

核技术利用建设项目
西城院区更新 1 台医用直线加速器
并改造机房项目
环境影响报告表

首都医科大学附属北京友谊医院

2026 年 07 月



生态环境部监制

核技术利用建设项目
西城院区更新 1 台医用直线加速器
并改造机房项目
环境影响报告表

建设单位：首都医科大学附属北京友谊医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市西城区永安路 95 号

邮政编码：100050

电子邮箱：yygrglk2013@163.com

联系人：朱晨笛

联系电话：18600052846



目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	13
表 3	非密封放射性物质	14
表 4	射线装置	15
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	16
表 6	评价依据	17
表 7	保护目标与评价标准	20
表 8	环境质量和辐射现状	25
表 9	项目工程分析与源项	27
表 10	辐射安全与防护	33
表 11	环境影响分析.....	42
表 12	辐射安全管理	59
表 13	结论与建议	63
表 14	审 批	65

表 1 项目基本情况

建设项目名称		西城院区更新 1 台医用直线加速器并改造机房项目				
建设单位		首都医科大学附属北京友谊医院				
法人代表	张澍田	联系人	朱晨笛	联系电话	18600052846	
注册地址		北京市西城区永安路 95 号				
项目建设地点		北京市西城区永安路 95 号西城院区妇泌楼地下一层西北角				
立项审批部门		无		批准文号	无	
建设项目总投资（万元）		3000	项目环保投资（万元）	300	投资比例（环保投资/总投资） 10%	
项目性质		☐ 新建 ☒ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m²） 122.4	
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类			
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类			
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类			
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类			
		☒ 使用	☒ II类 ☐ III类			
	其他					

1.1 单位概况

首都医科大学附属北京友谊医院（以下简称“北京友谊医院”或“医院”）始建于 1952 年，原名为北京苏联红十字医院，是新中国成立后，由党和政府建立的第一所大型综合性医院。1970 年，周总理亲自命名为“北京友谊医院”。

经过 70 余年的发展，首都医科大学附属北京友谊医院已发展为集医疗、教学、科研、预防为一体的北京市属三级甲等综合医院，是国家消化系统疾病临床医学研究中心和消化健康全国重点实验室依托单位，国家中西医结合“旗舰”医院试点单位，首都医科大学第二临床医学院。进入新时代，医院顺应首都发展变化，立足北京“四个中心”功能定位，落实北京城市总体规划，服务非首都功能疏解，形成了西城院区、西城院区、顺义院区和城市副中心行政办公区门诊部“三区一部”新发展格局，为医院高质量发展奠定基础。2023 年 12 月，西城院区二期项

目开诊运行。2024 年 4 月 26 日，顺义院区开诊，成为顺义区首家三甲综合医院。

医院现有职工 5100 余人，其中中国工程院院士 1 人，北京学者 3 人，研究生导师 257 人，高级专业技术人员 825 人，国家级和北京市级专业委员会主委、副主委及核心期刊主编、副主编 95 人。目前三院区编制床位 3306 张。2023 年年门诊总量 336 万人次，出院患者 9.4 万人次。医院是北京市首批基本医疗保险 A 类定点医疗机构，已开通门诊、住院异地医保持卡结算服务，也是全国最早承担干部保健及外宾医疗任务的医院之一。

医院拥有北京临床医学研究所、北京热带医学研究所、北京市中西医结合研究所、北京市临床药学研究所和北京市卫生局泌尿外科研究所等 5 个研究机构，拥有国家临床重点专科 10 个，博士点 27 个，硕士点 32 个，国家住院医师规范化培训专业基地 17 个，国家专科医师规范化培训试点基地 4 个,全国重点实验室 1 个，北京市重点实验室 4 个，北京市临床质控中心 4 个，北京市转化中心 1 个，还拥有支撑临床研究发展的国家消化系统疾病临床医学研究中心、消化健康全国重点实验室、北京市首批示范研究型病房、北京临床研究质促中心、ISO9001 认证生物样本库、多中心互认医学伦理平台等。医院与海外及国内优秀医学院校长期保持学术交流合作，接待国内外专家学者和留学生短期交流及来院参观见习。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状

北京友谊医院已取得了北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[B0353]），有效期至 2027 年 9 月 14 日），许可的种类和范围是：使用 V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

北京友谊医院已许可射线装置使用情况见表 1-1。

表 1-1 医院已许可的射线装置情况

序号	名称	类别（类）	数量（台）	备注
1	医用 X 射线 CT 机	III	26	使用
2	放射治疗 CT 模拟定位机	III	2	使用
3	骨密度仪	III	11	使用
4	普通 X 射线机	III	33	使用
5	移动 X 射线机	III	39	使用
6	乳腺 X 射线机	III	4	使用
7	碎石机	III	1	使用
8	牙科 CT 机	III	7	使用

9	牙科 X 射线机	III	10	使用
10	移动 C 形臂 X 射线机	III	7	使用
11	移动 X 射线机 (DR)	III	2	使用
12	PET-CT	III	2	使用
13	SPECT-CT	III	5	使用
14	医用直线加速器	II	2	使用
15	数字减影血管造影装置	II	15	使用
合计			166	

医院已许可的非密封放射性同位素使用情况见表 1-2。

表 1-2 北京友谊医院已许可非密封放射性同位素使用情况

序号	场所名称	场所等级	核素	活动种类	用途	日最大操作量 (贝可)	日等效最大操作量 (贝可)	年最大用量 (贝可)	备注
1	顺义院区核医学科门诊	乙级	F-18	使用	诊断	7.4E+9	7.4E+6	1.85E+12	
2			Ga-68	使用	诊断	3.7E+8	3.7E+6	1.85E+10	
3			I-123	使用	诊断	1.48E+9	1.48E+7	7.40E+10	
4			I-131	使用	诊断	3.33E+6	3.33E+5	3.33E+8	
5			I-131	使用	诊断	9.25E+8	9.25E+7	9.25E+10	
6			Tc-99m	使用	诊断	1.48E+9	1.48E+8	7.4E+10	
7			Tc-99m	使用	诊断	3.7E+10	3.7E+7	9.25E+12	
8	顺义院区核医学治疗区(含病房)	乙级	I-131	使用	治疗	2.66E+10	2.66E+9	1.32E+12	甲癌住院治疗
9			I-131	使用	治疗	1.85E+9	1.85E+7	1.85E+11	门诊甲亢治疗
10			Lu-177	使用	治疗	7.40E+9	7.40E+8	3.70E+11	前列腺癌等留观治疗
11			Ra-223	使用	治疗	1.32E+7	1.32E+8	6.60E+8	门诊治疗
12			Sr-89	使用	治疗	2.96E+8	2.96E+7	1.48E+10	门诊治疗
13	西城院区核医学科	丙级	I-125 (粒子源)	使用	治疗	1.78E+10	1.78E+7	3.33E+11	
14	西城院区核医学科	乙级	Cu-64	使用	教学科研	3.7E+8	3.7E+6	4.62E+10	
15			F-18	使用	诊断	2.96E+10	2.96E+7	5.92E+12	
16			Ga-67	使用	诊断	1.85E+8	1.85E+7	1.85E+10	
17			Ga-67	使用	诊断	1.85E+8	1.85E+7	1.85E+10	
18			Ga-68	使用	诊断	3.7E+8	3.7E+6	4.62E+10	
19			I-123	使用	诊断	5.55E+9	5.55E+7	9.25E+10	
20			I-131	使用	诊断	1.85E+7	1.85E+6	3.7E+8	
21			I-131	使用	治疗	7.42E+9	7.42E+8	1.48E+12	
22			Lu-177	使用	治疗	3.70E+9	3.70E+8	1.11E+11	
23			Ra-223	使用	治疗	7.4E+6	7.4E+7	2.25E+8	

24			Sr-89	使用	治疗	7.4E+8	7.4E+7	1.48E+11	
25			Tc-99m	使用	诊断	1.18E+12	1.18E+9	3.55E+13	
26			Tc-99m	使用	诊断	3.0E+11	3.0E+8	3.55E+13	
27			Tl-201	使用	诊断	1.85E+9	1.85E+6	1.85E+10	
28			Tl-201	使用	诊断	1.85E+9	1.85E+6	1.85E+10	
29			Zr-89	使用	诊断	7.40E+7	7.40E+6	4.44E+9	
30	西城院区 内镜中心	丙级	I-125 (粒子源)	使用	治疗	1.78E+9	1.78E+6	3.55E+11	
31	西城院区 手术室 (医技楼)	丙级	I-125 (粒子源)	使用	治疗	1.78E+9	1.78E+6	3.33E+11	

医院已许可的放射源使用情况见表 1-3。

表 1-3 医院已许可的放射源使用情况

序号	辐射活动场所	核素	类别	活度 (Bq)	(枚数)	备注
1	西城院区国际 医学部	Se-75	V类	1.48E+6	1	使用
2		Se-75	V类	1.58E+8	1	使用
3		Ge-68	V类	4.63E+7	2	使用
4		Ge-68	V类	9.25E+7	1	使用
5		Co-57	V类	1.17E+8	1	使用
6		Co-57	V类	1.48E+6	1	使用

1.2.2 近几年履行环保审批情况

医院近 5 年以来一共有 8 个辐射环评报告表项目，具体落实情况见表 1-4。

表 1-4 建设项目环保手续落实情况

序号	环评批复文号	项目名称	竣工验收情况	备注
1	京环审[2020]41 号	通州院区新增使用 4 台 DSA 项目	已于 2021 年 8 月完成自主验收	
2	京环审[2022]103 号	西城院区使用 2 台 II 类射线装置项目	已于 2023 年 05 月完成自主验收	
3	京环审[2023]7 号	顺义院区新建核医学科项目	已于 2024 年 10 月完成分段自主验收	
4	京环审[2023]50 号	顺义院使用 II 类射线装置项目	其中 4 台 DSA、1 台直线加速器均已经建成并已重新申领了辐射安全许可证，还剩 1 台 DSA 相关内容正在建设中	
5	京环审[2023]60 号	西城院区使用 1 台 DSA 项目	已于 2024 年 11 月完成自主验收	
6	京环审[2024]83 号	顺义院区新建核医学科病房项目	正在进行自主竣工验收	
7	京环审[2025]28 号	通州院区新增 1 台 DSA 项目	已于 2025 年 11 月完成自主验收	
8	京环审[2025]38 号	西城院区更新 1 台 DSA 并改造机房项目	已于 2025 年 11 月完成自主验收	

目前，医院辐射安全许可证上现有的射线装置、放射源、非密封放射性同位素均满足相关要求，正常运行中。

1.2.3 辐射安全管理情况

1.2.3.1 辐射管理机构基本情况

为了加强辐射安全和防护管理工作，促进放射性同位素和射线装置的安全使用，北京友谊医院专门成立了医院辐射安全防护领导小组，由医院法人、执行院长为第一责任人，主管副院长、感控处长为主要责任人，院办、感控处、医学工程处、人力资源处、规划建设处、核医学科、放射科、口腔科、神经外科、心脏中心等部门的相关人员担任组员，并指定主管副院长邓明卓为医院辐射防护负责人，感控处杨艳艳、朱晨笛专职负责辐射安全管理工作。医院辐射防护负责人、专职人员均已参加并通过辐射安全和防护考核，取得了辐射安全与防护考核证。辐射防护领导小组成员名单见表 1-5。

表 1-5 医院辐射安全防护领导小组成员名单

序号	人员类别	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	负责人	谢向辉	男	医院管理	党委书记	院办	兼职
2		张澍田	男	内科学	执行院长（法人）	院办	兼职
3	辐射防护负责人	邓明卓	男	医院管理	主管副院长	院办	兼职
4	组员	王振常	男	医院管理	副院长	院办	兼职
5	组员	龚迎光	男	医院管理	总务处处长	总务处	兼职
6	组员	王兢	女	护理学	中心手术室护士长	中心手术室	兼职
7	组员	杨艳艳	女	医院管理	医师	疾病控制与预防感染管理处	专职
8	组员	司阳	男	医院管理	行政处室负责人	规划建设处	兼职
9	组员	董瑞华	男	临床药理	研究型病房主任	研究型病房	兼职
10	组员	朱晨笛	男	医院管理	医师	疾病控制与预防感染管理处	专职
11	组员	谢聘	女	医院管理	行政处室负责人	人力资源处	兼职
12	组员	孙建军	男	外科学	临床科室负责人	神经外科	兼职
13	组员	金龙	男	介入放射科	介入放射科主任	介入放射科	兼职
14	组员	郭欣	女	医院管理	门诊部主任	门诊部	兼职
15	组员	骆金铠	女	护理学	行政处室负责人	护理部	兼职
16	组员	周春莲	女	医院管理	行政处室负责人	疾病控制与预防感染管理处	兼职
17	组员	张璐璐	男	医院管理	行政处室负责人	医学工程处	兼职
18	组员	任军	男	医学工程	放射组组长	医学工程处	兼职

19	组员	牛亦农	男	外科学	临床科室负责人	泌尿外科	兼职
20	组员	曹邦伟	男	肿瘤学	肿瘤中心主任	肿瘤中心	兼职
21	组员	郭艾	男	外科学	临床科室负责人	骨科	兼职
22	组员	支德源	男	医院管理	行政处室负责人	医务处	兼职
23	组员	王婷婷	女	医院管理	临床科室负责人	国际医疗部	兼职
24	组员	吴丽青	女	医院管理	采购中心主任	采购中心	兼职
25	组员	尤红	女	内科学	常务副院长	院办	兼职
26	组员	崔永	男	外科学	临床科室负责人	胸外科	兼职
27	组员	杨正汉	男	医学影像与放射治疗	临床科室负责人	放射科	兼职
28	组员	王拥军	男	内科学	临床科室负责人	消化科	兼职
29	组员	陈晖	男	内科学	临床科室负责人	心脏中心	兼职
30	组员	黄晓峰	男	口腔科	临床科室负责人	口腔科	兼职
31	组员	杨吉刚	男	核医学	核医学主任	核医学科	兼职
32	组员	苑国强	男	医院管理	保卫处副处长	保卫处	兼职
33	组员	梅雪岭	男	医院管理	教育处处长	教育处	兼职
34	组员	张拥波	男	神经内科	神经内科主任	神经内科	兼职

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

医院结合医院实际情况，制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射防护与安全管理小组及其职责，辐射防护和安全保卫制度，操作规程，放射设备检修维护制度，台账管理制度，放射工作人员管理制度，辐射工作场所监测制度，放射性废物暂存、处置方案，辐射事故（件）应急预案等，医院辐射安全管理严格遵循国家的各项相关规定，结合医院的具体情况，认真贯彻辐射安全和防护的相关制度，能够满足实际工作需要。

1.2.3.3 工作人员考核情况

医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，医院从事辐射相关工作人员约 445 人分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核。

今后，医院将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告、2021 年第 9 号公告要求，定期（五年一次）组织辐射工作人员进行辐射安全防护考核，考核通过后方可上岗。

1.2.3.4 个人剂量监测

医院所有从事辐射工作的医护人员均佩戴 TLD 个人剂量计，每季度监测 1 次，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案，

并于每季度前将上一季度全体辐射工作人员的个人剂量监测数据上报至全国核技术利用辐射安全申报系统中。

医院现有辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，监测频度为每 3 个月检测一次。医院最近一年度（2025 年）个人年度剂量检测报告（详见附件 2）表明，个人季度最高值为柳杨 0.723mSv（放射科人员），但其年剂量最大值为 0.882mSv，均未超过医院年剂量管理目标值。

医院有专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射安全防护领导小组。医院今后将加强个人受照剂量监测工作，如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值的 1/4，将对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；必要时将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测

（1）工作场所辐射水平监测：根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，医院每年委托有资质单位对射线装置和非密封放射性物质工作场所进行 1 次工作场所环境辐射水平监测和工作场所表面污染水平监测，监测数据记录存档。

医院每年委托有资质的单位对医院已有的辐射场所防护和机器性能检测一次，且北京市卫生健康委员会每年都要对医院的《放射诊疗许可证》校验一次，校验时医院必须提供当年的检测合格报告，检测报告齐全，检测结果均满足相关标准要求。

医院委托长润安测科技有限公司、北京疾病预防控制中心对医院全部在用射线装置工作场所及核医学工作场所进行检测，监测项目为场所周围剂量当量率及 β 表面污染水平。根据检测结果显示：CT 机、牙科口内机、胃肠机、直线加速器等设备在正常工作条件下，其机房屏蔽体外周围剂量当量率均不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；DR 摄影机设备在正常工作条件下，其机房屏蔽体外周围剂量当量率均不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，均满足 GBZ 130-2020、GBZ 121-2020、HJ 1198-2021 等标准要求；核医学科工作场所控制区周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区 β 表面污染水平小于 40Bq/cm^2 ，均满足 GBZ 120-2020、GB 18871-2002 等标准要求。

（2）工作场所自行监测：根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办

法（试行）》要求，医院定期开展工作场所环境辐射水平自行监测。核医学场所每天工作结束后，对非密封放射性同位素工作场所的工作台台面、手套箱台面、注射台以及设备等进行表面污染监测，监测数据记录存档。工作人员离开可能受到放射性污染的工作场所时，监测其工作服、体表的表面污染水平。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，医院已配备的辐射监测仪器，详细清单见表 1-6。

