

• 水业导航 •

核污染水处理技术及饮用水安全保障

北京二炮工程设计研究院 侯立安院士

2011年3月11日,日本东北部海域发生里氏9级地震,地震引发的海啸导致福岛核电站出现严重的核泄漏事故。根据媒体报道,3月22日,日本共有13个都县检测出自来水含有放射性物质;3月23日,在东京一家水处理中心自来水中测出含放射性碘 210 Bq/L ,是日本规定的婴幼儿可承受限定值 100 Bq/L 的两倍多;5月18日,东京电力公司推算,福岛第一核电站放射性污水总量已超过 10 万 m^3 ,估计在12月前,污水总量将达到 20 万 m^3 。福岛核事故致使周边区域饮用水和海水受到污染,一时之间,民众谈“核”色变。东京超市和便利店的矿泉水在短时间内被抢购一空,民众的恐惧心理由此可见一斑。这次核事故使日本政府承受着巨大压力。我们在回顾这次核事故的同时,应从中吸取教训,居安思危,未雨绸缪,开展特种污染防控技术研究,加强饮用水安全保障与应急系统建设,提高我国应对和处理核污染饮用水的能力,防范于未然。

1 核污染饮用水的危害

核工业在保障国家安全、社会发展、经济建设和人民生活中起着基础支撑作用,是国家战略实力的重要组成部分,这也使其成为军事战争或恐怖袭击的重要目标。战争、恐怖袭击或自然灾害等非传统安全事件一旦发生,将可能导致核物质泄漏,污染水体。

放射性物质沉降会造成地表水污染。核工业排放的废水,以及冲刷放射性污染物的地面径流水,常会造成附近水域的放射性污染。地下水受到放射性污染的主要途径有:放射性废水直接注入地下含水层或排往地面渗透池及放射性废物埋入地下等。地下水中的放射性核素也可能迁移扩散到地表水中,造成地表水污染。放射性核素污染地表水和地下水,影响饮用水水质,并且污染水生生物和土壤,通过食物链对人体产生内照射。

核污染饮用水的危害主要来自于水中的放射性

核素。它们可以蓄积在骨骼、肌肉、皮肤及各个器官部位,成为体内的辐射源,发生内照射,诱发全身性病变。其危害主要表现为:

(1) 致死效应。人体接受一次全身照射后的致死剂量,据估计,照射后60天内造成99%死亡的照射剂量约为 5.5 Gy ,剂量范围为 $4.75\sim 6.25\text{ Gy}$;半数死亡的剂量约为 3.5 Gy ,剂量范围为 $3\sim 4\text{ Gy}$ 。但当大剂量不是一次接受,而是间隔几次接受,每次均低于致死剂量时,则人能够耐受的较大剂量与人体自身的修复作用有关。

(2) 致病及遗传效应。人体一次接受中等全身剂量,没有致死的近期效应。但在这种情况下并不是没有损伤作用,据国外报道,往往20年后才能表现出来一些症状,主要表现为癌症,包括白血病、骨癌、肺癌及甲状腺癌,还可表现为不同程度的寿命缩短,能导致头昏、疲乏无力、脱发、红斑、白血球减少或增多、血小板减少等病症。并且放射性物质的慢性作用会遗留后患,可遗传给子孙后代。在低于 10 mSv 的小剂量照射下未发现对人体有任何效应。然而通常假设辐射剂量无阈值,即最低剂量水平的辐射也会诱发恶性肿瘤,其发病率与剂量成正比。

2 核污染水处理方法

核污染水由于易浸透、有腐蚀性、不易储存等原因,其处理显得尤为重要。传统的核污染水处理技术,如蒸发浓缩法、生物处理法、化学沉淀法等,技术成熟,应用广泛。但在实际应用中都存在一定缺陷。

蒸发浓缩法是利用大部分放射性废水中放射性核素不具蒸发性的特性,使用加热蒸发法使放射性核素残留在浓缩液中,达到浓缩放射性废水的目的。蒸发法的最大优点之一是去污倍数高。使用单效蒸发器处理时,去污倍数可达到 10^4 以上,而使用多效蒸发器和带有除雾沫装置的蒸发器更可高达 $10^6\sim 10^8$ 的去污倍数。蒸发处理对绝大多数废水有良

