



文章栏目：水污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.202111183 中图分类号 X507 文献标识码 A

白云雨, 张豪杰, 何晓芸, 等. 小流域铊污染应急处置策略及其影响因素: 以曲靖市响水河水库及其上游为例[J]. 环境工程学报, 2022, 16(8): 2558-2565. [BAI Yunyu, ZHANG Haojie, HE Xiaoyun, et al. Emergency treatment strategies and influencing factors of thallium pollution in small watershed: A case study of Xiangshuihe Reservoir and its upstream in Qujing City[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(8): 2558-2565.]

小流域铊污染应急处置策略及其影响因素：以曲靖市响水河水库及其上游为例

白云雨^{1,2}, 张豪杰^{1,2}, 何晓芸^{1,2}, 朱志涛^{1,2}, 谭正琦^{1,2}, 孙玮霞^{1,2}, 黄大伟², 邴永鑫², 郭苹^{1,2,✉}

1. 云南省生态环境应急调查投诉中心, 昆明 650034; 2. 生态环境部华南环境科学研究所(生态环境部生态环境应急研究所), 广州 510530

摘要 以云南省曲靖市富源县响水河水库及其上游鸡上河流域铊质量浓度异常事件为例, 针对流域铊污染应急处置中存在的难点问题, 分析了可能的影响因素, 提出了相应的解决策略。现场应急处置过程中, 在硫化钠和氢氧化钠联合投药工艺的基础上, 通过采取分散式投药方式、动态调整投药点位和调水时序等问题解决措施, 经过 27 d 的应急处置, 受污染水体铊质量浓度全线达标。实践表明, 在开放水体环境下, 去除率、河道环境本身、喀斯特地貌、水库形状对于应急处置效果和时效均有影响。根据现场实际情况, 因地制宜采取解决应用问题的措施是妥善应对流域水污染事件的关键。本研究结果可为开放环境下重金属或类金属流域污染应急处置提供参考。

关键词 铊污染; 应急处置; 流域; 硫化钠; 喀斯特地貌

近年来, 含铊矿石的采选和冶炼已导致多起流域铊污染事件^[1]。含铊废水或含铊灰渣随雨水进入地表水体后, 会引起流域铊质量浓度异常, 并威胁饮用水安全。铊是具有剧毒特性的重金属, 其毒性远大于铅、镉、镍、砷、汞等重金属, 易导致急慢性中毒^[2,3]。铊的化合物易通过吸入、口服和皮肤接触的方式被生物体吸收。铊通过工业生产活动污染大气、水源和土壤, 威胁生态环境安全, 并在环境中转运、迁移, 富集在植物可食部分, 通过食物链进入人体, 会危害公众身体健康^[2-4]。

目前, 关于含铊工业废水的处理及突发水污染事件中水厂应急处置除铊的研究较多。含铊工业废水的处理方法主要包括化学沉淀法^[5-9]、吸附法^[5-9]、离子交换法^[5-7]、萃取法^[6-7]。仅有少数单一技术可确保处理后水质达到 $5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的排放标准^[6], 但无法满足在应急处置中达到生活饮用水标准的应急目标要求。因材料易得性、经济性, 以及 pH 影响、共存阳离子干扰等原因, 也不一定适用于开放环境下铊的应急处置。为保障供水水质安全, 自来水厂应急除铊一般采用预氧化强化混凝工艺^[10-16], 以确保出水稳定达标。

收稿日期: 2021-11-30; 录用日期: 2022-05-06

基金项目: 云南省生态环境厅省本级项目 (PM-zx421-202106-199)

第一作者: 白云雨 (1986—), 男, 硕士, 工程师, yunyubai@outlook.com; ✉通信作者: 郭苹 (1971—), 女, 大学本科, 高级工程师, gp93069@163.com

开放环境下的流域铊污染应急处置仍鲜有报道。本研究采用硫化钠化学沉淀削污及流域调水稀释联合技术方案，对云南省富源县响水河水库及其上游鸡上河河道铊污染开展应急处置，探讨了技术方案在实际应用中可能的影响因素，并针对处置中存在的难点问题提出了解决策略，以期作为应急处理小流域突发铊污染提供参考。