表 1-6 医院现配有辐射监测仪器清单

序号	仪器名称	型号	仪器状态	数量	备注
1	便携式剂量率仪	NT6101	正常	1	顺义院区放疗中心
2	个人剂量报警仪	FJ3200	正常	2	顺义院区放疗中心
3	固定式辐射监测仪	KBT-1000	正常	1	顺义院区放疗中心
4	固定式剂量报警仪	DCP-ZJY	正常	1	顺义院区核医学治疗区（含病房）
5	表面污染监测仪	MR-AB30	正常	1	顺义院区核医学治疗区（含病房）
6	辐射剂量巡测仪	FJ1200	正常	1	顺义院区核医学治疗区（含病房）
7	便携式辐射剂量率仪	HA31006-N10	正常	2	顺义院区核医学科门诊 1 台、导管中心及手术室 1 台
8	便携式辐射监测仪	FJ1200	正常	1	通州院区手术室医保 1 室
9	辐射测量仪	FJ1200	正常	2	通州院区手术室导管室 1 台、介入中心 1 台
10	多功能便携式监测仪	Inspector	正常	1	西城院区核医学科
11	多功能便携式监测仪	INSPFCTOR 11608	正常	1	西城院区核医学科
12	多功能便携式监测仪	Inspector	正常	1	西城院区核医学科
13	环境级 X、Y 辐射测量仪	FJ1200	正常	1	西城中心手术室第 20 手术室
14	数字区域 X 线检测仪	375	正常	2	心脏导管安装 1 台，放射科导管室安装 1 台
15	表面沾染仪	INSPFCTOR Alert V2	正常	1	消化内镜中心
16	个人剂量仪	FJ3200	正常	2	消化内镜中心
17	个人剂量仪	FJ3500	正常	17	
18	个人剂量仪	WF-99	正常	3	西城放疗科
19	个人剂量仪	SDC-61	正常	1	西城放疗科
20	便携式巡测仪	NT-6101	正常	1	西城放疗科
21	固定式射线报警仪	KBT-1000	正常	1	西城放疗科

待本项目建设完成后，周围场所的辐射水平监测工作，将继续纳入医院辐射工作场所的监测范围，一并按照现有制度规定的频度开展。

1.2.3.6 辐射事故应急管理

医院许可的活度种类范围和使用放射性同位素与Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，已制定了《辐射应急预案》，预案中明确了应急指挥机构、人员组成及分工、应急部门及人员职责、应急器材，发生辐射事故时的报告、通讯联络方式、应急处置方式等，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，即能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全。

发生辐射事故时，单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。

为提高和加强放射突发事件应急处理能力，同时最大程度地降低放射事件可能造成的后果，保障辐射工作人员及患者的生命安全，2025 年 12 月，医院辐射安全领导小组组织核医学科、放疗科、医学影像中心、感控处、保卫处等相关科室人员参加了每年一度的辐射事件应急预案演练，使工作人员知晓发生辐射时的处置流程，加强应对各类突发事件的处理能力，有效提高工作人员辐射事件的防范意识，效果良好。

1.2.3.7 其他情况

医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规每年对本单位同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了 2025 年年度评估报告。

1.3 本项目概况

1.3.1 本项目背景

据中国国家癌症中心报道，2015 年我国新发肿瘤患者为 429.2 万人，肿瘤发病率持续高速增长，各级医疗机构面临较大的肿瘤治疗压力。目前放射治疗和手术治疗对肿瘤治愈率的贡献基本相当，约为 25%，化学治疗对治愈率的贡献约为 5%~7%。放射治疗是肿瘤的三大主要治疗手段之一，而医用电子直线加速器是开展放射治疗技术必备的设备。

医院西城院区目前只有 1 台医用直线加速器，且设备老旧，经常故障，不少患者在不同医疗机构奔波之间造成一定程度的治疗延误。故此，医院西城院区拟更新 1 台医用直线加速器并改造机房，将更好地为广大肿瘤患者提供先进精准的

放射治疗技术，对于推进肿瘤治疗事业的进一步发展具有积极作用。

1.3.2 项目建设正当性

医院最近一年西城院区放射治疗肿瘤患者数量大约 9000 人次，顺义院区放射治疗肿瘤患者数量大约 10500 人次，但是由于原有加速器老旧，经常损坏需要维修，造成患者不能得到及时治疗，因此为了保证医院的放疗需求，本次将增加加速器机房局部屏蔽防护，同时拟在原址更新 1 台医用直线加速器，改造后的加速器室整体布局不变。本项目的建设可以提高医院对疾病的诊治能力，放疗系统对于提升医院肿瘤相关学科的学术地位至关重要，具有显著的社会效益。

且本次申请使用的医用直线加速器为很成熟的放疗设备，本项目运行产生的辐射影响很小，对职业人员、公众以及环境带来的不利影响，远低于其使用对社会带来的利益，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及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）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

1.3.3 本项目产业政策符合性

本项目属于使用Ⅱ类射线装置，属于依据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中“第一类 鼓励类”“十三、医药”中“4.高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”，本项目属于“**高端放射治疗设备**”类项目，属于鼓励类，符合国家产业政策。

本项目不属于《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》中禁止和限制项目。因此，本项目的建设符合国家及地方产业政策要求。

1.3.4 目的和任务的由来

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》相关规定，本项目属于使用Ⅱ类射线装置项目，应当进行环境影响评价，编制环境影响报告表，报生态环境主管部门审批。

根据生态环境部《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（2019 年生态环境部令第 9 号）最新要求，北京辐环科技有限公司符合第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位。公司有专职环评工程

师，有能力开展环境影响评价工作。受医院的委托，评价机构环评人员在现场踏勘、收集资料的基础上，对该项目建设和运行对环境的辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。评价主要考虑医用直线加速器在使用过程中，对周围环境的辐射影响，对职业人员和公众的辐射影响。

1.3.5 项目基本情况

已许可的 Elekta Axesse 型 10MV 的医用电子直线加速器位于西城院区妇泌楼地下一层西北角加速器室，拟报废并更新使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器（已取得大型设备配置许可），现有加速器停诊后，委托有资质单位对设备和场所进行检测，确保都没有污染情况下才可进行拆除。为了便于患者的治疗，更新后的加速器等中心位置往北移约 19.5cm，往东移约 25cm，同时为进一步减少对周围的辐射影响，拟对加速器室进行局部防护改造。本项目使用的射线装置情况见下表。

表 1-7 本项目使用的射线装置情况表

序号	工作场所	设备名称	设备型号	生产厂家	设备参数（最大）		类别
					X射线	电子线	
1	西城院区加速器室	医用电子直线加速器	Elekta Harmony Pro	医科达公司	10MV常规模式：360Gy/h（1.0m处），无FFF模式； 6MV FFF模式：840Gy/h（1.0m处），最大照射野40cm×40cm。 CBCT：150kV/500mA	12MeV； 360Gy/h	II类

1.3.6放射治疗科规划

（1）整体部署：利用现有放射治疗科，为患者提供安全、高效的医疗服务，同时保障医、技、护、工程等人员有基本的工作、学习、科研场所。

（2）设备数量：本次西城院区拟改造现有加速器机房，并更新使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器。同时拟更新使用 1 台 CT 模拟定位机，待型号定好后再办理环评备案。

（3）工作制度：250d/a。

（4）实施计划：医院在获得配置许可后再行购置及安装。

（5）辐射工作人员配备情况

根据建设单位提供的资料，医院西城院区、顺义院区目前分别有1台直线加速器（共2台），全院放疗科现有辐射工作人员19名，其中8名医师，7名技师、2名护士、2名物理师，满足放疗设备使用要求。本项目西城院区拟改造机房并更

新1台直线加速器，建成后全院仍为2台医用电子直线加速器，放疗科拟利用现有辐射工作人员，满足临床使用要求。

辐射工作人员均已取得辐射安全与防护考核合格证，考核证都在有效期内，并及时参加每五年一次的重新考核，同时按照国家相关规定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，并为工作人员保存职业照射记录。

（6）辐射监测仪器配备情况

本项目加速器室拟利用现有2台个人剂量报警仪、1台便携式辐射监测仪，新增1套固定式剂量率报警仪用于机房监测，能够满足常规的监测需求。

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
以下无 内容								

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
以下无内容										

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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	1	Elekta Harmony Pro	电子	10MV（X 射线） 12MeV（电子线）	10MV 常规模式：360Gy/h（600cGy/min，1.0m 处）； 6MV FFF 模式：840Gy/h（1400cGy/min，1.0m 处）。 电子线：360Gy/h（600cGy/min，1.0m 处）。 配套 CBCT：150kV/500mA	放射治疗	西城院区 妇泌楼地下一层西北角加速器室	
以下无内容										

（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
以下无内容									

（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	
以下无内容													

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
O ₃ 和NO _x	气态	/	/	/	/	/	直接排放	经通风系统直接排入环境大气

表6 评价依据

法规 文件	1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日起施行。 2. 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日第二次修正并实施。 3. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日起施行。 4. 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号修订，2017 年 6 月 21 日公布，2017 年 10 月 1 日起实施。 5. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号第二次修订，2019 年 3 月 2 日第二次修订版公布并实施。 6. 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部 部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起实施。 7. 《〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉北京市实施细化规定（2022 年本）》的通告，北京市生态环境局通告〔2022〕4 号，2022 年 4 月 1 日起实施。 8. 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，中华人民共和国生态环境部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行。 9. 北京市生态环境局关于发布《北京市生态环境局环境影响评价文件管理权限的建设项目目录（2024 年本）》的通告（京环发〔2024〕24 号），自 2025 年 1 月 1 日起实施。 10. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，中华人民共和国生态环境部 部令第 20 号修订，2021 年 1 月 4 日公布并实施。 11. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原中华人民共和国环境保护部 部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起实施。 12. 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，原中华人民共和国环境保护部、原国家卫生和计划生育委员会 公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日。 13. 《关于发布〈建设项目竣工环境保护验收暂行办法〉的公告》，国环
----------	---

	规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日。 14. 《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，原北京市环境保护局办公室，京环办[2018]24 号，2018 年 1 月 25 日。 15. 《北京市城乡规划条例》，北京市人民代表大会常务委员会公告（十五届）第 61 号，2021 年 9 月 24 日修订版公布并实施。 16. 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令，2024 年 2 月 1 日起施行。 17. 《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》，北京市人民政府办公厅，京政发办（2022）5 号，2022 年 2 月 14 日起施行。 18. 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环保部，环办辐射函（2016）430 号。 19. 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，原北京市环境保护局文件，京环发（2011）347 号。 20. 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，中华人民共和国生态环境部，2020 年 2 月。 21. 《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》，中华人民共和国生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日。 22. 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，中华人民共和国生态环境部公告 2021 年第 9 号，2021 年 03 月 15 日实施。 23. 《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》，原国家环保总局，环发（2006）145 号。 24. 《放射诊疗管理规定》，中华人民共和国卫生部令第 46 号，2006 年 3 月 1 日起实施。 25. 《国家卫生健康委关于发布“十四五”大型医用设备配置规划的通知》国卫财务发（2023）18 号，2023 年 6 月 21 日。 26. 北京市卫生健康委员会《关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》，北京市卫健委，2019 年 8 月。
--	---

技术标准	1. 《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016), 原中华人民共和国环境保护部。 2. 《环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)。 3. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。 4. 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)。 5. 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)。 6. 《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)。 7. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)。 8. 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019)。 9. 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326-2023), 2024 年 02 月 01 日实施。 10. 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)。 11. 《环境空气质量标准》(GB3095-2026)。 12. 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)。
其他	1. NCRP Report No.151: Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, 2005。 2. 原国家环境保护局监督管理司,《中国环境天然放射性水平》, 1995 年 8 月 3. 《放射肿瘤物理学: 教学手册》IAEA, 2005 年。 4. 医院提供的与本项目相关的申请和技术资料, 2026 年 6 月。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目评价内容为医院西城院区妇泌楼地下一层西北角的 1 间加速器室更新 1 台 10MV 医用电子直线加速器及机房改造。

7.1.2 关注问题

- (1) 加速器室辐射屏蔽设计是否满足国家相关标准的要求。
- (2) 辐射安全管理情况及污染防治措施是否满足法规及相关标准的要求。

7.1.3 评价因子

本项目的环境影响评价因子为电子线、X 射线、臭氧和氮氧化物。

7.1.4 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016) 的规定,并结合该项目辐射为能量流污染的特征,根据能量流的传播与距离相关的特性,确定本项目评价范围为加速器室控制区实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。本项目评价范围示意图见图 7-1 所示,本项目加速器室投影至地面控制区周围 50m 范围内除了北侧约 40m 为华仁路 31 号院 1 号楼外,其余方向东、南侧为医院内部,西侧为西经路,50m 范围内无学校、居民楼等敏感目标。

7.2 保护目标

本项目加速器室位于医院妇泌楼地下一层西北角,加速器室所在的妇泌楼东侧为内科楼,妇泌楼南侧隔院内道路为医技楼、动物室、外科楼;妇泌楼西侧隔院内道路为太平间、西经路;妇泌楼北侧隔院内绿地为永定路,之外为华仁路 31 号院 1 号楼。

加速器室东、南、北侧紧邻均为地下土层;西侧紧邻为走廊,之外为候诊区、控制室、设备间等;楼上为院内地面室外绿地;楼下为地下土层。

医院本项目加速器室更新设备并直加机房防护,进一步减小对周围环境的辐射影响,充分考虑周围场所的安全,已避开特殊人群及人员密集区域,满足 HJ1198-2021 的选址要求。根据项目特点及周围毗邻关系,确定主要环境保护目标主要为评价范围内工作人员,以及场所周围活动的公众人员。本项目将采取有

效的辐射防护与安全管理措施,确保加速器运行时所致工作人员和周围公众的年受照射剂量低于本报告提出的剂量约束值。

本项目 50m 评价范围见图 7-1,医院妇泌楼地下一层、地下一层加速器所在位置周边关系见图 7-2、图 7-3。场所周围 50m 范围内保护目标相关情况见表 7-1。

表 7-1 本项目场所周围 50m 范围内主要保护目标

位置	保护目标	距离(m)	常居留数量(人)	方位	周围 50m 范围内主要场所或建筑物
加速器室	公众	0~50	>50	加速器地面一层东侧	妇泌楼地面一层
	/	0~50	0	加速器室地下一层东侧	地下土层
	公众	0~50	>50	加速器地面一层南侧	医技楼、动物室、外科楼
	/	0~50	0	加速器地下一层南侧	地下土层
	公众	0~50	0	加速器地面一层西侧	隔院内道路为太平间、西经路
	公众	0~1.6	0	加速器地下一层西侧	走廊
	本项目工作人员	1.6~6.6	2		控制室、设备间
	公众		<20		候诊区
	公众	0~40	0	加速器地面一层北侧	隔院内绿地为永定路
	公众	40~50	>50		华仁路 31 号院 1 号楼
	/	0~50	0	加速器地下一层北侧	地下土层
	公众	0~50	0	加速器楼上	院内地面室外绿地
	/	0~50	0	加速器楼下	地下土层

