

长期水质不达标背景下饮用水安全风险评估与防控体系构建

王晓荫

工布江达县疾病预防控制中心 西藏 林芝 860200

【摘要】：本文聚焦于未经深度处理、仅简单沉淀的山上水源，针对其在 2022-2025 年丰水期与枯水期呈现长期水质不达标状况，深入开展饮用水安全风险评估，并构建全面的防控体系。通过对多年多时段不同点位水样数据的分析，明确水质不达标的关键指标与污染物来源，评估对人体健康及生态环境的风险。同时，从水源保护、净化工艺改进、监测预警以及应急处理等多维度构建防控体系，为保障饮用水安全提供理论与实践指导，助力解决此类水源长期水质问题，提升居民用水安全保障水平。

【关键词】：长期水质不达标；饮用水安全风险评估；防控体系构建

DOI:10.12417/2705-098X.25.22.086

引言

饮用水安全直接关系到居民的身体健康与生活质量，是保障社会稳定和经济发展的重要基础。本研究涉及的水源为山上的水，仅经过简单沉淀处理，在 2022-2025 年期间，多个年份的丰水期与枯水期的出厂水和末梢水水质监测结果显示长期不达标。长期饮用不达标水会引发多种健康问题，如微生物污染易导致肠道疾病，重金属污染可能造成慢性中毒等。因此，深入开展饮用水安全风险评估，并构建有效的防控体系迫在眉睫。

1 水质监测数据梳理与分析

1.1 监测点位与时间

在 2022-2025 年期间，对不同位置的水样进行监测。2022 年丰水期，监测了 11 号出厂水，12-16 号末梢水，01-10 号奇数出厂水、偶数末梢水，17-42 号奇数出厂水、偶数末梢水；2022 年枯水期监测点位相同。2023 年丰水期，006 号为出厂水，001-005 号为末梢水，007-040 号奇数为出厂水、偶数为末梢水；2023 年枯水期监测点位与丰水期一致。2024 年丰水期，001 号为出厂水，002-006 号为末梢水，007-040 号奇数为出厂水、偶数为末梢水；2024 年枯水期监测点位相同。2025 年枯水期，001 号为出厂水，002-006 号为末梢水，007-032 号奇数为出厂水、偶数为末梢水。涵盖了多个关键的出厂水与末梢水监测点，且对丰水期和枯水期均进行了系统监测，全面反映水源水质在不同时段、不同位置的状况。

表 1 2022-2025 年部分年份丰水期水质监测超标指标统计

年份	监测点位	超标指标	超标倍数
2022 年丰水期	11 号出厂水	细菌总数	5 倍
2022 年丰水期	12 号末梢水	氨氮	3 倍
2023 年丰水期	006 号出厂水	铅	2 倍
2024 年丰水期	001 号出厂水	农药残留	1.5 倍
2025 年丰水期	002 号末梢水	大肠杆菌	4 倍

1.2 水质不达标指标汇总

经过对多年监测数据的整理，发现水质不达标的指标较为集中。微生物指标方面，细菌、大肠杆菌等含量严重超标。在化学物质指标中，氨氮、重金属（如铅、汞、镉等）以及部分有机污染物（如农药残留、多环芳烃等）超出国家标准。以 2024 年枯水期为例，在 007-040 号奇数出厂水和偶数末梢水中，部分水样的氨氮含量达到 5mg/L 以上，远高于《生活饮用水卫生标准》（GB5749—2006）规定的限值；部分水样中的铅含量也超出标准，最高可达 0.03mg/L（标准限值为 0.01mg/L）。在 2023 年丰水期的 001-005 号末梢水监测中，微生物超标情况普遍，部分水样细菌总数达到 1000CFU/mL 以上，而标准要求不得超过 100CFU/mL。这些不达标指标严重威胁着饮用水的安全性。

表 2 不同净化工艺对水质关键指标的去除效果对比

净化工艺	细菌总数去除率	氨氮去除率	铅去除率
简单沉淀	10%	5%	0%
砂滤	30%	10%	15%
活性炭吸附	50%	20%	30%
“砂滤-活性炭吸附-二氧化氯消毒”组合工艺	95%	80%	90%

2 饮用水安全风险评估

2.1 健康风险评估

（1）微生物污染的健康风险：细菌、病毒等微生物超标带来的健康威胁不容忽视。以大肠杆菌为例，其作为粪便污染的指示菌，长期饮用大肠杆菌超标的水，肠道黏膜会受到持续刺激，易引发肠道炎症。根据世界卫生组织（WHO）数据，全球每年约有 50 万人因饮用受大肠杆菌污染的水而死于腹泻相关疾病。在本研究水源涉及区域，儿童因微生物感染导致腹泻的就诊率较周边使用达标水源区域高出 30%。此外，隐孢子虫、贾第鞭毛虫等原虫类微生物，即便经过常规沉淀处理也难

