

核技术利用建设项目

使用 II 类射线装置项目  
环境影响报告表

首都医科大学附属北京同仁医院

二〇一七年十一月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

使用 II 类射线装置项目  
环境影响报告表

建设单位名称：首都医科大学附属北京同仁医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市东城区东交民巷 1 号

邮政编码：100730

联系人：梁伟仪

电子邮箱：trkjaxmztgc@126.com

联系电话：13501358357



项目名称: 使用 II 类射线装置项目

评价单位: 核工业北京化工冶金研究院 (签章)

法定代表人: 曾毅君 (签章)

环评项目负责人: 周磊

编制人员情况				
姓名	职称	证书编号	负责章节	签名
周磊	工程师	A105902311	项目基本情况	
			辐射安全管理	
			环境影响分析	
			结论与建议	
颜秀灵	工程师	A105902410	非密封放射性物质、射线装置	
			环境质量和辐射现状	
			废弃物与辐射安全与防护	
高洁	高工	A10590131200	评价依据	
			保护目标与评价标准	
			项目工程分析与源项	
			审核	
李先杰	研高	A105902211	审定	

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试，取得注册核安全工程师的执业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Nuclear Safety Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security  
The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection  
The People's Republic of China

编号: HA 00002981  
No.



持证人签名:  
Signature of the Bearer

管理号:  
File No.

姓名:

Full Name 周磊

性别:

Sex 男

出生年月:

Date of Birth 1984年1月

专业类别:

Professional Type

批准日期:

Approval Date 2013年9月8日

签发单位盖章:

Issued by

签发日期: 2014年1月24日

Issued on



360安全浏览器 7.1

http://datacenter.mep.gov.cn/hpzcx/query.do?talbeName=Hpgcs&new=true

文件 查看 收藏 工具 帮助

收藏 手机收藏夹 谷歌 网址大全 游戏中心 Links Links fo MSN 网 Window Radon 主页 中 培训信息 NRC: St 青岛市广

保持浏览 环境影响评价网\_百度搜索 中国环境影响评价网 中华人民共和国环境保护部-政 中国环境影响评价网 用户注册

## 中华人民共和国环境保护部 数据中心

Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China

2016年01月20日 星期三 9:34

您的位置: 首页 -> 数据中心 -> 环境影响评价工程师查询 [返回数据中心](#)

所在省:  姓名:  登记证号:  登记类别:

有效期截止日期:  登记单位:  职业资格证书号:

### 环境影响评价工程师

序号	姓名	登记单位	登记证号	登记类别	登记有效期起 始日期	登记有效期终 止日期	职业资格证书号	诚信信息
1	周磊	核工业北京化工冶金研究院	A105902311	核工业	2015-12-15	2018-12-15	00017700	

记录总数: 1 总页数: 1 每页记录数: 30 [首页](#) [上一页](#) [下一页](#) [末页](#)

 主 办: 中华人民共和国环境保护部  
技术支持: 中华人民共和国环境保护部信息中心

通讯地址: 北京市西城区西直门南小街115号  
邮 编: 100035

备案编号: 京ICP备05009122号

今日推荐 http://www.chinaeic.net/

360安全浏览器 加速 下载 100%

9:34 2016/1/20

## 目 录

表 1 项目基本情况 .....	- 1 -
表 2 放射源 .....	- 8 -
表 3 非密封性放射性物质 .....	- 8 -
表 4 射线装置 .....	- 9 -
表 5 废弃物 ( 重点是放射性废弃物 ) .....	- 10 -
表 6 评价依据 .....	- 11 -
表 7 保护目标与评价标准 .....	- 13 -
表 8 环境质量和辐射现状 .....	- 15 -
表 9 项目工程分析与源项 .....	- 17 -
表 10 辐射安全与防护 .....	- 22 -
表 11 环境影响分析 .....	- 28 -
表 12 辐射安全管理 .....	- 51 -
表 13 结论与建议 .....	- 60 -
表 14 审批 .....	- 62 -

## 附件

附件一 项目委托合同

附件二 医院房屋产权证与医疗综合楼规划许可证

附件三 辐射安全许可证

附件四 环保批复及验收情况

附件五 放射性工作场所检测报告

附件六 个人剂量监测（2016）

## 附图

附图 1 北京同仁医院南区地理位置图

附图 2 北京同仁医院南区平面布置图

附图 3 加速器机房平面布置图及路径规划图

附图 4 DSA 机房平面布置图及路径规划图

附图 5 加速器机房日常监测点位图

附图 6 DSA 机房日常监测点位图

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		使用 II 类射线装置项目			
建设单位		首都医科大学附属北京同仁医院			
法人代表	王宁利	联系人	梁伟仪	联系电话	13501358357
注册地址		北京市东城区东交民巷 1 号			
项目建设地点		北京经济技术开发区西环南路 2 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	13189.6	项目环保投资 (万元)	1184.2	投资比例 (环保投资/总投资)	8.97%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			建筑面积 (m <sup>2</sup> )	429.78
使用类型	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 type="checkbox"/> III 类		
	其它	/			
<b>1 项目概述</b>					
<b>1.1 医院概述</b>					
<p>首都医科大学附属北京同仁医院 (以下简称“北京同仁医院”) 创建于 1886 年, 是一所以眼科、耳鼻咽喉科、心血管科为重点, 集医疗、教学、科研、预防任务于一体, 具有鲜明特色和学科优势的综合性三级甲等医院, 为首都医科大学第四临床医学院。</p> <p>医院现有三个院区, 东区位于东城区崇文门内大街 8 号; 西区位于东城区东交民巷 1 号; 南区位于北京经济技术开发区西环南路 2 号。全院编制床位 1759 张 (西区 859 张、东区 300 张、南区 600 张), 实际开放病床 1602 张 (西区 767 张、东区 282 张、南区 553 张), 设有 57 个临床和基础科室。现有职工 3364</p>					

人，副教授及以上相应职称者 496 人。2016 年三院区总门诊量达到 253.1 万人，日均门急诊量 10194 人次，年出院病人超过 5.6 万人次，年手术约 10.1 万例，病床使用率 92.54%。2016 年南区总门急诊量达到 63.1 万人，日均门急诊量 2336 人次，年出院病人约 2.1 万人次，年手术 1.8 万余例，病床使用率 95.4%。

医院三个院区总占地面积 12.8 万平方米，总建筑面积 18.21 万平方米，其中西区 72244 平方米、东区 36274 平方米、南区 73582 平方米。本次核技术应用项目均位于医院南区。

## 1.2 项目建设规模

随着社会经济的不断发展，人们对医疗保健意识不断提高，为加强医院南区的医疗技术力量，医院拟引进一批医用射线装置，用于开展医学疾病的诊断和治疗。本次医院拟引进的设备为 II 类射线装置：10MeV 直线加速器 2 台、数字减影血管造影机（以下简称“DSA”）3 台，本次环评情况详见表 1.1。

表 1.1 本期环评项目清单

序号	射线装置名称	数量/台	主要技术参数		射线装置类别	所处位置
1	直线加速器	2	10MV, 2400cGy/min		II 类	医疗综合楼地下一层
2	DSA	3	125kV	1000mA	II 类	医疗综合楼三层

注：潜在的加速器供应商为医科达与瓦里安，加速器的主要技术参数考虑了两家厂商的最大技术参数。

## 1.3 评价目的

(1) 对该医院核技术应用项目进行环境影响预评价，以掌握其运行后机房周围的辐射水平。

(2) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

(3) 满足国家和地方环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求，为该项目的辐射环境管理提供科学依据。

## 1.4 任务由来

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）和《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（环境保护部令第 3 号）的规定，使用 II 类射线装置应当组织编制环境影响报告表。受北

京同仁医院的委托，核工业北京化工冶金院承担了本项目的辐射环境影响评价工作（合同见附件一）。接到委托后，我单位组织相关人员对现场进行了调查、监测和资料收集工作，编写完成本核技术利用项目环境影响报告表。

## 2 建设项目周围环境简况

### 2.1 医院外环境关系

北京同仁医院现有三个院区，东区位于东城区崇文门内大街 8 号；西区位于东城区东交民巷 1 号；南区位于北京经济技术开发区西环南路 2 号。本次核技术应用项目均位于医院南区，其地理位置图见图 1-1（附图 1）。同仁医院南区南临西环路，北为景园北街，东临景园南街，西为荣昌西街。单位房屋产权证和本次医疗综合楼规划许可证见附件二。

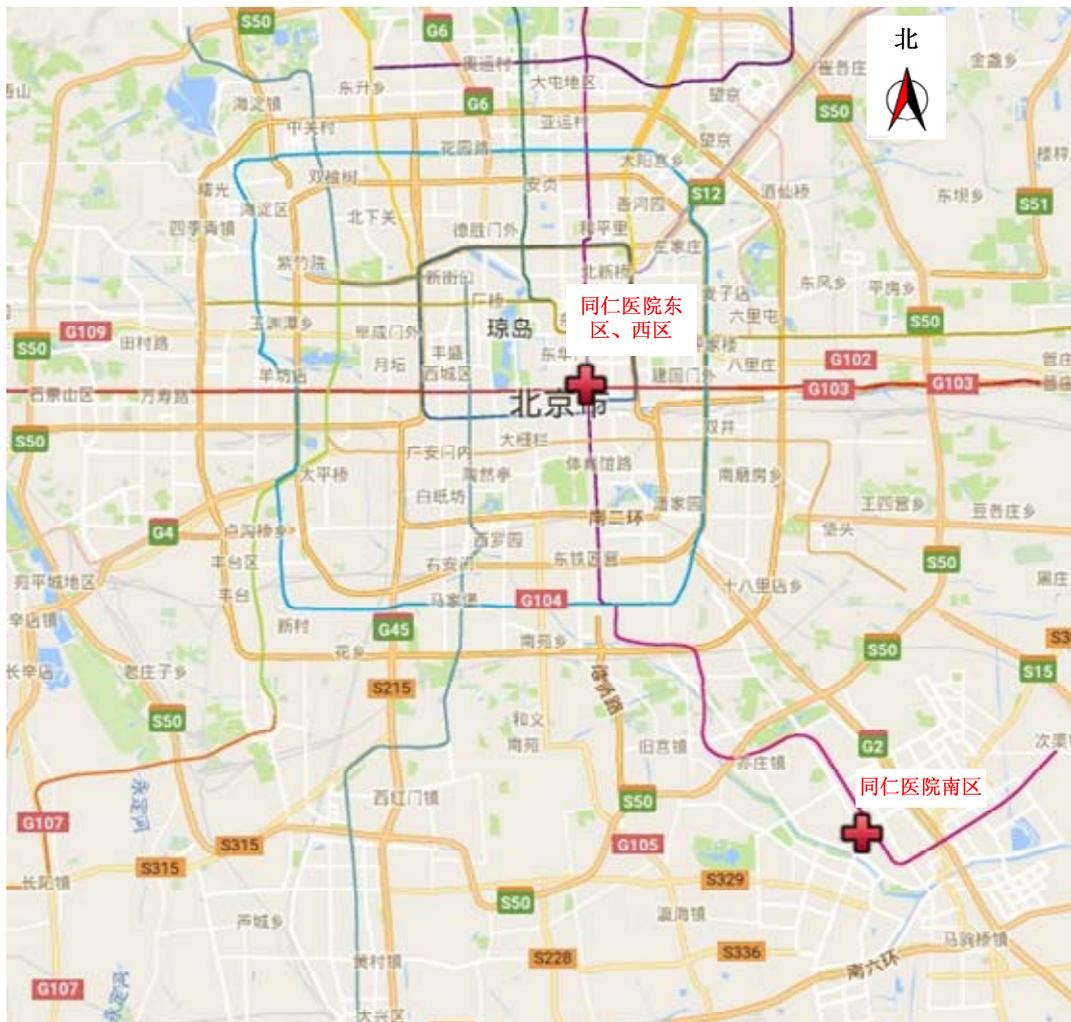


图 1-1 医院地理位置图

### 2.2 项目所在建筑物外环境关系

本项目所涉及到的射线装置都位于拟建的医疗综合楼内，具体分布见表 1.1，

拟建的医疗综合楼位于医院中部，其南侧为病房楼、门急诊综合楼，北侧为医院内绿地和停车场，东为景园南街，西为荣昌西街。医院平面布置图见图 1-2（附图 2）。



图 1-2 同仁医院南区平面布置图

### 2.3 辐射工作场所外环境关系

直线加速器机房位于医疗综合楼地下一层东南角放疗科，两个直线加速器机房相对布置，共用迷路外墙，机房西侧 7 米为餐厅，北侧为控制室、候诊区及模拟定位机房，东侧为地下土层，南侧为土层，西南侧为通道，楼上为广场，无楼下（加速器机房下方为地下土层）。数字减影血管造影机房位于医疗综合楼三层西侧，机房周围为设备机房，控制室，候诊区，楼上为手术室（移动 DR 机房），楼下为大厅。

各射线装置四邻关系见表 1.2，平面布置图见附图 3 和 4。

表 1.2 直线加速器、DSA 机房四邻关系

序号	射线装置名称	东	南	西	北	楼上	楼下	所处位置
1	直线加速器 1#	2#加速器机房	土层	通道、餐厅	控制室、候诊区	广场	土层	医疗综合楼地下一层
2	直线加速器 2#	地下土层	土层	1#加速器机房	控制室、候诊区	广场	土层	医疗综合楼地下一层
3	DSA1#	通道、DSA2#	控制室	空调机房	悬空	手术室	大厅	医疗综合楼三层
4	DSA2#	污物间	控制室	通道、DSA1#	清洁走廊	手术室	大厅	医疗综合楼三层
5	DSA3#	设备间	通道	换鞋、通道	控制室	手术室	大厅	医疗综合楼三层

### 2.4 项目周边保护目标

本项目的环境保护目标为该医院从事诊断和治疗的医务人员、辐射工作场所周围其他非辐射工作人员、医院周围活动的公众成员。

### 3 原有核技术应用项目许可情况

北京同仁医院（三个院区）持有北京市环保局颁发的辐射安全许可证，证书编号为：京环辐证[A0018]，批准使用的种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2019 年 6 月 22 日，见附件三。北京同仁医院现使用放射性同位素 6 种，非密封工作场所三处（乙级 1 处、丙级 2 处），使用射线装置 41 台（3 台 II 类，38 台 III 类），详见表 1.3、1.4。北京同仁医院近年来履行环保手续情况见表 1.5。

表 1.3 同仁医院现有非密封放射性物质使用情况汇总表

工作场所名称及地址	级别	核素
西区急诊楼地下一层核医学科	乙级	$^{99m}\text{Tc}$
		$^{125}\text{I}$ 粒子
		$^{131}\text{I}$
		$^{201}\text{Tl}$
		$^{67}\text{Ga}$
		$^{89}\text{Sr}$
西区手术室（泌尿外科）	丙级	$^{125}\text{I}$ 粒子
南区手术室（眼科）	丙级	$^{125}\text{I}$ 粒子

表 1.4 同仁医院现有射线装置汇总表

工作场所名称及地址	设备名称	类别	数量/台
西区放射科	骨密度（双能）	Ⅲ类	1
	床旁（DR）	Ⅲ类	1
	胃肠造影（DR）	Ⅲ类	1
	医用 X 射线机（DR）	Ⅲ类	4
	乳腺 X 射线机（DR）	Ⅲ类	1
	螺旋 CT（64 排）	Ⅲ类	1
	床旁（DR）	Ⅲ类	2
西区急诊放射科	螺旋 CT（16 排）	Ⅲ类	1
	胃肠造影（DR）	Ⅲ类	1
	医用 X 射线机（DR）	Ⅲ类	1
西区核医学科	SPECT-CT	Ⅲ类	1
西区口腔科	牙科 X 射线机（DR）	Ⅲ类	1
	牙科 X 射线机（曲 DR）	Ⅲ类	1
西区内窥镜中心	胃肠造影（CR）	Ⅲ类	1
西区碎石中心	碎石机	Ⅲ类	1
西区手术室（骨科）	C 型臂（DR）	Ⅲ类	1
西区手术室（普外科）	移动式 C 型臂	Ⅲ类	1
西区导管室	DSA	Ⅱ类	2
南区放射科	螺旋 CT（128 排）	Ⅲ类	1
	乳腺 X 射线机（DR）	Ⅲ类	1
	医用 X 射线机（DR）	Ⅲ类	2
	胃肠造影（CR）	Ⅲ类	1
	螺旋 CT（16 排）	Ⅲ类	1
	床旁（DR）	Ⅲ类	2
南区导管室	DSA	Ⅱ类	1
南区手术室（骨科）	C 型臂（DR）	Ⅲ类	1
南区碎石中心	碎石机	Ⅲ类	1
南区口腔科	牙科 X 射线机（DR）	Ⅲ类	1
	牙科 X 射线机（曲 DR）	Ⅲ类	1
东区放射科	医用 X 射线机（DR）	Ⅲ类	2
	双源 CT	Ⅲ类	1
	床旁	Ⅲ类	1
东区口腔科	牙科 X 射线机（DR）	Ⅲ类	1

