

核技术利用建设项目

厦门长庚医院 1 台 TOMO 项目

环境影响报告表
(公示稿)

厦门长庚医院有限公司

二〇二五年七月



核技术利用建设项目

厦门长庚医院 1 台 TOMO 项目

环境影响报告表

建设单位名称：厦门长庚医院有限公司

通讯地址：福建省厦门市海沧区新阳街道霞飞路 123 号

邮政编码：361028



目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	15
表 3	非密封放射性物质	15
表 4	射线装置	16
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	17
表 6	评价依据	18
表 7	保护目标与评价标准	20
表 8	环境质量和辐射现状	31
表 9	项目工程分析与源项	36
表 10	辐射安全与防护	41
表 11	环境影响分析	54
表 12	辐射安全管理	74
表 13	结论与建议	81
表 14	审批	86

附件 1 委托书；

附件 2 辐射安全许可证；

附件 3 辐射安全管理机构；

附件 4 厦门长庚医院辐射工作相关管理制度；

附件 5 辐射事故应急预案；

附件 6 辐射工作人员辐射安全与防护培训合格证书；

附件 7 辐射工作人员个人剂量监测报告；

附件 8 职业健康检查结果总结报告；

附件 9 辐射环境检测报告；

附件 10 福建省生态环境厅关于批复厦门长庚医院 1 台后装机项目环境影响报告表的函
（闽环辐评〔2021〕46 号）；

附件 11 厦门长庚医院医用电子直线加速器工作场所辐射防护检测报告。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		厦门长庚医院 1 台 TOMO 项目				
建设单位		厦门长庚医院有限公司				
法人代表		***	联系人	***	联系电话	*****
注册地址		厦门市海沧区霞飞路 123 号				
项目建设地点		厦门市海沧区霞飞路 123 号住院大楼地下一层放疗科				
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)	350	投资比例	7%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (平方米)	89.9
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
	其它	/				

1.1 建设单位情况

厦门长庚医院成立于 2008 年 5 月，是台塑企业创办人王永庆先生为回馈大陆而设立的一所集医疗、保健、颐养、科研为一体的平民化、高等级的三级甲等综合医院。医院地处厦门市城市副中心马銮新城及厦门地铁 2 号线规划区、马銮湾南岸及新阳工业区北面；土地面积 32.6 公顷，总建筑面积约 24.2 万平方米，总规划床位 2000 床。医院现设定临床专科 43 个、员工约 1500 位，每日服务病患约 3000 人次。

厦门长庚医院的医疗科室设置齐全，包括内科系统、外科系统、妇科、儿科、耳鼻喉科、口腔科、皮肤科、检验、病理、影像等 36 个临床和医技科室。医院重点发

展具有前沿水准的小切口微创人工电子耳蜗植入、唇腭裂、小耳重建、医美整形、骨关节重建、心脏介入治疗、肝胆射频消融等特色医疗项目，成立多个整合型医疗团队，如颅颜整形、人工电子耳、医学美容、外科肝胆、妇女医学、儿童医学等，开设台湾质子治疗咨询及转介门诊；是中国聋儿康复救助七彩梦行动计划和听力重建、启聪行动的定点手术医院。

医院配备先进的医疗设备，拥有 1550/1927 系统飞梭镭射、锐速刀、VARIAN CLINACIX 型号直线加速器、PET/CT、1.5 及 3.0T MRI、DSA、德国西门子 Force 双源 CT、64 排螺旋 CT、彩色多普勒超声系统等，持续引进先进医疗设备，为高品质医疗服务提供有力保障。

1.2 项目由来与建设内容

2021 年，厦门长庚医院计划在住院大楼地下一层安装 1 台后装机（使用 1 枚 Ir-192 放射源，活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）。同年 11 月 2 日，福建省生态环境厅（原福建省环境保护厅）以闽环辐评〔2021〕46 号文对该项目环评报告表进行批复。

后因工作安排调整未建设，为提高医院服务质量及服务水平，满足广大患者就医的需要，将改建为 TOMO 机房，医院计划购置 1 台 TOMO 用于开展医疗、教学、科研等工作，同时对 TOMO 机房（原后装机房）进行相应的改造。本项目主要改造内容为：原有机房东墙和西墙拆除轻隔墙和废钢筋，采用铅板、硅酸钙板等方式增加防护，对原有配套辅助用房等重新进行功能分配及装修。本项目购置设备参数详见表 1.2.1。

表 1.2.1 本项目射线装置基本情况

射线装置	型号	数量	类别	最大能量	剂量率	使用场所	备注
TOMO	TOMO C	1	II类	治疗束：X 射线 ≤6MV MV 级 CT 扫描 射线束：X 射线 ≤3.5MV；KV 级 CT 最大管电压 140KV	治疗束： 850cGy/min MV 级 CT 扫描 射线束： 45cGy/min； KV 级 CT 最大 管电流 200mA	住院大楼 地下一层 东北角放 疗科	拟购

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》以及《建设项目环境保护管理条例》等法律法规，应对本建设项目进行环境影响评价。根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，

公告 2017 年第 66 号) 可知, TOMO 属于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) 的规定, 需编制环境影响报告表。因此, 厦门长庚医院于 2025 年 5 月委托福建省金皇环保科技有限公司对厦门长庚医院 1 台 TOMO 项目进行环境影响评价工作。

我公司接受委托后, 派技术人员到现场进行调查和资料收集, 在完成污染源分析等工作的基础上结合本项目的特点, 依照《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》(HJ 10.1-2016) 的相关要求编制完成了《厦门长庚医院 1 台 TOMO 项目环境影响报告表》。医院委托上海建筑设计研究院有限公司对本项目机房的建筑结构进行设计, 本次环境影响评价是建立在项目建筑结构安全合格的基础上, 重点对项目在施工和运营过程中可能产生的环境影响进行分析, 并在此基础上提出相应的环境保护措施, 为生态环境主管部门和建设单位提供环境保护管理的依据。

1.3 原有核技术应用项目许可情况

厦门长庚医院原有核技术利用项目情况: 使用直线加速器、DSA 等 4 台II类射线装置; 震波碎石机、胃肠机、数字 X 光机等 25 台 III 类射线装置; 乙级、丙级非密封放射性物质工作场所为住院大楼四楼专用病房使用 I-125、I-131 核素开展核素诊疗工作。医院现有辐射安全许可证内容为“使用非密封放射性物质, 乙级、丙级非密封放射性物质工作场所; 使用II类、III类射线装置”, 证书编号为“闽环辐证[00065]”(见附件 3)。具体明细见表 1.3.1~表 1.3.2 所示。

表 1.3.1 医院已许可非密封放射性物质一览表

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	环评、验收情况
1	厦门长庚医院门诊楼负一楼核医学科	丙级	I-123	7.4×10^5	8.41×10^9	2005 年 9 月环评, 未投入使用
2			F-18	7.4×10^6	1.67×10^{12}	闽环辐评(2018)36 号, 2025 年 6 月自主验收
3			Sr-89	1.48×10^7	2.96×10^9	2005 年 9 月环评, 未投入使用
4			Xe-133	1.11×10^7	8.6×10^{10}	
5			Cr-51	7.4×10^5	5.62×10^7	
6			Tl-201	5.55×10^6	2.63×10^{11}	

7	厦门长庚医院门诊 楼负一楼核医学科	乙级	Ga-67	7.4×10^8	8.06×10^{10}	2005 年 9 月 环评, 已许 可, 闽环辐 验 (2014) 11 号
8			Tc-99m	9.25×10^8	3.49×10^{12}	
9			I-131	1.85×10^8	1.54×10^{11}	
10	厦门长庚医院住院 大楼四楼 B 区碘 125 病房	乙级	I-125 (粒子源)	3.7×10^8	1.85×10^{11}	2005 年 9 月 环评, 未投 入使用
11	厦门长庚医院住院 大楼四楼 B 区碘 131 病房	乙级	I-131	1.48×10^9	7.4×10^{11}	

表 1.3.2 医院已许可射线装置一览表

序号	设备名称	管电压、管电流	类别	数量	工作场所	环评、验收
1	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置_日立 64CT	140 kV 600 mA	Ⅲ类	1	厦门长庚医院门诊 楼负一楼放射科	厦环海审（2015） 24 号
2	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置_GE64VCT	140 kV 800 mA	Ⅲ类	1		闽环辐验（2014） 11 号
3	医用诊断 X 射线装置_联影 DR	150 kV 800 mA	Ⅲ类	1		2021 年 5 月备案 （备案号： 20213502050000 0047）
4	医用诊断 X 射线装置_床边 X 光机	125 kV 160 mA	Ⅲ类	1		厦环辐验（2014） 11 号
5	医用诊断 X 射线装置_床边 DR	133 kV 320 mA	Ⅲ类	1		
6	医用诊断 X 射线装置_岛津 DR	150 kV 500 mA	Ⅲ类	1		
7	医用诊断 X 射线装置_床边 X 光机	125 kV 160 mA	Ⅲ类	1		
8	放射治疗模拟定位装置_模拟定位 CT	140 kV 500 mA	Ⅲ类	1		
9	口腔（牙科）X 射线装置_单牙 X 光机	70 kV 7 mA	Ⅲ类	1	厦门长庚医院门诊 楼二楼口腔科	厦环辐验（2014） 11 号
10	口腔（牙科）X 射线装置_口腔三合一 X 光机	90 kV 13 mA	Ⅲ类	1		
11	粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器_直线加速器	6 MeV（粒子能量）	Ⅱ类	1	厦门长庚医院门诊 楼负一楼放射科	
12	血管造影用 X 射线装置_岛津 DSA	140 kV 1000 mA	Ⅱ类	1		
13	血管造影用 X 射线装置_飞利浦 DSA	125 kV 1000 mA	Ⅱ类	1	厦门长庚医院心脏 内科三楼心导管室	
14	医用诊断 X 射线装置_乳腺 DR	49 kV 160 mA	Ⅲ类	1	厦门长庚医院门诊 楼负一楼放射科	
15	医用诊断 X 射线装置_数字胃肠机	150 kV 800 mA	Ⅲ类	1		

16	医用诊断 X 射线装置_体外震波碎石机	110 kV 5 mA	Ⅲ类	1		
17	医用诊断 X 射线装置_双能 X 线骨质密度检测仪	76 kV 6 mA	Ⅲ类	1		
18	医用诊断 X 射线装置_岛津 DR	150 kV 500 mA	Ⅲ类	1	厦门长庚医院住院大楼二楼体检科	
19	医用诊断 X 射线装置_岛津 DR	150 kV 500 mA	Ⅲ类	1		
20	口腔（牙科）X 射线装置_牙科 CT	90 kV 10 mA	Ⅲ类	1	厦门长庚医院门诊楼二楼口腔科	2017 年 1 月备案（备案号：201735020500000002）
21	医用诊断 X 射线装置_C 臂机	120 kV 150 mA	Ⅲ类	1	厦门长庚医院门诊大楼三楼手术室	闽环辐验（2014）11 号
22	医用诊断 X 射线装置_C 臂机	120 kV 150 mA	Ⅲ类	1		
23	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置_PET/CT	140 kV 667 mA	Ⅲ类	1	厦门长庚医院门诊楼负一楼核医学科	闽环辐评（2018）36 号，2025 年 6 月自主验收
24	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置_西门子双源 CT	150 kV 1300 mA	Ⅲ类	1	厦门长庚医院门诊楼一楼放射科	2021 年 5 月备案（备案号：2021350205000000047）
25	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置_东软 63 排 CT	140 kV 667 mA	Ⅲ类	1	厦门长庚医院住院大楼二楼体检科	
26	口腔（牙科）X 射线装置_牙科 X 射线机	70 kV 7 mA	Ⅲ类	1	厦门长庚医院门诊楼二楼口腔科	2021 年 8 月备案（备案号：2021350205000000087）
27	口腔（牙科）X 射线装置_口腔内成像 X 射线机	60 kV 8 mA	Ⅲ类	1		
28	口腔（牙科）X 射线装置_口腔 CBCT	90 kV 16 mA	Ⅲ类	1		
29	血管造影用 X 射线装置_DSA	125 kV 1000 mA	Ⅱ类	1	厦门长庚医院心脏内科三楼心导管室	闽环辐评（2024）9 号，2024 年 9 月自主验收

1.4 原有核技术应用项目辐射安全管理及防护情况

（1）辐射防护管理制度

厦门长庚医院成立以副院长为组长的辐射防护管理组，制订了《厦门长庚医院辐射事故应急预案》《辐射防护和安全保卫制度》《辐射工作人员岗位职责》《放射性同位素及射线装置使用登记制度》《放射性同位素及射线装置台帐管理制度》《射线装置检修和维护制度》《放射工作定期自查和监测制度》《放射工作人员资格和培训管理制度》《放射工作人员职业健康检查与保健制度》《放射工作人员档案管理制度》等辐射防护管理制度，并严格遵守执行。

（2）辐射工作人员培训、个人剂量监测档案和职业健康监护情况

厦门长庚医院现有辐射工作人员共计 75 名，医院已建立辐射工作人员培训、职业健康监护和个人剂量监测档案，根据档案记录：

①医院现有辐射工作人员均已参加辐射安全与防护培训，并取得合格证书（部分辐射培训合格证书见附件 6）。

②厦门长庚医院为现有辐射工作人员配备了个人剂量计，定期委托有资质的公司承担个人剂量监测工作，监测频率为 1 次/季度，每季度的个人剂量检测结果均存档备案。从 2024 年第三、四和 2025 年第一、第二季度的监测报告看（浙江多谱检测科技有限公司），辐射工作人员个人剂量监测结果中年总有效剂量最大值为 2.48mSv（翁裕杰，男，介入放射学），低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的辐射工作人员剂量管理值 5mSv/a 的要求。

③医院定期组织现有辐射工作人员进行职业健康体检，间隔不超过 2 年，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，根据厦门医学院附属第二医院出具的 2024 年辐射工作人员职业健康体检报告，现有辐射工作人员体检结果均无异常。

（3）辐射工作场所监测情况

在设备正常运行状态下，医院每月均对辐射工作场所进行巡测；此外，院方每年委托有监测资质的单位对工作场所及周围辐射环境剂量率进行监测，监测频次为 1 次/年，并将巡测和监测数据记录存档。根据医院 2024 年度辐射年度安全评估报告，院内各辐射场所监测均未出现超标情况。

（4）辐射监测仪器和防护用品配备情况

医院为医护人员和受检者配备了必要的个人防护用品，具体放射防护用品清单见表 1.4.1。

表 1.4.1 医院现有放射防护用品一览表

序号	放射防护用品名称	数量
1	连体铅衣	14
2	铅围裙	8
3	铅围脖	51
4	铅帽	46
5	铅方巾	9
6	分体包裹式铅衣	23
7	铅三角巾	1
8	悬挂防护屏	3
9	床侧防护帘	3
10	铅眼镜	17
11	个人剂量计	129

12	环境辐射巡测仪	1
13	个人剂量报警仪	3

（5）辐射工作管理情况

医院日常按照制定的一系列规章制度开展辐射工作管理，已提交 2024 年度安全评估报告；建立个人剂量计档案和职业健康体检档案，并指定专人管理，定期委托有资质的单位开展个人剂量计检测、组织辐射工作人员进行职业健康体检；医院安排责任科室日常定时巡查、检测设备性能，据调查，截止目前，厦门长庚医院使用的射线装置正常运行，未发生辐射事故；院方已制定本年度辐射应急演练计划，并适时开展。

1.5 项目地理位置和周边概况

1.5.1 项目地理位置

本项目位于福建省厦门市海沧区新阳街道霞飞路 123 号厦门长庚医院住院大楼地下一层东北角，医院地理位置见图 1.5-1 所示。

1.5.2 辐射工作场所及周边关系

厦门长庚医院住院大楼位于院区中心位置。住院大楼北侧为院内道路和绿化带、停车场和新阳大道；东侧为院内通道和霞飞路；南侧与门诊楼相连；西侧为院内通道、停车场及宿舍。

本项目 TOMO 机房位于住院大楼地下一层东北角的放疗科，机房北面为预留放疗科治疗室（4），东面为候诊区、过道、预留治疗室（2）、（3）及治疗室（1，直线加速器），南面为设备间、控制室，西侧为过道（关闭）及夯土层；上方为院内空地道路，无地下二层。

医院地理位置见图 1.5-1，医院平面布置及周边关系见图 1.5-2，TOMO 机房所在楼层部分平面布置见图 1.5-3，机房及周边环境现状照片见图 1.5-4。

1.6 项目选址及合理性分析

项目治疗机房位于住院大楼地下一层东北角的放疗科，位置相对独立，周边人员停留时间较短，有单独的固定机房，与周边非放射性工作场所隔开，满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第一部分》（GBZ/T 201.1-2007）中“治疗机房一般设于单独的建筑物或建筑物底层的一端”的要求。机房选址充分考虑了邻室（含楼上）和周围场所的人员防护与安全，避开了人群聚集点。在机房四周墙体及顶棚采用的屏蔽防护有效、

机房设置通风装置正常运行的条件下，对周围环境影响不大。

综上所述，项目作业与其他科室不交叉，按照设计的防护措施，项目运行时对周围环境辐射影响小，项目选址基本是合理的。

1.7 项目建设必要性

随着社会经济的不断发展，人们对医疗日趋重视，治疗需求逐年增加。厦门长庚医院为满足日益增长的医疗需求，提高医院服务质量及服务水平，医院计划购置 1 台 TOMO 设备，放置于原后装机机房，用于开展医疗、教学和科研等工作。

目前，厦门长庚医院已有相对成熟的辐射医疗人员团队，并成立了辐射防护管理组，制定一系列辐射安全管理制度和《辐射事故应急预案》，已具有一定开展新项目的技术能力，能为病人提供更方便、快捷、专业的治疗，更好的服务于社会。此外，项目所涉及的 TOMO 已被广泛应用于各类肿瘤和癌症的治疗，在医院的治疗方案构成中具有其必要性和重要性。

