

辐射环境监测省级重点实验室建设研究和成效^{*}

章昕欲^{1,2,3} 马永福^{1,2} 刘弓冶^{1,2} 穆晨旸^{1,2} 胡晨剑^{1,2} 邵海江^{1,2} 赵顺平^{1,2} 叶俊^{1,2#}

(1.浙江省辐射环境安全监测重点实验室,浙江 杭州 310012;

2.浙江省辐射环境监测站(生态环境部辐射环境监测技术中心),浙江 杭州 310012;

3.浙江国辐环保科技有限公司,浙江 杭州 310012)

摘要 重点实验室是科技创新体系的重要组成部分,也是实施创新驱动发展战略的重要载体。以浙江省也是全国唯一一家以辐射环境监测为主攻方向的省级重点实验室——浙江省辐射环境安全监测重点实验室为例,从实验室建设背景入手,分享了实验室的建设思路和方法,为中国后续辐射环境监测类重点实验室的建设提供借鉴。

关键词 重点实验室 辐射环境监测 科研平台

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2023.11.021

Research and achievements in the construction of provincial-level key laboratory of radiation environment monitoring

ZHANG Xinyu^{1,2,3}, MA Yongfu^{1,2}, LIU Gongye^{1,2}, MU Chenyang^{1,2}, HU Chenjian^{1,2}, SHAO Haijiang^{1,2}, ZHAO Shunping^{1,2}, YE Jun^{1,2}. (1. Zhejiang Key Laboratory of Radiation Environmental Safety Monitoring, Hangzhou Zhejiang 310012; 2. Zhejiang Province Radiation Environmental Monitoring Center (Radiation Monitoring Technical Center of Ministry of Ecology and Environment), Hangzhou Zhejiang 310012; 3. Zhejiang Guofu Environmental Protection Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310012)

Abstract: As an important component of the technology innovation system, key laboratories are important carriers for implementing innovation driven development strategies. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Radiation Environment Safety Monitoring was taken as an example, being the only provincial-level key laboratory in the province and the country with a primary focus on radiation environment monitoring. Starting from the background of the laboratory's establishment, the construction ideas and methods of the laboratory were shared, providing reference for the subsequent construction of radiation environment monitoring key laboratories in China.

Keywords: key laboratory; radiation environment monitoring; scientific research platform

随着社会发展,人类对能源的需求日趋加大,全球化石能源面临严重供应危机,核能作为目前可大规模替代化石燃料的能源,正在被广泛应用。我国核电自2010年起进入快速发展时期,截至2023年4月,我国大陆商用核电机组54台,总装机容量5 682万kW,位居全球第三^[1]。《2021年国务院政府工作报告》中提到了“优化产业结构和能源结构……大力发展新能源,在确保安全的前提下积极有序发展核电”。同时,2022年国家原子能机构发布核技术领域十件大事,核技术作为当代公认的高新技术,在工业、农业、医疗、环境、安全等诸多领域得到应用,助推产业转型升级,作用不可小觑。在电磁领域,截至2022年底,第五代移动通信技术(5G)通信基站超231万个,投运特高压交流输变电工程17项,特高压直流输电工程16项,累计线路长度

4.83万km,变电站(换流站)容量超过3.08亿kW。伴随上述新型产业的不断发展,政府和公众对核与辐射环境安全的关注度越来越高,辐射环境安全监测工作的重要性进一步凸显。

重点实验室是科技创新体系的重要组成部分,也是实施创新驱动发展战略的重要载体。以重点实验室建设为依托,可以提升基础研究与应用基础研究、关键核心技术攻关的支撑能力^[2]。目前,国内辐射环境监测能力满足管理部门要求,同时监测结果能较好说明现有辐射环境质量状况,但在监测技术研究、预测预警、核心技术创新方面缺乏专门的平台。浙江省辐射环境安全监测重点实验室(以下简称辐射监测实验室)依托浙江省辐射环境监测站(生态环境部辐射环境监测技术中心),2010年3月在浙江省科技厅的批准下建设,2012年12月通过

