

# 核技术利用建设项目

## 国药东风总医院新增核医学科、放化疗 科项目环境影响报告表

(征求意见稿)

国药东风总医院

二零一九年三月

环境保护部监制

# 核技术利用建设项目

## 国药东风总医院新增核医学科、放化疗 科项目环境影响报告表

建设单位名称：国药东风总医院

建设单位法人代表：魏润

通讯地址：十堰市大岭路 16 号

邮政编号：442008

联系人：范伟

电子邮箱：

联系电话：13972468857

# 目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源 .....	12
表 3	非密封放射性物质.....	16
表 4	射线装置 .....	17
表 5	废弃物（重点是放射性废物） .....	18
表 6	评价依据 .....	19
表 7	保护目标与评价标准.....	21
表 8	环境质量和辐射现状.....	27
表 9	项目工程分析与源项.....	30
表 10	辐射安全与防护 .....	44
表 11	环境影响分析.....	60
表 12	辐射安全管理.....	96
表 13	结论与建议 .....	100
附件与附图 .....	错误！未定义书签。	

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		国药东风总医院新增核医学科、放化疗科项目			
建设单位		国药东风总医院			
法人代表	魏润	联系人	范伟	联系电话	13972468857
注册地址		十堰市大岭路 16 号			
项目建设地点		十堰市大岭路 16 号国药东风总医院肿瘤大楼一楼、负一楼			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	6500	项目环保投资（万元）	850	投资比例（环保投资/总投资）	13.08%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m <sup>2</sup> ）	1409.4
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 checked="" 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	/				
<p><b>1.1 建设单位情况、项目建设规模、目的和任务由来</b></p> <p><b>1.1.1 建设单位情况</b></p> <p>国药东风总医院（以下简称“东风医院”）暨湖北医药学院附属东风医院，是一所集医疗、教学、科研、防保、康复、急救为一体的大型综合性国家三级甲等医院。医院前身为始建于 1927 年的武汉市第一医院，几易其名直到现在的国药东风总医院。东风医院现有建筑面积 8.4 万平方米，病床 1100 张，设置病区 45 个，配置了 256 层螺旋 CT、数字化移动式 X 线机、直线加速器等高端医疗设备。</p> <p><b>1.1.2 项目建设规模</b></p> <p>东风医院为适应其发展需要，拟新建 1 栋肿瘤大楼，并将其一楼设置为核医学科，负一楼设置为放化疗科。</p>					

### (1)核医学科建设规模

核医学科拟设置 PET/CT 检查区、SPECT/CT 检查区、 $^{131}\text{I}$  核素治疗区、敷贴治疗区（敷贴室新增 V 类密封源  $^{90}\text{Sr}$  项目已于 2019 年 4 月在在建设项目环境影响登记表备案系统进行备案）。

在 PET/CT 检查区引进 1 台 PET/CT（内置 3 枚 V 类密封源  $^{68}\text{Ge}$ ），使用放射性核素  $^{18}\text{F}$  进行显像检查， $^{18}\text{F}$  诊断最大剂量为  $5.55 \times 10^8 \text{Bq/例}$ ，日最大诊断量为 20 人， $^{18}\text{F}$  日最大操作量为  $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量为  $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。

SPECT/CT 检查区引进 1 台 SPECT/CT，使用放射性核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  进行显像检查， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  诊断最大剂量为  $7.4 \times 10^8 \text{Bq/例}$ ，日最大诊断量为 25 人， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  日最大操作量为  $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量为  $4.625 \times 10^{12} \text{Bq}$ ；SPECT/CT 检查区使用放射性核素  $^{89}\text{Sr}$  进行骨转移癌治疗， $^{89}\text{Sr}$  诊断最大剂量为  $1.48 \times 10^8 \text{Bq/例}$ ，日最大诊断量为 2 人， $^{89}\text{Sr}$  日最大操作量为  $2.96 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年最大操作量为  $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。SPECT/CT 检查区每周开展 1 次  $^{89}\text{Sr}$  放射治疗，均安排在下午进行，与放射性核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  检查时间错开，不同时使用 2 种核素。

$^{131}\text{I}$  核素治疗区使用放射性核素  $^{131}\text{I}$  进行甲亢治疗和甲癌治疗，仅每周一开展，首先安排甲亢患者服药，然后再安排甲癌患者服药。甲亢治疗  $^{131}\text{I}$  诊断最大剂量为  $2.96 \times 10^8 \text{Bq/例}$ ，日最大治疗量为 12 人，甲亢治疗  $^{131}\text{I}$  日最大操作量为  $3.55 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量为  $1.775 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；甲癌治疗  $^{131}\text{I}$  诊断最大剂量为  $5.55 \times 10^9 \text{Bq/例}$ ，日最大治疗量为 6 人，甲癌治疗  $^{131}\text{I}$  日最大操作量为  $3.33 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量为  $1.665 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，甲癌治疗每批病人住院周期为 1 周。

敷贴治疗区使用 3

依托现有核医学科 1 枚初始活度为  $2.5 \times 10^4 \text{Bq}$  的 V 类密封源  $^{137}\text{Cs}$ ，用于活度计校准。

### (2)放化疗科建设规模

拟在放化疗科设置两间直线加速器室和一间后装机房、CT 模拟定位机房。拟在一号直线加速器室和二号直线加速器室各配备 1 台直线加速器，在后装机房配备 1 台后装机（内置 1 枚初始活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$  的 III 类密封源  $^{192}\text{Ir}$ ），CT 模拟定位机房配备 1 台 CT 模拟定位机（已于 2019 年 4 月在建设项目环境影响登记表备案系统进行备案），用于进行肿瘤治疗。

本项目拟配备 24 名辐射工作人员，核医学科 15 名，其中 6 名为医院现有核医学科辐射工作人员，另外 9 名为新增辐射工作人员；医用电子直线加速器和后装机辐射工作人员 9 名，均为医院现有放化疗科工作人员。

本项目放射性核素、放射源及射线装置使用情况分别见表 1-1、表 1-2 和表 1-3。

表 1-1 本项目放射性核素使用情况

核素名称	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	用途	储存方式与地点	使用场所
$^{18}\text{F}$	$1.48 \times 10^{10}$	$3.7 \times 10^{12}$	PET/CT 诊断	存储于核医学科 PET/CT 检查区储源室铅罐内	核医学科 PET/CT 检查区
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.85 \times 10^{10}$	$4.625 \times 10^{12}$	SPECT/CT 诊断	存储于核医学科 SPECT/CT 检查区活性室通风橱内	核医学科 SPECT/CT 检查区
$^{89}\text{Sr}$	$2.96 \times 10^8$	$1.48 \times 10^{10}$	骨转移癌治疗	存储于核医学科 SPECT/CT 检查区储源室铅罐内	核医学科 SPECT/CT 检查区
$^{131}\text{I}$	$3.33 \times 10^{10}$	$1.665 \times 10^{12}$	甲癌治疗	存储于核医学科 $^{131}\text{I}$ 核素治疗区储源室铅罐内	核医学科 $^{131}\text{I}$ 核素治疗区
	$3.55 \times 10^9$	$1.775 \times 10^{11}$	甲亢治疗	存储于核医学科 $^{131}\text{I}$ 核素治疗区储源室铅罐内	核医学科 $^{131}\text{I}$ 核素治疗区

表 1-2 本项目放射源使用情况

核素	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	数量	类别	储存方式与地点	使用场所
$^{68}\text{Ge}$	$9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 、 $4.6 \times 10^7 \text{Bq} \times 2$	3 枚	V 类	存储于核医学科 PET/CT 检查区储源及废物存放间铅屏蔽容器内	核医学科 PET/CT 机房
$^{137}\text{Cs}$	$2.5 \times 10^4 \text{Bq} \times 1$	1 枚	V 类	存储于核医学科储源间铅屏蔽容器内	核医学科活性室
$^{192}\text{Ir}$	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$	1 枚	III 类	内置于放化疗科后装机房后装机内	放化疗科后装机房

表 1-3 本项目射线装置使用情况

序	设备名称	型号	数量	类别	使用场所
---	------	----	----	----	------

号					
1	PET/CT	待定	1台	III类	核医学科 PET/CT 机房
2	SPECT/CT	待定	1台	III类	核医学科 SPECT/CT 机房
3	医用电子直线加速器	待定	1台	II类	放化疗科一号直线加速器室
4	医用电子直线加速器	待定	1台	II类	放化疗科二号直线加速器室

### 1.1.3 非密封放射性物质工作场所的分级与分类

#### (1)非密封源工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定,非密封源工作场所的分级见表 1-4。

表 1-4 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 $\sim 2 \times 10^7$

放射性核素的日等效操作活度的计算:

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)与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。日等效操作量计算公式如下:

$$\text{日最大等效操作活度} = \frac{\text{日最大操作活度} \times \text{核素毒性修正因子}}{\text{操作方式与放射源修正因子}}$$

放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 1-5 和表 1-6。放射性核素的毒性分组见标准的附录 D。

表 1-5 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 1-6 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
简单的操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

放射性核素  $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  均属于低毒组，毒性组别修正因子均为 0.01； $^{131}\text{I}$  和  $^{89}\text{Sr}$  属于中毒组，毒性组别修正因子为 0.1。 $^{89}\text{Sr}$  操作方式为简单操作，操作方式与放射源状态修正因子为 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 号文）的规定， $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  操作方式均为很简单操作，操作方式与放射源状态修正因子为 10； $^{131}\text{I}$  操作方式为简单操作，操作方式与放射源状态修正因子为 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 号文）的规定，本项目核医学科 PET/CT 检查区、SPECT/CT 检查区和  $^{131}\text{I}$  核素治疗区应为 3 个独立的非密封放射性物质工作场所。

根据放射性核素实际日最大操作量，计算日等效最大操作量，计算参数及结果见表 1-7。

表 1-7 放射性核素日等效最大操作量计算参数及结果

场所	核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量 (Bq)		场所等级
PET/CT 检查区	$^{18}\text{F}$	$1.48 \times 10^{10}$	0.01	10	$1.48 \times 10^7$		丙级
SPECT/CT 检查区	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.85 \times 10^{10}$	0.01	10	$1.85 \times 10^7$	$4.81 \times 10^7$	乙级
	$^{89}\text{Sr}$	$2.96 \times 10^8$	0.1	1	$2.96 \times 10^7$		
$^{131}\text{I}$ 核素治疗区	$^{131}\text{I}$	$3.685 \times 10^{10}$	0.1	1	$3.685 \times 10^9$		乙级

由表 1-7 可知，本项目核医学科 PET/CT 检查区为丙级非密封放射性物质工作场所，SPECT/CT 检查区和  $^{131}\text{I}$  核素治疗区为乙级非密封放射性物质工作场所。

## (2) 工作场所的分类

根据《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006），依据操作最大量放射性核素的加权活度，临床核医学工作场所分为 I、II、III 等三类，见表 1-8。



表 1-8 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	50-50000
III	< 50

注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素的毒性权重系数）/操作性质修正系数

核医学常用放射性核素的毒性权重系数和不同操作性质的修正系数分别见表 1-9 和表 1-10。

表 1-9 核医学常用放射性核素的毒性权重系数

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	<sup>75</sup> Se, <sup>89</sup> Sr, <sup>125</sup> I, <sup>131</sup> I	100
B	<sup>11</sup> C, <sup>13</sup> N, <sup>15</sup> O, <sup>18</sup> F, <sup>51</sup> Cr, <sup>67</sup> Ge, <sup>99m</sup> Tc, <sup>111</sup> In, <sup>123</sup> I, <sup>201</sup> Tl	1
C	<sup>3</sup> H, <sup>14</sup> C, <sup>81m</sup> Kr, <sup>127</sup> Xe, <sup>133</sup> Xe	0.01

表 1-10 不同操作性质修正系数

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	<b>100</b>
废物处理 闪烁法计数和显像 候诊区及诊断病床区	<b>10</b>
配药、分装以及施给药 简单放射药物制备 治疗病床区	<b>1</b>
复杂放射药物制备	0.1

不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构的防护要求见表 1-11。

表 1-11 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构的防护要求<sup>1)</sup>

工作场所	地面	表面	通风橱 <sup>2)</sup>	室内通风	管道	清洗及去污设备
I	地板与墙壁 接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	特殊要求 <sup>3)</sup>	需要
II	易清洗且不易渗漏	易清洗	需要	有较好的通风	一般要求	需要
III	易清洗	易清洗	不必	一般自然通风	一般要求	只需清洗设备

注：①依据国际放射防护委员会（ICRP）第 57 号出版物。

②仅指实验室。

③下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

根据放射性核素使用情况，进行临床核医学工作场所分类估算，核医学科内

PET/CT 检查区工作场所最大量放射性核素  $^{18}\text{F}$  的加权活度估算及分类见表 1-12, SPECT/CT 检查区工作场所最大量放射性核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{89}\text{Sr}$  的加权活度估算及分类工作场所见表 1-13,  $^{131}\text{I}$  核素治疗区最大量放射性核素  $^{131}\text{I}$  的加权活度估算及分类工作场所见表 1-14。

表 1-12 PET/CT 检查区最大量放射性核素的加权活度估算及分类工作场所

工作场所名称	核素	日最大操作量 (Bq)	毒素权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)	工作场所分类	备注
活性室	$^{18}\text{F}$	$1.48 \times 10^{10}$	1	1	14800	II	按日最大进药量计算
受检者通道	$^{18}\text{F}$	$5.55 \times 10^8$	1	10	55.5	II	按 1 人最大用药量计算
VIP 待检室	$^{18}\text{F}$	$5.55 \times 10^8$	1	10	55.5	II	
待检室	$^{18}\text{F}$	$1.11 \times 10^9$	1	10	111	II	按 2 人候诊计算
PET/CT 机房	$^{18}\text{F}$	$4.59 \times 10^8$	1	10	45.9	III	按 1 人用药 30min 后计算
留观室	$^{18}\text{F}$	$7.61 \times 10^8$	1	10	76.1	II	按照 2 人体内核素分别经过 50min 和 70min 衰减计算
储源及废物存放间	$^{18}\text{F}$	$1.48 \times 10^{10}$	1	100	148	II	按日最大操作量计算
注射间	$^{18}\text{F}$	$5.55 \times 10^8$	1	10	55.5	II	按 1 人最大用药量计算
受检者卫生间	$^{18}\text{F}$	$5.55 \times 10^8$	1	10	55.5	II	

表 1-13 SPECT/CT 检查区最大量放射性核素的加权活度估算及分类工作场所

工作场所名称	核素	日最大操作量 (Bq)	毒素权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)		工作场所分类	备注
活性室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.85 \times 10^{10}$	1	1	18500	48100	II	按日最大进药量计算
	$^{89}\text{Sr}$	$2.96 \times 10^8$	100	1	29600			
受检者通道	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.40 \times 10^8$	1	10	74		II	按 1 人最大用药量计算
注射间	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.40 \times 10^8$	1	10	74		II	
运动间	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.40 \times 10^8$	1	10	74		II	
SPECT/CT 机房	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.40 \times 10^8$	1	10	74		II	
二次候诊区	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.40 \times 10^8$	1	10	74		II	
储源及废物	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.85 \times 10^{10}$	1	100	185	481	II	按日最大

存放间	<sup>89</sup> Sr	2.96×10 <sup>8</sup>	100	100	296		进药量计算
留观室	<sup>99m</sup> Tc	7.40×10 <sup>8</sup>	1	10	74	II	按1人最大用量计算
受检者卫生间	<sup>99m</sup> Tc	7.40×10 <sup>8</sup>	1	10	74	II	

表 1-14 <sup>131</sup>I 核素治疗区最大量放射性核素的加权活度估算及分类工作场所

工作场所名称	核素	日最大操作量 (Bq)	毒素权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)	工作场所分类	备注
储源间	<sup>131</sup> I	3.685×10 <sup>10</sup>	100	100	36850	II	按日最大操作量计算
分装间	<sup>131</sup> I	3.685×10 <sup>10</sup>	100	1	3685000	I	
服药间	<sup>131</sup> I	5.55×10 <sup>9</sup>	100	1	555000	I	按1名甲癌患者最大用量计算
病房走廊	<sup>131</sup> I	5.55×10 <sup>9</sup>	100	1	555000	I	
治疗病房	<sup>131</sup> I	1.11×10 <sup>10</sup>	100	1	1110000	I	按2名甲癌患者最大用量计算
放射性废物存放间	<sup>131</sup> I	3.685×10 <sup>9</sup>	100	100	3690	II	按日最大操作量10%计算
抢救室	<sup>131</sup> I	5.55×10 <sup>9</sup>	100	1	555000	I	按1名甲癌患者最大用量计算
污洗间	<sup>131</sup> I	5.55×10 <sup>9</sup>	100	1	555000	I	
开水间	<sup>131</sup> I	5.55×10 <sup>9</sup>	100	1	555000	I	
病人卫生间	<sup>131</sup> I	5.55×10 <sup>9</sup>	100	1	555000	I	
盥洗间	<sup>131</sup> I	5.55×10 <sup>9</sup>	100	1	555000	I	

由表 1-12、表 1-13 和表 1-14 可知,本项目 PET/CT 检查区工作场所的 PET/CT 机房属于 III 类临床核医学工作场所,应按《临床核医学卫生防护标准》(GBZ120-2006)中规定的 III 类核医学工作场所的室内表面及装备结构要求施工建设,地面、墙面和操作台面易清洗,具有一般通风,配备清洗设备。

PET/CT 检查区工作场所的活性室、受检者通道、VIP 待检室、待检室、留观室、储源及废物存放间、注射间、受检者卫生间;SPECT/CT 检查区工作场所的活性室、受检者通道、注射间、运动间、SPECT/CT 机房、二次候诊区、储源

及废物存放间、留观室、受检者卫生间；<sup>131</sup>I 核素治疗区工作场所的储源间、放射性废物存放间均属于 II 类临床核医学工作场所，应按《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中规定的 II 类核医学工作场所的室内表面及装备结构要求施工建设，地面易清洗且不易渗漏，墙面和操作台面均采用光滑易清洗的材料铺设，室内保持较好的通风，配备通风橱、清洗及去污设备。

<sup>131</sup>I 核素治疗区工作场所的分装间、服药间、病房走廊、治疗病房、抢救室、污洗间、开水间、病人卫生间、盥洗间属于 I 类临床核医学工作场所，应按《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中规定的 I 类核医学工作场所的室内表面及装备结构防护要求施工建设，地面与墙壁接缝无缝隙，地面、墙面和操作台面等均采用光滑易清洗的材料铺设，配备通风橱、抽风机、清洗及去污设备，下水道管道宜短并加以标记，以便维修检测。

#### 1.1.4 任务由来

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》及《建设项目环境保护管理条例》的要求，国药东风总医院新增核医学科、放化疗科项目应履行环境影响评价手续，本项目所涉及的辐射工作种类和范围和使用 III 类、V 类放射源，使用 II、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》的规定，本项目应编制环境影响报告表。

我公司承接任务后，组织技术人员于 2019 年 1 月进行了本项目环境状况调查，收集和分析了有关技术文件和其他有关文件，在完成辐射环境状况调查、监测与污染源分析等工作的基础上，依照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016），编制完成了《国药东风总医院新增核医学科、放化疗科项目环境影响报告表》（征求意见稿）。

## 1.2 项目周边保护目标及场址选址情况

国药东风医院位于十堰市大岭路 16 号，本项目所在区域图见附图 1。

医院拟建肿瘤大楼位于医院最北边的山坡上，为地上 7 层，地下 1 层建筑。本项目核医学科位于肿瘤大楼 1 楼，放化疗科位于肿瘤大楼负一楼。核医学科东北侧 45m 为医院医疗废物暂存间，东北侧 14m 为医院高压氧科，南侧 8m 为住院楼，西侧、北侧均为山地。

本项目辐射工作场所边界外 50m 范围内无学校、居民区等环境敏感点，本

项目在辐射工作场所屏蔽防护有效的条件下，不会对外环境人员造成辐射影响。

本项目保护目标为 50m 评价范围内的辐射工作人员和公众，项目周边环境关系见图 1-1。

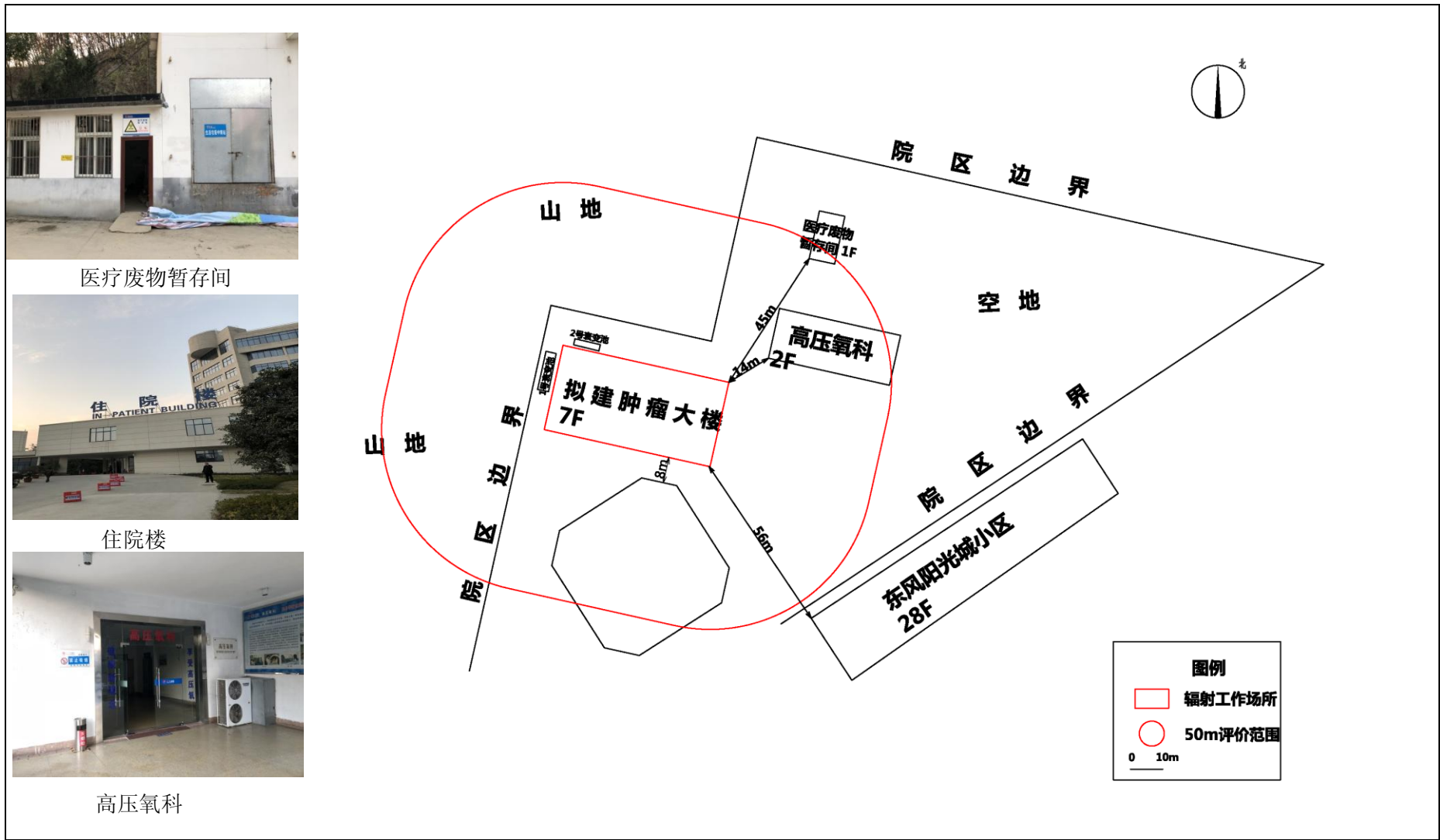


图 1-1 本项目周边关系图

### 1.3 原有核技术利用项目许可情况

东风医院于 2005 年 1 月取得湖北省环境保护局关于核技术项目环境影响报告表的批复；2014 年 3 月取得湖北省环境保护厅关于东风汽车公司总医院新增综合医技大楼射线装置应用项目环境影响报告表的批复，文号为鄂环审[2014]167 号；2017 年 3 月取得湖北省环境保护厅关于东风汽车公司总医院新增综合医技大楼射线装置应用项目竣工环境保护验收有关意见的函，文号为鄂环审[2017]65 号；2016 年 5 月取得湖北省环境保护厅关于东风汽车公司总医院新增陀螺刀及核医学科改扩建等核技术应用项目环境影响报告表的批复，文号为鄂环审[2016]90 号；2019 年 4 月在全国建设项目环评登记表备案系统对新增 CT 模拟定位机项目、新增 <sup>90</sup>Sr 密封源项目进行了备案，备案号分别为 1111