1.8 实践正当性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补可能引起的辐射危害时，该实践是正当的。

射线装置的应用在放射治疗等方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。厦门长庚医院拟购置 1 台 TOMO 设备，提升医院医疗服务能力，将为当地病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益。

本项目整体布局较为合理，工作场所均按相关规范、标准要求进行了设计，防护措施满足标准要求。项目对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此，本项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”原则。

1.9 国家产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号），本项目属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“4、.....高端放

射治疗设备.....”以及“三十七、卫生健康”中的“1、.....医疗卫生服务设施建设.....”项目，因此本次厦门长庚医院 1 台 TOMO 项目符合国家产业政策。

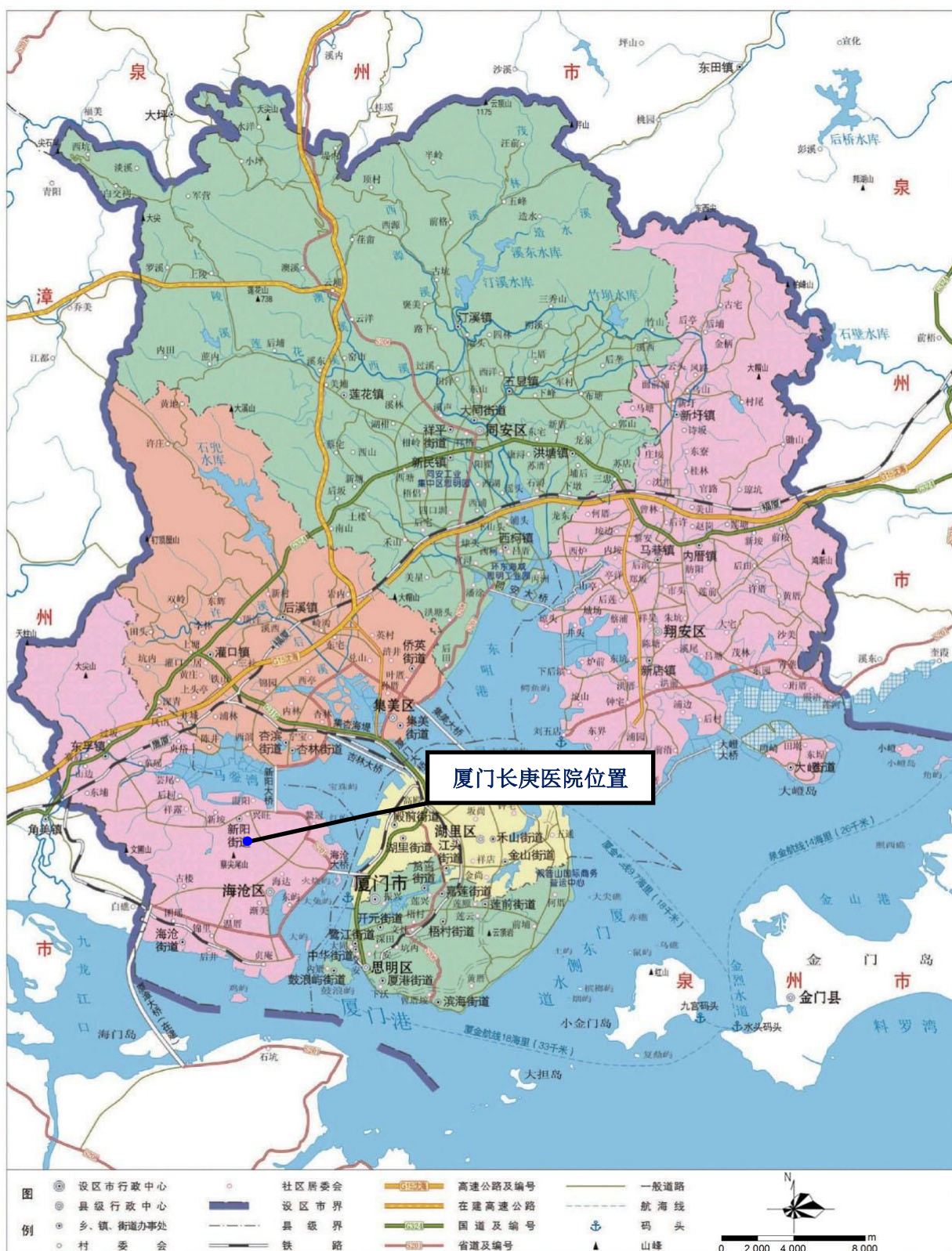


图 1.5-1 厦门长庚医院地理位置图

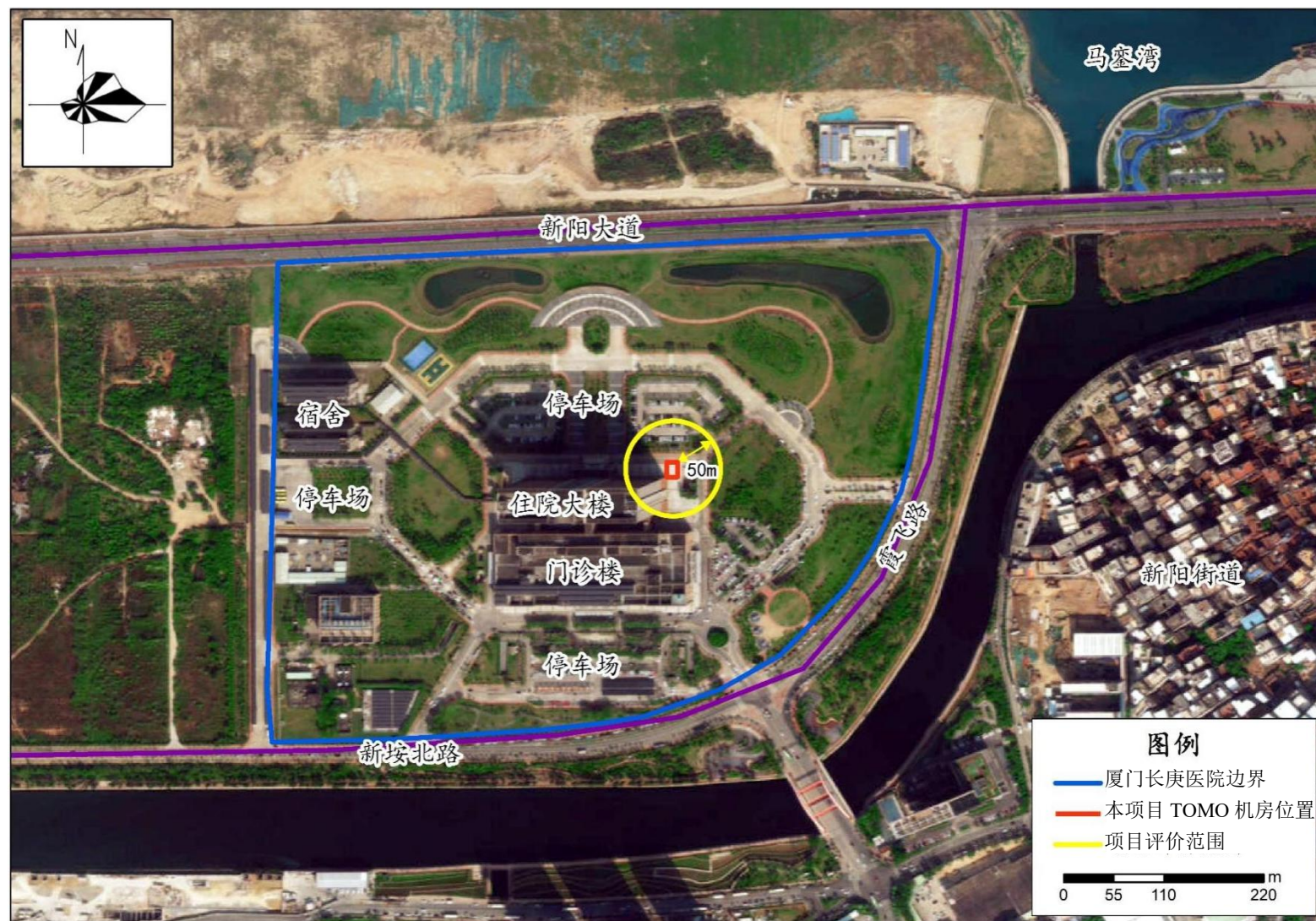
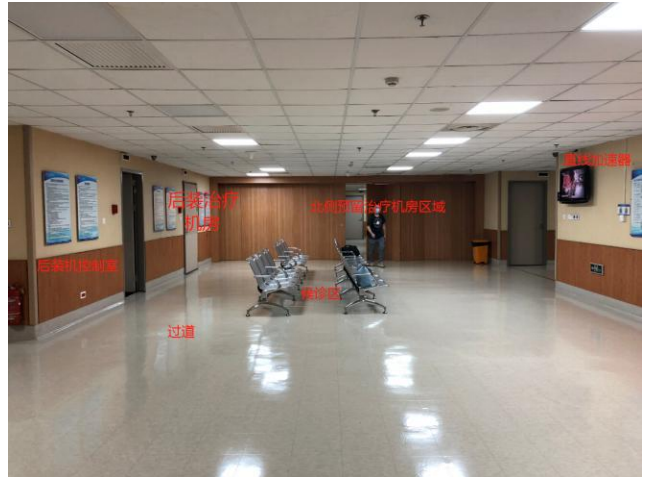


图 1.5-2 本项目评价范围及保护目标图



机房拟建位置



机房北侧、东侧



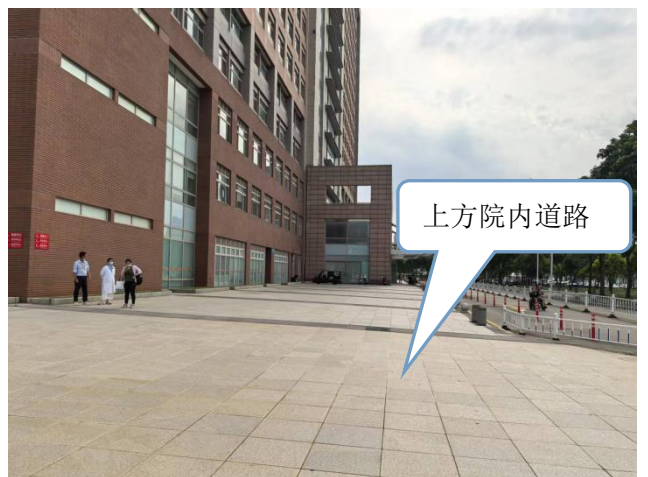
机房南侧控制室



机房南侧设备间



机房西侧过道（常锁）



机房上方空地道路（住院大楼北侧）



图 1.5-4 TOMO 机周边环境现状情况

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	TOMO	II类	1	TOMO C	电子	治疗束：X 射线 ≤6MV MV 级 CT 扫描射线 束：X 射线≤3.5MV； KV 级 CT 最大管电压 140KV	治疗束：850cGy/min MV 级 CT 扫描射线束： 45cGy/min；KV 级 CT 最大管电流 200mA	放射治疗	住院大楼地下一 层东北角放疗科	/

(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）

[illegible]

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/m³; 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/m³)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》，2015 年 1 月 1 日施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订版），国务院令 709 号，2019 年 3 月 18 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(6) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、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；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年 5 月 1 日施行；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021 年 1 月 4 日施行；</p> <p>(10) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，2007 年 11 月 1 日施行；</p> <p>(11) 《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》，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日；</p> <p>(12) 《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，2019 年 12 月 23 日；</p> <p>(13) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》；</p> <p>(14) 《福建省环境保护条例》，2012 年 3 月 31 日修订；</p> <p>(15) 《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》（闽环保辐射[2013]10 号），2013 年 3 月 15 日印发；</p>
技 术 标 准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(3) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>(4) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；</p> <p>(5) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p>

	<p>(6) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</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) 《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》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(10) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)；</p> <p>(11) 《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2022)；</p> <p>(12) 《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)；</p> <p>(13) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)。</p>
其他	<p>(1) 委托书；</p> <p>(2) 医院放射诊疗操作规程、辐射安全管理制度、个人剂量检测报告等资料；</p> <p>(3) 厦门长庚医院提供的 TOMO 机房建筑结构设计图、以及与建设项目相关的技术资料；</p> <p>(4) 厦门长庚医院辐射安全许可证；</p> <p>(5) 辐射工作人员培训合格证书；</p> <p>(6) 厦门亿科特检测技术有限公司出具的检测报告。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目使用 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》（HJ 10.1-2016）中，“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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）……”，根据本项目特点，本项目评价范围确定为：TOMO 机房实体屏蔽物外 50m 范围内，见图 1.5-2。

7.2 保护目标

根据对本项目周围环境的调查，结合图 1.5-2 和图 1.5-3，本项目周边环境保护目标为辐射工作场所屏蔽体边界外 50m 范围内的辐射工作人员和公众人员，其中辐射工作人员包括 TOMO 机操作人员，公众人员包括一般医护人员、患者及家属、周边流动人群，详见表 7.2.1。经现场勘查，本项目评价范围内无学校等敏感目标分布。

表 7.2.1 TOMO 机房环境保护目标一览表

序号	保护目标名称及方位		距离 (m)	规模	保护要求 (mSv/a)	
1	控制室职业工作人员		南侧控制室	紧邻	约 2 人	5 ^①
2	机房四周的公众人员	一般医护人员、患者及家属、周边流动人群	北侧预留治疗室（4）	紧邻	约 1 人	0.1 ^①
			东侧病人候诊区	紧邻	约 20 人	
			西侧过道（常锁）	紧邻	约 1 人	
			上方院内空地道路流动人员	紧邻	不定	
			北侧院内停车场流动人员	5	不定	
			南侧住院大楼	3.5	约 100 人	

注：^①《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的要求。

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当

量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；本项目取其 1/4 即 5mSv 作为剂量约束值。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

年有效剂量，1mSv；在环境评价中，出于“防护与安全的最优化”原则，对于某单一项目的剂量控制，可以取剂量限值的几分之一进行管理，通过综合考虑项目周边情况以及结合医院年度辐射工作场所检测报告情况，本项目取 1mSv 的 1/10，即 0.1mSv 作为剂量约束值。

本项目辐射环境影响评价标准具体见表 7.3.1。

表 7.3.1 本项目辐射环境影响评价标准 单位：mSv/a

分类	GB 18871-2002 剂量限值	剂量约束值
职业照射	20	5
公众照射	1	0.1

7.3.2 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

4 一般要求

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 中剂量限值相关规定。

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 5mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

5 选址、布局与分区要求

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……和治疗室，直线加速器机房……等。

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 放射治疗场所辐射安全与防护要求

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。

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 30cm 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 30cm 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 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, ……;

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、治疗室和迷路区域情况的视频装置, 并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 ……、医用电子直线加速器治疗室 (一般在迷路的内入口处) 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联锁措施:

a) 放射治疗室……应设置门—机/源联锁装置, 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。……;

b) 放射治疗室和……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、治疗室迷路出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、……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。

7 操作的辐射安全与防护要求

7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查, 保存自查记

录，保证安全联锁的正常有效运行。

7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。

7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室。

7.5 在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生。

8.2 固体废物管理要求

8.2.2 其他固体废物管理要求

8.2.2.1 ……、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如……加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

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。

9 辐射监测要求

9.1 监测管理

9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

9.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。

9.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应及时查找原因并报告，同时进行整改。

9.2 放射治疗工作场所监测

9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，

对辐射工作场所的辐射水平（X- γ 辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。

9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X- γ 辐射周围剂量当量率监测。

9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。

9.3 环境监测

9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。

9.4 个人剂量监测

9.4.1 放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。

9.4.2 个人剂量档案应妥善保存，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。

7.3.3 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）

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……，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。

6.1.6 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； γ 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

6.3.3 屏蔽材料

屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.1 监测报警装置

含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。

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间的装置，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。

7.3.4 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》

(1) 《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)

关于治疗机房一般屏蔽要求，医院电子直线加速器机房设计应满足如下要求：

1) 治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变，并根据相应条件确定所需要的屏蔽；

2) 治疗装置控制室与治疗机房分离；

3) 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；

4) 治疗机房以混凝土为屏蔽体时，应一次整体浇筑并有充分的震捣，以防出现裂缝和过大的气孔；

5) 穿过治疗机房墙的管线孔（包括通风、电器、水管等）应避免控制台等人员高驻留区，并采用多折曲路，有效控制管线孔的辐射泄漏。

(2) 《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》(GBZ/T 201.2-2011)

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的周围剂量当量率参考控制水平：

治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量参考控制水平应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A（标准中的附录），由下列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工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

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

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) 在治疗机房正上方有建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自放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 $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/h}$ 周和最高剂量率 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 按照 4.1.1 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 4.1.2 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。该项辐射和穿透机房墙壁辐射在相应处的剂量率的总和, 应按 4.1.2 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) 穿透治疗机房屋顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以年剂量 250 μSv 加以控制;

3) 对无人员停留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)。

附录 A.2.1 单一辐射

单一有用线束与单一泄漏辐射按如下方法导出剂量率参考控制水平:

a) 有用线束

有用线束在关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时, 该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 见下式:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T)$$

式中: t ——治疗装置周治疗照射时间, h;

U ——有用线束向关注点位置的方向照射的使用因子;

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

b) 单一泄漏辐射

泄漏辐射在关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时, 该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 见下式:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (N \cdot t \cdot T)$$

式中: N ——调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子, 通常 $N=5$;

t —— 治疗装置周治疗照射时间, h;

T —— 人员在相应关注点驻留的居留因子。

A.2.2 复合辐射

与主屏蔽直接相连的次屏蔽区, 需要考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射:

a) 以 4.2.1b)、4.2.2a) 或 4.2.2b) 中的 $H_{c,max}$ 的一半, 作为关注点的导出剂量率参考控制水平, 依 5.2.2 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度;

b) 将 A.2.1b) 式中的 H_c 以 $0.5H_c$ 代替, 作为关注点的导出剂量率参考控制水平, 依 5.2.1 估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度;

c) 取上述 a) 和 b) 中屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下, 泄漏辐射和有用线束患者散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量率控制值。

