

检索号	2022-HP-0089
商密级别	普通商密

## 核技术利用建设项目

# 联影（常州）医疗科技有限公司扩建生产、 销售、使用医用电子直线加速器项目 环境影响报告表 （公开本）

联影（常州）医疗科技有限公司

2022年8月

生态环境部监制

## 核技术利用建设项目

# 联影（常州）医疗科技有限公司扩建生产、 销售、使用医用电子直线加速器项目 环境影响报告表

建设单位名称： 联影（常州）医疗科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）： 张强

通讯地址： 常州市新北区辽河路 1008 号

邮政编码： 213001 联系人： /

电子邮箱： / 联系电话： /

打印编号: 1658216726000

## 编制单位和编制人员情况表

项目编号	hu4865		
建设项目名称	联影(常州)医疗科技有限公司扩建生产、销售、使用医用电子直线加速器项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
<b>一、建设单位情况</b>			
单位名称(盖章)	联影(常州)医疗科技有限公司		
统一社会信用代码	91320411MA1MEGW61A		
法定代表人(签章)	张强		
主要负责人(签字)	严全良		
直接负责的主管人员(签字)	刘雪菲		
<b>二、编制单位情况</b>			
单位名称(盖章)	江苏辐环环境科技有限公司		
统一社会信用代码	913201003393926218		
<b>三、编制人员情况</b>			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
符晶晶	2015035320350000003510320304	BH005877	符晶晶
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
卢艺	第1、2、3、4、5、6、7、8、12章	BH040622	卢艺
符晶晶	第9、10、11、13章	BH005877	符晶晶



编制主持人环境影响评价工程师职业资格证书（复印件）



江苏省社会保险权益记录单（参保单位）

参保单位全称：江苏福环环境科技有限公司      现参保地：南京市市本级  
 统一社会信用代码：913201003393926218      查询时间：202203-202205

共1页，第1页

单位参保险种		养老保险	工伤保险	失业保险
缴费总人数				
序号	姓名	公民身份号码（社会保障号）	缴费起止年月	缴费月数
1	符晶晶		202203 - 202205	3
2	卢艺		202203 - 202205	3

- 说明：  
 1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息，单位应妥善保管。  
 2. 本权益单为打印时参保情况。  
 3. 本权益单已签具电子印章，不再加盖鲜章。  
 4. 本权益单记录单出具后有效期内（6个月），如需核对真伪，请使用江苏智慧人社APP，扫描右上方二维码进行验证（可多次验证）。



编制人员社保证明

# 目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	5
表 3 非密封放射性物质.....	5
表 4 射线装置.....	6
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	7
表 6 评价依据.....	8
表 7 保护目标与评价标准.....	11
表 8 环境质量和辐射现状.....	26
表 9 项目工程分析与源项.....	31
表 10 辐射安全与防护.....	41
表 11 环境影响分析.....	51
表 12 辐射安全管理.....	84
表 13 结论与建议.....	89
表 14 审批.....	93

**附图：**

附图 1 联影（常州）医疗科技有限公司地理位置示意图

附图 2 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区平面布局及周围环境示意图（a）

附图 2 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区平面布局及周围环境示意图（b）

附图 3 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区车间一一层平面布置示意图

附图 4 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区车间一二层及夹层平面布置示意图

附图 5 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区车间一剖面示意图

附图 6 本项目 1 号~10 号加速器调试机房结构示意图

附图 7 本项目 11 号~20 号加速器调试机房结构示意图

**附件：**

附件 1 项目委托书

附件 2 射线装置使用承诺书

附件 3 公司辐射安全许可证复印件

附件 4 本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质

附件 5 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区建设项目备案证及环评批复

附件 6 公司现有核技术利用项目环保手续履行情况一览表

附件 7 公司一期厂区加速器调试机房验收期限承诺书

附件 8 项目编制主持人现场踏勘照片

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		扩建生产、销售、使用医用电子直线加速器项目			
建设单位		联影（常州）医疗科技有限公司（91320411MA1MEGW61A）			
法人代表		张强	联系人	/	联系电话 /
注册地址		常州市新北区辽河路 1008 号			
项目建设地点		常州市新北区寒山路以东、云河路以南、梅山路以西、辽河路以北（公司二期厂区）			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		5000	项目环保投资（万元）	1500	投资比例（环保投资/总投资） 30%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m <sup>2</sup> ） /
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input 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 checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 销售	<input checked="" 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	/				

**项目概述**

**一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来**

**1、建设单位基本情况**

联影（常州）医疗科技有限公司成立于 2016 年 1 月，位于常州市新北区辽河路 1008 号，是由上海联影医疗科技股份有限公司控股的一家大型生产型企业，专业从事高端医疗影像设备产品的生产制造，该生产基地仅负责设备产品的生产、组装、调试，设备产品的研发和售后维修维护由上海联影医疗科技股份有限公司负责。公司主要经营范围：医疗设备领域内的技术开发、技术转让、技术咨询、技术服务；自营和代理各类商品和技术的进出口业务；医疗器械、塑料制品、机械零部件的制造、加工。

公司一期厂区现建有 65 间曝光室及 9 间直线加速器调试机房，已许可年生产、使用、

销售 5100 台各型号 III 类医疗射线装置和 50 台 II 类医用直线加速器。现因生产需要，公司在常州市新北区寒山路以东、云河路以南、梅山路以西、辽河路以北新建二期生产厂区，实施大型医疗设备核心零部件制造项目，年产数字化医用 X 射线摄影系统（XR）3000 台、X 射线计算机体层摄影设备（CT）3500 台、磁共振成像系统（MR）800 台、医用直线加速器（RT）400 台、PET-CT 核心零部件 450 套。公司二期生产厂区建设项目已进行立项，项目代码为：2111-320411-04-01-105049，备案证号为：常新行审备（2022）181 号，该二期生产厂区《联影（常州）医疗科技有限公司大型医疗设备核心零部件制造项目环境影响报告表》已于 2022 年 6 月 16 日取得了常州国家高新区（新北区）行政审批局的批复，批复文号：常新行审环表[2022]76 号，该项目的备案证及环评批复具体见附件 5。

## 2、项目由来及建设规模

为满足市场对高端医疗设备需求，联影（常州）医疗科技有限公司拟在二期厂区的车间一内建设 20 间医用电子直线加速器调试机房，供公司生产的医用电子直线加速器进行整机调试，其中 1 号~14 号调试机房为普通直线加速器调试机房，15 号~20 号为磁共振直线加速器调试机房，公司每年拟生产、销售 400 台医用直线加速器。

本项目核技术利用具体情况见表 1-1。

表 1-1 本项目核技术利用情况一览表

射线装置									
序号	射线装置名称	数量	最大能量	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	备注
1	医用电子直线加速器	100	X 线：6MV， 电子线：28MeV	II	二期厂区 车间一 1 号~14 号 加速器调 试机房	生产、 销售、 使用	扩建项目 本次环评	未许可	型号 未定
2	医用电子直线加速器	200	X 线：10MV， 电子线：28MeV	II					
3	医用电子直线加速器	90	X 线：18MV， 电子线：28MeV	II					
4	磁共振医用 电子直线加 速器	10	X 线：7MV， 电子线：28MeV	II	二期厂区 车间一 15 号~20 号加速器 调试机房				

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，联影（常州）医疗科技有限公司应办理核技术利用项目环境影响评价手续。

本项目为生产、销售、使用 II 类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名



录》(2021年版),应编制环境影响报告表。受联影(常州)医疗科技有限公司的委托,江苏辐环环境科技有限公司承担该单位本次核技术利用项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析,并在结合现场勘察(委托江苏核众环境监测技术有限公司对项目拟建场址及周围环境进行辐射环境现状监测)等工作的基础上,编制了该项目的环境影响报告表。

## 二、项目周边保护目标及项目选址情况

联影(常州)医疗科技有限公司一期厂区位于常州市新北区辽河路1008号,公司二期厂区位于常州市新北区寒山路以东、云河路以南、梅山路以西、辽河路以北,与一期厂区相隔梅山路,公司地理位置见附图1。联影(常州)医疗科技有限公司二期厂区东侧依次为梅山路、公司一期厂区,南侧为辽河路,西侧为寒山路,北侧为云河路,公司二期厂区平面布置及周围环境情况见附图2。

本项目加速器调试机房拟建场址位于公司二期厂区车间一内,该车间一东部为单层建筑;西部为两层建筑,一层与二层之间还设有夹层。车间一东侧依次为厂区道路和辅房等、厂区围墙,南侧依次为厂区道路、厂区围墙,西侧依次为预留空地、厂区围墙,北侧依次为厂区道路、厂区围墙。车间一一层平面布局见附图3,二层及夹层平面布局见附图4,车间一剖面图见附图5。

本项目加速器调试机房拟建场址位于车间一的中部偏南,该区域为单层建筑,1号~10号加速器调试机房相邻而建,11号~20号加速器调试机房相邻而建。其中1号~10号加速器调试机房拟建场址东侧50m依次为车间过道、厂区道路和传达室、梅山路,南侧50m依次为控制走廊、RT部件装配区、11号~20号加速器调试机房,西侧50m依次为车间过道、MR筒体打磨间等车间工作场所、预留空地,北侧50m依次为车间过道、MR筒体生产区,顶部和地下无建筑;11号~20号加速器调试机房拟建场址东侧50m依次为车间过道、厂区道路和辅房,南侧50m依次为车间过道、车间RT部件包装区、半成品中转存储间、真空钎焊区、排气间以及氢炉钎焊区、清洗间、废水处理间等车间工作场所,西侧50m依次为车间过道、装配间等车间工作场所、预留空地,北侧50m依次为控制走廊、RT部件装配区、1号~10号加速器调试机房,顶部和地下无建筑。本项目加速器调试机房拟建场址在车间一的具体位置见附图3。

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感点,不涉及江苏省国家级生态保护红线区域和江苏省生态空间管控区域,也不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区。环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、厂区内其他工作人员以及梅山路上的行人。根据现场监测与环评预测,项目建设满足环境质量底线要求,

不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题，本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

综上所述，本项目周围无环境制约因素，项目选址合理。

### 三、产业政策符合性分析

对照《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修订），本项目直线加速器属于国家鼓励类的第六项“核能”中第6款中“同位素、加速器及辐照应用技术开发”；根据《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012年本）》（苏政办发[2013]9号文）及其修改条目，本项目属于该指导目录中鼓励类的第四项“核能”中第6款中“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业发展政策。

### 四、实践正当性评价

联影（常州）医疗科技有限公司生产、调试、销售医用直线加速器，符合当前国家对国产医疗器械的扶持及公司的发展规划，可满足医疗机构对设备的需要，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

### 五、公司现有核技术利用项目许可情况

公司目前持有的辐射安全许可证编号：苏环辐证[D0281]，许可种类和范围：生产、销售、使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，有效期为：2022年01月27日~2026年10月07日。公司现有辐射安全许可证复印件见附件3。

公司一期厂区9间（1#~9#）加速器调试机房项目已于2020年1月2日取得了常州市生态环境局的批复，批复文号：常环核审[2020]1号，其中7间（2#~8#）加速器调试机房于2022年1月27日履行了辐射安全许可手续，另外2间加速器调试机房正进行改造，公司已承诺将于2022年9月15日前完成该7间（2#~8#）加速器调试机房的竣工环保自主验收手续（见附件7）。除此之外，公司其他核技术利用项目均已履行了相关环保手续，无遗留环保问题，公司现有核技术利用项目环保手续履行情况见附件6。

**表 2 放射源**

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

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

**表 3 非密封放射性物质**

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

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

**表 4 射线装置**

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	100	型号未定	电子	X 线: 6MV, 电子线: 28MeV	1080Gy/h	放射治疗	二期厂区车间一 1 号~14 号加速器 调试机房	/
2	医用电子直线加速器	II	200	型号未定	电子	X 线: 10MV, 电子线: 28MeV	1440Gy/h	放射治疗		/
3	医用电子直线加速器	II	90	型号未定	电子	X 线: 18MV, 电子线: 28MeV	360Gy/h	放射治疗		/
4	磁共振医用电子直线加速器	II	10	型号未定	电子	X 线: 7MV, 电子线: 28MeV	360Gy/h	放射治疗	二期厂区车间一 15 号~20 号加速器 调试机房	/

(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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
加速器调试 机房调试 18MV 直线 加速器时产生 的感生放射 性气体	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	经排风装置于车 间厂房屋顶排放 至外环境中，对 环境影响较小
各调试机房 产生的臭氧 和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	经排风装置于车 间厂房屋顶排放 至外环境中，臭 氧 22~25 分钟分 解一半，常温下 可自行分解为氧 气，对环境影响 较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>，年排放总量用 kg。  
2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(修订版), 2015 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年修正版), 自 2018 年 12 月 29 日起施行</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(2017 年修订版), 国务院令 第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修正版), 国务院令 第 709 号, 2019 年 3 月 2 日起施行</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版), 生态环境部令 第 20 号, 自 2021 年 1 月 4 日起施行</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版), 生态环境部令 第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 环境保护部令 第 18 号, 2011 年 5 月 1 日起施行</p> <p>(9) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》, 国家环境保护总局文件, 环发[2006] 145 号文</p> <p>(10) 《射线装置分类》(2017 年修订版), 环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年公告第 66 号公布, 自 2017 年 12 月 5 日起施行</p> <p>(11) 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南(试行)》的通知, 环办[2013]103 号, 2014 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(12) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 生态环境部部令 第 9 号, 2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(13) 《关于发布&lt;建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法&gt;配套文件的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 38 号, 2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(14) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 39 号, 2019 年 10 月 25 日生成</p> <p>(15) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 57 号, 2020 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(16) 《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2021 年修订), 发改委令 第 49 号, 自 2021 年 12 月 30 日起施行</p>
------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>(17)《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录(2012年本)》，苏政办发[2013]9号，2013年1月29日发布</p> <p>(18)关于修改《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录(2012年本)》部分条目的通知，苏经信产业[2013]183号，2013年3月15日发布</p> <p>(19)《江苏省辐射污染防治条例》(2018年修订版)，江苏省人大常委会公告第2号，2018年3月28日修改，2018年5月1日起施行</p> <p>(20)《江苏省辐射事故应急预案》(2020年修订版)，江苏省人民政府(苏政办函[2020]26号)，2020年2月19日起施行</p> <p>(21)《江苏省国家级生态保护红线规划》，江苏省人民政府(苏政发[2018]74号)，2018年6月9日发布</p> <p>(22)《江苏省生态空间管控区域规划》，江苏省人民政府(苏政发[2020]1号)，2020年1月8日发布</p> <p>(23)《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》江苏省人民政府(苏政发[2020]49号)，2020年6月21日发布</p> <p>(24)《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书(表)编制单位监管工作的通知》，苏环办[2021]187号，2021年5月31日发布</p>
技术标准	<p>(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)</p> <p>(2)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)</p> <p>(3)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)</p> <p>(4)《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)</p> <p>(5)《辐射防护仪器 中子周围剂量当量(率)仪》(GB/T 14318-2019)</p> <p>(6)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)</p> <p>(7)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1—2007)</p> <p>(8)《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)</p> <p>(9)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)</p> <p>(10)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)</p>
其他	<p>报告附件：</p> <p>(1)项目委托书(附件1)</p> <p>(2)射线装置使用承诺书(附件2)</p>

- (3) 公司辐射安全许可证复印件（附件 3）
- (4) 本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质（附件 4）
- (5) 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区建设项目备案证及环评批复（附件 5）
- (6) 公司现有核技术利用项目环保手续履行情况一览表（附件 6）
- (7) 公司一期厂区加速器调试机房验收期限承诺书（附件 7）
- (8) 项目编制主持人现场踏勘照片（附件 8）



## 表 7 保护目标与评价标准

### 评价范围

本项目为生产、销售、使用 II 类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，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。本项目 1 号~10 号加速器调试机房相邻而建，11 号~20 号加速器调试机房相邻而建，本项目评价范围为 1 号~10 号加速器调试机房、11 号~20 号加速器调试机房的屏蔽墙边界外 50m 以内区域。本项目评价范围见附图 2。

### 保护目标

根据附图 2，本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，不涉及江苏省国家级生态保护红线区域和江苏省生态空间管控区域，也不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、厂区内其他工作人员以及梅山路上的行人。

本项目辐射工作人员只负责设备产品在调试机房的安装、调试以及在客户单位的安装、调试，设备产品的研发和售后维修维护由上海联影医疗科技股份有限公司负责。本项目 1 号~10 号加速器调试机房环境保护目标见表 7-1，11 号~20 号加速器调试机房环境保护目标见表 7-2。

表 7-1 本项目 1 号~10 号加速器调试机房环境保护目标分布

名称	场所	环境保护目标	方位	距调试机房最近距离	规模
1 号~10 号加速器调试机房辐射工作人员	加速器调试机房的控制走廊	加速器调试人员	调试机房南侧	紧邻	共 20 名工作人员
评价范围内公众	厂区道路	厂区内工作人员	调试机房东侧	14m	流动人员
	传达室	门卫		32m	2 名工作人员
	梅山路	路上行人		49m	流动人员
	车间一内 RT 部件装配区等工作场所	车间一内其他工作人员	调试机房南侧	3m	约 20 名工作人员

	车间一内 MR 筒体打磨间等工作场所	车间一内其他工作人员	调试机房西侧	6m	约 10 名工作人员
	厂区预留空地	厂区内工作人员		18m	一般无人员逗留
	车间一内 MR 筒体生产区等工作场所	车间一内其他工作人员	调试机房北侧	1.5m	约 20 名工作人员

注：本项目加速器调试机房顶部无建筑。

表 7-2 本项目 11 号~20 号加速器调试机房环境保护目标分布

名称	场所	环境保护目标	方位	距调试机房最近距离	规模
11 号~20 号加速器调试机房辐射工作人员	加速器调试机房的控制走廊	加速器调试人员	调试机房北侧	紧邻	共 20 名工作人员
评价范围内公众	厂区道路	厂区内工作人员	调试机房东侧	14m	流动人员
	公司辅房	厂区内工作人员		27m	一般无人员逗留
	车间一内 RT 部件包装区、半成品中转存储间、钎焊区、清洗间等工作场所	车间一内其他工作人员	调试机房南侧	紧邻	约 20 名工作人员
	车间一内装配间等工作场所	车间一内其他工作人员	调试机房西侧	6m	约 10 名工作人员
	厂区预留空地	厂区内工作人员		18m	一般无人员逗留
	车间一内 RT 部件装配区等工作场所	车间一内其他工作人员		调试机房北侧	3m

注：①RT 部件装配区同表 7-1 中 RT 部件装配区。

②本项目加速器调试机房顶部无建筑。

## 评价标准

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

#### ①剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-3：

表 7-3 照射剂量限值

	剂量限值
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①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； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②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。

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。

#### ②辐射管理分区

##### 6.4.1 控制区

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

##### 6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

### (2) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部份：一般原则》(GBZ/T 201.1—2007)；

#### 4.2 治疗机房布局要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。

**(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)；**

**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**

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

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

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

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

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  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  $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )。

**4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求**

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制：

a) 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  $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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。

b) 除 4.2.2 中 a) 的条件外，应考虑下列情况：

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量（率）的总和，应按 4.2.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 加以控制；

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量  $250\mu\text{Sv}$  加以控制；

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述 1) 和 2) 之后，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按  $100\mu\text{Sv/h}$  加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

**(4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)**

**4 一般要求**

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

- a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为5 mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过0.1 mSv/a。

## 5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

## 5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流运输通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

## 6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于10 MV的X射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

### 6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面30 cm处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面30 cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列1) 和2) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

- 1) 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选

取），由以下周剂量参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

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

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

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 $30\text{cm}$ 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

## 6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施：

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

f) 安全联锁系统一旦被触发后, 须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动; 安装调试及维修情况下, 任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证, 工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

#### 8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统, 采取全排全送的通风方式, 换气次数不少于4次/h, 排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

### (5) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)

#### 6 工作场所放射防护要求

##### 6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端; 放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造, 并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区; 其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施, 但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求, 其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置, 治疗设备辅助机械、电器、水冷设备, 凡是可以与治疗设备分离的, 尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向, 直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室, 尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路;  $\gamma$  刀治疗设备的治疗机房, 根据场所空间和环境条件, 确定是否选用迷路; 其他治疗机房均应设置迷路。

##### 6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间, 以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统, 进风口应设在放射治疗机房上部, 排风口应设在治疗机房下部, 进风口与排风口位置应对角设置, 以确保室内空气充分交换; 通风换气次数应不小于 4 次/h。

##### 6.3 屏蔽要求

###### 6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1 治疗机房(不包括移动式电子加速器治疗机房)墙和入口门外30 cm处(关注

点)的周围剂量当量率应不大于下述a)、b)和c)所确定的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ :

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,由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ,见式(1):

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\dot{H}_c$ ——周围剂量当量率参考控制水平,单位为微希沃特每小时( $\mu\text{Sv/h}$ );

$H_e$ ——周剂量参考控制水平,单位为微希沃特每周( $\mu\text{Sv/周}$ ),其值按如下方式取值:放射治疗机房外控制区的工作人员: $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ;放射治疗机房外非控制区的人员: $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

t——设备周最大累积照射的小时数,单位为小时每周(h/周);

U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子;

T——人员在关注点位置的居留因子,取值方法参见附录A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同,分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$ :

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

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

c) 由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$ ,选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 。

### 6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至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30 cm处,或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处,周围剂量当量率参考控制水平同6.3.1。

6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外,若存在天空反射和侧散射,并对治疗机房墙外关注点位置照射时,该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和,按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

## 6.4 安全装置和警示标志要求

### 6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施,治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置,防护门应有防挤压功能。



### 6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；

b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

### 6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

### 6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

## (6) 本项目辐射剂量管理限值

综合考虑 GB 18871-2002、HJ 1198-2021、GBZ 121-2020 等，本项目管理目标为：

### ① 辐射剂量率控制水平

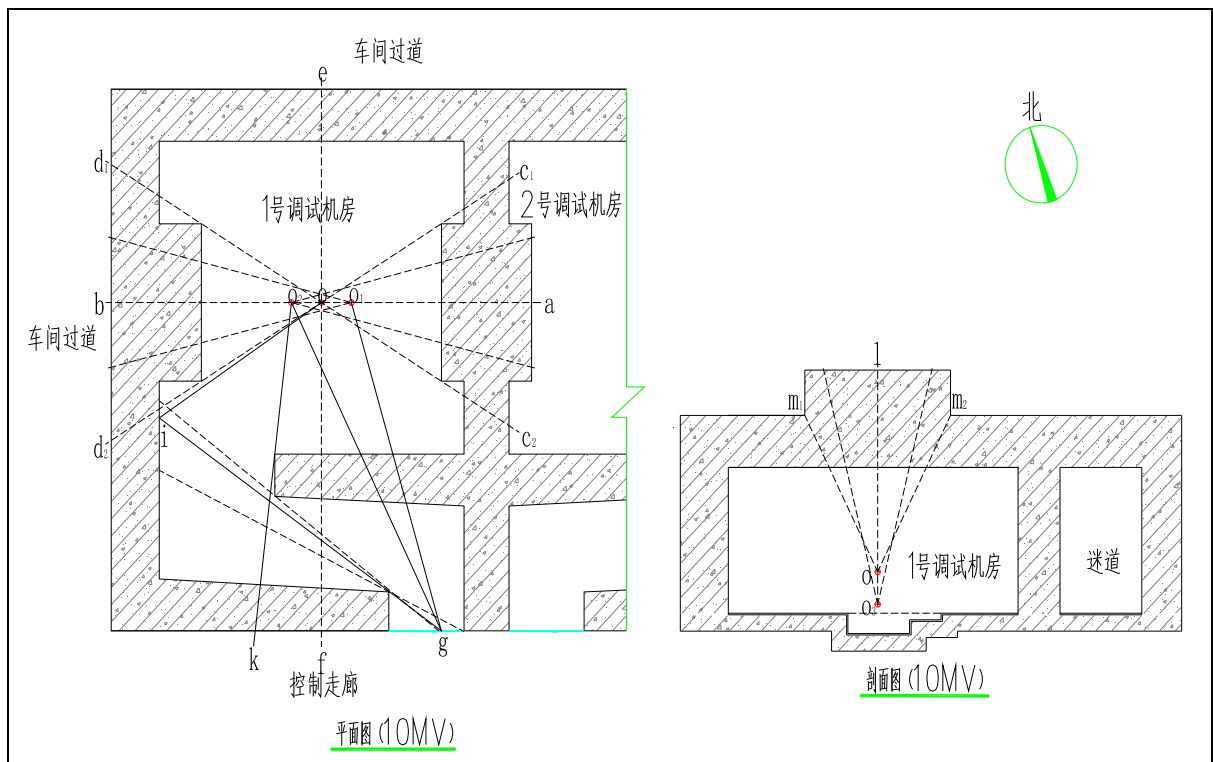


图 7-1 本项目 1 号加速器调试机房关注点位示意图

表 7-4 1 号加速器调试机房关注点剂量率参考控制水平

位置	对应场所	周剂量参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	周工作时间 $t$ (h)	使用因子 $U$	居留因子 $T$	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
东墙主屏蔽 (a 点)	调试机房	5	30	1/4	1/2	1.33	10	<b>1.33</b>
东墙次屏蔽 ( $c_1$ 和 $c_2$ 点)	调试机房	5		1	1/2	0.33	10	<b>0.33</b>
南侧迷道外墙 (k、f 点)	控制走廊	100		1	1	3.33	2.5	<b>2.5</b>
西墙主屏蔽 (b 点)	车间过道	5		1/4	1/4	2.67	10	<b>2.67</b>
西墙次屏蔽 ( $d_1$ 和 $d_2$ 点)	车间过道	5		1	1/4	0.67	10	<b>0.67</b>
北墙侧屏蔽 (e 点)	车间过道	5		1	1/4	0.67	10	<b>0.67</b>
顶部主屏蔽 (l 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
屋顶次屏蔽 ( $m_1$ 和 $m_2$ 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
防护门 (g 点)	控制走廊	100		1	1/8	26.7	10	<b>10</b>