东风医院于 2007 年 7 月取得了由湖北省环境保护局颁发的辐射安全许可证，2013 年 7 月取得了湖北省环境保护厅颁发的辐射安全许可证延续资质，2017 年 10 月重新申请并取得了湖北省环境保护厅颁发的辐射安全许可证，许可证编号为鄂环辐证 [C0007]，许可的种类和范围为使用 V 类放射源，使用 II、III 类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。东风医院现有已许可的放射源、放射性同位素及射线装置明细见表 1-15 至表 1-17。

表 1-15 东风医院现有已许可的放射源明细

序号	放射源	类别	活度 (Bq)	数量 (枚)	使用场所
1	Sr-90	V 类	9.25E+8	1	核医学科
2	Sr-90	V 类	1.35E+9	1	核医学科
3	Cs-137	V 类	2.5E+4	1	核医学科

表 1-16 东风医院现有已许可的放射性同位素明细

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量活度 (Bq)
1	核医学科	乙级	Sr-89	3.7E+7	4.44E+9
2	核医学科	乙级	I-131	2.22E+8	5.33E+11
3	核医学科	丙级	I-125	3.7E+5	4.44E+7
5	核医学科	乙级	Tc-99m	1.85E+8	4.44E+11

表 1-17 东风医院现有已许可的射线装置明细

序号	装置名称	型号	类别	数量 (台)	使用场所	使用情况
1	骨密度仪	Lunar Prodigy	III 类	1	核医学科骨密度仪室	在用

2	SPECT/CT	Millennium MPR	Ⅲ类	1	核医学科 SPECT/CT 机房	在用
3	直线加速器	Primus	Ⅱ类	1	放疗中心肿瘤科	在用
4	模拟定位机	Lx-40A	Ⅲ类	1	放疗中心模拟定位室	在用
5	DR	DR-EVOLUSTION	Ⅲ类	1	放射科	在用
6	X 光机	RAD SPEEDM	Ⅲ类	1	放射科第二拍片室	在用
7	X 光机	/	Ⅲ类	1	放射科	未购买
8	钼靶乳腺机	GIOTTO IMAGE	Ⅲ类	1	放射科	在用
9	口腔 CT	/	Ⅲ类	1	口腔医院	未购买
10	牙科全面断层 X光机	/	Ⅲ类	2	口腔医院	未购买
10	口内牙片机	/	Ⅲ类	4	口腔医院	未购买
11	牙科 X 光机	/	Ⅲ类	1	口腔医院	未购买
12	移动 C 臂 X 线机	ATS arco-si	Ⅲ类	1	综合医技楼六楼 2 号手术室	在用
13	移动 C 臂 X 线机	MULTMOBIL 5C	Ⅲ类	1	综合医技楼六楼 3 号手术室	在用
14	移动 C 臂 X 线机	/	Ⅲ类	1	/	未购买
15	双排 CT	BRILLIANCE64	Ⅲ类	1	综合医技楼 CT 检查室	在用
16	数字血管造影机 (DSA)	INNOVA3100IQ	Ⅱ类	1	综合医技楼二楼 2 号介入室	在用
17	数字血管造影机 (DSA)	ALLURAXPER FD20	Ⅱ类	1	综合医技楼二楼 1 号介入室	在用
18	体外冲击波碎石机	HB-ESWL-VG	Ⅲ类	1	综合医技楼四楼 泌尿外科	在用
19	X 射线机	RAD SPEEDM	Ⅲ类	1	综合医技楼二楼 1 号拍片室	在用
20	X 射线机	/	Ⅲ类	2	/	未购买
21	64 排 CT	BRILLIANCE64	Ⅲ类	1	综合医技楼二楼 CT1 号检查室	在用
22	移动 DR	DRXR-1	Ⅲ类	1	综合医技楼四楼 ICU	在用
23	数字胃肠机	SIEMENS ICONOS MD	Ⅲ类	1	综合医技楼二楼 数字胃肠室	在用



24	256排CT	Brilliance ICT	Ⅲ类	1	综合医技楼二楼 2号CT室	在用
----	--------	----------------	----	---	------------------	----

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	使用场所名称	贮存方式与地点	备注
1	<sup>68</sup> Ge	9.25×10 <sup>7</sup> Bq×1、	V类	使用	PET 校准	核医学科 PET/CT 机房	存储于核医学科 PET/CT 检查区储源及废物存放间铅屏蔽容器内	拟购
2	<sup>68</sup> Ge	4.6×10 <sup>7</sup> Bq×2	V类	使用	PET 校准	核医学科 PET/CT 机房	存储于核医学科 PET/CT 检查区储源及废物存放间铅屏蔽容器内	拟购
3	<sup>137</sup> Cs	2.5×10 <sup>4</sup> Bq×1	V类	使用	活度计校准	核医学科活性室	存储于核医学科储源间铅屏蔽容器内	依托现有
4	<sup>192</sup> Ir	3.7×10 <sup>11</sup> Bq×1 枚	III类	使用	医用治疗	放化疗科后装机房	内置于放化疗科后装机房后装机内	拟购

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	$^{18}\text{F}$	液态、低毒组、半衰期 1.83h、衰变产物: $\gamma$ 射线、主要 $\gamma$ 射线能量 0.511MeV	使用	$1.48 \times 10^{10}$	$1.48 \times 10^7$	$3.7 \times 10^{12}$	PET 诊断	很简单操作	核医学科 PET/CT 检查区	存储于核医学科 PET/CT 检查区储源及废物存放间铅罐内
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态、低毒组、半衰期 6.02h、衰变产物: $\gamma$ 射线、主要 $\gamma$ 射线能量 0.141KeV	使用	$1.85 \times 10^{10}$	$1.85 \times 10^7$	$4.625 \times 10^{12}$	SPECT 诊断	很简单操作	核医学科 SPECT/CT 检查区	存储于核医学科 SPECT/CT 检查区储源及废物存放间铅罐内
3	$^{89}\text{Sr}$	液态、中毒组、半衰期 50.6d、衰变产物: $\beta$ 射线、主要 $\beta$ 射线能量 1.49MeV	使用	$2.96 \times 10^8$	$2.96 \times 10^7$	$1.48 \times 10^{10}$	骨转移癌治疗	简单操作	核医学科 SPECT/CT 检查区	存储于核医学科 SPECT/CT 检查区储源及废物存放间铅罐内
4	$^{131}\text{I}$	液态、中毒组、半衰期 8.04d、衰变产物: $\gamma$ 射线和 $\beta$ 射线、主要 $\gamma$ 射线能量 0.364MeV、 $\beta$ 射线能量 0.606MeV	使用	$3.685 \times 10^{10}$	$3.685 \times 10^9$	$1.843 \times 10^{12}$	甲癌治疗、甲亢治疗	简单操作	核医学科 $^{131}\text{I}$ 核素治疗区	存储于核医学科 $^{131}\text{I}$ 核素治疗区储源间铅罐内

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	15MeV	1440	放化疗科一号直线加速器室	拟购
2	医用电子直线 加速器	II类	1台	待定	电子	15MeV	1440	放化疗科二号直线加速器室	拟购

**(二) X射线机，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	PET/CT	III类	1台	待定	待定	待定	医用诊断	核医学科 PET/CT 机房	拟购
2	SPECT/CT	III类	1台	待定	待定	待定	医用诊断	核医学科 SPECT/CT 机房	拟购

**(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 (uA)	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
废旧放射源	固态	$^{68}\text{Ge}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ 、	/	/	5 枚	/	不暂存，直接更换	厂家回收或交由专门从事放射性固体废物贮存、处置的单位处置
废弃的 $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器	固体	$^{99}\text{Mo}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	50 个	/	暂存于核医学科 SPECT/CT 检查区储源及废物存放间	厂家回收
放射性固体废物	固体	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{18}\text{F}$	/	/	/	小于清洁解控水平	铅废物桶收集后，存放于核医学科废物间存放 10 个半衰期以上	达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理
放射性液体废物	液态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$	/	/	/	总 $\beta$ 放射性 $\leq 10\text{Bq/L}$	贮存于核医学科西侧 1 号衰变池和西北侧 2 号衰变池中，存放 10 个半衰期以上	达到清洁解控水平后排入医院污水处理站，处理后再排入城市污水处理厂处理
放射性气载废物	气态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{18}\text{F}$	/	/	/	/	/	经活性炭过滤后经通风装置连接的高于肿瘤大楼屋脊的排风管排入大气

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液体单位为  $\text{mg/kg}$ ，气态为  $\text{mg/m}^3$ ；年排放总量用  $\text{kg}$ 。

2、含有放射性的废物要注明，其他排放浓度、年排放总量分别用比活度（ $\text{Bq/L}$  或  $\text{Bq/kg}$  或  $\text{Bq/m}^3$ ）和活度（ $\text{Bq}$ ）。

**表 6 评价依据**

<p><b>法规 文件</b></p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，自 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》，中华人民共和国主席令第 48 号，2018 年 12 月 29 日修正；</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，自 2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》，中华人民共和国国务院令第 682 号，自 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》，中华人民共和国国务院令第 449 号，2014 年 7 月 29 日修正；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，中华人民共和国环境保护部令第 44 号，2018 年 4 月 28 日修正；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令第 18 号，自 2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，中华人民共和国环境保护部令第 3 号，2017 年 12 月 20 日修正；</p> <p>(9) 《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 2017 年第 66 号，自 2017 年 12 月 6 日起施行；</p> <p>(10) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号；</p> <p>(11) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部 工业和信息化部 国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，自 2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(12) 《国家发展改革委关于修改〈产业结构调整指导目录（2011 年本）〉有关条款的决定》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 21 号，自 2013 年 5 月 1 日起施行；</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) 《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。</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016);</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016);</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001);</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(5) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010);</p> <p>(6) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013);</p> <p>(7) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006);</p> <p>(8) 《环境地表 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93);</p> <p>(9) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009);</p> <p>(10) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011);</p> <p>(11) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011);</p> <p>(12) 《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>(13) 《后装<math>\gamma</math> 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017);</p> <p>(14) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)。</p>
其他	<p>(1)环境影响评价委托书;</p> <p>(2)《国药东风总医院核医学科建设项目职业病危害放射防护预评价报告书》(DSWH 放预 2019003);</p> <p>(3)《国药东风总医院新建放化疗科建设项目职业病危害放射防护预评价报告书》(DSWH 放预 2019001);</p> <p>(4)建设单位提供的其他资料。</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》(HJ10.1-2016)中的“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,甲级取半径 500m,乙、丙级取半径 50m 的范围+射线装置的”的规定,本项目核医学科评价范围取核医学科实体边界半径 50m 的范围,医用电子直线加速器和后装机分别取各机房实体边界半径 50m 的范围。

### 7.2 保护目标

环境保护目标为本项目评价范围内的辐射工作人员和公众,公众包括医院医护人员(本项目辐射工作人员除外)、其他患者(本项目患者除外)及陪护人员。环境保护目标详见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标

序号	名称	规模	方位及距离
1	辐射工作人员	核医学科辐射工作人员	核医学科内
2		医用电子直线加速器、后装机辐射工作人员	控制室内
3	公众	住院楼医护人员	南侧 8~50m
4		医疗废物间工作人员	东北侧 45~50m
5		高压氧科医护人员	东北侧 14~50m
6		肿瘤大楼医护人员	周围 0~50m
7		院内患者及陪护人员	流动人员 周围 0~50m

### 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)

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定,职业照射和公众照射年平均有效剂量限值见表 7-2,工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-3。

表 7-2 职业照射和公众照射年平均有效剂量限值

职业照射	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)不超过 20mSv。
公众照射	实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的年有效剂量平均剂量估计值不应超过 1mSv。



年有效剂量约束值取值通常在年有效剂量限值的 10%~30%的范围之内。

本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量约束值取 5mSv，医用电子直线加速器及后装机辐射工作人员年有效剂量约束值取 2mSv，公众年有效剂量约束值取 0.25mSv。

表 7-3 工作场所 β 表面污染控制水平 (Bq/cm<sup>2</sup>)

表面类型		β 表面污染
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 <sup>①</sup>	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
皮肤、手、内衣、工作袜		4×10 <sup>-1</sup>

①该区内的高污染子区除外

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

(1)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 7-4 要求。

表 7-4 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 <sup>2</sup> )	机房内最小单边长度 (m)
CT 机	30	4.5

(2)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 7-5 要求。

表 7-5 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

设备类型	有用线束方向铅当量 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
CT 机房	2 (一般工作量) <sup>a</sup>	
	2.5 (较大工作量) <sup>a</sup>	

a 按 GBZ/T180 的要求。

(3)在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，具有透视功能的 X 射线机在透视条件下监测时，周围剂量当量率的控制目标值不大于 2.5μSv/h 的要求。

(4)每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-6 基本种类要求的工作人员防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要。

表 7-6 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	
	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	—	—

注：“—”表示不要求。

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

(1)临床核医学的放射防护要求

①不同类别核医学工作场所的室内表面及装备要求见表 7-7。

表 7-7 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	通风橱 <sup>2)</sup>	室内通风	管道	清洗及去污设备
I	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	特殊要求 <sup>3)</sup>	需要
II	易清洗且不易渗漏	易清洗	需要	有较好的通风	一般要求	需要
III	易清洗	易清洗	不必	一般自然通风	一般要求	只需清洗设备

注：1) 依据国际放射防护委员会 (ICRP) 第 57 号出版物。

2) 仅指实验室。

3) 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

②合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 1m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值；

③凡 I 类工作场所和开展放射性药物治疗的单位应设有放射性污水池，以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放。废原液和高污染的放射性废液应专门收集存放；

④临床核医学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。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集，并给予适当屏蔽。固体废物如污染的针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄露、较牢固，并有合适屏蔽的容器内。放射性废物应及时按 GBZ133 进行处理；

⑤临床核医学诊断及治疗用工作场所（包括通道）应注意合理安排与布局。其布局应有助于施工工作程序，如一端为放射性物质贮存室，依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且应避免无关人员通过。

(2)放射性药物操作的一般放射防护要求

①操作放射性药物应有专门场所，如给药不在专门场所进行时则需采取适当防护措施。放射性药物使用前应有恰当屏蔽；

②装有放射性药物的给药注射器应有适当屏蔽。难以屏蔽时应注意操作时

间；

③操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风橱内进行，并按操作情况进行气体或气溶胶放射性浓度的常规监测以及必要的特殊监测，应注意对放射性碘在甲状腺内沉积的防护；

④工作人员操作后离开放射性工作室前应洗手和进行表面污染监测，如其污染水平超过 GB18871 规定值，应采取相应去污措施；

⑤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那部分；

⑥放射性物质的贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不得入内；

⑦贮存和运输放射性物质时均应使用专门容器、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放射防护措施；

(10)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。

(3)临床核医学治疗的放射防护要求

①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 处或单人间病房应划为控制区。控制区入口处应有 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；

②配药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和已给药治疗的患者通过非放射性区域；

③根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定临床核医学治疗病房的位置及其放射防护要求。病房应有防护栅栏，以控制已给药患者同其他患者保持足够距离，必要时可采用附加屏蔽防护措施；

④接受放射性药物治疗的患者应使用专用便器或设有专用卫生间和浴室；

⑤使用过的放射性药物注射器、绷带和敷料，应作污染物件处理或作放射性废物处理；

⑥接受  $^{131}\text{I}$  治疗的患者，应在其体内的放射性活度降低至低于 400MBq 方可出院，以控制患者家庭与公众成员可能受到的照射。

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

(1)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；

(2)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 201.1 的要求；

(3)在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 周围剂量当量率应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

(4)X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护；

(5)治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备；

(6)治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于  $45\text{m}^2$ ；

(7)治疗室人口处必须设置防护门和迷路,防护门应与加速器联锁；

(8)相关位置(例如治疗室人口处上方等)立安装醒目的指示灯及辐射标志；

(9)治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

### 7.3.5 《后装 $\gamma$ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017)

(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区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，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；

(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 4 次；

(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，开门状态下不能出源照射，出源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；

(4)治疗室防护门应设置手动开门装置；

(5)在控制室和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；

(6)应配备辐射监测设备或便携式测量设备、并具有报警功能；

(7)治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过  $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

(8)在治疗室迷道出、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。

### 7.3.6 《医疗机构水污染排放标准》(GB18846-2005)

(1)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入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准，即总  $\beta$  放射性 $\leq 10\text{Bq/L}$ 。

(2)医疗机构的低放射性废水应经衰变池处理后，再排入医院污水处理系统。

### 7.3.7 《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使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于  $2 \times 10^7\text{Bq}$  的临床核医学单位和医学科研机构，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。规定患者在住院治疗期间不得使用其他厕所；

③专用化粪池内排泄物在贮存衰变后，经审管部门核准后方可排入下水道系统。

#### (2)固体废物的管理

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走动的区域；

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，不破损，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存；

#### (3)气载废物的管理

操作放射性碘化物等具有挥发性的放射性物质时，应在备有活性炭过滤或其他专用过滤装置的通风橱内进行。

**表 8 环境质量 and 辐射现状**

对于本项目环境质量和辐射现状的评价，采取辐射环境背景监测方式，湖北东都检测有限公司对本项目进行了辐射工作场所评价范围内  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率监测，监测报告见附件 3。

**8.1 项目地理和场所位置**

国药东风总医院位于十堰市大岭路 16 号，项目地理位置见附图 2。

拟建核医学科位于肿瘤大楼一楼，直线加速器室和后装机房位于肿瘤大楼负一楼。

**8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位**

**8.2.1 环境现状评价的对象**

评价对象为评价范围内的辐射水平。

**8.2.2 监测因子**

监测因子为  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率。

**8.2.3 监测点位**

监测点位布置在拟建辐射工作场所评价范围内，监测点位见图 8-1。

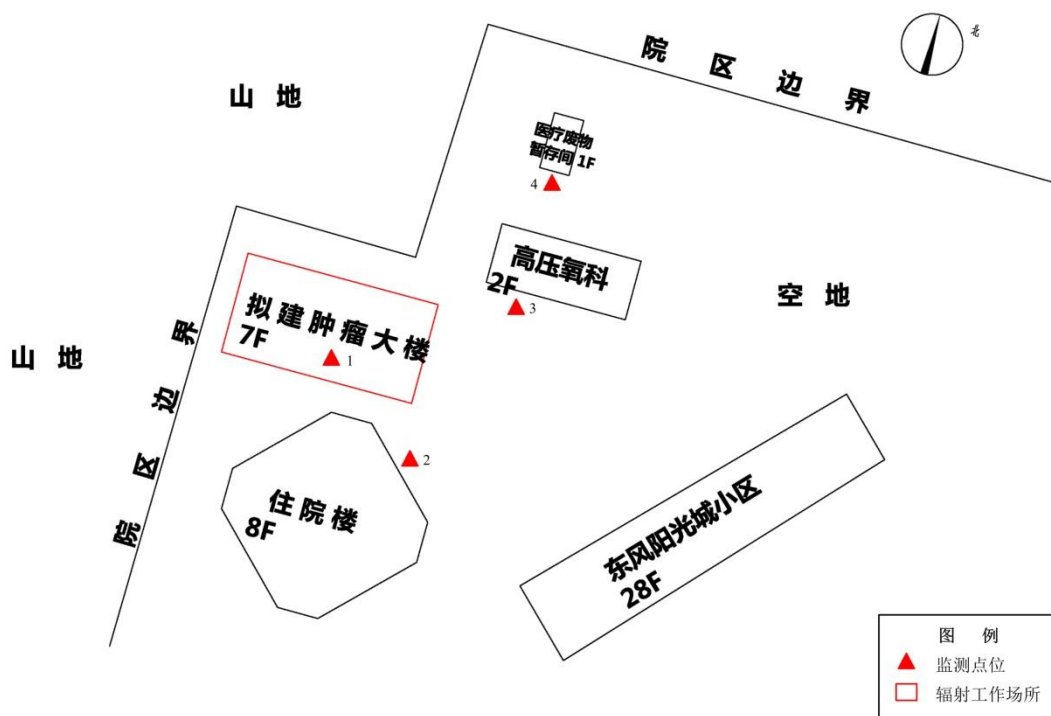


图 8-1 本项目评价范围内  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率监测点位示意图

### 8.3 监测方案、质量保证措施和监测结果

#### 8.3.1 监测方案

(1)监测项目

$\gamma$  辐射空气吸收剂量率。

(2)监测布点

辐射环境监测点位布置见图 8-1。

(3)监测方法

《环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-93)。

(4)数据记录及处理

每个点位读取 10 个数据，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。

(5)监测仪器

采用的监测仪器性能参数及其检定情况见表8-1。

表 8-1 采用的监测仪器性能参数及其检定情况

仪器名称	X、 $\gamma$ 辐射剂量当量率仪
仪器型号	JB5000 型
出厂编号	15016
检定证书编号	2018H21-20-1627738001
探测器	$\Phi 30 \times 25\text{mm NaI(Tl)}$
灵敏度	$\geq 300\text{CPS}$ (1 $\mu\text{Sv/h}$ 时)
能量响应	48KeV~3MeV 范围内误差 $\leq \pm 30\%$
测量范围	0.01 $\mu\text{Sv/h}$ ~10mSv/h
检定有效期	2018 年 11 月 11 日~2019 年 11 月 10 日

#### 8.3.2 质量保证措施

(1)监测单位计量认证

湖北东都检测有限公司拥有湖北省质量技术监督局颁发的《检验检测机构资质认定证书》，其编号为161712050240，有效期至2022年5月2日。2019年1月27日监测时，其《检验检测机构资质认定证书》处于有效期之内。

(2)监测日期及监测条件

监测日期：2019 年 1 月 27 日

天 气：阴

环境温度：1℃~6℃

相对湿度：64%

### (3)监测布点

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）规定的范围和《环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）有关布点原则进行布点。

### (4)监测过程质量控制质量保证

按照CMA计量认证的规定和《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）的相关要求，实施全过程质量控制。

### (5)监测人员、监测仪器及监测结果质量保证

按照CMA计量认证的规定和《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）的相关要求，对监测人员、监测仪器和监测结果进行质量保证。

## 8.3.4 监测结果

本项目评价范围内 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率监测结果见表8-2。

表8-2 本项目评价范围内X- $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率监测结果

序号	检测点位描述	测量值（ $\mu\text{Gy/h}$ ）	备注
1	拟建肿瘤大楼处	0.08	背景监测
2	南侧住院楼前	0.10	
3	东北侧高压氧科前	0.11	
4	东北侧医疗废物暂存间前	0.10	

## 8.4 现状环境影响评价

表8-2监测结果表明，本项目辐射工作场所评价范围内 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率监测值为（0.08~0.11） $\mu\text{Gy/h}$ ，查阅2018年3季度全国空气吸收剂量率简报（中华人民共和国生态环境部官网发布）可知，湖北省三个自动监测站监测的空气吸收剂量率值在（66.2~113.2） $\text{nGy/h}$ 之间。因此，本项目评价范围内 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率属自然环境辐射水平。



**表 9 项目工程分析与源项**

**9.1 工程设备和工艺分析**

**9.1.1 设备组成及工作方式**

(1)PET/CT 组成和工作方式

PET/CT 由正电子发射断层成像 (PET) 和 X 射线断层成像扫描 (CT) 组成, 使用同一个检查床和 PET 图像与 CT 图像融合对位工作站, 同时具有 PET 与 CT 功能, 同时利用 PET 和 CT 进行临床疾病诊断。

PET 是正电子发射计算机断层成像的英文 (Positron Emission Tomography) 的缩写, 是反映病变基因、分子、代谢及功能状态的显像设备, 利用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为显像剂, 通过病灶对显像剂的摄取来反映其代谢变化, 从而进行临床疾病的诊断。

PET 扫描系统主要由扫描仪 (scanner)、显像床(imaging table)、电子橱 (electronics cabinet)、操作工作站 (operator,sworkstation, OWS)、分析工作站 (analysis workstation, AWS) 和影像硬拷贝等组成。

PET 扫描仪的外形为一个柱状的支架 (gantry), 扫描视野位于支架的中央, 由探测器、射线屏蔽装置等组成。

PET 自带 3 枚 V 类源放射源  $^{68}\text{Ge}$ , 内置于 PET/CT 内或存储于 PET/CT 检查区储源及废物存放间铅屏蔽容器内。

(2)SPECT/CT 组成和工作方式

SPECT/CT 将是单光子发射型计算机断层显像仪和 X 射线断层成像扫描 (CT) 一体化组合的影像诊断设备, 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, 进行临床疾病诊断。

SPECT 系统一般由探测器、机架、控制台、计算机 (包括接口) 和外围设备五部分构成。

(3)医用电子直线加速器组成及工作方式

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, 主要由加速管、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组成。

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 左右的真空射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，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。

