

核技术利用建设项目

医用射线装置新增及搬迁建设项目

环境影响报告表

(公示本)

广元市精神卫生中心

二〇一六年六月

环境保护部监制

# 核技术利用建设项目

## 医用射线装置新增及搬迁建设项目

### 环境影响报告表

建设单位名称：广元市精神卫生中心

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：四川省广元市经开区利州西路二段 92 号

邮政编码：628001

联系人：丁\*\*

电子邮箱：47947267@qq.com

联系电话：\*\*\*\*\*

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		医用射线装置新增及搬迁建设项目			
建设单位		广元市精神卫生中心			
法人代表	张**	联系人	丁**	联系电话	0839-3451421
注册地址		四川省广元市经开区利州西路二段 92 号			
项目建设地点		四川省广元市经开区利州西路二段 92 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		500	项目环保投资 (万元)	104	投资比例 (环保投资/总投资) 20.8%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m <sup>2</sup> ) 580
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
其他					
<b>项目概述</b>					
<b>一、建设单位简介</b>					
<p>广元市精神卫生中心成立于 1987 年，是一所集医疗、教学、科研、预防为一体的国家三级甲等精神病专科医院。医院承担了广元市及川、陕、甘毗邻地区近 600 万人民群众的精神疾病防治工作和利州区 50 余万人口的基本医疗任务。医院占地 70 亩，建筑面积达 5 万平方米，编制床位 800 张，年门诊 17 万人次，住院 15000 人次。员工 700 余名，专业技术人员 526 名，其中中高级职称 123 名，国家一级心理咨询师 5 名、二级心理咨询师 10 名、三级心理咨询师 20 名。</p> <p>医院设有内科、外科、妇科、产科、儿科、早期干预科、心身疾病科、重型精神科、司法鉴定科、儿少心理科、临床心理科、康复科、老年疾病科等 50 余个门诊及住院科室，设有规范的急诊科和重症医学科。神经内科、泌尿外科、显微外科、消化内科、呼吸内科、心血管内科创市级重点专科；老年科、临床心理科、精神科、儿少心理科创省级重点专科；司法精神鉴定、戒毒、临终关怀、电生理检测、心理危机干预以及心理和临床双轨制查房为独特服务；并设有检验、放射、超声、电生理、心理检测和病理等辅检科室。</p>					

## 二、项目由来

广元市精神卫生中心现持有四川省环境保护厅颁发的《辐射安全许可证》(证书编号川环辐证[09002],有效期至2018年9月29日),许可种类和范围和使用III类射线装置。为了更好地发挥医院的技术能力,提高疾病的治疗水平,方便患者就诊,医院对现有1台DR机和1台螺旋CT机进行搬迁,并新增10MV医用直线加速器、模拟定位机、胃肠机、光子CT机、牙片机和数字减影血管造影机(以下简称DSA)各1台。目前,除10MV医用直线加速器和模拟定位机外,其余射线装置均已建成投运。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第二十三条“新建或者改建、扩建生产、销售、使用设施或者场所的,持证单位应当按照原申请程序,重新申请领取许可证”,该项目须进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理目录》(环境保护部第33号令)的要求,该项目应编制环境影响报告表。为此,广元市精神卫生中心委托四川省科学城环境安全职业卫生检测与评价中心承担了该项目的环境影响评价工作。环评单位接受委托后,立即对该项目进行了现场踏勘和资料收集,在工程分析及环境影响分析基础上,依据国家有关环保法规和环评技术规范要求,编制完成了《广元市精神卫生中心医用射线装置新增及搬迁建设项目环境影响报告表》。

## 三、项目概况

### 1、项目名称、建设单位、建设地点及性质

**项目名称:** 医用射线装置新增及搬迁建设项目

**建设单位:** 广元市精神卫生中心

**建设地点:** 四川省广元市经开区利州西路二段92号

**建设性质:** 改扩建

### 2、建设内容及规模

本项目涉及搬迁医用射线装置2台,新增医用射线装置6台。

#### (1) 搬迁内容

- ①将门诊大楼一楼的1台VX3733-SYS型DR机搬迁至精神专科急性重症住院楼一楼;
  - ②将门诊大楼一楼的1台SOMATOM型螺旋CT机搬迁至精神专科急性重症住院楼二楼。
- 搬迁前后各射线装置位置情况见表1-1

表 1-1 涉及搬迁的射线装置搬迁前后位置情况对照表

序号	设备名称	数量	搬迁前位置	搬迁后位置
1	VX3733-SYS 型 DR 机	1 台	门诊大楼一楼	精神专科急性重症住院楼一楼
2	SOMATOM 型螺旋 CT 机	1 台	门诊大楼一楼	精神专科急性重症住院楼二楼

(2) 新增内容

①新购置 1 台 Sufire plus 型胃肠机安置于精神专科急性重症住院楼一楼；②新增 1 台 definitionedge 型光子 CT 机安置于精神专科急性重症住院楼一楼；③新增 1 台 NSD-III 型牙片机安置于精神专科急性重症住院楼一楼放射科；④新增 1 台 Artis zee/zeego 型 DSA 安置于精神专科急性重症住院楼二楼；⑤新增 1 台 AccStar(ZXD)型医用电子直线加速器安置于精神专科急性重症住院楼北侧地下一层放疗科；⑥新增 1 台 TWM-I 型模拟定位机安置于精神专科急性重症住院楼北侧地下一层放疗科。

3、项目组成及主要环境问题

项目组成及可能产生的环境问题见表 1-2。

表 1-2 工程项目组成及主要环境问题

名称		建设内容	主要环境问题	
			施工期	投产期
直线加速器室	主体工程	新增的直线加速器位于精神专科急性重症住院楼北侧地下一层放疗科，机房实际面积 82m <sup>2</sup> ，机房四面墙体、迷路墙和顶部的建筑材料均为钢筋混凝土。主屏蔽区墙厚 2.5m、宽 4.0m；与主屏蔽区相连的次屏蔽区墙厚 1.8m；侧屏蔽墙厚 1.6m；直迷路型，迷路内墙厚 1.2m、迷路外墙厚 0.8m；主屏蔽顶厚 2.5m、宽 4.0m，与顶主屏蔽区相连的次屏蔽顶厚 1.3m。防护门为单扇电动推拉门（钢架结构），由 14cm 厚含 2%硼聚乙烯和 13mm 铅皮等构成。	施工噪声 建筑垃圾 施工扬尘 施工废水	X 射线 电子束 臭 氧 感生放射性
	辅助工程	水冷机房 1 间，面积 10m <sup>2</sup> ；设备间 1 间，面积 8.7m <sup>2</sup> ；通风机房 1 间，面积 13.5m <sup>2</sup> 。		噪 声
	公用工程	依托医院既有给水、供电等配套设施。		/
	办公及生活设施	依托医院既有办公室。		生活污水 生活垃圾
模拟定位机	主体工程	新增的模拟定位机位于精神专科急性重症住院楼北侧地下一层放疗科，机房面积 31m <sup>2</sup> ，四周墙体均选用 30cm 混凝土，屋顶采用 25cm 厚的混凝土顶板，病人进出防护门采用 3mm 铅当量屏蔽钢门，控制室观察窗安装 3.5mm 铅当量铅玻璃。机房内安装一台 TWM-I 型模拟定位机 (150kV, 600mA)。	已建成 投运	X 射线
	辅助工程	控制室 1 间，建筑面积 12.5m <sup>2</sup> 。		/
	公用工程	依托医院既有给水、供电等配套设施。		/
	办公及生活设施	依托医院既有办公室。		生活污水 生活垃圾

DSA	主体工程	新增的 DSA 位于精神专科急性重症住院楼二楼, 机房面积 61m <sup>2</sup> , 四周墙体均选用 6mm 铅当量钢板, 屋顶采用 12cm 厚的混凝土顶板, 病人和医生进出防护门、污物通道防护门均采用 3mm 铅当量屏蔽门, 观察窗安装 3mm 铅当量玻璃。机房内安装一台 Artis zee/zeeo 型 DSA 机 (125kV, 1000mA)。	已建成 投运	X 射线
	辅助工程	准备室 1 间, 面积 10.4m <sup>2</sup> ; 控制室 1 间, 面积 10.9m <sup>2</sup> ; 设备室 1 间, 面积 13.3m <sup>2</sup> 。		/
	公用工程	依托医院既有给水、供电等配套设施。		/
	办公及生活设施	依托医院既有办公室。		生活污水 生活垃圾
胃肠机	主体工程	新增的胃肠机位于精神专科急性重症住院楼一楼, 机房面积 27m <sup>2</sup> , 四周墙体均选用 37cm 页岩实心砖墙, 屋顶采用 12cm 厚的混凝土顶板+10cm 硫酸钡, 病人进出防护门和控制走廊防护门均采用 3.5mm 铅当量屏蔽门, 控制走廊观察窗安装 3mm 铅当量铅玻璃。机房内安装一台 Sufire plus 型 DR 机(150kV, 630mA)。	已建成 投运	X 射线
	辅助工程	控制走廊 1 间, 面积 27m <sup>2</sup> (与一楼其他射线装置共用); 设备室 1 间, 面积 5m <sup>2</sup> 。		/
	公用工程	依托医院既有给水、供电等配套设施。		/
	办公及生活设施	依托医院既有办公室。		生活污水 生活垃圾
光子 CT	主体工程	新增的光子 CT 位于精神专科急性重症住院楼一楼, 机房面积 39m <sup>2</sup> , 四周墙体均选用 37cm 页岩实心砖墙, 屋顶采用 12cm 厚的混凝土顶板+10cm 硫酸钡, 病人进出防护门采用 3.5mm 铅当量屏蔽门, 控制走廊防护门均采用 3mm 铅当量屏蔽门, 控制走廊观察窗安装 3mm 铅当量铅玻璃。机房内安装一台 definitionedge 型光子 CT 机 (145kV, 600mA)。	已建成 投运	X 射线
	辅助工程	控制走廊 1 间, 面积 27m <sup>2</sup> (与一楼其他射线装置共用)		/
	公用工程	依托医院既有给水、供电等配套设施。		/
	办公及生活设施	依托医院既有办公室。		生活污水 生活垃圾
牙片机	主体工程	新增的牙片机位于精神专科急性重症住院楼一楼, 机房面积 7.8m <sup>2</sup> , 四周墙体均选用 24cm 页岩实心砖墙, 屋顶采用 12cm 厚的混凝土顶板+10cm 硫酸钡, 病人进出防护门采用 1mm 铅当量屏蔽门, 控制走廊观察窗安装 3mm 铅当量铅玻璃。机房内安装一台 NSD-III 型牙片机(65kV, 1.5mA)。	已建成 投运	X 射线
	辅助工程	控制走廊 1 间, 面积 27m <sup>2</sup> (与一楼其他射线装置共用)		/
	公用工程	依托医院既有给水、供电等配套设施。		/
	办公及生活设施	依托医院既有办公室。		生活污水 生活垃圾
DR 机	主体工程	搬迁后的 DR 机位于精神专科急性重症住院楼一楼, 机房面积 29.5m <sup>2</sup> , 四周墙体均选用 37cm 页岩实心砖墙, 屋顶采用 12cm 厚的混凝土顶板+10cm 硫酸钡, 病人进出防护门和控制走廊防护门均采用 3mm 铅当量屏蔽门, 控制走廊观察窗安装 3mm 铅当量铅玻璃。机房内安装一台 VX3733-SYS 型 DR 机(150kV, 630mA)。	已建成 投运	X 射线

	辅助工程	控制走廊 1 间，面积 27m <sup>2</sup> （与一楼其他射线装置共用）；设备室 1 间，面积 5m <sup>2</sup> ；更衣间 1 间，建筑面积 1.6m <sup>2</sup> 。		/
	公用工程	依托医院既有给水、供电等配套设施。	已建成 投运	/
	办公及生活设施	办公室 1 间，约 15m <sup>2</sup> 。		生活污水 生活垃圾
CT 机房	主体工程	搬迁后的 CT 机位于精神专科急性重症住院楼二楼，机房面积 41.3m <sup>2</sup> 。四周墙体均选用 6mm 铅当量钢板，屋顶采用 12cm 厚的混凝土顶板，病人和医生进出防护门、控制室防护门均采用 3mm 铅当量屏蔽门，观察窗安装 3mm 铅当量玻璃。机房内安装一台 SOMATOM 型螺旋 CT 机 (140kV, 500mA)。	已建成 投运	X 射线
	辅助工程	控制室 1 间，建筑面积 12.7m <sup>2</sup> ；设备室 1 间，面积 5.8m <sup>2</sup>		/
	公用工程	依托医院既有给水、供电等配套设施。		/
	办公及生活设施	依托既有办公室。		生活污水 生活垃圾

#### 4、主要原辅材料

本项目采用计算机图像存储管理系统，电脑成像，彩色或黑白干式激光胶片打印，无洗片过程，故本项目中不使用显影液和定影液。项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-3

表 1-3 主要原辅材料及能耗情况表

类别	数量	来源	用途
电	2.6×10 <sup>4</sup> kW·h/a	城市电网	机房用电
水	700m <sup>3</sup> /a	自来水管网	生活用水

#### 5、设备配置及主要技术参数

本项目涉及搬迁医用射线装置 2 台，新增医用射线装置 6 台，具体情况见表 1-4

表 1-4 本次环评涉及射线装置情况一览表

射线装置名称	使用场所	规格型号	主要参数	数量	管理类别	备注
直线加速器	精神专科急性重症住院楼北侧地下一层	AccStar(ZXD)	X 射线能量：6MV、10MV 电子线能量：5、7、9、10、12、14MeV	1 套	II	新增
模拟定位机	精神专科急性重症住院楼北侧地下一层	TWM-I	150kV/600mA	1 套	III	新增
胃肠机	精神专科急性重症住院楼一楼	Sufire plus	150kV/630mA	1 套	III	新增
光子 CT	精神专科急性重症住院楼一楼	definitionedge	145kV/600mA	1 套	III	新增
牙片机	精神专科急性重症住院楼一楼	NSD-III	65kV/600mA	1 套	III	新增
DSA	精神专科急性重症住院楼二楼	Artis zee/zeeo	125kV/1000mA	1 套	II	新增
DR 机	精神专科急性重症住院楼一楼	VX3733-SYS	150kV/600mA	1 套	III	搬迁
螺旋 CT	精神专科急性重症住院楼二楼	SOMATOM	140kV/500mA	1 套	III	搬迁

## 6、工作制度及人员配置

工作制度：本项目辐射工作人员每年工作 250 天，每天工作 8 小时，实行单班制。

人员配置：广元市精神卫生中心现有辐射工作人员 14 人，本项目不涉及新增工作人员。

## 四、产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2011 年本）（修正）》（国家发展改革委 2013 年第 21 号令），本项目属鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，符合国家产业政策。

## 五、选址合理性分析

本项目选址位于广元市精神卫生中心院内，医院周围为居民文教医疗商业区，交通便捷，能为周围居民提供方便的就医设施。本项目涉及的胃肠机、DR 机、光机 CT 机和牙片机位于精神专科急性重症住院楼一楼放射科，DSA 和螺旋 CT 机位于精神专科急性重症住院楼二楼，医用直线加速器和模拟定位机位于精神专科急性重症住院楼北侧地下一层放疗科，各医用射线装置选址相对独立，为专门的放射性工作场所，通过采取相应的屏蔽措施后对周围的环境影响较小，其选址是合理的。

## 六、项目外环境及平面布置合理性分析

### 1、医院外环境关系

广元市精神卫生中心位于广元市经开区利州西路二段 92 号，医院东面紧邻广元市第三人民医院，东南角墙外为居民楼；南面紧邻利州西路、南面 20m 为居民区；西面为面粉厂；北面为惠家沟居民新区。

### 2、项目外环境关系和平面布置合理性分析

#### （1）胃肠机、DR 机、光机 CT 机和牙片机

本项目涉及的胃肠机、DR 机、光机 CT 机和牙片机均位于精神专科急性重症住院楼一楼放射科，放射科东面 10m 为围墙，围墙外为广元市第三人民医院和居民楼；南面为病房；西面为医生办公室；北面为泥土层，机房楼上为 DSA 机房和螺旋 CT 机房。一层放射科位置相对独立且人流较少，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素。

#### （2）DSA 和螺旋 CT 机

本项目涉及的 DSA 和螺旋 CT 机位于精神专科急性重症住院楼二楼。其中，DSA

机房东面为室外、南面为控制室和准备室、西面为 CT 机房、北面为设备间和污物通道、楼上为病人户外活动区；螺旋 CT 机房东面为 DSA 机房、南面为室内过道、西面为室内过道和病房、北面为控制室、楼上为病人户外活动区。DSA 机房和螺旋 CT 机房位置相对独立且人流较少，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素。

### (3) 医用直线加速器和模拟定位机

本项目涉及医用直线加速器和模拟定位机位于精神专科急性重症住院楼北侧 25m 地下一层放疗科。其中，医用直线加速器机房东面和南面为泥土层、西面为水冷机房和控制间、北侧为风机机房、楼上为景观水池和休闲厅；模拟定位机机房东面为洗手间和过道、南面为控制室，西面和北面为泥土层，楼上为景观水池和休闲厅。医用直线加速器和模拟定位机机房位置相对独立且人流较少，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素。

综上所述，本项目总平面布置是合理的。

## 七、核技术应用现状

### 1、辐射安全许可证的许可种类和范围

广元市精神卫生中心现持有四川省环境保护厅颁发的《辐射安全许可证》（证书编号川环辐证[09002]，有效期至 2018 年 9 月 29 日），许可种类和范围为使用 III 类射线装置。具体许可项目见表 1-5