注：①调试机房正上方无建筑，且邻近建筑物不在直线加速器到机房顶内表面边缘所张立体角区域。

②居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录表 A.1。

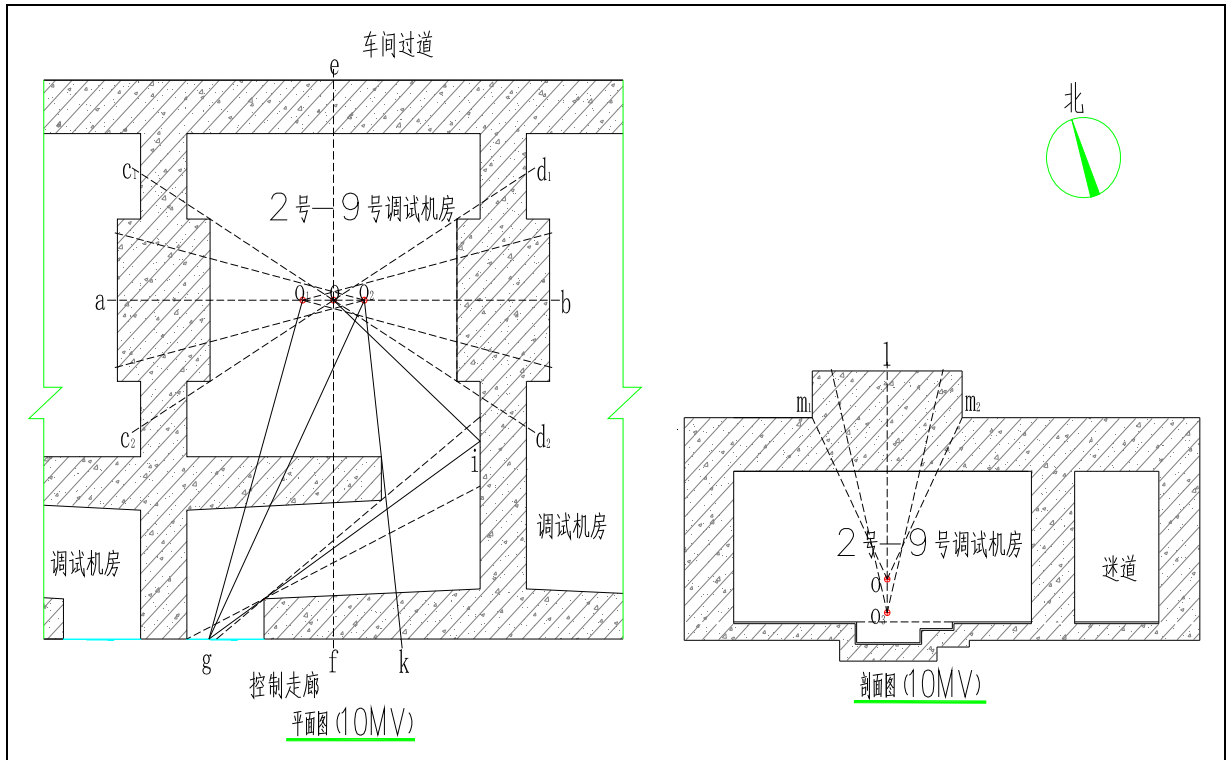


图 7-2 本项目 2 号-9 号加速器调试机房关注点位示意图

表 7-5 2 号~9 号加速器调试机房关注点剂量率参考控制水平

位置	对应场所	周剂量参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	周工作时间 $t$ (h)	使用因子 $U$	居留因子 $T$	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
东墙主屏蔽 (b 点)	调试机房	5	30	1/4	1/2	1.33	10	<b>1.33</b>
东墙次屏蔽 ( $d_1$ 和 $d_2$ 点)	调试机房	5		1	1/2	0.33	10	<b>0.33</b>
南侧迷道外墙 (k、f 点)	控制走廊	100		1	1	3.33	2.5	<b>2.5</b>
西墙主屏蔽 (a 点)	调试机房	5		1/4	1/2	1.33	10	<b>1.33</b>
西墙次屏蔽 ( $c_1$ 和 $c_2$ 点)	调试机房	5		1	1/2	0.33	10	<b>0.33</b>
北墙侧屏蔽 (e 点)	车间过道	5		1	1/4	0.67	10	<b>0.67</b>
顶部主屏蔽 (l 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
屋顶次屏蔽 ( $m_1$ 和 $m_2$ 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
防护门 (g 点)	控制走廊	100		1	1/8	26.7	10	<b>10</b>

注：①调试机房正上方无建筑，且邻近建筑物不在直线加速器到机房顶内表面边缘所张立体角区域。

②居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录表 A.1。

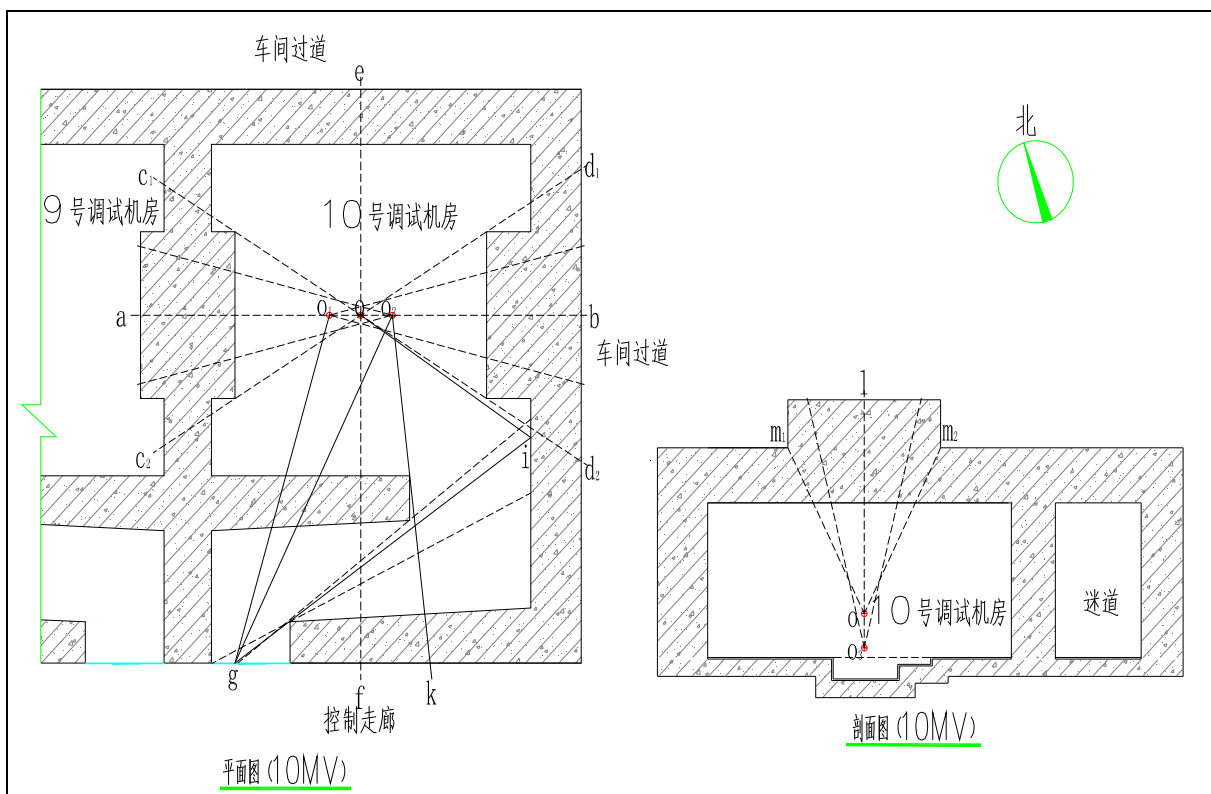


图 7-3 本项目 10 号加速器调试机房关注点位示意图

表 7-6 10 号加速器调试机房关注点剂量率参考控制水平

位置	对应场所	周剂量参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	周工作时间 $t$ (h)	使用因子 $U$	居留因子 $T$	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
东墙主屏蔽 (b 点)	车间过道	5	30	1/4	1/4	2.67	10	<b>2.67</b>
东墙次屏蔽 ( $d_1$ 和 $d_2$ 点)	车间过道	5		1	1/4	0.67	10	<b>0.67</b>
南侧迷道外墙 (k、f 点)	控制走廊	100		1	1	3.33	2.5	<b>2.5</b>
西墙主屏蔽 (a 点)	调试机房	5		1/4	1/2	1.33	10	<b>1.33</b>
西墙次屏蔽 ( $c_1$ 和 $c_2$ 点)	调试机房	5		1	1/2	0.33	10	<b>0.33</b>
北墙侧屏蔽 (e 点)	车间过道	5		1	1/4	0.67	10	<b>0.67</b>
顶部主屏蔽 (l 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
屋顶次屏蔽 ( $m_1$ 和 $m_2$ 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
防护门 (g 点)	控制走廊	100		1	1/8	26.7	10	<b>10</b>

注：①调试机房正上方无建筑，且邻近建筑物不在直线加速器到机房顶内表面边缘所张立体角区域。

②居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录表 A.1。

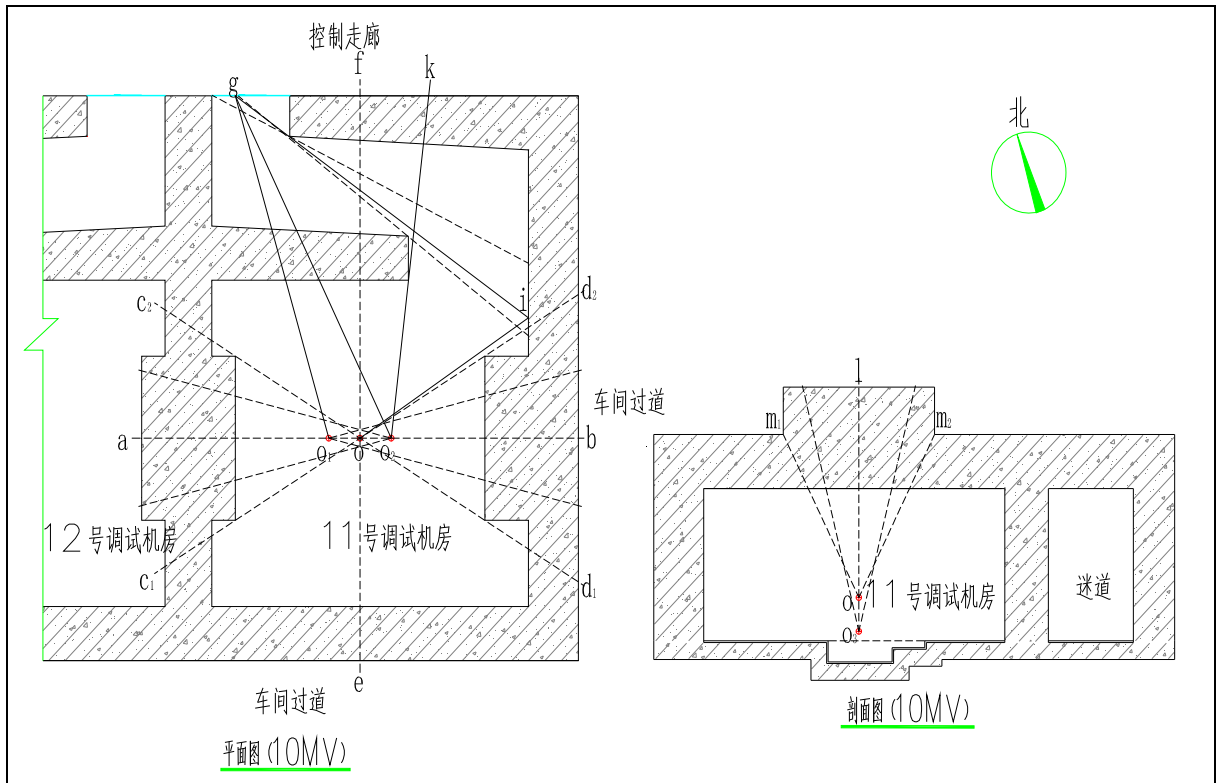


图 7-4 本项目 11 号加速器调试机房关注点位示意图

表 7-7 11 号加速器调试机房关注点剂量率参考控制水平

位置	对应场所	周剂量参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	周工作时间 $t$ ( $\text{h}$ )	使用因子 $U$	居留因子 $T$	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
东墙主屏蔽 (b 点)	车间过道	5	30	1/4	1/4	2.67	10	<b>2.67</b>
东墙次屏蔽 ( $d_1$ 和 $d_2$ 点)	车间过道	5		1	1/4	0.67	10	<b>0.67</b>
南墙侧屏蔽 (e 点)	车间过道	5		1	1/4	0.67	10	<b>0.67</b>
西墙主屏蔽 (a 点)	调试机房	5		1/4	1/2	1.33	10	<b>1.33</b>
西墙次屏蔽 ( $c_1$ 和 $c_2$ 点)	调试机房	5		1	1/2	0.33	10	<b>0.33</b>
北侧迷道外墙 (k、f 点)	控制走廊	100		1	1	3.33	2.5	<b>2.5</b>
顶部主屏蔽 (l 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
屋顶次屏蔽 ( $m_1$ 和 $m_2$ 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
防护门 (g 点)	控制走廊	100		1	1/8	26.7	10	<b>10</b>

注：①调试机房正上方无建筑，且邻近建筑物不在直线加速器到机房顶内表面边缘所张立体角区域。

②居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录表 A.1。

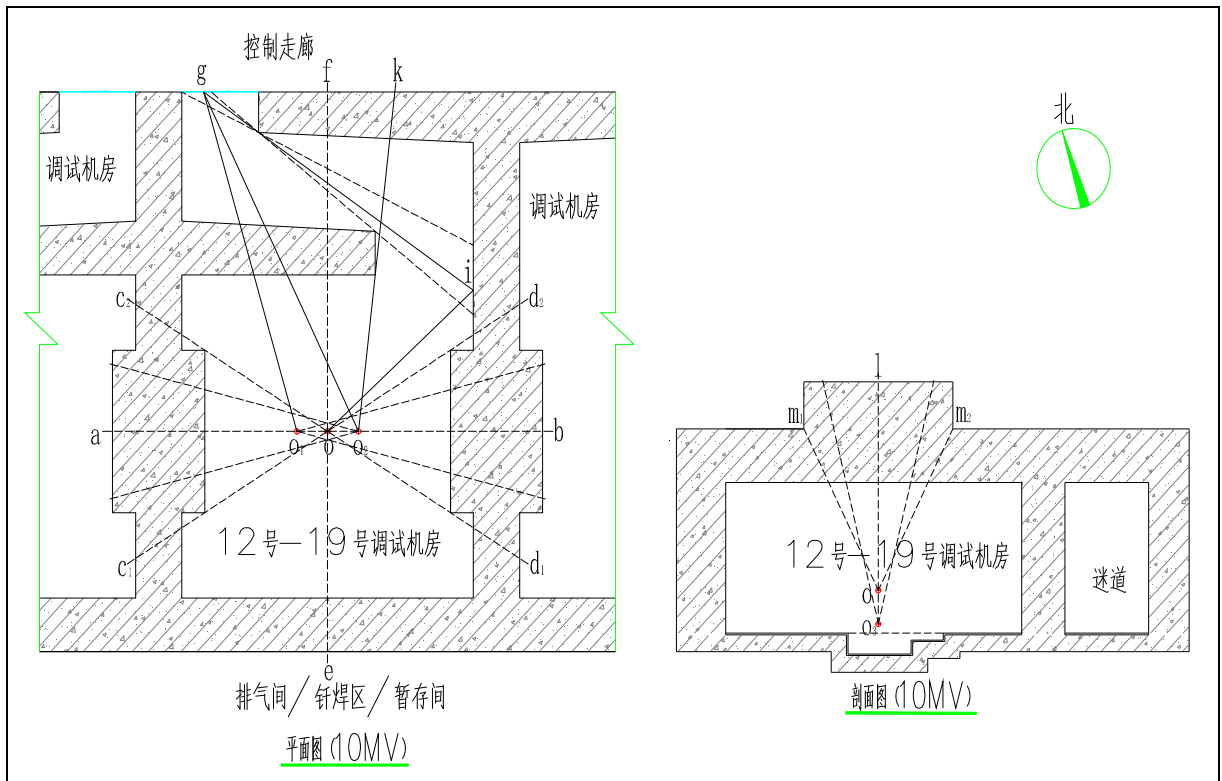


图 7-5 本项目 12 号-19 号加速器调试机房关注点位示意图

表 7-8 12 号~19 号加速器调试机房关注点剂量率参考控制水平

位置	对应场所	周剂量参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	周工作时间 $t$ (h)	使用因子 $U$	居留因子 $T$	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
东墙主屏蔽 (b 点)	调试机房	5	30	1/4	1/2	1.33	10	<b>1.33</b>
东墙次屏蔽 ( $d_1$ 和 $d_2$ 点)	调试机房	5		1	1/2	0.33	10	<b>0.33</b>
南墙侧屏蔽 (e 点)	暂存间、钎焊区、排气间等偶然居留场所	5		1	1/4	0.67	10	<b>0.67</b>
西墙主屏蔽 (a 点)	调试机房	5		1/4	1/2	1.33	10	<b>1.33</b>
西墙次屏蔽 ( $c_1$ 和 $c_2$ 点)	调试机房	5		1	1/2	0.33	10	<b>0.33</b>
北侧迷道外墙 (k、f 点)	控制走廊	100		1	1	3.33	2.5	<b>2.5</b>
顶部主屏蔽 (l 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
屋顶次屏蔽 ( $m_1$ 和 $m_2$ 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
防护门 (g 点)	控制走廊	100		1	1/8	26.7	10	<b>10</b>

注：①调试机房正上方无建筑，且邻近建筑物不在直线加速器到机房顶内表面边缘所张立体角区域。

②居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录表 A.1。

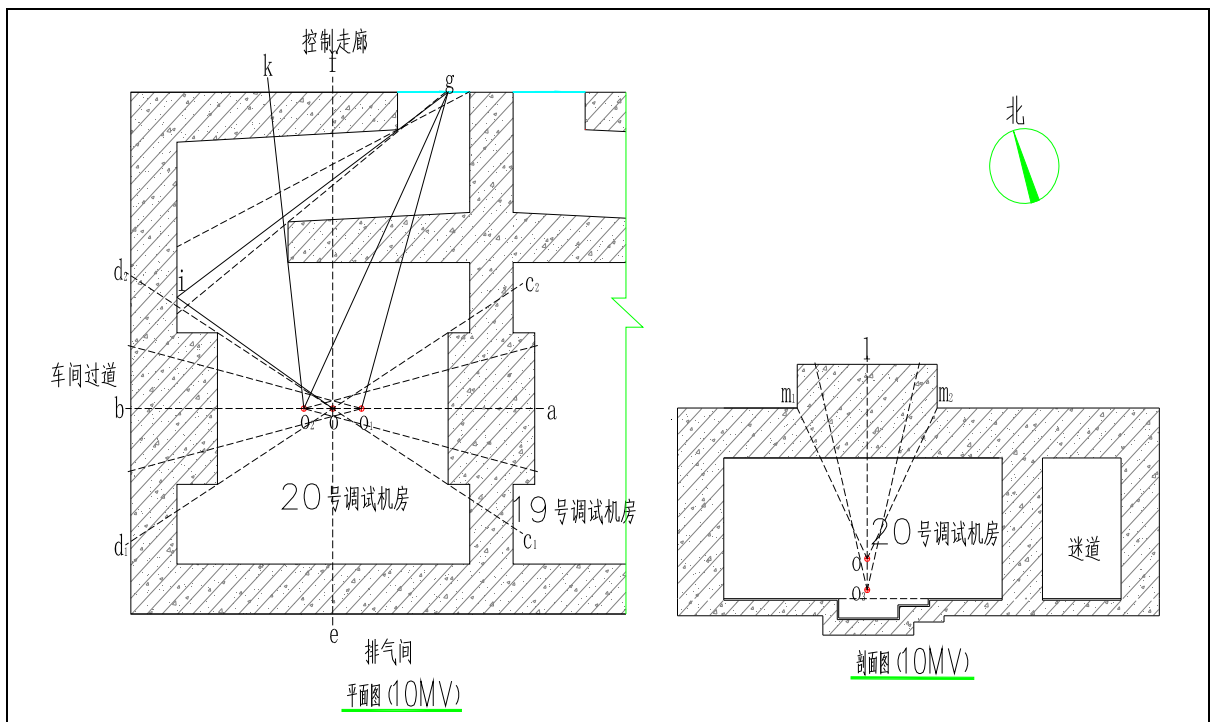


图 7-6 本项目 20 号加速器调试机房关注点位示意图

表 7-9 20 号加速器调试机房关注点剂量率参考控制水平

位置	对应场所	周剂量参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	周工作时间 $t$ ( $\text{h}$ )	使用因子 $U$	居留因子 $T$	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
东墙主屏蔽 (a 点)	调试机房	5	30	1/4	1/2	1.33	10	<b>1.33</b>
东墙次屏蔽 ( $c_1$ 和 $c_2$ 点)	调试机房	5		1	1/2	0.33	10	<b>0.33</b>
南墙侧屏蔽 (e 点)	排气间	5		1	1/4	0.67	10	<b>0.67</b>
西墙主屏蔽 (b 点)	车间过道	5		1/4	1/4	2.67	10	<b>2.67</b>
西墙次屏蔽 ( $d_1$ 和 $d_2$ 点)	车间过道	5		1	1/4	0.67	10	<b>0.67</b>
北侧迷道外墙 (k、f 点)	控制走廊	100		1	1	3.33	2.5	<b>2.5</b>
顶部主屏蔽 (l 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
屋顶次屏蔽 ( $m_1$ 和 $m_2$ 点)	无建筑	/		/	/	/	/	<b>100</b>
防护门 (g 点)	控制走廊	100		1	1/8	26.7	10	<b>10</b>

注：①调试机房正上方无建筑，且邻近建筑物不在直线加速器到机房顶内表面边缘所张立体角区域。

②居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录表 A.1。

### ②年有效剂量控制水平

职业人员年有效剂量不超过 **5mSv**，公众年有效剂量不超过 **0.1mSv**。

### (7) 参考资料

①《辐射防护导论》，方杰主编

②《辐射防护手册》（第一分册），李德平 潘自强 主编

③《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，辐射防护第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月。

江苏省环境天然  $\gamma$  辐射剂量率调查结果 单位： $\text{nGy}/\text{h}$

类别	原野	道路	室内
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差 (s)	7.0	12.3	14.0

注：[1]测量值已扣除宇宙射线响应值。

[2]现状评价时，以“均值 $\pm 3s$ ”作为参考值：原野为 (50.4 $\pm 21.0$ )  $\text{nGy}/\text{h}$ ；道路为 (47.1 $\pm 36.9$ )  $\text{nGy}/\text{h}$ ；室内为 (89.2 $\pm 42.0$ )  $\text{nGy}/\text{h}$ 。

**表 8 环境质量和辐射现状**

**环境质量和辐射现状**

**一、项目地理和场所位置**

联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区位于常州市新北区寒山路以东、云河路以南、梅山路以西、辽河路以北，与一期厂区相隔梅山路，公司地理位置见附图 1。联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区东侧依次为梅山路、公司一期厂区，南侧为辽河路，西侧为寒山路，北侧为云河路，公司二期厂区平面布置及周围环境情况见附图 2。

本项目加速器调试机房拟建场址位于公司二期厂区车间一内，该车间一东部为单层建筑；西部为两层建筑，一层与二层之间还设有夹层。车间一东侧依次为厂区道路和辅房等、厂区围墙，南侧依次为厂区道路、厂区围墙，西侧依次为预留空地、厂区围墙，北侧依次为厂区道路、厂区围墙。车间一一层平面布局见附图 3，二层及夹层平面布局见附图 4，车间一剖面图见附图 5。

本项目加速器调试机房拟建场址位于车间一的中部偏南，该区域为单层建筑，1 号~10 号加速器调试机房相邻而建，11 号~20 号加速器调试机房相邻而建。其中 1 号~10 号加速器调试机房拟建场址东侧 50m 依次为车间过道、厂区道路和传达室、梅山路，南侧 50m 依次为控制走廊、RT 部件装配区、11 号~20 号加速器调试机房，西侧 50m 依次为车间过道、MR 筒体打磨间等车间工作场所、预留空地，北侧 50m 依次为车间过道、MR 筒体生产区，顶部和地下无建筑；11 号~20 号加速器调试机房拟建场址东侧 50m 依次为车间过道、厂区道路和辅房，南侧 50m 依次为车间过道、车间 RT 部件包装区、半成品中转存储间、真空钎焊区、排气间以及氢炉钎焊区、清洗间、废水处理间等车间工作场所，西侧 50m 依次为车间过道、装配间等车间工作场所、预留空地，北侧 50m 依次为控制走廊、RT 部件装配区、1 号~10 号加速器调试机房，顶部和地下无建筑。本项目加速器调试机房拟建场址在车间一的具体位置见附图 3。

本项目加速器调试机房所在的车间一正处在建设阶段，本项目加速器调试机房拟建场址见图 8-1，车间一建设情况见图 8-2 和图 8-3。





图 8-1 本项目加速器调试机房拟建场址



图 8-2 车间一南部建设情况



图 8-3 车间一北部建设情况

## 二、环境现状检测

本项目运行期间主要的环境污染物为直线加速器开机调试时产生的 X 射线以及 18MV 直线加速器开机调试时产生的中子等电离辐射污染。项目在进行现状调查时，主要调查本项目加速器调试机房拟建场址及周围环境的辐射水平。

