

核技术利用建设项目

宁波艾博医学影像诊断有限公司 新建 PET 中心项目环境影响报告表

宁波艾博医学影像诊断有限公司

2021 年 7 月

生态环境部监制

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	6
表 3 非密封放射性物质	6
表 4 射线装置	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	8
表 6 评价依据	9
表 7 保护目标与评价标准	11
表 8 环境质量和辐射现状	20
表 9 项目工程分析与源项	25
表 10 辐射安全与防护	29
表 11 环境影响分析	35
表 12 辐射安全管理	55
表 13 结论与建议	59
表 14 审批	63

附图：

- 附图 1 宁波艾博医学影像诊断有限公司地理位置图
- 附图 2 宁波艾博医学影像诊断有限公司所在园区平面布局及周围环境示意图
- 附图 3 宁波艾博医学影像诊断有限公司平面布局示意图
- 附图 4 宁波艾博医学影像诊断有限公司 PET 中心平面布局示意图
- 附图 5 公司 PET 中心医护人员通道、病人通道、药物通道示意图
- 附图 6 公司 PET 中心控制区和监督区划分示意图
- 附图 7 公司 PET 中心屏蔽防护设计及计算参考点位示意图
- 附件 8 公司放射性废水衰变系统结构示意图
- 附图 9 本项目放射性废水排水管道埋地布局示意图
- 附图 10 本项目 PET 中心通排风系统示意图

附件：

- 附件 1：项目委托书
- 附件 2：项目承诺书
- 附件 3：公司营业执照复印件
- 附件 4：公司大楼租赁协议
- 附件 5：本项目辐射环境本底检测报告及检测单位资质

表 1 项目基本情况

建设项目名称		宁波艾博医学影像诊断有限公司新建 PET 中心项目				
建设单位		宁波艾博医学影像诊断有限公司				
法人代表	冯汝章	联系人	顾太超	联系电话	13666681115	
注册地址		浙江省宁波市江北区北郊路 159 号 13 幢 1 楼				
项目建设地点		浙江省宁波市江北区北郊路 159 号 13 幢 1 楼				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	2000	项目环保投资 (万元)	120	投资比例(环保 投资/总投资)	6%	
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)	/
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 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input 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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
其他	/					

项目概述

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

1、建设单位基本情况

宁波艾博医学影像诊断有限公司成立于 2020 年 7 月 29 日，经营范围主要为医疗服务，注册地址位于浙江省宁波市江北区北郊路 159 号 13 幢 1 楼。

宁波市江北区北郊路 159 号园区原由政府租赁给宁波花园宾馆，主要包括一幢主体大楼（由 1 个主楼和 7 个裙楼组成，其中①号主楼共 5 层、②号裙楼为 4 层、③号裙楼为 2 层、④号裙楼为 5 层、⑤号裙楼为 1 层、⑥号裙楼为 4 层、⑦号裙楼为 4 层、⑧号裙楼为 2 层）、一幢配电房（1 层）和一幢食堂（3 层）。现政府将该园区收回并将主体大楼的 2 至 5 楼租赁给中国科学院大学宁波华美医院（原宁波市第二医院）改建为中国科

学院大学宁波生命与健康产业研究院（下文称“宁波生命与健康产业研究院”），将 1 楼租赁给宁波艾博医学影像诊断有限公司改建为医学影像诊断中心（租赁合同见附件 4），食堂作为园区公用食堂。

宁波艾博医学影像诊断有限公司拟将租用的 1 楼改建为医学影像诊断中心，主要包括体检中心、影像中心、PET 中心。其中，公司影像中心配备的 CT、DR 属Ⅲ类射线装置，将由公司另行进行建设项目环境影响登记备案，本报告将不再进行评价。本报告主要针对 PET 中心进行环境影响评价。

2、项目由来及建设规模

为改善宁波市及周边城区群众门急诊服务质量，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，宁波艾博医学影像诊断有限公司拟将租用的 1 楼改建为医学影像诊断中心，新建 PET 中心，拟购置 1 台 PET/CT 和 1 台 PET/MR，使用 ^{18}F 正电子药物进行显像检查。

本项目 PET 中心运行后，日最大门诊量约为 50 人，单人最大用药量为 12mCi ($4.44 \times 10^8 \text{Bq}$)，则日最大操作量为 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；单人平均用药量 10mCi ($3.7 \times 10^8 \text{Bq}$)，年门诊量约 7000 人，则年最大用量为 $2.59 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。本项目 PET 中心使用的正电子药物的日最大操作量和年最大用量见表 1-1。

表 1-1 本项目 PET 中心用药量一览表

工作场所	核素	单人最大用药量 (Bq)	日最大门诊量	日最大操作量 (Bq)	单人平均用药量 (Bq)	年门诊量	年最大用量 (Bq)
PET 中心	^{18}F	4.44×10^8	50 人	2.22×10^{10}	3.7×10^8	7000 人	2.59×10^{12}

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）中相关原则，并同时根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中各核素的毒性组别及使用因子，经过毒性组别及使用因子的双重修正，本项目非密封放射性物质工作场所日等效操作量计算见表 1-2。

表 1-2 本项目 PET 中心日等效最大操作量及工作场所分级一览表

工作场所	核素	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)
PET 中心	^{18}F (使用)	2.22×10^{10}	低毒, 0.01	很简单的操作 (液体), 10	2.22×10^7

根据表 1-2 可知，本项目 PET 中心日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，本项目 PET 中心属于乙级非密封放射性物质工作场所。

因本项目的 PET/CT 和 PET/MR 暂未招标，厂家和型号未定，故其配套的校准源的

种类和活度也未定，该 PET/CT 为 III 类射线装置，校准源为 V 类放射源，后期将由公司另行进行建设项目环境影响登记备案，本报告将不再评价。

本项目核技术利用具体情况见表 1-3。

表 1-3 本项目核技术利用情况一览表

非密封放射性物质工作场所							
序号	工作场所等级	核素名称	种类范围	工作场所名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	备注
1	乙级	¹⁸ F	使用	PET 中心	2.22×10 ⁷	2.59×10 ¹²	新建项目 本次环评

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，公司应办理核技术利用项目环境影响评价手续。

本项目使用 ¹⁸F 进行显像检查属于使用非密封放射性物质(乙级非密封放射性物质工作场所)，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版)，本项目属“172 核技术利用建设项目”中的“乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。为保护环境，保障公众健康，宁波艾博医学影像诊断有限公司于 2020 年 12 月 20 日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(见附件 1)。评价单位接受委托后，通过现场踏勘、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，编制完成了本项目的环评报告表，供建设单位上报审批。

3、评价目的

(1) 对本项目 PET 中心拟建址及周边环境进行辐射环境本底水平检测，以掌握该场所及周边环境背景水平；

(2) 通过理论计算方法，对 PET 中心作业时对周围辐射环境影响进行预测评价，提出环境污染控制对策；

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

(4) 提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目运行期辐射环境保护管理提供科学依据。

二、项目周边保护目标及项目选址情况

1、企业地理位置

宁波艾博医学影像诊断有限公司位于浙江省宁波市江北区北郊路 159 号 13 幢 1 楼，

公司地理位置示意图见附图 1。园区东侧为北郊路，南侧为宁波市城市排水有限公司泵站运营分公司，西侧为永丰北路，北侧为环城北路。本项目所在园区及周围环境情况见附图 2，

公司医疗影像诊断中心位于园区主体大楼的 1 楼，大楼东侧、南侧、北侧为园区围墙，西侧为园区道路、停车场及配套用房等。主体大楼的①号主楼共 5 层，其中 1 楼为公司的体检中心，2~5 楼为宁波生命与健康产业研究院的科研场所；②号裙楼共 4 层，其中 1 楼为公司的信息化中心，2~4 楼为宁波生命与健康产业研究院的科研场所；③号裙楼共 2 层，其中 1 楼为公司的影像中心，2 楼为宁波生命与健康产业研究院的科研场所；④号裙楼共 5 层，其中 1 楼为公司的影像中心和办公区，2 楼为宁波生命与健康产业研究院的科研场所；⑤号裙楼共 1 层，为公司的机房和配电房；⑥号裙楼共 4 层，其中 1 楼为公司的普通病房，2~4 楼为宁波生命与健康产业研究院研究生宿舍；⑦号裙楼共 4 层，均为宁波生命与健康产业研究院研究生宿舍；⑧号裙楼共 2 层，其中 1 楼为公司 PET 中心，2 楼为宁波生命与健康产业研究院的会议室。公司医学影像诊断中心平面布局见附图 3。

2、本项目 PET 中心拟建位置

本项目 PET 中心位于⑧号裙楼的 1 楼，其东侧依次为园区道路、⑥号裙楼，东南侧和南侧依次为园区道路、⑦号裙楼，西侧依次为园区道路和⑤号裙楼、园区配电房和食堂，北侧为③号裙楼和④号裙楼，楼上为宁波生命与健康产业研究院的会议室，地下无建筑。本项目 PET 中心平面布局见附图 4。

3、选址合理性分析

宁波生命与健康产业研究院研究生的宿舍楼距本项目最小距离为 2m，为本项目环境敏感点。本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、公司内的其他工作人员、病患及陪同家属、宁波生命与健康产业研究院的工作人员、宁波市城市排水有限公司泵站运行分公司工作人员。本项目 PET 中心为门诊检查，单个病人用药量较少，且 ^{18}F 放射性核素半衰期较短，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。同时本项目用地性质属于医疗卫生用地，不新增土地，周围无环境制约因素。因此，本项目选址是合理可行的。

三、产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中第三十七项“卫生健康”中第 5 款：“医疗卫生服务设施建设”属于国家鼓励类产业，符合国家产业发展政策。

四、实践正当性评价

本项目投入使用不但能够更好的满足患者的就诊需求，并且能够提高当地医疗卫生水平，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

五、现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

本项目为该公司首次开展和技术利用项目，之前无核技术利用项目许可情况。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	液态、低毒 T _{1/2} =109.8min	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁷	2.59×10 ¹²	显像检查	很简单的操作	PET 中心	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：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)。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
用药病人产生的含放射性核素的排泄物和冲洗水、医护人员的淋浴和清洗废水、场所的清洗废水	液体	^{18}F	/	约 17m ³	约 200m ³	总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	经专用管道排至放射性废水衰变池	在衰变池中自然衰变十个半衰期，符合排放标准后排放至园区污水处理系统
产生的一次性注射器、手套、口罩、滤纸、擦拭废纸以及每季度更换下来的活性炭过滤吸附材料等	固体	^{18}F	/	约 107kg	约 1275kg	$\leq 1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$	暂存于各房间的铅废物桶中	每天下班后集中收集放置在放射性固废暂存间中，自然衰变十个半衰期、达到清洁解控水平推荐值后作为普通医疗废物处理
含微量放射性核素的挥发气体	气态	^{18}F	/	微量	微量	/	不暂存	经专用通风管道延伸至园区研究所宿舍楼的楼顶排放
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(修订版), 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 年修正版), 自 2018 年 12 月 29 日起施行</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(2017 年修订版), 2017 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修正版), 2019 年 3 月 2 日起施行</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版), 生态环境部令第 20 号, 自 2021 年 1 月 4 日起施行</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年修正版), 生态环境部令第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 环境保护部令第 18 号, 2011 年 5 月 1 日起施行</p> <p>(9) 《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》, 国家环境保护总局文件, 环发[2006] 145 号文</p> <p>(10) 《射线装置分类》(2017 年修订版), 环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年公告第 66 号公布, 自 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》, 国家环保总局公告, 公告 2005 年第 62 号, 2005 年 12 月 23 日发布</p> <p>(12) 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南(试行)》的通知, 环办[2013]103 号, 2014 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(13) 《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2019 年修正), 国家发改委第 29 号令, 2020 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(14) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》, 环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布, 自 2018 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(15) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 生态环境部部令第 9 号, 2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(16) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 38 号, 2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(17) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 39 号, 2019 年 10 月 25 日生成</p>
-------------	--

	<p>(18) 《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，2020 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(19) 《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</p> <p>(20) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2021 年修正版)，浙江省人民政府令第 388 号，2021 年 2 月 10 日起施行</p> <p>(21) 《浙江省辐射环境管理办法》(2021 年修正版)，浙江省人民政府令第 388 号，2021 年 2 月 10 日起施行</p> <p>(22) 《浙江省人民政府办公厅关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》浙政办发〔2018〕92 号，2018 年 9 月 18 日起施行</p> <p>(23) 《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）》，浙环发〔2019〕22 号，2019 年 12 月 20 日起施行</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)</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》(HJ10.1-2016)</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)</p> <p>(4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)</p> <p>(5) 《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)</p> <p>(6) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)</p> <p>(7) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)</p> <p>(8) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)</p> <p>(9) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)</p>
其他	<p>报告附件：</p> <p>(1) 项目委托书（附件 1）</p> <p>(2) 项目承诺书（附件 2）</p> <p>(3) 公司营业执照复印件（附件 3）</p> <p>(4) 公司大楼租赁协议（附件 4）</p> <p>(5) 本项目辐射环境本底检测报告及检测单位资质（附件 5）</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围						
<p>本项目为使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所）；使用 III 类射线装置，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》（HJ10.1-2016）的要求，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，乙级、丙级取半径 50m 的范围，本项目评价范围保守以 PET 中心的屏蔽墙为边界，外延 50m 的区域。本项目评价范围见附图 2。</p>						
保护目标						
<p>根据附图 2 可知，本项目 PET 中心东侧 50m 范围依次为园区道路、⑥号裙楼、北郊路、公交车站；东南侧 50m 范围依次为园区道路、⑦号裙楼、永丰公园；南侧 50m 范围依次为园区道路、⑦号裙楼、宁波市城市排水有限公司泵站运行分公司厂区；西南侧 50m 范围依次为园区道路、园区食堂、永丰北路；西侧 50m 范围依次为园区道路、园区配电房、园区停车场、永丰北路；北侧 50m 范围依次为③号裙楼和④号裙楼、园区道路和②号裙楼、①号主楼；楼上为宁波生命与健康产业研究院的会议室，地下无建筑。</p> <p>宁波生命与健康产业研究院研究生的宿舍楼距本项目最小距离为 2m，为本项目环境敏感点。本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、公司内的其他工作人员、病患及陪同家属、宁波生命与健康产业研究院的工作人员、宁波市城市排水有限公司泵站运行分公司工作人员。本项目环境保护目标见表 7-1。</p>						
表 7-1 本项目环境保护目标分布						
名称	场所	环境保护目标	方位	距本项目最近距离	规模	保护要求
本项目辐射工作人员	控制走廊	PET/CT 操作技师	PET 中心工作场所内	/	2 名工作人员	5mSv/a
		PET/MR 操作技师		/	2 名工作人员	
	分装注射室	放射性核素操作人员		/	2 名工作人员	
评价范围内公众	园区道路	园区工作人员、病患及陪同家属	PET 中心东侧	3m	流动人员	0.25mSv/a
	⑥号裙楼	公司工作人员、病患及陪同家属、宁波生命与健康产业研究院工作人员		6m	约 5 名公司工作人员、25 名宁波生命与健康产业研究院工作人员，其余为病患及陪同家属	

