

核技术利用建设项目  
浙江省人民医院富阳院区核技术利用扩建项目  
环境影响报告表  
(公示稿)

浙江省人民医院  
二〇二一年十二月

生态环境部监制

核技术利用建设项目  
浙江省人民医院富阳院区核技术利用扩建项目  
环境影响报告表  
(公示稿)

建设单位名称：浙江省人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：葛\*\*

通讯地址：杭州市上塘路 158 号

邮政编码：310022 联系人：吴\*\*

电子邮箱：/ 联系电话：1\*\*\*\*\*

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称	浙江省人民医院富阳院区核技术利用扩建项目				
建设单位	浙江省人民医院				
法人代表	葛**	联系人	吴**	联系电话	1*****
注册地址	浙江省杭州市上塘路 158 号				
项目建设地点	浙江省人民医院富阳院区（杭州市富阳区春江街道富春湾新城）				
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（2019）308 号		
建设项目总投资（万元）	8000	项目环保投资（万元）	800	投资比例（环保投资/总投资）	10%
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 <sup>2</sup> ）	/
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 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 项目建设单位情况**

浙江省人民医院（以下简称为“医院”），是集医疗、科研、教学、预防、保健、康复于一体的大型综合性三级甲等医院，隶属于浙江省卫生健康委员会，学科齐全、设备先进、技术雄厚，以“院有品牌、科有特色、人有专长”享誉省内外，核准地址杭州市上塘路 158 号。医院成立于 1984 年，目前正在运营的有朝晖、望江山两个院区，其中朝晖院区为总院区。医院持有浙江省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证 [01021]，有效期至 2026 年 4 月 29 日，使用种类和范围为：使用 I 类、II 类、III 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封性放射物质，乙级、丙级非密封性放射物质工作场所。

为优化富阳的卫生服务体系，完善富春湾新城基础配套设施，加快江南新城发展，实现

拥江发展，同时也为拓展医院发展空间，提升服务能力，根据浙江省卫生和计生事业十三五发展规划提出的“鼓励和引导中心城区医疗资源向新建城区、郊区、卫星城区和基层延伸、转移，疏散中心城区过度密集的医疗资源，完善周边区域医疗资源配套”的要求，医院积极响应政府“双下沉”号召，经杭州市富阳区发展和改革局批复同意《关于省人民医院富阳院区项目可行性研究报告的批复》，文件号：富发改投资[2019]308号，医院拟在富阳区富春湾新城民主村地块建设富阳院区，该院区东临大桥南路，北侧为蔡伦路，西侧为竹筒路，南侧为同登路。新建院区按三级甲等综合性医院标准建设，规划床位1200张，总建筑面积318490平方米，其中地上总建筑面积210920平方米，地下总建筑面积107570平方米。富阳院区的建设既为富阳区提供配套相应医疗保健服务，也为医院发展开拓了必要的空间。

根据《省人民医院富阳院区可行性研究报告》及批复（富发改投资（2019）308号、《省人民医院富阳院区（一期）工程初步设计（说明部分）（报批稿）》及批复（富发改投资（2020）70号），具体内容如下：省人民医院富阳院区（一期）工程，主要分为北地块（综合医疗区）和南地块（行政科研区）。总建筑面积211990平方米，其中地上建筑面积140700平方米（其中，北地块119750平方米，主要由医疗综合楼、高压氧舱等组成，医疗综合楼包括：门急诊综合楼地下二层、地上四层，共34750平方米；医技楼地下二层、地上五层，共25950平方米；外科病房楼地下二层、地上十七层，共28950平方米；内科病房楼地下二层、地上十七层，共29300平方米；其它附属用房（感染科楼）地下二层，地上四层，共800平方米。南地块20950平方米：行政科研楼19720平方米，地上连廊1230平方米），地下总建筑面积71290平方米（北地块61493平方米，南地块9797平方米）。省人民医院富阳院区（一期）工程南北两个地块同步实施，本项目位于（一期）工程的北地块。

医院委托浙江清雨环保工程技术有限公司编制了《省人民医院富阳院区（一期）环境影响报告书》，于2021年3月1日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）27号。目前整个富阳院区正在建设中。

## 1.2 任务由来

因治疗与诊断的需要，医院拟在富阳院区北地块设置核医学单元、放射治疗单元和介入治疗单元。

### 1、核医学单元

核医学单元位于医疗综合楼外科病房楼地下1层东部核医学科，分为门诊区和病房区。门诊区含1台SPECT-CT（使用核素 $^{99m}\text{Tc}$ 显像诊断）和1台PET-CT（使用核素 $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、

$^{124}\text{I}$  和  $^{68}\text{Ga}$  显像诊断），使用  $^{131}\text{I}$  核素用于甲状腺功能测定及甲亢治疗；使用核素  $^{89}\text{Sr}$  用于骨转移癌治疗； $^{32}\text{P}$ （自制敷贴器）用于敷贴治疗；使用核素  $^{223}\text{Ra}$  用于前列腺癌骨转移治疗；使用核素  $^{225}\text{Ac}$  用于前列腺癌、急性髓细胞性白血病、胰腺导管腺癌的治疗。病房区使用  $^{131}\text{I}$  用于甲癌治疗，建有 6 间甲癌病房（均为双人间）；使用核素  $^{177}\text{Lu}$  用于成人中肠神经内分泌肿瘤治疗、前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的治疗。

## 2、放射治疗单元

放射治疗单元位于医疗综合楼外科病房楼地下 2 层东北侧，含 1 台电子直线加速器（最大 X 射线能量 15MV，最大电子线能量 18MeV）和 1 台  $^{192}\text{Ir}$  后装机（机内安装 1 枚  $^{192}\text{Ir}$  放射源，最大装源活度为  $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ （10Ci））。

## 3、介入治疗单元

介入治疗单元包括医疗综合楼医技楼 1 层介入治疗中心、2 层心脏重症监护病房（CCU）和 4 层复合手术室，含 4 台 DSA（最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1000mA）。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号）和《放射源分类办法》（国家环境保护局公告 2005 年第 62 号）；上述直线加速器、DSA 属于 II 类射线装置；SPECT-CT、PET-CT 属于 III 类射线装置；后装机使用  $^{192}\text{Ir}$ （铱-192）放射源，活度为  $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，属 III 类放射源。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，本项目地下 1 层核医学科工作场所（诊断与治疗工作场所）日等效操作量为  $3.76\times 10^9\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

对照中华人民共和国生态环境部令第 16 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-“医疗使用使用 III 类放射源的；生产、使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）”，本次环评类别为环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，浙江省人民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、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。

## 1.3 评价目的

（1）对医院辐射工作场所拟建址及周围环境进行辐射环境本底水平检测，以掌握该拟建

地的辐射环境背景水平；

(2) 通过理论计算和类比监测的方法进行环境影响评价，预测辐射项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染控制对策，为建设项目的工程设计和环境管理提供科学依据；

(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环境保护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。

## 1.4 建设内容与规模

经与建设单位核实，确定本次评价规模为：

### 1、核医学单元

本项目核医学工作场所拟建于医疗综合楼外科病房楼地下 1 层，共包括 2 个工作区域。

①核素门诊区：计划新建 1 间 SPECT-CT 机房，配置 1 台 SPECT-CT 装置，并使用放射性核素  $^{99m}\text{Tc}$  进行显像诊断；计划新建 1 间 PET-CT 机房，配置 1 台 PET-CT 装置，并使用放射性核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$  和  $^{68}\text{Ga}$  用于显像诊断（医院核医学单元内另设计有一间预备 CT 机房，暂不使用，不在本次评价范围内）；使用  $^{131}\text{I}$  用于甲测和甲亢治疗、使用  $^{89}\text{Sr}$  核素用于骨转移癌治疗； $^{177}\text{Lu}$  用于成人中肠神经内分泌肿瘤治疗、前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的诊断； $^{223}\text{Ra}$  用于前列腺癌骨转移治疗， $^{225}\text{Ac}$  用于前列腺癌、急性髓细胞性白血病、胰腺导管腺癌的治疗； $^{32}\text{P}$  用于皮肤敷贴治疗（ $^{32}\text{P}$ （V类）敷贴器使用将由医院另行进行建设项目环境影响登记备案，不在本次评价范围内，本环评仅评价其制作和运输过程）。

②核素病房区：计划新建 6 间核素病房，每间病房均为双人间，合计 12 个床位，使用  $^{131}\text{I}$  用于甲癌治疗， $^{177}\text{Lu}$  成人中肠神经内分泌肿瘤治疗、前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的治疗（医院拟施行同种核素集中住院治疗的管理方式，根据患者的预约提前制定入院计划，不同核素病人不在同一批次入院治疗，不会在病房区域同时开展  $^{131}\text{I}$  甲癌治疗和  $^{177}\text{Lu}$  前列腺癌治疗）。

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）文件，满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作核算：

(1) 有相对独立，明确的监督区和控制区划分；

(2) 工艺流程连续完整；

(3) 有相对独立的辐射防护措施。

本项目核医学科工作场所（诊断工作场所与治疗工作场所）作为一个整体相对独立，有明确的监督区和控制区，且操作流程相对连续，有独立的辐射防护措施，因此本项目核医学科可作为一个工作场所进行管理。经计算，本项目医疗综合楼外科病房楼地下1层核医学科工作场所非密封放射性核素日等效操作量为  $3.762 \times 10^9 \text{ Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目放射性核素均通过外购获得，医院承诺：在项目建成运行前确定放射性核素的出售单位，签订相关供货协议，确保售出单位有完善的环保手续和生产、销售的相关资质及许可，并且在今后项目投入运行后继续严格执行放射性核素来源的合法、合规管理。

## 2、放射治疗单元

放射治疗单元位于医疗综合楼感染科楼地下2层东北侧，本项目计划新建2间加速器机房及控制室、准备室等配套用房，其中西侧加速器机房配置1台直线加速器（II类射线装置，X射线能量15MV，电子线能量6~18MeV，主射方向为东西向、顶棚和地坪，1m处最大剂量率2400cGy/min），东侧加速器机房作为预留机房，不在本次评价范围内；新建1间后装机机房及控制室、准备室和储源间等配套用房，并配置1台后装机（使用 $^{192}\text{Ir}$ 放射源，活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{ Bq}$ ，属于III类放射源）。

## 3、介入治疗单元

介入治疗单元包含医疗综合楼医技楼1层D区西侧介入治疗中心、2层CE区心脏重症监护病房（CCU）和4层复合手术室。本项目计划在医疗综合楼医技楼1层介入治疗中心新建2间DSA机房（分别为1#DSA机房和2#DSA机房）、2层心脏重症监护病房（CCU）新建一间DSA机房（3#DSA机房）以及4层复合手术室新建1间DSA机房（4#DSA机房），每间DSA机房各配置1台DSA（均为单球管），一共4台DSA装置，最大管电压均为150kV，最大管电流，1000mA，属II类射线装置。

项目所用核素、密封源及射线装置情况如表1-1~1-4所示。

表 1-1 核素使用情况一览表

序号	建设内容	核素			使用场所	工作场所分级	用途
		种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)			
1	1台PET-CT	$^{18}\text{F}$ (使用)	$7.4 \times 10^9$	$7.4 \times 10^6$	医疗综合	$3.762 \times 10^9 \text{ Bq}$	显像诊断
		$^{18}\text{F}$ (贮存)	$2.22 \times 10^{10}$	$2.22 \times 10^6$			

		<sup>89</sup> Zr	1.48×10 <sup>8</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>	楼外科病房楼 地下1层 核医学科	乙级		
		<sup>124</sup> I	1.48×10 <sup>8</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>				
		<sup>68</sup> Ga	3.7×10 <sup>8</sup>	3.7×10 <sup>6</sup>				
2	1台 SPECT-CT	<sup>99m</sup> Tc	1.48×10 <sup>10</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>				显像诊断
3		<sup>131</sup> I	5.55×10 <sup>9</sup>	5.55×10 <sup>8</sup>				甲亢治疗
		<sup>131</sup> I	3.7×10 <sup>6</sup>	3.7×10 <sup>5</sup>				甲测
		<sup>131</sup> I	2.22×10 <sup>10</sup>	2.22×10 <sup>9</sup>				甲癌治疗
		<sup>131</sup> I 合计	2.755×10 <sup>10</sup>	2.755×10 <sup>9</sup>				/
4		<sup>89</sup> Sr	2.96×10 <sup>8</sup>	2.96×10 <sup>7</sup>				骨转移癌治疗
5		<sup>32</sup> P (液体)	4.44×10 <sup>8</sup>	4.44×10 <sup>7</sup>		自制敷贴器		
6		<sup>177</sup> Lu	7.4×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>8</sup>		成人中肠神经内分泌肿瘤治疗、前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的诊断治疗		
7		<sup>223</sup> Ra	3.7×10 <sup>6</sup>	3.7×10 <sup>7</sup>		前列腺癌骨转移治疗		
8		<sup>225</sup> Ac	7.4×10 <sup>6</sup>	7.4×10 <sup>7</sup>		前列腺癌、急性髓细胞性白血病、胰腺导管腺癌的治疗		

注：1、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）的规定，<sup>99m</sup>Tc的操作方式属于“很简单的操作”，<sup>131</sup>I的操作方式属于“简单的操作”；

2、因<sup>18</sup>F放射性药物供货商每天送药1次，考虑到<sup>18</sup>F的半衰期较短，医院需要根据当天最大用药量的4倍进行备药，即每次送药最多600mCi（7.4×10<sup>9</sup>×4=2.22×10<sup>10</sup>Bq），操作方式修正因子按源的贮存（液体）100计，则日<sup>18</sup>F（贮存）等效最大操作量为2.22×10<sup>6</sup>Bq。

表 1-2 本项目后装治疗机配置放射源使用情况一览表

序号	核素名称	数量	使用场所	单枚源活度	活动种类和范围
1	<sup>192</sup> Ir	1	后装机机房	3.7×10 <sup>11</sup> Bq (10Ci)	使用，III类放射源

表 1-3 本项目射线装置使用情况一览表

序号	射线装置名称	类别	数量	型号	主要参数	用途	机房位置	备注
1	医用电子直线加速器	II	1台	待定	X射线：15MV 电子：6-18MeV	放射治疗	医疗综合楼感染楼 地下2层	新购
2	DSA	II	2台	待定	150kV、1000mA	影像诊断和 介入治疗	医疗综合楼医技楼 1层D区西侧	新购
3	DSA	II	1台	待定	150kV、1000mA	影像诊断和 介入治疗	医疗综合楼医技楼 2层CE区南侧	新购
4	DSA	II	1台	待定	150kV、1000mA	影像诊断和 介入治疗	医疗综合楼医技楼 4层北侧	新购
5	PET/CT	III	1台	待定	150kV、800mA	显像诊断	医疗综合楼外科病	新购

6	SPECT/CT	III	1 台	待定	140kV、500mA	显像诊断	房楼地下 2 层	新购
---	----------	-----	-----	----	-------------	------	----------	----

## 1.5 项目选址和周边环境保护目标

### 1.5.1 医院地理位置

拟建浙江省人民医院富阳院区位于杭州市富阳区春江街道民主村，东至大桥南路，南至同登路，西至竹筒路，北至蔡伦路。院区东侧隔大桥南路为富春未来城（筹建中），南侧隔同登路为规划住宅小区，西侧隔竹筒路为原杭州富阳升华纸业有限公司（已搬迁，该地块规划为商业用地），北侧隔蔡伦路为公共绿地，绿地北侧为富春江街道办事处。医院富阳院区又分为南北两个院区，南北院区中间以马路（规划中）相隔，本项目核医学科、放射治疗单元和介入治疗单元均位于北院区。

### 1.5.2 本次环评辐射工作场所位置

本项目核医学科距离北院区地块用地红线东侧约 28m，南侧约 112m，西侧约 172m、北侧约 90m；放疗中心距离北院区地块用地红线东侧约 54m，南侧约 220m，西侧约 169m、北侧约 46m；介入治疗中心 DSA 机房距离北院区用地红线东侧约 108m，南侧约 151m，西侧约 120m、北侧 92m；心脏重症监护病房（CCU）距离用地红线东侧约 127m，南侧约 151m，西侧约 123m、北侧 300m；复合手术室 DSA 机房距离用地红线东侧约 112m，南侧约 171m，西侧约 138m、北侧 280m。本项目距离春江街道办事处最近距离为 191m。

因此，本项目核医学、放疗中心加速器和后装机机房、介入治疗单元 DSA 机房实体屏蔽边界外 50m 评价范围主要为医院内部、东侧大桥南路和北侧蔡伦路的部分区域，不涉及其他环境敏感区域。本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。

### 1.5.3 选址合理性分析

本项目用地属于医疗卫生用地城镇村道路用地，本次评价的辐射工作场所周边情况如下：

#### （1）核医学单元

核医学单元位于拟建于医疗综合楼外科病房楼地下 1 层核医学科，东面为实土层；南面为室外下沉庭院、办公室、阅片室等；西面为等候室、强电间、弱电间、楼梯间等，再往西为车库；北面为配电设备、送排风等机房，楼梯和电梯等，再往北为车库，上方为医疗综合楼外科病房楼一层 D 区、院内道路和中央花园，下方为车库。

#### （2）放射治疗单元

放射治疗单元位于拟建医疗综合楼感染科楼地下 2 层东北角放疗中心，含 2 间加速器机房（其中东侧 2#机房为预备用机房，不在本次环评范围内）和 1 间后装机机房。放疗中心东

侧为实土层，南侧为停车场，西侧为停车场，北侧为实土层，上层为车库和实土层，隔实土层为感染科用房，下层为实土层。

本项目 1#加速器机房位于放疗中心东北部，机房东面为 2#加速器机房（预留），再往东为实土层；北面为地下车库道路，再往北为地下土层；南面为加速器机房的准备室、控制室、配电房；西面为后装机机房和控制室、准备间，再往西为水冷机房和后装机治疗机房；楼上为地下 1 层实土层，再往上为附属楼房一层（感染门诊）各功能房间；楼下为实土层。后装机机房东侧为后装机控制室和准备间；南侧为过道、水井间和楼梯，西侧为储源间和库房；北侧为水冷机房；楼上为地下 1 层实土层，再往上为附属楼房一层（感染门诊）各功能房间；楼下为实土层。

### （3）介入治疗单元

介入治疗单元包含医疗综合楼医技楼 1 层 D 区介入治疗中心（2 台 DSA）、2 层 CE 区心脏重症监护病房（CCU）（1 台 DSA）和医技楼 4 层复合手术室（1 台 DSA），一共 4 台 DSA 装置。介入治疗中心 2 间 DSA 机房并列呈东西分布，中间被准备室和设备间隔开，为方便描述，将西侧 DSA 机房称为 1#DSA 机房，东侧 DSA 机房为 2#DSA 机房，2 层 CE 区心脏重症监护病房（CCU）为 3#DSA 机房，4 层复合手术室称为 4#DSA 机房。其中 1#DSA 机房东侧为准备室和设备间，南侧为病人廊，西侧紧邻污物暂存间，北侧为控制室，楼下为地下 1 层车库，楼上为电生理中心各功能用房；2#DSA 机房东侧为过道，南侧为病人廊，西侧为准备室和设备间，北侧为控制室，楼下为地下 1 层车库，楼上为电生理中心各功能用房；3#DSA 机房东侧为机房控制室和设备间，南侧临空，西侧为谈话间和准备间，北侧为污洗间和污物暂存间，楼下为通道和送风机房，楼上为是 ICU 病房；4#DSA 机房东侧和南侧为洁净走廊，西侧为准备室和设备间，北侧为污物走廊，楼下为供应中心，楼上为手术净化机房。

由上可见，项目周围不邻接产科、儿科、食堂等部门，周围无环境制约因素，项目拟建辐射工作场所实体边界外 50m 评价范围无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后，对周围环境与公众造成的影响是可接受的，故本项目的选址是合理的。

### 1.5.4 相关规划符合性分析

#### 1、主体功能区规划、土地利用总体规划及城乡规划符合性

本项目位于杭州富阳区春江街道民主村拟建浙江省人民医院富阳院区内，用地性质为医疗卫生用地，杭州市富阳区人民政府已出具建设用地批准书（富土字第（2019）360 号），

因此，项目符合控制性详细规划的相关要求，符合当地土地利用规划的要求。

## 2、“三线一单”符合性

### (1)与“生态保护红线”的相符性

生态保护红线是生态空间范围内具有特殊重要生态功能必须实行强制性严格保护的区域。《富阳区“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目属于“富阳区富阳江南新城城镇生活重点管控单元（ZH33011120009）”，不涉及杭州市生态红线保护区等敏感区域，因此，本项目符合生态保护红线的要求。

### (2)与“环境质量底线”的相符性

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址周围环境 $\gamma$ 辐射剂量属于正常本底范围。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。

### (3)与“资源利用上线”的相符性

本项目水、电等公共资源由当地专门部门供应，项目用地为医院用地；且整体而言本项目所用资源相对较小，也不占用当地其他自然资源和能源，因此本项目符合资源利用上限的要求。

### (4)与“环境准入负面清单”的相符性

本项目位于富阳区富阳江南新城城镇生活重点管控单元（ZH33011120009），为医院建设项目，满足管控措施，不在环境功能区负面清单内，符合环境准入负面清单的要求，管控要求及符合性分析详见表 1-4。

表 1-4 本项目所在管控单元分类准入清单

序号	内容		符合性分析	是否符合
1	空间布局约束	除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目，现有二类工业项目改建、扩建，不得增加污染物排放总量。严格执行畜禽养殖禁养区规定。	本项目为核技术利用项目，不属于工业项目；项目不属于畜禽养殖，不属于高污染燃料项目，满足该区“空间布局约束”	是
2	污染物排放管控	推进生活小区“零直排区”建设。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管。	本项目核技术利用项目，不属于工业项目，医疗设备均选用低噪声设备，射线设备曝光时产生的臭氧与氮氧化物量很少。臭氧在常温下 20-50 分钟后可自行分解为氧气。综合上述分析，项目实施后能满足该区“污染物排放管控”要求。	是

3	环境风险防控	合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。	本项目曝光过程中产生的极少量的臭氧、氮氧化物等气体经排风口排出，臭氧在常温下 20-50 分钟后可自行分解为氧气。如此符合该区“环境风险防控”要求。	是
4	资源开发效率要求	全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水。	项目运行过程推进清洁生产理念，节约资源，提高能源有效利用。	是

综上所述，本项目不涉及生态保护红线、符合环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单的要求，本项目的建设符合“三线一单”要求。

### 3、产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域内的运用，根据中华人民共和国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）》相关规定，本项目属于鼓励类项目，符合国家当前的产业政策；根据杭州市发展和改革委员会杭发改产业（2019）330号《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引（2019年本）》相关规定，本项目属于鼓励类项目，符合杭州市当前的产业政策。

### 4、达标排放符合性分析

经辐射环境影响预测，本项目经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，可以做到达标排放。

#### 1.5.5 实践正当性分析

核技术在医学上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。该项目的实施将会为医院带来良好的经济收益和显著的社会效益。本项目产生的经济收益与社会效益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

## 1.6 原有核技术利用项目许可情况

### 1.6.1 原有项目辐射安全许可证情况

医院已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[01021]；发证日期：2021年4月30日，有效期至2026年4月29日；许可的种类和范围：使用I类、II类、III类、V类放射源；使用II类、III类射线装置；乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

医院原有已许可的放射源、非密封放射性物质及射线装置情况见表 1-4~表 1-6。

### 1.6.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院原有射线装置共 42 台，其中放射诊断类、介入类设备共 38 台，放射治疗类设备 2 台，核医学类设备 2 台，均已进行环评或备案，并已取得验收批复或已进行自主验收；上述所有射线装置均已登记辐射安全许可证（浙环辐证[01021]）。医院历年环保手续履行情况详见表 1-4~表 1-6 所示。其中 1 台直线加速器及 1 台回旋加速器暂未实施购买。

医院应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。

表 1-4 现有放射源情况一览表

序号	核素	类别	总活度（贝克）/活度（贝克）×枚数	环评情况	验收情况
1	<sup>60</sup> Co	I类	2.2×10 <sup>14</sup> (Bq) *1 (聚集源)	浙环辐[2012]72 号	浙环辐验[2016]22 号
2	<sup>68</sup> Ge	V类	4.6×10 <sup>7</sup> (Bq) *2	杭环辐评批[2011]7 号	浙环辐验[2016]22 号
3	<sup>68</sup> Ge	V类	9.3×10 <sup>7</sup> (Bq) *1	杭环辐评批[2011]7 号	浙环辐验[2016]22 号
4	<sup>192</sup> Ir	III类	3.7×10 <sup>11</sup> (Bq) *1	杭环辐评批[2017]18 号	2018 年 7 月自主验收

表 1-5 现有非密封放射性物质使用情况一览表

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量	年最大用量	环评情况	验收情况
1	核医学科	乙级	<sup>18</sup> F	4.0×10 <sup>9</sup> Bq	2.0×10 <sup>13</sup> Bq	杭环辐评批[2011]7 号	浙环辐验[2016]22 号
2	核医学科	乙级	<sup>99m</sup> Tc	3.6×10 <sup>9</sup> Bq	9.0×10 <sup>13</sup> Bq	杭环辐评批[2011]7 号	浙环辐验[2016]22 号
3	核医学科	乙级	<sup>131</sup> I	8.8×10 <sup>8</sup> Bq	2.0×10 <sup>12</sup> Bq	杭环辐评批[2011]7 号	浙环辐验[2016]22 号
4	核医学科	乙级	<sup>89</sup> Sr	1.2×10 <sup>8</sup> Bq	3.0×10 <sup>11</sup> Bq	杭环辐评批[2011]7 号	浙环辐验[2016]22 号
5	核医学科	乙级	<sup>153</sup> Sm	4.4×10 <sup>8</sup> Bq	2.5×10 <sup>11</sup> Bq	杭环辐评批[2011]7 号	浙环辐验[2016]22 号
6	手术室	丙级	<sup>125</sup> I	1.036×10 <sup>7</sup> Bq	7.77×10 <sup>10</sup> Bq	杭环辐评批[2017]18 号	杭环辐验[2017]15 号
7	放疗中心	丙级	<sup>125</sup> I	1.036×10 <sup>7</sup> Bq	2.07×10 <sup>10</sup> Bq	杭环辐评批[2017]18 号	2018 年 7 月自主验收
8	核医学科	乙级	<sup>188</sup> Re	1.85×10 <sup>8</sup> Bq	2.22×10 <sup>11</sup> Bq	杭环辐评批[2017]18 号	2018 年 7 月自主验收
9	核医学科	乙级	<sup>32</sup> P	1.48×10 <sup>7</sup> Bq	1.776×10 <sup>10</sup> Bq	杭环辐评批[2017]18 号	2018 年 7 月自主验收
10	核医学科	乙级	<sup>131</sup> I	3.7×10 <sup>9</sup> Bq	1.85×10 <sup>12</sup> Bq	杭环辐评批[2020]18 号	建设中

表 1-6 医院现有射线装置情况一览表

序号	设备名称	类别	数量	型号	主要参数	环评情况	验收情况
1	回旋加速器	II类	1台	/	/	浙环辐[2011]7号	设备暂未实施购买
2	直线加速器	II类	1台	ONCOR Impress	10MeV	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2011]13号
3	直线加速器	II类	1台	/	/	杭环辐评[2017]18号	设备暂未实施购买
4	DSA	II类	1台	IGS520	150kV、1000mA	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2011]13号
5	DSA	II类	1台	AXIOM Artis	125kV、1000mA	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2011]13号
6	DSA	II类	1台	AlluraXper FD20	150kV、1000mA	浙环辐[2012]72号	浙环辐验[2016]22号
7	移动 X 光机	III类	1台	Brivo OEC850	110kV、20mA	杭环辐评批[2016]45号	浙环辐验[2017]15号
8	移动 X 光机	III类	1台	MUX-100J	110kV、100mA	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2011]13号
9	移动 X 光机	III类	1台	MUX-100J	110kV、100mA	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2011]13号
10	DR	III类	1台	Aristos VX	150kV、630mA	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2011]13号
11	SPECT	III类	1台	InfiniaVG3	140kV、2.5mA	浙环辐[2011]7号	浙环辐验[2016]22号
12	PET-CT	III类	1台	MCT64	140kV、800mA	浙环辐[2011]7号	浙环辐验[2016]22号
13	DR	III类	1台	Digital Diagnost	150kV、900mA	浙环辐[2011]7号	浙环辐验[2016]22号
14	DR	III类	1台	Digital Diagnost	125kV、500mA	浙环辐[2011]7号	浙环辐验[2016]22号
15	DR	III类	1台	DR-F	125kV、500mA	浙环辐[2011]7号	浙环辐验[2016]22号
16	CT	III类	1台	AS40	140kV、666mA	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2011]13号
17	移动 C 臂 X 光机	III类	1台	BV Libra	120kV、30mA	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2017]15号
18	移动 C 臂 X 光机	III类	1台	BV Libra	120kV、30mA	杭环辐评[2016]45号	2018年7月自主验收
19	CT	III类	1台	Brilliance	125kV、1000mA	浙环辐[2012]72号	已报废
20	骨密度仪	III类	1台	Lunar Prodigy	75kV、3mA	浙环辐[2012]72号	浙环辐验[2016]22号

21	CT	Ⅲ类	1台	AQUILION/ ONETSX-301A	140kV、 550mA	浙环辐[2011]7号	浙环辐验[2016]22号
22	DR	Ⅲ类	1台	Digital Diagnost	150kV、 1000mA	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2011]13号
23	数字胃肠机	Ⅲ类	1台	Iconos R200	120kV、 800mA	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2011]13号
24	牙片机	Ⅲ类	1台	Planmeca ProX	100kV、 50mA	杭环辐评批 [2016]45号	杭环辐验[2017]15号
25	口腔CT	Ⅲ类	1台	Planmeca Promax 3D	100kV、 15mA	杭环辐评批 [2016]45号	杭环辐验[2017]15号
26	移动X光机	Ⅲ类	1台	OEC 9900	150kV、 500mA	杭环辐评批 [2016]45号	杭环辐验[2017]15号
27	碎石机	Ⅲ类	1台	Duet Magna	150kV、 800mA	杭环辐评批 [2016]45号	杭环辐验[2017]15号
28	多排CT	Ⅲ类	1台	DISCOVERY CT590 RT	150kV、 800mA	杭环辐评批 [2016]45号	杭环辐验[2017]15号
29	移动X光机	Ⅲ类	1台	MOBILETT XP Digital	133kV、 450mA	杭环辐评批 [2016]45号	杭环辐验[2017]15号
30	移动X射线机	Ⅲ类	1台	XR220amx	140kV、 800mA	杭环辐评批 [2016]45号	杭环辐验[2017]15号
31	医用诊断X射线机	Ⅲ类	1台	Definium6000	120kV、 500mA	杭环辐评[2016]45号	2018年7月自主验收
32	CT	Ⅲ类	1台	SOMATOM Definition AS 40	140kV、 666mA	浙环辐[2007]13号	浙环辐验[2011]13号
33	骨密度仪	Ⅲ类	1台	Lunar IDXA	76kV、 3mA	浙环辐[2011]7号	浙环辐验[2016]22号
34	乳腺钼靶机	Ⅲ类	1台	Senographe Essential	28kV、 40mA	浙环辐[2016]13号	2018年7月自主验收
35	高频移动式C臂机	Ⅲ类	1台	XHX500	110kV、 5mA	杭环辐评[2017]18号	2018年7月自主验收
36	骨密度仪	Ⅲ类	1台	LUNAR Prodigy	76kV、 3mA	2019年4月15日备案	
37	移动式C臂X光机	Ⅲ类	1台	Cios Select S3	110kV、 8.4mA	2019年12月5日备案	
38	移动式X射机	Ⅲ类	1台	MobiEye 700T	150kV、 500mA	2019年12月5日备案	
39	CT	Ⅲ类	1台	Optima CT540	140kV、 380mA	2019年4月15日备案	
40	DSA	Ⅱ类	1台	Artis zee III ceiling	150kV、 1000mA	杭环辐评批 [2019]12号	2020年3月自主验收
41	DSA	Ⅱ类	1台	UNIQ FD10	150kV、 1000mA	杭环辐评批 [2019]12号	2020年3月自主验收

42	DSA	II类	1台	INNOVA IGS 52	150kV、 1000mA	杭环辐评批 [2019]12号	2020年3月自主验收
----	-----	-----	----	---------------	------------------	--------------------	-------------

医院上述放射性同位素及射线装置运行使用多年，无辐射安全事故，无环保投诉情况。

### 1.6.3 原有核技术利用项目管理情况

(1) 医院已成立了辐射安全管理委员会，制定了一系列的辐射工作管理制度，其中包括《放射科质量与安全管理制度》、《核医学科辐射管理制度》、《核医学科辐射事件报告制度》、《核医学科放射性药品管理制度》、《核医学科放射性药品管理制度》、《核医学科辐射危害告知制度》、《核医学科各室辐射监测制度》、《核医学科仪器管理、操作、保养和维修制度》、《核医学科放射性药品不良反应、放射性污染的紧急处理及报告制度》、《核医学科<sup>131</sup>I室制度》、《辐射事故应急预案》、《辐射安全与防护保卫制度》等。

医院原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，原有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。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。

(2) 医院已组织现有辐射工作人员在浙江卫生计生微信公众号上进行放射防护知识培训并考核合格。

(3) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立个人剂量档案并终生存档保存，个人剂量计每三个月送检一次。医院开展了2020年度辐射工作人员剂量监测，现有辐射工作人员最近一年个人剂量监测报告，由结果可以看出：医院核医学科现有辐射工作人员年度个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。

(4) 医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

(5) 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，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展核技术利用项目的辐射安全防护要求。

#### (6) 辐射应急演练和年度评估

医院已制定《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与医院核实，自核技术利用项目开展以来，未发生过辐射事故。

医院每年编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有核素和射线装置辐射工

作场所防护状况、人员培训及个人剂量、核素和射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况、监测仪器情况等年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

**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	<sup>192</sup> Ir	3.7×10 <sup>11</sup> /3.7×10 <sup>11</sup> ×1	III	使用	放射诊疗	后装机房	密封贮存在后装机内	新购

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	<sup>18</sup> F	液态，低毒 半衰期 109.7min	使用	7.4×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>6</sup>	2.59×10 <sup>12</sup>	PET 显像检查	很简单操作	核医学科分装注射室、PET-CT 机房	根据实际使用量向有资质的单位购买，购买后装有放射药品溶液的铅罐暂存于核医学科储源库
2	<sup>89</sup> Zr	液态，中毒 半衰期 3.3d	使用	1.48×10 <sup>8</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>	1.48×10 <sup>10</sup>	PET 显像检查	简单操作	核医学科分装注射室、PET-CT 机房	
3	<sup>124</sup> I	液态，中毒 半衰期 4.18d	使用	1.48×10 <sup>8</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>	1.48×10 <sup>10</sup>	PET 显像检查	简单操作	核医学科分装注射室、PET-CT 机房	
4	<sup>68</sup> Ga	液态，低毒 半衰期 68min	使用	3.7×10 <sup>8</sup>	3.7×10 <sup>6</sup>	3.7×10 <sup>10</sup>	PET 显像检查	简单操作	核医学科分装注射室、PET-CT 机房	
5	<sup>99m</sup> Tc	液态，低毒 半衰期 6.02h	使用	1.48×10 <sup>10</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>	3.7×10 <sup>12</sup>	SPECT 显像检查	很简单的操作	核医学科分装注射室、SPECT-CT 机房	
6	<sup>89</sup> Sr	液态，中毒 半衰期 50.5d	使用	2.96×10 <sup>8</sup>	2.96×10 <sup>7</sup>	7.4×10 <sup>10</sup>	肿瘤骨转移治疗	简单操作	核医学科分装注射室、给药处	
7	<sup>131</sup> I	液态，中毒	使用	5.55×10 <sup>9</sup>	5.55×10 <sup>8</sup>	2.405×10 <sup>12</sup>	甲亢治疗	简单操作	核医学科分装注射室、服碘室	

		半衰期 8.04d	使用	$3.7 \times 10^6$	$3.7 \times 10^5$		甲测	简单操作	核医学科分装注射室、甲测室
			使用	$2.22 \times 10^{10}$	$2.22 \times 10^9$		甲癌治疗	简单操作	核医学科给药处、甲癌病房
8	$^{32}\text{P}$ (液态)	液态, 中毒 半衰期 14.26d	使用	$4.44 \times 10^8$	$4.44 \times 10^7$	$1.11 \times 10^{11}$	自制敷贴器	简单操作	核医学科分装注射室
9	$^{177}\text{Lu}$	液态, 中毒 半衰期 6.71d	使用	$7.4 \times 10^9$	$7.4 \times 10^8$	$1.48 \times 10^{11}$	成人中肠神经内分泌肿瘤治疗、前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的治疗	简单操作	核医学科分装注射室、给药处、核素病房
10	$^{223}\text{Ra}$	液态, 极毒 半衰期 11.43d	使用	$3.7 \times 10^6$	$3.7 \times 10^7$	$1.11 \times 10^8$	前列腺癌骨转移治疗	简单操作	核医学科分装注射室、给药处
11	$^{225}\text{Ac}$	液态, 极毒 半衰期 9.9d	使用	$7.4 \times 10^6$	$7.4 \times 10^7$	$3.7 \times 10^7$	前列腺癌、急性髓细胞性白血病、胰腺导管腺癌的治疗	简单操作	核医学科分装注射室、给药处

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
1	医用电子直线加速器	II类	1台	待定	电子	X射线能量：15MV 电子线能量：6~18MeV	额定电流：180mA X射线最大剂量率： 2400cGy/min	放射 诊疗	医疗综合楼外科 病房楼地下2层 放疗中心1#加速 器机房	新增， 本次环评

(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	4台	待定	150	1000	诊疗	医疗综合楼医技楼1层D 区西侧1#、2#DSA机房、 2层CE区南侧3#DSA机 房、4层北部4#DSA机房	新增，本次环评
2	PET/CT	III类	1台	待定	150	800	显像诊断	医疗综合楼外科病房楼地 下2层核医学科	新增，本次环评
3	SPECT/CT	III类	1台	待定	140	500	显像诊断	医疗综合楼外科病房楼地 下2层核医学科	新增，本次环评

(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	
核医学单元	放射性废水	液态	工作场所清洗废水、病人排泄物，含核素 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>18</sup> F、 <sup>89</sup> Zr、 <sup>124</sup> I、 <sup>68</sup> Ga、 <sup>131</sup> I、 <sup>177</sup> Lu、	/	约 45.4m <sup>2</sup>	约 545m <sup>2</sup>	总α: ≤1Bq/L 总β: ≤10Bq/L	核医学科衰变池暂存	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中废水衰变时间和GB18466-2005规定的总α、总β限值后进入医院污水处理站，进一步处理后执排入市政管网
	放射性固废（一次性注射器、针头、手套、药棉等）	固态	医疗废物，含核素 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>18</sup> F、 <sup>89</sup> Zr、 <sup>124</sup> I、 <sup>68</sup> Ga、 <sup>89</sup> Sr、 <sup>131</sup> I、 <sup>32</sup> P、 <sup>177</sup> Lu、 <sup>223</sup> Ra、 <sup>225</sup> Ac、 <sup>32</sup> P	/	约 146.9kg	约 1762.5kg	放射性比活度小于其清洁解控水平	暂存于放射性污物间铅容器内	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性固废解控要求
	放射性废气	气态	主要为 <sup>131</sup> I	/	微量	微量	微量	不暂存	通过排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施过滤后，经由独立通风管道高出医疗综合楼的屋顶1.5m排放
	废活性炭	固态	主要为 <sup>131</sup> I	/	/	10kg（半年更换一次，每次5kg）	/	暂存于放射性污物间	10个半衰期后，经监测满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性固废解控要求
放射治疗单元	废 <sup>192</sup> Ir放射源	固态	<sup>192</sup> Ir	/	/	/	/	使用1.5个半衰期后即需更换，由供源方回收	
	废靶及其他强感生放射性部件	固态	/	/	/	/	/	根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对其外表面进行辐射剂量率监测，由设备生产厂家回收	
	感生放射性气体	气态	<sup>13</sup> N、 <sup>15</sup> O 等	/	极少量	/	/	经各排风管道排至楼顶	
	非放气态废弃物	气态	臭氧（O <sub>3</sub> ）、氮氧化物	/	极少量	/	/	经各排风管道排至楼顶	

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/m<sup>3</sup>；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/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法律文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法（2014 年修订）》，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）》，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》，国务院令第 682 号，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 年修改）》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性物品运输安全监督管理办法》，原环境保护部令第 38 号，2016 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 年修订）》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 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方法的公告》（原国家环保总局公告，2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日起实施）；</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>(14) 《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；</p> <p>(15) 《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>(16) 《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>(17) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态</p>
------	--

	<p>环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(18) 《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；</p> <p>(19) 《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；</p> <p>(20) 《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；</p> <p>(21) 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；</p> <p>(22) 《浙江省生态环境厅关于发布&lt;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）&gt;的通知》（浙环发[2019]22 号）；</p> <p>(23) 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》（浙江省生态环境厅 浙江省卫生健康委员会，浙环函[2019]248 号）；</p> <p>(24) 《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，浙江省人民政府办公厅，2018 年 9 月 28 日印发。</p>
技 术 标 准	<p>(1)《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）；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(3) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；</p> <p>(5) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>(6) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>(7) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>(8) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）；</p> <p>(9) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(10) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(11) 《表面污染测定（第 1 部分）：β发射体（<math>E_{\beta\max} &gt; 0.15 \text{ MeV}</math>）和α发射体（GB/T</p>

	<p>14056.1-2008)》；</p> <p>(12) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(13) 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ421-2008)；</p> <p>(14) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GBZ11930-2010)；</p> <p>(15) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)；</p> <p>(16) 《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)；</p> <p>(17) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：<math>\gamma</math>射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)；</p> <p>(18) 《医用X射线诊断设备质量控制检测规范》(WS76-2020)；</p> <p>(19) 《放射性物品安全运输规程》(GB 11806-2019)；</p> <p>(20) 《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》(GBZ/T 301-2017)；</p> <p>(21) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T244-2017)。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 浙江省人民医院提供的其它相关资料。</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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”，结合本项目的辐射污染特点（乙级非密封性放射性物质工作场所与射线装置），确定本项目的评价范围为本项目（将核医学科用房、放疗中心加速器机房、后装机机房及 DSA 机房看作一个整体）的实体边界外 50m 区域。

### 7.2 保护目标

根据现场踏勘情况，本项目辐射工作场所边界外 50m 范围主要为医院内部建筑及绿化带，无自然保护区、保护文物、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感点。

本次评价主要环境保护目标为评价范围内从事本项目的辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员和公众成员。详见表 7-1。

表 7-1 项目环评范围内环境保护目标一览表

场所	环境保护目标		规模	方位	最近距离
核医学科单元	职业	辐射工作人员	9 人	场所内部	相邻
	公众	护士站工作人员	2 人	西侧	相邻
		核医学科患者及家属	流动	西侧	8.3m
		医院其他工作人员	约 5 人	北侧	3.0m
		地下 1 层车库公众及其他公众	流动	西侧、北侧 50m 范围内	-9.7m
		医院其他工作人员	约 5 人	南侧	3.3m
		地上 1~地上 5 层医院其他工作人员	约 100 人	楼上 50m 范围内	相邻
		地上 1~地上 5 层患者及家属、地面公众及其他公众	流动	楼上 50m 范围内	相邻
		地下 2 层医院其他工作人员	约 20 人	楼下	-3.0m
		地下 2 层患者及家属、车库	流动	楼下	-3.0m

		公众及其他公众			
放射治疗单元	职业	辐射工作人员	12人	场所内	相邻
	公众	医院其他工作人员	约8人	南侧	3.5m
		放疗中心患者及家属	流动	南侧	0.3m
		地下二层车库公众及其他公众	流动	南侧50m范围内	46m
		地下二层车库公众及其他公众	流动	北侧、西侧50m范围内	相邻
		地上1层~地上5层医院其他工作人员	约200人	楼上50m范围内	+4.5m
		地下1层车库公众、地上1层~地上5层患者及家属及其他公众	流动	楼上50m范围内	相邻
介入治疗单元	职业	辐射工作人员	24人	场所内	相邻
	公众	医院其他工作人员	约250人	东侧、南侧、西侧和北侧50m范围内	相邻
		所在楼层患者及家属及其他公众	流动	东侧、南侧、西侧和北侧50m范围内	相邻
		地下2层~地上5层医院其他工作人员	约220人	楼上及楼上50m范围内	相邻
		地下2层~地上5层患者及家属及其他公众	流动	楼上及楼上50m范围内	相邻
其他	公众	院外公众	流动	东侧	28m
		院外公众	流动	北侧	46m
注：表格中“+”为垂直上方距离，“-”为垂直下方距离。					

### 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》（GB18871-2002）

##### （1）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）。

##### （2）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当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 B）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。

B1.1.1.1 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。

本环评中辐射工作人员取年有效剂量限值的 1/4 作为辐射工作人员年剂量约束值，即职业人员年有效剂量不超过 5mSv，其中眼晶体的年当量剂量不超过 37.5mSv，四肢（手和足）或皮肤的当量剂量不超过 125mSv 作为职业工作人员的年有效剂量约束值。

