

核电厂应急监测策略

黄彦君, 孙雪峰, 陶云良, 赵锋, 上官志洪

(中国广东核电集团苏州热工研究院有限公司, 江苏 苏州 215004)

摘要: 综述了目前国内外核电厂环境辐射监测策略研究的现状与发展趋势, 分析了核电厂应急监测需要关注的主要问题, 包括应急监测的概念和范围、基本原则和要求、监测内容、组织管理策略、核事故时序和各阶段的应急监测策略、基础设施和设备需求、采样策略、需要关注的核素及其分析方法、质量管理策略等, 在此基础上形成了应急监测策略的分析方法。提出今后应在应急监测数据管理、应急监测技术经济代价分析、应急取样与监测方法的研发和优化、应急监测数据同化技术及应急监测质量保证等方面开展进一步研究。

关键词: 核电厂; 应急监测策略; 辐射监测

中图分类号: X837 文献标识码: A 文章编号: 1006-2009(2011)01-0013-07

Strategies on Environmental Emergency Monitoring for Nuclear Power Plant

HUANG Yan-jun, SUN Xue-feng, TAO Yun-liang, ZHAO Feng, SHANG-GUAN Zhi-hong

(Suzhou Nuclear Power Research Institute Co. Ltd., CGNPC, Suzhou, Jiangsu 215004, China)

Abstract It reviewed current situation and development of environmental radiation monitoring strategy for nuclear power plants in China and abroad. The problems of nuclear emergency monitoring were analyzed including concept of emergency monitoring and scope, basic principles and requirements, monitoring items, strategy of organization and management, timing of nuclear accidents and various stages of emergency monitoring strategy, infrastructure and facility requirements, sampling strategy, wanted nuclide and its analysis, and quality management strategy. Based on the analysis, emergency monitoring method was established for further study on management of emergency monitoring data, economic cost analysis of emergency monitoring technology, development and optimization of emergency sampling and monitoring method, assimilation technology of emergency monitoring data, as well as quality assurance of emergency monitoring.

Key words Nuclear power plants; Strategy of emergency monitoring; Radiation monitoring

目前我国核电发展迅速, 与之相适应的核应急技术研究和能力建设也逐步受到政府部门和核电企业的重视。作为应急技术的重要组成部分, 核应急监测可以为评价事故性质和源项, 评价事故对环境的污染程度和范围及对公众造成的辐射影响提供参考依据, 同时也是应急决策的重要依据。因此, 开展核应急监测策略研究是核应急技术研究的重要内容。

核应急监测策略指能够满足核事故情况下应急监测需要的方案、方法和程序。国际原子能机构 (IAEA) 于 1999 年出版了 IAEA 1092 号报告^[1], 提供了核与辐射应急监测的通用程序, 对制定核电厂

应急监测计划具有一定的指导意义。经济合作发展组织核能署 (OECD/NEA) 也出版了相关的专题研究报告^[2]。北欧核安全研究组织 (NKS) 开展了核应急监测策略研究^[3], 指出应急监测应考虑的因素包括辐射环境监测网络的设计、气象、城市和农村取样环境、取样与测量方法、数据传输方法、国际协作等。NKS 还开展了一系列与应急监测相关的研究, 如移动快速监测系统研发^[4]、应急采样策略研究^[5-7]、辐射监测系统设计^[8]等, 为北欧国家的核应急管理 and 能力建设提供了有力的支持。一

收稿日期: 2010-03-16 修订日期: 2010-10-28

作者简介: 黄彦君 (1979-), 男, 江西万载人, 工程师, 博士, 从事核电厂环境影响评价与核应急技术研究工作。

些学者也开展了核应急监测策略研究^[9-18], 针对各自的国家和地区, 在应急监测方案制定和监测实施, 以及质量控制、数据管理等方面进行讨论。

我国开展辐射环境监测的机构主要集中在已建核电厂和少数省份的辐射环境管理部门, 对核应急监测策略的研究较少。我国有关核应急监测的法规标准还不完善, 至今仍没有专门针对核应急监测的指导性导则和标准。《核电厂环境辐射防护规定》(GB 6249-1986) 仅对应急监测提出了 3 点要求, 缺少实际指导。《核电厂应急计划与准备准则 核电厂营运单位应急野外辐射监测、取样与分析准则》(GB/T 17680.10-2003) 规定了核电厂营运单位核应急监测的一般程序和准则, 但对应急监测未提出详细规定, 未对核事故发展的不同阶段所采取的应急监测方法加以区分, 缺少对一些重要问题的具体要求和指导。因此, 有必要在吸取国外核应急监测经验的基础上, 针对我国的具体情况, 开展核电厂应急监测策略研究, 这将对今后我国核应急工作的开展具有基础性意义。

