

核技术利用建设项目
浙江省中医院核技术利用扩建项目
环境影响报告表
(报批稿)

浙江省中医院

2022年8月

生态环境部监制

核技术利用建设项目
浙江省中医院核技术利用扩建项目
环境影响报告表

建设单位名称：浙江省中医院

建设单位法人代表（签名或签章）：高祥福

通讯地址：杭州市上城区邮电路 54 号

邮政编码：310006

联系人：**

电子邮箱：/

联系电话：*****

目 录

| | | |
|------|----------------------|-----|
| 表 1 | 项目基本情况 | 1 |
| 表 2 | 放射源 | 10 |
| 表 3 | 非密封放射性物质 | 17 |
| 表 4 | 射线装置 | 18 |
| 表 5 | 废弃物（重点是放射性废弃物） | 19 |
| 表 6 | 评价依据 | 21 |
| 表 7 | 保护目标与评价标准 | 25 |
| 表 8 | 环境质量和辐射现状 | 40 |
| 表 9 | 项目工程分析与源项 | 44 |
| 表 10 | 辐射安全与防护 | 80 |
| 表 11 | 环境影响分析..... | 125 |
| 表 12 | 辐射安全管理 | 189 |
| 表 13 | 结论与建议 | 199 |

表 1 项目基本情况

| | | | | | |
|-----------------|--|--|---|-----------------------|-------|
| 建设项目名称 | 浙江省中医院核技术利用扩建项目 | | | | |
| 建设单位 | 浙江省中医院 | | | | |
| 法人代表 | *** | 联系人 | ** | 联系电话 | ***** |
| 注册地址 | 杭州市上城区邮电路 54 号 | | | | |
| 项目建设地点 | 杭州市富阳区银湖街道高桥村 | | | | |
| 立项审批部门 | 杭州市富阳区发展和改革局 | 批准文号 | 富发改投资（2020）304 号 富发改投资（2021）16 号 | | |
| 建设项目总投资 （万元） | 352132 | 项目环保投资 （万元） | 500 | 投资比例（环保 投资/总投资） | 1.42% |
| 项目性质 | <input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他 | | | 占地面积（m ² ） | 不新增占地 |
| 应用 类型 | 放射源 | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 V 类 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类 | | |
| | 非密封放 射性物质 | <input type="checkbox"/> 生产 | <input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | / | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙 | | |
| | 射线装置 | <input type="checkbox"/> 生产 | <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 | | |
| | 其他 | / | | | |

1.1 项目建设单位基本情况

1.1.1 医院简介

浙江省中医院（浙江中医药大学附属第一医院（浙江省东方医院），以下简称“医院”，医疗机构执业许可证见附件 2）始建于 1931 年，是一所集医疗、科研、教学、保健、康复为一体的三级甲等综合性医院，是杭州市医保定点医院，是省内中医、西医住院医师规范化培训基地。医院现有两个院区，其中湖滨院区位于杭州市上城区邮电路 54 号，已设核医学科、放疗科和放射科；下沙院区位于杭州经济技术开发区 9 号大街 9 号，已设放射科。

医院现持有有效的《辐射安全许可证》（见附件 5），证书编号：浙环辐证（A0032），有效期至 2023 年 7 月 29 日，使用的种类和范围：使用 V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

1.1.2 主体工程非放射性内容环保手续履行情况

为全面贯彻实施健康浙江战略，进一步优化区域医疗资源配置，更好的发挥浙江省中医院的办院特色和优势，拓展浙江省中医院办医空间，推动富阳区经济社会发展和高品质城市建设，杭州市富阳区人民政府与浙江省中医药大学、浙江省中医院合作建设“浙江省中医院富阳院区”，医院选址于杭州市富阳区银湖街道高桥村，项目总建设用地面积为 127453m²（合 191.18 亩），总建筑面积为 449591m²（其中地上 306970m²，地下 142621m²），规划总床位为 2500 张。按照“一次规划，分期建设”原则，拟分二期建设，其中一期总建筑面积为 349591m²（其中地上 256970m²，地下 92621m²），设置床位 1500 张，主要建设 1 栋门急诊楼（连体楼，分为门诊楼（地上 5F，地下 2F）和急诊楼（地上 5F，地下 2F））、1 栋医技楼（地上 8F，地下 2F）、1 栋综合病房楼（连体楼，分为内科病房楼（地上 16F，地下 2F）和外科病房楼（地上 18F，地下 2F））、1 栋国际保健中心楼（地上 12F，地下 2F）、1 栋科研办公楼（地上 15F，地下 2F）、1 栋感染楼（地上 10F，地下 1F）、1 座医疗垃圾房（地上 1F，无地下层）及配套地下车库等，并配套建设院区室外给排水、室外照明、道路场地和绿化等；二期总建筑面积为 100000m²（其中地上 50000m²，地下 50000m²），设置床位 1000 张，主要建设二期专科病房楼（层数规划中）及配套地下车库等。根据现场勘查，目前医院处于基础施工阶段。

关于一期主体工程非放射性内容，前期相关手续办理情况见表 1.1-1。

表 1.1-1 一期主体工程非放射性内容前期相关手续一览表

| 日期 | 机关名称 | 文件名称 | 相关文号 | 备注 |
|------------|--------------|-------------------------------------|----------------------------|-------|
| 2020.11.11 | 杭州市富阳区发展和改革局 | 关于浙江省中医院新院区项目（一期）可行性研究报告的批复 | 富发改投资〔2020〕304 号 | 附件 6 |
| 2021.01.22 | 杭州市富阳区发展和改革局 | 关于同意调整浙江省中医院新院区项目（一期）可行性研究报告有关内容的批复 | 富发改投资〔2021〕16 号 | |
| 2021.03.22 | 杭州市富阳区发展和改革局 | 关于浙江省中医院新院区项目（一期）初步设计的批复 | 富发改投资〔2021〕45 号 | 附件 7 |
| 2021.04.06 | 杭州市规划和自然资源局 | 建设工程规划许可证 | 建字第 330111202100064 号 | 附件 8 |
| 2021.06.01 | 杭州市规划和自然资源局 | 不动产权证 | 浙〔2021〕富阳区不动产权证第 0022792 号 | 附件 9 |
| 2021.08.11 | 杭州市生态环境局富阳分局 | 关于浙江省中医院新院区项目（一期）环境影响报告书的审查意见 | 富环许审〔2021〕74 号 | 附件 10 |

同时，多方单位以协议形式确定（见附件 11），本项目主体工程项目前期的建设单位主体为杭州富阳开发区基础设施建设有限公司，待项目建成后移交给浙江省中医院进行经营使用，故本次辐射项目的建设单位主体为“浙江省中医院”。

1.2 项目建设目的和任务由来

根据医院发展的需要和整体规划要求，医院计划在富阳院区一期工程建成运营后开展核技术利用扩建项目，主要涉及：①在外科病房楼地下一层成立核医学科，新建1间PET/CT机房、1间PET/MR机房、2间SPECT/CT机房及辅助用房，并拟配置1台PET/CT、1台PET/MR、2台SPECT/CT，同时使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 等5种核素，开展放射性核素诊断工作；使用 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P 、 ^{131}I 等6种放射性核素，开展放射性核素治疗工作；使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y ，开展 ^{90}Y 肝癌治疗的活度测定和抽取等工作；使用1枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 密封源（出厂活度为 $3.70\times 10^8\text{Bq/枚}$ ），用于皮肤敷贴治疗；使用4枚校准源（ ^{68}Ge 、 ^{22}Na 各2枚，出厂活度均为 $1.11\times 10^8\text{Bq/枚}$ ），用于PET/CT和PET/MR图像质控校正；使用2枚校准源 ^{57}Co （出厂活度均为 $4.44\times 10^8\text{Bq/枚}$ ），用于SPECT/CT图像质控校正；②在医技楼一层介入中心新建1间DSA机房（编号1#）及辅助用房，配置1台数字减影血管造影装置（简称“DSA”），并使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y ，开展 ^{90}Y 肝癌治疗的介入注射工作；③在外科病房楼外围北侧的地下二层成立放疗科，新建3间放疗机房及辅助用房，并拟配置2台10MV直线加速器（每台设备的实时影像引导系统拟配套1台CT，最大管电压均为140kV，最大管电流均为800mA）、1台后装机（内置密封源的出厂活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq/枚}$ ），用于开展肿瘤放射治疗工作；④在医技楼一层介入中心和五层手术区、急诊楼一层急诊大厅分别成立放射介入科，新建5间DSA机房（编号2#~6#）及辅助用房，并拟配置5台DSA，用于开展放射诊断与介入工作。

本项目为一期主体工程配套的辐射项目，已作为初步设计方案的重要内容纳入到医院一期工程的一次性整体规划中。结合国家现行辐射相关法律法规和一期主体工程项目非放射性环评批复（富环许审〔2021〕74号）的要求，放射性内容应单独开展辐射环境影响评价工作。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录C中关于非密封源工作场所的分级规定、《关于发布射线装置分类的公告》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号）及《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环境保护总局公告2005年第62号）等相关标准，本项目核医学工作场所和 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所；直线加速器属于“粒子能量小于100兆电子伏的医用加速器”，DSA属于“血管造影用X射线装置”，均属于II类射线装置；PET/CT、SPECT/CT及加速器实时影像引导系统配套的CT装置均属于III类射线装置；密封源 ^{90}Sr - ^{90}Y 、 ^{68}Ge 、 ^{22}Na 、 ^{57}Co 均属于V类放射源；后装机内含的密封源 ^{192}Ir 属于III类放射源。

根据《建设项目环境影响登记表备案管理办法》（原环境保护部令41号）的规定，医院

后期拟将密封源 ^{90}Sr - ^{90}Y 、 ^{68}Ge 、 ^{22}Na 、 ^{57}Co 单独办理相关备案手续，不在本次评价范围内。同时，PET/MR 装置中 MRI 部分属于电磁设备，不在《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》中需开展环评的范畴内，故本项目不予评价。

对照生态环境部令第 1 号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射：172、核技术利用建设项目”，本次评价内容为乙级非密封放射性物质工作场所、使用 II 类和 III 类射线装置、使用 III 类放射源，应编制辐射环境影响报告表，并在环评批复后及时向有权限的生态环境主管部门重新申领《辐射安全许可证》。

为保护环境，保障公众健康，浙江省中医院委托杭州卫康环保科技有限公司对本项目进行辐射环境影响评价。评价单位接受委托后，通过现场踏勘、委托监测、收集有关资料等工作，结合本项目特点，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目环境影响报告表（送审稿），供建设单位上报审批。

1.3 项目建设内容和规模

经与建设单位核实，本次辐射评价内容和规模为：

（1）核医学科

医院计划在外科病房楼地下一层成立核医学科，新建 1 间 PET/CT 机房、1 间 PET/MR 机房、2 间 SPECT/CT 机房及辅助用房，拟配置 1 台 PET/CT（型号待定，最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA，属于 III 类射线装置）和 1 台 PET/MR，并使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga ，用于显像诊断检查；2 台 SPECT/CT（型号待定，最大管电压均为 140kV，最大管电流均为 800mA，属于 III 类射线装置），并使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga ，用于显像诊断检查；使用放射性核素 ^{131}I 进行甲状腺功能测定（以下简称“甲测”）和甲亢治疗；使用放射性核素 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra ，用于骨转移癌治疗；使用放射性核素 ^{32}P ，用于皮肤敷贴治疗；使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y ，开展 ^{90}Y 肝癌治疗的活度测定和抽取等工作。

经理论估算，本项目核医学工作场所操作上述所有核素时日等效最大操作量为 $1.461 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（2） ^{90}Y 肝癌治疗工作场所

医院计划在医技楼一层介入中心新建 1 间 DSA 机房（编号 1#）及辅助用房，配置 1 台 DSA（最大管电压为 150kV，最大管电流为 1250mA，为单管头 X 射线设备，有用线束朝向机房的南侧、北侧、顶棚和地面，常规情况主要为由下向上，属于 II 类射线装置），并使用

放射性核素 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y ，开展 ^{90}Y 肝癌治疗的介入注射工作（ ^{99m}Tc 与 ^{90}Y 的药物贮存、活度测量、抽取、SPECT/CT 扫描与废物暂存均依托于外科病房楼地下一层的核医学工作场所，辐射工作人员取药后送入医技楼一层介入中心的 1#DSA 机房开展介入注射工作）。

经理论估算，本项目 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所操作上述所有核素时日等效最大操作量为 $3.015 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（3）放疗科

医院计划在外科病房楼外围北侧的地下二层成立放疗科，新建 3 间放疗机房及辅助用房，用于开展肿瘤放射治疗，主要包括：

①新建 2 间直线加速器机房及辅助用房，每间机房拟配置 1 台直线加速器，型号待定，X 射线最大能量均为 10MV，电子线最大能量均为 22MeV，普通治疗模式时等中心参考点处最大剂量率均为 $1000\text{cGy}/\text{min}$ ，高剂量率 FFF 模式时等中心参考点处最大剂量率均为 $2400\text{cGy}/\text{min}$ ，有用线束主要朝向机房的东侧、西侧、顶棚和地面，属于 II 类射线装置。加速器实时影像引导系统均配置 1 套 CT 装置，最大管电压均为 140kV，最大管电流均为 800mA，属于 III 类射线装置。

②新建 1 间后装机房及辅助用房，拟配置 1 台后装机，型号待定，内置 1 枚 ^{192}Ir 密封源，有用线束朝向机房的所有方向，出厂活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}/\text{枚}$ ，属于 III 类放射源。

（4）放射介入科

医院计划在医技楼一层介入中心、五层手术区、急诊楼一层急诊大厅分别成立放射介入科，用于放射诊断与介入治疗，主要包括：新建 5 间 DSA 机房（编号 2#~6#）及辅助用房，每间机房拟配置 1 台 DSA，型号待定，最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA，均为单管头 X 射线设备，有用线束朝向机房的南侧、北侧、顶棚和地面，常规情况主要为由下向上，属于 II 类射线装置。

1.4 项目选址及周边环境保护目标

1.4.1 项目地理位置及外环境关系

浙江省中医院富阳院区拟建于杭州市富阳区银湖街道高桥村，地块中心地理坐标为北纬 N: $30^{\circ}05'46.84''$ ，东经 E: $119^{\circ}55'46.10''$ ，地理位置见附图 1。院区东侧为金桥北路（已建），南侧为高新路（已建），西侧为规划高泰路（现状为小道），北侧为规划金秋大道（现状为空地），周围环境关系见附图 2，周围环境实景见附图 3，总平面布置见附图 4。

1.4.2 辐射工作场所位置及评价范围 50m 内环境特征关系

本项目辐射工作场所拟建于外科病房楼地下一层和外围北侧的地下二层、医技楼一层介入中心和五层手术区及急诊楼一层急诊大厅，评价范围 50m 内环境特征关系见表 1.4-1。

表 1.4-1 各辐射工作场所拟建位置及评价范围 50m 内环境特征关系

| 辐射工作场所名称 | 拟建位置 | 与医院用地红线相对距离 (m) | | | | 评价范围 50m 内环境特征 |
|------------------------------------|-------------------|-----------------|-----|-----|-----|---|
| | | 东侧 | 南侧 | 西侧 | 北侧 | |
| 核医学科 | 外科病房楼地下一层 | 275 | 170 | 275 | 38 | 院内各功能建筑(地下一层部分区域、外科病房楼、内科病房楼、医技楼)和规划金秋大道等 |
| ⁹⁰ Y 肝癌治疗工作场所(1#DSA 机房) | 医技楼一层介入中心1#DSA 机房 | 205 | 160 | 405 | 90 | 院内各功能建筑(医技楼、门诊楼和急诊楼、内科病房楼)和院区道路等 |
| 放疗科(2 间加速器机房+1 间后装机房) | 外科病房楼外围北侧的地下二层 | 335 | 205 | 320 | 25 | 院内各功能建筑(地下二层部分区域、外科病房楼、医技楼和国际保健中心楼)和规划金秋大道等 |
| 放射介入科 | 2#DSA 机房、3#DSA 机房 | 212 | 160 | 280 | 90 | 院内各功能建筑(医技楼、门诊楼、急诊楼和内科病房楼)和院区道路等 |
| | 4#DSA 机房、5#DSA 机房 | 270 | 105 | 290 | 120 | 院内各功能建筑(医技楼、门诊楼)和院区道路等 |
| | 6#DSA 机房 | 115 | 138 | 455 | 124 | 院内各功能建筑(急诊楼、医技楼和门诊楼)和院区道路等 |

因此，本项目各辐射工作场所周围 50m 内均无居民点和学校等环境敏感点。

1.4.3 规划符合性分析

根据医院一期主体工程非放射性项目环境影响报告书、环评批复及项目实际情况，本项目为核技术利用建设项目，其相关规划符合性分析如下：

1、用地规划符合性分析

对照《杭州市富阳区高桥片控制性详细规划(用地规划图)》(见附图 24)，本项目位于杭州市富阳区银湖街道高桥村，已取得建设工程规划许可证和不动产权证(分别见附件 8~附件 9)，用地性质为医疗卫生用地，且周围无环境制约因素。因此，本项目符合土地利用规划的要求。

2、与富春江-新安江风景名胜区总体规划符合性分析

对照《富春江-新安江风景名胜区总体规划（2011-2025 年）（规划设计总图）》（见附图 25），本项目拟建地不在外围保护地带以及风景区范围内。因此，本项目符合风景名胜区的相关要求。

3、“三线一单”符合性分析

根据《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见（试行）》（环环评〔2021〕108 号），本项目“三线一单”符合性判定情况见表 1.4-2。

表 1.4-2 本项目“三线一单”符合性分析

| 内容 | 符合性分析 |
|----------|---|
| 生态保护红线 | 根据《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》（杭环发〔2020〕56号）和《富阳区生态保护红线分布图》（见附图26），本项目所在地周边无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区等生态保护目标，未触及生态保护红线。 |
| 环境质量底线 | 经检测，本项目相关辐射工作场所拟建址及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率均处于当地本底水平， α 、 β 放射性表面污染水平均未见异常。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。“三废”污染物均采取了合理、有效、可行的处理措施，可以做到达标排放，符合环境质量底线要求。 |
| 资源利用上线 | 本项目营运过程中会消耗一定量的电源、水资源等，主要来自工作人员的日常办公和设施用电，但项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。 |
| 生态环境准入清单 | <p>根据《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》（杭环发〔2020〕56号），本项目位于富阳区富阳中心城区产业集聚重点管控单元（编码：ZH33011120015，见附图 27），该管控单元生态环境准入清单内容如下：</p> <p>①空间布局引导：根据产业集聚区块的功能定位，建立分区差别化的产业准入条件。合理规划居住区与工业功能区，在居住区和工业区、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。</p> <p>②污染物排放管控：严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。所有企业实现雨污分流。</p> <p>③环境风险管控：强化工业集聚区企业环境风险防范设施设备建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制，加强风险防控体系建设。</p> <p>④资源开发效率要求：/。</p> <p>本项目为核技术在医学领域的应用，不属于工业类项目，且项目利用院区主体建筑开展工作，不改变土地现状。经营过程中污染物简单，排放量较小，“三废”污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。同时，医院拟制定《辐射事故应急预案》，并设置辐射事故应急小组和应急物资，具备完善的风险防范措施。因此，本项目的实施符合《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》的管控要求。</p> |

因此，本项目的建设符合“三线一单”的要求。

1.4.4 选址合理性分析

本项目环境保护目标为评价范围 50m 内活动的职业人员和公众成员，其中职业人员指各射线装置、密封源及非密封放射性物质工作场所的辐射工作人员；公众成员为本项目评价范围内的非本项目医护人员和慰问者、被动与接受诊断的患者近距离接触的公众及其他公众成员，无居民点和学校等环境敏感点，亦不涉及生态保护红线，且用地性质属于医疗卫生用地。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。因此，本项目选址合理可行。

1.5 产业政策符合性

结合国家发展和改革委员会第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》及国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改〈产业结构调整指导目录（2019 年本）〉的决定》，本项目属于该目录中鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”及第十三项“医药”第 5 条“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，符合国家产业政策的要求；不属于《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引（2019 年本）》中限制类和禁止类项目，符合杭州市产业政策的要求；也不属于《富阳市 2008 年产业发展导向目录》中限制类和禁止类项目，符合富阳区产业政策的要求。

因此，本项目的实施符合国家及地方产业政策的要求。

1.6 实践正当性分析

由于放射性同位素、密封源和射线装置的应用在我国是一门成熟的技术，它在医学诊断、治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。本项目建成后，将能为病人提供一个优越的治疗条件，具有明显的社会效益，能在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。医院使用放射性同位素、密封源和射线装置所产生的危害同社会和个人从中取得的利益相比是可以接受的。因此，本项目的建设和运行符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

1.7 原有核技术利用项目许可情况

1.7.1 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院现有辐射活动均已通过相关的环保审批和竣工验收，环保手续合法齐全，具体见表 1.7-1 和附件 12。

表 1.7-1 医院现有辐射活动环保手续履行情况一览表

| 类别 | 日期 | 项目名称 | 审批部门 | 批复文号 |
|------------------------------|------------------|--|--------------------|--------------------|
| 环评 批复 | 2008 年 7 月 9 日 | 浙江省中医院直线加速器、医用放射性同位素及射线装置应用项目（扩建）环境影响报告表 | 原浙江省环境保护局 | 浙环辐（2008）62 号 |
| | 2010 年 5 月 4 日 | 浙江省中医院放射性同位素应用项目（扩建）环境影响报告表 | 原浙江省环境保护厅 | 浙环辐（2010）9 号 |
| | 2017 年 5 月 22 日 | 医用放射性同位素及射线装置应用项目（扩建）环境影响报告表 | 原杭州市环境保护局 | 杭环辐评批（2017）14 号 |
| | 2017 年 10 月 31 日 | 浙江省中医院 DSA 医用射线装置建设项目（扩建）环境影响报告表 | 原杭州市环境保护局 | 杭环辐评批（2017）30 号 |
| | 2017 年 2 月 14 日 | 浙江省中医院扩建医用 X 射线装置应用项目环境影响登记表 | / | 201733010200000032 |
| | 2017 年 2 月 14 日 | 浙江省中医院扩建医用 X 射线装置应用项目环境影响登记表 | / | 201733010200000033 |
| | 2017 年 6 月 8 日 | 浙江省中医院扩建医用 X 射线装置应用项目环境影响登记表 | / | 201733016100000089 |
| | 2017 年 6 月 22 日 | 浙江省中医院扩建医用 X 射线装置应用项目环境影响登记表 | / | 201733016100000094 |
| | 2018 年 4 月 26 日 | 浙江省中医院医用 X 射线装置应用项目环境影响登记表 | / | 201833010200000235 |
| | | 浙江省中医院医用 X 射线装置应用项目环境影响登记表 | / | 201833016100000074 |
| | 2020 年 11 月 9 日 | 浙江省中医院医用 X 射线装置应用项目环境影响登记表 | / | 202033010200000133 |
| | 2021 年 3 月 29 日 | 浙江省中医院医用 X 射线影像诊断建设项目环境影响登记表 | / | 202133010200000010 |
| | 2021 年 5 月 10 日 | 浙江省中医院医用 X 射线影像诊断建设项目环境影响登记表 | / | 202133010200000020 |
| | | 浙江省中医院医用 X 射线影像诊断建设项目环境影响登记表 | / | 202133010200000021 |
| 浙江省中医院医用 X 射线影像诊断建设项目环境影响登记表 | | / | 202133016100000029 | |
| 验收 意见 | 2015 年 10 月 10 日 | 浙江省中医院直线加速器等射线装置应用项目（扩建）建设项目竣工环境保护验收监测表 | 原浙江省环境保护厅 | 浙环辐验（2015）91 号 |
| | 2016 年 4 月 1 日 | 浙江省中医院放射性同位素应用项目竣工环境保护验收监测报告表 | 原浙江省环境保护厅 | 浙环辐验（2016）13 号 |
| | 2019 年 12 月 3 日 | 医用放射性同位素及 DSA 射线装置应用项目竣工环境保护验收监测报告表 | / | 自主验收 |

1.7.2 原有核技术利用项目许可情况

医院现持有有效的《辐射安全许可证》，已许可的射线装置、密封源和非密封放射性物质使用的详细台账分别见表 1.7-2~表 1.7-4。

表 1.7-2 医院现有已许可的射线装置基本情况一览表

| 序号 | 所属院区 | 设备名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 性能参数 | 工作场所位置 | 环评情况 | 许可情况 | 验收情况 | 使用状态 |
|----|------|-----------|------|-----|-------------------------|---------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|------|
| 1 | 湖滨院区 | DR (单板) | III类 | 1 台 | Digital Diagnostic VR | 150kV; 800mA | 2 楼机房 0201 | 浙环辐 (2008) 62 号 | 浙环辐证 (A0032) | 浙环辐验 (2015) 91 号 | 在用 |
| 2 | | DR (双板) | III类 | 1 台 | Digital Diagnostic TH | 150kV; 1000mA | 2 楼机房 0202 | 浙环辐 (2008) 62 号 | | 浙环辐验 (2015) 91 号 | 在用 |
| 3 | | DR | III类 | 1 台 | Digital diagnost 3 | 150kV; 1000mA | 2 楼机房 0203 | 201833010200000235 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 4 | | 32 排螺旋 CT | III类 | 1 台 | Aquilion One TSX-301C | 135kV; 900mA | 2 楼机房 0204 | 201833010200000235 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 5 | | 双排螺旋 CT | III类 | 1 台 | CT Somtomspirit | 130kV; 800mA | 2 楼机房 0205 | 浙环辐 (2008) 62 号 | | 浙环辐验 (2015) 91 号 | 在用 |
| 6 | | 64 排螺旋 CT | III类 | 1 台 | CT SOMATOM SENSATION 64 | 120kV; 666mA | 2 楼机房 0207 | 浙环辐 (2008) 62 号 | | 浙环辐验 (2015) 91 号 | 在用 |
| 7 | | 数字胃肠机 | III类 | 1 台 | Sonialvisi on Versa 100 | 150kV; 800mA | 2 楼机房 0208 | 201833010200000235 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 8 | | DSA | II类 | 1 台 | Allura Xper FD20 | 125kV; 1250mA | 2 楼机房 0210 | 浙环辐 (2008) 62 号 | | 浙环辐验 (2015) 91 号 | 在用 |
| 9 | | DSA | II类 | 1 台 | Allura Xper FD20 | 125kV; 1250mA | 2 楼机房 0211 | 浙环辐 (2008) 62 号 | | 浙环辐验 (2015) 91 号 | 在用 |
| 10 | | 平板乳腺机 | III类 | 1 台 | MAMMOMAT Inspiration | 35kV; 150mA | 2 楼机房 0212 | 201833010200000235 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 11 | | 直线加速器 | II类 | 1 台 | Primus | 10MV | 住院部地下二层直线加速器机房 | 浙环辐 (2008) 62 号 | | 浙环辐验 (2015) 91 号 | 在用 |
| 12 | | 模拟定位机 | III类 | 1 台 | Simulix HQ | 150kV; 1000mA | 住院部地下二层模拟定位机房 | 浙环辐 (2008) 62 号 | | 浙环辐验 (2015) 91 号 | 在用 |
| 13 | | 全身骨密度仪 | III类 | 1 台 | PRODIGY | 76kV; 3mA | 门诊二楼: 骨伤科骨密度室 | 201833010200000235 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 14 | | DR | III类 | 1 台 | uDR770i | 150kV; 800mA | 仁和路体检中心 | 202133010200000020 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 15 | | CT | III类 | 1 台 | ingenuity | 140kV; 500mA | 仁和路体检中心 | 202133010200000020 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 16 | | 移动式 C 臂机 | III类 | 1 台 | OEC 8800 | 100kV; 110mA | 2 号手术室 | 201833010200000235 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------|---------------|----|-----|--------------------|---------------|---------------------|----------------------|-----------------|--------------------|----|
| 17 | | 移动式 C 臂机 | Ⅲ类 | 1 台 | Brivo OEC850 | 110kV; 4mA | 5 号手术室 | 201833010200000235 | 浙环辐证 (A0032) | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 18 | | 移动式 C 臂机 | Ⅲ类 | 1 台 | ARCADIS orbic | 110kV; 4mA | 2 号和 5 号手术室 | 201833010200000235 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 19 | | 移动 X 射线机 | Ⅲ类 | 1 台 | SM-50HF-B-D-C | 150kV; 500mA | 影像科: 移动使用 | 浙环辐 (2008) 62 号 | | 浙环辐验 (2015)91 号 | 在用 |
| 20 | | 移动 X 射线机 | Ⅲ类 | 1 台 | SM-50HF-B-D-C | 150kV; 500mA | 影像科: 移动使用 | 浙环辐 (2008) 62 号 | | 浙环辐验 (2015)91 号 | 在用 |
| 21 | | 口腔 CT | Ⅲ类 | 1 台 | Orthophos SL 3D | 90kV; 16mA | 住院部二楼 口腔 CT 机房 | 202133010200000021 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 22 | | CT | Ⅲ类 | 1 台 | uCT530 | 140kV; 420mA | 发热门诊楼 CT 机房 | 202133010200000010 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 23 | 下沙院区 | DR | Ⅲ类 | 1 台 | DigiEye680 | 150kV; 640mA | 3 号楼体检中心一层 DR 机房 | 202133016100000029 | | 浙环辐验 (2015)91 号 | 在用 |
| 24 | | DR (双板) | Ⅲ类 | 1 台 | Digital Diagnost | 150kV; 1000mA | 放射科 1 号机房 | 201733016100000094 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 25 | | 数字胃肠机 | Ⅲ类 | 1 台 | Uni-Vision | 150kV; 500mA | 放射科 2 号机房 | 201833016100000074 | | 浙环辐验 (2015)91 号 | 在用 |
| 26 | | 数字乳腺 X 射线机 | Ⅲ类 | 1 台 | Selenia Dimensions | 39kV; 150mA | 放射科 3 号机房 | 201733016100000094 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 27 | | 16 排 CT | Ⅲ类 | 1 台 | ingeuity Flex 16CT | 140kV; 500mA | 放射科 4 号机房 | 202133016100000029 | | 浙环辐验 (2015)91 号 | 在用 |
| 28 | | DR (单板) | Ⅲ类 | 1 台 | VR/S | 150kV; 850mA | 放射科 5 号机房 | 浙环辐 (2008) 62 号 | | 浙环辐验 (2015)91 号 | 在用 |
| 29 | | DSA | Ⅱ类 | 1 台 | Optima C1323i | 125kV; 1000mA | 放射科 6 号机房 | 杭环辐评批 (2017) 30 号 | | 2019 年 自主验收 | 在用 |
| 30 | | 64 排螺旋 CT | Ⅲ类 | 1 台 | SOMATOM Definition | 140kV; 666mA | 放射科 9 号机房 | 201733016100000094 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 31 | | 移动式 C 臂机 | Ⅲ类 | 1 台 | BV Libra | 110kV; 20mA | 2 号手术室 | 201733016100000094 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 32 | | 移动式 C 臂机 | Ⅲ类 | 1 台 | BV Endurance | 110kV; 20mA | 4 号手术室 | 201833016100000074 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 33 | | 移动 X 射线机 | Ⅲ类 | 1 台 | SM-50HF-B-D-C | 150kV; 500mA | 影像科: 移动使用 | 201733016100000094 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 34 | | 全身骨密度仪 | Ⅲ类 | 1 台 | Prodigy primo | 76kV; 3mA | 门诊二楼 骨伤科骨密度室 | 201733016100000094 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |
| 35 | | 口腔全景机 | Ⅲ类 | 1 台 | OP/OC -200D | 85kV; 16mA | 放射科一楼 8 号机房 | 202133016100000029 | | 备案制, 不单独验收 | 在用 |

表 1.7-3 医院现有已许可的密封源基本情况一览表

| 序号 | 所属院区 | 核素 | 出厂日期 | 出厂活度 | 编码 | 类别 | 数量 | 工作场所位置 | 环评情况 | 许可情况 | 验收情况 | 使用状态 |
|----|------|------------------|------------|----------|--------------|----|----|--------|---------------------|-------------|-----------|------|
| 1 | 湖滨院区 | ⁶⁸ Ge | 2020.08.26 | 9.25E+7 | US20GE002505 | V类 | 1枚 | 核医学科 | 杭环辐评批 (2017) 14号 | 浙环辐证(A0032) | 2019年自主验收 | 在用 |
| 2 | | ⁶⁸ Ge | 2020.08.26 | 4.625E+7 | US20GE002515 | V类 | 1枚 | 核医学科 | | | | |
| 3 | | ⁶⁸ Ge | 2020.08.26 | 4.625E+7 | US20GE002525 | V类 | 1枚 | 核医学科 | | | | |

表 1.7-4 医院已许可的非密封放射性物质基本情况一览表

| 序号 | 所属院区 | 核素名称 | 日等效操作量 (Bq) | 年最大用量 (Bq) | 工作场所位置 | 环评情况 | 许可情况 | 验收情况 | 使用状态 |
|----|------|-----------------------|----------------|---------------|--------|-----------------|-------------|----------------|------|
| 1 | 湖滨院区 | ¹⁸ F | 7.40E+06 | 1.80E+12 | 核医学科 | 杭环辐评批(2017) 14号 | 浙环辐证(A0032) | 2019年自主验收 | 在用 |
| 2 | | ²⁰¹ Tl | 9.25E+06 | 9.25E+10 | | | | | |
| 3 | | ⁶⁷ Ga | 1.85E+09 | 1.85E+11 | | | | | |
| 4 | | ³² P | 3.70E+07 | 9.20E+10 | | | | | |
| 5 | | ¹⁸⁸ Re | 3.70E+08 | 9.20E+11 | | | | | |
| 6 | | ¹²⁵ I(粒子源) | 5.92E+06 | 5.92E+10 | 住院部二楼 | 浙环辐(2008) 62号 | 浙环辐证(A0032) | 浙环辐验(2016) 13号 | 在用 |
| 7 | | ¹²⁵ I(粒子源) | 1.184E+07 | 1.924E+11 | 住院部三楼 | | | | |
| 8 | | ^{99m} Tc | 7.40E+07 | 2.70E+12 | 核医学科 | | | | |
| 9 | | ¹³¹ I | 7.60E+07 | 1.80E+11 | | | | | |
| 10 | | ⁸⁹ Sr | 7.40E+07 | 1.80E+12 | | | | | |
| 11 | | ¹⁵³ Sm | 7.40E+08 | 1.80E+11 | | | | | |

1.7.3 辐射安全管理现状

1、现有辐射安全领导小组成立

医院已发文成立以主任委员张烁为组长的放射防护安全管理委员会，负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作。委员会人员组成上涵盖了现有核技术利用项目涉及的部门，在框架上基本符合要求；明确了相关负责人和各成员及其职责，内容较为完善，见附件 13。

2、现有辐射安全制度的制定与落实

医院已开展辐射工作多年，日常工作中制定了《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射装置操作规程》、《设备检修维护制度》、《放射性同位素和射线装置使用登记制度》、《放射性同位素和射线装置台账管理制度》、《放射性药品管理制度》、《放射性核素订购、运输和转让处理制度》、《放射性同位素使用期满后的处理方案》、《放射治疗设备质量控制制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《放疗技术工作制度》、《直线加速器辐射安全和防护制度》、《导管室安全制度》、《放射防护检测与评价制度》、《放射工作人员岗位职责》、《放射工作人员培训计划》、《个人剂量和辐射环境监测方案》、《辐射事故报告制度及应急处理方案》、《质量保证大纲和质量控制计划》等辐射安全规章制度（见附件 14），相关制度均张贴上墙于辐射工作场所现场。

医院现有辐射管理制度较为全面，符合相关要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

3、现有辐射工作人员管理

据统计，医院现有在岗的辐射工作人员合计 197 名，相关辐射管理现状情况如下：

①所有辐射工作人员均参加了辐射安全与防护培训（或放射卫生防护培训）并通过考核，符合持证上岗的要求，所有证书均在有效期内。

②所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，已委托有资质的单位定期进行个人剂量检测，并建立了个人剂量档案。根据医院提供的个人剂量检测报告（2021 年度连续 4 个季度），单名辐射工作人员年有效剂量均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员“剂量限值”的要求（职业人员 $\leq 20\text{mSv/a}$ ），也符合本项目剂量约束值要求（职业人员 $\leq 5\text{mSv/a}$ ）。

③所有辐射工作人员均已开展职业健康体检，并建立了职业健康监护档案。辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。根据医院提供的职业健康体检报告（2020~2021 年度），在岗辐射工作人员均可继续从事放射性工作，健康无异常。

4、现有辐射防护措施落实情况

①医院所有辐射工作场所均已根据项目实际情况划分了控制区和监督区，实行两区管理。

②普通放射机房（DSA 和 III 类射线装置机房）均设置了工作状态指示灯、门机联锁、灯机联锁、急停开关等，防护门外设有电离辐射警告标志及其中文警示说明，防护门外划定了 1m 的黄色警戒线。

③加速器机房治疗室和控制室之间已安装监视和对讲设备；治疗室入口处设置了防护门和迷道；防护门与加速器联锁，迷道内设置了紧急停机、开门按钮；防护门安装了工作状态指示灯并张贴了电离辐射警告标志，防护门划定了 1m 的黄色警戒线。

④核医学工作场所：在控制区的进出口及门上设立了醒目的电离辐射警告标志，配备了个人防护用品、剂量率仪、污染监测仪器，配套建设了卫生通过间以及被污染防护衣具的贮存柜；控制区实行门禁管理。场所设置了卫生通过间，配备了淋浴设施，还设置了给药后病人专用卫生间。储源室设置了防盗

报警装置和视频监控系统，符合防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防泄漏的要求；实行双人双锁管理模式。

因此，本项目各项辐射安全防护措施均落实到位，可保证现有辐射活动的安全开展。

5、现有“三废”处理情况

医院现有核技术利用项目运行过程中产生的“三废”主要为核医学科产生的放射性废气、放射性废水和放射性固体废物；放疗机房和普通放射机房产生的臭氧和氮氧化物等非放射性气体，现状处理措施和治理效果如下：

①放射性废气

医院核医学科操作放射性药物所均在通风柜（分装柜）内进行，风速大于 0.5m/s，排气口位于楼顶，高于所在建筑屋脊。场所气流设计遵循非限制区到监督区到控制区。

②放射性废水

医院核医学科配套建设了 2 个 4.5m³ 的并联衰变池，交替使用，衰变池的池底和池壁采取了防腐和防渗措施。放射性废水经衰变池存放衰变 10 个半衰期以上后，经检测达标后排入医院污水处理站。根据《浙江省中医院医用放射性同位素及 DSA 射线装置应用项目竣工环境保护验收监测报告表》（浙江建安检测研究院有限公司编制，检测时间：2019 年 6 月 12 日），衰变池总排水口的总 β 活度浓度为 1.120±0.019Bq/L，满足相关标准要求。

③放射性固废

放射性废物与非放射性废物，分类收集、处理。放射性固体废物按核素分类，先收集在注射室专用污物桶内，再转移到临时贮存室内集中收储，达到规定的时间后按一般医疗固体废物处理。专用污物桶具有外防护层和电离辐射标志。放射性固体废物由专人负责管理，建立了固体废物处理台帐。

④臭氧和氮氧化物

医院加速器机房已设置机械排风设施，可保证有效通风换气次数不小于 4 次/h；普通放射机房（DSA 和 III 类射线装置机房）采用排气扇，确保室内环境空气质量。

因此，本项目“三废”污染物均得到合理、有效、可行的处置，影响可控。

6、现有辐射监测仪器与防护用品

医院每年准备相应资金采购更新辐射安全防护设施和设备，现有辐射监测仪器与防护用品如下：

表 1.7-5 现有辐射监测仪器和防护用品

| 序号 | 名称 | 核医学科 | 放疗科 | 放射科 |
|----|---------------|------|------|-------|
| 1 | 铅衣 | 8 件 | 1 件 | 23 件 |
| 2 | 铅围裙 | / | 1 件 | 14 件 |
| 3 | 铅颈套 | 8 件 | / | 13 件 |
| 4 | 铅帽 | / | / | 6 件 |
| 5 | 铅眼镜 | 9 副 | / | 5 副 |
| 6 | 铅手套 | 4 副 | / | 1 副 |
| 7 | 盖巾 | / | / | 4 件 |
| 8 | 铅面罩 | / | / | 1 件 |
| 9 | 个人剂量计 | 8 个 | 11 个 | 178 个 |
| 10 | 剂量报警仪 | 5 个 | 2 个 | 20 个 |
| 11 | 活度计 | 2 个 | / | / |
| 12 | 便携式 X-γ 辐射检测仪 | 1 台 | 1 台 | 1 台 |
| 13 | β 表面污染检测仪 | 1 台 | / | / |

7、现有场所检测与年度评估

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，检测结果均满足相关标准要求。同时，医院已配备相应的辐射检测仪器，日常内部常规检测已执行。相关辐射环境监测记录或报告档案均妥善保存备查。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，医院应在每年 1 月 31 号前上报上一年度评估报告至原发证机关。经与建设单位核实，医院已将本单位的辐射安全与防护状况年度评估报告（2021 年度）进行申报。

8、现有辐射事故应急

医院已制定《辐射事故报告制度及应急处理方案》，见附件 16。医院每年均定期开展辐射事故应急预案演练，并对演练结果进行总结，及时对放射事件应急处理预案进行完善和修订。经与建设单位核实，医院自辐射活动开展以来，无辐射事故发生，事故应急小组处于正常运行状态。

表 2 放射源

| 序号 | 核素名称 | 总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数 | 类别 | 活动种类 | 用途 | 使用场所 | 贮存方式与地点 | 备注 |
|----|-------------------|-----------------------------|------|------|------|----------------------------|---------------------|-------------|
| 1 | ¹⁹² Ir | 3.7×10 ¹¹ Bq×1 枚 | III类 | 使用 | 放射治疗 | 外科病房楼外围北侧的地下二层放疗科 后装机机房 | 不工作时，贮存于后装机的 机头内 | 拟购， 本次评价 |

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表3 非密封放射性物质

| 序号 | 核素名称 | 理化性质 | 活动种类 | 实际日最大操作量 (Bq) | 日等效最大操作量 (Bq) | 年最大用量 (Bq) | 用途 | 操作方式 | 使用场所 | 贮存方式与地点 |
|----|-------------------|-----------------------|------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|-------|-------------------------------------|--|
| 1 | ¹⁸ F | 液体, 低毒, 半衰期: 109.8min | 使用 | 1.11×10 ¹⁰ | 1.11×10 ⁷ | 4.44×10 ¹² | PET/CT、PET/MR 显像 | 很简单操作 | 外科病房楼的地下一层核医学科 | 根据实际用量向有资质单位购买, 购买后装有放射性药品溶液的铅罐暂存于核医学科的储源室内, 储源室采取双人双锁的管理方式。 |
| | | | | 2.22×10 ¹⁰ | 2.22×10 ⁶ | | 备药 | 源的贮存 | | |
| 2 | ⁶⁸ Ga | 液体, 低毒, 半衰期: 68.3min | 使用 | 3.70×10 ⁸ | 3.70×10 ⁶ | 3.70×10 ¹⁰ | PET/CT、PET/MR 显像 | 简单操作 | | |
| | | | | 7.40×10 ⁸ | 7.40×10 ⁴ | | 备药 | 源的贮存 | | |
| 3 | ^{99m} Tc | 液体, 低毒, 半衰期: 6.02h | 使用 | 3.70×10 ¹⁰ | 3.70×10 ⁷ | 7.40×10 ¹² | SPECT/CT 显像 (肺灌注) | 很简单操作 | | |
| | | | | 2.22×10 ⁸ | 2.22×10 ⁵ | 1.11×10 ¹⁰ | SPECT/CT 显像 (肺通气) | | | |
| | | | | 1.50×10 ⁸ | 1.50×10 ⁵ | 1.50×10 ¹⁰ | ⁹⁰ Y 肝癌治疗 (活度测量和抽取) | | | |
| 4 | ²⁰¹ Tl | 液体, 低毒, 半衰期: 3.01d | 使用 | 3.70×10 ⁸ | 3.70×10 ⁶ | 1.85×10 ¹⁰ | SPECT/CT 显像 | 简单操作 | | |
| 5 | ⁶⁷ Ga | 液体, 中毒, 半衰期: 3.26d | 使用 | 3.70×10 ⁸ | 3.70×10 ⁷ | 1.85×10 ¹⁰ | SPECT/CT 显像 | 简单操作 | | |
| 6 | ¹³¹ I | 液体, 中毒, 半衰期: 8.02d | 使用 | 3.70×10 ⁵ | 3.70×10 ⁴ | 3.70×10 ⁷ | 甲状腺功能测定 | 简单操作 | | |
| | | | | 7.40×10 ⁸ | 3.70×10 ⁷ | 7.40×10 ¹⁰ | 甲亢治疗 | 简单操作 | | |
| 7 | ¹⁵³ Sm | 液体, 中毒, 半衰期: 46.5h | 使用 | 3.108×10 ⁹ | 3.108×10 ⁸ | 1.544×10 ¹¹ | 肿瘤骨转移治疗 | 简单操作 | | |
| 8 | ⁸⁹ Sr | 液体, 中毒, 半衰期: 50.53d | 使用 | 2.96×10 ⁸ | 2.96×10 ⁷ | 1.48×10 ¹⁰ | 肿瘤骨转移治疗 | 简单操作 | | |
| 9 | ¹⁸⁸ Re | 液体, 中毒, 半衰期: 16.98h | 使用 | 1.665×10 ⁹ | 1.665×10 ⁸ | 1.665×10 ¹¹ | 肿瘤骨转移治疗 | 简单操作 | | |
| 10 | ²²³ Ra | 液体, 极毒, 半衰期: 11.44d | 使用 | 7.40×10 ⁷ | 7.40×10 ⁸ | 3.70×10 ⁹ | 肿瘤骨转移治疗 | 简单操作 | | |
| 11 | ³² P | 液体, 中毒, 半衰期: 14.26d | 使用 | 1.48×10 ⁸ | 1.48×10 ⁷ | 1.48×10 ¹⁰ | 皮肤敷贴治疗 | 简单操作 | | |
| 12 | ⁹⁰ Y | 液体, 中毒, 半衰期: 2.67d | 使用 | 3.00×10 ⁹ | 3.00×10 ⁷ | 3.00×10 ¹¹ | ⁹⁰ Y 肝癌治疗 (活度测量和抽取) | 很简单操作 | | |
| 13 | ^{99m} Tc | 液体, 低毒, 半衰期: 6.02h | 使用 | 1.50×10 ⁸ | 1.50×10 ⁵ | 1.50×10 ¹⁰ | ⁹⁰ Y 肝癌治疗 (介入注射) | 很简单操作 | 医技楼一层介入中心的 ⁹⁰ Y 肝癌治疗工作场所 | |
| 14 | ⁹⁰ Y | 悬浮液, 中毒, 半衰期: 2.67d | 使用 | 3.00×10 ⁹ | 3.00×10 ⁷ | 3.00×10 ¹¹ | ⁹⁰ Y 肝癌治疗 (介入注射) | 很简单操作 | (1#DSA 机房) | |

注: 1) 日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

2) 根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐函〔2016〕430号), 并对照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)附录 A 中表 A.2, 医疗机构使用 ¹⁸F、^{99m}Tc 相关活动视为“很简单操作”, 使用 ¹³¹I 核素相关活动视为“简单操作”。

3) 根据生态环境部核与辐射安全中心编写的《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》, 本项目 ⁹⁰Y 树脂微球介入治疗过程中, ^{99m}Tc、⁹⁰Y 的活度测量、抽取与介入注射相关活动视为“很简单操作”。

4) 除 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I、⁹⁰Y 等 4 种核素外, 其他核素尚未有相关的标准文件界定其操作方式, 本次评价保守均视为“简单操作”。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 加速粒子 | 最大能量 (MeV) | 额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|-------|-----|----|----|------|-------------------------------|--|------|--------------------------------------|-------------|
| 1 | 直线加速器 | II类 | 2台 | 待定 | 电子 | X射线最大能量：10MV 电子线最大能量：22MeV | 普通治疗模式≤600Gy/h； 高剂量 FFF 治疗模式≤1440Gy/h | 放射治疗 | 外科病房楼外围北侧的 地下二层放疗科 1#、2#加 速器机房 | 拟购， 本次评价 |

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压 (kV) | 最大管电流 (mA) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|----------|------|----|----|------------|------------|----------------------|--|-------------|
| 1 | DSA | II类 | 1台 | 待定 | 150 | 1250 | ⁹⁰ Y 肝癌治疗 | 医技楼一层介入中心 ⁹⁰ Y 肝癌治疗工作场所 (1#DSA 机房) | 拟购， 本次评价 |
| | | | 2台 | 待定 | 150 | 1250 | 放射诊断与介入治疗 | 医技楼一层介入中心 2#、3#DSA 机房 | |
| | | | 2台 | 待定 | 150 | 1250 | 放射诊断与介入治疗 | 医技楼五层手术区 4#、5#DSA 机房 | |
| | | | 1台 | 待定 | 150 | 1250 | 放射诊断与介入治疗 | 急诊楼一层急救大厅 6#DSA 机房 | |
| 2 | PET/CT | III类 | 1台 | 待定 | 140 | 800 | 放射诊断 | 外科病房楼地下一层核医学科 PET/CT 机房 | 拟购， 本次评价 |
| 3 | SPECT/CT | III类 | 2台 | 待定 | 140 | 800 | 放射诊断 | 外科病房楼地下一层核医学科 SPECT/CT 机房 1、SPECT/CT 机房 2 | |
| 4 | CT | III类 | 2台 | 待定 | 140 | 800 | 放射诊断 | 外科病房楼外围北侧的地下二层放疗科 1#、2# 加速器机房 (自带的影像引导系统) | |

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压 (kV) | 最大靶电流 (μA) | 中子强度 (n/s) | 用途 | 工作场所 | 氚靶情况 | | | 备注 |
|--------|----|----|----|----|------------|------------|------------|----|------|---------|------|----|----|
| | | | | | | | | | | 活度 (Bq) | 贮存方式 | 数量 | |
| 本项目不涉及 | | | | | | | | | | | | | |

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

| 名称 | 状态 | 核素名称 | 活度 | 月排放量 | 年排放总量 | 排放口浓度 | 暂存情况 | 最终去向 | |
|-------------------|----------------------------|----------------------|---|------------------------------|-------|------------------------------|---|--|---|
| 核医学科 | 放射性废液 | 液态 | ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{131}I | / | / | 1.1m ³ | 总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$; 总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$; $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq/L}$ | 放射性废水由专用管道收集后送至核医学科衰变池进行暂存。 | 按最长核素半衰期暂存超过 180 天，经检测满足 GB 18871-2002 规定的低放废液排放条件及 HJ 1188-2021 的排放限值后，排入医院污水处理站处理达标后，再排入市政污水管网。 |
| | | | ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P | / | / | | 总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$; 总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ | 放射性废水由专用管道收集后送至放射性废液铅罐进行暂存。 | 按最长核素半衰期暂存超过 10 个半衰期以上，经检测满足 GB 18871-2002 规定的低放废液排放条件及 HJ 1188-2021 的排放限值后，排入医院污水处理站处理达标后，再排入市政污水管网。 |
| | 放射性废气 | 气态 | 主要为 ^{131}I | / | / | $7.4 \times 10^5\text{Bq}$ | 满足根据 GB18871-2002 推导出的控制建议值 | 不暂存 | 经二级过滤装置（共 2 套）吸附处理后，通过排风管道引至外科病房楼的屋顶排放，排气口（共 2 个）高出建筑屋脊。 |
| | 放射性固废（一次性注射器、针头、手套、药棉及纸杯等） | 固态 | ^{18}F | / | / | 300kg | $< 1 \times 10^1\text{Bq/g}$ | 暂存于核医学科放射性固废间的铅衰变箱 | ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{188}Re 暂存超过 30 天， ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P 暂存超过 10 个半衰期以上， ^{131}I 暂存超过 180 天，经检测满足清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理，委托有资质单位处理处置。 |
| | | | ^{68}Ga | / | / | 5kg | $< 1 \times 10^0\text{Bq/g}$ | | |
| | | | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | / | / | 410kg | $< 1 \times 10^2\text{Bq/g}$ | | |
| | | | ^{201}Tl | / | / | 5kg | $< 1 \times 10^2\text{Bq/g}$ | | |
| | | | ^{67}Ga | / | / | 5kg | $< 1 \times 10^0\text{Bq/g}$ | | |
| | | | ^{131}I | / | / | 20kg | $< 1 \times 10^2\text{Bq/g}$ | | |
| | | | ^{153}Sm | / | / | 2.5kg | $< 1 \times 10^2\text{Bq/g}$ | | |
| | | | ^{89}Sr | / | / | 5kg | $< 1 \times 10^3\text{Bq/g}$ | | |
| | | | ^{188}Re | / | / | 5kg | $< 1 \times 10^0\text{Bq/g}$ | | |
| ^{223}Ra | | | / | / | 5kg | $< 1 \times 10^2\text{Bq/g}$ | | | |
| ^{32}P | / | / | 5kg | $< 1 \times 10^3\text{Bq/g}$ | | | | | |
| 废活性炭 | 固态 | 主要为 ^{131}I | / | / | 50kg | $< 1 \times 10^2\text{Bq/g}$ | | | |
| 臭氧和氮氧化物 | 气态 | / | / | 微量 | 微量 | / | 不暂存 | 配套III类射线装置（PET/CT、SPECT/CT）开机状态下产生的非放射性有害气体同放射性废气一并处理收集、处理和排放。 | |

续表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

| 名称 | 状态 | 核素名称 | 活度 | 月排放量 | 年排放总量 | 排放口浓度 | 暂存情况 | 最终去向 | |
|------------------------|---------|------|-----------|------|--------|-------------------|-------------------------|--|---|
| 90Y 肝癌治疗工作场所（1#DSA 机房） | 放射性废液 | 液态 | 99mTc、90Y | / | / | 0.2m ³ | 总 β≤10Bq/L | 放射性废水由铅罐收集后暂送至清洁间进行暂存。 | 按最长核素半衰期暂存超过 10 个半衰期以上，经检测满足 GB 18871-2002 规定的低放废液排放条件及 HJ 1188-2021 的排放限值后，排入医院污水处理站处理达标后，再排入市政污水管网。 |
| | 放射性固废 | 固态 | 99mTc | / | / | 15kg | <1×10 ² Bq/g | 暂存于 1#DSA 机房污物间的铅衰变箱。 | 99mTc 暂存超过 30 天，90Y 暂存超过 10 个半衰期以上，经检测满足清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理，委托有资质单位处理处置。 |
| | | | 90Y | / | / | 85kg | <1×10 ³ Bq/g | | |
| 臭氧和氮氧化物 | 气态 | / | / | 微量 | 微量 | / | 不暂存 | 配套 II 类射线装置（1#DSA）开机状态下产生的非放射性有害气体通过排风系统排出 1#DSA 机房，由排风管道引至医技楼的楼顶高空排放，排气口高出建筑屋脊。 | |
| 加速器机房 | 废靶 | 固态 | / | / | 根据实际情况 | 根据实际情况 | / | 暂存于固废间 | 经检测，其表面 γ 辐射剂量率满足清洁解控水平后，由生产厂家回收处理。 |
| | 臭氧和氮氧化物 | 气态 | / | / | 微量 | 微量 | / | 不暂存 | 通过机械排风系统排出加速器机房，由排风管道引至外科病房楼的楼顶高空排放，排气口高出建筑屋脊。 |
| 后装机机房 | 废旧放射源 | 固态 | 192Ir | / | / | 约 3 枚 | / | 不暂存 | 由供源单位回收 |
| | 臭氧和氮氧化物 | 气态 | / | / | 微量 | 微量 | / | 不暂存 | 通过机械排风系统排出后装机机房，由排风管道引至外科病房楼的楼顶高空排放，排气口高出建筑屋脊。 |
| 放射介入科 | 臭氧和氮氧化物 | 气态 | / | / | 微量 | 微量 | / | 不暂存 | 通过排风系统排出 DSA 机房，由排风管道引至所在建筑的楼顶高空排放，排气口高出建筑屋脊。 |

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

| | |
|------------------|--|
| 法 规 文 件 | <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法 (2014 年修订)》，主席令第九号，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法 (2018 年修订)》，主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法 (2020 年修订)》，主席令第四十三号，2020 年 9 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，主席令第六号，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例 (2019 年修改)》，国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法 (2021 年修改)》，生态环境部令 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(9) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(10) 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(11) 《关于发布放射源分类办法的公告》，原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日起施行；</p> <p>(12) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发〔2006〕145 号，原国家环境保护总局，2006 年 9 月 26 日起施行；</p> <p>(13) 《关于做好放射性废物 (源) 收贮工作的通知》，环办辐射函〔2017〕609 号，原环境保护部办公厅，2017 年 4 月 21 日起施行；</p> <p>(14) 《放射性废物的分类》，原环境保护部、工业和信息化部与国防科工局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(15) 《关于放射性药品辐射安全管理有关事项的公告》，原环境保护部公告 2015 年第 2 号，2015 年 1 月 9 日起施行；</p> <p>(16) 《放射性药品管理办法 (2022 年修订)》，国务院令 752 号，2022 年 5 月 1 日起施行；</p> |
|------------------|--|

(17)《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函〔2016〕430号，原环境保护部办公厅，2016年3月7日起施行；

(18)《关于修改〈产业结构调整指导目录（2019年本）〉的决定》，国家发展和改革委员会令 第49号，2021年12月30日起施行；

(19)《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见（试行）》，环环评〔2021〕108号，生态环境部办公厅，2021年11月19日印发；

(20)《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部令 第16号，2021年1月1日起施行；

(21)《国家危险废物名录（2021年版）》，生态环境部令 第15号，2021年1月1日起施行；

(22)《危险废物转移管理办法》，生态环境部令 第23号，2022年1月1日起施行；

(23)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019年第57号，2019年12月24日印发；

(24)《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第9号，2019年11月1日起施行；

(25)《浙江省建设项目环境保护管理办法（2021年修正）》，浙江省人民政府令 第388号，2021年2月10日起施行；

(26)《浙江省辐射环境管理办法（2021年修正）》，浙江省人民政府令 第388号，2021年2月10日起施行；

(27)关于发布《省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2015年本）》及《设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015年本）》的通知，浙环发〔2015〕38号，原浙江省环境保护厅，2015年10月23日起施行；

(28)关于发布《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2019年本）》的通知，浙环发〔2019〕22号，浙江省生态环境厅，2019年12月20日起施行；

(29)《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》，浙环函〔2019〕248号，浙江省生态环境厅、浙江省卫生健康委员会，2019年7月18日；

(30)关于《浙江省“三线一单”生态环境分区管控方案》的批复，浙政函〔2020〕41号，浙江省人民政府，2020年5月14日起施行；

| | |
|------|---|
| | <p>(31) 关于印发《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》的通知，杭环发〔2020〕56号，杭州市生态环境局，2020年8月18日发布；</p> <p>(32) 关于印发《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引（2019年本）》的通知，杭州市发展和改革委员会，2019年7月26日。</p> |
| 技术标准 | <p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)，2017年1月1日实施；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)，2016年4月1日实施；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)，2003年4月1日实施；</p> <p>(4) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)，2010年9月1日实施；</p> <p>(5) 《放射性废物管理规定》(GB 14500-2002)，2003年4月1日实施；</p> <p>(6) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)，2021年11月1日实施；</p> <p>(7) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)，2021年5月1日实施；</p> <p>(8) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)，2021年12月1日实施。</p> <p>(9) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)，2021年5月1日实施；</p> <p>(10) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)，2008年3月1日实施；</p> <p>(11) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)，2012年6月1日实施；</p> <p>(12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)，2015年3月1日实施；</p> <p>(13) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)，2020年10月1日实施；</p> <p>(14) 《放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范》(GB/T 16148-2009)，2009年12月1日实施；</p> <p>(15) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》(WS/T 613-2018)，2018年12月1日实施；</p> <p>(16) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)，2020年4月1日实施；</p> <p>(17) 《职业性内照射个人监测规范》(GBZ 129-2016)，2016年11月1日实施；</p> <p>(18) 《职业性皮肤放射性污染个人监测规范》(GBZ 166-2005)，2005年10月1日实施；</p> |

| | |
|----|--|
| | <p>(19)《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T 244-2017), 2018年5月1日实施;</p> <p>(20)《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》(GBZ/T 301-2017), 2018年5月1日实施;</p> <p>(21)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021), 2021年5月1日实施;</p> <p>(22)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021), 2021年5月1日实施;</p> <p>(23)《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021), 2021年8月1日实施;</p> <p>(24)《表面污染测定 第1部分: β发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$)和$\alpha$发射体》(GB/T 14056.1-2008), 2009年4月1日实施;</p> <p>(25)《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002-2012), 2012年9月1日实施;</p> <p>(26)《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005), 2006年1月1日实施;</p> <p>(27)《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分: 化学有害因素》(GBZ 2.1-2019), 2020年4月1日实施;</p> <p>(28)《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)及其2018年修改单, 2018年9月1日实施。</p> |
| 其他 | <p>(1)《辐射防护导论》(方杰主编);</p> <p>(2)《辐射防护手册》(李德平、潘自强主编);</p> <p>(3)《钷-90树脂微球使用过程中辐射安全风险研究报告》(生态环境部核与辐射安全中心编制);</p> <p>(4)建设单位提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。</p> |

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)的规定：“以项目实体边界为中心，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径50m的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围”，并结合本项目实际情况（乙级非密封放射性物质工作场所、放射源和射线装置），确定本项目评价范围为核医学工作场所、⁹⁰Y肝癌治疗工作场所、加速器机房、后装机机房和DSA机房的实体屏蔽边界外50m区域，评价范围示意图见附图28。

7.2 保护目标

本项目的�主要环境影响因素为电离辐射。根据本项目评价范围、医院辐射工作场所布局、总平面布置及外环境特征，本项目环境保护目标为评价范围50m内活动的职业人员和公众成员，其中职业人员指各射线装置、密封源及非密封放射性物质工作场所的辐射工作人员；公众成员为本项目评价范围内的非本项目医护人员和慰问者、被动与接受诊断的患者近距离接触的公众及其他公众成员，评价范围50m内环境保护目标分布情况见表7.2-1。