7.3.5 其他相关环保标准

(1) 大气污染物排放标准

①施工期大气污染物执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996) 表 2 中的标准, 标准限值见表 7.3.1。

表 7.3.1 大气污染物排放限值 (摘录)

序号	污染物	无组织排放浓度限值	
		监控点	浓度 (mg/m ³)
1	颗粒物	周界外浓度最高点	1.0

②运营期各机房内执行《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》(GBZ 2.1-2019) 和《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2022) 中标准, 具体标准限值见表 7.3.2。

表 7.3.2 大气污染物标准限值 (摘录)

污染物	浓度限值	标准
臭氧	最高容许浓度 (MAC) 0.30mg/m ³	《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》(GBZ 2.1-2019) 《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2022) 中标准
臭氧	0.16mg/m ³ (1 小时平均值)	
二氧化氮	0.24mg/m ³ (1 小时平均值)	

(2) 噪声排放标准

项目施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011),

标准限值见表 7.3.3。

表 7.3.3 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB（A）

昼间	夜间
70	55

表 8 环境质量和辐射现状

为掌握项目所在地的辐射环境质量现状，本次评价委托厦门亿科特检测技术有限公司于 2025 年 5 月 14 日对本项目工作场所及其周围环境进行 γ 辐射剂量率背景水平调查。

8.1 项目的地理和场所位置

本项目位于厦门市海沧区霞飞路 123 号厦门长庚医院住院大楼地下一层东北角放疗科 TOMO 机房。住院大楼北侧为院内道路和绿化带、停车场和新阳大道；东侧为院内通道和新垵北路；南侧与门诊楼相连；西侧为院内通道、停车场及宿舍。

本项目 TOMO 机房位于住院大楼地下一层东北角的放疗科，机房北面为预留放疗科治疗室（4），东面为候诊区、过道、预留治疗室（2）、（3）及治疗室（1，直线加速器），南面为设备间、控制室，西侧为过道（关闭）及夯土层；上方为院内空地道路，无地下二层。

项目地理位置及场所位置见图 1.5-1~图 1.5-3。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

（1）现状评价的对象：本项目工作场所及周围环境辐射水平。

（2）监测因子： γ 辐射剂量率。

（3）监测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中有关布点原则和方法，并结合本项目的实际情况，对项目所在辐射工作场所周围布置 7 个监测点位，监测点位见表 8.2.1 和图 8.2-1、8.2-2。

表 8.2.1 γ辐射剂量率背景水平调查点位及检测结果一览表

点位编号	监测点位名称	γ辐射空气吸收剂量率 ±标准偏差（μGy/h）	监测工况
1#	TOMO 机房内	163.04±1.37	环境背景值
2#	TOMO 机房南侧控制室	127.68±1.30	
3#	TOMO 机房南侧技术室（设备间）	130.72±1.21	
4#	TOMO 机房北侧预留治疗室区域	152.30±1.38	
5#	TOMO 机房东侧病人候诊区	132.97±1.52	
6#	TOMO 机房西侧过道	153.51±1.60	
7#	TOMO 机房正上方院内空地道路	103.81±2.12	

注：（1）监测时间：2025 年 5 月 14 日，监测环境条件：23.7℃/57.6%RH；

（2）测量时探头距离地面约 1m，监测方式为每个测量点测量十次，取平均值，监测结果均扣除宇宙射线响应值。根据 HJ 1157-2021，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20 Sv/Gy（137Cs 作为检定参考辐射源）；

（3）根据 HJ 1157-2021，X- γ 辐射空气吸收剂量率=仪器测量读数值均值*校准因子 k1*仪器检验源效率因子 k2÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k3*测量点宇宙射线响应值 Dc，其中校准因子 k1 为 1.04（0.657 μSv/h），仪器使用 137Cs 进行校准，源效率因子 k2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy，屏蔽修正因子 k3 取 0.8（楼房）、1（原野、道路），宇宙射线响应值 Dc 为 33.99nGy/h。

（4）检测方法、检测仪器及检测条件

本次检测方法依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）以及《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）。

本次检测仪器为 6150AD-b 型高灵敏环境级便携式多功能辐射仪、γ剂量当量（率）仪，仪器参数见表 8.2.2。

表 8.2.2 检测使用的仪器、参数及检测条件

仪器名称	高灵敏环境级便携式多功能辐射仪
仪器型号	6150AD-b
出厂编号	XMYKT/JLYQ-0098
校准因子	1.04（0.657μSv/h）
测量范围	1nSv/h~99.9μSv/h（探头）0.1μSv/h~1Sv/h（主机）
能量响应范围	20keV~7MeV（探头）45keV~3MeV（主机）
检定单位	中国辐射防护研究院
检定证书编号	检字第【2024】L0518
有效期至	2025 年 7 月 7 日
检测条件	温度：23.7℃；湿度：57.6%RH

8.3 质量保证

监测时质量保证措施如下：

（1）监测单位：厦门亿科特检测技术有限公司，公司已通过资质认定，CMA 编号：151303100027；

（2）监测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点；

（3）监测仪器于 2024 年 7 月 8 日通过中国辐射防护研究院检定，证书编号：检字第【2024】-L0518，检定有效期一年，监测期间监测仪器仍处于有效期内；

（4）测量前、后均保证仪器的工作状态良好；

（5）监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；

（6）监测现场由专业人员按照操作规程操作监测仪器，并认真做好记录；

（7）检测报告严格实行三级审核制度，经报告编制人、审核人、签发人审核签字后报出。

8.4 监测结果及评价

监测结果详见表 8.2.1，检测报告见附件 9。

从表 8.2.1 可知，厦门长庚医院 TOMO 机项目位于室内的点位辐射剂量率在 127~163nGy/h 之间，位于室外的点位辐射剂量为 103.81nGy/h。根据《中国环境天然放射性水平》（原国家环境保护总局，1995 年）中，福建省室外辐射环境本底范围值 25.9~399.1nGy/h，室内辐射环境本底范围值 70.9~351.7nGy/h。对比结果显示，厦门长庚医院 TOMO 机项目所在地及工作场所的辐射剂量率处于正常环境本底水平。

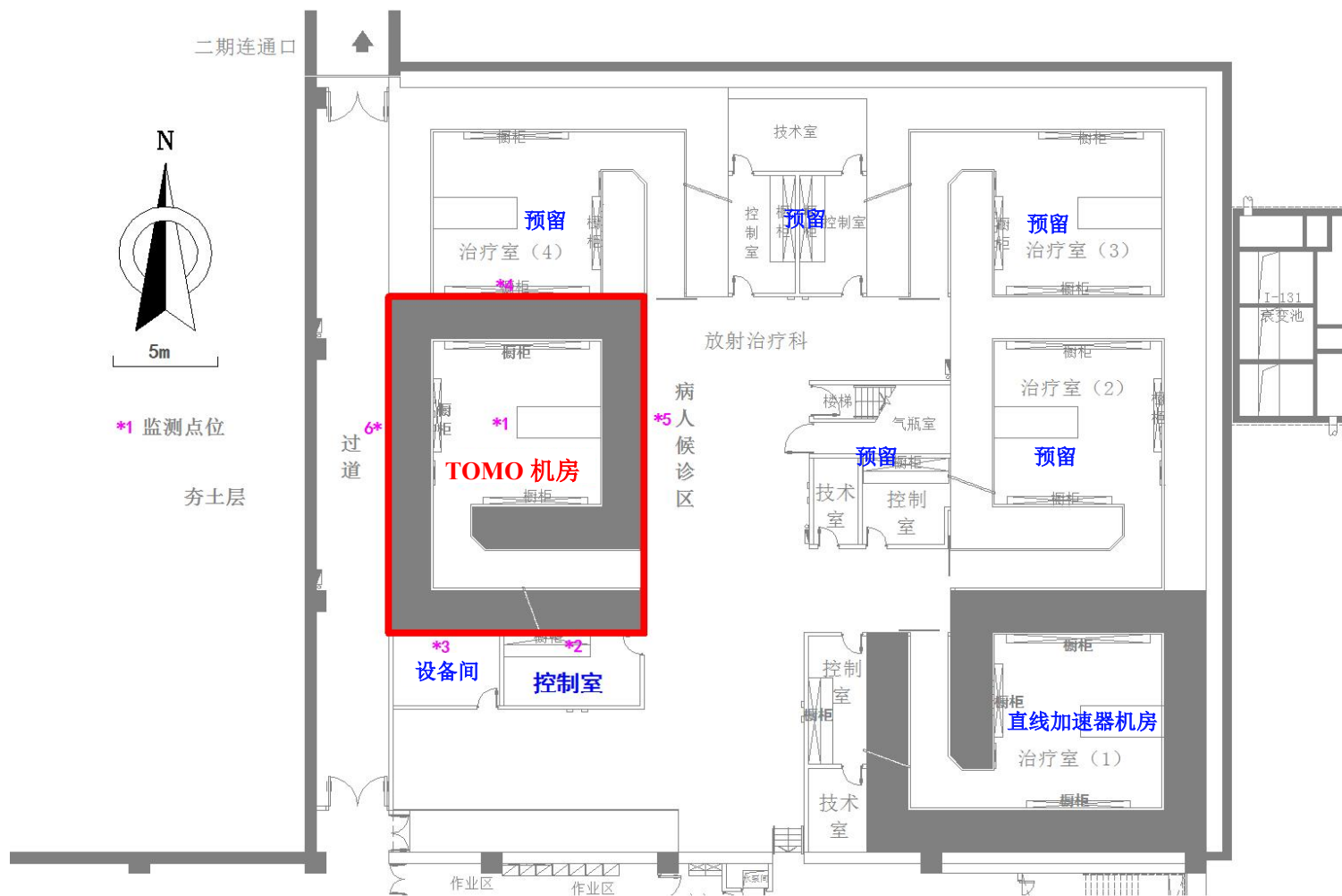


图 8.2-1 γ 辐射剂量率背景水平调查点位分布图（住院大楼地下一层）



图 8.2-2 γ 辐射剂量率背景水平调查点位分布图（外环境关系）

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 TOMO 工作原理、工艺流程

(1) 工作原理

螺旋断层放射治疗系统（TOMO）是将一台 6MV 医用直线加速器的主要部件安装在 64 排螺旋 CT 的滑环机架上，一个综合的放射治疗系统，集成了计划、剂量计算、CT 扫描定位和螺旋治疗等功能调强放疗治疗。TOMO 系统采用类似 CT 的模式，从 360° 聚焦断层照射肿瘤，靶区适形性佳，剂量分布均匀，使正常组织及器官得到最大限度的保护；TOMO 的设计目的是实行图像引导下的调强适形放疗（IMRT），治疗开始前进行兆伏级 CT 成像扫描，重建靶区的三维影像，与治疗计划 CT 的影像进行比较，从三维方向上修正摆位误差，实现图像引导下的 IMRT 治疗，从而保证了治疗的精确性。

这一系统的主要工作原理为：医用直线加速器的电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶；或者通过撞击金属钨靶，产生大量高能 X 线（其最大能量为电子束的最大能量），高能 X 射线束 360° 旋转聚焦照射肿瘤，靶区适形性佳，剂量分布均匀，使正常组织及器官得到最大限度的保护；图像引导功能在每次治疗前在治疗机上进行 MVCT 成像，确认治疗体位在三维空间上与治疗计划一致后再进行放疗，从而保证了治疗的精确性。TOMO 系统结构示意图见图 9.1-1。



图 9.1-1 TOMO 系统结构示意图

(2) 工作流程及产污环节

1) 工作流程

①进行定位：先通过 CT 模拟定位机（已备案）对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位；

②制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；

③固定患者体位：需对患者进行定位，标记，调整照射角度及照射野；

④确认治疗计划：在 TOMO 机房内，通过兆伏级 CT 扫描结果确认患者治疗体位在三维空间上与治疗计划一致；

⑤启动治疗：确认完毕且机房内联锁条件建立后，工作人员在控制室内启动 TOMO 治疗束部分开始照射治疗，治疗时工作人员隔室操作；

⑥治疗完毕后，工作人员协助病人离开机房。工作流程见图 9.1-2。

2) 产污环节

TOMO 的医用直线加速器产生的电子束，以及电子束在撞击金属钨靶时产生贯穿能力极强的高能 X 射线，运行时产生的电子束和 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。空气中的 O_2 和 N_2 分别在 X 射线的作用下，生成自由基，与空气中的 O_2 和 N_2 结合，生成 O_3 和 NO_x 。产污环节见图 9.1-2。

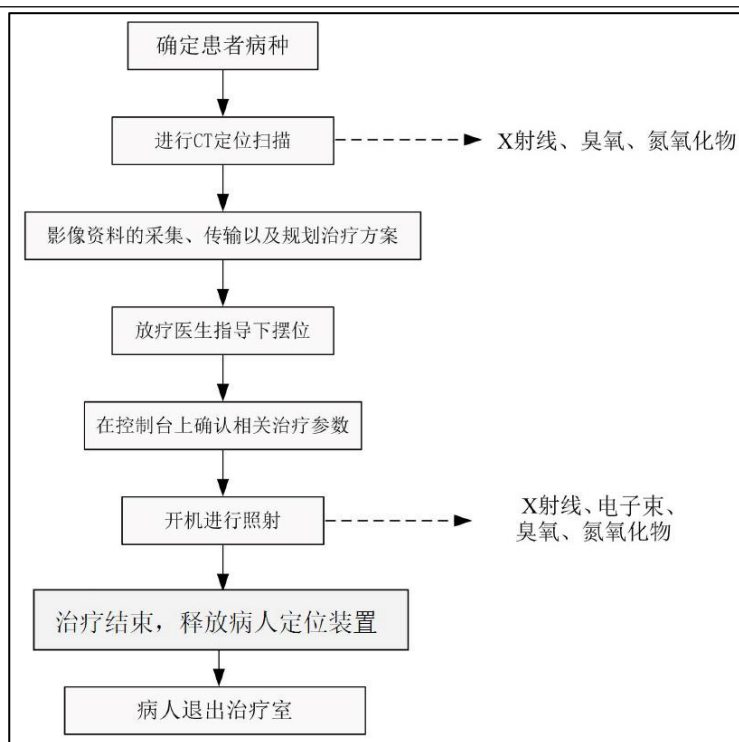


图 9.1-2 TOMO 放射治疗工作流程及产污环节

(3) 本项目 TOMO 工况

1) 设备参数

表 9.1.1 本项目 TOMO 主要技术参数

参数名称	参数值
型号	TOMO C
能量	治疗束：X 射线 $\leq 6\text{MV}$ MV 级 CT 扫描射线束：X 射线 $\leq 3.5\text{MV}$ ；KV 级 CT 最大管电压 140KV
源轴距 SAD	85cm
等中心点相对水平地面高度	113cm
治疗束剂量率	850cGy/min
CT 扫描射线束剂量率	45cGy/min
最大照射野尺寸	40cm \times 5cm
机架旋转角度	360°

2) 工作负荷

建设单位提供的 TOMO 工作量为 50 人/d，每周工作 5d，每年工作 50 周，治疗过程人均出束时间为 4min/人·次，日治疗出束时间 200min，周治疗出束时间为 1000min（16.67h），年治疗出束时间为 833.33h。

9.2 污染源项描述

9.2.1 建设阶段的污染源项

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，产生的环境影响主要是拟建机房施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等方面的影响。本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围敏感点的影响在可接受的范围内。随着施工期的结束，这些影响也随即结束。

(1) 废气

本项目的环境空气影响主要是扬尘，由散装水泥和建筑材料运输等施工活动将产生。本项目的工程量小，产生的扬尘量很小。

(2) 噪声

本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输及现场处理等。噪声值一般在65~80dB（A）之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

(3) 废水

施工期有混凝土现浇工序，施工用水主要为混凝土搅拌及养护，这类生产废水量小，一般通过蒸发，不外排。其次，施工期会产生少量施工人员生活污水。

(4) 固体废弃物

本项目机房改造工程量小，产生的建筑垃圾很少。

9.2.2 运行阶段污染源项

(1) 电离辐射

TOMO 在运行过程中产生的电子束，其贯穿能力远弱于撞击金属靶后产生高能 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的情况下，电子束也可得到足够屏蔽。因此，在 TOMO 运行期间，X 射线为主要污染因子。项目产生的 X 射线最大能量为 6MV、最大剂量率为 850cGy/min。此外，X 射线成像系统运行时也将产生 X 射线，但其能量远低于加速器产生的 X 射线。

(2) 固体废物

本项目固废主要为工作人员产生的少量生活垃圾以及 TOMO 在退役时产生的加

速器废靶、辅助过滤装置等部件。项目 TOMO 的 X 射线最高能量为 6MV，不会活化形成感生放射性物质，因此加速器废靶、辅助过滤装置等部件可作为一般固体废物处置；生活垃圾分类收集后，定期交由环卫部门处置。

（3）废气

TOMO 工作时产生的高能 X 射线使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化物等气体对周围环境造成污染。

（4）废水

本项目不产生医疗废水，废水主要为工作人员的生活污水，生活污水依托医院污水处理设施，处理达标后排入市政污水处理管网，统一纳入海沧污水处理厂处理。

（5）事故工况

TOMO 项目辐射工作场所可能发生的辐射事故为：

1）工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离治疗室，TOMO 运行可能产生误照射。

2）工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，对工作人员造成辐射伤害。

3）安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的 TOMO 机房，造成额外的照射。

4）TOMO 控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射。

5）TOMO 维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

通过对可能发生的辐射事故分析，在事故工况下 X 射线及电子束是 TOMO 项目主要污染因子。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

(1) 机房布局

TOMO 机房位于住院大楼地下一层东北角的放疗科，机房北面为放疗科预留治疗室（4），东面为候诊区、过道、预留治疗室（2）、（3）及直线加速器室，南面为技术室（设备间）、控制室，西侧为过道（关闭）和夯土层；上方为院内空地道路，无地下二层。