1 材料与方法

1.1 事件概况

2021年2月7日，云南省生态环境厅驻曲靖市生态环境监测站在饮用水源地例行监测时发现，曲靖市富源县地表水集中式饮用水水源地响水河水库大坝取水口铊质量浓度超过《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)标准限值约1.5倍。在2月8日至9日，对响水河水库及其上游鸡上河流域9个断面进行了复核和溯源监测，进一步确定了响水河水库、小河水库，以及两水库之间约15 km 鸡上河铊质量浓度不同程度地超标。响水河水库大坝取水口、小河水库大坝、鸡上河大龙潭监测断面的铊质量浓度分别为0.26、8.17、3.12 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。相关监测及投药处置点位如图1所示，其设置时间和位点说明见表1。

在事件发生后，当地政府积极开展应急处置工作。富源县居民供水持续稳定，未受影响；社会舆论平稳，无不良反应。在2月10日，通过排查锁定污染源为曲靖市沾益区某公司，该公司位于沾益区白水工业园区，距小河水库直线距离约110 m，是一家含烧结、炼铁生产工序的钢铁非联合企业。自2月14日起，经过22 d的投药削污，小河水库及其下游鸡上河河道铊污染已得到全面妥善处置，不再对响水河水库铊质量浓度造成新的影响。自3月4日20时起，响水河水库大坝取水口铊质量浓度持续稳定达标，低于集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值0.1 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。至3月5日，应急响应终止。



图 1 主要应急处置投药点位和应急监测断面示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the main dosing points and monitoring section for emergency treatment

表1 主要应急处置投药点位和应急监测断面设置说明

Table 1 Description of the main dosing points and monitoring sections for emergency treatment

投药点位/监测断面	设置时间	相对位置	设置目的
1 [#] 固定式投药点位	2月15日	小河水库坝下	一级投药处置点位
2 [#] 固定式投药点位	2月15日	2 [#] 监测断面下游100 m	为确保处置达标而设置
3 [#] 固定式投药点位	2月18日	6 [#] 监测断面下游100 m	5 [#] 监测断面铊质量浓度升高后设置
1 [#] 监测断面	2月15日	1 [#] 投药点位下游1000 m	监控1 [#] 固定式投药点位处置效果
2 [#] 监测断面	2月15日	2 [#] 投药点位上游100 m	监控1 [#] 固定式投药点位处置后稳定性监控用于动态调整2 [#] 投药点位投药参数
3 [#] 监测断面	2月15日	2 [#] 投药点位下游200 m	监控2 [#] 固定式投药点位处置效果
4 [#] 监测断面	2月15日	2 [#] 投药点位下游2000 m	监控2 [#] 固定式投药点位处置后稳定性
5 [#] 监测断面	2月15日	响水河水库入口处	监控响水河水库入口处铊质量浓度
6 [#] 监测断面	2月18日	3 [#] 投药点位上游100 m	监控用于动态调整3 [#] 投药点位投药参数
7 [#] 监测断面	2月18日	3 [#] 投药点位下游1000 m	监控3 [#] 固定式投药点位处置效果

1.2 处置方法

根据资料整理和现场踏勘情况,针对此次流域铊污染事件的应急处置,提出系统性综合解决方案,主要采取供水保障、源头阻断、工程削减、调水稀释等应急处置措施。

1) 水厂供水保障。2月10日,曲靖市政府当即切换水源,启用备用水源地供给富源县第二自来水厂,以确保居民供水安全。对自来水厂和供水管道采取措施消除铊污染,以确保管网末端居民龙头出水达标。在应急处置期间,持续监测水厂原水和出水,对饮用水水质加密监测,并全面掌握供水安全情况。紧急调配抽水设备保障供水能力,并在用水高峰时段对高耗水产业进行管控,保证当地居民生活用水充足。自事件发生以来,富源县城饮水供水未出现中断和超标情况,居民生活用水未受影响。

2) 污染源头阻断。将肇事企业厂区潜在污染物料全部转运至曲靖银发危险废物集中处置中心有限公司应急贮存。对厂区原料和危险废物贮存场地采取“三防措施”。完善厂区雨污分流系统和应急池,开展厂内初期雨水收集设施和厂外截洪沟建设工作,以确保厂内水不出厂、厂外水不入厂。对厂区约3500 m³高污染循环水先期投加沉淀剂和絮凝剂处理后,纳入小河水库一并处理。先期封堵小河水库泄洪道,防止小河水库高浓度含铊水体未经处理而进入下游鸡上河河道。