### 1、检测因子、检测方法

(1) 检测因子：X- $\gamma$  辐射剂量率、中子剂量当量率

(2) 检测方法：按照《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)、《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)、《辐射防护仪器 中子周围剂量当量(率)仪》(GB/T 14318-2019) 中的要求进行，X- $\gamma$  辐射剂量率以约 10s 间隔每组读 10 个数据，中子剂量当量率以约 10s 间隔每组读 5 个数据，取算术平均值计算结果。

### 2、检测点位布设

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)、《辐射防护仪器 中子周围剂量当量(率)仪》(GB/T 14318-2019) 有关布点原则进行布点，在加速器调试机房拟建场址及周围环境进行布点，具体点位见图 8-4。

### 3、检测单位、检测时间和检测仪器

(1) 检测单位：江苏核众环境监测技术有限公司（CMA 证书编号：171012050259）

(2) 检测报告编号：（2022）苏核环监（综）字第（0567）号

(3) 检测时间：2022 年 7 月 5 日

(4) 检测天气：晴

(5) 检测仪器：

#### ①FH40G+FHZ672E-10 型辐射巡测仪

仪器编号：030360+11395

能量响应范围：40keV~4.4MeV

量程范围：1nSv/h~100μSv/h

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2022-0026598

检定有效期：2022.4.8~2023.4.7

#### ②FH40G-X+FHT762 型中子剂量当量率仪

仪器编号：43268+11038

能量响应范围：0.025eV~5GeV

量程范围：1nSv/h~100mSv/h

检定单位：国防科技工业电离辐射一级计量站

检测证书编号：GFJGJL1005220001355

检定有效期：2022.4.15~2023.4.14

### 4、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 4；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

### 5、检测结果及评价

本项目加速器调试机房拟建场址及周围环境的 X-γ 辐射剂量率检测结果见表 8-1，中子剂量当量率检测结果见表 8-2，检测点位见图 8-4，详细检测结果见附件 4。

表 8-1 本项目加速器调试机房拟建场址及周围环境的 X-γ 辐射剂量率检测结果

序号	检测点位描述	检测结果 nSv/h	备注
1	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址东部	62.4	本底检测
2	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址西部	62.3	
3	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址东侧	64.8	
4	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址南侧	62.7	
5	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址西侧	64.9	
6	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址北侧	60.6	
7	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址东部	67.0	
8	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址西部	60.0	
9	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址东侧	67.2	
10	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址南侧	64.0	
11	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址西侧	66.0	
12	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址北侧	68.3	

注：上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值。

表 8-2 本项目加速器调试机房拟建场址及周围环境中子剂量当量率检测结果

序号	检测点位描述	检测结果 nSv/h	备注
1	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址东部	<LLD	本底检测
2	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址西部	<LLD	
3	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址东侧	<LLD	
4	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址南侧	<LLD	
5	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址西侧	<LLD	
6	1 号~10 号加速器调试机房拟建场址北侧	<LLD	
7	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址东部	<LLD	
8	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址西部	<LLD	
9	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址东侧	<LLD	
10	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址南侧	<LLD	
11	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址西侧	<LLD	
12	11 号~20 号加速器调试机房拟建场址北侧	<LLD	

注：检测下限 LLD 为 1nSv/h。

根据表 8-1 可知，本项目加速器调试机房拟建场址及周围环境的 X- $\gamma$  辐射剂量率为 (60.0~68.3) nSv/h，即 (50.0~56.9) nGy/h (本项目检测仪器使用  $^{137}\text{Cs}$  作为检定参考辐射源，根据《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)，Sv/Gy 换算系数取 1.20)，对照江苏省环境天然  $\gamma$  辐射剂量率调查结果，本项目加速器调试机房拟建场址及周围环境均处于江苏省环境天然  $\gamma$  辐射剂量率统计涨落范围内。根据表 8-2 可知，本项目加速器调试机房拟建场址及周围环境的中子剂量当量率未检出。

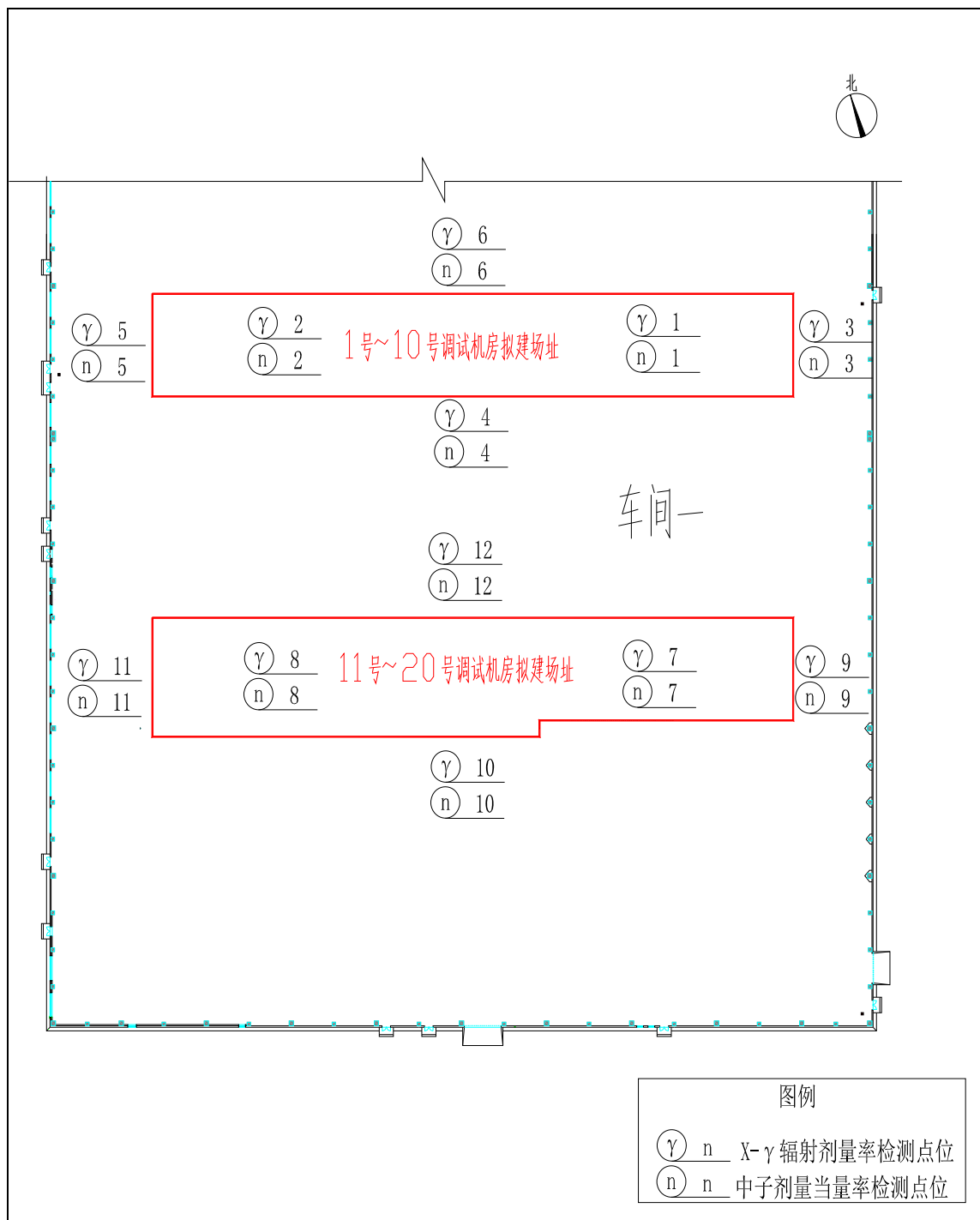


图 8-4 本项目加速器调试机房拟建场址及周围辐射环境本底检测点位图

表 9 项目工程分析与源项

## 工程设备和工艺分析

### 一、设备组成及工作方式

#### (1) 直线加速器

医用电子直线加速器是指利用微波电磁场加速电子并且具有直线运动轨道的加速装置，它能产生高能 X 射线和电子线，具有剂量率高，照射时间短，照射野大，剂量均匀性和稳定性好，以及半影区小等特点。常见医用电子直线加速器主要由机架组件、照射头、加速管、微波功率源、微波传输系统、电子枪、束流系统、真空系统、恒温水冷却系统、电源及控制系统、治疗床等组成。

#### ①加速管

加速管是医用电子直线加速器的核心部分，电子在加速管内通过微波电场加速。加速管主要有两种基本结构——盘荷波导加速管和边耦合加速管。

#### ②微波系统

微波功率源有两种，磁控管和速调管，行波医用电子直线加速器和低能医用电子直线加速器使用磁控管作为微波功率源，中高能驻波医用电子直线加速器使用速调管作为功率源。

#### ③微波传输系统

微波传输系统主要包括隔离器、波导窗、波导、取样波导、输入输出耦合器、三端或四端环流器、终端吸收负载、频率自动稳频等组成。

#### ④电子枪

电子枪为医用电子直线加速器提供被加速的电子，行波医用电子直线加速器的电子枪的阴极采用钨或钍钨制成，有直热式，间接式和轰击式三种加热方式，驻波医用电子直线加速器的电子枪由氧化物制成。

#### ⑤束流系统

束流系统有偏转线圈、聚焦线圈等组成，可控制束流的方向，提高束流的品质。

#### ⑥真空系统

真空系统为被加速的电子不因与空气中的分子相碰而损失掉提供保证，一般使用离子泵保持医用电子直线加速器的运行真空。

#### ⑦恒温水冷却系统

恒温水冷却系统带走微波源等发热部件产生的热量，为保证整个系统恒温，恒温水冷却系统需要一定的水流压力和流量。

⑧机架组件、照射头、电源及控制系统、治疗床属于应用部分。

联影（常州）医疗科技有限公司拟生产、销售的直线加速器外观见图 9-1，典型医用直线加速器示意图及内部结构图见图 9-2 和图 9-3。

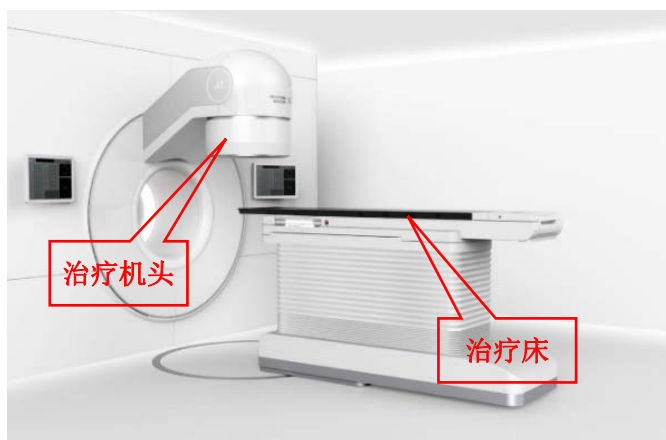


图 9-1 公司拟生产、销售的医用直线加速器外观图

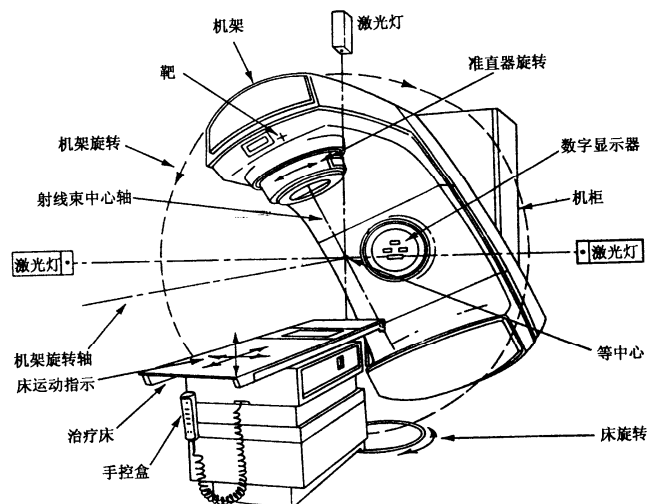


图 9-2 典型医用直线加速器结构示意图

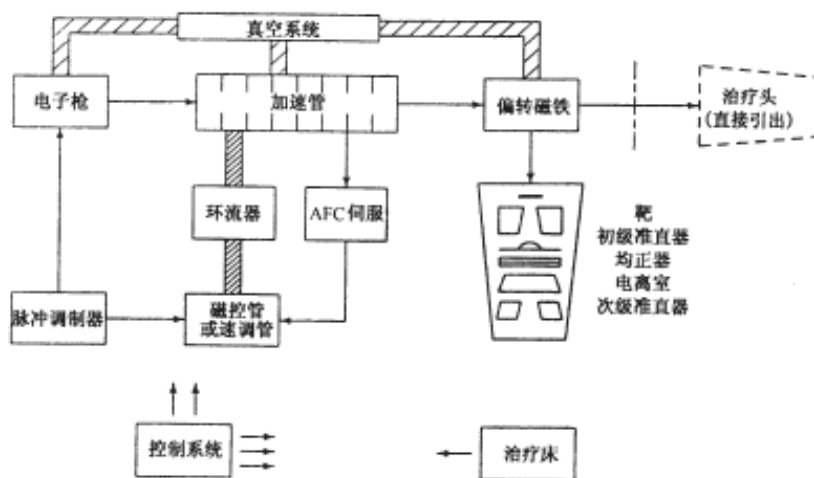


图 9-3 典型医用直线加速器结构图

联影（常州）医疗科技有限公司拟生产、销售的磁共振直线加速器由直线加速器（能

量级别为 7MV) 与磁共振扫描仪 (磁场强度为 1.5T) 整合而成。磁共振 (以下简称 MR) 影像引导的放射治疗技术是目前放疗领域新的发展方向及热点, 和 X 射线影像引导技术相比, MR 成像具有无放射性、软组织对比度分辨率高等优势, 并可通过功能成像评估放疗效果。该产品将超导 MR 成像系统和直线加速器系统集成为一体, 治疗时可根据肿瘤的解剖结构调整剂量分布, 最大可能地保护正常组织; 同时可实时采集 MR 图像监测肿瘤位置, 且患者不会受到额外剂量。与传统直线加速器系统不同, 该磁共振直线加速器只产生一种 7MV 的高能 X 射线, 加速管安装在滑环机架上, 围绕等中心旋转, 由于该特殊设计, 其源轴距相比传统加速器系统较长。

联影 (常州) 医疗科技有限公司拟生产、销售的磁共振直线加速器外观见图 9-4, 内部结构见图 9-5。



图 9-4 公司拟生产、销售的磁共振直线加速器外观图

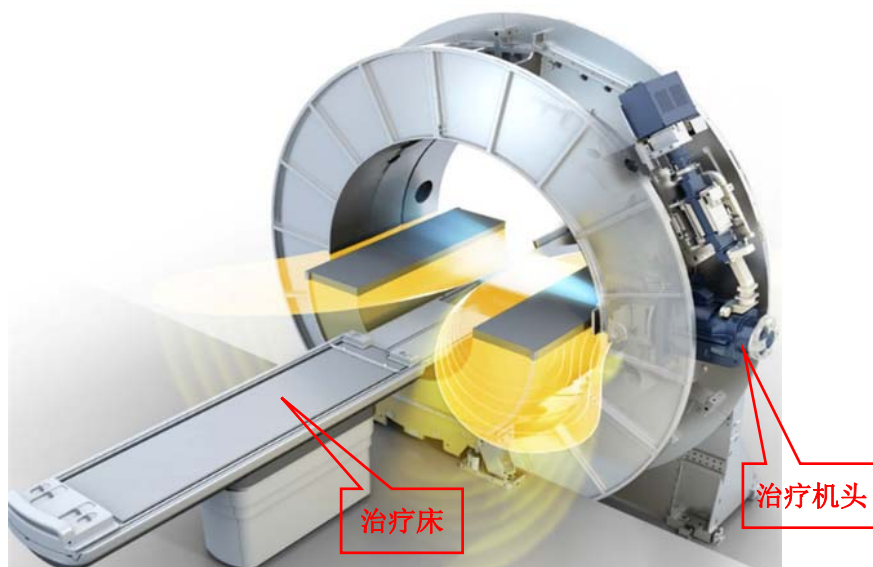


图 9-5 公司拟生产、销售的磁共振直线加速器内部结构图

本项目年共生产、销售 400 台直线加速器, 其中 6MV 直线加速器年生产、销售 100 台, 10MV 直线加速器年生产、销售 200 台, 18MV 直线加速器年生产、销售 90 台, 磁共振直线加速器年生产、销售 10 台。公司拟生产、销售的直线加速器型号未定, 其技术

参数见表 9-1，年生产、销售情况见表 9-2。

表 9-1 公司拟生产、销售的医用直线加速器技术参数一览表

参数名称	参数值			
最大能量	X 线：6MV； 电子线：28MeV	X 线：10MV； 电子线：28MeV	X 线：18MV； 电子线：28MeV	X 线：7MV； 电子线：28MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）			12° （等中心点每侧 6°）
源轴距 SAD	100cm			143.5cm
等中心点处最高剂量率	1800 cGy/min ( $1.08 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ) (6MV)	2400 cGy/min ( $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ) (10MV)	600 cGy/min ( $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ) (18MV)	600 cGy/min ( $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ) (7MV)
泄漏 X 射线	不超过等中心处吸收剂量的 0.1%			
最大照射野尺寸	40×40 (cm×cm)			准直器 0° 时： 30×57.4 (cm×cm) 准直器其他角度时： 30×30 (cm×cm)
机架旋转	360°			
靶材料	钨靶			
等中心点离地高度	128cm			100cm (地坑 100cm)

表 9-2 本项目直线加速器年生产、销售基本情况一览表

序号	射线装置名称	单台在调试机房总调试时间	单台在调试机房开机出束调试最大时间	单台在客户单位开机出束调试时间	产能
1	6MV 直线加速器	1~2 周	50 小时	10min	年生产、销售约 100 台
2	10MV 直线加速器	1~2 周	50 小时	10min	年生产、销售约 200 台
3	18MV 直线加速器	1~2 周	50 小时	10min	年生产、销售约 90 台
4	7MV 磁共振直线加速器	2~3 个月	50 小时	10min	年生产、销售约 10 台

## (2) 加速器调试机房及调试用设备

本项目共 20 间加速器调试机房，其中 1 号~10 号加速器调试机房相邻而建，11 号~20 号加速器调试机房相邻而建，每间调试机房设有单独的控制台。本项目加速器调试机房未设置水冷机房，工艺设备冷却水管道和空调冷却水管道通过迷道处理地 U 型管道连接至调试机房顶部的总管，空调冷凝水管道通过侧屏蔽墙位于吊顶上方的 S 型穿墙管道连接至调试机房外，除湿机冷凝水管道通过埋地管道连接至调试机房外。本项目工艺设备冷却水管道、空调冷却水管道、空调冷凝水管道、除湿机冷凝水管道平面布设见图 9-6，



剖面图见图 9-7，以 1 号加速器调试机房为例。

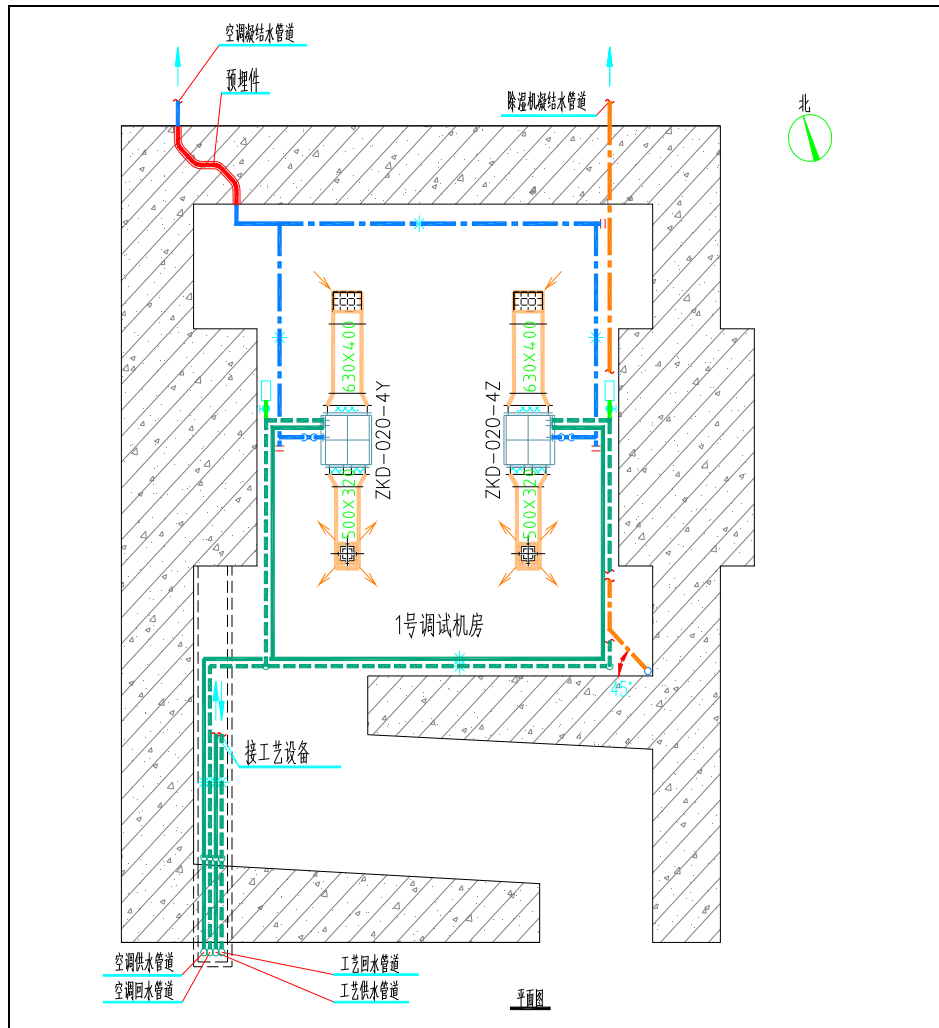


图9-6 本项目加速器调试机房冷却水、冷凝水管道平面布设示意图

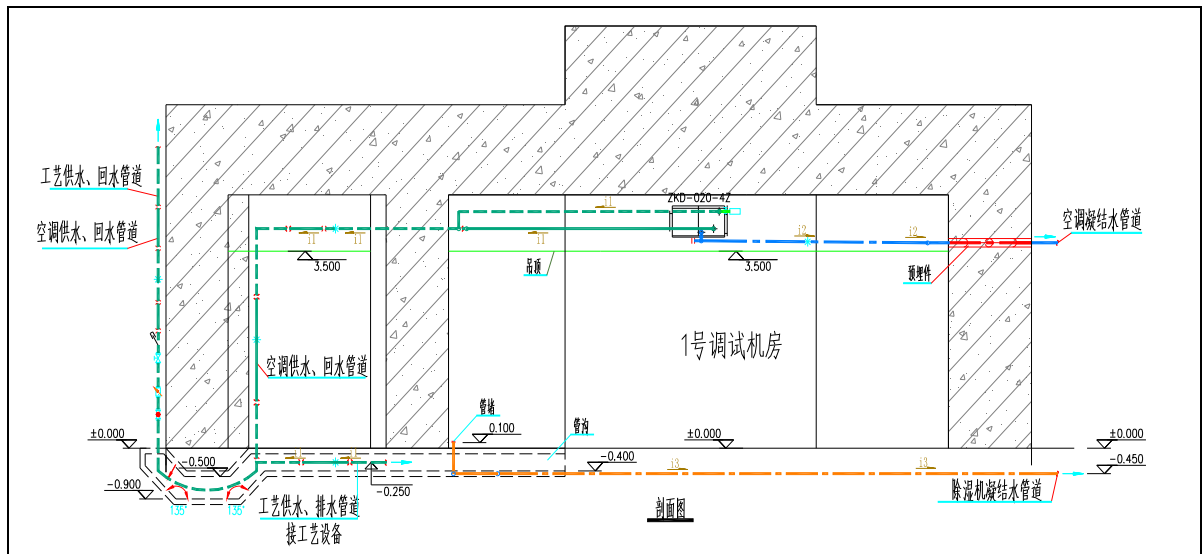


图9-7 本项目加速器调试机房冷却水、冷凝水管道剖面布设示意图

本项目直线加速器在调试机房进行调试时，使用的调试设备主要有模体、固体水、水箱、工装工具等。

### (3) 工作方式及工作时间

本项目辐射工作人员只负责设备产品在调试机房的安装、调试以及在客户单位的安装、调试，设备产品的研发和售后维修维护由上海联影医疗科技股份有限公司负责。

本项目直线加速器调试工作场所拟配套相应的调试机房和控制走廊，控制走廊与调试机房分开设置，辐射工作人员在控制走廊内通过控制系统对直线加速器进行出束调试，其采取的是隔室操作的工作方式。在客户单位进行出束调试时，辐射工作人员位于控制内，采取的也是隔室操作的工作方式。

本项目每间加速器调试机房配备 1 组调试人员（2 名工作人员），每间加速器调试机房及每组调试人员每年最多安装、调试 30 台加速器，加速器能量不超过 18MV，在调试机房调试年出束时间不超过 1500h，在客户单位调试年出束时间不超过 5h。

## 二、工作原理、工艺流程及产污环节

### 1、工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。在手术前先作一段放疗使肿瘤体积缩小些，便可使原来不能手术的患者争取到手术的机会。对晚期癌症则可通过姑息性放疗达到缓解压迫、止痛等效果。放疗可分为根治性放疗和姑息性放疗二种。前者剂量较大，照射较彻底，适用于较早期及部分晚期患者，以消灭原发灶、手术后可能的残余灶以及某些转移灶。后者适用于晚期患者，多属权宜之计。根据耐受情况给予剂量，以达改善症状，减轻痛苦、延长生命之效。个别也可达到根治的效果。