#### (4)后装机组成及工作方式

后装机即近距离放射治疗机，由治疗计划系统、控制系统和后装机三部分组成。后装机治疗是把不带放射源的治疗容器置于治疗部位，由电脑遥控步进电机将放射源送入容器进行放射治疗，如此可避免放置治疗容器过程中医务人员因放射受伤。可以将放射源准确安全的输送到患者需要治疗的部位进行放射治疗。

### 9.1.2 工作原理及工艺流程

#### (1)PET/CT 工作原理及工艺流程

PET 的工作原理为带有正电子放射核素放射出的正电子在体内移动大约 2mm~3mm 后和负电子结合发生湮灭现象，正负电子消失并同时产生两个能量相等 (511Kev)，方向相反的光子。在 PET 探头系统内由数个探测器环构成，由湮灭产生的两个方向相反的光子能够被探头内的两个探测器分别探测到。探测器探测到的两个光子由于在体内经历的路径不同分别到达两个探测器的时间也有一定的差别。我们把探测到这两个光子过程称为探测符合事件过程，这两个光子产生的过程称为符合事件。在两个探测器探测到光子后就可以确定体内有放射性核素分布投影，然后进行图象重建确定体内不同脏器的核素分布。通过计算机对采集数据重建处理，可获取示踪剂在人体器官的代谢分布图象，并得到人体全身三维断层图象，从而反映机体组织功能、代谢信息。PET/CT 由 PET 和 CT 组成，其检查结果比单独的 PET 或 CT 有更高的准确性，特别是显著提高了对小病灶的诊断能力。

PET/CT 检查区使用的核素  $^{18}\text{F}$  从外采购，本项目 PET/CT 使用核素  $^{18}\text{F}$  显像检查工艺流程如下：

①药物分装：外购的放射性药物  $^{18}\text{F}$ ，由具有相关资质厂家送到医院后经专用的放射源入口防护门（门四），置于储源及废物存放间。注射前，医护人员穿戴好个人防护用品通过缓冲间到储源及废物存放间取出储源铅罐，到活性室的通风橱分装至注射器，每次最多分装 3 名受检者的药物用量，当天分装结束后将源罐还回储源及废物存放间。每次分装时间约为 20min；

②注射：受检者注射前候诊区等候，听到语音提示后，通过入口防护门（门

二) 进入受检者通道, 到达注射间注射窗口接受注射。医护人员经过缓冲间进入活性室, 在通风橱取出分装了药物的注射器, 注射器上套有注射器防护套, 注射器置于药物转运防护罐, 转运到注射窗口。在注射窗口对已设置静脉留置针的受检者注射放射性药物, 注射时间约 30s/人次;

③注射后候诊: 受检者注射后在待检室或 VIP 待检室静卧约 30~50 分钟;

④检查: 听到语音提示后, 受检者进入 PET/CT 机房扫描检查, 医护人员指导病人摆位后, 进入控制室进行隔室扫描, 摆位时间约 30s/人次, 扫描时间约 10~20min/人次;

⑤留观: 检查完毕后, 受检者在留观室留观约 10~30min。经主管医生确认图像质量满意后, 受检者由出口防护门(门三)离开。

PET/CT 检查工艺流程及产污环节见图 9-1。

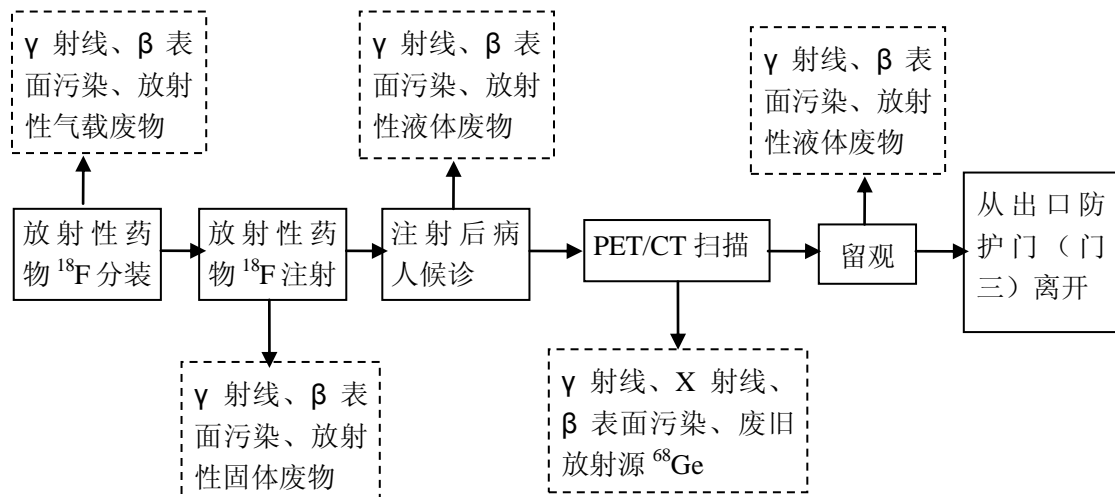


图 9-1 PET/CT 检查工艺流程及产污环节

### (2)<sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc 发生器工作原理及工艺流程

利用氧化铝柱对 <sup>99</sup>Mo 和 <sup>99m</sup>Tc 吸附性能差异, 从较长半衰期的放射性母体核素 <sup>99</sup>Mo 中分离出由其衰变而产生的较短半衰期放射性子体核素 <sup>99m</sup>Tc。<sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc 发生器由具有相应辐射安全许可的专业生产厂家提供。

本项目 SPECT/CT 检查区所使用的核素 <sup>99m</sup>Tc 采用位于储源及废物存放间内 <sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc 发生器淋洗而来, <sup>99m</sup>Tc 制备工艺流程如下:

①辐射工作人员穿戴好个人防护用品, 通过缓冲间进入储源及废物存放间取出 <sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc 发生器;

②在活性室通风橱内打开 <sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc 发生器顶部的铅屏蔽盖, 插上生理盐水

瓶和洗脱液收集瓶，套上收集瓶铅套，制备放射性核素  $^{99m}\text{Tc}$ 。每次操作时间约 20min；

③对制备的放射性核素  $^{99m}\text{Tc}$  进行质控、标记和分装，制成静脉注射针剂暂存于活性室通风橱内。

$^{99}\text{Mo}$ - $^{99m}\text{Tc}$  发生器淋洗、质控和分装工艺流程及产污环节见图 9-2。

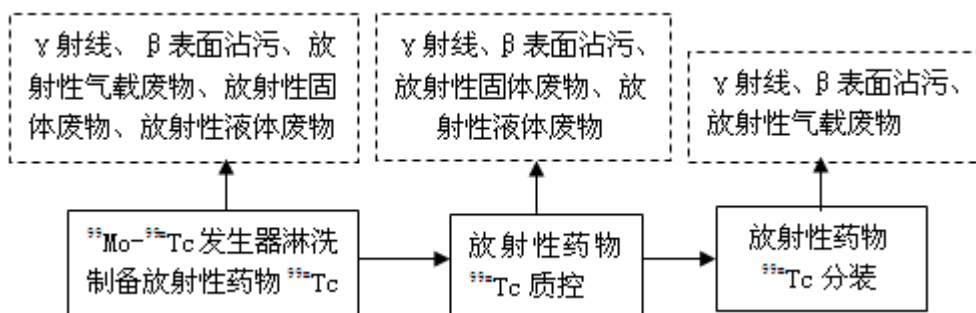


图 9-2  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99m}\text{Tc}$  发生器淋洗、质控和分装工艺流程及产污环节

### (3)SPECT/CT 工作原理及工艺流程

SPECT-CT 基本原理是利用  $^{99m}\text{Tc}$  等放射性核素的示踪作用，不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律，能够选择性的聚集在特定脏器、组织或病变部位，使其与临近组织之间的放射性分布形成一定程度的浓度差，而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定出穿透力的  $\gamma$  射线，利用 SPECT 探头对这些光子进行探测和记录，通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。

SPECT/CT 核素显像检查工艺流程如下：

① $^{99m}\text{Tc}$  的病人在注射前候诊区候诊；

②听到语音提示后，受检者从入口防护门（门六）进入受检者通道，到达注射间注射窗口接受注射。医护人员通过缓冲间到达活性室，在活性室通风橱内取出分装了药物的注射器，注射器上套有注射器防护套，注射器置于药物转运防护罐，转运到注射窗口，通过注射窗口对已设置静脉留置针的受检者注射放射性药物，注射时间约 30s/人次；

③注射放射性药物  $^{99m}\text{Tc}$  的受检者在二次候诊区候诊，候诊时间约 30~50 分钟；

④注射放射性药物  $^{99m}\text{Tc}$  的受检者进入 SPECT/CT 机房扫描检查；医护人员指导病人摆位后，进入控制室进行隔室扫描，摆位时间约 30s/人次，扫描时间约

2~20min/人次；

⑤检查完毕后，受检者在留观室留观约 10~30min。经主管医生确认图像质量满意后，受检者从出口防护门（门七）离开。

SPECT/CT 检查工艺流程及产污环节见图 9-3。

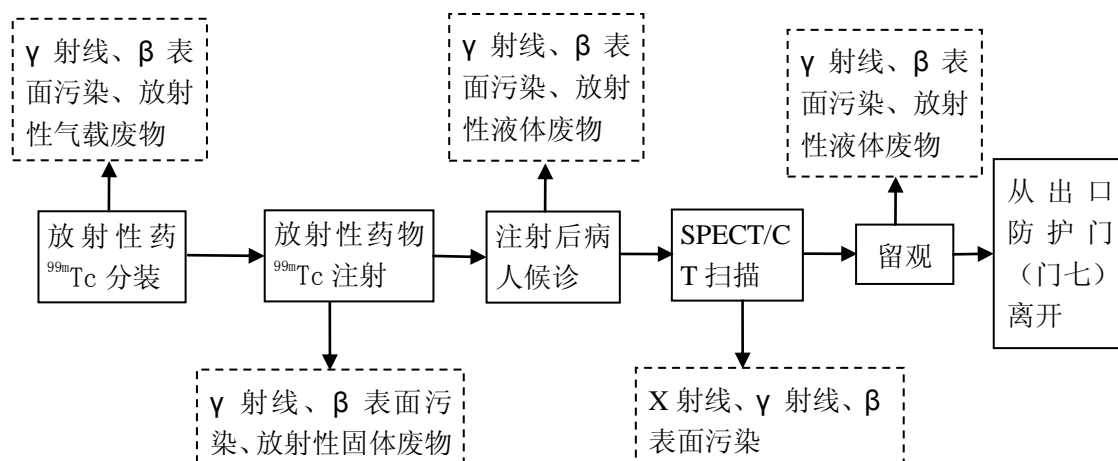


图 9-3 SPECT/CT 检查工艺流程及产污环节

#### (4) $^{89}\text{Sr}$ 治疗骨肿瘤的工作原理及工艺流程

$^{89}\text{Sr}$  为一种纯  $\beta$  射线型的放射性核素，作为治疗骨转移的药物，锶主要集中于骨骼系统而身体其他部位的量少。 $^{89}\text{Sr}$  进入体内后 10% 通过肾脏排泄，其余经胆道排泄，静脉注射后 48h 尿中排泄量少于 10%。骨转移灶浓聚量是正常骨的 2-25 倍，对骨癌引起的疼痛具有相当好的镇痛效果。 $^{89}\text{Sr}$  的半衰期比较长（50d）。注射后 90d 在转移灶内的滞留量可达 20%-88%。 $^{89}\text{Sr}$  治疗的另一个目的是使骨转移灶缩小或消失，以缓解病情，延长患者的生命，其  $\beta$  射线能杀死肿瘤细胞，因而除了镇痛外，在部分病例中  $^{89}\text{Sr}$  还可以对骨转移灶起到治疗作用。

本项目核医学科 SPECT/CT 检查区使用放射性核素  $^{89}\text{Sr}$  治疗每周开展 1 次，均安排在下午，与使用  $^{99m}\text{Tc}$  检查时间错开，不同时使用 2 种核素。

$^{89}\text{Sr}$  治疗骨肿瘤的工艺流程如下：

①医护人员穿戴好个人防护用品经过缓冲间，到达储源及废物存放间取出储源铅罐，到活性室的通风橱分装至注射器。每次分装时间约为 5min；

②病人在注射前候诊区候诊，从入口防护门（门六）进入受检者通道，到达注射窗口接受注射。医护人员在注射窗口为病人注射，注射时间约 30s/人次；

③注射药物病人从出口防护门（门七）离开。

$^{89}\text{Sr}$  治疗骨肿瘤工艺流程及产污环节见图 9-4。

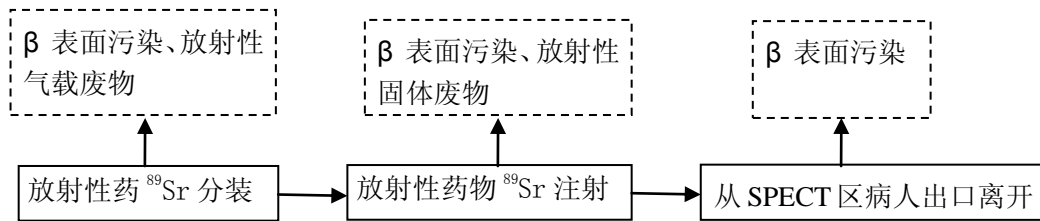


图 9-4  $^{89}\text{Sr}$  治疗骨肿瘤工艺流程及产污环节

#### (5) $^{131}\text{I}$ 治疗的工作原理和工艺流程

甲状腺疾病治疗原理是甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，口服一定量的  $^{131}\text{I}$  后，能被甲状腺大量吸收，具有损害作用的放射性  $^{131}\text{I}$  能进入甲状腺组织中， $^{131}\text{I}$  在衰变为  $^{131}\text{Xe}$ (氙)时，能放射出  $0.61\text{MeV}\beta$  射线(占 99%)和  $0.365\text{MeV}\gamma$  射线(占 1%)。 $\beta$  射线的有效射程仅有  $0.5\text{-}2\text{mm}$ ，能选择性地破坏甲状腺泡上皮而不影响邻近组织，甲状腺组织能受到长时间的集中照射，其腺体被破坏后逐渐坏死，代之以无功能的结缔组织，从而降低甲状腺的分泌功能，从而达到治疗的目的。

$^{131}\text{I}$  甲亢治疗和甲癌治疗工艺流程如下：

①当天需要治疗时，由具有相关资质厂家将装有  $^{131}\text{I}$  药物的铅防护罐经专用放射源入口防护门（门十二）送至储源间。分装前，工作人员从储源间中将装有  $^{131}\text{I}$  药物的铅罐取出，到分装间打开自动分装仪的防护门，将铅罐放入自动分装仪中，打开铅罐并打开药瓶盖，给  $^{131}\text{I}$  药瓶接入分液管、稀释液管，关上自动分装仪的防护门（打开铅罐到离开过程大概需要 20s），工作人员在操作间远程操作分装药物。每天分装时间约为 2h。

②首先安排甲亢患者服药，然后再安排甲癌患者服药。甲亢患者由入口防护门（门十）进入治疗病房走廊，听到语音提示后，到服药间在自动分装仪上接取  $^{131}\text{I}$  药物，口服药物后，将杯子放入旁边的铅废物桶中，然后在留观区休息观察后从出口防护门（门八）离开，每次休息时间约为 30min。

③甲亢患者服药完毕，甲癌患者由入口防护门（门十）进入病房走廊，听到语音提示后，到服药间在自动分装仪上接取  $^{131}\text{I}$  药物，口服药物后，将杯子放入旁边的铅废物桶中，然后进入治疗病房住院。甲癌患者一般住院 5~6 天，待体内的放射性活度低于  $400\text{MBq}$  时方可出院。出院时，从出口防护门（门八）离开。

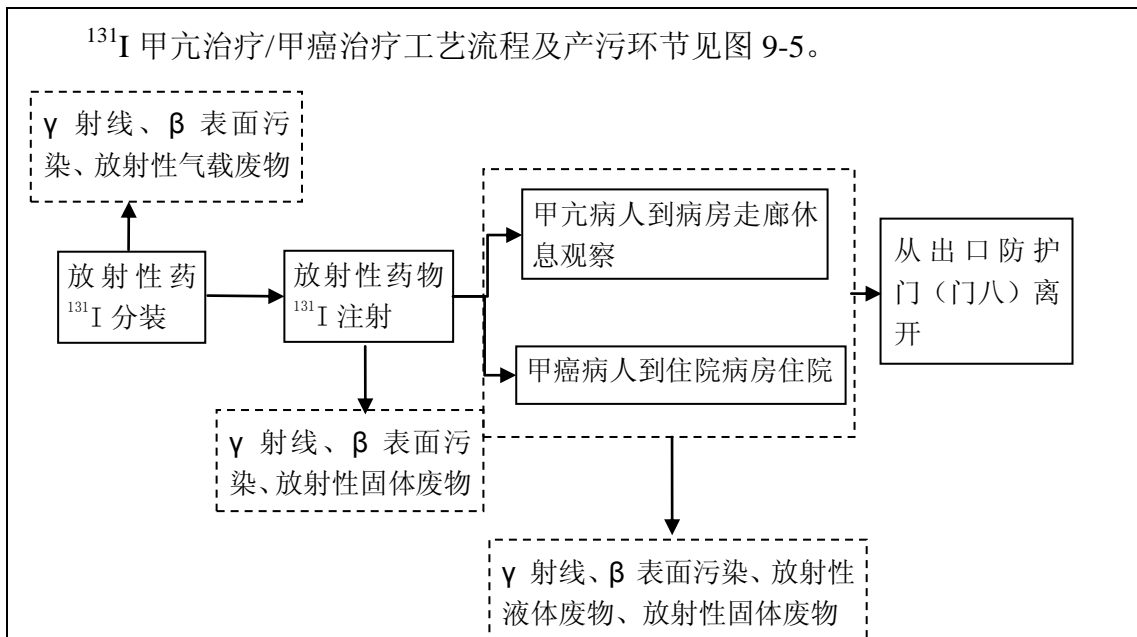


图 9-5  $^{131}\text{I}$  治疗甲亢/甲癌工艺流程及产污环节

#### (6) 医用电子直线加速器的工作原理和工艺流程

本项目直线加速器是产生高能电子束的射线装置，当高能电子束与靶物质相互作用时产生轫致辐射，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。高能射线能以电离辐射的形式作用于细胞，杀伤不同类型的肿瘤细胞。利用人体正常组织和肿瘤组织对射线照射的反应不同，可以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗。

本项目在进行治疗前先要确定治疗方案，包括计算照射时间和剂量，确定照射角度和视野，再开机进行治疗。工艺流程如下：

- ①根据患者所患疾病的性质确定照射野的大小、能量、肿瘤深度、计算受照射剂量、照射时间、加速器输出量，制定放射治疗计划；
- ②患者进入机房，对患者进行摆位、标记、调整照射角度及射野；
- ③工作人员离开加速器机房，关闭机房门；
- ④根据治疗计划开机治疗，治疗结束后患者离开机房。

本项目医用电子直线加速器的工艺流程及产污环节如图 9-6 所示。

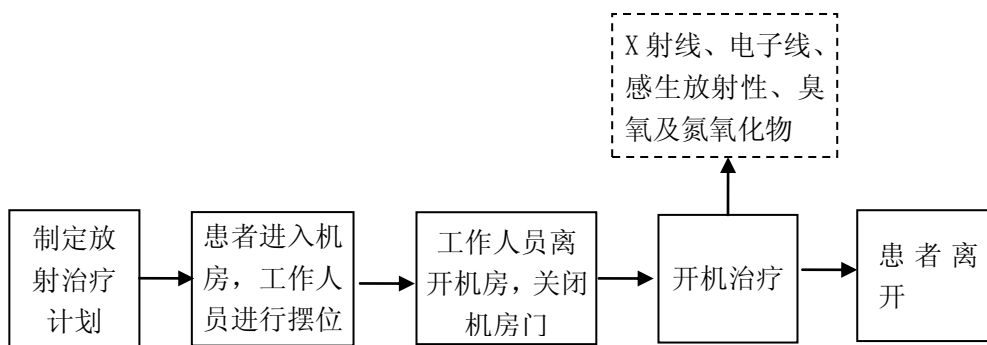


图 9-6 医用电子直线加速器工艺流程及产污环节

### (7)后装机的工作原理和工艺流程

后装技术就是先在病人身上正确放置好施源器,然后在安全防护条件下用遥控方法自控制室将后装机室内的放射源通过管道送到病人身上的施源器内,通过密封源释放出的 $\beta$ 射线或 $\gamma$ 射线照射肿瘤靶体从而达到治疗目的,其好处是放置施源器有充分的时间,并可用透视或摄片校正位置,从而保证了放射源的正确位置,使放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的一种放射治疗手段。后装机具体工艺流程如下:

①制定治疗计划: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;

②固定患者体位,近距离后装机治疗时,要进行病变部位插管,将输源管和施源器送到腔道的病灶;

③开机治疗:将放射源送到病灶进行治疗。

后装机工艺流程及产污环节见图 9-7

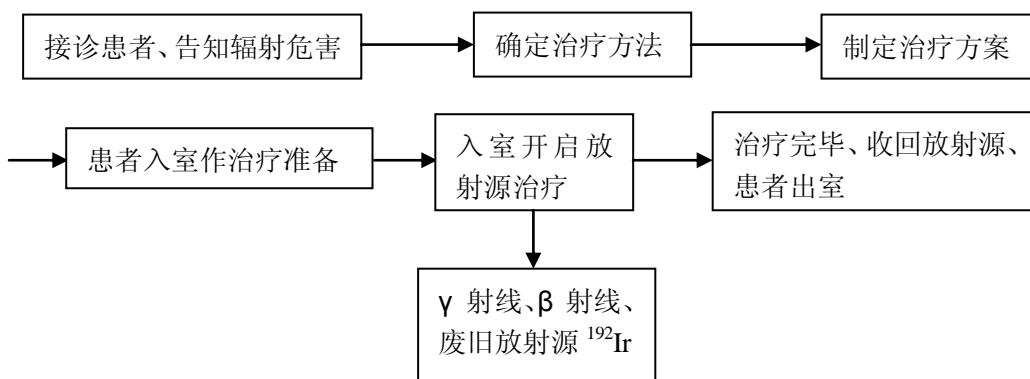


图 9-7 后装机工艺流程及产污环节

### 9.1.3 路径规划

核医学科设置辐射工作人员通道、病人通道和药物通道,规定通行路线和方



向，地面设置辐射工作人员和病人单向行走标识；控制区病人入口防护门和病人出口防护门安装门禁系统，防止无关人员进入；储源及废物存放间采用双人双锁管理。

核医学科路径规划如图9-8所示。

#### (1)PET/CT检查区路径规划

##### ①辐射工作人员路径规划

放射性核素 $^{18}\text{F}$ 分装、注射辐射工作人员从医务人员进出门（门五）进入→经过缓冲间→进入储源及废物存放间内取出装有放射性药物 $^{18}\text{F}$ 的铅罐→活性室通风橱内分装放射性药物 $^{18}\text{F}$ →注射窗口完成放射性药物注射→完成操作后到淋浴室淋浴并进行表面沾污监测→原路离开。

PET/CT扫描操作辐射工作人员从医务人员进出门（门五）进入→PET/CT控制间完成PET/CT扫描→原路离开。

##### ②受检者路径规划

受检者从核医学科病人入口（门一）进入注射前候诊区→经过入口防护门（门二）→到达注射间注射窗口接受注射→待检室或VIP待检室等候检查→PET/CT机房进行扫描→在留观室留观→从出口防护门（门三）离开。

##### ③放射性药物 $^{18}\text{F}$ 路径规划

放射性药物 $^{18}\text{F}$ 由具有相关资质厂家送到医院后经专用的放射源入口防护门（门四），置于储源及废物存放间。

#### (2)SPECT/CT检查区路径规划

##### ①辐射工作人员路径规划

放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}/^{89}\text{Sr}$ 分装、注射辐射工作人员从医务人员进出门（门五）进入→经过缓冲间→进入储源及废物存放间取出装有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器/放射性药物 $^{89}\text{Sr}$ 的铅罐→活性室通风橱内淋洗、质控、分装放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ /分装放射性药物 $^{89}\text{Sr}$ →注射窗口完成放射性药物注射→完成操作后到淋浴室淋浴并进行表面沾污监测→原路离开。

SPECT/CT扫描操作辐射工作人员从医务人员进出门（门五）进入→SPECT/CT控制间完成SPECT/CT扫描→原路离开。

##### ②受检者路径规划

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 受检者从核医学科病人入口门（门一）进入注射前候诊区→通过入口

防护门（门六）→到达注射窗口接受注射/心脏功能受检者在运动室摄入药物→二次候诊区候诊→SPECT/CT机房扫描→在留观室留观→从出口防护门（门七）离开。

$^{89}\text{Sr}$ 病人从核医学科病人入口（门一）进入注射前候诊区→通过入口防护门（门六）→到达注射窗口接受注射→从出口防护门（门七）离开。

### ③放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}/^{89}\text{Sr}$ 路径规划

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器/放射性药物 $^{89}\text{Sr}$ 由具有相关资质厂家送到医院后由核医学科病人出口经出口防护门（门七），送置储源及废物存放间。