1 核应急监测策略

1.1 核应急监测的概念和范围

IAEA RS-G-1.8 号安全导则指出, 应急监测包括应急环境监测、个人监测和源监测^[19]。由于核事故对环境污染和对公众造成的危害较大, 实际的应急监测对环境监测更为关注, 因而应急监测主要针对对环境开展的监测。一般情况下, 核事故时可能存在放射性物质向环境释放, 包括气态、液态放射性物质释放或泄漏, 固体放射性物质散落、遗失等, 针对不同的核事故有不同的应急监测策略。对核电厂而言, 大部分情况下应急监测主要考虑针对气态释放的 3 级以上核事故或事件。

1.2 核应急监测的基本原则和要求

(1) 建立早期预警监测系统。合理建设厂区辐射环境监测早期预警系统, 特别是作为固定点监测的连续监测系统, 合理布置监测站点, 形成实时、自动、在线连续监测网络, 在发生核事故时能快速、实时响应^[20]。

(2) 制定应急监测计划并定期演习。按照预先制定的应急监测计划实施监测, 可在核应急时快速响应, 及时为应急决策提供数据支持。为了保证应急监测顺利进行, 应定期开展培训和演习。

(3) 与常规监测积极兼容。应急监测与常规

监测有很大的相似性, 考虑到核事故的发生概率很低, 监测成本较高, 二者应积极兼容, 不能兼容的特殊应急监测设备则需要专门配置。

对核应急监测的基本要求是: 在尽可能短的时间内 (特别是早期监测) 对放射性污染的程度、范围、可能的危害开展监测并作出判断, 采用简便的方法和仪器, 准确、快速、灵敏地获得监测结果^[21], 同时必须对取样监测速度和取样代表性、测量精度及人员可能受到辐射照射的情况作权衡和判断。

1.3 核应急监测的内容

(1) 大气 γ 剂量率。在核事故早期, 主要由连续在线监测系统监测; 核事故发生后, 由监测人员采用便携式仪器到现场巡测, 同时将热释光剂量计布于厂址周围, 测读累积 γ 剂量。当发生大规模核事故时, 需启动航空测量, 实现大面积范围监测。

(2) 空气气溶胶。由在线取样系统取样, 在核事故早期将样品取回, 送实验室分析。目前已有针对气溶胶在线总 β 测量、碘测量和 γ 能谱分析的方法, 方便易行。为了确定烟羽成分, 必要时还需要启动航空取样分析。

(3) 沉降物。包括对沉降灰和雨水的收集与监测, 此外还可采用原位 γ 能谱分析技术, 即使用 γ 谱仪进行原位 γ 能谱分析, 提供沉降的直接数据, 快速估计核素成分。

(4) 食品、水和环境污染。包括食品、水和环境介质的 γ 能谱分析测量、总 β 、 β 核素 (^{14}C 、 ^{90}Sr)、总 α 等。

(5) 个人剂量。包括外照射剂量监测、内污染核素识别、排出物监测、个人累积剂量监测等。内部污染监测采用高纯锗探测器或 NaI 探测器测量 γ 能谱, 包括全身计数器、甲状腺检测设备和肺检测设备。能谱能针对全身或具体组织作核素分析与计算机存储, 灵敏, 测量时间短, 设备耐用可靠。排出物测量包括对人体口鼻呼出气体和排泄物作实验室分析, 进行核素鉴别。样品可运输到远处实验室分析, 但是需要对样品处理, 可能会延滞测量时间, 有时可能达数周或数月, 需要专门人员分析, 同时样品具有一定的生物风险, 在运输时需要特别注意。个人累积剂量监测是采用生物剂量学方法作细胞分析, 用于评价事故照射相关场合, 对于受到高剂量 ($> 100 \text{ mSv}$) 照射的场合有效。

