

水库水质锰含量超标原因初探与对策措施建议

徐松*, 肖娴#, 钱怡婷, 邵捷

云南省生态环境工程评估中心, 云南 昆明

收稿日期: 2025年7月18日; 录用日期: 2025年10月21日; 发布日期: 2025年11月7日

摘要

水库型饮用水水源水质锰异常的情况在全国范围均有发生。区分水源水质超标是由于人类活动影响还是地质环境背景造成则需要根据各个水库所处的地理位置和地质环境、周边的污染源和生物活动等情况进行调查分析。桑那水库作为迪庆藏族自治州香格里拉市城区重要饮用水水源地, 近年来水质出现季节性锰异常的现象引起了广泛关注。本文旨在对桑那水库水源地水质锰异常原因进行初步分析的同时, 为地质环境高背景导致水质锰含量异常甚至超标的水库型水源地开展调查和制定相应对策措施提供参考。

关键词

饮用水水源, 地质环境, 水库, 锰超标

A Preliminary Study on the Causes of Excessive Manganese Content in Reservoir Water and Suggested Countermeasures

Song Xu*, Xian Xiao#, Yiting Qian, Jie Shao

Yunnan Provincial Ecological and Environmental Engineering Assessment Center, Kunming Yunnan

Received: July 18, 2025; accepted: October 21, 2025; published: November 7, 2025

Abstract

Abnormal manganese content in reservoir-type drinking water sources occurs nationwide. Distinguishing whether excessive water quality is due to human impact or the geological environment requires investigation and analysis based on the location and geological environment of each

*第一作者。

#通讯作者。

reservoir, surrounding pollution sources, and biological activity. The Sanna Reservoir, a key drinking water source for the urban area of Shangri-La City in Diqing Tibetan Autonomous Prefecture, has recently attracted widespread attention for its seasonal manganese abnormalities. This paper aims to provide a preliminary analysis of the causes of abnormal manganese content in the Sanna Reservoir water source and to provide a reference for investigating and formulating corresponding countermeasures for reservoir-type water sources where abnormal or even excessive manganese content is caused by a high geological background.

Keywords

Drinking Water Source, Geological Environment, Reservoir, Excessive Manganese Content

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 调查背景

桑那水库建于 1998 年, 2002 年开始蓄水, 水库总库容 1500 万 m^3 , 正常蓄水位 3321.36 m, 最大坝高 36.2 m, 是迪庆州唯一一座中型水库。水库主要承担香格里拉市城镇居民用水和附近工业、农业用水, 并肩负着城市防洪以及龙潭水厂、龙潭公园补水任务。随着近年来经济和旅游产业的蓬勃发展, 城镇建设规模的不断扩大, 水库城镇供水量不断增加, 其主要供水用途已经从设计时的农业灌溉转为城镇饮水供给。水库年取水量为 1095 万 m^3 , 设计年供水能力 730 万 m^3 。通过对桑那水库水质监测发现, 锰含量呈现出明显的季节性变化, 主要表现在每年 10 月至 12 月和次年 1 月水质锰含量会出现不同程度升高, 甚至超出《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) $\text{Mn} \leq 0.1 \text{ mg/L}$ 的限值, 给水库水作为饮用水水源供水带来较大压力, 需要对锰异常现象开展调查分析。

2. 水库基本情况

桑那水库位于香格里拉市城区东侧建塘镇, 硕多岗河上游, 处于青藏高原南东缘的横断山区, 地形切割较为强烈。水库四周环山, 地势总体北东高、南西低, 属于亚高山寒温性云冷杉林植被带, 带内雨量充沛, 气候寒冷, 年均气温小于 5°C 。植被覆盖率达到 80% 以上。

水库主要入库河流为桑那河, 另有毕沟河和次郎河入库, 其中桑那河和毕沟河为常流水系, 次郎河为季节性水系。桑那河发源于流域东部的瓦刺, 由东北向西南经哈匹、塘古后流至桑那水库, 河长 20.1 km, 集水面积 76.5 km^2 。

自 2016 年 3 月开始, 生态环境部门对桑那水库按照水源管理要求对水质开展例行监测, 监测频次为每月一次, 监测点位于水库取水口。根据监测结果, 水库在 2016 年、2017 年、2018 年、2020 年均出现了锰超标, 超标月份为 1 月、10 月、11 月或 12 月, 超标倍数 0.07 至 1.2 倍不等。

桑那水库上游污染源有生活面源、农业面源和移动污染源, 现状无点源污染源。汇水区内有崩加顶、扣许、哈匹、塘古、易司 5 个自然村约 1200 人, 牲畜约 1500 头, 耕地约 3000 亩, 面源污染为村落居民生活污水、畜禽养殖废水、农田退水和生活垃圾。移动污染源主要为省道 207, 以旅游客运为主。

当地政府为保护饮用水水源, 对水库汇区内开展了小流域综合治理和饮用水源地专项执法检查, 对库区进行了绿化和综合治理工作, 排查了水源保护区内的排污口, 旅游购物点、山庄农家乐、赛马场等旅游活动场所已于 2017 年进行了关闭。