北郊路、公交车站	路上行人		25m	流动人员
园区道路	园区工作人员、病患及陪同家属	PET 中心东南侧	0m	流动人员
⑦号裙楼	宁波生命与健康产业研究院工作人员		4m	约 30 名宁波生命与健康产业研究院工作人员
永丰公园	路上行人		30m	流动人员
园区道路	园区工作人员、病患及陪同家属		0m	流动人员
⑦号裙楼	宁波生命与健康产业研究院工作人员	PET 中心南侧	4m	约 30 名宁波生命与健康产业研究院工作人员
宁波市城市排水有限公司泵站运行分公司	工作人员		21m	约 10 名工作人员
园区道路	园区工作人员、病患及陪同家属		0m	流动人员
园区食堂	园区工作人员	PET 中心西南侧	7m	约 15 名工作人员，其余为流动人员
永丰北路	路上行人		24m	流动人员
园区道路	园区工作人员、病患及陪同家属		0m	流动人员
园区停车场	园区工作人员、病患及陪同家属	PET 中心西侧	20m	流动人员
永丰北路	路上行人		29m	流动人员
PET 中心候诊区	公司工作人员、病患及陪同家属		2m	约 6 名公司工作人员，其余为流动人员
③号裙楼、④号裙楼	公司工作人员、病患及陪同家属、宁波生命与健康产业研究院工作人员	PET 中心北侧	14m	约 20 名公司工作人员、20 名宁波生命与健康产业研究院工作人员，其余为病患及陪同家属
园区道路及公司大厅	园区工作人员、病患及陪同家属		28m	流动人员
②号裙楼	公司工作人员、宁波生命与健康产业研究院工作人员		28m	约 2 名公司工作人员、15 名宁波生命与健康产业研究院工作人员

	①号主楼	公司工作人员、病患及陪同家属、宁波生命与健康产业研究院工作人员		48m	约 10 名公司工作人员、30 名宁波生命与健康产业研究院工作人员，其余为病患及陪同家属
	宁波生命与健康产业研究院会议室	宁波生命与健康产业研究院工作人员	PET 中心楼上	层高约 6m	流动人员

评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

①剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-2：

表 7-2 照射剂量限值

	剂量限值
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①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； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②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。

11.4.3.2 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。

②辐射管理分区

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。

③工作场所分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录 C）的规定进行。

C1 非密封源工作场所的分级

应按表 7-3 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 7-3 非密封源工作场所的分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

C2 放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量(Bq)与该核素毒性因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

$$\text{放射性核素的日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{与操作方式有关的修正因子}} \quad (\text{式 7-1})$$

本项目放射性核素的毒性分组及毒性组别修正因子见表 7-4，与操作方式有关的修正因子见表 7-5。

表 7-4 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 7-5 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	毒性组别修正因子			
	表面污染水平 较低的固体	液体，溶液， 悬浮液	表面有污染 的固体	气体，蒸汽，粉末，压 力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

④表面污染控制水平

表 7-6 工作场所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	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4
1) 该区内的高污染子区除外				

⑤放射性废液向环境排放的控制

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 倍排放流的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

a) 每月排放的总活度不超过 10ALI_{min}。

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。

(2) 清洁解控水平推荐值

根据 GB18871-2002 中 4.2.5.2 的原则，将其附录 A 所给出的豁免水平作为清洁解控水平的取值依据，由此得出本项目放射性核素的清洁解控水平推荐值，列于表 7-7 中。

表 7-7 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平 (Bq/g)	核素
1×10 ¹	¹⁸ F
注 1: 上述解控水平推荐值原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对产生小量放射性固体废物的医学应用或实验室。	
注 2: 严禁为申报清洁解控而采用人工稀释等方法来降低核素活度浓度。	

(3) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

本项目污水排放放射性，在衰变池排放口执行“总 β≤10Bq/L”的要求。

(4) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)

5.3.1 辐射工作人员应熟练掌握安全与防护技能，取得相应资质。

5.3.2 辐射工作人员应根据实际需要配备适用、足够和符合标准的个人防护用具（器械、衣具），并掌握其性能和使用方法。个人防护用具应有备份，均应妥善保管，并应对其性能进行检验。

5.3.3 辐射工作场所应具备适当的防护手段与安全措施，做好个人防护工作。

5.3.4 在伴有外照射的工作场所，应做好个人外照射防护，包括 β 外照射防护。

5.3.5 在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。

5.3.6 辐射工作场所应根据所操作非密封源的特点配备适当的医学防护用品和急救品箱，供处理事故时使用。严重污染事件的医学处理应在医学防护人员的指导下进行。

(5)《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)

5.1 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，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；

d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特性分别设置)、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用。

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据GB 18871的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督

区采取相应管理措施。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区(病房)的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

5.2.3 核医学工作场所的通风按表1要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 $25\mu\text{Sv/h}$ ；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.5 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。

6.2.6 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，如其污染水平超过表2规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录H。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，质量不超过 20kg 。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入口设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

(6) 辐射剂量管理限值

综合考虑 GB 18871-2002、GBZ120-2020 等，本项目管理目标为：

①**辐射剂量率管理限值**：非密封放射性物质工作场所控制区边界表面外 30cm 处的辐射剂量率不大于 2.5 μ Sv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的辐射剂量率应不大于 25 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/h；通风橱表面 5cm 处的辐射剂量率应不大于 25 μ Sv/h。

②**年有效剂量管理限值**：职业人员年有效剂量不超过 **5mSv**，公众年有效剂量不超过 **0.25mSv**。

(7) 参考资料

① 《辐射防护手册第三分册》，李德平，潘自强主编。

② 《辐射防护导论》，方杰主编。

③ 根据《浙江省环境天然放射性水平调查报告》，宁波地区建筑物室内 γ 辐射剂量率的范围为（80~194）nGy/h，道路上 γ 辐射剂量率的范围为（64~128）nGy/h，原野 γ 辐射剂量率的范围为（45~95）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

宁波艾博医学影像诊断有限公司位于浙江省宁波市江北区北郊路 159 号 13 幢 1 楼，公司地理位置示意图见附图 1。园区东侧为北郊路，南侧为宁波市城市排水有限公司泵站运营分公司，西侧为永丰北路，北侧为环城北路。

公司医疗影像诊断中心位于园区主体大楼的 1 楼，大楼东侧、南侧、北侧为园区围墙，西侧为园区道路、停车场及配套用房等。主体大楼的①号主楼共 5 层，其中 1 楼为公司的体检中心，2~5 楼为宁波生命与健康产业研究院的科研场所；②号裙楼共 4 层，其中 1 楼为公司的信息化中心，2~4 楼为宁波生命与健康产业研究院的科研场所；③号裙楼共 2 层，其中 1 楼为公司的影像中心，2 楼为宁波生命与健康产业研究院的科研场所；④号裙楼共 5 层，其中 1 楼为公司的影像中心和办公区，2 楼为宁波生命与健康产业研究院的科研场所；⑤号裙楼共 1 层，为公司的机房和配电房；⑥号裙楼共 4 层，其中 1 楼为公司的普通病房，2~4 楼为宁波生命与健康产业研究院研究生宿舍；⑦号裙楼共 4 层，均为宁波生命与健康产业研究院研究生宿舍；⑧号裙楼共 2 层，其中 1 楼为公司 PET 中心，2 楼为宁波生命与健康产业研究院的会议室。

本项目 PET 中心位于⑧号裙楼的 1 楼，其东侧依次为园区道路、⑥号裙楼，东南侧和南侧依次为园区道路、⑦号裙楼，西侧依次为园区道路和⑤号裙楼、园区配电房和食堂，北侧为③号裙楼和④号裙楼，楼上为宁波生命与健康产业研究院的会议室，地下无建筑。

本项目所在园区及周围环境情况见附图 2，该公司医学影像诊断中心平面布局见附图 3，本项目 PET 中心平面布局见附图 4。

本项目拟建址及周围环境现状见图 8-1 和图 8-8。



图 8-1 公司大厅入口现状



图 8-2 本项目所在⑧号裙楼现状



图 8-3 本项目拟建址现状



图 8-4 本项目拟建址楼上现状



图 8-5 ⑧号裙楼东侧



图 8-6 ⑧号裙楼南侧



图 8-7 ⑧号裙楼西侧



图 8-8 ⑧号裙楼北侧

二、环境现状检测

本项目运行期间主要的环境污染物为放射性核素产生的 β 射线、 γ 射线、 β 表面污染以及射线装置开机时产生的 X 射线等电离辐射污染。项目在进行现状调查时，主要调查本项目拟建场址及周围环境的 X- γ 辐射剂量率和 β 表面沾污。

1、检测因子

X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污

2、检测点位

检测时，检测公司按照《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-1993)、《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)、《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001) 等要求，结合现场条件，在 PET 中心拟建场址及周围环境共计布点 8 个 X- γ 辐射剂量率检测点位和 8 个 β 表面沾污检测点位。

3、检测方案

(1) 检测单位：湖州环安检测有限公司

(2) 检测时间：2021 年 2 月 20 日

(3) 检测天气：晴

(4) 检测仪器及性能：

①检测名称：RM-2030 型 X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪

a、仪器编号：2019016

b、能量响应范围：35keV~3MeV

c、量程范围：0.01 μ Sv/h~200 μ Sv/h

d、检定有效期：2020.12.07-2021.12.06

②仪器名称：CoMo170 型 α 、 β 表面污染测量仪

a、仪器编号：2018002

b、校准日期：2020.11.20~2021.11.19

4、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 5；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

5、检测结果及评价

本项目 PET 中心拟建场址及周围环境天然贯穿辐射水平和 β 表面沾污检测结果见表 8-1 和表 8-2，检测点位见图 8-9，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 本项目 PET 中心拟建场址及周围环境辐射剂量率检测结果

序号	检测点位描述	检测结果 $\mu\text{Sv/h}$	备注
1	PET 中心拟建场址	0.15	/
2	PET 中心拟建场址东侧园区道路	0.14	
3	PET 中心拟建场址南侧园区道路	0.16	
4	PET 中心拟建场址西侧园区道路	0.16	
5	PET 中心拟建场址北侧楼内	0.15	
6	PET 中心拟建场址楼上	0.16	
7	PET 中心拟建场址东侧研究生宿舍楼	0.13	
8	PET 中心拟建场址南侧研究生宿舍楼	0.14	

注：以上监测结果均未扣除宇宙射线的响应。

表 8-2 本项目 PET 中心拟建场址及周围环境 β 表面沾污检测结果

序号	检测点位描述	检测结果 Bq/cm^2	备注
1	PET 中心拟建场址处地面	未检出	本底检测
2	PET 中心拟建场址东侧园区道路处地面	未检出	
3	PET 中心拟建场址南侧园区道路处地面	未检出	
4	PET 中心拟建场址西侧园区道路处地面	未检出	
5	PET 中心拟建场址北侧楼内地面	未检出	
6	PET 中心拟建场址楼上地面	未检出	
7	PET 中心拟建场址东侧研究生宿舍楼 1 楼地面	未检出	
8	PET 中心拟建场址南侧研究生宿舍楼 1 楼地面	未检出	

注：上表数据已扣除仪器本底值及宇宙射线的响应值。

根据检测结果，宁波艾博医学影像诊断有限公司PET中心拟建场址及周围环境的X- γ 辐射剂量率在（0.11~0.13） $\mu\text{Gy/h}$ （参照HJ1157-2021，Sv/Gy换算系数取1.20）范围内，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，宁波地区建筑物室内 γ 辐射剂量率的范围为（80~194） nGy/h ，道路上 γ 辐射剂量率的范围为（64~128） nGy/h ，本项目拟建场址及周围环境的X- γ 辐射剂量率处于宁波地区天然贯穿辐射水平范围；PET中心拟建场址及周围环境地表未检出 β 表面污染。