表 1.5 北京同仁医院环保手续履行情况汇总表

序号	项目时间	项目名称	环评批复及时间	验收批复及时间	备注
1	2012年	核医学科改造及使用射线装置项目环境影响报告表	京环审 [2012]275号 2012年7月	京环验 [2015]95号 2015年3月3日	已完成竣工环保验收
2	2013年	放射性同位素增量及移动使用床旁机项目环境影响报告表	京环审 [2013]444号 2013年11月	京环验 [2015]108号 2015年3月12日	已完成竣工环保验收
3	2014年	更新及新增II类医用X射线装置项目环境影响报告表	京环审 [2014]284号 2014年7月	京环验 [2015]129号 2015年4月8日	已完成竣工环保验收
4	2015年	使用III类射线装置项目环境影响登记表	京环审 [2015]56号 2015年2月	京环验 [2015]98号 2015年4月8日	已完成(第一阶段4台)竣工环保验收
5	2015年	使用III类射线装置项目环境影响登记表	京环审 [2015]268号 2015年6月	京环验 [2015]265号 2015年8月28日	已完成竣工环保验收
6	2015年	使用放射性同位素和射线装置环境影响报告表	京环审 [2015]272号 2015年6月	/	建设中

注：验收批复及环评批复见附件四

**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：放射源放射性中子源，对其说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

**表 3 非密封性放射性物质**

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：日等效操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

**表 4 射线装置**

(一)加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量(MV)	额定电流(mA)/剂量率(Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子直线加速器	II类	1台	待定	电子	10	≤2400cGy/min	肿瘤治疗	医疗综合楼地下一层	/
2	电子直线加速器	II类	1台	待定	电子	10	≤2400cGy/min	肿瘤治疗	医疗综合楼地下一层	/

(二)X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、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	DSA	II类	1	待定	125kV	1000mA	介入手术	医疗综合楼三层	/
2	DSA	II类	1	待定	125kV	1000mA	介入手术	医疗综合楼三层	/
3	DSA	II类	1	待定	125kV	1000mA	介入手术	医疗综合楼三层	/

(三)中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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



表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2016 年 9 月 1 日起实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令第 449 号，2005 年 12 月 1 日起实施，2014 年 7 月 29 日修订；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(6) 关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定，环保部令第 3 号，2008 年 12 月 6 日起实施；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，中华人民共和国环境保护部令第 44 号，2017 年 9 月 1 日起实施；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令），2011 年 5 月 1 日起实施；</p> <p>(9) 《关于发布射线装置分类办法的公告》，原国家环境保护总局公告，2006 年 5 月 30 日起实施；</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《环境影响评价技术导则 总则》（HJ 2.1-2011）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》，HJ10.1-2016；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(4) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）；</p> <p>(5) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；</p> <p>(6) 《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>(7) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）；</p> <p>(8) 《医用诊断 X 射线个人防护材料及用品标准》（GBZ176-2006）；</p> <p>(9) 《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）</p> <p>(10) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）</p>

	(11) 《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》 (GBZ 2.1-2007) ;
其它	(1) 北京同仁医院开展环境影响评价项目的《委托书》 ; (2) 《辐射防护手册》。

**表 7 保护目标与评价标准**

<p><b>评价范围</b></p> <p>按照《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定“射线装置应用项目的评价范围通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的要求，确定本项目评价范围为各射线装置机房周围 50m 区域。</p>																													
<p><b>保护目标</b></p> <p>本项目的环境保护目标为该医院从事诊断和治疗的医务人员、辐射工作场所周围其他非辐射工作人员、医院周围活动的公众成员。本项目主要环保目标分布情况见表 7.1。</p> <p style="text-align: center;">表 7.1 主要环保目标分布情况表</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">保护对象</th> <th style="width: 15%;">方位</th> <th style="width: 15%;">人数（个）</th> <th style="width: 20%;">距离</th> <th style="width: 30%;">照射类型</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>加速器医务人员</td> <td>北侧</td> <td>4~6</td> <td>5.3m~10m</td> <td>职业</td> </tr> <tr> <td>DSA 手术医师、护士</td> <td>南侧、西侧</td> <td>6~9</td> <td>0.5m~10m</td> <td>职业</td> </tr> <tr> <td>其他辐射工作人员</td> <td>南侧、西侧通道</td> <td>30~40</td> <td>50m 范围内</td> <td>职业</td> </tr> <tr> <td>公众成员</td> <td>加速器机房上侧广场</td> <td>流动人群</td> <td>50m 范围内</td> <td>公众</td> </tr> </tbody> </table>					保护对象	方位	人数（个）	距离	照射类型	加速器医务人员	北侧	4~6	5.3m~10m	职业	DSA 手术医师、护士	南侧、西侧	6~9	0.5m~10m	职业	其他辐射工作人员	南侧、西侧通道	30~40	50m 范围内	职业	公众成员	加速器机房上侧广场	流动人群	50m 范围内	公众
保护对象	方位	人数（个）	距离	照射类型																									
加速器医务人员	北侧	4~6	5.3m~10m	职业																									
DSA 手术医师、护士	南侧、西侧	6~9	0.5m~10m	职业																									
其他辐射工作人员	南侧、西侧通道	30~40	50m 范围内	职业																									
公众成员	加速器机房上侧广场	流动人群	50m 范围内	公众																									
<p><b>评价标准</b></p> <p><b>（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）</b></p> <p>B1.1.1.1 条规定：应对任何工作人员的**职业照射水平**进行控制，使之不超过**下属限值**：a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；</p> <p>本项目加速器选取 2mSv/a 作为职业工作人员的剂量管理约束值，DSA 选取 5mSv/a 作为职业工作人员的剂量管理约束值。</p> <p>B1.2.1 规定：实践使公众中有关键人群组的成员所受到的平均剂量估算值不应超过下述限值：a) 年有效剂量，1mSv；</p> <p>本项目加速器与 DSA 项目取 0.1mSv/a 作为公众人员的剂量管理约束值。</p> <p><b>（2）《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）</b></p> <p>本标准适用于标称能量在 50MV 以下的医用电子加速器的生产和使用。</p> <p>①有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计。其余</p>																													

墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求。

②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应不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

③穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

④X 射线标称能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

⑤治疗室和控制室之间必须安装监视和对讲设备。

⑥治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门必须与加速器联锁。

⑦治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于  $45\text{m}^2$ 。

⑧相关位置（例如治疗室人口处上方等）应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志。

⑨治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

**(3) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》  
(GBZ/T201.1-2007)**

此标准附录 A 针对机房周围的居留因子的选取、加速器及放疗机工作负荷的大小有关的规定。

**(4) 《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)**

此标准给出了电子直线加速器（以下称加速器）放射治疗机房的剂量控制要求，辐射屏蔽的剂量估算与检测评价方法。

**(5) 《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002)**

臭氧不允许超过的浓度限值为  $0.16\text{mg/m}^3$ （1 小时平均值）。

二氧化氮不允许超过的浓度限值为  $0.24\text{mg/m}^3$ （1 小时平均值）。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 环境质量和辐射现状

#### 8.1.1 监测内容

我院（核工业北京化工冶金研究院）于 2016 年 6 月 17 日对北京市同仁医院拟建地周边环境  $\gamma$  辐射水平现状进行了监测。

#### 8.1.2 监测方法

监测方法按照《环境地表 X- $\gamma$  辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-93）、《环境核辐射监测规定》（GB 12379-90）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）进行。

#### 8.1.3 监测仪器

表 8.1 ERM-3421 型便携式 x- $\gamma$  辐射剂量率仪参数

仪器名称	便携式 x- $\gamma$ 辐射剂量率仪
仪器型号	ERM-3421
出厂编号	201510280
生产厂家	核工业北京化工冶金研究院
测量范围	$1 \times 10^{-8}$ Gy/h $\sim 1 \times 10^{-1}$ Gy/h
校准单位	中国计量科学研究院
有效日期	2016 年 11 月 2 日 至 2017 年 11 月 1 日
证书编号	Dyj12016-4374
检定依据	JJG393-2003《辐射防护用 X、 $\gamma$ 辐射剂量当量（率）仪和检测仪》
检定结论	合格

#### 8.1.4 质量保证措施

- a 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- b 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c 监测仪器经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用标准源对仪器进行校验。
- e 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- f 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。



表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

9.1 电子直线加速器

(1) 工作原理

医用电子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。

工作原理为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，经调制、准直后射向患者病灶；或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，其最大能量为电子束的最大能量，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。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。

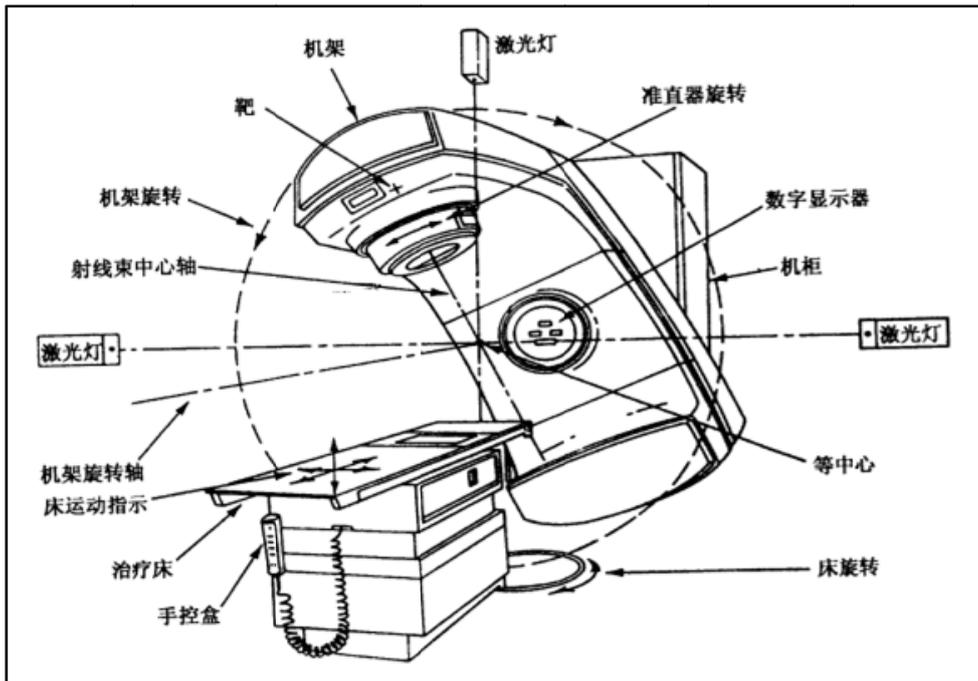


图 9-1 典型医用电子直线加速器示意图

(2) 设备组成

医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。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。医用直线加速器内部结构见图 9-2。

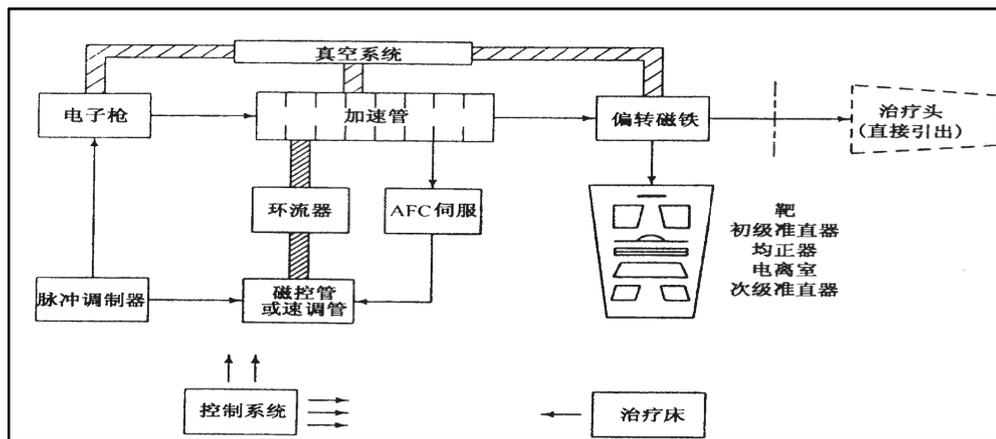


图 9-2 医用直线加速器内部结构

### (3) 操作流程

首先进行定位，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；其次，制订治疗计划，根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；再次，固定患者体位，在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野；最后进行开机治疗，具体流程见图 9-3。

图 9-3 电子直线加速器工作流程及产污环节

### (4) 污染因子

医用电子直线加速器既可利用电子束，也可利用 X 线对患者病灶进行照射。电子束的穿透能力很弱，故仅考虑 X 线的防护问题。电子线和 X 射线辐射只有在加速器运行时产生，停机后就消失。加速器运行产生的 X 射线贯穿辐射、泄露辐射和散射辐射进入外环境。医院使用的直线加速器能量为 10MV，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2001）和《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011），X 射线能量低于 10MV 的

加速器，无需考虑中子辐射及中子俘获 $\gamma$ 射线。因此，在开机期间，X射线成为加速器污染环境的主要因子，其次为感生放射性、臭氧和氮氧化合物。

## 9.2 数字减影血管造影机

### (1) 工作原理

数字减影血管造影机是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术多种科技手段于一体的系统。DSA 主要采用时间减影法，以 X 射线穿过人体形成荧光影像为背景，将受检部位注入造影剂前摄取的图像与注入造影剂后摄取的造影片进行数字相减处理，消除相同部分，转化成仅显示有造影剂充盈的血管图像，应用 DSA 进行诊断、介入治疗远比常规心血造影设备下操作更安全、有效，可清晰地显示血管的精细解剖结构。



图 9-4 常见血管造影机图片

### (2) 设备组成

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

### (3) 操作流程

诊断时，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，推出钢丝及扩张管，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上腔静脉，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。

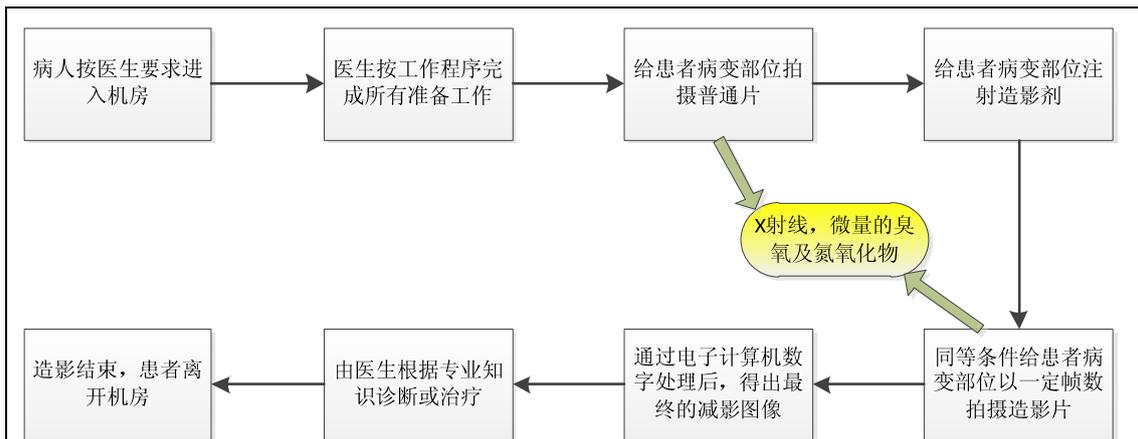


图 9-5 数字减影血管造影机工作流程及产污环节

### 9.3 路径规划

直线加速器位于医疗综合楼地下一层放疗科，整个放疗科仅有一个出入口，病患由楼梯进入放疗科后，按医护人员安排先进行模拟定位，再进行放射治疗，治疗完后由楼梯口离开，见附图 3。

DSA 位于医疗综合楼三层介入中心，病患由缓冲区进入，医护人员经过换鞋区进入，人员通道相对独立，见附图 4。

### 污染源项描述

#### 9.4 电子直线加速器

##### 1) 电子束

加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。然而被加速器加速的电子束穿过薄膜窗从加速器中引出后，成为能量较高的外电子束，它在空气中的射程较长，这时要绝对禁止非治疗人员在加速器开机时误入治疗室，以防被电子束或散射电子照射造成事故。

##### 2) X射线

电子直线加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生高能 X 射线，贯穿能力极强，但运行时产生的 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。在加速器开机的时间内，X 射线为主要污染因子。

##### 3) 废气污染

加速器运行时次级辐射与空气相互作用，会产生放射性气体。对于电子直线加速器，其放射性核素仍然是<sup>15</sup>O、<sup>13</sup>N，它们的半衰期分别为2.1min和10min，

衰变较快，停机后5~10min就可减弱到初始期的一半。

#### 4) 臭氧、氮氧化物

空气中的 O<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 分别在 X 射线的作用下，生成自由基，与空气中的 O<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 结合，生成 O<sub>3</sub> 和 NO<sub>x</sub>，他们是与辐射相关的非辐射危害因素。

#### 5) 放射性固废

加速器主要的放射性固体废物是更换下来的废靶件，如不能满足清洁解控的要求，将送北京市放射性废物库处置。

### 9.5 数字减影血管造影机

#### 1) X射线

数字减影血管造影机，在运行时无其它废气、废水和固体废弃物产生。X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，该医院使用的数字减影血管造影机在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要因子。

#### 2) 废气污染

X 射线机工作时发出的 X 射线电离空气分子产生微量的有毒气体臭氧和氮氧化物。正常工况下，屏蔽间通过机械通风，室内有害气体的量可以被降低到最低，几乎对人体不会造成危害。

**表 10 辐射安全与防护**

**项目安全设施**

**10.1 直线加速器**

**10.1.1 防护设计**

直线加速器机房位于医疗综合楼地下一层东南角放疗科，两个直线加速器机房相对布置，共用迷路外墙，机房西侧 7 米为餐厅，北侧为控制室、候诊区及模拟定位机房，东侧为地下土层，南侧为土层，楼上为广场，无楼下（加速器机房下方为土层）。治疗机房与其它辅助设施分离，控制室、设备机房与北屏蔽墙相邻，有用束照射方向为东、西方向。

