

# 郴州市第一人民医院核技术利用项目 竣工环境保护验收监测报告表

报告编号：湘环院（验）字 [2018]第 12-003 号



建设单位：郴州市第一人民医院

编制单位：湖南省湘环环境研究院有限公司

二〇一九年五月



建设单位法人代表：\_\_\_\_\_（签字）

编制单位法人代表：徐峰（签字）

项目负责人：林梦娟

填表人：林梦娟



建设单位：郴州市第一人民医院（盖章）

电 话：0735-2225521

传 真：/

邮 编：423000

地 址：郴州市罗家井 102 号



编制单位：湖南省湘环环境研究院有限公司（盖章）

电 话：0731-84152990

传 真：0731-84152990

邮 编：410007

地 址：长沙市雨花区井莲路 397 号紫金国际 22 楼





# 检验检测机构 资质认定证书

证书编号：181812051307

名称：湖南省湘环环境研究院有限公司

地址：长沙市雨花区井莲路397号紫铭大厦2210房/410007

经审查，你机构已具备国家有关法律、行政法规规定的基本条件和能力，现予批准，可以向社会出具具有证明作用的数据和结果，特发此证。资质认定包括检验检测机构计量认证。

你机构对外出具检验检测报告或证书的法律责任由湖南省湘环环境研究院有限公司承担。

许可使用标志



181812051307

发证日期：2018年 02月 09日

有效期至：2024年 02月 08日

发证机关：



本证书由国家认证认可监督管理委员会监制，在中华人民共和国境内有效。

仅供郴州项目  
民院核技术利用项目  
环境保护验收监测报告表使用！

## 目 录

表一.....	1
1.1 法律法规.....	2
1.2 技术标准.....	2
1.3 项目环评文件.....	3
1.4 工作场所辐射水平要求.....	5
1.5 人员受照剂量要求.....	5
1.6 机房建设相关的要求.....	5
1.7 安全管理要求.....	6
表二.....	7
2.1 项目由来.....	7
2.2 工程建设内容.....	8
2.3 原辅材料消耗及水平衡.....	19
2.4 主要工艺流程及产污环节.....	19
表三.....	38
3.1 主要污染源、污染物处理和排放.....	38
3.2 辐射安全防护措施.....	39
3.3 辐射安全管理措施.....	58
3.4 辐射安全与防护知识培训.....	59
3.5 职业健康监护.....	59
3.6 个人剂量计监测.....	60
3.7 辐射安全防护落实情况核查表.....	61
表四.....	65
4.1 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定.....	65
表五.....	77
5.1 验收监测质量保证及质量控制.....	77
表六.....	78

6.1 验收监测内容.....	78
<b>表七.....</b>	<b>80</b>
7.1 验收监测期间生产工况记录.....	80
7.2 验收监测结果.....	84
<b>表八.....</b>	<b>135</b>
8.1 验收监测结论.....	135

## 附 录

### 附图：

- 附图一 项目所在地理位置图
- 附图二 南院综合楼一楼平面布置图
- 附图三 南院 PET-CT 楼地下一层平面布置图
- 附图四 南院 PET-CT 楼一层平面布置图
- 附图五 南院 PET-CT 楼二层核医学科平面布置图
- 附图六 南院 PET-CT 楼二层核医学科分区及流向示意图
- 附图七 南院 PET-CT 楼四层 DSA 手术室平面布置图
- 附图八 北院（儿童医院）DSA 所在四楼手术室平面布置图

### 附件：

- 附件一 竣工环境保护验收委托书
- 附件二 辐射安全许可证正副本
- 附件三 关于成立放射安全防护小组的通知
- 附件四 医院放射工作人员名单
- 附件五 辐射工作人员职业健康监护资料
- 附件六 辐射工作人员个人剂量检测报告
- 附件七 部分辐射工作人员培训证书
- 附件八 辐射防护相关制度及应急预案
- 附件九 辐射工作场所现状检测报告及衰变池废水检测报告
- 附件十 原环评批复及验收批复



表一

建设项目名称	郴州市第一人民医院核技术利用项目				
建设单位名称	郴州市第一人民医院				
建设项目性质	改扩建				
建设地点	郴州市市罗家井 102 号郴州市第一人民医院中心医院、郴州市青年大道 8 号郴州市第一人民医院南院、郴州市飞虹路 6 号郴州市第一人民医院北院（儿童医院）、郴州市南岭大道与龙女路交叉口处郴州市第一人民医院西院				
主要产品名称	5 台 II 类射线装置（包含 1 台 15MV 高能医用电子直线加速器，1 台 10MeV 回旋加速器，制备 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 放射性药物，3 台医用血管造影 X 射线系统（DSA）），16 台 III 类射线装置，其中包含 PET-CT 中心配置 1 台 PET/CT（III 类射线装置，使用 7 枚 $^{22}\text{Na}$ 密封放射源用于 PET/CT 校正，为 V 类放射源），同时 PET-CT 中心使用 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 八种核素（属于非密封放射性物质乙级工作场所），其他包含 1 处核医学科，使用核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ ，日等效最大操作量 $3.848 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性工作场所				
设计生产能力	--				
实际生产能力	--				
建设项目环评时间	2014 年 10 月 2007 年 1 月 2016 年 4 月 2016 年 4 月 2018 年 1 月	开工建设时间	2014 年 11 月 2007 年 9 月 2016 年 3 月 2013 年 11 月 2016 年 3 月		
调试时间	2018 年 3 月 2008 年 1 月 2016 年 6 月 2014 年 11 月 2016 年 3 月	验收现场监测时间	2018 年 12 月 6 日、 2018 年 12 月 9 日、 2019 年 1 月 21 日		
环评报告表审批部门	湖南省环境保护厅	环评报告表编制单位	核工业二三〇研究所 重庆宏伟环保工程有限公司		
环保设施设计单位	PET-CT 中心：青岛新都市设计集团 核医学与放疗：国安中建建设集团有限公司	环保设施施工单位	PET-CT 中心：华克医疗科技(北京)股份公司 核医学与放疗：湖南雅康净化工程有限公司		
投资总概算（万元）	--	环保投资总概算（万元）	--	比例	--

实际总概算 (万元)	100000	环保投资 (万元)	2000	比例	2.0%
验收 监测 依据	<p><b>1.1 法律法规</b></p> <p>(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；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月；</p> <p>(3) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第682号令，(2017年7月16日修订)，2017年10月1日执行；</p> <p>(4) 《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，(2014年7月29日修订)；</p> <p>(5) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，国环规环评[2017]4号，2017年11月20日施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法(2017修订)》环保部令第47号，2017年12月20日施行；</p> <p>(7) 《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；</p> <p>(8) 《关于发布射线装置分类办法的公告》环境保护部公告，2017年第66号，2017年12月5日施行；</p> <p>(9) 《放射工作人员职业健康管理辦法》卫生部令第55号，2007年11月1日施行；</p> <p>(10) 《建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度》环发145号，2006年。</p> <p><b>1.2 技术标准</b></p> <p>(1) 《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》生态环境部公告，2018年第9号，2018年5月15日；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(3) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)；</p> <p>(4) 本次直线加速器以环评及批复中的《医用电子加速器卫生防护标准》(GBZ126-2002)相关标准进行验收，以更新后的《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)</p>				



与《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T201.2-2011）第2部分进行校验；

（5）《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）；

（6）《临床核医学放射卫生防护标准》（GB120-2006）；

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

（8）《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；

（9）《核应急管理导则—放射源和辐射技术应用应急准备与响应》国防委、卫生部；

（10）《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）。

（11）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）；

（12）《放射工作人员健康要求》（GBZ98-2017）；

（13）《放射工作人员职业健康监护技术规范》（GBZ235-2011）；

（14）《工作场所职业病危害警示标识》（GBZ158-2003）；

（15）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。

### 1.3 项目环评文件

（1）《郴州市第一人民医院核技术利用扩建项目》，核工业二三〇研究所；及审批意见（湘环评表[2007]14号），湖南省环境保护厅，2007年1月17日；

（2）《郴州市第一人民医院核技术利用改扩建项目》，重庆宏伟环保工程有限公司，二〇一四年九月；及《关于对郴州市第一人民医院核技术利用改扩建项目环境影响报告表审批意见》（湘环评辐表[2014]52号），湖南省环境保护厅，2014年10月9日；

（3）《郴州市第一人民医院核技术利用扩建项目》，重庆宏伟环保工程有限公司，二〇一六年三月；及《关于对郴州市第一人民医院核技术利用扩建项目环境影响报告表审批意见》（湘环评辐表[2016]23号），湖南省环境保护厅，2016年4月21日；

