

核技术利用建设项目

天津市肿瘤医院扩建使用 II 类射线装置
(射波刀、医用电子直线加速器、DSA) 和 III 类
密封放射源 (后装机) 项目环境影响报告表
(报 批 稿)

天津市肿瘤医院

2018 年 8 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

天津市肿瘤医院扩建使用 II 类射线装置
(射波刀、医用电子直线加速器、DSA) 和 III 类
密封放射源 (后装机) 项目环境影响报告表
(报批稿)



环境保护部监制

核技术利用建设项目

天津市肿瘤医院扩建使用 II 类射线装置
(射波刀、医用电子直线加速器、DSA) 和 III 类
密封放射源 (后装机) 项目环境影响报告表
(报批稿)

建设单位名称：天津市肿瘤医院

建设单位法人代表 (签名或签章)：王平

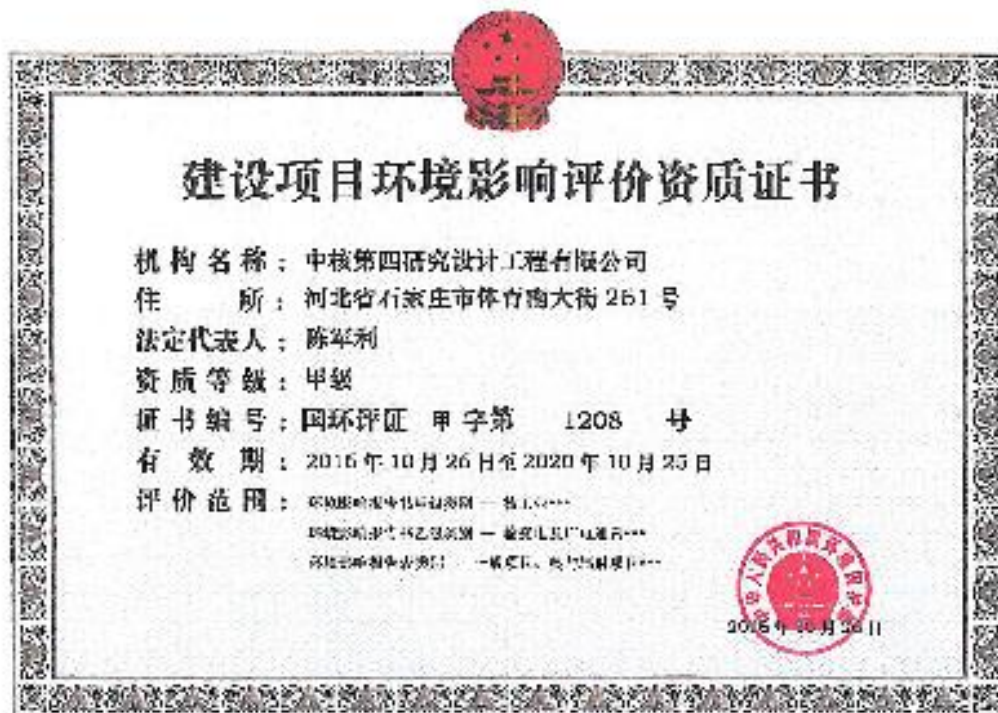
通讯地址：天津市河西区体院北环湖西路

邮政编码：300060 联系人：王伟平

电子邮箱：wwpzlyy@163.com

联系电话：18622228702





项目名称：天津市肿瘤医院扩建使用 II 类射线装置（射波刀、医用电子
直线加速器、DSA）和 III 类密封放射源（后装机）项目

评价单位（盖公章）：中核第四研究设计工程有限公司

法人代表（签章）：陈军利

环评项目负责人：何占飞

编制人员情况				
姓名	职称	证书编号	负责章节	签名
何占飞	高级工程师	A120801611	表 1 项目基本情况~表 11 环境影响分析	
谢占军	高级工程师	A120802211	表 12 辐射安全管理~表 14 审批及附图、附件	



持证人签名:

Signature of the Bearer

管理号:
File No. 201503513035000003510130109

姓名: 何占飞
Full Name
性别: 男
Sex
出生年月: 1982年9月
Date of Birth
专业类别:
Professional Type
批准日期: 2015年5月
Approval Date

签发单位盖章:

Issued by

签发日期: 2015年10月13日
Issued on



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,取得环境影响评价工程师的职业资格。

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 Environmental Impact Assessment 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: HP 00017317
No.

目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	7
表 3	非密封放射性物质	7
表 4	射线装置	8
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	20
表 9	项目工程分析与源项	22
表 10	辐射安全与防护	32
表 11	环境影响分析	41
表 12	辐射安全管理	73
表 13	结论与建议	79
表 14	审 批	84

表 1 项目基本情况

建设项目名称		天津市肿瘤医院扩建使用 II 类射线装置（射波刀、医用电子直线加速器、DSA）和 III 类密封放射源（后装机）项目			
建设单位		天津市肿瘤医院			
法人代表	王平	联系人	王伟平	联系电话	18622228702
注册地址		天津市河西区体院北环湖西路			
项目建设地点		天津市河西区体院北环湖西路天津市肿瘤医院门诊医技楼			
立项审批部门		——	批准文号	——	
建设项目总投资 (万元)	62000	项目环保投资 (万元)	600	投资比例（环保 投资/总投资）	1.0%
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		占地面积 (m ²)	4159
应 用 类 型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放 射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input 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		
	其他				
	<p>1.1 建设单位概况</p> <p>天津市肿瘤医院（以下简称：肿瘤医院）是我国肿瘤学科的发祥地，是集医、教、研、防为一体的大型三级甲等肿瘤专科医院，是我国规模最大的肿瘤防治研究基地。</p> <p>目前医院占地面积 6.9 万平方米，建筑面积 17.5 万平方米。现有职工 1937 人，其中高级专业技术人才 285 人。</p> <p>医院专业分工细，覆盖病种齐全，设有 46 个临床医技科室，12 个基础研究科室，开放病床 2000 余张。2015 年门诊量 100 万人次，住院 10 万人次，手术 3 万例，均居国内肿瘤专科医院前列。</p> <p>1.2 建设项目概况</p>				

为了满足肿瘤病患治疗的需要,更好地服务社会,肿瘤医院拆除原有门诊医技楼,并新建门诊医技楼一座,新建门诊医技楼为地下4层,地上10层建筑,建筑面积约80000 m²。该工程的建设已于2015年5月29日取得天津市河西区行政审批局的非放射性环境影响批复,批复号:津西审批投[2015]49号,详见附件四。

肿瘤医院拟在新建门诊医技楼使用10台II类射线装置(1台射波刀、6台医用电子直线加速器、3台数字减影血管造影系统(下简称DSA))和2枚III类密封放射源(均为¹⁹²Ir源),用于肿瘤诊断、治疗及科研需求。上述设备包括现有设备搬迁和新购设备:

1) 搬迁的设备包括1台医用电子直线加速器及1台后装机,其中:

1台型号为Clinac iX的加速器,由放疗中心第一治疗室搬迁至门诊医技楼负四层直线加速器机房3,1台型号为microSelectionV3的后装机(¹⁹²Ir源,3.7E+11Bq),由放射治疗中心近距离治疗室1内南侧机房,搬迁至门诊医技楼负四层后装治疗仪机房2。这两台设备详见辐射安全许可证中的射线装置台帐编号1和放射源台帐编号4,肿瘤医院现有辐射安全许可证详见附件五。

2) 新增设备包括1台射波刀、5台医用电子直线加速器、3台DSA和1台后装机,基本情况如表1-1所示,详细参数详见表2和表4。

表 1-1 天津市肿瘤医院新增设备基本情况表

设备名称	型号	使用房间		主要参数
射波刀放疗系统	待定	门诊医技楼负四层	射波刀机房	最大能量: 6MeV(X射线) 额定剂量率: 10Gy·m ² /min
MRI引导 直线加速器	MRIdian Linac		直线加速器机房1	最大能量: 6MeV(X射线) 额定剂量率: 10Gy·m ² /min
直线加速器	VitalBeam		直线加速器机房4	最大能量: 10MeV(X射线) 15MeV(电子线能量) 额定剂量率: 14Gy·m ² /min
直线加速器	Infinity		直线加 器机房5	最大能量: 10MeV(X射线) 15MeV(电子线能量) 额定剂量率: 14Gy·m ² /min
直线加速器	Varian 600CD		直线加速器机房7	最大能量: 6MeV(X射线) 额定剂量率: 6Gy·m ² /min
直线加速器	Trilogy		直线加速器机房8	最大能量: 6MeV(X射线)

				18MeV(电子线能量) 额定剂量率: 10Gy·m ² /min
数字减影血管 造影系统 (DSA)	Zeego	门诊医技 楼负一层	DSA1 室	最大管电压: 150kV 最大管电流: 1000mA
数字减影血管 造影系统 (DSA)	待定		DSA2 室	最大管电压: 150kV 最大管电流: 1000mA
数字减影血管 造影系统 (DSA)	INFX-8000C		DSA3 室	最大管电压: 150kV 最大管电流: 1000mA
后装机	Elekta Flexitron	门诊医技 楼负四层	后装治疗仪机房 1	¹⁹² Ir 源, 3.7×10 ¹¹ Bq

1.3 项目由来

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》(环境保护部令第 44 号)的要求,建设单位使用 II 类射线装置及 III 类放射源时,应编制环境影响报告表。

肿瘤医院于 2017 年 12 月委托中核第四研究设计工程有限公司对该项目开展辐射环境影响评价。接受委托后,我公司组织技术人员对本项目工作场所和周围环境进行现场调查、踏勘并委托核工业二七 0 研究所对本项目放射性工作场所进行辐射环境本底监测,结合项目的实际情况及建设方提供的相关资料进行分析,在此基础上编写完成本项目环境影响报告表。

1.4 项目选址及周边保护目标

天津市肿瘤医院地处天津市南部,位于天津市河西区体院北环湖西路,其地理位置见图 1-1。肿瘤医院东侧为环湖西路,隔路为环湖南里社区;南侧为宾水道,路南为育贤里小区;西侧为卫津南路,路西为枫林园;北为环湖南道,隔路相望为环湖西里小区,肿瘤医院的周边关系详见图 1-2。

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)的要求,本项目周边保护目标为放射源、射线装置机房屏蔽边界(墙体和地板)外 50m 范围内的院内职业工作人员和公众人员(从事非放射性操作的医务人员和候诊病人)。

本项目周围 50m 范围的环境关系图及四至图见图 1-3。



图 1-1 天津市肿瘤医院地理位置图



图 1-2 天津市肿瘤医院周边关系图



图 1-3 本项目评价范围 (50m) 图

根据现场踏勘，本次评价项目周边 50m 范围均位于天津市肿瘤医院区内，没有学校、居民楼等环境保护敏感目标，项目选址合理。

1.5 建设单位原有核技术利用项目许可情况

肿瘤医院现持有证书编号为“津环辐证[00259]”的辐射安全许可证，许可种类和范围为使用 II 类、III 类射线装置，使用 III 类、V 类放射源，生产、使用非密封放射性物质（乙级工作场所），有效期至 2019 年 11 月 30 日，辐射安全许可证见附件五。

辐射安全许可证中批准使用的放射源、射线装置、非密封放射性物质情况详见表 1-2、表 1-3 和表 1-4。

表 1-2 辐射安全许可证中批准使用的放射源

序号	核素	类别	总活度 (Bq) /活度 (Bq) × 枚数	活动种类
1	Ir-192	III 类	3.7E+11*2	使用
2	Sr-90	V 类	3.7E+8	使用
3	Ge-68	V 类	5.55E+7	使用

表 1-3 辐射安全许可证中批准使用的非密封放射性物质

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类

1	核医学科	乙级	Sr-90	3.7E+6	7.4E+8	使用
2	PET-CT	乙级	C-11	1.42E+6	3.7E+8	生产、使用
3	PET-CT	乙级	F-18	1.11E+8	2.886E+10	生产、使用
4	核医学科	乙级	Y-90	3.7E+7	7.4E+9	使用
5	核医学科	乙级	P-32	3.7E+7	7.4E+9	使用
6	核医学科	乙级	Re-188	9.25E+7	1.85E+10	使用
7	核医学科	乙级	-131	1.85E+8	4.0 E+11	使用
8	核医学科	乙级	Sm-153	1.85E+8	9.25E+10	使用
9	核医学科	乙级	Sr-89	1.48E+7	1.48E+10	使用
10	核医学科	乙级	I-125 粒子	2.22E+6	7.99E+10	使用
11	核医学科	乙级	Tc-99m	1.26E+8	3.33E+12	使用

表 1-4 辐射安全许可证中批准使用的射线装置

序号	装置名称	规划型号	类别	装置数量	用途	场所	在台帐中编号
1	直线加速器	Clinac X	II 类	1	放射治疗	放射治疗科	1
2	模拟定位机	Acuity	III 类	1	放射治疗	放射治疗科	2
3	CT	Lightspeed 16	III 类	1	诊断	放射科	3
4	X 光机	VR-50X	III 类	1	诊断	放射科	8
5	PET-CT	Discovery ST-4	III 类	1	诊断	核医学科	9
6	全数字胸片机	DR3000	III 类	1	诊断	放射科	10
7	C 型臂	71803C	III 类	1	诊断	手术室	11
8	射波刀	III 型	II 类	1	放射治疗	放射治疗科	13
9	加速器	KB 800	II 类	1	放射治疗	放射治疗科	14
10	加速器	医科达 Precise920	II 类	1	放射治疗	放射治疗科	15
11	加速器	医科达 Precise920	II 类	1	放射治疗	放射治疗科	16
12	回旋加速器	MINItrace	II 类	1	制备 PET 用放药	核医学科	19

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ , 1 枚	III 类	使用	放射治疗	门诊医技楼负四层 后装治疗仪机房 1	后装机内储源仓	新购
2	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ , 1 枚	III 类	使用	放射治疗	门诊医技楼负四层 后装治疗仪机房 2	后装机内储源仓	搬迁

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/										
/										

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括军用、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)	额定剂量率 (Gy · m ² /min)	用途	工作场所	备注
1	射波刀放疗系统	II类	1	待定	电子	6 (X射线)	10	肿瘤治疗	射波刀机房	新购
2	MRI引导直线加速器	II类	1	MRIdian Linac	电子	6 (X射线)	10	肿瘤治疗	直线加速器机房 1	新购
3	直线加速器	II类	1	Clinac iX	电子	10 (X射线) 15 (电子线能量)	6	肿瘤治疗	直线加速器机房 3	搬迁
4	直线加速器	II类	1	VitalBeam	电子	10 (X射线) 15 (电子线能量)	14	肿瘤治疗	直线加速器机房 4	新购
5	直线加速器	II类	1	Infinity	电子	10 (X射线) 15 (电子线能量)	14	肿瘤治疗	直线加速器机房 5	新购
6	直线加速器	II类	1	Varian 600CD	电子	6 (X射线)	6	肿瘤治疗	直线加速器机房 7	新购
7	直线加速器	II类	1	Trilogy	电子	6 (X射线); 18 (电子线能量)	10	肿瘤治疗	直线加速器机房 8	新购

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	数字减影血管造影系统 (DSA)	II 类	1	Zeego	125	1000	介入诊疗	门诊医技楼负一层 DSA1 室	新购
2	数字减影血管造影系统 (DSA)	II 类	1	待定	150	1000	介入诊疗	门诊医技楼负一层 DSA2 室	新购
3	数字减影血管造影系统 (DSA)	II 类	1	INFX-8000C	150	1000	介入诊疗	门诊医技楼负一层 DSA3 室	新购

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1、《中华人民共和国环境保护法》2015.1.1; 2、《中华人民共和国放射性污染防治法》2003.10.1; 3、《中华人民共和国环境影响评价法》2016.9.1; 4、《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起施行); 5、关于修改《建设项目环境影响评价分类管理名录》部分内容的决定(生态环境部令 第 1 号, 2018 年 4 月 28 日起施行); 6、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 449 号, 2014 年 7 月 29 日修改并施行); 7、《放射性废物安全管理条例》(国务院令第 612 号, 2012 年 3 月 1 日起施行); 8、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(环保部令第 3 号, 环保部令第 47 号二次修改, 2017 年 12 月 20 日起施行); 9、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环保部令第 18 号, 2011 年 5 月 1 日起施行); 10、《关于发布射线装置分类办法的公告》(环境保护部、国家卫生和计划生育委员会发布公告, 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 5 日); 11、《关于发布放射源分类办法的公告》(国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号, 2005 年 12 月 23 日); 12、《天津市环境保护条例》(天津市第十六届人民代表大会常务委员会第三十九次会议进行第三次修正, 2017 年 11 月 28 日施行); 13、《天津市建设项目环境保护管理办法》(天津市人民政府令 2015 年第 20 号, 2015 年 6 月 9 日起施行); 14、《天津市放射性废物管理办法》(天津市人民政府令 2004 年第 60 号, 2018 年 4 月 10 日市人民政府第 7 次常务会议修订)。
-------------	--

<p style="text-align: center;">技术 标准</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002); 2、《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011); 3、《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85); 4、《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); 5、《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); 6、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014); 7、《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013); 8、《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》(YY/T 0740-2009); 9、《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017); 10、《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2016)。
<p style="text-align: center;">其他</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1、《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); 2、《环境影响评价委托书》(附件一); 3、环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序(第三版)(2012 年 3 月); 4、建设单位提供的工程基础资料等。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016),放射源和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。肿瘤医院拟在门诊医技楼负一层使用 3 台 DSA,在门诊医技楼负四层使用 1 台射波刀、6 台医用电子直线加速器及 2 台后装机 (^{192}Ir),各医用射线装置及密封放射源所在房间及 50m 评价范围图如下:

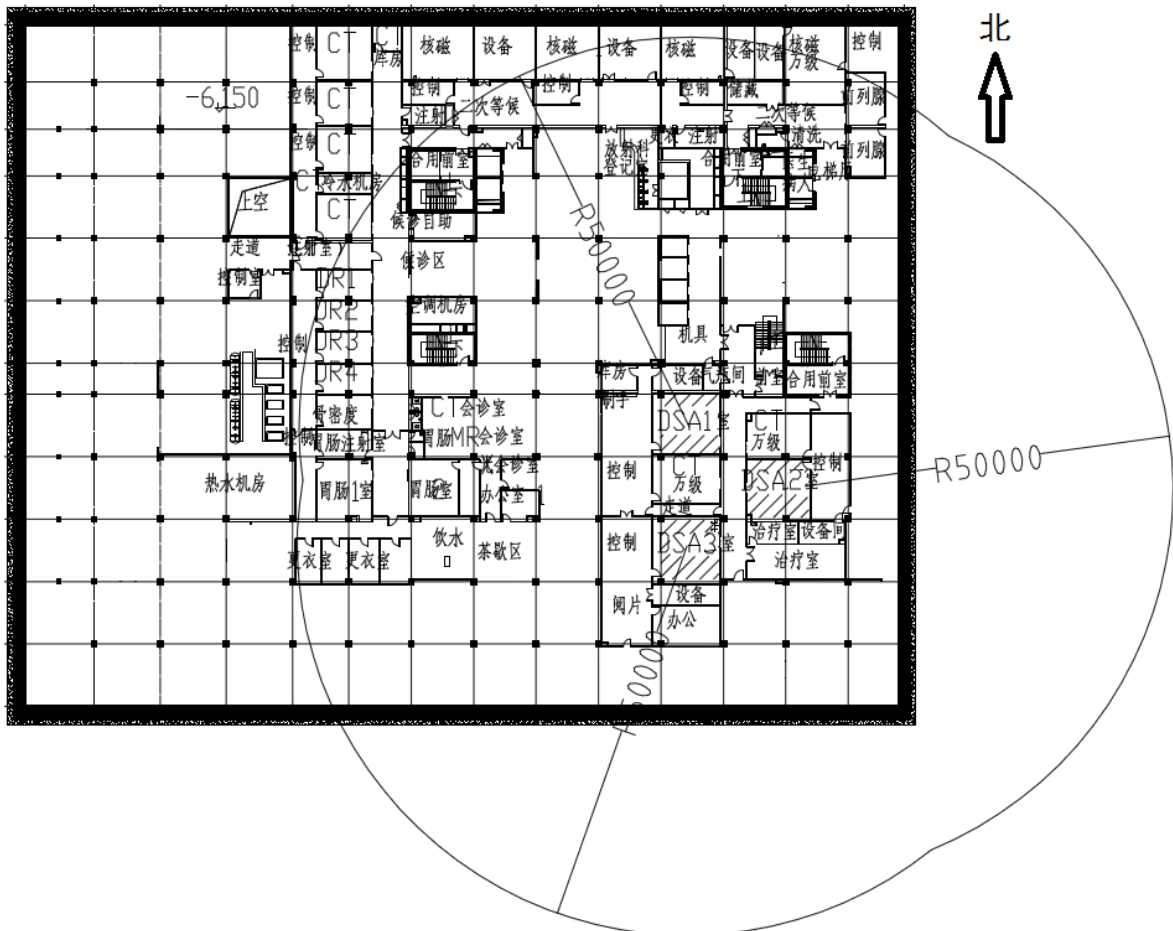


图 7-1 门诊医技楼负一层 DSA 所在房间及评价范围 (50m)

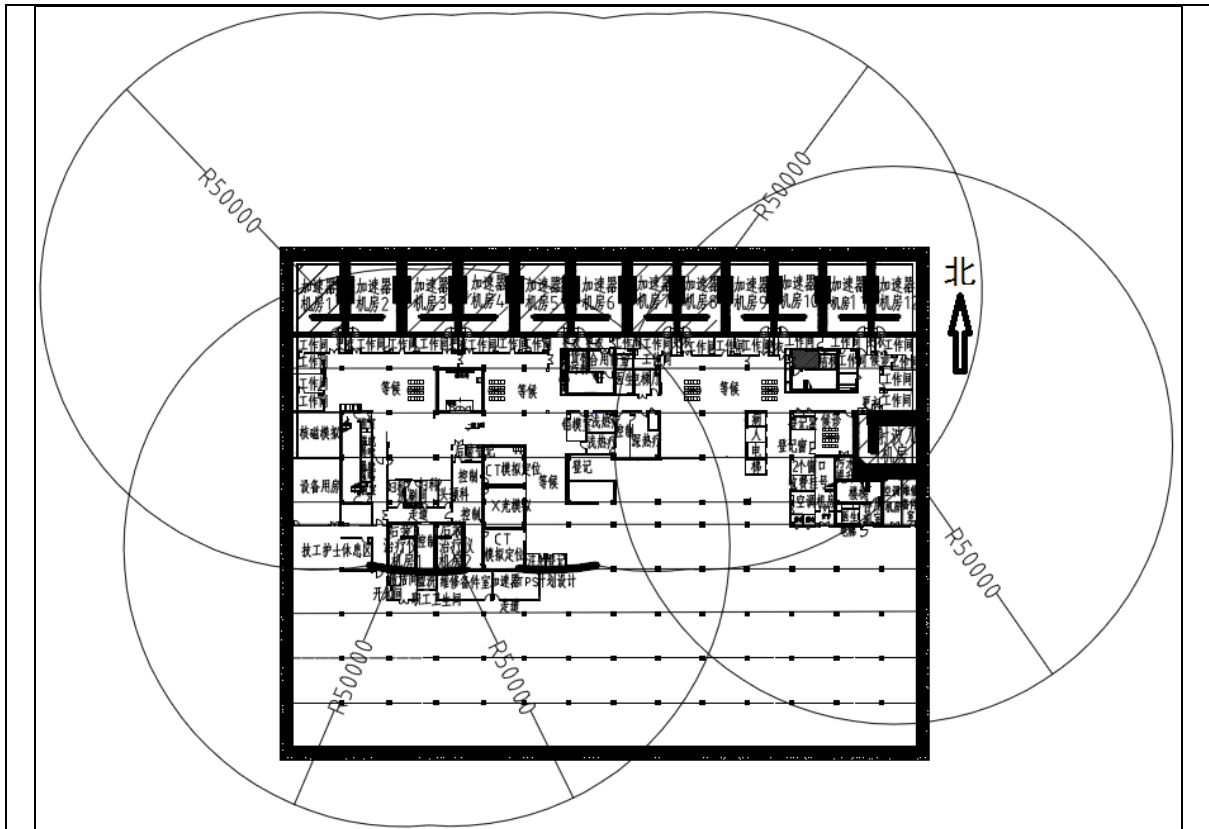


图 7-2 门诊医技楼负四层射波刀、医用电子直线加速器、后装机所在房间及评价范围（50m）

由图 7-1 及 7-2 可知，本项目的评价范围为门诊医技楼负一层（西北角个别房间除外）、负四层及门诊医技楼的周边道路。此外，还要考虑本项目密封源及射线装置所在房间上下楼层所对房间。门诊医技楼一层~负四层平面布置图见附图一~附图五。

保护目标

本次拟建核技术利用项目的保护目标是图 7-1 及图 7-2 所示评价范围内，可能受到影响的辐射工作人员和公众。其中，公众是指肿瘤医院的普通医务人员和院外人员。

评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射的防护和实践中源的安全。

辐射防护要求

第 4.3.1 款：实践的正当性

第 4.3.2 款：剂量限制和潜在照射危险限制

第 4.3.3 款：防护和安全的最优化

第 4.3.4 款：剂量约束和潜在照射危险约束

附录 B

B1.1 职业照射的剂量限值

应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 公众照射的剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量，1mSv；
- b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；
- d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

根据本项目实际情况及辐射防护最优化原则，以 0.1mSv/a 作为本项目 II 类射线装置及 III 类密封放射源周围公众人员的年有效剂量约束值，以 2mSv/a 作为从事放射性操作的职业工作人员的年有效剂量约束值。

(2) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)

本标准规定了医用电子直线加速器（以下简称加速器）用于临床治疗时的放射防护要求。

本标准适用于标称能量在 50MeV 以下的医用电子直线加速器的生产和使用。

6.1 治疗室的防护要求

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

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T 201.1 的要求。

6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和直线加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 X射线能量超过10MV的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于45m²。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷道，防护门应与加速器联锁。

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

6.1.10 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2部分：电子直线加速器放射治疗机房》 (GBZ/T 201.2-2011)

本标准规定了电子加速器（以下简称加速器）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。

本标准适用于标称能量在30MeV以下的加速器放射治疗机房。

本标准不适用于手术中加速器电子线治疗的机房。

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

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

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

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_c \leq 100 \mu$ Sv/周；

2) 放射治疗机房外非控制区的人员： $H_c \leq 5 \mu$ Sv/周。

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

1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu$ Sv/h；

2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu$ Sv/h。

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

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面30cm处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,\max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，按照4.2.1求得关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

附录 D 不同类型放射治疗机房屏蔽估算示例

D.3.3.3 射波刀机房外的剂量率参考控制水平建议取为 $10 \mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)

附录 E

E.2.1 加速器设施内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于 0.3mg/m^3 。

(5) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)

5 X 射线设备机房防护设施的技术要求

5.1 X 射线设备机房（照射室）应充分考虑临室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

5.3 X 射线机设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

a) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 7-1 要求。

表 7-1 不同类型 X 射线机设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量, mm	非有用线束方向铅当量, mm
介入 X 射线设备机房	2	2

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

5.4 在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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

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

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

5.9 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-2 基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。

表 7-2 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者或受检者	
	个人防护用品	辅助防护用品	个人防护用品	辅助防护用品
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 选配：铅橡胶手套	铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	—
注：“—”表示不要求。				

(6) 《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017)

5 后装放射治疗室的防护要求

5.1 治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于 20 m²，应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区，应定期对这些区域进行监督和评价。

5.2 治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于 4 次。

5.3 治疗室入口应采用迷道形式，安装防护门并设置门-机联锁，开门状态下不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关，按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

5.4 治疗室防护门应设置手动开门装置。

5.5 在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施，如设置观察窗，其屏蔽效果应

与同侧的屏蔽墙相同。

5.6 设备控制台的设置应能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。

5.7 应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。

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

5.9 在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。

5.10 治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。

5.11 治疗室内合适的地方应张贴应急指示。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

为了解天津市肿瘤医院核技术利用项目周围辐射环境质量背景水平，本次评价委托核工业二七〇研究所于 2017 年 12 月 27 日对本项目辐射工作场所的辐射环境质量背景水平进行了监测，监测报告编号为所环监字[2018]第 095 号，监测数据如表 8-1，监测报告见附件二十三。

1、项目地理和场所位置

本项目位于天津市河西区体院北环湖西路天津市肿瘤医院门诊医技楼内，详见表 1 中的图 1-3。其中，3 台 DSA 均位于门诊医技楼负一层，其他设备均位于门诊医技楼负四层。门诊医技楼负一层平面布置图见附图二，门诊医技楼负四层平面布置图见附图五。

2、环境现状评价对象、监测因子、监测点位

本项目环境现状评价的对象为本次拟开展核技术利用项目所在区域的环境本底值，监测因子为 X-γ 辐射剂量率，监测点位详见监测报告中的监测点位图。

3、监测方案及监测结果

本项目在从事放射性操作的房间内中心位置设置了监测点，对环境本底值进行了监测。

监测过程中严格按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14538-1993）进行，监测结果见表 8-1。