备注: ①项目加速器室地面投影至一层的北侧 40m 处为华仁路 31 号院 1 号楼,加速器室在地下一层,对华仁路 31 号院 1 号楼居民辐射环境影响较小。

②加速器相关场所是位于妇泌楼西北角的地下一层独立场所,加速器机房标高为 -4.8m,而妇泌楼地下一层标高-1.7m,不在一个空间平面,且中间相邻为土层。



图 7-1 本项目评价范围示意图

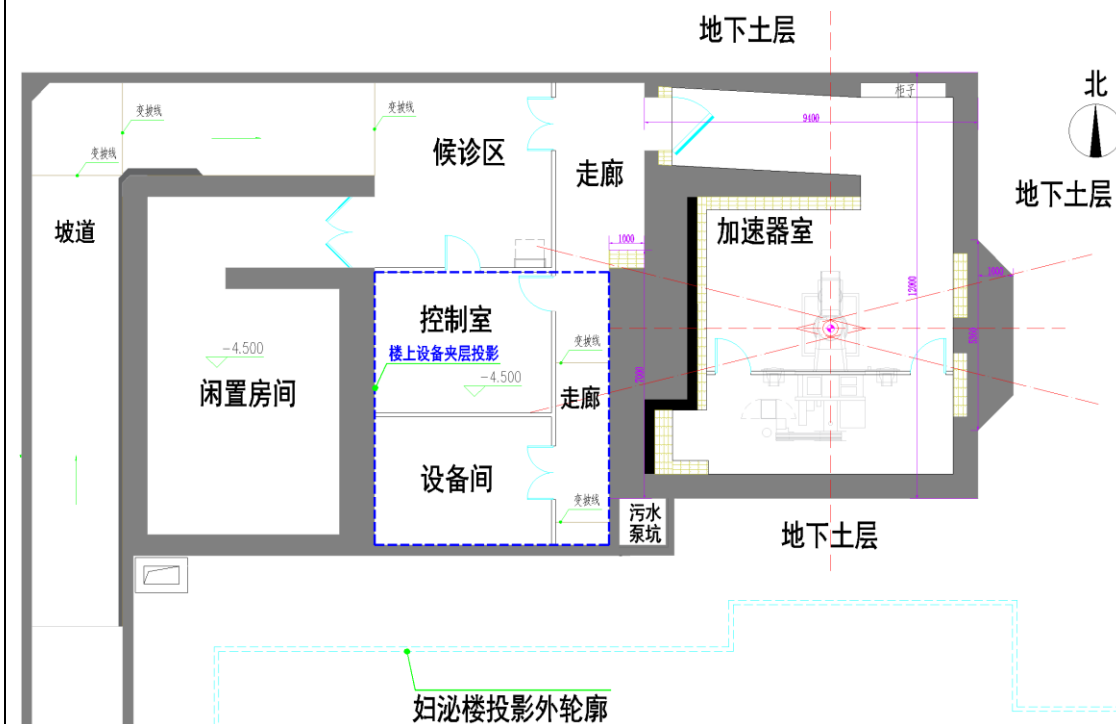


图 7-2 医院妇泌楼地下一层周围关系图（加速器室）

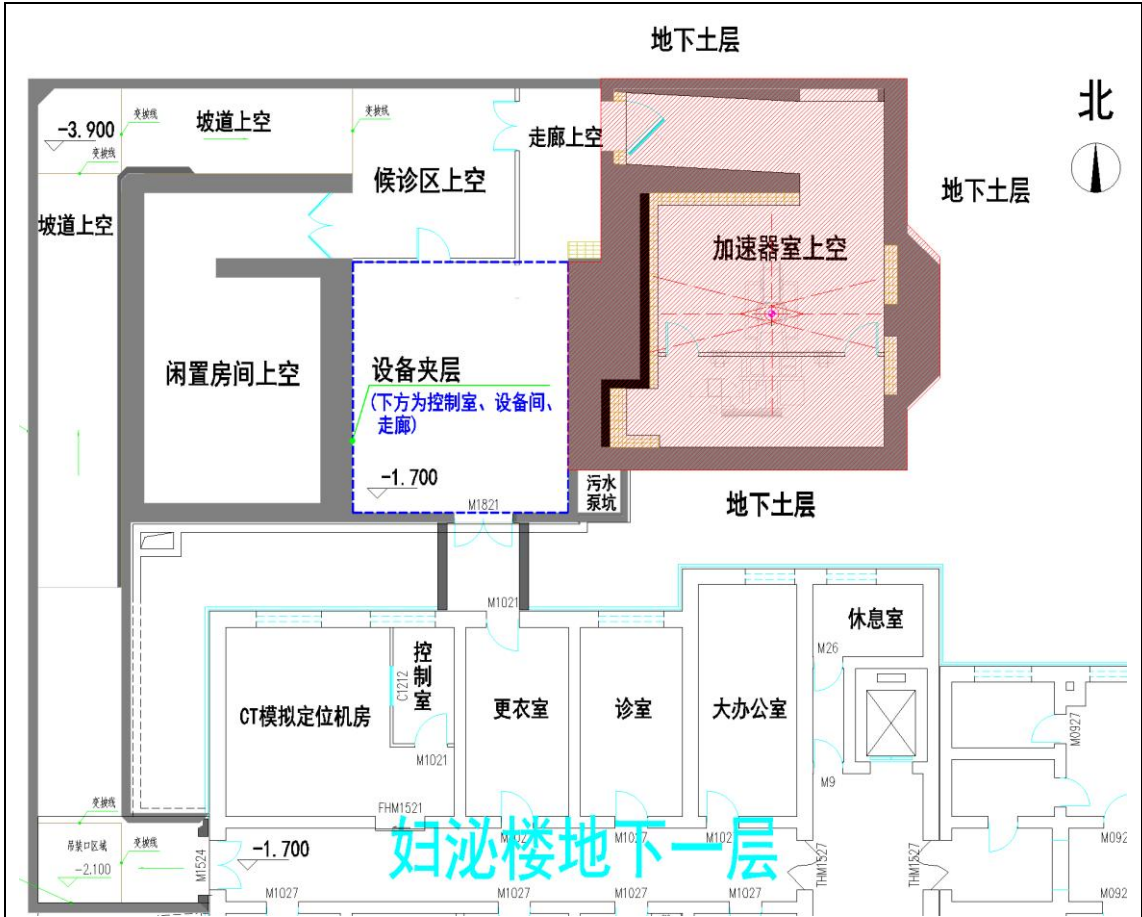


图 7-3 医院妇泌楼地下一层周围关系图（加速器室楼上）

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）规定的剂量限值列于表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值（GB18871-2002）

职业工作人员	公众
连续五年平均有效剂量 20mSv，且任何一年有效剂量 50mSv	年有效剂量 1mSv；但连续五年平均值不超过 1mSv 时，某一单一年可为 5mSv

7.3.2 剂量约束值

GB18871-2002 还规定了年剂量约束值，按辐射防护最优化原则设计的年剂量控制值应小于或等于该剂量约束值。剂量约束值是剂量限值的一个分数，公众剂量约束值通常应在 0.1~0.3mSv/a 范围内。

职业照射，本项目所有从事放射治疗的辐射工作人员（放射治疗科）年受照剂量约束值取 2mSv；公众照射，本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。对于辐射

工作人员年受照剂量异常情况，医院应该进行调查并报生态环境部门备案。

7.3.3 辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

对于本项目，要求在满足上述年剂量约束值的同时，参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），剂量率控制值为：本项目加速器室控制区边界外 30cm 处（人员可达处）的辐射剂量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.4 非放射性控制值

（1）室内空气质量

根据 GBZ2.1-2019，工作场所空气中 O_3 和 NO_2 的浓度限值分别为 0.3mg/m^3 和 5mg/m^3 。

（2）环境空气质量

臭氧和氮氧化物的环境空气质量浓度限值执行《环境空气质量标准》（GB3095-2026）中的二级浓度限值，臭氧的 1 小时平均浓度 0.2mg/m^3 ， NO_2 的 1 小时平均浓度 0.2mg/m^3 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状监测

本项目更新加速器场所现状情况引用现有辐射工作场所常规检测数据进行评价。医院委托北京疾病预防控制中心于 2025 年 05 月 11 日对西城院区现有加速器场所进行了现状监测。监测内容如下。

8.1.1 监测项目

周围剂量当量率。

8.1.2 监测对象及点位布设

监测对象：本次评价选取本项目拟改造相关场所及周边点位。

监测点位：监测点位布设见图 8.1-1。

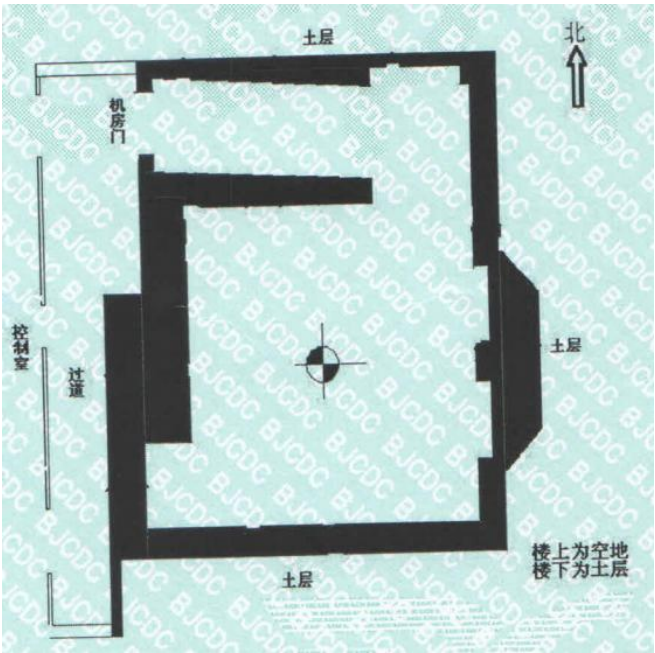


表 8-1 西城院区现有加速器场所周围剂量当量率监测点位图

8.1.3 监测仪器与监测规范

监测仪器的参数与监测所依据的规范见表 8.1-1。

表 8.1-1 监测仪器与监测规范

检测方法依据	《放射治疗放射防护要求》GBZ121-2020				
主要检测仪器	名称	型号	编号	检定/校准证书编号	检定/校准有效期
	X、Y 剂量率仪	6150AD6/H+6150AD-b/H	08760	DLj2026-00087	2025.04.15

8.1.4 监测结果

周围剂量当量率的监测数据见表 8.1-2。

表 8.1-2 拟改造的现有加速器场所周围当量剂量率检测结果

序号	检测点位置	周围当量剂量率检测结果 (μSv/h)	备注
1	机房门	0.85	向东照射
2	工作人员操作位 (西墙外)	0.17	向西照射
3	管线洞口 (西墙外)	<0.04	向西照射
4	西墙外有用束区	1.1	向西照射
5	西墙外次屏蔽区	0.23	向西照射
6	顶有用束区	0.94	向上照射
7	顶次屏蔽区	0.15	向上照射

注：(1) 检测条件：10MV，360Gy/h。

(2) 除有用束屏蔽区外，其余位置检测时照射野内均放置水模作为散射体；有用束区测量时准直器角度为 45°。

(3) 室内环境本底平均值为 0.10 μSv/h，室外环境本底平均值为 0.09 μSv/h，最低探测水平为 0.04 μSv/h。

8.2 监测结果评价

根据表 8.1-2 检测结果显示：本项目现有加速器场所边界外、楼上的辐射剂量率不大于 2.5μSv/h，均满足相关标准要求。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 医用电子直线加速器

9.1.1 工作原理

首先脉冲调制器给磁控管提供高压，磁控管产生高能的电磁场，电磁场由微波传输系统，传输到加速管内，在加速管内部的谐振腔里建立驻波场；同时由加速管枪灯丝产生电子线，电子线在高压电场的加速下，进入加速管的谐振腔，加速管内部的驻波场给电子加速，使电子获得高能量，当高能电子线与加速管靶相互作用时，就会产生 X 射线。

电子直线加速器是产生高能电子线的装置，为远距离放射性治疗机。电子枪发射电子，在由磁控管或速调管为功率源的加速管中加速，当达到所需能量时，经散射箔和准直器得到治疗电子线。在 X 射线工作时，电子线射到金属靶上产生韧致辐射（X 射线），经准直得到治疗 X 射线。加速器放射治疗的工作方式为：以一个或几个治疗野定向照射，获得计划所需的治疗剂量。

典型医用直线加速器见图 9-1。

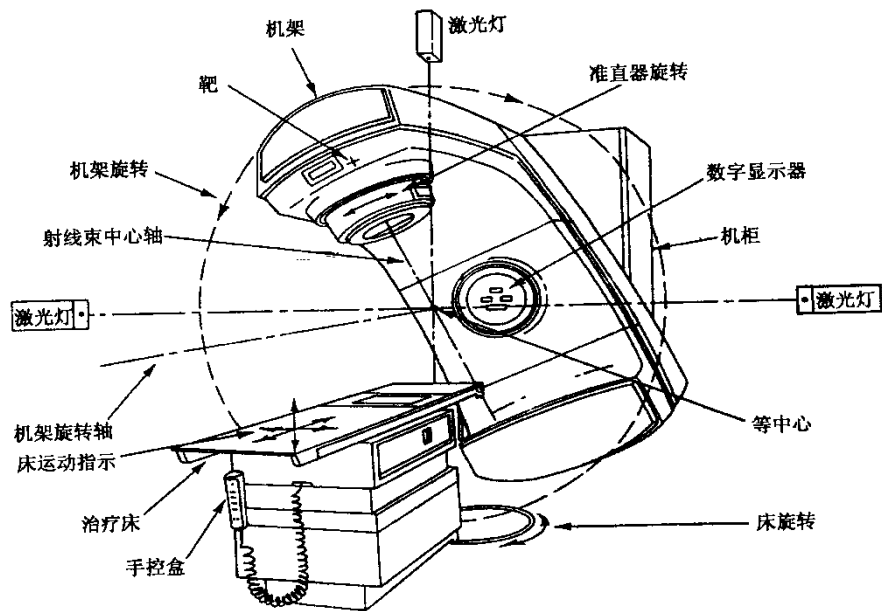


图 9-1 电子直线加速器示意图

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速

后进入偏转磁场，所形成的电子线由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，经初级准直器和均整器形成剂量均匀的 X 射线束，再通过监测电离室和次级准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

医用电子直线加速器内部结构见图 9-2。

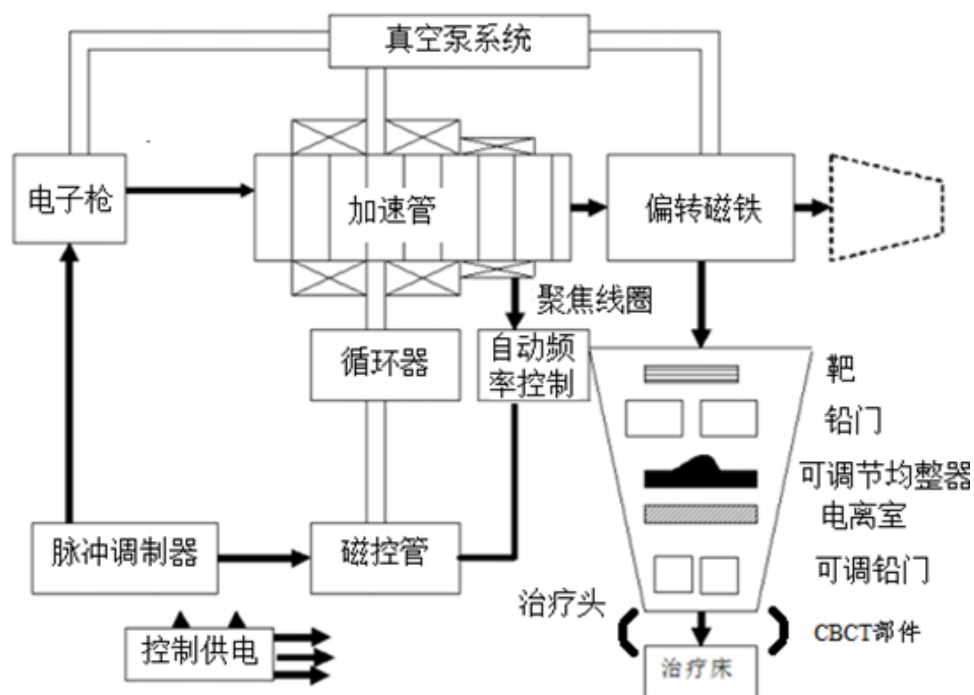


图 9-2 典型医用电子直线加速器内部结构图

（1）产生带电粒子的结构，即电子枪。

电子枪是在真空状态下，应用高温阴极电子的电子热发射或高电场的电子场发射来获得电子，在阴极电压的电场作用下，电子从电子枪射出，再利用附加电场将电子引到加速器轨道上去。

（2）加速器的主体部分

这部分的主要作用是将带电粒子加速到预定的能量，按其功能又可分为三个系统：I.加速器电场系统。产生电场使电子加速。II.控制磁场系统。产生磁场力使电子按预定的轨迹运动（包括导引磁场系统和电磁聚焦系统等）。III.真空系统。主要是保证粒子在运动过程中，尽可能减少与气体分子碰撞而造成损失和不必要的影响。

（3）电子线引出结构

使已加速到额定能量的电子线偏离其原来的轨道，按预定方向直接引出，或者打内靶产生次级粒子。

本项目更新的加速器拟配有 CBCT 定位模块,主要用于治疗计划验证。CBCT 扫描部分主要由 X 射线管和不同数目的探测器组成,用来收集信息,X 射线束对所选择的层面进行扫描,其强度因不同密度的组织相互作用而产生相应的吸收和衰减。

9.1.2 工作流程

1、治疗流程

(1) 接收病人: 对病人进行登记, 进行临床检查, 经医生诊断和治疗正当性判定后, 根据肿瘤分期、分型确定治疗方针, 与放疗中心预约登记, 确定模拟定位治疗的时间。

(2) 制模: 为保证治疗体位重复性与准确性, 用热塑体模在相应治疗部位按照病人身体轮廓进行塑形、固定;

(3) 模拟定位: 使用模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查, 确定肿瘤的具体位置和形状, 工作人员隔室操作;

(4) 勾画靶区 TPS 制定治疗计划: 勾画病变靶区和正常器官, 根据患者瘤体的类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间, 并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划;

(5) 治疗计划确认: 再次确认靶区剂量, 核实正常器官、热点和冷点是否在允许的范围之内, 加速器是否有相应的转床、碰床等机械限值, 移床等坐标设置是否正确;

(6) 病人摆位: 摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求, 调整治疗床高度, 严格按照摆位要求实施摆位; 摆位结束, 摆位人员等非患者均离开治疗室, 关闭防护门;

(7) 实施治疗: 根据放疗计划, 运用有关技术实施精确照射;

(8) 结束治疗: 病人离开治疗室, 摆位人员进行下一个患者摆位准备。医用电子直线加速器放射治疗工作流程见图 9-3。

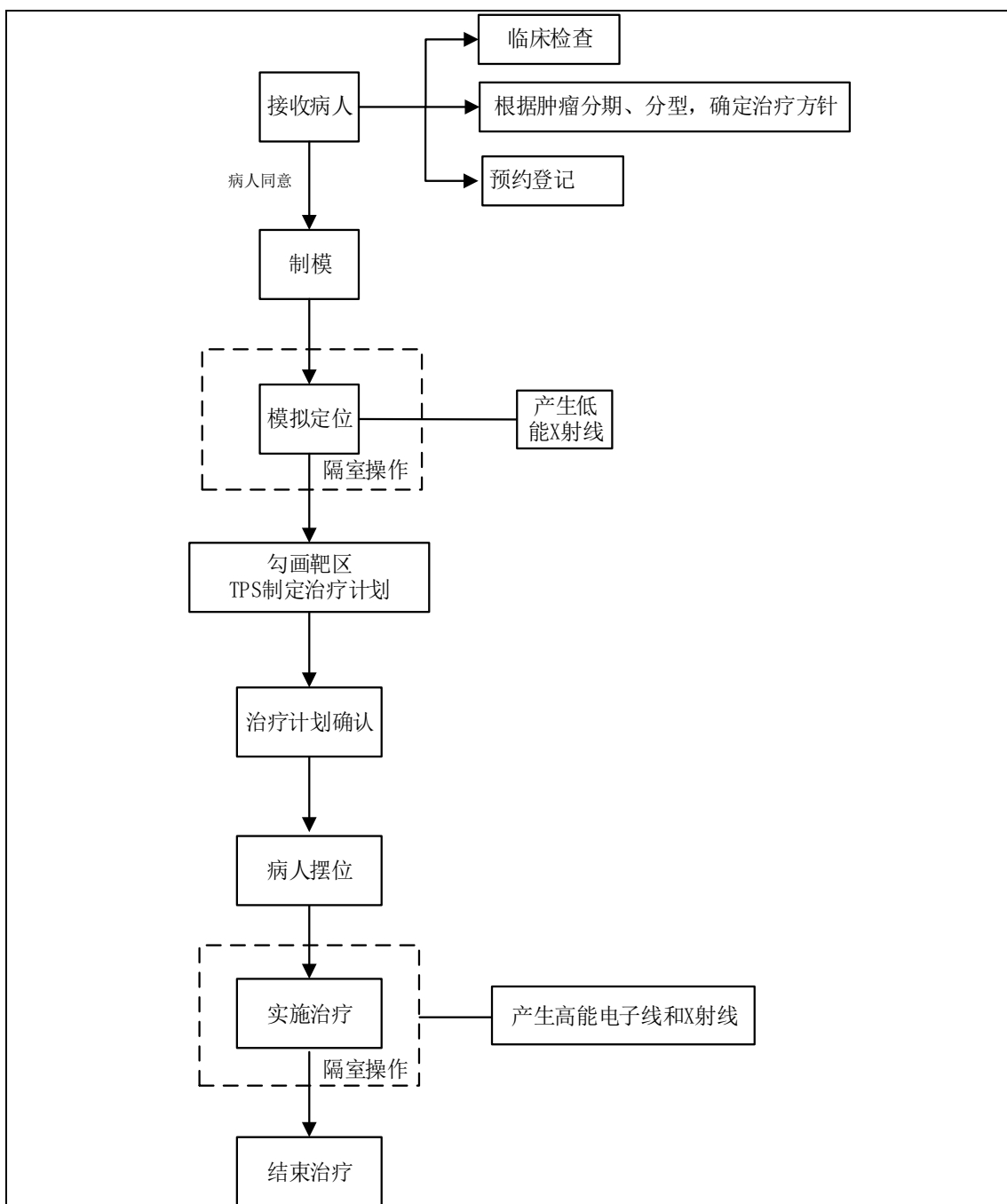


图 9-3 医用电子直线加速器放射治疗工作流程

2、使用规划

(1) 工作量：考虑到日益增长的患者量需求，按每天最大工作负荷 50 人次/天，年工作 250d 进行评价。每人“上床、摆位、照射、下床”平均时间约 6-8 分钟，全天完成 50 人次治疗，所需时间约 5h-6.7h。