两座直线加速器机房尺寸相同、防护设计相同，直线加速器机房内尺寸南北净长为 7.7m、东西（不含主屏蔽墙和迷路墙）6.4m，净面积约为 50m<sup>2</sup>，治疗室内部净高 3.7m。机房屏蔽措施详见表 10.1，机房平面图和剖面图详见图 10-1。

表 10.1 电子直线加速器机房屏蔽措施一览表

项目	1#直线加速器机房	2#直线加速器机房
北墙	次屏蔽：1500mm 砼	次屏蔽：1500mm 砼
南墙	次屏蔽：1500mm 砼	次屏蔽：1500mm 砼
西墙	主屏蔽区 2900mm 砼+2mm 铅板 主屏蔽区宽度 4200mm 砼 次屏蔽区 1500mm 砼	内迷路 1500mm 砼， 外迷路（与 1#机房共用）1200mm 砼
东墙	内迷路 1500mm， 外迷路（与 2#机房共用）1200mm 砼	1500mm 砼（临地下土层）
顶层	1500mm 砼+1000mm 重晶石混凝土（等效 2900mm 砼）	1500mm 砼+1000mm 重晶石混凝土（等效 2900mm 砼）
净高	3700mm	3700mm
防护门	25mmPb+50mm 含硼 5%的聚乙烯	25mmPb+50mm 含硼 5%的聚乙烯

注：①混凝土密度：2.35g/cm<sup>3</sup>；铅密度：11.3g/cm<sup>3</sup>，重晶石混凝土密度 3.4g/cm<sup>3</sup>。

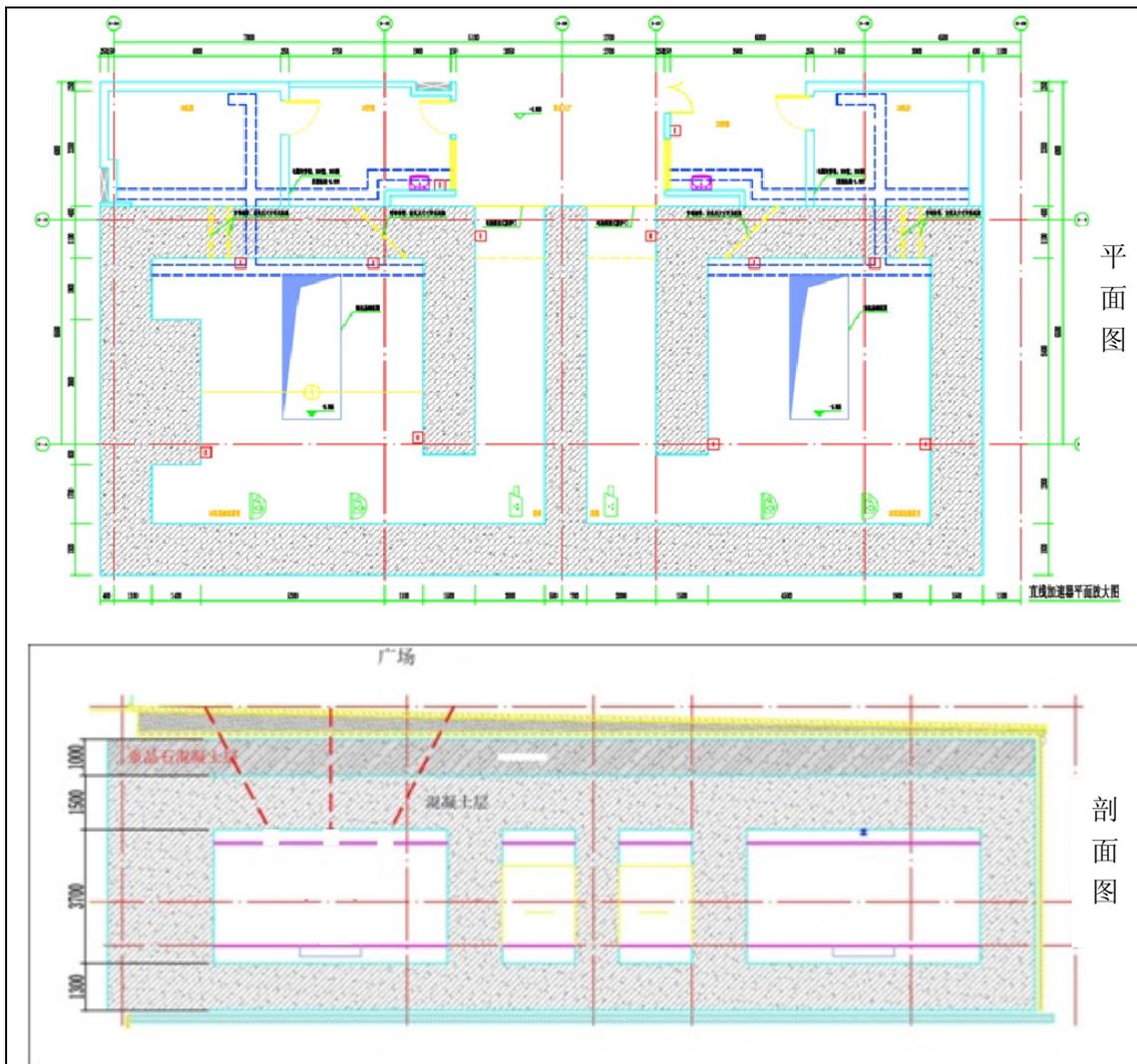


图 10-1 加速器机房平面图与剖面图

### 10.1.2 辐射安全措施

除加速器机房的建筑屏蔽外，其它的辐射安全措施还有：

(1) 加速器机房迷道外口防护门设置电离辐射标识及中文警示说明，安装工作状态指示灯。

(2) 机房防护门为电动具有防夹功能的平移推拉门，并设置有双回电路，保证电路进电情况下防护门可以关闭，并配有门机联锁装置。同时防护门不关加速器不出束，如防护门意外打开，加速器则断束。停电时设有手动紧急开门设备，厅内设有紧急开门键（不设关门键）。

(3) 机房门与两侧墙壁搭接处均 $>200\text{mm}$ ，保证射线不会从缝隙中泄露到机房外。

(4) 控制台安装1个紧急停机按钮，外口各安装1个紧急停机按钮，治疗床

安装2个紧急停机按钮。紧急停机按钮与加速器联锁，触动紧急停机按钮，加速器断电停机防止误照事故的发生。

(5) 加速器机房内设置固定监测系统，实时监控治疗室内剂量率。加速器机房内安装声像监控系统，监控加速器机房、及迷道内情况，防止误照射事故发生。机房内配备有对讲系统，以便和控制室内人员进行交流。在控制室内设置数显式剂量率仪表，供工作人员掌握机房内剂量率水平，同时职业人员配备个人剂量剂及辐射防护用品。

(6) 水冷系统与加速器联锁，系统故障触动加速器高压切断，防止误照事故的发生。

(7) 控制台设有控制钥匙锁定开关，只有经过授权的医务人员才能使用钥匙开关开启控制台。加速器控制台设置复位确认按钮，联锁触动停机后须人工复位才能重启加速器。

(8) 治疗室内安装通风换气系统，换气次数不低于4次/h。

(9) 治疗室安装应急照明装置，设火灾自动报警装置，配有灭火器材和用品。

加速器联锁和警示系统的设计见图 10-2 所示。表 10.2 列出了对加速器机房安全与防护设施设计要求。

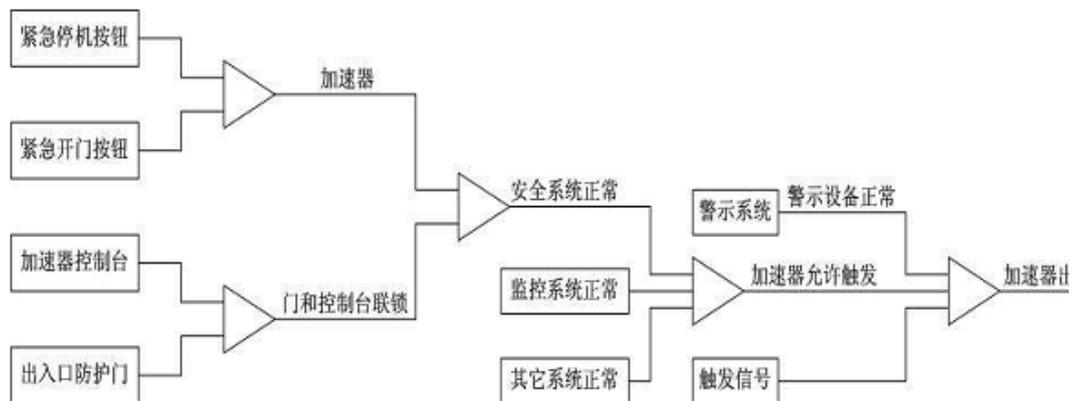


图 10-2 加速器机房联锁系统逻辑图

表 10.2 加速器机房安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	设计建造	运行状态	备注
1*	A 控制台 及安全 联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	√		
2*		控制台、主机床旁、机房内墙设有有紧急停机按钮	√		
3*		电视监控与对讲系统	√		
4*		治疗室门联锁装置	√		
5		治疗室内准备出束声音提示	√		
6*	B 警示 装置	入口电离辐射警告标志	√		
7*		入口有加速器工作状态显示（红、绿灯）	√		
8	C 照射室 紧急设 施	紧急开门按钮	√		
9		紧急照明或独立通道照明系统	√		
10*		治疗室内有紧急停机按钮	√		
11*		治疗床有紧急停机按钮	√		
12	D 监测 设备	治疗室内有固定式剂量率仪	√		
13*		便携式辐射监测仪器仪表	√		
14*		个人剂量报警仪	√		
15*		个人剂量计	√		
16	E 其他	治疗室内防夹人装置	√		
17		通风系统	√		
18		火灾报警仪	√		
19		灭火器材	√		

此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局第 31 号令及环境保护部第 3 号令对其所做的修改决定）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）以及《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》的规定，实施以下辐射安全措施：

(1) 加速器机房排风管道与屏蔽墙呈“Z”型穿过，排风管网引至屋顶排放。（通风管路图见图 10-3）

(2) 加速器机房线缆沟等通道与屏蔽墙呈“U”型穿过，不会使有用线束和泄露射线直接射向治疗室外。

(3) 治疗机房内安装火灾自动报警装置，配备灭火器材，火灾报警装置与通风联锁。设置必要的应急照明设备和紧急出口标志。

(4) 安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射职业人员个人剂量档案。个人剂量档案应当保存至辐射职业人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十

年。

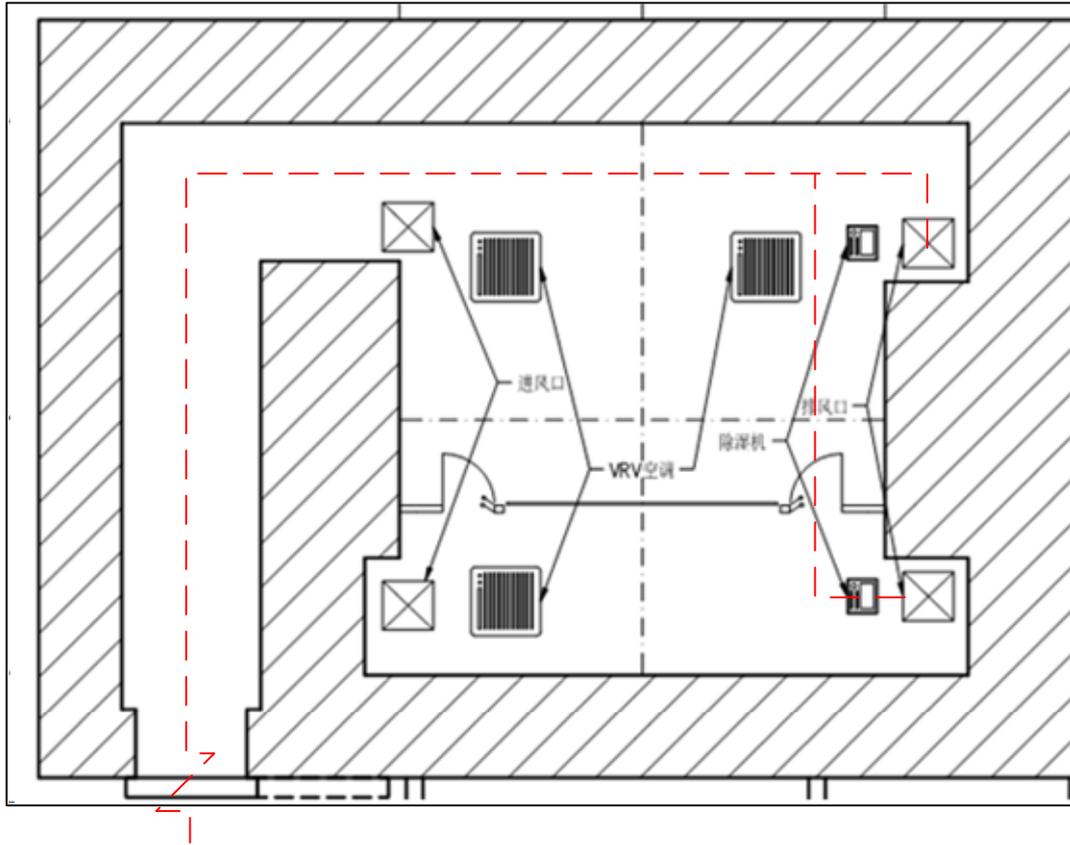


图 10-3 加速器机房通风布置图

## 10.2 数字减影血管造影机

### 10.2.1 场所防护设计

数字减影血管造影机机房位于医疗综合楼三层西侧，机房周围为设备机房，控制室，候诊区，楼上为手术室（移动 DR 机房），楼下为大厅。数字减影血管造影机机房屏蔽措施见表 10.3。

表 10.3 数字减影血管造影机机房屏蔽措施一览表

机房名	墙体厚度	机房净高 (m)	长×宽 (m)	防护门	观察窗
DSA1#	轻钢龙骨结构，内衬 3mm 铅板；楼板为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡粉刷层	4.0	7.9×5.9	3mmPb	3mmPb
DSA2#		4.0	7.3×6.3	3mmPb	3mmPb
DSA3#		4.0	7.3×5.8	3mmPb	3mmPb

注：铅密度： $11.35\text{g/cm}^2$ ；混凝土密度： $2.35\text{g/cm}^2$ 。

### 10.2.2 辐射安全措施

除机房的建筑屏蔽外，其它的辐射安全措施还有：

- (1) 诊断机房防护门设置电离辐射标识及中文警示说明。
- (2) 防护门为电动平移推拉门。防护门外设置有电离辐射指示灯，具有门灯连锁功能。
- (3) 机房门与两侧墙壁搭接处均 $>200\text{mm}$ ，保证射线不会从缝隙中泄露到机房外。
- (4) 机房安装有 $2\text{mm}$ 铅当量的观察窗，便于观察患者和受检者状态。
- (5) 配备便携式X、 $\gamma$ 辐射监测仪，职业人员配备辐射防护用品。
- (6) 配备有铅衣、铅围裙、铅帽、铅眼镜、铅围脖，同时也配备有铅屏风。
- (7) 治疗机房内安装火灾自动报警装置，配备灭火器材。设置必要的应急照明设备和紧急出口标志。
- (8) 机房内不得堆放与设备诊断工作无关的杂物。
- (9) 机房设置动力排风装置，保持良好通风。
- (10) 安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射职业人员个人剂量档案。个人剂量档案应当保存至辐射职业人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

### 三废的治理

#### 1) 废水的治理

在加速器的冷却循环水中，可能会形成一定的放射性。其产生的放射性核素主要是 $^{15}\text{O}$ 和 $^{16}\text{N}$ 。它们的半衰期分别为 $2.1\text{min}$ 和 $7.3\text{s}$ ，由于放射量很小，只需静置较短时间其活度就可衰减到可忽略水平。冷却循环水不外排，如果检修冷却水系统，将用容器进行收集，转移至核医学科衰变池，也可以进行回用。

#### 2) 废气的治理

考虑风口对屏蔽效果造成的不利影响。建议排风口建设过程中，若对治疗室墙体防护造成减弱影响，应采取相应的补救措施。并且排风口排出的有害气体经专用风管接至楼顶排入大气，避免公众直接接触有害气体。

#### 3) 固废的治理

本项目加速器更换的废靶件如不能满足清洁解控的要求，将送北京市放射性废物库处置，医院不暂存。

**表 11 环境影响分析**

**建设阶段对环境的影响**

本项目机房整体框架建设与医院大楼同时建设，本次射线机房在已建设房间基础上进行辐射防护施工及设备安装，建设过程中无电离辐射影响。

**运行阶段对环境的影响**

**11.1 电子直线加速器环境影响分析**

**11.1.1 电子直线加速器技术参数**

医院拟购 10MV 加速器型号待定，潜在供货厂商为医科达和瓦里安，主要参数为 X 射线最大能量不超过 10MV 直线加速器，最大剂量率不超过 2400cGy/min，等中心点确定为初级屏蔽的中心位置，具体参数见表 11.1