表 8-1 本项目 X-γ 辐射剂量率本底检测结果（μSv/h）

检测点位置		测点次数	测量范围	检测结果
1 号检测点位	DSA1 室 机房中心	5	0.076~0.079	0.078
2 号检测点位	DSA2 室 机房中心	5	0.083~0.085	0.083
3 号检测点位	DSA3 室 机房中心	5	0.077~0.080	0.078
4 号检测点位	直线加速器机房 1 机房中心	5	0.089~0.091	0.090
5 号检测点位	直线加速器机房 3 机房中心	5	0.096~0.098	0.097
6 号检测点位	直线加速器机房 4 机房中心	5	0.080~0.0 2	0.081
7 号检测点位	直线加速器机房 5 机房中心	5	0.089~0.090	0.089
8 号检测点位	直线加速器机房 7 机房中心	5	0.092~0.097	0.095
9 号检测点位	直线加速器机房 8 机房中心	5	0.085~0.091	0.087
10 号检测点位	射波刀机房 机房中心	5	0.105~0.108	0.106

11 号检测点位	后装治疗仪机房 1 机房中心	5	0.094~0.098	0.096
12 号检测点位	后装治疗仪机房 2 机房中心	5	0.092~0.094	0.093

4、对现状监测结果的评价

本项目各机房 X- γ 辐射剂量率环境本底监测结果在(0.076~0.108) μ Sv/h 范围内, 根据《2017 年天津市环境状况公报》和《2016 年天津市环境状况公报》, 2017 年度和 2016 年度天津市辐射水平与往年相比无显著变化, 保持稳定。根据《2015 年天津市环境状况公报》得知: 2015 年度天津市辐射环境质量总体情况良好, 辐射环境 γ 剂量率变化范围约为 50 nGy/h~95nGy/h。由此可知本项目的 X- γ 辐射剂量率本底监测结果与天津市辐射环境 γ 剂量率处于同一水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析				
1 项目组成				
<p>天津市肿瘤医院拟在院区新建门诊医技楼中使用 10 台 II 类射线装置（1 台射波刀、6 台医用电子直线加速器、3 台 DSA）和 2 枚 III 类密封放射源（均为 ^{192}Ir 源）。上述设备由搬迁 2 台（1 台医用电子直线加速器及 1 台后装机）及新增 10 台（1 台射波刀、5 台医用电子直线加速器、3 台 DSA 和 1 台后装机）组成，详见表 9-1。</p>				
表 9-1 天津市肿瘤医院新增设备基本情况表				
设备名称	型号	使用房间	主要参数	备注
射波刀 放疗系	待定	门诊医技楼负四层 射波刀机房	最大能量：6MeV(X 射线) 额定剂量率：10Gy·m ² /min	新购
MRI 引导 直线加速器	MRIdian Linac	门诊医技楼负四层 直线加速器机房 1	最大能量：6MeV(X 射线) 额定剂量率：10Gy·m ² /min	新购
直线加速器	Clinac iX	门诊医技楼负四层 直线加速器机房 3	最大能量：10MeV(X 射线) 15MeV(电子线能量) 额定剂量率：6Gy·m ² /min	搬迁
直线加速器	VitalBeam	门诊医技楼负四层 直线加速器机房 4	最大能量：10MeV(X 射线) 15MeV(电子线能量) 额定剂量率：14Gy·m ² /min	新购
直线加速器	Infinity	门诊医技楼负四层 直线加速器机房 5	最大能量：6MeV(X 射线) 15MeV(电子线能量) 额定剂量率：14Gy·m ² /min	新购
直线加速器	Varian 600CD	门诊医技楼负四层 直线加速器机房 7	最大能量：6MeV(X 射线) 额定剂量率：6Gy·m ² /min	新购
直线加速器	Trilogy	门诊医技楼负四层 直线加速器机房 8	最大能量：6MeV(X 射线) 18MeV(电子线能量) 额定剂量率：10Gy·m ² /min	新购
DSA	Zeego	门诊医技楼负一层 DSA1 室	最大管电压：125kV 最大管电流：1000mA	新购
DSA	待定	门诊医技楼负一层 DSA2 室	最大管电压：150kV 最大管电流：1000mA	新购

DSA	INFX-8000C	门诊医技楼负一层 DSA3 室	最大管电压：150kV 最大管电流：1000mA	新购
后装机	Elekta Flexitron	门诊医技楼负四层 后装治疗仪机房 1	^{192}Ir 源， $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$	新购
后装机	mi r SelectionV3	门诊医技楼负四层 后装治疗仪机房 2	^{192}Ir 源， $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$	搬迁

2 工作原理及工艺流程

2.1 射线装置

2.1.1 射波刀

1) 工作原理

射波刀主要由机器人照射系统（包括机械臂和 6MV 医用电子直线加速器）、定位系统（2 台 X 射线源）、红外线同步追踪摄影机及治疗床组成。射波刀结构如图 9-1 所示。

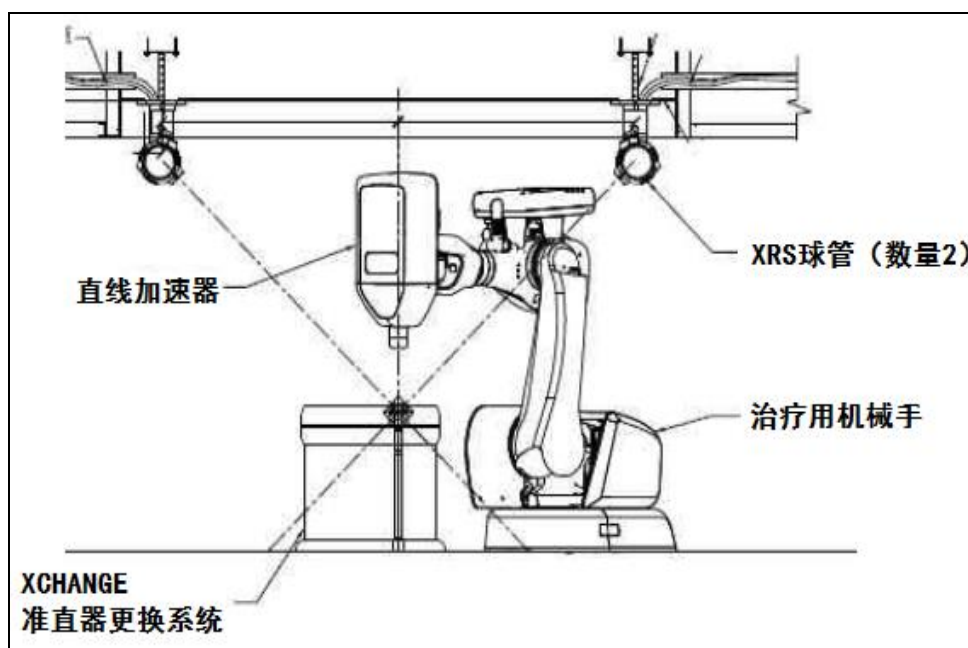
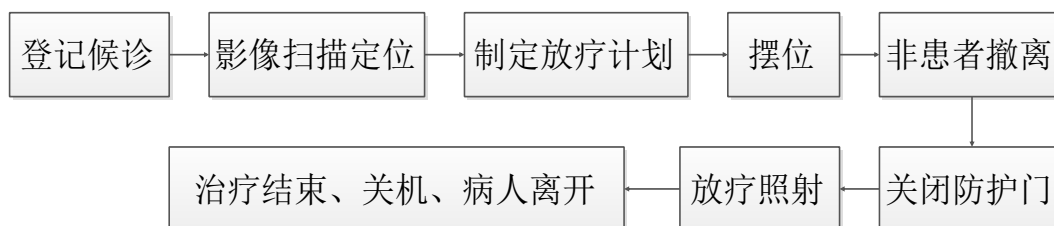


图 9-1 射波刀结构图

射波刀系统配有独特的操纵器使用功能，能够对一台小型直线加速器进行定位，精确治疗身体任意位置上的损伤。射波刀系统采用立体 X 光成像器，在整个治疗过程中监控靶区的位置和方向，是一种用于全身部位肿瘤立体定向放射手术治疗的专用设备，它在智能影像引导下，利用机器人手臂将多束高能射线精确、无创地消灭肿瘤。多条射线束聚焦在病变区造成很高剂量照射，而对邻近正常组织得以保护不受明显损害，通过 1~5 次的治疗，达到摧毁身体任何部位肿瘤的效果。射波刀结构如图 9-1 所示。

2) 操作流程

射波刀治疗的具体流程如下：



第一步：需要先使用高分辨率 CT 扫描患者并通过成像确定肿瘤的大小、形状和位置。

第二步：将这些影像数据以数字形式传送至射波刀系统的工作站，在这里开始制定治疗计划。

第三步：合格的临床医生将会通过射波刀软件完成一套治疗计划（目前这个工作是由物理师完成的）。此计划可使肿瘤得到理想的处方剂量，而同时尽量减少对周边健康组织的照射。

第四步：治疗计划制定好后，便可以为患者进行射波刀治疗。到达射波刀中心后，患者安置在治疗床上，之后计算机控制的射波刀系统机器人将会缓慢地移动至患者附近，并对需要治疗的肿瘤区进行照射。

2.1.2 医用电子直线加速器

1) 工作原理

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。其工作原理为：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，通过打金属钨靶产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。典型医用电子直线加速器组成及内部结构分别见图 9-2 及图 9-3。

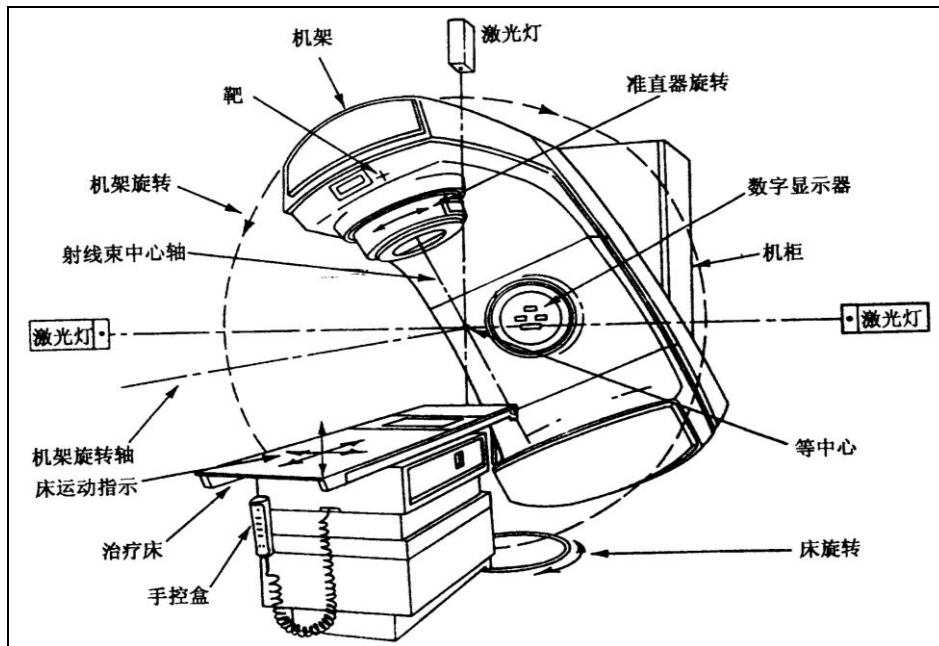


图 9-2 典型医用电子直线加速器结构示意图

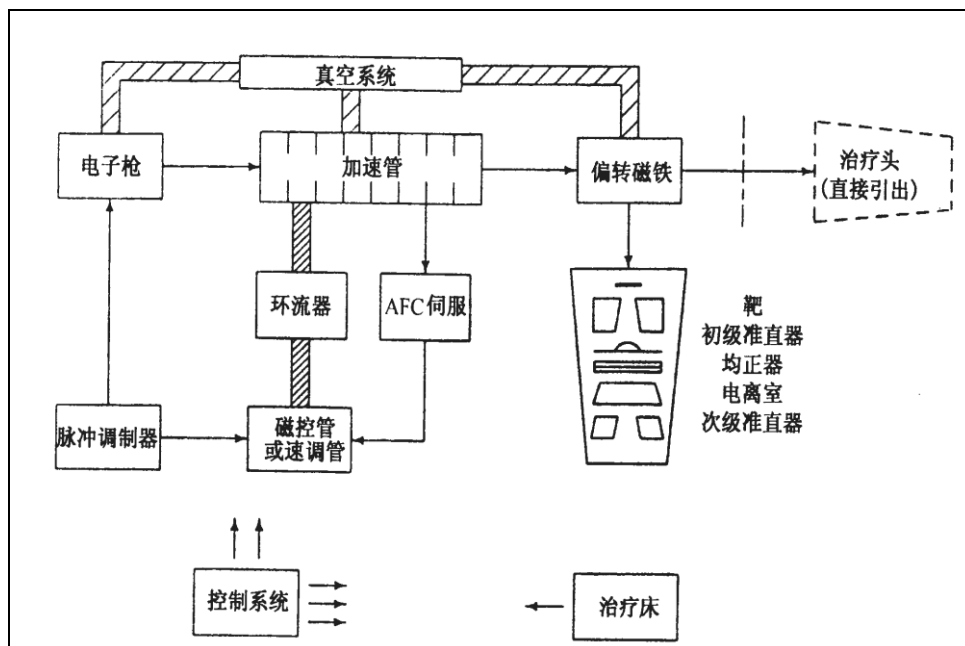


图 9-3 典型医用电子直线加速器内部结构框图

2) 操作流程

(1) 开机

检查水冷系统和 UPS 是否处于正常状态，打开监控系统，打开加速器工作站电源开关，打开显示器开关，数据库和 LCS 自检完成后进入登录控制平台、观察工作站上的功能指示灯是否全亮，LED 是否置数，全部正常的状态下在登陆面板上键入密码及用户名，进入临床治疗模式，手控盒马达复位后，机器处于预热状态进行晨检。

(2) 晨检

机械检查：包括机架、机头旋转运动是否正常；准直器角度；标尺灯；等中心精度是否准确；治疗床的各个运动是否正常。

激光灯检查：必须保证其水平及垂直方向完全重合，并于等中心处交汇，如有漂移应立即调整。

设备状态检查：主要有水温、水压、气压等，水压、气压低于标准时应及时补充到标准范围内。

安全检查：包括紧急开关，门机连锁，防撞环是否灵敏，同时要保证监视系统、监听系统正常，以便监视机房内病人和设备的运行情况。

预热 15 分钟后进行各种线质能量训机，一切正常后准备治疗病人。

(3) 新病人第一治疗必须由主管医师、物理师、加速器治疗师共同进行位置及剂量验证，无误后共同完成首次治疗。

(4) 无需治疗计划者由机长或者责任技术员按治疗单要求编辑处方、将能量、预置剂量、照射野数值、时间、剂量比等参数输入工作站，医师、物理师检查确认后共同治疗。

(5) 必须由三名技术员协同完成病人治疗，一人开机、两人摆位，治疗前认真阅读计划治疗单，熟悉患者病情，根据治疗单要求准备各种辅助工具、铅块、毛巾、面罩、平板、体模等。

(6) 摆位技术员按治疗单要求进行摆位，将病人轻轻放置于治疗床或随时治疗架上，在摆位过程中，要注意医患安全，严禁砸伤碰伤病人机器互撞现象发生。

(7) 工作人员撤出治疗室，关闭治疗室大门。

2.1.3 数字减影血管造影系统

1) 工作原理

介入治疗（DSA 装置）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，即将造影剂未达到欲检部位前摄取的蒙片与造影剂注入后摄取的造影片在计算机中进行数字相减处理，仅显示有造影剂充盈的结构，具有高精密度和灵敏度 DSA 用于全身血管检查，可消除其余影像，清晰地显示血管的精细解剖结构。DSA 工作原理见图 9-4。

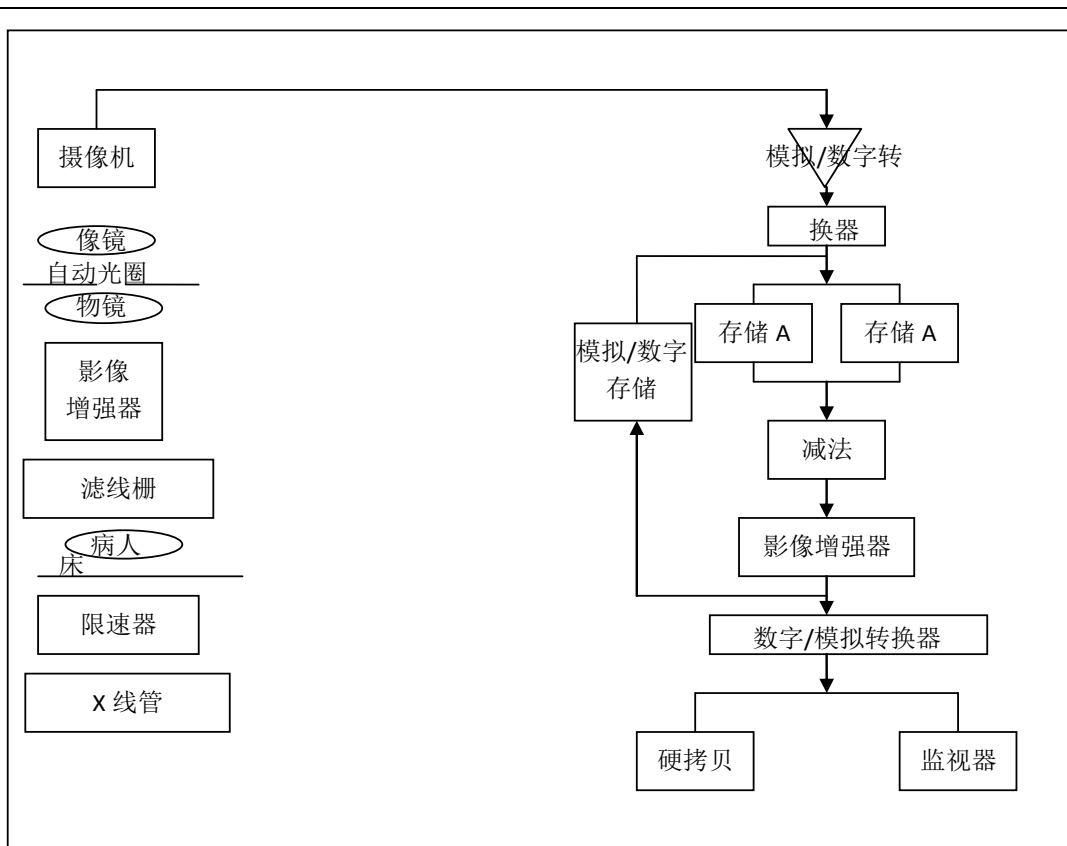


图 9-4 DSA 工作原理示意图

2) 诊疗流程

DSA 装置诊断时，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，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 射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 射线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

2.2 密封放射源 (^{192}Ir 后装治疗机)

本项目使用 2 台 ^{192}Ir 后装治疗机 (^{192}Ir 活度均为 10Ci) 进行近距离放射治疗。

1) 工作原理

^{192}Ir 后装治疗机属于近距离放射治疗机，是新一代肿瘤治疗设备。它是将不带放射源的治疗容器置于治疗部位，然后由电脑遥控步进电机将 ^{192}Ir 源送入治疗容器，利用 γ 射线的生物效应对肿瘤进行治疗。这种方式可用于治疗人体内各种腔道周围的肿瘤，因所选取的核素的射线能量较低，加上射线的距离衰减效应，可减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的剂量。后装治疗机实物如图 9-5 所示。



图 9-5 后装治疗机实物图

2) 设备组成及作用

后装机由治疗计划系统、控制系统和后装机三部分组成。治疗计划系统通过数字化仪将患者的影像进行正交、半正交和交角的影像重建,通过运算可显示出优化治疗、三维储存显示剂量分布以及解剖结构,系统可以自动修正源衰变,根据源位、病灶大小和形态,计算出等剂量分布曲线。后装机的作用是将放射源准确、安全、定时地放置到人体病变部位。后装机放射源安放在真源轮钢丝绳的最前端,所载的放射源约为 $0.9\text{mm}\times 4.5\text{mm}$ 的圆柱体,放射源强度一般为 10Ci ,使用时将塑料导管插入人体各需要治疗的部位,后装机最多可放置 18 条塑料管,设置 18 个治疗部位,多数情况下为 3~4 个治疗部位。后装机装有两个相同的绕有钢丝绳的轮,一个是真源轮,一个是假源轮,两个轮的结构和小相同,在真源轮上放有放射源。两个轮分别由两个步进电机驱动,同时还各装有一个直流电机,用于必要时做快回抽的操作。

3) 操作流程

^{192}Ir 后装机的大致操作流程为:透视—埋置导管—固定位置—接管—模拟运行— ^{192}Ir 植入治疗。具体步骤如下:

- (1) 给病人安装施源管;
- (2) 设 n 个通道,每个通道剂量 $4\sim 8\text{Gy}$,计算机自动优化放射方案;
- (3) 走假源 3 次,无故障后开始走真源放射治疗,治疗结束后真源自动复位;

(4) 如出现意外情况,按“急停按钮”治疗中止,源自动复位,撤离病员,向有关领导报告,请专业维修人员处理。

3 工作时间及人员编制

本项目建成投入运营后的工作制度，按每周工作 5 天，年工作 50 周考虑。

1) 射波刀

每周开机照射时间为 6h，则年出束时间为 6h/周×50 周=300h。

射波刀机房拟配备 3 名专业人员，其中技师 1 名、物理师 1 名、医师 1 名。

2) 加速器

本项目 6 台加速器中，除了位于直线加速器机房 1 的加速器每周开机照射 5h，年照射 250h 外，其余加速器均为每周开机照射 10h，年照射 500h。

本项目直线加速器机房拟配备 18 名专业人员，其中技师、物理师和医生各 6 名。

3) DSA

本项目每台 DSA 每天治疗病人约 7~8 例，每例曝光时间约 10min，每年工作 250 天，则每台 DSA 的年出束时间为 333h。

本项目 3 间 DSA 机房拟配备工作人员 9 名，其中技师、护士、医生各 3 名。

4) ¹⁹²Ir 后装机

本项目 2 台 ¹⁹²Ir 后装机，每天各治疗 6 例病患。每例治疗时间为 5~30 分钟，则 2 台后装机年最大出束时间均为 6 例×0.5h/例/天×5 天/周×50 周=750h。

本项目后装治疗仪机房拟配备技师 4 名、医生 2 名。

污染源项描述

1、射波刀的污染因素分析

1) 放射性

射波刀在开机时，高能电子束与靶物质相互作用会产生韧致辐射（X 射线），由于 X 射线的贯穿能力极强，会对周围环境造成辐射污染，X 射线随加速器的开、关而产生和消失。因此，在射波刀开机时间内，X 射线为主要辐射环境污染因素。

2) 非放射性

射波刀运行产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO、NO₂），通过通风系统可明显降低其浓度，减轻其对工作场所的环境污染。

综上所述，本项目射波刀的污染因素主要为 X 射线。

2、加速器的污染因素分析

医用电子直线加速器在正常照射时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，其辐射可分为瞬时辐射和剩余辐射两类。瞬时辐射包括初级（有用）辐射（被加速的电子）及其与靶材料或加速器的结构材料相互作用产生的次

级辐射X射线或中子等；剩余辐射是加速器的初级电子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（包括空气、屏蔽物等）中诱发生成的感生放射性，其辐射类型主要有：

1) X射线及高能电子束

医用电子直线加速器既可利用X射线，也可利用电子束对患者病灶进行照射。X射线和电子束均随加速器的开、关而产生和消失。因此，在加速器开机时间内，X射线为主要辐射环境污染因素。

2) 中子辐射

本项目直线加速器产生的高能 γ 射线会与X射线靶、一级准直器、X射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生 (γ, n) 光核反应，生成中子。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)，对大于10MV的治疗机房，迷道入口防护门应同时考虑X射线和中子的散射辐射及中子俘获 γ 射线。本项目直线加速器最高能量为10MV，中子产生量较少，基本可以忽略。

3) 感生放射性

根据《辐射防护手册 辐射源与屏蔽》(第一分册)可知，绝大多数天然核素的反应阈能在10MeV以上，当X射线的能量超过阈能时，在空气中产生的感生放射性核素主要是 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 。感生放射性产生于加速器运转时，停机后继续存在。感生放射性可能会对维修、摆位人员等造成外照射危害，空气中产生的感生放射性核素还可造成人员的内照射。

感生放射性核素的活度和半衰期的范围都很宽，但多数半衰期较短，停机5~10分钟后就可以减弱到初始值的一半，因此，对感生放射性的有效防护措施之一就是等其自然衰变。

本项目医用电子直线加速器X射线能量最大为10MeV，产生的感生放射性影响基本可忽略。

4) 非放射性有害气体

加速器在开机运行时，产生的X射线与空气作用可产生少量臭氧(O_3)和氮氧化物(NO 、 NO_2)，通过通风系统可明显降低机房内的臭氧和氮氧化物浓度。

5) 放射性废水

加速器设备中使用的内循环冷却水可能产生感生放射性。在加速器运行时，循环水系统的某一部分可能使附近的操作人员受到照射。因此，循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方。

同理，本项目医用电子直线加速器X射线能量最大为10MeV，因此对循环冷却水产生的感生放射性影响基本可忽略。

6) 放射性固体废物

加速器靶物质经长期照射后，也可积累一定数量的感生放射性核素，因此，退役的靶为放射性固体废物。

综上所述，本项目加速器产生的主要污染物为 X 射线和放射性固体废物（废靶件）等。

3、DSA 的污染因素分析

1) X 射线

本项目 3 台 DSA 加电出束时，产生的 X 射线会对周围产生辐射影响；不加电时，不会产生 X 射线，对周围环境无影响。X 射线的最大能量为运动电子的最大能量，也即为管电压的值。本项目的管电压的最大值为 150kV，能量比较低，不会产生感生放射性。

2) 废气、废水、固体废物

DSA 及其它射线装置在运行时无其它废气、废液和固体废弃物产生，医院现全部使用电子胶片存贮、激光出片，不再使用显影定影液冲洗片的方式，避免了危险废物的产生。此外，X 射线会使空气电离，产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x），在 NO_x 中以 NO₂ 为主。它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体，通过通风系统，可明显降低非放射性有害气体的浓度，减轻其对工作场所的环境污染。

综上所述，DSA 的污染因素主要为 X 射线。

4、后装治疗机的污染因素分析

1) γ 射线

本项目后装治疗机中使用的是 ¹⁹²Ir 密封源，¹⁹²Ir 源发射的 γ 射线具有很强的贯穿能力，能穿透屏蔽材料对周围环境产生辐射污染。

2) 固体废物

放射源使用一定时间后，退役产生的废源需作为放射性固体废物进行处理。

3) 非放射性有害气体

¹⁹²Ir 源产生的 γ 射线与空气作用可产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO、NO₂），通过通风系统，可明显降低其浓度。

因此，¹⁹²Ir 后装机的污染因素主要是 γ 射线及退役的 ¹⁹²Ir 源。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1. 项目布局

天津市肿瘤医院拟在门诊医技楼负一层使用 3 台 DSA，分别位于东南角的 DSA1 室~DSA3 室，详见附图二。并拟在门诊医技楼负四层使用 1 台射波刀、6 台医用电子直线加速器和 2 台后装机。其中，射波刀位于靠东墙的南北中间位置，6 台医用电子直线加速器分别位于直线加速器机房 1、3、4、5、7、8，这些直线加速器机房均位于门诊医技楼负四层最北侧，房间编号按自西向东依次增加，2 台后装机分别位于西南侧的后装治疗仪机房 1~2，详见附图五。

2. 放射性工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，将需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，将通常不需要专门的防护手段和措施，但需要经常对照射条件进行监督和评价的区域划分为监督区。本项目辐射防护分区的具体划分情况见表 10-1。

表 10-1 本项目放射性工作场所分区表

区域	楼层	控制区	监督区
介入科	门诊医技楼 负一层	DSA1 室、DSA2 室、DSA3 室	3 个 DSA 机房的控制室及周边邻近设备间与治疗室。
放疗科	门诊医技楼 负四层	射波刀机房、直线加速器机房 1、直线加速器机房 3、直线加速器机房 4、直线加速器机房 5、直线加速器机房 7、直线加速器机房 8、后装治疗仪机房 1、后装治疗仪机房 2	射波刀机房周边邻近工作间、候诊室、空调机房；本项目 8 个直线加速器机房邻近工作间、更衣间；2 个后装治疗仪机房之间的控制室及邻近清洁间、盥洗室、控制室、加速器 TPS 计划设计间等。

3. 辐射安全和防护措施

3.1 射线装置

3.1.1 射波刀

1) 射波刀机房尺寸、屏蔽情况

机房主体内径尺寸（长×宽×净高）为 6.9m×6.9m×4.75m，包括迷道在内的总面积约为 68m²，有效容积约为 313m³。满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》

《GBZ126-2011》中第 6.1.7 条“治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m²”的要求。射波刀机房迷道为 L 型，迷道内口宽度为 1.7m，迷道宽 1.8m，外口宽度为 1.55m。射波刀机房屏蔽参数见表 10-2。

表 10-2 射波刀机房屏蔽参数

序号	屏蔽体		材质	厚度, mm
1	南墙		混凝土	2700
2	北墙		混凝土	2700
3	东墙		混凝土	1450 (外侧为土层)
4	L 型迷道 (西墙)	迷道内墙 (直形)	混凝土	1700
5		迷道外墙	混凝土	1000
6	室顶		混凝土	2700
7	防护门 (门洞宽高为 1.55m×2.1m)		铅	10mm 铅当量