表7.2-1 本项目评价范围50m内环境保护目标一览表

| 环境保护目标名称 | 所处位置 | 方位 | 与场所边界最近距离(m) | | 规模 | 剂量约束值 |
|-----------------|-----------------------------|----|--------------|----|--------|----------|
| | | | 水平 | 垂直 | | |
| 核医学科（外科病房楼地下一层） | | | | | | |
| 职业人员 | 分装注射室、高活室 | / | 内部 | 0 | 21人 | 5.0mSv/a |
| | 控制廊道 | 南 | 紧邻 | 0 | | |
| 公众成员 | 给药前候诊区、问诊室、人行道、物流中心等区域 | 东 | 0~50 | 0 | 200人/d | 0.1mSv/a |
| | 机动车通道、更衣间、食堂烹饪区等区域 | 南 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 机动车通道、家属和员工餐厅区等区域 | 西南 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 出院走廊、预留区域、排烟机房、地下车库及室外地面等区域 | 西 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 医护廊、注射前VIP间、女更、男更、读片/示教室、医 | 北 | 0~50 | 0 | 500人/d | |

| | | | | | | |
|--|------------------------------|----|------|--------------|---------|----------|
| | 生办公室、值班室等辅助用房及室外地面等区域及规划金秋大道 | | | | | |
| | 住院大厅、出入院办理区（一层） | 上方 | 紧邻 | 0 | 500人/d | |
| | 二层~十二层区域 | | 0 | + (5.4-46.2) | 1000人/d | |
| | 放疗科（地下二层） | 下方 | 0 | 紧邻 | 300人/d | |
| | 内科病房楼 | 东 | 紧邻 | 0 | 1000人/d | |
| | 医技楼 | 南 | 18 | 0 | 1000人/d | |
| ⁹⁰Y肝癌治疗工作场所-1#DSA（医技楼一层介入中心） | | | | | | |
| 职业人员 | DSA机房 | / | 内部 | 0 | 6人 | 5.0mSv/a |
| | 控制室 | 东 | 紧邻 | 0 | | |
| 公众成员 | 医技楼一层内功能用房、连接廊道急诊楼 | 东 | 0~50 | 0 | 200人/d | 0.1mSv/a |
| | 医技楼一层内功能用房、连接廊道和门诊楼 | 南 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 医技楼一层功能用房 | 西 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 医技楼一层内功能用房、院区道路和内科病房楼 | 北 | 0~50 | 0 | 500人/d | |
| | 消化内镜、影像科（二层） | 上方 | 紧邻 | 0 | 300人/d | |
| | 三层~八层区域 | | 0 | + (4.5-26.1) | 1000人/d | |
| | 地下车库（地下一层） | 下方 | 0 | 紧邻 | 50人/d | |
| | 地下车库（地下二层） | | 0 | -5.4 | 50人/d | |
| 放疗科加速器机房和后装机机房（外科病房楼外围北侧的地下二层） | | | | | | |
| 职业人员 | 控制室 | 南 | 紧邻 | 0 | 6人 | 5.0mSv/a |
| 公众成员 | 室外地面 | 东 | 紧邻 | 0 | 2人/d | 0.1mSv/a |
| | 准备间、患者廊及放疗科辅助用房等、外科病房楼和医技楼 | 南 | 0~50 | 0 | 1000人/d | |
| | 室外地面、国际保健中心楼 | 西 | 0~50 | 0 | 500人/d | |
| | 室外地面和规划金秋大道 | 北 | 0~50 | 0 | 100人/d | |
| | 室外地面、衰变池池体间 | 上方 | 紧邻 | 0 | 2人/d | |
| 2#、3#DSA机房（医技楼一层介入中心） | | | | | | |
| 职业人员 | DSA机房内 | / | 内部 | 0 | 6人 | 5.0mSv/a |
| | 控制室 | 东 | 紧邻 | 0 | | |
| | | 西 | 紧邻 | 0 | | |
| 公众成员 | 医技楼一层内功能用房、连接廊道和急诊楼 | 东 | 0~50 | 0 | 200人/d | 0.1mSv/a |
| | 医技楼一层内功能用房、连 | 南 | 0~50 | 0 | 200人/d | |

| | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|----|------|-------------|---------|----------|
| | 接廊道和门诊楼 | | | | | |
| | 医技楼一层功能用房 | 西 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 医技楼一层内功能用房、院区道路和内科病房楼 | 北 | 0~50 | 0 | 500人/d | |
| | 消化内镜、影像科（二层） | 上方 | 紧邻 | 0 | 300人/d | |
| | 三层~八层区域 | | 0 | +（4.5-26.1） | 1000人/d | |
| | 地下车库（地下一层） | 下方 | 0 | 紧邻 | 50人/d | |
| | 地下车库（地下二层） | | 0 | -5.4 | 50人/d | |
| 4#、5#DSA机房（医技楼五层手术区） | | | | | | |
| 职业人员 | DSA机房内 | / | 内部 | 0 | 6人 | 5.0mSv/a |
| | 控制室 | 东 | 紧邻 | 0 | | |
| | | 西 | 紧邻 | 0 | | |
| 公众成员 | 医技楼五层内功能用房 | 东 | 0~50 | 0 | 200人/d | 0.1mSv/a |
| | 医技楼五层内污物走廊、连接廊道和门诊楼 | 南 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 医技楼五层内功能用房 | 西 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 医技楼五层内功能用房和院区道路 | 北 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 六层区域 | 上方 | 0 | 紧邻 | | |
| | 七~八层区域 | | 0 | +（3.9-7.8） | 300人/d | |
| | 手术中心（四层） | 下方 | 0 | 紧邻 | 200人/d | |
| | 地下二层~三层区域 | | 0 | -（4.5-25.2） | 500人/d | |
| 6#DSA机房（急诊楼一层急诊大厅） | | | | | | |
| 职业人员 | DSA机房内 | / | 内部 | 0 | 6人 | 5.0mSv/a |
| | 控制室 | 西 | 紧邻 | 0 | | |
| 公众成员 | 急诊楼一层内廊道、院内绿化草坪 | 东 | 0~50 | 0 | 50人/d | 0.1mSv/a |
| | 急诊楼一层内功能用房和门诊楼 | 南 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 急诊楼一层内功能用房、连接廊道和医技楼 | 西 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | 急诊楼一层内功能用房、院区道路 | 北 | 0~50 | 0 | 200人/d | |
| | EICU病房（二层） | 上方 | 0 | 紧邻 | 100人/d | |
| | 三层~五层区域 | | 0 | +（4.5-13.5） | 500人/d | |
| | 地下车库（地下一层） | 下方 | 0 | 紧邻 | 50人/d | |
| | 地下车库（地下二层） | | 0 | -5.4 | 50人/d | |
| 注：1）表格中“/”表示不涉及，“+”表示楼上，“-”表示楼下。 | | | | | | |
| 2）场所周围公众人员数量均为初步估算的约数，以实际人数为准。 | | | | | | |

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

一、豁免和解控

4.2.4 豁免

4.2.4.1 如果源符合下列条件之一，并经审管部门确认和同意，则该源或利用该源的实践可以被本标准的要求所豁免：

- a) 符合本标准附录 A (标准的附录) 中所规定的豁免要求；
- b) 符合审管部门根据本标准附录 A (标准的附录) 规定的豁免准则所确定的豁免水平。

4.2.4.2 对于尚未被证明为正当的实践不应予以豁免。

4.2.5 解控

4.2.5.1 已通知或已获准实践中的源 (包括物质、材料和物品)，如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不再遵循本标准的要求，即可以将其解控。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A (标准的附录) 所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A (标准的附录) 中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

二、防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件 (治疗性医疗照射除外)。

三、剂量限值

1) 职业照射

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证除本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B (标准的附录) 中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可作任何追溯性平均), 20mSv;
- b) 任何一年中的有效剂量, 50mSv;
- c) 眼晶体的年当量剂量, 150mSv;
- d) 四肢 (手和足) 或皮肤的年当量剂量, 500mSv。

2) 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:

- a) 年有效剂量, 1mSv;
- b) 特殊情况下, 如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv;
- c) 眼晶体的年当量剂量, 15mSv;
- d) 皮肤的年当量剂量, 50mSv。

B1.2.2 慰问者及探视人员的剂量限制

B1.2.1 所规定的剂量限值不适用于患者的慰问者 (例如, 并非是他们职责、明知会受到照射却自愿帮助护理、支持和探视、慰问正在接受医学诊断或治疗的患者的人员)。但是, 应对患者的慰问者所受的照射加以约束, 使他们在患者诊断或治疗期间所受的剂量不超过 5mSv。应将探视食入放射性物质的患者的儿童所受的剂量限制 1mSv 以下。

四、剂量约束值

结合项目实际情况, 并遵循辐射防护最优化的原则, 本项目工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值取值情况见表7.3-1。

表7.3-1 本项目剂量约束值

| 场所名称 | 剂量约束值 (mSv/a) | | 取值依据 |
|--|---------------|------|---|
| | 职业照射 | 公众照射 | |
| 核医学工作场所、 ⁹⁰ Y肝癌治疗工作场所 (1#DSA机房) | 5.0 | 0.1 | 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 第4.4.2 条款: “一般情况下, 职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a; 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a”。 |
| 放疗科 (加速器机房、后装机房) | 5.0 | 0.1 | 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 第4.9 条款: “从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求: a) 一般情况下, 从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为5mSv/a; b) 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a”。 |
| 放射介入科 | 5.0 | 0.1 | 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871- |

| | | | |
|--------------|--|--|--|
| (2#~6#DSA机房) | | | 2002) 第 B1.1.1 条款关于剂量限值的规定及第 11.4.3.2 条款: “剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30% (即 0.1mSv/a~0.3mSv/a) 的范围之内”, 本次评价保守取相应剂量限值的 10%作为本项目公众照射的剂量约束值管理目标。同理, 职业照射按相应剂量限值的 25%作为本项目职业照射的剂量约束值管理目标, 则年有效剂量为 5mSv/a, 手部剂量约束值取值 125mSv/a; 眼晶状体剂量约束值取值 37.5mSv/a。 |
|--------------|--|--|--|

五、非密封源工作场所分级

C1非密封源工作场所的分级

应按表C1将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表C1 非密封源工作场所的分级 (摘录于GB 18871-2002)

| 级别 | 日等效最大操作量/Bq |
|----|------------------------------------|
| 甲 | $>4 \times 10^9$ |
| 乙 | $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ |
| 丙 | 豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$ |

六、表面污染控制水平

B.2.1工作场所的表面污染控制水平如表B.11所列。

表B.11 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位: Bq/cm²

| 表面类型 | | α 放射性物质 | | β 放射性物质 |
|--------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | 极毒性 | 其他 | |
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 控制区 ^a | 4 | 4×10 | 4×10 |
| | 监督区 | 4×10^{-1} | 4 | 4 |
| 工作服、手套、工作鞋 | 控制区 | 4×10^{-1} | 4×10^{-1} | 4 |
| | 监督区 | 4×10^{-1} | 4×10^{-1} | 4 |
| 手、皮肤、内衣、工作袜 | | 4×10^{-2} | 4×10^{-2} | 4×10^{-1} |

^a该区内的高污染子区除外。

七、辐射工作场所的分区

6.4辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区, 以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1控制区

6.4.1.1注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区, 以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散, 并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

八、源的选址或定位

9.3.2 源的选址或定位

9.3.2.1 为具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源选择场址时，应考虑可能影响该源的辐射安全的各种场址特征和可能受到该源影响的场址特征，并应考虑实施场外干预（包括实施应急计划和防护行动）的可行性。

9.3.2.2 在确定装置和设施（例如医院和制造厂）内的小型源的位置时，应考虑：

- a) 可能影响该源的安全和保安的因素；
- b) 可能影响该源引起职业照射和公众照射的因素，包括诸如通风、屏蔽、距人员活动区的距离等；
- c) 考虑了上述因素后工程设计上的可行性。

九、放射性物质向环境排放的控制

8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.1 注册者和许可证持有者应保证，由其获准的实践和源向环境排放放射性物质时符合下列所有条件，并已获得审管部门的批准：

- a) 排放不超过审管部门认可的排放限值，包括排放总量限值和浓度限值；
- b) 有适当的流量和浓度监控设备，排放是受控的；
- c) 含放射性物质的废液是采用槽式排放的；
- d) 排放所致的公众照射符合本标准附录B（标准的附录）所规定的剂量限制要求；
- e) 已按本标准的有关要求使排放的控制最优化。

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于10倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

- a) 每月排放的总活度不超过 10ALI_{\min} （ ALI_{\min} 是相应于职业照射的食入和吸入ALI值中的较小者，其具体数值可按B1.3.4和B1.3.5条的规定获得）；
- b) 每一次排放的活度不超过 1ALI_{\min} ，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗。

7.3.2 核医学工作场所及 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所（核医学科部分的内容）相关评价标准

(1) 标准引用

本报告主要参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)及《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)等标准展开对核医学工作场所和⁹⁰Y肝癌治疗工作场所(核医学科部分的内容)的相关评价,具体见表7.3-2。

表7.3-2 本项目核医学工作场所及⁹⁰Y肝癌治疗(核医学科部分的内容)相关评价标准

| 序号 | 标准名称 | 适用范围 | 本次评价引用的标准内容 |
|----|--------------------------------|--|--|
| 1 | 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) | 本标准适用于医疗机构核医学工作场所的设计、建设及开展核医学相关活动的辐射防护与安全管理。 | 4、总则; 5、选址和布局; 6、工作场所的辐射安全和防护; 7、放射性废物的管理; 8、辐射监测; 附录A、附录B、附录C等。 |
| 2 | 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) | 本标准适用于医疗机构开展核医学诊断、治疗、研究和放射性药物制备中使用放射性物质时的防护。 | 5、工作场所的放射防护要求; 6、操作中的放射防护要求; 7、患者或受检者放射防护要求; 8、医用放射性废物的放射防护管理要求; 9、尸检放射防护要求; 10、 ¹³¹ I治疗患者住院期间的放射防护要求; 12、放射性核素敷贴治疗放射防护要求; 13、应急处理要求; 附录E、附录G、附录H、附录I、附录K、附录L、附录N等。 |
| 3 | 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010) | 本标准适用于放射性同位素生产和应用中操作非密封源的实验室活动;其他操作非密封源的活动可参照使用。 | 7、放射性废物的管理; 8、事故预防与要求; 9、非密封放射源的管理。 |
| 4 | 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18446-2005) | 本标准使用于医疗机构污水、污水处理站产生污泥及废气排放的控制,医疗机构建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。 | 4.2污水排放要求 |

(2) 场所周围环境辐射水平控制限值要求

本项目核医学工作场所及⁹⁰Y肝癌治疗工作场所的周围环境辐射水平控制限值要求见表7.3-3。

表7.3-3 本项目核医学工作场所及⁹⁰Y肝癌治疗工作场所周围环境辐射水平控制限值要求

| 标准名称 | 场所辐射环境水平要求 |
|------------------------------|---|
| 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) | 第6.1.5条款：距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm 处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h。 第6.1.6条款：放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h。 |
| 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) | 第5.3.1条款：在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h，宜不大于2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面5cm处的周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h。 |
| 本项目评价依据 | 相对于GBZ 120-2020，HJ 1188-2021对场所周围辐射环境水平控制限值要求较为严格，基于辐射安全角度，本次评价从严处理，以HJ 1188-2021的标准要求作为评价依据。 |

(3) 放射性三废排放或解控要求

A、放射性废气

本项目核医学工作场所共涉及¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、²⁰¹Tl、⁶⁷Ga、¹³¹I、⁵³Sm、⁸⁹Sr、¹⁸⁸Re、²²³Ra、³²P、⁹⁰Y等12种放射性核素，结合核素化合物的理化性质，大部分核素均属于非挥发性核素，产生放射性气溶胶的关键核素主要为¹³¹I。

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)附录J中第J.5.3.4条款规定，本项目从事¹³¹I核素操作的工作人员摄入放射性核素所致待积有效剂量采用公式(7.3-1)计算：

$$E(\tau) = A_0 e(\tau) \dots\dots\dots (7.3-1)$$

式中：E(τ)——待积有效剂量，mSv；

A₀——放射性核素摄入量，Bq；

e(τ)——每单位摄入量引起的待积剂量，mSv/Bq。

在进行职业内照射剂量估算时，放射性核素的e(τ)值可以从GBZ 129-2016附录E表E.1中获得。吸入的气溶胶粒子的活度中值空气动力学直径(AMAD)通常取5μm，则对放射性核素¹³¹I，当AMAD为5μm时对应的e(τ)依次为1.1×10⁻⁵mSv/Bq。用空气采样方法估算吸入所致放射性核素的摄入量时，可用公式(7.3-2)计算：

$$A_{0吸} = C_{空} \cdot B_{空} \cdot t \dots\dots\dots (7.3-2)$$

其中： $A_{0吸}$ ——通过呼吸道的摄入量，Bq；

$C_{空}$ ——放射性核素 ^{131}I 在空气中的活度浓度，Bq/m³；

$B_{空}$ ——工作人员呼吸率，m³/h（ $B_{空}$ 值成年人取0.83m³/h）；

t——在放射性核素 ^{131}I 工作场所的累积时间，h；

经理论估算，本项目核医学工作场所周围环境空气中放射性核素的导出浓度见7.3-4。

表7.3-4 本项目核医学工作场所周围环境空气中放射性核素的导出浓度

| 核素名称 | 工作场所 | | 公众（排风口或环境敏感点） | |
|-----------|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| | 浓度限值 (Bq/m ³) | 吸入总活度 (Bq) | 浓度限值 (Bq/m ³) | 吸入总活度 (Bq) |
| ^{131}I | 5476 | 2.27E+05 | 3855 | 1.6E+05 |

计算过程说明：计算时职业照射剂量限值取2.5mSv/a（内、外照射各占50%），公众取0.1mSv/a；职业工作人员年工作50h（年工作100d、每天工作0.5h），呼吸量为0.83m³/h；公众取年龄大于17岁F、M、S三种状态下的最小值，年吸入时间保守按50h计。参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录B表B7，公众成员吸入 ^{131}I 单位摄入量所致的待积剂量为1.6E-09Sv/Bq（即1.6E-06mSv/Bq）。

B、放射性废水

本项目核医学科产生的放射性废水拟采用三级并联的槽式衰变池暂存衰变，且核素种类涉及到 ^{131}I ； ^{90}Y 肝癌治疗工作场所产生的放射性废水拟采用放射性废液铅罐收集后暂存衰变，本次评价核医学科和 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所放射性废水排放要求见表7.3-5。

表7.3-5 本项目核医学科和 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所放射性废水排放要求

| 标准名称 | 放射性废水排放要求 |
|-------------------------------|---|
| 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） | 第7.3.3.1条款：对于槽式衰变池贮存方式：a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放；b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB 18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于1Bq/L、总 β 不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。 |
| 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18446-2005） | 衰变池出水口废水的总 α ≤1Bq/L；总 β ≤1Bq/L |

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录B中B1.3.4和B1.3.5条规定，对于职业照射，在一定的假设下，可将 $I_{j,L}$ 用作ALI。由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素j的年摄入量限值 $I_{j,L}$ ，计算公式见式（7.3-3）。

$$I_{i,j} = \frac{DL}{e_j} \dots \dots \dots (7.3 - 3)$$

其中：DL——相应的有效剂量的年剂量限值，本次评价取5mSv/a；

e_j ——表B3中给出的放射性核素j的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值，本次评

价取吸入值和食入值中的最小值。

经理论估算，本项目放射性衰变池总排水口的各放射性核素排放导出限值见表7.3-6。

表7.3-6 放射性废水中放射性核素排放导出限值

| 序号 | 核素名称 | e (g) (Sv·Bq ⁻¹) | 1 ALI _{min} 一次排放限值 (Bq) | 10 ALI _{min} 月排放限值 (Bq) |
|----|-------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | ¹⁸ F | 3.0×10 ⁻¹¹ | 1.67×10 ⁸ | 1.67×10 ⁹ |
| 2 | ⁶⁸ Ga | 2.8×10 ⁻¹¹ | 1.79×10 ⁸ | 1.79×10 ⁹ |
| 3 | ^{99m} Tc | 1.2×10 ⁻¹¹ | 4.17×10 ⁸ | 4.17×10 ⁹ |
| 4 | ²⁰¹ Tl | 1.7×10 ⁻¹¹ | 2.94×10 ⁸ | 2.94×10 ⁹ |
| 5 | ⁶⁷ Ga | 6.8×10 ⁻¹¹ | 7.35×10 ⁷ | 7.35×10 ⁸ |
| 6 | ¹³¹ I | 7.6×10 ⁻⁹ | 6.58×10 ⁵ | 6.58×10 ⁶ |
| 7 | ⁹⁰ Y | 1.4×10 ⁻⁹ | 3.57×10 ⁶ | 3.57×10 ⁷ |

C、放射性固废

本项目核医学科和⁹⁰Y肝癌治疗场所产生的放射性固废清洁解控要求见表7.3-7。

表7.3-7 本项目核医学科和⁹⁰Y肝癌治疗场所放射性固废清洁解控要求

| 标准名称 | 标准要求 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------|-------------|-------------|----------|---|-----------------|-------|-------|---|------------------|-------|-------|---|-------------------|-------|-------|---|-------------------|-------|-------|---|------------------|-------|-------|---|------------------|-------|-------|---|-------------------|-------|-------|---|------------------|-------|-------|---|-------------------|-------|-------|----|-------------------|-------|-------|----|-----------------|-------|-------|----|-----------------|-------|-------|
| 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) | 第7.2.3.1条款：固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm ² 、β表面污染小于0.8Bq/cm ² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过 30天；b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍；c) 含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) | 表A1 本项目放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度 (摘录附录A) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>序号</th> <th>核素名称</th> <th>活度浓度 (Bq/g)</th> <th>活度值 (Bq)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>¹⁸F</td> <td>1E+01</td> <td>1E+06</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>⁶⁸Ga</td> <td>1E+00</td> <td>1E+03</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>^{99m}Tc</td> <td>1E+02</td> <td>1E+07</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>²⁰¹Tl</td> <td>1E+02</td> <td>1E+06</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>⁶⁷Ga</td> <td>1E+00</td> <td>1E+03</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>¹³¹I</td> <td>1E+02</td> <td>1E+06</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>¹⁵³Sm</td> <td>1E+02</td> <td>1E+06</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>⁸⁹Sr</td> <td>1E+03</td> <td>1E+06</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>¹⁸⁸Re</td> <td>1E+00</td> <td>1E+03</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>²²³Ra</td> <td>1E+02</td> <td>1E+05</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>³²P</td> <td>1E+03</td> <td>1E+05</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>⁹⁰Y</td> <td>1E+03</td> <td>1E+05</td> </tr> </tbody> </table> | 序号 | 核素名称 | 活度浓度 (Bq/g) | 活度值 (Bq) | 1 | ¹⁸ F | 1E+01 | 1E+06 | 2 | ⁶⁸ Ga | 1E+00 | 1E+03 | 3 | ^{99m} Tc | 1E+02 | 1E+07 | 4 | ²⁰¹ Tl | 1E+02 | 1E+06 | 5 | ⁶⁷ Ga | 1E+00 | 1E+03 | 6 | ¹³¹ I | 1E+02 | 1E+06 | 7 | ¹⁵³ Sm | 1E+02 | 1E+06 | 8 | ⁸⁹ Sr | 1E+03 | 1E+06 | 9 | ¹⁸⁸ Re | 1E+00 | 1E+03 | 10 | ²²³ Ra | 1E+02 | 1E+05 | 11 | ³² P | 1E+03 | 1E+05 | 12 | ⁹⁰ Y | 1E+03 | 1E+05 |
| | 序号 | 核素名称 | 活度浓度 (Bq/g) | 活度值 (Bq) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | ¹⁸ F | 1E+01 | 1E+06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | ⁶⁸ Ga | 1E+00 | 1E+03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | ^{99m} Tc | 1E+02 | 1E+07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | ²⁰¹ Tl | 1E+02 | 1E+06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | ⁶⁷ Ga | 1E+00 | 1E+03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | ¹³¹ I | 1E+02 | 1E+06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | ¹⁵³ Sm | 1E+02 | 1E+06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | ⁸⁹ Sr | 1E+03 | 1E+06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | ¹⁸⁸ Re | 1E+00 | 1E+03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | ²²³ Ra | 1E+02 | 1E+05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | ³² P | 1E+03 | 1E+05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | ⁹⁰ Y | 1E+03 | 1E+05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注：核素豁免活度浓度是来源于其造成的年剂量约束值而推导出来的，主要与核素的辐射类型及射线能量、半衰期有关。由于GB 18871-2002附录A中表A.1对核素 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁷ Ga、 ¹⁸⁸ Re的豁免活度浓度与豁免活度均未做出相关规定，本次评价保守取值最严格核素活度水平1E+00Bq/g。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

7.3.3放疗工作场所相关评价标准

(1) 标准引用

本报告主要参考《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分:γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)等标准展开对放疗工作场所的相关评价,具体见表7.3-8。

表7.3-8 本项目放疗工作场所相关评价标准

| 序号 | 标准名称 | 适用范围 | 本次评价引用的标准内容 |
|----|--|---|---|
| 1 | 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) | 本标准适用于医疗机构放射治疗相关活动中的辐射工作人员和公众的辐射安全与防护管理。 | 4、一般要求; 5、选址、布局与分区要求; 6、放射治疗场所辐射安全与防护要求; 7、操作的辐射安全与防护要求; 8、放射性废物管理要求; 9、辐射监测要求; 附录A等。 |
| 2 | 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) | 本标准适用于利用医用电子加速器、钴-60治疗机、中子放射源及γ放射源后装治疗机、X射线及γ射线立体定向放射治疗系统、螺旋断层放射治疗系统、术中放射治疗的移动式电子加速器、医用X射线治疗机、低能X射线放射治疗设备和质子重离子加速器等设备开展放射治疗的防护要求。 | 6、工作场所放射防护要求; 7、放射治疗操作中的放射防护要求; 8、放射防护检测方法与要求; 9、应急处理要求; 附录A、附录B、附录D等。 |
| 3 | 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) | 本部分适用于30MeV以下的加速器放射治疗机房。 | 4、治疗机房的剂量控制要求与屏蔽考虑; 5、屏蔽估算方法; 6、辐射屏蔽防护剂量的检测与评价; 附录A、附录B、附录C、附录D等。 |
| 4 | 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分:γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014) | 本标准适用于γ射线源远距离治疗、高剂量率(HDR)后装近距离治疗和立体定向放射治疗三类机房的屏蔽防护。 | 4、治疗机房的剂量控制要求与屏蔽考虑; 5、后装治疗机房的屏蔽计算; 附录A、附录C、附录F等 |

(2) 场所周围环境辐射水平控制限值要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)第6.1.4条款和《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)第6.3.1和6.3.2条款规定,本项目加速器机房和后装机房周围

环境剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子(可依照附录 A 选取)，由以下周剂量参考控制水平 (\dot{H}_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

7.3.4 放射介入工作场所及⁹⁰Y肝癌治疗工作场所（放射介入部分的内容）相关评价标准

(1) 标准引用

本报告主要参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 展开对放射介入工作场所(DSA机房)的相关评价，具体见表7.3-9。

表7.3-9 本项目放射介入工作场所相关评价标准

| 序号 | 标准名称 | 适用范围 | 本次评价引用的标准内容 |
|----|----------------------------|----------------------|---|
| 1 | 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) | 本标准适用于X射线影像诊断和介入放射学。 | 5.2、透视用X射线设备防护性能的专用要求； 5.3、摄影用X射线设备防护性能的专用要求； 5.8、介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备防护性能的专用要求； 6、X射线设备机房防护设施的技术要求； 7、X射线设备操作的防护安全要求； 8、X射线设备机房防护检测要求；附录B、附录C等。 |

(2) X射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

根据GBZ 130-2020第6.1.5条款规定，除床旁摄影设备、便携式X射线设备和车载式诊断X射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的X射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表7.3-10的规定。

表7.3-10 X射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

| 设备类型 | 机房内最小有效使用面积 ^d （m ² ） | 机房内最小单边长度 ^e （m） |
|--|--|----------------------------|
| CT机（不含头颅移动CT） | 30 | 4.5 |
| 单管头X射线设备 ^b （含C形臂，乳腺CBCT） | 20 | 3.5 |

^b单管头、双管头或多管头X射线设备的每个管球各安装在1个房间内。

^d机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。^e机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

本项目DSA均为单管头X射线设备，所在机房应满足“最小有效使用面积 $\geq 20\text{m}^2$ ，最小单边长度 $\geq 3.5\text{m}$ ”的空间要求；PET/CT、SPECT/CT机房应满足“最小有效使用面积 $\geq 30\text{m}^2$ ，最小单边长度 $\geq 4.5\text{m}$ ”的空间要求。

（3）不同类型X射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

根据GBZ 130-2020第6.2.1条款规定，不同类型X射线设备（不含床旁摄影设备和便携式X射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表7.3-11的规定。

表7.3-11 不同类型设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

| 机房类型 | 有用线束方向铅当量（mmPb） | 非有用线束方向铅当量（mmPb） |
|----------------|-----------------|------------------|
| 标称125kV以上的摄影机房 | 3.0 | 2.0 |
| C形臂X射线设备机房 | 2.0 | 2.0 |
| CT机房 | 2.5 | |

本项目DSA的最大管电压均为150kV，主要用于放射介入手术，属于C形臂X射线设备，还具有摄影的功能，故本次评价从严处理，按照“有用线束方向铅当量 $\geq 3\text{mmPb}$ ；非有用线束方向铅当量 $\geq 2\text{mmPb}$ ”作为DSA机房的屏蔽防护铅当量厚度要求。

（4）场所周围环境辐射水平控制限值要求

根据GBZ 130-2020第6.3.1条款，本项目DSA、PET/CT、SPECT/CT机房周围环境辐射水平控制限值要求需满足：

a) 具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b) CT机机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 具有短时、高剂量曝光的摄影程序（如DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv 。

(5) X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

根据GBZ 130-2020第6.5.1、6.5.3和6.5.4条款规定，本项目DSA机房、PET/CT和SPECT/CT机房防护用品及防护设施配置要求如下：

①现场应配备不少于表7.3-12基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

表7.3-12 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

| 放射检查类型 | 工作人员 | | 受检者 | |
|------------|---------------------------------------|--|-------------------------------------|--------|
| | 个人防护用品 | 辅助防护设施 | 个人防护用品 | 辅助防护设施 |
| 介入放射学操作 | 铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套； 选配：铅橡胶帽子 | 铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏； 选配：移动铅防护屏风 | 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套； 选配：铅橡胶帽子 | — |
| CT体层扫描（隔室） | — | 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套； 选配：铅橡胶帽子 | — | — |

注1：“—”表示不做要求。注2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

②除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于2mmPb。

③应为儿童的X射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.5mmPb。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 项目地理位置

医院拟建于杭州市富阳区银湖街道高桥村，院区东侧为金桥北路（已建），南侧为高新路（已建），西侧为规划高泰路（现状为小道），北侧为规划金秋大道（现状为空地）。

8.1.2 场所位置

本次评价的辐射工作场所拟建位置主要集中在外科病房楼地下一层和外围北侧的地下二层、医技楼一层介入中心和五层手术区及急诊楼一层急诊大厅。

8.2 环境现状评价对象

本项目环境现状评价主要针对评价范围内的区域辐射环境质量进行评价，评价对象为辐射工作场所拟建址及周围环境。

8.3 辐射环境质量现状

8.3.1 环境介质中辐射环境质量

根据浙江省生态环境厅发布的《浙江省生态环境状况公报（2021年）》，全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。 γ 辐射空气吸收剂量率和累积剂量处于当地天然本底涨落范围内。空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞云江、鳌江、苕溪八大水系以及京杭运河、西湖和千岛湖中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。城市集中式饮用水水源总 α 和总 β 活度浓度低于《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）规定的指导值。近岸海域海水和海洋生物中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常，其中海水中人工放射性核素活度浓度远低于《海水水质标准》（GB 3097-1997）规定的限值。土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

因此，本项目所在区域不同环境介质中放射性核素含量均处于本底水平，未见异常。

8.3.2 贯穿辐射现状水平

8.3.2.1 检测目的

通过现场检测的方式掌握项目区域环境质量和辐射水平现状，为分析及预测本项目运行时对职业人员、公众成员及周围环境的影响提供基础数据。

8.3.2.2检测因子

根据项目污染因子特征，环境检测因子为 γ 辐射空气吸收剂量率、 α 表面污染、 β 表面污染。

8.3.2.3检测点位

本项目尚未建设，现状检测时为空地，根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布点监测，点位分布情况见附图29，报告及检测资质证书见附件18。

8.3.2.4检测方案

- (1) 检测单位：浙江亿达检测技术有限公司；
- (2) 检测时间：2022年5月6日；
- (3) 检测方式：现场检测；
- (4) 检测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)、《表面污染测定第1部分： β 发射体($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$)和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008)等；
- (5) 检测频次：依据HJ 1157-2021标准予以确定；
- (6) 检测工况：辐射环境本底；
- (7) 天气环境条件：天气：晴；温度：22.3℃；相对湿度：52.3%；
- (8) 检测仪器：仪器均在检定有效期内，相关设备参数见表8.3-1。

表 8.3-1 检测仪器的参数与规范

| 仪器名称 | X、 γ 辐射周围剂量当量率仪 | α 、 β 表面污染仪 |
|--------|---|---|
| 仪器型号 | 6150 AD 6/H (内置探头：6150AD-b/H； 外置探头：6150AD 6/H) | CoMo-170 |
| 仪器编号 | 167510+165455 | 9950 |
| 生产厂家 | Automess | 德国 NUVIA |
| 量 程 | 内置探头：0.05 $\mu\text{Sv/h}$ ~99.99 $\mu\text{Sv/h}$ ； 外置探头：0.01 $\mu\text{Sv/h}$ ~10 mSv/h | α : 0-2500cps; β/γ : 0-20000cps |
| 能量范围 | 内置探头：20keV-7MeV $\leq\pm 30\%$ ； 外置探头：60keV-1.3MeV $\leq\pm 30\%$ | / |
| 检定证书编号 | 2022H21-20-3813605002 | 2021H21-20-3356605001 |
| 检定有效期 | 2022年02月16日至2023年02月17日 | 2021年06月15日至2022年06月14日 |
| 检定单位 | 上海市计量测试技术研究院华东国家计 量测试中心 | 上海市计量测试技术研究院华东国家计 量测试中心 |

8.3.2.5 质量保证措施

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）及《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）等标准中有关电离辐射环境监测质量保证的通用要求、实验室的质量要求文件（包括质量手册、程序文件、作业指导书、记录表格）和质量证明文件（包括人员培训考核记录、仪器设备检定/校准证书、监测过程质量控制记录、样品分析测量结果报告及原始记录）实行全过程质量控制，保证此次检测结果科学、有效。本次环境现状检测质量保证主要内容有：

- （1）检测机构通过了计量认证。
- （2）检测前制定了详细的检测方案及实施细则。
- （3）合理布设检测点位，保证各检测点位布设的科学性和可比性。
- （4）检测所用仪器已通过计量部门检定/校准合格，且在检定/校准有效使用期内使用。

检测仪器与所测对象在量程、响应时间等方面相符合，以保证获得准确的测量结果。测量实行全过程质量控制，严格按照《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行。

- （5）检测方法采用国家有关部门颁布的标准，检测人员经考核并持有合格证书上岗。
- （6）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

（7）现场检测严格按照规定的监测点位、方法、记录内容等进行，按照统计学原则处理异常数据和检测数据。

（8）建立完整的文件资料。仪器校准说明书、检测方案、检测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查。

- （9）检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，签发。

8.3.2.6 检测结果及评价

本项目辐射环境本底检测结果见表8.3-2。

表8.3-2 本项目辐射工作场所拟建址辐射环境本底检测水平

| 点位编号 | 点位描述 | γ 辐射空气吸收剂量率（nGy/h） | | α 表面污染水平（Bq/cm ² ） | β 表面污染水平（Bq/cm ² ） |
|------|----------|---------------------------|-----|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | | 平均值 | 标准差 | | |
| ●1 | 外科病房楼拟建址 | 88 | 2 | <LLD ₁ | <LLD ₂ |
| ●2 | 内科病房楼拟建址 | 96 | 3 | <LLD ₁ | <LLD ₂ |
| ●3 | 医技楼拟建址 | 103 | 1 | <LLD ₁ | <LLD ₂ |
| ●4 | 急诊楼拟建址 | 103 | 1 | <LLD ₁ | <LLD ₂ |
| ●5 | 门诊楼拟建址 | 106 | 1 | <LLD ₁ | <LLD ₂ |

| | | | | | |
|-----|---------|-----|---|-------------------|-------------------|
| ●6 | 衰变池拟建址 | 103 | 2 | <LLD ₁ | <LLD ₂ |
| ●7 | 医院拟建址东侧 | 99 | 2 | <LLD ₁ | <LLD ₂ |
| ●8 | 医院拟建址南侧 | 108 | 3 | <LLD ₁ | <LLD ₂ |
| ●9 | 医院拟建址西侧 | 110 | 2 | <LLD ₁ | <LLD ₂ |
| ●10 | 医院拟建址北侧 | 112 | 2 | <LLD ₁ | <LLD ₂ |

注：1）表中所列检测值均已扣除宇宙射线响应 30nGy/h，满足《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）第 8.6 条款的规定。2）根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中第 5.5 条款，本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG393，使用 ¹³⁷Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。3）α 表面污染的探测限为 0.02Bq/cm²，记为 LLD₁；β 表面污染的探测限为 0.06Bq/cm²，记为 LLD₂。

由上表可知：本项目辐射工作场所拟建址及周围各检测点位的室外γ辐射空气吸收剂量率范围为（88~112）nGy/h。由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，杭州市原野的γ辐射剂量率范围为（27~119）nGy/h，杭州市道路上γ辐射剂量率为（28~220）nGy/h。因此，本项目辐射工作场所拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率处于当地一般本底水平，未见异常。各检测点位的α、β表面污染水平低于检测限，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目为主体工程的配套辐射内容，依托院区的部分功能用房进行简单的装修改造和设备安装，其施工工艺及产污分析已包含在取得环评批复的《浙江省中医院新院区项目（一期）环境影响报告书》中，本项目不再重复评价。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1核医学科

本项目核医学工作场所的主要业务用房：1间PET/CT机房、1间PET/MR机房与2间SPECT/CT机房及储源室、分装注射室、给药后候诊室等。

9.2.1.1人员配备与岗位设置

本项目核医学工作场所计划配置21名辐射工作人员，主要包括7名医生、8名技师和6名护士，实行定岗定责制，相互不交叉工作，同时也不兼任院区其他放射性工作，具体分工和岗位职责见表9.2-1。

表9.2-1 本项目核医学工作场所辐射工作人员配置计划

| 场所名称 | 人员类别 | 岗位内容 | 拟配置数量 | 工作班制 |
|-------------|------|---|-------|----------------------|
| 核医学 工作场所 | 医生 | PET/CT诊断、阅片及抢救 | 2名 | 昼间单班制，每班工作8h，年工作250天 |
| | | PET/MR诊断、阅片及抢救 | 2名 | |
| | | SPECT/CT1和SPECT/CT2诊断、阅片及运动负荷指导、抢救 | 2名 | |
| | | 核素治疗（包括 ³² P敷贴治疗）及抢救 | 1名 | |
| | 技师 | PET/CT摆位、扫描 | 2名 | |
| | | PET/MR摆位、扫描 | 2名 | |
| | | SPECT/CT1摆位、扫描 | 2名 | |
| | | SPECT/CT2摆位、扫描 | 2名 | |
| | 护士 | 药物领取、分装、注射、给碘 | 2名 | |
| | | ^{99m} Tc、 ⁹⁰ Y活度测定和药物抽取 | 2名 | |
| | | 甲状腺功能测定、肺通气 | 2名 | |
| 合计 | | | 21名 | |

9.2.1.2非密封放射性物质使用情况

本项目核医学工作场所使用的非密封放射性物质共 12 种，分别为核素 ¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、²⁰¹Tl、⁶⁷Ga、¹³¹I、⁸⁹Sr、¹⁵³Sm、¹⁸⁸Re、²²³Ra、³²P、⁹⁰Y。其中：¹⁸F、⁶⁸Ga 用于 PET/CT、PET/MR

显像诊断； ^{99m}Tc 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 用于 SPECT/CT 显像诊断； ^{131}I 用于甲状腺功能测定和甲亢治疗，不涉及甲癌治疗； ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 用于肿瘤骨转移治疗； ^{32}P 为自制皮肤敷贴器，用于敷贴治疗； ^{90}Y 肝癌治疗工作中 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 的药物贮存、活度测量、抽取、SPECT/CT 扫描及废物暂存等步骤依托核医学工作场所。

1、药物来源和暂存

本项目放射性药物均根据医院科室每日计划用量提前订购于有资质的供药商，并由其运输到医院核医学科后，以铅罐包装的形式暂存于储源室的保险柜内，一般当日即用完，基本无剩余药物。储源室实行双人双锁管理模式，并建立放射性核素管理台账。

^{90}Y 肝癌治疗工作场所使用的原始放射性药物暂存依托于外科病房楼地下一层核医学科储源室，医技楼一层手术中心 1#DSA 内的储源室仅为经核医学科质控后的放射性药物临时暂存。该场所的管理要求等同核医学科的储源室。

2、药物分装

核医学工作场所内，除 ^{18}F 、 ^{68}Ga 及 ^{131}I （甲测）采用人工分装、 ^{131}I （甲亢）采用自动分碘仪进行分装外，其他核素均直接订购分装好的单人用量针剂药品，不涉及任何形式的分装。同时，本项目 ^{99m}Tc 不涉及淋洗制备，不存在 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器废弃药柱的保存和处理问题； ^{32}P 皮肤敷贴器为医院自制。

3、药物摄取方式

本项目 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{188}Re 、 ^{153}Sm 患者均在 PET/CT（PET/MR）注射窗口通过人工静脉注射的方式摄取药物， ^{99m}Tc （肺灌注）、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 患者均在 SPECT/CT 注射窗口采用人工静脉注射的方式摄取药物， ^{99m}Tc （肺通气）患者在肺通气室内通过雾化器产生气溶胶的形式吸入药物； ^{131}I （甲测）和 ^{131}I （甲亢）在服碘室内通过口服的形式摄取药物； ^{32}P 患者在敷贴室通过皮肤敷贴的形式摄取药物。

4、核素使用方案

本项目单名病人使用的各核素的最大用药量，均严格按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 G 表 G.2 及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 E 表 E.1 和表 E.2 等相关规定，确定典型成年受检者和儿童受检者在核医学诊断过程中放射药物施用量的参考水平。

根据医院核医学科管理规定，核医学工作场所内各种核素诊疗时间交错进行，互不交叉。经与医院核实，本项目相关核素使用方案见表 9.2-2。

表9.2-2 本项目核医学工作场所放射性核素计划工作量及功能用途

| 核素名称 | 单个病人最大用量 | 日最大诊疗人数 | 年最大诊疗人数 | 日最大操作量 | 年最大用量 | 用途 |
|-------------------|-------------------------------------|---------|---------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| ¹⁸ F | 3.70×10 ⁸ Bq (10mCi) | 30人 | 6000人(200日/年) | 1.11×10 ¹⁰ Bq | 4.44×10 ¹² Bq | PET/CT、 PET/MR显像 |
| | | | | 2.22×10 ¹⁰ Bq | | 备药 |
| ⁶⁸ Ga | 1.85×10 ⁸ Bq (5mCi) | 2人 | 100人(50日/年) | 3.70×10 ⁸ Bq | 3.70×10 ¹⁰ Bq | PET/CT、 PET/MR显像 |
| | | | | 7.40×10 ⁸ Bq | | 备药 |
| ^{99m} Tc | 9.25×10 ⁸ Bq (25mCi) | 40人 | 8000人(200日/年) | 3.70×10 ¹⁰ Bq | 7.40×10 ¹² Bq | SPECT/CT显像 (肺灌注) |
| | 1.11×10 ⁸ Bq (3mCi) | 2人 | 100人(50日/年) | 2.22×10 ⁸ Bq | 1.11×10 ¹⁰ Bq | SPECT/CT显像 (肺通气) |
| ²⁰¹ Tl | 1.85×10 ⁸ Bq (5mCi) | 2人 | 100人(50日/年) | 3.70×10 ⁸ Bq | 1.85×10 ¹⁰ Bq | SPECT/CT显像 |
| ⁶⁷ Ga | 1.85×10 ⁸ Bq (5mCi) | 2人 | 100人(50日/年) | 3.70×10 ⁸ Bq | 1.85×10 ¹⁰ Bq | SPECT/CT显像 |
| ¹³¹ I | 1.85×10 ⁵ Bq (5μCi) | 2人 | 200人(100日/年) | 3.70×10 ⁵ Bq | 3.70×10 ⁷ Bq | 甲状腺 吸碘率测定 |
| | 3.70×10 ⁸ Bq (10mCi) | 2人 | 200人(100日/年) | 7.40×10 ⁸ Bq | 7.40×10 ¹⁰ Bq | 甲亢治疗 |
| ¹⁵³ Sm | 1.554×10 ⁹ Bq (42mCi) | 2人 | 100人(50日/年) | 3.108×10 ⁹ Bq | 1.554×10 ¹¹ Bq | 肿瘤骨 转移治疗 |
| ⁸⁹ Sr | 1.48×10 ⁸ Bq (4mCi) | 2人 | 100人(50日/年) | 2.96×10 ⁸ Bq | 1.48×10 ¹⁰ Bq | 肿瘤骨 转移治疗 |
| ¹⁸⁸ Re | 3.70×10 ⁸ Bq (45mCi) | 1人 | 100人(100日/年) | 1.665×10 ⁹ Bq | 1.665×10 ¹¹ Bq | 肿瘤骨 转移治疗 |
| ²²³ Ra | 3.70×10 ⁷ Bq (1mCi) | 2人 | 100人(50日/年) | 7.40×10 ⁷ Bq | 3.70×10 ⁹ Bq | 肿瘤骨 转移治疗 |
| ³² P | 1.48×10 ⁸ Bq (4mCi) | 1人 | 100人(100日/年) | 1.48×10 ⁸ Bq | 1.48×10 ¹⁰ Bq | 皮肤敷贴治疗 |
| ^{99m} Tc | 1.50×10 ⁸ Bq (4mCi) | 1人 | 100人(100日/年) | 1.50×10 ⁸ Bq | 1.50×10 ¹⁰ Bq | ⁹⁰ Y 肝癌治疗 (活度测量和 抽取) |
| ⁹⁰ Y | 3.00×10 ⁹ Bq (81mCi) | 1人 | 100人(100日/年) | 3.00×10 ⁹ Bq | 3.00×10 ¹¹ Bq | ⁹⁰ Y 肝癌治疗 (活度测量和 抽取) |

5、核素特性参数

本项目放射性核素性能参数见表 9.2-3。

表 9.2-3 本项目放射性核素的主要辐射特性参数

| 核素名称 | 性状 | 半衰期 | 衰变模式 | 毒性 | α/β 最大能量 (MeV) | 光子能量 (MeV) | 周围剂量当量率常数 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) |
|--------------------------|-----|-----------|---------------|----|---|--|--|
| ^{18}F | 液体 | 109.8 min | β^+ 、EC | 低毒 | 0.63(+) | 0.511 | 0.143 |
| ^{68}Ga | 液体 | 68.3min | β^+ 、EC | 低毒 | 1.9(+) | 0.511 | 0.134 |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 液体 | 6.02h | 同质异能跃迁 | 低毒 | / | 0.140 | 0.0303 |
| ^{201}Tl | 液体 | 3.01d | EC | 低毒 | / | 0.0708 | / |
| ^{67}Ga | 液体 | 3.26d | EC | 中毒 | / | 0.093, 0.185, 0.300, 0.008, 0.084, 0.093 | 0.0344 |
| ^{131}I | 液体 | 8.02d | β^- | 中毒 | 0.602 | 0.284, 0.365, 0.637 | 0.0595 |
| ^{153}Sm | 液体 | 46.5h | β^- | 中毒 | 0.2652 | 0.042, 0.047, 0.103 | 0.072 |
| ^{89}Sr | 液体 | 50.53d | β^- | 中毒 | 1.492 | / | / |
| ^{188}Re | 液体 | 16.89h | β^- | 中毒 | 2.118 | 0.155, 0.630, 0.633 | 0.005 |
| ^{223}Ra | 液体 | 11.44d | α | 极毒 | 5.8713 (α) 0.4270 (β) | 0.0117, 0.0838, 0.2695 | / |
| ^{32}P | 液体 | 14.26d | β^- | 中毒 | 1.71 | / | / |
| ^{90}Y | 悬浮液 | 2.67d | β^- | 中毒 | 2.284 | / | / |

注：表格中核素基本信息主要参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 H 表 H.1、《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》、《辐射防护手册——第一分册》（李德平、潘自强主编）及《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数》（李士骏）等。

9.2.1.3 设备组成及工作方式

PET和SPECT均是对病人体内发射的 γ 射线成像，是根据放射性核素在体内的分布状态并还原成图像，反映器官的生理和功能，来达到诊断疾病的目的。

PET（正电子发射断层成像术）是正电子发射扫描仪，PET与CT/MRI结合，称为PET/CT（PET/MR），是集功能显像和解剖显像为一体的扫描系统。患者在同一个体位下进行CT/MRI扫描和正电子放射性药物扫描，可在两者图像对比的情况下获得更精准的肿瘤部位信息。PET扫描系统主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成，是决定图像质量的基础。CT/MRI扫描仪位于PET扫描仪的前方，两者组合在一个机架内，后配PET、CT/MRI融合对位工作站，一次成像同时完成CT/MRI及PET扫描。

SPECT（单光子发射计算机断层成像术）是针对每次衰变仅发射单个 γ 光子的放射性药物（如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）进行断层成像的技术，采用旋转 γ 相机的结构。SPECT扫描系统由探头及电子学线路、可左断层显像的机架、病人检查床、计算机采集和处理工作站组成，SPECT/CT是单光子发射型计算机断层显像仪和CT一体化组合的影像诊断设备。

典型设备外观图见图9.2-1。



图9.2-1 常用PET/CT、PET/MR、SPECT/CT设备外观示意图

9.2.2.4核素应用原理

(1) 诊断用放射性核素 (^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl)

本项目PET/CT、PET/MR显像诊断采用的放射性核素为 ^{18}F 和 ^{68}Ga ，SPECT/CT显像诊断采用的放射性核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 与 ^{201}Tl ，其工作原理为：当某种放射性核素或其标记物通过注射、口服或雾化吸入方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚焦这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用PET/CT（PET/MR、SPECT/CT）来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和器官的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，PET/CT、PET/MR、SPECT/CT放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

(2) 治疗用放射性核素 (^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P)

放射性核素体内照射治疗是将非密封放射性核素或其标记物引入体内，利用核素发射出射线的电离辐射生物效应，抑制或破坏病变组织，达到治疗的目的。由于适当的放射性核素或其标记物能选择性浓聚于病变组织，所以病变局部可受到大剂量照射，而正常组织所接受的辐射量很低。

① ^{131}I

^{131}I 治疗甲状腺疾病是目前应用较广泛的一种核医学治疗方法。在治疗过程中， ^{131}I 衰变时放出最大能量为0.611MeV的 β 射线，用于破坏甲状腺组织或癌细胞，达到治疗目的，同时还会放出能量为365keV的 γ 射线。

a、甲状腺功能测定

本项目使用 ^{131}I 核素进行甲状腺功能检查。由于人体甲状腺具有选择性摄取碘并合成甲状腺激素的功能，其吸收量和速度可以反映甲状腺的功能状态。受检患者口服 $5\mu\text{Ci}$ 的 ^{131}I 后，示踪剂 ^{131}I 迅速到达甲状腺组织，利用其发出 γ 光子的特性，用甲状腺功能测定仪在甲状腺部位可测出受检患者甲状腺部位的放射性，求得服碘后不同时间的甲状腺摄碘率，借此了解无机碘进入甲状腺的数量与速度，从而反映甲状腺的功能情况。甲功测定患者服药后无异常即可离院。

b、甲亢治疗

碘是甲状腺合成甲状腺激素的主要原料，治疗用的放射性碘和稳定性碘具有相同的理化特性，所以甲状腺同样对放射性碘具有选择性地高度吸收和浓聚能力。通常甲状腺内碘浓度可达血浆浓度的25倍，在供碘不足的情况下其浓度可达到血浆浓度的500倍，由于甲亢患者合成甲状腺激素的速度和量都增加，呈现相对碘缺乏状态甲状腺对放射性碘的浓聚能力特别强大，可达内服量的80%~90%。放射性 ^{131}I 在甲状腺内停留时间较长，有效半衰期可达3.5~4.5天。因此，甲状腺组织摄取 ^{131}I 后，可受到 β 射线较长时间的集中照射，但不损害周围的器官和组织。 ^{131}I 治疗后数小时，在 β 射线集中照射后甲状腺发生肿胀，滤泡细胞出现空泡，核不正常，数天后即死亡。甲状腺并有急性炎症的变化，如水肿、淋巴细胞和吞噬细胞浸润，以后变为无功能的结缔组织，从而达到治疗甲亢的目的。

治疗甲亢患者 ^{131}I 的口服量平均约为 5mCi ，最大用量一般不超过 10mCi 。甲亢患者服药后一般无异常立即离院，若服药量较大，在留观室进行留观。

② ^{89}Sr

^{89}Sr 是一种发射纯 β 射线的放射性核素，是目前临床治疗骨肿瘤应用较多的一种放射性药物。放射性核素 ^{89}Sr 治疗为一种姑息治疗，通过静脉注射 ^{89}Sr ，利用 ^{89}Sr 与骨组织高特异性结合，在骨肿瘤部位出现较高的浓集。利用 ^{89}Sr 发射的 β 射线对病灶进行照射，达到缓解疼痛、杀伤肿瘤细胞和提高生活质量的目的。

③ ^{153}Sm 、 ^{188}Re

静脉注射趋骨性放射性药物 ^{153}Sm 、 ^{188}Re ，通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素或其标记物所发射出的射程很短的 β 粒子，对病变进行集中照射，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，其有效射程很短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的。

^{153}Sm 和 ^{188}Re 释放的 β 射线可对病灶产生内照射作用，达到减轻疼痛，抑制病灶增长，杀伤癌细胞等姑息性治疗效果，而无明显抑制骨髓功能。

④ ^{223}Ra

^{223}Ra 是短半衰期的 α 放射性同位素，可与特异性靶向癌细胞的蛋白质或抗体结合，创造出一种革命性的治疗方法，可有效杀死癌细胞而不会对周围健康细胞造成伤害。这种方法称为靶向 α 疗法。

⑤ ^{32}P

^{32}P 利用 β 射线电离能力强，穿透能力弱的特点，将一定剂量的发射 β 射线的放射性核素作为一种外照射源紧贴于病变部位，通过 β 射线对病灶局部产生电离辐射生物效应，以达到治疗目的。 β 射线敷贴器是根据这一原理而设计。一般来说，将发射 β 射线的 ^{32}P 溶液均匀地吸附在滤纸或银箔上，制成与病灶相同形状、大小的敷贴器。将敷贴器紧贴于病变部位时，利用敷贴器所发射出来的 β 射线对皮肤表浅病变产生辐射生物效应，达到治疗皮肤病的目的。由于 β 射线的射程较短平均约0.8mm，因而不会引起深部或邻近组织的损伤。

9.2.2.5 工作流程及产污环节

(1) 显像诊断 (^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga)

a、预约检查：接到医生开的PET/CT (PET/MR、SPECT/CT) 检查单后进行预约登记，确定用药量。

b、收集病史：受检者出示所有检查报告、X片、CT、MRI或超声检查等。

c、测量身高、体重：测量身高以确保不超过PET/CT (PET/MR、SPECT/CT) 检查床的最大承重量和PET/CT (PET/MR、SPECT/CT) 的扫描孔径，以保证使目标区得到最佳显示；测量体重以确定受检者显像剂的注射量。

d、测血糖：进行血糖测定，因PET/CT (PET/MR) 检查注射的显像剂是一种特殊的葡萄糖，血糖过高会影响到显影，检查前需测血糖；SPECT/CT检查无需测血糖。

e、给药前等候：受检者按约定时间在给药前候诊区准备和等候。

f、药物分装和注射：准备好的受检者经过专用通道进入注射室 (^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 不同时进行注射)，注射医务人员佩戴个人剂量计并穿戴好个人防护用品，从储源室的储源箱内取出装有放射性药品的铅罐，在手套箱内从贮药铅罐内用一次性注射器吸取计划的药量，在注射台前为受检者注射药物。本项目拟设置3个铅注射窗，其中PET/CT注射窗和PET/MR注射窗防护水平均为40mmPb，SPECT注射窗的防护水平为10mmPb。

g、给药后候诊：注射了放射性药物的受检者进入给药后候诊区候诊一定时间（根据病人根据疾病类型和病人情况休息时间不同，一般约30min-60min），等待检查。

f、显像诊断：注射了放射性药物的受检者根据工作人员叫号，从给药后候诊区直接进入PET/CT（PET/MR、SPECT/CT）机房检查，医务人员帮助受检病人摆好位后进入控制室进行隔室操作。

使用PET/CT（PET/MR、SPECT/CT）之前，均进行衰减校正（空白扫描、透射扫描）。本项目PET/CT与PET/MR共配备4枚校准源，其中： ^{68}Ge 和 ^{22}Na 的出厂活度均拟为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq/枚}$ 、SPECT/CT配备2枚校准源 ^{57}Co （出厂活度拟为 $4.44 \times 10^8 \text{Bq/枚}$ ），均为V类密封源，医院后期将单独办理环境影响登记表备案手续，不在本次评价范围内。

g、检查完成，受检者进入留观室，留观时间一般约10min，无异常可直接通过专用通道离开核医学区域。

显像诊断工作流程及产污环节见图9.2-2。

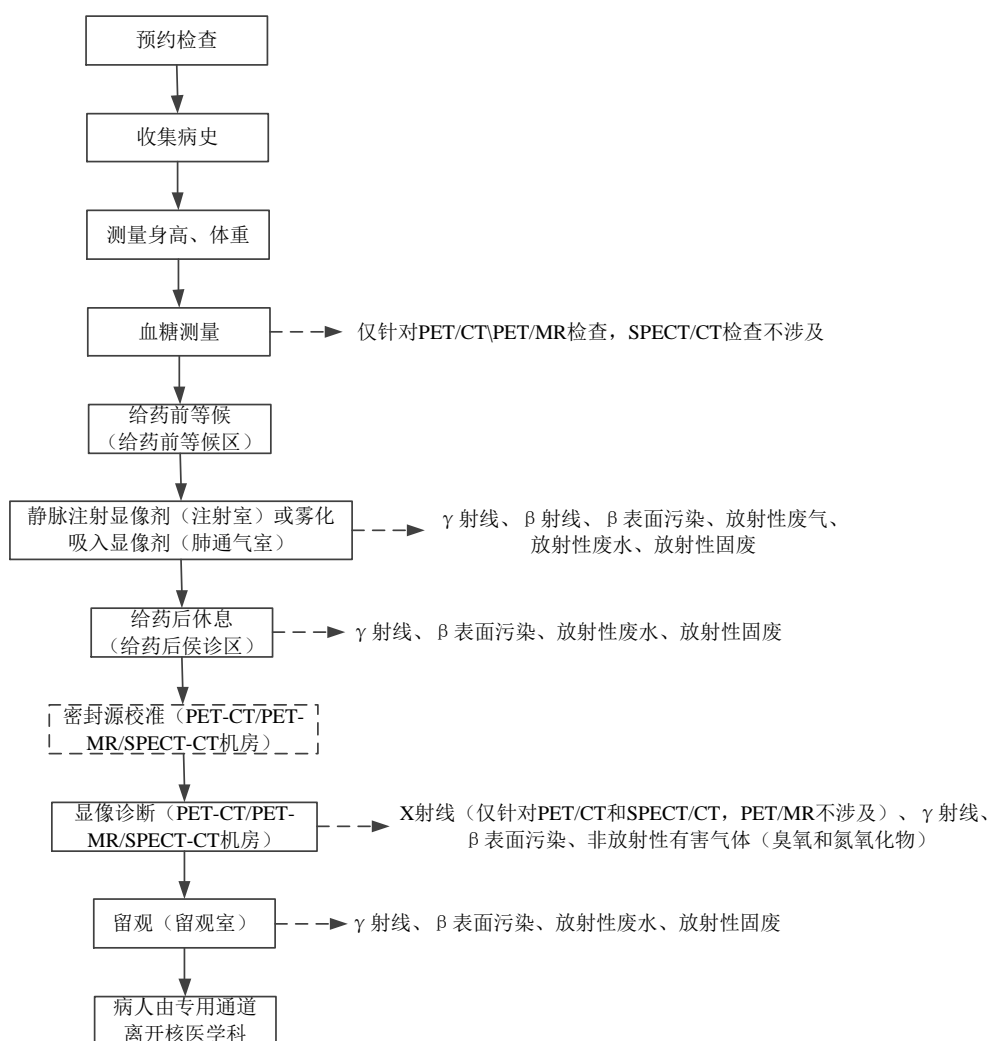


图9.2-2 PET/CT、PET/MR、SPECT/CT显像诊断工作流程及产污环节示意图

(2) ^{131}I 核素治疗

①甲状腺吸碘率功能测定

a、根据医生指导意见，需要接受测定的受检者提前登记预约，进行测定前准备：停用影响甲状腺摄取 ^{131}I 药物及低碘饮食1~2周。

b、医生在手套箱内利用人工分装仪将药物分装，并远程指导患者在服碘室内空腹口服 ^{131}I 药物，单名甲测患者单次服药量为 $5\mu\text{Ci}$ 。

c、患者服用 ^{131}I 后于2h、4h、6h、24h用甲功测定仪分别测定甲状腺部位的放射性计数，测量前先测定室内自然本底的计数及标准源计数。根据按测量结果计算出的甲状腺吸 ^{131}I 率值可判定受检者的甲状腺功能。

d、甲测患者单次 ^{131}I 给药量较小，服药后由专用的患者出口直接离开核医学科，不在甲测室内候诊和留观室内留观，等检测时间到后患者再由核医学科专用的患者入口进入甲测室进行测量，每次测量约1min。

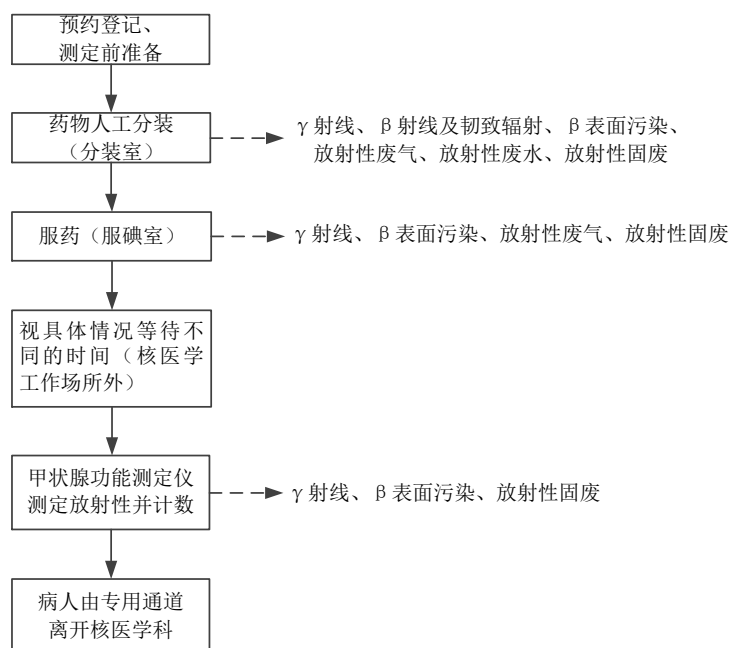


图9.2-2 ^{131}I 甲状腺功能测定的工作流程及产污环节示意图

②甲亢治疗

a、根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前登记预约，进行治疗前准备：停用影响甲状腺摄取 ^{131}I 药物及低碘饮食1~2周。

b、测定甲状腺 ^{131}I 摄取率、甲状腺重量等。

c、确定给药活度。预定用药量，医生利用自动分碘仪将药物分装，并远程指导患者在服碘室内空腹口服 ^{131}I 药物。

d、甲亢患者服药后进入专用的甲亢留观室，留观约10min。如无异常情况，可离开医院。

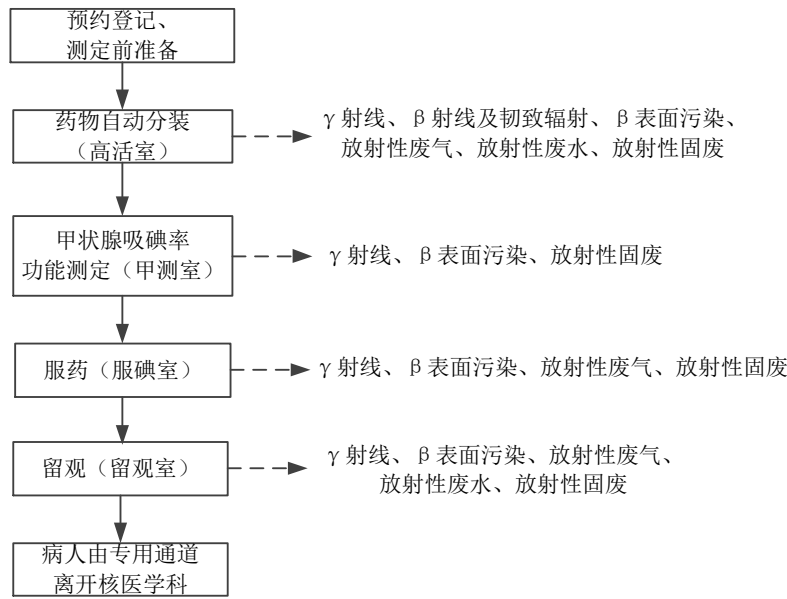


图9.2-3 ^{131}I 甲亢治疗工作流程及产污环节示意图

(3) 其他核素治疗 (^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra)