## ②公众照射

B1.2.1 款 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；

本项目取其四分之一，其他工作场所公众人员年有效剂量不超过 0.25mSv（核医学科和放射治疗中心公众人员年有效剂量不超过 0.1mSv）。

## （3）分区管理

### 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。

## （4）表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应

遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

**B2 款 表面污染控制水平**

工作场所的表面污染控制水平如表 7-2 所列。

**表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm<sup>2</sup>)**

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	4×10 <sup>1</sup>
	监督区	4
工作台、设备、墙壁、地面	控制区监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-1</sup>

<sup>1)</sup>该区内的高污染子区除外。

**(5) 非密封源工作场所的分级**

C1 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，如表 7-3 所列：

**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	>4×10 <sup>9</sup>
乙	2×10 <sup>7</sup> ~4×10 <sup>9</sup>
丙	豁免活度值以上~2×10 <sup>7</sup>

**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

### (6) 放射性物质向环境排放的控制

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 10ALImin(ALImin 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 1ALImin，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 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）

#### 7 放射性废物管理

##### 7.1 一般要求。

7.1.2应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

7.1.3应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。

7.1.4应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

##### 7.2放射性废液

7.2.1操作非密封源的单位，一般应建立放射性废液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废液排入普通下水道，相应控制应遵循GB 18871-2002的要求；不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品；不允许用渗井排放废液。

7.2.2废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

7.2.3经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

### 7.3放射性固体废物

7.3.1产生放射性固体废物的单位应当建立固体废物暂存库，确保储存的废物可回取。

7.3.2操作非密封源的单位产生的废物（包括废弃的放射源），应按要求送指定的废物暂存库暂存。送贮的废物应符合送贮条件。

7.3.3 对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。

### 7.4 放射性废气排放

7.4.1 对工作场所放射性废气或气溶胶的排放系统，应经常检查其净化过滤装置的有效性。

7.4.2 凡预计会产生大量放射性废气或气溶胶而可能污染环境的一次性操作，亦应采取有效的防护与安全措施和监督手段。

### 7.3.3 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

该标准适用于医疗机构污水排放的控制，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。

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端。已建有正常运行城镇污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

#### 5 处理工艺与消毒要求

5.4 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后，再排入医院污水处理站。

5.4.1 低放废水应经衰变池处理。

表 7-6 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
22	总 $\alpha$ (Bq/L)	1.0	1.0
23	总 $\beta$ (Bq/L)	10	10

#### 6 取样与监测

##### 6.1 污水取样与及监测

6.1.1 应按规定设置科室处理设施排出口和单位污水外排口，并设置排放口标志。

6.1.2 衰变池出口取样监测。

本项目适用于上述表 7.3-3 中预处理标准，医院衰变池排放口排放限值执行该标准：放射性废水衰变池排放口总 $\beta$ 满足不超过 10Bq/L。

### 7.3.4 《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）

#### 12 废物的贮存

##### 12.2.3 少量核技术应用废物的临时贮存

12.2.3.1 医院、学校、研究所和其他放射性同位素应用单位产生的少量放射性废物（包括废放射源），经审管部门批准可以临时贮存在许可的场所和专用容器中。贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限值。

12.2.3.2 应采用安全可靠的贮存容器，建立必要的管理办法，并配备管理人员，防止废物丢失或污染周围环境。

12.2.3.3 临时贮存期满前应把废物送往贮存库或废物处理、处置单位。

本项目使用的非密封放射性物质，半衰期较短，可以将放射性废物收集暂存，待衰变时间超过所含半衰期最长核素的 10 个半衰期后，按医疗废物委托有资质单位处置。

### 7.3.5 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

#### 5 工作场所的放射防护要求

##### 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；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

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 GB18871 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 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。不同类别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见下表，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表 7-7 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

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接触无缝隙	与墙壁接触无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
手套箱	需要	需要	不必须
通风	特殊的强通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 <sup>a</sup>	普通管道	普通管道
盥洗及去污	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup>

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开关控制。

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手套箱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。

5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式，<sup>131</sup>I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。

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。回旋加速器机房内应装备应急对外通讯设施。

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 2.5μSv/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 25 $\mu$ Sv/h，宜不大于 2.5 $\mu$ Sv/h；核医学工作场所的手套箱或生物安全柜，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  $\mu$ 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。屏蔽计算中所涉及的常用放射性药物理化特性参见附录 H。PET 相关房间的辐射屏蔽计算方法和示例参见附录 I。

5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容，工作场所放射防护检测方法见附录 J。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见下表。

表 7-8 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm<sup>2</sup>)

表面类型		$\alpha$ 放射性物质		$\beta$ 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	4	4 $\times 10^1$	4 $\times 10^1$
	监督区	4 $\times 10^{-1}$	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区监督区	4 $\times 10^{-1}$	4 $\times 10^{-1}$	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4 $\times 10^{-2}$	4 $\times 10^{-2}$	4 $\times 10^{-1}$

<sup>1)</sup>该区内的高污染子区除外。

## 6 操作中的放射防护要求

### 6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

#### 6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），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。

当使用的 <sup>99m</sup>Tc 活度大于 800 MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作 <sup>68</sup>Ga、<sup>18</sup>F 等正电子放射性药物和 <sup>131</sup>I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

#### 6.1.2 辅助用品

根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、

托盘、长柄镊子、手套箱或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。防护手套箱的典型屏蔽厚度参见附录 I。

## 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。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在手套箱内进行。手套箱保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

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。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 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 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。

6.2.15 核医学放射工作人员应按 GBZ128 的要求进行外照射个人监测，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续 5

年期间，年平均当量剂量不超过 20mSv，任何 1 年中的当量剂量不超过 50mSv；操作大量气态和挥发性物质的工作人员，例如近距离操作  $^{131}\text{I}$  的工作人员，宜按照 GBZ 129 的要求进行内照射个人监测。

### 7.3.6 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

#### 6 工作场所放射防护要求

##### 6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室,尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； $\gamma$ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

6.1.7 使用移动式电子加速器的手术室应设在医院手术区的一端，并和相关工作用房（如控制室或专用于加速器调试、维修的储存室）形成一个相对独立区域，移动式电子加速器的控制台应与移动式电子加速器机房分离，实行隔室操作。

##### 6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，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；通风换气次数应不小于 4 次/h。

##### 6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30 cm 处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述 a）、b）和 c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平

$\dot{H}_c$ ：

a) 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求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平  $H_c$ ，见下式：

$$\dot{H}_c \leq \dot{H}_e / (t \times U \times T)$$

式中：

$\dot{H}_c$  —— 周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

$\dot{H}_e$  —— 周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周（ $\mu\text{Sv/周}$ ），其值按如下方式取值：  
放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

t —— 设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

U —— 治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T —— 人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录 A。

b) 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  $H_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

2) 人员居留因子  $T \leq 1/2$  的场所： $H_{c,max}(\mu\text{Sv/h}) \leq 10\mu\text{Sv/h}$ ；

c) 由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平  $H_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ），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  $\dot{H}_c$ 。

6.3.1.2 对移动式电子加速器治疗机房墙和入口门外 30 cm 处，当居留因子  $T \geq 1/2$  时，其周围剂量当量率参考控制水平为  $\dot{H}_c \leq 10\mu\text{Sv/h}$ ，当  $T < 1/2$  时， $\dot{H}_c \leq 20\mu\text{Sv/h}$ 。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处，或在该

立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。

6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

### 6.3.3 屏蔽材料

屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。

## 6.4 安全装置和警示标志要求

### 6.4.1 监测报警装置

含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。

### 6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

### 6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

- a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；
- b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

### 6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.4.2 放射源后装近距离治疗工作场所，应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以治疗房内墙面各设置一个急停开关。

### 6.4.5 应急储存设施

6.4.5.1  $\gamma$ 源后装治疗设施应配备急储器。

6.4.5.2 中子源后装治疗设施应配备符合需要的急储水池。

### 6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还

应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

### 7 放射治疗操作中的放射防护要求

7.1 对于高于 10 MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。

7.2 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。

7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全连锁，应保障安全连锁正常运行。

7.4 工作人员进入涉放射源的放射治疗机房时应佩戴个人剂量报警仪。

7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视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。

### 7.3.7 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

#### 6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.4 移动式 X 射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

6.1.5 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 7-9 的规定。

表 7-9 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 <sup>d</sup> m <sup>2</sup>	机房内最小单边长度 <sup>e</sup> m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线设备 <sup>b</sup> （含 C 形臂乳腺 CBCT）	20	3.5

<sup>b</sup> 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。

## 6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 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 7-10 的规定。

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

**表 7-10 不同类型 X 射线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（不含头颅移动 CT）CT 模拟定位机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7-11 的要求。

6.2.4 距 X 射线设备表面 100cm 处的周围剂量当量率不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  时且 X 射线设备表面与机房墙体距离不小于 100cm 时，机房可不作专门屏蔽防护。

6.2.5 车载机房应有固定屏蔽，除顶部和底部外，屏蔽应满足表 7.3-8 中屏蔽防护铅当量厚度要求。

## 6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪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  $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于  $0.25\text{mSv}$ ；

d) 车载式诊断 X 射线设备工作时，应在车辆周围 3m 设立临时控制区，控制区边界的周围剂量当量率应符合 6.3.1 中 a)~c) 的要求。

6.3.2 机房的辐射屏蔽防护检测方法按第 8 章和附录 B 的要求。

6.3.3 宜使用能够测量短时间出束和脉冲辐射场的设备进行测量，若测量仪器达不到响应时间要求，则应对其读数进行响应时间修正，修正方法参见附录 D。

## 6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

6.4.11 车载式诊断 X 射线设备工作场所的选择应充分考虑周围人员的驻留条件，X 射线有用线束应避开人员停留和流动的路线。

6.4.12 车载式诊断 X 射线设备的临时控制区边界上应设立清晰可见的警告标志牌（例如：“禁止进入 X 射线区”）和电离辐射警告标志。临时控制区内不应有无关人员驻留。

## 6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-11 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。

6.5.2 车载式诊断 X 射线设备机房个人防护用品和辅助防护设施配置要求按照其安装的设备类型参照表 7-11 执行。

6.5.3 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。

6.5.4 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。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

6.5.6 对于移动式 X 射线设备使用频繁的场所（如：重症监护、危重病人救治、骨科复位等场所），应配备足够数量的移动铅防护屏风。

表 7-11 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
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影 <sup>a</sup>	—	—	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	可调节防护窗口的立位防护屏；选配：固定特殊受检者体位的各种设备
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影 <sup>a</sup>	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶手套、铅防护眼镜	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	可调节防护窗口的立位防护屏；选配：固定特殊受检者体位的各种设备
口内牙片摄影	—	—	大领铅橡胶颈套	—
牙科全景体层摄影，口腔 CBCT	—	—	大领铅橡胶颈套 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	—
床旁摄影	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套	—	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	移动铅防护屏风 <sup>b</sup>
骨科复位等设备旁操作	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶手套、铅防护眼镜	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	—
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	—

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。

a 工作人员、受检者的个人防护用品和辅助防护设施任选其一即可。

b 床旁摄影时的移动铅防护屏风主要用于保护周围病床不易移动的受检者。

### 7.3.8 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部份：一般原则》（GBZ/T 201.1—2007）

居留因子参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）选取，具体数值选取见表 7-12。

表 7-12 居留因子的选取

场所	居留因子		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	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
偶然停留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室房门; 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: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

### 7.3.9 《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）

#### 4.2 剂量控制要求

##### 4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

a) 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，可以依照附录 A，

由以下周剂量参考控制水平（ $H_c$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平  $H_{c,d}(\mu\text{Sv}/h)$ ：

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

2) 放射治疗机房外非控制区的人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平

$H_{c,max}(\mu\text{Sv}/h)$ ：

1) 人员居留因子  $T \geq 1/2$  的场所： $H_{c,max}(\mu\text{Sv}/h) \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ ；

2) 人员居留因子  $T < 1/2$  的场所： $H_{c,max}(\mu\text{Sv}/h) \leq 10\mu\text{Sv}/h$ ；

c)由上述 a)中的导出剂量率参考控制水平  $H_{c,d}$  和 b)中的最高剂量率参考控制水平  $H_{c,max}$

选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平  $H_c(\mu\text{Sv}/h)$ 。

#### 4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面 30cm 处和 (或) 在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 可以根据机房外周剂量参考控制水平  $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$  和最高剂量率  $H_{c,max}(\mu\text{Sv}/h) \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ , 按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平  $H_c(\mu\text{Sv}/h)$  加以控制。

b) 除 4.2.2 中 a)的条件外, 应考虑下列情况:

1)天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量 (率) 的总和, 应按 4.2.2 中的 a)确定关注点的剂量率参考控制水平  $H_c(\mu\text{Sv}/h)$  加以控制;

2)穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量  $250\mu\text{Sv}$  加以控制;

3)对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 考虑上述 1)和 2)之后, 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 (可在相应处设置辐射告示牌)。

### 7.3.10 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分: $\gamma$ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)

本项目后装治疗机预测方法主要依据 GBZ/T 201.3-2014。另外:

#### 4.1 剂量控制要求

##### 4.2.1 治疗机房墙外和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

a) 使用放射治疗年工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子, 可以依照附录 A, 由以下周剂量参考控制水平  $H_c(\mu\text{Sv}/\text{周})$ 求得关注点的导出剂量率参考控制水平  $H_{c,d}(\mu\text{Sv}/h)$ :

放射治疗机房外控制区的工作人员:  $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ;

放射治疗机房外非控制区的工作人员:  $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子 (T) 的下列不同, 确定关注点的最高剂量率参考控制水平

$H_{c,max}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) :

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

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

c) 由上述 a)中的导出剂量率参考控制水平  $H_{c,d}$  和 b)中的最高剂量率参考控制水平  $H_{c,max}$ , 选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平  $H_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )。

#### 4.1.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b)两种情况控制:

a)在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立角区域时, 距治疗机房顶外表面 30cm 处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 可以根据机房外周围剂量参考控制水平  $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$  和最高剂量率  $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ , 按照 4.1.1 求得关注点的剂量率参考控制水平  $H_c$  加以控制。

b) 除 4.1.2 中 a)的条件外, 应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和, 应按 4.1.2 中的 a)确定关注点的剂量率参考控制水平  $H_c$  加以控制;

2) 穿出治疗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;

3) 对无人员停留并只有借助工具才能进入的机房顶, 考虑上述 1) 和 2) 之后, 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。

#### 4.2.3 治疗机房一般屏蔽要求

除需满足 GBZ/T201.1 的要求外,  $\gamma$ 射线源放射治疗机房屏蔽应考虑以下内容:

a)后装治疗按  $4\pi$ 发射的点源考虑机房屏蔽, 应在治疗机房的平面标识出相应机房外可能受照剂量最高的使用位置, 作为计算屏蔽时的辐射源参考位置。

e) 后装治疗机房应设置迷路。

### 7.3.11 《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》(WS76-2020)

表 7-13 X 射线透视设备通用检测项目与技术要求

序号	检测项目	检测要求	验收检测 判定标准	状态检测 判定标准	稳定性检测		条编号
					判定标准	周期	
1	透视防护区检测 平面上周围剂量	非直接荧光 屏透视设备	$\leq 400.0$	$\leq 400.0$	$\leq 400.0$	六个月	4.7

### 7.3.12 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

#### 4.4 剂量限值与剂量约束值

##### 4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

##### 4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过  $5\text{mSv/a}$ ；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过  $0.1\text{ mSv/a}$ 。

##### 4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB18871 执行。

#### 4.5 服药患者出院要求

4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录 B 的相关规定。

4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至  $400\text{ MBq}$  以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于  $25\ \mu\text{Sv/h}$  方可出院。

#### 6.2 场所安全措施要求

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在手套箱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

### 7.3 液态放射性废物的管理

#### 7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，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。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、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，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

### 7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

### 7.3.3 放射性废液排放

#### 7.3.3.1 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) 放射性废液总排放口总 $\alpha$ 不大于 1 Bq/L、总 $\beta$ 不大于 10 Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，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、排放时间、监测结果等信息。

## 7.3.13 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

4.9 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 5 mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

## 5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

## 5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

## 6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

### 6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

#### 6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30 cm 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、拟建二层建筑物或在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 30 cm 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 30 cm 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）。

### 8 放射性废物管理要求

#### 8.2.2 其他固体废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固体废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控

水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

### 7.3.14 工作场所中臭氧、氮氧化物浓度限值

根据《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）：工作场所空气中臭氧的最高容许浓度为  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 、氮氧化物的时间加权平均容许浓度为  $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

### 7.3.15 放射性废气排放标准

本项目  $^{124}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$  为挥发性核素，放射性废气排放控制建议值如下：

表 7-14  $^{131}\text{I}$ 、 $^{124}\text{I}$  放射性废气浓度控制建议值

核素名称	公众	
	浓度限值 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	吸入总活度 (Bq)
$^{124}\text{I}$	109.4	$2.27 \times 10^4$
$^{131}\text{I}$	16.27	$1.35 \times 10^4$

计算过程说明：

①公众取  $0.1\text{mSv}/\text{a}$ ， $^{124}\text{I}$  每天分装、注射按 1 小时计，则每周 5 小时，一年以 50 周计，呼吸量为  $0.83\text{m}^3/\text{h}$ ； $^{131}\text{I}$  每天分装按 4 小时计，则每周 20 小时，一年以 50 周计，呼吸量为  $0.83\text{m}^3/\text{h}$ ；公众外照射剂量转换因子取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B7 中年龄大于 17 岁 F、M、S 三种状态下的  $^{124}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$  最大值（ $4.4 \times 10^{-9}\text{Sv}/\text{Bq}$ 、 $7.4 \times 10^{-9}\text{Sv}/\text{Bq}$ ）。

②吸入总活度=公众有效剂量年剂量限值/公众外照射剂量转换因子。

③浓度限值=吸入总活度/时间（小时）/呼吸量。

## 表 8 环境质量及辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

拟建浙江省人民医院富阳院区位于杭州市富阳区春江街道民主村，东至大桥南路，南至同登路，西至竹筒路，北至蔡伦路。本项目核医学科拟建于医疗综合楼外科病房楼地下 1 层，放射治疗单元位于医疗综合楼外科病房楼地下 2 层东北角放疗中心，介入治疗单元包含医疗综合楼医技楼 1 层 D 区西侧介入治疗中心和 4 层复合手术室。

### 8.2 环境现状评价对象

拟建项目区域及周边环境

### 8.3 监测因子

X- $\gamma$ 辐射剂量率、中子辐射剂量当量率、 $\alpha$ 表面污染和 $\beta$ 表面污染

### 8.4 监测点位

根据《环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-1993）（本项目辐射现状监测时间为 2021 年 3 月 25 日，新规范尚未实施，因此检测依据沿用老规范）、《表面污染测定 第 1 部分： $\beta$ 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 $\alpha$ 发射体》（GB/T14056.1-2008）等要求，结合现场条件，对本项目辐射装置拟建场地处进行监测布点，共布设 30 个监测点位，布点情况见图 8-1，监测报告。

### 8.4 监测方案

- （1）监测单位：浙江亿达检测技术有限公司
- （2）监测时间：2021 年 3 月 25 日、2021 年 3 月 30 日
- （3）监测方式：现场检测
- （4）监测依据：《环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-1993）、《表面污染测定 第 1 部分： $\beta$ 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 $\alpha$ 发射体》（GB/T14056.1-2008）
- （5）监测频次：依据标准予以确定
- （6）监测工况：辐射环境本底
- （7）天气环境条件

(8) 监测仪器

表 8-1 监测仪器基本情况

检测仪器	X、 $\gamma$ 辐射周围剂量当量率仪	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪	中子剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD (内置探头: 6150 AD-b/H 外置 探头: 6150 AD 6/H)	BH3206/35	BH3105
仪器编号	167510+165455	35	001
生产厂家	Automess	中核(北京)核仪器厂	中核(北京)核仪器厂
量 程	内置探头: 0.05 $\mu$ Sv/h~ 99.99 $\mu$ Sv/h 外置探头: 0.01 $\mu$ Sv/h~ 10mSv/h	$\alpha$ : ( $10^2 \sim 10^5$ ) /min·2 $\pi$ sr $\beta$ : ( $10^3 \sim 10^6$ ) /min·2 $\pi$ sr	0.1 $\mu$ Sv/h -100mSv/h
能量范围	内置探头: 20keV-7MeV $\leq \pm 30\%$ 外置探头: 60keV-1.3MeV $\leq \pm 30\%$	---	热中子-14MeV
检定证书编号	2020H21-20-2925395002	2020H21-20-2925388001	DLjs2020-00653
检定证书有效期	2020年12月22日至2021年 12月21日	2020年12月17日至2021 年12月16日	2020年05月28日至2021 年05月27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	中国计量科学研究院
校准因子 $C_f$	1.19	7.30	1.164

### 8.5 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位, 保证各监测点位布设的科学性和可比性, 同时满足标准要求。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准, 监测人员经考核并持合格证书上岗。
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定, 检定合格后方可使用。
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常, 并用检验源对仪器进行校验。
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器, 并做好记录。
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度, 经过校核、审核, 最后由技术负责人审定。

### 8.6 监测结果及评价

监测结果分别见表8-2~表8-4。

表 8-2 辐射工作场所拟建址地表 $\gamma$ 辐射剂量当量率检测结果

点位编号	点位描述	γ辐射剂量率(nSv/h)	
		平均值	标准差
▲1	辐射工作场所拟建址东侧	110	2
▲2	辐射工作场所拟建址南侧	103	2
▲3	辐射工作场所拟建址西侧	101	2
▲4	辐射工作场所拟建址北侧	109	3
▲5	辐射工作场所拟建址 5 号点	112	1
▲6	辐射工作场所拟建址 6 号点	113	1
▲7	辐射工作场所拟建址 7 号点	126	3
▲8	辐射工作场所拟建址 8 号点	119	3
▲9	辐射工作场所拟建址 9 号点	118	1
▲10	辐射工作场所拟建址 10 号点	124	2

注：1、上表所列检测值均未扣除宇宙射线响应；

2、检测点位见图 8-1。

**表 8-3 辐射工作场所拟建址中子辐射剂量当量率检测结果**

点位编号	点位描述	中子辐射剂量率(μSv/h)
△1	辐射工作场所拟建址东侧	<LLD
△2	辐射工作场所拟建址南侧	<LLD
△3	辐射工作场所拟建址西侧	<LLD
△4	辐射工作场所拟建址北侧	<LLD
△5	辐射工作场所拟建址 5 号点	<LLD
△6	辐射工作场所拟建址 6 号点	<LLD
△7	辐射工作场所拟建址 7 号点	<LLD
△8	辐射工作场所拟建址 8 号点	<LLD
△9	辐射工作场所拟建址 9 号点	<LLD
△10	辐射工作场所拟建址 10 号点	<LLD

注：1、上表所列检测值均未扣除宇宙射线响应；

2、该设备的探测下限为 0.1μSv/h，记为 LLD；

3、检测点位见图 8-1。

**表 8-4 辐射工作场所拟建址β表面污染检测结果**

点位编号	点位描述	检测结果 Bq/cm <sup>2</sup>
◆1	辐射工作场所拟建址东侧	<LLD
◆2	辐射工作场所拟建址南侧	<LLD
◆3	辐射工作场所拟建址西侧	<LLD
◆4	辐射工作场所拟建址北侧	<LLD
◆5	辐射工作场所拟建址 5 号点	<LLD
◆6	辐射工作场所拟建址 6 号点	<LLD

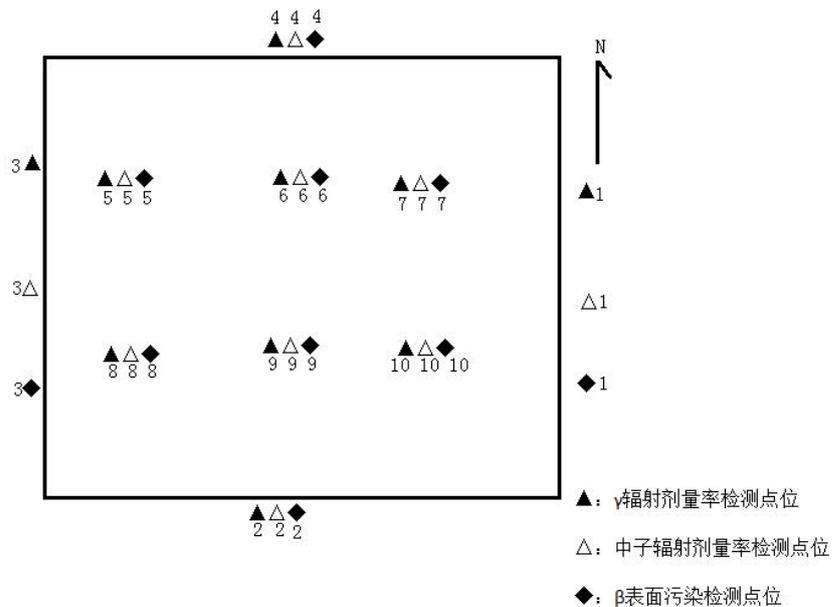
◆7	辐射工作场所拟建址 7 号点	<LLD
◆8	辐射工作场所拟建址 8 号点	<LLD
◆9	辐射工作场所拟建址 9 号点	<LLD
◆10	辐射工作场所拟建址 10 号点	<LLD

- 注：1、 上表所列检测值均未扣除宇宙射线响应；  
 2、 该设备的探测下限为 0.08 Bq/cm<sup>2</sup>，记为 LLD；  
 3、 检测点位见图 8-1。

**表 8-5 辐射工作场所拟建址α表面污染检测结果**

点位编号	点位描述	α表面污染(Bq/ cm <sup>2</sup> )
△1	辐射工作场所拟建址东侧	<LLD
△2	辐射工作场所拟建址南侧	<LLD
△3	辐射工作场所拟建址西侧	<LLD
△4	辐射工作场所拟建址北侧	<LLD
△5	辐射工作场所拟建址 5 号点	<LLD
△6	辐射工作场所拟建址 6 号点	<LLD
△7	辐射工作场所拟建址 7 号点	<LLD
△8	辐射工作场所拟建址 8 号点	<LLD
△9	辐射工作场所拟建址 9 号点	<LLD
△10	辐射工作场所拟建址 10 号点	<LLD

- 注：1、 上表所列检测值均未扣除宇宙射线响应；  
 2、 α表面污染的探测限为 0.02 Bq/ cm<sup>2</sup>，记为 LLD；  
 3、 检测点位见图 8-2。



**图 8-1 本项目辐射工作场所拟建址监测布点示意图(X-γ 辐射剂量率、中子辐射剂量当量率和β表面污染)**

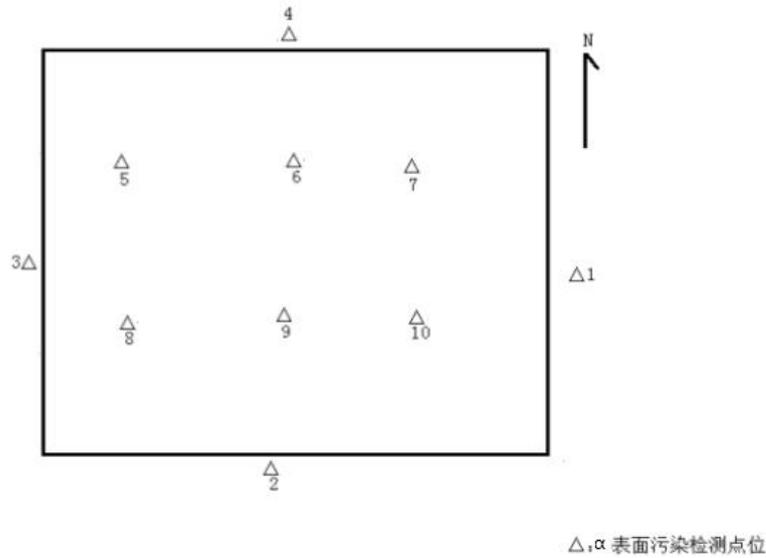


图 8-2 本项目辐射工作场所拟建址监测布点示意图（ $\alpha$ 表面污染）

由表8-2和表8-3的监测结果可知：本项目拟建址的 $\gamma$ 辐射剂量率在101~126nSv/h之间（根据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021），按空气比释动能与周围剂量当量的转换系数为1Gy=1.2Sv计算，本项目拟建址的 $\gamma$ 辐射剂量率在84~105nGy/h之间），由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，杭州市道路上 $\gamma$ 辐射剂量率在28~220nGy/h之间；中子辐射剂量当量率为未检出，可见本项目相关辐射工作场所拟建址的 $\gamma$ 辐射剂量率和中子辐射剂量当量率处于一般本底水平，未见异常。

由表8-4和表8-5监测结果可知，本项目核医学科内拟建址的 $\alpha$ 表面污染和 $\beta$ 表面污染低于检出限（分别为0.02Bq/cm<sup>2</sup>和0.08Bq/cm<sup>2</sup>），满足要求。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 建设阶段工程分析

本项目拟建的核医学单元、放射治疗单元及介入治疗单元等均位于新建浙江省人民医院富阳院区内，目前医院富阳院区尚在施工建设中，其建设阶段的工程分析和环境影响分析见《浙江人民医院富阳院区项目环境影响报告书》（环评批复文号：富环许审（2021）27号）。

本项目各辐射工作场所相关设备安装不涉及放射性药物的使用，仅射线装置调试阶段会产生 X 射线，同时设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。调试阶段应在已经做好辐射防护的机房内进行，张贴辐射警示标识，避免无关人员靠近，经墙体的屏蔽及距离衰减后对环境的影响可以接受的。

### 9.2 运行阶段工程分析

本项目主要涉及直线加速器、后装治疗机、DSA 等放射诊疗设备和多种放射性核素的使用，按照其使用功能的不同划分为 3 个评价单元进行描述：核医学单元、放射治疗单元、介入治疗单元。本项目建成后运营方为浙江省人民医院，项目相关辐射工作人员部分为朝晖院区调剂，部分为新招聘。

#### 9.2.1 核医学单元

##### （一）项目概况

本项目核医学辐射工作场所位于拟建医疗综合楼外科病房楼地下1层，主要业务用房具体分为SPECT机房（使用 $^{99m}\text{Tc}$ ）、PET-CT机房（使用 $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ ）、核医学科给药室、分装注射室和甲癌病房等（ $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{32}\text{P}$ （液体）、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 等治疗项目）。 $^{131}\text{I}$ 采用自动分装给药机分装给药， $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 采用自动分装注射机注射。本项目核医学工作场所使用的核素均按照每日用量提前订购，运输到医院后当日可在源库暂存，不贮存。

##### （1）核素治疗

本项目核医学科核素治疗工作涉及  $^{131}\text{I}$  甲癌治疗、 $^{131}\text{I}$  甲亢（含甲测）治疗、 $^{89}\text{Sr}$  骨转移癌治疗、 $^{32}\text{P}$  自制敷贴器、 $^{177}\text{Lu}$  诊断治疗、 $^{223}\text{Ra}$  治疗、 $^{225}\text{Ac}$  治疗，是利用放射性核素参与人体代谢高浓度聚集在特定组织内，其发生的 $\beta$ （ $\alpha$ ）射线可对周围病变细胞造成电离辐射。 $^{131}\text{I}$  甲癌治疗每天最多接收 5 名患者，每周分 2 批，单人平均用药量为  $120\text{mCi}$ （ $4.44\times 10^9\text{Bq}$ ），则日最大操作量为  $2.22\times 10^{10}\text{Bq}$ ，年治疗量约 500 人，则年最大用量为  $2.22\times 10^{12}\text{Bq}$ ； $^{131}\text{I}$  甲

亢治疗每天最多 10 人，单人平均用药量为  $15\text{mCi}$  ( $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ )，则日最大操作量为  $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ ，甲亢年门诊量约 1000 人，则年最大用量为  $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ ； $^{131}\text{I}$  甲测治疗每天最多 20 人，单人平均用药量为  $0.005\text{mCi}$  ( $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ )，则日最大操作量为  $3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ ，甲测年门诊量约 2000 人，则年最大用量为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

$^{89}\text{Sr}$  日最大治疗量为 2 人，单人平均用药量为  $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$  ( $4\text{mCi}$ )，则日最大操作量为  $2.96 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年治疗量最大为 500 人，则年最大用量为  $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

$^{32}\text{P}$  (液体) 日自制敷贴器 2 次，单人最大用药量为  $2.22 \times 10^8 \text{Bq}$  ( $6\text{mCi}$ )，则日最大操作量为  $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年自制敷贴器最大为 500 人，则年最大用量为  $1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

$^{177}\text{Lu}$  日最大治疗量约为 1 人，单人平均用药量为  $200\text{mCi}$  ( $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ )，则日最大操作量为  $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年治疗量约 5 人，每人注射 4 次，则年最大用量为  $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

$^{223}\text{Ra}$  日最大治疗量约为 1 人，单人平均用药量为  $0.1\text{mCi}$  ( $3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ )，则日最大操作量为  $3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年治疗量约 5 人，每人注射 6 次，则年最大用量为  $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

$^{225}\text{Ac}$  日最大治疗量约为 1 人，单人平均用药量为  $0.2\text{mCi}$  ( $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ )，则日最大操作量为  $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年治疗量约 5 人，则年最大用量为  $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

## (2) 核素诊断

本项目核素诊断拟配套使用 1 台 PET-CT 和 1 台 SPECT-CT。

SPECT-CT、PET-CT 显像检查主要通过给受检者注射放射性标记药物，如  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  等，并利用单光子发射计算机断层扫描系统 (SPECT-CT)、正电子发射型计算机断层扫描系统 (PET-CT) 对受检者全身或者相关脏器进行诊断检查。

PET-CT 使用放射性核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  等 4 种正电子药物进行显像检查，本项目根据预约定量购买，护士使用自动分装注射机进行药物分装和注射。使用  $^{18}\text{F}$  核素患者日最大门诊量为 20 人、单人平均用药量为  $10\text{mCi}$  ( $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ )，则日最大操作量为  $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年门诊量约 7000 人，则年最大用量为  $2.59 \times 10^{12} \text{Bq}$ ；使用  $^{89}\text{Zr}$  核素患者日最大门诊量约为 2 人，单人平均用药量为  $2\text{mCi}$  ( $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ )，则日最大操作量为  $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年门诊量约 200 人，则年最大用量为  $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；使用  $^{124}\text{I}$  核素患者日最大门诊量约为 2 人、单人平均用药量为  $2\text{mCi}$  ( $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ )，则日最大操作量为  $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年门诊量约 200 人，则年最大用量为  $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；使用  $^{68}\text{Ga}$  核素患者日最大门诊量约为 2 人、单人平均用药量为  $5\text{mCi}$  ( $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ )，则日最大操作量为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年门诊量约 200 人，则年最大用量为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

本项目直接定量购买<sup>99m</sup>Tc标记药物，不进行淋洗制备。SPECT-CT日最大门诊量约为20人，单人平均用药量为20mCi (7.4×10<sup>8</sup>Bq)，则日最大操作量为1.48×10<sup>10</sup>Bq，年门诊量约5000人，则年最大用量为3.7×10<sup>12</sup>Bq。

核医学科各放射性核素日等效最大操作量之和为 3.762×10<sup>9</sup>Bq，依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，应为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目放射性核素性能参数及操作量见表9-1和表9-2。

表 9-1 本项目放射性核素的性能参数

核素	半衰期	衰变类型	毒性	物理状态	α/β最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	用途
<sup>99m</sup> Tc	6.02h	同质异能跃迁	低毒	液态	/	0.140	SPECT 显象诊断
<sup>18</sup> F	109.7min	β <sup>+</sup> 、EC	低毒	液态	0.63(+)	0.511	PET-CT 显象诊断
<sup>89</sup> Zr	3.3d	β <sup>+</sup> 、EC	中毒	液态	/	0.511 0.909	
<sup>124</sup> I	4.18d	β <sup>+</sup> 、EC	中毒	液态	0.9736	0.511, 0.603, 1.691	
<sup>68</sup> Ga	68min	β <sup>+</sup> 、EC	低毒	液态	1.9(+)	0.511	
<sup>89</sup> Sr	50.5d	β <sup>-</sup>	中毒	液态	0.5846	/	肿瘤骨转移治疗
<sup>131</sup> I	8.04d	β <sup>-</sup>	中毒	液态	0.602	0.284, 0.365, 0.637	甲癌治疗、甲亢治疗(含甲测)
<sup>32</sup> P	14.26d	β <sup>-</sup>	中毒	液态	1.71	/	敷贴治疗
<sup>177</sup> Lu	6.71d	β <sup>-</sup>	中毒	液态	0.2058	0.2084	诊断治疗
<sup>223</sup> Ra	11.44d	α	极毒	液态	5.8713(α), 0.4270(β)	0.0117, 0.0838, 0.2695	静脉注射
<sup>225</sup> Ac	10d	α	极毒	液态	5.83	0.0998	静脉注射

表 9-2 本项目核素计划工作量汇总表

核素名称	单人平均用药量 (Bq)	日最大门诊量	日最大操作量 (Bq)	年门诊量	年最大用量 (Bq)
<sup>18</sup> F	3.7×10 <sup>8</sup>	20 人	7.4×10 <sup>9</sup>	7000 人	2.59×10 <sup>12</sup>
<sup>89</sup> Zr	7.4×10 <sup>7</sup>	2 人	1.48×10 <sup>8</sup>	200 人	1.48×10 <sup>10</sup>
<sup>124</sup> I	7.4×10 <sup>7</sup>	2 人	1.48×10 <sup>8</sup>	200 人	1.48×10 <sup>10</sup>
<sup>68</sup> Ga	1.85×10 <sup>8</sup>	2 人	3.7×10 <sup>8</sup>	200 人	3.7×10 <sup>10</sup>
<sup>99m</sup> Tc	7.4×10 <sup>8</sup>	20 人	1.48×10 <sup>10</sup>	5000 人	3.7×10 <sup>12</sup>

$^{131}\text{I}$ (甲癌)	$4.44 \times 10^9$	6 人	$2.22 \times 10^{10}$	500 人	$2.405 \times 10^{12}$
$^{131}\text{I}$ (甲亢)	$5.55 \times 10^8$	10 人	$5.55 \times 10^9$	1000 人	
$^{131}\text{I}$ (甲测)	$1.85 \times 10^5$	20 人	$3.7 \times 10^6$	2000 人	
$^{89}\text{Sr}$	$1.48 \times 10^8$	2 人	$2.96 \times 10^8$	500 人	$7.4 \times 10^{10}$
$^{32}\text{P}$ (液体)	$2.22 \times 10^8$	2 人	$4.44 \times 10^8$	500 人	$1.11 \times 10^{11}$
$^{177}\text{Lu}$	$7.4 \times 10^9$	1 人	$7.4 \times 10^9$	5 人,4 次	$1.48 \times 10^{11}$
$^{223}\text{Ra}$	$3.7 \times 10^6$	1 人	$3.7 \times 10^6$	5 人,6 次	$1.11 \times 10^8$
$^{225}\text{Ac}$	$7.4 \times 10^6$	1 人	$7.4 \times 10^6$	5 人	$3.7 \times 10^7$

## (二) 工作原理、工作流程及产污环节

### 1、PET-CT、SPECT-CT显像

#### (1) 设备组成

①PET-CT: PET-CT扫描仪由PET扫描仪和CT扫描仪组成。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融合对位工作站,一次成像同时完成CT及PET扫描。

②SPECT-CT: 单光子发射计算机断层仪(SPECT)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。

#### (2) 工作原理

①PET-CT: PET (Positron Emission Tomography), 全称正电子发射断层诊断技术,其原理是通过正电子核素其标记的示踪剂,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因子显像,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技术进行精确定位,可以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的临床显像,大大提高临床使用价值。

本项目拟新增的1台PET-CT使用放射性核素为 $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 等,核素使用前根据需要提前订购,经分装后使用。各核素在分装注射室进行注射给药。注射时,医生与病人分别位于铅玻璃的两侧,距患者约30cm。给药后的病人根据需要在注射后等候室观察30~40min后,在PET-CT机房进行核素显像。

②SPECT-CT: SPECT即单光子发射型计算机断层显像 (Single Photon emission computed tomography, 简称 SPECT)。SPECT显像, 其原理是利用引入人体内的放射性核素发出的 $\gamma$ 射线经碘化钠晶体产生闪光, 闪烁光子再与光电倍增管的光阴极发生相互作用, 产生光电效应。光电效应产生的光电子经光电倍增管的联极倍增放大后在阳极形成电脉冲, 其经过放大器成形, 再经过位置计算电路形成X、Y位置信号。各个光电倍增管输出信号之和为能量信号Z。X、Y信号经处理后加入显示器偏转极, Z信号加入启挥极, 从而在荧光屏上形成闪烁影像。利用滤波反投影方法, 借助计算机处理系统可以从一系列投影影像重建横向断层影像, 由横向断层影像的三维信息再经影像重建组合获得矢状、冠状断层或任意斜位方向的断层影像。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, 将功能代谢与解剖结构完美结合显示成像, 是目前临床核医学最广泛应用的医学影像诊断设备。

### (3) 工艺流程及污染因子

①PET-CT诊断具体工作流程如下:

- a)接收患者, 开具诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害;
- b)医生根据病情确定使用核素的类别和剂量;
- c)病人通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 $\beta/\gamma$ 射线污染, 同时会产生放射性废水(清洗)、固废(注射器、棉球、药品盒);
- d)病人摄入药品后通过仪器进行器官显像和病情检查。此过程病人带有 $\beta/\gamma$ 射线。

PET-CT系统诊断工艺流程及产污位置图分别如图9-1所示。

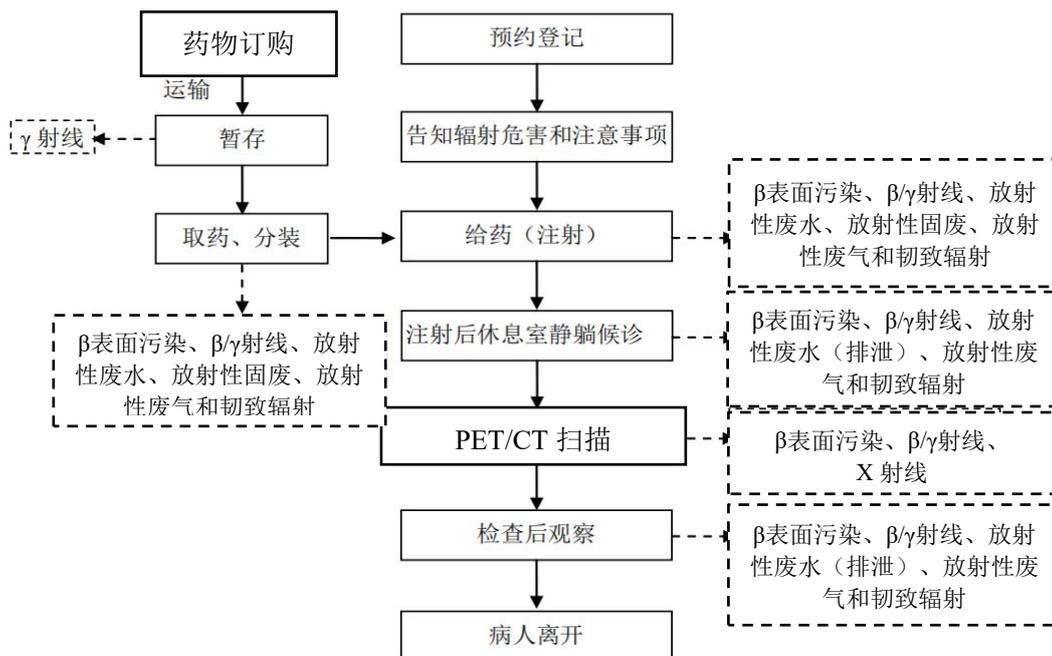


图9-1 PET-CT显像检查具体工艺流程及产污环节示意图

## ②SPECT-CT显像检查工艺流程及污染因子

SPECT-CT显像诊断采用<sup>99m</sup>Tc放射性核素标记，<sup>99m</sup>Tc 每人每次平均使用量为 $7.4 \times 10^8$  Bq/人（20mCi），主要用于全身骨、肾、心肌、甲状腺等显像。本项目使用的<sup>99m</sup>Tc使用前根据需要提前订购，<sup>99m</sup>Tc无需分装。<sup>99m</sup>Tc 注射时，医生与病人分别位于铅玻璃的两侧，距患者约30cm，给药后的病人根据需要在SPECT-CT 注射后等候室观察30min或运动负荷试验后，在SPECT-CT机房进行核素显像。