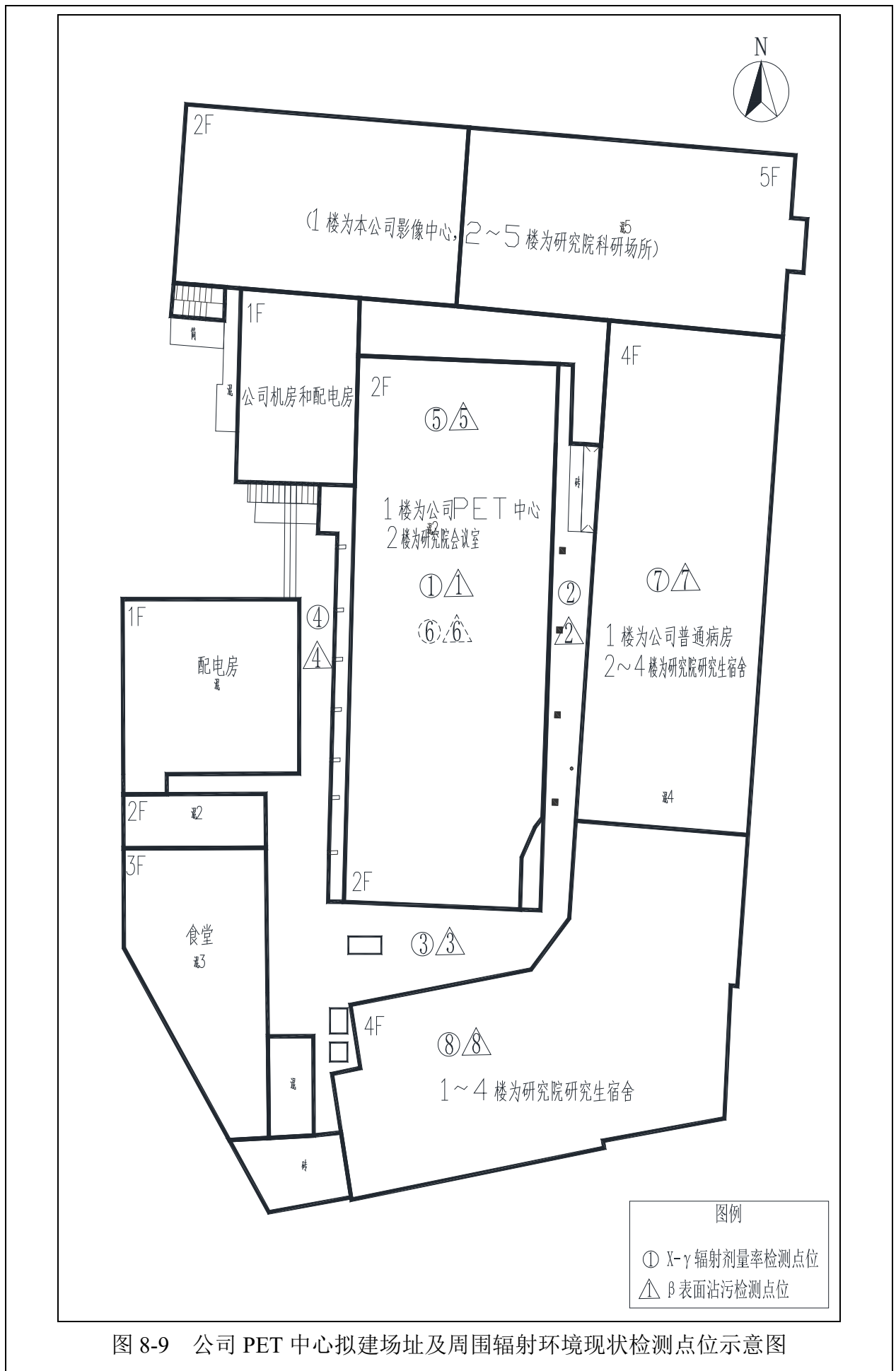


表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、项目概况

宁波艾博医学影像诊断有限公司拟将租用的 1 楼改建为医学影像诊断中心,新建 PET 中心,拟购置 1 台 PET/CT 和 1 台 PET/MR,使用 ^{18}F 正电子药物进行显像检查。

本项目 PET 中心运行后,日等效最大操作量为 $2.22\times 10^7\text{Bq}$,属于乙级非密封放射性物质工作场所。

二、工作原理、工作流程及产污环节

1、工作原理

PET/CT 和 PET/MR 是通过正电子核素或其标记的示踪剂,示踪人体内特定生物物质的生物活动,采用多层、环形排列于发射体周围的探头,由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子,然后将获得的信息,通过计算机处理,以解剖影像的形式及其相应的生理参数,显示靶器官或病变组织的状况,藉此诊断疾病,又称为生化显像或功能分子显像,是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术;同时结合应用高档多排 CT 或 MR 技术进行精确定位,可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息,并能够独立完成多排螺旋 CT 或 MR 的临床显像,大大提高临床使用价值。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中,从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒籽,即正电子。正电子是一种反物质,从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭,转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器,便可以几乎同时接受到这两个光子,并可推定光子发源(即正电子发射)点在两探头间连线上。通过环绕 360° 排列的多组配对探头,经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性,排除其他来源射线的干扰,得到探头对连线上的一维信息,再用滤波反投射方式,将信号按探头对的空间位置向中心点反投射,便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对,配合层间符合线路,以利探测并重建更多层面的图像。

2、工作流程及产污环节分析

宁波艾博医学影像诊断有限公司根据病人预约情况提前向供货商按需订购,每天分上午和下午两次送药,供货商将药物运至公司,由 PET 中心专职人员接收,暂存在分装注射室的通风橱内。

公司订购的正电子药物一般为成罐药剂,药物分装工作人员先在通风橱内进行药物分

装及活度测量，首先将正电子药液抽取到带防护套的一次性注射器里，达到一定体积后，用活度计测量所抽吸的药液活度是否满足要求，若不满足，再次抽吸调整药量直到符合活度要求，有经验的熟练护士一般能够一次性成功，不熟练的护士需要反复一至两次。每次分装保守按 1min 估算。

注射人员手持带防护套的一次性注射器，在注射窗口为病人注射。注射完毕后的一次性注射器等沾有放射性核素的固体废物放入注射室内专用废物铅桶内，注射器防护套回收重复利用。每次注射过程中近距离接触正电子药物的时间保守按 1min 估算。

病人注射正电子药物后，在注射后候诊室候诊，候诊约 30~60min 待药物代谢至靶器官，进入 PET/CT 或 PET/MR 检查室，经医护人员通过对讲装置指导摆位或现场指导摆位后，接受 PET/CT 或 PET/MR 的扫描，每次扫描约 20~40min。扫描完成后，病人进入留观室观察约半小时，无碍后由病人专用通道离开。

本项目PET/CT或PET/MR显像检查流程如下：

①在 PET 中心开诊之前，供货商将药物运至公司，由 PET 中心专职人员接收，暂存在分装注射室的通风橱内；

②药物分装工作人员根据病人体重抽取所需活度的原液，用生理盐水稀释并测定活度，分装的药物活度满足要求后，将分装好的注射试剂递至注射人员；

③病人到达注射窗口，注射人员在注射窗口为病人注射药物；

④注射药物后的病人进入注射后候诊室进行候诊；

⑤候诊约 30~60min，待药物代谢至靶器官后进入对应的检查室经医护人员指导摆位后进行扫描（使用 PET/MR 扫描的患者先在更衣室更衣后再进行扫描检查），单次扫描用时约 20~40min；

⑥扫描完成后，病人到留观室留观（使用PET/MR扫描的患者先在更衣室更衣后再到留观室进行留观），留观约30min，无碍后离开。

本项目核素诊断具体工艺流程及产污环节见图9-1。

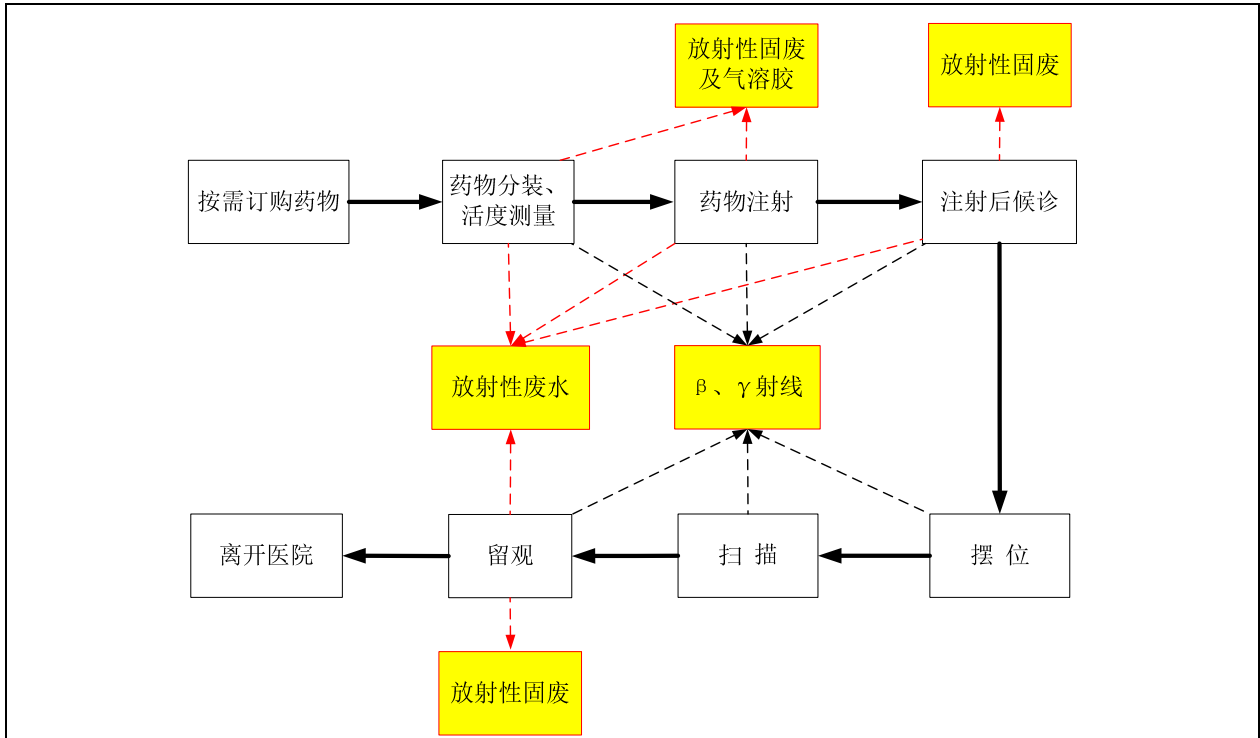


图9-1 本项目核素诊断具体工艺流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、污染源项分析

1、辐射

PET 诊断用放射性核素 ^{18}F 为 β^+ 衰变，在药物操作过程以及用药病人在候诊、摆位、扫描、留观时会产生能量约为 0.64MeV 的 β 射线，衰变时同时伴随发射能量为 0.511MeV 的 γ 射线。

β 射线穿透能力较弱，对周围环境影响很小，而核素衰变过程中产生的 γ 射线穿透能力较强，会对工作场所及周围环境产生一定的外照射影响。

2、放射性废水

本项目的放射性废水主要为用药病人的排泄物和冲洗水、工作人员的淋浴和清洗废水以及工作场所的清洗废水等。

本项目 PET 中心日门诊量最大为 50 人，平均每人产生放射性废水约 10L；2 名放射性核素操作人员，平均每人每天的淋浴和清洗废水约 100L；工作场所平均每天的清洗废水约 100L，则 PET 中心日产生废水量约为 800L，年产生量约为 200m³。

3、放射性废气

本项目 ^{18}F 放射性药物的分装均在带有通风装置的通风橱内进行，注射时药物在针筒内，基本无开放液面，空气中挥发散逸的放射性核素几乎没有，因此放射性气溶胶非常少，其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

4、放射性固体废物

本项目产生的放射性固体废物主要为放射性药物操作过程中产生的如一次性注射器、手套、口罩、棉签、滤纸、擦拭纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物。平均每位病人产生放射性固体废物约 0.1kg，日门诊量共约 50 人，则放射性固体废物日产生量最大约 5kg，活性炭过滤吸附材料每季度更换一次，年产生废活性炭过滤吸附材料约为 25kg，故本项目放射性固体废物年产生量约 1275kg。

放射性固体废物可能会对周围环境产生一定的危害，污染途径为操作过程中及收集固体废物过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

5、其他非放射性废物

辐射工作人员工作中产生的生活污水和办公垃圾。

二、核素特性

本项目放射性核素的特性见表 9-1。

表 9-1 本项目放射性核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	空气比释动能率常数 ($\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{18}F	109.8min	EC (3.27) β^+ (96.73)	633.5 (96.73)	XK: 0.52 (0.01795) γ^+ : 511 (≤ 193.46)	1.43×10^{-13}

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

1、工作场所布局

本项目 PET 中心设有单独的病人通道、医护人员通道和药物通道，病人在控制区的通道为单向流动，注射后候诊室、留观室设有独立的卫生间，可有效避免用药病人对其它人员造成不必要照射。

(1) 医护人员通道

本项目操作技师从东侧医护人员通道门刷卡进入控制走廊操作位进行设备的操作以及病人的摆位等工作；工作结束后，原路返回离开。

本项目放射性核素操作的护士从护士站通道门刷卡进入更衣缓冲间，经更衣后进入分装注射室，药物分装工作人员进行药物的分装工作，最后将装有药物的注射试剂递给药物注射工作人员，药物注射工作人员在注射窗口为病人注射药物；工作结束后，依次经淋浴、更衣后离开。

(2) 病人通道

本项目接受 PET 检查的病人进行 PET/CT 检查和 PET/MR 检查的通道相同。病人从病人入口进入 PET 中心，首先在注射前等候区等候，等候时在问诊室进行称重、测血糖以及问诊等相关准备工作，准备工作完毕后从病人入口进入控制区，在注射窗口注射药物，注射完毕后到注射后候诊室候诊，待放射性药物代谢到相应的靶器官后，接受 PET/CT 扫描检查的病人直接进入 PET/CT 检查室进行扫描，接受 PET/MR 扫描检查的病人经更衣室更衣后进入 PET/MR 检查室进行扫描，扫描完毕后再到留观室留观（接受 PET/MR 扫描检查的病人先在更衣室更衣），在留观室观察半小时后从病人出口离开 PET 中心。