(2) 出束时间：既开展常规放射治疗，也开展 IMRT、VMAT 等适形调强放射治疗，患者比例约为 1:9，根据医院提供资料，加速器预期每天最多治疗 50

人次，250 人次/周。保守假设放射治疗在 400cGy/min 平均照射条件下，平均每人待照射区照射 2Gy，用时 0.5min，加速器日治疗 50 人时出束时间为 25min/d，年总照射时间 105h/a；适形调强放射治疗（IMRT）与普通放疗相比给予患者的吸收剂量是相同的，但等中心处照射野会明显小，使用 VMAT 技术适形调强治疗时，调强因子取 3（常规调强 IMRT 因子取 5）。

（3）使用因子：泄露、散射方向治疗照射的使用因子保守取 U=1，主束方向治疗照射的使用因子保守取 U=0.25。

9.1.3 设备技术指标

本项目拟更新的加速器性能参数见表 9-1。

表 9-1 医用电子直线加速器性能参数

序号	指标	技术参数
1	设备名称	医用电子直线加速器
2	设备型号	Elekta Harmony Pro
3	生产厂家	医科达公司
4	射线种类	X 射线、电子线
5	能量分档	X 射线：最高能量为 10MV
6		电子线：电子线最高能量为 12MeV
7	等中心剂量率	10MV 常规模式：360Gy/h（1.0m 处）； 6MV FFF 模式：840Gy/h（1.0m 处）
8		电子线为 360Gy/h
9	等中心处最大照射野 （主射束夹角）	400mm×400mm（28°×28°）
10	泄漏率	小于等于等中心处吸收剂量的 0.1%
11	靶到等中心点距离	1.0m
12	机架旋转角度	360°
13	图像引导模式	CBCT（最大 150kV/500mA）

9.2 污染源项描述

电子直线加速器运行时电子轰击靶物质产生韧致辐射（X 射线）。本项目加速器常规最大输出 X 射线辐射剂量率为 360Gy/h（FFF：840Gy/h）。有用线束外泄漏辐射剂量为有用线束的 0.1%，X 射线照射至墙壁和患者身体将产生散射辐射。加速器运行产生的 X 射线贯穿辐射、泄露辐射和散射辐射进入外环境，对环境有一定的影响。

本项目拟使用的电子直线加速器最高输出的是 10MV 的 X 射线和 12MeV 的电子线，在照射野处剂量相同时，电子线使用时的平均电子束流约为 X 射线的

10^{-3} ，且电子线使用时无重靶和有限束集光筒联锁，产生的韧致辐射会很小，约为使用 X 射线束时剂量的 10^{-6} ，因此，加速器电子治疗时的机房防护要求，远低于 X 射线治疗时的防护；根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），本项目 X 射线能量不高于 10MV 的加速器，故无需考虑中子辐射及中子俘获 γ 射线。

因此，本项目加速器的主要污染因子为直线加速器在开机期间产生的 X 射线，其次为臭氧和氮氧化物等。X 射线辐射只有在加速器运行时产生，停机后就消失。加速器运行产生的 X 射线贯穿机房的屏蔽设施进入外环境。

（1）正常工况时的污染途径

1）直线加速器产生的韧致辐射 X 射线，这些射线经透射、漏射和散射，对工作场所及其周围环境产生辐射影响。

2）空气在加速器 X 射线的强辐射下，吸收能量并通过电离作用产生 O_3 和氮氧化合物等有害气体。

（2）事故工况下的污染途径

发生的事故工况主要有以下两种情况：

1）门机联锁失效，工作人员误入加速器室，受到额外的照射。

2）射线装置正常工况下，门机联锁失效，铅防护门未完全关闭的情况下射线装置就能出束，致使 X 射线泄漏到加速器室外面，给周围活动的人员造成额外的照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 加速器工作场所项目辐射安全与防护

10.1.1 选址与布局

本项目加速器室位于医院西城院区妇泌楼地下一层西北角，加速器室东、南、北侧紧邻均为地下土层；西侧紧邻为走廊，之外为候诊区、控制室、设备间等；楼上为院内室外绿地；楼下为地下土层。机房设有迷道，采用直形迷道形式。东墙、西墙、地面和房顶拟设为主束方向，控制室位于主射束方向，机房四周紧邻无敏感人员长期居留。加速器室平面布局和剖面图见图 10-1 和图 10-2。

机房场所利用现有场所整体布局及屏蔽，本次对加速器室局部位位置增加屏蔽防护，已避开特殊人群及人员密集区域，选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，对公众影响较小。

10.1.2 辐射工作场所分区

为便于辐射防护管理和职业照射控制，根据 GB18871-2002 的规定，应将辐射工作场所分为控制区和监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指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的区域。

本项目采取分区管控，加速器室为控制区，西侧走廊为监督区。

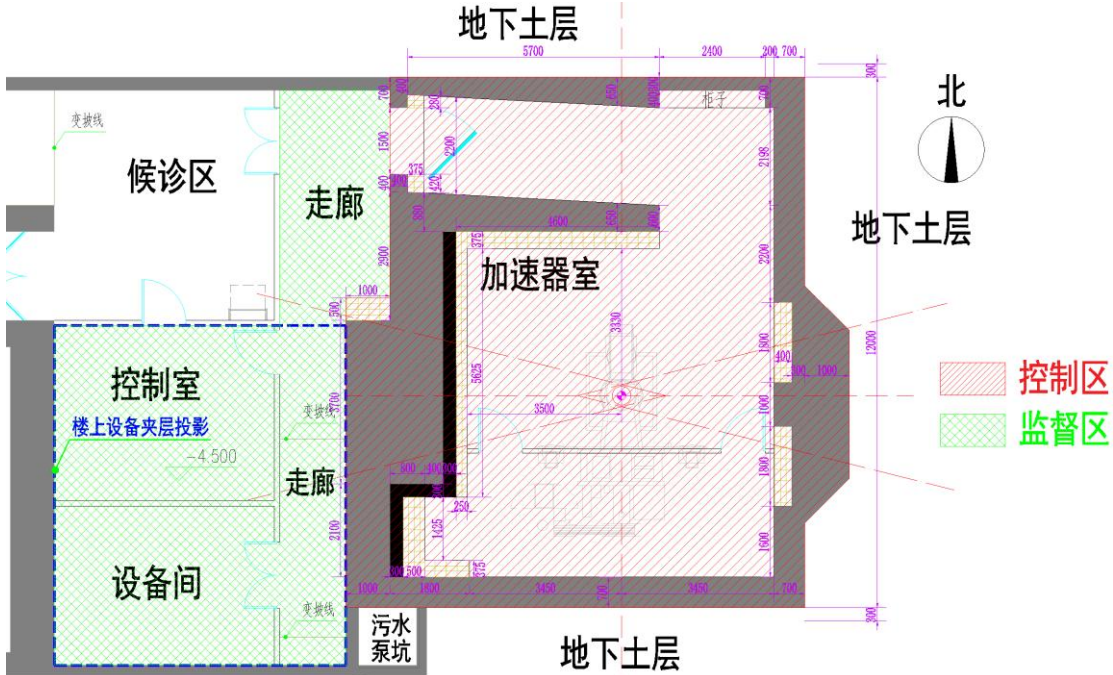


图 10-1 加速器室平面布局

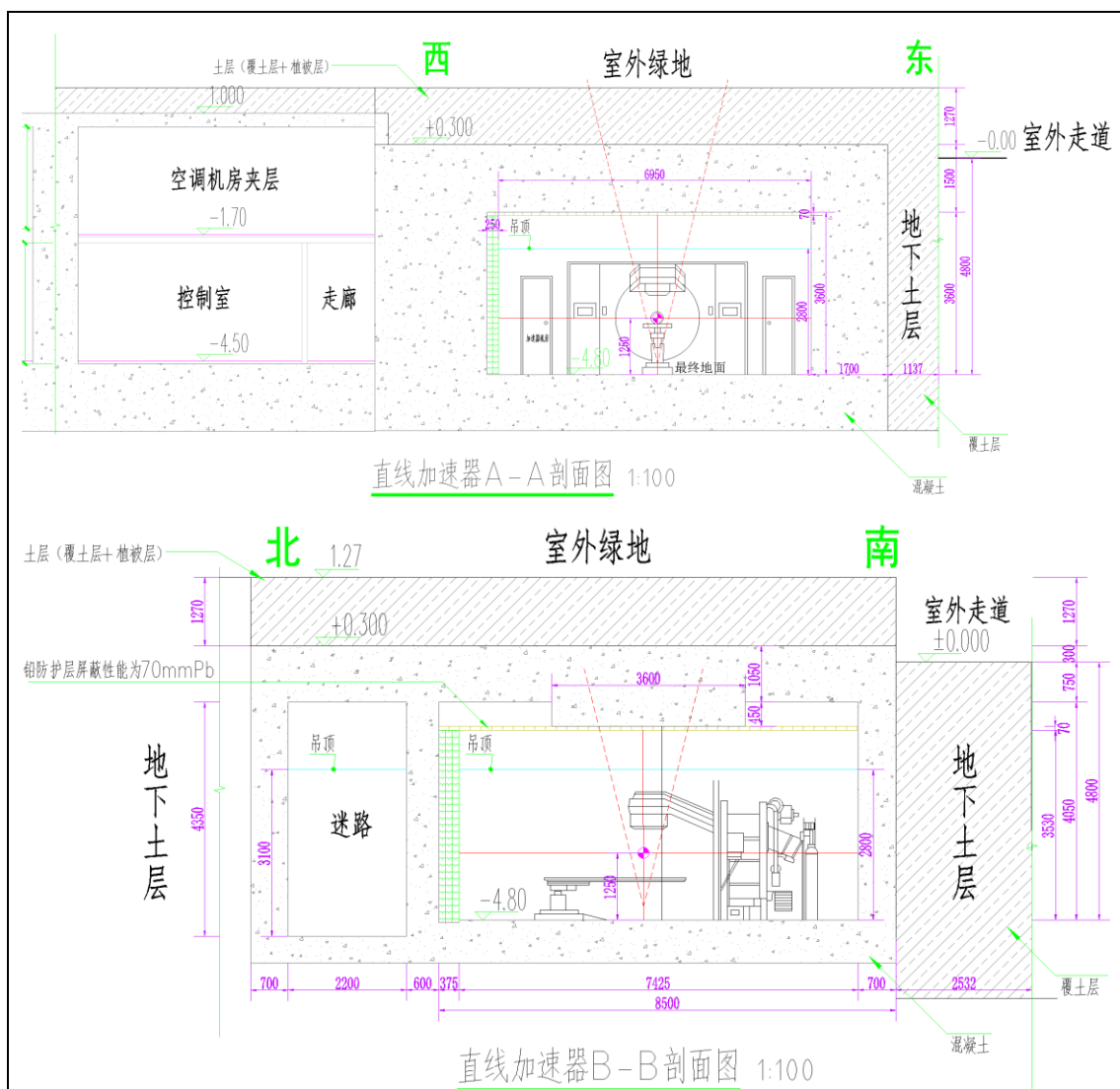


图 10-2 加速器室剖面布局见图

10.1.3 机房屏蔽设计

加速器室屏蔽设计情况见表 10-1。

表 10-1 机房屏蔽设计情况一览表

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽材料及厚度		周边关系
			现状屏蔽	本项目改造后屏蔽	
1	加速器室	东墙	主束区：（宽度 336cm） 南侧区域 170cm 砼+土层， 北侧区域 130cm 砼 非主束区（次屏蔽）： 48cm~70cm 砼+土层	主束区：（宽度 336cm） 南侧区域为 170cm 砼+土层， 北侧区域 130cm 砼+ 40cm 重砼砖 +土层 非主束区（次屏蔽）：48cm~70cm 砼+土层	地下土层 走廊、控制室、设备间
		西墙	主束区：（宽度 370cm） 220cm 砼+30cm 重晶石砼	主束区：（宽度 420cm） 南侧区域 220cm 砼+30cm 重砼+ 25cm 重砼砖 ， 北侧区域 120cm 砼+30cm 重砼+ 125cm 重砼砖	

		非主束区（次屏蔽）： 南段100cm 砼+30cm 重晶石砼 北段120cm 砼+30cm 重晶石砼	非主束区（次屏蔽）： 南段100cm 砼+30cm 重晶石砼+ 40cm 重 砼砖 北段120cm 砼+30cm 重晶石砼+ 25cm 重 砼砖	
	南墙	70cm 砼	部分70cm 砼； 部分70cm 砼+ 37.5cm 重砼砖	地下 土层
	北墙	迷路内墙：60cm~80cm 砼；	迷路内墙：60cm~80cm 砼+ 37.5cm 重 砼砖	地下 土层
		迷路外墙：30cm 砼~70cm 砼+土层	迷路外墙：30cm 砼~70cm 砼+土层	
	室顶	主束区：（宽度 360cm） 150cm 砼+127cm 覆土	主束区：（宽度 360cm） 150cm 砼+ 7cm 铅砖 +127cm 覆土	院内 地面 室外 绿地
		非主束区：105cm 砼 +127cm 覆土	非主束区：105cm 砼+ 7cm 铅砖 +127cm 覆土	
		迷路顶：105cm 砼+127cm 覆土	迷路顶：105cm 砼+127cm 覆土	
	防护门	16mm 铅（与机房门搭接 的屏蔽墙体为 40cm 砼）	16mm 铅（与机房门搭接的屏蔽墙体为 40cm 砼+ 37.5cm 重砼砖 ）	走廊

说明：依据建设单位提供资料，砼（混凝土）密度为 2.35g/cm^3 ；重晶石砼密度为 3.5g/cm^3 ；铅砖的密度为 11.3g/cm^3 ；重砼砖密度为 3.2g/cm^3 ，土壤密度为 1.9g/cm^3 。

10.1.3 辐射安全与防护措施

（1）加速器室（包括防护门）采用实体屏蔽措施，能够保证机房周围墙体和防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，辐射工作人员和公众的受照剂量满足剂量约束要求。

（2）加速器室辐射工作场所实行分区管理，加速器室为控制区，西侧走廊、控制室、设备间为监督区。分区图见附图 10-1。

（3）警示标志：在加速器室防护门外拟设立电离辐射警告标志和中文警示说明。安装工作状态指示灯，并和设备出束关联。

（4）监控、对讲系统：加速器室内拟设置 4 个监控探头（定点监控 3 个，动态监控 1 个）；迷路入口对侧墙上定点监控 1 个、迷路北墙上定点监控 1 个；防护门外走廊北墙上动态监控 1 个。监控设备显示终端在控制室内，工作人员可通过此终端实时观察迷路、治疗室、治疗设备和患者的状况，也可以观察治疗室是否有人员滞留。在治疗室内拟设置对讲系统，用于控制室内工作人员与机房内患者交流沟通。

（5）固定式剂量报警仪：加速器室内拟安装有固定式辐射剂量监测仪，探头设置于机房主束墙次屏蔽东段墙（迷路对侧墙）上位置，显示装置安装在控制

室，用于监测机房内的辐射水平并帮助辐射工作人员判断设备的工作状态。

(6) 防夹功能：加速器室电动防护门拟设置防夹人功能，运行过程中当有人员或物体经过红外感应区域时，机房门将自动停止动作。

(7) 密码控制装置：为防止非操作人员误操作设备，在控制室操作界面操作系统设置系统密码，防止非工作人员操作。

(8) 门机联锁：防护门设置与加速器束流控制、加速器高压触发联锁，防护门未关紧时加速器不会出束，打开防护门，加速器停止出束；只有当防护门关闭，设备才能出束；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动停止出束。

(9) 紧急停机按钮：机房内墙上拟设有 4 个急停按钮（机房四面墙各 1 个）；迷路外墙 1 个；同时在控制室的控制室墙上设 1 个、操作台上设 1 个、加速器设备治疗床两侧（2 个），并有明显的标志，此外，按下任一急停按钮，可立即终止加速器运行，按下急停按钮后需人工复位加速器才能重新启动。

