

核技术利用建设项目  
娄底众一医院核技术利用新建项目  
环境影响报告表

娄底众一医院（盖章）

2017年7月

环境保护部监制

核技术利用建设项目  
娄底众一医院核技术利用新建项目  
环境影响报告表

建设单位名称： 娄底众一医院

建设单位法人代表（签名或盖章）： \_\_\_\_\_

通讯地址： 娄底市经济开发区大汉大道众一桂府二期 1#栋

邮政编码： 417000 联系人： 戴 XX

电子邮箱： 362382308@qq.com 联系电话： 13973xxxx85

# 娄底众一医院核技术利用新建项目

## 专家意见修改清单

序号	专家意见	修改情况
1	进一步核实评价相关技术标准、设备相关参数、工作负荷及每间机房屏蔽设计等情况，补充项目可行性研究和医疗机构设置等批复文件	详见 P4、P5、P8~P11、P39、P41、P44、P52、P54、附件四，已核实相关情况，并补充相关批复文件
2	说明项目分期建设核技术利用情况，分阶段明确出资质人员、职业健康监护、安全设施、防护用品和自主监测等要求	详见 P5、P86、P87、P145~P147、P149、P150，已说明项目分期建设核技术利用情况，并分阶段提出相关要求
3	优化核放中心平面布局，细化衰变池容量及采样口等设置要求，补充人流组织、物流组织、气流组织等以及当地常年风向玫瑰图等	详见附图十一、附图十二、P87、P125、P126、P130，已优化核放中心平面布局，细化衰变池设置要求，补充人流组织、物流组织、气流组织等以及当地常年风向玫瑰图
4	补充完善 $^{131}\text{I}$ 甲癌治疗等评价内容，进一步核算放射工作人员年附加有效剂量	详见 P65、P86、P124、P131、P143，已完善 $^{131}\text{I}$ 甲癌治疗内容，并核算放射工作人员年附加有效剂量
5	专家提出的其他评审意见	详见 P2、P34、P147、P161 全文及附图、附件，已根据专家意见进行修改

## 目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	9
表 3	非密封放射性物质.....	9
表 4	射线装置.....	10
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	13
表 6	评价依据.....	14
表 7	保护目标与评价标准.....	17
表 8	环境质量和辐射现状.....	36
表 9	项目工程分析与源项.....	38
表 10	辐射安全与防护.....	69
表 11	环境影响分析.....	90
表 12	辐射安全管理.....	146
表 13	结论与建议.....	158
表 14	审批.....	165

## 附录

### 附图

- 附图一 项目现场照片
- 附图二 项目所在地理位置图
- 附图三 项目所在地理卫星图
- 附图四 医院总平面布置图及项目周边关系图
- 附图五 门诊医技楼一层影像科平面布置图
- 附图六 门诊医技楼四层介入中心平面布置图
- 附图七 门诊医技楼四层口腔科平面布置图
- 附图八 门诊医技楼负一层急诊科平面布置图
- 附图九 门诊医技楼三层体检中心平面布置图
- 附图十 门诊医技楼四层手术中心平面布置图
- 附图十一 核放中心负一层放疗中心、核医学科平面布置图
- 附图十二 核放中心负一层核医学科三通道路线图
- 附图十三 核放中心负一层放疗中心回旋/直线加速器机房、后装机房剖面图
- 附图十四 核放中心负一层放疗中心、核医学科通风示意图
- 附图十五 核放中心负一层放疗中心、核医学科排水示意图；衰变池示意图

### 附件

- 附件一 环境影响评价委托书
- 附件二 监测质量保证单
- 附件三 《长沙市鹏悦环保工程有限公司检测报告》鹏辐（检）[2016]303 号
- 附件四 《关于众一中南医院新建工程备案的通知》 娄发改行审【2014】146 号等医院成立相关文件及更名文件
- 附件五 《娄底市卫生和计划生育委员会关于同意娄底众一医院购置乙类大型医用设备的批复》（批复编号：2016-06）及医院放射设备与人员配置计划
- 附件六 《关于众一·中南医院新建工程项目环境影响报告书的批复》，娄环审[2014]129 号

### 附表

- 附表一 建设项目环评审批基础信息表

表 1 项目基本情况

建设项目名称		娄底众一医院核技术利用新建项目			
建设单位		娄底众一医院			
法人代表	王威	联系人	戴 XX	联系电话	13973xxxx85
注册地址		湖南省娄底市万宝新区大石山路 1 号			
项目建设地点		娄底市万宝新区下州村、松山村、东冲村、鱼岭村境内			
立项审批部门		娄底市发展和改革委员会	批准文号	娄发改行审【2014】146 号	
建设项目总投资(万元)	12000	项目环保投资(万元)	800	投资比例(环保投资/总投资)	7%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m <sup>2</sup> )	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input 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 checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" 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		
	其它	/			
	<b>项目概述</b>				
<b>1.1 核技术应用的目的是任务:</b>					
<p>当今, X 射线影像诊断技术已经广泛应用于医学临床诊断工作。放射诊断是根据病人的病情需要对病人的身体某些部位或全身进行显像, 拍出 X 光片或者保存数字影像以供医学临床诊断。有时, 医生需要 X 射线影像的指引下进行骨科复位、体内取异物、肿瘤的模拟定位工作。放射治疗工作主要是根据病人肿瘤的部位、性质以及治疗方案的需要, 利用医用电子直线加速器、后装机等设备开展放射治疗工作, 即利用 X、<math>\gamma</math>射线照射肿瘤位置, 杀死癌细胞, 从而达到治疗肿瘤的目的。</p> <p>本项目主要利用医用 X 射线装置和核素进行放射诊疗及介入手术, 利用医用电子</p>					

续表 1 项目基本情况

直线加速器、后装机进行放射治疗，利用回旋加速器制备 PET 用放射性药物。

## 1.2 建设单位概述

娄底众一医院拟建地位于娄底市万宝新区下州村、松山村、东冲村、鱼岭村境内，是经湖南省卫计委批准、按娄底市医疗机构设置规划设置的非营利性三级综合医院，占地 300 亩，总投资 30 亿元（含质子中心一期投资 23 亿元），建设床位 1200 张（总床位 2500 张），设肿瘤科、内科、外科、妇产科、儿科、传染科等 25 个一级科目，为 2016 年湖南省重点建设项目。众一医院以肿瘤治疗为专科特色，拟引进目前世界上最先进的技术及设备建设质子中心。该中心正式运营后，众一医院将成为中南首家采用质子技术治疗肿瘤的医院，将提高湖南省在肿瘤治疗和临床研究领域的技术水平，完善区域医疗卫生服务体系，造福广大肿瘤患者，实现“让病人有尊严的看病”的医疗理想，成为娄底城市名片。

娄底众一医院拟建地毗邻沪昆高铁、沪昆高速、娄怀高速等交通要道，区位优势明显，影响范围广。目前已与清华大学医学工程研究所、中山大学肿瘤防治中心等国际一流的科研单位达成合作意向，将在技术支持、人才培养、临床科研等方面全面合作。

娄底众一医院新建工程于 2017 年 8 月 5 日经娄底市发展和改革委员会准予备案，详见附件四《关于众一中南医院新建工程备案的通知》娄发改行审【2014】146 号。按照省卫计委的意见，医院名称于 2015 年 12 月 4 日由众一中南医院更名为娄底众一医院，并经娄底市发展和改革委员会同意更名。

## 1.3 项目由来

近年来，随着医疗服务对象的扩大及人民群众对医疗服务质量要求的提高，为促进娄底市城市建设和经济发展的需要，进一步提升区域医疗技术水平，改善病人医疗诊治条件，为疾病诊断、寻找病灶部位、治疗相关疾病提供科学依据和手段，湖南众一医院管理有限公司拟在娄底市万宝新区新建娄底众一医院，同时拟投资 12000 万元进行核技术利用新建项目建设。本次环评项目包含 33 台射线装置，其中 II 类射线装置 8 台，III 类射线装置 25 台；乙级非密封放射性工作场所 1 处；后装机 1 台（使用 1 枚  $^{192}\text{Ir}$ ，为 III 类放射源）。另外质子中心为二期建筑工程，根据医

## 续表 1 项目基本情况

院计划单独进行环境影响评价，因此，本项目不包含质子中心的环境影响评价。

为保护环境，保障周围公众健康，根据《中华人民共和国环境保护法》、《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 253 号）以及《中华人民共和国环境影响评价法》，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部第 33 号令），本项目环境影响评价报告文件形式为编制环境影响报告表。因此，湖南众一医院管理有限公司委托重庆宏伟环保工程有限公司对拟配置的各射线装置、含放射源装置及放射性同位素使用过程中产生的电离辐射进行环境影响评价。评价单位在现场踏勘、收集有关资料的基础上，按照国家对伴有辐射建设项目环境影响评价技术规范的要求，编制了本项目的辐射环境影响报告表。

根据资料收集和现场踏勘实际情况，娄底众一医院新建项目主体工程尚未施工，医院已委托娄底市环境保护科学研究所对其主体工程进行了环境影响评价，编制了《众一·中南医院新建工程项目环境影响报告书》，并于 2014 年 12 月 26 日取得娄底市环保局下发的批复：《关于众一·中南医院新建工程项目环境影响报告书的批复》娄环审[2014]129 号。报告书中对医院土建工程、给排水工程、土石方工程、绿化等施工期及营运期的废水、废气、固废进行了详细的评价，对各建筑（包括本项目机房）施工期进行了统一评价。因此，本评价不再对土建工程进行评价。

### 1.4 项目概况

- (1) 项目名称：娄底众一医院核技术利用新建项目
- (2) 建设地点：娄底市万宝新区下州村、松山村、东冲村、鱼岭村境内
- (3) 建设性质：新建
- (4) 建设单位：湖南众一医院管理有限公司
- (5) 投资：核技术总投资 12000 万元，其中环保投资 800 万元
- (6) 建设规模：

本环评包含 33 台射线装置，其中 II 类射线装置 8 台（4 台直线加速器，1 台回旋加速器，3 台 DSA）；III 类射线装置 25 台（2 台模拟定位机，4 台 CT，8 台 DR，1 台数字胃肠机，1 台乳腺 X 射线机，1 台骨密度仪，1 台全景牙片机，2 台小 C 臂机，3 台移动 X 光机，1 台 PET/CT，1 台 SPECT/CT）（PET/CT 使用 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  密封源作为校正源，属于 V 类放射源）。另外乙级非密封放射性工作场所 1 处（使用

续表 1 项目基本情况

$^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  七种核素，核素日等效最大操作量  $2.54 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大用量  $7.31 \times 10^{12} \text{Bq}$ ），后装机 1 台（使用  $^{192}\text{Ir}$ ，出厂活度： $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，为 III 类放射源）。

基本设备情况详见表 1-1、表 1-2、表 1-3。

表 1-1 本项目射线装置情况一览表

序号	装置名称	型号	类别	数量	额定参数	拟安装位置	用途
1	直线加速器	待定	II类	4	15MV	核放中心负一层 放疗中心	放射治疗
2	回旋加速器	待定	II类	1	11MeV	核放中心负一层 核医学科	制备 PET 用 放射性药物
3	数字减影血管 造影系统 (DSA)	待定	II类	3	150kV; 1500mA	门诊医技楼四层 介入中心	介入治疗
4	CT	待定	III类	4	150kV; 1000mA	门诊医技楼 一层影像科	放射诊断
5	DR	待定	III类	8	150kV; 800mA	门诊医技楼 一层影像科	放射诊断
6	数字胃肠机	待定	III类	1	150kV; 1000mA	门诊医技楼 一层影像科	放射诊断
7	乳腺 X 射线机	待定	III类	1	35kV; 100mA	门诊医技楼 一层影像科	放射诊断
8	骨密度仪	待定	III类	1	60kV; 100mA	门诊医技楼 三层体检中心	放射诊断
9	全景牙片机	待定	III类	1	65kV; 7mA	门诊医技楼 四层口腔科	放射诊断
10	小 C 臂	待定	III类	2	125kV; 120mA	门诊医技楼四层 手术中心（暂定）	放射诊断
11	移动 X 光机	待定	III类	3	150kV; 500mA	门诊医技楼 一层影像科 负一层急诊 三层体检中心	放射诊断
12	模拟定位机	待定	III类	2	140kV; 650mA	核放中心 负一层 放疗中心	模拟定位
13	PET/CT	待定	III类	1	140kV; 500mA	核放中心负一层 核医学科	放射诊断
14	SPECT/CT	待定	III类	1	140kV; 500mA	核放中心负一层 核医学科	放射诊断
合计				33	8 台 II 类、25 台 III 类射线装置		

续表 1 项目基本情况

表 1-2 本项目放射源使用情况表

序号	设备名称	放射源名称	数量	出厂活度 (Bq)	分类级别	国家编码	使用科室
1	后装机	$^{192}\text{Ir}$	1 枚	$3.7 \times 10^{11}$ (10Ci)	III类放射源	待定	核放中心负一层后装治疗室
2	PET/CT	$^{68}\text{Ge}$ 线源	1 枚	$1.85 \times 10^7$ (2mCi)	V类放射源	待定	核放中心负二层 PET/CT 机房
3	PET/CT	$^{68}\text{Ge}$ 模体源	1 枚	$3.5 \times 10^6$ (0.095mCi)	V类放射源	待定	核放中心负一层 PET/CT 机房

表 1-3 本项目放射性同位素情况表

序号	位置	核素名称	物理、化学性状	操作方式	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	备注
1	核放中心 负一层 核医学科	$^{18}\text{F}$	液态、低毒组	很简单操作	$7.4 \times 10^6$	$1.48 \times 10^{12}$	乙级非密封放射性工作场所
2		$^{11}\text{C}$	液态、低毒组	很简单操作	$7.4 \times 10^5$	$1.48 \times 10^{11}$	
3		$^{13}\text{N}$	液态、低毒组	很简单操作	$7.4 \times 10^5$	$1.48 \times 10^{11}$	
4		$^{15}\text{O}$	液态、低毒组	很简单操作	$1.11 \times 10^6$	$1.11 \times 10^{11}$	
5		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态、低毒组	很简单操作	$2.22 \times 10^7$	$4.44 \times 10^{12}$	
6		$^{89}\text{Sr}$	液态、中毒组	简单操作	$1.48 \times 10^7$	$1.48 \times 10^{10}$	
7		$^{131}\text{I}$	液态、中毒组	简单操作	$2.50 \times 10^9$	$9.72 \times 10^{11}$	
合计					$2.54 \times 10^9$	$7.31 \times 10^{12}$	

医院核技术利用项目射线装置计划分期投入。试运营期放疗科配置 2 台直线加速器，1 台模拟定位机，1 台后装机；核医学科配置 1 台回旋加速器，1 台 PET/CT；介入中心配备 2 台 DSA；放射科配备 1 台 CT，3 台 DR，1 台数字胃肠机，1 台乳腺 X 射线机，1 台全景牙片机。一期正式运营增加 1 台直线加速器，1 台 SPECT，1 台 DSA，1 台 CT，2 台 DR，1 台移动 DR，1 台小 C 臂，1 台骨密度仪。二期结合医院运营实际情况再增配。医院设备配置投入计划详见附件五。

### 1.5 劳动定员

医院计划总定员中配备 168 名专业辐射工作人员，其中放疗工作人员 37 人，

## 续表 1 项目基本情况

放射诊断工作人员 77 人，介入治疗工作人员 27 人，核医学科工作人员 27 人。医院计划按试运营期、一期、二期三个阶段分期配置工作人员，详见附件五：娄底众二医院核放设备分期投入计划及分期人员配备计划。

### 1.6 项目组成情况

根据项目特点，本项目主要由主体工程、公用工程、环保工程三部分组成，项目组成情况见下表 1-4：

表 1-4 本项目组成及现有工程依托关系

序号	项目	组成	新建/依托	备注
一	<b>主体工程</b>			
1	直线加速器机房	位于核放中心负一层，设置有 4 间直线加速器机房，配备 4 台直线加速器（II 类射线装置）；以及控制室等辅助用房	新建	/
2	回旋加速器机房	位于核放中心负一层，设置有 1 间回旋加速器机房，配备 1 台回旋加速器（II 类射线装置）；以及控制室等辅助用房	新建	/
3	DSA 机房	位于门诊医技楼四层介入中心，设置有 3 间 DSA 机房，配备 3 台 DSA（II 类射线装置）；以及控制室等辅助用房	新建	/
4	CT 机房	位于门诊医技楼一层影像科，设置有 4 间 CT 机房，配备有 4 台 CT（III 类射线装置）；以及控制室等辅助用房	新建	/
5	DR 机房	位于门诊医技楼一层影像科，设置有 8 间 DR 机房，配备有 8 台 DR（III 类射线装置）；以及控制室等辅助用房	新建	/
6	数字胃肠机房	共 1 间，位于门诊医技楼一层影像科，配备 1 台数字胃肠机	新建	/
7	乳腺 X 射线机房	共 1 间，位于门诊医技楼一层影像科，配备 1 台乳腺 X 射线机	新建	/
8	骨密度仪机房	共 1 间，位于门诊医技楼三层体检中心，配备 1 台骨密度仪	新建	/
9	全景牙片机房	共 1 间，位于门诊医技楼四层口腔科，配备 1 台全景牙片机	新建	/
10	小 C 臂机	位于门诊医技楼四层手术中心，配备 2 台小 C 臂机	新建	/
11	移动 X 光机	位于门诊医技楼一层影像科、负一层急诊科和三层体检中心，配备 3 台移动 X 光机	新建	/

续表 1 项目基本情况

12	模拟定位机 机房	位于放疗中心负一层，设置有 2 间模拟定位机机房，配备 2 台模拟定位机（III类射线装置）；以及控制室等辅助用房	新建	/
13	PET/CT	共 1 间，位于核放中心负一层，配备 1 台 PET/CT，使用 2 枚 $^{68}\text{Ge}$ （V类放射源）作为校正源	新建	/
14	SPECT/CT	共 1 间，位于核放中心负一层，配备 1 台 SPECT/CT	新建	/
15	乙级非密封 工作场所	使用核素为 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{I}$ ，设置储源间、分装注射室、注射后休息室及甲癌病房；注射后的病人在 PET/CT、SPECT/CT 机房进行定位及诊断。	新建	/
16	后装治疗室	位于放疗中心负一层，设置有 1 间后装机房，配备 1 台后装机，使用 1 枚 $^{192}\text{Ir}$ （III类放射源）；以及控制室等辅助用房	新建	/
二	<b>公用工程</b>			
1	给水	院内供水管网	依托	/
2	排水	实行雨污分流；医疗废水排放系统，雨水排放系统。	依托	/
3	供配电	院内供配电系统	依托	/
4	通风	新建机械通风装置，机房均设置有通风预留口，乙级非密封性工作场所放化实验室热室和质控室设置有通风橱。	新建	/
三	<b>环保工程</b>			
1	放射性废气	射线装置机房设置机械动力通风设施，排风口位于机房墙体离地 0.5m 处，同时配置中央空调辅助通风； 乙级非密封性工作场所设置通风橱，排气口风速不小于 1m/s；排气口应高于本建筑屋脊。	新建	/
2	放射性废水	核医学科设置专用卫生间，废水排入核放中心西侧 127m <sup>3</sup> 三级放射性衰变池衰变达到总β放射性<10Bq/L 标准后方可排放至院区污水处理站，之后排入城市污水管网。	新建	/
3	放射性固废	制定固废处理措施，放射性固废在防辐射的专用污物箱中衰减 10 个半衰期	新建	/
四	<b>人员情况</b>			
1	辐射工作人员	医院计划配备 168 名专业辐射工作人员，其中肿瘤治疗 37 人，放射诊断 77 人，介入治疗 27 人，核医学科 27 人	新增	/

## 1.7 保护目标和评价因子

### 1.7.1 环境保护目标

## 续表 1 项目基本情况

根据本项目周围环境敏感点分布情况，确定本项目环境保护对象为该医院从事肿瘤放疗、放射诊疗、介入治疗以及核医学科的工作人员、机房周围活动的公众成员。

### 1.7.2 评价因子

根据本次评价的项目特点及项目实际情况，本项目主要影响为 X 射线、 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线、中子、表面污染、感生放射性废气、臭氧和氮氧化物。本项目评价因子主要为 X 射线、 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线、中子、表面污染及感生放射性废气。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	<sup>192</sup> Ir	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci) × 1 枚	III类	使用	肿瘤治疗	核放中心负 一层后装治 疗室	后装机铅罐内	/
2	<sup>68</sup> Ge 线源	$1.85 \times 10^7$ (2mCi) × 1 枚	V类	使用	FOV 偏移 校准	核放中心负 一层 PET/CT 机房	拟存放在 PET/CT 自 屏蔽系统里	/
3	<sup>68</sup> Ge 模体源	$3.5 \times 10^6$ (0.095mCi) × 1 枚	V类	使用	均匀性校 准	核放中心负 一层 PET/CT 机房	拟存放在储源室铅罐 内, 外加不锈钢双层 密封套	/

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	使用场地	贮存方式与地点
1	<sup>18</sup> F	液态, 低毒组	使用	7.4×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>6</sup>	1.48×10 <sup>12</sup>	PET/CT 扫描显像	很简单操作	核放中心负一层核医学科	生产后立即使用, 不储存, 不外售
2	<sup>11</sup> C	液态, 低毒组	使用	7.4×10 <sup>8</sup>	7.4×10 <sup>5</sup>	1.48×10 <sup>11</sup>		很简单操作		
3	<sup>13</sup> N	液态, 低毒组	使用	7.4×10 <sup>8</sup>	7.4×10 <sup>5</sup>	1.48×10 <sup>11</sup>		很简单操作		
4	<sup>15</sup> O	液态, 低毒组	使用	1.11×10 <sup>9</sup>	1.11×10 <sup>6</sup>	1.11×10 <sup>11</sup>		很简单操作		
5	<sup>99m</sup> Tc	液态, 低毒组	使用	2.22×10 <sup>10</sup>	2.22×10 <sup>7</sup>	4.44×10 <sup>12</sup>	SPECT/CT 扫描显像	很简单操作	核放中心负一层核医学科	质控室分装柜
6	<sup>89</sup> Sr	液态、中毒组	使用	1.48×10 <sup>8</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>	1.48×10 <sup>10</sup>	骨转移瘤治疗	简单操作		储源间(一) 铅罐保存
7	<sup>131</sup> I	液态、中毒组	使用	2.50×10 <sup>10</sup>	2.50×10 <sup>9</sup>	9.72×10 <sup>11</sup>	甲亢、甲癌治疗	简单操作	核放中心负一层核医学科	储源间(二) 铅罐保存
合计					2.54×10 <sup>9</sup>	7.31×10 <sup>12</sup>	乙级非密封放射性工作场所			

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	直线加速器	II类	4	待定	电子	20	1000cGy/min	放射治疗	核放中心负一层放 疗中心	4台，X射线最 大能量为15MV
2	回旋加速器	II类	1	待定	质子	11	2×60μA	制备正电子药物	核放中心负一层核 医学科	生产正电子药物 不对外销售

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	数字减影血管 造影系统 (DSA)	II类	3	待定	150kV	1500mA	介入治疗	门诊医技楼四 层介入中心	新增
2	CT	III类	4	待定	150kV	1000mA	放射诊断	门诊医技楼 一层影像科	新增
3	DR	III类	8	待定	150kV	800mA	放射诊断		新增
4	数字胃肠机	III类	1	待定	150kV	800mA	放射诊断		新增
5	乳腺 X 射线机	III类	1	待定	35kV	100mA	放射诊断		新增
6	骨密度仪	III类	1	待定	60kV	100mA	放射诊断	门诊医技楼 三层体检中心	新增
7	全景牙片机	III类	1	待定	65kV	7mA	放射诊断	门诊医技楼 四层口腔科	新增

8	小 C 臂	III类	2	待定	125kV	120mA	放射诊断	门诊医技楼四 层手术中心	新增
9	移动 X 光机	III类	3	待定	150kV	500mA	放射诊断	门诊医技楼 一层影像科 负一层急诊 三层体检中心	新增
10	模拟定位机	III类	2	待定	140kV	650mA	放射诊断	核放中心负一 层放疗中心	新增
11	PET/CT	III类	1	待定	140kV	500mA	放射诊断	核放中心负一 层核医学科	新增
12	SPECT/CT	III类	1	待定	140kV	500mA	放射诊断		新增
合计			28	3 台 II 类射线装置，25 台 III 类射线装置					

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大靶电 流 ( $\mu$ A)	中子强 度 (n/s)	用途	工作场 所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
	无												

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
报废的 $^{192}\text{Ir}$ 源	固态	$^{192}\text{Ir}$	/	/	/	/	无	废源由生产厂家回收
报废的 $^{68}\text{Ge}$ 源	固态	$^{68}\text{Ge}$	/	/	/	/	无	废源由供货单位回收或送交有资质单位进行处置
含放射性核素的废水、废液	液态	$^8\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{I}$	/	/	/	总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$	三级衰变池	放射性废水经衰变池衰变后进入医院废水处理站处理后达标排放。未用完的瓶装废液置于放射性废物暂存室，经10个以上半衰期，作为一般医疗垃圾处理。
放射性固废	固态	/	/	/	/	比活度 $< 2 \times 10^4\text{Bq/kg}$	铅罐	放置10个半衰期后，经主管部门认可后按医院普通医疗废物处置
报废的 $^{99}\text{Mo}$ — $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器	固态	/	/	/	/	/	无	由生产厂家回收
回旋加速器维修零件(废靶部件、限束光栏、偏转磁铁等活化部件等)	固态	/	/	/	/	/	无	交长沙市放射性废物库收贮
臭氧和氮氧化物 $\beta$ 气溶胶	气态	/	/	/	微量	小于 $0.3\text{mg/m}^3$	直排	核医学科放射性废气经通风装置经过活性炭吸附由管道排入大气其他射线装置产生的放射性废气直接经通风装置排入大气

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p><b>6.1 相关法律法规、部门规章及规范性文件</b></p> <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2016 年 7 月 2 日修订，2016 年 9 月 1 日施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》国务院第 253 号令，1998 年；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》 2005 年颁布，国务院第 449 号令，（2014 年 7 月 29 日修订）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2014 年 4 月修订），2015 年 6 月 1 日；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2008 修订）》国家环境保护部令第 3 号，2008 年 11 月 21 日；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(9) 《产业结构调整指导目录》国家发展和改革委员会令第 9 号，2013 年修订；</p> <p>(10) 《关于发布射线装置分类办法的公告》国家环境保护总局公告，2006 年第 26 号；</p> <p>(11) 《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>(12) <u>《关于发布放射源编码规则的通知》（环发[2004]118 号）；</u></p> <p>(13) 《放射性废物安全管理条例》，2012 年 3 月 1 日施行；</p> <p>(14) 《放射工作人员健康管理办法》（卫生部令第 55 号）；</p> <p>(15) 《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》环发 145 号，2006 年；</p> <p>(16) 《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>(17) 《湖南省建设项目环境保护管理办法》湖南省人民政府令第 215 号，2007 年。</p>
------------------	--

续表 6 评价依据

<p>技术 标准</p>	<p><b>6.2 评价技术规范</b></p> <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》(HJ 10.1—2016)。</p> <p><b>6.3 评价技术标准</b></p> <p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(2) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)；</p> <p>(3) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120—2006)；</p> <p>(4) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>(5) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126—2011)；</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)；</p> <p>(7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2—2011)；</p> <p>(8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：<math>\gamma</math>射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)；</p> <p>(9) 《后装<math>\gamma</math>源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2002)；</p> <p>(10) 《密封放射源及密封<math>\gamma</math>放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006)；</p> <p>(11) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》GBZ165-2012；</p> <p>(12) 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006)；</p> <p>(13) 《医用 X 射线诊断受检者放射卫生防护标准》(GBZ16348-2010)；</p> <p>(14) 《放射工作人员健康标准》(GBZ98-2002)；</p> <p>(15) 《放射工作人员职业健康监护技术规范》(GBZ235—2011)；</p> <p>(16) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466—2005)；</p> <p>(17) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)；</p> <p>(18) 《放射性废物的分类》(GBZ9133-2009)；</p>
------------------	--

	<p>(19) 《工作场所职业病危害警示标识》(GBZ158-2003)；</p> <p>(20) 《工作场所有害因素职业接触限值 第一步部分 化学因素》(GBZ2.1-2007)。</p>
其他	<p><b>6.4 其他</b></p> <p>(1) 本项目电离辐射检测报告：鹏辐(检)[2016]303号(附件三)；</p> <p>(2) 辐射环境影响评价委托函(附件一)；</p> <p>(3) 《辐射防护》第11卷第2期 — 湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究(湖南省环境监测中心站) 1991年3月；</p> <p>(4) 《辐射防护手册(第三分册)》李德平，潘自强主编。</p>

**表 7 保护目标与评价标准**

**7.1 评价范围**

根据本项目辐射源为能量流污染及其能量流的传播与距离相关的特性，结合《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1—2016）的相关规定，并结合项目辐射装置射线传播与距离相关的特性，确定以核技术利用项目用房为中心 50m 半径范围区域作为辐射环境的评价范围。

**7.2 环境保护目标**

**7.2.1 环境保护敏感点**

**(1) 医院周围环境概况**

娄底众一医院拟建地位于娄底市万宝新区下州村、松山村、东冲村、鱼岭村境内，东临万宝大道，西临新星南路，南临滨湖一路，北临南二环路。根据现场踏勘情况，医院拟建地西南面为道路，其他三面为空地。

**(2) 本项目选址及周围外环境敏感点**

本次核技术利用项目位于娄底众一医院门诊医技楼和核放中心。

门诊医技楼位于医院场地南侧，西北面约 35m 处为住院楼一，东北面约 35m 处为医疗中心，西南面约 25m 处为核放中心，东南面约 15m 处为停车场。核放中心位于医院场地西南侧，西北面紧邻质子中心，东北面约 25m 处为门诊医技楼，西南面约 25m 处为绿化带，东南面紧邻学术会议中心。

该项目建筑周围环境保护目标情况见表 7-1。

**表 7-1 本项目建筑周围环境保护目标一览表**

建筑名称	机房位置	方位	距离	敏感点名称	敏感人数	环境特征	备注
门诊医技楼	一层影像科，负一层急诊科，三层体检中心，四层介入中心、手术室和口腔科	西北	约 35m	住院楼一	约 300 人	均为病人及医护人员	电离辐射
		东北	约 35m	医疗中心群楼	约 200 人	均为病人及医护人员	电离辐射
		西南	约 25m	核放中心	约 100 人	均为病人及医护人员	电离辐射
		东南	约 15m	停车场	约 200 人	为公众人员	电离辐射

续表 7 保护目标与评价标准

续表 7-1 本项目建筑周围环境保护目标一览表

建筑名称	机房位置	方位	距离	敏感点名称	敏感人数	环境特征	备注
核放中心	负一层放疗中心、核医学科	西北	紧邻	质子中心	约 20 人	均为病人及医护人员	电离辐射
		东北	约 25m	门诊医技楼	约 200 人	均为医护人员及病人、家属	电离辐射
		西南	约 25m	绿化带	约 50 人	均为医护人员及病人、家属	电离辐射
		东南	紧邻	学术会议中心	约 100 人	为医院工作人员	电离辐射

医院现场照片见附图一，项目所在地理位置见附图二，项目所在地理卫星图见附图三，医院总平面布置图及项目周边关系见附图四。

**(3) 本项目机房及核医学科位置概况**

本项目射线装置机房及核医学科分布于医院门诊医技楼一层影像科，负一层急诊科，三层体检中心，四层介入中心、手术室和口腔科；核放中心负一层放疗中心以及核医学科。放疗中心及核医学科楼上为诊室（直线加速器机房顶棚为内庭院天井），地下为夯实土层，东北及东南面为车库，西北面为质子中心准备间，西南面为土层。

各机房及核医学科工作场所周围环境情况详见下表。

表 7-2 本项目主要机房及核医学科周围环境概况表

机房位置	机房名称	方位	环境敏感点名称
核放中心负一层放疗中心	直线加速器机房	东	预留用房
		西	衰变池
		南	控制室、辅助机房
		北	墙体外泥土层
		楼上	内庭院绿化坪
		楼下	夯实土层
	后装机房 模拟定位机房	东	准备间、库房
		西	过道
		南	回旋加速器机房、设备间和控制室
		北	过道
		楼上	大厅、护士站
		楼下	夯实土层

续表 7 保护目标与评价标准

核放中心负一层 核医学科	回旋加速器机房	东	设备间、废物间、污洗间
		西	过道
		南	甲癌病房、气体室
		北	后装机房、休息室
		楼上	卫生间、诊室
		楼下	夯实土层
	PET/CT 机房 SPECT/CT 机房 放化实验室、质控室、注射室、储源间、甲癌病房、注射后休息室	东	护士站
		西	过道
		南	地下车库
		北	回旋加速器机房及配套用房； 医生办公室
		楼上	诊室
		楼下	夯实土层
门诊医技楼四层 介入中心	DSA 机房	东	过道
		西	卫生通过间
		南	洁净走廊
		北	公共控制廊
		楼上	屋顶
		楼下	DNA 筛查
门诊医技楼一层 影像科	CT 机房 DR 机房 数字胃肠机房 乳腺 X 射线机房	东	患者通道
		西	患者通道
		南	护士站、等候区
		北	医护通道
		楼上	超声检查
		楼下	医生值班室、诊室
门诊医技楼三层 体检中心	骨密度仪机房	东	血管硬度检查室
		西	前室
		南	过道
		北	过道
		楼上	耳鼻喉科前室
		楼下	自助服务区
门诊医技楼 四层口腔科	全景牙片机	东	过道
		西	阅片室
		南	过道
		北	超声清洗室
		楼上	库房
		楼下	中药房

备注：小 C 臂机房及移动式 X 射线机没有固定使用机房，未列入上表。

续表 7 保护目标与评价标准

门诊医技楼一层影像科平面布置图见附图五，门诊医技楼四层介入中心平面布置图见附图六，门诊医技楼四层口腔科平面布置图见附图七，门诊医技楼一层急诊科平面布置图见附图八，门诊医技楼三层体检中心平面布置图见附图九，门诊医技楼四层手术中心平面布置图见附图十，核放中心负一层放疗中心、核医学科平面布置图见附图十一。

### 7.2.2 环境保护对象

根据本项目周围环境敏感点分布情况，确定本项目环境保护对象为该医院从事放射治疗、放射诊断以及核医学科的工作人员、机房周围公众成员。

### 7.3 评价标准

#### (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

##### ① 剂量限值

第 4.3.2.1 款，应对个人受到的正常照射加以限值，以保证本标准 7.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

第 B1.1.1.1 款，应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv 作为职业照射剂量限值。

结合拟使用的医用辐射装置实际情况，确定本项目数字减影血管造影系统（DSA）介入操作及核医学科分装、注射辐射工作人员年剂量目标管理限值为职业照射的十分之二，即 4mSv/a，其他辐射工作人员的年剂量目标管理限值取职业照射的十分之一，即 2mSv/a。

##### 第 B1.2 款 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

本项目公众人员的年剂量目标管理限值取公众照射的十分之一，即 0.1mSv/a 作为所有射线装置周边公众成员年剂量目标管理限值。

续表 7 保护目标与评价标准

②表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限值要求。

工作场所的表面污染控制水平如表 7-3 所列。

表 7-3 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm<sup>2</sup>

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-1</sup>
1) 该区内的污染子区除外		

③辐射工作场所的分区

第 6.4 款 应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.1.4 c) 在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

e) 运用行政管理程序和实体屏障限制进出控制区。

g) 按需要在控制区的出口处提供皮肤和工作服的污染监测仪、被携出物品的污染监测设备、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的贮存柜。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

6.4.2.2 b) 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

④非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

续表 7 保护目标与评价标准

第 C1 款 应按表 7-4 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-4 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 $\sim 2 \times 10^7$

第 C2 款 放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量 (Bq) 与该核素毒性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。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 7-5 和表 7-6。放射性核素的毒性分组见附录 D (标准的附录)。

表 7-5 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 7-6 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
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

④放射性物质向环境排放的控制

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

(a) 每月排放的总活度不超过  $10ALI_{min}$  ( $ALI_{min}$  是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者);

续表 7 保护目标与评价标准

(b) 每一次排放的活度不超过  $1ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

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

本标准适用于医用诊断放射学、牙科放射学和介入放射学实践。

第 3.2 款 应用 X 射线检查应经过正当性判断。执业医师应掌握好适应症，优先选用非 X 射线的检查方法。加强对育龄妇女、孕妇和婴幼儿 X 射线检查正当性判断；严格控制使用剂量较大、风险较高的放射技术，除非有明确的疾病风险指征，否则不宜使用 CT 进行健康体检。对不符合正当性原则的，不应进行 X 射线检查。

第 5.1 款 X 射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护于安全。

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

**表 7-7 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
双管头或多管头 X 射线机 <sup>a</sup>	30	4.5
单管头 X 射线机 <sup>b</sup>	20	3.5
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机	5	2

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

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

第 5.3 款 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 7-8 要求。
- b) 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 D。

**表 7-8 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求**

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
标称 125kV 以上的摄影机房	3	2
标称 125kV 及以下的摄影机房、口腔 CT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2	1

续表 7 保护目标与评价标准

透视机房、全身骨密度仪机房、口内全景牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、乳腺机房	1	1
介入 X 射线设备机房	2	2
CT 机房	2（一般工作量） <sup>a</sup> 2.5（较大工作量） <sup>a</sup>	
<sup>a</sup> 按 GBZ / T180 的要求。		

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

第 5.4 款在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

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

第 5.5 款 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态。

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

第 5.7 款，机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

第 5.8 款，患者和受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

第 5.9 款 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助

续表 7 保护目标与评价标准

防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。

第 6.6 款 移动式 and 携带式 X 射线设备防护安全操作要求

6.6.1 在无法使用固定设备且确需进行 X 射线检查时才允许使用移动设备。

6.6.2 使用移动式设备在病房内做 X 射线检查时，应对毗邻床位（2m 范围内）患者采取防护措施，不应将有用线束朝向其他患者。

6.6.3 曝光时，工作人员应做好自身防护，合理选择站立位置，并保证曝光时能观察到患者和受检者的姿态。

6.6.4 移动式 and 携带式 X 射线设备不应作为常规检查用设备。

**(3) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120—2006）**

标准适用于临床核医学应用放射性药物施行诊断和治疗的实践。

**4 临床核医学工作场所的放射防护要求**

第 4.2 款 一般临床核医学的活性实验室、病房、洗涤室、显像室等工作场所属于 GB18871 规定的乙级或丙级非密封源工作场所。为了便于操作，针对临床核医学实践的具体情况，可以依据计划操作最大放射性核素的加权活度，把工作场所分为 I、II、III 等三类。

**表 7-9 临床核医学工作场所具体分类**

分类	操作最大放射性核素的加权活动 <sup>2)</sup> ,MBq
I	>50 000
II	50~50 000
III	<50

第 4.4 款 按表 1（表 7-9）划分的三类核医学工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 4（表 7-10）。

**表 7-10 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构要求<sup>1)</sup>**

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	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	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

续表 7 保护目标与评价标准

注：<sup>1)</sup> 依据国际放射防护委员会（ICRP）第 57 号出版物。

<sup>2)</sup> 仅指实验室

<sup>3)</sup> 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测

第 4.5 款 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。

第 4.6 款 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。

第 4.7 款 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漏、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。

第 4.8 款 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。其布局有助于实施工作程序，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。

第 4.9 款 临床核医学诊断用给药室与检查室分开。如必须在检查室给药，应具有相应的放射防护设备。

第 4.10 款 临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室，宜有受检者专用厕所。

## 5 放射性药物操作的一般放射防护要求

第 5.1 款 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。

第 5.2 款 装有放射性药物的给药注射器应有适当屏蔽。难以屏蔽时应注意控制操作时间。

第 5.3 款 操作放射性药物应在衬有吸水纸的托盘内进行，工作人员应穿戴个人防护用品。

第 5.4 款 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

**续表 7 保护目标与评价标准**

在操作人员甲状腺内沉积的防护。

第5.5款 在放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品。

第5.6款 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。

第 5.7 款 从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，以杜绝超过BG18871 规定的表面污染控制水平的物品带出控制区。

第5.8款 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。

第5.9款 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。

第5.10款 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。

第5.11款 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

## **6 临床核医学治疗的放射防护要求**

第6.1款 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处或单人病房应划为临时控制区。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。

第6.2款 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。

第6.3款 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人保持足够距离；必要时可采用附加屏蔽防护措施。

第6.4款 接受放射性药物治疗的患者应使用专用便器或者设有专用卫生间和浴室。

第6.5款 住院接受放射性药物治疗患者的被服和个人用品使用后应作去污处理，并经表面污染监测合格后方可作一般处理。

第6.6款 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

续表 7 保护目标与评价标准

性废物处理。

第6.7款 接受<sup>131</sup>I治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至低于400MBq方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。

**(4) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)**

第 5.2.1 条 非密封源的操作应根据所操作的放射性物质的量和特性，选择符合安全与防护要求的条件，尽可能在通风橱、工作箱或手套箱内进行。

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

本标准适用于标称能量在 50MeV 以下的医用电子加速器的生产和使用。

第 5.3.4.1 款 此要求适用于电子能量超过 10MeV 的设备

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

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

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

第 6.1.3 款 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率宜不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

第 6.1.4 款 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

第 6.1.5 款 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。

第 6.1.6 款 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

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

第 6.1.8 款 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

第 6.1.9 款 相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志。

第 6.1.10 款 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

第 8.1.4 款 在加速器正常运行情况下，安全联锁系统每月检查 1 次。

第 8.1.5 款 在加速器正常运行情况下，工作场所和周围区域辐射水平每年监测 1

续表 7 保护目标与评价标准

次。

**(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T201.2-2011) 第 2 部分**

本部分适用于 30MeV 以下的加速器放射治疗机房。本部分不适用于手术中加速器电子线治疗的机房。

**第4.2款 剂量控制要求**

**第4.2.1款 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平**

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述a)、b)和c)所确定的剂量率参考控制水平 $H_c$ :

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

- 1) 放射治疗机房外控制区的工作人员:  $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ;
- 2) 放射治疗机房外非控制区的人员:  $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

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

- 1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所:  $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ;
- 2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所:  $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

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

**注: 本环评选取  $2.5\mu\text{Sv/h}$  作为加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率限值。**

**(7) 《后装 $\gamma$ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2002)**

第 4.2.2 款 运输贮源器(或工作贮源器)内装载最大容许活度时,距离贮源器表面 5cm 处的任何位置,泄漏辐射的空气比释动能率不得大于  $100\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ;距离贮源器表面 100cm 处的球面上,任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于  $10\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

第 5.1 款 放射治疗室必须经专业人员设计,治疗室必须与准备室和控制室分开设置。治疗室使用面积应不小于  $20\text{m}^2$ 。

第 5.2 款 治疗室入口必须采用迷路设计,设置门机联锁,并在治疗室门上要有声、光报警。治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器。

第 5.3 款 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,确保工作人

续表 7 保护目标与评价标准

员及公众的受照剂量小于相应的年剂量限值。

第 5.4 款 在控制室与治疗室之间应设观察窗（或监视器）与对讲机。

**(8) 《密封放射源及密封 $\gamma$ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）**

**(9) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）**

第 5.1 款 CT 机房的设置应充分考虑邻室及周围场所的人员驻留条件，一般应设在建筑物的一端。

第 5.2 款 CT 机房应有足够的使用空间，面积应不小于 30m<sup>2</sup>，单边长度不小于 4m。机房内不应堆放无关杂物。

第 5.3 款 CT 机房的墙壁应有足够的防护厚度，机房外人员可能受到的年有效剂量小于 0.25mSv（相应的周有效剂量小于 5 $\mu$ Sv），距机房外表面 0.3m 处空气比释动能率应 < 2.5 $\mu$ Gy/h。

第 5.4 款 CT 机房门外明显处应设置电离辐射警示标志，并安装醒目的工作状态指示灯。

第 5.5 款 CT 机房应保持良好的通风。

**(10) 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）**

第 5.1 款 CT 装置的安装位置：在机房内，CT 装置宜斜向安放，以利于操作者观察受检者；机房出入口应处于散射辐射相对低的位置。

第 5.2.1.2 款 CT 机房一般屏蔽要求如下：一般工作量下的机房屏蔽：16cm 混凝土（密度 2.35t/m<sup>3</sup>）或 24cm 砖（密度 1.65 t/m<sup>3</sup>）或 2mm 铅当量；较大工作量下的机房屏蔽：20cm 混凝土（密度 2.35t/m<sup>3</sup>）或 37cm 砖（密度 1.65 t/m<sup>3</sup>）或 2.5mm 铅当量。

**(11) 《医用 X 射线诊断受检者放射卫生防护标准》（GB16348-2010）**

第 4.1 款医疗卫生机构应制定执业医师与医技人员、辐射防护负责人等培训计划，使其受到相应的辐射防护知识培训并取得放射工作人员证。医技人员还应取得相应的专业技能资质并承担制定的任务。

第 5.5 款应特别加强对育龄妇女和孕妇、婴幼儿 X 射线检查的正当性判断。

第 6.2 款应避免受检者同一部位重复 X 射线检查，以减少受检者受照剂量。

第 7.1.2 款应为不同年龄儿童的不同检查配备有保护相应组织和器官的防护用品，其防护性能不小于 0.5mm 铅当量。

续表 7 保护目标与评价标准

**(12) 《放射工作人员的健康标准》(GBZ98-2002)**

1、范围

本标准适用于所有从事内、外照射(包括在医疗机构、核电厂,含放射性的厂矿等工作)的人员,以及应用放射源的工作部门或单位及其授权的医疗机构和医师。

3、放射工作人员的健康标准

每一放射工作人员必须进行就业前或者操作前的医学检查,和就业后工作过程中的定期医学检查。未经就业前医学检查者,不得从事放射工作。

.....

