

编号：_____

核 技 术 应 用 项 目 环 境 影 响 报 告 表

项目名称：_____使用Ⅱ类射线装置_____

建设单位：_____中国航空工业集团公司北京航空
_____材料研究院_____

2015 年 06 月

目 录

表 1 项目概况.....	1
表 2 放射性同位素及密封源.....	10
表 3 废弃物（重点是放射性废弃物）	11
表 4 射线装置.....	12
表 5 污染源分析（包括贯穿辐射污染）	13
表 6 环境影响分析.....	26
表 7 审 批.....	41
附图 1 航材院（温泉镇环山村）单位地理位置示意图.....	42
附图 2 航材院院区平面示意图.....	43
附图 3 506#厂房一层平面布局示意图.....	44
附图 4 506#厂房二层平面布局示意图.....	44
附图 5 33#厂房平面布局示意图.....	46
附件 1 法人证书.....	47
附件 2 房产证明.....	48
附件 3 辐射安全许可证（正副本）	56
附件 4 环评批复.....	62
附件 5 培训情况.....	62
附件 6 个人剂量监测.....	64

表 1 项目概况

单位名称	中国航空工业集团公司 北京航空材料研究院		地址	北京市海淀区温泉镇环山村 8号	
法人代表姓名	戴圣龙	电话	010-62496020	邮编	100095
联系人及电话	王坤 010-62496848/15201229928				
项目名称	使用Ⅱ类射线装置		项目地点	北京市海淀区温泉镇环山村 8号	
项目用途	工业探伤		项目依据	单位发展需要	
总投资 (万元)	24130				
核技术项目投资 (万元)	3075.68		核技术项目 环保投资 (万元)	200	
应用 类 型	放射性同位 素应用	密封源	射线装置	其它	
	—	—	Ⅱ类；3台	—	

核技术应用的目的是任务：

1.1 单位简介

中国航空工业集团公司北京航空材料研究院（代号航空六二一所，以下简称“航材院”，单位法人证书见附件1）成立于1956年，是以材料应用研究为主的航空材料综合研究单位，长期从事航空材料基础理论、材料研制、材料应用研究及失效等研究任务，是国防科工委确定的重点单位；同时也是航空材料技术归口和责任单位，负责关键材料标准、选用、评价、向生产企业传递材料及应用技术、保障材料在武器装备上的应用等。

经过五十多年的创业和发展，航材院现拥有包括先进复合材料国防科技重点实验室和先进高温结构材料国防科技重点实验室在内的13个研究室、1个机械加工中心、3个生产中心和5个控股公司。还设有研究生部和博士后流动站，具有多学科（专业）硕士、博士学位授予权。现有职工2000余人，高级管理人员和工程技术人员占职工总人数的54%，其中具有硕士以上学历人员占22%。全院占地面积125万平方米，固定资产总值9亿元。

航材院主要从事航空工业在研和未来飞机、发动机、直升机用金属与非金属材料、热加

工工艺、性能表征与评价、理化测试技术等方面具有前瞻性的应用基础研究和应用研究，同时还承担其它国防科技工业和民用领域先进材料的研制与开发，并将其研究成果工程化和产业化。具有高性能材料的小批量生产和高难度重要部件的研制与开发能力，并能提供先进材料和热工艺及其工程化的成套技术。

建院（所）以来承担并完成国家“863”高技术、国防“973”重大基础研究、横向任务及各类基金、军民两用技术和国际合作的研究与开发任务。共取得科研成果2800余项，其中部级以上重大成果900余项，国家自然科学奖、国家发明奖和国家科技进步奖等国家级奖140余项，各类专利技术160余项（授权92项），先后荣获国家知识产权试点工作先进单位称号和全国专利工作先进单位称号。研究的材料和技术已广泛应用于航空、航天、船舶、兵器、核工业等国防领域，以及汽车、铁路、医疗器械、食品、桥梁等民用领域，为军工装备的发展和国民经济建设作出了突出的贡献。航材院2000年作为全国10家试点单位之一率先通过了ISO9001：2000质量管理体系认证，2001年被国家实验室认可委员会认可为国家金属非金属材料实验室（国际多边认可），2002年又通过了GJB9001A-2001和GJB/Z9001A-2001质量管理体系认证。

航材院现包括2个院区，位于北京市海淀区温泉镇环山村“航材院”和北京市海淀区永丰科技园区的“航材院永丰科技园区”。本项目拟建辐射工作场所（506#厂房，环评批复：京环审[2013]232号）位于北京市海淀区温泉镇环山村“航材院”，以下“航材院”是指环山村“航材院”，航材院地理位置图请见附图1和附图2，房产证明见附件2。

1.2 核技术及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状情况

航材院现有核技术应用实践活动已获得北京市环保局行政许可，持有北京市环保局颁发的《辐射安全许可证》，证书编号为京环辐证[F0172]（见附件3），许可种类和范围包括：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，有效期至2015年7月27日，涉源部门包括航材院本部、永丰基地以及航材院本部职工医院，已获许可使用射线装置情况见表1.1

表1.1 航材院使用射线装置情况

序号	设备名称	型号	类别	用途	工作场所	备注
1	包套充填封焊设备	/	Ⅲ	其他非医用加速器	1所	项目下马，取消配置
2	残余应力测试仪	/	Ⅲ	其他非医用加速器	1所	
3	外装式包套机	锦州航星WBT-01	Ⅲ	其他非医用加速器	1所	/

4	一体化包套机	乌克兰巴顿KL-139	III	其他非医用加速器	1所	/
5	包套机（KL-139型）	乌克兰巴顿KL-139	III	其他非医用加速器	1所	/
6	晶体取向仪	德国D8DISCOVER	III	X射线衍射仪	1所	/
7	X射线机	北京万东F52-8C	III	医院X射线CT机	职工医院	/
8	牙科X射线机	芬兰Planmedintra	III	牙科X射线机	职工医院	/
9	工业探伤机 （ISOVOLT450型）	德国 GEISOVOLT450	II	X射线探伤机	检测研究中心	/
10	工业探伤机 （ISOVOLT320型）	德国 GEISOVOLT320	II	X射线探伤机	检测研究中心	/
11	工业探伤机 （ISOVOLT320型）	德国 GEISOVOLT320	II	X射线探伤机	检测研究中心	/
12	电子束轰击炉	长春电炉厂ZS60	III	其他非医用加速器	1所	/
13	电子束焊机	俄罗斯ELA30	III	其他非医用加速器	23所	/
14	X射线应力分析仪	芬兰X3000	III	其他非医用加速器	5所	/
15	粉末包套设置	乌克兰巴顿KL-114	III	其他非医用加速器	1所	/
16	X射线衍射仪	德国D8advance	III	X射线衍射仪	检测研究中心	/
17	高压真空电子束焊机	俄罗斯ZD150-30C	II	其他非医用加速器	23所	/
18	便携式X线探伤机	丹东XXQ-2005	II	X射线探伤机	检测研究中心	/
19	工业X线探伤机 （ISOVOLT160M1型）	德国 ISOVOLT160M1	II	X射线探伤机	检测研究中心	/
20	铍窗X线探伤机	德国MG165	II	X射线探伤机	1所	/
21	工业X线探伤机 （ISOVOLT225M2型）	德国 ISOVOLT225M2	II	X射线探伤机	检测研究中心	/
22	工业X线探伤机 （ISOVOLT320型）	德国ISOVOLT320	II	X射线探伤机	检测研究中心	/

1.2.2 近几年履行环保审批情况

航材院根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，在许可种类和范围内从事工业X射线无损焊接、工件结构分析等工作。航材院严格执行辐射安全管理的各项规章制度，到目前无辐射安全事故发生，并于每年1月31日前向环保部门提交上一年度评估报告。

航材院近几年开展环评项目及批复验收情况见表1.2，由于部分设备仍在调研或项目下马，目前仅对已完成试运行项目进行验收，现已完成验收监测。

表1.2 建设项目环评及竣工验收落实情况

序号	环评批复文号	项目名称	类别	内容	备注
1	京环审[2009]169号	使用医院射线装置	登记表	新增：Ⅲ类2台	已验收
2	京环审[2011]118号	使用X射线装置	登记表	新增：Ⅲ类1台； 搬迁：Ⅲ类3台	验收中
3	京环审[2012]152号	使用X射线装置	报告表	新增：Ⅲ类5台；搬迁： Ⅱ类4台、Ⅲ类1台	验收中
4	京环审[2012]381号	新增使用1台残余 应力测试仪	登记表	新增：Ⅲ类1台	调研购置中
5	京环审[2013]49号	新增X射线装置	登记表	新增：Ⅲ类1台	该项目下马
6	京环审[2013]175号	使用X射线装置	登记表	搬迁：Ⅲ类1台	验收中

1.2.3 辐射安全管理情况

(1) 辐射安全防护领导机构

航材院成立了辐射安全与环境保护管理小组，院长任组长，副院长任副组长。辐射安全与环境保护管理小组全面负责单位的辐射安全与环境保护管理工作，对全所辐射防护管理制度执行情况的监督检查，有关部门负责人组织实施辐射安全防护措施和落实各项管理制度。

表1.3 辐射安全与环境保护管理小组

序号	人员类别	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	组长	戴圣龙	男	金属	院长	院部	兼职
2	副组长	唐斌	男	高分子材料	副院长	院部	专职
3	成员	梁若虹	女	环境工程	部长	技安环保部	专职
4	成员	蔡雅良	男	公安	部长	保卫部	兼职
5	成员	张志国	男	企业管理	部长	人力资源部	兼职
6	成员	黄秀莉	女	体育	副主席	工会	兼职
7	成员	缪宏博	女	材料工程	主任	总调室	兼职
8	成员	刘晓光	男	材料学	支部书记	1所	兼职
9	成员	汤智慧	男	材料	主任	5所	兼职
10	成员	熊华平	男	金属材料	主任	23所	兼职
11	成员	张晓艳	女	材料学	主任	检测中心	兼职
12	成员	王金林	男	临床医学	书记	职工医院	兼职
13	成员	李松	女	管理	职卫专责	技安环保部	专职
14	成员	王坤	男	环境工程	环保专责	技安环保部	专职

