

水利工程中重金属污染水质监测与防控策略

关昕

伊犁水文勘测局

DOI:10.12238/hwr.v9i1.6023

[摘要] 水利工程中的重金属污染问题日益严峻,对水质安全及生态环境构成严重威胁。本文综述了水利工程中重金属污染水质监测方法与技术,包括传统监测方法、在线监测技术、生物监测方法以及新型检测技术的应用。同时,提出了重金属污染防控策略,涵盖源头控制、过程控制、末端治理以及监测与预警等方面,旨在为水利工程中的重金属污染防控提供科学依据和技术支持。

[关键词] 水利工程; 重金属污染; 水质监测; 防控策略

中图分类号: TV 文献标识码: A

Monitoring and Prevention Strategies for Heavy Metal Pollution in Water Quality of Hydraulic Engineering

Xin Guan

Yili Hydrological Survey Bureau

[Abstract] The problem of heavy metal pollution in hydraulic engineering is increasingly severe, posing a significant threat to water quality safety and the ecological environment. This paper reviews the methods and technologies for monitoring heavy metal pollution in water quality in hydraulic engineering, including traditional monitoring methods, online monitoring technologies, biological monitoring methods, and the application of new detection technologies. At the same time, prevention and control strategies for heavy metal pollution are proposed, covering source control, process control, end-of-pipe treatment, as well as monitoring and early warning. The aim is to provide scientific basis and technical support for the prevention and control of heavy metal pollution in hydraulic engineering.

[Key words] hydraulic engineering; heavy metal pollution; water quality monitoring; prevention and control strategies

引言

随着工业化、城市化进程的加速,水利工程中的水质安全问题日益凸显,其中重金属污染已成为不可忽视的重要问题。重金属污染具有隐蔽性、长期性、累积性和不可逆性等特点,一旦进入水体,难以被自然降解,并可能通过食物链在生物体内富集,最终对人类健康造成危害。在水利工程中,重金属污染可能来源于工业废水排放、农业面源污染、城市污水排放以及地质背景等多种途径。因此,对水利工程中的重金属污染进行有效监测和防控,是确保水质安全的关键。本文旨在综述水利工程中重金属污染水质监测方法与技术,并探讨相应的防控策略,以为相关部门提供科学依据和技术支持,推动水利工程水质安全管理水平的提升。通过本文的研究,我们期望能够为重金属污染的有效控制和治理提供有益的参考和借鉴。

1 水利工程中重金属污染水质监测方法与技术

1.1 传统监测方法

传统监测方法在水利工程重金属污染监测中具有不可替代的重要地位,其中原子吸收光谱法通过测定重金属原子对特定波长光的吸收程度来确定其含量,这种方法不仅能够实现对铅、镉、铬等多种重金属元素的精确测定,而且具有较高的选择性和灵敏度;原子荧光光谱法则是利用重金属原子受激发后发射特征荧光的原理进行定量分析,该方法在测定汞、砷等重金属元素时表现出优异的性能,检出限可达到十亿分之一量级;电感耦合等离子体质谱法作为一种高灵敏度的重金属分析方法,能够同时对多种元素进行快速准确测定,其检测限可达到万亿分之一量级,尤其适用于环境水样中痕量重金属的测定,这些传统监测方法虽然操作流程相对繁琐,需要专业的实验室条件和熟练的操作人员,但由于其具有准确度高、重现性好等优点,在水质监测领域仍然发挥着重要作用,为重金属污染防控提供了可靠的数据支持和科学依据。

1.2 在线监测技术

在线监测技术作为水质监测领域的重要发展方向,通过采用各种先进的传感器和自动化设备,实现了对水体中重金属含量的实时、连续监测,这种监测方式不仅大大提高了监测效率,还能够及时发现和预警潜在的污染风险。目前,水质在线监测仪器已经实现了多参数同步监测,例如新型总锌水质在线监测仪不仅能够实时监测水体中的锌离子含量,还可以同时测定水温、酸碱度等相关参数,为全面评估水质状况提供了重要依据;电化学传感器则通过测量重金属离子与电极之间的电化学反应信号来实现快速检测,这种方法具有响应速度快、灵敏度高等优点,特别适合于应急监测和预警系统的构建。随着物联网技术的发展,在线监测设备已经能够实现数据的远程传输和智能化分析,这不仅降低了人力成本,还提高了监测数据的可靠性和时效性,为水质管理决策提供了科学依据。

1.3 生物监测方法

生物监测方法是一种基于生物体对重金属污染物的敏感性和积累特性来评估水质状况的重要手段,这种方法不仅能够反映重金属污染的累积效应,还可以评估污染物对生态系统的潜在影响。转基因果蝇检测法就是一种典型的生物监测方法,通过观察果蝇对不同浓度重金属污染物的生理反应和行为变化,可以快速判断水体中重金属污染物的毒性水平;水生植物监测则是利用沉水植物、浮水植物等对重金属的富集作用进行污染评估,例如凤眼莲、黑藻等水生植物对铜、锌、铅等重金属具有较强的富集能力,通过测定植物体内重金属含量的变化可以反映水体污染程度;微生物监测方法则是通过观察细菌、藻类等微生物群落结构和数量的变化来评估水质状况,这种方法能够反映重金属污染对水生生态系统的整体影响。生物监测方法虽然在定量分析方面存在一定局限性,但由于其具有操作简便、成本低廉、生态相关性强等优点,在水质监测领域得到了广泛应用。