### (3) $^{131}\text{I}$ 核素治疗区路径规划

#### ①辐射工作人员路径规划

辐射工作人员从医务人员进出门（门五）→储源间内取出放射性药物 $^{131}\text{I}$ 放置分装间自动分药仪内→操作间内隔室操作自动分药仪给药→完成操作后通过缓冲间进入淋浴室淋浴并进行表面沾污监测→原路离开。

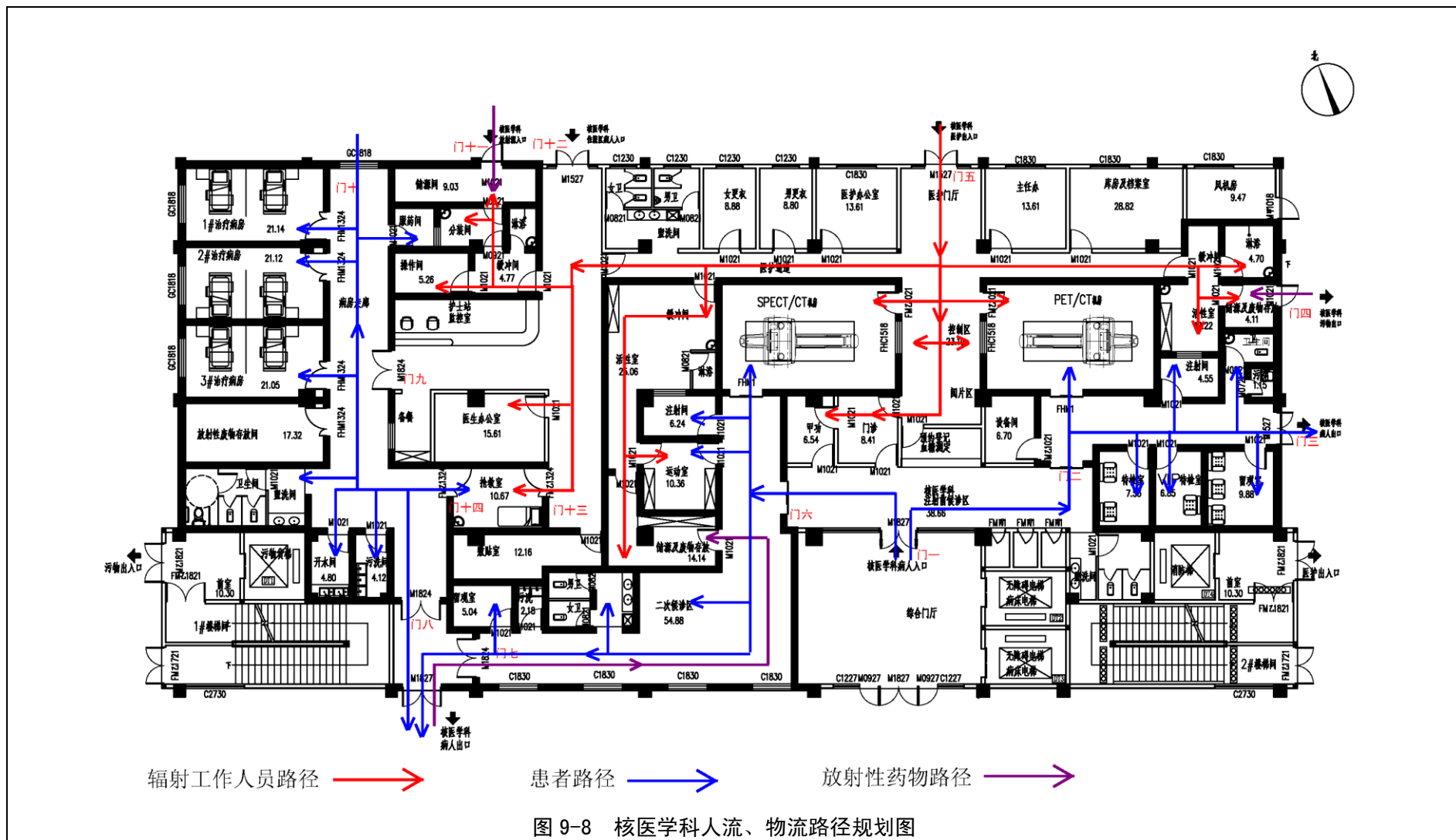
遇到突发情况下，辐射工作人员从医务人员进出门（门五）→经过医护通道→进入抢救室抢救病人→完成操作后经缓冲间进入淋浴室淋浴进行表面沾污监测→原路离开。

#### ②病人路径规划

$^{131}\text{I}$ 治疗病人从入口防护门（门十）进入→经过病房走廊→服药间窗口前进行服药→甲亢病人服药后在留观区休息观察后离开/甲癌住院病人服药后到病房住院治疗→治疗结束后从出口防护门（门八）离开。

#### ③放射性药物 $^{131}\text{I}$ 路径规划

放射性药物 $^{131}\text{I}$ 由具有相关资质厂家送到医院后经专用放射源入口防护门（门十一）送至储源间。



## 9.2 污染源项描述

### 9.2.1 正常工况下的污染源项

#### (1)核医学科污染源项

##### 1) PET/CT检查区污染源项

①PET/CT扫描时产生的X射线、臭氧及少量氮氧化物。

②放射性药物 $^{18}\text{F}$ 在分装、注射过程中及病人注射后候诊、扫描和留观等过程中产生的 $\gamma$ 射线和 $\beta$ 表面沾污，校准源 $^{68}\text{Ge}$ 产生的 $\gamma$ 射线。

③放射性药物 $^{18}\text{F}$ 在带有通风装置的通风橱内分装产生的放射性气载废物。

④放射性药物 $^{18}\text{F}$ 注射时产生的注射器、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物，使用到一定年限后退役的校准密封源 $^{68}\text{Ge}$ 。PET/CT检查区放射性固体废物产生量约为 $0.4\text{kg/d}$ ， $100\text{kg/a}$ 。退役废旧密封源 $^{68}\text{Ge}$ 每年产生3枚。PET/CT检查区通风系统中活性炭过滤装置定期更换下的放射性废活性炭，产生量约为 $1\text{kg/a}$ ，约每半年更换一次。

⑤病人注射放射性药物 $^{18}\text{F}$ 后，在注射后候诊室候诊、注射后留观室留观至离开前产生的排泄物，辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性液体废物。按 $^{18}\text{F}$ 诊断每天最多诊断20名病人，病人日平均产生15L放射性废水，每年工作250天工作计，辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水按每天500L计算，PET/CT检查区放射性液体废物产生量约为 $15\text{L/人} \times 20\text{人/d} + 500\text{L/d} = 0.8\text{m}^3/\text{d}$ ， $200\text{m}^3/\text{a}$ 。

##### 2) SPECT/CT检查区污染源项

①SPECT/CT扫描时产生的X射线、臭氧及少量氮氧化物。

②放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、质控、分装、注射和放射性药物 $^{89}\text{Sr}$ 分装、注射过程中及病人注射后候诊、扫描和留观等过程中产生的 $\gamma$ 射线和 $\beta$ 表面沾污。

③ $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器在带有通风装置的通风橱内淋洗制备放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装、注射和放射性药物 $^{89}\text{Sr}$ 分装、注射时产生的放射性气载废物。

④放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 $^{89}\text{Sr}$ 注射时产生的注射器、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物。放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断过程中产生放射性固体废物量约为 $0.5\text{kg/d}$ ， $125\text{kg/a}$ 。 $^{89}\text{Sr}$ 治疗过程中产生放射性固体废物量约为

0.04kg/d, 2kg/a。废弃的<sup>99m</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc发生器产生量约为1个/w, 50个/a。SPECT/CT检查区通风系统中活性炭过滤装置定期更换下的放射性废活性炭, 产生量约为1kg/a, 约每半年更换一次。

⑤病人注射放射性药物<sup>99m</sup>Tc后, 在病人候诊大厅等候至离开前产生的排泄物、辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性液体废物。按<sup>99m</sup>Tc诊断每天最多诊断25名病人, 病人日平均产生15L放射性废水, 每年工作250天工作计。病人注射放射性药物<sup>89</sup>Sr后, 直接从出口防护门(门七)离开, 不产生放射性液体废物, 辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水按每天500L计算。SPECT/CT检查区放射性液体废物产生量约为15L/人×25人/d+500L/d=0.875m<sup>3</sup>/d, 218.75m<sup>3</sup>/a。

### 3) <sup>131</sup>I核素治疗区污染源项

①放射性药物<sup>131</sup>I分装、口服过程中及病人服药后留观、住院等过程中产生的γ射线和β表面沾污。

②放射性药物<sup>131</sup>I分装产生的放射性气载废物。

③含有放射性药物<sup>131</sup>I的试纸、口杯等放射性固体废物。<sup>131</sup>I核素治疗区治疗甲亢过程中产生放射性固体废物产生量约为0.24kg/d, 12kg/a; <sup>131</sup>I治疗甲癌的病人住院过程中产生放射性固体废物产生量约为0.18kg/d, 45kg/a。<sup>131</sup>I核素治疗区通风系统中活性炭过滤装置定期更换下的放射性废活性炭, 产生量约为2kg/a, 约每半年更换一次。

④病人口服放射性药物<sup>131</sup>I后, 在离开前产生的排泄物、辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性液体废物。

按<sup>131</sup>I每天最多治疗12名甲亢病人, 病人日平均产生15L放射性废水, 每年工作50天工作计, 按<sup>131</sup>I每天最多治疗6名甲癌病人, 住院病人日平均产生100L放射性废水, 每次住院时间为1周(按6天算), 每年工作50周工作计, 整个病房清洗工作每周1次, 辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水按每周1000L计算。<sup>131</sup>I核素治疗区放射性液体废物产生量约为15L/人×12人/W+100×6L/人×6人/W+1000L/W=4.78m<sup>3</sup>/W, 239m<sup>3</sup>/a。

### (2) 医用电子直线加速器污染源项

医用电子加速器的污染源项为X射线、电子线、感生放射性气体、臭氧和氮

氧化物。

(3)后装机污染源项

后装机污染源项为 $\gamma$  射线、 $\beta$  射线、废旧放射源 $^{192}\text{Ir}$ （每年约产生2枚）、臭氧和氮氧化物。

### 9.2.2 事故工况下的污染源项

本项目事故工况下的污染源项为：

- (1)核医学科放射性同位素失控产生的  $\gamma$  射线和  $\beta$  表面沾污；
- (2)PET/CT、SPECT/CT、医用电子直线加速器失控产生的 X 射线；
- (3)PET/CT 和后装机内密封源丢失、被盗、失控产生的  $\gamma$  射线；
- (4)放射性废物管理不善进入环境中对环境造成污染。

**表 10 辐射安全与防护**

**10.1 项目安全设施**

**10.1.1 项目工作场所布局、分区原则和区域划分情况**

(1)工作场所的布局

1) 核医学科布局

核医学科位于肿瘤大楼 1 楼，按照功能划分为 PET/CT 检查区、SPECT/CT 检查区和  $^{131}\text{I}$  核素治疗区。

①PET/CT 检查区工作场所布局

PET/CT 检查区包括主任办公室、库房及档案室、风机房、医护通道、缓冲间、淋浴间、PET/CT 控制区、PET/CT 机房、活性室、储源及废物存放间、注射间、受检者卫生间、污洗间、设备间、受检者通道、注射前候诊区、待检室、VIP 待检室、留观室、盥洗间、卫生间。

②SPECT/CT 检查区工作场所布局

SPECT/CT 检查区包括卫生间、盥洗间、女更衣间、男更衣间、医护办公室、医护通道、活性室、缓冲间、淋浴间、SPECT/CT 机房、SPECT/CT 控制区、受检者通道、注射间、甲功室、门诊室、预约登记血糖测定室、运动室、注射前候诊区、储源及废物存放间、留观室、污洗间、受检者卫生间、二次候诊区。

③ $^{131}\text{I}$  核素治疗区布局

$^{131}\text{I}$  核素治疗区包括治疗病房、病房走廊、留观区、储源间、淋浴间、医护通道、服药间、分装间、操作间、缓冲间、护士站、放射性废物存放间、备餐间、医生办公室、病人卫生间、病人盥洗间、抢救室、污洗间、开水间。

2) 直线加速器室和后装机房布局

本项目一号直线加速器室、二号直线加速器室、后装机房均位于肿瘤大楼负一楼北侧，放化疗科北侧从西至东依次为一号直线加速器室、二号直线加速器室、后装机房，各机房南侧均为相应的控制室，一号直线加速器机房西侧和各机房北侧均为实心土层，楼上为实心核医学科，无地下结构。

(2)分区原则

分区原则采用《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 确定的辐射工作场所分区原则，即“把需要和可能需要专门防护手段或安全措施

区域定为控制区；将未被定为控制区，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的区域定为监督区”。

### (3)区域划分情况

#### 1) 核医学科区域划分情况

##### ①PET/CT 检查区区域划分情况

PET/CT 检查区控制区包括：PET/CT 机房、活性室、储源及废物存放间、注射间、受检者卫生间、污洗间、设备间、受检者通道、待检室、VIP 待检室、留观室。

PET/CT 检查区监督区包括：主任办公室、库房及档案室、风机房、医护通道、缓冲间、淋浴间、PET/CT 控制区、注射前候诊区、盥洗间、卫生间。

##### ②SPECT/CT 检查区区域划分情况

SPECT/CT 检查区控制区包括：活性室、SPECT/CT 机房、受检者通道、注射间、运动室、储源及废物存放间、留观室、污洗间、受检者卫生间、二次候诊区。

SPECT/CT 检查区监督区包括：卫生间、盥洗间、女更衣间、男更衣间、医护办公室、医护通道、缓冲间、淋浴间、甲功室、门诊室、预约登记血糖测定室、注射前候诊区。

##### ③<sup>131</sup>I 核素治疗区区域划分情况

<sup>131</sup>I 核素治疗区控制区包括：治疗病房、病房走廊、留观区、储源间、辐射工作人员服药间、分装间、放射性废物存放间、病人卫生间、盥洗间、抢救室、污洗间、开水间。

<sup>131</sup>I 核素治疗区监督区包括：淋浴间、操作间、缓冲间、医护通道、护士站、备餐间、医生办公室。

#### 3) 直线加速器室和后装机房区域划分情况

将 1 号直线加速器室、2 号直线加速器室、后装机房划分为控制区，将与各机紧邻的控制室、水冷机房划为监督区。

### 10.1.2 工作场所辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的防护屏蔽资料，本项目拟建辐射工作场所的防护屏蔽参数详见表 10-1~表 10-2。



表 10-1 核医学科辐射工作场所屏蔽防护参数

辐射工作场所		屏蔽防护参数
PET/CT 检查区	储源及废物存放间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门：4mmPb
	活性室	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 注射窗：20mmPb 通风橱：40mmPb
	注射间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门：4mmPb
	待检室	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门：9mmPb
	VIP 待检室	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门：3mmPb
	PET/CT 机房	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 观察窗：6mmPb 辐射工作人员进出防护门：5mmPb 受检者进出防护门：4mmPb
	留观室	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门：4mmPb
	受检者卫生间、污洗间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土
	受检者通道	顶棚：300mm 混凝土

		底板：300mm 混凝土 入口防护门（门二）：12mmPb 出口防护门（门三）：16mmPb
SPECT/CT 检查区	储源及废物存放间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门（2 扇）：4mmPb
	活性室	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：2100mm 混凝土 防护门：2mmPb 注射窗：5mmPb 通风橱：5mmPb
	注射间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：2100mm 混凝土 防护门：4mmPb
	运动室	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门（2 扇）：4mmPb
	SPECT/CT 机房	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 观察窗：4mmPb 辐射工作人员进出防护门：4mmPb 受检者进出防护门：4mmPb
	受检者通道、二次候诊区	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护窗（4 扇）：5mmPb 入口防护门（门六）：4mmPb 出口防护门（门七）：4mmPb
	留观室	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门：4mmPb
	受检者卫生	四侧墙体：300mm 混凝土

	间、污洗间	顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土
<sup>131</sup> I 核素治疗区	储源间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：2100mm 混凝土 防护门（2 扇）：4mmPb
	分装间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：2100mm 混凝土 防护门：10mmPb
	服药间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：2100mm 混凝土 防护门：6mmPb
	操作间、缓冲间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：2100mm 混凝土 普通门（2 扇）
	抢救室	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 东侧防护门（门十三）：14mmPb 西侧防护门（门十四）：6mmPb
	1#、2#、3# 治疗病房	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门：6mmPb（3 扇） 防护窗：15mmPb（3 扇）
	放射性废物存放间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门：6mmPb
	病人卫生间、盥洗间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土
	病房走廊	入口防护门（门十）：16mmPb 出口防护门（门八）：16mmPb 护士站处防护门（门九）：16mmPb

	污洗间、开水间	四侧墙体：300mm 混凝土 顶棚：300mm 混凝土 底板：300mm 混凝土 防护门（2扇）：6mmPb	
<b>表 10-2 直线加速器室及后装机房屏蔽防护参数</b>			
辐射工作场所	机房面积及最小边长		屏蔽防护参数
	机房面积 m <sup>2</sup>	最小边长 m	
1号直线加速器室	91.0	8.5	东侧主屏蔽墙：3000 mm 混凝土 东侧次屏蔽墙：1800 mm 混凝土 迷道内墙：1300 mm 混凝土 迷道外墙：1700 mm 混凝土 西侧主屏蔽墙：3000mm 混凝土 西侧次屏蔽墙：1700 mm 混凝土 北侧屏蔽墙：1700 mm 混凝土 顶棚主屏蔽墙：2900 mm 混凝土 顶棚次屏蔽墙：2100 mm 混凝土 东侧主屏蔽墙半宽度：4800 mm 混凝土 西侧主屏蔽墙半宽度：4000 mm 混凝土 防护门：15mmPb
2号直线加速器室	91.0	8.5	东侧主屏蔽墙：3000 mm 混凝土 东侧次屏蔽墙：1700 mm 混凝土 迷道内墙：1300 mm 混凝土 迷道外墙：1700 mm 混凝土 西侧主屏蔽墙：3000mm 混凝土 西侧次屏蔽墙：1800 mm 混凝土 北侧屏蔽墙：1700 mm 混凝土 顶棚主屏蔽墙：2900 mm 混凝土 顶棚次屏蔽墙：2100 mm 混凝土 东侧主屏蔽墙半宽度：4000 mm 混凝土 西侧主屏蔽墙半宽度：4800 mm 混凝土 防护门：15mmPb
后装机房	32.1	5.1	东侧屏蔽墙：900mm 混凝土 南侧屏蔽墙：1000mm 混凝土 迷道内墙：900 mm 混凝土 迷道外墙：北段 1700 mm 混凝土，南段 3000 mm 混凝土 北侧屏蔽墙：900mm 混凝土 顶棚：1500mm 混凝土

			防护门：10mmPb
<p>注：1.混凝土密度<math>\geq 2.35\text{g cm}^{-3}</math>，铅密度<math>\geq 11.4\text{g cm}^{-3}</math>。</p> <p>本项目1号直线加速器室、2号直线加速器室面积满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)“新建治疗室不应小于<math>45\text{m}^2</math>”的要求。后装机房面积满足《后装<math>\gamma</math>源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017)“治疗室内有效使用面积应不小于<math>20\text{m}^2</math>”的要求。</p> <p><b>10.1.3 辐射安全和防护、环保相关设施及其功能</b></p> <p>(1)核医学科辐射安全和防护、环保相关设施及其功能</p> <p>①核医学科屏蔽墙体、防护门、铅窗严格按照表 10-1 的设计参数进行施工建设，其主要功能是屏蔽放射性药物产生的<math>\gamma</math>射线及射线装置产生的X射线。</p> <p>②拟在PET/CT检查区活性室和SPECT/CT检查区各安装1套通风橱，用于排放放射性药物分装等过程中产生的放射性气载废物。注射室内给药窗口采用铅玻璃防护，用于注射放射性药物的辐射防护。PET/CT检查区活性室和SPECT/CT检查区给药窗口均采用铅玻璃防护，用于注射放射性药物的辐射防护。</p> <p>③拟在PET/CT检查区注射间、活性室、储源及废物存放间各设置1个铅废物桶；SPECT/CT检查区注射间、活性室、储源及废物存放间各设置1个铅废物桶；<math>^{131}\text{I}</math>核素治疗区服药间、病房走廊、放射性废物存放间各设置1个铅废物桶；用于收集与暂存放射性固体废物。</p> <p>④拟在PET/CT检查区活性室、SPECT/CT检查区活性室和<math>^{131}\text{I}</math>核素治疗区分装间各配备1个药物转运防护罐；PET/CT检查区活性室和SPECT/CT检查区活性室各配备3个注射器防护套；用于注射和转运放射性药物的辐射防护。</p> <p>⑤<math>^{131}\text{I}</math>核素治疗区3间治疗病房各配备1扇4mmPb铅屏风，将2个床位之间进行隔断。</p> <p>⑥为辐射工作人员配备6件铅衣、6副铅眼镜、6顶铅帽、6副铅手套、6个铅围脖，用于保护辐射工作人员。</p> <p>⑦为每名辐射工作人员各配备1枚个人剂量计，用于记录辐射工作人员所受照射的剂量。配备3台个人剂量报警仪，用于监测现场辐射水平，当达到预设的阈值，发出报警，及时提醒工作人员。</p> <p>⑧配备1台<math>\beta</math>表面污染监测仪用于核医学科地面、墙面及辐射工作人员手部、铅服表面等处的表面污染监测；配备1台X-<math>\gamma</math>辐射监测仪，用于核医学科及现</p>			

有辐射工作场所屏蔽实体防护的自行监测。

⑨本项目控制区及监督区醒目位置拟张贴离辐射警示标志，用于提醒、警示无关人员远离辐射工作场所。

⑩拟在 PET/CT 机房病人进出门和 SPECT/CT 病人进出防护门各设置 1 盏工作状态指示灯和 1 套门-灯联锁装置，防止无关人员误入正在运行的机房受到误照射。

⑪拟在病人进出防护门（门二、门三、门六、门七、门八、门九、门十）和抢救室病房东侧的防护门（门十四）各安装 1 套门禁系统，用于对服药病人的管理，防止病人随意出入；PET/CT 检查区、SPECT/CT 检查区和  $^{131}\text{I}$  核素治疗区的控制区内各设置 1 套视频监控系统 and 语音对讲系统，用于控制区内安全管理。

⑫拟在 PET/CT 检查区、SPECT/CT 检查区和  $^{131}\text{I}$  核素治疗区各设置 1 套通风系统，用于排放放射性气载废物。

⑬拟在肿瘤大楼西侧设置 1 号三级衰变池，衰变池有效容积为  $72\text{m}^3$ ，用于收集  $^{131}\text{I}$  核素治疗区产生的放射性液体废物；在肿瘤大楼西北侧设置 2 号三级衰变池，衰变池有效容积为  $6\text{m}^3$ ，用于收集 PET/CT 检查区和 SPECT/CT 检查区产生的放射性液体废物。

(2)医用电子直线加速器 and 后装机工作场所辐射安全和防护、环保相关设施及其功能

①直线加速器室 and 后装机房根据表 10-2 的防护屏蔽设计进行建设施工，其主要功能是屏蔽后装机产生的  $\gamma$  射线 and 医用电子直线加速器产生的 X 射线。

②拟在直线加速器室、后装机房防护门上张贴电离辐射警示标志，在病人进出门上方各设置 1 盏工作状态指示灯 and 1 套门-机-灯联锁装置，在病人进出门处设置红色警示线及警示语。警示标志、警示灯 and 警示线的主要功能是警示和提醒辐射工作人员 and 公众注意电离辐射，门-机-灯联锁装置联锁装置主要功能是防止无关人员误入机房受到误照射。

③拟在直线加速器、后装机控制室内操作位各安装 1 套对讲装置，便于医护人员沟通交流。

④拟在直线加速器室内 and 后装机室内安装摄像头，控制室内各安装 1 个监视屏，便于控制室辐射工作人员观察机房内设备和人员情况。

⑤拟为每名辐射工作人员各配备 1 枚个人剂量计,用于记录辐射工作人员所受照射的剂量。拟在直线加速器室内和后装机室内安装固定式报警仪,并为辐射工作人员配备 4 台个人剂量报警仪、用于监测射线装置产生的 X 射线,当达到预设的阈值,发生报警,及时提醒工作人员注意安全。与核医学科共用 1 台 X- $\gamma$  辐射监测仪,用于辐射工作场所的自行监测。