**(13) 《放射工作人员职业健康监护技术规范》(GBZ235-2011)**

1、范围

本标准规定了放射工作人员职业健康监护的基本原则和技术要求。

本标准适用于接受电离辐射职业照射的工作人员的职业健康监护。

第 4.3 款 放射工作人员的职业健康监护主要包括职业健康检查和评价,以及职业健康监护档案管理等内容。

职业健康检查包括上岗前、在岗期间、离岗时、受到应急照射或者事故照射时的健康检查,以及职业性放射性疾病患者和受到过量照射放射工作人员的医学随访观察。

第 4.4 款 放射工作单位应当按照国家有关法规的要求,建立健全本单位放射工作人员的职业健康监护制度,保证职业健康监护工作的实施。

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

**5 液体废物的管理**

第 5.1.1 款 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。

第 5.1.2 款 产生放射性废液而不可设置放射性污水池的单位,应将含短半衰期核素的废液注入专用容器中通常存放 10 个半衰期后,经审管部门审核准许,可作普通废液处理。对含长半衰期核素的废液,应专门收集存放。

第 5.1.3 款 下列低放废液可以直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道:每

续表 7 保护目标与评价标准

月排放总活度不超过 GB18871-2002 中 8.6.2 规定的限制要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，每次排放应作记录并存档。

第 5.2.1 款 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，规定患者住院治疗期间不得使用其他厕所。

第 5.2.2 款 专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲洗入专用化粪池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

第 5.2.3 款 专用化粪池内排泄物在贮存衰变后，经审管部门核准方可排入下水道系统。池内沉渣如难于排出，可进行算话预处理后再排入下水道系统。

## 6 固体废物的管理

### 第 6.1 款 废物收集

第 6.1.2 款 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。

第 6.1.3 款 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存。

第 6.1.4 款 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内。

第 6.1.5 款 每袋废物的表面剂量率应不超过  $0.1\text{mSv/h}$ ，重量  $\leq 20\text{kg}$ 。

### 第 6.2 款 废物临时贮存

第 6.2.1 款 产生少量放射性废物的非密封型放射性核素应用单位，经审管部门批准可以将其废物临时贮存在许可的场所和专门容器中。贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限制要求。

第 6.2.2 款 贮存室建造结构应符合放射卫生防护要求，且具有自然通风或安装通风设备，出入口设置电离辐射警示标志。

第 6.2.3 款 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类，比活度水平和存放日期等说明。

第 6.2.4 款 废物包装外表面的污染控制水平： $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ； $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

第 6.2.5 款 应在临时贮存期满前及时把废物送往城市废物贮存库或废物处置单位。

续表 7 保护目标与评价标准

### 第 6.3 款 废物处理

第 6.3.3 款 未知核素的废物在其活度浓度小于或者等于  $2 \times 10^4 \text{Bq/kg}$  时,或废物中的核素已知且其活度浓度符合 4.4 或者 4.5 时,可作免管固体废物处理。

### 7 气载废物的管理

第 7.1 款 操作放射性碘化物等具有挥发性的放射性物质时,应在具备有活性炭吸附过滤或其他专用过滤装置的通风橱内进行。

#### (15) 《放射性废物的分类》(GB9133—2009)

第 5 款 第 I 级(低放废液):浓度小于或等于  $4 \times 10^6 \text{Bq/L}$ ; 第 II 级(中放废液):浓度大于  $4 \times 10^6 \text{Bq/L}$ , 小于或等于  $4 \times 10^{10} \text{Bq/L}$ ; 第 III 级(高放废液):浓度大于  $4 \times 10^{10} \text{Bq/L}$ 。

第 6 款 含有半衰期小于或等于 60d 的放射性核素的废物,按其放射性比活度水平分为二级。第 I 级(低放废物):比活度小于或等于  $4 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ ; 第 II 级(中放废物):比活度大于  $4 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ 。

#### (16) 《工作场所有害因素职业接触限值 第一部分 化学因素》(GBZ2.1-2007)

室内臭氧浓度限值:  $0.3 \text{mg/m}^3$ , 氮氧化物浓度限值:  $5 \text{mg/m}^3$ 。

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

本项目总  $\beta$  执行综合医疗机构水污染排放限值(日均值):  $10 \text{Bq/L}$ 。

#### (18) 《关于发布放射源编码规则的通知》(环发[2004]118 号)

第 2 款 半衰期大于或等于 60 天的放射源必须按照《放射源编码规则》编 12 位编码。

第 5 款 放射源编码卡应固定在容器或设备的明显位置,并伴随放射源从生产到处置的全过程。

第 6 款 编码应报国务院环境保护行政主管部门备案。

第 10 款 放射源被处置或生产单位回收,处置单位或生产单位应在 30 日内向所在地省级环境保护行政主管部门办理编码注销手续。

#### (19) 结论

本环评根据项目情况及周围环境,各射线装置机房外表面 30cm 处周围剂量当量率水平控制值为  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

DSA 属于 X 射线诊断装置,是介入手术辅助设备,手术过程中同时需要配置其他

续表 7 保护目标与评价标准

配套设备，因此机房应充分满足手术要求，参照 GBZ130-2013 中双管头的机房面积要求执行，以不小于 30m<sup>2</sup> 进行控制。

综合上述标准以及医院自身实际情况，数字减影血管造影系统（DSA）介入操作及核医学科分装、注射辐射工作人员年剂量目标管理限值≤4mSv/a，其他辐射工作人员的年剂量目标管理限值≤2mSv/a；公众取公众照射的十分之一，即 0.1mSv/a 作为所有射线装置公众成员年剂量目标管理限值。

医院总排放口执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466—2005）预处理标准。

根据上述标准，结合本项目拟使用医用辐射装置的实际情况，确定本项目的年剂量目标管理值要求以及污染物排放指标如下：

表 7-11 本项目剂量限值及污染物排放指标表

一、年剂量目标管理限值			
项目	年有效剂量目标管理限值 (mSv/a)	执行对象	本评价年有效剂量目标管理限值 (mSv/a)
辐射工作人员	20	辐射工作人员	DSA 介入医生、核医学科分装、注射：4； 其他射线装置：2
公众人员	1	公众人员	0.1
二、机房防护体表面控制值			
加速器机房外辐射工作人员活动及公众人员活动场所		加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h	
后装治疗及其他医用诊断 X 射线装置机房外辐射工作人员活动及公众人员活动场所		机房防护体表面 30cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h 或空气比释动能率≤2.5μGy/h	
三、设备要求			
直线加速器 (电子标称能量大于 10MeV)		最后一次照射终止 10s 后、3min 内：距设备表面 5cm 处由感生放射性所造成的吸收剂量率≤200μSv/h 距设备表面 1m 处由感生放射性所造成的吸收剂量率≤20μSv/h	
后装治疗机		<sup>192</sup> Ir 后装治疗机：运输贮源器(或工作贮源器)内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 100μGy·h <sup>-1</sup> ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 10μGy·h <sup>-1</sup>	
四、机房面积要求			
设备名称	机房面积 (m <sup>2</sup> )	机房内最小单边长度 (m)	
直线加速器	≥45m <sup>2</sup>	/	
回旋加速器	≥45m <sup>2</sup>	/	

续表 7 保护目标与评价标准

后装机	$\geq 20\text{m}^2$	/
DSA	$\geq 30\text{m}^2$ (参考)	$\geq 4.5\text{m}$ (参考)
CT	$\geq 30\text{m}^2$	$\geq 4.5\text{m}$
模拟定位机	$\geq 30\text{m}^2$ (参考)	$\geq 4.5\text{m}$ (参考)
DR、数字胃肠机	$\geq 20\text{m}^2$	$\geq 3.5\text{m}$
乳腺 X 射线机	$\geq 10\text{m}^2$	$\geq 2.5\text{m}$
全景牙片机	$\geq 5\text{m}^2$	$\geq 2\text{m}$
小 C 臂	$\geq 20\text{m}^2$	$\geq 3.5\text{m}$
<b>五、放射性废物排放</b>		
气载放射性废物	$\leq 4.0 \times 10^6 \text{Bq/m}^3$	
表面污染	控制区: $< 4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$ 监督区: $< 4 \text{Bq/cm}^2$ 其他: $< 0.4 \text{Bq/cm}^2$	
放射性固体废物	每袋废物 (重量 $\leq 20\text{kg}$ ) 的表面辐射剂量率 $\leq 0.1 \text{mSv/h}$	
	废物包装盒外表面: $\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$	
放射性废水	总 $\beta$ 放射性 $< 10 \text{Bq/L}$	
<b>六、工作场所有害因素职业接触限值 (第一部分化学有害因素)</b>		
机房内气体浓度	臭氧限值: $0.3 \text{mg/m}^3$ ; 氮氧化物限值: $5 \text{mg/m}^3$ 。	

**表 8 环境质量和辐射现状**

### **8.1 辐射环境质量现状**

#### **1、项目环境辐射监测**

受娄底众一医院的委托，长沙市鹏悦环保工程有限公司于 2016 年 12 月 27 日对娄底众一医院拟建地（E：112°1'22"，N：27°39'31"）的周围辐射环境进行了监测。

#### **2、监测方案及质量保证**

##### **（1）监测目的**

该环境辐射现状监测的目的主要是为了了解项目地点天然辐射水平背景值，为辐射工作场所建成运行后对环境的影响提供依据。

##### **（2）监测依据**

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002；

《环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范》GB/T14583-93；

《辐射防护》（第 11 卷，第二期，湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究,湖南省环境监测中心站，1991 年 3 月）。

##### **（3）监测布点及质量保证**

监测点位主要考虑机房建成后人员停留较多，和能到达的区域。主要有：机房内、机房控制室及辅助机房、机房四周过道及人员能够达到的位置、机房楼上以及楼下的相关区域等位置。

该项目测量所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均有有效的国家计量部门检定的合格证书，并有良好的日常质量控制程序。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考核合格持证上岗。数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求进行处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。本次监测所使用的仪器情况见表 8-1。

续表8 环境质量和辐射现状

表 8-1 监测仪器及检定

监测仪器	仪器型号	仪器编号	监测因子	监测方法	计量鉴定证书	有效日期
环境监测 X、 $\gamma$ 剂量率仪	JB4010	09031	地表 $\gamma$ 辐射剂量率	仪器法	校准字第 201603001143 号	2017.3.2

### 3、监测结果及评价

监测数据详见附件三，鹏辐（检）[2016]303 号。

表 8-2 项目射线装置所在机房本底检测结果

测量位置	检测结果（nGy/h）
门诊医技楼拟建地	86~93
核放中心拟建地	87~93

项目拟建址的地表 $\gamma$ 辐射剂量率在86~93nGy/h（室外）之间，与湖南省娄底市天然放射性水平调查研究—室外55.2~136.4nGy/h相比，项目所在地辐射环境质量现状在正常浮动范围内，未见有较大的异常。因此可知：本次监测区域内天然贯穿辐射水平处于娄底市天然贯穿辐射水平范围内。

**表9 项目工程分析与源项**

### **9.1 施工期污染工序及污染物产生情况**

本项目主要位于娄底众一医院门诊医技楼和放疗中心。根据资料收集和现场踏勘实际情况，娄底众一医院新建工程项目主体工程尚未施工建设，医院已委托娄底市环境保护科学研究所对其主体工程进行了环境影响评价，并于2014年12月26日取得娄底市环保局下发的批复：《关于众一·中南医院新建工程项目环境影响报告书的批复》，娄环审[2014]129号，详见附件六。报告书中对医院土建工程、给排水工程、土石方工程、绿化等施工期及营运期的废水、废气、固废进行了详细的评价，对各建筑（包括本项目机房）施工期进行了统一评价。因此，本评价不再对土建工程施工期进行评价。

本项目施工期主要评价机房装修过程中的环境影响，污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

噪声：主要来自于装修及现场处理等。

废气：主要为机械敲打、钻洞墙体等产生的扬尘。

废水：主要为施工人员产生的少量生活废水，无机械废水。

固体废物：主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员的生活垃圾。

本项目施工期环境影响随着施工期的结束而结束，施工期工程量小，施工期短，且均在院区内施工，对外界环境影响很小，不存在环保遗留问题。

### **9.2 放射装置营运期污染工序及污染物产生情况**

#### **9.2.1 直线加速器**

医院拟在核放中心负一层放疗中心配备4台15MV直线加速器，X射线最大能量为15MV，电子射线最大能量为20MeV。

##### **1、工作原理**

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即X射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用X线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。典型医院直线加速器示意图见图9-1所示。

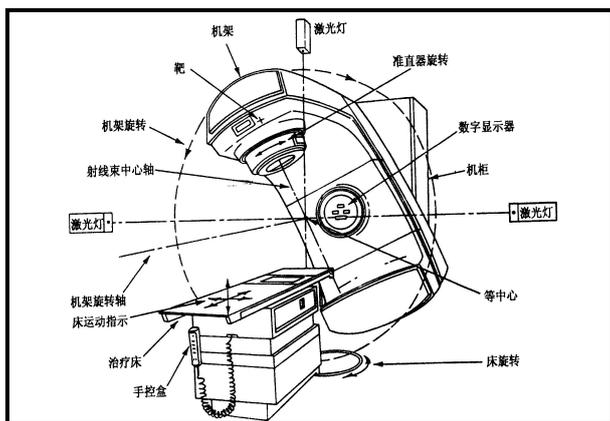


图 9-1 典型医用电子直线加速器示意图

### 2、直线加速器设备组成

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。医用直线加速器内部结构框图 9-2。

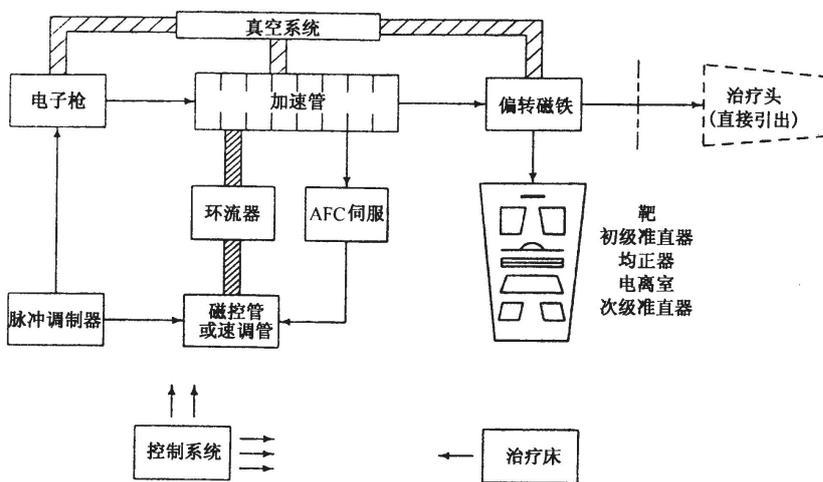


图 9-2 医用直线加速器内部结构框图工作流程

### 3、工作流程

(1) 进行定位。先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

(2) 制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射

续表 9 项目工程分析与源项

时间。

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

(4) 开机治疗。

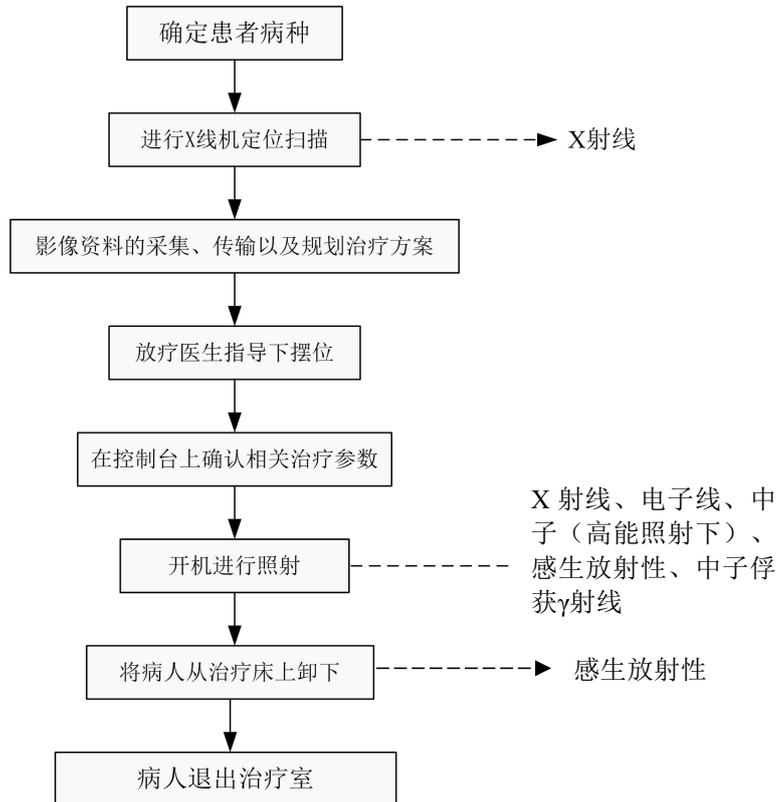


图 9-3 加速器治疗流程

#### 4、工作负荷

本项目使用的每台电子直线加速器治疗机的有效开机时间每年工作按 50 周计，每台加速器每周最多治疗 80 个患者，平均每个患者约 2 个照射野（1 个野次约 0.5min），每野平均 2Gy，周工作负荷约为 320Gy，则 1 台直线加速器年有效开机时间约为 66.7h。

#### 5、产污环节

由加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能 X 射线。直线加速器在 10MV 以上的条件下工作时，加速器产生的 X 线或电子线，与物质作用都可能发生光致核反应（ $\gamma, n$ ），产生中子和感生放射性物质，中子在慢化、吸收过程中都将放出  $\gamma$  射线，引起缓发辐射。此外，X 射线有很强的穿透力，能使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化合物，使周围环境

续表 9 项目工程分析与源项

受到辐射污染和臭氧、氮氧化合物的影响。此时，主要的污染因子是 X 射线、电子线和中子污染、缓发 $\gamma$ 辐射污染和有害气体（臭氧和氮氧化物）。

综上所述，15MV 直线加速器对患者进行治疗时，对环境可能造成污染的因素：

X 线模式下工作，主要是 X 射线、中子、 $\gamma$ 射线；

电子模式下工作，主要是电子线、少量 X 射线、中子、 $\gamma$ 射线；

有害气体：臭氧和氮氧化物、感生放射性废气。

### 9.2.2 后装治疗机

医院拟在核放中心负一层配置 1 台后装治疗机，使用 1 枚  $^{192}\text{Ir}$  密封放射源，初始活度为  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ 。

#### 1、工作原理

后装机由治疗计划系统、控制系统和后装机三部分组成。治疗计划系统通过数字化仪器将患者的影像进行正交、半正交和交角的影像重建，通过运算可显示出优化治疗、三维储存显示剂量分布以及解剖结构，系统可以自动修正源衰变，根据源位、病灶大小和形态，计算出等剂量分布曲线。后装机的作用是将放射源准确、安全、定时的放置在人体病变部位。

后装治疗机使用  $^{192}\text{Ir}$  密封放射源，属近距离放射治疗。它是将密封放射源置于病灶附近，提高局部剂量，利用 $\gamma$ 射线的生物效应对肿瘤进行治疗。这种方式可用于治疗人体内各种腔道周围的肿瘤，因所选取的核素的射线能量较低，并以射线的距离衰减效应减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的辐射剂量。

#### 2、放射源性质

本项目后装治疗系统所使用的放射源是  $^{192}\text{Ir}$ ，其活性区为  $0.7\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ ，不锈钢外壳为  $1.1\text{mm} \times 6.5\text{mm}$ ，活度为  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ 。 $^{192}\text{Ir}$  为 $\beta$ 衰变（95.2%）和 $\gamma$ 衰变核素，半衰期为 74.2 天， $\beta$ 射线能量为  $0.256 \sim 0.672\text{MeV}$ ，伴随产生的 $\gamma$ 射线能量为  $0.206 \sim 0.612\text{MeV}$ 。 $^{192}\text{Ir}$  是一种沉重的、脆的白色过渡金属，熔点  $2443^\circ\text{C}$ ，比热  $0.13\text{J/kg}$ ，沸点  $4428^\circ\text{C}$ ，蒸发热  $604\text{kJ/mol}$ ，导热系数  $1.47\text{W/cmK}$ ，密度  $22.4\text{g/cm}^3$ （300K），熔化热  $26.1\text{KJ/mol}$ 。有金属光泽，化学性质很不活泼，在空气和水中稳定，对所有酸都呈惰性，不溶于酸和王水，但跟熔融的  $\text{NaOH}$  反应。核素  $^{192}\text{Ir}$  密封于不锈钢管内， $\beta$ 射线被壳体屏蔽，只发射出 $\gamma$ 射线。

续表 9 项目工程分析与源项

<sup>192</sup>Ir 放射源结构见图 9-4，主要辐射特性见表 9-1。

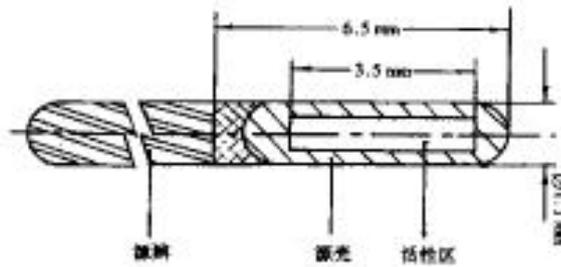


图 9-4 <sup>192</sup>Ir 源结构示意图

表 9-1 <sup>192</sup>Ir 辐射特性表

名称	毒性	半衰期 (d)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	衰变方式 (分支比, %)	射线平均能量 (MeV)	照射率常数 (mGy·m <sup>2</sup> /h·GBq)	活度 (Bq)
<sup>192</sup> Ir	中毒	74.2	2.42	$\beta^{-(95.22)}$ $\epsilon$ (4.78)	0.468	0.111*	$3.7 \times 10^{11}$ Bq

备注：\*数据来源于 IAEA47 号报告第 108 页表 20。换算后，照射率常数为  $0.48R \cdot m^2/h \cdot Ci$ 。

### 3、工作流程

根据患者肿瘤部位，制定治疗计划，在治疗室医生从患者空腔中将输源管置入肿瘤部位，输源管连接后装机，操作后装机把 <sup>192</sup>Ir 密封源通过输源管输入到治疗部位，根据治疗计划开始放射治疗，达到治疗剂量，<sup>192</sup>Ir 密封源通过输源管回到后装机贮源罐内，治疗结束。工作流程大致如下图所示：



### 4、工作负荷

本项目使用的后装治疗机每月照射 15~20 次，每次 600~800cGy，每次照射 2 个野，每野平均 4Gy（1 个野约 2min），后装治疗机年工作时间约 960min（16h）。

### 5、产污环节

后装治疗机的放射性核素 <sup>192</sup>Ir 为密封源，<sup>192</sup>Ir 发射的  $\gamma$  射线具有很强的贯穿能力，能穿透屏蔽材料对周围环境构成辐射污染， $\beta$  射线的射程很短，贯穿能力很弱。后装机运行时无放射性废气、废水产生，放射性废弃物为更新后换下的 <sup>192</sup>Ir 密封源。由工作原理及 <sup>192</sup>Ir 放射源的物理性质可知，在非治疗状态下，放射源贮存在后装机的铅制贮源容器内；在治疗状态下，放射源进入患者腔体内对患者肿瘤进行照射治疗的同时，也对周

续表 9 项目工程分析与源项

围环境产生 $\gamma$ 射线辐射污染。 $^{192}\text{Ir}$ 放射源由放射源生产单位负责运输，放射源退役后，由厂家统一回收。

正常条件下的主要污染途径为：

(1) 放射源运输途中漏射所致 $\gamma$ 辐射；

(2) 正常工作时，放射源离开贮存位置移动到治疗部位工作时所致的 $\gamma$ 射线辐射及由 $\gamma$ 射线产生臭氧及氮氧化合物等极微量有害气体。

在正常情况以及辐射防护屏蔽措施满足有关规定下，上述情况所致的辐射剂量均在规定限制范围内。

### 9.2.3 数字减影血管造影系统 (DSA)

医院拟在门诊医技楼四层介入中心新增 3 台 DSA。

#### 1、工作原理

数字减影血管造影系统 (DSA) 是采用 X 射线进行摄影的技术设备。该设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，见图 9-5。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。

靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。成像装置是用来采集透过人体的 X 线信号的，由于人体各部组织、器官密度不同，对 X 线的衰减程度各不一样，成像装置根据接收到的不同信号，利用平板探测器将透过人体后已衰减的未造影图像的 X 线信号增强，再用高分辨率的摄像机对增强后的图像作一系列扫描。扫描本身就是把整个图像按一定的矩阵分成许多小方块，即像素。所得到的各种不同的信息经模 / 数(A / D)转换成不同值的数字信号，然后存储起来。再把造影图像的数字信息与未造影图像的数字信息相减，所获得的不同数值的差值信号，经数 / 模(D / A)转制成各种不同的灰度等级，在监视器上构成图像。由此，骨骼和软组织的影像被消除，仅留下含有造影剂的血管影像，从而大大提高血管的分辨率。

续表 9 项目工程分析与源项



图 9-5 数字减影血管造影系统（DSA）

## 2、系统组成及工作流程

### （1）系统组成

数字减影血管造影系统组成：Gantry，俗称“机架”或“C 型臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括了数字平板探测器、球管、束光器等部件；专业手术床；Atlas 机柜，该机柜由 DL、RTAC、JEDI 构成；球管和数字平板探测器分别通过各自的水冷机控制温度；图像处理系统。

该项目设备采用平板探测器（FD）技术成像：FD 技术可以即时采集到患者图像，对图像进行后期处理，轻松保存和传送图像。

DSA 技术是常规血管造影术和计算机处理技术相结合的产物，其基本原理和技术为：X 线穿过人体各解剖结构形成荧光影像，经影像增强器增强后为电视摄像管采集而形成视频影像。再经对数增幅和模/数转换形成数字影像。这些数字信息输入计算机处理后，再经减影、对比度增强和数/模转换，产生数字减影图像。

### （2）操作流程

#### 介入手术辅助治疗操作流程（DSA 血管造影）

医院拟开展的介入手术有：动脉介入治疗、静脉介入治疗、门脉系统介入治疗、心脏介入治疗、冠脉介入治疗、脑和脊髓血管介入治疗。

以脑动脉瘤患者微弹簧圈栓塞治疗为例，DSA 的减影大致程序见下图所示：

续表 9 项目工程分析与源项

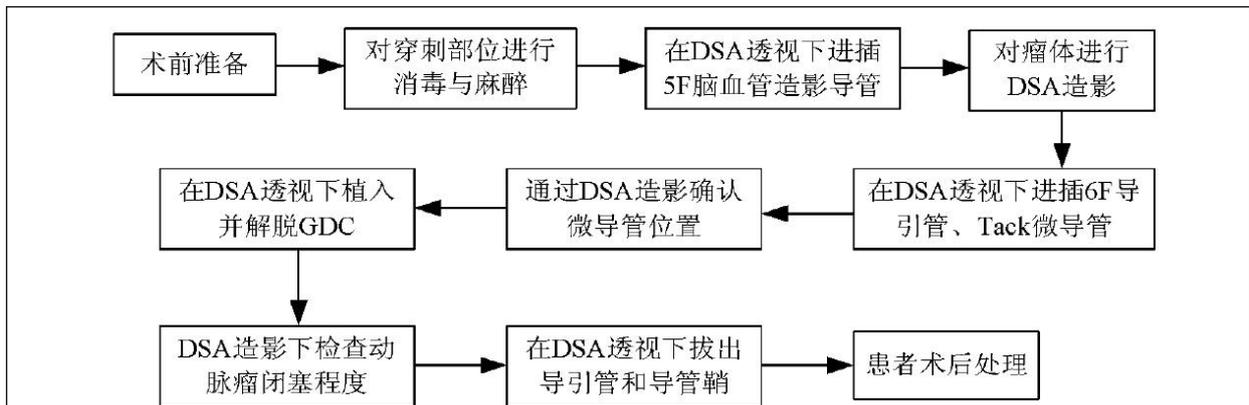


图 9-6 DSA 治疗流程

介入手术时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺动脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于动脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达病变部位，进行介入诊断，留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。在手术过程中，操作人员必须在床旁并在 X 线导视进行。

### 3、工作负荷

根据娄底众一医院提供的资料，本次核技术利用扩建项目 3 台 DSA 投入使用后的工作负荷见表 9-2。

表 9-2 DSA 工作负荷情况

射线装置名称	工作负荷（每台）	平均每人每次有效曝光时间		年最大有效曝光时间
		透视	摄影	
DSA	500 人次/年	透视	30min	250h
		摄影	≤1s	0.14h

根据检查项目，DSA 使用工作高压 30kV~120kV、工作电流 5mA~1000 mA 不等。DSA 工作主要方式体现为透视和摄影，具体表现为：

- (1) DSA 摄影时，瞬时曝光，一般每次曝光时间短于 1s；
- (2) DSA 透视时，平均每台介入手术透视曝光的时间约 30min，其他情况下的透视时间平均为 20s。

### 4、产污分析

(1) 由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，该院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

续表 9 项目工程分析与源项

(2) X 射线与空气作用, 产生少量的臭氧和氮氧化物废气。少量的有害气体直接与大气接触、不累积, 自然逸散, 对环境影响可忽略不计。

(3) 医用 X 射线装置属清洁的物理诊断装置, 在使用过程中自身不产生液态、固态等放射性废物, 不存在放射性三废对环境的污染。

因此, 在开机期间, X 射线是污染环境的主要因子。

#### 9.2.4 III类 X 射线装置

本项目涉及的III类射线装置共 25 台, 其设置情况为: 门诊医技楼一层影像科配备 4 台 CT, 8 台 DR, 1 台数字胃肠机, 1 台乳腺 X 射线机, 1 台移动 X 光机; 门诊医技楼三层体检中心配备 1 台骨密度仪, 1 台移动 X 光机; 门诊医技楼四层口腔科配备 1 台全景牙片机, 手术中心配备 2 台小 C 臂; 门诊医技楼负一层配备 1 台移动 X 光机; 核放中心负一层放疗中心配备 2 台模拟定位机, 核医学科配备 1 台 PET/CT, 1 台 SPECT/CT。

##### 9.2.4.1 CT

###### (1) 工作原理

工作原理: CT 机扫描部分主要由 X 线管和不同数目的控制器组成, 用来收集信息。X 线束对所选择的层面进行扫描, 其强度因和不同密度的组织相互作用而产生相应的吸收和衰减。探测器将收集到 X 线信号转变为电信号, 经模/数转换器 (A/D converter) 转换成数字, 输入计算机储存和处理, 从而得到该层面各单位容积的 CT 值 (CT number), 并排列成数字矩阵 (Digital matrix)。这些数字可储存于硬磁盘 (Hard disk)、软磁盘 (Floppy) 和磁带 (Magnetic tape, MT) 中, 也可用打印机印用。数字矩阵经数/模 (D/A) 转换器在监视器上转为图像, 即为该层的横断图像。图像可用多幅照相机摄于胶片上, 供读片、存档和会诊用。

CT 是用 X 线束对人体的某一部分按一定厚度的层面进行扫描, 当 X 线射向人体组织时, 部分射线被组织吸收, 部分射线穿过人体被检测器接收, 产生信号。因为人体各种组织的疏密程度不同, X 线的穿透能力不同, 所以检测器接收到的射线就有了差异。将所接收的这种有差异的射线信号, 转变为数字信息后由计算机进行处理, 输出到显示的荧光屏上显示出图像, 这种图像被称为横断面图像。CT 的特点是操作简便, 对病人来说无痛苦, 其密度、分辨率高, 可以观察到人体内非常小的病变, 直接显示 X 线平片无法显示的器官和病变, 它在发现病变、确定病变的相对空间位置、大小、数目方面非常敏感而可靠, 具有特殊的价值, 但是在疾病病理性质的诊断上则存在一定的限制。

续表 9 项目工程分析与源项

(2) 系统组成及工作流程

基本组成：包括扫描部分、计算机系统、图像显示与记录系统和中央控制台。

CT 工作流程详见图 9-7。

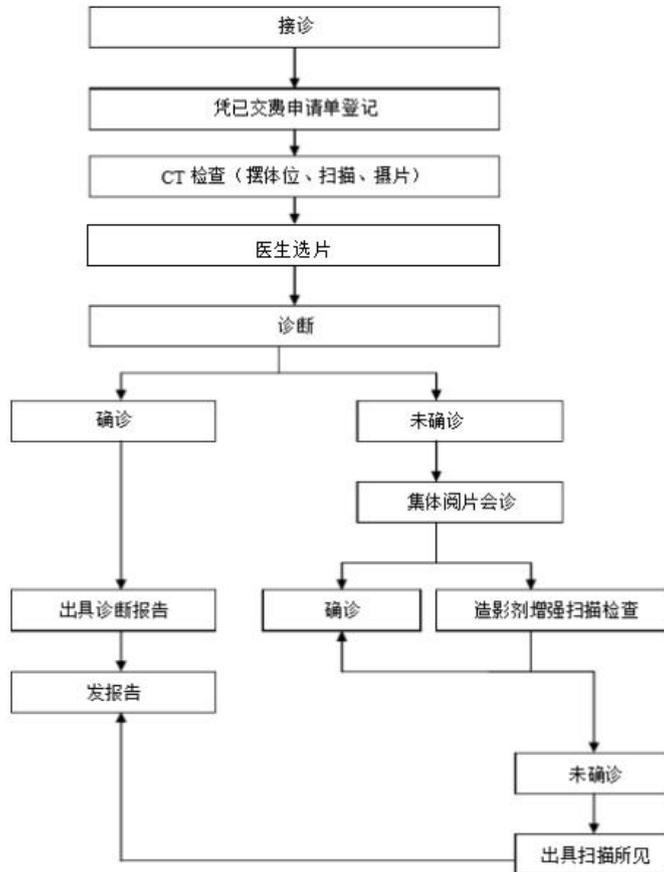


图 9-7 CT 检查工作流程图

(3) 产污分析

由 CT 机的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时将产生轫致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。本项目使用的 CT 机在非工作状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要因子，同时还产生少量的臭氧。

9.2.4.2 DR

(1) 工作原理

工作原理：DR (Digital radiography) 也叫直接数字摄影，早期的 DR 是采用增感屏

**续表 9 项目工程分析与源项**

CD（数字化耦合器）来获取数字化 X 线图像，有一点类似影像增强器加 CCD 的工作方法（被认为是第一代的 DR 技术。应用的 DR 主要是采用平板探测口（FPD）对 X 线产生的图像信号进行扫描和直接读出，X 线信号转变为可见光通过光电二极管组成的薄膜层（TFT）进行聚集，由专门的读出电路系统进行处理。目前平板探测口分为以非晶硅（a:Si+CsI）为代表的间接转换数字摄影（IDR）和以非晶硒（a:Se）为代表的直接转换数字摄影（DDR）两种类型。组成一般包括高压发生口、X 线球管及支架、平板探测口、系统控制口等构成。与常规 X 线点除了具有 CR 的优点外，DR 系统是用平板探测的 X 线接收装置，替代了传统的增感屏及信号的数字化，信号的动态范围，空间的分辨率及密度分辨率高，曝光剂进一步减少，不昂贵。

### **（2）系统组成及工作流程**

系统组成：包括 X 线机、数据采集板（探测器）、采集工作站（控制台）、图像后处理工作站和激光打印机。

工作流程：依据 X 线检查单，核对摄影部位，确定投照条件，患者摆位，然后曝光。

#### **9.2.4.3 数字胃肠机工作原理**

##### **（1）工作原理**

数字胃肠机是把传统胃肠道检查变得方便快捷，在整个检查中，病人的信息可通过数字化存贮、回放、成像，极大提高病变检出率和诊断的准确性。是医院检查肠胃功能的重要设备。是计算机数字图像处理技术与 X 射线放射技术相结合而形成的一种先进的 X 线摄影技术。它在原有的诊断 X 线机直接胶片成像的基础上，通过 A/D 转换和 D/A 转换，进行实时图像数字处理，进而使图像实现了数字化。

数字胃肠机是用来检查胃肠道疾病的 X 线检查设备，主要用于进行咽喉部、食道、十二指肠、空回肠及结肠各种疾病的造影诊断，是检查各种溃疡、肿瘤、异物等疾病的主要检查方法之一，同时数字胃肠机不定期可以进行透视，部分血管性和非血管性介入治疗的操作。

##### **（2）系统组成及工作流程**

系统组成：由电子暗盒、扫描控制器、系统控制器、影像监视器等组成。

工作流程：依据 X 线检查单，核对摄影部位，确定投照条件，患者摆位，造影透视，然后曝光。

#### **9.2.4.4 乳腺 X 射线机工作原理**

续表 9 项目工程分析与源项

### (1) 工作原理

乳腺机摄影系统的工作原理就是利用光导性将 X 线的光能量直接转换成图像。

乳腺钼靶 X 线机，是用金属材料钼做成靶面元素，产生软 X 线的一种医学影像设备。钼靶指的是 X 线管的阳极，是用钼 (Mo) 制造的。钼的原子序数较低，受电子轰击后发出的 X 射线能量较低，特征谱线的波长为 0.6 左右，特别适合对乳腺组织的透照成像，所以对乳腺的一些细微结构和小病灶能在照片上清晰显示。

乳腺钼靶的成像过程：乳腺钼靶机发出的软 X 线通过乳腺后照射到装在暗盒中的特殊 X 光片中感光，形成影像。由于乳腺结构中不同组织成分的密度不同，会在 X 片上形成了不同的影像表现，医生可通过这些具有密度差别的照片对乳腺疾病进行诊断。