表 1-5 辐射安全许可证已登记的射线装置

射线装置名称	管理类别	数量	活动种类
DR 机	III 类	1	使用
螺旋 CT 机	III 类	1	使用

### 2、放射性同位素与射线装置的安全和防护状况

据调查，医院尚未完成“2015 年度放射性同位素与射线装置的安全和防护状况年度评估报告”，本次环评主要依据医院提供资料和现场调查对医院放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行分析。

#### (1) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况

2015 年度各种射线装置机器运行及维护情况良好，未发生任何放射事故。

#### (2) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况

根据相关文件的规定，医院已制定了辐射安全和防护制度及措施，并已落实在实际工作中。

(3) 辐射工作人员

2015 年度医院配备有放射工作人员 14 人，均取得了“放射工作人员培训合格证”。

(4) 放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置的使用或销售台账

医院不涉及放射性同位素使用，无放射性同位素进出口、转让或者送贮情况；2015 年医院有 1 台 DR 机和 1 台螺旋 CT 机，未购置其他医用射线装置。

(5) 个人剂量监测情况及监测数据

医院按要求对辐射工作人员进行个人剂量检测（监测报告见附件 5），最近四个季度统计结果见表 1-6

表 1-6 医院放射工作人员近四季度统计结果

时间段	最大监测结果	对应人员名称
2015.4.1.至 2015.6.30	0.33mSv	***
2015.7.1.至 2015.9.30	0.24mSv	***
2015.10.1.至 2015.12.31	0.05mSv	***
2016.1.1.至 2016.3.31	0.03mSv	***

由表 1-6 分析可知，工作人员的个人有效剂量最大值为 0.33mSv/季，小于 1.5mSv/季约束限值。

(6) 辐射事故及应急响应情况

2015 年度，医院未发生放射辐射性事故。

(7) 核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况

2015 年度，医院无核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况。

**评价要求：**建设单位应严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）第十二条要求及时提交上一年度的评估报告。

**表 2 放射源**

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

**表 3 非密封放射性物质**

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）

**表 4 射线装置**

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	10MV 医用电子直线加速器	II	1	AccStar(ZXD)	电子	X 射线能量: 10MV	120Gy/h	肿瘤放射治疗	住院楼北侧地下室放疗科	未用
						电子线能量: 14MeV	360Gy/h			

(二) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) X 射线机，包括医用诊断和治疗（含 X 射线 CT 诊断）、分析仪器等

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	模拟定位机	III	1	TWM-I	150	600	模拟定位	住院楼北侧地下室放疗科	未用
2	DSA	II	1	Artis zee/zeo	125	1000	放射治疗、诊断	精神专科急性重症住院楼二层	已用
3	螺旋 CT	III	1	SOMATOM	140	500	放射治疗、诊断		已用
4	牙片机	III	1	NSD-III	65	1.5	放射治疗、诊断	精神专科急性重症住院楼一层	已用
5	胃肠机	III	1	Sufire plus	150	630	放射治疗、诊断		已用
6	DR 机	III	1	VX3733-SYS	150	600	放射治疗、诊断		已用
7	光子 CT	III	1	Definitionedge	145	600	放射治疗、诊断		已用

**表 5 废弃物**

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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><b>法规文件</b></p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月 1 日实施);                  (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2003 年 9 月 1 日实施);                  (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 10 月 1 日实施);                  (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院第 449 号令);                  (5) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》(环境保护部第 33 号令);                  (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(环境保护部 3 号令);                  (7) 《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 18 号令);                  (8) 《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 26 号);                  (9) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(环发[2006]145 号);                  (10) 《四川省辐射污染防治条例》(省十二届人大常务委员会第 63 号公告)。</p>
<p><b>技术标准</b></p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术应用建设项目环境影响文件的内容和格式》(HJ/T 10.1-2016);                  (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);                  (3) 《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);                  (4) 《医用电子加速器放射卫生防护标准》(GB16369-1996);                  (5) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011);                  (6) 《放射治疗机房设计导则》(GB/T17827);                  (7) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)                  (8) 《医用 X 射线治疗卫生防护标准》(GBZ131-2002);                  (9) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ165-2012);                  (10) 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006)。</p>
<p><b>其他</b></p>	<p>(1) 环评委托书;                  (2) 《辐射安全许可证》(川环辐证[09002]);                  (3) 《广元市精神卫生中心医用射线装置新增及搬迁建设项目监测报告》;                  (4) 《广元市精神卫生中心 2015-2016 年度个人剂量监测报告》。                  (5) 院方提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。</p>

**表 7 保护目标及评价标准**

**评价范围**

本项目涉及的医用直线加速器和 DSA 属于 II 类射线装置，模拟定位机、DR 机、螺旋 CT 机、光子 CT 机、胃肠机和牙片机属于 III 类射线装置。根据《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016) 中的规定，本项目射线装置评价范围为项目直线加速器机房、DSA 机房和其他 III 类射线装置机房实体屏蔽物边界外 50m 的范围。

**保护目标**

本项目主要环境保护目标包括辐射工作人员、患者及陪护人员、其他医务人员和周边行人等。具体环境保护目标见表 7-1。

**表 7-1 主要环境保护目标**

辐射场所	保护目标	相对位置	与辐射源的距离	备注
医用直线加速器机房	操作人员	加速器机房西侧控制室	>9.0m	职业人员
	候诊人员	加速器机房北侧过道	>5.8m	公众
	行人	加速器机房楼顶休闲亭	>5.4m	
模拟定位机房	操作人员	模拟定位机房南侧控制室	>5.0m	职业人员
	候诊人员	模拟定位机房东侧卫生间和过道	>2.8m	公众
DSA 机房	操作人员	DSA 机房南侧控制室	>4.5m	职业人员
	候诊人员	DSA 机房南侧准备间	>4.5m	公众
	其他病人	DSA 机房楼顶休闲活动场	>3.0m	公众
螺旋 CT 机房	操作人员	螺旋 CT 机房北侧控制室	>3.5m	职业人员
	候诊人员	螺旋 CT 机房南侧和西侧过道	>3.7m	公众
	其他病人	螺旋 CT 机房楼顶休闲活动场	>3.0m	公众
胃肠机房	操作人员	胃肠机房北侧控制间	>3.7m	职业人员
	候诊人员	胃肠机房西侧和南侧过道	>3.5m	公众
DR 机房	操作人员	DR 机房北侧控制间	>3.7m	职业人员
	候诊人员	DR 机房南侧过道	>3.6m	公众
光子 CT 机房	操作人员	光子 CT 机房北侧控制间	>3.7m	职业人员
	候诊人员	光子 CT 机房南侧过道	>3.6m	公众
牙片机房	操作人员	牙片机房东侧控制间	>2.0m	职业人员
	候诊人员	牙片机房西侧过道	>2.0m	公众

## 评价标准

根据广元市环境保护局《关于广元市精神卫生中心医用射线装置新增及搬迁建设项目环境影响评价执行标准的函》（广环标函[2016]10号），本项目执行以下标准：

### 一、环境质量标准

- 1、地表水环境执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类水域标准；
- 2、大气环境执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准；
- 3、声环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）2类标准。

### 二、污染物排放标准

- 1、废水排放执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2008）表2预处理标准。
- 2、废气排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中二级标准。

本项目臭氧室内浓度限值按照《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ2.1-2007）控制MAC（最高容许浓度），控制值为 $0.30\text{mg}/\text{m}^3$ ；外环境质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准，浓度限值 $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

- 3、噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中2类标准。

### 三、辐射防护标准

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的相关标准。辐射工作人员取年剂量限制 $20\text{mSv}$ 的 $3/10$ （ $6\text{mSv}$ ）为评价标准；公众取年剂量限值 $1\text{mSv}$ 的 $3/10$ （ $0.3\text{mSv}$ ）为评价标准。

**表 8 环境质量和辐射现状**

**环境质量和辐射现状**

**一、监测项目和监测方法**

**1、监测内容**

受建设单位委托，成都同洲科技有限责任公司于 2016 年 4 月 29 日派出技术人员在建设单位相关负责人的陪同下，对本项目涉及的医用直线加速器场所进行了 X-γ 辐射剂量空气吸收剂量率监测，监测报告见附件 7。

受建设单位委托，绵阳市辐射环境监测站于 2016 年 5 月 20 日派出技术人员在建设单位相关负责人的陪同下，对本项目涉及的其他 II、III 类医用射线装置场所进行了 X-γ 辐射剂量空气吸收剂量率监测，监测报告见附件 8。

**2、监测项目**

监测项目和监测仪器技术指标及鉴定情况见下表 8-1。

**表 8-1 监测项目及使用设备一览表**

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定情况
X-γ 辐射剂量率	FJ1200 辐射剂量率仪 编号：SB01	①能量响应： 40keV~3MeV 1nSv/h~200μSv/h ②不确定度：<±15%	检定单位：中测测试科技有限公司 有效期至：2016.5.10 校准字第 201505002694 号
X-γ 辐射剂量率	RM2030X-γ 辐射仪 041	测量范围： 0.01~200μSv/h	检定单位：上海市计量测试技术研究院 检定有效期：2016.9.14

**3、监测方法**

监测方法和方法来源表 8-2

**表 8-2 监测方法、方法来源一览表**

项目	监测方法	方法来源
X-γ 辐射剂量率	《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》	GB/T14583-93
	《辐射环境监测技术规范》	HJ/T61-2001

**二、质量保证**

本项目环境现状监测单位成都同洲科技有限责任公司和绵阳市辐射环境监测站通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。

**1、人员管理**

从事监测的单位成都同洲科技有限责任公司和绵阳市辐射环境监测站均通过了中国国家认证认可监督管理委员会组织进行的国家级计量认证（计量认证号 2014230331U 和 2013230352U）；

2、仪器设备管理

- (1) 管理与标准化
- (2) 计量器具的标准化
- (3) 计量器具、仪器设备的检定

3、记录与报告

- (1) 数据记录制度
- (2) 报告质量控制

三、监测结果

1、加速器机房和模拟定位机房

加速器机房和模拟定位机房监测结果见表 8-3

**表 8-3 加速器机房和模拟定位机房 X-γ 辐射环境空气吸收剂量率监测结果 单位：nSv/h**

点位编号	剂量率（背景值）		监测点位
	平均值	标准差（n=10）	
1	97.7	3.46	加速器机房
2	99.0	3.52	加速器控制室
3	94.4	4.18	模拟定位机房
4	95.3	4.53	模拟定位机控制室

由表 8-3 可知，加速器机房和模拟定位机房处 X-γ 辐射剂量率范围为 94.4~99.0nSv/h。

2、精神专科急性重症住院楼一层和二层放射科

本项目涉及的胃肠机、DR 机、光子 CT 机和牙片机均位于精神专科急性重症住院楼一层，螺旋 CT 机和 DSA 位于精神专科急性重症住院楼二层。目前已投入使用，其开关机状况下的监测结果见表 8-4

**表 8-4 精神专科急性重症住院楼一、二层放射科 X-γ 辐射环境空气吸收剂量率监测结果 单位：μSv/h**

点位编号	未曝光剂量率		曝光剂量率		监测点位
	平均值	标准差（n=10）	平均值	标准差（n=10）	
1	0.05	0.006	0.36	0.04	CT 机操作位
2	0.04	0.004	0.63	0.04	CT 机小门表面
3	0.06	0.004	1.00	0.08	CT 机大门表面
4	0.06	0.007	0.07	0.01	DR 机操作位
5	0.06	0.007	0.06	0.006	DR 机小门表面
6	0.06	0.005	0.10	0.008	DR 机大门表面

7	0.07	0.007	0.09	0.01	牙片机操作位
8	0.07	0.009	0.10	0.008	牙片机小门表面
9	0.04	0.004	0.05	0.005	DSA 操作位
10	0.06	0.007	0.06	0.006	DSA 小门表面
11	0.07	0.005	0.10	0.01	DSA 大门表面
12	0.06	0.007	0.09	0.01	胃肠机操作位
13	0.07	0.007	0.08	0.009	胃肠机小门表面
14	0.07	0.007	0.09	0.009	胃肠机大门表面
15	0.06	0.005	0.16	0.01	光子 CT 机操作位
16	0.09	0.007	0.13	0.01	光子 CT 机小门表面
17	0.10	0.01	0.22	0.02	光子 CT 机大门表面

由表 8-4 可知，精神专科急性重症住院楼一层和二层各射线装置未开机时，X- $\gamma$  辐射剂量率范围为 0.04~0.10 $\mu$ Sv/h；开机状态下，X- $\gamma$  辐射剂量率范围为 0.05~1.00 $\mu$ Sv/h。

#### 四、项目所在地天然辐射水平参考值

项目所在地天然辐射水平参考 1995 年 8 月国家环境保护局出版《中国环境天然放射性水平》，表 8-5 给出了广元地区的天然辐射水平

表 8-5 广元地区天然本底辐射水平

监测场所	X- $\gamma$ 辐射剂量率均值 (nGy/h)	标准差
原野	106.2	24.1
室内	130.0	20.0

#### 五、辐射现状监测结果分析

综上所述，本项目涉及射线装置在未曝光时场所的 X- $\gamma$  辐射空气吸收剂量率测量值在 40~100nGy/h 之间。与广元地区室内天然辐射水平相比较，项目区域射 X- $\gamma$  辐射剂量率与广元地区室内的 X- $\gamma$  辐射剂量率水平相当。

**表 9 项目工程分析和源项**

**工程设备和工艺分析**

**一、施工期工艺分析**

本项目涉及搬迁医用射线装置 2 台，新增医用射线装置 6 台。目前，上述 8 台设备除医用直线加速器和模拟定位机尚未投运外，其余 6 台设备均已投入使用。因此，本项目施工期产污环节主要在医用直线加速器和模拟定位机安装调试阶段，会产生 X 射线，造成一定的辐射影响，同时设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

**二、营运期设备和工艺分析**

**1、医用直线加速器**

(1) 技术参数

本项目拟新增 1 台 AccStar(ZXD)型 10MV 医用直线加速器，属 II 类射线装置。其技术参数见表 9-1。

**表 9-1 10MV 医用直线加速器参数**

设备名称	10MV 医用直线加速器
设备型号	AccStar(ZXD)型
射线类型	X 射线、电子线
X 射线能量	6MV、10MV
电子线能量	5、7、9、10、12、14 MeV
正常治疗距离	1000±2mm
治疗角度	-180°~180°
等中心高度	≤1.3m
最大照射野（SSD=1 米）	40×40cm <sup>2</sup>
X 射线漏射率	≤0.1%
X 射线最大出束角度	28°
1m 处 X 射线最高剂量率	200cGy/min

(2) 工作原理

①X 线束治疗工作原理

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率的驻波型直线加速器，其结构单元为：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 0.8mm 钨合金靶，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，最后达到患者病灶实现治疗目的。医用直线加速器机构示意图见图 9-1。

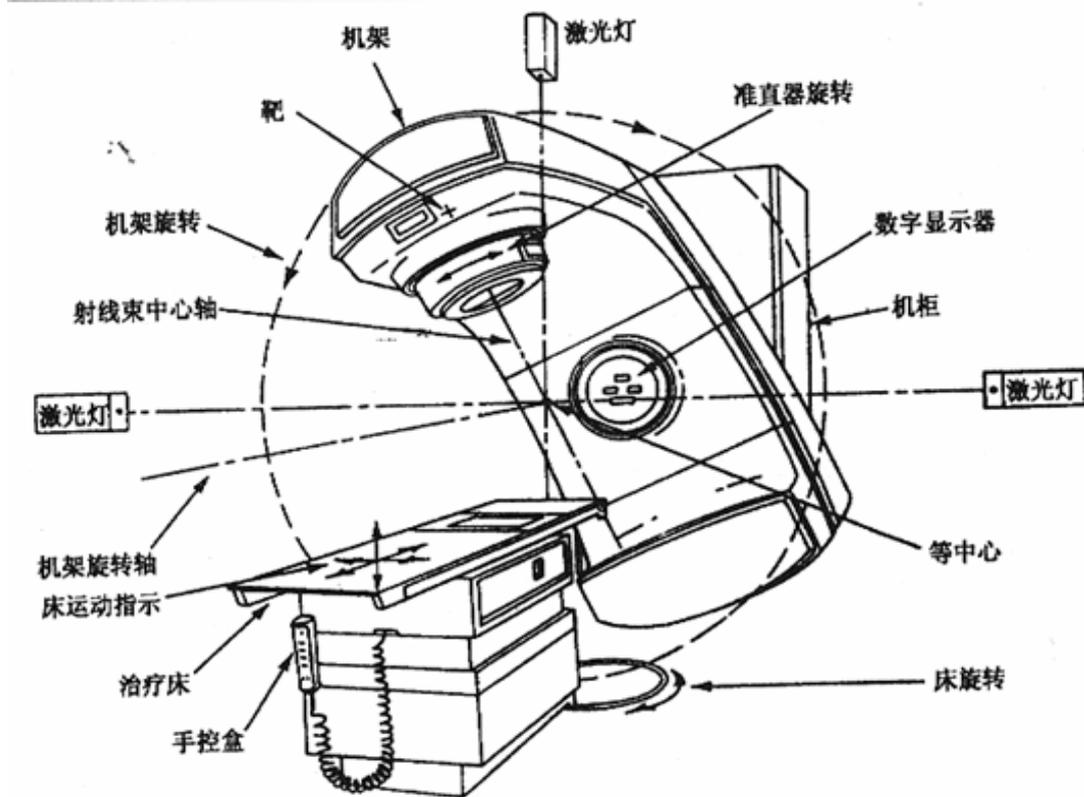


图 9-1 直线加速器结构示意图

## ②电子线束治疗工作原理

电子治疗系统基本组成部件主要包括初级准直器、散射箔、托盘、均整器、电离室、光阑、附件接口、限光筒。电子枪产生的电子束，经初级准直器（此时已经移开 X 线靶）形成均匀稳定的电子束，通过散射箔扩大射束的直径，再通过光阑提高电子野的均整性，最后通过输出窗射出达到患者病灶实现治疗目的，即初始电子束直接引出并经散射→均整后用于患者的治疗。