直线加速器是实现放疗的最常见设备之一。直线加速器是使电子在高真空场中受磁场力控制、电场力加速而获得高能量的特种电磁、高真空装置，是人工产生各种高能电子束或 X 射线的设备。本项目拟生产、销售的直线加速器最大能量为 18MV，具有电子束和 X 线两种治疗模式，当医用直线加速器加上高压后，即产生多种类型的辐射，可大致分为瞬时辐射和剩余辐射。

瞬时辐射是指被加速的电子束以及其与靶材料相互作用产生的高能 X 射线，此外，当电子束打靶能量  $> 10\text{MeV}$  时，其韧致辐射产生的高能 X 射线能量还将与直线加速器的高 Z 重金属靶材产生  $(\gamma, n)$  反应，产生中子。直线加速器产生的高能电子束、高能 X 射线和中子，可能会对工作人员和公众产生辐射危害。

剩余辐射是指由于中子活化使加速器及周围环境产生短寿命的感生放射性核素，包括固态感生放射性和气态感生放射性。电子直线加速器中产生的感生放射性从物理机制

上可分为直接和间接两个过程。直接过程为韧致辐射光子与加速器部件发生的光核反应；间接过程则主要为光核反应所释放的光中子与加速器部件发生的中子俘获反应，即中子活化。由中子活化产生的放射性核素大多为丰中子核素，其衰变方式多为  $\beta^-$  衰变。一般停机数小时后，感生放射性即可达到可忽略的水平。

由上述可知，本项目直线加速器的生产需在有足够屏蔽防护的调试机房内进行调试，禁止在调试机房外进行调试。

## 2、工艺流程及产污环节分析

本项目直线加速器的生产、销售工艺流程及产污环节同公司现有直线加速器的生产、销售工艺流程及产污环节，具体如下：

### (1) 生产阶段工艺流程及产污环节分析

①直线加速器零部件在车间一内的生产区生产，并在车间一内的 RT 部件装配区组装好后，运至相应调试机房；

②根据等中心点位置，将直线加速器安装在机房固定位置；

③对调试机房的工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮等辐射安全装置和措施进行调试，确保各项辐射安全装置和措施能够正常运行；

④清场、确认无人员滞留后关闭防护门，开机采集相关数据，并根据数据结果对直线加速器进行机械调试、束流调试、影像调试、剂量调试、工作流调试等，开机出束调试期间会产生电子线、X 射线，开机能量大于 10MV 的直线加速器还会产生中子和感生放射性；

⑤当天调试工作结束后，未调试完的直线加速器放置在调试机房内，设备断电并关闭调试机房的防护门，控制台钥匙和调试机房钥匙由专人保管；

⑥直线加速器调试结束，关机，切断电源，拆机入库。

本项目直线加速器生产阶段工艺流程及产污环节见图 9-8。

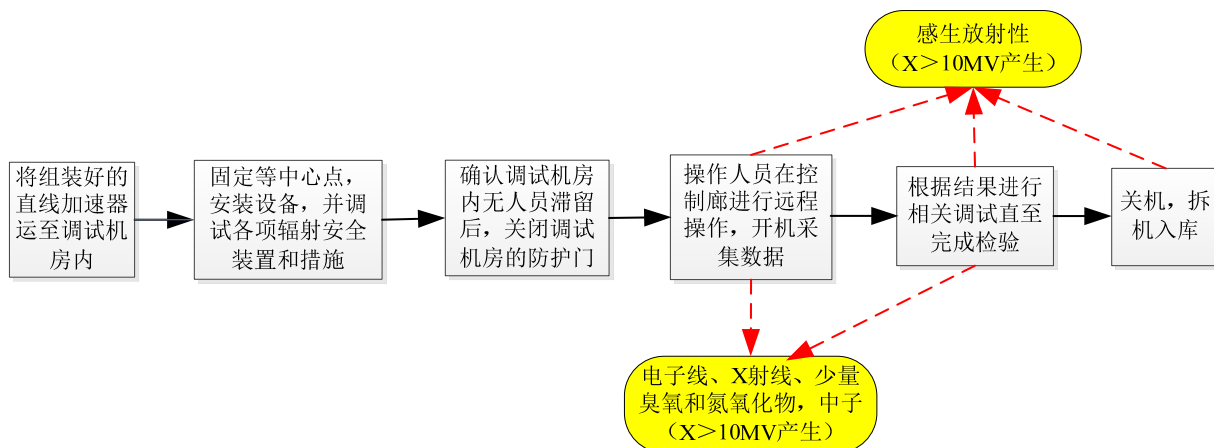


图 9-8 本项目直线加速器生产阶段工艺流程及产污环节

## (2) 销售阶段工艺流程及产污环节分析

①客户提出购买本项目直线加速器意向，本项目辐射工作人员与客户一起进行技术指标确认并进行商务谈判，确认技术附件及价格等商务条款，确认后签订购买协议；

②公司生产、备货，直线加速器在生产调试期间会产生电子线、X射线，开机能量大于10MV的直线加速器还会产生中子和感生放射性；

③客户具备装机条件后，公司委托运输机构将直线加速器运抵客户单位指定场地，客户单位进行书面签收；

④本项目辐射工作人员进入客户单位直线加速器机房，进行直线加速器的安装；

⑤安装完毕待满足开机调试条件后，本项目辐射工作人员佩戴个人剂量计并携带个人剂量报警仪等辐射监测仪器，对机房开机调试条件进行确认，经确认机房屏蔽和相关辐射安全措施满足环境影响评价文件和批复文件要求后，辐射工作人员通过加速器操作系统，进行加速器的相关调试，调试内容主要包括：通电调试、束流调试等，开机出束调试期间会产生电子线、X射线，开机能量大于10MV的直线加速器还会产生中子和感生放射性；

⑥调试完成，直线加速器可正常运行后，经客户验收合格后交付给客户；

⑦对客户单位直线加速器辐射工作人员进行技术培训。

本项目直线加速器销售阶段工艺流程及产污环节见图 9-9。

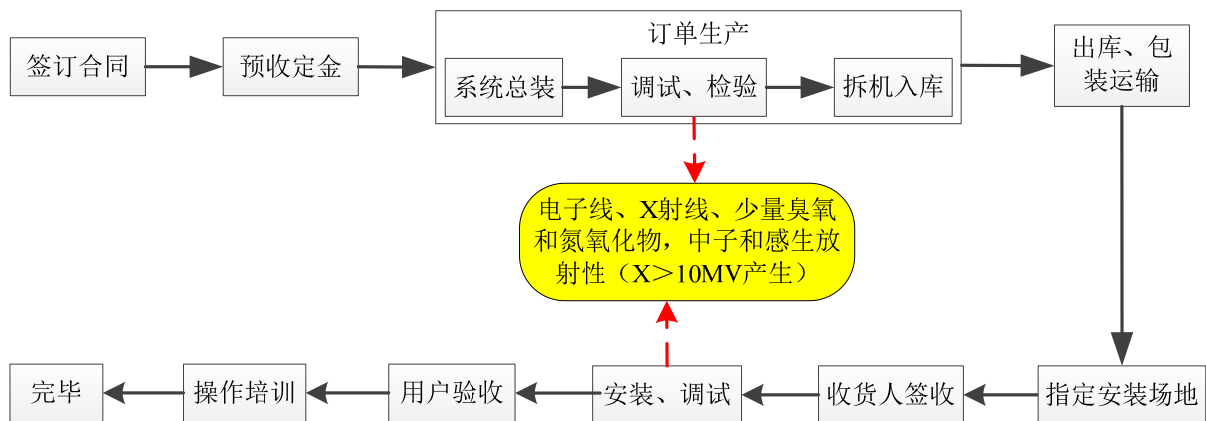


图 9-9 本项目直线加速器销售阶段工艺流程及产污环节

### 污染源项描述

#### (1) X 射线外照射

加速器以 X 射线模式调试时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。

根据建设单位提供的资料，本项目 6MV 直线加速器等中心处吸收剂量率最大为 1080Gy/h，10MV 直线加速器等中心处吸收剂量率最大为 1440Gy/h，7MV 和 18MV 直线

加速器等中心处吸收剂量率最大为 360Gy/h。由于 X 射线的贯穿能力极强，未完全屏蔽的情况下会对工作人员、公众及周围环境造成辐射影响。

#### (2) 电子束

当加速器按电子束模式调试时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

加速器在调试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。因此，在加速器电子束调试时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线调试。

#### (3) 中子

当直线加速器的 X 射线能量高于 10MV 时，高能光子会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器和准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生 ( $\gamma$ 、n) 光核反应，产生中子辐射。

由治疗机头中产生的中子分为 2 部分：一部分是混在 X 射线野内的原射快中子和经治疗机头衰减漏射出来的漏射中子组成的直射中子，另一部分是由调试机房墙壁、天花板、地板多次散射后的散射中子，散射中子其能量较低。上述中子是调试工作中不需要的，所以又统称为污染中子。

中子的辐射生物效应远高于 X、 $\gamma$  射线，按中子能量高低其辐射权重因子( $W_R$ )为 5~20，因此在高能直线加速器的防护设计中需要考虑中子的防护。一般情况下，调试机房混凝土墙体、天花板的屏蔽厚度满足了对 X 射线的防护要求时也能够满足了对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护，散射中子的影响主要考虑防护门的影响。

#### (4) 感生放射性

当入射电子加速电压高于 10MeV，它发射的强电离辐射照射在加速器设备的结构材料，调试机房内的各种设备、器械以及墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。感生放射性主要包括加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。感生放射性的剂量水平与加速器加速电子的能量、束流、靶体物质、照射时间等因素有关。它不与加速器辐射的发射同步。

加速器调试机房内空气活化产生的放射性核素，主要是  $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$  和  $^{41}\text{Ar}$ ，大部分半衰期都较短，长半衰期的放射性核素产生率很低，这些放射性气体在空气中存在较短的时间。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是  $^{15}\text{O}$  和  $^{13}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 10min，其活度就可衰减到可忽略的水平。所以正常运行时被活化的水对人体的危害可忽略不计，但在停机后立即检修水系统时，活化的放射性核素可能对人体造成危害。

(5) 有害气体

在加速器开机调试时，X射线与空气发生相互作用产生微量的臭氧和氮氧化物。

(6) 其他

本项目直线加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水。本项目运行期间产生的废水和固体废物主要是直线加速器零部件生产过程中产生的酸洗冲洗废水、其他生产废水和各类固体废物，以及辐射工作人员工作中产生的生活污水和办公垃圾。

**表 10 辐射安全与防护**

**项目安全设施**

**一、工作场所布局与分区**

(1) 工作场所布局

本项目直线加速器调试工作场所设有调试机房和控制走廊，调试机房与控制走廊分开设置，调试机房采用“L”型迷道设计，有用线束不向迷道照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射，有用线束照射方向无全居留场所，本项目直线加速器调试工作场所的布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中相关要求及《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)中治疗装置控制室应与治疗机房分离的规定以及《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中治疗设备控制室应与治疗机房分开设置并设置迷路等规定，布局合理。

(2) 工作场所分区

公司拟将本项目加速器调试机房作为控制区，在机房入口处设置电离辐射警告标志，出束调试期间禁止任何人员进入；在控制走廊边界设置警戒线并在地面上粘贴警示线，将控制走廊划为监督区，出束调试期间禁止无关人员进入。本项目工作场所控制区和监督区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)有关辐射工作场所的分区规定。本项目直线加速器调试工作场所控制区和监督区的划分见附图 8。

公司在客户单位进行安装、调试时，将客户单位的加速器机房作为控制区，出束调试期间禁止任何人员进入；将加速器控制室及相关辅助房间作为监督区，出束调试期间禁止无关人员进入，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)有关辐射工作场所的分区规定。

**二、辐射防护设计**

本项目 2 号~9 号加速器调试机房屏蔽防护设计相同，12 号~13 号加速器调试机房屏蔽防护设计相同，16 号~19 号加速器调试机房屏蔽防护设计相同，15 号~20 号调试机房防护门的屏蔽防护设计与其他调试机房的防护门相同，一方面是便于统一订购安装，另一方面是为后期调试高能量的磁共振直线加速器做准备。本项目加速器调试机房屏蔽防护参数见表 10-1，结构图见附图 6 和附图 7。

表 10-1 本项目加速器调试机房屏蔽参数一览表

分类		设计厚度	宽度	
1 号加速器 调试机房	东墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	南墙	迷路内墙	1300mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 6.3m
		迷路外墙	1200mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 7.65m
	西墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	北墙		1600mm 砼	/
	顶部	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	防护门		25mmPb+150mm 硼酸聚乙烯	
2 号~9 号 加速器调试 机房	东墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	南墙	迷路内墙	1300mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 6.3m
		迷路外墙	1200mm~1500mm 砼	斜迷路, 长 7m
	西墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	北墙		1600mm 砼	/
	顶部	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	防护门		25mmPb+150mm 硼酸聚乙烯	
10 号加速 器调试机房	东墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	南墙	迷路内墙	1300mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 6.3m
		迷路外墙	1200mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 7.65m
	西墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	北墙		1600mm 砼	/
	顶部	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	防护门		25mmPb+150mm 硼酸聚乙烯	



11号加速器调试机房	东墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	南墙		1600mm 砼	/
	西墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	北墙	迷路内墙	1300mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 6.3m
		迷路外墙	1200mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 7.65m
	顶部	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	防护门		25mmPb+150mm 硼酸聚乙烯	
12号~13号加速器调试机房	东墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	南墙		1600mm 砼	/
	西墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	北墙	迷路内墙	1300mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 6.3m
		迷路外墙	1200mm~1500mm 砼	斜迷路, 长 7m
	顶部	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	防护门		25mmPb+150mm 硼酸聚乙烯	
14号加速器调试机房	东墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	南墙		1600mm 砼	/
	西墙	主屏蔽	3000mm 砼	5.825m, 等中心点北侧 2.425m、 等中心点北侧 3.4m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	北墙	迷路内墙	1300mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 6.3m
		迷路外墙	1200mm~1500mm 砼	斜迷路, 长 7m
	顶部	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点每侧各 2.425m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	防护门		25mmPb+150mm 硼酸聚乙烯	

15号加速器调试机房	东墙	主屏蔽	3000mm 砼	5.825m, 等中心点北侧 4.2m、 等中心点南侧 1.625m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	南墙		1600mm 砼	/
	西墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点北侧 3.225m、 等中心点南侧 1.625m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	北墙	迷路内墙	1300mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 6m
		迷路外墙	1200mm~1500mm 砼	斜迷路, 长 7m
	顶部	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点北侧 3.225m、 等中心点南侧 1.625m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	防护门		25mmPb+150mm 硼酸聚乙烯	
16号~19号加速器调试机房	东墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点北侧 3.225m、 等中心点南侧 1.625m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	南墙		1600mm 砼	/
	西墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点北侧 3.225m、 等中心点南侧 1.625m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	北墙	迷路内墙	1300mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 6m
		迷路外墙	1200mm~1500mm 砼	斜迷路, 长 7m
	顶部	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点北侧 3.225m、 等中心点南侧 1.625m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	防护门		25mmPb+150mm 硼酸聚乙烯	
20号加速器调试机房	东墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点北侧 3.225m、 等中心点南侧 1.625m
		次屏蔽	1500mm 砼	/
	南墙		1600mm 砼	/
	西墙	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点北侧 3.225m、 等中心点南侧 1.625m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	北墙	迷路内墙	1300mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 6.5m
		迷路外墙	1200mm~1600mm 砼	斜迷路, 长 7.65m
	顶部	主屏蔽	3000mm 砼	4.85m, 等中心点北侧 3.225m、 等中心点南侧 1.625m
		次屏蔽	1600mm 砼	/
	防护门		25mmPb+150mm 硼酸聚乙烯	

注：砼的密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>，铅的密度为 11.34g/cm<sup>3</sup>。

调试机房防护门设计安装时，防护门与屏蔽墙之间的间隙应小于 1cm，防护门与屏蔽墙及地面有重叠搭接，防护门与屏蔽墙的搭接宽度应大于缝隙的 10 倍，防止门缝处的射线泄漏。

### 三、辐射安全和防护措施

为保障直线加速器调试的安全，避免在出束期间人员误留或误入调试机房内而发生误照射事故，公司加速器调试机房根据国家相关标准要求拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

#### (1) 钥匙控制

控制台设置钥匙开关，决定直线加速器产生辐射的主要控制系统用钥匙开关进行控制，只有电源钥匙转至打开位置时，才能出束调试。

#### (2) 电离辐射警告标志和工作状态指示灯

调试机房入口处设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与加速器联锁，工作状态指示灯设有“预备”和“照射”工作状态指示说明，预备时绿灯亮，此时设备处于未出束状态，照射时红灯亮，此时设备处于出束状态。

#### (3) 门-机联锁装置

调试机房防护门设置行程开关，与直线加速器联锁形成门-机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束调试，出束状态下开门立即停止出束，关上门不能自动开始出束。

#### (4) 紧急停机按钮

加速器的治疗床、调试机房内不同方向的墙面合适位置及迷道内、防护门内侧、控制走廊的控制台上均设置急停开关，并在醒目处设置标签，标明使用方法，紧急停机按钮按下后需要手动复位。

#### (5) 监控系统

调试机房内安装视频监控系统，显示器位于控制台，工作人员可时刻观察调试机房内部情况，防止人员误留、误入机房，防止意外情况的发生。

#### (6) 紧急开门按钮

调试机房迷道内人员易接触的位置设置紧急开门按钮，并配有标识；防护门的开启和关闭采用电动和手动两种操作方式，在断电情况下，防护门也可以手动打开。在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸，且防护门设置防夹伤功能。

#### (7) 固定式辐射剂量监测系统

调试机房迷道内口处安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在

控制走廊处，可实时监测调试机房内辐射水平。

### (8) 其他

安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动调试工作。

本项目加速器调试机房辐射安全和防护措施安装示意图见图 10-1，以 1 号加速器调试机房为例。

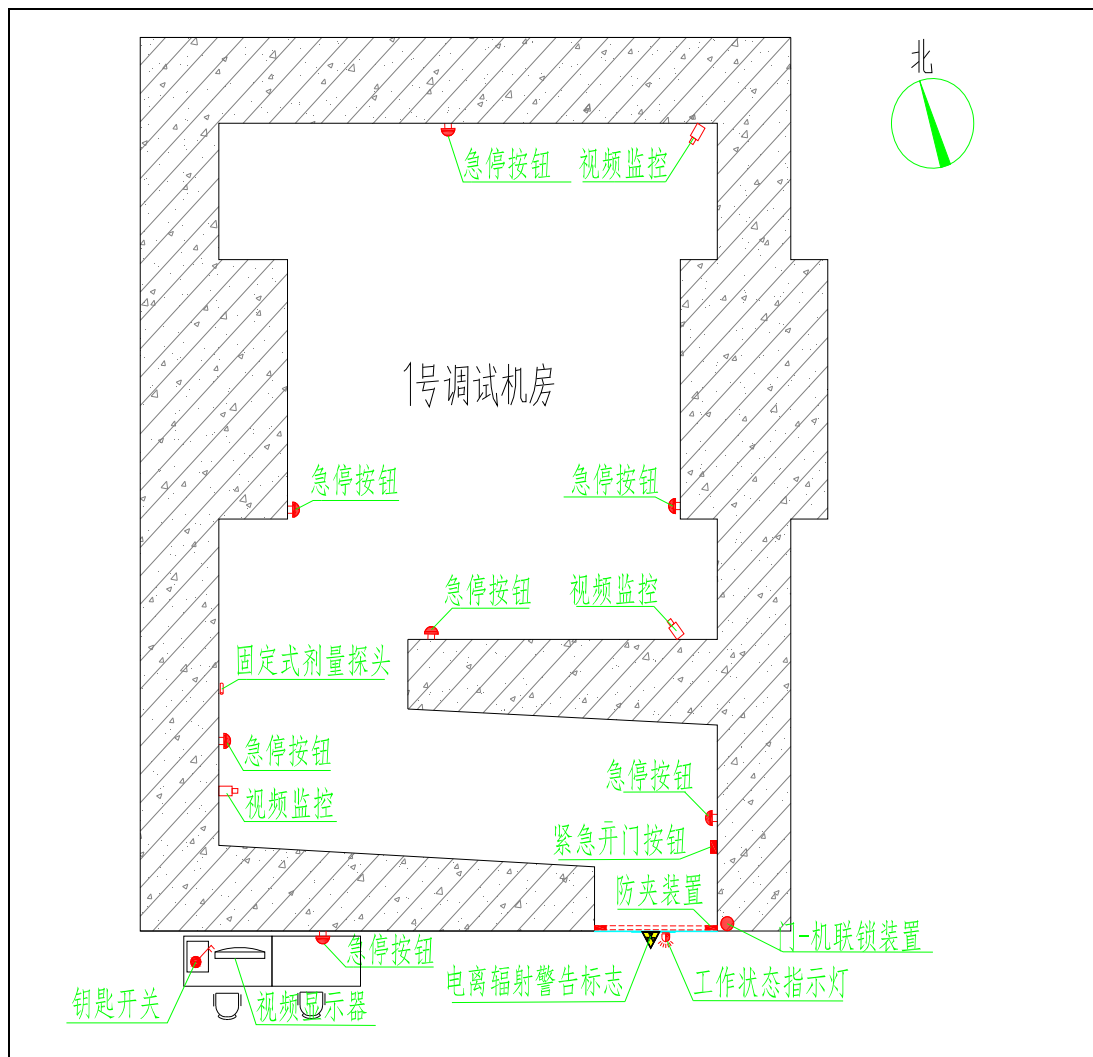


图 10-1 本项目加速器调试机房辐射安全和防护措施示意图

本项目辐射工作人员在客户单位进行调试时，需佩戴个人剂量计并携带个人剂量报警仪，并使个人剂量报警仪保持常开状态。在开展调试工作前，先确保机房的相关辐射安全装置和措施能够正常运行，并对机房进行清场，确保机房内无人员逗留后，方可对直线加速器进行开机调试。

### 四、电缆布置

本项目加速器调试机房电缆线采用电缆沟进行布设，电缆沟宽 30cm、埋地 30cm，并用 3mm 铅板+5mm 钢板覆盖。电缆沟采用埋地“U”型管道穿墙连接至控制台，电缆沟剖面图及穿墙示意图 10-2，电缆沟在加速器调试机房平面布设见附图 6 和附图 7。

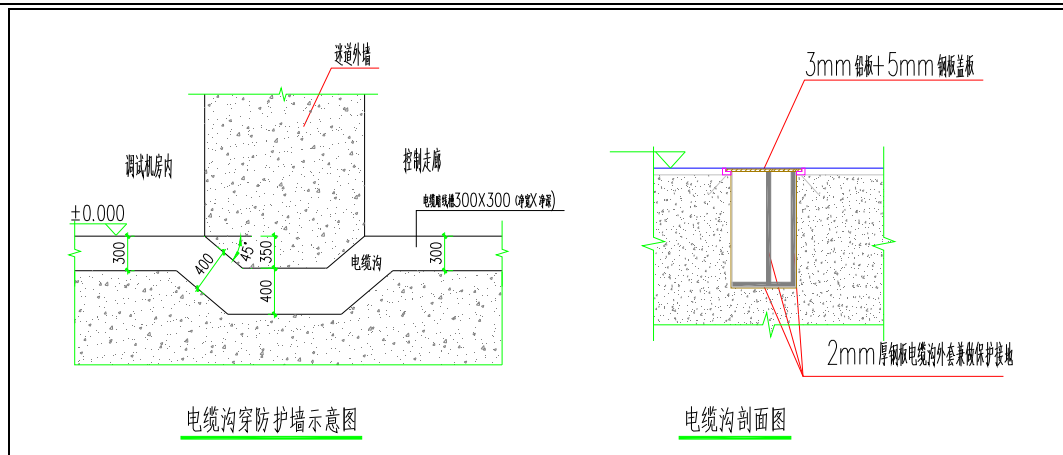


图 10-2 本项目加速器调试机房电缆沟剖面图及穿墙示意图（单位：mm）

### 三废的治理

#### 1、废气处理措施

本项目直线加速器调试过程中 X 射线电离调试机房内空气会产生少量臭氧和氮氧化物，以及调试能量大于 10MV 的直线加速器时，中子活化会使周围环境产生感生放射性气体。

本项目每间加速器调试机房内均设有机械通风系统，通风系统在机房内的布设相同，新风口位于加速器调试机房的吊顶处，室内排风口位于距地面约 30cm 处，室外排风口位于车间一的屋顶；通风系统的新风口一个位于防护门处、一个位于迷道内口处，排风口设置在迷道内口的对角位置，送风口和排风口呈对角线布置，且采用全排全送的通风方式，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。本项目通风系统在加速器调试机房的布设以 1 号、2 号加速器调试机房通风系统的布设为例，平面布设见图 10-3，剖面布设见图 10-4。

本项目各加速器调试机房的容积、通风量、每小时换气次数见表 10-2。

表 10-2 本项目加速器调试机房通风换气次数一览表

工作场所	容积 (m <sup>3</sup> )	通风量 (m <sup>3</sup> /h)	每小时换气次数 (次/h)
1 号、10 号、11 号加速器调试机房	537	2625	4.89
2 号~9 号、12 号~14 号 加速器调试机房	516	2625	5.09
15 号~19 号加速器调试机房容	753	4050	5.38
20 号加速器调试机房	784	4050	5.17

根据表 10-2 可知，本项目各加速器调试机房配备的排风系统可使相应的调试机房每小时通风换气约 5 次，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。





## 2、其他

本项目直线加速器零部件生产过程中产生的酸洗冲洗废水、其他生产废水和各类固体废物依照《联影（常州）医疗科技有限公司大型医疗设备及核心零部件制造项目环境影响报告表》及其批复中的要求进行处置。辐射工作人员工作中产生的生活污水将依托厂区的污水处理系统进行处置，办公垃圾将依托厂区的保洁措施，统一收集后交由环卫部门统一处理。



