

表 1 项目基本情况

项目名称	湖南益阳康雅医院核技术利用项目				
建设单位	湖南益康达医疗投资有限公司				
法人代表	XXX	联系人	XXX		
通讯地址	益阳市富泽园 2 区 3 栋 201 号				
联系电话	XXX	组织机构代码	XXX	邮政编码	413000
项目地点	梓山西路以北、海棠西路以南、云树路以东、丁香路以西				
立项审批部门	益阳市发展和改革委员会		批准文号	益发改社[2012]316 号	
核技术利用项目总投资(万元)	XXX	核技术利用项目环保投资(万元)	XXX	投资比例	XXX
项目性质	☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积(平方米)	265
应用类型	放射源(类别)	非密封放射性物质工作场所(等级)	射线装置(类别)	其它	
	III 类 1 枚	非密封源 乙级工作场所	II 类(5 台) III 类(16 台)	/	
项目概述（建设单位的简要情况、占地面积、规模和任务的由来） 1.1 医院简介 湖南益阳康雅医院是由<u>湖南省卫计委批准</u>，湖南益康达医疗投资有限公司投资新建的一家集医疗、预防、康复、养老、科研和教学于一体的民营三级综合医院。 湖南益阳康雅医院按国家三甲医院标准规划建设，医院设有神经内科、心血管内科、呼吸内科、消化内科、内分泌科、肾内科、血液病科、肿瘤科、普外科、骨科、神经外科、胸心外科、泌尿外科、烧伤整形科、急诊科、妇产科、儿科、口腔科、眼科、耳鼻咽喉科、皮肤科、麻醉科、重症医学科（ICU）、中医科、预防保健科等临床科室，以及影像科、超声科、检验科、功能科、病理科、药剂科、康复理疗科、放疗中心、核医学科等医技科室。					

续表 1 项目基本情况

1.2 项目由来

近年来，随着医疗服务对象的扩大及人民群众对医疗服务质量要求的提高，为促进益阳市城市建设和经济发展的需要，进一步提升区域医疗技术水平，改善病人医疗诊治条件，为疾病诊断、寻找病灶部位、治疗相关疾病提供科学依据和手段。湖南益康达医疗投资有限公司拟开展了“湖南益阳康雅医院核技术利用项目”，同时配置县级医疗卫生设施，项目拟新购 II 类射线装置 5 台、III 类射线装置 16 台、使用 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{192}Ir 三种核素。

为保护环境、保障工作人员和公众成员的健康，根据《中华人民共和国环境保护法》、《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 253 号令）以及《中华人民共和国环境影响评价法》，本项目应进行电离辐射环境影响评价，环境影响评价报告文件形式为编制环境影响报告表。因此，湖南益康达医疗投资有限公司于 2015 年 7 月委托重庆宏伟环保工程有限公司进行环境影响评价。

根据资料收集和现场踏勘，湖南益阳康雅医院已委托常德双赢环境咨询服务有限公司和益阳市环科所对其主体工程进行了环境影响评价，编制了环境影响报告书《湖南益康达医疗投资有限公司中南大学湘雅三医院益阳医院建设项目环境影响报告书》，并取得湖南省环境保护厅下发的批复（《关于湖南益康达医疗投资有限公司中南大学湘雅三医院益阳医院建设项目环境影响报告书的批复》湘环评[2012]147 号），报告书中对医院土建工程进行了评价，因此，本评价不再对土建工程进行评价。

湖南益阳康雅医院大环评报告书批复中医院名称为《中南大学湘雅三医院益阳医院》，医院在省卫生部门进行申报时已经采用湖南益阳康雅医院进行了申报，并取得了卫生部门的批准，见附件三。

本次评价仅对设备安装和屏蔽防护及营运期的环境影响进行评价，本项目除了直线加速器机房主体工程建成，其他项目机房均未开展建设，所有设备均未采购，本次评价为补办环评手续。评价单位在组织环评技术人员进行现场踏勘及收集有关资料的基础之上，根据国家对辐射内容的建设项目环境影响评价技术规范

续表 1 项目基本情况

的要求，编制完成了本项目的环境影响报告表。

1.3 项目概况

(1) 项目名称：湖南益阳康雅医院核技术利用项目

(2) 建设地点：梓山西路以北，海棠西路以南、云树路以东、丁香路以西

(3) 建设性质：新建

(4) 建设单位：湖南益康达医疗投资有限公司

(5) 建设规模：

湖南益阳康雅医院拟新购 5 台 II 类射线装置、16 台 III 类射线装置、1 台后装机及使用 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{192}Ir 三种核素开展放射诊疗工作。

II 类射线装置包括 2 台 15MV 直线加速器和 3 台 DSA；III 类射线装置包括 1 台模拟定位机、1 台 CT 定位机、1 台 SPECT/CT、2 台 CT、6 台 DR、1 台数字胃肠机、1 台钼靶机、1 台小 C 臂、1 台牙片机和 1 台 X 射线机。

医院本次拟新购的设备主要分布在医技楼负一层放疗中心、医技楼一层放射科、医技楼二层内镜中心、医技楼三层 DSA 中心、医技楼四楼手术中心、门诊楼四楼口腔科和门诊楼五楼体检中心。

负一楼放疗中心：布置 2 台 15MV 直线加速器、1 台模拟定位机、1 台 CT 定位机、1 台 ^{192}Ir 后装治疗机及其各自的配套用房；负一层核医学科：使用 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 两种核素以及设置 1 台 SPECT/CT；医技楼一层放射科：布置 2 台 CT、5 台 DR（其中 1 台移动 DR）、1 台数字胃肠机、1 台钼靶机；医技楼二层内镜中心：布置 1 台 X 射线机，其他为内窥镜治疗室及办公区域；医技楼三层 DSA 中心：布置 3 台 DSA；医技楼四层手术中心：布置 1 台小 C 臂机，其他为普通手术室；门诊楼四层口腔科：布置 1 台牙片机，其他为口腔科病房及办公用房；门诊楼五层体检中心：布置 1 台 DR 机，其他为办公室及体检区域。平面布置图见附图三。

(6) 投资：核技术总投资 5000 万元，其中核技术利用项目环保投资 500 万元。

各设备基本情况见表 1-1、表 1-2、表 1-3。

续表 1 项目基本情况

表 1-1 医院拟购的射线装置情况表							
序号	装置名称	型号	装置类别	数量	额定参数	用途	拟安装位置
1	直线加速器	待定	II 类	2	15MV	放射治疗	医院负一层 放疗中心
2	模拟定位机	待定	III 类	1	140kV;650mA	模拟定位	负一层放疗 中心模拟室
3	CT 机定位	待定	III 类	1	150kV;666mA	模拟定位	医技楼 一层放射科
4	SPECT /CT	待定	III 类	1	150kV;666mA	放射诊断	负一层 核医学科
5	CT 机	待定	III 类	2	150kV;666mA	放射诊断	医技楼 一层放射科
6	DR 机	待定	III 类	5	150kV;800mA	放射诊断	医技楼 一层放射科/门诊楼 体检中心 1 台
7	数字胃肠机	待定	III 类	1	150kV;1000mA	放射诊断	医技楼 一层放射科
8	钼靶机	待定	III 类	1	35kV;100mA	放射诊断	医技楼 一层放射科
9	移动 DR 机	待定	III 类	1	150kV;500mA	放射诊断	医技楼 一层放射科
10	X 射线机	待定	III 类	1	150kV;1000mA	放射诊断	医技楼二层 内镜中心
11	DSA	待定	II 类	3	150kV;1500mA	介入治疗	医技楼三层 DSA 中心
12	小 C 臂机	待定	III 类	1	125kV;120mA	放射诊断	医技楼四层 手术中心
13	牙片机	待定	III 类	1	65kV;7mA	放射诊断	门诊楼四层 口腔科
合计				21	5 台 II 类、16 台 III 类射线装置		
表 1-2 医院拟购的含放射源设备一览表							
名称及型号	放射源名称	活度	放射源类别	数量	使用场所		
后装治疗机	^{192}Ir	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$	III 类	1 枚	后装治疗室		

续表 1 项目基本情况

表 1-3 医院拟建的非密封放射性物质工作场所一览表

序号	非密封放射性物质		计划日等效 最大操作量 (Bq)	计划最 大年用 量 (Bq)	用 途	操作 方式
	核素 名称	物理、化学 性状				
1	^{131}I	液态	3.7×10^7	7.4×10^9	放射性核素治疗(仅治疗甲 亢病人不治疗甲状腺癌病人)	简单 操作
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	7.4×10^7	1.48×10^{10}	全身脏 器显像诊断	简单 操作

劳动定员：医院计划配备 60 名专业辐射工作人员从事肿瘤治疗、放射诊断工作，其中 10 人从事肿瘤治疗工作，放射诊断工作人员约 40 人，核医学科 10 人。

1.4 项目组成情况

根据项目特点，本项目主要由主体工程、公用工程、环保工程三部分组成。项目组成情况见表 1-4 所示。

续表 1 项目基本情况

表 1-4 项目建设内容一览表				
序号	项目	组成	新建/依托	备注
一	主体工程			
1	核医学科	SPECT/CT1 台、卫生通过间、高活性室、医疗废物暂存间、注射室、服药室、等候休息室等	新建	医院医技楼负一层
2	放疗中心	II 类射线装置用房（直线加速器 2 台），III 类射线装置用房（模拟定位机 1 台、CT 定位机 1 台，后装机 1 台）。	新建	医院医技楼负一层
3	放射科	III 类射线装置用房(DR 机 5 台、CT2 台、数字胃肠机 1 台、钼靶机 1 台)	新建	医院医技楼一层
4	内镜中心	III 类射线装置用房（X 射线机 1 台）	新建	医技楼二层
5	DSA 中心	II 类射线装置用房（DSA3 台）	新建	医技楼三层
6	手术中心	III 类射线装置用房（小 C 臂 1 台）	新建	医技楼四层
7	体检中心	III 类射线装置用房（DR1 台）	新建	门诊楼五层
8	口腔科	III 类射线装置用房（牙片机 1 台）	新建	门诊楼四层
二	公用工程			
1	给水	院内供水管网	依托	/
2	排水	实行雨污分流；医疗废水排放系统，雨水排放系统。	依托	/
3	供配电	院内供配电系统	依托	/
4	通风	空调通风	新建	/
三	环保工程			
1	放射性废水治理工程	新建放射性废水处理设施：衰变池有效容积 8m ³	新建	医院医技楼负一层
		直接排入医院污水处理设施	新建	/
2	放射性固体废物废弃物治理工程	在防辐射的 2 个专用污物箱中衰减，污物箱内空尺寸均为 1m×0.5m×0.5m	新建	医院医技楼楼负一层
四	其它			
1	辐射工作人员	设备操作人员、医生、护士等	新增 60 人	

表 2 放射源

核素名称	活度 (Bq)	放射源编码	贮存地点
¹⁹² Ir	3.7×10^{11}	/	放疗中心负一层后装治疗室的后装治疗机内

表 3 非密封放射性物质

核素名称	物理、化学性状	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量 (Bq)	操作方式	贮存方式与地点
^{99m}Tc	液态	7.4×10^7	1.48×10^{10}	简单操作	核医学科放射性室核素储存柜
^{131}I	液态	3.7×10^7	7.4×10^9	简单操作	

注：等效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》（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

型号	生产厂家	加速粒子	能量 (MeV)	流强 (A) /剂量率	用途	备注
医用电子直线加速器	待定	电子	18	/	肿瘤治疗	2 台
/	/	/	/	/	/	/
废物类型	数量		总活度 (Bq)	主要感生放射性核素		废物去向
废靶	/ 个		/	/		/
放射性废物年产生量	气态 m ³		/	/		/
/	液态 m ³		/	/		/
/	固态 kg		/	/		/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

型号	管电压 (kV)	输出电流 (mA)	用途	备注
模拟定位机 (待定)	140kV	650mA	模拟定位	1 台，负一层放疗中心
CT 机定位 (待定)	150kV	666mA	模拟定位	1 台，负一层放疗中心
CT 机 (待定)	150kV	666mA	放射诊断	2 台，医技楼一层放射科
DR 机 (待定)	150kV	800mA	放射诊断	5 台，医技楼一层放射科 4 台，门诊楼五层体检中心 1 台
数字胃肠机 (待定)	150kV	1000mA	放射诊断	1 台，医技楼一层放射科
钼靶机 (待定)	35kV	100mA	放射诊断	1 台，医技楼一层放射科
移动 DR 机 (待定)	150kV	500mA	放射诊断	1 台，医技楼一层放射科
X 射线机 (待定)	150kV	1000mA	放射诊断	1 台，医技楼二层内窥镜中心
DSA (待定)	150kV	1500mA	介入治疗	3 台，医技楼三层 DSA 中心
小 C 臂机 (待定)	125kV	120mA	放射诊断	1 台，医技楼四层手术室
牙片机 (待定)	65kV	7mA	放射诊断	1 台，医技楼五层口腔科
SPECT-CT (待定)	140kV	666mA	放射诊断	1 台，负一层核医学科

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

序号	废弃物名称	放射性核素名称	废物形态	最大活度	排放口浓度	年排放总量	暂存情况	计划处置方案
1	含放射性核素的废水、废液、固废	^{99m}Tc 、 ^{131}I	液态	/	总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$	/	/	放射性废水经衰变池衰变后进入医院废水处理站处理后达标排放；未用完的瓶装废液置于放射性废物暂存室，经 10 个以上半衰期，作为一般医疗固废处理。
2	制剂瓶、注射器、吸水纸、药棉、手套等	/	固态	/	比活度 $< 2 \times 10^4 \text{Bq/kg}$	/	/	衰变铅桶 交有医疗垃圾处理资质的单位处理
3	放射性废气 β 气溶胶	/	气态	/	/	微量	/	经通风装置经过活性炭吸附由管道排入大气
4	以下空白							

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L ，固体为 mg/kg ，气态为 mg/m^3 ；年排放总量用 kg 。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3)和活度(Bq)。

表 6 保护目标与评价标准

6.1 评价范围

根据本项目辐射源为能量流污染及其能量流的传播与距离相关的特性，结合《辐射环境保护管理导则-核技术应用项目环境影响报告书（表）的内容和格式》（HJ/T10.1—1995）的相关规定，并结合项目辐射装置射线传播与距离相关的特性，确定机房边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

6.2 环境保护目标

6.2.1 环境保护敏感点

本项目拟建址位于梓山西路以北，海棠西路以南、云树路以东、丁香路以西，新建的湖南益阳康雅医院门诊楼和医技楼内。

湖南益阳康雅医院新建院区位于益阳市赫山区，梓山西路以北，海棠西路以南、云树路以东、丁香路以西。北面为道路和绿化带，西面为山体，东面现为道路和建筑工地，南面 50 米范围之外有居民区。

本项目放疗中心位于负一楼，共有 5 个射线机房，北侧从东至西依次为直线加速器室 2 个，后装治疗室；南侧为 2 个模拟定位机室（其中 1 个位 CT 定位）。放疗中心北面为水冷机房，东面为医疗主街，南面为医护区，西面为值班室与设备机房，机房之下为土壤层，之上为绿化庭院。

核医学科位于负一楼，共有 1 个 SPECT/CT 机房，核医学科北面为配电室和楼道，南面为食堂，东面为高压氧室，西面为放疗中心，楼上为诊区及药房。

医技楼一楼放射科设有 8 个射线机房，北侧由西至东依次为 DR1 机房、DR2 机房、DR3 机房、钼靶机机房，南侧由西至东依次为数字胃肠机机房、CT1 机房、CT 机房、DR4 机房，放射科北面为办公区域，东面为放射科候诊大厅，南面为办公读片区，西面为值班室与气体灭火储瓶间。机房之下为停车场，之上为内窥镜中心。

医技楼二楼内窥镜中心设有 1 间 X 射线机机房，机房北面为过道和楼梯间，东面为纤喉镜室，南面为过道和办公区域，西面为过道，机房之下为放射科，之上为病理科。

医技楼三楼 DSA 中心设有 3 间 DSA 机房。DSA 中心北面为过道，东面为

设备间和楼梯间，南面为过道和庭院上空，西面为过道与设备间，机房之下为血库，之上为 ICU 大厅。

医技楼四楼手术中心设有 1 台小 C 臂机，机房北面为清洁走廊和中庭，东面为普通手术室，南面为清洁走廊，西面为清洁走廊。机房之下为检查包装及灭菌区，之上为手术净化设备室。门诊楼四楼口腔科设有牙片机 1 台机房北面为口腔科 VIP 病房，东面为口腔科大厅，南面为卫生间，西面为清洁间和消毒间，机房之下为皮肤美容科，机房之上为体检中心。

门诊楼五楼体检中心设有 DR 机 1 台，机房北面为清洁室和中庭，东面为办公室，南面为打印室和办公室，西面为消毒室和更衣室，机房之下为专家门诊室。核医学科位于负一楼，核医学科北面为洗衣房与办公值班室，东面为高压氧室及办公区域，南面为食堂，西面为放疗中心，核医学科之下为土壤层，之上为急诊观察室。

湖南益阳康雅医院核技术利用项目所在楼层平面布置图见附图三，本项目所在楼层剖面图见附图四，周围环境现状图见首页图。本项目主要辐射环境敏感点见表 6-1。

续表 6 保护目标与评价标准

表 6-1 主要辐射环境敏感点				
序号	污染源	敏感位置	方位, 距离	主要受影响人群
1	模拟定位机	过道	北侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		PCT 室	东侧, 紧邻	放射工作人员
		医护区	南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		控制室	西侧, 紧邻	放射工作人员
		厕所	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
2	模拟定位机 (PCT)	过道	北侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		控制室	东侧, 紧邻	放射工作人员
		医护区	南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		模拟定位机机房	西侧, 紧邻	放射工作人员
		急诊区	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
3	后装治疗室	水冷机房	北侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		直线加速器机房	东侧, 紧邻	放射工作人员
		控制室、准备室	南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		过道	西侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		绿化庭院	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
4	直线加速器	水冷机房	北侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		医疗主街	东侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		控制室	东南侧, 紧邻	放射工作人员
		准备室	西南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		直线加速器机房	西侧, 紧邻	放射工作人员
		绿化庭院	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
5	直线加速器	水冷机房	北侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		直线加速器机房	东侧, 紧邻	放射工作人员
		准备室	东南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		控制室	西南侧, 紧邻	放射工作人员
		水冷机房	西北侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		后装机房	西侧, 紧邻	放射工作人员
		绿化庭院	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员

续表 6 保护目标与评价标准

6	DR1	公共控制室	北侧，紧邻	放射工作人员
		DR 机房	东侧，紧邻	放射工作人员
		病人通道	南侧，紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		过道	西侧，紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		内窥镜中心	楼上，紧邻	公众成员、非放射工作人员
		停车场	楼下，紧邻	公众成员、非放射工作人员
7	DR2	公共控制室	北侧，紧邻	放射工作人员
		DR40 机房	东侧，紧邻	放射工作人员
		病人通道	南侧，紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		DR 机房	西侧，紧邻	放射工作人员
		内窥镜中心	楼上，紧邻	公众成员、非放射工作人员
		停车场	楼下，紧邻	公众成员、非放射工作人员
8	DR3	公共控制室	北侧，紧邻	放射工作人员
		钼靶机控制室	东侧，紧邻	放射工作人员
		病人通道	南侧，紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		DR 机房	西侧，紧邻	放射工作人员
		内窥镜中心	楼上，紧邻	公众成员、非放射工作人员
		停车场	楼下，紧邻	公众成员、非放射工作人员
9	数字胃肠机	病人通道	北侧，紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		CT 机房	东侧，紧邻	放射工作人员
		CT 机控制室	东南侧，紧邻	放射工作人员
		数字胃肠机控制室	南侧，紧邻	放射工作人员
		厕所	西北侧，紧邻	公众成员、非放射工作人员
		调钼室	西南侧，紧邻	非放射工作人员
		内窥镜中心	楼上，紧邻	公众成员、非放射工作人员
		停车场	楼下，紧邻	公众成员、非放射工作人员
10	CT 机	病人通道	北侧，紧邻	公众成员、非放射工作人员
		CT 机房	东侧，紧邻	放射工作人员
		CT 机控制室	东南侧，紧邻	放射工作人员
		CT 机控制室	南侧，紧邻	放射工作人员
		数字胃肠机控制室	西南侧，紧邻	放射工作人员
		数字胃肠机机房	西侧，紧邻	非放射工作人员
		内窥镜中心	楼上，紧邻	公众成员、非放射工作人员
		停车场	楼下，紧邻	公众成员、非放射工作人员

续表 6 保护目标与评价标准

11	CT 机	病人通道	北侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		DR 机房	东侧, 紧邻	放射工作人员
		DR 机控制室	东南侧, 紧邻	放射工作人员
		CT 机控制室	南侧, 紧邻	放射工作人员
		CT 机控制室	西南侧, 紧邻	放射工作人员
		CT 机机房	西侧, 紧邻	放射工作人员
		内窥镜中心	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		停车场	楼下, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
12	DR 机	病人通道	北侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		注射室	东侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		DR 机控制室	南侧, 紧邻	放射工作人员
		CT 机控制室	西南侧, 紧邻	放射工作人员
		CT 机机房	西侧, 紧邻	放射工作人员
		内窥镜中心	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		停车场	楼下, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
13	X 射线机	X 射线机控制室	西北侧, 紧邻	放射工作人员
		过道	东北侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		纤喉镜室	东侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		过道	南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		过道	西侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		病理科	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		放射科	楼下, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
14	DSA	设备间	西北侧, 紧邻	非放射工作人员
		过道	北侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		设备间	东北侧, 紧邻	非放射工作人员
		DSA 控制室	东南侧, 紧邻	放射工作人员
		过道	南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		DSA 控制室	西侧, 紧邻	放射工作人员
		ICU 大厅	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		血库	楼下, 紧邻	公众成员、非放射工作人员

续表 6 保护目标与评价标准

15	DSA	过道	北侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		DSA	东侧, 紧邻	放射工作人员
		过道	南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		DSA 控制室	西南侧, 紧邻	放射工作人员
		设备间	西北侧, 紧邻	非放射工作人员
		ICU 大厅	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		血库	楼下, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
16	DSA	过道	北侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		DSA 控制室	南侧, 紧邻	放射工作人员
		过道	南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		DSA 机房	西侧, 紧邻	放射工作人员
		ICU 大厅	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		血库	楼下, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
17	牙片机	过道	北侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		牙片机控制室	东侧, 紧邻	放射工作人员
		女卫生间	南侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		过道	西侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		体检中心	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		皮肤美容科	楼下, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
18	小 C 臂机 (手术室 1)	清洁走廊	北侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		设备间	东侧, 紧邻	非放射工作人员
		走廊	南侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		清洁走廊	西侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		手术净化设备室	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		检查包装及灭菌区	楼下, 紧邻	公众成员、非放射工作人员

续表 6 保护目标与评价标准

19	小 C 臂机 (手术室 2)	清洁走廊	北侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		手术室	东侧, 紧邻	非放射工作人员
		走廊	南侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		设备间	西侧, 紧邻	非放射工作人员
		手术净化设备室	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		检查包装及灭菌区	楼下, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
20	小 C 臂机 (手术室 3)	前室	西北侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		设备室	东北侧, 紧邻	放射工作人员、非放射工作人员
		手术室	东侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		清洁走廊	南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		手术室	西侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		手术净化设备室	楼上, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		检查包装及灭菌区	楼下, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
21	DR 机	清洁室	西北侧, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
		DR 机控制室	东侧, 紧邻	放射工作人员
		过道	东侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		过道	南侧, 紧邻	公众成员、放射工作人员、非放射工作人员
		专家门诊室	楼下, 紧邻	公众成员、非放射工作人员
22	SPECT/CT	等候区	北侧、紧邻	病人
		过道	东侧、紧邻	放射工作人员、公众成员、非放射工作人员
		过道	南侧、紧邻	放射工作人员、公众成员、非放射工作人员
		控制室	西侧、紧邻	放射工作人员、公众成员、非放射工作人员
		诊区及药房	楼上	公众成员、非放射工作人员

续表 6 保护目标与评价标准

23	核医学科	配电室、楼道	北面、紧邻	公众成员、非放射工作人员
		高压氧室	东面、紧邻	公众成员、非放射工作人员
		食堂	南面、紧邻	公众成员、非放射工作人员
		放疗中心	西面、紧邻	公众成员、非放射工作人员
		诊区及药房	楼上、紧邻	公众成员、非放射工作人员

6.2.2 环境保护目标

根据本项目周围环境敏感点分布情况，确定本项目环境保护对象为该医院从事放射诊疗的辐射工作人员、机房周围其它非辐射工作人员和公众成员。

6.3 评价标准

电离辐射相关标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

①剂量限值：

第 4.3.2.1 款，应对个人受到的正常照射加以限值，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。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

第 B1.1.1.1 款，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：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 作为职业照射剂量限值。

第 B1.2 款 公众照射

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超过下述限值：年有效剂量 1mSv。

本项目射线装置取职业照射的十分之一，即 2mSv 作为放射诊断工作人员剂量约束限值，DSA 取 4mSv 作为放射诊断工作人员剂量约束限值；取公众照射的十分之一，即 0.1mSv 作为公众成员剂量约束限值。

续表 6 保护目标与评价标准

②表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限值要求。

工作场所的表面污染控制水平如表 6-2 所列。

表 6-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位: Bq/cm²

表 面 类 型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹
1) 该区内的污染子区除外		

③非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款，应按表 6-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 6-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

④放射性物质向环境排放的控制

不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

（a）每月排放的总活度不超过 10ALI_{min}(ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者；

（b）每一次排放的活度不超过 1ALI_{min}，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

（2）《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120—2006）

标准适用于临床核医学应用放射性药物施行诊断和治疗的实践。

第 4.2 款 一般临床核医学的活性实验室、病房、洗涤室、显像室等工作场

续表 6 保护目标与评价标准

所属于 GB18871 规定的乙级或丙级非密封源工作场所。为了便于操作，针对临床核医学实践的具体情况，可以依据计划操作最大放射性核素的加权活度，把工作场所分为 I、II、III 等三类。

表 6-4 临床核医学工作场所具体分类

分类	操作最大放射性核素的加权活动 ²⁾ ,MBq
I	>50 000
II	50~50 000
III	<50

第 4.5 款 合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 1m/s），排气口应高于本建筑屋脊、并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。

第 4.7 款 临床核医学工作场所应备有收集放射性废物的容器，容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集，并给予适当屏蔽。固体废物如污染的针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄漏、较牢固、并有合适屏蔽的容器内。

第 5.4 款 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风橱内进行，并按操作情况进行气体或气溶胶放射性浓度的常规监测以及必要的特殊监测，应注意对放射性碘在操作人员甲状腺内沉积的防护。

第 5.7 款 从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，以杜绝超过 GB18871 规定的表面污染控制水平的物品带出控制区。

（3）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）

第 5.2.1 条 非密封源的操作应根据所操作的放射性物质的量和特性，选择符合安全与防护要求的条件，尽可能在通风橱、工作箱或手套箱内进行。

（4）《放射性废物的分类》（GB9133—1995）

第 5 款，第 I 级（低放废液）：浓度小于或等于 $4 \times 10^6 \text{Bq/L}$ ；第 II 级（中放废液）：浓度大于 $4 \times 10^6 \text{Bq/L}$ ，小于或等于 $4 \times 10^{10} \text{Bq/L}$ ；第 III 级（高放废液）：浓度大于 $4 \times 10^{10} \text{Bq/L}$ 。

第 6 款，含有半衰期小于或等于 60d 的放射性核素的废物，按其放射性比活度水平分为二级。第 I 级（低放废物）：比活度小于或等于 $4 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ ；第 II 级（中放废物）：比活度大于 $4 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ 。

续表 6 保护目标与评价标准

(5) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）

1 范围

本标准适用于标称能量在 50MeV 以下的医用电子加速器的生产和使用。

.....