1.4 新型检测技术应用

随着科技的不断进步,新型检测技术在重金属污染水质监测领域展现出巨大的应用潜力,这些技术不仅提高了检测的准确性和效率,还拓展了监测的范围和深度。高效液相色谱法作为一种先进的分离分析技术,通过选择适当的色谱柱和流动相条件,能够实现对多种重金属离子的同时分离和测定,这种方法不仅具有分离效率高、选择性好等优点,还可以与其他检测技术联用,进一步提高检测灵敏度;酶抑制法则是基于重金属离子对特定酶活性的抑制作用进行快速检测,这种方法操作简便,响应时间短,特别适合于现场快速筛查和应急监测需求。此外,纳米材料传感器、表面增强拉曼光谱等新型检测技术也在不断发展和完善,这些技术的创新应用不仅提升了重金属污染监测的技术水平,还为水质安全保障提供了新的技术支持。随着检测技术的不断创新和优化,水质监测的准确性、效率和适用性都得到了显著提升。

2 水利工程中重金属污染防控策略

2.1 源头控制

源头控制作为重金属污染防治的关键环节,其重要性在于通过严格管控污染物的产生和排放,从根本上预防和减少水体重金属污染问题的发生。在工业生产领域,通过优化生产工艺、更新设备设施、推广清洁生产技术等措施,可以显著降低重金属污染物的产生量,例如采用低污染或无污染的原料替代含重金属的原料,使用先进的废水处理设施对工业废水进行预处理,建立完善的废水循环利用系统等;在农业生产方面,通过推广生态农业模式、控制农药化肥使用量、采用生物防治技术等措施,可以有效减少农田重金属污染物的积累和迁移,特别是在设施农业中,通过采用水肥一体化技术、智能灌溉系统等现代化农业设施,不仅能够提高资源利用效率,还能够从源头上控制重金属污染物的排放。此外,对于矿产资源开发和冶炼加工等重点污染源,应当加强环境影响评价和污染防治设施的建设,通过采用先进的采矿工艺和尾矿处理技术,最大限度地减少重金属污染物向水体的排放和渗漏。

2.2 过程控制

2.2.1 水文调度优化

水文调度优化是水利工程重金属污染防控中的重要环节,通过科学合理的调度方案,可以有效控制污染物的迁移扩散和稀释降解过程。在洪水期间,通过精确计算和预测水文情势,合理调控水库蓄泄量,可以有效降低下游河段重金属污染物的浓度,例如在污染物浓度较高时增加下泄流量,利用稀释作用降低污染物浓度;在枯水期,则需要通过科学调度水库群联合运行,保证河道生态基流,维持水体自净能力,可以通过建立水质-水量耦合模型,优化调度方案,实现水质改善目标。此外,还应考虑上下游水利枢纽之间的联合调度,通过建立完善的信息共享和协调机制,实现流域范围内的水资源优化配置和水质保护,特别是在跨界河流和重要水源地区域,更需要加强区域间的协调合作,共同防控重金属污染。

2.2.2 生态修复措施

生态修复措施作为水体重金属污染治理的重要手段,通过构建完整的水生生态系统,能够实现污染物的自然净化和生态转化。水生植物修复技术是其中最为常用的方法之一,通过种植具有超富集能力的水生植物,如香蒲、芦苇、菖蒲等,可以有效吸收和富集水体中的重金属元素,这些植物不仅具有较强的耐污能力,还能够通过根系分泌物改善水体环境,促进有益微生物的生长;微生物修复技术则是利用特定微生物的代谢活动来降解或转化水体中的重金属污染物,例如硫酸盐还原菌可以将可溶性重金属转化为难溶性硫化物,从而降低重金属的生物可利用性^[1]。在实际应用中,往往需要根据水体特征和污染特点,选择适宜的修复植物和微生物菌群,构建稳定的生态修复系统,同时还要考虑季节变化、水文条件等因素对修复效果的影响,制定科学的运行维护方案,确保生态修复措施的持续有效。

2.2.3 底泥处理技术

底泥作为水体重金属污染的重要蓄积库,其处理和管控直接关系到水体的长期水质安全。底泥处理技术的选择需要综合

考虑污染程度、水文条件和治理目标等多个因素,对于轻度污染的底泥,可以采用原位覆盖技术,通过投放清洁的砂石或专用覆盖材料,形成物理隔离层,阻断底泥中重金属向上覆水体的释放;对于重度污染底泥,则可能需要采用疏浚清除等工程措施,将污染底泥转移至专门的处置场所进行处理。在底泥处理过程中,需要特别注意防止二次污染,例如在疏浚作业时采用环保绞吸船和密闭输送系统,避免污染物扩散;在底泥处置过程中,采用固化稳定化技术,通过添加适当的固化剂和稳定剂,将重金属污染物转化为稳定的化学形态,降低其环境风险。此外,还应建立完善底泥环境监测体系,定期评估治理效果,及时调整处理方案。