(2) 规章制度建设及落实情况

航材院依照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置

安全许可管理办法》，结合多年实践，已制定一套相对完善的管理制度和操作规程，其中包括《辐射安全岗位职责》、《辐射安全检查制度》、《辐射安全培训管理规定》、《辐射工作人员个人剂量和职业健康管理规定》、《辐射设备检修维护管理规定》、《监测方案和记录》、《射线装置台账管理制度》以及《辐射安全事故应急预案》。

（3）工作人员培训情况

目前，航材院现有68人（含1名管理人员）已参加北京市环保局认可的培训机构组织的辐射防护知识培训及相关法律法规的培训和考核，并取得合格证书，工作人员培训情况见附件5。

（4）个人剂量监测情况

航材院委托北京市疾病预防控制中心承担辐射工作人员个人剂量监测工作，监测数据由技安环保部存档，现共有辐射工作人员67名。2013年度和2014年度辐射工作人员最大受照剂量分别为252 μ Sv和228.9 μ Sv，2015年度上半年辐射工作人员最大受照剂量约为103.1 μ Sv，辐射工作人员个人剂量低于设定的剂量约束值2mSv/a。

（5）工作场所及辐射环境监测情况

航材院设有辐射安全与环境保护管理小组，定期对辐射工作场所进行场所监测，详细记录监测结果，并依据制定的《监测方案和记录》进行存档。航材院现有监测仪器及防护用品情况见表1.4所示，监测仪器定期送有资质的机构进行检定。

表1.4 现有监测仪器及防护用品情况

仪器名称		型 号	检定日期	仪 器 状 态
辐射安全报警仪		REN300A	2014.7.20~2015.7.19	在用
辐射安全报警仪		REN300A	2014.7.20~2015.7.19	在用
辐射安全报警仪		REN300A	2014.7.20~2015.7.19	在用
X- γ 辐射仪		JB4000	2013.12.18~2014.12.17	在用
X射线巡检仪		451P	2014.04.22~2015.04.21	在用
在线辐射安全警报仪		REN300A	/	在用
辐射防护用品	名 称	数 量	名 称	数 量
	铅衣	1	铅帽	1
	铅手套	1	铅眼镜	1
	铅围裙	1	铅围脖	1
	铅屏风	4	个人剂量计	66

（6）辐射事故应急管理情况

航材院制定《辐射安全事故应急预案》，自从事辐射工作以来，未发生过辐射应急情况。

1.3 本项目概况

1.3.1 本项目主要内容

本项目新增使用3台Ⅱ类射线装置，包括新增使用一台6MeV电子加速器CT、一台小焦点CT系统和一台周向X射线机，设备技术参数见表1.5。

表1.5 新增设备情况表

设备名称/厂家型号	管电压/能量	管电流/流强	用途	备注
电子加速器CT 固鸿IPT61型	6MeV	0.2mA（平均流强）	工业探伤	新增，Ⅱ类，位于506# 厂房6MeV工业CT间
小焦点CT系统 GE v tome x C	450kV	3.3mA	工业探伤	新增，Ⅱ类，位于506# 厂房450kV工业CT间
周向X射线机 COMET MXRD-160	160kV	6.25mA	工业探伤	新增，Ⅱ类，位于33C 厂房118房间

1.3.2 项目建设必要性

针对XX发动机和XX直升机的研制任务，航材院在高温环境下隐身材料的电性能测试、构件的表面质量检测，粉末盘的完整性和由残余应力导致的变形问题，钛合金锻件研究、弹性元件的研究等方面仍存在不足，为满足型号研制需要，在现有研究条件基础上，新增使用电子加速器CT等设备，可实现有针对性地补充一些关键制造、测试、试验、隐身研究条件，以确保XX发动机和XX直升机的研制工作的顺利完成，因而，本项目建设是十分必要的。

1.4 环境影响评价内容

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，对该项目进行环境影响评价工作。

1.4.1 评价范围

根据《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)规定，以及《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)的要求，以及本项目的辐射环境影响特点，本项目评价范围以装置实体屏蔽墙为边界，半径50m范围内的区域。

1.4.2 环境保护目标

本项目环境保护目标为工作场所职业工作人员及公众，由于506#厂房和33#厂房新增辐射工作场所所在建筑仅地上一层，无地下建筑和地上二层，且该层仅辐射工作人员出入，因此本项目运行对公众影响范围较小。

1.5 编制依据

1.5.1 主要法律法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2014年修订版；
- (2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年；
- (3) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2003年；
- (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第449号，2005年；
- (5) 关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定，环境保护部令第3号，2008；
- (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部第18号令，2011年。

1.5.2 技术导则、规范及标准

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；
- (2) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)；
- (3) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)；
- (4) 《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)；
- (5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2002)；
- (6) 《放射工作人员健康标准》(GBZ98-2002)；
- (7) 《工业 X 射线探伤放射卫生防护标准》(GBZ117-2015)；
- (8) 《工业射线探伤辐射安全和防护分级管理要求》(DB11/T 1033-2013)；
- (9) 《无损检测用电子直线加速器》(GB/T20129-2006)；
- (10) 《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ 2.1-2007)。

1.5.3 参考内容

- (1) ICRP 第33号出版物；
- (2) NCRP 第151号出版物；

(3) 设备厂家提供的产品资料。

1.6 剂量限值和剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的规定, 工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值列入表1.6。

表1.6 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

职 业 工 作 人 员		公 众	
身 体 器 官	年有效剂量	身 体 器 官	年有效剂量
全身有效剂量	$\leq 20\text{mSv}$	全身有效剂量	$\leq 1\text{mSv}$
眼 晶 体	$\leq 150\text{mSv}$	眼 晶 体	$\leq 15\text{mSv}$
四肢或皮肤	$\leq 500\text{mSv}$	皮 肤	$\leq 50\text{mSv}$

注: 表中剂量限值不包括医疗照射和天然本底照射。

1.6.1 剂量限值

(1) 职业照射

应对任何工作人员的职业照射水平进行控制, 使之不超过下述限值:

- (a) 由审管部门决定的连续5年的平均有效剂量, 20mSv ;
- (b) 任何一年中的有效剂量, 50mSv 。

(2) 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应超过下述限值:

- (a) 年有效剂量, 1mSv ;
- (b) 特殊情况下, 如果5个连续年的年平均剂量不超过 1mSv , 则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv 。

1.6.2 年剂量约束值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002)规定职业照射连续5年的年平均有效剂量不超过 20mSv ; 公众照射中关键人群组的成员所受的年有效剂量不超过 1mSv 。

本次评价根据北京航空材料研究院理单位的实际情况, 对职业照射的剂量约束值仍设定为 2.0mSv/a ; 对公众照射的剂量约束值设定为 0.1mSv/a 。

1.7 放射工作场所周围剂量率控制水平

根据《工业 X 射线探伤放射卫生防护标准》(GBZ 117-2015) 的规定, 距探伤室实体屏

蔽墙外侧表面 30cm 处的空气比释动能率不大于 2.5 μ Gy/h。

1.8 非放射性控制值

本项目运行过程中，将会产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x），其中氮氧化物以二氧化氮（NO₂）为主，根据《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ 2.1-2007），工作场空气中O₃和NO₂的浓度限值分别为0.3mg/m³和5mg/m³。

1.9 评价目的和原则

1.9.1 评价目的

- （1）对建设项目环境辐射现状进行调查或监测，以评价该地区辐射环境状况及场址周围的辐射环境现状水平；
- （2）评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；
- （3）评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为环境保护行政主管部门的管理提供依据；
- （4）通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；
- （5）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；
- （6）评价项目的可行性，从环境保护角度为主管部门和北京航空材料研究院理单位进行辐射环境管理提供依据。

1.9.2 评价原则

依据国家相关法律、法规及部门规章展开评价，严格执行国家和北京市的有关标准。要求辐射防护设计和安全措施必须满足相关标准的规定，并保证各类人员受照剂量在规定的限值以内，满足辐射实践的正当性、辐射防护与安全的最优化原则。

表 2 放射性同位素及密封源

（一）放射性同位素

核素名称	放射性活度 (Bq/a)	物理、化学 性状	日最大等效操作量 (Bq)	年等效用量 (Bq)	操作 方式	贮存方式与 地点
无						

（二）密封源

核素名称	放射性活度(Bq/a)	物理、化学 性状	类别	操作方式	贮存方式 与地点
无					

注： 1.密封源要注明并说明源强（Bq）；栏2中放射性活度是指核素年使用量（Bq/a）。

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

3.操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 3 废弃物（重点是放射性废弃物）

废弃物 名 称	状 态	排放口浓度	年排放总量	暂存情况	最终去向
废靶	固态	/	/	/	送贮北京市城市放射性废物库

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg / L，固体为mg / kg，气态为mg / m³；年排放总量用kg。

2.含有放射性的废弃物要注明,其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/L或Bq/kg,或Bq/m³)和活度(Bq)。

表 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

名称型号	生产厂家	加速粒子	能量MeV	流强A	用途	备注
加速器工业CT IPT61	固鸿	电子	6MeV	0.2mA (平均流强)	工业探伤	新增，II类，位于506# 厂房6MeV工业CT间
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	通常几年产生1个					废靶送贮北京市放射性废物库
放射性废物年 产生量	气态	m ³				
	液态	m ³				
	固态	kg				

（二） 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

型号	生产厂家	电压（kV）	靶流（A）		中子强度（n/s）	用途	备注
氚靶情况（含废弃的）			含放射性废弃物年产量（含感生的和含 ³ H的废泵油）				
活度	保管方式	备注	数量		总活度（Bq）	放射性核素	废物去向
			气	m ³			
			液	m ³			
			固	kg			