（4）《郴州市第一人民医院核技术利用扩建项目》，重庆宏伟

环保工程有限公司，二〇一七年十二月；及《关于对郴州市第一人民医院核技术利用扩建项目环境影响报告表审批意见》（湘环评辐表[2018]2号），湖南省环境保护厅，2018年1月9日》；

（5）备案号 2018431000200000047，2018年06月26日；

（6）《郴州市第一人民医院核技术利用项目环保竣工验收意见》，湖南省环境保护厅，湘环评辐验表【2016】5号，2016年2月2日。

验收监测评价标准、标号、级别、限值	<b>1.4 工作场所辐射水平要求</b>		
	<b>表 1-1 工作场所辐射水平要求</b>		
	<b>项目</b>	<b>标准限值</b>	<b>来源</b>
	回旋加速器	屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率 不超过 2.5μSv/h	本次直线加速器以环评及批复中的《医用电子加速器卫生防护标准》（GBZ126-2002）相关标准进行验收，以更新后的《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T201.2-2011）第 2 部分进行校验
	直线加速器	屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率 不超过 2.5μSv/h	
	DSA 机房	屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率 不超过 2.5μSv/h	《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）
	其他 III 类射线装置	屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率不超过 2.5μSv/h	
	核医学科工作场所	表面污染：控制区：<4×10Bq/cm <sup>2</sup> 监督区：<4Bq/cm <sup>2</sup> 其他：<0.4Bq/cm <sup>2</sup>	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B11
	<b>1.5 人员受照剂量要求</b>		
	根据本项目环评报告中规定的人员年剂量目标管理限值要求，辐射工作人员及公众的年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求。具体见下表。		
<b>表 1-2 工作人员职业照射和公众照射年剂量</b>			
<b>类别</b>	<b>剂量限值</b>	<b>管理目标值</b>	
职业照射	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv	介入医生及核医学科工作人员：4mSv/a 其他辐射工作人员：2mSv/a	
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	0.1mSv/a	
<b>1.6 机房建设相关的要求</b>			
<b>表 1-3 机房建设相关的要求</b>			

场所	标准限值		来源
回旋加速器 直线加速器	新建治疗室面积	≥45m <sup>2</sup> 、最小单边长度≥4.5m	本次直线加速器 以环评及批复中的《医用电子加速器卫生防护标准》（GBZ126-2002） 相关标准进行验收，以更新后的《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T201.2-2011）第2部分进行校验
	穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果；治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备；治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁；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；  治疗室通风换气次数应不小于4次/h		
DSA 机房	新建治疗室面积	≥30m <sup>2</sup> （参考）	《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）及环评、批复要求
	机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风 机房应设置观察窗或者摄像监控装置，防护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、防护门设置闭门装置、门灯联锁		
其他 III 类射线 装置机房	CT 机房面积	≥30m <sup>2</sup>	《临床核医学放射卫生防护标准》（GB120-2006）
	DR 机房面积	≥20m <sup>2</sup>	
机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风 机房应设置观察窗或者摄像监控装置，防护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、防护门设置闭门装置、门灯联锁		最小单 边长度	≥4.5m ≥3.5m
核医学科工作 场所	各机房防护门上方设置工作状态指示灯；防护门上均贴辐射警示标识		《临床核医学放射卫生防护标准》（GB120-2006）
	地面易清洗且不易渗漏；设置有通风橱，有较好通风，风速不低于1m/s，排气口高于本建筑屋脊		
<b>1.7 安全管理要求</b>  《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及环评报告、环评批复中的相关要求。			

表二

## 2.1 项目由来

### (1) 医院简介

郴州市第一人民医院建院于 1907 年，是一所已有百年历史的国家三级甲等综合医院，是郴州市医疗急救、科研教学、康复保健中心。医院现分四个医疗区，分别为郴州市第一人民医院北院（儿童医院）、郴州市第一人民医院南院、郴州市第一人民医院中心医院、郴州市第一人民医院西院（康复医院）。中心医院重点为大综合，为郴州市医疗卫生的人才中心、技术中心、设备中心、培训中心；南院是以肿瘤诊治、亚健康干预、生殖医学、康复为发展特色的大专科小综合医院；北院（儿童医院）主要担负儿童内科、外科和儿童保健工作任务，是湘南地区唯一的儿童专科医疗保健机构。

医院占地面积 12.7 万多  $m^2$ ，现有建筑面积 32 万  $m^2$ ；实际开放床位 3345 张，共设置科室 146 个，其中临床科室 103 个、检查治疗科室 22 个、职能科室 21 个；拥有 PET-CT、3.0T 核磁共振、直线加速器、64 排螺旋 CT、宝石能谱 CT、全自动流水线（目前国内最长）生化分析仪等总价值 6.68 亿元的尖端医疗设备；现有在职职工 3499 人，其中高级职称专家 680 人，博士生导师 1 人，硕士生导师 33 人，医学博士 45 人，医学硕士 568 人。

医院现有 4 个省级临床重点专科建设项目，8 个市州级医院临床重点专科建设项目，27 个市级重点专科，3 个市级重点专科建设项目，1 个国家级技术研发中心，2 个省级技术研发中心，11 个市级技术研发中心。神经内科、儿科、康复医学科、急诊医学科为省级临床重点专科建设项目，眼科、心血管内科、普通外科、老年病科、妇科、临床药学、护理、泌尿外科为市州级医院临床重点专科建设项目，新生儿科、耳鼻喉科、急诊科、重症医学科、肝胆外科、心血管内科等 27 个科室为市级重点专科；高通量分子诊断技术国家地方联合工程实验室为我市首个国家级科研平台；湖南省脑卒中临床技术示范基地、医学分子诊断技术湖南省工程实验室为省级技术研发中心；获批了博士后流动站协作研发中心、生殖医疗研究中心、儿童哮喘病防技术中心、肾脏病诊疗技术研发中心、肝脏疾病基因诊断技术研发中心、泌尿外科微创技术研发中心、医学美容技术研发中心、心血管病防治中心等 11 个市级技术研发中心；共有 7 个



专业获得国家食品药品监督管理局的药物临床试验资格认定。

## (2) 项目由来

郴州市第一人民医院于2006年12月委托核工业二三〇研究所对医院南院后勤综合楼1楼放疗中心的直线加速器及南院门诊楼2楼影像医学中心CT机房1台TSX-101A型CT进行了环境影响评价,并取得了湖南省环境保护厅的审批意见:湘环评表【2007】14号;医院于2014年9月、2016年3月、2017年12月委托重庆宏伟环保工程有限公司分别对医院南院PETCT楼负一楼的1台10MeV回旋加速器(制备 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 放射性药物)、PET-CT中心1处乙级非密封源放射性工作场所(使用 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 八种核素),南院PETCT楼4楼2号DSA机房、1号DSA机房北院住院楼4楼第九手术室的1台DSA,其他16台III类射线装置(分布在中心医院、南院、北院、西院),南院1处核医学科,使用核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ ,日等效最大操作量 $3.848\times 10^8\text{Bq}$ ,为乙级非密封放射性工作场所,以及PETCT(III类射线装置)使用7枚 $^{22}\text{Na}$ 密封放射源用于PET/CT校正,为V类放射源进行了环境影响评价,并分别取得了湖南省环境保护厅的审批意见:湘环评辐表【2014】52号、湘环评辐表【2016】23号、湘环评辐表【2018】2号以及备案号201843100200000047。

医院于2015年2月13日取得了湖南省环境保护厅发放的辐射安全许可证,湘环辐证【00069】,种类和范围;使用III、V类放射源,使用II、III类射线装置,使用乙、丙级非密封放射性工作场所,有效期至2020年2月12日。

按照《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目竣工环境保护验收管理办法》和国务院449号令《放射性同位素和射线装置安全和防护条例》的相关要求,建设项目必须进行竣工环境保护验收监测。该公司按照要求委托湖南省湘环环境研究院有限公司负责该项目竣工验收监测工作。我公司接受委托后,经过收集资料,现场监测,于2019年1月编制完成该项目的竣工验收监测报告。

## 2.2 工程建设内容

郴州市第一人民医院现有46台射线装置(包含11台II类射线装置,35台III类射线装置)、3处乙级非密封放射性工作场所(南院1处,使用核素

为  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ ；中心医院 1 处，使用核素为  $^{131}\text{I}$ 、 $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ ；PETCT 中心使用使用  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  八种核素）、1 处丙级非密封放射性工作场所，使用核素为  $^{125}\text{I}$  粒籽源，以及 1 台后装机（使用放射源为  $^{192}\text{Ir}$ ，III类放射源），使用 1 枚  $^{90}\text{Sr}$  放射源（V 类放射源）做敷贴治疗，PETCT 使用 7 枚  $^{22}\text{Na}$  密封放射源用于 PET/CT 校正，为 V 类放射源。已有射线装置、放射性同位素及放射源的使用具体情况见表 2-1~2-4，医院上述设备、放射性同位素及放射源运行至今，情况良好，无辐射安全事故发生。