2) 穿线布管设计

本项目射波刀机房的排风管道及电缆等贯穿件，在穿过防护墙时均采用垂直于地面平面的 U 型布置，且避开有用射束照射区域，不影响防护墙的屏蔽防护效果。

3) 安全与监控装置

(1) 紧急停止开关：在控制台、迷道防护门内侧墙面和治疗床处各设 1 个，共 3 个紧急停止开关，并有明显标志，供紧急停机使用。事故处理完毕后，再于本地复位，加速器才能重新启动。此外，控制台上还设有防止非工作人员操作的锁定开关。

(2) 门-机联锁：射波刀机房设有 L 型迷道，防护门安装门-机联锁装置。只有关上防护门才能出束，出束期间开门则立即自动停止出束。

(3) 装有视频监控和对讲装置，可以对机房内进行适时监视观察和与患者实现对讲交流。

(4) 迷道入口的防护门上方设有工作状态指示灯。

(5) 防护门上显著位置设有电离辐射标识及中文警示说明。

上述安全措施，可分别满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 中第 6.1.6、6.1.8 及 6.1.9 条的要求，即“治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备”、“治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁”及“相关位置 (例如治疗室入口处上方等) 应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志”。

4) 射波刀机房通风系统

射波刀机房的通风系统采用上送下排的设计，三个进风口设在机房西侧顶部吊顶

处，三个出风口设在机房内东西两侧墙壁上，事故排风口安装在距地面约 0.2m 处，位置按对角线布局，所有风口的面积均为 $0.5\text{m} \times 0.4\text{m} = 0.2 \text{ m}^2$ ，每间机房每个排风扇的排风量为 $500\text{m}^3/\text{h}$ ，3 个排风扇的排风量则为 $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ ，每小时换气 8 次，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中 6.1.10 条“机房通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

3.1.2 医用电子直线加速器

1) 医用电子直线加速器机房尺寸、屏蔽情况

本项目拟增 6 台医用电子直线加速器均位于门诊医技楼负四层，机房墙体及顶板为混凝土浇筑，机房的防护门为铅门或铅门外加石蜡。

(1) 直线加速器机房 1

该机房主体内径尺寸（长×宽×高）为 $9.7\text{m} \times 8.5\text{m} \times 4.75\text{m}$ ，包括迷道在内的总面积约为 101m^2 ，总容积约为 480m^3 。机房迷道为 L 型，迷道内口宽度为 2.0m，迷道宽为 2.2m，迷道外口宽度为 1.3 m。直线加速器机房 1 屏蔽参数见表 10-3。

表 10-3 直线加速器机房 1 屏蔽参数

防护措施		防护材料	厚度, mm
东墙	主屏蔽墙	混凝土	3100
	副屏蔽墙	混凝土	1800
南墙	迷道内墙	混凝土	1000
	迷道外墙	混凝土	800(迷道内口正对外迷道处为 1100)
西墙	屏蔽墙	混凝土	1450 (外侧为土层)
北墙	屏蔽墙	混凝土	1450 (外侧为土层)
室顶	主屏蔽墙	混凝土	3100
东侧主防护墙宽度			4800
防护门 (门洞宽高为 $1.3\text{m} \times 2.1\text{m}$)		铅	10mm 铅当量

(2) 直线加速器机房 3、4、5

直线加速器机房 3~5 的主体内径尺寸（长×宽×高）为 $9.7\text{m} \times 8.3\text{m} \times 4.75\text{m}$ ，包括迷道在内的总面积约为 95m^2 ，总容积约为 451m^3 。机房迷道为 L 型，迷道内口宽度为 2.0m，迷道宽 2.2m，迷道外口宽度为 1.3 m。直线加速器机房 3~5 的屏蔽参数见表 10-4。

表 10-4 直线加速器机房 3~5 屏蔽参数

防护措施		防护材料	厚度, mm
东墙、西墙	主屏蔽墙	混凝土	3100

	副屏蔽墙	混凝土	1800
南墙	迷道内墙	混凝土	1000
	迷道外墙	混凝土	800(迷道内口正对外迷道处为 1100)
北墙	屏蔽墙	混凝土	1450 (外侧为土层)
室顶	主屏蔽墙	混凝土	3100
东侧主防护墙宽度			4800
防护门 (门洞宽高为 1.3m×2.1m)		铅+石蜡	12mm 铅当量

(3) 直线加速器机房 7、8

直线加速器机房 7 的主体内径尺寸 (长×宽×高) 为: 9.7m×7.25m×4.75m, 包括迷道在内的总面积约 83m², 直线加速器机房 8 的主体内径尺寸 (长×宽×高) 为 9.7m×7.2m×4.6m, 包括迷道在内的总面积约 82m², 两个机房总容积均约 394m³。两个机房迷道均为 L 型, 迷道内口宽度为 2.0m, 迷道宽 2.2m, 迷道外口宽度为 1.3m。直线加速器机房 7 和直线加速器机房 8 的屏蔽参数见表 10-5。

表 10-5 直线加速器机房 7 和直线加速器机房 8 的屏蔽参数

防护措施		防护材料	直线加速器机房 7	直线加速器机房 8
			厚度, mm	
东墙	主屏蔽墙	混凝土	2700	
	副屏蔽墙	混凝土	1500	
西墙	主屏蔽墙	混凝土	3100	2700
	副屏蔽墙	混凝土	1800	1500
南墙	迷道内墙	混凝土	1000	
	迷道外墙	混凝土	800 (迷道内口正对外迷道处为 900)	
北墙	屏蔽墙	混凝土	1450 (外侧为土层)	
室顶	主屏蔽墙	混凝土	3100	
东侧主防护墙宽度			4800	
防护门 (门洞宽高为 1.3m×2.1m)		铅	10mm 铅当量	

上述 6 台直线加速器所在机房面积为 82~101 m², 满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011) 中 6.1.7 条“治疗室应有足够的使用面积, 新建治疗室不应小于 45m²”的要求。

2) 防护门屏蔽设计

6 台直线加速器所在机房均设有迷道, 迷道外口均设电动平开防护门, 防护门的尺寸、材质、厚度见表 10-2~表 10-5 中的屏蔽参数, 防护门均设计有门机联锁装置。

满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中 6.1.8 条“治疗室入口处必须设置防护门和迷道,防护门应与加速器联锁”的要求。

3) 排风和电缆穿墙管线设计

通往直线加速器机房内的电缆、通风等管道尽量避开了主射线束照射区域,电缆沟、通风管道从机房地面以下呈 U 型越过屏蔽墙。满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中 6.1.4 条“穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果”的要求。

4) 监控及对讲装置

控制室内设有监控系统,直线加速器机房内装有实时摄像监视器,可以使控制台上的工作人员能清楚地观察到治疗室内的加速器工作情况和病人情况,发现异常可及时处理。此外,加速器治疗室内和控制室内配备了扩音与对讲装置,方便工作人员与患者对话,指导患者配合治疗。上述措施满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中 6.1.6 条“治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备”的要求。

5) 在防护门外安装工作状态指示灯,具备显示开机、停机的功能,指示灯与加速器联锁。在防护门外显著位置张贴电离辐射标识及中文警示说明。该措施满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中 6.1.9 条“相关位置(例如治疗室入口处上方等)应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志”的要求。

6) 直线加速器机房通风系统

6 间直线加速器机房内均设有通风系统,采用上送下排的设计,三个进风口设在机房西侧顶部吊顶处,三个出风口设在机房内东西两侧墙壁上,事故排风口安装在距地面约 0.2m 处,位置按对角线布局,所有风口的面积均为 $0.5\text{m} \times 0.4\text{m} = 0.2 \text{ m}^2$,每间机房每个排风扇的排风量为 $500\text{m}^3/\text{h}$,3 个排风扇的排风量则为 $1500 \text{ m}^3/\text{h}$,每小时换气 8 次,满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)中 6.1.10 条“机房通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

7) 直线加速器工作场所还设有如下安全和防护措施:

(1) 在机房内拟安装激光定位系统,用于加速器等中心和病人的定位。

(2) 门-机联锁:各加速器机房均设有 L 型迷道,防护门安装门-机联锁装置。只有关上防护门才能出束,出束期间开门则立即自动停止出束。

(3) 紧急停止开关:每台加速器,在控制台、迷道防护门内侧墙面和治疗床处均各设 1 个,共 3 个紧急停止开关,并有明显标志,供紧急停机使用。事故处理完毕后,

再于本地复位，加速器才能重新启动。

(4) 加速器控制机上设有电源钥匙开关，只有当加速器一切都处于安全状态，并将钥匙就位后，加速器才能启动工作。一旦钥匙被取走，加速器就无法启动工作。

(5) 控制台上设有防止非工作人员操作的锁定开关。

8) 本项目医用电子直线加速器安全联锁逻辑关系图如下：

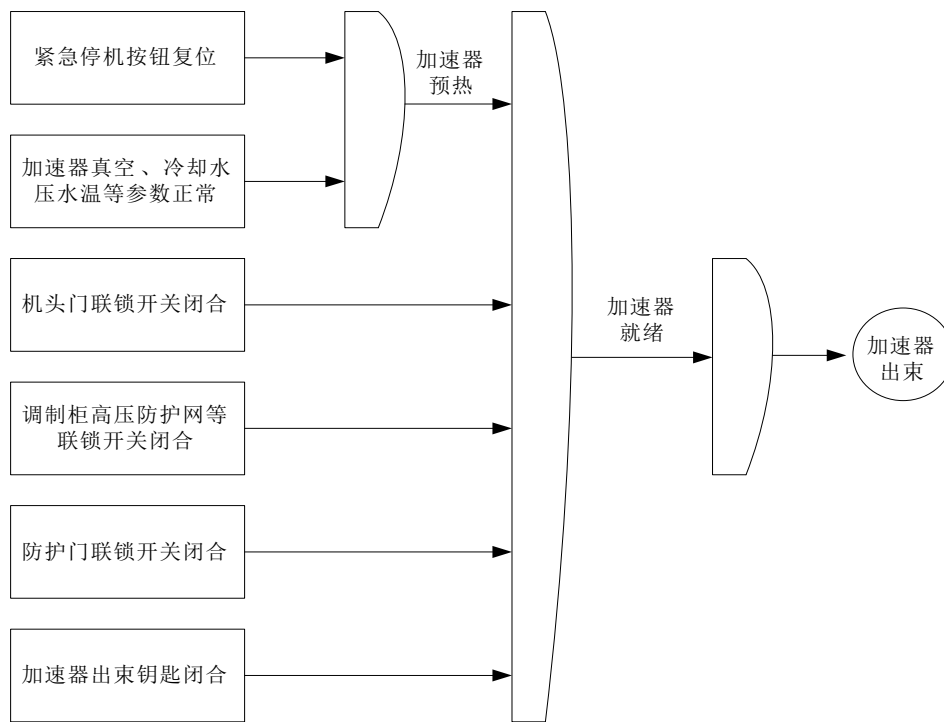


图 10-1 加速器安全联锁逻辑关系示意图

3.1.3 DSA

1) DSA 机房尺寸及辐射安全措施

本项目 3 间 DSA 机房的尺寸及采取的辐射安全措施见表 10-6。

表 10-6 DSA 机房的尺寸及辐射安全措施

位置	DSA1 室	DSA2 室	DSA3 室
尺寸	东西长 8.6m，南北宽 7.8m，高 4.0m	东西长 8.0m，南北宽 7.8m，高 4.0m	东西长 8.6m，南北宽 8.5m，高 4.0m
面积 m ²	67	62.5	73
四周墙体	150mm 混凝土砌块砖+2mm 铅板		
室顶	250mm 混凝土		180mm 混凝土+1mm 铅
地板	350mm 混凝土		
观察窗 mm	2mm 铅当量		
大、小防护门	2mmPb 当量		

	大防护门上方装有工作状态指示灯，建立门灯连锁； 大小防护门外贴有电离辐射警告标识及中文警示说明。
紧急停机开关	DSA 机房治疗面板及控制室操作台各设 1 个，共 2 个紧急停机开关
通风	设有通风系统
射束朝向	向上
其它	DSA 机房和控制室之间配备有对讲系统

由表 10-6 可知，上述 3 台 DSA 所在机房，满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中：

（1）5.5 条“机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态”的要求。

（2）5.6 条“机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物；机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风”的要求。

（3）5.7 条“机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动”的要求。

2) 防护用品配备

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中 5.9 款的要求，医院拟为辐射工作人员和患者配备防护用品，其中，工作人员的防护用品包括个人防护用品和辅助防护设施。

（1）工作人员个人防护用品主要包括：铅衣（3 套）、铅围脖（3 套）、铅眼镜（3 套）、铅帽（3 个）、铅橡胶手套（3 双）等，均具有 0.5mm 铅当量的防护能力。

（2）工作人员的辅助防护设施包括：配有 3 套铅屏风、铅防护吊帘，均具有 0.5mm 铅当量。

（3）患者的防护用品包括：配备 3 套铅防护颈套，防护能力均为 0.5mm 铅当量。同时为陪检者配备有 0.5mm 铅当量的铅衣。

3) 个人剂量计配备

拟为 9 名辐射工作人员各配备 1 台个人剂量计，并委托有资质的单位定期对个人剂量进行检测。

3.2 密封放射源（¹⁹²Ir 后装机）

1) 后装治疗仪机房尺寸及屏蔽情况

本项目 2 间后装治疗仪机房的尺寸及屏蔽情况均相同，机房主体内径尺寸（长×宽×净高）为 5.3m×4.5m×4.55m，机房有效使用面积约 24m²。机房迷道为直型，内口宽度为 2.0m，迷道宽度为 2m，迷道外口宽 1.5m。后装治疗仪机房屏蔽参数见表 10-7。

表 10-7 后装治疗仪机房屏蔽参数

序号	屏蔽体	材质	厚度，mm
1	东墙	钢筋混凝土	550（机房 1）、500（机房 2）
2	西墙	钢筋混凝土	500（机房 1）、550（机房 2）
3	南墙	钢筋混凝土	600
4	直型迷道（北墙）	钢筋混凝土(内、外)	500
5	室顶	钢筋混凝土	500
6	防护门（门洞宽高为 1.5m×2.1m）	铅	8mm 铅当量

2) 辐射安全措施

(1) 后装治疗仪机房与控制室分开设置，机房面积约 24 m²，机房防护门上方显著位置处设有电离辐射标识及中文警示说明。上述措施满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中第 5.1 条“治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于 20 m²，应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区”的要求。

(2) 后装治疗仪通风系统

本项目对 2 间后装治疗仪机房和控制室进行整体通风，通风采用上送下排设计，出风口位于后装治疗仪机房两端墙壁上，距地面 20cm，送风口位于入口处吊顶上，3 间房间总通风量为 10000m³/h，换气频率达到 8 次/小时，满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中第 5.2 条“治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于 4 次”的要求。

(3) 后装治疗仪机房设直型迷道，防护门尺寸及屏蔽情况见表 10-6，防护门设门-机联锁，开门状态下不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装机安全。此外，机房防护门上方显著位置设有工作状态指示灯，可防止人员受到误照射。

(4) 每间后装治疗仪机房四周墙体、防护门内侧靠墙处及控制台上各有 1 个，共 6 个紧急回源开关，并有显著标识，按下开关，放射源可自动退回后装机。

(5) 机房防护门断电后可由工作人员手动开门。

上述措施可满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中第 5.3 条“治疗室入口应采用迷道形式，安装防护门并设置门-机联锁，开门状态下不能出源

照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关，按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置”和第 5.4 条“治疗室防护门应设置手动开门装置”的要求。

(6) 后装治疗仪机房与控制室之间装有电视监控设备和对讲装置，满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017) 中第 5.5 条“在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施”的要求。

(7) 配有 1 台辐射巡测仪和 2 台个人剂量报警仪，满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017) 中第 5.7 条“应配有辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能”的要求。

(8) 后装治疗仪机房迷道入口处各设有 1 套，共 2 套固定式辐射剂量监测仪，当机房内剂量水平超过设定阈值后，报警器发出报警信号，可有效防止人员进入。监测结果显示在控制室控制台上。本措施满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》

(GBZ121-2017) 中第 5.9 条“在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近”的要求。

(9) 机房内配有应急的长柄镊子、储源容器、1 套铅衣等辅助防护用品，满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017) 中第 5.10 条“治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备”的要求。

(10) 后装治疗仪机房控制室的控制台上，设有防止非工作人员操作的锁定开关。

(11) 后装治疗仪主机外表面贴有电离辐射警示标志。

(12) 后装治疗仪在停电或意外中断照射时，可自动回源。

三废及废旧放射源的治理

由表 9 的污染源项分析，本项目产生的主要放射性废物为加速器产生的放射性固体废物（废靶件等）和 ^{192}Ir 后装机产生的废旧放射源。治理措施如下：

1、放射性固体废弃物

加速器运行后产生的废靶件交由有资质单位进行回收。

2、废旧放射源的治理

肿瘤医院应与放射源生产厂家签订废源回收协议，后装机中产生的 ^{192}Ir 废放射源交由放射源生产厂家回收处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目在施工过程中产生的污染源主要为施工扬尘、施工废水、施工过程中产生的建筑垃圾及各种施工设备和运输车辆产生的噪声等。

1) 扬尘

本项目为新建工程，需要对土方开挖，而使大片土地裸露和土方堆放，会产生二次扬尘。另外建筑材料的现场搬运及堆放、施工垃圾的清理及堆放，以及人来车往造成的现场道路扬尘。

施工扬尘对环境的影响是短暂的，随施工的结束而消失。减少扬尘的有效措施是对施工现场和厂界设围挡，注意建筑材料的选用和堆放，尽量少用干水泥，对易产生扬尘的材料如水泥、石灰等采取室内堆放。对施工场地做硬化处理，每天定期洒水。对场地内运输通道应及时清扫、冲洗，对施工渣土外运车辆采取覆盖的方式避免起尘。

2) 废水

在施工过程中，会产生少量的生活污水和施工废水。这些污水主要集中在施工工地，涉及的范围较小。

项目施工过程中产生的废水不随意外排，经二次沉淀后的冲洗水可循环使用或用于喷洒降尘；施工人员产生的生活污水，就近利用肿瘤医院现有废水处理设施处理后，排入市政污水管网。

3) 固体废物

施工过程中产生的固体废物主要为施工人员的生活垃圾、施工渣土以及损坏废弃的建筑材料。

施工单位应将建筑垃圾、生活垃圾分类存放，并按要求分别运至指定地点处理；所产生的弃土将大部分用于回填地基，剩余部分可用于本项目建成后的绿化用土。

4) 噪声

施工过程中噪声的主要来源是各种施工机械和物料运输车，主要有混凝土搅拌机、振捣棒、切割机和载重车等。

为减少施工期噪声对环境的影响，应合理安排施工时间，尽量避免夜间施工；文明操作；合理安排运输路线，合理布局施工场地；尽量选取低噪声设备；建立临时隔离层或围挡等措施减少噪声污染。

运行阶段对环境的影响

本报告分别对肿瘤医院门诊医技楼新增 10 台 II 类射线装置（6 台医用电子直线加速器、1 台射波刀及 3 台 DSA）和 2 枚 III 类密封放射源（ ^{192}Ir 源）在使用过程中的环境影响进行分析，然后对对事故风险进行分析，并提出了应急措施。

一、射波刀环境影响分析

1. 射波刀主要技术参数

本项目射波刀的主要技术指标如表 11-1 所示：

表 11-1 本项目射波刀主要技术指标

加速粒子	电子
射线种类及能量	治疗束：X 射线，6MV
最大输出剂量率	10Gy/min
加速器机头泄漏辐射率	$\leq 0.1\%$
年开机照射时间	6h/周 \times 50 周=300h
最 照射野	11.5cm \times 10cm

2. 射波刀照射路径分析

2.1 四周墙体外及屋顶上方

射波刀运行时，有用线束会朝向四周墙体及屋顶部位，则墙外及屋顶上方关注点剂量率均按有用线束的透射公式进行计算。此外，因射波刀东墙外侧为地下土壤层，评价范围内没有环境敏感点，所以可不作考虑。

2.2 射波刀机房防护门外

射波刀机房防护门外主要考虑两种情况的照射：一种是有用线束透射，另一种是有用线束穿透人体后，经墙体散射到防护门外。

射波刀机房周围的剂量率计算点位和照射路径示意图见图 11-1(a)，射波刀机房剖面图见图 11-1(b)。

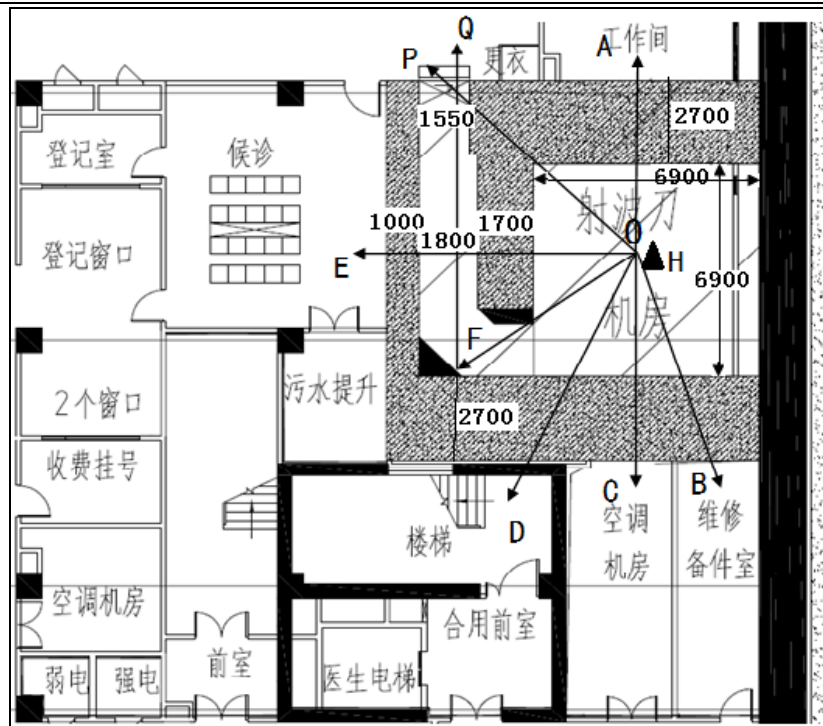


图 11-1(a) 射波刀机房墙外剂量率计算点位及照射路径示意图

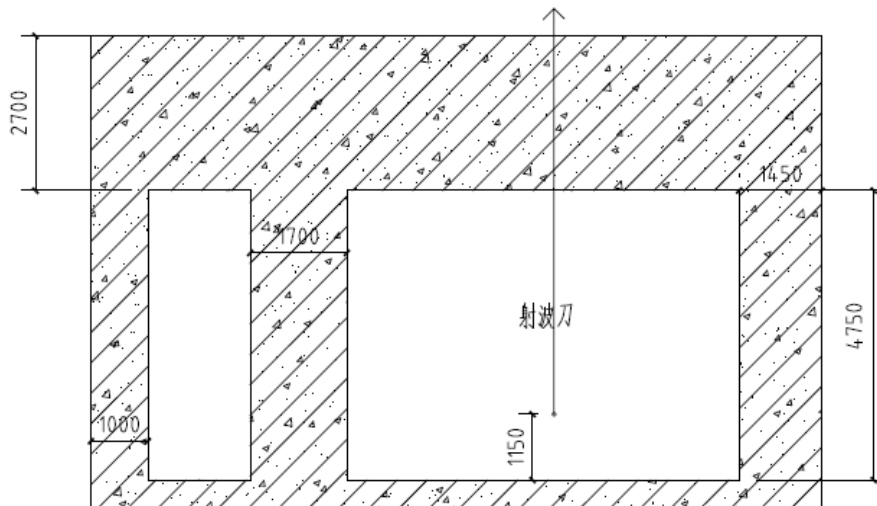


图 11-1(b) 射波刀机房剖面图

3 射波刀运行期辐射影响分析

3.1 计算公式

1) 有用线束计算公式

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZT 201.2-2011) 中“5 屏蔽估算方法”的式 (3) 和式 (6), 可得射波刀有用线束穿透屏蔽墙产生的剂量率计算公式如下:

$$H_d = H_0 \times 6 \times 10^7 \times 10^{-(t+T-T_1)/T} / r^2 \dots \dots \dots \text{式 11-1}$$

式中:

H_d : 关注点位置的辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$);

H_0 : 距离加速器靶 1m 处的辐射源强($\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$), 对 6MV 的射波刀为 $10\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$;

6×10^7 : 将单位 $\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 换算为 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 的换算系数;

t : 混凝土墙体厚度 (mm);

T : 6MV 有用线束对应的混凝土屏蔽体平衡十分之一层厚度为 330mm, 来源于《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》(GBZT 201.2-2011) 表 B.1;

T_1 : 6MV 有用线束对应的混凝土屏蔽体第一个十分之一层厚度为 370mm, 来源于《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》(GBZT 201.2-2011) 表 B.1;

r : 加速器出束点距离关注点的距离 (m)。

2) 散射线束计算公式

(1) 散射线能量转换公式

根据联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) —2000 年报告附录 A, X 射线产生的散射线最大能量的计算公式如下:

$$E_s = \frac{E_0}{1 + 1.96E_0(1 - \cos \theta_s)} \dots\dots\dots \text{式 11-2}$$

式中:

E_s : 散射线最大能量, MeV;

E_0 : 入射线最大能量, MeV;

θ_s : 散射角。

(2) 散射角 θ_s 确定方法

本项目计算迷道散射时考虑入射线与反射线在同一平面的情况, 此时, $\theta_0 + \theta + \theta_s = 180^\circ$, 即 $\theta_s = 180 - \theta_0 - \theta$, 详见图 11-2。

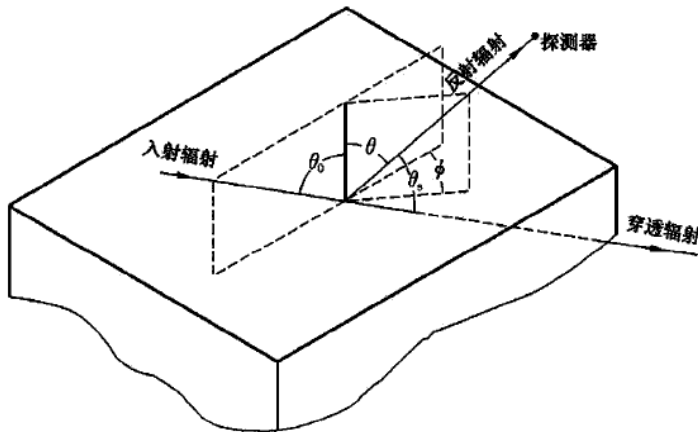


图 11-2 入射角、反射角、散射角关系图

(3) 散射计算公式

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZT 201.2-2011）中“5 屏蔽估算方法”的式（3）、式（6）和式（10），可得射波刀有用线束经墙体散射至防护门外产生的剂量率计算公式如下：

$$H_p = H_d \times 10^{-t/T} \times A \times \alpha_w / (r_1^2 \times r_2^2) \dots\dots\dots \text{式 11-3}$$

H_p ：经散射辐射，在关注点处产生的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

H_d ：射线穿透人体并到达墙体的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ），计算公式见式 11-1，人体考虑为平躺，保守取为 35cm 厚水体；

A ：墙体散射面积，本项目射波刀机房墙体散射面积约 7.4（ m^2 ）；

t ：迷道铅门厚度（mm），射波刀机房为 28mm 铅当量；

T ：6MV 射线经墙体次散射后的能量对应的铅十分之一层厚度，本项目射波刀经一次散射后最大散射线能量为 0.47MV，计算公式见式 11-2。根据《辐射防护导论》（原子能出版社，方杰主编）表 3.5，可查得 $T=9.67\text{mm}$ ；

r_1 ：射波刀出束点距墙体散射点的距离（m）；

r_2 ：墙体散射点距关注点的距离（m）。

α_w ：散射体的散射比，本次取为 6.5×10^{-3} 。数据来源于 NCRP151 号报告表 B.8f；

3.2 射波刀机房周围剂量率水平计算结果

将相关参数代入公式 11-1 及 11-3，可得射波刀机房周围关注点处的剂量率如下：

表 11-2 射波刀机房周围关注点的辐射影响预测结果

序号	编号	描述	照射方式	屏蔽体厚度 (mm)	减弱系数	距离 (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	A	北墙外 0.3m 处 (工作间)	透射	2700 混凝土	8.70×10^{-9}	6.45	1.25×10^{-1}

2	B	维修备件室 (南墙外东侧)	透射	2720 混凝土	5.72×10 ⁻⁹		6.60	7.88×10 ⁻²
3	C	空调机房 (南墙外 0.3m)	透射	2700 混凝土	8.70×10 ⁻⁹		6.45	1.25×10 ⁻¹
4	D	楼梯间 (南墙外西侧)	透射	3360 混凝土	8.64×10 ⁻¹¹		8.28	7.56×10 ⁻⁴
5	E	外迷道西侧墙 外 0.3m 处 (候诊厅)	透射	2700 混凝土	8.70×10 ⁻⁹		8.25	7.67×10 ⁻²
6	P	防护门外 0.3m 处	透射	2624 混凝土 +10 铅	4.18×10 ⁻⁹		9.65	2.46×10 ⁻²
	Q		人体透射(35cm 厚水体)+ 散射 (10mm 铅门)	散射计算参数				6.41
				α w	A,m ²	d1,d2(m)	减弱系数	
				6.5×10 ⁻³	7.13	6.52	9.90	1.27×10 ⁻³
7	H	屋顶上方 0.3m 处 (空调设备间)	透射	2700 混凝土	8.70×10 ⁻⁹		6.60	1.20×10 ⁻¹