3. 锰的物质来源

目前造成我国饮用水水源地锰异常的原因主要有地质环境、水土流失、矿山采选、内源锰释放等[1], 本文采用排除法分析桑那水库锰超标的原因。

(1) 外源污染

根据桑那河入库断面水质监测结果, 入库河流来水锰含量达标。污染源调查分析显示水库汇水区不存在工业污染源; 农业面源、生活面源以及已关停取缔的点源均不是锰的主要来源; 道路污染源也无交通事故等证据证明有污染事故导致过水库锰污染。因此, 外源污染导致水库水质锰超标的可能性较小, 水库所处的地质环境条件成为影响水质锰含量的主要调查对象。

(2) 内源污染

高背景值的地层和土壤提供了锰的来源, 在长期的地质作用及自然风化过程中, 锰元素可能会通过地表径流、地下水补给等途径逐渐迁移进入水库。由于水中锰离子的形成与地质、水文地质环境密切相关[2], 原本在岩层和土壤中的富(含)锰物质, 受雨水、地下水补给和水土流失作用, 通过冲刷、渗透逐渐被搬运至水库中去, 导致水体和沉积物中的含锰物质在水库中富集, 在还原条件下, 沉积物中高价态锰还原为低价态锰, 变为可溶状态进入水体, 导致水质锰含量增高。

4. 水质锰超标原因分析

(1) 地质环境原因分析

桑那水库地处横断山区, 位于三江印支褶皱系及三江成矿带内, 地质条件复杂; 地层主要出露有三叠系上统王吃卡组、三叠系上统哈工组和第四系更新统冰碛层, 岩性以泥岩夹灰岩、砂岩、安山岩、硅质岩、砂砾岩为主, 其中安山岩富含铁锰矿物。从土壤丰度值分析, 香格里拉市土壤平均锰含量全省最高, 为 959 mg/kg, 高于全国土壤锰平均含量 607 mg/kg, 区域水文地质调查报告同样发现中甸坝子地区地下水锰含量背景值超过标准限制, 前期资料初步证明水库所处区域存在锰高背景含量的情况。如后续对水库周边地下水和上游地区土壤进行详细调查, 发现上游土壤、地表水和地下水锰含量异常或超标的情况可进一步验证水源地的锰物质来源。因此锰的区域地质环境高背景含量是水库中锰物质的主要来源。

(2) 水土流失原因分析

受雨水冲刷和水土流失影响, 富含锰的土壤和泥沙被雨水冲刷进入水库, 使锰元素不断富集于水库底泥中。由于同被冲刷进入水库的枯枝落叶在腐烂过程中消耗氧气, 使水库中下层水体呈还原条件, 原本沉入底部淤泥中的含锰物质逐渐溶出。随着上下层水体交换, 底部淤泥中的锰元素逐渐向上层释放, 导致锰浓度逐渐上升, 从而造成整体水质锰浓度升高。水土流失是区域锰元素搬运和重新富集的主要途径。

(3) 水库分层分区原因分析

水库水温分层现象是指表层水体受太阳辐射加热, 温度较高, 而底层水体温度相对较低, 产生了密度屏障作用, 上下水体被温跃层分开, 对流运动减缓。上层水体的氧气难以通过温跃层进入下层水体及底部, 导致底部原有的溶解氧被有机物分解, 底层溶解氧含量降低, 呈还原环境, 导致锰转化为可溶态进入水体。因此, 锰在水温分层的水库中呈现垂直分布规律[3], 高浓度的锰多出现在下层, 向上锰含量逐渐降低。桑那水库水质锰异常主要发生在 10 月份至次年 1 月份, 季节性特征明显的原因主要是: 气温较高的时段, 水库需水量较大, 水体上层富氧下层缺氧, 锰在氧化条件下由低价态转化为高价态而形成沉淀, 导致含量降低, 由于取水口接近水面, 受水温分层作用影响不大[4]; 而 10 月份至次年 1 月份气温较低的时段, 水位较低, 水温上下层大致趋于等温状态, 受气候条件影响, 水动力条件差, 水体含氧量低, 锰在还原条件下由高价态转化为低价态, 从底部沉积物中转化为离子态后释放进入水体, 导致锰含

量升高,甚至造成表层取水口处锰含量超标。因此,在冬季低水量、低水位及低温度和氧化还原条件等因素叠加下,容易导致桑那水库取水口处水质锰超标[5]。

水库水质中的锰含量根据来源的不同,在平面位置上呈现分布不同[6]。根据前述分析,锰主要来源为区域地质环境,通过水土流失和淋滤作用等方式进入水体,从汇水区进入水库的锰物质在搬运和径流过程中氧化沉淀为沉积物堆积于库尾,长期沉积的含锰物质由近向远释放,导致水质锰含量库尾较高,其他地区偏低。目前水库的取水口已经较库尾地区更加合适。