表 2-1 郴州市第一人民医院现有射线装置使用情况表

序号	使用科室	装置名称	型号	类型	数量	备注
1	南院 放射 治疗 中心	直线加速器	PRIMUS	II 类	1 台	本次验收 湘环评表【2007】 14 号，2007 年 1 月 17 日
2		血管造影介入治 疗系统	CGO-2100	II 类	1 台	本次验收 湘环评辐表 【2016】23 号， 2016 年 4 月 21 日
3		数字减影血管造 影系统（DSA）	OPTIMA CL323I	II 类	1 台	
4		回旋加速器	HM-10	II 类	1 台	本次验收 湘环评辐表 【2014】52 号； 2014 年 10 月 9 日
5		模拟定位机	LX-40A	III 类	1 台	已验收
6		直线加速器	Clinac IX	II 类	1 台	已验收；湘环评 辐验表【2016】5 号；2016 年 2 月 2 日
7		直线加速器	Synergy	II 类	1 台	
8		PET/CT	Gemini TF 64 型	III 类	1 台	本次验收；湘环 评辐表【2016】 23 号，2016 年 4 月 21 日
9		全身 X 射线计算 机断层扫描系统	Philips Brilliance 16 排	III 类	1 台	本次验收；湘环 评辐表【2018】2

						号； <b>2018年1月9日</b>
10	放射科	数字胃肠机	新东方 2000A	III类	1台	已验收
11		医用 X 射线摄影系统 (DR)	新东方 1000EC 型	III类	1台	<b>本次验收</b>
12		医用数字 X 射线摄影系统 (DR)	新东方 1000	III类	1台	已验收；湘环评辐验表【2016】5号；2016年2月2日
13		计算机体层摄影设备	TSX-101A	III类	1台	<b>本次验收</b>
14		X 射线骨密度测定仪	OSTEOCORE 2	III类	1台	已验收
15	三楼 乳房保健中心	乳腺钼靶机	ASY-01427	III类	1台	<b>本次验收；湘环评辐表【2018】2号； 2018年1月9日</b>
16	四楼 体检中心	骨密度仪	Metri Scan	III类	1台	<b>本次验收；湘环评辐表【2018】2号； 2018年1月9日</b>
17		全景 X 射线机	Planmeca ProMax	III类	1台	<b>本次验收</b>
18		移动式 X 射线成像系统	JXC6000	III类	1台	已报废
19	中心 医院	数字减影血管造影系统 (DSA)	Infinix-IINFX-8000F	II类	1台	已验收；湘环评辐验表【2016】5号；2016年2月2日
20		数字减影血管造影系统 (DSA)	INNOVA 3100-IQ	II类	1台	
21		数字减影血管造影系统 (DSA)	INNOVA 2100-IQ	II类	1台	
22		数字减影血管造影系统 (DSA)	CGO-2100	II类	1台	
23	医学影像中心	全身 X 射线计算机断层扫描系统 (CT)	Dscovery	III类	1台	已验收；湘环评辐验表【2016】5号；2016年2月

24		全身 X 射线计算机断层扫描系统 (CT)	LightSpeed	III 类	1 台	2 日
25		全身 X 射线计算机断层扫描系统 (CT)	TSX-031A	III 类	1 台	
26		全身 X 射线计算机断层扫描系统 (CT)	BrightSpeed Elite	III 类	1 台	
27		数字胃肠机	SDNIALVSION SAFIRE17	III 类	1 台	
28		数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	RADEX	III 类	1 台	已验收
29		数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	新东方 1000	III 类	1 台	已验收
30		数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	新东方 1000D	III 类	1 台	已验收
31		数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	新东方 1000D	III 类	1 台	已验收
32		体外冲击波碎石机	Dornier Compact Delta H	III 类	1 台	已验收
33		移动式摄影 X 射线机	POLYMOBIL Plus	III 类	1 台	已验收
34		移动式摄影 X 射线机	POLYMOBIL Plus	III 类	1 台	本次验收; 备案号 20184310020000 0047
35	口腔科	口腔 X 射线数字化体层摄影设备	Planmeca ProMax 3D Mid	III 类	1 台	已验收
36	一号楼附楼 7 楼核医学检验室	双能 X 线骨密度仪	Lunar_iDXA	III 类	1 台	已验收
37	胃肠	小 C 臂机	OEC9900 Elite	III 类	1 台	本次验收; 备案

		科					号 <b>20184310020000 0047</b>
38		外科 大楼 手术室	小 C 臂机	<u>OEC 9900 Elite、 OEC Fluorostar Compact D、OEC Fluorostar Compact D</u>	III 类	3 台	本次验收；备案号 号 <b>20184310020000 0047</b>
39	北 院	放射 科	全身 X 射线计算 机断层扫描系统 (CT)	<u>Brilliance TM CT 6 Slice</u>	III 类	1 台	本次验收
40			数字胃肠机	新东方 2000A	III 类	1 台	已验收；湘环评 辐验表【2016】5 号；2016 年 2 月 2 日
41			移动 X 射线诊断 机	HM-32A	III 类	1 台	已验收
42			医用 X 射线摄影 系统	新东方 1000EC	III 类	1 台	本次验收
43		口腔 科	口腔 X 射线数字 化体层摄影设备	<u>CS9000C 3D</u>	III 类	1 台	已验收
44		住院 楼 4 楼第 九手 术间	医用血管造影 X 射线机	<u>Optima CL323i</u>	II 类	1 台	本次验收 湘环评辐表 【2018】2 号； 2018 年 1 月 9 日
45	西 院	门诊 大楼 一楼 CT 室	X 射线计算机体 层摄影设备	<u>Optima CT520</u>	III 类	1 台	本次验收；备案号 号 <b>20184310020000 0047</b>
46		门诊 大楼 一楼 DR 室	数字化 X 射线摄 影系统	新东方 1000EC	III 类	1 台	本次验收；备案号 号 <b>20184310020000 0047</b>



表 2-2 郴州市第一人民医院现有放射性同位素使用情况表

序号	位置	核素名称	物理、化学性状	操作方式	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	备注
1	中心医 院外科 大楼一 楼	<sup>99m</sup> Tc	液态, 低 毒组	很简单操作	$2.96 \times 10^7$	$3.7 \times 10^{12}$	已环评 未建成
2		<sup>89</sup> Sr	液态、中 毒组	简单操作	$8.88 \times 10^7$	$7.4 \times 10^9$	
3		<sup>131</sup> I	液态、中 毒组	简单操作	$1.95 \times 10^9$	$8.05 \times 10^{11}$	
乙级非密封放射性工作场所					$2.0684 \times 10^9$	$4.5124 \times 10^{12}$	
4	南院放 射治疗 中心	<sup>125</sup> I	固态、中 毒组	很简单操作	$3.7 \times 10^6$	$3.7 \times 10^{11}$	已环评 未建成
丙级非密封放射性工作场所					$3.7 \times 10^6$	$3.7 \times 10^{11}$	
5	南院 PETCT 楼2楼	<sup>99m</sup> Tc	液态, 低 毒组	简单操作	$2.96 \times 10^8$	$7.4 \times 10^{11}$	本次验 收; 湘环 评辐表 【2014】 52号; 2014年 10月9 日
6		<sup>89</sup> Sr	液态, 中 毒组	简单操作	$8.88 \times 10^7$	$2.96 \times 10^9$	
乙级非密封放射性工作场所					$3.848 \times 10^8$	$7.43 \times 10^{11}$	

表 2-3 郴州市第一人民医院现有放射源使用情况表

序号	使用科室	设备名称	核素名称	出厂活度(Bq)	国家编码	备注
1	南院放射治 疗中心	后装机	<sup>192</sup> Ir	$3.7 \times 10^{11}$	0114IR000273	已验收; 湘环评 辐验表【2016】5 号; 2016年2月 2日
2	南院南院	PET/CT	<sup>22</sup> Na	$3.7 \times 10^5$	US17NA000705	本次验收; 湘环

3	PETCT 楼	校正	<sup>22</sup> Na	3.7×10 <sup>5</sup>	US17NA000745	评辐表【2014】 52号； 2014年10月9 日
4			<sup>22</sup> Na	3.7×10 <sup>5</sup>	US17NA000715	
5			<sup>22</sup> Na	3.7×10 <sup>5</sup>	US17NA000725	
6			<sup>22</sup> Na	3.7×10 <sup>5</sup>	US17NA000755	
7			<sup>22</sup> Na	3.7×10 <sup>5</sup>	US17NA000735	
8			<sup>22</sup> Na	3.7×10 <sup>6</sup>	US17NA000695	
9	中心医院外 科大楼一楼	<sup>90</sup> Sr 贴敷 治疗器	<sup>90</sup> Sr	3.7×10 <sup>9</sup>	--	未建成