### (2) 系统组成及工作流程

系统组成：一般乳腺钼靶机的结构域由电器部分和机械部分组成。

(1) 电气结构包括：高压发生器、高压升压组件、X 光管、电机控制器、遥控器、计算机控制器、面板等。

(2) 机械结构包括：立柱部分（驱动、平衡部分）、C 型臂部分（电动压迫器、组合机头、片盒）

主要操作流程为：确定患者体层摄影的体位，扫描定位，投照摆位，屏气曝光。

#### 9.2.4.5 模拟定位机工作原理

### (1) 工作原理

模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与医用加速器、钴机一样，因此它能准确地模拟加速器、钴机的一切机械运动。并通过模拟定位机的 X 线影像系统准确确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。因为加速器的 X 线、电子线的 X 线能量很高，对组织密度和人体组织原子序数的分辨率很低，因此不能对人体骨、肺、肌肉等不同解剖部位起到透视作用，普通 X 线机又不具备加速器的机械功能和几何参数，所以加速器和普通 X 线机都不能代替模拟定位机。

模拟定位机在整个放射治疗计划设计过程中有着重要作用：

#### 1) 靶区及重要器官的定位

续表 9 项目工程分析与源项

- 2) 确定靶区（或危及器官）的运动范围
- 3) 治疗方案的确认
- 4) 勾画射野和定位、摆位参考标记
- 5) 拍射野定位片和证实片
- 6) 检查射野挡块的形状及位置

### (2) 工作流程

模拟定位机的操作依据 X 线检查单，核对摄影部位，确定投照条件，患者摆位屏气，曝光。一般患者静止躺在床上，由回转臂、上臂、下臂和治疗床中的各种运动来实现探测患区，使肿瘤中心在影视屏中心座标“十”字线的位置。调节准直器中铅门的大小，并通过旋转准直器，以便更好地定出肿瘤范围。使病患者部位在 X 射线照射下，通过影像增强器、分光器和摄像头到达图像监视屏，将病灶的大小、深度和具体位置清晰地显示在图像显示屏上，从而实现定位的目的。

#### 9.2.4.6 PET/CT 工作原理

##### (1) 工作原理

PET/CT 是正电子发射计算机断层仪的简称，是一种功能、分子影像高科技设备。利用回旋加速器生产的正电子发射体 ( $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ ) 标记葡萄糖、氨基酸、胆碱、核苷衍生物及受体的配体等，标记物通过注射，口服等方式进入体内后，可以从细胞和分子水平上观察到人体生理、生化和病理的改变，利用 PET 来探测这种放射性核素发射的  $\gamma$  射线在体内的分布状态并显像获得三维全身图像，用以诊断疾病。CT 是用 X 线束对人体的某一部分按一定厚度的层面进行扫描，当 X 线射向人体组织时，部分射线被组织吸收，部分射线穿过人体被检测器接收，产生信号。PET/CT 是将 PET（功能代谢）和 CT（解剖结构显像）两种最先进的影像技术有机结合在一起，提高诊断疾病的准确率。

##### (2) 系统组成及工作流程

系统组成：PET/CT 是 PET 和 CT 的组合体，将 PET 和 CT 设计为一体，由一个工作站控制。有专门探测核射线（ $\gamma$  射线）的探头、固定探头并能向各方位转动的支架、装有系统程序的中心控制台。PET 由探头、数据处理系统、图像显示及检查床组成。

PET/CT 工作流程详见图 9-8。

续表 9 项目工程分析与源项

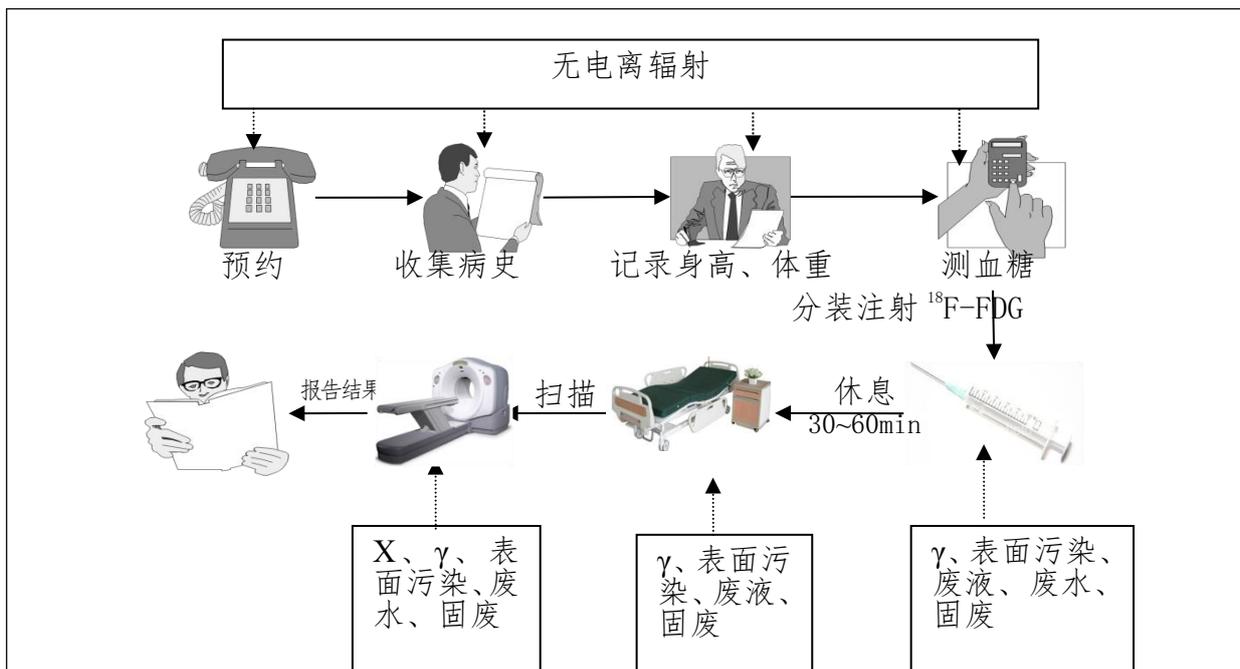


图 9-8 PET/CT 工作流程图

### (3) PET/CT 校正

本项目 PET/CT 使用 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  密封源作为校正源，属于 V 类放射源。 $^{68}\text{Ge}$  线源储存和使用均在核放中心负一层核医学科 PET/CT 机房内。 $^{68}\text{Ge}$  线源储存在 PET/CT 设备自屏蔽系统里，工作人员于控制室内通过控制台操作，在校准时线源自动进入到 PET/CT 设备里采集数据，校准完成自动归位。

$^{68}\text{Ge}$  模体源储存于核医学科储源室内，在核医学科 PET/CT 机房内使用。仅在校准时取出放置在需要校准的设备上采集数据。放射源使用流程如下：

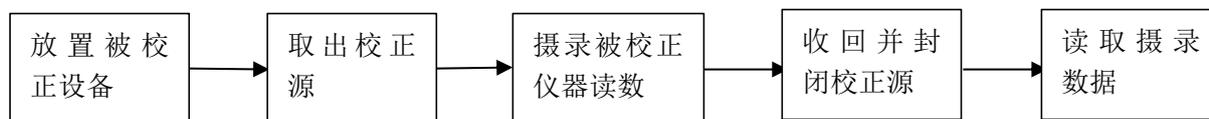


图 9-9 PET/CT 校准流程图

#### 9.2.4.7 SPECT/CT 工作原理

##### (1) 工作原理

SPECT 是单光子发射计算机断层 (Single Photon Emission Computed Tomography) 的简称。SPECT 利用放射性同位素作为示踪剂，将这种示踪剂注入人体内，使该示踪剂浓聚在被测脏器上，从而使该脏器成为  $\gamma$  射线源，在体外用绕人体旋转的探测器记录脏

续表 9 项目工程分析与源项

器组织中放射性的分布，探测器旋转一个角度可得到一组数据，旋转一周可得到若干组数据，根据这些数据可以建立一系列断层平面图像。计算机则以横截面的方式重建成像。

SPECT/CT 是指高端 SPECT 和多排螺旋 CT 结合成一体化的设备，即单光子发射计算机断层/X 线计算机断层扫描仪，不仅提供 SPECT 功能信息，而且提供诊断 CT 的解剖信息，能够将功能代谢和解剖结构结合显示成像。

SPECT 本身不发射任何辐射，常用  $^{99m}\text{Tc}$  为标记药物，利用 SPECT 来探测这种放射性核素发射的  $\gamma$  射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，还可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。叠加 CT 扫描的出的解剖结构图像，较早诊断骨骼、心脏和肿瘤等多种临床疾病优势明显。

### (2) 系统组成及工作流程

SPECT/CT 由探测器(探头)、CT 部分、患者检查床和图像采集处理工作站四部分组成。

医院拟从外购买  $^{99m}\text{Tc}$  标记液配药直接供病人静脉注射  $^{99m}\text{Tc}$  标记药物的病人在 SPECT/CT 下做显像诊断流程图见图 9-10。

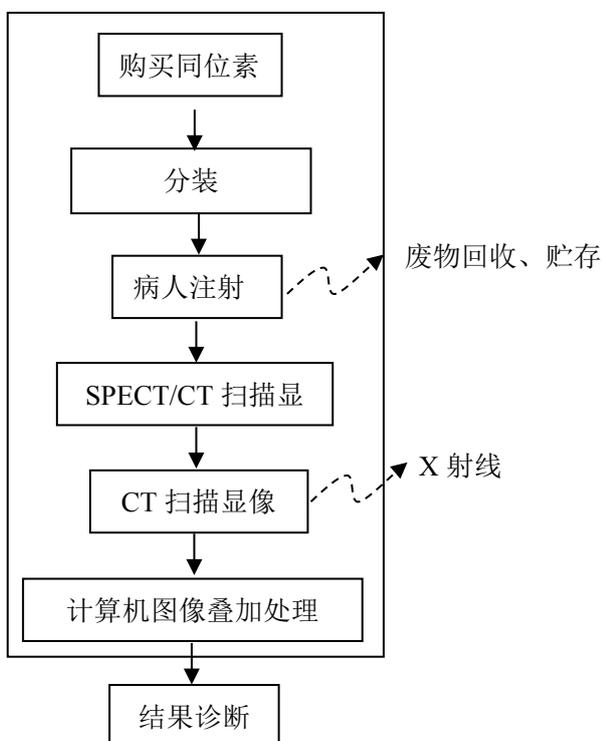


图 9-10 应用  $^{99m}\text{Tc}$  标记药物在 SPECT/CT 下显像诊断流程图

续表 9 项目工程分析与源项

9.2.4.8 其他 X 射线装置工作原理

(1) 工作原理

X 射线机主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，装在聚焦环中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦环使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

(2) 系统组成及工作流程

依据 X 线检查单，核对摄影部位，确定投照条件，患者摆位，然后曝光。

9.2.4.9 III类 X 射线装置产污分析

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。所以，医院使用的 X 射线装置在非诊疗状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线，并产生少量的臭氧。其诊断过程及其产污环节见图 9-11：

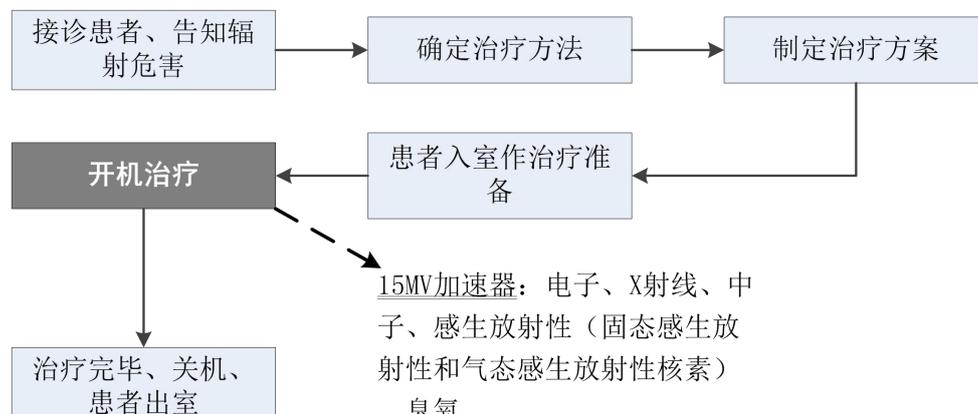


图9-11 诊断过程及产污环节简图

9.2.4.10 工作负荷

医院拟配置III类射线装置工作负荷见表 9-3。

表 9-3 医院III类射线装置工作负荷情况

序号	设备名称	工作负荷 (人次/年)	平均曝光时间 (s)	年最大曝光时间(h)	备注
1	CT	24000	20	133.3	1台设备总负荷
2	DR	25000	0.1-0.5	3.47	1台设备总负荷
3	数字胃肠机	2000	≤2	1.11	/

续表 9 项目工程分析与源项

4	乳腺 X 射线机	3000	$\leq 2$	1.67	/
5	骨密度仪	3000	$\leq 5$	4.2	/
6	全景牙片机	6000	$\leq 1$	1.67	/
7	移动 X 光机	4000	0.1-0.5	0.56	/
8	小 C 臂机	2000	$\leq 5$	2.78	/
9	模拟定位机	3000	20	16.7	1 台设备总负荷
10	PET/CT	4000	$\leq 1$	1.11	/
11	SPECT/CT	2000	$\leq 3$	1.67	/

### 9.3 核医学科放射性同位素应用工作原理及产污环节分析

#### 9.3.1 拟使用的放射性同位素特性

娄底众一医院核医学科拟使用的放射性核素为  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  和  $^{131}\text{I}$ ，其放射性同位素特性参数见表 9-4，用药病人经过预约后， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  和  $^{131}\text{I}$  三种核素根据情况外购获得， $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  由医院自行制备。放射性同位素使用情况及工作负荷见表 9-5。

表 9-4 医院使用放射性同位素特性参数

核素	衰变类型	辐射能量 (keV)	毒性分组	半衰期	$\Gamma$ 常数 (Gy.m <sup>2</sup> /Bq.h)	操作方式	用途	来源
$^{18}\text{F}$	$\beta^+$	511	低毒组	110min	$1.37 \times 10^{-14}$	很简单操作	用于 PET/CT 显像诊断	制备
$^{11}\text{C}$	$\beta^+$	511	低毒组	20.4min	$1.40 \times 10^{-13}$	很简单操作		
$^{13}\text{N}$	$\beta^+$	511	低毒组	10min	/	很简单操作		
$^{15}\text{O}$	$\beta^+$	511	低毒组	2.1min	/	很简单操作		
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\gamma$	141	低毒组	6.02h	$3.84 \times 10^{-14}$	很简单操作	一般器官显像	外购钼铈发生器洗脱得到
$^{89}\text{Sr}$	$\beta^-$	1490	中毒组	50.5d	$1.14 \times 10^{-17}$	简单操作	骨转移瘤治疗	外购
$^{131}\text{I}$	$\gamma$	364	中毒组	8.04d	$5.21 \times 10^{-14}$	简单操作	甲亢、甲癌诊断、治疗	
	$\beta^-$	610			/			

注： $\epsilon$ 表示轨道电子俘获。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9-5 使用放射性显像药物诊断工作负荷表

核素名称	每例病人最大用量		每天平均注射诊断病人(人次/天)	每天最大注射诊断病人(人次/天)	年注射诊断病人(人次/年)	
	(Bq)	(mCi)				
$^{18}\text{F}$	$3.7 \times 10^8$	10	16	20	4000	
$^{11}\text{C}$	$7.4 \times 10^8$	20	1	1	200	
$^{13}\text{N}$	$7.4 \times 10^8$	20	1	1	200	
$^{15}\text{O}$	$1.11 \times 10^9$	30	1	1	100	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.4 \times 10^8$	20	24	30	6000	
$^{89}\text{Sr}$	$1.48 \times 10^8$	4	1	1	100	
$^{131}\text{I}$	甲亢	$5.55 \times 10^8$	15	1	5	250
	甲癌	$5.55 \times 10^9$	150	3	4	150

### 9.3.2 应用正电子放射性示踪剂在 PET/CT 下做扫描显像

医院 PET/CT 机房拟使用的放射性同位素为  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 。 $^{18}\text{F}$ FDG 医院按照需求进行制备，主要用于用于 PET/CT 显像诊断。

#### 1、放射性同位素工作原理

##### ① $^{18}\text{F}$

$^{18}\text{F}$  属于低毒组核素，半衰期 110min，衰变方式 $\beta^+$ ，经湮没后发射出能量为 0.511MeV 的 $\gamma$ 射线。

$^{18}\text{F}$  是一种较小的原子：把它添加到一个分子上时，不会使分子变形到以至于人体完全不能够辨认的程度（这是作为显像剂的必要条件）。 $^{18}\text{F}$  的半衰期为 110min。这个半衰期足以完成一个复杂的化学过程（标记），进行显像剂的制备。其辐照强度不高（通过浓度和注射量控制）既可以穿透一定的距离进行成像。同时也能保证患者接受较低量的射线辐照。

$^{18}\text{F}$ FDG 是一种容易被人体吸收的葡萄糖衍生物，但是不会像葡萄糖一样被代谢掉或排泄掉，会积累在高度利用葡萄糖的组织里（例如，癌组织里）。 $^{18}\text{F}$ FDG 是去氧后接上了一个  $^{18}\text{F}$  原子的同样的葡萄糖分子。 $^{18}\text{F}$ FDG 是一种正电子发射剂，医生可以通过 PET/CT 观察  $^{18}\text{F}$ FDG 积累的位置（例如，在癌组织中）。

##### ② $^{11}\text{C}$

$^{11}\text{C}$  是碳的短寿命同位素，属于低毒组核素，半衰期 20.4min，衰变方式 $\beta^+$ ，经湮没

续表 9 项目工程分析与源项

后发射出能量为 0.511MeV 的 $\gamma$ 射线。

用回旋加速器提供的质子能量轰击氮气靶，通过  $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$  反应，产生  $^{11}\text{CO}_2$ 、 $^{11}\text{CO}$ ，经传输管道送到药物标记合成系统，快速合成为  $^{11}\text{C}$  标记的 BC 注射液，用于 PET/CT 显像。

### ③ $^{13}\text{N}$

$^{13}\text{N}$  是属于低毒组核素，半衰期 10min，衰变方式 $\beta^+$ ，经湮没后发射出能量为 0.511MeV 的 $\gamma$ 射线。

用回旋加速器轰击 5mmol 乙醇+水的靶材料为，通过  $^{14}\text{O}(\text{p}, \alpha)^{13}\text{N}$  反应，产生  $^{13}\text{N}$  放射性药物，用于 PET/CT 显像。 $^{13}\text{N}$  主要用于心肌血流灌注显像，能定量测定心肌血流量。

### ④ $^{15}\text{O}$

$^{15}\text{O}$  是属于低毒组核素，半衰期 2.1min，衰变方式 $\beta^+$ ，经湮没后发射出能量为 0.511MeV 的 $\gamma$ 射线。

引出到加速器外部的入射加速带电粒子束与其路径上的靶核碰撞，入射粒子被靶核吸收，激活的靶核发生核反应发射出中子、质子或 $\alpha$  粒子，同时经  $^{15}\text{N}(\text{p}, \text{n})^{15}\text{O}$  可产生具有一定阈能的正电子放射性核素  $^{15}\text{O}$ 。 $^{15}\text{O}$  主要用于脑肿瘤和心肌血流灌注显像。

## 2、标记药物生产流程及原理简述

正电子药物从生产到使用经过多个环节：

①由回旋加速器生产放射性核素；②经过专用管道将放射性核素传送到热室房间化学合成器内；在化学合成器内将放射性核素标记到特定的化合物上，形成放射性药物；将放射性药物传送到热室房间分装设备；在热室房间内，将放射性药物分装成临床需要的活度量；③将分装好的药物由专用通道传送到一层护士准备室内，给病人注射；④病人注射药物后，应用显像药物在 PET/CT 下做扫描显像。

具体见图 9-12。

续表 9 项目工程分析与源项

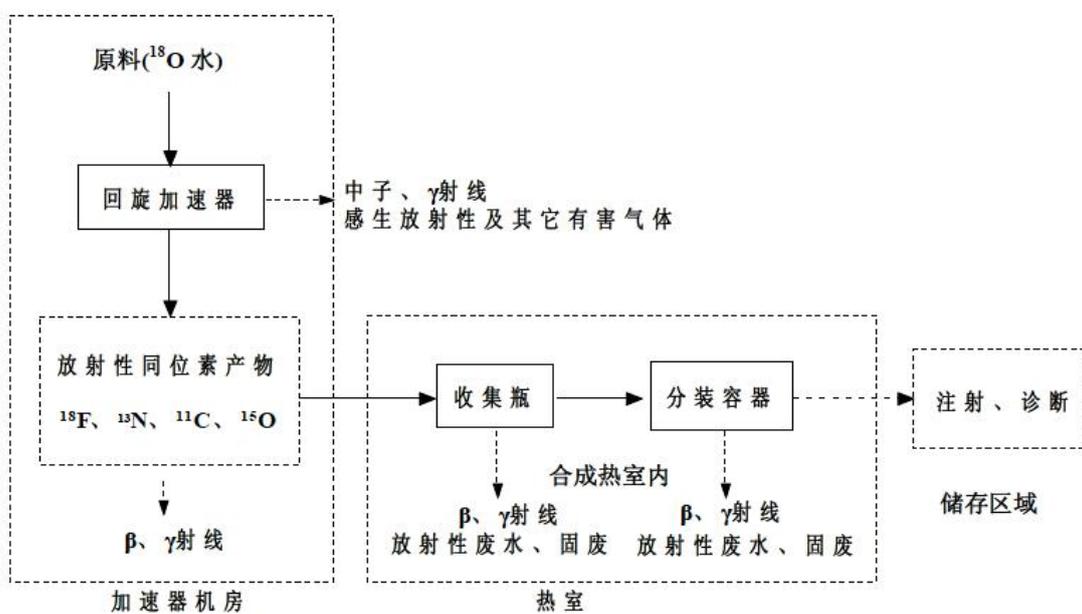


图 9-12 放射性同位素制备流程及产污节点图

### ①回旋加速器生产正电子核素

回旋加速器是将带电粒子加速到高能量的装置，当质子在回旋加速器电磁场作用下，在 D 形盒中不断加速达到一定能量时引出并轰击靶材料，使其撞击  $^{18}\text{O}$  发生反应  $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$  而产生  $^{18}\text{F}$ 。回旋加速器主要包括离子源、磁铁系统、真空系统、射频系统、引出系统、靶系统 6 部分，其结构如图 9-13 所示。

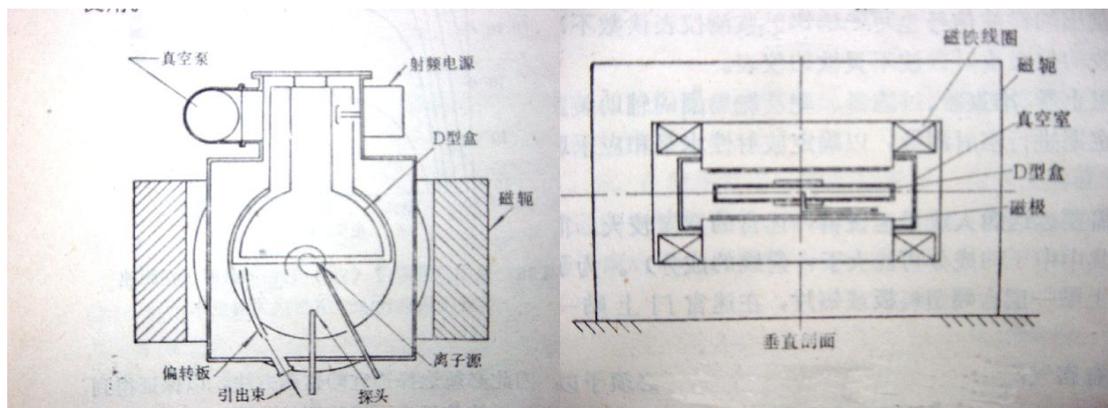


图 9-13 回旋加速器结构图

回旋加速器自带屏蔽系统，自屏蔽体由内、外两层组成，内层为铅、环氧树脂和碳化硼混合的高密度铸件，这层屏蔽降低中子超过 1~2Mev 的能量，吸收在靶中产生核反应引起的瞬发射线另外也吸收在屏蔽块中由于碰撞而产生的热中子。外层屏蔽加入了聚乙烯、碳和硼化合物的混凝土。医院使用回旋加速器年有效开机时间约 200h。

续表 9 项目工程分析与源项

医院拟使用回旋加速器生产主要核素及参数见表 9-6。

表 9-6 加速器生产主要核素及参数

序号	靶材料	靶体积 (mL)	核反应	产物	照射时间 (min)	产额 (GBq)
1	富集 H <sub>2</sub> <sup>18</sup> O	0.4	<sup>18</sup> O (p, n) <sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	60	37
2	<sup>14</sup> N <sub>2</sub> +2.5%O <sub>2</sub>	5	<sup>14</sup> N (p, α) <sup>11</sup> C	<sup>11</sup> C	10-20	37
3	5mmol 乙醇+水	3	<sup>14</sup> O (p, α) <sup>13</sup> N	<sup>13</sup> N	10	20
4	富集 <sup>15</sup> N <sub>2</sub>	5	<sup>15</sup> N (p, n) <sup>15</sup> O	<sup>15</sup> O	5	20

注：摘自《中国辐射卫生》1999 年第 8 卷第 1 期，《正电子发射扫描仪和回旋加速器建设中的防护评价》

### ②合成、分装

加速器生产结束后，其气态或者液态产品都是从主屏蔽内部用气体推送方式，通过的传输管道再穿过套在地沟中铅块覆盖的管道内传送到合成热室的化学合成器内。

合成器是放置在带有铅屏蔽的合成热室中，合成热室为一定厚度的铅箱。工作人员通过控制合成热室外面的热室控制室计算机操作系统控制合成器。合成过程中，合成器可以自动记录和反应相关数据，经过一系列的化学反应、纯化处理后生成的正电子显像药物通过压缩气体传输到无菌真空收集瓶内，然后将盛有放射性药品的收集瓶放进防护分装罐内备用。自动合成过程约需要 40min。

合成的药物经质控合格后，在分装热室内分装成需要的活度量。分装器是放置在带有铅屏蔽的分装热室中，分装热室为 50mm 厚铅罐，铅罐侧面预留一小管道供抽取 <sup>18</sup>F-FDG 用，分装过程约 5min。

### 3、放射性药物注射、PET/CT 显像

工作人员在铅玻璃后从铅罐内吸取药物在注射窗口进行注射，之后进行 PET/CT 显像。从注射室给病人注射显像药物针剂 1min，PET/CT 技术人员辅助病人上机检查 2min。

### 4、工作负荷

预计医院全年注射 <sup>18</sup>F 标记药物进行显像诊断的病人约 4000 人，每例病人需注射  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日注射 <sup>18</sup>F 标记药物病人不超过 20 例，年最大用量约  $1.48 \times 10^{12} \text{Bq}$ ；使用 <sup>11</sup>C 标记药物进行显像诊断的病人约 200 人，每例病人需注射  $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日注射病人不超过 1 例，年最大用量约  $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；使用 <sup>13</sup>N 标记药物进行显像诊断的病人约 200

续表9 项目工程分析与源项

人，每例病人需注射  $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日注射病人不超过 1 例，年最大用量约  $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；使用  $^{15}\text{O}$  标记药物进行显像诊断的病人约 100 人，每例病人需注射  $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日注射病人不超过 1 例，年最大用量约  $1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

## 5、产污分析

### (1) 回旋加速器产污分析

#### ① 中子

中子可通过  $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$  和  $^{15}\text{N}(\text{p}, \text{n})^{15}\text{O}$  等反应而产生，最大能量约  $8.5 \text{MeV}$ ，中子发射率  $3.5 \times 10^{11} \text{n/s}$ （双束流，束流均为  $60 \mu\text{A}$ ，靶厚  $2 \text{mm}$ ， $^{18}\text{O}$  丰度  $85\%$ ）， $90^\circ$  方向中子注量率与  $0^\circ$  方向之比为  $0.1$ 。加速器室屏蔽墙内侧中子能量  $5 \text{MeV}$ ，污染途径为外照射。

#### ② $\gamma$ 射线

$\gamma$ 射线主要有几种来源：a、中子与自屏蔽体、靶物质等部件作用产生次级 $\gamma$ 射线；b、加速器部件、靶周围器件、准直器、自屏蔽体等受中子照射而活化，生成以短半衰期为主的感生放射性；c、c、在加速器打靶时，由  $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$  等反应产生发射正电子的核素  $^{18}\text{F}$  等， $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  的  $\beta^+$  衰变经湮灭后发射出能量为  $0.511 \text{MeV}$  的 $\gamma$ 射线，污染途径为外照射。

#### ③ 放射性废气

当空气受到达到或超过产生 $(\gamma, \text{n})$ 反应阈能量的 $\gamma$ 射线照射时，将产生  $^{18}\text{F}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$  等放射性废气。这些放射性废气污染途径为内照射。

#### ④ 放射性固体废物

加速器日常维护更换下来的内部构件带有感生放射性，工作人员为换靶、调节实验装置或检修加速器时，可能受到辐射危害。本项目产生的感生放射性固体废物主要是加速器维修、保养，产生的零部件（如废靶部件、限束光栏、偏转磁铁、剥离膜、靶膜等活化部件）等，年产生量约  $0.05 \text{t}$ 。

#### ⑤ 有害气体

加速器运行过程中，空气在 $\gamma$ 射线照射下产生少量臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 和微量氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ )。加速器机房室内的空气质量会降低，有害气体通过机房西侧的排气口排入大气，可能会对周围环境空气质量产生不良影响。

### (2) 显像药物合成、分装过程产污分析

续表 9 项目工程分析与源项

显像药物制备、分装合成自动化程度高，主要污染物产生情况如下：

①  $\gamma$ 射线

正电子显像药物在进行标记和分装时， $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  衰变所产生的 $\gamma$ 射线穿透铅防护层后会对周围环境产生外照射影响。

② 放射性废气

当药物中间体在合成容器中进行加热时会有微量  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  随蒸汽一起进入排气管道，经高效过滤器净化后，至核放中心楼顶排放。

③ 放射性废水、废液

显像药物的制备、分装、标记过程中使用的反应容器、制剂瓶等均为一次性使用，无容器清洗操作，显像药物制备过程中无放射性废水、废液产生。质控过程中可能出现不合格的产品，而导致产生微量含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  显像药物的放射性液体。

④ 放射性固体废物

放射性固体废弃物主要放射性药物制备时，更换下来的放射性残留物如硅胶、树脂、碳柱、滤膜等，含放射性的固体废弃物年产生量约 0.15t。另外，拟建项目回旋加速器、合成热室等废气排放采用管式高效净化系统，年产生废活性炭约 0.05t。

(3) 放射性药物注射、诊断过程产污分析

①  $\gamma$ 射线、 $\beta$ 表面污染

显像药物在给病人注射和技术人员辅助病人上机过程中，主要污染因子为 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 表面污染。

② 放射性废水、废液

放射性废水主要来自工作人员操作过程中手部可能受到微量  $^{18}\text{F}$  污染的洗手水；注射药物的病人在医院期间的生活废水。

未用完的  $^{18}\text{F}$  标记液置于一层放射性废物储存铅罐内，经 10 个以上半衰期衰变后由厂家回收。

③ 放射性固体废物

产生的废棉签、注射器及试管、清洁用抹布等，产生量约 300kg/a，在轮流使用的专用污物桶中衰减。

(4) 应用显像药物在 PET/CT 下做扫描显像时产污分析

续表 9 项目工程分析与源项

由于使用 CT 模式扫描将产生 X 射线，因此，注射显像药物的病人在 PET/CT 下做扫描显像的污染因子主要有 X 射线、 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 表面污染。

#### (5) PET/CT 校准时产污分析

本项目 PET/CT 使用 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  密封源作为校正源， $^{68}\text{Ge}$  半衰期为 288 天，衰变时发出 0.511MeV 的  $\gamma$ 射线，1.5-2 年更换一次。本项目使用  $^{68}\text{Ge}$  最大活度为  $1.85 \times 10^7\text{Bq}$ ，依据《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环保总局公告第 62 号，2005 年） $^{68}\text{Ge}$  属于 V 类放射源。放射源置于密封铅容器内，贮源容器对放射源产生的  $\gamma$ 射线有很好的屏蔽作用，容器表面剂量率符合国家标准规定要求。当仪器校准时，贮源容器源间开关被打开， $\gamma$ 射线经透射和散漏射对工作场所及周围环境产生一定的辐射影响。因此，PET/CT 校正时主要污染因子为  $\gamma$ 射线。

### 9.3.3 应用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记药物在 SPECT/CT 下开展显像诊断

医院 SPECT/CT 机房拟使用的放射性同位素为  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，用于 SPECT/CT 显像诊断。

#### (1) 工作原理

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记的溶液以化合物形态存在，处于激发状态的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放出 0.141MeV 的  $\gamma$ 射线后，跃迁为  $^{99}\text{Tc}$ 。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{99}\text{Tc}$  同属低毒组核素。 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4$  可以口服，可以静脉注射。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记的某些化合物或络合物，其化学性质各不相同，可以选择性地分布于不同的组织和器官里。正因为这个原因，治疗前才采用  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的标记物来进行肝、肾、肺、心、血池、脾、淋巴、骨髓、脑池、脊髓、骨骼等器官的显影以及炎症、肿瘤等病理定位。

#### (2) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记药物的获得及操作流程

根据医院提供资料，医院核医学科使用的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  拟从外单位订购。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  半衰期只有 6.02h， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{99}\text{Tc}$  的化学制剂直接从厂家获取比较困难，通常采用钼-锝发生器来获得所需要的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。 $^{99}\text{Mo}$ — $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器将  $^{99}\text{Mo}$  吸附于  $\text{Al}_2\text{O}_3$  柱上， $^{99}\text{Mo}$  半衰期为 2.75d，医院拟购买的发生器规格为 29.6GBq (0.8Ci)，可洗脱出的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的最大量为 0.8Ci。操作流程如下：打开  $^{99}\text{Mo}$ — $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器顶部的铅屏蔽盖，在发生器的一端插上生理盐水瓶作淋洗液，另一端插上真空瓶，由于负压作用，即能淋洗出  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记液，经配药及质量控制后，可直接供病人静脉注射。新购的发生器淋洗一次最长淋洗时间不超过 5min。 $^{99}\text{Mo}$ — $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器外观图见图 9-14 (a)，内部结构见图 9-14 (b)。

续表 9 项目工程分析与源项

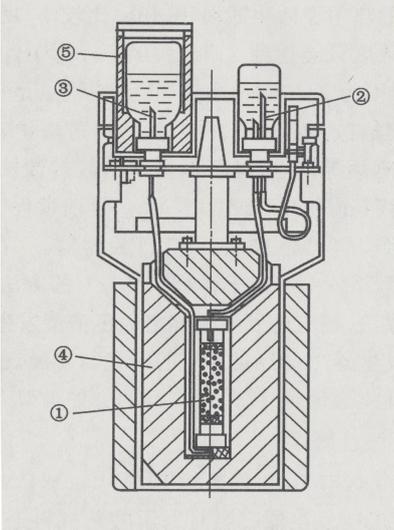
	 <ol style="list-style-type: none"> <li>1. (吸附 <math>^{99}\text{Mo}</math> 的) 色谱柱</li> <li>2. 双针插座 (插盐水瓶)</li> <li>3. 单针插座 (插真空瓶);</li> <li>4. 铅屏蔽体; 5. 铅防护容器</li> </ol>
---	--

图 9-14 (a)  $^{99}\text{Mo}$ — $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器实物图 图 9-14 (b)  $^{99}\text{Mo}$ — $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器内部结构图

根据医院提供资料, 医院拟通过和病人沟通预约治疗时间, 确认病人数量后进行药物购买, 钼-锝发生器一般于星期日购买, 使用一星期后其活度即不可再用, 星期五废旧的钼-锝发生器交厂家回收, 一星期更换一次。经质控合格的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  溶液在通风橱下进行分装, 分装针剂需要 5min, 给病人注射  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  针剂 1 min, 扫描技术人员辅助病人上机需检查 2min。

### (3) 工作负荷

预计医院全年注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记药物进行显像诊断的病人约 6000 人, 每例病人需注射  $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ , 日注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记药物病人不超过 30 例, 年最大用量约  $4.44 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。

### (4) 产污分析

$^{99}\text{Mo}$  的衰变方式是  $\beta^-$ , 衰变时除发射  $\beta$  射线外还发射  $\gamma$  射线,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的主要衰变方式是同质异能跃迁, 发射  $\gamma$  射线, 由于  $^{99}\text{Tc}$  的半衰期长达  $2.13 \times 10^5$  年, 远远大于  $^{99}\text{Mo}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的半衰期,  $^{99}\text{Tc}$  在洗脱液中放射性贡献极小, 如  $1 \text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$  99% 退激成  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{99}\text{Tc}$  的活度仅为  $3 \times 10^{-9} \text{mCi}$ , 因此  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记药物作 SPECT 扫描时  $^{99}\text{Tc}$  的放射性可以忽略不计。

由此可见,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记药物作 SPECT 诊断对工作环境造成的影响主要是  $^{99}\text{Mo}$ — $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器本身、洗脱出来的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记溶液和注射标记液后的病人对工作人员的  $\gamma$  外照射、

续表 9 项目工程分析与源项

$^{99m}\text{Tc}$  洗脱液操作过程中对工作台面及地面等造成表面污染。由于 CT 模式扫描产生 X 射线，因此，SPECT/CT 的污染因子主要有 X 射线、 $\gamma$  射线、 $\beta^+$  表面污染。

#### 9.3.4 应用 $^{89}\text{Sr}$ 治疗骨转移瘤

##### (1) 工作原理

$^{89}\text{Sr}$  属中毒组核素，半衰期 50.5 天，发射单纯的  $\beta$  射线，最大能量 1.49MeV，反应堆生产。静脉注射后用于治疗多发转移性骨肿瘤患者的骨性疼痛。

##### (2) $^{89}\text{Sr}$ 药物来源

根据医院提供资料，医院核医学科使用的  $^{89}\text{Sr}$  拟从外单位订购。

##### (3) 治疗流程

$^{89}\text{Sr}$  针剂分装、注射属于简单的湿法操作，患者注射放射性药物后，如无特殊情况，即由病人专门出口处离开医院回家。

##### (4) 工作负荷

预计医院全年注射  $^{89}\text{Sr}$  药物治疗骨转移瘤病人约 100 人，每例病人需注射  $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日注射治疗病人不超过 1 例，年最大用量约  $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

##### (5) 产污分析

由操作流程可知，放射性同位素在衰变过程中，伴有  $\beta$  或  $\gamma$  射线， $\beta$  射线在组织中的射程较短，病人的身体完全能够阻挡  $\beta$  射线。因此，在评价时可以不考虑  $\beta$  射线的影响。

#### 9.3.5 应用 $^{131}\text{I}$ 治疗甲状腺癌、甲亢

##### (1) 工作原理

医院拟使用的碘 [ $^{131}\text{I}$ ] 化钠口服液（简称  $^{131}\text{I}$ ），用于甲状腺癌（甲癌）转移灶及少量甲状腺机能亢进（甲亢）的治疗。

碘是合成甲状腺素的原料，甲状腺具有特异性浓集碘的功能， $^{131}\text{I}$  是碘的同位素，具有和碘一样的特性，能够被甲状腺摄取后停留在甲状腺内。不同的是  $^{131}\text{I}$  是一种放射性核素，能放射出  $\gamma$  射线。 $^{131}\text{I}$  属中毒组核素，在甲状腺内有效半衰期约为 3.5~4.5d，有较长的停留时间； $^{131}\text{I}$  衰变时发射的  $\beta$  射线射程平均约 1mm，几乎全部为甲状腺组织吸收； $\gamma$  射线通过它的辐射生物效应，可以破坏一部分甲状腺组织，对局部甲状腺组织产生杀死作用，从而减少甲状腺细胞数量，使甲状腺缩小、甲状腺激素的合成减少而达到治疗的目的。同时， $\gamma$  射线可用于甲状腺、肝、肺等脏器扫描以及肾、甲状腺等脏器功

续表 9 项目工程分析与源项

能测定。同位素  $^{131}\text{I}$  是利用无形的射线破坏一部分甲状腺组织，对甲亢的治疗所达到的目的其实是一样的，因此，同位素  $^{131}\text{I}$  进行甲亢的治疗被称为是不开刀的“手术”。

$^{131}\text{I}$  系  $\text{Na}^{131}\text{I}$  液态放射源， $^{131}\text{I}$  半衰期为 8.02 天，发射  $\beta$ -射线和  $\gamma$  射线， $\beta$ -射线为连续能谱，最大能量为 0.606MeV（分支比为 89.7%）， $\gamma$  射线的能量主要为 0.364MeV（分支比为 81.8%），液体  $\text{Na}^{131}\text{I}$  在生产过程中存在少量游离  $^{131}\text{I}$ ，易挥发。 $^{131}\text{I}$  属中毒放射性核素，其放射性毒性组别修正因子为 0.1。

### (2) 治疗流程

医生将装有  $^{131}\text{I}$  药物的铅罐从储源间运至分装室在通风橱下分装，全部为自动分装。医生经服药窗口辅助服碘室甲亢病人及甲癌病人服药。核医学科医生分装稀释该天  $^{131}\text{I}$  药物约需 2min，医生将装有  $^{131}\text{I}$  药物铅箱提至分装室需要 1min，病人在服药室窗口取药自行服用。

甲癌病人服用  $^{131}\text{I}$  药物后，在负一层甲癌病人防护病房内住院，住院时间约 5~7 天，病人在其体内的放射性活度将至低于 400MBq 方可出院。由负一层病人专用通道离开医院。医院核放中心负一层核医学科设置有 5 个防护病房，病房内均设置有专用厕所，病人住院期间有专门护士管理。