⑥拟在直线加速器室和后装机房内各安装动力通风装置,排放射线装置运行时产生的微量臭氧和氮氧化物有害气体。

⑦拟在直线加速器控制间墙壁设置 1 个、操作面板上设置 1 个、迷道入口设置 1 个、直线加速器室内设置 2 个,另直线加速器自带 1 个,共 6 个急停按钮;后装机控制台设置 1 个、迷道入口设置 1 个、后装机房内设置 1 个、另后装机自带 1 个,共 4 个急停按钮。

表 10-3 本项目环保措施投资一览表

辐射工作场所	序号	环保设施	数量	相关参数	备注
核医学科辐射工作场所	1	通风橱	2 套	PET/CT 检查区活性室 1 套: 40mmPb、SPECT/CT 检查区活性室 1 套: 5mmPb	拟配备
	2	注射窗	2 扇	PET/CT 检查区注射窗口: 20mmPb、SPECT/CT 检查区注射窗口: 5mmPb	拟配备
	3	铅废物桶	9 个	10mmPb	拟配备
	4	药物转运防护罐	3 个	10mmPb	拟配备
	5	注射器防护套	6 个	PET/CT 检查区活性室 3 个: 10mmPb、SPECT/CT 检查区活性室 3 个: 5mmPb	拟配备
	6	铅屏风	3 扇	4mmPb	拟配备
	7	铅衣、铅眼镜、铅帽、铅手套、铅围脖	6 套	0.25mmPb	拟配备
	8	个人剂量计	15 枚	/	拟配备
	9	个人剂量报警仪	3 台	/	拟配备
	10	$\beta$ 表面污染监测仪	1 台	/	拟配备
	11	X- $\gamma$ 辐射监测仪	1 台	/	拟配备
	12	电离辐射警示标志	若干	/	拟配备

	13	工作信号警示灯	2 盏	/	拟配备
	14	门-灯联锁装置	2 套	/	拟配备
	15	门禁系统	8 套	/	拟配备
	16	语音对讲系统	3 套	/	拟配备
	17	视频监控系统	3 套	/	拟配备
	18	通风系统	3 套	/	拟配备
	19	衰变池	2 座	三级, 1 号衰变池容积 72m <sup>3</sup> 、2 号衰变池容积 6m <sup>3</sup>	拟配备
医用加速器、后装机辐射工作场所	20	电离辐射警示标志	6 张	/	拟配备
	21	工作信号警示灯	3 盏	/	拟配备
	22	门-机-灯联锁装置	3 套	/	拟配备
	23	对讲装置	3 套	/	拟配备
	24	视频监控系统	3 套	/	拟配备
	25	个人剂量计	9 枚	/	拟配备
	26	个人剂量报警仪	4 枚	/	拟配备
	27	X-γ 辐射监测仪	1 台	/	与核医学科共用
	28	固定式报警仪	3 台	/	拟配备
	29	通风系统	3 套	/	拟配备
	30	急停按钮	16 个	/	拟配备

#### 10.1.4 工作区域的气流组织、卫生通过间及其防止污染措施的设置或设计

##### (1)工作区域的气流组织

##### 1) 核医学科气流组织

核医学科监督区与控制区通风系统分开设置。控制区通风系统由送风系统、机械排风系统组成，核医学科通风系统平面图见附图 5。

核医学科通风系统分为三个部分：PET/CT 检查区通风系统、SPECT/CT 检查区通风系统、<sup>131</sup>I 核素治疗区通风系统。

##### ①PET/CT 检查区通风系统

进风系统：PET/CT 检查区进风系统设有 1 个新风机，分别对 PET/CT 机房、储源及废物存放间、活性室、注射间、留观室、待检室、VIP 待检室、受检者通道、受检者卫生间输送新鲜空气。

排风系统：设有 1 个抽风机，在上述房间同样设置排风口，由统一的排风管道汇总到位于核医学科东北角的排风井（排风井一），每个房间的排风口设置了防回风阀，防止管道中有害气体返流回各房间，排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上



方，高出屋脊 3m，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。活性室配备 1 台通风橱，放射性药物分装在通风橱中进行，通风橱设计风速不小于 1m/s，建议通风橱设置独自の排风管道，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。

### ②SPECT/CT 检查区通风系统

进风系统：SPECT/CT 检查区进风系统设有 1 个新风机，分别对 SPECT/CT 机房、储源及废物存放间、活性室、留观室、受检者通道、二次候诊区、运动室、注射间、受检者卫生间输送新鲜空气。

排风系统：设有 1 个抽风机，在上述房间同样设置排风口，由统一的排风管道汇总到位于核医学科中南侧的排风井（排风井二），每个房间的排风口设置了防回风阀，防止管道中有害气体返流回各房间，排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。活性室配备 1 台通风橱，放射性药物分装在通风橱中进行，通风橱设计风速不小于 1m/s，建议通风橱设置独自の排风管道，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。

### ③<sup>131</sup>I 核素治疗区通风系统

进风系统：<sup>131</sup>I 核素治疗区进风系统设有 1 个新风机，对储源间、3 间治疗病房、放射性废物存放间、病人卫生间、盥洗间、服药间、分装间、操作间、病房走廊输送新鲜空气。

排风系统：设有 1 个抽风机，在上述房间同样设置排风口，由统一的排风管道汇总到位于核医学科中北侧的排风井（排风井三），每个房间的排风口设置了防回风阀，防止管道中有害气体返流回各房间，排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。建议服药间设置独自の排风管道，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。

### 2) 直线加速器室和后装机房气流组织

放化疗科通风系统平面图见附图 6。

放化疗科拟安装两组通风系统，各机房及其控制间内均安装进风口和排风口，各进风口通过进风管道连接安装在地面的送风机将新鲜空气送入室内，各排风口通过排风管道连接安装在地面的抽风机将室内废气排放出去。各机房的进风口和排风口均为“上进下排、对角设计”。两组通风系统中排风功率（ $9091\text{m}^3/\text{h}$ 、 $4176\text{m}^3/\text{h}$ ）均大于进风功率（ $7941\text{m}^3/\text{h}$ 、 $3673\text{m}^3/\text{h}$ ），可有效防止出现气流由污染区流向清洁区的情况出现。

组一通风系统包括 1 号直线加速器室和 2 号直线加速器室等，其各区域产生的放射性气载废物由各排风口经统一的排风管道（排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m）汇总到位于放化疗科西南侧排风井（排风井一）后排至肿瘤大楼屋脊上方大气；组二通风系统包括后装机房和 CT 模拟定位机房等，其各区域产生的放射性气载废物经由各排风口经统一的排风管道（排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m）汇总到位于放化疗科东南侧排风井（排风井二）后排至肿瘤大楼屋脊上方大气。组一抽风机排风功率为  $9091\text{m}^3/\text{h}$ ，保守估计其排风区域体积约为  $2000\text{m}^3$ ，经计算该区域通风能力约为 4.5 次/h，组二抽风机排风功率为  $4176\text{m}^3/\text{h}$ ，保守估计其排风区域体积约为  $1000\text{m}^3$ ，经计算该区域通风能力约为 4.2 次/h。

#### (2)卫生通过间

PET/CT 检查区、SPECT/CT 检查区、 $^{131}\text{I}$  核素治疗区均设置了缓冲间作为卫生通过间，辐射工作人员离开控制区前经缓冲间进入淋浴间淋浴后进行表面污染监测和去污措施，有效避免监督区遭受污染。

#### (3)防止污染措施

本项目 PET/CT 检查区工作场所的 PET/CT 机房属于 III 类临床核医学工作场所，应按《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中规定的 III 类核医学工作场所的室内表面及装备结构要求施工建设，地面、墙面和操作台面易清洗，具有一般通风，配备清洗设备。

PET/CT 检查区工作场所的活性室、受检者通道、VIP 待检室、待检室、留观室、储源及废物存放间、注射间、受检者卫生间；SPECT/CT 检查区工作场所的活性室、受检者通道、注射间、运动间、SPECT/CT 机房、二次候诊区、储源

及废物存放间、留观室、受检者卫生间；<sup>131</sup>I 核素治疗区工作场所的储源间、放射性废物存放间均属于 II 类临床核医学工作场所，应按《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中规定的 II 类核医学工作场所的室内表面及装备结构要求施工建设，地面易清洗且不易渗漏，墙面和操作台面均采用光滑易清洗的材料铺设，室内保持较好的通风，配备通风橱、清洗及去污设备。

<sup>131</sup>I 核素治疗区工作场所的分装间、服药间、病房走廊、治疗病房、抢救室、污洗间、开水间、病人卫生间、盥洗间属于 I 类临床核医学工作场所，应按《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中规定的 I 类核医学工作场所的室内表面及装备结构防护要求施工建设，地面与墙壁接缝无缝隙，地面、墙面和操作台面等均采用光滑易清洗的材料铺设，配备通风橱、抽风机、清洗及去污设备，下水道管道宜短并加以标记，以便维修检测。

## 10.2 三废治理

### 10.2.1 放射性气载废物治理

#### (1)核医学科放射性气载废物治理

##### ①PET/CT 检查区放射性气载废物治理

PET/CT 检查区活性室置 1 台通风橱，通风橱风速大于 1m/s，通风橱设置独立的排风管道，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。设置一个抽风机，在控制区各房间设置排风口，由统一的排风管道汇总到位于核医学科东北角的排风井（排风井一），每个房间的排风口设置了防回风阀，防止管道中有害气体返流回各房间，排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。

##### ②SPECT/CT 检查区放射性气载废物治理

SPECT/CT 检查区活性室置 1 台通风橱，通风橱风速大于 1m/s，通风橱设置独立的排风管道，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。设置一个抽风机，在控制区各房间设置排风口，由统一的排风管道汇总到位于中南侧的排风井（排风井二），每个房间的排风口设置了防回风阀，防止管道中有害气体返流回各房间，排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射

性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。

### ③<sup>131</sup>I 核素治疗区放射性气载废物治理

设置一个抽风机，在控制区各房间设置排风口，由统一的排风管道汇总到位于核医学科中北侧的排风井（排风井三），每个房间的排风口设置了防回风阀，防止管道中有害气体返流回各房间，排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。建议服药间设置独自の排风管道，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。

### (2)医用电子直线加速器室和后装机放射性气载废物治理

医用电子直线加速器和后装机在运行过程中会产生臭氧、氮氧化物等，另外医用电子直线加速器在运行过程中还会产生感生放射性，被吸入后对人体造成伤害。放化疗科拟安装两组通风系统，各机房及其控制间内均安装进风口和排风口，各进风口通过进风管道连接安装在地面的送风机将新鲜空气送入室内，各排风口通过排风管道连接安装在地面的抽风机将室内废气排放出去。各机房的进风口和排风口均为“上进下排、对角设计”。两组通风系统中排风功率（9091m<sup>3</sup>/h、4176m<sup>3</sup>/h）均大于进风功率（7941m<sup>3</sup>/h、3673m<sup>3</sup>/h），可有效防止出现气流由污染区流向清洁区的情况出现。

组一通风系统包括 1 号直线加速器室和 2 号直线加速器室等，其各区域产生的放射性气载废物由各排风口经统一的排风管道（排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m）汇总到位于放化疗科西南侧排风井（排风井一）后排至肿瘤大楼屋脊上方大气；组二通风系统包括后装机房和 CT 模拟定位机房等，其各区域产生的放射性气载废物由各排风口经统一的排风管道（排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m）汇总到位于放化疗科东南侧排风井（排风井二）后排至肿瘤大楼屋脊上方大气。组一抽风机排风功率为 9091m<sup>3</sup>/h，保守估计其排风区域体积约为 2000m<sup>3</sup>，经计算该区域通风能力约为 4.5 次/h，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。组二抽风机排风功率为 4176m<sup>3</sup>/h，保守估计其排风区域体积约为 1000m<sup>3</sup>，经计算该区域通风能力约为 4.2 次/h，满足《后装 $\gamma$ 源近距离治疗放

射防护要求》(GBZ 121-2017)中“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4次”的要求。

### 10.2.2 放射性固体废物治理

核医学科废旧放射源 $^{68}\text{Ge}$ 约每年产生3枚,后装机废旧放射源 $^{192}\text{Ir}$ 约每年产生2枚,放射性废源交由生产厂家回收或交由专门从事放射性固体废物贮存、处置的单位回收、处置。

核医学科PET/CT检查区注射间、活性室、储源及废物存放间各设置1个铅废物桶;SPECT/CT检查区注射间、活性室、储源及废物存放间各设置1个铅废物桶; $^{131}\text{I}$ 核素治疗区服药间、病房走廊、放射性废物存放间各设置1个铅废物桶。产生的固体放射性废物储存于铅废物桶内的专用塑料袋内,专用塑料袋装满后及时转移至废物间内暂存,存放10个半衰期以上,经检测达到清洁解控水平,由医院统一作为普通医疗废物处理。

放射性固体废弃物的暂存管理,应满足《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)的下列要求:

(1)根据放射性废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等,按照《放射性废物的分类》(GB9133-1995)和放射性废物的可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性进行分类收集和分别处理。

(2)各场所放射性废物收集桶外防护层采用铅屏蔽,并标记电离辐射警示标志。放射性废物收集桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

(3)放射性废物收集桶内应放置专用塑料袋收纳废物,装满后应密封,应无破漏,并应及时贮存到专用容器中。

(4)对注射器和破碎玻璃器皿等含尖刺及菱角的放射性废物,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。

(5)每袋放射性废物的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv/h}$ ,重量不超过 $20\text{kg}$ 。

(6)废物间的建造结构应符合放射卫生防护要求,且安装通风设备,出入口设置电离辐射警示标志。

(7)废物袋、废物桶及其他存放废物的容器必须安全可靠,并应在显著位置标识废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等。

(8)废物包装体外表面污染控制水平应满足 $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

(9)应在临时贮存期满前及时把放射性药物固体废物交由具有相应放射性固体废物处置许可证的机构处置。

### 10.2.3 放射性液体废物治理

拟在肿瘤大楼西侧设置 1 号三级衰变池,1 号衰变池采用 6m<sup>3</sup>化粪池+71.55m<sup>3</sup>衰变池,用于收集 <sup>131</sup>I 核素治疗区产生的放射性液体废物;在肿瘤大楼西北侧设置 2 号三级衰变池,2 号衰变池采用 6m<sup>3</sup>化粪池+6m<sup>3</sup>衰变池,用于收集 PET/CT 检查区和 SPECT/CT 检查区产生的放射性液体废物。1 号、2 号衰变池的池底、池壁、隔断、盖板均为 300mm 混凝土浇筑,衰变池设计图见附图 8。核医学科内通向衰变池的排污管道横管采用 10mmPb 包裹,核医学科外埋入地下的横向管道上方浇灌 300mm 混凝土,衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱耐腐蚀和无渗透性,并采取防泄漏措施,另外建议医院在衰变池安装剂量监控装置。

**表 11 环境影响分析**

**11.1 建设阶段对环境的影响**

本项目施工过程中会产生施工噪声和建筑垃圾，建筑垃圾由医院统一收集并处理；施工噪声的噪声源强相对较小，施工噪声排放应满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的要求。

**11.2 运行阶段对环境的影响**

**11.2.1 辐射工作场所屏蔽分析**

(1)核医学科屏蔽计算分析

本项目辐射危害因素为由放射性核素衰变产生的  $\gamma$  射线。采用《辐射防护技术与管理》(第一卷)(张丹枫 赵兰才 编著)中点源预测公式,核医学科楼 PET/CT 检查区、SPECT/CT 检查区和  $^{131}\text{I}$  核素治疗区各参考点位辐射剂量率。

参考《放射防护实用手册》（赵兰才 张丹枫主编）有关计算参数和公式，本项目其他辐射工作场所的屏蔽计算分析以  $\gamma$  射线为主，计算公式如下：

$$H_R = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-x/TVL} \dots\dots\dots \text{(公式 1)}$$

式中：

$H_R$ —经屏蔽材料屏蔽后关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$A$ —放射性药物的活度， $\text{MBq}$ ；

$f$ —剂量率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}/\text{MBq}$ ；

$R$ —关注点到辐射源的距离， $\text{m}$ ；

$x$ —拟采用的屏蔽厚度， $\text{mm}$ ；

$TVL$ — $\gamma$  射线在相应屏蔽材料中的什值层， $\text{mm}$ ，

①PET/CT 检查区放射性核素  $^{18}\text{F}$  辐射防护屏蔽计算分析

$^{18}\text{F}$  衰变放出能量为  $0.511\text{MeV}$  的  $\gamma$  射线，参考《辐射安全手册》（潘自强主编）及中国疾控中心 2014 年《放射防护检测与放射诊疗建设项目放射防护评价工作》培训资料提供的数据， $^{18}\text{F}$  在混凝土中的什值层为  $167\text{mm}$ ，在铅中的什值层为  $16.5\text{mm}$ ； $^{18}\text{F}$  剂量率常数注射前取  $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}/\text{MBq}$ ，注射后取  $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}/\text{MBq}$ 。

根据医院提供的资料，对于  $^{18}\text{F}$  药物，单人最大注射活度为  $5.55 \times 10^8\text{Bq}$

(15mCi)。为保守起见, 储源及废物存放间及活性室以日最大购药量  $1.48 \times 10^{10}$  (400mCi) 进行估算, 注射间、VIP 待检室、受检者卫生间、受检者走廊的源活度, 按照  $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$  进行估算, 待检室以二人候诊  $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$  进行估算。受检者注射后需候诊 30~60min 进行扫描,  $^{18}\text{F}$  半衰期为 1.83h, 计算时保守估计, 按候诊时间为 30min, PET/CT 机房内最大活度为  $4.59 \times 10^8 \text{Bq}$  (按照 30min 衰减)。受检者的扫描时间一般为 20~30min, 检查后留观室按照最大活度为  $7.62 \times 10^8 \text{Bq}$  (按照经过 50min 和 70min 衰减) 进行估算。

表 11-1 PET/CT 检查区实体屏蔽后各关注点辐射剂量率估算结果

位置		A (MBq)	$f$	R (m)	$x$	$H_R$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	备注
储源及 废物存 放间	东墙外	14800	0.143	1.55	300mm 混 凝土	0.01	考虑了储 源铅罐 50mmPb 的屏蔽
	南墙外	14800	0.143	1.35	300mm 混 凝土	0.02	
	西墙外	14800	0.143	1.55	300mm 混 凝土	0.01	
	北墙外	14800	0.143	1.35	300mm 混 凝土	0.02	
	顶棚上 方	14800	0.143	4.50	300mm 混 凝土	0.01	
	楼下 (放化 疗科 内)	14800	0.143	7.70	300mm 混 凝土	0.01	
	防护门 外	14800	0.143	1.95	4mmPb	0.30	
活性室	东墙外	14800	0.143	2.20	300mm 混 凝土	0.03	考虑了通 风橱 40mmPb 的屏蔽
	南墙外	14800	0.143	2.30	300mm 混 凝土	0.02	
	西墙外	14800	0.143	2.20	300mm 混 凝土	0.03	
	北墙外	14800	0.143	2.30	300mm 混 凝土	0.02	
	顶棚上 方	14800	0.143	4.50	300mm 混 凝土	0.01	
	楼下 (放化 疗科 内)	14800	0.143	7.70	300mm 混 凝土	0.01	



	通风橱 正面	14800	0.143	0.70	40mmPb	16.42	
注射间	东墙外	555	0.092	2.20	300mm 混 凝土	0.17	
	南墙外	555	0.092	1.30	300mm 混 凝土	0.49	
	西墙外	555	0.092	2.20	300mm 混 凝土	0.17	
	北墙外	555	0.092	1.30	300mm 混 凝土	0.49	
	顶棚上 方	555	0.092	4.50	300mm 混 凝土	0.04	
	楼下 (放化 疗科 内)	555	0.092	7.70	300mm 混 凝土	0.01	
	防护门 外	555	0.092	2.55	4mmPb	4.519	
	注射位	555	0.092	0.50	20mmPb	12.59	
待检室	东墙外	1110	0.092	1.60	300mm 混 凝土	0.65	按照 2 人 同时待检 计算
	南墙外	1110	0.092	2.20	300mm 混 凝土	0.34	
	西墙外	1110	0.092	1.60	300mm 混 凝土	0.65	
	北墙外	1110	0.092	2.20	300mm 混 凝土	0.342	
	顶棚上 方	1110	0.092	4.50	300mm 混 凝土	0.08	
	楼下 (负一 层夹层 内)	1110	0.092	3.80	300mm 混 凝土	0.12	
	防护门 外	1110	0.092	2.60	9mmPb	4.26	
VIP 待检 室	东墙外	555	0.092	1.60	300mm 混 凝土	0.32	按照 1 人 待检计算
	南墙外	555	0.092	2.20	300mm 混 凝土	0.17	
	西墙外	555	0.092	1.60	300mm 混 凝土	0.32	
	北墙外	555	0.092	2.20	300mm 混 凝土	0.17	

	顶棚上方	555	0.092	4.50	300mm 混凝土	0.04	
	楼下 (负一层夹层内)	555	0.092	3.80	300mm 混凝土	0.06	
	防护门外	555	0.092	2.60	3mmPb	4.99	
PET/CT 机房	东墙外	459	0.092	4.20	300mm 混凝土	0.04	按照衰减 30min 计算
	南墙外	459	0.092	3.30	300mm 混凝土	0.06	
	西墙外	459	0.092	4.20	300mm 混凝土	0.04	
	北墙外	459	0.092	3.30	300mm 混凝土	0.06	
	顶棚上方	459	0.092	4.50	300mm 混凝土	0.03	
	楼下 (放化疗科内)	459	0.092	7.70	300mm 混凝土	0.01	
	受检者 进出防护门外	459	0.092	3.30	4mmPb	2.23	
	辐射工 作人员 进出防护门外	459	0.092	5.20	5mmPb	0.783	
	观察窗	459	0.092	4.20	6mmPb	1.045	
留观室	东墙外	762	0.092	2.10	300mm 混凝土	0.26	按照衰减 50min 和 70min 计算
	南墙外	762	0.092	2.20	300mm 混凝土	0.24	
	西墙外	762	0.092	2.10	300mm 混凝土	0.26	
	北墙外	762	0.092	2.20	300mm 混凝土	0.24	
	顶棚上方	762	0.092	4.50	300mm 混凝土	0.06	

	楼下 (负一 层夹层 内)	762	0.092	3.80	300mm 混 凝土	0.08	
	防护门 外	762	0.092	2.90	4mmPb	4.80	
受检者 卫生间	东墙外	555	0.092	1.55	300mm 混 凝土	0.35	
	南墙外	555	0.092	1.10	300mm 混 凝土	0.68	
	西墙外	555	0.092	1.55	300mm 混 凝土	0.35	
	北墙外	555	0.092	1.10	300mm 混 凝土	0.68	
	顶棚上 方	555	0.092	4.50	300mm 混 凝土	0.04	
	楼下 (放化 疗科 内)	555	0.092	7.70	300mm 混 凝土	0.02	
受检者 通道	顶棚上 方	555	0.092	4.50	300mm 混 凝土	0.04	防护门以 靠近门边 2m 计算
	楼下 (放化 疗科 内)	555	0.092	7.70	300mm 混 凝土	0.01	
	入口防 护门 (门 二)	555	0.092	2.30	12mmPb	1.80	
	出口防 护门 (门 三):	555	0.092	2.30	16mmPb	1.03	

采取本项目辐射防护屏蔽措施后，PET/CT 检查区的监督区周围关注点储源及废物存放间东墙外、活性室北墙外、待检室南墙外、待检室西墙外、VIP 待检室南墙外、PET/CT 机房西墙外、PET/CT 机房北墙外、PET/机房观察窗、PET/CT 机房辐射工作人员进出门外、留观室东墙外、留观室南墙外、受检者卫生间东墙外、受检者入口防护门（门二）外、受检者出口防护门（门三）外和控制区各场

所顶棚上方、楼下辐射剂量率为 (0.01~1.80)  $\mu\text{Gy/h}$ 。

②SPECT/CT 检查区放射性核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  辐射防护屏蔽计算分析

根据医院提供的资料, 对于  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物, 单人最大注射活度为  $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$  (20mCi)。为保守起见, 储源及废物存放间、活性室及二次候诊区以日最大操作量  $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$  (500mCi) 进行估算, SPECT/CT 机房、注射间、运动室、受检者卫生间、受检者走廊的源活度, 按照  $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$  进行估算, 留观室以二人留观  $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$  进行估算。

参考《辐射安全手册》(潘自强主编) 及中国疾控中心 2014 年《放射防护检测与放射诊疗建设项目放射防护评价工作》培训资料提供的数据,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  在混凝土中的半值层为 112mm, 在铅中的半值层为 1.0mm;  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的剂量率常数取  $0.022 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} / \text{MBq}$ 。