由上表可知：①射波刀机房防护门外 0.3m 处的剂量率最大为 6.41μSv/h，由图 11-1 中 O-F-Q 人体透射+散射路径产生。②射波刀机房周围除防护门外的其他关注点，剂量率水平最高为 1.25×10⁻¹μSv/h。剂量率预测值均满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》中第 D.3.3.2 条机器人射波刀“机房外的剂量率参考控制水平建议取为 10μSv/h”的限值要求。

3.3 射波刀机房周围职业工作人员及公众人员剂量

由医院提供的资料，射波刀每周开机照射 6h，年出束时间 300h。人员所受年有效剂量估算公式如下：

$$H = 0.7 \times \dot{D} \times T \times Q \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 11-4}$$

式中：

- H: 年有效剂量，mSv/a;
- 1: 吸收剂量对有效剂量的换算系数，μSv 转换为 μSv;
- 0.7: 剂量当量对有效剂量的转换系数（UNSCEAR2000 报告，附件 A）;
- \dot{D} : 计算点的 γ 辐射剂量率，μSv/h;
- T: 年受照时间，h/a;
- Q: 居留因子;
- 10⁻³: 单位转换系数，μSv 转换为 mSv;

本项目射波刀机房周围人员居留位主要是北侧工作间、西侧候诊厅、空调机房及楼梯

间，工作间即射波刀控制室，射波刀的辐射工作人员经常停留。其余场所主要为院内及院外公众。经计算，射波刀机房周围相关人员所受年有效剂量如下：

表 11-3 射波刀机房周围相关人员年有效剂量

点位	人员性质	年出束时间, h	剂量率, μSv/h	居留 因子	年有效剂量, mSv/a
北侧工作间	职业工作人员	300	1.25×10^{-1}	1	2.63×10^{-2}
西侧候诊厅	公众	300	7.67×10^{-2}	0.0625	1.01×10^{-3}
南侧楼梯间	公众	300	7.56×10^{-4}	0.25	3.97×10^{-5}
南侧空调机房	公众	300	1.25×10^{-1}	0.125	3.29×10^{-3}
上方空调设备间	公众	300	1.20×10^{-1}	0.0625	1.58×10^{-3}
防护门北侧走廊	公众	300	6.41	0.0625	8.41×10^{-2}

由上表计算结果可知，射波刀机房控制室内的职业工作人员所受年有效剂量为 $2.63 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，小于 2mSv/a 的职业工作人员年有效剂量约束值要求；射波刀机房防护门外通道处公众人员所受的年有效剂量最大，其值为 $8.41 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，小于公众人员年有效剂量约束值 0.1mSv/a 。

二、医用电子直线加速器环境影响分析

1 直线加速器主要技术参数

本项目 6 台直线加速器的关键技术参数如下：

表 11-4 6 台直线加速器的关键参数

直线加速器机房	直线加速器机房 1	直线加速器机房 3	直线加速器机房 4	直线加速器机房 5	直线加速器机房 7	直线加速器机房 8
X 射线能量	6MV	6、10MV	6、10MV	6、10MV	6MV	6MV
电子束能量	—	4、6、9、12、15 MeV	4、6、8、10、12、15MeV	4、6、8、10、12、15MeV	—	4、6、9、12、15、18MeV
X 射线剂量率	10Gy/min	6Gy/min	6Gy/min	14Gy/min	6Gy/min	10Gy/min
X 射线最大照射野	27.4cm×24.1cm	40cm×40cm	40cm×40cm	40cm×40cm	40cm×40cm	40cm×40cm
射线泄露率	≤0.1%	≤0.1%	≤0.1%	≤0.1%	≤0.1%	≤0.1%
治疗角度	360 度	360 度	360 度	360 度	360 度	360 度
治疗距离	90cm	100cm	100cm	100cm	100cm	100cm
年出束时间	250h/a	200h/a	200h/a	200h/a	200h/a	200h/a

2 直线加速器机房有用线束屏蔽墙宽度分析

《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》（GBZT 201.2-2011）附录 D.1.2.5 给出的有用线束主屏蔽区半宽度计算公式如下：

$$Y = (100 + a + X) \operatorname{tg} 14^\circ + 30 \dots \dots \dots \text{式 11-5}$$

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：主屏蔽墙多于副屏蔽墙厚度，cm。

本项目直线直线加速器机房有用线束屏蔽墙宽度计算参数及结果如下表所示：

表 11-5 有用线束屏蔽墙宽度计算参数及结果

名称	a	X	Y	主屏蔽区宽度 2Y
直线直线加速器机房 1				
东墙	425	130	193.3	386.6
直线直线加速器机房 3、4、5				
东墙	415	130	190.8	381.6
西墙	415	130	190.8	381.6
直线直线加速器机房 7				
东墙	362.5	120	175.2	350.4
西墙	362.5	130	177.7	355.4
直线直线加速器机房 8				
东墙	360	120	174.6	349.2
西墙	360	120	174.6	349.2

由上表可知，本项目 6 台直线加速器所在机房的主屏蔽墙最大宽度需要 386.6cm，本项目所有直线直线加速器机房主屏蔽墙宽度的设计值均为 480cm，符合要求。

3 直线加速器机房照射路径分析

本项目 6 台直线加速器所在机房编号分别为直线加速器机房 1、3、4、5、7、8，根据表 11-4 及表 10-3~表 10-5（加速器机房尺寸及屏蔽情况）可知：①位于直线加速器机房 3~5 的最高 X 射线能量及房间结构均相同，直线加速器机房 4、5 的医用电子直线加速器 X 射线剂量率较高；②位于直线加速器机房 7、8 的最高 X 射线能量相同，直线加速器机房 8 的 X 射线剂量率较高。并且，这两个机房结构尺寸相近（直线加速器机房 7 的东侧主屏蔽墙更厚）。保守考虑，可分别选取直线直线加速器机房 1、4、8 进行预测分析，上述 3 个直线加速器机房照射情况如下：

3.1 直线加速器机房 1

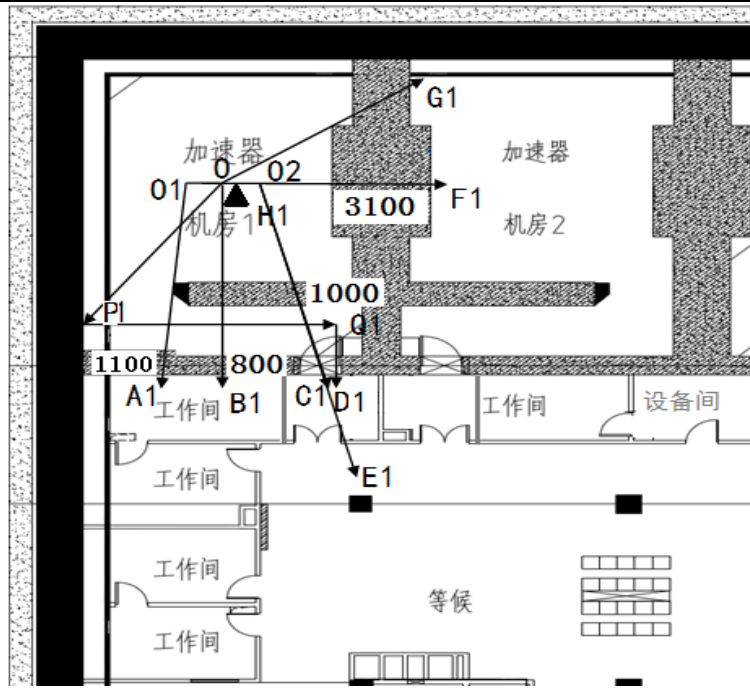


图 11-3 (a) 直线加速器机房 1 墙外剂量率计算点及照射路径示意图

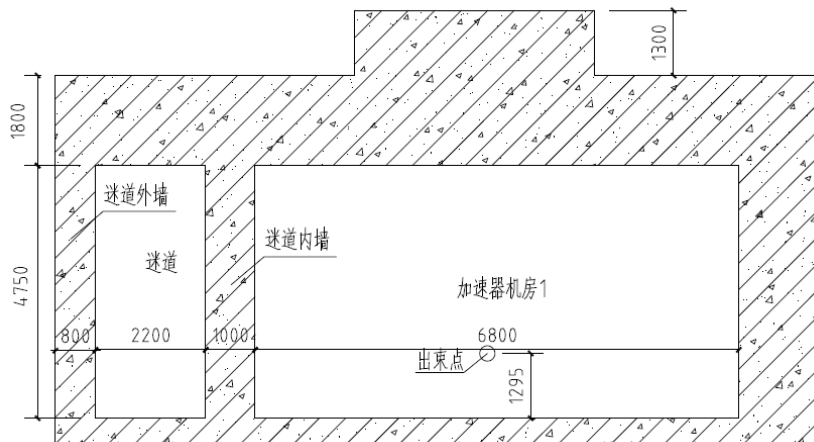


图 11-3 (b) 直线加速器机房 1 剖面图

1) 直线加速器机房 1 四周墙体及屋顶

因直线加速器机房 1 的西墙和北墙外侧均为地下土壤层，评价范围内没有环境敏感点，所以辐射影响可不作考虑，其余方位主要照射情况如下：

(1) 直线加速器 1 运行时，有用线束会朝向东西主屏蔽墙及屋顶部位，则东侧主屏蔽墙外及屋顶上方关注点剂量率均按有用线束的透射公式进行计算，即图 11-3 中的路径 O-F1 及 O-H1 (H1 位于屋顶上方 0.3m 处)。

(2) 东侧副屏蔽墙主要受到人体散射及漏射线辐射影响，即上图中的路径 O-G1。

(3) 南墙及南侧候诊厅主要受到漏射线影响，即上图中的路径 O1-A1、O-B1 及路径 O2-E1。

2) 直线加速器机房防护门外

直线加速器机房 1 防护门外主要受到两种照射的叠加影响：①漏射线透过迷道内墙，对防护门外产生照射，如上图中的路径 O2-C1；②人体散射线经墙体二次散射后，对防护门外产生照射，如上图中的路径 O-P1-Q1-D1。

3.2 直线加速器机房 4

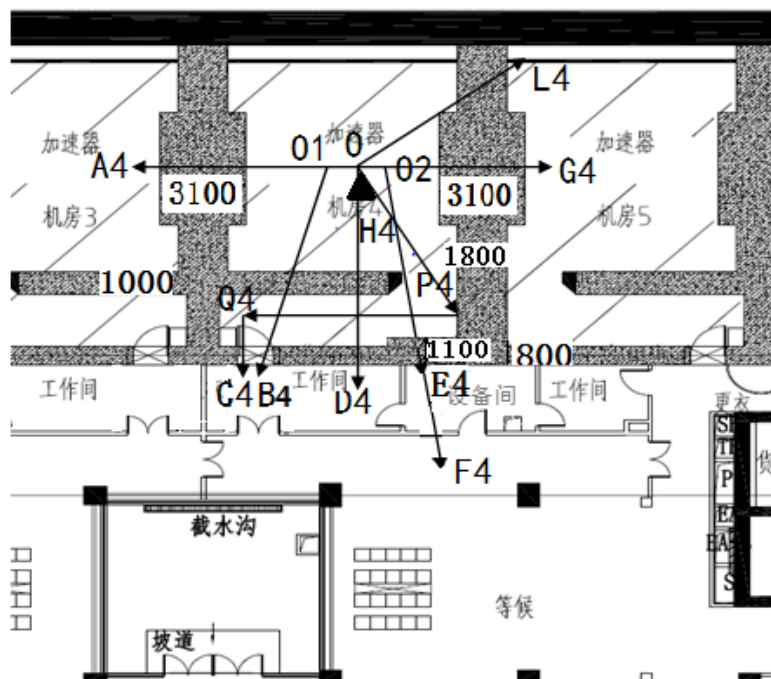


图 11-4(a) 直线加速器机房 4 墙外剂量率计算点及照射路径示意图

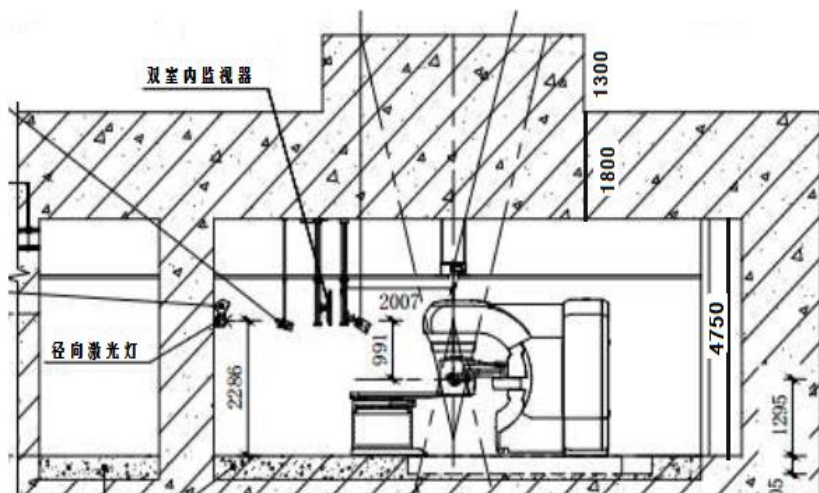


图 11-4(b) 直线加速器机房 4 剖面图

1) 直线加速器机房 4 四周墙体及屋顶

直线加速器机房 4 北墙外均为土层，所以辐射影响可不作考虑，其余方位主要照射情况如下：

(1) 东西两侧主屏蔽墙外及屋顶上方受有用线束透射影响，即图 11-4 中的路径 O-A4、

O-G4 及 O-H4。

(2) 东侧副屏蔽墙主要受到人体散射及漏射线辐射影响，即上图中的路径 O-L4。

(3) 南墙及南侧候诊厅主要受到漏射线影响，即上图中的路径 O-D4、O2-E4 及路径 O2-F4。

2) 直线加速器机房 4 防护门外

直线加速器机房 4 防护门外主要受到两种照射的叠加影响：①漏射线透过迷道内墙，对防护门外产生照射，如上图路径 O1-B4；②人体散射线经墙体二次散射后，对防护门外产生照射，如上图中的路径 O-P4-Q4-C4。

3.3 直线加速器机房 8

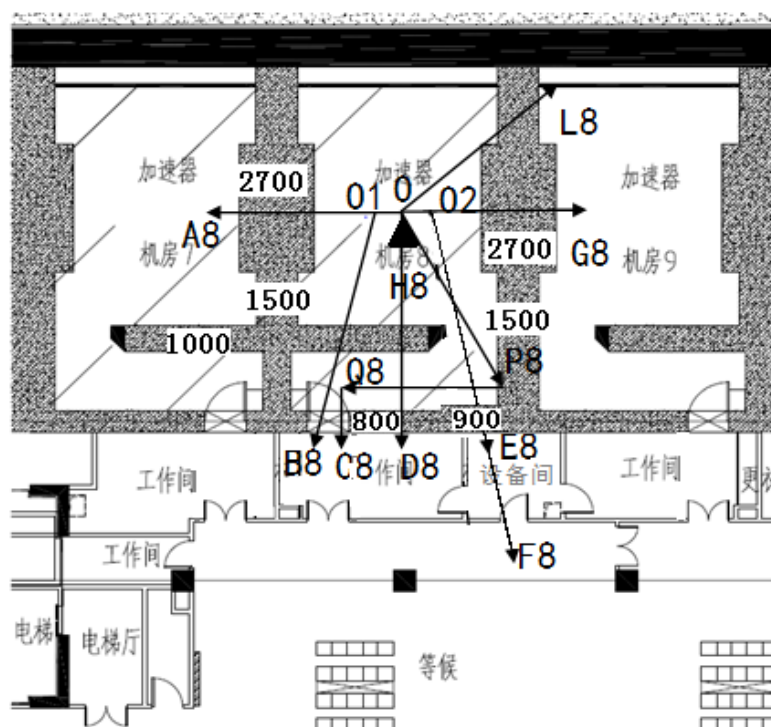


图 11-5(a) 直线加速器机房 8 墙外剂量率计算点及照射路径示意图

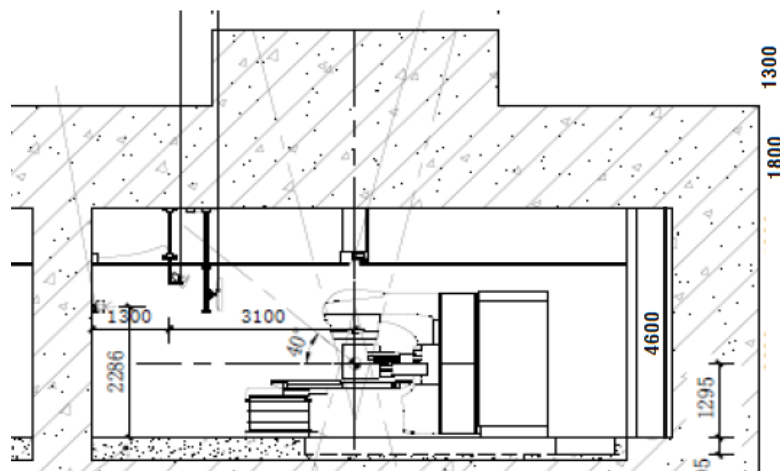


图 11-5(b) 直线加速器机房 8 剖面图

1) 直线加速器机房 8 四周墙体及屋顶

直线加速器机房 8 北墙外均为土层，辐射影响可不作考虑，其余照射情况如下：

(1) 东西两侧主屏蔽墙外及屋顶上方受有用线束透射影响，即图 11-5 中的路径 O-A8、O-G8 及 O-H8。

(2) 东侧副屏蔽墙主要受到人体散射及漏射线辐射影响，即上图中的路径 O-L8。

(3) 南墙及南侧候诊厅主要受到漏射线影响，即上图中的路径 O-D8、O2-E8 及路径 O2-F8。

2) 直线加速器机房 8 防护门外

直线加速器机房 8 防护门外主要受到两种照射的叠加影响：①漏射线透过迷道内墙，对防护门外产生照射，如上图路径 O1-B8；②人体散射线经墙体二次散射后，对防护门外产生照射，如上图中的路径 O-P8-Q8-C8。

4 直线加速器运行期辐射影响分析

4.1 剂量率参考控制水平的确定和选择

A. 判断选定关注点所在区域是放射工作人员还是公众

放射工作人员周剂量控制水平： $H_c \leq 100 \mu Sv/周$

公众周剂量控制水平： $H_c \leq 5 \mu Sv/周$

B 按照放射治疗单位给定的放射治疗工作量确定周工作负荷（W），并用以下公式估算加速器的周最大照射时间（t）

$$t=W/D_0$$

C 按照以下公式计算出周围剂量当量率参考控制水平（ \dot{H}_c ）：

a 单一有用线束（计算主墙的加厚部分）

$$\dot{H}_c=H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots \dots \dots \text{式 11-6}$$

式中：

Hc——周剂量控制水平， $\mu Sv/周$ ；

U——有用线束向关注位置的方向照射的使用因子，计算主屏蔽墙时取 1/4；

T——人员在相应关注点的居留因子；（在 GBZ/T201.1-2007 的附录 A.1 中查询）

t——加速器的周最大照射时间。

b 单一泄露辐射（计算副墙和南墙）

$$\dot{H}_c=H_c / (N \cdot t \cdot T) \dots \dots \dots \text{式 11-7}$$

式中：

Hc——周剂量控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

N——调强治疗时用于泄露辐射的调强因子，通常 $N=5$ ；

T——人员在相应关注点的居留因子；

t——加速器的周最大照射时间。

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

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

计算得出的剂量率参考控制水平 Hc 和以上最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 Hc ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)。

本项目加速器机房 1 计划每周治疗 150 个患者，其余加速器均计划每周治疗 400 个患者。患者平均受照射剂量为 $3\text{Gy}/\text{人}$ （医院提供），调强因子 $N=5$ ，则加速器机房 1 的周工作负荷 $W=150 \text{人}/\text{周} \times 3\text{Gy}/\text{人} \times 5=2250\text{Gy}/\text{周}$ ，其余机房 $W=6000\text{Gy}/\text{周}$ 。

周最大照射时间 $t=W/D_0$ ，根据医院提供资料， D_0 取为 $6\text{Gy}/\text{min}$ ，则加速器机房 1 的 $t=6.25\text{h}/\text{周}$ ，其余加速器机房的 $t=16.67\text{h}/\text{周}$ 。

本项目各直线加速器机房周围的剂量率控制值计算结果如下：

表 11-6 本项目直线加速器机房 1 周围剂量率控制值

机房周围剂量率关注点		Hc, $\mu\text{Sv}/\text{周}$	U/N	t, h/周	T	导出剂量率 参考控制水 平, \dot{H}_c , μ Sv/h	最高剂量率参考 控制水平 $H_{c,max}$, $\mu\text{Sv}/\text{h}$	本项目剂 量率控制 值, $\mu\text{Sv}/\text{h}$
南墙外	工作间	100	$N=5$	6.25	1	3.2	2.5	2.5
东西墙外 (相邻治疗机房)	主屏蔽墙	100	$U=1/4$	6.25	1/2	128	2.5	2.5
	副屏蔽墙	100	$N=5$	6.25	1/2	6.4	2.5	2.5
防护门外		100	$N=5$	6.25	6.25	25.6	10	10
屋顶上方(空调设备间)		5	$U=1/4$	6.25	6.25	64	2.5 (GBZ/T201.2-2011 要求)	2.5

由上表可知，直线加速器机房 1 周围除防护门外剂量率控制值为 $10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 外，其余点位剂量率控制值均为 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

表 11-7 本项目直线加速器机房 3、4、5、7、8 周围剂量率控制值

机房周围剂量率关注点		Hc, $\mu\text{Sv}/\text{周}$	U/N	t, h/周	T	导出剂量率 参考控制水 平, \dot{H}_c , μ Sv/h	最高剂量率参考 控制水平 $H_{c,max}$, $\mu\text{Sv}/\text{h}$	本项目剂 量率控制 值, $\mu\text{Sv}/\text{h}$
南墙外	工作间	100	$N=5$	16.67	1	1.2	2.5	1.2

	设备间	100	N=5	16.67	1/32	38.4	10	10
东西墙外 (相邻治疗机房)	主屏蔽墙	100	U=1/4	16.67	1/2	48.0	2.5	2.5
	副屏蔽墙	100	N=5	16.67	1/2	2.4	2.5	2.4
防护门外		100	N=5	16.67	1/8	9.6	10	9.6
屋顶上方(空调设备间)		5	U=1/4	16.67	1/20	23.4	2.5 (GBZ/T201.2-2011 要求)	2.5

4.2 计算公式

1) 有用线束计算公式

本项目 6 台直线加速器工作时，有用线束计算公式与射波刀相同，详见式 11-1。

2) 漏射射线计算公式

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）5.2.1 节和 5.2.4 节，加速器的泄漏辐射相比其有用线束源强的比率通常取 10^{-3} 。漏射计算仍可利用式 11-1 进行，即：

$$H_d = H_0 \times 6 \times 10^7 \times 10^{-(t+T-T_1)/T} / r^2$$

但参数中 T 为 10MV、6MV 泄露射线对应的混凝土屏蔽体平衡十分之一层厚度，分别为 310mm、290mm；T1 为 10MV、6MV 泄露射线对应的混凝土屏蔽体第一个十分之一层厚度，分别为 350mm、340mm，数据来源于《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/T 201.2-2011）表 B.1。

3) 人体散射计算公式

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）“5 屏蔽估算方法”中式（7）和式（8），有用线束经病人身体一次散射后透过屏蔽体至关注点处的剂量率计算公式如下：

$$H_d = H_0 \times 6 \times 10^7 \times 10^{-t/T} \times \alpha_{ph} \times (F/400) / (r^2) \dots\dots\dots \text{式 11-8}$$

式中：

H_d ：经散射辐射，在关注点处产生的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

H_0 ：距离加速器焦点 1m 处的辐射源强（ $\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ ），本项目 10MV 直线加速器和 6MV 直线加速器相应最大辐射源强分别为 $24\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 和 $10\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ ；

6×10^7 ：将单位 $\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 换算为 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 的换算系数；

α_{ph} ：患者体表对初级辐射束的散射比。在能量分别为 10MV、6MV，散射角 90° 情况下，查得的人体散射比分别为 3.81×10^{-4} 、 4.26×10^{-4} ，详见《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/T 201.2-2011）表 B.2；

F: 人体散射面积, 本项目按较大值 (40cm×40cm) 进行估算;

t: 混凝土墙体的厚度 (mm);

T: 10MV、6MV 直线加速器经患者 90° 散射后在混凝土中的十分之一层厚度分别为 180mm 和 170mm, 数据来源于《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》(GBZT 201.2-2011) 表 B.4;

r: 患者身上散射点 (位于等中心点) 距关注点的距离 (m)。

4) 迷道散射计算公式

I. 迷道散射的路径: 加速器的出束点位向患者照射再散射致迷道拐角, 再由迷道拐角散射至迷道口, 散射路径分别见图 11-3 中的 O1-P1-D1、O4-P4-C4、O8-P8-B8。射线入射到人体时入射角为 0°, 散射角为 90°; 经患者身体散射后的射线作为入射线照射至迷道拐角时, 入射角为 45°, 拐角至迷道口的散射角为 0°。

II. 迷道散射面积: 第一次散射面积为加速器照射野, 第二次散射面积为迷道口与出束点的共同可视面积。

III. 迷道口处散射剂量率公式为:

$$H_p = H_0 \times 6 \times 10^7 \times 10^{-t/T} \times \alpha_{ph} \times (F/400) \times A \times \alpha_h / (r_1^2 \times r_2^2) \dots\dots\dots \text{式 11-9}$$

H_p : 经散射辐射, 在关注点处产生的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$);

H_0 : 距离加速器焦点 1m 处的辐射源强 ($\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$), 详见表 11-4 中相应的 X 射线剂量率值;

6×10^7 : 将单位 $\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 换算为 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 的换算系数;

α_{ph} : 患者体表对初级辐射束的散射比。在能量 6MV, 入射角 0°, 散射角 90° 情况下, 按散射角 90° 查得的人体散射比为 4.26×10^{-4} , 在能量 10MV, 入射角 0°, 散射角 90° 情况下, 按散射角 90° 查得的人体散射比为 3.81×10^{-4} , 详见《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》(GBZT 201.2-2011) 表 B.2;

α_h : 拐角处混凝土墙的散射比。根据式 11-2, 6MV 及 10MV 的 X 射线经人体散射后的射线能量分别为 0.47MV 及 0.485MV, 在入射角 45°, 散射角 0° 情况下, 查得的混凝土散射比分别为和 2.37×10^{-2} 和 2.20×10^{-2} , 详见《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/T 201.2-2011) 表 B.6;

F: 人体散射面积, 本项目按照射野 $40\text{cm} \times 40\text{cm} = 1600\text{cm}^2$ 进行估算;

A: 迷道拐角处散射面积, m^2 ;

t: 迷道铅门厚度 (mm);

T: 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZT 201.2-2011) D.1.4.1, 本项目直线加速器 6MV 及 10MV 的 X 射线经迷道拐角二次散射后, 射线能量分别减为 0.2MV, 此时对应的铅十分之一层厚度 5mm;

r_1 : 患者体表距迷道拐角的距离 (m);

r_2 : 迷道拐角距关注点的距离 (m)。

4.2 加速器室剂量率水平的计算结果

1) 直线加速器机房 1

本机房内加速器最大 X 射线能量为 6MeV, 额定剂量率为 $10 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$, 计算点位详见图 11-3, 计算结果详见表 11-8。

表 11-8 直线加速器机房 1 墙外关注点位置的剂量率水平

序号	编号	描述	屏蔽体厚度(mm)	距离(m)	T (mm)	T1 (mm)	作用方式	剂量率水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	
1	A1	迷道内口正对南墙外 0.3m (工作间)	1100 混凝土	8.72	290	340	漏射	1.89	
2	B1	出束点正对南墙外 0.3m (工作间)	1800 混凝土	8.65	290	340	漏射	7.41×10^{-3}	
3	C1	门外 0.3m (工作间)	1040mm 混凝土 +10mm 铅门	8.20	T 混		漏射	2.19	2.65
					290	T1 混			
	T 铅门		迷道散射	4.59×10^{-1}					
	51								
D1	迷道散射计算参数			—	T 铅	α_{ph}	α_h	4.59 × 10 ⁻¹	
	5	4.26×10^{-4}	2.37×10^{-2}						
	A, m ²	r1, m	r2, m						
	10.1	7.75	9.43						
4	E1	南侧候诊厅	1040mm 混凝土 +10mm 铅门	14.35	混 290, 铅 51	混 340, 铅 51	漏射	7.15×10^{-1}	
5	F1	东侧主屏蔽墙外 0.3m (机房 2)	3100 混凝土	7.05	330	370	透射	6.44×10^{-3}	6.44×10^{-3}
6	G1	东侧副屏蔽墙外 0.3m (机房 2)	2150 混凝土	7.57	290		漏射	6.01×10^{-4}	6.01 × 10 ⁻⁴
					人体散射计算参数				
					T	α_{ph}			
		170	4.26×10^{-4}						
7	H1	屋顶正上方 0.3m (空调设备间)	3100 混凝土	7.00	330	370	透射	6.53×10^{-3}	6.53×10^{-3}

