

核技术利用建设项目

浙江省立同德医院  
核医学及射线装置项目  
环境影响报告表  
(报批稿)

浙江省立同德医院

2020 年 11 月

环境保护部制

核技术利用建设项目

浙江省立同德医院  
核医学及射线装置项目  
环境影响报告表

建设单位名称：浙江省立同德医院

建设单位法人代表(签名或盖章)：金戈

通讯地址：杭州市西湖区古翠路 234 号省立同德医院翠苑院区

邮政编码：325000

联系人：金\*\*

电子邮箱：/

联系电话：0571-8997\*\*\*\*

# 目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	6
表 3 非密封放射性物质.....	6
表 4 射线装置.....	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	8
表 6 评价依据.....	9
表 7 保护目标与评价标准.....	11
表 8 环境质量和辐射现状.....	20
表 9 项目工程分析与源项.....	25
表 10 辐射安全与防护 .....	38
表 11 环境影响分析.....	59
表 12 辐射安全管理.....	81
表 13 结论与建议.....	86
表 14 审批.....	90

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		浙江省立同德医院核医学及射线装置项目				
建设单位		浙江省立同德医院				
法人代表	金戈	联系人	金**	联系电话	0571-8997****	
注册地址		杭州市西湖区古翠路 234 号省立同德医院翠苑院区				
项目建设地点		古翠路 234 号省立同德医院翠苑院区				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	37868	项目环保投资 (万元)	333	投资比例(环保 投资/总投资)	0.88%	
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> )	373333	
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 checked="" 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 建设单位基本情况**

浙江省立同德医院是浙江省卫生计生委直属的集医疗、科研、教学、预防、康复、保健为一体的三级甲等中西医结合医院，全国重点中西医结合医院。医院现有职工 2000 余名，其中卫生专业技术人员 1837 名，具有副高以上职称的专家 347 名，硕博士学历 532 名。拥有国家级和省级名中医 13 名，省特级专家 1 名，享受国务院政府特殊津贴专家 18 名。

医院设有翠苑、天目山路和闲林三个院区，占地面积 560 亩。核定床位 1800 张，设有 45 个临床科室、122 个专科专病门诊和 10 个研究所室。医院现拥有 2 个国家临床重点专科（中西医结合肿瘤科、情志病学）、6 个国家中医药重点专科（肿瘤科、肾病科、消化科、重症医学科、精神卫生科、针灸科），9 个省中医重点专科（中西医结合肾脏病专科、心血管病专科、肝胆胰专科、胰腺病专科、胃病专科、抑郁症专科、老年痴呆症专科、中医针灸

中风后遗症专科、针灸科)。1 个国家中医药重点学科(中医心理学)等。

本项目位于翠苑院区,翠苑院区位于杭州市古翠路 234 号,医院主进出口在医院西侧古翠路、医院次出入口在北侧高技街、南侧与翠苑新村五区相邻、东侧与翠苑四区相邻(相隔城市道路)。

翠苑院区已开展医用 X 射线影像诊断、DSA 等放射诊疗工作,配有 CT 机、DSA、钼靶机、胃肠机、DR 机、牙科 CT 机、C 臂机、移动 DR 等影像诊疗设备 21 台套。以上射线装置均已取得辐射安全许可证,证书编号为:浙环辐证[A0140]号。射线装置明细详见表 1-2。

## 1.2 建设目的和项目由来

现医院翠苑院区拆除原门诊楼,建造新的门急诊医技大楼,新的门急诊医技大楼功能设置主要包括急诊、门诊、医技(放射科、检验中心,超声科和功能检查科)、放疗科、核医学科、中医特色诊疗技术中心、治未病中心、名老中医经验传承工作室、中医名医馆等建设内容。根据医院提供的资料,医院新建门急诊医技大楼涉及放射科(加速器、 $^{192}\text{Ir}$  后装)、核医学科(PET/CT、SPECT)和 DSA(2 台)放射诊疗项目。放疗科位于地下二层、核医学科位于地下二层,DSA 放射诊疗工作场所位于二层。浙江省立同德医院已委托浙江大学编制了《浙江省立同德医院门急诊大楼改建工程项目环境影响报告表》,并取得原杭州市生态环境局审批意见,详见附件 2。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 449 号)、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(环境保护部令第 31 号)、《建设项目环境影响评价分类管理名录》(环境保护部令第 44 号)及《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》(生态环境部令第 1 号)的“五十、核与辐射”、“191.核技术利用建设项目”及浙江省生态环境厅的有关规定,本项目在申领辐射安全许可证前须编制环境影响报告表,受浙江省立同德医院的委托,浙江问鼎环境工程有限公司承担该项目的辐射环境影响评价工作,评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上,按照国家对辐射建设项目环境影响评价技术规范的要求,编制完成该项目的辐射环境影响报告表。

## 1.3 评价目的

(1)对本项目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，为项目运行的辐射环境保护管理提供科学依据。

## 1.4 项目建设内容与规模

本次评价规模：于浙江省立同德医院翠苑院区新门急诊医技大楼地下二层新增核医学科，新增 1 台 PET/CT，使用  $^{18}\text{F}$  放射性同位素用于显像诊断，年最大用量  $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ （日等效操作量  $7.4 \times 10^6\text{Bq}$ ），含 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  放射源，单枚初始活度为  $9.25 \times 10^7\text{Bq}$ ，为 V 类放射源；新增一台 SPECT，使用  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放射性同位素用于显像诊断，年最大用量  $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ （日等效操作量  $7.4 \times 10^6\text{Bq}$ ）；新增  $^{89}\text{Sr}$  放射性同位素用于骨转移癌治疗，年最大用量  $1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$ （日等效操作量  $7.4 \times 10^7\text{Bq}$ ）；属于乙级非密封放射性物质工作场所。于医院新门急诊医技大楼地下二层新增放疗科，新增 2 台直线加速器和 1 台后装机，直线加速器最大管电压 15MV，后装机含 1 枚  $^{192}\text{Ir}$  放射源，初始活度为  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，为 III 类放射源；于医院新门急诊医技大楼二层放射科新增 2 台 DSA。具体规模详见表 1-1。

表 1-1 本次环评规模一览表

一、核医学科放射性同位素						
序号	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	工作场所名称	场所等级	备注
1	$^{18}\text{F}$	$7.4\times 10^6$	$1.85\times 10^{12}$	核医学科	乙	新购
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.4\times 10^6$	$1.85\times 10^{12}$	核医学科		新购
3	$^{89}\text{Sr}$	$7.4\times 10^7$	$1.85\times 10^{11}$	核医学科		新购
二、放射源						
序号	放射源名称	总活度（Bq）	所需最大数量	类别	使用场所	备注
1	$^{192}\text{Ir}$	$3.7\times 10^{11}$	1	Ⅲ类源（10Ci）	医技大楼地下二层放疗科后装机房	新购
2	$^{68}\text{Ge}$	$9.25\times 10^7$ (单枚)	2	V类源（2.5mCi）	PET-CT 室	新购
三、射线装置						
序号	设备名称	规格型号	主要技术指标	类别	工作场所位置	备注
1	DSA	UNIQ FD20	125kV、1000mA	Ⅱ类	医技大楼二层	搬迁
2	DSA	待定	150kV、1000mA	Ⅱ类	医技大楼二层	新购
3	直线加速器	待定	15MV	Ⅱ类	医技大楼地下二层放疗科	新购

4	直线加速器	待定	15MV	II类	医技大楼地下二层放疗科	新购
5	PET/CT	待定	CT: 150kV, 800mA <sup>18</sup> F 核素检查	射线装置 III类	医技大楼地下二层核医学科	新购
6	SPECT	待定	<sup>99m</sup> Tc 核素检查	射线装置 III类	医技大楼地下二层核医学科	新购

## 1.5 项目选址及周边环境保护目标

### 1.5.1 医院地理位置

本项目在翠苑院区，位于杭州市古翠路 234 号，地理位置图见附图 1。

本项目核医学科、放疗科位于新门急诊医技大楼地下二层；2 台 DSA 位于新门急诊医技大楼二层。

医院主进出口在医院西侧古翠路，医院次出入口在北侧高技街。东侧为浙江省教育厅教研室附属小学，与本项目工作场所最近距离约为 150m；南侧与翠苑新村五区相邻，与本项目工作场所最近距离约为 20m；西侧隔古翠路为杭州市城西工艺品市场和世纪联华商店，与本项目工作场所最近距离约为 110m；北侧隔高技街为翠苑新村四区，与本项目工作场所最近距离为 120m。周边环境关系图详见附图 2。

本项目拟建的辐射项目均位于医院内，项目用地属于医疗卫生用地。本项目拟建辐射工作场所实体边界外 50m 评价范围内主要为医院内部建筑、西侧古翠路和绿化带、南侧的翠苑五区居民楼（位于地下二层加速器机房和后装机房约 20m 处），无自然保护区、风景名胜區、饮用水水源保护区及学校等其他环境敏感区，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的辐射影响是可接受的。因此项目选址合理。

### 1.6 原有核技术利用项目许可情况

医院目前持有的辐射安全许可证书编号为：浙环辐证[A0140]，许可种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置，有效期为：2019 年 12 月 8 日~2024 年 12 月 7 日。医院辐射安全许可证件附件 1。

医院已有核技术利用项目环保履行情况见表 1-2，其中 07 年审批 1 台 CT、1 台 DR、1 台骨密度仪和 1 台胃肠机，根据“浙环辐评批[2007]0102 号”批文，对验收未做要求；16 年审批的 1 台 CT 和一台 DSA，18 年审批一台 DSA 均通过环保验收。

本次环评涉及的搬迁设备 DSA 为 18 年审批 DSA 已通过自主验收，医院原有核技术利

用项目具体环评批复及验收批复见附件 2、附件 3。

表 1-2 医院翠苑院区已有核技术利用项目环保履行情况一览表

序号	设备名称	型号	环评批复	验收批复	备注
1	CT	Optima CT680	备案号： 201733010600000237	/	正常
2	CT	LIGHTSPEED	浙环辐评批[2007]0102 号	无验收要求	正常
3	CT	SOMAIOM Definition Elash	浙环辐评批[2011]0005 号	杭环辐验 [2016]14 号	正常
4	CT	Kavo 3D eXami	备案号： 201733010600000063	/	正常
5	移动 DR	DRXR-1	备案号： 201733010600000237	/	正常
6	DR	PHILIP 型	备案号： 201733010600000062	/	正常
7	DR	Digital Diagnost	浙环辐评批[2007]0102 号	无验收要求	正常
8	移动 DR	DRXR-1	备案号： 201733010600000237	/	正常
9	DR	Digital Diagnost	备案号： 201733010600000062	/	正常
10	骨密度仪	GE 型	浙环辐评批[2007]0102 号	无验收要求	正常
11	局部骨密度仪	EXA-3000	备案号： 201833010600000752	/	正常
12	胃肠机	ADR1000A	浙环辐评批[2007]0102 号	无验收要求	正常
13	DSA	ALURA XPER FD20	浙环辐评批[2009]50 号	杭环辐验 [2016]14 号	正常
14	乳腺机	SELEMLADIMENSIONS	备案号： 201733010600000065	/	正常
15	牙片机	HYF-10D	备案号： 201733010600000237	/	正常
16	尿动力 X 射线检查机	TRITON	备案号： 201733010600000065	/	正常
17	体外碎石机	HB-EWSL-VG	备案号： 201733010600000062	/	正常
18	C 臂机	BV Libra	备案号： 201733010600000062	/	正常
19	C 臂机	BV Libra			
20	DSA	UNIQ FD20	杭环辐评批[2018]19 号	已验收	正常
21	C 臂机	Cios Fusion	备案号： 201933010600000341	/	正常



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> ×1	III类	使用	后装治疗	后装机房	存放在专用铅容器中，置于储源室内	新购
2	<sup>68</sup> Ge	9.25×10 <sup>7</sup> ×2	V类	使用	PET-CT 校准源	PET-CT 室	核医学科储源库	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，半衰期 109.7min，毒性分组为低毒组	使用	7.4×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>6</sup>	1.85×10 <sup>12</sup>	PET 显像诊断	很简单操作	核医学科	根据实际使用量向有资质单位购买（现买现用），购买后的放射性药物连同铅罐包装放置于核医学科储源室，储源室双人双锁管理。
2	<sup>99m</sup> Tc	液态，半衰期为 6.02h，毒性分组为低毒组	使用	7.4×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>6</sup>	1.85×10 <sup>12</sup>	SPECT 显像诊断	很简单操作	核医学科	
4	<sup>89</sup> Sr	液态，半衰期 50.5d，中毒	使用	7.4×10 <sup>8</sup>	7.4×10 <sup>7</sup>	1.85×10 <sup>11</sup>	骨转移癌治疗	简单操作	核医学科	

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》（GB18871-2002）。

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	直线加速器	II类	1台	待定	/	15MV X 射线、 20MeV 电子射线	距靶 1m 处的主束辐射剂量率 $H_0$ 取 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	肿瘤治疗	放疗科	新购
2	直线加速器	II类	1台	待定	/	15MV X 射线、 20MeV 电子射线	距靶 1m 处的主束辐射剂量率 $H_0$ 取 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	肿瘤治疗	放疗科	新购

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	1	UNIQ FD20	125kV	1000mA	血管介入	医技大楼二层	搬迁
2	DSA	II类	1	待定	150kV	1000mA	血管介入	医技大楼二层	新购
3	PET/CT	III类	1	待定	150kV	800mA	放射诊断	医技大楼二层	新购
4	SPECT	III类	1	待定	150kV	1000mA	放射诊断	医技大楼二层	新购

(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 ( $\mu\text{A}$ )	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	排放口浓度	月排放量	年排放总量	暂存情况	最终去向
放射性废水 （核医学）	液态	$^{18}\text{F}$	总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	——	$30\text{m}^3$	设置 3 个“并联”衰变池，其中 2 个衰变池有效容积为 $8.6\text{m}^3$ ，另一个衰变池效容积为 $9.03\text{m}^3$	符合 GB18871-2002 排放条件后，进入医院污水处理站处理后排入城市污水管网。
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$					
放射性固废 （核医学手套、棉签等其他固态物质、一次性注射器）	固态	$^{18}\text{F}$	$< 1 \times 10^1 \text{ Bq/g}$	——	$362.5\text{kg}$	分装室设置 2 个铅污物桶 服碘室设置 1 个铅污物桶 留观室设置 2 个铅污物桶 废物间设置 2 个铅衰变暂存容器	放射性废物衰变十个半衰期，经检测满足清洁解控水平（GBZ133-2009 附录 B），作为医疗废物由医院统一处理。
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$< 1 \times 10^2 \text{ Bq/g}$				
		$^{89}\text{Sr}$	$< 1 \times 10^3 \text{ Bq/g}$				
废旧 $^{192}\text{Ir}$ 源	固态	$^{192}\text{Ir}$	/	根据实际使用情况更换	/	/	厂家回收
废旧 $^{68}\text{Ge}$ 源	固态	$^{68}\text{Ge}$	/	根据实际使用情况更换	/	/	厂家回收

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说明，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

法规文件	<p>(1)《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月 1 日);</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》(中华人民共和国主席第 48 号令, 2016 年 9 月 1 日);</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年);</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号, 2017 年);</p> <p>(5)《建设项目环境影响评价分类管理名录》(环境保护部令第 44 号, 2017 年 9 月 1)及《关于修改&lt;建设项目环境影响评价分类管理名录&gt;部分内容的决定》(生态环境部令第 1 号, 2018.4.28);</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 449 号, 2005.12.1 施行, 2014.7.29 修正);</p> <p>(7)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(国家环保总局第 31 号令; 根据 2017 年 12 月 20 日环境保护部部务会议通过《环境保护部关于修改部分规章的决定》修正);</p> <p>(8)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第 18 号, 2011 年);</p> <p>(9)《关于发布射线装置分类办法的公告》(环境保护部 国家卫生和计划生育委员会 2017 年第 66 号, 2017.12.6);</p> <p>(10)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(国家环保总局, 环发[2006]145 号);</p> <p>(11) 关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定(中华人民共和国环境保护部令第 47 号);</p> <p>(12)《放射源分类办法》(国家环境保护局公告 2005 年第 62 号);</p> <p>(13)《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430 号);</p> <p>(14)《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2018 年省政府令第 364 号修订, 2018 年 3 月 1 日实施);</p> <p>(15)《浙江省辐射环境管理办法》(省政府令第 289 号, 2012 年 2 月 1 日起实施);</p> <p>(16)《浙江省环境保护厅关于发布&lt;省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件</p>
------	--

	<p>的建设项目清单（2015 年本）&gt;及&lt;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）&gt;的通知》（浙环发[2015]38 号）。</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 环境影响报告文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>（2）《环境地表 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）；</p> <p>（3）《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）；</p> <p>（4）《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）；</p> <p>（5）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>（6）《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>（7）《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》（GBZ/T201.2-2011）；</p> <p>（8）《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/T201.2-2011）；</p> <p>（9）《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）；</p> <p>（10）《后装 <math>\gamma</math> 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2017）；</p> <p>（11）《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）；</p> <p>（12）《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）；</p> <p>（13）《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；</p> <p>（14）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>（15）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。</p>
其他	<p>（1）《辐射安全许可证》；</p> <p>（2）建设单位提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。</p>

**表 7 保护目标与评价标准**

### 7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ/T10.1-2016）规定及本项目的实际情况，确定本项目辐射环境评价范围为乙级非密封放射性物质工作场所边界和各个机房边界外 50m 区域。运行期大气污染物主要来源于放疗科、DSA 诊断项目产生的少量的臭氧，根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018），本项目大气环境评价可不设置评价范围。

### 7.2 保护目标

根据现场踏勘，本项目核医学科工作场所及各个机房周围 50m 范围内主要为医院内部建筑、西侧古翠路、南侧翠苑五区居民楼（地下二层加速器机房和后装机房南侧约 20m 处），评价范围示意图详见附图 2。因此本项目主要环境保护目标为在医院核医学科、放疗科和 DSA 放射诊疗项目的辐射工作人员，以及周围非辐射工作人员和公众成员。与辐射工作场所紧邻的主要保护目标详见表 7.2-1。

**表 7.2-1 本项目主要环境保护目标一览表**

序号	项目地点		环境保护目标	方位	最近距离	管理约束值
1	地下二层核医学科		地下一层车库、变电所、汽车坡道、排放设备间	上方	5m	公众：0.25 mSv
			辐射工作人员	内部	/	职业：5mSv
			公众成员	周围	0-50m	公众：0.25 mSv
2	地下 二层 放疗 科	后装机房	控制室工作人员	北	紧邻	职业：5mSv
			走廊内公众	东	紧邻	公众：0.25 mSv
			地下一层设备间	上方	4m	公众：0.25 mSv
3		1 号加速器 机房	控制室工作人员	北	紧邻	职业：5mSv
			2 号加速器治疗室	东	紧邻	职业：5mSv
			后装机房及走廊内公众	西	紧邻	公众：0.25 mSv
			地下一层设备间	上方	4m	公众：0.25 mSv
		2 号加速器 机房	控制室工作人员	北	紧邻	职业：5mSv
			1 号加速器治疗室	西	紧邻	职业：5mSv

4	二层介入放射科		地下一层设备间及车道	上方	4m	公众：0.25 mSv
		/	公众成员	周围	0-50m	公众：0.25 mSv
		二层 1 号 DSA 机房	控制室辐射工作人员	东	紧邻	职业：5mSv
			机房内辐射工作人员	内部	/	职业：5mSv
			患者走道	南	紧邻	公众：0.25 mSv
			患者走道	西	紧邻	公众：0.25 mSv
			患者走道	北	紧邻	公众：0.25 mSv
			三层超声科用房	上方	3.4m	公众：0.25 mSv
			一层急诊药房	下方	3.4m	公众：0.25 mSv
		二层 2 号 DSA 机房	医废间	东	紧邻	公众：0.25 mSv
			更衣、MR 机房	南	紧邻	公众：0.25 mSv
			控制室辐射工作人员	西	紧邻	职业：5mSv
			患者走道	北	紧邻	公众：0.25 mSv
			三层超声科用房	上方	3.4m	公众：0.25 mSv
			一层急诊 CT、控制室	下方	3.4m	公众：0.25 mSv
			机房内辐射工作人员	内部	/	职业：5mSv
		/	公众成员	周围	0-50m	公众：0.25 mSv

## 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）职业照射和公众照射的年剂量限值

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

第 4.3.2.1 款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。

#### 附录 B B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，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。

本项目取其四分之一，即 5mSv 作为管理约束值。

## B1.2 公众照射

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，即公众的年有效照射剂量不超过 **0.25mSv**，作为管理约束值。

### (2) 表面污染控制水平

GB18871-2002 中对核医学工作场所放射性表面污染控制水平见表 7.3-1。

表 7.3-1 表面放射性物质污染控制水平 (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>	$4 \times 10^1$
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		$4 \times 10^{-1}$
1) 该区内的高污染子区除外		

### (3) 非密封源工作场所分级

GB18871-2002 附录 C 中对非密封源工作场所分级原则见表 7.3-2。

表 7.3-2 非密封源工作场所的分级

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

### (4) 放射性废水排放

GB18871-2002 中对放射性废水排放限值要求：放射性废液每月排放的总活度不超过 10ALIm<sub>in</sub>，每次排放的活度不超过 1ALIm<sub>in</sub>，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。ALIm<sub>in</sub> 采用下式计算：

$$ALIm_{in} = DL / e_j$$

DL 表示职业人员接触限值，20mSv/a；

$e_j$  表示 GB18871-2002 表 B3 工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量，取其中最大值。



表 7.3-3 放射性废水排放导出限值

放射性核素	$e_j$ (Sv/Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
$^{18}\text{F}$	$8.9 \times 10^{-11}$	$2.2 \times 10^9$	$2.2 \times 10^8$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$2.9 \times 10^{-11}$	$6.9 \times 10^9$	$6.9 \times 10^8$

另外,《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表 2 中“综合医疗机构总  $\alpha$  排放标准为 1Bq/L, 总  $\beta$  排放标准为 10Bq/L”。

### 7.3.2 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)

(1) 临床核医学的工作场所应按照 GB18871-2002 非密封源工作场所规定进行分级, 并采取相应的放射防护措施。

(2) 针对临床核医学实践的具体情况, 可依据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 三类。

表 7.3-4 临床核医学工作场所具体分类

分类	操作最大量放射性核素的加权活度/MBq
I	$> 50000$
II	$50 \sim 50000$
III	$< 50$

(3) 工作场所应备有收集放射性废物的容器, 容器上应有放射性标志。

(4) 诊断及治疗工作场所(包括通道)应注意合理安排与布局。

(5) 诊断室应靠近给药室和检查室, 有受检者专用厕所。

(6) 使用治疗量发射  $\gamma$  射线放射性药物的区域应划为控制区。用药后患者床边 1.5m 处单人病房应划为临时控制区。控制区入口应有 GB18871 规定的电离辐射警告标志, 除医务人员外, 其他无关人员不得入内, 患者也不应随便离开该区。