5 加速器的放射防护性能要求

.....

5.3 在患者平面外的辐射防护要求

.....

5.3.4 终止照射后感生放射性的防护

5.3.4.1 此要求仅适用于电子能量超过 10MeV 的设备。

5.3.4.2 在规定的最大吸收剂量率下，进行 4Gy 照射，以间歇 10min 的方式连续进行 4h 后，在最后一次照射终止后的 10s 开始测量，测得感生放射性的周围剂量当量 H° (d)，且应满足下列要求：

1) 累积测量 5min，在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 10 μ Sv，离外壳表面 1m 处不超过 1 μ Sv；

b) 在不超过 3min 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5 cm 任何容易接近处不超过 200 μ Sv /h，离外壳表面 1m 处不超过 20 μ Sv /h。

5.3.4.3 在离外壳表面 5cm 和 1m 测量时，应分别在不大于 10cm² 和 100cm² 的面积取平均值；X 线模式取其最高能量，电子模式时取产生最大吸收剂量的电子照射能量；照射野取 10cm $\times$ 10cm；记录其方法、条件、结果和测量位置。

.....

6 治疗室防护和安全操作要求

6.1 治疗室的防护要求

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

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙（包括顶棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求。

6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量

续表 6 保护目标与评价标准

率应不大于 $2.5\mu\text{ Sv/h}$ 。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 X 射线标称能量超过 10MeV 的加速器,屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积,新建治疗室不应小于 45m^2 。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路,防护门必须与加速器联锁。

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

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

6.2 安全操作要求

6.2.1 加速器使用单位应配备工作剂量仪、水箱等剂量测量设备,并应配备扫描剂量仪、模拟定位机等放射治疗质量保证设备。

6.2.2 使用单位应有合格的放射治疗医生、医学物理人员及操作人员;医学物理人员和操作人员应经过防护和加速器专业知识培训,并经过考核合格后方可上岗。

6.2.3 操作人员应遵守各项操作规程,认真检查安全联锁,禁止任意去除安全联锁,严禁在去除可能导致人员伤亡的安全联锁的情况下开机。

6.2.4 治疗期间,应有两名操作人员协调操作,认真做好当班记录,严格执行交接班制度。

6.2.5 治疗期间操作人员应密切注视控制台仪表及患者状况,发现异常及时处理,禁止操作人员擅自离开岗位。

6.2.6 加速器辐射安全、电气、机械安全技术要求及测试方法应符合 GB9706.5 的有关规定。

.....

7 加速器治疗设备及操作的质量控制要求

.....

7.2 为防止不必要照射和超剂量照射的要求

7.2.1 控制台应显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量

续表 6 保护目标与评价标准

率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等照射参数预选值。

7.2.2 照射启动应与控制台显示的照射参数预选值联锁，控制台选择各类照射参数之前，照射不应启动。

7.2.3 应装备检查所有安全联锁的设施，用于在照射间歇期间检查安全联锁(包括防止剂量率大于预选值十倍的联锁)，确保各类系统终止照射的能力和防止超剂量照射。

7.2.4 控制台和治疗室内应分别安装紧急停机开关。

7.2.5 使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序应加密，未经允许不得存取或修改；用于监视联锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障，应终止照射。

8 辐射防护监测和质量控制检测

8.1 辐射防护监测

8.1.1 加速器安装验收后投入运行前，或者加速器维修后、运行参数及屏蔽条件等发生改变时，应委托具有相应监测资质的技术服务机构进行 M 区内外杂散辐射的防护监测、患者平面内外辐射防护测量，并据此作出辐射安全评价。

8.1.2 加速器设备正常工作中，使用加速器设备的单位可根据需要委托有相应监测资质的机构开展 M 区内外杂散辐射的防护监测；患者平面内外辐射防护测量和患者和其他人员的辐射防护测量。

8.1.3 上述辐射防护监测方法按附录 B 的方法进行。

8.1.4 在加速器正常运行情况下，安全联锁系统每月检查 1 次。

8.1.5 在加速器正常运行情况下，工作场所和周围区域辐射水平每年监测 1 次。

8.1.6 放射工作人员个人剂量监测按 GBZ128 要求执行。

(6) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)

本标准适用于医用诊断放射学、牙科放射学和介入放射学实践。

第5.2款 每台X射线机（不含移动式和携带式床旁摄影机与车载X射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。

对新建、改建和扩建的X射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表6-5要求。

续表 6 保护目标与评价标准

表6-5 X射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机	30	4.5
双管头或多管头 X 射线机	30	4.5
单管头 X 射线机	20	3.5
透视专用机、碎石定位机、 口腔 CT 卧位扫描	15	3
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机、局部骨密度仪、 口腔 CT 坐位扫描 / 站位扫描	5	2
口内牙片机	3	1.5

第5.3款 X射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

a) 不同类型X射线设备机房的屏蔽防护应不小于表6-6要求。

表6-6 不同类型X射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
标称 125kV 以上的摄影机房	3	2
标称 125kV 及以下的摄影机房、口腔 CT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2	1
透视机房、全身骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、乳腺机房	1	1
介入 X 射线设备机房	2	2
CT 机房	2（一般工作量） ^a 2.5（较大工作量） ^a	
^a 按 GBZ / T180 的要求。		

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

第5.4款 在距机房屏蔽体外表面0.3m处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的X射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h；测量时，X射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

b) CT 机、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和

续表 6 保护目标与评价标准

全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；其余各种类型摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于 0.25mSv ；测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

(7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T201.2—2011) 第 2 部分

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制：

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

续表 6 保护目标与评价标准

得关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

b) 除 4.2.2 中 a) 的条件外, 应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和, 应按 4.2.2 中的

a) 确定关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

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

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

4.3 不同关注点应考虑辐射

4.3.1 应考虑的辐射束

治疗机房屏蔽设计与评价, 应估算的辐射束为治疗装置在 X 射线治疗时可达到的最高 MV 条件下的有用线束、泄漏辐射和其产生的散射辐射。

4.3.2 治疗机房不同位置应考虑辐射束

4.3.2.1 加速器治疗机房中, 有用线束的照射方向见图 1~图 4, 图 1~图 3 中的 a、b 点及图 4 中的 1 点的屏蔽厚度应按有用线束估算。

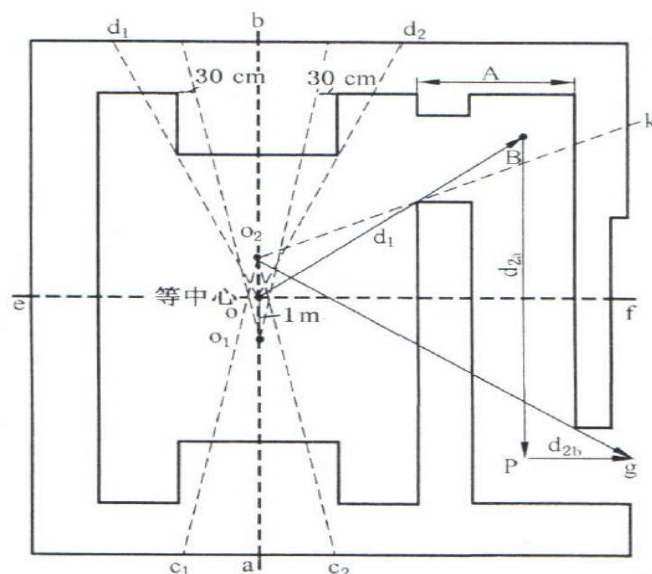


图 2 加速器机房的关注点和其主要照射路径示意图
(L 型迷路, 有用线束不向迷路照射)

续表 6 保护目标与评价标准

4.3.2.2 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

图 1~图 3 中的 c_1 、 c_2 、 d_1 、 d_2 及图 4 的 m_1 、 m_2 点的屏蔽厚度应按下列辐射束估算:

a) 有用线束水平照射或向顶照射(使用因子 $U=0.25$) 时人体的散射辐射, 以等中心位置 o 为散射体中, 散射角接近 30° , 屏蔽墙的斜射角与散射角相同。示例散射路径见图 1 中 “ o_1-o-d_2 ” 和图 4 中 “ o_3-o-m_2 ”;

b) 加速器的泄漏辐射, 以位置 o 为中心, 使用因子 $U=1$, 屏蔽墙的斜射角接近 30° , 调强因子 $N=5$ (调强治疗时, 见附录 A)。示例路径见图 1 中 “ $o-d_2$ ”。

4.3.2.3 侧屏蔽墙

图 1 和图 2 的 e 点及图 3 的 e 、 f 点的屏蔽厚度应按加速器的泄漏辐射估算, 以位置 o 为中心, 使用因子 L , $r=1$ 、调强因子 $N=5$ (调强治疗时)。示例路径见图 3 中 “ $o-e$ ” 和 “ $o-f$ ”。

4.3.2.4 迷路外墙

迷路外墙 (k 点) 的屏蔽应考虑如下:

a) 当有用线束不向迷路内墙照射时 (见图 1 和图 2), k 点的屏蔽厚度应考虑下列情况:

加速器靶点位于 o_2 (偏离 o 点 1m) 时, k 点辐射剂量率最大, 泄漏辐射起决定性作用。 o_2 至 k 的泄漏辐射的斜射角较小, 通常以 0° 垂直入射保守估算;

在按附录 A.1 估算 k 处的导出剂量率时, 取调强因子 $N=5$ (调强治疗时), 使用因子 U 为:

- 1) 当加速器靶点自位置 o 至 k 的泄漏辐射没有受到迷路内墙的屏蔽时, $u=1$;
- 2) 当加速器靶点自位置 o 至 k 的泄漏辐射得到迷路内墙的屏蔽时, $U=0.25$ 。

b) 当有用线束向迷路内墙照射时 (见图 3), 迷路外墙在 k 处的厚度同位置 a 处的厚度。

注: 本环评取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 作为加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率限值。

(8) 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006)

第 5.1 款 CT 装置的安装位置: 在机房内, CT 装置宜斜向安放, 以利于操作者观察受检者; 机房出入口应处于散射辐射相对低的位置。

第 5.2.1.2 款 CT 机房一般屏蔽要求如下: 一般工作量下的机房屏蔽: 16cm

续表 6 保护目标与评价标准

混凝土（密度 2.35t/m^3 ）或 24cm 砖（密度 1.65t/m^3 ）或 2mm 铅当量；较大工作量下的机房屏蔽：20cm 混凝土（密度 2.35t/m^3 ）或 37cm 砖（密度 1.65t/m^3 ）或 2.5mm 铅当量。

（9）《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133—2009）

第 5.1.1 款 使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2\times 10^7\text{Bq}$ 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防泄漏措施。

第 5.1.2 款 产生放射性废液而可不设置放射性污水池的单位，应将含短半衰期核素的废液注入专用容器中通常存放 10 个半衰期后，经审管部门审核准许，可作普通废液处理。对含长半衰期核素的废液，应专门收集存放。

第 5.1.3 条 下列低放废液可以直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道：每月排放总活度不超过 GB18871-2002 中 8.6.2 规定的限制要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，每次排放应作记录并存档。

第 5.2.1 款 使用放射性药物治疗患者的临床核医学单位，应为住院治疗患者提供有防护标志的专用厕所，对患者排泄物实施统一收集和管理，规定患者住院治疗期间不得使用其他厕所。

第 5.2.2 款 专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲洗入专用化粪池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

第 5.2.3 款 专用化粪池内排泄物在贮存衰变后，经审管部门核准方可排入下水道系统。池内沉渣如难于排出，可进行算话预处理后再排入下水道系统。

第 6.1.2 款 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。污物桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

第 6.1.5 款 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，重量 $\leq 20\text{kg}$ 。

第 6.2.3 款 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类，比活度水平和存放日期等说明。

第 6.2.4 款 废物包装外表面的污染控制水平： $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ； $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

第 6.3.3 款 未知核素的废物在其活度浓度小于或者等于 $2\times 10^4\text{Bq/kg}$ 时，或废物中的核素已知且其活度浓度符合 4.4 或者 4.5 时，可作免管固体废物处理。

第 7.1 款 操作放射性碘化物等具有挥发性的放射性物质时，应在具备有活

续表 6 保护目标与评价标准

性炭吸附过滤或其他专用过滤装置的通风橱内进行。

(10)《医用 X 射线诊断受检者放射卫生防护标准》(GBZ16348-2010)

第 4.1 款 医疗卫生机构应制定执业医师与医技人员、辐射防护负责人等培训计划,使其受到相应的辐射防护知识培训并取得放射工作人员证。医技人员还应取得相应的专业技能资质并承担制定的任务。

第 5.5 款 应特别加强对育龄妇女和孕妇、婴幼儿 X 射线检查的正当性判断。

第 6.2 款 应避免受检者同一部位重复 X 射线检查,以减少受检者受照剂量。

第 7.1.2 款 应为不同年龄儿童的不同检查配备有保护相应组织和器官的防护用品,其防护性能不小于 0.5mm 铅当量。

**(11)《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》
(GBZ114-2006)**

第 5.1 款 密封 γ 放射源容器的结构、材料、质量和体积的设计,应依据装载放射源的种类、活度、射线能量、使用和运输方式、包装等级和泄露辐射水平等内容综合考虑,确保放置稳定、装卸容易、运输安全和使用方便。

(12)《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2002)

1 范围

本标准规定了后装 γ 源近距离治疗(下称“后装放疗”)设备、放射治疗室和实施后装放射治疗的防护要求与设备的检测。

本标准适用于采用密封 γ 源后装技术进行近距离放射治疗的实践。

.....

4 后装放射治疗设备的防护要求

4.1 放射源

4.1.1 后装放射治疗用 γ 放射源,必须符合 GB 4076 的规定。

4.1.2 放射源必须有生产厂家提供的说明书及检验证书。说明书应载明放射源编号、核素名称、化学符号、等效活度、表面污染与泄漏检测日期和生产单位名称等。

4.1.3 放射源使用前必须有法定计量机构认可的参考点空气比释动能率,其总不确定度不大于 $\pm 5\%$ 。

4.1.4 放射源的更换必须由合格的专业技术人员,在放射防护人员监督下进

续表 6 保护目标与评价标准

行。

4.1.5 放射源的运输必须符合GB 11806的规定。

4.1.6 退役放射源必须及时退还原生产厂家或送指定的放射性废物库统一处理或妥善保存。

4.2 贮源器

4.2.1 放射源贮源器表面必须标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的电离辐射警示标识(参见 GB 2894)。

4.2.2 运输贮源器(或工作贮源器)内装载最大容许活度时，距离贮源器表面5cm处的任何位置，泄漏辐射的空气比动能率不得大于 $100\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ；距离贮源器表面100cm处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $10\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

4.2.3 装载后装治疗用放射源的运输贮源器(或工作贮源器)除运输外，必须存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮源库内。

.....

4.4 放射源控制与传输

4.4.1 后装治疗设备的控制系统，必须能准确地控制照射条件，应有放射源起动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显示。

4.4.2 后装治疗设备控制系统应有安全锁等多重保护和联锁装置。必须能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。严禁在去掉保护与联锁控制装置的条件下运行。

4.4.3 实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器。必须同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时应发出声光报警信号。

当自动回源装置功能失效时，必须有手动回源措施进行应急处理。

4.4.4 在控制台上，必须能通过 γ 射线监测显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态。

续表 6 保护目标与评价标准

4.4.5 控制照射时间的计时误差必须小于1%。

4.4.6 连接施源器各通道与施源器的放射源传输管道及施源器应尽量平滑，具有可允许的最小曲率半径，以保证放射源传输畅通无阻。

4.4.7 连接施源器与放射源传输管道时，必须使接头衔接严密、牢固，防止放射源冲出或脱落。

4.4.8 放射源传输到施源器内驻留位置的偏差不得大于 $\pm 1\text{mm}$ 。

4.4.9 必须在生产厂家给出的放射源最大安全传输次数内，不发生放射源脱落、卡源等故障

4.4.10 放射治疗机随机文件中必须给出放射源从贮源器到施源器的最大传输时间。

5 后装放射治疗室的防护要求

5.1 放射治疗室必须经专业人员设计，治疗室必须与准备室和控制室分开设置。治疗室使用面积应不小于 20m^2 。

5.2 治疗室入口必须采用迷路设计，设置门机联锁，并在治疗室门上要有声、光报警。治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器。

5.3 治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，确保工作人员及公众的受照剂量小于相应的年管理目标值。

5.4 在控制室与治疗室之间应设观察窗(或监视器)与对讲机。

.....

7 后装放射治疗设备的检测

7.1 验收检测 新安装或大修后的后装治疗设备，正式投入使用前，必须组织专业技术人员进行验收检测，检测项目如下：

a) 距离贮源器表面 5cm 处的任何位置及距离贮源器表面 100cm 处²⁾任一点的泄漏辐射空气比释动能率的测量；

b) 后装治疗机控制台的源位指示、声光报警、剂量监测、监视器、对讲机和计时器运行功能的检验；

c) 放射源参考点空气比释动能率的测量；

d) 放射源在传输系统及施源器内的运动状态(驻留、步进与振荡)与返回贮源器的功能检验；

续表 6 保护目标与评价标准

- e) 放射源从贮源器至施源器内预定位置传输时间的测定;
- f) 后装治疗机控制计时器的误差检验;
- g) γ 辐射剂量监测仪表的校验;
- h) 放射源的表面污染及泄漏, 施源器、治疗床等设备的表面污染检测;
- i) 放射源在施源器内驻留位置的偏差检验;
- j) 治疗室及其周围环境中辐射水平的测量。

(13)《工作场所有害因素职业接触限值 第一步部分 化学因素》(GBZ2.1—2007)

室内臭氧浓度限值: $0.3\text{mg}/\text{m}^3$, 氮氧化物浓度限值: $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

②表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录B (标准的附录B) B2所规定的限值要求。

工作场所的表面污染控制水平如表6-7所列。

表 6-7 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位: Bq/cm^2

表 面 类 型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}
1) 该区内的高污染子区除外		

③非密封源工作场所的分级

辐射工作场所分类按照附录 C (标准的附录 C), 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 6-8 非密封源工作场所的分级

级 别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

续表 6 保护目标与评价标准

④放射性物质向环境排放的控制

第 8.6.2 款，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

(a) 每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\min}$ ($\text{ALI}_{\min}$ 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者；

(b) 每一次排放的活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

综合上述标准，本环评根据项目情况及周围环境，取机房外表面 0.3m 处空气比释动能率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 作为剂量约束值。

结合拟使用的医用辐射装置的实际情况及省管部门的相关要求，确定本项目射线装置辐射工作人员的辐射剂量约束限值 DSA 取 4mSv/a ，其他取 2mSv/a 。取公众照射的十分之一，即 0.1mSv/a 作为所有射线装置公众成员剂量约束限值。

续表 6 保护目标与评价标准

表 6-9 本项目剂量限值及污染物排放指标表			
一、管理目标值			
项目	年有效剂量限值 (mSv/a)	执行对象	本评价管理目标值 (mSv/a)
辐射工作人员	20	辐射工作人员	DSA：4，其他:2
公众人员	1	公众人员	0.1
二、机房防护体表面控制值			
加速器、后装治疗及其他医用诊断 X 射线装置机房外辐射工作人员活动及公众人员活动场所		机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率 ≤2.5μSv/h	
三、放射性废物排放			
表面污染	工作台、设备、墙壁、地面	控制区	<4×10Bq/cm ²
		监督区	<4Bq/cm ²
	工作服、手套、工作鞋	控制区	<4Bq/cm ²
		监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		<0.4Bq/cm ²	
放射性固体废物	¹³¹ I、 ^{99m} Tc 免管废物水平 1×10 ⁵ Bq/kg		
	每袋废物（重量≤20kg）的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h		
	废物包装盒外表面: α<0.04 Bq/cm ² , β<0.4 Bq/cm ²		
	放射废物比活度<2×10 ⁴ Bq/kg		
放射性废水	总 β 放射性<10Bq/L		
四、机房面积要求			
设备名称		机房面积（m ² ）	机房内最小单边长度（m）
直线加速器		≥45 m ²	/
后装机房		≥20m ²	/
常规模拟定位机		≥20m ²	3.5
DSA 介入室		≥30m ²	4.5
CT 室		≥30m ²	4.5
SPECT/CT 室		≥30m ²	4.5
全景牙片机		≥5m ²	2
乳腺机、全身骨密度仪		≥10m ²	2.5
其他Ⅲ类 射线装置	单管头	≥20m ²	3.5
	双管头	≥30m ²	4.5

表 7 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日执行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2003 年 9 月； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月； (4) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，2014 年 4 月修订； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 253 号令 1998 年； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第 449 号令，2005 年 9 月 14 日； (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法(2008 修订)》，国家环境保护部令第 3 号，2008 年 11 月 21 日； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日； (9) 《关于发布放射源分类办法的公告》国家环境保护总局公告，2005 年第 62 号； (10) 《关于发布射线装置分类办法的公告》国家环境保护总局公告，2006 年第 26 号； (11) 《产业结构调整指导目录(2011 年本)》(2013 修订)； (12) 《放射性废物安全管理条例》，2012 年 3 月； (13) 《湖南省建设项目环境保护管理办法》，湖南省人民政府令第 215 号，2007 年。 7.2 评价技术规范 (1) 《环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2011)； (2) 《辐射环境保护管理导则-核技术应用项目环境影响报告书(表)的内容和格式》(HJ/T 10.1-1995)； (3) 《核技术利用项目环境影响评价文件的格式与内容》(征求意见稿)。
------	--

续表 7 评价依据

技术标准	(1) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466—2005) (2) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) (4) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120—2006) (5) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010) (6) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126—2011) (7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T201.2—2011) 第 2 部分 (8) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) (9) 《X 射线计算机断层摄影放射卫生防护标准》(GBZ165-2012) (10) 《放射性废物的分类》(GB9133—1995) (11) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133—2009) (12) 《医疗废物集中处置技术规范(试行)》 (13) 《放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范》(GB/T16148-2009) (14) 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006) (15) 《医用 X 射线诊断受检者放射卫生防护标准》(GBZ16348-2010) (16) 《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006) (17) 《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2002) (18) 《工作场所有害因素职业接触限值 第一步部分 化学因素》(GBZ2.1—2007)
其他	(1) 本项目电离辐射监测报告(鹏辐(监)[2015]158 号); (2) 《中华放射医学与防护杂志》

表 8 项目工程分析与源项

8.1 施工期污染工序及产污情况

本项目机房的土建工程已经建设完成，医院的建设已取得省环境保护厅的批准（湘环评【2012】147 号），因此，本评价仅对设备安装和机房内部装修部分进行评价。

8.2 放射设备工作原理及污染物产生情况

8.2.1 直线加速器

湖南益阳康雅医院拟配备两台直线加速器，X 射线标称能量最大 15MV，电子线能量最大 25MeV。

（1）工作原理

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。典型医院直线加速器示意图见图 8-1 所示。

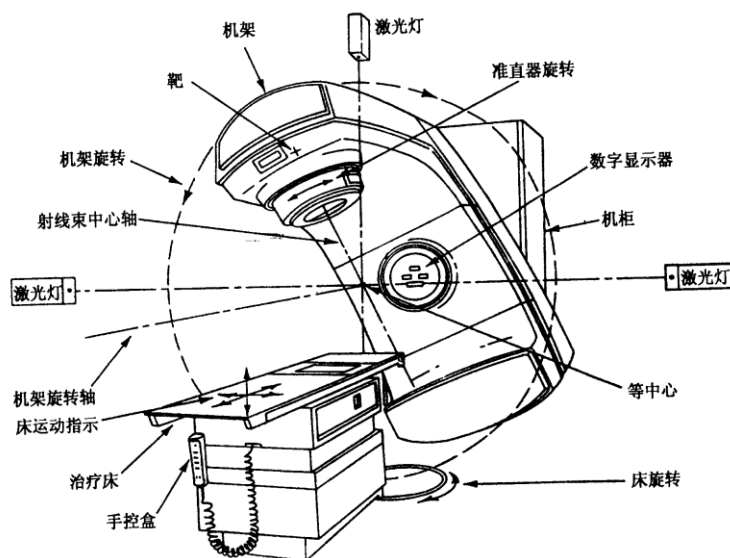


图 8-1 典型医用电子直线加速器示意图

（2）设备组成

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、

续表 8 项目工程分析与源项

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，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器内部结构框图见 8-2。

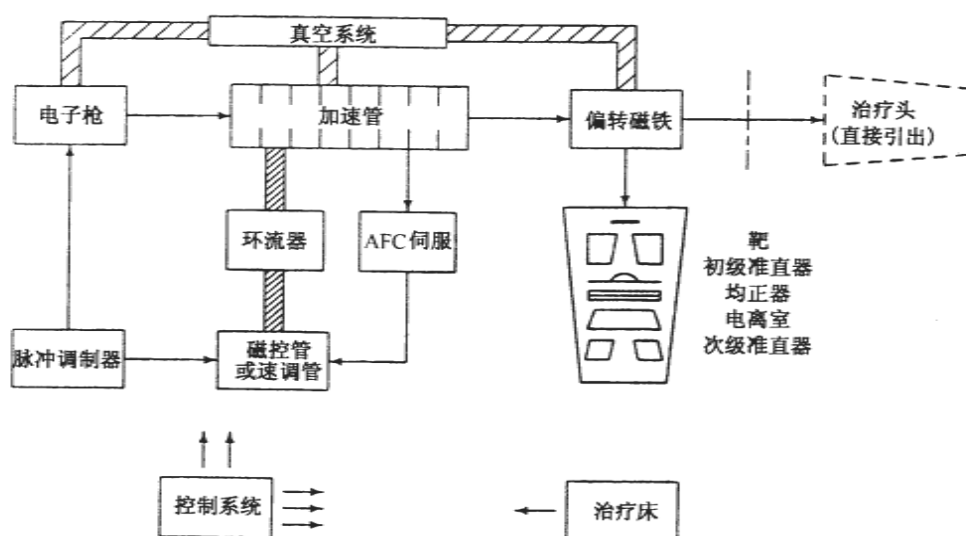


图 8-2 医用电子直线加速器内部结构框图

（3）工作流程

① 进行定位。先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

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。在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

④ 开机治疗。

（4）工作负荷

本项目使用的电子直线加速器每周治疗最多 300 人次，平均每人次约 2 个照射野，每野平均 2.0Gy，周工作负荷约为 1200Gy/W，本评价取 600 Gy/min 每人 2.0Gy，有效照射时间为 2/3min，年照射时间为 260h。