SPECT-CT系统诊断工艺流程及产污位置图如图9-2所示。

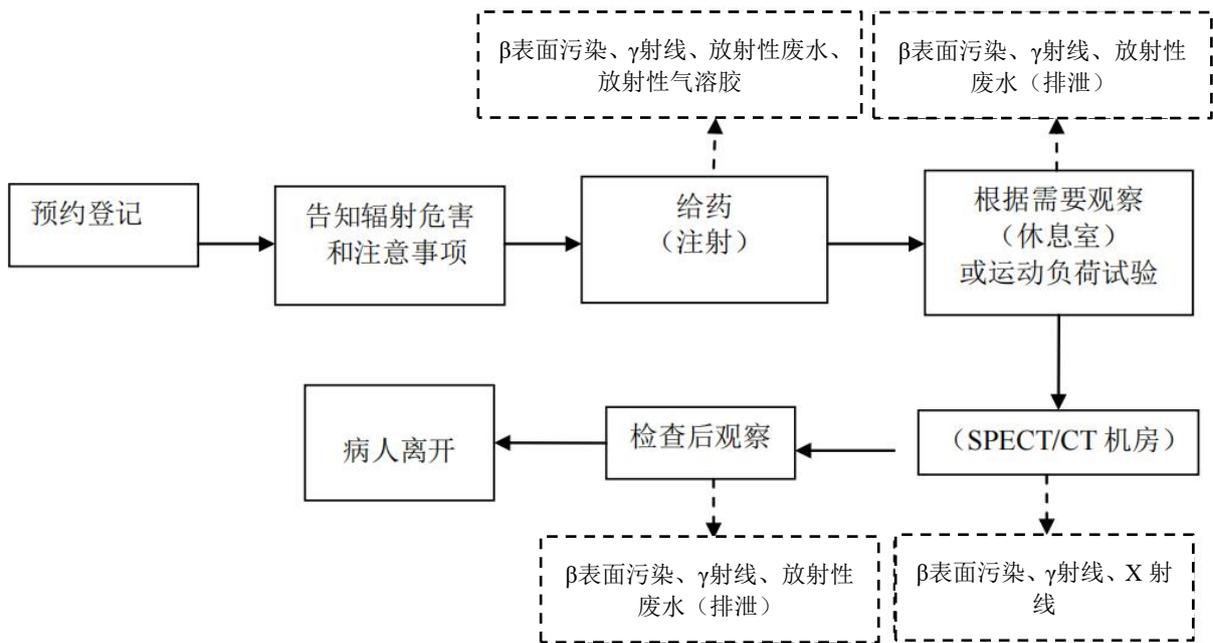


图 9-2 SPECT-CT 显像检查具体工艺流程及产污环节示意图

### （4）污染源项描述

- ①给药过程对工作人员产生的外照射；
- ②给药过程可能对工作台面、地面等造成的表面污染；
- ③操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头，可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；
- ④操作过程产生的放射性废水，如清洗废水、使用放射性药物患者的排泄物。

## 2、<sup>131</sup>I、<sup>177</sup>Lu治疗

### （1）<sup>131</sup>I甲状腺吸碘功能测定和甲亢治疗的工作原理

#### ①甲状腺吸碘功能测定

甲状腺吸碘功能测定简称为甲测。甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄碘的速度和数量以及碘在甲状腺的停留时间，均取决于甲状腺的功能状态。食物中的碘为<sup>127</sup>I，而<sup>131</sup>I

为其同位素，具有相同的理化性质，但 $^{131}\text{I}$ 具有放射性，在其衰变时发出 $\gamma$ 射线。因此，给检查者口服一定量的 $^{131}\text{I}$ 后，即被甲状腺所摄取，在体外用特定的 $\gamma$ 射线探测仪就可测得甲状腺对 $^{131}\text{I}$ 的吸收情况，从而判断甲状腺的功能状况。

### ②甲亢治疗机理

甲状腺具有高度选择性摄取 $^{131}\text{I}$ 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达7.6天。在患者服用 $^{131}\text{I}$ 后，90%以上的 $^{131}\text{I}$ 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 $^{131}\text{I}$ 随代谢排出体外。 $^{131}\text{I}$ 衰变为 $^{131}\text{Xe}$ 时放射出95%的 $\beta$ 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此， $^{131}\text{I}$ 治疗可使部分甲状腺组织受到 $\beta$ 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

### ③甲癌治疗机理

放射性核素 $^{131}\text{I}$ 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶， $^{131}\text{I}$ 衰变时发射出的射程很短的 $\beta$ 射线和能量跃迁时发出的 $\gamma$ 射线，从而对病变组织进行内照射治疗，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，而邻近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

甲亢和甲癌均在医疗综合楼外科病房楼地下1层核医学科给药室服药，碘分装均采用自动分装给药机分装给药。

### ④治疗流程：

I、接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；

II、医生根据病情确定使用核素的剂量；

III、医生利用自动分装给药机远程将药物分装，远程指导患者口服，患者在给药室口服药物；

IV、病人口服 $^{131}\text{I}$ 药品进行治疗。一般甲亢患者服药室观察约10min，甲亢患者服药后可不必住院，经短暂观察无碍后离开核医学科；甲测患者服药后由患者通道出口离开核医学，等检测时间到后（分别于服药后2h、4h、6h、24h）患者由核医学科入口进入甲测室进行吸碘率的测定，每次测量约1min，然后打印报告，检查结束；甲癌患者则口服药物后按病房号对号进入甲癌治疗病房住院治疗。接受 $^{131}\text{I}$ 治疗的患者其体内放射性活度降至低于400MBq（10.8mCi）之前不得出院。本项目 $^{131}\text{I}$ 甲亢治疗患者单人用药量为15mCi，满足《核医学科

放射防护要求》（GBZ 120-2020）中患者出院的管理要求。

对<sup>131</sup>I治疗的甲癌患者，单人次用平均药量为120mCi，<sup>131</sup>I进入患者体内后，会随着身体代谢，很快随着尿液、粪便等排出。根据《分化型甲状腺癌患者的<sup>131</sup>I有效半衰期》（易艳玲等，原子能科学与技术，Vol44,suppl.10,9）报道，甲癌患者的<sup>131</sup>I平均有效半衰期为（14.6±6.5）h，本评价取最大值21.1h，据此计算甲癌患者服药后住院半周后（3.5天计），其体内的放射性活度约为7.6mCi，即可满足出院标准，经在出院检查室检测病人1m处剂量率满足（小于25μSv/h）要求后即可离开核医学科，并书面告知患者初期与家人保持1m以上的距离，避免出入公共场所。

## （2）<sup>177</sup>Lu 诊断治疗工作原理和治疗流程

<sup>177</sup>Lu 的半衰期为 6.71d，发射三种能量的β-粒子，其粒子能量相对较低，在对病灶发生辐射作用时对骨髓抑制较轻。同时，<sup>177</sup>Lu 还发射γ射线，可用于成像。本项目拟购入 <sup>177</sup>Lu 标记的放射性药物，用于成人中肠神经内分泌肿瘤诊断和治疗，未来也会用于前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的诊断和治疗。<sup>177</sup>Lu 诊断治疗时，患者在注射窗口进行静脉注射，单次注射为  $7.4 \times 10^9$  Bq（200mCi），总共注射药物 4 次。注射完成患者进入甲癌病房住院，满足出院标准，经在出院检查室检测病人 1m 处剂量率满足（小于 25μSv/h）要求后即可离开核医学科，并书面告知患者初期与家人保持 1m 以上的距离，避免出入公共场所。医院计划对 <sup>177</sup>Lu 核素采用分时段就诊，由于门诊量较少，医院根据病人数量进行约诊治疗，<sup>177</sup>Lu 核素治疗期间其他核素治疗暂停。

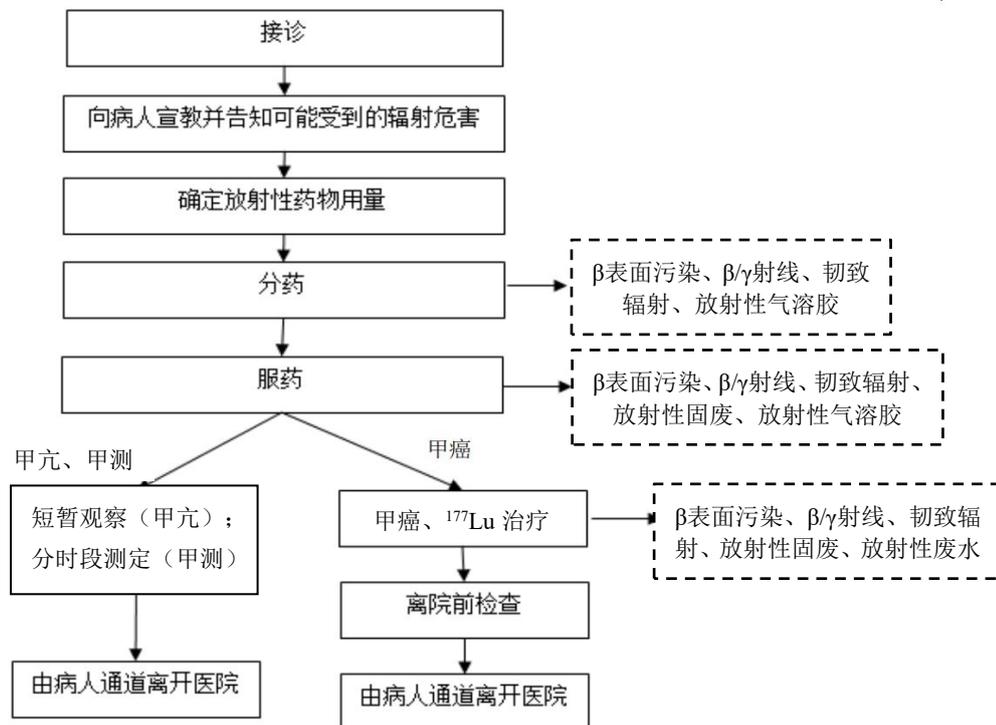


图 9-3 <sup>131</sup>I、<sup>177</sup>Lu 治疗工艺流程及产污环节

### 3、<sup>89</sup>Sr、<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac 等核素治疗

<sup>89</sup>Sr 是一种单纯β射线放射性核素，仅 0.01%γ射线放射率，平均能量达 580keV，半衰期为 50.5d，在软组织内平均穿透率为 2.4mm。<sup>89</sup>Sr 的二氯化物（<sup>89</sup>SrCl<sub>2</sub>）是一种可溶性 <sup>89</sup>Sr 化合物，在体内类似其钙类似物，能迅速从血中清除，直接作用于其无机盐骨质靶向位点。<sup>89</sup>SrCl<sub>2</sub> 主要用于骨转移癌的治疗，减轻患者骨痛症状。<sup>89</sup>Sr 骨转移癌治疗时，患者在注射窗口进行静脉注射，一般为 1.48×10<sup>8</sup> Bq（4mCi），随后进入留观室进行休息，无碍后离开核医学科。

<sup>223</sup>Ra 的半衰期为 11.43d，发射α粒子，组织穿透性低，相比较于β粒子而言，造血系统毒性较小。<sup>223</sup>Ra 在其衰变中发出 4 个平均能量 5.7MeV 的α粒子，其亲骨性高，将高浓度粒子非选择性照射于骨组织表面，即可准确投射入靶向治疗位点。本项目拟购入 <sup>223</sup>Ra 标记的放射性药物，用于治疗前列腺癌骨转移。<sup>223</sup>Ra 治疗时，患者在注射窗口进行静脉注射，单次注射约为 3.7×10<sup>6</sup>Bq（0.1mCi），每四周注射药物 1 次，共 6 次，随后进入留观室进行休息，无碍后离开核医学科。医院计划对 <sup>223</sup>Ra 核素采用分时段就诊，由于门诊量较少，医院根据病人数量进行约诊治疗，<sup>223</sup>Ra 核素治疗期间 <sup>177</sup>Lu、<sup>225</sup>Ac 等核素治疗暂停。

<sup>225</sup>Ac 的半衰期为 9.9d，在其衰变中发出 4 个平均能量 5.8MeV 的α粒子，有一定几率发出γ射线。本项目拟购入 <sup>225</sup>Ac 标记的放射性药物，用于前列腺癌、急性髓细胞性白血病和胰

腺导管腺癌的治疗等。 $^{225}\text{Ac}$  治疗时，患者在注射窗口进行静脉注射，单次注射约为  $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$  ( $0.2\text{mCi}$ )，随后进入留观室进行休息，无碍后离开核医学科。目前， $^{225}\text{Ac}$  治疗处于研究试验阶段。医院计划对  $^{225}\text{Ac}$  核素采用分时段就诊，由于门诊量较少，医院根据病人数量进行约诊治疗， $^{225}\text{Ac}$  核素治疗期间  $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{177}\text{Lu}$  等核素治疗暂停。

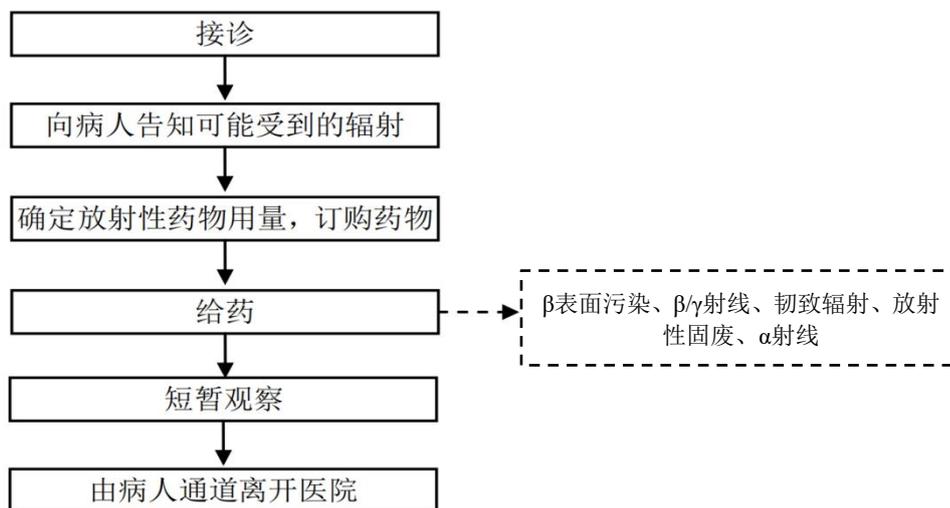


图 9-4  $^{89}\text{Sr}$  等核素治疗工艺流程及产污环节

#### 4、 $^{32}\text{P}$ (液体)

$^{32}\text{P}$  敷贴器为自行制备，制备方法：取专用滤纸，剪成与患者病变区大小相当或常用的各种不同面积，将  $\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$  溶液滴在滤纸上  $1000 \sim 2000 \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ，晾干或红外烤干，再用塑料薄膜套封即成。

敷贴治疗是选择适当的放射性核素面状源作为敷贴器覆盖在患者病变部位的表面，照射一定时间，从而达到治疗目的。本项目拟购入  $^{32}\text{P}$  (液体)。护士在分装注射室手套箱内制作  $^{32}\text{P}$  敷贴器，采用贮源箱运送到敷贴室。患者预约后到达注射前等候区，在护士台登记，听从安排进入敷贴室内，由工作人员对患者的进行核素敷贴治疗，随后进入留观室进行休息，无碍后离开核医学科。

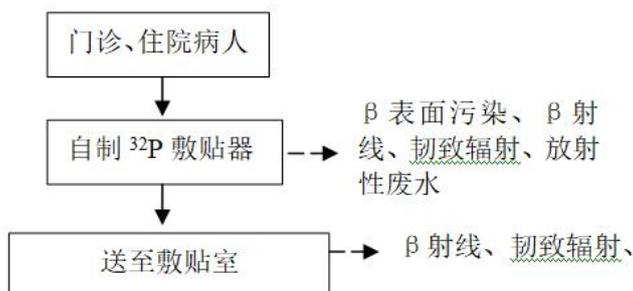


图 9-5  $^{32}\text{P}$  核素自制工艺流程及产污环节

### （三）人流、物流的路径规划及合理性分析

#### 1、医护人员路径

地下 1 层核医学科的医护人员由西北侧电梯向南通过候诊大厅，再往东穿过分诊大厅后通过缓冲通道进入分装注射室。其中放射性核素操作的护士经缓冲通道进入分装注射室和给药处进行施药分装。注射室北侧有两个给药窗口，分别进行  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$  等药物注射；给药处设有一台分装给药机，进行  $^{131}\text{I}$  给药。更衣间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，医护人员完成注射和施药后需经更衣间淋浴更衣，检测表面污染合格，才能回到非放射工作场所。送餐工作人员将病人餐食由西侧边门送至配餐室后通过屏蔽窗口远程指导病人到取餐窗口按号取餐；设备扫描检查操作人员往南经医护走廊进入 PET-CT、SPET-CT 机房控制廊进行显像扫描。

在核医学科的北侧设有一间敷贴室，护士在分装注射室手套箱内制作  $^{32}\text{P}$  敷贴器，采用贮源箱运送到敷贴室，对病人进行敷贴治疗。骨密度仪机房设有控制室，医护人员隔室操作。核医学科北侧还设有一间甲功室，甲功检测病人在服药后 2h、4h、24h 后进入甲功室进行检测。

#### 2、受检者/患者路径

##### ①SPECT/PET 受检者/患者及 $^{89}\text{Sr}$ 核素治疗患者：

根据预约安排的时间，受检者/患者通过核医学科西北侧的电梯进入，在护士站咨询和候诊大厅接受问诊、宣教，然后在预注射室进行称重、测血糖、留置针等相关准备工作。准备工作完毕后根据叫号通过分诊大厅东侧单向门从病人入口进入核医学工作场所。敷贴治疗和骨密度检查的病人直接进入相应的诊室。

SPECT-CT 检查患者或在注射窗口进行药物注射，或在肺通气房间进行药物注射，或在运动负荷室加强运动一段时间后进行药物注射，之后进入 SPECT-CT 候诊室进行候诊，待放射性药物代谢到相应的靶器官后，到 SPECT-CT 机房进行扫描，扫描完毕后再到留观室留观，在留观室观察半小时后从东北侧出口离开核医学科。

PET-CT 检查患者或在注射窗口进行药物注射，之后进入 PET-CT 候诊室进行候诊，待放射性药物代谢到相应的靶器官后，到 PET-CT 机房进行扫描，扫描完毕后再到留观室（留观室内拟设 10mmPb 的铅屏风分隔不同核素患者）留观，在留观室观察半小时后从东北侧出口离开核医学科。

$^{89}\text{Sr}$  核素治疗患者在注射窗口进行药物注射后，进入留观室休息一段时间，之后从东北

角出口离开核医学科；

该路径上，受检者/患者出入口（病人走廊出入口）均设置为单向门禁，仅允许受检者/患者单向通行。注射后等候区域设有公共卫生间，受检者除如厕外，不得随意走动。

②<sup>131</sup>I、<sup>177</sup>Lu、<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac 核素治疗患者：

<sup>131</sup>I 核素治疗病人由分诊大厅沿患者走廊进入给药室进行服药，先进行甲亢病人服药，之后进行甲癌病人服药。甲亢病人服药后，在甲癌治疗室 1 休息半小时后，从西侧出口然后沿患者走廊经东北角出口离开核医学科；甲癌病人在服药后，进入各自病房进行住院治疗，出院时在检查室检测病人 1m 处剂量率符合出院要求后，从西侧出口然后沿患者走廊经东北角出口离开核医学科；甲测病人沿患者走廊进入甲测室进行药物注射，短暂观察无碍后从东北角出口离开核医学科。

<sup>177</sup>Lu 核素治疗病人在注射后，进入甲癌病房进行住院治疗，出院时在检查室检测病人 1m 处剂量率符合出院要求后，从西侧出口然后沿患者走廊经东北角出口离开核医学科。

<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac 核素治疗病人在注射室的注射窗口进行药物注射，短暂观察无碍后从东北角出口离开核医学科。

本区域病人通道出入口和工作人员通道出入口均分开设置，能够有效防止交叉污染；核素治疗区域出入口防护门均拟设置门禁系统，只允许单向通行，防止给药后患者进入非放射工作区，或无关人员进入放射性工作区。医院拟在注射前宣教时明确告知相关事项，并设置醒目的路线标示，配合语音系统，引导病人按照拟定路线行进。

### 3、药物通道

核医学诊疗用药物为装在西林瓶内的成罐药剂并分别放置在铅罐（<sup>18</sup>F：50mmPb、<sup>131</sup>I：20mmPb，<sup>99m</sup>Tc、<sup>177</sup>Lu、<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac 等：10mmPb）中屏蔽，按照医院与送药单位的协定，由专业供货商的药物配送人员每天在上班之前送至医院。放射性药物送至后由核医学科专职人员接收、登记，交接过程均在监控下进行。核医学科工作人员接收药物后，从缓冲通道将药物送至源库内。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、污物通道

地下 1 层核医学科门诊区域和甲癌病房区域的放射性废物每天下班后收集在核医学科工作场所的污物间暂存，衰变至符合清洁解控水平后，选择在下班后无病人时段，由东北侧单向门运输至污物电梯，送医院医疗废物库集中收集后按照医疗废物处置。

本项目核医学科工作场所布局分别设计有病人通道、医务人员通道、药物通道、污

物通道，病人出、入口均有单独通道，病人通道与工作人员通道不交叉，药物通道与工作人员通道时间上不交叉，门诊区域和甲癌病房区域相对独立，能够有效防止交叉污染，可有效避免带有放射性的病人对其它人员造成不必要照射，路径规划合理可行。核医学科人流、物流路径规划图。

## 9.2.2 放射治疗单元

### (一) 项目概况

本项目放射治疗单元位于医疗综合楼医技中心的地下2层放疗中心，包括2间直线加速器机房（其中一间为预备）和1间后装机机房。直线加速器机房使用能量不超过15MV的医用直线加速器开展放疗；后装机机房使用<sup>192</sup>Ir后装机开展后装治疗，首次装源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

根据医院的招标意向，本项目直线加速器主要技术参数见表9-2。

表9-2 本项目直线加速器技术参数一览表

参数名称	参数值
X射线能量	X射线最大能量：15MV，电子线最大能量：18MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧14°）
源轴距 SAD	1m
距靶1m处最高剂量率	X射线最高剂量率为：2400cGy/min ( $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ )； 最大电子束能量为：18MeV
泄漏X射线	在所有的方向上，距离电子加速路径1m处的X线吸收剂量， 将不超过等中心处吸收剂量的0.1%
最大照射野尺寸	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨靶
等中心点离地高度	（保守取等中心点离地高度最小值）130cm

注：医院在购买设备时，拟购的设备参数均不能超过表9-2中的技术参数。

### (二) 工作原理、工作流程及产污环节

#### 1、医用电子直线加速器

(1) 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。

(2) 设备组成：医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速

器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过2cm左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能X线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的X线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗的目的。

医院典型医用直线加速器见图9-6，直线加速器内部结构见图9-7，实景图见图9-8。

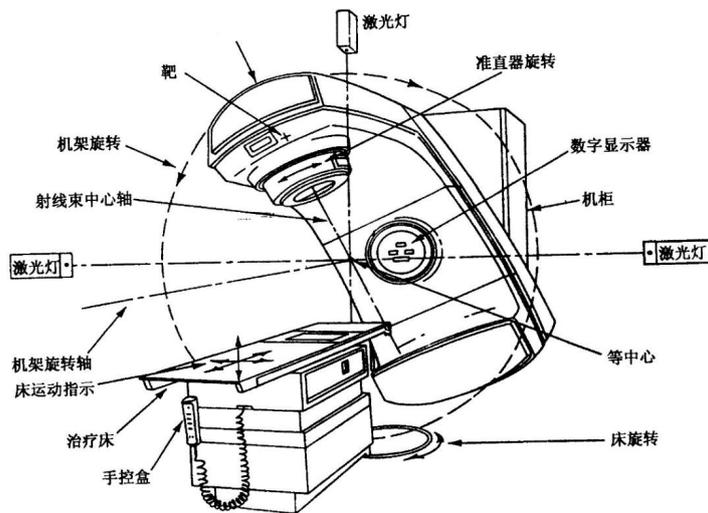


图9-6 典型医用直线加速器示意图

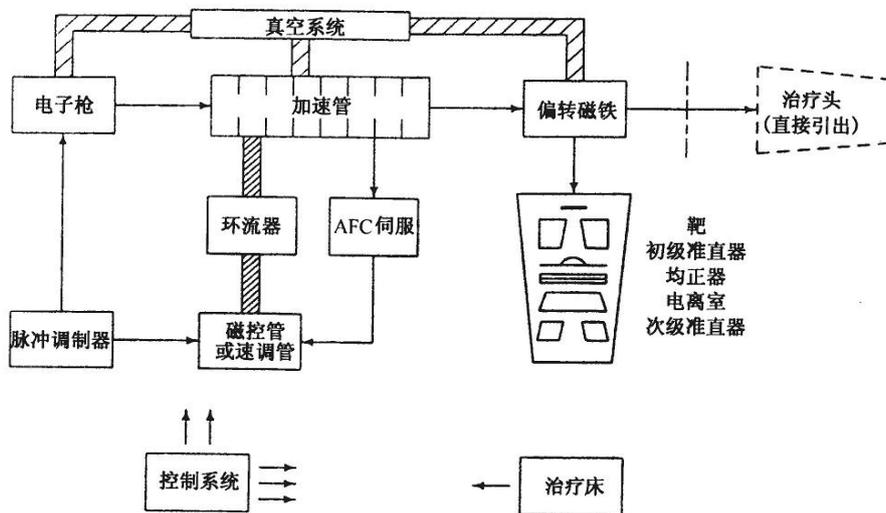


图9-7 典型医用直线加速器内部结构框图



图9-8 典型医用直线加速器实景图

### (3) 操作流程

a、进行定位。先通过模拟定位机（依托的CT模拟定位机医院另行备案，不属于此次评价范围）对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

b、制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

c、固定患者体位。在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

d、开机治疗。

### 4、污染因子

由加速器的工作原理可知，医用直线加速器用于X射线治疗时，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质及其他加速器结构材料相互作用时将产生高能X射线，其可能对工作人员及公众造成一定危害。这种X射线随机器的开、关而产生或消失。氧气分子受到X射线束照射时，会分解成原子。氧原子的不稳定性极强，与氧气、氮气反应时，就形成了臭氧和氮氧化物。

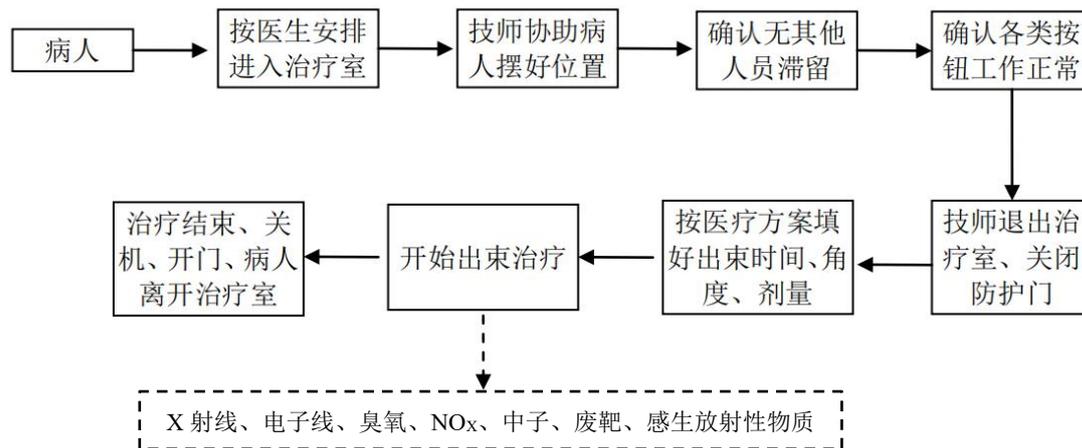


图 9-9 医用加速器放疗工作流程图

## 2、后装机

### (1) 工作原理

后装机属于近距离放射治疗机，是将密封放射源置于病灶附近，提高局部剂量，利用 $\gamma$ 射线的生物效应对肿瘤进行治疗的设备。这种方式可用于治疗人体内各种腔道周围的肿瘤，因所选取的核素的射线能量较低，并以射线的距离衰减效应减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的辐射剂量。

首先将导源管或施源器、导源针插植到合适的肿瘤表面或中心部位，经X线片核实位置，再经过装有近距离治疗剂量计算数学模式的专业程序软件的治疗计划系统计算及优化剂量分布，获得满意结果后，再由计算机控制治疗机系统进行治疗。后装照射可使病灶区获得很高的剂量而又很好地保护周围正常组织，医务人员通过遥控操作，减少了工作人员不必要的受照。后装治疗从传统的妇科领域扩展到能对人体各部位多肿瘤的治疗，尤其是鼻咽、支气管、肺癌、食道癌、直肠、膀胱、前列腺、乳腺癌、胰腺、脑部等。

### (2) 设备组成

设备采用计算机工作站对后装机控制信号进行发送和接受，外设配置有数字化仪、打印机、绘图仪、鼠标和不间断电源。数字化仪是将X光片上的影像数据输入到电脑内的设备。彩色打印机输出病历档案、当日源强、各通道驻留点位置和驻留时间、关注点和参考剂量以及治疗过程记录和意外故障情况。彩色绘图仪用以绘制优化后的治疗方案，在指定平面上的等剂量线和驻留点投影。依据患者诊断数据，由计算机制定治疗计划并实施对后装机的操作控制。根据“先插管后装源”的技术原理，由电脑选择输源管和施源器中最合适的一组，插入需要治疗的腔道并进行靶区定位，通过分度头的引导控制，将放射源送达治疗区域，按计划实施治疗。

$^{192}\text{Ir}$ 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好， $^{192}\text{Ir}$ 放射源源罐结构见图9-10，后装机外形和结构如图9-11和图9-12所示。

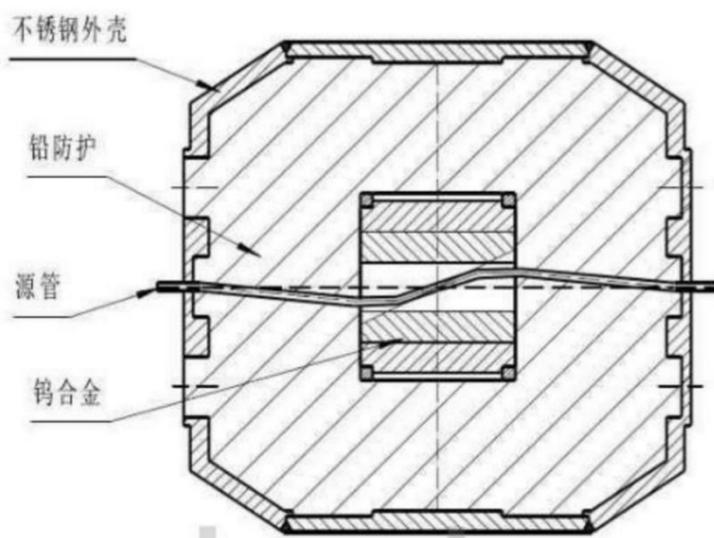


图9-10  $^{192}\text{Ir}$ 放射源源罐结构示意图



图9-11  $^{192}\text{Ir}$ 后装机外形图

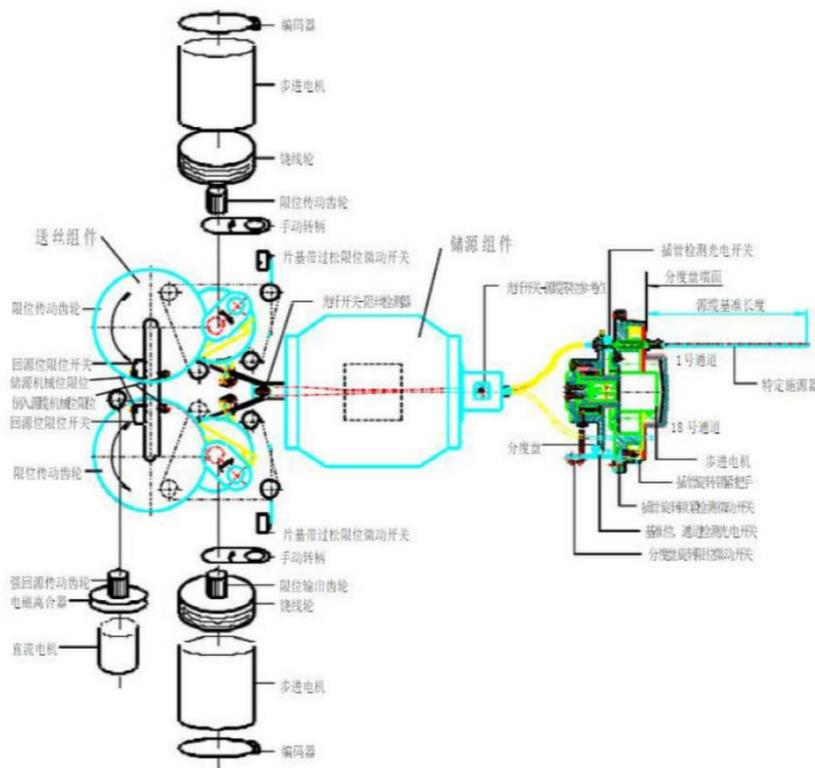


图9-12 典型<sup>125</sup>I后装 $\gamma$ 源治疗机结构示意图

### (3) 工作方式

后装机是将放射源施用器放置于人体管腔内瘤体表面，在衰变过程中不断放出 $\gamma$ 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。

### (4) 治疗流程及产污环节

<sup>125</sup>I后装 $\gamma$ 源近距离治疗机产污环节见图9-11（图中模拟定位不属于本次评价范围）。由放疗医师给患者放置施源器，然后由辐射工作人员送入后装 $\gamma$ 源近距离治疗室内。病人在治疗室内，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，源由工作人员在医生操作室遥控操作。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，源安全返回贮源位置，方可打开迷路防护门，辐射工作人员将病人送出治疗室。

本项目后装机使用1枚<sup>125</sup>I放射源，设计装源活度为 $3.7 \times 10^{11}$ Bq。按照国家环保总局《放射源分类办法》，属于III类放射源。核素<sup>125</sup>I半衰期为74天，衰变过程会发出 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线；当放射源衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生废放射源。

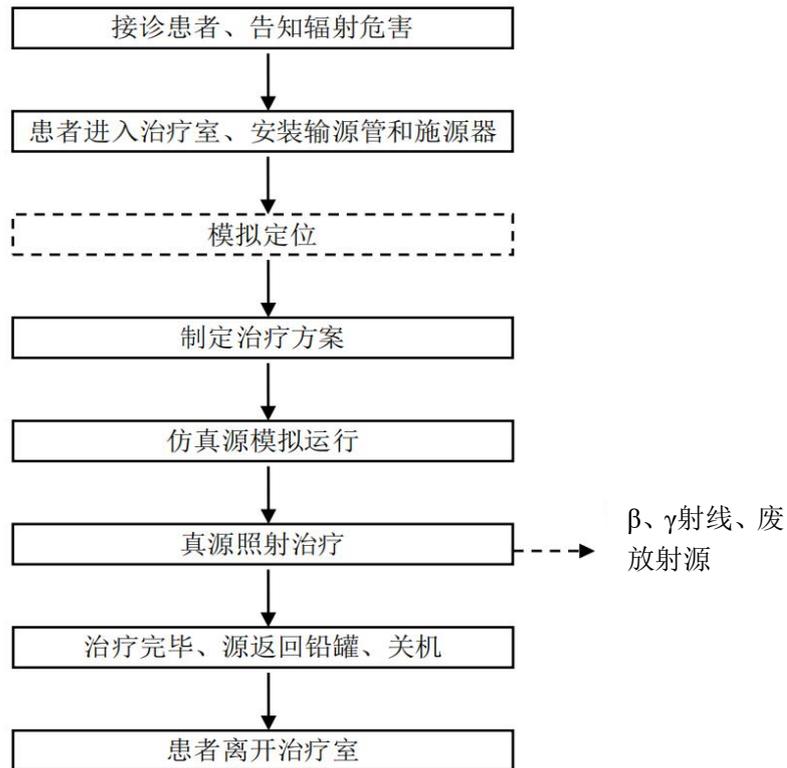


图9-13 后装机产污环节示意图

### (三) 人流路径规划

放射治疗单元人流路径规划见下图：

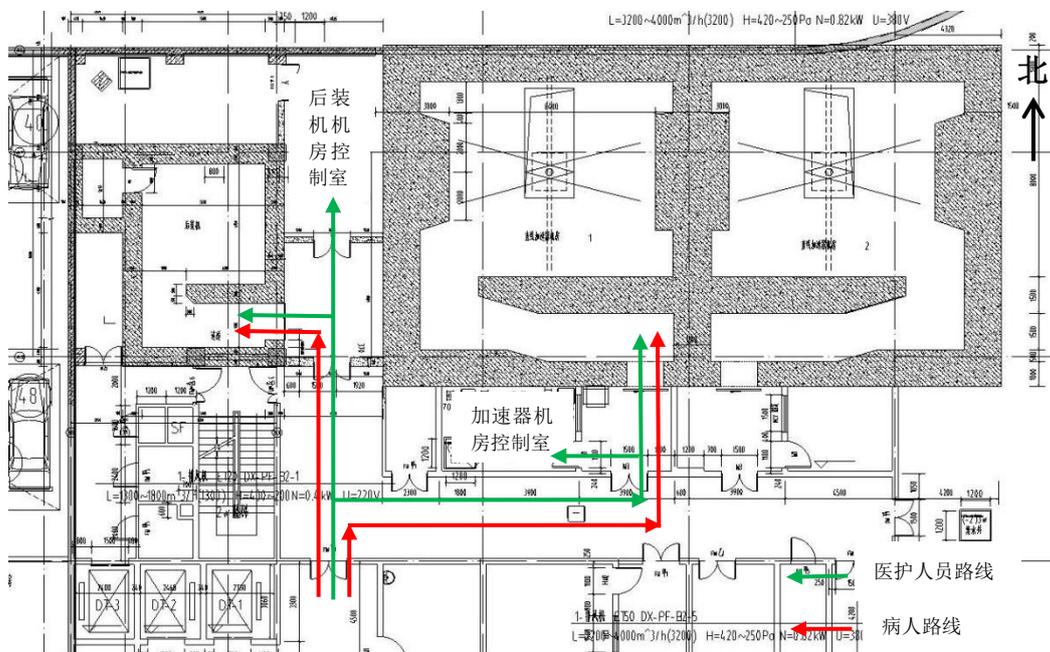


图9-14 放射治疗单元人流路径规划示意图。

## 9.2.3 介入治疗单元

### （一）项目概况

介入治疗单元包含医疗综合楼医技楼1层D区西侧介入治疗中心（1#DSA机房、2#DSA机房）、2层CE区心脏重症监护病房（CCU）（3#DSA机房）和4层复合手术室（4#DSA机房），共建有4间DSA机房，各拟配备1台DSA（型号未定，最大管电压150kV、最大管电流1000mA）用于介入和微创手术。

### （二）工作原理、工作流程及产污环节

#### 1、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。两次数值相减，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。

#### 2、设备组成

DSA主要组成部分：带有影像增强器电视系统的X射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机。本项目DSA的整体外观示意图如图 9-14所示。



图9-15 DSA射线装置整体外观示意图

#### 3、操作流程

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，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内，经鞘插入导管，推送导管，在X线透视下将导管送达静脉，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在进行曝光时分为减影和透视两种情况：

①第一种情况减影：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），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。

②第二种情况透视：医生需进行手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅屏风后并身着铅服、戴铅眼镜等防护用品，在曝光室内对病人进行直接的手术操作。

DSA治疗流程及产污环节示意图见图9-16。

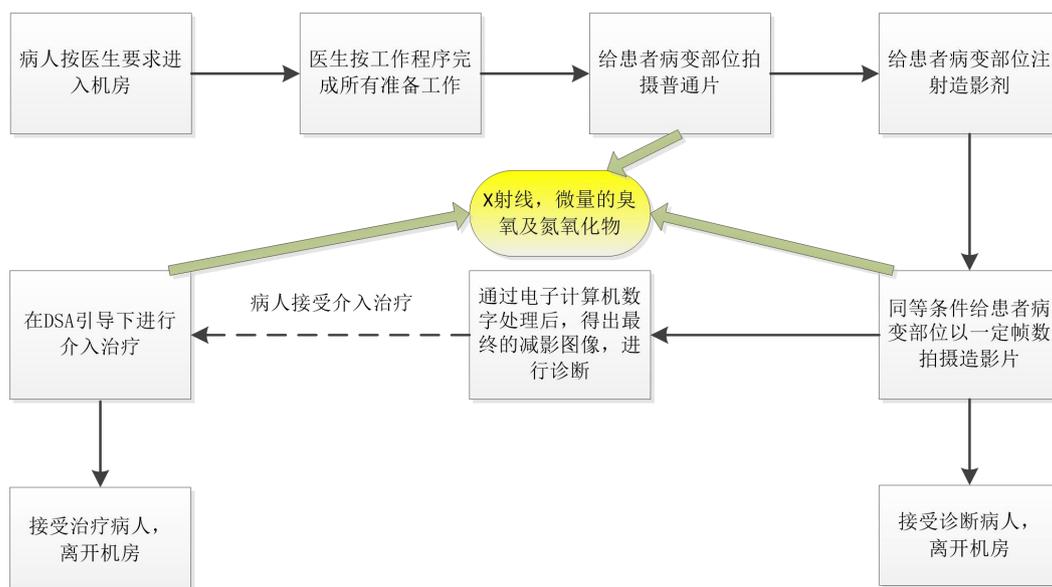


图9-16 DSA工作流程及产污环节示意图

#### 4、产污环节

本项目DSA为II类射线装置，其在开机状态下主要污染为X射线和少量臭氧及氮氧化物，在不开机状态下不产生污染。

##### （三）人流路径规划

介入治疗单元人流路径规划见下图：

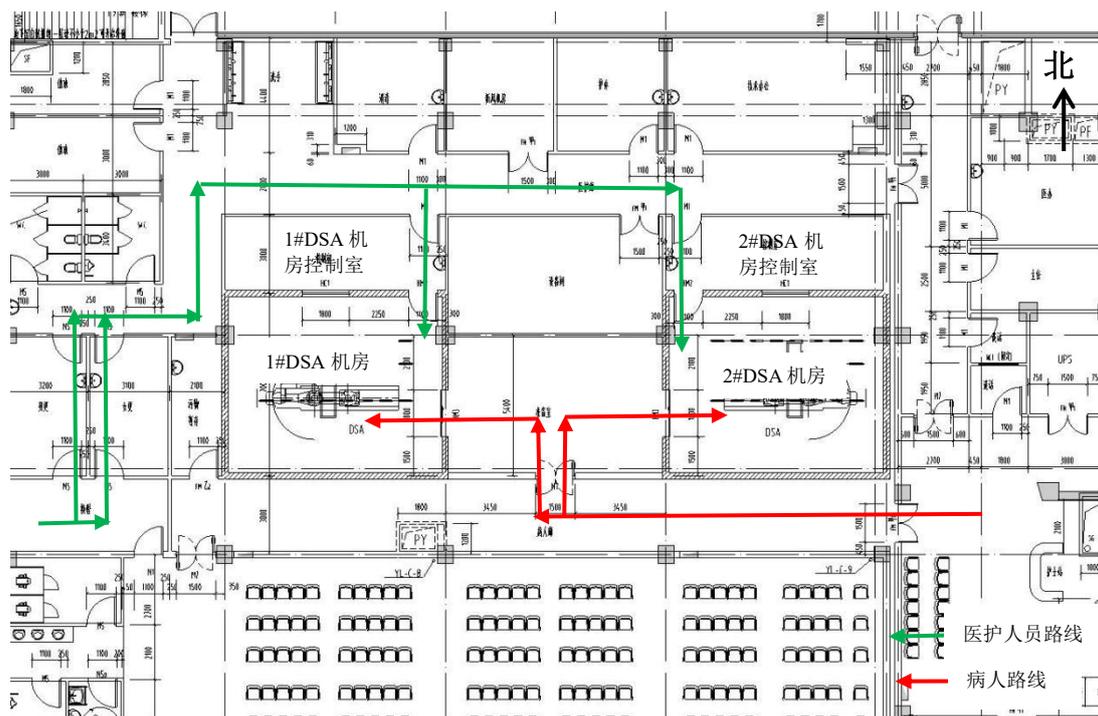


图9-17 1#、2#DSA机房人流路径规划示意图

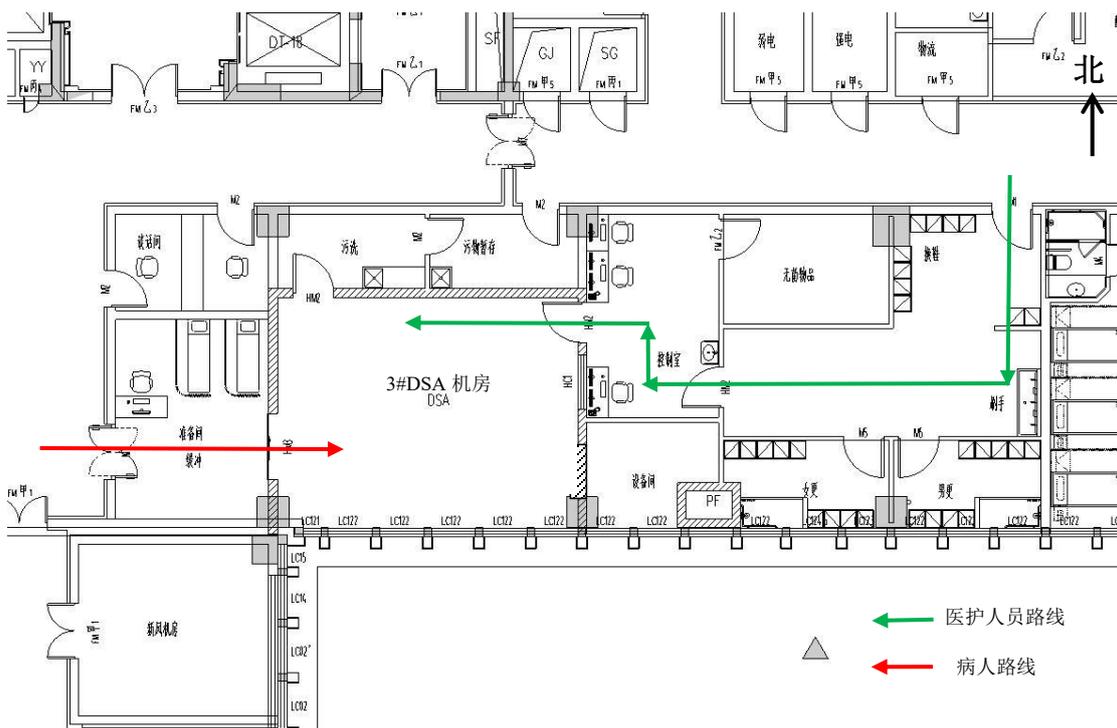


图9-18 3#DSA机房人流路径规划示意图

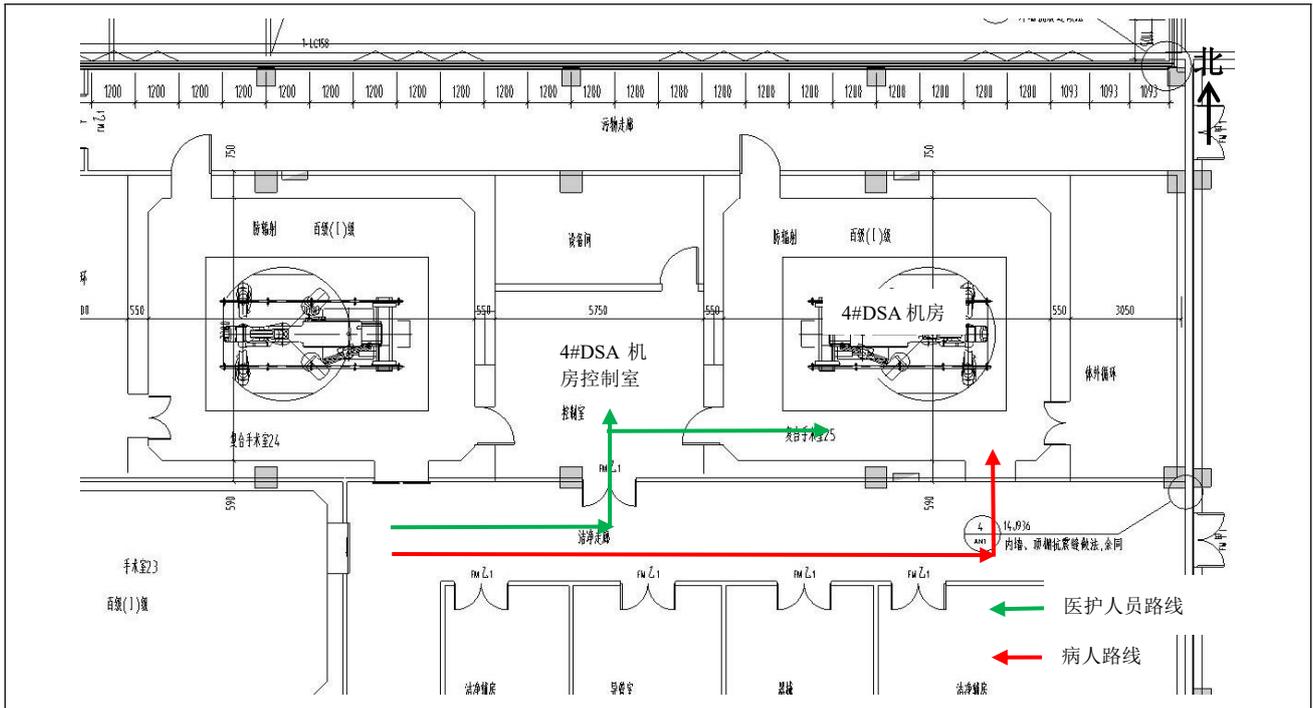


图9-19 4#DSA机房人流路径规划示意图

### 9.3 污染源项描述

#### 9.3.1 核医学单元

(1)  $\beta$ 射线、X射线、 $\gamma$ 射线、韧致辐射、 $\alpha$ 射线

本项目PET-CT检查用药物包括 $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ ，常用核素为 $^{18}\text{F}$ 。以上放射性核素注入人体内能产生湮灭 $\gamma$ 光子辐射； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的主要衰变方式是同质异能跃迁，同时发射 $\gamma$ 射线； $^{89}\text{Sr}$ 和 $^{32}\text{P}$ 的主要衰变方式是 $\beta^-$ ，其产生的 $\beta$ 射线射程较短，容易被屏蔽，但 $\beta$ 射线在与物质作用会产生韧致辐射，其穿透能力比 $\beta$ 射线强的多。 $^{177}\text{Lu}$ 核素除发射 $\beta$ 粒子外，还伴随有一定能量为0.2084MeV的 $\gamma$ 射线， $^{131}\text{I}$ 发生 $\beta$ 衰变时伴随发射0.365MeV的 $\gamma$ 射线。因此， $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 与 $^{131}\text{I}$ 等放射性核素在取药、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 $\gamma$ 射线，会造成医务人员和公众的外照射。