表 11.1 电子直线加速器设备参数

/	直线加速器
最大 X 射线能量	10MV
最大剂量率	2400cGy/min
照射野尺寸	等中心点最大照射野 40cm×40cm 调强适形治疗 22cm×40cm
泄漏指数	≤0.1%
靶至等中心的距离 (SAD)	100cm

**11.1.2 使用规划**

(1) 出束时间：加速器预期每天治疗约 45 人次，平均 2.5 野次/人，在常规治疗照射条件下，平均每野出束时间为 1.2min (3min/人次)，加速器日治疗出束时间 135min，年工作 250d，总出束时间 562.5h。调强治疗增加治疗野次，相应的减少治疗日患者人数，治疗日的总出束时间不变。

(2) 不同能量使用情况：70%为 6MV，30%为 10MV 运行。

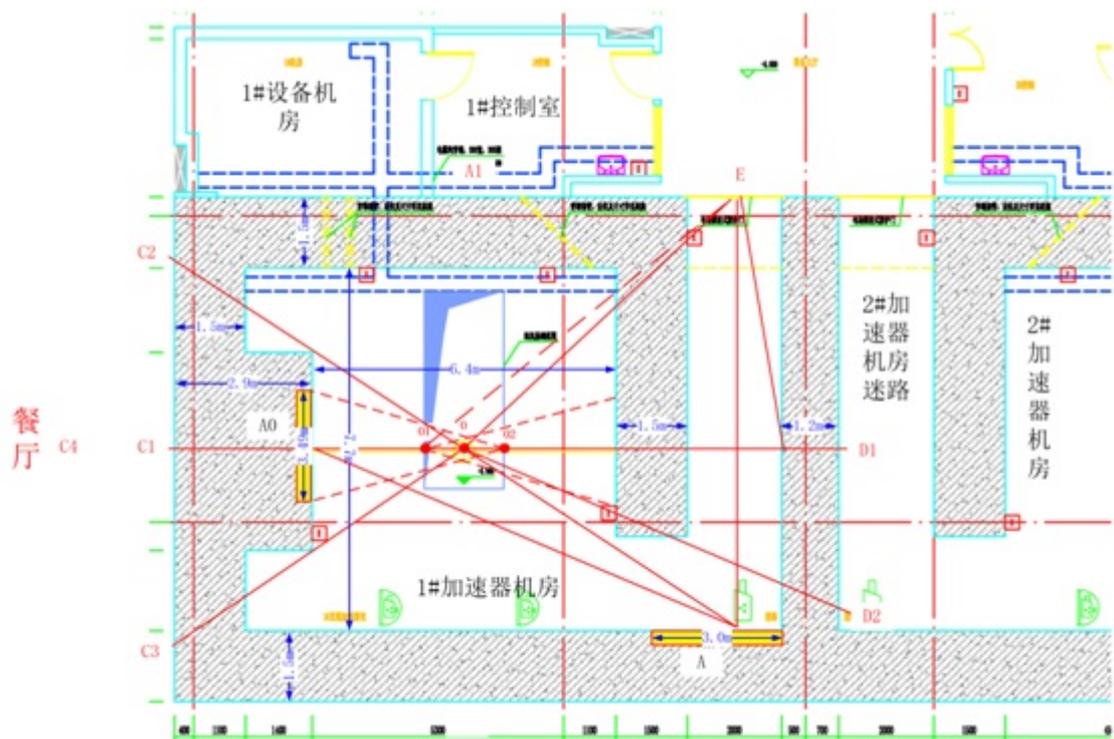
(3) 治疗模式：约 70%进行调强适形治疗，30%进行常规治疗。

(4) 利用因子：实际工作中，机头水平 (90° 和 270° ) 出束时间约占年工作量的 10%；机头向上 (180° ) 出束时间约占年工作量的 5%；机头向下 (0° ) 出束时间约占年工作量的 85%。放射防护工作中，保守取值为：向下 1，水平和向上 0.25。

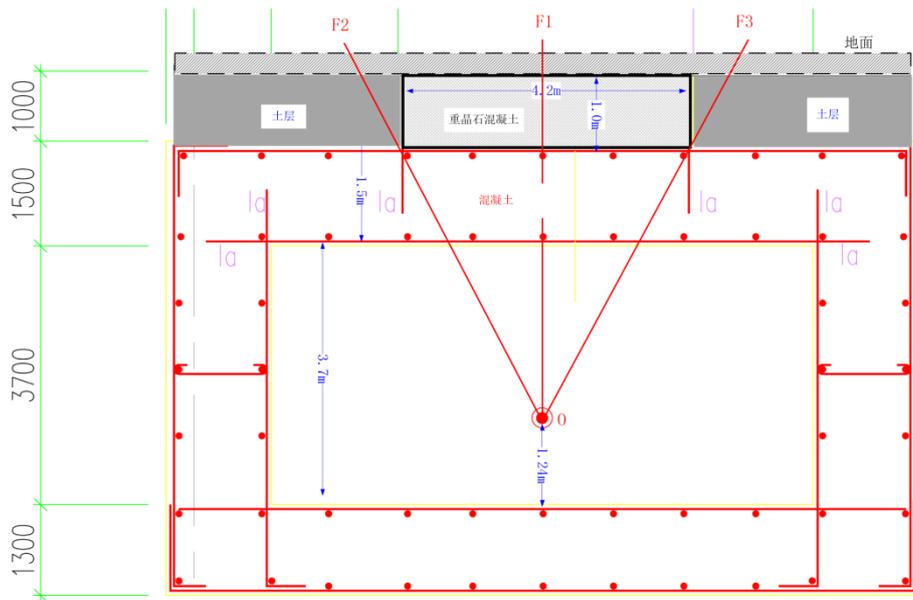
**11.1.3 辐射环境影响预测分析**

评价报告对电子直线加速器机房屏蔽效果评价，引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第二部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中相应的计算模式及相关参数。

结合图纸、两座加速器机房布局和防护设计，两座直线加速器机房大小一致，防护设计一致，且1#机房西侧为餐厅，2#机房靠近地下土层，故选取1#直线加速器机房做预测分析，选取关注点（各墙体、防护门外0.3m）并做出预测分析，关注点分布图见图11-1。



(1) 平面图



(2) 剖面图

图 11-1 直线加速器机房各关注点分布示意图

**(1) 主束屏蔽墙宽度分析**

利用下列公式对有用束在机房屏蔽墙的投影区宽度进行计算：

$$Y = (100 + a + X_2) \cdot \tan 14^\circ + 30 \dots\dots\dots (11-1)$$

式中：Y——主屏蔽区半宽度，cm；

a——等中心点到最近主屏蔽墙的垂直距离，cm；

X<sub>2</sub>——主屏蔽墙多于次屏蔽墙厚度，cm。

主束屏蔽墙宽度计算参数及结果见下表 11.2：

表 11.2 主束屏蔽墙宽度计算参数及结果

参数名称	a	X <sub>2</sub>	设计半宽度	计算半宽度 Y	是否满足要求
单位	cm	cm	cm	cm	/
西墙	320	140	210	170	是
东墙	320	150	185	172.5	是
顶层	246	100	210	141.2	是

由上表可知，加速器机房主屏蔽墙半宽度均满足要求。

**(2) 主屏蔽墙外剂量率计算 (C1、C4、D1、F1 点)**

利用下列公式对初级辐射进行屏蔽计算：

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-2)$$

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

式中：H——屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

H<sub>0</sub>——加速器有用线束中心轴上距靶1m处的常用最高剂量率，1.44×10<sup>9</sup>μSv·m<sup>2</sup>/h（最大剂量率2400cGy/min换算得，下同）；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离；

f——对有用束为1；

X<sub>e</sub>——有效屏蔽层厚度；

TVL<sub>1</sub>——第一个什值层厚度（查GBZ/T201.2-2011，附录B，表B.1）；

TVL——平衡时的什值层厚度（查GBZ/T201.2-2011，附录B，表B.1）。

主屏蔽墙及顶部计算参数及结果见下表 11.3。

表 11.3 主屏蔽墙外辐射剂量率计算参数及结果

参数名称	H <sub>0</sub>	f	R	TVL <sub>1</sub>	TVL	X <sub>e</sub>	H
单位	μSv·m <sup>2</sup> /h	/	m	cm	cm	cm	μSv/h
关注点 C1	1.44E+09	1	6.5	41	37	291	0.59
关注点 C4	1.44E+09	1	13.4	41	37	290	0.15
关注点 D1	1.44E+09	1	8.3	41	37	270	1.42
关注点 F1	1.44E+09	1	5.3	41	37	250	0.95

### (3) 次屏蔽墙 (A1)

该区考虑泄漏辐射屏蔽，泄漏辐射剂量率一般按初级辐射束的 0.1%计，可利用公式 (11-2) 和 (11-3) 对泄漏辐射进行屏蔽计算。

次屏蔽墙漏射辐射计算参数及结果见表 11.4。

表 11.4 次屏蔽墙泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	H <sub>0</sub>	f	R	TVL <sub>1</sub>	TVL	X <sub>e</sub>	H'
单位	μSv·m <sup>2</sup> /h	/	m	cm	cm	cm	μSv/h
关注点 A1	1.44E+09	0.001	5.65	35	31	150	0.90

### (4) 与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙 (C2、C3、D2、F2、F3 点)

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射

和来自患者体表的散射辐射。

①患者体表的散射辐射

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行屏蔽计算：

$$H_e = \frac{H_o \cdot a_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot 10^{-X_e / TVL} \dots\dots\dots (11-4)$$

式中：  $H_e$  ——屏蔽体外关注点的剂量率，  $\mu\text{Sv/h}$  ；

$X_e$  ——次屏蔽墙的实际厚度，  $\text{cm}$  ；

$TVL$  ——平衡时的十分之一值层厚度，  $\text{cm}$  ；

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

$F$  ——治疗装置有用束在等中心点出的最大治疗野面积，本项目为  $1600\text{cm}^2$  ；

$a_{ph}$  ——患者  $400\text{cm}^2$  面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m 处的剂量比例；

$R_s$  ——辐射源点（靶点）至关注点的距离，  $\text{m}$  。

与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区散射辐射计算参数及结果见下表 11.5。

表 11.5 患者体表散射辐射计算参数及结果

参数名称	$H_o$	$a_{ph}$	$R_s$	$F$	$X_e$	$TVL$	$H_e$
单位	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	/	m	$\text{cm}^2$	cm	cm	$\mu\text{Sv/h}$
关注点 C2	1.44E+09	3.81E-03	7.6	1600	170	28	3.22E-01
关注点 C3	1.44E+09	3.81E-03	7.6	1600	170	28	3.06E-01
关注点 D2	1.44E+09	3.81E-03	9.1	1600	210	28	8.96E-03
关注点 F2	1.44E+09	3.81E-03	6.9	1600	200*	28	3.32E-02
关注点 F3	1.44E+09	3.81E-03	6.9	1600	200*	28	3.32E-02

说明：160cm 混凝土厚度与 100cm 土层叠加，下同

②泄漏辐射

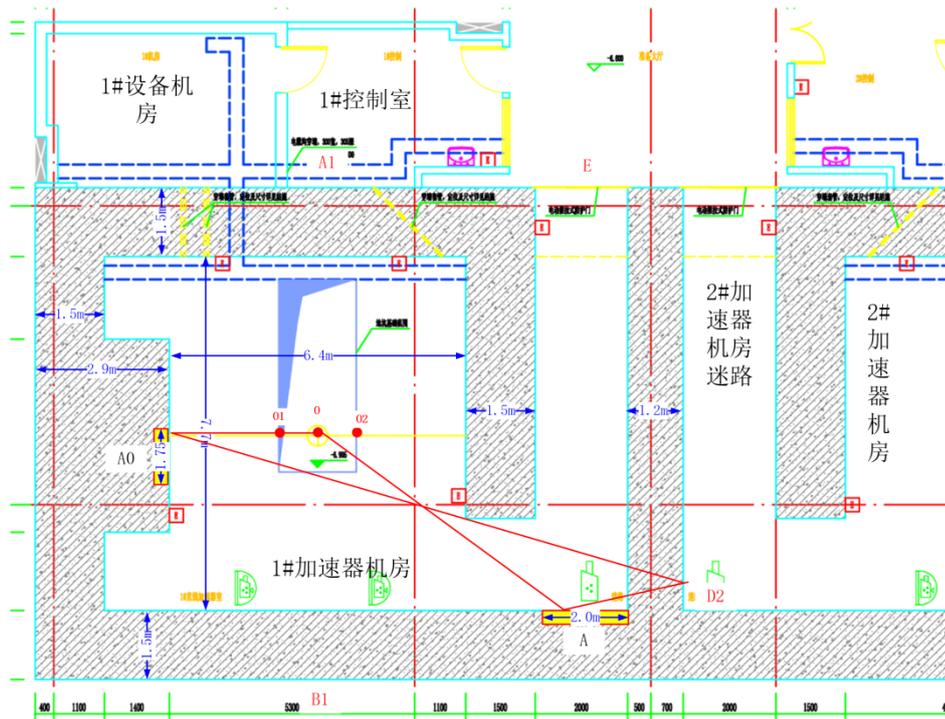
泄漏辐射剂量率一般按初级辐射束的 0.1% 计，可利用公式 (11-2) 和 (11-3) 对与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区泄漏辐射进行屏蔽计算。

与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区漏射辐射计算参数及结果见表 11.6。

表 11.6 泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	$H_0$	$f$	$R_e$	$TVL_1$	$TVL$	$X_e$	$H'_e$
单位	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	/	m	cm	cm	cm	$\mu\text{Sv}/\text{h}$
关注点 C2	1.44E+09	0.001	7.6	35	31	170	1.1E-01
关注点 C3	1.44E+09	0.001	7.6	35	31	170	1.0E-01
关注点 D2	1.44E+09	0.001	9.1	35	31	210	4.21E-03
关注点 F2	1.44E+09	0.001	6.9	35	31	200*	1.44E-02
关注点 F3	1.44E+09	0.001	6.9	35	31	200*	1.44E-02

与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区（C2、C3、D2、F2、F3 点）剂量率应为患者散射辐射与机头泄漏辐射之和，对于 D2 点还应考虑①主束射线经 A0 墙散射至 D2 点的剂量率、②泄漏辐射经 A 墙散射至 D2 点的剂量率、③主束射线经患者散射后经 A 墙散射至 D2 点的剂量率。其路径如下图所示：



其计算具体如下：

①主束射线经 A0 墙散射至 D2 点的剂量率，按  $\dot{H}_{0_2-A_0-D_2} = \frac{H_0 \cdot A_0 \cdot \alpha_{(0^\circ-30^\circ)}}{R_{0_2-A_0}^2 \cdot R_{A_0-D_2}^2} B$

计算，其中  $H_0$  为等中心点剂量率 1.44E+09,  $A_0$  为 6.48  $\text{m}^2$ ,  $\alpha (0^\circ - 30^\circ)$  取 4.5E-03,

靶点至 A0 墙距离 4.2m, A0 墙至 D2 点距离 10.3m, 散射线能量取 0.25MeV, 混凝土中十值层取 20cm, 带入计算得=0.01 μ Sv/h。

$$\textcircled{2} \text{ 泄漏辐射经 A 墙散射至 D2 点的剂量率, 按 } \dot{H}_{0-A-D_2} = \frac{H_0 \cdot 10^{-3} \cdot A \cdot \alpha_{(45^\circ-10^\circ)} B}{R_{0-A}^2 \cdot R_{A-D_2}^2}$$

计算, 其中 A 为 7.4 m<sup>2</sup>, α (45° -10°) 取 5.7E-03, 等中心点到 A 墙距离 6.58m, A 墙到 D2 点 2.3m, 散射线能量取 0.5MeV, 混凝土中十值层取 28cm, 带入计算得  $\dot{H}_{0-A-D_2} = 0.01 \mu \text{ Sv/h}$ 。

③ 主束射线经患者散射后经 A 墙散射至 D2 点的剂量率, 按

$$H_{\text{患者-A-D}_2} = \frac{H_0 \cdot \alpha_{\text{患}} \cdot (F/400) \cdot A \cdot \alpha_A}{R_{\text{患-A}}^2 R_{A-D_2}^2}$$

计算, 其中患者到 A 墙距离取 6.58m, α<sub>患</sub>

取 1.35E-03, α<sub>A</sub> 取 6.5E-03, 其余同②, 计算得剂量为 0.06 μ Sv/h。

综合上述, D2 点剂量率为 0.09 μ Sv/h, 其余点位剂量率见表 11.7。

表 11.7 关注点 C2、C3、F2、F3 辐射剂量率 (μSv/h)

关注点	患者散射辐射	机头泄漏辐射	关注点剂量率
关注点 C2	3.22E-01	1.1E-01	4.32E-01
关注点 C3	3.06E-01	1.0E-01	4.06E-01
关注点 D2	0.06	0.03	0.09
关注点 F2	3.32E-02	1.44E-02	4.76E-02
关注点 F3	3.32E-02	1.44E-02	4.76E-02

### (5) 防护门外 (E 点)

#### ① X 射线泄漏辐射 (O→E)

该部分射线为穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门处的剂量率, 计算方法同式 (11-2) 和 (11-3)。迷道入口处漏射辐射计算参数及结果见表 11.8。