(6) 表面污染。主要指对污染物表面进行 α / β 污染监测。

1.4 核应急监测的组织管理策略

应急监测组织是整个应急响应组织中的重要组成部分,其规模和要求必须根据实际需要应对事故的类别、规模等条件来确定。IAEA 1092 号技术报告推荐了应急监测组织结构^[1],指出应急监测的直接领导者包括取样与现场监测助理和样品分助理,分别管理环境调查小组、空气取样小组、现场 γ 谱测量小组、个人去污监测小组、环境与食品取样小组及同位素分析小组。对应急监测组织成员的要求为:具有开展应急监测的技术基础和操作经验,经过良好培训和应急监测演练,熟知应急通信和通讯设备(如 GPS、GIS 等)的使用,熟悉应急监测辐射防护的要求和撤回剂量水平等。

根据 IAEA 1092 号技术报告推荐,执行应急监测的专业技术人员应不少于 18 人,其中可能有人员交叉,可根据实际需要作适当调整。值得注意的是,在目前的监测技术水平下,智能化、自动化、网络化监测仪器的出现,使应急监测工作特别是现场应急监测工作得以简化,可根据实际情况减少人员配置。但如果发生大规模核事故,监测队伍配置要求则可能比 IAEA 的推荐方案还要高得多,可能政府部门很快就会介入场外应急监测,如环保、卫生、军队、航空、海事等。

1.5 核事故时序和各阶段的应急监测策略

发生核事故时,应根据事故发展的不同阶段开展应急监测。事故发展的阶段不同,其监测目的、内容和使用的方 法也不相同。

美国环境保护署(USEPA)《核事故防护行动指南》中对核事故的时间表作了定义^[21],将核事故分为早期、中期和晚期。早期指核事故开始的一段期间,在此期间要求基于对核设施(或其他事故现场)状况和恶化条件的预测作出决策,以确定防护行动的有效应用,该阶段的时间可能是几小时到几天。中期指源项及其释放得到控制以后开始的期间,在此期间环境监测的结果可为应急决策提供直接支持,该阶段可延续到各种防护行动结束为止,其时间可能是几个星期到几个月,与早期和后期也可能部分相重叠。后期指从开始执行恢复行动到所有恢复行动完成为止,恢复行动的目的是将环境放射性水平降到不受限制和可接受的水平,该阶段可能延续几个月到几年。

根据 USEPA 有关核事故的分期方法,总结各阶段实施应急监测的内容如下。

(1) 早期监测。主要任务是对烟羽追踪,尽可能多地获得烟羽特性和地面上辐射水平的相关资料。其范围主要限于烟羽区,但在实际情况下,如采用航空监测,为了确定烟羽扩散范围,测量范围要大得多。早期监测的基本要求是:启动迅速,快速简捷,由核电厂和可快速到达的监测队伍执行。核电厂制定的应急监测计划应重点关注早期监测,预先确定监测方法、程序和路线^[23]。

早期监测的主要内容和方 法有: β/γ 剂量率监测、空气取样监测、固定点取样、巡测。必要时需要快速启动航空监测,在事故早期追踪烟羽,确定烟羽的行进方向和影响范围。早期监测所获得的数据以外照射剂量率为主,同时由有限空气样品的现场测定作补充,从而为事故早期的放射性后果评估提供一定的支持数据,在考虑到源项、气象条件等因素的情况下,对放射性烟羽扩散作模拟^[1]。由于早期事故发展可能存在一定的不确定性,由应急监测获得的数据所发挥的作用,一般取决于核事故发生时的具体情况。

(2) 中期监测。在事故发展的中期,由于烟羽释放基本停止,并伴随着放射性核素的地面沉降过程,此时的应急监测结果除用于对模式计算结果作验证外,还直接用于核事故后果评估,包括烟羽所致地面沉降形成的辐射场和剂量场(地面放射性核素的浓度水平、分布、范围、种类、随时间的变化、随距离的变化等)。通过这些分析,确定早期所采取的防护决策是否适当和充分,是否需要采取进一步的防护措施,以降低对公众的辐射,同时确定具体的恢复措施。中期监测的范围主要是烟羽所致地面沉降的区域,同时应向食入应急计划区扩展。与早期监测相比,中期监测的范围、频率和种类均有所增加,测量项目涉及沉降所引起的辐射剂量率、地表污染水平、土壤和水体的污染水平。