3) 化学沉淀削污。本次应急处置采用氢氧化钠调节水体pH至弱碱性,硫化钠沉淀法降低污染河流铊质量浓度工艺。天然水体中的铊以Tl⁺和Tl³⁺2种氧化态存在,Tl⁺比Tl³⁺更稳定,是水环境中铊的主要形式。Tl⁺的化合物水溶性较强,对pH不敏感,主要以游离离子的形式存在。Tl³⁺只有在极氧化和酸性条件下才可能存在,主要以微溶且反应性相对较低的Tl(OH)₃形式存在^[17-18]。在酸性条件下,硫化钠易生成硫化氢气体。在应急处置的碱性条件下,少量Tl³⁺以Tl(OH)₃沉淀出来,而Tl⁺主要与过量硫化钠反应生成Tl₂S沉淀,并沉积吸附到水系沉积物中,从水中去除。

采用上述硫化钠化学沉淀方法对受污染小河水库及其下游鸡上河河道进行全面处置。设置两级投药处置点(1[#]和2[#]固定式投药处置点位),对小河水库47×10⁴ m³高浓度污水采取硫化钠和氢氧化钠联合化学除铊工艺进行处置。自2月15日至2月21日,历时7 d,小河水库高浓度存水则已处置完毕。2月17日,发现响水河水库入口处监测断面铊质量浓度呈现升高趋势。2月18日,其上游鸡上河大龙潭监测断面铊质量浓度也出现波动情况。因此,于2月18日在鸡上河南村小桥增设了3[#]固定式投药处置点位,确保进入响水河水库的铊质量浓度持续保持在0.1 μg·L⁻¹以下。因鸡上河河道淤泥和滞水较多,对小河水库完成投药处置后,下游鸡上河河道铊质量浓度依然较高,

2月23日至2月28日，采取分散式投药方式对淤泥和滞水中留存的铊污染物进行削减，以完全消除上游河道对下游河道铊质量浓度的影响，缩短处置时间。

4) 流域调水稀释。统筹协调水资源调度和保障工作，在确保响水河水库饮用水取水口铊质量浓度达标的前提下，妥善安排生活、生产、农业用水需求，做好用水安全保障工作。采取流域统筹调水措施，科学做好水资源调度的时序安排，合理调整泄水与补水的调度时序，对响水河水库超标水体进行处置。自2月14日起，采取边补水边下泄方式，从石坝水库调水约 $345 \times 10^4 \text{ m}^3$ 补给响水河水库。至2月24日，石坝水库停止补水，响水河水库以 $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的流量继续下泄，累计下泄 $639 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。自3月4日20时起，响水河水库大坝取水口铊质量浓度首次达到 $0.10 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，并呈持续下降的趋势。

1.3 应急监测方法

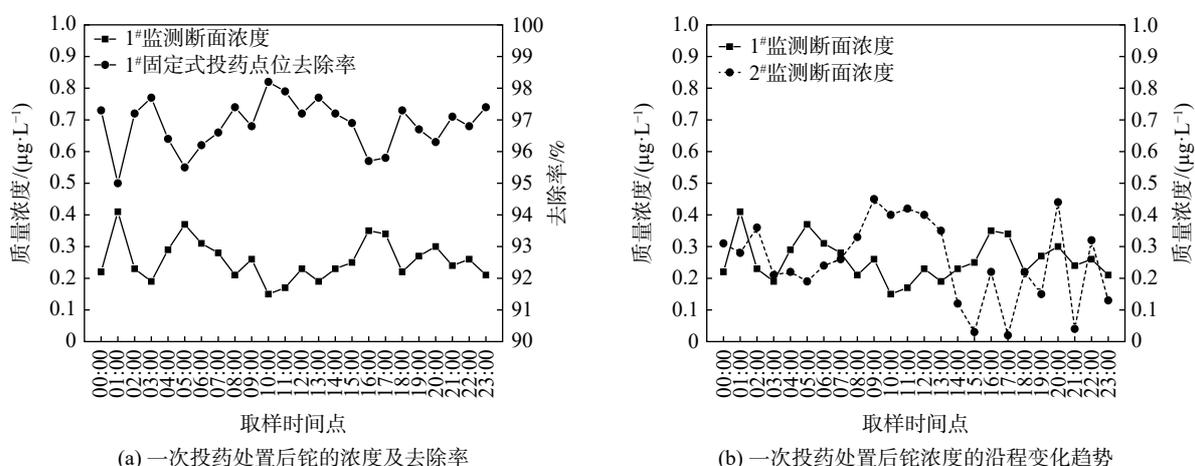
采用车载电感耦合等离子体质谱分析系统(车载 ICP-MS, SUPEC 7000, 杭州谱育科技发展有限公司)对采集的水样进行环境应急监测。采用标准《水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》(HJ 700-2014)测定水样中的铊元素，铊的方法检出限为 $0.02 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