第一作者:章昕欲,女,1981年生,硕士,高级工程师,主要从事辐射环境监测与技术管理研究。#通讯作者。

^{*} 浙江省省级重点研发计划项目(No.2021C03134)。

验收。

1 建设思路和方法

辐射监测实验室是国内首个辐射环境监测类省级重点实验室,在管理方向上,立足学科定位,瞄准研究方向,运用先进设备,做好人员培养。

1.1 学科定位和研究方向

针对浙江省为核电大省的特点,根据经济、科技及核能发展的现状需求,以确保核安全、环境安全、公众健康为目标,将“掌握核心和专利技术,服务经济发展和核能利用;掌握国内外科学技术发展动向,提升辐射环境监测领域科研水平”作为辐射监测实验室建设总目标,致力于辐射环境安全监测关键技术研究,确定主要研究体系。

抓住核与辐射突发事件的特点,研究核与辐射突发事件应急预案及响应,形成规范的核与辐射突发事件(含核与辐射恐怖事件)预警数据提取和共享技术;跟踪国内外辐射环境监测领域的标准化动态,研究电离辐射监测及剂量评价技术,规范现有非标准化的采样、分析测试、数据处理技术,制修订相应的国家辐射环境监测标准;针对当前电磁环境的发展和信息发射设施、电磁能利用设备、高压输变电设施和电牵引交通设施的广泛应用,研究电磁辐射监测技术,完善、补充、填补测量技术和电磁标准的空白,规范电磁设施的管理,创建安全的电磁环境。主要研究方向和内容见表 1。

1.2 硬 件

实验场所仪器设备配置是确保研究顺利进行的必要条件。辐射监测实验室建设和运行具有“无专项经费拨款”这一特点,因此最大限度整合利用现有储备和资源就成了辐射监测实验室硬件建设的必经之路。按照研究方向,对辐射监测实验室依托单位原有的场地进行整修和重新规划布局,创造性地设立了多个放射性核素监测实验室和电磁辐射环境监测实验室,其中低辐射本底 γ 能谱分析实验室、应急

表 1 主要研究方向和内容	
Table 1 Main research directions and content	
研究方向	研究内容
核与辐射突发事件应急预案及响应	预测预警与模拟仿真技术
	核事故释放惰性气体的测量技术
电离辐射监测及剂量评价技术	核应急车载移动监测技术
	电离辐射监测技术标准
电磁辐射监测技术	辐射环境自动化监测技术
	核设施排放关键核素痕量分析技术
	国民辐射剂量评估技术
	1 000 kV 特高压交流输变电工程、磁悬浮铁路、5G 通信等新兴电磁辐射设施环境测量技术

监测实验室、化学分析实验室、电磁辐射环境自动监测实验室均为全国生态环境系统首个建立。在此基础上,通过配置独特的仪器设备,从布局合理、仪器设备领先两方面完成了辐射监测实验室的硬件建设。早在 2012 年,独特的仪器设备就包括了全国生态环境系统唯一的 SAUNA 和 SPALAX 惰性气体监测系统、全自动站采用设备,全国生态环境系统首套物理监测移动应急实验室、化学分析移动应急实验室和电磁辐射便携式实时分析仪。具体可见表 2。

1.3 人员和管理

实验室人员的专业知识水平高低、作用发挥的大小会直接影响实验室技术研究能否顺利进行^[3]。辐射监测实验室依托单位原本以常规辐射监测为主要工作,在确立辐射监测实验室的建设后,从“人”上下功夫,聘请了 2022 年至今国内辐射防护与辐射监测领域唯一的中国工程院院士潘自强作为名誉主任,指导辐射监测实验室发展;在辐射监测实验室领导的带领下,以科研项目为牵引,整合现有研究力量,构建了一支层次高、结构合理的科技人才队伍,其中高级工程师及以上占比 67%,博士、硕士占比 75%;同步打造青年人才,将中青年人才队伍作为科研队伍的中坚力量。截至 2022 年,生态环境部第二批生态环境监测“三五”人才 12 名,其中“尖端人才”2 名、“一流专家”3 名、“技术骨干”7 名。