（5）产污环节

续表 8 项目工程分析与源项

由加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能 X 射线。直线加速器在 10MV 以上的条件下工作时，加速器产生的 X 线或电子线，与物质作用都可能发生光致核反应 (γ, n)，产生中子和感生放射性物质，中子在慢化、吸收过程中都将放出 γ 射线，引起缓发辐射。此外，X 射线有很强的穿透力，能使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化合物，使周围环境受到辐射污染和臭氧、氮氧化合物的影响。此时，主要的污染因子是 X 射线、电子线和中子污染、缓发 γ 辐射污染和有害气体（臭氧和氮氧化合物）。

综上所述，15MV 直线加速器对患者进行治疗时，对环境可能造成污染的因素：

X 射线模式下工作，主要是 X 射线、中子、 γ 射线；

电子模式下工作，主要是电子线，伴有少量 X 射线、中子、 γ 射线；

有害气体：臭氧和氮氧化物、感生放射性废气。

8.2.2 后装治疗机

湖南益阳康雅医院拟配置 1 台后装治疗机，使用 1 枚 ^{192}Ir 密封放射源，初始活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci)。

(1) 工作原理

后装治疗机使用 ^{192}Ir 密封放射源，属近距离放射治疗。它是将密封放射源置于病灶附近，提高局部剂量，利用 γ 射线的生物效应对肿瘤进行治疗。这种方式可用于治疗人体内各种腔道周围的肿瘤，因所选取的核素的射线能量较低，并以射线的距离衰减效应减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的辐射剂量。

(2) 放射源性质

本项目后装治疗系统所使用的放射源是 ^{192}Ir ，活度为 3.7×10^{11} (10Ci)。 ^{192}Ir 是一种沉重的、脆的白色过渡金属，熔点 2443°C ，比热 0.13J/kg ，沸点 4428°C ，蒸发热 604kJ/mol ，导热系数 1.47W/cmK ，密度 22.4g/cm^3 (300K)，熔化热 26.1KJ/mol 。有金属光泽，在空气和水中稳定，对所有酸都呈惰性，但跟熔融的 NaOH 反应。 ^{192}Ir 放射源结构见图 8-3，主要辐射特性见表 8-1。

续表 8 项目工程分析与源项

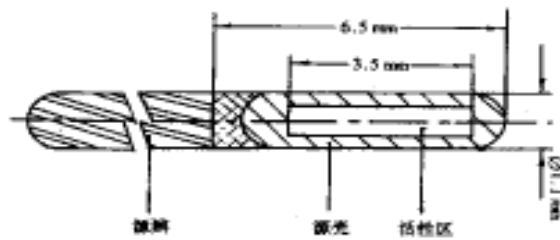


图 8-3 ^{192}Ir 源结构示意图

表 8-1 ^{192}Ir 辐射特性表

名称	毒性	半衰期 (d)	衰变方式 (分支比, %)	射线平均能 量 (MeV)	照射率常数 ($\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{GBq}$)	比活度 (Bq/g)
^{192}Ir	中毒	73.4	$\beta^{-(95.22)}$ ϵ (4.78)	0.468	0.13	3.4×10^{11}

(3) 工作流程

透视—埋置导管—固定位置—接管—模拟运行— ^{192}Ir 植入治疗

具体步骤：①给病员安装施源管；②设 n 个通道，每个通道剂量 4~8Gy，计算机自动优化放射方案；③走假源 3 次，无故障后开始走真源放射治疗，治疗结束后真源自动复位；④如出现意外情况，按“急停按钮”治疗中止，源自动复位，撤离病员，向有关领导报告，请专业维修人员处理。

(4) 工作负荷

根据医院提供的资料，后装治疗机全年治疗约 750 人，根据建设单位经验，每例病人治疗时间不超过 30min，则后装治疗机年工作时间不超过 375h。

(5) 产污环节

后装治疗机的放射性核素 ^{192}Ir 为密封源， ^{192}Ir 发射的 γ 射线具有很强的贯穿能力，能穿透屏蔽材料对周围环境构成辐射污染， β 射线的射程很短，贯穿能力很弱。因此， γ 后装机的污染因子是 γ 射线及由 γ 射线产生臭氧及氮氧化合物等极微量有害气体。

8.2.3 模拟定位机

湖南益阳康雅医院拟配置 1 台模拟定位机，管电压 150kV，管电流 500mA。

(1) 工作原理

模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与医用加速器、钴机一样，因此它能准确地模拟加速器、钴机的一切机械运动。并通过模拟定位机的 X 线影像系统准确确定出肿瘤的照射

续表 8 项目工程分析与源项

位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。因为加速器的 X 线、电子线的 X 线能量很高，对组织密度和人体组织原子序数的分辨率很低，因此不能对人体骨、肺、肌肉等不同解剖部位起到透视作用，普通 X 线机又不具备加速器的机械功能和几何参数，所以加速器和普通 X 线机都不能代替模拟定位机。

模拟定位机在整个放射治疗计划设计过程中有着重要作用：

- 1) 靶区及重要器官的定位
- 2) 确定靶区（或危及器官）的运动范围
- 3) 治疗方案的确认
- 4) 勾画射野和定位、摆位参考标记
- 5) 拍射野定位片和证实片
- 6) 检查射野挡块的形状及位置

（2）工作流程

模拟定位机的操作依据 X 线检查单，核对摄影部位，确定投照条件，患者摆位屏气，曝光。一般患者静止躺在床上，由回转臂、上臂、下臂和治疗床中的各种运动来实现探测患区，使肿瘤中心在影视屏中心座标“十”字线的位置。调节准直器中铅门的大小，并通过旋转准直器，以便更好地定出肿瘤范围。使病患者部位在 X 射线照射下，通过影像增强器、分光器和摄像头到达图像监视屏，将病灶的大小、深度和具体位置清晰地显示在图像显示屏上，从而实现定位的目的。

（3）工作负荷

预计模拟定位机诊断病人数最多 20000 人/年，平均有效曝光时间 30s/人次，年有效曝光时间为 83.3h。

（4）产污分析

本项目的模拟定位机利用 X 射线对人体不同组织穿透力不同的原理，寻找病灶部位、形状及体积大小并予以定位、扫描，其中摄影用 X 线机用 X 线胶片代替荧光屏，永久记录被检部位影像。医院使用的 X 射线机采用激光打印，无

续表 8 项目工程分析与源项

洗片废水及废片产生。因此，其污染因子为：在开机期间，X 射线是污染环境的主要因子。

8.2.4 DSA 中心

数字减影血管造影（DSA）是利用影像增强器将透过人体后已衰减的未造影图像的 X 线信号增强，再用高分辨率的摄像机对增强后的图像作一系列扫描。扫描本身就是把整个图像按一定的矩阵分成许多小方块，即像素。所得到的各种不同的信息经模 / 数(A / D)转换成不同值的数字信号，然后存储起来。再把造影图像的数字信息与未造影图像的数字信息相减，所获得的不同数值的差值信号，经数 / 模(D / A)转制成各种不同的灰度等级，在监视器上构成图像。由此，骨骼和软组织的影像被消除，仅留下含有造影剂的血管影像，从而大大提高血管的分辨率。

（1）系统组成

血管造影机系统组成：

Gantry，俗称“机架”或“C 型臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括了数字平板探测器、球管、束光器等部件；专业手术床；Atlas 机柜，该机柜由 DL、RTAC、JEDI 构成；球管和数字平板探测器分别通过各自的水冷机控制温度；图像处理系统。

该项目设备采用平板探测器（FD）技术成像：FD 技术可以即时采集到患者图像，对图像进行后期处理，轻松保存和传送图像。

DSA 技术是常规血管造影术和计算机处理技术相结合的产物，其基本原理和技术为：X 线穿过人体各解剖结构形成荧光影像，经影像增强器增强后为电视摄像管采集。而形成视频影像。再经对数增幅和模/数转换形成数字影像。这些数字信息输入计算机处理后，再经减影、对比度增强和数/模转换，产生数字减影图像。

（2）操作流程

介入手术辅助治疗操作流程（DSA 血管造影）

医院拟开展的介入手术有：动脉介入治疗、静脉介入治疗、门脉系统介入治疗、心脏介入治疗、冠脉介入治疗、脑和脊髓血管介入治疗。

续表 8 项目工程分析与源项

介入手术时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺动脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于动脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达兴趣部位，进行介入诊断，留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。在手术过程中，操作人员必须在床旁并在 X 线导视进行。

8.2.6 III类 X 射线装置

本项目III类射线装置有 16 台，其设置情况为：医技楼负一层核医学科 SPECT/CT 1 台，放疗中心 1 台 CT 定位机；医技楼一层放射科 4 台 DR、2 台 CT、1 台数字胃肠机、1 台钼靶机和 1 台移动 DR；医技楼二层内窥镜中心 1 台 X 光机；医技楼四层手术中心 1 台小 C 臂机；门诊楼四层口腔科 1 台牙片机、门诊楼五楼体检中心 1 台 DR 机。

1、工作原理

X 射线机主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，装在聚焦环中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦环使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

2、工作流程

依据 X 线检查单，核对摄影部位，确定投照条件，患者摆位，然后曝光。

3、工作负荷

医院拟配置III类射线装置工作负荷见表 8-2。

续表 8 项目工程分析与源项

表 8-2 医院Ⅲ类射线装置工作负荷情况

序号	设备名称	工作负荷 (人次/年)	平均曝光时间 (s)	年最大曝光时间 (h)
1	模拟定位机	3000 人次/年	0.035s-6s	5h
2	CT 机定位	3000 人次/年	0.035s-6s	5h
3	CT 机	25000 人次/年	20s	138.9h
4	DR 机	20000 人次/年	0.1-0.5s	2.8h
5	数字胃肠机	10000 人次/年	≤2s	5.6h
6	钼靶机	3000 人次/年	≤2s	1.7h
7	移动 DR 机	4000 人次/年	0.1-0.5s	0.56h
8	X 射线机	10000 人次/年	≤2s	5.6h
9	小 C 臂机	4000 人次/年	≤5s	5.6h
10	牙片机	2200 人次/年	≤5s	3.1h
11	SPECT-CT	2000 人次/年	≤3s	1.76h

4、产污分析

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。所以，医院使用的 X 射线装置在非诊疗状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。医院使用 IP 板作为 X 射线成像的接受设备，使用激光相机出片，无洗片废水以及废片等固废的产生。

8.3 核医学科放射性同位素的应用

1、核医学科同位素使用情况

医院新建核医学科拟使用的放射性同位素有 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 试剂，其所用放射性同位素性能特性参数见表 8-3。

表 8-3 医院使用放射性同位素特性参数

核素	衰变类型	辐射能量 (keV)	毒性分组	半衰期	Γ 常数 ($\text{R.m}^2/\text{Ci.h}$)	操作方式	用途	来源
^{131}I	γ	364	中毒	8.04d	0.22	简单操作	甲亢治疗	外购
	β^-	610			/			
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	γ	141	低毒	6.02h	0.0075	简单操作	显像诊断	外购

续表 8 项目工程分析与源项

2、拟开展的放射性同位素应用工作原理和污染因子分析

应用 ^{99m}Tc 标记药物在 SPECT/CT 下开展显像诊断

(1) 工作原理 (^{99m}Tc 标记药物应用)

^{99m}Tc 标记的溶液以化合物形态存在，处于激发状态的 ^{99m}Tc 放出 0.141MeV 的 γ 射线后，跃迁为 ^{99}Tc 。 ^{99m}Tc 、 ^{99}Tc 同属低毒组核素。 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 可以口服，可以静脉注射。 ^{99m}Tc 标记的某些化合物或络合物，其化学性质各不相同，可以选择性地分布于不同的组织和器官里。正因为这个原因，治疗前才采用 ^{99m}Tc 的标记物来进行肝、肾、肺、心、血池、脾、淋巴、骨髓、脑池、脊髓、骨骼等器官的显影以及炎症、肿瘤等病理定位。

(2) ^{99m}Tc 标记药物的获得

医院拟从外购买 ^{99m}Tc 标记液配药直接供病人静脉注射。

(3) 注射 ^{99m}Tc 标记药物的病人在 SPECT/CT 下做显像诊断

SPECT/CT 由探测器(探头)、CT 部分、患者检查床和图像采集处理工作站四部分组成。

SPECT/CT 是指高端 SPECT 和多排螺旋 CT 结合成一体化的设备，即单光子发射计算机断层/X 线计算机断层扫描仪，不仅提供 SPECT 功能信息，而且提供诊断 CT 的解剖信息，能够将功能代谢和解剖结构结合显示成像。

SPECT 本身不发射任何辐射，常用 ^{99m}Tc 为标记药物，利用 SPECT 来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，还可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。叠加 CT 扫描的出的解剖结构图像，较早诊断骨骼、心脏和肿瘤等多种临床疾病优势明显。医院拟从外购买 ^{99m}Tc 标记液配药直接供病人静脉注射 ^{99m}Tc 标记药物的病人在 SPECT/CT 下做显像诊断流程图见图 8-4。

续表 8 项目工程分析与源项

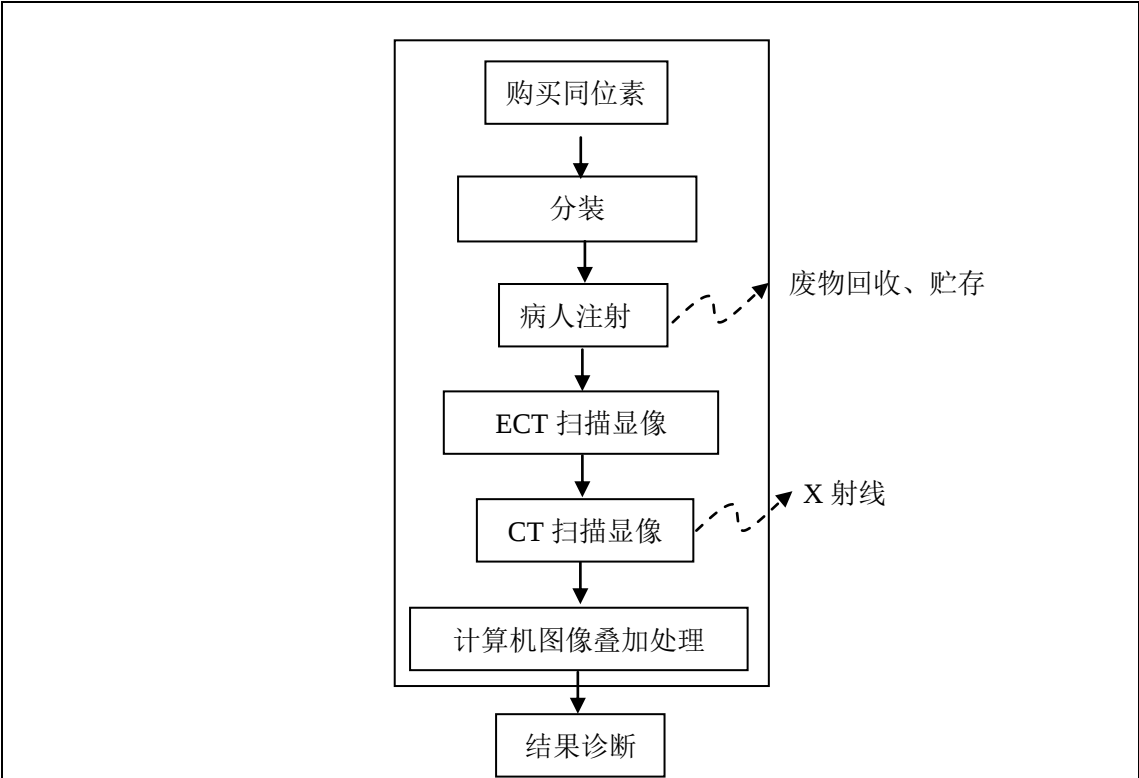


图 8-4 应用 ^{99m}Tc 标记药物在 SPECT/CT 下显像诊断流程图

(4) 工作负荷

根据医院提供资料，医院拟通过和病人沟通预约治疗时间，确认病人数量后进行药物购买，经质控合格的 ^{99m}Tc 溶液在通风橱下进行分装，分装针剂需要 5min，给病人注射 ^{99m}Tc 针剂 1 min，SPECT/CT 技术人员辅助病人上机检查 1min。

预计医院全年注射 ^{99m}Tc 标记药物进行显像诊断的病人约 2000 人，每例病人需注射 20mCi，日注射 ^{99m}Tc 标记药物扫描显像病人不超过 40 例，年最大用量约 40Ci。

SPECT/CT 预计工作负荷见表 8-4。

表 8-4 每台 SPECT/CT 工作负荷情况

序号	设备名称	类型	工作负荷（人次/年）	平均曝光时间
1	SPECT/CT	III类 X 射线装置	2000	≤3s

(5) 产污分析

^{99m}Tc 标记药物作 ECT 诊断对工作环境造成的影响主要是 ^{99m}Tc 标记溶液和注射标记液后的病人对工作人员的 γ 外照射、 ^{99m}Tc 洗脱液操作过程中对工作台

续表 8 项目工程分析与源项

面及地面等造成表面污染。由于 CT 模式扫描产生 X 射线，因此，应用 ^{99m}Tc 标记药物在 SPECT/CT 下开展显像诊断污染因子主要有 X 射线、 γ 射线、 β^+ 表面污染。

应用 ^{131}I 治疗甲亢

(1) 工作原理

治疗甲亢原理：甲状腺具有特异性浓集碘的功能，同样也浓集放射性 ^{131}I ，利用 ^{131}I 发出的 β 射线，使甲状腺组织受到长时间的集中照射，其腺体被破坏后逐渐坏死，代之以无功能的组织，降低甲状腺的分泌功能，从而使甲状腺激素的合成减少，达到控制甲亢的目的。

(2) 治疗流程

甲亢病人服药流程：甲亢病人服药剂量较小（每人单次剂量不超过 20mCi），在甲亢病人服药室服药后至服药病人休息室休息或由病人专门出口处离开回家。

甲亢病人服药时间：甲亢病人服药剂量较小，不专门安排统一时间服药。

治疗流程图见图 8-5。

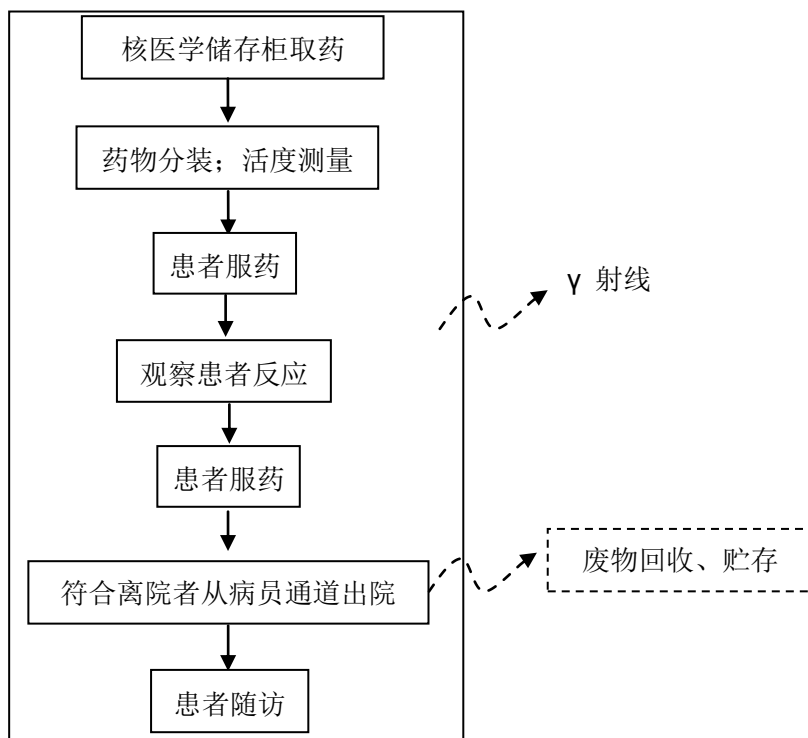


图 8-5 放射性核素治疗流程示意图示

(3) 工作负荷

续表 8 项目工程分析与源项

甲亢病人每人单次剂量不超过 20mCi, 日最多治疗 5 人次, 年治疗 240 人次。

(4) 污染因子

由操作流程可知, 放射性同位素在衰变过程中, 伴有 β 或 γ 射线, β 射线在组织中的射程较短, 病人的身体完全能够阻挡 β 射线。因此, 在评价时可以不考虑 β 射线的影响。因此, ^{131}I 治疗贯穿辐射的污染因子是 γ 射线。

另外, 医生在对放射性同位素制剂的操作中, 不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污, 造成 β 放射性表面污染。当沾有放射性污染的各种器械、地面、台面和工作人员手清洗时, 或病人的排泄物中都会使水中带有各种放射性同位素, 造成对水环境的污染。离子型的 ^{131}I 放射性药物易氧化析出 ^{131}I (单质碘)。医生在实验或给病人口服时, 都会产生固体废弃物 (如试管、注射器、手套等), 这些废弃物中都会有残余放射性同位素, 造成对固体废弃物的污染。

综上所述, 本项目放射诊断治疗及核医学项目污染因子见表 8-5。

表 8-5 本项目污染因子表

名称	污染物	主要污染因子
核医学科	电离辐射	γ 射线、 β 表面污染
	固体废物	放射性废物: 医生手套、病人服用的一次性纸杯、棉纱、废弃的活性炭;
	废气	少量含 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性废气
	废水	少量含 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性废水

8.4 本项目产生污染物产生情况汇总

医生在对放射性同位素制剂的操作中, 不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污, 造成 β 放射性表面污染。当沾有放射性污染的各种器械、地面、台面和工作人员手清洗时, 或病人的排泄物中都会使水中带有各种放射性同位素, 造成对水环境影响。离子型的 ^{131}I 放射性药物易氧化析出 ^{131}I (单质碘)。碘在常温下易挥发, 加热情况下碘挥发更快, 甚至升华, 产生放射性气溶胶。医生在实验或给病人打针时, 都会产生固体废弃物 (如试管、注射器、手套等), 这些废弃物中都会有残余放射性同位素, 成为放射性固体废弃物。

1、放射性废水

放射性废水主要来自工作人员操作过程中手部可能受到微量 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等标记液污染的洗手水和清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微

续表 8 项目工程分析与源项

量 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 标记液的清洗水及病人排泄物；放射性废液来自未用完的 ^{99m}Tc 标记液和购置未用完的含 ^{131}I 核素溶液。

医院新建核医学医护人员共 10 人，核医学工作人员用水 15L/人 d，核医学科门诊病人每天最大约 50 人（按各放射性药物日最大操作量诊断及治疗的病人数计算），假定病人在核医学科平均停留时间为 3 小时，排泄 1 次，使用专用厕所的节水型马桶冲洗，冲洗厕用水 6L/次。本医院核医学科不设置病房，核医学科放射性用水、排水情况见表 8-6。

表 8-6 核医学科放射性废水排放情况表

用水类别		用水定额	用水规模	用水量 (m ³ /d)	排水量 (m ³ /d)	去向
核 医 学 科	医护人员	15 L/人 班	10 人	0.15	0.162	进入衰变池处理后 后排入医院的总 污水处理设施， 再排入城市污水 管网。
	门诊病人	6 L/人 次	50 人	0.30	0.270	
	地面清洗	2L/50m ²	200m ²	0.01	0.009	
	未预见水量按以上水量的 10%计			0.046	0.0441	
总计			0.506	0.486		

注：排水量按用水量的 90%计算

2、放射性固体废物

固态放射性废物主要是核医学科产生的废棉签、注射器及试管、清洁用抹布等产生量约 200kg/a，在轮流使用的专用污物桶中衰减。污物桶具有外防护层和电离辐射警示标志，污物桶每个容积为 1m×0.5m×0.5m，放置于服药室、注射室、活性室等放射性废物可能产生工作场所。病房区服药室产生的 ^{131}I 包装物、病人被服、生活垃圾均属于放射性废物，分类暂存于污物间及暂存间内；注射室、活性室产生的放射性固废每日清运至放射性废物暂存间内按核素种类分类暂存至比活度小于或等于 $7.4 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 后运送至医院专用医疗垃圾容器内，与医院其他医疗废物一并处理，不会造成环境污染。核医学科集中排气系统内置的活性炭定期更换，按照放射性固废进行处理。类比同类型医院核医学，活性室、注射室放射性废物产生量约 60 kg/a，废活性炭产生量约 20kg/a。

其他非放射性医疗废物年产生量约 0.30t，交具有医疗垃圾处理资质的单位处理。

续表 8 项目工程分析与源项

3、废气

核医学科放射性废气主要是 ^{131}I 挥发情况下的碘挥发，产生放射性气溶胶。鉴于医院采用 ^{131}I 自动分装仪进行分装，气载放射性废气产生量较小。核医学科设置单独通风系统，每小时通风换气次数 4~6 次，换气量约为 $1000\text{m}^3/\text{小时}$ ，其中服药室 ^{131}I 自动分装仪设置有抽风装置和活性室 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装台设置抽风装置，整个核医学科通风自西南侧低活性区至东北侧病房高活性区，经专用管道由南侧外墙引至医技楼楼顶排放，排放口朝向医院西侧，避开院内人员活动密集区。

4、电离辐射

医院核医学科使用核素将产生 γ 射线和 β 表面污染；本项目拟配置的医用电子直线加速器仅在开机时产生 X 射线和电子线；DSA 及其他 III 类射线装置仅在开机时产生 X 射线，SPECT/CT 仅在使用 CT 模式下扫描产生 X 射线，经过机房防护墙体、防护铅门、铅玻璃等辐射防护设施的屏蔽，机房外的空气比释动能率满足评价标准限值要求，不会对周围产生辐射影响。

根据以上分析，本项目污染因子见表 8-7。

表 8-7 本项目主要污染因子一览表

阶段	名称	污染物	主要污染因子	产生量
运营期	放疗中心、DSA 介入室、放射科、口腔科、体检中心	电离辐射	X 射线	/
	核医学科	电离辐射	γ 射线、 β 表面污染	γ 射线：0.036~0.364 MeV β 射线：0.61~1.71MeV
		固体废物	放射性废物：医生手套、病人服用的一次性纸杯、棉纱、废弃的活性炭；	200kg/a
			医疗垃圾	0.3t
		废气	少量含 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性废气	/
		废水	少量含 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性废水	$0.486\text{m}^3/\text{d}$

表 9 环境质量现状

9.1 环境空气质量现状

9.1.1 本底监测

长沙市鹏悦环保工程有限公司（资质编号：201318084015）于 2015 年 7 月 24 日对湖南益阳康雅医院的辐射医疗场所拟安装地辐射环境本底值进行了监测。监测结果和监测布点见附件二，鹏辐（监）[2015]158 号。监测结果统计见下表。