(7) 接受放射性药物治疗的患者应使用专用便器或专用卫生间和浴室。

### 7.3.3 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)

#### (1) 液体废物的管理

①使用放射性核素最大操作量等于或大于  $2 \times 10^7 \text{Bq}$  的临床核医学单位应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址, 池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性, 应有防泄漏措施。

②使用放射性药物治疗患者的临床核医学单位, 应为住院治疗患者提供有防护标志的专用厕所, 对患者排泄物实施统一收集和管理。

③专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲入专用化粪池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

④符合出院条件的患者排泄物不需要统一管理。

## (2) 固体废物的管理

### i 废物收集

①供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志，污物桶放置点应避开工作人员工作和经常活动的区域。

②污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存。

③对注射器和破碎器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内。

④每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

### ii 废物临时贮存

①经审管部门批准可将其废物临时贮存在许可的场所和专门的容器中，贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限值要求。

②临时贮存室建造结构应符合放射卫生防护要求，且具有自然通风或安装通风设备，出入口设电离辐射警示标志。

③废物袋、废物桶及其存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类，比活水平和存放日期等说明。

④废物包装体外表面的污染控制水平  $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta < 0.04\text{Bq/cm}^2$ 。

### iii 废物处理

①如果经审管部门确认或批准，凡放射性活度小于或等于附录 B 所示清洁解控水平推荐值的放射性废物，按免管废物处理。

②放射性废物含有多种核素时，按照下面公式来判断该废物是否容许被免管。

式中：

$$\sum_{j=1}^n \frac{C_j}{C_{j,h}} \leq 1$$

$C_j$ ：放射性核素 j 在该废物中的活度浓度 (Bq/g)；

$C_{j,h}$ ：附录 B 所示放射性核素 j 的清洁解控水平推荐值 (Bq/g)，其中  $^{99m}\text{Tc}$  为  $1 \times 10^2 \text{Bq/g}$ ，

$^{18}\text{F}$  为  $1 \times 10^1 \text{Bq/g}$ ;

n: 该废物中所含放射性核素的种类数。

### 7.3.4 《密封放射源及密封 $\gamma$ 放射源容器的放射卫生防护标准》

标准 5.2 活度小于  $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$  和能量在  $0.5 \text{MeV}$  以下的密封  $\gamma$  放射源容器应采用铅、铁作为屏蔽防护材料。活度大于  $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$  和能量在  $0.5 \text{MeV}$  以上的密封  $\gamma$  放射源容器的材料以铅、铁为主，辅以适当厚度的钨和贫铀或其他合金作为防护层，以利于提高辐射防护效果，减少容器的体积和质量。并确保能经受正常的运输条件和可能的事故（如撞击、火灾和爆炸等）条件。源容器的整体结构及其防护性能不会因剧烈震动和温度变化而发生改变。

标准 7.1 使用单位应有密封源的账目，设立领存登记，状态核查，定期清点，钥匙管理等防护措施。

标准 7.3 贮源室应符合屏蔽设计要求，确保周围环境安全，贮源室应有专人管理。

标准 7.5 贮源室应设置醒目的电离辐射警告标志，严禁无关人员进入。

标准 7.8 无使用价值或不继续使用的退役密封源应退回生产厂家。

### 7.3.5 《后装 $\gamma$ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2017）

标准 4.2.1 放射源贮源器表面必须标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的符合 GB18871 要求的电离辐射警示标识。

标准 4.2.3 装载放射源的运输贮源器或工作贮源器，应存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮源库内。

标准 4.4.3 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，同时应发出声光警报信号。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。

标准 5.1 治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于  $20 \text{m}^2$ 。应将治疗室设置为控制室，在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警示标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区，应定期对这些区域进行监督和评价。

标准 5.2 治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于 3 次。

标准 5.3 治疗室入口应采用迷路形式，安装防护门并设置门-机联锁，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方

要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关，按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

标准 5.4 治疗室防护门应设置手动开门装置。

标准 5.4 在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施，如设置观察窗，其屏蔽效果应与同侧的屏蔽墙相同。

标准 6.8 实施治疗时，除病人外，治疗室内不得停留任何人员。

### 7.3.6 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）防护要求

第 5.3.4 款规定：终止照射后感生放射性的防护

第 5.3.4.1 款规定：此要求仅适用于电子能量超过 10MeV 的设备

第 5.3.4.2 款规定：在规定的最大吸收剂量率下，进行 4Gy 照射，以间隙 10min 的方式连续运行 4h 后，在最后一次照射终止后的 10s 开始测量，测得感生放射性的周围剂量当量 H，且应满足下列要求：

a) 累积测量 5min，在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 10 $\mu$ Sv，离外壳表面 1m 处不超过 1 $\mu$ Sv。

b) 在不超过 3min 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 200 $\mu$ Sv/h，离外壳表面 1m 处不超过 20 $\mu$ Sv/h。

第 6.1.1 款规定：治疗室选址，场所布局和防护设计应符合 GB18871-2002 的要求，保障职业场所和周围环境安全。

第 6.1.2 款规定：有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求。

第 6.1.4 款规定：穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

第 6.1.5 款规定：X 射线标称能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

第 6.1.6 款规定：治疗室和控制室之间必须安装监视和对讲设备。

第 6.1.7 款规定：治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m<sup>2</sup>。

第 6.1.8 款规定：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。

### 7.3.7 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）

4.6 移动式和携带式 X 射线设备防护性能的专用要求

4.6.3 连接曝光开关的电缆长度应不小于 3m，或配置遥控曝光开关。

5 X 射线设备机房防护设施的技术要求

5.1 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。

5.2 每台 X 射线机（不含移动式 and 携带式床旁摄影机与车载 X 射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-3.5 要求。

表 7.3-5 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 $m^2$	机房内最小单边长度 $m$
CT机	30	4.5
双管头或多管头X射线机 <sup>a</sup>	30	4.5
单管头X射线机 <sup>b</sup>	20	3.5
口内牙片机	3	

<sup>a</sup> 双管头或多管头X射线机的所有管球安装在同一间机房内（DSA参照双管头或多管头X射线机）。

<sup>b</sup> 单管头、双管头或多管头X射线机的每个管球各安装在1个房间内。

<sup>c</sup> 透视专用机指无诊断床，标称管电流小于5mA的X射线机。

5.3 X射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

a) 不同类型X射线设备机房的屏蔽防护应不小于表7-2要求。

b) 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D。

c) 应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。

d) 带有自屏蔽防护或距X射线设备表面1m处辐射剂量水平不大于 $2.5\mu Gy/h$ 时，可不使用带有屏蔽防护的机房。

表 7.3-6 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 mm	非有用线束方向铅当量 mm
介入 X 射线设备机房	2	2
CT 机房	2（一般工作量） <sup>a</sup>	
	2.5（较大工作量） <sup>a</sup>	
<sup>a</sup> 按 GBZ/T 180 的要求。		

5.4 在距机房屏蔽体外表面0.3m处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求（其检测方法按7.2和附录B中B.6的要求）：

a) 具有透视功能的X射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于

2.5μGy/h；测量时，X射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

b) CT机、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μGy/h；其余各种类型摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于0.25mSv；测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

5.5 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。

5.6 机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物；机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

5.7 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。

5.9 每台X射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表7-3.7基本种类要求的工作人员、患者和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防护铅衣；防护用品和辐射辅助防护设施的铅当量应不低于0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有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低于0.5mmPb。

5.10 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。

表 7.3-7 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		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
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、铅橡胶帽子	—
介入放射学 操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜选配：铅橡胶手套	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、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	—

注：“—”表示不要求。

表 8 环境质量和辐射现状

<div><h3>8.1 项目地理位置和场所位置</h3><p>浙江省立同德医院翠苑院区位于杭州市古翠路 234 号。本项目核医学科工和放疗科均位于新建门急诊医技大楼地下二层；介入放射治疗 2 台 DSA 位于新建门急诊医技大楼二层。</p><h3>8.2 辐射环境质量现状评价</h3><div><div>1、监测目的</div><p>本次监测目的为了解拟建辐射项目区域及周边辐射环境质量现状。</p></div><div><div>2、监测项目</div><p>环境 <math>\gamma</math> 空气吸收剂量率</p></div><div><div>3、监测方法</div><p>依据《环境地表 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）的要求和方法进行现场监测。</p></div><div><div>4、监测点位</div><p>根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布设监测点。监测点位详见图 8.2-1~图 8.2-3。</p></div></div>	<div></div> <p>图 8.2-1 放疗科后装机房和加速器机房及周边监测点位图</p>
---	--

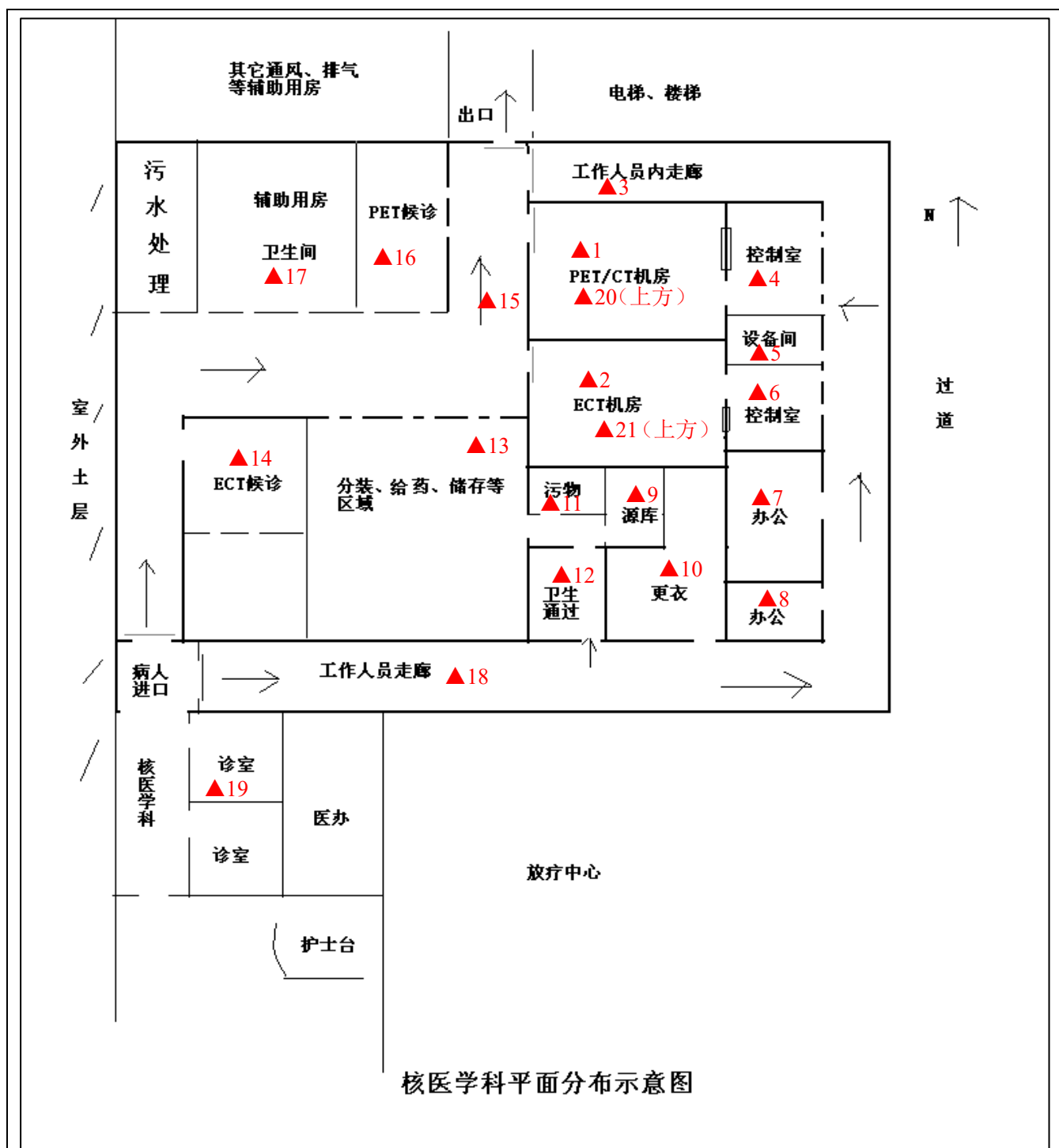


图 8.2-2 核医学科及周边监测点位图



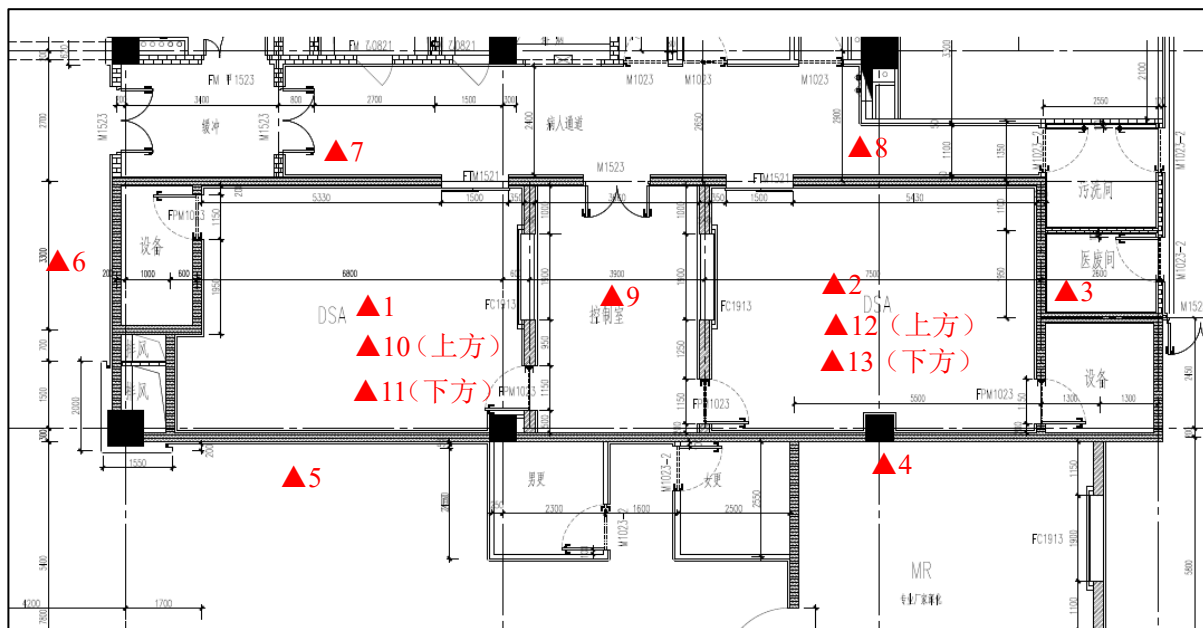


图 8.2-3 二层放射科 DSA 机房及周边监测点位图

## 5、监测仪器

监测仪器的参数详见表 8.2-1。

表 8.2-1 监测仪器参数表

项目	内容
仪器名称	便携式多功能射线检测仪
仪器型号	BG9512（内置探头：BG9512；外置探头：BG7030）
生产厂家	贝谷科技股份有限公司
仪器编号	DQ2015-XJ37
能量范围	内置探头：50keV~1.3MeV $\leq\pm 30\%$ 外置探头：25KeV~3MeV $\leq\pm 30\%$
量程	内置探头：0.05 $\mu$ Sv/h~30mSv/h； 外置探头：30nGy/h~200 $\mu$ Gy/h。
校准单位	上海市计量测试技术研究院（华东国家计量测试中心）
校准证书	2019H21-10-2094469001

## 6、监测单位

浙江鼎清环境检测技术有限公司。

## 7、监测时间及检测条件

2020 年 6 月 23 日。天气：晴；温度：34℃；湿度 56%。

## 8、质量保证措施

- a 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。
- b 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有合格证书上岗。
- c 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- d 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。
- e 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- f 监测报告严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术总负责人审定。

## 9、监测结果

本项目辐射工作场所场址辐射环境监测结果详见表 8.2-2。

**表 8.2-2 辐射工作场所 X-γ 剂量当量率检测结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）**

场所名称	点位编号	监测点位置	检测结果
放疗科加速器机房及周边	1#	后装机机房中心	0.11
	2#	1 号加速器机房中心	0.10
	3#	2 号加速器机房中心	0.09
	4#	后装机西侧墙外储源室	0.11
	5#	后装机西侧墙外控制室	0.12
	6#	后装机西侧墙外准备室	0.09
	7#	后装机北侧墙外过道	0.10
	8#	1 号加速器机房北控制室	0.11
	9#	1 号加速器机房迷道出入口	0.09
	10#	2 号加速器机房北控制室	0.10
	11#	后装机机房正上方	0.11
	12#	1 号加速器机房正上方	0.10
	13#	2 号加速器机房正上方	0.09
核医学科场所及周边	1#	PET/CT 机房	0.11
	2#	ECT 机房	0.12
	3#	PET/CT 机房北工作人员内走廊	0.09
	4#	PET/CT 机房东侧控制室	0.10
	5#	PET/CT 机房设备间	0.09
	6#	ECT 机房东侧控制室	0.08
	7#	东侧办公室 1	0.11
	8#	东侧办公室 2	0.12
	9#	ECT 机房南侧源库	0.10
	10#	ECT 机房南侧更衣室	0.11
	11#	ECT 机房南侧污物间	0.12
	12#	ECT 机房南侧卫生通道	0.09
	13#	分装、给药、储存间	0.10

	14#	ECT 候诊区	0.09
	15#	PET/CT 机房西侧过道	0.10
	16#	PET/CT 候诊间	0.11
	17#	卫生间	0.12
	18#	南侧工作人员走廊	0.11
	19#	核医学科入口诊室	0.11
	20#	PET-CT 机房上方	0.09
	21#	ECT 机房上方	0.12
二层 2 间介入手术室及 周边	1#	1 号 DSA 机房内	0.12
	2#	2 号 DSA 机房内	0.10
	3#	2 号 DSA 机房东侧医废间	0.09
	4#	2 号 DSA 机房南侧 MR 机房	0.09
	5#	1 号 DSA 机房南侧墙外	0.10
	6#	1 号 DSA 机房西侧墙外	0.11
	7#	1 号 DSA 机房北侧走廊	0.10
	8#	2 号 DSA 机房北侧走廊	0.09
	9#	1 号 DSA 机房东侧控制室	0.09
	10#	1 号 DSA 机房正上方	0.10
	11#	1 号 DSA 机房正下方	0.08
	12#	2 号 DSA 机房正上方	0.11
	13#	2 号 DSA 机房正下方	0.12

由表 8.2-2 检测结果可知，本项目室内各监测点位的  $\gamma$  辐射剂量率在 0.08~0.12 $\mu$ Sv/h 之间，由《浙江省环境陆地  $\gamma$  辐射剂量水平调查》可知，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，杭州市室内  $\gamma$  辐射剂量率在 56.0~443.0nGy/h 之间。可见，该拟建址及周围的  $\gamma$  辐射剂量率水平未见异常。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 施工期工程分析

浙江省立同德医院已委托浙江大学编制了《浙江省立同德医院门急诊大楼改建工程项目环境影响报告表》。有关主体工程施工期环境影响内容详见《浙江省立同德医院门急诊大楼改建工程项目环境影响报告表》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。

### 9.2 工程设备和工艺分析

本项目主要涉及直线加速器、后装机、SPECT、PET-CT、DSA 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：放射治疗单元、核医学单元和介入放射学单元。

#### 9.2.1 放疗科

##### 9.2.1.1 医用电子直线加速器

##### （1）设备参数

根据医院提供的资料，本项目拟新增的医用电子加速器的主要参数见表 9.2-1。

表 9.2-1 医用电子加速器的主要参数表

参 数 名 称	参 数 值	
最大能量	新购设备	X 射线能量：15MV；电子线能量：20MeV
		X 射线能量：15MV；电子线能量：20MeV
X 射线泄漏率	X 射线：≤0.1%	
正常治疗距离（NTD）	100cm	
常用最大剂量率	有用线束在距靶中心 1m 处的最大治疗剂量率为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	
最大照射野大小	400mm×400mm	
机架旋转角度	±180°	

##### （2）工作原理

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目的。

### (3) 设备组成

医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。主要装置包括沿水平轴旋转光子束框架、沿垂直轴旋转的治疗床、控制光子束准直器、定向架或变形塑料定向架。典型的直线加速器的结构系统如图 9.2-1。

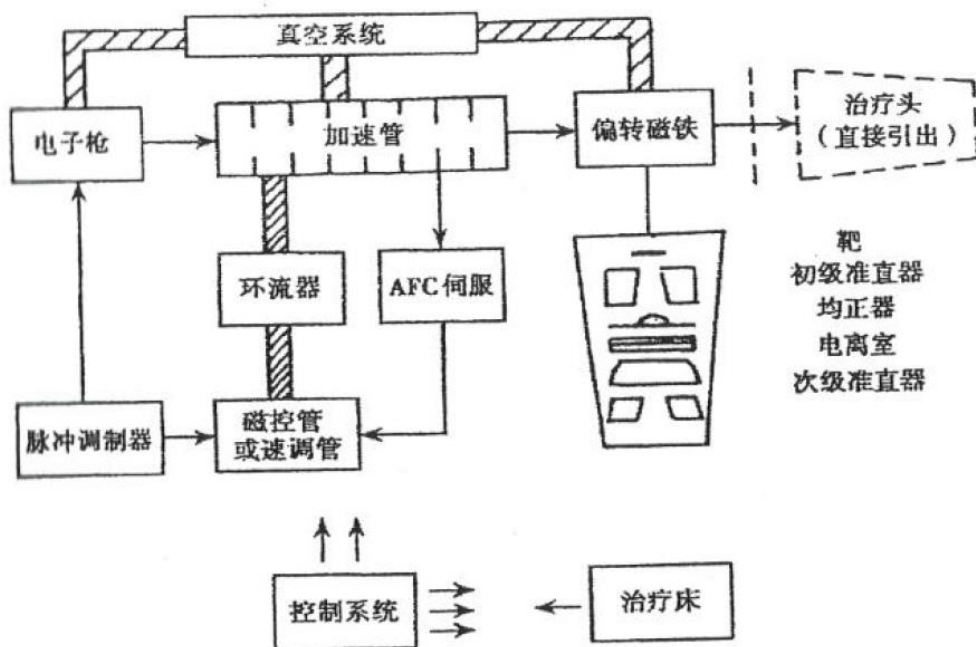


图 9.2-1 典型的直线加速器的结构系统图

### (4) 工作流程及产污环节

①对肿瘤放疗患者进行登记、候诊；

②然后使用 CT 定位机对患者的肿瘤进行定位检查；

③根据患者肿瘤类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划；

④摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度等，摆位结束，摆位工作人员等非患者均离开机房，关闭防护门；