表 2 辐射监测实验室硬件配置
 Table 2 Hardware configuration of radiation monitoring laboratory

研究方向	实验室名称	实验室面积/m ²	主要设备
核与辐射突发事件应急预案及响应	低辐射本底 γ 能谱分析实验室	192	高纯锗 (HPGe) γ 能谱分析系统等
	质谱分析实验室	120	质谱分析仪
	应急监测实验室	80	SAUNA 和 SPALAX 惰性气体监测系统、物理监测移动应急实验室、化学分析移动应急实验室
电离辐射监测及剂量评价技术	化学分析实验室	1 080	放射化学分析仪器
电磁辐射监测技术	电磁辐射环境自动监测实验室	20	电磁辐射便携式实时分析仪、电磁频谱仪

实验室建设和运行中,管理制度不乏项目、人员、设备这些方面,管理体制又是实验室发展建设的重要环节^[4]。结合依托单位实际情况和辐射监测实验室发展目标,辐射监测实验室从调动人员积极性入手,鼓励创新,以多种类、多角度的制度来保障和促进科研发展,颁布了《科研项目管理规定》《技术委员会管理办法》《科研经费管理办法》《论文版面费支付管理规定》《财政科研项目管理规定》《科学技术奖励办法》等管理制度,同时为提升人员的专业技术水平和学术水平制定了《联合培养研究生管理办法》。

2 成 效

2.1 对标国际

核与辐射安全在世界范围受到特殊关注是在二次世界大战末期美国在广岛投下名为“小男孩”的原子弹之后,切尔诺贝利事件等几次严重的核泄漏事故发生后更得到了重视。美国、欧盟、法国、日本等很早就开展辐射环境监测工作,建立了全国范围的辐射环境监测系统,对辐射环境状况实行连续在线监测,为辐射环境质量的评价和辐射应急决策提供支持,保障核能发展。其中,知名的研究机构主要有美国环境保护署辐射与室内空气办公室(EPA-ORIA)、法国放射防护与核安全研究院(IRSN)、德国核安全协会(GRS)和日本化学分析中心(JCAC)。

辐射环境质量监测网方面,美国起步较早,自1951年开始就针对沉降灰开展监测研究,1973年,多个辐射监测网络合并成全美辐射监测网(Rad-

Net)^[5]。法国是全球核电占比最高的国家之一,IRSN 是法国核与辐射风险相关方面的国家级技术机构,承担辐射环境监测工作,1959 年起在质量监测网方面开始介入环境放射性监测,1991 年起建设环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测网。GRS 是德国最重要的核安全技术支持机构,承担辐射环境监测工作,1993 年建立覆盖全国的辐射环境监测系统。1999 年,日本规定监视和测量由放射性物质引起的环境变化,JCAC 是环境放射性和辐射分析专业机构,承担辐射环境监测工作。各国监测机构开展的监测项目见表 3。

我国原国家环境保护总局在 2006 年开始规划建设全国辐射环境监测网络^[6]。辐射监测实验室依托单位是该监测网络的牵头单位,负责实现辐射环境全覆盖全天候监控。辐射监测实验室的电磁辐射、空气、水、生物、土壤、其他电离辐射和噪声七大类 51 项监测能力通过了中国合格评定国家认可委员会认可和检验检测机构资质认定。辐射监测实验室连续 9 年参加了国际原子能机构组织的实验室能力验证。

电磁环境监测方面,美国、德国、法国、日本等在 20 世纪 80 年代以来在电磁环境监测兼容性标准与规范方面达到了较高水平^[7],我国电磁辐射标准限值与世界其他国家或组织相比,控制水平较严格,对比结果见表 4。

目前,全球主流国家(加拿大、韩国、日本、澳大利亚、欧盟、葡萄牙、荷兰、瑞典、英国、德国、法国、西

表 3 部分国家监测机构开展的监测项目
Table 3 Monitoring projects of monitoring agencies in some countries