南院 PET-CT 中心涉及的设备及核素情况见下表：

表 2-4 郴州市第一人民医院南院 PETCT 中心放射性同位素情况表

核素 名称	物理、化学性 状	日最大操 作量(Bq)	操作 方式	日等效操 作量(Bq)	年最大操 作量(Bq)	备注
<sup>18</sup> F	液态，低毒组	3.7×10 <sup>10</sup>	简单操 作	3.7×10 <sup>8</sup>	7.4×10 <sup>12</sup>	本次验收； 湘环评辐表 【2014】52 号； 2014年10 月9日
<sup>11</sup> C	液态，低毒组	3.7×10 <sup>8</sup>	简单操 作	3.7×10 <sup>6</sup>	7.4×10 <sup>10</sup>	
<sup>15</sup> O	液态，低毒组	3.7×10 <sup>8</sup>	简单操 作	3.7×10 <sup>6</sup>	7.4×10 <sup>10</sup>	
<sup>13</sup> N	液态，低毒组	3.7×10 <sup>8</sup>	简单操 作	3.7×10 <sup>6</sup>	7.4×10 <sup>10</sup>	
<sup>89</sup> Zr	液态，中毒组	1.85×10 <sup>9</sup>	简单操 作	1.85×10 <sup>8</sup>	3.7×10 <sup>11</sup>	
<sup>124</sup> I	液态，中毒组	3.7×10 <sup>9</sup>	简单操 作	3.7×10 <sup>8</sup>	7.4×10 <sup>11</sup>	
<sup>64</sup> Cu	液态，中毒组	2.0×10 <sup>9</sup>	简单操 作	2.0×10 <sup>8</sup>	4.0×10 <sup>11</sup>	
<sup>68</sup> Ga	液态，中毒组	7.4×10 <sup>8</sup>	简单操 作	7.4×10 <sup>7</sup>	1.48×10 <sup>11</sup>	
合计		4.64×10 <sup>10</sup>	/	1.21×10 <sup>9</sup>	9.28×10 <sup>12</sup>	

上述除已验收设备及中心医院外科大楼一楼核医学科未建成外，暂不验收；其他射线装置机房均已投入运行，具备竣工环境保护验收条件。湖南省湘环环境研究院有限公司接受委托后，于 2018 年 12 月 6 日、9 日及 2019 年 1

月 21 日开展了现场监测和检查，对上述射线装置及非密封放射性工作场所的环境进行了辐射水平测试和各项安全防护措施验证，对辐射防护管理措施进行了现场查验。根据现场监测和核实情况，依据国家有关法律、法规和标准，编制本项目竣工环境保护验收监测报告。

本次验收基本建设内容与环评对比情况见下表：

**表 2-5 本次验收项目基本建设情况与环评对比情况**

项目	实际建设情况	实际建设与环评及批复是否一致	
开工建设时间	2014 年 11 月 2007 年 9 月 2016 年 3 月 2013 年 11 月 2016 年 3 月	是	
竣工时间	2018 年 3 月 2008 年 1 月 2016 年 6 月 2014 年 11 月 2016 年 3 月	是	
建设地点	郴州市市罗家井 102 号郴州市第一人民医院中心医院 郴州市青年大道 8 号郴州市第一人民医院南院 郴州市飞虹路 6 号郴州市第一人民医院北院（儿童医院） 郴州市南岭大道与龙女路交叉口处郴州市第一人民医院西院	是	
主体工程	直线加速器（Primus）	南院后勤综合楼 1 楼放疗中心 1 号直加机房，机房长宽高分别为：8.75m×9.6m×4.5m，有效使用面积为 84.0 m <sup>2</sup> ，南北主屏蔽墙体厚度为 240cm 现浇混凝土，次屏蔽墙厚度为 140 现浇混凝土，侧屏蔽墙为 140 现浇混凝土，在东墙上设置迷道，迷道内墙 100cm 现浇混凝土，迷道外墙厚度为 100cm~140cm 现浇混凝土。	是
	回旋加速器（HM-10HC）	南院 PETCT 楼负一楼回旋加速器机房，回旋加速器机房长宽高分别为 7.65m×6.2m×5.05m，有效使用面积为 47.43 m <sup>2</sup> ，回旋加速器室四周墙体厚 60cm，顶棚厚 40cm，防护门（设置在北墙上）铅为 20mmPb 和 150mmpe，北墙上设置迷道。	是
	血管造影介入	南院 PETCT 大楼 4 楼 1 号 DSA 机房，机房长宽高	是

治疗系统 (CGO-2100)	分别为: 6.1m×9.8m×4.0m , 有效使用面积为: 60m <sup>2</sup> , 东墙为 700mm 玻镁板+3mmPb, 南墙为 500mm 玻镁板+3mmPb, 西墙为 450mm 玻镁板+3mmPb, 北墙为 100mm 玻镁板+3mmPb, 顶棚为 120mm 混凝土+40mm 硫酸钡混凝土+1mmPb, 地面为 270mm 混凝土+40mm 硫酸钡混凝土, 大防护门及防护窗为 4mmPb, 小防护门为 3mmPb。	
数字减影血管造影系统 (Optima CL323i)	南院 PETCT 楼 4 楼 2 号 DSA 机房, 机房长宽高分别为: 6.2m×10.8m×4.0m , 有效使用面积为: 66m <sup>2</sup> , 东墙为 450mm 玻镁板+3mmPb, 南墙为 400mm 玻镁板+3mmPb, 西墙为 100mm 玻镁板+3mmPb, 北墙为 400mm 玻镁板+3mmPb, 顶棚为 120mm 混凝土+40mm 硫酸钡混凝土+1mmPb, 地面为 270mm 混凝土+40mm 硫酸钡混凝土, 大防护门及防护窗为 4mmPb, 小防护门为 3mmPb。	是
医用血管造影 X 射线机 (Optima CL323i)	北院住院楼 4 楼第九手术间, 机房长宽高分别为: 6.55m×5.27m×3.5m , 有效使用面积为: 34.5m <sup>2</sup> , 四面墙体均为 240mm 实心砖+4mmPb, 顶棚及地面均为 120mm 砼+4mmPb, 大防护门、小防护门及防护窗为 4mmPb。	是
正电子发射及 X 射线计算机断层成像系统 (Ingenuity TF)	南院 PETCT 楼一楼 PET-CT 机房, 机房长宽高分别为: 10.4m×7.8m×4.4m , 有效使用面积为: 81.12m <sup>2</sup> , 四面墙体均为 400mm 混凝土, 顶棚为 400mm 混凝土, 大防护门、小防护门及防护窗为 10mmPb。	是
全身 X 射线计算机断层扫描系统 (Brilliance CT Big Bore)	南院后勤综合楼 1 楼定位 CT 机房, 机房长宽高分别为: 6.0m×5.5m×3.5m , 有效使用面积为: 33m <sup>2</sup> , 四面墙体均为 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡混凝土, 顶棚及地面均为 120mm 砼+40mm 硫酸钡混凝土, 防护门及防护窗为 3.5mmPb。	是
医用 X 射线摄影系统 (新东方 1000EC 型)	南院门诊楼 2 楼影像医学中心 2 号机房, 机房有效使用面积为: ≥30m <sup>2</sup> , 四面墙体均为 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡混凝土, 顶棚及地面均为 120mm 砼+40mm 硫酸钡混凝土, 防护门及防护窗为 3.5mmPb	是
计算机断层摄影设备 (TSX-101A)	南院门诊楼 2 楼影像医学中心 CT 机房, 机房有效使用面积为: ≥30m <sup>2</sup> , 四面墙体均为 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡混凝土, 顶棚及地面均为 120mm 砼	是