甲亢患者服用  $^{131}\text{I}$  剂量甚小，服药后在甲亢休息室休息一定时间观察后离开医院。治疗流程见图 9-15。

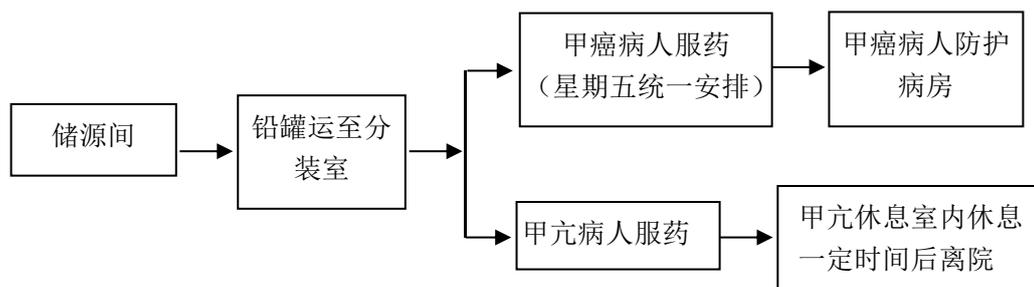


图 9-15 甲癌、甲亢病人治疗流程图

### (3) 工作负荷

根据医院提供资料，医院治疗患者以甲亢病人为主，少量甲癌病人。

甲亢病人每人单次剂量不超过  $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日最多治疗 5 人次，年治疗 250 人次。

甲癌病人一般仅第一次服药量较大，首次服药量为  $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ （视病人具体情况来看，不超过  $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ ），之后逐渐减少。甲癌病人日治疗最多 4 人次，年治疗 150

续表 9 项目工程分析与源项

人次。核医学科  $^{131}\text{I}$  用量每日不超过  $2.50 \times 10^{10}\text{Bq}$ 。

#### (4) 产污分析

由操作流程可知，放射性同位素在衰变过程中，伴有 $\beta$ 或 $\gamma$ 射线， $\beta$ 射线在组织中的射程较短，病人的身体完全能够阻挡 $\beta$ 射线。因此，在评价时可以不考虑 $\beta$ 射线的影响， $^{131}\text{I}$  治疗贯穿辐射的污染因子是 $\gamma$ 射线。

#### 9.3.6 核医学科污染物情况

核医学科作为一个非密封源工作场所，可能引起环境污染的因素有三个：辐射对环境的污染，工作场所的放射性污染，三废对环境的污染。

医生在对放射性同位素制剂的操作中，不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成 $\beta$ 放射性表面污染。当沾有放射性污染的各种器械、地面、台面和工作人员手清洗时，或病人的排泄物中都会使水中带有各种放射性同位素，造成对水环境的污染。离子型的  $^{131}\text{I}$  放射性药物易氧化析出  $^{131}\text{I}$ （单质碘）。医生在实验或给病人注射、口服药物时，都会产生固体废弃物（如试管、注射器、手套等），这些废弃物中都会有残余放射性同位素，造成对固体废弃物的污染。

##### (1) 放射性废气

核医学使用的离子型的  $^{131}\text{I}$  放射性药物，在空气中易氧化析出  $^{131}\text{I}$ （单质碘），单质碘在常温下易挥发，加热情况下挥发更快，甚至升华，产生放射性气溶胶。但是鉴于  $^{131}\text{I}$  药品是离子形水溶液，药到后放置时间不会太长，碘离子受氧化析出单质碘的可能性小；且药品是成品，不需要再加工（加热一类方法），稀释即可使用，所以能够产生放射性气溶胶的可能性极小。

$^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  在分装器中进行分装时，会产生含有微量  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  的放射性废气。

本项目放射性药物  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{I}$  采用自动分装，分装过程在通风橱中完成；针剂由医生经注射窗口给病人注射；活度检测合格的放射性药液置于一次性杯子中，贴注标签，由传递窗递给患者服用。因此，分装、取药过程中可能存在洒出污染危险，使用过程中有少量放射性气体污染空气。

##### (2) 放射性废液

核医学科治疗中产生的各类放射性核素溶液的清洗液等废液；注射病人的排泄物、呕吐物、甲癌住院病人住院期间的生活用水等；开放性放射性工作场所在使用和操作放

续表 9 项目工程分析与源项

射源的过程中由于洗涤工具以及工具用品、清洗地面时，产生一定量的放射性废水。

未用完的放射性标记液置于一层放射性废物储存铅罐内，经 10 个以上半衰期衰变后由厂家回收。

根据医院规划情况，核医学科计划编制医护人员 15 人，每天值班约 8 人，工作人员用水 15L/人·d，医院门诊病人设置有专用的卫生间，每个病人停留 3 小时，排泄 1 次，6L/次。医院住院病人每天约 3 人/d，（按药物使用平均负荷计算），病人设置有专用的卫生间，每个病人每天排泄冲洗、生活洗漱等用水 150L/人/d。核医学科放射性废水均由一套单独的管网排至位于核医学科的衰变池。核医学科放射性用水、排水情况见表 9-7。

表 9-7 放射性废水排放情况表

用水类别		用水定额	用水规模	用水量 (L/d)	排水量 (L/d)	去向
核医学科	医护人员	15L/人·班	8 人	120	96	进入衰变池衰变至活度总β放射性<10Bq/L后，衰变后排入医院的污水处理站，而后再排入城市污水管网。
	门诊病人	6L/人·d	46 人	276	220.8	
	住院病人	150L/人·d	3 人	450	360	
	地面清洗	2L/50m <sup>2</sup>	800m <sup>2</sup>	32	25.6	
	未预见水量按以上水量的 10%计			87.8	70.2	
总计				0.97m <sup>3</sup> /d	0.77m <sup>3</sup> /d	

注：①清洁用水计控制区面积的清洁用水；排水量按用水量的 80%计。

由上述计算可知，本项目核医学科废水产生量为 0.77m<sup>3</sup>/d。

### (3) 放射性固废

放射性固体废弃物主要放射性药物制备时，更换下来的放射性残留物如硅胶、树脂、碳柱、滤膜等，含放射性的固体废弃物年产生量约 0.15t；核医学科产生的废棉签、注射器及试管、清洁用抹布等，产生量约 300kg/a，在轮流使用的专用污物桶中衰减至 10 个半衰期之后按先进先出的顺序清理。另医院核医学科高活性室及分装室废气处理系统采用活性炭吸附，活性炭 3~6 个月更换一次，产生废活性炭约 0.05t/a。污物桶置放于放射性废物储存室中，每季度清理一次。

洗脱出未用完的残留 <sup>99m</sup>Tc 标记液、制备未用完的 <sup>18</sup>F 等标记液和购置未用完的含 <sup>131</sup>I、<sup>89</sup>Sr 核素溶液。这些瓶装高放射性废液置于放射性废物暂存室内，经 10 个以上半

**续表 9 项目工程分析与源项**

衰期衰变后作为一般医疗固废处理。

加速器维修时废靶部件、限束光栏、偏转磁铁等活化部件年产生量约为 0.05t，活化部件即时交娄底市放射性废物库收贮，严禁私自变卖处理。

PET/CT 使用 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  校正源，1.5-2 年更换一次。报废的  $^{68}\text{Ge}$  源由供货单位回收或送交有资质单位进行处置。

**(4) 非正常工况**

- (1) 操作人员违反操作规定或误操作，导致试剂泼撒、泄漏等；
- (2) 操作台面或仪器设备收到放射性玷污；
- (3) 停电或者抽风设备损坏，导致空气中挥发的微量放射性同位素聚集，工作人员吸入后，造成内照射；

**(5) 电离辐射**

使用回旋加速器制备正电子  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  会产生  $\gamma$  射线及中子的外照射，核医学科使用非密封放射性物质  $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  治疗对工作人员及病人将产生  $\gamma$  外照射，洗脱出来的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记溶液和注射标记液对工作人员的  $\gamma$  外照射，使用以上放射性药物治疗过程中将造成  $\beta$  表面污染。

射线装置仅在开机时产生 X 射线，经过机房防护墙体、防护铅门、铅玻璃等辐射防护设施的屏蔽，机房外的空气比释动能率满足评价标准限值要求，不会对周围产生辐射影响。

**9.4 本项目产生污染物情况汇总**

根据以上分析，本项目放疗中心、核医学科、介入治疗及放射诊断项目污染因子见表 9-8。

**表 9-8 项目主要污染因子情况表**

序号	污染源	使用场所		主要污染因子
1	15MV 直线加速器	核放中心 负一层	直线加速器 机房	X 线工作模式：主要是 X 线、中子、 $\gamma$ 线； 电子工作模式：主要是电子线、少量 X 线、中子、感生放射性、有害气体：臭氧和氮氧化物
2	$^{192}\text{Ir}$ 后装机	核放中心 负一层	后装机房	$\gamma$ 射线、臭氧及氮氧化物

续表 9 项目工程分析与源项

3	模拟定位机、SPECT/CT、PET/CT	核放中心负一层	放疗中心	X 射线、 $\gamma$ 射线、臭氧、氮氧化物
4	DSA、CT、DR、数字胃肠机、乳腺 X 射线机、全景牙片机等 X 线机	门诊医技楼负一层、一层、三层、四层	急诊科、影像科、口腔科、介入中心、体检中心、手术中心	X 射线、臭氧、氮氧化物
5	回旋加速器	核放中心负一层	回旋加速器机房	质子、中子、 $\gamma$ 射线、加速器结构材料的感生放射性、臭氧及氮氧化物、废活性炭等放射性固废
6	核医学科	核放中心负一层	核医学科	X 射线、 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 表面污染；放射性废气、废液和固体废物

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目辐射安全防护设施

根据现场踏勘实际情况，娄底众一医院新建工程项目主体工程尚未施工建设，本项目放疗中心、核医学科、射线装置机房辐射防护设计情况如表 10-1 所示：

表 10-1 本项目射线装置机房屏蔽参数

机房(m)	DSA 机房（一）	DSA 机房（二）	DSA 机房（三）	
位置	门诊医技楼四层介入中心			
长×宽×高	8.5×8.3×4.3	8.5×8.2×4.3	8.5×8.3×4.3	
净面积	70.55m <sup>2</sup>	69.70m <sup>2</sup>	70.55m <sup>2</sup>	
四面墙体	240mm 砖+30mmBaSO <sub>4</sub> ;			
顶棚	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
地面	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
防护门	4mmPb	4mmPb	4mmPb	
防护窗	4mmPb	4mmPb	4mmPb	
机房(m)	CT 机房（一）	CT 机房（二）	CT 机房（三）	CT 机房（四）
位置	门诊医技楼一层影像科			
长×宽×高	7.0×5.6×5.3	7.0×5.6×5.3	7.0×5.6×5.3	7.0×5.6×5.3
净面积	39.2m <sup>2</sup>	39.2m <sup>2</sup>	39.2m <sup>2</sup>	39.2m <sup>2</sup>
四面墙体	380mm 砖			
顶棚	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
地面	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
防护门	4mmPb	4mmPb	4mmPb	4mmPb
防护窗	4mmPb	4mmPb	4mmPb	4mmPb

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-1 本项目射线装置机房屏蔽参数				
机房(m)	DR 机房 (一)	DR 机房 (二)	DR 机房 (三)	DR 机房 (四)
位置	门诊医技楼一层影像科			
长×宽×高	5.12×4.92×5.3	5.12×5.76×5.3	5.12×5.76×5.3	5.12×4.92×5.3
净面积	25.19m <sup>2</sup>	29.49m <sup>2</sup>	29.49m <sup>2</sup>	25.19m <sup>2</sup>
四面墙体	240mm 砖+30mmBaSO <sub>4</sub>			
顶棚	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
地面	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
防护门	3mmPb	3mmPb	3mmPb	3mmPb
防护窗	3mmPb	3mmPb	3mmPb	3mmPb
机房(m)	DR 机房 (五)	DR 机房 (六)	DR 机房 (七)	DR 机房 (八)
位置	门诊医技楼一层影像科			
长×宽×高	5.12×5.76×5.3	5.12×5.76×5.3	5.76×4.92×5.3	5.76×4.92×5.3
净面积	29.49m <sup>2</sup>	29.49m <sup>2</sup>	28.34m <sup>2</sup>	28.34m <sup>2</sup>
四面墙体	240mm 砖+30mmBaSO <sub>4</sub>			
顶棚	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
地面	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
防护门	3mmPb	3mmPb	3mmPb	3mmPb
防护窗	3mmPb	3mmPb	3mmPb	3mmPb
机房(m)	DR 机房 (九)	数字胃肠机房	乳腺 X 射线机房	全景牙片机房
位置	门诊医技楼一层影像科			门诊医技楼四层口腔科
长×宽×高	6.04×4.92×5.3	5.76×5.12×5.3	3.66×3.16×5.3	2.9×2.8×4.3
净面积	29.72m <sup>2</sup>	29.49m <sup>2</sup>	11.57m <sup>2</sup>	8.12m <sup>2</sup>
四面墙体	240mm 砖+30mmBaSO <sub>4</sub>			
顶棚	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
地面	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
防护门	3mmPb	3mmPb	3mmPb	3mmPb
防护窗	3mmPb	3mmPb	3mmPb	3mmPb

续表 10 辐射安全与防护

机房(m)	DR 机房 (十)	骨密度仪机房	DR 机房 (十一)	
位置	门诊医技楼三层体检中心		门诊医技楼负一层急诊科	
长×宽×高	4.92×4.92×4.3	2.7×5.0×4.3	7.52×5.12×5.8	
净面积	24.21m <sup>2</sup>	13.5m <sup>2</sup>	38.5m <sup>2</sup>	
四面墙体	240mm 砖+30mmBaSO <sub>4</sub>			
顶棚	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
地面	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
防护门	3mmPb	3mmPb	3mmPb	
防护窗	3mmPb	3mmPb	3mmPb	
机房(m)	模拟定位机机房 (一)	模拟定位机机房 (二)	PET/CT 机房	SPECT/CT 机房
位置	核放中心负一层 放疗中心模拟室		核放中心负一层 核医学科	
长×宽×高	7.6×5.4×5.8	7.6×5.4×5.8	8.5×5×5.8	8.5×5×5.8
净面积	41.04m <sup>2</sup>	41.04m <sup>2</sup>	42.5m <sup>2</sup>	42.5m <sup>2</sup>
四面墙体	300mm 砼	300mm 砼	300mm 砼	300mm 砼
顶棚	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
地面	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>			
防护门	4mmPb	4mmPb	4mmPb	4mmPb
防护窗	4mmPb	4mmPb	4mmPb	4mmPb
机房名称	直线加速器机房 (一)			
位置	核放中心负一层放疗中心			
长×宽×高(m)	8.5×7.5×3.0	净面积	63.75m <sup>2</sup>	
西墙	1400mm	东墙	迷路外墙: 2200mm; 迷路内墙: 1100mm;	
北墙	主屏蔽墙: 2800mm; 次屏蔽墙: 1400mm; 主屏蔽墙宽: 4000mm	南墙	主屏蔽墙: 2800mm; 次屏蔽墙: 1400mm; 主屏蔽墙宽: 4000mm	
顶棚	主屏蔽墙: 2800mm; 次屏蔽墙: 1400mm; 主屏蔽墙宽: 4000mm	地面	1000mm 混凝土+夯实土层	
防护门	1.5cmPb+ 7.5cm 含硼 5%的聚乙烯			
机房名称	直线加速器机房 (二)			
位置	核放中心负一层放疗中心			
长×宽×高(m)	8.5×7.5×3.0	净面积	63.75m <sup>2</sup>	

续表 10 辐射安全与防护

西墙	迷路外墙：2200mm； 迷路内墙：1100mm；	东墙	2400mm
北墙	主屏蔽墙：2800mm；次屏蔽墙： 1400mm；主屏蔽墙宽：4000mm	南墙	主屏蔽墙：2800mm；次屏蔽墙：1400mm； 主屏蔽墙宽：4000mm
顶棚	主屏蔽墙：2800mm；次屏蔽墙： 1400mm；主屏蔽墙宽：4000mm	地面	1000mm 混凝土+夯实土层
防护门	1.5cmPb+ 7.5cm 含硼 5%的聚乙烯		
机房名称	直线加速器机房（三）		
位置	核放中心负一层放疗中心		
长×宽×高(m)	8.5×7.5×3.0	净面积	63.75m <sup>2</sup>
西墙	2400mm	东墙	迷路外墙：2200mm； 迷路内墙：1100mm；
北墙	主屏蔽墙：2600mm；次屏蔽墙： 1400mm；主屏蔽墙宽：4000mm	南墙	主屏蔽墙：2600mm；次屏蔽墙：1400mm； 主屏蔽墙宽：4000mm
顶棚	主屏蔽墙：2600mm；次屏蔽墙： 1400mm；主屏蔽墙宽：4000mm	地面	1000mm 混凝土+夯实土层
防护门	1.5cmPb+ 7.5cm 含硼 5%的聚乙烯		
机房名称	直线加速器机房（四）		
位置	核放中心负一层放疗中心		
长×宽×高(m)	8.5×7.5×3.0	净面积	63.75m <sup>2</sup>
西墙	迷路外墙：2200mm； 迷路内墙：1100mm；	东墙	1400mm
北墙	主屏蔽墙：2800mm；次屏蔽墙： 1400mm；主屏蔽墙宽：4000mm	南墙	主屏蔽墙：2800mm；次屏蔽墙：1400mm； 主屏蔽墙宽：4000mm
顶棚	主屏蔽墙：2800mm；次屏蔽墙： 1400mm；主屏蔽墙宽：4000mm	地面	1000mm 混凝土+夯实土层
防护门	1.5cmPb+ 7.5cm 含硼 5%的聚乙烯		
机房名称	回旋加速器机房		
位置	核放中心负一层核医学科		
长×宽×高(m)	8.3×8.6×4.0	净面积	71.38m <sup>2</sup>
西墙	主屏蔽墙：2600mm；次屏蔽墙： 1400mm；主屏蔽墙宽：4000mm	东墙	主屏蔽墙：2600mm；次屏蔽墙：1400mm； 主屏蔽墙宽：4000mm
北墙	1400mm	南墙	迷路外墙：1400mm； 迷路内墙：800mm；

续表 10 辐射安全与防护

顶棚	主屏蔽墙：2600mm；次屏蔽墙：1400mm；主屏蔽墙宽：4000mm	地面	1000mm 混凝土+夯实土层
防护门	10mmPb+40mm 含硼 5%的聚乙烯		
机房名称	后装机机房		
位置	核放中心负一层肿瘤放疗科		
长×宽×高(m)	5.5×4.5×4.8	净面积	24.75m <sup>2</sup>
西墙	600mm	东墙	迷路外墙：600mm； 迷路内墙：600mm；
北墙	600mm	南墙	1400mm
顶棚	600mm	地面	600mm 混凝土+夯实土层
防护门	6mmPb		
场所名称	核医学科		
位置	核放中心负一层核医学科		
控制区	回旋加速器控制室、辅助用房；储源间、分装质控室、注射室、甲癌病房、放化实验室、气体室	四面墙体：400mm 砼	
	注射后休息室、扫描机房	四面墙体：300mm 砼	
顶棚	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>		

### 10.1.1 辐射工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定，将辐射场所分为控制区和监督区，以便辐射安全管理和职业照射控制，该院放射性工作场所分区如下：

表 10-2 分区一览表

序号	辐射工作场所	控制区	监督区
1	介入中心	DSA 机房	DSA 控制室
2	影像科及其它Ⅲ类射线装置	射线装置机房	射线装置控制室
3	放疗中心	直线加速器机房，后装机房，模拟定位机房	射线装置控制室
4	核医学科	回旋加速器机房、放化实验室、气体室、核医学科质控室、注射室、储源间、废物间、注射后候诊室、核医学科住院病房及相连接的走廊以墙体和防护门为界的治疗和诊断室	卫生通过间、前室、抢救室、设备间、医生办公室及核医学科的各辅助用房及其周围临近区域

控制区： 在诊断和治疗设备的调试和日常诊疗过程中，当处于诊疗状态时，区内

**续表 10 辐射安全与防护**

无关人员不得滞留。以辐射安全联锁和警示装置控制及严格的管理制度保障此区的辐射安全。

监督区：在该区内需要对职业照射条件进行监督和评价。

### **10.1.2 直线加速器机房辐射防护与安全措施**

#### **10.1.2.1 机房的防护与安全措施**

(1) 项目设计、施工和验收过程中，辐射防护设施将与主体工程同时设计、同时施工、同时投产。加速器安装调试完成后，组织对机房辐射防护设施进行验收，包括辐射屏蔽、联锁和报警系统、辐射监测系统、通风系统等。机房辐射安全设施依照设计标准验收合格后，加速器方可正式运行。

(2) 购买有经验的商品混凝土搅拌站经配合实验后拌制的混凝土，混凝土浇筑时现场取样，检测其密度，委托有资质单位施工并进行施工质量的监理。

(3) 管线穿越屏蔽墙体要求：水电管线采用“U”形向下穿越屏蔽墙体，预埋管竖直方向和水平方向均与地面形成 45° 角度斜穿屏蔽墙。穿墙管线避开加速器出束方向，并在地沟的入口或出口应有一定厚度的屏蔽盖板。

(4) 通风管沿迷道顶部经由防护门上部，且在机房外侧通道屋顶标高以上穿越迷道入口处屏蔽外墙。屋面上新风口与排风口间距宜高于新风口有一定距离，尽量避免排风口排出废气返流至新风管进入室内。

(5) 机房内净空高度应同时满足加速器机身高度、上不滑轨、进风和回风管道、吊顶（含灯具、进风口和回风口、空调室内机）等叠加空间尺寸。适当降低迷道出入口门洞高度，以较小散射面积，有利于减小铅门防护压力。

(6) 防护门和观察窗的生产、安装由有生产资质的厂家承担，其搭接长度不小于缝隙的 10 倍。

(7) 水冷系统：由于电子直线加速器在运行过程会产生大量的热量，为保证设备正常运转，采用自备水箱和水管闭路循环的蒸馏水冷却系统，其中冷却水应循环使用，不对周围环境造成影响。

#### **(8) 安全联锁**

机房入口处设置有防护门和迷路，防护门与加速器联锁。直线加速器机房设置有多重联锁装置，以保护人员和设备安全，防止意外事故。

**续表 10 辐射安全与防护**

a) 迷道门连锁：为防止有人在加速器工作状态下误入加速器机房，出入口的迷道门和出束照射系统机联锁，只有当防护门关闭，出束照射系统才能启动；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动断电停止出束。

b) 系统连锁：当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统连锁，不能发出射线。

c) 紧急按钮：除以上安全连锁控制外，在加速器机房内墙和控制室操作台分别设置紧急停束按钮。急停束按钮一经按下，系统将无条件关闭加速器束流，停止出束。同时设置手动应急，门，以防止以上两种连锁装置失效滞留在机房内人员的安全。

d) 双剂量连锁：按照《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126—2011）的要求，设置双剂量连锁以及其它连锁。

(8) 直线加速器机房出束警告灯、警示标志、防护门有声、光报警装置；门框上方设有“正在工作”信号灯及电离辐射警示标志，警示人们此地属危险区域，不在此逗留。

(9) 视频监控、对讲系统、紧急停机开关：在直线加速器机房与控制室之间设置闭路电视和对讲设备，监控机房内医生与患者的活动情况；此外机房防护门内设置人工紧急停机及开门按钮。

(10) 配备的直线加速器应有双道剂量监测系统，该系统的探测结果应能用来计算受照靶体内某一参考点的剂量，并满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126—2011）要求。

(11) 机房内设置固定式剂量率仪以及时掌握运行过程中的剂量水平变化。当加速器以 10MV 及以上能量运行后，工作人员应等待剂量率降低至本底水平后进入治疗室。

#### **10.1.2.2 直线加速器剂量照射安全防护**

(1) 控制台必须显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等辐照参数预选值。辐照启动必须与控制台显示的辐照参数预选值连锁，控制台选择各类辐照参数之前，辐照不得启动。

(2) 直线加速器机房应设置多重连锁装置，以保护人员和设备安全，防止意外事故。门机连锁：采用电动、手动一体化防护门，与加速器启动电路应实行门机连锁方式，即防护门未关闭之前，加速器无法启动。系统连锁：当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统连锁，不能发出射线。双剂量连锁：按照《电子加速器放

**续表 10 辐射安全与防护**

射治疗放射防护要求》(GBZ126—2011)的要求,设置双剂量连锁以及其它连锁。

(3) 两道剂量监测系统显示的剂量读数在辐照中断或终止后必须保持不变,辐照中断或终止后必须把显示器复位到零,下次辐照才能启动;由于元件或电源失效造成辐照中断或终止,失效时刻读数显示必须储存在一个系统内,以可读取方式至少保留 20min 以上。两道剂量监测系统采用双重组合情况下,当吸收剂量达到预选值时,两道系统都必须终止辐照。

(4) 两道剂量监测系统为初/次级组合情况下,当吸收剂量达到预选值时,初级剂量监测系统必须终止辐照,次级监测系统必须在超过吸收剂量预选值不大于 15%或不超过等效于正常治疗距离上 0.4Gy 的吸收剂量时终止辐照。

(5) 控制台必须配置带有时间显示的辐照控制计时器,并独立于其他任何控制辐照终止系统。当辐照中断或终止后,必须保留计时器读数,必须将计时器复零后,才能启动下一次辐照。

(6) 若设备处于某一种状态下,在正常治疗距离上能产生高于规定最大值二倍的吸收剂量率时,则必须提供一连锁装置,以便在吸收剂量率超出规定最大值不大于二倍时终止辐照。在任何情况下,不得切断这一连锁装置。

(7) 必须装备检查所有安全连锁的设施,用于在辐照间歇期间检查安全连锁(包括防止剂量率大于预选值十倍的连锁),确保各类系统终止辐照的能力和防止超剂量照射。

(8) 控制台和治疗室内必须分别安装紧急停机开关。

(9) 使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序必须加密,未经允许不得存取或修改;用于监视连锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障,必须终止辐照。

### **10.1.2.3 安全操作及管理措施**

(1) 医院配置固定式剂量报警仪和便携式剂量报警仪,进行环境辐射常规监测及个人防护。

(2) 医院配置有合格的放射治疗医生、医学物理人员及操作人员。医学物理人员和操作人员应经过防护和加速器专业知识培训,并经过考核合格后方可上岗。

(3) 操作人员应遵守各项操作规程,认真检查安全连锁,禁止任意去除安全连锁,

**续表 10 辐射安全与防护**

严禁在去除可能导致人员伤亡的安全联锁的情况下开机。

(4) 治疗期间, 应有两名操作人员协调操作, 认真做好当班记录, 严格执行交接班制度。

(5) 治疗期间操作人员应密切注视控制台仪表及患者状况, 发现异常及时处理, 禁止操作人员擅自离开岗位。

(6) 加速器的控制设备有专人操作, 使用的钥匙有专人保管。技术员离开控制室进入机房时, 拔出钥匙, 随身携带, 防止他人误操作。

(7) 辐照期间, 除接受治疗的患者外, 治疗室内不得有其他人员。

(8) 必须防止各类事故, 万一发生意外, 立即停止辐照, 及时将患者移出辐射野, 并注意保护现场, 便于正确估算患者受照剂量, 作出合理评价。

(9) 制定规章制度、操作规程、应急处理措施, 并张贴上墙。

(10) 考虑直线加速器机头残留感生放射性影响, 机器照射完 10 分钟后才可进入机房。

(11) 直线加速器机房应配置紧急开关, 在应急情况下启用。

### **10.1.3 后装治疗机房辐射防护与安全措施**

#### **10.1.3.1 机房的防护**

(1) 含  $^{192}\text{Ir}$  源后装治疗机机房的设计应符合辐射防护的有关要求。机房的穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果, 治疗室屏蔽门的门体与墙体重叠长度不小于门与墙间隙的 10 倍。

(2) 机房入口采用迷路设计, 设置门机联锁, 并在治疗室门上要有声、光报警。治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源视频监控和放射源表面剂量监控。

(3) 治疗室和控制室之间安装监视和对讲设备, 控制室与机房之间设置观察窗。

#### **10.1.3.2 后装放射治疗设备的防护**

##### **(1) 放射源**

①放射源必须有生产厂家提供的说明书及检验证书。说明书应载明放射源编号、核素名称、化学符号、等效活度、表面污染与泄漏检测日期和生产单位名称等。

②放射源使用前必须有法定计量机构认可的参考点空气比释动能率, 其总不确定度

续表 10 辐射安全与防护

不大于±5%。

③放射源的更换必须由合格的专业技术人员，在放射防护人员监督下进行。

④退役放射源必须及时退还原生产厂家或送指定的放射性废物库统一处理或妥善保存。

### (2) 贮源器

①放射源贮源器表面必须标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的电离辐射警示标识。

②贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比动能率不得大于  $100\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于  $10\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

③装载后装治疗用放射源的贮源器工作贮源器除运输外，必须存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮源库内。

### (3) 施源器

施源器的形状、结构设计以及材料选择应适应靶区的解剖特点，保证放射源在其中正常驻留或运动，并按照剂量学原则，形成各种预定的剂量分布，最大限度地防护邻近正常组织和器官。

### (4) 放射源控制与传输

①后装治疗设备的控制系统，必须能准确地控制照射条件，应有放射源起动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显示。

②后装治疗设备控制系统应有安全锁等多重保护和联锁装置。必须能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。严禁在去掉保护与联锁控制装置的条件运行。

③连接施源器各通道与施源器的放射源传输管道及施源器应尽量平滑，具有可允许的最小曲率半径，以保证放射源传输畅通无阻。

④在控制台上，必须能通过 $\gamma$ 射线监测显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态。

⑤连接施源器与放射源传输管道时，必须使接头衔接严密、牢固，防止放射源冲出

**续表 10 辐射安全与防护**

或脱落。

⑥必须在生产厂家给出的放射源最大安全传输次数内，不发生放射源脱落、卡源等故障。

### **10.1.3.3 实施后装放射治疗的防护要求**

(1) 必须制定并实施质量保证计划，确保剂量准确。既能使治疗区获得合理的剂量及其分布，又能最大限度缩小正常组织的受照剂量与范围。

(2) 治疗中技术人员必须密切注视控制系统的各项显示与病人状况，以便及时发现和排除异常情况。

(3) 实施放疗时，必须详细记录治疗日期、治疗方式、治疗源类型、活度、数目、通道、照射时间、单次照射剂量及总剂量和放射源在施源器内的驻留位置及照射长度，并绘示意图存档。

(4) 实施治疗时，除病人外，治疗室内不得停留人和人员。还应配置有专供病人使用的铅围裙等防护用品，对病人敏感部位进行防护，减少受到的不必要照射。

### **10.1.4 模拟定位机辐射防护与安全措施**

(1) 模拟室应设置相关的辐射防护设施，如机房应设置门灯联动装置，室外设置电离辐射警示标志以及工作状态指示灯；室内设置通风装置，保证室内空气流通。

(2) 模拟室外应设指示灯，警示牌，防止有关人员滞留工作场所受到意外伤害。

(3) 模拟室内穿越防护墙的导线、导管采用“Z”或者“U”形布置，不得影响其屏蔽防护效果。

(4) 核实观察窗、防护门的屏蔽能力，保证其不低于2mmPb。

(5) 根据工作内容，模拟室现场应配备工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作的需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施(铅橡胶，铅围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子)的铅当量应不低于0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于0.5mmPb。

(6) 模拟室内设置固定式剂量率仪以及及时掌握运行过程中的剂量水平变化。

### **10.1.5 DSA 及Ⅲ类 X 射线装置机房辐射防护与安全措施**

#### **10.1.5.1 机房的防护**

**续表 10 辐射安全与防护**

(1) 根据医院提供的设计资料，机房防护屏蔽参数见表 10-1。应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽要求。

(2) 机房内建设的穿越防护墙的导线、导管等采用“U”型和“Z”型，不影响墙体的屏蔽防护效果。

(3) 机房门外应有设置工作指示灯和电离辐射警告标志。

(4) X 射线机房应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护安全。机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置，不得堆放与诊断装置无关的杂物，机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

(5) 辐射工作人员应配置了个人剂量计。

#### **10.1.5.2 安全操作及管理措施**

(1) X 射线设备应有能调节有用线束照射的装置，并提供可标志照射野的灯光指示装置。

(2) X 射线管组件上应有清晰的焦点位置标志。

(3) 介入 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。

(4) 医院拟配置设备到位调试合格后，应委托有资质的单位对机房外的周围剂量当量率进行监测，保证机房的屏蔽能力满足要求。

(5) 所有辐射工作人员均应佩戴个人剂量计，并定期进行测读，建立个人剂量档案。

(6) 制定规章制度、操作规程、应急处理措施，并张贴上墙。

(7) 放射科工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护的有关法律知识培训，满足放射工作人员岗位要求。

(8) X 射线机曝光时，应保证门灯联锁、门机联锁有效。

(9) 介入放射用 X 射线设备应具有可准确记录受检者照射剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后患者受照射剂量记录在病历中。

(10) X 射线设备机房放射防护安全设施在项目竣工时应进行验收检测，在使用过程中，应按规定进行定期检测。

## 续表 10 辐射安全与防护

(11) 应用 X 射线检查应经过正当性判断。执业医师应掌握好适应证，优先选用非 X 射线的检查方法。

(12) 加强对育龄妇女、孕妇和婴幼儿 X 射线检查正当性判断；严格控制使用剂量较大、风险较高的放射技术、除非有明确的疾病风险指征，否则不宜使用 CT 进行健康体检。对不符合正当性原则的，不应进行 X 射线检查。

(13) X 射线设备根据工作内容，现场应配备工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作的需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施（铅橡胶，铅围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子）的铅当量应不低于 0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。

### 10.1.6 移动 X 射线装置辐射防护与安全措施

#### 10.1.6.1 移动 X 射线装置辐射的防护

(1) 移动 X 射线装置应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。

(2) 移动 X 射线装置连续曝光开关的电缆长度应不小于 3m，或者配置遥控曝光开关。

(3) 使用移动 X 射线装置在病房进行检查时，应对毗邻床位（2m 范围内）患者采取防护措施，不得将有用线束朝向其他患者。

(4) 移动 X 射线装置曝光时工作人员应做好自身防护，合理选择站立位置，并保证曝光时能观察到受检者姿态。

(5) 移动 X 射线装置不能作为常规检查设备，在无法使用固定设备且必须使用 X 射线检查时才允许使用。

(6) 手术期间透视用、焦点至影像接收器距离固定且影像接收面不超过 300cm<sup>2</sup> 的 X 射线设备，应有线束限制装置，并将影像接收器平面上的 X 射线野到 125cm<sup>2</sup> 以下。

(7) 在给患者进行拍片或透视诊疗检查时，让同室的患者和陪同人员撤离病房，到安全无电离辐射的区域，对同室不便移动的重症患者，进行屏蔽防护或用铅皮掩盖，以减少辐射危害。

(8) X 射线机有用射线束的方向，尽可能避开公众人群、医护人员和其它无关人员，在曝光时陪同人员要离开现场，如因从事非隔离荧光透视、骨科复位、异物清除等

## 续表 10 辐射安全与防护

应急情况，需要医护和陪同人员陪同时，工作人员和陪同人员要穿戴个人防护用品，以减少工作人员所受 X 射线的伤害。

(9) 时间防护：需要 X 射线进行诊断检查时，尽量采用拍片、不要透视，因透视时间较长，所受辐射严重；拍片时把限束器调到最佳位置，并按“高千伏、低毫安、短时间”的原则进行，尽最大程度减少放射伤害。

(10) 对购买移动式床边 X 射线机要加限束器。限束器四周最好设有活动的能伸拉的防辐射板，在进行拍片和透视时直接固定到受检者需照射部位，对四周进行屏蔽，以防射线外漏。

### 10.1.6.2 安全操作及管理措施

(1) 加强受检者和放射工作人员的个人防护，医院要配齐受检者及放射工作人员的放射防护用品，并在工作时按要求穿戴和使用。

(2) 预防性及监督与管理 卫生监督机构要对卫生医疗机构购买 X 射线机过程中进行监管，审查生产厂家的生产许可证、合格证及射线卫生防护资料。不能购买无资质和卫生防护不合格的 X 射线机。安装使用时要对防护用品和设备进行验收和评价，缺少防护用品和设备及验收评价不合格的不准使用、责令整改和更换。

(3) 日常性监督管理：相关部门要加大医疗机构 X 射线机安全防护的监督检查频次，特别是对受检者、公众及有关人员的防护用品配置及使用情况检查，对违反卫生防护要求开展放射诊疗的单位，要从严处罚；疾病防治机构，要加强放射场所危害因素检测和放射工作人员个人剂量计检测，并及时把监测报告和健康监护报告反馈给卫生监督机构和医疗单位，并督促协助其整改。

(4) 从事放射诊疗的工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护的有关法律知识培训，满足放射工作人员岗位要求。

(5) 医疗机构要加强自身管理 医疗机构要把放射防护工作纳入质量考核，并做好射线防护用品使用记录，以便为受检者和放射工作人员发生放射事故医疗纠纷时，提供直接数据；医疗机构要按相关法律、法规进行职业健康监护，早期发现或消除存在的问题，确保受检者和受照射人群的人身健康安全。

### 10.1.7 核医学辐射防护与安全措施

#### 10.1.7.1 核医学科的总体防护与安全措施

**续表 10 辐射安全与防护**

(1) 核医学科用房布局基本合理，避免与其他科室交叉现象，工作场所严格按照分区管理。分区管理：工作场所分为控制区和监督区，实行分区管理。核医学科区域控制区及监督区详见表 10-2，核医学科平面布局详见附图十二对应区域。

(2) 核医学科各房间应能满足屏蔽防护要求。进入储源间、分装质控室、注射室的门应为防护门，且有防盗功能，洗手水龙头应为长柄或光电感应龙头。

(3) 该场所为乙级非密封源工作场所。要求墙体、地面、台面的装饰材料以及卫生设施按照《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)中关于乙级非密封源工作场所采购装修。核医学科涉源工作场所的内部装饰应采用易去除放射性污染的材料敷面。注射室的内墙墙面、地面、踢脚、工作台面等建议用 2mm 左右厚 PVC 卷材敷面、接缝用同质焊条焊接，或用浅色瓷砖敷面，墙角采用圆弧形结构。墙面敷贴至 1.5m 高。洗涤池采用不锈钢或瓷砖敷面。

(4) 设置医生专用卫生通过间并在出入口安装表面污染检测仪。核医学科医生进、出储源间、分装质控室、注射室等诊疗区需通过卫生通过间淋洗及表面污染检测仪。工作人员进入核医学科工作场所书序为：医生通道入口→脱家常衣服→穿现场工作服→工作场所；工作场所→脱现场工作服→清洁→剂量测量（全身污染测量）→穿家常衣服→医生通道出口。

(5) 设置有效容积为 127m<sup>3</sup>（4.6m×4.6m×2.0m）的衰变池收集核医学科产生放射性废水，服药和未服药病人均有专门厕所，控制区的废水均进入衰变池，衰变池设置警示标示，池体采用混凝土，池壁能够防渗、防漏。

(6) 核医学科的高活性室分装药物产生的放射性废气通过通风橱，采用机械抽风，保证在半开的条件下抽风风速在 1m/s 以上，利用活性炭吸附，排放浓度满足相关要求，排气口高于本建筑屋脊。

(7) 放射性废物和一般医疗废物分类收集，在各易产生放射性固废的房间设置放射性固废专用收集桶，供收集的专用污物桶应具有外防护层和电离辐射标志。污物桶放置点应避开工作人员作业和经常走动的地方。放射性废物暂存于放射性废物贮存室内，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

(8) 候诊区、病房设置视频监控、对讲系统，在核医学科的醒目位置悬挂（张贴）

## 续表 10 辐射安全与防护

辐射警告标志，病人、医生和放射性物质运输线路指示路线，防止发生交叉污染。指定严格的辐射防护规程和操作规程制度并张贴上墙。

(9) 各机房设门锁、工作指示灯；各辐射工作场所均设置电离辐射警告标志。

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

(11) 核医学科工作场所应具备适当的防护手段和安全措施，做好个人防护工作。

(12) 卫生通道内需设置污衣区、净衣区、表面污染检测仪、洗手台等。

(13) 清洁卫生要求：从非限制区到监督区到控制区，每个区一个单独的清洁工具。

### 10.1.7.2 回旋加速器辐射防护与安全措施

#### 1、机房的防护

(1) 医院拟购回旋加速器具有自屏蔽系统，回旋加速器机房各墙体应满足辐射防护的有关要求。机房在建设时保证施工质量，防护门的生产应由有生产资质的厂家承担。机房内建设的穿越防护墙的导线、导管等应采用“U”型，不得影响墙体的屏蔽防护效果。

(2) 加速器室装有屏蔽门，屏蔽门和加速器联锁，只有屏蔽门关闭时给出声光信号后加速器才能出束。门一旦打开，立即停止出束。

#### 2、设备的防护

回旋加速器具有一套联锁系统，具体完成屏蔽防护与警示，自动模式顺序联锁，手动模式子系统互锁和系统急停4部分功能。在不同的运行模式下确保系统的正确运行，及时发现系统异常，采取相应措施并发出警示信号，保障人身和设备安全。

##### (1) 自屏蔽体联锁

自屏蔽设施有两块屏蔽体可以打开，这两块屏蔽体具有联锁功能，只有在自屏蔽体关闭后，加速器才能出束。如自屏蔽体的关闭不能由计算机进行控制，必须持续按住自屏蔽壳附近的开关进行关闭。

##### (2) 剂量联锁

在防护门处安装加速器剂量安全指示灯，当室内剂量在剂量安全限值以下时绿灯亮，超过限值时红灯亮。当加速器开机时的 $\gamma$ 辐射水平超过管理目标值时，防护门不能打开。如防护门被强制打开，则加速器停束或停机。