(10) 门控按钮设置：在控制室墙上拟安装开关门按钮，在防护门内侧的迷路北墙上安装紧急开门按钮（无关门功能），当意外事故发生时，可供人员迅速逃离。

(11) 通风系统：加速器室内拟安装通风换气系统。排风口与进风口拟对角设置，换气次数不低于 4 次/h。其中进风口拟设距地高度约为 3m；排风口拟设置距地 30cm；排风引至控制室排风机，引至楼上设备夹层，排风出口位于妇泌楼 1 层西北角；进风管道和排风管道均拟由机房门上方采用“Z”方式穿出机房，穿墙边上还利用原有铅防护补救措施。加速器室与设备间的线缆都采用“U”型方式穿过屏蔽墙。

(12) 本项目加速器室拟利用现有 2 台个人剂量报警仪、1 台便携式辐射监测仪，新增 1 套固定式剂量率报警仪。辐射工作人员进入加速器机房将佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

(13) 其他要求：治疗室安装应急照明装置，设火灾自动报警装置等。

加速器室联锁和安全措施等布置见图 10-3，加速器室加速器联锁系统逻辑图见图 10-4，风管和电缆沟穿墙节点图见图 10-5。加速器室工作场所安全与防护设施设计要求见表 10-2。

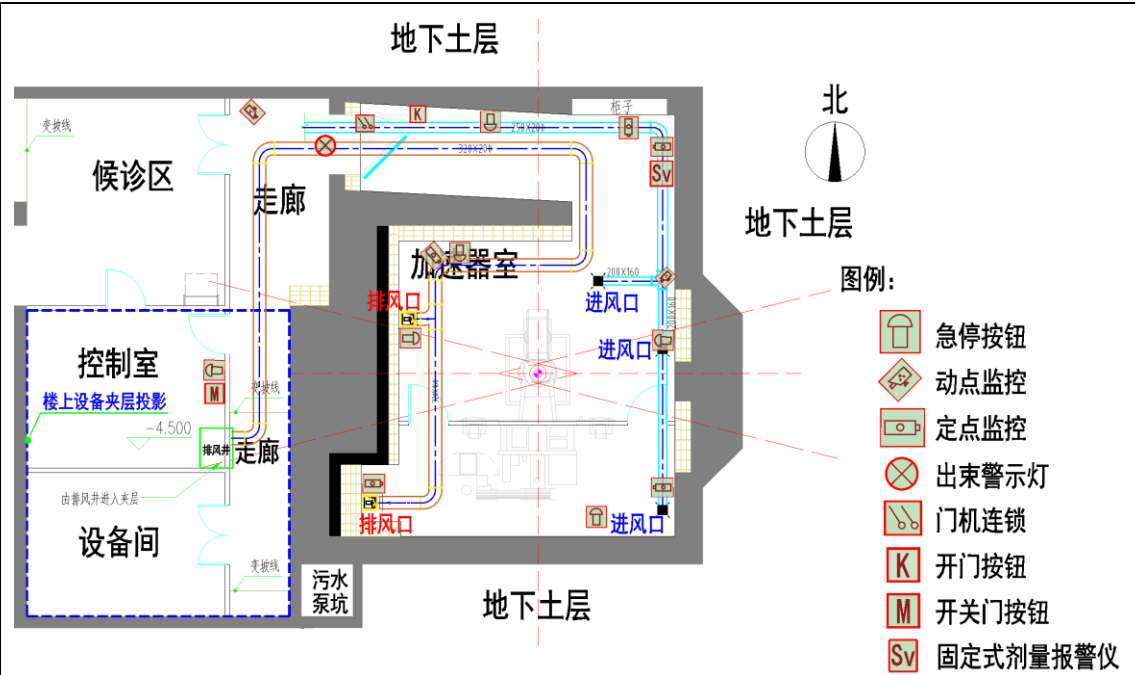


图 10-3 加速器室联锁和安全措施布置图

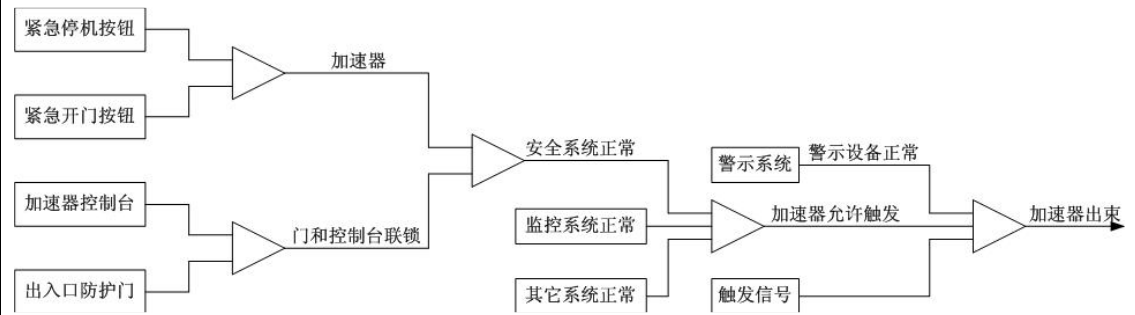
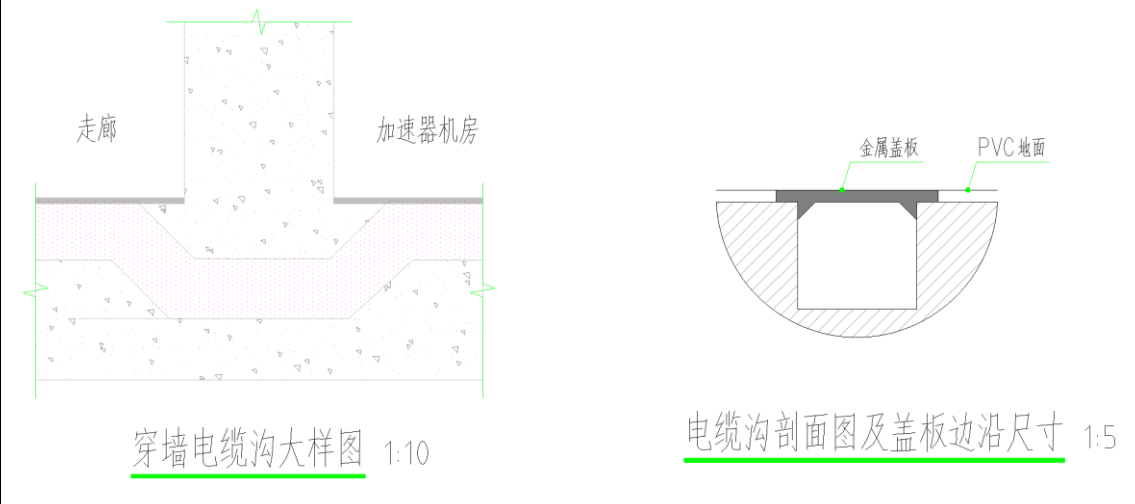


图 10-4 加速器室联锁系统逻辑图



穿墙电缆沟大样图 1:10

电缆沟剖面图及盖板边沿尺寸 1:5

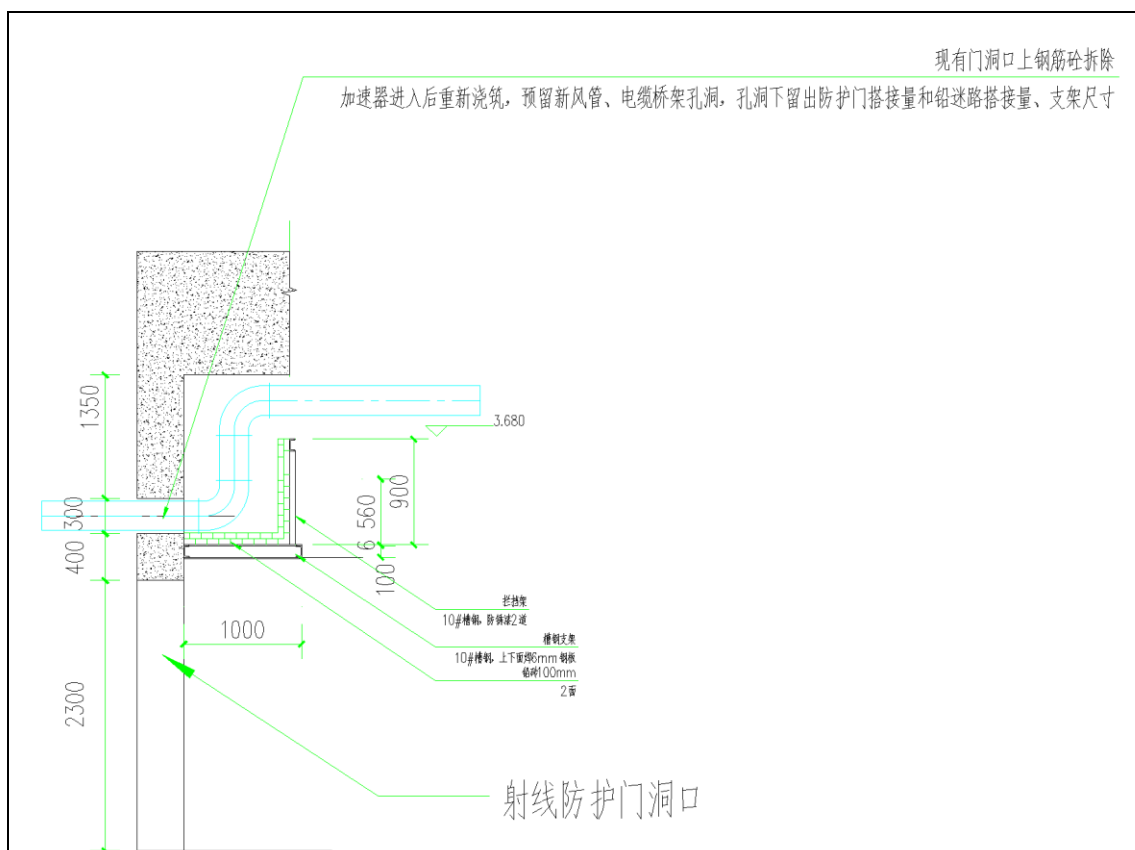


图 10-5 风管和电缆沟穿墙节点图

表 10-2 加速器室辐射安全防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	是否拟设置	备注
1*	A 控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	√	系统设置密码
2*		控制台有紧急停机按钮	√	控制台设置1个
3*		视频监控与对讲系统	√	机房配置1套
4*		治疗室门与高压联锁	√	门机高压联锁
5*	B 警示装置	入口电离辐射警告标志	√	门上拟设有电离辐射警示标志
6*		入口有加速器工作状态显示	√	拟设工作状态指示灯
7*		工作场所分区及标识	√	地面不同颜色分为控制区和监督区
8*	C 治疗室紧急设施	屏蔽门内开门按钮	√	防护门内侧的迷路北墙上（无关门功能）
9		治疗室门防夹人装置	√	具有防夹功能和停电手动开启功能
10*		紧急照明或独立通道照明系统	√	应急照明
11*		治疗室内有紧急停机按钮	√	加速器室墙上至少 5 个急停按钮（含迷路外墙）
12*		治疗床有紧急停机按钮	√	治疗床2个
13	D 监测	治疗室内固定式剂量报警仪	√	拟新增1台
14*		便携式辐射监测仪器仪表	√	拟利旧1台

15*	设备	个人剂量报警仪	√	拟利旧2台
16*		个人剂量计	√	每人1个
17*	E	个人辐射防护用品	√	/
18	其它	通风系统	√	拟设有单独的排风系统

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

10.2 法规符合情况

依据《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》规定，现对医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-3 和表 10-4。

10.2.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10-3 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用放射性同位素和射线装置单位承诺的对应检查情况。

表 10-3 执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

序号	应具备条件	落实情况	是否符合要求
1	使用放射性同位素、射线装置的单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已成立辐射防护领导小组，并在该机构设有本科以上学历的专职管理人员。	符合
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。本项目继续利用放疗科现有 19 名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源贮存库或设备。	本项目不涉及放射性同位素。	不涉及该内容
4	放射性同位素与射线装置，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	拟制定相应的操作规程，防护门外拟设置电离辐射警告标志，拟安装工作状态指示灯；拟安装急停按钮、监控对讲等安全防护设施。	落实后符合
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	每个辐射工作人员拟配备个人剂量计，利用现有 2 台个人剂量报警仪、1 台便携式辐射监测仪，新增 1 套固定式剂量率报警仪。	落实后符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟完善规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	落实后符合
7	有完善的辐射事故应急措施。	在现有事故应急措施上，根据新建项目的需要，拟制定更为完善辐射事故应急处理预案。	落实后符合

10.2.2 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的对照检查如下表所示。

表 10-4 执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表

序号	安全和防护管理办法要求	落实情况	是否符合要求
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	本项目机房门外拟设置离辐射警告标识和中文警示说明，在机房门口设置工作状态指示灯。设置门机联锁，紧急停止按钮等。	落实后符合
2	第七条 放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。	本项目不涉及放射性同位素。	不涉及该内容
3	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	医院将委托有辐射水平监测资质单位每年对辐射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。医院将每半年使用辐射剂量仪，对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测，做好监测记录并妥善保存监测报告。	落实后符合
3	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	医院承诺在每年1月31日前向生态环境部门提交年度评估报告。	近期符合
4	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。 本项目继续利用放疗科现有19名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合
5	第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	拟为所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度1次）。	落实后符合

6	第二十四条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。	拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	落实后符合
---	--	--------------------------	-------

10.3 三废的治理

《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）指出，能量大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽以及感生放射性问题。本项目使用的加速器 X 射线最大能量为 10MV，不考虑放射性活化气体和中子的影响。此外，加速器产生的 X 射线与空气作用会产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，经加速器机房内的排风系统，排放到大气环境中。

加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，从而产生废靶。本项目加速器 X 射线最大能量仅有 10MV，且调试时间较短，故预计废靶活化水平很低，不会超出解控水平，故不会有放射性废物产生。

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，对周围环境没有辐射影响。

本项目机房场所利用现有场所整体布局及屏蔽，本次对加速器室增加部分屏蔽防护，故涉及到屏蔽体的浇筑、建筑装修、设备安装等，在项目的建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘，本项目简要说明。

1、大气环境影响分析

施工期，扬尘来自于材料搬运、装卸等施工活动，由于扬尘源多且分散，属于无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。本项目施工量较少，施工范围较小，对环境影响较小，土建工程结束后即可恢复。

2、水环境影响分析

本工程施工污水主要来自少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水管道和对附近水体造成污染。对此，施工单位应对施工废水进行妥善处理。

3、声环境影响分析

该项目施工期的噪声主要来自机房屏蔽体浇筑、相关设施的安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，且在室内施工，对周围环境影响小。因此，合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业，对周围的影响不大。

4、固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于公司内部垃圾收集箱内。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘。可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

11.2 加速器运行期环境影响

11.2.1 加速器参数和使用规划

(1) 设备参数

加速器室拟使用的射线装置的技术指标如表 11-1 所示。

表 11-1 拟使用加速器技术指标一览表

场所	型号	电子线能量	X 线能量和最大输出剂量率	SAD	照射野	机架旋转范围	泄漏率
加速器室	Elekta Harmony Pro	12MeV (最大)	10MV 常规模式：360Gy/h (1.0m 处)； 6MV FFF 模式：840Gy/h (1.0m 处)	100cm	最大照射野 40cm×40cm	360°	≤0.1%

(2) 使用规划

①加速器出束时间：既开展常规放射治疗，也开展 IMRT、VMAT 等适形调强放射治疗，患者比例约为 1:9，根据医院提供资料和第九章的预测，加速器日治疗 50 人次时，出束时间为 25min/d，年总照射时间 105h/a；适形调强放射治疗（IMRT）等调强放射治疗与普通放疗相比给予患者的吸收剂量是相同的，但等中心处照射野会明显小，使用 VMAT 技术适形调强治疗时，调强因子取 3（常规调强 IMRT 因子取 5）。泄漏辐射年总照射时间为 525h/a（常规调强 IMRT 因子取 5）。

②加速器使用因子：对于常规治疗，机头 90°、270°和 180°(朝上) 出束时间各占年工作量 10%；机头向下（0°）出束时间占年工作量 70%。考虑调强治疗的使用，本项目将机头为 0°、90°、270°和 180°（朝上）出束时间的占比提高至 25%，以此保守估算周围受照剂量。

表 11-2 放射治疗出束时间

射线束	照射时间 (h)	
	每天总照射时间	年总照射时间
有用束、散射辐射	0.42	105
泄漏辐射*	2.1	525

备注：加速器室常规调强 IMRT 因子保守取 5，即泄漏辐射为常规的 5 倍。

11.2.2 辐射环境影响评价方法

(1) 加速器机房剂量率和年附加剂量：参照 NCRP151、GBZ/T201.2-2011 进行剂量率估算。具体做法：依据其屏蔽设计估算模式，以等中心点的剂量率替代周工作负荷，转化为辐射剂量率水平估算，最终导出机房周围辐射剂量率水平，再根据加速器出束时间、使用因子、居留因子等估算辐射工作人员和公众的附加

剂量。

考虑到电子线使用次数有限（工作负荷不足 X 射线的 1%），且电子线出束过程中，电子线与机头、床、人体组织等作用产生韧致辐射的能量和强度均低于电子线撞击钨靶产生的治疗 X 射线的能量和强度，所以，如果机房及其防护门能够满足 X 治疗束的屏蔽防护要求，一定能够满足电子线治疗中产生的韧致辐射的防护要求，故本评价对电子线的环境影响不做具体评价。NCRP151 报告指出，对于 10MV X 射线能量的加速器不需考虑中子辐射影响及其产生的感生放射性问題。