^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 等骨转移癌治疗是病人通过静脉注射放射性核素注射液对骨转移癌进行治疗。四种核素分时间段集中治疗，注射完成后病人即可直接离开核医学科，无需留观。

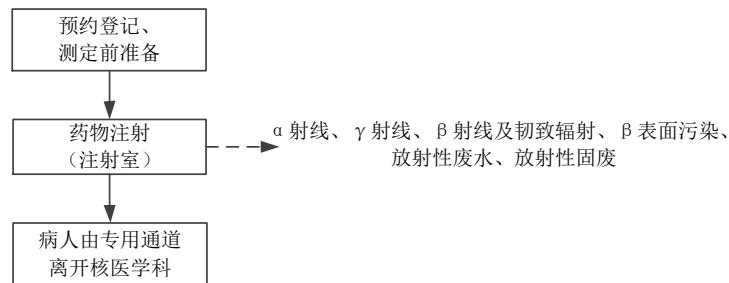


图9.2-4 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 治疗流程及产污环节示意图

(4) 敷贴治疗 (^{32}P)

本项 ^{32}P 皮肤敷贴器由医院自制，工作人员根据病人病变的大小，厚薄及部位的不同，选择不同的剂量和疗程，确定每次照射时间。该 ^{32}P 敷贴器在高活室的手套箱内制作，制作过程在铺有吸水滤纸的托盘中进行，将铅橡胶板放在托盘中央，再在铅橡胶板上铺好同样大小的双层滤纸（铅橡胶板和滤纸根据病人病变部位大小进行制作）。先用一定量的生理盐水稀释 ^{32}P 溶液，将稀释后的 ^{32}P 溶液均匀滴于滤纸（滤纸根据病人病变部位大小进行制作），经烘干滤纸后，一同将滤纸和铅橡胶板用双层优质塑料薄膜与胶布封闭，保证其密封性。在胶布上注明敷贴器的名称、制作日期、放射性活度等。

制作完后，工作人员用长柄工具将敷贴转至敷贴治疗室为患者实施敷贴，实施治疗时，采用3mm厚的橡皮泥或橡胶板屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变，屏蔽其周围正常皮肤；对其他部位的病变，则在病变周围露出正常皮肤0.5cm，并在已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后，将敷贴器紧密贴在病变部位。每次治疗时应有专人使用能报警的计算器控制照射时间。治疗完毕，敷贴器由工作人员清点回收，并做记录。回收的敷贴器暂存在专用贮源箱内，贮源箱内层为有机玻璃，外层为铅。敷贴治疗后患者直接离开核医学科，无需留观。

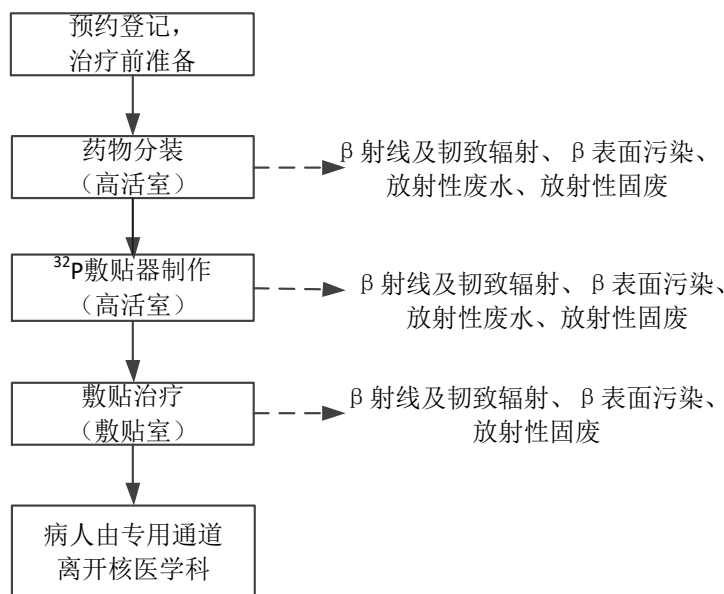


图9.2-5 ^{32}P 治疗流程及产污环节示意图

(5) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 活度测量、抽取与扫描流程

本项目 ^{90}Y 肝癌治疗场所使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 的活度测量、抽取和扫描均依托于核医学工作场所（高活室的手套箱和 SPECT/CT 机房）， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物活度测量和抽取后置入西林瓶中，采用 4mmPb 防护铅罐进行屏蔽和防护； ^{90}Y 药物活度测量和抽取后置于剂量瓶中，该剂量瓶通过一层 6mm 厚有机玻璃进行屏蔽防护，在该屏蔽之外，有另一有机玻璃转运筒（V 型瓶防护厚度约 18mm）和 15mmPb 防护铅罐进行进一步屏蔽和防护。

取药后的辐射工作人员从外科病房楼地下一层核医学工作场所的高活室通过机动车道和廊道运送到医技楼地下一层的医用电梯（直接通往医技楼地上一层介入中心的电梯），然后将药物转运至医技楼一层介入中心 ^{90}Y 肝癌治疗场所（1#DSA 机房）的储源室内备用；介入注射后的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 患者从 1#DSA 机房来到外科病房楼地下一层核医学工作场所的 SPECT/CT 机房扫描。

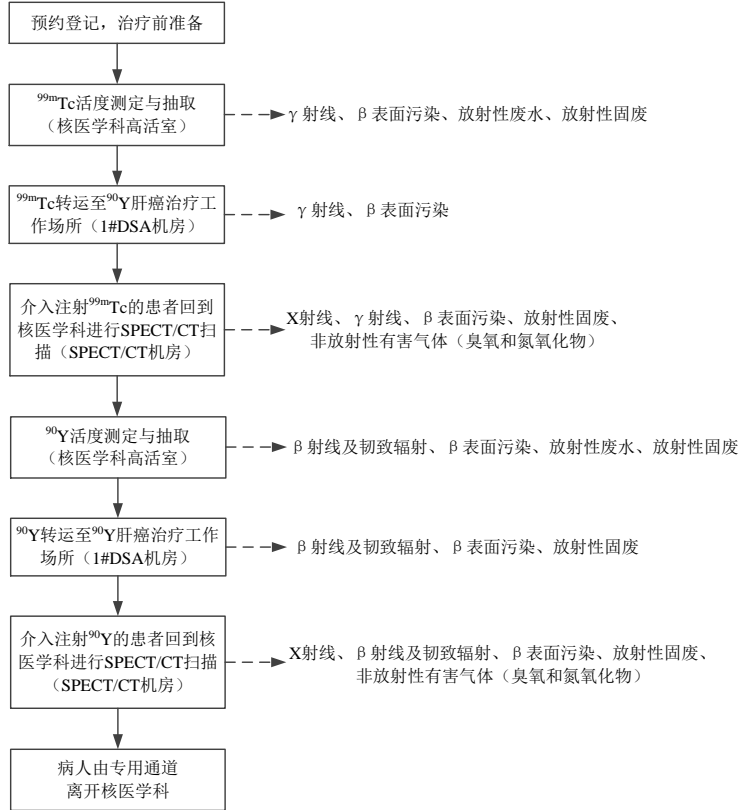


图9.2-6 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 活度测量与扫描流程及产污环节示意图

9.2.2.6防护通风柜屏蔽厚度设置的合理性分析

对照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录I表I.2，本项目操作不同活度的核素时防护通风柜的屏蔽厚度设置的合理性分析见表9.2-4。

表9.2-4 本项目防护通风柜的屏蔽厚度设置符合性分析

| 通风柜名称 | 核素名称 | 操作活度 | 本项目通风柜防护水平 | GBZ 120-2020标准要求 | 合理性分析 |
|-------|-------------------|--------|------------|--|--|
| 1#手套箱 | ^{18}F | 300mCi | 50mmPb | 当 ^{18}F 的操作活度达到300mCi时，通风柜的屏蔽厚度 $\geq 48\text{mmPb}$ 。 | 本项目防护水平优于国家标准限值要求。 |
| 2#手套箱 | ^{99m}Tc | 25mCi | 10mmPb | 当 ^{99m}Tc 的操作活度达到50mCi时，通风柜的屏蔽厚度 $\geq 2\text{mmPb}$ 。 | 本项目防护水平优于国家标准限值要求。 |
| | ^{131}I | 20mCi | 10mmPb | 当 ^{131}I 的操作活度达到50mCi时，通风柜的屏蔽厚度 $\geq 19\text{mmPb}$ 。 | 当其他参数一致的情况下，防护水平仅与核素的操作活度有关，可推导出当 ^{131}I 的操作活度达到20mCi时，通风柜的屏蔽厚度 $\geq 7.6\text{mmPb}$ ，故本项目防护水平优于国家标准限值要求。 |

因此，本项目用于放射性药物操作的手套箱屏蔽防护厚度的设置符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录I表I.2的标准要求，基本可行。同时，本项目核医学工作场所的等级核算结果为“乙级非密封放射性工作场所”，场所内所有放射性药物的操作均在手套箱内进行，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第6.2.2条款中“操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行”的规定。

9.2.2.7 人流、物流的路径规划

（1）医护人员路径

①注射工作人员工作场所位于分装注射室，工作开始之前，工作人员由核医学科医生专用入口门、医护廊道从卫生通过间进入分装注射室取药准备注射，通过铅注射窗对病人进行隔室注射。工作结束后，工作人员先进行放射性表面污染检测，如存在沾污，需经卫生通过间淋浴更衣，放射性表面污染检测合格后方可回到非控制区域场所。卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池、淋浴设施和坐便器。核医学科工作人员完成工作后均原路返回。

②PET/CT（PET/MR、SPECT/CT）设备操作人员与摆位工作人员工作场所位于控制室和扫描机房，工作开始之前，由核医学科医生专用入口门、控制廊道进入控制室，PET/CT（PET/MR、SPECT/CT）操作全部在控制室内进行，摆位时需要通过机房与控制室的门进入机房进行摆位，摆位结束后，原路返回控制室内继续进行设备操作工作。

（2）受检者/患者路径

根据预约安排的时间，受检者/患者先登记，再核医学科问诊室问诊，然后在护士站咨询和注射前候诊区接受病史采集、宣教，根据叫号通过核医学科患者专用入口门进入患者廊道。

①PET/CT（ ^{18}F 、 ^{68}Ga ）和 SPECT/CT（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga ）显像检查病人在分装注射室接受药物注射后，分别前往相应等候室休息、候检，然后进入机房接受检查，在完成扫描后需在留观室进行留观，观察无异常后由核医学科患者专用出口门离开。

② ^{131}I 甲测患者在服碘室窗口服药后，进入甲测室接受检查，检查后可直接由核医学科患者专用出口门离开； ^{131}I 甲亢患者在服碘室口服药物后需在甲亢专用留观室进行留观，观察无异常后由核医学科患者专用出口门离开。

③ ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 核素患者在分装注射室接受药物注射后，可直接由核医学科患者专用出口门离开。

④ ^{32}P 患者在敷贴室接受敷贴治疗后，可直接由核医学科患者专用出口门离开。

⑤⁹⁰Y 患者在 SPECT/CT 机房接受检查，在完成扫描后，部分不需要住院的患者可直接由核医学科患者专用出口门离开；部分需要住院的患者直接入住内科住院楼 16 层的 ⁹⁰Y 专用病房。

该路径上，受检者/患者出入口（患者廊道出入口）均设为单向门禁，仅允许受检者/患者单向通行。注射后等候室设有独立的卫生间，受检者可在专用卫生间内如厕，不随意走动。

（3）放射性药物路径

按照医院与送药单位的协定，放射性药物配送人员每天上班前进入核医学科，由卫生通过间将预定的放射性药物送至储源室内，并由专人进行交接，交接过程均在监控下进行。交接结束后，配送人员由原路离开核医学科。医院拟制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。

（4）污物路径

①放射性废气：核医学工作场所的通风系统与周围非放射性场所独立设置，工作场所气流遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计。放射性废气经排风管道收集后，采用二级过滤系统吸附处理，处理后的尾气通过外科病房楼的屋顶高空排放，排气口高出建筑屋脊。

②放射性废水：患者在候诊、留观期间冲厕产生的含少量放射性核素的废水、工作人员清洗废水、工作场所清洗废水等均由专用污水管道收集至衰变池/放射性废液铅罐贮存衰变，经检测达标并经审管部门确认或批准后方可排入医院污水处理站进一步处理后纳管。

③放射性固废：高活室、分装注射室、PET一侯室、PET二侯室、SPECT候诊室、服碘室、甲测室、敷贴室、留观室及甲亢留观室等各设若干脚踏式铅桶，放射性固废间设置若干铅衰变箱。放射性废物经分类收集后转至放射性固废间进行暂存，衰变至符合清洁解控水平后，选择在无病人时段，由固废间从病人通道运输至垃圾梯，送医院医疗废物库集中收集后按照普通医疗废物处置，定期委托有资质的单位处理处置。

④非放射性有害气体：PET/CT、SPECT/CT开机状态下产生的X射线与空气发生电离作用，产生的少量臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体，同放射性气体一并收集和处理，最终通过外科病房楼的屋顶高空排放，对周围大气环境影响较小。

本项目核医学工作场所采用患者通道和医护通道的双通道设计，控制区相对集中，物流通道设计合理。给药后患者/受检者与给药前患者/受检者不交叉，给药后患者/受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。放射性物质运输通道设置合理，放射性“三废”收集路径和处理措施可行，基本满足《核医学辐射防护和安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医

学放射防护要求》(GBZ 120-2020)中相关要求。因此,本项目核医学工作场所相关路线设计基本合理可行,具体人流、物流路径规划见附图8。

9.2.2 ⁹⁰Y肝癌治疗工作场所

本项目⁹⁰Y肝癌治疗涉及多个不同科室的业务用房,其中:^{99m}Tc、⁹⁰Y核素的活度测量和抽取均在外科病房楼地下一层核医学科高活室的手套箱内进行,纳入核医学科统一管理(已在9.2.1章节详细介绍,此处不重复表述);介入注射在医技楼一层介入中心的1#DSA机房进行(本章节介绍的重点内容)。

9.2.2.1 人员配备与岗位设置

本项目⁹⁰Y肝癌治疗中药物活度测量和抽取、SPECT/CT扫描等步骤工作直接依托核医学科的辐射工作人员,不单独另配。⁹⁰Y肝癌治疗工作场所(1#DSA机房)拟配置6名辐射工作人员,分2组,每组由2名手术医生和1名技师组成,其中医生为近台同室操作,负责DSA机房内介入手术的开展,同时负责核医学科到⁹⁰Y肝癌治疗工作场所之间的^{99m}Tc、⁹⁰Y药物转移;技师为隔室操作,负责控制室内的设备操作,均不兼作院区其他放射性工作。

9.2.2.2 非密封放射性物质使用情况

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所涉及的非密封放射性物质共2种,分别为^{99m}Tc和⁹⁰Y,其中^{99m}Tc用于模拟治疗,⁹⁰Y用于肝癌治疗。

1、核素来源、暂存和分装

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所涉及的^{99m}Tc、⁹⁰Y均根据医院当日工作量提前订购于有资质的供应商,原始药物暂存依托于核医学科的储源室,不另设储源室。1#DSA机房内拟设1间储源室,仅作为已在核医学科质控后的放射性药物临时暂存,不涉及原始放射性药物的暂存。

2、药物摄取方式

⁹⁰Y肝癌治疗主要是在介入透视条件下通过动脉注射摄取药物。

3、核素使用方案和辐射特性

经与医院核实,本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所的核素使用方案见9.2-5。

表9.2-5 本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所放射性核素计划工作量及功能用途

| 核素名称 | 单个病人最大用量 | 日最大诊疗人数 | 年最大诊疗人数 | 日最大操作量 | 年最大用量 | 用途 |
|-------------------|------------------------------------|---------|--------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| ^{99m} Tc | 1.50×10 ⁸ Bq (4mCi) | 1人 | 100人(100日/年) | 1.50×10 ⁸ Bq | 1.50×10 ¹⁰ Bq | ⁹⁰ Y肝癌治疗 (介入注射) |
| ⁹⁰ Y | 3.00×10 ⁹ Bq (81mCi) | 1人 | 100人(100日/年) | 3.00×10 ⁹ Bq | 3.00×10 ¹¹ Bq | ⁹⁰ Y肝癌治疗 (介入注射) |

9.2.2.3设备组成

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所拟配置1台DSA，最大管电压为150kV，最大管电流为1250mA，设备组成、工作原理及产污环节等情况介绍见后文9.2.5章节。

9.2.2.4 ⁹⁰Y树脂微球治疗原理

⁹⁰Y树脂微球是一款针对肝脏恶性肿瘤的靶向放射治疗产品，由含有钇的生物相容性树脂微球组成，直径为20-60 μ m，密度约为1.6g/cm³，比重1.6（血液1.097）。该产品被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗（SIRT）中，即在肝脏病灶处，通过靶向的大剂量高能量 β 辐射起到杀死癌症细胞的目的，同时不伤害健康肝脏组织，被广泛用于手术治疗不可切除的肝癌。

9.2.2.5 ⁹⁰Y树脂微球治疗流程及产污环节

1、治疗流程

⁹⁰Y以介入式注射治疗形式进行。产品通过导管经由肝总动脉、右肝动脉或左肝动脉注射引导到肝脏肿瘤中，在输送到肝动脉后，微球被选择性地输送并停留在肿瘤的微血管中，发挥局部放射疗效。操作过程主要包括：^{99m}Tc-MAA（^{99m}Tc标记的亚锡聚合白蛋白）肝动脉内注射、核医学扫描（SPECT/CT）、⁹⁰Y树脂微球剂量准备、⁹⁰Y树脂微球肝内介入注射等环节，一般流程见图9.2-7。

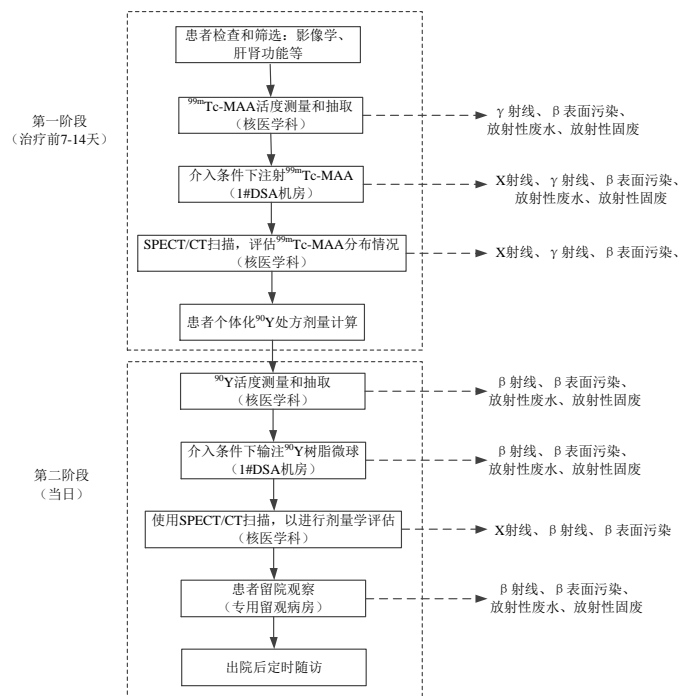


图9.2-7 ⁹⁰Y树脂微球治疗流程及产污环节示意图

单个病人在开展⁹⁰Y介入治疗过程分为两个阶段：

(1) 第一阶段：^{99m}Tc放射性药物的前期检验

为保证⁹⁰Y树脂微球的治疗效果，第一阶段在治疗前7~14天内需对患者进行^{99m}Tc的放射性药物试验，在介入注射条件下注射^{99m}Tc-MAA以模拟⁹⁰Y树脂微球在体内的分布，确保患者病灶处能够将⁹⁰Y树脂微球有效栓塞，避免患者接受无效辐射照射。

每个患者使用^{99m}Tc-MAA的活度最大为1.5E+8Bq，工作人员使用DSA完成插管，确保管末端进入患者病灶附近，同时通过DSA引导将^{99m}Tc-MAA注入到患者病灶位置处。随后将患者转运至核医学科SPECT/CT检查，以评估患者肺部分流情况、正常组织和肿瘤组织接受剂量的比例。

具体流程：①前一天住院并填妥血管造影通知书，通知禁食6~8小时，并将两侧腹股毛发剔除干净以预防感染。

②当日送检前注射静脉输注，排空尿液。

③送1#DSA机房作血管造影、放置导管并栓塞胃肠侧枝血管，行腹部电脑断层确定导管位置，以导管形式注入^{99m}Tc-MAA进入肝脏。

④2小时内将患者转移至核医学科接受SPECT/CT扫描。扫描完成后，患者从专用患者通道离开核医学科。

(2) 第二阶段：⁹⁰Y树脂微球的输注

①通知病人进行住院进行第二阶段的⁹⁰Y树脂微球的输注。⁹⁰Y树脂微球通常在手术当天送达医院。

②入院后按照血管摄影检查流程执行术前准备。

③治疗当天，在核医学科进行⁹⁰Y树脂微球药物活度测量和抽取。

④将患者送1#DSA机房作血管造影，由介入科医师经由股动脉置入肝动脉导管，透过导管注入⁹⁰Y树脂微球，并依血管造影检查流程执行术后调理。

⑤⁹⁰Y树脂微球介入注射完毕的2小时内，在核医学科使用SPECT/CT扫描⁹⁰Y与机体组织相互作用产生的韧致辐射信号，再次确认肝脏中微球的留置区域。

⑥治疗结束后病人送至专用病房进行医学留观，留观2-6小时后出院。

(3) ⁹⁰Y树脂微球总活度测量和抽取

经过1-2周后，满足治疗条件的患者进行⁹⁰Y树脂微球治疗。根据患者情况确定需要的放射性药物活度，涉及⁹⁰Y树脂操作过程包括放射性药物活度测量和抽取。

每剂⁹⁰Y树脂微球在西林瓶中，总活度约为3.0E+9Bq，容积约为5mL。单个病人最大使用活度为3.0GBq，常规情况下一般每位患者仅需注射1.5~2.0GBq即可满足治疗需求，每位患者对应1瓶⁹⁰Y树脂微球，剩余⁹⁰Y树脂微球作为放射性固体废物进行处理，其中单例病人最大使用活度为3.0GBq。

测量时，先将无菌V瓶置于16mm有机玻璃V架上。工作人员手持内置⁹⁰Y树脂微球西林瓶的防护罐（未打开）进行摇晃，持续时间大约30s/例。摇匀后，迅速打开防护罐盖子，使用长柄镊子夹取含⁹⁰Y树脂微球的西林瓶放置在活度计测井内，测量⁹⁰Y树脂微球总活度进行记录。其次将带有16mm有机玻璃防护的注射器扎入西林瓶底部，快速抽压数次，使西林瓶中⁹⁰Y树脂微球混合均匀，抽取一定量的⁹⁰Y树脂微球注入V瓶，将剩余放射性药物放置在活度计测井中测量，直至抽取完成患者所需的合适的活度为止。注入结束后，拔出注射器并装好针管，将V瓶屏蔽罐的顶部塞盖好。

（4）⁹⁰Y树脂微球的介入注射

①将测量完活度的含⁹⁰Y树脂微球的V瓶放置于注射防护盒内，连接输液管、三通旋阀、无菌水或5%右旋糖苷和造影剂等辅助材料。

②装配完成后，先手动压注射防护盒外B口注射器注入造影剂复查导管位置；其次使用B口完成另一注射器注入无菌水或5%右旋糖苷冲洗导管，避免导管中与⁹⁰Y树脂微球混合。

③通过D口脉冲注入无菌水使V瓶的微球回旋形成悬浮液，通过V瓶C口将⁹⁰Y树脂微球经连接病人体内的导管A口压入患者体内，直达病灶。

④将微球分小剂量多次注入，过程大概持续20分钟。最后，通过B口无菌水或5%右旋糖苷注入导管，避免微球滞留在导管内。完成后，将导管从病人体内取出，将注射器、导管等放置于放射性废物桶内。

（5）⁹⁰Y树脂微球使用流程图

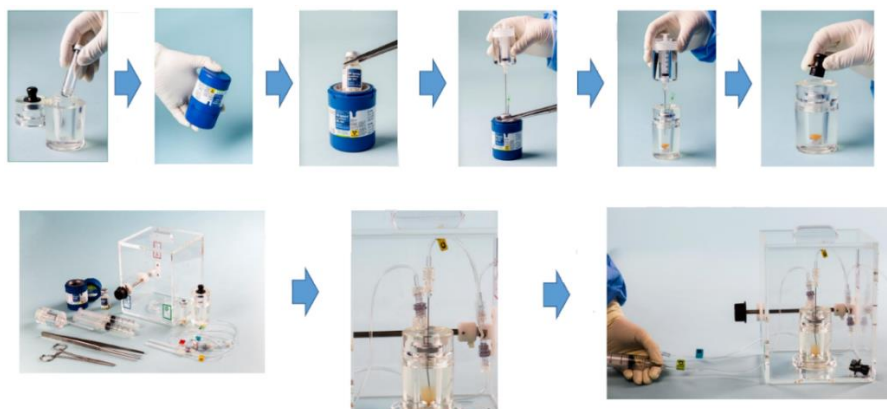


图9.2-8 ⁹⁰Y树脂微球使用流程示意图

9.2.2.6 人流、物流路径分析

(1) 医护人员路径

医护人员先更衣室换衣和换鞋间换鞋后通过南侧廊道进入⁹⁰Y治疗机房，技师进入控制室。完成⁹⁰Y介入手术后需经⁹⁰Y治疗机房内的监测设备检测表面污染合格，才能回到非放射工作场所。如存在手部污染的，必须及时在清洗间内的感应式洗手池清洗。本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

(2) 患者路径

根据预约安排的手术时间，患者通过南侧廊道进入⁹⁰Y治疗机房，手术结束后按照原路返回。

(3) 放射性药物路径

供药商按照约定时间将放射性药物送至核医学科储源室内暂存，然后高活室的手套箱进行活度测定和抽取，后由⁹⁰Y肝癌治疗工作场所的辐射工作人员取药至⁹⁰Y治疗机房内手术。取药路径为工作人员通过外科病房楼地下一层核医学科的机动车道和廊道运送到医技楼地下一层的医用电梯（直接通往医技楼地上一层介入中心的电梯），然后到达医技楼地上一层的⁹⁰Y治疗机房，详细路径见附图15。

考虑到实际手术时间有可能做出临时性的微调，⁹⁰Y治疗机房内设有1间储源室用于核医学科送过来的放射性药物临时暂存，双人双锁管理。同时，该储源室兼有污物间的功能，内部拟设物理隔断，以区分功能使用。

(4) 污物路径

①放射性固废：⁹⁰Y治疗机房内拟设2个脚踏式铅桶，污物间内拟设1个铅衰变箱，手术结束后产生的放射性固废经分类收集后转至污物间进行暂存，衰变至符合清洁解控水平后，选择在无病人时段，由污物间从北侧的污物通道运输至垃圾梯，送医院医疗废物库集中收集后按照普通医疗废物处置，定期委托有资质的单位处理处置。

②放射性废水：⁹⁰Y肝癌治疗工作场所产生的放射性废水经铅罐收集后放至清洗间贮存衰变，经检测达标并经审管部门确认或批准后方可排入医院污水处理站进一步处理后纳管。

③非放射性有害气体：DSA开机过程中产生的少量臭氧和氮氧化物，通过排风系统排出⁹⁰Y治疗机房，由排风管道引至医技楼楼顶高空排放，排气口高出建筑屋脊。

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所控制区相对集中，放射性物质运输通道设置合理，放射性“三废”收集路径和处理措施可行，基本满足《核医学辐射防护和安全要求》(HJ 1188-2021)、

《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)中相关要求。因此,本项目⁹⁰Y肝癌工作场所相关路线设计基本合理可行,具体人流、物流路径规划见附图14。

9.2.3 放疗科

本项目放疗工作场所的主要业务用房:2间10MV直线加速器和1间后装机机房,用于肿瘤放射治疗。

9.2.3.1 人员配备与岗位设置

根据医院提供的资料,本项目放疗工作场所拟配置12名辐射工作人员,每间放疗机房配置4名,分别为医师1名、技师2名、物理师1名,实行定岗定责制,相互不交叉工作,同时也不兼任院区其他放射性工作,人员具体分工和岗位职责见表9.2-6。

表9.2-6 本项目每间放疗机房辐射工作人员配置计划

| 场所名称 | 人员类别 | 岗位内容 | 拟配置数量 | 工作班制 |
|---------------------|------|--------------|-------|------------------------|
| 加速器机房/后装机机房 (1间) | 医生 | 诊断、读片、患者病房管理 | 1名 | 单班制,每班工作 8h,年工作250天 |
| | 技师 | 设备操作、患者摆位 | 2名 | |
| | 物理师 | 制定TPS治疗计划 | 1名 | |

9.2.3.2 工作负荷

对于单台加速器,根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)附录A,在未获得放射治疗单位的工作负荷时,在屏蔽设计中典型放射治疗工作负荷取 $W=1500\text{Gy/周}$ 。本项目加速器等中心处治疗模体内参考点的常用最高吸收剂量 $D_0=10\text{Gy/min}$ (日常工作主要为普通治疗模式,非高剂量FFF模式),则治疗照射时间 $t=W/D_0=1500\text{Gy/周}\div 10\text{Gy/min}=150\text{min/周}=2.5\text{h/周}$,按50周/年计,则出束时间为125h/a。

对于单台后装机,医院计划治疗15人次/d,平均每名患者治疗时间为6min/人·次,年工作250d,则工作时间为375h/a。

9.2.3.3 直线加速器

本项目直线加速器具备调强放射治疗(IMRT)和影像引导放射治疗(IGRT)功能,影像实时引导系统拟配置1台CT装置,设备参数:140kV,800mA,具有常规治疗模式和高剂量FFF(英文全称:flattening filter free,不带均整过滤器)模式。

1、设备参数

经与医院核实,本项目直线加速器的基本参数见表9.2-7。

表 9.2-7 医用直线加速器的基本参数表

| 参数名称 | | 参数值 |
|--------------|------------|--------------------|
| X 射线最大能量 | | 10MV |
| 电子线最大能量 | | 22MeV |
| 射线最大出束角 | | 28°（等中心点每侧 14°） |
| X 射线泄漏率 | | ≤0.1% |
| 源轴距 SAD | | 100cm |
| 等中心高度 | | 125cm |
| 距靶 1m 处最高剂量率 | 常规治疗模式 | X 射线最大剂量率≤600Gy/h |
| | 高剂量 FFF 模式 | X 射线最大剂量率≤1440Gy/h |
| 最大照射野大小 | | 40cm×40cm |
| 机架旋转角度 | | ±180° |
| 有用线束方向 | | 东墙、西墙、顶棚、地面 |

2、设备组成

医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波或行波型直线加速器，主要装置包括沿水平轴旋转光子束框架、沿垂直轴旋转的治疗床、控制光子束准直器、定向架或变形塑料定向架。典型医用直线加速器外观见图9.2-9，直线加速器内部结构见图9.2-10。



图9.2-9 典型医用直线加速器外观图

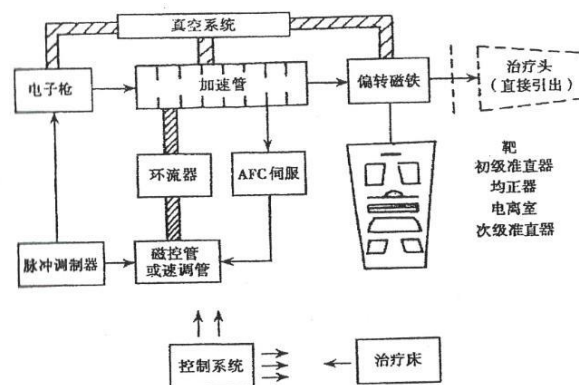


图9.2-10 典型加速器的内部结构示意图

3、工作原理

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即X射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用X线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。

电子线束治疗：电子从发射源射出，进入真空加速管加速，经磁偏转装置转向（一般为90°或270°），电子扩散箔使电子均匀射出，形成电子线束。经散射箔扩大射束直径，再通过

光阑提高电子野的均整性，最后由输出窗射出达到患者病灶实现治疗的目的，即初始电子束直接引出并经散射、均整后用于患者的治疗。

X线束治疗：电子从发射源射出，进入真空加速管加速，经磁偏转装置转向射向高原子序数的金属靶，电子同金属靶的原子核相撞，速度骤减并损失部分能量转换为X射线，经平板滤片过滤不必要的射线，剩余有用线束经二次准直射出。

X射线和电子束治疗模式结构示意图见图9.2-11。

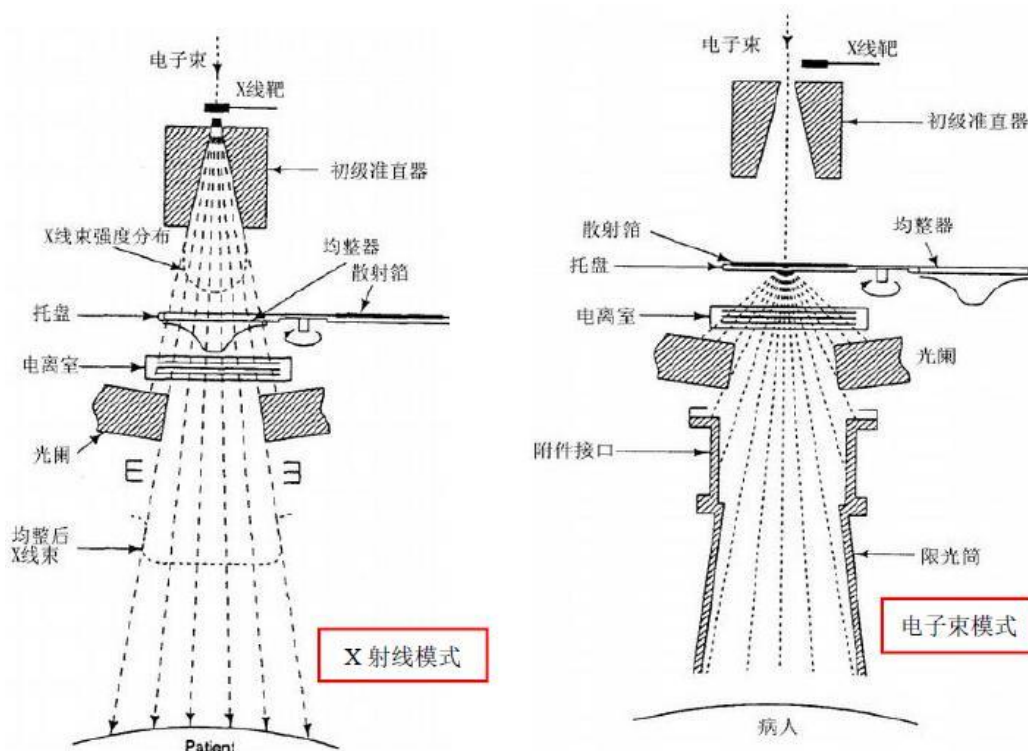


图9.2-11 X射线和电子束治疗模式结构示意图

4、工作流程及产污环节

- a、对肿瘤放疗患者进行登记、候诊。
- b、然后使用模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查（配套的模拟定位机由医院另行备案，模拟定位机由专职辐射工作人员操作，不属于本次评价范围）；
- c、根据患者肿瘤类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划。
- d、摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度等，摆位结束，摆位工作人员等非患者均离开机房，关闭防护门。
- e、根据放疗计划，实施照射。
- f、照射结束后，病人离开机房。

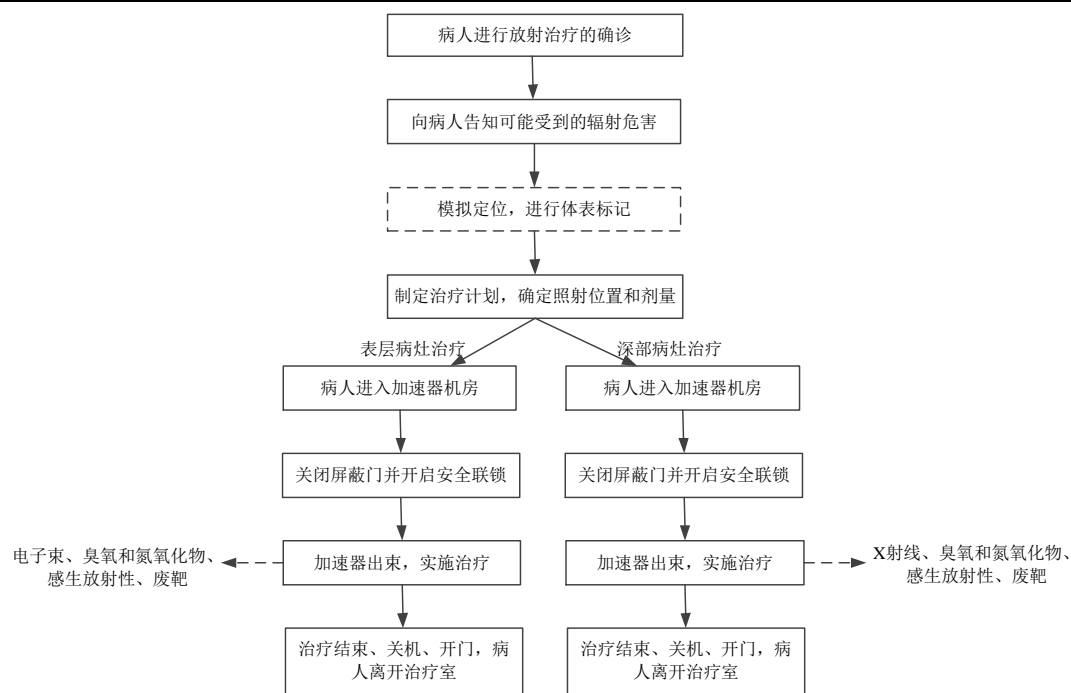


图9.2-12 直线加速器工作流程及产污环节示意图

9.3.2.4 后装机

1、放射性核素及辐射特性

本项目后装机采用的¹⁹²Ir核素为密封源，出厂活度为 3.7×10^{11} Bq（10Ci），属于III类放射源，¹⁹²Ir核素特征见表9.2-8。

表 9.2-8 放射性核素的主要辐射特性参数

| 核素名称 | 半衰期 | 衰变类型 | γ 射线能量均值 (MeV) | 空气比释动能率常数 μSv/ (h•MBq) |
|-------------------|-------|------|----------------|------------------------|
| ¹⁹² Ir | 74.0d | EC、β | 0.37 | 1.11 |

注：表中核素基本参数主要参考 GBZ/T 201.3-2014 附录 C 表 C.1。

2、设备组成

后装机为计算机控制的遥控后装系统，包括后装主机、3D近距离治疗计划系统和各种施源器。后装主机部分包括后装治疗机和控制台，后装治疗机安装在治疗室内，控制台电脑安放在控制室内，遥控操作。配备彩色闭路电视监视系统和对讲机系统，监视系统包含“推、拉、摇、移”功能的云台、摄像头、监视器和控制面板；对讲机系统，用于治疗师和病人之间的通话；系统自带独立的射线监测装置，并在治疗室内及控制台处装有声光显示。贮源器是贮存后装治疗用放射源的容器，包括供运输（或暂存）放射治疗源用的运输贮源器和供后装机配套用的工作贮源器，工作贮源器位于后装机机体中央，一般采用钨合金屏蔽材料，保证贮源器没有伽玛射线泄漏的直接路径。运输（或紧急/维修）贮源器用于放射源的运输、在放射源不能进入后装机的贮源器，或在维修后装机驱动机械部分时，临时存放放射源，运输

贮源器由设备供货厂家提供并同放射源一起更换。

施源器是预先放入人体腔、管道或组织间，供放射源驻留或运动，并实施治疗的特殊容器；通道是在后装机中专供密封放射源或其组件在其中运动的轨迹，此通道与贮源器和施源器相连接。典型后装机和施源器外形图见图9.2-13，放射源铅罐示意图见图9.2-14。



图9.2-13 典型后装机和施源器外形图

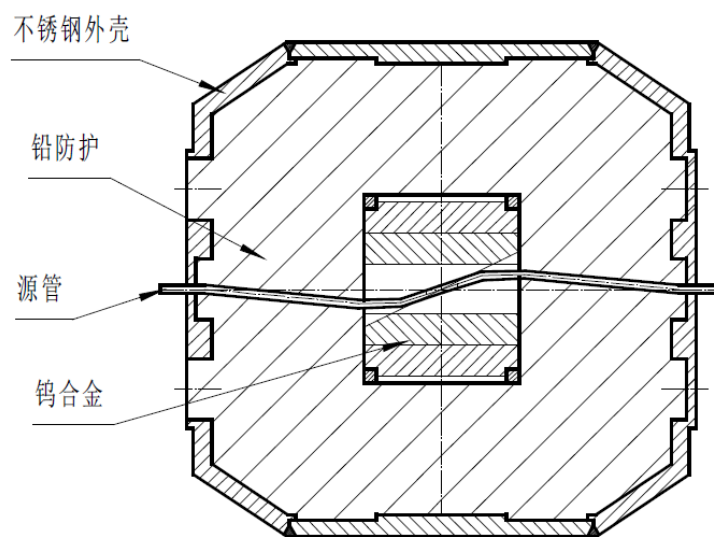


图9.2-14 后装机放射源铅罐示意图

后装机是一种新型的 γ 源近距离放射治疗设备，用遥控或手动的传送方式，将一个或多个密封源从贮源器到预先设定好位置的施源器之间传送，在患者身体腔内利用放射源的 γ 射线对肿瘤进行治疗。通过施源器结构、形状的特殊设计，能够将放射源准确安全地输送到患者需要治疗的部位进行放射治疗，可最大限度地保护患者肿瘤部位邻近正常组织和器官，同时可避免放射治疗过程中放射源对医务人员的影响。

后装机是将施源器放置于人体腔、管道或组织间瘤体表面，在衰变过程中不断放出 γ 射线，通过计算机控制系统，使放射源直接在瘤体表面或瘤体内进行放疗。

3、工作流程及产污环节

本项目后装治疗机使用1枚¹⁹²Ir放射源，新源的活度大约370GBq（10Ci），其直径<1.0mm，长度<4.6mm，用激光焊接于弹性驱动线缆上，从分度盘至最远的位置为1500mm。治疗过程施源方式为遥控，通过视频系统可清晰观察后装机及放射源的情况，系统配有后装机放射源位置模拟尺、放射源位置检查尺和GAFCHROMIC胶片条，后装机放射源位置模拟尺用于测量施源器内部长度和在透视片中显示驻留位置；放射源位置检查尺专用于测量和验证放射源的位置（末端位置）。放射源验证系统用于测量后装机放射源的强度。

治疗前先由放疗技师根据患者病患情况放置施源器，然后由工作人员将病人送入后装治疗室内，接上与源相连的导管，然后借助后装治疗机将源送到需要照射的部位，放射源的输送由工作人员在控制室遥控操作。先驱动假源探路，正常后缩回假源，再驱动真源按计划执行治疗，放射源步进到位精度为mm级。

治疗结束后，通过遥控控制源返回贮源器内，系统装有联锁装置，在治疗室的门未关闭或按下紧急按钮时，源不会送出或将已送出的源撤回，确认源安全返回贮源器内，方可通过操作台控制打开迷路防护门，辐射工作人员将病人送出治疗室。

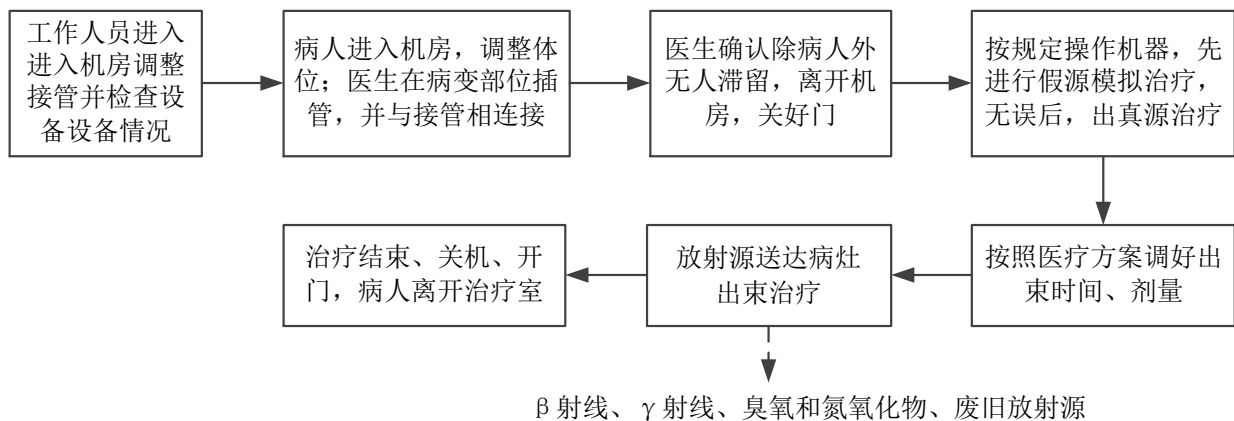


图9.2-15 后装 γ 近距离治疗机工作流程及产污环节示意图

4、换源操作及安全要求

根据后装机内置密封源¹⁹²Ir的半衰期和出厂活度，医院一般使用1.5个半衰期（即111天）需要更新放射源一次。废源由供源单位按照购源合同约定负责更换、运输、处置，医院负责日常安全使用及管理。¹⁹²Ir后装机换源时需制定周密的计划，并且报省级生态环境主管部门备案。

换源流程具体如下：换源工作人员先行将专用的贮源器（专用贮源器的屏蔽能力与后装机未出源时的屏蔽能力基本一致）与后装机用输源管连接，然后退出机房，关闭防护门，通

过电脑控制其出源，源进入专用的贮源器后，待回收；然后换源工作人员将含有新源的专用贮源器上一根长约1m的钢丝连接到后装机（钢丝的另一端即为新源），然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制将钢丝连同新源一起进入后装机，完成一次换源工作。换源工作结束后，产生的废源由放射源供源单位负责回收，不在医院后装机房内暂存。更换放射源全程由供源厂家专业人员按国家相关规定负责操作完成，医院工作人员不直接参与放射源的更换操作，仅监督辅助厂家专业人员按国家相关规定进行更换操作。

9.2.4放射介入科

本项目放射介入工作场所业务用房：5间DSA机房。

9.2.4.1 人员配备与岗位设置

介入中心DSA使用科室最主要为心血管病科、脑病科、普外科等。本项目放射介入科计划配置30名辐射工作人员，每间DSA机房配置2名医生、2名技师和2名护士，每班8小时，年工作250天，均不兼职院区其他放射性工作。

根据手术类型的不同，每台手术由1名相关科室的医生、1名护士和1名技师配合完成，其中医生和护士均为同室操作，医生负责DSA机房内介入手术的开展，护士负责术前准备、术中配合和术后清理工作；技师为隔室操作，负责控制室内设备的操作。如有麻醉需求，或由本项目医护人员自行完成局部麻醉，或由麻醉师完成麻醉离开手术室后再进行手术。

9.2.4.2 工作负荷

本项目DSA机房正常运行后，考虑远期发展的余量，保守预计每台DSA最大手术量为300例/年，则每名介入医生最大手术量为150台/年。DSA设备的主射方向主要为机房的南墙、北墙、顶棚和地面，基于介入手术患者体位基本为仰卧在手术台上，机头位于患者正下方，故主射方向大部分时间为由下向上。DSA工作模式包括透视和摄影两种，考虑到不同手术类型对透视和摄影时间的要求存在一定程度的差异性，本次评价单台手术DSA的最大出束时间保守按透视15min、摄影2min计。

9.2.4.3 设备组成

DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 由 X 线发生装置（包括 X 射线球管及其附件、高压发生器、X 射线控制器等）和图像检测系统（包括光栅、影像增强管、光学系统、线束支架、检查床、输出系统等）组成。

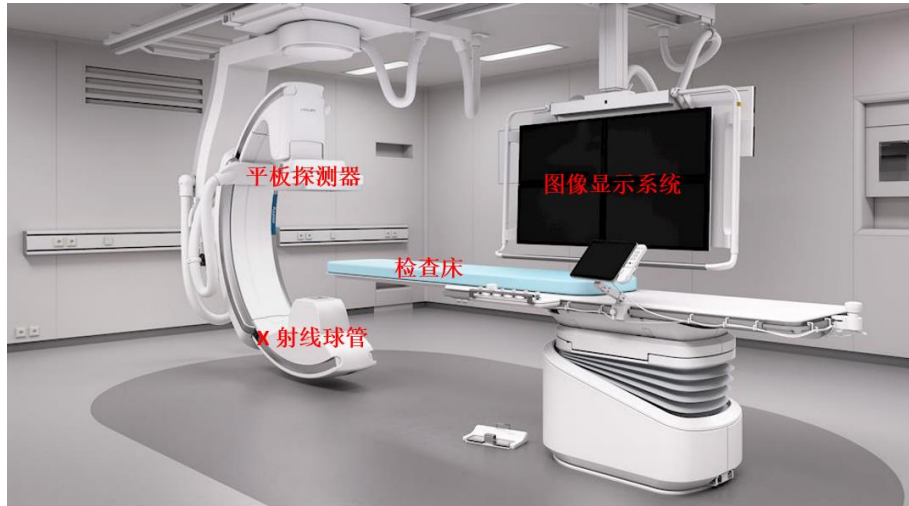


图 9.2-16 典型 DSA 设备外观图

9.2.4.4 工作原理

DSA是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全；节省胶片使造影价格低于常规造影。通过医用血管造影X射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

9.2.4.5 工作流程及产污环节

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉或者动脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉或动脉内，经鞘插入导管，推送导管，在X线透视下将导管送达血管，顺序取血测定静、动脉，并留X线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

DSA在进行曝光时分为两种情况：

①第一种情况（摄影），操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），通过控制DSA的X射线系统曝光，采集造影部位图像。具体方式是受检者位于机房检查床上，医护人员调整好X射线球管、人体、影像增强器三者之间的距离，然后进入控制室，关好防护门。医生、操作人员通过操作间的电子计算机系统控制DSA的X系统曝光，采

集造影部位图像。医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。然后，医生再根据该图像确诊患者病变的范围、程度，选择治疗方案。

②第二种情况（透视），医生需进行手术治疗时，采用近台同室操作方式。通过控制DSA的X线系统曝光，对患者的部位进行间歇或连续式透视。具体方式是受检者位于机房手术床上，介入手术医生位于手术床旁，距DSA的X线管0.3~1.0m处，在非主射束方向，配备个人防护用品（如铅衣、铅颈套、铅帽、铅手套等），同时手术床旁设有屏蔽挂帘。介入治疗中，医师根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动DSA的X线系统进行透视，通过显示屏上显示的连续画面，完成介入操作。医生、护士均佩戴防护用品。由于该种情况在实际运行中占绝大多数，因此是本次评价的重点。

DSA治疗流程及产污环节示意图见图9.2-17。

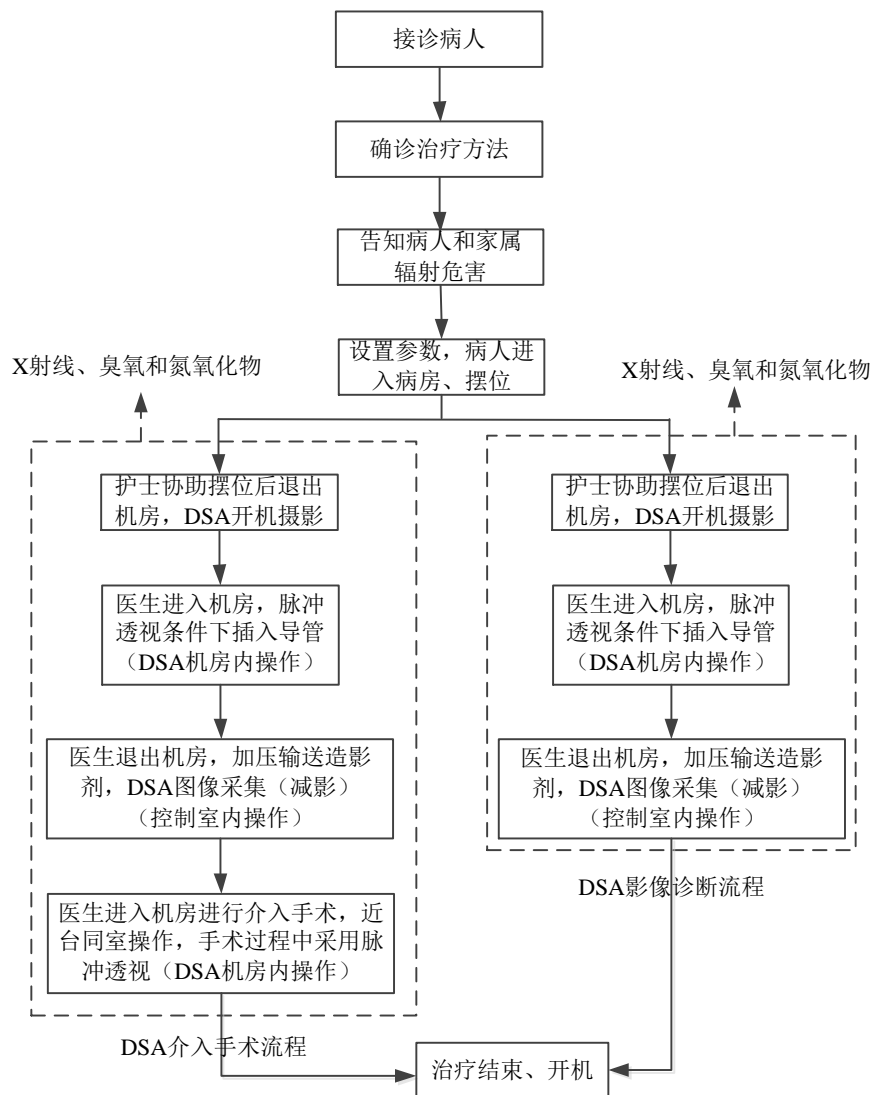


图9.2-17 DSA诊疗流程及产污环节示意图

9.3污染源项描述

本项目运行期产生的员工生活污水、生活垃圾、设备运行噪声及普通医疗废物等非放射性污染源项，均已在取得环评批复的《浙江省中医院新院区项目（一期）环境影响报告书》中作出详细评价，本报告不再重复评价，仅重点关注放射性污染源项。

9.3.1核医学工作场所污染源项

1、贯穿射线（X、 α 、 β 、 γ 射线）

本项目核医学科共涉及12种核素（ ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P 、 ^{90}Y ）。根据各核素衰变类型，产生的贯穿射线主要包括： α 射线、 β 射线、 γ 射线，会造成辐射工作人员和周围公众的外照射。同时， β 射线还需考虑韧致辐射（X射线）的影响。

表9.3-1 本项目放射性核素射线类型一览表

| 射线类型 | 核素名称 |
|-------------|---|
| α 射线 | ^{223}Ra |
| β 射线 | ^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{32}P 、 ^{90}Y |
| γ 射线 | ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re |

注：1) ^{18}F 、 ^{68}Ga 均为正电子核素，由于湮灭反应迅速，释放出 γ 射线，本次评价不考虑 β 射线及韧致辐射，仅考虑 γ 射线。
2) ^{223}Ra 衰变主要释放高能量的 α 射线，本次评价不考虑低能量的 β 射线和 γ 射线。

本项目核医学科的PET/CT、SPECT/CT开机状态下会产生X射线，X射线会对周围环境造成一定影响。关机时，X射线随之消失。

2、放射性表面污染

工作人员在操作非密封放射性物质时，不可避免地会引起场所的工作台、地面等放射性沾污，造成放射性表面污染，主要为 α 、 β 放射性表面污染。

3、放射性废气

液态放射性核素在核医学科的手套箱内进行操作时，空气中会挥发微量的放射性气溶胶；污染途径为放射性药物在手套箱中挥发散逸，若未被通风系统及时排出，则可能会被操作人员吸入造成体内的内照射影响。

本项目核医学科除 ^{131}I 具有一定挥发性外，其余放射性核素均不具备挥发性，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需要加热、振荡等步骤，其产生的放射性气溶胶量极少。同时， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肺通气时产生的大部分气溶胶均被患者吸入体内，本次评价不作定量计算。

本项目 ^{131}I 核素的年最大使用量为 $7.40 \times 10^{10}\text{Bq/a}$ ，采用自动分碘仪进行分装，保守假设核素操作过程中，有0.1%的液体放射性核素挥发为气体，则含 ^{131}I 的放射性气溶胶产生源强为

7.4×10⁷Bq/a，操作时间为50h/a（0.5h/d×100d/a），排风系统设计风量为4000m³/h，末端处理采用二级过滤装置，吸附效率为99.0%，则放射性废气的污染源项见表9.3-2。

表9.3-2 核医学放射性废气源项

| 场所 | 污染物名称 | 气体产生源项 (Bq/h) | 通风量 (m ³ /h) | 放射性气体的浓度 (Bq/m ³) | 处理措施 | 处理效率 (%) | 排风口浓度(Bq/m ³) |
|------|------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------------|--------|----------|---------------------------|
| 核医学科 | ¹³¹ I | 1.48×10 ⁶ | 4000 | 370 | 二级过滤装置 | 99.0 | 3.7 |

由上述计算可知：本项目排气口的放射性核素排放活度为3.7Bq/m³，满足根据GB 18871-2002推导出的控制建议值。

4、放射性废水

本项目核医学科放射性废水主要来源于核素操作人员身体尤其手部可能受到微量核素污染的清洗废水及去污淋浴废水、门诊患者在注射后候诊和留观过程中产生的少量排泄废水和清洗废水、工作场所清洗废水及事故应急废水等。

本着不扩大放射性污染的原则，本项目核医学科每天核素操作的护士固定两人，日常仅存在放射性表面污染才会进行淋浴，保守起见按每人一天最多淋浴一次，每次淋浴用水量限制在50L/人·d内。参考《建筑给排水设计规范》（GB 50015-2019）表3.3.2，门诊病人用水量定额取10L/人·d。结合同类型的医院核医学科实际管理，场所清洗用水约100L/d。事故应急用水保守按半年应急一次，单次应急水用量取100L/次。

本项目核医学工作场所的放射性废水产生量估算见表9.3-3。

表9.3-3 本项目核医学工作场所放射性废水排放一览表

| 场所名称 | 用水类别 | 产生来源 | 用水定额 | 用水规模 | 日用水量 (L/d) | 排污系数 | 日废水量 (L/d) | |
|------|------|----------------------|---------|---------|------------|------|------------|-----|
| 核医学科 | 门诊患者 | ¹⁸ F | 排泄、清洗 | 10L/人·d | 30人/d | 300 | 1.0 | 300 |
| | | ⁶⁸ Ga | 排泄、清洗 | 10L/人·d | 2人/d | 20 | 1.0 | 20 |
| | | ^{99m} Tc | 排泄、清洗 | 10L/人·d | 42人/d | 420 | 1.0 | 420 |
| | | ²⁰¹ Tl | 排泄、清洗 | 10L/人·d | 2人/d | 20 | 1.0 | 20 |
| | | ⁶⁷ Ga | 排泄、清洗 | 10L/人·d | 2人/d | 20 | 1.0 | 20 |
| | | ¹³¹ I（甲亢） | 排泄、清洗 | 10L/人·d | 2人/d | 20 | 1.0 | 20 |
| | 医护人员 | 清洗、淋浴 | 50L/人·d | 2人/d | 100 | 1.0 | 100 | |
| | 场所清洗 | 保洁、清洗 | 100L/d | / | 100 | 1.0 | 100 | |
| | 事故应急 | 应急、清洗 | 100L/次 | 1次/半年 | 100 | 1.0 | 100 | |
| 合计 | | | | | | | 1100 | |

注：⁸⁹Sr、¹⁵³Sm、²²³Ra、¹⁸⁸Re、³²P核素患者整个治疗流程较短，药物注射后不作停留，基本无放射性废水产生，本次评价不予考虑。

因此，本项目核医学科放射性废水日产生量最大约1100L。考虑到⁸⁹Sr（ $T_{1/2}=50.53d$ ）、²²³Ra（ $T_{1/2}=11.44d$ ）、³²P（ $T_{1/2}=14.26d$ ）半衰期相对较长，事故应急状态下可能会产生一定的放射性废水。本项目卫生通过间内拟设置2个洗手池，其中1个为⁸⁹Sr、²²³Ra、³²P专用洗手池，放射性废水经专用污水管道收集后进入2个放射性废液铅罐（设计容积为0.2m³）进行暂存衰变，满罐后移至放射性固废间进行存放，铅罐交替使用；另1个为包括¹³¹I等其他核素（ $T_{1/2} \leq 8.02d$ ）专用洗手池，放射性废水经专用污水管道收集后送至衰变池暂存衰变。

5、放射性固废

本项目核医学科按需订购所需的放射性药物，一般无剩余。如病人诊疗计划作出临时性改变，可能产生一定的剩余放射性药物，随铅罐贮存于储源室的保险柜中，由供货厂家回收，本次评价不予考虑。放射性废水衰变处理系统已设置生化沉淀池作为前处理，池内拟设较刀型潜污泵，可将大部分固体废物粉碎成颗粒，污泥产生量极低，基本可忽略不计。放射性废液铅罐主要用于收集事故状态下的应急去污废水，废水中悬浮物可忽略不计。因此，本项目核医学科放射性固废主要分为以下2类，污染途径为操作过程中及收集固废过程中、贮存衰变时对工作人员和周围公众成员产生的外照射。

①放射性药物操作过程中沾染核素的注射器、针头、手套、药棉、纱布、吸水纸、试管、破碎杯皿、擦拭表面污染的抹布和病人使用的一次性杯子等。

根据本项目开展方案，门诊患者就诊后均可当天出院，放射性固废产生量较小。参考同类型医院，本次固废产污系数按0.05kg/人次计，此类放射性固废的产生情况见表9.3-4。

表9.3-4 核医学工作场所放射性固废产生情况

| 核素类型 | 核素名称 | 年诊疗人数（人/年） | 固废产生系数（kg/人次） | 固废产生量(kg/a) |
|------------------------------|---------------------------------|------------|---------------|-------------|
| 较短半衰期 ($T_{1/2} < 24h$) | ¹⁸ F | 6000 | 0.05 | 300 |
| | ⁶⁸ Ga | 100 | | 5 |
| | ^{99m} Tc（肺灌注+肺通气+肝癌治疗） | 8200 | | 410 |
| | ¹⁵³ Sm | 50 | | 2.5 |
| | ¹⁸⁸ Re | 100 | | 5 |
| 较长半衰期 ($T_{1/2} > 24h$) | ²⁰¹ Tl | 100 | | 5 |
| | ⁶⁷ Ga | 100 | | 5 |
| | ⁸⁹ Sr | 100 | | 5 |
| | ²²³ Ra | 100 | | 5 |
| | ³² P | 100 | | 5 |
| | ¹³¹ I（甲测） | 200 | | 10 |
| | ¹³¹ I（甲亢） | 200 | 10 | |
| 合计 | | | | 767.5 |

②放射性废气处理系统产生的废滤料及废活性炭。

本项目核医学科放射性废气拟采用2套二级过滤装置进行吸附处理，每套装置的一级均为高效过滤器，拟采用的滤芯规格为5kg；二级均为活性炭过滤器，拟采用的活性炭一次性最大装填量为25kg。本项目过滤装置计划每半年更换一次，则本项目废滤料及废活性炭年产生量约120kg/a。