(1) 放射科拟安装地							
序号	测量位置	地表 γ 辐射剂量率 (nGy/h)					
		测量值					计算值
		1	2	3	4	5	
1	病人通道	78	77	75	77	75	76.4 $\pm$ 1.34
2	公共控制室拟安装地	88	85	89	81	86	85.8 $\pm$ 3.11
3	DR 机 1 拟安装地	95	91	96	90	98	94 $\pm$ 3.39
4	DR 机 2 拟安装地	88	91	93	89	90	90.2 $\pm$ 1.92
5	DR40 机拟安装地	86	85	88	89	86	86.8 $\pm$ 1.64
6	钼靶机控制室 拟安装地	90	88	85	90	87	88 $\pm$ 2.12
7	钼靶机拟安装地	93	89	88	92	87	89.8 $\pm$ 2.58
8	过道	91	87	85	95	89	89.4 $\pm$ 3.84
9	注射室拟安装地	92	101	95	98	97	96.6 $\pm$ 3.36
10	DR 机 3 拟安装地	97	97	95	93	99	96.2 $\pm$ 2.28
11	CT 机 2 拟安装地	92	88	93	91	94	91.6 $\pm$ 2.30
12	CT 机 1 拟安装地	102	99	95	90	97	96.6 $\pm$ 4.50
13	数字胃肠机拟安装地	97	95	95	90	99	95.2 $\pm$ 3.35
14	厕所	91	98	95	90	97	94.2 $\pm$ 3.56
15	调钼室拟安装地	100	98	95	103	97	98.6 $\pm$ 3.05
16	过道	92	99	95	91	97	94.8 $\pm$ 3.35
17	数字胃肠机控制室 拟安装地	88	98	95	90	86	91.4 $\pm$ 4.98
18	CT 机 1 控制室 拟安装地	80	82	85	80	87	82.8 $\pm$ 3.11
19	CT 机 2 控制室 拟安装地	86	98	95	90	87	91.2 $\pm$ 4.62
20	DR 机 3 控制室 拟安装地	104	101	95	97	94	98.2 $\pm$ 4.20

(2) X 射线机拟安装地

序号	测量位置	地表 γ 辐射剂量率 (nGy/h)					
		测量值					计算值
		1	2	3	4	5	
1	X射线机拟安装地	85	90	88	87	89	87.8 $\pm$ 1.92
2	X射线机控制室 拟安装地	78	79	75	76	71	75.8 $\pm$ 3.11
3	过道	99	97	94	98	99	97.4 $\pm$ 2.07
4	纤喉镜室拟安装地	83	84	83	81	83	82.8 $\pm$ 1.10
5	过道	85	83	85	81	80	82.8 $\pm$ 2.28
6	过道	88	87	85	87	85	86.4 $\pm$ 1.34

(3) DSA 中心拟安装地

序号	测量位置	地表 γ 辐射剂量率 (nGy/h)					
		测量值					计算值
		1	2	3	4	5	
1	DSA1 拟安装地	88	87	89	87	85	87.2 $\pm$ 1.48
2	DSA2 拟安装地	91	95	89	87	86	89.6 $\pm$ 3.58
3	DSA3 拟安装地	92	94	96	97	98	95.4 $\pm$ 2.40
4	DSA 控制室 1 拟安装地	103	96	94	99	97	97.8 $\pm$ 3.42
5	过道	85	88	92	89	87	88.2 $\pm$ 2.59
6	DSA 控制室 2 拟安装地	92	95	88	90	92	91.4 $\pm$ 2.60
7	DSA 控制室 3 拟安装地	91	89	86	93	89	89.6 $\pm$ 2.60
8	设备间 3 拟安装地	101	98	95	96	97	97.4 $\pm$ 2.30
9	过道	88	94	95	92	87	91.2 $\pm$ 3.56
10	设备间 2 拟安装地	99	88	86	94	86	90.6 $\pm$ 5.72
11	设备间 1 拟安装地	91	89	93	92	86	90.2 $\pm$ 2.77

(4) 手术中心拟安装地							
序号	测量位置	地表 γ 辐射剂量率 (nGy/h)					
		测量值					计算值
		1	2	3	4	5	
1	清洁走廊	102	100	98	97	95	98.4±2.70
2	手术室 5 拟安装地	98	95	99	91	96	95.8±3.11
3	设备间 1 拟安装地	88	91	87	90	89	89±1.58
4	手术室 4 拟安装地	95	94	97	95	94	95±1.22
5	手术室 3 拟安装地	92	95	94	91	93	93±1.58
6	手术室 2 拟安装地	86	89	86	90	84	87±2.45
7	手术室 1 拟安装地	85	88	89	92	89	88.6±2.50
8	治疗室拟安装地	88	89	87	86	89	87.8±1.30
9	杂物间	94	92	95	91	94	93.2±1.64
10	走廊	99	98	96	95	97	97±1.58
11	药品库拟安装地	100	102	99	98	101	100±1.58
12	手术库 9 拟安装地	98	99	95	94	96	96.4±2.07
13	前室 2 拟安装地	99	98	97	96	98	97.6±1.14
14	手术库 8 拟安装地	100	98	94	95	97	96.8±2.39
15	设备间 2 拟安装地	88	89	85	88	84	86.8±2.17
16	手术库 7 拟安装地	95	93	95	93	96	94.4±1.34
17	前室 1 拟安装地	92	94	95	92	94	93.4±1.34
18	手术库 6 拟安装地	89	85	87	90	86	87.4±2.07
19	体外循环室拟安装地	89	85	84	86	87	86.2±1.92
20	清洁走廊	99	94	92	97	95	95.4±2.70
21	清洁走廊	94	97	96	95	97	95.8±1.30

(5) 牙片机拟安装地

序号	测量位置	地表 γ 辐射剂量率 (nGy/h)					
		测量值					计算值
		1	2	3	4	5	
1	牙片机拟安装地	86	90	87	92	88	88.6 $\pm$ 2.40
2	牙片机控制室 拟安装地	86	82	87	88	89	86.4 $\pm$ 2.70
3	过道	96	94	91	95	93	93.8 $\pm$ 1.92
4	过道	100	97	94	99	101	98.2 $\pm$ 2.77
5	过道	95	99	95	97	98	96.8 $\pm$ 1.79

(6) 体检中心 DR 拟安装地

序号	测量位置	地表 γ 辐射剂量率 (nGy/h)					
		测量值					计算值
		1	2	3	4	5	
1	DR机拟安装地	88	90	87	93	92	90 $\pm$ 2.55
2	DR机控制室 拟安装地	97	94	95	96	91	94.6 $\pm$ 2.30
3	过道	99	102	96	94	99	98 $\pm$ 3.08
4	过道	94	97	92	91	93	93.4 $\pm$ 2.30
5	清洁室拟安装地	88	86	85	89	83	86.2 $\pm$ 2.39

(7) 放疗中心拟安装地							
序号	测量位置	地表 γ 辐射剂量率 (nGy/h)					
		测量值					计算值
		1	2	3	4	5	
1	过道	88	87	89	85	83	86.4 $\pm$ 2.40
2	直线加速器控制室 1 拟安装地	85	88	86	81	82	84.4 $\pm$ 2.88
3	准备室 1 拟安装地	97	96	94	92	97	95.2 $\pm$ 2.17
4	直线加速器 1 拟安装地	99	101	92	94	91	95.4 $\pm$ 4.39
5	准备室 2 拟安装地	77	79	78	74	76	76.8 $\pm$ 1.92
6	直线加速器 2 拟安装地	88	84	82	81	82	83.4 $\pm$ 2.79
7	直线加速器控制室 2 拟安装地	93	92	97	96	93	94.2 $\pm$ 2.17
8	准备室 3 拟安装地	92	91	95	93	99	94 $\pm$ 3.16
9	后装机拟安装地	104	98	102	96	97	99.4 $\pm$ 3.44
10	后装机控制室 拟安装地	96	87	93	90	86	90.4 $\pm$ 4.16
11	过道	97	95	95	94	97	95.6 $\pm$ 1.34
12	水冷机房拟安装地	92	98	92	93	91	93.2 $\pm$ 2.77
13	候诊中心	101	96	97	94	96	96.8 $\pm$ 2.59
14	登记室拟安装地	99	96	95	96	94	96 $\pm$ 1.87
15	PCT 控制室拟安装地	100	98	97	92	95	96.4 $\pm$ 3.05
16	PCT 拟安装地	95	98	96	94	97	96 $\pm$ 1.58
17	模拟定位机拟安装地	88	85	89	90	87	87.8 $\pm$ 1.92
18	模拟定位机控制室 拟安装地	87	89	85	92	86	87.8 $\pm$ 2.77
19	医护区	88	86	84	90	87	87 $\pm$ 2.24
20	医疗主街	102	98	95	97	97	97.8 $\pm$ 2.59

(8) 核医学科拟安装地

序号	测量位置	地表 γ 辐射剂量率 (nGy/h)					
		测量值					计算值
		1	2	3	4	5	
1	核医学科拟安装地	77	82	79	77	76	78.2 $\pm$ 2.39
2	核医学科拟安装地	89	86	84	87	86	86.4 $\pm$ 1.81
3	核医学科拟安装地	94	92	96	98	92	94.4 $\pm$ 2.60
4	核医学科拟安装地	87	84	89	87	88	87 $\pm$ 1.87
5	核医学科拟安装地	94	95	98	99	96	96.4 $\pm$ 2.07
6	高压氧室拟安装地	94	92	95	93	97	94.2 $\pm$ 1.92
7	食堂拟安装地	92	95	93	91	97	93.6 $\pm$ 2.40
8	放疗中心拟安装地	100	98	95	97	102	98.4 $\pm$ 2.70

根据监测结果，项目拟建址的地表 γ 辐射剂量率在 75.8-99.4nGy/h 之间，本项目拟建址的环境地表 γ 辐射剂量率在正常波动范围内，辐射环境质量现状良好。

表 10 环境影响分析

10.1 施工期环境影响分析

本项目土建部分评价已在《湖南益康达医疗投资有限公司中南大学湘雅三医院益阳医院建设项目环境影响报告书》中做了评价，本项目将不对其施工期进行评价，仅对设备安装和辐射防护进行评价。

10.2 运营期辐射防护屏蔽效能核实及影响分析

10.2.1 直线加速器机房效能核实及影响分析

(1) 机房现有屏蔽情况

根据医院提供的设计资料，直线加速器室由治疗室（机房）、迷道、控制室及其他辅助机房。

医院放疗中心直线加速器机房：治疗室（不含迷道）内空几何尺寸 8m（长）×8m（宽）×3.9m（高），内门洞 2.5×3.9m（宽×高），外门洞 2.2×3.9m（宽×高）；。主防护墙厚：东、西墙厚 2.8m，宽为 4.6m，次防护墙厚 1.6m；北墙厚 1.6m；南墙 1.5m；迷道呈“L”型，迷道长 7.25m、较宽的部分为 2.4m、高 3.9m；天棚厚 2.9m，宽为 4.0m，次防护墙厚 1.6m。

直线加速器的主射方向为东-西方向，不向迷道照射，六面墙体均为混凝土结构（ ρ 不小于 2.35g/cm^3 ）。

续表 10 环境影响分析

表 10-1 15MV 直线加速器机房设计情况

项目名称			加速器机房
几何尺寸	不含迷道的机房尺寸 m（长×宽×高）		8×8×3.9
	迷道尺寸 m（长×宽×高）		宽：7.25×2.2×3.9
	迷道外门洞 m（宽×高）		2.2×3.9
	迷道内防护门 m（宽×高）		1.3×2.15
	迷道形状		“L”型
	机房面积(m ²)		64
	机房内表面积(m ³)		270
	迷道面积(m ²)		16
防护厚度	东、西墙	主防护墙厚度(m)	2.8 砵
		主防护墙带度(m)	4.6
		次防护墙厚度(m)	1.6 砵
	北墙	防护墙厚度(m)	1.6 砵
	南墙	侧防护墙厚度(m)	1.5 砵
	顶棚	主防护顶厚度(m)	2.9 砵
		主防护顶带度(m)	4.0
		次防护墙厚度（m）	1.6 砵
	迷道内墙、外墙厚度(m)		内墙宽 1.5 砵、窄 0.8/外墙宽 1.5 砵、窄 1
	防护铅门（mm）		待定

(2)、治疗室建筑物屏蔽墙厚的确定原则

在计算散射和泄漏辐射所需的屏蔽厚度时,如果两者的厚度相差大于一个十分之一值厚度,则其中较厚的一个厚度,即可作为次级防护屏障的厚度。如若两者的厚度相差不到一个十分之一值厚度,那么在其中较厚的一个厚度上再添加一个半值厚度,作为总的次级防护屏障厚度。

(3) 机房屏蔽防护效能核实计算过程

直线加速器室地面之下为泥土层,人员无法到达,因此本评价不进行上述部分的屏蔽效能校核。

续表 10 环境影响分析

本评价使用直线加速器的常用输出剂量率 70~1000cGy/min 核算墙体屏蔽效能。

本评价采用《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）中的公式进行计算。

在辐射屏蔽设计时，辐射源点至关注点的距离参数中，屏蔽体的厚度初始取为表 10-2 的预设加速器机房的屏蔽厚度。

表 10-2 预设加速器机房屏蔽厚度

最高治疗 X 射线 (MV)	不同屏蔽区的砼屏蔽厚度 (cm)	
	主屏蔽区	次屏蔽区
>10	280	160

注：此表仅用于在屏蔽设计时估算辐射源点至关注点的距离。

1) 有效屏蔽厚度：

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad X = X_e \cdot \cos \theta$$

式中：X—屏蔽物质厚度；

X_e —有效屏蔽厚度。

2) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系：

$$B = 10^{-(X_e - TVL - TVL_1)/TVL}$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL)$$

式中：B—辐射屏蔽透射因子；

TVL_1 —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度。

3) 有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad \dot{H}_c = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$$

式中： $\dot{H}_c$ —参考点剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ （以 $\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 为单位的值乘以 6×10^7 ）；本项目直

续表 10 环境影响分析

线加速器的剂量率为 70~1000cGy/min，类比其他医院直线加速器的实际使用情况，本评价取 600 cGy/min 作为本项目直线加速器的常用最高剂量率。

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f 一对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射为泄漏辐射比率。

主屏蔽墙、侧屏蔽墙、迷道内墙、迷道外墙屏蔽计算各参数取值如下表 10-1 所示。

4) 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量率估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_o \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_o \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B$$

式中： $\dot{H}_c$ —参考点剂量率参考控制水平，μSv/h；

$\dot{H}_o$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙屏蔽厚度计算各参数取值如下。

5) 加速器(>10MV)机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

① 总中子注量 Φ_B

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S}$$

式中： Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/m²）/Gy；

Q_n —在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy；

d_1 —等中心点 o 至 B 点的距离，m；

续表 10 环境影响分析

S—治疗机房的总内表面积（m²），包括四壁墙、顶面和地面，不包括迷路内各面积；

该公式用于铅屏蔽加速器机头，对于钨屏蔽的加速器机头，式中第一项和第二项均乘以衰减因子 0.85。

② 机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率（ $\dot{H}_\gamma$ ）

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0$$

式中：6.9×10⁻¹⁶—该方法中的经验因子，Sv/(中子数/m²)；

Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/m²）/Gy；

d_2 —B 点至机房入口（g）的距离，m；

TVD—将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离），对于 15MV 加速器为 3.9m；

$\dot{H}_0$ —等中心点处治疗 X 射线剂量率（μGy/h），屏蔽计算可视为（μSv/h）。

③ 机房入口的中子剂量率（ $\dot{H}_n$ ）

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

式中：2.4×10⁻¹⁵—该计算方法中的经验因子，Sv/(中子数/m²)；

S_0 —迷路内口的面积，m²；

S_1 —迷路横截面积，m²；

d_2 —B 点到迷路入口（g）的距离，m；

T_n —迷路中能量相对高的中子剂量组分式方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离（m），称为什值距离。 T_n 是一个经验值，与迷路横截面积有关。

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1}$$

④ 入口门屏蔽

入门口屏蔽设计时，通常使中子和中子俘获 γ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获 γ 射线，以铅屏蔽；对中子，以含硼（5%）聚乙烯屏蔽，所

续表 10 环境影响分析

需的屏蔽防护厚度 X_γ 和 X_n 如下式：

$$X_\gamma = TVL_\gamma \cdot \log \left[2 \dot{H}_\gamma / (\dot{H}_c - \dot{H}_{og}) \right]$$

$$X_n = TVL_n \cdot LOG \left[2 \dot{H}_n / (\dot{H}_c - \dot{H}_{og}) \right]$$

式中： X_γ 和 X_n 分别为屏蔽中子俘获 γ 射线和中子这两种辐射的不同屏蔽材料的厚度，cm；

TVL_γ 和 TVL_n 分别为中子俘获 γ 射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层，cm；

$\dot{H}_\gamma$ 和 $\dot{H}_n$ 分别为入口处防护门内的辐射剂量率；

$\dot{H}_c$ 为剂量率控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_{og}$ 为穿过迷路内墙的泄漏辐射在入口处的剂量率。

计算铅门的屏蔽厚度所用参数见表 10-3。

表 10-3 计算铅门屏蔽厚度所用参数表

参 数	单 位	取 值	备 注
		直线加速器	
Q_n	中子数/Gy	7.6×10^{11}	NCRP No.151 表 B.9 查出
d_1 (o-B)	m	7.5	测量出
S	m^2	270	实际设计内表面积
d_2 (B-g)	m	10.5	测量出
TVD	m	3.9	GBZ/T201.2—2011
$\dot{H}_o$	$\mu\text{Gy/h}$	2.4×10^8	常用最高剂量率
S_0	m^2	9.75	迷道内口面积（宽×高）
S_1	m^2	8.58	最小的迷道横截面积（宽×高）
TVL_γ	cm	3.1	GBZ/T201.2—2011 附录 C 查得
TVL_n	cm	4.5	GBZ/T201.2—2011 附录 C 查得
带宽	cm	4.6	GBZ/T201.2—2011
主副墙	cm	280/160	GBZ/T201.2—2011

续表 10 环境影响分析

⑤ 低原子序数（Z）屏蔽材料等效换算：

$$x_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times x_2$$

x_1 和 x_2 —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的厚度；

ρ_1 和 ρ_2 —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的密度。

直线加速器室墙体厚度核实结果见表 10-4。

续表 10 环境影响分析

表 10-4 直线加速器室墙体屏蔽核实结果（混凝土 ρ =2.35g/cm3）							
核实部位		计算参数	安全剂量下所需厚度（cm 砼）	设计厚度（cm 砼）	建议厚度（cm 砼）	建议厚度下的瞬时剂量（μSv/h）	设计条件下是否满足辐射屏蔽要求
东墙、西墙（主屏蔽墙）	主屏蔽墙（主射 a、b 点）	R=6.8 H ₀ =2.4×10 ⁸ H _C =2.5 f=1	210	280	280	0.01	是
	副墙（散、漏射 c、d 点）	R=7.6 H ₀ =2.4×10 ⁸ H _C =1.25 f=0.01	122.3	160	160	0.15	是
	带宽	/	380	460	460	/	是
北墙（侧屏蔽墙）	散、漏射（e 点）	R=5.6 H ₀ =2.4×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.01	141.3	160	160	/	/
迷道内墙	散、漏射（g 点）	R=9.37 f=0.01 H _C =0.5	133.4	150	150	1.25	是
迷道外墙	漏射，无内墙遮挡部分（k 点）	R=10.4 H ₀ =2.4×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.01	105	150	150	0.41	是
内墙+外墙	散、漏射（f 点）	R=8.7 H ₀ =2.4×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.01	144.9	80+100	80+100	0.01	是
顶棚	主屏蔽墙（主射 l 点）	R=6.8 H ₀ =2.4×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.01	210	290	290	0.01	是
	副墙（散、漏射 m ₂ 点）	R=5.85 H ₀ =2.4×10 ⁸ H _C =1.25 f=0.01	148.6	160	160	0.23	是
	带宽	/	90	160	160	/	是
防护门（B-P-g 点）		见表 10-3	2.10cm 铅 + 10.0cm 含硼 5% 的聚乙烯	未设计	2.10cm 铅 + 15.0cm 含硼 5% 的聚乙烯	<u>0.54</u> （中子： <u>0.11</u> ）	是

备注：安全剂量下所需厚度取值时均按最大值取；建议厚度为本评价从经济角度考虑为建设单位提出的，仅作参考，建筑结构材质及质量是否符合要求由业主应找专业机构核实建设；瞬时剂量按建议厚度条件下计算，更能反映最不利影响。因直线加速器在照射时产生

续表 10 环境影响分析

的 γ 射线和铅门反应会产生中子，故采用含硼 5%的聚乙烯来屏蔽中子，直线加速器摆放于机房内的正中位置。

根据表 10-4 计算可知，在现有设计墙体厚度条件下，直线加速器室墙体厚度均能满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的要求。

建设单位未对防护门进行设计，因此，本评价要求建设单位必须严格按照本评价的建议厚度进行防护门设置，即直线加速器室的防护门至少含有 2.10cm 铅+11.0cm 含硼 5%的聚乙烯或具有同等屏蔽效能的材料。

在采取本评价提出的要求后，直线加速器室对 X 射线和中子的总体屏蔽效能满足辐射防护要求。

在采取本评价提出的要求后，直线加速器室对 X 射线和中子的总体屏蔽效能满足辐射防护要求。

(3) 剂量估算

1) 估算公式

X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{\text{Er}} = H^*(10) \times T \times t \times 10^3 \dots\dots\dots (5-6)$$

其中： H_{Er} ：X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量当量，mSv；

$H^*(10)$ ：X 或 γ 射线周围剂量当量率， μ Sv/h；

T：居留因子（辐射工作人员 T=1，公众成员 T=1/16）；

t：X 或 γ 射线照射时间，小时。

2) 估算结果

①直线加速器辐射工作人员

根据医院提供的年最大工作负荷，按照 1 名工作人员负责完成 1 台设备的操作，则直线加速器辐射工作人员年有效剂量当量估算结果见表 10-5。

表 10-5 直线加速器辐射工作人员年有效剂量当量估算表

设备名称	控制室处剂量率 (迷道外墙处)	居留因子	单台设备年最大有效 开机时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
直线加速器	0.41 μ Sv/h	1	66.7	0.027

根据上述核算，直线加速器的放射工作人员年受照剂量均为 0.027mSv/a，低于环评的管理目标值 2mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

续表 10 环境影响分析

(GB18871-2002) 的要求。

② 非辐射工作人员和公众成员

直线加速器机房外有非辐射工作人员和公众成员活动,但很少经过直线加速器机房。本项目辐射设备所致的公众成员年有效剂量当量估算结果见表 10-6。

表 10-6 非辐射工作人员和公众成员年有效剂量当量估算表

设备名称	墙体外最大剂量率	居留因子	单台年最大有效开机时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
直线加速器	0.41 μ Sv/h	1/4	66.7	0.007

由表 10-6 可知,取非辐射工作人员和公众成员可能到达机房外的瞬时剂量最大值进行计算,0.1mSv/a (其他工作人员和公众成员),满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

(4) 有害气体分析

①感生放射性废气

加速器工作时,在加速器厅内,束流传输隧道的空气活化后,产生的感生放射性核素主要是 ^{15}O 、 ^{13}N 。 ^{15}O 半衰期是 124s, ^{13}N 半衰期是 10min; 中子引起加速器冷却活化,产生感生放射性核素主要是 ^{15}O 、 ^{16}N , 半衰期分别是 2.1min 和 7.3s。因此,直线加速器停止工作后,建议 3min-5min 后再进入工作场所,则感生放射性核素的活度可衰减到可忽略的水平。

②臭氧和氮氧化物

X 射线与空气作用,产生少量的臭氧和氮氧化物等废气,直线加速器室通风换气次数应不小于 4 次 h 的条件下,臭氧和氮氧化物浓度为甚小,少量的有害气体直接与大气接触、不累积,很快被空气的对流、扩散作用所稀释,不会影响机房外大气环境质量的等级。

(5) 对敏感点的影响分析

根据上述分析,机房按照本评价要求建设后,机房外 30cm 处的剂量当量率低于 2.5 μ Sv/h,满足评价标准要求;根据核算,直线加速器运行后对周围公众成员的年附加有效剂量低于 0.1mSv/a,满足评价标准要求;废气的浓度远远低于国家标准要求,对机房外环境影响很小,因此对医院内其他区域的影响也很小。

续表 10 环境影响分析

机房外，本项目用房最近敏感点为紧邻的食堂，直线加速器运行时对其产生的辐射影响很小，对更远的敏感点产生的影响将更小，环境敏感点可接受。

10.2.2 模拟定位机机房效能核实及影响分析

根据医院提供的资料，由于拟建项目正处于设计阶段，防护门、观察窗材料还未确定。

(1) 机房建设情况

模拟室由机房、控制室组成。机房内空尺寸 6m×8.12m×5.5m。机房四周墙体均为 24cm 实心页岩砖 ($\rho=1.65\text{g/cm}^3$)，顶棚厚 38cm 混凝土 ($\rho=2.35\text{g/cm}^3$)；楼上为 1F 厕所，地面之下为泥土层（人员无法到达）；东墙体外为 PCT 机房；南侧为医护区；北墙设置有防护门（屏蔽厚度未定），外面为过道；南墙设置有观察窗，外面为控制区（屏蔽厚度未定）。

机房的面积情况见表 10-7 所示。模拟室的使用面积满足标准要求。

表 10-7 机房面积统计情况

房间功能	机房面积 (m^2)	标准要求 (m^2)	是否满足要求
模拟室	48.72 单边长度最短 6m	不小于 20 (单边长度不小于 3.5m)	是

(2) 机房屏蔽防护要求

医院放射科使用的 X 射线装置均为诊断设备。根据《医用 X 射线诊断卫生防护标准》(GBZ130-2013) 的要求：透视机房中有用线束方向和非有用线束方向墙体厚度铅当量均不小于 1mm 的防护厚度。

(3) 机房屏蔽效能核实

根据 GBZ130-2013 中表 D.4 中的数据进行换算得出：在 150kV 电压条件下，24cm 厚的实心页岩砖 ($\rho=1.65\text{g/cm}^3$) 墙体屏蔽能力相当于 2.8mmPb，37cm 厚的混凝土 ($\rho=2.35\text{g/cm}^3$) 墙体屏蔽能力相当于 5mmPb。因此，在现有设计条件下，模拟室四周墙体及顶棚的屏蔽能力能满足辐射防护要求。

因建设单位对观察窗、防护门的屏蔽厚度尚未设计，且模拟定位机主射方向尚未确定，本评价要求建设单位确保观察窗、防护门的屏蔽能力不小于 2.5mmPb 当量。在此基础上，机房屏蔽体外的辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，机房的屏蔽能力才能满足辐射防护的要求。

(4) 个人剂量估算

续表 10 环境影响分析

① 辐射工作人员

根据医院提供的资料，模拟定位机年工作次数最多为 3000 人，平均曝光时间 0.035-6s/人，则年工作时间为 5h。机房外周围剂量当量率限值 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，则辐射工作人员受到的年有效剂量为 0.0125mSv/a ，低于评价限值 2mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

② 非辐射工作人员和公众成员

因非辐射工作人员和公众成员很少经过模拟室，模拟定位机机房外的非辐射工作人员和公众成员的停留因子取 1/4，则非辐射工作人员和公众成员受到的年有效剂量为 0.003mSv/a ，小于本评价管理目标限值 0.1mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

（5）有害气体影响分析

X 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物等废气，模拟室通风换气次数应不小于 4 次 h 的条件下，臭氧和氮氧化物浓度为甚小，少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流、扩散作用所稀释，不会影响机房外大气环境质量的等级。