(3) 药物通道

本项目 PET 检查用药物为装在西林瓶内的成罐药剂并放置在 40mm 铅罐中屏蔽，每天在公司上班之前由专业供货商送至公司。放射性药物送至公司后由 PET 中心专职人员接收、登记。PET 中心工作人员接收药物后，从药物通道门刷卡后，经物流缓冲区进入分装注射室，将装有药物的铅罐放置在分装注射室的通风橱内。PET 检查用药物直接根据患者的用药量进行分装，然后为患者进行注射。

PET 中心放射性药物均在园区工作人员上班之前由专业供货商运送至 PET 中心，在时间上与公司工作人员的工作时间、患者的就诊时间以及园区工作人员的工作时间进行错开，避免了放射性药物对上述人员的辐射影响。PET 中心医护人员通道、病人通道、药物通道见附图 5。

2、工作场所分区

公司拟将 PET 中心的分装注射室、储源室、注射后候诊室 1、注射后候诊室 2、注射后候诊室 3、注射后候诊室 4、留观室、污洗间、PET/CT 检查室、PET/MR 检查室、PET/MR 设备间、PET/MR 更衣室、抢救室、放射性固废暂存间、更衣缓冲间、卫生淋浴间、患者缓冲区、用药病人通道作为控制区；将物流缓冲区、控制走廊、PET/CT 设备间作为监督区。综上所述，本项目 PET 中心控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。本项目 PET 中心控制区与监督区的划分见附图 6。

二、辐射防护设计

本项目 PET 中心控制区屏蔽防护设计参数见表 10-1，防护示意图见附图 7。

表 10-1 PET 中心控制区辐射防护屏蔽设计参数

场所	屏蔽体及设计的屏蔽厚度
更衣缓冲间、 卫生淋浴间	四周墙体：240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 顶部：250mm 砼； 更衣缓冲间内防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 更衣缓冲间外门、卫生间门：普通平开门
分装注射室	东墙：370mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料； 南墙、西墙、北墙：240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 顶部：250mm 砼； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 注射窗：12mm 铅当量铅玻璃
储源室、 放射性固废暂存间	东墙、南墙、北墙：240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 西墙：300mm 砼； 顶部：250mm 砼； 防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门
注射后候诊室 1、 注射后候诊室 2、 注射后候诊室 3、 注射后候诊室 4、 留观室	东墙、南墙、北墙：240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 西墙：300mm 砼； 顶部：250mm 砼+2mmPb 硫酸钡防护板； 防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门； 卫生间隔墙为普通砖墙，门为普通平开门
污洗间	东墙、西墙、北墙：240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 南墙：300mm 砼； 顶部：250mm 砼； 门为普通平开门
PET/CT 检查室、 PET/MR 检查室	东墙：300mm 砼； 南墙、西墙、北墙：240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 顶部：250mm 砼；

	病人防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门； 医护人员防护门：内嵌 10mm 铅板的铅防护门； 观察窗：10mm 铅当量铅玻璃
PET/MR 设备间	东墙：300mm 砼； 南墙、西墙、北墙：240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 顶部：250mm 砼； 防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门
PET/MR 更衣室	东墙、北墙：120mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 南墙、西墙：240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 顶部：250mm 砼； 防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门
抢救室	东墙、南墙：300mm 砼； 西墙、北墙：240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 顶部：250mm 砼； 防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门
PET 中心病人通道	病人进出口防护门、应急出口防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门
患者缓冲区	东墙、北墙：240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料； 南墙、西墙：300mm 砼； 顶部：250mm 砼； 防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门； 铅玻璃窗：10mm 铅当量铅玻璃
防护用品	通风橱：60mm 铅当量； 防护铅衣、铅围脖、铅帽、铅手套：0.5mm 铅当量，不少于 2 套； 铅废物桶（带铅盖）：10mm 铅当量，共 7 个； 注射后候诊室、留观室座椅之间设置 10mmPb 铅屏风

注：实心砖密度不小于 1.65g/cm^3 ；砼的密度为 2.35g/cm^3 ；铅的密度为 11.3g/cm^3 ；硫酸钡涂料密度为 4.35g/cm^3 ，与一定比例的水泥砂浆配比干燥后 10mm 厚度相当于 1mm 铅当量。

三、辐射安全和防护措施

本项目 PET 中心拟采取的辐射安全和防护措施如下：

(1) 检查室病人通道防护门上方设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与病人通道防护门设置门灯联锁装置，用于显示机房内设备运行状态。

(2) 检查室病人通道防护门设置防夹装置和自动闭门装置。

(3) 储源室和分装注射室防护门设置门禁，储源室内配置保险柜，用于贮存 PET 校准源，保险柜钥匙由专人保管；储源室和分装注射室内安装监控探头，监控显示器位于公司保卫处的值班室，实时监控放射性药物和放射源的情况。

(4) 更衣缓冲间、分装注射室、注射后候诊室、更衣室、检查室、留观室、抢救室、

储源室、放射性固废暂存间的防护门表面、控制区病人进出口防护门、应急出口防护门表面以及通风橱、铅废物桶表面设置电离辐射警告标志，警告无关人员不要靠近和逗留。

(5) 病人进出口防护门、应急出口防护门设置为单向门并设有门禁，入口只进不出，出口只出不进，禁止无关人员进入。

(6) 分装注射室、注射后候诊室、更衣室、检查室、留观室、抢救室、患者缓冲区、患者走廊安装监控探头，并设置对讲系统，监控显示器位于控制走廊处，实时监控控制区病人情况。

(7) 控制区内各防护门安装自动闭门装置，确保防护门处于常闭状态。

(8) PET 中心地面用明亮的颜色标出控制区和监督区的范围，并标出病人进出口通道和检查路线；同时在病人出口设置隔离栏和引导指示牌，避免检查后的病人进入人流密集区域。

(9) PET 中心工作场所墙面、地面拟采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接应做成圆角，且应有一定的坡度朝向地漏（如设地漏）。

(10) 辐射工作人员操作后离开控制区前应洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

(11) 辐射工作人员在控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品，防止含有微量放射性核素的空气被医务人员吸入体内造成的内照射。

(12) 为辐射工作人员和病人至少配备 2 套 0.5mmPb 的防护铅衣、铅围脖、铅帽、铅手套等个人防护用品。

(13) 注射后候诊室、留观室内座椅之间用 10mm 铅当量的铅屏风屏蔽。

四、电缆布设

本项目 PET 中心各检查室的控制电缆采用电缆沟进行布设，并采用埋地“U”型穿墙管道，电缆沟从检查室埋地“U”型穿墙至控制走廊，电缆沟盖板拟采取 3mm 铅板+2mm 钢板进行屏蔽补偿，应确保电缆沟不会破坏检查室的整体屏蔽效果。

三废的治理

1、放射性废水处理措施

公司拟在⑧号裙楼的南侧新建一间衰变室，衰变室墙体为 240mm 实心砖，顶部为 120mm 楼板。衰变室内设有 5 个由 30cm 混凝土浇筑的埋地式储水池，该 5 个储水池共同组成了 1 套间歇式放射性废水衰变系统，其中 1 个为化粪池、1 个备用池和 3 个放射性废水衰变池，3 个衰变池内均设有电缆浮球液位计，顶部设有检修口，排水口处自带在线监测系统，实时监测排放的放射性废水的 X- γ 辐射剂量率。

衰变室内设置集水池，防止储水池内的放射性废水外溢，导致放射性废水泄漏至衰变室外或渗透到地下。储水池和集水池的设置应便于放射性废水的收集和抽排，并做到坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性。本项目放射性废水衰变系统结构示意图见附图 8。本项目放射性废水排水管道埋地布局示意图见附图 9。

本项目放射性废水衰变系统的化粪池、备用池和单个衰变池的容积均为 3m^3 ，有效容积为 2.55m^3 （为总容积的 85%）。本项目 PET 中心每天产生约 800L 的放射性废水，则单个衰变池可容纳约 3 天（72h）的放射性废水。

本项目放射性废水衰变系统的具体工作流程为：PET 中心产生的放射性废水首先由泵排至化粪池，经沉降后将上清液先抽至 1#衰变池，当 1#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 1#衰变池的进水阀，同时打开 2#衰变池的进水阀，当 2#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 2#衰变池的进水阀，同时打开 3#衰变池的进水阀。此时，1#衰变池中的放射性废水已衰变 72h，通过电子控制系统打开 1#衰变池的排水阀，通过泵排空 1#衰变池，当 3#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 3#衰变池的进水阀，同时打开 1#衰变池的进水阀，1#、2#、3#衰变池轮流使用。化粪池与备用池并联设计，当化粪池出现故障时，此时产生的放射性废水由泵排至备用池，待化粪池恢复正常工作后，放射性废水再排至化粪池，进入正常衰变流程。

本项目化粪池、备用池和衰变池顶部使用 30cm 混凝土盖板屏蔽，排水管采用埋地设计，公司将在衰变室四周设置围栏和警示标牌，防止公众靠近衰变室。同时，衰变室内设置监控，辐射工作人员将定期对衰变室进行巡查，确保各项功能均安全、有效。当放射性废水衰变室出现故障时，应立即进行维修，确保 PET 中心工作时，衰变室能正常运行。

综上所述，本项目放射性废水衰变系统结构设计合理，满足池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性以及有防泄漏措施的要求。本项目 PET 中心产生的放射性废水经专用管道排至放射性废水衰变系统，自然衰变至少十个半衰期，满足排放标准后排至园区的污水处理系统作为普通医疗废水处理，经园区污水处理系统处理后接市政污水管网，满足放射性废水处置要求。

2、放射性废气处理措施

本项目 PET 中心拟将设置单独的通风系统，监督区为正压通风，控制区域为微负压通风，保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。通风系统的总排风量约为 $18000\text{m}^3/\text{h}$ ，并由单独的管道延伸至⑦号裙楼（4 层）楼顶排放，并在排放口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。

本项目放射性药物的操作均在专用铅通风橱内进行，通风橱设有独立的排风系统，风速不小于 1m/s ，并由单独的管道延伸至⑦号裙楼（4 层）楼顶排放，并在排放口处设

置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。

本项目放射性废气的排放满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。本项目 PET 中心通风系统排风口处安装的活性炭过滤装置应不影响通风效率,活性炭吸附效率不低于 95%,每季度更换一次,更换的活性炭过滤吸附材料放入铅废物桶,作为放射性固体废物处理。

因宁波冬季盛行西北风、夏季盛行东南方,且⑦号裙楼高于周边其他裙楼、食堂和配电房,故将 PET 中心排风系统的排放口设置在⑦号裙楼楼顶的西北角,可减小本项目对园区环境的辐射影响。本项目 PET 中心通排风系统设计合理。本项目 PET 中心通排风系统设计示意图见附图 10。

3、放射性固体废物处理措施

本项目 PET 中心的分装注射室、注射后候诊室、留观室、抢救室均设有铅废物桶,铅废物桶内放有专用塑料袋,各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间相应的铅废物桶内,每日检查结束后统一收集密封,并在专用塑料袋表面标明收贮时间、核素种类等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下,重量不超过 20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏,及时转运暂存于放射性固废暂存间,待衰变十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后,作为普通医疗废物统一处理,满足相关要求。

更换的活性炭过滤吸附材料暂存在放射性固废暂存间内,待衰变十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后,作为普通医疗废物统一处理,满足相关要求。

4、其他非放废物处理措施

(1) 工作人员工作中产生的少量办公垃圾,将依托公司的保洁措施,统一收集后交由环卫部门统一处理。

(2) 工作人员工作时产生的生活污水将依托园区的污水处理系统进行处置。

采取上述措施后本项目的废物处置方式能够满足当前环保管理的要求。此外,公司应加强对医护人员的技能和防护知识的培训,并加强对用药病人的健康教育,防止辐射事故的发生,减少放射性废水和放射性固体废物的产生。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目的建设是在原有建筑的基础上进行改造，涉及到原有建筑墙体的拆除以及改建场所防护工程的施工和装修、装饰等，以上活动将会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时对环境的影响及应采取的污染防治措施如下：

(1) 大气：本项目在建设施工期，各种施工作业将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

(2) 噪声：本项目在建设施工期，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时将严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523—2011)的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，保证施工过程对施工现场附近区域的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得生态环境部门同意。

(3) 固体废物：本项目施工期间产生的固体废物主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾应堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

(4) 废水：本项目施工期污水主要为各种施工机械设备的清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。公司只要在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在园区大楼内，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、运行期辐射环境影响分析

(一) β 射线辐射影响分析

本项目中放射性核素 ^{18}F 在衰变过程中会产生 β 射线，根据《放射卫生学》(章仲侯主编, P171)， β 射线在空气中的射程按公式 (11-1) 计算，计算结果见表 11-1。

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{MAX} \quad \text{公式 11-1}$$

式中：d: β 射线在介质中射程，cm；

ρ : 介质的密度， g/cm^3 ；

E_{MAX} : β 射线的最大能量，MeV。

表 11-1 放射性核素 ^{18}F 衰变产生的 β 射线在各介质中的理论最大射程

核素	β 射线能量 E (MeV)	材料	密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	射程 (cm)
^{18}F	0.64	空气	1.29×10^{-3}	248
		铅	11.34	0.03
		实心砖	1.65	0.2
		混凝土	2.35	0.136

由表 11-1 可知，放射性核素 ^{18}F 衰变产生的 β 射线在铅、实心砖和混凝土中的射程很短，在空气中的射程约为 248cm，而本项目 PET 中心设置了足够厚度的实心砖、混凝土墙和铅门进行屏蔽，且放射性药物的操作均在通风橱内进行，故放射性核素 ^{18}F 衰变产生的 β 射线对周围环境影响很小。

(二) β 表面沾污辐射影响分析

β 表面沾污的影响主要来源于放射性药物操作时打翻、漏洒造成地面、台面、设备仪器表面污染，对周围环境产生辐射影响。因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，公司应采取以下防护措施：