### (2) 操作流程

医用直线加速器放疗流程为：在病人确诊需要采用电子加速器进行放射性治疗（医生应向病人或其家属告知可能受到的辐射危害）后，先使用模拟定位机对病灶部位进行准确定位，根据定位结果准确确定照射位置；病人进入治疗机房准备（包括摆位、非照射部位的屏蔽防护等），除病人外全部人员退出机房，关闭机房屏蔽门；加速器开机对病人实施放射治疗（一般电子加速器有两种治疗模式，一种是电子治疗模式，用于浅表部位病灶照射；一种是 X 射线治疗模式，用于深部病灶照射），治疗完毕后切断电子加速器高压电源，电子

加速器停止出束，打开治疗室门，医护人员进入治疗室帮助病人离开治疗室，完成一次放射治疗。

在电子加速器治疗过程中，除病人外其他人员均不在治疗室，医护人员通过闭路电视系统观察病人情况。医用直线电子加速器放疗流程及产污环节如图 9-2 所示。

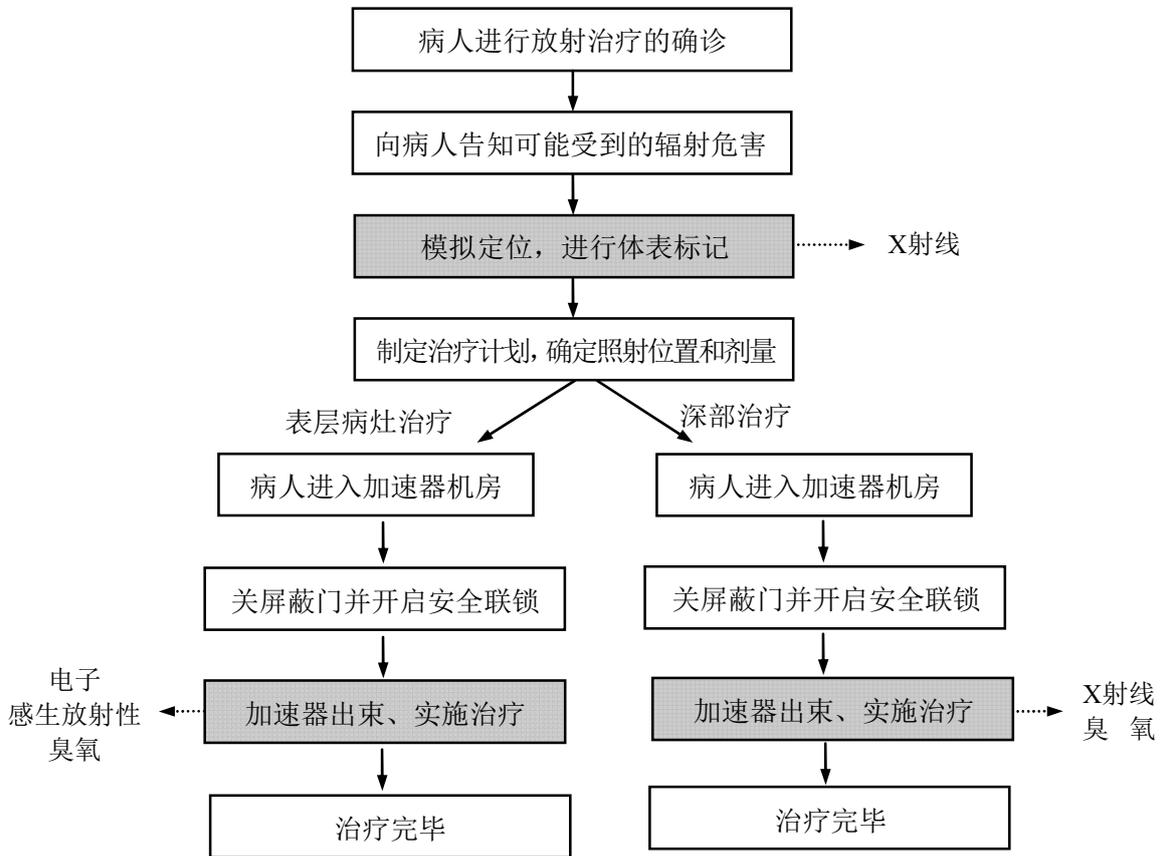


图 9-2 加速器放疗流程及产污环节示意图

### (3) 直线加速器工作负荷

本项目使用的电子直线加速器有效开机时间每年工作按 50 周计，X 射线每周治疗 225 人次，每次曝光时间为 5min，年有效出束时间 937.5h；电子束每周治疗 25 人次，每次曝光时间为 5min，年有效出束时间约 104h。另外，每位病人治疗时摆位时间约为 3min，摆位时间为 625h。

### (4) 产污环节

由图 9-2 可知，医用直线电子加速器运行时将产生电子、X 射线、感生放射性核素等辐射，以及臭氧等有害气体。

## 2、数字减影血管造影机（DSA）

### (1) 工作原理

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次

成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少、浓度低、损伤小、较安全。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

## （2）设备组成

DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机和多幅照相机组成。

## （3）操作流程

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

①第一种情况，操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

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

## （4）工作负荷

医院使用 DSA 进行介入手术治疗的工作负荷约 365 人次/年，平均每次进行手术采集时的有效开机时间约 40s，单台 DSA 年有效开机时间约为 4.1h；平均每次进行手术透视时的有效开机时间约为 10min，年有效开机时间约为 61h。

## （5）产污环节

DSA 的 X 射线诊断机曝光时，出束方向朝下。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。DSA 诊治流程及产污环节如图 9-3 所示

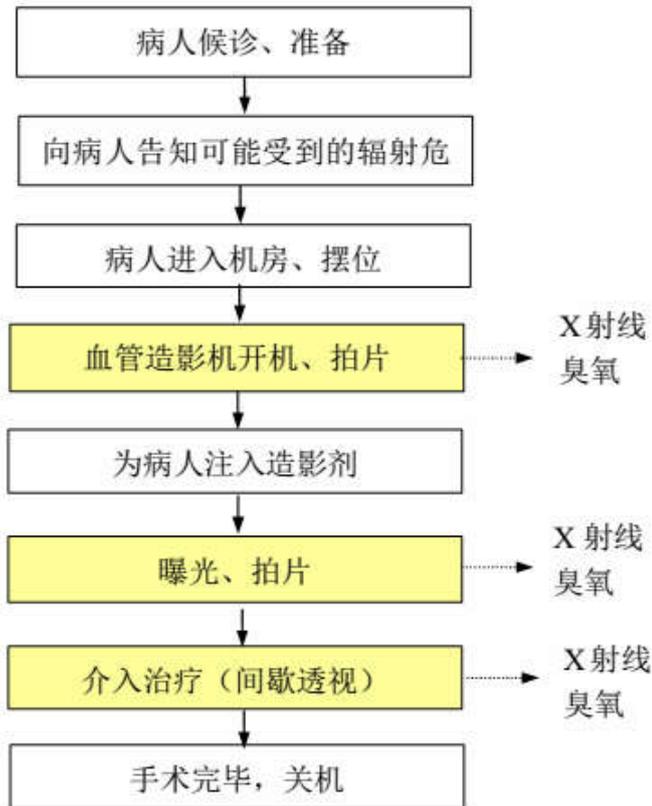


图 9-3 DSA 治疗流程及产污环节示意图

### 3、其它Ⅲ类射线装置

#### (1) 设备组成

Ⅲ类医用射线装置由 X 线高压发生器、X 线球管、滤线器、平板探测器、图像后处理系统等组成。

#### (2) 工作原理

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。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。高速电子轰击靶体产生 X 射线。X 射线在穿过人体后作用于 X 线探测器并转化为数字信息，形成 X 线衰减数字矩阵，然后由计算机进行处理和显示图像、打印等。

#### (3) 操作流程

确定患者体层摄影的体位，扫描定位，投照摆位，曝光。扫描过程中，X 线球管连续地发射 X 线，扫描床持续同步前移，实现无间断容积数据采集。

#### (4) 工作负荷

各 III 类射线装置工作负荷情况见表 9-2。

表 9-2 各III类射线装置工作负荷情况表

序号	射线装置名称	工作负荷	每人最大曝光时间	年最大有效开机时间
1	模拟定位机	12500 人次/年	3min	625h
2	胃肠机	1825 人次/年	2min	61h
3	光子 CT 机	25550 人次/年	2min	852h
4	牙片机	1095 人次/年	1.5s	40.6h
5	DR 机	29200 人次/年	5s	1.4h
6	螺旋 CT	3650 人次/年	2min	122h

### (5) 产污环节

由X射线装置的工作原理可知，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产生轫致辐射，即X射线，其最大能力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。

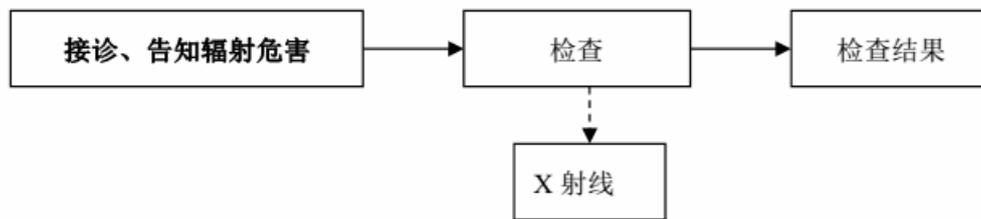


图9-4 III类射线装置治疗流程及产污环节示意图

### 污染源项描述

本项目新增1台10MV医用直线加速器、1台数字减影血管造影机、1台模拟定位机、1台胃肠机、1台光子CT机和1台牙片机，搬迁1台DR机和1台螺旋CT机，其中10MV医用直线加速器和数字减影血管造影机属于 II 类射线装置，其他设备属于III类射线装置。

#### 1、医用直线加速器

**X射线：**加速器工作时，产生一定强度的X射线，本项目医用电子加速器的标称能量为10MV。

**电子束：**用于浅表肿瘤治疗时，需使用一定强度的电子束，最大电子束能量为14MeV。

**感生放射性核素：**中子可使治疗室内的空气活化，产生感生放射性核素，其产生的核素主要为<sup>13</sup>N。

臭氧：治疗室中的空气在X射线电离作用下会产生臭氧。加速器输出的束流越强，臭氧的产生量越大。

噪声：医用电子加速器大厅抽风机工作时产生一定强度的噪声。

## 2、数字减影血管造影机和其他III类射线装置

X射线：在开机状态下主要辐射为X射线，未开机状态不产生X射线。

噪声：主要来源于通排风系统的风机，机房所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于60dB(A)，噪声较小。

## 3、其他

### (1) 废水

本项目采用计算机图像存储管理系统，电脑成像，彩色或黑白干式激光胶片打印，无洗片过程，故不产生洗片废水。工作人员工作中会产生的少量生活污水，约0.6m<sup>3</sup>/d。

### (2) 固废

本项目营运期产生固体废弃物主要为介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，约5kg/d；工作人员工作中会产生的少量的生活垃圾和办公垃圾，约7kg/d。

**表 10 辐射安全与防护**

**项目安全设施**

**一、工作区域管理**

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在放射性工作场所内划出控制区和监督区。本次环评中根据国际放射防护委员会第103号出版社对控制区和监督区的定义，结合项目诊治、辐射防护和环境情况特点进行区辐射分区划分。

**表10-1 本项目“两区”划分一览表**

设备名称	控制区	监督区
10MV医用直线加速器	直线加速器机房	控制室、配电机房、水冷机房、风机房和过道。
模拟定位机	模拟定位室	控制室、无障碍卫生间和等候区
数字减影血管造影机	DSA手术室	控制室、设备室、污物走道
光子CT机	光子CT机房	控制走廊、候诊区
胃肠机	胃肠机房	控制走廊、候诊区、设备间
牙片机	牙片机房	控制走廊、走廊
螺旋CT机	螺旋CT机房	控制走廊、候诊区
DR机	DR机房	控制室、设备室、候诊区和过道
备注	控制区内禁止外来人员进入，职业工作人员在进行日常工作时候尽量不要在控制区内停留，以减少不必要的照射。	监督区范围内应限制无关人员进入。

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

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

**二、辐射安全及防护措施**

由表9对污染源的分析可知，在利用X射线、电子束进行放射检查和治疗同时，在无任何屏蔽设施的情况下，会对辐射源的周围环境及人员造成不应有的辐射危害。为减少这种

辐射危害，以及避免辐射事故的发生，项目单位针对不同的辐射源拟采取了相应的辐射安全防护措施。

### 1、医用直线加速器

#### (1) 设备固有安全性

①加速器只有在通电开机时才有电子线、中子和 X 射线产生，断电停机即停止出束；通过多叶准直器定向出束，其他方向的射线被自带屏蔽材料所屏蔽。

②条件显示联锁：当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

③控制台上设有蜂鸣器，在加速器工作时发出声音以警示人员防止误入。

④治疗床旁、加速器主机上安装紧急制动按钮。

⑤2倍剂量率联锁，时间控制联锁，照射时间和剂量过大不能开机。

从加速器固有安全性能可以看出，加速器在防止事故发生方面，设有相应措施。只要操作人员按照加速器说明书要求严格执行，是能够减少X射线、中子对人员的辐射危害和降低辐射事故的发生。

#### (2) 屏蔽措施

加速器治疗室（配置 10MV 医用直线加速器）结构设计如附图 3 和附图 4 所示，拟用建筑材料和屏蔽厚度设计参数如下：

①机房建筑面积 $160\text{m}^2$ ，层高 $4.8\text{m}$ ；

②机房四面墙体、迷路墙和顶部的建筑材料均为钢筋混凝土。主屏蔽区墙厚 $2.5\text{m}$ 、宽 $4.0\text{m}$ ；与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区墙厚 $1.8\text{m}$ ；侧屏蔽墙厚 $1.6\text{m}$ ；直迷路型，迷路内墙厚 $1.2\text{m}$ 、迷路外墙厚 $0.8\text{m}$ ；主屏蔽顶厚 $2.5\text{m}$ 、宽 $4.0\text{m}$ ；与主屏蔽区直接相连的次屏蔽顶厚 $1.3\text{m}$ 。

③防护门：为单扇电动推拉门，钢架结构。由 $14\text{cm}$ 厚含 $2\%$ 硼聚乙烯和 $13\text{mm}$ 铅皮等材料构成。

④通风管道：加速器机房西北侧迷道门上距地 $4\text{m}$ 设有进风口，东北角地上 $3.7\text{m}$ 设排风口，采用低噪声排风机将治疗室内的气体导出机房，在机房楼顶排放。加速器机房每小时换气4次，排风机采用1台 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 的排风机，位于机房东北侧风机房内。

#### (3) 辐射防护措施

##### ①感生放射性防护

➤ 产生感生放射性的主要部件和物体

加速器照射头和偏转磁体中的铜、铝等部件受照而产生的感生放射性；加速器束流管及其他结构材料（主要为不锈钢和铝）受照射而引起的感生放射性；加速器冷却水中的氧和混凝土墙中的镁、铝受照射而引起的感生放射性；室内空气受照射而引起的感生放射性等。

➤ 产生的感生放射性核素

医用电子加速器引致的感生放射性，主要发射 $\gamma$ 、 $\beta$ 射线。在医用加速器应用的能量范围内，感生放射性主要通过 $(\gamma, n)$ 或 $(e, n)$ 反应产生。表10-2列出了医用加速器由于 $(\gamma, n)$ 反应容易出现的感生放射性核素。