（6）对敏感点的影响分析

根据上述分析，机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足评价标准要求；根据核算，模拟定位机运行后对周围公众成员的年附加有效剂量低于 0.1mSv/a ，满足评价标准要求；废气的浓度远远低于国家标准要求，对外环境影响很小对机房外环境影响很小，因此对医院内其他区域的影响也很小。

机房外，本项目用房最近敏感点为紧邻的内科楼，模拟室运行时对其产生的辐射影响很小，对更远的敏感点产生的影响将更小，环境敏感点可接受。

10.2.3 DSA 环境影响分析

1、机房设计情况

根据设计资料。本项目 DSA 放置在 DSA 机房内，3 个 DSA 机房设置在一起，型号一致，本评价选取机房面积最小的 DSA3 机房进行计算，机房内空尺寸为： $9.5\text{m} \times 5.5\text{m} \times 4.2\text{m}$ ，机房面积为 52m^2 ，大于 30m^2 ，满足相关标准要求。机房的地板为 40cm 砣，天棚为 12cm 混凝土+2mmPb，机房墙体、防护门和观察

续表 10 环境影响分析

窗未有设计厚度。根据医院设计情况，该 DSA 安装在机房的中央处。DSA 机房位于医技楼三层，楼上层为 ICU 大厅，楼下层为血库，东侧为控制间，南北侧为过道。

2、屏蔽防护效能核实

(1) 核实建筑物屏蔽效能采用的主要公式

介入手术室辐射场由三种射线组成：主射线、散射线、漏射线

①主射线：

$$\dot{H} = \frac{H \times q \times U}{K \times R^2} \quad (\text{式 10-13})$$

$$H = \dot{G} \times I \times 60$$

式中：K——减弱倍数；

H——血管造影系统额定工作条件下，X 线的输出率（Gy/h）；

I——血管造影系统额定电流（mA）；

$\dot{G}$ ——血管造影系统发射率，管电压为 120kV（在实际使用中 DSA 使用电压不会超过额定电压 150 kV 的 80%，因此本项目取额定管电压的 80%进行计算）的 DSA 发射率取 6.67 mGy /mA.min；

$\dot{H}$ ——屏蔽体外 30cm 处瞬时剂量率（Gy/h）；1 $\mu\text{Sv/h} \approx 1.4 \mu\text{Gy/h}$

R——参考点距离(m)；

q——居留因子（取 1）

U——定向因子（取 1）

②散射线：

$$\dot{H} = \frac{H \times \alpha \times q \times S}{K \times R^2 \times r^2} \quad (\text{式 10-14})$$

式中： α ——人体散射系数，0.0016/400cm²。

s——散射面积，取 400cm²。

R——参考点距离(m)。

r——源皮距，1m。

③漏射线

续表 10 环境影响分析

$$\dot{H} = \frac{H_1 \times q}{K \times R^2} \quad (\text{式 10-15})$$

式中： H_1 ——X 漏射剂量率（<1mGy/h）；

④厚度：

$$d = TVL \log K \quad (\text{式 10-16})$$

式中：TVL——材料十值层厚度（cm）；

d——屏蔽材料厚度（cm）

$$E_{\gamma'} = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (\text{式 10-17})$$

⑤

式中： $E_{\gamma'}$ ：散射光子的能量（MeV）

E_0 ：入射光子的能量（MeV）

$m_0 c^2$ ：电子静止能量（MeV）

θ ：散射角（90°）

（2）核算参数

本项目选取最不利的 3#机房的 DSA 进行屏蔽防护的估算。由于 X 射线装置在实际应用中并不会满负荷运行，在考虑正当性及最优化原则的基础上，结合以往验收监测经验，选取 X 射线机的最大运行管电压 120kV 取额定电压 150 kV 的 80%进行计算），对 DSA 机房的屏蔽防护进行估算。

另外，本评价按照国家标准和相关规定要求，确定机房墙体、门和观察窗外表面 0.3m 处，楼上层离地 1m 处，楼下层离地 1.7m 处空气比释动能率均按 2.5μSv/h 进行估算。

DSA 主射方向朝向机房地面，在进行照射时设备机头可以进行旋转，因此按有用射线束朝向四周墙体、顶棚、防护门和观察窗等直接照射，因此本评价采用式 10-13 对 DSA 系统机房的辐射安全防护评价估算。

在计算散射和泄漏辐射所需的屏蔽厚度时，如果两者的厚度相差大于一个十分之一值厚度，则其中较厚的一个厚度，即可作为次级防护屏障的厚度。如若两

续表 10 环境影响分析

者的厚度相差不到一个十分之一值厚度,那么在其中较厚的一个厚度上再添加一个半值厚度,作为总的次级防护屏障厚度。

机房建筑屏蔽材料常用材料为混凝土、砖、铅等,其密度分别为:页岩砖密度 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$,混凝土密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$,铅密度 $11.34\text{g}/\text{cm}^3$,重晶石密度 $3.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。 90° 散射角的散射线能量约为 97kV ,漏射线能量为 120 kV 。各屏蔽材料的 TVL 值见表 10-8。

表 10-8 各屏蔽材料的 TVL 值

能量	屏蔽材料	TVL 值
97kV	砼	5.3cm
	硫酸钡水泥	3.6cm
	铅	0.80mm
	页岩砖	6.7cm
120kV	砼	6.2cm
	硫酸钡水泥	4.2cm
	铅	0.89mm
	页岩砖	7.9cm

(3) 居留因子

表 10-9 居留因子

全部居留 $T=1$	工作室、办公室、候诊室、居住区等常有人居留的地方
部分居留 $T=1/4$	公共走廊、人操纵的电梯、无人看管的停车场等有时有人居留的地方
偶然居留 $T=1/16$	公共浴室、厕所、少量行人车辆通过的地方

续表 10 环境影响分析

表 10-10 DSA 机房屏蔽核算结果

墙体名称			设计厚度	距离 R (m)	理论计算厚度	设计厚度是否满足要求	最终确认建设厚度	最终确认厚度下的瞬时剂量 ($\mu\text{Gy/h}$)
南墙 (准备间)	墙体	主射	待定	约 4.75	3.27mmpb	/	3.5mmpb	1.39
	防护门	主射	待定	约 4.75	3.27mmpb	/	3.5mmpb	1.39
西墙 (DSA2#机房)		主射	待定	约 2.75	3.7mmpb	/	4mmpb	1.14
北墙 (过道)	墙体	主射	待定	约 4.75	3.27mmpb	/	3.5mmpb	1.39
东墙 (控制室)	墙体	主射	待定	约 2.75	3.7mmpb	/	4mmpb	1.14
	观察窗	主射	未定	约 2.75	3.7mmpb	/	4mmpb	1.14
顶棚 (屋顶花园)		主射	12cm 混凝土+2mmPb	约 4.3	12cm 砼+1.9mmPb	是	12cm 混凝土+2mmPb	0.87
地板 (彩超室)		主射	40cm 混凝土	约 4.7	22.6cm 砼	是	40cm 混凝土	0.004

根据上述计算可知，DSA 机房四周墙体设计能满足要求，DSA 顶棚和地板设计厚度不能满足要求，建设单位应按本环评提出的 DSA 机房的最终确认厚度进行建设。建设单位按照本环评最终确认厚度进行建设后墙体外的开机监测瞬时剂量小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足辐射防护的要求。在评价范围内的敏感点受 X 射线装置运行时的影响很小，环境可接受。

3、剂量估算

计算公式参照式 10-12，计算结果如下：

① 辐射工作人员剂量估算

控制室工作人员：由表 10-8 显示，控制室内辐射工作人员受到的瞬时剂量为 $1.14\mu\text{Gy/h}$ ，工作时间为 51.1h/a，则算出年附加有效剂量最大为 0.058mSv/a ，小于 4mSv/a 。

手术室医护人员：

一台血管减影手术，导视 X 线机工作条件：电压 120kV，最大电流 280mA，开展外周血管手术部位，照射视野 $10\times 10\text{cm}$ 工作人员在床旁操作，距离 0.5m，总的开机时间平均为 15min。经计算工作人员的受照剂量大约为 27.5mSv ，已严重超过国家标准规定的剂量管理目标值 (4mSv/a)。

续表 10 环境影响分析

$$\dot{H} = \frac{\dot{G} \times I \times t \times s \times \alpha}{r^2 \times R^2 \times 400} = 27.5 \text{mSv}$$

式中: $\dot{G}$ ——X 线机发射率 (6.67mGy/ mA.min)

I——电流(280mA)

t——时间(15min)

s——散射面积(100cm²)

α -人体表面散射系数(0.00098/400cm²)

r——源皮距(1m)

R——操作位距病人距离 (0.5m)

当医生穿戴铅衣、铅手套、铅帽、铅眼镜等和利用移动屏蔽设施 (铅玻璃、铅帘等) 进行防护 (铅当量为 2.5mm) 后 (120kV 散射光子能量约为 97keV, 97keV 铅的十值层厚度为 0.8mmPb), 医务工作人员所受剂量可以减少 1333 倍, 开展介入手术的同一名医生每年最多只能开展介入手术 290 台, 在该次数内可以保证该工作人员受照剂量不超过剂量管理目标值 (4mSv/a)。

本项目 1 台 DSA 设备共配备两名工作人员 (医生), 年手术台数约为 200 台/年, 则两名工作人员年进行介入手术约为 100 台, 因此, 工作人员在进行介入手术时, 在尽可能采用小视野, 穿戴防护用品(铅衣服、铅背心、铅手套、铅帽、铅眼镜), 并充分利用专用的移动式屏蔽物 (悬挂式铅玻璃、铅帘) 等情况下, 其个人的受照剂量约为 1.38 mSv/a, 能够满足 GB18871-2002 的要求。

② 非辐射工作人员

DSA 机房外有, 楼下彩超室的非辐射工作人员受 DSA 影响最大。本项目辐射设备所致的非辐射工作人员年有效剂量当量估算结果见表 10-11。

表 10-11 非辐射工作人员年有效剂量当量估算表

设备名称	彩超室最大剂量率	居留因子	单台年最大有效开机时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
DSA	1.39μSv/h	1	51.1	0.07

由表 10-11 可知, 取非辐射工作人员受到 DSA 最大影响进行计算, 年有效剂量小于 0.1mSv/a (其他工作人员), 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002) 的要求。

续表 10 环境影响分析

③公众成员

DSA 机房外有公众成员活动，但很少经过 DSA 机房。本项目辐射设备所致的公众成员年有效剂量当量估算结果见表 10-12。

表 10-12 非辐射工作人员和公众成员年有效剂量当量估算表

设备名称	准备间墙体外最大剂量率	居留因子	单台年最大有效开机时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
DSA	1.39 μ Sv/h	1/4	51.1	0.018

由表 10-12 可知，取公众成员可能到达机房外的瞬时剂量最大值进行计算，年有效剂量小于 0.1mSv/a（公众成员），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

4、机房内通风

机房内单独设置空调。X 射线与空气作用，产生的少量臭氧和氮氧化物，经室内通风换气后，排至室外，经空气扩散后，对外环境的影响甚微。

10.2.3 其他Ⅲ类医用诊断 X 射线装置环境影响分析

1、机房面积设计情况

根据机房使用面积表可以看出，Ⅲ类医用诊断 X 射线机房的使用面积均符合相关标准要求。

2、屏蔽防护

一、独立机房

根据Ⅲ类 X 射线装置仪器的参数及机房大小，选取典型Ⅲ类射线装置（DR 机）进行机房屏蔽厚度校核。

（1）机房平面布置

本项目 DR 机有 6 个，本次选取机房最不利的放射科 DR3 机房进行核算，机房北面为控制室，南面为通道，西面为 DR 机房，东面为钼靶机控制室，机房（面积约 52m²）内空尺寸 9500mm×5500mm×4200mm，北侧控制室墙体设铅观察窗及医护人员进出防护铅门，南侧墙设病人进出防护铅门。DR 机房楼上（2F）为内窥镜中心，楼下（1F）为停车场。DR 机房平面布置图见附图 8。

（2）机房屏蔽厚度

机房墙体均为 24cm 实心页岩砖、顶棚为 23cm 砼、地板为 38cm 砼，工作人员

续表 10 环境影响分析

出入的防护门与受检者出入的防护门、铅观察窗的铅当量未定。

(3) DR 机房屏蔽计算

①情景设置及参数选择

本项目 DR 设备额定电压为 150kV，额定电流为 800mA，结合以往验收监测经验，选取 X 射线机的最大运行管电压 120kV 取额定电压 150 kV 的 80%进行计算），管电流 280mA，对 DR 机房的屏蔽防护进行估算。

另外，本评价按照国家标准和相关规定要求，确定机房墙体、门和观察窗外表面 0.3m 处，楼上层离地 1m 处，楼下层离地 1.7m 处空气比释动能率均按 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 进行估算。

由于 DR 系统均带有影像增强系统，不会有有用线束直接对四周墙体、顶棚、防护门和观察窗等进行直接照射，而主要是散射线和漏射线产生的照射，因此本评价采用式 10-15、式 10-16 对 DR 机房的辐射安全防护评价估算，散射光子能量按式 10-17 计算。

在计算散射和泄漏辐射所需的屏蔽厚度时，如果两者的厚度相差大于一个十分之一值厚度，则其中较厚的一个厚度，即可作为次级防护屏障的厚度。如若两者的厚度相差不到一个十分之一值厚度，那么在其中较厚的一个厚度上再添加一个半值厚度，作为总的次级防护屏障厚度。

90° 散射角的散射线能量约为 97kV，漏射线能量为 120 kV。各屏蔽材料的 TVL 值见表 10-6。

②建筑物屏蔽效能核算结果

根据式 10-14~式 10-17，各放射设备机房的辐射效能核算情况见表 10-13。

续表 10 环境影响分析

表 10-13 DR 机房屏蔽能力核实计算

墙体名称		采用参数 (m)		建设 厚度	计算厚度	建议厚度下瞬时剂量率		年附加剂量 (mSv/a)
						建议厚度	瞬时剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
东墙	墙体(数字 乳腺机控制室)	散射 漏射	3.19	240 mm 砖	260mm 砖	240mm 砖 +3cm 钡水泥	0.04	0.00004 (T=1/4)
南墙	墙体(过道)	散射 漏射	3.24	240 mm 砖	251mm 砖	240mm 砖 +3cm 钡水泥	0.01	0.00001 (T=1/4)
	防护门 (走廊)	散射 漏射	3.24	待定	2.7mmPb	3mm 铅	0.72	0.0005 (T=1/4)
西墙	墙体(DR 机房)	散射 漏射	3.19	240 mm 砖	260mm 砖	240mm 砖 +3cm 钡水泥	0.04	0.00003 (T=1/4)
北墙	墙体(控制间)	散射 漏射	3.24	240 mm 砖	251mm 砖	240mm 砖 +3cm 钡水泥	0.01	0.0002 (T=1)
	观察窗 (控制间)	散射 漏射	3.24	待定	2.7mmPb	3mm 铅	0.72	0.002 (T=1)
顶棚 (内窥镜中心)		散射 漏射	5.93	230 mm 砼	186mm 砼	230mm 砼	0.97	0.00025 (T=1/4)
地板(停车场)		散射 漏射	5.78	380 mm 砼	195mm 砼	380mm 砼	0.03	0.000021 (T=1/4)

根据上述计算可知, DR 机房出了四周墙体外, 天棚、地板均满足要求, 瞬时剂量小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 观察窗及防护门墙体按建议厚度修建, 开机监测瞬时剂量小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 满足辐射防护的要求。四周墙体按照本评价的建议厚度进行建设建成后能够满足辐射防护要求。DR 机房评价范围内的敏感点受 X 射线装置运行时的影响很小, 环境可以接受。

(4) 剂量估算

辐射工作人员剂量估算

由表 10-13 显示, 如只有一名辐射工作人员控制 DR 机, 则控制室内辐射工作人员年附加有效剂量为 0.0002mSv/a , 小于本环评管理目标限值 0.25mSv/a , 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 的要求。

公众成员及非辐射工作人员剂量估算

非辐射工作人员为位于机房周围医院其他工作人员, 本项目非辐射工作人员主要为所在楼层及楼上、楼下其他工作人员。根据表由表 10-13 显示, 位于 DR

续表 10 环境影响分析

机房上层及下层各房间年附加有效剂量均低于本评价管理目标值 0.1mSv/a, 机房所在楼层周围其他工作人员年附加有效剂量, 根据表 10-13 显示, 低于本评价管理目标值 0.1mSv/a, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

二、移动式

根据医院提供的资料, 移动 DR 使用位置不是固定的, 其能量较低, 墙体均采用 240mm 实心页岩砖墙可以满足屏蔽要求, 使用时应配备有相应的防护设备。

估算年有效剂量时瞬时剂量按 $2.5\mu\text{ Sv/h}$ 计算, 根据医院提供的资料, 本项目移动 DR 机的年有效开机时间 0.56h, 则每名辐射工作人员年附加有效剂量最大为 0.014mSv/a, 低于本评价管理目标值 0.25mSv/a, 非辐射工作人员及公众成员年附加有效剂量远低于本评价管理目标值 0.1mSv/a, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 的要求。

3、其它医院拟配置 III 类射线装置屏蔽防护

根据设计资料, 其他 III 类射线装置各机房四周墙体均为 37cm 砖混结构(实心页岩砖), 顶棚、地板均为 20cm 厚混凝土结构, 密度 2.35g/cm^3 。门、窗屏蔽防护厚度未定。III 类射线装置屏蔽防护一览表见表 10-14。

续表 10 环境影响分析

表 10-14 医院拟配置 III 类射线装置屏蔽防护一览表

序号	射线装置	参数	建议屏蔽墙体厚度	屏蔽墙体、防护门、窗铅当量要求	是否达标
1	CT 机	150Kv/666mA	四周墙体:	2.5mm 铅当量	是
2	DR	150Kv/800mA	24cm 实心页岩砖	有用线束方向: 3mm 铅当量 非有用线束方向: 2mm 铅当量	是
3	X 射线机	150kV;1000mA	顶棚: 20cm 厚混凝土	有用线束方向: 3mm 铅当量 非有用线束方向: 2mm 铅当量	是
4	数字胃肠机	150kV;1000mA	地板: 20cm 厚混凝土	有用线束方向: 1mm 铅当量 非有用线束方向: 1mm 铅当量	是
5	钼靶机	35kV;630mA	四周墙体:	有用线束方向: 1mm 铅当量 非有用线束方向: 1mm 铅当量	是
6	小 C 臂机	133kV;550mA	24cm 实心页岩砖	2mm 铅当量	是
7	牙片机	70kV;8mA	顶棚: 16cm 厚混凝土	有用线束方向: 1mm 铅当量 非有用线束方向: 1mm 铅当量	是
8	SPECT-CT	140kV;665mA	地板: 16cm 厚混凝土	2mm 铅当量	是

III 类射线装置各机房屏蔽墙体、防护门、窗按要求修建可满足相关要求。机房内不专门设通风窗,室内通风均由空调进行,因此对周围环境和人员造成的影响是在可接受的范围之内,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)要求。

3、其他 III 类射线装置剂量估算

根据医院情况预计拟建配置设备的工作负荷,III 类射线装置有效剂量当量估算表见表 10-15。

表 10-15 射线装置年有效剂量估算表

序号	射线装置名称	工作负荷	每人每次曝光时间	年最大有效开机时间	墙体外剂量率(μSv/h)	年有效剂量当量(mSv)	
						辐射工作人员	非辐射工作人员和公众成员
1	CT 机	25000 人次/年	20s	138.9h	2.5	0.3473	0.0868
2	DR	20000 人次/年	0.1-0.5s	2.8h	2.5	0.008	0.0020
3	X 射线机	20000 人次/年	0.1-0.5s	2.8h	2.5	0.008	0.0020
4	数字胃肠机	10000 人次/年	≤2s	5.6h	2.5	0.0140	0.0035
5	钼靶机	3000 人次/年	≤2s	1.7h	2.5	0.0043	0.0011
6	小 C 臂机	4000 人次/年	≤5s	5.6h	2.5	0.006	0.0015
7	牙片机	2200 人次/年	≤5s	3.1h	2.5	0.0078	0.0019

注:①非辐射工作人员和公众成员在环境中居留因子取 1/4 进行计算。

②SPECT/CT 在核医学科内进行计算

根据上述核算,DR 机,多功能数字 X 射线胃肠机机,模拟定位机三种 III

续表 10 环境影响分析

类射线装置的辐射工作人员、非辐射工作人员和公众成员所受到的年附加有效剂量均远小于本评价管理目标值 0.25mSv/a、0.1mSv/a，其余 III 类射线装置的辐射工作人员、非辐射工作人员和公众成员所受到的年附加有效剂量均远小于本评价管理目标值 2mSv/a、0.1mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

4、室内通风

机房内不专门设通风窗，室内通风均是由空调进行，通风量大于 7700m³/h，换气次数 4 次/h。排风口远离敏感点及空调进风口，满足国家相关标准要求的每小时 3-4 次的换气要求，机房内通风良好。

10.2.4 核医学科环境影响分析

1、非密封源工作场所分级

(1) 非密封源工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，日等效最大操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作规程方式修正因子}}$$

放射性工作场所因操作放射性物质的毒性组别和操作量的不同，产生的放射性危害的机率也不同，为了便于管理，非密封性工作场所按所用放射性核素最大等效日用量并考虑操作因素分为三级。根据计算，医院核医学科使用的放射性同位素日最大等效操作量见表 10-16。

表 10-16 非密封源工作场所分级

核素名称	物理形态	计划日最大操作量(Bq)	毒性因子	操作方式	操作修正因子	日等效最大操作量(Bq)	使用场所
^{99m} Tc	液态	7.4×10 ⁹ (200mCi)	0.01	简单操作	1	7.4×10 ⁷	核医学科
¹³¹ I	液态	3.7×10 ⁹ (100mCi)	0.1	简单操作	10	3.7×10 ⁷	
合计						1.11×10 ⁸	乙级非密封源工作场所

根据本项目使用的放射性核素的毒性组别、用量及操作因子，算出日最大等效操作量 7.4×10⁷Bq，根据非密封放射源工作场所的分级，核定医院核医学科使用的放射性核素工作场所为乙级非密封源工作场所。

续表 10 环境影响分析

(2) 工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求,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。把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。将未被定为控制区在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施但需要经常对职业照射条件进行监督和评价划定为监督区。

2、临床核医学工作场所的分类

按照《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)中表 1 的要求,根据医院核医学科房间功能及放射性同位素使用情况,对医院核医学科工作场所做如下分类。具体见表 10-17。

表 10-17 非密封性物质使用场所的分类

房间名称	非密封性物质日最大操作量 (Bq)		毒性权重因子	操作方式	日等效最大操作量 (Bq)	该房间日最大等效操作活度 (MBq)	分类
活性室	^{131}I	3.7×10^7	100	1	3.7×10^9	3700	II
服药室	^{131}I	3.7×10^7	100	1	3.7×10^9	3700	II
活性室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7.4×10^9	1	1	7.4×10^9	7400	II
SPET/CT 机房	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7.4×10^8	1	10	7.4×10^7	74	II
等候休息室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7.4×10^9	1	10	7.4×10^8	740	II

由表 10-17 可知,根据医院核医学科各房间内核素使用情况,按照《临床核医学放射卫生防护标准》(GB120-2006)中表 1 工作场所具体分类,本项目核医学科均为为 II 类场所,医院应按照相应要求进行装修、设计并配备相关装备。非密封性物质工作场所见表室内表面和装备的要求见表 10-18。

表 10-18 核医学工作场所室内表面和装备的要求

工作场所	地面	表面	通风柜	室内通风	管道	清洗及去污设备	场所
II	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要	服药室、活性室、SPET/CT 机房、等候休息室

续表 10 环境影响分析

3、本项目核医学科非密封性物质工作场所分区与布局

①工作场所布局与分区

放射性废物暂存室、活性室、服药室划为控制区；SPECT/CT 机房、等候休息区、卫生通过间划为监督区，核医学科分区见附图 11。

②人流、物流

(1) 医生通道

医生从核医学科医生通道 M1 入口进入，门诊医生在核医学诊室内坐诊。

1) SPECT/CT 操作由门 M1 进入医生通道，沿医生通道进入 SPECT/CT 控制室。

2) ^{99m}Tc 、 ^{131}I 放射性药物注射组医生由门 M1 进入医生通道，沿医生通道经过门 M2 进入卫生通过间，沿 M3 到达高活性室，药物注射通过高活性室与注射室窗口注射。

(2) 病人

患者经大门 M4 进入核医学科内部，经诊室医生诊断后沿门 M5 进入注射休息区域使用 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 放射性药物，诊断完毕休息或进行 SPECT/CT 扫描的病人后的病人经病人通道 M6→M7→M8→M9 离开核医学科。

(4) 放射性药物及废物运输

放射性药物和废物运输通道：1) 放射性药物从停车场 (M9) 进入，沿病人通道从 M10 经 M3 进入高活性室核素存储柜存放核素。

放射性废物放置在放射废物暂存间，废物沿高活性室通过 M3→M10→M9 离开，离开时沿药物运输通道原路返回，中途搜集被服暂存间和废物暂存间的放射废物后，通过 M3→M10→M9 离开核医学科。药物运输通道在其他人员不活动时间（中午休息时间或晚上下班时间）开通。

③出入管理控制系统（门禁）、对讲、视频装置的设置

为了减少放射性污染的扩散和相互影响，控制不必要的交叉污染，在部门重点出入口设置出入管理控制系统（门禁）。包括：M1：仅从事核医学诊疗工作医生可进入，避免对其他病人及医生的交叉污染；M5：控制核医学诊疗区域良好的就医秩序，控制仅对需要进行核医学科放射性核算诊疗的病人进入。

续表 10 环境影响分析

分装仪控制室与服药室、活性室与注射室均应设置视频对讲装置，及时了解病人需要。在核医学科出、入口设置监控装置、 γ 剂量率检测仪，规范就医流程。

④其他

卫生通过间干湿分区、出入口设置表面污染检测仪器，内设置更衣柜、淋浴设施。核医学科所有医生在工作期间佩戴个人剂量计，进、出工作区通过卫生通过间清洗后经检测合格后方可离开，控制区与监督区应有明显的标识，工作人员、病人通道应有明显指示标识，病人在就医前给予就医流程的指导，进入诊疗区各房间内应有注意事项。

综上，从核医学科整体布局来看，医院新核医学科基本按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求进行了分区，设立有服药病人专用卫生间，医生专用洗手池、卫生通过间、放射性废物暂存间、等候休息室等整体布局较为合理。从核医学科工作流程来看，有效避免了服用和注射过放射性药物的病员对就诊病员和工作人员的辐射影响；设置的放射性药物和废物运输专用通道，采用运输时间与其他人员活动时间错开的措施，避免了对公众的影响。

4、放射性废水环境影响分析

根据前节工程分析以医院拟使用的 2 种放射性同位素日最大操作量开展诊疗工作核算的放射性废水排放量约 $0.486\text{m}^3/\text{d}$ 。医院拟在负二层设置 1 个有效体积约 8m^3 （有效容积）的三级溢流式衰变池，衰变池采用钢筋混凝土结构以防漏、防腐。

（1）放射性废水收集系统

医院核医学科设置两套废水收集系统，分为含放射性的废水（由服药病人产生、核医学科医护人员产生）和非放射性废水（等候未服药门诊病人产生）。在放射性废水的单独收集系统中，管道应采用耐腐蚀的特种管道，一般为不锈钢管道。放射性废水池池壁和池底应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防止泄露措施，可采用钢筋混凝土结构防腐防渗。