6、非放射性气体

本项目核医学科的PET/CT、SPECT/CT开机状态下产生的X射线与空气发生电离作用，产生少量的臭氧和氮氧化物，与放射性废气一并收集和处理的。

因此，本项目核医学科的主要污染因子：贯穿射线（X、 α 、 β 、 γ 射线）、放射性废气、放射性废水、放射性固废及非放射性有害气体等。

9.3.2 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所污染源项

1、贯穿射线（X、 β 、 γ 射线）

本项目 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所共涉及2种核素（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y ），其中 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 衰变发射出 γ 射线， ^{90}Y 为纯 β 核素，衰变发射出 β 射线，会造成辐射工作人员和周围公众的外照射。同时， β 射线还需考虑韧致辐射（X射线）的影响。介入手术配套的DSA装置开机状态下会产生X射线，X射线会对周围环境造成一定影响。关机时，X射线随之消失。

2、放射性表面污染

工作人员在操作非密封放射性物质时，不可避免地会引起场所的工作台、地面等放射性沾污，造成放射性表面污染，主要为 β 放射性表面污染。

3、放射性废气

本项目 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 均为非挥发性放射性核素，且不存在核素操作的开放性液面，基本无放射性废气产生，本次评价不予考虑。

4、放射性废水

本项目 ^{90}Y 患者接受治疗前，医护人员会提醒患者治疗前及时上厕所，不在手术期间上厕所，故不考虑该部分放射性废液。同时， ^{90}Y 专用病房患者住院期间会产生一定量的排泄废液。由于 ^{90}Y 树脂微球手术安全性较高，常规情况下可按门诊管理，部分特殊病例存在住院的可能性。 ^{90}Y 住院病房设计为双人间，参考《建筑给水排水设计规范》（GB 50015-2019），住院病人用水标准按150L/床·d，排污系数取1.0，即 ^{90}Y 患者住院最大废水量约300L/d。根据生态环境部核与辐射安全中心出具的《钇-90树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》，每

注入1GBq⁹⁰Y树脂微球，患者尿液中⁹⁰Y核素最大活度浓度为5.91E+5Bq/L，假设患者最大注射活度为3GBq，每次冲水6L，24小时排泄6次，则患者24小时排出的含⁹⁰Y核素放射性废液的最大活度浓度为4.93E+4Bq/L，低于豁免活度浓度为1.0E+6Bq/L。故本项目⁹⁰Y治疗患者产生的放射性废液按豁免处理。

因此，⁹⁰Y肝癌治疗工作场所的放射性废水主要为事故应急废水。事故应急用水保守按半年应急一次，单次应急水用量保守取100L/次，排污系数取1.0，则事故应急废水量为200L/a，由专用的铅罐收集后送至清洗间内贮存衰变。

5、放射性固废

医院使用⁹⁰Y树脂微球治疗过程中产生的放射性固体废物包括注射^{99m}Tc放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内管等，总重量为150g/例；⁹⁰Y树脂微球抽取过程中产生的转移用的一次性手套、注射器、含剩余药物的西林瓶等放射性固体废物约200g/例，注射⁹⁰Y放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物约450g。

综上，开展一次⁹⁰Y树脂微球介入治疗产生放射性固体废物约0.8kg。若手术中出现⁹⁰Y树脂微球洒漏，则还可能产生吸水纸、去污用纸、医护人员手套、手术服、口罩、眼罩、有机玻璃盒子等，最大产生量为2kg/例次，事故应急次数保守按年开展人数的10%几率估算。本项目⁹⁰Y树脂微球介入治疗日开展1例，年开展100例，则相应的放射性废物约100kg/a。

6、非放射性有害气体

本项目⁹⁰Y治疗机房的DSA装置开机状态下产生的X射线与空气发生电离作用，会产生少量的臭氧和氮氧化物，属于非放射性有害气体，通过排风系统排出机房。

因此，本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所的主要污染因子：贯穿射线（X、β、γ射线）、放射性废水、放射性固废及非放射性有害气体等。

9.3.3 直线加速器

本项目医用电子加速器的X射线最大能量为10MV、电子线最大能量为22MeV。加速器运行时，其自带的影像引导系统CT产生的X射线能量远小于10MV直线加速器产生的X射线能量，因此辐射污染主要来自10MV直线加速器。

1、X射线

本项目医用电子加速器X射线最大能量为10MV，加速器产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生韧致辐射，由于X射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，

但运行时产生的X射线随加速器的开、关而产生和消失。在加速器开机时间内X射线为主要辐射环境污染因素。

2、电子线

除X射线外，本项目医用电子加速器也可以用其产生的电子线束治疗病人，从而对周围环境产生辐射影响。电子线的穿透能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。

3、中子

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）第6.1.2条款、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）第7.1条款要求及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）第5.2款估算方法，本项目加速器X射线最大能量为10MV，不需要考虑中子辐射防护问题。

4、感生放射性

电子能量大于10MeV的医用电子加速器运行过程中产生感生放射性，主要包括两个方面：①加速器机头结构材料的固态感生放射性。加速器运行期间，由于设备有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性不会危害屏蔽体外的人员；但当加速器停机后，职业人员进入机房时可能受到辐射危害。②气态感生放射性核素，在加速器运行过程产生的中子可与空气作用产生放射性核素。

根据《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）P97页表4.4，核反应 $^{12}\text{C}(\gamma, n)^{11}\text{C}$ 的反应阈能为18.7MeV，所产生核素 ^{11}C 的半衰期为20.5min；核反应 $^{14}\text{N}(\gamma, n)^{13}\text{N}$ 的反应阈能为10.6MeV，所产生核素 ^{13}N 的半衰期为10.0min； $^{16}\text{O}(\gamma, n)^{15}\text{O}$ 的反应阈能为15.7MeV，所产生核素 ^{15}O 的半衰期为124.0s。本项目加速器电子最大能量为22MeV，电子能量超过相关核素的反应阈能，与空气中的C、O、N等相互作用，可诱发感生放射性核素 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{13}N ，因此本次评价考虑其感生放射性影响。

5、放射性固废

靶物质经长期照射后，可积累一定数量的感生放射性核素，更换的废靶材（件）属于放射性废物，拟放置在机房内的放射性铅废物桶衰变贮存直至经检测其表面 γ 辐射剂量率符合清洁解控水平后，将由设备厂家负责回收。

6、非放射性有害气体

医用电子加速器在开机运行时，产生的X射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物等

非放射性有害气体。机房拟设置通排风系统，通风换气次数大于10次/h，可明显降低其浓度，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求。

因此，本项目医用电子加速器开机状态下的主要污染因子：X射线、电子束、感生放射性、废靶件及非放射性有害气体等。

9.3.4后装机

1、 β 、 γ 射线

后装治疗机使用 ^{192}Ir 密封源，治疗时由储源器将其顺着输源管释放至病变部位进行照射，该放射源自发衰变产生 β 、 γ 射线， β 射线的贯穿能力相对较弱，考虑治疗室对 γ 射线屏蔽时， β 射线已被完全屏蔽，因此本项目主要考虑 γ 射线的屏蔽。

2、废旧放射源

使用 ^{192}Ir 源时，放射源半衰期短，一般使用1.5个半衰期更换一次，源更换及废源回收由生产厂家负责。

3、非放射性废气

后装机在工作状态下，会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体。机房拟设置通排风系统，通风换气次数大于19次/h，可明显降低其浓度，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求。

因此，本项目后装机开机状态下的主要污染因子： γ 射线、废旧放射源及非放射性气体。

9.3.5 DSA

本项目DSA装置运行过程不产生放射性固体废物、放射性废水和放射性废气。同时，注入的造影剂不含放射性，且射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

1、X射线

由DSA的工作原理可知，DSA产生的X射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，该院使用DSA在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出X射线。X射线有较强的穿透能力，对环境有一定的影响，因此，在开机期间，X射线成为污染环境的主要因子。

2、非放射性废气

DSA在运行过程中，在X射线的作用下，空气吸收辐射能量并通过电离离子产生少量的臭氧和氮氧化物。

因此，本项目DSA在开机状态下的主要污染因子为X射线和少量的臭氧、氮氧化物等有害气体。

表 10 辐射安全与防护

10.1 核医学工作场所安全设施

10.1.1 场所选址与平面布局

本项目核医学工作场所位于外科病房楼地下一层，用于开展放射性核素（ ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga ）显像诊断、放射性核素（ ^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P ）放射治疗，放射性核素（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y ）活度测定和抽取，主要功能用房包括：给药前候诊区（内设受检者卫生间）、护士站及登记台、会诊室（注射器留置针、血糖采集、打镇定剂等）、高活室（内设2个手套箱）、分装注射室、储源室、放射性固废间、卫生通过间、服碘室、甲测室、敷贴室、肺通气室、运动负荷室、PET/CT机房（1间）、PET/MR机房（1间）、SPECT/CT机房（2间）、给药后候诊室（PET一侯室、PET二侯室、SPECT候诊室，均内设患者专用卫生间）、甲亢留观室（内设患者专用卫生间）、留观室（兼抢救室，内设患者专用卫生间）、清洁间、控制廊道及患者廊道、医生办公室、医务人员卫生间、更衣室、读片室、示教室、值班室等。

核医学工作场所的六侧相邻环境关系见表表10.1-1。

表10.1-1 本项目核医学工作场所的六侧相邻环境关系表

| 场所名称 | 场所位置 | 东侧 | 南侧 | 西侧 | 北侧 | 正上方 | 正下方 |
|------|-----------|------|-------|----------|------|--------|---------|
| 核医学科 | 外科病房楼地下一层 | 人行通道 | 机动车通道 | 配电房、室外地面 | 室外地面 | 出入院办理区 | 放疗科功能用房 |

根据医院提供的工程设计方案，本项目核医学工作场所平面布局设置具备以下特点：

a、场址选择已充分考虑周围场所的安全，不毗邻儿科、产科、食堂等部门及人员密集区，与周围非放射性工作场所有明确的分界隔离。选址位于外科病房楼地下一层的西北端，位置相对独立，且区域集中设置。核医学科有单独的出入口，可避免与本职工作无关人员任意出入而受到不必要的辐射照射或扩大污染范围。患者专用出口设置在外科病房楼一层的西侧，主要为室外绿化带等较为空旷区域，非门诊大厅、收费处等人群稠密区域。同层主要为物流中心、机动车车库，少有院区公众驻留。前往检查区的患者可通过专用客梯直达，避免了和院内其他公众接触的可能性。

b、核医学科设有专用客梯和污梯，且分别位于地下一层的东北端和西北端，位置相对独立，能够减少院区公众误入核医学科的可能性。

c、核医学科配套设施齐全，能够兼顾医患双方的学习、生活、清洁、仓储、抢救、诊

疗、废物贮存等多重功能。

d、工作场所控制区出入口的防护门均设置有门禁系统，仅允许单向通行，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射。储源室、污物间与分装注射室邻近设置，降低了药物操作和转移过程中可能会出现洒落等情况。分装注射室的出口处设有卫生通过间，并设置去污及淋浴功能，有效防止医护人员的沾污。患者通过专用客梯由东侧单向患者专用入口门进入核医学科，依次参与注射、给药后候诊、扫描和留观等不同流程，最后从西侧单向患者专用出口离开核医学科。以上设计能确保诊断工作场所整体非密封放射性物质活度由东往西递减。给药后注射室和留观室内病人之间设置移动铅屏风进行物理隔离，最大限度的降低病人之间的交叉辐射照射影响。

e、患者通道与医护人员通道完全分离，不交叉，患者单向流动，避免了给药后患者与给药前患者之间交叉影响。放射性药物在上班之前通过卫生通过间送至储源室，避免与患者交叉。放射性“三废”收集与处理设施均单独设置，不与周围非放射性工作场所共用。

因此，本项目核医学科的选址和布局满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)中“选址和布局”要求，设计基本合理，可保证相关工作的正常开展，避免无关人员通过。

10.1.2 非密封放射性工作场所分级、分类及分区管理

(1) 场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函〔2016〕430号)中关于单独的非密封放射性物质工作场所的界定条件，本项目核医学工作场所可作为一个单独的非密封源工作场所分别进行日等效操作量核算。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)附录 C 中 C2 条款规定，非密封源工作场所放射性核素的日等效操作量计算方法见公式 (10-1)，本项目放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 10.1-1 和表 10.1-2。

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射源状态修正因子}} \dots\dots\dots (10.1-1)$$

表 10.1-2 本项目各放射性核素毒性组别修正因子判定结果

| 核素名称 | 毒性组别 | 毒性组别修正因子 | 判定依据 |
|--|------|----------|--------------------|
| ²²³ Ra | 极毒 | 10 | GB 18871-2002 附录 D |
| ⁶⁷ Ga、 ¹³¹ I、 ¹⁵³ Sm、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁸⁸ Re、 ³² P、 ⁹⁰ Y | 中毒 | 0.1 | |
| ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ²⁰¹ Tl | 低毒 | 0.01 | |

表 10.1-3 本项目各放射性核素操作方式与放射源状态的修正因子判定结果

| 核素名称 | 操作方式 | 放射源状态 | 操作方式与放射源状态修正因子 | 判定依据 |
|--|-------|-------|----------------|--|
| ¹⁸ F、 ^{99m} Tc | 很简单操作 | 液体 | 10 | HJ 1188-2021 附录 A 表 A.2 |
| ⁹⁰ Y | | 悬浮液 | 10 | 生态环境部核与辐射安全中心编制的《钇-90 树脂微球使用过程中辐射安全风险研究报告》 |
| ¹³¹ I | 简单操作 | 液体 | 1 | HJ 1188-2021 附录 A 表 A.2 |
| ⁶⁸ Ga、 ²⁰¹ Tl、 ⁶⁷ Ga、 ¹⁵³ Sm、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁸⁸ Re、 ³² P | | 液体 | 1 | HJ 1188-2021 对该部分核素的操作方式修正因子均未出明确规定，本次评价保守参考 ¹³¹ I 视为简单操作 |
| ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga | 源的贮存 | 液体 | 100 | GB 18871-2002 附录 C 表 C.2 |

由于 ¹⁸F、⁶⁸Ga 的半衰期较短，存在一定的药物活度衰减，为保证每例 PET/CT、PET/MR 显像检查病人的药物活度使用需求，本次评价同时考虑用药量和备药量，医院计划每天送 2 次药（上、下午各 1 次），按照日用药量的 2 倍进行备药；其他核素均仅考虑用药量。根据公式（10.1-1），本项目各非密封放射性物质工作场所同时操作所有核素的最不利情况下，日最大等效操作量的计算结果见表 10.1-4。

表 10.1-4 本项目核医学工作场所分级计算结果

| 场所名称 | 核素名称 | 计划日最大操作量 (Bq) | | 毒性组别修正因子 | 操作方式与放射源状态修正因子 | 日等效最大操作量 (Bq) | |
|---------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|----------|----------------|-----------------------|----------------------|
| 核医学工作场所 | ¹⁸ F | 1.11×10 ¹⁰ (用药量) | | 0.01 | 10 | 1.11×10 ⁷ | |
| | | 2.22×10 ¹⁰ (备药量) | | 0.01 | 100 | 2.22×10 ⁶ | |
| | ⁶⁸ Ga | 3.70×10 ⁸ (用药量) | | 0.01 | 1 | 3.70×10 ⁶ | |
| | | 7.40×10 ⁸ (备药量) | | 0.01 | 100 | 7.40×10 ⁴ | |
| | ^{99m} Tc | 肺灌注 | 3.70×10 ¹⁰ | | 0.01 | 10 | 3.70×10 ⁷ |
| | | 肺通气 | 2.22×10 ⁸ | | 0.01 | 10 | 2.22×10 ⁵ |
| | ²⁰¹ Tl | 3.70×10 ⁸ | | 0.01 | 1 | 3.70×10 ⁶ | |
| | ⁶⁷ Ga | 3.70×10 ⁸ | | 0.1 | 1 | 3.70×10 ⁷ | |
| | ¹³¹ I | 甲测 | 3.70×10 ⁵ | | 0.1 | 1 | 3.70×10 ⁴ |
| | | 甲亢 | 7.40×10 ⁸ | | 0.1 | 1 | 7.40×10 ⁷ |
| | ¹⁵³ Sm | 3.108×10 ⁹ | | 0.1 | 1 | 3.108×10 ⁸ | |
| | ⁸⁹ Sr | 2.96×10 ⁸ | | 0.1 | 1 | 2.96×10 ⁷ | |
| | ¹⁸⁸ Re | 1.665×10 ⁹ | | 0.1 | 1 | 1.665×10 ⁸ | |
| | ²²³ Ra | 7.40×10 ⁷ | | 10 | 1 | 7.40×10 ⁸ | |
| | ³² P | 1.48×10 ⁸ | | 0.1 | 1 | 1.48×10 ⁷ | |
| | ^{99m} Tc | 活度测量、抽取 | 1.50×10 ⁸ | | 0.01 | 10 | 1.50×10 ⁵ |
| | ⁹⁰ Y | 活度测量、抽取 | 3.00×10 ⁹ | | 0.1 | 10 | 3.00×10 ⁷ |
| 小计 | | | | | | 1.461×10 ⁹ | |

因此,本项目核医学工作场所同时操作上述放射性核素时日等效操作量为 $1.461 \times 10^9 \text{Bq}$, 在 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 范围内, 则非密封放射性物质工作场所等级为乙级。

(2) 场所分类

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 附录 G 中第 G.2 条款, 本项目核医学工作场所分类的加权活度计算方法见公式 (10.1-2), 本项目放射性核素的毒性权重因子见表 10.1-5, 不同操作性质的修正因子取值见表 10.1-6。

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \dots\dots\dots (10.1-2)$$

表 10.1-5 本项目各放射性核素的毒性权重因子

| 核素名称 | 核素的毒性权重因子 | 判定依据 |
|---|-----------|---|
| ^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 、 ^{90}Y | 100 | GBZ 120-2020附录G表G.2 |
| ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl | 1 | |
| ^{188}Re 、 ^{223}Ra | 100 | GBZ120-2020对该部分核素未作出明确规定, 基于 ^{223}Ra 为极毒, 保守按最大值100进行取值; ^{188}Re 与 ^{131}I 均为中毒, 参考 ^{131}I 进行取值; ^{68}Ga 与 ^{18}F 均为低毒, 参考 ^{18}F 进行取值。 |
| ^{68}Ga | 1 | |

表 10.1-6 本项目各场所不同操作性质的修正因子

| 场所名称 | 操作性质修正因子 | 判定依据 |
|--|----------|---------------------|
| 储源室 | 100 | GBZ 120-2020附录G表G.3 |
| PET/CT机房、PET/MR机房、SPECT/CT机房1、SPECT/CT机房2、PET一候室、PET二候室、SPECT候诊室、留观室、甲测室、甲亢留观室、污物间 | 10 | |
| 高活室、分装注射室、肺通气室、服碘室、敷贴室 | 1 | |

根据公式 (10-2), 本项目相关场所加权活度计算结果见表 10.1-7。

表 10.1-7 不同核医学工作场所类别计算结果

| 场所名称 | 核素名称 | 计划日最大活度 (Bq) | 毒性权重因子 | 操作性质修正因子 | 加权活度 (MBq) | 场所类别 |
|---------|------|--------------------------------|-----------------------|----------|------------|------|
| 核医学工作场所 | 储源室 | ^{18}F | 1.11×10^{10} | 1 | 100 | 111 |
| | | ^{68}Ga | 3.70×10^8 | 1 | | 3.70 |
| | | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (肺灌注) | 3.70×10^{10} | 1 | | 370 |
| | | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (肺通气) | 2.22×10^8 | 1 | | 2.22 |
| | | ^{201}Tl | 3.70×10^8 | 1 | | 3.70 |
| | | ^{67}Ga | 3.70×10^8 | 1 | | 3.70 |
| | | ^{131}I (甲测) | 3.70×10^5 | 100 | | 0.37 |

| | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|---------|
| | | ¹³¹ I (甲亢) | 7.40×10 ⁸ | 100 | | 740 | II类 | |
| | | ¹⁵³ Sm | 3.108×10 ⁹ | 100 | | 3108 | | |
| | | ⁸⁹ Sr | 2.96×10 ⁸ | 100 | | 296 | | |
| | | ¹⁸⁸ Re | 1.665×10 ⁹ | 100 | | 1665 | | |
| | | ²²³ Ra | 7.40×10 ⁷ | 100 | | 74 | | |
| | | ³² P | 1.48×10 ⁸ | 100 | | 148 | | |
| | | ^{99m} Tc (肝癌治疗) | 1.50×10 ⁸ | 1 | | 1.50 | | |
| | | ⁹⁰ Y (肝癌治疗) | 3.0×10 ⁹ | 100 | | 3000 | | |
| | | 小计 | | | | | | 9527.19 |
| | 高活室 | | ¹⁸ F | 1.11×10 ¹⁰ | 1 | 1 | 11100 | I类 |
| | | | ⁶⁸ Ga | 3.70×10 ⁸ | 1 | | 370 | |
| | | | ^{99m} Tc (肺灌注) | 3.70×10 ¹⁰ | 1 | | 37000 | |
| | | | ²⁰¹ Tl | 3.70×10 ⁸ | 1 | | 370 | |
| | | | ⁶⁷ Ga | 3.70×10 ⁸ | 1 | | 370 | |
| | | | ¹³¹ I (甲测) | 3.70×10 ⁵ | 100 | | 37 | |
| | | | ¹³¹ I (甲亢) | 7.40×10 ⁸ | 100 | | 74000 | |
| | | | ¹⁵³ Sm | 3.108×10 ⁹ | 100 | | 310800 | |
| | | | ⁸⁹ Sr | 2.96×10 ⁸ | 100 | | 29600 | |
| | | | ¹⁸⁸ Re | 1.665×10 ⁹ | 100 | | 166500 | |
| | | | ²²³ Ra | 7.40×10 ⁷ | 100 | | 7400 | |
| | | | ^{99m} Tc (肝癌治疗) | 1.50×10 ⁸ | 1 | | 150 | |
| | | | ⁹⁰ Y (肝癌治疗) | 3.0×10 ⁹ | 100 | | 300000 | |
| | 小计 | | | | | 937697 | | |
| | 分装注射室 | | ¹⁸ F | 1.11×10 ¹⁰ | 1 | 1 | 11100 | I类 |
| | | | ⁶⁸ Ga | 3.70×10 ⁸ | 1 | | 370 | |
| | | | ^{99m} Tc (肺灌注) | 3.70×10 ¹⁰ | 1 | | 37000 | |
| | | | ²⁰¹ Tl | 3.70×10 ⁸ | 1 | | 370 | |
| | | | ⁶⁷ Ga | 3.70×10 ⁸ | 1 | | 370 | |
| | | | ¹⁵³ Sm | 3.108×10 ⁹ | 100 | | 310800 | |
| ⁸⁹ Sr | | | 2.96×10 ⁸ | 100 | 29600 | | | |
| ¹⁸⁸ Re | | | 1.665×10 ⁹ | 100 | 166500 | | | |
| ²²³ Ra | | | 7.40×10 ⁷ | 100 | 7400 | | | |
| 小计 | | | | | 563510 | | | |
| 肺通气室 | ^{99m} Tc (肺通气) | 2.22×10 ⁸ | 1 | 1 | 222 | II类 | | |
| 服碘室 | ¹³¹ I (甲测) | 3.70×10 ⁵ | 100 | 1 | 37 | II类 | | |
| | ¹³¹ I (甲亢) | 7.40×10 ⁸ | 100 | | 74000 | | | |
| 小计 | | | | | 74037 | | | |
| 敷贴室 | ³² P | 1.48×10 ⁸ | 100 | 1 | 14800 | II类 | | |

续表 10.1-7 不同核医学工作场所类别计算结果

| 场所名称 | | 核素名称 | 计划日最大活度 (Bq) | 毒性权重因子 | 操作性质修正因子 | 加权活度 (MBq) | 场所类别 |
|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------|----------|------------|-------|
| 核医学工作场所 | PET/CT 机房、PET/MR 机房、PET 一候室、PET 二候室 | ¹⁸ F | 1.11×10 ¹⁰ | 1 | 10 | 1110 | II 类 |
| | | ⁶⁸ Ga | 3.70×10 ⁸ | 1 | | 37 | |
| | | 小计 | | | | | |
| | SPECT/CT 机房 1、SPECT/CT 机房 2、SPECT 候诊室 | ^{99m} Tc (肺灌注) | 3.70×10 ¹⁰ | 1 | 10 | 3700 | II 类 |
| | | ^{99m} Tc (肺通气) | 2.22×10 ⁸ | 1 | | 22.2 | |
| | | ^{99m} Tc (肝癌治疗) | 1.50×10 ⁸ | 1 | | 15 | |
| | | ⁹⁰ Y (肝癌治疗) | 3.0×10 ⁹ | 100 | | 30000 | |
| | | 小计 | | | | | |
| | 留观室 | ¹⁸ F | 1.11×10 ¹⁰ | 1 | 10 | 1110 | II 类 |
| | | ⁶⁸ Ga | 3.70×10 ⁸ | 1 | | 37 | |
| | | ^{99m} Tc (肺灌注) | 3.70×10 ¹⁰ | 1 | | 3700 | |
| | | ^{99m} Tc (肺通气) | 2.22×10 ⁸ | 1 | | 22.2 | |
| | | 小计 | | | | | |
| | 甲测室 | ¹³¹ I (甲测) | 3.70×10 ⁵ | 100 | 10 | 37 | III 类 |
| | 甲亢留观室 | ¹³¹ I (甲亢) | 7.40×10 ⁸ | 100 | 10 | 7400 | II 类 |
| | 放射性固废间 | ¹⁸ F | 1.11×10 ⁸ | 1 | 10 | 11.1 | II 类 |
| | | ⁶⁸ Ga | 3.70×10 ⁶ | 1 | | 0.37 | |
| | | ^{99m} Tc (肺灌注) | 3.70×10 ⁸ | 1 | | 37 | |
| | | ^{99m} Tc (肺通气) | 2.22×10 ⁶ | 1 | | 0.222 | |
| | | ²⁰¹ Tl | 3.70×10 ⁶ | 1 | | 0.37 | |
| ⁶⁷ Ga | | 3.70×10 ⁶ | 1 | 0.37 | | | |
| ¹³¹ I (甲测) | | 3.70×10 ³ | 100 | 0.037 | | | |
| ¹³¹ I (甲亢) | | 7.40×10 ⁶ | 100 | 0.74 | | | |
| ¹⁵³ Sm | | 3.108×10 ⁷ | 100 | 310.8 | | | |
| ⁸⁹ Sr | | 2.96×10 ⁶ | 100 | 29.6 | | | |
| ¹⁸⁸ Re | | 1.665×10 ⁷ | 100 | 166.5 | | | |
| ²²³ Ra | | 7.40×10 ⁵ | 100 | 7.40 | | | |
| ³² P | | 1.48×10 ⁶ | 100 | 14.8 | | | |
| ^{99m} Tc (肝癌治疗) | | 1.50×10 ⁶ | 1 | 0.15 | | | |
| ⁹⁰ Y (肝癌治疗) | | 3.0×10 ⁷ | 100 | 0.03 | | | |
| 小计 | | | | | 579.489 | | |

注：1) 储源室内放射性核素活度保守按一次性日最大贮存量进行估算。

2) 放射性固废间内放射性废物中核素活度保守按核素原始使用活度的 1%进行估算。

3) PET/CT 机房、PET/MR 机房合用 ¹⁸F 和 ⁶⁸Ga，每间机房均保守按两种核素的日最大操作量进行估算。

因此，本项目高活室和分装注射室应按照 I 类工作场所进行管理和规划设计；甲测室应按照 III 类工作场所进行管理和规划设计；储源室、肺通气室、服碘室、敷贴室、PET/CT 机房、

PET/MR机房、PET一候室、PET二候室、SPECT/CT机房1、SPECT/CT机房2、SPECT候诊室、留观室、甲亢留观室和放射性固废间均应按照II类工作场所进行管理和规划设计。根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第5.2.2条款规定，本项目不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求具体见表10.1-8。

表10.1-8 本项目核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

| 结构分类 | 结构屏蔽 | 地面 | 表面 | 分装柜 | 通风 | 管道 | 盥洗与去污 |
|------|------|----------|-----|-----|---------|--------------------|------------------------|
| I类 | 需要 | 与墙壁接缝无缝隙 | 易清洗 | 需要 | 特殊的强制通风 | 特殊的管道 ^a | 洗手盆 ^b 和去污设备 |
| II类 | 需要 | 与墙壁接缝无缝隙 | 易清洗 | 需要 | 良好的通风 | 普通管道 | 洗手盆 ^b 和去污设备 |
| III类 | 不需要 | 易清洗 | 易清洗 | 不必须 | 一般自然通风 | 普通管道 | 洗手盆 ^b |

^a下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。^b洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触接触开关控制。

(3) 分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第6.4条款规定，辐射工作场所可分为控制区、监督区，其划分原则如下：控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

根据两区划分原则，结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）等标准规定，本项目拟将核医学工作场所分为“控制区”和“监督区”，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

表 10.1-9 本项目核医学工作场所两区划分情况

| 场所名称 | 控制区 | 监督区 | 备注 |
|---------|--|--|------|
| 核医学工作场所 | 储源室、高活室、分装注射室、放射性固废间、卫生通过间、肺通气室、服碘室、甲测室、敷贴室、运动负荷室、PET/CT 机房、PET/MR 机房、SPECT/CT 机房、PET 一侯室、PET 二侯室、SPECT 候诊室、甲亢留观室、留观室（兼抢救室）、清洁间、患者廊道及核医学科配套的衰变池。 | 控制廊道、给药前候诊区、医生办公室、医务人员卫生间、更衣室、读片室等辅助用房及楼上、楼下等周围环境需关注的敏感区域。 | 见附图5 |

注：基于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第4.3.3条款将卫生通过间划为监督区，《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第5.1.4条款将卫生通过间划为控制区，本次评价从严处理，保守将卫生通过间划定为控制区。

控制区内防护及管理措施如下：a、在控制区进出口及其他适当位置处设置醒目的、符合 GB 18871-2002 附录 F 规定的警告标志，并应给出相应的辐射水平和污染水平的指示；

b、控制区的入口和出口设置门锁权限控制和单向门，非有关职业工作人员严禁入内，不允

许有药的患者随便出入，除特别需要外不允许亲友陪护；c、在控制区入口处提供防护衣具、监测设备和个人衣物贮存柜；d、在控制区的出口处提供皮肤和工作服的污染监测仪、被携出物品的污染监测设备、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的贮存柜；f、定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

监督区防护及管理措施如下：a、以黄色警戒线划出监督区的边界；b、在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；c、给药前候诊区与控制区分割处设置铅防护门，并设置门禁系统，将控制区与监督区分开；d、定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

10.1.3 核医学工作场所辐射屏蔽防护设计

(1) 核医学科

根据医院提供的资料，本项目核医学工作场所辐射防护屏蔽设计参数表见表 10.1-10。

表 10.1-10 核医学工作场所屏蔽防护设计方案

| 工作场所名称 | 屏蔽体 | 屏蔽材料及厚度 |
|---------------------------------|--------------|-------------------------|
| PET/CT 机房、 PET/MR 机房 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 观察窗 | 6mmPb 铅玻璃 |
| | 工作人员防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| | 患者防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 地坪 | 250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| SPECT/CT 机房 1、 SPECT/CT 机房 2 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 观察窗 | 4mmPb 铅玻璃 |
| | 工作人员防护门 | 内衬 4mm 铅板 |
| | 患者防护门 | 内衬 4mm 铅板 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 地坪 | 250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| 分装注射室 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 地坪 | 250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | PET/CT 注射窗 | 40mmPb |
| | PET/MR 注射窗 | 40mmPb |
| | SPECT/CT 注射窗 | 10mmPb |
| 储源室、高活室、 固废间、服碘室 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 地坪 | 250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料 |

续表 10.1-10 核医学工作场所屏蔽防护设计方案

| 工作场所名称 | 屏蔽体 | 屏蔽材料及厚度 |
|--|----------|-------------------------|
| 卫生通过间、肺通气室、甲测室、敷贴室、运动负荷室、SPECT 候检室、甲亢留观室、清洁间 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 防护门 | 内衬 4mm 铅板 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 地坪 | 250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| PET 一侯室、PET 二侯室、留观室（兼抢救室） | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 防护门 | 内衬 15mm 铅板 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 地坪 | 250mm 混凝土+6mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| 患者廊道 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 患者出入口防护门 | 内衬 10mm 铅板 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 地坪 | 250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| 衰变废水真空设备间 | 东、南墙 | 240mm 实心砖+6mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 西、北墙 | 400mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 地坪 | 250mm 混凝土+6mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| 放射性废液处理系统池体间 | 东、西和北墙 | 400mm 混凝土+覆土层 |
| | 南墙 | 350mm 混凝土+覆土层 |
| | 顶棚 | 300mm 混凝土+绿化带覆土 |
| | 地面 | 300mm 钢筋混凝土底板+回填层 |
| 放射性废液处理系统控制室 | 东墙、西墙、南墙 | 250mm 混凝土+覆土层 |
| | 北墙 | 350mm 混凝土+覆土层 |
| | 顶棚 | 300mm 混凝土 |
| | 地面 | 300mm 钢筋混凝土底板+回填层 |

注：1) 混凝土密度不低于 2.35g/cm³，实心砖密度不低于 1.65g/cm³，铅板密度不低于 11.3g/cm³，硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm³。2) 墙体防护涂料采取两面涂刷工艺；顶棚防护涂料涂刷在顶棚上层。

经辐射影响预测，在上述屏蔽防护措施的基础上，本项目核医学科各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中工作场所防护水平要求；职业人员和周围公众年有效剂量均满足 GB 18871-2002 中剂量限值和本项目剂量约束值的要求。同时，基于远期核医学工作场所退役后利于场所功能及布局调整，核医学科各功能用房四侧墙体拟采用实心砖墙+防护涂料进行屏蔽防护。采用上述形式的防护措施，既做到选材最优，亦能够保证满足屏蔽防护性能的需求和空间利用需求。因此，本项目核医学科屏蔽防护设计方案基本合理可行。

(2) 核医学科配套的III类射线装置

本项目 PET/CT、SPECT/CT 均属于III类射线装置,对照《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020), 相关符合性分析见表 10.1-11 和表 10.1-12。

表 10.1-11 射线装置机房的使用面积、单边长度符合性分析

| 场所名称 | 本项目拟设置情况 | | GBZ 130-2020 标准要求 | | 符合性分析 |
|----------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|-------|
| | 有效使用面积 (m ²) | 最小单边长度 (m) | 有效使用面积 (m ²) | 最小单边长度 (m) | |
| PET/CT 机房 | 39.0 (6.25×6.24) | 6.24 | 30 | 4.5 | 符合 |
| SPECT/CT 机房 1 | 35.2 (6.25×5.63) | 5.63 | | | 符合 |
| SPECT/CT2 机房 2 | 33.4 (6.25×5.33) | 5.34 | | | 符合 |

注: 本项目 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房 1、SPECT/CT 机房 2 内分别有 2 根承重柱, 其有效使用面积已按机房内可划出的最大矩形的面积进行核算, 机房内单边长度已按机房内有效使用面积的最小边长。

表 10.1-12 射线装置机房的屏蔽防护设计评价表

| 场所名称 | 屏蔽体 | 屏蔽材料及厚度 | 折算后铅当量 | GBZ 130-2020 标准要求 | 符合性分析 |
|---------------------------------|---------|-----------------------------|--------|---------------------------------------|-------|
| PET/CT 机房 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡防护涂料 | 6mmPb | CT 机房的有用线束方向铅当量和非有用线束方向铅当量均 ≥ 2.5mmPb | 符合 |
| | 观察窗 | 6mmPb 铅玻璃 | 6mmPb | | 符合 |
| | 工作人员防护门 | 内衬 6mm 铅板 | 6mmPb | | 符合 |
| | 患者防护门 | 内衬 6mm 铅板 | 6mmPb | | 符合 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 6mmPb | | 符合 |
| | 地坪 | 250mm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂料 | 7mmPb | | 符合 |
| SPECT/CT 机房 1、 SPECT/CT 机房 2 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖 +2mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4mmPb | CT 机房的有用线束方向铅当量和非有用线束方向铅当量均 ≥ 2.5mmPb | 符合 |
| | 观察窗 | 4mmPb 铅玻璃 | 4mmPb | | 符合 |
| | 工作人员防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 患者防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土 +1mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4mmPb | | 符合 |
| | 地坪 | 250mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 6mmPb | | 符合 |

注: 1) 根据 GBZ 130-2020 表 C.7, 对 140kV (CT) 的 X 射线, 250mm 混凝土保守等效为 3mmPb; 2) 基于 GBZ 130-2020 附录 C 未给出对 140kV 的 X 射线下实心砖等效铅当量的相关数据, 参考《放射防护实用手册》(赵兰才、张丹枫主编) P105 页表 6.14, 可推导出: 对 140kV 的 X 射线, 240mm 实心砖 ($\rho=1.65\text{g/cm}^3$) 保守等效为 2mmPb。

因此, 本项目 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房 1、SPECT/CT 机房 2 的空间布局和屏蔽防护水平均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中限值要求, 设计基本合理可行。

10.1.4核医学科辐射安全和防护及环保相关设施

对照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）等标准要求，本项目核医学科拟采取的辐射安全和防护及环保相关设施如下：

10.1.4.1场所综合管理措施

（1）区域控制区的入口处和各功能房间的防护门外均拟设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

（2）PET/CT、PET/MR、SPECT/CT扫描机房的受检者防护门均拟采用电动推拉门，并拟设置自动闭门装置和防夹装置，机房外门框上方拟设有醒目的工作状态指示灯，并与防护门有效连锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。

（3）在控制台上、机房内、治疗床上拟安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可令PET/CT（PET/MR、SPECT/CT）停止运行。PET/CT、PET/MR、SPECT/CT扫描时，操纵台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

（4）区域控制区内各功能房间及患者廊道拟设置视频监控系统，实现场所治安防控“全覆盖、无死角”，便于观察受检者的情况、核医学工作场所进出口情况。PET/CT、PET/MR、SPECT/CT扫描机房和控制室之间均拟安装观察窗和对讲装置，便于工作人员通过对讲装置于机房内受检者联系。

（5）区域控制区的入口和出口拟设置单向门禁系统，并在相应位置设有明确的患者/受检者导向标识或导向提示。实行“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，加强对控制区内带药患者的管理，并防止无关人员入内。告知检查完成后病人离开路线，防止其对其他公众造成不必要照射。

（6）区域控制区入口处拟张贴人流、物流路线图，明确标出医生、患者等路径走向，做好场所分区管理工作。

（7）分装给药室的出口处拟设置工作人员卫生通过间，内设洗手池、淋浴间及感应式节水座便马桶等，并配有表面污染检测仪器，同时提供必要的可更换衣物和防护用品。从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染检测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

（8）核医学工作场所的上水拟配备洗消处理设备（包括洗消液），控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等均拟采用全自动感应式水龙头，受检者专用卫生间的便

池拟采用感应式节水座便马桶，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

(9) 给药后候诊室和留观室均拟设为多人间，患者与患者之间拟设可移动铅屏风，避免患者之间辐射剂量交叉影响。

(10) PET/CT与SPECT/CT机房产生的臭氧和氮氧化物等非放射性气体，拟通过房间内的机械排风系统同非放射性废气一并收集和处理，最终引至室外，可保证室内工作环境质量。

(11) ^{32}P 敷贴治疗专项辐射防护安全管理措施

a、贮源箱外表面设置醒目的电离辐射警示标识，必须能锁于固定物体上，防止失盗。

b、治疗前，先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。治疗完毕，先如数收回敷贴器再发给治疗卡。由工作人员收回敷贴器放回贮源箱内保存。

c、实施敷贴治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。

d、自制的 ^{32}P 敷贴器，应对其数量、活度、使用情况等进行登记。

10.1.4.2放射性药物运输过程中的防护措施

本项目放射性核素均由有资质的放射性药品运输单位负责运输到医院核医学科内，放射性药品运输应满足《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求，确保运输安全。

10.1.4.3放射性药物贮存过程中的防护措施

(1) 本项目核医学科使用的放射性药物均以符合国家相关标准要求的防护水平的铅罐包装，并暂存于贮源室的保险柜内。放射性药物的放置均合理有序、易于存放，每次存取放射性物质只限于需用的部分。

(2) 贮源室应做好防水、防火、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”工作，具体要求包括：a、设置红外线报警装置，并与当地公安“110”联网；b、设置24小时持续有效的视频监控系统，且录像保存时间为30天，并与科室的值班室联网；c、采用防盗门和保险柜；d、保险柜和防护门外均设置电离辐射警告标识，并实行双人双锁制度；e、配备若干干粉灭火器，库内严禁烟火。

(3) 明确2名以上固定的辐射工作人员进行专人负责贮源室内放射性药物的保管工作。

(4) 贮源室内严禁贮存易燃、易爆、腐蚀性和其它危险物品。

(5) 贮源室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

(6) 贮源室内拟设置机械通风设施，保证库内空气质量。

(7) 医院应建立放射性核素的出入库登记制度，贮存、领取、使用和归还放射性药物

时，应当及时进行登记、检查，做到账物相符。

10.1.4.5放射性药物转移过程中的防护措施

(1) 医院分装注射室和储源室相邻设置，缩短了放射性药物运输路径。

(2) 医院拟配备有足够屏蔽的放射性药物转运容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时拟有适当的固定措施，便于放射性药物的运送。

10.1.4.6放射性药物操作过程中的防护措施

(1) 除注射给药外，其余涉及放射性药物的所有操作均在手套箱内进行，手套箱操作台面要求平整光滑、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的搪瓷盘内进行。手套箱底部拟设有脚踏式铅桶，用于暂时收集放射性废物。

(2) 放射性药物在注射过程中，护士要做好个人防护措施，包括穿戴铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜，铅当量均为0.5mmPb。注射操作台拟采用铅玻璃防护（PET/CT、PET/MR注射窗采用40mmPb铅玻璃，SPECT/CT注射窗采用10mmPb铅玻璃），并使用注射器防护套。注射操作时，护士（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧。病人注射后进入相应的候检室等候。

(3) 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

(4) 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平如超过GBZ 120-2020表2要求，应采取相应去污措施。

(5) 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过GBZ 120-2020表2规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

(6) 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

(7) 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用GBZ 120-2020中6.1.2和附录K所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

10.1.4.7对服药和注射后患者的防护措施

本项目核医学工作场所患者均不需要住院，服药短暂观察后即可直接出院。实行患者与陪护人员及其他公众的隔离管理，隔离期间禁止患者随意流动，并使用病人专用卫生间进行大小便，在观察结束后按指定线路离开核医学科。

10.1.4.8对患者进行外科手术和尸体处理措施

如经过放射性核素治疗的病人需进行外科手术需遵循如下原则：

(1) 应尽可能推迟到患者体内放射性活度降低到可接受水平不需要放射防护时再作手术处理；

(2) 进行手术的外科医生及护理人员应穿戴防护用品并佩戴个人剂量计；

(3) 对手术后的手术间应进行放射防护监测和去污，对敷料、覆盖物等其他物件也应进行放射防护监测，无法去污时应作放射性废物处理。

本项目核医学科对治疗过程出现意外死亡病人的处理不得超过《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中相关标准要求。

10.1.4.9表面污染控制措施

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的标准，本次评价提出以下管理措施和要求：

(1) 放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏。

(2) 操作放射性药物时，拟在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散。

(3) 放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

(4) 操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足GB 18871-2002中规定的标准值。

10.1.4.10内照射防护措施

操作非密封放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，本次评价要求：

(1) 放射性药物暂存、分装、使用均在手套箱中进行，手套箱通风速率不低于0.5m/s。废气末端处理设有二级过滤装置，可以有效降低工作场所空气中的放射性物质浓度。

(2) 严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，禁止在核医学科场所饮食饮水、化妆等。

(3) 辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物撒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备表面。

(4) 严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品，如工作服、手套、

口罩、帽子、防护眼镜等，防止放射性核素沾染手和体表。

(5) 工作人员在卫生通过间进行必要的表面污染监测和污染洗消后方可离开核医学科。

10.1.4.11 人员防护措施

(1) 辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

①屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护手套、铅橡胶围裙等个人防护用品，注射器配备注射防护套。本项目工作场所^{99m}Tc的单次操作活度为925MBq，大于800MBq，拟配置铅当量不低于0.5mmPb的防护用品，同时涉及¹⁸F、⁶⁸Ga等正电子放射性药物和¹³¹I的操作，已在给药前候诊区设有专门的功能间，先留置注射器留置针，符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第6.1.1条款要求。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

④本项目核医学科所有辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

(2) 受检者的防护

为减少受检者的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

①屏蔽防护：PET/CT、PET/MR、SPECT/CT机房内拟为受检者配备个人防护用品，如铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等。

②时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

(3) 其他人员防护

①屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

②时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

③距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防

护距离。

10.1.4.12防护用品和监测仪器配置

本项目核医学工作场所的防护用品和监测仪器配置计划见表10.1-13。

表10.1-13 本项目核医学科防护用品与监测设备配置计划

| 序号 | 用途 | 所需产品名称 | 数量 | 备注 |
|----|--------|-------------|-----|---|
| 1 | 药物贮存 | 储源箱 | 1个 | 拟设于储源室内，防护水平为20mmPb，用于外购的放射性药物的暂存。 |
| | | 贮源箱 | 1个 | 拟设于敷贴室内，内层为有机玻璃，外层为10mm铅，用于自制的 ³² P敷贴器的暂存。 |
| 2 | 药物分装 | 手套箱 | 2个 | 拟设于高活室内，其中1#手套箱的六面和铅玻璃观察窗为50mmPb，风速≥0.5m/s，用于PET的放射性药物移取等操作；2#手套箱的六面及铅玻璃观察窗均设计为10mmPb，风速≥0.5m/s，用于SPECT的放射性药物移取等操作； |
| | | 手动分装仪 | 1个 | 拟设于2#手套箱内，用于 ¹³¹ I（甲测）和 ¹⁸ F药物人工分装。 |
| | | 自动分碘仪 | 1个 | 拟设于服碘室，防护水平为20mmPb，用于 ¹³¹ I（甲亢治疗）药物自动分装。 |
| 3 | 药物质控 | 活度计 | 3个 | 1#手套箱、2#手套箱、分装注射室内分别拟设1个活度计，用于放射性药物活度测定。 |
| 4 | 药物运输 | 注射器防护套 | 4个 | 拟设于分装注射室内，其中 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga核素共用2个10mmPb注射器防护套和2个10mmPb铅转移盒； ^{99m} Tc、 ²⁰¹ Tl、 ⁶⁷ Ga、 ¹⁵³ Sm、 ⁸⁹ Sr、 ²²³ Ra共用2个10mmPb注射器防护套和2个10mmPb铅转移盒。 |
| | | 铅转移盒 | 4个 | |
| 5 | 药物注射 | PET/CT注射窗 | 1个 | 拟设于分装注射室内，铅玻璃设计为40mmPb |
| | | PET/MR注射窗 | 1个 | 拟设于分装注射室内，铅玻璃设计为40mmPb |
| | | SPECT/CT注射窗 | 1个 | 拟设于分装注射室内，铅玻璃设计为10mmPb |
| 6 | 废物处理 | 放射性铅废物桶 | 12个 | 高活室和分装注射室各设置2个容积为20L的脚踏式铅桶，防护水平均为10mmPb；PET一候室、PET二候室、SPECT候诊室、服碘室、留观室、甲亢留观室各设置1个容积为20L的脚踏式铅桶，防护水平为10mmPb；敷贴室、甲测室各设置1个容积为5L的脚踏式铅桶，防护水平均为2mmPb。 |
| | | 放射性铅衰变箱 | 6个 | 放射性固废间拟设置6个，防护水平均为20mmPb，其中2个衰变箱设计容积均为0.6m ³ ，用于 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹⁸⁸ Re等半衰期小于24h的核素废物衰变的交替贮存；2个衰变箱设计容积均为0.1m ³ ，用于 ²⁰¹ Tl、 ⁶⁷ Ga、 ¹⁵³ Sm、 ²²³ Ra、 ³² P等半衰期大于24h的核素废物衰变的交替贮存；2个衰变箱设计容积均为1.0m ³ ，防护水平为20mmPb，用于 ¹³¹ I和 ⁸⁹ Sr核素废物衰变的交替贮存。 |
| | | 放射性废液铅罐 | 2个 | 设计容积为0.4m ³ ，防护水平为10mmPb，用于 ⁸⁹ Sr、 ²²³ Ra、 ³² P等核素废水的暂存。 |
| 7 | 辐射事故应急 | 应急及去污用品 | 1个 | 拟设于分装注射室内，主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或清洗剂（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。 |
| | | 远距离取物夹 | 2个 | 高活室和分装注射室内分别拟设1个远距离取物夹，用于辐射应急使用。 |

续表10.1-13 本项目核医学科防护用品与监测设备配置计划

| 序号 | 用途 | 所需产品名称 | 数量 | 备注 |
|----|--------|---------------------------|-----|---|
| 8 | 个人防护用品 | 移动式铅屏风 | 7个 | PET/CT、PET/MR机房、PET一候室、PET二候室拟设1个10mmPb移动式铅屏风；SPECT/CT机房1、SPECT/CT机房2及SPECT候诊室拟设1个2mmPb移动式铅屏风，避免患者与患者（或医护人员）之间辐射交叉影响。 |
| | | 铅橡胶衣、铅橡胶围裙、放射性污染防护服、铅橡胶颈套 | 2套 | |
| | | 个人剂量计 | 21个 | 一名辐射工作人员一个 |
| | | 个人剂量报警仪 | 12个 | |
| | | 橡胶板 | 2个 | 不小于3mm厚，用于 ³² P敷贴治疗。 |
| 9 | 辐射监测仪器 | 便携式X-γ辐射监测仪 | 1台 | 主要用于场所的日常辐射剂量检测。 |
| | | α、β表面污染监测仪 | 1台 | 主要用于场所的日常表面污染检测和物品离开核医学科控制区时的表面污染检测。 |

10.2 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所安全设施

本项目 ⁹⁰Y 肝癌治疗中 ^{99m}Tc 和 ⁹⁰Y 的活度测量和抽取、SPECT/CT 扫描等工作场所均依托核医学科，所属场所的辐射安全相关分析已在“10.1 核医学工作场所安全设施”进行了详细分析，此处本次评价仅针对 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所展开相关分析。

10.2.1 场所选址平面布局

本项目 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所位于医技楼一层介入中心，由 DSA 机房、储源室（兼污物间）、清洗间等功能间组成。场所六侧的相邻环境关系见表 10.2-1。

表10.2-1 本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所的六侧相邻环境关系表

| 场所名称 | 场所位置 | 东侧 | 南侧 | 西侧 | 北侧 | 正上方 | 正下方 |
|-------------------------|------------------|-------------|----|---------|-----|-------------|----------|
| ⁹⁰ Y肝癌治疗工作场所 | 医技楼一层 1#DSA机房 | 设备间 和控制室 | 廊道 | 2#DSA机房 | 污物廊 | CT机房、更衣室和库房 | 地下 车库 |

场址选择已充分考虑周围场所的安全，不毗邻儿科、产科、食堂等部门及人员密集区，与周围非放射性工作场所有明确的分界隔离，布局功能齐全，可保证工作的正常开展；配套的 DSA 的有用线束设计已避开直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 120-202）中“选址与布局”要求，基本合理可行。

10.2.2 非密封放射性工作场所分级、分类及分区管理

(1) 场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)附录C中C2条款规定,本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所的日等效操作量核算结果具体见表10.2-2。

表10.2-2 本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所分级计算结果

| 场所名称 | 核素名称 | 计划日最大操作量 (Bq) | 毒性组别修正因子 | 操作方式与放射源状态修正因子 | 日等效最大操作量 (Bq) | |
|---------------------------------|-------------------|---------------|---------------------|----------------|---------------|-----------------------|
| ⁹⁰ Y 肝癌治疗 工作场所 | ^{99m} Tc | 介入注射 | 1.5×10 ⁸ | 0.01 | 10 | 1.5×10 ⁵ |
| | ⁹⁰ Y | 介入注射 | 3.0×10 ⁹ | 0.1 | 10 | 3.0×10 ⁷ |
| | 小计 | | | | | 3.015×10 ⁷ |

因此,本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所同时操作上述放射性核素时日等效操作量为3.015×10⁷Bq,在2×10⁷~4×10⁹Bq范围内,则非密封放射性物质工作场所等级为乙级。

(2) 场所分类

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)附录G的G.2条款,本项目⁹⁰Y肝癌工作场所分类的加权活度计算结果见表10.2-3。

表 10.2-3 不同核医学工作场所类别计算结果

| 场所名称 | 核素名称 | 计划日最大活度 (Bq) | 毒性权重因子 | 操作性质修正因子 | 加权活度 (MBq) | 场所类别 | |
|----------------------------------|--------------|-------------------|---------------------|----------|------------|---------------------|------|
| ⁹⁰ Y 肝癌 治疗工作 场所 | 储源室 | ^{99m} Tc | 1.5×10 ⁸ | 1 | 100 | 1.5 | III类 |
| | | ⁹⁰ Y | 3.0×10 ⁹ | 100 | | 30 | |
| | | 小计 | | | | 31.5 | |
| | 1# DSA 机房 | ^{99m} Tc | 1.5×10 ⁸ | 1 | 1 | 150 | I类 |
| | | ⁹⁰ Y | 3.0×10 ⁹ | 100 | | 3.0×10 ⁵ | |
| | | 小计 | | | | 300150 | |
| | 污物间 | ^{99m} Tc | 1.5×10 ⁸ | 1 | 10 | 15 | II类 |
| | | ⁹⁰ Y | 3.0×10 ⁹ | 100 | | 30000 | |
| | | 小计 | | | | 30015 | |

注: 1) 储源室内放射性核素活度保守按一次性日最大贮存量进行估算。

2) 污物间内放射性废物中核素活度保守按核素原始使用活度的1%进行估算。

因此,本项目储源室(兼污物间)应按照II类工作场所进行管理和规划设计;1#DSA机房应按照I类工作场所进行管理和规划设计,用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求应满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)第5.2.2条款规定。

(3) 场所分区

根据GB 18871-2002中两区划分原则,结合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)等标准规定,本项目拟将⁹⁰Y肝癌治疗

工作场所分为“控制区”和“监督区”，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

表 10.2-4 本项目 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所两区划分情况

| 场所名称 | 控制区 | 监督区 | 备注 |
|--------------------------|---|------------------------------|--------|
| ⁹⁰ Y 肝癌治疗工作场所 | 储源室（兼污物间）、1#DSA 机房、清洗间及 ⁹⁰ Y 专用病房（临时控制区） | 控制室等辅助用房及楼上、楼下等周围环境需关注的敏感区域。 | 见附图 11 |

10.2.3 ⁹⁰Y 工作场所辐射屏蔽防护方案

根据医院提供的资料，本项目 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所屏蔽防护设计方案见表 10.2-5。

表 10.2-5 本项目 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所屏蔽防护设计方案

| 工作场所名称 | | 屏蔽体 | 屏蔽材料及厚度 |
|-------------------------------------|----------|-----------|-------------------------|
| ⁹⁰ Y 肝癌治疗工作场所（医技楼一层介入中心） | 1#DSA 机房 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | | 观察窗 | 4mmPb 铅玻璃 |
| | | 工作人员防护门 | 内衬 4mm 铅板 |
| | | 患者防护门 | 内衬 4mm 铅板 |
| | | 顶棚 | 150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | | 地坪 | 180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | 储源室、清洗间 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | | 防护门 | 内衬 4mm 铅板 |
| | | 顶棚 | 150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| | | 地坪 | 180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料 |
| ⁹⁰ Y 治疗专用病房（内科病房楼十六层） | 四侧墙体 | 240mm 实心砖 | |
| | 顶棚 | 130mm 混凝土 | |
| | 地坪 | 130mm 混凝土 | |

注：1) 混凝土密度不低于 2.35g/cm³，实心砖密度不低于 1.65g/cm³，铅板密度不低于 11.3g/cm³，硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm³。2) 墙体防护涂料采取两面涂刷工艺；顶棚防护涂料涂刷在顶棚上层。

(2) ⁹⁰Y 治疗机房配套的 II 类射线装置

本项目 DSA 属于单管头 X 射线设备，对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），相关符合性分析见表 10.2-6 和表 10.2-7。

表 10.2-6 本项目 ⁹⁰Y 治疗机房（1#DSA 机房）的使用面积、单边长度符合性分析

| 场所名称 | 本项目拟设置情况 | | GBZ 130-2020 标准要求 | | 符合性分析 |
|--------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|-------|
| | 有效使用面积（m ² ） | 最小单边长度（m） | 有效使用面积（m ² ） | 最小单边长度（m） | |
| ⁹⁰ Y 治疗机房（1#DSA 机房） | 48.84（7.4×6.6） | 6.6 | 20 | 4.5 | 符合 |

注：本项目 ⁹⁰Y 治疗机房（1#DSA 机房）内有 2 根承重柱，其有效使用面积已按机房内可划出的最大矩形的面积进行核算，机房内单边长度已按机房内有效使用面积的最小边长。

表 10.2-7 本项目 ⁹⁰Y 治疗机房（1#DSA 机房）的屏蔽防护设计评价表

| 场所名称 | 屏蔽体 | 屏蔽材料及厚度 | 折算后铅当量 | GBZ 130-2020 标准要求 | 符合性分析 |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------------|---------|--|-------|
| ⁹⁰ Y 治疗机房 （1#DSA 机房） | 四侧墙体 | 240mm 实心砖 +2mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4mmPb | 本项目 DSA 属于 C 形臂 X 射线设备，有用线束方向和非用线束方向铅当量均应 ≥ 2mmPb；同时具有摄影功能，最大管电压为 150kV，有用线束方向铅当量应 ≥ 3mmPb，非用线束方向铅当量应 ≥ 2mmPb。 | 符合 |
| | 观察窗 | 4mmPb 铅玻璃 | 4mmPb | | 符合 |
| | 工作人员防护门 （1 扇） | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 患者防护门 （1 扇） | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 朝向清洁间防护门 （1 扇） | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 朝向储源室防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 顶棚 | 150mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4.5mmPb | | 符合 |
| | 地坪 | 180mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4.9mmPb | | 符合 |

1) 根据 GBZ 130-2020 表 C.4 和表 C.5，采用内插法可推导出：对 150kV（有用线束）的 X 射线，150mm 混凝土保守等效为 1.5mmPb，180mm 混凝土保守等效为 1.9mmPb；2) 基于 GBZ 130-2020 附录 C 未给出对 150kV 的 X 射线下实心砖等效铅当量的相关数据，参考《放射防护实用手册》（赵兰才、张丹枫主编）表 6.14，可推导出：对 150kV 的 X 射线，240mm 实心砖（ $\rho=1.65\text{g/cm}^3$ ）保守等效为 2mmPb。

因此，本项目 ⁹⁰Y 治疗机房的空间布局和屏蔽防护水平均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中限值要求。同时，经辐射影响预测，在上述屏蔽防护措施的基础上，本项目 ⁹⁰Y 治疗工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中工作场所防护水平要求；职业人员和周围公众年有效剂量均满足 GB 18871-2002 中剂量限值和本项目剂量约束值的要求。因此，本项目 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所屏蔽防护设计方案基本合理可行。

10.2.4 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所辐射安全和防护及环保相关设施

本项目 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所涉及核医学科和放射介入科，具有综合性和复杂性，既需满足非密封放射性物质场所的管理要求，同时还需要满足 II 类射线装置（DSA）的管理要求。该场所的储源室、表面污染控制、外照射防护、内照射防护等管控及核素操作人员的基本防护要求分别见本报告前文 10.1.4 章节，参考核医学科进行管理；DSA 机房的管控和介入手术人员的基本防护要求见本报后文告 10.4.4 章节，参考放射介入科进行管理，此处不再重复表述，本章节仅针对 ⁹⁰Y 树脂微球本身的特殊要求展开分析。

10.2.4.1 放射性药物转移过程安全措施

(1) 本项目 ^{90}Y 肝癌治疗所需的 ^{90}Y 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物依托于外科病房楼地下一层核医学科的手套箱内活度测量和抽取后，取药后置于剂量瓶中，该剂量瓶通过一层 6mm 厚有机玻璃进行屏蔽防护，在该屏蔽之外，有另一有机玻璃转运筒（厚度约 18mm）和 15mmPb 防护铅罐进行进一步屏蔽和防护。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物活度测量和抽取后置入西林瓶中，采用 4mmPb 防护铅罐进行屏蔽和防护。

(2) 选择在上班前人流少的情况下，由辐射工作人员将该部分放射性药物从外科病房楼地下一层核医学科送入医技楼一层介入中心的 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所的储源室后妥善储存备用，防止意外撒漏。

10.2.4.2 ^{90}Y 树脂微球操作管理要求

(1) ^{90}Y 树脂微球抽取、活度测量应按照辐射工作场所的级别在手套箱等密闭设备中进行操作，设备应有适当屏蔽。

(2) ^{90}Y 树脂微球介入治疗过程中应用采取措施（比如用吸水纸等覆盖宜洒落药品的所有区域），避免药品洒落区域污染。在手术之前，建议技师应在可能存在放射性污染的地面粘贴一次性铺巾，通常是手术台和放置 ^{90}Y 微球推车之间的地板。导管的接头下方需放置双层铺巾，以防止术中发生放射性污染。

(3) 普通导管用于动脉造影，而 ^{90}Y 微导管是治疗性导管，一旦完成 ^{90}Y 微球注射，不可进行重复使用，以避免发生放射性污染。

(4) 介入注射完 ^{90}Y 树脂微球后，应及时使用辐射监测仪监测，确定导管接口处无残余放射性后方可将微导管从普通导管中移出，经包裹处理后放入带屏蔽的固体放射性废物桶内。

(5) ^{90}Y 树脂微球介入治疗场所应配备表面污染监测仪，每次手术结束后对手术床工作台面、工作椅、地面等区域进行表面污染监测，确保辐射工作场所的表面污染水平低于控制标准；如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

(6) 如 ^{90}Y 树脂微球洒落而发生污染，应封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所去污和人员应急处理。

10.2.4.3 患者管理

(1) 患者在接受树脂微球输注后，需要平躺2-6小时止血，并观察是否有术后不良反应，

严格按照术后留观制度执行。

(2) 接受⁹⁰Y树脂微球放射性治疗后需要住院的病人，住院场所建议与常规住院病人分开。患者住院后，应在限定区域活动。

(3) 患者住院期间产生的放射性废液应单独收集存放，暂存一个星期后可自行排放。初次使用的单位建议对收集的废液进行监测。

(4) 医护人员宜通过视频及对讲进行查房等医疗活动，必须进入专用病房对患者进行救治时，应穿戴个人防护用品。

(5) ⁹⁰Y为纯β核素，由患者对监护人员造成的辐射危害是微小的，因为放射穿透力在很大程度上将限制在患者身体内。但仍应遵守以下预防措施：如果需要更换植入部位/伤口的敷料，护理人员应佩戴手套。将使用过的敷料和手套放在固体废弃物袋子中，统一收集处理。

(6) 为了提示患者是有潜在放射性危害的，应当在床头放置一个写有放射性危害的标牌并且患者应当佩带一条具有电离辐射危害标志的身份腕带以示放射危险。

(7) 本项目拟于内科病房楼16层的东南角设置1间⁹⁰Y治疗专用病房（兼留观），属于双人间，拟设物理隔断，避免患者之间剂量交叉。该⁹⁰Y病房周围及相邻楼层（含楼上和楼下）主要为标准病房，不涉及产科和儿科病房，在做好辐射安全管理的基础上，对周围公众影响较小。

10.2.4.4⁹⁰Y树脂微球手术专用的防护配件

⁹⁰Y树脂微球手术专用的防护配件是为了满足放射安全的基本原则以及协助手术中处理⁹⁰Y树脂微球产品而设计的，主要使用有机玻璃（丙烯酸树脂类）和铅材料。此外，为防止放射性污染，需在手术室中可能存在放射性污染的地面粘贴一次性铺巾，通常是手术台和放置⁹⁰Y微球推车之间的地板。导管的接头下方需放置双层铺巾，以防止术中发生放射性污染。