		+40mm 硫酸钡混凝土，防护门及防护窗为 3.5mmPb	
数字乳腺 X 射线摄影系统 (ASY-01427)		南院住院部三楼乳房保健中心钼靶机房，机房长宽高分别为：3.55m×3.5m×3.5m，有效使用面积为：12.4m <sup>2</sup> ，四面墙体均为 240mm 实心砖，顶棚及地面均为 120mm 砼，防护门及防护窗为 2mmPb。	是
数字成像骨密度仪 (Metri Scan)		南院住院楼 4 楼楼体检中心骨密度检查室，机房长宽高分别为：3.0m×3.5m×3.5m，有效使用面积为：10.5m <sup>2</sup> ，四面墙体均为 240mm 实心砖，顶棚及地面均为 120mm 砼，防护门及防护窗为 2mmPb。	是
全景 X 射线机 (Planmeca ProMax)		南院门诊三楼口腔科牙片机房，机房有效使用面积为：≥10m <sup>2</sup> ，四面墙体均为 240mm 实心砖，顶棚及地面均为 120mm 砼，防护门及防护窗为 2mmPb。	是
移动式 X 射线成像系统 (JXC6000)		南院手术室，四面墙体均为 240mm 实心砖+2mmPb，顶棚及地面均为 120mm 砼+2mmPb，防护门及防护窗为 3mmPb。	是
移动式摄影 X 射线机 (POLYMOB IL Plus)		中心医院住院部 7 楼 ICU 三区，四面墙体均为 240mm 实心砖+2mmPb，顶棚及地面均为 120mm 砼+2mmPb，防护门及防护窗为 3mmPb。	是
移动式 C 形臂 X 射线机 (OEC 9900 Elite)		中心医院内科大楼裙楼 5 楼内镜中心，中心医院外科大楼 7 楼 5 号手术室，手术室四面墙体均为 240mm 实心砖+2mmPb，顶棚及地面均为 120mm 砼+2mmPb，防护门及防护窗为 3mmPb	是
移动式 C 形臂 X 射线机 (OEC Fluorostar Compact D)		中心医院外科大楼 7 楼 2 号手术室、3 号手术室，手术室四面墙体均为 240mm 实心砖+2mmPb，顶棚及地面均为 120mm 砼+2mmPb，防护门及防护窗为 3mmPb	是
全身 X 射线计算机断层扫描系统 (Brilliance TM CT 6 Slice)		北院门诊楼 2 楼影像医学中心 CT 机房，机房有效使用面积为：≥30m <sup>2</sup> ，四面墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡；顶棚、地面为 120mm 砼+50mm 硫酸钡，防护门及防护窗为 4mmPb。	是
医用 X 射线摄影系统 (新东)		北院门诊楼 2 楼影像医学中心 1 号 DR 机房，机房有效使用面积为：≥20m <sup>2</sup> ，四面墙体为 370mm 实心	是



	方 1000EC)	砖+30mm 硫酸钡; 顶棚、地面为 120mm 砧+50mm 硫酸钡, 防护门及防护窗为 4mmPb。	
	X 射线计算机 体层摄影设备 ( Optima CT520)	西院门诊大楼一楼 CT 室, 机房有效使用面积为: ≥30m <sup>2</sup> , 四面墙体均为 200mm 砧+12mm 铅木复合板; 顶棚为 150mm 砧+12mm 铅木复合板; 地面为 150mm 砧+20mm 铅木复合板, 防护门及防护窗为 4mmPb。	是
	数字化 X 射线 摄影系统 (新 东方 1000EC)	西院门诊大楼一楼 DR 室, 机房有效使用面积为: ≥30m <sup>2</sup> , 四面墙体均为 200mm 砧+12mm 铅木复合板; 顶棚为 150mm 砧+12mm 铅木复合板; 地面为 150mm 砧+20mm 铅木复合板, 防护门及防护窗为 3mmPb。	是
	放射源	7 枚 <sup>22</sup> Na 密封放射源, 用于 PET/CT 校正, 为 V 类 放射源	是
	南院 PETCT 中心核医学科	使用 <sup>18</sup> F、 <sup>11</sup> C、 <sup>13</sup> N、 <sup>15</sup> O、 <sup>89</sup> Zr、 <sup>124</sup> I、 <sup>64</sup> Cu、 <sup>68</sup> Ga 八 种核素 (属于非密封放射性物质乙级工作场所), 四面墙体均为 400mm 砧, 顶棚及地面均为 400mm 砧, 防护门窗厚度为 10mmPb。	是
	南院 PETCT 楼 2 楼核医学 科	使用核素为为 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>89</sup> Sr, 日等效最大操作量 3.848×10 <sup>8</sup> Bq, 为乙级非密封放射性工作场所; 四面 墙体均为 300mm 实心砖+60mm 硫酸钡混凝土, 顶 棚 120mm 砧 (碘 131 室顶棚厚度为 120mm 混凝土 +50mm 硫酸钡混凝土、SPECT/CT 机房顶棚厚度为 120mm 混凝土+40mm 硫酸钡混凝土), 地面为 120mm 砧+夯实土层, 防护门窗为 4mmPb。	是
公用 工程	给水: 依托院区给水管网 排水: 依托院区污水处理装置处理达标后排入市政污水管网 供配电: 依托院区供配电系统		是
环保 工程	废气: 回旋加速器机房排放系统设置有专设一个独立的排风系统, 排风机选用高效过滤器, 排风设备直径 400mm, 排风量为 2800m <sup>3</sup> /h, 通风次数不小于 4 次/h; 其他射线装置机房内均设置有机动力排风 装置, 将废气排除室外, 机房内安装柜式空调辅助通风, 非密封性 工作场所设置通风橱, 排气口风速不小于 1m/s; 排气口高于本建筑 屋脊; 废水: 依托院区现有污水处理装置, 核医学科设置专用卫生间, 废 水排入三级放射性衰变池经过 10 个以上半衰期以后方可排放院区污 水处理站; 目前医院设置有 2 个衰变池, 1 个位于 PET-CT 楼西北侧, 有效体积极约 24m <sup>3</sup> , 为 PET-CT 核医学科专用衰变池; 1 个位于南院		是

	<p>PETCT 楼外西北侧，6 个有效体积共为约 61.2m<sup>3</sup> 的溢流式衰变池专门处理 PET-CT 楼二楼核医学科放射性废水，衰变池采用钢筋混凝土结构以防漏、防腐。</p> <p>固废：放射性固废在医院核医学科各个场所设置有放射性固废铅桶，建设放射性固废储藏室，其他固废依托医院医疗固废处置措施</p>	
<p>由上表可知，本项目建设内容与环评及批复要求基本一致，未发生重大变更。</p>		
<p><b>2.3 原辅材料消耗及水平衡</b></p> <p>本项目为利用 X 射线进行放射诊断、放射治疗及辅助介入手术，不涉及原辅材料消耗；项目工作人员生活废水及固废均依托医院现有工程，在医院整体环评中一并验收，本次不涉及；医院核医学科设置专用卫生间，废水排入三级放射性衰变池经过 10 个以上半衰期以后方可排放院区污水处理站；目前医院设置有 2 个衰变池，1 个位于 PET-CT 楼西北侧，有效体积约 24m<sup>3</sup>，为 PET-CT 核医学科专用衰变池；1 个位于南院 PETCT 楼外，6 个有效体积共为约 61.2m<sup>3</sup> 的溢流式衰变池专门处理 PET-CT 楼二楼核医学科放射性废水，衰变池采用钢筋混凝土结构以防漏、防腐。</p>		
<p><b>2.4 主要工艺流程及产污环节</b></p> <p><b>2.4.1 直线加速器</b></p> <p><b>1、工作原理</b></p> <p>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下图所示。</p> <p><b>2、工作流程</b></p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(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，</p>		

调整照射角度及照射野。

(4) 开机治疗。

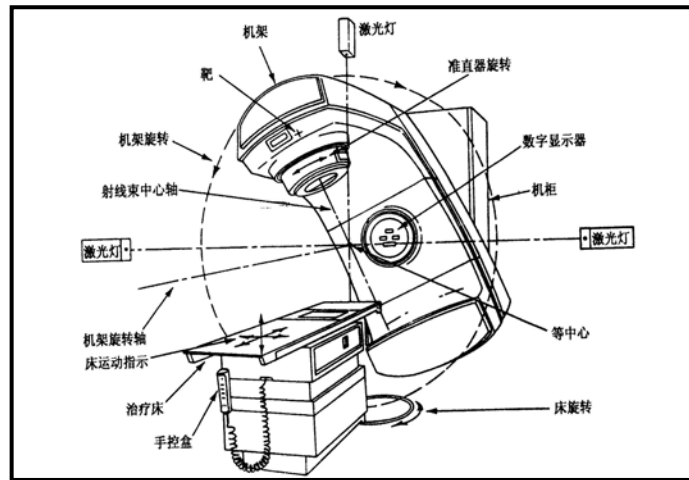


图 2-1 典型医用电子直线加速器示意图

### 3、工作负荷

本项目使用的每台电子直线加速器治疗机的有效开机时间每年工作按 50 周计，每台加速器每周治疗 100 个患者，平均每个患者约 2 个照射野（1 个野次约 2min），每野平均 2Gy，周工作负荷约为 400Gy，则 1 台直线加速器年有效开机时间约为 333h。