2.1 去除率与处置效果的关系

去除率与处置效果的关系见图2。在利用氢氧化钠调节 pH 为 8~9、采用硫化钠的典型实际应用质量浓度约为 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，处置的去除率稳定，投药处置效果亦稳定。投药处置效果沿程的稳定性如图2(b)所示。对比1#监测断面(1#投药点下游1000 m)和2#监测断面(2#投药点上游100m)的监测结果发现，2个监测断面的铊质量浓度基本一致，说明一次投药处置采用的投药浓度是合适的，投药处置效果亦是稳定的。

经1#固定式投药点位投药处置后，污染水体铊质量浓度由 $8.17 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 降至 $0.15 \sim 0.41 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，平均去除率大于95%。然而，经一次投药处置后，铊质量浓度并未降至 $0.10 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下，未实现应急处置目标。在应急处置中，考虑到处置效果和经济成本，硫化钠化学沉淀除铊的典型应用质量浓度为 $10 \sim 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，远高于理论计算浓度。在一定浓度条件下，铊的去除率并不随硫化钠投药量的增大而提高，单次投药去除率存在一个极限值。因此，要使铊质量浓度降至 $0.10 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下，需要设置至少两级固定式投药点位进行处置。



注：取样日期为2021年2月16日。

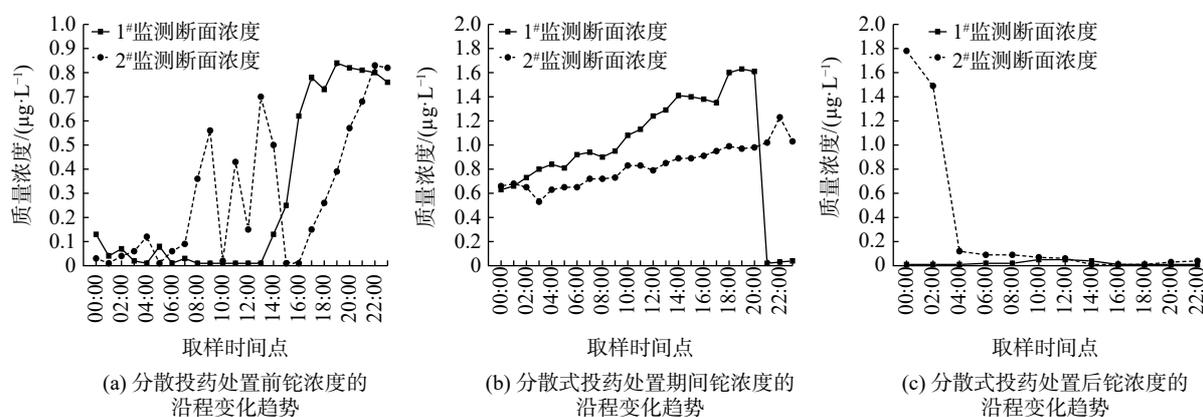
图2 去除率与处置效果的变化

Fig. 2 Change of removal efficiency on disposal performance

2.2 河道环境对处置时效的影响

图3为河道环境对处置时效的影响。在2月21日,小河水库高浓度存水处置完毕后,鸡上河1[#]和2[#]监测断面的铊质量浓度均出现波动情况并呈现升高趋势,1[#]和2[#]监测断面浓度铊质量浓度均升至约0.80 μg·L⁻¹,见图3(a)。经现场实地勘查发现,鸡上河2[#]投药点上游河道长期淤积,河道中淤泥和滞水较多,且上游不断有少量来水汇入,从而导致小河水库高浓度存水处置完毕后,其下游河道铊质量浓度仍较高。