5. 对策措施建议

首先,根据锰含量异常区域开展岩石、土壤、水体调查,查明锰的具体来源和迁移途径。其次,分季节对水库水质开展分区、分层采样监测,查清水库中锰的时间、空间分布规律。最后,根据调查结果,采取针对性地治理工程。

5.1. 调查方案建议

(1) 开展地质环境调查。进一步开展区域地质环境调查,重点调查区域安山岩体的分布、地质构造情况和地下水补径排条件;对汇水区上游的岩石、土壤矿物成分和元素含量进行采样分析;对上、中、下游的地表水和地下水进行采样分析,查明区域锰的迁移途径[7]。

(2) 开展水库水质详细调查。按丰水期、枯水期开展水库水质调查,对水库进行分区、分层采样监测,查清锰在水库不同时期、不同位置分布特征,揭示锰在时段、温度、水位、水量、pH、含氧量等条件下的分布规律。

(3) 进行水库底泥分区调查。水库在近年的运行中,库底已经沉积了一定厚度的底泥,与水质详细调查协同分区对水库底泥开展调查,对底泥进行浸出试验,查清底泥的分布、厚度、数量,以及内源污染的贡献量。

5.2. 工程措施建议

(1) 改变取水口位置。在查清水库水体中锰的空间分布规律后,改变固定取水的方式,通过动态取水或者增设备用取水口的方式,选择锰含量较低的区域取水[8]。

(2) 设置曝气措施。在取水口附近水域设置曝气设施,通过提高水体溶解氧含量,确保水体处于氧化环境,促使低价态的锰转化为高价态而形成沉淀,减少沉积物锰的释放,进而降低锰含量[9]。

(3) 控制水土流失。加强汇水区水源涵养林的建设与保护,做好水土易流失区域的水土保持工作,在入库河流桑那河和毕沟河设置多级小型跌水坝,控制泥沙入库的同时,促使锰氧化沉淀,减少含锰物质进入库区。

(4) 建设湿地工程。在水库库尾平缓地带建设小型湿地,丰富水生植物,通过光合作用增加水体氧含量,抑制锰向水体溶解释放。

(5) 开展底泥清淤。供水条件下,根据水质锰分层含量和库区底泥锰含量情况,在不影响供水水质的前提下选择距离取水口较远的区域开展实验性清淤;不供水的条件下可开展全库清淤,减少内源污染[10]。

6. 结论

综上所述,桑那水库季节性锰超标是多种因素共同作用的结果。区域地质环境锰的高背景含量说明水库上游岩层和土壤中富含锰元素,这些富锰的岩石和土壤是水体中锰的物质来源。受到风化作用和水土流失的影响,含锰物质被不断冲刷搬运至库区并重新富集。受气温影响,水库的水位、水量和水分分层作用改变水体环境,在气温较低的时段,加速了锰的溶出和扩散,影响锰在水体中的分布和浓度变化,

最终导致水库水质出现季节性锰超标的情况。针对锰超标的情况,采用改变取水口位置、设置曝气措施、控制水土流失、建设湿地工程、开展底泥清淤等方式,可以减少富(含)锰物质进入水库,控制水体氧化还原环境,抑制锰元素向可溶态转化,降低水库的内源污染,从而确保取水口水质锰含量达标。

参考文献

- [1] 黄文丹. 我国饮用水水源地锰超标原因及防控对策研究进展[J]. 能源与环境, 2018(6): 57-58.
- [2] 王焰新. 试论铁锰的环境水文地质问题[J]. 水文地质工程地质, 1993(2): 1-5.
- [3] 彭明霞. 论水库水质铁锰超标原因分析及污染防治措施[J]. 环境与发展, 2018, 30(5): 51-53.
- [4] 廖凯, 龙彪, 刘澍, 等. 水源水库表层水体锰污染特征研究——以萍乡市山口岩水库为例[J]. 中国农村水利水电, 2021(2): 152-156.
- [5] 徐毓荣, 徐钟际, 向申, 等. 季节性缺氧水库铁、锰垂直分布规律及优化分层取水研究[J]. 环境科学学报, 1999(2): 37-42.
- [6] 陈能汪, 王德利, 鲁婷, 等. 九龙江流域地表水锰的污染来源和迁移转化机制[J]. 环境科学学报, 2018, 38(8): 2955-2964.
- [7] 邵娟. 独木水库锰监测浓度变化趋势分析[J]. 环境科学导刊, 2016, 35(S1): 69-71.
- [8] 杨晓红, 郑俊, 常艳春, 等. 中型水库水温分层的影响及分层取水建议[J]. 城镇供水, 2014(5): 62-66.
- [9] 周子振, 黄廷林, 李扬, 等. 扬水曝气器对水源水库水质改善及沉积物控制[J]. 中国环境科学, 2017, 37(1): 210-217.
- [10] 黄庆. 峙村河水库铁、锰季节性超标原因分析及防治措施[J]. 环境与发展, 2019, 31(7): 41-42.