（2）加速器室不同关注点应考虑的辐射

主束区：考虑有用束的直接照射，忽略进入该区的泄漏辐射和散射辐射；

与主束区直接相连的次屏蔽区：考虑泄漏辐射和主射线束水平方向的散射辐射；

其他区：仅考虑泄漏辐射。

入口门：主要考虑泄漏辐射、机头泄漏辐射的散射辐射和患者散射辐射、穿过迷路内墙的泄漏辐射。

治疗装置带有 kV 级的影像定位引导设备，辐射源最大为 150kV/500mA 的 X 射线，对周围环境辐射影响远小于 MV 级的 X 射线，因此，加速器室只考虑 6MV（10MV）X 射线的屏蔽问题。

11.2.3 加速器室安全分析

（1）主屏蔽墙宽度安全性分析：

加速器主束宽方向最大张角不大于 28°，根据公式 11-1 可估算出主束所需的宽度。

$$d=2[(SAD+R) \times \tan\theta + 0.3] \quad (\text{公式 11-1})$$

式中：d—机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，取 1m；

θ —治疗束的最大半张角（相对束中的轴线），本项目加速器取 14°；

R—等中心点至与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙内表面或到外凸式主屏蔽墙外表面顶部的距离，m。

由于加速器室屏蔽结构设计平剖面见图 11-1，根据公式 11-1 估算结果见表 11-3，本项目加速器机房各主束区屏蔽宽度都满足要求。

表11-3 各主束屏蔽区宽度计算结果

位置	R (m)	所需最小宽度 (m)	设计宽度 (m)	结论
加速器室东墙主束区	4.15	3.17	3.36	满足
加速器室西墙主束区	5.25	3.72	4.50	满足
加速器室顶主束区	2.8	2.50	3.60	满足

(2) 屏蔽估算中的安全余量

在所选用的屏蔽估算与评价方法中，包含着一定的安全因素。例如：工作负荷、居留因子、治疗装置的实际辐射防护相关剂量指标严于国家标准；使用辐射源的实际工作条件低于额定条件；人员实际驻留位置不局限于治疗机房外表面30cm的估算位置，以及估算的量值和有效剂量之间不进行量值转换系数修正等。

11.2.4 机房外剂量率估算

(1) 剂量率估算方法

1) 主束贯穿辐射对对机房周围环境的剂量率的估算

主屏蔽墙利用下列公式对初级辐射进行屏蔽估算

$$H = H_0 \times B_{pri} / R^2 \quad (\text{公式 11-2})$$

$$B_{pri} = 10^{-\left[1 + \frac{t - TVL_l}{TVL_e}\right]} \quad (\text{公式 11-3})$$

式中： H_0 —距靶 1m 处的最大剂量率，6MV 为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ （10MV 为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）；

B_{pri} —主屏蔽墙厚度对应的衰减因子；

R —参考点至靶点的距离；

t —屏蔽材料的厚度；

TVL_e 、 TVL_l —平衡什值层和第一什值层厚度，单位 cm；详见下表。

表 11-4 加速器射线束在砷、铅中的 TVL 值

射线束		初级束		泄漏辐射		30° 人体散射
十分之一衰减厚度		TVL_l	TVL_e	TVL_l	TVL_e	TVL
砷厚度, cm	6MV	37	33	34	29	26
	10MV	41	37	35	31	28
铅, cm	6MV	5.7	5.7	5.7	5.7	/
	10MV	5.7	5.7	5.7	5.7	/

2) 次束贯穿辐射对加速器室周围环境剂量率的估算

初级辐射束不能直接到达该屏蔽墙，屏蔽估算时，与主束区直接相连的次屏蔽区考虑泄漏辐射和主射线束方向的散射辐射，其他区域仅考虑泄漏辐射。

①散射辐射：次屏蔽墙的散射辐射利用下列公式进行屏蔽估算。

$$H_{PS} = \frac{\alpha H_0 B_{ps} \frac{F}{400}}{d_{sca}^2 \times d_{sec}^2} \quad (\text{公式 11-4})$$

$$B_{ps} = 10^{-t/TVL_{sca}} \quad (\text{公式 11-5})$$

式中： H_{ps} —距散射体 d_{sec} m 处的辐射剂量率；

B_{ps} —次屏蔽墙厚度对应的衰减因子；

α —散射体表对初级辐射束的散射比（散射系数）；

F —被照射物体散射处照射野面积，取 1600cm²；

d_{sca} —靶至被照射物体的距离，取 1.0m；

d_{sec} —等中心点至参考点的距离，m；

TVL_{sca} —什值层厚度，cm，详见表 11-4；

H_0 、 t 同公式（11-2 和 11-3）。

②泄漏辐射：次屏蔽墙泄漏辐射利用下列公式进行屏蔽估算。

$$H_L = \frac{H_0 B_L}{1000d_L^2} \quad (\text{公式 11-6})$$

$$B_L = 10^{-\left[1 + \frac{t-TVL_L}{TVL_e}\right]} \quad (\text{公式 11-7})$$

式中： H_L —距靶点 d_L m 处的辐射剂量率；

B_L —次屏蔽墙厚度对应的衰减因子；

d_L —参考点至靶点的距离，m；

TVL_e 、 TVL_L —平衡什值层和第一什值层厚度，单位 cm；详见表 11-4。

H_0 、 t 同公式（11-2 和 11-3）。

（2）加速器室剂量率估算结果

本项目加速器有 6MV、10MV 模式，10MV 未配 FFF 模式，分别以 10MV FF 模式 1m 处的剂量率（360Gy/h）和 6MV FFF 模式 1m 处的剂量率（840Gy/h）进行估算，加速器室外关注点剂量率估算结果见表 11-5，平、剖面图及剂量评估点见图 11-1。

表 11-5 加速器室外关注点剂量率估算结果

位置	距离 (m)	射线束	辐射屏蔽		剂量率（μGy/h）		位置描述	备注
			厚度/cm	衰减因子	屏蔽前	屏蔽后		
C1	6.6	主束	25cm 重砵砖+30cm 重砵+220cm 砵 (等效为 298.7 砵)	1.17E-09	1.93E+07	2.26E-02	西侧走廊	6MV
				1.08E-08	8.26E+06	8.96E-02		10MV

C2*	7.0	次束（漏射）	26.5cm 重砵砖 +31.8cm 重砵 +127.2cm 砵 (等效为 210.7cm 砵)	8.07E-08	1.71E+04	1.38E-03	西侧走廊	6MV
		次束（散射）		7.87E-09	1.90E+05	1.50E-03		10MV
		次束（漏射）		2.15E-07	7.35E+03	1.58E-03		
		次束（散射）		2.99E-08	9.35E+04	2.79E-03		
C3*	7.7	次束（漏射）	56.1cm 重砵砖 +33.7cm 重砵 +112.3cm 砵 (等效为 232.8cm 砵)	1.40E-08	1.42E+04	1.98E-04	西侧走廊	6MV
		次束（散射）		1.11E-09	1.57E+05	1.75E-04		10MV
		次束（漏射）		4.16E-08	6.07E+03	2.53E-04		
		次束（散射）		4.85E-09	7.72E+04	3.75E-04		
C4*	7.0	次束（漏射）	97.5cm 砵+48.4 重 砵砖 (等效为 170.6 砵 =97.5+65.9)	3.45E-06	1.71E+04	5.92E-02	西侧污水 泵坑（人员 不可达）	6MV
		次束（散射）		5.19E-07	1.90E+05	9.86E-02		10MV
		次束（漏射）		7.21E-06	7.35E+03	5.30E-02		
		次束（散射）		1.46E-06	9.35E+04	1.36E-01		
M	8.1	次束（漏射）	51cm 重砵砖 +117.5cm 砵+1.6cm 铅防护门 (等效为 187cm 砵 +1.6cm 铅门)	2.78E-07	1.28E+04	3.55E-03	西侧防护 门外	6MV
				6.55E-07	5.49E+03	3.59E-03		10MV
H1	5.4	主束	150cm 砵+127cm 覆 土+7cm 铅 (等效为 252.7cm 砵 +7cm 铅)	1.72E-09	2.88E+07	4.96E-05	室顶院内 室外绿地 (设围栏, 无人通过)	6MV
				1.12E-08	1.23E+07	1.39E-01		10MV
H2*	6.6	次束（漏射）	117.9 砵+142.5cm 覆土+7.9cm 铅 (等效为 233.1cm 砵 +7.9cm 铅)	5.60E-10	1.93E+04	1.08E-05	室顶院内 室外绿地 (设围栏, 无人通过)	6MV
		次束（散射）		4.45E-11	2.14E+05	9.51E-06		10MV
		次束（漏射）		1.67E-09	8.26E+03	1.38E-05		
		次束（散射）		1.95E-10	1.05E+05	2.05E-05		
H3*	6.2	次束（漏射）	107.7 砵+10.1cm 铅	5.10E-06	2.19E+04	1.11E-01	室顶斜上 方室顶南 侧院内室 外走道	6MV
		次束（散射）		1.28E-06	2.42E+05	3.11E-01		10MV
		次束（漏射）		7.98E-06	9.37E+03	7.48E-02		
		次束（散射）		2.53E-06	1.19E+05	3.01E-01		
H4*	7.5	次束（漏射）	195.5 砵+130.7 覆土 (等效为 301.2cm 砵)	6.11E-11	1.49E+04	9.13E-07	室顶斜上 方室顶东 侧院内室 外走道	6MV
		次束（散射）		2.60E-12	1.65E+05	4.31E-07		10MV
		次束（漏射）		2.59E-10	6.40E+03	1.66E-06		
		次束（散射）		1.75E-11	8.14E+04	1.42E-06		

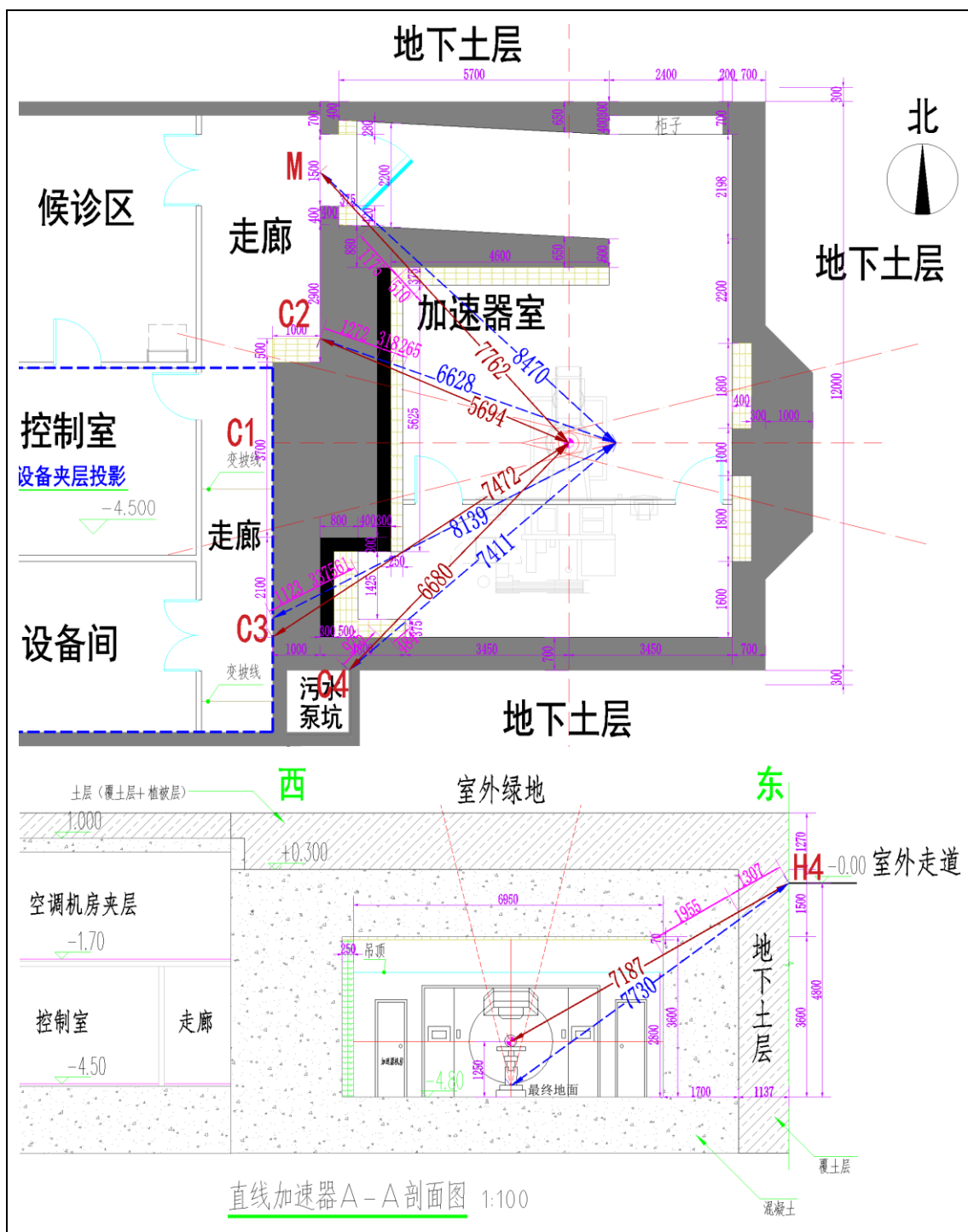
注：①砵（混凝土）密度为 2.35t/m³；重晶石砵密度为 3.5t/m³；铅板的密度为 11.3g/cm³；重砵砖密度为 3.2t/m³，计算屏蔽衰减因子时将砵砖、重晶石砵等效成砵厚度；

②6MV（10MV）X 射线有用束距靶 1m 的等中心处的最大剂量率为 840Gy/h（360Gy/h）；

③6MV（10MV）X 射线 30° 方向散射系数为 2.77×10⁻³（3.18×10⁻³）；

④表中防护门外仅考虑了机头的泄漏辐射；

⑤*C2、C3、C4、H2、H3、H4 点位屏蔽厚度与距离都取散射和漏射较小值进行评价，估算点都是距离屏蔽体外表面 30cm 处。



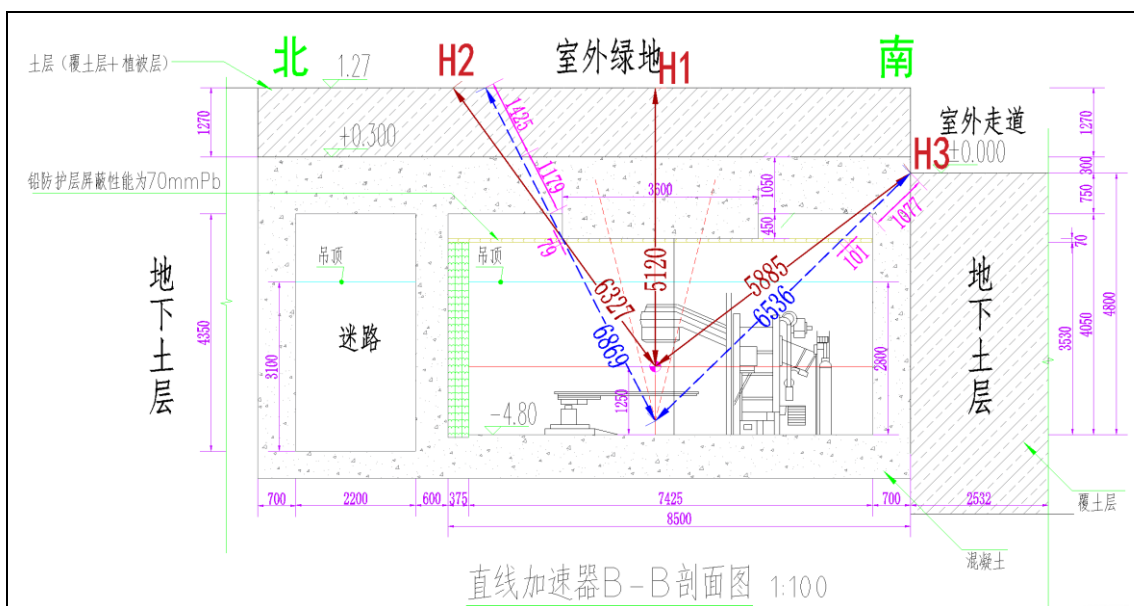


图 11-1 加速器室平、剖面图及剂量评估点位图

(3) 加速器室外防护门外的辐射剂量估算

根据 GBZT 201.2-2011，对于 10MV 加速器机房，防护门外不用考虑中子的影响。本项目主要考虑主束墙表面的二次散射、泄漏辐射一次散射、患者散射的二次散射、泄漏辐射穿过迷路内墙的贡献。具体如下：

- 主束墙表面的二次散射 (H_s)；
- 加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙的一次散射 (H_{Ls})；
- 患者散射辐射的二次散射 (H_{Ps})；
- 穿过迷路内墙的泄漏辐射。

1) 主束墙表面的二次散射 (H_s) 剂量率估算

$$H_s = \frac{H_0}{d_h^2} \times \frac{a_0 A_0 a_z A_z}{d_r^2 \times d_z^2} \quad (\text{公式 11-8})$$

式中： H_0 —距靶 1m 处的辐射剂量率。6MV 为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，10MV 为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

α_0 —主束经散射面 A_0 的散射系数。(有用束的散射辐射按照以 θ° 散射角入射到墙面的散射因子，系数取值由 NCRP REPORT 151 TableB.8a，散射角保守取 30° 系数值，6MV 取值 5.2×10^{-3} ，10MV 取值 4.1×10^{-3})；

A_0 —等中心 1.0m 处最大照射野投影在东墙上的面积。 $2.22\text{m}(\text{L}) \times 2.8\text{m}(\text{H}) = 6.22 \text{m}^2$ ；

α_z —散射经迷路表面 A_z 第二次反散射的系数。(系数取值由 NCRP REPORT 151

TableB.8a, 能量为 0.5MeV, 散射角取 75° 系数值 8.0×10^{-3});