针对上述影响,自2月23日10:00起,采取多点分散式投药方式对鸡上河河道淤泥和滞水中的含铊污染物进行处置,并同时开展河道疏通工作,以缩短处置时间并彻底消除上游河道对下游河道铊质量浓度的影响。在分散式投药处置期间,鸡上河河道1[#]和2[#]监测断面的铊质量浓度变化见图3(b)。铊质量浓度呈现波动状态,1[#]和2[#]监测断面的铊质量浓度总体逐渐升高后保持稳定。图3(c)表明,截至2月28日,鸡上河河道上游铊质量浓度降至0.10 μg·L⁻¹以下,不再对下游河道的铊质量浓度产生影响,故停止分散式投药。



注: 取样日期为2021年2月28日。

图3 河道环境对处置时效的影响

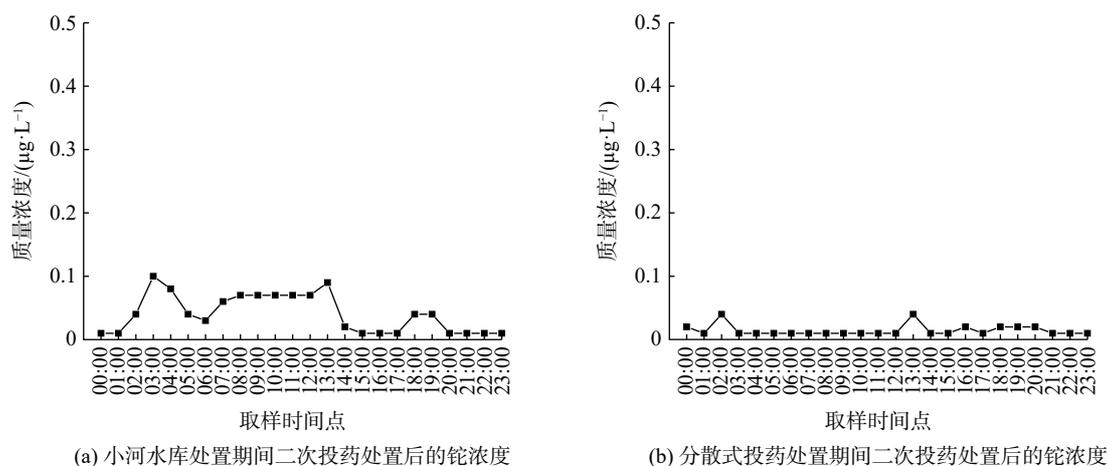
Fig. 3 Effect of river environment on disposal time

2.3 投药点位对处置效果的影响

投药点位对处置效果的影响见图4。经2[#]固定式投药点位处置后,3[#]监测断面(2[#]固定式投药点位下游200 m)的铊质量浓度稳定小于0.10 μg·L⁻¹。在整个应急处置期间,无论是在对小河水库高浓度存水处置期间(图4(a)),还是在鸡上河河道淤泥和滞水采取多点分散式投药方式处置期间(图4(b)),3[#]监测断面的铊质量浓度始终小于0.10 μg·L⁻¹。因此,在突发水污染事件应急处置中,为保证投药处置效果及其稳定性,设置多级固定式投药处置点位是十分必要的。一方面,由于存在极限去除率,经一次投药处置后,不能保证铊质量浓度降至0.10 μg·L⁻¹以下;另一方面,由于河道的复杂性,需进行分散式多点投药,导致下游河道铊质量浓度产生波动。本次投药处置前期设置了1[#]和2[#]2个固定式投药处置点位,以确保铊质量浓度处置达标和消除波动。