机房平面及墙体结构示意图 10.1-1，机房剖面图见图 10.1-2。

本项目拟建的 TOMO 机房与医院其他各单元间分隔明确，不相互穿插、干扰。机房拟设置迷路和防护门，辐射场所通过实体的有效屏蔽，不会对外环境人员造成影响。因此从满足安全诊断和辐射安全与防护的角度来看，本项目的工作场所布局是合理的。

(2) 工作场所分区

为加强核技术应用医疗设备所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射，应对项目划定控制区和监督区进行分区管理。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“6.4 辐射工作场所的分区：应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。”的要求。其定义为“控制区：需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。”

结合定义与现场实际，对本项目的控制区和监督区进行划分：

控制区：TOMO 机房。

监督区：与控制区域相邻的区域，包括控制室、设备间、过道、病人候诊区等。

本项目 TOMO 机房防护门上方安装射线装置工作状态指示灯，监督区和控制区外设置明显的放射性警告标识，机房、控制室采用钥匙和密码进出，以保证控制区内只有工作人员可以进入，监督区内限制无关人员进入，避免不必要的照射。

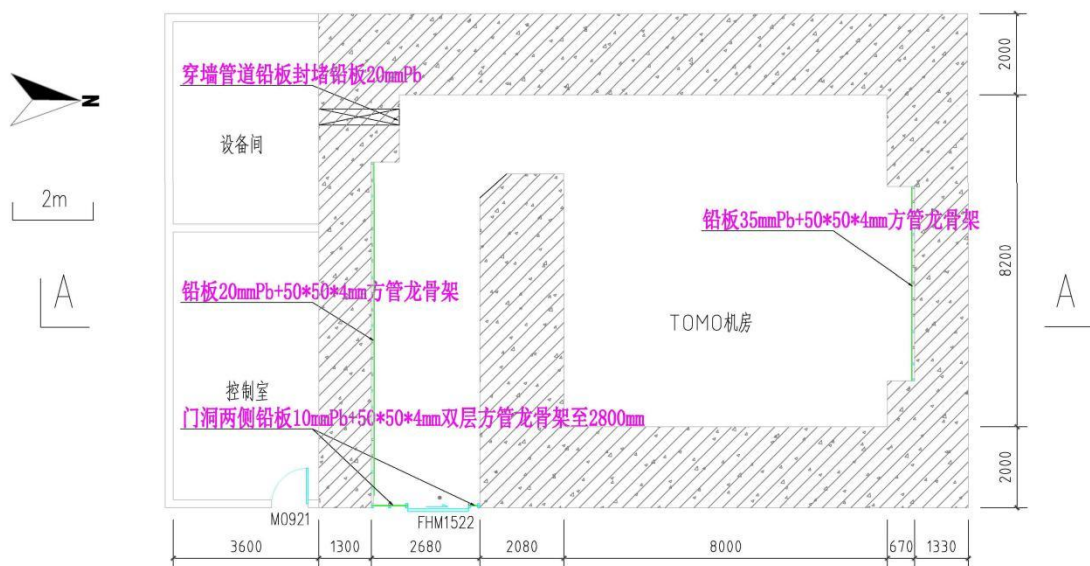


图 10.1-1 本项目 TOMO 机房平面布置图

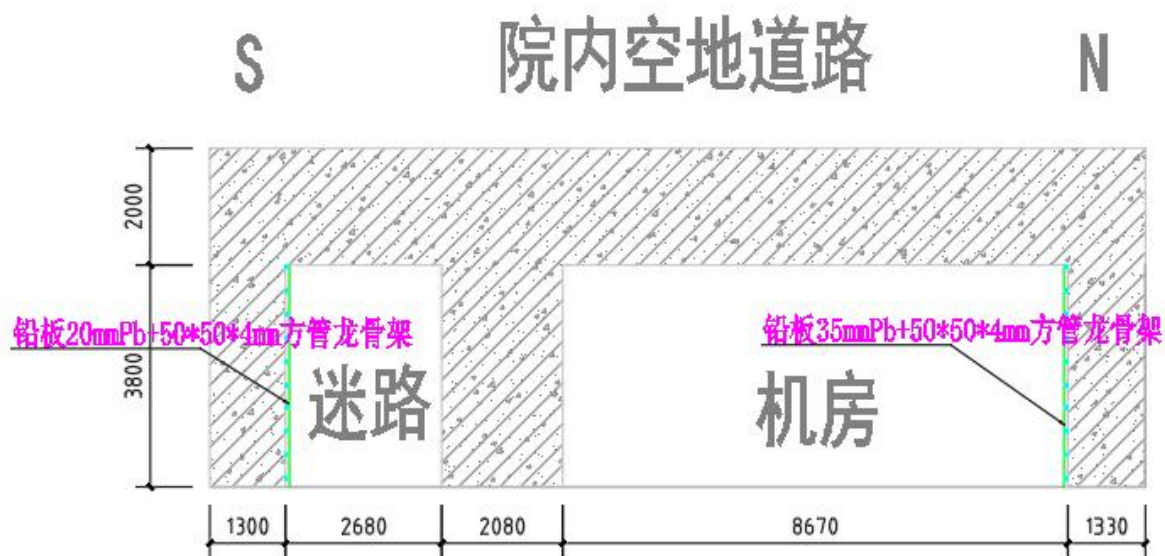


图 10.1-2 本项目 TOMO 机房 A-A 剖面布置图

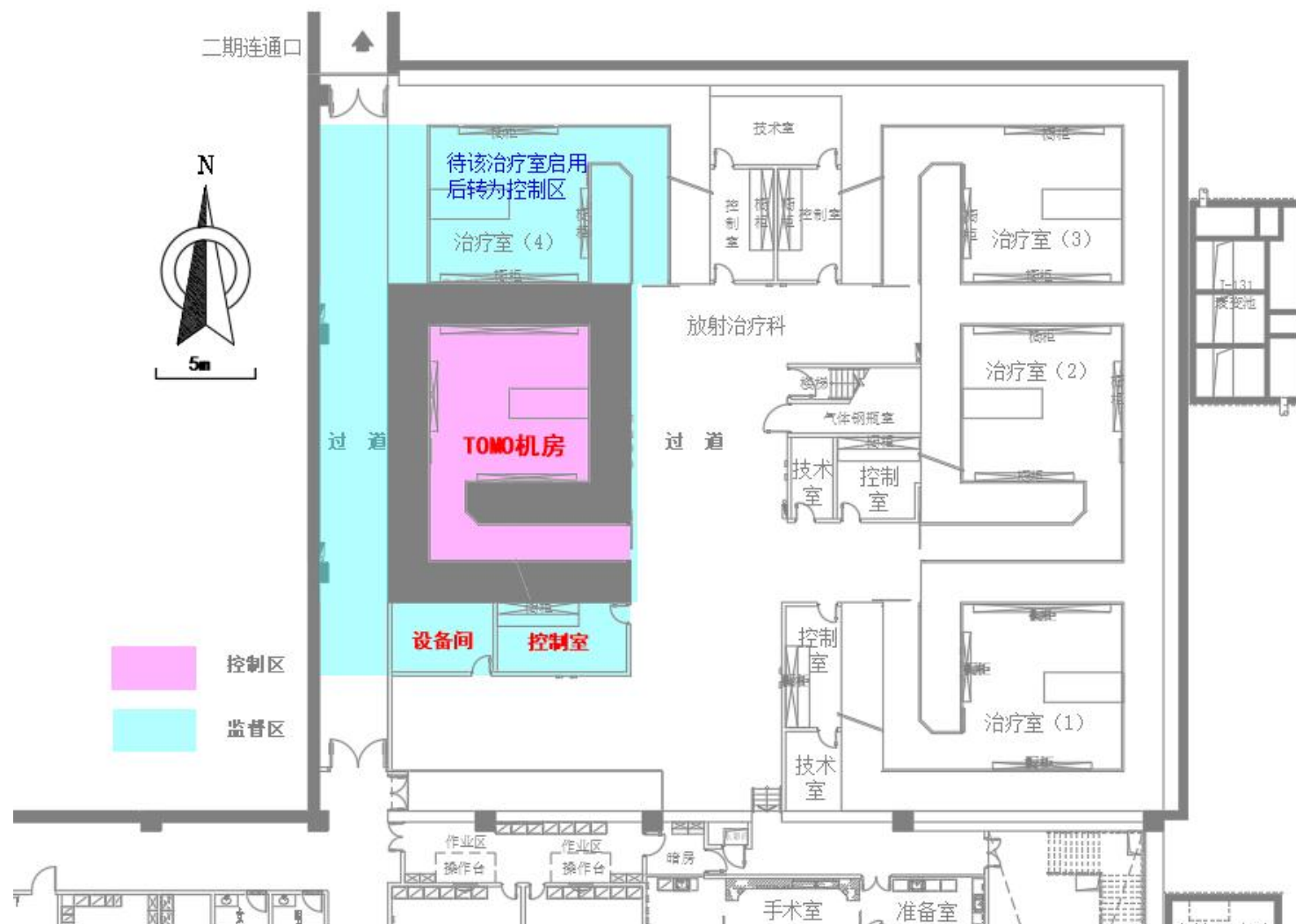


图 10.1-3 本项目分区情况示意图

10.2 工作场所辐射安全和防护

10.2.1 机房结构

本项目 TOMO 东西方向为主线束方向。治疗机房（不含迷路）南北内径长 8m，东西内径宽 8.2m，使用面积 65.6m²。

治疗机房（含迷路）南北长 12.06m，东西宽 8.2m，机房占地面积 98.89m²，高 3.4m，容积约为 336.23m³。

本项目 TOMO 机房的屏蔽防护设计详见表 10.2.1。机房平面图见 10.2-1，机房剖面图见图 10.2-2。

表 10.2.1 TOMO 机房的辐射防护屏蔽设计一览表

序号	位置	屏蔽防护设计	
		材料及厚度	规格
1	北侧墙体	35mm 铅板+50×50×4mm 方管龙骨架+1300mm 厚混凝土，其他北侧墙体 2000mm 厚混凝土	长约 12.06m、宽 约 8.2m，高 3.4m，面积 约 98.89m ² 。
2	东、西侧墙体	2000mm 厚混凝土	
3	迷路	内墙 2080mm 厚混凝土，外墙 20mm 铅板+50×50×4mm 方管龙骨架+1300mm 厚混凝土	
4	顶棚	2000mm 厚混凝土	
5	防护门	10mm 铅板	
备注：混凝土的密度为 2.35g/cm ³ ，铅的密度约为 11.3g/cm ³ 。			

注：混凝土的密度为 2.35g/cm³；项目防护门在上述铅板结构基础上外贴 1mm 彩钢板，自北向南开启防护门，四周搭接量为单边量 15cm。

10.2.2 TOMO 机房辐射安全防护措施

为保障各机房的安全运行，以及对工作人员和病人的辐射防护，本项目 TOMO 机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

（1）机房防护门上方设置工作状态指示灯，本项目 TOMO 开机使用时指示灯亮起，并伴有音响提示，以警示人员注意安全；机房防护门上显著位置张贴电离辐射警示标志并附“射线有害，灯亮勿入”等说明。

（2）机房设置门—灯联动装置、门—机联动装置，只有在防护门关闭状态下且警示灯亮时才可进行治疗，当防护门未关闭或工作状态指示灯损坏时设备均无法出束照射。项目机房的设计充分考虑防护门与墙的搭接，以确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

（3）机房及其控制室内共安装 8 个紧急停机按钮，分别设置在控制室的操作台

上（1个）、设备表面（1个）、治疗机房四周墙面（4个）和迷路出入口（1个）及防护门内侧（1个），并有明显的标志，在人员误入机房或遇紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。控制室采用钥匙和密码进出，机房的钥匙开关仅能控制本项目 TOMO 的运行，当钥匙开关未闭合时，TOMO 将无法开机。机房的钥匙开关是唯一的，且只能由院方授权的当班辐射工作人员使用，以防止非工作人员进入操作。

（4）机房内安装视频监控系统，在实施治疗过程中，便于控制台前工作人员观察患者状态、治疗床和迷路区域情况。

（5）控制室与各机房之间设置语音对讲装置，便于工作人员与机房内人员沟通。

（6）机房内均设置了排风和新风装置，送风口位于天花板上，室内排风口距地板高度为 200mm，室外排风口拟设置于机房所在住院大楼楼顶，送风口和排风口呈对角线布置。排风系统设计排风量大于 1500m³/h。治疗机房内将设置独立恒温湿空调，位于北墙。通风系统每小时通风换气次数约为 4 次。机房排风管道示意图见图 10.2-4。

机房内的管道包括送风排风管道以及电缆沟等，所有管道均设计为“斜 45 度”或“U”形管道进入治疗机房，并采用与同侧墙体防护铅当量相同的材料进行封堵。对于在机房内、外墙上嵌入式安装的电器（如配电箱、激光定位灯等）部位，嵌入式安装与同侧墙具有同等屏蔽效果的材料进行屏蔽补偿。本项目机房内电缆沟防护大样图见图 10.2-4。

（7）本项目治疗室内安装 1 台固定式剂量报警仪，探头安装于迷路入口，显示器安装于控制室内。同时，医院沿用原有防护用品和监测仪器，使用 1 台环境辐射巡测仪和 3 台个人剂量报警仪（日常存放于放疗科，存放位置距离 TOMO 机房约 20m）。剂量报警装置可对监测点辐射空气吸收剂量率进行实时监测，且报警仪设置安全阈值（阈值为 10μSv/h），当监测点的辐射空气吸收剂量率监测值超过设置阈值时进行报警。