（三） X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗（含X射线CT诊断）、分析仪器等

名称型号	管电压(kV)	输出电流 (mA)	用途	备注
小焦点CT系统 GE v tome x C 450	450 k V	3.3mA	工业探伤	新增，位于506#厂房450kV 工业CT间
周向X射线机 Comet MXRS-160C	160 k V	6.25mA	工业探伤	新增，位于33#厂房118房间

表 5 污染源分析（包括贯穿辐射污染）

5.1 主要放射性污染物和污染途径（正常工况和事故工况）

5.1.1 电子加速器 CT

（1） 加速器系统组成

电子加速器CT包括电子加速器射线源、探测器及相关的配电、控制和数据处理系统和设备。其中加速器射线源产生高能X射线，对旋转的被检测物体进行360度的透射扫描，透射的X射线被探测器接收经过数据处理获得被检测物体内部结构的3D图像，用于科学研究。

① 加速器射线源：

加速器射线源用于产生高能X射线，它主要由下列部件组成：X射线头、调制器、控制箱、水冷机组。

X射线头由加速管、屏蔽准直装置、微波传输系统、充气装置、AFC装置、脉冲变压器、磁控管及磁铁等组成。加速管是加速器的核心器件，采用驻波加速结构，由电子枪、谐振腔链、靶、耦合波导、波导窗和钛泵等构成，是全密封真空器件。电子枪发射电子，经谐振腔内微波电场加速后，打到在谐振腔链另一端的钨靶上，产生X射线。

调制器是脉冲高压电源，它的主要功能是产生磁控管和电子枪所需的脉冲高压，主要包括直流高压电源、PFN充电回路、放电回路等几部分，同时加速器工作所需的所有低压电源如电子枪灯丝电源、磁控管灯丝电源以及聚焦、导向电源等，PLC控制系统也安装在调制器柜中。



图5.1 X射线头外观图



图5.2 控制箱外观



图5.3 调制器外观



图5.4 水冷机组外观

控制箱是加速器射线源运行的操作平台，它通过电力及数据电缆同射线源的其他设备相连接，控制箱内装远程PLC模块、AFC电路及触发电路、测量电路等，前面板上安装有操作及显示用的触摸屏，数据显示表头及操作按钮等。具有运行状态显示、参数设置、手动出束曝光、故障诊断提示、远程监控等功能。

水冷机组是加速器射线源系统必不可少的配套设备，它的主要用途是通过水冷机组内冷却水的不断循环，将加速器射线源内部发热元件（如：加速管、磁控管、四端环流器）的热量带走，使其内部保持恒定的工作温度，从而保证加速器射线源系统工作正常。它主要由四部分组成：冷却水循环系统、制冷循环系统、制热循环系统及控制系统。

② 机械扫描系统：

机械扫描系统实现CT扫描时，试件的旋转或平移以及射线源—物体—探测器之间物理位置的相对调整。

③ 探测器

探测器是整个系统的核心部件，用于将穿过物体后的射线场强分布转换为电信号，然后输入计算机以图像的形式再现。

（2） 系统性能指标

- ① 射线源能量： 6MeV；
- ② 流强： 0.2mA（平均流强）；
- ③ 射线源焦点： $<\Phi 1.5\text{mm}$
- ④ 同步脉冲频率： 0~300Hz

⑤ 剂量率： $\geq 800\text{cGy/min@1m}$;

⑥ X 射线均匀度：在偏离 X 射线中心轴线 7.5° 处测得的最小剂量率大于中心轴线上剂量率的62%;

⑦ 漏剂量率：在准直射束以外距离靶1m 处，任何一块 100cm^2 面积上泄漏辐射强度平均值与距离靶1m 处 X 射线中心轴线上辐射强度的百分比 $\leq 0.1\%$;

⑧ 射野尺寸： $20\text{cm} \times 20\text{cm}$;

⑨ 安全联锁：提供必需的安全联锁保护措施。在加速器射线源的主要设备，如 X 射线头、调制器、控制箱、配电箱上设置急停按钮。

(3) 工作流程

① 根据检测任务安排，辐射工作人员将需要进行检测的器件运至加速器机房;

② 经取得辐射安全培训岗位资质的作业人员确认，登记，加速器运行前准备;

③ 开始准备工作，训机，连接图像接收器;

④ 关闭加速器机房防护门，人员撤离至控制室，设定参数; 开机，射线从射线发生器准直窗口射出，照射于检测件位置，仪器成像，完成一次作业;

⑤ 作业完成后，关闭电源，打开机房防护门，辐射工作人员进入加速器机房，整理现场;

⑥ 设备使用完毕，确认后，签字，整理保管。

(4) 主要放射性污染物

本项目中涉及的放射性污染源为X射线，X射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，在射线装置开机作业期间，贯穿、泄漏及散射的X射线是主要污染因子。

(5) 其他污染物

加速器工业CT运行期间，发出的X射线电离空气分子产生微量的臭氧和氮氧化物; 通风、空调系统的风机设备以及附属高压调制器风冷设备产生的噪声; 磁控管、射频分离器、射频腔和波导传输系统等微波组件产生的微波电磁辐射。

(6) 正常工况的污染途径

加速器工业CT经韧致辐射发出的X射线经透射、反射，对作业场所及周围环境产生X

射线辐射，会对工作人员和公众产生一定的外照射。

(7) 事故工况的污染途径

本项目在运行过程中可能发生的事故有：

1) 输入电压过高，设备损坏

在操作工业CT时，由于输入电压过高，导致X射线机损坏，停止运行。由于机器停运，故X射线机将不发射X射线，对人员不会产生照射。

2) 门机/灯联锁装置失灵，人员误照

X射线机运行时，因操作不慎，在没有关机的状态下打开屏蔽门，此时门机/灯联锁装置失灵，X射线机仍在运行，在机房外的人员将受到X射线的照射；

3) 加速器运行时，由于电源、电器件的故障，使联锁系统失效，屏蔽门打开，加速器仍在运行，在机房外的人员将受到X射线的照射；

4) 加速器CT的冷却水可能发生泄漏，根据设备的特点，水中无感生放射性，即使冷却水泄漏，不会导致辐射照射。

一旦发生上述事故，人员所受剂量较大，因此必须杜绝此类事故发生，为避免事故发生，单位按规定进行门机联锁装置和报警装置的定期检查，严格按照操作规程进行作业，确保安全，可采取的安全对策有：

① 建立正常运行条件下，开门、关门、开机和关机的安全联锁控制系统，避免人为因素导致的误操作；

② 设立故障及异常情况下的安全保障控制程序：停电情况下，全部安全联锁系统失去作用。这时，加速器不能加高压，不能开机；计算机控制程序故障，系统只能自动停机；

③ 严格执行操作规程，避免人为因素导致事故发生。

5.1.2 小焦点CT系统

(1) 小焦点CT系统组成

小焦点CT系统由射线源、探测器系统、数据采集系统、机械扫描系统、控制系统等部分组成，其射线源为X射线机。其中射线源、机械扫描系统、探测器系统的组合对一台工业CT装置的性能起着决定作用，其各部分性能指标的高低直接影响着CT系统重建的图象质量。工业CT的成像原理是利用具有某种能量的射线束对物体进行扫描，根据在物体

外部获得的投影数据，运用特定的重建算法，以二维或三维图像的方式呈现物体内部的密度分布。

小焦点CT系统工作原理框图见图5.5。

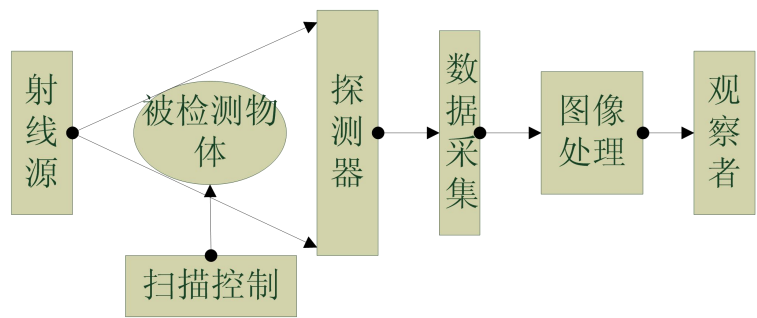


图5.5 小焦点CT系统工作原理框图

本项目新增使用小焦点CT系统带自屏蔽体，自屏蔽体为铅钢结构，约25mm铅当量，设备表面10cm处的剂量率不大于1 μ Sv/h。

（2） 作业流程

小焦点CT系统作业流程与电子加速器CT作业流程相近，不同在于，小焦点CT系统自带铅屏蔽防护，人员可就近在设备配置的操作台处作业，且设备安全联锁正常方能启动。开展检测工作时，打开总电源、探测器后训机，之后关机并将放入待检测物件，工作人员进行检测，待检测结束后关机。

（3） 主要放射性污染物

本项目中的射线装置产生的X射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，射线装置开机出束时，贯穿、泄漏及散射的X射线是主要污染因子。

（4） 非放射性污染物

射线装置工作时，发出的X射线电离空气分子产生微量的臭氧和氮氧化物，以及工作期间产生的噪音。

（5） 正常工况的污染途径

小焦点CT系统经韧致辐射发出的X射线经透射、反射，对作业场所及周围环境产生X射线辐射，会对工作人员和公众产生一定的外照射。

(6) 事故情况下的污染途径分析

- ① 在操作小焦点CT系统时，由于输入电压过高，导致X射线机损坏，停止运行，由于机器停运，故X射线机将不发射X射线，对人员不会产生照射；
- ② 小焦点CT系统运行时，安全联锁装置失灵，工作人员将受到X射线的照射；
- ③ 小焦点CT系统运行时，铅防护门未完全关闭，致使X射线泄露到机房外，给周围活动的人员造成额外照射。