⑤根据放疗计划，实施照射；

⑥照射结束后，病人离开机房，摆位人员 5min 后进行下一个患者摆位准备。

具体流程如下所示：

登记候诊—模拟定位—制定放疗计划—摆位—非患者撤离—关闭防护门—放疗照射—结束离开。

15MV 直线加速器：正常工况时，射线装置诊断治疗污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线、中子、中子俘获  $\gamma$  射线、感生放射性等，其污染途径为直接外照射，同时其产

生少量臭氧及 NO<sub>x</sub> 废气。（具体分析情况见污染源项描述）

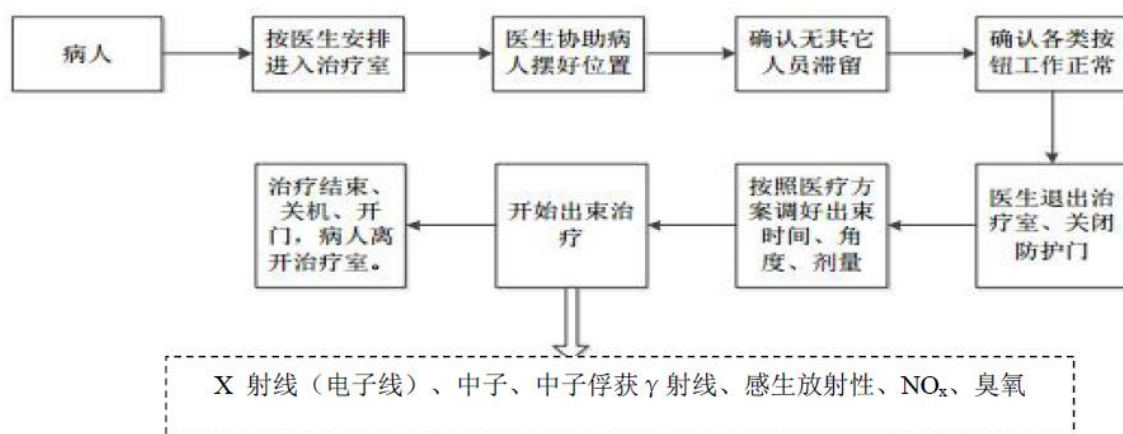


图 9.2-2 医用直线加速器的作业流程及产污环节示意图

### 9.2.1.2 后装治疗机 (<sup>192</sup>Ir) 项目

#### (1) 设备参数

根据医院提供的资料，本项目拟新增的后装机配置的放射源是 <sup>192</sup>Ir，初始活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$  枚，为 III 类放射源。

#### (2) 工作原理

后装机是采用遥控技术，将放射源送入腔内的一种近距离治疗装置。现代近距离治疗主要通过后装技术，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、直肠癌、膀胱、前列腺、乳癌、胰腺、脑部等，治疗技术涉及到腔管、腔内、组织间，插入和贴敷，术中等多种施治技术。

<sup>192</sup>Ir 后装机主要由驱动装置、计算机、打印机、贮源器、治疗床、γ 射线报警仪以及根据患者不同腔位及大小而设计的系列施用器及其定位支架组成。其结构合理、可靠性高，可用于宫体、宫颈、直肠、食道、口腔、鼻咽等腔内肿瘤的后装治疗。

当 <sup>192</sup>Ir 放射源活度衰变至不能满足使用需求时须更换放射源。导源时物理师把导源管一头接入后装机贮源器，另一头接入铅罐插孔中，通过计算机隔室操作先把废源通过导源管导入铅罐中。废源导出后，通过同样方式把新源通过导源管导入后装机贮源器中。铅罐为厂家送源时使用的专用铅罐，铅当量为 8cm。废源密封在铅罐中置于铁桶内，并封好铁

桶贴上源编码及日期，之后维修师及物理师共同把废源放入后装机房保险柜中，此过程需约 10min，一年换源约 2~3 次。保险柜由专人管理。

### (3) 设备组成

后装治疗机由机架、储源器、施源器、通道、控制台组成。储源器是可容纳一个或多个放射源的容器，当放射源不工作时可提供电离辐射的防护；施源器是将放射源送入预定位置的部件，自带屏蔽防护；通道是在后装治疗机中专供密封放射源或其组件在其运动的轨迹，此管道与储源器和施源器相连接，如图 9.2-3。



图 9.2-3 后装治疗机及施源器

### (4) 工作流程及产污环节

- ①用模拟定位机拍摄定位胶片；
- ②用治疗计划系统（TPS）调用定位胶片制定治疗计划并传输给治疗控制系统；
- ③医生根据诊断结果，将施源器插入患者治疗部位中并固定好；
- ④用治疗控制系统实施治疗计划，对患者进行治疗；
- ⑤治疗结束后，医生进入后装机机房，帮助患者离开治疗床，退出机房，关闭防护门。

该项目后装机拟配置的放射源是  $^{192}\text{Ir}$  丝状源，最大装源活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}(10\text{Ci})$ ；属于 III 类放射源，正常工况下不会产生放射性废气、放射性废水。主要污染物为： $\gamma$  射线和  $^{192}\text{Ir}$  退役或废旧放射源，污染途径为直接外照射（具体分析情况见污染源项描述）。

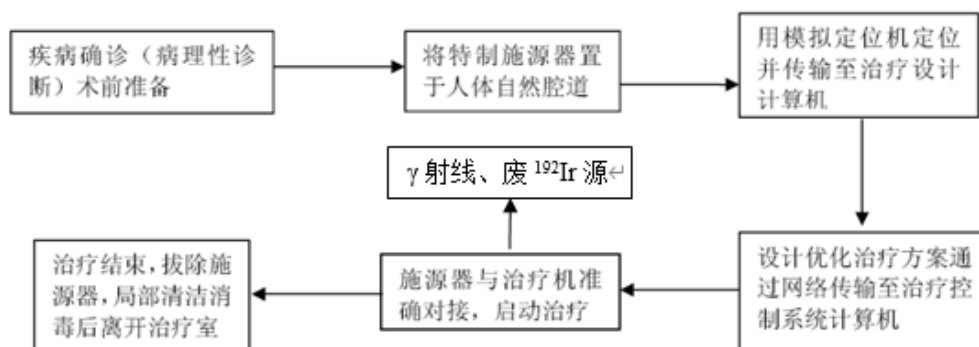


图 9.2-4 后装机工作流程及产污环节

## 9.2.2 核医学科

### 9.2.2.1 非密封放射性物质

本项目主要使用的非密封放射性物质有  $^{18}\text{F}$  (PET-CT 显像检查)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (SPECT 显像检查)、 $^{89}\text{Sr}$  (骨转移癌治疗)。

本项目共使用  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  三种放射性同位素，其中  $^{18}\text{F}$  需在医院内进行人工分装， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  由厂家分装，不需医院自行分装，可以直接使用。使用的放射性同位素用量均按照病人预约情况提前订购，运输到医院后当日可在源库暂存，不贮存。

### 9.2.2.2 核医学科同位素治疗工作原理及工艺流程

#### (1) $^{89}\text{Sr}$ 治疗流程及产污环节分析

$^{89}\text{Sr}$  主要用于骨转移瘤的治疗。 $^{89}\text{Sr}$  发射纯  $\beta$  射线， $\beta$  粒子的平均能量为 0.58MeV，最大能量达 1.49MeV，在组织内的辐射距离约 2.4mm，半衰期为 50.5 天。通过对患者注射  $^{89}\text{Sr}$  药物，利用  $^{89}\text{Sr}$  在体内释放  $\beta$  射线治疗骨转移瘤。

医生对患者进行检查，根据病情，在本医院医疗条件允许范围内确定注射剂量，与患者预约，根据患者数量订购  $^{89}\text{Sr}$  注射药物，在注射室（患者注射室外）对患者进行注射治疗，患者在原地短暂观察（约 10min）后，如无异常情况，患者可离开医院。

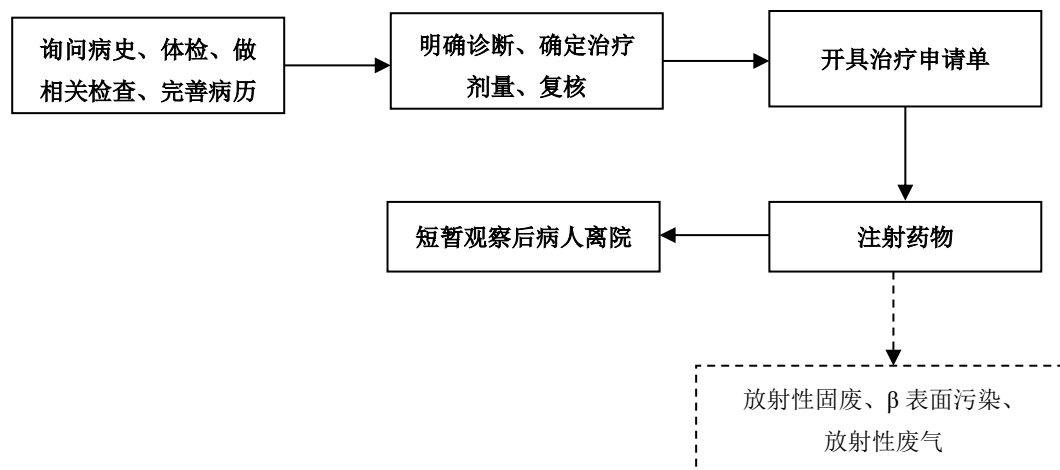


图 9.2-5  $^{89}\text{Sr}$  治疗工作流程及产污环节图

### 9.2.2.3 核医学科 SPECT-CT、PET-CT 诊断工作原理及工作流程

#### (1) 工作原理

当某种放射性核素或其标记物通过注射、口服等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放



放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用 SPECT 或 PET 来探测这种放射性，核素发射的  $\gamma$  射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，SPECT 或 PET 放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

SPECT-CT 是将 SPECT 和 CT 有机结合在一起，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站，将 SPECT 图像和 CT 图像融合，可以同时放映病灶的病理生理变化和形态结构，明显提高诊断的准确性。

PET-CT 是将 PET 和 CT 有机结合在一起，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站，将 PET 图像和 CT 图像融合，可以同时放映病灶的病理生理变化和形态结构，明显提高诊断的准确性。

本项目 SPECT 显像诊断采用  $^{99m}\text{Tc}$  放射性核素标记，PET 显像诊断采用  $^{18}\text{F}$  放射性核素标记，所有的同位素均从同位素生产厂家购买，本项目  $^{99m}\text{Tc}$  由厂家分装供给，无需医院分装； $^{18}\text{F}$  由医院自行分装。

## （2）SPECT 和 PET 工作流程及产污环节

SPECT 和 PET 诊断工作流程基本相同，其具体流程如下：

- ①接受患者，并告知患者诊断过程存在辐射危害；
  - ②医生根据病情确定使用核素的类别和剂量；
  - ③病人通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在  $\gamma$  射线污染，同时会产生放射性废水、固废（注射器、棉球、药品盒）；
  - ④病人摄入药品后通过仪器进行器官显像和病情检查。在此过程中病人带有  $\gamma$  射线。
- SPECT-CT、PET-CT 诊断项目产生的主要污染物为： $\gamma$  射线、 $\beta$  表面污染、放射性废水、放射性固废等。

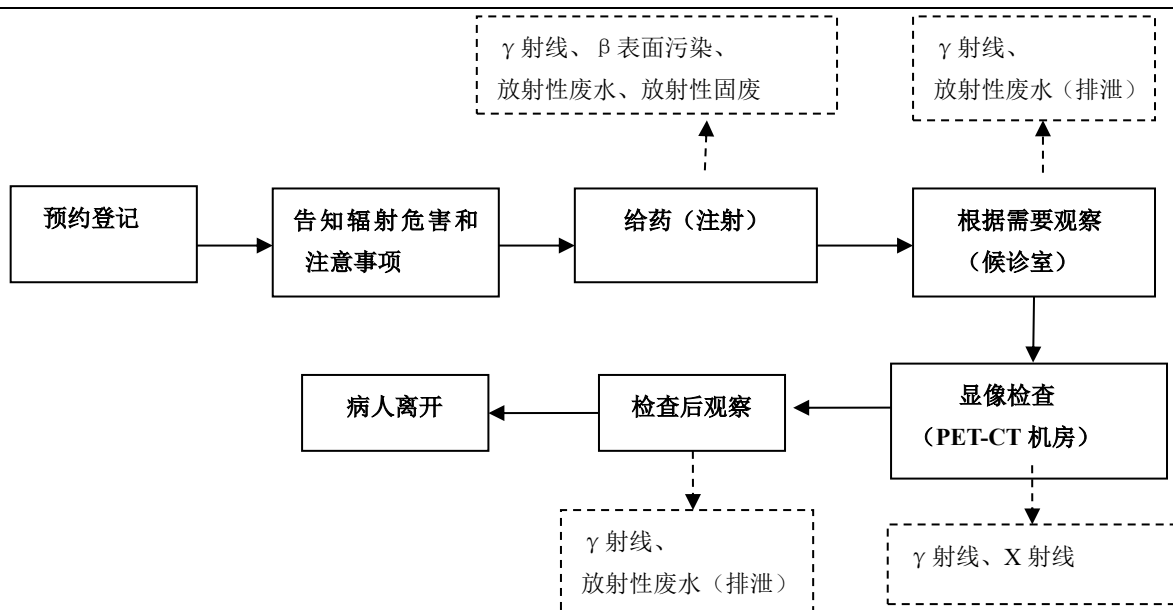


图 9.2-6 PET-CT 诊断工作流程及产污环节

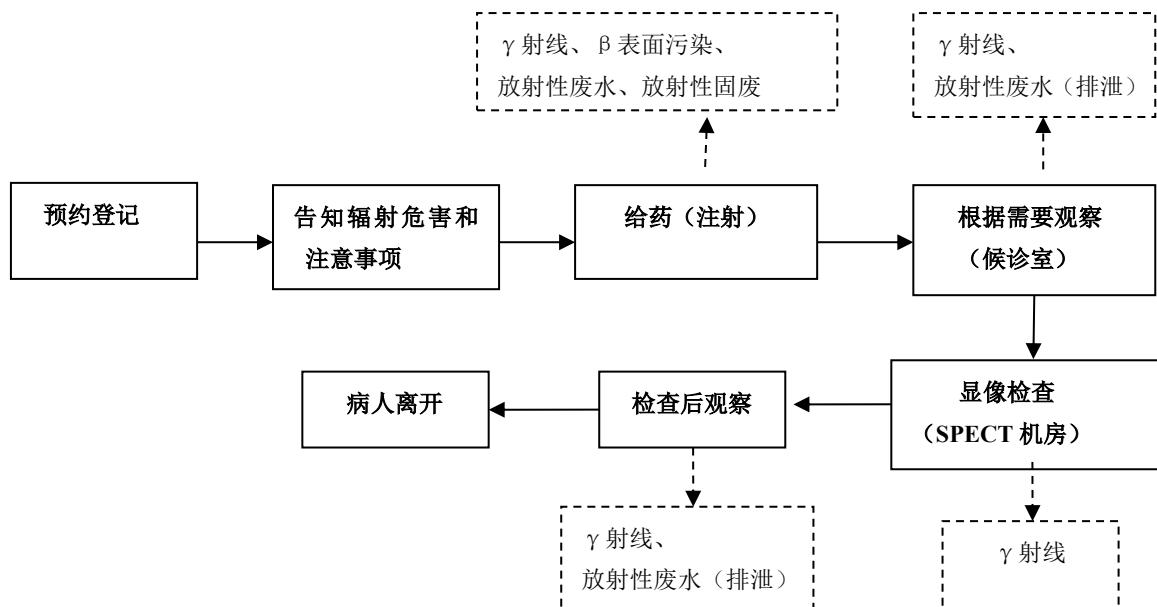


图 9.2-7 SPECT 系统诊断工艺流程及产污环节示意图

#### 9.2.2.4 PET-CT 校准源 $^{68}\text{Ge}$

本项目 PET-CT 室内配套使用 2 枚活动均为  $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$  ( $2.5 \text{mCi}$ )  $^{68}\text{Ge}$ ，平时都暂存在铅屏蔽容器中。

##### (1) 工作原理

密封源  $^{68}\text{Ge}$  模拟注射同位素药物的人体，用于探头采集均匀性和能峰的校准。

##### (2) 操作规程

1) 将密封源  $^{68}\text{Ge}$  放置在病床上；

- 2) 做放射源透射的质量控制;
- 3) 进行病人检查, 采集病人体内核素发射的射线, 然后再采集校准源的透射线;
- 4) 将源卸下, 放入放射源存储室内。

### (3) 污染因子

$^{68}\text{Ge}$  放射源衰变时发射出 0.511MeV 的  $\gamma$  射线是主要的污染因子。

## 9.2.2.5 PET、SPECT 配套用 CT

### (1) 工作原理

CT 是计算机断层 X 射线摄影术 (Computed Tomography) 的简称, 它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面, 利用探测器记录透射光束的衰减量, 并经过数学运算, 电子计算机处理相应数据, 从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

### (2) 设备组成

由产生 X 射线的 X 线管、供给 X 线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置, 以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置即外围设备组成。

### (3) 工作流程及产污环节

确定患者体层摄影的体位, 扫描定位, 投照摆位, 屏气曝光。扫描过程中, X 线球管连续地发射 X 线, 扫描床持续同步前移, 实现无间断容积数据采集。由 X 射线装置的工作原理可知, X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此, 该院使用的 CT 装置在非诊断状态下不产生射线, 只有在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线。因此, 在开机期间, X 射线成为污染环境的主要因子。

## 9.2.3 介入放射学

X 射线诊断装置均为采用 X 射线进行摄影或透视或 X-CT 检查的技术设备。上述设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成, 阴极是钨制灯丝, 它装在聚焦杯中, 当灯丝通电加热时, 电子就“蒸发”出来, 而聚焦杯使这些电子聚集成束, 直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间, 使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度, 这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。其典型 X 射线管结构详见图 9.2-8。

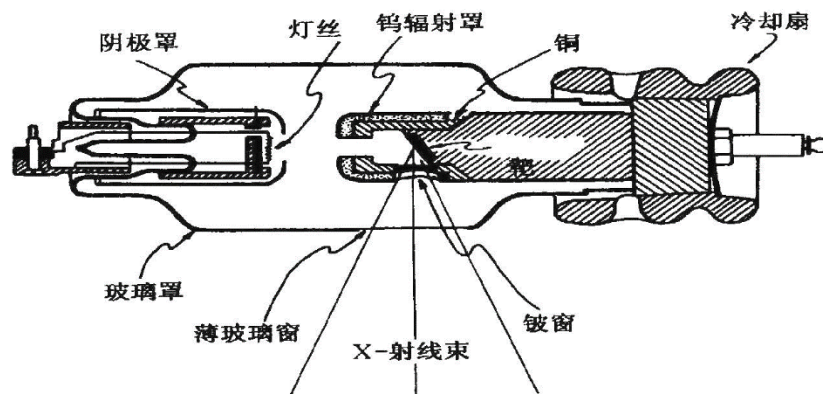


图 9.2-8 典型 X 射线管结构图

### (1) DSA 装置工作原理

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、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机。

### (3) 工作流程及产污环节

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，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 在进行曝光时分为两种情况：

A、第一种情况，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。

B、第二种情况，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身着铅服、戴铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的手术操作。

DSA 的 X 射线诊断机曝光时，主要污染因子为 X 射线。DSA 拍片流程及产污环节如图 9.2-10 所示：

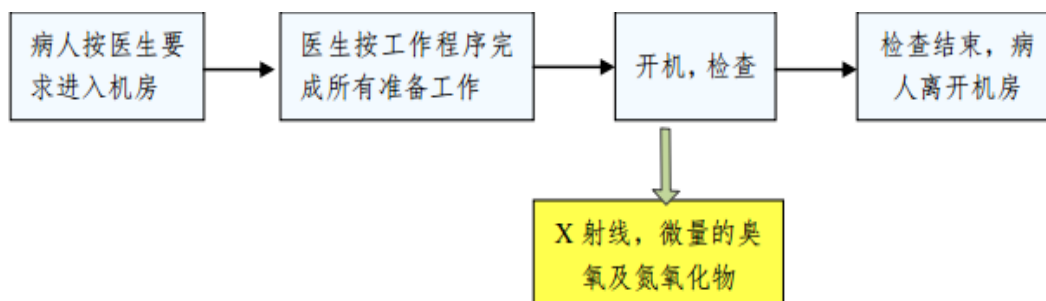


图 9.2-9 DSA 工作流程及产污环节图

## 9.3 污染源项分析

### 9.3.1 放疗科污染源项分析

#### 9.3.1.1 直线加速器污染源项分析

##### (1) X 射线和电子束

加速器出束工作时，将产生 X 射线及高能电子束有用线束辐射、泄漏辐射和散射辐射。运行时产生的 X 射线和电子束随加速器的开、关而产生和消失。加速器产生的高能电子束，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。因此，在加速器开机时间内，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

##### (2) 中子

本项目加速器 X 射线最高能量 15MV，产生的高能光子会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生（ $\gamma$ 、 $n$ ）光核反应，产生中子辐射。包括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和相互作用中生成的热中子。中子的辐射生物效应远高于 X、 $\gamma$  射线，一般情况下，当机房墙体、室顶的屏蔽厚度满足对 X 射线的防护要求时也就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。

##### (3) 感生放射性

对于大于 10MeV 的直线加速器会产生感生放射性，主要包括两个方面：①加速器机头结构材料的固态感生放射性。加速器运行期间，由于设备有足够的结构屏蔽，由部件产生

的感生放射性不会危害到屏蔽体外的人员。②气态感生放射性核素。15MV 加速器运行时产生中子，中子可与空气作用产生放射性核素。电子能量超过反应阈能时，与空气中的 C、O、N、Ar 等相互作用，可诱发感生放射性核素  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  和  $^{41}\text{Ar}$ 。一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和病人造成明显的危害。

#### （4）俘获 $\gamma$ 射线

加速器使用过程中产生的热中子与物质作用被原子核俘获后不再放出中子而放出  $\gamma$  射线，即俘获  $\gamma$  射线。俘获  $\gamma$  射线的能量变化范围很宽，在放射防护中一般选择硼，对热中子有较高的吸收能力，从而不放出或者放出能量较低的  $\gamma$  射线。

#### （5）废气

加速器在开机运行时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物。机房设计有通风系统，通风量  $1500\text{m}^3/\text{h}$ ，通风能力达到 6.6 次/h，可明显降低有害气体浓度，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）“6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