（8）机房防护门内侧设置紧急开门按钮，且防护门具有防夹人功能，停电时能够手动开启，使病人安全转移；机房内安装应急照明装置、火灾自动报警装置和干粉灭火器等。

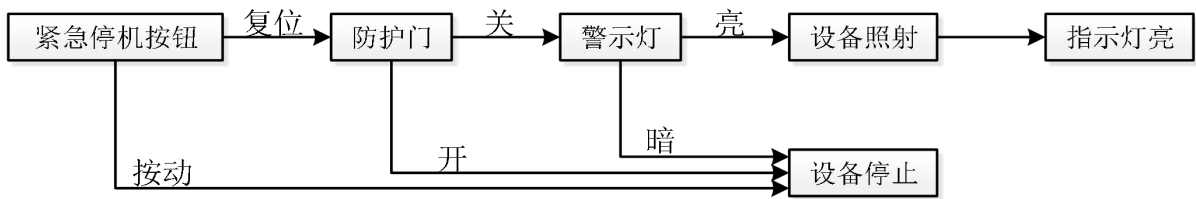


图 10.2-1 安全联锁逻辑关系图

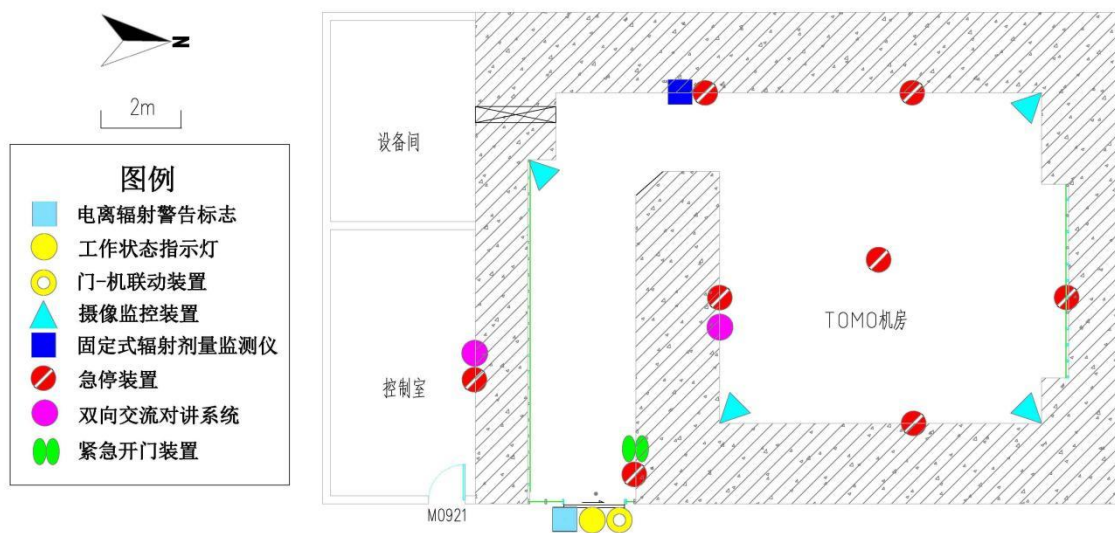


图 10.2-2 本项目 TOMO 机房辐射安全防护设施布置示意图

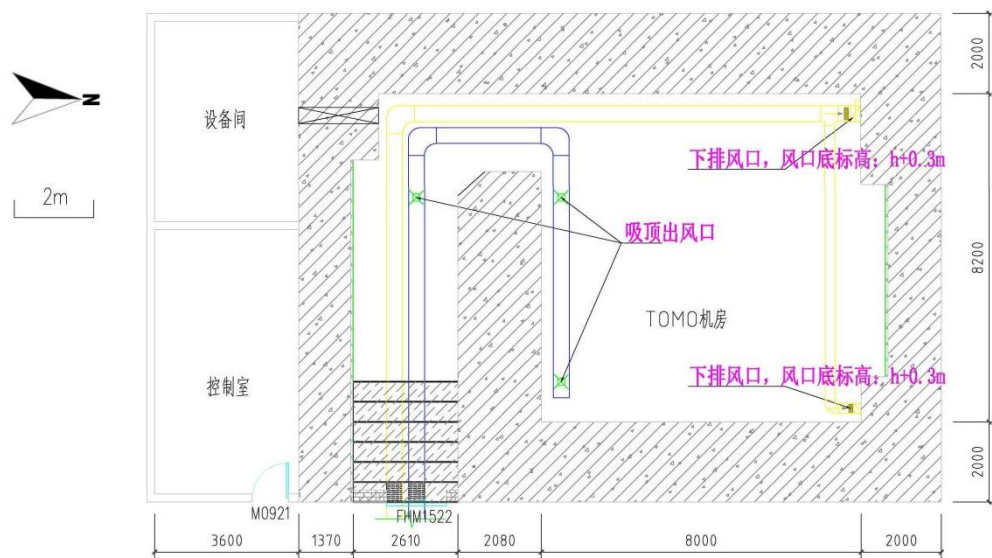


图 10.2-3 本项目通风系统布置示意图

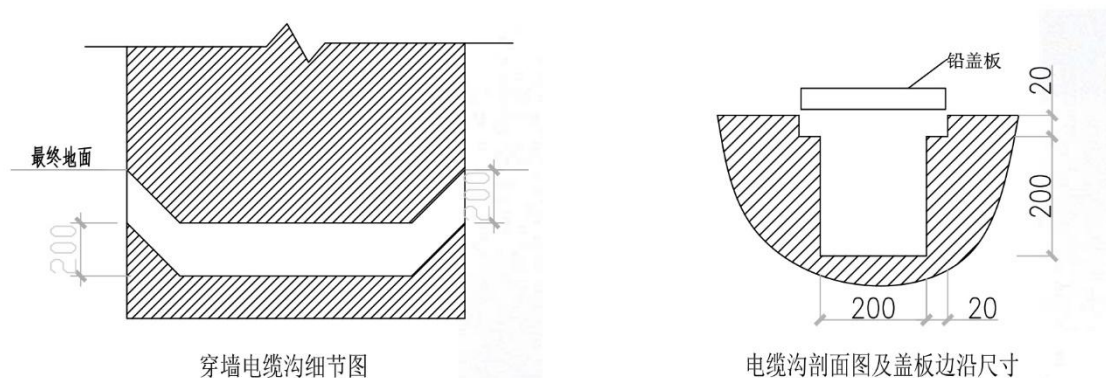


图 10.2-4 TOMO 机房电缆沟防护大样图

10.2.3 人员的辐射安全和防护

(1) 时间防护

本项目对辐射工作人员限定工作时间，轮岗工作，降低在辐射场所的停留时间，减少不必要的辐射照射。

加强辐射工作人员的培训，严格按照治疗计划对病患进行照射，避免患者受到不必要的辐射照射。

(2) 配备防护用品

辐射工作人员进入 TOMO 机房及控制室将佩戴个人剂量计，并携带个人剂量报

警仪。

（3）管理制度

医院已制定相关操作规程及防护制度，必须参加有资质单位组织的辐射安全与防护培训，持证上岗，并要求严格遵守操作规程进行操作。治疗期间，有两名工作人员进行协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。任何人员未经授权或允许不得进入控制区，工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入机房。TOMO 试用、调试、检修期间，严禁调试、检修人员在出束的情况下滞留在控制区，且控制室须有工作人员值守。

10.3 辐射防护措施符合性分析

本项目 TOMO 机房辐射防护措施，按生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序进行分析，并与《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）《放射治疗辐安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中对 TOMO 机房的防护设施的技术要求对照，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10.3.1、表 10.3.2 和表 10.3.3。

表 10.3.1 本项目 TOMO 机房安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	设计建造	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	√	钥匙和密码
2		控制台有紧急停机按钮	√	1 个
3		电视监控与对讲系统	√	1 套
4		治疗室门与束流联锁	√	门机联锁
5		治疗室内准备出束音响提示	√	蜂鸣音
6	B 警示装置	入口电离辐射警告标志	√	标准电离辐射警告标志
7		入口有加速器工作状态显示	√	工作状态指示灯
8	C 照射室 紧急设施	紧急开门按钮	√	防护门内侧
9		紧急照明或独立通道照明系统	√	应急照明
10		治疗室内有紧急停机按钮	√	墙壁设 4 个
11		设备表面有紧急停机按钮	√	设备表面 1 个
12		防护门内侧有紧急停机按钮	√	防护门内侧 1 个
13	D 监测设备	治疗室内有固定式剂量率仪	√	配置 1 台固定式剂量率仪
14		便携式辐射监测仪器	√	配置 1 台便携式辐射监测仪
15		个人剂量报警仪	√	配置 3 台个人剂量报警仪
16		个人剂量计	√	每人 1 个
17	E	治疗室防护门防夹人装置	√	电动防护门具有防夹功能

18	其它	通风系统	√	设置了动力排风装置
19		火灾报警仪	√	火灾自动报警装置
20		灭火器材	√	干粉灭火器

表 10.3.2 本项目 TOMO 机房与《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)

符合性分析

《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)中要求		本项目方案	符合性
布局要求	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	本项目 TOMO 机房建设于厦门长庚医院住院大楼地下一层东北角的放疗科，正上方为院内空地道路，四侧主要为控制室、设备间、过道、预留治疗室等，周边无敏感区域，因此机房选址合理，辅助设施已同时设计并计划同时建造，已考虑安全、卫生和方便的原则合理布置。	符合
	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	根据理论计算可知，有用线束方向墙体采取满足防护要求的混凝土进行辐射防护屏蔽，其余方向的防护屏蔽也满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	符合
	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	TOMO 机房的控制室与治疗机房分开设置，设备间等均位于机房外。	符合
	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	有用线束朝方向无控制室和其他居留因子较大区域。	符合
	治疗机房均应设置迷路	TOMO 机房设置有迷路。	符合
空间、通风要求	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	TOMO 机房占地面积 98.89m ² ，满足使用空间要求。	符合
	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。	TOMO 机房内拟安装动力通风装置，通风方式为上送下排，机房的通风系统的送风量及排风量大于 1500m ³ /h，满足每小时换气不小于 4 次的要求。	符合
安全装置和警示标志要求	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	设备与防护门均拟安装门机联锁装置，机房迷路入口处设置有开门按钮，防护门拟设置防挤压功能	符合
	放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；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	机房门口均拟张贴电离辐射警示牌；在防护门上方拟设置工作状态指示灯	符合

	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	拟在机房控制室的控制台、机房内不同方向的墙面、迷路入口侧均设置急停开关按钮	符合
	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	拟按要求在机房内设置摄像头，并且安装对讲设备连接治疗室和控制室	符合

表 10.3.3 本项目 TOMO 机房与《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)

符合性分析

《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 中要求		本项目方案	符合性
选址、布局 和分区要求	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。 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。 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。	本项目 TOMO 机房建设于厦门长庚医院住院大楼地下一层东北角的放疗科，避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，机房及其辅助设施同时设计和建造。	符合
	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。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……和治疗室，直线加速器机房、……等。 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）。	本项目将 TOMO 机房、迷路设置为控制区；控制室、技术室（设备间）、过道等设为监督区。	符合
	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。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。 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。 治疗机房……，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。 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； γ 刀治	本项目机房设计按照额定最大能量、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，且所有初、次级辐射方向的防护屏蔽符合 GBZT 201.1 的相关要求。机房内的所有管道均设计为“斜 45 度”或“U”形管道进入治疗机房，并采用与同侧墙体防护铅当量相同的材料进行封堵。项目机房的设计充分考虑防护门与墙的搭接，并设有迷路，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	符合

	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。		
空间、通风要求	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。	本项目治疗机房有足够的有效使用空间，满足放射治疗设备的临床应用需要。治疗机房（含迷路）南北长 12.06m，东西宽 8.2m，机房占地面积 98.89m ² ，高 3.4m，容积约为 336.23m ³ 。	符合
	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。	TOMO 机房内拟安装动力通风装置，通风方式为上送下排，机房的通风系统的送风量及排风量大于 1500m ³ /h，满足每小时换气不小于 4 次的要求。	符合
治疗机房屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平	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 30cm 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 7.3.2。	理论估算表明，TOMO 机房运行后，机房周边墙外 30cm 处的剂量率最高值为 1.29μSv/h，根据计算，治疗机房周围剂量当量率均满足《放射治疗机房辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中相应限值要求，具体见表 11.2.14。	符合
安全装置和警示标志要求	……、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷路的内入口处）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。	本项目治疗室内安装 1 台固定式剂量报警仪，探头安装于迷路入口，显示器安装于控制室内。	符合
	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。	本项目治疗机房防护门外设置电离辐射警告标志和工作指示灯。	符合
	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联锁措施； a) 放射治疗室……应设置门—机/源联锁装置，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。……； b) 放射治疗室和……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、治疗室迷路出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、……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。	本项目机房及其控制室内均安装紧急停机按钮，分别设置在控制室的操作台上（1 个）、设备表面（1 个）、治疗机房墙面（4 个）和迷路出入口及防护门内侧（1 个），并有明显的标志，在人员误入机房或遇紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。控制室采用钥匙和密码进出，以防止非工作人员进入操作。本项目设置门—机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束。设置室内紧急开门装置，防护门设置防夹伤功能。	符合

	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。	机房内安装视频监控系统，在实施治疗过程中，便于控制台前工作人员观察患者状态、治疗床和迷路区域情况。控制室与机房之间设置语音对讲装置，便于工作人员与机房内人员沟通。	符合
操作的辐射安全与防护要求	医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。	医院将对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。	符合
	治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室。在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区。	治疗期间，有两名工作人员进行协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。任何人员未经授权或允许不得进入控制区，工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入机房。加速器试用、调试、检修期间，严禁调试、检修人员在出束的情况下滞留在控制区，且控制室须有工作人员值守。	符合

10.4 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》符合性

医院已设立辐射防护管理组，负责医院日常辐射安全防护管理工作，并已制定《辐射事故应急预案》。医院沿用原先防护用品和监测仪器，为本项目拟配置 1 台固定式剂量报警仪，项目辐射工作人员均配备个人剂量计。项目运行后医院将更新射线装置台账，定期对本项目 TOMO 机房周围的环境辐射水平进行监测，做好监测记录，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。本项目新进的辐射工作人员将及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后上岗。医院已建立个人剂量档案，所有从事辐射工作的人员均需佩戴个人剂量计，按每季度 1 次的频率送相关单位进行个人剂量监测。

因此，本项目基本符合《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中相关规定。

10.5 三废的治理

10.5.1 固体废物

本项目固废主要为工作人员产生的少量生活垃圾以及 TOMO 在退役时产生的加速器废靶、辅助过滤装置等部件。生活垃圾经医院垃圾桶分类收集后定期清运；加速

器废靶、辅助过滤装置等部件，由有资质的单位进行回收处置。

10.5.2 氮氧化物及臭氧等废气

当 TOMO 运行时会产生少量的废气，其主要成分为臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x，为了防止机房内的臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x 超标，建设单位拟在治疗室内设置机械通风系统，包括新风系统和排风系统，送风口位于天花板上，室内排风口距地板高度为 200mm，室外排风口拟设置于 TOMO 机房所在住院大楼楼顶，送风口和排风口呈对角线布置。排风系统设计排风量大于 1500m³/h，TOMO 机房内有效容积（包含迷路体积）为 336.23m³，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。产生的臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x 通过机房的通风系统引至住院大楼楼顶排出。

10.6 环保投资

本项目总投资 5000 万元，环境保护投资共计 350 万元，占本项目总投资额的 7.0%。详见表 10.6.1。

表 10.6.1 本项目辐射防护措施投资明细表

类别	环保措施	投资估算（万元）
辐射防护主体设计施工	机房及其辅助设施的建造、墙体辐射防护处理	220
专用防护设计	机房防护门、通风电缆等管道防护	40
通风设备	新风、排风系统	20
辐射监测设备	个人剂量计、便携式辐射监测仪、个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪等	40
其他费用	环境影响评价、竣工环保验收、辐射工作人员培训、职业健康检查、辐射事故应急演练、相关制度上墙等	30
合计		350

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目拟在厦门长庚医院住院大楼地下一层新增 1 台 TOMO 机。项目是在住院大楼主体建筑上进行辐射防护改造，主要包括增加防护门、动力通风装置等防护措施，并对配套辅助用房等进行功能的分配及装修等，以满足各工作场所的辐射屏蔽防护要求，环境影响主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等。

本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围环境保护目标的影响在可接受的范围内。

11.1.1 施工噪声环境影响分析

本项目工程量较小，施工期短，没有大型机械设备进入施工场地，项目产生噪声影响的主要是装修电钻作业、设备安装等。施工场地噪声的影响范围主要在医院内，其噪声值一般在 65~80dB（A）之间，经过距离衰减和围墙遮挡衰减后，对周围环境仍有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的要求，本项目应通过文明施工，合理安排施工时间，加快施工进度；选择噪声级尽可能低的施工机械进行施工，对施工机械采取消声降噪措施；施工场所采取消声减震等措施，避免对其他科室产生影响。

11.1.2 施工期扬尘影响分析

本项目位于住院大楼内，对现有机房进行改造，施工过程中由于材料运输等活动会产生少量的扬尘，因此，要求合理安排施工时间，加快施工进度，通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，将对外环境扬尘影响降至最低。

11.1.3 施工期废水影响分析

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水。

施工废水主要为混凝土搅拌及养护，这类生产废水量小，一般通过蒸发，不外排。

项目施工期间施工人员约 5 人，根据给水排水设计规范，按每人每天用水 80L 计

算，施工时间按 30 天计算，则施工期总用水量约为 12t (0.4t/d)，污水排放量按用水量的 90%计算，则生活污水总排放量约 10.8t。项目施工生活污水主要是依托现有设施（卫生间），通过下水管道排入医院污水处理设施处理达标后排放，对周围环境影响较小。

11.1.4 施工期固体废物影响分析

本项目工程量小，项目施工期间固废主要为施工人员生活垃圾、少量建筑垃圾及施工废物料。施工期间，施工人员按 5 人计，生活垃圾量按 0.5kg/人·d 计算，则施工期内每天产生生活垃圾约 2.5kg/d。生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱，后交由环卫部门清运。

机房装修及设备安装过程将产生少量建筑装修垃圾、包装纸箱、泡沫填充物等。建筑装修垃圾由施工方统一交由有资质的渣土运输公司处置，对包装纸箱等可回收利用的施工废物料应予以回收利用，其他部分分类收集后交由环卫部门清运。

综上所述，项目施工期环境影响只是一个短期效应，其影响将随着施工期停止而结束，在采取相应的污染防治措施后，项目施工期环境影响较小。

11.2 运营阶段对环境的影响

TOMO 运行阶段影响评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）标准中的相关计算公式进行理论估算。理论计算时，选取 TOMO 机房四面墙壁、顶棚外表面 30cm 处及迷路入口处作为预测点位。

本项目拟配置的 TOMO 带有 3.5MV 的 X 射线低辐射输出剂量的 CT 影像引导设备，其所至患者剂量约 11mGy/人，6MV 的 X 射线治疗机房能满足对该 CT 的辐射屏蔽要求。因此，TOMO 机房以 TOMO 治疗状态下 6MV 的 X 射线相关参数作为屏蔽计算依据。

本项目拟配置的 TOMO 为自北向南方向摆放，主射线方向朝向东墙、西墙及顶部。在 TOMO 机架旋转治疗筒内，有用线束对应的筒壁区带有 15.2cm 的铅板，由于其和治疗筒件的总屏蔽效能，使有用束对应的治疗筒外的辐射剂量与泄漏辐射相当。因此，根据 GBZ/T 201.2-2011 中“附录 D，D.2.3.1”，“忽略患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑治疗室屏蔽。对有用线束直接投射的区域，也按屏蔽泄漏辐射考虑。”。

TOMO 机房关注点位置示意图见图 11.2-1 和图 11.2-2。

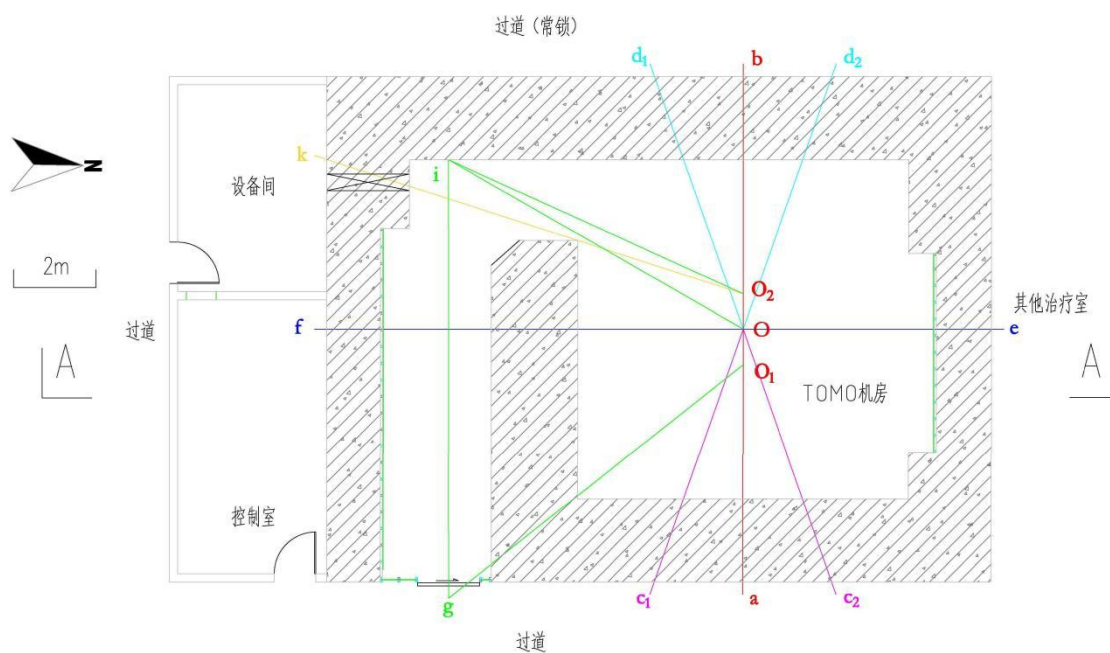


图 11.2-1 TOMO 机房关注点分布图（四周）

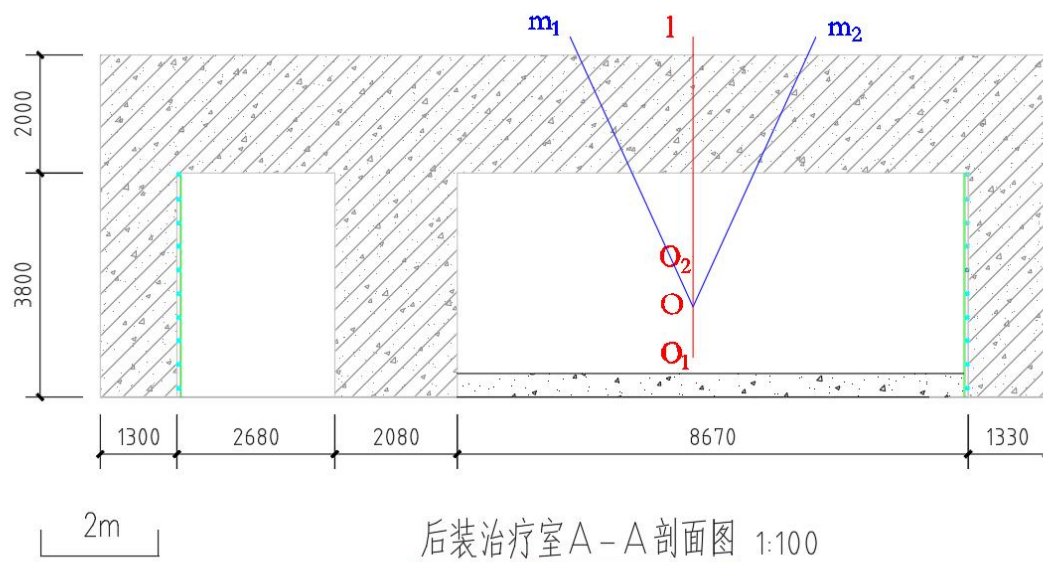


图 11.2-2 TOMO 机房关注点分布图（顶棚）

11.2.1.1 理论计算

(1) 有用线束主屏蔽区半宽度核算

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

式中： Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD ——源轴距，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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。