由上表计算结果可知: 直线加速器机房 1 门外剂量率为 $2.65 \mu\text{Sv/h}$, 满足 $10 \mu\text{Sv/h}$

的剂量率控制值要求；其余点位剂量率最大为 1.89 μ Sv/h（位于迷道内口正对南墙外），满足 2.5 μ Sv/h 的剂量率控制值要求。

2) 直线加速器机房 4

本机房内加速器最大 X 射线能量为 10MeV，额定剂量率为 6Gy \cdot m²/min，计算点位详见图 11-4，计算结果详见表 11-9。

表 11-9 直线加速器机房 4 周围关注点剂量率

序号	编号	描述	屏蔽体厚度(mm)	距离(m)	T (mm)	T1 (mm)	作用方式	剂量率水平 (μ Sv/h)		
1	A4	西侧主屏蔽墙外 0.3m (机房 3)	3100 混凝土	6.90	370	410	透射	1.62 \times 10 ⁻¹		
2	B4	门外 0.3m (患者通道)	1053mm 混凝土 +12mm 铅门	8.15	T 混		漏射	4.17	4.28	
					310					T1 混
					350					
	T 铅门			迷道散射	1.1 \times 10 ⁻¹					
	56									
C4	12mm 铅门	—	迷道散射计算参数			迷道散射	1.1 \times 10 ⁻¹	4.28		
			T 铅	α ph	α h					
			5	3.81 \times 10 ⁻⁴	2.20 \times 10 ⁻²					
			A, m ²	r1, m	r2, m					
			10.1	7.30	8.60					
3	D4	出束点正对南墙外 0.3m (工作间)	1800 混凝土	8.70	310	350	漏射	2.33 \times 10 ⁻²		
4	E4	迷道内口正对南墙外 0.3m (设备间)	1130 混凝土	8.98	310	350	漏射	3.17		
5	F4	南侧候诊厅	1130 混凝土	15.46	310	350	漏射	1.07		
6	G4	东侧主屏蔽墙外 0.3m (机房 5)	3100 混凝土	6.90	370	410	透射	1.62 \times 10 ⁻¹		
7	L4	东侧副屏蔽墙外 0.3m (机房 5)	2200 混凝土	7.57	310		350	漏射	2.71 \times 10 ⁻³	2.71 \times 10 ⁻³
					人体散射计算参数			人体散射	2.3 \times 10 ⁻⁸	
					T		α ph			
					180		3.81 \times 10 ⁻⁴			
8	H4	屋顶正上方 0.3m (空调设备间)	3100 混凝土	7.00	370	410	透射	1.58 \times 10 ⁻¹		

由上表计算可知，直线加速器机房 4：（1）南侧工作间剂量率为 2.33 \times 10⁻² μ Sv/h，设备间处剂量率为 3.17 μ Sv/h，分别满足 1.2 μ Sv/h 和 10 μ Sv/h 的剂量率控制值要求；（2）东西侧主屏蔽墙外剂量率为 1.61 \times 10⁻¹ μ Sv/h，副屏蔽墙外剂量率为 2.71 \times 10⁻³ μ Sv/h，分别满

足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 和 $2.4\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制值要求；（3）防护门外剂量率为 $4.28\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $10\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制值要求；（4）屋顶上方剂量率为 $1.58 \times 10^{-1}\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制值要求。

因直线加速器机房 3 和 5 的结构尺寸与直线加速器机房 4 相同，而加速器的最大 X 射线能量和额定剂量率等设备参数比直线加速器机房 4 中的加速器设备参数小，因此直线加速器机房 3 和 5 也均满足屏蔽要求。

3) 直线加速器机房 8

本机房内加速器最大 X 射线能量为 6MeV ，额定剂量率为 $10\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ ，计算点位详见图 11-5，计算结果详见表 11-10。

表 11-10 直线加速器机房 8 周围关注点剂量率

序号	编号	描述	屏蔽体厚度(mm)	距离(m)	T (mm)	T1 (mm)	作用方式	剂量率水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	
1	A8	西侧主屏蔽墙外 0.3m (机房 7)	2700 混凝土	6.00	330	370	透射	1.45×10^{-1}	
2	B8	门外 0.3m (患者通道)	1015mm 混凝土 +10mm 铅门	8.02	T 混	T1 混	漏射	2.79	3.65
					290	340			
	T 铅门		迷道散射计算参数	迷道散射	8.58×10^{-1}				
	51								
C8	10mm 铅门	—	T 铅	α_{ph}	α_{h}				
					5	4.26×10^{-4}	2.37×10^{-2}		
					A, m^2	r1, m	r2, m		
					10.1	6.90	7.75		
3	D8	出束点正对南墙外 0.3m (工作间)	1800 混凝土	8.70	290	340	漏射	7.32×10^{-3}	
4	E8	迷道内口正对南墙外 0.3m (设备间)	910 混凝土	8.78	290	340	漏射	8.43	
5	F8	南侧候诊厅	910 混凝土	13.93	290	340	漏射	3.35	
6	G8	东侧主屏蔽墙外 0.3m (机房 9)	2700 混凝土	6.00	330	370	透射	1.45×10^{-1}	
7	L8	东侧副屏蔽墙外 0.3m (机房 9)	1930 混凝土	6.73	290	340	漏射	4.36×10^{-3}	4.36×10^{-3}
					人体散射计算参数				
					T	α_{ph}	人体散射	1.0×10^{-7}	
170	4.26×10^{-4}								
8	H8	屋顶正上方 0.3m (空调设备间)	3100 混凝土	6.60	290	340	透射	1.20×10^{-1}	

由上表计算可知，直线加速器机房 8：（1）南侧工作间剂量率为 $7.32 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，设备间处剂量率为 $8.43 \mu\text{Sv/h}$ ，分别满足 $1.2 \mu\text{Sv/h}$ 和 $10 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制值要求；（2）东西侧主屏蔽墙外剂量率为 $1.45 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，副屏蔽墙外剂量率为 $4.36 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，分别满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 和 $2.4 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制值要求；（3）防护门外剂量率为 $3.65 \mu\text{Sv/h}$ ，满足 $10 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制值要求；（4）屋顶上方剂量率为 $1.2 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制值要求。

因直线加速器机房 7 的结构尺寸与直线加速器机房 8 基本相同，而加速器的最大 X 射线能量和额定剂量率等设备参数比直线加速器机房 8 中加速器的设备参数低，因此直线加速器机房 7 也满足屏蔽要求。

4) 直线加速器机房外剂量率叠加分析

对 6 间直线加速器机房的平面布局情况进行分析可知，存在较高辐射叠加影响的只有 2 处：①直线加速器机房 4 和直线加速器机房 5 共用墙体南侧工作间；②直线加速器机房 4 和直线加速器机房 5 南侧候诊厅。叠加剂量率计算点位见图 11-6，计算结果见表 11-11。

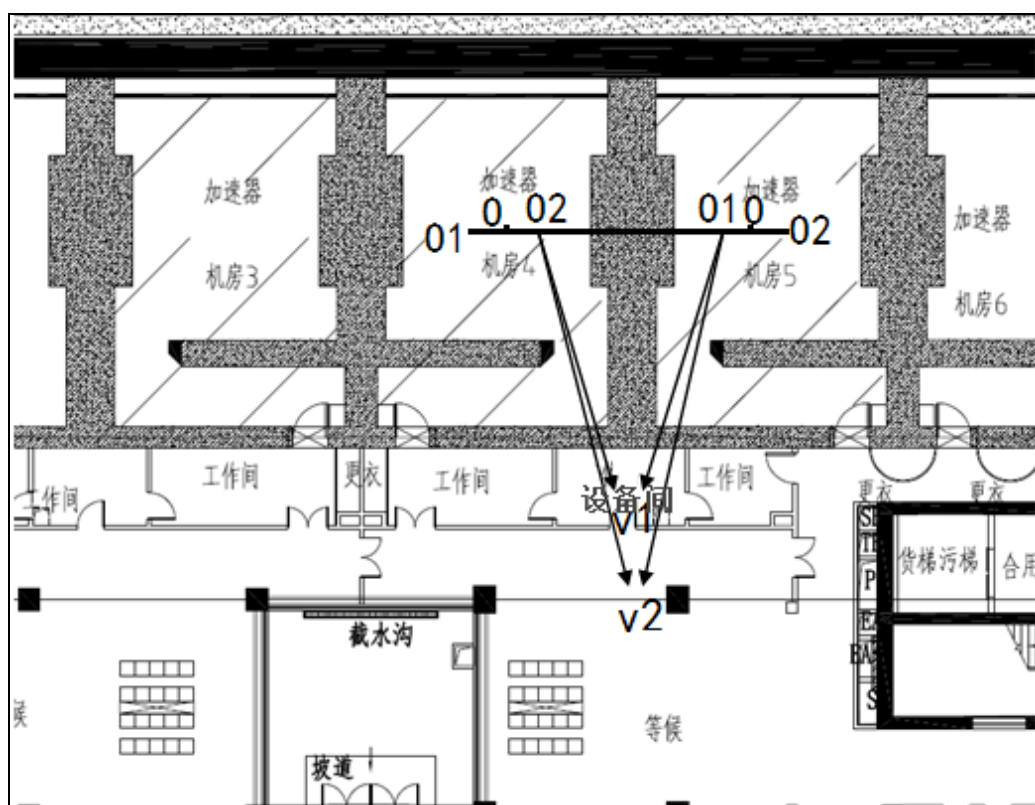


图 11-6 直线加速器机房墙外叠加剂量率计算点及照射路径示意图

表 11-11 直线加速器机房墙外叠加剂量率计算结果

点位	现有屏蔽状态下的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$
----	-------------------------------

编号	直线加速器机房 4	直线加速器机房 5	叠加值
V1	1.73	1.73	3.46
V2	1.07	1.07	2.14

4.3 医用电子直线加速器相关人员年有效剂量估算

本项目直线加速器机房 1 的年出束时间为 250h，其他直线加速器机房的年出束时间均为 500h，则根据式 11-4 可计算得出 6 个医用电子直线加速器机房周围职业工作人员和公众人员的年有效剂量如表 11-12 所示。

表 11-12 直线加速器机房周围相关人员年有效剂量

点位	人员类别	年受照时间, h	剂量率, $\mu\text{Sv/h}$	居留因子	年有效剂量, mSv/a
直线加速器机房 1 南侧工作间	职业工作人员	250	1.89	1	3.31×10^{-1}
直线加速器机房 1 南侧候诊厅	公众	250	7.15×10^{-1}	1/32	3.91×10^{-3}
直线加速器机房 4 南侧工作间	职业工作人员	500	2.33×10^{-2}	1	8.16×10^{-3}
直线加速器机房 4、5 南侧共用设备间 (考虑叠加影响)	院内公众	500	3.46	1/32	3.78×10^{-2}
直线加速器机房 4、5 南侧候诊厅 (考虑叠加影响)	公众	500	2.14	1/32	2.34×10^{-2}
直线加速器机房 8 南侧工作间	职业工作人员	500	7.32×10^{-3}	1	2.56×10^{-3}
直线加速器机房 8 南侧走廊	公众	500	3.35	1/20	5.86×10^{-2}

由上表计算结果可知，6 个直线加速器机房中，职业工作人员所受最大年有效剂量为 $3.31 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，满足 2mSv/a 的职业工作人员年有效剂量约束值要求，公众人员所受最大年有效剂量 $5.86 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足 0.1mSv/a 的公众人员年有效剂量约束值要求。因此，肿瘤医院医用电子直线加速器机房周围职业工作人员和公众人员的年有效剂量均满足年有效剂量约束值的要求。

4.4 医用电子直线加速器运行时产生的 O_3 和氮氧化物分析

空气中的 O_2 在 γ 光子的作用下，生成自由基，与空气中的 O_2 结合生成 O_3 ， O_3 是与辐射相关的非辐射危害因素。 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。氮氧化物主要引起神经毒性的症状和体征：嗜睡、精神萎靡、注意力涣散、记忆力减退、四肢麻木、小腿肌痉挛等。

1) O_3 的分析

(1) 估算方法

根据《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志VoL, 2, P101,1994），加速器辐射所致O₃的产额估算方法如下：

①有用线束所致O₃的产额

$$P = 2.43 \times \dot{D}_0 (1 - \cos \theta) \times R \times G \dots\dots\dots \text{式11-10}$$

式中：

P—O₃产额，mg/h；

\dot{D}_0 —辐射有用线束在距靶1m处的输出量，Gy·m²/min；

R—靶到屏蔽物（墙）的距离，m；

G—空气吸收100eV辐射能量产生的O₃分子数（G=6）；

θ—有用线束的半张角。

②泄漏辐射的O₃产额

将泄漏辐射看成4π方向均匀分布的点源（包括有用线束区限定的空间区），并考虑机房壁的散射线使室内O₃的产额增加10%，O₃的产额P（mg/h）为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \times \dot{D}_0 \times G \times V^{1/3} \dots\dots\dots \text{式11-11}$$

式中：

V—直线加速器机房的体积，m³；

其余符号同上。

③O₃的浓度

设：O₃的分解时间为t_d（通常取为0.83h），机房通风换气周期为平均每次换气需通风时间为t_v（h）。

则机房最高饱和O₃浓度（mg/m³）为：

$$Q = \frac{P}{\bar{T}} \dots\dots\dots \text{式11-12}$$

式中：

V—直线加速器机房的体积，m³；

\bar{T} —O₃的有效清除时间，h，计算公式如下：

$$\bar{T} = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots \text{式 11-13}$$

式中：

t_v —机房换气一次所需通风时间, h;

t_d — O_3 的分解时间, 通常取 0.83h;

(2) 估算结果

① O_3 的产额

6 台医用电子直线加速器的参数及 O_3 的产额计算结果如下表所示:

表 11-13 6 台医用电子直线加速器的参数及 O_3 的产额

序号	直线加速器机房	$D_0, Gy \cdot m^2/min$	R, m	半张角 $\theta, ^\circ$	机房 体积 V, m^3	有用线束 O_3 产额, mg/h	泄漏辐射 的 O_3 产 额, mg/h	总的 O_3 产额, mg/h
1	直线加速器机房 1	10	3.6	14	480	15.59	1.56	17.2
2	直线加速器机房 3~5	24 (按最大值考虑)	3.5	14	451	36.38	3.67	40
3	直线加速器机房 7~8	10 (按最大值考虑)	3.0	14	394	12.99	1.46	14.5

② O_3 的浓度

本项目直线加速器机房每小时通风换气次数均为 8 次, $t_v=0.125h$, $t_d=0.83h$, 按公式 11-11 计算得出 $\bar{T}=0.11h$, V 为含迷道的机房体积。则直线加速器机房产生的 O_3 浓度计算结果见表 11-14。

表 11-14 直线加速器机房产的 O_3 浓度

序号	直线加速器机房	t_v, h	t_d, h	\bar{T}, h	P, mg/h	V, m^3	Q, mg/m^3
1	直线加速器机房 1	0.125	0.83	0.11	17.2	480	3.88×10^{-3}
2	直线加速器机房 3~5	0.125	0.83	0.11	40	451	9.65×10^{-3}
3	直线加速器机房 7~8	0.125	0.83	0.11	14.5	394	3.99×10^{-3}

综上所述, 本项目医用电子直线加速器运行时, 直线加速器机房内 O_3 最大饱和浓度为 $9.65 \times 10^{-3} mg/m^3$, 满足《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85) 中“加速器设施内应有良好通风, 以保证臭氧浓度低于 $0.3mg/m^3$ ”的规定。

2) 氮氧化物的分析

在多种氮氧化物 (NO_x) 中, 以 NO_2 为主, 其产额约为 O_3 的一半, 工作场所中的限值为 O_3 浓度的 1.5 倍, 《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中规定的外部环境中 NO_2 的浓度限值与 O_3 相近。可见 NO_x 的危害小于 O_3 , 在 O_3 浓度能满足标准要求的情况下, 氮氧化物的浓度也能满足标准要求。

三、DSA 环境影响分析

根据表 4“射线装置(二)”中给出的 DSA 参数, 3 台 DSA 最大管电流均为 1000mA, DSA2 室和 DSA3 室相应最大管电压为 150kV, 高于 DSA1 室(125kV); 根据表 10-6“DSA 机房的尺寸及辐射安全措施”, 3 间 DSA 机房中, DSA2 室的房间尺寸相对较小。综合考虑上述两点, 本次保守取 DSA2 室进行辐射环境影响分析计算。

1、周围剂量率计算公式

1.1 距 DSA 焦点 1m 处剂量率

结合标准《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》(YYT0740-2009)中 5.4.3 节及 6.4.3 节的要求, 可知在管电压和管电流的任意组合下, 达到皮肤表面的透视入射剂量率不超过 100mGy/min。

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GB130-2013)中 4.7 节的规定, X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。由此可知, 最小焦皮距 SID 为 20cm。保守考虑, 距焦点 20cm 处的剂量率为 100mGy/min, 则由下式可计算距焦点 1m 处的有用线束辐射剂量率。

$$D_0 = D_x \times r_x^2 / r_0^2 \dots\dots\dots\text{式 11-14}$$

式中:

D_0 —距焦点 1m 处的有用线束辐射剂量率, mGy/h;

D_x —距焦点 0.2m 处的剂量率, 100 mGy/min=6000 mGy/h;

r_x —最小焦皮距, 0.2m;

r_0 —关注点与焦点的距离, 1m。

经计算, 距焦点 1m 处的有用线束辐射剂量率为 240mGy/h。

1.2 DSA 透射剂量率计算公式

本项目 3 台 DSA 均位于负一层, 射线向上出束, 则机房上方剂量率水平按透射计算, 其他方向剂量率水平按散射计算, 透射计算公式见式 11-15, 散射计算公式见式 11-16。

$$D_z = D_0 \times 10^3 \times 10^{-1/T} / r^2 \dots\dots\dots\text{式 11-15}$$

式中:

D_z —有用线束方向计算点位处剂量率水平, $\mu\text{Sv/h}$;

D_0 —距焦点 1m 处剂量率水平, 240mGy/h;

1×10^3 —将单位 mGy/h 换算为 $\mu\text{Sv/h}$;

t —屏蔽体的厚度, mm;

T —150kV 管电压对应的混凝土屏蔽体十分之一减弱层厚度为 70mm, 来源于《辐射

防护导论》P98;

r —出束点到计算点距离。

1.3 DSA 散射剂量率计算公式

1) 散射线能量转换公式

见公式 11-2, 即:

$$E_s = \frac{E_0}{1 + 1.96E_0(1 - \cos \theta_s)}$$

式中:

E_s —散射线最大能量, MeV;

E_0 —入射线最大能量, MeV;

θ_s —散射角。

2) 散射角 θ_s 确定方法

本项目计算迷道散射时考虑入射线与反射线在同一平面的情况, 此时, $\theta_0 + \theta + \theta_s = 180^\circ$, 即 $\theta_s = 180 - \theta_0 - \theta$ 。

3) DSA 散射剂量率水平计算公式

$$D_{散} = \alpha_M \times \zeta \times W \times k \times 10^3 \times (\alpha/400) / (r_1^2 \times r_2^2) \dots\dots\dots \text{式 11-16}$$

$D_{散}$ —有用线束经患者体表散射后, 在关注点处产生的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$);

α_M —患者体表对初级辐射束的散射比。根据《辐射防护导论》表 3.8, 在入射能量 150kV, 散射角 90° 情况下, 散射比为 0.0016; 机房下方按散射角为 45° 考虑, 散射比也是 0.0016。

ζ —透射系数, $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 按 90° 散射后管电压 116kV 查找, 见《辐射防护导论》P350 的附图 18、附图 19;

W —工作负荷, $\text{mA} \cdot \text{min} \cdot \text{周}^{-1}$; 本项目 DSA 工作电流为 1000mA, 每周有效开机时间 6.67h, 则本项目 $W = 6.67 \times 10^3 \text{ mA} \cdot \text{min} \cdot \text{周}^{-1}$;

k —管电压 $< 500\text{kV}$ 时, k 取 1;

10^3 —换算系数, 将单位 mGy/h 换算为 $\mu\text{Sv/h}$;

α —散射面积, m^2 , 本项目 DSA 的照射野为 $20\text{cm} \times 20\text{cm} = 0.04\text{m}^2$;

r_1 —焦点到患者体表的距离 (m), 本项目取 0.2m;

r_2 —患者体表距关注点的距离 (m)。

1.4 DSA 室周围剂量率计算结果

DSA 运行过程中, 机房上方(空地)主要考虑透射影响(需考虑人体影响, 假设为 10cm 厚水体), 医生位置和四周墙外考虑病人身体 90° 散射影响, 机房下方(负二层为车库)考虑病人身体 45° 散射影响。DSA2 室周边关系及计算点位见图 11-7, 关注点位剂量率计算结果见表 11-15。

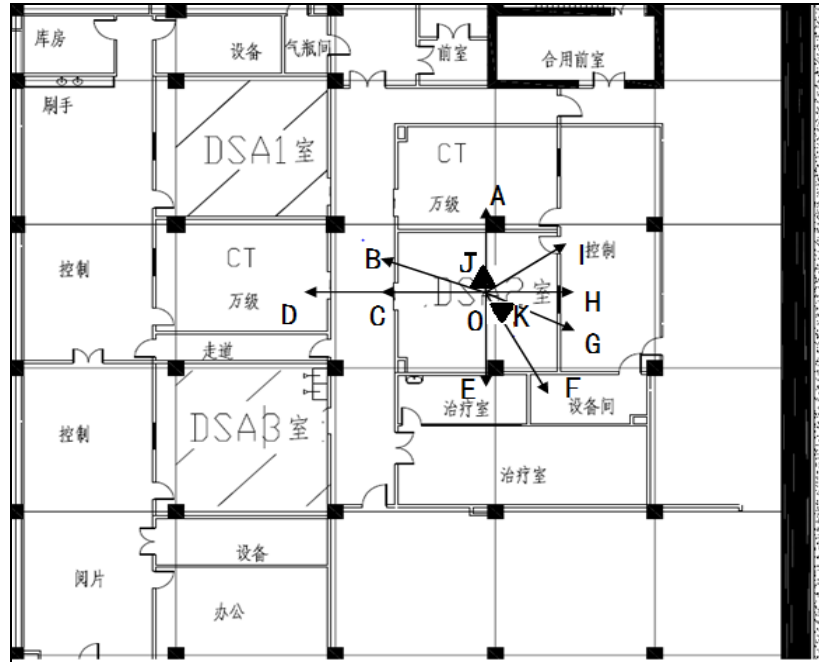


图 11-7(a) DSA2 室周围剂量率计算点分布图

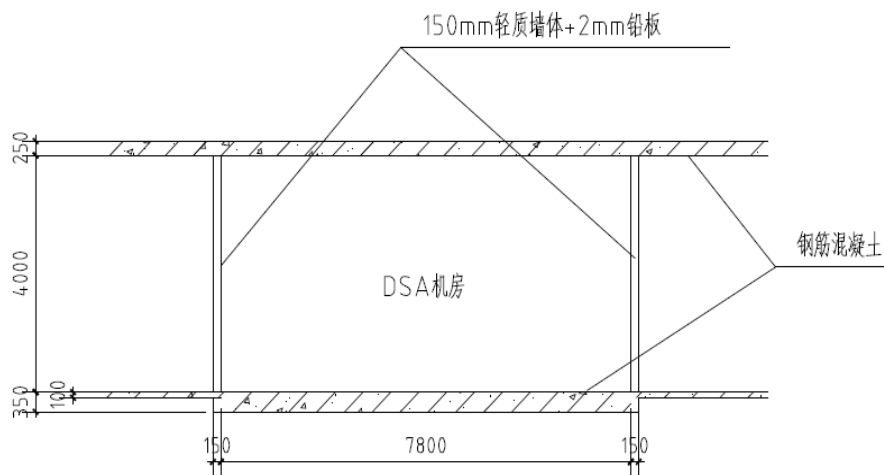


图 11-7(b) DSA 机房剖面图

表 11-15 DSA2 室周围关注点位剂量率计算结果

点位编号	点位描述	屏蔽材质及厚度 (mm)	透射系数 ζ , $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	距离 r_2 , m	剂量率水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
A	北墙外 0.3m 处 (CT 间)	150 混凝土砌块+2 铅	2.94×10^{-3}	4.35	6.21×10^{-4}
B	西墙外 0.3m 处 (走道)	150 混凝土砌块+2 铅	2.94×10^{-3}	4.45	5.94×10^{-4}
C	西侧大铅门外 0.3m 处 (走道)	2 铅当量	3.53×10^{-3}	4.45	7.13×10^{-4}

D	西侧 CT 室	2 铅当量	3.53×10^{-3}	7.84	2.30×10^{-4}
E	南墙外 0.3m 处 (治疗室)	150 混凝土砌块+2 铅	2.94×10^{-3}	4.35	6.21×10^{-4}
F	南侧设备间	150 混凝土砌块+2 铅	2.94×10^{-3}	5.17	4.40×10^{-4}
G	东墙外 0.3m 处 (控制室)	150 混凝土砌块+2 铅	2.94×10^{-3}	4.45	5.94×10^{-4}
H	东侧铅玻璃窗 外 0.3m 处 (控制室)	2 铅当量	3.53×10^{-3}	4.45	7.13×10^{-4}
I	东侧小铅门外 0.3m 处 (控制室)	2 铅当量	3.53×10^{-3}	5.46	4.74×10^{-4}
J	屋顶上 0.3m 处 (空地)	250 混凝土+ 10cm 水体	6.62×10^{-5} (透射比, 透射)	3.68	1.17
K	底板下方 0.3m 处 (停车场)	350 混凝土	6.27×10^{-6}	1.48	1.14×10^{-5}
L	医生操作位	铅屏风+铅衣 1 铅当量	7.16×10^{-2}	0.50	1.15

从上表可知：DSA2 室屋顶上方剂量率水平最大，为 $1.17 \mu\text{Sv/h}$ ，周围其他剂量率水平最大为 $7.13 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，均小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

因此，本项目 DSA1~3 室均满足屏蔽要求。

2、DSA 所致职业工作人员和公众年有效计算

本项目每台 DSA 每天治疗病人约 7~8 例，每例曝光时间约 10min，每年工作 250 天，则每台 DSA 的年出束时间为 333h，根据式 11-4，可计算得出 DSA2 室相关人员年有效剂量如表 11-16 所示。

表 11-16 DSA2 室相关人员年有效剂量

序号	计算点位编号	点位描述	人员类型	年开机时间, h	剂量率水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
1	A	北侧 CT 室	院外公众	333	6.21×10^{-4}	0.0625	9.05×10^{-6}
2	C	西侧走廊	院内及院外公众	333	7.13×10^{-4}	0.0625	1.04×10^{-5}
3	D	西侧 CT 室 (考虑 3 台 DSA 叠加影响)	院外公众	333	1.47×10^{-3}	0.0625	2.15×10^{-5}
4	E	治疗室	院内公众	333	6.21×10^{-4}	0.5	7.24×10^{-5}
5	F	设备间	院内公众	333	4.40×10^{-4}	0.125	1.28×10^{-5}
6	H	控制室	职业工作人员	333	5.94×10^{-4}	1	1.38×10^{-4}
7	L	医生操作位	职业工作人员	333	1.15	1	2.67×10^{-1}
8	K	负二层 停车场	院内及院外公众	333	1.14×10^{-5}	0.0625	1.67×10^{-7}

由表 11-16 中数据可知，DSA 机房职业工作人员年有效剂量最大值为 $2.67 \times$

10⁻¹mSv/a, 小于本项目职业工作人员剂量约束值 2mSv/a, 公众人员年有效剂量最大值出现治疗室, 其值为 7.24×10⁻⁵mSv/a, 小于 0.1mSv/a 的公众人员剂量约束值要求。

四、后装机环境影响分析

1. 后装治疗仪机房周围剂量当量率的计算

本项目 2 个后装治疗仪机房采用镜像布置, 尺寸完全相同, 并且均使用活度为 10Ci 的 ¹⁹²Ir 源进行放射治疗。因此, 可对后装治疗仪机房 1 周围的空气比释空能率进行计算, 并对位于 2 个后装治疗仪机房中间的控制室考虑辐射叠加影响。

本项目所用 ¹⁹²Ir 源尺寸较小, 可视为点源。计算后装机周围某点处周围剂量当量率的公式如下:

$$\bar{K}_a = \eta_z \times \dot{K}_a \dots\dots\dots \text{式 11-17}$$

式中:

\bar{K}_a —计算得出的周围剂量当量率, μSv/h;

η_z —根据实际防护层厚度计算出的透射比, 用式 11-18 计算;

\dot{K}_a —没有任何屏蔽时计算点的周围剂量当量率, μSv/h, 用式 11-17 计算。

屏蔽体的实际透射比计算公式为:

$$\eta_z = 10^{-(D_z/\Delta_{1/10})} \dots\dots\dots \text{式 11-18}$$

式中:

η_z —屏蔽体的实际透射比;

