

中国核科学技术进展报告

(第一卷)

——中国核学会2009年学术年会论文集

第 7 册

- ▲ 核电子学与核探测技术分卷
- ▲ 脉冲功率技术及其应用分卷
- ▲ 核聚变与等离子体物理分卷



原子能出版社

中国核科学技术进展报告

(第一卷)

——中国核学会 2009 年学术年会论文集

第 7 册

核电子学与核探测技术分卷

脉冲功率技术及其应用分卷

核聚变与等离子体物理分卷

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国核科学技术进展报告:中国核学会 2009 年学术年会论文集. 第 1 卷/中国核学会主编.
—北京:原子能出版社,2010.11
ISBN 978-7-5022-5040-9

I. ①中… II. ①中… III. ①核技术—技术发展—中国—文集 IV. ①TL-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 175483 号

内 容 简 介

《中国核科学技术进展报告(第一卷)》收录了中国核学会首届全国学术年会 889 篇研究论文,均为我国核科技界最新的研究成果。近年来,国家“积极发展核电”的方针带动了核电及其关联产业链的发展,也带动了核科学技术各个学科的全面发展,涌现出大量的科技创新成果,“创新”已经成为当今核科学技术进步的原动力和主旋律。为了适应核电发展的大好形势,繁荣和发展核科学技术,中国核学会建立了学术年会机制,每两年举办一届全国学术年会。首届全国学术年会于 2009 年 11 月 18 日至 20 日在北京举行,大会以“创新——核科学技术发展的不竭源泉”为主题,征集研究论文 1719 篇(其中邀请报告 13 篇),近 1400 名院士、专家、教授及一线青年核科学技术工作者与会。会后,经过各个二级学科专家组的评审,889 篇论文通过了学术(技术)审查,汇编为《中国核科学技术进展报告(第一卷)》,全书分为 10 册。为了便于读者订购和查阅,21 个二级学科分别设立分卷。

各册包含的分卷如下:第 1 册为“铀矿地质”分卷;第 2 册含“铀矿冶”分卷和“核能动力”分卷(上)两部分;第 3 册为“核能动力”分卷(下);第 4 册收录了“核材料”、“同位素分离”和“核化学与放射化学”3 个分卷;第 5 册内容为“辐射防护”和“核化工”两个分卷;第 6 册收录了“核物理”、“计算物理”和“粒子加速器”3 个分卷;第 7 册则为“核电子学与核探测技术”、“脉冲功率技术及其应用”和“核聚变与等离子体物理”3 个分卷;第 8 册包含有“辐射研究与辐射工艺”、“同位素”和“核农学”3 个分卷;第 9 册收录有“核医学”和“核技术工业应用”两个分卷;第 10 册内容为“核情报”分卷和“核技术经济与管理现代化”分卷。

作为公共信息,文集还列出了中国核学会 2009 年学术年会的组织机构,《中国核科学技术进展报告(第一卷)》的总编委会和 21 个(二级学科)分卷编委会的名单。

中国核科学技术进展报告(第一卷)

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)
责任编辑 侯茸方
技术编辑 丁怀兰
责任印制 潘玉玲
印 刷 保定市中华美凯印刷有限公司
经 销 全国新华书店
开 本 890 mm×1240 mm 1/16
印 张 354 字 数 9859 千字
版 次 2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-5040-9 定 价 1200.00 元(全十册)

网址: <http://www.aep.com.cn> E-mail: atomep123@126.com
发行电话: 010-68452845

中国核学会 2009 年 学术年会大会组织机构

大会主席 孙 勤
执行主席 李冠兴
副 主 席 (按姓氏笔画排序)
丁中智 孙汉虹 杨长利 邱爱慈 贺 禹
康克军 彭先觉 穆占英

顾问委员会

主 任 王乃彦
委 员 (按姓氏笔画排序)
王大中 毛用泽 方守贤 吕 敏 朱永贍
阮可强 李德平 杨福家 吴德昌 邱爱慈
何多慧 沈文庆 陈念念 陈能宽 周永茂
赵仁恺 胡思得 柴之芳 钱绍钧 彭先觉
樊明武 潘自强

组委会

主 任 杨长利
副 主 任 潘传红(常务) 刘长欣
委 员 (按姓氏笔画排序)
王 敏 王志东 王国保 石金水 冉木子
朱升云 刘 毅 刘建桥 苏艳茹 李思凡
吴春喜 何作祥 张 闯 张一心 张生栋
罗志福 金 蓓 赵京伟 顾 军 徐燕生
常学奇 崔建春 康立新 程建平 简晓飞
蔚喜军
秘 书 耿庆云 李 钢 伍险峰 任重远 高 媛
苏 萍

学术委员会

主 任 李冠兴

副 主 任 彭先觉 邱爱慈 柴之芳

委 员 (按姓氏笔画排序)