5.2 辐射环境现状监测

环评单位于2015年4月9日对拟建506#厂房和33#厂房及其周围环境进行了环境辐射本底水平现状监测，采用Inspector Exp⁺型辐射监测仪（仪器读数范围为0.01μSv/h~1000μSv/h），新建工作场所现状监测结果见表5.1，监测点位见附图3、附图5。

表5.1 506#和33#厂房周边环境本底辐射水平监测结果*

监测点位	监测点位置	空气比释动能率(μGy/h)
1	506#厂房东侧空地，离地面1m	0.09~0.13
2	506#厂房西侧，离地面1m	0.10~0.11
3	506#厂房南侧空地，离地面1m	0.11~0.12
4	506#厂房北侧空地，离地面1m	0.09~0.12
5	33#厂房118房间东侧空地，离地面1m	0.09~0.12
6	33#厂房118房间西侧控制室，离地面1m	0.10~0.11
7	33#厂房118房间南侧空地，离地面1m	0.10~0.12
8	33#厂房118房间北侧办公室，离地面1m	0.09~0.12

*监测数据未扣除对宇宙射线的响应。

环境现状监测结果表明：506#和33#厂房及周围环境监测点的空气比释动能率均在北京市环境辐射本底平均值范围以内，未发现环境辐射水平异常。

5.3 辐射防护措施

参照DB11/T 1033-2013，本项目辐射安全和防护管理要求为通用管理要求及四级管理要求，为使工作人员和公众所接受的剂量保持在可合理达到的最低水平，在辐射防护和环境保护方面采取了一些有效防护措施。

(1) 建造符合标准规定的工作场所

参照DB11/T 1033-2013中辐射安全和防护管理四级管理要求，探伤室屏蔽墙外30cm处空气比释动能率不大于2.5μGy/h，保证工作人员和周围公众受照剂量满足环评提出的

剂量约束要求。

本项目新建506#厂房将严格按相应设计要求建造，所在建筑辐射工作区域（加速器机房、规划工业CT机房）均只有地上一层，其他区域（含450工业CT机房）为二层结构（见附图3、附图4），加速器CT和工业CT机房层高6m。新增周向X射线机（管电压160kV）所在机房原为450kV探伤机机房，机房屏蔽可满足新增设备防护要求。机房辐射屏蔽情况见表5.2。

表5.2 机房辐射屏蔽情况

防护墙体	6MeV电子加速器CT	小焦点CT系统(450kV)	周向X射线机（160kV）
南墙	混凝土厚1.5m	混凝土厚20cm	混凝土厚52cm+砖厚18 cm
北墙	混凝土厚2.2m	混凝土厚20cm	混凝土厚58cm+砖厚12 cm
西墙	混凝土厚1.5m	混凝土厚20cm	混凝土厚70cm
东墙	内墙1.5m, 迷路墙1.3m, 外墙0.5m 混凝土	混凝土厚20cm	混凝土厚70cm
屋顶楼板	混凝土厚1.5m	混凝土厚12cm	钢筋混凝土面板37cm +18cm挤塑板
地面	混凝土+泥土	混凝土+泥土	钢筋混凝土厚23cm+泥土
防护门	混凝土厚1.5m（西墙工件门）	/	34mmPb当量

注：混凝土密度为2.35g/cm³；铅密度为11.35g/cm³；挤塑板密度为0.048g/cm³；砖密度为2.05g/cm³。

（2）工作场所分区管理及警示标志

辐射工作场所采取分区管理，机房为控制区，机房出入口、控制区等区域为监督区，本项目中，对应辐射工作场所分区示意图见附图3、附图5。电子加速器CT、小焦点CT系统和周向X射线机机房所在位置的周围布局情况见表5.3。

表5.3 辐射工作场所周围布局情况

位置	6MeV电子加速器CT	小焦点CT系统(450kV)	周向X射线机（160kV）
东侧	走廊/电子加速器CT控制室	空地	空地
西侧	空地	走廊	操作间
南侧	规划450kV机房	周转间/规划操作间	空地
北侧	空地	电子加速器CT控制室	办公室
楼上	无	办公室	无
楼下	无	无	无

控制区的进出口及其它适当位置处设立醒目的、符合规定的电离辐射警告标志；机房门口上方安装工作状态警示灯，设备正常工作时，警示灯亮，告诫无关人员远离机房。

（3）安全联锁装置

本项目中，小焦点CT系统自带安全联锁装置，系统屏蔽门未关闭，则系统不能开机

运行。新增电子加速器CT和周向X射线机分别安装在506#厂房电子加速器CT机房和33#厂房118房间，机房除设置门机连锁外，还配备红外+微波双鉴探测器，如有人员进入机房内，则设备无法正常运行。6MeV电子加速器CT和周向X射线机安全联锁装置的安全联锁逻辑图见图5.6、5.7。

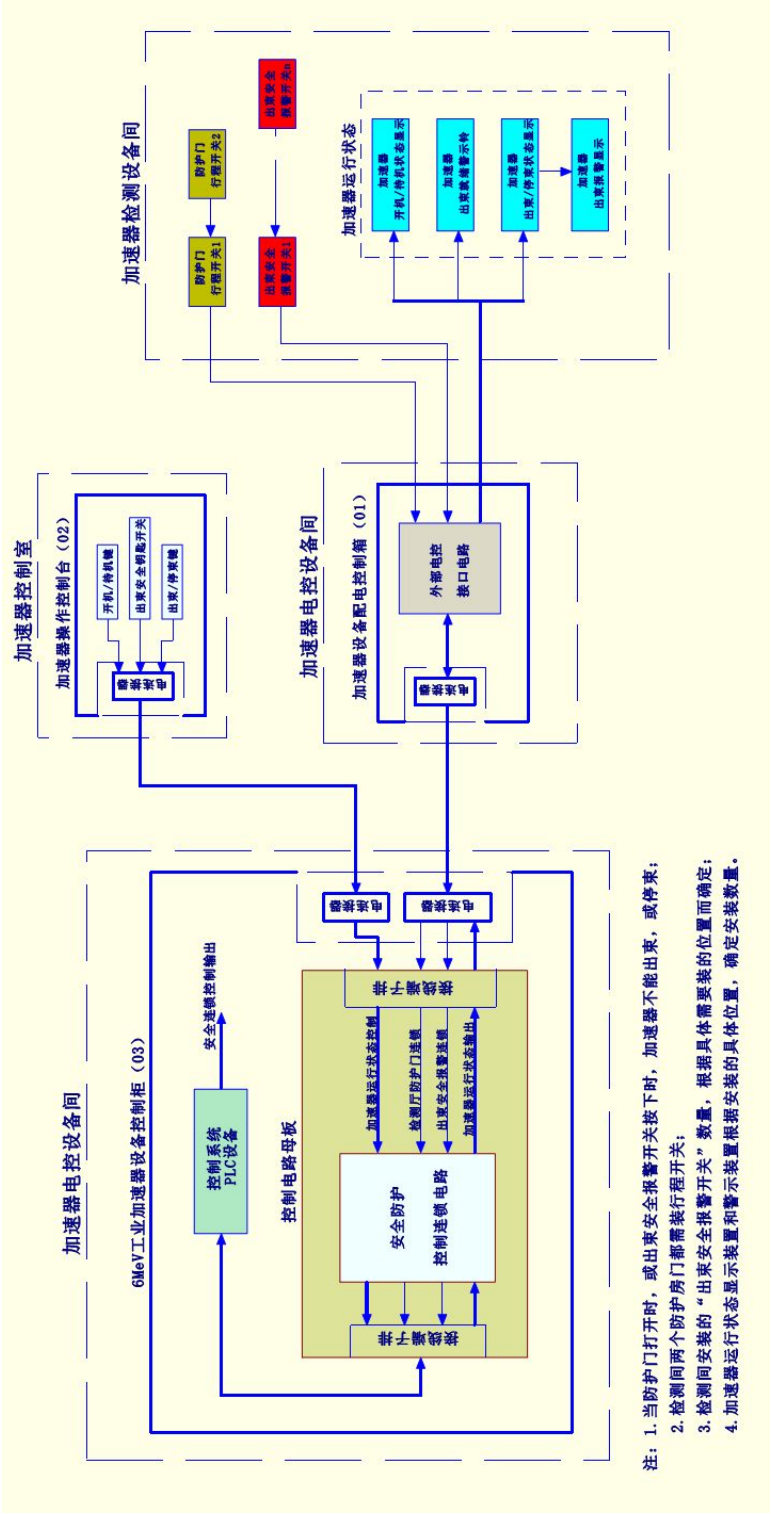


图5.6 6MeV加速器CT安全联锁逻辑图

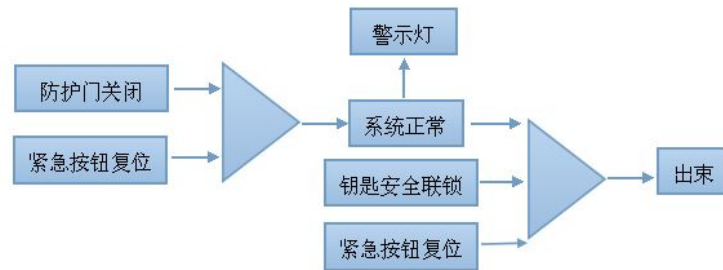


图5.6 周向X射线机安全联锁逻辑图

(4) 其它污染防治措施

- ① 控制台、射线间防护门内设置紧急停机按钮，出口处设置紧急开门按钮；
- ② 使用前，工作人员必须严格按操作规程进入机房巡视，确认无滞留人员，且机房防护门关闭后方能开机；必须对门机联锁装置以及出束信号指示灯等安全措施进行定期检查，保证门未关或关严后被打开时，射线装置不通电。
- ③ 安装闭路监视系统，工作人员在控制室内便可监视机房内的整个使用过程，如有异常情况，可以及时发现，及时处理。
- ④ 配备质量控制检测设备、制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，并有专人负责质量保证与质量控制检测工作，定期对设备运行状况进行检查并详细记录，为防护检修提供依据；督促使用人员进行维护保养，并做好维护记录，保证设备完好。
- ⑤ 设有通风换气设施（通风次数不少于4次/小时）和个人防护用品。