A_z —散射面 A_0 的散射线经过迷路内口发散到迷路外墙内表面的散射面积,

$$1.36\text{m (L)} \times 3.1\text{m (H)} = 4.22 \text{ m}^2;$$

d_h —从靶点至散射面 A_0 的距离, 4.45m;

dr —第一次散射面中心点经迷道内口至迷道中线的距离, 7.32m;

dz —b 点经迷道中线至防护门外 30cm 入口处的距离, 5.47m。

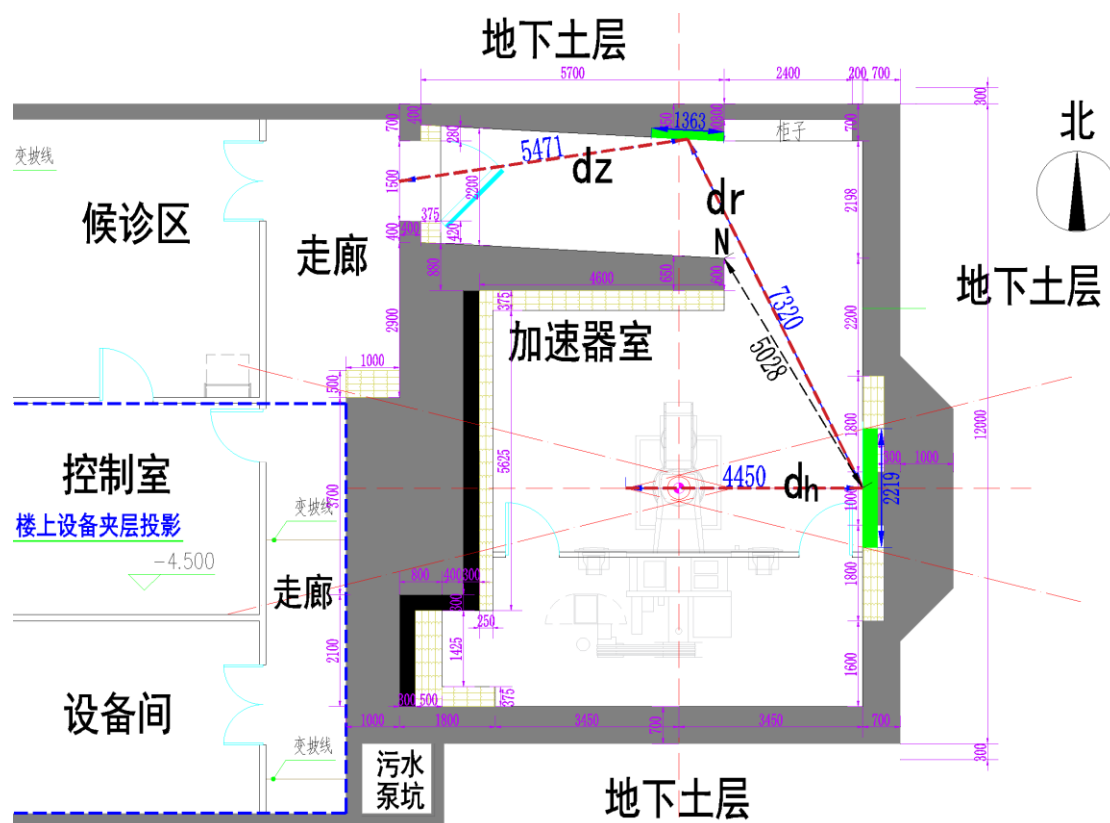


图 11-2 主束墙面散射平面图

2) 加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙的一次散射 (H_{LS}) 剂量率估算

$$H_{LS} = \frac{L_f H_0 \alpha_{LS} A_1}{d_{LS}^2 \times d_{zz}^2} \quad (\text{公式 11-9})$$

式中: H_0 —距靶 1m 处的辐射剂量率, 6MV 为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ (10MV 为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$);

L_f —距靶 1m 处装置头泄漏辐射率, 取 0.1%;

α_{LS} —东墙对机头漏射辐射的反散射系数。(有用束的散射辐射按照以 45° 的散射角入射到墙面的散射因子, 系数取值由 NCRP REPORT 151 TableB.8b, 散射角保守取 0° 系数值, 6MV 取值 6.4×10^{-3} , 10MV 取值 5.1×10^{-3});

A_1 —从门入口处可见墙的面积, $3.14\text{m (L)} \times 3.1\text{m (H)} = 9.73 \text{ m}^2$;

d_{ZZ} —从 A1 墙与迷路中心线交点至入口处的距离, 8.74m。

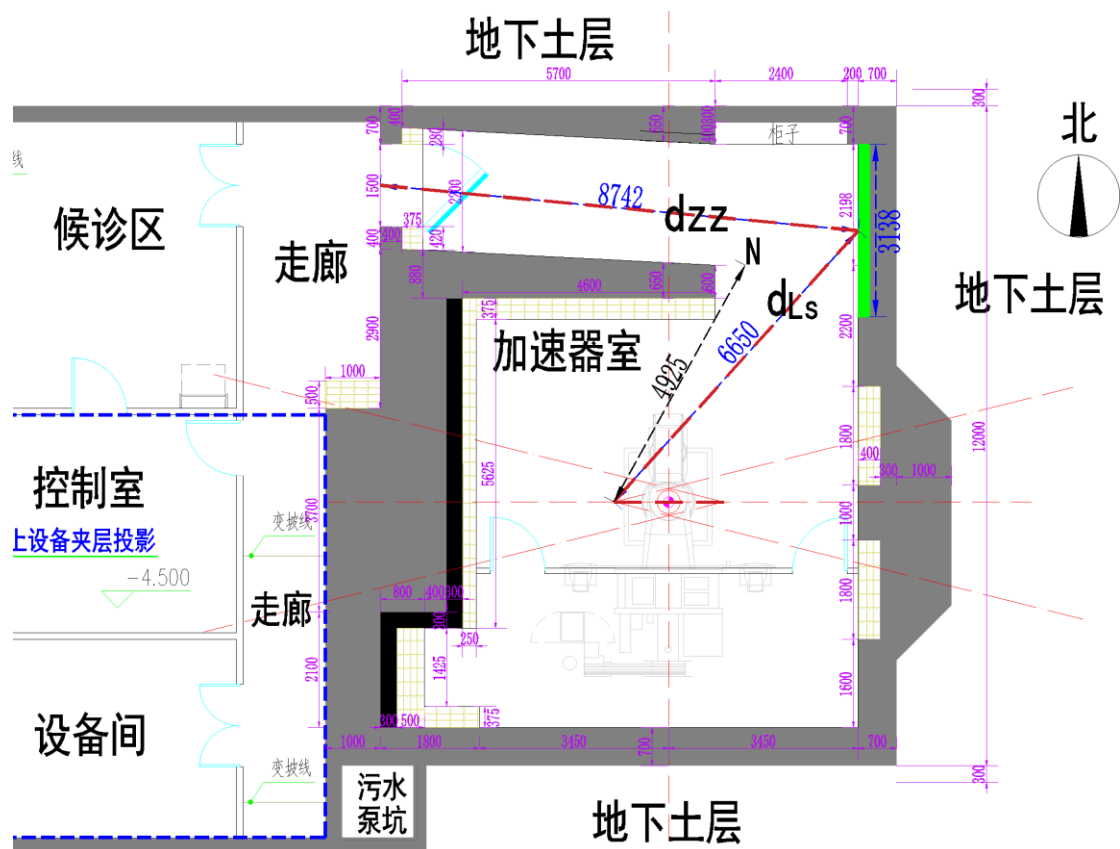


图 11-3 机头漏射线经墙面散射平面图

3) 散射辐射的二次散射 (H_{Ps}) 剂量率估算

$$H_{PS} = \frac{a_{(\theta)} H_0 \left(\frac{F}{400} \right) (a_{PS} A_1)}{d_{sca}^2 \times d_{sec}^2 \times d_{zz}^2} \quad (\text{公式 11-10})$$

式中: H_0 —等中心处的辐射剂量率, 6MV 为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ (10MV 为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$);

$\alpha(\theta)$ ——有用束的散射辐射以 $\theta=45^\circ$ 的散射角入射到墙面的散射因子。(系数取值查 NCRP REPORT 151 TableB.4, 6MV 取值 1.39×10^{-3} , 10MV 取值 1.35×10^{-3});

F —被照射物体等中心处照射野面积, 取 1600cm^2 ($40\text{cm}\times 40\text{cm}$);

α_{PS} —东墙对散射辐射的反散射系数。(取值查 NCRP REPORT 151 TableB.8b, 散射能量为 0.5MeV, 模体有用束散射辐射的入射角为 45° , 取值 2.2×10^{-2});

A_1 —从门入口处可见墙的面积, $3.14\text{m (L)} \times 3.1\text{m (H)} = 9.73 \text{ m}^2$;

d_{sca} —靶至被照射物体的距离，取 1.0m；

d_{sec} —等中心点到 A1 墙与迷路中心线交点的距离，6.03m；

d_{zz} —从 A1 墙与迷路中心线交点至入口处的距离，8.74m。

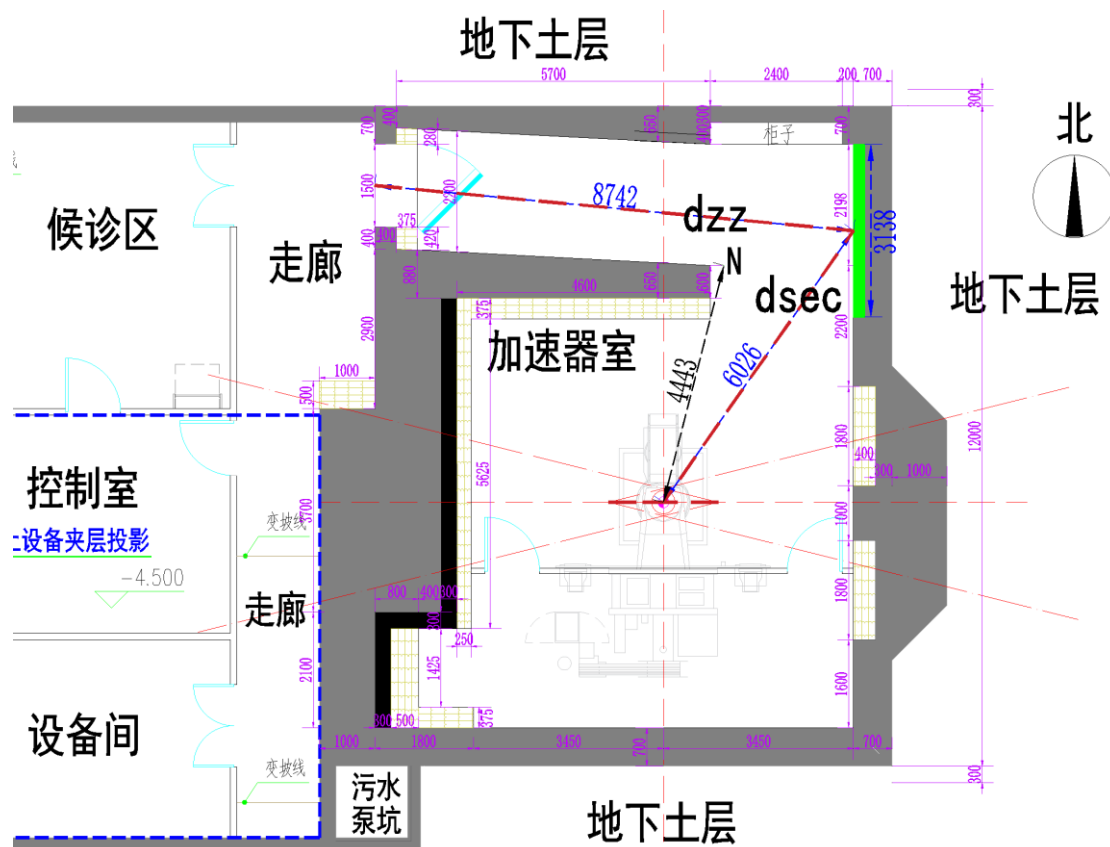


图 11-4 主束通过患者体表散射线经墙面散射平面图

4) 穿过迷路内墙的泄漏辐射剂量率估算

机头泄漏射线贯穿迷道内墙和防护门后的辐射贡献值见表 11-5 的估算结果。

5) 加速器室防护门附近X射线贯穿辐射分析

根据公式11-6~公式11-8和图11-2~图11-4中的相关参数，加速器运行时机房迷道入口处X射线辐射剂量率的估算结果汇总列于表11-6中。可见，机房防护门附近X射线辐射主要来自散射线经迷道内口墙壁的二次散射辐射。估算出加速器室防护门外散射辐射+泄漏辐射的总剂量率不大于 $4.11\text{E-}01\mu\text{Gy/h}$ ，即 $5.75\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ （加速器门口的平均能量约 0.2MeV ，参照《辐射防护手册》表5.11， $H^*(10)/K_a$ 的转化系统不大于 $1.40\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}$ ），能够满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平要求。

表11-6 加速器室迷路入口处剂量率的计算参数及结果

参数		加速器室	
		6MV	10MV
H_s	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	8.40E+08	3.60E+08
	α_0	5.20E-03	4.10E-03
	$A_0 \text{ (m}^2\text{)}$	6.22	6.22
	α_z	8.00E-03	8.00E-03
	$A_z \text{ (m}^2\text{)}$	4.22	4.22
	$d_h \text{ (m)}$	4.45	4.45
	$d_r \text{ (m)}$	7.32	7.32
	$d_z \text{ (m)}$	5.47	5.47
	$H_s(\mu\text{Gy/h})$	28.85	9.75
H_{LS}	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	8.40E+08	3.60E+08
	L_f	0.001	0.001
	α_{LS}	6.40E-03	5.10E-03
	A_l	9.73	9.73
	$d_{LS}(\text{m})$	6.65	6.65
	$d_{zz}(\text{m})$	8.74	8.74
	$H_{LS}(\mu\text{Gy/h})$	15.49	5.29
H_{ps}	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	8.40E+08	3.60E+08
	$\alpha(\theta)$	1.39E-03	1.35E-03
	$F \text{ (cm}^2\text{)}$	1600	1600
	α_{ps}	2.20E-02	2.20E-02
	A_l	9.73	9.73
	d_{sca}	1	1
	d_{sec}	6.03	6.03
	d_{zz}	8.74	8.74
	$H_{ps}(\mu\text{Gy/h})$	360.09	149.88
H_{LT}	$H_{LT}(\mu\text{Gy/h})$	3.55E-03	3.59E-03
$H_{Tot-shield}$	$t_{\text{barrier}}(\text{mm})$	15	15
	$TVL_{pb} \text{ (mm)}$	5	5
	$H_{Tot-shield}(\mu\text{Gy/h})$	4.08E-01	1.69E-01

注：参数取自NCRP REPORT No.151和设计资料；

$$H_{Tot-shield} = H_s \times 10^{-(t/TVL)} + H_{LS} \times 10^{-(t/TVL)} + H_{ps} \times 10^{-(t/TVL)} + H_{LT}$$

(4) 加速器室周围剂量率水平

根据加速器室墙外关注点的剂量估算结果可知，机房外人员可达关注点最大辐射剂量率为 3.55E-01 $\mu\text{Sv/h}$ （H3*斜上方室顶南侧院内室外走道，加速器使用的

平均能量不小于 2.0MeV, $H^*(10)/K_a$ 的转化系统不大于 $1.14\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}$), 加速器室防护门外剂量率为 $5.75\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$, 可见加速器室周围的辐射剂量率都低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(5) 评价范围周围的影响

根据以上估算, 加速器室(西南侧配电间)外的最大附加剂量率为 $3.11\text{E-}01\mu\text{Gy/h}$ (防护门外为 $4.08\text{E-}01\mu\text{Gy/h}$), 经过距离、楼板和土层、空气的衰减影响, 附加剂量率至少降低两个数量级, 对周围的辐射影响可以忽略不计。

11.2.5 工作人员和公众受照剂量估计

附加年有效剂量计算公式:

$$E=D\times t\times T\times U\times K \quad (\text{公式11-11})$$

式中: E —一年有效剂量, μSv ;

D —计算点附加剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

t —一年出束时间, h/a;

K —有效剂量与吸收剂量换算系数, Sv/Gy , 本项目取1.0;

T —居留因子;

U —使用因子。

(1) 工作人员受照剂量估计

根据以上估算, 可预计加速器室周围的工作人员的年附加有效剂量见下表。

表 11-7 运行时工作人员的年附加有效剂量估算结果

估算对象	位置编号	场所位置	T	U	年受照时间, t (h)	剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	年附加有效剂量, μSv
加速器室工作人员	C1	西侧走廊(之外为控制室)	1	0.25	105	$8.96\text{E-}02$	2.35
	M	防护门外	1/16	1	525	$4.08\text{E-}01$	13.4

(2) 公众受照剂量估计

根据以上估算, 可预计加速器室周围的公众的年附加有效剂量见下表。

表 11-8 加速器运行时公众的年附加有效剂量估算结果

估算对象	位置编号	场所位置	T	U	年受照时间 t (h)	剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	年附加有效剂量 (μSv)
加速器室周围公众	M	防护门外(走廊)	1/16	1	525	$4.08\text{E-}01$	13.4
	H1	室顶院内室外绿地(设围栏, 无人通过)	1/16	0.25	105	$1.39\text{E-}01$	$2.27\text{E-}01$
	H2	室顶院内室外绿地(设围栏, 无人通过)	1/16	1	525	$2.05\text{E-}05$	$6.71\text{E-}04$

	H3	室顶斜上方室顶南侧院内室外走道	1/16	1	525	3.11E-01	10.2
	H4	室顶斜上方室顶东侧院内室外走道	1/16	1	525	1.66E-06	5.43E-05
	/	加速器室投影至地面北侧约 40m 处华仁路 31 号院 1 号楼	1	1	525	3.11E-01*	7.48E-04