邓建军	李卫国	李金英	李德连	吴国忠
何多慧	张飞凤	张焕乔	张锦荣	陈念念
陈盛祖	范 仲	畅 欣	周永茂	赵志祥
赵宪庚	侯惠群	徐步进	崔建春	潘传红
潘自强				

主办单位 中国核学会

承办单位 中国核工业集团公司

协办单位 中国核工业建设集团公司 中国广东核电集团有限公司
中国电力投资集团公司 国家核电技术有限公司
中国人民解放军总装备部 中国工程物理研究院
清华大学

技术支持单位

铀矿地质分会、铀矿冶分会、核能动力分会、核材料分会、同位素分离分会、核化学与放射化学分会、核化工分会、辐射防护分会、核农学分会、计算物理分会、核物理分会、粒子加速器分会、核电子学与核探测技术分会、脉冲功率技术及其应用分会、核聚变与等离子体物理分会、同位素分会、核医学分会、辐射研究与辐射工艺分会、核技术工业应用分会、核情报分会、核技术经济与管理现代化分会

北京市核学会、湖南省核学会、江西省核学会、广东省核学会、四川省核学会、浙江省核学会、湖北省核学会、福建省核学会、陕西省核学会、辽宁省核学会、甘肃省核学会、山西省核学会、吉林省核学会、新疆自治区核学会、安徽省核学会、河南省核学会、江苏省核学会、上海市核学会、天津市核学会、贵州省核学会、黑龙江省核学会

中国核科学技术进展报告

(第一卷)

总编委会

主任 李冠兴

副主任 彭先觉 邱爱慈 柴之芳

委员 (按姓氏笔画排序)

邓建军	李卫国	李金英	李德连	吴国忠
何多慧	张飞凤	张焕乔	张锦荣	陈念念
陈盛祖	范仲	畅欣	周永茂	赵志祥
赵宪庚	侯惠群	徐步进	崔建春	潘传红
潘自强				

编委会办公室(原子能出版社)

主任 侯惠群

副主任 杨树录 丁怀兰 赵志军

成员 (按姓氏笔画排序)

卫广刚	王丹	付真	任重远	刘朔
孙凤春	李照煦	张关铭	张铄清	侯茸方
谭俊				

核电子学与核探测技术分卷

编 委 会

主 任 王贻芳

委 员 (按姓氏笔画排序)

王良厚 王焕玉 王群书 刘以农 安 琪
安继刚 苏 伟 李卫国 肖国青 陈盛祖
赵京伟

脉冲功率技术及其应用分卷

编 委 会

主 任 邓建军

委 员 (按姓氏笔画排序)

石金水 江伟华 许 州 张天爵 张建德
林福昌 周传明 曾正中 蒙 林

核聚变与等离子体物理分卷

编 委 会

主 任 彭先觉

副主任 刘 永 李建刚

委 员 (按姓氏笔画排序)

王 珂 冯开明 庄 革 安 竹 杨青巍
胡立群 胡明刚

前言

近年来,国家“积极发展核电”的决策,迎来了我国核电建设的春天。核电的发展,除直接带动核燃料产业链外,还带动了相关的原材料工业、加工制造业、仪器仪表业和建安行业。此外,核技术产业化的飞速发展,也带来了巨大的经济效益和社会效益。同辐技术(即同位素与辐射加工技术)近年来得到广泛应用,已经形成庞大的市场规模;医用加速器及影像设备已经形成标准化系列产品,我国医用微型堆技术即将投放市场;等离子体技术已经广泛应用于电子、环保、化工及加工制造业;核科学技术与医学、农学的交叉和融合,迅速地改变了这些领域的传统思维模式和工作方式,已经发展成为颇具影响力的交叉学科,呈现蓬勃发展的势头。“创新”已经成为当今核科学技术进步的原动力和主旋律。为了适应核电发展的大好形势,繁荣和发展核科学技术,中国核学会第七届理事会决定建立中国核学会学术年会机制,每两年举办一届全国学术年会。

中国核学会首届全国学术年会于2009年11月18日至20日在北京举行,由中国核工业集团公司承办,孙勤同志为大会主席。国家能源局、国家核安全局、国家原子能机构、国家科技部、中国科协、中国科学院和中国工程院等部门(单位)的领导到会祝贺。本届学术年会以“创新——核科学技术发展的不竭源泉”为主题,旨在推动核科技界各学科的交流与融合,促进核科技人才的成长与提高,增强自主技术创新能力,推进核电、核燃料关联产业、核技术产业、核基础科学、核医学、核农学的全面发展。来自我国核工业界、核科研机构、高等院校和核技术企业等的知名院士、专家、教授及一线青年核科学技术工作者近1400人(其中院士44人)与会。中国核科学技术界所属21个二级学科,总共向大会提交了研究论文1719篇(其中邀请报告13篇)。本届全国学术年会会期三天,除主会场外,另设立11个分会场和4个时段的张贴报告区。为了奖励优秀学术论文作者和鼓励青年核科技人才成长进步,年会还设立了“优秀学术论文奖”和“青年优秀科技论文奖”,会议期间还召开了青年科技工作者座谈会。会后,经过各个二级学科专家组的评审,889篇论文通过了学术(技术)审查,汇编为《中国核科学技术进展报告(第一卷)》。文集共10册,同时,为了便于读者订购和查阅,21个二级学科分别设立分卷。