2.4 喀斯特地貌对处置效果的影响

图5为喀斯特地貌对处置效果的影响。自2月17日起,5[#]监测断面(响水河水库入口处)铊质量浓度呈现升高趋势。2月18日,4[#]监测断面(鸡上河大龙潭监测断面)的铊质量浓度也出现波动情况。经2[#]固定式投药点位处置后,其下游200 m的3[#]监测断面铊质量浓度已降至0.10 μg·L⁻¹以下。然而,响水河水库入口处铊质量浓度自17日起即高于0.10 μg·L⁻¹。这可能是由于碳酸氢根的影响。2[#]固定式投药点位下游为喀斯特地貌,故鸡上河地表水与周边地下水的交换频繁,存在地



注：取样日期为 2021 年 2 月 16 日。

图 4 投药点对处置效果的影响

Fig. 4 Effect of dosing point on disposal performance

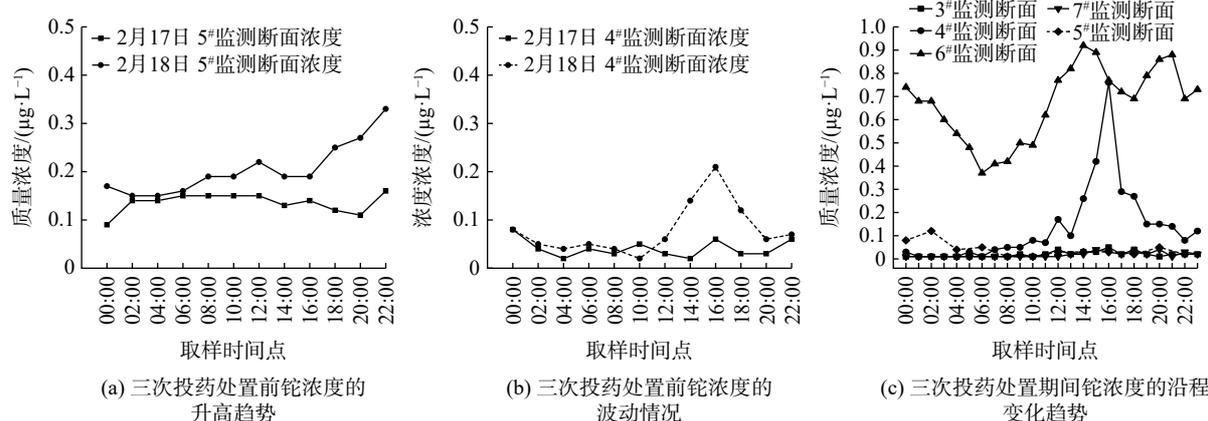


图 5 喀斯特地貌对处置效果的影响

Fig. 5 Effect of karst landform on disposal performance

下河及地下涌水补给地表河水的情况。鸡上河主要的地下水补给来源于大龙潭地下涌水。地下水中较高的碳酸氢根离子可能对硫化钠化学沉淀除铊效果产生影响。

目前，对于铊在水体和沉积物间的界面化学和迁移转化研究较有限^[18-19]。本次事件中，经大量硫化钠沉淀处置后，沉积物中的铊主要以硫化物结合态的形式存在。硫化物结合态的铊在一定物理化学条件下会通过解析释放出可交换性铊，并重新回到水体中并发生迁移^[19]。pH 可能是影响铊迁移的主要控制因素。在喀斯特地貌条件下，受 HCO_3^- 电离产生的 H^+ 影响，一方面地下水中的 HCO_3^- 可促进铊的硫化物沉淀出现解析，另一方面会促使水体中微量 $\text{Tl}(\text{OH})_3$ 溶解，从而出现铊质量浓度的上升。反应式见式 (1) 和式 (2)。



为解决此问题，在排查排除其他含铊污染源汇入的情况下，于 2 月 18 日紧急在鸡上河南村小桥设置了 3# 固定式投药点位，并于 2 月 19 日零点开始投药处置，以确保进入响水河水库的铊质量浓度小于 $0.10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。同时，在南村小桥上游 100 m 和下游 1 000 m 增设了 6# 和 7# 监测断面，以跟踪

监测处置效果。图5(c)表明,在2月19日,经2#固定式投药点位处置后,其下游3#监测断面铊质量浓度持续小于 $0.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。由于喀斯特地貌影响,4#监测断面依然呈现波动状态,6#监测断面铊质量浓度较高,但是经过3#固定式投药点位对解离出来的铊进行处置后,其下游7#和5#监测断面的铊质量浓度均小于 $0.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。这表明喀斯特地貌的影响经采取设置3#固定式投药点位的方法得以消除。