**表 11 环境影响分析**

**建设阶段对环境的影响**

本项目加速器调试机房由混凝土浇筑而成，在建设阶段对环境的影响及采取的措施如下：

（1）大气：在建设施工期需进行的挖掘地基、打桩等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：**a.**及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；**b.**车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；**c.**施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：整个建筑施工阶段，如打桩机、混凝土搅拌机、卷扬机及载重车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523—2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得生态环境部门同意。

（3）固体废物：项目施工期间产生的固废主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及少部分施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾应回填或堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理。

（4）废水：项目施工期间产生的废水主要包括施工人员日常生活产生的生活污水和含有泥浆的建筑废水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网；含有泥浆的建筑废水经沉淀池初级沉淀处理，上清液用于场地洒水抑尘、场地浇灌。

公司在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在厂区内，对周围环境影响较小，随着施工期的结束，其对环境的影响也消除。

## 运行阶段对环境的影响

### 一、运行阶段辐射环境影响分析

#### (一) 有用线束主屏蔽区宽度核算

使用《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)的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan\theta + 0.3] \quad (\text{式 11-1})$$

式中， $Y_p$ ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

$\theta$ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）；

$a$ ——等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

根据附图6和附图7，将各参数代入公式(11-1)，可得出本项目各加速器调试机房的主屏蔽区理论计算宽度，核算结果见表11-1~11-5。

表 11-1 1号加速器调试机房主屏蔽区宽度设计核算结果

参数	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a (m)	7	5.4	6.22
SAD (m)	1	1	1
$\theta$ (°)	14	14	14
等中心点每侧计算宽度 $Y_p$ (m)	<b>2.3</b>	<b>1.9</b>	<b>2.1</b>
等中心点每侧设计宽度 (m)	<b>2.425</b>	<b>2.425</b>	<b>2.425</b>
评价	满足	满足	满足

表 11-2 2号~9号、12号~14号加速器调试机房主屏蔽区宽度设计核算结果

参数	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a (m)	7	7	6.22
SAD (m)	1	1	1
$\theta$ (°)	14	14	14
等中心点每侧计算宽度 $Y_p$ (m)	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>2.1</b>
等中心点每侧设计宽度 (m)	<b>2.425</b>	<b>2.425</b>	<b>2.425</b>
评价	满足	满足	满足

表 11-3 10 号~11 号加速器调试机房主屏蔽区宽度设计核算结果

参数	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a (m)	5.4	7	6.22
SAD (m)	1	1	1
$\theta$ (°)	14	14	14
等中心点每侧计算宽度 $Y_p$ (m)	<b>1.9</b>	<b>2.3</b>	<b>2.1</b>
等中心点每侧设计宽度 (m)	<b>2.425</b>	<b>2.425</b>	<b>2.425</b>
评价	满足	满足	满足

表 11-4 15 号~19 号加速器调试机房主屏蔽区宽度设计核算结果

参数	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a (m)	7	7	7.5
SAD (m)	1.435	1.435	1.435
$\theta$ (°)	6	6	6
等中心点每侧计算宽度 $Y_p$ (m)	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>1.25</b>
等中心点每侧设计最小 宽度 (m)	<b>1.625</b>	<b>1.625</b>	<b>1.625</b>
评价	满足	满足	满足

表 11-5 20 号加速器调试机房主屏蔽区宽度设计核算结果

参数	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a (m)	7	5.4	7.5
SAD (m)	1.435	1.435	1.435
$\theta$ (°)	6	6	6
等中心点每侧计算宽度 $Y_p$ (m)	<b>1.2</b>	<b>1.02</b>	<b>1.25</b>
等中心点每侧设计最小 宽度 (m)	<b>1.625</b>	<b>1.625</b>	<b>1.625</b>
评价	满足	满足	满足

经计算，本项目加速器调试机房主屏蔽区设计宽度均满足屏蔽防护要求。

## (二) 调试机房屏蔽效果预测

根据附图 6 和附图 7, 1 号~14 号加速器调试机房内净长、宽、高为 8m×9.65m×4.5m, 15 号~20 号加速器调试机房内净长、宽、高为 8m×11.3m×5.5m, 1 号~20 号加速器调试机房的屏蔽设计厚度基本相同, 而 1 号~14 号加速器调试机房负责调试一般直线加速器, 直线加速器的 X 射线能量为 6MV、10MV 和 18MV, 15 号~20 号加速器调试机房负责调



## 1、1号加速器调试机房调试 10MV 直线加速器时屏蔽效果分析

### (1) 主屏蔽墙屏蔽效果预测 (a 点、b 点和 1 点)

射线路径 (射线类型):  $o_2 \rightarrow a$  (主射线),  $o_1 \rightarrow b$  (主射线),  $o_3 \rightarrow 1$  (主射线)。

使用 GBZ/T201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算, 在给定的屏蔽物质厚度  $X$  (cm) 时, 首先按照公式 (11-2) 计算有效厚度  $X_e$  (cm), 然后按照公式 (11-3) 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ , 最后按照公式 (11-4) 计算屏蔽体外关注点的剂量率。

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad (\text{式 11-2})$$

式中:

$X$ —设计屏蔽厚度, cm;

$\theta$ —斜射角。

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

式中:

$TVL_1$  (cm) 和  $TVL$  (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, 当未指明  $TVL_1$  时,  $TVL_1 = TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-4})$$

式中:

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ , 本项目 10MV 加速器为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

$R$ —靶点至参考点的距离, m, 本项目参考点为相应屏蔽体外 30cm;

$f$ —对有用线束为 1。

将各参数代入模式计算, 得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $\dot{H}$  ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ), 辐射剂量率计算参数和计算结果表 11-6。

表 11-6 1 号调试机房主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (10MV)

参数	东墙主屏蔽 (a 点)	西墙主屏蔽 (b 点)	屋顶主屏蔽 (1 点)
$X$ (cm)	300	300	300
$\theta$ ( $^\circ$ )	0	0	0
$X_e$	300	300	300
$TVL$ (cm)	37	37	37
$TVL_1$ (cm)	41	41	41
$B$	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$

R (m)	8.3	8.3	7.52
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44\times 10^9$	$1.44\times 10^9$	$1.44\times 10^9$
f	1	1	1
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	<b>0.209</b>	<b>0.209</b>	<b>0.255</b>
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) (剂量率参考控制水平)	1.33	2.67	100
评价结果	满足	满足	满足

注：① $R_{(东)}=7\text{m}$ （等中心点 o 至东墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+0.3m（参考点距离）=8.3m；  
② $R_{(西)}=7\text{m}$ （等中心点 o 至西墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+0.3m（参考点距离）=8.3m；  
③ $R_{(顶)}=6.22\text{m}$ （等中心点 o 至顶部墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+0.3m（参考点距离）=7.52m。

### (2) 侧屏蔽墙屏蔽效果预测 (e 点、f 点)

射线路径（射线类型）： $o\rightarrow e$ （泄漏射线）， $o\rightarrow f$ （泄漏射线）。

泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区。TVL<sub>1</sub> 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 TVL<sub>1</sub>=35cm，TVL=31cm。e 点、f 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-7。

表 11-7 1 号调试机房侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果 (10MV)

参数	北墙侧屏蔽 (e 点)	南墙侧屏蔽 (f 点)
X (cm)	160	269.2
$\theta$ ( $^\circ$ )	0	0
$X_e$	160	269.2
TVL (cm)	31	31
TVL <sub>1</sub> (cm)	35	35
B	$9.28\times 10^{-5}$	$2.79\times 10^{-9}$
R (m)	6.875	10.425
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44\times 10^9$	$1.44\times 10^9$
f	0.001	0.001
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	<b>0.283</b>	<b><math>3.69\times 10^{-5}</math></b>
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) (剂量率参考控制水平)	0.67	2.5
评价结果	满足	满足

注：① $R_{(北)}=6.575\text{m}$ （等中心点 o 至北墙外表面距离）+0.3m（参考点距离）=6.875m；  
② $R_{(南)}=10.125\text{m}$ （等中心点 o 至南墙外表面距离）+0.3m（参考点距离）=10.425m；  
③ $X_{(南墙)}=545\text{cm}$ （迷道墙+迷道）-275.8cm（迷道之间垂直距离）=269.2cm。

### (3) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测 (c<sub>1</sub> 点、c<sub>2</sub> 点和 d<sub>1</sub> 点、d<sub>2</sub> 点和 m<sub>1</sub> 点、m<sub>2</sub> 点)

①射线路径（射线类型）

与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的辐射影响主要考虑有用线束水平或向顶照射时人体的散射辐射和加速器泄漏辐射，射线照射路径如下：

散射射线路径：

东墙：o<sub>2</sub>→o→c<sub>1</sub>（c<sub>2</sub>），西墙：o<sub>1</sub>→o→d<sub>1</sub>（d<sub>2</sub>），顶棚：o<sub>3</sub>→o→m<sub>1</sub>（m<sub>2</sub>）

泄漏射线路径：

东墙：o→c<sub>1</sub>（c<sub>2</sub>），西墙：o→d<sub>1</sub>（d<sub>2</sub>），顶棚：o→m<sub>1</sub>（m<sub>2</sub>）

计算时，c<sub>1</sub>、c<sub>2</sub>、d<sub>1</sub>、d<sub>2</sub>、m<sub>1</sub>、m<sub>2</sub>点处的斜射角与散射角θ均按30°来估算，c<sub>1</sub>和c<sub>2</sub>、d<sub>1</sub>和d<sub>2</sub>、m<sub>1</sub>和m<sub>2</sub>的各项参数数值上是相等的，因此，该部分仅需预测c<sub>1</sub>、d<sub>1</sub>、m<sub>1</sub>点即可代表与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的屏蔽效果。

②泄漏辐射屏蔽计算

在进行泄漏辐射防护计算时，为简化漏射线辐射计算，通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量，且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的0.1%(即f=0.001)，辐射防护预测模式与主射线估算相同。

③散射辐射屏蔽计算

散射辐射预测模式可采用GBZ/T 201.2-2011第5.2章中推荐的估算公式：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 11-5})$$

式中：H<sub>0</sub>及B意义同前；

α<sub>ph</sub>—为患者400cm<sup>2</sup>面积上垂直入射X射线散射至距其1m（关注点方向）处的剂量比例，又称400cm<sup>2</sup>面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查GBZ/T 201.2-2011表B.2；

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm<sup>2</sup>，取（40×40）cm<sup>2</sup>；

R<sub>s</sub>—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

与主屏蔽区相连的次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的计算参数和计算结果见表11-8。

表 11-8 1号调试机房与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

参数		东墙（c <sub>1</sub> 或c <sub>2</sub> 点）	西墙（d <sub>1</sub> 或d <sub>2</sub> 点）	顶棚（m <sub>1</sub> 或m <sub>2</sub> 点）
泄漏辐射	H <sub>0</sub> （μSv·m <sup>2</sup> /h）	1.44×10 <sup>9</sup>	1.44×10 <sup>9</sup>	1.44×10 <sup>9</sup>
	X（cm）	150	160	160
	θ（°）	30	30	30

	$X_c$	173.2	184.8	184.8
	TVL (cm)	31	31	31
	TVL <sub>1</sub> (cm)	35	35	35
	$B_L$	$3.48 \times 10^{-6}$	$1.48 \times 10^{-6}$	$1.48 \times 10^{-6}$
	R (m)	7.56	8.43	5.91
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	<b>0.088</b>	<b>0.03</b>	<b>0.061</b>
散射 辐射	TVL (cm)	28	28	28
	TVL <sub>1</sub> (cm)	28	28	28
	$B_s$	$6.52 \times 10^{-7}$	$2.52 \times 10^{-7}$	$2.52 \times 10^{-7}$
	$\alpha_{ph}$	$3.18 \times 10^{-3}$	$3.18 \times 10^{-3}$	$3.18 \times 10^{-3}$
	$R_s$ (m)	7.56	8.43	5.91
	F (cm <sup>2</sup> )	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	<b>0.209</b>	<b>0.065</b>	<b>0.132</b>
泄漏辐射和散射辐射的 复合作用( $\mu\text{Sv/h}$ )		<b>0.297</b>	<b>0.095</b>	<b>0.193</b>
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) (剂量率参考控制水平)		0.33	0.67	100
评价		满足	满足	满足

注：① $R_{东墙} = R_s_{东墙}$  = 等中心点到东墙次屏蔽外参考点距离  $6.55\text{m}/\cos 30^\circ = 7.56\text{m}$ ;

② $R_{西墙} = R_s_{西墙}$  = 等中心点到西墙主屏蔽外参考点距离  $7.3\text{m}/\cos 30^\circ = 8.43\text{m}$ ;

③ $R_{顶棚} = R_s_{顶棚}$  = 等中心点到顶部次屏蔽外参考点距离  $5.12\text{m}/\cos 30^\circ = 5.91\text{m}$ 。

#### (4) 迷路外墙屏蔽效果预测 (k 点)

射线路径 (射线类型):  $o_2 \rightarrow k$  (泄漏射线)。

加速器主射线不向迷道照射, 加速器机房内加速器机头位于  $o_2$  点时, 迷路外墙 k 点处辐射剂量率最大, 泄漏辐射起决定性作用, 射线路径 (射线类型):  $o_2 \rightarrow k$  (漏射线)。

根据图 11-1,  $o_2$  至 k 的泄漏辐射斜射角较小, 估算时保守取泄漏辐射斜射角为  $0^\circ$ 。迷路外墙辐射防护预测模式与主射线估算相同, 预测结果见表 11-9。

表 11-9 1 号调试机房迷路外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (10MV)

参 数	迷路外墙 (k 点)
X (cm)	140
$\theta$ ( $^\circ$ )	0
$X_c$ (cm)	140
TVL <sub>1</sub> (cm)	35
TVL (cm)	31



B		4.1×10 <sup>-5</sup>
R (m)		10.425
f		0.001
$\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h)		1.44×10 <sup>9</sup>
相应屏蔽体外关注点剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h)	<b>H估算值</b>	<b>0.543</b>
	$\dot{H}_c$ 控制值	2.5
	评价结果	满足

注: X (迷路外墙)=545cm (迷道墙+迷道)-130cm (迷路内墙)-275cm (迷道之间垂直距离)=140cm。

### (5) 迷路入口处辐射水平核算 (g 点)

对≤10MV 的加速器机房, 有用线束不向迷路照射, 迷路入口应考虑以下辐射。

#### a、散射辐射

射线路径 (射线类型): o<sub>1</sub>→o→i→g (散射射线)。

g 点处的散射辐射剂量率按照公式 (11-6) 计算, g 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-10。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-6})$$

式中,  $\dot{H}_0$ 、F 意义同前文;

$\alpha_{ph}$ —患者 400cm<sup>2</sup> 面积上的散射因子, 计算时取 45°入射散射角的值;

$\dot{H}_g$ : g 处的散射辐射剂量率, μSv/h;

$\alpha_2$ : 砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 本项目 i 处的入射角取 45°, 散射角取 30°, 具体取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6, 通常使用其 0.5MeV 栏内的值, 22.5×10<sup>-3</sup>;

A: i 处的散射面积, 根据图 11-1, 可估算出 o 点和 g 点共同可见宽度约为 2.146m, 迷路内口高度为 4.5m, 则散射面积为 2.146×4.5m=9.66m<sup>2</sup>;

R<sub>1</sub>: 等中心点到 i 之间的距离, m;

R<sub>2</sub>: i 到 g 之间的距离, m。

表 11-10 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果 (10MV)

参 数	g 点
$\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h)	1.44×10 <sup>9</sup>
$\alpha_{ph}$	1.35×10 <sup>-3</sup>
$\alpha_2$	22.5×10 <sup>-3</sup>
F (cm <sup>2</sup> )	1600
R <sub>1</sub> (m)	7.64
R <sub>2</sub> (m)	9.45

A (m <sup>2</sup> )		9.66
g 点剂量率 $\dot{H}_g$ (μSv/h)	估算值	324.2

注：① $R_1=0$  点到西墙次屏蔽内表面距离  $5.4m/\cos(45^\circ)=7.64m$ ；

② $R_2=i$  点到迷路外墙外表面的距离  $4.725m/\cos(60^\circ)=9.45m$ 。

### b、泄漏辐射

射线路径（射线类型）： $o_1 \rightarrow g$ （泄漏射线）， $o_2 \rightarrow g$ （泄漏射线）

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 e 点。TVL<sub>1</sub> 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 TVL<sub>1</sub>=35cm，TVL=31cm。

g 点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-11。

表 11-11 调试机房入口门外参考点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

参 数	g 点		
	$o_1 \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow g$	
射线路径	$o_1 \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow g$	
X <sub>e</sub> (cm)	157.3	164	
TVL <sub>1</sub> (cm)	35	35	
TVL (cm)	31	31	
B	$1.14 \times 10^{-5}$	$6.9 \times 10^{-6}$	
R (m)	10.559	11.291	
f	0.001	0.001	
$\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h)	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	
入口门外关注点泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$ (μSv/h)	估算值	<b>0.147</b>	<b>0.078</b>
	控制值	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足

调试机房入口门外的总辐射剂量率按公式（11-7）计算，入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-12。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11-7})$$

式中， $\dot{H}_g$ 、 $\dot{H}_{og}$ 意义同前文；

X：防护门铅屏蔽厚度，cm；

TVL：辐射在铅中的什值层，cm，本项目取 0.5cm。

表 11-12 调试机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

参 数		调试机房入口门外（g 点）	
$\dot{H}_g$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）		324.2	324.2
X（cm）		2.5	2.5
TVL（cm）		0.5	0.5
$\dot{H}_{og}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）		0.147	0.078
入口门外关注点总辐射剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	估算值	<b>0.15</b>	<b>0.081</b>
	控制值	10	10
	评价结果	满足	满足

根据表 11-6~表 11-12，1 号加速器调试机房调试 10MV 直线加速器时，机房外的剂量当量率能够满足其辐射剂量率管理限值。

## 2、1 号加速器调试机房调试 18MV 直线加速器时屏蔽效果分析

### （1）四周墙体及顶部屏蔽效果分析

根据 10MV 直线加速器调试时屏蔽效果评价方法，同理可计算出，1 号加速器调试机房调试 18MV 加速器时的屏蔽效果。其中，主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-13，侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果见表 11-14，与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-15，迷路外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-16。

表 11-13 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（18MV）

参数	东墙主屏蔽（a 点）	西墙主屏蔽（b 点）	屋顶主屏蔽（1 点）
X（cm）	300	300	300
$\theta$ （°）	0	0	0
$X_e$	300	300	300
TVL（cm）	43	43	43
TVL <sub>1</sub> （cm）	45	45	45
B	$1.17 \times 10^{-7}$	$1.17 \times 10^{-7}$	$1.17 \times 10^{-7}$
R（m）	8.3	8.3	7.52
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）	$3.6 \times 10^8$	$3.6 \times 10^8$	$3.6 \times 10^8$
f	1	1	1
$\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	<b>0.614</b>	<b>0.614</b>	<b>0.748</b>
$\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ） （剂量率参考控制水平）	1.33	2.67	100
评价结果	满足	满足	满足

表 11-14 侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果 (18MV)

参数	北墙侧屏蔽 (e 点)	南墙侧屏蔽 (f 点)
X (cm)	160	269.2
$\theta$ ( $^{\circ}$ )	0	0
$X_e$	160	269.2
TVL (cm)	34	34
TVL <sub>1</sub> (cm)	36	36
B	$2.25 \times 10^{-5}$	$1.38 \times 10^{-8}$
R (m)	6.875	10.425
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$3.6 \times 10^8$	$3.6 \times 10^8$
f	0.001	0.001
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	<b>0.172</b>	<b><math>4.58 \times 10^{-5}</math></b>
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) (剂量率参考控制水平)	0.67	2.5
评价结果	满足	满足

表 11-15 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (18MV)

参数		东墙 (c <sub>1</sub> 或 c <sub>2</sub> 点)	西墙 (d <sub>1</sub> 或 d <sub>2</sub> 点)	顶棚 (m <sub>1</sub> 或 m <sub>2</sub> 点)
泄漏 辐射	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$3.6 \times 10^8$	$3.6 \times 10^8$	$3.6 \times 10^8$
	X (cm)	150	160	160
	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	30	30	30
	$X_e$	173.2	184.8	184.8
	TVL (cm)	34	34	34
	TVL <sub>1</sub> (cm)	36	36	36
	B <sub>L</sub>	$9.22 \times 10^{-6}$	$4.22 \times 10^{-6}$	$4.22 \times 10^{-6}$
	R (m)	7.56	8.43	5.91
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	<b>0.058</b>	<b>0.021</b>	<b>0.043</b>
散射 辐射	TVL (cm)	32	32	32
	TVL <sub>1</sub> (cm)	32	32	32
	B <sub>s</sub>	$3.87 \times 10^{-6}$	$1.68 \times 10^{-6}$	$1.68 \times 10^{-6}$
	$\alpha_{\text{ph}}$	$2.53 \times 10^{-3}$	$2.53 \times 10^{-3}$	$2.53 \times 10^{-3}$
	R <sub>s</sub> (m)	7.56	8.43	5.91
	F (cm <sup>2</sup> )	1600	1600	1600

	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	<b>0.246</b>	<b>0.086</b>	<b>0.176</b>
	泄漏辐射和散射辐射的 复合作用( $\mu\text{Sv/h}$ )	<b>0.304</b>	<b>0.107</b>	<b>0.219</b>
	$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) (剂量率参考控制水平)	0.33	0.67	100
	评价	满足	满足	满足

表 11-16 迷路外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (18MV)

参 数		迷路外墙 (k 点)
X (cm)		140
$\theta$ ( $^\circ$ )		0
$X_e$ (cm)		140
TVL <sub>1</sub> (cm)		36
TVL (cm)		34
B		$8.73 \times 10^{-5}$
R (m)		10.425
f		0.001
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )		$3.6 \times 10^8$
相应屏蔽体外关注点剂 量率 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\dot{H}$ 估算值	<b>0.289</b>
	$\dot{H}_c$ 控制值	2.5
	评价结果	满足

### (2) 迷路入口处辐射水平核算 (g 点)

对大于 10MV 且有用线束不向迷路照射的加速器调试机房, 调试机房入口处的瞬时辐射最高剂量率应小于剂量率参考控制水平。本环评考虑 g 点的泄漏辐射剂量以及在迷路内的散射中子和中子俘获  $\gamma$  射线在 g 点的辐射剂量。

1 号加速器调试机房调试 18MV 直线加速器时, 迷路入口处射线路径见图 11-2。

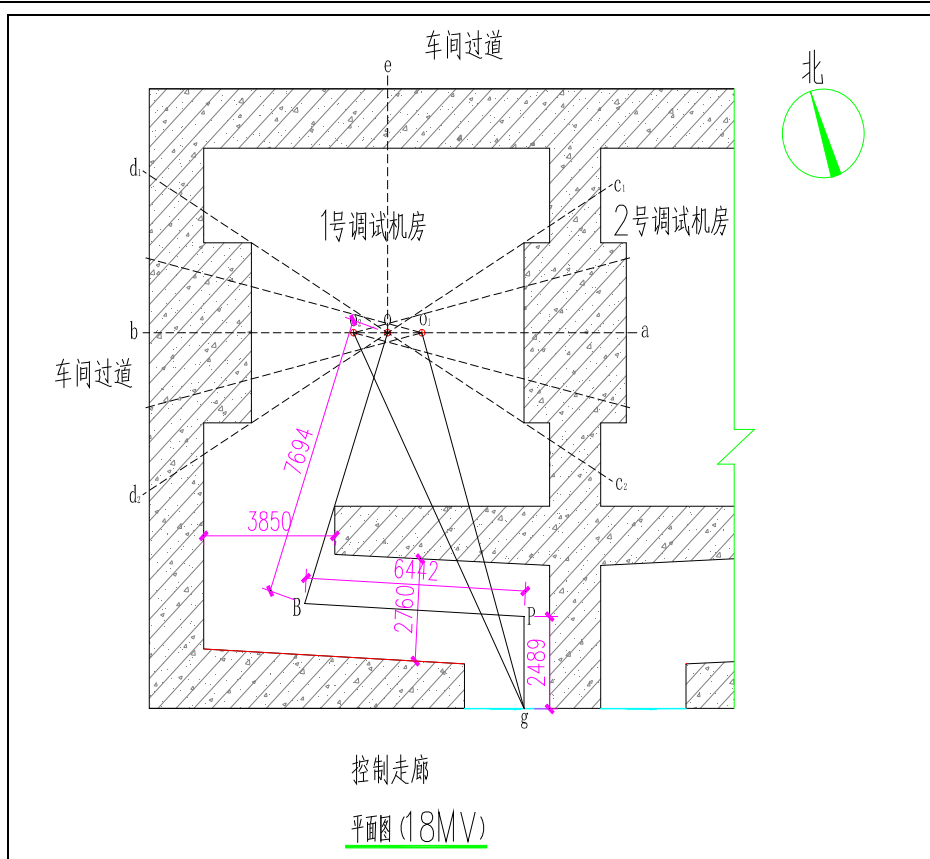


图 11-2 1 号加速器调试机房调试 18MV 直线加速器时迷路入口处射线路径示意图

### ①射线路径（射线类型）

$o_1 \rightarrow g$ （泄漏射线）， $o_2 \rightarrow g$ （泄漏射线）， $o \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow g$ （中子辐射）。

### ②计算模式及参数选择

a) g 点泄漏辐射剂量核算方法同 e 点。

b) 调试机房入口的中子剂量率计算模式及参数

首先按照公式（11-8）计算出总中子注量 $\Phi_B$ ，再按照公式（11-9）计算机房内的中子经迷路散射后在调试机房入口门外 30cm（g 点）无防护门时的剂量率 $\dot{H}_n$ 。

$$\Phi_B = 0.85 \cdot \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + 0.85 \cdot \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad (\text{式 11-8})$$

式中：

$\Phi_B$ ：等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子流量，（中子数/m<sup>2</sup>）/Gy；