$^{223}\text{Ra}$ 核素和 $^{225}\text{Ac}$ 核素主要为 $\alpha$ 放射源，有一定概率产生 $\gamma$ 射线。 $\alpha$ 粒子活度较低，且 $\alpha$ 粒子在空气中的射程小于6cm，穿不透皮肤表层，故不考虑 $\alpha$ 射线外照射风险。

(2)  $\alpha$ 放射性表面污染和 $\beta$ 放射性表面污染

医生在对各放射性核素种种操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 $\alpha$ 放射性表面污染和 $\beta$ 放射性表面污染。

(3) 放射性废气

本项目核素中， $^{131}\text{I}$ 为是挥发性核素， $^{131}\text{I}$ 暂存期间密闭在铅罐内，使用时采用碘分装仪

分装后，直接给患者口服，因此放射性气溶胶产生量较少； $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 $^{89}\text{Sr}$ 等分装操作均在负压手套箱内进行，产生的气体经排气口外排，其对医护人员和公众的内照射影响可以忽略。

#### （4）放射性废水

体内含有放射性核素的病人排泄物和冲洗水、工作人员的淋浴和清洗废水以及工作场所清洗废水等。

#### （5）放射性固体废物

核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量核素的医疗固体废弃物，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。此外还有废气处理设施中产生的废活性炭。

综上，本项目核医学科的污染源有 $\beta$ 射线、X射线、 $\gamma$ 射线、韧致辐射、 $\alpha$ 射线、 $\alpha$ 放射性表面污染、 $\beta$ 放射性表面污染、放射性废水、废活性炭和含各放射性核素的固体废弃物。

### 9.3.2放射治疗单元

#### 一、医用电子直线加速器

##### （1）X射线、电子线

医用直线加速器电子枪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X射线，其辐射可分为瞬发辐射和感生辐射两类。瞬时辐射包括初级辐射（被加速的电子）及其与靶材料或加速器的结构材料相互作用产生的次级辐射 X 射线等。瞬发辐射在加速器运行时产生，关机后即消失。剩余是指加速器的初级电子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（包括空气、屏蔽物等）中诱发生成的感生放射性。剩余辐射在加速器关机后仍存在。而且随加速器的运行时间的增加而积累，随加速器关机时间的增加而减弱。但只有当粒子的能量大于核反应的阈能时，才会产生感生放射性。

本项目医用直线加速器的电子最高能量为18MeV，电子与靶物质作用产生韧致辐射X射线。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。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于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。在加速器开机的时间内，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。

医用直线加速器在运行时，电子枪产生大量的电子，电子被加速后聚焦为一股束流，电子束虽然占据的体积小，但能量非常集中，电子束的贯穿能力比X射线弱，加速器四周的混

凝土屏蔽墙和防护门均能将其完全屏蔽。

直线加速器停止运行后，无X射线污染产生。

### (2) 中子

在加速器工作时，高能电子束与靶物质相互作用而产生的韧致辐射，与加速器部件以及空气等物质作用形成放射性核，而会发生光核反应，放出中子。根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“7.1 对于高于 15MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。”，本项目拟建的医用电子直线加速器能量为 15MV，需考虑中子辐射。

由治疗机头中产生的中子分为 2 部分：一部分是混在 X 射线野内的原射快中子和经治疗机头衰减漏射出来的漏射中子组成的直射中子，另一部分是由治疗室墙壁、天花板、地板多次散射后的散射中子，散射中子其能量较低。上述中子是放射治疗工作中不需要的，所以又统称为污染中子。

中子的辐射生物效应远高于 X、 $\gamma$ 射线，按中子能量高低其辐射权重因子( $W_R$ )为 5~20，因此在高能医用电子加速器的防护设计中需要考虑中子的防护。一般情况下，治疗室墙体、天花板的屏蔽厚度满足了对 X 射线的防护要求时也能够满足了对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护，散射中子的影响主要考虑防护门的影响。

### (3) 感生放射性

本项目加速器电子最大能量为 18MeV，当治疗过程中电子能量超过相关核素 ( $\gamma, n$ ) 反应的阈能量时，中子活化作用使治疗室空气中产生  $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  等放射性气体。其衰变过程中产生正电子，即 $\beta^+$ 射线， $\beta^+$ 射线在空气中的射程只有几米。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浓度降低。

加速器设备中使用的内循环冷却水可能产生感生放射性。在加速器运行时，循环水系统的某一部分可能使附近的操作人员受到照射。因此，循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方。冷却水中被活化形成的放射性核素  $^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，且产生量很少，只需放置一定的时间其活度就可以衰减到较低的水平。

加速器靶物质经长期照射后，可积累一定数量的感生放射性核素，因此，退役的废靶为放射性固体废物。

### (4) 有害气体

在开机期间X射线与空气作用将产生臭氧、氮氧化物等有害气体。

### (5) 放射性固废

加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件，含有一定的放射性。废靶件是加速器所产生的主要固体废物，它不但有短半衰期放射性核素，还有长半衰期的核素，因而应妥善处理。

综上，开机期间，加速器的主要污染因子为X射线、电子、中子、感生放射性物质，另有废靶件、少量臭氧、氮氧化物等有害气体。

## 二、后装机

### 1、β射线、γ射线

$^{192}\text{Ir}$ 放射源产生0.675MeV的β射线和0.316MeV的γ射线。后装机采用不锈钢结构制造，并采用混凝土机房屏蔽，而该能量的β射线在混凝土和钢中的射程仅有几厘米，故评价时不考虑β射线的影响。而 $^{192}\text{Ir}$ 放射源产生γ射线具有很强的贯穿能力，部分γ射线能穿透屏蔽材料对治疗室外环境构成辐射污染。

后装机中 $^{192}\text{Ir}$ 放射源的活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$ 枚，治疗时由施源器将其顺着输源管释放至病变部位进行照射。 $^{192}\text{Ir}$ 放射源辐射的类型为β、γ射线，产生的光子能量在0.136~1.06MeV之间。近距离遥控后装治疗系统使用的主要射线是γ射线，γ射线即成为该治疗设备的主要污染因子。放射性核素 $^{192}\text{Ir}$ 主要特性见表9-3。

表9-3  $^{192}\text{Ir}$ 放射性核素特性一览表

名称	活度 (Bq)	类别	半衰期	毒性	主要能量 (MeV)	主要废物
$^{192}\text{Ir}$	$3.7 \times 10^{11}$	III	74d	中毒	0.316	废 $^{192}\text{Ir}$ 源

### 2、废源

在进行后装治疗过程中， $^{192}\text{Ir}$ 放射源一般使用1.5个半衰期需更换一次，源更换及废源回收均由生产厂家负责。

### 3、废气

$^{192}\text{Ir}$ 后装机在工作状态下，会使治疗室内的空气电离而产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

综上， $^{192}\text{Ir}$ 后装机运行期间，主要污染因子为γ射线与废源，另有空气电离产生的少量臭氧、氮氧化物等有害气体。

## 9.3.3介入治疗单元

DSA的X射线诊断机曝光时产生X射线及伴生的微量臭氧。注入的造影剂不含放射性，同时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。

因此，DSA在开机状态下，产生的污染因子有主要是X射线以及微量臭氧和氮氧化物。

#### 9.3.4 非正常工况污染源项描述

##### 一、核医学单元

主要考虑电离辐射损伤、放射源和药物失控对环境及公众的影响。

(1) 显像剂 ( $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) 和各治疗核素 ( $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ 等) 发生丢失或被盜，以及显像剂和治疗核素在操作使用过程中发生意外洒漏时，会对周围环境及人员造成辐射影响。

(2) 核素治疗患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区或病房，可能对接近患者的人员造成额外照射剂量。

##### 二、放射治疗单元

###### (1) 直线加速器非正常工况污染源项描述

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照射事故。

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

③维修直线加速器系统时发生异常出束，维修人员受到超剂量照射。

###### (2) 后装机非正常工况污染源项描述

①工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源从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。发生卡源，造成额外照射。

②治疗机处于运行状态时，因故障，联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的机房，受到不必要的辐射照射。

③放射源保管不善，可能发生丢失、被盜、失控，产生严重的环境污染事故。

④摆位工作人员或其他人员尚未撤离机房，控制台处操作人员误操作，后装机出源，对工作人员造成照射。

##### 三、介入治疗单元

①工作人员或病人家属尚未撤离 DSA 机房时误开机，会对工作人员或病人家属产生不必要的X射线照射。

②控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到计划外照射。

③维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

④辐射工作人员不按要求穿戴个人防护用品，造成超剂量照射。  
异常运行或事故状态下主要辐射源同正常运行状态。

**表 10 辐射安全与防护**

## **10.1 项目安全设施**

为减少辐射危害，以及避免辐射事故的发生，医院针对不同的辐射源拟采取相应的辐射安全防护设施。

### **10.1.1 辐射工作场所布局**

#### **10.1.1.1 核医学单元**

##### **一、工作场所选址及平面布局合理性分析**

本项目核医学科位于医疗综合楼外科病房楼地下 1 层东部，拟设置 PET-CT 机房(1 间)、SPECT 机房(2 间，本项目使用其中一间，另一件备用)及控制廊、注射后等候室、注射分装室、给药处、源库、污物暂存间、留观室、肺通气室、运动负荷/抢救室、甲测室、护士站、更衣淋浴室、卫生通过间、冲洗室、洁具室、给药后患者卫生间、送餐室、甲癌病房(6 间，均为双人间病房，内设患者专用卫生间，其中治疗室 1 设为甲亢服药后观察室)、开水间及污洗间(配套甲癌病房用)、甲癌抢救室、医生值班室、示教室、读片室、普通治疗室、医生办公室等相关用房，其中甲癌病房和南侧的医生办公室、读片室及值班室之间有一下沉庭院中间隔开。

核医学科工作场所东侧为地下土层，南侧为设备机房、锅炉房和发电机房，西侧为生活水箱间、送风机房、楼梯间及车库，北侧由西至东依次为电梯间、楼梯间、库房、弱电间、强电间、物流间、排风机房、设备机房、送风机房、消防电梯、污物电梯及低配间，楼上为地面中心花园、院内道路，楼下为地下 2 层车库、设备机房、排水机房及太平间。

甲癌治疗区拟设置的 6 间甲癌病房，均为双人间病房(病房内 2 个床位间用 10mmPb 的铅屏风分隔)，各病房间均设置有 370mm 砖墙隔开，病房内设有与护士相连接的监控对讲装置。治疗区西侧设有专门的配餐窗口，并采用自动分装给药机分装药物，大大降低了医护人员的受照剂量。核医学工作场所控制区走廊出入口防护门设置有门禁系统，满足 GBZ120-2020“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”的要求。

核医学科 PET 和 SPECT 显像诊断区域药物分装、注射与扫描检查分开，注射后等候室内设有注射后病人专用卫生间，满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中关于核医

学工作场所对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）中关于安全操作的要求。

因此，本项目核医学工作场所相对独立，和其他工作区域相邻，但不相通，与同层的非放射性工作场所完全隔开。地下1层核医学科工作场所所在的辐射工作区域在该层均设有独立的出入口，出入口设置有单向门禁系统，可避免与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。

综上，本项目核医学科选址及布局基本合理。

## 二、非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，可计算出各核素的日等效最大操作量。日等效最大操作量计算公式见公示10-1，修正因子见表10-1与表10-2，计算结果见表10-3。

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}} \quad \dots\dots\text{式}(10-1)$$

**表10-1 放射性核素毒性组别修正因子**

毒性	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

**表10-2 操作方式与放射源状态修正因子**

操作方式	放射源状态			
	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

**表10-3核医学科工作场所分级计算结果**

工作场所	核素名称	计划日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	等效日最大操作量 (Bq)	工作场所分级	
核医学科	PET-CT	<sup>18</sup> F (使用)	7.4×10 <sup>9</sup>	低毒 0.01	10	7.4×10 <sup>6</sup>	乙级
		<sup>18</sup> F (贮存)	2.22×10 <sup>10</sup>	低毒 0.01	100	2.22×10 <sup>6</sup>	

SPECT-CT	<sup>89</sup> Zr	1.48×10 <sup>8</sup>	中毒 0.1	1	1.48×10 <sup>7</sup>
	<sup>124</sup> I	1.48×10 <sup>8</sup>	中毒 0.1	1	1.48×10 <sup>7</sup>
	<sup>68</sup> Ga	3.7×10 <sup>8</sup>	低毒 0.01	1	3.7×10 <sup>6</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	1.48×10 <sup>10</sup>	低毒 0.01	10	1.48×10 <sup>7</sup>
	<sup>131</sup> I (甲亢)	5.55×10 <sup>9</sup>	中毒 0.1	1	5.55×10 <sup>8</sup>
	<sup>131</sup> I (甲测)	3.7×10 <sup>6</sup>	中毒 0.1	1	3.7×10 <sup>5</sup>
	<sup>131</sup> I (甲癌)	2.22×10 <sup>10</sup>	中毒 0.1	1	2.22×10 <sup>9</sup>
	<sup>89</sup> Sr	2.96×10 <sup>8</sup>	中毒 0.1	1	2.96×10 <sup>7</sup>
	<sup>32</sup> P (液体)	4.44×10 <sup>8</sup>	中毒 0.1	1	4.44×10 <sup>7</sup>
	<sup>177</sup> Lu	7.4×10 <sup>9</sup>	中毒 0.1	1	7.4×10 <sup>8</sup>
	<sup>223</sup> Ra	3.7×10 <sup>6</sup>	极毒 10	1	3.7×10 <sup>7</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7.4×10 <sup>6</sup>	极毒 10	1	7.4×10 <sup>7</sup>
	合计*				

注：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）的规定，<sup>99m</sup>Tc的操作方式属于“很简单的操作”，<sup>131</sup>I的操作方式属于“简单的操作”。

因此，本项目核医学科工作场所应按照乙级工作场所进行管理和规划设计。

### 三、临床核医学工作场所分类

根据《核医学科放射防护要求》（GBZ 120-2020），一般临床核医学的活性实验室、病房、洗涤室、显像室等工作场所属于GB 18871规定的乙级或丙级非密封源工作场所。为便于操作，针对临床核医学实践的具体情况，可以依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，把工作场所分为I、II、III等三类。核素的加权活度计算公式如下：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \quad \dots\dots\text{式 (10-2)}$$

根据公式（10-2），计算得到核医学科所用核素的加权活度结果见表 10-4。

**表 10-4 核医学科放射性核素的加权活度计算**

工作场所	核素名称	日操作最大活度 (Bq)	核素毒性权重因子	操作性质修正因子	放射性核素加权活度 (MBq)	场所分类
源库	<sup>18</sup> F	2.22×10 <sup>10</sup>	1	100	2.22×10 <sup>9</sup>	3.153×10 <sup>10</sup> II类
	<sup>89</sup> Zr	1.48×10 <sup>8</sup>	100	100	1.48×10 <sup>8</sup>	
	<sup>124</sup> I	1.48×10 <sup>8</sup>	100	100	1.48×10 <sup>8</sup>	
	<sup>68</sup> Ga	3.7×10 <sup>8</sup>	100	100	3.7×10 <sup>8</sup>	
	<sup>99m</sup> Tc	1.48×10 <sup>10</sup>	1	100	1.48×10 <sup>8</sup>	
	<sup>131</sup> I (甲亢)	5.55×10 <sup>9</sup>	100	100	5.55×10 <sup>9</sup>	
	<sup>131</sup> I (甲测)	3.7×10 <sup>6</sup>	100	100	3.7×10 <sup>6</sup>	
	<sup>131</sup> I (甲癌)	2.22×10 <sup>10</sup>	100	100	2.22×10 <sup>10</sup>	

	<sup>89</sup> Sr	2.96×10 <sup>8</sup>	100	100	2.96×10 <sup>8</sup>		
	<sup>32</sup> P	4.44×10 <sup>8</sup>	100	100	4.44×10 <sup>8</sup>		
放射性废物间	<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>7</sup>	1	10	7.4×10 <sup>6</sup>	3.716×10 <sup>9</sup>	II类
	<sup>89</sup> Zr	1.48×10 <sup>6</sup>	100	10	1.48×10 <sup>7</sup>		
	<sup>124</sup> I	1.48×10 <sup>6</sup>	100	10	1.48×10 <sup>7</sup>		
	<sup>68</sup> Ga	3.7×10 <sup>6</sup>	100	10	3.7×10 <sup>7</sup>		
	<sup>99m</sup> Tc	1.48×10 <sup>8</sup>	1	10	1.48×10 <sup>7</sup>		
	<sup>131</sup> I (甲亢)	5.55×10 <sup>7</sup>	100	10	5.55×10 <sup>8</sup>		
	<sup>131</sup> I (甲测)	3.7×10 <sup>6</sup>	100	10	3.7×10 <sup>7</sup>		
	<sup>131</sup> I (甲癌)	2.22×10 <sup>8</sup>	100	10	2.22×10 <sup>9</sup>		
	<sup>89</sup> Sr	2.96×10 <sup>6</sup>	100	10	2.96×10 <sup>7</sup>		
	<sup>32</sup> P	4.44×10 <sup>6</sup>	100	10	4.44×10 <sup>7</sup>		
	<sup>177</sup> Lu	7.4×10 <sup>7</sup>	100	10	7.4×10 <sup>8</sup>		
	<sup>223</sup> Ra	3.7×10 <sup>4</sup>	100	10	3.7×10 <sup>5</sup>		
	<sup>225</sup> Ac	7.4×10 <sup>4</sup>	100	10	7.4×10 <sup>5</sup>		
分装注射室	<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>9</sup>	1	1	7.4×10 <sup>9</sup>	3.679×10 <sup>12</sup>	I类
	<sup>89</sup> Zr	1.48×10 <sup>8</sup>	100	1	1.48×10 <sup>10</sup>		
	<sup>124</sup> I	1.48×10 <sup>8</sup>	100	1	1.48×10 <sup>10</sup>		
	<sup>68</sup> Ga	3.7×10 <sup>8</sup>	100	1	3.7×10 <sup>10</sup>		
	<sup>99m</sup> Tc	1.48×10 <sup>10</sup>	1	1	1.48×10 <sup>10</sup>		
	<sup>131</sup> I (甲亢)	5.55×10 <sup>9</sup>	100	1	5.55×10 <sup>11</sup>		
	<sup>131</sup> I (甲测)	3.7×10 <sup>6</sup>	100	1	3.7×10 <sup>8</sup>		
	<sup>131</sup> I (甲癌)	2.22×10 <sup>10</sup>	100	1	2.22×10 <sup>12</sup>		
	<sup>89</sup> Sr	2.96×10 <sup>8</sup>	100	1	2.96×10 <sup>10</sup>		
	<sup>32</sup> P	4.44×10 <sup>8</sup>	100	1	4.44×10 <sup>10</sup>		
	<sup>177</sup> Lu	7.4×10 <sup>9</sup>	100	1	7.4×10 <sup>11</sup>		
	<sup>223</sup> Ra	3.7×10 <sup>6</sup>	100	1	3.7×10 <sup>8</sup>		
	<sup>225</sup> Ac	7.4×10 <sup>6</sup>	100	1	7.4×10 <sup>8</sup>		
注射后候诊室 (PET/CT)	<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>9</sup>	1	10	7.4×10 <sup>8</sup>	7.4×10 <sup>9</sup>	II类
	<sup>89</sup> Zr	1.48×10 <sup>8</sup>	100	10	1.48×10 <sup>9</sup>		
	<sup>124</sup> I	1.48×10 <sup>8</sup>	100	10	1.48×10 <sup>9</sup>		
	<sup>68</sup> Ga	3.7×10 <sup>8</sup>	100	10	3.7×10 <sup>9</sup>		
注射后候诊室 (SPECT/CT)、运动负荷室	<sup>99m</sup> Tc	1.48×10 <sup>10</sup>	1	10	1.48×10 <sup>9</sup>	1.48×10 <sup>9</sup>	II类
PET/CT	<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>9</sup>	1	10	7.4×10 <sup>8</sup>	7.4×10 <sup>9</sup>	II类

机房	<sup>89</sup> Zr	1.48×10 <sup>8</sup>	100	10	1.48×10 <sup>9</sup>		
	<sup>124</sup> I	1.48×10 <sup>8</sup>	100	10	1.48×10 <sup>9</sup>		
	<sup>68</sup> Ga	3.7×10 <sup>8</sup>	100	10	3.7×10 <sup>9</sup>		
SPECT/ CT机房	<sup>99m</sup> Tc	1.48×10 <sup>10</sup>	1	10	1.48×10 <sup>9</sup>	1.48×10 <sup>9</sup>	II类
留观室	<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>9</sup>	1	10	7.4×10 <sup>8</sup>	1.184×10 <sup>10</sup>	II类
	<sup>89</sup> Zr	1.48×10 <sup>8</sup>	100	10	1.48×10 <sup>9</sup>		
	<sup>124</sup> I	1.48×10 <sup>8</sup>	100	10	1.48×10 <sup>9</sup>		
	<sup>68</sup> Ga	3.7×10 <sup>8</sup>	100	10	3.7×10 <sup>9</sup>		
	<sup>99m</sup> Tc	1.48×10 <sup>10</sup>	1	10	1.48×10 <sup>9</sup>		
	<sup>89</sup> Sr	2.96×10 <sup>8</sup>	100	10	2.96×10 <sup>9</sup>		
甲癌病房	<sup>131</sup> I (甲亢)	5.55×10 <sup>9</sup>	100	1	5.55×10 <sup>11</sup>	3.515×10 <sup>12</sup>	I类
	<sup>131</sup> I (甲癌)	2.22×10 <sup>10</sup>	100	1	2.22×10 <sup>12</sup>		
	<sup>177</sup> Lu	7.4×10 <sup>9</sup>	100	1	7.4×10 <sup>11</sup>		
甲测室	<sup>131</sup> I (甲测)	3.7×10 <sup>6</sup>	100	1	3.7×10 <sup>8</sup>	3.7×10 <sup>8</sup>	II类
敷贴室	<sup>32</sup> P	4.44×10 <sup>8</sup>	100	1	4.44×10 <sup>10</sup>	4.44×10 <sup>10</sup>	II类

本项目核医学科工作场所分装注射室、甲癌病房属于I类工作场所；源库、放射性废物间、SPECT 注射后候诊室、SPECT/CT扫描室、运动负荷室、ET注射后候诊室、PET注射后候诊室1和后候诊室2、PET/CT 扫描室、敷贴室、甲测室及留观室均属于II类工作场所。对照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“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”，各类工作场所要求见下表。

表 10-5 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	手套箱	室内通风	管道	盥洗及去污	结构屏蔽
I	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强通风	特殊的管道 <sup>a</sup>	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	需要
II	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	需要
III	易清洗	易清洗	不需要	一般自然通风	普通管道	洗手盆 <sup>b</sup>	不需要

注：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开关控制。

基于设计施工方便考虑，建议本项目核医学工作场所各用房保守均按I类工作场所设计。

### 10.1.1.2 放射治疗单元

#### 1、直线加速器

本项目拟建的加速器机房（共2间，其中东侧一间为预备机房）位于医疗综合楼外科病房楼地下2层放疗中心东北部，2间加速器机房为轴对称（以中间共用墙体中线为轴），配

有治疗室、控制室、水冷设备间，机房东面为实土层；北面为地下车库道路，再往北为地下土层；南面为加速器机房的准备室、控制室、配电房和水冷机房；西面为后装机控制室、操作准备间，再往西为后装机机房和水冷机房；楼上为地下 1 层土层，再往上为附属楼房一层（感染门诊）各功能房间；楼下为土层。治疗机房与其他辅助设施分离，加速器控制室与治疗室分离，2 间治疗室有效面积均约 74.6m<sup>2</sup>，治疗室设有迷道，有用线束不向迷道照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射，迷道位于机房的南部。

## 2、<sup>192</sup>I<sub>r</sub>后装机

本项目拟建后装机机房位于医疗综合楼外科病房楼地下 2 层放疗中心西北角，后装机机房东侧为后装机控制室和准备间；南侧为过道、水井间和楼梯，西侧为储源间和库房；北侧为水冷机房；楼上为地下 1 层土层，再往上为附属楼房一层（感染门诊）各功能房间；楼下为土层。拟建后装治疗机房配有控制室与治疗室，治疗室面积约 26.9m<sup>2</sup>。治疗室入口处设置迷道。

本项目放疗治疗单元放射防护要求分析见下表：

表 10-6 放疗机房放射防护要求符合性分析表

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的相关要求	加速器机房防护设计	后装机机房防护设计
放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域	本项目加速器机房位于拟建医疗综合楼外科病房楼地下 2 层东北角放疗中心，不与儿科病房、产房相邻，选址符合相关要求	本项目后装机机房位于拟建医疗综合楼外科病房楼地下 2 层东北角放疗中心，不与儿科病房、产房相邻，选址符合相关要求
放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流运输通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等；与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）	直线加速器机房内部（包含迷路）为控制区，其控制室、配电房及机房准备室为监督区	后装机机房内部（包含迷路）为控制区，其控制室、准备区、水冷机房和库房为监督区
放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能	本项目已经按额定最大能	本项目已经按额定最大能

量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射	量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，经预测，加速器机房有用线束照射方向及其他方向的防护屏蔽均满足相应屏蔽要求	量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，经预测，后装机机房四周防护墙的防护屏蔽均满足相应屏蔽要求
治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外	本项目加速器机房和后装机机房治疗室和控制室均分开设置，水冷机房设置于治疗机房外	
应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室,尽可能避开被有用线束直接照射	加速器机房控制室位于机房的南侧，避开有用线束的照射方向	/
放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要	加速器机房治疗室有效使用面积约 74.6m <sup>2</sup>	后装机治疗室使用面积约 26.9m <sup>2</sup>
放射治疗机房应设置强制排风系统，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；通风换气次数应不小于 4 次/h	机房采用机械通风，进排风口呈“上进下出，对角设置”，机房设计排风量为 3200m <sup>3</sup> /h，通风换气次数不低于 8 次/h	治疗室已设置机械通风装置，进排风口呈“上进下出，对角设置”，通风量为 1300m <sup>3</sup> /h，其通风换气次数为 12 次/h
治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30 cm 处（关注点）的周围剂量当量率应不大于其所确定的周围剂量当量率参考控制水平	经后文预测，加速器机房四周屏蔽墙和入口防护门外 30cm 处的周围剂量当量率均不大于其所确定的周围剂量当量率参考控制水平	经后文预测，后装机机房四周屏蔽墙和入口防护门外 30 cm 处的周围剂量当量率均不大于其所确定的周围剂量当量率参考控制水平
放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求	本项目加速器机房和后装机机房四侧墙体、顶棚及地坪均拟采用标准混凝土（ $\rho \geq 2.35\text{g/cm}^3$ ）浇注而成	
含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常	加速器机房迷路外墙（控制室侧）拟安装固定式剂量报警装置	后装机机房迷路外墙（控制室侧）拟安装固定式剂量报警装置
放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能	拟按要求设置	拟按要求设置
放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电	拟按要求设置	拟按要求设置

离辐射警告标志和工作状态指示灯		
放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置	拟按要求设置	拟按要求设置
放射源后装近距离治疗工作场所，应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以治疗房内墙面各设置一个急停开关	/	拟按要求设置
后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具	/	拟按要求设置
控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流	拟按要求设置	拟按要求设置
符合性分析	符合	符合

由上述可知，本项目加速器和后装机机房的放射防护要求均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中的相应要求。

### 10.1.1.3 介入治疗单元

#### DSA机房

本项目涉及 4 台 DSA 装置，位于拟建医疗综合楼医技楼 1 层 D 区介入治疗中心（1#DSA 机房和 2#DSA 机房）、2 层 CE 区心脏重症监护病房（CCU）（3#DSA 机房）和 4 层复合手术室（4#DSA 机房）。

1#DSA 机房东侧为准备室和设备间，南侧为病人廊，西侧紧邻污物暂存间，北侧为控制室，楼下为地下 1 层车库，楼上为电生理中心各功能用房；2#DSA 机房东侧为过道，南侧为病人廊，西侧为准备室和设备间，北侧为控制室，楼下为地下 1 层车库，楼上为电生理中心各功能用房；3#DSA 机房东侧为机房控制室和设备间，南侧临空，西侧为谈话间和准备间，北侧为污洗间和污物暂存间，楼下为通道和送风机房，楼上为是 ICU 病房；4#DSA 机房东侧和南侧为洁净走廊，西侧为准备室和设备间，北侧为污物走廊，楼下为供应中心，楼上为手术净化机房。

表 10-7 DSA 机房设计符合性分析

场所名称	《放射诊断放射防护要求》 （GBZ130-2020）要求	设计情况	是否满足要求
------	---------------------------------	------	--------

机房面积	不小于20m <sup>2</sup> ，单边长度不小于3.5m	本项目4间DSA机房最小面积为49m <sup>2</sup> ，单边长度最小为6.06m	满足
机房位置	X射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全	已设计墙体加防护涂料防护	满足
机房布局	要合理，不得堆放与诊断工作无关的杂物；机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态	已设计观察窗，设计合理，无杂物	满足
机房通风	机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风	设有机械通风系统，保持良好的通风	满足
标志、指示灯	机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动	拟在门口设电离辐射警告标志，醒目指示灯，放射防护注意事项等，并且机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动	满足

本项目 DSA 各机房平面布局，由图可知，本项目各 DSA 机房场所功能齐全，人流、物流分开，充分考虑了相邻工作场所人员的防护和安全，DSA 机房面积、最小边长、屏蔽防护措施均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求布局合理可行。

## 10.1.2 分区管理

### 10.1.2.1 分区依据和原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

**控制区：**在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

**监督区：**未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；并定期检查工作状态，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

电离辐射标志和电离辐射警告标志如图 10-1 所示：

### 10.1.2.2项目区域划分

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021），“核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域”，“核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。”，结合辐射防护和环境情况特点，本项目核医学用房和射线装置机房的控制区和监督区划分如下。

**表10-8本项目控制区和监督区划分情况**

场所名称	控制区	监督区
核医学单元	PET-CT机房（1间）、SPECT机房（2间。其中一间预留）、注射后等候室、注射分装室、给药处、源库、冲洗间、留观室、肺通气室、运动负荷/抢救室、甲测室、甲癌抢救室、给药后患者卫生间、甲癌治疗室（6间）、开水间及污物间、患者走廊等	PET-CT及SPECT-CT 控制廊、库房、排水机房、污物暂存间（东北角）、普通治疗室、骨密度室、敷贴室、护士站、分诊大厅、预注射室、更衣间、医生值班室、护长办、读片室、医生办公室、医生走廊，北侧过道及室外庭院等
放射治疗单元	加速器机房治疗室、后装机机房治疗室、后装机机房储源间	加速器及后装机准备室、控制室、水冷机房、配电房及后装机库房等
介入治疗单元	1#DSA机房、2#DSA机房、3#DSA机房和4#DSA机房	1#、2#、3#和4#DSA机房周围控制室、设备间、准备室、洁净走廊、病人走廊、污洗间，污物暂存间、污物走廊及体外循环室等

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

#### ①控制区防护手段与安全措施

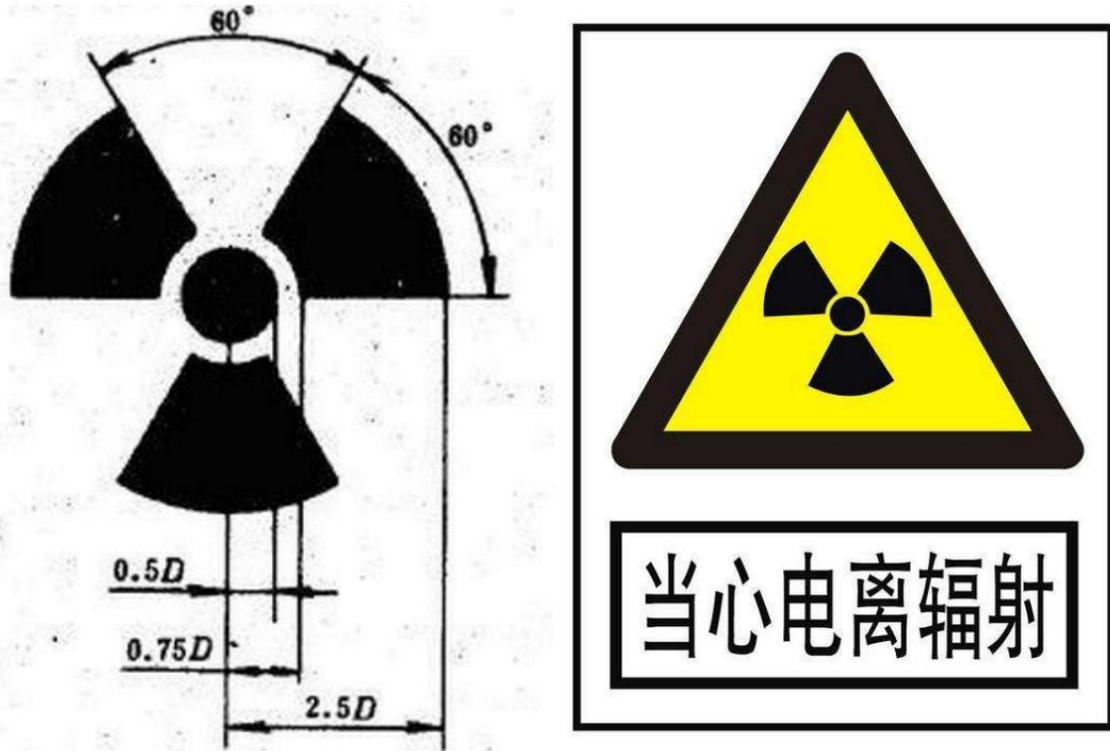
- a、控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志（图10-1）；
- b、制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- c、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；
- d、在更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；
- e、定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界；

#### ②监督区防护手段与安全措施：

- a、以黄线警示监督区的边界；

b、在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌：

c、定期检查该区的条件，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 电离辐射标志和电离辐射警告标志

### 10.1.3 辐射工作场所屏蔽设计

#### 1、核医学用房

表10-9 本项目核医学各工作用房辐射屏蔽设计

工作场所	设计面积(m <sup>2</sup> )	屏蔽体	设计值(防护当量)
PET-CT 机房	58.9	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	40cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		医护防护门	8mm 厚铅板(8mmPb)
		患者防护门	6mm 厚铅板(6mmPb)
		观察窗	8mmPb 铅玻璃
SPECT-CT 机房 1	47.2	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	25 cm 混凝土+1mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		防护门(医护、患者)	4mm 厚铅板(4mmPb)
		观察窗	4mmPb 铅玻璃
SPECT-CT 机房 2	44.1	东、南、西侧	24cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料

(预留)		墙体	
		北侧墙体	24cm 页岩实心砖+1mmPb 防护材料
		顶棚	40 cm 混凝土
		地坪	15cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		防护门(医护、患者)	4mm 厚铅板(4mmPb)
		观察窗	4mmPb 铅玻璃
注射分装室	26.8	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	40cm 混凝土+1mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+4mmPb 防护材料
		防护门	6mm 厚铅板(6mmPb)
		<sup>18</sup> F 注射台	30mmPb 铅玻璃
		<sup>99m</sup> Tc 注射台	30mmPb 铅玻璃
卫生通过间	7.6	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	40 cm 混凝土
		地坪	15cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		防护门	4mm 厚铅板(4mmPb)
源库	3.3	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+4mmPb 防护材料
		顶棚	40cm 混凝土+1mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+4mmPb 防护材料
		防护门	6mm 厚铅板(6mmPb)
给药室	7.3	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+5mmPb 防护材料
		顶棚	40cm 混凝土+1mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+5mmPb 防护材料
		防护传递窗	8mmPb 铅玻璃
		防护门	8mm 厚铅板(8mmPb)
门诊污物间	3.4	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+4mmPb 防护材料
		顶棚	40cm 混凝土+1mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+4mmPb 防护材料
		防护门	6mm 厚铅板(6mmPb)
甲测室	13.2	东、西侧墙体	24cm 页岩实心砖
		南、北侧墙体	37 cm 页岩实心砖
		顶棚	25cm 混凝土
		地坪	15cm 混凝土
		防护门	2 mm 厚铅板(2 mmPb)
送餐室	4.8	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+4mmPb 防护材料
		顶棚	40cm 混凝土+1mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+4mmPb 防护材料
		防护门	6mm 厚铅板(6mmPb)
运动负荷/抢救室	17.3	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	40 cm 混凝土
		地坪	15cm 混凝土+1mmPb 防护材料

		防护门	4mm 厚铅板 (4mmPb)
PET 一候室	18.4	东侧墙体	24cm 页岩实心砖+4mmPb 防护材料
		西侧墙体	24cm 页岩实心砖+4mmPb 防护材料
		南侧墙体	37 cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		北侧墙体	37 cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	25cm 混凝土+5mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+3mmPb 防护材料
		防护门	6mm 厚铅板 (6mmPb)
PET 二候室	18.1	东、西侧墙体	24cm 页岩实心砖+4mmPb 防护材料
		南、北侧墙体	37 cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	25cm 混凝土+5mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+3mmPb 防护材料
		防护门	6mm 厚铅板 (6mmPb)
SPECT-CT 候诊室	59.5	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	40 cm 混凝土
		地坪	15cm 混凝土+4mmPb 防护材料
		防护门	4mm 厚铅板 (4mmPb)
留观室	16.4	东、西侧墙体	24cm 页岩实心砖+4mmPb 防护材料
		南侧墙体	37 cm 页岩实心砖+4mmPb 防护材料
		北侧墙体	37 cm 页岩实心砖+5mmPb 防护材料
		顶棚	25cm 混凝土+8mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+5mmPb 防护材料
		防护门	6mm 厚铅板 (6mmPb)
肺通气室	8.5	四侧墙体	24cm 页岩实心砖
		顶棚	40cm 混凝土
		地坪	15cm 混凝土
		防护门	2mm 厚铅板 (2mmPb)
甲癌治疗室 1#、6#	30.7	四侧墙体	37cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	40cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+8mmPb 防护材料
		防护门	8mm 厚铅板 (8mmPb)
		门上观察窗	8mmPb 铅玻璃
甲癌治疗室 2#、4#	30.7	东侧墙体	37cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		南、西、北侧 墙体	37cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	40cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+8mmPb 防护材料
		防护门	8mm 厚铅板 (8mmPb)
		门上观察窗	8mmPb 铅玻璃
甲癌治疗室 3#、5#	30.7	东、南、北侧 墙体	37cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		西侧墙体	37cm 混凝土+2mmPb 防护材料

		顶棚	40cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+8mmPb 防护材料
		防护门	8mm 厚铅板 (8mmPb)
		门上观察窗	8mmPb 铅玻璃
甲癌病房抢救室	22.3	东、南、西、北侧墙体	37cm 页岩实心砖+5mmPb 防护材料
		顶棚	40cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+5mmPb 防护材料
		防护门	8mm 厚铅板 (8mmPb)
污洗间(甲癌病人用)	17.3	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+4mmPb 防护材料
		顶棚	40 cm 混凝土+1mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+4mmPb 防护材料
		防护门	6mm 厚铅板 (6mmPb)
患者走廊 A	116.2	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+2mmPb 防护材料
		顶棚	25 cm 混凝土+1mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+2mmPb 防护材料
		防护门	8mm 厚铅板 (8mmPb)
患者走廊 B	60.1	四侧墙体	24cm 页岩实心砖+4mmPb 防护材料
		顶棚	40 cm 混凝土+1mmPb 防护材料
		地坪	15cm 混凝土+4mmPb 防护材料
		防护门	8mm 厚铅板 (8mmPb)
注：防护材料：硫酸钡涂料（密度 $\geq 3.8\text{g/cm}^3$ ）；页岩实心砖（密度 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ ）；混凝土（密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ ）。			

## 2、直线加速器

本项目直线加速器有用束照射方向为东、西方向及顶棚和地面，2间机房（右侧加速器机房为预备机房）呈左右对称布置，机房治疗室净面积约74.6m<sup>2</sup>，治疗室内部净高为4.2m，设计采用密度2.35t/m<sup>3</sup>的混凝土浇筑。加速器机房屏蔽防护措施详见表10-8。

**表10-10 直线加速器机房屏蔽防护措施一览表**

防护措施			防护参数	标准要求	符合性
			1#加速器机房（15MV）		
屏蔽材料及厚度	东墙	主屏蔽区	3000 mm 混凝土（宽 4000 mm）	有用线束直接照射的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙体按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GB18871 的要求；X 射线能量超过 15MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。	符合
		次屏蔽区	1560 mm 混凝土		
	西墙	主屏蔽区	3000 mm 混凝土（宽 4800 mm）		
		次屏蔽区	1800 mm 混凝土		
	北墙（侧墙）		1500 mm 混凝土		
	南墙	迷道内墙	800mm（最窄处）~1500 mm（最宽处） 混凝土		
		迷道外墙	1000 mm（最窄处）~1500mm（最宽处） 混凝土		
顶棚	主屏蔽区	3000 mm 混凝土（外凸）			