2.5 水库形状对处置时效的影响

水库形状对处置时效的影响见图6。由于响水河水库较狭长且呈不规则形状,其入口、大坝以及全库平均铊质量浓度在空间分布上不均匀。自2月20日起,经3次固定式投药点位

处置后,鸡上河进入响水河水库的铊质量浓度持续小于 $0.10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。至此,响水河水库入口处铊质量浓度实现达标,鸡上河对响水河水库的铊质量浓度不再产生影响。而响水河水库大坝取水口的铊质量浓度连续2 d仍为 $0.14 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在2月22日,对响水河水库全库9个代表性监测点位开展监测,铊的平均质量浓度为 $0.10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,已达到集中式生活饮用水地表水源地特定项目的标准限值。然而,由于响水河水库呈狭长型,且其形状极不规则、水动力条件不良,使得水体推移混合及置换速度较慢,故大坝取水口铊质量浓度仍为 $0.15 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

因响水河水库大坝取水口铊质量浓度降低速度较慢,为进一步加快铊元素从响水河水库的库中向大坝迁移,自2月24日起,采取暂停石坝水库下泄补水,并在响水河水库经低涵全速下泄坝头水体的措施,使得在节约水资源的前提下,加速降低铊质量浓度。这一调整措施实现了加快铊质量浓度降低的目标。此后,库内和大坝铊质量浓度持续下降。截至3月4日20:00,大坝取水口的铊质量浓度为 $0.10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,首次达标并持续下降。