0.85：对于钨屏蔽的加速器机头的衰减因子；

$Q_n$ ：等中心处每 1Gy 治疗照射时加速器机头发射出的总中子数，根据 NCRP REPORT NO.151，常见 18MV 直线加速器中  $Q_n$  最大值为  $1.5 \times 10^{12}$ ；

$d_1$ ：等中心点 o 至 B 点的距离（B 点为从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线的交点），m，根据图 11-2， $d_1$  为 7.694m；

S：调试机房的总内面积，m<sup>2</sup>，S 经计算可得为 538m<sup>2</sup>。

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{- (d_2/1.9)} + 10^{- (d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-9})$$

式中， $\dot{H}_0$ 、 $\Phi_B$ 意义同前文；

$\dot{H}_n$ ：机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$2.4 \times 10^{-15}$ ：经验因子， $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$ ；

$S_0$ ：迷路内口的面积，本项目为  $3.85\text{m} \times 4.5\text{m} = 17.325\text{m}^2$ ；

$S_1$ ：迷路横截面积，本项目为  $2.76\text{m} \times 4.5\text{m} = 12.42\text{m}^2$ ；

$d_2$ ：B 点至机房入口的距离，本项目为  $d_{2a} + d_{2b} = 6.442\text{m} + 2.489\text{m} = 8.931\text{m}$ ；

$T_n$ ：迷路中能量相对高的中子剂量组分式 (11-9) 方括号中得第二项衰减至十分之一行径的距离 (m)，称为什值距离。 $T_n$  是一个经验值，与迷路横截面积有关， $T_n$  按下式计算： $T_n = 2.06 \sqrt{S_1}$ ；

c) 机房入口的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率计算模式及参数

本项目加速器调试机房为二阶迷路，机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获  $\gamma$  射线，机房入口门外 30cm (g 点) 无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\dot{H}_r$  按下式计算：

$$\dot{H}_r = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/\text{TVD}} \cdot \dot{H}_0 \cdot \frac{1}{3} \quad (\text{式 11-10})$$

式中， $\Phi_B$ 、 $d_2$ 、 $\dot{H}_0$  意义同前文；

$\dot{H}_r$ ：机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$6.9 \times 10^{-16}$ ：经验因子， $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$ ；

$\text{TVD}$ ：将  $\gamma$  辐射剂量减至其十分之一的距离 (称为什值距离)，对于 18MV 加速器为 5.4m。

### ③ 预测计算结果

各参数代入公式 (11-4) 计算得调试机房入口门外 30cm 处无防护门时的泄漏射线剂量率，计算结果见表 11-17。

表 11-17 调试机房入口门外 30cm 处无防护门时的泄漏辐射剂量率计算 (18MV)

参 数	g 点	
	$o_1 \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow g$
射线路径		
$X_e$ (cm)	157.3	164
$\text{TVL}_1$ (cm)	36	36
$\text{TVL}$ (cm)	34	34
B	$2.71 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-5}$
R (m)	10.559	11.291

f		0.001	0.001
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )		$3.6\times 10^8$	$3.6\times 10^8$
入口门外关注点泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_{\text{og}}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	估算值	<b>0.087</b>	<b>0.049</b>
	控制值	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足

将各参数带入公式 (11-8) 得总中子注量 $\Phi_B$ ，计算结果见表 11-18。

表 11-18 等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量 $\Phi_B$ 计算 (18MV)

参数	$Q_n$ (中子数/Gy)	$d_1$ (m)	S ( $\text{m}^2$ )	$\Phi_B$ (中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy)
取值	$1.5\times 10^{12}$	7.694	538	$4.31\times 10^9$

将各参数代入公式 (11-9) 计算得机房内的中子经迷路散射后在调试机房入口门外 30cm (g 点) 无防护门时的剂量率，计算结果见表 11-19。

表 11-19 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率计算 (18MV)

参数	$\Phi_B$ (中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy)	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$S_0$ ( $\text{m}^2$ )	$S_1$ ( $\text{m}^2$ )	$d_2$ (m)	$T_n$ (m)	$\dot{H}_n$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
取值	$4.31\times 10^9$	$3.6\times 10^8$	17.325	12.42	8.931	7.26	259.1

将各参数带入公式 (11-10) 计算得调试机房入口门外 30cm (g 点) 无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率 $\dot{H}_r$ ，计算结果见表 11-20。

表 11-20 机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率计算 (18MV)

参数	$\Phi_B$ (中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy)	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$d_2$ (m)	TVD (m)	$\dot{H}_r$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
取值	$4.31\times 10^9$	$3.6\times 10^8$	8.931	5.4	7.93

### (3) 防护门外散射辐射剂量率计算

入口门屏蔽设计时，通常使中子和中子俘获  $\gamma$  射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获  $\gamma$  射线，以铅屏蔽；对于中子，以含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽，当给定防护门屏蔽厚度  $X_\gamma$  和  $X_n$  时，防护门外的辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_r \cdot 10^{-(X_\gamma/\text{TVL}_r)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(X_n/\text{TVL}_n)} + \dot{H}_{\text{og}} \cdot B_{\text{og}} \quad (\text{式 11-11})$$

式中， $\dot{H}$ 、 $\dot{H}_r$ 、 $\dot{H}_n$ 、 $\dot{H}_{\text{og}}$  意义同前文；

$X_\gamma$ ：防护门铅屏蔽厚度，cm；

$X_n$ ：防护门含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽厚度，cm；

$B_{\text{og}}$ ：防护门对 $\dot{H}_{\text{og}}$ 的屏蔽透射因子，在 $\dot{H}_{\text{og}}$ 相对防护门入口处的总剂量率较小时，可以忽略 $\dot{H}_{\text{og}} \cdot B_{\text{og}}$ 项；

$\text{TVL}_\gamma$ ：中子俘获  $\gamma$  射线在铅屏蔽中的什值层，cm；





表 11-22 2号调试机房主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

参数	东墙主屏蔽（b点）	西墙主屏蔽（a点）	屋顶主屏蔽（1点）
X（cm）	300	300	300
$\theta$ （°）	0	0	0
$X_e$	300	300	300
TVL（cm）	37	37	37
TVL <sub>1</sub> （cm）	41	41	41
B	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$
R（m）	8.3	8.3	7.52
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$
f	1	1	1
$\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	<b>0.209</b>	<b>0.209</b>	<b>0.255</b>
$\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ） （剂量率参考控制水平）	1.33	1.33	100
评价结果	满足	满足	满足

注：① $R_{(东)} = 7\text{m}$ （等中心点 o 至东墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+0.3m（参考点距离）=8.3m；  
 ② $R_{(西)} = 7\text{m}$ （等中心点 o 至西墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+0.3m（参考点距离）=8.3m；  
 ③ $R_{(顶)} = 6.22\text{m}$ （等中心点 o 至顶部墙外表面距离）+1m（SAD 距离）+0.3m（参考点距离）=7.52m。

表 11-23 2号调试机房侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果（10MV）

参数	北墙侧屏蔽（e点）	南墙侧屏蔽（f点）
X（cm）	160	267.1
$\theta$ （°）	0	0
$X_e$	160	267.1
TVL（cm）	31	31
TVL <sub>1</sub> （cm）	35	35
B	$9.28 \times 10^{-5}$	$3.26 \times 10^{-9}$
R（m）	6.875	10.425
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$
f	0.001	0.001
$\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	<b>0.283</b>	<b><math>4.32 \times 10^{-5}</math></b>
$\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ） （剂量率参考控制水平）	0.67	2.5
评价结果	满足	满足

注：① $R_{(北)} = 6.575\text{m}$ （等中心点 o 至北墙外表面距离）+0.3m（参考点距离）=6.875m；  
 ② $R_{(南)} = 10.125\text{m}$ （等中心点 o 至南墙外表面距离）+0.3m（参考点距离）=10.425m；  
 ③ $X_{(南墙)} = 545\text{cm}$ （迷道墙+迷道）-277.9cm（迷道之间垂直距离）=267.1cm。

表 11-24 2 号调试机房与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (10MV)

参数		东墙 (d <sub>1</sub> 或 d <sub>2</sub> 点)	西墙 (c <sub>1</sub> 或 c <sub>2</sub> 点)	顶棚 (m <sub>1</sub> 或 m <sub>2</sub> 点)
泄漏辐射	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44\times 10^9$	$1.44\times 10^9$	$1.44\times 10^9$
	X (cm)	150	150	160
	$\theta$ ( $^\circ$ )	30	30	30
	X <sub>e</sub>	173.2	173.2	184.8
	TVL (cm)	31	31	31
	TVL <sub>1</sub> (cm)	35	35	35
	B <sub>L</sub>	$3.48\times 10^{-6}$	$3.48\times 10^{-6}$	$1.48\times 10^{-6}$
	R (m)	7.56	7.56	5.91
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	<b>0.088</b>	<b>0.088</b>	<b>0.061</b>
散射辐射	TVL (cm)	28	28	28
	TVL <sub>1</sub> (cm)	28	28	28
	B <sub>s</sub>	$6.52\times 10^{-7}$	$6.52\times 10^{-7}$	$2.52\times 10^{-7}$
	$\alpha_{\text{ph}}$	$3.18\times 10^{-3}$	$3.18\times 10^{-3}$	$3.18\times 10^{-3}$
	R <sub>s</sub> (m)	7.56	7.56	5.91
	F (cm <sup>2</sup> )	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	<b>0.209</b>	<b>0.209</b>	<b>0.132</b>
泄漏辐射和散射辐射的复合作用( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )		<b>0.297</b>	<b>0.297</b>	<b>0.193</b>
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) (剂量率参考控制水平)		0.33	0.33	100
评价		满足	满足	满足

注: ①R<sub>东墙</sub> = R<sub>s 东墙</sub> = 等中心点到东墙次屏蔽外参考点距离  $6.55\text{m}/\cos 30^\circ = 7.56\text{m}$ ;

②R<sub>西墙</sub> = R<sub>s 西墙</sub> = 等中心点到西墙次屏蔽外参考点距离  $6.55\text{m}/\cos 30^\circ = 7.56\text{m}$ ;

③R<sub>顶棚</sub> = R<sub>s 顶棚</sub> = 等中心点到顶部次屏蔽外参考点距离  $5.12\text{m}/\cos 30^\circ = 5.91\text{m}$ 。

表 11-25 2 号调试机房迷路外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (10MV)

参 数	迷路外墙 (k 点)
X (cm)	136.3
$\theta$ ( $^\circ$ )	0
X <sub>e</sub> (cm)	136.3
TVL <sub>1</sub> (cm)	35
TVL (cm)	31

B		$5.4 \times 10^{-5}$
R (m)		10.425
f		0.001
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )		$1.44 \times 10^9$
相应屏蔽体外关注点剂量率 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	<b>H估算值</b>	<b>0.715</b>
	$\dot{H}_c$ 控制值	2.5
	评价结果	满足

注:  $X_{\text{(迷路外墙)}} = 545\text{cm}$  (迷道墙+迷道) -  $130\text{cm}$  (迷路内墙) -  $278.7\text{cm}$  (迷道之间垂直距离) =  $136.3\text{cm}$ 。

表 11-26 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果 (10MV)

参 数		g 点
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )		$1.44 \times 10^9$
$\alpha_{\text{ph}}$		$1.35 \times 10^{-3}$
$\alpha_2$		$22.5 \times 10^{-3}$
F ( $\text{cm}^2$ )		1600
$R_1$ (m)		6.72
$R_2$ (m)		10.75
A ( $\text{m}^2$ )		9.31
g 点剂量率 $\dot{H}_g$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	估算值	312.1

注: ① $R_1 = o$  点到东墙次屏蔽内表面距离  $4.75\text{m}/\cos(45^\circ) = 6.72\text{m}$ ;

② $R_2 = i$  点到迷路外墙外表面的距离  $5.375\text{m}/\cos(60^\circ) = 10.75\text{m}$ 。

表 11-27 调试机房入口门外参考点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果 (10MV)

参 数		g 点	
射线路径		$o_1 \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow g$
$X_e$ (cm)		157.6	164.4
TVL <sub>1</sub> (cm)		35	35
TVL (cm)		31	31
B		$1.11 \times 10^{-5}$	$6.7 \times 10^{-6}$
R (m)		10.57	11.308
f		0.001	0.001
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )		$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$
入口门外关注点泄漏辐射 剂量率 $\dot{H}_{og}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	<b>估算值</b>	<b>0.143</b>	<b>0.075</b>
	控制值	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足

表 11-28 调试机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

参 数		机房入口门外（g 点）	
$\dot{H}_g$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )		312.1	312.1
X (cm)		2.5	2.5
TVL (cm)		0.5	0.5
$\dot{H}_{og}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )		0.143	0.075
入口门外关注点总辐射剂量率 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	估算值	<b>0.146</b>	<b>0.078</b>
	控制值	10	10
	评价结果	满足	满足

根据表 11-22~表 11-28，2 号加速器调试机房调试 10MV 直线加速器时，机房外的剂量当量率能够满足其辐射剂量率管理限值。

#### 4、2 号加速器调试机房调试 18MV 直线加速器时屏蔽效果分析

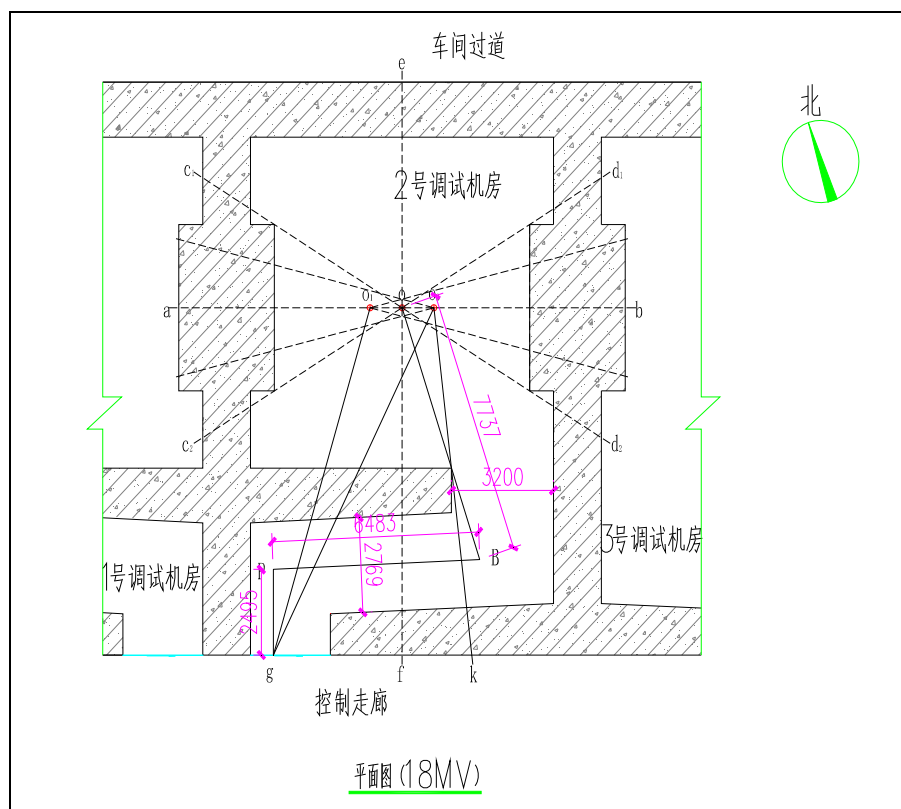


图 11-4 2 号加速器调试机房调试 18MV 直线加速器时迷路入口处射线路径示意图

表 11-29 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（18MV）

参数	东墙主屏蔽（b 点）	西墙主屏蔽（a 点）	屋顶主屏蔽（1 点）
X (cm)	300	300	300
$\theta$ ( $^\circ$ )	0	0	0
$X_c$	300	300	300

TVL (cm)	43	43	43
TVL <sub>1</sub> (cm)	45	45	45
B	1.17×10 <sup>-7</sup>	1.17×10 <sup>-7</sup>	1.17×10 <sup>-7</sup>
R (m)	8.3	8.3	7.52
$\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h)	3.6×10 <sup>8</sup>	3.6×10 <sup>8</sup>	3.6×10 <sup>8</sup>
f	1	1	1
$\dot{H}$ (μSv/h)	<b>0.614</b>	<b>0.614</b>	<b>0.748</b>
$\dot{H}_c$ (μSv/h) (剂量率参考控制水平)	1.33	1.33	100
评价结果	满足	满足	满足

表 11-30 侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果 (18MV)

参数	北墙侧屏蔽 (e 点)	南墙侧屏蔽 (f 点)
X (cm)	160	267.1
θ (°)	0	0
X <sub>e</sub>	160	267.1
TVL (cm)	34	34
TVL <sub>1</sub> (cm)	36	36
B	2.25×10 <sup>-5</sup>	1.6×10 <sup>-8</sup>
R (m)	6.875	10.425
$\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h)	3.6×10 <sup>8</sup>	3.6×10 <sup>8</sup>
f	0.001	0.001
$\dot{H}$ (μSv/h)	<b>0.172</b>	<b>5.29×10<sup>-5</sup></b>
$\dot{H}_c$ (μSv/h) (剂量率参考控制水平)	0.67	2.5
评价结果	满足	满足

表 11-31 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (18MV)

参数		东墙 (d <sub>1</sub> 或 d <sub>2</sub> 点)	西墙 (c <sub>1</sub> 或 c <sub>2</sub> 点)	顶棚 (m <sub>1</sub> 或 m <sub>2</sub> 点)
泄漏 辐射	$\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h)	3.6×10 <sup>8</sup>	3.6×10 <sup>8</sup>	3.6×10 <sup>8</sup>
	X (cm)	150	150	160
	θ (°)	30	30	30
	X <sub>e</sub>	173.2	173.2	184.8
	TVL (cm)	34	34	34
	TVL <sub>1</sub> (cm)	36	36	36

	$B_L$	$9.22 \times 10^{-6}$	$9.22 \times 10^{-6}$	$4.22 \times 10^{-6}$
	R (m)	7.56	7.56	5.91
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	<b>0.058</b>	<b>0.058</b>	<b>0.043</b>
散射 辐射	TVL (cm)	32	32	32
	TVL <sub>1</sub> (cm)	32	32	32
	$B_s$	$3.87 \times 10^{-6}$	$3.87 \times 10^{-6}$	$1.68 \times 10^{-6}$
	$\alpha_{\text{ph}}$	$2.53 \times 10^{-3}$	$2.53 \times 10^{-3}$	$2.53 \times 10^{-3}$
	$R_s$ (m)	7.56	7.56	5.91
	F (cm <sup>2</sup> )	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	<b>0.246</b>	<b>0.246</b>	<b>0.176</b>
泄漏辐射和散射辐射的 复合作用( $\mu\text{Sv/h}$ )		<b>0.304</b>	<b>0.304</b>	<b>0.219</b>
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) (剂量率参考控制水平)		0.33	0.33	100
评价		满足	满足	满足

表 11-32 迷路外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果 (18MV)

参 数		迷路外墙 (k 点)
X (cm)		136.3
$\theta$ ( $^\circ$ )		0
$X_e$ (cm)		136.3
TVL <sub>1</sub> (cm)		36
TVL (cm)		34
B		$1.12 \times 10^{-4}$
R (m)		10.425
f		0.001
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )		$3.6 \times 10^8$
相应屏蔽体外关注点剂 量率 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\dot{H}$ 估算值	<b>0.372</b>
	$\dot{H}_c$ 控制值	2.5
	评价结果	满足

表 11-33 调试机房入口门外 30cm 处无防护门时的泄漏辐射剂量率计算 (18MV)

参 数	g 点	
射线路径	$o_1 \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow g$
$X_e$ (cm)	157.6	164.4

TVL <sub>1</sub> (cm)	36	36	
TVL (cm)	34	34	
B	2.65×10 <sup>-5</sup>	1.7×10 <sup>-5</sup>	
R (m)	10.57	11.308	
f	0.001	0.001	
$\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h)	3.6×10 <sup>8</sup>	3.6×10 <sup>8</sup>	
入口门外关注点泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$ (μSv/h)	估算值	<b>0.085</b>	<b>0.047</b>
	控制值	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足

表 11-34 等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量 $\Phi_B$ 计算 (18MV)

参数	$Q_n$ (中子数/Gy)	$d_1$ (m)	S (m <sup>2</sup> )	$\Phi_B$ ((中子数/m <sup>2</sup> )/Gy)
取值	1.5×10 <sup>12</sup>	7.737	487	4.56×10 <sup>9</sup>

表 11-35 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率计算 (18MV)

参数	$\Phi_B$ ((中子数/m <sup>2</sup> )/Gy)	$\dot{H}_0$ (μSv/h)	S <sub>0</sub> (m <sup>2</sup> )	S <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	d <sub>2</sub> (m)	T <sub>n</sub> (m)	$\dot{H}_n$ (μSv/h)
取值	4.56×10 <sup>9</sup>	3.6×10 <sup>8</sup>	14.4	12.46	8.978	7.27	247.1

表 11-36 机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率计算 (18MV)

参数	$\Phi_B$ ((中子数/m <sup>2</sup> )/Gy)	$\dot{H}_0$ (μSv/h)	d <sub>2</sub> (m)	TVD (m)	$\dot{H}_r$ (μSv/h)
取值	4.56×10 <sup>9</sup>	3.6×10 <sup>8</sup>	8.978	5.4	8.23

表 11-37 防护门外的总辐射剂量率计算 (18MV)

参数	$\dot{H}_r$ (μSv/h)	X <sub>γ</sub> (cm)	TVL <sub>γ</sub> (cm)	$\dot{H}_n$ (μSv/h)	X <sub>n</sub> (cm)	TVL <sub>n</sub> (cm)	$\dot{H}$ (μSv/h)
取值	8.23	2.5	3.1	247.1	15	4.5	1.4

注：因 $\dot{H}_{og}$ 较小，忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 的值。

根据表 11-29~表 11-37，2 号加速器调试机房调试 18MV 直线加速器时，机房外的剂量当量率也能够满足其辐射剂量率管理限值。

## 5、汇总

本项目 1 号、2 号加速器调试机房分别调试 10MV 直线加速器和 18MV 直线加速器时，调试机房屏蔽墙、屋顶及防护门外剂量率估算结果汇总分别见表 11-38 和表 11-39。



表 11-38 本项目 1 号加速器调试机房屏蔽墙、顶、门外理论估算结果汇总一览表

位置	关注点	调试 10MV 加速器时剂量率估算值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	调试 18MV 加速器时剂量率估算值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	评价结果
调试机房东墙主屏蔽区外 2 号加速器调试机房	a	0.209	0.614	1.33	满足
调试机房西墙主屏蔽区外 车间过道	b	0.209	0.614	2.67	满足
调试机房顶部主屏蔽区外 厂房屋顶	l	0.255	0.748	100	满足
调试机房北侧侧屏蔽墙外 车间过道	e	0.283	0.172	0.67	满足
调试机房南侧迷路外墙外 控制走廊	f	$3.69 \times 10^{-5}$	$4.58 \times 10^{-5}$	2.5	满足
调试机房南侧迷路外墙处 操作位	k	0.543	0.289	2.5	满足
调试机房东墙次屏蔽区外 2 号加速器调试机房	$c_1$ ( $c_2$ )	0.297	0.304	0.33	满足
调试机房西墙次屏蔽区外 车间过道	$d_1$ ( $d_2$ )	0.095	0.107	0.67	满足
调试机房顶部次屏蔽区外 厂房屋顶	$m_1$ ( $m_2$ )	0.193	0.219	100	满足
入口防护门	g	0.15	1.36	10	满足

表 11-39 本项目 2 号加速器调试机房屏蔽墙、顶、门外理论估算结果汇总一览表

位置	关注点	调试 10MV 加速器时剂量率估算值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	调试 18MV 加速器时剂量率估算值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	评价结果
调试机房东墙主屏蔽区外 3 号加速器调试机房	b	0.209	0.614	1.33	满足
调试机房西墙主屏蔽区外 1 号加速器调试机房	a	0.209	0.614	1.33	满足
调试机房顶部主屏蔽区外 厂房屋顶	l	0.255	0.748	100	满足
调试机房北侧侧屏蔽墙外 车间过道	e	0.283	0.172	0.67	满足
调试机房南侧迷路外墙外 控制走廊	f	$4.32 \times 10^{-5}$	$5.29 \times 10^{-5}$	2.5	满足
调试机房南侧迷路外墙处 操作位	k	0.715	0.372	2.5	满足
调试机房东墙次屏蔽区外 3 号加速器调试机房	$d_1$ ( $d_2$ )	0.297	0.304	0.33	满足

调试机房西墙次屏蔽区外 1号加速器调试机房	$c_1$ ( $c_2$ )	0.297	0.304	0.33	满足
调试机房顶部次屏蔽区外 厂房屋顶	$m_1$ ( $m_2$ )	0.193	0.219	100	满足
入口防护门	$g$	0.146	1.4	10	满足

综上所述,本项目1号、2号加速器调试机房的屏蔽防护设计能够满足10MV和18MV加速器调试时所需的辐射防护屏蔽要求。由此可推测,3号~20号加速器调试机房的屏蔽防护设计也能够满足10MV和18MV加速器调试时所需的辐射防护屏蔽要求,且1号~20号加速器调试机房的屏蔽防护设计也能够满足本项目其他加速器调试时所需的辐射防护屏蔽要求。

### (三) 典型点叠加辐射影响分析

公司1号~10号加速器调试机房相邻而建,相邻两间加速器调试机房防护门外关注点的距离较近,可能会同时受到相邻两间加速器调试机房的辐射影响;而相邻两间加速器调试机房北墙、顶部关注点的距离相对较远,经过距离的衰减后,其中一间加速器调试机房对另一间加速器调试机房关注点处的辐射影响很小,故不考虑相邻两间加速器调试机房北墙、顶部关注点处的叠加辐射影响。

同理,11号~20号加速器调试机房相邻而建,考虑相邻两间加速器调试机房防护门外关注点处的叠加辐射影响,不考虑相邻两间加速器调试机房南墙、顶部关注点处的叠加辐射影响。