#### （6）固体废物

更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，由厂家回收，正常情况下不会对环境造成不利影响。

综合上述分析，15MV 电子直线加速器项目污染因子主要考虑 X 射线、中子、感生放射性、俘获  $\gamma$  射线。

### 9.3.1.2 后装治疗机 ( $^{192}\text{Ir}$ ) 项目

（1） $\beta$  射线穿透能力很弱，设备的外包装可以完全屏蔽，使  $\beta$  射线不能释放到环境中。 $\gamma$  射线穿透能力较强，有可能对环境产生辐射影响。

（2）空气在辐射照射下，产生辐照分解现象，其主要是少量臭氧和氮氧化物。氮氧化物产生量很少，主要产生少量臭氧。通过通风换气可有效降低臭氧和氮氧化物浓度。机房设计有通风系统，通风量约  $1000\text{m}^3/\text{h}$ ，通风次数达到 7 次/h，通风效果良好。

#### （3）废气和放射性固废

该后装机发出的  $\gamma$  射线能量为  $0.316\text{MeV}$ ，正常工况下不会产生放射性废气、放射性废水。放射性固废为退役或废旧  $^{192}\text{Ir}$  放射源。

综合上述分析，后装机项目污染因子主要考虑  $\gamma$  射线、废  $^{192}\text{Ir}$  放射源。

### 9.3.2 核医学科污染源项分析

#### 9.3.2.1 $^{89}\text{Sr}$ 治疗污染因子分析

$^{89}\text{Sr}$  是纯  $\beta$  射线体, 不伴  $\gamma$  射线, 其发射的  $\beta$  射线能量较高, 在骨组织内的射程为 3mm。用于治疗  $^{89}\text{SrCl}_2$  是直接进行静脉注射, 每份用于治疗放射性液体由供应商事先分装, 预约病人后发货, 治疗时不需再分装, 可门诊治疗。

单个病人  $^{89}\text{Sr}$  用量很小, 病人治疗后离开不逗留, 无放射性废水产生。

$^{89}\text{Sr}$  治疗对工作环境造成的影响主要是注射过程中对操作台面、地面可能造成的  $\beta$  表面污染。产生的固体废弃物是医生操作戴的手套、一次性注射器等。按核素分类包装注明日期后, 存放污物间衰变柜中, 贮存 10 个半衰期后, 经监测合格后按医疗垃圾处置。

#### 9.3.2.2 SPECT-CT 和 PET-CT 放射性核素显像污染因子分析

本项目 SPECT-CT 显像使用  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素标记, PET-CT 显像使用  $^{18}\text{F}$  核素标记。

(1)  $\beta$  射线和  $\gamma$  射线:  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  在衰变过程中释放  $\beta$  射线和  $\gamma$  射线,  $\beta$  射线穿透力很弱, 在组织内辐射距离很短, 不会对环境产生明显影响,  $\gamma$  射线穿透能力很强, 会对周围环境造成一定的辐射影响;  $^{18}\text{F}$  发射的正电子与负电子相结合, 能产生湮没  $\gamma$  光子辐射, 能量为 0.511MeV。因此  $\gamma$  射线是 SPECT 和 PET-CT 显像过程主要污染因子。

(2) 表面污染: 由于操作过程可能会对工作台、地面造成放射性表面污染。

(3) 放射性废气:  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$  为非挥发性核素, 无溶液挥发, 因此无放射性废气。

(4) 放射性废水: 使用过程不产生放射性废液, 但会产生一定量的放射性废水, 主要来源于服药患者的排泄物以及冲洗用水等。SPECT 候诊区和 PET 候诊区设有患者专用卫生间, 有专用下水道通往衰变池。

(5) 放射性固废: 放射性固体废物主要来源于患者使用的一次性纸杯、药棉、纱布、手套、破碎杯皿及污染地面的物品等。按核素分类包装注明日期后, 存放污物间衰变柜中, 贮存 10 个半衰期后, 经监测合格后按医疗垃圾处置。

因此, 用  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{18}\text{F}$  核素标记显像诊断项目污染因子主要考虑  $\gamma$  射线、 $\beta$  表面污染、放射性废水和放射性固废。

#### 9.3.2.4 PET-CT 校准源 $^{68}\text{Ge}$

本项目 PET-CT 室内配套使用 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  源,  $^{68}\text{Ge}$  放射源衰变时发射出 0.511MeV 的  $\gamma$  射线是主要的污染因子。

### **9.3.3 DSA 及 SPECT-CT、PET 配套 CT**

本项目 DSA 为 II 类射线装置，PET 配套 CT 为 III 类射线装置。由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。医院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，主要污染因子为 X 射线。



表 10 辐射安全与防护

<div>10.1 项目安全设施</div> <div>10.1.1 放疗科安全设施</div> <div>10.1.1.1 工作场所平面布置及周围环境</div> <p>本项目 2 间直线加速器机房和 1 间后装治疗室均位于新建医技大楼地下二层放疗科，平面布局图见附图 8 所示。</p> <p>放疗科南侧、东侧、西侧为地下土层，北侧为核医学科，详见下图 10.1-1。各加速器机房均设计有“L”形迷路，放射治疗机房防护门均采用平开门。本项目直线加速器机房和后装机房均设置于建筑物底层，直线加速器控制室均避开有用线束直接照射到的区域。</p> <div></div> <p>放射治疗机房分布图</p> <p>图 10.1-1 放射治疗机房平面分布示意图</p> <div>10.1.1.2 辐射工作场所分区</div> <p>按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，把工作场所分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。</p> <p>控制区：以防护门为界，机房内确定为控制区，在控制区的进出口及其他适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，并设置防护门的门锁和联锁装置。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常治疗的工作过程中，区内不得有无关人</p>
--

员滞留，保障该区的辐射安全。

监督区：控制室、辅助机房和防护门内区域。对该区不采取专门的防护手段，但要定期检查其辐射剂量。

本项目后装机和直线加速器控制区为加速器机房、后装治疗室；监督区为控制室及其他与加速器机房、后装治疗室相邻的区域。两区划分图见附图 8。

### 10.1.1.3 工作场所防护屏蔽设计

本项目加速器和后装机机房四侧墙体、顶棚及地坪拟采用标准混凝土（ $\rho = 2.35\text{g/cm}^3$ ）浇注而成，顶棚上方为夯实回填土（密度取  $\rho = 1.6\text{g/cm}^3$ ），加速器防护门拟采用铅板和含硼聚乙烯制作，后装机防护门拟采用铅板制作。

表 10.1-1 放射治疗工作场所屏蔽情况一览表

项目	屏蔽体位置	屏蔽材料	屏蔽厚度
直线加速器 1 (15MV)	四周墙体	标准混凝土（ $\rho \geq 2.35\text{t/m}^3$ ）	主墙 2.9m（宽度 4m）、副墙 1.5m
	迷道墙		主墙 2.9m（宽度 4m）、副墙 1.5m
	顶盖		主墙 2.9m（宽度 4m）、副墙 1.5m
	机房门	铅板+硼石蜡（Pb $\rho$ 11.3t/m <sup>3</sup> ）	铅板 16mm 厚、硼石蜡 20cm
直线加速器 2 (15MV)	四周墙体	标准混凝土（ $\rho \geq 2.35\text{t/m}^3$ ）	主墙 2.9m（宽度 4m）、副墙 1.5m
	迷道墙		主墙 2.9m（宽度 4m）、副墙 1.5m
	顶盖		主墙 2.9m（宽度 4m）、副墙 1.5m
	机房门	铅板+硼石蜡（Pb $\rho$ 11.3t/m <sup>3</sup> ）	铅板 16mm 厚、硼石蜡 20cm
后装机房屏蔽	四周墙体	标准混凝土（ $\rho \geq 2.35\text{t/m}^3$ ）	80cm
	迷道墙		80cm
	顶盖		80cm
	机房门	铅板（Pb $\rho$ 11.3t/m <sup>3</sup> ）	6mm

### 10.1.1.4 安全防护措施

#### （2）直线加速器安全防护措施

①机房内布局要合理，避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；项目各射线装置机房屏蔽情况详见表 10.1-1，其防护能力符合相关标准要求。

②控制台上设计有紧急停机按钮，加速器机房内拟安装紧急停机按钮。

③机房拟安装门机联锁装置，门关上时方可出束，出束期间无法打开防护门，若强制开门则自动停止出束，必须重新设置才可继续出束。

④防护门上设计工作状态指示灯、电离辐射警告标志。

⑤机房内拟安装固定式辐射剂量率监测仪器。

⑥拟为所有辐射工作人员每人配备个人剂量计。

⑦通往加速器机房内的电缆、通风等管道拟避开主射线束照射区域。电缆沟从机房地平以下呈 U 型越过屏蔽墙。通风管道穿墙方式为 Z 型。

⑧门外设置电离辐射警示标志、1m 远警示红线。

还应配备便携式辐射监测仪（建议全院辐射工作场所至少配备 1 台）和个人剂量报警仪（建议加速器工作场所配备 2 台）。

同时，排风设计按照进风口和排风口“对角设置、上进下出”的原则，进风口位于防护门上方位置，排风口位于机房西南角靠近地面位置。进风管道和排风管道穿墙方式采用 Z 型。通风量不低于  $1500\text{m}^3/\text{h}$ ，加速器机房容积  $226.8\text{m}^3$  ( $9*7*3.6=226.8$ )，换气次数 6.6 次/h。

## （2）后装机安全防护措施

①机房内布局要合理，避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；项目各射线装置机房屏蔽情况详见表 10.1-1，其防护能力符合相关标准要求。

②控制台上拟设置使放射源迅速返回贮源器的应急按钮。在紧急情况下，按下按钮，可使源退回贮源罐内。

③机房拟设置门—机联锁，当在治疗时，防护门无法打开。如强制开启，则迫使放射源回到贮源罐内。门未关闭时，不能出源。

④防护门上拟设置电离辐射警告标志和声、光报警装置。出源时有声、光报警。

⑤拟在机房内安装固定式辐射剂量率监测仪器。

⑥拟为所有辐射工作人员每人配备个人剂量计。

⑦设备自带自检系统，包括机器自检、复位自检和通道自检。进行治疗前，先进行自检和模拟治疗，确保放射源通道通畅，再进行治疗。

⑧通往后装机房内的电缆沟从机房地平以下呈 U 型越过屏蔽墙。通风管道穿墙方式为 Z 型。

⑨治疗过程中，若出现故障或意外情况，利用设备自带安全系统，放射源能够自动回到贮存位。

⑩后装机房屏蔽墙必须由混凝土（ $2.35\text{t}/\text{m}^3$ ）一次浇筑，辐射防护屏蔽门应满足搭接要求（两侧门与墙体的搭接为 500mm，上下搭接为 300mm，按照搭接长度须大于等于 10 倍间隙的原则，间隙应尽量小）。

还应配备便携式辐射监测仪（建议全院辐射工作场所至少配备 1 台）、个人剂量报警仪（后装机工作场所配备 2 台，每个加速器机房配备 1 台）和固定剂量报警仪（每个加速器机房配备

一台)。

### 10.1.1.5 机房通风、电缆管线设置

#### (1) 直线加速器机房、后装机房电缆管线设置

加速器、后装机治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，电缆沟盖板采用 2mm 厚铅板覆盖；电缆从地坑出线后沿着屏蔽墙内侧到达机房或迷路，并采用“U”型路径设计，下沉后穿越外墙到达机房外与电气控制系统连接，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了泄露射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用与墙体成平面或空间  $45^\circ$  夹角的形式，或“Z”字形转折的形式，穿越墙体或顶盖。如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的铅板。电缆沟剖面细节设计见图 10.1-2。

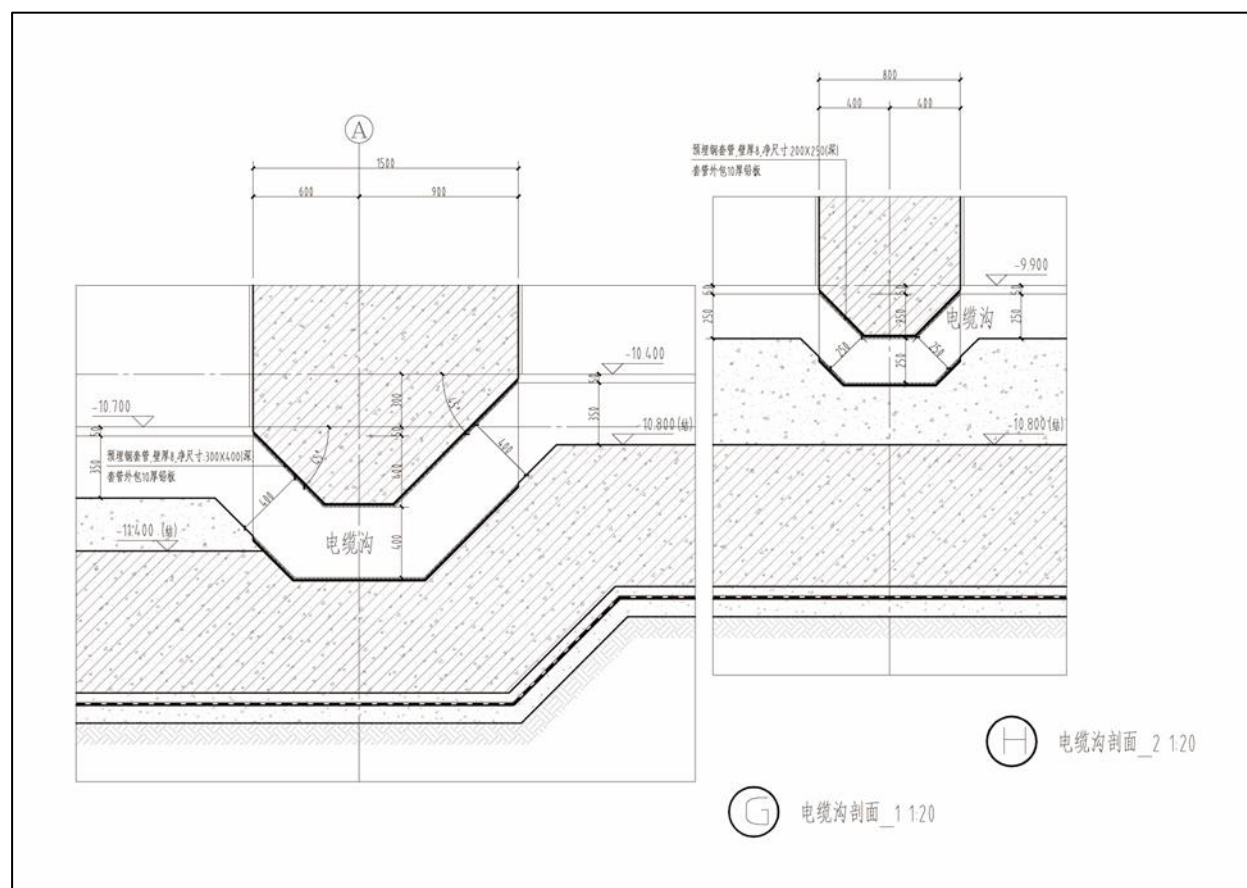


图 10.1-2 机房电缆沟穿墙剖面图

## (2) 直线加速器机房、后装机房通风设置

根据《电子加速器放射治疗防护要求》(GBZ126-2011), 加速器治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时。本项目设计采用机械通风换气, 设计换气次数不低于 6 次/小时。根据《后装  $\gamma$  源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2017), 后装机治疗室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, 本项目后装机治疗室通风换气为 7 次/小时。各机房均设置新风管道和排风管道, 新风管道从相应新风机房引出, 且从防护门上方以  $45^\circ$  穿墙进入机房, 沿着迷路走向到达机房内治疗区。排风管的风口设计在机房中进风管道的出气口对角区域。排风口设在距离地面约 300mm 位置。排风管从防护门上方以  $45^\circ$  穿过机房屏蔽墙后连接排风井至屋面排风机。通风管道剖面设计如下图所示。

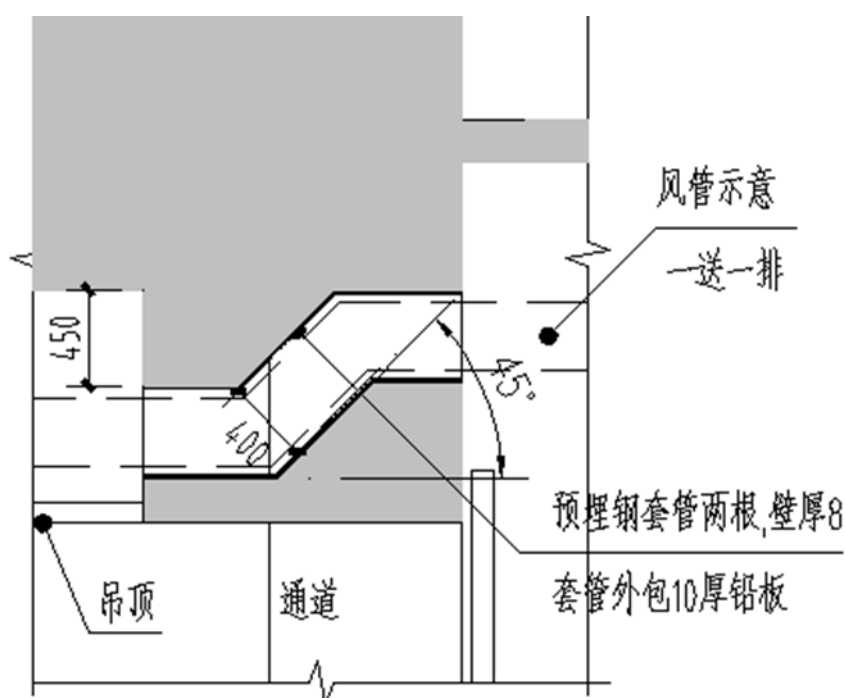


图 10.1-3 机房通风管道穿墙剖面图

## 10.1.2 核医学工作场所安全设施

### 10.1.2.1 核医学科工作场所分级及布局

#### 1、核医学科平面布局

本项目建设工程相关核医学放射工作用房包括：PET/CT、SPECT 和  $^{89}\text{Sr}$  骨转移癌治疗核医学相关工作用房等。核医学科北侧为地下车库，东侧、西侧为地下土层，南侧为放疗科。

核医学工作场所包括以下主要房间：PET/CT 机房、SPECT 机房、控制室、阅片室、分装室、源库、候诊室、注射室、给药室、注射后休息室、废物储存室等功能房间。

拟建核医学科走廊出入口防护门设置有门禁系统，满足 GBZ120-2006“控制区内走廊应避免无关人员通过。控制区除医务人员外，其他无关人员不得入内，患者也不应随便离开该区。”的要求。

拟建核医学科的药物分装、注射与扫描检查分开，候诊室内设有注射后病人专用卫生间，满足《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于临床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。

本项目核医学科和其他工作区域相邻，但不相通，与四周及上下方的非放射性工作场所完全隔开。核医学科设有独立的出入口，可避免与本职工作无关人员任意出入而受到不必要的辐射照射或扩大污染范围。

综上所述，本项目核医学科布局符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）等标准的要求，核医学科平面布局合理。

## **2、人流、物流的路径规划及合理性分析**

### **（1）医护人员路径**

①注射工作人员工作场所位于分装注射室，工作开始之前，工作人员进入核医学科医生专用入口门进入医生廊道，在廊道右手边由卫生通过间进入分装注射室取药准备注射，通过注射窗口对病人进行隔室注射。工作结束后，工作人员仍需经卫生通过间淋浴更衣，检测放射表面污染合格，才能回到非控制区域场所。卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施。核医学科工作人员完成工作后均原路返回。

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

### **（2）受检者/患者路径**

根据预约安排的时间，受检者/患者通过核医学科受检者专用入口门进入患者廊道，在患者廊道右手边注射处进行注射，注射后进入廊道右手边给药后候诊区休息、候诊，然后进入 PET/CT 机房和 SPECT 机房接受检查，在完成扫描后在留观室留观一段时间，最后通过受检者专用出口门离开核医学科。

该路径上，受检者出入口（患者廊道出入口）均设置为单向门禁，仅允许受检者单向通行。

注射后候诊室设有独立的卫生间，受检者可在专用卫生间内如厕，不随意走动。

### **(3) 放射性药品路径**

按照建设单位与送药单位的协定，放射性药物配送人员每天上班前进入核医学科由卫生通过间将预定的放射性药物送至分装注射室的通风橱内，并由专人进行交接，交接过程均在监控下进行。交接结束后，配送员由原路离开核医学区。建设单位拟制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。

放射性药物使用时，直接在分装室的通风柜内进行分装，分装好的药品在注射室的注射窗口对病人进行隔室注射。显像剂每次用量在前一天预定，当日进入、当日用完、不存放。

### **(4) 污物路径**

核医学科放射性废物在污物间进行暂存，衰变至符合清洁解控水平后，选择在下班后无病人时段，由污物间从患者廊道运输至室外，送影像中心医疗废物库集中收集后按照普通医疗废物处置。

本项目病人进、出各有单独通道，互不交叉；病人检查区域与工作人员区域相对独立，不交叉。因此，核医学科工作场所平面分布基本合理。

核医学科工作场所布局、人流与物流的规划路径见附图 9。

## **3、工作场所分区管理**

### **(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》（GB18871-2002）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；并定期检查工作状况，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。

## (2) 项目分区

结合辐射防护和环境情况特点，核医学科工作场所控制区和监督区划分见表 10.1-2。

表 10.1-2 本项目控制区和监督区划分情况

场所名称	控制区	监督区
核医学科	PET/CT 和 SPECT 机房、分装注射室、给药后候诊室、储源库、污物间、医生卫生通过间、清洁间、病人专用卫生间及患者廊道	控制室、医生办公室、给药前病人等候区、医生廊道等

核医学科工作场所分区管理示意图见附图 11 所示。

## 4、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)，日等效最大操作量计算公式为：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子；保守计算，本项目放射性核素可在同一天使用，则工作场所日等效最大操作量为  $8.88 \times 10^7 \text{Bq}$ ，根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则，本项目属于乙级非密封源工作场所。

表 10.1-3 非密封源工作场所分级表

序号	核素名称	计划最大日操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作性质修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	场所日等效最大操作量 (Bq)
1	$^{18}\text{F}$	$7.4 \times 10^9$	0.01	10	$7.4 \times 10^6$	$8.88 \times 10^7$
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.4 \times 10^9$	0.01	10	$7.4 \times 10^6$	
3	$^{89}\text{Sr}$	$7.4 \times 10^8$	0.1	1	$7.4 \times 10^7$	