国家	机构	质量监测网	重点监测项目
美国	EPA-ORIA	全美共布设空气连续监测点位 124 个,其中气溶胶、降水、饮用水和牛奶监测点位分别为 14、29、68、34 个	气溶胶介质取年度混合样本开展 Pu、Am、U 的同位素分析;饮用水部分监测结果异常时,开展 Pu、 ²²⁸ Ra 等分析;核电厂等设施监测项目与我国无明显差异
法国	IRSN	设连续监测点位 180 个,其中气溶胶、雨水、海洋生物、陆地生物和地表水监测点位分别为 22、9、19、7、2 个	气溶胶样品中开展 α 能谱(U、Pu、Cm 等)分析;乏燃料后处理厂设施外围开展 ⁹⁹ Tc、 ¹²⁹ I、 ⁸⁵ Kr 和超 U 元素等分析;核电厂监测项目与我国无明显差异
德国	GRS	全德范围内布设连续监测点位 2 000 多个,已知空气、海水和指示生物监测点位分别为 52、40、50 个	气溶胶样品中开展 α 能谱、 ⁸⁵ Kr、 ¹³³ Xe/ ¹³⁵ Xe 分析;沉降物、水体和海洋生物中开展 α 能谱分析;核电厂监测项目未发现与我国有明显差异
日本	JCAC	设有 10 个连续监测点位,其中气溶胶、沉降物、土壤和地表水监测点位分别为 10、4、10、10 个	离岛辐射监测系统测量项目总体少于我国;针对福岛核污染水排放,开展了 ¹³⁴ Cs、 ¹³⁷ Cs 和总 β 自动监测,并对外公布测量结果
中国	辐射监测实验室	500 个自动、328 个陆地、477 个水体、362 个土壤、48 个海水、34 个海洋生物和 85 个电磁监测点位,共 1 834 个监测点位	自动监测点位开展 γ 辐射空气吸收剂量率监测;气溶胶开展 γ 核素、 ²¹⁰ Po、 ²¹⁰ Pb、 ⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs 分析;水体开展 U、Th、 ²²⁶ Ra、总 α 、总 β 分析;土壤开展 γ 核素、 ⁹⁰ Sr 分析;海水开展 U、Th 等分析

表 4 部分组织的公众照射限值¹⁾
 Table 4 Public exposure limits of some organizations

组织	测量时间/min	公众照射限值/($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)			
		900 MHz	1 800 MHz	2 500 MHz	3 500 MHz
中国原环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	6	40	40	40	47
中国香港通讯事务管理局	30	450	900	1 000	1 000
电气与电子工程师协会(IEEE)	30	450	900	1 000	1 000
国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)	6	2 014	3 656	4 000	4 000
	30	450	900	1 000	1 000

注:1)来源于《电磁环境控制限值》(GB 8702—2014)、中国香港《防止无线电发射设备所发出的非电离辐射对工作人员及市场构成危险的工作守则》以及 IEEE、ICNIRP 公告。

班牙、希腊等)执行 ICNIRP 制定的公众照射限值标准,电磁监测点位布设最多的希腊原子能委员会(EEAE)通过在希腊建设 500 个固定(包含宽带和选频)、13 个移动(车载选频)测量站来持续监测来自各区域的电磁场水平^[8]。

辐射监测实验室通过标准转化,已完成了覆盖全国范围电磁辐射环境质量、变电站、雷达、通信基站、广播电视发射塔和高铁线路的电磁辐射自动监测系统,实现了对特定区域电磁场水平的自动连续观测,并在全 国率先编制了省级地方标准《电磁辐射环境自动监测技术规范》(DB33/T 2553—2022),验证了 GB 8702—2014 的有效性。

从辐射环境质量监测网和电磁环境监测两方面来看,辐射监测实验室形成了完整的辐射监测体系,监测能力达到国际同等水平,电磁辐射标准限值控制水平严格于西方国家,从而确保了辐射监测实验室监测数据的“真、准、全”,为监测技术研究的开展奠定了良好的基础。