表 10.2-8 ⁹⁰Y树脂微球手术专用的防护配件

| 序号 | 防护用品 | 数量 | 备注 |
|----|-----------------------------|-------|------------------------|
| 1 | 传输系统防护（有机玻璃，6mm） | 1套/手术 | 针对 ⁹⁰ Y药物 |
| 2 | V型瓶防护（V型瓶支架） （有机玻璃，18mm） | 1个/手术 | |
| 3 | 注射器防护套（有机玻璃，15mm） | 1个/手术 | |
| 4 | 储备瓶（运输瓶）铅罐 （15mm铅当量） | 1个/手术 | |
| 5 | 转移铅罐（4mm铅当量） | 1个/手术 | 针对 ^{99m} Tc药物 |
| 6 | 一次性吸收衬层及托盘 | 按需配置 | 容纳任何意外溢漏的污染物 |

10.2.4.5 防护用品和监测设备配置计划

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所防护用品和监测设备配置计划见表10.2-9。

表 10.2-9 ⁹⁰Y 治疗工作场所防护用品和监测设备配置计划

| 序号 | 项目类型 | 所需用品名称 | 数量 | 备注 |
|----|--------|--|------|---|
| 1 | 药物暂存 | 储源箱 | 1 个 | 拟设于储源室内，防护水平为 20mmPb，用于从核医学科取来的放射性药物的临时暂存。 |
| 2 | 废物处理 | 放射性铅废物桶 | 2 个 | 拟设于 1#DSA 机房内，设计容积均 10L，防护水平为 10mmPb。 |
| | | 铅衰变箱 | 1 个 | 拟设于污物间内，设计容积均为 0.1m ³ ，防护水平为 10mmPb。 |
| | | 放射性废液铅罐 | 2 个 | 拟设于清洗间内，设计容积为 0.2m ³ ，防护水平为 10mmPb。 |
| 3 | 辐射应急 | 应急及去污用品 | 1 个 | 主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或清洗剂(至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水)；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔(水溶性油墨)、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。 |
| | | 远距离取物夹 | 1 个 | |
| 4 | 个人防护用品 | 铅橡胶衣、铅橡胶围裙、放射性污染防护服、铅橡胶颈套、铅帽、铅眼镜、铅介入手套 | 2 件 | |
| | | 个人剂量计 | 10 个 | 每名手术工作人员均佩戴双剂量计，即在铅围裙外锁骨对应的位置和铅围裙内躯干上各佩戴一个剂量计；每名设备操作的技师佩戴一个剂量计。 |
| | | 个人剂量报警仪 | 4 个 | |
| 5 | 辐射检测仪器 | 便携式 X-γ辐射监测仪 | 1 台 | 主要用于场所的日常辐射剂量检测。 |
| | | β表面污染监测仪 | 1 台 | 主要用于场所的日常表面污染检测和物品离开手术室控制区时的表面污染检测。 |

10.3 放疗工作场所安全设施

10.3.1 场所平面布局合理性分析

本项目放疗工作场所位于外科病房楼外围北侧的地下二层，主要包括3间放疗机房，从东到西依次分别为2#加速器、1#加速器、后装机，并排对称设置，并配套控制室、水冷机房和准备区等辅助用房。各放疗机房六侧的相邻环境关系见表10.3-1。

表10.3-1 各放疗机房六侧的相邻环境关系

| 场所名称 | 场所位置 | 东侧 | 南侧 | 西侧 | 北侧 | 正上方 | 正下方 |
|---------|----------------|---------|--------------|---------|----|---------|-----|
| 1#加速器机房 | 外科病房楼北侧外围的地下二层 | 2#加速器机房 | 控制间、准备间、水冷机房 | 后装机 | 土层 | 衰变池和覆土层 | 土层 |
| 2#加速器机房 | | 土层 | 控制间、准备间 | 1#加速器机房 | 土层 | 衰变池和覆土层 | 土层 |
| 后装机 | | 1#加速器机房 | 控制间、准备间 | 土层 | 土层 | 衰变池和覆土层 | 土层 |

每间加速器机房均由治疗室、迷道和防护门组成，治疗室与控制室、水冷机房分开设置，有用线束不向迷路照射和控制室。后装机房由治疗室、迷道和防护门组成，治疗室与控制室分开设置。放疗机房选址于地下二层的东北端，周围不邻近儿科病房、产房及商业活动区域。因此，本项目加速器机房和后装机房的选址和布局均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“选址和布局”要求，基本合理可行。

10.3.2 机房空间要求合理性分析

根据本项目设计方案，1#、2#加速器机房的治疗室净面积均为63m²，后装机机房的治疗室净面积为34.46m²，具有足够的有效使用面积，可确保放射治疗设备的临床应用需要，可以满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）第6.2.1条款“有效使用空间”要求。

10.3.3 分区管理

根据 GB 18871-2002 中两区划分原则，结合《放射治疗辐射安全和防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）等标准规定，本项目拟将放疗工作场所分为“控制区”和“监督区”，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

表 10.3-2 本项目放疗工作场所两区划分情况

| 场所名称 | 控制区 | 监督区 | 备注 |
|-------|-----------------|-------------------------------|--------|
| 直线加速器 | 1#加速器机房、2#加速器机房 | 控制室、准备间、水冷机房、绿化带覆土层等周围需关注的监督区 | 见附图 16 |
| 后装机 | 后装机房 | 控制室、准备间、辅助用房、绿化带覆土层等周围需关注的监督区 | |

10.3.3 放疗科辐射屏蔽防护设计

(1) 场所屏蔽

根据医院提供资料，本项目放疗机房辐射防护屏蔽设计参数表见表 10.3-3。

表 10.3-3 本项目放疗工作场所屏蔽辐射防护屏蔽设计方案

| 机房名称 | 屏蔽体 | 区域 | 照射线束 | 屏蔽材料及厚度 | 宽度 |
|-----------------|--------------------|------|----------------------|-----------------------|--------|
| 1#加速器机房、2#加速器机房 | 东墙 | 主屏蔽区 | 有用线束 | 3000mm 混凝土 | 4800mm |
| | | 次屏蔽区 | 非有用线束 | 1800mm 混凝土 | / |
| | 南墙 (迷道墙) | 迷道内墙 | 非有用线束 | 1500mm 混凝土 | / |
| | | 迷道外墙 | | 1000~1800mm 混凝土 | / |
| | 西墙 | 主屏蔽区 | 有用线束 | 3000mm 混凝土 | 4800mm |
| | | 次屏蔽区 | 非有用线束 | 1800mm 混凝土 | / |
| | 北墙 | 侧屏蔽区 | 非有用线束 | 1800mm 混凝土 | / |
| | 顶棚 | 主屏蔽区 | 有用线束 | 2500mm 混凝土+300mm 混凝土 | 4800mm |
| | | 次屏蔽区 | 非有用线束 | 1600mm 混凝土 | / |
| | 地坪 | | | 500mm 混凝土+600mm 轻质混凝土 | / |
| 防护门 | | | 20mm 铅+140mm5%含硼聚乙烯板 | / | |
| 后装机机房 | 东墙 (与1#加速器机房共用) | | 有用线束 | 1800mm~3000mm 混凝土 | / |
| | 南墙 (迷道墙) | 迷道内墙 | 有用线束 | 700mm 混凝土 | / |
| | | 迷道外墙 | | 700mm 混凝土 | / |
| | 西墙 | | 有用线束 | 700mm 混凝土 | / |
| | 北墙 | | 有用线束 | 700mm 混凝土 | / |
| | 顶棚 | | 有用线束 | 700mm 混凝土+300mm 混凝土 | / |
| | 地坪 | | 有用线束 | 500mm 混凝土+600mm 轻质混凝土 | / |
| 防护门 | | 有用线束 | 10mm 铅 | / | |

注：表中“混凝土”指普通混凝土，密度不低于 2.35g/cm³；铅板密度不低于 11.3g/cm³；轻质混凝土密度不低于 1.80g/cm³。

经辐射影响预测，在上述屏蔽防护措施的基础上，本项目各放疗机房的四周墙壁和防护门外表面 30cm 处的周围剂量当量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 中工作场所防护水平要求；职业人员和周围公众年有效剂量均满足 GB 18871-2002 中剂量限值和本项目剂量约束值的要求。同时本项目新建放疗机房选用普通混凝土作为屏蔽材料，已考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，满足 GBZ 121-2020 第 6.3.3 条款中对“屏蔽材料”的要求。因此，本项目放疗机房的屏蔽防护设计方案基本合理可行。

实际施工中，医院应加强施工质量保证，具体要求：

a、放疗机房屏蔽墙及屋顶属大体积混凝土浇筑，应尽量保证一次整体浇筑并有充分的振捣，以防出现裂缝和过大的气孔，影响屏蔽效果。

b、穿过放疗机房墙的管线孔（包括通风、电器、水管等）应避免控制台等人员高驻留区，并采用多折曲路，有效控制管线孔的辐射泄漏。

c、放疗机房的防护门安装时应尽可能减少缝隙泄漏辐射，通常防护门宽与门洞的部分应大于“门-墙”间歇的10倍。

(2) 电缆及水管敷设方案

加速器治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，并以“U”字型穿过迷路外墙。电缆沟埋深 300mm，宽度 350mm，盖板采用 4mm 厚铅板覆盖，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的铅板。

后装机治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，并以“U”字型穿过迷路外墙。电缆沟埋深 300mm，宽度 250mm，盖板采用 4mm 厚铅板覆盖，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

加速器机房和后装机机房的电缆管线管道穿墙方式分别见图 10.3-1 和图 10.3-2。

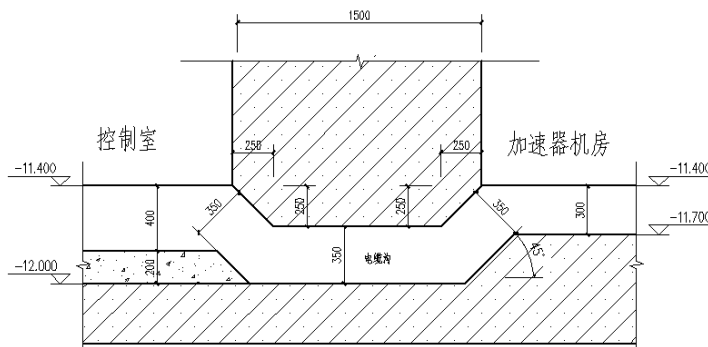


图 10.3-1 加速器电缆沟穿墙示意图

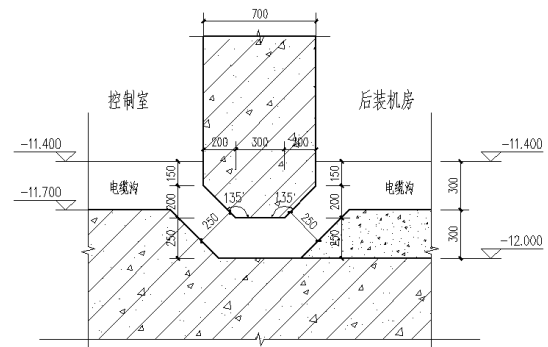


图 10.3-2 后装机电缆沟穿墙示意图

(3) 通排风管道设计方案

本项目每间直线加速器机房拟设1套通排风系统，设计风量均为4000m³/h。进风管道拟由控制室迷道外墙进入机房，绕经迷道进入治疗室，进风口（2个，设计尺寸均为400mm×200mm）布排在装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，故排风口（2个，设计尺寸为800mm×250mm）拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地约30cm。进风口和排风口对角设置，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁向上接近顶板处，控制室迷道外墙防护门上方通往室外，风管拟以45°斜穿过迷道口处防护门上方墙体，送排风管与墙体缝隙接口处以8mm铅板包裹防护。加速器机房内的臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体由风机引至外科病房楼的楼顶高空排放。机房净容积约391.6m³（含迷道），有效通风换气次数不小于10次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求。

后装机房拟设1套通排风系统，设计风量为4000m³/h。进风管道拟由控制室迷道外墙进入机房，绕经迷道进入治疗室，进风口（1个，设计尺寸均为400mm×200mm）布排在装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口（1个，设计尺寸为800mm×250mm）拟设置在机房内西北端的墙角处，风管底部（吸风口）离地约30cm。进风口和排风口对角设置，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁向上接近顶板处，控制室迷道外墙防护门上方通往室外，风管拟以45°斜穿过迷道口处防护门上方墙体，送排风管与墙体缝隙接口处以5mm铅板包裹防护。后装机机房内的臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体由风机引至外科病房楼的楼顶高空排放。机房容积约209m³（含迷道），有效通风换气次数不小于19次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求。

加速器机房和后装机机房通排风方案设计图见图10.3-3。

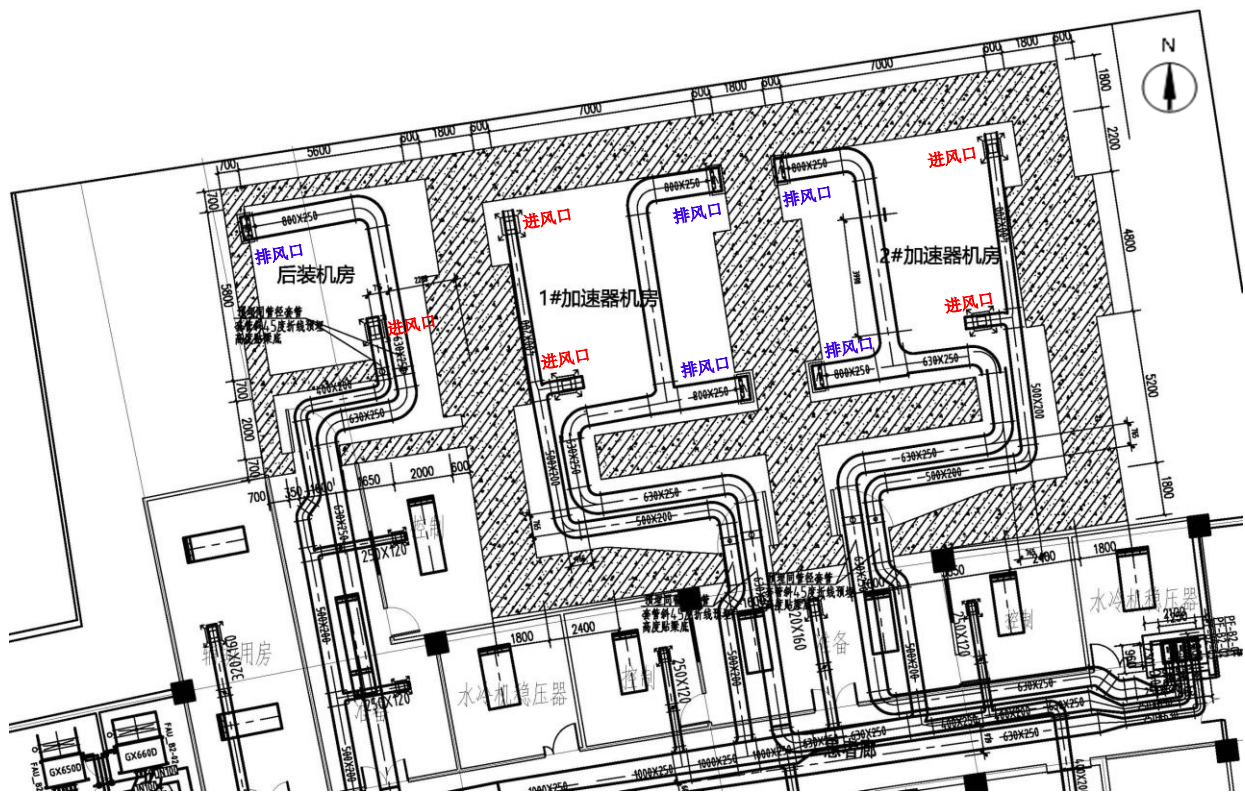


图 10.3-3 加速器机房和后装机机房通排风设计方案示意图

综上所述，本项目放疗机房的通风设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）第 8.4.1 条款、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）第 6.2.1 条款中“通风”要求。

10.3.3 放疗工作场所辐射安全和防护及环保相关设施

10.3.3.1 放疗工作场所辐射安全和防护措施

(1) 场所综合管理措施

基于直线加速器机房和后装机房均属于放疗机房，在辐射安全管理上具有相似性和差异性。为方便医院后期的实际管理，本次评价在《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）等标准的基础上，并结合《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）对放射源的相关管理要求，对本项目放疗机房投入运行后拟采取的辐射安全和防护措施进行了梳理和汇总，具体见表10.3-4。

表10.3-4 本项目放疗机房拟采取的辐射安全和防护措施

| 场所名称 | 序号 | 名称 | 措施内容 |
|---|----|---------------|--|
| 共性 (加速器 机房和后 装机机房 均需满 足) | 1 | 灯机联锁 | 每间放疗机房的防护门外拟设置工作状态指示灯及电离辐射警示标志，工作指示灯与辐射设备联锁，出束时灯亮。 |
| | 2 | 门机(源) 联锁 | 每间放疗机房的防护门拟设置门机(源)联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。 |
| | 3 | 门控按钮 | 每间放疗机房在防护门外旁侧拟安装1个关门按钮(只关不开)，在防护门内侧迷道墙壁上拟安装1个开门按钮(只开不关)，在控制室内设开、关门按钮。 |
| | 4 | 急停按钮 | 每间放疗机房的治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙面和放疗设备的控制台等处分别拟设置1个急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。 |
| | 5 | 防夹装置 | 每间放疗机房的防护门拟设置防夹装置，当有人进出防护门时，防护门自动停止关门动作；还应设置手动装置。 |
| | 6 | 固定式剂量 监测系统 | 每间放疗机房均拟配备1套固定式剂量监测系统，在治疗室内设置固定式辐射剂量监测仪探头，该监测系统能够显示机房内实时剂量计及累积剂量，并有报警功能，其显示单元设置在控制室。 |
| | 7 | 视频监控和 对讲系统 | 每间放疗机房的治疗室和控制室之间拟安装有监控和双向交流对讲系统，每个治疗室内设4个摄像头、迷道内设2个摄像头，能够保证机房内无死角监控，显示屏设在控制室内，操作人员能够实时监视治疗室内患者的治疗状态、治疗室和迷道区域情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便医师在控制室观察患者在治疗室内的状况、及时处理意外情况。 |
| | 8 | 机械 通风装置 | 每间放疗机房均拟1套设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换，通风换气次数均不小于4次/h。 |
| | 9 | 警戒线 | 每间放疗机房的受检者入口门外拟划定1m黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。 |
| | 10 | 规章制度 | 每间放疗机房的控制室拟张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责及辐射事故应急预案等。 |

续表10.3-4 本项目放疗机房辐射安全和防护措施

| 场所名称 | 序号 | 名称 | 措施内容 |
|-------------------------------------|----|---------|---|
| 仅针对加速器机房 | 1 | 废靶处置 | 加速器更换的废靶应作为放射性固废处置，拆卸后先放进机房内放射性铅桶暂存，由设备厂家负责回收。 |
| 仅针后装机房,涉及到III类放射源 ¹⁹² Ir | 1 | 回源装置 | 后装机应设有断电自动回源装置。后装放射治疗操作中，当自动回源装置功能失效时，应有手动回源的应急处理措施。 |
| | 2 | 应急工具 | 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄夹子等应急工具。 |
| | 3 | 废源处置 | 后装机产生的废旧放射源 ¹⁹² Ir应按法律法规要求返回放射源生产厂家进行回收处置。本项目放射源更换前计划保存在后装治疗机贮源罐中，医院不再设置专门的放射源暂存柜或其他放射源暂存设施。 |
| | 4 | 换源 | 医院内部不得自行开展后装机换源工作，同时需制定废源倒装过程辐射防护与安全措施，规范放射源转移操作。 |
| | 5 | 六防及安保措施 | 后装机治疗室应安装视频监控和入侵报警装置，安装防盗门等安全防范设施，确保满足“防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏”等六防的要求。同时，应将后装机房纳入到医院日常安保巡查的重点工作范围内。 |

(2) 辐射安全设施布置方案

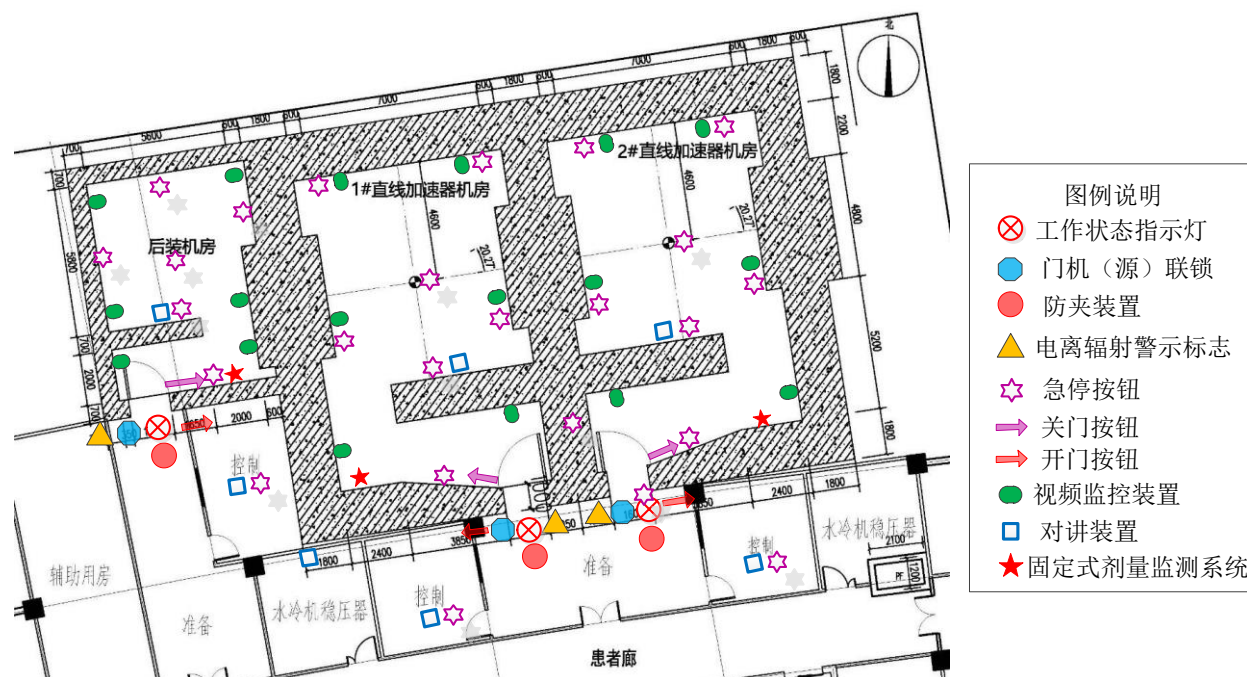


图10.3-4 放疗机房辐射安全设施布置方案图

本项目放疗机房辐射安全设施的布置可满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)等标准要求，方案基本合理可行。

(3) 辐射安全联锁的逻辑关系

本项目放疗机房辐射安全联锁的逻辑关系见图10.3-5和图10.3-6。

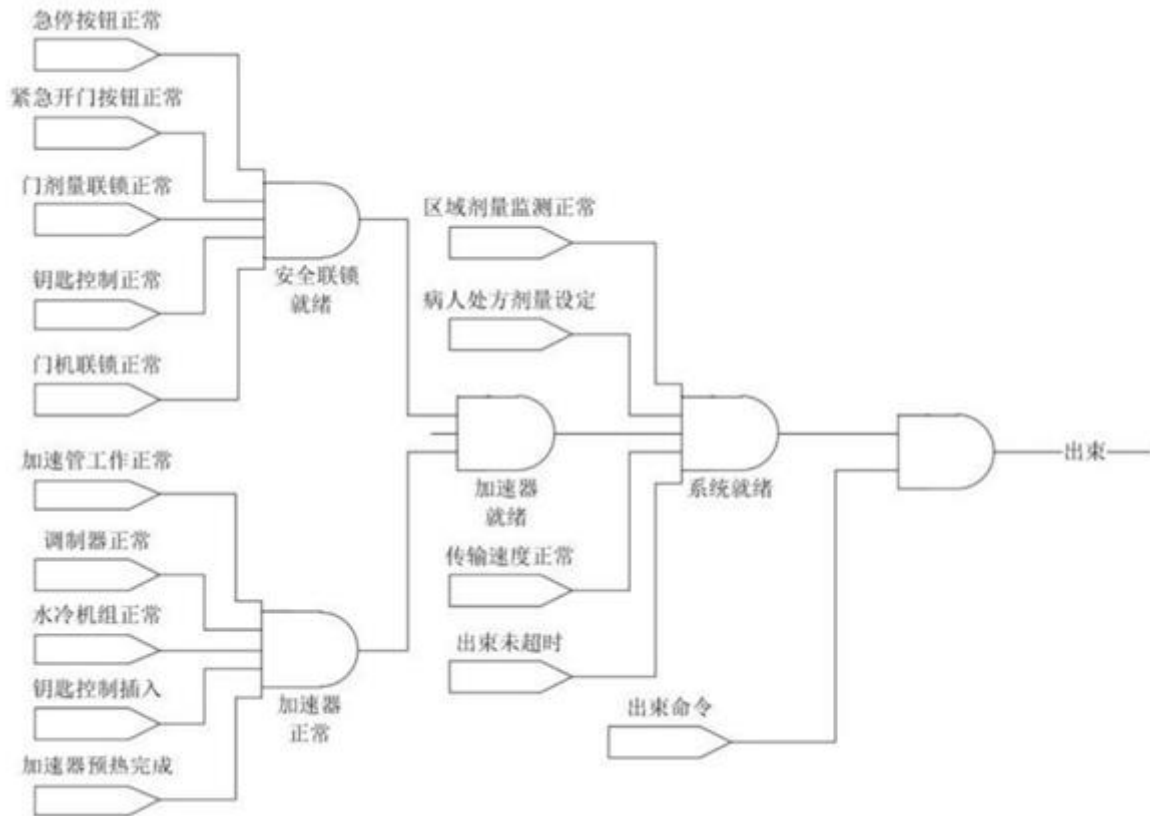


图10.3-5 医用直线加速器辐射安全联锁的逻辑关系示意图

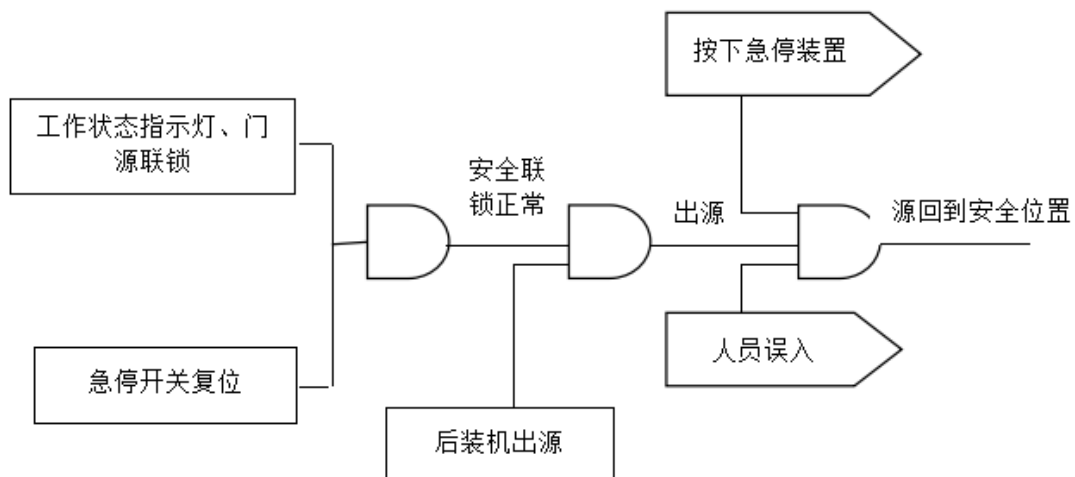


图10.3-6 后装机辐射安全联锁的逻辑关系示意图

10.3.3.2 放射治疗的安全操作要求

(1) 医院应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。

(2) 治疗期间，应有两名及以上操作人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交

接班制度，密切注射控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。

(3) 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入后装机的治疗室前须携带个人剂量报警仪。

(4) 医院应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行。倒装放射源时，应对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置等进行确认，并对后装机机房周围和含源设备表面进行辐射监测，关注后装机机房的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好按照和更换的放射源清点并记录。倒源结束后对后装机设备、场所与周围环境进行辐射监测。

10.3.3.3 防护用品与监测仪器配置

(1) 本项目共3间放疗机房，计划每间放疗机房配备2台个人剂量报警仪。医院拟配备1台便携式辐射监测仪、6台个人剂量报警仪供放疗科使用。

(2) 所有辐射工作人员均配备个人剂量计，工作人员在工作期间应正确佩戴个人剂量计，在进入后装机房时须持个人剂量报警仪。

(3) 每间放疗机房拟配备成人和儿童铅衣、铅帽、铅颈套等个人防护用品与辅助防护设施至少1套，降低患者非受照部位的照射剂量。

表10.3-5 本项目放疗机房防护用品和监测设备拟配置计划

| 序号 | 用途 | 所需产品名称 | | 数量 |
|----|--------------|-------------------|----|-----------------|
| 1 | 辐射应急 | 储源容器 | | 1个（后装机房专用） |
| | | 长柄夹 | | 1个（后装机房专用） |
| 2 | 个人防护用品 | 个人剂量计 | | 12个（一名辐射工作人员一个） |
| | | 个人剂量报警仪 | | 6个（一间放疗机房两个） |
| | | 铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜 | | 3套（一间放疗机房一套） |
| | | 铅衣、铅帽、铅颈套 | 成人 | 3套（一间放疗机房一套） |
| 儿童 | 3套（一间放疗机房一套） | | | |
| 3 | 辐射监测仪器 | 活度测量仪 | | 1台（后装机房专用） |
| | | 固定式X/γ剂量率测量仪 | | 3台（一间放疗机房一台） |
| | | 便携式X-γ辐射监测仪 | | 1台（放疗科所有放疗机房共用） |
| | | β表面污染监测仪 | | 1台（后装机房专用） |

10.4 放射介入科安全设施

10.4.1 场所平面布局及合理性分析

本项目放射介入科位于医技楼一层介入中心和五层手术区、急诊楼一层急诊大厅，主要包括5间DSA机房。

表 10.4-1 本项目 DSA 机房的六侧相邻环境关系表

| 场所名称 | 场所位置 | 东侧 | 南侧 | 西侧 | 北侧 | 正上方 | 正下方 |
|----------|-----------|---------------------------------|------|-------------------|-------------|--------|---------|
| 2#DSA 机房 | 医技楼一层介入中心 | ⁹⁰ Y 治疗机房 (1#DSA 机房) | 廊道 | 设备间和控制室 | 污物廊道 | CT 机房 | 地下车库 |
| 3#DSA 机房 | | 设备间和控制室 | 廊道 | 排烟机房和楼梯口 | 污物廊道 | CT 机房 | 地下车库 |
| 4#DSA 机房 | 医技楼五层手术区 | DSA 高值耗材库、操作间和设备间 | 污物廊道 | 普通手术室和眼科耗材库 | 洁净廊道 | 净化空调机房 | 清洗间、便污间 |
| 5#DSA 机房 | | 洁净库房和洁净廊道 | 污物廊道 | DSA 高值耗材库、操作间和设备间 | 洁净廊道 | 净化空调机房 | ICU 病房 |
| 6#DSA 机房 | 急诊楼一层急诊大厅 | 廊道 | 廊道 | 准备室和控制室 | 污物间、设备间和无菌间 | 隔离病房 | 地下车库 |

DSA工作场所相对集中布置，设有患者通道、医护通道和污物通道。DSA的有用线束朝向南墙、北墙、顶棚和地面，常规情况主要为由下往上，不直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“布局”要求，基本合理可行。

10.4.2 分区管理

根据 GB 18871-2002 中两区划分原则，本项目拟将放射介入工作场所分为“控制区”和“监督区”，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

表 10.4-2 本项目 DSA 工作场所两区划分情况

| 场所名称 | 控制区 | 监督区 | 备注 |
|------|--|---|--------------------|
| DSA | 2#DSA 机房、3#DSA 机房、4#DSA 机房、5#DSA 机房、6#DSA 机房 | 控制室、设备间、准备间、污物间、无菌间等辅助用房、廊道及楼上、楼下等周围环境需关注的敏感区域。 | 见附图 11、附图 18、附图 21 |

10.4.3 辐射屏蔽防护设计

本项目 DSA 均属于单管头 X 射线设备，对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），相关符合性分析见表 10.4-3 和表 10.4-4。

表 10.4-3 DSA 机房的使用面积、单边长度符合性分析

| 场所名称 | 本项目拟设置情况 | | GBZ 130-2020 标准要求 | | 符合性分析 |
|----------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-------|
| | 有效使用面积 (m ²) | 最小单边长度 (m) | 有效使用面积 (m ²) | 最小单边长度 (m) | |
| 2#DSA 机房 | 52.56 (7.3×7.2) | 7.2 | 20 | 3.5 | 符合 |
| 3#DSA 机房 | 48.84 (7.4×6.6) | 6.6 | | | 符合 |
| 4#DSA 机房 | 79.04 (10.4×7.6) | 7.6 | | | 符合 |
| 5#DSA 机房 | 79.04 (10.4×7.6) | 7.6 | | | 符合 |
| 6#DSA 机房 | 65.52 (8.4×7.8) | 7.8 | | | 符合 |

注：本项目各机房有效使用面积已按机房内可划出的最大矩形的面积进行核算，机房内单边长度已按机房内有效使用面积的最小边长。

表 10.4-4 DSA 机房屏蔽防护设计方案

| 场所名称 | 屏蔽体 | 屏蔽材料及厚度 | 折算后铅当量 | GBZ 130-2020 标准要求 | 符合性分析 |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------|---|-------|
| 2#DSA 机房、3#DSA 机房（医技楼一层介入中心） | 四侧墙体 | 240mm 实心砖 +2mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4mmPb | 本项目 DSA 属于 C 形臂 X 射线设备，有用线束方向和非用线束方向铅当量均应 ≥2mmPb；同时具有摄影功能，最大管电压为 150kV，有用线束方向铅当量应 ≥3mmPb，非用线束方向铅当量应 ≥2mmPb。 | 符合 |
| | 工作人员防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 患者防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 观察窗 | 4mmPb 铅玻璃 | 4mmPb | | 符合 |
| | 顶棚 | 150mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4.5mmPb | | 符合 |
| | 地坪 | 180mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4.9mmPb | | 符合 |
| 4#DSA 机房、5#DSA 机房（医技楼五层手术区） | 四侧墙体 | 彩钢板+4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 工作人员防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 患者防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | | 符合 |
| | 观察窗 | 4mmPb 铅玻璃 | 4mmPb | | 符合 |
| | 顶棚 | 150mm 混凝土+ 3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4.5mmPb | | 符合 |
| | 地坪 | 180mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4.9mmPb | | 符合 |
| 6#DSA 机房（急诊楼一层急诊大厅） | 四侧墙体 | 240mm 实心砖 +2mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4mmPb | 符合 | |
| | 工作人员防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | 符合 | |
| | 患者防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | 符合 | |
| | 朝向污物间防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | 符合 | |
| | 朝向无菌间防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4mmPb | 符合 | |
| | 观察窗 | 4mmPb 铅玻璃 | 4mmPb | 符合 | |
| | 顶棚 | 150mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4.5mmPb | 符合 | |
| 地坪 | 180mm 混凝土+ 3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4.9mmPb | 符合 | | |

注：1）根据 GBZ 130-2020 表 C.4 和表 C.5，采用内插法可推导出：对 150kV（有用线束）的 X 射线，150mm 混凝土保守等效为 1.5mmPb，180mm 混凝土保守等效为 1.9mmPb；2）基于 GBZ 130-2020 附录 C 未给出对 150kV 的 X 射线下实心砖等效铅当量的相关数据，参考《放射防护实用手册》（赵兰才、张丹枫主编）表 6.14，可推导出：对 150kV 的 X 射线，240mm 页岩实心砖（ $\rho=1.65\text{g/cm}^3$ ）保守等效为 2mmPb。

因此，本项目 2#~6#DSA 机房的布局空间和屏蔽防护水平均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求，设计基本合理可行。同时，实际施工中，防护门安装时应尽量减小与墙体间的门缝，搭接的长度须不小于 10 倍的间隙，防止射线外泄。

10.4.4 DSA 机房辐射安全和防护措施及环保措施

10.4.1.1 固有安全属性

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），本次评价要求拟购的 DSA 装置在出厂前必须具备以下安全属性。

（1）设备具有能调节有用线束照射野的限束装置，并提供可标示照射野的灯光野指示装置。

（2）DSA 设备应有可安装附加滤过板的装置，并配备不同规格的附加滤过板。

（3）DSA 透视曝光开关为常断式开关，并配有透视计时及限时报警装置。

（4）DSA 机房内具有工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

（5）设备配备有能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。

（6）配备有相应的表征剂量的指示装置，介入操作中，设备控制台和机房内显示器上能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

10.4.1.2 场所综合管理措施

（1）DSA 机房防护门上方拟设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上拟设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；工作状态指示灯与机房门有效关联。

（2）控制台上、介入手术床旁拟设置急停开关（各开关分别与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任一个急停开关，均可停止 X 射线系统出束。

（3）DSA 机房拟设有观察窗和摄像监控装置，可观察到受检者状态及防护门开闭情况。

（4）DSA 机房与控制室之间拟安装双向对讲装置，便于控制室的工作人员通过对讲机与 DSA 机房内的手术人员联系。

（5）DSA 机房防护门外醒目位置拟设置电离辐射警告标志和中文说明。同时，患者入口门外拟划定 1m 黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

（6）DSA 机房患者入口防护门拟设计为电动推拉门，医生通过控制室内的开闭按钮进行电控，从而保证曝光时机房门处于关闭状态，同时设有防夹装置。工作人员防护门、朝向污物间和无菌间等一侧的防护门均拟设计为手动平开门，拟设有自动闭门装置。

(7) DSA 机房内均拟设 1 套排风扇，设计风机风量不低于 2000m³/h，可保证工作人员室内空气质量。

(8) 所有穿墙的电缆、通风等管道尽可能以“U”型设计，避开有用线束方向。

(9) 受检者不应在机房内候诊，候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏。

(10) 除存在临床不可接受的情况下，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留。

(11) DSA 机房控制室墙上拟张贴相关辐射工作制度、操作规程及辐射事故应急预案。

因此，本项目 DSA 机房采取的辐射安全措施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）第 6.4 条款中“X 射线设备工作场所防护”的要求。

10.4.1.3 防护用品和检测仪器配置

(1) 医院计划配置 1 台便携式辐射监测仪和 10 台个人剂量报警仪（每间 DSA 机房配置 2 台），用于辐射工作场所的日常监督性检测。工作期间，工作人员进入机房时须持个人剂量报警仪。

(2) DSA 工作场所所有辐射工作人员均需配备个人剂量计，在工作期间应正确佩戴。每名技师仅在控制室内负责 DSA 设备的操作，故只需在其铅围裙外锁骨对应的位置佩戴 1 枚个人剂量计。考虑在 DSA 机房内介入操作时的受照剂量较大和全身受照不均匀，建议医院在条件允许的情况下，参考《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）的规定，每名介入手术工作人员尽可能采用双剂量计监测方法，即在铅围裙外锁骨对应的位置和铅围裙内躯干上各佩戴一个剂量计，内外两个剂量计应有明显标记（如以对比鲜明的颜色进行区分等），防止剂量计戴反。

(3) 本项目计划配置足够数量的个人防护用品和辅助防护设施，具体见表 10.4-5。

表10.4-5 DSA机房个人防护用品和辅助防护设施拟配置计划

| 机房 | 适用人群 | | 防护用品/辅助设施 | | |
|---------------|------|----|-----------|---------|------------|
| | | | 名称 | 铅当量mmPb | 数量 |
| DSA机房 (单间) | 患者 | 成人 | 铅橡胶性腺防护围裙 | 0.5 | 1套 |
| | | | 铅橡胶颈套 | 0.5 | 1套 |
| | | 儿童 | 铅橡胶颈套 | 0.5 | 1套 |
| | | | 铅橡胶性腺防护围裙 | 0.5 | 1套 |
| | 工作人员 | | 铅橡胶围裙 | 0.5 | 一名辐射工作人员一套 |
| | | | 铅橡胶颈套 | 0.5 | 一名辐射工作人员一套 |
| | | | 铅防护眼镜 | 0.25 | 一名辐射工作人员一套 |
| | | | 介入防护手套 | 0.025 | 一名辐射工作人员一套 |
| | | | 铅悬挂防护屏 | 0.5 | 1套 |

因此，本项目防护用品及防护设施的配置满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）第 6.5 条款中“X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求”。

10.5 三废的治理

10.5.1 核医学科“三废”的治理

本项目核医学科使用非密封放射性物质过程中会产生放射性废气、放射性废水和放射性固废，配套III类射线装置出束状态下产生非放射性气体，医院拟采取以下“三废”治理措施。

10.5.1.1 放射性废气

本项目核医学工作场所控制区拟设置 5 套独立的送排风系统，控制区内各房间内设置 1 个排风口，放射性废气经收集后由排风管道引至外科病房楼（地上 16F，建筑高度为 70.5m）的楼顶高空排放，放射性废气收集路径见附图 9。控制区内各功能房间排风设计见表 10.5-1。

表10.5-1 核医学科控制区内主要功能房间排风设计

| 场所名称 | 功能房间 | 排风量 (m ³ /h) | 排风管编号 | 处理设施 | 排气筒编号 |
|-------------|--|-------------------------|----------|--------------|-------------------|
| 核医学 工作场所 | 高活室的手套箱 | 4000 | PF-B2-03 | 1#二级 过滤装置 | 排气筒A (H=71.5m) |
| | 高活室(手套箱以外的空间)、 清洁间、甲测室、敷贴室、运 动负荷室、分装注射室、肺通 气室、PET/CT机房、PET/MR 机房、SPECT/CT 机房 1、 SPECT/CT机房2、储源室、放 射性固废间、医生卫生通过 间、患者廊道（东侧部分） | 4000 | PF-B1-06 | | |
| | 服碘室、甲亢留观室、衰变池 及其管路间 | 4000 | PF-B1-03 | 2#二级 过滤装置 | 排气筒B (H=71.5m) |
| | PET 一候室、PET 二候室、 SPECT候诊室、留观室、患者 廊道（西侧部分） | 4000 | PF-B1-02 | | |
| | 衰变池及真空设备间 | 1000 | PF-B1-01 | | |

上述5套排风系统均设计了专用的排风管道，排风管内保持负压，拟安装防回流装置，出口处拟设置1套二级过滤装置（根据实际使用情况进行更换，本项目共2套，拟设于外科病房楼的楼顶），其中一级安装高效过滤器，二级安装活性炭过滤器，总过滤效率可达99.0%以上，并配套1台风机（本项目共2台）。总排风口（2个，分别编号A、B）高出本项目所在建筑的屋脊1m，距离地面高度71.5m，位于外科病房楼屋顶的西北端，具体位置见附图4。总

排气口拟设计防鸟、防虫、防雨措施，并拟设置采样平台，便于日常的环境监测。同时为防止公众成员进入楼顶避免不必要的误照射，医院拟将所在建筑大楼的楼顶划定为管控区域，并进行封闭式管理。

本项目通风系统拟将核医学科内手套箱排风管道与普通通风管道分开设计，气流各自经风道通向楼顶，屋顶设置抽风机与过滤装置联动控制。根据设计参数，风机运行后管道风速不低于0.5m/s。同时，整个核医学科通风系统不与其他非放射性工作场所的公共通风管道混用。核医学科的控制区均采用有梯度的微负压通风，监督区均采用正压通风，使气流由清洁区向控制区流动。气流总体根据非放射性区气压>监督区气压>控制区气压进行设计，使气流由非放射性区域流向监督区，再流向控制区。进排风口的设置满足高进（靠近室顶）低排（靠近地板），且排风口靠近污染源，进风口远离污染源。因此，本项目核医学科的排风设计符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）等标准对“放射性废气”的管理规定。

核医学科放射性废气的排气口A和B周围建筑高度及相对距离见表10.5-2。

表10.5-2 放射性废气的排气口周边建筑高度和相对距离统计表

| 方位 | 建筑名称 | 建筑高度 | 与排气口的相对距离（m） | |
|----|--------------------|-------|--------------|------|
| | | | 排气口A | 排气口B |
| 东 | 外科病房楼（地上18F，地下2F） | 78.9m | 51 | 57 |
| | 感染楼（地上10F，地下1F） | 45.0m | 159 | 165 |
| 西 | 国际保健中心（地上12F，地下2F） | 53.6m | 61 | 54 |
| 南 | 医技楼（地上8F，地下2F） | 37.7m | 38 | 38 |
| | 门诊楼（地上5F，地下2F） | 23.9m | 100 | 100 |
| 东南 | 急诊楼（地上5F，地下2F） | 23.9m | 152 | 157 |
| 西南 | 科研办公楼（地上15F，地下2F） | 61.5m | 150 | 163 |

由上表可知：核医学科排气口周围50m内建筑主要为医技楼，且排气口高度高出周围高层建筑，经过滤的废气排放到大气环境中，再经过稀释扩散作用，浓度会更低，影响非常小。

为确保放射性废气处理系统的有效运行，医院应做好以下工作：

a、高效过滤装置和活性炭过滤装置的更换应根据不同季节和气候、温湿度条件下的吸附效率不同的特点、生产厂家设计的高效滤材规格和活性炭一次性最大装填量及实际使用情况，找出适时更换的频率，更换下来的废滤材和活性炭吸附材料应作为放射性固废进行管理和处理。如有必要，高效过滤装置和活性炭过滤装置每半年至少更换一次。本次评价建议在排风管道内设计有压差计，可根据管道内的压差情况判断高效过滤装置和活性炭过滤装置是否需要更换。

b、为保证过滤效率的可行性，建设单位需委托设备厂家定期根据设备特性定期进行过滤系统检查维护，每半年对过滤系统的过滤效率进行校核，确保过滤效率满足设计要求。更换滤材操作时执行辐射监测制度，并采取个人防护措施等。

10.5.1.2 放射性废水

根据核素使用种类和半衰期的差异性，本项目核医学工作场所产生的放射性废水处置方案分为以下两种：

(1) ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P 核素（半衰期 $T_{1/2} \geq 11.44\text{d}$ ）

^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P 等3种核素采用1个专用洗手池，事故状态下产生的应急废水经污水管道收集至2个放射性废液铅罐（设计容积为 0.3m^3 ，防护水平为 10mmPb ），满罐后转移至放射性固废间进行存放，两个铅罐交替使用。废水暂存衰变最长核素10个半衰期以上，经检测达标后送至医院污水处理站进一步处理，然后纳入到市政污水管网。

(2) ^{131}I 等其他核素（半衰期 $T_{1/2} \leq 8.02\text{d}$ ）

^{131}I 等其他核素废水经污水管道收集后直接排放至衰变池进行贮存衰变，暂存超过180天，经检测达标后送至医院污水处理站进一步处理，然后纳入到市政污水管网。

①衰变池选址

本项目衰变池拟建于外科病房楼外围北侧的绿化带下面，地理式设计，标高低于核医学工作场所，具体位置见附图 5。衰变池四周主要为绿化带，该选址属于人员较少居留或经过位置。因此从辐射防护角度考虑，选址合理。本次评价建议衰变池上方区域可设置物理围栏遮挡并张贴电离辐射警示标志，需检修时方可进入维修，无关人员禁止进入。

②废水管道敷设及走向布置

本项目核医学工作场所的放射性废水管道敷设于地下一层的降板层内，室内放射性管道预埋地下 30cm，管道上方采用 30cm 钢筋混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料覆盖；室外放射性管道深埋地下 55cm，管道上方采用 45cm 钢筋混凝土和 10cm 泥土覆盖，管道全程包裹 6mmPb 铅皮。控制区内核医学科产生的放射性废水通过自流方式（废水管道地下敷设有一定坡度）沿由废水管道流向室外的衰变池，放射性废水收集路径示意图见附图 10。放射性废水管道走管区域均属人员居留较少区域，布置走向合理。

地下一层的放射性废水管道沿建筑边缘铺设，避免了从办公区、公共走廊等人员居留较多的场所通过。综上所述，该管道设计合理。本次评价建议放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性

废水集聚，便于检测和维修。

③放射性废水处理工艺

本项目放射性废水衰变处理系统由“2个生化沉淀池+3个衰变池”组成，由一套高度智能自动控制系统控制，通过 PLC 和触摸屏设定工作参数和状态，设有报警机制，所有运行自行监测，可在无人值守状态下实现全自动稳定运行，其中系统显示面板拟设置在控制室内。如需反控，可切换为手动界面进行操作控制。整套系统设有实时运行状态监控系统、达标废水取样监测系统、衰变池区域环境监测系统、衰变池漏水监测系统、前端管道漏水监测系统，确保运行安全，达标排放。

衰变池的进水口设有生化沉淀池，主要去除废水中悬浮物，池内设有自动搅碎杂质的绞刀，杜绝管路堵塞，不需要定期清淤，起到预处理的作用。生化沉淀池的检修孔采用双层井盖，内层井盖上方覆 3mm 铅板。整个衰变组合池采用“槽式”排放，三级并联，并设有标准采样口，末端拟设在线辐射监测系统，各池内设有 1 个进水阀和 1 个排水阀，各阀门均采用电/手动双控阀，日常状态下使用电动控制阀，电动阀损坏时启用手动阀；设有 1 个位置压力传感器和 1 个极限液位传感器，可实现液位报警；池体底部设有自吸式污水泵（一用一备），可通过压力排出废水。

衰变池围护结构采用混凝土现场浇筑，衰变系统所在的池体间南侧采用采用 350mm 混凝土和覆土层，其他三侧采用 400mm 混凝土和覆土层，地面采用 300mm 钢筋混凝土底板+回填层，内壁光滑并防腐防渗，顶盖采用 300mm 混凝土和绿化带覆土予以防护。池体间内单个衰变池采用成品不锈钢水箱，四壁和底部采用 2.5mm 不锈钢，顶部采用 2.0mm 不锈钢进行防护。单个衰变池的净尺寸均为 7.0m（长）×5.5m（宽）×3.0m（深），考虑到水位线距衰变池底部约 2.7m（按设计深度的 90%计），则单池有效容积保守按 100m³ 计，总有效容积为 300m³。

废水处理工艺流程：运行时先关闭第二、三池进水管上电磁阀，打开第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第一池；待第一池达到设计液位后，打开第二池进水管上的电磁阀，关闭第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第二池；按照同样的操作方法，使废水依次进入第三池；待第三池达到设计液位后，关闭第三池进水管上的电磁阀，打开第一池潜水泵，将经过衰变后的废水排入医院污水处理站进一步处理。在每个衰变池排放口设置标准取样口，任意一衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后，方可排入医院污水处理站，最后经处理达标后排放纳入市政污水管网。三个衰变池按照上述程序，轮流反复交替使用。

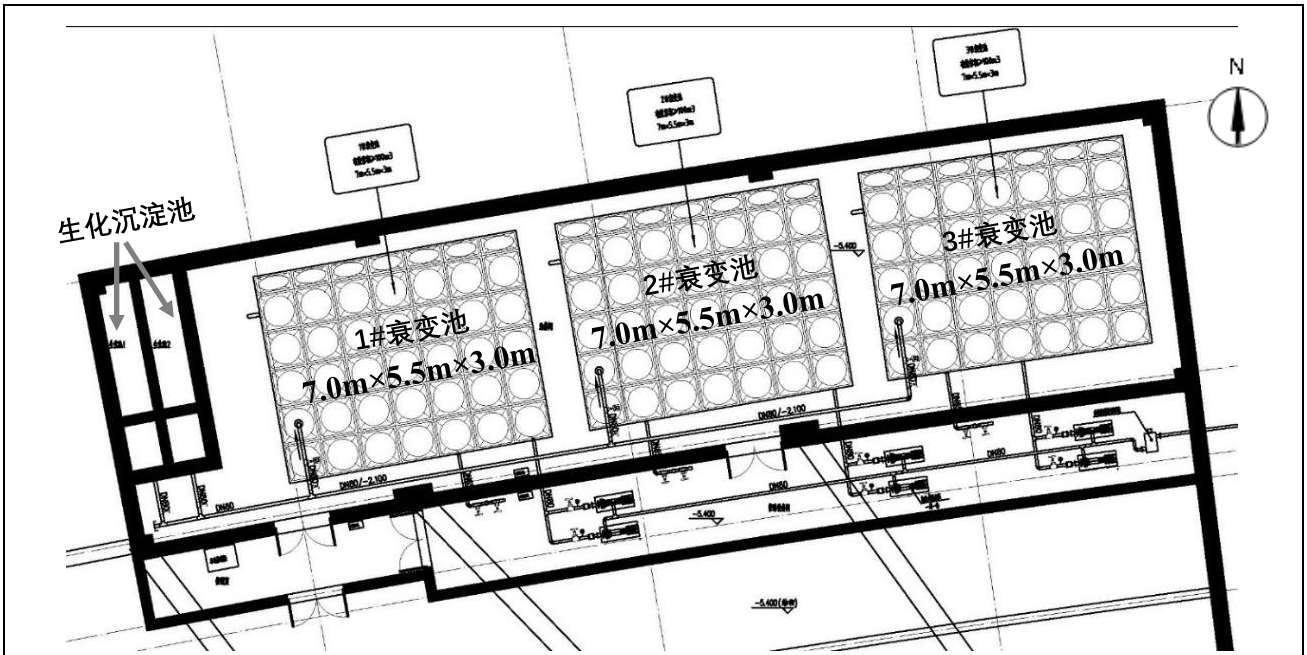


图 10.5-1 放射性废水处理系统设计方案图

(3) 废水处理设施管控措施

为保障放射性废液衰变处理系统的长效可靠运行，医院应做好以下工作：

a、衰变池总出水口的废水需经有监测资质的单位监测达标（总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ ；总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ； ^{131}I 的放射性活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ ），放射性废液铅罐总出水口的废水需经有监测资质的单位监测达标（总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ ；总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ），并经过监管部门核准后方可排入医院污水处理站。

b、放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废液暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、每次排放时间、排放量、监测结果等信息并建档备查。同时，建立排水计划。

c、衰变池/放射性废液铅罐需设立明显的电离辐射警示标志，同时衰变池上方草坪四周应设立拦挡。

d、衰变池的池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。衰变池四周设置排水沟防止雨水灌入池体，同时衰变池应作为重点防渗区进行管理，其防渗系数需 $\leq 10^{-8}\text{cm/s}$ 。

e、衰变池产生的少量放射性废气通过专用废气管道收集后，同核医学工作场所的放射性废气一并处理，末端拟设置二级过滤装置吸附处理后排放。

10.2.1.3 放射性固废

(1) 核医学科产生的放射性固废

医院拟于高活室和分装注射室内分别设置 2 个脚踢式铅桶（设计容积为 20L，防护水平为 10mmPb），其中 1 个用于收集较短半衰期的核素固废；另 1 个用于收集较长半衰期的核素固废。PET 一侯室、PET 二侯室、SPECT 侯诊室、服碘室、留观室、甲亢留观室分别设置 1 个脚踢式铅桶（设计容积为 20L，防护水平为 10mmPb）。敷贴室、甲测室分别设置 1 个脚踢式铅桶（设计容积为 5L，防护水平为 2mmPb），合计 12 个铅桶。

放射性固废间拟设 6 个铅衰变箱，防护水平均为 20mmPb，其中 2 个衰变箱设计容积均为 0.6m³，用于 ¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹⁸⁸Re 等半衰期小于 24h 的核素废物衰变的交替贮存；2 个衰变箱设计容积均为 0.1m³，用于 ²⁰¹Tl、⁶⁷Ga、¹⁵³Sm、²²³Ra、³²P 等半衰期大于 24h 的核素废物衰变的交替贮存；2 个衰变箱设计容积均为 1.0m³，用于 ¹³¹I 和 ⁸⁹Sr 核素废物衰变的交替贮存。

当日产生的放射性固废用铅废物桶收集后转移至放射性固废间的铅衰变箱内进行贮存衰变。衰变箱内的放射性废物经设定周期存放后，经检测满足 HJ 1188-2021 标准要求的清洁解控水平（辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²），方可转移至医院公共医疗废物库作为普通医疗废物定期交由具有相应危险废物处置资质的单位进行处理处置。该公共医疗废物库位于院区东北端的医疗垃圾房，建筑面积约 300m²，具体位置见附图 4。

（2）核医学科定期更换的废滤材及废活性炭

本项目核医学科排风口末端的高效滤材及活性炭饱和后需进行更换，更换的废滤材及废活性炭属于放射性固废，拟置于放射性固废间的衰变箱中贮存 180 天以上，经检测达到 HJ 1188-2021 标准要求的清洁解控水平后，转移至医院公共的医疗废物库作为普通医疗废物定期交由具有相应危险废物处置资质的单位进行处理处置。

为加强对放射性固废的安全管理，医院应做好以下工作：

a、应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

b、应按照废物最小化的原则区分放射性废物和解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

c、核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。

d、应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

e、放射性固废应收集在各自相关工作场所的具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用铅废物桶内，废物桶内应设置专用塑料袋直接收纳废物。含尖刺及棱角的放射性废物（如注射器及碎玻璃器皿），应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内，防止刺破废物袋。每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg；废物包装体外表面污染水平 $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。装满废物的塑料袋应密封，不破漏，及时转送至放射性固废间的衰变暂存容器内贮存。

f、产生的少量放射性废物利用贮存衰变方式处理，其在放射性废物库内暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

g、放射性废物库应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。出入处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

h、放射性固废间内应设置具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

i、放射性废物库内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

J、放射性废物库应采用双人双锁的管理制度，同时 24h 监控。

k、固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，方可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

1、固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息，并建档备查。

j、放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号）的相关规定。

k、待放射性废物贮存衰变并经检测满足清洁解控水平后，转移至院区东北端的医疗垃圾房进行暂存，作为危险废物委托有资质单位处理处置，其收集、暂存、转移和最终的处置方式应满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2001）及 2013 年修改单、《危险废物转移管理办法》（生态环境部令第 23 号，2022 年 1 月 1 日起施行）等相关标准规定。由于本项目解控后的放射性固废依托一期主体工程配套的医疗垃圾房进行暂存，危废间的场所

管理要求、危废转移和处置方案可行性均已在二期主体工程非放射性环评报告中详细阐述，本次评价不赘述。

10.2.1.4 非放射性废气

本项目 PET/CT、SPECT/CT 装置运行期间产生的少量臭氧和氮氧化物，与核医学科的放射性废气一并收集和处理后排放，影响较小。

10.2.2 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所“三废”的治理

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所使用的^{99m}Tc、⁹⁰Y均为非挥发性放射性核素，且不存在核素操作的开放性液面，基本无放射性废气产生，本次评价不予考虑。该场所使用非密封放射性物质过程中主要产生放射性废水、放射性固废和非放射性废气，医院拟采取以下治理措施。

10.2.2.1 放射性废水

本项目⁹⁰Y患者接受治疗前，医护人员会提醒患者治疗前及时上厕所，不在手术期间上厕所，故不考虑该部分废液。根据生态环境部核与辐射安全中心编制的《钇-90树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》，⁹⁰Y治疗患者住院期间产生的放射性废液可按豁免处理，但该部分废水必须单独收集存放，暂存一个星期后可自行排放。初次使用的单位建议对收集的废液进行监测。

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所产生的放射性废水主要为事故应急废水，拟采用2个放射性废液铅罐（设计容积为0.2m³，防护水平为10mmPb，设有密封盖）收集后暂存于清洗间贮存衰变，经检测达标后方可排入医院污水处理站进一步处理，然后纳入市政污水管网。

为保障放射性废液铅罐的安全使用，医院应做好以下工作：

a、放射性废液铅罐总出水口的废水需经过有监测资质的单位监测达标（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）并经过监管部门核准后方可排入医院污水处理站。

b、放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废液暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、每次排放时间、排放量、监测结果等信息并建档备查。同时，建立排水计划。

c、放射性废液铅罐的表面及铅罐存放的清洗间均应张贴电离辐射警示标志。

10.2.2.2 放射性固废

⁹⁰Y肝癌治疗工作场所的1#DSA机房内拟设置2个脚踢式铅桶（设计容积为10L，防护水平为10mmPb）；污物间拟设置1个铅衰变箱（设计容积为0.1m³，防护水平为10mmPb）。

当日手术产生的放射性固废用铅废物桶收集后转移至污物间的铅衰变箱内进行贮存衰变，衰变箱内的放射性废物经设定周期存放后可达到 HJ 1188-2021 标准要求的清洁解控水平，转移至医院公共的医疗废物库作为普通医疗废物定期交由具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

^{90}Y 肝癌治疗工作场所的污物间管理要求参考核医学工作场所的放射性固废间执行，此处不赘述。

10.2.2.3 非放射性废气

本项目 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所的 DSA 装置运行期间产生的少量臭氧和氮氧化物，通过排风设施排出机房，由风管引至医技楼楼顶高空排放，影响较小。

10.2.3 直线加速器“三废”的治理

1、感生放射性气体

当加速器发出的射线能量达到或超过空气中某些核素的 (γ , n) 的反应阈能时，将产生感生放射性气体。放射性气体产额很低，半衰期较短，通过合理的通风系统可使其影响降低。同时工作人员适当延缓进入机房，尽量缩短摆位时间，注意与病人、机头等易于产生感生放射性的部位保持适当距离，同时定期对机房内的辐射剂量进行监测，对周围环境影响较小。

2、非放射性有害气体

本项目每间直线加速器机房拟设 1 套通排风系统，设计排风量为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房容积约 391.6m^3 （含迷道），有效通风换气次数不小于 10 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

3、固体废物

废靶材（件）属于放射性废物，衰变贮存直至经检测其表面 γ 辐射剂量率符合清洁解控水平后，将由设备厂家负责回收。

10.2.4 后装机“三废”的治理

本项目后装机运行过程中不产生放射性废气和放射性废水。

1、非放射性气体

本项目后装机房拟设 1 套通排风系统，设计风量为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房容积约 209m^3 （含迷道），有效通风换气次数不小于 19 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ

1198-2021)与《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求。

2、退役放射源

本项目退役或更换的废旧放射源¹⁹²Ir由供源厂家于后装机房内直接换源后回收处理，并负责运输，不在院区内贮存。

10.2.5 DSA “三废”的治理

DSA机房运行过程中不产生放射性废气、放射性废水及放射性固废。

DSA装置在曝光过程中产生的少量臭氧和氮氧化物，经排风系统排气处理后对环境影响较小，可保证室内空气质量。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段环境影响分析

11.1.1 土建施工阶段

本项目一期主体工程放射性内容已委托编制《浙江省中医院新院区项目（一期）环境影响报告书》，并通过了杭州市生态环境局富阳分局的环保审批，批复文号：富环许审（2021）74号。该报告对医院主体工程的施工期及运营期产生的非放射性部分的“三废”排放及处理措施均进行了详细评价，而本项目的建设直接依托主体工程，故不再重复评价。

11.1.2 设备安装阶段

设备的安装、调试应由设备厂家专业人员进行操作，医院方不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 核医学工作场所运行阶段环境影响分析

11.2.1 α 射线辐射影响分析

本项目 ^{223}Ra 为 α 核素， α 粒子的最大能量为5.8713MeV。参考《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）P21页表2.7，该 α 粒子的射程不超过56 μm 。由于 α 粒子穿透能力弱，空气及组织中辐射距离较短，对工作人员和周围公众外照射影响轻微，可忽略不计。

11.2.2 β 射线影响分析

本项目核医学科涉及应用的 ^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 等6种核素衰变过程中会释放出 β 射线，其中 ^{90}Y 的 β 射线能量最高（2.284MeV）。为简化计算，本次评价选取 ^{90}Y 作为典型核素来预测 β 射线辐射影响。