### 4、产污环节

该项目采用直线加速器的输出 X 射线的能量为 10MV。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。当直线加速器产生的 X 射线能量较低 ( $\leq 10 \text{ MV}$ )，其产生的高能 X 射线不足以引发核反应，不产生中子和感生放射性物质，对工作场所和周围环境不存在中子和缓发辐射污染。此时，在开机期间产生的 X 射线、电子线是加速器污染环境的主要因子。

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。

## 2.4.2 数字减影血管造影系统污染工序及污染物产生情况 (DSA)

### 1、工作原理

数字减影血管造影系统 (DSA) 是采用 X 射线进行摄影的技术设备。该设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，见图 2-2。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，它装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。



图 2-2 数字减影血管造影系统 (DSA)

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。成像装置是用来采集透过人体的 X 线信号的，由于人体各部组织、器官密度不同，对 X 线的衰减程度各不一样，成像装置根据接收到的不同信号，利用平板探测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。

## 2、系统组成及工作流程

### (1) 系统组成

数字减影血管造影系统组成：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。

以脑动脉瘤患者微弹簧圈栓塞治疗为例，DSA 的减影大致程序见下图所示：

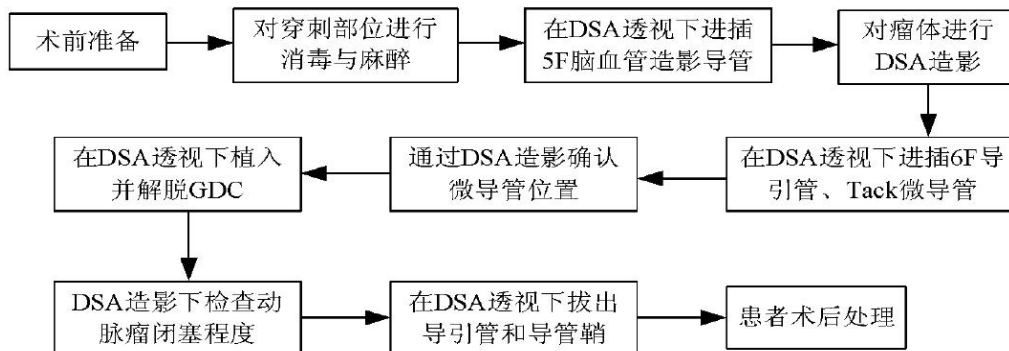


图 2-3 DSA 的典型工作流程

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病变部位，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。

### 3、产污分析



(1) 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。因此，该院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

(2) X 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物废气。少量的有害气体直接与大气接触、不累积，自然逸散，对环境影响可忽略不计。

(3) 医用 X 射线装置属清洁的物理诊断装置，在使用过程中自身不产生液态、固态等放射性废物，不存在放射性三废对环境的污染。

因此，在开机期间，X 射线是污染环境的主要因子。

### 2.4.3 III类 X 射线装置污染工序及污染物产生情况

#### 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。

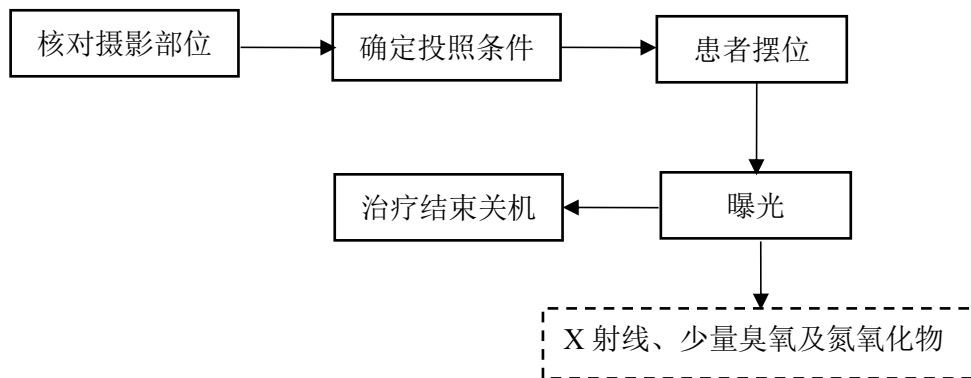


图 2-4 III类 X 射线装置工艺流程及产物环节示意图

#### 3、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。

#### 2.4.4 PET-CT 中心放射性同位素的应用

##### 2.4.4.1 使用的放射性同位素特性

南院 PET-CT 楼新建 PET-CT 中心拟使用的放射性同位素有  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  共八种核素。 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  四种核素由医院使用回旋加速器制备，制备后立即使用，不储存，不外售。 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  四种核素外购，每月订购一次，主要用于科研活动。其所用放射性同位素性能特性参数见表 8-1。

##### (1) $^{18}\text{F}$

$^{18}\text{F}$  属于低毒组核素，半衰期 110min，衰变方式 $\beta^+$ ，经湮没后发射出能量为 0.511MeV 的 $\gamma$ 射线。

回旋加速器和标记合成设备制备液态放射性药物  $^{18}\text{F}$ -FDG。回旋加速器将加速至 10MeV 的能量质子引出后，使其撞击  $^{18}\text{O}$  发生反应  $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$  而产生  $^{18}\text{F}$ 。 $^{18}\text{F}$  显像药物制备过程中，最主要污染因子是回旋加速器产生的放射性核素 ( $^{18}\text{F}$ ) 和伴随产生的中子以及中子在慢化吸收过程中产生的高能 $\gamma$ 光子。

$^{18}\text{F}$  是一种较小的原子：把它添加到一个分子上时，不会使分子变形到以至于人体完全不能够辨认的程度（这是作为显像剂的必要条件）。 $^{18}\text{F}$  的半衰期为 110min。这个半衰期足以完成一个复杂的化学过程（标记），进行显像剂的制备。其辐照强度不高（通过浓度和注射量控制）既可以穿透一定的距离进行成像。同时也能保证患者接受较低量的射线辐照。

$^{18}\text{F}$ FDG 是一种容易被人体吸收的葡萄糖衍生物，但是不会像葡萄糖一样被代谢掉或排泄掉。因此它会积累在高度利用葡萄糖的组织里（例如，癌组织里）。 $^{18}\text{F}$ FDG 就是去氧后接上了一个  $^{18}\text{F}$  原子的同样的葡萄糖分子。 $^{18}\text{F}$ FDG 是一种正电子发射剂，这样就可以使医生通过 PET/CT 来观察  $^{18}\text{F}$ FDG 积累在哪里（例如，在癌组织中）。

##### (2) $^{11}\text{C}$

$^{11}\text{C}$  是碳的短寿命同位素，属于低毒组核素，半衰期 20.4min，衰变方式 $\beta^+$ ，

经埋没后发射出能量为 0.511MeV 的 $\gamma$ 射线。

用质子回旋加速器提供的质子能量轰击氮气靶,通过  $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$  反应,产生  $^{11}\text{CO}_2$ 、 $^{11}\text{CO}$ , 经传输管道送到药物标记合成系统,快速合成为  $^{11}\text{C}$  标记的 BC 注射液,用于 PET/CT 显像。

(3)  $^{13}\text{N}$

$^{13}\text{N}$  是属于低毒组核素,半衰期 10min,衰变方式 $\beta^+$ ,经埋没后发射出能量为 0.511MeV 的 $\gamma$ 射线。

用质子回旋加速器轰击 5mmol 乙醇+水的靶材料,通过  $^{14}\text{O}(\text{p}, \alpha)^{13}\text{N}$  反应,产生  $^{13}\text{N}$  放射性药物,用于 PET/CT 显像。 $^{13}\text{N}$  主要用于心肌血流灌注显像,能定量测定心肌血流量。

(4)  $^{15}\text{O}$

$^{15}\text{O}$  是属于低毒组核素,半衰期 2.1min,衰变方式 $\beta^+$ ,经埋没后发射出能量为 0.511MeV 的 $\gamma$ 射线。

引出到加速器外部的入射加速带电粒子束与其路径上的靶核碰撞,入射粒子被靶核吸收,激活的靶核发生核反应发射出中子、质子或 $\alpha$  粒子,同时经  $^{15}\text{N}(\text{p}, \text{n})^{15}\text{O}$  可产生具有一定阈能的正电子放射性核素  $^{15}\text{O}$ 。 $^{15}\text{O}$  主要用于脑肿瘤和心肌血流灌注显像。

(5)  $^{89}\text{Zr}$

$^{89}\text{Zr}$ 在完整单抗的标记、分布的PET显像方面具有一些理想的性质。首先,它的物理半衰期为78.4h,匹配一种单抗的生物半衰期;另外, $^{89}\text{Zr}$ 的物理半衰期需要完全达到最佳的靶向、非靶向比例(比率)。