2.2 技术特点

辐射监测实验室在日常工作基础上不断总结、归纳和提升,开创了监测技术研究和标准制修订工作。

2.2.1 监测技术

作为辐射环境安全监测重点实验室,不仅注重辐射环境监测,同时也注重辐射环境安全监测,特别是核与辐射安全方面。预测预警与模拟仿真技术填补了我国生态环境系统中该领域的空白,建立了秦山核电基地、北京奥运工程假想突发事件预测预警仿真系统;惰性气体的测量技术研究成果达到了国际同类水平,填补了国内空白,在国内首次实现了移动惰性气体辐射监测,并成功应用于对日本福岛核泄漏事故的环境监测,最新引进的“移动快速部署型放射性惰性气体自动采样分析系统”首创在秦山核电基地外围放射性氙连续监测中开展,达到了良好

的环境安全和社会效益^[9-11];2012 年,车载大体积 NaI γ 能谱分析仪首次在国内辐射环境监测中应用^[12-13];“全国环境天然放射性水平调查数据的开发利用”项目成果在“日本福岛核电事故对我国环境影响”评价过程中得以应用,据此编制的《日本福岛核事故对中国大陆环境影响》被联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)采用^[14]。在日本福岛核电站事故应急监测期间,利用质谱分析仪对全日空航班外壁及涡轮发动机附着的粉尘样品中放射性核素²¹⁰Po 含量进行了分析,这是该技术首次在我国生态环境系统的应用^[15]。

同时,辐射监测实验室在“基于环境保护的 5G 基站电磁辐射监测技术标准研究及应用”“新型氧化石墨烯膜的研制及高效处理放射性废水的研究”“环境氙全自动连续监测系统研制及应用开发”技术方面做出了突破性尝试。

2.2.2 标准体系

依托日常工作及其研究成果,辐射监测实验室建设了适合我国实际情况的辐射环境保护标准体系。截至 2022 年,辐射监测实验室先后完成 25 项国家标准和 1 项地方标准的制修订(见图 1),在辐射环境监测领域位居全国第一,成为区别与其他省级重点实验室最显著的特点之一。辐射监测实验室完成的 GB 8702—2014 和《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》(GB 39220—2020)这两项国家标准,覆盖了 0 Hz 至 300 GHz 的全频段电磁环境控制限制。随着世界移动通信技术的发展,辐射监测实验室又完成了世界首个 5G 通信基站电磁辐射环境监测方法。辐射监测实验室编制完成的《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999—2021)实现了对电离辐射监测工作中质量保证的全覆盖。

3 问题与建议

作为辐射环境监测领域首个省级重点实验室,

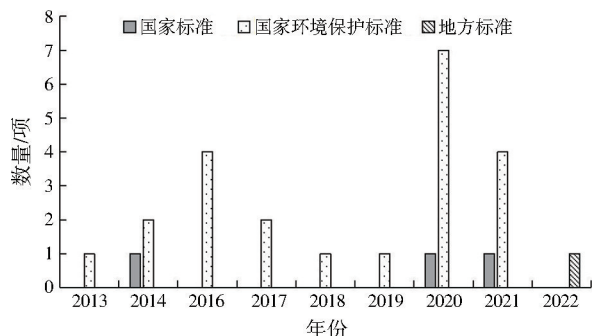


图1 辐射监测实验室制修订的标准数量

Fig.1 Number of standards developed and revised by radiation monitoring laboratory

辐射监测实验室的监测能力走在了国内领先水平,现有监测技术领跑全国、比肩国际,在保持可持续发展中必然会面临以下问题:(1)无实体化。依托单位没有赋予辐射监测实验室相对独立的人事权和财务权,无专职科研人员和科研秘书,无法实现科研过程的组织化,对于科学研究只局限于目标导向性,而非以学科布局下的择优遴选制。(2)经费制约。辐射监测实验室依托单位是公益二类事业单位,在运行过程中很难将许多国家、省部科研政策全效落地,科技成果转化的实效性也较差,加上辐射监测实验室运营经费均来源于自筹经费,会造成科研经费的相对不足,从长远来看,大量科研项目的前期基础发展会受到阻碍。