中期监测的主要内容和方 法有:地表污染监测(包括直接测量法、间接测量法和航空测量)与食入途径监测。在中期阶段,地表污染是公众所受剂量的主要来源,加强地表污染监测很有必要。需要指出的是,在事故中期,食入应急计划区受到放射性污染的可能性很大,必须对该区内的农作物和饮水监测,为食品和饮水限制提供必要的支持数据。由于食入途径涉及的样品种类非常多,监测任务非常繁重,监测时应适当布置取样与监测点位。

(3) 后期监测。在实施恢复措施以不断消除

事故影响后,即进入了事故后期。此阶段监测分析的作用包括为执行恢复措施提供数据支持,为评价事故后果提供资料。后期恢复活动涉及范围较广,历时可能很长,直接与社会生活和经济代价有关,一般需开展某些优化工作。后期所涉及的地域可能很广,花费的人力和时间可能相当多,通常会有若干组织和机构参与,需对监测工作充分协调。

后期监测的主要内容和方法有:外照射剂量、表面污染水平、空气污染、其他环境介质中放射性测量。对土壤中的放射性污染监测,应该根据污染的性质和土壤受干扰的程度取样,以提供烟羽干、湿沉积和放射性物质向作物转移的基础数据^[23]。值得注意的是,在事故后期应该特别关注对长寿命核素如¹³⁷Cs、⁹⁰Sr的监测。

1.6 核应急监测的基础设施和设备需求

用于核应急环境监测的主要基础设施和设备包括以下几个方面。

(1)早期预警系统。主要指用于常规在线监测的网络系统,包括气象观测、环境 γ 剂量率连续在线监测、地表原位 γ 谱监测、气溶胶在线监测、水体 γ 谱在线监测等,可及时发现环境辐射的异常变化,并快速用于应急决策。气象观测系统包括核电厂设置的气象铁塔和地面气象站,通过气象观测数据,可以及时提供用于烟羽扩散、剂量预测和评估的基础资料。

(2)环境实验室。可作为应急监测的基地和数据中心,其用于常规监测的仪器设备和人员也将及时用于应急监测。值得注意的是,早期预警系统的数据中心可以设置在环境实验室,并负责监测数据的对外传输。因此,环境实验室的作用在应急监测中很重要,核电厂的应急指挥中心往往也设置在环境实验室旁边。由于在事故应急情况下环境实验室需要执行应急监测功能,因而其地理位置不宜设在核岛附近,也不宜设在主导风向向下风向,以保证气态释放核事故时环境实验室的可居留性。但另一方面,从常规监测采样与监测的方便性考虑,实验室又不宜太远,应选择一个适当的位置。

(3)移动监测系统。在发生核事故时,为实施现场应急监测,配备移动监测系统非常必要。近年来移动监测系统已发展为多功能、综合车载监测系统,配备辐射与气象观测设备,具备远程通讯和自供电能力,具有机动灵活的特点。移动监测系统按其装备特点和应用场合,可以分为应急监测车和移

动实验室,前者一般仅用于应急环境监测,配备的仪器设备较少;后者往往配有大型监测设备,如全身计数器、谱仪系统等。

1.7 核应急采样策略

应急监测面临着大量的采样任务,一般来说,正常情况下的采样方法在应急时也适用,但存在一定的区别。早期和中期应急监测的目的是为了尽快对事故后果的严重性及可能影响的范围进行评价,以便为防护行动决策提供依据;而正常监测主要为正常运行状态下的辐射常态水平及累积趋势作出判断,以便为常态剂量评价和发现异常提供依据。应急监测一般处于时间紧迫和紧张状态,现场可能有较高辐射,采样时应确保人员防护,对采样点选择、采样顺序、采样方法、采样速度等均有特殊要求,对采集的样品也要加强管理,防止污染。