表 11.8 迷道入口处漏射辐射计算参数及结果

参数名称	$H_o$	$f$	$R_d$	$X_e$	$TVL_1$	$TVL$	$H_{og}'$
单位	μSv·m <sup>2</sup> /h	/	m	cm	cm	cm	μSv/h
关注点 E	1.44E+09	0.001	7.8	190	35	31	2.37E-02

②患者散射经迷道内口散射后再散射至迷道外口 (O→A→E)

$$H'_g = \frac{\alpha_{ph}(F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot H_0 \dots\dots\dots (11-5)$$

式中:

$H'_g$ ——计算点处的散射辐射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$H_0$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

$\alpha_{ph}$ ——患者  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子, (查 GBZ 126-2011, 附录 B, 表 B.2);

$\alpha_2$ ——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, (查 GBZ 126-2011, 附录 B, 表 B.6);

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, 取  $40 \times 40\text{cm}^2$ ;

A——迷路内口散射面积,  $\text{m}^2$ ;

$R_1$ ——患者与迷路内口散射墙的距离, m;

$R_2$ ——迷路内口散射墙到迷路外口距离, m。

表 11.9 患者散射经迷道内口散射后再散射至迷道外口辐射计算参数结果

参数名称	$H_0$	$\alpha_{ph}$	$\alpha_2$	F	A	$R_1$	$R_2$	$H'_g$
单位	$\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	/	/	$\text{cm}^2$	$\text{m}^2$	m	m	$\mu\text{Sv/h}$
关注点 E	1.44E+09	3.81E-04	22E-03	1600	11.1	6.8	9.2	136.9

③泄漏辐射经迷道内口散射后再散射至迷道外口 ( $O_1 \rightarrow A \rightarrow E$ )

$$\dot{H}_g'' = \frac{f \cdot H_0 \cdot A \cdot \alpha_w}{R_3^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (11-6)$$

式中:

$H_g''$ ——计算点处的散射辐射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

f——加速器的泄漏辐射比率, 通常取 0.1%;

$H_0$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

A——散射面积，m<sup>2</sup>。本项目为 m<sup>2</sup>；

$\alpha_w$ ——散射体的散射因子，取值（查 GBZ 126-2011，附录 B，表 B.6）；

R<sub>3</sub>——泄漏辐射始点至散射体中心点的距离，m；

R<sub>2</sub>——散射体中心点至计算点的距离，m。

表 11.12  $H_g''$  计算参数结果

参数名称	$H_0$	$f$	A	$\alpha_w$	R <sub>3</sub>	R <sub>2</sub>	$H_g''$
单位	μSv·m <sup>2</sup> /h	/	m <sup>2</sup>	/	m	m	μSv/h
关注点 E	1.44E+09	0.001	7.35	4.6E-03	6.8	9.2	12.44

④穿过迷路内墙的主束在墙上一次散射至迷道外口

$$H_g''' = H_0 \cdot \frac{(F/10^4)}{R_4^2} \cdot \alpha_w \cdot B \dots\dots\dots (11-7)$$

式中： $H_g'''$ ——计算点的辐射剂量率，uSv/h；

$H_0$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，1600cm<sup>2</sup>；

10<sup>4</sup>——将 1m<sup>2</sup> 面积转换为 10<sup>4</sup>cm<sup>2</sup>；

R<sub>4</sub>——有用线束在屏蔽墙上的投影点与计算点的距离，m；

$\alpha_w$ ——散射因子，查 GBZ/T201.2-2011，附录 B，表 B.5。

表 11.13  $H_g'''$  计算参数结果

参数名称	$H_0$	$\alpha_w$	R <sub>4</sub>	TVL <sub>1</sub>	TVL	Xe	$H_g'''$
单位	μSv·m <sup>2</sup> /h	/	m	cm	cm	cm	μSv/h
关注点 E	1.44E+09	3.0E-03	5.2	41	37	150	2.89

⑤患者体表的散射辐射经迷路内墙后到防护门口

该部分计算公式同（11-4），计算得  $H_g''' = 0.059 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

⑥主束经屏蔽墙两次散射至防护门口

$$\dot{H}_s = \frac{H_0 \cdot A_0 \cdot \alpha_0 \cdot A \cdot \alpha}{R_{0_2-A_0}^2 \cdot R_{A_0-A}^2 \cdot R_{A-E}^2} \dots\dots\dots(10-8)$$

式中：

$A_0$ ——第一次散射区面积，14.6 m<sup>2</sup>；

$\alpha_0$ ——屏蔽墙对主束第一次散射系数，3.8E-03；

$A$ ——第二次散射区面积，7.35 m<sup>2</sup>；

$\alpha$ ——屏蔽墙对主束第二次散射系数，6.0E-03；

$R_{0_2-A_0}$ ——靶点至第一次散射面中心距离，4.2m；

$R_{A_0-A}$ ——第一散射面中心点至第二散射面中心点距离，9.7m；

$R_{A-E}$ ——第二散射面中心至防护门口距离，9.2m。

计算得  $H_s=25.08\mu\text{Sv/h}$ 。

### ⑦主束经迷路内墙后在迷道内的散射至防护门口

该部分计算公式参考主束天空散射公式，见（11-9）。

$$H_{ss} = \frac{H_0 F f(\theta)}{R_x^2} B \dots\dots\dots (11-9)$$

式中：

$f(\theta)$ ——散射光子角；

$R_x$ ——迷路内墙外侧到迷路口的距离；

$H_0$  —— 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率,  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$F$ ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，0.16m<sup>2</sup>；

$B$ ——透射因子，由（11-3）计算。

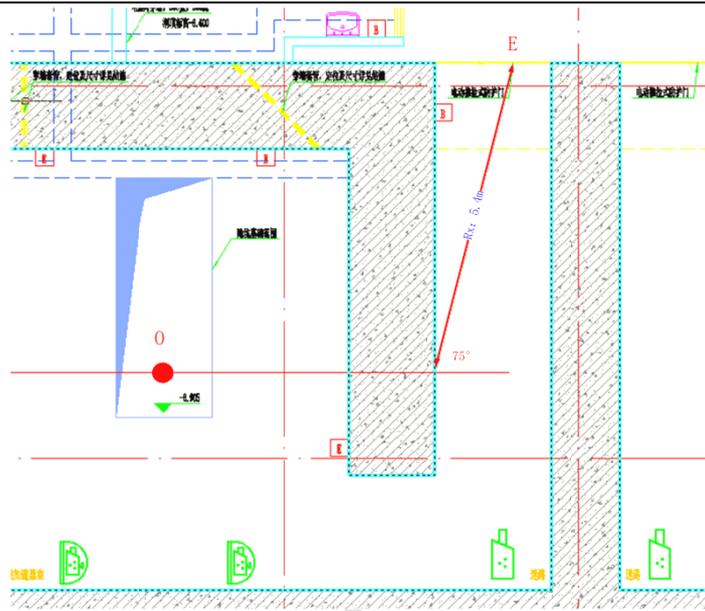


表 11.14  $H_{ss}$  计算参数结果

参数名称	$H_o$	$f(\theta)$	$R_x$	$TVL_1$	$TVL$	$X_e$	$F$	$H_{ss}$
单位	$\mu Sv \cdot m^2/h$	/	m	cm	cm	cm	$m^2$	$\mu Sv/h$
关注点 E	1.44E+09	0.035	5.4	41	37	150	0.16	3.19

### ⑦防护门外（E 点）辐射剂量率

防护门外的 x 射线辐射剂量率  $H_g$  按式 (11-9) 计算。

$$H_g = H_{og} \cdot 10^{-(X_e/TVL_{pb}(\text{泄露}))} + (H'_g + H''_g + H_g''' + H_s) \cdot 10^{-(X_e/TVL_{pb}(0.25))} + (H_g'''' + H_{ss}) \cdot 10^{-(X_e/TVL_{pb}(0.25))} \quad (11-10)$$

式中： $TVL_{pb}$ ——铅的十值层，mm（NCRP No.151 报告给出，迷道入口来自患者散射、机头泄漏射线的散射辐射，其能量较低平均值约为 0.25MeV，在 Pb 中的 TVL 为 5mm，主束射线经迷路内墙后散射辐射，其能量约为 0.5MeV，在 Pb 中的 TVL 为 14mm。NCRP No.151 报告给出 Pb 对 10MV X 射线的 TVL 为 5.7cm，本评价对加速器运行时泄漏辐射估算时保守采用此值，并考虑以 30° 斜射角入射屏蔽材料）；

$H_g$ ——加速器迷道入口处的 x 射线散射辐射剂量率， $\mu Sv/h$ ；

$X_e$ —防护门铅当量，防护门铅当量，本项目防护门设计为 25mmPb+50mm 含硼 5%的聚乙烯，相当于 25mmPb。

表 11.15  $H_g$  主要参数数值及计算结果

参数	$H_{og}$	$H'_g$	$H''_g$	$H'''_g$	$H''''_g$	$H_s$	$H_{ss}$	$H_g$
单位	$\mu\text{Sv/h}$							
关注点 E	0.024	136.9	12.44	2.89	0.059	25.08	3.19	0.11

**(7) 加速器机房周围辐射水平**

通过预测分析，1#加速器机房外各关注点剂量水平满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第二部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中，关于治疗机房和入口门外关注点剂量率参考控制限值。各关注点当量剂量率如表 11.16 所示。

表 11.16 电子直线加速器机房外各关注点剂量当量

关注点	关注点描述	预测关注点剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	评价限值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	是否满足要求
A1	1#加速器控制室	0.90	2.5	满足
C1	通道	0.59	2.5	满足
C2	通道	4.32E-01	2.5	满足
C3	通道	4.06E-01	2.5	满足
C4	餐厅	0.15	2.5	满足
D1	2#机房迷路	1.42	2.5	满足
D2	2#机房迷路	0.09	2.5	满足
F1	广场	0.95	2.5	满足
F2	广场	4.76E-02	2.5	满足
F3	广场	4.76E-02	2.5	满足
E	防护门口	0.11	2.5	满足

由表 11.16 可知，1#直线加速器机房各预测点均满足 GBZ 126-2011 “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应不大于 2.5  $\mu\text{Sv/h}$ ” 的要求。由于 2#直线加速器机房大小、防护能力与 1#机房一致，故 2#直线加速器机房防护能力也可以满足 GBZ 126-2011 中剂量率限值的要求。

本项目两台加速器机房相邻，如果两台加速器同时运行，以 1#加速器机房关注点为列，当两台加速器同时运行时，同时受到影响的关注点应为防护门口（E 点），1#加速器控制室（A1 点）；对于 E 点的叠加影响，可将 2#加速器防护门

口剂量率经过距离衰减后到达 E 点的剂量率进行叠加，2#加速器机房防护门口剂量率值为 0.11 $\mu$ Sv/h，经 2.9m 的衰减后为 0.01 $\mu$ Sv/h，此时 E 点的剂量率应为 0.12 $\mu$ Sv/h，此时的剂量率在不考虑控制室普通墙体的衰减作用，到达 A1 点后应为 0.01  $\mu$  Sv/h，此时 A1 点的剂量率应为 0.91  $\mu$  Sv/h，同样满足 GBZ 126-2011“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应不大于 2.5  $\mu$  Sv/h”的要求。

#### 11.1.4 剂量预测分析

##### 1) 工作负荷

(1) 出束时间：加速器预期每天治疗约 45 人次，平均 2.5 野次/人，在常规治疗照射条件下，平均每野出束时间为 1.2min（3min/人次），加速器日治疗出束时间 135min，年工作 250d，总出束时间 562.5h。调强治疗增加治疗野次，相应的减少治疗日患者人数，治疗日的总出束时间不变。

(2) 不同能量使用情况：70%为 6MV，30%为 10MV 运行。

(3) 治疗模式：约 70%进行调强适形治疗，30%进行常规治疗。

(4) 利用因子：机头水平（90° 和 270°）出束时间约占年工作量的 10%；机头向上（180°）出束时间约占年工作量的 5%；机头向下（0°）出束时间约占年工作量的 85%。放射防护工作中，保守取值为：向下 1，水平和向上 0.25。

本次评价采取保守模式估算工作人员受照剂量即加速器全部采用 10MV 能量，且利用因子全部按照 1 估算。

##### 2) 剂量预测

根据《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZT201.1-2007）中附表 A.1 不同场所的居留因子的描述，确定项目不同场所的居留因子见表 11.17。

表 11.17 居留因子

场所	居留因子	场所描述
全居留	1	控制室、辅助机房
部分居留	1/4	相邻治疗室
	1/4	走廊
偶然居留	1/8	治疗室房门
	1/16	候诊室、病人滞留区

项目致人员辐射剂量，按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）

--2000 年报告附录 A 公式计算。

$$H_E = D_r \times t \times 1 \times 10^{-6} (\text{mSv}) \dots\dots\dots (11-11)$$

式中： $H_E$ —— $\gamma$ 射线外照射人均有效剂量当量，mSv；

$D_r$ —— $\gamma$ 射线空气吸收剂量率，nGy/h；

$t$ —— $\gamma$ 射线年照射时间，小时；

1——剂量换算系数，Sv/Gy。

表 11.18 电子直线加速器机房外各关注点剂量当量

点 位	关注点描述	居留 因子	剂量率 / $\mu\text{Sv/h}$	照射时间 /h	年剂量 mSv/a	年剂量限 值 mSv/a	关注人群
A1	1#加速器控 制室	1	0.90	562.5	3.92E-01	2	职业人员
C1	通道	1/4	0.59	562.5	6.36E-02	0.1	公众人员
C2	通道	1/4	4.32E-01	562.5	4.71E-02	0.1	公众人员
C3	通道	1/4	4.06E-01	562.5	4.43E-02	0.1	公众人员
C4	餐厅	1/4	0.15	562.5	1.64E-02	0.1	公众人员
D1	2#机房迷路	1/4	1.42	562.5	1.55E-01	2	职业人员
D2	2#机房迷路	1/4	0.09	562.5	9.77E-03	2	职业人员
F1	广场	1/16	0.95	562.5	2.60E-02	0.1	公众人员
F2	广场	1/16	4.76E-02	562.5	1.29E-03	0.1	公众人员
F3	广场	1/16	4.76E-02	562.5	1.29E-03	0.1	公众人员
E	防护门口	1/8	0.11	562.5	5.99E-03	0.1	公众人员

分析表 11.18，项目运行后各关注点致职业人员、公众人员年剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中限值的要求。因此，项目辐射防护能力满足要求，项目运行对周围环境及人员造成的年剂量满足标准要求。

### 11.1.5 有害气体环境影响分析

空气中的  $\text{O}_2$  和  $\text{N}_2$  分别在 X 射线的作用下，生成自由基，与空气中的  $\text{O}_2$  和  $\text{N}_2$  结合，生成  $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_x$ ，他们是与辐射相关的非辐射危害因素。 $\text{O}_3$  的主要毒性是氧化作用，对粘膜有很强的刺激作用，中毒症状为肺功能下降，呼吸道感染、鼻炎等。

## 1) 治疗室通风设计

根据 GBZ126-2011 要求直线加速器机房内通风次数不小于 4 次/小时。加速器机房体积（不含迷路）约为 232m<sup>3</sup>，为达到每小时 4 次通风量，则排风机通风量应不小于 928m<sup>3</sup>/h。

## 2) 臭氧环境影响分析

### (1) 臭氧的产额

加速器的 X 射线和电子束是扩展辐射束，依 IAEA188 《电子直线加速器工作的辐射安全问题》和《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 VoL14, 2, P101, 1994），加速器辐射所致 O<sub>3</sub> 的产额估算方法如下：

#### ①有用线束的 O<sub>3</sub> 的产额

$$P = 2.43D_0(1 - \cos\theta)RG \dots\dots\dots (11-12)$$

式中：P——O<sub>3</sub> 的产额，mg/h；

D<sub>0</sub>——辐射有用束在距靶 1m 处的输出量，本项目为 24Gy·m<sup>2</sup>/min；

R——靶到屏蔽物（墙）的距离，本项目为 3.4m；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O<sub>3</sub> 分子数（G=6）；

θ——有用束的半张角，本项目为 14°。

有用线束的 O<sub>3</sub> 的产额 P<sub>1</sub>=2.43×24×（1-cos14）×3.4×6=35.36mg/h。

#### ②泄露辐射的 O<sub>3</sub> 的产额

将将泄露辐射看为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑机房壁的散射线使室内的 O<sub>3</sub> 产额增加 10%，O<sub>3</sub> 的产额 P（mg/h）为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} D_0 G V^{1/3} \dots\dots\dots (11-13)$$

式中：V 为加速器室的体积，232m<sup>3</sup>；其余符合同式（11-12）。

电子加速器治疗室体积为 232m<sup>3</sup>。泄露辐射的 O<sub>3</sub> 的产额 P<sub>2</sub>=3.32×10<sup>-3</sup>×6×232<sup>1/3</sup>=0.12mg/h。

本项目臭氧的产额 P=P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>=35.36+0.12=35.48mg/h。

### (2) 臭氧的浓度

辐射所致有害气体以 O<sub>3</sub> 为主，在考虑通风情况下，空气中 O<sub>3</sub> 的平衡浓度由下式估算：

$$Q = \frac{P \times T}{V} \dots\dots\dots (11-14)$$

式中：Q——加速器治疗室内 O<sub>3</sub> 平衡浓度，mg/m<sup>3</sup>；

P——O<sub>3</sub> 的辐射产额，mg/h；

T——有效清洗时间，h；

V——治疗室体积，m<sup>3</sup>。

有效清洗时间 T 由下式计算：

$$T = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \dots\dots\dots (11-15)$$