3 末端治理

3.1 物理化学处理

物理化学处理技术作为水体重金属污染治理的重要手段,通过多种物理和化学反应过程实现污染物的分离与去除。沉淀法是最为常用的处理方法之一,通过向水体中投加适当的沉淀剂,使溶解态重金属离子转化为难溶性化合物并沉淀分离,例如使用氢氧化钠、硫化钠等药剂处理含铜、铅、镉等重金属废水,可以达到较好的去除效果;吸附法则是利用各种吸附材料对重金属离子的选择性吸附作用进行处理,常用的吸附材料包括活性炭、生物质炭、改性黏土等,这些材料具有比表面积大、吸附容量高等特点,通过优化吸附条件和工艺参数,可以显著提高处理效率;离子交换法是通过离子交换树脂选择性地交换水中的重金属离子来实现污染物去除,这种方法不仅处理效果好,还可以通过树脂再生实现重金属的资源化利用;膜分离技术则是利用特制的分离膜对重金属离子进行截留和富集,包括超滤、纳滤、反渗透等不同工艺,可以根据处理要求选择适当的膜材料和操作条件^[2]。

3.2 生物处理技术

生物处理技术在重金属污染治理中展现出独特的优势,通过利用各种生物体的代谢活动和生物化学过程,实现对重金属污染物的转化和去除。微生物处理是其中最具发展潜力的方向之一,某些放线菌和霉菌对重金属具有较强的耐受性和富集能力,通过筛选和驯化优势菌株,构建高效的微生物处理系统,可以实现对特定重金属的选择性去除;生物质吸附材料的应用也显示出良好的处理效果,例如利用海藻、农作物秸秆等天然材料制备的生物吸附剂,不仅具有较高的吸附容量,还具有来源广泛、成本低廉等优点;此外,通过构建人工湿地系统,综合利用植物-微生物-基质的协同作用,可以实现对重金属污染物的长期稳定去除,这种生态工程措施不仅处理效果好,还能够提供良好的景观效果和生态功能。

3.3 组合工艺应用

组合工艺应用是针对复杂的重金属污染问题,通过多种处理技术的优化组合来实现最佳处理效果。在实际工程中,往往需

要根据污染物特性和处理要求,设计多级处理流程,例如可以采用“化学沉淀-吸附-膜分离”的组合工艺,首先通过化学沉淀去除大部分重金属离子,然后利用吸附处理去除残留的污染物,最后通过膜分离技术实现深度处理;或者采用“物化处理-生物处理”的组合方案,将传统的物理化学处理与新型的生物处理技术相结合,既保证了处理效果,又降低了运行成本^[3]。在组合工艺的设计和应用中,需要充分考虑各个处理单元之间的衔接和协同效应,通过优化工艺参数和运行条件,提高整体处理效率,同时还要注意处理设施的维护管理,确保系统的稳定运行。

4 监测与预警

监测与预警系统是确保水利工程重金属污染防控效果的重要保障,通过构建完整的监测网络和智能化的预警平台,实现对水质安全的全方位监控。在监测站点布设方面,应当根据水文特征和污染风险,科学确定监测断面的位置和数量,在重要水利枢纽、取水口和敏感区域等关键节点加密布设监测站点,确保监测数据的代表性和完整性;在监测技术应用方面,需要综合运用传统监测方法和现代化监测手段,例如利用水质自动监测站实现常规指标的连续监测,配备便携式重金属分析仪器进行应急监测,同时借助遥感技术和无人机等先进设备开展大范围水质普查^[4]。预警系统的建设则需要整合多源监测数据,建立水质预警模型和决策支持系统,通过大数据分析和人工智能技术,实现对水质变化趋势的科学预测和风险预警。此外,还应加强监测人员的专业培训和应急演练,提高突发污染事件的应对能力,建立健全应急响应机制和处置预案,确保在发生污染事故时能够快速、有效地采取应对措施。

5 结束语

水利工程中的重金属污染问题是一个复杂而严峻的环境问题,通过加强水质监测与防控策略的实施,可以有效控制重金属污染物的扩散和影响程度。未来,随着科技的进步和监测技术的不断创新发展,我们有理由相信水利工程中的重金属污染问题将得到更好的解决和应对。

[参考文献]

- [1]孙峰,李惠,王焯丁. ICP-MS半定量法在油气田水质重金属污染监测中的应用[J]. 化工安全与环境, 2023, 36(09): 61-64.
- [2]王乃亮,黄慧,董博文. 农田灌溉源重金属污染现状及其水质净化研究进展[J]. 应用化工, 2023, 52(03): 945-949+959.
- [3]韩雪萌. 安阳市龙安区污染区域地下水污染特征[D]. 天津科技大学, 2022.
- [4]蒋晶,柴森. 地下水重金属污染特征及水质检测常量分析[J]. 中国金属通报, 2020, (10): 143-144.

作者简介:

关昕(1989—),女,锡伯族,新疆伊宁市人,本科,工程师,研究方向:水质监测。