建议:(1)发挥联合平台效应。以学科发展需求为基础,以多学科协同研究为桥梁,组建联合辐射监测实验室或辐射监测实验室联盟。设立辐射监测实验室的开放基金,进一步加强与国内外高校、科研院所及辐射监测单位的科研合作,汇聚优秀科研人才在辐射监测实验室这个开放平台上开展基础与应用基础研究^[16]。(2)设立动态实体管理机构。按需设岗、按岗聘用、合同管理、动态调整、能进能出,实行稳定与流动结合^[17-18],用灵活机制助推辐射监测实验室可持续发展。建立灵活的辐射监测实验室引人用人制度,配备专兼职人员,利用低碳用人机制,有助于辐射监测实验室可持续特色化发展。(3)开展多元化的经费筹措。①利用现有文件中关于科研激励、成果转化等规定,鼓励辐射监测实验室人员开展横向课题,牵头承担国家重大研发任务并落实成果转化。②转变观念拓展思路,将“吃饭型”转变为“发展型”,开辟多元化经费筹措渠道。积极融入科技创新发展的蝶变中,通过“浙里好成果”等一体化平台,将辐射监测实验室成果从“书架”走向“货架”,通过展示发布、合作交流、路演对接、交易转化^[19]等

形式引导企业和社会资本支持辐射监测实验室的发展和科学研究;可探索辐射监测实验室市场化运作的道路,依据特点打造辐射监测实验室品牌,做好上下沟通、左右联络,开辟科技产业化、增强产学研合作,为辐射监测实验室提供可持续的资金来源。

4 结 语

面对核能产业的不断扩大、核技术利用的逐渐深入、电磁环境的日益复杂,辐射监测实验室立足于辐射环境安全监测工作需要,坚持把提升辐射环境监测技术放在首位,通过搭建布局合理、仪器设备先进的科研平台,致力于辐射环境安全监测关键技术研究。多年来,辐射监测实验室建设成效显著,辐射监测技术领先国内、比肩国际,填补了国内该领域省级重点实验室的空白。希望辐射监测实验室建设思路和方法的分享,对我国后续辐射环境监测类重点实验室的建设具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 王璐,祁航.2030年前我国在运核电装机规模有望成世界第一[EB/OL].[2023-04-28].http://www.jjckb.cn/2023-04/27/c_1310714317.htm.
- [2] 吕磊,鲍涵.浙江省技术创新中心着力何处[EB/OL].[2023-04-20].http://k.sina.com.cn/article_5044281310_12ca99fde02001uevo.html.
- [3] 杨萍,杨潮锋,周明兵.重点实验室开放共享机制的探索与实践[J].实验室科学,2005,28(4):142-143.
- [4] 梁文懂,董志军,韩军.普通高校省重点实验室的管理运行机制研究[J].科技管理研究,2012(2):120-126.
- [5] 环境保护部核与辐射安全中心,核设施安全监管司,清华大学,等.美国辐射环境监测体系及技术[M].北京:中国环境出版社,2013.
- [6] 刘华,赵顺平,梁梅燕,等.我国辐射环境监测的回顾与展望[J].辐射防护,2008,28(6):362-376.
- [7] 杨维耿,翟国庆.环境电磁监测与评价[M].杭州:浙江大学出版社,2011.
- [8] EEAE. 500 monitoring stations[EB/OL].[2023-06-23].<https://paratiritirioemf.ecae.gr>.
- [9] 刘鸿诗,胡丹,向元益,等.日本福岛核事故期间浙江省环境放射性的监测结果及分析[J].辐射防护,2012,36(6):380-385,391.
- [10] 胡丹,丁逊,宋建锋,等.福岛核事故期间浙江地区大气中氙的监测[J].辐射防护通讯,2012,32(2):40-44.
- [11] 赵顺平.浙江省辐射环境安全监测重点实验室建设项目技术报告[R].杭州:浙江省辐射环境监测站(环境保护部辐射环境监测技术中心),2012.
- [12] 赵顺平.车载大体积NaI γ 谱仪在环境监测中的应用研究[C]//杨斌,宋建锋.辐射防护分会2012年学术年会论文集.杭州:中国核学会辐射防护分会,2012:204-212.

(下转第1611页)