表 10-2 加速器构件及环境的感生放射性产物

部位	材料	感生放射性核素	半衰期	辐射类型	主要产生方式
照射头部件	铝	$^{27}\text{Mg}$ $^{24}\text{Na}$ $^{28}\text{Al}$	9.5min 14.9h 2.3min	$\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$	$^{27}\text{Al}(n, p)^{27}\text{Mg}$ $^{27}\text{Al}(n, a)^{24}\text{Na}$ $^{27}\text{Al}(n, r)^{28}\text{Al}$
	铜	$^{62}\text{Cu}$ $^{64}\text{Cu}$ $^{66}\text{Cu}$	9.7min 12.8h 5.1min	$\beta^+$ 、 $\gamma$ $\beta^+$ 、 $\gamma$ $\beta^+$ 、 $\gamma$	$^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$ $^{65}\text{Cu}(n, 2n)^{64}\text{Cu}$ $^{65}\text{Cu}(n, r)^{66}\text{Cu}$
束流管	不锈钢	$^{56}\text{Mn}$ $^{65}\text{Ni}$	2.6h 38min	$\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$	$^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$ $^{64}\text{Ni}(n, r)^{65}\text{Ni}$
	铝	$^{27}\text{Mg}$ $^{24}\text{Na}$ $^{28}\text{Al}$	9.5min 14.9h 2.3min	$\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$	$^{27}\text{Al}(n, p)^{27}\text{Mg}$ $^{27}\text{Al}(n, a)^{24}\text{Na}$ $^{27}\text{Al}(n, r)^{28}\text{Al}$
偏转磁铁	铜	$^{62}\text{Cu}$ $^{64}\text{Cu}$ $^{66}\text{Cu}$	9.7min 12.8h 5.1min	$\beta^+$ 、 $\gamma$ $\beta^+$ 、 $\gamma$ $\beta^+$ 、 $\gamma$	$^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$ $^{65}\text{Cu}(n, 2n)^{64}\text{Cu}$ $^{65}\text{Cu}(n, r)^{66}\text{Cu}$
	不锈钢	$^{56}\text{Mn}$ $^{65}\text{Ni}$	2.6h 38min	$\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$	$^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$ $^{64}\text{Ni}(n, r)^{65}\text{Ni}$
结构材料	铝	$^{27}\text{Mg}$ $^{24}\text{Na}$ $^{28}\text{Al}$	9.5min 14.9h 2.3min	$\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$	$^{27}\text{Al}(n, p)^{27}\text{Mg}$ $^{27}\text{Al}(n, a)^{24}\text{Na}$ $^{27}\text{Al}(n, r)^{28}\text{Al}$
	铜	$^{62}\text{Cu}$ $^{64}\text{Cu}$ $^{66}\text{Cu}$	9.7min 12.8h 5.1min	$\beta^+$ 、 $\gamma$ $\beta^+$ 、 $\gamma$ $\beta^+$ 、 $\gamma$	$^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$ $^{65}\text{Cu}(n, 2n)^{64}\text{Cu}$ $^{65}\text{Cu}(n, r)^{66}\text{Cu}$
	不锈钢	$^{56}\text{Mn}$ $^{65}\text{Ni}$	2.6h 38min	$\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$	$^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$ $^{64}\text{Ni}(n, r)^{65}\text{Ni}$
混凝土材料	铝	$^{27}\text{Mg}$ $^{24}\text{Na}$ $^{28}\text{Al}$	9.5min 14.9h 2.3min	$\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$ $\beta^-$ 、 $\gamma$	$^{27}\text{Al}(n, p)^{27}\text{Mg}$ $^{27}\text{Al}(n, a)^{24}\text{Na}$ $^{27}\text{Al}(n, r)^{28}\text{Al}$
冷却水	水	$^{16}\text{N}$	7.35s	$\beta^-$ 、 $\gamma$	$^{16}\text{O}(n, p)^{16}\text{N}$
空气	氮	$^{13}\text{N}$	10min	$\beta^+$ 、 $\gamma$	$^{14}\text{N}(r, n)^{13}\text{N}$

由表10-2可知，医用加速器运行中产生的感生放射性产物，其辐射类型多数为 $\beta^-$ 、 $\gamma$  辐射，也有少量 $\beta^+$ 、 $\gamma$ 辐射。其半衰期最长者为14.9h，而最短者仅有7.35s，均属短半衰期核素。对加速器部件、治疗室内设备、墙体和冷却水等固、液态物质产生的感生放射性，其 $\beta^-$ 和 $\beta^+$ 辐射经自吸收、设备屏蔽和距离及自然衰减后，对医生和接受治疗的患者已基本无影响。对于 $\gamma$ 辐射由于穿透力较强，医生在治疗室内作病人摆位时，应采用减少操作时间，并与感生放射性较强的设备（如照射头等）保持一定的距离，并佩戴好个人防护用品，以尽量减少感生放射性的影响。对于接受治疗的患者，由于治疗时间短、治疗频度小，无需对医用加速器的感生放射性作专门防护。

➤ 感生放射性防护措施

a、对加速器部件和墙壁的感生放射性防护

利用感生放射性核素半衰期比较短的特点，待其衰变到环境本底辐射水平后，相关人员才能对感生放射性部件加以处置或与其接触；

采用距离防护方法，利用与其间隔一段距离的办法加以防护；

加速器退役时，应对加速器部件的感生放射性进行一次调查，测定辐射水平，高于豁免值的部件应作为放射性固体废物进行处理。

b、对空气中的感生放射性防护

用通风方式将空气中的感生放射性核素排出治疗室外；加速器运行时，尽量减少人员进入水冷机房；冷却水系统需要检查、检修时，检修人员应在加速器运行停机一段时间后方可进入水冷机房，进入时应进行辐射监测。

②电子束防护

10MV医用直线加速器在按电子模式工作时，产生电子线及电子与物质作用时产生的X射线（电子X射线）。在考虑电子防护时，不仅考虑对电子的屏蔽，还要考虑对电子X射线的屏蔽。

本项目加速器电子线最大能量为14MeV，根据《辐射防护导论》，能量为E（MeV）的单能电子束，在低Z物质中的射程可由下列经验公式进行计算（第四章第二节）：

$$R=0.53E-1.06 \quad 2.5 \leq E < 20 \text{MeV} \dots\dots\dots \text{（式10-1）}$$

根据公式（10-1）可以估算出14MeV的电子在密度为 $2.35\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的混凝土中的射程约为2.7cm。本项目加速器机房墙体厚度均大于1m，加速器电子线虽然能量相对于X射线较高，但其贯穿能力远弱于X射线。由此可见，机房屏蔽体的使用材料和厚度完全能满足对电子线

的屏蔽。因此，可不再作特殊的防护要求。

对电子X射线的屏蔽，可按屏蔽X射线的方法来屏蔽这种X射线，故本项目不再考虑对电子X射线的屏蔽。

### ③中子防护

加速器治疗室使用10MV直线加速器要考虑中子的防护。据《辐射防护手册(第一分册)》(原子能出版社1987年8月)10.4节电子加速器屏蔽)描述，电子加速器屏蔽“在采用普通混凝土作屏蔽材料时，各种光中子的附加影响通常可以不必考虑。但是，当采用对中子屏蔽性能不好的材料(如钢、铅)时，则要注意校核中子剂量是否允许”。

对加速器治疗室迷道外口中子的屏蔽，按《辐射防护手册》第三分册 4.2 加速器的建筑物和辐射屏蔽(P105)描述的内容“为了减少迷道外口的中子剂量，在迷道外口的内表面和防护门的里侧贴一层对热中子吸收截面较高的材料(如镉片或含硼水泥，含硼聚乙烯)是有效的”。本项目在设计加速器治疗室防护门时综合考虑了上述因素，在加速器治疗室防护门的里侧贴一层140mm含2%硼聚乙烯。

### ④个人防护

辐射工作人员防护：加速器治疗室的辐射工作人员每人应当佩戴个人剂量元件。

患者防护：治疗前对放疗计划剂量进行核对，每次照射时体位都须一致。采用恰当的个人防护用品(如铅衣、铅围裙、三角巾等)屏蔽肿瘤周围的健康组织。

### ⑤距离防护

操作人员采取隔室操作方式，控制室与机房之间以墙体隔开，通过电视图像观察病人情况，通过对讲机与病人交流。

### ⑥时间防护

通过制定最优化的治疗、诊断方案尽量减少射线装置的照射时间。

## (4) 辐射安全措施

### ①控制台及安全连锁

#### ➤ 钥匙控制

控制台上设有防止非工作人员操作的锁定开关，钥匙由专人使用和保管。

#### ➤ 紧急停机按钮

控制台上设紧急停机按钮，在放疗过程中出现紧急情况时，操作人员按动该按钮就能令加速器停机。

➤ 电视监控与对讲装置

控制室拟安装电视监控与对讲装置，操作人员通过电视显示屏监视机房内患者治疗时的情况，并通过对讲机与机房内患者联系。

➤ 治疗室门与束流联锁

治疗室门与加速器联锁，当加速器出束时，治疗室门不能被打开。

➤ 音响提示

治疗室内准备出束音响提示，加速器准备出束之前，治疗室内有音响提示。

②治疗室紧急装置

➤ 紧急制动装置

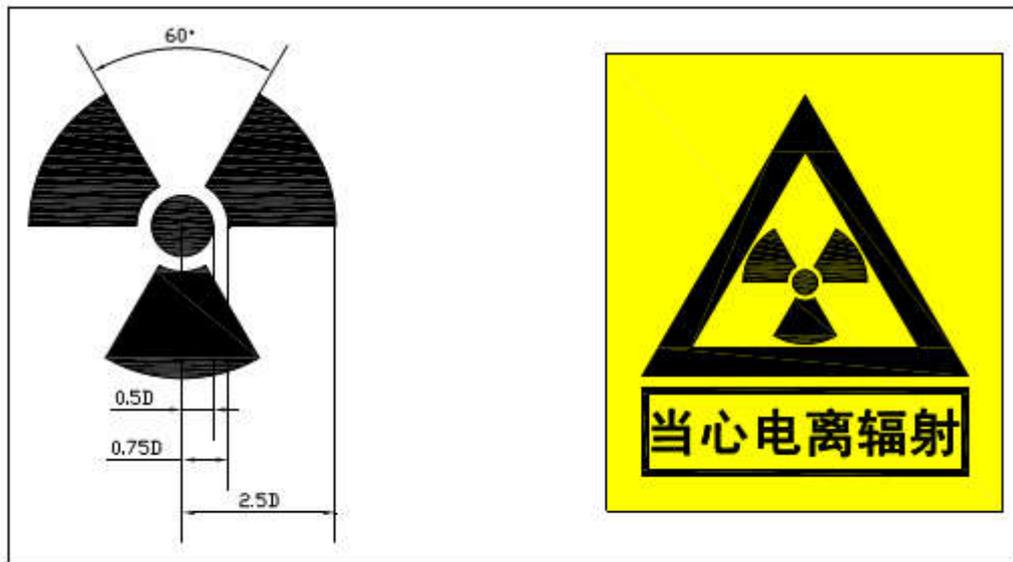
治疗室密道口、治疗室四面墙上距地1.5m处各安装1个“紧急停机按钮”，误入人员第一时间离开治疗室，防止误照射。

➤ 紧急照明或独立通道照明系统

加速器治疗室拟设紧急照明或独立通道照明系统。

③警示标志与工作状态显示

加速器治疗室防护门外拟设置明显的电离辐射警告标志（图10-1）和工作状态指示灯。加速器处于出束状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当加速器处于非出束状态，指示灯为绿色。



a. 电离辐射标志

b. 电离辐射警告标志

图10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

#### ④剂量报警设备

##### ➤ 个人剂量报警仪

为防止加速器操作人员、物理师被误照射，拟为加速器操作人员、物理师配备个人剂量报警仪。

##### ➤ 室内固定式剂量报警仪

为使操作人员、物理师及时了解加速器治疗室内的辐射水平，以及防止误照射，在治疗室内安装固定式剂量报警仪（带剂量显示功能）。固定式剂量报警仪的探头安装在治疗室的迷道内墙上（靠近防护门），显示屏安装在控制室墙上，易于操作人员看见的地方。只要迷道内的剂量超过预置的剂量阈值，固定式剂量报警仪就会报警，警示操作人员不能进入治疗室，以防误照射。

## 2、DSA辐射安全及防护措施

### （1）设备固有安全性

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

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

③采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视（如每秒25帧、12.5帧、6帧等可供选择），改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

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

⑤配备相应的表征剂量的指示装置：配备能在线监测表征输出剂量的指示装置，例如剂量面积乘积（DAP）仪等。

⑥正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能由"启动"键启动照射；同时在操作台和床体上均设置有“紧急止动”按钮一旦发现异常情况，工作人员可立即按下此按钮来停止照射。

⑦配备辅助防护设施：DSA已配备床下铅帘和悬吊铅帘等辅助防护用品与设施，在设备运行中可用于加强对有关人员采取放射防护与安全措施。

## (2) 屏蔽防护措施

医院对DSA机房采取了屏蔽措施，具体见表10-3

表10-3 DSA工作场所的实体防护设施表

机房	面积	四周墙体		屏蔽门		观察窗		屋顶	
		结构	厚度	结构	厚度	结构	厚度	结构	厚度
DSA介入治疗室	61m <sup>2</sup>	钢板	6mm铅当量	不锈钢屏蔽门	3mm铅当量	铅玻璃	3mm铅当量	混凝土	12cm

另外，医院在介入治疗中心还配置有铅衣、铅围脖等，并在DSA床体旁配置铅防护吊屏和床下铅围裙，这些屏蔽体具有1mm厚的铅当量。

## (3) 安全措施

①门灯连锁：介入手术室防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。防护门关闭时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯灭。

②紧急止动装置：控制台上、介入手术床旁、介入手术室内墙上均拟设紧急止动按钮（各按钮分别与X线系统连接）。DSA系统的X线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任何一个紧急止动按钮，均可停止X线系统出束。

③操作警示装置：DSA系统的X线系统出束时，控制台上的指示灯变色，同时蜂鸣器发出声音。

④对讲装置：在介入手术室与控制室之间拟安装对讲装置，控制室的工作人员通过对讲机与介入室内的手术人员联系。

⑤警告标志：介入手术室的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

## (4) 源项控制

本项目使用DSA泄漏辐射不会超过《医用X射线治疗卫生防护标准》（GBZ131-2002）规定的限值，且X射线装置装有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射。

## (5) 距离防护

DSA机房严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的

醒目位置张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

(6) 时间防护

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

**2、其它III类射线装置辐射安全及防护措施**

(1) 辐射工作场所辐射防护措施

本项目III类射线装置的辐射防护情况详见下表

**表10-4 III类射线装置工作场所的实体防护设施表**

机房	面积	四周墙体		屏蔽门		观察窗		楼顶	
		结构	厚度	结构	铅当量厚度	结构	铅当量厚度	结构	厚度
模拟定位机房	31m <sup>2</sup>	混凝土	30cm	不锈钢屏蔽门	3.5mm	铅玻璃	3.5mm	混凝土	25cm
胃肠机房	27m <sup>2</sup>	实心页岩砖墙	37cm	不锈钢屏蔽门	3.5mm	铅玻璃	3mm	12cm厚的混凝土顶板+10cm硫酸钡	
光子CT机房	39m <sup>2</sup>	实心页岩砖墙	37cm	不锈钢屏蔽门	3mm	铅玻璃	3mm	12cm厚的混凝土顶板+10cm硫酸钡	
牙片机房	7.8m <sup>2</sup>	实心页岩砖墙	24cm	不锈钢屏蔽门	1mm	铅玻璃	3mm	12cm厚的混凝土顶板+10cm硫酸钡	
DR机房	29.5m <sup>2</sup>	实心页岩砖墙	37cm	不锈钢屏蔽门	3mm	铅玻璃	3mm	12cm厚的混凝土顶板+10cm硫酸钡	
螺旋CT机房	41.3m <sup>2</sup>	6mm铅当量钢材		不锈钢屏蔽门	3mm	铅玻璃	3mm	12cm厚的混凝土	

(2) 安全措施

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

②操作警示装置：X线系统出束时，控制台上的指示灯变色，同时蜂鸣器发出声音。

③对讲装置：在机房与控制室之间拟安装对讲装置，控制室的工作人员通过对讲机与机房内的病人联系。

④警告标志：机房防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

⑤紧急止动装置：机房内的适宜位置，装设供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮，以使机房内的工作人员按动紧急止动按钮就令机器停机。

(3) 距离防护

机房严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

### 三、放射性工作场所安防措施

为确保本项目所使用的 II、III 类射线装置的安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10-5

**表10-5 射线装置工作场所安防措施一览表**

工作场所	措施类别	对应措施
射线装置工作场所	防盗、防抢和防破坏	①本项目射线装置机房及附属设施纳入医院日常安保巡逻工作范围，并划为重点区域，加强巡视管理，以防遭到破坏； ②工作场所应设置监控摄像头实行24h实时监控； ③安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即向公安机关报案； ④机房和邻近房间不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品。
	防泄漏	①本项目所使用的射线装置购置于正规厂家，泄漏辐射不会超过《医用X射线治疗卫生防护标准》（GBZ131-2002）规定的限值； ②本项目机房均已按照有关规范要求进行了辐射防护设计，机房是不存在辐射泄漏的情况，机房具体屏蔽情况见表10-2、表10-3和表10-4。

### 三废的治理

本项目在运行期间产生的非放射性污染物主要是臭氧、噪声、生活污水和生活垃圾等。具体治理措施如下：

#### 1、臭氧治理措施

##### (1) 通风系统设置

辐射工作场所内，由于直线加速器系统、模拟定位机系统等射线装置的运行，产生有毒有害气体，如臭氧、氮氧化物等。为确保患者、医护人员的安全，辐射工作场所采取通风换气措施。

##### ①通风设计

加速器治疗室及其控制室、水冷机房等拟设计配置送排风系统，送、排风风量换气次数 4 次/小时。加速器治疗室的风管拟靠近治疗室顶部，从东北角上方引出。

##### ②通风与风口设置设计

##### ➤ 排风装置、换气次数

加速器治疗室通过排气扇排风，设计换气次数位 4 次/h，符合《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2001）关于治理室通风换气次数不少于 4 次/h 的要求。

### ➤ 进、排风口位置

直线加速器治疗室的进风口位置位于迷道防护门上方，排风口设置在治疗室东北角，风口朝向东侧。

### ➤ 室内进、排风口设置合理分析

加速器治疗室的空调通风系统为预留设计，目前设计仅作预埋预留。对此，有关室内通风系统进、排风口的设置问题，环评建议如下：通风换气系统进、排风口的设置通常是上进、下出，且应间隔一定距离。进风口：一般应靠近室内顶部；排风口：因臭氧、氮氧化物比空气重，浓度较高的地方是辐照区下部靠近地表面的地方，因此通风换气系统的排风口最好是设在加速器的下方。

## 2、废水处理措施

项目运行后，废水主要为辐射工作人员和患者产生的生活污水。处理措施：依托已有的污水处理站处理，处理达标后排入市政污水管网。

## 3、噪声治理措施

本项目噪声源为加速器水泵、空调机、风机和通风管道。噪声防治措施包括：空调系统及通风系统均采用低噪声设备，噪声较大的设备均由设备机房隔离；水泵、空调机、风机均采取减振措施；风机进出口设软接头，水泵进出口设橡胶减振接头等。