（2）衰变池容积的确定

本评价按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，本项目放射性废水的排放应满足排放总量限值和浓度限值。医院核医学科衰

续表 10 环境影响分析

变池应满足：（a）每月排放的总活度不超过 $10ALI_{\min}$ （ $ALI_{\min}$ 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）；（b）每一次排放的活度不超过 $1ALI_{\min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

结合本项目核素实际使用情况，以 ^{131}I 作为排放对象进行核医学衰变池的辐射防护计算。计算过程如下：

A、计算 ^{131}I $ALI_{\min}$ 值

年摄入量限值（ALI）：参考人在一年时间内经吸入、食人或通过皮肤所摄入的某种给定放射性核素的量，其所产生的待积剂量等于相应的剂量限值。ALI 用活度的单位表示。根据 GB18871-2002 计算：放射性核素 j 的年摄入量限值（ I_{IL} ）计算公式：

$$I_{\text{IL}}=D_{\text{L}}/e_{\text{j}}$$

式中：

D_{L} ：相应的有效剂量的年剂量限值，mSv。（本项目公众为 0.1mSv，职业为 6mSv）

e_{j} ：核素 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值，Sv/Bq。

查 GB18871-2002 表 B3， ^{131}I 吸入 $e(\text{g})_{\text{I}\mu\text{m}}$ 为 7.6×10^{-5} ， $e(\text{g})_{5\mu\text{m}}$ 为 1.1×10^{-8} ，食入 $e(\text{g})$ 为 2.2×10^{-8} 。由此可得， ^{131}I 的公众人员 $ALI_{\min}$ 为：

$$ALI_{\min}=D_{\text{L}}/e_{\text{j}}=6\text{mSv}/2.2 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}=2.73 \times 10^5 \text{ Bq}$$

则可以计算 ^{131}I 每月排放的总活度限值： $10ALI_{\min}=2.73 \times 10^6 \text{ Bq}$ 。

B、每月排放 ^{131}I 衰变至 $10ALI_{\min}$ 所需时间

计算的基本假设：①每名甲亢病人 ^{131}I 治疗最大用量： $3.7 \times 10^8 \text{ Bq}$ ；②病人出院时体内残留 ^{131}I 携带量限值 400 MBq （ $0.4 \times 10^9 \text{ Bq}$ ）；③病人一般住院 5-7d 中， ^{131}I 从尿中排出量约为给药量的 80%，病房卫生间为病人专用，每月最多收治 10 名病人同一天服药。

因此，总排放 ^{131}I 活度为 $1.40 \times 10^{11} \text{ Bq}$ ，其衰变至 $10ALI_{\min}$ 约需 80d。

C、衰变池容积的确定

该核医学科满负荷每天最大排水量为 $0.486 \text{ m}^3/\text{d}$ ，由此可计算容纳 80d 污水的衰变池总容积为 38.9 m^3 ，此排水量以及每月排放 ^{131}I 衰变至 $10ALI_{\min}$ 所需时间均从保守角度考虑，已经预留有安全系数，则衰变池设计总容积 8 m^3 能够满足

续表 10 环境影响分析

GB18871-2002 中排放总量限值和浓度限值要求。

(3) 放射性废水处理工艺可行性分析

衰变池设计中考虑经水解酸化降解粪便等沉渣后,再利用三级推溢式衰变池衰变处理,排入医院医疗污水处理系统。

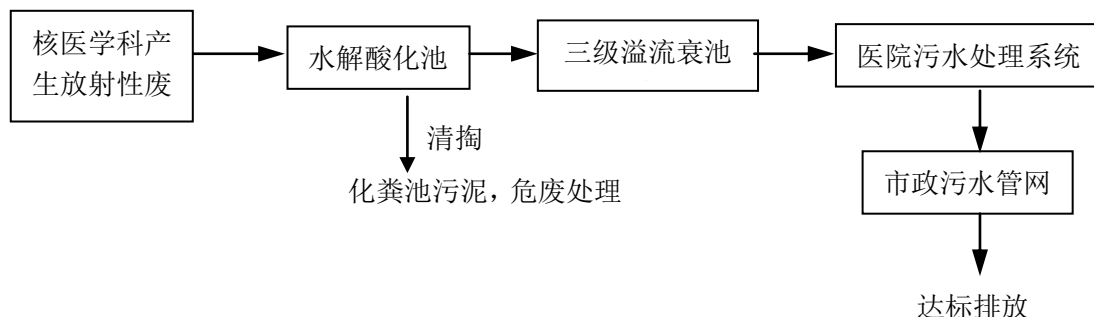


图 10-2 核医学科废水处理流程图

综上,医院核医学科设置有独立的放射性废水收集系统,放射性废水经衰变池处理后,排入医院污水处理站,且接入污水处理站管道流量满足本项目排水流量 10 倍的要求。医院核医学科产生放射性废水能够得到有效处理,达标排放。

5、放射性固体废物环境影响分析

核医学科产生的医生手套、病人服药用的一次性纸杯、棉纱、废弃的活性炭等,在服药室、 ^{131}I 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射室分别设置 1 个专用废物桶,每日清理一次,将放射性废物暂存于放射废物暂存间内。注射室、活性室产生的放射性固废每日清运至放射性废物暂存间内按核素种类分类暂存至比活度小于或等于 $7.4\times 10^4\text{Bq/kg}$ 后由运送至医院专用医疗垃圾容器内,与医院其他医疗废物一并处理,不会造成环境污染。放射性废物的管理应按照危险废物管理进行,衰变后作为医疗废物,实行五联单制度,跟踪固废的处理方式和最终去向,做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。污物桶的放置应注意避开人员经常走动的地方,污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。放射性废物暂存间应有良好通风,出入设置电离辐射标志。临时贮存的放射性废物容器应在显著位置标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放日期的说明。

6、放射性废气环境影响分析

核医学使用的离子型的 ^{131}I 放射性药物,在空气中易氧化析出 ^{131}I (单质碘),单质碘在常温下易挥发,加热情况下挥发更快,甚至升华,产生放射性气溶胶。

续表 10 环境影响分析

但是鉴于 ^{131}I 药品是离子形水溶液，药到后放置时间不会太长，碘离子受氧化析出单质碘的可能性小；且药品是成品，不需要（加热一类方法进行）再加工，稀释即可使用，所以能够产生放射性气溶胶的可能性极小，且本项目 ^{131}I 使用自动分装仪进行分装，分装过程不会导致放射性废气的产生。取药可能存在洒出污染危险，使用过程中有少量放射性气体污染空气。本项目钨显像药物制备均为简单湿法操作，而且 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 不是易挥发物质，不会产生气溶胶和蒸气，正常工作情况下一般不会造成工作环境的空气污染。钨显像药物分装在通风柜内进行，而且装药物的药瓶是密封的，基本无气溶胶产生，极微量的气溶胶先排风再经高效过滤器过滤后才排入环境，对大气环境影响微小。根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）规定：操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风橱内进行。活性室 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装台及 ^{131}I 自动分装仪应设置通风橱，采用机械抽风，以保证室内空气流通，将室内含少量放射性废气的空气排出室外。废气利用活性炭吸附，保证在半开的条件下抽风风速在 1m/s 以上，排气口应高于门诊楼顶，满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120—2006）的要求。

医院核医学设置独立机械通风系统，每小时通风换气次数 4~6 次，其中服药室 ^{131}I 自动分装仪设置有抽风装置、活性室 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装台设置抽风装置，整个核医学科通风自东侧低活性区至西南侧病房高活性区，经专用管道由南侧外墙引至门诊楼楼顶排放。排风系统安装在屋面上，风管均采用镀锌钢板制作，空调风管保冷采用橡塑板。空调系统的气流组织为上送下回（排）式：送、回（排）风水平管均设在吊顶内，回（排）风管为暗管。通风设计应充分考虑工作场所及邻近环境的安全。通过合理设计通风系统，拟建项目废气达标排放对大气环境影响小。

根据医院内部各功能建筑的布局及区域主导方向（西北风），其下风向的敏感点为医院广场，人员停留时间较短，其余敏感点均位于侧风向或上风向，对医院内部各敏感建筑影响较小。

7、辐射环境影响分析

①SPECT/CT 辐射环境影响分析

（1）SPECT/CT 机房面积要求

医院 SPECT/CT 机房有效使用面积约 42.3m^2 ，最小单边长 5.5m，能够满足

续表 10 环境影响分析

《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130—2013）、《X 射线计算机断层摄影放射卫生防护标准》（GBZ165-2012）中对 CT 机房面积及机房内最小单边长的要求。

（2）SPECT/CT 墙体屏蔽

由工程分析可知，SPECT/CT 在使用 SPECT 模式扫描不发出射线，仅在 CT 模式扫描产生 X 射线。医院 SPECT/CT 机房四周墙体均为 24cm 砖，顶棚为 38cm 砼，机房屏蔽防护能力满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）和《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）的要求。防护门和铅玻璃观察窗应由有射线防护资质的单位进行安装，并保证有其所在墙壁相同的防护厚度（2mm 铅当量）。

（3）剂量估算

X-γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按式 10-12 计算。

机房外辐射工作人员剂量估算考虑受到 SPECT/CT 在 CT 模式下发出 X 射线的照射及在显像过程中受到注射了 ^{99m}Tc 病人的 ^{99m}Tc 发出 γ 射线的照射。

有用射线（主射线）所致的墙体屏蔽厚度和墙体外 30cm 处的瞬时剂量率计算公式如下：

$$\dot{D}_0 = \frac{A \times \Gamma \times 8.76 \times 10^{-3}}{R^2} \quad (\text{式 10-18})$$

$$Ks = \frac{\dot{D}_0}{p} \quad (\text{式 10-19})$$

$$\Delta s = TVL \times \log(Ks) \quad (\text{式 10-20})$$

式中：R—考查点到 γ 源的距离（m）；

$\dot{D}_0$ —距源 R 米处的空气比释动能率（Gy/h）；

A—源的活度（Ci）；

Γ—照射量率常数， $\text{R} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{Ci}$ （ ^{99m}Tc 为 0.162）；

8.76×10^{-3} —转换系数（Gy/R）；

Δs—屏蔽厚度（cm）；

p—墙体外 30cm 处剂量控制值（ $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ）；

续表 10 环境影响分析

TVL—屏蔽材料的十值层厚度（cm）。

以墙体外 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 空气比释动能率的控制值作为 SPECT/CT 发出 X 射线的空气吸收剂量率。机房外辐射工作人员及公众成员进行估算。剂量估算结果见表 10-19。

表 10-19 剂量估算结果

序号	考虑类型	墙体外剂量率限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	最大曝光/受照时间	工作负荷 (人次/年)	年有效剂量当量 (μSv)	
					工作人员	公众人员
1	X 射线	2.5	3s	2000	6.18	0.39
2	γ 射线	2.9×10^{-5}	2min	2000		

注：公众成员停留时间按照 1/16 进行估算。

由表 10-19 可知，辐射工作人员及公众人员受照剂量分别低于本环评的剂量管理目标 2mSv/a 、 0.1mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

②活性室、病房等核医学科用房墙体屏蔽效能核实及剂量估算

（1）核素使用情况

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记药物是外购后经分装为一定规格的针剂为病人注射、显像。针剂暂存于活性室的放射性核素储存柜内。放射性核素存铅柜具有 5mm 厚铅当量，最大核素持有量为 $3.08\times 10^{10}\text{Bq}$ 。

^{131}I 一周进药一次，最大量为 $3.7\times 10^9\text{Bq}$ （0.1Ci），直接置于自动分装仪内，服药室应对 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ ^{131}I 有一定防护能力；甲亢病人一次最大治疗服用剂量可能达到 20mCi，一天最多 5 人，因此等候休息室应对 100mCi ^{131}I 有一定防护能力。

（2）计算参数

①屏蔽计算公式：服药患者作为一个辐射源，现无专门针对核医学治疗患者外照射屏蔽防护设计标准和计算公式。理想的方法是根据实际测得的剂量来做屏蔽设计计算。本环评采用 IAEA 第 63 号安全报告和 ICRP94 号出版物给出的周剂量活度比的加权照射时间，计算患者一个治疗疗程（约 5 天）至周围人员的周剂量。

②放射性活度（A）：核医学科病人核素使用量较小，不设置专用病房。

③剂量限值（P）：本环评屏蔽设计核算未采用瞬时剂量率限值作为评价标

续表 10 环境影响分析

准,因患者服药后每天的剂量变化较大,用瞬时剂量率作为标准不符合实际情况,本环评采用周剂量率作为核算标准,根据表 6-12 年剂量率限值导出周剂量限值:即核医学科工作人员 120 μ Sv /W (每年以 50 周进行计算), 临近场所其他工作人员及公众 2 μ Sv/W。

④加权照射时间:患者服药后,每天到周围人员的剂量率是变化的,因此需要将服药后不同时间的剂量率归一到服药当天的剂量率上来,形成不同的时间剂量权数。一个疗程中居留因子时间 T 与剂量权重因子之积作为加权照射时 Tw。

$$T_w = \sum_i T_i \cdot W_i。$$

甲亢患者服药后不同时间周剂量率和权重因子见表 10-20。

表 10-20 甲亢患者服用 ^{131}I 后不同时间的剂量率及权重因子

服药后时间	0 天	2-4 天	5-7 天
剂量率 $\mu\text{Sv/h}$ GBq	0.046	0.022	0.014
权重因子 W	1	0.48	0.3

注:摘自 NCRP, 1995

⑤患者与周围人员距离:假定患者病床距离内墙表面 1m,高活性室紧邻病房防护区走廊,患者到通道上活动或者上卫生间时,患者在 1.75m 宽的走廊中间。

(3) 屏蔽计算公式

①服药患者致周围人员的周有效剂量 E_w :

$$E_w = \frac{A}{A_B \times r^n} \times D_1 \times C_{E/H*(10)} \times \sum_i T_i \times W_i \quad (\text{式 } 10-21)$$

式中: E_w —无屏蔽时服药患者致周围人员的周有效剂量, mSv/w;

A —患者服用放射性核素活度与人数之积, GBq;

A_B —给定的 ^{131}I 某施用活度, GBq;

D_1 —周围剂量当量率, 距离源 1m 处的周剂量当量率为 0.07mSv/w;

$C_{E/H*(10)}$ 有效剂量与周围剂量当量的换算系数, 0.72 (ICRP, 74 号出版);

r —周围人员与患者的距离, 单位 m;

续表 10 环境影响分析

T_i —周围人员在服药后第 i 天的停留时间, h;

W_i —服药后第 i 天的权重系数, 见表 10-16, 表 10-17;

n —距离衰减指数, $r \leq 3\text{m}$ 时, $n=1.5$; $r > 3\text{m}$ 时 $n=2$ 。

②所需屏蔽材料厚度 d :

$$d = TVL \times \log\left(\frac{E_w}{P}\right) \quad (\text{式 } 10-22)$$

式中: d —屏蔽材料厚度, cm;

E_w —周围人员周有效剂量率, mSv/w;

P —屏蔽要求的周剂量限值, 工作人员 $115\mu\text{Sv/w}$, 公众及相邻其他工作人员 $2\mu\text{Sv/W}$;

TVL —屏蔽材料十值层, TVL (砼) =15.4cm, TVL (砖) =17.8cm。

③设计厚度下的瞬时剂量当量率 H_d

$$H_d = \frac{A \times D_1}{A_b \times r^n} \times 10^{(-d_1/TVL)} \quad (\text{式 } 10-23)$$

④设计厚度下的周有效剂量 E_d

$$E_d = E_w \times 10^{(-d_1/TVL)} \quad (\text{式 } 10-24)$$

式中: d_1 —屏蔽材料设计厚度, cm。

(4) 屏蔽计算结果

核医学科各墙体屏蔽防护效能核实结果见表 10-21。

表 10-21 核医学科墙壁屏蔽防护效能核实结果表

核素名称	房间名称	最大核素持有量 (mCi)	Γ ($\text{R} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{Ci}$)	混凝土十值层厚度 (cm)	铅十值层厚度 (cm)
^{131}I	分源贮藏室	100	0.22	14.2	0.76
	服药候诊室	100	0.22	14.2	0.76

注: 最大核素持有量按每个房间病人停留数和每天最大注射量之总和计算。

③ 计算结果

核医学科各墙体屏蔽防护效能核实结果见表 10-22。

续表 10 环境影响分析

10-22 核医学科墙壁屏蔽防护效能核实结果表

房间名称	屏蔽单元	最大核素持有量(mCi)	参考距离(m)	核算墙体厚度(mm)	建议厚度(mm)	实际厚度下的墙体外瞬时剂量($\mu\text{Sv/h}$)	备注
分源贮藏室	四周墙体	100	1.5	218	240 实心砖	0.76	满足要求
	顶棚		3.0	93	180 混凝土	0.74	满足要求
	防护门		4.2	4.8mmPb	5mmPb	1.05	/
服药候诊室	四周墙体	100	1.5	218	240 实心砖	0.76	满足要求
	顶棚		3.0	93	180 混凝土	0.74	满足要求
	防护门		4.2	4.8mmPb	5mmPb	1.05	/

由表 10-22 可知，建设单位按照本评价给出的建议厚度进行了设计，核医学科各墙体屏蔽防护能力满足屏蔽控制目标的要求。

但必须指出的是：工作人员在进行配制放射性药物时，由于是近距离操作，有可能受到较大剂量的照射，由于给药都在注射室或服药室内进行，核医学科工作人员受照剂量也较大，所以工作时应配戴个人剂量计。

(5) 剂量估算

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）——2000 年报告附录 A 给出的剂量估算公式，估算结果如下。

1) 工作人员

根据工程分析中给出的治疗流程，根据医院每年预计 SPECT/CT 检查人数约 200 例。使用 SPECT/CT 给病人检查时，预计 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 病人注射约 0.5min，机房内辅助病人检查室约 1min。扫描期间工作人员在控制室内，远离病人，其产生的辐射水平经墙体或观察窗屏蔽后，工作人员操作位的空气比释动能率接近本底值，所致的辐射工作人员年附加有效剂量不纳入计算。

^{131}I 的使用对甲亢病人的治疗，如工程分析中治疗流程所述，用于治疗甲亢病人的 ^{131}I 放射性药物，其分装、及辅助病人服药均为通过其他设施远程控制，自动化程度高，医生不接触放射性药物。工作人员剂量估算见表 10-23。

续表 10 环境影响分析

表 10-23 核医学科工作人员年有效剂量估算情况表

核素名称	日最大操作 (mCi)	单次操作活度 (mCi)	日治疗/诊断 (人次)	Γ 常数 ($R \cdot m^2 / Ci \cdot h$)	R (m)	单次操作时间(min)			日有效剂量 mSv	年有效剂量 mSv
						制备分装	注射	显像		
^{99m}Tc	200	20	10	0.162	1/0.5/1	5	0.5	1	0.035	1.77

注：① SPECT/CT 的 X 射线能量较一般 CT 机的 X 射线能量低，控制室内的工作人员操作位经观察窗或墙体屏蔽后，工作人员操作位处的空气比释动能率接近本底值，其所致的辐射工作人员年附加剂量未纳入上表计算；

② ^{99m}Tc 分装一天需要的最大操作量；

由表 10-23 可知，医院按照最大设计负荷考虑，在没有采取任何防护措施及操作设备自身防护措施的情况下，由 1 名工作人员承担全部核医学科工作年附加的有效剂量为 1.77mSv，医院核医学科计划编制为 10 人，则每名工辐射工作人员附加的年有效剂量为 0.18mSv/a，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本评价要求的 2.0mSv/a。

以上估算是无任何防护措施的情况下，工作人员在采取穿戴铅防护服、戴铅防护眼镜和铅手套，正确佩戴个人剂量计等措施后，辐射工作人员收到的年有效剂量将小于环评估算的剂量。

以上估算是无任何防护措施的情况下，工作人员在采取穿戴铅防护服、戴铅防护眼镜和铅手套，正确佩戴个人剂量计等措施后，辐射工作人员收到的年有效剂量将小于环评估算的剂量。

2) 公众成员

核医学科诊疗场所是相对封闭的区域，公众成员不会到达控制区与监督区。公众成员不会受到额外的辐射照射。因此，项目致公众人员所受的最大年附加剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，可以保证周围公众的安全。

10.2.3 后装治疗机机房效能核实及影响分析

(1) ^{192}Ir 辐射特性

本项目后装治疗系统拟配置的 ^{192}Ir 放射源活度为 3.7×10^{11} (10Ci)。

^{192}Ir 放射源活性区为 0.7mm×3.5mm，不锈钢外壳为 1.1mm×6.5mm。 ^{192}Ir 是一种白色过渡金属，熔点 2443℃，比热 0.13J/Kg，沸点 4428℃，蒸发热 604kJ/mol，

续表 10 环境影响分析

导热系数 1.47W/cmK，密度 22.4g/cm³ (300K)，熔化热 26.1KJ/mol。有金属光泽，在空气和水中稳定，对所有酸都呈惰性，但跟熔融的 NaOH 反应。¹⁹²Ir 放射源结构见图 10-3，主要辐射特性见表 10-24。

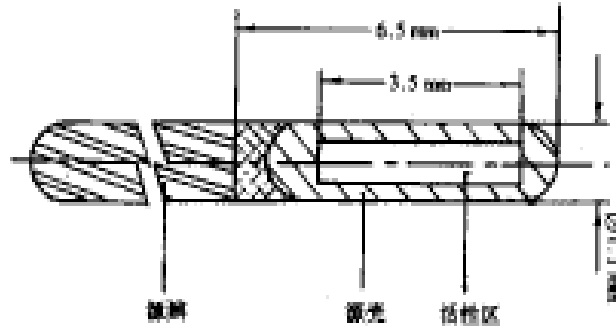


图 10-3 ¹⁹²Ir 源结构示意图

表 10-24 ¹⁹²Ir 辐射特性表

名称	毒性	半衰期 (d)	密度 (g/cm ³)	衰变方式 (分支 比, %)	射线平均能 量 (MeV)	照射率常数(R · m ² /h · Ci)	比活度 (Bq)
¹⁹² Ir	中毒	73.4	2.42	$\beta^{-(95.22)}$ $\epsilon_{4.78}$	0.37*	0.111*	3.4×10 ¹¹

备注：*数据来源于 IAEA47 号报告第 108 页表 20。

(2) 后装治疗室现有屏蔽情况

根据医院提供的资料，后装机用房包括治疗室（机房）、迷道、控制室。治疗室（机房）内空尺寸约为 5.73m×5.05m×4.8m，迷道位于机房南侧，为“L”迷路。机房周围六面均为混凝土结构（ ρ 不小于 2.35g/cm³）。机房地面之下为泥土层，东墙体外为直线加速器机房；北墙外围水冷机房；西墙外为过道；南面为控制室和准备室；楼上为绿化庭院。

机房西、北墙为 0.8m 砼，东墙厚 2.8m/1.6m 砼；南面为迷道，迷道宽 1.7m，高 4.8m，迷道外墙厚 0.6m，迷道内墙厚 0.6m，迷道内墙长 2.1m，迷道内门高 4.8m；天棚厚 0.7m，地面之下为泥土层（人员无法到达），之上为绿化庭院；防护门窗屏蔽厚度未定。

后装腔内治疗室的面积情况见表 10-25 所示。

续表 10 环境影响分析

表 10-25 后装治疗室面积统计情况

房间功能	机房面积 (m ²)	标准要求 (m ²)	是否满足要求
后装治疗室	28.9	不小于 20	是

后装治疗室使用面积满足相关标准要求。

¹⁹²Ir 后装治疗机是放射源近距离治疗仪，屏蔽考虑 γ 射线对环境的影响。机房屏蔽效能核实时按放射源位于室内中心点周围 0.5m 范围内。除防护门散射计算外，其余均按主射线进行计算（散射的 TVL 按保守考虑，采用主射线的参数进行）。

(3) 计算公式

①有用射线(主射线)

有用射线(主射线)所致的墙体屏蔽厚度和治疗室 30cm 处的瞬时剂量率计算公式如下：

$$\dot{D}_o = \frac{A \times \Gamma \times 8.73 \times 10^{-3}}{R^2} \quad K_s = \frac{\dot{D}_o}{p}$$

$$\Delta s = TVL \times \log(K_s)$$

其中：R—考查点到 γ 源的距离 (m)；

$\dot{D}_o$ —距源 R 米处的空气比释动能率 (Gy/h)；

A—放射源的活度 (Ci)；

Γ —照射量率常数，R · m²/h · Ci；

8.76×10^{-3} —转换系数 (Gy/R)；

p—墙体外 30cm 处剂量控制值 (2.5 μ Gy/h)；

Δs —屏蔽厚度 (cm)；

TVL—屏蔽材料的十值层厚度（混凝土 15.2cm，铅 1.6cm，数据来源于 IAEA47 号报告第 109 页表 22）。

②散射线

$$\dot{D}_s = \frac{a \times \dot{D}_o \times S}{r^2 \times R^2}$$

续表 10 环境影响分析

$$Ks = \frac{\dot{D}s}{p}$$

式中： $\dot{D}s$ —距源 R 米处散射线空气比释动能率（Gy/h）；

a —散射系数；

$\dot{D}_0$ —无屏蔽时距源 1m 处空气比释动能率（Gy/h）；

S —散射面积（m²）；

r —源到散射体的距离（m）；

R —考查点到散射点的距离（m）。

③ 散射能量

$$E_{\gamma'} = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)}$$

式中： $E_{\gamma'}$ —散射光子的能量（MeV）；

E_0 —入射光子的能量（MeV）；

$m_0 c^2$ —电子静止能量（MeV）；

θ —散射角（约 45°）。

（4）屏蔽效能核实结果

后装治疗机房的屏蔽效能核实结果见表 10-26。

续表 10 环境影响分析

表 10-26 后装治疗机房屏蔽核算结果表

墙体名称	计算参数	计算厚度 (cm)	设计厚度 (cm)	建议厚度 (cm)	设计条件 是否满足	建议厚度下的瞬 时剂量($\mu\text{Gy/h}$)
北墙	$r=3.76\text{m}$ (主)	35.2	60	160	是	0.002
西墙	$r=3.42\text{m}$ (主)	36.5	60	60	是	0.0002
东墙	$r=3.42\text{m}$ (主)	36.5	160	40	是	0.0002
南内墙	$r=3.76\text{m}$ (主)	35.2	60	50	是	0.002
南墙	总厚	$r=6.16\text{m}$ (主)	20.8	120	是	0.031
	迷路内墙	/	/	60		
	迷路外墙	/	/	60		
	迷路外墙 外不重叠 部分	$r=5.6\text{m}$	21.9	60	是	0.039
顶棚	$r=5.5\text{m}$	22.3	70	70	是	0.044
铅门	$r=5.6\text{m}$, $R=9.5\text{m}$, $S=6.83\text{m}^2$	1.47cm	/	1.5cmPb	要求达到 1.5cmPb	0.31