30年来,中国核学会秉承王淦昌等老一辈创会元老的立会宗旨,紧密团结全国核科技工作者,充分发挥核科技领域学术交流主渠道、科普工作主力军、国际民间科技交流主要代表的作用。搭建高水平学术交流平台,大力推动核科学技术领域的自主创新和各学科间的交流与融合;围绕核技术发展中的重大问题,交流观点,探讨学问,启迪思路,集思广益,促进科技进步,促进人才成长。在中国核学会成立30周年的喜庆日子里,《中国核

科学技术进展报告(第一卷)》终于面世了,这是一件值得庆贺的大事!根据中国核学会七届三次常务理事会的决定,两年一届的全国学术年会的论文集,将采用《中国核科学技术进展报告》这一固定书名,每两年更新一卷。这意味着,我国核科技工作者从此拥有一套不断更新的、能够展示所有二级学科最新研究成果的核科技“四库全书”。幼苗已经破土,幼苗无疑会长成参天大树。让我们一起用心血来浇灌吧!

《中国核科学技术进展报告(第一卷)》顺利结集、出版与发行,离不开中国核学会全体分支机构和 21 个省级(地方)核学会的鼎力相助,离不开广大核科技工作者的理解与支持,正是由于他们的不懈努力,才使得论文的征集和学术评价工作能够顺利进行;文集的顺利出版发行,还得益于总编委会和 21 个(二级学科)分卷编委会全体同仁的严谨科学作风和治学态度;此外,中国核学会秘书处和原子能出版社的工作人员,在文字的编辑和校核过程中,也做出了贡献。在此一并致谢。

《中国核科学技术进展报告(第一卷)》总编委会
2010 年 8 月 10 日

目 录

医用 X 射线装置辐射监测中值得注意的几个问题	向元益,王 蕾,胡晓燕(1)
氢探测法探雷原理实验	周浩军,郑 春,艾自辉(8)
放射性建材测量理论	瞿金辉,王仁波,张雄杰,等(13)
HFETR 辐照装置辐射场计算程序设计	龚随军,李星垣,刘吉珍,等(19)
X 参考辐射谱理论计算与程序设计	刘吉珍,漆明森,龚随军(25)
用液闪法测量低水平氚	漆明森,巢国琴(34)
用 $4\pi X(PPC)-\gamma$ 符合法测量 ¹³³ Ba 放射性溶液的比活度	杨雪梅,周昌贵,漆明森(40)
温度调节对氦室氦浓度稳定性的影响与修正	张雄杰,王仁波,汤 彬,等(45)
用于焦平面探测器的 40 路电荷灵敏放大器组的研制 ...	陈彦丽,杨少华,郭明安,等(49)
航空伽马低能谱段规律初步研究	马永红,葛良全,周四春,等(53)
脉冲 X 射线剂量率测量不确定度分析	丛培天,陈 伟,韩娟娟,等(57)
积分型脉冲磁场探测器	马 良,程引会,吴 伟,等(64)
含硼塑料闪烁体的中子- γ 甄别	王 冬,何 彬,张全虎,等(69)
大亚湾反应堆中微子实验掺钷液体闪烁体	丁雅韵,张智勇,曹 俊,等(74)
Lu _{0.3} Y _{0.7} AP 闪烁晶体发光特性测量	彭博栋,盛 亮,任国浩,等(79)
杆箍缩二极管 X 射线焦斑的测量	宋顾周,朱宏权,韩长材,等(84)
基于 ICCD 的纳秒级时间分辨光谱仪系统	魏福利,王培伟,袁 媛,等(91)
一种 DT 聚变脉冲中子产额的活化测量法	宋朝晖,管兴胤,张子川(97)
深亚微米 CMOS 随机静态存储器反应堆中子辐射效应实验研究	杨善潮,郭晓强,林东生,等(102)
半导体器件 γ 瞬时辐射的脉冲宽度效应研究	王桂珍,林东生,杨善潮,等(107)
ALICE 实验电磁量能器的前端电子学与层级触发	王亚平,蔡 勖,周代翠,等(114)
大亚湾反应堆中微子实验	曹 俊(120)
兰州大学中子发生器技术改造进展	姚泽恩,陈尚文,张 宇,等(127)
卡尔曼滤波在航空 γ 能谱勘查系统自动稳谱中的应用	曾国强,葛良全,熊盛青,等(133)
通用三端稳压器的总剂量效应	王义元,陆 妩,任迪远,等(138)