5.4 辐射安全管理

(1) 辐射安全防护领导机构

航材院现有辐射安全防护领导机构满足本项目辐射安全管理工作需要，辐射安全防护领导小组成员仍维持不变。

(2) 本项目特点拟编制或修订规章制度

依照《工业射线探伤辐射安全和防护分级管理要求》（DB11/T 1033-2013）等制度，航材院将在现有辐射安全管理制度基础上，补充电子加速器CT相关操作规程、监测方案以及应急预案等制度内容，进一步完善辐射安全管理制度，确保公司辐射防护工作按照规章制度进行。

(3) 工作场所安全防护设施管理

本项目中，射线装置工作场所安全与防护设施设计参照表5.4执行。

表5.4 安全和防护能力对照检查情况

序号	项目	检查内容	设计建造	运行状态	备注
1*	A 场所设施（固定式）	入口电离辐射警告标志	√		
2*		入口处机器工作状态指示灯	√		
3		隔室操作	√		
4*		迷道	√		
5*		防护门	√		
6*		控制台有防止非工作人员操作的锁定开关	√		
7*		门机连锁系统	√		
8*		照相室内监控设备	√		
9		通风设施	√		
10*		照相室内紧急停机按钮	√		
11*		控制台上紧急停机按钮	√		
12*		出口处紧急开门按钮	√		
13*		准备出束声光提示	√		
14*	B 场所设施（移动式）	控制台有钥匙控制	/		
15		钥匙由专人管理	/		
16*		控制台上紧急停机按钮	/		
17*		声光报警	/		
18*		警戒线及警示标志	/		
19*	C 监测设备	便携式辐射监测仪器仪表	√		
20*		个人剂量计	√		
21*		个人剂量报警仪	√		
22	D应急物资	灭火器材	√		

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

（4）本项目辐射监测管理

在现有监测方案基础上，本项目新增辐射工作人员和射线装置的辐射监测按以下方案管理。

① 个人剂量监测

新增辐射工作人员依据现有个人剂量监测方案进行个人剂量监测，进行辐射工作时

必须随身佩戴个人剂量仪，并配备个人剂量报警仪。单位将严格执行每季度送检一次、每年送检 4 次的要求，建立个人剂量档案和健康管理档案，做好工作人员的剂量数据登记和汇总工作。

② 工作场所监测

委托有资质的单位进行工作场所监测，采取定点监测和巡测相结合的方式监测设备机房间周围的辐射水平，重点监测机房门口/门缝、四周墙外、楼上场所和辐射工作人员操作位置等场所（本项目新增场所地下均为泥土），监测频次不少于 1 次/年。

为加强单位辐射安全管理，配备 X-γ辐射剂量率仪进行自测，监测频次不少于 1 次/季度，并在工作场所安装在线辐射安全报警仪，实时监测辐射工作场所剂量率是否超标。

③ 环境辐射水平监测

委托有资质的单位进行环境辐射水平监测，监测频次不低于1次/年，监测点位包括电子加速器CT、小焦点CT系统以及周向X射线机机房所在建筑物四周及上层，另外包含一个固定环境监测点位（周围相对空旷的空地或者绿地）。

④ 监测仪器情况

为满足本项目506#厂房新增使用电子加速器CT和小焦点CT系统需要，航材院将购置在线辐射安全报警仪和个人剂量报警仪。

（5）工作人员培训情况

本项目新增使用周向X射线机将由现有工作人员完成，使用电子加速器CT和小焦点CT系统约新增4名辐射工作人员，航材院承诺所有辐射工作人员均需参加北京市环保局认可的培训机构组织的辐射防护知识培训及相关法律法规的培训和考核，并取得合格证书后，方能上岗从事辐射相关工作。

（6）辐射事故应急管理情况

发生辐射事故时，应立即启动单位制定的应急预案，由本项目应急小组负责人采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始事故表》，向当地环境保护和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

5.5 对《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

依据关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定（国家环保部第3号令，2008年11月修正）第十六条的规定，对使用射线装置提出了具体条件，本项目具备的条件与法规要求的对照检查见表5.5。

表5.5 与“3号令”要求对照检查情况

3 号令要求	北京航空材料研究院落实情况	是否符合
设专门的辐射安全与环境保护管理机构	有专门的辐射安全与环境保护管理机构。	符合
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。	现有从事辐射作业和管理的 68 名工作人员，均通过北京市环保局认可的培训机构组织的“辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训”，经考核取得结业证书。	符合
使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目不涉及放射性同位素的使用。	本项目不涉及
放射性同位素与射线装置使用场所所有防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	辐射工作场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施，机房安装有门机联锁装置，警示灯、报警装置、微波红外双鉴探测器以及辐射安全标志等。	符合
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	目前，航材院从事放射性和在放射性场所工作的工作人员每人均配备了 TLD 个人剂量计，配备有 3 台辐射监测仪器和 3 台个人剂量报警仪。	符合
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、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	制定了各项辐射防护规章制度、设备操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	符合
有完善的辐射事故应急措施。	制定了相应的应急措施。	符合
产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目中射线装置使用过程中不产生放射性废水、废气和固体废物。	本项目不涉及

5.6 对《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的满足情况

环保部2011年第18号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18号令”要求的对照情况见表5.6。

表5.6 安全和防护能力对照检查情况

安全和防护管理办法要求	北京航空材料研究院情况	符合情况
第五条 射线装置的生产调试和使用场所，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。	放射工作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，机房安装有门机联锁装置，警示灯、报警装置、微波红外双鉴探测器以及辐射安全标志。	符合
第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	每年委托有资质单位进行辐射环境水平监测和工作场所监测。	符合
第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	每年1月31日前向环保部门提交上一年度的评估报告。	符合
第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的不得上岗。	从事辐射作业和管理的68名工作人员，均通过北京市环保局认可的培训机构组织的“辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训”，经考核取得结业证书。	符合
第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	目前，航材院从事放射性和在放射性场所工作的工作人员每人均配备了TLD个人剂量计，并委托北京市疾病预防控制中心承担个人剂量监测工作。	符合

表 6 环境影响分析

建设或安装过程和运行（使用）后对环境影响的分析

6.1 建设或安装过程的环境影响

该项目施工活动对周围环境的影响主要是基建工作中产生的噪声、粉尘，为了不影
响周围环境，在施工过程中，将采取一些降噪、防尘措施。

（1）减少粉尘的措施

施工场地通过洒水，防止浮尘产生；运输车辆进入施工场地应低速行驶，减少扬尘；
施工场地内运输通道应及时清扫；禁止易起尘原材料露天堆放。

（2）废物和垃圾的清理

运输与装卸过程中防止抛洒，如有抛洒及时清扫；工地生活垃圾与单位生活垃圾一
同处理。

（3）现场施工噪声的控制

本工程噪声较大的施工是混凝土浇筑，如果选择合适的时段进行，如施工安排在白
天，避免夜间施工，另外运输车辆进入现场应尽量减少鸣笛且减速，则对室外环境和周
围的人群影响较小，预计噪声完全可以控制在国家标准规定的范围之内。

6.2 项目运行（使用）后对环境的影响

本项目中，6MeV电子加速器CT和小焦点CT系统均位于新建506#厂房，周向X射线
机位于33#厂房118房间。考虑到小焦点CT系统带自屏蔽系统，周向X射线机（160kV）机
房原为450kV探伤间机房，本评价重点评价6MeV电子加速器CT运行时对环境、人员及公
众的辐射影响。

6.2.1 电子加速器 CT 运行环境影响分析

（1）电子加速器CT预计运行情况

根据研制任务需要，预计电子加速器CT投入使用后，每天总出束时间约为2h，每年
工作250天，年出束时间约为500h，距靶1m处最大剂量率为800cGy/min，即480Gy/h；设
有两名辐射工作人员。

本项目加速器CT机房无上下层，主射束固定朝向北墙，因此北墙外主要考虑主线束
对环境的影响，其他墙主要考虑加速器CT运行时漏射线和散射线对环境的影响，加速器

CT机房平面布局图见图6.1。

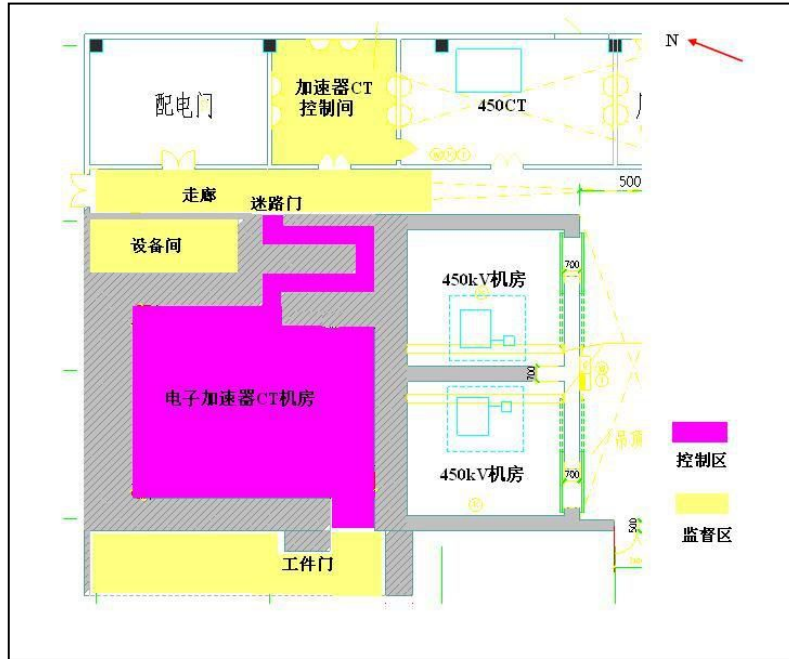


图6.1 加速器CT机房平面布局图

(2) 剂量率估算公式

① 主、漏射线剂量率估算

注、漏射线剂量率可由式 (6-1) 和式 (6-2) 估算得到。

$$\dot{H} = \frac{B \cdot L_f \cdot \dot{D}_0}{d^2} \quad (6-1)$$

$$B = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(h / \cos \theta - TVL_1)}{TVL_e}\right]\right\}} \quad (6-2)$$