## 4、固体废物物理措施

①本项目涉及射线装置均采用数字成像，会根据病人的需要打印胶片，胶片打印出来后由病人带走并自行处理。

②介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，采用专门的收集容积集中回收后，转移至医疗废物暂存库，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由当地医疗废物处理机构定期统一回收处理。

③工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院进行统一集中回收并由环卫部门统一处理。

## 4、环保投资估算

本核技术应用项目总投资500万元，环保投资104万元，占总投资的20.8%。本项目环保投资估算见表10-6。

表10-6 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

项目	设施	金额（万元）	备注	
医用直线加速器机房	辐射屏蔽措施	机房四面墙体、迷路墙和顶部的建筑材料均为钢筋混凝土。主屏蔽区墙厚2.5m、与主屏蔽区相连的次屏蔽区墙厚1.8m；侧屏蔽墙厚1.6m；迷路内墙厚1.2m、迷路外墙厚0.8m；主屏蔽顶厚2.5m、与顶主屏蔽区相连的次屏蔽顶厚1.3m。	计入主体工程投资	已完成
		防护门1套，为单扇电动推拉门（钢架结构），由14cm厚含2%硼聚乙烯和13mm 铅皮等构成。	40	已设计
	安全装置	操作台和床体上“紧急止动”装置1套		已设计
		门灯连锁装置1套		已设计
		对讲装置1套		已设计
		警示标牌和工作警灯1套		已设计
		门机连锁1套		已设计
		门灯连锁1套		已设计
		控制台上参数选择显示并与启动装置连锁1套		已设计
		治疗室内固定式剂量报警仪1套		已设计
		照射时间显示与制动装置连锁1套		已设计
		超剂量照射显示与制动装置连锁1套		已设计
		各类安全连锁检查装置1套		已设计
		电视监控系统与对讲机1套		已设计
		室内紧急停机开关5个		已设计
通排风系统	通排风系统1套	已设计		
模拟定位机房	辐射屏蔽措施	四周墙体均选用30cm混凝土，屋顶采用25cm厚的混凝土顶板。	计入主体工程投资	已完成
		铅防护门2套（3mm铅当量）	5.0	已完成
		铅玻璃观察窗1套（3.5mm铅当量）		已完成
	安全装置	室内安装“紧急止动”装置1套		已完成
		门灯连锁装置2套	已完成	
		对讲装置1套	已完成	
DR机房	辐射屏蔽措施	四周墙体均选用37cm页岩实心砖墙，屋顶采用12cm厚的混凝土顶板+10cm硫酸钡	计入主体工程投资	已完成
		铅防护门2套（3mm铅当量）	5.0	已完成
		铅玻璃观察窗1套（3mm铅当量）		已完成
	安全装置	室内安装“紧急止动”装置1套	已完成	
		门灯连锁装置2套	已完成	

		对讲装置1套		已完成
胃肠机房	辐射屏蔽措施	四周墙体均选用37cm页岩实心砖墙，屋顶采用12cm厚的混凝土顶板+10cm硫酸钡	计入主体工程投资	已完成
		铅防护门2套（3.5mm当量）	5.5	已完成
		铅玻璃观察窗1套（3mm铅当量）		已完成
	安全装置	室内安装“紧急止动”装置1套		已完成
		门灯联锁装置2套		已完成
对讲装置1套		已完成		
光子CT机房	辐射屏蔽措施	四周墙体均选用37cm页岩实心砖墙，屋顶采用12cm厚的混凝土顶板+10cm硫酸钡。	计入主体工程投资	已完成
		病人进出防护门采用3.5mm铅当量屏蔽门，控制走廊防护门均采用3mm铅当量屏蔽门	7.5	已完成
		铅玻璃观察窗1套（3mm铅当量）		已完成
	安全装置	室内安装“紧急止动”装置1套		已完成
		门灯联锁装置2套		已完成
		对讲装置1套		已完成
牙片机房	辐射屏蔽措施	四周墙体均选用24cm页岩实心砖墙，屋顶采用12cm厚的混凝土顶板+10cm硫酸钡		计入主体工程投资
		病人进出防护门采用1mm铅当量屏蔽门	4.0	已完成
		观察窗安装3mm铅当量铅玻璃		已完成
	安全装置	室内安装“紧急止动”装置1套		已完成
		门灯联锁装置1套		已完成
对讲装置1套		已完成		
DSA机房	辐射屏蔽措施	四周墙体均选用6mm铅当量钢板，屋顶采用12cm厚的混凝土顶板	计入主体工程投资	已完成
		病人和医生进出防护门、污物通道防护门均采用3mm铅当量屏蔽门	5.5	已完成
		观察窗安装3mm铅当量玻璃		已完成
	安全装置	室内安装“紧急止动”装置1套		已完成
		门灯联锁装置2套		已完成
		对讲装置1套		已完成
CT机房	辐射屏蔽措施	四周墙体均选用6mm铅当量钢板，屋顶采用12cm厚的混凝土顶板		计入主体工程投资
		病人和医生进出防护门、控制室防护门均采用3mm铅当量屏蔽门	6.0	已完成
		观察窗安装3mm铅当量玻璃		已完成
	安全装置	室内安装“紧急止动”装置2套		已完成
		门灯联锁装置3套		已完成
		对讲装置1套		已完成
监测仪器及警示装置		个人剂量计28个（每人两个）		3.0
		警示标牌和工作警灯10套	0.5	已完成
个人防护用品		放射科一层：铅衣6套，铅围脖3个，铅眼镜1个	20.0	已配备
		放射科二层：铅衣5套，铅手套5双，铅眼镜5个，铅围脖1个		已配备
		放疗科：铅衣、铅围脖、铅眼镜等个人防护用品3套。		拟配置
辐射监测		个人剂量报警仪1台、治疗室内固定式剂量报警仪1台、便携式辐射监测仪器2台	2.0	拟配置

合计	104	/
----	-----	---

**表 11 环境影响分析**

**建设阶段对环境的影响**

本项目除直线加速器和模拟定位机尚未安装外，其余射线装置均已投入使用。直线加速器和模拟定位机安装调试阶段应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，建设单位需及时回收包装材料作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

由于施工期短，施工范围小，通过对施工时间段的控制以及施工现场管理等手段，施工期对环境产生的影响较小，并且该影响随施工期的结束而消除。

**运行阶段对环境的影响**

**一、正常运行辐射环境影响分析**

本项目除医用直线加速器和模拟定位机尚未安装外，其余射线装置均已投入使用。因此，针对医用直线加速器和模拟定位机采用模式预测分析评价，其余射线装置的辐射影响采用现场实测值分析评价。

**(一) 医用直线加速器**

**1、X射线辐射影响**

**(1) 机房屏蔽体厚度及宽度核算**

**①主屏蔽墙宽度核算**

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》，主屏蔽墙（或顶）的投影区，可按下式计算：

$$Y_p = 2[(a + SAD)g \tan \theta + 0.3] \dots\dots\dots(式 11-1)$$

式中：

$Y_p$ ：机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

$SAD$ ：源轴距，1m；

$\theta$ ：治疗束的最大张角（相对束中的轴线）， $14^\circ$ ；

$a$ ：等中心至墙的距离，m。

根据式 11-1，南主屏蔽、北主屏蔽和室顶主屏蔽区核算结果如下：

表 11-1 主屏蔽区宽度核算

屏蔽体	a (m) +SAD	所需宽度 Y <sub>p</sub> (m)	实际宽度 (m)	核算结果
南墙主屏蔽	4.0	3.09	4.0	符合要求
北墙主屏蔽	4.0	3.09	4.0	符合要求
室顶主屏蔽	3.83	3.01	4.0	符合要求

②墙体厚度核算

根据院方提供的资料，医用直线加速器的运营时间为每年 50 周，每周 5 天，每天治疗 225 人，每人开机治疗时间为 5min 计（不含摆位时间），则加速器每周工作负荷为 2250Gy。

➤ 本报告中采用屏蔽厚度的常用模式作预测

$$d = nT_{1/10} \dots\dots\dots(式 11-2)$$

式中：

d—屏蔽层厚度(cm)；

T<sub>1/10</sub>—十分之一屏蔽层厚度值(cm)，混凝土取值为 38.6cm，铅取值为 5.6cm，其值摘自《辐射防护概论》（清华大学工程物理系，2003 年 7 月）。

$$n = \lg(1/\eta) \dots\dots\dots(式 11-3)$$

$$\eta = \frac{X_L \cdot r^2}{2GQU} \dots\dots\dots(式 11-4)$$

式中：

η—X 射线在屏蔽材料中的透射系数；

X<sub>L</sub>—参考点的辐射剂量当量率限值(对工作人员为 0.12mSv/wk，对于公众则为 6.0×10<sup>-3</sup>mSv/wk)；

r—参考点到辐射点的距离(m)；

Q—参考点所在居留因子；

U—射线束定向因子；

G—加速器在 1 米处的周剂量率(mSv/wk)，2.25×10<sup>6</sup>mSv/wk。

➤ 加速器防护门的屏蔽厚度（铅当量）可采用半价层方法进行计算，采用公示如下：

$$E_x = 0.287(E_e/10)^{0.265} \dots\dots\dots(式 11-5)$$

$$n = \lg K / \lg 2 \dots\dots\dots(式 11-6)$$

$$Pb = n \times HVT \dots\dots\dots(式 11-7)$$

式中：

n——铅的半价层个数；

HVT——铅的半价层厚度mm，由EX查表得出；

K——衰减倍数（系数），其中 $K=D_m/D_L$ ；

$D_m$ ——门口X射线剂量率，Gy/h；

$D_L$ ——门外控制剂量率，Gy/h；

$E_x$ ——治疗室门口处X射线平均能量，MeV；

$E_e$ ——加速器电子的动能，MeV。

计算中，对于本项目10MV医用直线加速器，迷道长度7.8m， $D_m=2.13 \times 10^{-7} \times 2 \text{Gy/min}=25.6 \mu\text{Gy/h}$ ； $D_L=2.5 \mu\text{Gy/h}$ ； $HVT=0.16\text{cm}$ 。

根据以上各式，加速器机房墙体、门厚度的校核结果如下

表11-2 10MV医用直线加速器机房墙体及屏蔽门厚度校核

考察点位	受照类型	距离	定向因子	居留因子	设计厚度	校核厚度	核算结果
机房北侧主屏蔽墙外	公众	6.8m	1/4	1/8	250cm	220	满足要求
机房北侧副屏蔽墙外	公众	7.5m	1/4	1/8	130cm	101	满足要求
机房西侧迷道外墙外	工作人员	10.0m	1/4	1	120cm+80cm	76	满足要求
加速器机房主顶屏蔽体外	公众	6.1m	1/8	1/4	250cm	223	满足要求
加速器机房副顶屏蔽体外	公众	7.0m	1/8	1/4	130cm	103	满足要求
机房屏蔽门	公众	/	/	/	13mmPb	5.4	满足要求

由表11-1和表11-2可知，项目医用直线加速器机房墙体厚度和主屏蔽区宽度均符合要求。

## (2) 辐射剂量分析

### ①加速器机房周围环境各房间的功能及用途

由附图3可知，加速器治疗机房北侧为风机房、过道和等候区，西侧为控制室、配电房和水冷机房，屋顶为景观水池（仅池底清理时短时间内会有清洁人员到达），东侧和南侧为泥土层（无人可到达）。

### ②预测点位选取

本次评价选取选取加速器治疗室东侧次屏蔽墙外（1#），西侧迷道外墙外水冷机房（2#），西侧迷道外墙外配电机房（3#），西侧迷道外墙外控制操作工位处（4#），北侧迷道门外（5#），北侧主屏蔽墙外（6#），北侧与主屏蔽墙相连次屏蔽墙外（7#），屋顶主屏蔽墙相连次屏蔽墙外（8#），屋顶主屏蔽墙外（9#）共9个预测点位。预测点位见图11-1和图11-2

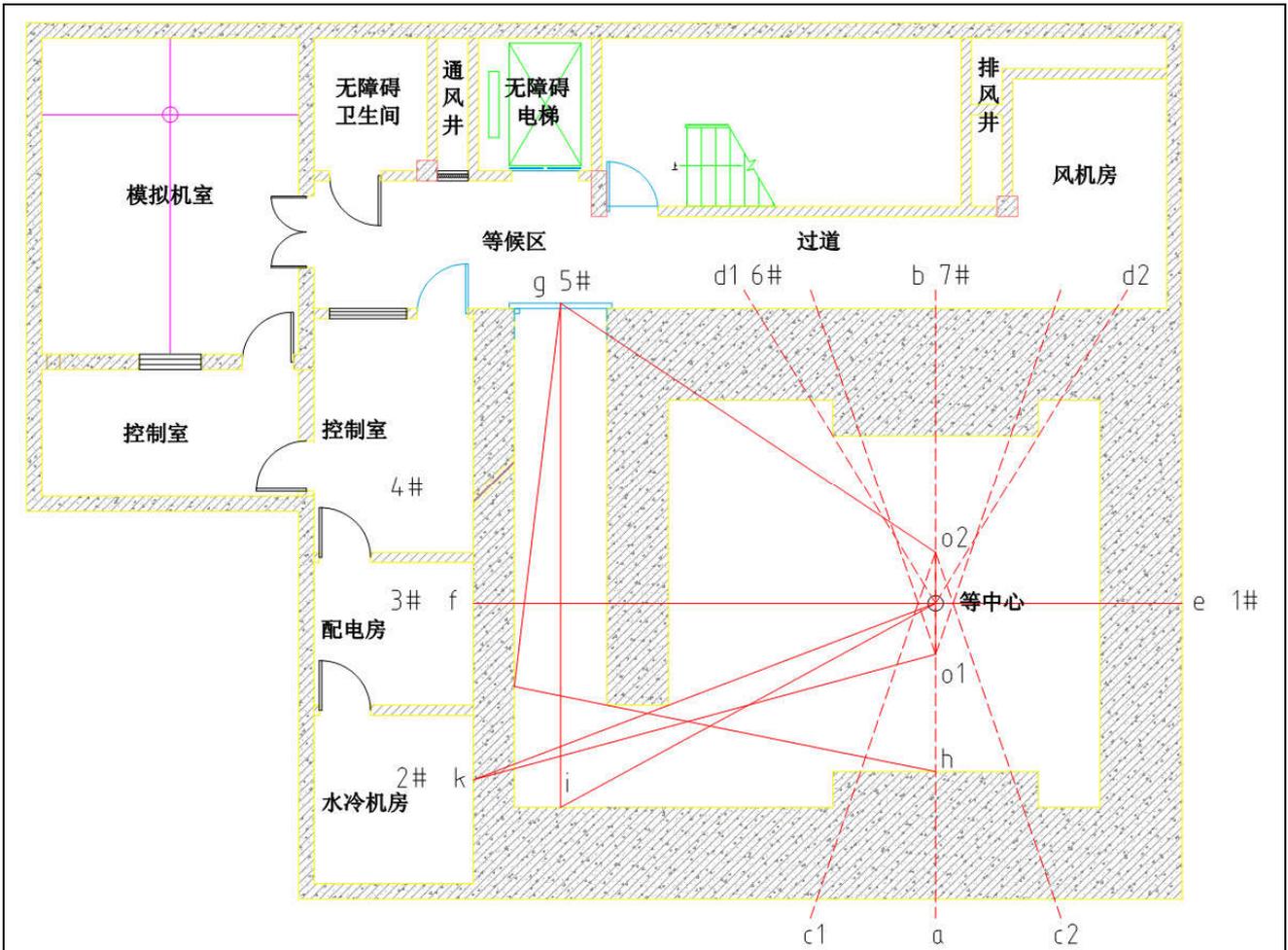


图 11-1 加速器机房预测点位示意图 1

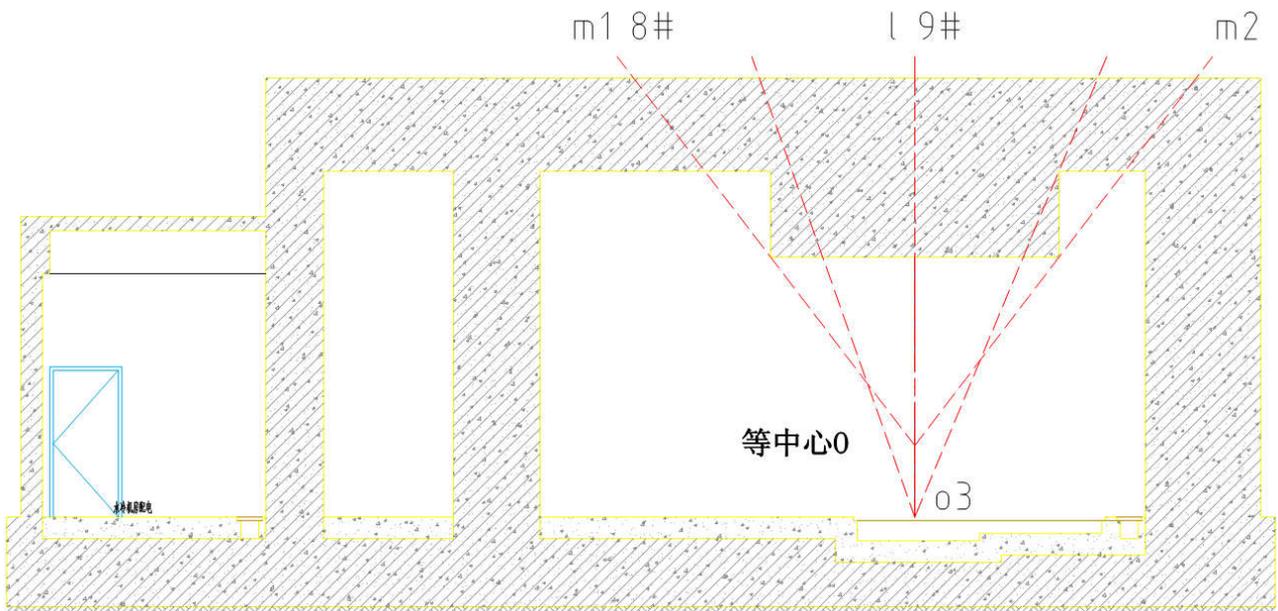


图 11-2 加速器机房计算点示意图 2

③预测模式

依据 GBZT201.2-2011 的计算方法, 对本项目 10MV 医用电子直线加速器机房设计的辐射屏蔽分析如下:

➤ 有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算:

首先按式 11-8 计算有效厚度  $X_e(\text{cm})$ , 计算公式如下:

$$X_e = X \sec \theta \dots\dots\dots (\text{式 11-8})$$

式中:

$X_e$ : 射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度, (cm);

$X$ : 屏蔽墙体厚度, (cm);

$\theta$ : 入射角夹角。

然后, 按式 11-9 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ , 再按式 11-10 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $H\dot{K}(\mu\text{Sv/h})$ 。

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots\dots (\text{式 11-9})$$

式中,  $TVL_1(\text{cm})$ 和  $TVL(\text{cm})$ 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。当未指明  $TVL_1$  时,  $TVL_1=TVL$ 。

$$H\dot{K} = \frac{H\dot{K}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (\text{式 11-10})$$

式中:

$H\dot{K}_0$ : 加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

$f$ : 对有用束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射比;

$R$ : 辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

$B$ : 屏蔽物质的屏蔽透射因子。

➤ 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

首先按式 11-8 计算有效厚度  $X_e(\text{cm})$ , 接着, 按式 11-9 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ , 再按式 11-11 计算辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $H\dot{K}(\mu\text{Sv/h})$ 。

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

式中:

$I\dot{\Phi}_0$ : 加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ;

$\alpha_{ph}$ : 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,  $\text{cm}^2$ 。

$R_s$ : 患者(位于等中心点)至关注点的距离, m;

B: 屏蔽物质的屏蔽透射因子。

➤ 加速器 ( $\leq 10\text{MV}$ ) 机房迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

有用线束不向迷路照射情况, 入口处的散射辐射剂量率  $I\dot{\Phi}_g$  按式 11-12 计算:

$$I\dot{\Phi}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot I\dot{\Phi}_0 \dots\dots\dots \text{(式 11-12)}$$

式中:

$I\dot{\Phi}_g$ : g 处的散射辐射剂量率,  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ;

$\alpha_{ph}$ : 患者  $400\text{cm}^2$  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,  $\text{cm}^2$ ;

$\alpha_2$ : 砼墙入射的患者散射辐射的散射因子;

A: i 处的散射面积,  $\text{m}^2$ ;

$R_1$ : “o-i”之间的距离, m;

$R_2$ : “i-g”之间的距离, m;

$I\dot{\Phi}_0$ : 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

④预测参数选取及结果

本项目 10MV 医用电子直线加速器机房外辐射剂量预测结果见表 11-3;

表 11-3 10MV 医用电子直线加速器机房外辐射剂量预测结果

关注点位置	预测考虑的辐射因素	计算公式	参数取值	辐射剂量率预测值 (μGy/h)
1# (东侧屏蔽墙外)	泄漏辐射	$H_x = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ; 对泄漏辐射 f 取 $10^{-3}$ ; R=5.1m; $B=10^{-(X+TVL-TVLD)/TVL}$ X=160cm, TVL <sub>1</sub> =35cm, TVL=31cm, 入射夹角 0°	$4.28 \times 10^{-2}$
2# (西侧迷道外墙外水冷机房)	泄漏辐射	$H_x = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ; 对有用线束 f 取 $10^{-3}$ ; R=9.6m; $B=10^{-(X+TVL-TVLD)/TVL}$ X=80cm, TVL <sub>1</sub> =35cm, TVL=31cm; 入射夹角 15°	3.73
	患者一次散射	$H_x = \frac{H_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ; R <sub>s</sub> =9.9m; $B=10^{-(X+TVL-TVLD)/TVL}$ X=80cm, TVL <sub>1</sub> =TVL=22cm, 入射夹角 21° 散射角 69° ; F 为 1600cm <sup>2</sup>	$4.65 \times 10^{-1}$
3# (西侧迷道外墙外配电机房)	泄漏辐射	$H_x = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ; 对有用线束 f 取 $10^{-3}$ ; R=9.3m; $B=10^{-(X+TVL-TVLD)/TVL}$ X=80+120cm, TVL <sub>1</sub> =35cm, TVL=31cm, 入射夹角 0°	$6.60 \times 10^{-4}$
4# (西侧迷道外墙外控制室)	泄漏辐射	$H_x = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ; 对有用线束 f 取 $10^{-3}$ ; R=9.4m; $B=10^{-(X+TVL-TVLD)/TVL}$ X=80+120cm, TVL <sub>1</sub> =35cm, TVL=31cm, 入射夹角 7°	$5.83 \times 10^{-4}$

5# (北侧迷道门外)	泄漏辐射	$I_{\text{g}} = \frac{I_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ; 对泄漏辐射 f 取 $10^{-3}$ ; $R=9.1\text{m}$ ; $B=10^{-(X+TVL-TVLI)/TVL}$ $Xe=232\text{cm}, TVL_1=35\text{cm}, TVL=31\text{cm}$ 。	$6.17 \times 10^{-5}$	合计 0.338 本项目防护门设计为 13.0mmpb, 因此: 防护门外为 $8.49 \times 10^{-4}$ 。
	散射辐射	$I_{\text{g}} = \frac{\alpha_{\text{ph}} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot I_0$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ , $R_1=8.3\text{m}$ 、 $R_2=9.9\text{m}$ ; $\alpha_{\text{ph}}$ 取 $1.35 \times 10^{-3}$ ; F 取 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ; $\alpha_2$ 取 $2.2 \times 10^{-2}$ ; A 为 $0.16\text{m}^2$ 。	$3.38 \times 10^{-1}$	
6# (北侧主屏蔽墙外)	有用线束	$I_{\text{g}} = \frac{I_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ; $R=6.1\text{m}$ ; $B=10^{-(X+TVL-TVLI)/TVL}$ $X=250\text{cm}, TVL_1=41\text{cm}, TVL=37\text{cm}$ , 入射夹角 $0^\circ$	0.724	
7# (北侧与主屏蔽墙相连次屏蔽墙外)	泄漏辐射	$I_{\text{g}} = \frac{I_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ; 对泄漏辐射 f 取 $10^{-3}$ ; $R=7.1\text{m}$ ; $B=10^{-(X+TVL-TVLI)/TVL}$ $X=180\text{cm}, TVL_1=TVL=22\text{cm}$ , 入射夹角 $31^\circ$ 。	$2.2 \times 10^{-6}$	
8# (屋顶主屏蔽墙相连次屏蔽墙外)	泄漏辐射	$I_{\text{g}} = \frac{I_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ; 对泄漏辐射 f 取 $10^{-3}$ ; $R=6.7\text{m}$ ; $B=10^{-(X+TVL-TVLI)/TVL}$ $X=130\text{cm}, TVL_1=TVL=22\text{cm}$ , 入射夹角 $37^\circ$ 。	$3.18 \times 10^{-4}$	
9# (屋顶主屏蔽墙外)	有用线束	$I_{\text{g}} = \frac{I_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$	$H_0=1.2 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ; $R=6.4\text{m}$ ; $B=10^{-(X+TVL-TVLI)/TVL}$ $X=250\text{cm}, TVL_1=41\text{cm}, TVL=37\text{cm}$ , 入射夹角 $0^\circ$	0.658	

⑤职业人员、公众年有效剂量估算结果

本项目使用的电子直线加速器有效开机时间每年工作按 50 周计，X 射线每周治疗 225 人次，每次曝光时间为 5min，年有效出束时间 937.5h。各照射方向的射线利用因子和各环境保护目标的居留因子取值见表 11-4，以此计算出各环境保护目标年有效剂量，计算结果见表 11-4。

表 11-4 10MV 电子直线加速器机房外辐射剂量预测结果

关注点		辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	利用 因子	居留 因子	年有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )
工作人员	水冷机房（西侧迷道外墙外）	4.20	1（漏射）	1/16	0.246
	配电房（西侧迷道外墙外）	$6.60 \times 10^{-4}$	1（漏射）	1/16	$3.87 \times 10^{-4}$
	控制室（西侧迷道外墙外）	$5.83 \times 10^{-4}$	1（漏射）	1	$5.47 \times 10^{-4}$
公众	屏蔽门外（人员进出门外）	$8.49 \times 10^{-4}$	1（散射）	1/8	$9.95 \times 10^{-5}$
	过道	0.724	1/4	1/8	$2.12 \times 10^{-2}$
	屋顶	0.658	1/8	1/4	$1.93 \times 10^{-2}$

从表 11-4 可以看出，本项目加速器正常运行所致工作人员最大年有效剂量值为 0.246mSv；所致公众最大年有效剂量值为  $2.12 \times 10^{-2}$ mSv。

2、电子辐射影响分析

由辐射安全与防护章节分析可知，本项目以电子档工作时最大电子束的能量为 14MeV，穿过混凝土（密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ）深度为 2.7cm，故加速器屏蔽体（治疗室）的使用材料和厚度足以满足屏蔽电子束的要求。

3、中子辐射影响分析

加速器治疗室使用 X 射线能量大于 10MV 时要考虑中子的防护。加速器运行中产生的中子，由于其对治疗无意义故称为污染中子，又因其通过( $\gamma, n$ )核反应而生成，故又称为光中子。医用直线加速器产生的光中子，其能谱是连续的，在辐射防护工作中一般仅考虑其平均能量。对于电子束能量不大于 25MeV 的医用直线加速器，运行中所产生的光中子的最大平均能量为 2.3MeV，远低于其相应的电子束和 X 射线的能量。对于同一直线加速器而言，可屏蔽 X 射线的混凝土防护墙体，也足以屏蔽所产生的光中子。本项目拟在加速器治疗室防护门中粘贴 140mm 含 2%硼聚乙烯吸收热中子。

4、感生放射性的影响分析

医用直线加速器的能量较高时，加速器产生的初级与次级辐射同受照物质相互作用，使其活化而释放出  $\beta$ 、 $\gamma$  等辐射的现象，称为加速器的感生放射性。由于它不与加速器辐射

的发射同步，且加速器停止运行和发射后，它尚能继续释放一段时间，故又称为加速器的缓发辐射。

较高能量的医用直线加速器治疗时，它发射的电离辐射照射在加速器的结构材料、治疗室内各种设备、器械、墙壁、空气等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。其剂量水平与加速器加速的电子能量、束流强度、靶体材料、照射时间等因素有关。医用直线加速器治疗时，感生放射性多数是由于其污染中子引起的，而当用不小于 8MV 的 X 线模式治疗时，也可能通过 $(r, n)$ 核反应而引起感生放射性。

本项目医用直线加速器 X 射线能量为 10MV、电子束最大能量为 14MeV，因此在加速器使用过程中均需考虑感生放射性的防护。对本项目的医用直线加速器而言，引起感生放射性的主要部件和物体有：a. 加速器照射头中的铜、铝等部件受照而产生的感生放射性；b. 加速器偏转磁体中的铜、铝等部件受照而产生的感生放射性；c. 加速器束流管及其它结构材料受照射而引起的感生放射性；d. 加速器冷却水中的氧和混凝土墙体中的镁、铝受照射而引起的感生放射性；e. 室内空气受照射而引起的感生放射性等。加速器治疗过程中，污染中子引起的感生放射性及主要产物列于表 10-2 中所示。

由表 10-2 知，医用加速器运行中产生的感生放射性产物，其辐射类型多数为  $\beta^-$ 、 $\gamma$  辐射，也有少量  $\beta^+$ 、 $\gamma$  辐射。其半衰期最长者为 14.9h，而最短者仅有 7.35s，均属短半衰期核素。对加速器部件、治疗室内设备、墙体和冷却水等固、液态物质产生的感生放射性，其  $\beta^-$  和  $\beta^+$  辐射经自吸收、设备屏蔽和距离及自然衰减后，对医生和接受治疗的患者已基本无影响。对于  $\gamma$  辐射由于穿透力较强，医生在治疗室内作病人摆位时，应采用减少操作时间，并与感生放射性较强的设备（如照射头等）保持一定的距离，并佩戴好个人防护用品，以尽量减少感生放射性的影响。对于接受治疗的患者，由于治疗时间短、治疗频度小，无需对医用加速器的感生放射性作专门防护。此外，应加强治疗室的通风换气，以减少感生放射性气体对医生和受治患者的影响。

加速器退役停机后，应将其在治疗室内作适当放置，待其感生放射性衰变到可以接受的水平时，经环保部门监测认可，方可作一般固体废物处理。

#### 5、感生放射性气体辐射影响分析

医用加速器在治疗中发出的电离辐射通过空气时，除产生臭氧和氮氧化物外，当辐射的能量达到或超过产生 $(r, n)$ 反应的阈能时，空气中还会出现  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$  和  $^{15}\text{O}$  等放射性气体。其中，核反应  $^{14}\text{N}(r, n)^{13}\text{N}$  的阈能为 10.6MeV，所产生核素  $^{13}\text{N}$  的半衰期为 10min；核反应

$^{16}\text{O}(\text{r}, \text{n})^{15}\text{O}$  的阈能为 15.7MeV, 产生的核素  $^{15}\text{O}$  的半衰期为 124s; 核反应  $^{12}\text{C}(\text{r}, \text{n})^{11}\text{C}$  的阈能为 18.7MeV,  $^{11}\text{C}$  的半衰期为 20.5min。据院方提供信息, 本项目涉及的医用直线加速器电子束最大能量为 14MeV, 故在对加速器运营时所产生的放射性气体中, 只对  $^{13}\text{N}$  放射性气体作预测和分析。

加速运营中产生的  $^{13}\text{N}$  放射性气体系正电子( $\beta^+$ )核素,  $\beta^+$ 最大能量为 1.190MeV, 在空气中的射程为 3.52m。它均能与  $\beta^-$  发生“湮灭”反应而产生能量为 0.511MeV 的  $\gamma$  辐射。

加速器产生的  $^{13}\text{N}$  放射性弥散于工作室内, 可能使职业人员的皮肤受到  $\beta^+$  的浸没外照射; 而职业人员全身还可能受由湮灭反应而产生的  $\gamma$  射线外照射; 至于吸入  $^{13}\text{N}$  后, 也会对职业人员形成内照射。上述三种照射途径中, 由于  $^{13}\text{N}$  所致的内照射剂量因子在我国现行放射防护标准中均未列出, 相关文献也未见报导, 故本报告表不对吸入  $^{13}\text{N}$  所致内照射剂量作预测和分析。

$^{13}\text{N}$  的  $\beta^+$  湮灭反应产生的  $\gamma$  辐射所致辐射效属随机性效应, 其剂量约束值仍取职业人员个人年剂量限值的 3/10(6mSv); 而  $\beta^+$  浸没外照射所致职业人员的皮肤效应属确定性效应, 其剂量约束值也取年剂量限值 500mSv 的 3/10(150mSv)。

(1) 职业人员的全身浸没外照射剂量

弥散于工作室内的放射性气体所形成的浸没照射, 其剂量一般按半浸没模式进行估算。放射性气体所致全身外照射剂量  $H(\mu\text{Sv})$  可由下式算出:

$$H = \frac{KDQ Ee}{V(\lambda + N)^2} \cdot e^{-(\lambda+N)T} \cdot (1 - e^{-(\lambda+N)t}) \cdot (1 - e^{-(\lambda+N)t_1}) \dots\dots\dots(\text{式 11-13})$$

式中:

- K 为相关系数, 其值为  $8.16 \times 10^{-4}$ ;
- D: X 线的空气吸收剂量率, 200cGy/min;
- Q: 放射性气体产率与 X 线吸收剂量指数率(发射率)的比值, 偏保守取 1;
- Ee: 加速器的电子动能, 14MeV;
- V: 受污染气体体积, 取加速器工作室体积的 70%, 为  $276\text{m}^3$ ;
- $\lambda$ : 放射性气体的衰变常数,  $1.67 \times 10^{-3}\text{s}^{-1}$ ;
- N: 工作室内的通风换气次数,  $1.11 \times 10^{-3}\text{s}^{-1}$ ;
- T: 等待时间, 20s;
- t: 治疗(照射)时间, 300s;

预测结果为放射性气体产生的 $\gamma$ 射线致工作人员的全身外照射年剂量为2.26mSv。

## (2) 职业人员的皮肤外照射剂量

医用加速器工作室内 $^{13}\text{N}$ 致工作人员的皮肤外照射剂量仍用式11-6作近似估算，但相关系数K取值应分别为 $1.4 \times 10^{-2}$ ，估算结果为38.7mSv，未超过相应的剂量约束值150mSv。

加速器运营时，放射性气体致工作人员的全身和皮肤剂量，其所占份额分别为相应年剂量约束值的37.7%(全身)和25.8%(皮肤)。因此，能量大于10MeV的医用加速器工作时，放射性气体对职业人员的影响决不能忽视。其主要防治办法是增加换气频率和减少工作负荷，即可降低工作人员的剂量水平。