工作状态对 JFET 输入运算放大器辐射损伤的影响 ... 郑玉展,陆 妩,任迪远,等(143)

不同偏置对 NPN 双极晶体管的低剂量率电离辐照损伤的影响
..... 费武雄,陆 妩,任迪远,等(149)

不同偏置条件的 10 位 CMOS 模数转换器的辐射效应 ... 陈 睿,陆 妩,任迪远,等(154)

国产工艺的部分耗尽 SOIPMOSFET 总剂量辐照及退火效应研究
..... 崔江维,余学峰,刘 刚,等(160)

国产 VDMOS 器件总剂量辐射损伤及退火效应研究 ... 高 博,余学峰,任迪远,等(165)

丰中子核反应中多中子探测的进展 宋玉收,叶沿林,葛愉成,等(171)

三端稳压器中子辐射特性实验研究 朱小锋,赵洪超,叶 灿(177)

美国光核检测和威胁评估系统简介 王 勇,李碧清,霍 敏,等(182)

基于 CCD 的冷中子层析中的数据处理 李宏云(187)

基于散射电子的脉冲伽马闪烁探测器设计及其应用..... 夏良斌,欧阳晓平,韩和同,等(193)

双发射极真空型康普顿伽马射线探测器 韩和同,卜忍安,管兴胤,等(198)

硅酸镓闪烁体 γ 高剂量率脉冲线性响应上限测量 管兴胤,张子川,张文钰(204)

核爆放射性核素的分凝研究 陈 琳,郑 毅,汪 林,等(208)

特征 X 射线角分布的 MCNP 模拟研究 孙莹莹,姜校亮,张 涵,等(217)

大型高海拔空气簇射观测站(LHAASO)计划 何会海(221)

紫外光纤脉冲 X 射线辐照效应实验研究 陈 亮,欧阳晓平,张忠兵,等(231)

强 n/γ 混合场中特定能段脉冲裂变中子测量技术 张忠兵,欧阳晓平(234)

基于 PIPS 探测器的便携式 α 谱仪研制..... 成 毅,度先国,周传文,等(237)

γ 编码孔相机系统设计分析 李海俊,邹士亚,郝立亮(241)

高能伽马探测器灵敏度测量 谭新建,欧阳晓平,李 刚,等(247)

光致荧光辐射剂量测量方法研究..... 陈朝阳,范艳伟,巴维真,等(251)

厚的连续闪烁体 Gamma 成像系统的 MLEM 重建模拟研究
..... 段 琛,孔 伟,叶邦角,等(260)

中国粒子物理实验电子学的进展 安 琪(268)

医用 X 射线装置辐射监测中值得注意的几个问题

向元益，王 蕾，胡晓燕

（浙江省辐射环境监测站，浙江 杭州 310012）

摘要：文章首先介绍了诊断用 X 线机和治疗用 X 射线装置（电子直线加速器）的基本结构、原理及主要特性。综合比较了国内监测机构配置的几种常用 X- γ 辐射测量仪的性能，并采用 FH40G 型便携式 X- γ 剂量率仪对某医院普通 X 光机周围环境的 X 射线吸收剂量率进行监测，由所测结果可推断出目前常用的以测量稳定天然辐射场的仪器进行脉冲瞬变场或高能场的测量很可能导致监测数据偏小。建议在医院射线装置周围环境的辐射监测过程中，在强化以剂量监测为主的基础上，充分考虑测量仪器的响应时间、选型匹配等因素，以保证所得数据的可靠性、合理性。

关键词：医用 X 射线装置；辐射监测；测量仪器

医疗照射是人工辐射源的最主要来源，全球年平均为 0.4 mSv/人。在涉及医疗照射的各项实践中，应用最多的是 X 射线诊断学。国家颁布的一些法规和标准均对医用 X 射线诊断和治疗装置产生辐射的防护和监测问题提出了明确要求^[1-4]。目前，医用射线装置的环评和验收报告及其他委托监测报告中都包含了设备周围环境的监测数据，这些监测数据多数是采用测量稳定天然辐射场的仪器获得的，而射线装置产生的辐射场恰恰是脉冲瞬变场或高能场，因此选择与辐射场性质匹配的测量仪器显得尤为重要，这直接决定了所得数据是否可靠和合理，本文将就射线装置外围辐射环境监测中存在的问题展开讨论。