	次屏蔽区	1800 mm 混凝土		
	迷道外防护门	2mm 钢板+15mm 铅板+200 mm5%含硼聚乙烯+10 mm 铅板+2mm 钢板		
警示标志	联锁装置	拟设置	治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备；治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁；相关位置应安装醒目的放射指示灯及辐射标志。	符合
	电离辐射警告标志	拟设置		
	控制室设置照射监控系统	拟设置		
通风	新风口	1 个	治疗室通风换气数不低于 4 次/h	符合
	排风口	1 个		
	风量及换气次数	风量为 3200m <sup>3</sup> /h，换气次数约 8 次/h		
备注：铅密度≥11.34g/cm <sup>3</sup> 混凝土密度≥2.35g/cm <sup>3</sup> 。				

对照表 10-8 可知，加速器机房防护措施满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《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/T201.2-2011）中有关布局的要求，加速器机房平面布局合理。

### 3、<sup>192</sup>Ir 后装机

表 10-11 <sup>192</sup>Ir 后装机屏蔽设施一览表

防护措施	项目	防护屏蔽设施	标准要求	符合性
屏蔽材料及厚度	迷道外墙（南侧）	800mm 混凝土	治疗室应与准备室、控制室分开设置；治疗室入口应采用迷路设计；防护设计应符合 GBZ/T201.3 的要求；	符合
	迷道内墙（南侧）	800mm 混凝土		
	西、北墙	800mm 混凝土		
	东墙	800 mm 混凝土		
	顶棚	800 mm 混凝土		
	防护门	2mm 钢板+10mmPb+2mm 钢板		
	迷道	L 型迷道，长 5.0m×宽 1.8m		
	电缆出口	U 型		
警示标志	联锁装置	拟设置	治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备；治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与后装机联锁；相关位置应安装醒目的放射指示灯及辐射标志。	符合
	电离辐射警告标志	拟设置		
	控制室设置照射监控系统	拟设置		
通风	通风口	新风口 1 个、排风口 1 个、风量	治疗室应设置机械通风装置，其	符合

		为 1300m <sup>3</sup> /h, 换气次数约 12 次/h	通风换气能力应达到治疗期间使空气每小时交换不小于 4 次	
其他	治疗室防护门拟设置手动开门装置		治疗室防护门应设置手动开门装置	符合
	拟按要求配备储源容器、长柄镊子等应急设备		治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备	
	拟按要求配备辐射监测设备, 并具有报警功能		应配备辐射监测设备或便携式测量设备, 并具有报警功能	
	拟按要求在控制台、后装机设备表面及治疗机房内墙面各设置一个急停开关		放射源后装近距离治疗工作场所, 应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置一个急停开关	符合
	拟按要求配备应急储源器		$\gamma$ 源后装治疗设施应配备应急储源器	符合

备注: 铅密度 $\geq 11.34\text{g/cm}^3$  混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ 。

因此, 本项目后装机设计符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分:  $\gamma$ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014) 相关要求。

4、DSA

表 10-12 DSA 机房屏蔽设计情况

机房名称	机房位置	分类	机房有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	最小单边长度 (m)	辐射屏蔽材料及厚度						符合性
					四侧墙体	顶棚	地坪	工作人员防护门	受检者防护门	观察窗	
1#DSA 机房	医疗综合楼医技楼 1 层 D 区介入治疗中心西侧	设计值	55	6.76	24cm 实心砖+20mm 防护涂料	20cm 混凝土+20mm 防护涂料	20cm 混凝土+20mm 防护涂料	3mm 铅板	3mm 铅板	15mm 铅玻璃	符合
		折算值	—	—	4.0	4.5	4.5	3.0	3.0	3.0	
		标准*	30	4.5	2	3	2	2	2	2	
2#DSA 机房	医疗综合楼医技楼 1 层 D 区介入治疗中心东侧	设计值	55	6.76	24cm 实心砖+20mm 防护涂料	20cm 混凝土+20mm 防护涂料	20cm 混凝土+20mm 防护涂料	3mm 铅板	3mm 铅板	15mm 铅玻璃	符合
		折算值	—	—	4.0	4.5	4.5	3.0	3.0	3.0	
		标准	30	4.5	2	3	2	2	2	2	
3#DSA 机房	医疗综合楼 2 层 CE 区心脏重症监护病房 (CCU)	设计值	49	6.06	24cm 实心砖+20mm 防护涂料	20cm 混凝土+20mm 防护涂料	20cm 混凝土+20mm 防护涂料	3mm 铅板	3mm 铅板	15mm 铅玻璃	符合
		折算值	—	—	4.0	4.5	4.5	3.0	3.0	3.0	
		标准*	30	4.5	2	3	2	2	2	2	
4#DSA 机房	医疗综合楼医技楼 4 层复合手术室	设计值	76	7.42	24cm 实心砖+20mm 防护涂料	20cm 混凝土+20mm 防护涂料	20cm 混凝土+20mm 防护涂料	4mm 铅板	4mm 铅板	20mm 铅玻璃	符合
		折算值	—	—	4.0	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	
		标准*	30	4.5	2	3	2	2	2	2	

注：\*本项目 DSA 有用线束朝上，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），标称 125 kV 以上的摄影机房，有用线束方向铅当量厚度要求 3mmPb，非有用线束方向铅当量厚度要求 2mmPb。铅密度为 11.34g/cm<sup>3</sup>，实心砖密度为 1.65g/cm<sup>3</sup>，混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>，铅玻璃密度为 4.2 g/cm<sup>3</sup>，防护涂料密度为 3.8 g/cm<sup>3</sup>。

通过表 10-12 可知，本项目 DSA 机房屏蔽防护、面积、最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关要求。

## 10.1.4 污染防治措施

### 10.1.4.1 核医学拟采取的污染防治措施

#### 一、辐射屏蔽防护

1、核医学科工作场所屏蔽设计见章节10.1.3，屏蔽设计评价见报告章节11环境影响分析。

2、辐射工作场所应严格按照相关规范设计机房防护，衰变池容量、通往衰变池的排水管道等。建设单位必须严格施工监理，保证施工质量，并严格按照各项设计和要求完成施工。

#### 二、辐射安全措施

核医学用房均拟按《核医学科放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中乙级工作场所来进行设计施工，具体如下：

1、核医学科将加强对病人的管理，拟设置病人专用的进口与出口、进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进）、专用厕所，明确工作场所“两区”的划分。患者通道内的相应位置均设置视频监控系统，以对辐射工作场所的情况进行实时监控，及时发现突发情况并及时进行处理。

2、核医学用房装修时，控制区和监督区的地面与工作台面均拟铺设塑料地坪，地面平整光滑无接缝，易于清洗不渗漏，有利于表面污染的防治。

3、核医学工作场所拟设置卫生通过间，有利于工作人员污染的防治。

4、核医学工作场所拟设置放射性药物注射后受检者等候、检查及检查结束后的走向标识，有效引导受检者走向。

5、淋浴间和注射后候诊室、留观室的卫生间洗手台均设置为感应式水龙头，受检者专用卫生间的便池拟设为感应式节水座便马桶。

6、设置受检者注射后专用厕所和甲癌病房患者专用厕所，分装注射室设有清洗池，放射废水直接流向衰变池。给药后受检者在各自给药后等候室内进行候诊严禁串门，等候室设置移动铅屏风，防止患者之间相互照射影响，严禁患者在通道内穿行，以避免与其他受检者之间的交叉照射；受检者的排泄、呕吐物等均由受检者专用厕所排放至衰变池内。

7、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、清洗池等选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部采用向上冲淋的流动水。

8、放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接拟设计成尽可能少的死区，下水道

宜短，大水流管道拟设标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

9、设置甲癌病房、甲癌病人走廊监视器，医护人员全程监控控制区内情况。

10、甲癌病房患者的被服统一收集到甲癌病房专用污物间放置，让放射性物质自行衰变，经检测确认低于限制水平后，方移送到污衣回收间做一般处理。

11、按相关标准要求设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为3组槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。并设计有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。衰变池的容积充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体设计为坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

### 三、安全防护设施

#### 1、警告设施

a、在核医学科控制区各房间防护门外及衰变池处设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

b、在卫生通过间门口设置明显禁止进入标志，防止给药前病人、病人家属及其他无关人员等进入放射性药物分装室、给药处等医务人员工作场所；

c、在 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭；

#### 2、紧急止动装置

在控制台上、机房内、治疗床上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、SPECT-CT 停止运行。

#### 3、操作警示装置

PET-CT、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、视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核医学科工作场所进出/口情况；PET-CT、SPECT-CT 机房和控制廊之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置于机房内受检者联系。

#### 5、门禁系统

核医学科进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药受检者随意进出，严禁无关人员滞留或误入。受检者通道内的相应位置均设置视频监控系统，以对辐射工作场所的情况进行实时监控，及时发现突发情况并及时进行处理。

a、在核医学科病人入口处和通道中设置专用门禁系统，只允许单向通行，防止给药后病人进入监督区和给药前病人、病人家属及其他无关人员等进入控制区；

b、在核医学科病人出口处设置专用门禁系统，防止给药后病人不遵循医生要求，未达到规定的留观时间擅自出控制区。

#### 四、储源库设置要求

1、医院拟设一间专门的储源库（本项目PET-CT所用的<sup>68</sup>Ge校准源单独备案，不在本次评价范围内），项目核医学科使用的各核素由供应单位派专人直接送至储源库，储源库防护门拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员24小时监控。

2、核医学科使用的放射性药物应向厂商按需订购，生产厂商根据医院订购合同，按时定量将放射性药物直接送达核医学科储源库，使用时工作人员从储源库内拿出，连同铅罐包装放置于手套箱内。

3、储源库应设置报警装置与当地公安“110”联网，同时管理上应做到双人双锁，确保其具备“防盗、防丢失、防破坏”的功能，同时还需设置红外监控录像设备，且录像保存时间在30天以上，主要包括：保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控、门口设置红外报警系统和电离辐射标志。

4、应建立放射性药物的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射药物时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

5、应定期检查放射性药物的实际库存数量及贮存场所。

6、消防安全：储源库内严禁烟火，配置干粉灭火器，建筑物耐火等级按2级设计。

#### 五、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，环评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，须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《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

## 六、人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者/患者及本次评价范围内其他人员。

### (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。

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、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；留观室设置铅屏风以防止病人间相互照射。

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。

## 七、操作过程中的防护措施

### (1) 放射性药品的操作防护

除注射、给药外，其余涉及放射性药物的所有操作均在密闭手套箱内进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱拟设计单独的排风系统，并在其顶端安装活性炭或其他过滤装置；手套箱的通风系统排气口高于本建筑物屋顶，远离邻近的高层建筑。手套箱操作台面按相关标准要求做到光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。手套箱底部拟设有10mmPb废物收集桶，用于暂时收集放射性废物，装满的收集桶置于污物间。

放射性药物在注射过程中医生均要做好个人防护措施，包括穿戴铅衣、铅帽、铅手套和铅围脖等，均具备0.5mmPb当量，2个注射操作台均拟采用30mm铅当量铅玻璃防护，并使用注射防护手套。注射操作时，医生（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等候室等候。

医院拟采用自动分装给药机对进行给药，工作人员通过视频监控装置远程操作并指导患者服药。

### (2) 服药和注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，所有核素操作均不允许有陪护人员；陪护人员不允许进入核医学科；医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封源工作场所，同时要求病人在注射后观察期内及住院期间禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入专用厕所，最终排入本项目拟建衰变池。

## 七、内照射防护措施

操作非密封型放射性药物时，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，本项目要求放射性药物暂存、分装、使用均在手套箱中进行，手套箱通风速率不低于1m/s。分装注射室设有手套箱，可以有效降低高活室内空气中的放射性物质浓度。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；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。严格遵守个人卫生制度和操作规程，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。辐射工作人员离开核医学科在缓冲间进行必要的表污监测和污染洗消后才能离开。

## 八、防护设备与防护用品

建设单位拟配置的个人防护用品见表10-13。

**表10-13 本项目核医学科工作场所防护用品与监测设备配置表**

序号	所需产品名称	设置场所	数量	铅当量
1	手套箱	分装注射室	2台	40mmpb
2	自动分装注射机	分装注射室	1台	40mmpb
3	储源铅罐	源库	2个	50mmpb
4	铅衰变柜	污物间	2个	10mmpb
5	脚踏式废物桶	分装注射室(2个)、服碘室、SPECT 注射后候检室、PET注射后候检室、留观室(各1个)、甲癌病房(6个)	12个	10mmpb
6	自动分装给药机	分装注射室	1个	20mmpb
7	注射器防护套	分装注射室	1个	10mmpb
8	注射器防护套	分装注射室	1个	4mmpb
9	人员立式注射防护车	分装注射室	1个	20mmpb
10	注射窗口 $^{18}\text{F}$	分装注射室	1个	30mmpb
	注射窗口 $^{99\text{m}}\text{Tc}$		1个	4mmpb
11	保险柜	源库	1个	30mmpb
12	去污工具组	卫生通过间	1套	/
13	PET 机房移动式铅屏风	PET 机房	2个	20mmpb
	SPECT 机房移动式铅屏风	SPECT 机房	2个	4mmpb
14	移动式铅屏风	PET、SPECT 候诊室、甲癌房间	7个	10mmpb
15	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	PET、SPECT 机房	每名辐射工作人员一套	0.5mmpb
16	个人剂量报警仪	/	每名辐射工作人员一个	/
17	个人剂量计	/	每名辐射工作人员一个	/
18	$\alpha/\beta$ 表面污染仪	/	1台	/
19	便携式 X- $\gamma$ 射线巡测仪	/	1台	/

20	活度计	/	2台	/
----	-----	---	----	---

本项目核医学科运行期间主要污染物为X- $\gamma$ 射线、 $\beta$ 表面污染等，根据项目特点，医院拟配置 $\alpha/\beta$ 表面污染仪、便携式X- $\gamma$ 射线巡测仪，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

#### 10.1.4.2 直线加速器拟采取的污染防治措施

##### 1、加速器治疗场所固有防护措施

(1) 视频监控系统、对讲系统。治疗室和控制室之间安装有监控、对讲系统，每个治疗室内至少设2个摄像头、迷道内设1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情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在操作室观察患者在治疗室内的状况、及时处理意外情况。

(2) 控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

(3) 运动使能开关。为防止工作人员误操作造成事故，在手控盒两侧设置运动使能开关，只有当左右两侧的开关同时按下时才能对机器运动部件进行启动和控制。

(4) 急停开关。治疗床侧和控制室内各设急停开关 1 个，另在加速器机房治疗室内主射线照射范围之外的墙体及迷道均设置 4 个急停开关，设置于便于操作的位置、并明显指示，发现异常时，按下此开关，可立即切断加速器主电源、停止出束。

(5) 剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解病人剂量情况；同时通过机房内监测探头，也可了解机房内剂量率情况。

(6) 密码设置。加速器、后装机设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

(7) 病人剂量监测与治疗控制的安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，不致出现超剂量照射，系统设置了治疗剂量、治疗时间和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定限值时，联锁装置会立即启动，以停止照射。

(8) 门机安全联锁和门灯联锁。机房门、机房门上方指示灯与控制台控制开关实现联锁，机房门关闭、指示灯亮，控制台方能启动出束；门开、指示灯灭，加速器无法启动出束，装置启动时警示灯保持常亮；安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

(9) 放射治疗室拟设置室内紧急开门装置，防护门设置防夹伤功能。

## 2、操作过程中的辐射安全与防护措施

(1) 医院拟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，医院拟设两名或以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室有工作人员值守。

(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。

## 3、其他防护措施

(1) 为每个辐射工作场所配备个人剂量报警仪1台，为每名辐射工作人员配备个人剂量计，工作人员在工作期间应正确佩戴个人剂量计，在进入机房时应持个人剂量报警仪；在机房迷道内、防护门内侧设置紧急开门装置，保证在出现紧急情况时，机房内人员能够手动打开机房防护门；防护门设防夹措施。

(2) 建设单位在加速器工作场所配备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及累积剂量，并有报警功能，其显示单元设置在控制室内；

(3) 放疗中心配备1台便携式X- $\gamma$ 射线巡测仪；

(4) 每间控制室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

(5) 每间机房应配备成人、儿童铅衣、铅帽、围脖、三角巾等个人防护用品与辅助防护设施至少各 1 套，降低患者非受照部位的照射剂量；

(6) 在路口设置警示牌，告诫行人勿长时间停留；机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

(7) 在机房墙体合适位置和防护门上张贴电离辐射警示标识，在控制区墙体合适位置张贴警示标识。

(8) 建设单位拟在放射治疗机房设置防火报警装置，并设置机械通风装置，采用“上送、下排”的通风方式，其排风量为3200m<sup>3</sup>/h，通风换气能力约8次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风换气次数不小于4次/h”的要求。

### 10.1.4.3 <sup>192</sup>I<sub>r</sub>后装机拟采取的污染防治措施

1、机房治疗室入口拟采用迷路设计，设置门机联锁，并在治疗室门上要有声、光报警，

迷道内设置停机、开门按钮。治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器等；

2、放射源的更换必须由合格的专业技术人员，在放射防护人员监督下进行。退役放射源必须及时退还原生产厂家处理处置；

3、拟设置防止非工作人员操作的锁定开关、施源器与源联锁、管道遇堵自动回源、仿真源模拟运行、主机外表电离辐射警示标志、控制台显示放射源位置、控制台紧急停止照射按钮、停电或意外中断照射时自动回源装置、手动回源措施等；

4、拟设置治疗室固定式辐射水平监测仪、治疗室迷道、治疗室门与出源联锁、放射源返回储源器的应急开关、治疗室电视监控对讲装置、入口处电离辐射警示标志、入口处源工作状态显示、停电或意外中断照射时声光报警装置；

5、放射源贮存场所拟设置满足防火、防水、防爆、防腐蚀、防盗要求的放射源库或存放放射源的保险柜，并设有双人双“锁”及防盗门窗等；

6、放射源贮源器表面标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的电离辐射警示标识；

7、装载后装治疗用放射源的运输贮源器存放在专用贮源库内；

8、实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源应能自动返回工作贮源器，并显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时应发出声光报警信号。当自动回源装置功能失效时，应有手动回源措施进行应急处理；

9、控制台上拟设紧急停机开关，通过 $\gamma$ 射线监测显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态；

10、治疗室拟设置机械通风装置，其排风量为 $1300\text{m}^3/\text{h}$ ，通风换气能力约 $12\text{次}/\text{h}$ ；

11、治疗室防护门拟设置手动开门装置；

12、在控制室与治疗室之间拟设监视与对讲设施；

13、拟配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近；

14、治疗室内拟配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备；

15、人员安全防护：拟配置铅衣、铅手套、铅眼镜、铅围脖、铅帘等防护用品，配置监测仪器、个人剂量报警仪；

16、个人剂量监测：放射工作人员均拟配个人剂量计，在上班期间必须佩戴。医院定期

(每季度一次)将个人剂量计送有资质单位进行检测,检测结果存入个人剂量档案;

17、人员培训:相关放射工作人员取得相应的培训检测资质证,进行放射防护知识培训及考核后持证上岗。上岗后,医院拟按组织其定期进行职业健康体检,建立个人健康档案,并定期组织放射工作人员的再培训,以保证放射工作人员达到所需要的水平。

#### 10.1.4.4 DSA拟采取的污染防治措施

##### (1) DSA设备防护性能

- 1、设备出线口上应安装限束系统(如限束器、光阑等)。
- 2、X射线管组件上应有清晰的焦点位置标示。
- 3、X射线管组件上应标明固有滤过,所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。
- 4、随机文件应说明下列与防护有关的性能:
  - a) X射线管组件的固有滤过;
  - b) X射线源组件的滤过;
  - c) 滤过片的特性;
  - d) 距焦点100 cm远处球面上泄漏辐射的空气比释动能率;
  - e) 限制有用线束的方法;
  - f) 在焦点到影像接收器的各种距离下有用线束照射野尺寸;
  - g) 焦点到影像接收面的最大和最小距离;
  - h) 管电压和管电流加载条件;
  - i) 各种使用条件下焦皮距的说明;
  - j) 位于有用线束中床板和滤线栅对 X 射线束的衰减当量;
  - k) X射线设备随机文件中应提供等剂量图,描述设备周围的杂散辐射的分布以及工作人员典型位置的杂散辐射值,便于工作人员选择防护方案;
- 5、设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。
- 6、设备在机房内应具备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。
- 7、设备应配备能阻止使用焦皮距小于20cm的装置。
- 8、介入操作中,设备控制台和机房内显示器上应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。

本项目DSA设备拟购买于正规厂家,设备各项安全措施齐备,均能满足以上要求。

## (2) DSA机房防护设施

1、本项目拟合理设置DSA、机房的门、窗和管线口位置，避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

2、机房拟设置动力通风装置，并保持良好的通风。

3、机房门外拟设电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏，警告无关人员请勿靠近。手术期间，陪护人员禁止进入监督区域和控制区域。

4、本项目DSA机房拟设平开机房门，平开机房门拟设自动闭门装置；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

本项目每台DSA均设有单独的机房，DSA机房内布局合理，避免了有用线束直接照射门、窗和管线口位置和工作人员操作位，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，机房设计均能满足以上要求。

## (3) DSA机房屏蔽

1、根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求：标称125 kV以上的摄影机房有用线束方向机房的屏蔽防护铅当量不低于3mmPb，非有用线束方向机房的屏蔽防护铅当量不低于2mmPb；

2、机房的门和窗关闭时应满足以上要求。

本项目所设计各DSA机房墙体、门和窗（关闭时）辐射防护屏蔽能力均能满足辐射环境保护要求（详见表10-12）。

## (4) DSA工作场所防护用品及防护设施配置

1、每台DSA设备根据工作内容，现场应配备不少于表7-11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。

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。

4、个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

本项目同时在单个DSA机房内进行介入手术的人员最多为4人，拟为每个机房配备铅衣4套、铅橡胶颈套5个、铅围裙5件、铅橡胶帽子5个、介入防护手套4副、铅眼镜4副、移动铅防护屏风一扇，其中铅衣、铅橡胶帽子和铅眼镜具有0.35mm厚铅当量，铅橡胶颈套、铅围裙具有0.5mm厚铅当量，介入防护手套具有0.025 mm厚铅当量，移动铅防护屏风具有2.0mm厚铅当量，并配备铅悬挂屏1件、铅防护吊帘1件、床侧防护帘1件、床侧防护屏1件，辅助防护设施具有0.5mm厚铅当量满足标准要求。

#### (5) 设备操作时的防护安全措施

1、放射工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护和有关法律知识的培训，满足放射工作人员岗位要求。

2、根据不同检查类型和需要，选择使用合适的设备、照射条件、照射野以及相应的防护用品。

3、合理选择各种操作参数，在确保达到预期诊断目标条件下，使受检者所受到的照射剂量最低。

4、如设备具有儿童检查模式可选项时，对儿童实施检查时应使用该模式；如无儿童检查模式，应适当调整照射参数（如管电压、管电流、照射时间等），并严格限制照射野。

5、X射线设备曝光时，应关闭与机房相通的门、窗。

6、放射工作人员应按《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求接受个人剂量监测。

7、在进行病例示教时，不应随意增加曝光时间和曝光次数。

8、不应使用加大摄影曝光条件的方法，提高过期胶片的显影效果。

9、工作人员应在有屏蔽的防护设施内进行曝光操作，并应通过观察窗等密切观察受检者状态。

10、DSA应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。

11、除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

12、医院为DSA项目工作人员、患者和受检者配置的个人防护用品和辅助防护设施，全部新购，防护用品的种类、数量、防护厚度须按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求执行。

### (6) 其他安全措施

1、视频监控系统、对讲系统。机房和控制室之间安装有监视、对讲系统，控制室内能通过监控显示系统可观察机房内的情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在操作室观察患者在机房内的状况、及时处理意外情况。

2、本项目所有辐射工作人员拟配备个人剂量计：**必须采用双剂量计检测方法（分别佩戴于铅围裙外锁骨对应的领口位置、铅围裙内躯干上）**，另外DSA手术人员还将在腕部佩戴个人剂量计，以显示手部皮肤所受剂量。

3、DSA设备配备可升降的含铅挡板或悬挂防护屏，为受检人的非检查部位提供遮挡，尽量减少受照剂量。床侧配套防护铅帘，以减少对手术医生的受照剂量。射线装置均装有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，减少泄漏辐射。

## 10.2 三废的治理

本项目三废主要来自核医学科工作场所产生的含放射性核素的废水、废气与固体废物及各辐射工作场所产生的废气。为确保三废排放符合相关标准要求，拟采取以下污染防治措施。

### 10.2.1 废气处理

#### 1、核医学单元

##### ①废气管道风量、走向及排放口

鉴于甲癌病房放射性废气为高活度放射性废气且持续性产生，有别于门诊低活度间断性产生的放射性废气，要求甲癌病房治疗工作场所的通风系统和门诊的通风分开单独设计，作为两个单独的排放系统将放射性废气单独引至排风井。本项目医疗综合楼外科病房楼地下1层核医学科工作场所排风井共分为两处，分别位于核医学用房东侧和西侧。PET-CT、SPECT-CT机房及控制廊、患者走廊A东段管线向东延伸至东侧排风井至医疗综合楼外科病房楼顶排放；诊断工作场所中分装注射室、注射后候诊室、储源库、留观室、污物间（门诊）、甲测室、运动负荷/抢救室、肺通气室、卫生通过间及患者走廊A西段等场所排风向西延伸由西侧排风井至医疗综合楼楼顶排放。分装注射室手套箱拟设独立的排风管道，排风量为4000m<sup>3</sup>/h，流速不低于1m/s，手套箱顶端安装活性炭过滤器；给药室、甲癌病房（6间）、污物间（甲癌病房）、患者走廊B均单独设有排风管道，由西侧排风井中加设的竖管排至楼顶医疗综合楼外科病房楼楼顶排放。楼顶排风口拟设置高效过滤器+活性炭吸附二级处理设施。本项目活性炭一次装量约5kg，约半年更换一次，废活性炭暂存于核医学科废物间。

## ②废气排放口设置合理性分析

核医学科产生的废气经由排风井排至医疗综合楼外科病房楼（17层、72.8m）楼顶1.5米以上，周围50m范围内无遮挡物，排气口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标，排气口拟设置取样、采样平台，便于日常的环境监测。本项目采用数字化节能排风机（西侧风量15000 m<sup>3</sup>/h、东侧风量2000 m<sup>3</sup>/h），各排风管内保持负压，拟安装防回流装置，并拟在风机出风段设高效过滤器+活性炭吸附二级处理设施。

综上，本项目废气排放口设置是合理的。

## ③废气排放浓度达标性分析

<sup>18</sup>F等核素为非挥发性核素，本项目不进行浓度定量分析。<sup>131</sup>I、<sup>124</sup>I核素为挥发性核素，本环评主要对<sup>131</sup>I、<sup>124</sup>I做浓度达标性分析。

本项目<sup>131</sup>I和<sup>124</sup>I日最大操作量分别为 $2.755 \times 10^{10}$ Bq和 $1.48 \times 10^8$ Bq，<sup>131</sup>I和<sup>124</sup>I使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需加热、振荡等步骤，因此保守考虑<sup>131</sup>I和<sup>124</sup>I核素的挥发率为0.2%。则本项目放射废气气载核素量日产生量分别为 $5.51 \times 10^7$ Bq和 $2.96 \times 10^5$ Bq，则在1h内<sup>131</sup>I有约 $1.378 \times 10^7$ Bq排入外环境（以日操作4h计）；在1h内<sup>124</sup>I有约 $2.96 \times 10^5$ Bq排入外环境（以日操作1h计）。排放口风机风量为4000m<sup>3</sup>/h，手套箱顶部安装活性炭过滤器，经活性炭吸附后排入排风井，活性炭过滤综合效率以99.5%计，则排风井排放口<sup>131</sup>I和<sup>124</sup>I排放浓度分别为6.89Bq/m<sup>3</sup>和0.987Bq/m<sup>3</sup>，满足排放口<sup>131</sup>I核素浓度不高于16.27Bq/m<sup>3</sup>（<sup>131</sup>I）和109.4Bq/m<sup>3</sup>（<sup>124</sup>I）的控制建议值（核素吸入总活度计算详见第7.3.14小节）。

## 2、放射治疗单元

### （1）臭氧和氮氧化物

加速器和后装机运行过程中，电离辐射会与空气发生作用，产生少量臭氧和氮氧化物，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物产额为臭氧的 1/2，因此主要考虑臭氧的影响。为保证本项目机房内空气中臭氧浓度符合国家职业接触限值，本项目拟设置相应的通风设施。根据建设单位提供的设计资料，本项目放疗中心拟配置的 1 台加速器和 1 台后装机机房，采用相同的通风方案，具体设计为：

加速器和后装机机房均拟设置机械通风系统，采用“上送、下排”的通风方式，其新风管道拟由防护门上方紧贴顶板经防护迷道及迷道内入口进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置。因臭氧密度大于空气平均密度，吸风口拟设置在治疗室的对角位置（各机房东北或西北角），排风管道底部（吸风口）离地约 30cm，再沿墙体（非有用线束投照部位）

内壁向上接近项板处，在装饰天花板上转经防护迷道，由防护门上方穿出加速器机房。总排风口拟设置于放疗中心上方单层平房屋顶。本项目加速器和后装机机房排风风机设计风量分别为 3200m<sup>3</sup>/h 和 1300m<sup>3</sup>/h，加速器和后装机机房容积分别为 377m<sup>3</sup> 和 108m<sup>3</sup>，排风效率均保守取 60%，则加速器机房和后装机机房换气次数分别约为 8 次/h 和 12 次/h，均远远大于 4 次/h。

机房防护门顶部预留通风管道洞口角度与墙体呈 45°，防护上考虑了由于排风管路引起的水泥墙体的减弱，已作适当的补偿。

由于臭氧产生量小、且臭氧半衰期为 22-25 分钟，常温下可自行分解为氧气，故本项目加速器和后装机运行时产生的废气不会对大气造成影响。

### (2) 放射性气体

感生放射性核素在空气中射程只有几米，且放射性气体产额很低，半衰期较短。由于放射性气体的半衰期短，且通过机房足够的通风，工作人员适当延缓进入治疗室，可以明显降低感生放射性的影响。

## 3、放射科 DSA

本项目的 DSA 装置使用过程中不产生放射性废水、废气，整个过程亦无放射性固体废物产生。DSA 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。DSA 机房内部设有动力排风装置，排风系统按照标准手术间设计，废气可及时排出室外，臭氧在常温下可自行分解成氧气，对环境影响较小。

## 10.2.2 放射性废水处理

### 1、核医学单元

本项目核医学科工作场所会产生放射性废水。

#### (1) 放射性废水的来源

本项目放射性废水的来源为：工作人员操作过程中手部可能受到微量放射性核素污染的洗手水，清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量放射性核素的清洗水，病人排泄物等。本项目 <sup>177</sup>Lu、<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac 等核素治疗病人数最大为 5 人/年，且一般病人直接注射后经短暂观察即可离开核医学科，不会产生放射性废水，因此本项目进放射性废水涉及的核素主要为 <sup>18</sup>F（半衰期为 109.7min）、<sup>89</sup>Zr（半衰期为 3.3d）、<sup>124</sup>I（半衰期为 4.18d）、<sup>68</sup>Ga（半衰期为 68min）、<sup>99m</sup>Tc（半衰期为 6.02h）和 <sup>131</sup>I（半衰期为 8.04d）。

核医学科工作场所产生的放射性废水均通过放射性废水收集管道(管道裸露处采用 6mm

铅皮包裹)排放至医院医疗综合楼东侧绿化带地下拟设置的衰变池,衰变池埋地设置。衰变池由三个 6mm 厚不锈钢水箱构成,放置在一间混凝土房间内,配置可视化控制终端、动力及自动运行控制系统,可实现全自动或手动两种运行控制方式,设备控制终端自带远程服务。

## (2) 放射性废水量估算

### ①核医学科门诊工作场所最大工作量为:

$^{99m}\text{Tc}$ , 5000 人次/年;  $^{18}\text{F}$ , 7000 人次/年;  $^{89}\text{Zr}$ , 200 人次/年;  $^{124}\text{I}$ , 200 人次/年;  $^{68}\text{Ga}$ , 200 人次/年;  $^{131}\text{I}$  (甲亢), 1000 人次/年;  $^{131}\text{I}$  (甲测), 2000 人次/年。参考《综合医院建筑设计规范》(GB51039-2014) 门诊患者每人每次用水定额取 10L, 则患者每年产生放射性废水  $156\text{m}^3$ 。工作人员在完成一天的给药和注射工作后需进行污染检测, 并进行去污清洗而产生放射性废水, 每天清洗废水产生量约为 50L, 每年工作 250 天, 则每年产生放射清洗废水约  $12.5\text{m}^3$ 。因此, 地下 1 层核医学科工作场所门诊每年产生放射性废水约  $168.5\text{m}^3$ , 平均每天产生量约  $0.46\text{m}^3$  (以 365 天计)。

### ②核医学科甲癌病房工作场所最大工作量为:

甲癌、 $^{177}\text{Lu}$  住院病人 520 人次/年, 最大住院 7 天, 年工作 50 周。参考《综合医院建筑设计规范》(GB51039-2014), 每个住院病人平均每天产生 100L 废水, 则甲癌病房工作场所患者每年产生放射性废水  $364.0\text{m}^3$ ; 另外甲癌病房工作场所每日清洗用水以 50L/d 计, 年工作 250 个工作日, 则年产生清洗废水  $12.5\text{m}^3$ 。因此甲癌病房工作场所每年产生放射性废水  $376.5\text{m}^3$ , 平均每天产生量约  $1.032\text{m}^3$  (以 365 天计)。

综上, 因此, 本项目放射性废水产生量约  $545\text{m}^3$ /年, 平均  $1.493\text{m}^3$ /天。

## (3) 放射性废液处理系统

本项目拟在医疗综合楼外科病房楼地下 1 层核医学科东侧的建造有效容积为  $450\text{m}^3$  的并联式三级放射性废液衰变系统 (单个容积为  $150\text{m}^3$ ), 利用三个衰变池对放射性废水采取交替轮流收集、贮存、排放的办法进行处理。从工作场所排出的放射性废水由专用下水道先排入生物降解池, 通过阀门切换, 首先进入第一水池, 待第一水池储满, 关闭该水池进水口阀门, 同时打开第二水池的进水口阀门, 使工作场所排出的放射性废水进入第二水池, 让第一水池中废水的放射性物质自行衰变。当第二水池即将储满时, 关闭该水池进水口阀门, 同时打开第三水池的进水口阀门, 使工作场所排出的放射性废水进入第三水池, 让第一池、第二池中废水的放射性物质自行衰变。待第三水池接满后, 即将该阀门关闭, 同时将第一水池底部放水阀门打开, 将经过衰变后的废水排入医院污水管道。在衰变池排放出口与连接医院总

下水管道之间设置采样监测系统，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（应委托有资质的单位，监测指标为：总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ），方可排入医院污水管网，最后进入院区的总废水处理站，经处理达标后排放。三个衰变池按照上述程序，依次轮流反复交替使用。

放射性废水排放流程见图 10-2，放射性废水处理系统示意图见图 10-3。

#### （4）衰变池容积设计合理性分析

建设单位每日平均产生放射性废水总量为  $1.493\text{m}^3$ ，第一个衰变池存储满后，废水开始注入第二个衰变池，待第二个衰变池注满时，废水开始注入第三个衰变池，忽略废水在生物降解池沉淀的时间，第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $150\text{m}^3 \times 2 \div 1.493\text{m}^3 \approx 201$  工作日（即为第 2 个衰变池注满的时间），即可存放 201 天。

本项目核医学科放射性废水主要含有  $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{131}\text{I}$ ，其中  $^{131}\text{I}$  半衰期最长为 8.04d，废水可以在单个衰变池中贮存达 25 个半衰期（共约 75 个半衰期），放射性废水量已考虑了医疗综合楼外科病房楼地下 1 层核医学科门诊及甲癌病房区域所产生的全部放射性废水，因此本项目新建衰变池的设计容积满足放射性废水在衰变池贮存至少 10 个半衰期以上的要求，也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“含碘-131 核素的暂存超过 180 天”的要求。

#### （5）衰变池排水中核素含量和浓度达标性分析

本项目衰变池排放废水中核素含量和浓度情况详见下表：

表 10-14 第 1 个衰变池中核素的活度浓度估算表

核素名称	注满一池核素活度 (Bq) <sup>①</sup>	存放天数	剩余核素活度 (Bq)	排入废水中核素活度 (Bq)		ALI <sub>min</sub> <sup>②</sup> (Bq)	活度浓度 (Bq/L)
				每次	每月		
$^{131}\text{I}$	$6.68 \times 10^{11}$	201d	$1.99 \times 10^4$	$1.99 \times 10^4$	$1.99 \times 10^4$	$2.27 \times 10^5$	0.132
$^{177}\text{Lu}$	$1.18 \times 10^{11}$	201d	<0.01	<0.01	<0.01	$4.55 \times 10^6$	<0.01
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$4.26 \times 10^{11}$	201d	<0.01	<0.01	<0.01	$1.72 \times 10^8$	<0.01
$^{68}\text{Ga}$	$1.07 \times 10^{10}$	201d	<0.01	<0.01	<0.01	$5.0 \times 10^7$	<0.01
$^{124}\text{I}$	$4.26 \times 10^9$	201d	<0.01	<0.01	<0.01	$3.85 \times 10^5$	<0.01
$^{89}\text{Zr}$	$4.26 \times 10^9$	201d	<0.01	<0.01	<0.01	$6.67 \times 10^6$	<0.01
$^{18}\text{F}$	$2.13 \times 10^{11}$	201d	<0.01	<0.01	<0.01	$5.38 \times 10^7$	<0.01
合计							≈0.132

注：①根据经验  $^{131}\text{I}$  和  $^{177}\text{Lu}$  保守全部用量的 80% 流入衰变池进行计算，其他核素按用量的 20% 流入衰变池进行计算；

②根据 GB18871-2002 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<sub>j,L</sub> 用作 ALI。计

算公式为： $I_{i,j}=DL/e_j$ ，其中，DL 为相应的有效剂量的年剂量限值，本次评价取 5mSv/a； $e_j$  为 GB18871-2002 附录表 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大值。

由上表可知，放射性废水经衰变池衰变后，废水中各放射性核素一次排放量均小于相应核素的  $1ALI_{min}$ ，月排放量小于相应核素的 10 倍  $ALI_{min}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中放射性废液排放的相关要求。本项目衰变池排水中总 $\beta$ 浓度远低于 GB18871-2002 中规定的放射性废水排放限值（总 $\beta \leq 10Bq/L$ ），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中放射性废液排放的相关要求，同时满足《医疗机构水污染物排放标准》中总 $\beta$ 小于 10Bq/L 的要求。因此，拟建的衰变池能够满足本项目核医学工作场所的工作需求。

#### （6）衰变池选址合理性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于“源的选址与定位”规定，国家只对“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”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，国家有关标准和文件对衰变池的选址未加明确限值。

①根据医院提供的资料，本项目衰变池选址位于拟建医疗综合楼外科病房楼地下 1 层核医学科东侧的土层，场地现状稳定性好，水文地质条件简单；

②根据现状监测结果，场址的辐射环境质量状况良好，有利于项目的建设；

③本项目衰变池与其他科室相隔离，选址远离其他建筑物，与其他功能用房相对独立，有利于辐射防护；

④衰变池在布局上最大限度的考虑就医方便及辐射防护与环境安全；

从环境保护角度分析，本项目选址可行。因此，本环评认为项目选址相对合理可行。

#### 衰变池的建设应满足以下要求：

衰变池的池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性。三个衰变池并联连接，衰变池废水排放口应设置放射性废液监控装置，经检测符合排放标准后方可排放。同时对放射性废水衰变池还应建立定期检查制度，防止泄漏。

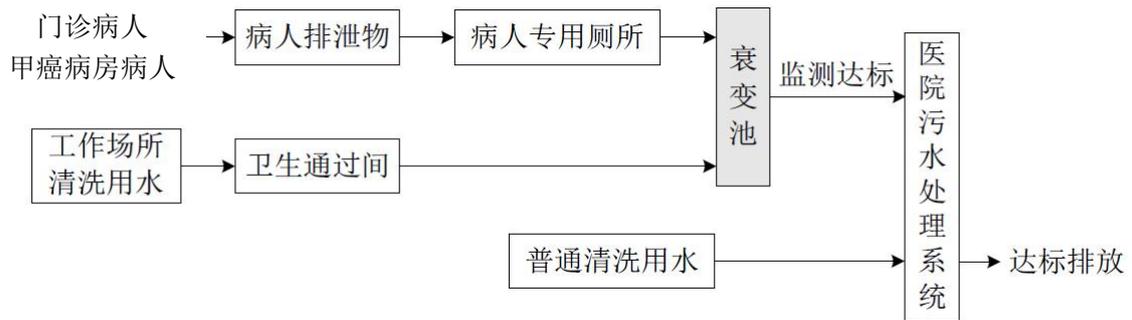


图 10-3 放射性废水排放流程图

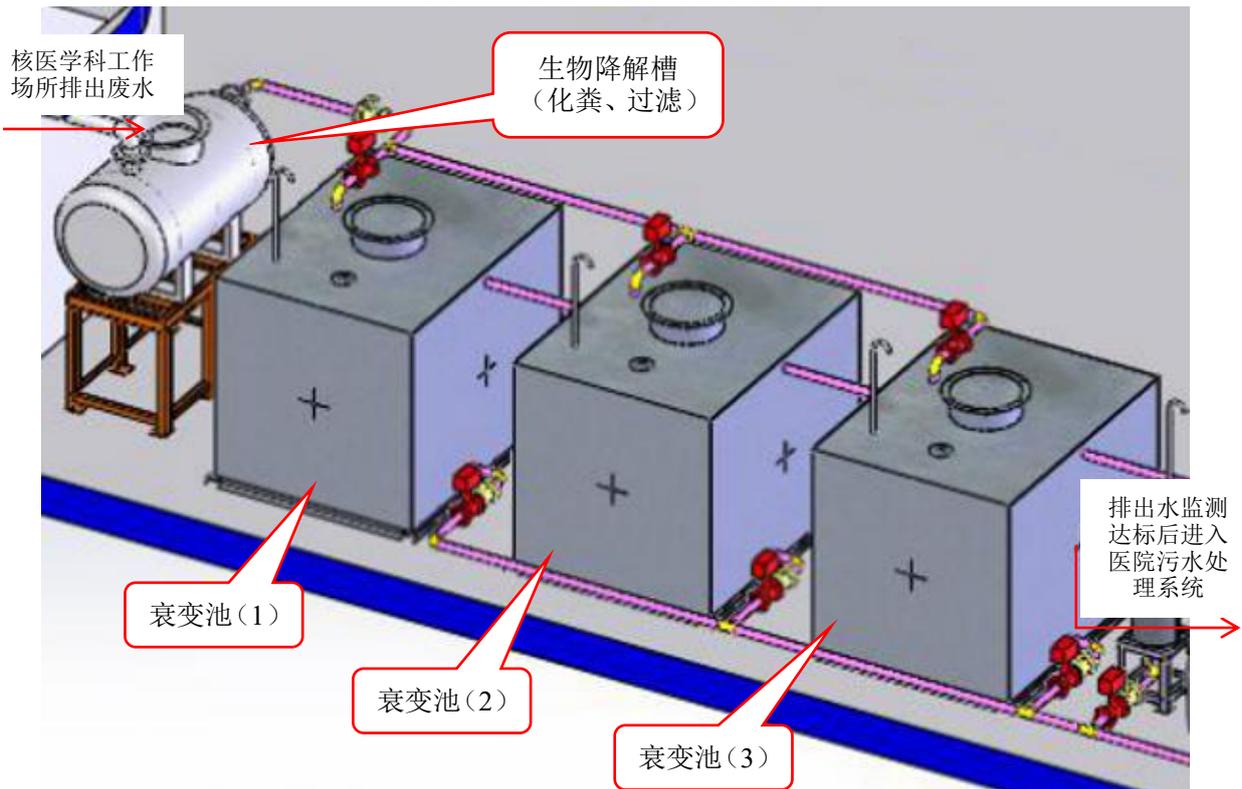


图 10-4 放射性废水处理系统示意图

## 2、放射治疗单元

### 感生放射性循环冷却水

针对加速器设备中使用的内循环冷却水可能产生的感生放射性。本项目设计时循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方。冷却水中被活化形成的放射性核素  $^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，且产生量很少，采取放置一定的时间使其活度衰减到较低水平的方法，对环境影响可以忽略不计。

### 10.2.3 放射性固废处理

#### 1、核医学单元

由污染源分析可知，放射性固体废物主要为核医学科产生的一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、一次性杯子及废活性炭等。所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的专用铅桶内，再将污专用铅桶存放至设置在核医学科的专用放射性废物贮存室内，本项目核医学科放射性废物间位于核医学科中部。放射性废物间应实行双人双锁管理，集中收储一段时间后（一般为 10 个半衰期，应视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再与医院的其他固体废物一起作为普通的医疗垃圾处理。

根据医院核医学科拟开展的工作方案，放射性固废产生量如下：

(1) 门诊处： $^{99m}\text{Tc}$ ，5000 人次/年； $^{18}\text{F}$ ，7000 人次/年； $^{89}\text{Zr}$ ，200 人次/年； $^{124}\text{I}$ ，200 人次/年； $^{68}\text{Ga}$ ，200 人次/年； $^{131}\text{I}$ （甲亢），1000 人次/年； $^{131}\text{I}$ （甲测），2000 人次/年； $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{32}\text{P}$ ，各 500 人次/年； $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ ，各 5 人次/年。门诊患者诊断过程放射性固废产生量约 0.05kg/人次，则本项目核医学科门诊处产生的放射性固废约 856 kg/年。