备注：上述计算结果均在现有机房混凝土墙体密度不小于 2.35g/cm^3 的基础上进行的，散射线的 TVL 值按照主射线的参数进行计算。

由表 10-26 可以看出， ^{192}Ir 后装治疗机治疗室现有屏蔽体能满足屏蔽防护能力要求（东南墙外为山体，人员无法到达），也满足《电离辐射防护与安全基本标准》（GB18871-2002）中“辐射防护最优化”原则的要求。

由于铅门尚未设计，因此，本评价要求建设单位设置的铅门中的铅当量应不小于 1.5cm，在此条件下，铅门的屏蔽能力能满足辐射防护的要求。

（5）剂量估算

1) 估算公式

剂量估算公式与前文相同。

2) 估算结果

根据医院提供的资料，后装治疗机全年治疗约 750 人，根据建设单位经验，每例病人治疗时间不超过 30min，则后装治疗机年工作时间不超过 375h。

①辐射工作人员

按保守估计，1 名工作人员完成所有后装治疗机的相关操作，以南墙外（控制室）瞬时剂量 $0.031\mu\text{Gy/h}$ ，由公式计算可知，受后装治疗机影响下控制室辐射工作人员所受的年有效剂量为 0.0117mSv/a 。

控制室辐射工作人员一般在开机前还需要为病人摆位，摆位时间不超过

续表 10 环境影响分析

3min/人，摆位时受到的剂量最大为 $100\mu\text{Gy/h}$ （设备表面 5cm 处，根据 GBZ121-2002），则摆位时受到的年有效剂量为 3.75mSv/a ；

辐射工作人员停机 3min-5min 后进入机房内对病人进行摆位，其感生放射性影响较小。

② 非辐射工作人员和公众成员

因后装腔内治疗室四周人员很少很少停留，非辐射工作人员和公众成员停留时间很短，因此非辐射工作人员和公众成员在后装腔内治疗室外的居留因子取 $1/4$ ，取最大瞬时剂量 $0.44\mu\text{Gy/h}$ ，由公式计算可知，非辐射工作人员和公众成员所受的年附加有效剂量为 0.0042mSv ，低于年管理目标值 0.1mSv/a ，满足《电离辐射防护与安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

（6）治疗室臭氧

后装机在使用过程中，产生少量的臭氧等废气，后装治疗室通风换气次数应不小于 3 次 h 的条件下，臭氧浓度为甚小，少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流、扩散作用所稀释，不会影响机房外大气环境质量的等级。

（7）对敏感点的影响分析

根据上述分析，机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足评价标准要求；根据核算，后装治疗机运行后对周围公众成员的年附加有效剂量低于 0.1mSv/a ，满足评价标准要求；废气的浓度远远低于国家标准要求，对外环境影响很小因此对医院内其他区域的影响也很小。

表 11 产业政策符合性分析

11.1 选址合理性及平面布局合理性分析

11.1.1 选址合理性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于“源的选址与定位”规定，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，国家有关标准和文件对拟建项目的择址未加明确限值。

（1）根据医院提供的资料和评价单位现场踏勘，新建放射科、介入室、放射治疗与核医学机房场地内未发现滑坡、坍塌、地裂等不良地质灾害现象，场地现状稳定性好，水文地质条件简单。

（2）根据现状监测结果，场址的辐射环境质量状况良好，有利于项目的建设。

（3）医院核医学科选址于医院医技楼负一层东北角，与其他功能科室相对独立，且避开了院内人流密集区，核医学科出入口专用，有利于控制区域污染，远离医院内及周围环境敏感点，有利于辐射防护。

（4）介入室位于医技楼 3 层，四周活动人员较少，与其他功能室相对独立，有利于辐射防护。

（5）本项目放射科、放疗中心均远离医院内及周围环境敏感点，有利于辐射防护。项目营运期产生的电离辐射、废水、废气、固体废物等均得到有效治理，达标排放对环境的影响小。

总体来看，本项目选址较为合理。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于“源的选址与定位”规定，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，国家有关标准和文件对拟建项目的择址未加明确限制。

① 辐射装置运行时均位于单独的房间内，方便辐射防护的管理和屏蔽。

② 根据现状监测结果，场址的辐射环境质量状况良好，有利于建设。

③ 建设单位根据环评要求进行建设，项目运行后对周围环境的辐射影响满足评价标准的要求，环境可以接受。

因此，从环境保护角度分析，本项目选址可行。

11.1.2 布局合理性分析

本项目辐射工作场所包括放射科、DSA 介入室、放疗中心及核医学机房等，项目在设计各机房时充分考虑到辐射工作人员及公众成员的辐射防护及医院用地现状。医院放疗中心机房位于医技楼负一层东部，楼下层无建筑物，西面与医院主通道相连，北面可以直达车库，既方便病人就医又有利于采取相应的辐射防护措施。放射科、介入室的各设备均设置了机房和控制室，总体用房与其他科室用房分开；医院各科室用房既相对独立又在不防治交叉污染的前提下方便病人就医，有效的保障了工作人员和公众成员的健康

从核医学科整体布局看，该核医学科医生流动路线与病人流动路线独立，但总体上来看，该核医学科布置基本做到了分区。医生进入控制区入口均设置表面污染检测仪，活性室内分药台处设置有自动感应洗手池，核医学科卫生通过间设置有淋浴间，以及更衣区，医生在此处进行清污后经表面测定仪检查合格后离开，有效的保障了工作人员和公众成员的健康。

从环境保护角度分析，医院辐射工作场所布局可行。

11.2 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”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其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

放射性同位素的应用、直线加速器、DSA 在医疗诊断、治疗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。辐射诊疗项目营运以后，将为病人提供一个优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时将提高医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

因此，该医院放射性同位素的应用、射线装置对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安

续表 11 产业政策符合性分析

全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。 因此，本项目的建设正在按照环评要求进行建设，经现场考察监测及对机房屏蔽防护核算，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。 11.3 产业政策符合性分析 项目投入使用为疾病诊断、寻找病灶部位、制订治疗方案及治疗疾病提供了科学依据和手段。项目在加强管理后均满足相关国家法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力，符合清洁生产和环境保护的总体要求。同时，本项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 21 号《产业结构调整指导目录（2011 年本）》（2013 修订）第一类——鼓励类中新型医用诊断医疗仪器设备、微创外科和介入治疗装备及器械、医疗急救及移动式医疗装备、康复工程技术装置、家用医疗器械、新型计划生育器具（第三代宫内节育器）、新型医用材料、人工器官及关键元器件的开发和生产，数字化医学影像产品及医疗信息技术的应用。医院放射性同位素的应用不属于其中淘汰类和限制类，项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。
--

表 12 辐射防护与安全措施

12.1 直线加速器辐射防护与安全措施

(1) 直线加速器剂量照射安全防护

①控制台必须显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等辐照参数预选值。辐照启动必须与控制台显示的辐照参数预选值联锁，控制台选择各类辐照参数之前，辐照不得启动。

②直线加速器机房应设置多重连锁装置，以保护人员和设备安全，防止意外事故。门机连锁：采用电动、手动一体化防护门，与加速器启动电路应实行门机连锁方式，即防护门未关闭之前，加速器无法启动。系统连锁：当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统连锁，不能发出射线。双剂量连锁：按照《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126—2011）的要求，设置双剂量连锁以及其它连锁。

③两道剂量监测系统显示的剂量读数在辐照中断或终止后必须保持不变，辐照中断或终止后必须把显示器复位到零，下次辐照才能启动；由于元件或电源失效造成辐照中断或终止，失效时刻读数显示必须储存在一个系统内，以可读取方式至少保留 20min 以上。两道剂量监测系统采用双重组合情况下，当吸收剂量达到预选值时，两道系统必须都终止辐照。

④两道剂量监测系统为初/次级组合情况下，当吸收剂量达到预选值时，初级剂量监测系统必须终止辐照，次级监测系统必须在超过吸收剂量预选值不大于 15%或不超过等效于正常治疗距离上 0.4Gy 的吸收剂量时终止辐照。

⑤控制台必须配置带有时间显示的辐照控制计时器，并独立于其他任何控制辐照终止系统。当辐照中断或终止后，必须保留计时器读数，必须将计时器复零后，才能启动下一次辐照。

⑥若设备处于某一种状态下，在正常治疗距离上能产生高于规定最大值二倍的吸收剂量率时，则必须提供一联锁装置，以便在吸收剂量率超出规定最大值不大于二倍时终止辐照。在任何情况下，不得切断这一联锁装置。

⑦必须装备检查所有安全连锁的设施，用于在辐照间歇期间检查安全连锁（包括防止剂量率大于预选值十倍的联锁），确保各类系统终止辐照的能力和防止超剂量照射。

续表 12 辐射防护与安全措施

⑧控制台和治疗室内必须分别安装紧急停机开关。

⑨使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序必须加密，未经允许不得存取或修改；用于监视联锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障，必须终止辐照。

(2) 治疗室安全防护

①机房的屏蔽墙体采用普通混凝土一次浇注完成，保证施工质量。

②根据计算：

直线加速器室的防护门至少含有 2.10cm 铅+11.0cm 含硼 5%的聚乙烯或具有同等屏蔽效能的材料。防护门材料安装顺序对 X 射线和中子防护有一定影响，建设单位和安装单位应特别注意防护门材料的安装顺序：铁皮→铅→含硼 5%聚乙烯→铅→铁皮。直线加速器防护门须与墙体重叠上方 10 厘米、下方 15 厘米，左面 10 厘米、右面 10 厘米；大门为地轨式；驱动装置为电气；对大门底缝采用工字型嵌入地轨式，大门底面低于地平面 15 厘米。防护门须有防止挤压装置；须有声、光报警装置；须有关闭/开启正常指示灯、故障指示灯（关闭、开户启不到位）及黄色射线出束警示灯、绿色准备指示灯。防护门上须设置永久性辐射警示标志。

治疗室主屏蔽墙为 2.8m 混凝土，与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙体厚度为 1.6m 的混凝土，相重叠的迷路内墙和外墙总厚度为不小于 2.95m 的混凝土，不重叠的迷路外墙厚度为 1.05m，侧屏蔽墙厚度为 1.6m，顶棚主屏蔽厚度为 2.9m 混凝土，顶棚次屏蔽厚度为 1.6m 的混凝土，在此条件下，墙体外周围剂量当量率可以满足《医用电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126—2011）要求的不大于 2.5 μ Sv/h。

此建议厚度为本评价从辐射防护最优化角度考虑为建设单位提出的，仅作参考，建筑结构是否符合要求由业主找专业机构审核；瞬时剂量按建议厚度条件下计算，更能反映最不利影响。

③穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。机房水电管线采用“U”形向下穿越屏蔽墙体，排水管和电缆剂量测量孔预埋直径分别为 50mm 和 80mmPVC 管与射线相背方向设置。预埋管的管道必须跟混凝土浇筑同时进行，

续表 12 辐射防护与安全措施

一次到位。预埋穿墙管道口在控制室一端靠近操作台的位置，在机房内一端管道口离地 10-20cm（控制室方向高，机房方向内低）。预埋管竖直方向和水平方向均与地面形成 30° - 45° 角度斜穿屏蔽墙，并在预埋管道的入口或出口应有一定厚度的屏蔽盖板。

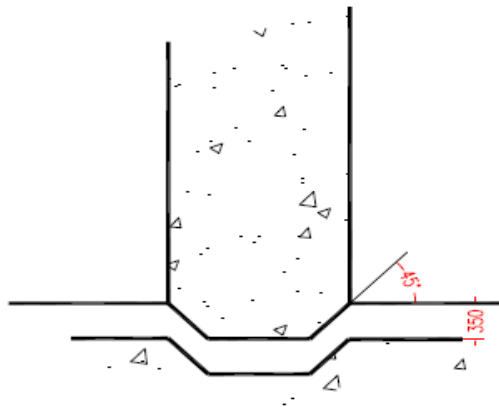


图 11-1 水电管线穿墙示意图

④机房内不得堆放与诊疗工作无关的杂物。

⑤治疗室内须安装摄像设备视频监视器，能完全观察到机房。工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。治疗室与控制室须设置对讲设备，便于医务人员与患者之间进行交流。

⑥直线加速器治疗室共应设置多个急停机开关，分别安装在加速器机架、治疗床、控制台、治疗室、迷道上。紧急停机开关为红色按钮式开关，易于辨认，按下后不能自动复位。在紧急情况下，便于机房和控制室内的人员及时终止照射。

⑦治疗室外醒目处必须安装辐照指示灯及辐射危险标志，并注明工作时严禁人员入内。

⑧加速器室采用机械通风。进出风口为迷宫式结构，抽风机排风量 $1400\text{m}^3/\text{h}$ ，机房通风换气为 4 次/小时，并做适当辐射防护补偿，不削弱机房的防护屏蔽能力。

⑨ 直线加速器室的主屏蔽墙需严格按照本评价提出的要求进行整改。

（3）安全操作要求

①加速器使用单位必须配备工作剂量仪、水箱等剂量测量设备，并应配备扫

续表 12 辐射防护与安全措施

描仪、模拟定位机等放射治疗质量保证设备。

②使用单位必须有合格的放射治疗医生、物理人员及操作技术人员；操作技术人员必须经过放射卫生防护和加速器专业知识的职业卫生培训，并经过考核合格后方可上岗。

③操作人员必须遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，禁止任意去除安全联锁，严禁在去除可能导致人员伤亡的安全联锁的情况下开机。

④辐照期间，必须有两名操作人员值班，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。

⑤严禁操作人员擅自离开岗位，必须密切注视控制台仪表及患者状况，发现异常及时处理。

⑥辐照期间，除接受治疗的患者外，治疗室内不得有其他人员。

⑦必须防止各类事故，万一发生意外，立即停止辐照，及时将患者移出辐射野，并注意保护现场，便于正确估算患者受照剂量，作出合理评价。

⑧专用钥匙控制，只有通过专用钥匙才能使加速器出射线。钥匙由专人保管。放疗技术员离开控制室进入机房时，拔出专用钥匙，随身携带，以防他人误操作而发出射线。

12.2 模拟定位机辐射防护与安全措施

① 模拟室应设置相关的辐射防护设施，如机房应设置门灯联动装置，室外设置电离辐射警示标志以及工作状态指示灯；室内设置通风装置，保证室内空气流通。

② 模拟室外应设指示灯，警示牌，防止有关人员滞留工作场所受到意外伤害。

③ 模拟室内穿越防护墙的导线、导管等等采用“Z”或者“U”形布置，不得影响其屏蔽防护效果。

④核实观察窗、防护门的屏蔽能力，保证其不低于2mmPb。

⑤根据工作内容，模拟室现场应配备工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作的需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施（铅橡胶，铅围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子）的铅当量

续表 12 辐射防护与安全措施

应不低于0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于0.5mmPb。

⑥模拟室内设置固定式剂量率仪以及时掌握运行过程中的剂量水平变化。

12.3 后装治疗机辐射防护与安全措施

(1) 机房的过墙电缆线、管线孔、通风管道等均采用U型走向，并避开加速器出束方向，并在地沟的入口或出口设置有一定厚度的屏蔽盖板，不影响机房的屏蔽能力。

(2) 治疗室和控制室之间安装有监视和对讲设备。

(3) 现有墙体的屏蔽能力能满足辐射防护的要求，该结论是在医院提供的现有机房墙体混凝土密度能满足 2.35g/cm^3 的基础上得出的。若现有墙体密度无法保证，则计算结果可能有偏差。

(4) 新购设备应与防护门联锁，在防护门未关闭时，放射源不能出来。迷道内设置紧急停机、开门按钮。安装应急开门装置。

(5) 医院应确保机房的施工质量。

(6) 新购放射源必须有生产厂家提供的说明书及检验证书。说明书应载明放射源编号、核素名称、化学符号、等效活度、表面污染与泄漏检测日期和生产单位名称等。放射源使用前必须有法定计量机构认可的参考点空气比释动能率，其总不确定度不大于 $\pm 5\%$ 。

(7) 设备安装后使用前，应要求设备供货商提供满足标准要求的设备表面剂量监测报告。

(8) 治疗室内应安装剂量监测设备、剂量报警设备。其中剂量监测值应在控制室控制台上显示，超过剂量控制值后有剂量报警装置报警。

(9) 设备的安装、放射源的运输和安装均由有资质的单位负责，医院仅提供辅助设施的安装条件。

(10) 退役放射源必须及时退还原生产厂家，并办理相关的环保手续。

(11) 防护门的屏蔽能力须满足本评价提出的建议厚度要求。

12.4 III类射线装置辐射防护与安全措施

(1) 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到患者

续表 12 辐射防护与安全措施

和受检者状态。

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

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

(4) 患者和受检者不应在机房内候诊; 非特殊情况, 检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

(5) 每台 X 射线设备根据工作内容, 现场应配备不少于表4基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施, 其数量应满足开展工作需要, 对陪检者应至少配备铅防护衣; 防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb; 应为不同年龄儿童的不同检查, 配备有保护相应组织和器官的防护用品, 防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于0.5mmPb。

续表 12 辐射防护与安全措施

表 12-1 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏；固定特殊受检者体位的各种设备
口内牙片摄影	—	—	大领铅橡胶颈套	—
牙科全景体层摄影口腔 CT	—	—	铅橡胶帽子、大领铅橡胶颈套	—
放射诊断学用 X 射线设备同室透视、摄影	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶手套、铅防护眼镜	或铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏；固定特殊受检者体位的各种设备
CT 体层扫描（隔室）	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
床旁摄影	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套	或铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
骨科复位等设备旁操作	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶手套	移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅防护眼镜 选配：铅橡胶手套	铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	—
注：“—”表示不要求				

12.5 移动 X 射线装置辐射防护与安全措施

1、移动 X 射线装置辐射的防护

续表 12 辐射防护与安全措施

(1) 移动 DR 机应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。 (2) 移动 DR 机连续曝光开关的电缆长度应不小于 3m，或者配置遥控曝光开关。 (3) 使用移动 DR 机在病房进行检查时，应对毗邻床位（2m 范围内）患者采取防护措施，不得将有用线束朝向其他患者。 (4) 移动 DR 机曝光时工作人员应做好自身防护，合理选择站立位置，并保证曝光时能观察到受检者姿态。 (5) 移动 DR 机不能作为常规检查设备，在无法使用固定设备且必须使用 X 射线检查时才允许使用。 (6) 手术期间透视用、焦点至影像接收器距离固定且影像接收面不超过 300cm² 的 X 射线设备，应有线束限制装置，并将影像接收器平面上的 X 射线野到 125cm² 以下。 (7) 在给患者进行拍片或透视诊疗检查时，让同室的患者和陪同人员撤离病房，到安全无电离辐射的区域，对同室不便移动的重症患者，进行屏蔽防护或用铅皮掩盖，以减少辐射危害。 (8) X 射线机有用射线束的方向，尽可能避开公众人群、医护人员和其它无关人员，在曝光时陪同人员要离开现场，如因从事非隔离荧光透视、骨科复位、异物清除等应急情况，需要医护和陪同人员陪同时，工作人员和陪同人员要穿戴个人防护用品，以减少工作人员所受 X 射线的伤害。 (9) 时间防护 需要 X 射线进行诊断检查时，尽量采用拍片、不要透视，因透视时间较长，所受辐射严重；拍片时把限束器调到最佳位置，并按“高千伏、低毫安、短时间”的原则进行，尽最大程度减少放射伤害。 (10) 对购买移动式床边 X 射线机要加限束器。限束器四周最好设有活动的能伸拉的防辐射板，在进行拍片和透视时直接固定到受检者需照射部位，对四周进行屏蔽,以防射线外漏。 2、安全操作及管理措施 (1) 加强受检者和放射工作人员的个人防护，医院要配齐受检者及放射工作人员的放射防护用品，并在工作时按要求穿戴和使用。

续表 12 辐射防护与安全措施

(2) 预防性及监督与管理 卫生监督机构要对卫生医疗机构购买 X 射线机过程中进行监管, 审查生产厂家的生产许可证、合格证及射线卫生防护资料。不能购买无资质和卫生防护不合格的 X 射线机。安装使用时要对防护用品和设备进行验收和评价, 缺少防护用品和设备及验收评价不合格的不准使用、责令整改和更换。

(3) 日常性监督管理 卫生监督机构要加大医疗机构 X 射线机安全防护的监督检查频次, 特别是对受检者、公众及有关人员的防护用品配置及使用情况检查, 对违反卫生防护要求开展放射诊疗的单位, 要从严处罚; 疾病防治机构, 要加强放射场所危害因素检测和放射工作人员个人剂量计检测, 并及时把监测报告和健康监护报告反馈给卫生监督机构和医疗单位, 并督促协助其整改。

(4) 从事放射诊疗的工作人员应熟练掌握业务技术, 接受放射防护的有关法律知识培训, 满足放射工作人员岗位要求。

(5) 医疗机构要加强自身管理 医疗机构要把放射防护工作纳入质量考核, 并做好射线防护用品使用记录, 以便为受检者和放射工作人员发生放射事故医疗纠纷时, 提供直接数据; 医疗机构要按相关法律、法规进行职业健康监护, 早期发现或消除存在的问题, 确保受检者和受照射人群的人身健康安全。

12.6 放射性药物使用过程中的防护与安全措施

(1) 核医学科用房布局基本合理, 避免与其他科室交叉现象, 工作场所实现“三通道”划分, 互不交叉。

(2) 核医学科各房间能满足屏蔽防护要求, 进入活性室的门应为防护门, 且有防盗功能; 活性室的洗手水龙头应为光电感应龙头。

(3) 控制区与监督区的地面与工作台面、地面均铺设地板砖或其它易清洁的材料, 易于清洗不渗漏, 有利于表面污染的防治。

(4) 医院对所有能产生贯穿辐射的污染源采取辐射屏蔽措施, 包括操作放射性同位素的职业工作人员穿戴防护用具, 操作过程中对注射用具的屏蔽。

(5) 各机房设门锁、工作指示灯; 各辐射工作场所均设置电离辐射警告标志。

(6) 在各易产生放射性固废的房间设置放射性固废专用收集桶, 放射性废

续表 12 辐射防护与安全措施

物收集桶应有放射性标志。

(7) 放射性药物存放必须安全，应专人负责，保险柜钥匙要专人保管，双人双锁，存取记录要详细、清晰。补充完善放射性药物保管、领用和登记制度。

(8) 各核医学用房内不得堆放与诊断工作无关的杂物。各项规章制度、操作规程、应急处理措施必须齐全，并张贴上墙。

(9) 候诊区设置喇叭，辐射工作场所设置醒目的警示标识，病人、医生通道用箭头标识出走向。

(10) 病房中床位间距应不小于 1.5m，病房门口应有电离辐射警示标志，除医护人员外，其他无关人员不得入内。防护病房应具有一定的防护能力，并由专人管理。

(11) 接受了 ^{131}I 治疗的患者，其体内的放射性活度降至低于 400MBq，方可出院。

(12) 每间病房内应设置放射性废物收集桶收集放射性废物，放射性废物收集桶（污物桶）有一定屏蔽能力。

(13) 卫生通过间安装有表面污染检测仪及医生更衣柜。

(14) 加强对服药后病人的管理，张贴醒目的“病人须知”。

(15) 控制区的废水进入衰变池，衰变池设标识，池壁能够防渗、防漏。

12.7 放射性“三废”污染防治措施

(1) 废水治理措施

核医学科放射性废水排水管采用铸铁管，并采取防腐蚀措施；高活性室废水、病人卫生间废水排入衰变池内经过 10 个半衰期后，进入医院污水管网，最终进入医院污水处理站处理达标排放。

对未用完的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （统称为废液）医院要严格控制其产生量，根据病人的实际或预计使用量，根据最优化原则，淋洗或预定放射性药品量。

(2) 废气治理措施

核医学科产生的少量放射性气溶胶或气载放射性物质可以通过通风橱的排风管道经活性炭过滤后排出室外，通风橱在半开的条件下风速不小于 1m/s。排气口设置于本建筑物屋顶。

续表 12 辐射防护与安全措施

(3) 固废治理措施

- ① 严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理。应力求控制和减少放射性废物产生量。
- ② 对放射性固体废物应采用分核素收集，根据同位素的性质，单独衰减，达到衰变时间和要求的，再收集在一起作为医疗垃圾处理。放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。
- ③ 供收集的专用污物桶应具有外防护层和电离辐射标志。污物桶放置点应避开工作人员作业和经常走动的地方。
- ④ 内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。
- ⑤ 放射性废物在储存衰变箱中衰减至排放限值后，作为一般医疗垃圾处理。用来收集放射性固体废弃物的专用收集器应贴上电离辐射标志。
- ⑥ 更换的废活性炭放在专用的污物桶内衰变，放射废物比活度 $\leq 2 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 后交原厂家回收再生利用。放射性废物袋装时应不超过 20kg，放射性废物运输时表面的固定污染所引起的辐射水平应不超过 $5 \mu\text{Sv/h}$ ，表面 β 辐射应不大于 0.4Bq/cm^2 。

本项目涉及的“三废”采取的主要治理见下图。

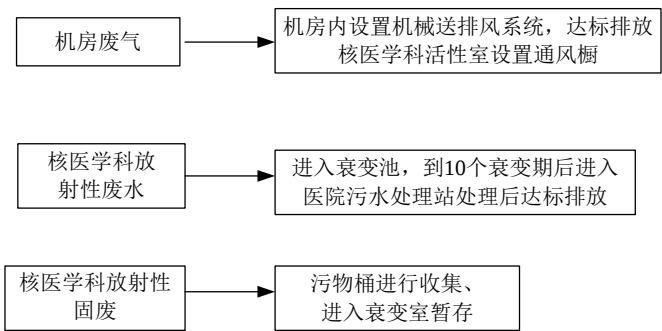


图 12-1 三废治理措施图

表 13 安全及环境管理

13.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

13.1.1 环境管理要求

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保放射防护可靠性，维护放射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能的避免事故的发生，医院必须培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。为此，提出如下辐射环境管理要求：

（1）医院必须成立辐射防护领导机构，设立兼职或专职的辐射防护监督员，负责辐射防护与安全工作。

（2）所有的放射工作场所均必须有电离辐射警示标志，必须规范，各机房屏蔽门上方还必须要有工作状态指示灯。

（3）每年至少进行一次辐射环境监测，建立监测技术档案，监测数据定期上报环境部门备案。

（4）各项规章制度、操作规程、应急处理措施必须齐全，并张贴上墙。

（5）从事放射性诊疗的工作人员必须定期进行辐射防护知识的培训和安全教育，检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案。对放射诊断工作人员进行健康体检并形成制度。

（6）按照《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 253 号令）第十二条规定，建设项目的规模发生变化，或者建设项目环境影响报告书自批准之日起满 5 年，建设项目方开工建设的，其环境影响报告文件应重新编制，报批。

（7）对医院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。

13.1.2 医院辐射安全与环境保护管理机构

为认真贯彻执行《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求及国家的有关规定，加强医院内部管理，更安全的开展放射类工作，医院应尽快成立领导小组及完善放射制度，医院应制定以下制度《辐射防护领导小组职责》、《医疗诊断 X 射线装置放射防护管理制度》、《益阳康雅医院放射安全操作规程》、《放射科医疗设备管理制度》、《益阳康雅医院辐射防护安全制度》、《益阳康雅医院辐射事故应急预案》、《监测方案、体检承诺书、人员培训计划》、