## 5、工作场所防护屏蔽设计

本项目核医学科工作场所包括 PET/CT 机房及候检室、SPECT 机房及候检室、分装注射室、源库等，其屏蔽设计参数详见表 10.1-4。

表 10.1-4 核医学工作场所屏蔽防护措施设计方案

核医学工作场所	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度 (mmPb 当量)
分装室	四侧墙体	多孔页岩砖墙+4cm 射线防护涂料 (4)
	顶棚	25cm 混凝土+4cm 射线防护涂料 (6)
	注射窗	50mm 厚铅玻璃 (8mmPb 当量)，注射平台下有 8mmPb 当量防护屏蔽
	防护门	内衬 4mm 铅板 (4)
注射室	四侧墙体	多孔页岩砖墙+4cm 射线防护涂料 (4)
	顶棚	25cm 混凝土+4cm 射线防护涂料 (6)
	注射窗	50mm 厚铅玻璃 (8mmPb 当量)，注射平台下有 8mmPb 当量防护屏蔽



	防护门		内衬 4mm 铅板（4）
储源室 （废物间）	四侧墙体		多孔页岩砖墙+2cm 射线防护涂料（2）
	顶棚		25cm 混凝土+4cm 射线防护涂料（6）
	防护门		内衬 3mm 铅板（3）
患者卫生间	四侧墙体		多孔页岩砖墙+4cm 射线防护涂料（4）
	顶棚		25cm 混凝土+4cm 射线防护涂料（6）
	防护门		内衬 4mm 铅板（4）
留观室	四侧墙体		多孔页岩砖墙+4cm 射线防护涂料（4）
	顶棚		25cm 混凝土+4cm 射线防护涂料（6）
	防护门		内衬 2mm 铅板（2）
PET-CT 候诊室	四侧墙体		多孔页岩砖墙+4cm 射线防护涂料（4）
	顶棚		25cm 混凝土+4cm 射线防护涂料（6）
	防护门		内衬 2mm 铅板（2）
SPECT 候诊室	四侧墙体		多孔页岩砖墙+4cm 射线防护涂料（4）
	顶棚		25cm 混凝土+4cm 射线防护涂料（6）
	防护门		内衬 2mm 铅板（2）
PET-CT 扫描室	四侧 墙体	东侧 （控制室）	24cm 实心砖墙+7cm 射线防护涂料（9）
		西侧	24cm 实心砖墙+5cm 射线防护涂料（7）
		南侧	24cm 实心砖墙+5cm 射线防护涂料（7）
		北侧	24cm 实心砖墙+5cm 射线防护涂料（7）
	顶棚		25cm 混凝土+4cm 射线防护涂料（6）
	工作人员防护门		内衬 5mm 铅板（5）
	受检者防护门		内衬 5mm 铅板（5）
	观察窗		40mm 厚铅玻璃（6mmPb 当量）
SPECT 机房	四侧 墙体	东侧 （控制室）	24cm 实心砖墙+7cm 射线防护涂料（9）
		西侧	24cm 实心砖墙+5cm 射线防护涂料（7）
		南侧	24cm 实心砖墙+5cm 射线防护涂料（7）
		北侧	24cm 实心砖墙+5cm 射线防护涂料（7）
	顶棚		25cm 混凝土+4cm 射线防护涂料（6）

	工作人员防护门	内衬 3mm 铅板 (3)
	受检者防护门	内衬 3mm 铅板 (3)
	观察窗	25mm 厚铅玻璃 (3mmPb 当量)
核医学科病人走廊	入口防护门	内衬 6mm 铅板 (6)
	出口防护门	内衬 6mm 铅板 (6)
	顶棚	25cm 混凝土+4cm 射线防护涂料 (6)

**表 10.1-5 SPECT/CT 和 ECT 机房设计使用面积与评价一览表**

机房名称	使用面积 (最小单边长)	标准要求 (最小单边长)	符合性
SPECT 机房	50.0m <sup>2</sup> (6.1m)	30m <sup>2</sup> (4.5m)	符合
PET/CT 机房	50.0m <sup>2</sup> (6.1m)		符合

## 6、安全防护措施

### (1) 辐射安全措施

1) PET-CT 机房、SPECT 机房各设置门灯联锁装置 1 套, 机房与控制室之间拟设置对讲装置与监视器。

2) 在 PET-CT 机房防护门、SPECT 机房防护门、候诊室防护门、留观室防护门、分装注射室防护门、储源室 (废物间) 防护门、通风柜、衰变桶等处设置电离辐射警告标志; 在 PET-CT 机房防护门上方、SPECT 机房防护门上方、注射室防护门上方安装工作状态指示灯。

3) 射线装置运行过程中, X 射线与空气作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体, 机房拟设置动力排风装置, 并保持良好的通风。

4) 候诊室设置患者专用厕所, 分装室设有清洗池, 放射废水通过专设管线流向衰变池。

### (2) 防护设备与防护用品

1) 专用通风柜 1 个, 40mmPb。

2) 防护屏风 5 个, 20mmPb (2 个), 10mmPb (3 个)。

3) 铅污物桶 5 个, 铅衰变暂存容器 2 个。

4) 表面污染监测仪 1 台, 环境辐射巡测仪 1 台, 个人剂量报警仪 4 个。

5) 铅橡胶性腺防护围裙 (方形) 或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 6 件 ( $\geq 0.5\text{mm}$  铅当量); 铅防护衣 6 件 ( $\geq 0.5\text{mm}$  铅当量)。

### (3) 放射性药物的存放

本项目核医学科使用的  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  由供药单位派专人直接送至核医学科储源室, 储

源室防护门拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管，双人双锁；储源室由值班人员 24 小时监控，拟安装摄像头及红外报警系统且并入医院监控系统。

#### **环评要求：**

- 1) 储源室内不得有人居住或储存易燃易爆和其它危险物品；
- 2) 制定严格的安全管理制度，制度上墙并认真贯彻执行，做好防盗、防水、防火、防丢失等工作，有 24 小时的保安监控；
- 3) 值班监控：为防止放射性药品的丢失、被盗和被抢，储源室内设置红外线报警系统；
- 4) 消防安全：储源室内配置干粉灭火器，建筑物耐火等级按 2 级设计。
- 5) 防恐怖分子破坏或袭击：从设施上加强技术防范，如加强监视系统和报警系统建设；从管理上强化防恐意识，使不法分子或恐怖分子的破坏或袭击不能得逞。
- 6) 辐射屏蔽措施：本项目放射性药物集中暂存于储源室内。通过采取药物铅罐屏蔽及相应屏蔽厚度的屏蔽墙体、含铅屏蔽门、保险箱等辐射屏蔽措施后，可有效屏蔽  $\gamma$  射线辐射。

#### **(4) 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》（GB18871-2002）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，须在有负压的通风柜内进行，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。

#### **(5) 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 及 SPECT 机房内拟为受检者配备个人防护用品，如铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等。

②时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

## 3) 其他人员防护

①屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚及地坪、防护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。

## (6) 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通风柜内进行，通风柜操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。通风柜底部拟设有铅废物桶，用于暂时收集放射性废物，装满后的废物置于废物间暂存。

放射性药物在注射过程中医生应做好个人防护措施，包括穿戴铅衣、铅帽、铅手套和铅围脖等，均具备 0.5mmPb 当量， $^{18}\text{F}$  注射操作台拟采用 50mm 厚铅玻璃防护，并在注射位挡一厚度约 8mmPb 当量的挡板， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  注射操作台拟采用 50mm 厚铅玻璃防护，并在注射位挡一厚度约 8mmPb 当量的挡板。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候诊室。

### 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， $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  注射病人要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在候诊室、留观室驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封放射性物质工作场所，同时要求病人在注射后观察期内禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入候诊室的专用厕所，留观室内无放射性废水管线，病人呕吐物由铅罐收集后，倒入 PET-CT 候诊室专用厕所，最终排入本项目拟建衰变池。

### 10.1.3 介入放射科

#### 1、工作场所平面布局

本项目共有 2 间 DSA 机房，分布在医技楼二楼放射科北侧。DSA 工作场所平面分布示意图见附图 12。DSA 场所周围分布情况见表 10.1-6。

表 10.1-6 DSA 机房位置及周围分布情况

序号	机房名称	机房位置	机房周围分布情况	
1	DSA1	医技楼二楼放射科	上	超声科用房
			下	急诊药房
			东	控制室
			南	病人走廊
			西	设备间及病人走廊过道
			北	病人缓冲及进出门
2	DSA2	医技楼二楼放射科	上	超声科用房
			下	急诊 CT、控制室
			东	污洗、医废、设备
			南	更衣、MR
			西	控制室
			北	患者走道

#### 2、工作场所分区

医院按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求，把工作场所分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：以防护门为界，在控制区的进出口及其他适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常治疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。

监督区：机房相关控制室、各机房防护门、墙体、顶盖、地坪等区域。对该区不采取专门的防护手段，但要定期检查其辐射剂量。

本项目控制区为 2 间 DSA 机房；监督区为控制室及其他与 DSA 机房相邻的区域。

#### 3、工作场所防护屏蔽设计

本项目 DSA 机房设计使用面积及最小单边长详见表 10.1-7，实体屏蔽设计详见表 10.1-8。

表 10.1-7 DSA 机房设计使用面积与评价一览表

机房名称	使用面积	标准要求（最小单边长）	符合性
DSA1 机房	7.7m×5.5m(42.3m <sup>2</sup> )	20m <sup>2</sup> (3.5m)	符合
DSA2 机房	7.2m×5.5m(39.6m <sup>2</sup> )		符合

表 10.1-8 射线装置机房屏蔽设防护参数

机房名称	屏蔽体		屏蔽防护材料及规格（铅当量：mmPb）	标准要求	是否符合要求
DSA1	墙体	东侧（控制室）	多孔页岩砖墙+4cm 射线防护涂料+2mm 厚铅板（6）	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2mmPb	是
		南侧	多孔页岩砖墙+2cm 射线防护涂料+2mm 厚铅板（4）		
		西侧	多孔页岩砖墙+2cm 射线防护涂料+2mm 厚铅板（4）		
		北侧	多孔页岩砖墙+2cm 射线防护涂料+2mm 厚铅板（4）		
	顶棚		12cm 混凝土板+2cm 射线防护涂料（3）		
	地坪		12cm 混凝土板+2cm 射线防护涂料+12cm C20 细石混凝土（4）		
	防护门		彩钢面板 4mmPb 当量（4）		
	观察窗		20mm 厚铅玻璃（4）		
DSA2	墙体	东侧	多孔页岩砖墙+2cm 射线防护涂料+2mm 厚铅板（4）	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2mmPb	是
		南侧	多孔页岩砖墙+2cm 射线防护涂料+2mm 厚铅板（4）		
		西侧（控制室）	多孔页岩砖墙+4cm 射线防护涂料+2mm 厚铅板（6）		
		北侧	多孔页岩砖墙+2cm 射线防护涂料+2mm 厚铅板（4）		
	顶棚		12cm 混凝土板+2cm 射线防护涂料（3）		
	地坪		12cm 混凝土板+2cm 射线防护涂料+12cm C20 细石混凝土（4）		
	防护门		彩钢面板 4mmPb 当量（4）		
	观察窗		20mm 厚铅玻璃（4）		

由上表可知，本项目 DSA 机房有效使用面积和屏蔽防护设计均满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）相关要求。

#### **4、安全防护措施**

##### **(1) 设备固有安全性**

本项目 DSA 购买于正规厂家，设备各项安全措施齐备，仪器本身采取了多种安全防护措施：

1) 采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉与余辉，起到消除软 X 射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

2) 采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适的铜过滤板，以消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应 DSA 不同应用时所可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和铜过滤板。

3) 采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

4) 采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留于监视器上显示（即称之为图像冻结），利用此方法可以明显缩短总透视时间，以减少不必要的照射。

5) 正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能由“启动”键启动照射；同时在操作台和床体上均设置有“紧急止动”按钮一旦发现异常情况，工作人员可立即按下此按钮来停止照射。

6) 机房门有闭门装置，且工作状态指示灯与机房门联锁。

##### **(2) 安全装置**

1) 门灯联锁：DSA 机房防护门外顶部设置工作状态指示灯。防护灯为红色，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯灭。

2) 紧急止动装置：控制台上、介入手术床旁设置紧急止动按钮（各按钮分别与 X 射线系统连接）。DSA 系统的 X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任一个紧急止动按钮，均可停止 X 射线系统出束。

3) 操作警示装置：DSA 系统的 X 射线系统出束时，控制台上的指示鸣器发出声音。

4) 对讲装置：在 DSA 机房与控制室之间安装对讲装置，控制室的工作人员通过对讲机与 DSA 机房内的手术人员联系。

5) 警告标志：DSA 机房的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

##### **(3) 介入手术过程人员防护**

1) 本项目每台 DSA 装置拟配备铅衣 5 套、铅围脖 5 件、铅围裙 5 件、铅帽子 5 件、铅手

套 5 副、铅眼镜 5 副，个人防护用品具有 0.5mm 厚铅当量。

2) 本项目每台 DSA 装置拟配备铅悬挂屏 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。

3) 应根据实际情况，对病人病灶以外的部位进行遮盖，防护用品具有 0.5mm 厚铅当量。

4) 在满足诊断要求的前提下，每次使用 DSA 进行诊疗之前，应根据诊疗要求和病人实际情况制定最优化的诊疗方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

5) 本项目 DSA 辐射工作人员必须配备个人剂量计。

## 10.2 三废的治理

### 10.2.1 放疗科

#### (1) 直线加速器

##### 1) 废水

电子加速器采用水冷却方式，冷却水是在封闭的系统中循环利用，不外排，因此不涉及放射性废水的排放。

##### 2) 废气

加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生少量臭氧等有害气体。本项目加速器治疗室设计采用机械通风，新风管道拟由防护门上方顶板进入加速器机房，绕经迷道进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30~40cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处，由防护门上方通往室外，风管拟以“Z”字型穿过迷路外墙。能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

##### 3) 固废

速器正常运行时，无废靶产生，如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶。此外，加速器报废时，会有废靶产生。对于更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，由设备厂家回收。

#### (2) 后装机治疗项目

##### 1) 废气

后装机放射源产生的  $\gamma$  射线与空气作用会产生少量臭氧等有害气体，医院设计采用机械通风换气，新风管道拟由防护门上方顶板进入后装机机房，绕经迷道进入治疗室，送风口布排在



装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30~40cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处，由防护门上方通往室外，风管拟以“Z”字型穿过迷路外墙，对周边环境影响十分有限。

## **2) 放射性固体废物**

该项目后装机运行过程中不产生放射性固体废弃物，但经过一定使用年限后，会产生报废或退役  $^{192}\text{Ir}$  放射源。 $^{192}\text{Ir}$  放射源退役后，废源仍具有较大活度，医院拟与设备供应商签订合同，放射源报废退役后由生产厂家回收统一处理。

### **10.2.2 核医学科**

#### **(1) 放射性废水**

本项目核医学工作场所工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液以及患者冲洗排便用水。

核医学产生的放射性废水均排放至地下二层放射性废水处理间下方核医学科衰变池内。共设三放射性衰变池，其中 2 个衰变池有效容积为  $8.6\text{m}^3$ ，另一个衰变池效容积为  $9.03\text{m}^3$ ，3 个不锈钢衰变池材质坚固、耐酸碱腐蚀，无渗透性，满足《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009) 5.1.1 款相关规定，放射性废液衰变系统采用“并联”排放，配置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，待十个以上半衰期后放射性水平降至豁免值以下进行排放，排放指标为总  $\beta < 10\text{Bq/L}$ 。

#### **1) 核医学放射性废水收集管线**

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入放射性废液衰变系统，在放射性废液衰变系统内进行粉碎、降解、衰变、取样、监测等过程。当衰变后的废水经放射性废液衰变系统的取样监测单元检测达标后，排入医院污水处理系统。核医学废水处理流程示意图见图 10.2-1。

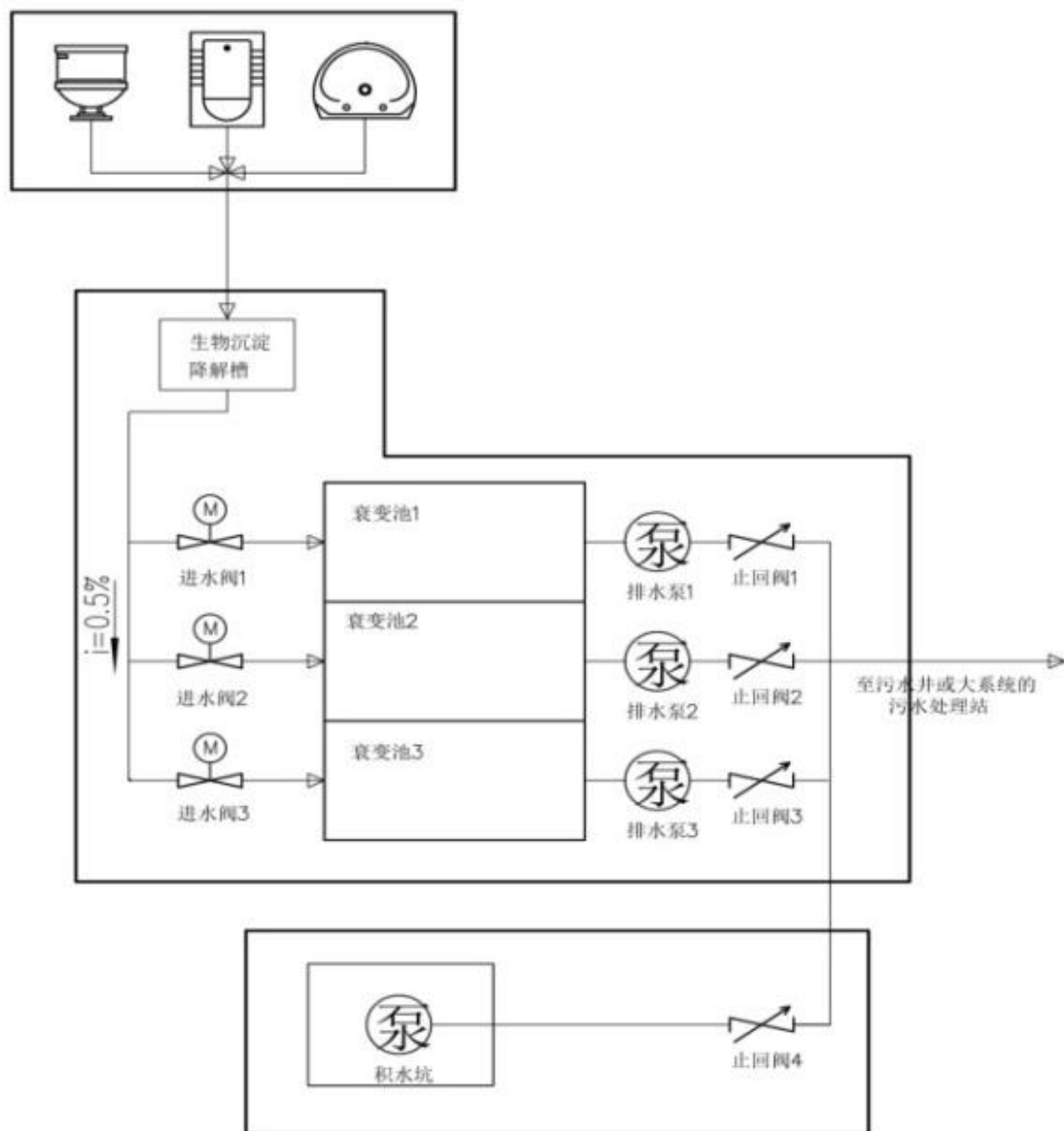


图 10.2-1 核医学科放射性废水处理系统流程示意图

核医学科放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能。本项目的放射性废水管道拟采用金属管并用铅板进行屏蔽防护。

留观室内无放射性废水管线，病人呕吐物由铅罐收集后，倒入 PET-CT 候诊室专用厕所。

## 2) 放射性废液衰变池

本项目 PET/CT 检查项目病人数量平均 16 人/天，最大人数不超过 20 人/天，SPECT 检查项目病人平均 8 人/天，最大人数不超过 10 人/天，假设病人每次诊断期间使用厕所产生 5L 废水，则其每天产生含  $^{18}\text{F}$  最大废水量为 100L ( $0.1\text{m}^3$ )；则其每天产生含  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  最大废水量为 50L ( $0.05\text{m}^3$ )。同时核医学科卫生通过间内医生会有少量应急冲淋及清洗用水，废水中包含本项目

$^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素，废水日最大排放量约 20L ( $0.02\text{m}^3$ )， $^{89}\text{Sr}$  治疗过程中无废水产生，因此本项目最大放射性废水量为  $0.17\text{m}^3/\text{d}$ 。

核医学产生的放射性废水均排放至地下二层放射性废水处理间下方核医学科衰变池内。共设三放射性衰变池，其中 2 个衰变池有效容积为  $8.6\text{m}^3$ ，另一个衰变池效容积为  $9.03\text{m}^3$ 。放射性废液衰变系统采用“并联”排放。衰变池进水管上设电动阀，出水采用排污泵排出。运行时先关闭第二、三衰变池进水管上电动阀，打开第一衰变池进水管上的电动阀，使废水进入第一衰变池；待第一衰变池达到设计液位后，打开第二衰变池进水管上的电动阀，关闭第一衰变池进水管上的电动阀，使废水进入第二衰变池；按照同样的操作方法，使废水依次进入第三衰变池；待第三衰变池达到设计液位后，关闭第三衰变池进水管上的电动阀，打开第一衰变池排水管上的电动阀与衰变池排污泵，将经过衰变后的废水排入医院污水管网。

根据衰变池的容积可计算出装满第一个衰变池需要 50 天，装满第二个衰变池需要 50 天，装满第 3 个衰变池需要 53 天，第三个衰变池装满时，第一个衰变池已衰变 103 天。放射性废水中含有的放射性核素为  $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ， $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  半衰期相对较短，该方案能够满足核医学科排放的放射性废水在衰变池停留足够时间，并经检测合格后排入医院污水处理站处理的要求。为了便于采样检测，衰变池需在合适位置预留采样口。