(2) 甲癌病房：参考《第一次全国污染源普查—城镇生活源产排污系数手册》中第四分册进行核算。本项目甲癌治疗设有 12 张病床，年工作 250 天，浙江省属于二类区，医疗废物核算系数取 0.42kg/床·天，则甲癌治疗放射性固废产生量为 4.2kg/天，1050kg/年。

医院医疗综合楼外科病房楼地下 1 层核医学科工作场所拟设置两个废物贮存间，分别位于门诊和甲癌病房处。

根据医院制度要求，医疗综合楼外科病房楼地下 1 层核医学科分装注射室设置 3 个铅桶，给药室设置 1 个铅桶，注射后候诊室设置 2 个铅桶，留观室设置 1 个铅桶，按含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  等短半衰期核素固废、含  $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$  核素固废、含  $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{32}\text{P}$  长半衰核素期固废进行分类分质收集，废物间（门诊）设有 1 个衰变柜，收集的固废放置于衰变柜中衰变 10 个半衰期。医院承诺将根据核素衰变周期分类收集、分类储存，医护人员定期将收集的放射性废物按类别转移至废物间放射性废物衰变柜内。

核医学科甲癌病房产生的放射性固废单独收集储存。每个甲癌病房各设 1 个铅桶，废物间（甲癌病房）设有 1 个衰变柜，医护人员定期将收集的放射性废物转移至废物间放射性废物衰变柜内。

医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所铅废物桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。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，及时转运暂存于废物间的铅衰变暂存

容器，让放射性物质自行衰变，待十个以上半衰期，其活度低于 GB18871 清洁解控水平后，并经审管部门确认，作为普通医疗废物处理。

本次评价建议将含  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  等核素的固废集中贮存衰变 30 天，将含  $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$  等核素的固废集中贮存衰变 3 个月，将含  $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{32}\text{P}$  等核素的固废集中贮存衰变 17 个月，则各核素均可满足贮存 10 个半衰期以上的要求，经监测符合清洁解控水平后按一般医疗固废委托当地有资质单位处置。

核医学科手套箱顶部和废气排放口更换的废活性炭也属于放射性废物，医院将更换下的活性炭先统一存放于衰变箱中，标注活性炭名称、存放日期、存放量等，10 个半衰期后，经监测符合清洁解控水平后当做非放射性废物处理。

衰变池中生物降解槽中的沉淀物，满 10 个半衰期后，经监测符合清洁解控水平后定期清掏，当做非放射性废物处理。

对于放射性废物的管理，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）与《医用放射性固废的卫生防护管理》（GBZ133-2009）提出如下管理措施：

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与解控废物，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。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

D、固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

E、含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

F、放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

G、产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不超过审管部门批准的限制要求。

H、放射性废物贮存场所拟安装通风换气装置，入口处拟设置电离辐射警告标志，拟采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

I、废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

J、放射性固废暂存超过核素最长半衰期的 10 倍后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  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。

K、不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过  $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 $\beta$ 和 $\gamma$ 发射体以及低毒性 $\alpha$ 发射体应小于  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 $\alpha$ 发射体应小于  $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

L、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。

M、放射性废物封存时需贮存在贮存容器外表面醒目处需张贴电离辐射警告标志，并注明固废的废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等信息。

医院应针对放射性固废加强管理，细化相关规章制度，如铅桶（尤其是甲癌病房）及铅桶内放射性固废袋需贴上标签，标签上注明该放射性固废的核素种类，最后一天的收集时间；衰变柜内分格，每格由内至外贴上相应标签，以便日后查询等。

## 2、放射治疗单元

感生放射性固废

### ①废靶件

直线加速器如有废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，由设备厂家回收，不会在医院存储。

### ②废放射源

$^{192}\text{Ir}$  放射源使用 1.5 个半衰期后即需更换，针对更换掉的废源，医院应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第三十八条规定执行，与放射源生产单位或原出口方签订

废旧放射源返回合同，在放射源闲置或者废弃后3个月内将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。确实无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

**放射性固废处理还应满足以下要求：**

①放射性污物间应采用双人双锁的管理制度，必须24小时监控。

②医院及科室对放射源及放射性固体废弃物严格管理制度及措施。

③医院拟开展的检查及治疗核素均为计划订药，大部分核素当天送到当天用完，无存留，用完的核素容器由厂家及时回收。

④严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

⑤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》（国务院令第六12号）的“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档案，如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

⑥建立放射性固态废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固态废物处置，并做好存档记录。

⑦医院应当在废旧放射源交回、返回或者送交活动完成之日起20日内到浙江省生态环境厅备案。

### **10.3 服务期满后的环境保护措施**

1、对于服务期满并拟停止使用的非密封放射性物质工作场所，医院应按照《核技术利用设施退役》（HAD401/14-2021）的规定实施相关场所的退役活动，并根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》的规定，及时编制相应的退役环境影响评价文件，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）中的限值要求，方可无限制开放使用。

2、对拟报废的射线装置，医院应根据《浙江省辐射环境管理办法》（2021年修正）第十八条规定，需要报废X射线装置的，使用单位应当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主管部门核销。

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

#### 11.1.1 施工期的环境影响分析

医院富阳院区主体工程建设已委托浙江清雨环保工程技术有限公司编制了《省人民医院富阳院区（一期）环境影响报告书》，杭州市生态环境局富阳分局以富环许审（2021）27号进行了批复。报告书中施工期环境影响评价已包含本项目拟建的核医学科、放疗中心及放疗科，复合手术室等土建、装修期间的环境影响，因此，本次评价不再分析本项目建设施工期的影响，有关施工期影响详见医院主体工程报告书。

施工单位施工时相关机房混凝土墙体应一次性浇筑，不应有气泡和裂缝。

#### 11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，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，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。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 运行阶段对环境的影响

#### 11.2.1 核医学单元

本项目中  $^{223}\text{Ra}$  和  $^{225}\text{Ac}$  核素为 $\alpha$ 放射源，活度较低，且 $\alpha$ 粒子在空气中的射程小于 6cm，穿不透皮肤表层，故不考虑外照射风险。

本项目  $^{177}\text{Lu}$  核素治疗，最大日接诊量为 1 人，患者的最大用药量为 200mCi，对照表 9-1 中  $^{131}\text{I}$ 、 $^{177}\text{Lu}$  核素性能参数可知， $^{131}\text{I}$  核素衰变产生的 $\gamma$ 射线能量高于  $^{177}\text{Lu}$  衰变能量，在使用相同活度的放射性药物时（ $^{131}\text{I}$  单人平均用药量为 100mCi，甲癌病房按 2 人间设计），则在同一场所内， $^{131}\text{I}$  甲癌治疗时对环境的影响高于  $^{177}\text{Lu}$  核素治疗时，因此对核素住院治疗区的环境影响分析以  $^{131}\text{I}$  核素为基础，当  $^{131}\text{I}$  核素使用满足防护要求时， $^{177}\text{Lu}$  核素也同样可以满足要求。

##### 1、放射性核素产生的 $\gamma$ 射线外照射

辐射工作人员在分装注射室给病人注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的

γ射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后，病人又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。

将注射后的患者视为“点状辐射源”，参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中工作场所的屏蔽计算公式（I.1），进行公式转换可得经防护材料屏蔽后关注点的γ辐射剂量率计算公式（式 11-1）。

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \dots\dots (11-1)$$

式中：

H——γ辐射剂量率，μSv/h；

A——放射性药物的活度，MBq；

Γ——周围剂量当量率常数，μSv·m<sup>2</sup>/(h·MBq)；

r——距放射源的距离，m；

X——屏蔽层的厚度，mm；

TVL——半值层，mm。

由公式 11-1 可知，在相同的辐射屏蔽设施中，关注点的γ辐射剂量率与放射性药物的活度 A、周围剂量当量率常数Γ和半值层 TVL 有关。

本项目主要以 <sup>18</sup>F（本项目 PET/CT 检查用药物包括 <sup>18</sup>F、<sup>89</sup>Zr、<sup>124</sup>I、<sup>68</sup>Ga，这几种核素中常用核素为 <sup>18</sup>F，能量最高的核素为 <sup>124</sup>I，故选用用量最大的 <sup>18</sup>F 和能量最高的 <sup>124</sup>I 作为评价对象）、<sup>99m</sup>Tc、<sup>131</sup>I、<sup>177</sup>Lu、<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac 等放射性核素和给药后的病人视为“点状辐射源”，根据核素使用量进行关注点剂量率预测。核素的用量和相关参数见表 11-1。

表 11-1 核素的用量和相关参数

核素	病人单次最大使用量 (MBq)	裸源周围剂量当量率常数 μSv·m <sup>2</sup> /(h·MBq) <sup>-1</sup>	TVL (mm)		
			铅 (11.3g/cm <sup>3</sup> )	混凝土 (2.35g/cm <sup>3</sup> )	实心砖 (1.65g/cm <sup>3</sup> )
<sup>18</sup> F	370	0.143	16.6	176	263
<sup>124</sup> I	74	0.185	50	300	500
<sup>99m</sup> Tc	740	0.0303	1	110	160
<sup>131</sup> I (甲癌)	4440	0.0595	11	170	240
<sup>131</sup> I (甲亢)	555				
<sup>131</sup> I (甲测)	0.185				
<sup>177</sup> Lu	7400	0.00227	4.0	146	/
<sup>223</sup> Ra	3.7	0.0130	2.5	120	/
<sup>225</sup> Ac	7.4	0.00164	1.4	85	/

注：<sup>18</sup>F、<sup>99m</sup>Tc、<sup>131</sup>I 和 <sup>124</sup>I 周围剂量当量率常数来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；<sup>177</sup>Lu、<sup>223</sup>Ra、<sup>225</sup>Ac 周围剂量当量率常数来源于《辐射防护手册》（第一分册）经单位换算得到；表中 TVL 取值参考《辐射防护手册》（第三分册）中的图 2.16 几种常用屏蔽材料对宽束γ射线的十分之一值层厚度。

根据《辐射防护导论》P88 可知，将γ射线减弱一定程度所需质量厚度 d 与物质的密度ρ成反比，根据《辐射防护实用手册》，防护涂料密度保守取 3.8g/cm<sup>3</sup>，混凝土密度保守取 2.35g/cm<sup>3</sup>。利用式 11-2，可计算得硫酸钡涂料折算为混凝土的厚度：

$$d_1/d_2=\rho_1/\rho_2.....（式 11-2）$$

各个关注点的辐射剂量率预测结果见表 11-2。

表 11-2 关注点的辐射剂量率预测结果

关注点		源强 (Bq)	衰减距离 r (m)	防护措施	预测结果 (μSv/h)	
分装 注射室 ( <sup>18</sup> F、 <sup>124</sup> I、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>177</sup> Lu、 <sup>223</sup> Ra、 <sup>131</sup> I、 <sup>225</sup> Ac 等)	1	手套箱外表 面 5cm 处 ( <sup>18</sup> F <sup>①</sup> )	7.4×10 <sup>9</sup> + 1.48×10 <sup>8</sup> + 1.48×10 <sup>8</sup> + 3.7×10 <sup>8</sup>	0.3	40mmPb 手套箱+50mmPb 铅罐	0.0485+ 1.45×10 <sup>-8</sup> + 3.59×10 <sup>-6</sup> + 2.603×10 <sup>-36</sup> ≈0.049
		手套箱外表 面 5cm 处 ( <sup>99m</sup> Tc)	1.48×10 <sup>10</sup>	0.3	40mmPb 手套箱+10mmPb 铅罐	
		手套箱外表 面 5cm 处 ( <sup>177</sup> Lu) (与 <sup>99m</sup> Tc 共用)	7.4×10 <sup>9</sup>	0.3	40mmPb 手套箱+10mmPb 铅罐	
		手套箱外表 面 5cm 处 ( <sup>223</sup> Ra) (与 <sup>99m</sup> Tc 共用)	3.7×10 <sup>6</sup>	0.3	40mmPb 手套箱+10mmPb 铅罐	
		手套箱外表 面 5cm 处 ( <sup>225</sup> Ac) (与 <sup>99m</sup> Tc 共用)	7.4×10 <sup>6</sup>	0.3	40mmPb 手套箱+10mmPb 铅罐	
	2	自动分装注射机 外表面 5cm 处 ( <sup>124</sup> I)	1.48×10 <sup>8</sup>	2.3	40mmPb 自动分装注射机+ 50mmPb 铅罐	0.083
		自动分装给药机 表面 5cm 处( <sup>131</sup> I)	2.22×10 <sup>10</sup> (甲癌)	2.3	40mmPb 铅罐+ 20mmPb 自动分装给药机	
			5.55×10 <sup>9</sup> (甲亢)	2.3		
	3.7×10 <sup>6</sup> (甲测)		2.3			
	3	<sup>18</sup> F 注射位	3.7×10 <sup>8</sup>	0.3	30mmPb 铅玻璃+10mmPb 防护套	2.29
		<sup>177</sup> Lu 注射位 (与 <sup>18</sup> F 共用)	7.4×10 <sup>9</sup>	0.3	30mmPb 铅玻璃+10mmPb 防护套	2.41×10 <sup>-6</sup>
	4	<sup>99m</sup> Tc 注射位	7.4×10 <sup>8</sup>	0.3	30mmPb 铅玻璃+4mmPb 防护套	2.49×10 <sup>-32</sup>
<sup>223</sup> Ra 注射位 (与 <sup>99m</sup> Tc 共用)		3.7×10 <sup>6</sup>	0.3	30mmPb 铅玻璃+4mmPb 防护套	3.37×10 <sup>-30</sup>	
<sup>225</sup> Ac 注射位 (与 <sup>99m</sup> Tc 共用)		7.4×10 <sup>6</sup>	0.3	30mmPb 铅玻璃+4mmPb 防护套	2.60×10 <sup>-33</sup>	

	5	墙外 30cm <sup>②</sup>		2.3	240mm 实心砖+2mmPb 防护涂料 +10mmPb/4mmPb 防护套/40mmPb 自动分装注射机	0.48
	6	门外 30cm	<sup>99m</sup> Tc7.4×10 <sup>8</sup> + <sup>18</sup> F3.7×10 <sup>8</sup> +	3.2	6mm 铅板+10mmPb/4mmPb 防护套 /40mmPb 自动分装注射机	0.89
	7	楼上地面 30cm	<sup>177</sup> Lu7.4×10 <sup>9</sup> + <sup>223</sup> Ra3.7×10 <sup>6</sup> + <sup>124</sup> I1.48×10 <sup>8</sup>	5.2	400mm 混凝土+1mmPb 防护涂料 +10mmPb/4mmPb 防护套/40mmPb 自动分装注射机	0.03
	8	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+ 4mmPb 防护涂料 +10mmPb/4mmPb 防护套/40mmPb 自动分装注射机	0.56
给药室 ( <sup>131</sup> I)	9	墙外 30cm	4.44×10 <sup>9</sup> (单名患者最大服药活度)	2.3	240mm 实心砖+5mmPb 防护涂料	1.65
	10	门外 30cm		3.2	8mm 铅板	4.83
	11	楼上地面 30cm		5.2	400mm 混凝土+ 1mmPb 防护涂料	0.035
	12	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	0.95
治疗室 6 (甲亢治疗留观室)( <sup>131</sup> I)	13	东墙外 30cm	5.55×10 <sup>8</sup> ×5 (5名用药患者同时留观)	2.58	370mm 实心砖+2mmPb 防护涂料	0.46
	14	门外 30cm		4.68	8mm 铅板	1.42
	15	楼上地面 30cm		5.2	400mm 混凝土+ 2mmPb 防护涂料	0.017
	16	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	0.59
	73	南侧窗外 30cm		4.68	15mm 铅玻璃	0.33
运动室 ( <sup>99m</sup> Tc)	17	墙外 30cm	7.4×10 <sup>8</sup> (1名患者在此运动)	2.22	240mm 实心砖+2mmPb 防护涂料	0.088
	18	门外 30cm		3.12	4mm 铅板	2.3×10 <sup>-4</sup>
	19	楼上地面 30cm		5.2	400mm 混凝土	1.92×10 <sup>-4</sup>
	20	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+1mmPb 防护涂料	0.06
SPECT 注射后候诊室( <sup>99m</sup> Tc)	21	墙外 30cm	7.4×10 <sup>8</sup> ×6 (6名用药患者同时留观)	4.47	240mm 实心砖+2mmPb 防护涂料	0.175
	22	门外 30cm		4.44	4mm 铅板	9.07×10 <sup>-4</sup>
	23	楼上地面 30cm		5.2	400mm 混凝土	1.53×10 <sup>-3</sup>
	24	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+4mmPb 防护涂料	0.24
SPECT 检查室 ( <sup>99m</sup> Tc)	25	观察窗外 30cm	7.4×10 <sup>8</sup> (1名患者在此检查)	4.44	4mmPb 铅玻璃	1.14×10 <sup>-4</sup>
	26	防护门外 30cm		4.44	4mmPb 防护门	1.14×10 <sup>-4</sup>
	27	墙外 30cm		4.44	240mm 实心砖+2mmPb 防护涂料	0.22
	28	楼上地面 30cm		5.35	250mm 混凝土+ 1mmPb 防护涂料	3.25×10 <sup>-3</sup>
	29	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+2mmPb 防护涂料	0.05
	30	机房内摆位处		1	0.5mmPb 铅衣	7.09
PET 注射后候诊 1 室( <sup>124</sup> I <sup>③</sup> )	31	墙外 30cm	7.4×10 <sup>7</sup> ×2 (2名用药患者同时候诊)	2.37	370mm 实心砖+2mmPb 防护涂料	0.809
	32	门外 30cm		3.18	6mmPb 防护门	2.05
	33	楼上地面 30cm		5.35	250mm 混凝土+25mmPb 防护涂料	0.045
	34	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+3mmPb 防护涂料	0.616
PET 注射后候诊 2 室( <sup>124</sup> I <sup>③</sup> )	35	墙外 30cm	7.4×10 <sup>7</sup> ×2 (2名用药患者同时候诊)	2.37	370mm 实心砖+2mmPb 防护涂料	0.809
	36	门外 30cm		3.18	6mmPb 防护门	2.05
	37	楼上地面 30cm		5.35	250mm 混凝土+25mmPb 防护涂料	0.045
	38	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+3mmPb 防护涂料	0.616
PET	39	观察窗外 30cm	3.7×10 <sup>8</sup> (1名患	4.44	8mmPb 铅玻璃	0.885

检查室 ( <sup>18</sup> F)	40	医护人员防护门外 30cm	者在此检查)	4.44	8mmPb 防护门	0.885
	41	患者防护门外 30cm		4.44	6mmPb 防护门	1.168
	42	墙外 30cm		4.44	240mm 实心砖+2mmPb 防护涂料	0.22
	43	楼上地面 30cm		5.2	400mm 混凝土+ 2mmPb 防护涂料	0.007
	44	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+2mmPb 防护涂料	0.41
	45	机房内摆位处		1	0.5mmPb 铅衣	49.36
留观室 ( <sup>124</sup> I、 <sup>99m</sup> Tc)	46	墙外 30cm	7.4×10 <sup>7</sup> ×2 +3.7×10 <sup>8</sup> ×2 (4 名患者在此 留观)	2.37	370mm 实心砖+8mmPb 防护涂料	0.854
	47	门外 30cm		2.22	6mmPb 防护门	13.55
	48	楼上地面 30cm		5.35	250mm 混凝土+8mmPb 防护涂料	0.143
	49	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	1.167
甲癌病房 抢救室 ( <sup>131</sup> I)	50	西墙外 30cm	4.44×10 <sup>9</sup> (1 名患者在此 抢救)	2.23	370mm 实心砖+ 5mmPb 防护涂料	0.51
	51	门外 30cm		4.68	8mmPb 防护门	2.26
	52	楼上地面 30cm		5.2	400mm 混凝土+2mmPb 防护涂料	0.028
	53	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	0.95
	74	南墙外 30cm		4.68	370mm 实心砖+ 3mmPb 防护涂料	0.179
	77	抢救位		0.5	0.5mmPb 铅衣	951.7
甲癌治疗 室 1~5 ( <sup>131</sup> I、 <sup>177</sup> Lu)	54	北墙外 30cm	4.44×10 <sup>9</sup> ×2 <sup>④</sup> (每间病房 2 名患者在此治 疗)	4.68	370mm 实心砖+ 2mmPb 防护涂料	0.45
	55	门外 30cm		4.68	8mmPb 防护门	4.52
	56	楼上地面 30cm		5.2	400mm 混凝土+2mmPb 防护涂料	0.056
	57	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+8mmPb 防护涂料	0.98
	58	南侧窗外 30cm		4.68	15mmPb 铅玻璃	1.044
门诊污物 间 ( <sup>18</sup> F、 <sup>124</sup> I、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>177</sup> Lu、 <sup>223</sup> Ra、 <sup>131</sup> I 等)	59	墙外 30cm	0.3mSv/h (污物间每天 分别存储三种 不同半衰期核 素固废各 1 袋, 每袋废物的表 面剂量率不应 超过 0.1mSv/h)	1.32	240mm 实心砖+4mmPb 防护涂料	0.315
	60	门外 30cm		1.51	6mmPb 防护门	5.73
	61	楼上地面 30cm		5.2	400mm 混凝土+1mmPb 防护涂料	0.021
	62	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+4mmPb 防护涂料	0.05
源库 ( <sup>18</sup> F <sup>⑤</sup> 、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>177</sup> Lu、 <sup>223</sup> Ra、 <sup>131</sup> I、 <sup>225</sup> Ac)	63	墙外 30cm	<sup>99m</sup> Tc1.48×10 <sup>10</sup> + <sup>18</sup> F2.22×10 <sup>10</sup> + <sup>131</sup> I2.772×10 <sup>10</sup> + <sup>177</sup> Lu7.4×10 <sup>9</sup> + <sup>223</sup> Ra3.7×10 <sup>6</sup> + <sup>225</sup> Ac7.4×10 <sup>6</sup>	1.32	240mm 实心砖+4mmPb 防护涂料 +50mmPb 铅罐+30mmPb 保险柜	1.53×10 <sup>-4</sup>
	64	门外 30cm		1.51	6mmPb 防护门+50mmPb 铅罐 +30mmPb 保险柜	9.29×10 <sup>-4</sup>
	65	楼上地面 30cm		5.2	400mm 混凝土+1mmPb 防护涂料 +50mmPb 铅罐+30mmPb 保险柜	7.99×10 <sup>-7</sup>
	66	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土+4mmPb 防护涂料 +50mmPb 铅罐+30mmPb 保险柜	2.65×10 <sup>-5</sup>
甲癌病房 污物间 ( <sup>131</sup> I、 <sup>177</sup> Lu)	67	墙外 30cm	0.2mSv/h (假设每天产 生 1 袋, 暂存间 存储 2 天的量,	1.47	240mm 实心砖+4mmPb 防护涂料	0.093
	68	门外 30cm		1.62	6mmPb 防护门	2.17
	69	楼上地面 30cm		5.2	400mm 混凝土+1mmPb 防护涂料	0.012
	70	楼下距地 170cm		1.5	150mm 混凝土+4mmPb 防护涂料	0.03

			每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h)			
护士站 ( <sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>177</sup> Lu、 <sup>223</sup> Ra、 <sup>225</sup> Ac)	71	核医学科西墙外 30cm	<sup>99m</sup> Tc7.4×10 <sup>8</sup> + <sup>18</sup> F3.7×10 <sup>8</sup> + <sup>177</sup> Lu7.4×10 <sup>9</sup> + <sup>223</sup> Ra3.7×10 <sup>6</sup> + <sup>225</sup> Ac7.4×10 <sup>6</sup>	6.03	240mm 实心砖+5mmPb 防护涂料 +10mmPb/4mmPb 防护套	0.016
医生办公室 ( <sup>131</sup> I)	72	室外庭院南墙外 30cm	4.44×10 <sup>9</sup> ×2 (每间病房 2 名患者在此治 疗)	13.02	240mm 实心砖+15mmPb 铅玻璃	0.013
甲测室 ( <sup>131</sup> I)	73	墙外 30cm	<sup>131</sup> I1.85×10 <sup>5</sup>	2.37	240mm 实心砖	7.6×10 <sup>-5</sup>
	74	门外 30cm		3.18	2mmPb 防护门	7.16×10 <sup>-4</sup>
	75	楼上地面 30cm		5.35	250mm 混凝土	1.30×10 <sup>-4</sup>
	76	楼下距地 170cm		3.5	150mm 混凝土	1.18×10 <sup>-4</sup>

注：①保守起见，以用量最大的 <sup>18</sup>F 参数计算手套箱表面 30cm 处关注点的辐射剂量率；  
 ②有多面墙体时，给出辐射剂量率较大墙体的预测值；  
 ③保守以衰变产生的γ射线能量高的 <sup>124</sup>I 核素为基础计算；  
 ④保守以衰变产生的γ射线能量高的 <sup>131</sup>I 核素为基础计算；  
 ⑤源库的 <sup>18</sup>F 源强按 3 倍日最大操作量计算（医院按 4 倍量备药，其中 1/4 直接转移到手套箱，其余 3/4 转移到源库贮存）。

上表中灰色表格部分表示预测点位于核医学控制区外人员可达处，预测最大值为 1.167μSv/h（地下 2 层车库）；表中白色表格部分表示预测点位于控制区内，预测最大值为 13.55μSv/h（留观室门外）；手套箱外表面 5cm 处的周围剂量当量率最大值为 0.049μSv/h。

综上，本项目剂量率预测值能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关标准要求（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 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h；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），说明本项目工作场所采取的屏蔽措施能够满足屏蔽防护的需求。

## 2、β射线辐射环境影响分析

本项目涉及使用的 <sup>18</sup>F、<sup>89</sup>Zr、<sup>124</sup>I、<sup>68</sup>Ga、<sup>131</sup>I、<sup>89</sup>Sr、<sup>32</sup>P、<sup>177</sup>Lu 核素在衰变过程中会有β粒子，但由于 <sup>18</sup>F、<sup>89</sup>Zr、<sup>124</sup>I、<sup>68</sup>Ga 衰变产生的是正电子，迅速发生湮灭反应所以本次不考虑β射线影响，根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫），β射线在空气中的射程按公式（11-4）计算，计算结果见表 11-4：

$$d = \frac{1}{2\rho} \cdot E_{MAX} \dots\dots \text{ (式 11-4)}$$

式中：d: β射线在介质中射程，cm；

ρ: 介质的密度，g/cm<sup>3</sup>；

E<sub>MAX</sub>: β射线的最大能量，MeV。

表 11-4 核素衰变产生的β射线在各介质中的理论最大射程

核素	<sup>32</sup> P	<sup>131</sup> I	<sup>89</sup> Sr	<sup>177</sup> Lu
β射线能量 (MeV)	1.71	0.602	0.5846	0.2058
空气密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.29 × 10 <sup>-3</sup>			
空气中的射程 (cm)	663	233	227	80
砖墙密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.8			
砖墙中的射程 (cm)	0.475	0.167	0.162	0.057
铅玻璃密度 (g/cm <sup>3</sup> )	4.6			
铅玻璃中射程 (cm)	0.186	0.065	0.064	0.022

由上表可知，放射性核素 <sup>32</sup>P、<sup>131</sup>I、<sup>89</sup>Sr、<sup>177</sup>Lu 产生的β射线在空气中的射程很短，最大为 663cm，而本项目核医学科非密封放射性物质工作场所设置了足够的空间，且有墙体和铅门进行屏蔽，同时β射线在铅玻璃中的射程最大为 0.186cm，医护人员在操作过程中穿戴 0.5mm 铅当量的防护服，故放射性核素 <sup>32</sup>P、<sup>131</sup>I、<sup>89</sup>Sr、<sup>177</sup>Lu 产生的β射线对周围环境影响很小。

### 3、韧致辐射

<sup>177</sup>Lu、<sup>89</sup>Sr、<sup>32</sup>P 为纯β衰变，β射线穿透能力很弱，在组织内部辐射距离很短，不会对周围环境产生明显影响，操作时主要考虑β射线在与物质作用会产生韧致辐射。碘-131 主要考虑其γ射线影响，β射线的韧致辐射的影响可以忽略。根据《辐射防护导论》（主编：方杰）中相关公式，剂量率估算采用式 11-3 计算，计算结果见表 11-3。

$$\dot{H}_r = 4.58 \times 10^{-14} \times A \times Z_e \times \left( \frac{E_b}{r} \right)^2 \times (\mu_{em} / \rho) \times q \times \eta \dots\dots \text{ (式 11-3)}$$

式中：

H<sub>r</sub>——距离韧致辐射源 r 米处的空气比释动能率，Gy/h；

A——放射源活度，Bq；

Z<sub>e</sub>——电子屏蔽材料的有效原子序数，保守取有机玻璃的有效原子序数 5.85；

E<sub>b</sub>——韧致辐射的平均能量 E<sub>b</sub> 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即 E<sub>b</sub>=E<sub>max</sub>/3，MeV；

$\mu_{em} / \rho$ ——平均能量为  $E_b$  的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数,  $m^2/kg$ , 由《辐射防护导论》附表 1 查得, 本项目空气质量能量吸收系数分别为:  $^{89}Sr$ :  $2.672 \times 10^{-3} m^2/kg$ ,  $^{177}Lu$ :  $^{32}P$ :  $2.953 \times 10^{-3} m^2/kg$ ;

$q$ ——关注点所在区域相应的居留因子;

$\eta$ ——透射比, 根据公式  $\eta = 10^{(-d/TVL)}$  得出 (其中 TVL 屏蔽层在  $\beta$  粒子平均能量下的半值层厚度,  $cm$ , 由《辐射防护导论》表 3.5 查得:  $^{89}Sr$ 、 $^{177}Lu$ 、 $^{32}P$  在铅中分别取值:  $0.14cm$ 、 $0.05cm$ 、 $1.03cm$ )。

本项目韧致辐射主要考虑注射位处, 手套箱处屏蔽防护措施为铅罐+防护套+手套箱, 其韧致辐射很难穿透, 基本可忽略。

表 11-3 核素韧致辐射剂量率

核素	源活度 A (Bq)	屏蔽物质原子序数 $Z_e$	$E_b$ (MeV)	距离 r (m)	$\mu_{em} / \rho$ ( $m^2/kg$ )	q	$\eta^*$	剂量率 ( $\mu Gy/h$ )
$^{89}Sr$	$1.48 \times 10^8$	5.85	0.1949	0.3	$2.672 \times 10^{-3}$	1	$1.39 \times 10^{-3}$	$6.216 \times 10^{-5}$
$^{177}Lu$	$7.4 \times 10^9$	5.85	0.0695	0.3	$2.393 \times 10^{-3}$	1	$1.0 \times 10^{-8}$	$2.546 \times 10^{-9}$
$^{32}P$	$2.22 \times 10^8$	82	0.57	0.3	$2.953 \times 10^{-3}$	1	0.107	0.951

注\*:  $^{177}Lu$ 、 $^{89}Sr$  在注射位处防护为 4mmPb 铅玻璃, 因此 d 取 0.4cm;  $^{32}P$  采用 10mmPb 铅罐运输, 因此 d 取 1.0cm。

#### 4、工作场所 $\beta$ 表面污染

$\beta$ 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 $\beta$ 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求, 建设方应做到以下防护措施:

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、标记、分离纯化等易产生放射性物质逸出或飞散的操作, 其操作须在通风柜内进行;

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，特别是已服药和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 $\beta$ 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业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况（超过  $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

### 5、CT 机的 X 射线外照射

本项目 PET/CT 额定参数为管电压 150kV，管电流 800mA，常用电压 120kV，管电流 300mA；SPECT/CT 管电压 140kV，管电流 500mA，常用电压 120kV，管电流 300mA。为了分析 CT 装置建成投入运行后对周围工作人员所造成的影响，本报告表采用台州市第一人民医院 1 号机房的检测数据进行类比评价，本项目以屏蔽防护相对较差的 SPECT/CT 机房进行类比，CT 装置类比可行性分析见表 11-4。

表 11-4 CT 装置类比可行性分析

内容		类比对象（台州市第一人民医院 1 号机房）	SPECT/CT 机房
主要设备参数		140kV，666mA	140kV，500mA
常用参数		120kV，300mA	120kV，300mA
机房面积（m <sup>2</sup> ）		35.46	47.23
屏蔽防护	四侧墙体	3mmPb	24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料（4mmPb）
	防护门	3mmPb	内衬 4mm 铅板（4mmPb）
	观察窗	3mmPb	4mmPb 铅玻璃（4mmPb）
	顶棚	3mmPb	25 cm 混凝土+1mmPb 防护材料（4mmPb）
	地坪	3mmPb	15cm 混凝土+2mmPb 防护材料（4mmPb）

由上表可以看出，本项目 CT 机常用管电压等于类比对象，常用管电流等于类比对象，机房的实际面积大于类比对象，机房防护水平高于类比对象，因此本项目 CT 机与类比对象有很好的可比性，通过对类比对象的监测，可以预测本项目 CT 机运行后的辐射环境影响。

类比监测点位示意图见图 11-1，类比监测结果见表 11-5。

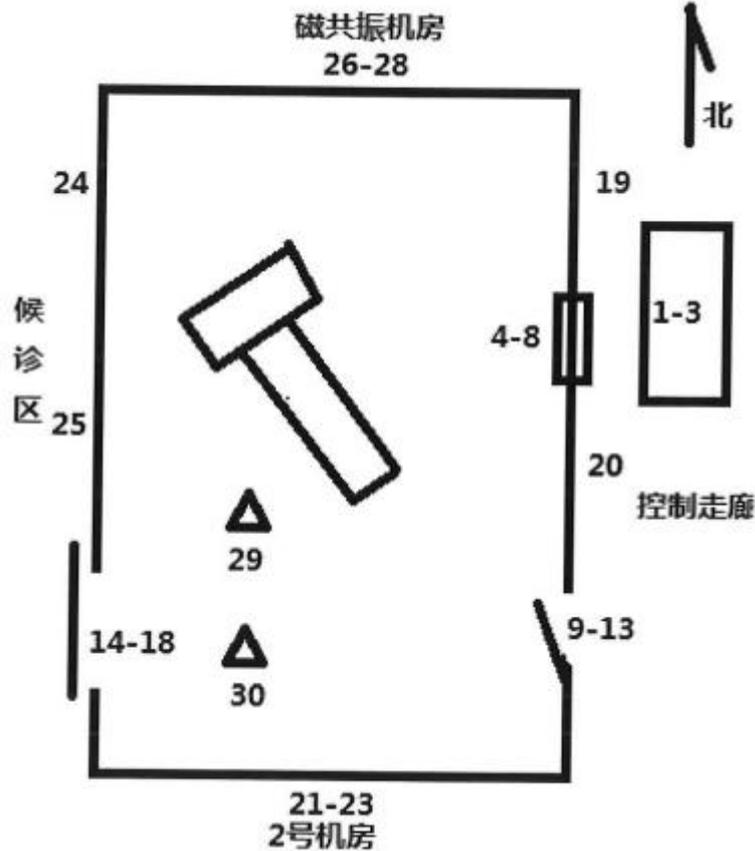


图 11-1 类比对象监测点位示意图

表 11-5 本项目类比对象 CT 机房周围 X-γ辐射剂量率监测结果

检测条件	防护条件: 120kV, 300mA 模体: CT 监测专用模体	
检测点号	检测地点	检测结果 (μSv/h)
1	操作位 (北侧)	0.21
2	操作位 (中部)	0.15
3	操作位 (南侧)	0.17
4	观察窗外表面 (北侧) 30cm	0.57
5	观察窗外表面 (中部) 30cm	0.71
6	观察窗外表面 (南侧) 30cm	0.50
7	观察窗外表面 (上端) 30cm	0.93
8	观察窗外表面 (下端) 30cm	0.55
9	工作人员防护门外表面 (北侧) 30cm	0.19
10	工作人员防护门外表面 (中部) 30cm	0.16
11	工作人员防护门外表面 (南侧) 30cm	0.18
12	工作人员防护门外表面 (上端) 30cm	0.22

13	工作人员防护门外表面（下端）30cm	0.22	
14	受检者防护门外表面（北侧）30cm	0.22	
15	受检者防护门外表面（中部）30cm	0.17	
16	受检者防护门外表面（南侧）30cm	0.17	
17	受检者防护门外表面（上端）30cm	0.21	
18	受检者防护门外表面（下端）30cm	0.19	
19	东侧防护墙外表面（北侧）30cm	0.18	
20	东侧防护墙外表面（中部）30cm	0.22	
21	南侧防护墙外表面（西侧）30cm	0.15	
22	南侧防护墙外表面（中部）30cm	0.17	
23	南侧防护墙外表面（东侧）30cm	0.22	
24	西侧防护墙外表面（北侧）30cm	0.15	
25	西侧防护墙外表面（中部）30cm	0.17	
26	北侧防护墙外表面（西侧）30cm	0.19	
27	北侧防护墙外表面（中部）30cm	0.19	
28	北侧防护墙外表面（东侧）30cm	0.22	
29	二层地面上方 100cm（北侧）	0.19	
30	二层地面上方 100cm（南侧）	0.18	
当地室外本底		0.08-0.16	当地室内本底
			0.08-0.16
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 3 号楼一层放射科，机房正上方为内科，无地下室。			
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。			

根据表 11-5 可知，类比项目 CT 机房屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）“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 $\mu$ Sv/h”的要求。

本项目屏蔽措施整体优于类比项目，由此可推断，只要按照屏蔽设计方案严格施工，采取满足标准的防护措施后，本项目正常运行时 CT 机房屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率可满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求；根据辐射剂量率随距辐射源的距离增加而衰减的规律，亦可进一步预测本项目建成后，设备在正常运行时机房外 50 m 范围内其它关注点的周围剂量当量率也可满足标准要求。

#### 6、患者离开医院对环境的影响

医院应对患者离院做出书面指导，短期内禁止到公共场活动；在患者回家后不宜近距离与其进行接触；对于幼儿和婴孩，由于其吸收剂量系数较大，患者返家后的二日内避免与其亲密接触；采取以上措施后，患者离院后不会给家庭成员造成明显的辐射影响，对周围环境

影响不大。

### 7、内照射剂量估算

甲癌治疗区除了外照射，<sup>131</sup>I、<sup>177</sup>Lu 相关的工作还有负责甲癌患者查房的医生，医生查房受到的影响为内照射影响，现以 <sup>131</sup>I 具体分析如下：

造成内照射的原因通常是因为吸入被放射性物质污染的空气，饮用被放射性物质污染的水，食入被放射性物质污染的食物或者在发生事故的情况下放射性物质从皮肤、伤口进入体内。放射性核素所处环境状态、物理化学性质、进入人体内的途径、个人代谢特点、所采用的计算模式等都与内照射剂量估算有关，因此很难进行精确估算。

由于本项目核医学科禁止工作人员在辐射工作场所进食、禁止在有伤口的情况下进行放射性核素操作，食入及伤口进入体内情况很少，造成内照射的情况主要是：医生在甲癌治疗病房查房时吸入空气中的放射性废气，因此估算情况采用单次吸入的情况下进行估算。

参考中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所发布的工业卫生与职业病 2013 年底 39 卷第 3 期论文中关于 4 家核医学工作场所空气中 <sup>131</sup>I 活度浓度的监测结果，见表 11-6 所示，辐射工作人员内照射计算公式见公式 11-4 和公式 11-5：

表 11-6 4 家医院核医学工作场所空气中 <sup>131</sup>I 活度浓度

采样地点	采样时间 (h)	采样体积 (m <sup>3</sup> )	<sup>131</sup> I 活度浓度 (Bq/m <sup>3</sup> )	<sup>131</sup> I 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 <sup>131</sup> I 分装室	4	98	197	30	手动
山东某医院 <sup>131</sup> I 分装室	3	78	5.8	2	手动
平均值	4	105	137	12	—

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)，从事 <sup>131</sup>I 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：

$$E(r) = A_0 e_{(r)} \cdots \cdots \text{(式 11-4)}$$

其中：A<sub>0</sub>-放射性核素摄入量，Bq；

e<sub>(r)</sub>-每单位摄入量引起的待积有效剂量，mSv/Bq。

可查 GB18871-2002 附表 B3 得 e<sub>(r)</sub> 为 1.1×10<sup>-5</sup> mSv/Bq。

用空气采样方法估算吸入所致放射性核素摄入量时，可用公式 11-5 计算：

$$A_{0吸} = C_{空} B_{空} \cdots \cdots \text{(式 11-5)}$$

其中：A<sub>0吸</sub>-通过呼吸道的摄入量 Bq；

$C_{\text{空}}$ -核素在空气中的时间积分浓度,  $\text{Bq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ;

$B_{\text{空}}$ -工作人员呼吸率,  $\text{m}^3/\text{h}$  ( $B_{\text{空}}$ 值成年人取  $0.83\text{m}^3/\text{h}$ )。

根据表 11-6 可知, 四川省 A 医院检查服药室  $^{131}\text{I}$  操作量为  $10\text{GBq}$ , 操作方式为自动操作, 其工作场所空气中  $^{131}\text{I}$  活度浓度为  $28\text{Bq}/\text{m}^3$ , 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。

根据本项目医院提供的资料, 本项目每天核素最大操作量为  $2.22\times 10^{10}\text{Bq}$ , 则根据表中类比推算, 本项目工作场所空气中  $^{131}\text{I}$  活度浓度为  $62.2\text{Bq}/\text{m}^3$ , 假设医院辐射工作人员在  $^{131}\text{I}$  分装室和给药室平均每天工作约为  $1\text{h}$ ,  $^{131}\text{I}$  甲癌治疗每周开展两天, 周累计停留时间为两天, 利用公式 11-4 和 11-5 可计算出辐射工作人员在  $^{131}\text{I}$  分装室和给药室内每周因吸入所致待积有效剂量  $1.16\times 10^{-3}\text{mSv}$ , 以每年 50 周计算, 则每年吸入所致待积有效剂量约为  $0.058\text{mSv}$ , 该接触水平所致工作人员内照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

考虑医生可能会进入病房进行查房, 与病人距离按  $1.5\text{m}$ , 每人查房时间  $8\text{min}$ , 每年 500 人次, 医生穿戴  $0.5\text{mmPb}$  的铅衣进行估算, 保守考虑, 不考虑病人服药后的衰变, 由 2 名医生承担所有查房工作, 则估算每名医生受到的外照射年剂量为  $2.94\text{mSv}$ 。

因此, 职业工作人员吸入  $^{131}\text{I}$  核素造成的内照射年有效剂量为  $0.06\text{mSv}$ , 叠加外照射年有效剂量  $2.94\text{mSv}$ , 可知本项目运营期间所致甲癌查房医护人员的年有效剂量最大为  $2.998\text{mSv}$ , 满足《电子辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中职业人员年当量剂量不超过  $20\text{mSv}$ ”的要求, 也满足工作人员年有效剂量不超过  $5\text{mSv}$  的剂量约束值的要求。若查房时间更长则受照剂量更大, 因此, 应做好甲癌治疗区查房医生的防护和个人剂量监测, 并合理安排医生工作量, 确保工作人员受照剂量小于工作人员的剂量约束值  $5\text{mSv}/\text{a}$ 。

## 8、工作人员及公众人员受照剂量估算

### (1) 计算模式

关注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:

$$D_{\text{Eff}}=K_a\cdot t\cdot T\cdot U\cdots\cdots (11-6)$$

上式中:  $D_{\text{Eff}}$  —关注点人员有效剂量 ( $\text{Sv}$ );

$K_a$  —关注点的辐射剂量率 ( $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ );

$t$  —关注点处受照时间 ( $\text{h}$ );

$T$  —居留因子;

U —使用因子, U 取 1;

注: 近似取 Gy/Sv=1;

(2) 人员剂量评价

根据各关注点处辐射剂量率估算值, 并结合各关注点处人员停留时间, 根据公式 (11-6) 即可得到各关注点处工作人员及公众的年受照剂量, 计算结果见表 11-7。