其次,PET的显像质量不会被 $^{89}\text{Zr}$  的衰变特性所干扰。放射性核素以23%效能发射一个 $\beta^+$  粒子,伴随发射909KeV的 $\gamma$ 射线。已证实迟发的 $\gamma$ 光子不会干扰PET显像的整体显像质量和定量的准确性。

第三, $^{89}\text{Zr}$ 是一种残余同位素,它被俘获在单抗内化后的靶向细胞内。与之相比, $^{124}\text{I}$  ( $t_{1/2}=100.3\text{ h}$ ),另一种长半衰期PET同位素,单抗内化后从靶细胞中被释放。已证实 $^{89}\text{Zr}$  在单抗的某些代谢器官中有几分残余,例如:肝、脾、肾。

$^{89}\text{Zr}$  通常采用生物学回旋加速器由天然钇 ( $^{89}\text{Y}$ ) 进行核反应生产

— $^{89}\text{Y}(\text{p},\text{n})^{89}\text{Zr}$ 反应。考虑到病人只接受37-74MBq  $^{89}\text{Zr}$ 标记的单抗， $^{89}\text{Zr}$ 的平均产量在入射能量12.5MeV时为38-42MBq/ $\mu\text{Ah}$ ，4-6h内能达到6-8GBq的批量生产。采用这样的 $^{89}\text{Zr}$  批量，大部分临床免疫PET研究能得以实施。 $^{89}\text{Zr}$  纯化由 $^{89}\text{Y}$ 开始，采用载铁（氧肟酸盐）柱的亲色谱得到 $^{88}\text{Y}$ 和其它放射核素杂质。用1M乙二酸将 $^{89}\text{Zr}$ 从载铁（氧肟酸盐）柱中洗脱，达到>99.9%放射核纯度的产率。为了从此步骤中除去潜在有毒的乙二酸，采用其它酸从载铁（氧肟酸盐）柱中洗脱 $^{89}\text{Zr}$  的方法已被广泛试验。结果表明：尽管乙二酸存在潜在毒性，但是1M 乙二酸是最适当的反式螯合剂，因为在接下来的标记步骤中（单抗标记期间）它会被彻底除去。

迄今为止，20多种 $^{89}\text{Zr}$ 标记抗体的临床前研究已公布，此外，还有25多种 $^{89}\text{Zr}$ -免疫-PET的临床研究。 $^{89}\text{Zr}$ -免疫-PET的第一例临床研究由Börjesson et al. 于2006年报道。在此可行性研究中，20位头颈癌患者接受 $^{89}\text{Zr}$  -N-suc-DFO-U36 的治疗；本研究表明：原发性肿瘤、淋巴结转移灶可用 $^{89}\text{Zr}$ -免疫-PET检测，而且 $^{89}\text{Zr}$  -N-suc-DFO-U36可安全应用于患者。

首例人体研究后，使用 $^{89}\text{Zr}$ -免疫-PET的其它临床试验也着手实施。

#### (6) $^{124}\text{I}$

$^{124}\text{I}$  半衰期为 4.81 天，具有 $\beta^+$ 和 EC 两种衰变形式；正电子能量较高（2.135 MeV），导致其空间分辨率较  $^{18}\text{F}$  低些。其物理半衰期与抗体等大分子的生物半衰期更为接近，可以进行长时间现象；有大量  $^{123}\text{I}$ 、 $^{125}\text{I}$  和  $^{131}\text{I}$  标记药物，可以更为便利的进行  $^{124}\text{I}$  标记正电子药物的研发。

$^{124}\text{I}$  的分离纯化分为干法分离和湿法分离。干法分离：在石英管中加热靶材料，利用  $^{124}\text{I}$  和  $^{124}\text{Te}$  蒸汽压高的特点，将  $^{124}\text{I}$  升华出来。湿法分离：先将辐照靶溶解于 NaOH/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液中，而后加入 Al 粉将 Te(IV)还原为 Te(0)，Al 将转化为 Al(OH)<sub>3</sub> 沉淀，最后，除去 CO<sub>2</sub>、浓缩反应液，得到  $^{124}\text{I}$  溶液。

目前有 4 项 I-124 PET/CT 甲状腺癌研究进入临床试验阶段。

#### (7) $^{64}\text{Cu}$

$^{64}\text{Cu}$  半衰期为 12.7 h，其衰变过程既发射 $\beta^+$  粒子( $\beta^+$ ，0.655 MeV，17.8%)，又发射  $\beta^-$  粒子 ( $\beta^-$ ，0.573 MeV，38.4%)。较适合于 PET 显像。 $^{64}\text{Cu}$  用作 PET 显像剂，一方面可以持续进行数天的显像，另一方面半衰

期还没有长到给患者造成大量不必要的辐照损伤。近 20 年来，随着铜配位化学的发展，新型配体不断出现(如 DOTA、TETA、NOTA、CB-TE2A、C3B-DO2A 等)。Cu (II) 的络合物在生物体内/外的稳定性不断提高，<sup>64</sup>Cu 已经成功标记在氨基酸、多肽、蛋白、核酸等分子以及纳米颗粒上。<sup>64</sup>Cu 可制成正电子显像药物用作诊断，同时也有发展为放射性治疗药物的潜力。新型铜配体和标记方法以及新的药物靶标的研究已经成为 <sup>64</sup>Cu 放射性药物研究的热点，至今已研制出了多种 <sup>64</sup>Cu 标记的放射性药物，如 <sup>64</sup>Cu-ATSM 是有效的肿瘤乏氧显像剂，<sup>64</sup>Cu-PTSM 是优良的血流显像剂等。

(8) <sup>68</sup>Ga

<sup>68</sup>Ga 半衰期为 67.6 min，89%分支的正电子衰变，<sup>68</sup>Ga 由 <sup>68</sup>Ge/<sup>68</sup>Ga 发生器制备，不依赖加速器，制备方便，优良的核素性质使其成为正电子药物研究的重要关注对象。<sup>68</sup>Ga 标记的生长抑素类似物 DOTA-TATE、DOTA-TOC 已在 国外临床上广泛用于生长抑素受体阳性肿瘤的显像。

“<sup>68</sup>Ge-<sup>68</sup>Ga”同位素发生器是由母核 <sup>68</sup>Ge ( $t_{1/2}=287$  d)和子核 <sup>68</sup>Ga 组成。它具有母体半衰期长，便于长期使用，子核是放射性 <sup>68</sup>Ga ( $t_{1/2}=68$  min;  $\beta^+$ : 1.9 MeV)是正电子发射，在医学诊断中可采用正电子扫描、提高确诊率，以及其半衰期短，能降低病人所受的辐射剂量等优点。<sup>68</sup>Ga 标记的奥曲肽进行的肿瘤生长抑素受体(SSR)显像显示出较好的生物活性。<sup>68</sup>Ga 等标记血管活性肽(VIP)，为胃肠道 VIP 受体阳性肿瘤(胃肠道胰腺肿瘤)等高发性或高死亡率肿瘤的诊断提供了一种全新而有效的方法。同时，<sup>68</sup>Ga 等正电子核素标记反义寡核苷酸进行反义显像的研究受到不少研究者的关注。因此，发展基于 <sup>68</sup>Ga 的脱氧葡萄糖(DG)类肿瘤代谢显像剂，极其必要。

表 2-1 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 (R.m <sup>2</sup> /Ci.h)	操作方式	来源	用途
<sup>18</sup> F	$\beta^+$	511	低毒	110min	0.058	简单操作	制备	用于 PET/CT 显像诊断
<sup>11</sup> C	$\beta^+$	511	低毒	20.4min	0.59	简单操作	制备	
<sup>13</sup> N	$\beta^+$	511	低毒	10min	/	简单操作	制备	

$^{15}\text{O}$	$\beta^+$	511	低毒	2.1min	/	简单操作	制备
$^{89}\text{Zr}$	$\beta^+$	511	中毒	78.4h	/	简单操作	外购
	$\gamma$	909					
$^{124}\text{I}$	$\beta^+$	2135	中毒	4.81d	1.395	简单操作	外购
$^{64}\text{Cu}$	$\beta^+$	655	中毒	12.7h	/	简单操作	外购
	$\beta^-$	573					
$^{68}\text{Ga}$	$\gamma$	93	中毒	67.6min	/	简单操作	外购

注： $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  四种同位素为病人主要注射显像药物； $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  四种放射性显像药物主要用于科研活动。

#### 2.4.4.2 开展的放射性同位素应用工作原理

显像药物从生产到使用经过多个环节：

①由回旋加速器生产放射性核素；②经过专用管道将放射性核素传送到热室房间化学合成器内；在化学合成器内将放射性核素标记到特定的化合物上，形成放射性药物；将放射性药物传送到热室房间分装设备；在热室房间内，将放射性药物分装成临床需要的活度量；③将分装好的药物由专用提升电梯至传送到一层护士准备室内，给病人注射④病人注射药物后，应用显像药物在 PET/CT 下做扫描显像。