注：*加速器室投影至地面北侧约 40m 处华仁路 31 号院 1 号楼剂量率估算，保守取 H3 处室顶剂量率。

综上所述，本项目对职业人员和公众年最大附加有效剂量值分别为 1.34E-02mSv、1.34E-02mSv，满足年剂量约束值（2mSv/a，0.1mSv/a）的要求。

根据剂量与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，在加速器机房周围 50m 评价范围内的公众（加速器室投影至地面北侧约 40m 处华仁路 31 号院 1 号楼居民）的年剂量约 0.0008μSv（防护门外，走廊），也低于设定的剂量约束目标值 0.1mSv/a。

11.2.6 O₃ 和 NO_x 分析

（1）O₃ 的产额

本项目加速器具有提供 X 射线和电子线两种模式，X 射线最高能量为 10MV，电子线最高能量为 12MeV。使用电子线模式时，X 射线靶和均整器从电子射线束范围内移去，产生电子线的电子束流强度比打靶产生临床 X 射线所需的电子束流强度小 2~3 个数量级（《放射肿瘤物理学：教学手册》IAEA，2005），故仅需考虑 X 射线所致 O₃ 的产额。

① 加速器有用线束的 O₃ 产额

$$P = 2.43D_0(1 - \cos \theta)RG \quad (\text{公式 11-12})$$

式中：P—O₃ 产额，mg/h；

D₀—辐射有用束在距靶 1m 处的输出量，Gy·m²/min；

R—靶到屏蔽物（墙）的距离，m；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数（G=10）；

θ—有用束的半张角。

② 泄漏辐射的 O₃ 产额

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

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

式中：V 为加速器机房的体积，m³；其余符号同（11-10）。

(2) O₃ 的浓度

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

机房最高饱和 O₃ 浓度（mg/h）为：

$$Q = \frac{P}{V} \bar{T} \quad (\text{公式 11-14})$$

式中：V—机房的体积，m³；

$\bar{T}$ —O₃ 的有效清除时间（h）：

$$\bar{T} = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \quad (\text{公式 11-15})$$

(3) 参数与结果

考虑到本项目的最大剂量率、靶点到墙面的距离、主束束角度等参数，参数如下： D_0 最大值为 14Gy·m²/min；R=本项目取较长的 3.5m（有用束）。

按照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），机房通风换气率应不小于 4 次/h。该加速器机房的换气率设计不低于 4 次/h，满足该标准中关于机房内通风的要求。该加速器机房的有效体积约为 134m³（7.43m×6.90m×2.8m），风机风量不低于 500m³/h， $t_v=0.268$ h，按（公式 11-15）计算出 $\bar{T}=0.20$ h。

机房相关参数、O₃ 浓度与浓度计算结果如下表所示。

表 11-9 加速器室相关参数、O₃ 产额及浓度计算结果

场所名称	D_0 (Gy·m ² /min)	θ (°)	R (m)	V (m ³)	P (mg/h)	Q (mg/m ³)
加速器室	14	14	3.5	134	37.80	5.61E-02

根据上述估算结果，则臭氧的年总产量不大于 3.97g。机房空气中的 O₃ 浓度约为 5.61E-02mg/m³，远低于浓度限值 0.3mg/m³，说明臭氧的影响是较轻微的，这样的 O₃ 排放浓度对周围公众的影响可忽略不计。

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，工作场所中的限值为 O₃ 浓度的 16.7 倍，GB3095-2026 中规定的外部环境中 NO₂ 的浓度限值与 O₃ 相近。可见，NO_x 是安全的。

11.2.7 异常事件分析与防范建议

(1) 人员误入加速器室并发生误照事故

加速器可能发生的最严重的放射性事故是门机联锁失效，人员误入加速器室

而受到意外照射。事故情景假设：在以加速器 6MV@FFF 治疗患者过程中，人员误入机房后到达迷道内口处，发现后急速返回。保守假设在迷道内口处停留时间 10s，据此估算误入人员的最大受照剂量。

迷道口的剂量贡献为有用束和机头泄漏射线的散射辐射等，根据表 11-5、表 11-6 数值，可推算出迷道口处（防护门内）的剂量率，见下表所示。

表 11-10 加速器 10MV 运行时迷道口内剂量率水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）

编号	剂量来源	迷道口内
1	主束墙表面的二次散射（ H_s ）	5.42E+04
2	加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙的一次散射（ H_{Ls} ）	3.64E+04
3	散射辐射的二次散射（ H_{ps} ）	2.37E+05
合计		3.26E+05

保守假设在迷道口内停留 10s，最大受照剂量约为 $9.05\text{E}+02\mu\text{Sv}$ （ $3.26\text{E}+05 \times 10/3600$ ）。

该装置设有门机安全联锁系统，以及在治疗室和迷道内设置有闭路监视系统，可有效防止该事故发生。此外，加速器放疗工作人员须佩戴个人剂量报警仪进入治疗室。一旦出现误入情况，报警仪会提醒工作人员，立即撤出。

（2）其它异常运行事件和防范措施

在异常和事故状态下，如安全装置失灵、损坏等，人员可能误入正在进行出束的加速器机房内，或者人员误留而出束，此时将会受到 X 射线照射的危害。

1) 出束不能停止时：按下专用键盘“停束”键，如果继续出束，则按下控制台“急停”开关。在维修人员确保机器能够正常运行之前，操作人员不得试图再次开机。

2) 停电故障：工作人员采用手动方式打开防护门，迅速将病人从治疗床上移出，UPS 系统给电脑自动供电，记录正在治疗病人已经接受的累积治疗剂量。

3) 事故性出束：工作人员在治疗室内为患者摆位或开展其它准备工作，控制台处操作人员误开机出束。医护人员进入治疗室，要保持防护门开启，由于有门机联锁系统，加速器无法启动。为防止陪护人员或其他人员误留在加速器机房内受到误照射，要求加速器在每次出束前，工作人员必须进机房进行检查，确认无误后，方可出束。

4) 维修期间的事故：加速器维修工程师在检修期间误开机出束。在维修加速器时，按下急停开关，或保持防护门开启，这种情况下，加速器无法启动。此

外，维修人员携带有个人剂量报警仪，一旦有紧急情况，马上按下墙上的急停按钮，并迅速撤离现场。

5) 工作人员误入：加速器放疗工作人员须佩戴个人剂量报警仪进入治疗室。一旦出现误入情况，报警仪会提醒工作人员，立即撤出。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和国家环境保护总局环发<2006>145号文件之规定，发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

11.8 项目环保验收内容建议

根据项目建设和运行情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见下表。

表11-11 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和环评报告预测，职业、公众照射剂量约束值执行 2mSv/a 和 0.1mSv/a。
剂量当量率	控制区外 30cm 处(人员可达处)周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	机房防护门上贴有放射性警告标志和中文警示说明，设置工作状态指示灯。
布局和屏蔽设计	辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。
辐射安全设施	加速器机房采取分区管理、实体屏蔽。设置放射性警告标识和中文警示说明、工作状态指示灯、急停按钮等，可有效防止职业和公众受到意外照射。
监测仪器	加速器室拟利用现有 2 台个人剂量报警仪、1 台便携式辐射监测仪，新增 1 套固定式剂量率报警仪。辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员均通过辐射安全和防护考核。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。进行过辐射事故(件)应急演练。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全管理小组

医院已经设置了辐射安全防护领导小组作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-5 所示。本项目实施后，医院将加速器室纳入辐射安全管理范围，相关负责人将担任辐射安全与环境保护管理领导小组成员，负责相关科室的日常管理。辐射安全管理小组的职责：

（1）在医院辐射安全防护领导小组组长及负责人的领导下，负责本医院辐射安全防护的管理工作。

（2）贯彻执行国家、北京市政府部门有关法律、法规、规章、相关标准及有关规定。负责对本医院相关部门和人员进行法律、法规及相关标准的培训、教育、指导和监督检查等工作。

（3）制定、修订本医院辐射安全防护管理制度及仪器设备操作规程。

（4）制定、修订辐射事故应急预案，配备相应的事故处理物资仪器、工具，一旦发生辐射意外事故或情况，在辐射安全管理委员会主席的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

（5）负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

（6）建立装置档案，组织医院有关部门和人员对使用的装置及剂量监测仪器进行检查和维护保养，保证正常使用。

（7）对医院从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核，组织参加专业体检、培训并取得相应资格证。

（8）组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测，做好个人剂量计定期检测工作，对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好医院年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

12.1.2 辐射工作人员

本项目实施后放疗科拟利用西城院区现有 19 名辐射工作人员，均已取得辐射安全与防护考核合格证，考核证都在有效期内，并及时参加每五年一次的重新考核，同时按照国家相关规定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，并为工作人员保存职业照射记录。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射防护与安全管理小组及其职责，辐射防护和安全保卫制度，操作规程，放射设备检修维护制度，台账管理制度，放射工作人员管理制度，辐射工作场所监测制度，放射性废物暂存、处置方案，辐射事故（件）应急预案等。

本项目实施后，医院将结合新项目的开展，在重新申领辐射安全许可证前，组织相关人员制定和完善相关制度，如操作规程、监测方案、辐射突发环境事件应急预案等，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织各科室人员进行学习，确保依照规定安全使用射线装置。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

医院根据制定了医院有关辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，并将辐射工作人员个人剂量监测工作作为全院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求全院辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，监测频度为每 3 个月检测一次，并按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案。辐射工作人员进行个人剂量监测发现监测结果异常的，立即核实和调查，并将有关情况进行文字记录。

全院现有的辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京疾病预防控制中心承担，本项目投入使用后，所涉及辐射工作人员将继续进行个人剂量监测。

12.3.2 工作场所和辐射环境监测

（1）委托监测

医院每年委托有资质的单位对医院已有的射线装置工作场所防护和机器性能检测 1 次。

（2）本项目自行监测方案

医院针对本项目启用后，西城院区放疗科加速器室拟利用现有 2 台个人剂量报警仪、1 台便携式辐射监测仪，新增 1 套固定式剂量率报警仪，能够满足医院辐射防护和环境保护的要求。对于已配备的和今后拟配置的防护监测设备，将定期送计量检定部门进行检定，保证仪器可靠的功能状态。拟建立辐射环境自行监

测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。本项目实施后，工作人员使用配备的辐射剂量巡测仪，对拟建辐射工作场所进行监测。本项目自行监测方案如下。

(1) 监测项目：X 剂量率水平

(2) 检测设备：便携式辐射监测仪

(3) 检测频次：剂量率水平每年不少于 1 次。

(4) 工作场所 X 剂量率水平监测：自行监测采用安装固定式在线监测仪表和便携式监测仪表相结合的方式，其固定式在线监测设备安装位置见图 10-3。便携式监测点位包括点位加速器室四周和楼上 30cm 处（人员可达处）的剂量率水平，监测数据记录存档。

加速器室监测点位计划见表 12-1，监测点位布置见图 12-1 所示。

表 12-1 加速器室监测计划

场所	测点编号	位置描述	检测频次
加速器室	1	加速器室外西南侧 走廊	2 次/年
	2~3	加速器室外西侧 走廊	2 次/年
	4	防护门外	2 次/年
	5~7	楼上主束区室外绿地； 楼上非主束区东侧、南侧室外走道	2 次/年

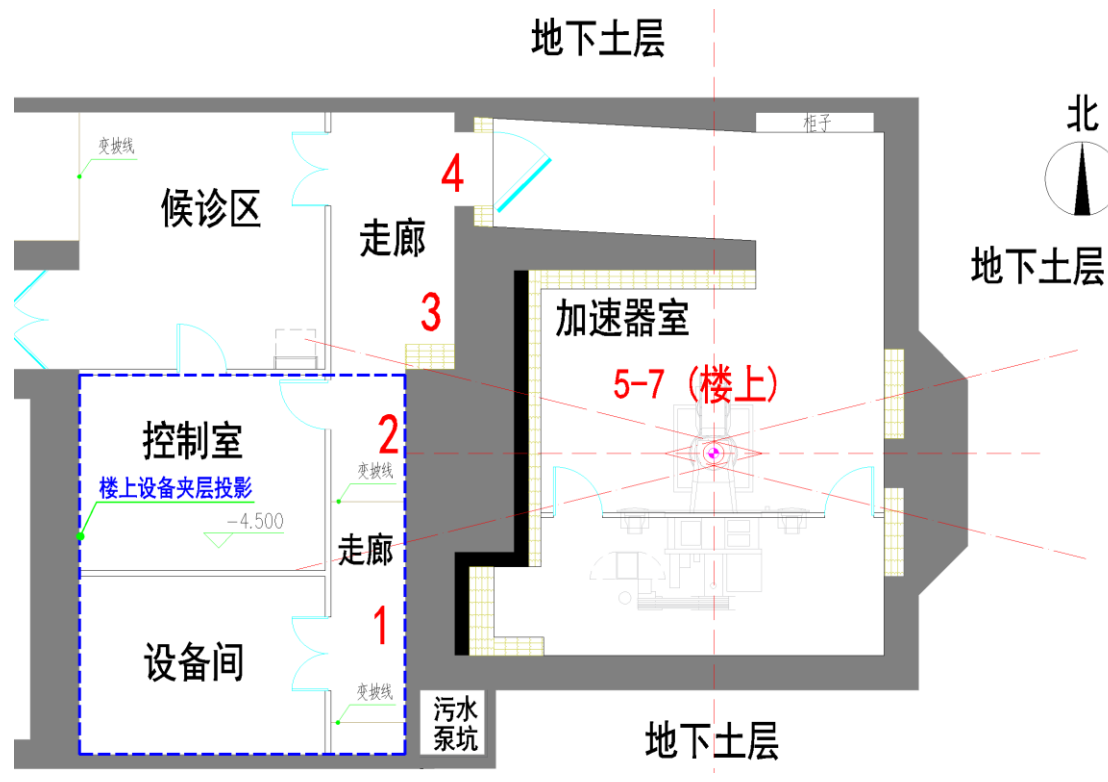


图 12-1 加速器室自行检测点位图

12.4 辐射事故应急管理

医院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《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，将修订《辐射事故（件）应急预案》，包含对 DSA 项目的辐射事故应急管理相关内容，一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在应急预案中进一步明确规定处理的组织机构及其职责分工、事故分级、应急措施、报告程序、联系方式等内容，能够满足医院实际辐射工作的需要。

发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

北京友谊医院持有北京市生态环境局颁发的辐射安全许可证。为响应我国肿瘤诊疗专业化、一体化升级需求，同时满足本院发展需求，西城院区拟更新 1 台医用直线加速器并改造机房，将更好地为广大肿瘤患者提供先进精准的放射治疗技术，对于推进肿瘤治疗事业的进一步发展具有积极作用。

13.1.2 正当性分析

本项目的目的是满足医学诊断和治疗工作需要，提高医疗服务水平，满足患者就医需要，具有良好的社会效益和经济效益，其获得的利益远大于辐射效应可能造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。同时具备了技术、人员和经费等条件。

13.1.3 选址与布局合理性分析

医院本项目位于西城院区妇泌楼地下一层西北角，为现有加速器机房更新设备，周围 50m 范围内除北侧为华仁路 31 号院 1 号楼外，其余方向东、南侧为医院内部，西侧为西经路，50m 范围内无学校、居民楼等敏感目标。项目选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，为相对独立的区域，对公众影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是可行的。

13.1.4 辐射防护屏蔽能力分析

在设置辐射工作场所时已充分考虑了辐射源项的性能和特点、周围工作场所的防护与安全，对辐射工作场所选址和布局设计进行了综合考虑，辐射工作场所屏蔽设计原则符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

13.1.5 辐射环境影响评价

（1）根据场所周围关注点辐射剂量估算结果可知，本项目运行后，预计工作人员和公众的年有效剂量均低于相应剂量约束值（2mSv、0.1mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位应该进行调查并报生态环境部门备案。通过对治疗机房的辐射屏蔽措施分析可知，机房墙体和防护门外周围剂量当量率不超过2.5μSv/h。

(2) 本项目运行过程中,会产生少量的臭氧和氮氧化物,估算结果显示,正常通风情况下,机房内的臭氧浓度为可忽略的水平,经通风系统排放后,浓度将至少降低 1 个量级,故对周围环境的影响是十分轻微的。

(3) 辐射安全与防护措施:加速器机房辐射安全与防护措施有分区管理、实体屏蔽、电离辐射警示标识和中文警示说明、工作状态指示灯、急停按钮、紧急开门按钮、监控设施、门机安全联锁系统、辐射剂量监测和报警系统等,可有效防止职业人员和公众受到意外照射。

(4) 辐射安全防护管理:医院设有辐射安全与环境保护管理机构,负责全院的辐射安全管理和监督工作。医院制定有较健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训考核计划、健康体检制度、设备检修维护制度和辐射事故应急预案等,本项目实施后将完善与本项目有关的岗位职责、操作规程等管理制度,进一步完善辐射事故应急预案并有效执行。

(5) 与《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》的规定对照检查,满足要求。

13.1.6 结论

综上所述,首都医科大学附属北京友谊医院西城院区更新 1 台医用直线加速器并改造机房项目相应的辐射安全防护措施基本可行,在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下,其运行对周围环境产生的辐射影响可控,符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证,本项目的运行是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境,保障人员健康,医院承诺:

(1) 严格按照工程设计施工,保证工程建设质量。

(3) 项目竣工许可后应按照环保相关法规要求及时自行办理竣工验收,并接受生态环境部门的监督检查。

(4) 在辐射项目运行中决不容许违规操作和弄虚作假等现象发生,如若发现相关现象接受相关处理。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况,单位进行调查并报生态环境部门备案。

表 14 审 批

下一级环保部门预审意见：	
公 章	
年 月 日	经 办 人

审批意见：	
公 章	
年 月 日	经 办 人