好的适应性,但其操作环境恶劣复杂,耗能大,处理含有有机物的废液时安全性不佳,运行和维护成本过高。

化学沉淀法是向废水中投放一定量的化学絮凝剂,如硫酸钾铝、铝酸钠、硫酸铁、氯化铁等,有时还需投加助凝剂,如活性二氧化硅、黏土、聚合电解质等,使废水中的胶体物质失去稳定而凝聚成细小的可沉淀的颗粒,并能与水中原有的悬浮物结合为疏松绒粒。该绒粒对水中的放射性元素具有很强的吸附能力,从而净化水中的放射性物质、胶体和悬浮物。化学沉淀法常用于处理铀矿山、水冶厂排放的低浓度废液或预处理的废液,具有处理设备和工艺简单,成本低等优点,但处理后的废液往往不达标,还需二次处理,沉淀物也需二次处理。

离子交换法处理放射性废水的原理是,离子交换树脂与放射性污染水相接触时,能通过树脂上的可交换离子与污染水中的放射性离子互相交换,而将污染水中的放射性核素(呈离子状态的)有选择地去除,从而使污染水净化。离子交换法在核工业生产和废液处理中广泛应用,但成本较高,树脂吸附容量较低,废树脂产生量大,大量废树脂至今尚无理想处理方法。

吸附法是用多孔性的固体吸附剂处理放射性废水,使其中所含的一种或数种元素吸附在吸附剂的表面,从而达到去除的目的。在对放射性废液的处理中,常用的吸附剂有活性炭、沸石等。吸附法的关键技术是吸附剂的选择,传统吸附剂是活性炭。活性炭有很强吸附能力,去除率高,但活性炭再生效率低,处理水质很难达到回用要求,价格贵,应用受到限制。当前,高选择性复合吸附剂的研发是吸附法运用中的热点。

膜分离技术是新兴放射性废水处理方法,在低浓度放射性废水处理方面有诸多优点,也是目前国内外重点研究的技术,对放射性废水中核素有较好的去除效果,但现有膜材料在化学和物理稳定性、机械强度、使用寿命、清洗维护和核浓缩废水及废物处理等方面还不能满足工业需要,因此,开发新型膜材料,改进膜的清洗方法,提高膜的使用效能,减少二次污染等是膜分离技术发展的方向。

3 饮用水安全保障建议

日本核事故的发生和发展,既说明了日本应对放射性污染存在诸多不足,也说明了放射性污染处理是系统性工程,技术要求高,仍需进行广泛的探讨和深入的研究。我们应从中吸取经验和教训,做好以下工作。

3.1 法规标准建设

核污染治理是世界一大难题,从根本上说,核污染应从源头上予以防治。因此,对于涉核的单位部门,应研究建立相关的标准、法规和条例等,进一步完善我国核安全技术标准体系和法律法规体系,为核物质、核材料、核设施的安全监管、维护和运行提供标准依据和法律法规依据,从而为实现核污染的源头防控提供制度保障。

在城镇供水安全保障方面,目前我国相关的规定主要是针对水源和常规水质等方面。在饮用水标准方面,我国修订后的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的检测指标由原来的 35 项增加到了 106 项,在整体指标结构和数量方面,缩小了与国际三大水质标准(世界卫生组织的《饮用水水质准则》、欧盟的《饮用水水质指令》和美国环保局的《国家饮用水水质标准》)的差距,已基本接近世界先进水平。然而,我国仍然缺乏非传统安全威胁时饮用水水质应急标准,而一旦发生战争、恐怖袭击、自然灾害等突发事件,导致核物质泄漏并引起水体污染,社会生产和民众生活将面临重大危害。因此应加强相关应急标准的研究,防范于未然。此外,还应注重标准的系统性和前瞻性研究,制订相关法律法规,以保证标准的实施和定期修订。

3.2 应急体系构建

2003 年,中国水协发表了《城镇供水安全保障及应急体系研究报告》,对城镇供水安全保障与应急体系建设的目标与原则、政府部门应急指挥体系和供水企业内部应急体系建设要求等做了系统阐述。2005 年,建设部制定了《城市供水系统重大事故应急预案》;2006 年初,国务院正式颁布了具有法律效力的《国家突发公共事件总体应急预案》;2007 年,国家颁布并施行《中华人民共和国突发事件应对法》;2010 年,环境保护部组织编制了《全国环保部门环境应急能力建设标准》。如今,地方相关部门已