式中：

$\dot{H}$ —参考点处的贯穿辐射剂量率，Gy/h；

B —透射系数，无量纲；

L_f —泄漏率，本项目对于主射束取1，漏射线取0.1%；

$\dot{D}_0$ —距离靶1m处的最大剂量率，Gy/h；

d —靶点至关注点的距离，m；

h —屏蔽墙的厚度，cm；

θ —射线对屏蔽墙的入射角；

TVL_1 —主射束/漏射线对混凝土/铅的第一个十分之一值层，cm；

TVL_e —主射束/漏射线对混凝土/铅的平衡十分之一值层，cm。

表6.1 混凝土和铅对6MeV X射线的TVL

TVL类型	混凝土TVL值（主束/漏射，cm）	铅TVL值（cm）
TVL_1	37/34	5.7
TVL_e	33/29	5.7

*NCRP NO.151 表B.2、表B.7。

② 散射线剂量估算公式

检测件一次散射剂量率可由式6-3和式6-4估算得到。

$$\dot{H}_{sca} = \frac{B_{ps} \cdot \alpha \cdot F \cdot \dot{D}_0}{d^2 \cdot d_{sca}^2 \cdot 400} \quad (6-3)$$

$$B_{ps} = 10^{-\left(\frac{h / \cos \theta}{TVL_{sca}}\right)} \quad (6-4)$$

式中：

$\dot{H}_{sca}$ —检测件对关注点处的剂量率，Gy/h；

B_{ps} —检测件一次散射透射系数，无量纲；

α —以不同角度散射时的散射系数；

F —对应检测件的射野面积，cm²；

$\dot{D}_0$ —距靶1m处的最大剂量率，Gy/h；

d —等中心点至关注点的距离，m；

d_{sca} —靶点至等中心点（检测件）的距离，2.8m；

400—以照射野面积20cm×20cm为标准进行标准化的散射系数；

h —屏蔽墙的厚度，cm；

θ —射线对屏蔽墙的入射角；

TVL_{sca} —检测件散射线对混凝土/铅的平均十分之一值层，cm。

表6.2 混凝土对检测件散射线的TVL_{sca}及散射系数

散射角度	30°	45°	60°	90°	135°
$TVL_{sca}(\text{cm})$	26	23	21	17	15
α	2.77e-3	1.39e-3	8.24e-4	4.26e-4	3.00e-4

*射线出束能量：6MeV

(3) 剂量率估算

根据建设单位和设备厂家提供的资料，等中心点到东西南北墙（机房外30cm处）的距离分别为 $ds_{东1}=5.8\text{m}$ ， $ds_{东2}=9.0\text{m}$ ， $ds_{西}=6.7\text{m}$ ， $ds_{南}=8.7\text{m}$ ， $ds_{北}=6.8\text{m}$ ，靶点到东西南北墙（机房外30cm处）的距离分别为 $d_{L东1}=6.5\text{m}$ ， $d_{L东2}=8.5\text{m}$ ， $d_{L西}=6.7\text{m}$ ， $d_{L南}=5.9\text{m}$ ， $d_{L北}=9.6\text{m}$ ，另外靶点到屋顶的距离为 $d_{屋顶}=7.5\text{m}$ 。加速器工业CT运行时，机房周围辐射剂量率估算点位示意图如图6.2所示。

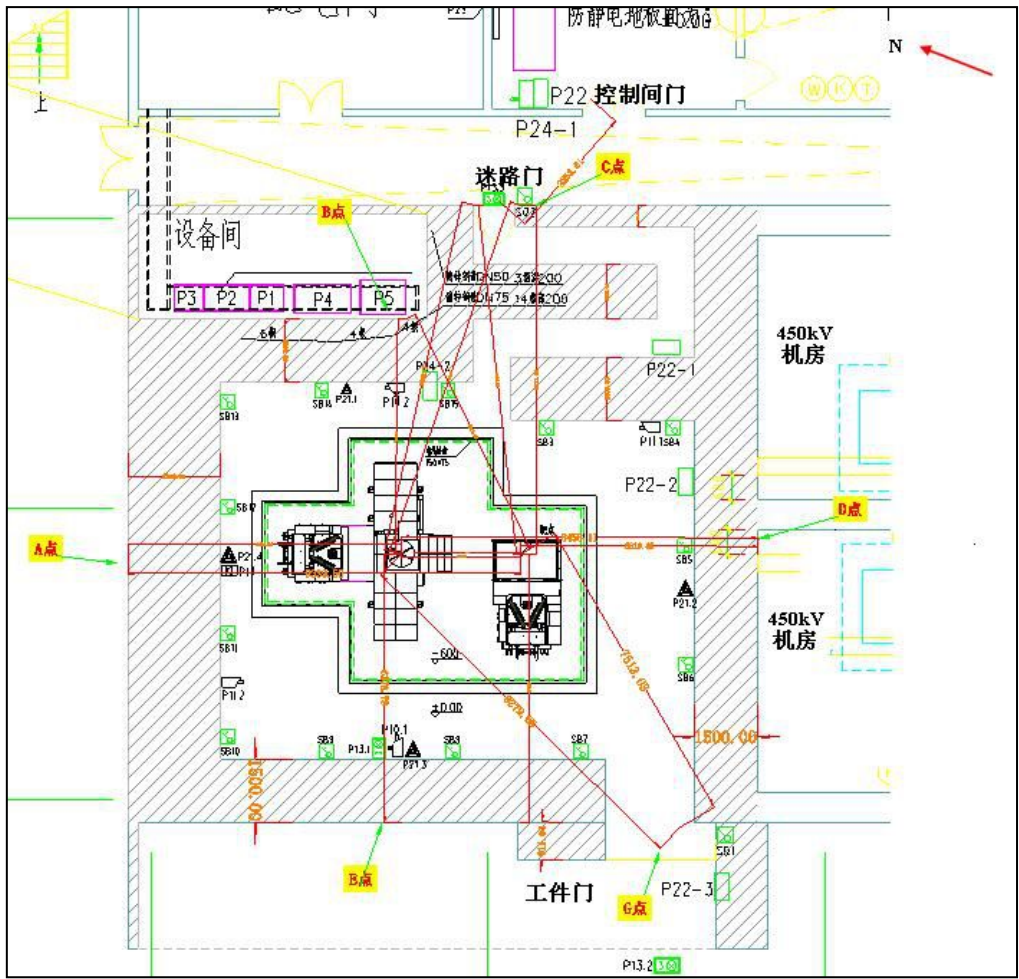


图6.2 CT机房周围辐射剂量率估算点位示意图

参照式6-1、式6-2、式6-3和式6-4可得，加速器CT运行时，机房周围的附加剂量率如表6.3所示。

表6.3 加速器 CT 机房周围附加剂量率

点位	位置	距离 (m)	射线束	屏蔽设计厚度	透射因子	剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
A	北墙外30cm处	9.6	主射束	220cm混凝土	2.85E-07	1.5
B	东墙外30cm处（设	5.8	散射（90°）	150cm混凝土	1.50E-09	1.2 E-06

	备间)	6.5	漏射 (30°)	150cm混凝土	1.61 E-06	0.018
C	东墙门口外30cm处 (外侧走廊)	9.0	散射 (135°)	280cm混凝土 或多次散射	2.15 E-19	4.9E-17
		8.5	漏射 (约90°)	130cm混凝土	4.89 E-05	0.33
D	南墙外30cm处	5.9	漏射 (90°)	150cm混凝土	1.00E-05	0.14
E	西墙外30cm处	6.7	散射 (90°)	150cm混凝土	1.50 E-09	8.7E-07
		6.7	漏射 (90°)	150cm混凝土	1.00E-05	0.11
F	顶棚上方1m处	7.5	散射 (90°)	150cm混凝土	1.50 E-09	7.0E-07
		7.5	漏射 (90°)	150cm混凝土	1.00E-05	0.085
G	工件门外30cm处	9.5	散射 (135°)	90cm混凝土	3.41E-09	6.9E-07
		7.7	漏射 (45°)	90cm混凝土	6.21E-05	0.50

注：表中所取参考点为各墙/门外30cm处。

由表6.3可以看出，加速器CT机房外剂量率最大点位于北墙（主屏蔽墙）外，最大为1.5μGy/h；迷路门（东墙）外剂量率约为0.33μGy/h，工件门外剂量率约为0.50μGy/h。可见，加速器CT正常运行时，机房周围剂量率均满足2.5μGy/h的剂量率控制水平要求。

(4) 电子加速器CT运行时人员受照剂量估算

电子加速器CT机房位于所在建筑地上一层，该位置处仅一层，工作人员和公众的受照剂量情况见表6.4。迷宫出口处剂量率约为0.33μGy/h，迷宫出口距控制室中央距离约为3.5m，根据距离平方反比关系，不考虑设备间和控制间墙壁屏蔽情况下，控制室中央剂量率约为0.17μGy/h。