1 医用 X 射线机装置

一般而言，射线装置是指 X 线机、加速器、中子发生器以及含放射源的装置。按照使用用途可将其分为医用射线装置和非医用射线装置。医用 X 射线装置是将电能转变为 X 射线能的一套换能装置，它能根据实际需求产生“量”与“质”可随意调节的 X 射线束，达到临床检查或治疗的目的。

1.1 诊断用 X 线机的结构及原理

诊断用 X 线机是利用 X 线透过人体形成的各种影像，如荧光影像、照片影像、电视影像等，对疾病进行诊断的设备。目前，各级医院除拥有透视和摄影通用型 X 线机外，还有各种特殊检查所需要的专用 X 线机，如血管造影 X 线机、乳腺摄影 X 线机、床边 X 线机、牙科 X 线机等^[5]。

诊断用 X 线机因使用目的不同其结构有很大差别，但基本结构都是由主机和外围设备两大部分组成。主机也称 X 线发生装置，包括 X 线管装置、高压发生装置、控制装置等，主要完成 X 线的产生并对射线的“质”、“量”和“曝光时间”进行控制。X 线机的外围设备是根据临床检查需要而装配的各种机械装置和辅助装置。X 线机的基本组成如图 1 所示。

X 射线管是 X 射线机的核心，它具备产生 X 射线的条件，是 X 射线机产生 X 射线的关键部件。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成（见图 2），阳极主要部件为阳极头——靶面和铜体，阴极主要是钨制灯丝，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集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击，靶面一般采用熔点高、蒸发率低、原子序数大的钨制成。高电压加在 X 射线管两极之间，使电子在射到靶体之前被加速到很高的速度，这些

高速电子到达靶面，靶面承受电子的轰击从而产生 X 射线。

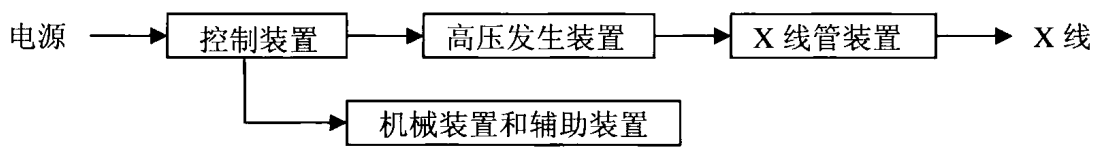


图 1 X 射线机构成方框图

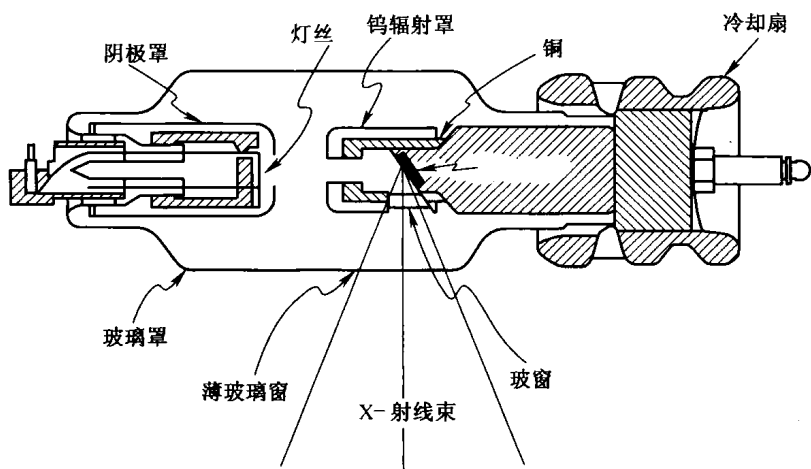


图 2 治疗用 X 射线管的结构图

传统 X 线机其工作频率采用工频 50 Hz，从 1895 年伦琴发现 X 线到 20 世纪 70 年代此期间出现的 X 线机均属于传统 X 线机。20 世纪 80 年代出现的高频 X 光机是因其主电路的工作频率均在无线电频段的中频段，频率一般为几十 kHz，如西门子中频机一般为 5~20 kHz。日本岛津 ud 系列 X 线高压发生装置，其逆变电路工作频率达到了 30 kHz；灯丝也采用 15 kHz 高频加热。所以，传统 X 线机叫低频 X 线机或工频 X 线机，而中频 X 线机则称为现代 X 线机，其主要特点如下^[5,6]：