将各参数代入公式 (11-1) 得出本项目的主屏蔽宽度核算结果，结果见表 11.2.1。

表 11.2.1 医用电子直线加速器机房主屏蔽宽度计算参数及计算结果

主屏蔽区	东墙主屏蔽区	西墙主屏蔽区	顶棚主屏蔽区
SAD (m)	0.85	0.85	0.85
θ (°)	13.24	13.24	13.24
a (m)	4	4	2.27
Y_p 计算值	2.88	2.88	2.07

从表 11.2.1 的预测结果可以看出，本项目医用电子直线加速器机房东、西墙的主屏蔽区为 2.88m，顶棚主屏蔽区为 2.07m。

(2) 剂量控制要求

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机》（GBZ/T 201.2-2011）中“4.2 剂量控制要求”，本评价计算治疗机房墙外、房顶和入口门外关注点的剂量率参考控制水平，该计算结果是偏保守和安全的，详见 7.3.4 节。

单一辐射有用线束计算公式为：

$$H_{c,d}^{\bullet} = \frac{H_c}{t \bullet U \bullet T} \quad \text{式 (11-2)}$$

式中： H_c ——周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

U ——关注位置方向照射的使用因子；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子；

t ——治疗装置周治疗时间，h。

单一辐射泄漏辐射计算公式为：

$$H_{c,d}^{\bullet} = \frac{H_c}{N \bullet t \bullet T} \quad \text{式 (11-3)}$$

式中：N——调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 N=5。

根据上式，分别估算本项目 TOMO 机房墙外剂量率参考控制水平，见表 11.2.2~11.2.3。

表 11.2.2 TOMO 机房主、侧屏蔽区墙外泄漏辐射剂量率参考控制水平

关注点	东墙 (a 点)	西墙 (b 点)	顶棚 (1 点)	北墙 (e 点)	南墙 (f 点)	迷路外墙外 关注点 (k 点)
周剂量参考控制 水平 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	5	5	5	100	100	5
本项目周治疗出 束时间 t (h)	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67
使用因子 U	0.25	0.25	0.25	/	/	/
调强因子 N	/	/	/	5	5	5
居留因子 T	1/2	1/5	1/16	1/2	1	1/8
导出剂量率参考 控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.40	6.00	19.20	2.40	1.20	0.48
关注点的最高剂 量率参考控制水 平 $H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5*	10	10	2.5*	2.5	10
剂量率参考控制 水平 H_{cl} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.40	6.00	10.00	2.40	1.20	0.48

注：*居留因子 T 为 0.5 时的关注点的最高剂量率参考控制水平，取严参考《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》(GBZ/T 201.2-2011) 中的 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 计算。

表 11.2.3 TOMO 机房次屏蔽区墙外复合辐射剂量率参考控制水平

关注点	西墙次屏蔽墙 (d_1 、 d_2 点)	东墙次屏蔽墙 (c_1 、 c_2 点)	顶棚次屏蔽墙 (m_1 、 m_2 点)	迷路口防护门 外 (g 点)
周剂量参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	5*	5*	5*	5*
本项目周治疗出束时间 t (h)	16.67	16.67	16.67	16.67
使用因子 U	0.25	0.25	0.25	0.25
调强因子 N	5	5	5	5
居留因子 T	0.2	0.5	0.0625	0.125
散射辐射导出剂量率参 考控制水平 $H_{cl,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	6.00	2.40	19.20	9.60

泄漏辐射导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.30	0.12	0.96	0.48
关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c, \max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	10	2.5	10	10
复合辐射剂量率参考控制水平 H_{cl} ($\mu\text{Sv/h}$)	6.30	2.50	10.00	10.00

注：*各指标取值参考《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）中“A.2.2 复合辐射”，其中式中的 H_c 以 $0.5H_c$ 代替， $H_{cl,d}$ 以 4.2.1b) 中的 $H_{c, \max}$ 的一半作为关注点的散射辐射导出剂量率参考控制水平， H_{cl} 取 $H_{c, \max}$ 和 $H_{c,d}$ 加 $H_{cl,d}$ 中较小值作为复合辐射剂量率参考控制水平。*

结合表 11.2.2~11.2.3 计算结果与《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）中“4.2.1 治疗机房外关注点的剂量率参考控制水平”的要求，从偏保守和安全考虑，本项目 TOMO 机房的剂量率参考控制水平取较小值。

11.2.1.2 辐射工作场所辐射屏蔽预测分析

1) 主射线方向屏蔽效果预测（a、b、1 点）

TOMO 机房主射线方向屏蔽墙体主要考虑泄漏射线的影响，而 a、b、1 点为主射线方向的周边场所受泄漏辐射剂量最大处，因此选取 a、b、1 点位作为参照点。利用下列公式对初级辐射进行屏蔽计算：

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{式 (11-4)}$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{式 (11-5)}$$

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

H_0 ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，根据 GBZ/T 201.2-2011 中“附录 D，D.2.3.3”，为 $H_0 = 8.5 \times 0.85^2 \times 60 \times 10^6 = 3.68 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ；

R ——辐射源点（靶点）至关注点的距离；

f ——泄漏辐射剂量率一般按初级辐射束的 0.1% 计；

X_e ——有效屏蔽层厚度，m， $X_e = X \cdot \sec\theta$ ；

TVL_1 （砼）——混凝土第一个什值层厚度（查 GBZ/T 201.2-2011，附录 B，表 B.1），下同；

TVL （砼）——混凝土平衡时的什值层厚度（查 GBZ/T 201.2-2011，附录 B，表 B.1）；

根据院方提供的屏蔽材料和厚度，分别估算 TOMO 机房主射线方向屏蔽墙体所受泄漏辐射剂量率，见表 11.2.4。

表 11.2.4 TOMO 机房主射线方向屏蔽墙体外泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 a (东墙)	关注点 b (西墙)	关注点 1 (顶棚)
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	3.68×10^8	3.68×10^8	3.68×10^8
f	/	0.001	0.001	0.001
R	m	7.25	7.25	5.42
TVL_1 (砼)	m	0.34	0.34	0.34
TVL (砼)	m	0.29	0.29	0.29
X_e	m	2	2	2
B	/	1.89×10^{-7}	1.89×10^{-7}	1.89×10^{-7}
H_e'	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	1.32×10^{-3}	1.32×10^{-3}	2.37×10^{-3}

2) 泄漏方向辐射屏蔽墙防护效果预测（e、f 点）

根据公式（11-4）和公式（11-5），对 e、f 点泄漏辐射进行屏蔽计算，见表 11.2.5。

表 11.2.5 TOMO 机房泄漏方向屏蔽墙外参考点辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 e（北墙）	关注点 f（南墙）
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	3.68×10^8	3.68×10^8
f	/	0.001	0.001
R	m	6.3	10.36
TVL_1 （砼）	m	0.34	0.34
TVL （砼）	m	0.29	0.29
X_e	m	1.58*	3.52*
B	/	5.30×10^{-6}	1.08×10^{-12}
H'	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	4.92×10^{-2}	3.72×10^{-9}

注：*35mmPb 铅板折算成约 0.25m 混凝土厚度，20mmPb 铅板折算成约 0.14m 混凝土厚度

3) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区屏蔽效果预测（c₁、c₂、d₁、d₂、m₁、m₂ 点）

由于 c₁、c₂、d₁、d₂、m₁、m₂ 点为主屏蔽区与次屏蔽区直接相连区域的所受泄漏辐射和散射辐射剂量最大处，因此选取 c、d、m 点位参照点，初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射。

①散射辐射（ $O_2 \rightarrow O \rightarrow c_1$ ， $O_2 \rightarrow O \rightarrow c_2$ ， $O_1 \rightarrow O \rightarrow d_1$ ， $O_1 \rightarrow O \rightarrow d_2$ ， $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_1$ 、 $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_2$ ）

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行屏蔽计算：

$$H_e = \frac{H_o \bullet a_{ph} \bullet (F / 400)}{R_s^2} \bullet B \quad \text{式 (11-6)}$$

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

X_e ——次屏蔽墙的实际厚度， cm ；

B ——相应辐射屏蔽因子，参考公式（11-5）；

F ——治疗装置有用束在等中心点处的最大治疗野面积，本项目为 1600cm^2 ，下同；

a_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射 0 至距其 1m 处的剂量比例（查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B，表 B.2），下同；

TVL （ cm ）——混凝土平衡时的什值层厚度（查 GBZ/T 201.2-2011，附录 B，表 B.4）；

R_s ——患者（位于等中心点）至关注点的距离， m 。

与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区散射辐射计算参数及结果见下表 11.2.6。

表 11.2.6 散射辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 c_1 、 c_2 (东墙)	关注点 d_1 、 d_2 (西墙)	关注点 m_1 、 m_2 (顶棚)
H_o	$\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	3.68×10^8	3.68×10^8	3.68×10^8
a_{ph}	/	3.19×10^{-3}	3.19×10^{-3}	3.19×10^{-3}
R_s	m	6.78	6.78	5.02
F	cm^2	200	200	200
TVL （ cm ）	m	0.23	0.23	0.23
X_e	m	2.12	2.12	2.20
B	/	6.06×10^{-10}	6.06×10^{-10}	2.72×10^{-10}
H_e	$\mu\text{Sv/h}$	3.38×10^{-6}	3.38×10^{-6}	2.77×10^{-6}

②泄漏辐射（ $O \rightarrow c_1$ ， $O \rightarrow c_2$ ， $O \rightarrow d_1$ ， $O \rightarrow d_2$ ， $O \rightarrow m_1$ ， $O \rightarrow m_2$ ）

泄漏辐射剂量率一般按初级辐射束的 0.1% 计，可利用公式（11-4）和公式（11-5）对与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区泄漏辐射进行屏蔽计算。

与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区漏射辐射计算参数及结果见表 11.2.7。

表 11.2.7 泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 c ₁ 、c ₂ (东墙)	关注点 d ₁ 、d ₂ (西墙)	关注点 m ₁ 、m ₂ (顶棚)
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	3.68×10^8	3.68×10^8	3.68×10^8
f	/	0.001	0.001	0.001
R	m	6.78	6.78	5.02
TVL_I (砵)	cm^2	0.34	0.34	0.34
TVL (砵)	m	0.29	0.29	0.29
X_e	m	2.12	2.12	2.20
B	/	7.28×10^{-8}	7.28×10^{-8}	3.86×10^{-8}
H_e'	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	5.83×10^{-4}	5.83×10^{-4}	5.64×10^{-4}

③c、d、m 点屏蔽效果

c、d、m 点屏蔽效果见表 11.2.8。

表 11.2.8 c、d、m 点复合辐射计算结果

参数名称	单位	关注点 c ₁ 、c ₂ (东墙)	关注点 d ₁ 、d ₂ (西墙)	关注点 m ₁ 、m ₂ (顶棚)
H_e	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	3.38×10^{-6}	3.38×10^{-6}	2.77×10^{-6}
H_e'	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	5.83×10^{-4}	5.83×10^{-4}	5.64×10^{-4}
H	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	5.87×10^{-4}	5.87×10^{-4}	5.67×10^{-4}

4) 迷路屏蔽效果预测 (k 点)

迷路外 k 点的泄漏辐射可利用公式 (11-4) 和公式 (11-5) 进行屏蔽计算, 计算参数及结果见表 11.2.9。

表 11.2.9 迷路屏蔽墙体外泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 k
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	3.68×10^8
f	/	0.001
R	m	10.89
TVL_I (砵)	m	0.34
TVL (砵)	m	0.29
X_e	m	2.1
B	/	8.53×10^{-8}
H_k	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	2.65×10^{-4}

5) 防护门屏蔽效果预测 (g 点)

① X 射线泄漏辐射 (O₁→g)

该部分射线为泄漏辐射穿过迷路内墙在防护门处的剂量率, 计算方法同公式 (11-4) 和公式 (11-5)。迷路入口处 (g 点) 泄漏辐射计算参数及结果见表 11.2.10。

11.2.10 入口 g 处的泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 g（迷路入口）
		O ₁ →g
H_0	μSv·m ² /h	3.68×10 ⁸
f	/	0.001
R_d	m	9.08
TVL _I （砵）	m	0.34
TVL（砵）	m	0.29
X_e	m	2.66
B	/	1.00×10 ⁻⁹
H_{og}	μSv/h	4.47×10 ⁻⁶

② 患者一次散射辐射（O₁→O→i→g）

该部分射线为加速器靶心向患者照射至迷路墙面后散射至 g 处，按以下公式计算：

$$H_{o1g} = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot H_0 \quad \text{式 (11-7)}$$

式中： H_{o1g} —— 入门处患者一次辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph} —— 患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m 处的剂量比例（查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B，表 B.2），本项目 α_{ph} 为 0.00139；

F —— 治疗装置有用束在等中心点处的最大治疗野面积，本项目为 200cm²；

a_2 —— 墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取入射角为 45°，散射角为 0°；查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MV 栏内的值，本项目 a_2 为 0.022。

A —— 散射面积，m²； A 为自泄漏辐射始点和关注点共同可视见的散射体区域的面积，4.06m×3.4m=13.804m；

R_1 —— “O→i” 之间的距离，m；

R_2 —— “i→g” 之间的距离，m。

其他因子同前述公式，计算参数及结果见表 11.2.11。

表 11.2.11 入口 g 处患者一次散射辐射计算参数结果

参数名称	单位	关注点 g（迷路入口）
H_0	μSv·m ² /h	3.68×10 ⁸
α_{ph}	/	0.00139
F	cm ²	200
a_2	/	0.022

A	m^2	13.804
R_1	m	8.22
R_2	m	10.59
H_{O_2g}	$\mu Sv/h$	10.26

③ 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射 ($O_2 \rightarrow i \rightarrow g$)

该部分射线为加速器靶心的泄漏辐射至迷路墙面后散射至 g 处,按以下公式计算:

$$H_{O_2g} = \frac{f \cdot H_0 \cdot A \cdot \alpha_w}{R_3^2 \cdot R_2^2} \quad \text{式 (11-8)}$$

式中: H_{O_2g} —— 入门处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次辐射剂量率, $\mu Sv/h$;

α_w —— 墙入射的患者散射辐射的散射因子,通常取入射角为 45° , 散射角为 0° , 本评价保守取 6MV 栏内的值;查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6, 本项目 α_w 为 0.0064。

R_3 —— “ $O_2 \rightarrow i$ ” 之间的距离, m 。

其他因子同前述公式, 计算参数及结果见表 11.2.12。

表 11.2.12 入口 g 处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射计算参数结果

参数名称	单位	关注点 g (迷路入口)
H_0	$\mu Sv \cdot m^2/h$	3.68×10^8
f	/	0.001
A	m^2	13.804
α_w	/	0.0064
R_3	m	7.83
R_2	m	10.59
H_{O_2g}	$\mu Sv/h$	4.73

④ 防护门外 (g 点) 辐射剂量率

泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射射线的能量, 采用康普顿散射辐射光子能量计算公式:

$$E = \frac{E_0}{1 + E_0(1 - \cos\theta_s)/0.511} \quad \text{式 (11-9)}$$

式中: E —— 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射射线的能量, MeV ;

E_0 —— 初始射线的平均能量, 为设备最大能量的 1/3, MeV ;

θ_s —— 散射方向与入射方向的夹角, 取 135° 。

本项目 TOMO 最大能量为 6MV, 初始射线的平均能量约为 2MV, 通过公式(11-9) 计算可得, TOMO 机房的迷路防护门处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射射线能量约为 0.3MV。本评价引用 GBZ/T 201.2-2011 中第 9 页, TOMO 机房的迷路防护门处患者一次散射辐射能量约为 0.2MeV, 此时铅中的 TVL 值为 0.5cm。