表 11-2 SPECT/CT 检查区实体屏蔽后各关注点辐射剂量率估算结果

位置		A (MBq)	$f$	R (m)	$x$	$H_R$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	备注
储源及 废物存 放间	东墙外	18500	0.022	3.20	300mm 混 凝土	0.01	考虑了储 源铅罐 50mmPb 的屏蔽
	南墙外	18500	0.022	1.60	300mm 混 凝土	0.01	
	西墙外	18500	0.022	3.20	300mm 混 凝土	0.01	
	北墙外	18500	0.022	1.60	300mm 混 凝土	0.01	
	顶棚上 方	18500	0.022	4.50	300mm 混 凝土	0.01	
	楼下 (负一 层夹层 内)	18500	0.022	3.80	300mm 混 凝土	0.01	
	东侧防 护门外	18500	0.022	3.20	4mmPb	0.01	
	北侧防 护门外	18500	0.022	4.65	4mmPb	0.01	
活性室	东墙外	18500	0.022	2.95	300mm 混 凝土	0.01	考虑了通 风橱 5mmPb 的 屏蔽
	南墙外	18500	0.022	3.05	300mm 混 凝土	0.01	
	西墙外	18500	0.022	2.95	300mm 混 凝土	0.01	

	北墙外	18500	0.022	3.05	300mm 混凝土	0.01
	顶棚上方	18500	0.022	4.50	300mm 混凝土	0.01
	楼下 (放化疗科内)	18500	0.022	7.70	2100mm 混凝土	0.01
	防护门外	18500	0.022	3.80	2mmPb	0.01
	通风橱正面	18500	0.022	0.70	5mmPb	0.01
注射间	东墙外	740	0.022	2.20	300mm 混凝土	0.01
	南墙外	740	0.022	1.30	300mm 混凝土	0.01
	西墙外	740	0.022	2.20	300mm 混凝土	0.01
	北墙外	740	0.022	1.30	300mm 混凝土	0.01
	顶棚上方	740	0.022	4.50	300mm 混凝土	0.01
	楼下 (放化疗科内)	740	0.022	7.70	2100mm 混凝土	0.01
	防护门外	740	0.022	2.45	4mmPb	0.01
	注射位	740	0.022	0.50	5mmPb	0.01
运动室	东墙外	740	0.022	2.20	300mm 混凝土	0.01
	南墙外	740	0.022	2.00	300mm 混凝土	0.01
	西墙外	740	0.022	2.20	300mm 混凝土	0.01
	北墙外	740	0.022	2.00	300mm 混凝土	0.01
	顶棚上方	740	0.022	4.50	300mm 混凝土	0.01
	楼下 (放化疗科内)	740	0.022	7.70	300mm 混凝土	0.01

	东侧防护门	740	0.022	2.85	4mmPb	0.01	
	西侧防护门外	740	0.022	2.85	4mmPb	0.01	
SPECT/ CT 机房	东墙外	740	0.022	4.45	300mm 混凝土	0.01	
	南墙外	740	0.022	3.05	300mm 混凝土	0.01	
	西墙外	740	0.022	4.45	300mm 混凝土	0.01	
	北墙外	740	0.022	3.05	300mm 混凝土	0.01	
	顶棚上方	740	0.022	4.50	300mm 混凝土	0.01	
	楼下 (放化疗科内)	740	0.022	7.70	300mm 混凝土	0.01	
	受检者 进出防护门外	740	0.022	3.05	4mmPb	0.01	
	辐射工 作人员 进出防 护门外	740	0.022	5.30	4mmPb	0.01	
	观察窗	740	0.022	4.45	3mmPb	0.01	
二次候 诊区	东墙外	18500	0.022	3.80	300mm 混凝土	0.06	按照 25 人 同时候诊 计算
	南墙外	18500	0.022	2.70	300mm 混凝土	0.12	
	西墙外	18500	0.022	3.80	300mm 混凝土	0.06	
	北墙外	18500	0.022	2.70	300mm 混凝土	0.12	
	顶棚上 方	18500	0.022	4.50	300mm 混凝土	0.04	
	楼下 (负一 层夹 层内)	18500	0.022	3.80	300mm 混凝土	0.06	

受检者通道	顶棚上方	740	0.022	4.50	300mm 混凝土	0.01	防护门以靠近门边 2m 计算
	楼下（负一层夹层内）	740	0.022	3.80	300mm 混凝土	0.01	
	防护窗	740	0.022	2.70	5mmPb	0.01	
	入口防护门（门六）	740	0.022	2.30	4mmPb	0.01	
	出口防护门（门七）	740	0.022	2.30	4mmPb	0.01	
受检者卫生间	东墙外	740	0.022	1.40	300mm 混凝土	0.01	
	南墙外	740	0.022	1.80	300mm 混凝土	0.01	
	西墙外	740	0.022	1.40	300mm 混凝土	0.02	
	北墙外	740	0.022	1.80	300mm 混凝土	0.01	
	顶棚上方	740	0.022	4.50	300mm 混凝土	0.01	
	楼下（负一层夹层内）	740	0.022	3.80	300mm 混凝土	0.01	

采取本项目辐射防护屏蔽措施后，SPECT/CT 检查区的监督区周围关注点储源及废物存放间西墙外、活性室西墙外、活性室北墙外、SPECT/CT 东墙外、SPECT/CT 机房南墙外、SPECT/CT 机房北墙外、辐射工作人员进出门外、观察窗、二次候诊区东墙外、二次候诊区南墙外、受检者通道防护窗外、受检者入口防护门（门六）外、受检者出口防护门（门七）外和控制区各场所顶棚上方、楼下）辐射剂量率为（0.01~0.12） $\mu\text{Gy/h}$ 。

### ③SPECT/CT 检查区放射性核素 $^{89}\text{Sr}$ 辐射防护屏蔽计算分析

SPECT/CT 检查区使用放射性核素  $^{89}\text{Sr}$  治疗骨转移癌，每周开展一次，日最大就诊量 2 人，每人最大用量  $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ； $^{89}\text{Sr}$  为纯  $\beta$  发射，衰变放出能量为

0.149MeV 的  $\beta$  射线,其  $\beta$  射线穿透能力远远弱于 SPECT/CT 检查项目中  $\gamma$  射线,本项目 SPECT/CT 检查项目对  $\gamma$  射线屏蔽材料足以屏蔽  $\beta$  射线,因此不对  $^{89}\text{Sr}$  治疗所需屏蔽单独核实和计算。

#### ④ $^{131}\text{I}$ 检查区放射性核素 $^{131}\text{I}$ 辐射防护屏蔽计算分析

根据医院提供的资料,对于  $^{131}\text{I}$  药物,仅每周一开展,甲亢日最大治疗 12 人,每人最大用量  $2.96 \times 10^8 \text{Bq}$ ; 甲癌日最大治疗 6 人,每人最大用量  $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ ,每批病人住院周期为 1 周。为保守起见,储源室以日最大操作量  $3.685 \times 10^{10} \text{Bq}$  估算,治疗病房按两名甲癌病人同时住院  $1.10 \times 10^{10} \text{Bq}$  计算,抢救室、服药间、病人卫生间、污洗间按 1 名甲癌病人  $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$  估算。甲亢病人在注射核素后在病房走廊上的座椅上休息观察,以 12 名病人同时留观休息估算,核素用量为  $3.55 \times 10^9 \text{Bq}$ ,低于 1 名甲癌病人的用量,因此在病房走廊也按 1 名甲癌病人  $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$  估算。放射性废物存放间按  $1.388 \times 10^9 \text{Bq}$  ( $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$  的四分之一)估算。

参考《辐射安全手册》(潘自强主编)及中国疾控中心 2014 年《放射防护检测与放射诊疗建设项目放射防护评价工作》培训资料提供的数据,  $^{131}\text{I}$  在混凝土中的半值层为 160mm,在铅中的半值层为 10mm;  $^{131}\text{I}$  的剂量率常数取  $0.052 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} / \text{MBq}$ 。

表 11-3  $^{131}\text{I}$  核素治疗区实体屏蔽后各关注点辐射剂量率估算结果

位置		A (MBq)	$f$	R (m)	$x$	$H_R$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	备注
储源间	东墙外	36850	0.052	3.70	300mm 混凝土	0.01	考虑了储源铅罐 50mmPb 的屏蔽
	南墙外	36850	0.052	1.10	300mm 混凝土	0.01	
	西墙外	36850	0.052	3.70	300mm 混凝土	0.01	
	北墙外	36850	0.052	1.10	300mm 混凝土	0.01	
	顶棚上方	36850	0.052	4.50	300mm 混凝土	0.01	
	楼下(放化疗科内)	36850	0.052	7.70	2100mm 混凝土	0.01	
	南侧防	36850	0.052	1.75	4mmPb	0.01	



	护门外						
	北侧防护门外	36850	0.052	1.75	4mmPb	0.01	
服药间	东墙外	5500	0.052	1.30	300mm 混凝土	2.26	
	南墙外	5500	0.052	1.30	300mm 混凝土	2.26	
	西墙外	5500	0.052	1.30	300mm 混凝土	2.26	
	北墙外	5500	0.052	1.30	300mm 混凝土	2.26	
	顶棚上方	5500	0.052	4.50	300mm 混凝土	0.19	
	楼下 (放化疗科内)	5500	0.052	7.70	2100mm 混凝土	0.01	
	防护门外	5500	0.052	1.70	10mmPb	9.90	
抢救室	东墙外	5500	0.052	2.70	300mm 混凝土	0.52	
	南墙外	5500	0.052	1.80	300mm 混凝土	1.18	
	西墙外	5500	0.052	2.70	300mm 混凝土	0.52	
	北墙外	5500	0.052	1.80	300mm 混凝土	1.18	
	顶棚上方	5500	0.052	4.50	300mm 混凝土	0.19	
	楼下 (负一层夹层内)	5500	0.052	3.80	300mm 混凝土	0.26	
	东侧防护门外	5500	0.052	3.10	14mmPb	1.18	
	西侧防护门外	5500	0.052	3.10	6mmPb	7.48	
1#、2#、3#治疗病房	东墙外	11000	0.052	4.0	300mm 混凝土	0.48	按照 2 人同时住院计算
	南墙外	11000	0.052	2.10	300mm 混凝土	1.73	
	西墙外	11000	0.052	4.0	300mm 混凝土	0.48	

	北墙外	11000	0.052	2.10	300mm 混凝土	1.73	
	顶棚上方	11000	0.052	4.50	300mm 混凝土	0.38	
	楼下 (放化疗科内)	11000	0.052	7.70	300mm 混凝土	0.13	
	防护门外	11000	0.052	4.40	6mmPb	7.42	
	防护窗外	11000	0.052	4.40	15mmPb	0.93	
放射性 废物存 放间	东墙外	1388	0.052	4.0	300mm 混凝土	0.06	按甲癌患者单人最大用药量的四分之一计算
	南墙外	1388	0.052	1.80	300mm 混凝土	0.30	
	西墙外	1388	0.052	4.0	300mm 混凝土	0.06	
	北墙外	1388	0.052	1.80	300mm 混凝土	0.30	
	顶棚上方	1388	0.052	4.50	300mm 混凝土	0.04	
	楼下 (放化疗科内)	1388	0.052	7.70	300mm 混凝土	0.02	
	防护门外	1388	0.052	4.30	6mmPb	0.98	
病人卫 生间	东墙外	5500	0.052	2.10	300mm 混凝土	0.86	
	南墙外	5500	0.052	1.80	300mm 混凝土	1.18	
	西墙外	5500	0.052	2.10	300mm 混凝土	0.86	
	北墙外	5500	0.052	1.80	300mm 混凝土	1.18	
	顶棚上方	5500	0.052	4.50	300mm 混凝土	0.19	
	楼下 (放化	5500	0.052	7.70	300mm 混凝土	0.06	

	疗科 内)						
病房走 廊	顶棚上 方	5550	0.052	4.50	300mm 混 凝土	0.19	防护门以 靠近门边 2m 计算
	楼下 (负一 层夹层 内)	5550	0.052	3.80	300mm 混 凝土	0.26	
	入口防 护门 (门 十) 外	5550	0.052	2.30	16mmPb	1.36	
	出口防 护门 (门 八) 外	5550	0.052	1.30	16mmPb	1.36	
	护士站 处防护 门(门 九) 外	5550	0.052	1.70	16mmPb	1.36	
开水间	东墙外	5550	0.052	1.35	300mm 混 凝土	2.09	
	南墙外	5550	0.052	1.95	300mm 混 凝土	1.01	
	西墙外	5550	0.052	1.35	300mm 混 凝土	2.09	
	北墙外	5550	0.052	1.95	300mm 混 凝土	1.01	
	顶棚上 方	5550	0.052	4.50	300mm 混 凝土	0.19	
	楼下 (放化 疗科 内)	5550	0.052	7.70	300mm 混 凝土	0.06	
	防护门 外	5550	0.052	3.80	6mmPb	4.98	

采取本项目辐射防护屏蔽措施后，<sup>131</sup>I 核素治疗区的监督区周围关注点储源间东墙外、储源间北墙外、抢救室东墙外、抢救室北墙外、治疗病房西墙外、治疗病房防护窗外、1#治疗病房北墙外、放射性废物存放间西墙外、病人卫生间南墙外、病人卫生间西墙外、病人入口防护门(门十)外、病人出口防护门(门八)

外、护士站处防护门（门九）外、开水间南墙外、开水间西墙外和控制区各场所顶棚上方、楼下）辐射剂量率为（0.01~2.09） $\mu\text{Gy/h}$ 。

#### ⑤PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房 X 射线辐射防护屏蔽防护分析

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中 X 射线设备机房防护设施的技术要求，CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求为 2.0mm。

PET/CT 机房四侧墙体、顶棚、底板均采用 300mm 混凝土，观察窗采用 6mmPb，受检者进出防护门为 4mmPb，辐射工作人员进出防护门为 5mmPb；SPECT/CT 机房四侧墙体四侧墙体、顶棚、底板均采用 300mm 混凝土，观察窗、受检者进出防护门、辐射工作人员进出防护门均为 4mmPb；屏蔽设计均能够满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）的要求。

#### (2)直线加速器室屏蔽计算分析

本项目拟使用 2 台医用电子直线加速器，医用电子直线加速器最大 X 射线能量均为 10MV，产生的最大电子线能量为 15MeV。本项目医用加速器机房的平面布局见附图 7，详细屏蔽情况见表 10-2。根据《辐射防护技术与管理》（第一卷）（张丹枫、赵兰才编著）中对不大于 10MV 医用电子直线加速器辐射特点的分析，本项目直线加速器室的屏蔽计算分析主要包括 X 射线、电子线、感生放射性。

##### 1) 电子线屏蔽

本项目医用加速器可提供最大能量为 10MV 的 X 射线和最大能量为 15MeV 的电子线。

因为电子在物质中的射程是有限的，屏蔽比较容易，只要所选择的物质厚度大于带电粒子在该物质中的射程，就可以将其完全吸收。在能量为 2~20MeV 范围内，电子最大射程（单位为  $\text{g/cm}^2$ ）约为能量（MeV）的 0.6 倍，即本项目电子最大射程为  $15 \times 0.6 = 9 \text{g/cm}^2$ 。本项目机房采用密度  $2.35 \text{g/cm}^3$  的混凝土作屏蔽体，由此计算电子在混凝土中的射程为  $9 / 2.35 = 3.83 \text{cm}$ 。因此，本项目直线加速器室可完全屏蔽电子线。

##### 2) X 射线墙体屏蔽

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）计算方法，本项目直线加速器室东墙、西墙和顶棚的主

屏蔽墙均考虑有用射线束防护；东墙、西墙和顶棚主屏蔽墙相连的次屏蔽墙，考虑泄露辐射和患者散射辐射的复合作用；侧屏蔽墙北墙、迷路内墙和外墙考虑泄露辐射。

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），有用线束和泄露辐射的墙体屏蔽计算按下列公式：

$$X = X_e \cdot \cos\theta \dots\dots\dots \text{（公式 2）}$$

$$X_e = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots \text{（公式 3）}$$

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots \text{（公式 4）}$$

式中：

X、X<sub>e</sub>—分别为屏蔽物质厚度和有效屏蔽厚度，cm；

θ—为斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

B—透射因子；

TVL<sub>1</sub>、TVL—分别为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，cm；

$\dot{H}_c$ —墙和门外 30cm 处剂量率控制水平(μ Sv/h)；

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率(μSv /h)；本项目医用加速器最大输出剂量率为 2400cGy/min，因此本项目取  $24 \times 1^2 \times 60 \times 10^6 = 1.44 \times 10^9 \mu \text{ Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离(m)；

f—对有用线束为 1，对泄露辐射为泄露辐射比率=10<sup>-3</sup>；

①有用线束主屏蔽区-东墙：

a) 辐射源至关注点距离：主屏蔽区辐射源点至关注点的距离为等中心位置至关注点距离与源轴距之和，加预设屏蔽厚度（10MV 机房预设值为 200cm）和距治疗机房墙外表面 30cm 处。

$$R=100+425+200+30=755\text{cm}$$

b) 屏蔽透射因子：关注点达到剂量率参考水平 2.5μ Sv/h 时，设计的屏蔽透射因子 B。

$$B = \frac{2.5}{1.44 \times 10^9} \times \frac{7.55^2}{1} = 9.9 \times 10^{-8}$$

b) 有效屏蔽厚度计算：估算出屏蔽透射因子 B，代入估算所需的有效屏蔽厚度 $X_e$  (cm)。

查 GBZ/T201.2-2011 表 B.1, 10MV 有用线束在混凝土中 TVL=37cm、TVL<sub>1</sub>=41cm;

$$X_e = 37 \times \log (9.9 \times 10^{-8})^{-1} + (41 - 37) = 263\text{cm}$$

对于有用线束 $\theta = 0^\circ$ ， $X = X_e = 263\text{cm}$ ，取整数为 270cm。

②有用线束主屏蔽区-西墙：

等中心点距西墙的距离与东墙相同 (425cm)，且各计算参数与东墙相同，故西墙的混凝土屏蔽厚度取东墙厚度即 270cm。

③有用线束主屏蔽区-顶棚：

$$R=650\text{cm}, B=\frac{2.5}{1.44 \times 10^9} \times \frac{6.5^2}{1} = 7.34 \times 10^{-8}$$

$$X_e = 37 \times \log (7.34 \times 10^{-8})^{-1} + (41 - 37) = 268\text{cm}$$

对于有用线束 $\theta = 0^\circ$ ， $X = X_e = 268\text{cm}$ ，取整数为 270cm。

④侧屏蔽墙（泄露辐射）-北墙：

该区考虑泄露辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区， $f=10^{-3}$ ；预设屏蔽厚度为 100cm，TVL 查 GBZ/T201.2-2011 表 B.1 中泄露辐射值，TVL=31cm、TVL<sub>1</sub>=35cm。分别计算侧屏蔽区辐射源点至关注点的距离 R、屏蔽透射因子 B 和有效屏蔽厚度 $X_e$ 。

$$R=100+325+30=455\text{cm}$$

$$B=\frac{2.5}{1.44 \times 10^9} \times \frac{4.55^2}{10^{-3}} = 3.59 \times 10^{-5}$$

$$X = X_e = 31 \times \log (3.59 \times 10^{-5})^{-1} + (35 - 31) = 142\text{cm}, \text{取整数 } 150\text{cm}.$$

⑤与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：

a) 对于次屏蔽墙，考虑泄露辐射和患者散射辐射的复合作用，取次屏蔽墙外剂量率控制水平  $2.5\mu\text{ Sv/h}$ ；患者散射辐射剂量率控制值 $\dot{H}_c=1.25\mu\text{ Sv/h}$ 。

b) 取患者散射角为  $30^\circ$ ，根据 GBZ/T201.2-2011 表 D.1 给出 10MV 加速器入射角为  $30^\circ$  时，辐射源与关注点的距离 R 为 711cm，表 B.2 给出 10MV 加速器患者受照面积  $400\text{cm}^2$  的散射因子 $a_{\text{ph}}$  值为  $3.18 \times 10^{-3}$ 。

$$B = \frac{\dot{H}_c R_s^2}{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} (F/400)} \dots\dots\dots \text{(公式 5)}$$

式中：

$\dot{H}_c$ —患者散射辐射剂量率控制值，取  $1.25\mu\text{ Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ —等中心距靶 1m 处常用最高剂量率，取  $1.44 \times 10^9 \mu\text{ Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$R_s$ —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

$a_{ph}$ —患者  $400\text{ cm}^2$  面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称  $400\text{ cm}^2$  面积上的散射因子；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， $\text{cm}^2$ 。

代入数据计算  $B = \frac{1.25 \times 7.11^2}{1.44 \times 10^9 \times 3.18 \times 10^{-3} \times 40^2 / 400} = 3.45 \times 10^{-6}$

c) GBZ/T201.2-2011 表 B.4 给出 10MV 散射角  $30^\circ$ ，患者散射辐射在混凝土中的什值层为 28cm，次屏蔽墙有效屏蔽厚度  $X_e$ 。

$$X_e = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 28 \times \log (3.45 \times 10^{-6})^{-1} = 153\text{cm}。$$

d) 屏蔽墙的厚度  $X = X_e \times \cos 30^\circ = 153 \times 0.866 = 132\text{cm}$ ，取整数 140cm。

⑥顶棚的次屏蔽墙（计算方法同上）：

a) 顶棚外剂量率控制水平为  $2.5\mu\text{ Sv/h}$ ；患者散射辐射剂量率控制值  $\dot{H}_c = 1.25\mu\text{ Sv/h}$ 。

b) 取患者散射角为  $30^\circ$ ，根据 GBZ/T201.2-2011 表 D.1 给出 10MV 加速器入射角为  $30^\circ$  时，辐射源与关注点的距离 R 为 471cm，表 B.2 给出 10MV 加速器患者受照面积  $400\text{cm}^2$  的散射因子  $a_{ph}$  值为  $3.18 \times 10^{-3}$ 。

代入数据计算  $B = \frac{1.25 \times 4.71^2}{1.44 \times 10^9 \times 3.18 \times 10^{-3} \times 40^2 / 400} = 1.51 \times 10^{-6}$

c)  $X_e = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 28 \times \log (1.51 \times 10^{-6})^{-1} = 163\text{cm}。$

d) 屏蔽墙的厚度  $X = X_e \times \cos 30^\circ = 163 \times 0.866 = 141\text{cm}$ ，取整数 150cm。

⑦有用线束主屏蔽区半宽度计算和斜射角度核算

有用线束主屏蔽区半宽度计算和斜射角度核算：

a) 主屏蔽区宽度：使用 GBZ/T201.1 的式（2）计算有用线束主屏蔽区的半宽度 Y。本项目主屏蔽墙为内凸情景。

$$Y = (100 + a + X_2) \text{tg} 14^\circ + 30 = (100 + 425 + 263 - 132) \text{tg} 14^\circ + 30 = 164\text{cm}$$

主屏蔽墙宽度为  $164 \times 2 = 328\text{cm}$ ，取整数  $330\text{cm}$ 。

b) 相关点斜射角  $\theta = \text{tg}^{-1}(164/425) = 21^\circ$ ，与估算引用值  $30^\circ$  较为相近。

考虑到机房的建筑结构以及有用线束向机房墙与顶连接处的照射，机房顶朱屏蔽区与墙主屏蔽区同等宽度。有用线束向顶照射时，人体散射线在机房顶处的斜射角将大于  $30^\circ$ ，使用  $30^\circ$  估算该处的次屏蔽顶的厚度将是偏安全的。

⑧迷路内墙：

a) 迷路入口剂量率控制水平为  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，泄漏剂量率应小于  $1/4$ ，取为  $0.5\mu\text{Sv/h}$ ；

b) 辐射源中心点至关注点的距离 R

$$R = \sqrt{(425 + 263 + 30)^2 + (500 + 100 + 220)^2} = 1089\text{cm}$$

泄漏辐射在迷路内墙的斜射角  $\theta = \text{tg}^{-1}[718/820] = \text{tg}^{-1}0.88 = 41^\circ$

c) 内墙的屏蔽透射因子  $B = 0.5 \times 10.89^2 / 1.44 \times 10^9 \times 10^{-3} = 3.12 \times 10^{-5}$

d) 有效屏蔽厚度 ( $X_e$ ): 查  $90^\circ$  泄漏辐射值,  $10\text{MV}$  的  $\text{TVL}_1 = 35\text{cm}$ 、 $\text{TVL} = 31\text{cm}$ 。

$$X_e = 31 \times \log(3.12 \times 10^{-5})^{-1} + (35 - 31) = 144\text{cm}$$

屏蔽厚度  $X = X_e \times \cos 30^\circ = 141 \times 0.866 = 124\text{cm}$ ，取整数  $130\text{cm}$ 。