- ①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②开瓶、转移等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在通风橱内进行；
- ③操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；
- ④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；
- ⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；
- ⑥放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查清洗、去污，工作人员应进行淋浴；
- ⑦放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射

标志；

⑧做好就诊病人的管理，特别是注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；

⑨如 β 表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展工作。

本项目选取舟山市明峰医学影像诊断有限公司的 PET/CT 中心（使用放射性核素 ^{18}F ，日等效最大操作量为 8.325×10^6 ）作为类比对象，根据该公司 PET/CT 中心的验收监测报告（检测单位：浙江中一检测研究院股份有限公司，报告编号：FJ19-07-0848）可知，在正常工作条件下，PET/CT 中心及周围环境的 β 表面污染水平在 $(0.05 \sim 0.14) \text{ Bq/cm}^2$ 范围内，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定限值，具体检测结果见表 11-2，检测点位见图 11-1。而本项目放射性药物均在通风橱内分装至注射器，并使用注射器为病人进行注射，在正常工作条件下，本项目 β 表面污染水平也能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定限值，对周围环境辐射影响很小。

表 11-2 舟山市明峰医学影像诊断有限公司 PET-CT 中心 β 表面污染检测结果

点号	检测点位置		检测结果(Bq/cm ²)	标准限值(Bq/cm ²)
1	卫生通过间	放射工作人员皮肤外表面	0.05	≤0.4
2		地面	0.07	≤4
3		墙面	0.06	≤4
4	污洗淋浴间	地面	0.07	≤4
5		墙面	0.06	≤4
6	储源室	防护铅罐（空置）表面	0.10	≤40
7		地面	0.06	≤40
8		墙面	0.07	≤40
9	注射室	分装柜观察窗表面	0.07	≤40
10		分装柜表面	0.06	≤40
11		分装柜旁废物桶表面	0.13	≤40
12		注射台观察窗表面	0.07	≤40
13		注射台表面	0.11	≤40
14		注射台旁废物桶表面	0.14	≤40
15		地面	0.06	≤40
16		墙面	0.07	≤40
17	污物间	储存箱表面	0.14	≤40
18		地面	0.10	≤40
19		墙面	0.07	≤40
20	注射后候诊室	地面	0.06	≤40
21	01	墙面	0.07	≤40

22	注射后候诊室	地面	0.07	≤40
23	02	墙面	0.06	≤40
24	注射后候诊室	地面	0.07	≤40
25	03	墙面	0.07	≤40
26	注射后候诊室	地面	0.07	≤40
27	04	墙面	0.10	≤40
28	PET-CT 机房	摆位工作人员皮肤外表面	0.05	≤0.4
29		检查床表面	0.11	≤40
30		地面	0.07	≤40
31		墙面	0.06	≤40
32	扫描后留观室	地面	0.06	≤40
33	01	墙面	0.06	≤40
34	扫描后留观室	地面	0.07	≤40
35	02	墙面	0.06	≤40
36	PET 中心病人	地面	0.07	≤40
37	走动区	墙面	0.05	≤40
38	卫生间	洗手池表面	0.12	≤40
39		垃圾桶表面	0.11	≤40
40		便池表面	0.14	≤40
41		地面	0.10	≤40
42		墙面	0.07	≤40
43	清洗间	清洗台表面	0.10	≤40
44		地面	0.06	≤40
45		墙面	0.07	≤40
46	抢救室	地面	0.05	≤40
47		墙面	0.06	≤40

(三) γ 射线辐射影响分析

1、理论估算

(1) 估算模式选取

发射 γ 射线的放射性药物，其周围空气比释动能率可近似按照点源模式计算，采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式 11-2 计算参考点空气比释动能率：

$$\dot{K}_\alpha = \frac{A \cdot \Gamma_k}{r^2} \cdot \eta \quad \text{公式 11-2}$$

上式中： \dot{K}_α —参考点空气比释动能率 ($\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$)；

A—放射源活度 (Bq)；

Γ_k —放射源的空气比释动能率常数 ($\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)；

r—放射源到参考点的距离 (m)；

η —透射比，无屏蔽情况下取 1，有屏蔽情况下，根据相对应屏蔽材料的什值层计算相应的透射比。

$$\eta=10^{-X/\text{TVL}} \quad \text{公式 11-3}$$

上式中：X—屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

表 11-3 给出了单次用药在无屏蔽状态下，其周围不同距离位置的空气比释动能率值。

表 11-3 无屏蔽状态下不同距离的放射性药物周围空气比释动能率 ($\mu\text{Gy/h}$)

距离(m)	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0
单次注射 ^{18}F $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ (12mCi) 时空气比释动能率	705.5	254	63.5	15.9	7.06

从表中结果看出，裸露状态下的放射性药物辐射水平较高，对周围影响较大。而放射性药物操作过程以及用药后的病人都可以看做是近似裸源状态。因此，放射性药物的操作均需在良好屏蔽下进行，而带药病人也必须在具有一定辐射防护房间内候诊，减小其 γ 射线对外环境的影响。同时，正常情况下，禁止人员进入控制区内进行陪护。

(2) 估算结果

参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，放射性核素 ^{18}F 对应铅、砖、混凝土的什值层见表 11-4。

表 11-4 放射性核素 ^{18}F 对应屏蔽物质的什值层取值一览表 (单位: mm)

核素	铅 (11.3g/cm^3)	砖 (1.65g/cm^3)	混凝土 (2.35g/cm^3)
^{18}F	16.6	263	176

根据公式 (11-2) 和公式 (11-3)，可估算出 PET 中心周围各参考点处的辐射水平，各参考点位置见附图 7，预测结果见表 11-5。

表 11-5 本项目 PET 中心各参考点位辐射水平估算结果

参考点位		活度 A (Bq)	衰减距离 r (m)	防护措施	透射比 η	参考点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)
分装注射室	1	注射位 4.44×10^8 (单名患者最大用量)	0.5	12mmPb 铅玻璃 +0.5mmPb 铅衣	0.177	44.9
	2	1.11×10^{10} (单次最大送药量)	0.25	60mmPb 通风橱	2.43×10^{-4}	6.17
			0.5	60mmPb 通风橱	2.43×10^{-4}	1.54
	3	西墙表面 30cm	2.4	60mmPb 通风橱 +240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料 +300mm 砼	1.93×10^{-7}	5.33×10^{-5}

	4	北墙表面 30cm		1.6	60mmPb 通风橱 +240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	9.8×10^{-6}	0.006
	5	更衣缓冲间 入口门表面 30cm		5	60mmPb 通风橱 +240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	9.8×10^{-6}	6.22×10^{-4}
	6	楼上 地面 30cm		4.5	60mmPb 通风橱 +250mm 砼	9.23×10^{-6}	7.23×10^{-4}
	控制 区内	东侧防护门 表面 30cm		3	60mmPb 通风橱 +6mmPb 防护门	1.06×10^{-4}	0.019
		南墙表面 30cm		0.7	60mmPb 通风橱 +240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	9.8×10^{-6}	0.032
注射后候 诊室 1	7	西墙 表面 30cm	4.44×10^8 $\times 2$ (2 名用药 患者同时候 诊)	4.8	300mm 砼	1.97×10^{-2}	0.109
	8	楼上 地面 30cm		4.5	250mm 砼+ 2mmPb 硫酸钡防护板	2.88×10^{-2}	0.181
	控制 区内	东墙 表面 30cm		2.7	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.702
		南墙 表面 30cm		0.9	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	6.32
		北墙 表面 30cm		2.7	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.702
		防护门 地面 30cm		3	6mmPb 防护门	0.435	6.14
注射后候 诊室 2	9	西墙 表面 30cm	4.44×10^8 $\times 2$ (2 名用药 患者同时候 诊)	4.4	300mm 砼	1.97×10^{-2}	0.13
	10	楼上 地面 30cm		4.5	250mm 砼+ 2mmPb 硫酸钡防护板	2.88×10^{-2}	0.181
	控制 区内	东墙 表面 30cm		3.1	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.533
		南墙 表面 30cm		2.8	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.653
		北墙 表面 30cm		0.9	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	6.32
		防护门 地面 30cm		3.1	6mmPb 防护门	0.435	5.75
注射后候 诊室 3	11	西墙 表面 30cm	4.44×10^8 $\times 2$ (2 名用药 患者同时候 诊)	4.5	300mm 砼	1.97×10^{-2}	0.124
	12	楼上 地面 30cm		4.5	250mm 砼+ 2mmPb 硫酸钡防护板	2.88×10^{-2}	0.181
	控制 区内	东墙 表面 30cm		3.1	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.533

		南墙 表面 30cm		0.9	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	6.32
		北墙 表面 30cm		2.5	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.819
		防护门 地面 30cm		3.3	6mmPb 防护门	0.435	5.07
注射后候 诊室 4	13	西墙 表面 30cm	4.44×10^8 $\times 2$ (2 名用药 患者同时候 诊)	4.5	300mm 砼	1.97×10^{-2}	0.124
	14	楼上 地面 30cm		4.5	250mm 砼+ 2mmPb 硫酸钡防护板	2.88×10^{-2}	0.181
	控制 区内	东墙 表面 30cm		2.9	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.609
		南墙 表面 30cm		2.5	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.819
		北墙 表面 30cm		0.9	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	6.32
		防护门 地面 30cm		2.9	6mmPb 防护门	0.435	6.57
留观室	15	西墙 表面 30cm	4.44×10^8 $\times 2$ (2 名用药 患者同时留 观)	4.5	300mm 砼	1.97×10^{-2}	0.124
	16	楼上 地面 30cm		4.5	250mm 砼+ 2mmPb 硫酸钡防护板	2.88×10^{-2}	0.181
	控制 区内	东墙 表面 30cm		2.9	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.609
		南墙 表面 30cm		2.5	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.819
		北墙 表面 30cm		0.9	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	6.32
		防护门 地面 30cm		2.9	6mmPb 防护门	0.435	6.57
PET/CT 检查室	17	观察窗 表面 30cm	4.44×10^8 (1 名用药患 者在检查室内 扫描)	4.7	10mmPb 铅玻璃	0.25	0.718
	18	医护人员防护 门表面 30cm		6.1	10mmPb 铅玻璃	0.25	0.426
	19	东墙 表面 30cm		3.7	300mm 砼	1.97×10^{-2}	0.092
	20	北墙 表面 30cm		3.7	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.187
	21	楼上 地面 30cm		4.5	250mm 砼	3.8×10^{-2}	0.119
	22	摆位处		1	0.5mmPb 铅衣	0.933	59.2

	控制区内	南墙 表面 30cm		6	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.071	
		西墙 表面 30cm		3.7	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.187	
		病人通道防护 门表面 30cm		5.9	6mmPb 防护门	0.435	0.794	
PET/MR 检查室	23	观察窗 表面 30cm	4.44×10^8 (1 名用药患 者在检查室内 扫描)	4.6	10mmPb 铅玻璃	0.25	0.75	
	24	医护人员防护 门表面 30cm		5.7	10mmPb 铅玻璃	0.25	0.488	
	25	东墙 表面 30cm		3.7	300mm 砼	1.97×10^{-2}	0.092	
	26	楼上 地面 30cm		4.5	250mm 砼	3.8×10^{-2}	0.119	
	27	摆位处		1	0.5mmPb 铅衣	0.933	59.2	
	控制区内			南墙 表面 30cm	3.6	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.198
				西墙 表面 30cm	3.7	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.187
				北墙 表面 30cm	5.5	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.085
		病人通道防护 门表面 30cm	5	6mmPb 防护门	0.435	1.11		
抢救室	28	东墙 表面 30cm	4.44×10^8 (单名患者最 大用量)	1.3	300mm 砼	1.97×10^{-2}	0.742	
	29	南墙 表面 30cm		2.9	300mm 砼	1.97×10^{-2}	0.149	
	30	楼上 地面 30cm		4.5	250mm 砼	3.8×10^{-2}	0.119	
	控制区内			西墙 表面 30cm	4.2	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.145
				北墙 表面 30cm	3.1	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料	4.03×10^{-2}	0.266
	防护门表面 30cm	4.4	6mmPb 防护门	0.435	1.43			
病人 通道	31	病人入口 防护门 表面 30cm	4.44×10^8 (1 名患者经 过此处)	4.1	8mmPb 防护门	0.33	1.25	
	32	应急出口 防护门 表面 30cm		5.2	8mmPb 防护门	0.33	0.774	

PET/CT 中心东侧 园区道路	33	控制廊东墙 表面 30cm	4.44×10 ⁸ (1 名患者在 检查室扫描)	6.6	300mm 砼	1.97×10 ⁻²	0.029
	34	控制廊东墙 表面 30cm		6.6	300mm 砼	1.97×10 ⁻²	0.029
PET/CT 中心南侧 园区道路	35	患者缓冲间南 墙表面 30cm	4.44×10 ⁸ ×2 (2 名用药 患者同时在留 观室留观)	8.4	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂料 +300mm 砼	7.96×10 ⁻⁴	7.16×10 ⁻⁴
敏感点	36	⑥号裙楼 研究生宿舍	4.44×10 ⁸ (1 名患者在 检查室扫描或 在抢救室抢 救)	10.3	300mm 砼	1.97×10 ⁻²	0.012
	37	⑥号裙楼 研究生宿舍		9.3	300mm 砼	1.97×10 ⁻²	0.015
	38	⑦号裙楼 研究生宿舍		5	300mm 砼	1.97×10 ⁻²	0.05