续表 13 安全及环境管理

《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《设备维修保养制度》、《放射科患者就诊须知》、《安全防护制度》、《放射诊疗工作场所辐射防护安全管理制度》、《放射诊疗设备安全操作规程》、《益阳康雅医院放射科诊断质量保证方案》、《益阳康雅医院放射事件应急处理方案》、《直线加速器应急处理方案》、《直线加速器维修与保养规定》、《DSA 室操作规程》、《益阳康雅医院档案管理制度》、《模拟定位机安全操作规程》、《后装治疗机安全操作规程》等。

为完善医院的辐射管理制度，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于“营运管理”的要求，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，对本项目的辐射环境管理提出如下要求：

①依据《中华人民共和国放射性污染防治法》第二十八条和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》之规定，该医院必须向环保部门申请办理安全许可证等相关环保手续。

②明确放射防护工作领导小组的职责：设立兼职或专职的安全负责人，负责整个公司的辐射防护与安全工作。建立辐射防护安全防护管理制度，履行放射防护职责，确保放射防护可靠性，维护放射工作人员和周围公众成员的权益，尽可能避免事故的发生。

③每年应至少进行一次辐射环境监测，建立监测技术档案，医院工作人员应持证上岗，定期进行辐射防护知识和法规知识的培训 and 安全教育，检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案。对个人剂量超过或接近管理目标的辐射工作人员应暂离岗位，并在今后的工作中增加监测频率。对辐射工作人员每两年进行身体健康体检并形成制度。进入机房的工作人员佩带个人剂量报警仪，记录个人所受的射线剂量。

④安装、维修或者更换与辐射源有关部件的设备，应当向有关部门申请，进行防护监测验收，确定合格后方可启用。以杜绝放射事故的发生。

⑤制定事故状态下的应急处理计划，其内容包括事故的报告，事故区域的封闭，事故的调查和处理，及工作人员的受照剂量估算和医学处理等。

⑥凡需增加或拆除现有辐射设施和设备，应预先向环境保护主管部门提出申请，在重新监测评价后，方可进行。

⑦定期检查机房的报警装置系统、防护仪表和 X 射线输出剂量误差，发现

续表 13 安全及环境管理

问题及时解决。

⑧各项规章制度、操作规程必须齐全，并张贴上墙；所有的放射工作场所均必须有电离辐射警示标志，各机房门屏蔽门上方还必须要有工作指示灯。警告标志的张贴必须规范。

⑨辐射工作人员必须经过辐射工作安全防护培训，培训合格并取得辐射工作安全防护培训合格证方可上岗；操作人员必须遵守各项操作规程，检查仪器安全并做好当班记录，严格执行交接班制度，发现异常及时处理。

医院除以上已有和应增加的防护措施外，还应根据各科室的具体情况，依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《环境保护部令 第 18 号》的规定，射线装置工作场所辐射安全和防护增加如下措施：

①射线装置的使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。射线装置应当设置明显的放射性标识和中文警示说明。

②使用射线装置的场所，应当按照国家有关规定采取有效措施，防止运行故障，并避免故障导致次生危害。

③建设项目竣工环境保护验收涉及的辐射监测，由使用射线装置的单位委托经环境保护主管部门批准的有相应资质的辐射环境监测机构进行。

④当加强对本单位与射线装置安全和防护状况的日常检查。发现安全隐患的，应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的环境保护主管部门（以下简称“发证机关”），经发证机关检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

⑤ 对本单位的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。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

A.辐射安全和防护设施的运行与维护情况；

B.辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；

C.辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训（以下简称“辐射安全培训”）情况；

D.射线装置台账；

续表 13 安全及环境管理

E.场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据;

F.辐射事故及应急响应情况;

G.核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况;

H.存在的安全隐患及其整改情况;

I.其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的,应当立即整改。

⑥医院在依法被撤销、依法解散、依法破产或者因其他原因终止前,应当确保环境辐射安全,妥善实施辐射工作场所或者设备的退役,并承担退役完成前所有的安全责任。

13.2 职业人员的辐射安全与防护培训和再培训计划

(1) 职业人员的辐射安全与防护培训和再培训计划要求

根据环境保护部令第 3 号第十五条的规定: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。环境保护部令第 18 号第二十二规定:取得辐射安全培训合格证书的人员,应当每四年接受一次再培训。辐射安全再培训包括新颁布的相关法律、法规和辐射安全与防护专业标准、技术规范,以及辐射事故案例分析与经验反馈等内容。

另外,根据相关规定要求,从事放疗工作的,应当配备中级以上专业技术职务任职资格的放射肿瘤医师,病理学、医学影像学专业技术人员,大学本科以上学历或中级以上专业技术职务任职资格的医学物理人员,放射治疗技师和维修人员。

(2) 辐射工作人员的配置及培训情况

本项目由于正在处于前期手续办理中,暂未配置辐射工作人员,医院拟配备 40 名放射工作人员。根据环境保护部令第 3 号第十五条的规定:从事放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。同时,根据环境保护部令第 18 号第二十二规定:取得辐射安全培训合格证书的人员,应当每四年接受一次再培训。辐射安全再培训包括新颁布的相关法律、法规和辐射安全与防护专业标准、技术规范,以及辐射事故案例分析与经验反馈等内容。因此,本环评要求医院在本项目运营前,配备的工作人员必须参加辐射安全培训,

续表 13 安全及环境管理

并取得合格证。取得培训合格证的人员，医院应每四年组织一次复训。

13.3 辐射工作人员的健康管理及个人剂量监测管理

按照《放射工作人员健康标准》的规定执行，医院招聘好辐射工作人员后，应为辐射工作人员建立个人健康档案，档案中详细记录历次医学检查的结果及其评价处理意见，并妥善长期保存，直至工作人员脱离放射工作后 20 年。

根据环境保护部令第 3 号、环境保护部令第 18 号中对工作人员个人剂量的要求，医院应为每名工作人员配置个人剂量计，定期组织工作人员进行个人剂量监测，发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。医院还应安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满 75 周岁，或停止辐射工作 30 年。

13.4 医院辐射防护符合项分析

根据环境保护部令第 3 号、环境保护部令第 18 号对使用 II 类射线装置要求及医院目前实际筹备计划，做出如下符合项评价，见表 13-1。

表 13-1 医院从事辐射活动能力评价

应具备条件	医院应落实的情况
从事放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。单位应当有 1 名具有大专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。	放射工作人员应参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，且考核合格。放射管理人员有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责。
射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	应设置门灯联动装置、门机联锁，机房外醒目处设置电离辐射警示标志以及工作状态指示灯，待落实后方可开展辐射工作。
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，包括个人剂量计。	专职放射工作人员应配备个人剂量计。
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。	已制定有相关制度。
有完善的辐射事故应急措施。	应制定《辐射事故应急预案》，并定期演练

续表 13 安全及环境管理

13.5 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置放射安全和防护条例》（国务院第 449 号令）等相关法规和标准，必须对射线类装置使用单位进行个人剂量监测、工作场所监测、场所外的环境监测，开展常规的防护监测工作。

医院必须配备相应的监测仪器，或委托有资质的单位定期对医院使用的各射线装置机房周围环境进行监测，按规定要求开展各项目监测，做好监测记录，存档备查。辐射监测内容包括个人剂量与工作场所外环境的监测。

13.5.1 个人剂量监测

对放射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测应由具有个人剂量检测资质的单位进行。个人照射累积剂量每 3 个月为一监测周期，如发现异常可加密监测频率。

13.5.2 工作场所内外环境监测

（1）验收监测

根据国家规定每 1~2 年接受辐射防护管理部门对工作场所周围环境进行常规监测，发现问题及时整改。监测资料存档。

① 验收监测

设备安装到位后，应委托有资质的单位进行验收监测。若发现问题，及时整改，直到合格为止。

② 日常监测（有资质的单位）

监测频率：每年一次；

监测因子：工作场所周围区域剂量当量率。

监测范围：机房防护门及缝隙处，电缆及管道的出入口，控制室，操作台等；以及机房屏蔽墙四周。

监测数据作为医院的管理依据。

13.6 辐射安全保证与辐射事故应急预案

13.6.1 辐射安全保证

为保障放射源及射线装置正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员

续表 13 安全及环境管理

避免遭受意外照射和潜在照射,医院在不断总结完善近年来核技术应用方面的经验,针对辐射设备情况和预期工作情况应制定以下管理制度:

《放射科患者就诊须知》、《受检者安全防护制度》、《放射诊疗工作场所辐射防护安全管理制度》、《放射诊疗设备安全操作规程》、《放射事件应急处理预案》、《放射工作人员培训、体检及保健制度》、《放射性废物的处理方法及流程》、《放射性药物管理制度》、《辐射事故应急及报告制度》、《核医学诊疗中的急救预案》、《突发放射事件应急抢救预案与流程》、《辐射防护安全制度》、《辐射工作人员个人计量管理制度》、《医疗诊断 X 射线装备放射防护管理制度》等。

(2) 医院加强对辐射装置的安全和防护状况的日常检查,发现安全隐患应当立即整改;安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的,应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的环境保护主管部门(以下简称“发证机关”),经发证机关检查核实安全隐患消除后,方可恢复正常作业。

(3) 在本项目运行前,各项规章制度、操作规程必须齐全,并张贴上墙;所有的放射工作场所均必须有电离辐射警示标志,各机房门屏蔽门上方还必须要在工作指示灯。警告标志的张贴必须规范。

(4) 为确保放射防护可靠性,维护放射工作人员和周围公众的权益,履行放射防护职责,避免事故的发生,该公司应培植和保持良好的安全文化素养,减少人为因素导致人员意外照射事故的发生,医院应对本项目的辐射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。

医院应在今后工作中,不断总结经验,根据实际情况,加以完善和补充,并确保各项制度的落实。应根据环境保护管理部门对辐射环境管理的要求对相关内容进行补充和修改。

13.6.2 辐射潜在事故风险

医院出现的辐射事故主要是辐射工作人员或工种成员受到不必要的超剂量照射。具体事故分析如下。

续表 13 安全及环境管理

(1) 事故分析及处理对策

1) 直线加速器、后装治疗机机房安全联锁装置失效

分析：由于未及时检修，门机联锁、门灯联锁等联锁装置失效，门处于半开启状态，直线加速器、后装治疗机仍能运行，人员进入直线加速器、后装治疗机机房而受到照射。

防治措施：按操作规程定期对各个连锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机、门-灯连锁装置失效的情况下违规操作；通过装置故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个连锁失效或在某个连锁失效期间产生辐射。

2) 直线加速器、后装治疗机治疗时，工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离辐照室。

防治措施：开机运行前，工作人员认真检查机房内人员情况，除病人外，一律不得停留。待确认无误后，方可进行下一步操作。

3) 人误

不了解直线加速器、后装治疗机、模拟定位机的基本性能和结构，缺乏操作经验；缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；治疗计划错误(治疗过量或欠量照射)；违反操作规程和有关规定，操作失误；设备维（检）修后未进行质量控制检测；管理不善、领导失察等。是人为的因素造成辐射事故（造成患者治疗损伤）的最大原因。

防治措施：辐射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，了解应当做什么，怎么做，避免犯普通错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

4) 后装机放射源卡源

治疗过程中，放射源发生卡源现象，放射源不能回到贮存容器中。

对策：先启动强制回源装置，强制放射源回到储源位置。若还是卡源，则封闭机房，禁止任何人员进出，待后装机生产厂家或有资质的专业维修技术人员到来后，再行处理，医院不得自己处理。

5) 后装治疗机放射源脱落

续表 13 安全及环境管理

换源或装源时，未做好准备工作，工作人员缺乏经验，情绪紧张，致使放射源脱落，造成机房内周围人员受到大剂量照射；设备检修时，工作人员误将后装机的屏蔽装置打开或卸下放射源，都会对维修人员产生很强的辐射照射，由于机房屏蔽墙体足够厚，所以不会对外界产生辐射影响；后装机换装放射源后产生的报废源，因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

防治措施：换源或装源必须由有资格的专业人员进行。做好换装源程序和一切准备工作，工作人员必须佩带辐射监测仪器，穿戴防护衣帽，疏散周围人员。严格加强 ^{192}Ir 放射源的安全管理，严格按照规定的实施方案进行换装源，确保环境和人员安全，杜绝事故（事件）发生。换源等工作应严格按照操作规程来，将换出来的放射源或者即将换进去的放射源放在规定的位置，防止无关人员不认识而随意拿走。另外在从事上述工作时，应对现场进行清场，确保无关人员不在辐射工作区域内活动。

6) 医疗照射不正当化

滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

对策：辐射工作人员必须认真考虑，只有确认该项检查、治疗对受检者的病情诊治和健康有好处时才进行 X 射线诊疗。

7) 未进行质量控制检测

诊疗设备年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，机器性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

对策：医院做好设备稳定性检测和状态检测，使设备始终保持在最佳状态下工作。

8) 工作人员业务技能不高

工作人员业务技能差，经验不足，摆位不正、定位不准等，致使患者受到不必要的照射。

对策：医院应定期组织辐射工作人员学习专业业务知识，不断提高业务水平。

(2) 辐射事故危害及对敏感点的影响

根据有关研究调查，人员受到照射在 0.25Gy 以下时，症状不明显，在 0.5Gy 以下，少数受照者出现头晕、乏力、失眠、食欲减退及口渴等。

续表 13 安全及环境管理

本项目的机房是按照设备在额定工况下运行（直线加速器、模拟定位机）和无屏蔽的情况下（后装治疗机放射源为裸源）进行辐射防护屏蔽的，设备发生各种事故时其射线能量不会超过额定能量，因此，发生上述事故时均在机房内，事故发生后对机房外周围环境敏感点的影响与正常工况下相比，无其他附加影响。根据环境影响分析，项目各设备运行对周围环境敏感点的影响满足评价标准的要求，环境敏感点可以接受。

（3）事故应急处理措施

辐射事故一旦发生，应立即采取以下措施进行处理，并根据事故情况启动应急预案。

①射线无高压输入时即停止发射射线，因此处理此类事故的首要一条就是切断电源，切断电源可以停止照射。

②停电或意外事故中断治疗时，应使用强制装置强制放射源立即回到贮存位置；

③若发现密封源丢失，应及时在相邻区域设置警戒区，使用 X- γ 检测仪找回放射源。若未找到，应控制区域保持现状，并立即向公安机关、环保机关报告，尽快追回放射源。

④如因射线装置输出量异常发生人员受到异常照射的事故，应及时检修射线装置，并进行输出量计量校准。保存控制器上的照射记录，不得随意更改，以便事后对受照人员进行受照剂量估算；

⑤若事故后经检查为机器出现故障，应通知厂家立即派专业技术人员到现场排除故障。医院不能擅自处理；

⑥发生辐射事故后，根据受照情况，应迅速安排事故受照人员的医学检查和医学监护。并在 2 小时内向医院领导及有关行政主管部门上报。并配合有关部门进行调查，查找事故原因，做好相关防范措施。

一般报告程序为：发现者将事故的性质、时间、地点向医院辐射管理领导小组报告，由其向省环保厅报告，设备被损或放射源被盗应同时向公安机关报告，造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。各部门联系方式如下：

医院电话：

续表 13 安全及环境管理

湖南省环保厅：12369（24 小时报告电话）

益阳市卫生局：0737-4222851

⑦ 医院应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。具体处理方法按《核与放射事故干预及医学处理原则》（GBZ113-2006）和《辐射损伤医学处理规范》（卫生部、国防科委文件卫法监发[2002]133 号）进行。

表 14 结论及建议

14.1 结论

14.1.1 项目概况

本项目拟购置 21 台放射诊疗医疗装置。拟在医技楼负一层新建放疗中心，用于开展肿瘤治疗工作；在医技楼一层新建放射科，用于开展放射诊断工作；在医技楼二层新建内镜中心；在医技楼三层新建 DSA 中心；在医技楼四楼新建手术中心；在门诊楼四楼新建口腔科；在门诊楼五楼新建体检中心。负一楼放疗中心：布置 15MV 直线加速器 2 台、模拟定位机 2 台（1 台 CT 定位）、Ir-192 后装治疗机 1 台及其各自的配套用房、SPECT/CT1 台以及核医学科 1 处。通过对设备机房现场的考察和计算得出如下结论。

14.1.2 实践正当性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”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其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

放射性同位素的应用、直线加速器、DSA 在医疗诊断、治疗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。辐射诊疗项目营运以后，将为病人提供一个优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时将提高医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

因此，该医院放射性同位素的应用、射线装置对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

14.1.3 产业政策符合性

项目投入使用为疾病诊断、寻找病灶部位、制订治疗方案及治疗疾病提供了科学依据和手段。项目在加强管理后均满足相关国家法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力，符合清洁生产和环境保护的总体要求。同时，本项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 21 号《产业结构调整指导目录（2011 年本）》（2013 修订）第一类——鼓励类中新型医用诊断医疗仪器

设备、微创外科和介入治疗装备及器械、医疗急救及移动式医疗装备、康复工程技术装置、家用医疗器械、新型计划生育器具（第三代宫内节育器）、新型医用材料、人工器官及关键元器件的开发和生产，数字化医学影像产品及医疗信息技术的开发与应用。医院放射性同位素的应用不属于其中淘汰类和限制类，项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

14.1.4 拟建址环境质量现状

项目拟建址的地表 γ 辐射剂量率在 75.8-99.4nGy/h 之间，根据环保部全国辐射环境自动监测站 2015 年 11 月长沙市的空气吸收剂量率参考值 61.3-145.7 nGy/h（扣除宇宙射线的响应值）可知，本项目拟建址的环境地表 γ 辐射剂量率在正常波动范围内，辐射环境质量现状良好。

14.1.5 选址可行性及布局合理性

（1）选址可行性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于“源的选址与定位”规定，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，国家有关标准和文件对拟建项目的择址未加明确限值。

（1）根据医院提供的资料和评价单位现场踏勘，新建放射科、介入室、放射治疗与核医学机房场地内未发现滑坡、坍塌、地裂等不良地质灾害现象，场地现状稳定性好，水文地质条件简单。

（2）根据现状监测结果，场址的辐射环境质量状况良好，有利于项目的建设。

（3）医院核医学科选址于医技楼负一层东部，与其他功能科室相对独立，且避开了院内人流密集区，核医学科出入口专用，有利于控制区域污染，远离医院内及周围环境敏感点，有利于辐射防护。

（4）介入室位于医技楼 3 层，四周活动人员较少，与其他功能室相对独立，有利于辐射防护。

（5）本项目放射科、放疗中心均远离医院内及周围环境敏感点，有利于辐射防护。项目营运期产生的电离辐射、废水、废气、固体废物等均得到有效治理，

达标排放对环境影响小。

总体来看，本项目选址较为合理。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于“源的选址与定位”规定，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，国家有关标准和文件对拟建项目的择址未加明确限制。

③ 辐射装置均位于单独的机房内，方便辐射防护的管理和屏蔽。

④ 根据现状监测结果，场址的辐射环境质量状况良好，有利于建设。

③ 建设单位根据环评要求进行建设，项目运行后对周围环境的辐射影响满足评价标准的要求，环境可以接受。

因此，从环境保护角度分析，本项目选址可行。

（2）布局合理性分析

本项目辐射工作场所包括放射科、DSA 介入室、放疗中心及核医学机房等，项目在设计各机房时充分考虑到辐射工作人员及公众成员的辐射防护及医院用地现状。医院放疗中心机房位于医技楼负一层东部，楼下层无建筑物，西面与医院主通道相连，北面可以直达车库，既方便病人就医又有利于采取相应的辐射防护措施。放射科、介入室的各设备均设置了机房和控制室，总体用房与其他科室用房分开；医院各科室用房既相对独立又在不防治交叉污染的前提下方便病人就医，有效的保障了工作人员和公众成员的健康

从核医学科整体布局看，该核医学科医生流动路线与病人流动路线独立，但总体上来看，该核医学科布置基本做到了分区。医生进入控制区入口均设置表面污染检测仪，活性室内分药台处设置有自动感应洗手池，核医学科卫生通过间设置有淋浴间，以及更衣区，医生在此处进行清污后经表面测定仪检查合格后离开，有效的保障了工作人员和公众成员的健康。

从环境保护角度分析，医院辐射工作场所布局可行。

续表 14 结论及建议

14.1.6 环境影响分析结论

(1) 机房使用面积

直线加速器室、模拟室和后装腔内治疗室等 X 射线装置机房的使用面积均满足标准要求。

(2) 墙体屏蔽的辐射防护

① 根据医院提供的设计资料进行核算及相关的法律法规，本项目部分机房的墙体屏蔽能力不能够满足屏蔽能力，根据本评价的建议厚度进行建设将能够满足相应机房的屏蔽能力。

(3) 剂量估算

通过核算，从事本项目直线加速器、模拟定位机、后装治疗机及 X 射线装置操作的辐射工作人员各自受到的年附加有效剂量均低于评价标准限值，但辐射工作人员有可能从事多台设备的操作，因此要求辐射工作人员工作时必须正确佩戴个人剂量计，正确剂量受到的有效剂量，保证不超过评价标准的限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及相关标准的要求。

非辐射工作人员和公众成员在机房外受到的年附加有效剂量小于评价标准限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及相关标准的要求。

14.1.7 辐射防护与安全措施

① 机房各墙体厚度按照环评的要求进行建设。

② 应按照相关要求，设置相应的联锁装置、紧急停机、视频监视系统等。

③ 根据需要为医生、病人配置铅围裙、铅眼镜等防护用品。

④ 所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计，并定期进行测读，记录在个人剂量档案中。

14.1.8 辐射与环境保护管理

医院成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，制订了相关管理制度，包括应急预案、设备检修维护制度、管理措施等，规章制度基本健全，具有可操作性，满足辐射管理的要求。因医院处于前期筹备中，拟配备 30 名相关的专业人员操

续表 14 结论及建议

作，且均要求持证上岗。

14.1.9 综合结论

综上所述，湖南益康达医疗投资有限公司拟实施的“湖南益阳康雅医院核技术利用项目”严格按照环评要求进行建设后，医院辐射装置的使用对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求；该项目的辐射防护安全措施可行；相关规章制度已制定；该项目对环境的辐射影响是可接受的。医院在落实了本环评提出的各项环境保护及污染防治措施的前提下，从环境保护的角度来看，本环评认为该建设项目是可行的。

14.2 建议

（1）严格实施施工期环境监理工作，以保证施工质量。

（2）机房建设时，可采集混凝土样品，以备对机房的屏蔽能力进行论证。项目完成后，应及时办理《辐射安全许可证》。

（3）直线加速器机房、模拟室、后装腔内治疗室内应安装固定式剂量监控装置；

（4）建设单位应在后续招聘足够的辐射工作人员，且均需持证上岗。

（5）定期开展预定场景的演练，做好演练记录、评价总结，不断完善应急预案内容，提高应急反应、处置能力，杜绝辐射事故发生。

（6）各机房防护门、观察窗须按要求厚度进行设置。

（7）部分墙体不达标的机房必须按照建议厚度进行建设。

环保设施竣工验收内容及要求一览表

序号	验收内容	验收要求	备注
1	环保文件	环评批复、验收监测报告等齐全	/
2	年有效剂量	放射工作人员、公众成员年有效剂量管理目标	GB18871-2002
3	周围剂量当量率	在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处、楼上层离地 1m 处、楼下层离地 1.7m 处周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h	GB18871-2002 GBZ130-2013 GBZ126—2011
4	机房面积	满足相应的机房面积要求	GBZ130-2013 GBZ126—2011 GBZ126-2002
5	放射工作人员及管理人员	健康体检档案、持证上岗，4 年进行 1 次复训	环境保护部令第 3 号、环境保护部令第 18 号
6	放射工作人员组成	放疗室配备放射治疗医生、物理人员、维修人员	GBZ126—2011
7	配套设施、设备	防护监测设备：个人剂量计及报警仪、工作剂量仪、水箱等剂量测量设备	GBZ126—2011 GB18871-2002
		模拟定位机防护用品：铅衣、铅帽、铅眼镜、铅帘、病人防护用品等	GBZ130-2013
		其它设备：扫描仪、模拟定位机等放射治疗质量保证设备	GBZ126—2011
8	辐射安全防护措施	①各机房门外张贴醒目电离辐射警示标志，安装工作状态指示灯，并实行门灯联锁。 ②门与墙搭接满足要求。 ③制度上墙。 ④后装室入口必须采用迷路设计，设置门机联锁，并在治疗室门上要有声、光报警，治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器；在控制室与治疗室之间应设观察窗（或监视器）与对讲机。 ⑤各机房应保持良好的通风和机房内不得堆放无关杂物。 ⑥直线加速器机房内建设的穿越防护墙的导线、导管等采用“U”型。机房内设置通风装置，保持机房内空气流通。机房通风换气为 4 次/小时。 ⑦各机房内设置摄像监控装置 ⑧直线加速器采用电动、手动一体化防护门 核医学科： ① <u>双排放系统和双排水系统</u> ② <u>设置有衰变池</u> ③ <u>注射室、源室设置具有辐射屏蔽作用的污物桶（脚踏式）。</u> ④ <u>设置监控系统、对讲系统</u>	GBZ126-2011 GBZ130-2013 GBZ121-2002

9	管理制度、应急措施	建立专门的辐射领导机构，制定相应的规章制度和事故应急预案，核医学科通道悬挂走向指示牌等		制定并落实各项制度，有关制度和预案张贴上墙
10	辐射警示标志	电离辐射警示标志位于醒目位置；有工作运行指示灯、门灯联锁		设置，工作正常
11	电离辐射	剂量限值	1、 <u>DSA 介入医生、核医学科分装注射工作人员年有效剂量$\leq 4\text{mSv}$</u> 2、 <u>其他辐射工作人员年有效剂量$\leq 2\text{mSv}$</u> 3、 <u>公众成员年有效剂量$\leq 0.1\text{mSv}$</u>	<u>GB18871-2002、环评批复</u>
		表面污染	1、 <u>控制区表面污染控制水平$< 40\text{Bq/cm}^2$</u> 2、 <u>监督区表面污染控制水平$< 4\text{Bq/cm}^2$</u> 3、 <u>其他的表面污染控制水平$< 0.4\text{Bq/cm}^2$</u>	<u>GB18871-2002</u>
		墙体外剂量率控制	<u>距离机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率$\leq 2.5\mu\text{ Sv/h}$</u>	<u>GB18871-200</u> <u>GBZ130-2013</u>
12	放射性废水	核医学科衰变池总排口设置采样口，每一次排放火毒不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ ，每月排放总活度不超过 $10\text{ALI}_{\min}$ ，接纳放射性废水的普通下水道的流量大于排入流量的 10 倍，医院总排污口总 β 放射性 $< 10\text{Bq/L}$		<u>GB18871-2002</u>
13	废气	排气口高于楼顶屋脊		<u>GBZ120-2006</u>
14	放射性固废	废物包装袋表面： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ ，有废物处理台账		<u>GBZ133-2009</u>

附 录

附图

- 附图一 项目地理位置图
- 附图二 项目所在地卫星图
- 附图三 项目所在楼层平面布置图
- 附图四 直线加速器机房平面图及剖面图
- 附图五 核医学科平面布置图

附件

- 附件一 湘环评[2012]147 号
- 附件二 鹏辐（监）[2015]158 号
- 附件三 省卫计委批准书及医院情况说明