⑨迷路外墙：

泄露辐射至迷路外墙的斜射角度小于  $30^\circ$ ，以垂直入射保守计算，计算方法同侧屏蔽墙。

a) 迷路外墙关注点剂量率控制水平为  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

b) 辐射源中心点至关注点的距离 R

$$R = 500 + 124 + 220 + 100 + 30 = 974\text{cm}$$

c) 迷路外墙的屏蔽透射因子  $B = 2.5 \times 9.74^2 / 1.44 \times 10^9 \times 10^{-3} = 1.65 \times 10^{-4}$

d) 有效屏蔽厚度 ( $X_e$ ): 查  $90^\circ$  泄漏辐射值,  $10\text{MV}$  的  $\text{TVL}_1 = 35\text{cm}$ 、 $\text{TVL} = 31\text{cm}$ 。

$$X = X_e = 31 \times \log(1.64 \times 10^{-4})^{-1} + (35 - 31) = 121\text{cm}$$
，取整数  $130\text{cm}$ 。

表 11-4 直线加速器室墙体厚度一览

序号	屏蔽体	计算所需厚度	直线加速器室一设计厚度	直线加速器室二设计厚度	评价
1	东侧主屏蔽墙	2700mm	3000mm	3000 mm	满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速
2	西侧主屏蔽墙	2700mm	3000 mm	3000 mm	
3	顶棚主屏蔽墙	2700mm	2900mm	2900 mm	



4	侧屏蔽墙（北墙）	1500mm	1700 mm	1700 mm	器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求
5	东侧次屏蔽墙	1400 mm	1800mm	1700 mm	
6	西侧次屏蔽墙	1400 mm	1700 mm	1800 mm	
7	顶棚次屏蔽墙	1500mm	2100mm	2100 mm	
8	东侧主屏蔽墙半宽度	3300mm	4800 mm	4000 mm	
9	西侧主屏蔽墙半宽度	3300mm	4000 mm	4800 mm	
10	迷路内墙（南墙）	1300mm	1300 mm	1300 mm	
11	迷路外墙（南墙）	1300mm	1700mm	1700 mm	

根据上表计算结果可知，本项目直线加速器机房墙体厚度均满足《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）的要求。

⑨入口门屏蔽

防护门所需的屏蔽透射因子按照公式 6 计算：

$$B = \frac{\dot{H}_C - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \dots\dots\dots \text{（公式 6）}$$

$\dot{H}_{og}$ ：穿过迷路内墙的泄漏辐射在入口处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，本项目取  $0.5\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_g$ ：入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；按照公式 7 计算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{（公式 7）}$$

$\alpha_2$ ：墙体入射的患者散射辐射的散射因子，本项目取  $22 \times 10^{-3}$ ；

A：散射面积， $\text{m}^2$ ，本项目取  $8\text{m}^2$ ；

$R_1$ 、 $R_2$ ：散射路径上不同散射点之间的距离，m，本项目取 9.6m、10.4m；

计算得到医用加速器防护门所需厚度  $12.4\text{mmPb}$ 。

医用加速器防护门为  $15\text{mmPb}$ ，可满足屏蔽防护要求。

3) 感生放射性

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)的规定,电子能量超过 10MeV 的加速器,距仪器表面 1m 处由感生放射性所造成的吸收剂量率不得超过 0.02mGy/h。感生放射性的水平比较低,在加速器开机运行过程中可以不考虑对周围环境的影响。但当加速器停机后,人员进入机房或在检修加速器期间会对人员构成一定的危害。由于感生放射性衰变的较快,停机 5~10 分钟就可以减弱到初始值的一半。

#### 4) 直线加速器室外关注点剂量率

①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 有用线束和泄露辐射的屏蔽与剂量估算,屏蔽墙外 30cm 处关注点的剂量率 $\dot{H}$ :

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots \dots \dots \text{(公式 8)}$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots \dots \dots \text{(公式 9)}$$

$$X_e = X \cdot \sec\theta \dots \dots \dots \text{(公式 10)}$$

式中:

$\dot{H}$ —关注点剂量率,  $\mu$  Sv/h;

$\dot{H}_0$ —距靶 1m 处常用最高剂量率,取  $1.44 \times 10^9 \mu$  Sv/h;

f—对有用线束为 1,对泄露辐射为泄露辐射比率= $10^{-3}$ ;

B—透射因子;

R—辐射源(靶点)至关注点的距离, m;

X、 $X_e$ —分别为屏蔽物质厚度和有效屏蔽厚度, cm;

TVL<sub>1</sub>、TVL—分别为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, cm;

查《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), a、有用线束 $X_e = X$ , 10MV 中 TVL=37cm、TVL<sub>1</sub>=41cm; b、90° 泄露 $X_e = 1.57X$ , 10MV 中 TVL=31cm、TVL<sub>1</sub>=35cm;

$\theta$  —为斜射角,即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

②患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算,屏蔽墙外 30cm 处关注点的剂量率

H:

$$H = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots \dots \dots \text{(公式 11)}$$

式中:

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm<sup>2</sup>;

R<sub>s</sub>—患者(位于等中心点)至关注点的距离, m;

a<sub>ph</sub>—患者 400 cm<sup>2</sup> 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称 400 cm<sup>2</sup> 面积上的散射因子。

查《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) 表 B. 2, 10MV 散射角 45° 的患者受照面积 400cm<sup>2</sup> 的散射因子 a<sub>ph</sub>=1.35×10<sup>-3</sup>; 45° 散射 X<sub>e</sub> = X/cos45° =1.414X; 表 B. 4, 10MV 散射角 45° 中 TVL=TVL<sub>1</sub>=25cm。

一号直线加速器室和二号直线加速器室的屏蔽结构基本一致, 现以一号直线加速器室外各关注点辐射剂量率估算结果列表 11-5。

表 11-5 一号直线加速器室外各关注点辐射剂量率估算结果

关注点	屏蔽材料及厚度	至参考点 距离 (m)	有用线束辐 射剂量率 (μ Gy/h)	泄露辐射 剂量率 (μ Gy/h)	散射辐射 剂量率 (μ Gy/h)	总辐射 剂量率 (μ Gy/h)
东侧主屏蔽 墙外	3000mm 混凝土	8.55	0.19	/	/	0.21
西侧主屏蔽 墙外	3000mm 混凝土	8.55	0.19	/	/	0.21
顶棚主屏蔽 墙	2900mm 混凝土	7.4	0.49	/	/	0.49
东侧次屏蔽 墙外	1800mm 混凝土	6.65	/	3.51×10 <sup>-5</sup>	1.11×10 <sup>-5</sup>	4.62×10 <sup>-5</sup>
西侧次屏蔽 墙外	1700mm 混凝土	6.55	/	1.1×10 <sup>-4</sup>	4.55×10 <sup>-5</sup>	1.56×10 <sup>-4</sup>
顶棚次屏蔽 墙	2100mm 混凝土	5.65	/	1.37×10 <sup>-6</sup>	3.21×10 <sup>-7</sup>	1.69×10 <sup>-6</sup>
侧屏蔽墙(北 墙)外	1700mm 混凝土	5.25	/	1.71×10 <sup>-4</sup>	/	1.71×10 <sup>-4</sup>
防护门外	15mmpb	10.4	/	4.37×10 <sup>-5</sup>	0.17	0.17

迷道外墙外	1700mm 混凝土	9.5	/	$5.24 \times 10^{-5}$	/	$5.24 \times 10^{-5}$
-------	------------	-----	---	-----------------------	---	-----------------------

根据表 11-2 计算结果可知，本项目直线加速器机房各关注点辐射剂量率为  $(1.69 \times 10^{-6} \sim 0.49) \mu\text{Gy/h}$ ，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 规定“加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

(3)后装机房屏蔽计算分析

①后装机房四周墙体及顶棚屏蔽计算分析

本项目所使用的后装机内含一枚活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$  的 III 类放射源  $^{192}\text{Ir}$ ， $\gamma$  射线能量为  $0.37 \text{MeV}$ ，后装机的辐射源在正常运行状态下是一裸源，对其的防护量全方位都是相等的，因此，按最不利情况，假设源处于曝光状态，后装机房关注点辐射空气吸收剂量率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) 中的计算公式计算。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{(公式 12)}$$

$$B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1) / \text{TVL}} \dots\dots\dots \text{(公式 13)}$$

$$X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots \text{(公式 14)}$$

$$\dot{H}_0 = A \times K_r \dots\dots\dots \text{(公式 15)}$$

$\dot{H}$ —关注点辐射空气吸收剂量率，单位为  $\mu\text{Gy/h}$ ；

$\dot{H}_0$ —活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$  的放射源  $^{192}\text{Ir}$  在距 1m 处的剂量率，单位为  $\mu\text{Gy/h}$ ；

$f$ —泄漏辐射比率，对有用线束即四周取值为 1，对顶棚取值为  $10^{-3}$ ；

$B$ —屏蔽透射因子；

$K_r$ —放射源的空气比释动能率常数， $^{192}\text{Ir}$  放射源取  $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{MBq} \cdot \text{h})$ ；

$A$ —放射源的活度；本项目为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；

$X$ 、 $X_e$ —分别为屏蔽物质厚度和有效屏蔽厚度，cm；

$\text{TVL}$ 、 $\text{TVL}_1$ —分别为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，cm；

$\theta$ —为斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

计算结果见表 11-6

表11-6 正常工况下后装机房周围各关注点辐射空气吸收剂量率估算结果

工作状态	关注点	距离 R (m)	屏蔽材料及厚度	辐射空气吸收剂量率估算值 (μGy/h)
后装机正常运行	东侧屏蔽墙外	5.9	900mm 混凝土	0.01
	南侧屏蔽墙外	4.9	1000mm 混凝土	0.01
	西侧屏蔽墙外	5.9	1700 mm 混凝土	$7.7 \times 10^{-5}$
	北侧屏蔽墙外	4.9	900mm 混凝土	0.01
	顶棚外	5.3	1500mm 混凝土	$1.9 \times 10^{-6}$

②后装机室防护门外的辐射空气吸收剂量率

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad \text{..... (公式 16)}$$

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_1^2} \cdot \frac{a_2 \cdot S}{R_2^2} \cdot \frac{\dot{H}_0}{R_0^2} \quad \text{..... (公式 17)}$$

$$\dot{H}_{og} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{..... (公式 18)}$$

$\dot{H}$ —后装机治疗室屏蔽防护门外的辐射剂量率，单位为μGy/h；

$\dot{H}_g$ —后装机治疗室入口处的散射辐射剂量率，单位为μGy/h；

$\dot{H}_{og}$ —后装机安装位置（本项目取后装机房中心点位置）穿过迷道内墙的泄漏辐射在入口出的辐射剂量率，单位为μGy/h；

$f$ —泄漏辐射比率，本项目取值为  $10^{-3}$ ；

$S$ —散射面积，单位为  $m^2$ ，本项目取值为  $12 m^2$ ；

$\alpha_{ph}$ — $400 cm^2$  面积上的散射因子，查表 C.3 可得本项目取值为 0.0009；

$F$ —治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，单位为  $cm^2$ ，本项目取值为  $1225 cm^2$ ；

$\alpha_2$ —散射体的散射因子，查表 C.4 可知本项目取值为 0.021；

$R_1$ —后装机位置(患者)至屏蔽体内侧散射点的距离，m；本项目取值为 6.1m；

$R_2$ —散射点至关注点的距离，m，本项目取值为 7.4m；

$R_0$ —放射源与等中心位置之间的距离，m，本项目取值为 1m；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm；本项目后装机治疗室入口处的能量约为 0.2MeV，铅中的 TVL 值取值为 5.0mm。

本项目后装机房防护门采用 10mmPb，根据计算可得 $\dot{H} = 0.13\mu\text{Gy/h}$

经计算可知，后装机房周围剂量率为  $(1.9 \times 10^{-6} \sim 0.13) \mu\text{Gy/h}$  之间，满足《后装 $\gamma$  源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017) 规定“治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过  $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ”的要求。

### 11.2.2 辐射工作人员和公众附加剂量估算

辐射工作人员和公众附加剂量按下列公式计算：

$$H_{Er} = D_r \times t \times 10^{-3} (\text{mSv}) \dots\dots\dots (\text{公式 19})$$

其中：

$H_{Er}$ --年附加剂量，mSv；

$D_r$ --X- $\gamma$  辐射空气吸收剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$t$ --受照时间，h，辐射工作人员受照时间为曝光时间，公众居留因子取 1/4，则公众受照时间为曝光时间的 1/4。

(1)核医学科辐射工作人员和公众年附加剂量估算

#### ①PET/CT 检查区辐射工作人员和公众附加剂量估算

PET/CT 检查区辐射工作人员年工作 250 天。放射性药物  $^{18}\text{F}$  分装每天时间约为 20min，注射时间约为 10min，则放射性药物  $^{18}\text{F}$  每年的分装时间为 83.3h，每年的注射时间为 41.7h。PET/CT 扫描辐射工作人员每天操作时间约为 3h，每年操作时间约为 750h。

表 11-7 核医学科 PET/CT 检查区辐射工作人员和公众年附加剂量计算结果

关注点		$D_r$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	$t$ (h)	受照者类型	年附加剂量 (mSv)
注射室	工作人员注射位	12.59	41.7	辐射工作人员	0.525
分装室	通风橱正面	24.63	83.3		2.052
合计					<b>2.577</b>
储源及废物存放间	东墙外	0.02	187.5	公众	0.004
受检者卫生间	东墙外	0.35	187.5		<b>0.066</b>
PET/CT 机	西墙外	0.04	750	辐射工作人员	0.030

房	北墙外	0.06	750		0.045
	辐射工作人员进出防护门外	0.783	750		0.587
	观察窗	1.045	750		0.784
受检者通道	入口防护门（门二）外	1.80	31.25	公众	0.056
	出口防护门（门三）外	1.03	31.25		0.032

结合表 11-7 结果可知，本项目核医学科 PET/CT 检查区辐射工作人员年附加剂量最大为 2.577mSv，公众年附加剂量最大为 0.066mSv；满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002 辐射工作人员年附加剂量 20mSv 和公众年附加剂量 1mSv 的剂量限值要求，同时也满足本项目核医学科辐射工作人员年附加剂量约束值 5mSv，公众年附加剂量约束值 0.25mSv 的要求。

#### ②SPECT/CT 检查区辐射工作人员和公众附加剂量估算

SPECT/CT 检查区  $^{99m}\text{Tc}$  辐射工作人员年工作 250 天。放射性药物  $^{99m}\text{Tc}$  每天淋洗、质控、分装时间为 20min，注射时间约为 12.5min，则放射性药物  $^{99m}\text{Tc}$  每年淋洗、质控、分装时间为 83.3h，注射时间 52.1h。SPECT 工作场所  $^{89}\text{Sr}$  辐射工作人员年工作 50 天。放射性药物  $^{89}\text{Sr}$  每天分装时间为 5min，注射时间约为 1min，则放射性药物  $^{89}\text{Sr}$  每年分装时间为 4.2h、注射操作时间 0.8h。SPECT/CT 扫描辐射工作人员每天操作时间约为 4h，每年操作时间约为 750h。

表 11-8 SPECT/CT 检查区辐射工作人员和公众年附加剂量计算结果

关注点		$D_r$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	$t$ (h)	受照者类型	年附加剂量 (mSv)
注射间	工作人员注射位	0.01	87.5	辐射工作人员	0.001
活性室	通风橱正面	0.01	52.1		0.001
合计					0.002
二次候诊区	东墙外	0.06	250	公众	0.015
	南墙外	0.12	250		<b>0.03</b>
留观室	南墙外	0.04	250		0.01
	西墙外	0.02	250		0.005
SPECT/CT 机房	东墙外	0.01	1000	辐射工作人员	<b>0.01</b>
	北墙外	0.01	1000		0.01
	辐射工作人员进出防护门外	0.01	1000		0.01
	观察窗	0.01	1000		0.01

受检者通道	入口防护门（门六）外	0.01	34.9	公众	0.001
	出口防护门（门七）外	0.01	34.9		0.001
	防护窗	0.01	34.9		0.001

结合表 11-8 结果可知，本项目 SPECT/CT 检查区辐射工作人员年附加剂量最大为 0.01mSv，公众年附加剂量最大为 0.03mSv；满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002 辐射工作人员年附加剂量 20mSv 和公众年附加剂量 1mSv 的剂量限值要求，同时也满足本项目核医学科辐射工作人员年附加剂量约束值 5mSv，公众年附加剂量约束值 0.25mSv 的要求。

### ③<sup>131</sup>I 核素治疗区辐射工作人员和公众附加剂量估算

<sup>131</sup>I 核素治疗区辐射工作人员年工作 50 天。辐射工作人员在操作间操作自动分药仪进行放射性药物 <sup>131</sup>I 每天分装时间为 2h，每年操作时间约为 100h。甲亢病人在病房走廊单次休息时间 30min，每日病患累计停留时间为 6h，年停留时间 300h。

表 11-9 <sup>131</sup>I 核素治疗区各辐射工作人员和公众年附加剂量计算结果

位置		<i>Dr</i> (μGy/h)	<i>t</i> (h)	受照者类型	年有效剂量 (mSv)
服药间	南墙	2.26	100	辐射工作人员	<b>0.226</b>
1#治疗病房	北墙	1.73	25	公众	0.043
	西墙	0.48	25		0.012
放射性废物存放间	西墙	0.06	25		0.002
病房走廊	入口防护门（门十）外	1.36	75		<b>0.102</b>
	出口防护门（门八）外	1.36	75		0.102
	护士站处防护门（门九）外	1.36	75		<b>0.102</b>

结合表 11-9 结果可知，本项目核医学科 <sup>131</sup>I 核素治疗区辐射工作人员年附加剂量最大为 0.226mSv，公众年附加剂量最大为 0.102mSv；满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002 辐射工作人员年附加剂量 20mSv 和公众年附加剂量 1mSv 的剂量限值要求，同时也满足本项目核医学科辐射工作人员年附加剂量约束值 5mSv，公众年附加剂量约束值 0.25mSv 的要求。

### (2)放化疗科辐射工作人员和公众年附加剂量估算



本项目医用电子直线加速器年工作 250 天，每台直线加速器预计每天最大治疗人数为 60 人，每人放射治疗出束时间约为 3min，每台直线加速器年出束时间约 750h；后装机年工作 250 天，预计每天最大治疗人数为 10 人，每人放射治疗出束时间约为 12min，年出束时间约为 500h。结合辐射工作人员和公众实际情况，以监督区关注点位计算放化疗科辐射工作人员和公众年附加剂量计算结果见表 11-10。

表 11-10 本项目医用电子直线加速器和后装机辐射工作人员和公众年附加剂量计算结果

受照者类型	关注点	剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	年受照时间 (t)	年附加剂量 (mSv)
医用电子直线加速器 辐射工作人员	迷道外墙	0.01	750	0.008
后装机辐射工作人员	南侧屏蔽墙外	0.01	500	0.005
医用电子直线加速器 公众	顶棚主屏蔽墙	0.49	187.5	0.092
后装机公众	防护门外	0.13	125	0.016

结合表 11-6 结果可知，医用电子直线加速器辐射工作人员年附加剂量最大为 0.008mSv，公众年附加剂量最大为 0.092mSv；后装机辐射工作人员年附加剂量最大为 0.005mSv，公众年附加剂量最大为 0.016 mSv；满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002 辐射工作人员年附加剂量 20mSv 和公众年附加剂量 1mSv 的剂量限值要求，同时也满足本项目医用电子直线加速器和后装机辐射工作人员年附加剂量约束值 2mSv，公众年附加剂量约束值 0.25mSv 的要求。

### 11.3 放射性废物环境影响分析

#### 11.3.1 放射性气载废物环境影响分析

##### (1)核医学科放射性气载废物环境影响分析

##### ①PET/CT 检查区放射性气载废物环境影响分析

PET/CT 检查区设置一个抽风机，在控制区各房间设置排风口，由统一的排风管道汇总到位于核医学科东北角的排风井（排风井一），每个房间的排风口设置了防回风阀，防止管道中有害气体返流回各房间，排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，排风管道前段设置活性炭过滤装置，放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。活性室配备 1 台通风橱，放射性药物分装在通风橱中进行，通风橱风速大于 1m/s，建议通风橱设置独自の排风管道，排风

管道前段设置活性炭过滤装置,放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。

### ②SPECT/CT 检查区放射性气载废物环境影响分析

SPECT/CT 检查区设置一个抽风机,在控制区各房间设置排风口,由统一的排风管道汇总到位于中南侧的排风井(排风井二),每个房间的排风口设置了防回风阀,防止管道中有害气体返流回各房间,排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方,排风管道前段设置活性炭过滤装置,放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。活性室配备1台通风橱,放射性药物分装在通风橱中进行,通风橱设计风速不小于1m/s,建议通风橱设置独自の排风管道,排风管道前段设置活性炭过滤装置,放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。

### ③<sup>131</sup>I 核素治疗区放射性气载废物环境影响分析

设置一个抽风机,在控制区各房间设置排风口,由统一的排风管道汇总到位于核医学科中北侧的排风井(排风井三),每个房间的排风口设置了防回风阀,防止管道中有害气体返流回各房间,排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方,排风管道前段设置活性炭过滤装置,放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。建议服药间设置独自の排风管道,排风管道前段设置活性炭过滤装置,放射性气载废物汇入排风管道后经活性炭过滤后排入屋脊上方大气。

放射性气载废物经以上措施处理后满足《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)的要求。

### (2)医用电子直线加速器和后装机放射性气载废物环境影响分析

医用电子直线加速器和后装机在运行过程中会产生臭氧、氮氧化物等,另外医用电子直线加速器在运行过程中还会产生感生放射性,被吸入后对人体造成伤害。放化疗科拟安装两组通风系统,各机房及其控制间内均安装进风口和排风口,各进风口通过进风管道连接安装在地面的送风机将新鲜空气送入室内,各排风口通过排风管道连接安装在地面的抽风机将室内废气排放出去。各机房的进风口和排风口均为“上进下排、对角设计”。两组通风系统中排风功率(9091m<sup>3</sup>/h、4176m<sup>3</sup>/h)均大于进风功率(7941m<sup>3</sup>/h、3673m<sup>3</sup>/h),可有效防止出现气流由污染区流向清洁区的情况出现。

组一通风系统包括一号直线加速器室和二号直线加速器室等，其各区域产生的放射性气载废物由各排风口经统一的排风管道（排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m）汇总到位于放化疗科西南侧排风井（排风井一）后排至肿瘤大楼屋脊上方大气；组二通风系统包括后装机房和 CT 模拟定位机房等，其各区域产生的放射性气载废物由各排风口经统一的排风管道（排风管道连接至肿瘤大楼屋脊上方，高出屋脊 3m）汇总到位于放化疗科东南侧排风井（排风井二）后排至肿瘤大楼屋脊上方大气。组一抽风机排风功率为 9091m<sup>3</sup>/h，保守估计其排风区域体积约为 2000m<sup>3</sup>，经计算该区域通风能力约为 4.5 次/h，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。组二抽风机排风功率为 4176m<sup>3</sup>/h，保守估计其排风区域体积约为 1000m<sup>3</sup>，经计算该区域通风能力约为 4.2 次/h，满足《后装 $\gamma$ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中“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 4 次”的要求。

### 11.3.2 放射性固体废物环境影响分析

#### (1)核医学科放射性固体废物环境影响分析

##### ①PET/CT 检查区放射性固体废物环境影响分析

PET/CT 检查区产生的放射性固体废物为放射性药物 <sup>18</sup>F 注射时产生的注射器、一次性手套、棉签、试纸等，产生量为 0.4kg/d，100kg/a，储存于铅废物桶内，每个铅废物桶表面设置明显警示标志。PET/CT 检查区注射间、活性室、储源及废物存放间各设置 1 个铅废物桶，产生的固体放射性废物储存于铅废物桶内的专用塑料袋内，专用塑料袋装满后及时转移至储源及废物暂存间内暂存，存放 10 个半衰期以上，经检测达到清洁解控水平后，由医院统一作为普通医疗废物处理。

PET/CT 检查区通风系统中活性炭过滤装置每半年更换下的约 1kg/a 的放射性废活性炭固体废物。在更换时，将放射性废活性炭贮存于铅废物桶中，铅废物桶中存放 10 个半衰期以上并经检测达到清洁解控水平后，由医院统一作为普通医疗废物处理。

PET/CT 退役废旧校准密封源 <sup>68</sup>Ge 约每年产生 3 枚，废旧密封源由厂家直接回收或交由专门从事放射性固体废物贮存、处置的单位处置，不贮存。