(1)空气采样。在核应急监测时,采集的空气样品可以就地测量和评价,也可用于实验室分析。就地测量主要指 γ 剂量率、 β 剂量率、总 α/β 碘,有时还可能包括 γ 谱测量;实验室分析比较详细,如测量 γ 谱和其他特殊核素。现场采集的空气样品一般通过即时测量来评估,以初步确认放射性核素的组成和浓度,从而确定实验室详细测量的方法和顺序。该结果还可用于估算人员吸入剂量,提供可能的地面沉积信息。如果空气取样是为了评价空气浓度与地表浓度之间的关系,或用于确定再悬浮率和典型核素如¹³⁷Cs的操作干预水平,则在采集空气样品时必须同时、同地采集有代表性的土壤样品。空气样品的采样位置包括厂区边界、大气释放最大浓度落地点和重要的居民点。采样点应该选在开阔区域,避开大型建筑和其他引起不正常局地气象的物体。对于气溶胶,可采用玻璃纤维滤纸收集,并选择合适的采样流量和滤纸尺寸。对空气碘的取样,可以采用活性炭和银沸石吸收的过滤器收集。对空气惰性气体的取样,可采用活性炭收集。对于空气中的氡,可选择常规氡采样器取样。值得注意的是,空气采样可以根据烟羽特性作适当调整,当剂量率较高时,可以适当缩短取样时间,减少采样量,以减少人员辐射。

(2)土壤采样。核应急监测土壤采样时,必须在采样位置测量 β/γ 剂量率。在早期阶段,土壤采样与测量的任务包括:用于评价干沉降或湿沉降所造成的地面浓度水平;评估单位面积总沉积水平;评价各位置剂量率或剂量随时间的变化;通过

核素转移模型评价对未来蔬菜可能造成的污染; 为评价事故后期可能的放射性再悬浮提供支持数据。土壤采样时应避开树木、建筑、道路、排水渠沟渠等可能影响取样代表性的区域, 尽量选在开阔地带。取样时必须将覆盖的青草、杂草或其他有机物质贴地面剪除, 并作为植物样品装袋带回实验室分析。如在沉降后有降雪, 则应去除雪后采集土壤样; 如在沉积前下雪, 则应同时采集雪样和土壤样。

(3) 水样采集。核应急监测时收集的水样包括海水、井水、地下水、地表水、降雨、公众饮用水等。对于地表水, 应注意避免在高混浊区域和高沉积物区域采样, 取样位置主要包括地表水取水口、动物饮水口和灌溉用水取水口; 对于河流、溪流、港湾, 主要考虑取样点水体中放射性核素浓度是否均匀, 以保证采集的水样具有代表性; 对于湖泊、池塘, 由于很少有混合作用, 相对于河流来说更易于分层, 应根据其面积和水深确定采样点、采样垂线、是否制备混合样等。水样采集时必须先确定好采样地点, 并在采样前清洗容器。对于需要长时间贮存的水样, 应加入一定浓度的盐酸, 避免放射性核素在容器内壁上吸附。对于雨水收集, 应选在开阔区域采集, 避开树木、道路, 并采用专用雨水收集器, 不能用水坑水代替。

(4) 牛奶采样。“大气—青草—牛—牛奶—公众”是核电厂大气释放放射性核素对公众造成辐射的重要途径。因此, 在核事故应急监测时, 牛奶取样非常重要。由于牛奶对碘、 Cs 、 Sr 具有较强的富集能力, 因而应加强对牛奶中 ^{131}I 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 的测量。牛奶采集时应明确奶场在事故影响区域的位置, 并确认是放养、非喂养贮存饲料的奶牛。为了作对比, 一般情况下也可以同时采集两种。牛奶采集后, 应防止交叉污染, 送实验室后必须及时冷冻处理, 或加入防腐剂防止变质。

(5) 食谱采样。主要收集可能受到污染的公众消费品, 如蔬菜、水果、谷物产品、肉类、蛋类、鱼类、甲壳类产品等, 供实验室分析。其中, 蔬菜的种类应包括叶菜(新鲜蔬菜)、根块蔬菜(如萝卜、土豆、番薯)、豆类, 必要时要调查罐装蔬菜; 水果一般包括新鲜水果、罐装水果和果汁; 谷物产品包括大米、小麦、面粉等; 肉类包括猪肉、羊肉及肉产品等。在事故早期, 由于干、湿沉降造成植物和水果表面污染, 应进行消费控制, 此时主要采集植物上部分和可食部分; 在事故后期, 则应关注植物对放