根据表11-38和表11-39,相邻两间加速器调试机房防护门外关注点处的叠加辐射剂量率见表11-40,以1号和2号加速器调试机房为例。

表11-40 相邻两间加速器调试机房防护门外关注点处的叠加辐射剂量率一览表

关注点	辐射影响因子	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	叠加辐射剂量 率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率参考控 制水平( $\mu\text{Sv/h}$ )	评价结果
防护门	1号加速器调试机房防护门 ( $g$ 点)	1.36	2.76	10	满足
	2号加速器调试机房防护门 ( $g$ 点)	1.4			

由表11-40可知,相邻两间加速器调试机房防护门外关注点处的叠加辐射剂量率也能够满足其辐射剂量率管理限值。

### (四) 加速器调试机房电子线调试时防护评价

本项目加速器X射线最大能量为18MV,电子线最大能量为28MeV,由于电子束的穿透能力远小于X射线,对能够屏蔽X射线的调试机房也完全满足屏蔽电子束的要求。

电子束调试时，平均束流为 nA 量级，X 射线调试时平均束流为  $\mu\text{A}$  量级，电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线的辐射，即使电子能量大于 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对 MV X 射线的屏蔽要求。

### （五）中子的辐射污染分析

加速器治疗机头外的杂散中子称为直接光中子，来源于 X 射线中能量大于 10MV 的光子与加速器的靶、准直器、均整器及电子束和光子束通道上的其他物质相互作用发生光核反应所产生的中子。直接光中子平均能量不超过 1MeV。直接光中子与加速器机房墙壁作用发生弹性散射和非弹性散射，散射中子的能量约为 0.24MeV。直接光中子和散射中子的平均能量约为 0.34MeV。

混凝土中含有 4%~5%的水，对 0.34MeV 中子的半值层衰减厚度为 21cm，而混凝土对 10MV~25MV 的 X 射线治疗装置 90°泄漏辐射的半值层为 31cm~36cm。因此，加速器机房采用混凝土屏蔽墙时，墙的屏蔽只需考虑对 X 射线的屏蔽。

中子经迷道散射及中子俘获  $\gamma$  射线在迷道入口处形成的剂量场的屏蔽，根据上述计算结果，本项目防护门设计能够满足中子屏蔽防护的要求。

### （六）感生放射性影响分析

所有能量超过 10MeV 的粒子加速器都将产生或多或少的感生放射性，这是加速器的瞬时辐射场（包括初级粒子和次级粒子）与加速器组件和周围物质相互作用产生活化产物的结果。电子直线加速器运行过程中靶产生的高能光子可以与靶、准直器和限束系统中的金属材料的原子核发生各种核反应产生感生放射性，感生放射性水平取决于加速器电子的能量、束流强度、靶物质及运行时间等多种因素。根据《辐射防护手册》第三分册（李德平、潘自强主编，P114）图 4.22 和图 4.23 可以看出，感生放射性的衰变是较快的，停机后（5~10）min 就可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是等其衰变。

根据上海联影医疗科技股份有限公司提供的资料，其生产的直线加速器在调试结束后，感生放射性降至相应辐射水平所需要的时间，具体见表 11-41。

表 11-41 感生放射性降至相应辐射水平所需时间一览表

加速器能量	衰减至 2.5 $\mu\text{Sv/h}$	衰减至 1 $\mu\text{Sv/h}$	衰减至 0.5 $\mu\text{Sv/h}$	衰减至 0.25 $\mu\text{Sv/h}$
6MV	7.5s	9.5s	35s	2min
10MV	4.2min	7.4min	12min	15min
15MV	10min	14.8min	22min	30min

根据表 11-41，感生放射性辐射水平随着时间的延长而下降，6MV、10MV、15MV 直

线加速器分别在停止出束 2min、15min、30min 后，感生放射性辐射水平可大致降至环境本底水平，6MV、10MV、15MV 直线加速器分别在停止出束 7.5s、4.2min、10min 后，感生放射性辐射水平可降至 2.5 $\mu$ Sv/h。

同时，本项目参考《关于高能医用直线加速器的感生放射性辐射场特点及其防护措施探讨》，Varian2300C/D型15MV直线加速器（该加速器1m处最大剂量率为600cGy/min（360Gy/h））照射视野为40cm $\times$ 40cm，累积照射600cGy后，不同时间和位置的感生放射性辐射水平见表11-42。

表 11-42 15MV 加速器关闭状态下，不同位置和时间感生放射性辐射水平（ $\mu$ Sv/h）

位置	1min	2min	3min	5min	8min	10min
机头	6.43	5.75	5.14	3.72	3.02	2.47
治疗床平面照射野中心	4.13	3.16	2.87	1.84	1.24	1.03
治疗床平面照射野中心 50cm处	4.22	3.52	3.06	1.86	1.19	0.87
治疗床平面照射野中心 100cm处	4.67	3.88	3.07	1.88	1.13	0.85

根据表 11-42 可知，15MV 直线加速器在停止出束 10min 后，感生放射性辐射水平可降至约 2.5 $\mu$ Sv/h。为避免加速器调试机房内感生放射性对调试工作人员造成的危害，建议：

①调试工作人员尽可能减少在加速器调试机房内的滞留时间，10MV 及以上能量的加速器在停机 10min 后再进入调试机房，并将停机后延迟时间与停机后开门时间进行联锁。

②加强加速器调试机房的通风，减少调试机房内空气中感生放射性核素的含量。

### （七）保护目标剂量评价

工作人员及公众年有效剂量可通过下式进行估算：

$$E = \dot{H} \cdot U \cdot T \cdot t \quad (\text{式11-12})$$

式中：

E—人员年有效剂量， $\mu$ Sv/a；

$\dot{H}$ —参考点处剂量率， $\mu$ Sv/h；

U—使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—照射时间，单位为 h/a。

1 号、2 号加速器调试机房调试加速器所致工作人员及周围公众年受照剂量估算结果分别见表 11-43 和表 11-44。

表 11-43 1 号加速器调试机房调试加速器所致工作人员及周围公众年受照剂量一览表

位置	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽	南墙侧屏蔽	北墙侧屏蔽	东墙次屏蔽		西墙次屏蔽		屋顶次屏蔽		迷道外墙	调试机房入口防护门
	有用线束	有用线束	有用线束	泄漏辐射	泄漏辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	中子和中子俘获 $\gamma$ 射线的能量以及泄漏辐射
考察点	a	b	l	f	e	c <sub>1</sub> (c <sub>2</sub> )		d <sub>1</sub> (d <sub>2</sub> )		m <sub>1</sub> (m <sub>2</sub> )		k	g
对应场所	2 号调试机房	车间过道	厂房屋顶	控制走廊	车间过道	2 号调试机房		车间过道		厂房屋顶		操作位	控制走廊
剂量率值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.614	0.614	0.748	$4.58 \times 10^{-5}$	0.172	0.058	0.246	0.021	0.086	0.043	0.176	0.289	1.36
综合剂量率值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.614	0.614	0.748	$4.58 \times 10^{-5}$	0.172	0.304		0.107		0.219		0.289	1.36
居留因子	1/2	1/4	1/16	1	1/4	1/2		1/4		1/16		1	1/8
使用因子	1/4	1/4	1/4	1	1	1		1		1		1	1
年工作时间 (h)	共 1500h (单台调试时间最长 50h, 每间调试机房及每组调试人员年调试不超过 30 台)												
年剂量估算值 (mSv/a)	<b>0.115</b>	<b>0.058</b>	<b>0.018</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.065</b>	<b>0.228</b>		<b>0.04</b>		<b>0.021</b>		<b>0.434</b>	<b>0.255</b>

注：①居留因子取值参考《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 中附录 A。

②保守假设该调试机房全年调试的 30 台加速器全部为 18MV 的直线加速器。

表 11-44 2 号加速器调试机房调试加速器所致工作人员及周围公众年受照剂量一览表

位置	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽	南墙侧屏蔽	北墙侧屏蔽	东墙次屏蔽		西墙次屏蔽		屋顶次屏蔽		迷道外墙	调试机房入口防护门
	有用线束	有用线束	有用线束	泄漏辐射	泄漏辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	中子和中子俘获 $\gamma$ 射线的能量以及泄漏辐射
考察点	b	a	l	f	e	d <sub>1</sub> (d <sub>2</sub> )		c <sub>1</sub> (c <sub>2</sub> )		m <sub>1</sub> (m <sub>2</sub> )		k	g
对应场所	3 号调试机房	1 号调试机房	厂房屋顶	控制走廊	车间过道	3 号调试机房		1 号调试机房		厂房屋顶		操作位	控制走廊
剂量率值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.614	0.614	0.748	$5.29 \times 10^{-5}$	0.172	0.058	0.246	0.058	0.246	0.043	0.176	0.372	1.4
综合剂量率值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.614	0.614	0.748	$5.29 \times 10^{-5}$	0.172	0.304		0.304		0.219		0.372	1.4
居留因子	1/2	1/2	1/16	1	1/4	1/2		1/2		1/16		1	1/8
使用因子	1/4	1/4	1/4	1	1	1		1		1		1	1
年工作时间 (h)	共 1500h (单台调试时间最长 50h, 每间调试机房及每组调试人员年调试不超过 30 台)												
年剂量估算值 (mSv/a)	<b>0.115</b>	<b>0.115</b>	<b>0.018</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.065</b>	<b>0.228</b>		<b>0.228</b>		<b>0.021</b>		<b>0.558</b>	<b>0.263</b>

注：①居留因子取值参考《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 中附录 A。

②保守假设该调试机房全年调试的 30 台加速器全部为 18MV 的直线加速器。

本项目加速器调试人员在加速器关机 10min 后进入调试机房检查加速器情况及模体摆位情况，每次调试后平均检查时间约 10min，单台调试平均检查 10 次，每组人员年调试不超过 30 台，本项目平均保守取 15MV 加速器停机 10min 后的感生放射性辐射水平（2.5 $\mu$ Sv/h）进行计算，则由感生放射性所致调试工作人员的年受照剂量为 0.125mSv。

公司 1 号~10 号加速器调试机房相邻而建，11 号~20 号加速器调试机房相邻而建，辐射工作人员会同时受到相邻两间加速器调试机房的叠加辐射影响，估算结果见表 11-45，以 1 号~2 号加速器调试机房辐射工作人员及周围公众计算为例。

表 11-45 辐射工作人员及周围公众年受照剂量一览表

关注点	辐射影响因子	所致年受照剂量 (mSv)	叠加年受照剂量 (mSv)
1 号加速器调试机房 辐射工作人员	本加速器调试机房调试所致受照剂量	0.434	<b>0.674</b>
	调试后进入机房检查，感生放射性所致受照剂量	0.125	
	2 号加速器调试机房调试所致受照剂量	0.115	
2 号加速器调试机房 辐射工作人员	本加速器调试机房调试所致受照剂量	0.558	<b>0.913</b>
	调试后进入机房检查，感生放射性所致受照剂量	0.125	
	1 号加速器调试机房调试所致受照剂量	0.115	
	3 号加速器调试机房调试所致受照剂量	0.115	
10 号加速器调试机房东侧 车间过道处公众	10 号加速器调试机房调试所致受照剂量	0.058	<b>0.058</b>
1 号加速器调试机房西侧 车间过道处公众	1 号加速器调试机房调试所致受照剂量	0.058	<b>0.058</b>
1 号~10 号加速器调试机房 北侧车间过道处公众	1 号或 2 号加速器调试机房 调试所致受照剂量	0.065	<b>0.065</b>
1 号~10 号加速器调试机房 顶部处公众	1 号或 2 号加速器调试机房 调试所致受照剂量	0.021	<b>0.021</b>

由表 11-45 可知，本项目 1 号~10 号加速器调试机房辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.913mSv，所致周围公众年有效剂量最大约为 0.065mSv。由此可推测，本项目 2 号~20 号加速器调试机房辐射工作人员年有效剂量最大也约为 0.913mSv，所致周围公众年有效剂量最大也约为 0.065mSv。50m 评价范围内其他公众距本项目相对较远，经距离的进一步衰减后，基本湮灭在环境本底辐射中，故本项目所致辐射工作人员和周围公众年有效

剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中的剂量限值要求和本项目管理目标中对职业人员和公众剂量约束值的要求(职业人员年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.1mSv)。

#### (八) 销售过程辐射环境影响评价

公司生产、销售的直线加速器在公司厂区内调试、校验完成后, 将拆除各系统装箱发往客户, 在客户单位进行安装、调试, 并对客户单位辐射工作人员进行相关操作培训。

本项目辐射工作人员只负责加速器在客户单位的安装、调试, 售后维修维护由上海联影医疗科技股份有限公司负责。本项目直线加速器调试人员与客户现场调试人员为同一批工作人员, 公司生产的直线加速器在客户单位进行安装、调试时, 客户单位的直线加速器机房应已通过环境影响评价, 且该机房的屏蔽防护能力能满足相关标准要求。

本项目每名辐射工作人员在客户单位现场年安装、调试直线加速器数量不超过 30 台, 每台加速器开机调试出束时间不超过 10min, 开机出束调试期间辐射工作人员位于控制室内, 控制室内辐射剂量率保守取剂量率限值 ( $2.5\mu\text{Sv/h}$ ), 则 30 台加速器在客户单位安装、调试过程所致本项目辐射工作人员年受照剂量最大约为  $1.25\times 10^{-2}\text{mSv}$ , 故在客户单位现场安装、调试工作所致单名现场调试工作人员的年有效剂量较小, 可忽略不计。

#### (九) 工作场所通风措施评价

本项目每间加速器调试机房内均设有机械通风系统, 根据表 10-2 可知, 本项目各加速器调试机房配备的排风系统可使相应的调试机房每小时通风换气约 5 次, 能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)和《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)中治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。本项目加速器调试机房产生的臭氧和氮氧化物由排风系统排出, 臭氧常温下自动分解为氧气, 对周围环境影响很小。

本项目加速器调试机房通风系统的新风口位于加速器调试机房的吊顶处, 室内排风口位于距地面约 30cm 处, 新风口一个位于防护门处、一个位于迷道内口处, 排风口设置在迷道内口的对角位置, 送风口和排风口呈对角线布置, 且采用全排全送的通风方式, 能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)和《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)中相关要求。

本项目加速器调试机房新风管道均从防护门上方横梁倒“U”型穿墙, 排风管道均从侧屏蔽墙顶部“S”型穿墙, 通排风管道穿墙孔避开初级射线直接照射, 射线至少经过 3 次散射才能到达调试机房外, 根据《辐射防护导论》(P189)“如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道, 是能保证迷道口工作人员的安全”, 故本项目加速器调试机房通排风管道穿墙孔处的辐射剂量将在控制范围内。



## 事故影响分析

### 1、本项目可能产生的辐射事故主要有：

(1) 调试机房门-机联锁装置发生故障，人员误入正在出束调试的机房导致误照射；  
(2) 人员还未全部撤离调试机房，即进行出束调试，致使人员受到不必要的照射；  
(3) 门-机联锁装置发生故障，在防护门未关闭的情况下即开始出束调试，给工作人员和周围公众造成不必要的照射；

(4) 工作人员停机后立即进入加速器调试机房，受到感生放射性及吸入内照射辐射影响；

(5) 调试机房的防护门屏蔽受损，泄漏至机房外的射线给机房外人员造成不必要的照射。

### 2、辐射事故预防措施

针对上述事故风险，应从如下方面准备：

(1) 严格执行门-机联锁、急停开关等辐射安全措施定期检查制度，并将检查结果记录备案；

(2) 一旦发现门-机联锁系统或急停开关等辐射安全措施存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认门-机联锁系统、急停开关等辐射安全措施恢复正常后，方能重新投入加速器调试工作；

(3) 加强对工作人员安全教育，制定加速器调试操作规程，并张贴在控制走廊的醒目位置，使每个调试人员均可看到该提示，并严格按操作规程操作；

(4) 调试工作人员在进行加速器安装、调试时，佩带个人剂量计并携带个人剂量报警仪，并使个人剂量报警仪保持常开状态；同时使用辐射巡测仪定期对调试机房周围的辐射剂量进行检测。

### 3、辐射事故处置措施

(1) 如发生误照射，应立即切断电源或按下急停按，确保装置停止工作；

(2) 立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；

(3) 对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗；

(4) 如发生机房屏蔽受损，应尽快修复，待屏蔽满足要求后，方可重新启用。

依照国家环保总局的《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号文）中的规定，发生辐射事故时，公司应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

**表 12 辐射安全管理**

**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》等法律法规要求，生产、销售、使用射线装置的单位应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；辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

联影（常州）医疗科技有限公司已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定了专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员管理职责，满足相关环保要求。

公司拟为本项目配备40名调试人员，该40名调试人员部分从一期厂区的非辐射工作人员中抽调而来，部分为新招聘人员，公司应尽快组织该40名辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名，自主学习并报名参加考核，通过相应考核后，方能从事辐射工作。

此外，本项目辐射工作人员上岗前均拟参加公司组织的各类专业技术培训，培训内容包括直线加速器的原理及其应用、直线加速器的辐射安全防护、直线加速器的安装调试流程等内容，确保辐射工作人员具备完成设备安装调试的工作能力。

**辐射安全管理规章制度**

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，公司已制定了相关的辐射安全管理制度，主要有《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等，现对公司已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

**辐射防护和安全保卫制度：**已根据射线装置生产、销售的具体情况制定了相应的辐射防护和安全保卫制度，预防辐射安全事故的发生。

**操作规程：**已针对射线装置生产调试的具体情况制定了操作规程，明确了辐射工作人员的资质条件要求以及操作过程中应采取的具体防护措施及步骤，并明确严禁无证人员调试射线装置。

**设备检修维护制度：**明确了设备在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保设施安全有效地运转以及辐射监测设备保持良好工作状态。

**台账管理制度：**建立了健全的台账制度，并在日常工作中落实到位，对公司生产、调试和销售出的射线装置的型号、规格、数量、去向及日期等均需记录在台账上，做到有据可查。

**岗位职责：**明确了辐射管理人员、射线装置生产调试人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

**人员培训计划：**明确了培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

**个人剂量监测方案和职业健康体检制度：**明确了辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，公司明确了个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，公司建立了个人累积剂量和职业健康监护档案。

**辐射环境监测方案：**购置了环境辐射巡测仪等设备，明确了日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。

**事故应急预案：**公司已成立了单位负责人为领导的放射性事故应急领导小组，预案中明确了应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序、事故应急演练等。发生辐射事故时，应当立即启动事故应急预案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

公司制定的辐射安全管理规章制度较完善，并具有一定的针对性和可操作性，公司已开展加速器调试工作，相关工作人员具有较丰富的工作经验，能够按照相应的操作规程进行操作，公司也能够按照辐射安全管理制度对公司的辐射活动进行管理，满足现有核技术利用项目和本项目对辐射安全管理规章制度的需求。公司应根据本单位实际情况，每年至少开展一次综合或单项的应急演练，应急演练前编制演习计划，包括演练模拟的事故/事件情景；演练参与人员等，并在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

## 辐射监测

### 1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，生产、销售、使用射线

装置的单位应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，包括个人剂量报警仪、固定式和便携式辐射监测等设备，对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

联影（常州）医疗科技有限公司应为该二期厂区配备 1 台环境辐射巡测仪，为本项目每名辐射工作人员配备 1 台个人剂量报警仪，并为每间加速器调试机房配备 1 台固定式辐射剂量监测系统。公司还应为本项目辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织其进行职业健康体检，建立相关档案。

以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的仪器配备要求。

## 2、监测方案

联影（常州）医疗科技有限公司根据辐射管理要求，已制定如下监测方案：

(1) 请有资质单位定期对辐射工作场所周围环境辐射水平进行监测，周期：每年 1~2 次；

(2) 辐射工作人员佩带个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案；

(3) 所有辐射工作人员上岗前进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康监护档案；

(4) 自配备的辐射巡测仪定期进行检定，周期：每年 1 次；

(5) 利用自配备的辐射监测仪器对公司的辐射工作场所定期进行自主监测，建议每月 1 次，并记录档案。

公司现有核技术利用项目均已认真落实以上监测方案，每年请有资质监测单位对现有辐射工作场所及周围环境进行了监测，并不定期的进行自主监测。现有辐射工作人员均已配备个人剂量计，定期送有资质部门进行个人剂量监测，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值 $5\text{mSv/a}$ 。公司定期组织辐射工作人员进行健康体检，现有辐射工作人员均可继续原放射工作，并已按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。公司已于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的评估报告。

本项目运行后，也应落实上述监测方案，方能满足辐射安全管理的要求。本项目监测方案见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ 辐射剂量率、中子剂量当量率	请有资质单位监测，取得辐射安全许可证后 3 个月内	①调试机房四周墙体、顶外 30cm； ②调试机房防护门外 30cm，测门表面和四周门缝； ③操作位、机房周围人员经常活动的位置。	机房外辐射剂量率限值详见表 7-4~表 7-9。
	年度监测		请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测		自主监测，建议不少于 1 次/月		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/	/

根据《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修订版），当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；当发现个人剂量监测结果异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。

### 辐射事故应急

依照原国家环保总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号文）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为直线加速器开机误照射，属于一般辐射事故。

为加强射线装置在调试过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事件的发生而造成的危害，保障公司员工及社会公众的健康与安全，联影（常州）医疗科技有限公司已根据本项目发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，制定了辐射事故应急方案，应急预案内容主要包括：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）辐射事故分级与应急响应措施；
- （3）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- （4）应急演习计划；
- （5）辐射事故调查、报告和处理程序。

联影（常州）医疗科技有限公司制定的应急预案有效可行，公司应根据本单位实际情况，每年至少开展一次综合或单项的应急演练。此外，公司应加强管理，加强职工辐

射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，还应经常监测辐射工作场所的环境辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

**表 13 结论与建议**

**结论**

**1、项目概况**

为满足市场对高端医疗设备需求，联影（常州）医疗科技有限公司将在公司现有厂区的西侧新建二期厂区，并拟在二期厂区的车间一内建设 20 间医用电子直线加速器调试机房，供公司生产的医用电子直线加速器进行整机调试，其中 1 号~14 号调试机房为普通直线加速器调试机房，15 号~20 号为磁共振直线加速器调试机房，公司每年拟生产、销售 400 台医用直线加速器。

**2、产业政策符合性分析和实践正当性评价**

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订），本项目直线加速器属于国家鼓励类的第六项“核能”中第 6 款中“同位素、加速器及辐照应用技术开发”；根据《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012 年本）》（苏政办发[2013]9 号文）及其修改条目，本项目属于该指导目录中鼓励类的第四项“核能”中第 6 款中“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业发展政策。

联影（常州）医疗科技有限公司生产、调试、销售医用直线加速器，符合当前国家对国产医疗器械的扶持及公司的发展规划，可满足医疗机构对设备的需要，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

**3、选址、布局合理性评价**

联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区位于常州市新北区寒山路以东、云河路以南、梅山路以西、辽河路以北。

本项目加速器调试机房拟建场址位于车间一的中部偏南，该区域为单层建筑，1 号~10 号加速器调试机房相邻而建，11 号~20 号加速器调试机房相邻而建。其中 1 号~10 号加速器调试机房拟建场址东侧 50m 依次为车间过道、厂区道路和传达室、梅山路，南侧 50m 依次为控制走廊、RT 部件装配区、11 号~20 号加速器调试机房，西侧 50m 依次为车间过道、MR 筒体打磨间等车间工作场所、预留空地，北侧 50m 依次为车间过道、MR 筒体生产区，顶部和地下无建筑；11 号~20 号加速器调试机房拟建场址东侧 50m 依次为车间过道、厂区道路和辅房，南侧 50m 依次为车间过道、车间 RT 部件包装区、半成品中转存储间、真空钎焊区、排气间以及氢炉钎焊区、清洗间、废水处理间等车间工作场所，西侧 50m 依次为车间过道、装配间等车间工作场所、预留空地，北侧 50m 依次为控

制走廊、RT 部件装配区、1 号~10 号加速器调试机房，顶部和地下无建筑。

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，不涉及江苏省国家级生态保护红线区域和江苏省生态空间管控区域，也不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，并根据现场监测与环评预测，本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求，项目周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目直线加速器调试工作场所设有调试机房和控制走廊，调试机房与控制走廊分开设置，调试机房采用“L”型迷道设计，有用线束不向迷道照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射，有用线束照射方向无全居留场所，本项目直线加速器调试工作场所的布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中相关要求及《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)中治疗装置控制室应与治疗机房分离的规定以及《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中治疗设备控制室应与治疗机房分开设置并设置迷路等规定，布局合理。

公司拟将本项目加速器调试机房作为控制区，在机房入口处设置电离辐射警告标志，出束调试期间禁止任何人员进入；在控制走廊边界设置警戒线并在地面上粘贴警示线，将控制走廊划为监督区，出束调试期间禁止无关人员进入。本项目工作场所控制区和监督区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)有关辐射工作场所的分区规定。

公司在客户单位进行安装、调试时，将客户单位的加速器机房作为控制区，出束调试期间禁止任何人员进入；将加速器控制室及相关辅助房间作为监督区，出束调试期间禁止无关人员进入，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)有关辐射工作场所的分区规定。

#### **4、辐射防护措施评价**

本项目加速器调试机房均采用混凝土进行浇筑，根据理论预测及分析，本项目加速器调试机房的屏蔽防护设计满足辐射防护要求。

#### **5、辐射安全措施评价**

本项目加速器调试机房拟采取的辐射安全措施主要有：钥匙控制、电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮、监控系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统。本项目采取以上措施后，能够满足辐射安全防护要求。

本项目辐射工作人员在客户单位进行调试时，需佩戴个人剂量计并携带个人剂量报警仪，并使个人剂量报警仪保持常开状态。在开展调试工作前，先确保机房的相关辐射安全装置和措施能够正常运行，并对机房进行清场，确保机房内无人员逗留后，方可对