注：①辐射源至参考点距离见附图 7，1 楼层高约 5m，楼上参考点取距 2 楼地面 0.3m 处；

②计算时，保守不考虑铅屏风的屏蔽。

根据表 11-5 估算结果可知，当用药病人通过病人通道走廊时，病人通道入口防护门和紧急出口防护门处的辐射剂量率较高，但病人在病人通道走廊处逗留的时间很短，因此，病人通道入口防护门和紧急出口防护门处较高的辐射剂量率是可以接受的。除此之外，PET 中心控制区外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 0.75μGy/h，小于 2.5μGy/h；PET 中心控制区内屏蔽体表面 30cm 处辐射剂量率最大为 6.57μGy/h，小于 25μGy/h；通风橱表面 5cm 处辐射剂量率最大为 6.17μGy/h，小于 25μGy/h；故本项目 PET 中心屏蔽防护设计能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求。

2、类比分析

本项目选取舟山市明峰医学影像诊断有限公司的 PET/CT 中心作为类比对象，类比情况见表 11-6。

表 11-6 本项目类比情况一览表

内容	本项目	类比对象
使用放射性核素名称	¹⁸ F	¹⁸ F
日等效最大操作量	2.22×10 ⁷	8.325×10 ⁶
单人最大用药量	12mci	15mci
每间候诊室、留观室同时最大候诊或留观人数	2 人	1 人
屏蔽防护措施	墙体： 四周外墙为 300mm 砼，内墙为 240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料；	墙体： 360mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料或 240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡防护涂料；

	顶部: 250mm 砼或 250mm 砼+2mmPb 硫酸钡钡板; 防护门: 6mm~10mmPb; 观察窗: 10mmPb	顶部: 150mm 砼+100mm 硫酸钡防护涂料或 150mm 砼+50mm 硫酸钡防护涂料; 防护门: 3mm~8mmPb; 观察窗: 10mmPb
--	---	---

根据表 11-6 可知, 本项目与类比对象使用的放射性核素相同, 本项目辐射工作场所与类比对象辐射工作场所对相应活度的放射性核素的屏蔽防护基本相当, 故舟山市明峰医学影像诊断有限公司的 PET/CT 中心可作为本项目的类比对象。

根据舟山市明峰医学影像诊断有限公司的 PET/CT 中心的验收监测报告 (报告编号: FJ19-07-0848) 可知, 在正常工作条件下, PET/CT 中心控制区边界屏蔽体表面 30cm 处 X- γ 辐射剂量率在 (0.16~0.33) $\mu\text{Sv/h}$ 范围内, 满足控制区边界 X- γ 辐射剂量率 < 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求; PET/CT 中心控制区内屏蔽体表面 30cm 处 X- γ 辐射剂量率在 (0.18~1.27) $\mu\text{Sv/h}$ 范围内, 满足控制区内 X- γ 辐射剂量率 < 25 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求, 具体检测结果见表 11-7, 检测点位见图 11-1。根据类比对象检测结果可推测, 本项目 PET/CT 中心运行后, 也能够满足控制区边界屏蔽体表面 30cm 处 X- γ 辐射剂量率 < 2.5 $\mu\text{Sv/h}$, 控制区内屏蔽体表面 30cm 处 X- γ 辐射剂量率 < 25 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

表 11-7 舟山市明峰医学影像诊断有限公司 PET/CT 中心 X- γ 辐射剂量率检测结果

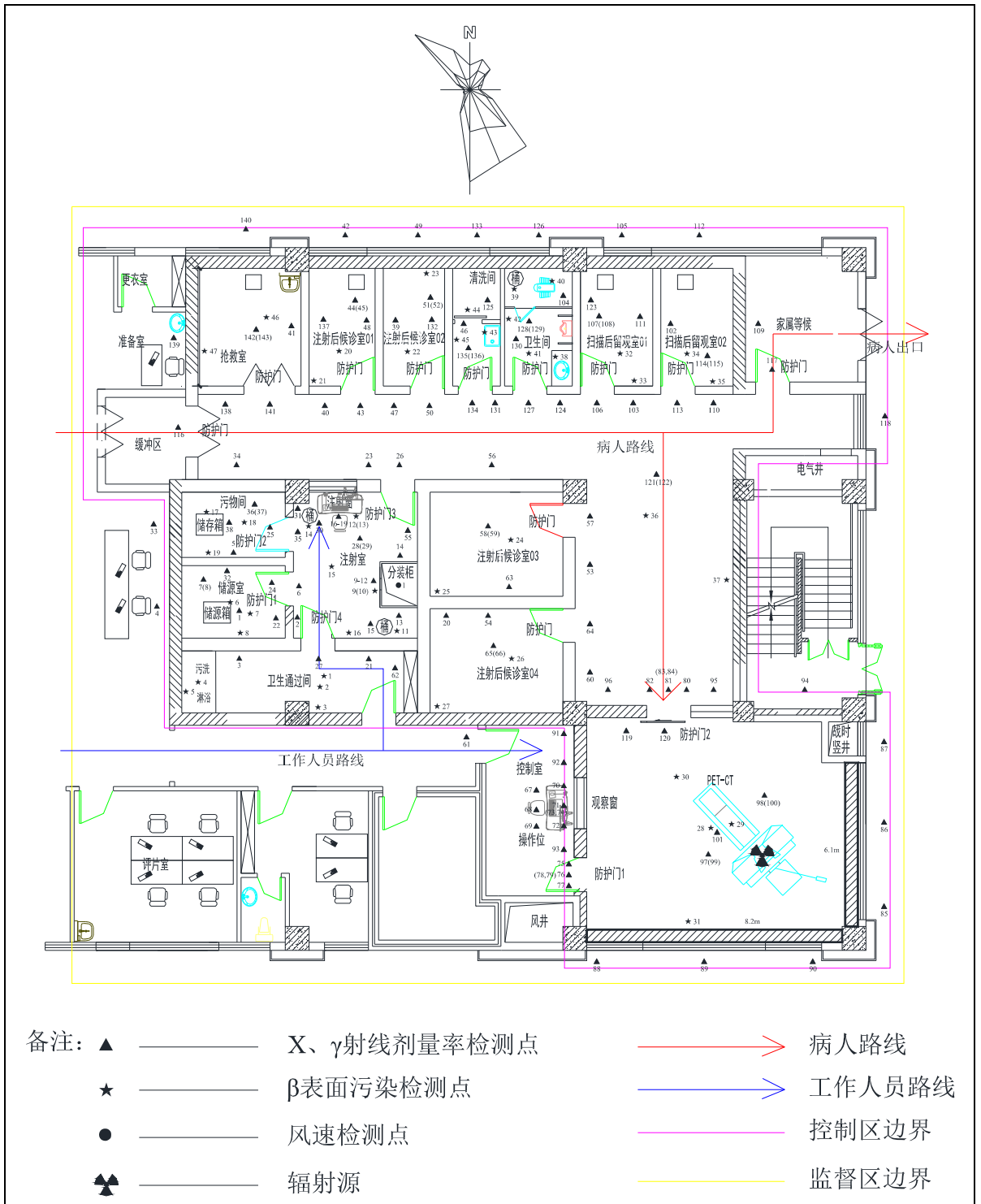
点号	检测点位置		检测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	储源室	储源箱外表面 5cm	42	^{18}F 药物总活度 5550MBq, 药物置于 20mmPb 储源保险箱内。
2		东墙外表面 30cm	0.31	
3		南墙外表面 30cm	0.26	
4		西墙外表面 30cm	0.23	
5		北墙外表面 30cm	0.28	
6		防护门 1 外表面 30cm	0.37	
7		楼上 (二层) 距地坪 100cm	0.21	
8		楼下 (地下一层) 距地坪 170cm	0.22	
9	注射室	分装柜前工作人员操作位	0.94	555MBq 的 ^{18}F 药物置于分装柜内
10		分装柜铅玻璃观察窗外表面 30cm	1.87	
11		分装柜手洞 (左侧) 位置	37	
12		分装柜手洞 (右侧) 位置	35	
13		分装柜 (南侧) 外表面 30cm	1.95	
14		分装柜 (北侧) 外表面 30cm	1.68	
15		分装柜旁废物桶外表面 30cm	0.39	放射性废物若干
16		注射台前工作人员操作位	4.5	555MBq 的 ^{18}F 药物置于注射台上
17		注射台铅玻璃观察窗外表面 30cm	6.8	

18		注射台手洞（左侧）位置	36	
19		注射台手洞（右侧）位置	38	
20		东墙外表面 30cm	0.18	
21		南墙外表面 30cm	0.17	
22		西墙外表面 30cm	0.19	
23		北墙外表面 30cm	0.22	
24		防护门 1 外表面 30cm	0.26	
25		防护门 2 外表面 30cm	0.29	
26		防护门 3 外表面 30cm	0.27	
27		防护门 4 外表面 30cm	0.25	
28		楼上（二层）距地坪 100cm	0.16	
29		楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.18	
30			注射台旁废物桶外表面 30cm	
31	污物间	东墙外表面 30cm	0.18	555MBq 的 ^{18}F 药物 置于储存箱内
32		南墙外表面 30cm	0.19	
33		西墙外表面 30cm	0.18	
34		北墙外表面 30cm	0.20	
35		防护门 2 外表面 30cm	0.22	
36		楼上（二层）距地坪 100cm	0.15	
37		楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.17	
38		废物储存箱外表面 30cm	3.9	
39	注射后候诊室 01	东墙外表面 30cm	0.22	555MBq 的 ^{18}F 药物 置于躺椅上
40		南墙外表面 30cm	0.20	
41		西墙外表面 30cm	0.21	
42		北墙外表面 30cm	0.18	
43		防护门外表面 30cm	0.76	
44		楼上（二层）距地坪 100cm	0.19	
45		楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.18	
46	注射后候诊室 02	东墙外表面 30cm	0.21	555MBq 的 ^{18}F 药物 置于躺椅上
47		南墙外表面 30cm	0.23	
48		西墙外表面 30cm	0.20	
49		北墙外表面 30cm	0.19	
50		防护门外表面 30cm	0.74	
51		楼上（二层）距地坪 100cm	0.17	
52		楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.18	
53	注射后候诊室 03	东墙外表面 30cm	0.26	555MBq 的 ^{18}F 药物 置于躺椅上
54		南墙外表面 30cm	0.22	
55		西墙外表面 30cm	0.23	
56		北墙外表面 30cm	0.21	
57		防护门外表面 30cm	0.81	
58		楼上（二层）距地坪 100cm	0.16	

59		楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.18	
60	注射后候诊室 04	东墙外表面 30cm	0.24	555MBq 的 ^{18}F 药物 置于躺椅上
61		南墙外表面 30cm	0.20	
62		西墙外表面 30cm	0.21	
63		北墙外表面 30cm	0.19	
64		防护门外表面 30cm	0.84	
65		楼上（二层）距地坪 100cm	0.18	
66		楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.19	
67		PET-CT 机房	工作人员操作位（左侧）	
68	工作人员操作位（中部）		0.22	
69	工作人员操作位（右侧）		0.20	
70	观察窗（左侧）外表面 30cm		0.26	
71	观察窗（中部）外表面 30cm		0.24	
72	观察窗（右侧）外表面 30cm		0.28	
73	观察窗（上侧）外表面 30cm		0.25	
74	观察窗（下侧）外表面 30cm		0.27	
75	防护门 1（左侧）外表面 30cm		0.30	
76	防护门 1（中部）外表面 30cm		0.29	
77	防护门 1（右侧）外表面 30cm		0.33	
78	防护门 1（上侧）外表面 30cm		0.28	
79	防护门 1（下侧）外表面 30cm		0.32	
80	防护门 2（左侧）外表面 30cm		0.38	
81	防护门 2（中部）外表面 30cm		0.35	
82	防护门 2（右侧）外表面 30cm		0.37	
83	防护门 2（上侧）外表面 30cm		0.34	
84	防护门 2（下侧）外表面 30cm		0.40	
85	东墙（左侧）外表面 30cm		0.22	
86	东墙（中部）外表面 30cm		0.23	
87	东墙（右侧）外表面 30cm		0.21	
88	南墙（左侧）外表面 30cm		0.25	
89	南墙（中部）外表面 30cm		0.24	
90	南墙（右侧）外表面 30cm		0.22	
91	西墙（左侧）外表面 30cm		0.22	
92	西墙（中部）外表面 30cm		0.20	
93	西墙（右侧）外表面 30cm		0.23	
94	北墙（左侧）外表面 30cm		0.27	
95	北墙（中部）外表面 30cm		0.25	
96	北墙（右侧）外表面 30cm		0.28	
97	楼上（二层）1#点距地坪 100cm		0.18	
98	楼上（二层）2#点距地坪 100cm		0.21	
99	楼下（地下一层）1#点距地坪 170cm	0.23		

100		楼下（地下一层）2#点距地坪 170cm	0.19	
101		工作人员摆位处	153	
102	扫描后留观室 01	东墙外表面 30cm	0.23	555MBq 的 ^{18}F 药物 置于躺椅上
103		南墙外表面 30cm	0.30	
104		西墙外表面 30cm	0.22	
105		北墙外表面 30cm	0.20	
106		防护门外表面 30cm	0.87	
107		楼上（二层）距地坪 100cm	0.19	
108		楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.18	
109		扫描后留观室 02	东墙外表面 30cm	
110	南墙外表面 30cm		0.29	
111	西墙外表面 30cm		0.22	
112	北墙外表面 30cm		0.21	
113	防护门外表面 30cm		0.80	
114	楼上（二层）距地坪 100cm		0.18	
115	楼下（地下一层）距地坪 170cm		0.17	
116	PET 中心病人 走动区	缓冲区防护门外表面 30cm	0.21	555MBq 的 ^{18}F 药物 置于区域中间
117		家属等候区防护门外表面 30cm	0.23	
118		东墙外表面 30cm	0.20	
119		南墙外表面 30cm	0.22	
120		防护门 2 外表面 30cm	0.23	
121		楼上（二层）距地坪 100cm	0.18	
122		楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.16	
123	卫生间	东墙外表面 30cm	0.20	555MBq 的 ^{18}F 药物 置于房间中间
124		南墙外表面 30cm	0.27	
125		西墙外表面 30cm	0.21	
126		北墙外表面 30cm	0.23	
127		防护门外表面 30cm	0.93	
128		楼上（二层）距地坪 100cm	0.18	
129		楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.18	
130	清洗间	东墙外表面 30cm	0.24	555MBq 的 ^{18}F 药物 置于清洗台上
131		南墙外表面 30cm	0.35	
132		西墙外表面 30cm	0.26	
133		北墙外表面 30cm	0.21	
134		防护门外表面 30cm	1.27	
135		楼上（二层）距地坪 100cm	0.20	
136		楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.19	
137	抢救室	东墙外表面 30cm	0.22	555MBq 的 ^{18}F 药物