### ②SPECT/CT 检查区放射性固体废物环境影响分析

SPECT/CT 检查区产生的放射性固体废物为放射性药物  $^{99m}\text{Tc}$  和  $^{89}\text{Sr}$  注射时产生的注射器、一次性手套、棉签、试纸等。放射性药物  $^{99m}\text{Tc}$  诊断过程中产生放射性固体废物量约为 0.5kg/d, 125kg/a,  $^{89}\text{Sr}$  治疗过程中产生放射性固体废物量约为 0.04kg/d, 2kg/a, 储存于铅废物桶内, 每个铅废物桶表面设置明显警示标志。SPECT/CT 检查区注射间、活性室、储源及废物存放间各设置 1 个铅废物桶, 产生的固体放射性废物储存于铅废物桶内的专用塑料袋内, 专用塑料袋装满后及时转移至储源及废物暂存间内暂存, 存放 10 个半衰期以上, 经检测达到清洁解控水平后, 由医院统一作为普通医疗废物处理。

废弃的  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99m}\text{Tc}$  发生器产生量约为 1 个/w, 50 个/a, 由生产厂家回收。

SPECT/CT 检查区通风系统中活性炭过滤装置每半年更换下的约 1kg/a 的放射性废活性炭固体废物。在更换时, 将放射性废活性炭贮存于铅废物桶中, 铅废物桶中存放 10 个半衰期以上并经检测达到清洁解控水平后, 由医院统一作为普通医疗废物处理。

### ③ $^{131}\text{I}$ 核素治疗区放射性固体废物环境影响分析

$^{131}\text{I}$  核素治疗区产生的放射性固体废物为含有放射性药物  $^{131}\text{I}$  的试纸、口杯等,  $^{131}\text{I}$  核素治疗区治疗甲亢过程中产生放射性固体废物产生量约为 0.24kg/d, 12kg/a,  $^{131}\text{I}$  治疗甲状腺癌的病人住院过程中产生放射性固体废物产生量约为 0.18kg/d, 45kg/a, 储存于铅废物桶内, 每个铅废物桶表面设置明显警示标志。 $^{131}\text{I}$  核素治疗区服药间、病房走廊、放射性废物存放间各设置 1 个铅废物桶, 产生的固体放射性废物储存于铅废物桶内的专用塑料袋内, 专用塑料袋装满后及时转移至储源及废物暂存间内暂存, 存放 10 个半衰期以上, 经检测达到清洁解控水平后, 由医院统一作为普通医疗废物处理。

$^{131}\text{I}$  核素治疗区通风系统中活性炭过滤装置每半年更换下的约 2kg/a 的放射性废活性炭固体废物。在更换时, 将放射性废活性炭贮存于铅废物桶中, 铅废物桶中存放 10 个半衰期以上并经检测达到清洁解控水平后, 由医院统一作为普通医疗废物处理。

### (2)后装机放射性固体废物环境影响分析

后装机退役废旧内置密封源  $^{192}\text{Ir}$  约每年产生 2 枚, 废旧密封源由厂家直接

回收或交由专门从事放射性固体废物贮存、处置的单位处置，不贮存。

放射性固体废物经过以上措施处理后满足《医用放射性废物的卫生防护管理》（GB133-2009）中“6 固体废物的管理”的要求。

### 11.3.3 放射性液体废物环境影响分析

#### (1)PET/CT 检查区放射性液体废物环境影响分析

病人注射放射性药物  $^{18}\text{F}$  后，在注射后候诊室候诊、注射后留观室留观至离开前产生的排泄物，辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性液体废物约为  $0.8\text{m}^3/\text{d}$ ， $200\text{m}^3/\text{a}$ 。

#### (2)SPECT/CT 检查区放射性液体废物环境影响分析

病人注射放射性药物  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  后，在二次候诊区等候至离开前产生的排泄物、辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性液体废物约为  $0.875\text{m}^3/\text{d}$ ， $218.75\text{m}^3/\text{a}$ 。

病人注射放射性药物  $^{89}\text{Sr}$  后，直接离开辐射工作场所，不产生放射性液体废物。

拟在肿瘤大楼西北侧设置 2 号三级衰变池，衰变池有效容积为  $6\text{m}^3$ ，用于收集 PET/CT 检查区和 SPECT/CT 检查区产生的放射性液体废物。 $^{89}\text{Sr}$  进行放射性核素治疗的病人在接受注射后直接离开辐射工作场所，不考虑其产生的放射性废液。选择 PET/CT 检查区和 SPECT/CT 检查区使用的半衰期最长的核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  进行计算，其半衰期为  $6.02\text{h}$ ，放射性液体废物日排放量取  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{18}\text{F}$  的废液总量为  $1.675\text{m}^3$ ，十个半衰期的排放的放射性液体废物为  $4.201\text{m}^3$ ，衰变池有效容积  $6\text{m}^3$ ，2 号衰变池容积满足放射性液体废物存放 10 个半衰期的要求。放射性液体废物经衰变池暂存衰变十个半衰期并满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）后，经医院污水处理站处理后排入市政污水管网。

#### (3) $^{131}\text{I}$ 核素治疗区放射性液体废物环境影响分析

$^{131}\text{I}$  核素治疗区放射性液体废物产生量约为  $4.78\text{m}^3/\text{W}$ ， $239\text{m}^3/\text{a}$ 。拟在肿瘤大楼西侧设置 1 号三级衰变池，衰变池有效容积为  $72\text{m}^3$ ，用于收集  $^{131}\text{I}$  核素治疗区产生的放射性液体废物。 $^{131}\text{I}$  核素治疗区使用的放射性核素  $^{131}\text{I}$  半衰期为  $8.04\text{d}$ ， $^{131}\text{I}$  核素治疗区放射性液体废物周排放量为  $4.78\text{m}^3$ ，十个半衰期的排放的放射性液体废物约为  $54.902\text{m}^3$ ，1 号衰变池有效容积  $72\text{m}^3$ ，衰变池容积满足放射性液体废物存放 10 个半衰期的要求。放射性液体废物经衰变池暂存衰变十个

半衰期并满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）后，经医院污水处理站处理后排入市政污水管网。

放射性液体废物经过以上措施处理后满足《医用放射性废物的卫生防护管理》（GB133-2009）中“5.1 放射性废液”处置的相关要求。

## 11.4 事故影响分析

### 11.4.1 可能发生的辐射事故

(1)核医学科辐射工作场所可能发生的辐射事故

1) 非密封放射性物质辐射工作场所可能发生的辐射事故

主要环境事故风险为放射性同位素失控，导致人员受到超过年剂量限值事故照射，非密封放射性物质工作场所可能发生的环境辐射事故如下：

①放射性药物输送时发生放射性药物漏洒，造成表面沾污，导致急性重度放射病、局部器官残疾。

②操作人员在放射性药物分装、注射过程中违反操作规程或误操作，操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污，导致急性重度放射病、局部器官残疾。

③放射性固体废物及放射性液体废物处置不当，流入环境中，导致人员受到超过年剂量限值的照射。

④用于活度计校准的V类密封源<sup>137</sup>Cs丢失、被盗和失控，导致人员受到超过年剂量限值的照射。

2) PET/CT和SPECT/CT射线装置可能发生的辐射事故

主要环境事故风险为V类密封源<sup>68</sup>Ge丢失、被盗、失控和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射，可能发生的环境辐射事故如下：

①PET/CT和SPECT/CT内置V类密封源<sup>68</sup>Ge丢失、被盗和失控，导致人员受到超过年剂量限值的照射。

②PET/CT和SPECT/CT的运行过程中机房安全联锁失效、机房实体防护设施破损或人员误入机房，导致人员受到超过年剂量限值的照射。

(2)医用电子直线加速器辐射工作场所可能发生的辐射事故

①医用电子直线加速器运行过程中机房安全联锁失效、机房实体防护设施破损或人员误入机房，导致急性重度放射病、局部器官残疾。

②医用电子直线加速器运行过程中机房安全联锁失效、机房实体防护设施破损或人员误入机房，导致人员受到超过年剂量限值的照射。

(3)后装机辐射工作场所可能发生的辐射事故

①因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，发生放射源跌落，导致急性重度放射病、局部器官残疾。

②设备维修时，工作人员误将后装机的屏蔽装置打开或卸下放射源，导致急性重度放射病、局部器官残疾。

③后装机运行过程中机房安全联锁失效、机房实体防护设施破损或人员误入机房，导致急性重度放射病、局部器官残疾。

④后装机内置放射源  $^{192}\text{Ir}$  丢失、被盗和失控，导致急性重度放射病、局部器官残疾。

### 11.3.2 可能发生的辐射事故等级

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)、《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 2017 年第 66 号)、《关于发布放射源分类办法的公告》(国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号)和《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)，本项目可能发生的辐射事故有较大辐射事故、一般辐射事故两种，可能发生的辐射事故、危害结果及事故等级划分列于表 11-11。

表 11-11 可能发生的辐射事故、危害结果和事故等级

可能发生的辐射事故	危害结果	事故等级
核医学科辐射工作场所		
放射性药物输送时发生放射性药物漏洒，造成表面沾污，导致急性重度放射病、局部器官残疾。 操作人员在放射性药物分装、注射过程中违反操作规程或误操作，操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污，导致急性重度放射病、局部器官残疾。	放射性同位素失控导致 9 人及以下急性重度放射病、局部器官残疾。	较大辐射事故
放射性固体废物及放射性液体废物处置不当，流入环境中，导致人员受到超过年剂量限值的照射。	放射性同位素失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。	一般辐射事故
PET 内置 V 类密封源 $^{68}\text{Ge}$ 和用于活度计校准的 V 类密封源 $^{137}\text{Cs}$ 丢失、被盗和失控，导致人员受到超过年剂量限值的照射。 PET/CT 和 SPECT/CT 的运行过程中机房安	放射性同位素失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。	一般辐射事故

全连锁失效、机房实体防护设施破损或人员误入导致人员受到超过年剂量限值的照射。		
医用电子直线加速器辐射工作场所		
医用电子直线加速器运行过程中机房安全连锁失效、机房实体防护设施破损或人员误入机房，导致急性重度放射病、局部器官残疾。	射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。	较大辐射事故
医用电子直线加速器运行过程中机房安全连锁失效、机房实体防护设施破损或人员误入机房，导致人员受到超过年剂量限值的照射。	射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。	一般辐射事故
后装机辐射工作场所		
因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，发生放射源跌落，导致急性重度放射病、局部器官残疾。	放射性同位素失控导致 9 人及以下急性重度放射病、局部器官残疾。	较大辐射事故
设备维修时，工作人员误将后装机的屏蔽装置打开或卸下放射源，导致急性重度放射病、局部器官残疾。		
后装机运行过程中机房安全连锁失效、机房实体防护设施破损或人员误入机房，导致急性重度放射病、局部器官残疾。		
后装机内置放射源 $^{192}\text{Ir}$ 丢失、被盗和失控，导致急性重度放射病、局部器官残疾。		

### 11.3.3 采取的预防措施

针对以上可能发生的辐射事故，医院应根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，制定辐射事故应急方案。

#### (1)核医学科采取的预防措施

放射性药物输送时发生放射性药物漏洒，造成表面沾污；操作人员在放射性药物淋洗、分装、注射过程中违反操作规程或误操作，操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污事故时，首先隔离现场，清除非事故应急人员，再由应急人员在个人安全防护的前提下，及时从污染区的边沿向中心清除放射性液体，去污结束后，再用现有 $\beta$ 表面污染监测仪监测污染区，直到该污染区 $\beta$ 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，最后解除事故现场隔离。

一旦发生放射性固体废物及放射性液体废物处置不当，流入环境中应及时向辐射事故应急处置领导小组组长报告，并向当地环境保护部门和公安部门报告。

当发生PET内置V类密封源 $^{68}\text{Ge}$ 和用于活度计校准的V类密封源 $^{137}\text{Cs}$ 丢失、



被盗和失控时，及时封锁现场并向当地环境保护部门和公安部门报告。

当PET/CT和SPECT/CT机房实体防护设施破损时，停止使用PET/CT和SPECT/CT，并委托有资质的监测单位对PET/CT和SPECT/CT机房实体防护设施性能进行检测，若不符合防护性能要求，停止使用PET/CT和SPECT/CT并及时向辐射事故应急处置领导小组组长报告，维修机房实体防护设施，维修后监测机房实体防护设施的防护性能，直到符合要求后方可重新启用。

一旦发现PET/CT和SPECT/CT安全连锁失效，停止使用PET/CT和SPECT/CT并及时向辐射事故应急处置领导小组组长报告，及时修复机房安全连锁，然后再投入使用。

一旦人员误入正在运行的PET/CT和SPECT/CT机房导致人员受到误照射，迅速向辐射事故应急处置领导小组组长报告，并迅速向当地环境保护部门和卫生行政部门报告，并根据卫生行政部门要求及时对误照射人员进行检查和救治。

#### (2)医用电子直线加速器辐射工作场所采取的预防措施

当发现辐射工作场所的安全连锁失效或机房实体防护设施破损时，立即停止使用医用电子直线加速器并委托有资质的监测单位对射线装置机房实体防护设施性能进行检测，若不符合防护性能要求，并及时向辐射事故应急处置领导小组组长报告，及时修复机房安全连锁装置和实体防护设施，经监测符合要求后方可投入使用。

一旦人员误入正在运行的辐射工作场所导致人员受到误照射，立即停止使用医用电子直线加速器并及时向辐射事故应急处置领导小组组长报告，并迅速向当地环境保护部门和卫生行政部门报告，并根据卫生行政部门要求及时对误照射人员进行检查和救治。

#### (3)后装机辐射工作场所采取的预防措施

工作人员应严格按照《后装机操作规程》进行操作，治疗前检查电源、开关、源是否一切正常，对工作人员进行操作培训，设备的维修均由厂家专业人员进行。

一旦在设备安装和换装放射源时，发生放射源跌落，首先隔离现场，清除非事故应急人员，再由应急人员在个人安全防护的前提下，将放射源放回原处，并及时向辐射事故应急处置领导小组组长报告。

当发现辐射工作场所的安全连锁失效或机房实体防护设施破损时，立即停止使用后装机并委托有资质的监测单位对射线装置机房实体防护设施性能进行检

测，若不符合防护性能要求，并及时向辐射事故应急处置领导小组组长报告，及时修复机房安全联锁装置和实体防护设施，经监测符合要求后方可投入使用。

一旦人员误入正在运行的后装机房导致人员受到误照射，迅速向辐射事故应急处置领导小组组长报告，并迅速向当地环境保护部门和卫生行政部门报告，并根据卫生行政部门要求及时对误照射人员进行检查和救治。

当发生后装机内置Ⅲ类密封源<sup>192</sup>Ir丢失、被盗和失控时，及时封锁现场并向当地环境保护部门和公安部门报告。

根据《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）的要求，当发生或发现辐射事故后，应立即向单位的辐射安全领导小组组长和法定代表人报告，立即启动本单位的辐射事故应急预案，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成较大辐射事故或人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

**表 12 辐射安全管理**

**12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置**

**12.1.1 机构的设置、人员配置与职能**

本项目的辐射安全与环境保护工作纳入医院现有辐射安全领导小组统一管理，领导小组的设置、人员配备与职能如下：

组长：周文波

副组长：范伟

委员：程立、李玲、侯华伟、王卓、闵新文、杨文琼、任建华、李虎宜、赵年、李毅、李守宏、吴国、陈晓荣、刘安陆

领导小组下设办公室，办公室设在医务部。

办公室主任：范伟

医院应明确辐射安全领导小组的职责，完善辐射安全领导小组各人员职责和任务分工，以满足辐射安全管理机构设置的要求。

**12.1.2 辐射工作人员配备计划**

本项目拟配备 24 名辐射工作人员，核医学科 15 名，其中 6 名由医院现有辐射工作人员兼任；医用电子直线加速器和后装机 9 名，均为医院原放化疗科工作人员。其中有 9 人分别于 2016 年、2017 年参加了辐射安全与防护知识培训，并取得了培训合格证书。培训证书见附件 6。

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 3 号）等相关法规要求，在本项目投入运行前，建设单位应组织所有辐射工作人员参加有资质单位组织的辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，取得辐射安全与防护培训合格证方可上岗。

医院应在本项目投入运行前组织 15 名未取得辐射安全与防护知识培训合格证书的辐射工作人员应尽快参加有资质单位组织的辐射安全与防护知识培训，取得合格证书后方可上岗操作。项目投入运行后，若因工作需要新增或调整辐射工作人员时，应组织新增或调整辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，取得合格证书方可从事辐射工作。另外，已取得辐射安全与防护培训证书的人员每 4 年需要参加一次复训并取得合格证书。

## 12.2 辐射安全管理规章制度

### 12.2.1 本项目辐射安全管理规章制度

本项目部分辐射安全管理制度依托现有核医学科、放化疗科相应制度，包括《辐射工作人员岗位职责》、《辐射安全与防护管理制度》、《辐射防护制度》、《设备检修维护制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射环境监测方案》、《辐射安全防护自行检查和评估制度》、《辐射诊疗质量保证大纲和质量控制计划》、《辐射事故应急预案》、《直线加速器操作规程》、《核医学科安全操作规程》、《放射性药品入库、使用、出库（注销）制度》、《放射性废物处理制度》、《放射性废物贮存登记表》、《非密封放射性核素出入库台账记录》等，并根据本项目实际情况补充制定了《后装机操作规程》，各项制度满足《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3号）相关要求。

本项目运行后，医院应将《辐射工作人员岗位职责》、《辐射事故应急预案》、《直线加速器操作规程》、《核医学科安全操作规程》、《后装机操作规程》张贴上墙，并结合实际情况进行修改完善。根据《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3号）的相关规定，医院应当编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，于每年1月31日之前报环境保护行政主管部门。

### 12.2.2 现有规章制度的执行和落实情况

医院现有各项辐射安全管理规章制度基本得到了执行与落实，但仍存在一些不足之处，建议医院加强《辐射工作人员培训制度》的落实，确保所有辐射工作人员参加有资质单位组织的辐射安全与防护知识培训，取得合格证书后上岗操作。

## 12.3 辐射监测

### 12.3.1 本项目辐射监测

#### (1)环境和场所监测

本项目拟配备1台X- $\gamma$ 辐射仪和1台表面污染检测仪，用于对核医学科、直线加速器和后装机辐射工作场所的日常监测。每年委托有计量认证资质的机构进行放射性同位素和射线装置安全和防护状况的监测。

#### (2)个人剂量监测

本项目配备的 24 名辐射工作人员中，15 名为医院原辐射工作人员，其个人剂量监测及其档案管理维持现有不变。医院应为其余 9 人配备个人剂量计，且按每 90 天一次的频度将其个人剂量计送至有资质的部门进行剂量检测，并按要求建立和保管个人剂量监测档案。

### **12.3.2 现有辐射监测开展情况**

#### **(1)辐射工作场所监测**

医院制定了《辐射环境监测方案》，每年委托有相应计量认证资质的单位对医院现有辐射工作场所的安全和防护状况进行了监测，并建有监测档案，按时向环境保护行政部门提交了本单位射线装置的安全和防护状况年度评估报告。医院配备 1 台 X- $\gamma$  监测仪，每月至少一次对辐射工作场所、周围环境进行监测。配备 1 台 $\beta$  表面污染监测仪，每天工作前后对非密封放射性物质工作场所进行 $\beta$  表面污染监测。

#### **(2)个人剂量监测**

医院现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并按照《辐射环境监测方案》开展了辐射工作人员个人剂量监测，并建立了个人剂量监测档案。

## **12.4 辐射事故应急**

### **12.4.1 本项目辐射事故应急响应机构的设置**

本项目辐射事故应急响应纳入医院现有应急处置领导小组，组织开展辐射事故的应急处理救援工作。

医院应急处置领导小组组长由周文波担任，副组长为范伟，组员为程立、李玲、侯华伟、王卓等。

其中，应急处置领导小组主要职责为负责审定医院辐射防护有关文件制度及放射事故应急处理预案；当发生放射事故时，启动应急预案；负责向环保部门和卫生行政部门及时报告事故情况，根据事故严重程度，及时请求应急援助；事故处理完成后，对事故进行分析总结，善后处理。

本项目辐射事故应急响应机构的设置满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）的相关要求。

### **12.4.2 本项目辐射事故应急预案**

本项目依托医院现有《辐射事故应急预案》，明确了应急处置领导小组职责，

提出了有针对性的放射性事故应急处理程序，该应急预案具有可操作性，在发生辐射事故时能将辐射事故影响减小到最低。

本项目辐射事故应急预案可满足《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）和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（环发[2006]145 号）等相关要求。

#### **12.4.3 本项目应急人员的培训演习计划**

医院应根据本项目运行中可能发生的辐射事故，完善辐射事故应急预案，并对应急人员进行培训和演练。并结合应急人员更替情况和对完善的辐射事故应急预案掌握情况，安排一年至少开展一次辐射事故应急演练，并针对当次应急演练效果临时增加演练，确保医院制定的辐射事故应急预案发挥作用。

#### **12.4.4 现有核技术利用项目应急预案的执行情况**

现有核技术利用项目未开展《辐射事故应急预案》的培训和演习。医院应严格按照《辐射事故应急预案》开展培训和演习，确保在发生辐射事故时，及时有序地按照应急预案开展辐射事故应急处置。

表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 辐射安全与防护分析结论

##### (1)辐射安全设施

①本项目核医学科、医用电子直线加速器和后装机辐射工作场所控制区和监督区划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

②在落实报告中提出的各项辐射安全设施后,医院采取的屏蔽墙体和门窗等有效屏蔽设施满足辐射防护要求,控制区出入口和各功能房电离辐射警示标志、警示灯、视频监控系统 and 语音对讲系统、工作场所室内表面及装备结构设计等辐射安全设施满足相关标准要求。

③医院为24名辐射工作人员各配备1枚个人剂量计及相应个人防护用品,并按规定定期进行个人剂量监测、职业健康体检,建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案,满足相关规定的要求。

④本项目拟配备1台X-γ辐射仪和1台表面污染检测仪,用于对核医学科、医用电子直线加速器 and 后装机辐射工作场所的日常监测。

在落实报告中提出的各项辐射安全设施后,本项目辐射安全设施能够满足辐射安全要求。

##### (2)辐射安全管理

①本项目辐射安全管理拟纳入现有辐射安全领导小组的管理职责,医院制定并更新了相关的辐射安全管理制度,符合相关规定要求。

②本项目拟配备24名辐射工作人员,其中有9人参加了辐射安全与防护知识培训,并取得合格证书,其余15名应尽快参加有资质单位组织的辐射安全与防护知识培训,取得合格证书后方可上岗操作。

#### 13.1.2 环境影响分析结论

##### (1)辐射工作人员及公众年附加剂量

本项目核医学科 PET/CT 检查区辐射工作人员年附加剂量最大为 2.577mSv, 公众年附加剂量最大为 0.066mSv; SPECT/CT 检查区辐射工作人员年附加剂量最大为 0.01mSv, 公众年附加剂量最大为 0.03mSv; <sup>131</sup>I 核素治疗区辐射工作人员年附加剂量最大为 0.226mSv, 公众年附加剂量最大为 0.102mSv; 医用电子直

线加速器辐射工作人员年附加剂量最大为 0.008mSv，公众年附加剂量最大为 0.092mSv；后装机辐射工作人员年附加剂量最大为 0.005mSv，公众年附加剂量最大为 0.016 mSv；满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002 辐射工作人员年附加剂量 20mSv 和公众年附加剂量 1mSv 的剂量限值要求，同时也满足本项目核医学科辐射工作人员年附加剂量约束值 5mSv，医用电子直线加速器和后装机辐射工作人员年附加剂量约束值 2mSv，公众年附加剂量约束值 0.25mSv 的要求。

#### (2)事故影响分析

运行过程中本项目可能发生的辐射事故，在采取本报告表提出的预防措施的前提下，环境影响可以控制在可接受水平以内。

#### (3)放射性废物对环境的影响

①本项目核医学科、后装机产生的放射性固体废物在采取报告表提出的收集储存措施后，对环境的影响满足相关要求。

②核医学科产生的放射性液体废物经衰变池衰变处理、医院污水预处理和市政污水处理后，对环境的影响满足相关要求。

③核医学科产生的放射性气载废物采取报告表提出的经通风橱、活性炭过滤和排放处理后，对环境的影响满足相关要求。

④医用电子直线加速器和后装机产生的放射性气载废物采取报告表提出的通风系统排放后，对环境的影响满足相关要求。

### 13.1.3 项目可行性分析结论

#### (1)实践正当性

本项目投入使用为疾病诊断及治疗提供依据和手段，符合辐射防护“实践的正当性”原则。本项目属于《国家发展改革委关于修改〈产业结构调整指导目录（2011年本）〉有关条款的决定》（国家发展改革委第21号令）鼓励类中第六类，符合国家产业政策。

#### (2)可行性结论

综上所述，本项目在落实本报告表提出的各项污染防治措施、管理措施和辐射事故应急措施后，将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施。本项目运行对周围环境产生的影响符合辐射环境保护的要



求，本项目的建设是可行的。

### **13.2 建议**

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，医院应在项目竣工后组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。