#### 3、安全操作及管理措施

## 续表 10 辐射安全与防护

### (1) 钥匙控制

屏蔽门钥匙和便携式剂量率仪固定在一起，进入加速器室携带便携式剂量报警仪。

### (2) 紧急停机按钮

在加速器室工作人员经常活动或工作的地方装有紧急停机按钮，按动此按钮可立即停止设备运行，保护人员安全。

(3) 加速器设有专人保管的专用钥匙控制加速器大室的断送电源，加速器控制电脑有操作密码。

(4) 制定规章制度、操作规程、应急处理措施，并张贴上墙。

### 10.1.7.3 放射性药物使用过程中的防护

(1) 医院对所有能产生贯穿辐射的污染源采取辐射屏蔽措施，包括操作放射性同位素的职业工作人员穿戴防护用具，操作过程中对注射用具的屏蔽。

(2) 控制区与监督区的地面与工作台面、地面均铺设地板砖或其它易清洁的材料，易于清洗不渗漏，有利于表面污染的防治。

(3) 进入活性室、合成室的门应为防护门，且有防盗功能，洗手水龙头应为长柄或光电感应龙头。

(4) 核素储存柜应具有屏蔽所暂存核素的能力，放射性物质的放置应合理有序、易于取放、每次只取用需要使用的部分。放射核素储存柜应定期监测，无关人员不得入内。

(5) 放射性药物存放必须安全，应专人负责，保险柜钥匙要专人保管，双人双锁，存取记录要详细、清晰。建立完善放射性药物保管、领用和登记制度。放射性废物在运输时应采取放射防护措施。

(6) 建立放射性物档案，登记内容包括生产日期、到货日期、核素种类、理化性质、活度和表面污染擦拭测试结果等。

### 10.1.7.4 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 处或单人病房应划为临时控制区。控制区入口处应设有符合 GB18871 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。病外外由专门医务人员管理进入病区钥匙。

## 续表 10 辐射安全与防护

(2) 通过对甲癌病人专用病房墙体的核算，现有设计方案墙体的屏蔽防护能力符合辐射防护的有关要求。且病房内有专用卫生间，每间病房内应设置放射性废物收集桶收集放射性废物，放射性废物收集桶（污物桶）有一定屏蔽能力。

(3) 接受了  $^{131}\text{I}$  治疗的患者，其体内的放射性活度降至低于  $400\text{MBq}$ ，方可出院。严格管理甲癌病人病房区，安装视频通话系统实时了解服药病人情况。

(4) 加强对服药后病人的管理，张贴醒目的“病人须知”。

(5) 控制区的废水进入衰变池，衰变池设标识，池壁能够防渗、防漏。

### 10.1.8 $^{68}\text{Ge}$ 校准源的防护

(1) 放射源购买时有包装，并随厂有  $10\text{mmPb}$  铅当量防护。

(2) 医院制定各项规章制度，设立有台账登记，领存登记，状态检查，定期清点，钥匙管理等防护措施。

(3) 医院拟设置保险箱，储源室安装防盗门及监控器。

### 10.1.9 受检者放射卫生防护

医院对受检者的防护与安全负责，应为受检者提供有效、安全的诊断检查。医院已制定了以下防护措施：

1、医师应根据患者的病史、体格检查、临床化验等判断是否需要采用 X 射线检查，掌握好适应度。应考虑优先选用非 X 射线的检查方法，根据临床指征确认 X 射线检查是最合适的检查方法时方可申请 X 射线检查。

2、应特别加强对育龄妇女和孕妇、婴幼儿 X 射线检查的正当性判断。针对儿童、孕妇和育龄妇女应做检查时的特殊防护要求的做好防护措施。针对孕妇照射检查，要确保射线剂量在有效的范围内尽量降低。

3、应避免受检者同一部位重复 X 射线检查，以减少受检者受照剂量。

4、应选择合适的 X 射线检查方法，制定最佳的检查程序和投照条件，力求在能够获得满意的诊断信息的同时，又使受检者所受照射减少至最低限度。在不影响获得诊断信息的前提下，一般应以“高电压、低电流、厚过滤”为原则进行工作。

### 10.1.10 防护用品

(1) 射线装置辐射防护防护设施要求见表 10-3。

表 10-3 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

续表 10 辐射安全与防护

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏；固定特殊受检者体位的各种设备
牙科全景体层摄影口腔 CT	—	—	铅橡胶帽子、大领铅橡胶颈套	—
放射诊断学用 X 射线设备同室透视、摄影	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶手套、铅防护眼镜	或铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏；固定特殊受检者体位的各种设备
CT 体层扫描（隔室）	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
床旁摄影	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套	或铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
骨科复位等设备旁操作	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶手套	移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 选配：铅橡胶手套	铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	—

注：“—”表示不要求。

(2) 由医院提供的资料，医院制订了防护用品配置计划，根据试运营期、一期、二期各运营阶段配置进度，按照各机房需求增减。详见附件五。根据本次环评项目实际情况，需配备辐射防护用品建议详见下表 10-4。

表 10-4 医院需配备防护用品清单一览表

说明	场所	防护用品名称	单位	数量
需新增防护用品	核医学科、放疗中心、影像科、体检中心、介入中心、口腔科、急诊科	铅围脖	件	16
		铅屏风	件	12
		铅帽子	顶	16
		铅围裙	件	24
		铅背心	件	40
		铅手套	双	2
		铅眼镜	副	16
		个人剂量计	个	100

续表 10 辐射安全与防护

		个人剂量报警仪	台	4
		巡测仪	台	2
		表面污染检测仪	台	2
		X-γ便携式剂量率仪	台	4
		患者铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、病人上身防护屏	套	10

## 10.2 放射性“三废”污染防治措施

### (1) 废水治理措施

核医学科放射性废水排水管采用专用材质，并采取防腐蚀措施；分装质控室、注射室废水、病人卫生间废水排入衰变池内衰变，活度总β放射性<10Bq/L后，进入医院污水管网，最终进入医院污水处理站处理达标排放。

核医学科衰变池总排口设置采样口：每一次排放的活度不超过 1AImin，每月排放的总活度不超过 10AImin；接纳放射性废水的普通下水道的流量大于排入流量的 10 倍，医院总排污口总β放射性<10Bq/L。

对洗脱出未用完的 <sup>99m</sup>Tc、制备未用完的 <sup>18</sup>F-FDG 等和已购置但未用完的其它放射性药品（统称为废液），医院要严格控制其产生量，根据病人的实际或预计使用量，根据最优化原则，淋洗或预定放射性药品量。

### (2) 废气治理措施

核医学科产生的少量放射性气溶胶或气载放射性物质可以通过通风橱的排风管道经活性炭过滤后排出室外，通风橱在半开的条件下风速不小于 1m/s。排气口设置于本建筑物屋顶。本次环评要求通风管网布置从非限制区到监督区到控制区，即从低浓度到高浓度收集废气然后排出。排风系统中设置的活性炭吸附，每 3~6 月更换一次，更换下来的废活性炭作为放射性固废，暂存于贮存槽中，经过 10 个半衰期以后，由厂家回收处置。

本项目直线加速器机房设计排风管道换气次数不小于 4 次/h，通风量不小于 1000m<sup>3</sup>/s，产生的少量臭氧及放射性废气沿排气管道连接至楼顶排放，同时安装了空调辅助通风，在机房使用过程中，能够有效排除机房内少量的臭氧及氮氧化物，室外浓度臭氧和氮氧化物不会改变环境空气质量；加速器工作时产生感生放射性废气，直线加速器停止工作 15min 后再进入工作场所，感生放射性核素的活度可衰减到可忽略水平。

DSA 机房及其他射线装置机房均设置了机械动力通风装置，机房离地 0.5m 左右设置排

续表 10 辐射安全与防护

风口，排风口远离敏感点及空调进风口，同时安装中央空调辅助通风，保证机房内电离产生的臭氧和氮氧化物迅速稀释扩散。

### (3) 固废治理措施

① 严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理。应力求控制和减少放射性废物产生量。

② 对放射性固体废物应采用分核素收集，根据同位素的性质，单独衰减，达到衰变时间和要求的，再收集在一起作为医疗垃圾处理。放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

③ 在各易产生放射性固废的房间设置放射性固废专用收集桶，供收集的专用污物桶应具有外防护层和电离辐射标志。污物桶放置点应避开工作人员作业和经常走动的地方。

④ 内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

⑤ 放射性废物在储存衰变箱中衰减至排放限值后，作为一般医疗垃圾处理， $^{99m}\text{Mo}$ - $^{99m}\text{Tc}$  发生器均由厂家回收。

⑥ 更换的废活性炭放在专用的污物桶内衰变，放射废物比活度 $\leq 2 \times 10^4 \text{Bq/kg}$  后交原厂家回收再生利用。放射性废物袋装时应不超过 20kg，放射性废物运输时表面的固定污染所引起的辐射水平应不超过  $5 \mu\text{Sv/h}$ ，表面 $\beta$ 辐射应不大于  $0.4 \text{Bq/cm}^2$ 。

本项目涉及的“三废”采取的主要治理见下图。

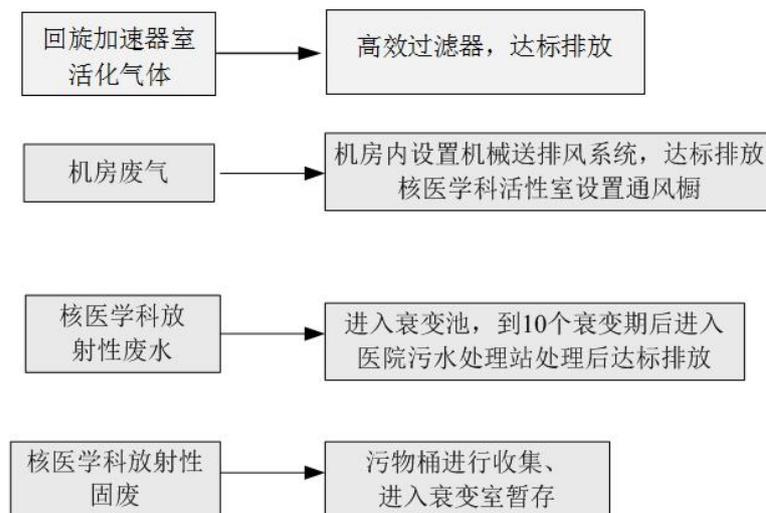


图 10-1 三废治理措施图

表 11 环境影响分析

### 11.1 施工期环境影响分析

根据前节工程分析介绍，本项目施工期主要是机房及核医学科用房的装修。污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。项目建设过程中，医院的医疗服务工作仍将正常进行。施工产生的污染特别是扬尘和噪声可对医院自身环境以及周围的环境带来较大影响。

施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

#### (1) 扬尘及防治措施

主要为房间的装修时机械敲打、钻洞墙体等产生的粉尘。为减小施工期间扬尘对外界环境的影响，施工单位应做到以下几点：加强施工现场管理，应进行适当的加湿处理。

#### (2) 废水及防治措施

施工期间产生的废水主要表现为施工人员的生活污水。生活污水依托医院的排水系统，进入市政污水网管。

#### (3) 噪声及防治措施

主要来自于机房内混凝土浇注、装修及现场处理等。通过选取噪音低、振动小的设备操作等，并合理安排施工时间等措施能减轻对外界的影响。

#### (4) 固体废物及防治措施

主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工期产生的固体废物应妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场堆放。生活垃圾以及装修垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。

本项目工程量小，施工期短，对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目对外界的影响小。

续表 11 环境影响分析

11.2 机房使用面积分析

本项目所涉及主要机房设计使用面积汇总如表 11-1 所示。

表 11-1 各机房设计使用面积一览表

序号	位置	房间功能	长×宽×高 (m)	单个机房设计面积 (m <sup>2</sup> )	面积标准要求 (m <sup>2</sup> )	单边长度标准要求 (m)	是否满足要求
1	核放中心负一层 放疗中心	直线加速器机房 (一)	8.5×7.5×3.0	63.75	≥45	≥4.5	是
2		直线加速器机房 (二)	8.5×7.5×3.0	63.75	≥45	≥4.5	是
3		直线加速器机房 (三)	8.5×7.5×3.0	63.75	≥45	≥4.5	是
4		直线加速器机房 (四)	8.5×7.5×3.0	63.75	≥45	≥4.5	是
5	核放中心负一层 核医学科	回旋加速器机房	8.3×8.6×4.0	71.38	≥45	--	是
6	核放中心负一层 肿瘤放疗科	后装机机房	5.5×4.5×3.3	24.75	≥20	--	是
7	门诊医技楼四层 介入中心	DSA 机房 (一)	8.5×8.3×4.3	70.55	≥30	≥4.5	是
8		DSA 机房 (二)	8.5×8.2×4.3	69.70	≥30	≥4.5	是
9		DSA 机房 (三)	8.5×8.3×4.3	70.55	≥30	≥4.5	是
10	门诊医技楼一层 影像科	CT 机房 (一)	7.0×5.6×5.3	39.2	≥30	≥4.5	是
11		CT 机房 (二)	7.0×5.6×5.3	39.2	≥30	≥4.5	是
12		CT 机房 (三)	7.0×5.6×5.3	39.2	≥30	≥4.5	是
13		CT 机房 (四)	7.0×5.6×5.3	39.2	≥30	≥4.5	是
14	门诊医技楼一层 影像科	DR 机房 (一)	5.12×4.92×5.3	25.19	≥20	≥3.5	是
15		DR 机房 (二)	5.12×5.76×5.3	29.49	≥20	≥3.5	是
16		DR 机房 (三)	5.12×5.76×5.3	29.49	≥20	≥3.5	是
17		DR 机房 (四)	5.12×4.92×5.3	25.19	≥20	≥3.5	是
18		DR 机房 (五)	5.12×5.76×5.3	29.49	≥20	≥3.5	是
19		DR 机房 (六)	5.12×5.76×5.3	29.49	≥20	≥3.5	是
20		DR 机房 (七)	5.76×4.92×5.3	28.34	≥20	≥3.5	是
21		DR 机房 (八)	5.76×4.92×5.3	28.34	≥20	≥3.5	是
22		DR 机房 (九)	6.04×4.92×5.3	29.72	≥20	≥3.5	是
23		数字胃肠机房	5.76×5.12×5.3	29.49	≥20	≥3.5	是
24		乳腺 X 射线机房	3.66×3.16×5.3	11.57	≥10	≥2.5	是
25	门诊医技楼四层 口腔科	全景牙片机房	2.9×2.8×4.3	8.12	≥3	≥1.5	是

续表 11 环境影响分析

26	门诊医技楼三层	DR 机房 (十)	4.92×4.92×4.3	24.21	≥20	≥3.5	是
27	体检中心	骨密度仪机房	2.7×5.0×4.3	13.5	≥10	≥2.5	是
28	门诊医技楼负一层急诊科	DR 机房 (十一)	7.52×5.12×5.8	38.5	≥20	≥3.5	是
29	核放中心负一层 放疗中心模拟室	模拟定位机机房 (一)	7.6×5.4×5.8	41.04	≥30	≥4.5	是
30		模拟定位机机房 (二)	7.6×5.4×5.8	41.04	≥30	≥4.5	是
31	核放中心负一层	PET/CT 机房	8.5×5×5.8	42.5	≥30	≥4.5	是
32	核医学科	SPECT/CT 机房	8.5×5×5.8	42.5	≥30	≥4.5	是

由表 11-1 可知, 各机房使用面积均满足相应标准的要求。

### 11.3 射线装置运营期环境影响分析

#### 11.3.1 射线装置机房屏蔽参数

本项目所涉及射线装置机房及核医学科用房辐射防护屏蔽参数如表 10-1 所示。

各射线装置机房及核医学科控制区用房辐射防护墙体采用密度不小于 1.65g/cm<sup>3</sup> 的实心砖、2.35 g/cm<sup>3</sup> 的砼和含钡量不小于 96%的硫酸钡砂浆作为屏蔽材料; 防护门采用铅板、防护窗采用铅玻璃作为屏蔽材料。

#### 11.3.2 直线加速器辐射环境影响分析

##### 1、设备主要参数

娄底众一医院拟配置的 4 台医用电子直线加速器用于放射治疗, 加速器输出 X 射线的最大能量为 15MV, 电子射线最大能量 20MeV, 最大输出剂量率为 1000cGy/min, 多档可调。在实际工作中, 当直线加速器输出剂量率为 400cGy/min 时即可满足国内病人的治疗需求, 因此, 医院在直线加速器安装过程当中即要求直线加速器供应商将其最大输出剂量率锁定在 400cGy/min 档位, 即设备最大输出剂量率不会超过 400cGy/min。直线加速器主要技术指标见下表。

表 11-2 直线加速器主要技术指标

项目名称	参数值	备注
X 射线最大能量	15MV	本环评取 15MV
电子射线	最大 20MeV	
最大输出剂量率	70~1000cGy/min	本评价取 400cGy/min
最大辐射野	40×40cm <sup>2</sup>	

续表 11 环境影响分析

源皮距	100cm	
半影区	≤8mm	
等中心高度	134cm	
机架旋转	±185°	
漏射线	≅0.1%	

**2、机房设计情况**

直线加速器用房由治疗室（机房）、迷道、控制室和电力机房组成。医院拟配置 4 台医用电子直线加速器，分别安装于核放中心负一层放疗中心直线加速器机房（一）、直线加速器机房（二）、直线加速器机房（三）、直线加速器机房（四），4 间机房内空尺寸、墙体及防护门厚度设计均相同。

本项目选择直线加速器机房（一）进行屏蔽核算，直线加速器治疗室（不含迷道）内空几何尺寸：8.5m（长）×7.5m（宽）×3.0m（高）。直线加速器的主射方向为南北方向，其中机房四面墙体、顶棚及地面均为混凝土结构。机房东墙厚 140 cm；南、北墙主墙厚 280cm，副墙厚 140cm，主屏蔽带宽 400cm；东墙迷路内墙厚 110cm，迷路外墙厚 220cm；顶棚主墙厚 280cm，副墙厚 140cm，主屏蔽带宽 400cm；东面为直型迷道，迷道宽 200cm，高 4.2m。南墙上设置有防护门，防护门屏蔽厚度为 1.5cmPb+ 7.5cm 含硼 5%的聚乙烯。机房设计情况具体见表 11-3。

直线加速器室平面图见附图十一，剖面图见附图十三。

**表 11-3 15MV 直线加速器机房设计情况**

项目名称		加速器机房	
几何尺寸	不含迷道的机房尺寸 m（长×宽×高）	8.5×7.5×3.0	
	迷道尺寸 m（长×宽×高）	8.2×2.0×4.2	
	迷道外门洞 m（宽×高）	2.0×4.2	
	迷道内防护门 m（宽×高）	1.3×2.15	
	迷道形状	直迷路	
	机房面积(m <sup>2</sup> )	60.75	
	机房内表面积(m <sup>2</sup> )	246	
	迷道面积(m <sup>2</sup> )	16.4	
防护厚度	南、北墙	主防护墙厚度(m)	2.8 砵
		主防护墙带度(m)	4.0

续表 11 环境影响分析

		次防护墙厚度(m)	1.4 砵
	西墙	防护墙厚度(m)	1.4 砵
	东墙	侧防护墙厚度(m)	2.2 砵
顶棚		主防护顶厚度(m)	2.8 砵
		主防护顶带度(m)	4.0
		次防护墙厚度 (m)	1.4 砵
迷道内墙、外墙厚度(m)		内墙宽 1.1 砵、外墙宽 2.2 砵	
防护铅门 (mm)		1.5cmPb+ 7.5cm 含硼 5%的聚乙烯	

### 3、屏蔽防护效能核实

按照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T201.2-2011)第2部分中式5~式8,式11~式13进行计算,各参数取值及具体计算过程如下所示。加速器机墙体核算计算点示意图如下图11-1所示。

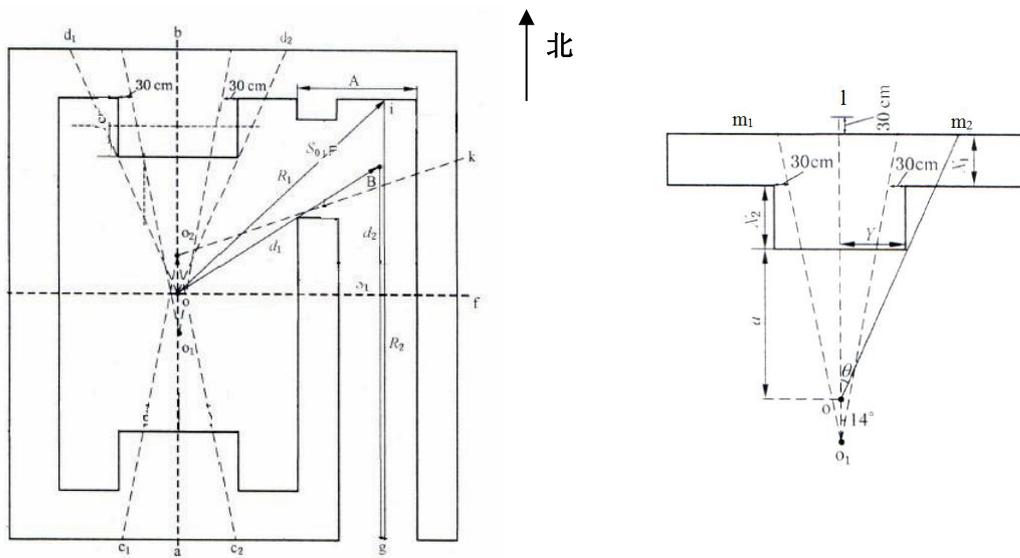


图 11-1 直线加速器机房平面布置示意图及计算参考点图

#### 1) 有效屏蔽厚度

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (11-1)$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (11-2)$$

续表 11 环境影响分析

式中：X—屏蔽物质厚度；

$X_e$ —有效屏蔽厚度。

2) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$B = 10^{-(X_e - TVL - TVL_1) / TVL} \quad (11-3)$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (11-4)$$

式中：B—辐射屏蔽透射因子；

$TVL_1$ —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

$TVL$ —辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度。

3) 有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_c} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (11-5)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_o \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-6)$$

式中： $\dot{H}_c$ —参考点剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_o$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ （以  $\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{min}$  为单位的值乘以  $6 \times 10^7$ ）；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

4) 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H} \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)} \quad (11-7)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_c \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad (11-8)$$

式中： $\dot{H}_c$ —参考点剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

续表 11 环境影响分析

$\dot{H}_o$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ;

$R_s$ —患者(位于等中心点)至关注点的距离, m;

$\alpha_{ph}$ —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,  $\text{cm}^2$ 。

### 5) 加速器(>10MV)机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

#### ① 总中子注量 $\Phi_B$

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad (11-9)$$

式中:  $\phi_B$ —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量, (中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy;

$Q_n$ —在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数, 中子数/Gy;

$d_1$ —等中心点 o 至 B 点的距离, m;

S—治疗机房的总内表面积 ( $\text{m}^2$ ), 包括四壁墙、顶面和地面, 不包括迷路内各面积;

该公式用于铅屏蔽加速器机头, 对于钨屏蔽的加速器机头, 式中第一项和第二项均乘以衰减因子 0.85。

#### ② 机房入口的中子俘获 $\gamma$ 射线的剂量率 ( $\dot{H}_\gamma$ )

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_o \quad (11-10)$$

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

$\phi_B$ —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量, (中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy;

$d_2$ —B 点至机房入口 (g) 的距离, m;

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

$\dot{H}_o$ —等中心点处治疗 X 射线剂量率 ( $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ), 屏蔽计算可视为 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )。

续表 11 环境影响分析

③ 机房入口的中子剂量率 ( $\dot{H}_n$ )

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_o \quad (11-11)$$

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

$S_0$ —迷路内口的面积，m<sup>2</sup>；

$S_1$ —迷路横截面积，m<sup>2</sup>；

$d_2$ —B 点到迷路入口 (g) 的距离，m；

$T_n$ —迷路中能量相对高的中子剂量组分式方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离 (m)，称为什值距离。 $T_n$  是一个经验值，与迷路横截面积有关。

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1}$$

④ 入口门屏蔽

入门口屏蔽设计时，通常使中子和中子俘获 $\gamma$ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获 $\gamma$ 射线，以铅屏蔽；对中子，以含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽，所需的屏蔽防护厚度  $X_\gamma$  和  $X_n$  如下式：

$$X_\gamma = TVL_\gamma \cdot \log \left[ 2 \dot{H}_\gamma / (\dot{H}_c - \dot{H}_{og}) \right] \quad (11-12)$$

$$X_n = TVL_n \cdot \text{LOG} \left[ 2 \dot{H}_n / (\dot{H}_c - \dot{H}_{og}) \right] \quad (11-13)$$

式中： $X_\gamma$  和  $X_n$  分别为屏蔽中子俘获 $\gamma$ 射线和中子这两种辐射的不同屏蔽材料的厚度，cm；

$TVL_\gamma$  和  $TVL_n$  分别为中子俘获 $\gamma$ 射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层，cm；

$\dot{H}_\gamma$  和  $\dot{H}_n$  分别为入口处防护门内的辐射剂量率；

$\dot{H}_c$  为剂量率控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

续表 11 环境影响分析

$\dot{H}_{og}$  为穿过迷路内墙的泄漏辐射在入口处的剂量率。

⑤ 低原子序数 (Z) 屏蔽材料等效换算：

$$x_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times x_2 \quad (11-14)$$

$x_1$  和  $x_2$  —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的厚度；

$\rho_1$  和  $\rho_2$  —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的密度。

6) 计算参数取值

主屏蔽墙、侧屏蔽墙、迷道内墙、迷道外墙及防护门屏蔽计算各参数取值如下表 11-4、表 11-5、表 11-6 所示。

表 11-4 主屏蔽墙、侧屏蔽墙、迷道内墙、迷道外墙屏蔽计算各参数表

参数	单位	取值	备注	
$\dot{H}_c$	$\mu\text{Sv/h}$	2.5	GBZ126-2011	
$\dot{H}_o$	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	$2.4 \times 10^8$	常用最高剂量	
R	m	7.65 (O <sub>2</sub> -a、O <sub>1</sub> -b)	辐射源点至南北墙主屏蔽墙外关注点距离	
		5.6 (O-l)	辐射源点至顶棚主屏蔽墙外关注点距离	
		5.95 (O-e)	辐射源点至东墙侧屏蔽墙外关注点距离	
		9.96 (O-k)	辐射源点至迷路外墙关注点距离	
f	/	1	有用线束	
f	/	0.001	漏射线束	
主射线	TVL <sub>1</sub>	cm	44	GBZ/T201.2—2011 附录 B 表 B.1 查出
	TVL	cm	41	
90° 泄露辐射	TVL <sub>1</sub>	cm	36	
	TVL	cm	33	
带宽	cm	4.0	GBZ/T201.2—2011	
主副墙预设	cm	250/110	GBZ/T201.2—2011	

续表 11 环境影响分析

表 11-5 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙屏蔽厚度计算各参数表

参数	单位	取值	备注
$\dot{H}_c$	$\mu\text{Sv/h}$	1.25	GBZ126-2011
$\dot{H}_o$	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	$2.4\times 10^8$	常用最高剂量
$R_s$	m	7.54 (O-d <sub>2</sub> )	辐射源点至主屏蔽墙相连的次屏蔽墙外关注点距离
		7.09 (O-m <sub>2</sub> )	辐射源点至与顶棚相连的次屏蔽墙外关注点距离
$\alpha_{ph}$	/	0.00253	散射因子, 从 GBZ/T201.2-2011) 第 2 部分附录 B 表 B.2 查出
F	$\text{cm}^2$	40*40	设备实际参数
TVL	cm	31	GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.4 查出

表 11-6 计算铅门屏蔽厚度所用参数表

参数	单位	取值	备注
		直线加速器	
$Q_n$	中子数/Gy	$7.6\times 10^{11}$	NCRP No.151 表 B.9 查出
d <sub>1</sub> (o-B)	m	7.36	测量出
S	$\text{m}^2$	261.9	实际设计内表面积
d <sub>2</sub> (B-g)	m	10.85	测量出
TVL <sub>D</sub>	m	3.9	GBZ/T201.2-2011
$\dot{H}_o$	$\mu\text{Gy/h}$	$2.4\times 10^8$	常用最高剂量率
S <sub>0</sub>	$\text{m}^2$	8.4	迷道内口面积 (宽×高)
S <sub>1</sub>	$\text{m}^2$	8.4	最小的迷道横截面积 (宽×高)
TVL <sub>γ</sub>	cm	3.1	GBZ/T201.2-2011 附录 C 查得
TVL <sub>n</sub>	cm	4.5	GBZ/T201.2-2011 附录 C 查得
带宽	cm	4.0	GBZ/T201.2-2011

#### 7) 治疗室建筑物屏蔽墙厚的确定原则

在计算散射和泄漏辐射所需的屏蔽厚度时, 如果两者的厚度相差大于一个十分之一值厚度, 则其中较厚的一个厚度, 即可作为次级防护屏障的厚度。如若两者的厚度相差不到一个十分之一值厚度, 那么在其中较厚的一个厚度上再添加一个半值厚度, 作为总的次级防护屏障厚度。

#### 4、核算结果

直线加速器室地面之下为泥土层, 人员无法到达, 因此本评价不进行上述部分的屏

续表 11 环境影响分析

蔽效能校核。

根据核算模式与选定的核算参数，本项目的直线加速器机房的屏蔽防护核算结果见表 11-7。

表 11-7 直线加速器室墙体屏蔽核实结果（混凝土  $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）

核实部位		计算参数	安全剂量下所需厚度(cm 砼)	设计厚度(cm 砼)	建议厚度(cm 砼)	建议厚度下的瞬时剂量( $\mu\text{Sv/h}$ )	设计条件下是否满足辐射屏蔽要求
北墙、南墙 (主屏蔽墙)	主屏蔽墙(主射 a、b 点)	$R=7.85$ $H_0=2.4\times 10^8$ $H_C=2.5$ $f=1$	258	280	280	0.68	是
	副墙(散、漏射 c、d 点)	$R=7.54$ $H_0=2.4\times 10^8$ $H_C=1.25$ $f=0.001$	122	140	140	0.26	是
	带宽	/	367	400	400	/	是
西墙 (侧屏蔽墙)	散、漏射(e 点)	$R=5.95$ $H_0=2.4\times 10^8$ $H_C=2.5$ $f=0.001$	118	140	140	0.48	是
迷路内墙	散、漏射(g 点)	$R=9.16$ $f=0.01$ $H_C=0.5$	110	110	110	0.47	是
迷路外墙	漏射, 无内墙遮挡部分(k 点)	$R=9.96$ $H_0=2.4\times 10^8$ $H_C=2.5$ $f=0.001$	102	220	220	0.001	是
顶棚	主屏蔽墙(主射 l 点)	$R=5.8$ $H_0=2.4\times 10^8$ $H_C=2.5$ $f=1$	268	280	280	1.25	是
	副墙(散、漏射 m <sub>2</sub> 点)	$R=7.09$ $H_0=2.4\times 10^8$ $H_C=1.25$ $f=0.001$	124	140	140	0.29	是
	带宽	/	255	400	400	/	是
防护门(o-B-g 点)		见表 11-6	1.2cmPb+7.1cm 含硼 5%的聚乙烯	1.5cmPb+7.5cm 含硼 5%的聚乙烯	1.5cmPb+7.5cm 含硼 5%的聚乙烯	1.21	是

考虑相邻机房辐射能量叠加影响，直线加速器机房（一）与直线加速器机房（二）、直线加速器机房（三）与直线加速器机房（四）的迷道外墙共用，设计为 2 倍防护屏蔽厚度，为 2200mm 砼；直线加速器机房（二）与直线加速器机房（三）的侧屏蔽墙共用，

**续表 11 环境影响分析**

设计为 2 倍防护屏蔽厚度，为 2400mm 砼。

根据表 11-7 计算可知，在现有设计墙体及防护门厚度条件下，直线加速器室墙体厚度及防护门厚度均能满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的要求。在采取本评价提出的要求后，直线加速器室对 X 射线和中子的总体屏蔽效能满足辐射防护要求。

### **5、有害气体分析**

#### **①感生放射性废气**

加速器在出束工作时，在加速器厅内，束流传输隧道的空气活化后产生感生放射性核素主要是  $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ ， $^{15}\text{O}$  半衰期为 2.1min， $^{13}\text{N}$  半衰期是 10min。中子引起加速器冷却活化，产生感生放射性核素主要是  $^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$ ，半衰期分别为 2.1min 和 7.3s。因此，建议直线加速器停止工作后 15min 后再进入工作场所，则感生放射性核素的活度可衰减到可忽略水平。

#### **②臭氧和氮氧化物**

X 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物等废气，直线加速器治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的条件下，臭氧浓度为甚小，少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流、扩散作用所稀释，不会影响机房外大气环境质量的等级。

### **6、机房内通风**

直线加速器运行时会产生少量的感生放射性废气、臭氧和氮氧化物。因此机房需要良好的通风，以降低臭氧浓度。

根据建设单位提供资料排风管道换气次数不小于 4 次/h，通风量不小于  $1000\text{m}^3/\text{s}$ ，产生的少量臭氧及放射性废气沿排气管道连接至楼顶排放，同时安装了空调辅助通风，在机房使用过程中，能够有效排除机房内少量的臭氧及氮氧化物；加速器工作时产生感生放射性废气，直线加速器停止工作 15min 后再进入工作场所，感生放射性核素的活度可衰减到可忽略水平。另外机房通风排风管外口不朝向环境敏感点并远离空调进风口。在此基础上，因排放室外有限的有害气体经空气稀释，将很快恢复到原来的空气浓度水平，加上  $\text{O}_3$  的分解时间不到 10 分钟，能满足环境空气质量标准。

### **11.3.3 后装治疗机辐射环境影响分析**

#### **1、机房设计情况**

续表 11 环境影响分析

医院拟配置 1 台  $^{192}\text{Ir}$  后装治疗机，后装治疗机机房内空尺寸约为  $5.5\text{m}\times 4.5\text{m}\times 4.8\text{m}$ ，机房东面为直迷道，迷道宽 1.7m，迷道外墙厚 60cm，迷道内墙厚 60cm，迷道内墙长 2.2m，机房南墙厚 140cm，西北墙厚 60cm，防护门防护厚度设计为 6mmPb。机房墙体均为混凝土结构。内装放射源，额定装源最大活度为  $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ 。 $^{192}\text{Ir}$  后装治疗机是放射源近距离治疗仪，屏蔽考虑  $\gamma$  射线对环境的影响。后装治疗机放置在室内中心点上，将密封放射源置于病灶附近，四周墙体都将受到  $^{192}\text{Ir}$  的直接照射。

根据医院提供的资料，后装治疗机每周最多治疗 20 人，每例病人治疗照射 2 个野，每野平均 4Gy（1 个野约 2min），后装治疗机年工作时间约 960min（16h）。

## 2、屏蔽防护效能核实

### (1) 核实建筑物屏蔽效能采用的主要公式

关注点的周剂量参考控制水平为  $H_c$  时，该关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 如式：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-15)$$

式中： $H_c$ ——周参考剂量控制水平，单位为微希每周（ $\mu\text{Sv/周}$ ）（参照 GBZ/T201.3-2014 中 4.1.1a，非控制区的剂量控制目标为  $5\mu\text{Sv/周}$ ）；

$U$ ——关注位置方向照射的使用因子，本项目取 1；

$T$ ——人员在相应关注点驻留的居留因子，本项目取 1；

$t$ ——治疗装置周治疗照射时间，单位为时（h）。其值为平均每周治疗照射人数和每人治疗照射时间的乘积，本项目为 2h。

按照上式本项目剂量率  $\dot{H}_c$  应取为  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子  $B$  按下列公式计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (11-16)$$

式中： $\dot{H}_c$ ——按 4.1.1 和附录 A 确定的剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$R$ ——辐射源至关注点的距离，m；

$f$ ——对有用线束为 1；对  $\gamma$  射线源远距治疗装置的泄漏辐射为泄漏辐射比率；

续表 11 环境影响分析

$\dot{H}_o$ ——活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率, 按照下式计算, 单位  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$$\dot{H}_o = A \cdot K_\gamma \quad (11-17)$$

式中: A——放射源的活度, 单位为 MBq;

$K_\gamma$ ——放射源的空气比释动能率常数 (或称  $K_\gamma$  常数), 在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似, 此时  $K_\gamma$  的单位记为  $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ , 见表 C.1。

入口 g 处的散射辐射剂量  $\dot{H}$  采用下列公式计算:

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (11-18)$$

式中: A、 $K_\gamma$ 同式 (11-17);

$S_w$ ——迷路内口墙的散射面积, 其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积, 单位  $\text{m}^2$ ;

$\alpha_w$ ——散射体的散射因子;

$R_1$ ——辐射源至散射体中心点的距离, 单位为 m;

$R_2$ ——散射体中心点至计算点的距离, 单位为 m;

## (2) 屏蔽效能核实结果

后装治疗机房的屏蔽效能核实结果见表 11-8。

表 11-8 后装治疗机房墙体屏蔽效能核实结果 (混凝土  $\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$ )

共同参数		放射源: $^{192}\text{Ir}$ ; 活度 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci); 水泥散射系数: 1%; 周围剂量当量率限值: $2.5\mu\text{Sv/h}$				
墙体名称	采用参数	核算厚度 (cm 砼)	建议厚度 (cm 砼)	设计厚度 (cm 砼)	建议厚度下的 瞬时剂量 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
南墙 (主射)	$R=3.95\text{m}$ , $q=1$	46	140	140	$\approx 0$	
北墙 (主射)	$R=3.15\text{m}$ , $q=1$	49	60	60	0.48	
西墙 (主射)	$R=3.65\text{m}$ , $q=1$	47	60	60	0.36	
东墙	迷路内墙 (主射)	$R=3.65\text{m}$ , $q=1$	47	60	60	0.36
	迷路外墙 (主射)	$R=5.95\text{m}$ , $q=1$	41	60	60	0.13
顶棚 (主射)	$R=5.1\text{m}$ , $q=1$	43	60	60	0.18	

续表 11 环境影响分析

铅门（散射）	R <sub>1</sub> =4.76m, R <sub>2</sub> =5.40m, S=1.7m×4.8m, q=1	4.2mmPb	6mmPb	6mmPb	1.11
--------	---	---------	-------	-------	------

注：q-居留因子（取1）；机房地面以下为夯实土层，不进行屏蔽核算。

按照《电离辐射防护与安全基本标准》（GB18871-2002）中“辐射防护最优化”原则。<sup>192</sup>Ir 后装治疗机机房按照上述建议厚度进行建设，则机房的屏蔽能力能满足辐射防护的要求，表明后装治疗机房外辐射环境是安全的。防护铅门应由专业厂家制作安装。

事实上，上述计算结果仅只是考虑了墙对射线的屏蔽作用，没有考虑设备本身的自屏蔽作用，以及附加的一些防护设施的屏蔽作用，例如：盛装放射源铅罐的屏蔽作用，以及其它附加防护设施（铅玻璃屏）的屏蔽作用。另外，未考虑人体自身的防护、工作人员佩戴铅衣、铅手套、铅围裙等，实际上由于各种屏蔽物的屏蔽作用，机房室外的辐射水平将低于理论计算结果。

此外，后装机治疗室在每小时通风换气4次以上，经空气扩散后对浓度将更低，不会影响机房外环境空气质量。

### 11.3.4 DSA 辐射环境影响分析

#### 1、机房设计情况

娄底众一医院门诊医技楼四层介入中心配置3台 DSA，属于 II 类射线装置。DSA 机房（一）和 DSA 机房（三）内空尺寸相同，为 8.5m×8.3m×4.3m，面积 70.55m<sup>2</sup>。DSA 机房（二）内空尺寸为 8.5m×8.2m×4.3m，面积 69.7m<sup>2</sup>。机房四面墙体为 240mm 实心砖+30mmBaSO<sub>4</sub>，顶棚和地面为 150mm 砼+30mmBaSO<sub>4</sub>，大小防护门均为 4mmPb，防护窗为 4mmPb。本项目 3 间 DSA 机房屏蔽设计厚度及材料相同，选取较不利条件即面积较小的 DSA 机房（二）进行核算。在同等工作条件下，如果 DSA 机房（二）屏蔽核算满足要求，则 DSA 机房（一）与 DSA 机房（三）屏蔽防护一定满足要求。

#### 2、屏蔽防护效能核实

##### （1）核实建筑物屏蔽效能采用的主要公式

机房辐射场由三种射线组成：主射线、散射线、漏射线。

##### ①主射线：

续表 11 环境影响分析

$$\dot{H} = \frac{H \times q \times U}{K \times R^2} \quad (11-20)$$

$$H = \dot{G} \times I \times 60$$

$$\dot{G} = 1.222 - 5.664 \times 10^{-2} \times kV + 1.227 \times 10^{-3} \times kV^2 - 3.136 \times 10^{-6} \times kV^3$$

式中：K——减弱倍数。

H——额定工作条件下，X线的输出率（Gy/h）

I——额定电流（mA）

$\dot{G}$ ——血管造影系统发射率，本次环评选取透视模式下，最高输出功率时 X 射线管电流与 X 射线管电压的组合情况进行核算，发射率取值见表 11-11。

$\dot{H}$  ——屏蔽体外 30cm 处瞬时剂量率（Sv/h）

R ——参考点距离(m)

q——居留因子（取 1）

U——定向因子（取 1）

### ②散射线

$$\dot{H} = \frac{H \times \alpha \times q \times S}{K \times R^2 \times r^2} \quad (11-21)$$

式中： $\alpha$ ——人体散射系数，0.0016/400cm<sup>2</sup>。

s——散射面积，400m<sup>2</sup>。

R——参考点距离(m)

r——源皮距，1m。

### ③漏射线

$$\dot{H} = \frac{H_1 \times q}{K \times R^2} \quad (11-22)$$

式中： $H_1$ ——X 漏射剂量率（<1mGy/h）；

### ④厚度

$$d = TVL \log K \quad (11-23)$$

续表 11 环境影响分析

式中：TVL——十值层厚度；

$d$ ——屏蔽材料厚度

$$\textcircled{5} \quad E_{\gamma'} = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (11-24)$$