D_z —屏蔽体的实际厚度, D_z 单位与 $\Delta_{1/10}$ 的一致即可;

$\Delta_{1/10}$ —屏蔽体的十倍减弱厚度, 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)的表C.1 可知, 混凝土对¹⁹²Ir的十倍减弱厚度为 15.2cm, 铅对¹⁹²Ir的十倍减弱厚度为 1.6cm。

1.1 主射线未经任何屏蔽时产生的周围剂量当量率

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)的公式(7), 可知主射线未经屏蔽时的剂量率计算公式如下:

$$\dot{K}_a = \frac{10^{-6} \cdot A \cdot K_\gamma}{r^2} \dots\dots\dots \text{式 11-19}$$

式中:

\dot{K}_a —放射源在距其 1m处的剂量率, μSv·h⁻¹;

A —放射源的活度, Bq;

K_γ —周围剂量当量率常数, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$; 由GBZ/T 201.3-2014 的表C.1 可知, ^{192}Ir 源的周围剂量当量率常数为 $0.111\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$;

r —计算点到放射源的距离, m。

1.2 散射线在迷道入口处产生的周围剂量当量率

根据标准《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014) 的公式(16), 迷道入口处散射辐射周围剂量当量率计算如下:

$$\dot{K}_s = \frac{10^{-6} \times A \times K_\gamma \times \alpha_w \times S_w \times 10^{(-x/T)}}{r_1^2 \times r_2^2} \dots\dots\dots\text{式 11-20}$$

式中:

\dot{K}_s —经一次迷道散射后迷道入口位置处的散射周围剂量当量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$;

A —放射源的活度, Bq;

K_γ —周围剂量当量率常数, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$; ^{192}Ir 源为 $0.111\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$;

α_w —散射体的散射因子, m^2 ; ^{192}Ir 45° 入射辐射和 0° 反散射的散射因子, 保守地取为 3.39×10^{-2} ;

S_w —迷道内口墙的散射面积, 其为辐射源和机房入口共同可视的墙区面积, m^2 , 本项目为 $(3.13+1.69) \times 3.5=16.87\text{m}^2$;

x —防护门厚度, mm;

T —铅对散射线的十倍减弱层厚度, 在迷道口处的散射辐射能量约为 0.2MeV , 铅的十倍减弱层厚度为 5mm ;

r_1 —辐射源至散射体中心点的距离, m;

r_2 —散射体中心点至计算点的距离, m。

1.3 后装机房周围剂量当量率水平计算

后装机的治疗区域位于后装治疗仪机房中央, 如下图所示。

本项目保守考虑, 计算后装机房周围周围剂量当量率时将 ^{192}Ir 源当作裸源, 除防护门外, 其余点位均按透射进行计算。防护门外可能受到两种情况下的照射: 1) 射线透过迷道内墙照射到防护门外, 如下图中的路径 O-J; 2) 射线经墙体散射后, 照射到防护门外, 如下图路径 O-P-K。以后装治疗仪机房 1 为例, 机房周围剂量率水平计算结果如表 11-17 所示, 计算点分布情况见图 11-8。

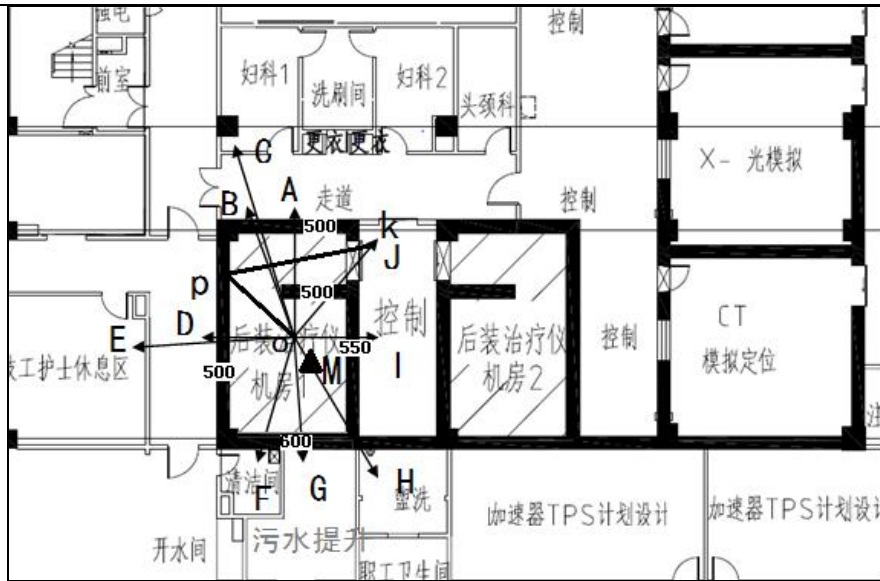


图 11-8(a) 后装治疗仪机房周围剂量率计算点及照射路径示意图

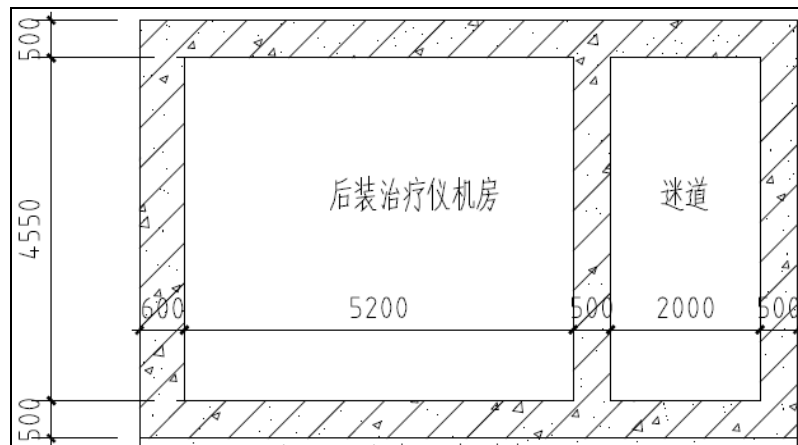


图 11-8(b) 后装治疗仪机房剖面图

表 11-17 后装治疗仪机房 1 周围剂量当量率计算值

编号	位置描述	照射方式	距离 r(m)	屏蔽材质及厚度	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
A	出束点正对北墙外 0.3m (走道)	透射	5.95	1000mm 混凝土	3.06×10^{-4}
B	迷道内口正对外迷道墙外 0.3m	透射	6.00	504mm 混凝土	5.53×10^{-1}
C	北侧妇科 1 病房	透射	8.89	504mm 混凝土	2.51×10^{-1}
D	西墙外 0.3m (走道)	透射	3.05	500mm 混凝土	2.27
E	西侧技工护士休息区	透射	5.87	500mm 混凝土	6.12×10^{-1}
F	南侧清洁间	透射	3.64	630mm 混凝土	2.22×10^{-1}
G	南墙外 0.3m (污水提升间)	透射	3.45	600mm 混凝土	3.9×10^{-1}
H	南侧盥洗室	透射	5.04	731mm 混凝土	2.51×10^{-2}
I	东墙外 0.3m (控制室)	透射	3.05	550mm 混凝土	1.06
J	门外 0.3m (控制室)	透射	5.84	570mm 混凝土	6.77×10^{-2}

				+8mm 铅门		
K		散射	d1,m	d2,m	8mm 铅门	1.65
			4.09	5.27		
M	屋顶上方 0.3m (库房)	透射	4.90		500mm 混凝土	8.78×10^{-1}

从表中可以看出：后装治疗仪机房 1 防护门外 0.3m 处的剂量率为 $1.65\mu\text{Sv/h}$ ，此时后装治疗仪机房 2 对机房 1 门外产生的附加剂量率为 $0.79\mu\text{Sv/h}$ ，则后装治疗仪机房 1 防护门外的叠加剂量率为 $2.44\mu\text{Sv/h}$ （后装治疗仪机房 1 周围剂量率最大点位），满足《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）标准要求的墙外及门外 0.3m 处的周围剂量当量率限值为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

2 后装治疗仪机房 1 周围相关人员年有效剂量估算

本项目后装治疗每名患者的时间为 5~30min，每台每天治疗 6 人，每年工作 250 天，则每台后装机年出束时间最长为 750h。保守考虑，2 台后装机每天可同时出束，根据式 11-8，可计算得出后装治疗仪机房周围相关人员的年有效剂量如表 11-18 所示。

表 11-18 后装治疗仪机房周围相关人员年有效剂量

点位	人员性质	年受照时间, h	剂量率, $\mu\text{Sv/h}$	居留因子	年有效剂量, mSv/a
控制室	职业工作人员	750	2.13 (门外剂量率*2)	1	1.11
技工护士休息区	公众	750	6.12×10^{-1}	0.25	8.03×10^{-2}
加速器 TPS 计划室	公众	750	3.9×10^{-1}	0.0625	1.28×10^{-2}
清洁间	公众	750	1.01	0.0625	3.31×10^{-2}

由上表的计算结果可知，后装治疗仪机房职业工作人员年有效剂量为 1.11mSv/a ，满足职业工作人员年有效剂量约束值 2mSv/a 的要求；机房西侧技工护士休息区的公众人员受到的年有效剂量最大，其值为 $8.03 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，满足公众人员年有效剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

五、辐射屏蔽计算小结

综合考虑本项目射波刀、医用电子直线加速器、DSA 及后装治疗仪机房的辐射屏蔽计算结果，可知本项目评价的 12 间机房均满足屏蔽要求。

事故影响分析

根据《中华人民共和国职业病防治法》及《放射性同位素与射线装置放射防护条例》的有关规定，为预防放射性事故的发生，加强对放射事故的有效处理，减轻事故造成的后果，天津市肿瘤医院制定了放射性事故应急处理预案，成立了放射性事故应急处理小组，

对放射性事故进行了较全面的识别并列出现场应急行动，主要内容如下：

1 事故风险识别

- 1) 工作人员或病人家属尚未撤离机房时误开机，可能产生误照射。
- 2) 安全联锁装置、工作指示灯等安全措施失效或发生故障状况下，人员误入正在出束的机房而造成误照射。
- 3) 控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。
- 4) 维修期间的事故，加速器维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。
- 5) 后装治疗机回源时发生卡源事故，而机房内安装的固定式辐射剂量率监测仪发生故障而失效，对进入机房的工作人员产生误照射。

2 主要事故预防措施

1) 医务人员必须严格按照操作程序进行诊断，确定机房内工作人员及病人家属均离开治疗室后，才可开机，以避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。

2) 后装机、加速器、射波刀门-机联锁及 DSA 门-灯联锁、监视器、电离辐射警告标志等防护设施不完善或失灵：制定自检制度，对这些防护设施及时补充、修复。

此外，工作人员进入机房前，均需佩戴个人剂量报警仪，在安全联锁装置、工作指示灯等安全措施失效或发生故障状况下，若射线装置正在出束，在门口处即可及时发现，从最大程度上减少误照射时间。工作人员撤出机房后，尽快到控制室按下紧急停止开关，确认射线装置不再出束或放射源归位后，通知维修人员进行维修。

3) 本项目射线装置均设有超时联锁，在实施治疗前，系统会根据所设定的治疗剂量和当前输出的剂量率，自动确定最长治疗时间，如果超时，系统将自动终止治疗。

4) 维修人员进行维修时，需佩戴个人剂量报警仪，可及时发现出束现象并进行紧急停机。

5) 工作人员进入机房前，随身佩戴个人剂量报警仪，发现出束情况后，首先通过迷道口内侧墙壁或控制台等处的紧急停止照射按钮，自动回源。若自动回源失败，按照放射性事故应急处理预案上的流程进行下一步操作，确保工作人员及公众安全。

3 辐射事故应急措施评价

为预防放射性事故的发生，加强对放射事故的有效处理，减轻事故造成的后果，保证放射人员及公众与环境的辐射防护安全，天津市肿瘤医院特成立了放射事故应急处理机构，并根据《中华人民共和国职业病防治法》及《放射性同位素与射线装置放射防护条例》的有关规定，制定了《放射性事故应急处理预案》，主要应急响应行动计划如下：

1) 建立放射性事故报告制度, 一旦发生放射性事故, 设施事故现场负责人应立即向院医务处、保卫处报告, 由医务处、保卫处向该设施科室领导, 应急响应组织负责人报告, 设施科室领导, 应急响应组织负责人则应按照应急计划或程序指令启动应急响应, 指挥控制缓解事故, 按照《放射事故管理规定》尽快向环保行政部门及公安机关报告, 最迟不得超过 2 小时。如应急事态特别紧急, 设施事故现场的负责人有义务主动承担起指令启动应急响应和指挥控制缓解事故的责任。

2) 发生放射源丢失或被盜、误置、遗弃事故时, 所在科室应当立即根据放射源种类、活度, 立即报告医务处、保卫处, 并保护好现场。积极配合公安和环保行政部门做好调查、侦破工作, 尽快找回丢失的放射源。

3) 在放射源意外丧失屏蔽且难以回复到其安全储存位置情况下, 人员必须立即撤离受到该辐射源影响而产生高剂量率的房间或局部区域, 根据便携式 X- γ 剂量率仪的监测结果, 对撤离的房间或局部区域实施出入控制, 直到采取了事故缓解措施, 使其恢复到可以接受的安全状态后, 方可解除其出入控制。

4) 对履行控制缓解行动的设施内应急人员、外来支援人员和急救人员应提供适当的个人辐射防护用品。

5) 射线装置机房进入失控, 如门机连锁装置失效, 或射线装置故障或误操作引起误照射, 应立即断电或按下紧急开关, 并尽快撤离事故现场到机房外安全区域。

6) 对于受到或怀疑受到急性辐射损伤的人员, 应迅速送往专门的辐射损伤医疗单位进行诊断或治疗。应向医疗单位提供就诊人员的个人剂量监测或估计结果以及他们的受照情况。

7) 及时认真地收集与事故有关的物品和资料, 仔细分析事故原因, 判定事故级别, 处理事故措施要讲究社会和经济效益, 尽可能降低事故的损失, 保护好国家及公众的财产。

8) 单位负责人、工作人员以及参与应急响应的组织成员均应进行与其在应急中所承担的任务和职责相适应的培训和定期在培训。

此外, 天津市肿瘤医院针对应急培训、演练与考核, 作出如下规定:

1) 每年组织一次应急预案演练, 记录演习情况, 总结演习经验, 提高应急指挥水平和应急救援能力。

2) 应急预案和应急计划确立后, 按计划进行放射治疗意外事件的应急处理培训, 每年培训一次, 培训后组织考核。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

天津市肿瘤医院成立了辐射防护委员会，由两个主管副院长分别担任主任委员及副主任委员，其他成员共17人。辐射防护委员会日常职责主要为：

- 1) 许可证的申请、颁发、续发、换发、变更内容。
- 2) 放射性同位素与射线装置设备的引入和场地的新建、改建、扩建均先上报各行政主管部门，取得相应级别行政许可后，方可购入或施工。
- 3) 组织本院放射工作人员参加辐射防护相关培训和健康检查。
- 4) 定期组织对放射性工作场所进行监测，按要求取得相应的监测报告。

辐射防护委员会管理制度及各科室职责详见附件五。

辐射安全管理规章制度

天津市肿瘤医院根据辐射安全管理的需要，制定了以下规章制度：

- 1) 《辐射防护委员会管理制度》
- 2) 《放射性事故应急处理预案》
- 3) 《射波刀及医用电子直线加速器安全操作规程》
- 4) 《射波刀系统操作规程》
- 5) 《医用电子直线加速器治疗操作规程》
- 6) 《DSA操作规程》
- 7) 《后装机操作规程》
- 8) 《放射治疗管理制度和岗位职责》
- 9) 《物理师岗位职责》
- 10) 《技师岗位职责》
- 11) 《辐射防护和安全保卫制度》
- 12) 《辐射防护措施》
- 13) 《设备检修和维护制度》
- 14) 《放射源管理制度》
- 15) 《放射性工作人员管理和培训制度》
- 16) 《辐射监测制度和方案》
- 17) 《监测仪表使用与校验管理制度》

上述各项制度均具有较高可行性，并且在医院执行情况良好。

辐射监测

1.个人剂量监测

从事放射性操作的医护人员（职业工作人员）应当佩戴个人剂量计，进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。本项目从事放射性操作的医护人员均配有个人剂量计。

2.环境监测

天津市肿瘤医院配有1台便携式X- γ 剂量率仪，可定期对工作场所进行监测或委托有资质的单位进行监测，并制定有《辐射监测制度和方案》。

此外，医院自有监测设备应定期送有资质单位进行检定，应做到每年至少检定1次。

辐射事故应急

本项目使用密封放射源和射线装置，肿瘤医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中的规定，对射波刀、医用电子直线加速器、后装治疗机（使用 ^{192}Ir 放射源）、DSA在使用过程中出现意外情况，辐射工作人员和患者因受意外照射，或患者因受错误照射而产生的辐射事故；对放射源丢失、被盗，射线装置、密封放射源机房的失控或误操作等情况下，对操作人员或者患者造成照射的辐射事故，均做好了应急准备，结合单位的实际情况，制定了《放射性事故应急处理预案》。

从事辐射活动能力评价

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部令第3号，环保部令第47号二次修改，2017年12月20日起施行）第十六条提出了使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证应具备的八个条件；2011年发布的《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）中对使用放射性同位素和射线装置的单位也提出了相应的管理要求；此外，《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》的P161~162、P187~188及P197中，分别列明了近距离 γ 射线治疗装置、医用电子直线加速器及数字血管造影X射线装置使用场所应具备的辐射安全防护设施和管理制度。

环保部第3号令、环保部第18号令和《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》的相关要求与天津市肿瘤医院达到的条件对比情况如下：

1.与环境保护部令第3号符合情况

相关法规要求	天津市肿瘤医院达到的条件	结论
(一)使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机	已设有专门的辐射防护委员会，由两个主管副院长分别担任主任委员及副主任委员，相关部门负责人为	符合要求

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(环保部令 3 号)	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。	组员,负责全院的辐射安全与环境保护管理工作。	
	(二)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。	从事辐射工作的人员(共 36 人),拟安排尚未参加辐射安全知识培训的工作人员尽快参加培训,所有辐射工作人员均考核合格后持证上岗。	符合要求
	(三)使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目密封放射源均贮存在后装机储源仓内。2 间后装治疗仪机房均设有监控。	符合要求
	(四)放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	医用电子直线加速器、射波刀、后装治疗仪机房设有门机联锁,所有射线装置及密封放射源使用机房的屏蔽门上方均安装有工作状态指示灯,门口及相关场所明显位置处设电离辐射标志及中文警示说明。	符合要求
	(五)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。	每名职业工作人员都配有 1 台个人剂量计,共计 36 台,并配有 1 台便携式 X-γ 剂量率仪和 12 台个人剂量报警仪。	符合要求
	(六)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。	制定了《辐射防护委员会管理制度》、《射波刀操作规程》、《医用电子直线加速器治疗操作规程》、《DSA 操作规程》、《后装机操作规程》、《放射治疗管理制度和岗位职责》、《物理师岗位职责》、《技师岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修和维护制度》、《放射源管理制度》、《放射工作人员管理和培训制度》及《辐射监测制度和方案》等规章制度。	符合要求
	(七)有完善的辐射事故应急措施。	制定了专门的《放射性事故应急处理预案》。	符合要求
	(八)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。	本项目加速器运行后产生的废靶件交由有资质单位回收;后装机的 ¹⁹² Ir 废放射源交由放射源生产厂家回收处理;废气经通风系统处理后可直接排入外环境。	符合要求

以上分析表明,天津市肿瘤医院具备申请领取许可证应当具备的条件。

2.与环境保护部令第 18 号符合情况

相关法规要求	天津市肿瘤医院达到的条件	结论
第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所,应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志,其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求,设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。射线装置的生产调试和使用场所,应当具有防止误操	医用电子直线加速器、射波刀、后装治疗仪机房设有门机联锁,所有射线装置及密封放射源使用机房的屏蔽门上方均安装有工作状态指示灯,门口及相关场所明显位置处设电离辐射标志及中文	符合要求

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环保部令第18号)	作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措。	警示说明,防止人员受到意外照射。	
	第九条 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监测。	每年委托有资质的单位对医院射线装置和密封放射源使用场所辐射水平进行监测,并出具监测报告;根据制定的《辐射监测制度和方案》,定期对医院射线装置和密封放射源使用场所辐射水平进行自行监测,并建立辐射环境监测记录或报告档案,妥善保存,以备主管部门的监督检查。	符合要求
	第十二条 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。	依法对本单位放疗科、介入科从事放射操作场所的安全和防护状况进行年度评估,编写年度评估报告,于每年1月31日前报原发证机关。	符合要求
	第十七条 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。	从事辐射工作的的人员(共36人),拟安排尚未参加辐射安全知识培训的工作人员尽快参加培训,所有辐射工作人员均考核合格后持证上岗。	符合要求
	第二十三条 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剂量监测;发现个人剂量监测结果异常的,应当立即核实和调查,并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	医院对从事放射性操作的人员建立个人健康档案,每季度送检个人剂量计一次,每年对从事放射性操作的人员至少进行一次健康体检。	符合要求

以上分析表明,天津市肿瘤医院可满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求。

3.与《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序(第三版)》对照情况

表 12-1 与“近距离 γ 射线治疗监督检查技术程序”对照检查情况

辐射安全防护设施	序号	监督检查程序要求	天津市肿瘤医院达到条件	是否满足要求
	1	A 装置 安全 设施	防止非工作人员操作的锁定开关	拟设置
2	施源器与源联锁		设备厂家安装实现本功能	
3	管道遇堵自动回源		设备自带本功能	
4	仿真源模拟运行		拟设置	
5	主机外表电离辐射警示标志		拟设置	
6	控制台显示放射源位置		拟设置	
7	控制台紧急停止照射按钮		拟设置	
8	停电或意外中断照射时自动回源装置		拟设置自动回源开关	
9	手动回源措施		设备自带手动回源措施	

	10	B 场所 安全 设施	治疗室固定式辐射水平监测仪	拟设置		
	11		治疗室门与出源联锁	拟设置		
	12		放射源返回储源器的应急开关	拟设置		
	13		治疗室电视监控对讲装置	拟设置		
	14		入口处电离辐射警示标志	拟设置		
	15		入口处源工作状态显示	拟设置		
	16		停电或意外中断照射时声光报警	拟设置		
	17		个人剂量计	现有人员已配置，拟为新增辐射工作人员增配，确保每人1个。		
	18		个人剂量报警仪	拟设置		
	管理制度	1	A 综合	辐射安全管理规定	已制定《辐射防护委员会管理制度》	符合要求
		2		操作规程	已制定《后装机操作规程》	
		3		辐射安全和防护设施维护维修制度（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）	已制定《辐射防护和安全保卫制度》、《放射源管理制度》及《设备检修和维护制度》。《设备检修和维护制度》包括设备及辐射安全和防护设施维护维修内容	
		4		保安管理制度		
		5		放射源管理制度（转让、使用、更换、返回、送贮等）		
		6	B 监测	监测方案	已制定《辐射监测制度和方案》	符合要求
		7		监测仪表使用与校验管理制度	已制定《监测仪表使用与校验管理制度》	
		8	C 管理	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定《放射工作人员管理和培训制度》，包括了辐射工作人员个人剂量管理及培训情况。	符合要求
		9		辐射工作人员培训/再培训制度		
10		D 应急管理		辐射事故/事件应急预案		

表 12-2 与“医用电子直线加速器使用场所监督检查技术程序”对照检查情况

	序号	监督检查程序要求		天津市肿瘤医院 达到条件	是否满足要求
辐射安全防护设施	1	A 装置 安全 设施	防止非工作人员操作的锁定开关	拟设置	建设单位已承诺落实，待落实后符合
	2		控制台紧急停机按钮	拟设置	
	3		电视监控对讲装置	拟设置	
	4		治疗室门与束流联锁	拟设置	
	5	B 警示 装置	入口处电离辐射警示标志	拟设置	
	6		入口有加速器工作状态显示	拟设置	
	7	C 紧急 设施	治疗室内有紧急停机按钮	拟在控制台、迷道防护门内侧和治疗床处各设1个紧急停机按钮	
	8		治疗床有紧急停机按钮	拟设置	
	9	D 监测 设备	便携式辐射监测仪器仪表	医院配有1台X-γ剂量率仪	
	10		个人剂量计	现有人员已配置，拟为新增辐射工作人员增配，确保每人1个。	

	11		个人剂量报警仪	拟设置	
管理制度	1	A综合	辐射安全管理规定	已制定《辐射防护委员会管理制度》	符合要求
	2	B场所设施	操作规程	已制定《射波刀系统操作规程》、《医用电子直线加速器治疗操作规程》	
	3		辐射安全和防护设施维护维修制度(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)	已制定《设备检修和维护制度》，含辐射安全和防护设施维护维修内容。	
	4		C监测	监测方案	
	5	监测仪表使用与校验管理制度		已制定《监测仪表使用与校验管理制度》拟制定	
	6	D人员	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定《放射工作人员管理和培训制度》，包括了辐射工作人员个人剂量管理及培训情况。	
	7		辐射工作人员培训/再培训制度		
	8	E应急	辐射事故/事件应急预案	已制定《放射性事故应急处理预案》	
	9	F三废	放射性“三废”管理规定	拟制定	

表 12-3 与“数字减影血管造影 X 射线装置 (DSA) 监督检查技术程序”对照检查情况

	序号	检查项目	天津市肿瘤医院达到条件	是否满足要求	
辐射安全防护设施	1	A场所设施	操作位局部屏蔽防护设施	拟配备铅屏风及铅防护帘,防护能力为0.5mm铅当量	建设单位已承诺落实,待落实后符合
	2		医护人员的个人防护	每间DSA室均拟配备0.5mm铅当量的铅衣、铅围脖、铅眼镜、铅帽和铅手套	
	3		观察窗屏蔽	拟设置,不低于2mm铅当量	
	4		入口处电离辐射警告标志	拟设置	
	6	B监测设备	辐射水平监测仪表	医院配有1台X-γ剂量率仪	
	7		个人剂量计	现有人员已配置,拟为新增辐射工作人员增配,确保每人1个。	
	管理制度	1	A综合	辐射安全管理规定	
2		B场所设施	操作规程	已制定《DSA操作规程》	
3			辐射安全和防护设施维护维修制度(包括机构人员、维护维修内容与频度)	已制定《设备检修和维护制度》，包括设备及辐射安全和防护设施维护维修内容	
4			C监测	监测方案	已制定《辐射监测制度和方案》
5		监测仪表使用与校验管理制度		已制定《监测仪表使用与校验管理制度》	
6		D人员	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定《放射工作人员管理和培训制度》，包括了辐射工作人员个人剂量管理及培训情况。	
7			辐射工作人员培训/再培训制度		
8		E应急	辐射事故应急预案	已制定《放射性事故应急处理预案》	

表 13 结论与建议

结论								
1. 项目概况								
天津市肿瘤医院根据发展需要，拟在新建门诊医技楼使用 10 台 II 类射线装置（1 台射波刀、6 台医用电子直线加速器、3 台数字减影血管造影系统（下简称 DSA））和 2 枚 III 类密封放射源（均为 ^{192}Ir 源），用于肿瘤诊断、治疗及科研需求。上述设备包括现有设备搬迁和新购设备。其中，搬迁设备包括 1 台医用电子直线加速器及 1 台后装机。新增设备包括 1 台射波刀、5 台医用电子直线加速器、3 台 DSA 和 1 台后装机， 详见表 13-1~表 13-3。								
表 13-1 本项目拟增密封放射源参数								
序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) × 枚数	类别	使用场所	备注			
1	^{192}Ir	3.7×10^{11} , 1 枚	III 类	门诊医技楼负四层后装治疗仪机房 1	新购			
2	^{192}Ir	3.7×10^{11} , 1 枚	III 类	门诊医技楼负四层后装治疗仪机房 2	搬迁, 原位于放射治疗中心近距离治疗室 1 内南侧机房			
表 13-2 本项目拟增射波刀及加速器参数								
序号	名称	类别	数量	型号	最大能量 (MeV)	工作场所	备注	
1	射波刀放疗系统	II 类	1	待定	6 (X 射线)	门诊医技楼负四层	射波刀机房	新购
2	MRI 引导加速器	II 类	1	MRIdian Linac	6 (X 射线)		直线加速器机房 1	新购
3	加速器	II 类	1	Clinac iX	10 (X 射线) 15 (电子线能量)		直线加速器机房 3	搬迁, 原位于放疗中心第一治疗室
4	加速器	II 类	1	VitalBeam	10 (X 射线) 15 (电子线能量)		直线加速器机房 4	新购
5	加速器	II 类	1	Infinity	10 (X 射线) 15 (电子线能量)		直线加速器机房 5	新购
6	加速器	II 类	1	Varian 600CD	6 (X 射线)		直线加速器机房 7	新购
7	加速器	II 类	1	Trilogy	6 (X 射线); 18 (电子线能量)		直线加速器机房 8	新购

表 13-3 本项目拟增射 DSA 参数

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所		备注
1	数字减影血管造影系统 (DSA)	II 类	1	Zeego	125	1000	门诊医技楼负一层	DSA1 室	新购
2	数字减影血管造影系统 (DSA)	II 类	1	待定	150	1000		DSA2 室	新购
3	数字减影血管造影系统 (DSA)	II 类	1	INFX-8000C	150	1000		DSA3 室	新购