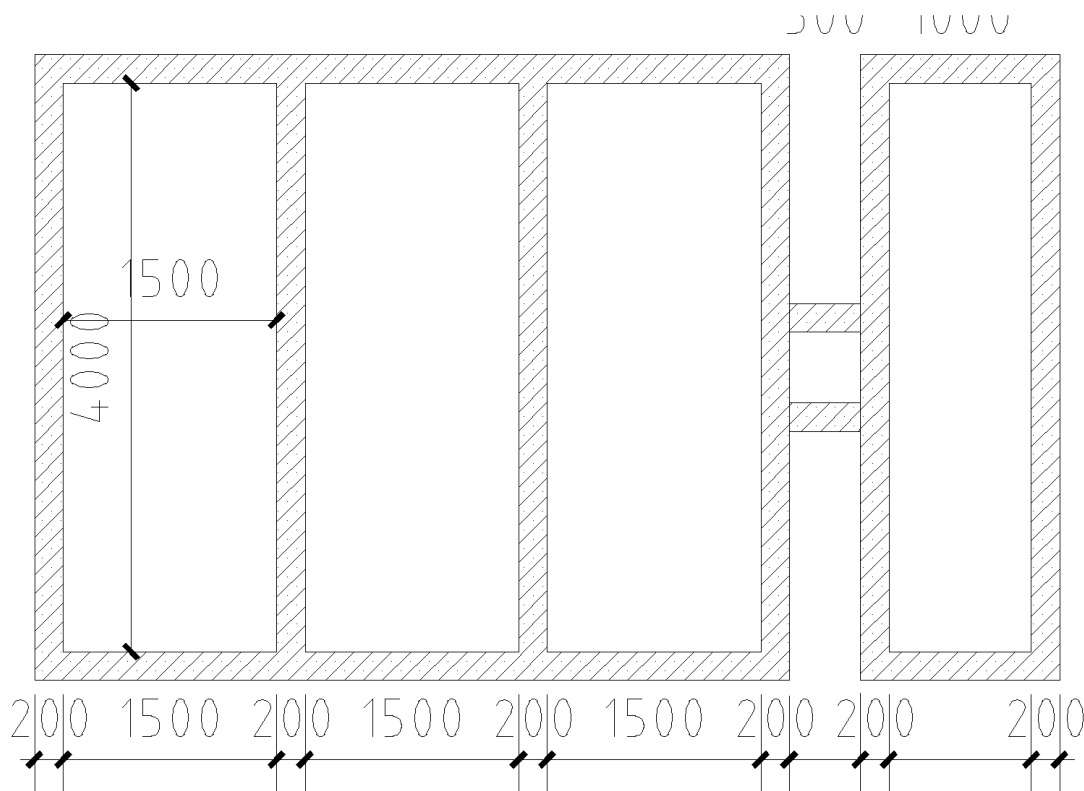


图 10.2-2 核医学科放射性废液衰变系统设计图

### 3) 环评要求

①规定患者诊疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

②专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

#### (2) 废气

本项目核医学科设有通风换气系统，排风管道共分为两路，一路连接分装室内的通风柜，另外一路连接 PET-CT 候诊室、SPECT 候诊室、储源室（废物间）、分装注射室、SPECT 机房、PET-CT 机房、病人走廊、留观室，风管线均从就近的排风井引自新建门急诊医技大楼楼顶排放。

#### (3) 放射性固废废物

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生的污染物的注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品等放射性废弃物。

根据本项目开展方案， $^{18}\text{F}$  诊断每年为 4000 人次， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  诊断每年为 2000 人次， $^{89}\text{Sr}$  治疗每年为 1250 人，类比浙江同类型医院核医学科开展情况，患者门诊诊疗过程放射性固废产生量约 0.05kg/人次，经估算， $^{18}\text{F}$  诊断每年产生放射性固废 200kg（每天产生放射性固废 1.0kg）， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  诊断每年产生放射性固废 100kg（每天产生放射性固废 0.5kg）， $^{89}\text{Sr}$  治疗每年产生放射性固废 62.5kg（每天产生放射性固废 0.3125kg），核医学科放射性固废产生量为 362.5kg/年。

核医学科共设置 5 个铅桶，污物暂存间设有 2 个衰变容器，铅桶和衰变柜表面注明所贮存核素名称，并将含核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{89}\text{Sr}$  的放射性核素分类收集并按日期分类标注，收集的固废分别放置于衰变柜中衰变 10 个以上半衰期。环评要求医护人员将收集的放射性废物按类别转移至废物暂存间衰变容器内。

医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所铅污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，及时转运暂存于污物暂存间的铅衰变柜内，待衰变十个以上的半衰期符合清洁解控水平（GBZ133-2009 附录 B）后，按照医疗废物处置。

本次评价建议将含核素  $^{18}\text{F}$  的放射性固废每天集中收集并在贮存在铅衰变柜中衰变 2 天，然后按照医疗废物处置；含核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的放射性固废每天集中收集并在贮存在铅衰变柜中衰变 3 天，然后按照医疗废物处置；含核素  $^{89}\text{Sr}$  的放射性固废集中收集并用专用包装袋收集并集中贮存在铅衰变柜中衰变 17 个月，然后按照医疗废物处置，这样三种核素均可满足贮存 10 个半衰期以上的要求。

### 10.2.3 DSA 及其他Ⅲ类射线装置

DSA 装置诊疗过程使用的造影剂不含放射性；DSA 装置及 PET-CT 等Ⅲ类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。

DSA 装置、PET-CT 在曝光过程中产生的少量臭氧经空调新风系统换气处理后对环境影响极小。

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

#### 11.1.1 施工期环境影响分析

浙江省立同德医院已委托浙江大学编制了《浙江省立同德医院门急诊大楼改建工程项目环境影响报告表》。有关主体工程施工期环境影响内容详见《浙江省立同德医院门急诊大楼改建工程项目环境影响报告表》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。

#### 11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

环评要求设备的安装、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 运行阶段辐射环境影响分析

#### 11.2.1 辐射工作人员剂量估算

##### 1、放射性同位素无屏蔽时剂量率计算

$$D = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \quad (\text{公式 11-1})$$

式中 D:  $\gamma$  辐射剂量率水平

A: 辐射源放射性活度

$\Gamma$ : 各种核素的  $\gamma$  照射率常数

R: 预测点离源的距离

##### 2、辐射工作人员与公众所照射的辐射年剂量

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

$$H_{E.r} = D_{\gamma} \times t \times 0.7 \times 10^{-6} (mSv) \quad (\text{公式 11-2})$$

其中： $H_{E.r}$ : X 射线外照射致人均年有效剂量当量，mSv/a；

$D_{\gamma}$ : 为 X 辐射空气吸收剂量率, nGy/h;

$t$ : 为 X 射线照射时间, h/a;

0.7: 为剂量换算系数, Sv/Gy。

本项目辐射工作人员为放疗科辐射工作人员 2 名、核医学科辐射工作人员 10 名和放射科 DSA 诊疗辐射工作人员 2 名, 放疗科、核医学科和放射科工作人员互不交叉。

## 12.2.2 放疗科射线装置及放射源应用环境影响分析

### 12.2.2.1 医用直线加速器环境影响分析

#### (1) 类比监测分析

为分析该医院拟建的 15MV 直线加速器建成后运行期的辐射影响, 本报告选用瑞安市人民医院的 15MV 直线加速器运行时的辐射环境检测情况进行类比。其可比性分析详见表 11.2-1。

表 11.2-1 直线加速器类比情况一览表

医院 指标		本项目 1 号直线加速器 机房	本项目 2 号直线加速器 机房	瑞安市人民医院
最大能量		X 射线: 15MV 电子线: 20MeV	X 射线: 15MV 电子线: 20MeV	X 射线: 15MV 电子线: 22MeV
防护 设施	防护门	铅板+硼石蜡, 铅板 16mm 厚、硼石蜡 20cm	铅板+硼石蜡, 铅板 16mm 厚、硼石蜡 20cm	铅-石蜡 (含硼) 18mm
	主防护墙	2900mm 标准混凝土	2900mm 标准混凝土	2800mm 标准混凝土
	次防护墙	1500mm 标准混凝土	1500mm 标准混凝土	东侧副防护墙 1600mm 标准混凝土, 西侧副防护墙 1200mm 标准混凝土; 南、北侧副防护墙厚度为 1500mm 标准混凝土
	顶棚	主防护区域: 2900mm 标准混凝土; 副防护区域: 1500mm 标准混凝土	主防护区域: 2900mm 标准混凝土; 副防护区域: 1500mm 标准混凝土	1600mm 标准混凝土, 加速器 正对房顶为 2800mm 标准混凝土
	迷道	内墙: 2900mm、1500mm 标准混凝土 外墙: 1500mm 标准混凝土	内墙: 2900mm、1500mm 标准混凝土 外墙: 1500mm 标准混凝土	1200mm 标准混凝土
机房面积		63	63	72 (不含迷道)

由类比情况一览表可知, 本项目拟建的直线加速器和类比项目技术参数和防护水平相当, 具有很好的可比性, 因此可用瑞安市人民医院现有的 15MV 直线加速器运行情况说明本项目建成后对周围环境的辐射影响。类比监测数据引用瑞安市人民医院 15MV 直线加速器的竣工

环境保护验收监测数据，类比监测工况：发射 6MV 的 X 射线和最大 15MV 的 X 射线。

类比监测结果见表 11.2-2，监测点位图见图 11.2-1。

表 11.2-2 直线加速器类比监测结果

序号	检测点位	辐射剂量率（nGy/h）			
		设备停机状态		设备运行状态	
		平均	标准差	平均	标准差
1	治疗控制室北部（15MV 的 X 射线）	114	3	132	6
	治疗控制室北部（6MV 的 X 射线）			112	4
2	治疗控制室东部（15MV 的 X 射线）	86	2	136	3
	治疗控制室东部（6MV 的 X 射线）			94	2
3	治疗控制室中央（15MV 的 X 射线）	118	4	145	2
	治疗控制室中央（6MV 的 X 射线）			118	5
4	泵房（15MV 的 X 射线）	106	4	117	4
5	电气辅房（15MV 的 X 射线）	119	5	137	3
6	治疗控制室门口（15MV 的 X 射线）	127	3	191	11
7	治疗室门口（15MV 的 X 射线）	82	2	686	30
	治疗室门口（6MV 的 X 射线）			80	1
8	治疗室北边走廊（15MV 的 X 射线）	91	4	250	5
9	治疗室南边（15MV 的 X 射线）	117	4	137	3
10	治疗室东边制氧房（15MV 的 X 射线）	85	1	105	4
11	治疗室顶层废品库（15MV 的 X 射线）	114	3	129	2
11	治疗室距设备表面 1m 处	775	62	--	--

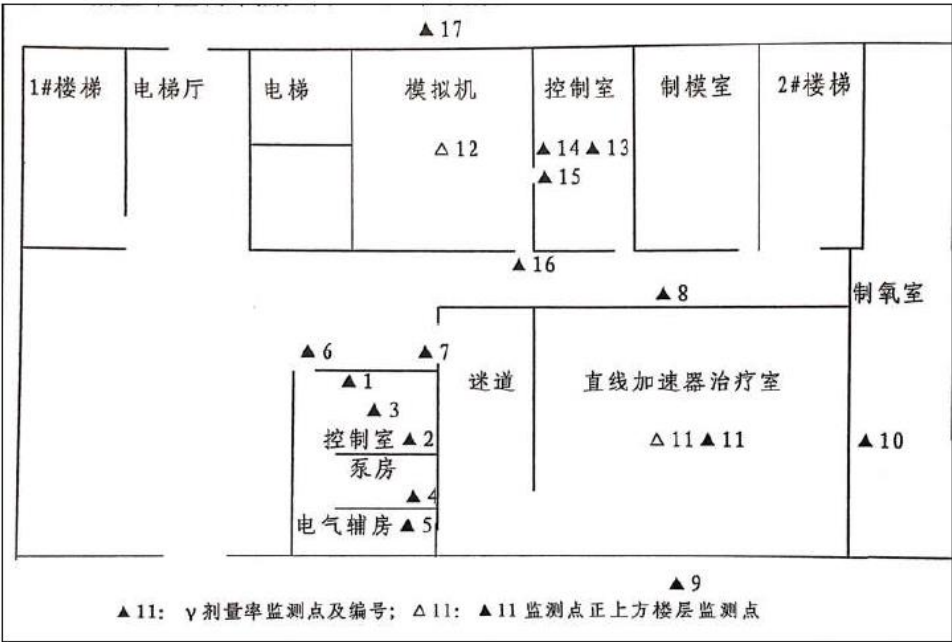


图 11.2-1 类比项目 X-γ 辐射剂量率监测布点示意图

瑞安市人民医院现有的 15MV 直线加速器运行中子辐射剂量当量率监测结果见表 11.2-3。



表 11.2-3 类比项目中子辐射剂量当量率监测结果

序号	检测点位置	剂量当量率（μSv/h）	
		关机	开机
			15MV 的 X 射线
1	直线加速器治疗室北边走廊	<LLD	0.1
2	直线加速器治疗室门口	<LLD	0.9
3	直线加速器控制室	<LLD	0.1
4	直线加速器治疗室南边	<LLD	0.1
5	直线加速器治疗室东边	<LLD	0.1
6	直线加速器治疗室顶楼内	<LLD	0.1

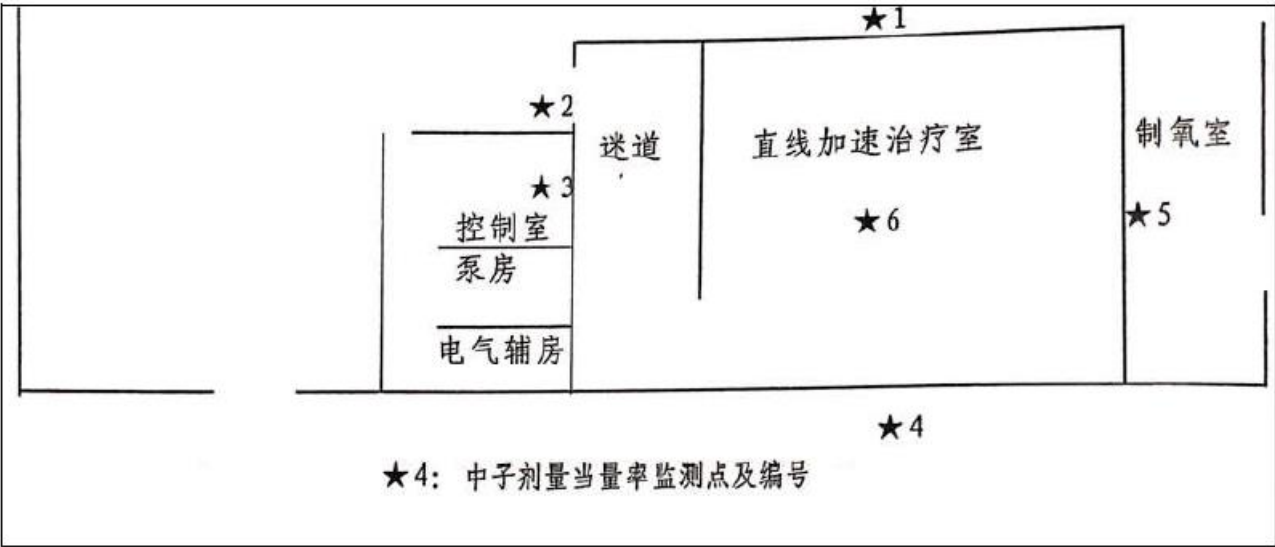


图 11.2-2 类比项目中子辐射剂量当量率监测布点示意图

根据表 11.2-2 监测结果可知，瑞安市人民医院现有 15MV 直线加速器在常规运行工况（发射 6MV 的 X 射线）下，监测点位 X 射线剂量率与关机时监测结果比较，在仪器正常涨落水平范围内，未见升高；在 15MV 工况下，除治疗室门口 X 射线剂量率明显升高外，其他监测点 X 射线剂量率与关机时的监测结果比较，未有明显变化。

治疗室距设备表面 1m 处辐射剂量率为 775nGy/h，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）“感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 1m 处不得超过 20 μSv/h”的要求。

由表 11.2-3 监测结果可知，各监测点位中子剂量当量率在 15MV 运行工况下，符合周围剂量当量率控制要求(2.5 μSv/h)。

由瑞安市人民医院现有 15MV 直线加速器的竣工验收监测结果可知，本项目直线加速器治疗室的屏蔽防护设计能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的要求。

## (2) 年有效剂量估算

### 1) 辐射工作人员

辐射工作人员受到的照射主要是工作人员每天开机照射和在加速器旁为每位患者摆位时接收的照射。根据类比检测结果,选取类比项目东侧控制室操作位墙外 30cm 处的检测结果作为类比辐射剂量率,①工作人员每天开机照射约为 60 人次,每次照射时间平均为 20 分钟;②直线加速器工作人员全年约有 260 个工作日,所有工作由 2 名医生完成,考虑分工差异,辐射工作人员个体的最大工作量取其总量的 2/3。

由公式(11-2)可以计算出 15MV 直线加速器工作人员在正常工况所受的附加年有效剂量约为 **0.05mSv**, 低于辐射工作人员职业照射的剂量管理限值 (**5mSv**), 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“职业照射剂量限值”的要求。

本项目东、西两侧及顶棚主防护区墙厚均为 2900mm 现浇混凝土,大于类比项目主射方向墙厚,因此根据类比监测估算结果,本项目各侧主防护区墙体的防护效果均能使辐射工作人员在正常运行工况所受的附加年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“职业照射剂量限值”的要求。

### 2) 公众成员

由表 11.2-2 的 X- $\gamma$  辐射剂量率和表 11.2-3 中子辐射剂量当量率类比检测结果可知:在正常使用条件下,机房周围及楼上非辐射工作人员和公众成员活动范围内 X- $\gamma$  辐射剂量率和中子辐射剂量当量率与未开机时相比虽略有升高,但仍符合《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)的要求。非辐射工作人员、公众成员和敏感点受到的额外照射剂量限值均能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中年有限剂量管理限值的相关要求。

## (3) 直线加速器机房防护合理性分析

根据医院提供的设计方案,对照《医用电子加速器卫生防护标准》(GBZ126-2011)的符合性分析如表 11.2-4 所示。

表 11.2-4 直线加速器机房辐射防护合理性分析

项目	实际设计情况	标准要求	是否满足要求
机房屏蔽设计	有用线束直接投照的防护墙(包括天棚)按初级辐射屏蔽要求设计,其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计。	有用线束直接投照的防护墙(包括天棚)按初级辐射屏蔽要求设计,其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计。辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T 201.2-2011 的要求。	满足
穿墙导管	控制电缆采用下穿式接入控制室,深 250mm	穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。	满足

监视与对讲	治疗室和控制室之间应安装监视和对话设备。	治疗室和控制室之间应安装监视和对话设备。	满足
室内面积	治疗室面积 63m <sup>2</sup>	治疗室应有足够使用面积，新建治疗室不应小于 45m <sup>2</sup> 。	满足
防护门与迷路	直加室均设有防护门与迷路，防护门与直加联锁。	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。	满足
标志、指示灯	防护门上安装“工作中”警示灯，张贴“小心电离辐射”指示牌。	相关位置应安装醒目的放射指示灯及辐射标志。	满足
换气	治疗室面积约 63m <sup>2</sup> ，高 3.6m，机房有效容积约为 226.8m <sup>3</sup> ，机房设计换气量为 1500m <sup>3</sup> /h，每小时换气约为 6.6 次。	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h	满足

### 11.2.2.2 后装机环境影响分析

#### 1、类比监测分析

为分析该医院拟建的<sup>192</sup>Ir 后装机建成后运行期的辐射影响，本报告选用金华广福医院的<sup>192</sup>Ir 后装机运行时的辐射环境检测情况进行类比。其可比性分析详见表 11.2-5。

表 11.2-5 后装机类比情况一览表

医院		本项目 <sup>192</sup> Ir 后装机	金华广福医院 <sup>192</sup> Ir 后装机
放射性活度 (Bq)		3.7×10 <sup>11</sup>	3.7×10 <sup>11</sup>
防护设施	防护门	6mm 铅当量	6mm 铅当量
	四侧墙体	80cm 标准混凝土	55cm 标准混凝土
	顶棚	80cm 标准混凝土	55cm 标准混凝土
机房面积		27.6m <sup>2</sup>	27m <sup>2</sup>

由类比情况一览表可知，本项目拟建的<sup>192</sup>Ir 后装机和类比项目技术参数相同，屏蔽厚度大于类比项目，具有很好的可比性，因此可用金华广福医院的<sup>192</sup>Ir 后装机运行情况说明本项目建成后对周围环境的辐射影响。类比监测结果见表 11.2-6，监测点位图见图 11.2-3。

表 11.2-6 后装机类比监测结果

序号	检测点位	辐射剂量率 (nGy/h)			
		未出源		出源	
		平均	标准差	平均	标准差
1	后装机北侧操作位控制位	163.0	1.4	161.7	4.9
2	后装机西侧防护门外	133.5	2.1	130.0	1.7
3	后装机西侧墙外 1m	133.5	2.1	161.0	11.1
4	后装机南侧墙外 1m	151.0	2.6	160.7	11.6
5	后装机东侧墙外 1m	143.0	2.0	154.7	5.5
6	治疗室内机头正前方 5cm	--	--	1456.3	103.6

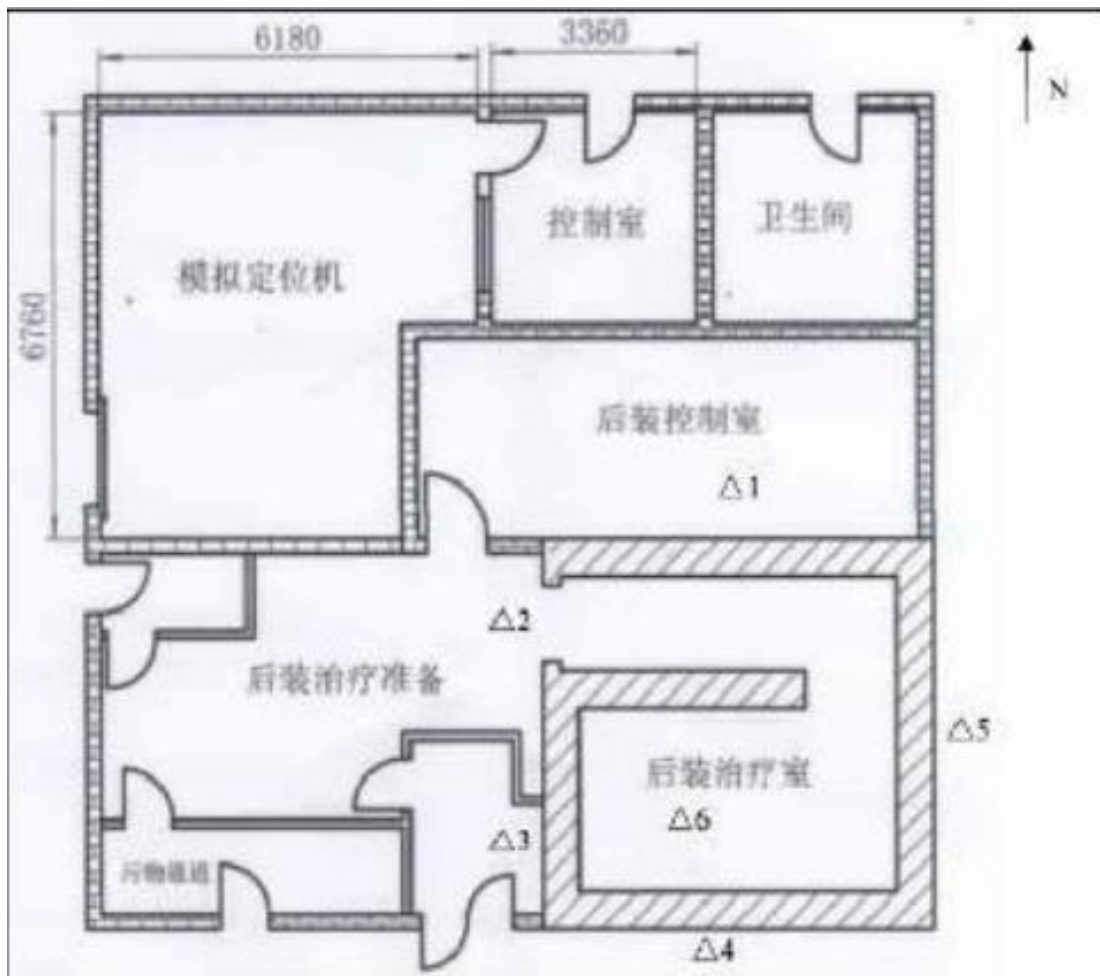


图 11.2-3 类比项目辐射剂量率监测布点示意图

根据表 11.2-6 监测结果可知，金华广福医院现  $^{192}\text{Ir}$  后装机正常运行时，机房周围监测点位辐射剂量率与关机时监测结果比较，未有明显升高。本项目  $^{192}\text{Ir}$  后装机机房防护能力大于类比项目的防护能力，因此可以预测本项目的  $^{192}\text{Ir}$  后装机装源后，正常运行时机房周围辐射剂量率水平也不会出现明显升高。