根据《辐射防护技术与管理》（张丹枫、赵兰才编著）P122-P123页的公式（5-21）和公式（5-25）可推导出， β 粒子在不同介质中的射程可由下列经验公式计算，即：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \dots\dots\dots (11.2-1)$$

式中：d——与最大射程对应的屏蔽物质防护厚度，cm；

ρ ——屏蔽材料密度， g/cm^3 ；

$E_{\beta\text{max}}$ —— β 粒子的最大能量，MeV。

则经计算，本项目 ^{90}Y 核素在不同屏蔽物质中最大射程对应的防护厚度估算见表11.2-1。

表11.2-1 核素 β 射线在不同屏蔽物质中最大射程对应的防护厚度估算表

| 核素名称 | $E_{\beta\text{max}}$ (MeV) | ρ (g/cm^3) | | d (cm) |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------|----------|--------|
| | | 空气 | 0.001293 | |
| ^{90}Y | 2.284 | 铅玻璃 | 4.47 | 0.255 |
| | | 实心砖 | 1.65 | 0.692 |
| | | 混凝土 | 2.35 | 0.486 |

因此，本项目 ^{90}Y 核素发射的 β 粒子射程较短，穿透能力较弱，可定性推导出其他低能量核素的 β 射线影响更小。医院核医学工作场所具备足够的操作空间，设有屏蔽墙体和防护门，在整个使用过程中职业人员均穿戴0.5mmPb当量的铅防护服，且公众与放射性核素之间采取距离隔离措施，故 β 射线对职业人员和公众成员辐射影响是很小的，可忽略不计。

11.2.3 韧致辐射影响分析

β 射线被放射源本身以及源周围的其他物质阻止时将产生韧致辐射（即X射线），从而对周围环境产生辐射污染。根据《辐射防护技术与管理》（张丹枫、赵兰才编著）P128页的公式（5-27）可推导出， β 射线韧致辐射计算公式如下：

$$H = \frac{1.71 \times 10^{-3} A Z E^2 T}{r^2} \eta \dots\dots\dots (11.2 - 2)$$

式中： H —— β 射线韧致辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —— β 源的放射性活度，mCi；

Z ——吸收 β 粒子屏蔽材料的原子序数；

E —— β 粒子的最大能量，MeV；

r ——参考点至韧致辐射源的距离；

η ——透射比，由公式 $\eta=10^{-X/\text{TVL}}$ 计算获取，其中： X ——屏蔽体的屏蔽厚度，mm； TVL ——X射线的什值层厚度，mm；

T ——居留因子，本次评价保守全部取1。

本次评价保守考虑在受照物体为铅玻璃的情况下，对 β 核素导致的韧致辐射剂量率进行估算。参考《辐射防护导论》（方杰主编）P129页表4.4，本项目 β 射线屏蔽材料主要为铅玻璃，屏蔽物质的有效原子序数保守取值5.85；P98页表3.5可推导出： ^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 核素在 β 粒子平均能量条件下，在铅中的什值层厚度相应分别为1.40mm、0.05mm、

10.2mm、13.5mm、12.4mm、18.1mm。考虑到¹⁵³Sm在铅中的什值层数值极低，本次评价可定性判断出其β射线韧致辐射剂量率可忽略不计，不再理论计算。根据公式（11.2-2），职业人员手套箱内操作β核素时，操作位处的韧致辐射剂量率估算结果见表11.2-2。

表11.2-2 手套箱内操作各核素时操作位处韧致辐射剂量率

| 关注点位 | 核素名称 | A (mCi) | Z | E (MeV) | r | η | T | H (μSv/h) |
|--------------------------|--------------------------|---------|------|---------|-----|----------|---|-----------|
| 1#手套箱 (50mmPb) 操作位 | ¹⁸⁸ Re | 45 | 5.85 | 2.118 | 0.3 | 0.001 | 1 | 0.004 |
| | ⁹⁰ Y | 81 | 5.85 | 2.284 | 0.3 | 0.006 | 1 | 0.080 |
| | ³² P | 4 | 5.85 | 1.71 | 0.3 | 5.89E-04 | 1 | 1.21E-04 |
| | ⁸⁹ Sr | 4 | 5.85 | 1.492 | 0.3 | 1.20E-04 | 1 | 1.24E-05 |
| 2#手套箱 (10mmPb) 操作位 | ¹³¹ I (甲测) | 0.005 | 5.85 | 0.602 | 0.3 | 7.24E-08 | 1 | 1.46E-11 |

因此，本项目手套箱内操作各核素时操作位处的韧致辐射剂量率均低于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中 2.5μSv/h 的限值要求。同时，¹³¹I（甲测）、¹⁵³Sm、⁸⁹Sr、³²P 核素的韧致辐射剂量率极低，基本可忽略不计。

11.2.4 γ 射线辐射影响分析

11.2.4.1 估算公式

因预测点位与放射性核素操作位置之间的距离比装药瓶的几何尺寸大5倍以上，故可视为点源。根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录I中第I.2条款：保守起见，所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。由符合瞬时剂量率目标要求的屏蔽厚度x的计算的公式（I.1）可推导出：

$$H = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2 \cdot 10^{x/TVL}} \dots \dots \dots (11.2 - 3)$$

式中：H——屏蔽体外关注点剂量率，μSv/h；

A——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，MBq；

Γ——距源1m处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m²/MBq·h；

R——参考点与放射源间的距离，单位为m；

x——屏蔽厚度，mm；

TVL——γ射线的十分之一值层厚度，mm。

11.2.4.2 典型核素选取

本项目PET/CT、PET/MR显像诊断应用核素¹⁸F和⁶⁸Ga，二者均为正电子核素，衰变类型和释放的 γ 射线能量均相同。基于⁶⁸Ga的单名病人单次最大使用量、年使用频次、周围剂量当量率常数均低于¹⁸F，故本次评价选取¹⁸F作为PET诊断的典型核素进行分析评价，满足¹⁸F的辐射安全防护管理要求，即可满足对⁶⁸Ga的辐射安全防护管理要求。

SPETC-CT显像诊断主要应用核素^{99m}Tc、²⁰¹Tl和⁶⁷Ga，其中²⁰¹Tl释放的 γ 射线能量、单名病人单次最大使用量、年使用频次、周围剂量当量率常数均低于^{99m}Tc，而⁶⁷Ga的 γ 射线能量、周围剂量当量率常数均略大于^{99m}Tc，但单名病人单次最大使用量远低于^{99m}Tc，故本次评价选取^{99m}Tc作为SPECT/CT诊断的典型核素进行分析评价，满足^{99m}Tc的辐射安全防护管理要求，即可满足对²⁰¹Tl和⁶⁷Ga的辐射安全防护管理要求。

¹³¹I、¹⁵³Sm、¹⁸⁸Re的衰变类型均为 β^- ，其中¹⁵³Sm、¹⁸⁸Re释放的 γ 射线能量、年使用频次均低于¹³¹I（甲亢），但¹⁵³Sm的单个病人单次最大用药量和周围剂量当量率常数均大于¹³¹I（甲亢），¹⁸⁸Re的周围剂量当量率常数低于¹³¹I，单个病人单次最大用药量大于¹³¹I（甲亢）。因此，本次评价¹³¹I、¹⁵³Sm、¹⁸⁸Re作为放射治疗的典型核素进行分析评价。

甲亢测定¹³¹I用量较小，单个病人最大用量仅为5 μ Ci，对环境影响较小。因此，对于¹³¹I的辐射影响分析，本次评价重点考虑甲亢治疗，不考虑甲亢测定。

11.2.4.3 相关参数取值

表 11.2-3 核医学科应用的核素相关参数

| 核素名称 | 单个病人单次最大用药量 (MBq) | 周围剂量当量率常数 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) | TVL (mm) | | |
|-------------------|-------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | | 铅 ($11.3\text{g}/\text{cm}^3$) | 混凝土 ($2.35\text{g}/\text{cm}^3$) | 实心砖 ($1.65\text{g}/\text{cm}^3$) |
| ¹⁸ F | 370 | 0.143 | 16.6 | 176 | 263 |
| ^{99m} Tc | 925 | 0.0303 | 1 | 110 | 160 |
| ¹³¹ I | 370 | 0.0595 | 11 | 170 | 240 |
| ¹⁵³ Sm | 1554 | 0.072 | 4 | 140 | / |
| ¹⁸⁸ Re | 1665 | 0.005 | 25 | 250 | / |

注：1) ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I、¹⁵³Sm的周围剂量当量率常数来源于《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)附录H表H.1；¹⁸⁸Re的周围剂量当量率常数来源于《辐射防护手册——第一分册》(李德平、潘自强主编)经单位换算获取。2) ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I的TVL值来源于GBZ 120-2020附录I表I.1；¹⁵³Sm、¹⁸⁸Re的TVL值来源于《辐射防护手册——第三分册》(李德平、潘自强主编)P29页图2.16。

11.2.4.4 核医学工作场所辐射水平预测

参考GBZ 120-2020附录J表J.1，核医学工作场所计算关注点的原则为：四周屏蔽墙关注

点位置在墙外0.3m处,顶棚关注点位置在楼板地面上方0.3m处。考虑到楼下关注点的特殊性,关注点选在地面上方1.7m处,见图11.2-1和附图29。放射源以患者正常状态下停留时间最长的位置为原点,比如休息室的床、扫描时扫描架中心等。

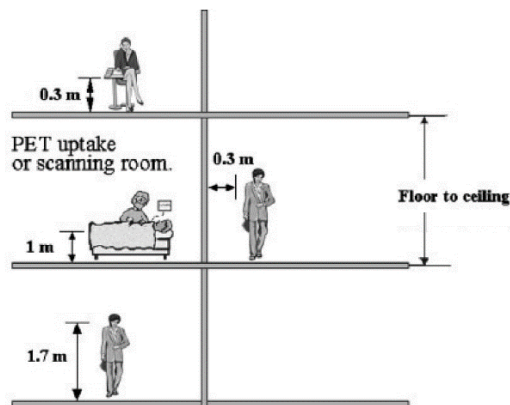


图11.2-1 核医学工作场所屏蔽计算关注点示意图

根据公式(11.2-3),本项目核医学工作场所各预测点位γ射线辐射剂量率的理论计算结果见表11.2-4。

表11.2-4 本项目核医学工作场所各预测点位γ射线辐射剂量率计算结果

| 关注点位 | 点位描述 | A (MBq) | R (cm) | 屏蔽防护厚度 | H (μSv/h) |
|-----------|--------------|---|--------|---------------------------|-----------|
| ●1 高活室 | 1# 手套箱操作位 | ¹⁸ F (11100) 分装 | 0.3 | 50mm铅罐 +50mmPb手套箱 | 0.017 |
| | | ¹⁸ F (370) 取药 | | 50mmPb手套箱 | 0.572 |
| | | ¹⁸⁸ Re (1665) 取药 | | 50mmPb手套箱 | 0.925 |
| | | ¹⁵³ Sm (1554) 取药 | | 50mmPb手套箱 | 3.93E-10 |
| | 2# 手套箱操作位 | ^{99m} Tc (925) (肺灌注)取药 | 0.3 | 10mmPb手套箱 | 3.11E-08 |
| | | ^{99m} Tc (111) (肺通气)取药 | | | 3.74E-09 |
| | | ^{99m} Tc (150) (⁹⁰ Y肝癌治疗)取药 | | | 5.05E-09 |
| | 药物转移 | ¹⁸ F (370) | 0.3 | 10mmPb注射器防护套+40mmPb转运盒 | 0.588 |
| | | ¹⁸⁸ Re (1665) | | | 0.925 |
| | | ^{99m} Tc (925) | | 10mmPb注射器防护套+10mmPb转运盒 | 3.11E-18 |
| | | ¹⁵³ Sm (1554) | | | 0.012 |
| | | ¹³¹ I (740) | | | 50mmPb铅罐 |
| | 北墙 | ¹⁸ F (370) | 1.5 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防护涂料 | 1.652 |
| | 防护门 | ¹⁸ F (370) | 3.0 | 内衬10mm铅板 | 1.470 |

| | | | | | | | |
|--|--|-----------|---|-----|-------------------------------|----------|--|
| | | 顶棚 | ^{18}F (370) | 5.7 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.041 | |
| | | 地面 | ^{18}F (370) | 4.5 | 250mm混凝土 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.057 | |
| ●2 | 注射室 | PET/CT注射位 | ^{18}F (370) | 0.3 | 40mmPb铅玻璃窗 | 2.29 | |
| | | | ^{188}Re (1665) | 0.3 | | 2.32 | |
| | | | ^{153}Sm (1554) | 0.3 | | 1.24E-07 | |
| | | PET/MR注射位 | ^{18}F (370) | 0.3 | 40mmPb铅玻璃窗 | 2.29 | |
| | | SPECT注射位 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (925) | 0.3 | 10mmPb铅玻璃窗 | 3.05E-06 | |
| | | 防护门 | ^{18}F (370)(PET/CT 注射位) | 3.0 | 内衬10mm铅板 | 1.470 | 2.133 |
| | | | ^{18}F (370) (PET/MR 注 射 位) | 4.5 | | 0.653 | |
| | | | ^{153}Sm (1554) (SPECT注射位) | 6.0 | | 0.010 | |
| | | 顶棚 | ^{18}F (370)(PET/CT 注射位) | 5.7 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.041 | 0.092 |
| | | | ^{18}F (370) (PET/MR 注 射 位) | | | 0.041 | |
| | | | ^{153}Sm (1554) (SPECT注射位) | | | 0.010 | |
| | | 地面 | ^{18}F (370)(PET/CT 注射位) | 4.5 | 250mm混凝土 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.057 | 0.123 |
| | | | ^{18}F (370) (PET/MR 注 射 位) | | | 0.057 | |
| | | | ^{153}Sm (1554) (SPECT注射位) | | | 0.009 | |
| | | ●3 | 储源室 | 北墙 | ^{18}F (22200) | 1.5 | 50mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 +240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (37372) = 肺灌注 (37000) +肺通气 (222) + ^{90}Y 肝癌治疗 (150) | 20mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 +240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | | | | 1.59E-37 | | |
| ^{131}I (740) | 50mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 +240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | | | | 3.64E-07 | | |
| 防护门 | ^{18}F (22200) | | | 1.8 | 50mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 | 0.026 | 0.026 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|----|---------------------------|----|-------------------------------------|----------|--|----------|----------|
| | | | | | +内衬6mm铅板 | | | | |
| | | | ^{99m}Tc (37372) | | 20mmPb铅罐 ++20mmPb储源箱 +内衬6mm铅板 | 3.49E-44 | | | |
| | | | ^{131}I (740) | | 50mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 +内衬6mm铅板 | 1.68E-06 | | | |
| | | 顶棚 | 5.7 | | ^{18}F (22200) | | 50mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 +250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 1.48E-04 | 1.48E-04 |
| | | | | | ^{99m}Tc (37372) | | 20mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 +250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 1.87E-44 | |
| | | | | | ^{131}I (740) | | 50mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 +250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 1.08E-08 | |
| | | 地面 | 4.5 | | ^{18}F (22200) | | 50mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 +250mm混凝土 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 2.06E-04 | 2.06E-04 |
| | | | | | ^{99m}Tc (37372) | | 20mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 +250mm混凝土 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 2.98E-45 | |
| | | | | | ^{131}I (740) | | 50mmPb铅罐 +20mmPb储源箱 +250mm混凝土 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 1.38E-08 | |
| | | ●4 | 固废间 | 北墙 | ^{18}F (111) | 1.5 | 10mmPb铅衰变箱 +240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.124 | 0.125 |
| | | | | | ^{99m}Tc (373.7) | | | 1.59E-15 | |
| | | | | | ^{131}I (7.4) | | | 0.001 | |
| 防护门 | 1.8 | | | | ^{18}F (111) | | 10mmPb铅衰变箱 +内衬6mm铅板 | 0.525 | 0.530 |
| | | | | | ^{99m}Tc (373.7) | | | 3.49E-16 | |
| | | | | | ^{131}I (7.4) | | | 0.005 | |
| 顶棚 | 5.7 | | | | ^{18}F (111) | | 10mmPb铅衰变箱 +250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.003 | 0.003 |
| | | | | | ^{99m}Tc (373.7) | | | 1.87E-16 | |
| | | | | | ^{131}I (7.4) | | | 3.04E-05 | |
| 地面 | 4.5 | | | | ^{18}F (111) | | 10mmPb铅衰变箱 +250mm混凝土 | 0.004 | 0.004 |
| | | | | | ^{99m}Tc (372) | | | 2.99E-17 | |

| | | | | | | | |
|----|-----------|-----|--------------------------------|-----|--|----------|--|
| | | | ^{131}I (7.4) | | +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 3.96E-05 | |
| ●5 | 服碘室 | 东墙 | ^{131}I (370) | 1.5 | 50mmPb铅罐 +240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 1.21E-05 | |
| | | 防护门 | | 1.5 | 50mmPb铅罐 +6mmPb铅板 | 7.95E-05 | |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 50mmPb铅罐 +250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 5.04E-06 | |
| | | 地面 | | 4.5 | 50mmPb铅罐 +250mm混凝土 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 4.54E-07 | |
| ●6 | 肺 通气室 | 通气处 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (111) | 0.5 | 0.5mmPb防护用品 | 4.26 | |
| | | 南墙 | | 1.2 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | 7.39E-04 | |
| | | 防护门 | | 1.2 | 内衬4mm铅板 | 2.34E-04 | |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 250mm混凝土 +1mmPb硫酸钡防 护涂料 | 5.56E-05 | |
| | | 地面 | | 4.5 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 8.92E-08 | |
| ●7 | 甲测室 | 东墙 | ^{131}I (0.185) | 1.6 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | 2.84E-04 | |
| | | 南墙 | | 2.1 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | 1.65E-04 | |
| | | 防护门 | | 1.9 | 内衬4mm铅板 | 0.001 | |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 250mm混凝土 +1mmPb硫酸钡防 护涂料 | 9.33E-06 | |
| | | 地面 | | 4.5 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 9.83E-06 | |
| ●8 | 运动 负荷室 | 北墙 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (925) | 2.0 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.002 | |
| | | 防护门 | | 2.0 | 内衬4mm铅板 | 7.01E-04 | |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 250mm混凝土 +1mmPb硫酸钡防 护涂料 | 4.63E-04 | |
| | | 地坪 | | 4.5 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 7.43E-06 | |
| ●9 | 敷贴室 | 南墙 | ^{32}P (4mCi) | 2.0 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.001 | |

| | | | | | | | | |
|----------------|---|-----|---|----------------|-------------------------------|----------|--------------|--|
| | | 防护门 | | 2.0 | 内衬4mm铅板 | 0.014 | | |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 250mm混凝土 +1mmPb硫酸钡防 护涂料 | 3.96E-05 | | |
| | | 地坪 | | 4.5 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.003 | | |
| | | 敷贴位 | | 1.0 | 0.5mmPb铅衣 | 0.107 | | |
| ●10 | 甲亢 留观室 | 东墙 | ¹³¹ I (370) (1名用药患者 在此留观) | 1.5 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.646 | | |
| | | 南墙 | | 1.5 | | 0.646 | | |
| | | 防护门 | | 5.5 | 内衬4mm铅板 | 0.315 | | |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 250mm混凝土 +1mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.019 | | |
| | | 地坪 | | 4.5 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.020 | | |
| ●11 | SPECT/ CT机房1 | 摆位处 | ^{99m} Tc (925) (肺灌注) | 1.0 | 0.5mmPb防护用品 +2mmPb铅屏风 | 0.089 | | |
| | | | | | | 0.011 | | |
| | | | | | | 0.014 | | |
| | | | | | | 3.077 | | |
| | | 西墙 | ^{99m} Tc (925) (1名用药患者 在此检查) | 4.0 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | 5.54E-04 | 0.053 | |
| | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.053 | | |
| | | 南墙 | ^{99m} Tc (925) (1名用药患者 在此检查) | 4.4 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | 4.58E-04 | 0.044 | |
| | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.044 | | |
| | | 防护门 | ^{99m} Tc (925) (1名用药患者 在此检查) | 4.4 | 内衬4mm铅板 | 1.45E-04 | 0.044 | |
| | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.044 | | |
| | | 观察窗 | ^{99m} Tc (925) (1名用药患者 在此检查) | 4.4 | 4mmPb铅玻璃 | 1.45E-04 | 0.044 | |
| | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.044 | | |
| | | 顶棚 | ^{99m} Tc (925) (1名用药患者 在此检查) | 5.7 | 250mm混凝土 +1mmPb硫酸钡防 护涂料 | 4.63E-04 | 0.026 | |
| | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.026 | | |
| | | 地坪 | ^{99m} Tc (925) (1名用药患者 在此检查) | 4.5 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 7.43E-06 | 6.86 E-04 | |
| CT出束所致X射线辐射剂量率 | | | | 6.79E-04 | | | | |
| 西墙 | ^{99m} Tc (925) (1名用药患者 在此检查) | 4.0 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 | 0.012 | 0.065 | | | |

| | | | | | | | | |
|-------|---|-----|--|-----|-------------------------------|----------|---|-----|
| | | 南墙 | ^{90}Y (81) (1名用药患者 在此检查) | | 护涂料 | | | |
| | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | 0.053 | | |
| | | | | 4.4 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.010 | 0.054 | |
| | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | 0.044 | | |
| | | | | 4.4 | 内衬4mm铅板 | 0.131 | 0.175 | |
| | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | 0.044 | | |
| | | | | 4.4 | 4mmPb铅玻璃 | 0.131 | 0.175 | |
| | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | 0.044 | | |
| | | | | 5.7 | 250mm混凝土 +1mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.002 | 0.028 | |
| | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | 0.026 | | |
| | | | | 4.5 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.002 | 0.002 | |
| | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | 6.79E-04 | | |
| | | | | ●12 | SPECT/ CT机房2 | 摆位处 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (925) (肺灌注) | 1.0 |
| 0.011 | | | | | | | | |
| 0.014 | | | | | | | | |
| 3.077 | | | | | | | | |
| 东墙 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (111) (肺通气) | 3.2 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | | | 8.66E-04 | 0.082 | |
| | | | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 0.082 | |
| 南墙 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (150) (^{90}Y 肝癌治疗) | 4.4 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | | | 4.58E-04 | 0.044 | |
| | | | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 0.044 | |
| 防护门 | ^{90}Y (300) (^{90}Y 肝癌治疗) | 4.4 | 内衬4mm铅板 | | | 1.45E-04 | 0.044 | |
| | | | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 0.044 | |
| 观察窗 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (925) (1名用药患者 在此检查) | 4.4 | 4mmPb铅玻璃 | | | 1.45E-04 | 0.044 | |
| | | | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 0.044 | |
| 顶棚 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (925) (1名用药患者 在此检查) | 5.7 | 250mm混凝土 +1mmPb硫酸钡防 护涂料 | | | 4.63E-04 | 0.026 | |
| | | | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 0.026 | |
| 地坪 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (925) (1名用药患者 在此检查) | 4.5 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | | | 7.43E-06 | 6.86 E-04 | |
| | | | | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 6.79E-04 | |
| 东墙 | ^{90}Y (81) | 3.2 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | | | 0.018 | 0.100 | |

| | | | | | | | |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|---|----------------|-------------------------------|----------|-------|
| | | 南墙 | (1名用药患者 在此检查) | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.082 | 0.054 |
| | | | | 4.4 | 240mm实心砖 +2mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.010 | |
| | | 防护门 | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.044 | 0.175 |
| | | | | 4.4 | 内衬4mm铅板 | 0.131 | |
| | | 观察窗 | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.044 | 0.175 |
| | | | | 4.4 | 4mmPb铅玻璃 | 0.131 | |
| | | 顶棚 | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.044 | 0.028 |
| | | | | 5.7 | 250mm混凝土 +1mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.002 | |
| | | 地坪 | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.026 | 0.002 |
| | | | | 4.5 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.002 | |
| CT出束所致X射线辐射剂量率 | | | 6.79E-04 | | | | |
| ●13 | PET/CT 机房 | 摆位处 | ¹⁸ F (370) (1名用药患者 在此检查) | 1.0 | 0.5mmPb防护用品 +10mmPb铅屏风 | 12.30 | |
| | | 西墙 | | 3.5 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.303 | 0.304 |
| | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.001 | |
| | | 南墙 | | 4.4 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.192 | 0.192 |
| | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 7.11E-04 | |
| | | 防护门 | | 4.4 | 内衬6mm铅板 | 1.188 | 1.188 |
| | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 7.11E-04 | |
| | | 观察窗 | | 4.4 | 6mmPb铅玻璃 | 1.188 | 1.188 |
| | | | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 7.11E-04 | |
| | | 顶棚 | | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 0.041 | 0.041 |
| 5.7 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | | 0.041 | | | | |
| 地坪 | CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 4.23E-04 | 0.057 | | | |
| | 4.5 | 250mm混凝土 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.057 | | | | |
| CT出束所致X射线辐射剂量率 | | 8.99E-05 | | | | | |
| ●14 | PET/MR 机房 | 摆位处 | ¹⁸ F (370) (1名用药患者 在此检查) | 1.0 | 0.5mmPb防护用品 +10mmPb铅屏风 | 12.30 | |
| | | 东墙 | | 3.5 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.303 | |
| | | 南墙 | | 4.4 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.192 | |
| | | 防护门 | | 4.4 | 内衬6mm铅板 | 1.188 | |
| | | | | 4.4 | 6mmPb铅玻璃 | 1.188 | |
| | | 观察窗 | | 5.7 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.041 | |

| | | | | | | |
|-----|---------------|-----|--|-----|-------------------------------|----------|
| | | 地坪 | | 4.5 | 250mm混凝土 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.057 |
| ●15 | SPECT 候诊室 | 北墙 | ^{99m} Tc (4625) (5名用药患者 同时候诊) | 1.5 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 3.87E-04 |
| | | 防护门 | | 1.5 | 内衬4mm铅板 | 0.012 |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 250mm混凝土 +1mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.005 |
| | | 地面 | | 4.5 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 3.72E-05 |
| ●16 | PET 一候室 | 北墙 | ¹⁸ F (740) (2名用药患者 同时在此候诊) | 4.0 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.464 |
| | | 西墙 | | 1.5 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 1.858 |
| | | 防护门 | | 2.5 | 内衬15mm铅板 | 2.116 |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.082 |
| | | 地面 | | 4.5 | 250mm混凝土 +6mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.087 |
| ●17 | PET 二候室 | 北墙 | ¹⁸ F (740) (2名用药患者 同时在此候诊) | 4.0 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.464 |
| | | 西墙 | | 1.5 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 1.858 |
| | | 防护门 | | 2.5 | 内衬15mm铅板 | 2.116 |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 250mm混凝土 +3mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.082 |
| | | 地面 | | 4.5 | 250mm混凝土 +6mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.087 |
| ●18 | 留观室 (兼抢救室) | 抢救位 | ¹⁸ F (370) | 0.5 | 0.5mmPb防护用品 | 197.5 |
| | | | ^{99m} Tc (925) (肺灌注) | | | 35.5 |
| | | | ^{99m} Tc (111) (肺通气) | | | 4.3 |
| | | | ¹³¹ I (370) | | | 79.3 |
| | | 北墙 | ¹⁸ F (740) (2名用药患者在此留观) | 3.0 | 240mm实心砖 +4mmPb硫酸钡防 护涂料 | 0.826 |
| | | 西墙 | | 1.5 | 240mm实心砖 | 1.858 |

| | | | | | | |
|-----|------|--------|--------------------------------------|-----|-----------------------|-------|
| | | | | | +4mmPb硫酸钡防护涂料 | |
| | | 防护门(北) | | 3.0 | 内衬15mm铅板 | 1.470 |
| | | 防护门(南) | | 2.5 | 内衬15mm铅板 | 2.116 |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 250mm混凝土+3mmPb硫酸钡防护涂料 | 0.082 |
| | | 地面 | | 4.5 | 250mm混凝土+6mmPb硫酸钡防护涂料 | 0.087 |
| ●19 | 患者廊道 | 西墙 | ¹⁸ F (370) (1名用药患者在此处) | 3.0 | 240mm实心砖+4mmPb硫酸钡防护涂料 | 0.413 |
| | | 防护门 | | 3.0 | 内衬10mm铅板 | 1.470 |
| | | 顶棚 | | 5.7 | 250mm混凝土+3mmPb硫酸钡防护涂料 | 0.041 |
| | | 地面 | | 4.5 | 250mm混凝土+4mmPb硫酸钡防护涂料 | 0.057 |

注：1) 功能间有多面墙体时，给出辐射剂量率较大墙体的预测值。

2) 手套箱外表面剂量率较小，通过距离衰减和墙体屏蔽，其对外的辐射影响可忽略不计，本次评价仅考虑医护人员拿着单人用量注射器的药物对四周的影响。

3) 摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 个人防护用品，在铅防护屏风（PET/CT 机房和 PET/MR 机房均为 10mm 铅当量，SPECT/CT 机房为 2mm 铅当量）后进行摆位工作，按身体距离用药患者约 1m 进行估算。

4) 储源室仅考虑用量较大的 ¹⁸F、^{99m}Tc 和 ¹³¹I 的日最大贮存量，其他核素用量较少，本次评价忽略不计。

5) 固废间仅考虑 ¹⁸F、^{99m}Tc 和 ¹³¹I 并按原始用药活度的 1% 作为放射性固废的核素活度。

6) PET 一侯室、PET 二侯室和留观室均按双人间设计；SPECT 候诊室按 5 人间设计。

7) ⁹⁰Y 摆位处剂量率根据公式 (11.2-2) 获取；

8) 参考《辐射防护导论》(方杰主编) P98 表 3.5 推导出：⁹⁰Y、³²P 在 β 粒子平均能量条件下在混凝土中的什值层 TVL 取值分别为 135mm、123mm；由于无 ⁹⁰Y、³²P 在 β 粒子平均能量条件下在实心砖中的什值层 TVL 数据，本次评价保守按照密度折算，即 240mm 实心砖折算为 168mm 混凝土。

因此，本项目核医学工作场所各预测点位的辐射剂量率既能满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 中“在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h”，又能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10 μSv/h。放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h”的要求。

11.2.5 III类射线装置的X射线影响分析

通过表10.4-3可知，本项目PET/CT和SPECT/CT机房的有效使用面积和最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、防护门及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从X射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目PET/CT和SPECT/CT机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关防护设施的技术要求。因此可推导出机房周围环境辐射水平能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“CT机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

PET/CT和SPECT/CT进行CT扫描时，场所周围存在CT散射与患者释放的 γ 射线的叠加辐射贡献，故单独进行分析。根据西门子厂家140kVp工况下CT周围剂量率分布曲线，1m处杂散辐射为 $0.052\mu\text{Gy/mAs}$ （垂直）和 $0.051\mu\text{Gy/mAs}$ （水平），CT扫描通常不超过300mA，故1m处的杂散辐射剂量率最高约 56.16mGy/h 。其他型号设备的CT散射辐射水平也在相同量级。

本项目PET/CT和SPECT/CT机房的有效屏蔽厚度主要为4mmPb、6mmPb、7mmPb，透射系数分别为 $1.50\text{E-}05$ 、 $2.45\text{E-}07$ 、 $3.24\text{E-}08$ （由GBZ 130-2020附录C公式C.1及表C.2推导出），按照关注点的距离进行衰减估算，CT运行所致的附加剂量率见表11.2-4，最大理论预测值为 $0.082\mu\text{Sv/h}$ 。可见，核医学科场所PET/CT和SPECT/CT机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加CT运行所致附加剂量率，也不超过设定的 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。保守假设全部PET/CT和SPECT/CT检查人员做CT扫描，每人CT出束时间以毫秒计，保守按5s计算。PET/CT和SPECT/CT全年检查14500人次（= ^{18}F 6000人次/年+ ^{68}Ga 100人次/年+ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肺灌注8000人次/年+ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肺通气100人次/年+ ^{201}Tl 100人次/年+ ^{67}Ga 100人次/年+ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肝癌治疗100人次/年+ ^{90}Y 肝癌治疗100人次/年），全年出束时间约20h，对机房周围全居留人员的年附加剂量贡献仅为 $1.64\mu\text{Sv}$ 。因此，本项目CT运行产生的X射线对控制廊道的辐射工作人员和周围公众附加剂量贡献值可忽略不计。

11.2.6 放射性表面污染分析

本项目放射性表面污染主要为 α 、 β 表面污染，影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响。由于放射性表面污染与医院管理及医护人员的操作熟练程度有很大关系，无法用理论计算的方式进行定量，故本次评价采用类比检测的方式进行分析。

1、类比对象的选择

由于放射性表面污染主要与核素种类和日等效操作量有关，与工作场所屏蔽防护无关，且本项目 α 核素使用量极少，因此本次评价重点评价 β 表面污染，选择浙江金华广福肿瘤医院现有的PET/CT、SPECT工作场所为类比对象，核素使用种类和操作量相近，具有很好的类比性。类比可行性见表11.2-5。

表11.2-5 类比可行性分析

| 名称 | 类比项目（浙江金华广福肿瘤医院 肿瘤医院） | 本项目 | 分析 对比结论 |
|------------|--|---|-------------------------|
| 主要核素 | ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I | ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I | 一致 |
| 日等效 操作量 | ^{18}F 日等效操作量： $7.40 \times 10^7 \text{Bq}$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日等效操作量： $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{131}I 日等效操作量： $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ | ^{18}F 日等效操作量： $1.332 \times 10^7 \text{Bq}$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日等效操作量： $3.737 \times 10^7 \text{Bq}$ ^{131}I 日等效操作量： $7.404 \times 10^8 \text{Bq}$ | 本项目日等效 操作量小于类 比项目 |

2、类比检测结果

参考《浙江金华广福肿瘤医院核医学及医用射线装置项目建设项目环保竣工验收监测报告》（浙江省辐射环境监测站编制，浙辐监（YS）字（2016）第113号，验收监测时间：2016年8月23日、24日；2016年11月1日），类比项目相关辐射工作场所 β 表面污染检测结果分别见表11.2-6和表11.2-7。

表11.2-6 SPECT工作场所 β 表面污染检测结果

| 监测场所 | 点位编号 | 点位描述 | β 表面污染（ Bq/cm^3 ） |
|------|------|----------------------------------|---|
| 控制区 | 1 | 淋洗分装柜表面 | 未检出 |
| | 2 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗分装室地面 | 未检出 |
| | 3 | 注射室地面 | 未检出 |
| | 4 | 注射窗台面 | 未检出 |
| | 5 | 医生注射室废物桶表面 | 未检出 |
| | 6 | 病人注射位地面 | 未检出 |
| | 7 | 病人注射位废物桶表面 | 未检出 |
| | 8 | 病人注射位给药后候诊室地面 | 未检出 |
| | 9 | SPECT/CT机房地面 | 未检出 |
| | 10 | ^{131}I 给药室地面 | 未检出 |
| | 11 | ^{131}I 服药室地面 | 未检出 |
| | 12 | 4号核素治疗病房地面 | 未检出 |
| | 13 | 3号核素治疗病房地面 | 未检出 |
| | 14 | 2号核素治疗病房地面 | 未检出 |
| | 15 | 1号核素治疗病房地面 | 未检出 |
| | 16 | 污物间地面 | 未检出 |
| 监督区 | 17 | 护理站地面 | 未检出 |
| | 18 | SPECT/CT机房控制室地面 | 未检出 |
| | 19 | 检查病人通道地面 | 未检出 |

表11.2-7 PET工作场所β表面污染检测结果

| 监测场所 | 点位编号 | 点位描述 | β表面污染 (Bq/cm ³) |
|------|------|-------------------|-----------------------------|
| 控制区 | 1 | PET注射室地面 | 未检出 |
| | 2 | PET药物分装柜表面 | 未检出 |
| | 3 | 注射窗表面 | 未检出 |
| | 4 | 废物桶表面 | 未检出 |
| | 5 | VIP给药后候诊室地面 | 未检出 |
| | 6 | 给药后候诊室地面 | 未检出 |
| | 7 | VIP给药后候诊室南走廊表面 | 未检出 |
| | 8 | PET/CT机房地面 | 未检出 |
| 监督区 | 9 | PET和ECT工作场所之间走廊地面 | 未检出 |
| | 10 | PET/CT机房控制室地面 | 未检出 |
| | 11 | 病人离开PET工作场所通道地面 | 未检出 |

因此，PET、SPECT工作场所的控制区和监督区均未检出β表面污染，符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）规定的控制区β表面污染小于40Bq/cm²，监督区β表面污染小于4Bq/cm²的要求。由此可推导出，本项目在做好放射性表面污染控制措施的基础上，场所控制区和监督区的放射性表面污染水平亦可满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中的限值要求。

11.2.7 人员受照剂量

11.2.7.1 外照射剂量分析

根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000年报告附录A，X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算：

$$E = D_r \cdot t \cdot U \cdot T \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (11.2 - 4)$$

式中：E——年有效剂量，mSv/a；

D_r——关注点处辐射剂量率，μSv/h；

t——年受照时间，h/a；

U——使用因子，本次评价保守全部取1；

T——人员在相应关注点驻留的居留因子，取值参考《放射治疗辐射安全和防护要求》（HJ 1198-2021）附录A表A.1。

根据公式（11.2-4），本项目核医学工作场所职业人员和周围公众的年有效剂量估算见表 11.2-8 和表 11.2-9。

表 11.2-8 核医学工作场所职业人员年有效剂量估算结果

| 人员属性 | 受照环节 | 核素名称 | t (h/a) | T | D _r (μSv/h) | E (mSv/a) |
|-----------------|----------------------|--|-------------------------|---|------------------------|-----------|
| 医生 | 抢救 | ¹⁸ F | 1 (1次/季×15min/人次) | 1 | 197.5 | 0.198 |
| | | ^{99m} Tc (肺灌注) | 1 (1次/季×15min/人次) | | 35.5 | 0.036 |
| | | ^{99m} Tc (肺通气) | 1 (1次/季×15min/人次) | | 4.5 | 0.005 |
| | | ¹³¹ I | 1 (1次/季×15min/人次) | | 79.3 | 0.079 |
| 技师 | 摆位 | ¹⁸ F (含 ⁶⁸ Ga) | 203 (6100人/年×2min/人次) | 1 | 12.30 | 2.497 |
| | | ^{99m} Tc肺灌注 (含 ²⁰¹ Tl、 ⁶⁷ Ga) | 273 (8200人/年×2min/人次) | | 0.089 | 0.024 |
| | | ^{99m} Tc (肺通气) | 3.3 (100人/年×2min/人次) | | 0.011 | 3.63E-05 |
| | | ^{99m} Tc (肝癌治疗) | 3.3 (100人/年×2min/人次) | | 0.014 | 4.62E-05 |
| | | ⁹⁰ Y (肝癌治疗) | 3.3 (100人/年×2min/人次) | | 3.077 | 0.010 |
| | 扫描 | ¹⁸ F (含 ⁶⁸ Ga) | 1525 (6100人/年×15min/人次) | 1 | 0.192 | 0.293 |
| | | ^{99m} Tc肺灌注 (含 ²⁰¹ Tl、 ⁶⁷ Ga) | 2100 (8400人/年×15min/人次) | | 4.58E-04 | 0.001 |
| | | ^{99m} Tc (肺通气) | | | | |
| | | ^{99m} Tc (肝癌治疗) | | | | |
| | | ⁹⁰ Y (肝癌治疗) | 25 (100人/年×15min/人次) | | 0.044 | 0.001 |
| | | CT装置出束 (X射线) | 20 (1次/季×5s/人次) | | 0.082 | 0.002 |
| 护士 | 分装 | ¹⁸ F (含 ⁶⁸ Ga) | 102 (6100次/年×1min/次) | 1 | 0.017 | 0.002 |
| | 自制 | ³² P | 1.7 (100次/年×1min/人次) | 1 | 7.66E-04 | 1.30E-06 |
| | 敷贴指导 | ³² P | 1.7 (100次/年×1min/人次) | 1 | 0.107 | 1.82E-04 |
| | 取药 | ¹⁸ F (含 ⁶⁸ Ga) | 102 (6100人/年×1min/人次) | 1 | 0.572 | 0.058 |
| | | ^{99m} Tc肺灌注 (含 ²⁰¹ Tl、 ⁶⁷ Ga) | 137 (8200人/年×1min/人次) | | 3.11E-08 | 4.26E-09 |
| | | ^{99m} Tc肺通气 | 1.7 (100人/年×1min/人次) | | 3.74E-09 | 6.36E-12 |
| | | ^{99m} Tc (肝癌治疗) | 1.7 (100人/年×1min/人次) | | 5.05E-09 | 8.59E-12 |
| | | ¹⁸⁸ Re | 1.7 (100人/年×1min/人次) | | 0.925 (γ射线) | 0.002 |
| | | | | | 0.004 (X射线) | 6.80E-06 |
| | | ¹⁵³ Sm | 1.7 (100人/年×1min/人次) | | 3.93E-10 | 6.68E-13 |
| ⁹⁰ Y | 1.7 (100人/年×1min/人次) | 0.080 | 1.36E-04 | | | |

| | | | | | | | |
|-----|---|---|-------------------------|----------|----------|----------|--|
| | | (肝癌治疗) | | | | | |
| 测活 | 1 | ^{99m} Tc (肝癌治疗) | 1.7 (100人/年×1min/人次) | 5.05E-09 | 8.59E-12 | 4.79E-04 | |
| | | ⁹⁰ Y (肝癌治疗) | 1.7 (100人/年×1min/人次) | 0.282 | 4.79E-04 | | |
| 给碘 | 1 | ¹³¹ I (甲亢治疗) | 1.7 (200人/年×0.5min/人次) | 0.014 | 2.38E-05 | | |
| 肺通气 | 1 | ^{99m} Tc (肺通气) | 8.3 (100人/年×5min/人次) | 4.26 | 0.035 | | |
| 注射 | 1 | ¹⁸ F (含 ⁶⁸ Ga) | 1525 (6100人/年×15min/人次) | 2.29 | 3.492 | 3.496 | |
| | | ^{99m} Tc肺灌注 (含 ²⁰¹ Tl、 ⁶⁷ Ga) | 137 (8200人/年×1min/人次) | 3.05E-06 | 4.18E-07 | | |
| | | ¹⁸⁸ Re | 1.7 (100人/年×1min/人次) | 2.32 | 0.004 | | |
| | | ¹⁵³ Sm | 1.7 (100人/年×1min/人次) | 1.24E-07 | 2.11E-11 | | |

注：¹³¹I甲测的药物分装量极低，¹³¹I甲亢采用自动分装，对工作人员的辐射剂量影响较小，本表格不计入。

表 11.2-9 核医学工作场所周围公众年有效剂量估算结果

| 人员属性 | 关注点位 | t (h/a) | T | D _r (μSv/h) | E (mSv/a) |
|------|------------------------------|-----------------------|------|------------------------|-----------|
| 公众成员 | 东侧护士站 (按7#甲测室的防护门保守取值) | 2000 (8h/d×250d/a) | 1 | 0.001 | 0.002 |
| | 东侧廊道 (按9#甲亢留观室的东墙保守取值) | | 1/32 | 0.646 | 0.40 |
| | 北侧医护廊道 (按17#留观室的防护门保守取值) | | 1/32 | 1.470 | 0.092 |
| | 西侧诊断后廊道 (按18#患者廊道出口的防护门保守取值) | | 1/40 | 1.470 | 0.074 |
| | 西侧预留区域 (按13#PET/MR机房的东墙保守取值) | | 1/40 | 0.303 | 0.015 |
| | 楼上出入院办理区 (按17#留观室的顶棚保守取值) | | 1/2 | 0.082 | 0.082 |
| | 楼下放疗科辅助用房 (按17#留观室的地坪保守取值) | | 1/2 | 0.087 | 0.087 |

因此，本项目核医学科PET/CT、PET/MR、SPECT/CT检查由2名固定的医生负责抢救，¹³¹I核素治疗由1名固定的医生负责抢救，则单名医生的年有效剂量相应分别为0.050mSv、0.050mSv、0.010mSv、0.079mSv；PET/CT、PET/MR、SPECT/CT机房1、SPECT/CT机房2各设2名固定的技师共同完成摆位和扫描工作，则单名技师的年有效剂量相应分别为0.698mSv/a、0.698mSv、0.010mSv、0.010mSv；整个核医学科拟设6名护士负责取药、注射、给碘、甲状腺功能测定、肺通气及⁹⁰Y肝癌治疗所需的^{99m}Tc和⁹⁰Y药物活度测量和抽取等工作，

则单名护士的年有效剂量为0.599mSv,能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对职业人员剂量限值5mSv/a和本项目剂量约束值5mSv/a的要求。

同时,核医学控制区外公众年有效剂量最大估算值为0.092mSv,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对公众成员剂量限值1mSv/a和本项目剂量约束值0.1mSv/a的要求。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系,距离核医学工作场所越远,辐射剂量率越低,机房附近公众受照剂量满足要求,因此核医学工作场所50m范围内环境保护目标公众受照剂量也能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对公众成员剂量限值1mSv/a和本项目剂量约束值0.1mSv/a的要求。

11.2.7.2 内照射剂量分析

本项目放射性核素¹³¹I具有挥发性,在考虑外照射影响的同时,还需考虑其内照射影响。根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)附录J第J.5.3.4条款,从事¹³¹I治疗的工作人员摄入放射性核素所致待积有效剂量采用公式(11.2-5)计算:

$$E(\tau) = A_0 e(\tau) \dots\dots\dots (11.2-5)$$

式中: $E(\tau)$ ——待积有效剂量, mSv;

A_0 ——放射性核素摄入量, Bq;

$e(\tau)$ ——每单位摄入量引起的待积剂量, mSv/Bq。

在进行职业内照射剂量估算时,对放射性核素¹³¹I,其 $e(\tau)$ 值可以从GBZ 129-2016附录E表E.1中获得。吸入的气溶胶粒子的活度中值空气动力学直径(AMAD)通常取5 μ m,则对放射性核素¹³¹I,当AMAD为5 μ m时对应的 $e(\tau)$ 为 1.1×10^{-5} mSv/Bq。

用空气采样方法估算吸入所致放射性核素的摄入量时,可用公式(11.2-6)计算:

$$A_{0吸} = C_{空} B_{空} t \dots\dots\dots (11.2-6)$$

其中: $A_{0吸}$ ——通过呼吸道的摄入量, Bq;

$C_{空}$ ——放射性核素¹³¹I在空气中的活度浓度, Bq/m³;

$B_{空}$ ——工作人员呼吸率, m³/h ($B_{空}$ 值成年人取0.83m³/h);

t ——在放射性核素¹³¹I工作场所的累积时间, h。

参考《4家核医学工作场所空气中¹³¹I活度浓度的监测》(张震、张奇等,工业卫生和职业病,2013年第39卷第3期),中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全研究所对从事¹³¹I治疗的4家三甲医院核医学工作场所空气中放射性核素¹³¹I进行了浓度监测,结果见表11.2-10。

表11.2-10 4家医院核医学工作场所空气中¹³¹I活度浓度

| 采样地点 | 采样时间 (h) | 采样体积 (m ³) | ¹³¹ I活度浓度 (Bq/m ³) | ¹³¹ I总操作量 (GBq) | 操作方式 |
|----------------------------|-------------|---------------------------|--|-------------------------------|------|
| 四川省A医院检查服药室 | 5 | 120 | 28 | 10 | 自动 |
| 四川省B医院检查服药室 | 5 | 123 | 320 | 5 | 手动 |
| 河南省某医院 ¹³¹ I分装室 | 4 | 98 | 197 | 30 | 手动 |
| 山东省某医院 ¹³¹ I分装室 | 3 | 78 | 5.8 | 2 | 手动 |
| 平均值 | 4 | 105 | 137 | 12 | / |

根据表11.2-10可知，四川省A医院检查服药室¹³¹I操作量为10GBq，操作方式为自动操作，其工作场所空气中¹³¹I活度浓度为28Bq/m³，该医院与本项目操作方式一致，因此可用该调查数据预测本项目运行后辐射工作人员所受到的内照射剂量。

本项目¹³¹I核素日最大操作量为20mCi（0.74GBq），则根据表中类比推算，本项目工作场所空气中¹³¹I活度浓度为2Bq/m³，假设医院辐射工作人员在分装室内平均每天工作约0.5h，利用公式（11.2-4）和公式（11.2-5）可计算出辐射工作人员在高活室内每日因吸入所致待积有效剂量 9.13×10^{-6} mSv，年操作100天，则每年吸入所致待积有效剂量为 9.13×10^{-4} mSv，叠加操作过程 γ 射线外照射剂量（0.599mSv/a），职业人员总的年有效剂量为0.599mSv/a。

经前文的工程分析，本项目放射性排气口的¹³¹I排放活度为3.7Bq/m³。本次评价不考虑大气扩散稀释和地面沉降等综合因素，保守采用总排气口的污染物排放源强来估算周围公众的内照射剂量。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录B表B7，对于¹³¹I核素，公众成员吸入单位摄入量所致的待积有效剂量按按17岁以下S、F、M状态下最小值取值为 1.6×10^{-9} Sv/Bq，¹³¹I年操作时间为50h（0.5h/d×100d/a）。根据公式（11.2-5）和公式（11.2-6），假设一个成年人的呼吸率为0.83m³/h，则¹³¹I所致公众成员吸入的内照射剂量为 2.5×10^{-4} mSv/a，叠加核医学科运行所致公众成员的 γ 射线外照射剂量理论估算最大值0.092mSv/a，公众成员总的年有效剂量为0.092mSv/a，低于对公众成员剂量约束值0.1mSv/a的要求。

综上所述，本项目核医学的职业人员和周围公众的年附加有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“剂量限值”要求（职业人员20mSv/a，公众成员≤1mSv/a），也满足本项目剂量约束值要求（职业人员≤5mSv/a，公众成员≤0.1mSv/a）。

11.2.8 患者离开医院对环境的影响

对照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）附录B表B.1和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录L表L.2，本项目接受放射性核素治疗的患者出院时体内放射性活度相符性分析见表11.2-11。

表11.2-11 放射治疗患者出院时体内放射性活度相符性分析

| 核素名称 | 本项目单人单次用量 | 患者出院时体内放射性活度标准要求 | | 相符性分析 |
|--------------------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| | | HJ 1188-2021 | GBZ 120-2020 | |
| ¹³¹ I (甲亢) | 10mCi | ≤400MBq (10.8mCi) | ≤400MBq (10.8mCi) | 用药量和标准要求较为相近，建议留观无异常后方可出院 |
| ¹⁵³ Sm | 42mCi | ≤2500MBq (67.6mCi) | ≤2500MBq (140.5mCi) | 无需留观，可直接出院 |
| ⁸⁹ Sr | 4mCi | ≤200MBq (5.4mCi) | 未作出明确规定 | 无需留观，可直接出院 |
| ¹⁸⁸ Re | 45mCi | ≤9000MBq (243.2mCi) | ≤5800MBq (156.8mCi) | 无需留观，可直接出院 |
| ²²³ Ra | 1mCi | 未作出明确规定 | 未作出明确规定 | 活度较低，且为α核素，无需留观，可直接出院 |

医院应对患者离院做出辐射防护书面指导，短期内禁止到公共场所活动，避免与家人亲密接触，则患者离院后对周围环境影响不大。

11.2.9 核医学科“三废”影响分析

11.2.9.1 放射性废气

本项目拟于核医学工作场所控制区的主要房间内设置专门的排风管道，通风系统出口均设置二级过滤装置（总去除效率99.0%），总排风口高出外科病房楼屋顶1.0m。屋顶设抽风机与过滤装置联动控制，根据设计参数，风机运行后管道风速不低于0.5m/s，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）等标准中对放射性废气的控制要求。

本项目排放口¹³¹I排放浓度远低于本项目提出的排放口浓度控制建议值，并对周围公众的内照射剂量均在标准限值范围内。因此，本项目放射性废气对周围环境及公众健康的影响较小。

11.2.9.2 放射性废水

根据核素使用种类和半衰期的差异性，本项目核医学工作场所产生的放射性废水处置方案分为以下两种：

(1) ⁸⁹Sr、²²³Ra、³²P核素（半衰期 $T_{1/2} \geq 11.44d$ ）

⁸⁹Sr、²²³Ra、³²P等3种核素采用1个专用洗手池，事故状态下产生的应急废水经污水管

道收集至 2 个放射性废液铅罐（设计容积为 0.4m^3 ，防护水平为 10mmPb ），满罐后转移至放射性固废间进行存放，两个铅罐交替使用。事故应急次数按半年一次计，单次应急废水量为 100L 。考虑 90% 的安全液位线，则单罐的有效容积为 0.36m^3 ，可存放 1.8 年的废水量。待第 2 个铅罐装满事故废水时，第一个铅罐中废水已暂存衰变 10 个半衰期以上，可解控排放，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“对于槽式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放”的要求。

（2） ^{131}I 等其他核素（半衰期 $T_{1/2}\leq 8.02\text{d}$ ）

^{131}I 等其他核素废水经管道收集后统一送至配套的衰变池进行衰变暂存，暂存超过 180 天并经检测达标后方可排入医院污水处理站进一步处理，然后纳入到市政污水管网。

① 废水处理工艺可行性分析

本项目放射性废水衰变处理系统由“2 个生化沉淀池+3 个衰变池”组成，其中生化沉淀池主要去除废水中悬浮物，池内设有自动搅碎杂质的铰刀，杜绝管路堵塞，不需要定期清淤，起到预处理的作用。衰变池本体设计为 3 组槽式池体（并联），交替贮存、衰变和排放废液，同时池内设有位置压力传感器和极限液位传感器，在废液池上预设采样口，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第“7.3.2 放射性废液贮存”中工艺要求。

② 容积设计合理性分析

本项目核医学工作场所的放射性废水日产生最大量约 1100L/d （即 $1.1\text{m}^3/\text{a}$ ）。单个衰变池设计容积为 115.5m^3 ，本次评价按 90% 考虑有效容积保守按 100m^3 计，3 个衰变池并联轮流使用，则放射性废水注满一个衰变池需要 91 个工作日（即 127 个自然日）。第一个衰变池最后进入的废水存储时间为 $100\text{m}^3 \times 2 / 1.1\text{m}^3 \approx 181$ 个工作日（即 253 个自然日）（即第三个衰变池注满的时间），可以满足最长半衰期核素（ ^{131}I 的半衰期为 8.02d ）超过 180 天及其他核素超过 10 个半衰期的暂存要求，故衰变池的容积设计基本合理，并预留有一定的远期发展余量。

③ 废水排放达标性分析

^{153}Sm （ $T_{1/2}=46.5\text{h}$ ）、 ^{188}Re （ $T_{1/2}=17.0\text{h}$ ）、 ^{90}Y （ $T_{1/2}=2.67\text{d}$ ）均不存在患者排泄废水，主要为事故状态下产生的废水，废水中的活度较小，且半衰期和使用量相对较低，本次评价不予理论计算。基于本项目放射性废水的主要来源为患者排泄废水，重点考虑 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{131}I （甲亢）等核素的排放活度达标性。根据《AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements》（美国医学物理学家学会第 108 号工作报告：PET 和

PET/CT屏蔽要求)，显像诊断核素随人体排出的活度约为使用量的15%，并参考同类医院实际使用情况，本项目核素患者随人体排出的核素活度保守考虑取20%，废水达标可行性分析见表11.2-12。

表11.2-12 放射性废水达标排放可行性分析

| 核素名称 | 半衰期 | 91个工作日的核素用量 | 单池注满收集的废水中核素用量 (Bq) | 经 253 个自然日贮存衰变后单池废水中的核素含量 (Bq) | 废水中的核素排放活度 (Bq/L) | 排放限值 | |
|--------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | | | 一次排放限值 (Bq) | 月排放限值 (Bq) |
| ¹⁸ F | 109.8min | 1.54×10 ¹² | 3.08×10 ¹¹ | ≈0 | ≈0 | 1.67×10 ⁸ | 1.67×10 ⁹ |
| ⁶⁸ Ga | 68.3min | 1.29×10 ¹⁰ | 2.58×10 ⁹ | ≈0 | ≈0 | 1.79×10 ⁸ | 1.79×10 ⁹ |
| ^{99m} Tc | 6.03h | 2.58×10 ¹² | 5.16×10 ¹¹ | ≈0 | ≈0 | 4.17×10 ⁸ | 4.17×10 ⁹ |
| ²⁰¹ Tl | 3.01d | 6.44×10 ⁹ | 1.29×10 ⁹ | ≈0 | ≈0 | 2.94×10 ⁸ | 2.94×10 ⁹ |
| ⁶⁷ Ga | 3.26d | 6.44×10 ⁹ | 1.29×10 ⁹ | ≈0 | ≈0 | 7.35×10 ⁷ | 7.35×10 ⁸ |
| ¹³¹ I (甲亢) | 8.02d | 2.58×10 ¹⁰ | 5.16×10 ⁹ | 1.7 | ≈0 | 6.58×10 ⁵ | 6.58×10 ⁶ |

因此，本项目满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第“7.3.3放射性废液排放”中对槽式衰变池贮存方式的要求（总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ ；总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ；¹³¹I的放射性活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ ）及《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）表1中规定的污染物排放浓度限值要求，可以达标排放。

④与自建的污水处理站处理能力兼容性分析

根据已批复的《浙江省中医院新院区项目（一期）环境影响报告书》，医院在院区东南角计划建设1座地理式污水处理站，设计规模为2000t/d，具体位置见附图4。一期主体工程产生的各类非放射性废水日产生最大量约1274t，本项目核医学工作场所产生的放射性废水日产生最大量为1.1t/a，每91个工作日排放一次，单次排水量约100t，则总废水量合计为1374t/d，低于2000t/d，与污水处理站的处理能力兼容。

11.2.9.3放射性固废处理

本项目核医学工作场所产生的放射性废物在放射性固废间的铅衰变箱内经设定周期存放后，经检测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理，送至医院医疗废物库，最终交由具备相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

参考《医疗废物微波消毒集中处理工程技术规范》（HJ 229-2021），医疗废物的容重以 $0.1 \sim 0.12\text{t/m}^3$ 计，本项目放射性固体废物容重保守以 0.1t/m^3 计，医院计划设置6个衰变箱，防

护水平均为20mmPb用于放射性废物暂存衰变，暂存方案可行性分析见表11.2-13。

表11.2-13 放射性固废暂存方案可行性分析

| 核素类型 | 核素名称 | 放射性固废产生情况 | | 铅衰变箱设置 | 备注 |
|------------------------------|---|-----------|--------------------|------------------------------------|--|
| | | 年产生量 | 折合体积 | | |
| 较短半衰期 ($T_{1/2} < 24h$) | ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{99m}Tc 、 ^{188}Re | 720kg/a | 7.20m ³ | 2个衰变箱交替贮存，单箱设计容积为0.6m ³ | 可以满足HJ1188-2021中“所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天”的要求。 |
| 较长半衰期 ($T_{1/2} > 24h$) | ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{153}Sm 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P | 22.5kg | 0.22m ³ | 2个衰变箱交替贮存，单箱设计容积为0.1m ³ | 可以满足HJ1188-2021中“所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍”的要求。 |
| | ^{89}Sr 、 ^{131}I (甲测、甲亢及废滤料和废活性炭等) | 145kg | 1.45m ³ | 2个衰变箱交替贮存，单箱设计容积为1.0m ³ | 可以满足HJ1188-2021中“含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天”及 ^{89}Sr 暂存10个半衰期的要求。 |

上述铅衰变箱均存放于放射性固废间，设计容积为6m³，可满足实际贮存的空间需求。因此，本项目核医学科放射性固废的处置方案满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)等标准中对放射性固废的控制要求。

11.3 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所运行阶段环境影响分析

11.3.1β 射线及 β 表面污染影响分析

本项目 ^{90}Y 产生的 β 射线及 β 表面污染影响分析可直接应用前文核医学科的 11.2.1 章节、11.2.6 章节的分析结果。

11.3.2X 射线影响分析

本项目 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所位于医技楼一层介入中心的 1#DSA 机房，其 X 射线剂量率和有效剂量计算结果可直接应用后文 11.6 章节的分析结果：DSA 装置运行时机房外辐射剂量率相对于本底未显著提高，满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)规定的“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”与“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序(如 DR、CR、屏片摄影)机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h”的要求。

11.3.3 韧致辐射（X 射线）和 γ 射线影响分析

本项目 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所主要应用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y ，计算关注点的选取原则同核医学科，具体点位图见附图 14。根据韧致辐射剂量率计算公式（11.2-2）和 γ 射线剂量率计算公式（11.2-3），本项目 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所的辐射水平预测结果见表 11.3-1。

表11.3-1 本项目 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所各预测点位射线辐射剂量率计算结果

| 关注 点位 | 点位描述 | | A (MBq) | | R (cm) | 屏蔽防护厚度 | H ($\mu\text{Sv/h}$) |
|----------|--------------------------|-------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| ▲1 | ^{90}Y 治疗机房 | 送药位 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 0.3 | 4mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣 | 0.016 |
| | | | ^{90}Y | 300 | | 16mm+9mm 有机玻璃转 运桶+15mm 铅罐 | 6.97 |
| | | 术者位 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 0.5 | 0.5mmPb 铅衣 | 5.75 |
| | | | ^{90}Y | 300 | | | 15.86 |
| | | 东、西墙 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 4.0 | 240mm 实心砖 +2mmPb 硫酸钡防护涂料 | 8.99×10^{-5} |
| | | | ^{90}Y | 300 | | | 0.205 |
| | | 南、北墙 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 3.6 | 240mm 实心砖 +2mmPb 硫酸钡防护涂料 | 1.11×10^{-4} |
| | | | ^{90}Y | 300 | | | 0.253 |
| | | 东侧防护门 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 4.0 | 内衬 4mm 铅板 | 2.84×10^{-5} |
| | | | ^{90}Y | 300 | | | 0.264 |
| | | 北侧防护门 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 3.6 | 内衬 4mm 铅板 | 3.51×10^{-5} |
| | | | ^{90}Y | 300 | | | 0.159 |
| | | 观察窗 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 3.6 | 4mmPb 铅玻璃 | 3.51×10^{-5} |
| | | | ^{90}Y | 300 | | | 0.159 |
| 顶棚 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 4.7 | 150mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 8.98×10^{-6} | | |
| | ^{90}Y | 300 | | | 0.010 | | |
| 地坪 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 4.7 | 180mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡防护涂料 | 4.76×10^{-6} | | |
| | ^{90}Y | 300 | | | 0.006 | | |
| ▲2 | 储源室 | 东墙 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 1.0 | 240mm 实心砖 | 0.005 |
| | | | ^{90}Y | 300 | | +2mmPb 硫酸钡防护涂料 | 0.186 |
| | | 南墙 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 150 | 1.0 | 240mm 实心砖 | 0.005 |
| | | | ^{90}Y | 300 | | +2mmPb 硫酸钡防护涂料 | 0.186 |

注：1) ^{90}Y 送药时保守仅考虑铅罐的屏蔽。

2) 参考《辐射防护导论》（方杰主编）P98 表 3.5 推导出： ^{90}Y 在 β 粒子平均能量条件下在混凝土中的值层 TVL 取值 135mm；由于无 ^{90}Y 在 β 粒子平均能量条件下在实心砖中的值层 TVL 数据，本次评价保守按照密度折算，即 240mm 实心砖折算为 168mm 混凝土。

3) 储源室的顶棚和地坪防护水平和 ^{90}Y 治疗机房相同，核素活度也相同，本次评价不重复预测。

4) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 辐射剂量率根据 γ 射线剂量率计算公式（11.2-3）计算获取； ^{90}Y 辐射剂量率根据韧致辐射剂量率计算公式（11.2-2）计算获取。

上述预测值在叠加 DSA 装置自身产生的 X 射线剂量影响的基础上, 本项目 ^{90}Y 治疗机房外各预测点位的辐射剂量率同时满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 等标准中 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的限值要求。