##### 1、回旋加速器生产放射性核素

回旋加速器是将带电粒子加速到高能级的装置，当质子在回旋加速器电磁场作用下，在 D 形盒中不断加速达到一定能量时引出并轰击靶材料，使其撞击  $^{18}\text{O}$  发生反应  $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$  而产生  $^{18}\text{F}$ 。回旋加速器主要包括离子源、磁铁系统、真空系统、射频系统、引出系统、靶系统 6 部分，其结构如图 2-4 所示。

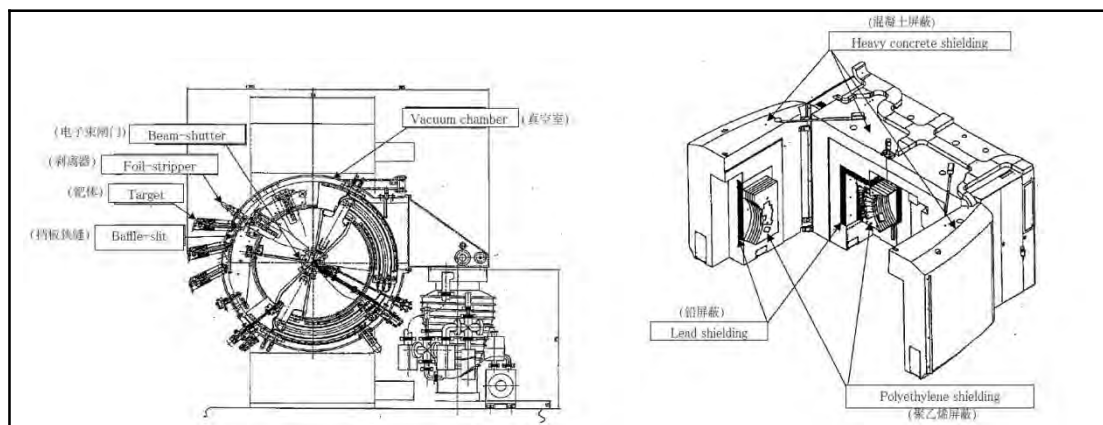


图 2-5 回旋加速器结构图

医院采购的 HM-10 型回旋加速器自带屏蔽系统,外形尺寸 311cm×204cm×215cm。自屏蔽体从内到外由六层组成,每层材料及厚度详见表 2-2。

表 2-2 回旋加速器自屏蔽材料的组成

层	材料	厚度 (cm)				
		前	侧	后	上	下
第一层	聚乙烯	20.6	11.5	23.8	23.9	0.0
第二层	铁	0.45	0.45	0.45	0.45	0.0
第三层	铅	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0
第四层	铁	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0
第五层	重混凝土	62.2	56.4	59.3	59.4	0.0
第六层	铁	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0

通过回旋加速器的自屏蔽系统,可吸收在靶中产生核反应引起的瞬发射线另外也吸收在屏蔽块中由于碰撞而产生的热中子。

医院使用回旋加速器生产主要核素及参数见表 2-3。

表 2-3 加速器生产主要核素及参数

序号	靶材料	靶体积 (mL)	核反应	产物	照射时间 (min)	产额 (GBq)
1	富集 H <sub>2</sub> <sup>18</sup> O	0.4	<sup>18</sup> O (p, n) <sup>18</sup> F	<sup>18</sup> F	60	37
2	<sup>14</sup> N <sub>2</sub> +2.5%O <sub>2</sub>	5	<sup>14</sup> N (p, α) <sup>11</sup> C	<sup>11</sup> C	10-20	37
3	5mmol 乙醇+水	3	<sup>14</sup> O (p, α) <sup>13</sup> N	<sup>13</sup> N	10	20
4	富集 <sup>15</sup> N <sub>2</sub>	5	<sup>15</sup> N (p, n) <sup>15</sup> O	<sup>15</sup> O	5	20

## 2、显像药物合成、分装过程

加速器生产结束后,其气态或者液态产品都是从主屏蔽内部用气体推送方式,通过小的传输管道再穿过套在地沟中铅块覆盖的管道内传送到热室房间中

合成热室的化学合成器内。

合成器均是放置在带有铅屏蔽的合成热室中，合成热室为 75mm 厚的铅箱。工作人员通过控制合成热室外面的计算机操作系统控制合成器，经过一系列的化学反应生成的正电子显像药物通过压缩气体传输到无菌真空收集瓶内。自动合成过程约需要 40min。

合成的药物在分装热室内分装成需要的活度量。分装器是放置在带有铅屏蔽的分装热室中，分装热室为 50mm 厚铅罐，铅罐侧面预留一小管道供抽取  $^{18}\text{F}$ -FDG 用，工作人员在特制的分装台面上，根据每个病人所需的放射性药物活度用注射器手工收取相应的剂量，分装过程约 5min。

### 3、放射性药物运输、注射、诊断

工作人员将分装好的药物注射器放置在铅箱中，铅箱由专用提升电梯至传送到一层护士准备室内，给病人注射后，技术人员辅助病人上机进行 PET/CT 显像。

从热室房间至提升梯至一层护士准备室需 2min，给病人注射显像药物针剂 1min，PET/CT 技术人员辅助病人上机检查 2min。

### 4、应用显像药物在 PET/CT 下做扫描显像

PET/CT 是正电子发射计算机断层仪的简称，是一种功能、分子影像高科技设备。利用回旋加速器生产的正电子发射体标记葡萄糖、氨基酸、胆碱、核苷衍生物及受体的配体等，可以从细胞和分子水平上观察到人体生理、生化和病理的改变，通过 PET 显像获得三维全身图像，即功能、生化和代谢的分子影像，用以诊断疾病。PET/CT 是将 PET（功能代谢）和 X-CT（解剖结构显像）两种最先进的影像技术有机结合在一起，提高诊断疾病的准确率。

PET/CT 使用校正源  $^{22}\text{Na}$ ，作用是对受检者进行透射采集（Transmission Scan）以获得透射图，然后根据透射图的参数对 PET 发射图（Emission）进行衰减校正。

$^{22}\text{Na}$  的主要参数见表 2-4。

表 2-4  $^{22}\text{Na}$  主要参数

核素名称	半衰期 (a)	衰变类型	辐射能量(MeV)
$^{22}\text{Na}$	2.6	$\beta^+$	0.511
		$\gamma$	1.275



**2.4.4.3 工作负荷**

根据医院提供资料，使用回旋加速器年有效开机时间约 500h，各放射性显像药物用量及工作负荷见表 2-5。

**表 2-5 使用放射性显像药物诊断工作负荷表**

核素名称	每例病人最大用量	每天注射诊断病人 (人次/天)	年注射诊断病人 (人次/年)
$^{18}\text{F}$	10mCi	20	2000
$^{11}\text{C}$	10mCi	1	200
$^{13}\text{N}$	10mCi	1	200
$^{15}\text{O}$	10mCi	1	200
$^{89}\text{Zr}$	30mCi	2	333
$^{124}\text{I}$	20mCi	5	1000
$^{64}\text{Cu}$	30mCi	2	360
$^{68}\text{Ga}$	20mCi	1	200

**2.4.4.4 产污分析****1、回旋加速器产污分析****① 中子**

中子可通过反应而产生，最大能量约10MeV，中子发射率 $3.5 \times 10^{11} \text{n/s}$ （双束流，束流为 $80 \mu\text{A}$ ，靶厚2mm）， $90^\circ$ 方向中子注量率与 $0^\circ$ 方向之比为0.1。加速器室屏蔽墙内侧中子能量5MeV，污染途径为外照射。

**②  $\gamma$ 射线**

$\gamma$ 射线主要有几种来源：a、中子与自屏蔽体、靶物质等部件作用产生次级 $\gamma$ 射线；b、加速器部件、靶周围器件、准直器、自屏蔽体等受中子照射而活化，生成以短半衰期为主的感生放射性；c、在加速器打靶时，由一系列反应产生发射正电子的核素，衰变经湮灭后发射出 $\gamma$ 射线，污染途径为外照射。

**③ 放射性废气**

当空气受到达到或超过产生 $(\gamma, n)$ 反应阈能量的 $\gamma$ 射线照射时，将产生 $^{18}\text{F}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$ 等放射性废气。这些放射性废气污染途径为内照射。

**④ 放射性固体废物**

加速器日常维护更换下来的内部构件带有感生放射性，工作人员为换靶、调节实验装置或检修加速器时，可能受到辐射危害。本项目产生的感生放射性