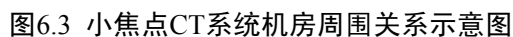
表6.4 加速器工业CT运行时人员年受照剂量估算表

位置描述	附加剂量率 (μGy/h)	居留因子 T	年出束时间 h	年受照剂量 (μSv)	人员
设备间	0.018	1/4	500	2.3	工作人员
迷宫出口	0.33	1/4	500	41	
工件门出口	0.5	1/4	500	63	
控制室中央	0.17	1	500	85	公众
主墙外	1.5	1/16	500	47	

由表6.4可知，加速器工业CT运行后，工作人员受照剂量不超过0.085mSv/a，远低于本评价设定的职业受照剂量约束值2mSv/a；公众受照剂量约为0.047mSv/a，低于本评价

6.2.2 小焦点 CT 系统环境影响分析

小焦点 CT 系统操作人员位于系统右侧操作位,年工作时间 250 天,日出束时间不超过 1.5h,则工作人员年受照时间不超过 375h。保守起见,以设备表面 10cm 处剂量率 $1\mu\text{Sv/h}$ 估算,则工作人员年受照剂量约为 $375\mu\text{Sv}$,低于本评价设定的职业受照剂量约束值 2mSv/h 。根据距离平方反比规律和机旁辐射屏蔽,小焦点 CT 系统运行所致周围公众受照剂量可忽略不计。



周向X射线机机房位于33#厂房118房间，33#厂房仅地上一层，东侧、南侧为空地，较少有人员经过，北侧为评片室，西侧为控制间，布局示意图见图160kV探伤机靶点距离东西南北墙外30cm处的距离分别为 $d_{\text{东}}=3.2\text{m}$ ， $d_{\text{西}}=3.2\text{m}$ ， $d_{\text{南}}=3\text{m}$ ， $d_{\text{北}}=3.4\text{m}$ ， $d_{\text{屋顶}}=6\text{m}$ ，本项目450 kV周向X射线机机房平面布局示意图见图6.4。

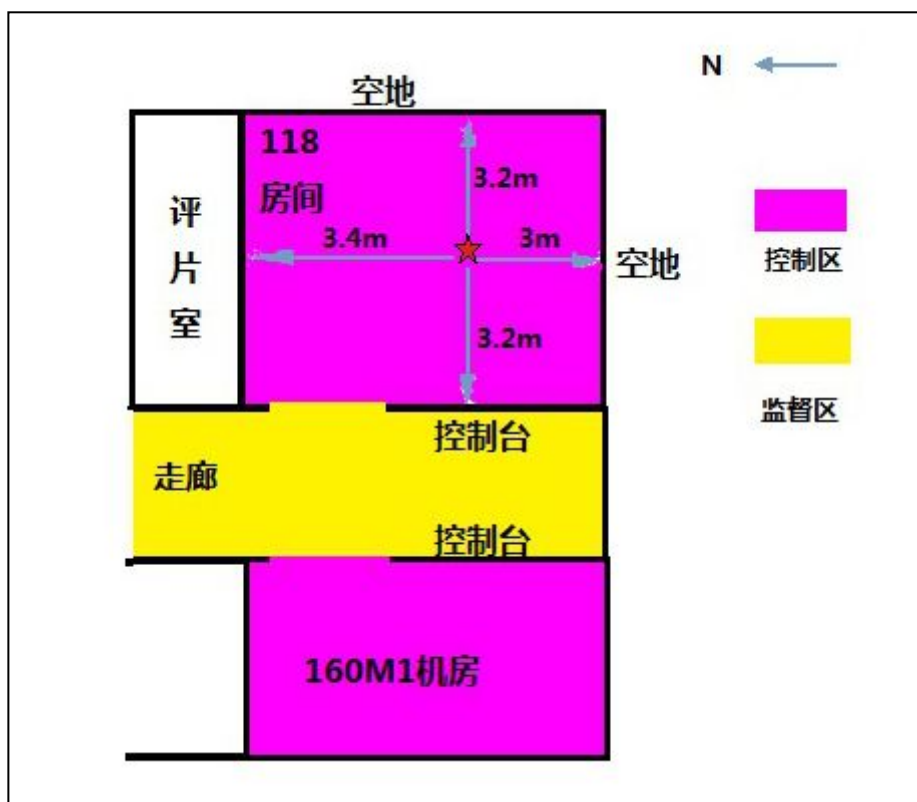


图6.4 周向X射线机机房平面布局示意图

① 有用线束剂量率估算公式

有用线束所致剂量率可由式（6-5）~（6-6）计算得到。

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad (6-5)$$

$$B = 10^{-X/TVL} \quad (6-6)$$

式中：

$\dot{H}$ —有用线束所致关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

I —X射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，6.25mA；

H_0 —距靶点1m处X射线管输出量， $1.722\text{E}+06\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ，参照GBZT 250-2014表B.1中管电压200kV数据（2mmAl）估算；

B —屏蔽透视因子；

R —靶点至关注点的距离，m；

X —屏蔽厚度，mm；

TVL —X射线束在屏蔽材料中的什值层厚度，参照GBZ/T 250-2014中表B.2，管电压为160kV的X射线在铅中的什值层取1.05mm、在混凝土中的什值层取73.2mm。

② 漏射线剂量率估算公式

参照《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)，漏射线所致剂量率可由式(6-7)估算得到。

$$\dot{H}_L = \frac{\dot{H}_{L(1)} \cdot B}{R^2} \quad (6-7)$$

式中，

$\dot{H}_L$ —漏射线所致关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_{L(1)}$ —距靶点1m处X射线管组装体的泄露辐射剂量率，取 $2.5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ （见表1.3）；

B —屏蔽透视因子；

R —靶点至关注点的距离，m。

③ 散射线剂量率估算公式

散射线所致关注点的剂量率可由式(6-8)计算得到。

$$\dot{H}_s = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad (6-8)$$

式中，

$\dot{H}_s$ —散射线所致关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —距靶点1m处输出量， $1.722\text{E}+06 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$ ，参照GBZT 250-2014表B.1中管电压200kV数据（2mmAl）估算；

I —X射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，6.25mA；

B —屏蔽透视因子；

F — R_0 处的辐射野面积， m^2 ，本项目为 $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ ，即0.0016；

α —散射因子，入射辐射被单位面积（ 1m^2 ）散射体散射到距其1m处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比，即 $\alpha_w \cdot 10000/400$ ，参照GBZ/T 250-2014附录表B.3，本项目中 α_w 保守取 $1.9\text{E}-3$ ，则 α 为0.0475；

R_0 —靶点至探伤工件的距离，取0.3m；

R_s —散射体至关注点的距离，m；

④周向X射线机运行所致周围辐射影响

周向X射线机运行所致周围环境辐射影响见表6.5。

表6.5 周向X射线机运行所致周围环境辐射影响

位 置	距离 (m)	屏蔽厚度mm	T	射线束	透射因子 B	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总附加剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年总附加剂 量 ($\mu\text{Sv/a}$)
西侧控 制间	3.2	混凝土厚58cm+ 砖厚12 cm	1	有用线束	1.19E-08	1.25E-02	1.25E-02	7.82 (职业人员)
				漏射线	1.19E-08	2.91E-06		
				散射线	5.18E-09	4.60E-06		
北侧评 片室	3.4	混凝土厚70cm	1	有用线束	2.74E-10	2.55E-04	2.55E-04	0.16 (公众)
				漏射线	2.74E-10	5.93E-08		
				散射线	1E-10	7.87E-08		
东侧空 地	3.2	混凝土厚52cm+ 砖厚18 cm	1/16	有用线束	7.87E-08	8.27E-02	8.28E-02	3.23 (公众)
				漏射线	7.87E-08	1.92E-05		
				散射线	3.73E-08	3.31E-05		
南侧空 地	3	混凝土厚70cm	1/4	有用线束	2.74E-10	3.28E-04	3.28E-04	0.051 (公众)
				漏射线	2.74E-10	7.61E-08		
				散射线	1E-10	1.01E-07		
顶层	6	钢筋混凝土面板 37cm+18cm挤塑 板	1/16	漏射线	8.82E-06	6.13E-04	1.92E-03	0.075 (公众)
				散射线	5.18E-06	1.31E-03		

注：西侧、东侧、顶层屏蔽仅考虑混凝土屏蔽；散射线对应TVL值取150kV对应值。

由表6.5可知，周向X射线机在最大功率工作状态下，探伤机机房外侧最大剂量率为 $8.28\text{E-}02\mu\text{Gy/h}$ ，满足相关标准中关于辐射防护剂量率控制水平小于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 的要求，且其所致工作人员最大受照剂量不超过 $7.82\mu\text{Sv/a}$ ，公众受照剂量不超过 $3.23\mu\text{Sv/a}$ ，均低于本评价设定的剂量约束值 2mSv/a （职业人员）和 0.1mSv/a （公众）。

6.2.5 有害气体分析

有害气体分析以电子加速器工业CT每天出束2小时进行估算。

1) 臭氧 (O_3)

参照《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994年4月第14卷第2期，p101），辐射所致臭氧的产额和浓度可由式（6-9）~式（6-13）估算得到。

① 有用线束 O_3 产额

有用线束所致 O_3 产额可由式（6-9）计算得到。

$$P = 2.43 \dot{D}_0 (1 - \cos \theta) RG \quad (6-9)$$

式中：

P —O₃的产额，mg/h；

$\dot{D}_0$ —有用线束在距源1m处的输出量，8Gy/m²·min；

R —靶点到屏蔽墙的距离，9.34m；

G —空气吸收100eV辐射能量产生的O₃分子数，取10；

θ —有用束的半张角，取5°。

② 泄露辐射O₃产额

将泄露辐射看作4 π 方向均匀分布的电源，并考虑机房墙壁的散射线使室内的O₃产额增加10%，泄露产生的O₃产额可由式（6-10）计算得到。

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \dot{D}_0 GV^{1/3} \quad (6-10)$$