式中： $E_{\gamma'}$ ——散射光子的能量（MeV）；

$E_0$ ——入射光子的能量（MeV）；

$m_0 c^2$ ——电子静止能量（MeV）；

$\theta$ ——散射角（°）。

**(2) 核实建筑屏蔽效能采用的有关参数**

由于 X 射线装置在实际应用中并不会满负荷运行，在考虑正当性及最优化原则的基础上，结合以往验收监测经验，选取最高输出功率时 X 射线管电流与 X 射线管电压的组合情况进行核算。工作模式为透视模式时管电压取值为 125kV，管电流取值为 30mA；工作模式为摄影模式最大恒定输出功率时，管电压取值为 100kV，管电流为 1000mA。采用两种情况对 DSA 机房的屏蔽防护进行估算。

本评价按照国家标准和地方环保部门要求，确定机房墙体、门和观察窗外表面 0.3m 及楼上 1m 和楼下 1.7m 处空气比周围剂量当量率均按 2.5 $\mu$ Sv/h 进行控制。

**表 11-9 利用因子 U**

有用线束固定照射方向	U=1
有用线束朝向的墙壁	U=1/4
顶棚	U=1/4

**表 11-10 居留因子 q**

全部居留 q=1	工作室、办公室、候诊室、居住区等常有人居留的地方
部分居留 q=1/4	公共走廊、人操纵的电梯、无人看管的停车场等有时有人居留的地方
偶然居留 q=1/16	公共浴室、厕所、少量行人车辆通过的地方

该项目 DSA 机房用房独立，本次环评假设 X 射线出线口设置在机房中线交点处，DSA 工作模式为透视模式时，主射线能量约 125kV，电流为 30mA；工作模式为拍片模式时，主射线能量约为 100kV，电流为 1000mA。人体散射系数：0.0016/400cm<sup>2</sup>；散射面积 s=400cm<sup>2</sup>；源皮距，1m。机房建筑屏蔽材料常用材料为混凝土、砖、铅等，其密度分别为：实心砖密度 1.65g/cm<sup>3</sup>，混凝土密度 2.35g/cm<sup>3</sup>，铅密度 11.34g/cm<sup>3</sup>。计算参



续表 11 环境影响分析

南墙(走廊) 散漏射	4.82	透视	212mm 实心砖	240mm 实心砖		0.10	是
		拍片	220mm 实心砖			0.10	是
西墙(DSA 机 房)散漏射	4.67	透视	214mm 实心砖	240mm 实心砖		0.10	是
		拍片	223mm 实心砖			0.11	是
顶棚(天台) 散漏射	4.18	透视	156mm 砼	180mm 砼	150mm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub>	0.27	是
		拍片	162mm 砼			0.42	是
地面(检测室) 散漏射	4.08	透视	157mm 砼	180mm 砼	150mm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub>	0.28	是
		拍片	163mm 砼			0.45	是
北防护门(控制 廊)散漏射	6.07	透视	2.1mmPb	2.5mmPb	4mmPb	0.007	是
		拍片	2.2 mmPb			0.004	是
南防护门(走 廊)散漏射	6.07	透视	2.1mmPb	2.5mmPb	4mmPb	0.007	是
		拍片	2.2 mmPb			0.004	是
观察窗 (DSA 控制室) 散漏射	4.82	透视	2.3 mmPb	3.0mmPb	4mmPb	0.012	是
		拍片	2.4 mmPb			0.007	是

注：①楼上屋顶计算位点为离五层地板 1m 处，即  $R=4.3-1.3+0.15+0.03+1=4.18m$ ；

②楼下计算位点为离三层地面 1.7m 处，即  $R=1.3+0.15+0.03+4.3-1.7=4.08m$ 。

### (6) 机房屏蔽效能评估

由表 11-12 计算可知，DSA 机房（二）的四周墙体、天棚及地面设计厚度能够满足要求，核算墙体外的瞬时剂量小于  $2.5\mu Sv/h$ ，介入中心的屏蔽可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。在评价范围内的敏感点受 X 射线装置运行时的影响很小，环境可接受。

本项目共有 3 间 DSA 机房，DSA 机房（一）、DSA 机房（三）与 DSA 机房（二）类比情况见下表 11-13：

表 11-13 本项目 DSA 机房类比情况表

项目	DSA 机房（二）	DSA 机房（一）	DSA 机房（三）
机房尺寸	8.5m×8.2m×4.3m	8.5m×8.3m×4.3m	8.5m×8.3m×4.3m
机房面积	69.7m <sup>2</sup>	70.55m <sup>2</sup>	70.55m <sup>2</sup>
四面墙体	240mm 实心砖 +30mmBaSO <sub>4</sub>	240mm 实心砖 +30mmBaSO <sub>4</sub>	240mm 实心砖 +30mmBaSO <sub>4</sub>
顶棚	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>
防护门窗	4mmPb	4mmPb	4mmPb
类比情况	核算结果满足要求	屏蔽厚度相同，面积本机房优	屏蔽厚度相同，面积本机房优

**续表 11 环境影响分析**

由类比情况可知，在同等工作条件下，DSA 机房（一）与 DSA 机房（三）屏蔽防护优于 DSA 机房（二），屏蔽可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。在评价范围内的敏感点受 X 射线装置运行时的影响很小，环境可接受。

### **3、机房内通风**

DSA 运行时会产生少量的臭氧和氮氧化物，因此 DSA 机房需要良好的通风，以降低臭氧浓度。根据医院实际情况，DSA 机房设置有机械通风系统，同时安装中央空调辅助通风，机房内通风良好。在此基础上，排放至室外的有害气体经空气稀释，将很快恢复到原来的空气浓度水平，O<sub>3</sub> 的分解时间不到 10 分钟，能满足环境空气质量标准。

## **11.3.5 III类射线装置辐射环境影响分析**

### **1、机房设计情况**

III类 X 射线装置机房包括模拟定位机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、CT 机房、DR 机房、数字胃肠机机房、乳腺 X 射线机房、全景牙片机房、骨密度仪机房以及小 C 臂机房。根据医院提供的设计资料可知，机房防护屏蔽参数见表 10-1。

核放中心模拟定位机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房的四周墙体均为 300mm 砼，顶棚和地面均为 150mm 砼+30mmBaSO<sub>4</sub>，防护门及防护窗设计屏蔽厚度为 4mmPb。

门诊医技楼 CT 机房、DR 机房、数字胃肠机房、乳腺 X 射线机房、全景牙片机房和骨密度仪机房的四周墙体均为 240mm 砖+30mmBaSO<sub>4</sub>，顶棚和地面均为 150mm 砼+30mmBaSO<sub>4</sub>。CT 机房防护门及防护窗设计屏蔽厚度为 4mmPb，DR 机房、数字胃肠机房、乳腺 X 射线机房、全景牙片机房和骨密度仪机房防护门及防护窗设计屏蔽厚度为 3mmPb。小 C 臂机房（手术室 OR.02、OR.03）四周墙体为 240mm 砖+30mmBaSO<sub>4</sub>，顶棚及地面为 150mm 砼 30mmBaSO<sub>4</sub>，防护门和防护窗设计屏蔽厚度为 3mmPb。

### **2、屏蔽防护效能核实**

#### **（1）典型机房屏蔽防护核算**

根据III类 X 射线装置仪器的参数及机房大小，选取的典型III类射线装置机房核放中心负一层模拟定位机房（一）以及 DR 机房（一）进行机房屏蔽厚度校核。模拟定位机房（一）内空尺寸为 7.6m×5.4m×5.8m，面积 41.04m<sup>2</sup>；DR 机房（一）内空尺寸为 5.12m×4.92m×5.3m，面积 25.19m<sup>2</sup>。

**续表 11 环境影响分析**

**①情景设置及参数选择**

本项目模拟定位机设备额定电压为 140kV，额定电流为 650mA，DR设备额定电压为 150kV，额定电流为 800mA，结合以往验收监测经验，选取X射线机的最大运行管电压 120kV，管电流 280mA，对模拟定位机房及DR机房的屏蔽防护进行估算。

另外，本评价按照国家标准和相关规定要求，确定机房墙体、门和观察窗外表面 0.3m 处，楼上层离地 1m处，楼下层离地 1.7m处周围剂量当量率均按 2.5 $\mu$ Sv/h进行估算。

由于本项目模拟定位系统和DR系统带有影像增强系统，模拟定位机不会有有用线束直接对四周墙体、顶棚、防护门和观察窗等进行直接照射，而主要是散射线和漏射线产生的照射，DR机房（一）南墙为主射线照射，其他墙体均为散射线和漏射线产生照射，因此本评价采用式 11-20、式 11-21、式 11-22 对模拟定位机房和DR机房的辐射安全防护评价估算，散射光子能量按式 11-24 计算。

在计算散射和泄漏辐射所需的屏蔽厚度时，如果两者的厚度相差大于一个十分之一值厚度，则其中较厚的一个厚度，即可作为次级防护屏障的厚度。如若两者的厚度相差不到一个十分之一值厚度，那么在其中较厚的一个厚度上再添加一个半值厚度，作为总的次级防护屏障厚度。

90° 散射角的散射线能量约为 97kV，漏射线能量为 120 kV。各屏蔽材料的TVL值见表 11-14。

**表 11-14 各屏蔽材料的TVL值**

能量	屏蔽材料	TVL 值
97kV	砼	5.3cm
	硫酸钡水泥	3.53cm
	铅	0.80mm
	页岩砖	7.48cm
120kV	砼	6.2cm
	硫酸钡水泥	4.18cm
	铅	0.89mm
	页岩砖	8.86cm

**②核算结果**

根据式 11-21~式 11-24，机房的辐射效能核算情况见表 11-15、表 11-16。

续表 11 环境影响分析

表 11-15 模拟定位机房（一）屏蔽能力核实计算

墙体名称		采用参数 (m)		计算厚度 (mm)	医院提供设计厚度 (mm)	设计厚度下瞬时剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	设计是否满足屏蔽要求
北墙	墙体 (过道)	散射漏射	4.4	180 砵	300 砵	0.014	是
	防护门 (过道)	散射漏射	4.4	2.7Pb	4Pb	0.063	是
东墙	墙体 (控制室)	散射漏射	3.3	193 砵	300 砵	0.025	是
	防护门 (控制室)	散射漏射	4.5	2.7Pb	4Pb	0.060	是
	观察窗 (控制室)	散射漏射	3.3	2.9Pb	4Pb	0.11	是
南墙	墙体 (设备间)	散射漏射	4.4	180 砵	300 砵	0.014	是
西墙	墙体 (设备间)	散射漏射	3.3	193 砵	300 砵	0.025	是
	防护门 (准备间)	散射漏射	4.5	2.7Pb	4Pb	0.060	是
顶棚(诊室)		散射漏射	5.68	168 砵	150砵+30BaSO <sub>4</sub>	0.008	是

注：机房地面为混凝土加夯实土层，不进行屏蔽核算。

表 11-16 DR 机房（一）屏蔽能力核实计算

墙体名称		采用参数 (m)		计算厚度 (mm)	医院提供设计厚度 (mm)	设计厚度下瞬时剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	设计是否满足屏蔽要求
西墙	墙体 (走廊)	散射漏射	3.03	278 实心砖	240 砖+30BaSO <sub>4</sub>	1.15	是
	防护门 (走廊)	散射漏射	3.87	2.8Pb	3Pb	1.44	是
北墙	墙体 (控制室)	散射漏射	3.13	276 实心砖	240 砖+30BaSO <sub>4</sub>	1.08	是
	防护门 (控制室)	散射漏射	3.87	2.8Pb	3Pb	1.44	是
	观察窗 (控制室)	散射漏射	3.13	2.95Pb	3Pb	2.19	是
东墙	墙体 (走廊)	散射漏射	3.03	278 实心砖	240 砖+30BaSO <sub>4</sub>	1.15	是
	防护门 (走廊)	散射漏射	3.03	2.97Pb	3Pb	2.34	是
南墙	墙体 (护士站)	主射	3.13	296 实心砖	240 砖+30BaSO <sub>4</sub>	2.28	是
顶棚(肠镜室)		散射漏射	5.18	172 砵	150砵+30BaSO <sub>4</sub>	0.95	是
地面(消毒供应中心)		散射漏射	5.08	173 砵	150砵+30BaSO <sub>4</sub>	0.99	是

续表 11 环境影响分析

根据上述计算可知，该模拟定位机房及DR机房四面墙体、天棚及防护门窗设计屏蔽厚度均满足要求，瞬时剂量小于 2.5 $\mu$ Sv/h，医院按环评建议厚度修建后，机房评价范围内的敏感点受X射线装置运行时的影响很小，环境可以接受。

本项目共有 2 间模拟定位机房，模拟定位机房（一）与模拟定位机房（二）类比情况见下表 11-17：

表 11-17 本项目模拟定位机房类比情况表

项目	模拟定位机房（一）	模拟定位机房（二）
机房尺寸	7.6m×5.4m×5.8m	7.6m×5.4m×5.8m
机房面积	41.04m <sup>2</sup>	41.04m <sup>2</sup>
四面墙体	300mm 砼	300mm 砼
顶棚	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>	150mm 砼+30mmBaSO <sub>4</sub>
防护门窗	4mmPb	4mmPb
类比情况	核算结果满足要求	相同

由类比情况可知，在同等工作条件下，模拟定位机房（二）与模拟定位机房（一）屏蔽防护相同，屏蔽可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。在评价范围内的敏感点受 X 射线装置运行时的影响很小，环境可接受。

**（2）其他III类射线装置机房屏蔽效能评估**

其他III类射线装置屏蔽防护一览表见表 11-18。

表 11-18 医院拟配置 III 类射线装置屏蔽防护一览表

序号	射线装置	参数	屏蔽墙体厚度	实际厚度铅当量	屏蔽墙体、防护门、窗铅当量要求	是否达标
1	PET/CT	140kV; 500mA	四周墙体：300mm 砼 顶棚：150mm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub> 防护门及防护窗：4mmPb	四周墙体：约 4mmPb 顶棚：约 2.6mmPb 防护门及防护窗： 4mmPb	2.5mm 铅当量 (较大工作量)	是
2	SPECT/CT	140kV; 500mA	四周墙体：300mm 砼 顶棚：150mm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub> 防护门及防护窗：4mmPb	四周墙体：约 4mmPb 顶棚：约 2.6mmPb 防护门及防护窗： 4mmPb	2.5mm 铅当量 (较大工作量)	是
3	CT	150kV; 1000mA	四周墙体：240mm 砖 +30mmBaSO <sub>4</sub> 顶棚：150mm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub> 防护门及防护窗：4mmPb	四周墙体：约 3mmPb 顶棚：约 2.6mmPb 防护门及防护窗： 4mmPb	2.5mm 铅当量 (较大工作量)	是

续表 11 环境影响分析

4	DR	150kV; 800mA	四周墙体: 240mm 砖 +30mmBaSO <sub>4</sub> 顶棚: 150mm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub> 防护门及防护窗: 3mmPb	四周墙体: 约 3mmPb 顶棚: 约 2.6mmPb 防护门及防护窗: 3mmPb	有用线束方向: 3mm 铅当量 非有用线束方向: 2mm 铅当量	是
5	数字胃肠机	150kV; 1000mA	四周墙体: 240mm 砖 +30mmBaSO <sub>4</sub> 顶棚: 150mm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub> 防护门及防护窗: 3mmPb	四周墙体: 约 3mmPb 顶棚: 约 2.6mmPb 防护门及防护窗: 3mmPb	有用线束方向: 3mm 铅当量 非有用线束方向: 2mm 铅当量	是
6	乳腺 X 射线 机	35kV; 100mA	四周墙体: 240mm 砖 +30mmBaSO <sub>4</sub> 顶棚: 150mm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub> 防护门及防护窗: 3mmPb	四周墙体: 约 3mmPb 顶棚: 约 2.6mmPb 防护门及防护窗: 3mmPb	有用线束方向: 1mm 铅当量 非有用线束方向: 1mm 铅当量	是
7	骨密度仪	60kV; 100mA	四周墙体: 240mm 砖 +30mmBaSO <sub>4</sub> 顶棚: 150mm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub> 防护门及防护窗: 3mmPb	四周墙体: 约 3mmPb 顶棚: 约 2.6mmPb 防护门及防护窗: 3mmPb	有用线束方向: 1mm 铅当量 非有用线束方向: 1mm 铅当量	是
8	全景牙片机	65kV; 7mA	四周墙体: 240mm 砖 +30mmBaSO <sub>4</sub> 顶棚: 150mm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub> 防护门及防护窗: 3mmPb	四周墙体: 约 3mmPb 顶棚: 约 2.6mmPb 防护门及防护窗: 3mmPb	有用线束方向: 1mm 铅当量 非有用线束方向: 1mm 铅当量	是
9	小 C 臂机	125kV; 120mA	四周墙体: 240mm 砖 +30mmBaSO <sub>4</sub> 顶棚: 150mm 砼 地面: 150mm 砼 防护门及防护窗: 3mmPb	四周墙体: 约 3.0mmPb 顶棚: 约 2.0mmPb 防护门及防护窗: 3mmPb	有用线束方向: 1mm 铅当量 非有用线束方向: 1mm 铅当量	是

根据上表数据可知, 其他 III 类 X 射线装置机房墙体、天棚, 防护门窗按设计厚度修建可满足相关要求。因此对周围环境和人员造成的影响是在可接受的范围之内, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002) 和《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 要求。

### 3、机房内通风

射线诊断装置运行时会产生少量的臭氧。因此射线诊断装置机房采用动力排风装置保持良好的通风, 以降低臭氧浓度。根据医院设计情况, 医院拟在射线装置机房内安装机械通风装置, 因此, 拟建机房均预留了通风口, 用管道连接排至室外, 排风量达到 500 m<sup>3</sup>/h, 另外机房通风排风管外口不朝向环境敏感点并远离空调进风口。在此基础上, 因

**续表 11 环境影响分析**

排放室外有限的有害气体经空气稀释，将很快恢复到原来的空气浓度水平，加上 O<sub>3</sub> 的分解时间不到 10 分钟，能满足环境空气质量标准。

**4、无固定机房的移动 X 光机**

根据医院提供的资料，本次环评涉及的 3 台移动 X 光机分别位于门诊医技楼一层影像科、负一层急诊科和三层体检中心，使用位置不是固定的，其能量较低。上述机房墙体均为 ≥24cm 实心页岩砖（密度 1.65g/cm<sup>3</sup>），顶棚、地板均为 15cm 厚现浇混凝土（密度 2.35g/cm<sup>3</sup>）结构可以满足屏蔽要求，使用时应配备有相应的防护设备。

**11.3.6 职业照射人员与公众附加年有效剂量**

X-γ射线产生的外照射人均年有效当量剂量按下列公式计算：

$$H_{E,r}=H^*(10) \times T \times t \times 10^{-3}(\text{mSv}) \quad (11-25)$$

其中：H<sub>E,r</sub>—— X 或γ射线外照射人均年有效当量剂量，mSv；

H\*(10) —— X 或γ射线周围剂量当量率，μSv/h；

T——居留因子；

t —— X 或γ射线照射时间，h。

**11.3.6.1 直线加速器机房附加年有效剂量**

**①直线加速器辐射工作人员**

根据医院提供的年最大工作负荷，按照 1 名工作人员负责完成 1 台设备的操作，则直线加速器辐射工作人员年有效剂量当量估算结果见表 11-19。

**表 11-19 直线加速器辐射工作人员年有效剂量当量估算表**

设备名称	控制室处剂量率（次屏蔽区）	居留因子	单台设备年最大有效开机时间（h）	年有效剂量（mSv）
直线加速器	1.25μSv/h	1	66.7	0.083

根据上述核算，直线加速器的放射工作人员年受照剂量为 0.083mSv/a，低于环评的管理目标值 2mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

**② 非辐射工作人员和公众成员**

直线加速器机房外有非辐射工作人员和公众成员活动，但很少经过直线加速器机

## 续表 11 环境影响分析

房。本项目辐射设备所致的公众成员年有效剂量当量估算结果见表 11-20。

表 11-20 非辐射工作人员和公众成员年有效剂量当量估算表

设备名称	墙体外最大剂量率	居留因子	单台年最大有效开机时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
直线加速器	1.38 $\mu$ Sv/h	1/4	66.7	0.023

由表 11-20 可知，取非辐射工作人员和公众成员可能到达机房外的瞬时剂量最大值进行计算，直线加速器机房公众成员年受照剂量为 0.023mSv/a，低于环评的管理目标值 0.1mSv/a（公众成员），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

### 11.3.6.2 后装治疗机机房附加年有效剂量

根据医院提供的资料，后装治疗机全年治疗约 240 人，每例病人每次照射 2 个野，每野平均 4Gy（1 个野约 2min），后装治疗机年工作时间约 960min（16h）。

#### ① 辐射工作人员

按保守估计，1 名工作人员完成所有后装治疗机的相关操作，以北墙外（控制室）瞬时剂量 0.48 $\mu$ Gy/h，由公式计算可知，受后装治疗机影响下控制室辐射工作人员所受的年有效剂量为 0.008mSv/a。

控制室辐射工作人员一般在开机前还需要为病人摆位，摆位时间不超过 3min/人，摆位时受到的剂量最大为 100 $\mu$ Gy/h（设备表面 5cm 处，根据 GBZ121-2002），则摆位时受到的年有效剂量为 1.2mSv/a；辐射工作人员停机 3min-5min 后进入机房内对病人进行摆位，其感生放射性影响较小。

#### ② 非辐射工作人员和公众成员

因后装腔内治疗室四周人员很少很少停留，非辐射工作人员和公众成员停留时间很短，因此非辐射工作人员和公众成员在后装腔内治疗室外的居留因子取 1/4，取最大瞬时剂量 0.36 $\mu$ Gy/h，由公式计算可知，非辐射工作人员和公众成员所受的年附加有效剂量为 0.0022mSv，低于年管理目标值 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

续表 11 环境影响分析

表 11-21 后装机年有效剂量估算表

序号	射线装置名称	工作负荷 (人次/年/台)	每人每次照射时间 (min)	年最大有效开机时间 (h)	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年有效剂量当量(mSv)	
						辐射工作人员	非辐射工作人员和公众成员
1	后装机	240	$\leq 6$	24	0.48	0.012	/
			$\leq 3$	12	100	1.2	/
			$\leq 6$	24	0.36	/	0.0022

### 11.3.6.3 DSA 机房附加年有效剂量

按医院提供资料，娄底众一医院拟配置 3 台 DSA。

医院计划配备 168 名专业辐射工作人员，本项目介入中心拟配置 27 名辐射工作人员。工作场所为门诊医技楼四层介入中心，医院每台 DSA 年进行手术台数约 500 台次/年。

#### (1) 手术室医护人员

根据医院提供资料，医院 DSA 的辐射工作人员拟配置为专职辐射工作人员，不从事其他 X 射线装置的操作。因此，DSA 辐射工作人员的个人受照剂量仅来源于操作 DSA 所受剂量。介入治疗工作人员在机房内床旁操作时受到的照射剂量相对较大。医院拟开展的介入手术有：动脉介入治疗、静脉介入治疗、门脉系统介入治疗、心脏介入治疗、冠脉介入治疗、脑和脊髓血管介入治疗。

本环评通过类比引用永州市中心医院南院区住院大楼一楼介入中心 DSA 机房辐射环境监测对本项目 DSA 介入治疗操作人员进行剂量估算。永州市中心医院于 2016 年 11 月 3 日委托相关资质单位对其辐射工作场所的周围剂量当量率进行了年度评估监测（检测报告：鹏辐（检）[2016]168 号）。

本项目 DSA 拟安装地与类比 DSA 辐射工作场所对比情况如下表：

表 11-22 类比设备与本项目 DSA 对比情况

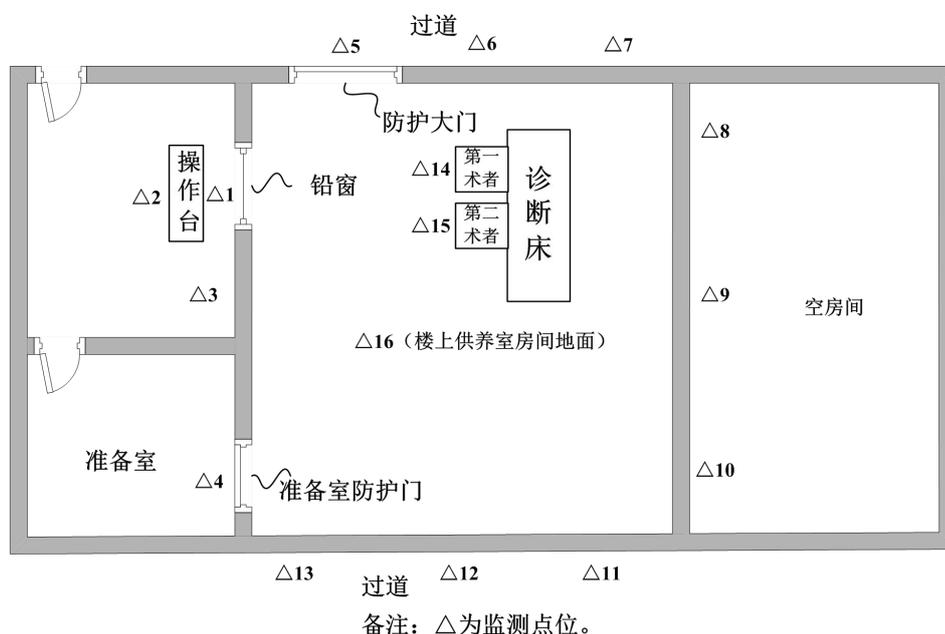
项目	名称	类比 DSA	本项目
机房防护情况	四周墙体	240mm 砖+30mmBaSO <sub>4</sub>	240mm 砖+30mmBaSO <sub>4</sub>
	顶棚	120 砧+30mmBaSO <sub>4</sub>	150mm 砧+30mmBaSO <sub>4</sub>
	防护门	4mmPb	4mmPb
	观察窗	4mmPb	4mmPb
机房面积		52m <sup>2</sup>	69.7~70.55m <sup>2</sup>

续表 11 环境影响分析

生产厂家/设备型号	西门子 Axiom	未定
工作最大管电压/最大管电流	125kV/1000mA	125kV/1000mA (参考)
手术类型	以心血管手术为主	以心血管手术为主
工作负荷 (台/年)	约 750	约 500
介入医生配备	10	12

由类比情况可知, 本项目 DSA 与类比 DSA 的工作最大管电流与管电压相同, 手术类型相同, 工作负荷相对较小, 医生配备多 2 人, 总体工作情况优于类比 DSA。

监测布点示意图如下:



监测条件: 在有病人使用时检测, 透视摄影均为自动条件。

监测结果见下表:

表 11-23 永州市中心医院 DSA 机房辐射现状监测结果

点位编号	监测点描述	周围剂量当量率 (μSv/h)	
		摄影	透视
监测条件		自动条件	
Δ1	铅窗表面	0.12	0.11
Δ2	工作人员操作位	0.11	0.09
Δ3	墙表面 30cm	0.10	0.10
Δ4-1	准备室防护门上门缝表面 30cm	0.13	0.12
Δ4-2	准备室防护门左侧表面 30cm	0.12	0.11
Δ4-3	准备室防护门中间表面 30cm	0.11	0.12
Δ4-4	准备室防护门右侧表面 30cm	0.12	0.11

续表 11 环境影响分析

△4-5	准备室防护门下门缝表面 30cm	0.13	0.10
△5-1	防护大门上门缝表面 30cm	0.11	0.11
△5-2	防护大门左侧表面 30cm	0.12	0.12
△5-3	防护大门中间表面 30cm	0.13	0.11
△5-4	防护大门右侧表面 30cm	0.12	0.10
△5-5	防护大门下门缝表面 30cm	0.13	0.12
△6	墙表面 30cm	0.10	0.11
△7	墙表面 30cm	0.09	0.09
△8	墙表面 30cm	0.10	0.10
△9	墙表面 30cm	0.11	0.11
△10	墙表面 30cm	0.09	0.10
△11	墙表面 30cm	0.10	0.11
△12	墙表面 30cm	0.11	0.10
△13	墙表面 30cm	0.10	0.11
△14-1	第一术者头部	—	6.22
△14-2	第一术者胸部	—	12.73
△14-3	第一术者腹部	—	9.57
△14-4	第一术者腿部	—	8.78
△14-5	第一术者足部	—	1.30
△15-1	第二术者头部	—	13.57
△15-2	第二术者胸部	—	12.21
△15-3	第二术者腹部	—	9.39
△15-4	第二术者腿部	—	5.16
△15-5	第二术者足部	—	1.54
△16	楼上供养室房间地面	0.10	0.09

由上表可知，介入医生在介入手术过程中无防护的情况下受到的最大周围剂量当量率为 13.57 $\mu$ Sv/h（第二术者操作位头部），每台介入手术的时间约为 30min，每台手术中介入医生受到的剂量值为 6.79 $\mu$ Sv/台。根据年剂量目标管理限值：介入医生 $\leq$ 4mSv/年，则每位介入医生每年操作介入手术台数不能超过 589 台。

根据医院提供资料，医院每台 DSA 进行介入手术台数总约 500 台次/年，床侧曝光时，操作人员位置人均年有效剂量估算值为 3.40mSv。另外 DSA 设备自带有不小于 0.5mm 铅当量的悬吊铅玻璃以及床侧铅橡胶挂帘，同时医生穿戴不小于 0.35mm 铅当量的铅防护衣在床旁操作，在 0.85mmPb 的防护下医生实际所受的剂量要减小 8.8 倍，因此介入治疗工作人员年有效剂量不超过 0.39mSv，低于 4mSv 的剂量管理目标值。按照医院现有年介入治疗台次和从事介入治疗医生数量的情况，医院介入治疗医生的年受照

## 续表 11 环境影响分析

剂量不超过评价年剂量目标管理限值要求。

为进一步减少介入医生的受照时间，医务工作人员在进行介入手术时，应尽可能采用小视野，穿戴防护用品（铅衣服、铅背心、铅手套、铅帽、铅眼镜），并充分利用专用的移动式屏蔽物（悬挂式铅玻璃、铅帘等），利用医院配置的防护设施（悬挂式铅玻璃、铅帘等）做好自身的防护，同时，医院应对介入医生采取轮岗方式的管理措施，根据医院实际需求，相应增加介入医生的岗位人数，控制个人的受照剂量满足项目年剂量目标管理限值的要求。

同时，医院应做好介入治疗手术医生的工作量登记及统计工作，合理安排工作时间及强度；辐射工作人员应正确佩戴个人剂量计，定期做个人剂量监测，保证其受照剂量低于 4mSv/a，满足本评价的辐射工作人员年剂量目标管理限值及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值要求。

由表 11-22 监测结果数据可以看出，类比 DSA 机房外的周围剂量当量率监测值在 0.09~0.13 $\mu$ Sv/h 之间，DSA 运行时对周围环境影响满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130—2013）的要求。

另外由表 11-21 可以看出，本项目医院 DSA 拟安装地辐射防护情况优于类比 DSA 辐射防护条件，且工作负荷相对较小，人员配备较多，本项目 DSA 的设备参数不超过类比 DSA。类比 DSA 机房监测结果反映了本项目运行后的实际辐射环境影响，因此推测本项目运行后项目对机房周围环境影响较小，机房设计能够满足辐射屏蔽防护要求。

### （2）控制室辐射工作人员

根据医院提供资料，娄底众一医院使用每台 DSA 进行介入手术治疗的工作负荷约 10 人次/周，年工作为 50 周，平均每次进行手术时 DSA 有效开机时间平均约为 30min，年有效开机时间约为 250h。控制室操作人员位于控制室内。根据前节计算，透视时在观察窗的瞬时剂量估算值为 0.012 $\mu$ Sv/h，可计算出控制室内工作人员年附加有效剂量最大约为 0.003mSv/a，低于评价标准 2mSv 年剂量目标管理限值要求。

### （3）公众人员剂量估算

本项目 DSA 机房周围公众人员主要位于 DSA 机房楼下检测室，根据前节计算结果可知，透视时楼下的瞬时剂量估算值为 0.28 $\mu$ Sv/h，居留因子为 1，医院配置 3 台 DSA，每台工作时间按 250h 来计算，则非辐射工作人员最大年附加有效剂量为 0.07mSv/a，小

## 续表 11 环境影响分析

于本评价年剂量目标管理限值 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

### 11.3.6.4 III类射线装置附加年有效剂量

根据医院情况预计拟建配置每台设备的工作负荷，按照每台射线装置由 1 人进行操作，III 类射线装置有效剂量当量估算见表 11-24。

表 11-24 医院III类射线装置年有效剂量估算表

序号	射线装置名称	工作负荷 (人次/年/台)	每人每次 曝光时间 (s)	年最大 有效开机 时间 (h)	墙体外 剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	年有效剂量当量(mSv)	
						辐射工作 人员	非辐射工 作人员和 公众成员
1	CT	24000	20	133.3	2.5	0.33	0.083
2	DR	25000	0.1-0.5	3.47	2.5	0.009	0.002
3	数字胃肠机	2000	$\leq 2$	1.11	2.5	0.003	0.001
4	乳腺 X 射线机	3000	$\leq 2$	1.67	2.5	0.004	0.001
5	骨密度仪	3000	$\leq 5$	4.2	2.5	0.010	0.003
6	全景牙片机	6000	$\leq 1$	1.67	2.5	0.004	0.001
7	移动式 X 光机	4000	0.1-0.5	0.56	2.5	$\approx 0$	$\approx 0$
8	小 C 臂机	2000	$\leq 5$	2.78	2.5	0.002	0.001
9	模拟定位机	3000	20	16.7	0.063	0.0011	0.0003
10	PET/CT	4000	$\leq 1$	1.11	2.5	0.003	0.001
11	SPECT/CT	2000	$\leq 3$	1.67	2.5	0.004	0.001

注：①非辐射工作人员和公众成员在环境中居留因子取 1/4 进行计算。

根据上述核算，CT、DR、数字胃肠机、乳腺 X 射线机、骨密度仪、全景牙片机、移动 X 光机、小 C 臂机、模拟定位机、PET/CT 以及 SPECT/CT 的辐射工作人员和公众成员所受到的年附加有效剂量均远小于本评价管理目标值 2mSv/a、0.1mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

## 11.4 核医学科运营期环境影响分析

### 11.4.1 非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，日等效最大操作量的计算公式

续表 11 环境影响分析

如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作规程方式修正因子}}$$

放射性工作场所因操作放射性物质的毒性组别和操作量的不同，产生的放射性危害的机率也不同，为了便于管理，非密封性工作场所按所用放射性核素最大等效日用量并考虑操作因素分为三级。根据计算，医院核医学科使用的放射性同位素日最大等效操作量见表 11-25。

表 11-25 非密封性物质工作场所分级

核素名称	物理形态	计划日最大操作量 (Bq)		毒性因子	操作方式	操作修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	使用场所
<sup>18</sup> F	液态	7.4×10 <sup>9</sup>		0.01	很简单操作	10	7.4×10 <sup>6</sup>	核放中心一层核医学科
<sup>11</sup> C	液态	7.4×10 <sup>8</sup>		0.01	很简单操作	10	7.4×10 <sup>5</sup>	
<sup>13</sup> N	液态	7.4×10 <sup>8</sup>		0.01	很简单操作	10	7.4×10 <sup>5</sup>	
<sup>15</sup> O	液态	1.11×10 <sup>9</sup>		0.01	很简单操作	10	1.11×10 <sup>6</sup>	
<sup>99m</sup> Tc	液态	2.22×10 <sup>10</sup>		0.01	很简单操作	10	2.22×10 <sup>7</sup>	
<sup>89</sup> Sr	液态	1.48×10 <sup>8</sup>		0.1	简单操作	1	1.48×10 <sup>7</sup>	
<sup>131</sup> I	液态	甲亢	2.78×10 <sup>9</sup>	0.1	简单操作	1	2.78×10 <sup>8</sup>	
		甲癌	2.22×10 <sup>10</sup>	0.1	简单操作	1	2.22×10 <sup>9</sup>	
合计							2.54×10 <sup>9</sup>	乙级非密封放射性工作场所

根据该项目使用的放射性同位素的毒性组别、用量及操作因子，算出日最大等效操作总量约为 2.54×10<sup>9</sup>Bq，因此娄底众一医院核技术利用新建项目使用放射性核素为乙级非密封性工作场所，其设计、布局、内部防护设施应该满足乙级非密封源工作场所设计要求。

#### 11.4.2 回旋加速器制备正电子放射性药物

##### (1) 机房设计情况

拟建回旋加速器机房内空尺寸为：8.3m×8.6m×3.0m，机房北面为后装机房，北面墙为 140cm 厚混凝土；西面外为过道；东面外为设备间、废物间和污洗间；东墙和西主屏蔽墙为 260cm 厚混凝土，次屏蔽区均为 140cm 厚混凝土，主屏蔽墙带宽 400cm；南面外为气体室、住院病房，另外加速器机房内设直迷道，迷道为 80cm 厚混凝土，长 8.96m，

续表 11 环境影响分析

迷道外墙为 140cm 厚混凝土，防护门待有资质单位设计、安装。

(2) 机房屏蔽防护效能核实及剂量估算

医院回旋加速器型号暂时未定，本项目参考 GE 公司 PETtrace 型 11MeV 回旋加速器数据进行核算。PETtrace 型回旋加速器在假定的箱模(外形尺寸 360cm×210cm×215cm)下，其边界外的剂量率见表 11-26。

表 11-26 箱模外边界处的中子、γ剂量率

加速器型号	PETtrace
射线靶束流（双辐射方式）	60μA
中子剂量率，μSv/h	25
γ射线剂量率，μSv/h	12

中子的平均能量为 5MeV，γ射线平均能量为 8MeV，直接照射情况下剂量估算按公式（11-27）（公式来源于文献“正电子发射扫描仪和回旋加速器建设中的防护评价”，《中国辐射卫生》，1999 年第 8 卷第 1 期）估算，计算结果见表 11-27。

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \times (H_n \times 10^{-X/TVL(\gamma)} + H_g \times 10^{-X/TVL(n)}) \quad (11-26)$$

式中：H<sub>R</sub>——R 处的γ射线的当量剂量率，μSv/h；

r<sub>0</sub>——射线靶到参考点的距离，m；

H<sub>n</sub>——参考点 r<sub>0</sub> 处的中子剂量率，μSv/h；

H<sub>g</sub>——参考点 r<sub>0</sub> 处的γ射线的剂量率，μSv/h；

X——屏蔽厚度；

TVL (γ) ——屏蔽材料对γ射线的十分之一减弱层厚度，cm；

TVL (n) ——屏蔽材料对中子的十分之一减弱层厚度，cm。

表 11-27 不同屏蔽物质对 5MeV 中子和 8MeVγ射线的 TVL 值

材料	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	TVL (γ) 8MeV	TVL (n) 5MeV
混凝土	2.35	38	43
铅	11.3	5	/
聚乙烯	0.97	/	24

续表 11 环境影响分析

表 11-28 回旋加速器机房屏蔽效能核实参数及估算结果									
计算点位置	TVL		Hn μSv/h	Hg μSv/h	r <sub>0</sub> (cm)	R (cm)	建议厚度 (砵 cm)	设计厚度 (砵 cm)	建议厚度下的瞬时剂量率 H <sub>R</sub> (μSv/h)
	中子	γ射线							
东墙、西墙外 30cm	43	38	25	12	156	720	140	140~260	0.001
北墙外 30cm	43	38	25	12	102	585	140	140	0.001
迷道内墙外 30cm	43	38	25	12	102	525	80	80	0.013
迷道外墙(南墙)外 30cm	43	38	25	12	156	865	140	140	0.001
屋顶上方	43	38	15	12	108	515	140	140~260	0.001
防护门外	24(聚乙烯)	5(Pb)	25	12	156	934	10mmPb+40mm含硼 5%的聚乙烯	10mmPb+40mm含硼 5%的聚乙烯	0.018

注：回旋加速器机房地下为土层，不进行屏蔽计算

由表 11-27 可知，回旋加速器机房按照建议厚度进行对屏蔽γ射线及中子是安全的，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）的要求。

加速器年有效开机时间约为 200h，取西墙外(废物间、设备间)瞬时剂量 0.001μSv/h，假设由 1 名工作人员完成回旋加速器的操作，由公式 11-27 计算可知，机房外工作人员所受的年附加有效剂量为 0.0002mSv/a，低于环评的年剂量约束值 4mSv/a，满足《电离辐射防护与安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。该加速器所在场所均为医生工作场所，无其他无关的公众成员进入，因此，不会对公众成员产生年附加有效剂量。

**(3) 合成、分装过程中的辐射安全分析**

热室所在放化实验室房间内空尺寸：8.2m（长）×6.35m（宽）×5.05m（高），四面墙体为 40cm 厚混凝土。传送放射气体或液体的管道采用不小于 50mm 厚的铅砖覆盖加以防护。

<sup>18</sup>F 离子通过传输管道被输送到放化实验室中的热室，在热室中 <sup>18</sup>F 离子与化学合成模块发生化学反应，制备出最终产品 FDG。热室内合成分装放射性示剂 <sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O，其中使用量最大的是 <sup>18</sup>F，日最大操作量 3.7×10<sup>10</sup> Bq。因此可根据 <sup>18</sup>F 的用量和性

**续表 11 环境影响分析**

质进行防护设计。依据  $^{18}\text{F}$  有关参数（见表 11-26）可以对热室（操作箱）和屏蔽墙进行估算。热室所在放化实验室内拟配置 1 套药物合成器，合成时间需要 40min。

合成好的 FDG 转移到质控室进行分装，分装时间需要 5min。

**表 11-29  $^{18}\text{F}$  有关参数**

核素名称	日最大制备量 (Bq)	衰变方式 (衰变能, MeV)	半衰期 (min)	$\Gamma$ 常数 R.m <sup>2</sup> /Ci.h	铅半值层 (mm)	水泥半值 (cm)
$^{18}\text{F}$	$3.7 \times 10^{10}$ Bq	$\beta^+$ (0.635)	110	0.058	5	3.6

合成器是放置在 75mm 厚铅箱中合成的，工作人员通过控制合成热室外面的计算机操作系统控制合成器，生成的  $^{18}\text{F}$ -FDG 通过压缩气体传输到无菌真空收集瓶内。合成过程中工作人员不直接接触合成器，而是在合成室之外的控制室通过计算机控制合成。