3 结论

1) 在一定浓度条件下,硫化钠化学沉淀除铊存在极限去除率,需设置至少两级投药处置点位,以确保处置达标。

2) 流域污染应急处置要充分考虑河道环境的复杂性,适时采取多点分散式投药方式处置,以消除波动和加快处置进度。

3) 在突发水污染事件应急处置前期应充分考虑喀斯特地貌或者其他因素的影响,提前规划多级固定式投药点位,以消除不可预见因素或情况对于处置达标的影响。

4) 对于不规则形状或者水动力条件较差的水库,要合理动态调整补水和泄水时序,以节约水资源并缩短处置时间。

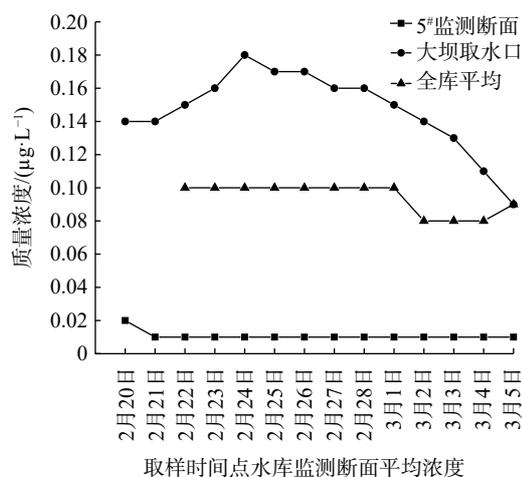


图6 水库形状对处置时效的影响

Fig. 6 Effect of reservoir shape on disposal time

参 考 文 献

- [1] 伍思扬, 卢然, 王宁, 等. 我国钢铁行业废水铊污染现状及防治对策[J]. *现代化工*, 2021, 41(8): 12-15.
- [2] 段维霞, 宋云波, 周取. 铊对生态环境和人体健康危害的研究进展[J]. *环境与职业医学*, 2019, 36(9): 884-890.
- [3] 王春霖, 陈永亨. 环境中的铊及其健康效应[J]. *广州大学学报(自然科学版)*, 2007(5): 50-54.
- [4] 韩嘉艺, 叶必雄, 张振伟, 等. 生活饮用水铊短期超标的风险评估探讨[J]. *现代预防医学*, 2021, 48(5): 944-947.
- [5] 卢然, 王夏晖, 伍思扬, 等. 我国铅锌冶炼工业废水铊污染状况与处理技术[J]. *环境工程技术学报*, 2021, 11(4): 763-768.
- [6] 付向辉, 李立, 杨国超, 等. 工业含铊废水处理研究现状与进展[J]. *稀有金属*, 2020, 44(2): 205-214.
- [7] 万顺利, 马明海, 徐圣友, 等. 水体中铊的污染治理技术研究进展[J]. *水处理技术*, 2014, 40(2): 15-19.
- [8] 李薇, 吴楠楠, 龚奕彰, 等. 含铊工业废水的处理技术研究现状[J]. *工业水处理*, 2018, 38(12): 7-9.
- [9] 范真真, 赵艺, 李崇, 等. 硫酸工业废水重金属铊污染管控研究[J]. *无机盐工业*, 2022, 54(6): 6-12.
- [10] 陈少飞. 北江原水铊污染应急处理技术应用实例[J]. *城镇供水*, 2011(6): 41-44.
- [11] 张健宁, 郑家荣, 翁维满, 等. 广西贺江水污染除铊和除镉应急水处理技术方法[C]//全国给水排水技术信息网. 全国给水排水技术信息网42届技术交流会论文集. 海口, 2014: 56-59.
- [12] 朱敏, 卞卡. 基于常规处理工艺水中铊污染应急处理研究[J]. *给水排水*, 2021, 47(8): 28-31.
- [13] 张晓健, 林朋飞, 陈超. 江西新余仙女湖镉铊砷突发环境事件应急供水[J]. *中国给水排水*, 2017, 33(9): 1-10.
- [14] 胡小芳, 巢猛. 水源水中金属铊污染的应急处理研究[J]. *城镇供水*, 2016(4): 73-77.
- [15] 易文杰, 刘妍妍, 林朋飞. 水源重金属污染的供水应急处理技术研究[J]. *矿业研究与开发*, 2020, 40(8): 81-85.
- [16] 凌亮, 周勤, 蔡展航, 等. 饮用水水源突发性铊污染应急处理试验研究[J]. *安全与环境学报*, 2012, 12(4): 76-80.
- [17] 邓红梅, 陈永亨. 水中铊的污染及其生态效应[J]. *环境化学*, 2008, 27(3): 363-367.
- [18] 赵悦鑫, 程方, 门彬, 等. 铊在水—沉积物界面过程的研究进展[J]. *环境化学*, 2019, 38(9): 2047-2054.
- [19] 王春霖, 陈永亨, 张永波, 等. 铊的环境地球化学研究进展[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(11): 2749-2757.

(责任编辑: 靳炜)

Emergency treatment strategies and influencing factors of thallium pollution in small watershed: A case study of Xiangshuihe Reservoir and its upstream in Qujing City

BAI Yunyu^{1,2}, ZHANG Haojie^{1,2}, HE Xiaoyun^{1,2}, ZHU Zhitao^{1,2}, TAN Zhengqi^{1,2}, SUN Weixia^{1,2}, HUANG Dawei², BING Yongxin², GUO Ping^{1,2,*}

1. Center of Environmental Emergency and Investigation, Department of Ecology and Environment of Yunnan Province, Kunming 650034, China; 2. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment (Research Institute of Eco-environmental Emergency, Ministry of Ecology and Environment), Guangzhou 510530, China

*Corresponding author, E-mail: gp93069@163.com

Abstract Based on the thallium pollution accident occurred in Xiangshuihe reservoir and its upstream Jishanghe River of Yunnan, China, the difficulties and its possible influencing factors were discussed in the emergency disposal of thallium pollution in river basins, and the corresponding solutions were proposed. After 27 days of emergency treatment, the concentration of thallium in the polluted water met the standard by adopting decentralized dosing method, adjusting dosing points and water replenishment and drainage sequence dynamically on the basis of using combined sodium sulfide and sodium hydroxide dosing technology. It was shown that in an open environment, the removal efficiency, the river environment itself, the karst landform, and the shape of the reservoir all affected the emergency treatment effect and the timeliness of emergency disposal. Taking measures properly according to the actual and local conditions is the key to deal with pollution incidents in river basins. The influencing factors analyzed in this study and the proposed solution strategies can be applied to other similar heavy metal or metal-like pollution emergency in water environment.

Keywords thallium pollution; emergency treatment; river basin; sodium sulfide; karst landform