式中：T<sub>v</sub>——换气一次所需时间，h；

T<sub>d</sub>——O<sub>3</sub> 有效分解时间，取 0.83h。

加速器治疗室容积约为 232m<sup>3</sup>，换气次数每小时 4 次，根据(11-15)和(11-16)式得加速器治疗室内臭氧浓度为 0.029mg/m<sup>3</sup>，可满足《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002)中 0.16mg/m<sup>3</sup> (1 小时平均值)的 O<sub>3</sub> 浓度限值要求。

### 3) 氮氧化物环境影响分析

在多种氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 中，以 NO<sub>2</sub> 为主，其产额约为 O<sub>3</sub> 的 1/2，排风次数达到 4 次/小时可满足《室内空气质量标准》(GBT18883-2002)中 0.24mg/m<sup>3</sup> (1 小时平均值)的 NO<sub>2</sub> 浓度限值要求。所以，在加速器运行中，应时刻保持良好的通风。

### 4) 感生放射性影响分析

本项目加速器使用 X 射线 (6MV/10MV) 治疗模式时，治疗等中心处辐射剂量率为 600cGy/min—2400 cGy/min。NCRP No.151 报告给出的钨靶发生光核反应 (γ, n) 的阈值为 8.0MeV。因此，当加速器产生 X 射线的能量大于 8.0MeV 时，加速器打靶过程中产生的高能 X 射线与设备部件也可能发生光核反应 (γ, n)，次生中子与周围物质相互作用产生感生放射性。感生放射性主要产生在加速器的结构材料，感生放射性核素放出β射线和 γ 射线。

### 5) 冷却水的影响分析

加速器产生的冷却水不外排，如果检修冷却水系统，将用容器将冷却水进行收集，转移至核医学科衰变池，也可以进行回用。

## 11.2 数字减影血管造影机环境影响分析

### 11.2.1 工作场所防护措施分析及要求

数字减影血管造影机机房数字减影血管造影机房位于医疗综合楼三层西侧，机房周围为设备机房，控制室，候诊区，楼上为手术室（移动 DR 机房），楼下为大厅，机房防护设计见表 11.19 所示。

表 11.19 数字减影血管造影机机房防护设计

机房名	墙体厚度	机房净高 (m)	长×宽 (m)	防护门	观察窗
DSA1#	轻钢龙骨结构，内衬 3mm 铅板；楼板为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡粉刷层 (3mmPb)	4.0	7.9×5.9	3mmPb	3mmPb
DSA2#		4.0	7.3×6.3	3mmPb	3mmPb
DSA3#		4.0	7.3×5.8	3mmPb	3mmPb

注：铅密度：11.35g/cm<sup>2</sup>；混凝土密度：2.35g/cm<sup>2</sup>。等效屏蔽效果由 GBZ130-2013，附录 D 表 D.7 查得。

本项目机房四周屏蔽墙、防护门及观察窗屏蔽厚度均不低于 2mmPb，能够满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）要求：介入 X 射线设备机房中墙壁应有 2mmPb 的防护厚度。

### 11.2.2 血管造影机运行参数

根据院方提供的数据，现有导管室全年开展介入治疗人数约 400 人次，考虑到未来的发展，本评价按 1 台 DSA 全年完成 600 例手术进行估算。据了解，完成 1 例冠状动脉造影的总出束时间约 20min，其中透视 17.5min，摄影约 2.5min。

表 11.20 估算出血管造影机的年出束时间。

表 11.20 血管造影机年出束时间预计

工作状态	管电压	管电流	平均出束时间/例	年治疗人数	累计出束时间
透视	90kV	10mA	17.5min	600	175h
摄影	90kV	500mA	2.5min	600	25h

### 11.2.3 正常工况下的贯穿辐射水平

本项目 3 台 DSA 的参数都相同，型号待招标后确定，机房的防护设计也相同，由于其中 DSA3#的机房大小较其余 2 台机房偏小，所以选取 DSA3#进行剂量估算来预测设备运行时各关注点的剂量率水平。

在进行介入检查和介入治疗时，工作人员不可避免会受到一定程度的 X 射线照射。此外，尽管配有防护设施，X 射线可能贯穿到机房外，对周围公众有一定的影响。

DSA 的额定功率约 80-100kW。设备具有自动调强功能，为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和功率通常留有约 30%的裕量，即管电压控制在 100kV 以下，功率控制在 50-70kW。一般透视工况为 60-90kV/5-10mA，摄影工况为 60-90kV/300-500mA。

本项目保守取透视工况下设备 1m 处的空气比释动能率最大值 25mGy/min (1.5Gy/h) 作为源项进行评价，摄影工况下，管电流约为透视工况的 50 倍，最大源强为 75Gy/h。

X 射线靶点视为点源，源强保守按实际使用的最大功率（透视 90kV/10mA、摄影 90kV/500mA），混凝土、粘土砖和铅的透射系数依据 GBZ130-2013 附录 D 计算，再结合距离衰减，来估算机房周围各关注点的剂量率水平。

$$H = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \dots\dots\dots (11-16)$$

式中：H—关注点附加剂量率，μGy/h；

H<sub>0</sub>—距焦点 1m 处剂量率，μGy/h；

d—关注点至靶点距离，m；

B—衰减因子， $B = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}}$ ，按照 GB130-2013 附录 D 计算；

血管造影仪使用时，机头位置不固定，会在床旁一定范围内移动。机房的空  
间尺寸 7.3m(长)×5.8m(宽)×3.5 m(高)，在屏蔽计算时，保守取设备球管靶点到楼  
上（楼下）地面 1m 处估算点的距离为 3.5m，到四周墙壁外估算点的最短距离  
分别为 2.5m。

根据公式各关注点处辐射剂量率计算结果见表 11.21。

表 11.21 关注点处辐射剂量率计算结果

介入 工作 类型	位置	屏蔽等 效铅当 量	衰减因 子	射线束	焦点剂 量率	距离 (m)	屏蔽后附 加剂量率 (μGy/h)
X 射线 透视， 工况 90kV/ 10mA	观察窗 A	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向 散射	1.5Gy/h	2.5	1.97E-03
	防护门 B	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向 散射		2.5	1.97E-03
	西墙 C	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向 散射		2.5	1.9E-03

	设备间防护门 D	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向散射		2.5	1.97E-03
	北墙 E	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向散射		2.5	1.9E-03
	东墙 F	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向散射		2.5	1.9E-03
	楼上	3mmPb	8.2E-06	泄漏+前/背向散射		3.5	1.0E-03
	楼下	3mmPb	8.2E-06	泄漏+前/背向散射		3.5	1.0E-03
X 射线摄影, 工况 90kV/500mA	观察窗 A	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向散射	75Gy/h	2.5	9.7E-02
	防护门 B	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向散射		2.5	9.7E-02
	西墙 C	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向散射		2.5	9.8E-02
	设备间防护门 D	3mmPb	3.8E-07	泄漏+侧向散射		2.5	9.7E-02
	北墙 E	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向散射		2.5	9.8E-02
	东墙 F	3mmPb	8.2E-06	泄漏+侧向散射		2.5	9.8E-02
	楼上	3mmPb	8.2E-06	泄漏+前/背向散射		3.5	5.0E-02
	楼下	3mmPb	8.2E-06	泄漏+前/背向散射		3.5	5.0E-02

从上述估算结果可知, 在“透视”和“摄影”过程中, 所致血管造影仪房周围附加剂量率最大值为  $0.098 \mu\text{Gy/h}$ , 远远小于本项目所设定的机房屏蔽体外 30cm 处的剂量率控制水平  $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。

上述评价是基于保守假设进行的。事实上, 患者身体对 X 射线会有部分的吸收, 约衰减 1-2 个量级 (NCRP147 号报告), 设备图像增强器对主束有阻挡作用 (NCRP147 号报告), 预计实际运行时, 机房周围的附加剂量率水平可以维持在正常本底水平。

#### 11.2.4 正常工况下医护人员的年剂量估算

类比北京中医药大学东方医院现有血管造影仪的现场监测结果, 此外, 根据以往介入治疗的环评经验, 如果采取铅衣(0.5mm 铅当量)屏蔽措施医生受照剂量

降为 1/8。在进行透视时，医生受照剂量接近 2.44 $\mu$ Gy/h，在进行摄影时，达到 41.25 $\mu$ Gy/h。医院血管造影仪做心脏造影、心脏支架、起搏器、下肢造影、脑血管造影、肺栓塞和支气管造影等由相关辐射工作人员来完成。保守估算，假设全部由 1 名工作人员完成。

剂量估算公式：按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000 年报告附录 A，X- $\gamma$  射线产生的外照射人均年当量剂量当量计算公式如下：

$$H_{E,r} = D_r \times t \times T \times 1 \times 10^{-3} (mSv) \dots\dots\dots (11-17)$$

式中：H<sub>Er</sub>——年有效剂量， mSv；

D<sub>r</sub>——X- $\gamma$  射线空气吸收剂量率，  $\mu$ Gy/h；

t——X- $\gamma$  照射时间， h；

T——居留因子，根据《放射物理与防护》第十一章放射线的屏蔽防护中居留因子选取依据，职业人员取 1，公众人员取 1/4；

1—— 剂量换算系数， Sv/Gy。

推算出血管造影仪工作人员和周围的公众的年附加有效剂量参见表 11.22。

表 11.22 血管造影仪房周围工作人员的年附加有效剂量

估算对象		最大剂量率（0.5mmPb 铅衣屏蔽）	工作时间（h/a）	居留因子	年附加有效剂量（mSv）
工作人员	透视	2.44 $\mu$ Gy/h	175	1	1.46
	摄影	41.25 $\mu$ Gy/h	25	1	

由表 11.22 可知，血管造影仪机房内工作人员年剂量最大为 1.46mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，低于本报告提出的约束限值 5mSv/a。

当开展介入手术时，介入手术工作人员均按照《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）穿戴铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等，同时设置铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏等。同时在实际手术时，因不同类型的手术，其曝光或透视的管电压管电流不同，投照方位根据需要而变化，且投照出束时间不同，难以准确估算介入手术工作人员受到的准确照射剂量，只能依靠其佩戴的个人剂量计进行跟踪性监测。因此，医院应加

强对介入手术工作人员的个人剂量监测管理,当个人累积剂量将超过年有效剂量 5mSv 时,应及时告知本人,并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位,确保其年累积剂量不超过项目管理目标。

### 11.2.5 DSA 正常工况下公众人员年剂量估算

同样按年治疗 600 人的工作负荷,机房楼上、楼下普通医护人员和机房周围可能逗留的公众年受照最大剂量见表 11.23。可见,血管造影仪运行后,公众受照剂量最大为  $7.8 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求,低于本报告提出的约束限值 0.1 mSv/a。

表 11.23 公众在各关注点的年剂量

估算对象		最大剂量率*	工作时间 (h/a)	居留因子	年附加有效剂量 (mSv)
西墙外楼梯间(C点)	透视	1.9E-03 $\mu \text{Gy/h}$	175	1/16	7.8E-04
	摄影	9.8E-02 $\mu \text{Gy/h}$	25	1/16	
楼上	透视	1.0E-03 $\mu \text{Gy/h}$	175	1	3.9E-05
	摄影	5.0E-03 $\mu \text{Gy/h}$	25	1	

\*注:保守估算,取透视、摄影工况下最大剂量率估算。

## 事故影响分析

### 1) 事故风险类别识别

#### 1.1 电子直线加速器

在意外事件和事故状态下,如安全装置失灵、损坏等,人员可能误入正在进行出束的加速器室内,或者人员误留而出束,此时将会受到 X 射线照射的危害。

(1) 照射不能停束:操作人员必须严格按照操作规程操作设备,如发现设备不能正常停止照射时,应立刻切断总电源,强制停止照射,然后请厂家进行设备检修。

(2) 事故性出束:人员在加速器室工作时,控制室内操作人员误开机出束;人员也可能误入正在实施的加速器室。

为防止人员误留受到照射,工作人员在每次进入加速器室时携带 X 射线剂量报警仪;出束前应有声音报警,提示工作人员及时从加速器室撤出。还有定期维护门机联锁装置,防止人员误入而受照。

(3) 人员超剂量照射：一旦怀疑人员可能受到较大剂量照射，应及时送医院进行医学处理。

## 1.2 数字减影血管造影机

医用 X 射线装置发生大剂量照射事故的几率极小。设备在运行中，可能发生以下事件：

(1) 工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房，X 射线装置运行可能产生误照射；

(2) 安全装置发生故障状况下，人员误入正在运行的 X 射线装置机房；

(3) 故障情况下，设备维修人员调试过程中由于误开机造成误照射。

(4) DSA 发生事故造成患者皮肤烧伤。

## 2) 应急措施

### 2.1 电子直线加速器

生产调试活动中相关事故与应急响应包括：

(1) 利用已有的紧急安全设备，能迅速中断装置出束。

(2) 及时报告放射诊疗意外与事故，按国家辐射事故管理规定尽快向有关管理部门报告。

(3) 人员撤离高辐射区，并管制入口；保护工作不正常的装置，不随意启动或改变事故当时的状态。

(4) 迅速估计人员受辐射照射的剂量，测量个人剂量计，并据其放射损伤状况迅速组织到应急网内的医院进行诊断检查与治疗。

(5) 回顾事件与事故过程，配合管理部门的事故与剂量调查和测量工作，确认人员实际受照剂量。

(6) 查明事件与事故原因，排除故障，并经专门检验确认装置已恢复正常。按国家辐射事故管理规定结案并建立事故档案。

在项目运行中，医院将严格落实上述各项内容，建立含应急装备、应急网络、应急监测、应急报告、应急处理以及应急救治等的应急预案，并开展相关的应急预案演练。

(7) 按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和国家环境保护总局环发<2006>145 号文件之规定，发生辐射事故时，事故单位应当

立即启动本单位的辐射事故应急预案,采取必要防范措施,并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》,向北京市环境保护局报告。

## **2.2 数字减影血管造影机**

(1) 如果工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房,可利用机房防护门内与控制室设置的人工紧急停机、开门按钮,只要未撤离人员了解该按钮的作用,可避免此类事故的发生。因此,在机房内应设置此按钮醒目的指示和说明,便于在紧急情况下使用。

(2) 如果安全联动装置或报警系统发生故障状况下,人员误入正在运行的设备机房。机房防护门与设备之间设有门机联动装置,防护门上设有警示信号灯。每当打开防护门时,立即断电并停机,不致出现误照射。只有当联动装置或报警系统发生故障情况时,医务人员强行运行机器,才可能发生此类事故。因此,医务人员必须严格按照仪器操作程序进行诊疗,有效防止事故照射的发生。为避免此类事故的发生,要求工作人员每次上班时首先要检查防护门上的联动装置和报警系统是否正常。如果报警系统失灵,应立即修理,恢复正常。

(3) 维修人员调试过程中应加强对设备的看管,必要时可切断主电源,避免误照射。

## 表 12 辐射安全管理

### 12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第一款的要求，使用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。

北京同仁医院成立了辐射安全与环境保护管理小组，以院长王宁利为组长，副院长段金宁、张庆余为副组长（具体人员见表 12.1）。组长负责全院辐射安全与防护监督管理工作，划定职责与分工，保障放射职业人员、社会公众的健康与安全。该管理机构的基本组成涵盖医院使用射线装置的各个科室，在框架上基本符合要求。

表 12.1 辐射安全与环境保护管理小组

机构名称		辐射安全与环境保护管理小组				
负责人	姓名	王宁利		电话	010-58266754	
联系人	姓名	梁伟仪		电话	010-58266764	
	手机	13501358357		传真		
	Email	trkjaxmztgc@126.com				
序号	管理人员	姓名	性别	职务/学历	工作部门	专/兼职
1	主任委员	王宁利	男	法人代表/院长	同仁医院	兼职
2	主任委员	段金宁	男	主安全副院长	同仁医院	兼职
3	主任委员	张庆余	男	院长助理管	同仁医院	兼职
4	副主任委员	郑佳	女	主任	院感疾控处	兼职
5	常务委员	梁昱	女	副主任	院感疾控处	兼职
6	常务委员	王焱	男	处长	医学工程处	兼职
7	常务委员	魏红	女	处长	采购中心	兼职
8	常务委员	马洁	男	处长	保卫处	兼职
9	常务委员	刘超	男	处长	总务处	兼职
10	常务委员	朴颖实	女	主任	宣传中心	兼职
11	秘书	龙玉娟	女	科员	院感疾控处	医院专职
12	秘书	周缘	女	科员	院感疾控处	医院专职
13	秘书	周梦颖	女	科员	医学工程处	兼职
14	秘书	张革	男	科员	总务处	兼职
15	秘书	郭晓东	男	科员	采购中心	兼职
16	委员	鲜军舫	男	主任	医学影像中心	科室专职

17	委员	李眉	女	主任	核医学科	科室专职
18	委员	马长生	男	主任	心血管中心	兼职
19	委员	魏文斌	男	主任	眼科	兼职
20	委员	房居高	男	主任	头颈外科	兼职
21	委员	张川	男	主任	内窥镜中心	兼职
22	委员	陈山	男	主任	泌尿外科	兼职
23	委员	郁正亚	男	主任	普外科	兼职
24	委员	康军	男	主任	神经外科	兼职
25	委员	丁宁	男	主任	急诊（神内）	兼职
26	委员	张建中	男	主任	骨科	兼职
27	委员	刘静明	男	主任	口腔科	兼职
28	委员	于磊	男	主任	胸外科	兼职
29	委员	李永新	男	主任	耳科	兼职
30	委员	王徽	女	护士长	手术室	兼职
31	委员	顾梅	女	主任	肿瘤外科	兼职