- (1) 结构紧凑，缩小了高压变压器的体积和重量。
- (2) 采用微机管理和中频逆变技术，使传统 X 线机的零相位合闸、自动曝光、千伏预示和千伏补偿技术措施的优越性更便于实现。
- (3) 对逆变器输出的电压频率和脉冲宽度进行调制，完成对 kV 和 mA 的闭环控制，使管电压和管电流稳定输出。
- (4) 可增加输出剂量。如单相全波整流 X 线机，一个脉冲的持续时间为 10 ms，大于 0.707 倍峰值的持续时间约为 5 ms，所以中频机恒直流电曝光 10 ms 的剂量就相当于单相全波整流 X 线机曝光 20 ms 的剂量。
- (5) 可实现短时间曝光。X 线机短时曝光取决于高压波形的上升沿，中频机高压波形上升沿很陡，一般是十几至几十微秒，所以最短曝光时间可达 1 ms。工频机高压波形按正弦波形变化，上升沿缓慢，比如单相全波整流 X 线机，高压次级波形一个周期是 10 ms，而有效电压只占 5 ms，所以工频机最短曝光时间起码要大于 3 ms。

1.2 治疗用 X 射线装置——电子直线加速器

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 射线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。典型医用直线加速器见图 3。

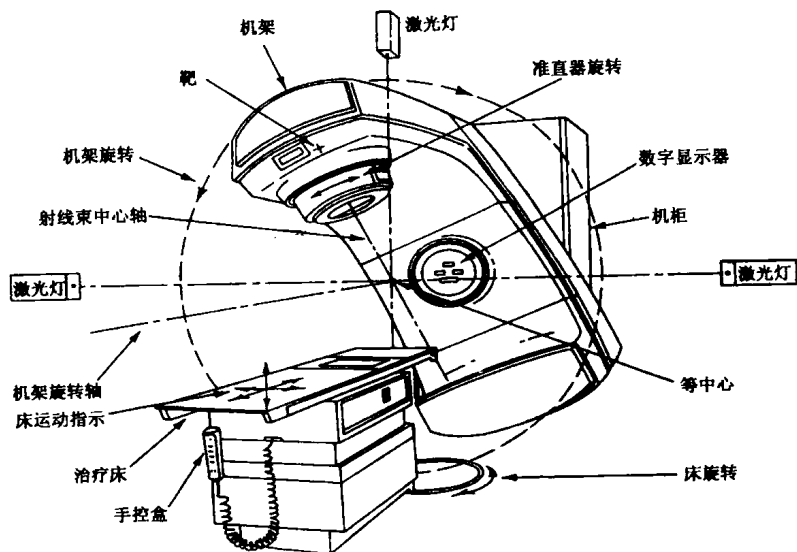


图 3 典型医用直线加速器示意图

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，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、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 2 cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 射线束，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。

在加速器工作时，高能电子束（大于 10 MeV）与靶物质相互作用而产生的韧致辐射，与空气等物质作用形成放射性核，而会发生光核反应，放出中子，中子的产生方式主要按 $^{14}\text{N}(\gamma, n)^{13}\text{N}$ 反应式进行，包括加速器设备的结构材料活化，治疗室内的各种设备、器械和治疗室内的空气活化等。

2 医用射线装置辐射测量仪器的性能比较

国内监测机构配置的几种常用 X-γ 辐射测量仪性能比较见表 1，图 4~图 6 给出了几种典型仪器的能响曲线。

表 1 测量仪器的性能比较

仪器型号	探测器类型	能量响应范围	剂量率范围
RSS131	气体电离室	60 keV~8 MeV	0~100 mGy/h
Automess 6150AD	有机闪烁体 (ZnS 镀层)	23 keV~7 MeV	50 nSv/h~0.1 mSv/h
FH40G	正比计数管	48 keV~3 MeV	10 nSv/h~0.1 mSv/h
	塑料闪烁体		
BH 3103A	NaI	36 keV~3 MeV	10 nGy/h~0.1 mGy/h
RadEyeG	能量补偿型 G-M 管	45 keV~1.3 MeV	50 nGy/h~100 mGy/h
Radiagem 2000	能量补偿型 G-M 管	40 keV~1.25 MeV	10 nGy/h~100 mGy/h
GR-135	NaI	0.02 MeV~3 MeV	10 nSv/h~100 mSv/h
	宽量程 G-M 管		
InSpector1000	NaI(Tl)/LaBr 探测器	LaBr: 50 keV~3 MeV	10 nSv/h~100 mSv/h
	内置 G-M 管	G-M 管: 30 keV~1.4 MeV	