## 6、小结

本项目医用直线加速器工作时所致工作人员和公众剂量汇总见下表

表11-5 医用直线加速器工作时所致工作人员和公众剂量汇总表

剂量类型	工作人员年剂量 (mSv/a)	公众年剂量 (mSv/a)
X射线所致剂量	0.246	$2.12 \times 10^{-2}$
感生放射性外照射	2.26	/
总和	2.52	$2.12 \times 10^{-2}$
标准限值	6	0.3

由表11-5可知，本项目10MV直线加速器所致职业人员剂量最大值为2.52mSv/a，低于6mSv/a的约束限值；所致公众剂量最大值为 $2.12 \times 10^{-2}$ mSv/a，低于0.3mSv/a的约束限值。

## (二) 数字减影血管造影机

本项目涉及DSA布置于精神专科急性重症住院楼二楼放射科，额定参数为125kV/1000mA，常用参数为75kV/20mA，主射方向朝向下方。DSA在进行曝光时分为两种情况：

### ➤ 造影拍片过程

操作人员采取隔室操作的方式，医生通过控制室铅玻璃观察窗观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。在拍片过程中，医生位于控制室内，经机房各屏蔽体屏蔽后，对机房外（包括机房楼上区域）的公众和工作人员基本没有影响。

### ➤ 脉冲透视过程

为更清楚的了解病人情况，医生需进入DSA机房进行治疗时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅屏风后身着铅服、戴铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的手术操作。第二种情况是本次评价的重点。

根据《电离辐射剂量学》(李士骏编著) DSA脉冲透视过程操作对机房内的医师所造成的辐射剂量可按下式估算:

$$\dot{X} = I \cdot V_0 \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \cdot f \dots\dots\dots (式 11-14)$$

$$D = 8.73 \times 10^{-3} \text{g} \dot{X} \dots\dots\dots (式 11-15)$$

$$E = D \cdot W_R \cdot W_T \dots\dots\dots (式 11-16)$$

式中:

$\dot{X}$ : 离射线装置r处产生的照射量, R;

D: 离射线装置r处产生的空气吸收剂量, Gy;

I: 管电流 (mA);

$V_{r0}$ : 在给定的管电压和射线过滤情况下, 距射线装置 $r_0$  ( $r_0=1\text{m}$ ) 处, 由单位管电流 (1mA) 造成的照射量率,  $\text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;

r: 距离主射束距离, m;

f: 防护材料对X射线的减弱因子, 无量纲;

t: DSA血管造影的累计出束时间, min;

E: 参考点的有效剂量, Sv;

$W_R$ : 辐射权重因数, X射线为1;

$W_T$ : 组织权重因数, 全身为1。

根据医院提供资料, 综合考虑各种工况下DSA的管电流、管电压, 本次保守预测: 取常用的最大管电压 $U=70\text{kV}$ , 常用的最大管电流 $20\text{mA}$ 。医生操作位置位于距离主射束r约为 $0.3\text{m}$ , 助手的距离为 $1\text{m}$ 。本项目DSA过滤板采用 $3\text{mmAl}$ 。据此查得 $V_{r0}=0.23\text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。医生在手术室内操作时须穿铅衣、戴铅头套、铅眼镜、铅围脖等, 设定这些防护用品的有效铅当量厚度为 $1\text{mmPb}$ , 查《辐射防护手册》(第一分册)图10.5e,  $0.5\text{mmPb}$ 对 $75\text{kVX}$ 射线的减弱因子 $f=0.001$ 。由于医生不处于射线主射束方向, 仅位于X射线漏射束方向, 因此照射量率取主射束方向的1%进行计算。

#### (1) 机房内主刀医生和助手的辐射年剂量

医院使用DSA进行介入手术治疗的工作负荷约365人次/年, 平均每次进行手术采集时的有效开机时间约40s, 单台DSA年有效开机时间约为4.1h; 平均每次进行手术透视时的有效开机时间约为10min, 年有效开机时间约为61h。

本项目共配备了4名医师和2名助手，平均分配其工作时间的情况下，并考虑最大工作量情况下，最大工作量按每年365例治疗计算，将上述计算参数带入式11-14、式11-15和式11-16得，0.3m处医师受到的年有效剂量为1.63mSv/a，助手受到的年有效剂量为0.15mSv/a，能够满足本次评价职业人员剂量约束值6mSv/a。

(2) 机房外工作人员和公众的辐射年剂量

采用现场实测值并考虑居留因子进行预测评价，具体结果见表11-6

表11-6 DSA机房外工作人员和公众的辐射年剂量

机房名称	人员	预测点位	曝光剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	未曝光剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	附加辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	使用因子U	居留因子T	年累计剂量当量 (mSv)
DSA 机房	工作人员	观察窗	0.05	0.04	0.01	1/4	1	$1.53 \times 10^{-4}$
		污物通道屏蔽门	0.06	0.06	0	1/4	1/4	/
	公众	准备室屏蔽门	0.10	0.07	0.03	1/4	1/4	$1.14 \times 10^{-4}$

由上表的估算结果，评价认为医院的DSA机正常工作时产生的X射线经屏蔽后所致工作人员的年剂量最大值为 $1.53 \times 10^{-4}$ mSv，公众人员的年剂量最大值 $1.14 \times 10^{-4}$ mSv，均低于《电离辐射防护与放射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的剂量限值(20mSv/a、公众1mSv/a)和本报告提出的剂量约束值(6mSv/a、公众0.3mSv/a)。

上述关于机房内主治医师和助手的辐射工作情况以及机房外的辐射工作情况，以上两种情况不发生冲突，即辐射工作人员在机房内工作时不考虑机房外辐射剂量叠加。

(3) 小结

介入手术对机房内医护人员造成的X射线年辐射最大有效剂量为1.63mSv/a，介入手术对机房外辐射工作人员所致的辐射剂量最大值为 $1.53 \times 10^{-4}$ mSv/a，对机房外公众所致的辐射剂量最大值为 $1.14 \times 10^{-4}$ mSv/a，均低于《电离辐射防护与放射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求的剂量限值和本报告应该执行的剂量约束值。

3、介入治疗对医生和患者的辐射防护要求

介入治疗是一种解决临床疑难病的新方法，但介入治疗时X射线曝光量大，曝光时间长，距球管和散射体近，使介入治疗操作者受到大剂量的X射线照射。为了减少介入治疗时X射线对操作者和其他人员的影响，本评价提出以下几点要求：

➤ 介入治疗医生自身的辐射防护要求

- ①加强教育和培训工作，提高辐射安全文化素养，全面掌握辐射防护法规与技术知识；
- ②结合诊疗项目实际情况，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施；
- ③在介入手术期间，必

须穿戴个人防护用品，并佩带个人剂量计个人剂量报警仪；④定期维护DSA系统设备，制订和执行介入治疗的质量保证计划。

➤ 患者的辐射防护要求

①采用带有剂量测量系统的设备或购置测量仪器，在对放射剂量进行实时监测；严格执行国家标准GB18871-2002中规定的介入诊疗指导水平，保证患者的入射体表剂量率不超过100mGy/min。②选择最优化的检查参数，为保证影像质量可采用高电压、低电流、限制透视检查时间等措施。③采用剂量控制与分散措施，通过调整扫描架角度，移动扫描床等办法，分散患者的皮肤剂量，避免单一皮肤区域接受全部剂量。④将X线球管尽量远离患者，而将影像增强器尽量靠近患者。⑤作好患者非投照部位的保护工作。

(三) 其它III类医用射线装置

本项目涉及III类射线装置包括1台光子CT机和1台螺旋CT机、1台DR机、1台胃肠机、1台牙片机和1台模拟定位机。除模拟定位机外，其余射线装置均已建设完成并投入使用。因此，III类医用射线装置运行辐射环境影响采用现场实测值分析。预测结果见表11-7

表 11-7 III类射线装置机房外工作人员和公众的辐射年剂量

机房名称	人员	预测点位	曝光剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	未曝光剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	附加辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	使用因子U	居留因子T	有效出束时间 (h)	年累计剂量当量(mSv)
DR 机房	工作人员	控制走廊	0.07	0.06	0.01	1/4	1	1.4	$3.50 \times 10^{-6}$
		操作室入口	0.06	0.06	0	1/4	1		/
	公众	病患入口	0.10	0.06	0.04	1/4	1/4		$3.50 \times 10^{-6}$
胃肠 机房	工作人员	观察窗	0.09	0.06	0.03	1/4	1	61	$4.58 \times 10^{-4}$
		操作室入口	0.08	0.07	0.01	1/4	1		$1.53 \times 10^{-4}$
	公众	病患入口	0.09	0.07	0.02	1/4	1/4		$7.63 \times 10^{-5}$
螺旋 CT 机房	工作人员	观察窗	0.36	0.05	0.31	1/4	1	122	$9.46 \times 10^{-3}$
		操作室入口	0.63	0.04	0.59	1/4	1		$1.80 \times 10^{-2}$
	公众	病患入口	1.00	0.06	0.94	1/4	1/4		$7.17 \times 10^{-3}$
光子 CT 机房	工作人员	观察窗	0.16	0.06	0.10	1/4	1	852	$2.13 \times 10^{-2}$
		操作室入口	0.13	0.09	0.04	1/4	1		$8.52 \times 10^{-3}$
	公众	病患入口	0.22	0.10	0.12	1/4	1/4		$6.39 \times 10^{-3}$
牙片 机房	工作人员	观察窗	0.09	0.07	0.02	1/4	1	40.6	$2.03 \times 10^{-4}$
	公众	病患入口	0.10	0.07	0.03	1/4	1/4		$7.61 \times 10^{-5}$

由表 11-7 可知，Ⅲ类射线装置所致工作人员最大年有效剂量为  $2.13 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，所致公众最大年有效剂量为  $7.17 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，均小于《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值（20mSv/a、公众 1mSv/a）和本报告提出的剂量约束值（6mSv/a、公众 0.3mSv/a）。

综上所述，由于本项目拟用的Ⅲ类医用射线装置的辐射源强较小、出束时间短，因此在曝光时产生的 X 射线经机房墙体、防护门、窗、屋顶屏蔽后对外环境辐射影响很小。

#### （四）射线装置报废

X射线治疗机涉及报废时，必须进行去功能化（如拆解或者拆卸球管，把球管电线插头或接头剪断）。若X射线治疗机属于油浸式，拆解过程产生的废油应按照危险废物管理并委托资质单位处置。

## 二、运营期非放环境影响分析

### 1、臭氧影响分析

本项目医用电子直线加速器在使用过程中会产生臭氧、氮氧化物等非放射性污染因素。其中臭氧是主要的有害气体产物，且对人体的健康影响较大。下面对本项目医用电子直线加速器在使用过程中产生的臭氧的环境影响进行定量预测评价。

参照《辐射防护手册》（第三分册）（P130），电子加速器运行时臭氧的生成率按下式计算：

$$C_{O_3} = 48 \left[ \frac{C_{O_2} \cdot G \cdot \epsilon}{N_0} \right] S \cdot I \cdot d \dots\dots\dots \text{（式 11-17）}$$

式中，

$C_{O_3}$ ——臭氧生成率，g/s；

$C_{O_2}$ ——空气中氧的浓度系数，0.232；

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

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

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

$S$ ——电子在空气中的线碰撞阻止本领，与电子能量相关，10MeV 电子为 2.5keV/cm；

$I$ ——器外电子束流强度，mA；

$d$ ——电子在空气中运行的距离（或源皮距），m。

本项目电子加速器器外电子束流强度 I 按  $5 \times 10^{-3}$  mA 计；电子在空气中运行的距离（即源皮距）d 均按 1m 计。可由上式计算出本项目医用电子加速器运行时臭氧的生成率分别为：

10MV 电子加速器： $8.69 \times 10^{-3}$  mg/s。

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

$$C(p) = \frac{C_{O_3}}{\lambda + h} \dots\dots\dots \text{（式 11-18）}$$

式中：

C (p) ——治疗室内臭氧的平衡量，mg；

$C_{O_3}$ ——臭氧生成率，mg/s；

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

h——单位时间内治疗室换气次数， $s^{-1}$ 。

本项目医用电子加速器治疗室的通风换气次数按 4 次/h 计，即  $\lambda$  为  $1.11 \times 10^{-3} s^{-1}$ ，由此可计算出本项目医用电子加速器治疗室内臭氧的平衡量（即最大量）为 6.03mg。

本项目医用电子加速器治疗室体积为  $276 m^3$ ，假设臭氧在治疗室内均匀分布，则治疗室内臭氧最大浓度分别为  $0.022 mg/m^3$ 。

臭氧室内浓度限值按照《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ2.1-2007）控制 MAC（最高容许浓度），控制值为  $0.30 mg/m^3$ ；外环境质量执行 GB3095-2013《环境空气质量标准》二级标准，浓度限值  $0.20 mg/m^3$ 。因此，本项目医用电子加速器使用产生的臭氧在治疗室内浓度满足国家标准要求，外排对大气环境影响很小。

## 2、声环境影响分析

本项目使用的设备为低噪声设备，运行时基本无噪声产生或噪声很小，经建筑体隔声和距离衰减后，对项目所在区域声学环境影响较小。

## 3、水环境影响分析

本项目在运营期间产生的生活污水纳入医院污水处理系统处理达标后，排入市政污水管网，对所在地水环境影响甚微。

## 4、固体废弃物

①本项目采用数字成像，会根据病人的需要打印胶片，胶片打印出来后由病人带走并自行处理；②介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，采用专门的收

集容积集中回收后，转移至医疗废物暂存库，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由当地医疗废物处理机构定期统一回收处理；③工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院进行统一集中回收并交由环卫部门统一处理。

综上所述，本项目产生的固体废物经妥善处理对周围环境影响较小。

## 事故影响分析

### 1、事故等级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号），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 11-8 所示；

表 11-8 国务院令第 449 号辐射事故等级分级一览表

事故等级	危险结果
特别重大辐射事故	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	射线装置导致 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、局部器官致残。
较大辐射事故	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	射线装置失控导致人员收到超过年剂量限值的照射

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（从慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 11-9

表 11-9 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

根据表 11-8 和表 11-9，本项目涉及的医用直线加速器和数字减影血管造影机可能发生的辐射事故等级见表 11-10。

表 11-10 本项目射线装置的环境风险因子、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
医用直线加速器	X 射线	①放疗过程加速器运行时，无关人员误入治疗室，发生超剂量照射； ②维修直线加速器系统时，维修人员受到超剂量照射	导致人员受照射剂量超过年有效剂量限值	一般辐射事故
DSA	X 射线	①门灯连锁装置发生故障状况下，人员误入正在运行的射线装置机房。②病人家属或其它医护人员还未全部撤离机房，即进行曝光，人员受到不必要的照射。所受到的照射剂量与其所在位置有关，距离射线装置越近，受照剂量越大。③在防护门未关闭的情况下即进行曝光操作，可能给工作人员和周围活动的人员造成不必要的照射。④医护人员开展介入治疗时，未穿防护服进行手术操作受到射线照射。		一般辐射事故

## 2、事故工况下辐射影响分析

### (1) 医用直线加速器

#### ➤ 人员误入

##### ①事故情景

10MV 直线加速器以额定参数运行，主射束方向上距靶 1m 处的 X 射线剂量率为 2Gy/min；在加速器运行时有人误入加速器治疗室；误入人员位于加速器非主射束方向，在迷道内口处距靶 6m 处，无任何屏蔽措施，散射角以 60° 计算；事故持续时间按加速器一次治疗出束时间 5min 考虑。

##### ②剂量估算

散射线辐射剂量按计算公式 11-7 计算。

##### ③预测结果

经计算，在假设事故情景下，误入人员受照剂量为 1.65mSv/次。

在上述事故情景假设条件下，误入人员（公众）已受到超过年剂量限值的照射。

#### ➤ 维修加速器时，人员受意外照射

##### ①事故情景

设备维护人员在维护设备时，突然发现加速器正在处于出束状态，便立即离开中断点源；10MV 直线加速器以额定参数运行，主射束方向上距靶 1m 处的 X 射线剂量率为 2Gy/min；加速器系统上的指示灯和声音装置均失效；维护人员位于 X 射线主射束方向，距靶 1m 的地方，停留 12s，无任何屏蔽措施。

##### ②剂量估算

根据上述条件，计算得出维护人员受照射剂量为 0.4Gy/人·次，超过年剂量照射限值。

## (2) DSA

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。本项目涉及 1 台 DSA（II 类射线装置），其 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。

事故情况下，保守考虑，误入人员或病人在距离射线头 1m 处被误照射，机房内安装有“紧急止动按钮”，考虑受照射时间取 1min。通过理论计算在额定工况下 X 光机曝光 1 次所造成的照射量，见表 11-11。

表 11-11 本项目 DSA 辐射剂量率估算值

类别	工作电压	工作电流	估算值 (mGy/次)	
			直射	漏射
DSA	75kV	20mA	40.2	0.04

注：漏束照射，取直射量的 1%。

由表 11-11 可以看出，在无屏蔽的情况下，DSA 机房误入人员所受的 X 射线辐射剂量率最大为 40.2mSv/次，超过 GB18871-2002 中特殊情况下公众 5 个连续年的年平均剂量限值（1mSv）。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院 449 号令）规定，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，即构成一般辐射事故。本项目 DSA 机房内将安装“紧急止动”按钮，此外在对病人进行就诊时，医生应严格按照操作规范进行操作，发生辐射事故时，应立即启动应急预案。

## 3、事故防范措施

(1) 医院成立了放射防护管理委员会，负责全院辐射防护工作的监督、监测、检查、指导和管理；负责收集、整理、分析全院辐射防护的有关资料，掌握辐射防护的发展趋势，及时制定并采取防护措施；督促各有关科室人员采取有效的防护措施，合理使用个人防护用品，遵守个人防护守则，使个人辐射剂量保持在最低水平，并对放射工作人员建立健康档案，负责辐射防护的培训、咨询及技术指导。