## 12.2 辐射安全管理规章制度

### 12.2.1 辐射安全规章制度

医院已制定了一系列制度，包括：《辐射安全管理体系和岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《从业人员辐射安全培训制度》、《个人剂量监测和人体健康管理制度》、《环境监测及个人剂量监测方案》、《放射科医疗设备故障处理方法及维修和保养制度》、《导管室 DSA 设备定期保养与维修制度》、《核医学科台账管理制度》、《放射工作人员管理规定》、《北京同仁医院放射防护用品采购及使用管理制度》、《放射性操作和污物处理制度》、《射线装置台账管理制度》、《辐射事故应急预案应急预案》等制度。

医院已严格执行以上的规章制度，并将各项规章制度张贴至墙，责任到人。医院制定各项规章制度符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第六款的要求，具有可行性。

医院应根据本项目的开展，针对直线加速器制定相关的操作规程，并完善相关制度后，各项规章管理制度基本满足国家相关法律法规的要求，且在实际工作中得到有效的执行与落实。

### 12.2.2 人员配置和辐射安全与防护培训

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）的相关规定，医院从事放射工作人员需要全部参加辐射安全培训并取得合格证

书。

医院南区已参加辐射安全培训的有 30 人，培训人员情况详见表 12.2，医院在本项目开展后，若有新入职的辐射工作人员，需要参加辐射安全培训并取得合格证书后方可上岗，并及时安排辐射安全培训证书到期的人员参加复训。

表 12.2 参加辐射安全培训人员详细情况

序号	姓名	科室	环保辐射安全培训证	最近培训
1	白俊霞	放射科	A1202012	2016.05
2	常青林	放射科	A1202014	2016.05
3	陈青华	放射科	A1202016	2016.05
4	郭森林	放射科	A1202022	2016.05
5	郝 晖	放射科	A1202023	2016.05
6	康天良	放射科	A1202026	2016.05
7	米海峰	放射科	B1424043	2014.12
8	马文涛	放射科	A1406030	2014.12
9	佟亚健	放射科	A1202048	2016.05
10	王永哲	放射科	A1202056	2016.05
11	王 媛	放射科	B1424044	2016.05
12	虞滨滨	放射科	A1202068	2016.05
13	叶晓敏	放射科	B1424046	2016.05
14	张 青	放射科	A1202069	2016.05
15	张永县	放射科	A1103237	2016.05
16	周 羿	放射科	A1202074	2016.05
17	朱 蕾	放射科	A1202075	2016.05
18	赵新越	放射科	B1424047	2014.12
19	王 雷	导管室	A1202096	2016.05
20	刘 君	导管室	A1202090	2016.05
21	高福生	内镜中心	A1202108	2016.05
22	耿 颖	内镜中心	A1202104	2016.05
23	王俊秀	骨科	A1202120	2016.05
24	张 波	泌尿外科	A1206085	2016.05
25	杨建林	泌尿外科	A1206086	2016.05
26	宋 健	口腔科	A1202130	2016.05
27	刘婧睿	口腔科	B1424059	2014.12
28	陈会珍	口腔科	B1424060	2014.12
29	张树荣	肿瘤	A1406033	2014.12
30	张 冰	肿瘤	A1406034	2014.12

由于本项目为新增加使用 2 台加速器、3 台 DSA，因此需要纳入新的辐射工作人员，本项目拟配置的辐射工作人员情况见表 12.3。

表 12.3 本项目拟配置的辐射工作人员情况

部门	射线装置	不同岗位人员配置情况		
		医师	技师	护师
放疗科	加速器（2 台）	4（每台 2 名）	4（每台 2 名）	6（每台 3 名）
介入中心	DSA（3 台）	6（每台 2 名）	6（每台 2 名）	6（每台 2 名）

医院将在新增的射线装置开始运行使用前配置好表 12.3 中的辐射工作人员，并在安排参加辐射安全培训取得合格证书后进行上岗操作。

### 12.2.3 辐射监测

严格执行工作场所监测、个人剂量监测和环境监测制度，建立监测结果和个人剂量档案。发现异常时，应认真查找原因，防止因设备故障、操作不规范和防护用品损坏导致辐射对周围环境和人员的影响。

本项目监测方案：（1）本项目运行后，2 台加速器工作场所的辐射水平监测工作，将纳入医院辐射工作场所检测范围，其监测布点位置如附图五所示，如控制室内、设备机房内、防护门外至少设置 1 个监测点，机房顶部的主屏蔽区及其两侧的次屏蔽区分别设置 1 个监测点；（2）本项目运行后，3 台 DSA 的工作场所的辐射水平监测工作，将纳入医院辐射工作场所检测范围，其监测布点位置如附图六所示，如控制室、设备间、走廊至少设置 1 个监测点，楼上手术室、楼下大厅至少设置 1 个监测点；（3）本项目运行后，加速器机房和 DSA 机房周围的环境辐射水平监测工作，也将纳入医院环境辐射水平的监测范围，一并按照 1 次/a 的频度开展。

### 12.3 健康管理

医院严格按照国家关于健康管理的规定，为工作人员配备个人剂量计和辐射防护成套铅服。具体还应做好以下几个方面：对新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检，合格者才能上岗；对从事辐射工作的工作人员进行个人剂量监测，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。职业健康检查的频率为每年 1 次。

同时，医院应为放射工作人员终生保存个人剂量监测档案和职业健康监护档案；在本单位从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也将进行健康体检。

### 12.4 从事辐射活动应具备的条件分析

依据《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（环

境保护部令第3号，2008年）和《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）规定，现对同仁医院从事辐射活动能力评价列于表12.2和表12.3。

#### 12.4.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表12.4汇总列出了本项目对照《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（环境保护部令第3号，2008年）对使用放射性同位素和射线装置单位具体要求的评估情况。

表 12.4 项目执行“环保部3号令”要求对照表

序号	环保部3号令要求	本单位落实情况	是否符合要求
1	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	已成立辐射防护领导小组，并在该机构设有本科学历的专职管理人员。	符合
2	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。	该医院目前所有辐射工作人员都已经参加培训，如有新的从事辐射工作人员将及时参加辐射防护培训，保证持证上岗。	符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体防卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目不涉及放射性同位素。	/
4	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要求的安全措施。	已制定相应的操作规程，人员出入口处拟设置电离辐射警告标志；拟安装有工作状态指示灯和急停按钮等。	符合
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，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。	所有辐射工作人员已配备个人剂量计，已配置固定式射线报警仪和个人剂量报警仪。	符合
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。	有健全的规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	符合
7	有完善的辐射事故应急措施。	已制定完善的辐射事故应急处理预案。	符合
8	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。	如不能满足清洁解控要求，需送北京市放射性废物库暂存。	符合

### 12.4.2 对《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的符合情况

《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18号,2011年)对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体要求,本项目具备的条件与“环保部18号令”要求的对照检查如表12.5所示。

表 12.5 项目执行“环保部 18 号令”要求对照表

序号	安全和防护管理办法要求	本单位落实情况	是否符合要求
1	<b>第五条</b> 射线装置的生产调试和使用场所,应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	加速器和 DSA 机房出入口通道口安装屏蔽 X 射线防护门,门外侧显著位置设置放射性警告标识和中文警示说明;在防护门上方墙面安装工作状态指示灯。	符合
2	<b>第九条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当按照国家环境监测规范,对相关场所进行辐射监测,并对监测数据的真实性、可靠性负责;不具备自行监测能力的,可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行检测。	医院委托有辐射监测资质单位每年对辐射工作场所周围和院内环境进行 1 次监测。医院配置有便携式辐射剂量率仪和辐射监测报警仪、固定式辐射剂量率监测仪等设备自行开展辐射监测。	符合
3	<b>第十二条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估,并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	医院每年 1 月 31 日前向北京市环保局提交上一年度评估报告。	符合
4	<b>第十七条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲,对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训,并进行考核;考核不合格的,不得上岗。	医院所有辐射工作人员都已参加辐射防护安全培训。	符合
5	<b>第二十三条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准,对本单位的辐射工作人员进行个人	将为所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计,并委托有资质单位进行个人剂	符合

	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。	量监测（每季度1次）	
--	---	------------	--

由以上分析可知，该单位从事辐射活动的技术能力符合相关法律法规的要求。

## 12.5 辐射监测

### 12.5.1 辐射监测方案

#### (1) 个人剂量监测

所有从事放射性工作的医护人员均佩戴 TLD 个人剂量计，按每季度 1 次的频度，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）、《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部令第 55 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部 18 号令）的要求，建立个人剂量档案。

医院指定专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射安全与环境保护管理机构。

目前，医院的个人剂量检测委托北京市疾病预防控制中心按每季度 1 次的频度进行个人剂量监测，个人剂量档案齐全。

#### (2) 工作场所及环境监测

医院应委托有资质的单位定期对射线装置周围环境进行辐射环境监测，并建立监测技术档案。监测数据每年年底向当地环保部门上报备案。

a、常规监测：根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十九条要求，医院应配备一台 X-γ 辐射监测仪，对医院射线装置工作场所进行常规监测，并建立环境安全档案。常规监测一般每周进行一次。

b、定期监测：医院应委托有资质的单位定期（每年 1 次）对操作室及周围环境进行辐射环境监测，并建立监测技术档案。监测数据每年年底向当地环保局上报备案。

c、监测范围：根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》7.2X 射线设备机房设施和机房周围辐射剂量检测要求，射线装置工作人员工作场所和射线机房屏蔽墙外，防护门及缝隙处，电缆及管道的出入口，候诊区、控制室，操作台等。

d、监测项目：X-γ 辐射剂量率。

e、监测频度：医院常规监测每周一次、定期监测每年一次。

f、监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

### 12.5.2 辐射监测设备和防护用品

根据本次项目运行的需要，医院拟购置必要的辐射监测设备，见表 12.6。同时为保障新增的辐射工作人员的安全，医院为每位新增的辐射工作人员配备个人剂量计 1 套，并配备有铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品。

表 12.6 医院拟配置的辐射监测仪和防护用品

序号	仪器名称	仪器数量	使用科室
1	固定式辐射剂量监测报警仪器	2 (两加速器机房各 1 台)	放疗科
2	个人剂量报警仪	4 (两加速器机房各配置 2 台)	放疗科
3	X、 $\gamma$ 射线剂量率仪	1 (两加速器机房、三 DSA 机房共配置 1 台)	放疗科、介入中心
4	患者放射治疗质量控制仪器设备	1 套	放疗科、介入中心
5	辐射防护用品 (含个人剂量监测)	个人剂量计 32 支(新增从事放射工作人员各一支)。 铅围裙 25 件(两加速器机房和三 DSA 机房各 5 件)；铅帽 25 顶(两加速器机房和三 DSA 机房各 5 顶)；铅围脖 25 条(两加速器机房和三 DSA 机房各 5 条)；铅衣 25 件(两加速器机房和三 DSA 机房各 5 件)；铅眼镜 15 副(两加速器机房和三 DSA 机房各 3 副)；铅屏风 5 扇(两加速器机房和三 DSA 机房各 1 扇)。	放疗科、介入中心

### 12.5.3 辐射监测开展情况

(1) 个人剂量监测：同仁医院委托北京市疾病预防控制中心对医院辐射工作人员个人剂量进行定期监测，符合标准要求，监测报告见附件六。

(2) 工作场所监测：医院配备辐射监测仪 2 台（电离室巡测仪 RT1），每周进行常规监测，并将常规监测数据记录存档。定期委托有资质单位对射线工作场所进行环境监测，监测报告见附件五。

## 12.6 辐射事故应急

### 12.6.1 辐射事故应急处理预案的制定

医院按照国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和环境保护主管部门的要求已制定《辐射事故应急预案》，预案包括如下内容：

- (1) 辐射突发事件应急处置领导小组及职责；
- (2) 预防与预警放射性事故发生的措施；
- (3) 应急处置工作程序；
- (4) 后期处置及保障措施。
- (5) 培训及演习、预案管理

发生辐射事故时，医院应当立即启动应急预案，采取应急措施，并立即向当地环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。

医院已制定的《辐射事故应急预案》包括有：事故应急组织机构、人员职责、应急事故行动步骤、应急预案具体人员，具有可行性。由于医院之前没有使用医用直线加速器，增加了核技术应用类别，因此，医院应在现有的《辐射事故应急预案》中增加医用加速器的应急预案。

### 12.6.2 辐射事故应急处理预案的执行情况

医院已严格按照《辐射事故应急预案》的内容，定期进行辐射事故演练，医院应继续定期组织辐射事故演习，以便在事故发生时能将辐射事故降低到最低限度。

**表 13 结论与建议**

**结论**

1、北京同仁医院经济技术开发区院区使用 II 类射线装置项目，目的在于开展医学放射诊疗，对保障人民群众身体健康、拯救生命将起到十分重要的作用，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

2、北京同仁医院经济技术开发区院区本次环评内容为：II 类射线装置 10MV 直线加速器 2 台、数字减影血管造影机 3 台，位于拟建的医疗综合楼，场所的布局基本合理，其选址是合理可行的。

3、经辐射屏蔽能力分析，医院直线加速器机房采用的防护措施可以满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中关于加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的参考控制限值。数字减影血管造影机机房的防护措施和安全措施满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）的要求。

4、本项目运行后，直线加速器对职业工作人员造成的年剂量最大为  $0.39\text{mSv}$ ，对公众人员造成的年剂量最大为  $0.06\text{mSv}$ ，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员  $20\text{mSv/年}$ ，公众人员  $1\text{mSv/年}$  限值的要求，也满足本环评提出的职业人员  $2\text{mSv/年}$ ，公众人员  $0.1\text{mSv/年}$  的约束限值要求。血管造影仪对职业人员和公众人员造成的年剂量也满足相关剂量限值要求。

5、医院成立有辐射环境管理机构，制定的辐射防安全管理制度基本完善，在落实本报告表提出的辐射防护措施后，可以满足辐射环境管理要求。

综上所述，首都医科大学附属北京同仁医院只要严格按照国家有关辐射防护规定执行，采取切实措施做好辐射防护管理工作，保障人员安全，完善相关规章制度及应急措施，并严格落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境监管计划，该项目对职业人员、公众人员和周围环境的辐射影响就可以控制在国家允许的标准范围之内。因此，从辐射环境保护的角度分析，该项目是可行的。

**建议**

1、医院应加强对工作人员和公众成员辐射防护知识的宣传教育，提高其自身安全防护意识，防止事故发生。

2、直加速器机房排风量应不小于 928m<sup>3</sup>/h，排风口设置在迷路内口斜对角，在加速器运行后应等待 5~10 分钟再进入治疗室内。

4、医院应加强辐射工作人员的辐射安全培训工作，强调在进行介入手术时，医护人员必须穿戴防护用品，并制定相关工作制度。

5、进行介入手术的医护人员，在手术时必须佩戴个人剂量剂，个人剂量剂定期送检；医护人员定期体检，并建立个人剂量档案和体检档案。

6、每周至少进行一次一系列的检查：安全联锁（动）装置、报警系统和防护仪表、定位装置等，发现问题及时解决。不得在没有启动安全防护装置的情况下强制运行射线装置，以防止辐射照射事故发生。

7、对于铅衣等防护用品勿长时间悬挂，勿折叠，建议平放。每年至少自行检查两次，若发现有老化、断裂或损伤的防护用品，应立即更换新的防护用品。

8、根据要求建设项目竣工运行三个月内需要向环保主管部门申请竣工验收，验收合格后方可正式运行。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