11.3.4 人员有效剂量

由于 ^{90}Y 治疗机房(1#DSA 机房)与 3#DSA 机房有效使用面积和最小单边长度均相同, X 射线所致的人员有效剂量可直接引用 3#DSA 机房计算的相关数据。根据后文表 11.6-3 可知, DSA 机房内辐射工作人员(年 150 台手术)年有效剂量最大估算值为 0.71mSv , 手部皮肤年当量剂量为 48.63mSv , 眼晶状体年当量剂量为 3.36mSv , 操作间辐射工作人员(年 150 台手术)年有效剂量最大估算值为 $4.35\times 10^{-3}\text{mSv}$, 机房外公众(年 300 台手术)年受照剂量最大为 0.01mSv/a , 则机房内辐射工作人员年有效剂量每台手术为 0.0047mSv , 手部皮肤年当量剂量每台手术为 0.32mSv , 眼晶体年当量剂量每台手术为 0.022mSv , 操作间辐射工作人员年有效剂量每台手术为 $2.90\times 10^{-5}\text{mSv}$, 机房外公众年有效剂量每台手术为 $6.67\times 10^{-5}\text{mSv}$ 。

本项目 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所每年最多治疗 100 名患者, 单例病人治疗手术分为两个阶段, 分别为第一阶段($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 模拟注射)和第二阶段(^{90}Y 介入注射)。本项目 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所共配置 6 名辐射工作人员, 分为 2 组, 每组由 1 名控制室工作人员和 2 名机房手术工作人员组成。每位工作人员每年最多 50 台手术(第一阶段和第二阶段各 50 台, 合计 100 台), 由于摄影的时间很短, 摄影产生的环境影响可忽略, 平均每阶段手术透视时间约 15min, 则每位工作人员年受照时间最多为 25h(第一阶段和第二阶段各约 12.5h)。工作人员取药为每次 5 分钟, 每年每位工作人员取药时间最多约 8.3h(第一阶段和第二阶段各约 4.16h)。公众人员每阶段的受照时间为 50h。

^{90}Y 肝癌治疗工作场所涉及到的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 核素药物的活度测量、抽取、SPECT/CT 扫描等步骤均由核医学工作场所的辐射工作人员完成, 该部分年有效剂量已单独核算, 此处仅核算放射介入部分的工作人员年有效剂量。同时, ^{90}Y 治疗机房的西侧为 2#DSA 机房, 楼上为 CT 机房, 本次评价在核算 ^{90}Y 治疗机房内手术工作人员的年有效剂量时需叠加 2#DSA 和 CT 机房的剂量影响。由于 CT 型号、参数及机房屏蔽防护设计方案均待定, 本次保守按照机房外剂量率控制限值 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 核算其剂量影响。

根据公式(11.2-4), 本项目 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所职业人员和周围公众的年有效剂量计算结果见表 11.3-2。

表11.3-2 本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所职业人员及周围公众年受照剂量估算结果

| 场所名称 | 人员属性 | 关注点位 | 受照环节 | Dr (μ Sv/h) | t (h/a) | U | T | E (mSv/a) | | | |
|-------------------------|--------------|--------------|--|----------------------------------|----------------------------|------|-------|--------------|-------|--|--|
| ⁹⁰ Y肝癌治疗工作场所 | 职业人员 | 1#DSA机房内 | 第一阶段 | 取药 | 0.016 | 8.3 | 1 | 1 | 0.829 | | |
| | | | | 介入手术 | 5.75 | 12.5 | | | | | |
| | | | 第二阶段 | 取药 | 6.97 | 8.3 | | | | | |
| | | | | 介入手术 | 15.86 | 12.5 | | | | | |
| | | | 1#DSA装置出束(X射线) | | 0.0047×100=0.47 | | | | | | |
| | | | 西侧2#DSA机房辐射剂量 | | 开机前后辐射水平无明显变化,本次评价不考虑其剂量影响 | | | | | | |
| | | 楼上CT机房辐射剂量 | | 2.5 | 12.5 | 1 | 1 | | | | |
| | | 皮肤年当量剂量 | | 0.32×100=32 | | | | 32 | | | |
| | | 眼晶状体年当量剂量 | | 0.022×100=2.2 | | | | 2.2 | | | |
| | | 控制室 | 第一阶段 | 2.84×10 ⁻⁵ | 12.5 | 1 | 1 | 0.006 | | | |
| | 第二阶段 | | 0.264 | 12.5 | | | | | | | |
| | DSA装置出束(X射线) | | 2.90×10 ⁻⁵ ×100=2.90×10 ⁻³ | | | | | | | | |
| 公众成员 | 机房周围 | 第一阶段 | 1.11×10 ⁻⁴ | 50 | 1 | 1 | 0.026 | | | | |
| | | 第二阶段 | 0.264 | 50 | | | | | | | |
| | | DSA装置出束(X射线) | | 6.67×10 ⁻⁵ ×200=0.013 | | | | | | | |

综上所述,本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所机房内手术工作人员年有效剂量最大估算值为0.829mSv,控制室内设备操作人员年有效剂量最大估算值为0.006mSv,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)对职业人员剂量限值20mSv/a和本项目剂量约束值5mSv/a的要求;工作人员的手部皮肤年当量剂量为32mSv,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对职业人员四肢的剂量限值500mSv/a和本项目剂量约束值125mSv/a的要求;工作人员眼晶状体年当量剂量为2.2mSv,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对职业人员眼晶状体的剂量限值150mSv/a和本项目剂量约束值37.5mSv/a的要求。

同时,本项目机房外公众年受照剂量最大估算值为0.026mSv/a,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对公众成员剂量限值1mSv/a和本项目剂量约束值0.1mSv/a的要求。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系,距离机房越远,辐射剂量率越低,机房附近公众受照剂量满足要求,因此机房外50m范围内环境保护目标公众受照剂量也能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对公众成员剂量限值1mSv/a和本项目剂量约束值0.1mSv/a的要求。

11.3.5 患者出院对环境的影响分析

对照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）附录B表B.1和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录L表L.2，本项目接受⁹⁰Y肝癌治疗的患者出院时体内放射性活度相符性分析见表11.3-3。

表11.3-3 ⁹⁰Y患者出院时体内放射性活度相符性分析

| 核素名称 | 本项目单人单次用量 | 患者出院时体内放射性活度标准要求 | | 相符性分析 |
|-----------------|-----------|-------------------|--------------|-----------------|
| | | HJ 1188-2021 | GBZ 120-2020 | |
| ⁹⁰ Y | 81mCi | ≤2500MBq（67.6mCi） | 未作出明确规定 | 必须留观到标准限值后，方可出院 |

本项目⁹⁰Y治疗结束后病人送至专用病房进行医学留观，留观2-6小时后出院。医院应对患者离院做出辐射防护书面指导，短期内禁止到公共场所活动，避免与家人亲密接触，则患者离院后对周围环境影响不大。

11.3.6 ⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所“三废”影响分析

11.3.6.1 放射性废气影响分析

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所应用的⁹⁰Y与^{99m}Tc均为非挥发性核素，且无操作的开放液面，不会产生放射性废气，对周围大气环境的影响可以忽略不计。

11.3.6.2 放射性废水影响分析

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所产生的放射性废水单独收集到放射性废液铅罐进行衰变暂存，暂存10个半衰期以上并经检测达标后方可排入医院污水处理站进一步处理后纳管。

（1）废水处理工艺可行性分析

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所的放射性废水主要为事故应急废水，废水中的悬浮物SS相对较少，故不考虑沉淀功能。医院在清洗间内拟配2个铅罐（设计容积为0.2m³，内层为有机玻璃，外层为5mm铅），用于含^{99m}Tc、⁹⁰Y放射性事故废水的贮存，可交替使用，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第“7.3.2 放射性废液贮存”中工艺要求。

（2）容积设计合理性及达标排放性分析

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所的放射性废水单次最大产生量为100L，年产生量为200L。单个铅罐的设计容积为0.2m³，考虑90%的安全液位线，则单罐的有效容积为0.18m³，可贮存单次的废水量。基于^{99m}Tc半衰期为6.02h，⁹⁰Y半衰期为2.67d，本项目以半衰期更长的⁹⁰Y进行计算。因此，本项目铅罐的容积满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期”的要求，且出口废水的总β活度≤10Bq/L。

(3) 与自建的污水处理站兼容性分析

根据前文分析，一期主体工程的各类非放射性废水量日产生最大量约 1274t，核医学工作场所产生的放射性废水单次排放量约 100t。⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所产生的放射性废水单次排放量约 0.1t，豁免管理的患者住院废水排放量约 0.3t/d，则总废水量仍低于 2000t/d，与污水处理站的处理能力兼容。

1.3.6.3 放射性固废影响分析

本项目⁹⁰Y肝癌治疗工作场所放射性固废年产生量为100kg/a，参考《医疗废物微波消毒集中处理工程技术规范》（HJ 229-2021），医疗废物的容重以 0.1~0.12t/m³计，本项目放射性固体废物容重保守以0.1t/m³计，折合体积约1m³/a。医院拟在污物间内配置1个容积为0.1m³、防护当量为10mmPb的铅衰变箱，可以满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍”的要求。衰变10个半衰期后达到解控标准后按普通医疗废物处理，送至医院医疗废物库，最终交由具备相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

11.4 直线加速器运行阶段环境影响分析

本项目直线加速器具备影像引导放射治疗（IGRT）功能，自带1个CT装置（最大管电压为140kV，最大管电流为800mA）。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中表3：“标称125kV以上的摄影机房有用线束方向铅当量不得低于3mm铅当量”及附录C表C.7：“140kV的摄影机房有用线束方向，249mm厚混凝土相当于3mm铅当量”，本项目加速器机房墙体屏蔽为（1600-3000）mm混凝土，远远大于249mm混凝土。因此，该CT装置经（1600-3000）mm混凝土机房屏蔽后对机房周围的辐射影响很小，本次评价不予考虑，仅对加速器本身进行辐射影响评价。

本项目加速器治疗模式分为X射线治疗和电子束治疗。

11.4.1X 射线治疗时防护评价

由于拟建2座加速器机房位置对称，采用相同的辐射屏蔽设计方案，并拟安装同一厂家同一型号的电子加速器，因此本次评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中推荐的预测模式进行理论计算，并以1#加速器机房为代表且以X射线最大能量10MV作为预测条件，同时考虑2台加速器同时运行时的叠加影响。

本项目 X 射线治疗包括常规放疗和调强放疗。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）附录 A，在未获得放射治疗单位的工作负荷时，在屏蔽设计中典型放射治疗工作负荷取 $W=1500\text{Gy}/\text{周}$ 。本项目加速器等中心处治疗模体内参考点的常用最高吸收剂量 $D_0=10\text{Gy}/\text{min}$ （日常工作主要为普通治疗模式，非高剂量 FFF 模式），则治疗照射时间 $t=W/D_0=1500\text{Gy}/\text{周}\div 10\text{Gy}/\text{min}=150\text{min}/\text{周}=2.5\text{h}/\text{周}$ ，按 50 周/年计，则出束时间为 $125\text{h}/\text{a}$ 。治疗过程中，调强因子一般为 2~4，GBZ/T201.2-2011 第 A.1.2 条款规定，在屏蔽设计中，通常 $N=5$ 。因此本次评价调强因子 $N=5$ 。

11.4.1.1 加速器机房关注点周围剂量当量率控制水平

1、关注点位选取

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的要求，本项目在直线加速器机房外表面 30cm 处，人员的受照剂量可能最大的位置设定关注点对 1#加速器机房进行剂量率核算，关注点位见图 11.4-1、11.4-2，关注点位分布情况表 11.4-1。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）附录 A，不同场所的居留因子选取见表 11.4-2。

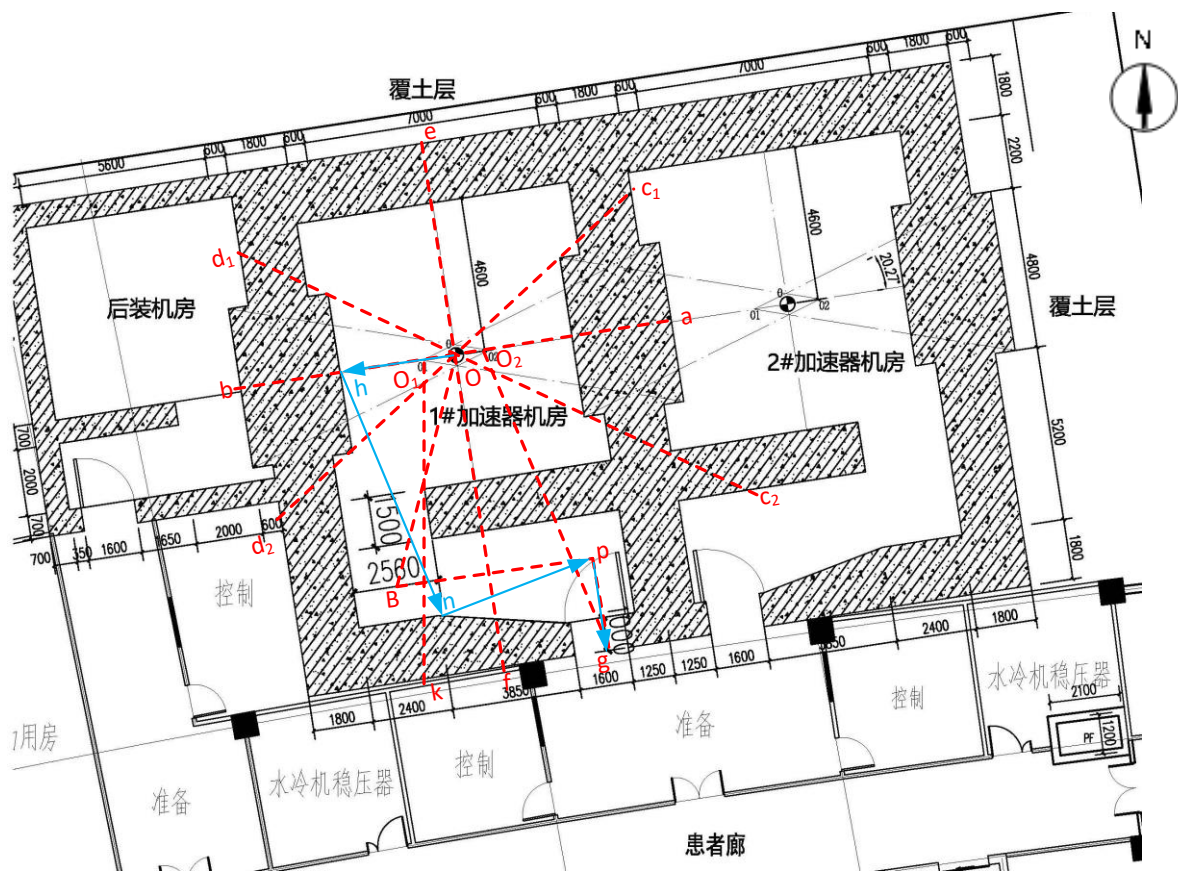


图 11.4-1 加速器机房（平面布局）预测点位和主要照射路径示意图（单位：mm）

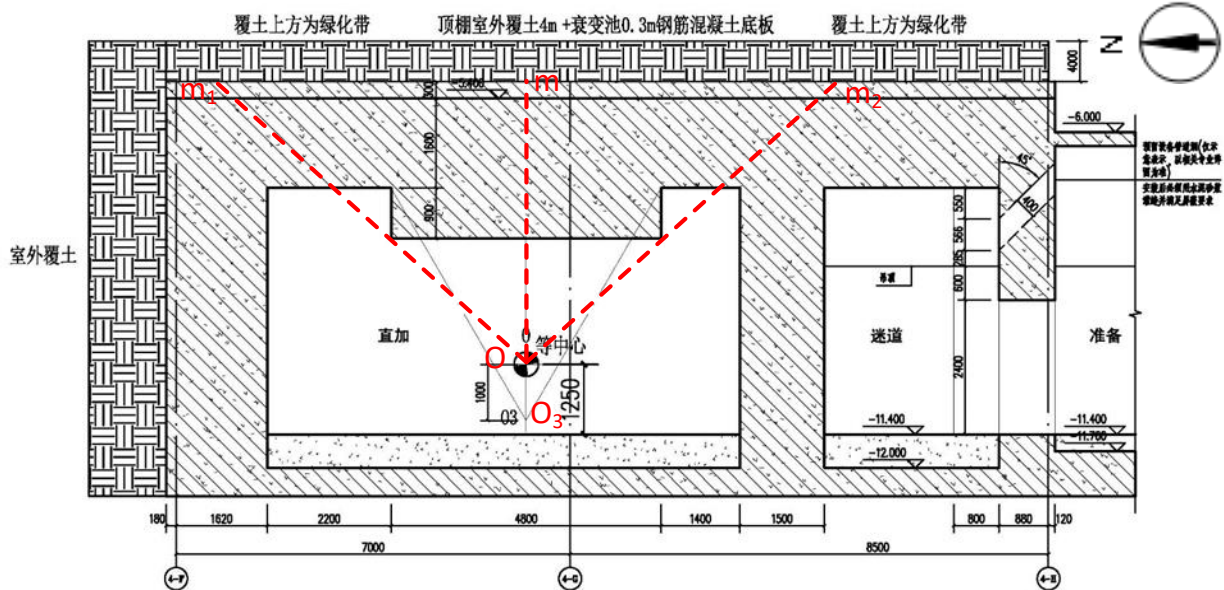


图 11.4-2 加速器机房（南北剖面）预测点位和主要照射路径示意图（单位：mm）

表 11.4-1 直线加速器机房各关注点分布情况表

| 序号 | 关注点位 | 点位描述 | 居留因子 | 备注 |
|----|----------------|------------------------------------|------|------|
| 1 | a | 东墙（主屏蔽墙的主屏蔽区）外 30cm 处，即 2#加速器机房 | 1/2 | 部分停留 |
| 2 | b | 西墙（主屏蔽墙的主屏蔽区）外 30cm 处，即后装机房 | 1/2 | 部分停留 |
| 3 | c ₁ | 东墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即 2#加速器机房 | 1/2 | 部分停留 |
| 4 | c ₂ | 东墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即 2#加速器机房 | 1/2 | 部分停留 |
| 5 | d ₁ | 西墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即后装机房 | 1/2 | 部分停留 |
| 6 | d ₂ | 西墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即后装机房 | 1/2 | 部分停留 |
| 7 | e | 北墙外 30cm 处，即土层 | 1/40 | 无人到达 |
| 8 | f | 南墙外 30cm 处，即控制室 | 1 | 全居留 |
| 9 | k | 南墙外 30cm 处，即控制室 | 1 | 全居留 |
| 10 | g | 加速器机房防护门外 30cm 处，准备区 | 1/8 | 偶然停留 |
| 11 | m | 机房顶部（主屏蔽墙的主屏蔽区）30cm 处，即衰变池池体间 | 1/40 | 偶然停留 |
| 12 | m ₁ | 机房顶部（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）30cm 处，即衰变池池体间 | 1/40 | 偶然停留 |
| 13 | m ₂ | 机房顶部（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）30cm 处，即衰变池池体间 | 1/40 | 偶然停留 |

注：1）关注点位 e 处为土层，属于无人到达区域，居留因子保守按偶然停留 1/40 考虑。此处设剂量关注点，仅为验证加速器机房北侧 30cm 处剂量是否达标。2）关注点位 a、b、c、d、e、f 处均为放疗机房，考虑到 GBZ 121-2020 附录 A 将与相邻的（共用屏蔽墙）放射诊疗机房的居留因子界定为偶然停留（1/8），本次评价从严处理，依据 HJ1188-2021 视为“相邻的治疗室”而界定为部分停留（1/2）。3）加速器顶棚为衰变池的池体间，属于人员可达区域，故以该位置作为顶棚剂量预测关注点位。

表 11.4-2 不同场所的居留因子

| 场所 | 居留因子 (T) | | 示例 |
|------|----------|----------|---|
| | 典型值 | 范围 | |
| 全居留 | 1 | 1 | 管理人员或职员办公室、治疗计划区、 治疗控制区 、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区域。 |
| 部分居留 | 1/4 | 1/2~1/5 | 1/2: 相邻的治疗室 、与屏蔽室相邻的病人检查室; 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室。 |
| 偶然居留 | 1/16 | 1/8~1/40 | 1/8: 各治疗室门 ; 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室; 1/40: 仅有行人车辆来往的户外区域 、无人看管的停车场、车辆自动卸货/区域、楼梯、无人看管的电梯。 |

2、导出剂量率参考控制水平确定

根据 GBZ/T 201.2-2011 第 4.2.1 条款和附录 A，本项目加速器机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 确定方式如下：

(1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平 (H_c) 求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

①单一辐射

单一有用线束和单一泄漏辐射按如下方法导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

$$\text{有用线束: } \dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots (11.4 - 1)$$

式中： H_c ——周参考剂量控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$)，根据 GBZ/T 201.2-2011 第 4.2.1 条款的 a)，机房外控制区的工作人员， $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；机房外非控制区人员， $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

t ——治疗装置周治疗照射时间，h；

U ——有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

$$\text{泄漏辐射: } H_{c,d} = H_c / (N \cdot t \cdot T) \dots\dots\dots (11.4 - 2)$$

式中： N ——调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 $N=5$ ；

H_c 、 t 、 T ——其他参数意义用公式 (11.3-1)。

②复和辐射

对于与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射，其中患者散射导出剂量率参考控制水平为 $H_{c,max}$

的一半；泄漏辐射导出剂量参考控制水平为公式（11.3-2）计算结果的 0.5 倍，二者之和为该关注点的导出剂量率参考控制水平。

（2）按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ 。

①人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

②人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

（3）由上述（1）中的导出周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和（2）中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

根据 GBZ/T 201.2-2011 第 4.2.2 条款，本项目加速器机房顶部为衰变池的池体间，属于人员可达区域，故加速器机房顶部关注点的剂量率参考控制水平应以 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ ， $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 按上述方法计算出导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 加以控制。基于加速器机房顶部按有用线束的防护水平进行设计，且覆土 4m，本评价不再考虑天空反散射和侧散射辐射影响，重点考虑有用线束的辐射影响。

则本项目加速器机房各关注点的剂量率参考控制水平计算结果见表 11.4-3。

表 11.4-3 加速器机房各关注点剂量率控制水平

| 关注点 | 辐射类型 | 居留因子 (T) | 使用因子 (U) | 调强因子 (N) | 周治疗照射时间 t (h) | H_c ($\mu\text{Sv/周}$) | $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) | | | | $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$) | \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 最终取值 |
|----------------|------|----------|----------|----------|---------------|----------------------------|--------------------------------------|-----|------|------|--|---------------------------------------|
| | | | | | | | 有用 | 泄漏 | 散射 | 合计 | | |
| a | 有用 | 1/2 | 1 | / | 2.5 | 5 | 4 | / | / | 4 | 10 | 2.5* |
| b | 有用 | 1/2 | 1 | / | 2.5 | 5 | 4 | / | / | 4 | 10 | 2.5* |
| c ₁ | 复合 | 1/2 | $U_x=1$ | 5 | 2.5 | 5 | / | 0.8 | 5 | 5.8 | 10 | 2.5* |
| c ₂ | 复合 | 1/2 | $U_x=1$ | 5 | 2.5 | 5 | / | 0.8 | 5 | 5.8 | 10 | 2.5* |
| d ₁ | 复合 | 1/2 | $U_x=1$ | 5 | 2.5 | 5 | / | 0.8 | 5 | 5.8 | 10 | 2.5* |
| d ₂ | 复合 | 1/2 | $U_x=1$ | 5 | 2.5 | 5 | / | 0.8 | 5 | 5.8 | 10 | 2.5* |
| e | 泄漏 | 1/40 | 1 | 5 | 2.5 | 5 | / | 16 | / | 16 | 10 | 2.5* |
| f | 泄漏 | 1 | 1 | 5 | 2.5 | 100 | / | 8 | / | 8 | 2.5 | 2.5 |
| k | 泄漏 | 1 | 1 | 5 | 2.5 | 100 | / | 8 | / | 8 | 2.5 | 2.5 |
| g | 复合 | 1/8 | $U_x=1$ | 5 | 2.5 | 5 | / | 1.6 | 5 | 6.6 | 10 | 2.5* |
| m | 有用 | 1/40 | 1 | / | 2.5 | 5 | 80 | / | / | 80 | 2.5 | 2.5 |
| m ₁ | 复合 | 1/40 | $U_x=1$ | 5 | 2.5 | 5 | / | 8 | 1.25 | 9.25 | 2.5 | 2.5 |
| m ₂ | 复合 | 1/40 | $U_x=1$ | 5 | 2.5 | 5 | / | 8 | 1.25 | 9.25 | 2.5 | 2.5 |

注：1）表中 U_x 表示泄漏辐射的使用因子。2）关注点 a、b、c₁、c₂、d₁、d₂、e、g 处均于人员可到区域，导出剂量率参考控制水平值 \dot{H}_c 的理论计算值均大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。基于辐射安全防护的目的，本次评价保守均取为 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

11.4.1.2 有用线束主屏蔽区宽度核算

本项目加速器机房主屏蔽区包括顶棚及墙体的部分位置。加速器主射线的最大出束角度为 28°，有用线束主屏蔽区示意图见图 11.3-3，本项目主屏蔽墙的东墙和西墙主屏蔽区既有内凸又有外凸，顶棚主屏蔽区为内凸，主屏蔽宽度根据公式（11.3-3）和公式（11.3-4）计算。

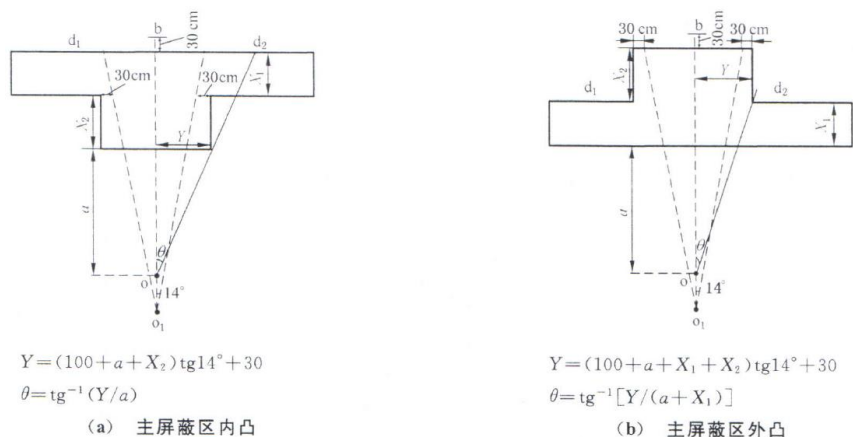


图 11.4-3 加速器机房主屏蔽区示意图

内凸半宽度计算方法： $Y = (100 + a + X_2) \tan \frac{\theta}{2} + 30 \dots \dots \dots (11.4 - 3)$

外凸半宽度计算方法： $Y = (100 + a + X_1 + X_2) \tan \frac{\theta}{2} + 30 \dots \dots \dots (11.4 - 4)$

式中：Y——机房有用束主屏蔽区的半宽度，cm；

a——等中心至主屏蔽墙的距离，cm；

X₁——墙体厚度，cm；

X₂——凸出部分厚度，cm；

θ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。

经上述公式计算，本项目加速器机房有用线束主屏蔽区宽度核算情况见表 11.4-4。

表 11.4-4 加速器机房有用线束主屏蔽区宽度核算结果

| 机房名称 | 主屏蔽墙 | | a (cm) | X ₁ (cm) | X ₂ (cm) | θ | Y (cm) | 主屏蔽区宽度 2Y(cm) | | 符合性评价 |
|---------|------|----|-----------|------------------------|------------------------|-----|-----------|---------------|-----|-------|
| | | | | | | | | 理论值 | 设计值 | |
| 1#加速器机房 | 东墙 | 内凸 | 350 | 180 | 60 | 28° | 157 | 314 | 480 | 符合 |
| | | 外凸 | 410 | 180 | 60 | 28° | 217 | 434 | 480 | 符合 |
| | 西墙 | 内凸 | 350 | 180 | 60 | 28° | 157 | 314 | 480 | 符合 |
| | | 外凸 | 410 | 180 | 60 | 28° | 217 | 434 | 480 | 符合 |
| | 顶棚 | 内凸 | 220 | 160 | 90 | 28° | 102 | 204 | 480 | 符合 |

注：由于本项目加速器机房位于地下二层，无地下层，所以地面的防护不予考虑。

设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的摆位方式进行安装，即主射束为东侧、西侧、顶棚及地面，杜绝安装后主射方向超出屏蔽范围的情况出现。

11.4.1.3 单台加速器运行时场所辐射水平预测

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中“5.2 不同辐射的屏蔽与剂量估算方法”，对本项目单间加速器机房运行时周围辐射剂量率进行影响预测。

(1) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$\text{有效屏蔽厚度: } X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots (11.4 - 5)$$

式中: X_e ——有效屏蔽厚度, cm;

X ——屏蔽厚度, cm;

θ ——斜射角, 即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

$$\text{屏蔽透射因子: } B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots\dots (11.4 - 6)$$

式中: B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子;

X_e ——有效屏蔽厚度, cm;

TVL_1 ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, cm;

TVL ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度, cm。

当未指明 TVL_1 时, $TVL_1 = TVL$ 。

(2) 有用线束主屏蔽区 (a、b、m 点)、侧屏蔽墙 (e、f 点)、迷道外墙 (k 点) 及迷道内墙 (g 点)

有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算方法如下:

在给定屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先按式 (11.4-5) 计算有效屏蔽厚度 X_e (cm), 按式 (11.4-6) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按式 (11.4-7) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11.4 - 7)$$

式中: H ——屏蔽体外关注点的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, 由设备参数可知, X射线模式下加速器最大输出剂量率为1440Gy/h, 即 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

R ——辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m;

f ——对有用线束为1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 取0.1%;

B——辐射屏蔽透射因子。

本项目侧屏蔽墙考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。经上述公式计算，本项目有用线束主屏蔽区和侧屏蔽墙外预测点位辐射剂量率估算结果见表11.4-5。

表11.4-5 有用线束主屏蔽区和侧屏蔽墙外预测点位辐射剂量率估算结果

| 参数 | 主屏蔽墙主屏蔽区 | | | 侧屏蔽墙 | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 东墙 (a点) | 西墙 (b点) | 顶棚 (m点) | 北墙 (e点) | 南墙 (f点) | 迷道外墙 (k点) | 迷道内墙 (g点) |
| 射线路径 | O ₁ -a | O ₂ -b | O ₃ -m | O-e | O-f | O ₁ -k | O ₂ -g |
| 辐射类型 | 有用线束 | 有用线束 | 有用线束 | 泄漏辐射 | 泄漏辐射 | 泄漏辐射 | 泄漏辐射 |
| 屏蔽材料 | 混凝土 | 混凝土 | 混凝土 | 混凝土 | 混凝土 | 混凝土 | 混凝土 |
| 设计厚度X (cm) | 300 | 300 | 250+30 | 160 | 160+140 | 180 | 150 |
| 斜射角θ (°) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| 有效厚度X _e (cm) | 300 | 300 | 280 | 160 | 300 | 180 | 173 |
| 距离R (m) | 7.80 | 7.80 | 6.35 | 6.70 | 9.70 | 9.80 | 9.80 |
| H ₀ (μSv·m ² /h) | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ |
| f | 1 | 1 | 1 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| TVL ₁ (cm) | 41 | 41 | 41 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| TVL (cm) | 37 | 37 | 37 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| B | 1.00×10 ⁻⁸ | 1.00×10 ⁻⁸ | 3.47×10 ⁻⁸ | 9.33×10 ⁻⁶ | 2.82×10 ⁻¹⁰ | 2.09×10 ⁻⁶ | 3.55×10 ⁻⁶ |
| H (μSv/h) | 0.237 | 0.237 | 1.239 | 0.299 | 4.32×10 ⁻⁶ | 0.031 | 0.053 |
| 周围剂量率控制 限值H _c (μSv/h) | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 0.5 |
| 是否达标 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 |

注：1) 依据GBZ/T 201.2-2011附录B表B.1，获取TVL₁、TVL的相关数值；2) 依据GBZ/T 201.2-2011第4.3.2.4条款及附录D第D1.2.7条，O₂点的泄漏辐射到迷路外墙(k点)的斜射角度小于30°，以垂直入射保守估算。3) 依据GBZ/T 201.2-2011第4.3.2.5.1条款的b)及附录D第D.1.2.6条款，当迷路入口(g点)以2.5μSv/h剂量率控制时，穿过迷道内墙在g处的泄漏辐射剂量率应小于其1/4，取为0.5μSv/h。4) 顶棚防护厚度按照加速器机房顶部的防护厚度2500mm混凝土+衰变池池底防护厚度300mm混凝土计，即2800mm混凝土。

(3) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区 (c₁、c₂、d₁、d₂、m₁、m₂)

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算需要考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合作用。

①泄漏辐射

泄漏辐射剂量的屏蔽与估算方法见公式(11.4-7)，其中TVL₁、TVL为GBZ/T 201.2-2011附录B表B.1的泄漏辐射值。

②患者一次散射辐射

患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算：

在给定屏蔽物质厚度X (cm)时，首先按式(11.4-5)计算有效屏蔽厚度X_e (cm)，按

式(11.4-6)估算屏蔽物质的屏蔽透射因子B,再按式(11.4-8)计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率H(μSv/h)。

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots (11.4-8)$$

式中: H——屏蔽体外关注点的剂量率, μSv/h;

H₀——加速器有用线束中心轴上距靶1m处的常用最高剂量率, μSv·m²/h, 本项目为1.44×10⁹μSv·m²/h;

R_s——患者(位于等中心点)至关注点的距离, m;

α_{ph}——患者400cm²面积上垂直入射X射线散射至距其1m(关注点方向)处的剂量比例, 又称400cm²面积上的散射因子, 根据GBZ/T 201.2-2011附录B表B.2, 本次评价10MV直线加速器的散射角按30°考虑, 则本项目α_{ph}取值3.18×10⁻³。

B——辐射屏蔽透射因子; 根据GBZ/T 201.2-2011的附录B表B.4, 散射角30°条件下, 患者散射辐射在混凝土中的什值层TVL=28cm。

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm², 本项目为40cm×40cm=1600cm²。

则与主屏蔽相连的次屏蔽区墙外参考点剂量率估算结果见表11.4-6。

表11.4-6 与主屏蔽相连的次屏蔽区预测点位辐射剂量率估算结果

| 参数 | 东墙 (c ₁ 、c ₂) | | 西墙 (d ₁ 、d ₂) | | 顶棚 (m ₁ 、m ₂) | |
|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| | O-c ₁ /c ₂ | O ₁ -O-c ₁ /c ₂ | O-d ₁ /d ₂ | O ₂ -O-d ₁ /d ₂ | O-m ₁ /m ₂ | O ₃ -O-m ₁ /m ₂ |
| 射线路径 | 泄漏辐射 | 散射辐射 | 泄漏辐射 | 散射辐射 | 泄漏辐射 | 散射辐射 |
| 辐射类型 | 泄漏辐射 | 散射辐射 | 泄漏辐射 | 散射辐射 | 泄漏辐射 | 散射辐射 |
| 设计厚度X (cm) | 180 | 180 | 180 | 180 | 160+30 | 160+30 |
| 斜射角θ (°) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 有效厚度X _e (cm) | 208 | 208 | 208 | 208 | 219 | 219 |
| 距离R/R _s (m) | 7.40/9.75 | 7.40/9.75 | 7.40 | 7.40 | 7.65 | 7.65 |
| H ₀ (μSv·m ² /h) | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ | 1.44×10 ⁹ |
| f | 0.001 | / | 0.001 | / | 0.001 | / |
| α _{ph} | / | 3.18×10 ⁻³ | / | 3.18×10 ⁻³ | / | 3.18×10 ⁻³ |
| F (cm ²) | / | 1600 | / | 1600 | / | 1600 |
| TVL ₁ (cm) | 35 | 28 | 35 | 28 | 35 | 28 |
| TVL (cm) | 31 | 28 | 31 | 28 | 31 | 28 |
| B | 2.63×10 ⁻⁷ | 3.72×10 ⁻⁸ | 2.63×10 ⁻⁷ | 3.72×10 ⁻⁸ | 1.15×10 ⁻⁷ | 1.51×10 ⁻⁸ |
| H (μSv/h) | 0.007 /0.004 | 0.012 /0.007 | 0.007 | 0.012 | 0.003 | 0.005 |
| | 0.019/0.011 | | 0.019 | | 0.008 | |
| 周围剂量率控制限值H _c (μSv/h) | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 是否达标 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 |

(4) 加速器 (≤10MV) 机房迷路入口散射辐射屏蔽与剂量估算 (g点)

本项目加速器机房有用线束不向迷路照射, 迷路入口处的辐射剂量主要考虑散射辐射剂量率和泄漏辐射。

①迷道入口处的散射辐射剂量率

迷路入口g点包括下列辐射, 具体见表11.4-7。

表11.4-7 迷道入口g点处辐射

| 序号 | 辐射类型 | 散射路径 |
|----|--|-------------------------|
| 1) | 人体受有用线束照射时, 散射至i点的辐射并再次受墙的二次散射至g处的辐射 | O ₁ -O-B-P-g |
| 2) | 至B点的泄漏辐射受墙散射至g处的辐射 | O ₁ -B-P-g |
| 3) | 有用线束穿出人体达到位置b, 受主屏蔽墙的散射至n处迷路外墙再次散射, 到达g处的辐射。 | O ₁ -h-n-P-g |

在估算g处的累计剂量时, 以加速器向b方向水平照射时1)项为以上三项之和的近似估计。在估算g处的辐射剂量率时, 以加速器向b方向水平照射时1)项人体散射辐射作为以上三项之和的近似估计, 通常忽略2)、3)二项。

则无屏蔽情况下, 入口g处的散射辐射剂量率计算公式如下:

$$H_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} H_0 \dots\dots\dots (11.4 - 9)$$

式中: H_g——入口处的散射辐射剂量率, μSv/h;

α_{ph}——患者400cm²面积上的散射因子, 见附录B表B.2, 通常取45°散射角的值, 即本项目α_{ph}取值1.35×10⁻³;

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm²; 本项目为40cm×40cm=1600cm²;

α₂——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 通常取i处的入射角为45°, 散射角为0°, α₂值见附录B表B.6, 通常使用0.5MeV栏内的值, 则本项目取值22.0×10⁻³;

A——i处的散射面积, 为自入口(g)和等中甸位置O共同可视见的区域, 包括治疗机房吊装顶上方的区域, m², 本项目散射面积A=3.8m(宽)×4.4m(高)=16.72m²;

R₁——等中心点至散射墙面的距离, m; 本项目O-B之间的距离为7.1m;

R₂——迷道散射墙面至入口处的距离, m, 本项目B-g之间的距离为5.55m(B-P)+2.55m(P-g)=8.1m;

H₀——加速器有用线束中心轴上距靶1m处的常用最高剂量率, μSv·m²/h, 本项目为

$1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

则经计算，迷道入口g处的散射辐射剂量率 $H_g=51.7 \mu\text{Sv/h}$ 。

②泄漏辐射剂量率

迷道入口g处也需要核算加速器的泄漏辐射（以偏离O的位置O₁为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口g处的辐射剂量。根据表11.3-5，O₂位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在g处的剂量率 $H_{og}=0.053 \mu\text{Sv/h}$ 。

③防护门外剂量率

在给定防护门的铅屏蔽厚度X（cm）时，防护门外的辐射剂量率H计算公式如下：

$$H = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{og} \dots\dots\dots (11.4 - 10)$$

式中：H——防护门外的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_g ——入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

TVL——迷道入口处散射射线在铅中的什值层厚度，cm；一般取0.5cm（铅）；

H_{og} ——O₁位置穿过迷道内墙的泄漏辐射在迷道入口处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

经屏蔽后防护门外30cm处的辐射剂量率估算结果见表11.4-8。

表11.4-8 经屏蔽后加速器机房防护门外的辐射剂量率计算结果

| 关注 点位 | 屏蔽材料 | H_g ($\mu\text{Sv/h}$) | H_{og} ($\mu\text{Sv/h}$) | X (cm) | TVL (cm) | H ($\mu\text{Sv/h}$) | 周围剂量率 控制限值 H_c ($\mu\text{Sv/h}$) | 是否 达标 |
|----------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------|-------------|---------------------------|---|----------|
| 防护门 外30cm 处（g） | 2cm铅 +14cm5% 含硼聚 乙烯 | 51.7 | 0.053 | 2 | 0.5 | 0.058 | 2.5 | 达标 |

综上所述，本项目加速器机房的四周墙壁、室顶、防护门厚度均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中剂量率参考控制水平要求，主屏蔽宽度满足标准要求，机房屏蔽防护设计方案基本可行。

11.4.1.4 两台加速器同时运行时辐射剂量叠加影响

本项目2间加速器机房相邻设置，两台加速器同时运行时会在机房外产生辐射剂量叠加影响。如图11.4-1，大部分预测点仅受到单台加速器的辐射影响。结合人员实际可达区域和加速器的主射方向，本次评价选取加速器机房顶部的衰变池池体间进行2间加速器机房同时运行时的辐射影响预测。由于任一加速器控制室距离另一加速器机房较远，不再考虑2台加

速器运行时的剂量叠加影响。当2台加速器呈“↗↘”同时开机向上照射时，保守按图11.4-2中m₂点位（预测值为0.008μSv/h）的2倍进行剂量叠加，则池体间附加的综合辐射剂量率为0.016μSv/h。当2台加速器呈“↑↘”同时开机向上照射时，保守按图11.4-2中m点（预测值为1.239μSv/h）和m₂点（预测值为0.008μSv/h）进行剂量叠加，则池体间附加的综合辐射剂量率为1.247μSv/h。因此，当1#加速器机房和2#加速器机房同时开机运行时，场所周围辐射剂量率均满足本次评价的标准限值要求。

11.4.1.5 人员受照剂量

(1) 控制室内职业人员和周围公众成员

根据前文公式（11.2-4），本项目加速器机房周围职业人员和公众成员的附加年有效剂量估算结果见表11.4-9。

表11.4-9 本项目加速器机房周围职业人员及公众年受照剂量估算结果

| 机房名称 | 人员属性 | 关注点位 | Dr (μSv/h) | t (h/a) | U | T | E (mSv/a) |
|-------------|------|-----------------------------|------------|---------|---|------|----------------------|
| 1#加速器 机房 | 职业人员 | 控制室 (k点) | 0.031 | 125 | 1 | 1 | 0.004 |
| | 公众成员 | 准备间 (g点) | 0.058 | | | 1/8 | 9.1×10 ⁻⁴ |
| | | 水冷机房 (k点) | 0.031 | | | 1/16 | 2.4×10 ⁻⁴ |
| | | 后装机机房 (b点) | 0.237 | | | 1/2 | 0.015 |
| | | 后装机控制室 (d ₂ 点) | 0.019 | | | 1 | 0.002 |
| | | 2#加速器机房 (a点) | 0.237 | | | 1/2 | 0.015 |
| | | 顶上衰变池池体间 (按2台加速器同时运行的叠加剂量计) | 1.249 | | | 1/40 | 0.004 |

(2) 进入加速器机房治疗内的摆位工作人员

本项目加速器等中心处治疗模体内参考点的常用最高吸收剂量D₀=10Gy/min，平均每人每野次治疗剂量1.5Gy，平均每人治疗保守照射4野次，则平均每名患者治疗照射时间为0.6min。单台加速器年出束时间为125h，则年最大治疗照射人数约12500人。

辐射工作人员协助患者摆位时在治疗室内的停留时间保守按10min/人次计，年摆位时间为2083h (=10min/人次×1/60×12500人/年)。工作人员进入1#加速器机房摆位时，既会受到2#加速器机房的辐射影响（附加的辐射剂量率保守按前文表11.3-6中西墙预测点位b取值为0.237μSv/h，加速器年出束时间为125h），又会受到西侧后装机机房的辐射影响（附加的辐射剂量率保守按后文表11.4-2中东墙预测点位a取值为0.044μSv/h，后装机年出束时间为375h），则单名辐射工作人员摆位过程所受的年有效剂量为：

$$E_{\text{摆位}} = E_{2\# \text{加速器}} + E_{\text{后装机}} = 0.237 \mu\text{Sv/h} \times 125 \text{h/a} \times 1 \times 1 \times 10^{-3} + 0.044 \mu\text{Sv/h} \times 375 \text{h/a} \times 1 \times 1 \times 10^{-3} = 0.046 \text{mSv/a}。$$

(3) 职业人员年有效剂量叠加

由表 11.4-9 可知，辐射工作人员在控制室内所受照射剂量为 0.004mSv/a，考虑到摆位和控制室工作人员可能的重复性，则剂量叠加后，本项目后装机治疗辐射工作人员所受照射的年有效剂量为：0.004（ $E_{\text{控制室}}$ ）+0.046（ $E_{\text{摆位}}$ ）=0.05mSv/a，满足本项目职业人员剂量约束值不大于 5mSv/a 的要求。

综上所述，本项目加速器机房辐射工作人员的照射年有效剂量最大估算值约 0.05mSv，低于本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求；周围公众的年有效剂量最大估算值约 0.015mSv，同样低于公众照射剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求，对周围环境的辐射影响是可以接受的，能满足相关辐射标准要求。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系式，本项目评价范围内其他环境保护目标年有效剂量同样可以满足本项目剂量约束值的要求。

11.4.2 电子线治疗时防护评价

本项目加速器X射线最大能量为10MV，电子线最大能量为22MeV。由于电子束的穿透能力远小于X射线，对治疗X射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为nA量级，X射线治疗时平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于X射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗X射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需的厚度也低于对X射线的屏蔽要求。

11.4.3 加速器“三废”影响分析

11.4.3.1 感生放射性

受到初级和次级辐射照射的一些材料可能会被活化而产生一些放射性核素，它们发射 β 或 γ 射线。加速器运行期间，由于有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性不会危害在屏蔽体外的工作人员，但在加速器停机后，工作人员进入加速器机房则可能受到辐射危害。

根据《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）P114页图4.22和P115页图4.23可看出，感生放射性的衰变是较快的，停机后5~10min就可减弱到初始值的一半。因此，对感生放射性的有效防护措施之一是等其衰变。

本项目活化空气中感生放射性主要为 ^{11}C 、 ^{16}O 和 ^{14}N ，产生的量均较小，这些核素的半衰期分别为20.5min、10min、124.0s，在短时间内，便可衰变到可忽略的水平。加速器机房内拟设置机械排风系统，通风次数不低于10次/h，能将感生放射性气体及时排出治疗室外，且

每次治疗结束后继续通风5min后，工作人员才进入进行下一次的治療，因此感生放射性对工作人员的影响可忽略。

实际工作中，本次评价建议医院工作人员适当延缓进入治療室，尽量缩短摆位时间，注意与机头等产生感生放射性的部位保持适当距离，同时穿戴好铅衣、铅帽等防护用品，佩戴好个人剂量计。

11.4.3.2 固体废物

加速器更换的废靶收集到机房内的放射性铅桶进行暂存衰变，最终由设备厂家回收处理。回收时按《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，对废靶表面 γ 辐射空气吸收剂量率进行监测，因此不会对周围环境产生污染。

11.4.3.3 非放射性气体

本项目直线加速器开机运行时，产生的X射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）。氮氧化物的产率约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物。因此，本报告在考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

参考《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）P130页，电子加速器运行时臭氧的产生率按下式计算：

$$C_{O_3} = 3.25 \times \left[\frac{S_{coj} \times I \times t \times d}{V} \right] \times 10^{-3} \dots\dots\dots (11.4 - 11)$$

式中：C_{O₃}——臭氧生产浓度，ppm；

S_{coj}——标准状况下电子在空气中的线碰撞阻止本领，其数值与电子能量的关系见《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）表4.24，本项目保守取3.0keV/cm；

I——器外电子束流强度，mA；本项目保守取0.1mA；

d——器外电子束在空气中所通过的距离，cm；取100cm；

t——辐照时间，s；本项目单人次最长治疗时间取180s；

V——加速器机房容积，m³，本项目单间加速器机房容积约391.6m³（含迷道）。

由上式计算出：本项目直线加速器在无通风、臭氧无分解条件下照射一个病人臭氧的产生浓度为：C_{O₃}=0.045ppm（相当于0.088mg/m³），能够满足《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中臭氧最高允许浓度0.3mg/m³的要求。

加速器机房拟设置机械通排风系统，排风量为4000m³/h，通风换气次数不小于10次/h，

机房内废气经风机能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）标准中“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求，经通风换气后加速器机房内产生的臭氧和氮氧化物对周围环境影响不大。

11.5 后装机运行期环境影响分析

本项目治疗时假设放射源全部被传送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算。本次评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中推荐的预测模式进行理论计算，并以后装机 ^{192}Ir 最大装源活度 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ 为辐射源强，在治疗时 ^{192}Ir 密封源处于裸源状态为预测条件。根据GBZ/T 201.3-2014中第6.1条款规定“治疗机房应考虑治疗源 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射”。

11.5.1 后装机机房关注点周围剂量当量率控制水平

1、关注点位选取

由于医院尚未确定后装机在机房中的具体摆放位置，本评价按后装机在机房内对外环境影响最大的位置进行预测估算，因此将治疗室内侧墙体1.5m处为治疗源可能的使用区域，即图11.4-1中矩形框线区域，该区域边界线位置即为对外环境影响最大的位置。医院应在后装机治疗室地面进行划线标示，后装治疗应严格控制放射源使用位置，不得超出该区域。

根据本项目后装机机房周围环境状况分析，在机房外拟设置6个关注点位，分布图见图11.5-1及图11.5-2，关注点描述见表11.5-1。

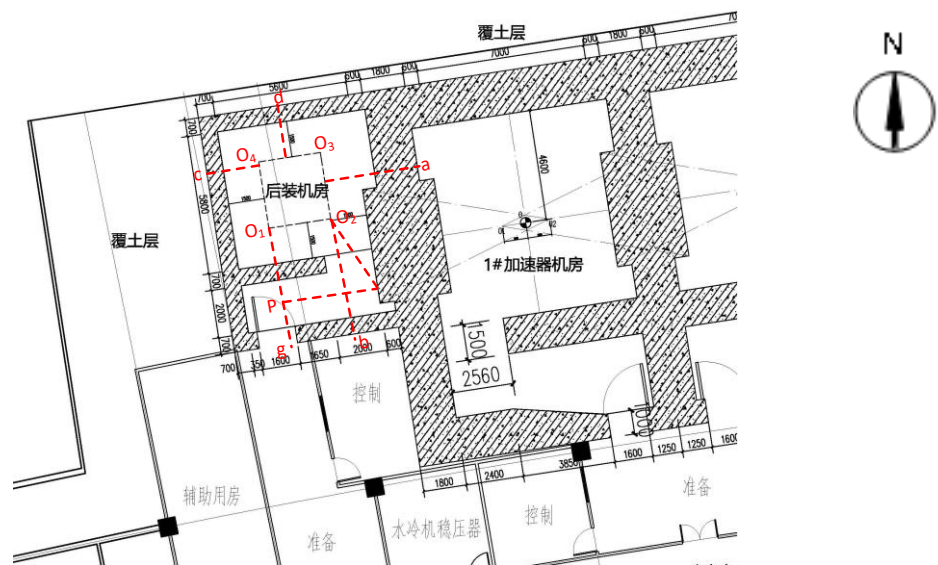


图11.5-1 后装机机房（平面布局）预测关注点位图（单位：mm）

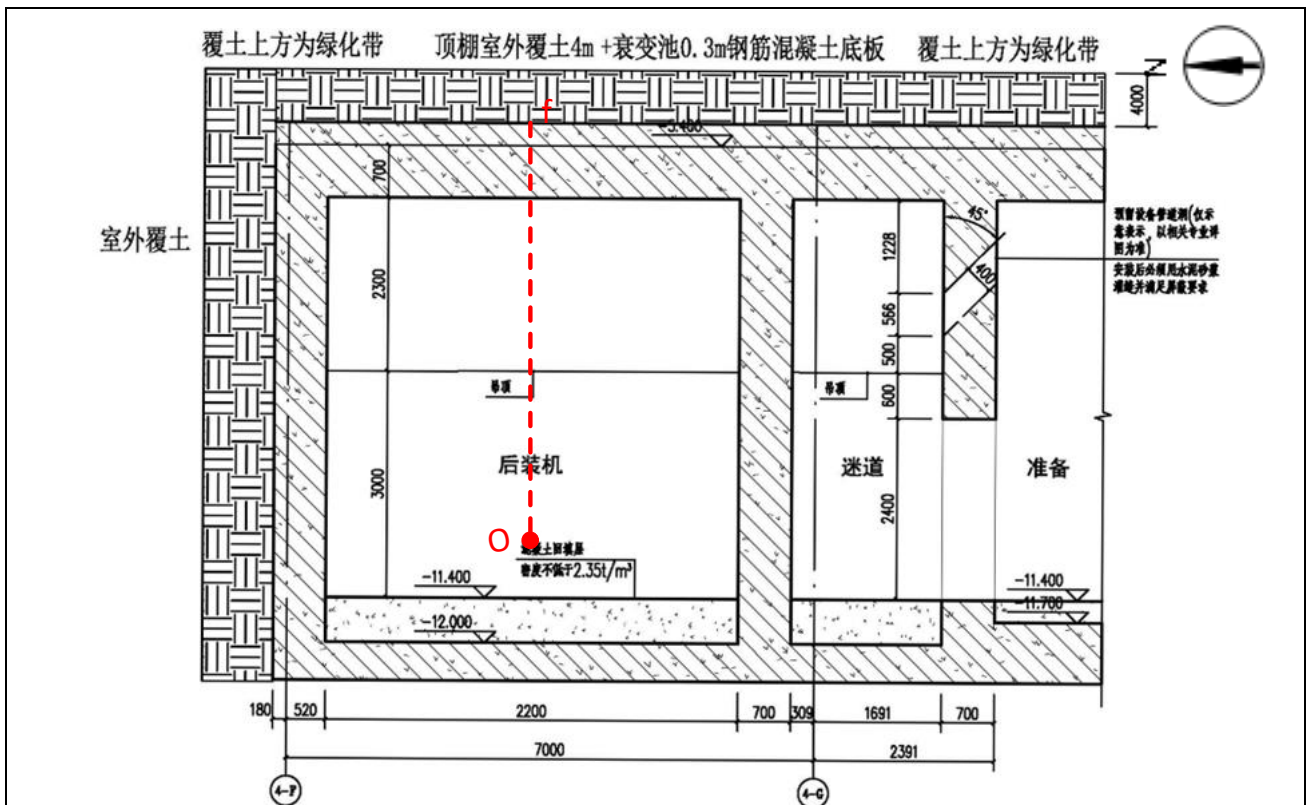


图 11.5-2 后装机机房（南北剖面）预测关注点位图（单位：mm）

表 11.5-1 后装机机房各关注点分布情况表

| 序号 | 关注点位 | 点位描述 | 居留因子 | 备注 |
|----|------|----------------------|------|------|
| 1 | a | 东墙外 30cm 处，即 1#加速器机房 | 1/2 | 部分停留 |
| 2 | b | 南墙外 30cm 处，即控制室 | 1 | 全居留 |
| 3 | c | 西墙外 30cm 处，即土层 | 1/40 | 偶然停留 |
| 4 | d | 北墙外 30cm 处，即土层 | 1/40 | 偶然停留 |
| 5 | g | 防护门外 30cm 处，即准备区 | 1/8 | 偶然停留 |
| 6 | f | 顶棚外 30cm 处，即衰变池的池体间 | 1/40 | 偶然停留 |

注：1) 关注点位 c、d 处为土层，属于无人到达区域，居留因子保守按偶然停留 1/40 考虑。此处设剂量关注点，仅为验证加速器机房西墙和北墙外 30cm 处剂量是否达标。2) 关注点位 a 处为放疗机房，考虑到 GBZ 121-2020 附录 A 将与相邻的（共用屏蔽墙）放射诊疗机房的居留因子界定为偶然停留（1/8），本次评价从严处理，依据 HJ1188-2021 视为“相邻的治疗室”而界定为部分停留（1/2）。

2、导出剂量率参考控制水平确定

本项目后装机投入使用后预计平均每天治疗工作量 15 人，治疗照射时间为 6min/人次，周工作负荷（治疗照射时间） $t=7.5\text{h}/\text{周}$ 。

根据 GBZ/T 201.3-2014 第 4.1.1 条款和附录 A，本项目后装机机房墙外和入口门外关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 确定方式如下：

①使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平（ H_c ）求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots (11.5 - 1)$$

式中： H_c ——周参考剂量控制水平（ $\mu\text{Sv/周}$ ）；根据 GBZ/T 201.3-2014 第 4.1.1 条款的 a)，机房外控制区的工作人员， $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；机房外非控制区人员， $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

t ——治疗装置周治疗照射时间，h；

U ——关注位置方向照射的使用因子；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

②按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ 。

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

③由上述①中的导出周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和②中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

根据 GBZ/T 201.3-2014 第 4.1.2 条款，本项目后装机机房顶部为衰变池池体间，属于人员可达区域，故后装机机房顶关注点的剂量率参考控制水平应以 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ， $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 按上述方法计算出导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 加以控制。基于后装机机房顶部按有用线束的防护水平进行设计，且覆土 4m，本次评价不再考虑天空反散射和侧散射辐射影响，重点考虑有用线束的辐射影响。

则本项目后装机机房各关注点的剂量率参考控制水平计算结果见表 11.5-2。

表 11.5-2 后装机机房各关注点的剂量率控制水平

| 关注点 | 辐射类型 | 居留因子 (T) | 使用因子 (U) | 周治疗照射时间 (t) | H_c ($\mu\text{Sv/周}$) | $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) | $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$) | \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 最终取值 |
|-----|------|----------|----------|-------------|----------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| a | 有用 | 1/2 | 1 | 7.5 | 5 | 1.3 | 2.5 | 1.3 |
| b | 有用 | 1 | 1 | 7.5 | 100 | 13.3 | 2.5 | 2.5 |
| c | 有用 | 1/40 | 1 | 7.5 | 5 | 26.7 | 10 | 10 |
| d | 有用 | 1/40 | 1 | 7.5 | 5 | 26.7 | 10 | 10 |
| g | 有用 | 1/8 | 1 | 7.5 | 5 | 5.3 | 10 | 2.5* |
| f | 有用 | 1/40 | 1 | 7.5 | 5 | 26.7 | 2.5 | 2.5 |

注：1) 关注点 g 处均于人员可到达区域，导出剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 的理论计算值均大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。基于辐射安全防护的目的，本次评价保守均取为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。2) 使用因子取值源自 GBZ/T 201.3-2014 附录 F 第 F.2 条款。

11.5.2 后装机单独运行时工作场所辐射水平预测

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分:γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)中“6 后装治疗机房的屏蔽计算”,对本项目后装机机房单独运行时周围辐射剂量率进行影响预测。

(1) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$\text{有效屏蔽厚度: } X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots (11.5 - 2)$$

式中: X_e ——有效屏蔽厚度, mm;

X ——屏蔽厚度, mm;

θ ——斜射角, 即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

$$\text{屏蔽透射因子: } B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots\dots (11.5 - 3)$$

式中: B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子;

X_e ——有效屏蔽厚度, mm;

TVL_1 ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, mm;

TVL ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度, mm。

当未指明 TVL_1 时, $TVL_1=TVL$ 。根据 GBZ/T 201.3-2014 附录 C 表 C.1, 本项目 ^{192}Ir 在混凝土中 $TVL=TVL_1=152\text{mm}$; 在铅中 $TVL=TVL_1=16\text{mm}$ 。

(2) 初级辐射的屏蔽(关注点 a、b、c、d、f、迷道内墙 g)

在给定屏蔽物质厚度 X (mm) 时, 首先按式 (11.4-2) 计算有效厚度 X_e (mm), 按式 (11.4-3) 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按式 (11.4-4) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$):

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11.5 - 4)$$

式中: H ——关注点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

f ——对有用线束为 1;

R ——辐射源至关注点的距离, m;

H_0 ——活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$, 计算公式如下:

$$H_0 = A \cdot K_r \dots\dots\dots (11.5 - 5)$$

式中: A ——放射源的活度, MBq, 本项目后装机内置 ^{192}Ir 放射源出厂活度为 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$;

K_γ ——放射源的空气比释动能率常数（或称 K_γ 常数），在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时， K_γ 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。查 GBZ/T 201.3-2014 附录 C 表 C.1，核素 ^{192}Ir $K_\gamma=0.111\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。

即 $H_0=4.107\times 10^4\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

根据上述公式可计算出，本项目后装机四周墙体外 30cm 处各关注点的辐射剂量率预测结果见表 11.5-2。

表 11.5-2 后装机机房四周墙体外各关注点的初级辐射剂量率估算结果

| 参数 | 东墙 (a) | 南墙 (b) | 西墙 (c) | 北墙 (d) | 顶棚 (f) | 迷道内墙 (g) |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 辐射类型 | 有用线束 | 有用线束 | 有用线束 | 有用线束 | 有用线束 | 有用线束 |
| 屏蔽材料 | 混凝土 | 混凝土 | 混凝土 | 混凝土 | 混凝土 | 混凝土 |
| 设计厚度 X (mm) | 700 | 700 | 700 | 700 | 700+300 | 700 |
| 斜射角 θ ($^\circ$) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 有效厚度 X_e (mm) | 700 | 700 | 700 | 700 | 1000 | 700 |
| 距离 R (m) | 4.8 | 5.2 | 2.5 | 2.5 | 5.6 | 5.2 |
| H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$) | 4.107×10^4 | 4.107×10^4 | 4.107×10^4 | 4.107×10^4 | 4.107×10^4 | 4.107×10^4 |
| f | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TVL_1 (mm) | 152 | 152 | 152 | 152 | 152 | 152 |
| TVL (mm) | 152 | 152 | 152 | 152 | 152 | 152 |
| B | 2.48×10^{-5} | 2.48×10^{-5} | 2.48×10^{-5} | 2.48×10^{-5} | 2.64×10^{-7} | 2.48×10^{-5} |
| H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 0.044 | 0.038 | 0.163 | 0.163 | 3.46×10^{-4} | 0.038 |
| 周围剂量率控制 限值 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 1.3 | 2.5 | 10 | 10 | 2.5 | 2.5 |
| 是否达标 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 |

注：顶棚防护厚度按照后装机机房顶部自身的防护厚度 700mm 混凝土+衰变池池底防护厚度 300mm 混凝土计，即 1000mm 混凝土。

(3) 迷道入口处的辐射屏蔽（关注点：g）

本项目后装机机房迷路入口处的辐射剂量主要考虑散射辐射剂量率和主射束穿过迷路内墙的初级辐射剂量率。

②迷道入口点处的散射辐射剂量率

无屏蔽情况下，迷道入口 g 处的散射辐射剂量 H_g 采用下式计算：

$$H_g = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (11.5 - 6)$$

式中：A——放射源的活度，MBq，本项目取值 $3.7\times 10^5\text{MBq}$ ；

K_γ ——放射源的空气比释动能率常数，本项目核素 ^{192}Ir $K_\gamma=0.111\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；

S_w ——迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可看见的墙区面积， m^2 ；本

项目散射面积 $S_w = 2.7\text{m}$ （宽） $\times 5.3\text{m}$ （高） $= 14.31\text{m}^2$;

α_w ——散射体的散射因子，查 GBZ/T 201.3-2014 附录 C 表 C.4， ^{192}Ir 45° 入射和 0° 反散射角的混凝土散射因子，保守地取 0.25MeV 的散射因子，即 $\alpha_w = 3.39 \times 10^{-2}$;

R_1 ——辐射源至散射体中心点 i 的距离， m ，本项目 O_2-i 之间的距离为 3.48m ;

R_2 ——散射体中心点 i 至机房入口 g 的距离， m ，本项目 $i-g$ 之间的距离为 4.1m ($i-P$) $+ 2.0\text{m}$ ($P-g$) $= 6.1\text{m}$;