初步建立了相应的应急体系和预案,在应对处理危急事件中发挥了积极的作用。

然而,我国目前还没有完全构建针对核污染饮用水突发事件的应急机制和应急预案,相关装备设备不成体系,应对核污染的防控能力不足。因此,我国应构建科学合理的应急体系,尽快制定相关应急机制,主要包括预警、组织和处置等方面的技术体系和管理体系;建立完善相关应急预案,重点突出应急预案的规范化和可操作性;大力发展核污染防控技术和设备,特别是应急技术和设备,努力培养一支高素质应急反应队伍,为应急处置提供物质保障和人力保障,以提高我国处置危急事件的能力。

3.3 应急检测与监测方法

在水质检测分析方面,目前针对常规水质分析的仪器较多,但针对饮用水中低放射性核素的检测仪器相对较少,且尚难实现在线检测。尽管测定饮用水中总 α 和总 β 放射性浓度的方法有国家《生活饮用水标准检验法》(GB 5750.13—2006),但饮用水总 α 和总 β 放射性测量存在放射性活度低、干扰因素多和准确测量难等问题,测量结果往往不尽人意,难以满足应对危急事件的需要。

γ 谱仪分析系统具有分辨高、能够直接地一次完成样品中所有 γ 核素分析。因此 γ 谱分析方法在核事故应急期能够快速准确地分析污染样品,为快速评价污染状况和尽早采取相关措施提供依据。但是 γ 谱仪不仅价格昂贵,而且需要特殊的维护(例如液氮冷却),在环境条件恶劣的现场,不方便使用 γ 谱仪对核污染水进行快速监测。此外,我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)也未明确 γ 放射性限值。这些因素为使用 γ 谱仪快速监测核污染水带来不便。

因此,针对核事故突发性的特点以及我国存在的饮用水放射性污染现状,应着力研究应急检测方法,发展现场应急检测、在线检测和实验室应急检测技术。研制便携式、小型化野外和现场检测仪器,开发新型污染物监测、诊断和评价技术以及相关设备,实现多参数、多选择、高灵敏度、高分辨率及实时、快速、可远程监测与控制。

应尽快建立或完善核污染水质监测网站,完

善特种污染饮用水安全监测体系,扩大水质监测的内容和范围,实现监测要素、监测污染因子的全覆盖。对于污染源情况、水质状况和变化趋势以及安全风险评估等情况,达到“测得准”和“说得清”的目标,为核污染应急状态下水质标准的制定提供科学依据。

3.4 应急净化技术

作为非传统安全威胁的核污染饮用水的控制技术研究开展得还不够活跃。目前我国饮用水安全保障工作主要针对病原微生物、重金属和有毒有机污染物等传统污染物突发性事件的预防和应急处理,净水厂传统净水工艺“混凝—沉淀—过滤—消毒”能有效去除水中悬浮物、胶体物质和病原微生物,但对放射性核素净化效果有限,难以满足应对突发性核事故污染水的需要。新技术的发展还不够成熟,如膜技术用于核污染水的处理,还存在浓水和固体废物的再处理问题。因此,发展核污染水的应急净化技术,是我国亟待解决的问题。

由放射性废水的特性和各种水处理方法的特点可以看出,单一的净化处理方法不可避免地存在缺陷。只有通过两种或者更多方法的组合,兼顾各种方法的特色,扬长避短,在处理核污染水时才能达到更好的净化处理效果。因此,需要开展水处理工艺过程优化研究,对先进的单一或组合技术进行创新研究,研究低耗节能的新型有毒外源污染物及天然污染物高效去除技术,进行不同工艺、方法环节之间的优化协同,探索联合净化方法,如膜分离技术、生物技术、电磁技术、化学预处理—微滤工艺、超滤—纳滤—离子交换工艺、超滤—反渗透—电渗析工艺等,以保障饮用水供给的安全性和可靠性。

4 结束语

核污染水不仅是环境问题,也是社会问题。核污染水处理关系到社会的稳定、经济的可持续发展和人民群众的生命健康安全。在坚持预防为主的基础上,建立科学的法规标准体系,制订合理的应急体系,发展高效的净水技术、检测监测方法以及饮用水安全保障技术和设备,不断提高应对危急事件的能力和饮用水的安全可靠供应,是科学合理应对核污染水,使危害降到最低程度的必由之路。