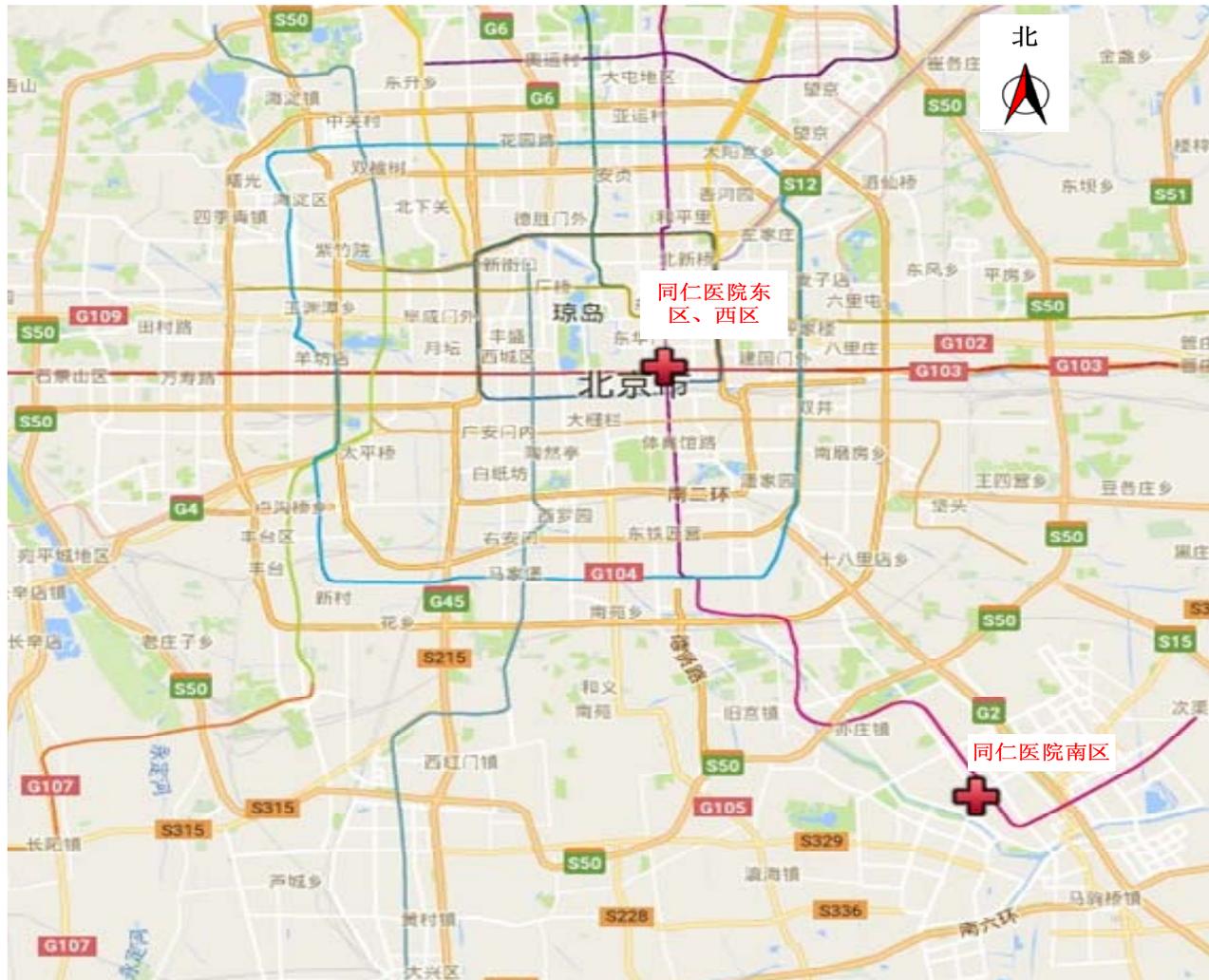
公章

经办人:       年   月   日

审批意见:

公章

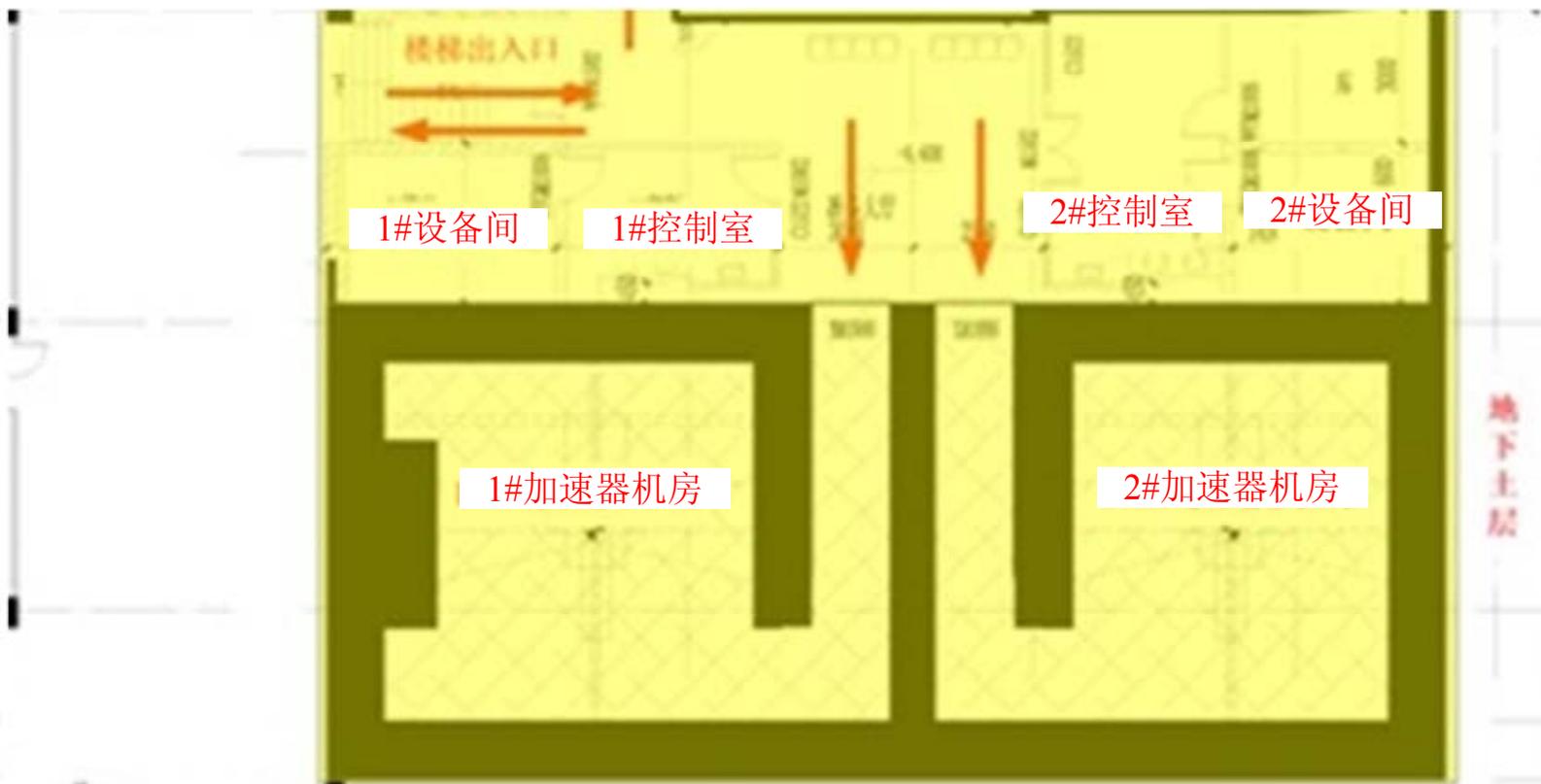
经办人:       年   月   日



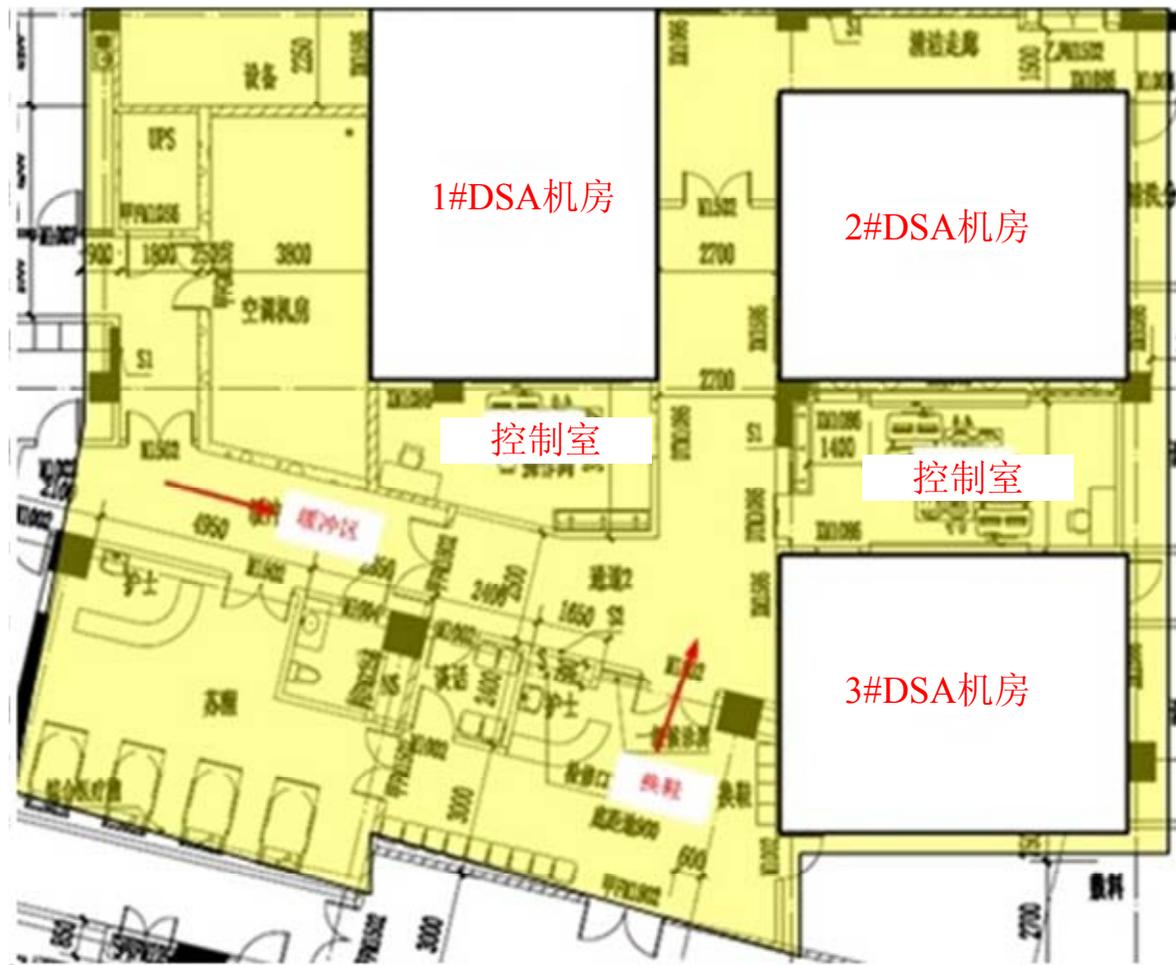
附图 1 北京同仁医院南区地理位置图



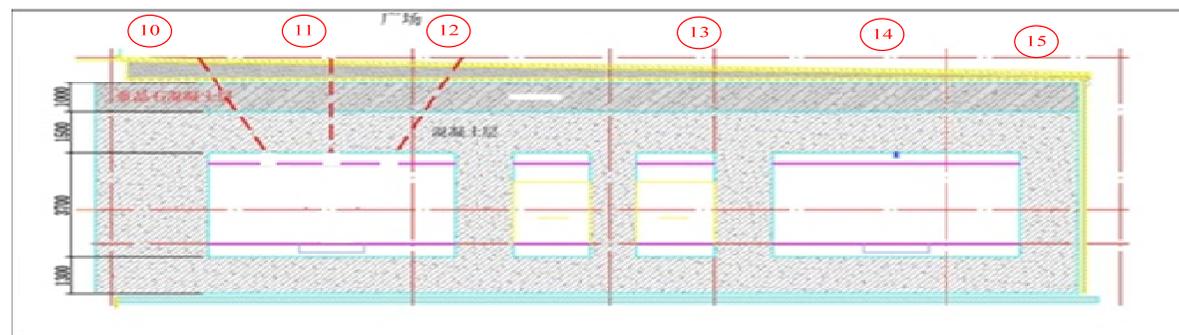
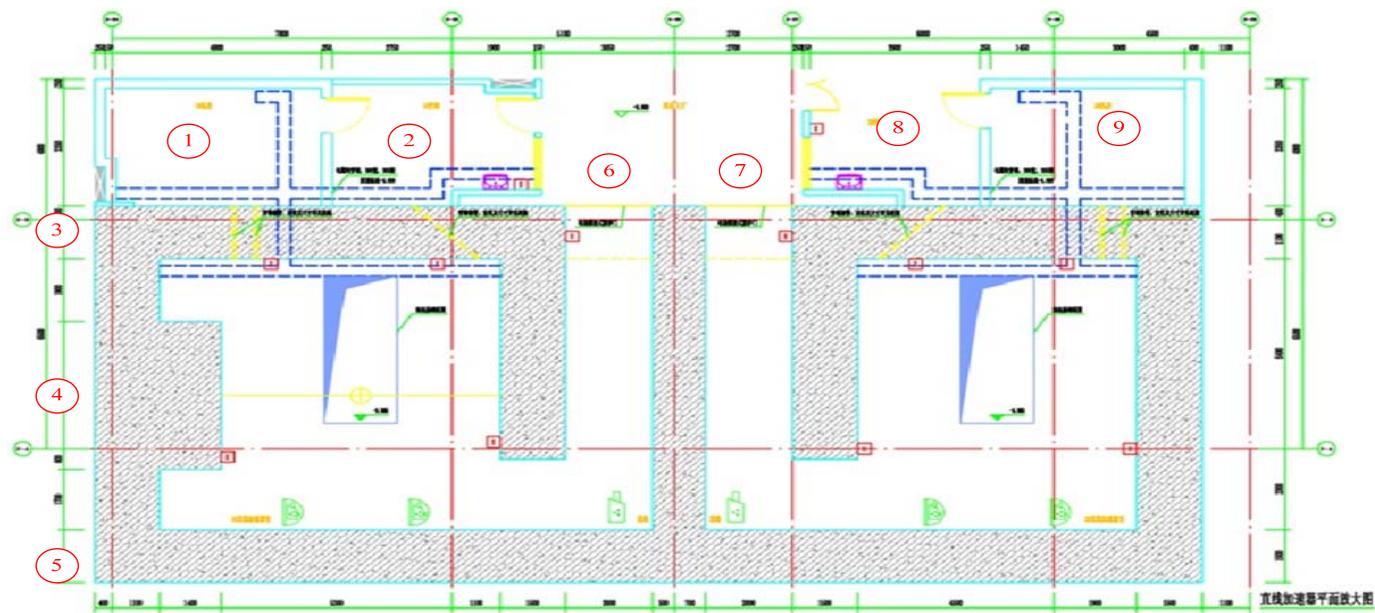
附图 2 北京同仁医院南区平面布置图



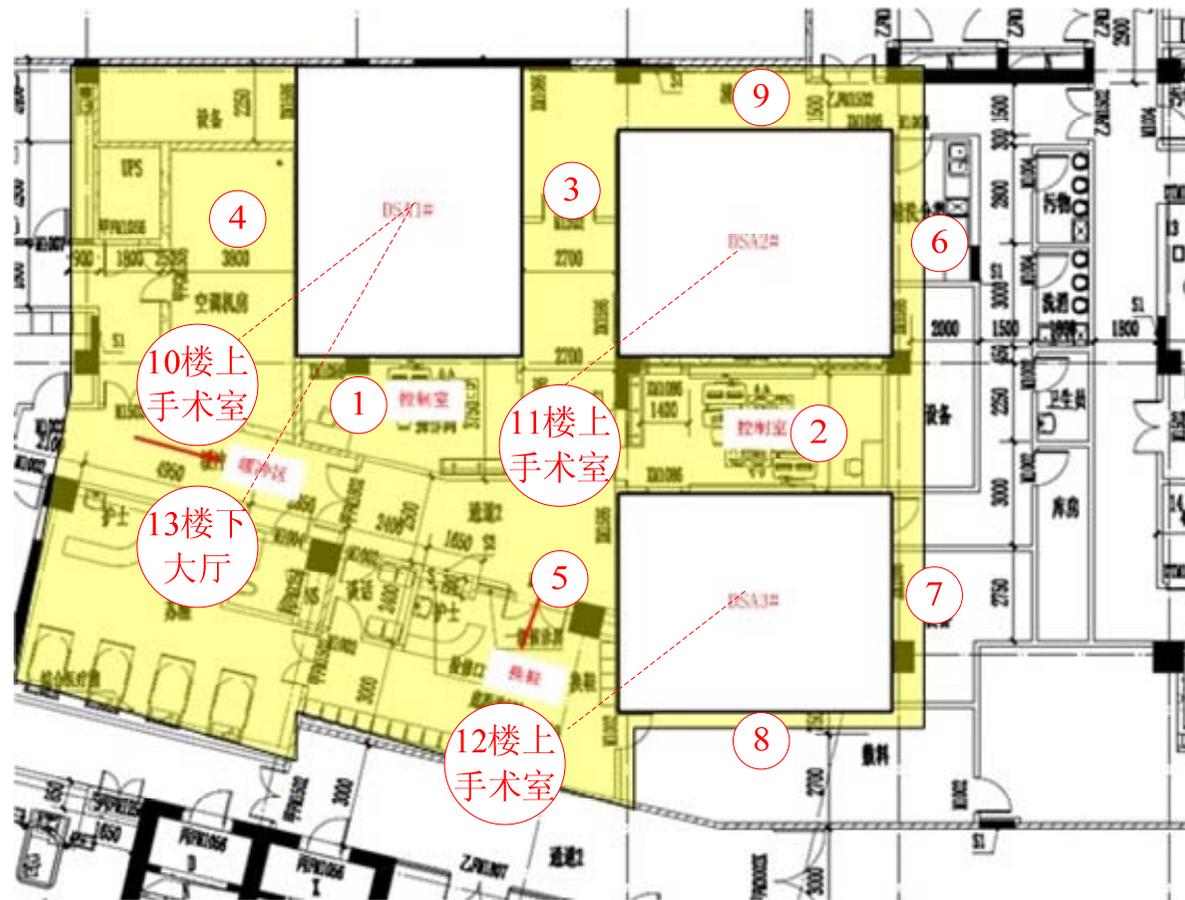
附图 3 加速器机房平面布置图及路径规划图



附图 4 DSA 机房平面布置图及路径规划图



附图 5 加速器机房日常监测点位图



附图 6 DSA 机房日常监测点位图