## 2、年有效剂量估算

### 1) 辐射工作人员

辐射工作人员受到的照射主要是每次治疗前后进入治疗室为每位患者摆位时接收的照射。根据类比检测结果，辐射剂量率取治疗室内机头正前方 5cm 辐射剂量率，①每天的病人数为 5 人次，每次照射时间平均为 30 分钟；②后装机工作人员全年约有 200 个工作日，所有工作由 2 名医生完成，考虑分工差异，辐射工作人员个体的最大工作量取其总量的 2/3。

由公式 (11-1) 可以计算出  $^{192}\text{Ir}$  后装机工作人员在正常工况所受的附加年有效剂量约为 **0.34mSv**，低于辐射工作人员职业照射的剂量管理限值 (5mSv)，符合《电离辐射防护与辐射

源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“职业照射剂量限值”的要求。

## 2) 公众成员

由表 11.2-6 的辐射剂量率类比检测结果可知:在正常使用条件下,机房周围公众成员活动范围内 X- $\gamma$  辐射剂量率水平未见明显升高,非辐射工作人员、公众成员和敏感点受到的额外照射剂量限值均能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中年有限剂量管理限值的相关要求。

## 11.2.3 核医学科放射性核素应用环境影响分析

### 11.2.3.1 PET/CT ( $^{18}\text{F}$ )

本项目 PET/CT 使用核素为  $^{18}\text{F}$ ,且工作中单个病人核素用量最大为 10mCi。

#### 1、类比监测分析

为分析本医院拟建的 PET/CT 建成后运行期的辐射影响,本报告选用浙江大学医学院附属第二医院 PET/CT 运行时的辐射环境检测情况进行类比。类比中只涉及剂量部分的类比,不涉及平面布置方面的类比,其可比性分析详见表 11.2-7。

表 11.2-7 PET/CT ( $^{18}\text{F}$ ) 类比情况一览表

医院		本项目 PET/CT	浙江大学医学院附属第二医院 PET/CT
CT 参数		150kV、800mA	150kV、800mA
防护设施	防护门	5mm 铅当量	3mm 铅当量
	四侧墙体	20cm 实心砖墙+5cm 射线防护涂料 (7mm 铅当量)	28cm 混凝土+3mmPb 防护层 (6mm 铅当量)
	观察窗	40mm 厚铅玻璃 (8mm 铅当量)	5mm 铅当量

由表 11.2-7 可见,本项目和类比项目的设备参数相同,墙体屏蔽能力相当,本项目防护门和铅玻璃屏蔽能力略优,具有很好的可比性。在使用剂量方面,本项目最大使用量与类比监测时单个病人使用量一致,均为 10mCi。因此可用类比项目 PET/CT 的运行情况说明本项目建成投运后对周围环境的影响。 $\gamma$  辐射剂量率类比监测结果见表 11.2-8, $\beta$  表面污染监测结果见表 11.2-9。

表 11.2-8 PET/CT ( $^{18}\text{F}$ )  $\gamma$  辐射剂量率类比监测结果

点位序号	点位描述				辐射剂量率 (nSv/h)	
					平均值	标准值
1	核医学科机房	观察窗	工作状态为:室内有一个注射了 10mCi $^{18}\text{F}$ 的	未工作	154.4	2.1
2		操作位		工作	591.4	2.9
3		医生出入门		工作	340.0	1.6
				未工作	160.4	2.4

		30cm 处	病人	工作	387.2	4.0
4		西侧病人出入口 30cm 处		未工作	178.0	2.9
				工作	210.0	1.4
5		北侧门诊室 门口		未工作	179.8	0.8
				工作	184.6	2.1
6		病人表面 30CM 处（医生注射位）			100698	--
7		病人表面 1M 处			31900	--
8		活度为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ 的 $^{68}\text{Ge}$ 校准源校准位 30cm 处			2100	56

表 11.2-9 PET/CT ( $^{18}\text{F}$ )  $\beta$  表面污染类比监测结果

序号	测点描述	$\beta$ 表面污染 ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ )
1	注射表面	1.3
2	化学合成室表面	18
3	化学合成室墙壁	1.6
4	操作工作人员衣服	1.5
5	操作工作人员废弃手套表面	1.6

由表 11.2-8 的监测结果可知：病人注射后在机房内扫描检查时，机房周围  $\gamma$  辐射剂量率最高处为医生观察窗处，其测量值为  $591.4\text{nSv/h}$ ；注射位处  $\gamma$  辐射剂量率为  $100698\text{nSv/h}$ 。

由表 11.2-9 的监测结果可知：控制区的化学合成室工作台面、设备、墙壁、地面的表面污染水平最大值为  $18\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，符合控制区  $4 \times 10\text{Bq}/\text{cm}^2$  标准的要求。工作人员的工作服、口罩、工作鞋处的表面污染最大值为  $1.6\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，符合  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$  标准的要求。

## 2、年有效剂量估算

辐射工作人员受到的辐射照射来自为病人注射核素、侍服病人上机等过程产生的照射。假设：

a、某一工作人员每次注射  $^{18}\text{F}$  核素（X- $\gamma$  辐射剂量率取  $100698\text{nSv/h}$ ） $0.5\text{min}$ ，服侍已注射的病人约  $1\text{min}$ （辐射剂量率取  $31900\text{nSv/h}$ ），年操作约 4000 人次；

b、某一工作人员每次因校准活动需近距离靠近  $^{68}\text{Ge}$  校准源（ $\gamma$  辐射剂量率取  $2100\text{nSv/h}$ ）2 分钟；每年校准 12 次；

c、每次操作医生均穿戴  $0.5\text{mm}$  铅当量的铅衣做防护；

d、所有工作由核医学科 10 名工作人员承担。

根据监测结果和剂量估算公式（11-2），可以计算出平均每位辐射工作人员接受的附加年

有效剂量当量约为 **0.67mSv**。本评价项目以 5mSv 作为职业人员年剂量管理限值，该院 PET/CT 项目辐射工作人员所接受年有效剂量低于该管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

由类比项目情况和理论计算结果可知，本项目 PET-CT 机房  $\gamma$  射线和  $\beta$  放射性表面污染对周围环境的影响符合要求。

### 11.2.3.2 SPECT ( $^{99m}\text{Tc}$ )

#### 1、类比监测分析

为分析该医院拟建的 SPECT 建成后运行期的辐射影响，本报告选用浙江省肿瘤医院 SPECT 运行时的辐射环境检测情况进行类比（数据源于 2014 年浙江省辐射环境监测站编制的浙江省肿瘤医院医用放射性同位素应用项目（扩建）竣工环境保护验收监测表），类比中只涉及剂量部分的类比。其可比性分析详见表 11.2-10。

表 11.2-10 SPECT ( $^{99m}\text{Tc}$ ) 类比情况一览表

医院 指标		本项目 SPECT 机	浙江省肿瘤医院 SPECT
药物来源		外购	外购
防护 设施	防护门	3mm 铅当量	5mm 铅当量
	四侧墙体	24cm 实心砖墙+3cm 射线防护涂料 (5mm 铅当量)	4mm 铅当量
	观察窗	25mm 厚铅玻璃 (5mm 铅当量)	5mm 铅当量
病患受检流程		先注射药物，然后上机检查，无需药物分装	先注射药物，然后上机检查，无需 药物分装

由表 11.2-10 可见，本项目和类比项目使用核素相同，屏蔽能力相当，具有很好的可比性。因此可用类比项目 SPECT 的运行情况说明本项目建成投运后对周围环境的影响。 $\gamma$  辐射剂量率类比监测结果见表 11.2-11、表 11.2-12 和表 11.2-13。

表 11.2-11 SPECT ( $^{99m}\text{Tc}$ ) 项目场所周围环境 X- $\gamma$  辐射剂量率监测结果一

点位序号	点位描述		辐射剂量率 (nSv/h)	
			平均值	标准差
▲1	/	待检病人候诊室中心	1576	48
▲2		待检病人候诊室卫生间	865	4
▲3		患者楼梯	235	4
▲4	ECT 机房（内有注射 $^{99m}\text{Tc}$ ）	病人表面 5cm 处	45934	1003
▲5		病人表面 1m 处	3368	80
▲6		ECT 机房内铅衣后 5cm 处	3308	75

▲7		铅屏风后	188	5
▲8	/	静脉注射室中	274	4
▲9		垃圾房空间	133	2
▲10		垃圾袋表面 5cm 处	1652	33
▲11		卫生间	2974	27
▲12		储源室通风柜表面 5cm 处	94914	768
▲13		储源室保险柜表面 5cm 处	3084	106
▲14		储源室废物袋表面 5cm 处	82610	793
▲15		核素注射室注射时（注射 15mCi <sup>99m</sup> Tc）	27894	584
▲16		医生办公室	188	3
▲17		卫生通过左门缝 30cm 处	708	3
▲18		卫生通过中间 30cm 处	700	4
▲19		卫生通过右门缝 30cm 处	678	3

表 11.2-12 SPECT (<sup>99m</sup>Tc) 项目场所周围环境 X-γ 辐射剂量率监测结果二

点位 序号	点位描述		辐射剂量率 (nSv/h)			
			未运行时		运行时	
			平均值	标准差	平均值	标准差
▲1	ETC1	卫生通过左门缝 30cm 处	128	1	210	2
▲2		卫生通过中间 30cm 处	134	1	201	2
▲3		卫生通过右门缝 30cm 处	140	1	212	2
▲4		观察窗外 5cm 处	164	1	387	3
▲5		操作位	169	2	183	3
▲6	ETC2	卫生通过左门缝 30cm 处	163	2	154	4
▲7		卫生通过中间 30cm 处	167	2	164	3
▲8		卫生通过右门缝 30cm 处	150	3	156	2
▲9		观察窗外 5cm 处	147	3	151	2
▲10		操作位	154	5	148	1

注：ETC 室内分别有一位注射 15mCi<sup>99m</sup>Tc 的病人。

由表 11.2-11、表 11.2-12 类比监测结果可知，当机房内有正在进行扫描的病人时，SPECT 控制室操作位处的 γ 辐射剂量率与无病人诊断时水平相当，医护人员所受的辐射照射主要来自放射性核素的注射和近距离接触受药病人两个环节。



表 11.2-13  $\beta$  表面污染类比监测结果

序号	点位描述	$\beta$ 表面污染 ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ )
1	卫生间 1 地上表面污染	8.3
2	分装室地上表面污染	0.08
3	储源室地上表面污染	10.28
4	核素注射室操作台表面污染	0.59
5	核素注射室地面表面污染	0.51

由表 11.2-13 可知，控制区地面和操作台的表面污染水平最大值为  $10.28\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，符合控制区  $4 \times 10\text{Bq}/\text{cm}^2$  标准的要求。

## 2、年有效剂量估算

本项目  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  最大使用量为  $25\text{mCi}$ ，为类比监测时单个病人使用量的 1.67 倍，在剂量估算时，按辐射剂量率与活度成正比的线性关系进行校正。现假设：

a、某一工作人员每次注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素 ( $\text{X-}\gamma$  辐射剂量率取  $27894\text{nSv}/\text{h} \times 1.67$ )  $0.5\text{min}$ ，服侍已注射的病人上机检查约  $1\text{min}$  (取距离病人表面  $1\text{m}$  处辐射剂量率  $3368\text{nSv}/\text{h} \times 1.67$ )；

b、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素年操作 2000 人次

c、每次操作医生均穿戴  $0.5\text{mm}$  铅当量的铅衣做防护；

d、所有工作由核医学科 10 名工作人员承担。

根据监测结果和公式 (11-2) 可以计算出每位  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素操作辐射工作人员接收的附加年有效剂量当量约为  $0.067\text{mSv}$ 。本评价项目以  $5\text{mSv}$  作为职业人员年剂量管理限值，相比之下，该项目辐射工作人员所接受年有效剂量低于该管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中关于“剂量限值”的要求。

### 11.2.3.3 核医学科诊断用放射性药物—— $^{89}\text{Sr}$

#### (2) $^{89}\text{Sr}$

一般病人治疗所需  $^{89}\text{Sr}$  量为  $4\text{mCi}$  ( $1.48 \times 10^8\text{Bq}$ )， $^{89}\text{Sr}$  的  $\gamma$  照射率系数为： $4.7 \times 10^{-5}\text{R} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{Ci}$ 。

由公式 (11-1)，计算在距其  $30\text{cm}$ 、 $1\text{m}$  处参考点的空气比释动能率分别为  $0.014\mu\text{Gy}/\text{h}$  和  $19.2\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。根据工作流程可知，辐射工作人员为病人注射核素等过程产生的照射。现假设：①某一辐射工作人员每次给药 2 分钟；②年治疗病人数 1250 人；③所有工作由核医学科 10 名工作人员承担。

由公式（11-2），可计算出辐射工作人员接受的附加年有效剂量当量约为 **0.056mSv**。

因此，本项目核医学工作场所辐射工作人员年有效剂量为 **0.793mSv**。本评价以 5mSv 作为职业工作人员的管理限值，因此本医院核医学科辐射工作人员接受附加年有效剂量当量远低于管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

### 11.2.5 DSA 运行期环境影响分析

#### 1、类比监测分析

本项目介入放射学单元涉及 2 台 DSA，一台 UNIQ FD20 型 DSA 由 2 号楼 1 层 DSA 机房 2 搬入医技大楼二层，医技大楼二层 DSA2 机房新增一台 DSA（150kV/1000mA）。

为了分析了解本项目 DSA 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辐射环境监测站编制的《浙江大学医学院附属第二医院医用放射性同位素及射线装置建设项目（扩建）竣工环境保护验收监测表》中已投入运行的 DSA 机房验收监测数据进行类比，其可比性情况详见表 11.2-14。

表 11.2-14 DSA1 机房类比分析对比一览表

内容		浙二医院投入运行的 DSA 机房	本项目 DSA 机房
主要技术参数		150kV/1250mA	150kV/1000mA、150kV/1000mA
防护设施	防护门	2.0mm 铅板	4.0mm 铅板
	观察窗	2.0~2.5mm 铅当量铅玻璃	4.0mm 铅当量铅玻璃
	四周墙体	28cm 混凝土（3mm 铅当量）	多孔页岩砖墙+2cm 厚防辐射涂料+2mm 厚铅板；控制室侧额外增加 2cm 厚防辐射涂料（4.0mm 铅当量/5.0mm 铅当量）
	顶棚和地面	16cm 混凝土（2mm 铅当量）	12cm 混凝土+2mmPb 防护涂料+12cmC20 细石混凝土（4mm 铅当量）

由表 11.2-12 可知，本项目设备技术参数低于类比对象，机房防护水平优于类比对象，因此这两个项目具有很好的可比性，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。监测结果见表 11.2-15，检测点位图详见图 11.2-4。

表 11.2-15 类比项目 DSA 机房周围 X- $\gamma$  辐射剂量率监测结果

点位序号	监测点位描述	$\gamma$ 剂量当量率（nGy/h）	
		未运行时	运行时
△107	观察窗	141	137
△108	工作位	144	140

△109	医生门右门缝外 30cm 处	116	113
	医生门左门缝外 30cm 处	118	113
△110	病人门左门缝外 30cm 处	135	139
	病人门右门缝外 30cm 处	141	142
△111	医生工作位处（铅衣后）	——	8927

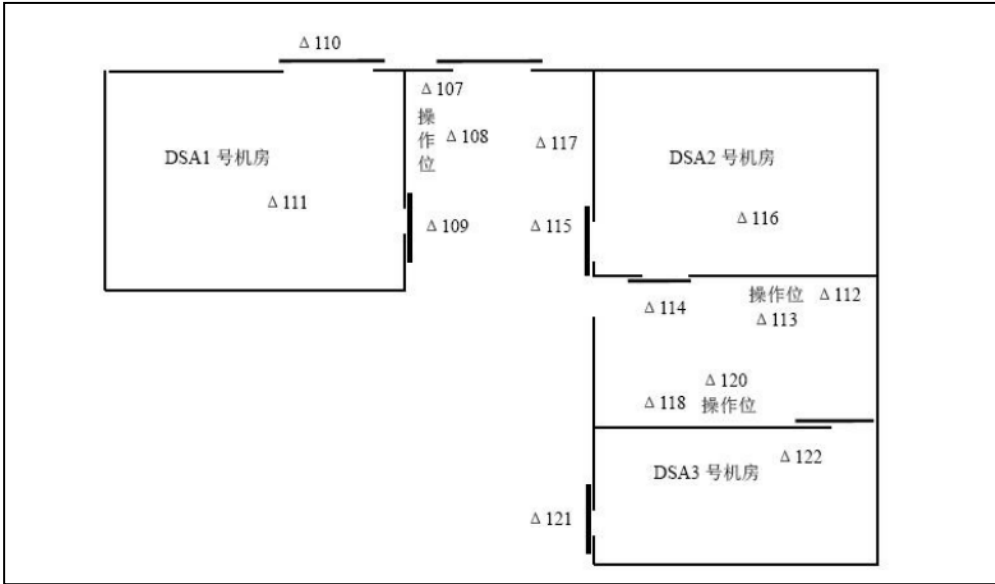


图 11.2-4 住院部一楼 DSA1 工作场所及周围环境辐射检测布点示意图

由表11.2-15类比数据可知，设备未运行时和运行时机房外剂量率未显著提高，该机房周围剂量当量率均小于《医用X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中的相关要求。

## 2、年有效剂量估算

### 1) 辐射工作人员

根据DSA工作流程分析，DSA设备操作为介入操作，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。

根据医院预计最大工作量保守假设，单台DSA配备2名医生，2~3名护士，每名辐射工作人员每月的病人数为90人，每台手术曝光时间取30min，在上述偏保守的条件下，工作人员介入操作过程穿戴好辐射防护用品，取DSA室内医生操作位的剂量率8927nGy/h，可计算出每名辐射工作人员接受的附加年有效剂量约为**1.69mSv**。

由上述类比分析及剂量估算可知，本项目DSA工作人员年附加剂量均低于5mSv的管理约束值，符合《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》GB18871-2002中关于“剂量限值”的要求。

## 2) 公众成员

根据类比监测结果可知, DSA机房周围和公众成员可能靠近区域的辐射剂量率在开机前后未见明显升高。另外, 医院具有健全的管理制度, 公众成员一般不会进入机房周围的1m警戒线内。符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中关于“剂量限值”的要求。

## 11.3 大气环境境影响分析

### 11.3.1 后装机大气环境影响分析

项目拟新增的后装机配置的放射源是  $^{192}\text{Ir}$ , 初始活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$  枚。

根据《辐射防护手册》(三分册) 2.6.8 “ $\gamma$  辐照室”, 假设在辐照期间臭氧无分解, 臭氧在辐照室内均匀分布, 则产生臭氧的浓度计算公式:

$$Q = \frac{6.33 \times 10^{-4} AG(T_v \times T_d)V^{1/3}}{V(T_v + T_d)}$$

式中:  $Q$ —机房内臭氧的饱和浓度;  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;  $A$ —为放射源活度, 取  $10\text{Ci}$ ;  $G$ —空气没吸收  $100\text{eV}$  辐射能力所产生的臭氧分子数, 此处取 6;  $T_v$ —换气一次所需的时间, 取 0.143;  $T_d$ —臭氧的有效化学分解时间, 取 0.83h;  $V$ —机房容积, 取  $27.6\text{m}^3$ 。

经计算, 后装机治疗室内臭氧浓度为  $5.07 \times 10^{-4} \text{mg}/\text{m}^3$ , 满足《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002) 中臭氧 1 小时均值  $\leq 0.16 \text{mg}/\text{m}^3$  的标准限值, 工作中保证通风设施完好和正常工作, 臭氧将不会对人员产生危害。机房排风量为  $1000\text{m}^3/\text{h}$ , 则排放速率为  $0.507 \text{mg}/\text{h}$ ,  $1.4 \times 10^{-4} \text{mg}/\text{s}$ 。臭氧在空气中约 25 钟能够分解一半, 会自动分解为氧气, 臭氧对周围环境空气影响很小。

### 11.3.2 直线加速器大气环境影响分析

直线加速器运行过程, 辐射会与空气发生电离作用, 会有臭氧产生。参照《辐射防护手册》(第三分册) (P130), 电子加速器运行时臭氧的产生率按下式计算:

$$C_{O_3} = 48 \left[ \frac{C_{O_2} \times G \times \epsilon}{N_0} \right] \times S \times I \times d$$

式中:

$C_{O_3}$ ——臭氧生产率,  $\text{mg}/\text{s}$ ;

$C_{O_2}$ ——空气中氧的浓度系数, 0.232;

$G$ ——空气每吸收  $100\text{eV}$  辐射能量所产生的臭氧分子数, 一般取 6;

$\varepsilon$ ——单位时间单位电子束流强度的电荷数， $6.28 \times 10^{15} \text{mA}^{-1} \text{S}^{-1}$ ；