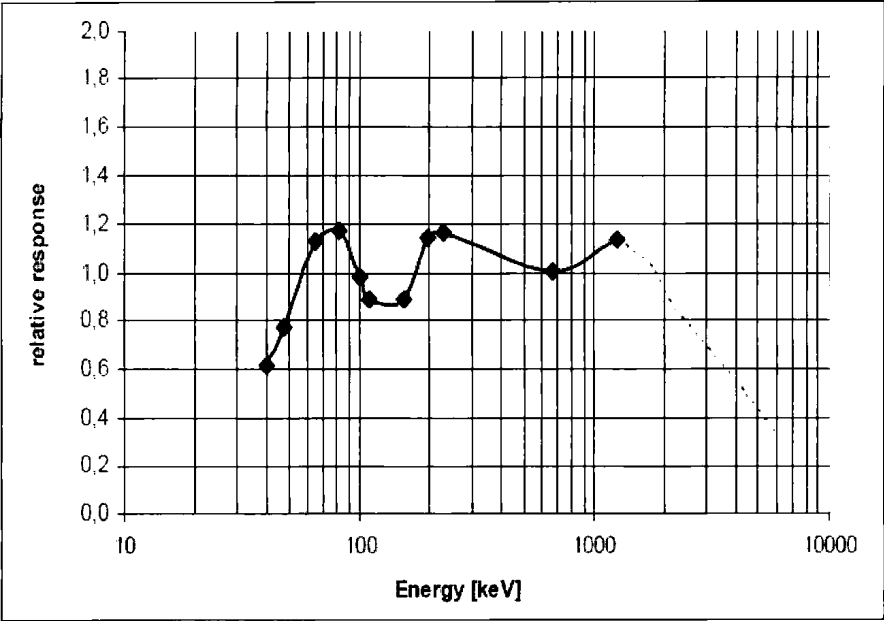


图 4 FH40G 能响曲线

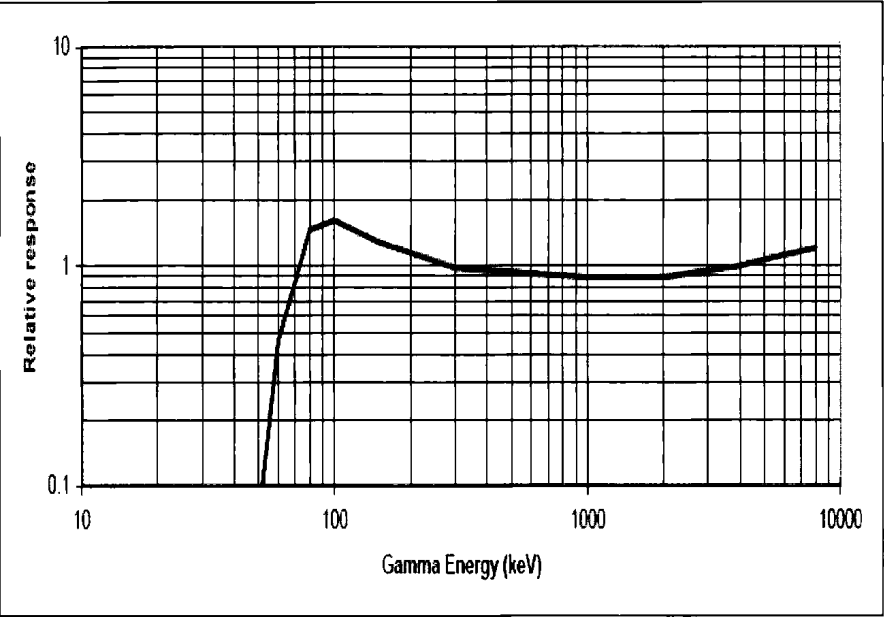


图 5 RSS-131 能响曲线

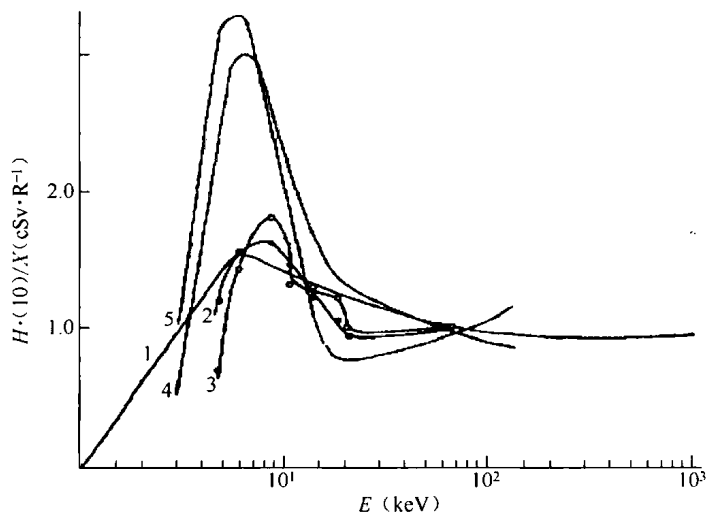


图 6 G-M 计数管能响曲线

3 实例分析

本节引用对某医院职业工作人员长时间工作的场所及受射线装置影响较大的点位（包括医生操作位、治疗室门口、候诊室、射线装置外墙及顶部用房等）的现场测量数据。

监测方式：现场监测，当射线装置处于关机状态下，每个监测点读取 10 个测量值为一组，取其平均值为最终测量值；当射线装置处于工作状态时，每个监测点取其最大值。

监测仪器：FH-40G 型便携式 X-γ 剂量率仪。

普通 X 光机在管电压 140 kV，管电流 800 mA 工况下，拍片室 X-γ 剂量率监测结果具体见表 2。

表 2 拍片室 X-γ 剂量率监测结果

点位编号	测量点位描述		监测结果 (nGy/h)
△1	拍片室 1 拍片床		117±2
△2	拍片工作位	关机	127±3
		曝光	130
△3	拍片室 2 拍片床		126±2
△4	拍片工作位	关机	125±3
		曝光	129
△5	窗口		114±1
△6	拍片室 4 拍片床		134±2
△7	拍片工作位	关机	128±2
		曝光	128
△8	拍片室 3（未安装拍片机）		138±2
△9	拍片室 5（未安装拍片机）		136±2
△10	拍片室 1 房顶 （二楼包装中心）	关机	113±2
		曝光	117
△11	拍片室 2 房顶 （二楼包装中心）	关机	108±3
		曝光	110
△12	拍片室 4 房顶 （二楼包装中心）	关机	110±3
		曝光	113

由监测结果可知,普通 X 光机在管电压 140 kV,管电流 800 mA 工况下,机房周围环境 X 射线吸收剂量率未见升高,均在关机状态各测点剂量率水平波动范围内。且通过计算可知在正常工作情况下,辐射工作人员和公众所受的附加年有效剂量均远低于相应的辐射剂量管理限值,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002)的要求,表明从事这些工作的辐射工作人员和公众成员不会受到额外的辐射剂量照射,所接受的附加年有效剂量可忽略不计。

但表 2 监测结果显示的在曝光状态与关机状态所测得剂量率水平未有明显变化也有可能是因为在实验中采用的 X- γ 剂量率仪比较适合测量稳定天然辐射场,而射线装置产生的辐射场却是脉冲瞬变场或高能场,这种由仪器选型上的不匹配所导致的监测数据偏小。