75mm 厚铅箱对于  $^{18}\text{F}$  来说衰减倍数为  $10^{15}$ 。

无菌真空瓶放置在一个密闭的铅罐内，铅罐厚为 50mm，铅罐侧面预留一小管道供抽取  $^{18}\text{F}$ -FDG 用，工作人员需将铅罐拎到分装工作台上，在通风防护柜内进行分装。50mm 厚铅罐对于  $^{18}\text{F}$  来说衰减倍数为  $10^{10}$ ，因此，合成器及分装台外的空气比释动能率将低于本底值，其外辐射环境是安全的。

**11.4.3 临床核医学科工作场所分类**

按照《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中表 1 的要求，根据医院核医学科房间功能及放射性同位素使用情况，对医院放疗中心负一层核医学科工作场所做如下分类。具体见表 11-30。

**表 11-30 非密封性物质使用场所的分类**

房间名称	非密封性物质日最大操作量 (Bq)		毒性权重因子	操作修正因子	该房间日操作最大量加权活度 (MBq)	场所分类
放化实验室（热室）	$^{18}\text{F}$	$7.4 \times 10^9$	1	1	7400	II
储源间（一）	$^{89}\text{Sr}$	$1.48 \times 10^8$	100	1	14800	II
储源间（二）	$^{131}\text{I}$	$2.22 \times 10^{10}$	100	1	2220000	I
质控室	$^{131}\text{I}$	$2.50 \times 10^{10}$	100	1	2500000	I
注射室	$^{131}\text{I}$	$2.22 \times 10^{10}$	100	1	2220000	I
PET/CT 机房	$^{18}\text{F}$	$7.4 \times 10^9$	1	10	7400	II
SPECT/CT 机房	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$2.22 \times 10^{10}$	1	10	2220	II

续表 11 环境影响分析

注射后休息室	<sup>131</sup> I	2.78×10 <sup>9</sup>	100	10	27800	II
甲癌病房	<sup>131</sup> I	2.22×10 <sup>10</sup>	100	1	2220000	I

注：加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子

本评价按核医学科所使用的全部核素加权活度作为分类依据，由表 11-27 可知，储源间（一）、放化实验室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房和注射后休息室应按 II 类场所的要求进行装修、设计并配备相关装备；储源间（二）、质控室、注射室和甲癌病房应按照 I 类场所的要求进行装修、设计并配备相关装备。

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006），临床核医学乙级 非密封性物质工作场所安全防护要求、见表室内表面和装备要求具体见表 11-31。

表 11-31 核医学科工作场所室内表面及装备结构设计防护标准对照表

项目	设计要求	I 类标准	II 类标准	本项目落实情况
地面	地面采用光滑、易于去污、受辐射后不易老化、防水和对污染物吸附性差的地板胶铺设，墙面与地面交界处采用圆角设计。	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗且不易渗透	核医学科用房拟采用地板胶敷设，墙面与地面交界处采用圆角设计。
表面	墙壁外壁采用光滑、不易渗透、易清洗的瓷片或涂料，水、电等管线采取暗装的方式。	易清洗	易清洗	本项目所有管线均采用暗装方式，墙壁外壁采用水性涂料。
通风柜	储源分装室设有通风柜，通风风速大于 1m/s，并设有活性炭过滤装置，活性炭每三个月更换 1 次，排气口位于楼顶	需要	需要	设有通风橱，并有活性炭过滤装置，废气引至大楼楼顶排放
室内通风	分装室以外的工作场所采用抽风机进行强制通风，换气率为 4 小时/次	应设抽风机	有较好通风	核医学科用房均采用强制通风
管道	采用耐腐蚀的排污管道	特殊要求	一般要求	管道采用耐腐蚀的管道
清洗及去污设备	配备吸水纸、EDTA 肥皂、枸橼酸铵溶液等，医生更衣室设有淋浴设施及监测设备	需要	需要	设有卫生通过间，配备对应的辐射监测设备
放射性污水池	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方可排放	需要	/	设有衰变池，位于核放中心负一楼西北侧
废物暂存间	废原液和高污染的放射性废液及固废应专门收集存放	需要	/	在核医学科内设有放射性废物间用于存放废原液及高污染放射性废液和固废

续表 11 环境影响分析

#### 11.4.4 本项目核医学科非密封性物质工作场所分区与布局

##### 1、工作场所布局与分区

为了更好地贯彻《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），便于核医学科工作场所的管理需要，应对核医学科区域分为控制区和监督区。

①回旋加速器机房、气体室、放化实验室、质控室、注射室、储源间（一）、储源间（二）、污洗废物间、甲癌病房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、注射后休息室及相连走廊等可划为控制区。在控制区内的房间也应分区：操作台以及贮源通风橱为高活性区，其他为低活性区。在控制区内的场所也应按照从高活性区向低活性区进行布局——从储源通风橱以及操作台到固废贮存、洗涤台、注射病人候诊区等。

②更衣风淋间、前室、抢救室、设备间、控制室、医生办公室及临近走廊区域等为监督区。

核医学科区域控制区及监督区见附图十二对应区域。

##### 2、人流、物流

###### ①医生通道

医生从放疗中心一层核医学科医生专用电梯进入，门诊医生在医生办公室内坐诊，在诊室内做基本检查。

1) 回旋加速器制备放射性药物医生从放疗中心负一层核医学科医生专用电梯进入经过医生通道进入回旋加速器控制室，操作完成后，原路返回。

2) PET/CT 与 SPECT/CT 操作医生从放疗中心负一层核医学科医生专用电梯经过医生通道进入控制廊（即医生通道—到达控制廊），操作完成后，原路返回。

3) 放射性药物分装、注射医生由医护通道经过门进入卫生通过间，沿卫生通过间通道进入储源间、放化实验室、质控室及注射室，药物注射（口服）通过注射室窗口注射（口服）；操作完成后，医生原路返回至卫生通过间，沐浴冲洗后由医生出入口离开。

###### ②病人

患者从放疗中心负一层核医学科出入口进入，由走廊进入候诊处候诊并在登记处登记，使用放射性药物诊断患者经患者入口走廊进入，经过注射室（二）的窗口注射（口服）药物，注射（口服）完药物以后在相应休息室休息，不需进行 PET/CT、SPECT/CT 扫描的病人经病人通道离开核医学科。需进行 PET/CT、SPECT/CT 扫描的，经走廊进

续表 11 环境影响分析

入 PET/CT、SPECT/CT 机房扫描检查后，沿病人通道离开。需要住院治疗的病人经病人通道单向开启门进入住院病房区域住院，沿病人通道至注射室（一）的窗口注射（口服）药物，注射（口服）完药物以后在相应病房休息，住院治疗一定时间后经病人通道离开核医学科。

注射（口服）药物后的患者应在其休息区域内活动，不得离开此区域，休息区及过道均设置视频对讲装置。

### ③放射性药物及废物运输

放射性药物和废物运输通道：放射性药物从专用通道进入储源间以及质控室存放使用。

放射性废物放置在废物间放射废物桶内，废物沿污洗间通过走廊至专用电梯运出。

药物运输及废物运输通道在其他人员不活动时间（中午休息时间或晚上下班时间）开通。

### 3、出入管理控制系统（门禁）、对讲、视频装置的设置

为了减少放射性污染的扩散和相互影响，控制不必要的交叉污染，在部分重点出入口设置出入管理控制系统（门禁）。放化实验室、储源间、质控室、注射室窗口处：仅从事核医学诊疗工作医生可进入，避免对其他病人及医生的交叉污染；注射室、休息室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、甲癌病房及相连走廊：控制核医学诊疗区域良好的就医秩序，控制仅对需要进行核医学科放射性核素诊疗的病人进入。病人进入控制区入口及出口设置单向门，只能单向通行。

放化实验室、储源间、质控室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、控制室、休息室、走廊、甲癌病房、值班室均应设置视频对讲装置，及时了解病人需要。在核医学科出入口设置监控装置、 $\gamma$ 剂量率检测仪，规范就医流程。

### 4、其他

卫生通过间干湿分区、出入口设置表面污染检测仪器，内设置更衣柜、淋浴设施。核医学科所有医生在工作期间佩戴个人剂量计，进、出工作区通过卫生通过间清洗后经检测合格后方可离开，控制区与监督区应有明显的标识，工作人员、病人通道应有明显指示标识，病人在就医前给予就医流程的指导，进入诊疗区各房间及甲癌病房内应有注意事项。

综上，从核医学科整体布局来看，医院新核医学科基本按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求进行了分区，设立有注射药物病人专用卫生间，医生专用洗手池、卫生通过间、放射性废物桶、质控室、注射室、休息室、甲癌病

续表 11 环境影响分析

房等整体布局较为合理。从核医学科工作流程来看，有效避免了和注射过放射性药物的病员对就诊病员和工作人员的辐射影响；设置的放射性药物和废物运输专用通道，采用运输时间与其他人员活动时间错开的措施，避免了对公众的影响。

#### 11.4.5 放射性废水环境影响分析

根据前节工程分析以医院拟使用的放射性同位素日最大操作量开展诊疗工作核算的放射性废水排放量约  $0.77\text{m}^3/\text{d}$ 。医院本次放射性废水排入新建衰变池内。医院拟在放疗中心西侧将新建衰变池，衰变池有效体积约  $127\text{m}^3$ （有效容积  $4.6\text{m}\times 4.6\text{m}\times 2.0\text{m}$ ）的三级溢流式衰变池，衰变池采用钢筋混凝土结构以防漏、防腐。

##### （1）放射性废水收集系统

核医学科设置有放射性专用化粪池及三级放射性废水衰变池，位于核放中心西南侧角落，主要用于排放核医学科质控室、注射室、注射后病人休息室、核医学科住院病房、污洗间产生的放射性废水，废水通过专用下水管与洗涤池及以上各室地漏相连，从低活性区向高活性区集中收集废水于三级衰变池中，经过三级衰变池衰变达到总 $\beta$ 放射性 $<10\text{Bq/L}$ 标准后与医院其他废水一起排入城市污水管网。在放射性废水的单独收集系统中，管道应采用耐腐蚀的特种管道。放射性废水池池壁和池底应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防止泄露措施，可采用钢筋混凝土结构防腐防渗。

##### （2）衰变池接纳本次放射性废水的可行性分析

本评价按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，本项目放射性废水的排放应满足排放总量限值和浓度限值。医院核医学科衰变池应满足：（a）每月排放的总活度不超过  $10\text{ALI}_{\text{min}}$ （ $\text{ALI}_{\text{min}}$  是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）；（b）每一次排放的活度不超过  $1\text{ALI}_{\text{min}}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

结合本项目核素实际使用情况，以  $^{131}\text{I}$  作为排放对象进行核医学衰变池的辐射防护计算。计算过程如下：

##### A、计算 $^{131}\text{I}$ $\text{ALI}_{\text{min}}$ 值

年摄入量限值（ALI）：参考人在一年时间内经吸入、食入或通过皮肤所摄人的某种给定放射性核素的量，其所产生的待积剂量等于相应的剂量限值。ALI 用活度的单位表示。根据 GB18871-2002 计算：放射性核素 j 的年摄入量限值（ $I_{\text{L}}$ ）计算公式：

续表 11 环境影响分析

$$I_{iL}=D_L/e_j \quad (11-27)$$

式中：

$D_L$ ：相应的有效剂量的年剂量限值，mSv。（本项目公众为 0.1mSv，职业为 4mSv）

$e_j$ ：核素 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值，Sv/Bq。

查 GB18871-2002 表 B3， $^{131}\text{I}$  吸入  $e(g)_{1\mu\text{m}}$  为  $7.6 \times 10^{-9}$ ， $e(g)_{5\mu\text{m}}$  为  $1.1 \times 10^{-8}$ ，食入  $e(g)$  为  $2.2 \times 10^{-8}$ 。由此可得， $^{131}\text{I}$  的公众人员  $ALI_{\min}$  为：

$$ALI_{\min}=D_L/e_j=4\text{mSv}/2.2 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}=1.82 \times 10^5 \text{ Bq}$$

则可以计算  $^{131}\text{I}$  每月排放的总活度限值： $10ALI_{\min}=1.82 \times 10^6 \text{ Bq}$ 。

B、每月排放  $^{131}\text{I}$  衰变至  $10ALI_{\min}$  所需时间

计算的基本假设：①每名甲癌病人  $^{131}\text{I}$  治疗最大用量： $5.55 \times 10^9 \text{ Bq}$ ；②病人出院时体内残留  $^{131}\text{I}$  携带量限值  $400 \text{ MBq}$  ( $0.4 \times 10^9 \text{ Bq}$ )；③病人在医院期间，引用李德平，潘自强主编《辐射防护手册（第三分册）》数据， $^{131}\text{I}$  从尿中排出量约为给药量的 66%，每月最多收治 10 名病人住院。。因此，每月 10 名病人服药期间总排放  $^{131}\text{I}$  活度为  $3.66 \times 10^{10} \text{ Bq}$ ，其衰变至  $10ALI_{\min}$  约需 115d。

C、衰变池容积的确定

该核医学科满负荷每天最大排水量为  $0.77 \text{ m}^3/\text{d}$ ，由此可计算容纳 115d 污水的衰变池容积为  $88.55 \text{ m}^3$ ，此排水量以及每月排放  $^{131}\text{I}$  衰变至  $10ALI_{\min}$  所需时间均从保守角度考虑，已经预留有安全系数，则衰变池设计有效容积  $127 \text{ m}^3$  ( $4.6 \text{ m} \times 4.6 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ ) 能够满足 GB18871-2002 中排放总量限值和浓度限值要求。本项目衰变池可满足项目放射性废水排放。同时，池壁、池底采用 200mm 钢筋混凝土结构，水泥砂浆参防水剂，不渗漏。流入每个池的废水采用下进上出的设计，第三级废水池的废水由其上部流出，流入医院废水排放管网。

### (3) 放射性废水处理工艺可行性分析

衰变池设计中考虑经水解酸化降解粪便等沉渣后，再利用三级推溢式衰变池衰变处理，排入医院医疗污水处理系统。

## 续表 11 环境影响分析

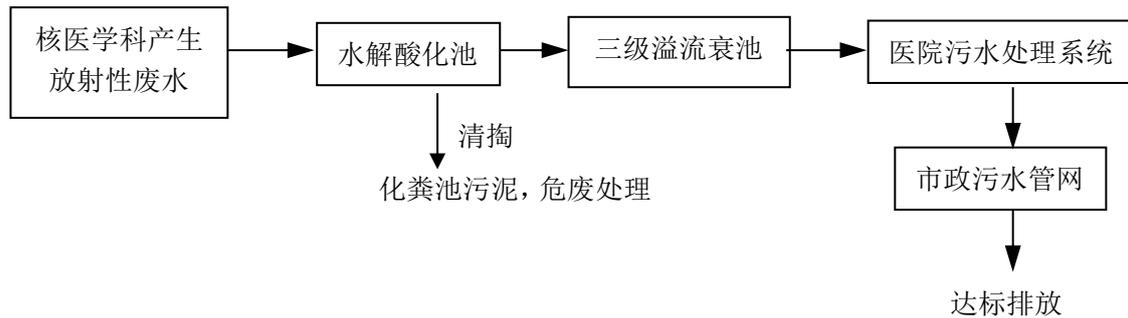


图 11-1 核医学科废水处理流程图

综上，医院核医学科设置有独立的放射性废水收集系统，放射性废水经衰变池处理后，排入医院污水处理站，且接入污水处理站管道流量满足本项目排水流量 10 倍的要求。医院核医学科产生放射性废水能够得到有效处理，达标排放。

### 11.4.6 放射性固体废物环境影响分析

核医学科产生的医生手套、病人注射药物后的一次性注射器、棉纱、废弃的活性炭等，在放化实验室、质控室、储源间、注射室、注射后休息室分别各设置 1 个专用废物桶，每日清理一次，将放射性废物暂存于放射废物暂存间内。质控室、储源间、注射室、注射后休息室产生的放射性固废每日清运至放射性废物储存箱内按核素种类分类暂存至比活度小于或等于  $7.4 \times 10^4 \text{Bq/kg}$  后由运送至医院专用医疗垃圾容器内，与医院其他医疗废物一并处理，不会造成环境污染。放射性废物的管理应按照危险废物管理进行，实行五联单制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。污物桶的放置应注意避开人员经常走动的地方，污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。放射性废物暂存间应有良好通风，出入设置电离辐射标志。临时贮存的放射性废物容器应在显著位置标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放日期的说明。

### 11.4.7 放射性废气环境影响分析

#### 1、放射性药物制备所产生放射性废气

回旋加速器室中的空气受中子照射后生成的放射性活化气体通过高效过滤器（废气净化效率为 99%），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，对大气环境影响微小。

药物中间体在热合成室中进行加热时，微量  $^{18}\text{F}$  气载放射性物质一起进入排气管道，经高效过滤器（废气过滤效率为 99%）净化处理后，再经排气管道高出屋顶排放，对大

续表 11 环境影响分析

气环境影响微小。

## 2、放射性药物分装、使用所产生放射性废气

核医学使用的离子型的  $^{131}\text{I}$  放射性药物，在空气中易氧化析出  $^{131}\text{I}$ （单质碘），单质碘在常温下易挥发，加热情况下挥发更快，甚至升华，产生放射性气溶胶。但是鉴于  $^{131}\text{I}$  药品是离子形水溶液，药到后放置时间不会太长，碘离子受氧化析出单质碘的可能性小；且药品是成品，不需要（加热一类方法进行）再加工，稀释即可使用，所以能够产生放射性气溶胶的可能性极小。放射性药物的分装、取药可能存在洒出污染危险，使用过程中有少量放射性气体污染空气。根据《临床核医学放射卫生防护标准》

（GBZ120-2006）规定：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。核医学科活性室设置有通风橱，采用机械抽风，可以保证室内空气流通，将室内含少量放射性废气的空气排出室外。废气利用活性炭吸附，保证在半开的条件下抽风风速在  $1\text{m/s}$  以上，排气口应高于核放中心楼顶，满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120—2006）的要求。

质控室分装台设置有 2 套具有抽风装置的通风橱，1 套用于洗脱、分装  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记药物，1 套用于分装碘 [ $^{131}\text{I}$ ] 化钠口服液。风管接至楼顶高空排放，地板、操作台平滑，不得有缝隙，门为防护门（防盗门）。

本项目通风系统与普通区域通风系统相对独立，回旋加速器机房，放化实验室，质控室通风橱分别一套设立的通风管道和系统，核医学科储源间、注射室、甲癌病房、注射休息室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房工作场所设置一套通风系统，合理组织通风，采用机械抽风，排风量为  $3000\text{m}^3/\text{h}$ ，废气净化效率为 99%，可以保证室内空气流通，将室内含少量放射性废气的空气排出室外。废气利用活性炭吸附，保证在半开的条件下抽风风速在  $1\text{m/s}$  以上，满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120—2006）的要求。同时排气口高于本建筑屋顶，与南侧学术会议中心之间有一段距离，对敏感目标环境影响较小。

整个核医学科通风自东侧低活性区至西侧高活性区，经专用管道由西侧外墙引至核放中心楼顶排放。排风系统安装在屋面上，风管均采用镀锌钢板制作，风管保冷采用橡塑板。通风设计应充分考虑工作场所及邻近环境的安全。通过合理设计通风系统，拟建项目废气达标排放对大气环境影响小。

续表 11 环境影响分析

#### 11.4.8 核医学科辐射环境影响分析

##### (1) PET/CT、SPECT/CT 机房面积要求

医院 PET/CT 机房有效使用面积约 42.5m<sup>2</sup>，最小单边长 5m；SPECT/CT 机房有效使用面积约 42.5m<sup>2</sup>，最小单边长 5m，均能够满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130—2013)、《X 射线计算机断层摄影放射卫生防护标准》(GBZ165-2012) 中对 CT 机房面积及机房内最小单边长的要求。

##### (2) PET/CT、SPECT/CT 墙体屏蔽

由工程分析可知，PET/CT、SPECT/CT 仅在 CT 模式扫描产生 X 射线。医院 PET/CT、SPECT/CT 机房四周墙体采用最低 300mm 现浇混凝土，机房屏蔽防护能力能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002) 和《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006) 的要求。防护门和铅玻璃观察窗由有射线防护资质的单位进行安装，辐射屏蔽防护厚度 4mmPb，满足相关标准要求。

PET/CT 校正源 <sup>68</sup>Ge 随厂有 10mmPb 铅当量防护，并放置在 PET/CT 自屏蔽系统和储源室保险柜，防护满足《密封放射源及密封 $\gamma$ 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006) 的要求。

##### (3) 放射性药物使用过程

###### ① 核素使用情况

核医学科除钼-钨发生器是根据使用情况定期更换外，其余放射性核素均根据需要临时订购，开瓶即用，或当天制备当天使用，因此，核医学科实际持有放射性同位素数量不大。一般情况是：常年备有钼-钨发生器一台，临时订购一次性用 <sup>131</sup>I 和 <sup>89</sup>Sr。钼-钨发生器一般一星期更换一次，第一天洗脱出的活度最大不超过 2.96×10<sup>9</sup>Bq；<sup>131</sup>I 一周进药一次，最大量为 2.78×10<sup>10</sup>Bq；其它放射性药物，用量很少，则质控室内的核素储存柜日最大持有量为 5.74×10<sup>10</sup>Bq。质控室应具有对日最大持有量为 5.74×10<sup>10</sup>Bq 核素的防护能力。

甲癌病人防护病房为单人病房，首次治疗服用剂量可能达到 5.55×10<sup>9</sup>Bq，之后逐渐减少，因此防护病房应对 5.55×10<sup>9</sup>Bq<sup>131</sup>I 有一定防护能力。

在应用 <sup>99m</sup>Tc 标记药物在 SPECT/CT 下做肿瘤定位的诊断的过程中，患者 <sup>99m</sup>Tc 的使用量一般在 7.4×10<sup>8</sup>Bq 左右，在应用正电子显像药物在 <sup>18</sup>F-FDG 在 PET/CT 下做显像

续表 11 环境影响分析

诊断过程中，患者  $^{18}\text{F}$ -FDG 的使用量一般为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，因此以上放射性药物注射室、病房及扫描机房应具有一定的防护能力。

② 计算公式

$$\dot{D}_o = \frac{A \times \Gamma \times 8.76 \times 10^{-3}}{R^2} \quad (11-28)$$

$$Ks = \frac{\dot{D}_o}{p} \quad (11-29)$$

$$\Delta s = TVL \times \log(Ks) \quad (11-30)$$

式中：R—考查点到 $\gamma$ 源的距离（m）；

$\dot{D}_o$ —距源 R 米处的空气比释动能率（Gy/h）；

A—源的活度（Bq）；

$\Gamma$ —照射量率常数， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{Bq} \cdot \text{h}$ （ $^{18}\text{F}$  为  $1.37 \times 10^{-14}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  为  $3.84 \times 10^{-14}$ ， $^{131}\text{I}$  为  $5.21 \times 10^{-14}$ ）；

$8.76 \times 10^{-3}$ —转换系数（Gy/R）；

$\Delta s$ —屏蔽厚度（cm）；

p—墙体外 30cm 处剂量控制值（ $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ）；

TVL—屏蔽材料的十值层厚度（cm）。

表 11-32 计算参数表

核素名称	房间名称	最大核素持有量 (GBq)	$\Gamma (\text{Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{Bq} \cdot \text{h})$	混凝土十值层厚度 (cm)	铅十值层厚度 (cm)
$^{18}\text{F}$	放化实验室（热室）	7.4	$1.37 \times 10^{-14}$	14.3	1.7
	PET/CT 机房	7.4	$1.37 \times 10^{-14}$	14.3	1.7
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	SPECT/CT 机房	22.2	$3.84 \times 10^{-14}$	6.7	0.11
$^{131}\text{I}$	质控室	25.0	$5.21 \times 10^{-14}$	15.2	0.76
	储源间（二）	22.2	$5.21 \times 10^{-14}$	15.2	0.76
	注射室	22.2	$5.21 \times 10^{-14}$	15.2	0.76
	注射后休息室	2.78	$5.21 \times 10^{-14}$	15.2	0.76
	甲癌病房	22.2	$5.21 \times 10^{-14}$	15.2	0.76

注：储源间、质控室、注射室及注射后休息室最大持有量按每天所有病人注射量之总和计算。

续表 11 环境影响分析

③ 计算结果

核医学科各墙体屏蔽防护效能核实结果见表 11-33。

表 11-33 核医学科墙壁屏蔽防护效能核算结果表

核素名称	房间名称	最大核素持有量(GBq)	参考距离(m)	核算墙体厚度(cm)	建议墙体厚度(cm)	设计厚度(cm)	建议厚度下的墙体外瞬时剂量 $\mu\text{Gy/h}$
$^{18}\text{F}$	放化实验室(热室)	7.4	1.02	23.0cm 砼	40cm 砼	40cm 砼	0.16
	PET/CT 机房	7.4	3.1	8.9cm 砼	考虑 X 射线屏蔽, 30cm 砼	30cm 砼	0.08
	顶棚	7.4	5.68	1.5cm 砼	15cm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub>	15cm 砼 +30mm BaSO <sub>4</sub>	0.13
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	SPECT/CT 机房	22.2	3.1	10.4cm 砼	30cm 砼	30cm 砼	0.003
$^{131}\text{I}$	质控室	25.0	1.02	27.0cm 砼	考虑分装柜屏蔽, 40cm 砼	40cm 砼	0.13
	储源间(二)	22.2	0.5	32.7cm 砼	40cm 砼	40cm 砼	0.46
	注射室	22.2	1.02	26.5cm 砼	40cm 砼	40cm 砼	0.11
	注射后休息室	2.78	1.02	17.5cm 砼	30cm 砼	30cm 砼	0.14
	甲癌病房	22.2	2.28	19.5cm 砼	40cm 砼	40cm 砼	0.22
	顶棚	25.0	5.68	12.1cm 砼	15cm 砼 +30mmBaSO <sub>4</sub>	15cm 砼 +30mm BaSO <sub>4</sub>	0.45

由表 11-32 可知, 核医学科其他放射性药物操作及使用房间中, 设计厚度均可以满足辐射防护屏蔽的要求。本次环评按照对机房的建设综合考虑了多方面因素, 按照本次环评建议的厚度进行建设后, 核医学科各墙体屏蔽防护能力满足屏蔽控制目标的要求。

分装好的  $^{131}\text{I}$  由医生使用铅罐提至注射室内, 结合公式 11-28~11-30, 考虑铅罐为 3cm 厚, 1.5m 处的空气比释动能率为  $0.81\mu\text{Gy/h}$ , 对工作人员是安全的。

但必须指出的是: 工作人员在药物分装标记过程中, 由于是近距离操作, 有可能受到较大剂量的照射, 注射(或者传递口服药液)核医学科工作人员受照剂量也较大, 所以工作时应配戴个人剂量计。事实上以上计算结果未考虑人体自身的防护、工作人员佩戴铅衣、铅手套、铅围裙、铅有机玻璃面屏等, 质控室、注射室、注射后休息候诊室及检查室外的辐射水平将低于理论计算结果。

(4) 剂量估算

① 辐射工作人员

续表 11 环境影响分析

根据医院核医学科辐射工作技术人员提供的资料，核医学科工作历时情况如下：

①<sup>18</sup>F-FDG 放射线药物分装需 5min，给病人注射 <sup>18</sup>F-FDG 针剂 1min，PET/CT 技术人员辅助病人上机检查 2min。

②淋洗合成 <sup>99m</sup>Tc 需 5 min、分装需要 5min，给病人注射 <sup>99m</sup>Tc 针剂 1 min，SPECT/CT 技术人员辅助病人上机检查 2min。

③分装稀释全天 <sup>131</sup>I 需 1 min、分装好的药品至注射室 2min，辅助病人服用 2min。

<sup>131</sup>I 放射性药物，其分装、及辅助病人服药均为通过其他设施远程控制，自动化程度高，医生不接触放射性药物。根据医院核医学科辐射工作技术人员提供的资料，按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）—2000 年报告附录 A 进行了剂量估算，剂量估算结果见表 11-34。

表 11-34 核医学科年有效剂量估算情况表

核素名称	日最大操作 (Bq)	单次操作活度 (Bq)	日治疗/诊断 (人次)	Γ常数 (Gy.m <sup>2</sup> /Bq.h)	R (m)	单次操作时间(min)				日有效剂量 mSv	年有效剂量 mSv
						分装	运送	注射/服药	辅助诊断		
<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>9</sup>	$\frac{3.7 \times 10^8}{10^8}$	20	$\frac{1.37 \times 10^{-14}}{10^{-14}}$	0.5	5	2	1	2	0.06	13.5
<sup>99m</sup> Tc	2.22×10 <sup>10</sup>	$\frac{7.4 \times 10^8}{10^8}$	30	$\frac{3.84 \times 10^{-14}}{10^{-14}}$	0.5	5	/	1	2	0.45	2.0
<sup>131</sup> I	2.78×10 <sup>9</sup>	$\frac{5.55 \times 10^8}{10^8}$	5	$\frac{5.21 \times 10^{-14}}{10^{-14}}$	0.5	1	2	2	/	0.048	2.4
	2.22×10 <sup>10</sup>	$\frac{5.55 \times 10^9}{10^9}$	4	$\frac{5.21 \times 10^{-14}}{10^{-14}}$	0.5	1	2	2	/	0.38	14.4
合计										0.94	32.3

注：①PET/CT、SPECT/CT 的 X 射线能量较一般 CT 机的 X 射线能量低，控制室内的工作人员操作位经观察窗或墙体屏蔽后，工作人员操作位处的空气比释动能率接近本底值，其所致的辐射工作人员年附加剂量未纳入上表计算；

② <sup>89</sup>Sr 为纯β衰变，未纳入上表计算；

③ 分装、运输均为一次性分装、运送一天需要的最大操作量；

④ <sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O 半衰期很短，分装后立即送至注射室注射，未纳入上表计算。

⑤甲癌病人单次最大操作活度为 5.55×10<sup>9</sup>(150mCi)。甲癌和甲亢病人日最大操作量为 2.50×10<sup>10</sup>Bq (675mCi)。

由表 11-34 可知，医院按照最大设计负荷考虑，在没有采取任何防护措施由 1 名工

## 续表 11 环境影响分析

作人员承担全部核医学科工作年附加的有效剂量为 32.3mSv，医院核医学科计划编制为 27 人，则每名工辐射工作人员附加的年有效剂量为 1.20mSv/a，小于 4.0mSv/a。在实际工作中，各个阶段的工作人员不止 1 名，且在分装放射性药物过程中使用通风橱，工作人员穿戴铅防护服、戴铅眼镜和铅手套，佩戴个人剂量计等措施。经过这些防护措施，工作人员受照剂量基本处于本底水平。符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求及本评价限值，由此可见，27 人编制符合医院发展要求。

此外，随着医院的发展，根据实际的年最大操作量将增加辐射工作人员，核医学科辐射工作人员应合理分配工作，正确佩戴个人剂量计，保证个人受照剂量小于标准限值要求。核医学工作场所在最不利的情况下工作人员受照剂量较大，建议在本项目评价的最大日操作量的情况下，适当增加核医学科工作人员，根据个人剂量计检测结果合理分配工作时间，做好辐射工作人员的个人剂量检测及档案保存工作。

### ②公众成员

核医学科诊疗场所是相对封闭的区域，公众成员不会到达控制区与监督区。公众成员不会受到额外的辐射照射。因此，项目致公众人员所受的最大年附加剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，可以保证周围公众的安全。

## 11.5 对敏感点的影响分析

本项目的的环境敏感点为射线装置机房所在的门诊医技楼及核放中心周边的院区建筑、居民楼。门诊医技楼位于医院场地南侧，西北面约 35m 处为住院楼一，东北面约 35m 处为医疗中心，西南面约 25m 处为核放中心，东南面约 15m 处为停车场。核放中心位于医院场地西南侧，西北面紧邻质子中心，东北面约 25m 处为门诊医技楼，西南面约 25m 处为绿化带，东南面紧邻学术会议中心。

根据各机房外核算结果表明，机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率低于 2.5 $\mu$ Sv/h，各环境敏感点与本项目机房仍有一定距离，根据射线与距离衰减的关系，则本项目运行所致各环境敏感点的周围剂量当量率基本为娄底市本底值，满足评价标准要求。从剂量估算结果来看，机房外活动的公众成员年附加有效剂量低于 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。废气的浓度远远低于国家标准要求，对机房外环境影响很小，对医院内其他区域的影响也很小。因此，本项目的实施对周围各环境敏感点的影响可以接受。

## 续表 11 环境影响分析

### 11.6 选址合理性及平面布局合理性分析

#### 11.6.1 选址合理性分析

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

（1）根据医院提供的资料和评价单位现场踏勘，射线装置机房及核放中心场地内未发现滑坡、坍塌、地裂等不良地质灾害现象，场地现状稳定性好，水文地质条件简单。

（2）根据现状监测结果，场址的辐射环境质量状况良好，有利于项目的建设。

（3）本项目位于门诊医技楼和核放中心负一层。除了移动式 X 射线机，其他射线装置均有独单机房，拟配设备和现有设备位置集中使用，方便病人就诊。位于核放中心地下层的核医学科用房、回旋加速器机房与放射诊疗中心、直线加速器机房四个区域各自内部自成一区，与其他功能用房相互独立。

（4）核医学科位于核放中心负一层南侧，与其他功能科室相对独立，且避开了院内人流密集区，核医学科出入口专用，有利于控制区域污染，远离医院内及周围环境敏感点，有利于辐射防护。

（5）本项目机房、核医学科均远离医院内及周围环境敏感点，有利于辐射防护。项目营运期产生的电离辐射、废水、废气、固体废物等均得到有效治理，达标排放对环境影响小。

从环境保护角度分析，本项目选址可行。

#### 11.6.2 布局合理性分析

本项目辐射工作场所包括放射治疗机房及核医学用房，医院在设计各机房时充分考虑到辐射工作人员及公众成员的辐射防护及医院用地现状，设备设置了机房和控制室，总体用房与其他科室用房分开，放射诊疗区和非放射诊疗区分开，方便病人诊疗和医生办公，且放射诊疗区置于人流不密集角落里，能更好的保护病人及医院工作人员的安全，有利于采取相应的辐射防护措施。核医学科用房、回旋加速器机房与放射诊疗中心、直线加速器机房位于核放中心负一层，核放中心为独立的六层建筑，地上五层，地下一层。

## 续表 11 环境影响分析

直线加速器机房位于核放中心负一层北侧，顶部为内庭院绿化坪及内天井，南侧为辅助用房，西侧为衰变池，北侧墙体外为泥土层，东侧为预留用房，放射治疗各设备均设置了机房和控制室，既方便病人就医又有利于采取相应的辐射防护措施；核医学科北侧为后装机房、模拟定位机房，南侧为地下车库，东侧为下沉花园，西侧墙体外为泥土层，楼上为诊室。核医学科内部设置医生、病人、放射性废物专用通道，医院按控制区、监督区要求进行了布置，储源间（一）、储源间（二）、质控室、注射室、注射室（一）、注射室（二）、甲癌病房、回旋加速器机房、气体室、放化实验室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、注射后休息室、废物间及相连走廊等划为控制区；卫生通过间、前室、抢救室、设备间、控制室、医生办公室及临近走廊区域等为监督区。较好地满足了非密封源乙级工作场所设计布局要求，整体布局合理。

从环境保护角度分析，医院辐射工作场所布局可行。

### 11.7 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

放射性同位素的应用，显像药物的制备、医用电子直线加速器、模拟定位机、后装治疗机、SPECT/CT、PET/CT 等在医疗诊断、治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起着十分重要的作用。项目营运以后，将为病人提供一个优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时将提高医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。此外，通过核算，该项目屏蔽和防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。

因此，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

### 11.8 产业政策符合性

项目投入使用为疾病诊断、寻找病灶部位、制订治疗方案及治疗疾病提供了科学依据和手段。项目在加强管理后均满足相关国家法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力，符合清洁生产和环境保护的总体要求。同时，本项目属于中华人民共和国国家发展

## 续表 11 环境影响分析

和改革委员会令第 9 号《产业结构调整指导目录（2011 年本）》（2013 年修正）第六小类——核能中的同位素、加速器及辐照应用技术开发项目；第一类——鼓励类中新型医用诊断医疗仪器设备、微创外科和介入治疗装备及器械、医疗急救及移动式医疗装备、康复工程技术装置、家用医疗器械、新型计划生育器具（第三代宫内节育器）、新型医用材料、人工器官及关键元器件的开发和生产，数字化医学影像产品及医疗信息技术的开发与应用。医院放射性同位素的应用不属于其中淘汰类和限制类，项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

### 11.9 事故影响分析

#### 11.9.1 事故风险类型

医院拟使用放射性核素、医用 X 射线装置开展辐射诊疗工作，不同情况将会产生不同的事故。医院应按照各种规章制度的要求，严防各种事故的发生。当发生事故后，应按照应急预案的要求进行补救，加强应急响应准备和事故应急演练，减少辐射事故对周围环境和人员带来的伤害。根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令 第 449 号)，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-35。

表 11-35 国务院令 第 449 号辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

本项目各射线装置可能发生的辐射事故等级见表 11-36。

表 11-36 本项目的环境风险因子、潜在危害及事故等级

装置名称	环境风险因子	可能发生辐射事故的意外条件	危害结果	事故等级
直线加速器-II 类射线装置	X 射线	①有人误入正在运行的射线装置机房；②有人未撤离机房外面人员启动设备；③检修、维护人员误操	事故状况下单次受到的辐射剂量为 2Gy，导致 9 人以下（含 9 人）急性放射	较大辐射事故

续表 11 环境影响分析

		作造成误照射。	病的发生率为 99%。	
DSA- II 类射线装置； CT、DR、数字胃肠机 等 III 类射线装置	X 射线	①有人误入正在运行的射线装置机房；②有人未撤离机房外面人员启动设备；③检修、维护人员误操作造成误照射；④辐射工作人员未穿铅衣进行手术。	导致人员受照射剂量超过年有效剂量限值	一般辐射事故
放射性同位素	β污染	①由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故；②由于操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面；③手部有伤仍从事放射性物质操作或在实验室吸烟、进食；④放射性同位素治疗中，出现患者或者靶组织识别错误，或者剂量使用错误。	造成放射性污染，人员内照射或其他不必要的照射	一般辐射事故

本项目所有装置属 X 射线装置，对于 X 射线装置，当设备关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素，最大可能的事故主要有以下几种：

(1) 安全连锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的射线装置辐照室；

(2) 工作人员或病人家属还未全部撤离辐照室，外面人员启动设备，造成有关人员被误照；

(3) 检修、维护人员误操作造成误照射；

(4) 辐射工作人员未穿铅衣进行手术（介入手术）。

本项目核医学科放射性同位素主要最大可能的辐射事故主要有以下几种：

(1) 由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故；

(2) 由于操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面；

(3) 工作人员没有经过专业知识培训，有不良工作习惯，或工作失误，造成不必要的照射。

### 11.9.2 本项目辐射事故危害及对敏感点的影响

根据有关研究调查，人员受到照射在 0.25Gy 以下时，症状不明显，在 0.5Gy 以下，少数受照者出现头晕、乏力、失眠、食欲减退及口渴等。

本项目的机房是按照设备在额定工况下运行和无屏蔽的情况下进行辐射防护屏蔽

## 续表 11 环境影响分析

的，设备发生各种事故时其射线能量不会超过额定能量，因此，发生上述事故时均在机房内，事故发生后对机房外周围环境敏感点的影响与正常工况下相比，无其他附加影响。根据环境影响分析，项目各设备运行对周围环境敏感点的影响满足评价标准的要求，环境敏感点可以接受。

### 11.9.3 医用直线加速器潜在危险及辐射事故预防处理措施

加速器是一种将电能转换成 X 射线能的医疗设备，X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，断电状态下较为安全。在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

#### （1）直线加速器门机联锁失效

由于未及时检修，门-机联锁装置失效，门处于半开启状态，直线加速器仍能运行，人员进入直线加速器机房而受到照射。

处理措施：按操作规程定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过装置故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。

#### （2）直线加速器治疗时，工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离辐照室。

处理措施：开机运行前，工作人员认真检查机房内人员情况，除病人外，一律不得停留。待确认无误后，方可进行下一步操作。

#### （3）检修、维护人员误操作造成误照射

处理措施：检修、维护工作人员应经过专业培训，检修前工作人员认真检查直线加速器电源及开关等情况。待确认无误后，方可进行检修维护工作。

#### （4）人误

分析：不了解直线加速器基本性能和结构，缺乏操作经验；缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；治疗计划错误(治疗过量或欠量照射)；违反操作规程和有关规定，操作失误；设备维（检）修后未进行质量控制检测；管理不善、领导失察等。是人为的因素造成辐射事故（造成患者治疗损伤）的最大原因。

防治措施：放射工作人员必须加强专业知识学习，加强防护知识培训，了解应当做什么，怎么做，避免犯普通错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

## 续表 11 环境影响分析

### 11.9.4 后装治疗机潜在危险及辐射事故预防处理措施

#### 1) 后装机放射源卡源

治疗过程中，放射源发生卡源现象，放射源不能回到贮存容器中。

防治措施：先启动强制回源装置，强制放射源回到储源位置。若还是卡源，则封闭机房，禁止任何人员进出，待后装机生产厂家或有资质的专业维修技术人员到来后，再行处理，医院不得自己处理。

#### 2) 后装治疗机放射源脱落

造成机房内周围人员受到大剂量照射；设备检修时，工作人员误将后装机的屏蔽装置打开或卸下放射源，都会对维修人员产生很强的辐射照射，由于机房屏蔽墙体足够厚，所以不会对外界产生辐射影响；后装机换装放射源后产生的报废源，因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