表 11-7 本项目核医学科工作人员及周围公众年有效剂量估算

关注对象	关注点辐射剂量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	受照时间(h)	居留因子 <sup>①</sup>	人员年有效剂量(mSv/a)	
<sup>99m</sup> Tc (含 <sup>225</sup> Ac) 注射工作人员	$2.49 \times 10^{-32}$	年注射 5005 次, 每次 1min	1	$2.08 \times 10^{-33}$	4.96
<sup>18</sup> F 注射工作人员	2.29	年注射 7000 次 (含 <sup>89</sup> Zr、 <sup>124</sup> I 和 <sup>68</sup> Ga), 每次 1min	1	0.267	
<sup>89</sup> Sr 注射工作人员	$6.22 \times 10^{-5}$	年注射 500 次, 每次 1min	1	$5.18 \times 10^{-7}$	
<sup>32</sup> P 操作工作人员 (自制好后放至铅罐由工作人员送至敷贴室保险柜)	0.293	运送 500 次/年, 每次 2min	1	$4.88 \times 10^{-3}$	
<sup>177</sup> Lu 注射工作人员	$2.41 \times 10^{-6}$	年注射 20 次, 每次 1min	1	$8.03 \times 10^{-10}$	
<sup>223</sup> Ra 注射工作人员	$3.37 \times 10^{-4}$	年注射 30 次, 每次 1min	1	$1.69 \times 10^{-7}$	
<sup>99m</sup> Tc、 <sup>18</sup> F 等分装工作人员	0.049	年分装 12000 次, 每次 1min	1	0.01	
<sup>99m</sup> Tc 转移工作人员 (手套箱移动至注射位)	0.025 <sup>②</sup>	年转移 5000 次, 每次 15s	1	$5.21 \times 10^{-4}$	
<sup>18</sup> F 转移工作人员 (手套箱移动至注射位)	146.9 <sup>②</sup>	年转移 7000 次, 每次 15s	1	4.65	
<sup>89</sup> Sr 测活工作人员 <sup>③</sup>	$0.049 + 6.216 \times 10^{-5}$	年测活 500 次, 每次 1min	1	$4.09 \times 10^{-4}$	
<sup>32</sup> P 自制工作人员 <sup>③</sup>	$0.049 + 0.951$	年自制 500 次, 每次 2min	1	0.017	
<sup>177</sup> Lu 测活工作人员 <sup>③</sup>	$0.049 + 2.41 \times 10^{-6} + 2.546 \times 10^{-9}$	年测活 20 次, 每次 1min	1	$1.63 \times 10^{-5}$	
<sup>225</sup> Ac 测活工作人员 <sup>③</sup>	$0.049 + 2.60 \times 10^{-7}$	年测活 5 次, 每次 1min	1	$4.08 \times 10^{-6}$	
<sup>223</sup> Ra 测活工作人员 <sup>③</sup>	$0.049 + 3.37 \times 10^{-4}$	年测活 30 次, 每次 1min	1	$2.47 \times 10^{-5}$	
PET/CT 控制室操作人员	$0.885 + 0.93$ <sup>④</sup>	年扫描 7600 次, 每次扫描约 15min	1	3.45	

	PET/CT 摆位人员	49.36	人均年摆位 7600 次,每次摆位约 1min	1	6.42	
	SPECT 控制室操作人员	$1.14 \times 10^{-4} + 0.93^{④}$	年扫描 5000 次,每次扫描约 15min	1	1.163	1.754
	SPECT 摆位人员	7.09	人均年摆位 5000 次,每次摆位约 1min	1	0.591	
	<sup>131</sup> I 分装工作人员(甲癌、甲亢、甲测)	0.065	年分装 3500 次,每次约 1min	1	0.038	5.46
	<sup>131</sup> I 给药工作人员	1.65	年给药 1500 次,每次约 1min	1	0.041	
	病房查房工作人员(含内、外照射)				2.998	
	甲癌病房抢救人员	951.7	年抢救 5 次,每次抢救约 30min	1	2.38	
核医学科周边公众	核医学科楼上(院内绿化带)	$0.056 + 0.19^{⑤}$	日工作约 8h,年工作日 250 天	1/20	0.025	
	核医学科楼上(诊室)	0.045	日工作约 8h,年工作日 250 天	1	0.09	
	核医学科楼上(医疗综合楼外科病房楼 1 层过道)	$3.25 \times 10^{-3} + 0.19^{⑤}$	日工作约 8h,年工作日 250 天	1/5	0.077	
	核医学科楼下(车库)	$0.98 + 0.19^{④}$	日工作约 8h,年工作日 250 天	1/40	0.059	
	甲癌抢救室西墙外(走廊)	0.51	年抢救 5 次,每次抢救约 30min	1/5	$2.55 \times 10^{-4}$	
	核医学科北侧(设备间)	0.809	日工作约 8h,年工作日 250 天	1/20	0.081	
	核医学科西侧(护士站)	0.016	日工作约 8h,年工作日 250 天	1	0.032	
	核医学科南侧(医生办公室)	0.013	日工作约 8h,年工作日 250 天	1	0.026	
	核医学科东侧(库房)	0.885	日工作约 8h,年工作日 250 天	1/20	0.089	

注：①各关注点辐射剂量率保守取附近关注点最大值；居留因子选取参照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的要求，全居留取 1；部分居留场所：院内绿化带取 1/20，过道和走廊取 1/5；偶然居留场所：无人看管的停车场取 1/40、设备间、送风机房取典型值 1/16，库房取 1/20；

②防护保守按护士 0.5mm 铅衣+10mm(<sup>18</sup>F)/4mm(<sup>99m</sup>Tc)防护套考虑，根据公式 11-1 计算得出；

③保守计算，<sup>89</sup>Sr、<sup>177</sup>Lu、<sup>225</sup>Ac、<sup>223</sup>Ra 测活工作人员和 <sup>32</sup>P 自制工作人员叠加了手套箱外表面 γ 射线剂量率；另 <sup>89</sup>Sr、<sup>177</sup>Lu 测活工作人员和 <sup>32</sup>P 自制工作人员还叠加了韧致辐射剂量率；

④PET/CT 和 SPECT/CT 控制室已叠加 CT 机 X 射线剂量率（保守取类比监测对象最大值）；

⑤核医学科楼上楼下相对应 PET/CT 和 SPECT/CT 机房处已叠加 CT 机 X 射线剂量率（保守取类比监测对象对应楼上最大值）。

根据表 11-7 的估算结果可知，本项目 <sup>18</sup>F（含 <sup>89</sup>Zr、<sup>124</sup>I、<sup>68</sup>Ga）、<sup>99m</sup>Tc（含 <sup>225</sup>Ac）、<sup>89</sup>Sr、<sup>177</sup>Lu、<sup>223</sup>Ra 等核素分装、测活、注射，<sup>32</sup>P 自制和运送 2 人轮岗，辐射工作人员年有效剂量

最大值为  $4.96/2=2.48\text{mSv}$ ；PET/CT 诊断摆位和操作人员 3 人轮岗，辐射工作人员年有效剂量最大值为  $9.87/3=3.29\text{mSv}$ ；SPECT/CT 诊断摆位和操作人员 2 人轮岗，辐射工作人员年有效剂量最大值为  $1.754/2=0.877\text{mSv}$ ； $^{131}\text{I}$  分装、给药、注射和查岗（含抢救）2 人轮岗，辐射工作人员年有效剂量最大值为  $5.46/2=2.73\text{mSv}$ ，均小于本评价项目提出的剂量约束值  $5\text{mSv/a}$ ；公众年有效剂量最大值为  $0.09\text{mSv}$ ，小于本评价项目提出的公众剂量约束值  $0.1\text{mSv/a}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，同时也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求。

根据预测结果可以看出，PET/CT 摆位人员受照剂量相对较大。按本项目满负荷运行、所有患者均需要近距离指导摆位的最不利情况预测，若由 1 名工作人员承担摆位和设备操作工作量时，人员受照剂量将超过剂量约束值，因此，若患者摆位量较大时，必须配备多名辐射工作人员来平均承担摆位工作，本项目暂定由 2 名工作人员平均承担，方可满足剂量约束值的要求。在实际工作中，部分患者可以通过语音指导摆位，少数患者需近距离指导摆位，因此工作人员应尽量采用远距离语音指导摆位，并做好个人剂量监测，医院根据辐射工作人员岗位情况，定期安排轮岗，合理安排人员工作量，确保辐射工作人员受照剂量满足约束值要求。由此可见，本评价项目正常运行时，对工作人员和工作场所相邻区域公众人员的辐射影响均能满足相关标准要求。

小结：工作人员的年有效剂量最大值为  $3.29\text{mSv/a}$ ，公众年有效剂量最大值为  $0.09\text{mSv}$ ，工作人员和公众有效剂量低于本评价项目提出的剂量约束值。建设单位在项目运行过程中应关注辐射工作人员个人剂量监测情况，根据工作量增加辐射工作人员分担任务，以降低工作人员个人年受照剂量。

## 9、核医学“三废”影响分析

### （1）放射性废水影响分析

工作人员操作过程中手部可能受到微量放射性核素污染的洗手水，清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量放射性核素的清洗水，病人排泄物等。本项目核医学科工作场所放射性废水详细分析见第 10.2.2 小节，本章不再赘述。

本项目放射性废水通过放射性废水收集管道（管道裸露处采用  $6\text{mm}$  铅皮包裹）排放至核医学科南侧的衰变池，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），含碘-131 核素的暂存超过 180 天。

### （2）放射性废气影响分析

本项目核医学科工作场所在手套箱顶壁安装活性炭，同时在排风口配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施（净化效率 99.5%）。本项目活性炭需定期更换，半年更换一次，更换下来的活性炭按固体放射性废物处理（放射性废气详细分析见第 10.2.1 小节）。

#### （9）放射性固废影响分析

本项目放射性固废废物暂存在污物间内，达到解控标准后按普通医疗废物处理。对于放射性废物的管理，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）与《医用放射性固废的卫生防护管理》（GBZ133-2009）提出相应管理措施，详见第 10.2.3 小节。

因此，本项目“三废”可以做到达标排放，对周围环境影响较小。

### 11.2.2 放射治疗单元

#### 11.2.2.1 直线加速器

##### 1、加速器设备技术参数

采用最大加载条件进行核算，即加速器最高标称能量、常用最大剂量率、最大照射野、最大工作负荷等参数进行。具体如下：

- 1) X射线：15MV；
- 2) 正常治疗距离（NTD）：100cm；
- 3) 最大方形照射野40cm×40cm；
- 4) 最大剂量率：2400cGy/min ( $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ )；
- 5) 等中心高度：130cm；
- 6) X射线泄漏率：0.1%。

##### 2、加速器治疗室设计参数

根据建设单位提供资料，本项目医用电子直线加速器治疗室平面图见图11-2，剖面图见图11-3，各部分具体尺寸见表10-10。



### 3、电子直线加速器治疗室屏蔽防护计算

按照加速器X射线的最大输出参数，最不利条件下，计算各关注点经过屏蔽后的辐射剂量率水平，本项目加速器机房屏蔽示意图和关注点分布见图11-2～图11-3。

机房主屏蔽区主要考虑由加速器直接输出的原射线（主射束）的辐射影响，次屏蔽区主要考虑散射线和漏射线的辐射影响。

#### (1) 有用线束主屏蔽区（关注点A、E、K）

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/T201.2-2011）中推荐的公式计算主屏蔽墙体外表而30cm处的辐射剂量率水平：

##### ①有效屏蔽厚度：

$$X = X_e \cdot \cos \theta \dots\dots (\text{式 } 11-7)$$

式中：

$X$ ：屏蔽物质厚度，cm；

$X_e$ ：射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，cm；

$\theta$ ：入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

##### ②屏蔽透射因子

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots (\text{式 } 11-8)$$

式中：

$B$ ：屏蔽物质的屏蔽透射因子；

$X_e$ ：有效屏蔽厚度，cm；

$TVL$ ：辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚，cm；

$TVL_1$ ：辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，cm；

##### ③主射线和漏射线剂量率：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots (\text{式 } 11-9)$$

式中：

$\dot{H}$ ：关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ ：距靶1m处的有用线束或泄漏的辐射剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

$R$ ：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

$f$ ：对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率 0.001。

④相关参数

根据业主提供资料，本项目加速器 X 射线最大能量为 15MV，进行放射治疗时距靶 1m 处最高输出剂量率保守取 2400cGy/min ( $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$ )。

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/T201.2-2011) 附录 B 中表 B.1 可知，有用线束和泄漏辐射在混凝土中的什值层厚度见表 11-8。

表 11-8 有用线束和泄漏辐射在混凝土中的什值层

MV	有用束		90° 泄漏辐射	
	TVL <sub>1</sub> (cm)	TVL(cm)	TVL <sub>1</sub> (cm)	TVL(cm)
15MV	44	41	36	33

根据式 11-7~式 11-9 计算可得 A、E、K 点剂量率如下表所示：

表 11-9 主屏蔽墙外参考点剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	有效屏蔽层厚度 X <sub>e</sub> (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R(m)	剂量率 (μSv/h)
加速器机房 (15MV)	A	300	300	$6.03 \times 10^{-8}$	8.5	1.202
	E	300	300	$6.03 \times 10^{-8}$	8.5	1.202
	K	312 <sup>①</sup> +180 <sup>②</sup>	438	$2.46 \times 10^{-11}$	10.2	$3.4 \times 10^{-4}$

注：①屋顶上侧有 120mm 的混凝土；混凝土密度为 2.35 t/m<sup>3</sup>；

②屋顶上侧有 180mm 的实土层；实土层密度保守按 1.65t/m<sup>3</sup>。

(2) 与主屏蔽相连的次屏蔽区和迷路外墙 (南侧配电房) (关注点 B、F、L、D)

计算与主屏蔽区相连的次屏蔽区关注点处剂量率时，考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合作用，电子直线加速器最大照射野为 40cm×40cm，泄漏辐射率≤0.1%。

①泄漏辐射

根据式 11-7~式 11-9，得 B、F、L、D 点剂量率如下表所示：

表 11-10 与主屏蔽相连的次屏蔽区墙外参考点泄漏辐射剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	θ (°)	有效屏蔽层厚度 X <sub>e</sub> (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R(m)	剂量率 (μSv/h)
加速器机房 (15MV)	B	156	29	180	$4.33 \times 10^{-6}$	8.3	0.089
	F	180	29	207	$6.58 \times 10^{-7}$	8.3	0.014
	L	180+12 <sup>①</sup>	24	221	$2.48 \times 10^{-7}$	10.3	0.003
	D	150	37	188	$2.31 \times 10^{-6}$	9.8	0.036

注：①屋顶上侧有 120mm 的混凝土；混凝土密度为 2.35 t/m<sup>3</sup>。

②患者散射辐射

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/T201 2-2011）中推荐的公式，患者一次散射辐射的剂量估算：

$$H = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots \text{（式 11-10）}$$

式中

$\dot{H}$ ：关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ ：距靶 1m 处的有用线束或泄漏的辐射剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$F$ ：最大照射野面积，1600  $\text{cm}^2$ ；

$R_s$ ：患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

$\alpha_{ph}$ ： $\alpha_{ph}$  与 X 射线的 MV 值及散射角（散射方向与入射方向的夹角）有关，其值为  $3.18 \times 10^{-3}$ （本项目 15MV 电子直线加速器散射角按  $30^\circ$  计算）。散射辐射在砼中的 TVL 值为 28cm（散射角按  $30^\circ$  计算）。

表 11-11 与主屏蔽区相连的次屏蔽区墙外参考点患者散射辐射剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	$\theta$ ( $^\circ$ )	有效屏蔽层厚度 $X_e$ (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R (m)	患者散射剂量率贡献值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
加速器机房 (15MV)	B	156	29	180	$4.33 \times 10^{-6}$	8.3	1.152
	F	180	29	207	$6.58 \times 10^{-7}$	8.3	0.175
	L	$180+12^{①}$	24	221	$2.48 \times 10^{-7}$	10.3	0.043
	D	150	37	188	$2.31 \times 10^{-6}$	9.8	0.442

注：屋顶上侧有 120mm 的混凝土；混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>。

则与主屏蔽相连的次屏蔽区墙外参考点剂量率如下表所示：

表 11-12 与主屏蔽相连的次屏蔽区墙外参考点剂量率

直加机房	参考点	泄漏辐射剂量率贡献 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	患者散射剂量率贡献值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1#直线加速器机房 (15MV)	B	0.089	1.152	1.241
	F	0.014	0.175	0.189
	L	0.003	0.043	0.046
	D	0.036	0.442	0.478

(3) 侧屏蔽墙（北侧）和迷路外墙（南侧）（关注点C、I）

根据式11-7~式11-9，得I点剂量率如下表所示：

表11-13 侧屏蔽墙墙外参考点泄漏辐射剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	$\theta$ (°)	有效屏蔽层厚度 X <sub>e</sub> (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R(m)	剂量率 (μSv/h)
加速器机房(15MV)	C	250	0	250	$3.27 \times 10^{-8}$	8.8	$6.07 \times 10^{-4}$
	I	150	0	150	$3.51 \times 10^{-5}$	5.8	1.704

注：混凝土密度为 2.35 g/cm<sup>3</sup>。

(4) 加速器机房的迷路入口（关注点J）

本项目加速器X射线最大能量为15MV，分析计算过程中考虑中子辐射影响，本项目加速器机房迷路入口需考虑下列辐射：

① 泄漏辐射

加速器的泄漏辐射（以偏离 O 的位置 O' 为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 J 的辐射剂量，路径“O'-J”，核算结果应为 J 处的参考控制水平的一个分数（应小于 1/4），此处取 0.5μSv/h。

根据式式 11-7~式 11-9，得 J 点剂量率如下表所示：

表 11-14 加速器机房迷路入口泄漏辐射剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	$\theta$ (°)	有效屏蔽层厚度 X <sub>e</sub> (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R (m)	剂量率 (μSv/h)
加速器机房(15MV)	J	150	23	163	$1.42 \times 10^{-5}$	9.7	2.424

注：混凝土密度为 2.35 g/cm<sup>3</sup>。

② 迷路散射辐射

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范一第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），考虑中子辐射影响时，迷路散射辐射应考虑总中子注量、机房入口的中子俘获γ射线的剂量率  $\dot{H}_\gamma$ 、机房入口的中子剂量率  $\dot{H}_n$ 。

a) 总中子注量

迷路的中子散射路径为“O'-M-P-J”，M 点是从中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的焦点，在 M 点的总中子注量  $\Phi_B$  按式（11-11）计算：

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots\dots \text{（式 11-11）}$$

式中的三项分别是加速器机头外的杂散中子、杂散中子在机房内壁的散射中子及所形成的热中子。

式中：

$\Phi_B$ ：等中心处 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子注量，（中子数/m<sup>2</sup>）/Gy；

$Q_n$ ：在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy，根据 NCRP No.151 的表 B.9 中列出的 15MV 加速器的  $Q_n$  值确定， $0.76 \times 10^{12}$  个/Gy；

$d_1$ ：等中心点 O' 至 M 点的距离，7.05m；

S：治疗机房的总内表面积（289.6m<sup>2</sup>），包括四壁墙、顶面和地面，不包括迷道各内面积。

根据式 11-10 计算可得总中子注量  $\Phi_B = 3.999 \times 10^9$ （中子数/m<sup>2</sup>）/Gy。

b) 机房入口的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率（ $\dot{H}_\gamma$ ）

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获  $\gamma$  射线，机房入口门外 30cm (J) 处无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\dot{H}_\gamma$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）按式（11-12）计算

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \times \Phi_B \times 10^{-d_2/TVD} \times \dot{H}_0 \dots\dots \text{（式 11-12）}$$

式中：

$6.9 \times 10^{-16}$ ：该方法中的经验因子，Sv/（中子数/m<sup>2</sup>）；

$\Phi_B$ ：等中心处 1Gy 治疗照射时 H 处的总中子数注量， $3.999 \times 10^9$ （中子数/m<sup>2</sup>）/Gy；

$d_2$ ：M 点至机房入口 J 的距离，对于二阶迷路，以迷路  $d_{2a}$  和  $d_{2b}$  之和代替  $d_2$ ；

（ $d_2 = d_{2a} + d_{2b} = 8.09\text{m} + 2.42\text{m} = 10.51\text{m}$ ）

TVD：将  $\gamma$  辐射剂量减至其十分之一的距离（什值距离），对于 15MV 加速器为 3.9m；

$\dot{H}_0$ ：等中心点处治疗 X 射线剂量率， $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据式 11-11 计算可得机房入口门外 30cm (J) 处无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\dot{H}_\gamma = 8.02 \mu\text{Sv/h}$ 。

b) 机房入口的中子剂量率（ $\dot{H}_n$ ）

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (k) 处无防护门时的剂量率  $\dot{H}_n$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）见式（11-13）：

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \times \Phi_B \times \sqrt{S_0/S_1} \times [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \times \dot{H}_0 \dots\dots \text{（式 11-13）}$$

式中：

$2.4 \times 10^{-15}$ ：该计算方法中的经验因子，Sv/（中子数/m<sup>2</sup>）

S<sub>0</sub>：迷道内口的面积，本项目 10.32m<sup>2</sup>（2.4m×4.3m）；

S<sub>1</sub>：迷道截面面积，本项目 8.6m<sup>2</sup>（2m×4.3m）；

Φ<sub>B</sub>：等中心处 1Gy 治疗照射时 H 处的总中子数注量，3.999×10<sup>9</sup>（中子数/m<sup>2</sup>）/Gy；

d<sub>2</sub>：M 点至机房入口 J 的距离，对于二阶迷路，以迷路 d<sub>2a</sub> 和 d<sub>2b</sub> 之和代替 d<sub>2</sub>；

（d<sub>2</sub>=d<sub>2a</sub>+d<sub>2b</sub>=8.09m+2.42m=10.51m）

$\dot{H}_0$ ：等中心点处治疗 X 射线剂量率，1.44×10<sup>9</sup>μSv/h。

T<sub>n</sub>：什值距离，6.04m；是一个经验值，与迷路横截面积有关，T<sub>n</sub>按式（11-14）计

算：

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1} \dots\dots \text{（式 11-14）}$$

根据式 11-13、式 11-14 计算可得无防护门时的中子经迷道散射至 J 处的剂量率

$\dot{H}_n = 275.5\mu\text{Sv/h}$ 。

### c) 入口门屏蔽

本项目直线加速器机房的防护门材料及厚度为 25mmPb+200mm(5%)含硼聚乙烯。

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/T201.2-2011）中推荐的计算方法，当给定防护门屏蔽厚度 X<sub>γ</sub>和 X<sub>n</sub>时，防护门外的辐

射剂量率  $\dot{H}$ （μSv/h）见式 11-15：

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \times 10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \times 10^{-(X_n/TVL_n)} + H_{oj} \times B_{oj} \dots\dots \text{（式 11-15）}$$

式中：

$\dot{H}_\gamma$ ：机房入口门外 30cm（J）处无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率，8.02μSv/h；

X<sub>γ</sub>：屏蔽中子俘获γ射线的铅的厚度，2.5cm；

TVL<sub>γ</sub>：中子俘获γ射线在铅中的什值层，根据 GBZ/T201.2-2011 附录 C，铅对中子俘获γ的 TVL<sub>γ</sub>值为 3.1cm；

$\dot{H}_n$ ：机房入口无防护门时的中子经迷道散射至 J 处的剂量率，275.5μSv/h；

X<sub>n</sub>：屏蔽中子的含硼聚乙烯的厚度，20cm；

TVL<sub>n</sub>：中子在含硼聚乙烯中的什值层，根据 GBZ/T201.2-2011 附录 C，含硼 5%的

聚乙烯对中子的 TVL<sub>n</sub> 值为 4.5cm;

$\dot{H}_{oj}$ : 图 11-1 中 O 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 J 点处的剂量率, 2.424 $\mu$ Sv/h;

$B_{oj}$ : 防护门对  $\dot{H}_{oj}$  的屏蔽透射因子,  $B_{oj}$  按 (式 11-8) 计算可得 0.0001。

根据式 11-15 计算得 J 点处防护门外中子及中子俘获  $\gamma$  辐射剂量率  $\dot{H} = 1.262\mu$ Sv/h。

### (5) 主束屏蔽墙宽度分析

《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201 1-2007) 第 4.3.3 条款给出了主束屏蔽层宽度的计算方法, 有用束在机房屏蔽墙的投影区宽度的计算见 (式 11-16)。

$$Y_p = 2[(\alpha + SAD)\tan\theta + 0.3] \dots \dots \text{(式 11-16)}$$

式中:

$Y_p$ : 机房有用束主屏蔽区的宽度, m;

$SAD$ : 源轴距, 取 1m;

$\theta$ : 治疗束的最大半张角 (相对束中的轴线), 本项目为 14°;

$\alpha$ : 等中心点至与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙内表面或到外凸式主屏蔽墙外表面的距离, m。

见图 11-4 所示。

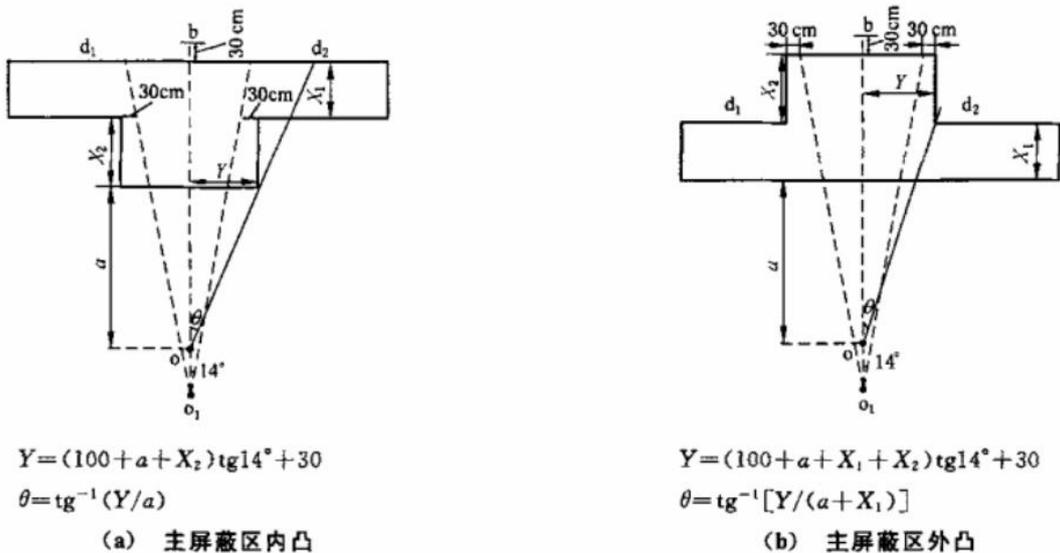


图 11-4 主束屏蔽宽度要求示意图

以西侧主屏蔽墙为例估算主束屏蔽层的最小宽度。根据设计资料, 加速器机房西侧主屏蔽层厚度为 3.0m, 次屏蔽层厚度为 1.8m, 等中心点到主屏蔽墙内侧的最大距离为 4.2m, 有用

射线束张角为28°，据此计算西侧主屏蔽墙的宽度要求不少于 $[(4.2+1.2+1.0) \tan 14^\circ + 0.3] \times 2 = 3.8\text{m}$ 。

同理，可以推算出加速器机房顶部主屏蔽的宽度要求不少于 $[(3.0+1.2+1.8+1.0) \tan 14^\circ + 0.3] \times 2 = 4.09\text{m}$ 。

本项目加速器机房西侧主屏蔽墙宽度为4m，东侧主屏蔽墙和顶棚主屏蔽墙宽度均为4.8m，满足屏蔽主束和散射辐射的要求。

#### (6) 预测结果及评价

加速器机房外的剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较如表11-15所示。

表11-15 剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	点位描述	剂量率预测结果 (μSv/h)		
		有用线束/泄漏	散射辐射	合计
A	东侧主防护墙中点外 30cm 处，2号加速器机房	1.202	/	1.202
B	东侧主防护墙副防护墙连接处外 30cm，2号加速器机房	0.089	1.152	1.241
C	迷道外墙外 30cm 处，控制室	$6.07 \times 10^{-4}$	/	$6.07 \times 10^{-4}$
D	迷道外墙外 30cm 处，配电房	0.036	0.442	0.478
E	西侧主防护墙中点外 30cm 处，后装机控制室	1.202	/	1.202
F	西侧主防护墙副防护墙连接处外 30cm，过道	0.014	0.175	0.189
I	北侧防护墙外 30cm 处，土层	1.704	/	1.704
J	加速器机房门外 30cm 处	2.11		
K	顶棚主防护墙中点上方 30cm 处，感染科	$3.4 \times 10^{-4}$	/	$3.4 \times 10^{-4}$
L	顶棚主防护墙副防护墙连接处外 30cm，感染科	0.003	0.043	0.046

通过上表可以看出，本项目加速器机房的辐射屏蔽措施能够使机房外的辐射剂量率满足相应的剂量率参考控制水平的要求。

#### 4、人员所受辐照剂量估算

照射剂量采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式：

$$D_r = D_i \times U \times T \times t \times 10^{-3} \dots \dots \text{（式 11-17）}$$

式中：

$D_r$ —关注点年辐射剂量率，mSv/a；

$D_1$ —关注点处的辐射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$t$ —每年工作时间,  $\text{h}$ ;

$U$ —使用因子, 取 1;

$T$ —居留因子。

根据医院提供的工作负荷:

a) 直线加速器检查患者人数为 50 人次/天;

b) 曝光时长时间为 3min/人;

c) 全年工作 250 个工作日 (5 天/周, 50 周/年);

偏安全考虑, 均按 15MV X 射线估算工作人员年有效剂量, 则根据式 11-17, 加速器机房外的辐射工作人员及公众成员的附加年有效剂量(包括 X 射线和中子)估算结果见表 11-16 (各关注点的空气吸收剂量率取对应位置的最大值)。

表 11-16 加速器外所致个人群组年有效剂量估算结果

估算对象	位置序号	对应场所	居留因子	年照射时间 (h)	预测剂量率 ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}$ )	年有效剂量 (mSv)
辐射工作人员	C	加速器控制室内	1	625	$6.07 \times 10^{-4}$	$1.46 \times 10^{-3}$
	E	后装机控制室内	1		1.202	0.751
	B	2#加速器治疗室内	1		1.241	0.775
公众	F	后装机准备室	1/2		0.189	0.06
	K	顶棚上感染科	1		$3.4 \times 10^{-4}$	$2.13 \times 10^{-4}$
	J	防护门外	1/8		1.262	0.098

由表 11-20 可知, 电子直线加速器工作场所辐射工作人员附加年有效剂量最大值为 0.775mSv, 低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 辐射工作人员年剂量管理约束值 5mSv 的要求; 公众成员附加年有效剂量最大值为 0.098mSv, 满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 对公众成员年剂量管理约束值 0.1mSv 的要求, 同时也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中相关要求。

#### 5、加速器治疗室电子线治疗时防护评价

本项目加速器最大 X 射线能量为 15MV, 电子线最大能量为 18MeV, 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  $\mu\text{A}$  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要的厚度也低于对于 MV 级 X 射线的屏蔽要求。

## 6、加速器“三废”影响分析

### (1) 废气

加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等。

医用电子直线加速器在运行过程中在电子束模式下会产生一定的臭氧。参照《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）附录 E 的计算公式，估算加速器 X 射线所致臭氧浓度。

$$C_{O_3} = 2.79 \times \frac{Id}{V} \times \left(1 - e^{-\frac{v}{V}t}\right) \dots\dots \text{（式 11-18）}$$

式中：

$C_{O_3}$ ——机房中臭氧浓度， $mg/m^3$ ；

$I$ ——电子束流强度， $mA$ ；

$d$ ——电子束在空气中的径迹长度， $cm$ ；

$V$ ——靶室体积， $m^3$ ；

$v$ ——排气速率， $m^3/s$ ；

$t$ ——辐照时间， $s$ ；

使用直线加速器进行放射治疗时，根据治疗计划，治疗 1 名患者加速器出束时间约为 180 秒，直线加速器机房排气速率为  $0.89m^3/s$ （ $3200m^3/h$ ）。由上式计本项目直线加速器运行时臭氧的浓度为见表 11-17。

表 11-17 直加机房内臭氧浓度预测

序号	机房名称	机房容积 $m^3$	电子束流强度 $mA$	电子束在空气中的径迹长度 $cm$	排气速率 $m^3/s$	治疗结束后机房内的臭氧浓度 $mg/m^3$
1	1#加速器机房	377.3 $m^3$	0.1	100	0.89	0.026

治疗室内产生的臭氧通过排风系统高空排放（排风出口应高出所在建筑物至少 1m），浓度远低于大气环境质量标准中  $O_3$  浓度限值（《环境空气质量标准》（GB3095-2012），1h 平均浓度为  $0.2mg/m^3$ ），对周围大气环境的影响十分轻微。

在多种氮氧化物（ $NO_x$ ）中，以  $NO_2$  为主，其产额约为  $O_3$  的一半。工作场所中  $NO_2$  的浓度限值（GBZ2.1-2019，浓度限值为  $5mg/m^3$ ）超出  $O_3$  的 10 多倍，因而， $NO_2$  的产生和排放对周围大气环境的影响很小。

本项目加速器治疗室设计采用机械通风，换气次数达每小时 8 次以上，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

中“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求。加速器机房进出风管道避开主射线方向，射线经几次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

### (2) 感生放射性

所有能量超过10MeV的粒子加速器都将产生或多或少的感生放射性，这是加速器的瞬时辐射场（包括初级粒子和次级粒子）与加速器组件和周围物质相互作用产生活化产物的结果。电子直线加速器运行过程中靶产生的高能光子可以与靶、准直器和限束系统中的金属材料的原子核发生各种核反应产生感生放射性，感生放射性水平取决于加速器电子的能量、束流强度、靶物质及运行时间等多种因素。

根据相关研究表明，在加速器使用过程中，放射治疗工作人员年受照剂量的1/3是由感生放射性造成的，考虑到空气中形成的感生放射性核素能够被吸入而形成内照射的事实，感生放射性造成的剂量实际上更高。参考镇江某医院15MV医用直线加速器验收监测结果（（2009）辐环监（验）字第（321）号），加速器在停机后2分钟，加速器机头5cm处的感生放射性水平为3.57 $\mu$ Sv/h，机头外1m处为2.06 $\mu$ Sv/h，医务人员摆位处为1.25 $\mu$ Sv/h，可见，此时进入到加速器机房的医务人员将会受到一定的辐射危害。感生放射性核素的活度和半衰期的范围都很宽，但大多数放射性核素的半衰期比较短，停机5-10分钟后就可以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就是等其自然衰变。

为避免加速器室内感生放射性对辐射工作人员造成的危害，建议：

- ①医务人员和患者都尽可能减少加速器室内滞留时间，或等待停机5min后再进入机房。
- ②加强加速器室内通风，保持加速器治疗室内的空气流动。

### (3) 废弃靶材料

加速器运行约10年后退役，更换下来的靶物质及其他强感生放射性部件均应作为放射性废物进行处理。根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对废靶及其他强感生放射性部件外表面进行辐射剂量率监测，由设备生产厂家回收。

#### 11.2.2.2 $^{192}\text{Ir}$ 后装机

##### 1、拟建后装机技术参数及关注点选取

本项目拟建设 $^{192}\text{Ir}$ 后装机的技术参数如表11-18所示。

**表 11-18 后装机的技术参数**

核素	活度 (Bq)	γ射线能量 均值	空气比释动能率 常数 $K_r$	等中心点距 地面高度	每天治疗 人次	每人每次照射 时间
$^{192}\text{Ir}$	$3.7 \times 10^{11}$	0.37MeV	0.111 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$	0.8m	4 人次	10min

注： $^{192}\text{Ir}$  的空气比释动能率常数来自 GBZ/T 201.3-2014 中表 C.1。

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，因此将治疗室内距墙体 1.0m 处为治疗源可能的使用区域，即图 11-6 中虚线区域，该区域边界线位置即为对外环境影响最大的位置。根据本项目后装机机房周围环境状况分析，在机房外设置 5 个关注点，分布图见图 11-5 及图 11-6。关注点描述如下：

- a: 东墙外 30cm 处（控制室/准备室）；
- b: 南墙外 30cm 处（有迷道）；
- c: 南墙外 30cm 处（无迷道）；
- d: 西墙外 30cm 处（库房）；
- e: 北墙外 30cm 处（水冷机房）；
- f: 机房防护门外 30cm 处；
- g: 机房顶棚上方 30cm 处（感染科）。

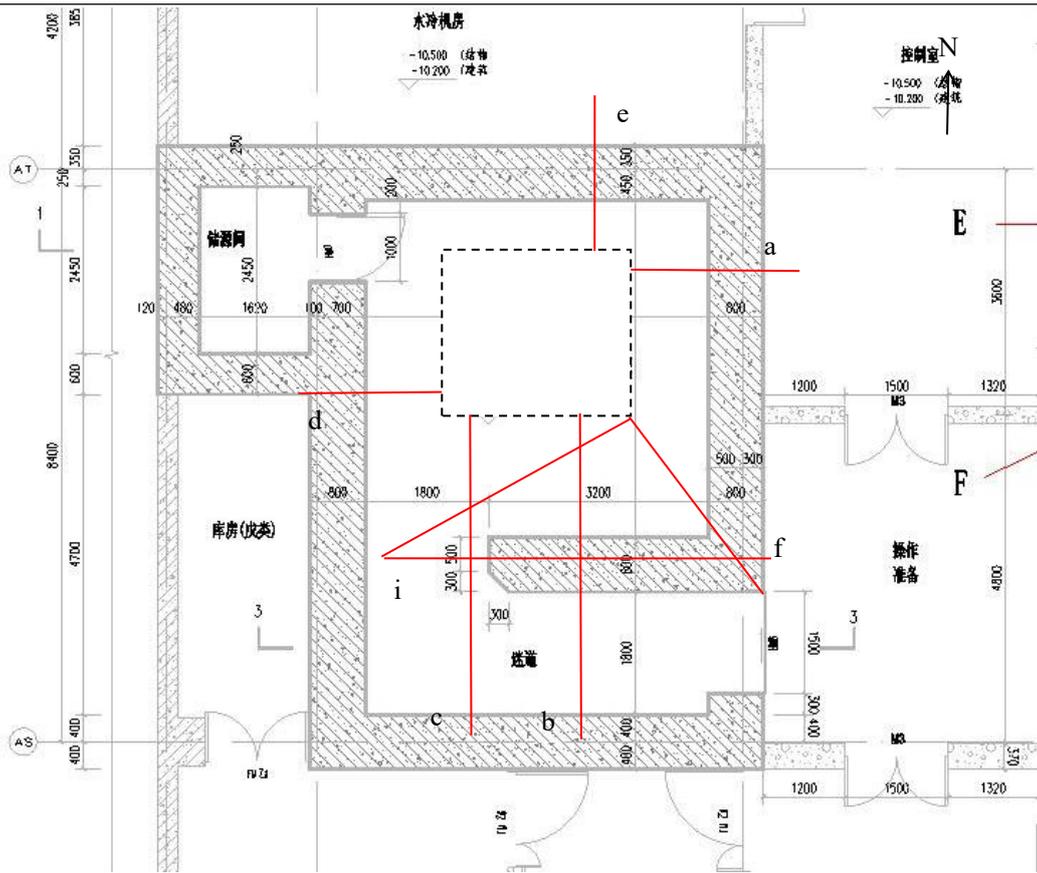


图 11-5 后装机机房外预测关注点布置图（平面）

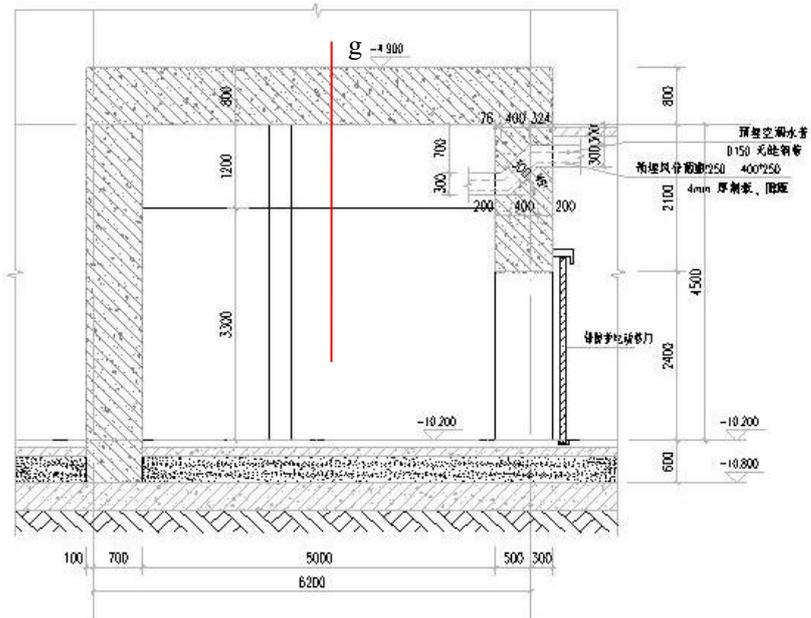


图 11-6 后装机机房外预测关注点布置图（剖面）

## 2、初级辐射的影响预测

根据公式 11-7、11-8 和 11-9，其中  $H_0$  按下式计算：

$$H_0 = A \times K_\gamma \dots \dots \text{（式 11-19）}$$

式中：

A：放射源的活度，MBq，本项目为  $3.7 \times 10^5$  MBq；

$K_\gamma$ ：放射源的空气比释动能率常数（或称  $K_\gamma$  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， $K_\gamma$  的单位记为  $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。查 GBZ/T201.3-2014 表 C.1 为  $0.111\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。

由式 11-19 可计算得： $\dot{H}_0 = 3.7 \times 10^5 \times 0.111 = 4.11 \times 10^4 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

根据后装机机房的平面布置图，得出放射源到各关注点的距离 R，再使用公式 11-7、11-8 和 11-9 计算出治疗机房外各关注点的辐射剂量率水平，计算因子和结果见下表：

11-19 后装机关注点初级辐射剂量率的预测结果

关注点	点位描述	有用线束	屏蔽墙混凝土厚度 (m)	入射角 $\theta$ ( $^\circ$ )	距离 R (m)	f	TVL <sub>1</sub> (cm)	TVL (cm)	预测值 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
a	东墙外 30cm 处（控制室/准备室）	初级	0.8	0	2.1	1	15.2	15.2	0.051
b	南墙外 30cm 处（有迷道）	初级	0.8+0.8	0	3.7	1	15.2	15.2	$3.01 \times 10^{-7}$
c	南墙外 30cm 处（无迷道）	初级	0.8	0	3.7	1	15.2	15.2	0.016
d	西墙外 30cm 处（库房）	初级	0.8	0	2.1	1	15.2	15.2	0.051
e	北墙外 30cm 处（水冷机房）	初级	0.8	0	2.1	1	15.2	15.2	0.051
f	机房防护门外 30cm 处	初级	0.8	15	3.1	1	15.2	15.2	0.0011
g*	机房顶棚上方 30cm 处（感染科）	初级	0.8	0	9.7	1	15.2	15.2	0.0024

注：查 GBZ/T201.3-2014 表 C.1 得  $^{192}\text{Ir}$  在混凝土中 TVL 为 152mm，在铅中为 16mm；辐射在屏蔽物质中的第一个半值层厚度，mm。当未指明 TVL<sub>1</sub> 时，TVL<sub>1</sub>=TVL；

\*代表未考虑防护门的防护。

### 3、迷道口散射辐射的影响预测

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： $\gamma$ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中对后装治疗机房迷道口散射辐射屏蔽计算方法，迷道入口处的散射辐射剂量率  $\dot{H}_0$  采用式 11-20 计算，计算参数和结果见表 11-24。

$$\dot{H} = \frac{A \times K_\gamma \times S_w \times \alpha_w}{R_1^2 \times R_2^2} \dots\dots \text{（式 11-20）}$$

式中：

A：放射源的活度，MBq，本项目为  $3.7 \times 10^5$  MBq；

$K_\gamma$ ：放射源的空气比释动能率常数（或称  $K_\gamma$  常数）；

$S_w$ ：迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可见的墙区面积， $m^2$ ；

本项目约为  $1.0 \times 4.5 = 4.5 m^2$ ；

$\alpha_w$ ：散射体的散射因子； $^{192}\text{Ir}$   $45^\circ$  入射辐射和  $15^\circ$  反散射的散射因子，保守取  $0.25\text{MeV}$  的散射因子，查 GBZ/T201.3-2014 中表 C.4 可知  $\alpha_w = 3.50 \times 10^{-2}$ ；

$R_1$ ：辐射源至散射体工作场所点的距离，m；本项目为 2.2m。

$R_2$ ：散射体工作场所点至计算点的距离，m。本项目为 6.1m。

表 11-20 迷路口（f 点） $\gamma$  射线散射辐射计算参数及结果

参数	A(MBq)	$K_\gamma$ $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$	$S_w(m^2)$	$\alpha_w$	$R_1(m)$	$R_2(m)$	$\dot{H}_0(\mu\text{Sv}/\text{h})$
数值	$3.7 \times 10^5$	0.111	4.5	$3.50 \times 10^{-2}$	2.2	6.1	35.9

根据以上计算结果可知，在没有防护门时，治疗机房迷道入口处的散射辐射剂量率为  $35.9 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

#### 4、防护门外辐射剂量率

经防护门屏蔽后，防护门外的辐射剂量率利用公式 11-21 计算。

$$H_c = H_d \times 10^{-(X/\text{TVL})} + H_{\text{of}} \dots\dots \text{（式 11-21）}$$

式中：

X——防护门铅板厚度，mm；本项目为 10mm；

TVL——辐射线屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm；铅取 5mm；

$H_d$ ——防护门前 f 点的辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

$H_{\text{of}}$ ——关注点 f 泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

经计算，防护门外的辐射剂量率为  $35.9 \times 10^{-(10/5)} + 0.0011 = 0.36 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

#### 5、预测结果及评价

后装机治疗机房外的剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较如表 11-21 所示。

表 11-21 剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	点位描述	剂量率预测结果 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )			剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	是否满足控制要求
		初级	散射辐射	合计		
a	东墙外 30cm 处（控制室/准备室）	0.051	/	0.051	2.5	满足

b	南墙外 30cm 处（有迷道）	$3.01 \times 10^{-7}$	/	$3.01 \times 10^{-7}$	2.5	满足
c	南墙外 30cm 处（无迷道）	0.016	/	0.016	2.5	满足
d	西墙外 30cm 处（库房）	0.051	/	0.051	2.5	满足
e	北墙外 30cm 处（水冷机房）	0.051	/	0.051	2.5	满足
f	机房防护门外 30cm 处	0.0011	0.359	0.360	2.5	满足
g	机房顶棚上方 30cm 处（感染科）	0.0024	/	0.024	2.5	满足