式中：

P —O₃的产额，mg/h；

$\dot{D}_0$ —有用线束在距源1m处的输出量，8Gy/m²·min；

G —空气吸收100eV辐射能量产生的O₃分子数，取10；

V —加速器CT机房体积，604m³。

经计算，有用线束的O₃产额为6.91mg/h，泄露辐射O₃产额为2.25mg/h，则加速器工业CT运行时，O₃总产额为9.16mg/h。预计加速器工业CT年总出束时间不超过500h，则O₃年产量为4.58g。

③ O₃浓度

CT机房产生的臭氧一部分自然分解，另一部分由通风系统排到室外，空气中臭氧的平均浓度可由式（6-11）计算得到。

$$Q(t) = \frac{Q_0 t}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (6-11)$$

式中：

$Q(t)$ —CT机房内t时刻臭氧的平均浓度，mg/m³；

Q_0 —臭氧的辐射化学产额，mg/h；

V —CT机房（含迷道）体积，613.5m³；

T —有效清除时间，h。

如果照射时间 t 很长 ($t \gg T$), 则臭氧平均浓度可由式 (6-12) 和式 (6-13) 估算得到。

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} \quad (6-12)$$

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (6-13)$$

式中:

t_v —换气一次所需时间, h;

t_d —臭氧的有效分解时间, 0.83h。

机房设计通风系统换气次数不少于4次/h, 则 $t_v=0.25\text{h/次}$, 则有效清除时间 T 为0.19h。当 $t \gg T$ 时, 臭氧达到饱和浓度, 正常排风时CT机房内的臭氧浓度为 0.0028mg/m^3 , 远低于工作场所中 O_3 浓度限值 (0.3mg/m^3)。CT机房臭氧通过排风系统排出, 经大气稀释和扩散作用, 其浓度将进一步降低, 远低于《环境空气质量标准》二级标准中 O_3 的一小时平均浓度限值 (0.2mg/m^3), 对周围大气环境的影响十分轻微。

2) 氮氧化物 (NO_x)

氮氧化物中以 NO_2 为主, 其产额约为 O_3 的一半, 《环境空气质量标准》二级标准对空气中 NO_2 一小时平均浓度限值为 0.24mg/m^3 , 与 O_3 限值接近, 因而, 产生和排放对周围大气环境的影响很轻微。

6.2.6 噪声

本项目施工期间, 基建工作、车辆运输将产生噪声, 通过合理安排施工时间、减少鸣笛减速等措施降低其噪声影响。本项目运行期间, 噪声主要来自机房附设的通风、空调系统的风机设备、以及附属高压调制器的风冷设备, 本项目位于航材院院区西南角, 离办公区域距离较远, 考虑到建筑屏蔽及距离衰减, 本项目运行期间对周围声环境的影响轻微。

6.2.7 电磁辐射

电子加速器使用磁控管、射频分离器、射频腔和波导传输系统等微波组件。为实现微波能的有效利用, 要求电子传输系统具有良好的密封性, 真空状态下, 微波能被束缚在波导管内, 其泄露可忽略不计, 因而正常工况下, 微波电磁辐射对环境的影响几乎可以忽略不计。

6.3 异常事件分析与防范建议

6.3.1 事故分析

本项目中，6MeV电子加速器CT、小焦点CT系统以及周向X射线机运行期间，如安全联锁装置出现故障，机房门/屏蔽门未完全关闭就出束，将会对工作人员造成误照射。因而，工作人员在进行操作前，需检查安全联锁装置是否正常。

6.3.2 事故防范措施建议

操作人员须严格按照操作规程操作设备，如出现设备不能正常停止照射时，应立刻切断总电源，强制实行停止照射；为防止人员误留辐射工作场所受到误照射，工作人员进行操作时须携带个人剂量报警仪；定期检查辐射安全管理制度落实情况，发现问题及时纠正；如发生辐射事故，应立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的应急措施，一旦怀疑人员可能受到较大剂量照射，应及时送往医院进行医学处理；

6.4 项目竣工环境保护验收内容

本项目竣工环境保护验收的建议内容列于表6.6中，供项目单位和审管部门参考。

表6.6 项目竣工环保验收主要内容

序号	验收内容	验收要求
1	剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告建议，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。
2	电离辐射标志和中文警示	在射线装置机房门口设置明显的放射性警告标识和中文警示说明，以及工作状态指示灯。
3	屏蔽设计	放射性工作场所及其配套用房的建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。 机房通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。
4	辐射安全设施	采用混凝土实体屏蔽，安装视频监控系统，安装在线辐射安全报警仪和微波红外双鉴探测器，门联锁开关、急停开关等。
5	辐射监测	制定了满足管理要求的辐射监测制度；监测记录存档；已配备X-γ辐射剂量当量仪 3 台；放射工作人员进行个人剂量监测，并建立健康档案。
6	规章制度	制定的辐射安全管理制度和操作规程满足管理要求，且得到落实。
7	人员培训	所有从事放射性工作的人员经过北京市环保局认可的培训机构组织的辐射防护知识的培训和考核，且持证上岗。
8	应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等，配备必要的应急器材、设备。

6.5 结论和承诺

6.5.1 结论

根据北京航空材料研究院新增射线装置的使用状况，以及对本评价项目的环境影响综合分析，得出如下结论：

（1）项目概况

北京航空材料研究院拟在单位院区内西南角新建506#厂房，并使用1台6MeV电子加速器CT和1台小焦点CT系统，同时在现有33#厂房118房间使用一台周向X射线机。

（2）实践的正当性

本项目针对XX发动机和XX直升机的研制任务，为满足型号研制需要，在现有研究条件基础上，实现有针对性地补充一些关键制造、测试、试验、隐身研究条件，以确保XX发动机和XX直升机的研制工作的顺利完成，因而，符合实践正当性原则。

（3）选址合理性

本项目位于北京航空材料研究院区内506#厂房和33#厂房，机房周围50m范围内无环境敏感区域，且新建工作区域考虑了工作场所及周围场所的屏蔽防护与安全，故其选址是合理可行的。

（4）辐射屏蔽设计合理

北京航空材料研究院将参照本环评对新建放射工作场所采取可行、有效的建筑屏蔽措施，采取分区管理，确保机房屏蔽防护符合辐射环保相关要求。

（5）主要污染因子和辐射环境影响评价

① 工作期间产生的X射线辐射是环境污染的主要污染因子，其对环境的辐射影响随机器的开、关而产生和消失；

② 本项目中的射线装置拟采取辐射防护屏蔽合理、有效，满足放射污染防治的相关要求。射线装置的运行对周围环境造成的辐射污染较小，射线装置工作期间对职业人员的最大辐射剂量约为 $85\mu\text{Sv/a}$ ，低于本环评设定的职业受照剂量约束值 2.0mSv/a ；公众受照剂量最大为 $47\mu\text{Sv/a}$ ，低于本次评价设定的公众受照剂量约束值 0.1mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求

③ 本项目中，射线装置在运行时会产生微量的臭氧、氮氧化合物等有害气体，在

采取机械通风的情况下，有害气体对环境和人员的影响十分轻微。

（6）污染防治措施

① 拟建造符合标准规定的工作场所：北京航空材料研究院将严格按照规定合理布局，不随意在机房内堆放与工作无关的杂物，并配备有效的通风换气设施；

② 辐射屏蔽防护措施：北京航空材料研究院将落实本环评的相关辐射屏蔽防护措施，以满足相应的屏蔽防护要求；

③ 工作场所的分区管理：放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；

④ 放射工作场所工作人员必须按要求佩戴个人剂量计，并严格实施工作人员个人剂量检测计划，每季度检测一次，定期进行职业健康体检，建立个人剂量和健康档案；

⑤ 放射工作人员需经辐射安全与防护培训班培训、并取得合格证书后方可上岗，培训每四年需复训；

⑥ 制定环境辐射水平监测计划，并存档；委托有资质的监测单位进行环境监测，监测频次为1次/年；

⑦ 配备质量控制检测设备、制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，并有专人负责质量保证与质量控制检测工作；

⑧ 警示标识：机房出入口等显著位置上标有“电离辐射”警示牌，并装“射线有害、灯亮勿入”警示灯。

⑨ 规章制度：北京航空材料研究院已制定各项规章制度、操作规程，并张贴在辐射工作现场。

（7）实践的可行性

本项目是北京航空材料研究院更好的开展研制工作，增强工艺水平的重要手段，具有一定的社会效益和经济效益。与国家环保部颁布的第3号令《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》进行逐条对比检查，总体上符合“第3号令”各项具体要求。在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理计划后，航材院将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其辐射装置运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，本项目的实践是可行的。

6.5.2 承诺

为保护环境，促进射线装置的安全应用，保障公众和工作人员身体健康，预防事故发生，北京航空材料研究院郑重承诺：

（1） 加强各射线装置工作场所的管理，加强人员培训，严格遵守辐射防护和环境保护的各项规定；

（2） 加强机房安全联锁系统的检查维护，确保各种安全防护设施的正常使用；

（3） 加强对各放射性工作场所工作人员的个人剂量监测；

（4） 定期送X- γ 剂量率仪等监测仪器至有资质单位进行检定、校准；

（5） 不定期的对各放射性工作场所进行环境辐射水平监测；

（6） 积极采取有效措施预防事故的发生，如发生事故及时向有关部门报告；

（7） 项目竣工试运行三个月内办理验收手续，验收合格后方可投入使用；

（8） 如新增其他射线装置或使用其它放射源及时向环保部门申报审批；

（9） 接受环保等其他部门的管理、监督及指导。

表 7 审 批

主管单位环保机构预审意见：	
经办人签字 年 月 日	单位盖章 年 月 日
县（区）环保部门意见	市（地区工）环保部门意见
单位盖章 年 月 日	单位盖章 年 月 日
省级环保部门审批意见：	
经办人签字 年 月 日	单位盖章 年 月 日