直线加速器进行开机调试。

## 6、辐射防护监测仪器评价

公司拟为二期厂区配备 1 台环境辐射巡测仪，为本项目每名辐射工作人员配备 1 台个人剂量报警仪，并为每间加速器调试机房配备 1 台固定式辐射剂量监测系统。配置后满足辐射监测仪器的配置要求。

## 7、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv）的剂量限值要求。

## 8、工作场所通风措施评价

本项目每间加速器调试机房内均设有机械通风系统，各加速器调试机房配备的排风系统可使相应的调试机房每小时通风换气约 5 次，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。本项目加速器调试机房产生的臭氧和氮氧化物由排风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

本项目加速器调试机房新风管道均从防护门上方横梁倒“U”型穿墙，排风管道均从侧屏蔽墙顶部“S”型穿墙，通排风管道穿墙孔避开初级射线直接照射，射线至少经过 3 次散射才能到达调试机房外，可使通排风管道穿墙孔处的辐射剂量在控制范围内。

## 9、辐射安全管理评价

联影（常州）医疗科技有限公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员的管理职责。公司应组织本项目辐射工作人员参加辐射安全和防护的培训，并为其配备个人剂量计并定期送检，定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，建立个人剂量档案及职业健康监护档案。公司已制定了相应的辐射安全管理规章制度，并具有较强的针对性和可操作性，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。

### 可行性结论：

综上所述，联影（常州）医疗科技有限公司扩建生产、销售、使用医用电子直线加速器项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该公司具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

## 建议与承诺

(1) 项目运行后，将严格遵循操作规程，加强对工作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

(2) 确保各项环保设施及辐射防护设施正常运行，严格按照国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

(3) 项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时重新申领辐射安全许可证。

(4) 项目停止使用时，需对退役的调试机房进行检测，若存在污染，需进行环境影响评价。

(5) 建设项目竣工后，公司应按照国务院生态环境行政主管部门规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见

经办人

公 章  
年 月 日

审批意见

经办人

公 章  
年 月 日

## 附表

“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员的管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中生产、销售、使用射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的管理或者至少有 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的要求。	/
辐射安全和防护措施	<b>屏蔽措施：</b> 本项目加速器调试机房均采用混凝土进行浇筑，具体见表 10-1。	加速器调试机房外辐射剂量率满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中的相关要求；工作人员及周围公众年有效剂量满足本项目管理限值要求：职业人员年受照剂量不超过5mSv，公众年受照剂量不超过0.1mSv。	1460.0
	<b>辐射安全措施：</b> 加速器调试机房设置钥匙控制、电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮、监控系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统。 在客户单位进行调试时，佩戴个人剂量计并携带个人剂量报警仪，并使个人剂量报警仪保持常开状态。在开展调试工作前，先确保机房的相关辐射安全装置和措施能够正常运行，并对机房进行清场，确保机房内无人员逗留后，方可对直线加速器进行开机调试。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等中的相关要求。	
	<b>通风措施：</b> 每个加速器调试机房内均设置机械通风系统，且每小时可使加速器调试机房通风换气不少于 4 次。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。	

人员配备	本项目辐射工作人员参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中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的管理要求。	8.0
	本项目辐射工作人员配备个人剂量计，每3个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测的管理要求。	
	本项目辐射工作人员定期进行健康体检（不少于1次/2年），并建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展健康体检的管理要求。	
监测仪器和防护用品	应配备1台辐射巡测仪	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器和防护用品的配置要求。	32.0
	应至少配备40台个人剂量报警仪		
	20套固定式辐射监测系统		
辐射安全管理制度	已制定《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等辐射安全管理制度，在之后的实际工作中对各项管理制度进行补充和完善。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中生产、销售、使用射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。	/

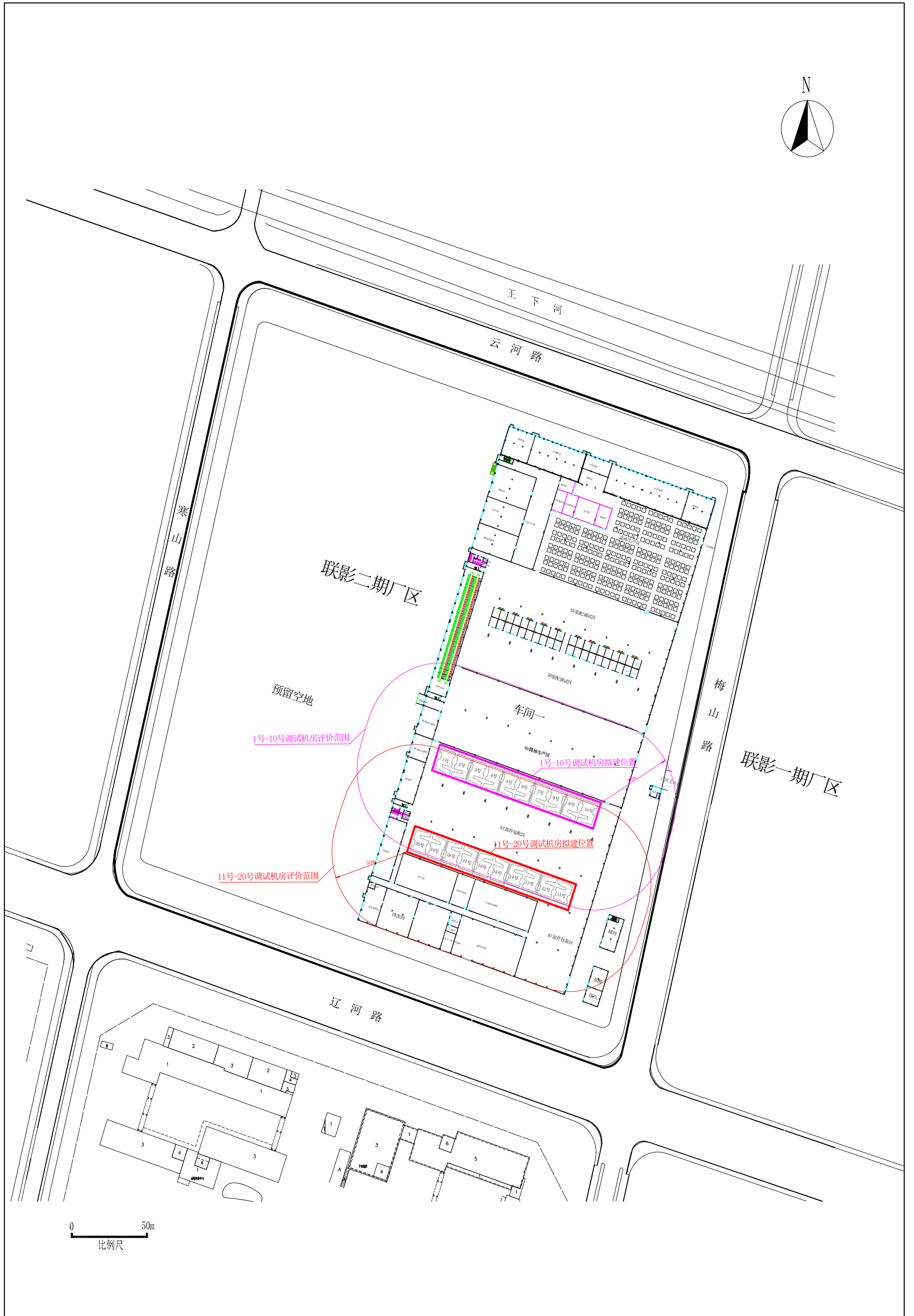
注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入运行。



附图1 联影（常州）医疗科技有限公司地理位置图

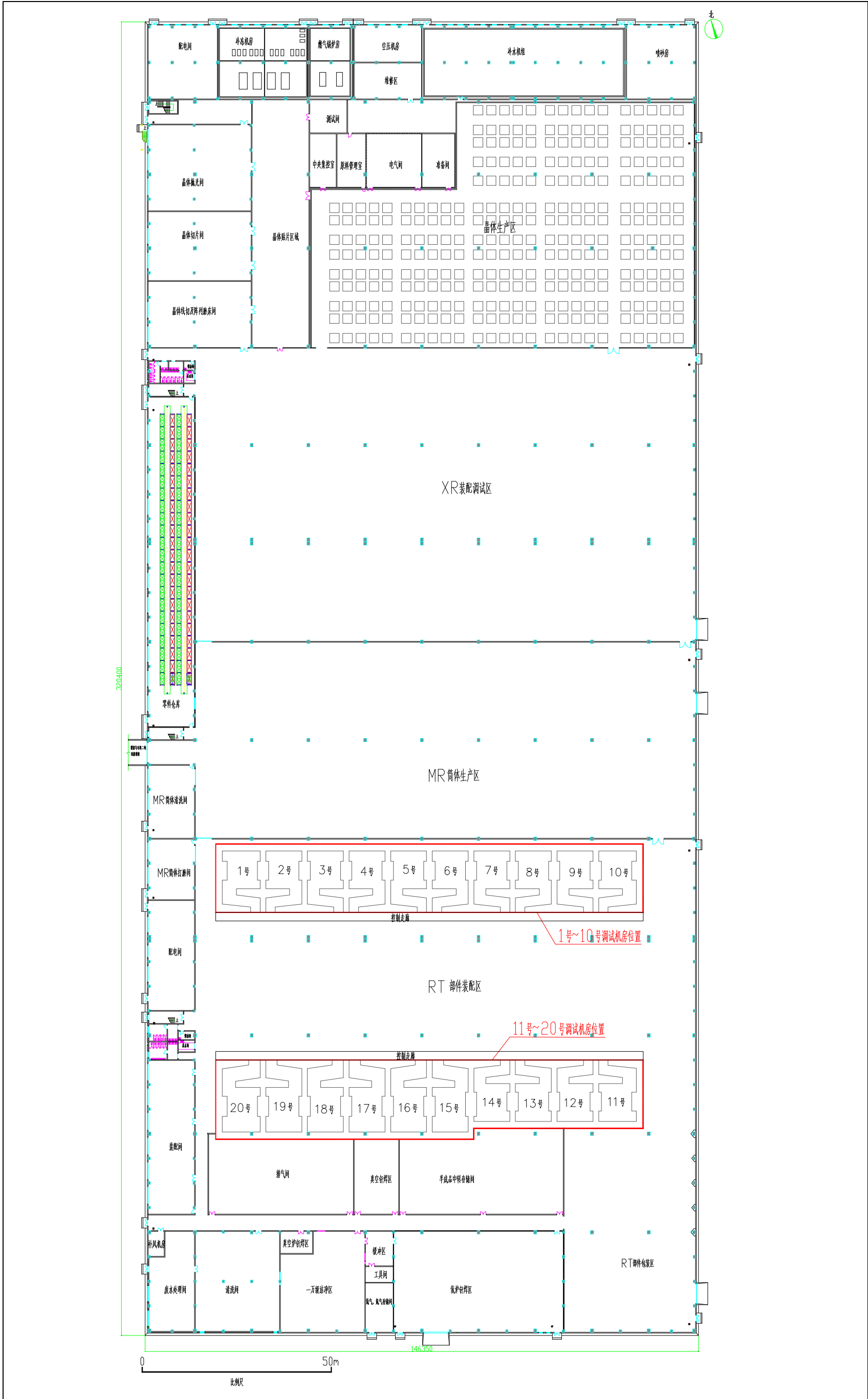


附图2 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区平面布局及周围环境示意图（a）

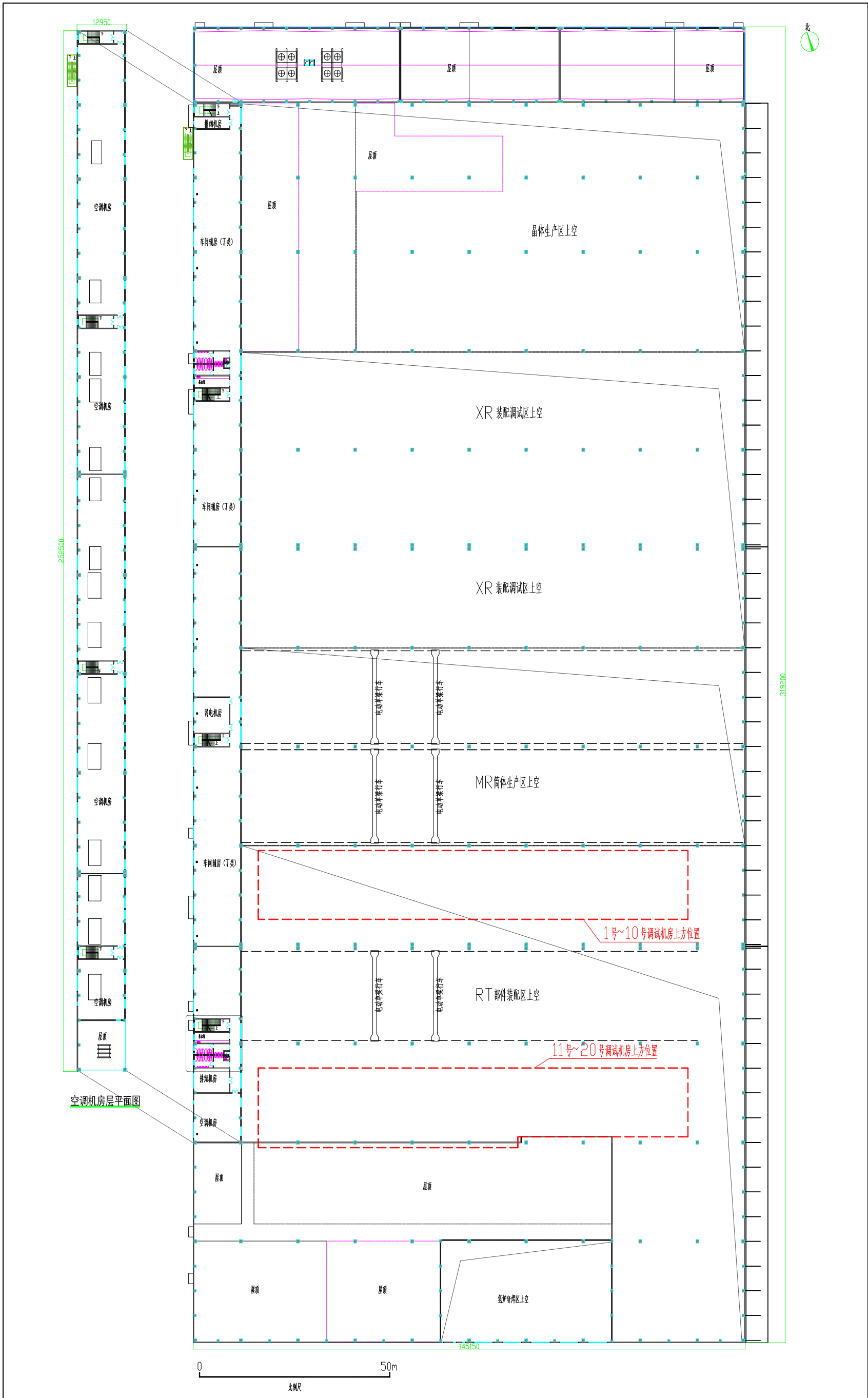


附图2 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区平面布局及周围环境示意图（b）





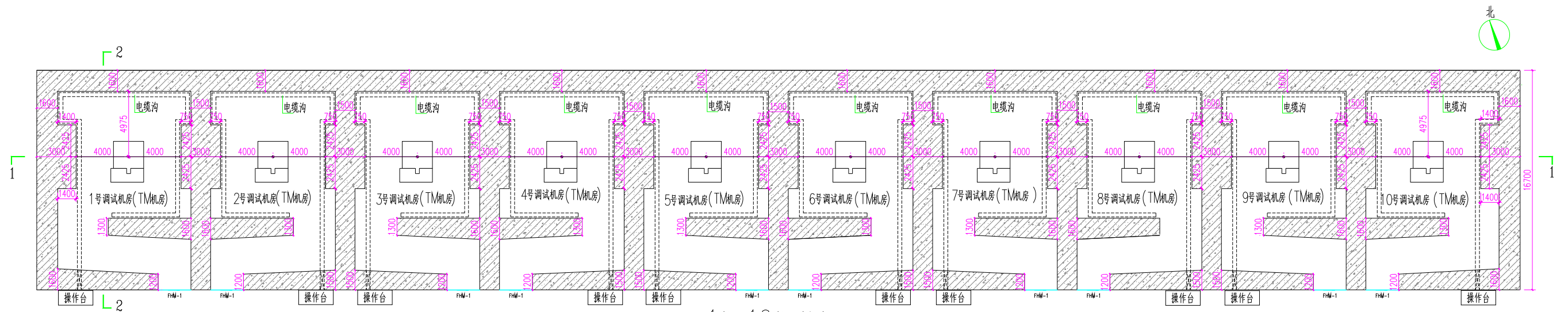
附图3 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区车间一一层平面布局图（单位：mm）



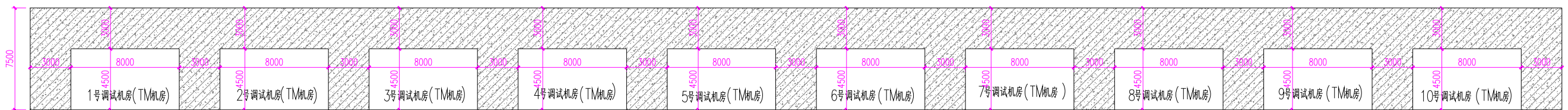
附图 4 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区车间一二层及夹层平面布局图（单位：mm）



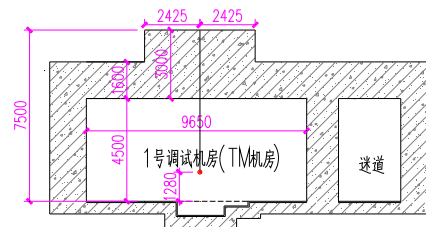
附图5 联影（常州）医疗科技有限公司二期厂区车间一剖面示意图（单位：mm）



1号~10号调试机房平面图



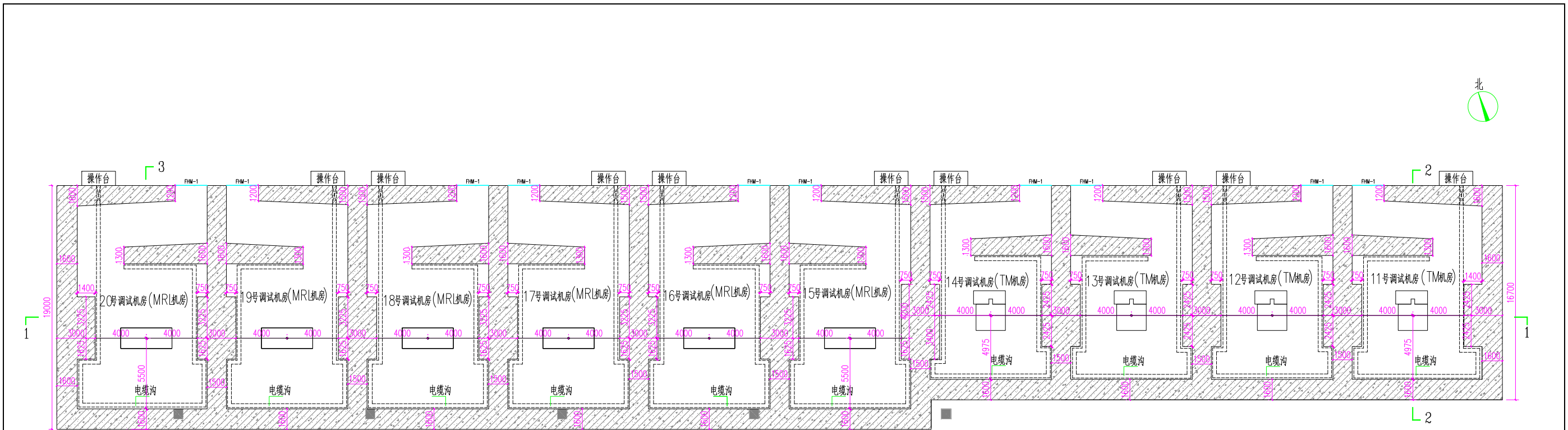
1-1 平面图



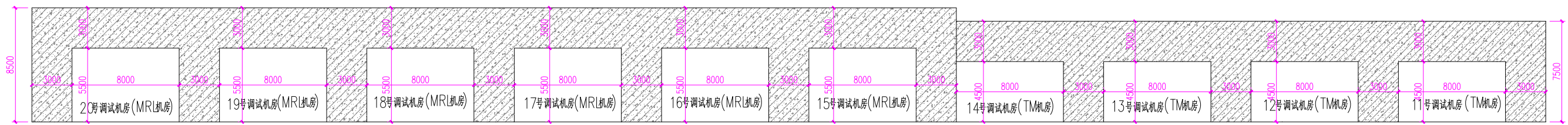
2-2 剖面图

注: 2号—10号调试机房的剖面图同1号调试机房的剖面图。

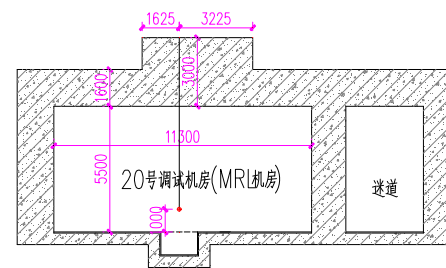
附图6 本项目1号~10号加速器调试机房结构示意图(单位: mm)



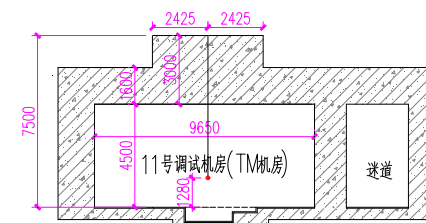
11号~20号调试机房平面图



1-1 平面图



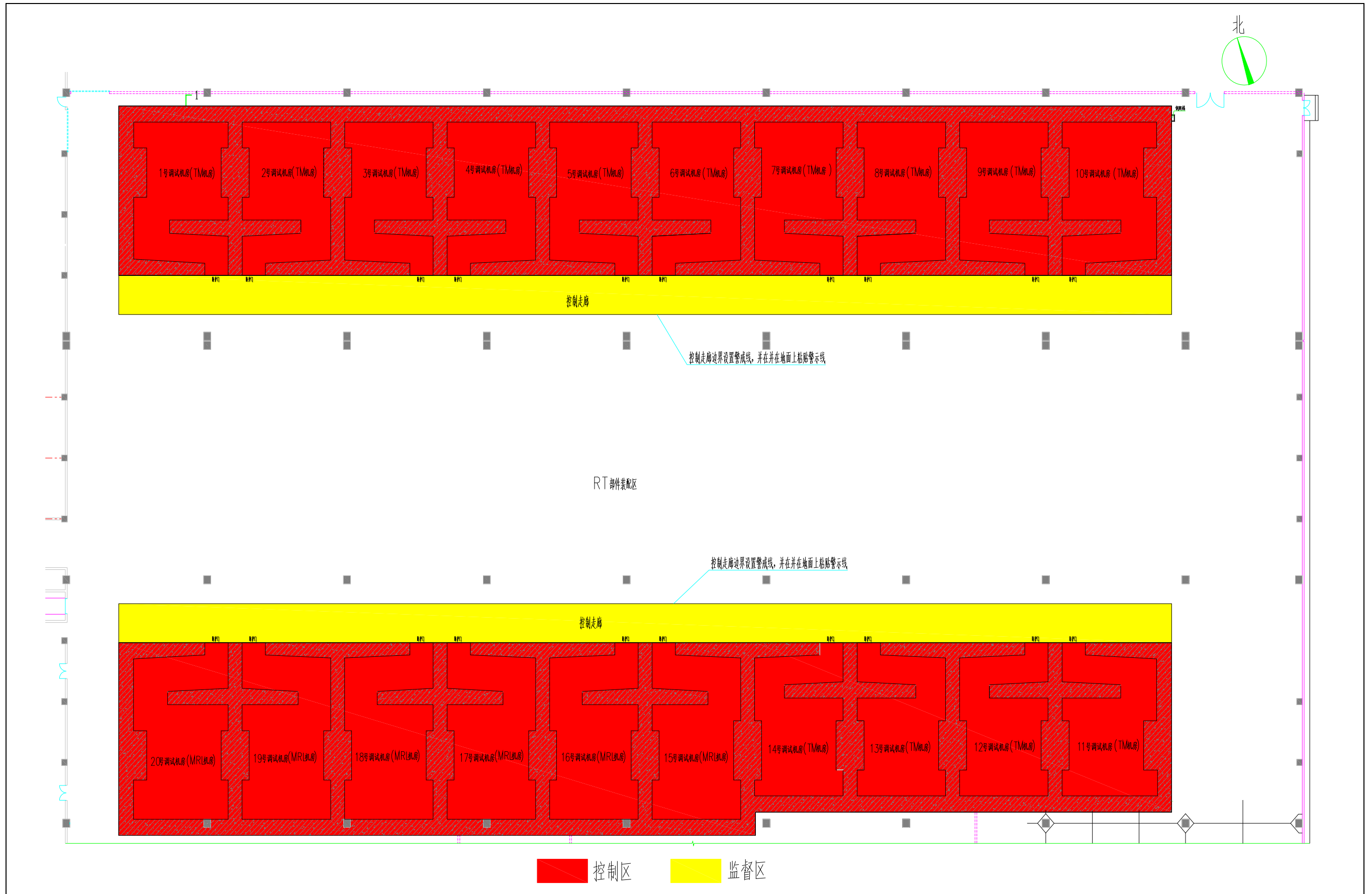
3-3 剖面图



2-2 剖面图

注: 12号—14号调试机房的剖面图同11号调试机房的剖面图, 15号—19号调试机房的剖面图同20号调试机房的剖面图。

附图7 本项目11号~20号加速器调试机房结构示意图(单位: mm)



附图8 本项目直线加速器调试场所控制区和监督区划分示意图