4 结论与建议

针对目前在医用 X 射线装置周围环境辐射监测中存在的一些实际问题,建议从以下几方面加以考虑和解决:

(1) 射线装置正常工作时产生的脉冲场,曝光时间一般在几毫秒到几十毫秒之间,因此要选用响应时间在此范围的仪器进行测量,否则得到的是偏低的测量数据,给出的剂量评估也是不可靠的,就满足不了辐射防护监测应有的要求。目前市场上只有少数仪器才能达到这个要求(如外推电离室),监测机构需要在仪器配备选型上选择功能适用的测量设备,以免在技术咨询工作中给出不可信的结论。

(2) 医用电子加速器产生的辐射场既有连续谱的高能 X 射线,也产生伴随中子发射的感生放射性存在,在实际监测过程中需要区别对待,同时兼顾。不同类型探测器对 X- γ 射线的能量响应曲线有很大差异,在高能和低能部分存在过响应或响应不足的问题(用 ^{137}Cs 源归一)。多数探测器能量测量范围在 10 MeV 以下,即使探头本身能较好响应十几兆电子伏射线,由于获得在 10 MeV 以上单能稳定辐射场较为困难,仪器能否在此条件下进行刻度也变得不太容易,国内目前还没有机构能提供类似技术服务。因此,测量医用电子加速器产生的辐射场,除了做到选型对口外,还要在仪器出产前委托国外检定机构进行刻度。

(3) 热释光(TLD)虽然不能实时显示辐射剂量率,但不存在时间常数和能量覆盖范围的问题,能较好的解决脉冲场和高能场的剂量监测问题。因此,对于职业工作人员的剂量评估来说,应强化以剂量监测为主,尽量采用物美价廉的热释光片是一个很好的选择,以避免用一些电子式仪表造成个人剂量被低估^[7]。

(4) 针对脉冲辐射场和高能辐射场的特点,有必要分别开发一套严谨的测量方法或合格的测量仪器,确保测得的剂量率范围和剂量数据合理、可靠。

参考文献:

- [1] 国务院第 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》,2005.
- [2] 中华人民共和国卫生部. 医用 X 射线诊断卫生防护标准(GBZ-130),2002.
- [3] 中华人民共和国卫生部. 医用 X 射线治疗卫生防护标准(GBZ-131),2002.
- [4] 中华人民共和国卫生部. 医用 X 射线诊断卫生防护监测规范(GBZ-130),2002.
- [5] 徐跃,梁碧玲. 医学影像设备学. 2 版. 北京:人民卫生出版社,2005.
- [6] 曹允希,李建民,徐世进. 工频与中频 X 线机电路的特点及性能比较[J]. 医疗卫生装备,2002,5: 55-57.
- [7] 清华大学工程物理系. 核辐射物理及探测,2004.