2. 辐射安全与防护分析结论

1) 辐射安全分析结论

本项目各放射性工作场所均设置了多重辐射安全措施，具有较高的安全保障：

(1) 射波刀机房

防护门设门-机联锁，防护门上方安装工作状态指示灯并与出束设备联锁，防护门上显著位置设置电离辐射标识及中文警示说明，在控制台、迷道防护门内侧墙面和治疗床处各设 1 个，共 3 个紧急停止开关，控制台上设有防止非工作人员操作的锁定开关，机房和控制室间配有视频监控和对讲装置。

(2) 直线加速器机房

防护门均设有门机联锁，在防护门外安装工作状态指示灯，防护门外显著位置张贴电离辐射标识及中文警示说明。机房与控制室之间设有实时视频监控，在控制台、迷道防护门内侧墙面和治疗床处各设 1 个，共 3 个紧急停止开关，控制台上设有防止非工作人员操作的锁定开关。

(3) DSA 机房

大防护门上方装有工作状态指示灯，大、小防护门外均贴有电离辐射警告标识及中文警示说明，DSA 机房治疗面板及控制室操作台各设 1 个，共 2 个紧急停机开关。此外，DSA 机房和控制室之间配备有对讲系统。

(4) 后装治疗仪机房

后装治疗仪机房四周墙体、防护门内侧靠墙处及控制台明显位置处均各设有 1 个，共 6 个急停开关，并有显著标识。后装治疗仪主机外表面贴有电离辐射警示标志，机房防护门断电后可由工作人员手动开门。后装治疗仪机房与控制室装有监控设备和对

讲装置。后装治疗仪机房迷道入口处各设有 1 套，共 2 套固定式辐射剂量监测仪，当机房内剂量水平超过设定阈值后，报警器发出报警信号，可有效防止人员进入，监测结果显示在控制室控制台上。机房内配有应急的长柄镊子、储源容器等辅助防护用品。

此外，天津市肿瘤医院还成立了辐射防护委员会，指导辐射管理工作，制定了《放射性事故应急处理预案》等各项防护措施及制度，具有可操作性。

2) 辐射防护分析结论

本项目所有机房屏蔽情况及经计算是否满足屏蔽要求的辐射防护分析结论：

表 13-4 射波刀机房屏蔽现状及辐射防护分析结论一览表

屏蔽体	屏蔽材质及厚度	是否满足要求
南墙、北墙、室顶	2700mm 混凝土	是
东墙	1450mm 混凝土（外侧为土层）	是
西侧迷道	迷道内墙 1700mm 混凝土、迷道外墙 1000mm 混凝土	是
防护门	10mm 铅当量	是

表 13-5 直线加速器机房 1 屏蔽现状及辐射防护分析结论一览表

屏蔽体	屏蔽材质及厚度	是否满足要求
西墙、北墙	1450mm 混凝土（外侧为土层）	是
东墙、室顶	主屏蔽墙 3100mm 混凝土、副屏蔽墙 1800 混凝土	是
南侧迷道	内墙 1000mm 混凝土、外墙 1100mm 混凝土	是
防护门	10mm 铅当量	是

表 13-6 直线加速器机房 3~5 屏蔽现状及辐射防护分析结论一览表

屏蔽体	屏蔽材质及厚度	是否满足要求
东墙、西墙、室顶	主屏蔽墙 3100mm 混凝土、副屏蔽墙 1800 混凝土	是
北墙	1450mm 混凝土（外侧为土层）	是
南侧迷道	内墙 1000mm 混凝土、外墙 1100mm 混凝土	是
防护门	12mm 铅当量	是

表 13-7 直线加速器机房 7~8 屏蔽现状及辐射防护分析结论一览表

屏蔽体	屏蔽材质及厚度	是否满足要求
东墙、室顶	主屏蔽墙 2700mm 混凝土、副屏蔽墙 1500 混凝土	是
北墙	1450mm 混凝土（外侧为土层）	是
西墙	直线加速器机房 7：主屏蔽墙 3100mm 混凝土、副屏蔽墙 1800 混凝土 直线加速器机房 8：主屏蔽墙 2700mm 混凝土、副屏蔽墙 1500 混凝土	是
南侧迷道	内墙 1000mm 混凝土、外墙 900mm 混凝土	是

防护门	10mm 铅当量	是
-----	----------	---

表 13-8 DSA1~3 室屏蔽现状及辐射防护分析结论一览表

屏蔽体	屏蔽材质及厚度	是否满足要求
四周墙体	150mm 混凝土砌块砖+2mm 铅板	是
室顶	DSA1 室和 DSA2 室: 250mm 混凝土; DSA3 室: 180mm 混凝土+1mm 铅	是
底板	350mm 混凝土	是
北侧迷道	内、外墙均为 800mm 混凝土	是
铅玻璃及大小防护门	2mm 铅当量	是

表 13-9 后装治疗仪机房 1~2 屏蔽现状及辐射防护分析结论一览表

屏蔽体	屏蔽材质及厚度	是否满足要求
东墙、西墙	后装治疗仪机房 1: 500mm 混凝土 (西墙)、550mm 混凝土 (东墙) 后装治疗仪机房 2: 550mm 混凝土 (西墙)、500mm 混凝土 (东墙)	是
南墙	600mm 混凝土	是
北侧迷道	内墙及外墙均为 500mm 混凝土	是
室顶	500mm 混凝土	是
防护门	8mm 铅当量	是

3. 环境影响分析结论

经分析,天津市肿瘤医院扩建使用 II 射线装置(射波刀、医用电子直线加速器、DSA)和 III 类密封放射源(后装机)项目所有机房的使用面积和通风情况,均可满足标准要求,直线加速器机房内臭氧浓度低于 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。在落实本报告表中各项辐射防护措施的情况下:①射波刀机房外的剂量率均低于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$,满足标准要求;②加速器机房 1 防护门外剂量率低于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$,机房外其余点位剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$;加速器机房 3、4、5、7、8 这 5 个机房,南墙外工作间剂量率低于 $1.2\mu\text{Sv}/\text{h}$,南墙外设备间剂量率低于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$,东西墙体的主屏蔽墙外剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$,副屏蔽墙外剂量率低于 $2.4\mu\text{Sv}/\text{h}$;防护门外剂量率低于 $9.6\mu\text{Sv}/\text{h}$,屋顶上方剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$,满足剂量率控制值要求;③2 间后装治疗仪机房及 3 间 DSA 机房外的剂量率均低于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$,满足标准要求;④本项目职业工作人员年有效剂量小于 $2\text{mSv}/\text{a}$ 的剂量约束值要求;公众年有效剂量为小于 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 的剂量约束值要求。

4. 可行性分析结论

天津市肿瘤医院本次扩建使用 II 射线装置(射波刀、医用电子直线加速器、DSA)

和 III 类密封放射源（后装机），可提高该医院肿瘤的诊断与治疗水平，更好地为肿瘤患者服务，保障公众健康，其获得利益远大于辐射所造成的损害。因此，本项目符合《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）的规定和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

在切实落实本报告表中各项防护安全措施及规章制度后，天津市肿瘤医院扩建使用 II 射线装置（射波刀、医用电子直线加速器、DSA）和 III 类密封放射源（后装机）项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）、《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）及《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）等相关标准中的要求，从环境保护角度考虑本项目是可行的。

建议和承诺

1) 在本项目的建设过程中，严格按照不低于本环评中采用的辐射防护设计方案进行施工。

2) 施工过程中造成屏蔽体厚度减小，应采取相应的补救措施，确保屏蔽体厚度满足本项目辐射防护设计文件及环境影响评价文件中要求的相应材质及厚度。

3) 在场所竣工、设备安装到位后，应申请办理《辐射安全许可证》。在取得《辐射安全许可证》，并对设备进行调试后，正式投入运行前，建设单位应尽快组织本项目的自主竣工环保验收。

本项目验收内容及要求

验收项目	验收内容及要求
剂量率及剂量约束值	<p>1、剂量率约束值（均指机房外 30cm 处）</p> <p>（1）射波刀机房周围不大于 10μSv/h。（2）直线加速器机房 1 防护门外不大于 10μSv/h，其余点位不大于 2.5μSv/h；直线加速器机房 3、4、5、7、8，南墙外（工作间）不大于 1.2μSv/h，南墙外（设备间）不大于 10μSv/h，主屏蔽墙外不大于 2.5μSv/h，副屏蔽墙外不大于 2.4μSv/h，防护门外不大于 9.6μSv/h，屋顶上方不大于 2.5μSv/h。（3）DSA1、2、3 室周围不大于 2.5μSv/h；（4）后装治疗仪机房 1、2 周围不大于 2.5μSv/h。</p> <p>2、职业工作人员每年所接受的有效剂量不超过 2mSv/a。</p>
辐射安全培训及考核	<p>本项目共配备 36 名辐射工作人员，所有辐射工作人员均考核合格后持证上岗。</p>
电离辐射标识及警告标志	<p>射波刀、加速器、后装治疗机、DSA 所在机房明显位置处设电离辐射标识及中文警示说明。</p>
安全环保措施	<p>医用电子直线加速器、射波刀、后装治疗仪机房设有门机联锁，所有射线装置及密封放射源使用机房的屏蔽门上方均安装有工作状态指示灯，门口及相关场所明显位置处设电离辐射标志及中文警示说明，防止人员受到意外照射。</p> <p>加速器运行后产生的废靶件定期委托有资质单位进行处理；后装治疗机中产生的 ¹⁹²Ir 废放射源交由放射源生产厂家回收处理；本项目所有机房通风换气次数均能满足标准要求。</p>
管理规章制度	<p>已设有专门的辐射防护委员会，由两个主管副院长分别担任主任委员及副主任委员，相关部门负责人为组员，负责全院的辐射安全与环境保护管理工作。</p> <p>制定了《辐射防护委员会管理制度》、《射波刀系统操作规程》、《医用电子直线加速器治疗操作规程》、《DSA 操作规程》、《后装机操作规程》、《放射治疗管理制度和岗位职责》、《物理师岗位职责》、《技师岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修和维护制度》、《放射源管理制度》、《放射工作人员管理和培训制度》及《辐射检测制度和方案》等各项规章制度。对职业工作人员个人剂量进行常年追踪监测，建立职业工作人员健康档案，各项管理规章制度得到落实，记录完备。</p>
个人防护用品	<p>DSA1、2、3 室配备防护用品如下：</p> <p>（1）工作人员个人防护用品：每间房间各 1 套，共包括铅衣（3 套）、铅围脖（3 套）、铅眼镜（3 套）、铅帽（3 个）、铅橡胶手套（3 双），均具有 0.5mm 铅当量的防护能力。</p> <p>（2）工作人员的辅助防护设施：每间房间各 1 套，共配有 3 套铅屏风、铅防护帘，均具有 0.5mm 铅当量。</p> <p>（3）患者的防护用品：每间房间各 1 套，共配备 3 套铅防护颈套，3 套铅衣，均为 0.5mm 铅当量。</p>

验收项目	验收内容及要求
个人剂量档案	36名辐射工作人员各配1台个人剂量计，共计36台，并建立个人剂量档案。
辐射防护仪器	医院配有1台便携式X-γ剂量率仪、2套固定式X-γ剂量率监测报警系统（后装治疗仪机房）及12台个人剂量报警仪。
臭氧浓度	直线加速器机房内臭氧浓度低于0.3mg/m ³ 。
实体屏蔽措施	<p>1、射波刀机房：南墙、北墙、室顶主屏蔽墙为2700mm混凝土，东墙为1450mm混凝土（外侧为土层），迷道位于西侧，迷道内墙1700mm混凝土、迷道外墙1000mm混凝土，屏蔽门为10mm铅当量。</p> <p>2、直线加速器机房1：西墙、北墙为1450mm混凝土（外侧均为土层），东侧和室顶主屏蔽墙为3100mm混凝土，副屏蔽墙为1800mm混凝土，南侧迷道内墙1000mm混凝土、迷道外墙1100mm混凝土，防护门为10mm铅当量。</p> <p>3、直线加速器机房3~5：东侧、西侧、室顶主屏蔽墙为3100mm混凝土，副屏蔽墙为1800mm混凝土，北侧墙体为1450mm混凝土（外侧为土层），南侧迷道内墙1000mm混凝土、迷道外墙1100mm混凝土，防护门为12mm铅当量。</p> <p>4、直线加速器机房7~8：东侧主屏蔽墙为2700mm混凝土，副屏蔽墙为1500mm混凝土，北侧墙体为1450mm混凝土（外侧为土层），南侧迷道内墙1000mm混凝土、迷道外墙900mm混凝土，室顶主屏蔽墙为2700mm混凝土，防护门为10mm铅当量。直线加速器机房7西侧主屏蔽墙为3100mm混凝土，副屏蔽墙1800mm混凝土，直线加速器机房8西侧主屏蔽墙为2700mm混凝土，副屏蔽墙为1500mm混凝土。</p> <p>5、DSA1~3室：四周墙体为150mm混凝土砌块砖+2mm铅板，底板为350mm混凝土，铅玻璃及大小防护铅门均为2mm铅当量，DSA1室和DSA2室的室顶为250mm混凝土，DSA3室的室顶为180mm混凝土+1mm铅板。</p> <p>6、后装治疗仪机房1~2：后装治疗仪机房1的东墙及后装治疗仪机房2的西墙均为550mm混凝土，南墙均为600mm混凝土，2间机房其余墙体及室顶均为500mm混凝土，迷道内墙和外墙均为500mm混凝土，防护铅门为8mm铅当量。</p>