本项目 TOMO 机房防护门设计为 10mmPb 当量, 防护门外的辐射剂量率采用以下公式计算:

$$\dot{H} = H_{O_{1g}} \times 10^{-(X/TVL_1)} + H_{O_{2g}} \times 10^{-(X/TVL_2)} + H_{Og} \quad \text{式 (11-10)}$$

式中: H —— 防护门外的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_{Og} —— 入口处患者一次散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

$H_{O_{2g}}$ —— 入口处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

$H_{O_{1g}}$ —— 入口处 X 射线泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

TVL_1 —— 患者一次散射辐射能量对应铅的半值层, cm;

TVL_2 —— 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射能量对应铅的半值层, cm。

防护门外辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2.13。

表 11.2.13 防护门外辐射剂量率计算参数及结果

参数名称	X	TVL_1	$H_{O_{1g}}$	TVL_2	$H_{O_{2g}}$	H_{Og}	H
单位	cm	cm	$\mu\text{Sv/h}$	cm	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
g 点	1	0.5	10.26	0.5	4.73	4.47×10^{-6}	0.15

6) 辐射环境影响预测分析结论

通过预测分析, 本项目 TOMO 机房外各关注点剂量水平满足《放射治疗机房辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 中, 关于治疗机房和入口门外关注点剂量率参考控制限值。各关注点当量剂量率见表 11.2.14。

表 11.2.14 治疗状态下 TOMO 机房外各关注点剂量当量

关注点	关注点描述	预测关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	导出剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
a	东墙 (候诊区)	1.32×10^{-3}	2.40	满足
b	西墙 (过道)	1.32×10^{-3}	6.00	满足
l	顶棚 (屋顶)	2.37×10^{-3}	10.00	满足
e	北墙 (其他治疗室)	4.92×10^{-2}	2.40	满足
f	南墙 (控制室)	3.72×10^{-8}	1.20	满足
c ₁ 、c ₂	与东主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	5.87×10^{-4}	6.30	满足

d ₁ 、d ₂	与西主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	5.87×10^{-4}	2.50	满足
m ₁ 、m ₂	与顶棚主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	5.67×10^{-4}	10.00	满足
k	迷路外墙（设备间）	2.65×10^{-4}	0.48	满足
g	迷路口防护门外（候诊大厅）	1.50×10^{-1}	10.00	满足

由表 11.2.14 可知，本项目 TOMO 机房墙体（四周和顶棚）及防护门外 30cm 处各关注点的辐射剂量率在 $1.13 \times 10^{-8} \sim 0.15 \mu\text{Sv/h}$ 之间，均满足《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》（GBZ 121-2020）和《放射治疗机房辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的相关要求。

7) TOMO 机房周围辐射剂量率叠加分析

本项目 TOMO 机房东南侧治疗室 1 设置有直线加速器，约 2012 年投入使用，本报告主要对 TOMO 机房、直线加速器机房共同影响的相邻区域进行剂量率叠加分析。

根据《厦门长庚医院医用电子直线加速器工作场所辐射防护检测报告》（详见附件 13）：直线加速器未开机作业时，巡测加速器机房周围环境本底为 $1.39 \times 10^{-1} \sim 1.48 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，开机作业时，加速器机房周围环境辐射剂量率为 $0.10 \sim 0.15 \mu\text{Sv/h}$ ，扣除加速器机房周围环境本底值，则直线加速器机房外最大辐射剂量率为 $1.1 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。

根据 TOMO 机房及周边机房平面布置，TOMO 机房周围辐射剂量率叠加情况见表 11.2.15。

表 11.2.15 治疗状态下 TOMO 机房外各关注点叠加剂量当量

关注点	关注点描述	本项目辐射剂量率预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	直线加速器机房周边最大剂量率	导出剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
a	东墙（候诊区）	1.32×10^{-3}	1.1×10^{-2}	2.40	满足
f	南墙（控制室）	3.72×10^{-8}	1.1×10^{-2}	1.20	满足
c ₁ 、c ₂	与东主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	5.87×10^{-4}	1.1×10^{-2}	6.30	满足
k	迷路外墙（设备间）	2.65×10^{-4}	1.1×10^{-2}	0.48	满足
g	迷路口防护门外（候诊大厅）	1.50×10^{-1}	1.1×10^{-2}	10.00	满足

11.2.1.3 年有效剂量估算

(1) 年有效剂量估算

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中附表 A.1 不同场所的居留因子的描述，确定项目不同场所的居留因子。本项目不同场所的居留因子详见表

11.2.16。

表 11.2.16 居留因子

人员	居留因子	场所描述
职业人员	1	南侧控制室
	1/2	其他治疗室
公众人员	1/5	西侧过道
	1/2	东侧病人候诊区
	1/8	南侧设备间、迷路口防护门外
	1/16	上方院内空地道路

项目致人员辐射剂量，按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A 公式计算。

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

式中： H_E —— γ 射线外照射人均有效剂量当量，mSv/a；

D_r —— γ 射线空气吸收剂量率，nGy/h；

t —— γ 射线年照射时间，小时；

1——剂量换算系数，Sv/Gy。

本评价选取机房南侧辐射剂量率最高值（关注点 k_1 ）作为南侧医院后勤临时住房预测剂量率进行计算。项目致人员辐射剂量，按照公式（11-11）进行计算。经计算，本项目 TOMO 机房周边的辐射工作人员及公众成员年有效剂量见表 11.2.17。

表 11.2.17 TOMO 机房周边的年有效剂量估算结果

关注点	关注点描述	预测关注点剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	居留因子	工作时间（h/a）	年有效剂量（mSv/a）	目标管理值（mSv/a）	评价结果
a	东墙（病人候诊区）	1.32×10^{-3}	0.5	833.33	5.51×10^{-4}	0.1	满足
b	西墙（过道）	1.32×10^{-3}	0.2	833.33	2.21×10^{-4}	0.1	满足
l	顶棚（屋顶）	2.37×10^{-3}	0.0625	833.33	1.23×10^{-4}	0.1	满足
e	北墙（其他治疗室）	4.92×10^{-2}	0.5	833.33	2.05×10^{-2}	0.1	满足
f	南墙（控制室）	3.72×10^{-9}	1	833.33	3.10×10^{-9}	5	满足
c_1 、 c_2	与东主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	5.87×10^{-4}	0.5	833.33	2.45×10^{-4}	0.1	满足
d_1 、 d_2	与西主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	5.87×10^{-4}	0.2	833.33	9.78×10^{-2}	0.1	满足
m_1 、 m_2	与顶棚主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	5.67×10^{-4}	0.0625	833.33	2.95×10^{-9}	0.1	满足
k	迷路外墙（设备间）	2.65×10^{-4}	0.125	833.33	2.76×10^{-5}	0.1	满足

g	迷路口防护门外 (候诊大厅)	1.50×10^{-1}	0.125	833.33	1.56×10^{-2}	0.1	满足
---	-------------------	-----------------------	-------	--------	-----------------------	-----	----

根据表 11.2.17 估算得, 本次厦门长庚医院 1 台 TOMO 项目运营后, 对辐射工作人员年有效剂量为 $9.41 \times 10^{-9} \sim 3.87 \times 10^{-2} \text{mSv}$, 公众人员年有效剂量为 $1.73 \times 10^{-4} \sim 6.25 \times 10^{-2} \text{mSv}$, 低于《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 提出的剂量约束值 (职业人员 5mSv/a , 公众人员 0.1mSv/a)。因而, 本项目 TOMO 带有的 X 射线低辐射输出剂量的 CT 影像引导设备对周围环境及人员活动的辐射影响也会满足要求。

(2) 人员辐射剂量叠加影响分析

本项目 TOMO 机房位于住院大楼地下一层东北角的放疗科, TOMO 机房东南侧为治疗室 1 直线加速器机房 (6 MeV 直线加速器, 闽环辐验 (2014) 11 号), 本项目主要考虑设备同时运行对本项目辐射工作人员和公众人员的辐射剂量叠加影响。建设单位提供的直线加速器工作量为 50 人/d, 每周工作 5d, 每年工作 50 周, 治疗过程人均出束时间为 4min/人·次, 日治疗出束时间 200min, 周治疗出束时间为 1000min (16.67h), 年治疗出束时间为 833.33h。根据表 11.2.18 叠加估算结果, 本项目 TOMO 正常运行所致辐射工作人员和公众人员年有效剂量, 满足年有效剂量不大于剂量约束值 5 或 0.1mSv/a 的要求。

表 11.2.18 TOMO 机房周边的年有效剂量叠加估算结果

关注点	关注点描述	TOMO 预测关注点剂量率/直加最大辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	工作时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)		目标管理值 (mSv/a)	评价结果
a	东墙 (病人候诊区)	1.32×10^{-3}	0.5	833.33	5.51×10^{-4}	5.13×10^{-3}	0.1	满足
		1.1×10^{-2}	0.5	833.33	4.58×10^{-3}			
f	南墙 (控制室)	3.72×10^{-9}	1	833.33	3.10×10^{-9}	9.17×10^{-3}	5	满足
		1.1×10^{-2}	1	833.33	9.17×10^{-3}			
c ₁ 、c ₂	与东主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	5.87×10^{-4}	0.5	833.33	2.45×10^{-4}	4.83×10^{-3}	0.1	满足
		1.1×10^{-2}	0.5	833.33	4.58×10^{-3}			
k	迷路外墙 (设备间)	2.65×10^{-4}	0.125	833.33	2.76×10^{-5}	1.17×10^{-3}	0.1	满足
		1.1×10^{-2}	0.125	833.33	1.15×10^{-3}			
g	迷路口防护门外 (候诊大厅)	1.50×10^{-1}	0.125	833.33	1.56×10^{-2}	1.68×10^{-2}	0.1	满足
		1.1×10^{-2}	0.125	833.33	1.15×10^{-3}			

11.2.2 三废治理措施

(1) 固体废物

本项目工作人员产生的少量生活垃圾经分类收集后，定期交由环卫部门处置。TOMO 在退役时产生的加速器废靶、辅助过滤装置等部件，由有资质的单位进行回收处置。

(2) 氮氧化物及臭氧等气体废物

项目运行期产生的废气主要为 TOMO 运行时放射源发射出的 X 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物。

本项目机房内设有机械通风系统，包括新风系统和排风系统，室内排风口距地板高度为 200mm，送风口位于天花板上，室外排风口拟设置于住院大楼顶，送风口和排风口呈对角线布置，能够有效促进室内气体流动。项目机房排风系统设计排风量为 1500m³/h，TOMO 机房内有效容积（包含迷路体积）为 336.23m³，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

①臭氧产生估算方法

1) 臭氧的产生

加速器机房内的臭氧辐射化学产额由下式估算：

$$P=0.39\times H_0\times F\times R\times G \quad \text{式 (11-12)}$$

式中：P——O₃ 的辐射化学产额，mg/h；

F——治疗装置有用束在等中心点处的最大治疗野面积，本项目为 0.02m²

R——表示射线束中心轴上源点至辐照室内壁的距离，m；

G——表示每吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，一般为 6~10，为留安全系数，取 10。

其他因子同上式。估算本项目 TOMO 机房 O₃ 的辐射化学产额，见表 11.2.19。

表 11.2.19 本项目 TOMO 机房 O₃ 的辐射化学产额

参数名称	单位	TOMO 机房
H_0	Gy·m ² /min	6.14
F	m ²	0.02
R	m	2.65
G	/	10
P	mg/h	1.27

2) 臭氧的平衡浓度

辐射所致有害气体以 O₃ 为主，在考虑通风情况下，空气中的 O₃ 平衡浓度由下式估算：

$$Q = \frac{P \times T}{V} \quad \text{式 (11-13)}$$

式中：Q —— 加速器治疗室内 O₃ 平衡浓度，mg/m³；

T —— 有效清洗时间，h；

V —— 治疗室体积，m³。

其中，有效清洗时间 T 由下式计算：

$$T = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \quad \text{式 (11-14)}$$

式中：T_v —— 换气一次所需时间，h；

T_d —— O₃ 有效分解时间，取 0.83h。

公式 (11-2) ~ (11-14) 均来自《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进、娄云著）。

根据公式 (11-13) 和公式 (11-14) 式得出不同换气次数时的 O₃ 平衡浓度见表 11.2.20。

表 11.2.20 本项目各机房内 O₃ 平衡浓度

参数名称	单位	TOMO 机房
T _v	h	0.14
T _d	h	0.83
T	h	0.12
P	mg/h	1.27
V	m ³	336.23
Q	mg/m ³	4.60×10 ⁻⁴

根据表 11.2.18，本项目 TOMO 机房内臭氧的平衡浓度为 4.60×10⁻⁴mg/m³，即能够满足《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2022）中臭氧浓度限值要求（0.16mg/m³、1 小时平均值）。

②氮氧化物对环境的影响

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的二分之一，工作场所

中 NO₂ 的限值（0.24mg/m³）大于 O₃ 的限值。因而工作场所中 O₃ 浓度达到《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2022）要求时，NO_x 的浓度也会满足要求。本项目机房产生的少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境的影响较小。

（3）废水

本项目不产生放射性废水，废水主要为工作人员的生活污水。生活污水依托医院污水处理设施，处理达标后排入市政污水处理管网，统一纳入海沧污水处理厂处理。

11.3 事故影响分析

11.3.1 可能发生的辐射事故

本项目 TOMO 场所可能发生的辐射事故为：

① 工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离治疗室，TOMO 运行可能产生误照射。

② 安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的治疗室，造成额外的照射。

③ 工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，对工作人员造成辐射伤害。

④ TOMO 控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射。

⑤ TOMO 维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

11.3.2 事故处理原则及应急措施

11.3.2.1 处理原则

根据上述分析，本项目可能发生的辐射事故及风险的发生主要是在管理上出问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用的治疗室。

一旦发生辐射事故，处理的原则是：

① 立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源，停止射线的产生。

② 及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照

人员就医检查。

③ 及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理。这样，可缩小事故影响，减少事故损失。

④ 在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

⑤ 事故处理后应累计资料，及时总结报告。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点、所有涉及的事故责任人和受害者名单、对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果、所做的任何医学检查及结果、采取的任何纠正措施、事故的可能原因、为防止类似事件再次发生所采取的措施。

⑥ 对可能发生的放射事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理，同时及时上报生态环境部门和卫生部门。

11.3.2.2 辐射事故防范措施

一旦发现有人误入 TOMO 机房，工作人员应立即利用最近的急停按钮切断设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止辐射事故发生，应采取多种防范措施：

①控制台上应有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

②有门-机安全联锁，机房门关闭后设备才能开机，被打开时会自动关机。

③控制台和机房内均安装有数个急停按钮。

④视频装置、双向交流对讲系统：机房和控制室之间安装有视频装置、双向交流对讲系统。

11.3.2.2 事故应急处理及报告

发生辐射事故时，审故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取应急措施，并在两小时内填写初始报告，向生态环境主管部门报告。若造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

一旦发生辐射事故，应按以下基本原则进行处理：

①第一时间按下紧急停止按钮或断开电源，引导受照人员迅速离开治疗室，避免继续照射。

②及时检查、估算受照人员的受照剂量，根据估算结果，必要时及时安置受照人员就医检查。

③及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理，可缩小事故影响，减少事故损失。

④事故处理后应整理资料，及时总结报告。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

11.3.2.3 辐射事故分析

针对可能发生的辐射事故，本项目采取的预防措施如表 11.3.1。

表 11.3.1 本项目可能产生的辐射事故拟采取措施

辐射工作场所	可能产生的辐射事故	采取防范措施	应急处理措施
TOMO 机房	工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离治疗室，加速器运行可能产生误照射。	1. 使用视频装置、双向交流对讲系统监控治疗室内人员活动。 2. 工作人员接受辐射安全培训，熟悉紧急停止按钮位置和辐射事故处理流程。 3. 机房内安装数个急停按钮，便于误留人员紧急按停。	参考 11.3.2.2 事故应急处理及报告
	安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器治疗室，造成额外的照射。	1. 对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。 2. 机房门外设置有工作状态指示灯和电离辐射警告标志。 3. 工作人员接受辐射安全培训，熟悉紧急停止按钮位置和辐射事故处理流程。	
	加速器控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射；或剂量控制系统失灵，实际输出剂量超过治疗计划剂量。	1. 由医学物理师定期校准，检测设备剂量率等。 2. 工作人员接受辐射安全培训，熟悉切断电源位置、方式，及辐射事故处理流程。	
	加速器维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。	1. 在控制室放置“设备维修中，禁止开机”警示牌。 2. 维修前切断主电源，防止误触发。 3. 维修人员佩戴实时剂量报警仪，监测意外辐射。 4. 高风险操作（如高压调试）需两人在场，一人操作，一人监督。	
	机头屏蔽体破损或准直器密封失效，导致散射辐射泄漏。	1. 日常巡检，检查机头外观是否有裂缝、变形等异常情况。 2. 安装固定式辐射监测仪，实时显示治疗室周边辐射水平，设置自动报警阈值。 3. 工作人员佩戴个人剂量计	

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 机构设置

本项目使用 II 类射线装置，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》中规定，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确其管理职责。

①组长、副组长负责全院的放射诊疗及辐射安全的监督管理工作，组织成员建立和加强相应的监测、应急制度。事故一旦发生，及时启动应急预案，调度有关科室负责人进行事故应急处理；

②机构成员负责本科室的防护与安全管理，并制定专人负责具体工作，不断完善自身应急反应机制，强化人力、物力、财力储备，每年定期演练，增强应急处理能力。同时应每年定期对放射诊疗场所、设备和工作人员的放射防护情况进行自查和监测，发现事故隐患及时上报并落实整改措施。事故一旦发生，积极响应应急预案，对事故现场进行组织协调，指挥应急救援行动，不让无关人员进入。

12.1.2 辐射工作人员配备及培训情况

(1) 放射工作人员的配置及培训情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条之规定，从事辐射活动应具备相应的条件。本项目辐射工作人员拟配置 13 人（均为新进人员），新进辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗。此外，后续新录用或调入的拟从事放射诊疗的人员必须进行上岗前职业健康检查，符合《放射工作人员健康标准》的方可从事放射诊疗工作。