138	南墙外表面 30cm	0.30	置于抢救台上
139	西墙外表面 30cm	0.24	
140	北墙外表面 30cm	0.21	
141	防护门外表面 30cm	1.15	
142	楼上（二层）距地坪 100cm	0.18	
143	楼下（地下一层）距地坪 170cm	0.19	



3、保护目标剂量评价

(1) 计算模式

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{\text{Eff}}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{公式 11-4}$$

上式中： D_{Eff} —参考点人员有效剂量（Sv）；

K_a —参考点的周围空气比释动能率（ $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ）；

t —参考点处受照时间（h）；

T —居留因子；

U —使用因子，以点源考虑， U 取1；

简化估算：1mGy 近似为 1mSv。

(2) 人员剂量评价

本项目运行后，为平均工作量，避免个别岗位年照射剂量偏高，本项目将采取每月轮换岗位工作制度，即每组2名护士之间轮流负责药物的准备和注射工作；每组的2名技师之间轮流负责指导病人摆位工作。

根据各参考点处辐射剂量率估算值，并结合各参考点处人员停留时间，根据公式（11-4）即可得到各参考点处工作人员及公众的年受照剂量，计算结果见表 11-8。

表 11-8 本项目 PET 中心工作人员及周围公众年有效剂量估算

关注对象		参考点位置 (参考点)	参考点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	受照时间 (h)	居留因子	人员年有效剂量(mSv)
辐射工作人员	护士	通风橱表面 30cm (参考点 2)	1.54	2 名护士，人均年分装 3500 次，每次 1min	1	0.09
		注射位 (参考点 1)	44.9	2 名护士，人均年注射 3500 次，每次 1min	1	2.62
	技师	PET/CT 检查室 操作位观察窗 (参考点 17)	0.718	4 名技师，平分为 2 组， 每组年扫描 3500 次，每 次扫描约 30min	1	1.26
		PET/MR 检查室 操作位观察窗 (参考点 23)	0.75	4 名技师，平分为 2 组， 每组年扫描 3500 次，每 次扫描约 30min	1	1.31
		摆位处 (参考点 22、27)	59.2	4 名技师，人均年摆位 1750 次，每次摆位约 1min	1	1.73

公众	PET 中心 东侧园区道 路处公众	控制廊东墙 表面 30cm (参考点 33、34)	0.029	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	0.004
		抢救室东墙 表面 30cm (参考点 28)	0.742	年工作时间 不超过 200h	1/16	0.009
	PET 中心 南侧园区道 路处公众	抢救室南墙 表面 30cm (参考点 29)	0.149	年工作时间 不超过 200h	1/16	0.002
		患者缓冲区 南墙表面 30cm (参考点 35)	7.16×10^{-4}	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	<0.001
	PET 中心 西侧园区道 路处公众	分装注射室 西墙表面 30cm (参考点 3)	5.33×10^{-5}	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	<0.001
		注射后候诊室 1 西墙表面 30cm (参考点 7)	0.109	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	0.014
		注射后候诊室 2 西墙表面 30cm (参考点 9)	0.13	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	0.016
		注射后候诊室 3 西墙表面 30cm (参考点 11)	0.124	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	0.016
		注射后候诊室 4 西墙表面 30cm (参考点 13)	0.124	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	0.016
		留观室 西墙表面 30cm (参考点 15)	0.124	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	0.016
	PET 中心 北侧护士站 护士	更衣缓冲间 入口门表面 30cm (参考点 5)	6.22×10^{-4}	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1	0.001
	PET 中心 注射前候诊 区处公众	更衣缓冲间 入口门表面 30cm (参考点 5)	6.22×10^{-4}	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	<0.001
	PET 中心 北侧设备间 和更衣室处 公众	PET/CT 检查室 北墙表面 30cm (参考点 20)	0.187	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	0.023
	PET 中心 楼上会议室 处公众	注射分装室 楼上地面 30cm (参考点 6)	7.23×10^{-4}	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	<0.001

		注射后候诊室、 留观室 楼上地面 30cm (参考点 8、10、12、 14 和 16)	0.181	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	0.023
		PET/CT 检查室 楼上地面 30cm (参考点 21)	0.119	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	0.015
		PET/MR 检查室 楼上地面 30cm (参考点 26)	0.119	日工作约 8h, 年工作日 250 天	1/16	0.015
		抢救室 楼上地面 30cm (参考点 30)	0.119	年工作时间 不超过 200h	1/16	0.015
敏感点	⑥号裙楼 研究生宿舍 处公众	⑥号裙楼 研究生宿舍 (参考点 35)	0.012	日工作约 8h, 年工作日 250 天	保守 取 1	0.024
	⑥号裙楼 研究生宿舍 处公众	⑥号裙楼 研究生宿舍 (参考点 36)	0.015	日工作约 8h, 年工作日 250 天	保守 取 1	0.03
	⑦号裙楼 研究生宿舍 处公众	⑦号裙楼 研究生宿舍 (参考点 37)	0.05	日工作约 8h, 年工作日 250 天	保守 取 1	0.1

根据表 11-8 计算结果可知, 本项目 PET 中心放射性核素操作的护士年有效剂量最大约为 2.71mSv (分装 0.09mSv+注射 2.62mSv), 技师年有效剂量最大约为 3.04mSv (扫描 1.31mSv+摆位 1.73mSv), 均能满足本项目职业人员年有效剂量 $\leq 5\text{mSv/a}$ 的管理目标; 本项目 PET 中心周围公众年有效剂量最大约为 0.023mSv, 园区研究生宿舍处公众年有效剂量最大约为 0.1mSv, 能满足本项目公众年有效剂量 $\leq 0.25\text{mSv/a}$ 的管理目标。

综上所述, 本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下, 辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和本项目管理目标 (职业人员年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.25mSv) 的剂量限值要求。

此外, 根据表 11-8 可知, 辐射工作人员近距离指导病人摆位时所致受照剂量较大, 辐射工作人员应尽量使用语音系统远距离指导病人进行摆位, 当必须要近距离指导病人摆位时, 应尽量保持与病人之间的距离以及缩短摆位时间。同时, 公司应加强对辐射工作人员的个人剂量监测管理, 当个人累积剂量将超过年有效剂量 5mSv 时, 应及时告知本人, 并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位, 确保其年累积剂量不超过项目管理目标。

二、三废的治理评价

1、放射性废水处理措施评价

公司拟在⑧号裙楼的南侧新建一间衰变室，衰变室内设有 1 套间歇式放射性废水衰变系统，本项目 PET 中心产生的放射性废水经专用管道排至该放射性废水衰变系统，自然衰变十个半衰期，满足排放标准后排至园区的污水处理系统作为普通医疗废水处理，经园区污水处理系统处理后接市政污水管网，满足放射性废水处置要求。

本项目放射性废水衰变系统的单个衰变池有效容积为 2.55m^3 ，1#、2#、3#衰变池轮流使用，待使用 3#衰变池的时候，1#衰变池中的放射性废水已衰变 3 天（72h），而 ^{18}F 的半衰期为 1.83h，则单个衰变池能够存放 39 个半衰期，故本项目放射性废水衰变系统能够满足放射性废水存放十个半衰期的要求。

本项目化粪池、备用池和衰变池顶部使用 30cm 混凝土盖板屏蔽，排水管采用埋地设计，公司将在衰变室四周设置围栏和警示标牌，防止公众靠近衰变室。综上所述，本项目放射性废水衰变系统结构设计合理，满足池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性以及有防泄漏措施的要求，对周围环境影响很小。

2、放射性废气处理措施评价

本项目 PET 中心拟将设置单独的通风系统，监督区为正压通风，控制区域为微负压通风，保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。通风系统的总排风量约为 $18000\text{m}^3/\text{h}$ ，并由单独的管道延伸至⑦号裙楼（4 层）楼顶西北角排放，并在排放口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。

本项目放射性药物的操作均在专用铅通风橱内进行，通风橱设有独立的排风系统，风速不小于 1m/s ，并由单独的管道延伸至⑦号裙楼（4 层）楼顶西北角排放，并在排放口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。

本项目产生的放射性废气排放满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。PET 中心正常运行过程中挥发的含有微量放射性核素的气体经排风系统外排并经活性炭过滤吸附后，对周围环境影响很小。

3、放射性固体废物处理措施评价

本项目 PET 中心的分装注射室、注射后候诊室、留观室、抢救室均设有铅废物桶，铅废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间相应的铅废物桶内，每日检查结束后统一收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在放射性固废暂存间内，待衰变十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为普通医疗废物统一处理，满足相关要求。

更换的活性炭过滤吸附材料暂存在放射性固废暂存间内，待衰变十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为普通医疗废物统一处理，满足相关要求。

相对于放射性药品活度浓度而言，本项目放射性固体废物本身沾染的放射性核素活度浓度较低，经过放射性固废暂存间的屏蔽后，对周围辐射环境影响很小。

4、其他非放废物处理措施评价

(1) 工作人员工作中产生的少量办公垃圾，将依托公司的保洁措施，统一收集后交由环卫部门统一处理。

(2) 工作人员工作时产生的生活污水将依托园区的污水处理系统进行处置。

采取上述措施后，本项目的废物处置方式能够满足当前环保管理的要求。

事故影响分析

1、本项目可能产生的辐射事故主要有：

(1) 用药病人未按要求在注射后候诊室等候或在留观室内留观，在本项目工作场所以外的区域随意走动，导致公众受到照射。

(2) 由于保管或管理工作不到位导致放射性药物丢失、被盗等情况导致公众受到大剂量照射。

(3) 辐射工作人员误操作，导致放射性药物漏洒造成操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污。

2、辐射事故处置方法及预防措施

(1) 用药前，医生对病人进行健康教育，加强对用药病人的管理，避免用药病人在注射后候诊室或留观室外随意走动。

(2) 当发生放射性药物丢失、被盗时，应立即启动本单位辐射事故应急措施，第一时间将事故情况通报有关主管部门（生态环境、公安、卫生健康等），向主管部门提供有用线索，并积极配合主管部门查找丢失的放射性药物。

(3) 当放射性药物或放射性废物管理或处置不当造成污染时，应立即划定警戒区，设置放射性污染标识，限制人员随意走动或靠近，防止污染扩散。

(4) 当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，应及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用 α - β 表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。如擦拭后仍有较高的放射性，应标志污染范围，以防扩散，并以屏蔽覆盖，标明放射性核素名称，污染

日期，以等待衰变直至达到去污控制标准。去污产生的滤纸、擦拭纸等固体废物作为放射性固体废物进行处理。

(5) 对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

公司应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训，定期检查辐射安全措施的有效性，定期对工作场所进行检测，尽可能避免辐射事故的发生。

当发生辐射事故时，公司应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，向属地公安部门和生态环境部门报告。对造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向属地卫生健康部门报告。并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

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》、《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》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素的单位应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；辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，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。

宁波艾博医学影像诊断有限公司应成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并应以公司内部文件形式明确辐射安全管理机构和各成员的管理职责。其中，辐射安全管理机构的职责应包括：

- (1)全面负责公司辐射安全管理工作；
- (2)认真学习贯彻国家相关法规、标准，结合公司实际情况制定安全规章制度并检查监督实施；
- (3)负责辐射工作人员的法规教育和安全环保知识培训；
- (4)检查安全环保设施，开展环保监测，对本项目安全防护情况进行年度评估；
- (5)实施辐射工作人员的健康体检并做好体检资料的档案管理工作；
- (6)编制辐射事故应急方案，并妥善处理有可能发生的辐射事故；
- (7)定期向生态环境部门报告安全工作，接受生态环境部门的监督和检查。

公司将为本项目配备 6 名辐射工作人员，均为新招聘人员，公司应组织辐射工作人员通过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>）进行报名，自主学习并参加考核，通过考核后上岗，方能满足辐射工作人员岗位要求。

公司应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员应当重新通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，并参加考核，通过考核后，方能继续从事辐射工作。

辐射安全管理规章制度

宁波艾博医学影像诊断有限公司应根据《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》和《放射性同位素与射线装置安全

和防护管理办法》中的有关要求，制定《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等辐射安全管理制度，并在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。现对公司应制定的辐射安全管理制度提出以下要求和建议：

辐射防护和安全保卫制度：根据射线装置、放射性同位素操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度，预防辐射安全事故的发生。

操作规程：明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中应采取的具体防护措施及步骤，加强辐射工作人员的管理，严禁无证人员操作放射性同位素和射线装置。

岗位职责：明确辐射工作人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

设备检修维护制度：明确设备在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保设施安全有效地运转。

射线装置和放射性同位素使用登记制度：建立射线装置和放射性同位素使用登记制度，明确射线装置的购买、使用以及放射性同位素的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保帐物相符。

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测方案：明确辐射工作人员开展辐射工作时应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。公司每年应对本单位的放射性同位素与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日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

事故应急预案：应针对本项目可能产生的辐射事故制定事故应急预案，方案中应明确应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，公司应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，向属地公安部门 and 生态环境部门报告。对造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向属地卫生健康部门报告。并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。

辐射监测

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》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，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，包括个人剂量报警仪、固定式和便携式辐射监测、表面污染监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