射性核素的吸收和转移, 此时应采集其可食部分。

(6) 牧草采样。核事故时, 为了确定放射性污染对牛奶、肉类的影 响, 必须对动物牧草测量。在事故早期, 测量结果可用作对家畜控制的依据。牧草样品一般在释放结束和烟羽经过后采集。

(7) 水体沉积物采样。对水体沉积物的采样和分析可用于评价外照射剂量, 并监测放射性核素在水体(如海、河、湖等)和沉积物中的累积。在核事故早期, 烟羽尚未开始沉降, 一般不开展沉积物采样, 但在发生水体释放事故时则需予以关注。

1.8 放射性核素分析策略

在发生核事故时, 核电厂将以气态或液态的形式向环境排放各种放射性物质, 主要是反应堆中的裂变产物和活化产物, 与核事故的类型和事故发展阶段有关。挥发性放射性核素如 $^{131/132/133/135}I$ 、 $^{131/132}Te$ 、 $^{134/137}Cs$ 、 $^{103/106}Ru$ 和惰性放射性气体是最可能释放的核素, 在事故后的最初几天和几周内, 对剂量贡献最大的是一些短寿命放射性核素。

核事故时放射性物质进入环境后将发生衰变、迁移, 并可能最终对人体造成辐射。核素的衰变和迁移与其物理化学性质、环境条件有关, 开展应急监测时须充分考虑这点, 确定快速有效的分析方法。

核事故时监测的放射性核素有 3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I 、 ^{90}Sr 、 ^{89}Sr 、 ^{132}Te 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 等, 这些放射性核素存在于需要采集的各种环境介质中, 如空气、水、蔬菜、食品、土壤、沉积物等。进入地表水的放射性物质将很快进入浮游生物的有机物质中, 并通过食入被甲壳动物、软体动物吸收。因此, 应关注对放射性核素有较高富集能力生物的监测, 这些核素包括 ^{54}Mn 、 ^{55}Fe 、 ^{59}Fe 、 ^{60}Co 、 ^{65}Zn 、 ^{95}Zr 、 ^{95}Nb 、 ^{103}Ru 、 ^{106}Ru 、 ^{110m}Ag 、 ^{125}Sb 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{144}Ce 及其他超铀核素^[24]。

1.9 核应急监测的质量管理策略

为了保证应急监测能够迅速、准确、有效地为应急决策提供支持, 对应急监测的质量管理应予以特别关注。通常由核电厂辐射环境监测机构和地方辐射环境监测站承担应急监测任务, 按照环境监测质量管理的要求, 这些机构应该建立科学的质量管理体系, 通过常规监测训练和质量控制手段, 确保监测能力能同时满足应急监测的需要, 从而在开展核应急监测时能够快速响应, 并使应急监测工作趋于科学化、程序化、合理化和规范化。执行核应急监测的机构应从以下几方面开展质量管理。

(1) 建立完善的应急监测程序。按照有关法规要求, 核电厂和地方政府都建立了应急监测计划或程序, 并作为场内应急计划和场外应急计划的部分内容。在这两个程序中应明确核事故不同发展阶段对海洋、陆地的各种环境介质开展监测的内容、取样设备、取样点位、监测因子、监测分析方法、巡逻路线等。此外, 监测程序还应规定组织机构、人员职责、响应程序, 对仪器、环境、人员的特殊要求, 操作干预水平的修正, 应急监测报告的编制要求和报发时限, 以及人员培训、演练等方面的内容。除监测程序外, 监测机构还应编制应急监测支持性文件, 包括作业指导书、质量记录、技术记录和结果报告等。

(2) 强化常规监测的质量控制。常规监测与应急监测有很多相似之处, 只有做好常规监测质量管理工作, 才能在应急监测时临战不乱, 确保质量。针对核应急监测, 应从两个方面加强常规监测质量管理。一是灵活使用实验室质量控制方法。该方法大多比较成熟, 并获得了较多的实践与应用, 能较好地控制实验室分析的全过程, 主要手段包括空白样、平行样、掺标样、混合样、复检样测试, 绘制质控图、标准曲线, x^2 检验, 仪器设备的定期检定、校准等。二是强化现场采样与监测的质量控制。现场采样与监测是应急监测的重要组成部分, 应对其实施有效的质量控制, 保证样本的代表性、准确性、适时性和有效性。除不断强化原有的现场质控手段, 加强现场监测人员的培训和考核, 完善监测方案的编制, 加强现场记录及样品运输、交接、验收和保存等方面的管理外, 还应针对核应急监测提出相应的质量控制方法。