(2) 医院制定了辐射事故预防措施及应急处理预案，包括了应急机构的设置与职责、应急响应程序、应急响应措施、条件保障等。

(3) 医院制定了辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、设备使用登记制度、操作规程等。

#### 4、应急措施

假若本项目发生了辐射事故，项目单位应迅速、有效的采取以下应急措施：

(1) 发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将病人撤出机房，关闭机房门，同时向医院主管领导报告。

(2) 医院根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

(3) 事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护主管部门和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(4) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目的正常运营，也保障了工作人员、公众的健康与安全。

**表 12 辐射安全管理**

<p><b>辐射安全与环境保护管理机构的设置</b></p> <p>项目单位建立有由放射科主任直接负责的放射防护与辐射安全管理组（附件4），小组成员由各放射科室负责人和多年从事放射性诊断治疗的骨干医师组成。</p> <p><b>1、组织机构</b></p> <p>主任：邓**</p> <p>副主任：李** 曾**</p> <p>成员：杨** 王** 罗** 杨** 尹**</p> <p>由邓**同志负责日常工作，全面负责医院内部放射性安全防护管理工作，负责培训教育放射工作人员，宣传放射防护知识，监督执行放射诊疗管理规定，检查放射机器设备及其场所环境，及时排除放射故障和安全隐患。</p> <p><b>2、职责</b></p> <p>①贯彻执行国家环境安全应急工作的方针、政策，制定、完善医院辐射安全与环境污染管理制度；</p> <p>②负责医院辐射安全与环境污染管理体系建设，研究制定突发重大事故应急预案；</p> <p>③负责医院辐射安全与环境安全预防、预警和应急能力建设，落实风险评估、隐患排查、事故预警和应急处置工作机制；</p> <p>④负责组织医院突发环境事件的处置工作；</p> <p>⑤协调各科室应急行动，指导医院突发环境事件应急工作；</p> <p>⑥组织开展医院辐射安全与环境安全宣传教育工作。</p> <p><b>评价要求：</b>建设单位应对放射防护与辐射安全管理组进行调整，由医院法人代表作为机构第一责任人，并结合最新法律法规要求对放射防护与辐射安全管理组人员职责进行细化完善。</p>
<p><b>辐射安全管理规则制度</b></p> <p><b>1、规章制度</b></p> <p>目前，项目单位制定的管理制度分为以下几类</p> <p>（1）放射工作人员相关制度</p> <p>医院已制定放射工作人员相关制度包括《放射工作人员个人剂量监测管理制度》、《放</p>

射工作人员职业健康管理制度》、《放射工作人员培训管理制度》。

### (2) 设备相关制度

医院已制定设备相关制度包括《放射诊疗设备的使用管理制度》、《放射治疗设备维护维修制度》。

### (3) 放射科相关制度

医院已制定放射科相关制度包括《放射科工作制度》、《放射科防护安全管理制度》、《放射科诊断报告工作制度》、《放射科透视室工作制度》、《放射科摄片工作制度》、《放射科登记室工作制度》。

### (3) 放疗科相关制度

医院已制定放疗科相关制度包括《放射治疗科工作制度》、《放射治疗科防护安全管理制度》、《放射治疗病人管理制度》、《放射治疗工作流程》、《放射治疗病人须知》、《放射治疗科放射事故应急措施》。

综上所述，医院在放射工作人员管理、设备管理、放射科管理和放疗科管理等方面制定有完善的制度。**评价要求：建设单位应建立放射场所监测制度。**

## 2、射线装置使用能力综合评价

根据中华人民共和国国务院第449号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线专职安全和防护管理办法》（环境保护部第18号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部第3号令）以及四川省环境保护厅《关于X射线探伤装置的辐射安全要求》（川环发[2007]42号）等文件中关于使用射线装置单位条件的相关规定，对广元市精神卫生中心射线装置使用 and 安全管理综合能力逐一体现，具体情况如下表12-1、12-2。

与环保部令第3号令《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第3号）“第十六条”和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查指南》，建设单位需具备的辐射安全管理基本要求如下表：

表 12-1 建设单位辐射安全管理基本要求汇总对照分析表

序号	放射性同位素与射线装置安全许可管理办法	实际情况	环评要求
1	从事生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应持有有效的辐射安全许可证。	持有四川省环保厅颁发的辐射安全许可证：川环辐证[09002]，有限期限截止2018年9月29日，种类范围为使用Ⅲ类射线装置。	辐射安全许可证需对本次涉及的射线装置进行更新
2	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；	机构已设置	/
3	从事辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	射线装置操作人员均参加了四川省环保厅举办的辐射安全与防护培训和考核。	新增人员须参加省环保厅组织辐射安全与防护培训，考试合格并持证上岗。
4	放射性同位素与射线装置使用场所防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	已设置电离辐射警告标志、辐照装置指示灯、门灯联锁装置、紧急制动装置等安全措施。	定期检查辐射安全措施，以确保辐射安全系统运行良好。
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	已配备	定期对检测设备进行剂量检定
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	已制定	/
7	有完善的辐射事故应急措施。	已制定	/

(2) 本项目涉及Ⅱ、Ⅲ类射线装置的辐射防护措施，其现场《辐射安全与防护监督检查技术程序》对比分析。

表 12-2 医用电子直线加速器辐射安全防护设施和管理制度对照分析表

项目	落实情况	要求
<b>辐射安全防护设施</b>		
控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	已设计 /
	控制台有紧急停机按钮	已设计 /
	电视监控与对讲系统	已设计 /
	治疗室门与束流联锁	已设计 /
	治疗室内准备出束音响提示	已设计 /
警示装置	入口电离辐射警示标志	已设计 /
	入口有加速器工作状态显示	已设计 /
照射室紧急设施	紧急开门按钮	已设计 /
	紧急照明或独立通道照明系统	已设计 /

	治疗床有紧急停机按钮	已设计	/
监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪	已设计	/
	便携式辐射监测仪器仪表	已设计	/
	个人剂量报警仪	已设计	/
	个人剂量计	已设计	/
其它	治疗室门防夹人装置	已设计	/
	通风系统	已设计	/
	火灾报警仪	已设计	/
	灭火器材	已设计	/
<b>管理制度</b>			
综合	辐射安全管理规定	已制定	/
场所设施	操作规程	需制定	/
	辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等）	需完善	/
监测	监测方案	需补充	/
	监测仪表使用与校验管理制度	需补充	/
	校验源管理制度	需补充	/
人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已制定	/
	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定	/
应急	辐射事故应急预案	已制定	/
三废	放射性“三废”管理规定	需补充	/

表 12-3 数字减影血管造影（DSA）设施、措施和辐射管理制度对照分析表

项目		落实情况	要求
<b>辐射安全防护设施与运行</b>			
场所设施	操作位局部屏蔽防护设施	已有	/
	医护人员的个人防护	已有	/
	患者防护	已有	/
	观察窗屏蔽	已有	/
	机房防护门窗	已有	/
	通风设施	已有	/
	入口处电离辐射警告标识	已有	/
	入口处机器工作状态显示	已有	/
监测设备	辐射水平监测仪表	/	/
	个人剂量计	已有	/
<b>管理制度</b>			
综合	辐射安全管理规定	已有	/
场所设施	操作规程	已有	/
	辐射安全防护设施的维护与维修制度	已有	/
监测	监测方案	已有	/
	监测仪表使用与校验管理制度	/	/
人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已有	/
	辐射工作人员个人剂量管理制度	已有	/

表 12-4 III类医用射线装置设施、措施和辐射管理制度对照分析表

项目		落实情况	要求
<b>辐射安全防护设施与运行</b>			
场所设施	隔室操作或防护屏	已有	为隔室操作
	观察窗防护	已有	/
	门窗防护	已有	/
	候诊位设置合理或有合适的防护	已有	/
	辅助防护用品	已有	/
	通风设施	已有	/
	入口处电离辐射警示标志	已有	/
	入口处机器工作状态显示	已有	/
其它	个人剂量计	已有	/
	灭火器材	已有	/
<b>管理制度</b>			
综合	辐射安全管理规定	已有	/
场所设施	操作规程	已有	/
	辐射安全防护设施的维护与维修制度	已有	/
监测	监测方案	已有	/。
	监测仪表使用与校验管理制度	/	
人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已有	/
	辐射工作人员个人剂量管理制度	已有	/
	X线诊断中受检者防护规定	已有	/
应急	辐射事故应急预案	已有	/

本报告认为医院具有开展本项目的能力。

### 辐射监测

本项目辐射防护监测包括个人剂量监测和工作场所的外照监测。

#### (1) 个人剂量监测

为测量本项目辐射工作人员（医用射线装置操作人员）在一段时间的受照剂量，借以限制辐射工作人员的剂量当量和评价工作场所的安全情况，项目单位为本项目辐射工作人员均配个人剂量计并进行个人剂量监测（外照射个人剂量监测）。医院设有专人负责个人剂量监测管理（每季度由四川省疾控中心检测一次），并建有辐射工作人员个人剂量档案。本项目辐射工作人员为医院现有辐射人员中抽调，已经配备个人剂量计，和完整的辐射工作个人剂量档案。

根据GB18871-2002 要求，辐射工作人员在开展放射性诊疗工作期间，必须佩带由医院配发的个人剂量计；当某辐射工作人员在某一季度所受的辐照剂量超过1.5mSv，则医院应

核实，查找原因，采取相应的干预控制计划，避免职业人员年剂量超标。

### (2) 工作场所监测

为判断辐射工作人员在工作场所的安全程度，检查辐射场所屏蔽防护的效能，项目单位拟定期对各辐射场所外环境开展自行监测，同时定期委托有相应监测资质单位对各辐射场所外环境进行监测。

本次评价对医用电子直线加速器、数字减影血管造影机及其他III类射线装置工作场所的监测建议采用表12-5辐射监测方案。

**表12-5 工作场所辐射监测方案**

监测点位	监测项目	监测频次	
		委托监测	自行监测
射线装置机房防护门及缝隙处，候诊区、控制室、观察窗等以及机房四周屏蔽墙外（包括楼上和楼下区域）	X- $\gamma$ 空气吸收剂量率	1次/年	1次/季

### (3) 环境监测

环境监测主要针对50m范围内的环境保护目标，具体监测计划见下表

**表12-6 环境监测计划表**

科室名称	监测点位名称	方位及距离	监测项目	监测频次	监测单位
放疗科	医院住宿楼	北面30m	X- $\gamma$ 辐射监测仪	1次/年	委托监测或自行监测
放射科	居民楼	东面30m	X- $\gamma$ 辐射监测仪	1次/年	委托监测或自行监测

## 辐射事故应急

医院已制定了《辐射事故应急预案》，内容包括：应急组织体系和职责；应急仪器、设备；放射事故的应急响应工作程序（事故的处置程序、事故的处置措施）；应急终止和恢复。

环评认为，项目单位结合实际情况，按照保护部令第18号规定的预案内容，应在现有源内容的基础上，补充应急成员的联系电话、补充辐射事故分级与应急响应措施、补充辐射事故调查和处理程序、完善事故报告程序、补充辐射事故信息公开、公众宣传方案。修改后的预案应满足本项目在运行期间可能发生辐射事故的应急需要，且要具有针对性和可操作性，在此基础上，本项目的辐射事故应急预案是可行的。

## 环境影响评价信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，方便公民、法人和其他组织获取环境保护主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公开力度。依据国家环境保护部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》（试行）的规定：建设单位在向环境主管部门提交建设项目环境影响评价报告书、表以前，应依法、主动公开建设项目环境影响评价报告书、表的全本信息；各级环境保护主管部门在受理建设项目环境影响报告表后应将主动公开的环境影响评价政府信息，通过本部门政府网站向社会公开受理情况，征求公众意见。



**表 13 结论与建议**

**结论**

**1、项目概况**

**项目名称：**医用射线装置新增及搬迁建设项目

**建设单位：**广元市精神卫生中心

**建设地点：**四川省广元市经开区利州西路二段 92 号

**建设性质：**改扩建

**建设内容及规模：**本项目位于四川省广元市经开区利州西路二段 92 号广元市精神卫生中心内，涉及搬迁医用射线装置 2 台，新增医用射线装置 6 台。

搬迁内容为：①将门诊大楼一楼的 1 台 VX3733-SYS 型 DR 机搬迁至精神专科急性重症住院楼一楼；②将门诊大楼一楼的 1 台 SOMATOM 型螺旋 CT 机搬迁至精神专科急性重症住院楼二楼。

新增内容为：①新购置 1 台 Sufire plus 型胃肠机安置于精神专科急性重症住院楼一楼；②新增 1 台 definitionedge 型光子 CT 机安置于精神专科急性重症住院楼一楼；③新增 1 台 NSD-III 型牙片机安置于精神专科急性重症住院楼一楼放射科；④新增 1 台 Artis zee/zeego 型 DSA 安置于精神专科急性重症住院楼二楼；⑤新增 1 台 AccStar(ZXD)型医用电子直线加速器安置于精神专科急性重症住院楼北侧地下一层放疗科；⑥新增 1 台 TWM-I 型模拟定位机安置于精神专科急性重症住院楼北侧地下一层放疗科。

项目总投资 500 万元，其中环保投资 104 万元，占总投资 20.8%。

**2、产业政策符合性**

根据《产业结构调整指导目录（2011 年本）（修正）》（国家发展改革委 2013 年第 21 号令），本项目属鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，符合国家产业政策。

**3、选址及总平面布置合理性**

本项目位于广元市精神卫生中心院内，医院周围为居民文教医疗商业区，交通便捷，能为周围居民提供方便的就医设施。本项目涉及的胃肠机、DR 机、光子 CT 机和牙片机均位于精神专科急性重症住院楼一楼放射科，DSA 和螺旋 CT 机位于精神专科急性重症住院楼二楼，医用直线加速器和模拟定位机位于精神专科急性重症住院楼北侧 25m 地下一层放疗科，各医用射线装置选址相对独立，为专门的放射性工作场所，通过采取相应的屏蔽措

施后对周围的环境影响较小，其选址及平面布置合理。

#### 4、区域环境质量现状评价结论

根据监测结果，本项目涉及射线装置在未曝光时场所的 X- $\gamma$  辐射空气吸收剂量率测量值在 40~100nGy/h 之间。与广元地区室内天然辐射水平相比较，项目区域射 X- $\gamma$  辐射剂量率与广元地区室内的 X- $\gamma$  辐射剂量率水平相当。

#### 5、正常运行工况下的辐射影响分析

本项目 10MV 直线加速器所致职业人员剂量最大值为 2.51mSv/a，低于 6mSv/a 的约束限值；所致公众剂量最大值为  $2.12 \times 10^{-2}$ mSv/a，低于 0.3mSv/a 的约束限值。

介入手术对机房内医护人员造成的 X 射线年辐射有效剂量为 1.63mSv/a，介入手术对机房外辐射工作人员所致的辐射剂量最大值为  $1.53 \times 10^{-4}$ mSv/a，对机房外公众所致的辐射剂量最大值为  $1.14 \times 10^{-4}$ mSv/a，均低于《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的剂量限值和本报告应该执行的剂量约束值。

III类射线装置所致工作人员最大年有效剂量为  $2.13 \times 10^{-2}$ mSv，所致公众最大年有效剂量为  $7.17 \times 10^{-3}$ mSv，均小于《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值（20mSv/a、公众 1mSv/a）和本报告提出的剂量约束值（6mSv/a、公众 0.3mSv/a）。

#### 6、辐射事故影响评价分析

经预测，假若本项目发生辐射事故，则最大的事故等级为一般辐射事故。环评认为，项目单位按相关规定和本环评要求，制定具有可操作性和可行性的《辐射事故应急预案》之后，可适用于本项目单位发生的辐射事故的应急处置。

#### 7、射线装置使用与安全管理的综合分析

广元市精神卫生中心拥有专业的放射性医护人员和安全管理机构，有符合国家环境保护标准、职业卫生标准和安全防护要求的场所、设施和设备；建立了较完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；具有对 II、III类射线装置的使用和管理能力。

#### 8、项目环境可行性结论

本项目符合国家产业政策，项目平面布置合理。在落实本报告提出的各项环保及辐射防护措施后，使用射线装置产生的电离辐射及其他污染物排放可以满足国家相关标准的要求，辐射工作人员和公众照射剂量满足国家规定的年有效剂量限值和本评价采用的剂量约束值。项目的建设从环境保护和辐射环境安全的角度而言是可行的。

## 建议与承诺

### 1、要求

(1) 认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

(2) 在实施诊治之前，应事先告知患者或被检查者辐射对健康的潜在影响；应注意对陪护者的防护，使其在陪护患者的全程诊治中，所受的辐射剂量做到最小化。

(3) 定期开展场所和环境的辐射监测，据此对所用的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，并于每年 1 月 31 日前上报省环保厅，报送内容包括：①辐射安全和防护设施的运行与维护情况；②辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；③辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；④场所辐射环境监测报告和个人剂量监测情况监测数据；⑤辐射事故及应急响应情况；⑥存在的安全隐患及其整改情况；⑦其他有关法律、法规规定的落实情况。

(4) 一旦发生辐射安全事故，立即启动应急预案并及时报告上级主管单位和四川省环保厅。

### 2、建议

①不断提高工作人员素质，增强辐射防护意识，尽量避免发生意外事故。

②定期进行事故应急演练，检验应急预案的可行性、可靠性、可操作性，不断的完善事故应急预案；

③根据国家及地方最新出台的法律法规，对公司辐射相关制度进行更新完善。