$N_0$ ——阿伏伽德罗常数， $6.02 \times 10^{23}$  个分子数/摩尔；

$S$ ——电子在空气中的线碰撞阻止本领，与电子能量相关，20MeV 电子保守取  $3.0 \text{keV/cm}$ ；

$I$ ——器外电子束流强度，mA；本项目取  $0.1 \text{mA}$ 。

$d$ ——电子在空气中运行的距离（或源皮距），m；本项目取  $1 \text{m}$ 。

由上式计算出本项目直线加速器运行时臭氧的生成率为： $2.01 \times 10^{-2} \text{mg/s}$ 。

在加速器运行时，治疗室内有臭氧不断生成，同时臭氧也在不断分解，治疗室的通风换气也在不断排出臭氧。当运行时间趋于无穷大时，治疗室内的臭氧量可达平衡，平衡量为（即最大量）：

$$C(p) = \frac{C_{o3}}{\lambda + h}$$

式中：

$C(p)$ ——治疗室内臭氧的平衡量，mg；

$C_{o3}$ ——臭氧生产率，mg/s；

$\lambda$ ——臭氧衰减的时间参数，臭氧为  $3.3 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ；

$h$ ——单位时间内治疗室换气次数， $\text{S}^{-1}$ 。

本项目两间直线加速器机房各使用一套独立的排风系统，排风量均为  $1500 \text{m}^3/\text{h}$ ；1#直线加速器机房治疗室和 2#直线加速器机房治疗室通风换气次数均为 6 次/h，即  $h_1 = h_2 = 1.83 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ ，由此可计算出两间直线加速器治疗室内臭氧的平衡量（即最大量），即  $C(p)_1 = C(p)_2 = 9.31 \text{mg}$ 。

本项目 2 间加速器机房使用面积均为  $63 \text{m}^2$ （带迷路），高  $3.6 \text{m}$ ，体积为  $226.8 \text{m}^3$ ，假设臭氧在机房内均匀分布，则 2 间加速器机房内臭氧最大浓度均为  $0.04 \text{mg/m}^3$ ，即 2 间加速器机房内臭氧浓度均满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧 1 小时均值  $\leq 0.16 \text{mg/m}^3$  的标准限值；工作中保证通风设施完好和正常工作，臭氧将不会对人员产生危害。臭氧在空气中约 25 钟能够分解一半，会自动分解为氧气，臭氧对周围环境空气影响很小。

### 11.3.3 DSA 项目大气环境影响分析

DSA 装置在开机状态下，空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过机房顶棚东南角中央空调进行换气（DSA 机房通风换气次数不低于 3 次/h），臭氧在空气中约 25 钟能够分解一半，会自动分解为氧气，臭氧对周围环境空气影响很小。

#### ①臭氧产额

参考（中华放射医学与防护杂志 Vol14, 2, P101~P103, 1994），依照下式计算 X 射线

束所致臭氧的产额：

②有用线束的臭氧产额

$$P=2.43 D_0 (1-\cos\theta) RG$$

式中：

P 为臭氧产额，mg/h；

$D_0$  为辐射有用束在距靶 1m 处的输出量，参考 GBZ/T250-2014， $D_0 = 0.0235 \text{ Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{min})$ ；

R 为靶到屏蔽物（墙）的距离，m，本项目  $R_{\max}=7\text{m}$ ；

G 为空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数（ $G=10$ ）；

$\theta$  为有用束的半张角，本项目  $\theta=22.5^\circ$ 。

经计算，本项目有用 X 射束的臭氧产额为 0.304mg/h。

③泄漏辐射的臭氧产额

将泄漏辐射看为  $4\pi$  方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑机房壁的散射线使室内的臭氧产额增加 10%，臭氧的产额 P（mg/h）为：

$$P=3.32\times 10^{-3} D_0 GV^{1/3}$$

式中：

V 为 DSA 机房的体积， $\text{m}^3$ ，本项目  $V=81.9\text{m}^3$ 。

经计算，本项目泄漏辐射的臭氧产额为 0.00338mg/h。

故 DSA 机房内臭氧总产额为  $0.304\text{mg/h}+0.00338\text{mg/h}=0.308\text{mg/h}$ ， $0.000085\text{mg/s}$ ，臭氧在空气中约 25 钟能够分解一半，会自动分解为氧气，臭氧对周围环境空气影响很小。

因此本项目臭氧产生速率约  $0.0203 \text{ mg/s}$ 。氮氧化物产额约为臭氧的一半即  $0.0102 \text{ mg/s}$ 。

(1) 预测模型

依据《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ2.2-2018），采用估算模型 AERSCREEN 计算项目污染源最大环境影响，按评价工作分级判据进行分级。

(2) 污染源强

本项目无组织排放（矩形面源）情况详见表 11.3-1。

表 11.3-1 矩形面源参数表

编号	名称	面源起点坐标 /m		面源海拔高度 /m	面源长度 /m	面源宽度 /m	与正北方向夹角/ $^{\circ}$	面源有效排放高度 /m	排放工况	污染物排放速率/(mg/s)	
		X	Y							臭氧	NO <sub>x</sub>
1	-2F 放疗科	511051	3351796	11.32	37	10.8	20	1.5	正常	$2.03 \times 10^{-2}$	$1.02 \times 10^{-2}$

## (3) 评价因子和评价标准筛选

表 11.3-2 评价因子和评价标准

评价因子	评价时段	标准值/( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	标准来源
臭氧	1 小时平均	200	《环境空气质量标准》(GB3095-2012)的二级标准
氮氧化物	1 小时平均	250	

## (4) 估算模型参数

估算模型相关参数具体详见表 11.3-3。

表 11.3-3 估算模式参数表

选项		参数
城市/农村选项	城市/农村	城市
	人口数(城市选项时)	90.8 万人(西湖区)
最高环境温度/ $^{\circ}\text{C}$		40.2
最低环境温度/ $^{\circ}\text{C}$		-14.4
土地利用类型		建设用地
区域湿度条件		湿
是否考虑地形	考虑地形	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
	地形数据分辨率/m	/
是否考虑海岸线熏烟	考虑海岸线熏烟	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
	岸线距离/km	/
	岸线方向/ $^{\circ}$	/

## (5) 主要污染物估算模型计算结果

根据估算模型计算, 无组织面源下风方向下各污染物落地浓度计算结果详见表 11.3-4。

表 11.3-4 面源估算模型计算结果表

下风向距离(m)	污染物			
	臭氧		氮氧化物	
	预测浓度( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	占标率(%)	预测浓度( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	占标率(%)
10	0.000286	0.14	0.0001441	0.06
100	$7.742\text{E}-5$	0.04	$3.901\text{E}-5$	0.02
200	$2.147\text{E}-5$	0.01	$1.082\text{E}-5$	0.00
300	$1.031\text{E}-5$	0.01	$5.197\text{E}-6$	0.00
400	$6.208\text{E}-6$	0.00	$3.128\text{E}-6$	0.00

500	4.231E-6	0.00	2.132E-6	0.00
600	3.114E-6	0.00	1.569E-6	0.00
700	2.414E-6	0.00	1.217E-6	0.00
800	1.944E-6	0.00	9.799E-7	0.00
900	1.612E-6	0.00	8.122E-7	0.00
1000	1.366E-6	0.00	6.885E-7	0.00
1100	1.179E-6	0.00	5.941E-7	0.00
1200	1.032E-6	0.00	5.202E-7	0.00
1300	9.15E-7	0.00	4.611E-7	0.00
1400	8.193E-7	0.00	4.129E-7	0.00
1500	7.401E-7	0.00	3.73E-7	0.00
1600	6.736E-7	0.00	3.395E-7	0.00
1700	6.171E-7	0.00	3.11E-7	0.00
1800	5.686E-7	0.00	2.866E-7	0.00
1900	5.266E-7	0.00	2.654E-7	0.00
2000	4.899E-7	0.00	2.469E-7	0.00
2100	4.576E-7	0.00	2.306E-7	0.00
2200	4.29E-7	0.00	2.162E-7	0.00
2300	4.035E-7	0.00	2.034E-7	0.00
2400	3.807E-7	0.00	1.919E-7	0.00
2500	3.602E-7	0.00	1.815E-7	0.00
最大浓度及占标率	0.0004532	0.23	0.0002284	0.09
最大浓度距离 (m)	28			

根据计算结果，本项目大气评价等级为三级，不需设置大气环境影响评价范围，无需进一步预测和评价，对周围环境影响较小。

## 11.4 辐射事故分析和防范措施

### 11.4.1 事故影响分析

#### 11.4.1.1 核医学科工作场所

主要考虑电离辐射损伤、放射源和药物失控对环境的影响。

(1) 由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因造成的工作是放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

(2) 由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

(3) 核素治疗患者用药后离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊室，可能对接近患者的人员造成附加的照射剂量。



#### 11.4.1.2 后装机工作场所

(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，可能发生丢失事故，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。

#### 11.4.1.3 直线加速器、DSA 工作场所

(1) 安全联锁装置等发生故障情况下，人员误入正在运行的机房而造成 X 射线误照射。

(2) 工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房，射线装置运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，对工作人员造成辐射伤害。

(3) 射线装置控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到计划外照射。

(4) 维修期间的事故，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

### 11.4.2 辐射事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，是辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

#### 11.4.2.1 核医学科工作场所防范措施

(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，发生撒漏等事故后，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区。并用表面污染监测测量污染区，如果  $\beta$  表面污染大于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表面该污染区未达到控制标准，应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区  $\beta$  表面污染小于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$  为止。擦拭物收集放到放射性固体废弃物衰变箱中，作为放射性固体废物进行管理。

(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。

(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的书面指导，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型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和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。

#### **11.4.2.2 后装机辐射事故防范措施**

(1) 换源事宜由供源厂家专业人员负责，严禁私自拆卸。做好设备日常维护，经常对设备的性能进行检查，防止卡源事故发生。

(2) 定期验证安全装置与设施的有效性，保证联锁装置有效。

(3) 放射源贮存在专用贮源室，并限制人员进入，做好防盗措施，设置防盗门（防护门）等。制定并落实放射源安全管理与台账制度，设专人负责。

(4) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应现观察监控确保机房内摆位工作人员或其他人员已撤出。

#### **11.4.2.3 直线加速器、DSA 防范措施**

(1) 制定有自检制度，且严格进行经常性自查，如发现联锁装置、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作指示灯检查，防止人员误入。

(2) 制定规范的操作规程并落实，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控确保机房内出患者外，其他人员已撤出。

(3) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(4) 医院应联系有维修资质的人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修 X 射线装置。

### 11.4.3 事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）第四十条及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令 第 18 号）有关规定，医院应制定医院辐射事故应急预案，医院应在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施，并落实辐射事故应急预案中提出的各项应急措施和设施的前提下，本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。

## 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

根据医院提供的资料，医院已按照国务院第 449 号《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》等有关法律法规，结合卫生、环保等行政主管部门的规章制度，成立了辐射安全管理小组。

组 长：孙元水

成 员：陈钦、吕小平、马成钢、陈明伟、王国发、杨光钊、胡哲、胡马洪、李海林、王伟

成员分工如下：

- 1、辐放射事件应急处理总指挥：孙元水
- 2、辐放射事件应急处理安全保卫：陈明伟
- 3、辐放射事件应急处理物资保障：王国发
- 4、辐放射事件应急处理抢救组：胡马洪、李海林、李功华、王伟
- 5、辐放射事件应急处理事务管理：陈钦、吕小平
- 6、辐放射事件应急处理技术保障：马成钢、杨光钊、胡哲。

### 12.2 辐射安全管理规章制度

#### 12.2.1 辐射工作制度

医院已制定《辐射防护安全管理制度》、《飞利浦 FD 系列操作规程及保养事项》、《放射科安全管理制度》、《设备检修维护制度》、《设备使用和维修登记制度》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射监测方案》、《辐射事故应急预案》等综合管理规章制度。同时，各相关科室应根据各自特点，制定相应的设备操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、放射性核素台账及使用登记制度等，详见附件 6。

鉴于医院原来未开展直线加速器和核医学放射诊疗，因此本项目建成投产后，建议医院根据核医学科的特点，制定《加速器操作规程》、《核医学科放射性核素台账及使用登记制度》、《PET-CT、ECT 操作规程》，完善《辐射监测方案》、《辐射事故应急预案》，使辐射诊疗工作安全有序开展。

#### 12.2.2 辐射人员管理

- (1) 个人剂量检测

①医院现有约 119 辐射工作人员，辐射工作人员全部配备了个人剂量计。

②根据 2020 年第一季度的辐射工作人员个人剂量监测统计资料，该医院辐射工作人员个人剂量年有效剂量在 0.014~1.2mSv 之间，辐射工作人员附加剂量小于职业工作人员 5mSv 的个人剂量约束值。

#### （2）辐射工作人员培训

医院拥有较稳定的放射诊疗技术队伍，现有辐射工作人员已参加辐射防护与安全培训。

#### （3）职业健康体检

医院已于 2019 年对对辐射工作人员集中进行职业健康体检，现有辐射工作人员均已按规定进行全面健康检查，并建立档案，检查结果未见异常。

环评要求：

（1）医院应在本项目运行前组织新增的辐射工作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报名并参加考核，考核合格后方可上岗；本项目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监测，并建立个人剂量档案；本项目辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，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，建立职业健康档案。

（2）本项目辐射工作人员的职业卫生健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；辐射工作人员的职业卫生健康档案应永久保存。

### 12.2.3 年度评估报告

医院 2019 年度已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，并上报至生态环境主管部门。根据医院 2019 年度辐射安全与防护状况评估报告：2019 年度医院在使用射线装置过程中，严格遵守国家法律法规，按规章制度进行操作，未发生任何不安全隐患和违规操作情况，医院积极组织人员参与安全培训和健康检查，对设备辐射状况进行监控。医院内建立安全管理部门，对设备安全进行监督管理。

## 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》，使用放射性同位素、射线装置的单位配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。

因此，本项目核医学科应至少配置环境辐射监测仪、表面污染监测仪及个人剂量报警仪，

放疗科和 DSA 应用项目应配置个人剂量报警仪及辐射监测仪，每名辐射工作人员均应配备个人剂量计，并建立个人剂量档案。

项目全院拟配备 1 台环境辐射巡测仪，另核医学科拟配备 1 台表面污染监测仪、4 台个人剂量报警仪；每台加速器拟配备 1 台个人剂量报警仪和 1 台固定式报警仪；后装机拟配备 1 台个人剂量报警仪。本项每名辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期进行个人剂量检测，建立个人剂量档案。

### 12.3.2 日常监测

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。本项目日常监测工作由核医学科工作人员自行完成。

### 12.3.3 年度常规监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令），使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有相应资质的环境监测机构进行监测。

### 12.3.4 环保措施竣工环境保护验收

医院应在本次环评报告取得环评批复后按照项目建设内容及时重新申领辐射安全许可证；在本项目正式运行前根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号），在规定的验收期限内（一般不超过 3 个月），对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。

#### 环评要求：

医院应委托有资质的监测单位，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：核医学科及各射线装置机房屏蔽墙外、防护门及缝隙处、候诊室、操作台等，核医学科内部使用核素的区域。

（3）监测项目：X、 $\gamma$  辐射剂量率；表面污染等。

（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《安全和防护状况年度评估报告》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）。

##### 环评要求：

（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放射性作业，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，并上报当地环境保护主管部门。年剂量超过 20mSv 标准时，应当查明原因，如构成辐射事故，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，并上报环境主管部门。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。并配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

（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。辐射工作人员档案需永久保存。

#### 12.3.5 放射性废物监测

##### 1、放射性废水排放前监测

放射性废水衰变池设有废水取样口和检修口，每次排放前应对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准后方可排放。建设单位应加强废水排放的管理，每次排放时间、监测数据、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

##### 2、放射性废物处理前监测

放射性固废排放前应进行监测，满足每袋废物的表面剂量率不超过 0.1mSv/h 即可作为医疗废物处理。每次排放前应做好固废排放台账，记录固废排放监测数据、排放时间及排放量，台账应有专人管理，存档保存。

表 12.3-1 监测计划一览表

监测类别	工作场所	监测项目	监测频度	监测设备	监测范围
年度监测	加速器机房	X-γ 射线空气吸收剂量率、中子	1 次/年	按国家规定进行计量检定	防护门外、门缝、控制室、各侧屏蔽墙外

	后装机房	X- $\gamma$ 射线空气 吸收剂量率			防护门外、门缝、控制室、 各侧屏蔽墙外、贮源器表 面 5cm 处、100cm 处
	DSA 机房				防护门外、门缝、控制室、 各侧屏蔽墙外
	核医学科	X- $\gamma$ 射线空气 吸收剂量率			防护门外、门缝、控制室、 各侧屏蔽墙外
		$\beta$ 表面污染			操作台面、设备表面、分 装注射室内四周墙面、通 风柜、注射窗
个人剂量	/	X- $\gamma$ 射线空气 吸收剂量率	1 次/季度		所有辐射工作人员
自主监测	与年度监测 相同	X- $\gamma$ 射线空气 吸收剂量率、 中子、 $\beta$ 表面污 染	不定期		与年度监测相同
验收监测			竣工验收		

## 12.4 辐射应急

医院根据可能发生的辐射事故的风险，已制定了《辐射事故应急预案》。辐射事故应急预案主要包括：

- （1）辐射事件应急处理机构及职责；
- （2）辐射事故分级；
- （3）辐射事故应急预案的启动；
- （4）辐射事故应急响应处置；
- （5）辐射事故应急方案的解除。

医院应在上述应急预案中，根据本项目扩建场所的使用要求和特点，补充和完善同位素、直线加速器和后装机使用的相关应急预案内容。



表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目概况

浙江省立同德医院为能为广大患者提供更好的医疗诊断和治疗服务,拟于浙江省立同德医院翠苑院区新门急诊医技大楼地下二层新增核医学科,新增 1 台 PET/CT,使用  $^{18}\text{F}$  放射性同位素用于显像诊断,年最大用量  $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$  (日等效操作量  $7.4 \times 10^6\text{Bq}$ ),含 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  放射源,单枚初始活度为  $9.25 \times 10^7\text{Bq}$ ,为 V 类放射源;新增一台 SPECT,使用  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放射性同位素用于显像诊断,年最大用量  $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$  (日等效操作量  $7.4 \times 10^6\text{Bq}$ );新增  $^{89}\text{Sr}$  放射性同位素用于骨转移癌治疗,年最大用量  $1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$  (日等效操作量  $7.4 \times 10^7\text{Bq}$ );属于乙级非密封放射性物质工作场所。于医院新门急诊医技大楼地下二层新增放疗科,新增 2 台直线加速器和 1 台后装机,直线加速器最大管电压 15MV,后装机含 1 枚  $^{192}\text{Ir}$  放射源,初始活度为  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ,为 III 类放射源;于医院新门急诊医技大楼二层放射科新增 2 台 DSA。

#### 13.1.2 辐射安全与防护分析结论

##### (1) 放射治疗单元辐射安全防护措施结论

①加速器机房与后装机房均设计了满足防护要求的实体屏蔽,能够有效屏蔽 X 射线、 $\gamma$  射线、中子等的辐射影响。

②本项目加速器与后装机拟配备有钥匙开关联锁、辐照启动与辐照参数预选数联锁、计时器与辐射联锁、防护门与照射联锁、紧急停机开关、工作状态指示灯、电离辐射警告标志、照射监控系统等安全装置,其他射线装置均拟配备有辐射安全装置、安全联锁装置、紧急停止开关、工作状态指示灯、电离辐射警告标志等安全措施。

##### (2) 核医学科单元辐射安全防护措施结论

①本项目核医学科墙体均采用防护涂料及铅板进行屏蔽,能够有效屏蔽 X 射线、 $\beta$  射线、 $\gamma$  射线等的辐射影响。

②本项目核医学科拟设置铅注射窗、专用铅通风柜、铅防护屏风、铅污物桶、铅衰变暂存容器、表面污染监测仪、环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪等辐射防护用具,拟配备铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护衣等个人防护用品,在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护,减少不必要的照射。

③本项目核医学储源室防护门拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管，双人双锁；由值班人员 24 小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室监控系统。

④本项目核医学科拟设置放射性废水的专用管线及衰变池、放射性废气专用管线及活性炭高效过滤器、放射性废物的专用铅收集桶等，射线装置机房的通排风均能满足相关标准规范的要求。

### （3）介入放射学单元辐射安全防护措施结论

①2 间 DSA 机房均设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线的辐射影响。

②辐射工作人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品，辐射工作均拟配备个人剂量计及辐射监测仪器。控制区拟设置相应的警示标志，限制无关人员进入。

综上所述，医院拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

### （4）辐射安全管理结论

医院已成立辐射安全与防护质量管理委员会，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、辐射事故应急预案等，以适应当前环保的管理要求；医院现有辐射工作人员均已参加由环保部门组织的辐射安全与防护培训，并已取得了辐射安全与防护培训的合格证书，本项目建成后新增辐射工作人员也须进行上岗培训。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。

### （5）事故风险与防范结论

医院应按本报告提出的要求补充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

本项目核医学科产生的主要污染因子是 X 射线、 $\beta$  射线、 $\gamma$  射线、 $\beta$  放射性表面污染、放射性废水、放射性固废；15MV 加速器产生的主要污染因子是 X 射线、电子束、中子、中子俘获  $\gamma$  射线、感生放射性，后装机产生的主要污染因子是  $\gamma$  射线，DSA 产生的主要污染因子是 X 射线。

经本报告预测评价，在正常工况下，本项目工作人员所受辐射年附加有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”要求，也低

于本次评价提出的 5.0mSv/a 年剂量约束值；本项目公众所受辐射年附加有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本次评价提出的 0.25mSv/a 年剂量约束值。

#### **13.1.4 可行性分析结论**

##### **（1）产业政策符合性分析结论**

本项目属于核技术在医学领域内的运用，根据国家发展和改革委员会第 9 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》相关规定，本项目不属于限制类、淘汰类项目，符合国家当前的产业政策。

##### **（2）代价利益分析结论**

医院实施本项目，目的在于开展核医学及放射诊疗工作，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。

##### **（3）项目可行性**

综上所述，浙江省立同德医院（翠苑院区）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，将具备从事相应辐射活动的技术能力，本项目放射性同位素和射线装置运行时对周围环境的影响均能符合辐射环境保护的要求，翠苑院区的辐射工作人员、其他非辐射工作人员、公众成员、敏感点（翠苑五区）受到的额外照射剂量限值均能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中年有效剂量管理限值的相关要求。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 建议与承诺**

#### **13.2.1 建议**

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性，杜绝放射性事故的发生。

#### **13.2.2 承诺**

（1）医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

（2）医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

（3）医院承诺加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本

报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

(4) 医院承诺制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故，并及时将应急预案向环境保护主管部门备案。

(5) 医院承诺严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

(6) 医院承诺本项目环评审批后，及时变更辐射安全许可证，办理前应登录“全国核技术利用辐射安全申报系统”中实施申报登记。