2 核应急监测方案

核应急监测涉及大量的现场分析和取样及实验室分析工作, 核电厂与地方环保部门必须制定相应的应急监测计划或程序。在制定计划时应考虑以下因素。

(1) 应急监测应充分利用已有的核应急监测预警系统, 包括自动连续监测、自动连续取样系统, 如环境 γ 剂量率连续监测网络、气溶胶总 α/β 连续在线监测网络、连续自动取样站等。在建立核电厂环境监测系统设施时就应考虑应急监测的兼容性, 如有条件还可设置气溶胶和排放水渠的连续在线监测设备。

(2) 车载监测与取样系统 (或移动监测系统) 应能快速响应。一方面要充分利用目前先进的监测仪器和方法, 如智能化、小型化、自动化、集成化的仪器设备, 快速实现数据获取、自动储存、处理和自动发送; 另一方面, 要做好日常培训、考核和演习等工作。

(3) 在应急监测计划中应有必要的接口接受来自外单位的支援, 必要时向有关部门请求航空监测等先进监测手段的支援, 应特别关注目前较为先进的无人值守航空监测系统。

(4) 实验室尽量采用快速分析方法, 不能用与常规监测相同的模式处理。因此, 环境实验室有必要开展快速分析方法、降低探测限和提高灵敏度的检测分析方法等相关研究与开发。

(5) 核事故早期主要以快速监测为主, 不需采样, 中、后期则要兼顾快速现场监测和取样监测, 取样监测的样品量视应急监测的需要而定。

(6) 对监测时间的要求。 γ 剂量率在线连续监测系统应该具有自动根据监测信号调整数据巡访频率的功能; 气溶胶连续在线监测系统应设置当总放射性异常增高后自动调整为 γ 谱监测的功能; 车载巡测和实验室分析应兼顾监测精度和时间紧迫性的要求。

(7) 环境监测与取样必须对取样点准确标记, 充分利用 GIS 和 GPS 系统, 为应急决策和评价提供准确信息。

(8) 监测方法的必要性。综合考虑应急监测任务和目前我国辐射环境监测现状、核事故的规模, 以及技术、经济等方面, 确定必须开展的项目和可选项目。

(9) 地方政府应该配备必要的移动实验室, 配置全身计数器及肺、甲状腺污染监测仪等设备, 便于在核事故时快速赶赴现场, 开展应急救援和监测。

(10) 所有应急监测仪器必须定期校准, 确保在核应急时能够有效使用。

3 结论与建议

随着我国核电的迅速发展, 核应急能力建设将受到国家和核电企业的进一步重视。作为核应急能力建设的重要组成部分, 应急监测策略研究对今后核电厂和政府部门核应急工作的开展具有基础性意义。文章对现有国内外核应急监测策略作调研、分析和总结, 今后还可在以下方面开展进一步

研究: ①应急监测的数据管理, 包括数据传输与交换、评价与利用、数据库应用、不确定度分析等; ②应急监测技术经济代价分析, 建立数学模型, 研究核应急监测的技术要求和经济代价, 确定核电厂和政府部门应急监测基础设施建设和配置的优化方案; ③应急取样与监测方法的研发和优化, 包括提高应急监测准确度的方法、快速监测分析方法、应急监测仪器分析等; ④应急监测数据同化技术研究^[25-26]; ⑤应急监测的质量保证。

[参考文献]