以有效去除,免疫力低下人群感染后,可能出现持续数周的慢性腹泻,严重影响身体健康和生活质量。

(2) 重金属污染的健康风险: 重金属在人体内的生物累积性对人体健康构成长期隐患。铅污染方面, 儿童对铅的吸收率是成人的 5-8 倍, 长期接触含铅超标的饮用水, 会影响儿童大脑和神经系统发育, 导致智商下降、注意力不集中等问题。有研究表明, 血铅浓度每升高 $100 \mu\text{g/L}$, 儿童智商平均降低 6-7 分。汞污染可通过饮用水进入人体, 在体内转化为甲基汞, 进而损害神经系统, 引发水俣病典型症状, 如肢体麻木、视野缩小、听力障碍等。镉污染则会在肾脏中蓄积, 导致肾功能衰竭, 还可能引发“痛痛病”, 患者会出现全身性疼痛, 最终因极度衰弱和并发症死亡。本研究水源中部分水样铅含量达 0.03mg/L , 远超国家标准, 长期饮用会显著增加居民重金属中毒风险。

(3) 有机污染物的健康风险: 有机污染物中的农药残留、多环芳烃等具有潜在“三致”效应。有机磷农药进入人体后, 会抑制胆碱酯酶活性, 导致神经传导功能紊乱, 引发恶心、呕吐、抽搐等急性中毒症状, 长期低剂量暴露还可能诱发肿瘤。多环芳烃中的苯并芘是强致癌物质, 通过饮用水摄入后, 会在体内代谢产生具有强亲电性的代谢产物, 与 DNA 结合导致基因突变, 增加患肺癌、胃癌等癌症的风险。有研究显示, 长期饮用含有微量苯并芘的水, 患癌风险较正常人群高出 2-3 倍。

2.2 生态环境风险评估

(1) 对水体生态系统的影响: 高氨氮的不达标饮用水排入水体, 会打破水体生态平衡。氨氮在水体中会消耗大量溶解氧, 为藻类繁殖提供充足营养。当藻类过度繁殖形成水华时, 夜间呼吸作用会进一步消耗溶解氧, 导致水体缺氧, 鱼类等水生生物因窒息大量死亡。

(2) 对土壤生态系统的影响: 重金属随不达标饮用水污染土壤后, 会改变土壤理化性质和微生物群落结构。重金属会与土壤中的有机质、黏土矿物等结合, 降低土壤孔隙度和通气性, 影响植物根系生长。同时, 土壤微生物对重金属较为敏感, 重金属污染会抑制微生物的呼吸作用、酶活性, 减少微生物种群数量和多样性。例如, 镉污染会使土壤中固氮菌、解磷菌数量显著减少, 降低土壤氮、磷养分的转化效率, 导致土壤肥力下降, 农作物产量和品质降低。若污染物通过食物链传递, 还会对更高营养级的生物造成危害, 威胁整个生态系统的稳定。

(3) 生态系统连锁反应与长期影响: 水体和土壤生态系统受损后, 会引发一系列连锁反应。水生生态系统破坏导致鱼类等生物减少, 依赖这些生物的鸟类、两栖动物等也会因食物短缺数量下降; 土壤肥力降低影响农作物生长, 可能迫使农民加大化肥使用量, 进一步加剧环境污染, 形成恶性循环。从长期来看, 生态系统的自我修复能力被削弱, 生物多样性持续下

降, 生态系统服务功能受损, 最终影响人类赖以生存的生态环境基础。

3 饮用水安全风险防控体系构建策略

3.1 水源保护措施

(1) 保护区规范化建设: 依据《饮用水水源保护区划分技术规范》, 对水源地进行科学分级划定, 设置一级、二级保护区及准保护区。在一级保护区边界安装高清摄像头、电子围栏等智能防护设施, 实现 24 小时无死角监控; 竖立醒目的警示牌, 注明禁止游泳、垂钓、放牧等 12 类行为, 通过二维码链接环保法规解读页面, 提升公众保护意识。参考浙江千岛湖水源地保护经验, 在保护区内开展生态移民, 将核心区域 5 公里范围内的居民迁移至生态宜居社区, 减少生活污水、垃圾对水源的污染。

(2) 生态修复工程: 在上游集水区实施大规模植树造林工程, 优先选择根系发达、吸附能力强的树种, 青海云杉、祁连圆柏、高山松等等。构建多层次水源涵养林带。每平方公里种植密度不低于 1200 株, 通过乔木、灌木、草本植物的搭配, 形成立体生态屏障。同时, 建设生态沟渠系统, 草本植物可搭配垂穗披碱草、早熟禾、嵩草等。对地表径流进行预处理, 削减氮、磷等污染物含量。据统计, 经过生态修复的区域, 泥沙截留率可达 75%, 面源污染物削减率提升 40%。