本项目后装机治疗室面积约 26.9m<sup>2</sup>。治疗室入口处设置迷道。后装治疗机房布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“治疗室必须与准备室和控制室分开设置”、“治疗室使用面积应不小于 20m<sup>2</sup>”、“治疗室入口应采用迷路设计”的规定及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求。本项目后装治疗机房布局合理。

根据表 11-21 计算结果可知，本项目的 <sup>192</sup>Ir 后装机机房装源后，正常运行时后装机机房墙体、顶棚及防护门外的辐射剂量率值小于 2.5μSv/h，符合《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）中的相关要求。

#### 6、人员所受辐照剂量估算

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。

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 计，与工作贮源器的平均距离按 1m 考虑。根据《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 5μSv/h，以该泄漏辐射的剂量率限值作为辐射工作人员工作位的最大辐射剂量率进行计算，则辐射工作人员全年摆位过程所受的受照剂量：

$$E=D \times t=5\mu\text{Sv/h} \times 1\text{Gy/Sv} \times 10^{-3} \times 2\text{min} \times 1/60 \times 4 \text{ 人/天} \times 250\text{d/a}=0.167\text{mSv/a}$$

由表 11-25 的预测计算结果可见，b 点（南墙外 30cm 处（有迷道））的辐射剂量率可以忽略不计，因此人员剂量估算不进行该点位的计算。本项目后装机治疗室外关注点处人员年有效剂量按（式 11-17）计算。计算参数和计算结果见表 11-22。

表 11-22 人员年有效剂量计算结果

关注点	点位描述	关注人员类型	关注点处剂量率 H (μSv/h)	U	T	t <sup>①</sup>	关注点年有效剂量 (mSv/a)
a	东墙外 30cm 处 (控制室/准备室)	职业	0.051	1	1	167	0.531
	摆位所受剂量		0.167				
	叠加加速器机房剂量		0.313				
c	南墙外 30cm 处 (无迷道)	公众	0.016	1	1/5		5.34×10 <sup>-4</sup>
d	西墙外 30cm 处 (库房)	公众	0.051	1	1/20		4.26×10 <sup>-4</sup>
e	北墙外 30cm 处 (水冷机房)	公众	0.051	1	1/16		5.32×10 <sup>-4</sup>
f	机房防护门外 30cm 处	公众	0.360	1	1/8		0.0075
g	机房顶棚上方 30cm 处 (感染科)	公众	0.024	1	1	0.004	

注：①后装机设计治疗 4 人次/d，10min/人次，年工作 250d，则年工作时间为 167h。

从表 11-22 可以看出，保守估算正常运行所致工作人员最大年有效剂量为 0.531mSv，满足工作人员剂量约束值不大于 5mSv 的要求；所致公众最大年有效剂量值为 0.004mSv，满足公众剂量约束值不大于 0.1mSv 的要求。从预测计算结果可知，后装机运行期间，对周围工作人员和公众的辐射影响满足评价标准及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 中剂量约束值的要求，同时也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中相关要求。

#### 7、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 <sup>192</sup>Ir，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环保部门进行备案，待备案完成后再联系厂家进行更换放射源，由厂家安排换源及换源后的整机调试。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。根据《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 5μSv/h。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。更换过程中环保部门有相关人员到场进行实时的监测、监督，环保部门相关人员及医院工作人员均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。

厂家按国家相关规定将贮源容器运至医院后装机治疗室后，整个更换过程大约 10min，期间机房门关闭，机房内仅有厂家专业人员，环保部门相关人员及医院工作人员在控制室内通过监控设施进行实时监督，保证放射源更换过程按国家相关规定有序进行。

## 8、后装机 “三废” 环境影响分析

### (1) 废气

后装机工作过程中会使治疗室内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物。本项目后装机机房拟设置机械通风系统，产生的少量臭氧和氮氧化物，将通过通风系统排出室外。经计算，后装机治疗室换气次数约为 12 次/h，远大于 4 次/h。臭氧半衰期为 22-25 分钟，常温下可自行分解为氧气，对环境的影响较小。

### (2) 放射性固体废物

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》等法律法规的规定，业主不得私自保管、转让退役后的放射源，而应及时返回原供源单位，医院承诺  $^{192}\text{Ir}$  后装机放射源达到使用年限退役后，废源将由放射源供应方回收处置，按此落实将符合相关法律法规的要求。

更换放射源时，医院应按有关要求在生态环境主管部门的监督下进行，并请有资质的单位和专业人员操作，不得擅自进行换源。活动完成之日起二十日内，报其所在地的省级人民政府生态环境主管部门备案。

## 11.2.3 介入治疗单元

### 1、类比对象选取

为分析了解本项目建成投入运行后对周围环境所造成的辐射影响，本次评价选取浙江省台州医院目前已投入运行的 DSA 设备机房作为类比对象，对其运行时产生的辐射环境影响水平进行监测，模拟类比分析本项目设备机房投入运行后对周围环境产生的影响。

**类比数据来源：浙亿检（放）字 FH2020 第 0458 号。**

### 2、类比可行性分析

**表 11-23 DSA 机房类比分析可比性对比一览表**

内容		类比对象 DSA 机房	本项目 1#DSA 机房*
机房面积		43m <sup>2</sup>	55.16m <sup>2</sup>
技术参数		140kV, 1000mA	150kV, 1000mA**
防护设施	防护门	3mm 铅板	3mm 铅板
	观察窗	15mm 厚的铅玻璃(3mmPb)	15mm 铅玻璃 (3mmPb)
	四侧墙体	24cm 实心砖+2mm 厚铅板(4mmPb)	24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料 (4mmPb)

顶棚	16cm 混凝土 (2.0mmPb)	12cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 (3.5mmPb)
地坪	16cm 混凝土 (2.0mmPb)	12cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 (3.5mmPb)

注: \*保守选用 4 间 DSA 机房中防护参数相对低的 1#DSA 机房作为典型;  
 \*\*本项目 DSA 在实际使用过程中电压工况不高于类比项目。

由上表可知, 本项目设备技术参数与类比对象相当, 机房屏蔽防护水平略高于类比对象, 因此两个项目有很好的可比性, 通过对类比对象的监测, 可预测本项目运行后的辐射环境影响。

### 3、类比监测

浙江省台州医院 DSA 机房类比监测点位见图 11-7, 监测结果见表 11-24。

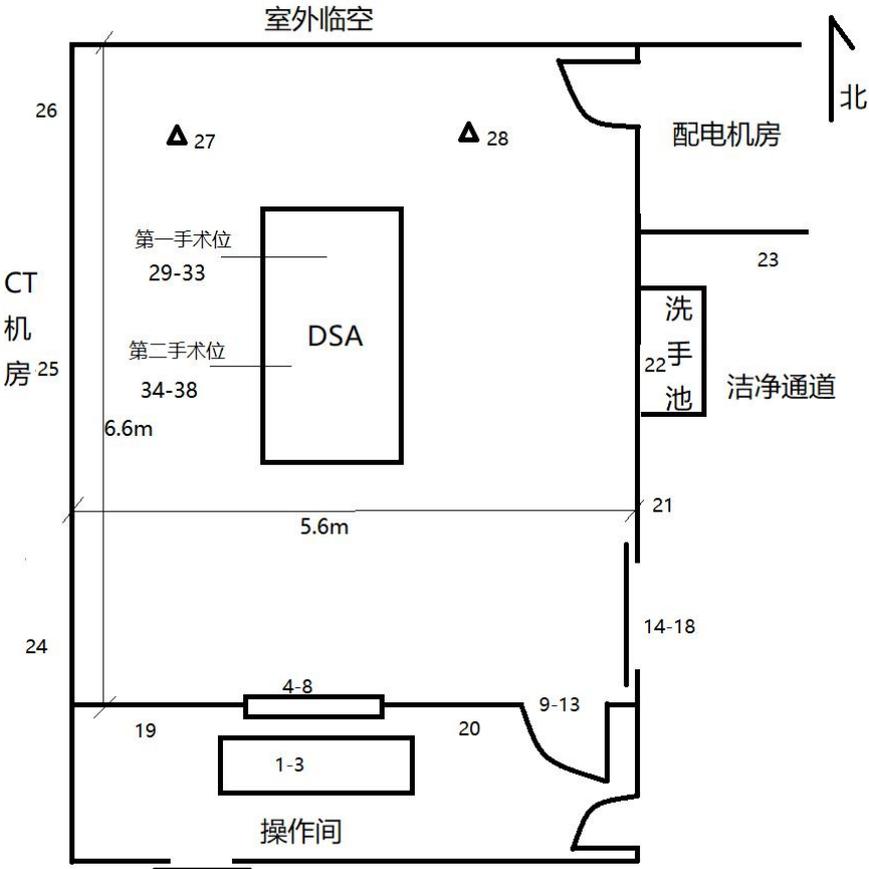


图 11-6 类比项目 DSA 机房监测点位图

表 11-24 类比项目 DSA 机房周围 X-γ 辐射剂量率监测结果

检测条件	防护条件: 84kV, 25mA 照射野: 20cm×25cm 模体: 标准水模+1.5mm 铜板, 位于主射束方向 手术位条件: 71kV, 24.3mA		
检测点号	检测地点	检测结果 (μSv/h)	
		关机状态	开机状态
1	操作位 (西侧)	0.13	0.21

2	操作位（中部）	0.15	0.21
3	操作位（东侧）	0.14	0.22
4	观察窗外表面（西侧）30cm	0.13	0.19
5	观察窗外表面（中部）30cm	0.13	0.15
6	观察窗外表面（东侧）30cm	0.11	0.15
7	观察窗外表面（上端）30cm	0.12	0.16
8	观察窗外表面（下端）30cm	0.13	0.16
9	工作人员防护门外表面（西侧）30cm	0.15	0.21
10	工作人员防护门外表面（中部）30cm	0.14	0.25
11	工作人员防护门外表面（东侧）30cm	0.12	0.23
12	工作人员防护门外表面（上端）30cm	0.16	0.20
13	工作人员防护门外表面（下端）30cm	0.15	0.23
14	洁净通道防护门外表面（南侧）30cm	0.13	0.15
15	洁净通道防护门外表面（北侧）30cm	0.13	0.23
16	洁净通道防护门外表面（上端）30cm	0.16	0.22
17	洁净通道防护门外表面（下端）30cm	0.15	0.19
18	洁净通道防护门外表面（中部）30cm	0.14	0.20
19	南侧防护墙外表面（西侧）30cm	0.14	0.24
20	南侧防护墙外表面（东侧）30cm	0.16	0.16
21	东侧防护墙外表面（南侧）30cm	0.14	0.18
22	东侧防护墙外表面（中部）30cm	0.14	0.22
23	配电机房外表面 30cm	0.11	0.20
24	西侧防护墙外表面（南侧）30cm	0.15	0.18
25	西侧防护墙外表面（中部）30cm	0.15	0.17
26	西侧防护墙外表面（北侧）30cm	0.15	0.21
27	三层楼板上方 100cm 处 1	0.12	0.20
28	三层楼板上方 100cm 处 2	0.16	0.18
29	第一手术位距地高度 20cm（足部）	0.13	15.75
30	第一手术位距地高度 80cm（下肢）	0.15	30.34
31	第一手术位距地高度 105cm（腹部）	0.13	14.39
32	第一手术位距地高度 125cm（胸部）	0.12	7.04
33	第一手术位距地高度 155cm（头部）	0.15	5.98
34	第二手术位距地高度 20cm（足部）	0.15	2.42
35	第二手术位距地高度 80cm（下肢）	0.14	2.62
36	第二手术位距地高度 105cm（腹部）	0.13	3.26
37	第二手术位距地高度 125cm（胸部）	0.14	3.88
38	第二手术位距地高度 155cm（头部）	0.13	4.41
39	介入治疗时医生操作位（铅衣后）	0.12	3.95
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 2 号楼二层新导管室，机房正上方为办公室，无地下室。			

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。

由表 11-24 类比项目监测结果可知，类比项目 DSA 装置运行时机房外表面 30cm 处辐射剂量率满足《放射诊断放射防护要求》“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 $\mu$ Sv/h”的要求。

本项目 DSA 机房屏蔽设计优于类比项目，因此预测本项目机房屏蔽设计能够符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，对周围环境辐射影响较小。根据辐射剂量率随距辐射源的距离增加而衰减的规律，亦可进一步预测本项目建成后，设备在正常运行时机房外 50m 范围内其它关注点的周围剂量当量率也可满足标准要求。

#### 4、人员所受辐照剂量估算

本项目共设 4 间 DSA 机房，每间 DSA 机房拟配备 6 名辐射工作人员，分成 2 组，每组由 1 名医生、1 名技师与 1 名护士组成。本项目 DSA 包括透视和减影两种模式，根据 DSA 工作流程分析，DSA 机操作为介入操作，医生需进入机房内工作，在患者手术时，医生穿戴好铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜等辐射防护用品后近距离操作，因此 X- $\gamma$ 辐射剂量率较高。

根据医院提供的工作方案：

- ①单台 DSA 检查患者人数为 30 人/月；
- ②单台手术最大出束时间包括透视 20 分钟、减影 2 分钟；
- ③全年工作 250 个工作日。

本项目单台 DSA 最大工作负荷统计见表 11-25。

表 11-25 本项目拟建 DSA 最大工作负荷（单台）

射线装置	工作状态	平均每台手术最长出束时间（min）	全年开展手术量（台）	设备年总出束时间（h）	单个医生年最大受照时间（h）	单个护士年最大受照时间（h）	单个技师年最大受照时间（h）
DSA	减影	2	300	10	5	5	5
	透视	20		100	50	50	50
合计			300	110	55	55	55

##### （1）控制室职业照射剂量估算

设备运行过程中技师全程位于控制室，保守取表 11-24 中工作人员防护门外表面（中部）30cm 的检测结果 0.25 $\mu$ Sv/h 扣除关机状态 0.14 $\mu$ Sv/h 后的数值 0.11 $\mu$ Sv/h 来估算技师年有效剂量。代入公式 11-17 计算得，本项目技师年有效剂量最大为 0.006mSv/a（ $0.11 \times 55 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} = 0.006$ ），能够满足本项目提出的辐射工作人员剂量约束值（不大于 5mSv/a）的要求。

## (2) 机房内职业照射剂量估算

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中对于介入放射工作人员穿戴铅围裙估算有效剂量的计算方法，采用公式 11-22 进行估算。

$$E=\alpha H_u+\beta H_o \dots\dots (11-22)$$

式中：

$E$ ——有效剂量中的外照射分量，单位：mSv；

$\alpha$ ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

$\beta$ ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

$H_u$ ——铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的  $H_p(10)$ ，单位：mSv；

$H_o$ ——铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的  $H_p(10)$ ，单位：mSv。

$$H = D_r \times t \dots\dots (11-23)$$

$H$ ——X- $\gamma$ 射线外照射累积有效剂量，mSv；

$D_r$ ——X- $\gamma$ 射线剂量当量率，mSv/h；根据《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）中的规定，X 射线透射设备（非直接荧光屏透视设备）透视防护区检测平面上周围剂量当量率应小于 400 $\mu$ Sv/h，以此值对介入手术医生所受年有效剂量进行保守估算；

$t$ ——X- $\gamma$ 射线照射时间，h。

根据 NCRP Report No. 151，DSA 透视条件下（80kV）铅的什值层厚度为 0.96mm，即 0.96mm 铅当量的屏蔽材料可使射线能量衰减至原来的 1/10。本项目介入手术医生在做手术时拟使用防护厚度 0.5mmPb 的防护服、铅防护眼镜，配置 0.5mmPb 铅屏风、铅防护帘，介入手术人员在铅屏风后工作，操作位距离球管大约 0.3m~1m。综合以上防护措施，X 射线到达人体总衰减倍数远不止 5 倍，且 X 射线到达人体前会迅速衰减。因此，在计算介入手术医生的年有效剂量时：介入手术医生着防护用品的情况下总衰减倍数按 5 倍计，铅围裙内  $H_u=400/5 \times 50 \times 10^{-3}=4\text{mSv}$ ，铅围裙外  $H_o=400 \times 50 \times 10^{-3}=20\text{mSv}$ ， $E=0.79 \times 4+0.051 \times 20=4.18\text{mSv}$ ，满足项目管理限值 5mSv/a 要求。

## (3) 手术医生四肢（手和足）和眼晶体年剂量当量

手术医生和护士在 DSA 机房内进行介入手术时，皮肤当量剂量以手术医生腕部当量剂量进行估算，眼晶体当量剂量保守按不戴铅眼镜进行估算。

根据《辐射防护导论》（方杰主编，原子能出版社，1991年6月出版）医生进行介入手术过程，受照剂量主要来源于设备漏射辐射，人身的散射影响可忽略。

根据《辐射防护导论》，X射线机产生的漏射X射线束造成的空气比释动能率按公式11-2计算：

$$\dot{k} = I \cdot \delta_x \cdot \frac{r_0^2}{r^2} \cdot f \dots \dots \quad (\text{式 11-24})$$

式中：

$\dot{k}$ ——离靶  $r$ (m)处由 X 射线机产生的漏射 X 射线束造成的空气比释动能率，mGy/min；

$I$ ——管电流（mA），透视管电流取 10mA；

$\delta_x$ ——管电流为 1mA，距靶 1m 处的发射率常数，mGy/（mA·min）。查《辐射防护导论》附图 3，保守按过滤材料为 0.4mmCu，透视管电压取为 80kV， $\delta_x=0.9\text{mGy}/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ；

$r_0$ ——1m；

$r$ ——源至关注点的距离，取 0.6m。

$f$ ——泄漏辐射比率，0.1%。

可推算出 $\dot{k}=1500\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。

本次评价对 DSA 介入工作人员手足部和眼晶体剂量当量采用理论计算。介入工作人员进行介入手术时，穿戴个人防护用品，并按照规定佩戴 0.025mmPb 铅橡胶手套。DSA 工作时主要工作方式为透视模式，透视时间保守取 20min/人，摄影模式时间极短，且摄影模式时工作人员均退出机房，且关闭机房防护门，故摄影模式下对手足部和眼晶体剂量的影响本次计算忽略不计。

根据公式 11-17，以及《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）、《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中皮肤和眼晶体吸收剂量相关公式：

$$D_S = C_{KS}(\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots \dots \quad (\text{式 11-25})$$

$$D_L = C_{KL}(\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots \dots \quad (\text{式 11-26})$$

$$H = D_S(D_L) \cdot W_R \cdot C_{KH*} \dots \dots \quad (\text{式 11-27})$$

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(mGy/mGy),从表 A.5 查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) ;

$D_L$ ——眼晶体吸收剂量, 单位为毫戈瑞 (mGy) ;

$C_{KL}$ ——空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数, 单位为 mGy/mGy, 从《x、 $\gamma$ 、 $\beta$ 射线和电子束所致眼晶体剂量估算规范》(WS/T117-1999) 表 B1 查空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数  $C_{Kp}=1.550\text{mGy/mGy}$  (0.08MeV, 前向照射) ;

$\dot{k}$  ——X、 $\gamma$ 辐射场的空气比释动能率( $\mu\text{Gy/h}$ ), 皮肤吸收剂量计算时取为  $1500\mu\text{Gy/h}$ , 根据《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》(WS76-2020) 中的规定, X 射线透射设备 (非直接荧光屏透视设备) 透视防护区检测平面上周围剂量当量率应小于  $400\mu\text{Sv/h}$ , 眼晶体吸收剂量计算时取为  $400\mu\text{Gy/h}$  (本项目保守取  $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ ) ;

$t$ ——人员累积受照时间, h;

$H$ ——关注点的当量剂量, mSv (近似  $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ ) ;

$W_R$ ——辐射权重因数, X 射线取 1;

手部和眼晶体当量剂量估算结果见表 11-26。

表 11-26 手部和眼晶体当量剂量估算结果

部位	$C_{KS}$ ( $C_{KL}$ ) (mGy/mGy)	$\dot{k}$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	$t$ (h)	$D_s$ ( $D_L$ ) (mGy)	$W_R$	$H$ (mSv)
手部	1.156	400	50	13.44	1	86.7
眼晶体	1.550	1500	50	18.02	1	31.0

综上, 本项目机房内辐射工作人员年有效剂量最大为  $4.18\text{mSv}$ , 控制室辐射工作人员年有效剂量最大为  $0.006\text{mSv}$ , 能够满足本项目提出的辐射工作人员剂量约束值 (不大于  $5\text{mSv/a}$ ) 的要求; 医生年手部皮肤当量剂量为  $86.7\text{mSv}$ ; 年眼晶体剂量当量为  $31.0\text{mSv}$ , 满足本项目辐射工作人员手足部和眼晶体年当量剂量分别不高于  $125\text{mSv/a}$  和  $37.5\text{mSv}$  的剂量约束值要求, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中相关要求。

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的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的目标管理值要求。

#### (5) 公众年有效剂量

根据类比项目工作场所检测报告，取类比项目机房四周检测结果最大值 0.25 $\mu$ Sv/h 扣除关机状态 0.14 $\mu$ Sv/h 后的数值 0.11 $\mu$ Sv/h 对机房周围公众进行分析（保守起见不再考虑距离的衰减），DSA 年出束时间为 105h，公众年有效剂量计算结果见表 11-27。

表 11-27 公众有效剂量计算结果

位置描述		辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	居留因子*	年出束时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
1#DSA 机 房和	东侧：走廊	0.11	1/5	110	$2.31 \times 10^{-3}$
	南侧：病人廊	0.11	1/5	110	$2.31 \times 10^{-3}$
2#DSA 机 房	西侧：污物暂存间	0.11	1/20	110	$5.76 \times 10^{-4}$
	北侧：医护廊	0.11	1/5	110	$2.31 \times 10^{-3}$
	楼上：电生理中心	0.11	1	110	0.012
	楼下：地下停车场	0.11	1/40	110	$2.89 \times 10^{-4}$
3#DSA 机 房	东侧：体外循环室	0.11	1/2	110	$5.78 \times 10^{-3}$
	南侧：洁净走廊	0.11	1/5	110	$2.31 \times 10^{-3}$
	西侧：复合手术室	0.11	1	110	0.012
	北侧：污物走廊	0.11	1/5	110	$2.31 \times 10^{-3}$
	楼上：更衣室	0.11	1/5	110	$2.31 \times 10^{-3}$
	楼下：示教室、新风机房、走廊	0.11	1/2	110	$5.78 \times 10^{-3}$

\*注：居留因子参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）附录 A 选取典型值。

由表 11-27 计算结果可知，本项目机房外公众年受照剂量最大为 0.012mSv/a，满足公众剂量约束值不超过 0.25mSv/a 的要求。根据剂量率与距离平方成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，因此机房外 50m 保护范围内公众受照剂量也能满足公众剂量约束值不超过 0.25mSv/a 的要求，同时也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求。

### 5、“三废”影响分析

#### 臭氧浓度预测：

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B，空气在辐射照射下产生臭氧（O<sub>3</sub>）和氮氧化物（NO<sub>x</sub>）等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要是考虑臭氧的产生及其防护。

本项目各 DSA 机房均拟设置独立的新风系统，通风换气次数大于 4 次/h。DSA 机房内空气中氧受 X 射线电离而产生臭氧，臭氧产率和浓度可用下面公式分别计算。

$$Q_0 = 6.5 \times 10^{-3} \cdot G \cdot S_0 \cdot R \cdot g \dots \dots \text{（式 11-28）}$$

式中：

$Q_0$ ——臭氧产率 mg/h；

$G$ ——射束在距离源点 1m 处的剂量率  $Gy \cdot m^2/h$ ，查《辐射防护导论》附图 3，保守取过  
滤材料为 0.4mmCu，透视管电压取 80kV，透视管电流取 10mA，本项目 DSA1m 处的剂量  
率为  $0.54Gy \cdot m^2/h$ ；

$S_0$ ——射束在距离源点 1m 处的照射面积  $m^2$ ，取（最大射野  $10 \times 10cm^2$ ） $0.01m^2$ ；

$R$ ——射束径迹长度 m，取 1m；

$g$ ——空气每吸收 100eV 辐射能量产生  $O_3$  的分子数，本项目取 10。

经计算，臭氧产率为  $3.51 \times 10^{-4}mg/h$ 。

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$C=Q_0 \cdot Tv/V \quad (\text{式 11-29})$$

式中：

$C$ ——室内臭氧浓度， $mg/m^3$ ；

$Q_0$ ——臭氧产率， $mg/h$ ；

$Tv$ ——臭气有效清除时间，h；

$V$ ——治疗室空间体积，本项目 DSA 机房最小为  $165.5m^3$ 。

$$Tv = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots (\text{式 11-30})$$

式中：

$t_v$ ——每次换气时间，0.25h；

$t_a$ ——臭氧分解时间，取值为 0.83h。

保守按每小时换气 4 次计算，DSA 机房内臭气平衡浓度最大为  $4.07 \times 10^{-7}mg/m^3$ 。

## 11.3 事故影响分析

### 11.3.1 核医学单元

本次评价项目是在核医学工作场所使用非密封放射性核素，可能发生的事故如下：

①由于工作人员操作不熟练或违反核医学科操作规程或误操作等其他原因造成放射性物质洒漏，使工作环境受到污染，受检者和人员受到外照射；操作人员身体受放射性物质表面沾污，可能发生内照射；

②保管不善，放射性物品（或放射源）丢失被盗，对局部环境产生污染，并可能使部分

公众受到误照射；

③核素治疗患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区，可能对接近患者的人员造成附加的照射剂量。

应对措施：

①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，减少药物撒漏事故的发生。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；

②制定和完善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。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。当发生显像剂（或放射源）丢失事故时，事故发现者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、环保和卫生主管部门对丢失显像剂（或放射源）进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回；

③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，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触；

④加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物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。放射性固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录；

⑤核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽子等基本防护用品，以及铅防护服、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

### 11.3.2 放射治疗单元

#### 1、直线加速器

##### (1) 可能发生的辐射事故

因本项目医用直线加速器本身自带屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，故设备在正常使用的情况下发生事故的极小，可能发生的辐射事故主要包括：

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房。

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

③维修直线加速器系统时发生异常出束，维修人员受到超剂量照射。

##### (2) 预防措施

###### ①辐射事故防范措施

一旦发现有人误入直线加速器机房，工作人员应立即利用最近的紧急止动开关切断设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止本项目放疗科设备辐射事故发生，应采取多种防范措施：

1) 控制台上辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

2) 条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

3) 剂量控制联锁：安装有剂量监测系统，当吸收剂量未达到预选值时，照射终止。

4) 控制台上配置有独立于其他任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

5) 有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

6) 有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

7) 有全部安全联锁设施检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

8) 有门机安全联锁，机房门关闭后设备才能开机，被打开时会自动关机。

9) 有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

10) 控制台和治疗室内均安有紧急停机开关。

11) 机房门外设置有声音警示作用的工作状态指示灯和电离辐射警示标志。

12) 电视监控、对讲装置：治疗室和控制室之间安装有电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监视治疗室内患者治疗的情况，并通过对讲机与室内人员联系，以便医师在操作时观察患者在治疗室的状态，及时处理意外情况。

## ②机房的安全保卫措施

为确保放疗科辐射工作场所的安全，本项目拟采用的安全保卫措施如下：

1) 防火措施：直线加速器机房四周为混凝土结构墙体，机房周围均没有易燃、易爆、腐蚀性等其他一切物品。

2) 防水措施：机房四周墙体防水性强，防水设计施工由专业施工队伍进行施工，对容易造成局部损坏的薄弱部位设置增强层。

3) 防盗措施：设置全自动防护铅门，放疗科拟安装摄像头，和医院保卫科监控系统连接起来，且有保安人员 24h 巡逻和值班。

4) 防丢失和破坏措施：加速器机房设置在负一层，纳入医院日常安保巡逻工作范围，并划为重点区域，加强巡视管理，以防遭到破坏。一旦可能盗抢事件，立即关闭机房防护门，并立即向公安机关报案。

5) 防射线泄漏措施：本项目机房由具有资质的单位设计、经计算满足环保要求。本项目直线加速器固有安全性良好。

综上，本项目加速器机房的防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏六防措施可行。

## 2、<sup>192</sup>Ir 后装机

### (1) 可能发生的辐射事故：

①工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源从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。发生卡源，造成额外照射。

②治疗机处于运行状态时，因故障，联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的机房，受到不必要的辐射照射。

③放射源保管不善，可能发生丢失、被盗、失控，产生严重的环境污染事故。

④摆位工作人员或其他人员尚未撤离机房，控制台处操作人员误操作，后装机出源，对工作人员造成照射。

### (2) 预防措施

①治疗过程如果发生卡源事故，首先尝试自动回源，如自动回源失败，工作人员立即进

入治疗室将病人推出治疗床，并封锁现场。同时打电话给厂家，由厂家安排专业人员来现场进行处理。

②一旦发生放射源丢失、被盗，发现人员应立即上报给医院辐射安全防护管理领导小组，管理小组及时报警（拨打 110），并上报当地环保、卫生部门，同时全力配合调查。

③本项目后装机治疗室配置了一系列防护措施，如有智能化控制台、有条件显示联锁、剂量控制联锁、门机安全联锁、电视监控、对讲装置、紧急停机开关等。机房的设计也满足防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏。

### 11.3.3 介入治疗单元

(1) DSA 可能的事故工况主要包括：

①工作人员或病人家属尚未撤离 DSA 机房时误开机，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。

②控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到计划外照射。

③维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

④辐射工作人员不按要求穿戴个人防护用品，造成超剂量照射。

(2) 预防措施

DSA 将放置于专用机房内，机房墙体采用混凝土实心砖、硫酸钡防护涂料进行屏蔽，观察窗采用铅玻璃，并设置控制廊防护铅门、受检者防护铅门。受检者防护门处安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置紧急停机按钮，操作人员可通过急停按钮等停机操作来确保人员安全。因此 DSA 发生的辐射事故及风险主要原因是管理上出的问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，遵守操作规程，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，并定期检查设备性能及有关安全警示标志和设施是否正常。对可能发生的辐射事故，应及时采取应急措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，同时上报生态环境部门和卫生部门，并接受监督部门的处理。

总之，医院应加强管理，建立健全相关的操作规程和辐射安全管理制度，并在实际工作中不断完善；加强安全和防护状况的日常检查。发现安全隐患的，应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的生态环境主管部门（以下简称“发证机关”），经发证机关检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

## 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》、《关于做好2020年核技术利用辐射安全与防护培训考核工作有关事项的通知》等法律法规要求，使用核素及II类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，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；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；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。

浙江省人民医院已经成立了辐射安全管理领导小组，并明确了领导小组及各成员的职责。小组成员大部分为本科以上学历，其人员设置满足辐射安全与环境保护管理工作要求。

辐射安全和防护管理领导小组的主要职责是：负责起草、制定及修订医院辐射防护和环境保护的相关规章制度；负责对医院放射诊疗项目的立项、建设、放射设备引进及防护设施配置进行论证和监管；负责协调和监督各相关科室贯彻落实医院放射诊疗和防护管理制度及日常管理工作。

本项目建成后，医院的科室、人员均会有一定调整，要求医院根据人事变动情况及时调整，明确人员职责，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管理职责。

#### 12.1.2 辐射人员管理

1、根据生态环境部《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》（2019年，第57号）的相关要求，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，应当通过生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）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。

医院现有辐射工作人员中有245人已取得辐射防护与安全培训的合格证书，医院应根据人员变动情况，及时安排新增人员和未参与培训的辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台上参加培训，考核合格后方可上岗；在项目运行过程中按要求定期组织辐射工作

人员进行再培训和考核，确保所有辐射工作人员培训合格后上岗。医院现有核医学科辐射工作人员培训证书。

2、医院现有辐射工作人员均已配备个人剂量计，进行了职业健康体检。要求本项目新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量档案；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；个人剂量档案和职业健康档案应终生保存。

3、本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量检测档案三个文件上的人员信息应统一。

4、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，无需重复培训。

### **12.1.3 年度评估报告**

建设单位应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，每年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评估报告。

## **12.2 辐射安全管理规章制度**

### **12.2.1 原有辐射防护工作管理制度情况**

根据医院提供的资料显示，医院已建立了一系列辐射安全与防护管理制度，如《放射科质量与安全管理制度》、《核医学科辐射管理制度》、《核医学科辐射事件报告制度》、《核医学科放射性药品管理制度》、《核医学科放射性药品管理制度》、《核医学科辐射危害告知制度》、《核医学科各室辐射监测制度》、《核医学科仪器管理、操作、保养和维修制度》、《核医学科放射性药品不良反应、放射性污染的紧急处理及报告制度》、《核医学科 131 碘室制度》及《核医学科辐射事故应急预案》等。

### **12.2.2 本项目应补充的辐射防护工作管理制度**

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》等法律法规要求，使用核素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完

善的辐射应急措施”。

医院本次项目包括：乙级非密封放射性物质工作场所、II类射线装置、III类放射源的利用。医院应根据本项目新开展的核医学科、后装机利用情况和相应新增的II类射线装置，结合辐射工作人员变更情况，尽快建立健全和落实相应的规章制度和操作规程，加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

应完善和补充的制度主要内容如下：

(1) 操作规程：针对本项目新增的加速器、核素、后装机、DSA等制定相应的操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及操作程序等，重点是工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

(2) 岗位职责：明确本项目新增辐射管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位职责，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

(3) 辐射防护和安全保卫制度：根据本项目新增的辐射工作和设备，特别是核医学的贮源室，后装机治疗室制定针对性的辐射防护和安全保卫制度，规定专人负责辐射防护与安全保卫工作，定期对辐射防护与安全保卫相关的用品、仪器进行检查。

(4) 设备维修制度：根据本项目新增的加速器、DSA、后装机等设备更新医院设备维护保养制度，补充完善监测仪器维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保本项目新增设备的安全装置、安全联锁、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

(5) 根据本项目建设内容制定台帐管理制度，建立核素与射线装置台账，记载核素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源和去向，及射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。

(6) 事故应急预案：根据本项目建设内容完善辐射事故应急预案。

(7) 应补充的其他制度：放射性药物质量控制规程，放射性药物取药及注射给药规程，临床核医学诊断质量保证管理制度，放射源的购买、运输、使用、退役制度，放射性废物治理制度等。

## 12.3 辐射监测

### 12.3.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，医院应为本项目配备1台辐射巡

测仪、还应为核医学科配备1台 $\alpha$ - $\beta$ 表面沾污仪，并至少配备2台个人剂量报警仪；每间直线加速器机房、后装机机房、DSA机房至少配备1台个人剂量报警仪，配置后将满足辐射监测仪器配置要求。本项目每名辐射工作人员应配置1枚个人剂量计（DSA工作场所每名辐射工作人员应配备2枚），并建立个人剂量档案。

### 12.3.2 日常监测计划

日常工作中，每次诊疗结束或其他相关操作（取药或注射等）完成后，需使用表面污染监测仪对核医学科放射性污染情况进行监测。工作人员离开核医学工作场所，需监测工作服、体表的污染水平；该日常监测工作由核医学科工作人员自行完成。此外，每个辐射工作场所均应采用自购辐射巡测仪定期监测，以确保屏蔽防护性能的良好。

### 12.3.3 年度常规监测

医院应对本项目相关辐射工作场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；医院不具备自行监测能力的，可以委托第三方有资质的环境监测机构进行监测。

医院应委托有资质的单位，定期（每年1次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向当地环保局上报备案。

（1）监测频度：每年常规监测1次。

（2）监测范围：核医学科、放疗中心、放射科和复合手术室所有辐射工作场所屏蔽墙外，防护门及缝隙处，候诊区、操作台等，核医学用房内部使用核素的区域。

（3）监测项目： $X$ 、 $\gamma$ 辐射剂量率；核医学科还应监测表面污染，放疗中心加速器机房还应监测中子等。

（4）监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

医院应将本项目辐射工作场所的监测结果写入医院《辐射安全和防护状况评估报告》中，并于每年1月31日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告。

### 12.3.4 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为1次/季（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。

医院承诺：

（1）如果在单个季度出现个人剂量超过1.25mSv时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过5mSv的管理限制时，暂停该辐射工

作人员继续从事辐射工作，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地生态环境主管部门。单年剂量超过20mSv标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并上报环保主管部门。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。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当作为医院《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辐射安全许可证发证机关。

(3) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应终身保存。

### 12.3.5 放射性废物监测

#### (1) 放射性废水排放前监测

医院应确保本项目放射性废水外排时放射性总活度不超过《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定的限值（总β小于10Bq/L），医院可自行监测也可委托有资质单位监测。

#### (2) 放射性废物处理前监测

本项目放射性固废在医院统一暂存场所内放置至少10个半衰期后（碘-131核素暂存超过180天）经监测达标后按照普通医疗废物处理，不外排，对周围环境影响较小。退役的放射源委托生产厂家回收，对周围环境影响很小。

### 12.3.6 监测计划建议

根据以上分析，本环评建议医院参考表12-1开展监测。

表12-1 辐射工作场所监测计划建议

场所名称	监测内容	监测范围	监测类别	监测频度
核医学科	周围剂量当量率	<b>控制区：</b> PET-CT机房（1间）、SPECT机房（2间。其中一间预留）、注射后等候室、注射分装室、给药处、源库、冲洗间、留观室、肺通气室、运动负荷/抢救室、甲测室、甲癌抢救室、给药后患者卫生间、甲癌治疗室（6间）、开水间及污物间、患者走廊等。 <b>监督区：</b> PET-CT及SPECT-CT 控制廊、库房、排水机房、污物暂存间（东北角）、普通治疗室、骨密度室、敷贴室、护士站、分诊大厅、预注射室、更衣间、医生值班室、护长办、读片室、医生办公室、医生走廊，北侧过道及室外庭院等。	年度监测	1次/年
			常规监测	1次/季
	α、β表面污染水平		年度监测	1次/年
			常规监测	1次/季
			验收监测	竣工验收

			箱、注射后候诊室、污物间、给药室等	验收监测	竣工验收			
	总 $\beta$	废水监测	衰变池专用检测口	首次排放前	委托有资质单位监测			
				常规排放	做好排放计划和排放台账			
	放射性比活度	固废监测	废物间	首次处置	委托有资质单位监测			
				常规排放	做好排放计划和排放台账			
	放疗中心	直线加速器	周围剂量当量率、中子	加速器机房迷路防护门及四周门缝处、过道、控制室和加速器机房四侧墙体、顶棚处和各电缆管道口	年度监测	1次/年		
常规监测					1次/季			
验收监测					竣工验收			
废靶		周围剂量当量率	废靶外表面	常规监测	设备厂家回收前			
				后装机	周围剂量当量率	后装机房防护门外、门缝、控制室、过道、四侧墙体和顶棚等	年度监测	1次/年
							常规监测	1次/季
验收监测	竣工验收							
介入治疗中心、心脏重症监护病房（CCU）复合手术室	周围剂量当量率	铅防护门处、观察窗、门缝处、控制室和机房四侧墙体处（包括楼上、楼下）、过道和各电缆管道口等	年度监测	1次/年				
			常规监测	1次/季				
			验收监测	竣工验收				
本项目所有辐射场所	个人剂量当量	所有辐射工作人员	个人剂量检测	1次/季度				

监测质量保证：

①制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

②采用的国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

③制定辐射环境监测管理制度和方案。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及

报送情况存档备查。

## 12.4 环保措施竣工验收

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。

## 12.5 辐射事故应急

根据《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）第四十三条规定，应急预案主要包括以下内容：

- （一）应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）；
- （二）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；
- （三）辐射事故分级与应急响应措施；
- （四）辐射事故的调查、报告和处理程序；
- （五）辐射事故信息公开、公众宣传方案。

医院已制定《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与医院核实，自核技术利用项目开展以来，未发生过辐射事故。医院应针对本项目内容对现有辐射应急预案进行补充和完善，内容应包括：应急机构和职责分工、应急和救助装备、物资准备、辐射事故分级、辐射事故应急救援应遵循的原则、辐射事故应急措施和处理程序（含射线装置、核医学科、后装机）、辐射事故的调查和报告、人员培训和演习计划、应急联系电话和应急处理流程图等。

医院承诺：

- （1）完善后的辐射事故应急预案，报送生态环境主管部门备案。
- （2）在预案的实施中，根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

## 13.1 结论

### 13.1.1 可行性分析结论

#### (1) 实践正当性分析

本项目为核与辐射技术用于医学领域,属高新技术。根据《产业结构调整指导目录(2019年本)》,本项目属鼓励类第六项“核能”第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目,符合国家产业政策。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)》中限制和禁止类项目,符合杭州市产业政策。

浙江省人民医院富阳院区拟开展的核技术利用扩建项目,目的在于开展放射诊疗工作,最终是为了治病救人,其获得的利益远大于辐射所造成的损害,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

#### (2) 选址合理性分析

本项目拟建的辐射项目位于浙江省人民医院富阳院区拟建医疗综合楼外科病房楼地下1层、2层和地上1层,项目用地属于医疗卫生用地,周围无环境制约因素。本项目拟建辐射场所实体边界外50m评价范围内无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感点。经辐射环境影响预测,本项目运营过程产生的电离辐射,经采取一定的防护治理措施后不会对周围环境与公众造成危害,故本项目的选址是合理的。

#### (3) 项目所在地区环境质量现状结论

本项目辐射工作场所周围环境的X- $\gamma$ 辐射、中子辐射及 $\beta$ 表面污染本底水平未见异常。

### 13.1.2 辐射安全与防护结论

#### (1) 辐射安全防护措施

①医院拟建的核医学科用房及各辐射机房的防护设计已考虑了其周边工作人员和公众的辐射安全。核医学科用房其室内表面及装备结构设计均满足《核医学科放射防护要求》(GBZ120-2020)和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)的相关要求;DSA及PET/CT、SPECT/CT机房的屏蔽防护设计方案能达到《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)等标准的要求;加速器机房及 $^{192}\text{Ir}$ 后装机机房的屏蔽防护设计方案能达到《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)及《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)等标准的要求。

②项目拟采取的污染防治措施详见本报告10.1.4章节。

### (2) 辐射安全管理

①医院已成立辐射安全管理委员会，负责辐射安全与环境保护管理工作。医院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医院现有辐射工作人员均已进行放射防护知识培训。医院已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，同时也应将本项目新增辐射工作人员纳入管理范围内。

### (3) 事故风险与防范

医院应按本报告提出的要求制定和完善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。

## 13.1.3 环境影响分析结论

### (1) 主要污染因子

本项目核医学产生的主要污染因子是 $\alpha$ 射线、 $\beta$ 射线、 $\gamma$ 射线、 $\alpha$ 放射性表面污染、 $\beta$ 放射性表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固废等，加速器产生的主要污染因子是X射线、电子束及中子辐射等，后装机产生的主要污染因子是 $\gamma$ 射线，DSA及PET/CT、SPECT/CT产生的主要污染因子是X射线。

### (2) 辐射环境影响预测

根据本报告预测评价，在正常工况下，本项目核医学科辐射工作人员所受的附加年有效剂量，低于职业人员的剂量约束值（5mSv/a），公众附加年有效剂量低于公众人员的剂量约束值 0.1mSv/a，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，同时也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求；放射治疗工作人员所受的附加年有效剂量，低于职业人员的剂量约束值（5mSv/a），公众附加年有效剂量低于公众人员的剂量约束值 0.1mSv/a，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求，同时也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求；介入治疗工作场所辐射工作人员所受的附加年有效剂量，低于职业人员的剂量约束值（5mSv/a），公众人员所受的附加年有效剂量，低于公众人员的剂量约束值（0.25mSv/a），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求。

### (3) “三废”影响分析

核医学放射性废水在衰变池停留衰变后，经监测达标后排入医院污水处理系统，对周围水环境影响很小。

核医学放射性固废采用专门的固废收集桶收集后，暂存衰变10个半衰期（碘-131核素暂存超过180天）经监测达标后按照普通医疗废物处理，不外排，对周围环境影响较小。退役的放射源委托生产厂家回收，对周围环境影响很小。

核医学放射性废气经独立的通风管道排至医疗综合楼外科病房楼（17层）楼顶1.5米以上，并在手套箱顶部安装活性炭，排风口设置排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施。废气经处理后，对周围环境影响较小。射线装置、后装机工作时产生的臭氧、氮氧化物经排风系统通风后，满足评价标准要求，对周围的大气环境影响较小。

加速器废靶和后装机废<sup>192</sup>Ir放射源均由厂家负责回收，因而正常情况下不会对环境造成明显影响。加速器和后装机治疗室设计采用机械通风，保证通风设施完好和正常工作，臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

DSA和PET/CT、SPECT/CT射线装置工作时产生的臭氧经排风系统通风后，满足评价标准要求，对周围大气环境影响较小。

#### 13.1.4 环保可行性结论

综上所述，浙江省人民医院富阳院区项目在落实本报告提出的各项辐射防护措施、污染防治措施和辐射环境管理要求后，具备从事相应辐射活动的技术能力，本项目核素、射线装置、放射源运行时对周围环境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

1、医院承诺将根据报告表和环保主管部门的要求落实相应的污染防治措施和管理要求，尤其是对病人及其家属的日常辐射安全管理要求以及对衰变池的日常安全管理的要求。

2、环评报批后并建成，医院承诺及时向生态环境主管部门重新申领辐射安全许可证

3、医院承诺严格按照本环评评价范围及规模从事相关的放射性工作及活动，如有变动，将根据相关法规重新办理环评手续。

4、医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、辐射安全许可制度，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）的要求自行验收，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

## 表 14 审批

预审意见

公章

经办人（签字）：

年 月 日

审批意见

公章

经办人（签字）：

年 月 日