防治措施：换源或装源必须由有资格的专业人员进行。做好换装源程序和一切准备工作，工作人员必须佩带辐射监测仪器，穿戴防护衣帽，疏散周围人员。严格加强  $^{192}\text{Ir}$  放射源的安全管理，严格按照规定的实施方案进行换装源，确保环境和人员安全，杜绝事故（事件）发生。换源等工作应严格按照操作规程来，将换出来的放射源或者即将换进去的放射源放在规定的位置，防止无关人员不认识而随意拿走。另外在从事上述工作时，应对现场进行清场，确保无关人员不在辐射工作区域内活动。

#### 3) 医疗照射不正当化

滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

防治措施：辐射工作人员必须认真考虑，只有确认该项检查、治疗对受检者的病情诊治和健康有好处时才进行 X 射线诊疗。

#### 4) 未进行质量控制检测

诊疗设备年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，机器性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

防治措施：医院做好设备稳定性检测和状态检测，使设备始终保持在最佳状态下工作。

#### 5) 工作人员业务技能不高

工作人员业务技能差，经验不足，摆位不正、定位不准等，致使患者受到不必要的

续表 11 环境影响分析

照射。

防治措施：医院应定期组织辐射工作人员学习专业业务知识，不断提高业务水平。

#### 11.9.5 DSA 及射线装置潜在危险及辐射事故预防处理措施

##### (1) 门灯指示灯失效

门灯指示灯失效，X 射线机处于出线状态，人员误进入机房而受到误照射。

预防措施：按操作规程定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在警示灯失效的情况下违规操作。

##### (2) 人员留在机房内未作防护

工作人员进入机房后，未全部撤离，仍有人员滞留在机房内，且没有采取辐射防护措施，放射设备开始出线后，滞留人员受到不必要的照射。

预防措施：撤离机房时清点人数，必须按程序对机房进行全视角搜寻，对滞留机房内的无关人员强行劝离。有外来人员进入时，工作人员应根据情况，采取急停或相应措施，阻止外来人员受到误照射。

##### (3) 人员误操作

由于工作人员缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；违反操作规程和有关规定，操作失误；管理不善、领导失察等，是人为造成辐射事故的最大原因。特别是对育龄妇女、孕妇、儿童等敏感人群照射前，没有按照规定告知、说明或者没有对敏感器官进行必要的屏蔽防护，造成辐射事故。

预防措施：辐射工作人员必须加强防护知识培训，提高防护技能，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感；严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

##### (4) 未进行质量控制监测

诊疗设备年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制监测，机器性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

预防措施：医院做好设备稳定性监测和状态监测，使设备始终保持在最佳状态下工作。

##### (5) 工作人员业务技能不高

工作人员业务技能差，经验不足，操作不熟练等，致使患者和医生受到超剂量照射。

预防措施：医院应定期组织辐射工作人员学习专业业务知识，不断提高业务水平。

## 续表 11 环境影响分析

### (6) 公众成员受到超剂量照射

公众人员（非辐射工作人员）由于工作需要或误进入开机的机房内，长时间停留，造成超剂量照射。

预防措施：医院警示标志正确张贴，保证门灯联锁、门机联锁的有效性。

### 11.9.6 放射性同位素应用潜在危险及辐射事故预防处理措施

(1) 由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。

预防措施：医院应加强管理，严格按《放射性药品管理办法》制订《放射性药品的保管制度》。

(2) 由于操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面。

预防措施：发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 $\beta$ 表面污染大于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 $\beta$ 表面污染小于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$  为止，擦拭的操作台的抹布应统一收集在污物桶内。

(3) 手部有伤仍从事放射性物质操作，可能造成内污染；违反实验室管理规定在实验室吸烟、进食，可能吸入和食入放射性物质造成人员内照射；实验室管理规定将开放性实验室用品（包括清洁用具）带到其它非放射工作场所；放射性药物发放错误：工作人员未认真核对姓名、药物名称、种类、给药途径、用量，致使他人误用或用量过量而造成照射；放射性药物未做标记乱甩、乱放造成误食或撒泼；显视设备灵敏度低病员不得不注射或服用较大剂量的放射性药物，而受到不必要的照射。工作人员没有经过专业知识培训，有不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射用棉签，一次性手套乱扔，使室内受到污染，辐射水平增高。另外也有一部分工作人员过于重视自身防护，让患者将注射用棉签自己扔掉，会对外环境造成污染。

预防措施：医院应加强辐射工作场所的现场管理，辐射管理人员加强日常的巡逻，加强防护知识培训，加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

(4) 放射性同位素治疗中，出现患者或者靶组织识别错误，或者剂量使用错误，会

## 续表 11 环境影响分析

给患者造成不该施加的照射。

预防措施：操作人员应加强业务培训，提供业务能力，并严格按照操作规程进行操作。

(5) 失去限制的服药患者已成为一个移动辐射源，需要住院隔离，只有当体内放射性活度降低到 400M Bq 才能出院。如服药后患者离开病房，与公众成员、亲属和陪护者长时间近距离接触，很容易对公众造成不必要照射。

预防措施：控制区出入口设有单向门进入，张贴警示标志，防治其他工作人员及公众成员进入控制区，也避免服药病人服药后外出，患者的探视者，须在门外距离患者 2 米以上，在控制区走廊外设 2 台视频控制装置，在护士站可观察到控制区出入口、病房及走廊情况，病房与护士站设置对讲装置，便于医护人员与患者交流。

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 辐射安全管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2008 修订）》，环境保护部令第 3 号第十六条要求：使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院应尽快指定特定人员负责辐射安全工作，并成立辐射安全防护领导小组，制定相关工作制度，负责整个医院的放射防护与安全管理工作，并应明确领导小组职责，该小组人员应认真个人职责工作，应有高度的责任心，熟悉和掌握有关放射性的基本知识和辐射防护的一系列法规，并严格遵守执行。同时应成立应急预案处理小组，并定期进行应急培训；成立安全和防护状况日常检查小组，发现隐患当立即整改。

### 12.1.2 辐射工作人员

本项目由于正在处于前期手续办理中，暂未配置辐射工作人员，医院拟配备 168 名专业辐射工作人员，其中肿瘤治疗工作人员 37 人，放射诊断工作人员 77 人，介入治疗工作人员 27 人，核医学科工作人员 27 人。。医院计划按试运营期、一期、二期三个阶段分期配置工作人员，详见附件五：娄底众一医院核放设备分期投入计划及分期人员配备计划。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局令 第 31 号）本次环评提出，建设单位应根据上述要求，介入中心每台设备至少需要配备 2~3 名辐射工作人员，直线加速器机房每台设备至少需要配备 2~3 名辐射工作人员，III 类射线装置机房按照工作量的需求，每个机房至少配备 1~2 名辐射工作人员；且所有放射工作人员中应至少有 1 名医用物理人员负责质量保证与质量控制监测工作，1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

根据环境保护部令第 3 号第十五条的规定：从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。环境保护部令第 18 号第二十二条规定：取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次再培训。辐射安全再培训包括新颁布的相关法律、法规和辐射安全与防护专业标准、技术规范，以及辐射事故案例分析与经验反馈等内容。

**续表 12 辐射安全管理**

因此，本环评要求在本项目运营前，每一期配置的辐射工作人员医院都应组织辐射工作人员进行辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，考核合格后方可上岗，做到所有从事辐射工作的人员均持证上岗。同时，取得培训合格证的人员，医院应每四年组织一次复训。且医院应将从事介入治疗的工作人员纳入放射工作人员进行管理，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，每 1~2 年进行放射工作人员健康体检。

辐射工作人员应具有一定的辐射安全防护基本知识和技能，为预防放射事故的发生有一定的防护意识和应急能力，应能满足医院核放中心核医学科，放疗中心及其他射线装置的操作要求。

### **12.2 辐射安全管理规章制度**

为保障放射性同位素及射线装置正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射，医院应根据医院设备投入配置计划及运营实际情况，针对辐射设备情况和预期工作情况制定以下规章制度，具体制度有：

- (1) 《辐射安全防护领导小组职责》
- (2) 《辐射防护安全制度》
- (3) 《辐射工作人员个人剂量管理制度》
- (4) 《辐射设备管理制度》
- (5) 《医疗诊断 X 射线装备放射防护管理制度》
- (6) 《放射安全操作规程》
- (7) 《辐射事故应急预案》
- (8) 《监测方案、体检承诺书、人员培训计划》
- (9) 《设备维修保养制度》
- (10) 《放射科患者就诊须知》
- (11) 《辐射防护安全管理制度》
- (12) 《介入中心工作制度》
- (13) 《DSA 操作规程》
- (14) 《放疗中心工作制度》
- (15) 《直线加速器操作规程》

续表 12 辐射安全管理

- (16) 《直线加速器维修与保养制度》
- (17) 《模拟定位机操作规程》
- (18) 《后装机操作规程》
- (19) 《PET/CT 校正源操作规程》
- (20) 《核医学科工作制度》
- (21) 《放射性药物操作的防护制度》
- (22) 《放射性物质防护制度》
- (23) 《放射性药品管理制度》
- (24) 《核医学科辐射监测制度》
- (25) 《核医学放射性物质泄漏应急处置预案》
- (26) 《放射科工作人员防护制度》
- (27) 《放射科受检者的防护原则》等

按照国务院令 第 449 号（2005）《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》、国家环境保护部令 第 3 号（2008）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等现行要求，根据环境保护管理部门对辐射环境管理的要求，医院在日后运营的过程中应不断总结经验，根据实际情况完善和健全各项规章制度，并确保各项制度的落实。

### 12.3 辐射环境管理要求

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保放射防护可靠性，维护放射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能的避免事故的发生，医院必须培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。为此，本环评提出如下辐射环境管理要求：

(1) 依据《中华人民共和国放射性污染防治法》第二十八条和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》之规定，该医院必须向环保部门申请办理安全许可证等相关环保手续。

(2) 明确辐射安全防护领导小组的职责：设立兼职或专职的安全负责人，负责整个医院的辐射防护与安全工作。建立辐射防护安全防护管理制度，履行放射防护职责，确保放射防护可靠性，维护放射工作人员和周围公众成员的权益，尽可能避免事故的发生。

续表 12 辐射安全管理

(3) 医院辐射工作人员必须定期经过辐射工作安全防护培训，培训合格并取得辐射工作安全防护培训合格证方可上岗；操作人员必须遵守各项操作规程，检查仪器安全并做好当班记录，严格执行交接班制度，发现异常及时处理。

(4) 各项规章制度、操作规程必须齐全，并张贴上墙；所有的放射工作场所（包含移动 X 射线装置工作场所）均必须有电离辐射警示标志，各机房门屏蔽门上方还必须要在工作指示灯。警告标志的张贴必须规范。

(5) 每年应至少进行一次辐射环境监测，建立监测技术档案，医院工作人员应持证上岗，定期进行辐射防护知识和法规知识的培训 and 安全教育，检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案。对个人剂量超过或接近管理目标的辐射工作人员应暂离岗位，并在今后的工作中增加监测频率。对辐射工作人员每两年进行健康体检并形成制度。进入机房的工作人员佩带个人剂量报警仪，记录个人所受的射线剂量。

(6) 制定事故状态下的应急处理计划，其内容包括事故的报告，事故区域的封闭，事故的调查和处理，及工作人员的受照剂量估算和医学处理等。

(7) 进行射线装置安全和防护状况的日常检查，定期检查机房的报警装置系统、防护仪表和 X 射线输出剂量误差，发现问题及时解决；发现安全隐患的，应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的环境保护主管部门（以下简称“发证机关”），经发证机关检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

(8) 对医院辐射装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

(9) 根据《关于发布放射源编码规则的通知》（环发[2004]118 号）要求，医院拟新增放射源按《放射源编码规则》编 12 位码，购买后向环境保护行政主管部门及时申报。放射源编码卡应固定在容器或设备的明显位置，并伴随放射源从生产到处置的全过程。放射源被处置或生产单位回收，处置单位或生产单位应在 30 日内向所在地省级环境保护行政主管部门办理编码注销手续。

(10) 按照《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 253 号令）第十二条规定，建设项目的规模发生变化，或者建设项目环境影响报告书自批准之日起满 5 年，建设项目方开工建设的，其环境影响报告文件应重新编制，报批。

## 续表 12 辐射安全管理

(11) 安装、维修或者更换与辐射源有关部件的设备，应当向有关部门申请，进行防护监测验收，确定合格后方可启用，以杜绝放射事故的发生。

(12) 建设项目竣工环境保护验收涉及的辐射监测，由使用射线装置的单位委托经环境保护主管部门批准的有相应资质的辐射环境监测机构进行。

(13) 医院在依法被撤销、依法解散、依法破产或者因其他原因终止前，应当确保环境辐射安全，妥善实施辐射工作场所或者设备的退役，并承担退役完成前所有的安全责任。

### 12.4 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置放射安全和防护条例》（国务院第 449 号令）等相关法规和标准，必须对放射性同位素与射线类装置使用单位进行个人剂量检测、工作场所监测、场所外的环境监测，开展常规的防护监测工作。

医院运营期每一个阶段（试运营期、一期、二期）必须配备相应的监测仪器，或委托有资质的单位定期对医院使用的各射线装置机房周围环境进行监测，按规定要求开展各项目监测，做好监测记录，存档备查。辐射监测内容包括个人剂量与工作场所内外环境的监测。

#### 12.4.1 辐射工作人员的健康监护及个人剂量监测

按照《放射工作人员健康标准》的规定执行，医院聘用的辐射工作人员确定后，医院应为辐射工作人员建立个人健康档案，档案中详细记录历次医学检查的结构及其评价处理意见，并妥善长期保存。

根据环境保护部令第 3 号、环境保护部令第 18 号中对工作人员个人剂量的要求，医院应为每名工作人员配置个人剂量计，定期组织工作人员进行个人剂量监测，发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。医院还应安排专人负责个人剂量监测管理，建立了辐射工作人员个人剂量档案。包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当永久保存。

医院运营期每一个阶段（试运营期、一期、二期）应对辐射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求辐射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测应由具有个人剂量监测资质的单位进行。个人照射累积剂量每 3 个月为一监测周期，如发现异常可加密监测频率。

续表 12 辐射安全管理

12.4.2 工作场所内外环境监测

医院运营期每一个阶段（试运营期、一期、二期）根据国家规定每 1~2 年接受辐射防护管理部门对工作场所周围环境进行常规监测，发现问题及时整改。监测资料存档。

① 验收监测

设备安装到位后，应委托有资质的单位进行验收监测。若发现问题，及时整改，直到合格为止。

② 日常监测（有资质的单位）

监测频率：每年一次；

监测因子：工作场所周围区域剂量当量率。

监测范围：机房防护门及缝隙处，电缆及管道的出入口，控制室，操作台等；以及机房屏蔽墙四周。

监测数据作为医院的管理依据。

医院应自行配备 X-γ 剂量率测量仪、α-β 表面污染仪（定期进行计量检定），对射线装置与应用密封源的机房内及机房四周环境、核医学科控制区及监督区进行监测。发现问题及时整改。监测数据每年年底向市环境保护局和省环境保护厅上报备案。医院自行的日常监测要求如下表 12-1 所示。

表 12-1 医院常规监测内容一览表

监测项目	监测因子（内容）	监测频率	限值要求
个人剂量	外照射剂量	每个季度	根据评价要求
周围环境	周围剂量当量率	一年一次	参照湖南省环境地表γ辐射剂量率
工作场所	β表面污染	定期	控制区<40Bq/cm <sup>2</sup> 监督区<4Bq/cm <sup>2</sup> 其他<0.4Bq/cm <sup>2</sup>
放射性固废	废物包装外表面	处理前	β<0.4Bq/cm <sup>2</sup>
直线加速器、射线装置机房四周及顶棚墙体、防护门外 30cm 处	周围剂量当量率	一年一次	2.5μSv/h
射线装置机房	门机联锁、工作指示灯、警示标识	每月自检	标准要求
射线装置	设备技术性能	每年委托检测 1 次，自检 1~2 次	标准要求

## 续表 12 辐射安全管理

### 12.5 辐射事故应急预案

#### 12.5.1 事故应急培训演习计划

**1、事故应急演练：**完善的预案、周到的准备和准确的事事故处理必须依靠定期的应急演练来加以巩固和提高，从而真正发生时能够做到沉着应对、科学处置。组织应急演练应注意以下几个方面。

(1) 制定周密的演练方案，明确演练内容、目的、时间、地点、参演人员等。

(2) 进行合理的人员分工。成立演练领导组、工作组、保障组等机构，进行角色分工，明确人员职责。

(3) 做好充分的演练准备，维护仪器设备，配齐物资器材，找好演练场地。

(4) 开展认真的实战演练，按照事先预定的方案和程序，有条不紊的进行，演练过程中除非发生特殊情况，否则尽量不要随意中断。若出现问题，演练完毕后再进行总结。

(5) 做好完整的总结归纳，演练完毕要及时进行归纳总结，对于演练过程中出现的问题要认真分析，并加以改正，成功的经验要继续保持。

**2、应急响应准备：**包括建立辐射事故应急值班制度、开展人员培训、配备必要的应急物资和器材。

(1) 辐射事故应急办公室应建立完善的辐射事故应急预警机制，及时收集、分析辐射事故相关信息，协调下设小组人员开展辐射事故应急准备工作，定期开展事故应急演练，提高应急处置能力。

(2) 定期就辐射安全理论，辐射事故应急预案、程序和处置措施，以及应急监测技术等内容组织学习，必要时进行考核，以达到培训效果。

(3) 根据医院核技术利用情况，可能发生的事故级别，做好事故应急装备的准备工作。主要包括交通、通讯、污染控制盒安全防护等方面的物资和器材，具体见表 12-2。

表 12-2 辐射事故应急物资和器材

器材或物资类别	名称及数量	维护保养要求
监测仪器	X- $\gamma$ 射线巡测仪 2 台，个人剂量报警仪若干， 表面污染仪 2 台	定期开展维护保养和计量 检定，保证仪器设备完好
通讯工具	手持对讲机或移动手机若干	定期充电、检查，保证完好

续表 12 辐射安全管理

取证工具	数码照相机、摄像机、测距仪等	定期充电、检查，保证完好
警戒设备	电离辐射警告标志、警示灯等	保持干净、完好
人员防护设备	防辐射工作服、防护眼镜、手套(乳胶或纱棉)、 口罩	保持干净、完好
消除污染设备	去污染消毒剂、肥皂等、棉签、抹布若干、塑 料桶、塑料袋	分类放置、标签清晰、便于 取放

### 12.5.2 事故应急处理措施

辐射事故一旦发生，应立即采取以下措施进行处理，并根据事故情况启动应急预案。主要应急处理措施如下：

①直线加速器等 X 射线类装置射线无高压输入时即停止发射射线，因此处理此类事故的首要一条就是切断电源，切断电源可以停止照射；

②立即撤离有关工作人员，封锁现场，控制事故源，切断一切可能扩大事故范围的环节，防止事故扩大和蔓延；对可能受伤的人员，立即采取暂时隔离和应急救援措施，在采取有效个人防护措施的情况下组织人员控制事故现场，并根据需要实施医学检查和医学处理。

③若发现密封源丢失，应及时在相邻区域设置警戒区，使用 X-γ检测仪找回放射源。若未找到，应控制区域保持现状，并立即向公安机关、环保机关报告，尽快追回放射源。

④如因射线装置输出量异常发生人员受到异常照射的事故，应及时检修射线装置，并进行输出量计量校准。保存控制器上的照射记录，不得随意更改，以便事后对受照人员进行受照剂量估算；

⑤若事故后经检查为机器出现故障，应通知厂家立即派专业技术人员到现场排除故障。医院不能擅自处理；

⑥发生辐射事故后，根据受照情况，应迅速安排事故受照人员的医学检查和医学监护。并在 2 小时内向医院领导及有关行政主管部门上报。并配合有关部门进行调查，查找事故原因，做好相关防范措施。

⑦医院应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。具体处理方法按《核与放射事故干预及医学处理原则》（GBZ113-2006）和《辐射损伤医学处理规范》（卫生部、国防科委文件卫法监发[2002]133 号）进行。

## 续表 12 辐射安全管理

### 12.5.3 应急报告程序

一般报告程序为：发现者报告给医院辐射事故应急工作小组成员，由其向市公安局、市环保局，并同时向省环保厅报告，设备被损应同时向公安机关报告，造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。各部门联系方式如下：

市公安局电话：110

市环保局电话：12369（24 小时）

省环境保护厅热线：0731-85698110

省卫生厅热线：12320 0731-84822021

医院辐射安全管理办公室（医务科）与院总值班室电话确定后需公布。

### 12.6 从事辐射活动能力评价

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定，医院从事辐射活动应具备相应的条件，对该医院将从事的辐射活动能力评价如下表：

表 12-3 医院从事辐射活动能力评价

应具备条件	医院落实情况
使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类、III 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院计划成立辐射安全防护领导小组，明确各成员的职责，成员满足相应学历要求。
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训及考核	医院制定人员培训计划，营运期所有的放射工作人员在满足相应学历的情况下参加培训或考核合格后方可上岗。
使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	医院设计有药物暂存间，设置防盗门，计划由专人保管钥匙。
放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	设置有门灯联动装置，并标有电离辐射警示标志以及工作状态指示灯，可开展辐射工作。
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警仪、辐射监测等仪器，使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	专职放射工作人员均拟配备个人剂量计，医院拟配置个人剂量报警、辐射监测及表面污染监测仪等仪器。

**续表 12 辐射安全管理**

有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检维修制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	医院将制定完整的辐射防护制度，建立健全本项目的相关规章制度，并将制度粘贴上墙。
有完善的辐射事故应急措施。	医院拟制定《辐射事故应急预案》，并定期演练。
产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	根据分析，医院放射性废气、废液、固体废物的处理方案可行。

从表 12-3 分析可知，在各项措施落实完成后医院具备从事辐射活动的能力和条件。

表 12-4 环境保护验收一览表

序号	验收内容	验收要求	要求
1	环保文件	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收检测报告	/
2	环境管理制度、应急措施	成立专门的辐射领导机构，制定相应的规章制度和事故应急预案	制定并落实各项制度，有关制度和预案粘贴上墙
3	人员要求	培训合格，持证上岗，4 年进行 1 次复训	环境保护部令第 3 号、环境保护部令第 18 号
4	放射工作人员组成	放疗室配备放射治疗医生、物理人员、维修人员（其中放射治疗或诊断医生至少 1 名，医学物理人员 1 人，操作人员至少 1 人）；医院分期计划拟配备共 168 名专业辐射工作人员，其中肿瘤治疗工作人员 37 人（包括放射治疗医生、病理医学师、专业维修工程师），放射诊断工作人员 77 人，介入治疗工作人员 27 人，核医学科工作人员 27 人。	GBZ126—2011
5	配套设施、设备	防护监测设备：个人剂量计及报警仪、表面污染仪、工作剂量仪等剂量测量设备	GBZ126—2011 GB18871-2002
		个人防护用品：铅衣、铅帽、铅眼镜、铅帘、病人防护用品等详见表 10-4	GBZ130-2013
6	辐射安全防护措施	<p>①射线装置机房门外张贴醒目电离辐射警示标志，安装工作状态指示灯，并实行门灯联锁，门机联锁。</p> <p>②门与墙搭接满足要求。</p> <p>③制度上墙。</p> <p>④DSA 机房、各Ⅲ类射线装置机房设置门机联锁，并在门上设置有声、光报警；CT、DR、数字胃肠机房在控制室与治疗室之间应设观察窗与对讲机。</p> <p>⑤后装室入口必须采用迷路设计，设置门机联锁，采用电动、手动一体化防护门，并在治疗室门上要有声、光报警，治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器；在控制与治疗室之间应设观察窗（或监视器）与对讲机。</p> <p>⑥机房内不得堆放无关杂物，保持良好的通风。</p> <p>⑦CT 装置宜斜向安放。</p> <p>⑧直线加速器机房内建设的穿越防护墙的导线、导管等采用“U”型。</p> <p>⑨直线加速器机房采用电动、手动一体化防护门，设置门机联锁，并在门上设置有声、光报警；在控制室与治疗室之间设监视器与对讲机。</p> <p>⑩乙级非密封工作场所有排风系统和单独排水系统，有效容积为 127m<sup>3</sup>的三级推溢式衰变池，防渗、防漏、防腐；有污物桶(脚踏式)，具有辐射屏蔽作用；核医学科质控室、热室配备通风橱，设置监控系统、对讲系统。</p>	GBZ130-2013 GBZ120-2006 GBZ126-2011 GBZ18871-2002

7	辐射监测	<p>1、每 1~2 年接受辐射防护管理部门对工作场所周围环境进行常规监测，出具年度评估报告</p> <p>2、医院应每季度对工作人员进行个人剂量监测，每 1~2 年进行放射人员健康体检，并将资料存档管理</p> <p>3、医院配备相应的自检设备，防护检查仪器及人员，定时进行辐射环境及设备的自主监测工作，及时发现异常情况进行处理</p>		齐全
8	机房面积及最小单边长	<p>直线加速器机房/回旋加速器机房：<math>\geq 45\text{m}^2</math></p> <p>后装治疗机房：<math>\geq 20\text{m}^2</math></p> <p>模拟定位机房：<math>\geq 20\text{m}^2</math></p> <p>DSA 机房：<math>\geq 30\text{m}^2</math>，最小单边长 4.5m（参考）</p> <p>PET/CT、CT：<math>\geq 30\text{m}^2</math>，最小单边长 4.5m</p> <p>DR、数字胃肠机：单管头：<math>\geq 20\text{m}^2</math>，最小单边长 3.5m</p> <p>乳腺 X 光机：<math>\geq 10\text{m}^2</math>，最小单边长 2.5m</p> <p>全景牙片机：<math>\geq 5\text{m}^2</math>，最小单边长 2m</p>		GBZ126—2011 GBZ130-2013
9	电离辐射	剂量限制	<p>1、DSA 介入医生及核医学工作人员年有效剂量<math>\leq 4\text{mSv}</math></p> <p>2、其他辐射工作人员年有效剂量<math>\leq 2\text{mSv}</math></p> <p>3、公众成员年有效剂量<math>\leq 0.1\text{mSv}</math></p>	GB18871-2002、及环评批复
		表面污染	控制区的表面污染控制水平 $< 40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区的表面污染控制水平 $< 4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，其他的表面污染控制水平 $< 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$	GB18871-2002
		墙体外剂量率控制	距离机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$	GB18871-2002 GBZ130—2013
		设备剂量率控制	<p>直线加速器最大能量<math>\leq 15\text{MV}</math>；直线加速器（最后一次照射终止 10s 后、3min 内：距设备表面 5cm 处由感生放射性所造成的吸收剂量率<math>\leq 200\mu\text{Sv}/\text{h}</math></p> <p>距设备表面 1m 处由感生放射性所造成的吸收剂量率<math>\leq 20\mu\text{Sv}/\text{h}</math></p>	GBZ126—2011
		$^{192}\text{Ir}$ 后装治疗机：运输贮源器(或工作贮源器)内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $100\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $10\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。	GBZ121-2002	
10	废气	射线机房内设置机械动力通风装置，核医学科通风橱排气口高于核放中心楼顶屋脊，废气排放浓度小于 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$		GBZ130-2013 GBZ120-2006
11	放射性废水	核医学科衰变池总排口设置采样口：每一次排放的活度不超过 $1\text{ALI}_{\text{min}}$ ，每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\text{min}}$ ；接纳放射性废水的普通下水道的流量大于排入流量的 10 倍，医院总排污口总 $\beta$ 放射性 $< 10\text{Bq}/\text{L}$		GB18466-2005 GB18871-2002
12	放射性固废	包含废包装袋、注射器、废旧活性炭等，废物包装外表面： $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，有废物处理台账		GBZ133—2009
13	放射源编码	新增放射源按《放射源编码规则》编 12 位码，购买后向环境保护行政主管部门及时申报备案。		环发[2004]118 号

表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目概况

娄底众一医院拟建地位于娄底市万宝新区下州村、松山村、东冲村、鱼岭村境内。为促进娄底市城市建设和经济发展的需要，进一步提升区域医疗技术水平，湖南众一医院管理有限公司拟在娄底市万宝新区新建娄底众一医院，同时拟投资 12000 万元进行核技术利用新建项目建设。本环评包含 33 台射线装置，其中 II 类射线装置 8 台（4 台直线加速器，1 台回旋加速器，3 台 DSA）；III 类射线装置 25 台（2 台模拟定位机，4 台 CT，8 台 DR，1 台数字胃肠机，1 台乳腺 X 射线机，1 台骨密度仪，1 台全景牙片机，2 台小 C 臂机，3 台移动 X 光机，1 台 PET/CT，1 台 SPECT/CT）（（PET/CT 使用 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  密封源作为校正源，属于 V 类放射源）。另外乙级非密封放射性工作场所 1 处（使用  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  七种核素），后装机 1 台（使用  $^{192}\text{Ir}$ ，为 III 类放射源）。

根据资料收集和现场踏勘实际情况，娄底众一医院新建工程项目主体工程尚未开工建设。通过开展对本项目的分析、对周围环境质量现状的调查以及项目的主要污染物对环境的影响分析等工作，得出如下结论。

#### 13.1.2 实践正当性分析

医院放射性同位素的应用和射线装置对受电离辐射照射的个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害(包括健康与非健康危害)，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

#### 13.1.3 产业政策符合性分析

项目投入使用为疾病诊断、寻找病灶部位、制订治疗方案及治疗疾病提供了科学依据和手段。项目在加强管理后均满足相关国家法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。同时，本项目属于国家发展和改革委员会令第 9 号《产业结构调整指导目录（2011 年本）》（2013 年修正）第六小类——核能中的同位素、加速器及辐照应用技术开发项目；第一类——鼓励类中新型医用诊断医疗仪器设备、微创外科和介入治疗装备及器械、医疗急救及移动式医疗装备、康复工程技术装置、家用医疗器械、新型计划生育器具（第三代宫内节育器）、新型医用材料、人工器官及关键元器件的开发和生产，数字化医学影像产品及医疗信息技术的开发与应用。医院放射性同位素的应用不属于其中淘汰类和限制类，项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

## 续表 13 结论与建议

### 13.1.4 选址可行性及布局合理性分析

#### 1、选址可行性分析

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

（1）根据医院提供的资料和评价单位现场踏勘，射线装置机房及核放中心场地内未发现滑坡、坍塌、地裂等不良地质灾害现象，场地现状稳定性好，水文地质条件简单。

（2）根据现状监测结果，场址的辐射环境质量状况良好，有利于项目的建设。

（3）本项目位于门诊医技楼和核放中心负一层。除了移动式 X 射线机，其他射线装置均有独单机房，拟配设备和现有设备位置集中使用，方便病人就诊。位于核放中心地下层的核医学科用房、回旋加速器机房与放射诊疗中心、直线加速器机房四个区域各自内部自成一区，与其他功能用房相互独立。

（4）核医学科位于核放中心负一层南侧，与其他功能科室相对独立，且避开了院内人流密集区，核医学科出入口专用，有利于控制区域污染，远离医院内及周围环境敏感点，有利于辐射防护。

（5）本项目机房、核医学科均远离医院内及周围环境敏感点，有利于辐射防护。项目营运期产生的电离辐射、废水、废气、固体废物等均得到有效治理，达标排放对环境影响小。

从环境保护角度分析，本项目选址可行。

#### 2、布局合理性分析

本项目辐射工作场所包括放射治疗机房及核医学用房，医院在设计各机房时充分考虑到辐射工作人员及公众成员的辐射防护及医院用地现状，设备设置了机房和控制室，总体用房与其他科室用房分开，放射诊疗区和非放射诊疗区分开，方便病人诊疗和医生办公，且放射诊疗区置于人流不密集角落里，能更好的保护病人及医院工作人员的安全，有利于采取相应的辐射防护措施。核医学科用房、回旋加速器机房与放射诊疗中心、直线加速器机房位于核放中心负一层，核放中心为独立的六层建筑，地上五层，地下一层。

## 续表 13 结论与建议

直线加速器机房位于核放中心负一层北侧，顶部为内庭院绿化坪及内天井，南侧为辅助用房，西侧、北侧墙体外为泥土层，东侧为预留用房，放射治疗各设备均设置了机房和控制室，既方便病人就医又有利于采取相应的辐射防护措施；核医学科北侧为直线加速器机房，南侧为地下车库，东侧为下沉花园，西侧墙体外为泥土层，楼上为诊室。核医学科内部设置医生、病人、放射性废物专用通道，医院按控制区、监督区要求进行了布置，较好地满足了非密封源乙级工作场所设计布局要求，整体布局合理。

从环境保护角度分析，医院辐射工作场所布局可行。

### 13.1.5 环境影响分析结论

#### 1、机房使用面积

本项目射线装置机房的使用面积满足标准要求。

#### 2、墙体屏蔽的辐射防护

(1) 门诊医技楼四层介入中心 DSA 机房的四周墙体及天棚的设计厚度均能满足辐射防护的要求；防护门和观察窗的厚度均为 4mmPb 铅当量，按照环评核算结果可知，DSA 机房四面墙体、顶棚及地面、防护门窗墙体外空气比释动能率满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的标准要求。

(2) 综合楼一层影像科、三层体检中心、负一层急诊科及四层口腔科的射线装置机房四周墙体均为 240mm 砖+30mmBaSO<sub>4</sub>，顶棚及地面均为 150mm 砼+30mmBaSO<sub>4</sub>，密度不小于 2.35g/cm<sup>3</sup>，所有 CT 机房防护门设计厚度为 4mmPb，DR 机房、数字胃肠机房防护门设计厚度为 3mmPb，乳腺 X 光机房和牙片防护门设计厚度为 3mmPb；铅玻璃窗铅当量与防护门一致，医院应按照本环评的要求进行 X 射线机的屏蔽防护设计，达到应有的屏蔽防护厚度，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）、《医用 X 射线诊断卫生防护标准》（GBZ130—2013）的要求。

(3) 模拟定位机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房四周墙体均为 300mm 砼，顶棚及地面均为 150mm 砼+30mmBaSO<sub>4</sub>，密度不小于 2.35g/cm<sup>3</sup>，防护门设计厚度为 4mmPb；铅玻璃窗铅当量与防护门一致，医院应按照本环评的要求进行 X 射线机的屏蔽防护设计，达到应有的屏蔽防护厚度，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）、《医用 X 射线诊断卫生防护标准》（GBZ130—2013）的要求。

(4) 后装机房四周墙体均为 600mm 砼，迷路内墙为 600mm 砼，顶棚为 600mm 砼，

### 续表 13 结论与建议

地面为 600mm 砣，密度不小于  $2.35\text{g/cm}^3$ ，防护门铅当量建议 6mmPb，医院应按照本环评的要求进行 X 射线机的屏蔽防护设计，达到应有的屏蔽防护厚度，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《医用 X 射线诊断卫生防护标准》（GBZ130-2013）的要求。

(5) 直线加速器机房四间相同面积，对称布置，直线加速器机房（一）东墙厚 140cm；南、北墙主墙厚 280cm，副墙厚 140cm，主屏蔽带宽 400cm；东墙迷路内墙厚 110cm，迷路外墙厚 220cm；顶棚主墙厚 280cm，副墙厚 140cm，主屏蔽带宽 400cm；东面为直型迷道，迷道宽 200cm，高 4.2m。南墙上设置有防护门，防护门屏蔽厚度建议采用 1.5cmPb+7.5cm 含硼 5%的聚乙烯。应由专业厂家制作安装。此外，在对防护门进行安装时，应按照“从机房内部到外部为含硼 5%的聚乙烯、后铅”的安装顺序。医院应按照本环评的要求进行 X 射线机的屏蔽防护设计，达到应有的屏蔽防护厚度，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《医用 X 射线诊断卫生防护标准》（GBZ130-2013）的要求。

(6) 回旋加速器机房北面墙为 140cm 厚混凝土，东墙和西主屏蔽墙为 260cm 厚混凝土，次屏蔽区均为 140cm 厚混凝土，主屏蔽墙带宽 400cm，内设直迷道，迷道为 80cm 厚混凝土，长 8.96m，迷道外墙为 140cm 厚混凝土，防护门屏蔽厚度建议采用 10mmPb+40mm 含硼 5%的聚乙烯，医院应按照本环评的要求进行 X 射线机的屏蔽防护设计，达到应有的屏蔽防护厚度，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《医用 X 射线诊断卫生防护标准》（GBZ130-2013）的要求。

(7) 核医学科注射后休息室、扫描机房四面墙体为 300mm 砣，回旋加速器控制室、辅助用房；储源间、分装质控室、注射室、甲癌病房四面墙体为 400mm 砣，顶棚均为 150mm 砣，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《医用 X 射线诊断卫生防护标准》（GBZ130-2013）的要求。

### 3、场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定，将辐射场所分为控制区和监督区，以便辐射安全管理和职业照射控制，该院放射性工作场所分区如下：

(1) 控制区：各射线装置机房；核医学科回旋加速器机房、放化实验室、气体室、

## 续表 13 结论与建议

核医学科质控室、注射室、注射室、储源间、废物间、注射后候诊室、住院病房及相连接的走廊以墙体和防护门为界的治疗和诊断室。在诊断和治疗设备的调试和日常诊疗过程中，当处于诊疗状态时，区内无关人员不得滞留。以辐射安全联锁和警示装置控制及严格的管理制度保障此区的辐射安全。

监督区：包括各射线装置控制室；核医学科卫生通过间、前室、抢救室、设备间、医生办公室及核医学科的各辅助用房及其周围临近区域，在该区内需要对职业照射条件进行监督和评价。

(2) 医院核医学科诊疗场所是相对封闭的区域，核医学科用房按照乙级工作场所进行布局，工作场所严格按照分区、分级管理、设计、装修。医生、病人及放射性废物通道互相不交叉。

工作场所严格按照分区、分级管理、设计、装修。医生、病人及放射性废物通道互相不交叉。

### 4、剂量估算

通过核算，拟从事本项目的辐射工作人员和公众人员的年附加有效剂量均满足本环评的剂量约束限值的要求（分装、注射、核医学科及 DSA 辐射工作人员 4mSv/a，其他辐射工作人员 2mSv/a），其它摄影机房（DR 机房、CT 机房、数字胃肠机房、牙片机房、乳腺机房、模拟定位机房）辐射工作人员 0.25mSv/a；公众人员 0.1mSv/a），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）及相关标准的要求。

### 13.1.6 辐射防护与安全措施

①机房各墙体厚度按照环评的要求进行建设，保证施工质量。

②按照本评价提出的要求，设置相应的联锁装置、紧急停机、工作状态指示灯、电离辐射警示标志灯等。

③各机房的过墙电缆线、管线孔、通风管道等均采用 U 型走向，并保证机房内良好的通风。

④根据需要为医生、病人配置铅围裙、铅眼镜等防护用品。

⑤核医学用房应严格按照 GBZ120-2006 中乙级工作场所的要求进行设计、装修，并按照环评的要求进行装修整改，并按要求调整核医学科布局，做到合理分区。

⑥所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计，并定期进行测读，建立个人剂量档案。

## 续表 13 结论与建议

### 13.1.7 辐射与环境保护管理

医院需按本环评要求成立辐射安全防护领导小组，制定各项规章制度、操作规程、应急处理措施，加强日常应急响应的准备工作及应急演练。并严格执行各项规章制度执行，辐射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，定期进行检查并安排健康体检。医院还应在今后的工作中，按相关标准要求不断完善相关管理制度，加强管理，杜绝辐射事故的发生。

综上所述，娄底众一医院严格按照环评要求进行建设后，医院核技术利用新建项目运行时对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求；该项目的辐射防护安全措施、规章制度制定落实后，该项目对环境的辐射影响是可接受的。娄底众一医院在落实了本环评提出的各项环境保护及污染防治措施的前提下，从环境保护的角度来看，本环评认为该建设项目是可行的。

### 13.2 要求

1、根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 B1.1 款的相关规定，医院应每一季度定期对从事辐射诊疗的工作人员进行个人剂量监测。加强工作人员的辐射防护，工作人员必须正确配戴个人剂量计。

2、在项目运行前，医院必须组织好放射工作人员岗位，并安排放射工作人员进行辐射防护培训，培训合格者方可上岗。医院应安排人员参加环保行政主管部门或其他单位举办的辐射防护相关知识的培训学习，并进行 4 年一次复训。

3、医院拆除或更改环境保护设施，需得到环境保护部门批准后才可实施。

4、根据医院的实际情况和项目建设进展，医院应进行验收手续。

5、医院应按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的相关规定申领辐射安全许可证。

6、对医院辐射装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

7、医院拟新增的放射源，按《放射源编码规则》编 12 位编码，在购源后向娄底市环保局及时申报备案。放射源被处置或由生产单位回收，处置单位或生产单位应在 30 日之内向环境保护行政主管部门办理编码注销手续。

## 续表 13 结论与建议

### 13.3 建议

1、严格实施施工期环境监理工作，以保证施工质量。直线加速器机房、回旋加速器等采用一次性现浇混凝土作为辐射防护屏蔽材料的机房，应购买合格的商品混凝土，委托由资质单位施工并进行施工监理。可采集样品，以备机房建成后对机房的屏蔽能力进行论证。

2、医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，做好自主管理，制定工作场所和周围环境监测、防护性能监测等相关监测计划以及职业健康体检工作计划，并自购辐射监测设备，确保周围环境的辐射安全和职工健康。

3、医院应加强内部管理，明确管理职责，杜绝各类辐射事故的发生。医院应细化、完善各项管理制度及辐射事故应急预案，并认真落实，严格按照各项规章制度、操作规程执行。

4、医院在项目实施后，各项规章制度、操作规程必须齐全，并张贴上墙；所有的放射工作场所（包含移动 X 射线装置工作场所）均必须有电离辐射警示标志，各机房门屏蔽门上方还必须要有工作指示灯。警告标志的张贴必须规范。医院辐射防护标识应全面、清晰，不留死角。

5、负责 DSA 介入手术的医护人员应按辐射工作人员进行管理，定期开展辐射防护知识培训、个人剂量监测和职业健康体检。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

公 章

经办人

年 月 日

审批意见:

公 章

经办人

年 月 日