公司将为本项目配备 1 台辐射巡测仪、1 台表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪，配置后将满足辐射监测仪器配置要求。

公司还应为每名辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，并建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

2、监测方案

宁波艾博医学影像诊断有限公司应根据辐射管理要求，制定如下监测方案：

(1) 请有资质单位定期对辐射工作场所周围环境辐射水平以及表面污染进行监测，每年 1~2 次；

(2) 定期请有资质的单位对产生辐射的仪器设备进行防护监测，包括仪器设备防护性能的检测，每年 1~2 次；

(3) 辐射工作人员佩戴个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案；

(4) 所有辐射工作人员上岗前进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案。

此外，公司还应利用自配备的便携式辐射巡测仪和表面沾污仪对公司的辐射工作场所定期进行监测，并记录档案。射线装置机房的自主监测建议不少于 1 次/月，非密封放射性物质工作场所的自主监测建议参照《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010) 附录 A，对于乙级工作场所，表面沾污每 4 周监测一次；对辐射剂量率每 2 周监测一次；工作人员操作后离开辐射工作场所控制区前应进行表面污染监测，如果工作服、手套、工作鞋的 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，应及时脱下更换清洗或作为放射性固废处理，如果手、皮肤、内衣、工作袜的 β 表面污染大于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，应进一步清洗去污直至满足对 β 表面污染的要求；从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，以杜绝超过 GB18871 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。以上监测均应记录档案，同时公司应在监测方案中列出 GB18871 中表面污染控制水平。本项目 PET/CT 中心监测方案见表 12-1。

表 12-1 本项目 PET/CT 中心监测方案一览表

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位
工作场所 监测	竣工环保 验收监测	X-γ 辐射剂量率、 β 表面沾污	请有资质单位监测，项目建设 后试运行 3 个月内	/
	年度监测	X-γ 辐射剂量率、 β 表面沾污	请有资质单位监测，不少于 1 次/年	/
	日常监测	X-γ 辐射剂量率、 β 表面沾污	请有资质单位监测或自主监测， 监测频次参考（GB11930-2010） 附录 A，对于乙级工作场所，表 面沾污每 4 周监测一次，对辐射 剂量率每 2 周监测一次	参考（GBZ120-2020） 附录 J
个人剂量 监测	/	职业性外照射 个人剂量	定期送有资质部门进行监测， 不少于 1 次/三个月	/

公司制定并落实上述监测方案后，方能满足辐射管理要求。

辐射事故应急

依照国家环保总局的《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 号文）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为放射性药物的丢失、被盗或泼洒而发生污染。

针对可能发生的事故风险，公司应根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，制定辐射事故应急方案，应急方案内容应包括：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）辐射事故分级与应急响应措施；
- （3）应急人员的组织及联系方式；
- （4）辐射事故调查、报告和处理程序；
- （5）事故应急演练。

公司应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演练，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，还应经常监测辐射工作场所的环境辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。

当发生辐射事故时，公司应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，向属地公安部门和生态环境部门报告。对造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向属地卫生健康部门报告。并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。

表 13 结论与建议

结论

1、项目概况

为改善宁波市及周边城区群众门急诊服务质量，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，宁波艾博医学影像诊断有限公司拟将租用的 1 楼改建为医学影像诊断中心，新建 PET 中心，使用 ^{18}F 正电子药物进行显像检查，日等效最大操作量均为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

2、产业政策符合性评价

本项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中第三十七项“卫生健康”中第 5 款：“医疗卫生服务设施建设”属于国家鼓励类产业，符合国家产业发展政策。

3、实践正当性评价

本项目投入使用不但能够更好的满足患者的就诊需求，并且能够提高当地医疗卫生水平，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

4、选址、布局合理性评价

宁波艾博医学影像诊断有限公司位于浙江省宁波市江北区北郊路 159 号 13 幢 1 楼，本项目 PET 中心位于⑧号裙楼的 1 楼，其东侧依次为园区道路、⑥号裙楼，东南侧和南侧依次为园区道路、⑦号裙楼，西侧依次为园区道路和⑤号裙楼、园区配电房和食堂，北侧为③号裙楼和④号裙楼，楼上为宁波生命与健康产业研究院的会议室，地下无建筑。

本项目 PET 中心为门诊检查，单个病人用药量较少，且 ^{18}F 放射性核素半衰期较短，根据理论估算分析，在做好辐射防护的基础上，其运行时对周围环境辐射影响较小。综上所述，本项目周围无环境制约因素，项目选址基本合理。

本项目 PET 中心控制区和监督区划分明确，并设有单独的病人通道和医护人员通道，病人在控制区的通道为单向流动，注射后候诊室、留观室设有独立的卫生间，可有效避免用药病人对其它人员造成不必要照射，符合相关要求，布局合理。

5、辐射防护措施评价

本项目 PET 中心工作场所墙体将采用混凝土或实心砖+硫酸钡涂料，顶部采用混凝土，门采用铅防护门，观察窗和注射窗采用铅玻璃等实体屏蔽防护措施。根据理论预测及分析，本项目 PET 中心的屏蔽防护设计满足辐射防护要求，其控制区外和控制区内辐射剂量率均能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求。

6、辐射安全措施评价

(1) 检查室病人通道防护门上方设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与病人通道防护门设置门灯联锁装置；(2) 检查室病人通道防护门设置防夹装置和自动闭门装置；(3) 储源室和分装注射室防护门设置门禁，储源室内配置保险柜，用于贮存 PET 校准源，保险柜钥匙由专人保管；储源室和分装注射室内安装监控探头，监控显示器位于公司保卫处的值班室，实时监控放射性药物和放射源的情况；(4) 分装注射室、注射后候诊室、更衣室、检查室、留观室、抢救室、储源室、放射性固废暂存间的防护门表面、控制区病人进出口防护门、应急出口防护门表面以及通风橱、铅废物桶表面设置电离辐射警告标志；(5) 病人进出口防护门、应急出口防护门设置为单向门并设有门禁，入口只进不出，出口只出不进；(6) 分装注射室、注射后候诊室、更衣室、检查室、留观室、抢救室、患者缓冲区、患者走廊安装监控探头，并设置对讲系统，监控显示器位于控制走廊处；(7) 控制区内各防护门安装自动闭门装置；(8) PET 中心地面用明亮的颜色标出控制区和监督区的范围，并标出病人进出口通道和检查路线，同时在病人出口设置隔离栏和引导指示牌；(9) PET 中心工作场所墙面、地面拟采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接应做成圆角，且应有一定的坡度朝向地漏（如设地漏）；(10) 辐射工作人员操作后离开控制区前应洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区；(11) 辐射工作人员在控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品；(12) 为辐射工作人员和病人至少配备 2 套 0.5mmPb 的防护铅衣、铅围脖、铅帽、铅手套等个人防护用品；(13) 注射后候诊室、留观室内座椅之间用 10mm 铅当量的铅屏风屏蔽。在落实以上措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

7、辐射防护监测仪器评价

公司将为本项目配备 1 台辐射巡测仪、1 台表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪，配置后将满足辐射监测仪器配置要求。

8、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和本项目管理目标(职业人员年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.25mSv) 的剂量限值要求。

9、放射性废物处理措施评价

公司拟在⑧号裙楼的南侧新建一间衰变室，衰变室内设有 1 套间歇式放射性废水衰变系统，本项目 PET 中心产生的放射性废水经专用管道排至该放射性废水衰变系统，自然衰变十个半衰期，满足排放标准后排至园区的污水处理系统作为普通医疗废水处理，经园区污水处理系统处理后接市政污水管网，满足放射性废水处置要求，对周围环境影响很小。

本项目 PET 中心拟将设置单独的通风系统，并由单独的管道延伸至⑦号裙楼楼顶西北角排放，并在排放口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附；本项目放射性药物的操作均在专用铅通风橱内进行，通风橱设有独立的排风系统，风速不小于 1m/s，并由单独的管道延伸至⑦号裙楼楼顶西北角排放，并在排放口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。本项目产生的放射性废气排放满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。PET 中心正常运行过程中挥发的含有微量放射性核素的气体经排风系统外排并经活性炭过滤吸附后，对周围环境影响很小。

本项目 PET 中心的分装注射室、注射后候诊室、留观室、抢救室均设有铅废物桶，铅废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间相应的铅废物桶内，每日检查结束后统一收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在放射性固废暂存间内，待衰变十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为普通医疗废物统一处理；更换的活性炭过滤吸附材料暂存在放射性固废暂存间内，待衰变十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为普通医疗废物统一处理。本项目放射性固体废物处置满足相关要求，对周围辐射环境影响很小。

综上所述，本项目放射性废物收集和处理方法基本合理，放射性废物处置得当，符合环境保护要求。

10、辐射安全管理评价

宁波艾博医学影像诊断有限公司应成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并应以文件形式明确各成员的管理职责。公司应组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并通过考核，组织其参加个人剂量监测和职业健康体检，并为其建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。公司还应根据本项目具体情况制定相应的辐射安全管理规章制度，并在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。公司在落实和完善上述各项辐射防护措施及管理要求后，公司将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

可行性结论：

综上所述，宁波艾博医学影像诊断有限公司新建 PET 中心项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该院具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

建议与承诺

- (1) 根据新的法律法规和行业标准并结合实际工作，不断对规章制度进行补充完善。
- (2) 项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对辐射工作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。
- (3) 项目取得批复并建成后，公司需及时向生态环境主管部门申领辐射安全许可证。
- (4) 本项目竣工后，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，在3个月内对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过12个月。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使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见

经办人

公 章
年 月 日

审批意见

经办人

公 章
年 月 日

附表

“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	公司成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员的管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的管理要求。	/
辐射安全和防护措施	<p>屏蔽措施: PET 中心工作场所墙体采用混凝土或实心砖+硫酸钡涂料，顶部采用混凝土，门采用铅防护门，观察窗和注射窗采用铅玻璃等实体屏蔽防护措施。具体屏蔽防护措施见表 10-2。</p>	<p>PET 中心辐射剂量率满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求。 辐射工作人员和周围公众年受照剂量应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv。</p>	52
	<p>辐射安全措施: （1）检查室病人通道防护门上方设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与病人通道防护门设置门灯联锁装置； （2）检查室病人通道防护门设置防夹装置和自动闭门装置； （3）储源室和分装注射室防护门设置门禁，储源室内配置保险柜，用于贮存 PET 校准源，保险柜钥匙由专人保管；储源室和分装注射室内安装监控探头，监控显示器位于公司保卫处的值班室，实时监控放射性药物和放射源的情况； （4）分装注射室、注射后候诊室、更衣室、检查室、留观室、抢救室、储源室、放射性固废暂存间的防护门表面、控制区病人进出口防护门、应急出口防护门表面以及通风橱、铅废物桶表面设置电离辐射警告标志； （5）病人进出口防护门、应急出口防护门设置为单向门并设有门禁，入口只进不出，出口只出不进；</p>	<p>满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中的要求。</p>	

	<p>(6) 分装注射室、注射后候诊室、更衣室、检查室、留观室、抢救室、患者缓冲区、患者走廊安装监控探头，并设置对讲系统，监控显示器位于控制走廊处；</p> <p>(7) 控制区内各防护门安装自动闭门装置；</p> <p>(8) PET 中心地面用明亮的颜色标出控制区和监督区的范围，并标出病人进出口通道和检查路线，同时在病人出口设置隔离栏和引导指示牌；</p> <p>(9) PET 中心工作场所墙面、地面拟采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接应做成圆角，且应有一定的坡度朝向地漏（如设地漏）；</p> <p>(10) 辐射工作人员操作后离开控制区前应洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区；</p> <p>(11) 辐射工作人员在控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。</p> <p>(12) 注射后候诊室、留观室内座椅之间用10mm 铅当量的铅屏风屏蔽。</p>		
人员配备	<p>本项目所有辐射工作人员参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。</p>	1.0
	<p>本项目所有辐射工作人员配备个人剂量计，每3个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测及建立个人剂量监测档案的管理要求。</p>	1.0
	<p>本项目所有辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立职业健康监护档案。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员定期进行职业健康体检及建立职业健康监护档案的管理要求。</p>	1.0

监测仪器和防护用品	配备 1 台辐射巡测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器和防护用品的配置要求。	5.0
	配备 1 台表面沾污仪。		
	配备 2 台个人剂量报警仪。		
	配备至少 2 套 0.5mmPb 铅衣、铅围脖、铅帽、铅手套等个人防护用品。		
放射性“三废”处理措施	公司在⑧号裙楼的南侧新建一间衰变室，衰变室内设有 1 套间歇式放射性废水衰变系统，PET 中心产生的放射性废水经专用管道排至该放射性废水衰变系统，自然衰变十个半衰期，满足排放标准后排至园区的污水处理系统作为普通医疗废水处理，经园区污水处理系统处理后接市政污水管网。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于放射性废水处理的要求。	30.0
	PET 中心将设置单独的通风系统，并由单独的管道延伸至⑦号裙楼楼顶西北角排放，并在排放口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附；本项目放射性药物的操作均在专用铅通风橱内进行，通风橱设有独立的排风系统，风速不小于 1m/s，并由单独的管道延伸至⑦号裙楼楼顶西北角排放，并在排放口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于放射性废气处理的要求。	20.0
	PET 中心的分装注射室、注射后候诊室、留观室、抢救室均设有铅废物桶，铅废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间相应的铅废物桶内，每日检查结束后统一收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在放射性固废暂存间内，待衰变十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为普通医疗废物统一处理；更换的活性炭过滤吸附材料暂存在放射性固废暂存间内，待衰变十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为普通医疗废物统一处理。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于放射性固体废物处理的要求。	10.0
辐射安全管理	制定《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》、《辐射事故应急预案》等辐射安全管理制度，并在工作中将其落到实处。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。	/

注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入运行。