经上述公式计算出，无屏蔽情况下，迷道入口 g 处的散射辐射剂量 $H_g = 44.2\mu\text{Sv/h}$ 。

②主射束穿过迷路内墙的初级辐射剂量率

根据表 11.5-2，本项目 g 点处主射束穿过迷路内墙的辐射剂量率 $H_{0g} = 0.046\mu\text{Sv/h}$ 。

③防护门外剂量率

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X (cm) 时，防护门外的辐射剂量率 H 计算公式如下：

$$H = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{0g} \dots\dots\dots (11.5 - 7)$$

式中： H ——防护门外的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$;

H_g ——入口 g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$;

TVL ——辐射在屏蔽体的平衡什值层厚度，铅门外 g 点处的散射辐射能量约 0.2MeV ，铅中的 TVL 值取 5mm （铅）。

H_{0g} ——辐射源穿过迷道内墙的初级辐射在迷道入口处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$;

经屏蔽后防护门外 30cm 处的辐射剂量率估算结果见表 11.5-3。

表 11.5-3 经屏蔽后后装机机房防护门外的辐射剂量率计算结果

| 关注点位 | 屏蔽材料 | H_g ($\mu\text{Sv/h}$) | H_{0g} ($\mu\text{Sv/h}$) | X (cm) | TVL (cm) | H ($\mu\text{Sv/h}$) | 周围剂量率 控制限值 $\dot{H}c$ ($\mu\text{Sv/h}$) | 是否 达标 |
|---------------------------|-------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|--|----------|
| 防护门外 30cm 处 (g) | 10mm铅 | 44.6 | 0.038 | 1 | 0.5 | 0.484 | 2.5 | 达标 |

综上所述，本项目后装机机房的四周墙壁、室顶、防护门厚度均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中剂量率参考控制水平要求，机房屏蔽防护设计方案基本可行。

11.5.3 后装机与 1#加速器同时运行时场所周围水平预测

本项目后装机机房与 1#加速器机房相邻设置，两台设备同时运行时会在机房外产生辐射

剂量叠加影响。如图11.5-1，大部分预测点仅受到单台加速器的辐射影响。结合人员实际可达区域和设备的主射方向，本次评价选取后装机的控制室和放疗机房顶部的衰变池池体间进行后装机机房与1#加速器机房同时运行时的辐射影响预测。后装机控制室既受到后装机机房的辐射影响（图11.5-1中b点，预测值为0.038 μ Sv/h），又受到1#加速器机房的辐射影响（图11.4-1中d₂点，预测值为0.019 μ Sv/h），则控制室附加的综合辐射剂量率为0.057 μ Sv/h。衰变池的池体间同时受到后装机机房（图11.5-1中f点，预测值为3.46 $\times 10^{-4}$ μ Sv/h）的辐射影响，又受到1#加速器机房（图11.4-2中m₁点，预测值为0.008 μ Sv/h），则池体间附加的综合辐射剂量率为0.008 μ Sv/h。因此，当后装机机房与1#加速器机房同时运时，场所周围辐射剂量率均小于满足本次评价的标准限值要求。

11.5.4 人员受照剂量

（1）控制室内职业人员和机房周围公众受照剂量

根据前文公式（11.2-4），本项目控制室内职业人员和机房周围公众年有效剂量计算结果见表 11.5-4。

表11.5-4 本项目后装机机房周围职业人员及公众年受照剂量估算结果

| 机房名称 | 人员属性 | 关注点位 | Dr (μ Sv/h) | t (h/a) | U | T | E (mSv/a) |
|-----------|------|-------------------------------------|------------------|---------|---|------|----------------------|
| 后装机 机房 | 职业人员 | 控制室 (b点) | 0.038 | 375 | 1 | 1 | 0.014 |
| | | 1#加速器机房 (a点) | 0.044 | | | 1/2 | 0.008 |
| | 公众成员 | 准备间 (g点) | 0.484 | | | 1/8 | 0.023 |
| | | 顶上衰变池池体间 (按后装机机房和1#加速器机房同时运行的叠加剂量计) | 0.008 | | | 1/40 | 7.5 $\times 10^{-5}$ |

注：基于关注点顶上衰变池池体间，同时受到后装机机房（年出束375h）和加速器机房（年出束125h）的辐射影响，为了方便计算，本次评价不考虑二者年出束时间的差异，均按年出束375h计。

（2）进入后装机治疗室内的摆位工作人员

由于辐射工作人员需要进入后装机治疗室内协助患者进行摆位，在摆位过程中会受到放射源的照射，同时会受到加速器机房的照射影响。

辐射工作人员进入治疗室之前，必须确保放射源处于后装机的贮源器中，并穿戴防护用品、佩戴个人剂量报警仪进入机房。辐射工作人员协助患者摆位时在治疗室内的停留时间按2min/人次计，年摆位时间为125h（=2min/人次 $\times 1/60 \times 15$ 人/d $\times 250$ d/a），与工作贮源器的平均距离按1m考虑。

参考《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017），工作贮源器内装载

最大容许活度时，距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5 μ Sv/h，本次评价以该泄漏辐射的剂量率限值作为辐射工作人员摆位时的最大辐射剂量率进行计算，则单名辐射工作人员摆位过程所受的年有效剂量为：

$$E_{\text{摆位}}=D\times t\times U\times T\times 10^{-3}=5\mu\text{Sv/h}\times 125\text{h/a}\times 1\times 1\times 10^{-3}=0.625\text{mSv/a}。$$

(3) 职业人员剂量叠加

由表 11.5-4 可知，辐射工作人员在控制室内所受照射剂量为 0.014mSv/a，考虑到摆位和控制室工作人员可能的重复性，同时控制室工作人员受到东侧 1#加速器机房照射剂量贡献值为 0.237 μ Sv/h \times 125h/a \times 1 \times 1 \times 10⁻³=0.030mSv/a，则本项目后装机治疗辐射工作人员所受照射的年有效剂量为 0.014 (E_{控制室}) +0.625 (E_{摆位}) +0.030 (E_{1#加速器}) =0.669mSv/a，满足本项目职业人员剂量约束值不大于 5mSv/a 的要求。

当放射源在后装机的贮源器内时，泄漏辐射剂量率较小，相对于出源治疗时对治疗室外周围环境保护目标的影响很小，可忽略不计。

综上所述，本项目后装机机房辐射工作人员的照射年有效剂量最大估算值约 0.669mSv，低于本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 要求；周围公众的年有效剂量最大估算值约 0.023mSv，同样低于公众照射剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求，对周围环境的辐射影响是可以接受的，能满足相关辐射标准要求。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系式，本项目评价范围内其他环境保护目标年有效剂量同样可以满足本项目剂量约束值的要求。

(3) 更换放射源过程中的环境影响分析

本项目后装机使用 1 枚放射源 ¹⁹²Ir，其半衰期为 74 天。根据医院诊疗计划，本项目放射源使用达到 1.5 个半衰期时需更换，即 111 天更换一次，每年更换 3 次，产生 3 枚废放射源。更换放射源之前院方将先到当地生态环境主管部门进行备案，待备案完成后再联系厂家进行放射源的更换，由厂家安排换源及换源后的整机调试。贮源容器供运输和使用时贮存放射源，更换放射源时，厂家使用新的贮源容器运输放射源至医院后装机治疗室内，连同贮源容器一起置换，即换源的过程就是贮源容器的置换过程，退役的放射源连同原贮源容器一起运输至设备厂家进行回收处置。更换放射源全程由厂家专业人员按国家相关规定负责操作完成，医院工作人员不直接参与放射源的更换操作，仅监督辅助厂家专业人员按国家相关规定进行更换操作。因此，更换放射源时对控制室内人员及机房周围的辐射环境影响较小，可满足本项目评价标准的要求。

(4) 运输通道合理性分析

医院放疗科设置有专用的电梯和楼梯通向地下二层的放疗工作场所，运送人员通过楼梯间 5min 内便可到达后装机治疗室，所需时间较短，对医院病人的辐射影响很小。根据计算可知，周围人员受到的辐射剂量小于限值，在运输车辆到达前，医院提前疏导人员，尽可能减少对人员的照射。综上，医院内放射源运输时间较短，对病人的辐射影响很小，对运输通道周围人员的辐射剂量小于管理限值，因此放射源运输通道设置合理。

11.5.5 后装机“三废”影响分析

11.5.5.1 废旧放射源

本项目更换的废放射源 ^{192}Ir 由供源单位回收，不在本项目工作场所内存放，不存在废放射源对周边环境的影响。

11.5.5.2 非放射性气体

本项目后装机运行时，产生的 γ 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。与前文同理，本报告在考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

参考《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）P52--P53 页的相关公式，本项目后装机运行时空气中臭氧的产额可由下式进行计算：

$$Q_0 = 6.33 \times 10^{-4} AGV^{1/3} \dots\dots\dots (11.5 - 8)$$

式中： Q_0 ——臭氧的辐射化学产额，mg/h；

A——放射源的活度，Ci，本项目 ^{192}Ir 放射源总活度为 10Ci；

G——空气吸收 100eV 的电离辐射能量产生的臭氧分子数，本项目取 6；

V——治疗室体积， m^3 ，本项目后装机治疗室体积为 209m^3 （含迷道）；

由此计算后装机治疗室臭氧的产额为 0.15mg/h。

室内臭氧浓度由下式计算：

$$C = \frac{Q_0 \cdot T}{V} \dots\dots\dots (11.5 - 9)$$

式中：C——室内臭氧浓度， mg/m^3 ；

Q_0 ——臭氧的辐射化学产额，mg/h；

V——治疗室内空间体积， m^3 ，取值同上；

T——臭氧有效清除时间，h，计算公式如下：

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots (11.5 - 10)$$

式中： t_v ——换气一次所需的时间，h，本项目后装机机房拟设机械排风系统，设计风量为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，治疗室体积为 209m^3 （含迷道），则换气频率为 19 次/h，则换气一次需约 0.05h；

t_d ——臭氧的有效分解时间，h，可取为 50min，即 0.83h。

一般情况下， $t_v \ll t_d$ ，故 $T \approx t_v = 0.05\text{h}$ 。

由此计算后装机治疗室内臭氧的浓度为 $3.59 \times 10^{-5}\text{mg}/\text{m}^3$ ，能够满足《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中臭氧最高允许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 的要求。后装机房内的臭氧和氮氧化物等有害气体经机房内排风系统排出机房后对周围环境影响不大。

11.6 DSA 运行阶段辐射环境影响分析

本项目拟建 6 间 DSA 机房（其中 5 间位于放射介入科，编号为 2#~6#DSA 机房；1 间位于 ^{90}Y 肝癌治疗工作场所，编号为 1#DSA 机房），均配置同一型号的 DSA 装置，最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA。

11.6.1 DSA 工作场所辐射水平预测

（1）类比对象的选择

为了分析 DSA 装置投入运行后对周围环境的辐射影响，本次评价采用浙江求是心血管病医院 3 号 DSA 机房的验收检测数据进行类比评价，类比项目检测报告见附件 18，DSA 射线装置类比可行性分析见表 11.6-1。

表 11.6-1 DSA 机房类比可行分析

| 类比项目 | 类比对象 (浙江求是心血管病医院3号DSA机房) | 本项目(1#~6#DSA 机房) | |
|------|---|---|--|
| 设备参数 | 150kV, 1000mA | 150kV, 1250mA | |
| 设备型号 | Azurion 7 M20 | 待定 | |
| 主束方向 | 南、北、顶棚和地面，主要为由下向上 | 南、北、顶棚和地面，主要为由下向上 | |
| 运行工况 | 减影模式：105kV, 598.2mA； 透视模式：81kV, 12.3mA； | 减影模式：100kV, 500mA； 透视模式：80kV, 20mA； | |
| 机房尺寸 | 有效使用面积：33.36m ² ； 最小单边长度：5.38m； | 有效使用面积：48.84~79.04m ² ； 最小单边长度：6.6~7.8m | |
| 屏蔽防护 | 四侧墙体 | 4mm 铅板+方管龙骨支撑（4mmPb） | 240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡防护涂料（4mmPb）或彩钢板+4mm 铅板（4mmPb） |
| | 防护门 | 内衬 4.0mm 铅板（4mmPb） | 内衬 4.0mm 铅板（4mmPb） |
| | 观察窗 | 4.0mmPb 铅玻璃（4mmPb） | 4.0mmPb 铅玻璃（4mmPb） |
| | 顶棚 | 12cm 混凝土+3mm 铅板（4.1mmPb） | 150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料（4.5mmPb） |
| | 地坪 | 12cm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡涂料（4.1mmPb） | 180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡防护涂料（4.9mmPb） |

由上表可以看出，本项目DSA的设备性能参数与类比对象基本一致，主束方向相同，机房的有效使用面积和最小单边长度均大于类比对象，机房屏蔽防护水平与类比对象相当。同时，类比DSA机房运行工况在摄影和透射模式下管电压和管电流均大于本项目。因此，本项目DSA机房与类比对象有很好的可比性。通过对类比对象的检测，可以预测本项目DSA射线装置投入运行后的辐射环境影响。

(2) 类比项目检测

类比项目的验收检测结果见表11.6-2，验收检测点位见图11.6-1。

表 11.6-2 浙江求是心血管病医院 3 号 DSA 机房剂量率监测结果

| 检测点号 | 检测地点 | 检测方向 | 检测结果 (μSv/h) | |
|------|----------------------|-------|--------------|------|
| | | | 减影模式 | 透视模式 |
| 1 | 操作位 (北侧) | 主射束朝东 | 0.14 | 0.14 |
| 2 | 操作位 (中部) | | 0.17 | 0.18 |
| 3 | 操作位 (南侧) | | 0.21 | 0.20 |
| 4 | 观察窗外表面 (北侧) 30cm | | 0.16 | 0.16 |
| 5 | 观察窗外表面 (中部) 30cm | | 0.22 | 0.20 |
| 6 | 观察窗外表面 (南侧) 30cm | | 0.14 | 0.14 |
| 7 | 观察窗外表面 (上端) 30cm | | 0.17 | 0.16 |
| 8 | 观察窗外表面 (下端) 30cm | | 0.23 | 0.21 |
| 9 | 工作人员防护门外表面 (北侧) 30cm | | 0.22 | 0.21 |
| 10 | 工作人员防护门外表面 (中部) 30cm | | 0.22 | 0.22 |
| 11 | 工作人员防护门外表面 (南侧) 30cm | | 0.21 | 0.20 |
| 12 | 工作人员防护门外表面 (上端) 30cm | | 0.26 | 0.23 |
| 13 | 工作人员防护门外表面 (下端) 30cm | | 0.22 | 0.20 |
| 14 | 受检者防护门外表面 (西侧) 30cm | 主射束朝上 | 0.19 | 0.17 |
| 15 | 受检者防护门外表面 (中部) 30cm | | 0.18 | 0.17 |
| 16 | 受检者防护门外表面 (东侧) 30cm | | 0.23 | 0.20 |
| 17 | 受检者防护门外表面 (上端) 30cm | | 0.15 | 0.14 |
| 18 | 受检者防护门外表面 (下端) 30cm | | 0.16 | 0.15 |
| 19 | 污物通道防护门外表面 (北侧) 30cm | 主射束朝西 | 0.24 | 0.21 |
| 20 | 污物通道防护门外表面 (中部) 30cm | | 0.18 | 0.17 |
| 21 | 污物通道防护门外表面 (南侧) 30cm | | 0.24 | 0.20 |
| 22 | 污物通道防护门外表面 (上端) 30cm | | 0.23 | 0.21 |
| 23 | 污物通道防护门外表面 (下端) 30cm | | 0.21 | 0.19 |
| 24 | 设备间防护门外表面 (北侧) 30cm | 主射束朝西 | 0.25 | 0.24 |
| 25 | 设备间防护门外表面 (中部) 30cm | | 0.22 | 0.22 |
| 26 | 设备间防护门外表面 (南侧) 30cm | | 0.14 | 0.14 |
| 27 | 设备间防护门外表面 (上端) 30cm | | 0.22 | 0.21 |
| 28 | 设备间防护门外表面 (下端) 30cm | | 0.15 | 0.15 |
| 29 | 东侧防护墙外表面 (北侧) 30cm | 主射束朝东 | 0.26 | 0.23 |
| 30 | 东侧防护墙外表面 (中部) 30cm | | 0.13 | 0.13 |

| | | | | | |
|------|---------------------|-----------|------|---------|---------|
| 31 | 西侧防护墙外表面（中部）30cm | 主射束朝西 | 0.19 | 0.19 | |
| 32 | 西侧防护墙外表面（南侧）30cm | | 0.26 | 0.24 | |
| 33 | 北侧防护墙外表面（中部）30cm | 主射束朝上 | 0.19 | 0.19 | |
| 34 | 北侧防护墙外表面（东侧）30cm | | 0.19 | 0.19 | |
| 35 | 六层地面上方 100cm（西侧） | | 0.14 | 0.13 | |
| 36 | 六层地面上方 100cm（东侧） | | 0.14 | 0.14 | |
| 37 | 四层地面上方 170cm（西侧） | 主射束朝下 | 0.15 | 0.15 | |
| 38 | 四层地面上方 170cm（东侧） | | 0.18 | 0.16 | |
| | | | | 已佩戴防护用品 | 未佩戴防护用品 |
| 39 | 第一手术位距地高度 105cm（腹部） | 主射束朝上 | / | 19 | 56 |
| 40 | 第一手术位距地高度 125cm（胸部） | | / | 20 | 61 |
| | | | | 未佩戴防护用品 | |
| 41 | 第一手术位距地高度 20cm（足部） | 主射束朝上 | / | 40 | |
| 42 | 第一手术位距地高度 80cm（下肢） | | / | 47 | |
| 43 | 第一手术位距地高度 155cm（头部） | | / | 58 | |
| 44 | 第一手术位手部 | | / | 1122 | |
| | | | | 已佩戴防护用品 | 未佩戴防护用品 |
| 45 | 第二手术位距地高度 105cm（腹部） | 主射束朝上 | / | 12 | 33 |
| 46 | 第二手术位距地高度 125cm（胸部） | | / | 14 | 59 |
| | | | | 未佩戴防护用品 | |
| 47 | 第二手术位距地高度 20cm（足部） | 主射束朝上 | / | 24 | |
| 48 | 第二手术位距地高度 80cm（下肢） | | / | 30 | |
| 49 | 第二手术位距地高度 155cm（头部） | | / | 36 | |
| 本底均值 | | 0.11-0.16 | | | |

注：1）以上检测结果均未扣除本底值，检测结果取最大值。2）该机房位于综合楼五层，机房正上方为手术室，机房正下方为眼科。3）检测仪器响应时间小于检测时间，无需进行响应时间修正。

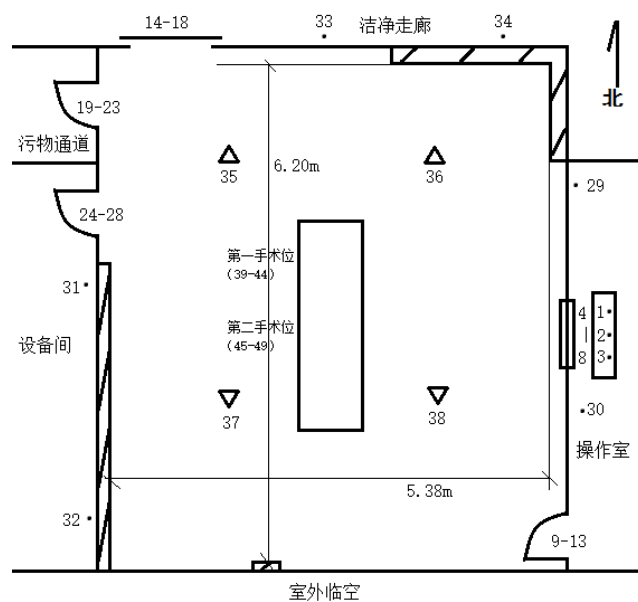


图 11.6-1 浙江求是心血管病医院 3 号 DSA 机房检测布点示意图

由表 11.6-2 可知，DSA 装置运行时机房外辐射剂量率相对于本底未显著提高，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）规定的“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”与“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h”的要求。本项目 DSA 机房屏蔽防护设计与类比项目机房相当，故本项目机房屏蔽设计能够符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

11.6.2 人员受照剂量

DSA 减影曝光时，除存在临床不可接受的情况外工作人员均回到控制室进行操作，DSA 透视曝光时，医师在手术间内近台操作，护士和技师通常不在手术间内。因此，本项目主要考虑透视模式下近台操作医师的受照剂量，不考虑减影模式下近台操作医师的受照剂量。

（1）控制室工作人员与机房外公众

控制室工作人员与机房外公众的年有效剂量计算公式同前文公式（11.2-4）。本项目每台 DSA 每年最多 300 台手术，拟设 2 名技师，则每位技师每年最多 150 台手术，平均每台手术减影时间约 2min，透视时间约 15min，则辐射工作人员年受照时间为减影 5h，透视 37.5h。

（2）DSA 机房内介入手术人员

①年有效剂量

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）第 6.2.4 条款规定，DSA 机房内介入工作人员均佩戴铅围裙内、外两个剂量计，外照射年有效剂量应按下列式进行计算：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \dots\dots\dots (11.6 - 1)$$

式中：

E——有效剂量中的外照射分量，mSv；

α——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

H_u——铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 H_p（10），mSv；

β——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

H_o——铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 H_p（10），mSv。

根据 GBZ 130-2020 第 6.5.1 条款和第 6.5.3 条款，本项目介入工作人员必须配置铅橡胶颈套，且铅当量不小于 0.5mmPb，则本项目系数 α 取值 0.79，β 取值 0.051。

②手部和眼晶状体的年当量剂量

手术医生和护士在 DSA 机房内进行介入手术时，皮肤当量剂量保守按不戴铅介入手套进

行估算，眼晶状体当量剂量保守按不戴铅眼镜进行估算。

根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T 244-2017）、《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T 301-2017）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 J，有辐射场空气比释动能率信息时，皮肤当量剂量用公式（11.6-2）和公式（11.6-4）进行估算，眼晶状体当量剂量用公式（11.6-3）和公式（11.6-4）进行估算。

$$D_s = C_{ks} \cdot k \cdot t \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (11.6 - 2)$$

$$D_L = C_{kL} \cdot k \cdot t \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (11.6 - 3)$$

$$H = D \cdot W_R \dots\dots\dots (11.6 - 4)$$

式中：

D_s ——皮肤吸收剂量，mGy；

C_{ks} ——空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数，Gy/Gy，查看《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）附录 A 表 A.5，空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数 $C_{ks}=1.156\text{mGy/mGy}$ （0.08MeV，AP 入射方式）；

D_L ——眼晶状体吸收剂量，mGy；

C_{kL} ——空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数，Gy/Gy，查看《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）附录表 A.4，空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数 $C_{kL}=1.550\text{mGy/mGy}$ （0.08MeV，AP 入射方式）；

k ——X、 γ 辐射场的空气比释动能率， $\mu\text{Sv/h}$ ，本项目取类比报告中的相关数据；

t ——人员累积受照时间，h，本项目每台 DSA 每年最多300台手术，拟设2名介入医生，则每位介入医生每年最多150台手术，平均每台手术减影时间约2min，透视时间约15min，则辐射工作人员年受照时间为减影5h，透视37.5h，公众年受照时间为减影10h，透视75h；

H ——关注点人员的当量剂量，mSv；

D ——皮肤吸收剂量或眼晶体吸收剂量，mGy；

W_R ——辐射权重因数，X 射线取 1。

根据上述公式计算，本项目 DSA 工作场所辐射工作人员和公众的年有效剂量估算结果见表 11.6-3。

表 11.6-3 本项目有效剂量估算结果

| 关注人员 | 工况 | 关注点最大剂量率 k | 铅衣内剂量率 | 铅衣外剂量率 | 受照时间 t | 转换系数 C _{Ks} | 转换系数 C _{KL} | 辐射权重因数 | 居留因子 | 年有效剂量或年当量剂量 | |
|----------|------|------------|---------|--------|--------|----------------------|----------------------|----------------|------|-----------------------|-------|
| | | μSv/h* | | | h/a | mGy/mGy | | W _R | | mSv/a | |
| 控制室内工作人员 | 减影 | 0.12 | / | / | 5 | / | / | / | 1 | 4.35×10 ⁻³ | |
| | 透视 | 0.10 | / | / | 37.5 | / | / | / | 1 | | |
| 机房内工作人员 | 身体 | 减影 | 0.12 | / | / | 5 | / | / | / | 1 | 0.71 |
| | | 透视 | / | 19.89 | 60.89 | 37.5 | / | / | / | 1 | |
| | 手部 | 透视 | 1121.89 | / | / | 37.5 | 1.156 | / | 1 | 1 | 48.63 |
| | 眼晶状体 | 透视 | 57.89 | / | / | 37.5 | / | 1.550 | 1 | 1 | 3.36 |
| 机房东侧公众人员 | 减影 | 0.15 | / | / | 10 | / | / | / | 1 | 0.01 | |
| | 透视 | 0.13 | / | / | 75 | / | / | / | | | |
| 机房南侧公众人员 | 减影 | 0.15 | / | / | 10 | / | / | / | 1 | 0.01 | |
| | 透视 | 0.13 | / | / | 75 | / | / | / | | | |
| 机房西侧公众人员 | 减影 | 0.15 | / | / | 10 | / | / | / | 1 | 0.01 | |
| | 透视 | 0.13 | / | / | 75 | / | / | / | | | |
| 机房北侧公众人员 | 减影 | 0.15 | / | / | 10 | / | / | / | 1 | 0.01 | |
| | 透视 | 0.13 | / | / | 75 | / | / | / | | | |
| 机房上方公众人员 | 减影 | 0.03 | / | / | 10 | / | / | / | 1 | 2.55×10 ⁻³ | |
| | 透视 | 0.03 | / | / | 75 | / | / | / | | | |
| 机房下方公众人员 | 减影 | 0.07 | / | / | 10 | / | / | / | 1 | 4.45×10 ⁻³ | |
| | 透视 | 0.05 | / | / | 75 | / | / | / | | | |

注：1）*代表引用剂量率已扣除本底值，并取最大值；

2）考虑到1#~6#DSA机房四周的公众区域居留因子可能取值不同，为了便于计算，本次评价居留因子均保守取1。

综上所述，本项目 DSA 机房内辐射工作人员年有效剂量最大估算值为 0.71mSv，控制室内辐射工作人员年有效剂量最大估算值为 4.35×10⁻³mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)对职业人员剂量限值 20mSv/a 和本项目剂量约束值 5mSv/a 的要求；医生手部皮肤年当量剂量为 48.63mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对职业人员四肢的剂量限值 500mSv/a 和本项目剂量约束值 125mSv/a 的要求；医生眼晶状体年当量剂量为 3.36mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对职业人员眼晶状体的剂量限值 150mSv/a 和本项目剂量约束值 37.5mSv/a 的要求。

考虑到 2#DSA 机房西侧为 ⁹⁰Y 治疗机房（1#DSA 机房），楼上为 CT 机房；3#DSA 机房

楼上为 CT 机房，本次评价考虑其剂量叠加影响。⁹⁰Y 治疗机房的剂量影响直接引用前文表 11.3-1 中的数据，由于 CT 型号、参数及机房屏蔽防护设计方案均待定，本次保守按照机房外剂量率控制限值 2.5μSv/h 核算其剂量影响。则本项目 2#DSA 和 3#DSA 机房辐射工作人员的年有效剂量估算结果为：

$$E_{\text{总-2\#DSA}} = E_{90Y \text{ 机房}} + E_{CT \text{ 机房}} + E_{2\#DSA} \\ = 0.002\mu\text{Sv/h} \times 37.5\text{h/a} \times 1 \times 1 \times 10^{-3} + 2.5\mu\text{Sv/h} \times 37.5\text{h/a} \times 1 \times 1 \times 10^{-3} + 0.71 = 0.80\text{mSv/a};$$

$$E_{\text{总-3\#DSA}} = E_{CT \text{ 机房}} + E_{3\#DSA} = 2.5\mu\text{Sv/h} \times 37.5\text{h/a} \times 1 \times 1 \times 10^{-3} + 0.71 = 0.80\text{mSv/a};$$

故本项目 2#和 3#DSA 机房的辐射工作人员在叠加了周围放射机房的剂量影响的基础上，仍然可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对职业人员剂量限值 20mSv/a 和本项目剂量约束值 5mSv/a 的要求。

同时，本项目机房外公众年受照剂量最大估算值为 0.01mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众成员剂量限值 1mSv/a 和本项目剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，机房附近公众受照剂量满足要求，因此机房外 50m 范围内其他环境保护目标公众受照剂量也能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众成员剂量限值 1mSv/a 和本项目剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

由于本项目介入治疗手术过程中辐射工作人员的受照剂量受多种不确定因素的影响，工作人员的受照射情况复杂多变，难以准确估算其年有效剂量。因此上述理论估算结果只能大致反映出工作人员受辐射照射程度。本项目参与介入手术的医务人员在手术过程中均应佩戴个人剂量计，医院应根据个人剂量检测结果对工作人员工作岗位进行调整，确保其年有效剂量满足本项目剂量约束值要求。

11.6.3 DSA 机房“三废”影响分析

本项目运行过程中无放射性废气、放射性废水和放射性固废产生，“三废”主要为臭氧和氮氧化物等非放射性气体。

DSA机房内会产生少量的臭氧和氮氧化物，由于拟安装的设备最大管电压均为150kV，射线能量较低，本次评价仅做定性分析。根据《X射线工作场所臭氧氮氧化物浓度监测》（郝海鹰、刘容主编）及《X射线工作场所空气中臭氧氮氧化物浓度调查》（张大薇主编）等文献资料，医院射线装置工作场所臭氧浓度范围为0.01~0.137mg/m³，氮氧化物浓度范围为0.01~0.103mg/m³，预计本项目DSA机房内臭氧和氮氧化物的浓度排放满足《工作场所有害因素职

业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中的限值要求（臭氧为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ）。

本项目每间DSA机房顶部拟按照1个吸顶式排风扇，设计排风量不低于 $2000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房通风设计满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）第6.4.3条款规定“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的标准要求。项目运行后，DSA机房内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风管道引至所在建筑的楼顶高空排放，通过大气稀释扩散可满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及2018年修改单中的二级标准要求。因此，本项目DSA产生的臭氧和氮氧化物对工作人员和周围环境影响较小。

11.6 事故影响分析

本项目针对不同类型辐射源的特点，展开风险源识别，并提出相应的防范措施。

11.6.1 核医学科及 ^{90}Y 肝癌治疗（核医学科部分的内容）辐射风险识别及防范措施

1、辐射风险识别

①PET/CT（PET/MR、SPECT/CT）机房闭门装置失效或操作人员失误，人员误入机房，造成误照射；工作人员或患者家属尚未撤离扫描间时误开机，对工作人员或患者家属产生不必要的照射。

②由于管理不善，发生放射性药物失窃，导致公众受照和环境受到辐射污染。

③在放射性药物转移及注射等过程中，由于操作人员违规操作、误操作，引起放射性药物意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。

④由于对患者管理不当，患者体内放射性活度尚未衰减到较低水平而到公共场所活动，造成公众受照。

⑤放射性废水未经足够的时间贮存衰变进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

⑥放射性固体废物未经足够的时间贮存衰变进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

⑦通风系统中的过滤装置失效，放射性废气未达到排放标准排放。

⑧职业人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成超剂量照射。

2、风险防范措施

①定期开展安全装置与设施检查，保证机房闭门装置有效，制定并落实操作规范，工作

人员定期培训。

②制定并落实放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。储源室设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

③制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

④加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院或离开核医学场所时的放射性药物携带量，并对有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面的指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。核医学工作场所设置监控，进出口设置门禁，经核实达到离开条件方可允许患者离开。

⑤医院应加强放射性废水处理系统日常维护，严格控制放射性废水衰变时间，放射性废水经充分衰变满足 GB 18871-2002 规定值后方可排放。

⑥加强放射性固体废物的管理，做好登记记录，对于放射性固废在其衰变桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录，经充分衰变达到解控水平后方可按照一般医疗废物处置。

⑦定期委托设备厂家检查维护通风设施，确保放射性废气排放浓度满足要求排放，且更换下的废活性炭放置于放射性固废间内暂存衰变至清洁解控水平后按照一般医疗废物处置。

⑧加强职业人员自身防护安全意识，定期组织培训，使职业人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅颈套、铅眼镜等）及存放位置。要求职业人员进入控制区前必须穿戴放射防护用品，个人剂量计佩戴于铅衣内部左胸前，在进行配制和注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩，必要时佩戴防护眼镜，尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物距离。

11.6.2 直线加速器辐射风险识别及防范措施

1、辐射风险识别

①安全联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的放疗机房而造成 X 射线误照射。

②工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房，加速器运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。

③工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害。

④加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

⑤维修期间的事故，加速器维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

2、风险防范措施

①制定自检制度，且严格进行经常性自查，如发现门机联锁、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作指示灯检查，防止人员误入。

②加强职业人员培训，制定规范的操作规程并落实。

③制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控确保机房内摆位工作人员已撤出。

④做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

⑤医院应联系有维修资质的专业技术人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修加速器。

⑥加速器操作、安装调试和检修维护人员在工作过程中，应按要求配戴个人剂量计和按要求携带个人剂量报警仪。进行加速器设备的调试和维修期间，医院需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员，本项目辐射工作人员不参与设备的控制与维修，防止维修期间工作人员在加速器机房误照射。加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守，在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区

11.6.3 后装机辐射风险识别及防范措施

1、辐射风险识别

①因机房防护门门机联锁故障或控制室人员未能发现治疗室内有人停留等原因，后装治疗机出源治疗致使治疗室内无关人员受到误照射。

②后装机机器发生故障，主要为施源器未插好、通道堵塞等故障。

③发生卡源故障，源不能归位。

④由于管理不善，放射源发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

⑤废放射源 ^{192}Ir 回收时，在导源过程中屏蔽储源体（屏蔽装置）发生损坏导致源不能被

屏蔽。因工作人员操作不当或出现设备故障，在导源以及换装新放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。

2、风险防范措施

①辐射操作人员持证上岗，定期进行辐射防护知识的培训 and 安全教育，严格按照设备操作程序操作。

②机房设置门-机联锁装置、视频监控、对讲装置，防护门张贴电离辐射警示标志及安装工作指示灯。工作人员定期检查门-机联锁、视频监控、对讲装置等设备，出现故障及时维修。

③当发生某种机器故障时，计算机报警，源自动退回，当源完全退回储源器时，防护门指示灯亮绿灯，此时工作人员进入治疗室撤离病人。工程师通过计算机控制和机房现场进行维修。

④医院应制定后装机卡源故障应急处置措施并加强工作人员卡源规章演习，当出现卡源故障时严格按应急处置措施进行处理。

当后装机发生卡源故障时，后装治疗机操作人员穿戴好铅衣、铅帽等防护用品，佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪，手持便携式辐射监测设备进入后装治疗室内，记录进入时间及治疗室内辐射水平；辐射工作人员尽快把放射源施源器从病人体内取出，置于应急储源容器内，并立即把病人带离至治疗室门口，进行体表辐射监测，监测数据显示无异常后，将病人带离治疗室；最后关上治疗室的防护门，设置醒目的禁入标志，并马上上报科室及医院领导，启动放射事故应急救援机制。

卡源故障发生后，医院应尽快联系后装机的生产厂家安排工程师来院协助故障处理，进行人工退源操作，把放射源退回安全鼓内。在此之前，后装治疗室严禁进入，门前应设隔离区，并注意监测周围的辐射水平。医院对参与紧急处理的人员的受照剂量进行估算并记录，向监督管理部门报告。

⑤废源回收以及新放射源的更换均由生产厂家完成，医院不得擅自换源。

⑥医院加强放射源的辐射管理，后装机机房出入口设置摄像头监控，放射源被盗的几率很小。一旦发生放射源丢失或被盗，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法（2021年修改）》、《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号）等有关要求，医院应按规定启动本单位辐射事故应急方案，并及时报告当地生态环境部门、公安部门

以及卫生部门。

11.6.4 DSA 及 ^{90}Y 肝癌治疗（放射介入部分的内容）辐射风险识别及防范措施

1、辐射风险识别

①在介入手术室使用DSA开展手术期间，人员误入介入手术室引起误照射，使用中发生故障导致受检人员超剂量照射，污染途径为外照射；

②工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离诊断机房，X射线装置运行可能产生误照射；

③操作介入手术的医生或护士未穿戴铅颈套、铅围裙、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射。

④门灯联锁装置和闭门装置出现故障，在屏蔽门没有关闭的情况下出束，或DSA工作时无关人员打开屏蔽门误入，对门外人员及误入人员造成误照射。

⑤DSA 装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。

2、风险防范措施

①购置工作性能和防护条件均较好的介入诊疗设备。

②实施介入诊疗的质量保证。

③做好医生的个人防护。

④做好病人非投照部位的防护工作。

⑤工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品；定期检查机房的性能，检查门灯联锁装置和闭门装置是否完好，检查有关的安全警示标志是否正常工作；操作曝光前应检查手术室内有无无关人员逗留，机房防护门是否关闭到位，避免无关人员误入正在使用X射线装置的手术室。

⑥DSA安装调试和检修维护人员在工作过程中，应按要求佩戴个人剂量计和携带个人剂量报警仪。调试和维修期间，医院需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员，本项目辐射工作人员不参与设备的控制与维修。

11.6.5 应急处置预案

针对以上可能发生的事故风险，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等有关规定，医院应制定辐射事故应急方案，并定期进行演练，及时进行整改，同时还应配置必要的应急装备、器材以及

应急资金。当发生或发现辐射事故，当事人应立即向医院的辐射安全负责人和法定代表人报告。当事故发生时，医院应立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生主管部门报告。如发生放射源被盗的事故，则还须向公安部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》等法律法规要求，使用放射性同位素和射线装置的单位应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

浙江省中医院已发文成立以主任委员张烁为组长的放射防护安全管理委员会，负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作。本次扩建内容与医院现有核技术利用类型基本一致，因此现有的辐射安全管理机构可满足本项目扩建后的机构设置要求。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）现有辐射工作人员辐射安全管理现状见前文表1章节中1.7.2章节，此处不赘述。

对现有辐射工作人员，2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核，及时完成复训工作。

（2）本项目所需辐射工作人员全部拟新增，对拟增加新的辐射工作人员，医院应做好以下管理：①所有新增辐射工作人员应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号）的要求参加生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn/>）学习相关知识，经考核合格后方可上岗，并按要求及时参加复训。②所有新增辐射工作人员应配备个人剂量计，定期送检有资质单位（常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月），并建立个人剂量档案。③所有辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，在岗期间每一年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立完整的职业健康档案。④所有辐射工作人员的辐射安全和防护考核成绩报告单、个人剂量检测档案、职业健康档案记录三个文件上的人员信息应统一。同时，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定，个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满75周岁，或者停止辐射工作30年。按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》第四十一条规定，职业健康监护档案应长期保存。

(3) 根据《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙环函〔2019〕248号），各单位对辐射工作人员的辐射安全与防护培训或放射诊疗培训互相认可，故本项目辐射工作人员可无需重复培训。

(4) 根据《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告2021年第9号），仅从事III类射线装置使用活动的辐射工作人员无需集中考核，由医院自行组织考核。医院应妥善留存本单位相关辐射工作人员自行考核记录，各级生态环境部门可采取现场抽测的方式，对医院考核责任落实情况进行监督检查。

12.2 辐射安全规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》相关规定，使用放射性同位素和射线装置的单位要建立健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划。

12.2.1 现有制度执行情况

医院现有辐射安全规章制度制定情况见前文表1中1.7.2章节，内容健全完善且规范，基本满足现有核技术利用项目的管理需要。

12.2.2 本项目制度要求

本项目在现有从事的辐射活动（核医学科、直线加速器、DSA和CT等III类装置及V类密封源等）的基础上，新增⁹⁰Y肝癌治疗和后装机的内容。本次评价建议医院结合本项目开展特点和实际管理经验，对原有辐射安全管理制度进行针对性的补充、完善，重新制定各项规章制度后张贴于本项目相关辐射工作现场，使之切实可行又符合相关管理规定，并付诸严格执行。

对于浙江省中医院富阳院区，医院应做好以下工作：

(1) 本项目是异地扩建，医院应重新制定一套关于“核医学科、直线加速器、DSA”的完整体系的辐射安全规章制度。其中《辐射安全和防护制度》、《岗位职责》、《操作规程》和《辐射事故应急预案》等制度，需要张贴上墙于富阳院区辐射工作现场处。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目。

(2) 对于新增的⁹⁰Y肝癌治疗内容，医院应补充制定：《⁹⁰Y肝癌治疗操作规程》、《⁹⁰Y

树脂微球运输管理制度》、《⁹⁰Y肝癌治疗患者管理规定》、《⁹⁰Y肝癌治疗手术室放射性“三废”管理规定》、《⁹⁰Y肝癌治疗风险防范与应急处置制度》、《⁹⁰Y肝癌治疗工作场所分区管理规定（含人流、物流路线图）》、《⁹⁰Y肝癌治疗患者住院管理规定》、《⁹⁰Y肝癌治疗患者排泄废液管理规定》。

(3) 对于新增的后装机内容，医院应补充制定：《放射源管理制度（转让、使用、更换、返回、送贮等）》、《后装机操作规程》、《废旧放射源退役管理制度》、《倒源工作辐射安全管理规定》、《后装机卡源应急处置制度》。

(4) 补充辐射安全档案管理制度：应建立辐射安全工作档案，并专人负责保管。除妥善保存辐射工作场所的辐射防护设计档案外，还应保存下列资料：

a、辐射环评、辐射安全许可证及相关审批文件档案：历次核技术利用项目环境影响评价文件及环评批复文件、历次辐射安全许可证申请和变更、延续等办理手续的材料、辐射安全许可证正副本、历次核技术利用项目验收文件和批复等。

b、辐射安全管理制度：放射性同位素和射线装置（包括含放射源设备）台账、放射性同位素和射线装置（含放射源设备）购买和转让（报废）相关材料、辐射安全管理制度文件资料（包括辐射安全管理领导小组文件、辐射安全责任书、辐射事故应急预案、各项辐射安全管理规章制度等）、放射性同位素和射线装置（包括含放射源设备）使用登记和维修维护记录、历次辐射管理培训和辐射应急演练记录、历次生态环境部门监督检查的检查表及整改报告、历次辐射安全和防护年度评估报告、辐射事故（事件）处理情况相关材料等。

c、辐射工作人员档案：辐射工作人员名单、辐射工作人员辐射岗位培训合格证、历次辐射工作人员个人剂量监测报告和个人剂量监测台账、历次放射性工作场所监测报告、辐射防护仪器设备和用品台账等。

综上所述，医院在落实上述制度后，能够确保本项目非密封放射性物质、放射源和射线装置等的安全使用，满足国家相关的辐射安全管理及技术层面要求。日后的工作实践中，医院应根据核技术利用具体情况以及在工作中遇到的实际问题，并结合现行辐射法律法规的要求及时对辐射安全管理制度进行针对性的补充、更新和完善，提高制度的可操作性。

12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，医院需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

12.3.1 现有辐射监测开展情况

医院已制定《环境监测制度》，并定期委托有资质的单位进行辐射工作场所监测，日常内部常规检测已执行。医院现有辐射监测仪器和防护用品清单见前文的表1.7-5，可以满足现阶段的辐射工作要求。

12.3.2 本项目辐射监测要求

12.3.2.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。本项目辐射监测配备计划见表12.1-1。

表12.1-1 本项目辐射监测设备配置计划表

| 辐射工作场所名称 | 监测设备类型 | 数量 |
|------------------------------|-------------|-----|
| 核医学科（PET/CT、PET/MR、SPECT/CT） | 便携式X-γ辐射监测仪 | 1台 |
| | α、β表面污染监测仪 | 1台 |
| | 个人剂量报警仪 | 12个 |
| ⁹⁰ Y肝癌治疗场所（1#DSA） | 便携式X-γ辐射监测仪 | 1台 |
| | β表面污染监测仪 | 1台 |
| | 个人剂量报警仪 | 4个 |
| 放疗科（直线加速器、后装机） | 固定式X-γ辐射监测仪 | 3台 |
| | 便携式X-γ辐射监测仪 | 1台 |
| | 个人剂量报警仪 | 6台 |
| 介入中心（2#DSA~6#DSA） | 便携式X-γ辐射监测仪 | 1台 |
| | 个人剂量报警仪 | 10台 |

医院应每年准备相应资金采购更新辐射安全防护设施和设备，定期对相关检测设备进行校正和维护，并建立完善的辐射防护检测设备台账。

12.3.2.2 个人剂量监测

医院应严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理规定，为辐射工作人员配备个人剂量计；同时，应根据每年的工作人员的变化增加个人剂量计，并进行个人剂量监测（常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月）和职业健康检查（不少于1次/2年），建立个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

12.3.2.3 辐射工作场所监测

根据辐射管理要求，医院应针对本项目具体情况制定如下监测方案：

(1) 正式使用前监测：委托有相关监测资质的监测单位对核技术应用场所的辐射防护设施进行全面的验收监测，做出辐射安全状况的评价。

(2) 常规监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。

(3) 年度监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境监测，监测周期为1次/年。年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

12.3.2.4 放射性废水排放前监测

(1) 核医学工作场所产生的含 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P 核素的放射性废水收集到放射性废液铅罐贮存衰变至10个半衰期以后； ^{131}I 等其他核素放射性废水统一收集到衰变池，暂存超过180天以上，经检测达标后方可排入医院污水处理站，保证放射性废液铅罐总排放口的废水中放射性活度不超过《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）规定的限值（总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）；衰变池总排放口的废水中放射性活度不超过《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）规定的限值（总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、 ^{131}I 放射性活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ ）。

(2) ^{90}Y 肝癌治疗工作场所的放射性废水统一收集到放射性废液铅罐，衰变核素最长半衰期的10倍以上，经检测达标后方可排入医院污水处理站，保证废液罐总排放口的废水中放射性活度不超过《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）规定限值（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）。

12.3.2.5 放射性固废处理前监测

(1) 核医学工作场所产生的放射性固体废物，应根据核素的种类和半衰期的不同进行分类收集，其中： ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{188}Re 暂存必须超过30天， ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P 暂存必须超过10个半衰期以上， ^{131}I 暂存必须超过180天，经检测满足清洁解控水平后，方可作为普通医疗废物处理，最终委托有资质单位处理处置。

(2) ^{90}Y 肝癌治疗工作场所产生的放射性固废，应根据核素的种类和半衰期的不同进行分类收集，其中： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 暂存必须超过30天， ^{90}Y 暂存必须超过10个半衰期以上，经检测满足清洁解控水平后，方可作为普通医疗废物处理，最终委托有资质单位处理处置。

(3) 加速器机房更换的废靶经检测其表面 γ 辐射剂量率满足清洁解控水平后，由设备厂

家回收处理。

12.3.2.6 本项目辐射监测计划

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南——污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）、《放射治疗辐射安全和防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射诊断射防护要求》（GBZ 130-2020）》等相关规定，本项目辐射监测计划建议见表12.3-2。

表 12.3-2 本项目辐射工作场所监测计划

| 监测场所 | 监测项目 | 监测范围 | 监测方式 | 监测频次 |
|--|-----------------------------------|--|-------|--------------------------|
| 核医学科、 ⁹⁰ Y 肝癌治疗工作场所（1#DSA 机房） | 周围剂量当量率 | 控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性点位和存有放射性物质的装置/设备的表面。 | 验收监测 | 竣工验收 |
| | | | 自主监测 | 1次/2周 |
| | | | 年度监测 | 1次/年 |
| | 放射性表面污染 | 放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。 | 验收监测 | 竣工验收 |
| | | | 自主监测 | 每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测） |
| | | | 年度监测 | 1次/年 |
| | 放射性废水中总α，总β、 ¹³¹ I活度浓度 | 专用衰变池总排放口；放射性废液铅罐总排放口 | 委托监测 | 每次排放前 |
| | | | 年度监测 | 1次/年 |
| 放射性固废的表面剂量率和表面污染水平 | 污物间放射性废物包装体外 | 自主监测 | 每次排放前 | |
| | | 年度监测 | 1次/年 | |
| 1#、2#直线加速器机房 | 周围剂量当量率 | 加速器机房四侧墙体外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门及四周门缝处、各类穿墙管道洞口（如进排风管、电缆线管、物理测试孔）、上方衰变池的池体间及周围需关注的监督区等。 | 验收监测 | 竣工验收 |
| | | | 自主监测 | 1次/季 |
| | | | 年度监测 | 1次/年 |
| 放射性固废 | 更换的废靶 | 自主监测 | 每次排放前 | |
| 后装机机房 | 周围剂量当量率 | 后装机房四侧墙体外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门及四周门缝处、各类穿墙管道洞口（如进排风管、电缆线管）、上方衰变池的池体间及周围需关注的监督区等；贮源器表面 5cm 和 100cm 处。 | 验收监测 | 竣工验收 |
| | | | 自主监测 | 1次/季 |
| | | | 年度监测 | 1次/年 |
| 2#、3#、4#、5#、6#DSA 机房 | 周围剂量当量率 | 机房四侧墙体外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门及四周门缝处、观察窗、各类穿墙管道洞口（如进排风管、电缆线管）、楼上、楼下及周围需关注的监督区等。 | 验收监测 | 竣工验收 |
| | | | 自主监测 | 1次/季 |
| | | | 年度监测 | 1次/年 |

所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。医院应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。

12.4 年度安全状况评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定，医院应对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向原发证机关提交上一年度的评估报告。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- （一）辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- （二）辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- （三）辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- （四）放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；
- （五）场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- （六）辐射事故及应急响应情况；
- （七）核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- （八）存在的安全隐患及其整改情况；
- （九）其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

12.5 环保竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南——污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.6 辐射事故应急

12.6.1 应急预案制定要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》第四十一条规定，医院应根据可能产生的辐射事故风险，制定本单位的应急预案，做好应急准备。辐射事故应急预案主要包括以下内容：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- （3）辐射事故分级与应急响应措施；
- （4）辐射事故调查、报告和处理程序；
- （5）生态环境、卫生和公安部门的联系部门和电话。
- （6）编写事故总结报告，上报生态环境部门归档。

发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施并在2小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地生态环境主管部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，应同时向当地卫生主管部门报告。如发生放射源被盗的事故，则还须向公安部门报告。

12.6.2 现有应急预案执行情况及合理性分析

目前医院已制定《辐射事故报告制度及应急处理方案》，见附件 17。该预案明确了事故处理措施，公布了事故情况下各部门（包括医院内部各涉源部门和生态环境、卫生、公安等管理部门）的联络电话。该预案内容存在一些不足，本次评价建议医院在现有预案内容的基础上作出相关补充和完善，以更好的满足实际应急的需要。

- ①明确辐射事故应急机构及其成员职责分工。
- ②补充应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备。
- ③补充辐射事故的分级内容及应急响应程序流程图。

经与建设单位核实，医院自辐射活动开展以来，无辐射事故发生，事故应急小组处于正常运行状态。医院每年均定期开展辐射事故应急预案演练，并对演练结果进行总结，及时对放射事件应急处理预案进行完善和修订。因此，医院现有辐射事故应急预案基本合理可行。

12.6.3 本项目应急预案要求

本项目投入运行后，医院应做好以下工作：

(1) 考虑到浙江省中医院已建成的湖滨院区、下沙院区和本次评价尚未建成的富阳院区存在一定的距离，建议医院针对富阳院区设置一个独立的辐射事故应急小组，单独配置相应的应急装备和物资，以满足实际应急需要。

(2) 医院应根据本次扩建后辐射活动变化的情况，调整现有的辐射事故应急预案，增加⁹⁰Y肝癌治疗和后装机工作场所的风险内容和应急措施，尤其是后装机卡源故障时的应急处置方案，并补充富阳院区涉源部门的相关负责人及富阳区生态环境部门、卫生部门和公安部门等联系方式，以满足项目变化后的相关要求。

(3) 医院应制定辐射事故应急培训计划方案，每年对与辐射事故应急有关的人员实施培训和演练，以验证该预案的有效性。演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，演习报告存盘。可提出将每年用于辐射应急工作的（包括应急装备、应急技术支持、培训及演习等）支出，纳入部门预算。

(4) 根据辐射事故的分级和应急响应程序，结合医院的具体情况，分别制定不同级别辐射事故应急预案。内容应包括：紧急出动、现场应急、善后处理、事故总结、信息发布等过程，落实每一步骤的具体参加人员、负责人，明确各自职责以及时限要求等，其内容应当全面具体，具有可操作性。

(5) 医院应根据实际情况定期组织修订放射事故应急预案，使其不断完善健全。

(6) 医院应将本单位应急预案报所在地生态环境主管部门备案，开展隐患排查并及时消除隐患，防止发生事故。

12.7 环境管理

根据《建设项目环境影响评价技术导则——总纲》（HJ 2.1-2016）中“9 环境管理与监测计划”的内容，医院应按建设项目建设阶段、生产运行、服务期满后（可根据项目情况选择）等不同阶段，针对不同工况、不同环境影响和环境风险特征，提出具体环境管理要求；给出污染物排放清单，明确污染物排放的管理要求；提出建立日常环境管理制度、组织机构和环境管理台账相关要求，明确各项环境保护设施和措施的建设、运行及维护费用保障计划。

12.7.1 环境管理机构设置

根据《浙江省中医院新院区项目（一期）环境影响报告书》，医院拟设置一个管理与环保、兼职与专职相结合的环境保护工作机构网络——安环部，按照环保分级管理制度建立三级管理网络，即由一名副院长主管安全环保工作，下面再由科室和部门环保分级管理制度，

安环部负责对全院环保工作的监督和管理。

本次辐射项目依托医院一期主体工程所设的环境管理机构即可满足职能需求，不另设。

12.7.2 环境管理计划

根据本项目的建设程序，医院拟实施的环境管理计划情况表 12.7-1。

表 12.7-1 本项目环境管理计划

| 项目阶段 | 责任主体 | 环境管理要求 |
|------|------|--|
| 设计阶段 | 设计单位 | 根据医院的需求，针对拟开展科室性质，拟使用非密封放射性物质、放射源、射线装置的特点，对辐射工作场所进行合理布局，对屏蔽防护进行设计。同时，明确项目涉及的电气、给排水、暖通等工程及概算情况。 |
| 施工阶段 | 施工单位 | 按照生态环境主管部门的要求和本报告中有关环境保护措施对施工程序和场地布置实施统一安排。 |
| 运营阶段 | 建设单位 | 设专人负责医院环保事宜，便于组织实施环保管理；按照生态环境主管部门的要求和本报告中有关环境保护措施落实环保措施，及时开展环保竣工验收；根据监测计划对辐射工作场所和辐射工作人员的个人剂量进行监测；对环保设施进行管理，尤其是衰变池、衰变箱、活性炭吸附装置的正常运行及维护，严格遵守各项操作规程、及时处理异常情况。 |

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

(1) 辐射安全防护措施结论

①核医学科

屏蔽防护设计：本项目核医学工作场所四周墙体采用实心砖+硫酸钡防护涂料作为屏蔽材料，顶棚及地坪采用混凝土作为屏蔽材料，防护门为内衬铅板，观察窗为铅玻璃，其防护铅当量满足屏蔽防护要求，对 X、 α 、 β 和 γ 射线起到了有效的屏蔽。

辐射安全设施：对核医学工作场所进行分区管理，划分为监督区和控制区，控制区设置相应的警示标志，限制无关人员进入。建设单位制定拟制定针对性的操作规程，职业人员工作时穿戴铅衣、铅颈套，佩戴防护眼镜等辐射防护用品。医院为辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪，场所配备 X- γ 辐射监测仪、表面污染监测仪等；定期对辐射工作人员开展个人剂量检测和职业健康检查监护。在落实以上辐射安全措施后，核医学科辐射安全措施能够满足辐射安全防护的要求。核医学科高活室拟配备专用手套箱，分装注射室拟配备放射药物专用注射窗；核医学科工作场所拟设置电离辐射警示标识、工作状态指示灯、对讲及监控设施；设置有满足要求的并联衰变池组、放射性固废收集铅桶和铅衰变箱、放射性废气专用排风管线及二级过滤装置。

②⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所

屏蔽防护设计：⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所四侧墙体采用实心砖墙+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，顶棚及地坪采用混凝土进行实体屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃，防护性能满足相应标准要求。

辐射安全设施：对⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所进行分区管理，划分为监督区和控制区，控制区并设置相应的警示标志，限制无关人员进入。医院为辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪，场所配备 X- γ 辐射监测仪、表面污染监测仪等。⁹⁰Y 治疗机房防护门设置门灯联锁、门机联锁和工作状态指示灯，防护门外设置电离辐射警示标识，机房内和控制室均设置急停开关，设置视频监控和对讲系统等辐射安全设施；设置有满足要求的放射性废液铅罐、放射性固废收集铅桶和铅衰变箱及机械排风设施。

③放疗科

屏蔽防护设计：本项目放疗科直线加速器、后装机机房采取了实体防护和专业辐射防护措施。机房为新建机房，四侧墙体及顶棚均采用标准普通混凝土一次性浇筑，并设有迷道，防护门为铅门，防护性能满足相应标准要求。

辐射安全设施：直线加速器和后装机的机房防护门设置门灯联锁、门机联锁和工作状态指示灯，防护门内设开门装置，防护门外设置电离警示标识，机房内和控制室均设置急停开关，设置视频监控和对讲系统，迷道处设置有固定式剂量率报警仪等辐射安全设施。

④放射介入科

屏蔽防护设计：DSA 机房四侧墙体采用实心砖墙+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，地坪及顶棚采用混凝土进行实体屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃，防护性能满足相应标准要求。

辐射安全设施：DSA 机房防护门设置门灯联锁、门机联锁和工作状态指示灯，防护门外设置电离辐射警示标识，机房内和控制室均设置急停开关，设置视频监控和对讲系统等辐射安全设施，并配有个人防护用品。

(2) 辐射安全管理结论

①医院已成立辐射安全防护管理小组，负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作。同时应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求。

②医院应组织所有辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，经考核合格后方可上岗，并按要求及时参加复训；均配备个人剂量计，进行个人剂量监测和职业健康检查，建立完整的个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

③医院应按本报告提出的要求制定辐射事故应急预案和安全规章制度，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

13.1.2 环境影响分析结论

(1) 辐射影响预测

经预测，在正常工况下，本项目核医学工作场所控制区边界外和控制区内房间外辐射剂量率均小于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）等标准规定的限值要求；⁹⁰Y 肝癌治疗工作场所（1#DSA 机房）的各侧墙体、观察窗及防护门外辐射剂量率均小于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等标准规定的

限值要求；加速器机房和后装机机房的各侧墙体及防护门外辐射剂量率均小于《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）等标准规定的限值要求；2#~6#DSA 机房的各侧墙体、观察窗及防护门外辐射剂量率均小于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）标准规定的限值要求，对周围环境影响较小。

（2）保护目标剂量

经预测，本项目投入运行后，在做好辐射安全措施的基础上，本项目辐射工作人员和周围公众成员年有效剂量均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众成员的剂量限值要求（职业人员 $\leq 20\text{mSv/a}$ 、公众成员 $\leq 1\text{mSv/a}$ ）以及本项目剂量约束值要求（职业人员 $\leq 5.0\text{mSv/a}$ 、公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ）。

（3）“三废”影响分析

①核医学科

放射性废气通过风井排至外科病房楼的楼顶排放，排气口高出建筑屋脊，并设置二级过滤装置吸附处理后排放，对周围大气环境影响较小。

^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P 等核素废水经放射性废液铅罐暂存衰变 10 个半衰期以上； ^{131}I 等其他核素的放射性废水在三级并联的衰变池停留 180 天以上，经检测达标后排入医院污水处理站进一步处理达标后纳入市政污水管网，对周围水环境影响很小。

放射性固废分类收集后暂存于污物间，其中 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{188}Re 暂存超过 30 天， ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P 暂存超过 10 个半衰期以上， ^{131}I 暂存超过 180 天，经检测满足清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理，委托有资质单位处理处置。

② ^{90}Y 肝癌治疗工作场所

放射性废水在放射性废液铅罐贮存 10 个半衰期以上，经检测达标后排入医院污水处理站进一步处理达标后纳入市政污水管网，对周围水环境影响很小。

放射性固废分类收集后暂存于污物间， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 暂存超过 30 天， ^{90}Y 暂存超过 10 个半衰期以上，经检测满足清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理，委托有资质单位处理处置。

③放疗科

直线加速器：工作时产生的感生放射性气体和臭氧、氮氧化物经排风系统排出机房，满足排放标准要求，对周围大气环境影响较小。更换的废靶件经检测满足清洁解控水平后由设备厂家回收处理。

后装机：工作时产生的臭氧和氮氧化物经排风系统通风后，满足排放标准要求，对周围

大气环境影响较小；更换的废旧放射源 ^{192}Ir 不在医院内贮存，由供源单位回收。

④放射介入科

2#~5#DSA 机房拟设通排风系统，射线装置在曝光过程中产生少量臭氧和氮氧化物，由于射线装置 X 射线能量较低，因此产生臭氧、氮氧化物份额极少，经各机房内机械排风系统排入大气环境后，臭氧经自然分解，对周围环境影响很小。

13.1.3 可行性分析结论

(1) 产业政策符合性结论

根据国家发展和改革委员会第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》及国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改〈产业结构调整指导目录（2019 年本）〉的决定》，本项目属于鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”及第十三项“医药”第 5 条“新型医用诊断设备和试剂、**数字化医学影像设备**，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，符合国家产业政策的要求；不属于《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引（2019 年本）》中限制类和禁止类项目，符合杭州市产业政策的要求；也不属于《富阳市 2008 年产业发展导向目录》中限制类和禁止类项目，符合富阳区产业政策的要求。

因此，本项目的实施符合国家及地方产业政策的要求。

(2) 实践正当性分析结论

由于放射性同位素、密封源和射线装置的应用在我国是一门成熟的技术，它在医学诊断、治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。本项目建成后，将能为病人提供一个优越的治疗条件，具有明显的社会效益，能在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。医院使用放射性同位素、密封源和射线装置所产生的危害同社会和个人从中取得的利益相比是可以接受的。因此，本项目的建设和运行符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

(3) 相关规划符合性及选址合理性结论

本项目用地性质属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素，符合用地规划要求；项目拟建地不在风景区外围保护地带以及风景区范围内，符合《富春江-新安江风景名胜区总体规

划（2011-2025 年）的要求；项目建设不涉及生态保护红线，符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入要求，符合《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》的管控要求，符合“三线一单”的建设要求；各辐射工作场所评价范围 50m 内不涉及居民点和学校等环境敏感点。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。

因此，本项目符合相关规划要求，选址合理。

（4）环保可行性结论

综上所述，浙江省中医院核技术利用扩建项目符合土地利用规划、杭州市三线一单生态环境分区管控和“三线一单”的建设要求，选址基本合理，符合国家及地方产业政策要求和实践正当性的原则。在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理要求后，医院将具备相应从事的辐射活动的技术能力。本项目投入运行时对周围环境的影响均能符合辐射环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

（1）医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

（2）医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”处理设施及措施等辐射环保内容进行建设。

（3）医院承诺加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用品的使用，落实辐射工作人员的辐射安全与防护培训、个人剂量监测、职业健康体检，并建立相应的人员档案。

（4）医院承诺制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故，并及时将应急预案向生态环境主管部门备案。

（5）医院承诺严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

（6）医院承诺本项目环评报批后，及时向有权限的生态环境主管部门重新申领《辐射安全许可证》。

(7) 医院承诺建设项目竣工后，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环环评〔2017〕4号）规定的程序和标准，开展自主验收工作。

(8) 待本项目非密封放射性物质工作场所服务期满并拟淘汰使用，医院承诺按照《核技术利用设施退役》（HAD 401/14-2021）的要求实施场所退役活动，并根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》的规定，及时办理相应的退役环境影响评价手续，确保退役场所满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中限值要求，方可无限制开放使用。

(9) 对拟报废的射线装置，医院承诺按照《浙江省辐射环境管理办法（2021年修正）》中第十八条要求，对射线装置内的高压射线管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境部门核销。