表 14 审 批

下一级环境保护行政主管部门审查意见：

公章

经办人： 年 月 日

年 月 日

审批意见：

公章

经办人： 年 月 日

年 月 日

附 图

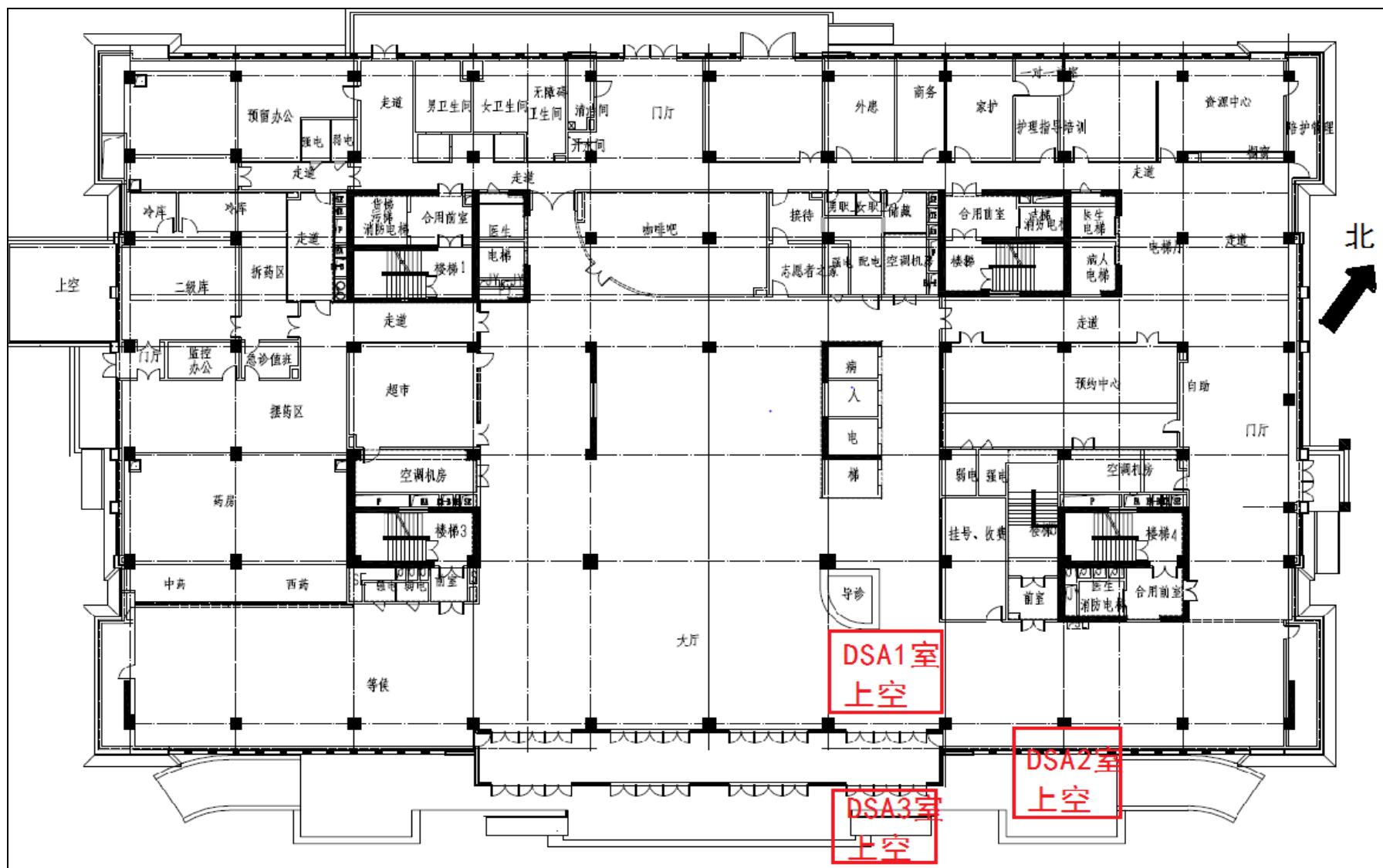
附图一：天津市肿瘤医院门诊医技楼一层平面布置图

附图二：天津市肿瘤医院门诊医技楼负一层平面布置图

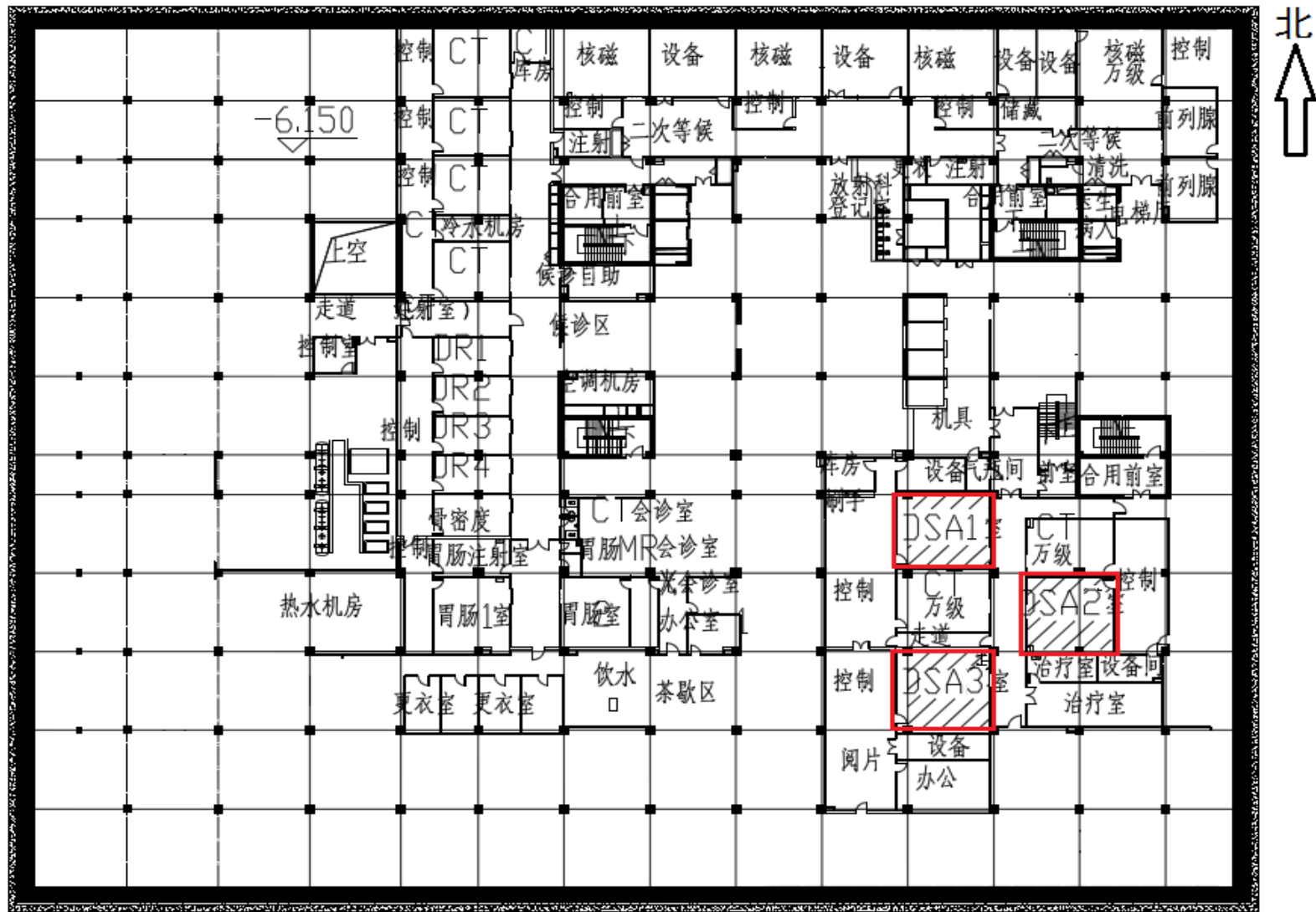
附图三：天津市肿瘤医院门诊医技楼负二层（地下车库）平面布置图

附图四：天津市肿瘤医院门诊医技楼负三层平面布置图

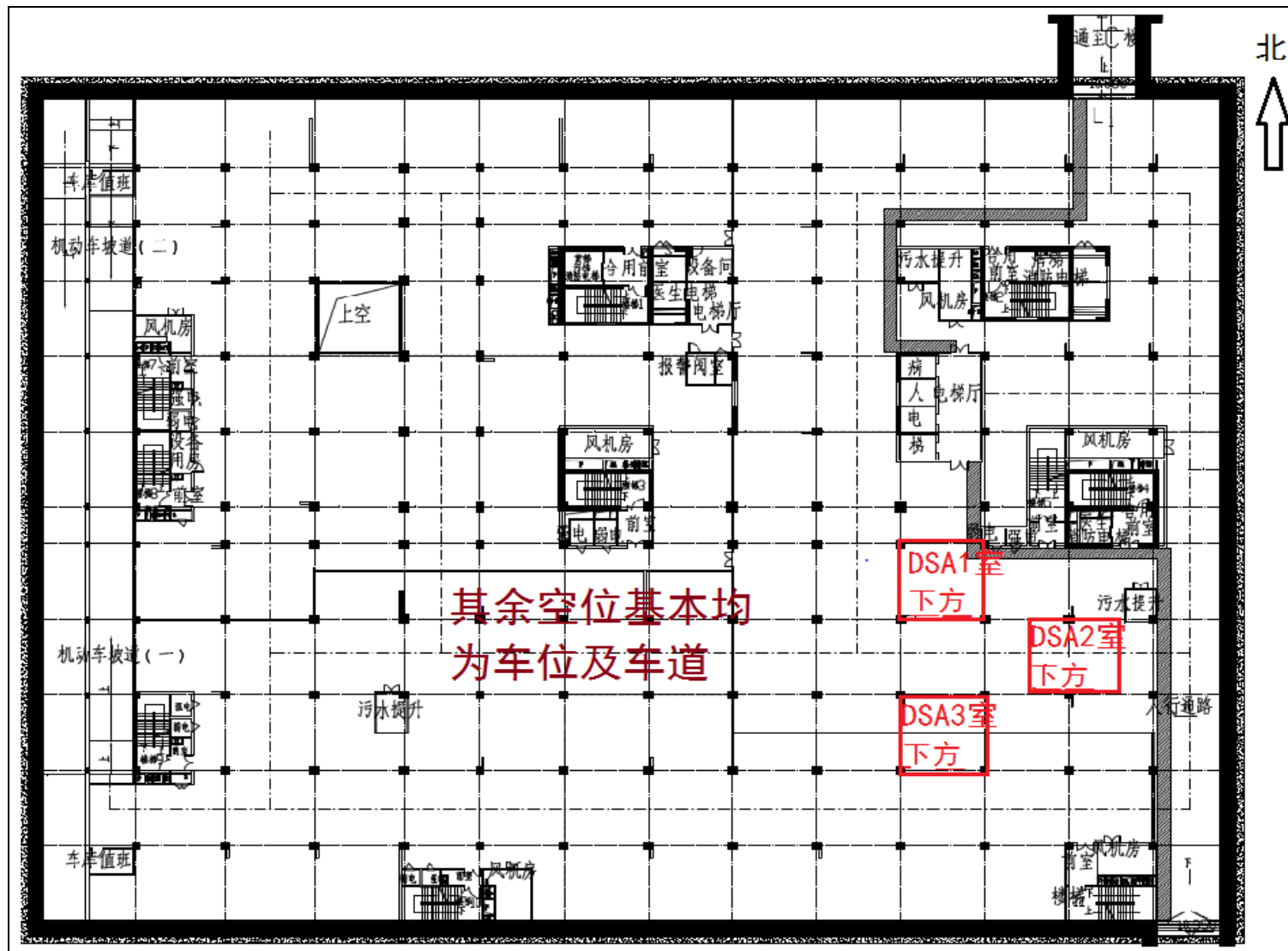
附图五：天津市肿瘤医院门诊医技楼负四层平面布置图



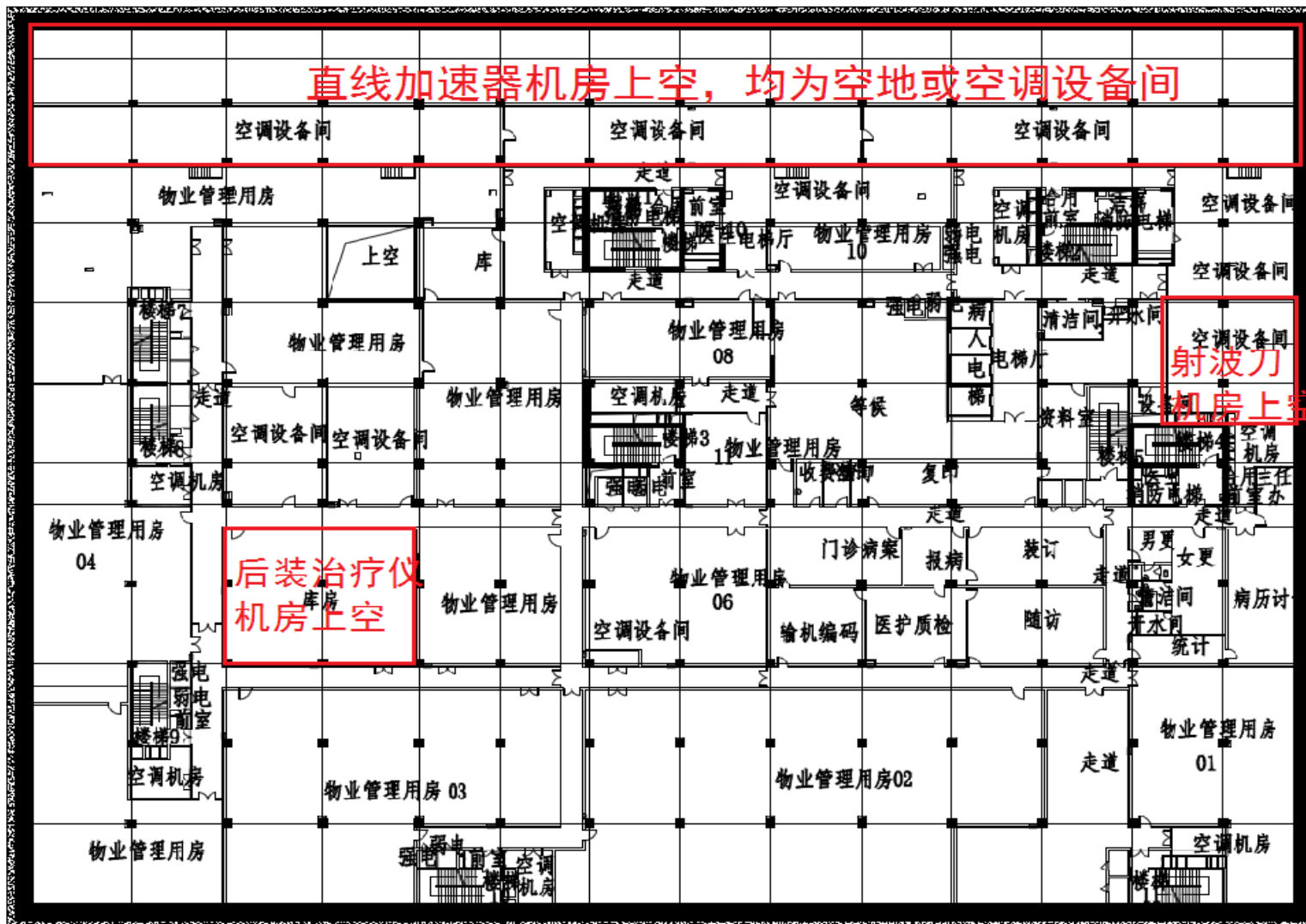
附图一 天津市肿瘤医院门诊医技楼一层平面布置图



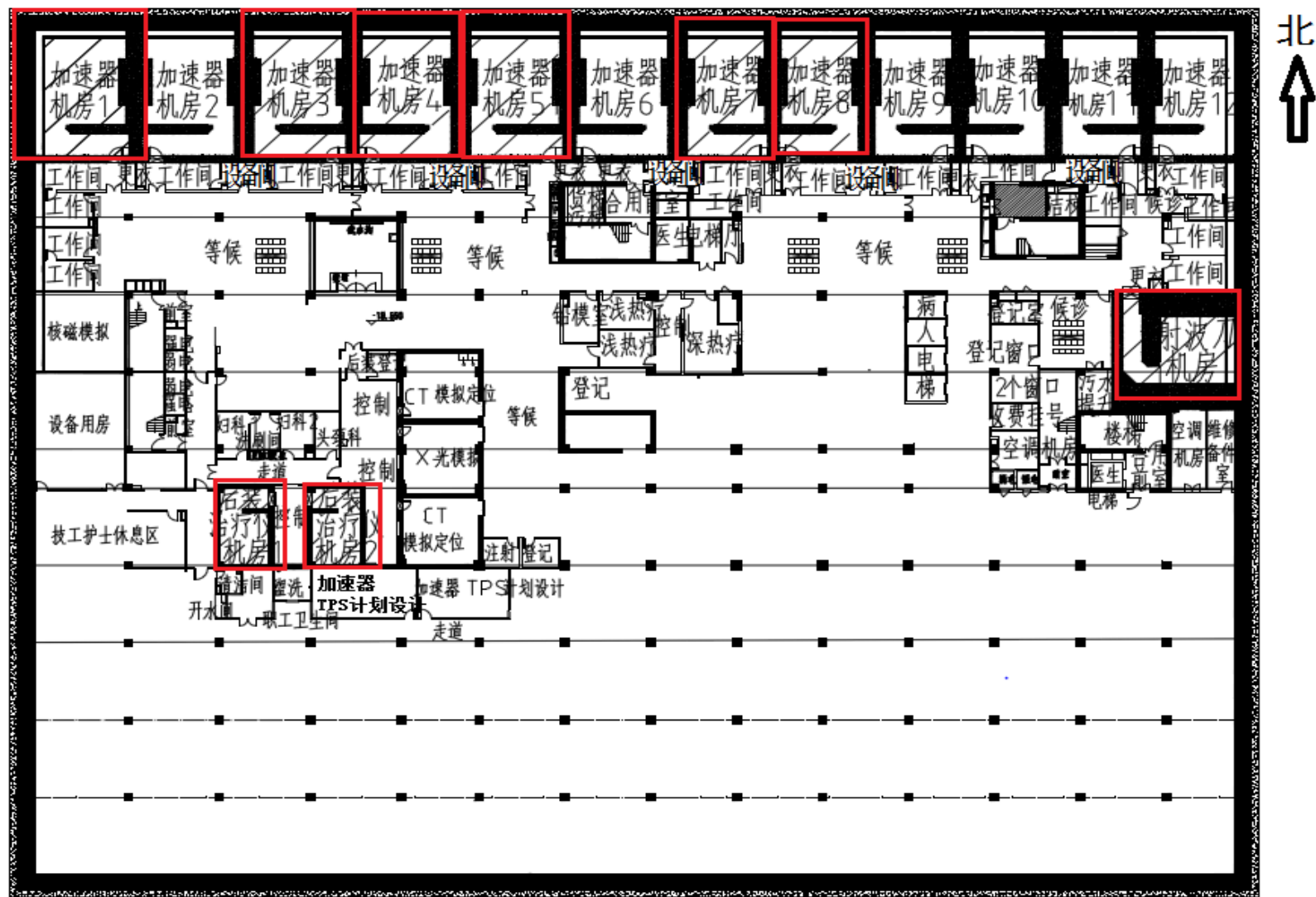
附图二 天津市肿瘤医院门诊医技楼负一层平面布置图



附图三 天津市肿瘤医院门诊医技楼负二层（地下车库）平面布置图



附图四 天津市肿瘤医院门诊医技楼负三层平面布置图



附图五 天津市肿瘤医院门诊医技楼负四层平面布置图

附 件

附件一：环境影响评价委托书

附件二：建设单位承诺书

附件三：环评单位承诺书

附件四：新建门诊医技楼非放射性环境影响批复

附件五：辐射安全许可证

附件六：监测报告

附件一

环境影响评价委托书

中核第四研究设计工程有限公司：

按照《中华人民共和国环境影响评价法》及有关法规要求，特委托贵单位承担我单位扩建使用 II 类射线装置（医用电子直线加速器、射波刀、DSA）和 III 类密封放射源（后装机）项目环境影响评价的编制工作，请尽快开展工作。



附件二

建设单位承诺书

我单位郑重承诺该《环境影响报告表》中，工程资料、附件等情况真实有效，本单位自愿承担相应责任。

特此承诺。



附件三

环评单位承诺书

我公司具有从事辐射环境影响评价工作的资质，现与天津市肿瘤医院签订合同，对其扩建使用 II 类射线装置（医用电子直线加速器、射波刀、DSA）和 III 类密封放射源（后装机）项目的环境影响进行评价。评价内容真实有效，自愿承担相应责任。

特此承诺。

中核第四研究设计工程有限公司

2018年3月



天津市河西区行政审批局文件

津西审批投〔2015〕49号

关于天津医科大学肿瘤医院扩建二期工程项目 环境影响报告书的审批意见的批复

天津医科大学肿瘤医院：

你公司呈报的《天津医科大学肿瘤医院扩建二期工程环境影响报告书的请示》、天津市环境工程评估中心《关于天津医科大学肿瘤医院扩建二期工程环境影响报告书的评估报告》（津环评估报告〔2015〕75号）及天津市环境保护科学研究院编制的《天津医科大学肿瘤医院扩建二期工程环境影响报告书》（以下简称《报告书》）收悉。经研究，现批复如下：

一、天津医科大学肿瘤医院拟投资180729万元人民币，选址于天津市河西区宾水道与卫津南路交口，分别在天津市河西区宾水道北侧肿瘤医院现址以及宾水道南侧新征用地，



建设天津医科大学肿瘤医院扩建二期工程，其中环保投资600万元，主要用于施工扬尘与噪声防治措施，营运期废气收集排放、污水处理设施改造、污水处理异味控制、设备噪声治理、固体废物收集、排污口规范化、绿化等。全院总用地面积78037 m²，新增占地面积9259.26 m²，新增建筑面积约214426 m²，其中地上建筑面积146790 m²，地下建筑面积67636 m²。拟建项目主要建设内容为：医院北院区拆除现有门诊医技楼，新建门诊医技楼一座；新建污水处理站一座；新建机械停车楼一座。医院南院区新建转化医学与个体化肿瘤治疗研究中心（含全国肿瘤医师进修学院）一座；新建肿瘤早期预防及体检中心一座；新建污水处理站一座。天津医科大学肿瘤医院为三级甲等医院，本项目不增加病床数量，项目建成后，医院总建筑面积达到388854 m²，预计平均日门诊量可满足6000人次。

2015年5月8日至2015年5月21日，我局将该建设项目有关情况及《报告书》全本信息在天津市河西区行政审批服务网信息公开专栏上进行了公示，根据公众反馈意见、天津市环境工程评估中心技术评估意见及环境影响报告书的结论，在严格落实《报告书》中提出的各项污染防治措施的前提下，同意该项目建设。

二、项目建设及使用过程中应对照环境影响报告书认真落实各项污染防治措施，并重点做好以下工作：



1、该项目施工期间，应严格遵守《天津市大气污染防治条例》、《天津市噪声污染防治管理办法》、《天津市建设工程施工现场防治扬尘管理暂行办法》、《天津市建设工程文明施工管理规定》、《天津市清新空气行动方案》、《天津市重污染天气应急预案》及《市环保局关于落实清新空气清水河道行动要求强化建设项目环境管理的通知》等环保法规、条例，认真落实《报告书》中施工期各项环境保护措施及要求，做好施工扬尘和施工噪声的污染防治工作。加强施工现场管理，做到守法施工、文明施工。不得夜间进行产生噪声污染的施工作业，如因工艺要求需要夜间进行施工的，必须提前办理夜间施工许可证，并公告当地居民。

2、建设单位应合理布局施工现场，合理安排施工作业时间，选用低噪声、低振动的施工机械设备，采取设置消音、隔音等有效措施，最大程度的降低施工期对周围环境的影响。

3、拟建项目运营期产生的噪声主要是水泵房、制冷机房设备噪声、冷却塔噪声和车辆进出噪声等，应采取有效的隔声减噪措施和加强管理，最大程度的减少对周围及医院声环境质量的影响。

4、建设单位应从严落实施工期污染防治措施，严格控制施工废水对环境的影响。施工期间施工废水和生活污水应经预处理达标后排入或运至市政污水管网并最终进入污水处理厂。车辆冲洗等废水须经预处理后用于洒水抑尘，管线试压

废水经收集回收后可用于洒水抑尘或绿化。严禁未经处理直排或平地漫流。运营期新增的医疗废水，经北院区新建地埋封闭式污水处理站处理达标后，经北院区厂总口排入津沽污水处理厂；南院区废水经南院区新建地埋封闭式污水处理站处理达标后，经南院区厂总口排入津沽污水处理厂。

5、施工机械产生的残油和废油等应使用专用容器存放，委托有资质单位进行处理。施工垃圾等应进行分类收集，可利用部分回收、回填利用，不可利用部分应交渣土办、环卫等部门安全处置。严禁焚烧任何会产生有毒有害气体、烟尘的废弃物。

6、本项目运营期污水处理站产生的废活性炭收集后，由环卫部门定期清运；污水处理站污泥产生量较少，经消毒处理后，由环卫部门吸泥车吸走、处置。污泥在清掏之前，应进行监测，必须满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中污泥控制标准的相关要求。

7、本项目扩建完成后医疗废物由现有北院区西侧的医疗废物暂存间暂存，其能力能够满足扩建项目需要，并委托有资质的相关机构统一处理；消毒后的污泥由市容部门抽走集中处理；废活性炭和生活垃圾由市容部门处置。

8、设置放射性的科室、设备，应按照环保要求及规定程序向相关部门办理环保行政许可手续。

9、项目使用期产生的生活污水须经化粪池、含油污水





经隔油池预处理后，通过市政污水管网，最终排入津沽污水厂进行处理。项目须同步建设中水回用管道系统，未来引入本区域污水处理厂的中水用于绿化及冲厕等。

10、项目使用期食堂油烟经油烟净化设施（经环保产业协会认定的油烟净化装置）处理后达标排放。

11、按照天津市环保局《关于加强我市排污口规范化整治工作的通知》（津环保监理〔2002〕57号）、《关于发布〈天津市污染源排放口规范技术要求〉的通知》（津环保监测〔2007〕57号）的要求，按照《报告书》要求落实排污口规范化的有关工作。

三、加强施工管理，强化责任意识，避免施工过程中产生的破坏供电、通信、给排水管道、燃气管道、易燃易爆品爆炸等事故。建立健全相应的环境管理制度，制定事故应急预案，落实环境风险防范措施，确保道路施工期和使用期的环境安全。

四、项目建设应严格执行环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”管理制度。项目竣工后，建设单位必须按规定程序申请环境保护验收，验收合格后方可投入使用。

五、该项目主要执行以下环境标准：

- 1、《环境空气质量标准》GB3095-2012 二级；
- 2、《声环境质量标准》GB3096-2008 1、4a类；

- 3、《污水综合排放标准》DB12/356-2008 三级标准;
- 4、《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);
- 5、《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008);
- 6、《锅炉大气污染物排放标准》(GB13271-2014);
- 7、《饮食业油烟排放标准(试行)》GB18483-2001。



辐射安全许可证



根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定,经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	天津市肿瘤医院		
地 址	天津市河西区体院北环湖西路		
法定代表人	王平	电话	23359983
证件类型	身份证	号码	120106196004247050
涉源 部 门	名 称	地 址	负责人
	乳腺影像诊断科	院内 B 座大楼	刘佩芳
	介入治疗科手术室	院内 C 座 1 楼	郭志
	放射科	院内 C 座 1 楼	叶亮祥
	放射治疗科	院内放疗区	袁智勇
	分子影像及核医学诊疗科	院内放疗区	徐文贵
	以下空白		
种类和范围	使用 III 类、V 类放射源,使用 II 类、III 类射线装置,生产、使用非密封放射性物质,乙级工作场所		
许可证条件	使用 III 类、V 类放射源,使用 II 类、III 类射线装置,生产、使用非密封放射性物质,乙级工作场所		
证书编号	津环辐证(00259)		
有效期至	2019 年 11 月 30 日		
发证日期	2014 年 12 月 01 日		



活动种类和范围

(三) 射线装置

证书编号： 津环辐证[00259]

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	CT	Ⅲ类	1	使用
2	床旁 X 光机	Ⅲ类	1	使用
3	模拟床旁机	Ⅲ类	1	使用
4	全数字胃肠机	Ⅲ类	1	使用
5	全数字乳腺摄影机	Ⅲ类	1	使用
6	X-光机	Ⅲ类	1	使用
7	全数字胸片机	Ⅲ类	1	使用
8	C 型臂	Ⅲ类	1	使用
9	模拟定位机	Ⅲ类	2	使用
10	射波刀	Ⅱ类	1	使用
11	加速器	Ⅱ类	4	使用
12	数字减影血管造影 X 线机	Ⅱ类	1	使用
13	回旋加速器	Ⅱ类	1	使用
14	PET-CT	Ⅲ类	1	使用
15	直线加速器	Ⅱ类	1	使用
	以下空白			

台帐明细登记

(一) 放射源

证书编号: 津环辐证[00259]

序号	核素	出厂日期	出厂活度 (贝可)	标号	编码	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
									来源	去向		
1	Sr-90	1977-01-01	3.70E+08		0077SR069015	V	刻度/校准源	放射治疗科	来源	北京	吕南丁	2009-11-26
									去向	天津市辐射环境管理		
2	Ge-68	2014-01-10	5.50E+07		US14GE000015	V	刻度/校准源	放射治疗科	来源	上海茂浦同位素技术有限公司	安海霞	2014-03-18
									去向	天津市辐射环境管理所	安海霞	2016.8.17
3	Ir-192	2015-02-05	3.700E+11	D36 F45 45	NL15IR000073	III	后装治疗机	放射治疗科	来源	北京德彦兴业科贸有限公司	安海霞	2015-02-05
									去向	荷兰	安海霞	2015.10.13
4	Ir-192	2015-06-06	3.700E+11		NL15IR000543	III	后装治疗机	放射治疗科	来源	北京德彦兴业科贸有限公司	安海霞	2015.10.13
									去向	荷兰	安海霞	2016.2.08
5	Ir-192	2015-12-17	3.700E+11		NL15IR001483	III	后装治疗机	放射治疗科	来源	北京德彦兴业科贸有限公司	安海霞	2016.2.20
									去向	荷兰	安海霞	2016.7.21
6	Ir-192	2016-05-19	3.700E+11		NL16IR000613	III	后装治疗机	放射治疗科	来源	北京德彦兴业科贸有限公司	安海霞	2016.7.21
									去向	荷兰	安海霞	2016.11.10
7	Ir-192	2016-09-07	3.700E+11	D06G2 152	NL16IR001363	III	后装治疗机	放射治疗科	来源	北京德彦兴业科贸有限公司	安海霞	2016.11.10
									去向	荷兰		
8	Ge-68	2016-10-31	5.500E+7	K706	US16GE001405	V	刻度/校准源	放射治疗科	来源	上海茂浦同位素技术有限公司	安海霞	2016.11.10
									去向			

台帐明细登记

(一) 放射源

证书编号：津环辐证[00259]

序号	核素	出厂日期	出厂活度 (贝可)	标号	编 码	类 别	用 途	场 所	来源 / 去向		审核人	审核日期
									来源	去向		
9	Ir-192	2017-02-02	3.700E+11		NL171R000103	III	后装治疗机		来源	北京德意兴业科贸有限公司		
									去向	荷兰		
10	Ir-192	2017-07-06	3.7E+11		NL171R000963	III	后装治疗机		来源	香港		
									去向	荷兰		
11	Ir-192	2017-11-02	3.7E+11	D36P 6433	NL171R001723	III	后装治疗机		来源	香港		
									去向			
									来源			
									去向			
									来源			
									去向			
									来源			
									去向			
									来源			
									去向			

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号:

津环辐证[00259]

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
1	直线加速器	ChinaciX	II类	放射治疗用 X 射线、电子束加速器	放射治疗科	来源	美国	吕南丁	2014-10-31
						去向			
2	模拟定位机	Acuity	III类	放射治疗模拟定位机	放射治疗科	来源	美国	吕南丁	2014-10-31
						去向			
3	CT	Lightspeed 16	III类	医用 X 射线 CT 机	放射科	来源	美国	吕南丁	2009-11-25
						去向			
4	床旁 X 光机	F-30	III类	放射诊断用普通 X 射线机	放射科	来源	上海	吕南丁	2009-11-25
						去向	报废		
5	模拟床旁机	F50	III类	放射治疗模拟定位机	放射科	来源	上海	吕南丁	2009-11-25
						去向	报废		
6	全数字胃肠机	DR-1000 型	III类	放射诊断用普通 X 射线机	放射科	来源	日本	吕南丁	2009-11-25
						去向	报废		
7	全数字乳腺摄影机	2000D 型	III类	乳腺 X 射线机	放射科	来源	美国	吕南丁	2009-11-25
						去向	报废		
8	X-光机	VR-50X	III类	放射诊断用普通 X 射线机	放射科	来源	上海	吕南丁	2009-11-25
						去向			

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号:

津环辐证[00259]

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
9	PET-CT	Discovery ST-4	III类	X射线摄影装置	分子影像及核医学 诊疗科	来源	美国	吕南丁	2009-11-25
						去向			
10	全数字胸片机	DR3000	III类	放射诊断用普通X射线 机	放射科	来源	美国	吕南丁	2009-11-25
						去向			
11	C型臂	71803C	III类	放射诊断用普通X射线 机	手术室	来源	英国	吕南丁	2009-11-25
						去向			
12	模拟定位机	医科达 sls23	III类	放射治疗模拟定位机	放射治疗科	来源	瑞典	吕南丁	2009-11-25
						去向	报废	吕南丁	2014-10-31
13	射波刀	III型	II类	放射治疗用X射线、电 子束加速器	放射治疗科	来源	美国	吕南丁	2009-11-25
						去向			
14	加速器	KB1800	II类	放射治疗用X射线、电 子束加速器	放射治疗科	来源	北京	吕南丁	2009-11-25
						去向			
15	加速器	医科达 Precise920	II类	放射治疗用X射线、电 子束加速器	放射治疗科	来源	瑞典	吕南丁	2009-11-25
						去向			
16	加速器	医科达 Precise920	II类	放射治疗用X射线、电 子束加速器	放射治疗科	来源	瑞典	吕南丁	2009-11-25
						去向			

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号:

津环辐证[00259]

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
17	加速器	瓦里安 1800	II类	放射治疗用 X 射线、电子束加速器	放射治疗科	来源	美国	吕南丁	2009-11-25
						去向	报废	吕南丁	2014-10-31
18	数字减影血管造影 X 线机	DF-2000	II类	数字减影血管造影装置	介入治疗科手术室	来源	日本	吕南丁	2009-11-25
						去向	报废	吕南丁	2014-10-31
19	回旋加速器	MINItrace	II类	制备正电子发射计算机断层显像装置 (PET) 用放射性药物的加速器	分子影像及核医学诊疗科	来源	美国	吕南丁	2009-11-25
						去向			
	以下空白					来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			



核工业二七〇研究所
监 测 报 告

所环监字[2018]第 095 号

项目名称：扩建使用 II 类射线装置（射波刀、医用电子直线加速器、DSA）和 III 类密封放射源（后装机）项目
委托单位：天津市肿瘤医院
监测类别：委托监测
报告日期：2018 年 3 月 1 日

（加盖测试报告专用章）



本报告未经监测单位允许，不准复印。

注 意 事 项

- ① 报告无 **MA** 专用章、本所公章和骑缝章无效。
- ② 复制报告未重新加盖 **MA** 专用章、本所公章和骑缝章无效。
- ③ 报告无授权签字人签字无效。
- ④ 报告涂改无效。
- ⑤ 监测委托方如对监测报告有异议，应于收到报告之日起十五日内向检验单位申请复检，逾期视为认可检验报告。
- ⑥ 一般情况，委托检验仪对检测样负责。

单位名称：核工业二七〇研究所

电 话：0791-85997017

单位地址：江西省南昌县莲西路 508 号

传 真：0791-85997017

电子邮件：270hbzx@163.com

邮政编码：330200

监测报告

所环监字[2018]第 095 号

监测项目	天津市肿瘤医院扩建使用 II 类射线装置（射波刀、医用电子直线加速器、DSA）和 III 类密封放射源（后装机）项目		
委托单位	天津市肿瘤医院		
监测类别	委托监测	监测方式	现场监测
委托日期	2017 年 12 月 21 日		
监测日期	2017 年 12 月 27 日		
监测所依据的技术文件及代号	1) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001); 2) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)。		
监测因子	X- γ 辐射剂量率		
监测仪器	FH40G 型 X、 γ 辐射剂量当量率仪： 设备编号：030981 能量响应范围：36keV~1.3MeV； 量程范围：10nSv/h~1Sv/h； 检定证书编号：2017H21-20-1244303001； 检定有效期：2017.9.20~2018.9.19； 检定单位：上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心		
监测条件与工况	环境温度：1℃； 相对湿度：86%； 天气：阴		
监测结果	监测结果详见表 1		

报告编制人：汪勇 审核人：冯晓新 签发人：陈进平
 编制日期：2018.3.1 审核日期：2018.3.1 签发日期：2018.3.1

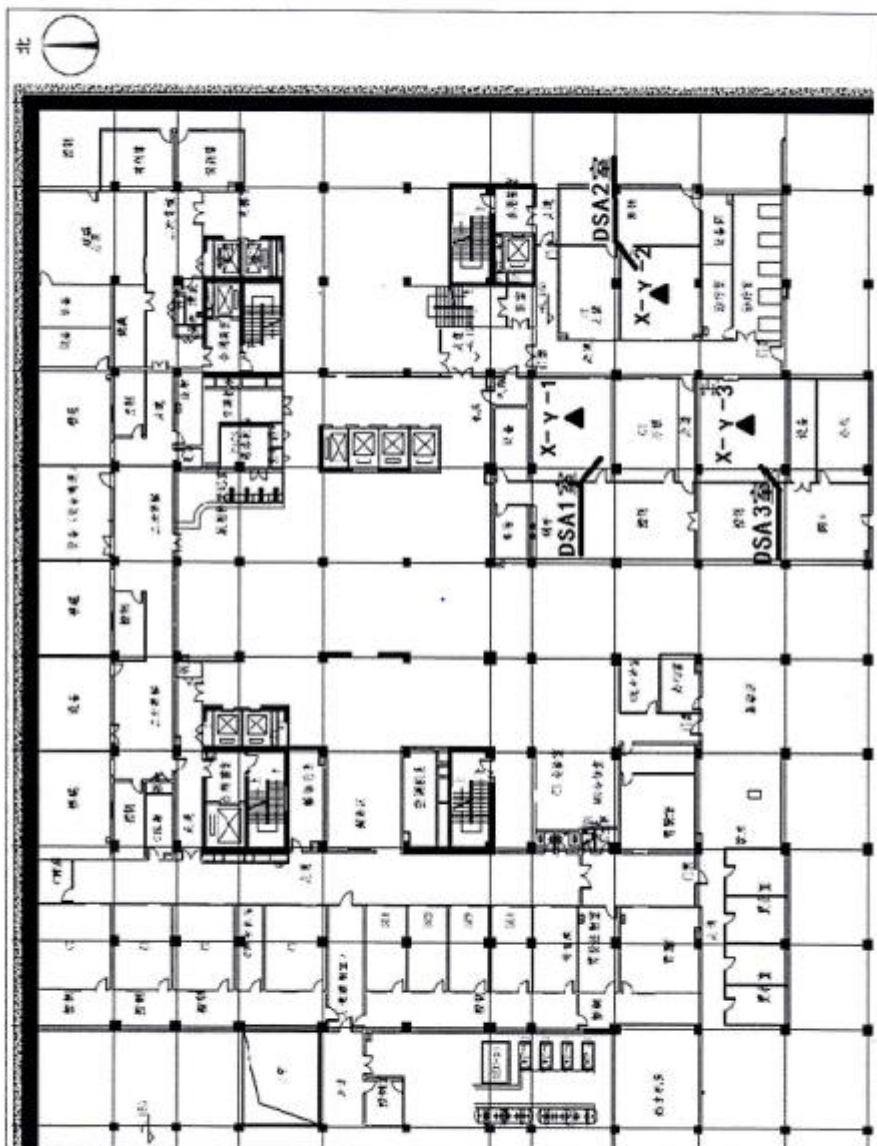


监测报告

所环监字[2018]第 095 号

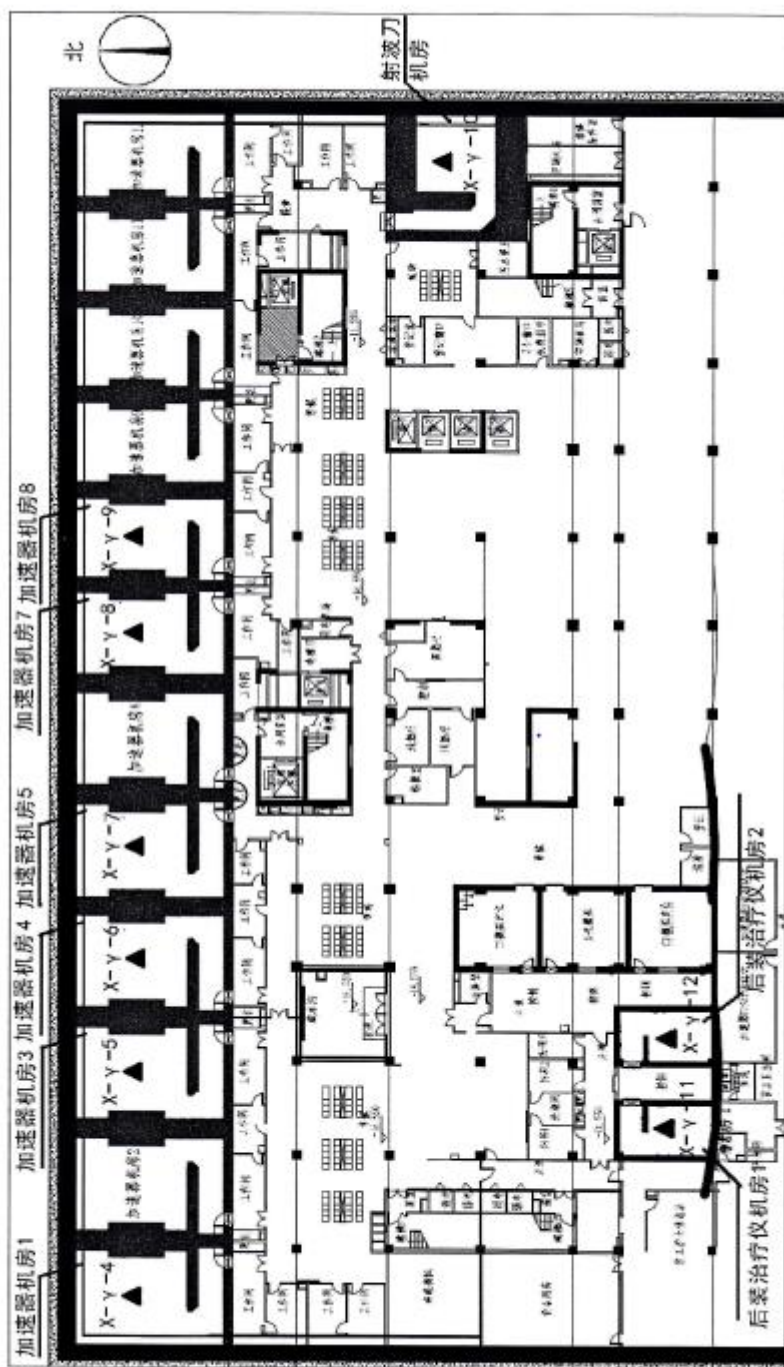
表 1 天津市肿瘤医院门诊楼 X- γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

序号	测量点位置	X- γ 辐射空气吸收剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		备注
		范围值	平均值	
1	DSA1 室 机房中心	0.076~0.079	0.078	
2	DSA2 室 机房中心	0.083~0.085	0.083	
3	DSA3 室 机房中心	0.077~0.080	0.078	
4	加速器机房 1 机房中心	0.089~0.091	0.090	
5	加速器机房 3 机房中心	0.096~0.098	0.097	
6	加速器机房 4 机房中心	0.080~0.082	0.081	
7	加速器机房 5 机房中心	0.089~0.090	0.089	
8	加速器机房 7 机房中心	0.092~0.097	0.095	
9	加速器机房 8 机房中心	0.085~0.091	0.087	
10	射波刀机房 机房中心	0.105~0.108	0.106	
11	后装治疗仪机房 1 机房中心	0.094~0.098	0.096	
12	后装治疗仪机房 2 机房中心	0.092~0.094	0.093	



附图 1 天津市肿瘤医院门诊楼负一层监测布点示意图





附图 2 天津市肿瘤医院门诊楼负四层监测布点示意图