- [1] International Atomic Energy Agency(IAEA). IAEA TECDOC No. 1092 Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency[R]. Vienna IAEA, 1999
- [2] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Committee on radiation protection and public health, monitoring and data management strategies for nuclear emergencies[R]. Paris OECD, 2000
- [3] LAHTINEN J NKS Report 142 Emergency monitoring strategy and radiation measurements—Working document of the NKS project emergency management and radiation monitoring in nuclear and radiological accidents(EMARAD) [R]. Denmark NKS, 2006
- [4] KARLSSON S MELLANDER H, LINDGREN J et al NKS Report 15 Resume 99—Rapid environmental surveying using mobile equipment[R]. Denmark NKS, 2000.
- [5] ARO L, PLAMBOECK A H, RANTVAARA A, et al NKS Report 183 Sampling in forests for radionuclide analysis—General and practical guidance[R]. Denmark NKS, 2009.
- [6] HOLM E. NKS Report 122 Theory of sampling—A mini seminar under the NKS project samplstrat [R]. Denmark NKS, 2006
- [7] ISAKSSON M. NKS Report 17 Sampling methods—A survey of methods in use in nordic countries [R]. Denmark NKS, 2000
- [8] DEVELL L, BAUR IIZEN B. NKS Report 28 Radiological emergency monitoring systems in the nordic and baltic sea countries [R]. Denmark NKS, 2001
- [9] ABIDA R, BOCQUET M, VERCAUTEREN N, et al Design of a monitoring network over France in case of a radiological accidental release[J]. Atmosphere Environment 2008, 42: 5205–5219
- [10] BORZILOV V A, NOVISKY M A, KONOOPIEV A V, et al A model for prediction and assessment of surface water contamination in emergency situations and methodology of determining its parameters[J]. Radiation Protection Dosimetry, 1993, 50(2–4): 349–351
- [11] CHANG N B, NING S K, CHEN J C. Multicriteria relocation analysis of an off-site radioactivity monitoring network for a nuclear power plant[J]. Environmental Management 2006, 38(2): 197–217
- [12] DE CORT M, DE VRIES G, GALMARINI S. European commission international data and information exchange systems to assist EU Member States in case of radiological and nuclear emergencies[J]. International Journal of Emergency Management 2007, 4(3): 442–454.
- [13] FINCK R. Strategies for monitoring around Swedish nuclear power stations in case of any emergency[J]. Radiation Protection Dosimetry, 1997, 73(1–4): 195–197.
- [14] HOCSOCUN E. Considerations regarding real time offsite monitoring[J]. Biomedical Sciences Instrumentation 1999, 35: 153–158
- [15] JEONG H J, KIM E H, SUH K S et al Determination of the source rate released into the environment from a nuclear power plant[J]. Radiation Protection Dosimetry, 2005, 113(3): 308–313
- [16] LAHTINEN J. Radiation monitoring strategy: Factors to be considered[J]. Radiation Protection Dosimetry, 2004, 109(1–2): 79–82
- [17] LAHTINEN J, TOIVONEN H, HANNINEN R. Effective use of radiation monitoring data and dispersion calculations in an emergency[J]. International Journal of Emergency Management 2007, 4(3): 468–480.
- [18] LANG E, KOBLINGER L. Optimisation of environmental monitoring network configuration for early emergency assessment [J]. Radiat Prot Dosimetry, 1999, 81(4): 277–283
- [19] International Atomic Energy Agency(IAEA). Safety Standards Safety Guide No. RS-G-1.8 Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection [R]. Vienna IAEA, 2005
- [20] 邱祖楠. 完善应急监测网络 提高环境管理能力 [J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(2): 4–6
- [21] 郁建桥, 张璘, 徐亮, 等. 环境污染事故应急监测装备的配置思路 [J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(2): 4–6
- [22] US Environmental Protection Agency(USEPA). Manual of protective action guides and protective actions for nuclear incidents—second printing [R]. Washington DC: USEPA, 1992
- [23] 段绪毅. 核电厂应急响应培训教程 [M]. 北京: 原子能出版社, 2001
- [24] VALKOVIC V. Radioactivity in the environment[M]. Amsterdam: Elsevier, 2000
- [25] ASTRUP P, TURCANU C, PUCHRO, et al RISO-R-1466 (EN) Data assimilation in the early phase: Kalman filtering RMPUFF[R]. Denmark NKS, 2004
- [26] ELVELD H, KOK Y S, TWENHOFEL C J W. Data assimilation, sensitivity and uncertainty analyses in the Dutch nuclear emergency management systems—a pilot study[J]. International Journal of Emergency Management 2007, 4(3): 551–563