本项目辐射工作人员应熟悉专业技术，能胜任各项工作，对安全防护与相关法规知识了解，实际操作能按安全操作规程行事，自觉遵守规章制度，确保做好各项安全工作，保证 100%持证上岗。放射工作人员在工作期间必须按规定佩戴个人剂量计，每 3 个月检测一次，一年四次，按时定期送检。检测结果抄录在《放射工作人员证》中。

12.2 辐射安全管理规章制度

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 3 号）要求，医院已制定《厦门长庚医院辐射事故应急预案》《辐射防护和安全保卫制度》《辐射工作人员岗位职责》《放射性同位素及射线装置使用登记制度》《放射性同位素及射线装置台帐管理制度》《射线装置检修和维护制度》《放射工作定期自查和监测制度》《放射工作人员资格和培训管理制度》《放射工作人员职业健康检查与保健制度》《放射工作人员档案管理制度》《放射诊疗管理作业准则》等辐射安全管理制度，相关制度见表 12.3.1。

表 12.3.1 厦门长庚医院已建立的管理制度

序号	医院成立的管理制度	内容
1	辐射防护和安全管理 制度	医院制定了《辐射防护和安全保卫制度》对医院辐射工作人员职责、工作程序和个人防护做出要求。
2	辐射事故应急预案	医院制定了《厦门长庚医院辐射事故应急预案》，规定了发生辐射事故时医院相关人员职责和处理程序，将辐射事故的影响减少到最小。
3	岗位职责	医院制定的《辐射工作人员岗位职责》明确了辐射工作人员和管理人员在辐射工作中各自的责任。
4	监测计划	医院制定的《放射工作定期自查和监测制度》中规定了委托监测和日常监测的频率和内容，并要求对监测结果存档保留。
5	培训计划	医院制定的《放射工作人员资格和培训管理制度》中规定了辐射工作人员必须参加有资质单位组织的辐射安全与防护培训，持证上岗，并对内部培训做了要求。

6	操作规程	医院制定射线装置的《操作规程》中规定了辐射工作人员操作射线装置的详细流程，能减少辐射事故的发生。
7	设备检修维护制度	医院制定的《射线装置检修和维护制度》中提出了对机房安全防护设备和射线装置的定期检修和维护要求，能防止因设备损坏造成辐射事故。
8	职业健康监护制度	医院制定的《放射工作人员职业健康检查与保健制度》、《放射工作人员档案管理制度》等中提出对辐射工作人员个人剂量监测和体检的要求，并要求辐射工作人员档案终身保存。
9	辐射工作人员个人剂量档案制度	

医院应严格执行辐射安全管理规章制度，并根据医院的发展，及时对辐射安全管理规章制度进行补充完善，在此基础上医院的辐射安全管理规章制度符合中华人民共和国生态环境部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等管理规定。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测设备配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用Ⅱ、Ⅲ类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、辐射监测等仪器。

厦门长庚医院拟配置 1 台固定式剂量报警仪，项目辐射工作人员均配备个人剂量计。根据监测计划定期对工作场所和周围环境进行监测。

12.3.2 辐射工作场所监测

（1）日常监测计划

根据《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令第 3 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国生态环境部令第 18 号）中的相关要求，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，可以委托有资质的环境监测机构进行监测。并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便了解和监护防护设施的运行情况，为主管部门下一步辐射防护决策提供科学技术依据。根据医院 2024 年度辐射工作场所检测报告，院内各辐射场所监测均未出现超标情况。

具体监测方案如下：

- ① 每月均对辐射工作场所进行巡测，每年委托有资质的单位对辐射工作场所及

环境周围辐射水平进行监测，于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

② 监测项目：周围剂量当量率、辐射空气吸收剂量率。

③ 监测频度：每年委托有资质单位进行一次年度监测。

④ 监测范围：主要对辐射工作场所四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门以及其他关注点处进行监测。

⑤ 定期检查 TOMO 的安全性能，防止射线泄漏，周期：每年 1~2 次。

(2) 验收监测计划

本项目工作场所建成后，及时组织开展竣工环保验收工作，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）以及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定对辐射工作场所开展竣工环保验收监测。本项目竣工环境保护验收辐射监测计划见表 12.3.1。

12.3.3 个人剂量监测

所有进入控制室从事辐射工作的人员均需佩戴个人剂量计，按每季度 1 次的频率送相关单位进行个人剂量监测，并按《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，以及医院已建立的《辐射工作人员职业健康检查及保健制度》《辐射工作人员档案管理制度》，落实个人剂量档案。医院应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，并向生态环境部门报告。

本项目工作人员也将委托有资质的第三方检测机构对个人剂量进行在岗、岗后的持续监测，并做好档案管理。

12.3.4 项目辐射监测计划汇总

厦门长庚医院针对本次核技术应用项目制定相应的辐射监测计划汇总见表 12.3.1。

表 12.3.1 本项目辐射监测计划

监测对象	监测点位	监测方案	监测项目	年度监测频率
TOMO 机房	机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门和各电缆管道口	实测	周围剂量当量率/辐射空气吸收剂量率	每年 1 次委托有资质单位监测； 每月 1 次设备科 巡测

项目敏感点	周围环境监测点位 (参考图 8.2-2)	实测		每年 1 次
辐射工作人员	佩戴个人辐射剂量计	实测	累计剂量	每季度 1 次
竣工环境保护验收 监测	各机房四周屏蔽墙外 30cm 处、 顶棚、操作位、防护门和项目敏 感点	实测	周围剂量 当量率/辐 射空气吸 收剂量率	本项目建成后

12.4 辐射事故应急处置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故地风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备”的规定。厦门长庚医院为使用放射源、同位素和射线装置的单位，应建立《放射事故应急预案》。

厦门长庚医院已结合本项目特点重新修订了《厦门长庚医院辐射事故应急预案》。根据应急预案，医院成立了辐射事故专项应急领导小组、专家委员会和应急处理机构等应对辐射环境突发应急事件。

(1) 辐射事故应急指挥中心

辐射事故应急指挥中心，以院长为组长，共计 25 名成员；主要职责如下：

- ① 定期组织对放射诊疗场所、设备和人员进行放射防护情况进行自查和监测，发现事故隐患及时上报.上级并落实整改措施；
- ② 发生人员受超剂量照射事故，应启动本预案；
- ③ 事故发生后立即组织有关人员进行放射性事故应急处理；
- ④ 负责向相关行政部门及时报告事故情况；
- ⑤ 负责放射性事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；
- ⑥ 放射事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量；
- ⑦ 负责迅速安置受照人员就医，组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。

(2) 应急事故报告

- ① 发生事故的科室必须立即将发生事故的性质、时间、地点上报科室负责人；科室负责人立即将情况向辐射事故应急指挥中心汇报，并做好应急准备；
- ② 向辐射事故应急指挥中心报告后，立即按要求启动应急预案，应急领导成员迅

速赶赴现场，开展救援工作；

③辐射事故应急指挥中心根据事故的情况和性质，尽快将事故情况电话告知厦门市生态环境局，并在两个小时内填写《辐射事故初始报告表》，同时还应向卫生行政部门报告。

(3) 预案管理

定期安排本机构相关医疗人员进行辐射事故应急知识的普及教育，提高辐射从业人员的应急处理能力。通过定期组织辐射事故应急演练，切实提高医疗从业人员在应对突发性放射事故中的应急处理能力。

本项目建成运行后，还应做好以下工作：

(1) 辐射事故应急指挥中心根据应急程序内容和辐射事故专项应急内容，每年制定相应的培训计划，采取多种形式对医务人员进行培训。

(2) 使用科室每年组织一次专项应急预案演习；辐射事故应急指挥中心每年组织不少于一次的应急程序演习。演习前要制定演习计划，并实时记录，做好应急演习评价、总结和追踪。

(3) 医院应定期修改完善应急预案等相关规章制度。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

建设项目竣工环境保护验收一览表见表 12.5.1。

表 12.5.1 辐射环境保护“三同时”验收清单

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准
辐射防护措施	TOMO 机房（含迷路）面积约 98.89m ² ；北墙为 35mm 铅板+50×50×4mm 方管龙骨架+1300mm 厚混凝土/2000mm 厚混凝土；南墙迷路内墙 2080mm 厚混凝土，外墙 20mm 铅板+50×50×4mm 方管龙骨架+1300mm 厚混凝土；东、西墙为 2000mm 混凝土结构；顶棚为 2000mm 混凝土结构；设置电动铅板屏蔽门，铅当量 10mmPb。	1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） 2、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021） 3、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）
	机房设置门机联锁装置，机房门外设置安全指示灯及电离辐射警告标志。	
	机房及其控制室内安装 8 个紧急停机按钮，分别设置在控制室的操作台上（1 个）、设备表面（1 个）、治疗机房墙面（4 个）和迷路出入口及防护门内侧（1 个），并有明显的标志。	
	配备个人剂量计（所有辐射工作人员）、个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪、固定式剂量报警仪等辐射监测仪器与防护用品。	
	机房内设置了排风和新风装置，机房内所有管道均设计为“斜 45 度”或“U”形管道进入治疗机房。嵌入式安装的电器与同侧墙具有同等屏蔽效果的材料进行屏蔽补偿。	

		机房内安装视频监控系统，控制室与机房之间设置语音对讲装置。	
管理措施		机房周边墙外 30cm 处和项目敏感点的剂量率满足相关标准要求。	
		辐射工作人员佩戴个人剂量计并建立个人剂量档案。	
		制定相应的规章制度和应急预案，规章制度应张贴在相关控制室。	
		建立完善的 TOMO 装置台帐。	
		本项目辐射工作人员参加电离辐射安全与防护培训，并通过考核。	
		本项目辐射工作人员均应参加职业健康体检，周期间隔不超过两年。	
废物处置措施	固废	本项目 TOMO 日常维护时更换下来的废靶等部件，作为一般固态废物交由有资质的单位处置。	
		生活垃圾经医院垃圾桶分类收集后定期清运。	
	废气	产生的臭氧 O ₃ 和氮氧化物 NO _x 通过各机房的通风系统引至楼顶排出。	验收措施落实情况
	废水	生活污水依托现有方式处理，通过下水管道排入医院污水处理设施处理达标后排放。	

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

厦门长庚医院位于福建省厦门市海沧区新阳街道霞飞路 123 号，住院大楼位于院区中心位置。为提高医院服务质量及服务水平，满足广大患者就医的需要，厦门长庚医院拟在住院大楼地下一层购置 1 台 TOMO 机，同时对原后装机房进行改造，主要包括增加防护门、动力通风装置等防护措施，并对配套辅助用房等进行功能的分配及装修等，以满足各工作场所的辐射屏蔽防护要求。本项目辐射工作的种类和范围为使用 II 类射线装置。

13.1.2 选址合理性分析

本工作场所利用位于住院大楼地下一层东北角的原后装机房进行改造，本项目射线装置和核医学科整体布局较为合理，各工作场所均按相关要求进行了设计，防护措施满足标准要求。本项目选址充分考虑了邻室和周围场所的人员防护与安全，与周边非放射性工作场所隔开，避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的选址要求。在辐射工作场所四周墙体及顶棚采用的屏蔽防护有效、机房设置通风装置正常运行的条件下，对周围环境影响不大。综上所述，项目作业与其他科室不交叉，按照设计的防护措施，项目运行时对周围环境辐射影响小。因此，项目选址基本是合理的。

13.1.3 辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全设施

本项目 TOMO 采取的屏蔽防护能满足辐射防护要求。项目机房布局较为合理，辐射工作场所控制区和监督区划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。同时本项目按《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）以及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关要求对屏蔽防护进行了设计，设置动力排风装置进行通风换气，并配备相应的个人防护用品。

（2）辐射安全管理

厦门长庚医院已成立辐射防护管理组，制定较为完善的辐射安全管理制度和放射工作流程。本项目辐射工作人员为新进人员，将进行辐射安全与防护相关培训。在认真落实以上辐射安全管理制度的情况下，本项目辐射安全管理能满足辐射安全管理要求。

13.1.4 环境影响评价结论

本项目 TOMO 机房主要是在原有机房墙体（四周和顶棚）结构基础上采用混凝土现浇（回填）等方式增加防护，及局部装修改造。施工期工程量小，通过加强施工管理、采取抑尘、合理安排施工秩序等措施，对环境影响较小。

TOMO 机房（含迷路）面积约 98.89m²；北墙为 35mm 铅板+50×50×4mm 方管龙骨架+1300mm 混凝土/2000mm 厚混凝土；南墙迷路内墙 2080mm 混凝土，外墙 20mm 铅板+50×50×4mm 方管龙骨架+1300mm 混凝土；东、西墙为 2000mm 混凝土；顶棚为 2000mm 混凝土结构；设置电动铅板屏蔽门，铅当量 10mmPb。

此外，机房防护门上方设置工作状态指示灯，设有门—灯联动装置、门—机联动装置，防护门上显著位置张贴电离辐射警示标志；在机房和控制室设有紧急停机按钮、监控和对讲系统；设置排风和新风装置进行通风换气；辐射工作人员进入机房及控制室时佩戴个人剂量计，并携带个人剂量报警仪；为本项目工作人员及患者配备个人防护用品等措施，有效降低工作人员和患者的吸收剂量。同时，医院成立了辐射防护管理组，建立《厦门长庚医院辐射事故应急预案》《辐射防护和安全保卫制度》《辐射工作人员岗位职责》等相应的规章制度和辐射事故应急预案。

在上述工程防护和管理措施基础上，本评价对本项目 TOMO 机房的影响进行了预测。根据理论计算可知，TOMO 机房正常运行时，机房墙体（四周和顶棚）及防护门外 30cm 处各关注点、周边敏感点的剂量率在 $1.13 \times 10^{-8} \sim 1.50 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ 之间，符合《放射治疗辐安全与防护要求》（HJ 1198-2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）《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）等相关要求。

本次厦门长庚医院 1 台 TOMO 项目运营后，对辐射工作人员年有效剂量为 $9.41 \times 10^{-9} \sim 3.87 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，公众人员年有效剂量为 $1.73 \times 10^{-4} \sim 6.25 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，低于《放射治疗辐安全与防护要求》（HJ 1198-2021）提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。

13.1.5 “三废” 处置措施

(1) 施工期

项目施工期环境影响主要是施工噪声、扬尘、废水、固体废物等，拟采取以下措施：

①合理安排施工时间，采取消声降噪等措施，降低施工噪声影响。

②通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，降低施工扬尘影响。

③施工废水产生量小，一般通过蒸发，不外排；施工人员生活污水主要是依托现有方式处理，经化粪池后，送入医院污水站处理。

④建筑装饰垃圾由施工方统一交由有资质的渣土运输公司处置，包装纸箱等可回收利用的施工废物料予以回收利用，其他部分分类收集后交由环卫部门清运；施工人员生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱后交由环卫部门清运。

(2) 运营期

正常运行时，本项目机房不产生放射性废气和医疗废水，在射线装置作用下仅有少量的臭氧和氮氧化物、加速器废靶件，以及工作人员的生活污水和生活垃圾。

①固体废物

本项目固废主要为工作人员产生的少量生活垃圾以及 TOMO 在退役时产生的加速器废靶、辅助过滤装置等部件。生活垃圾经医院垃圾桶分类收集后定期清运；加速器废靶、辅助过滤装置等部件，由有资质的单位进行回收处置。

②废气

本项目机房设置排风和新风装置进行通风换气，通风方式为上送下排，通风量可达 1500m³/h，均满足每小时换气不小于 4 次的要求。机房内产生的臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x 被引至楼顶排出。

③废水

工作人员生活污水依托现有方式处理，经化粪池后，送入医院污水站处理，符合《医疗机构水污染排放标准》（GB 18466-2005）表 2 综合医院机构和其他医疗机构水污染排放限值的预处理标准后，排入市政污水处理管网，统一纳入海沧污水处理厂处理。

13.1.6 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》符合性

医院已设立辐射防护管理组，负责医院日常辐射安全防护管理工作，并已制定《辐射事故应急预案》。医院沿用原先防护用品和监测仪器，为本项目拟配置 1 台固定式剂量报警仪，项目辐射工作人员均配备个人剂量计。项目运行后医院将更新射线装置台账，定期对本项目 TOMO 机房周围的环境辐射水平进行监测，做好监测记录，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。医院已建立个人剂量档案，所有从事辐射工作的人员均需佩戴个人剂量计，按每季度 1 次的频率送相关单位进行个人剂量监测。

因此，本项目基本符合《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中相关规定。

13.1.7 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号），本项目属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“4、.....高端放射治疗设备.....”以及“三十七、卫生健康”中的“1、.....医疗卫生服务设施建设.....”项目，因此本次厦门长庚医院 1 台 TOMO 项目符合国家产业政策。

13.1.8 总结论

厦门长庚医院 1 台 TOMO 项目旨在为更多的治疗患者提供良好的就医环境，建设方案中已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，项目建设过程严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求，并且落实本次评价对该项目提出的各项辐射防护要求及措施，则本项目各机房正常运行时，对周围环境的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该项目是可行的。

13.2 建议和要求

- （1）本环评获批后，医院应及时在全国核技术利用辐射安全申报系统中更新。
- （2）在设备安装的同时，应确保辐射防护设施和管理措施的建设，切实做到环境保护设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。
- （3）根据《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目建成后，按照

规定程序开展竣工环境保护验收。

（4）医院操作人员的流动性，工作性质的交叉性使管理工作难度加大，因此应加强个人剂量及职业健康体检的管理，完善辐射工作人员职业健康监护档案。

（5）医院应每年安排 1~2 次应急预案模拟演练，强化避险救治常识，以培训、演练相结合，提高合作、协同的应急能力。

（6）不断加强医院的辐射安全管理工作，持续完善辐射安全管理制度，落实辐射安全管理责任。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见	
经办人	盖章 年 月 日
审批意见	
经办人	盖章 年 月 日