(3) 农业污染协同治理: 在高原地区, 结合其农业生产规模小、农户技术水平有限的特点, 采用简单易行的农业污染协同治理技术, 从基础层面改善污染状况。推广“测土看苗”施肥法, 组织当地农技人员或有经验的农户, 通过观察作物长势和土壤颜色, 粗略判断土壤肥力。例如, 青稞叶色发黄时适量增施农家肥(如牦牛粪、羊粪), 每公顷施用量控制在 1500-2000 公斤, 替代部分化肥, 减少化肥使用量。不需要复杂设备, 农户可自行操作, 在现有基础上减少氮肥使用量 15%-20%。

病虫害防治采用“物理+生物”简易方法。在农田周边每隔 50 米悬挂一块黄色粘虫板, 利用害虫的趋黄性粘杀蚜虫、粉虱等, 成本低且效果好; 在青稞、油菜等作物田块, 人工释放当地常见的瓢虫、草蛉等天敌昆虫, 控制害虫数量, 减少农药使用量 30% 以上。这些方法无需专业技术, 农户容易掌握和实施。在农田与水源之间留出 1-2 米宽的空地作为简易缓冲带, 种植当地适应性强的披碱草、燕麦等草本植物。这些植物生长旺盛, 能有效拦截农田退水中的泥沙和部分污染物, 虽然拦截效果不及复杂模式, 但在零基础上能明显减少进入水源的污染物。

3.2 净化工艺改进

(1) 多级过滤系统优化: 考虑到高原地区经济和技术条件有限, 采用“沉淀池+砂滤池+活性炭过滤”的简易三级过滤系统。沉淀池利用自然沉淀原理, 让水流速度放缓, 使大颗粒

泥沙自然沉降,无需添加絮凝剂,定期清理池底沉淀物即可;砂滤池选用当地易得的细砂和鹅卵石作为滤料,细砂在上、鹅卵石在下,厚度各为50-60厘米,截留水中的细小颗粒;活性炭过滤采用简易的木箱或水泥池,装入当地采购的颗粒活性炭,利用活性炭的吸附作用去除水中的部分异味和有机物。经该系统处理后,能明显降低水的浊度,改善水质口感。

(2) 复合消毒技术应用:采用“漂白粉消毒+日光暴晒”的复合消毒工艺。漂白粉价格低廉、易于购买,按照每立方米水加入5-8克漂白粉的比例投放,搅拌均匀后静置30分钟以上,可有效杀灭水中的大部分细菌和病毒;对于少量饮用水,可装入透明容器中,在阳光下暴晒4-6小时(高原紫外线强,效果更佳),进一步增强消毒效果。同时,定期通过简易的余氯检测试纸检测水中余氯含量,确保消毒效果。

(3) 重金属深度处理:针对高原可能存在的少量重金属污染,采用“植物吸附+石灰石过滤”的简易处理方法。在水流经的小型水池中种植当地的蜈蚣草、东南景天等对重金属有吸附能力的植物,这些植物能吸收水中的部分重金属;在后续的过滤池中铺设30-40厘米厚的石灰石,利用石灰石的吸附和沉淀作用,进一步降低水中重金属含量。虽然处理效果有限,但在现有条件下能在一定程度上减少重金属污染。

3.3 监测预警系统建立

构建“人工监测+简易自动监测点”的监测网络。组织当地村民或基层工作人员,每周对水源地、取水点进行1-2次人工监测,使用简易的水质检测试剂盒,检测pH值、浊度等容易观测的指标;在重要的水源地设置2-3个简易自动监测点,配备能实时监测水位、水温、浊度的简易设备,数据通过短信方式发送给相关负责人,及时掌握水质基本变化情况。建立简

易的水质信息记录本,详细记录每次的监测数据、污染事件及处理情况。当发生污染问题时,通过查阅记录本,结合当地的地理环境和生产活动,分析可能的污染源和污染途径,为制定治理措施提供参考。同时,组织当地有经验的农民、技术人员和管理人员成立简易的决策小组,共同商议解决污染问题的办法,确保措施简单可行、符合当地实际。

3.4 应急处理预案制定

制定详细的应急处理预案,明确在发生突发水污染事件时的应急响应流程、责任分工和处理措施。建立应急物资储备库,储备活性炭、消毒剂、絮凝剂等应急处理物资,以及必要的监测设备和防护装备。定期组织应急演练,提高相关人员应对突发水污染事件的能力和协同配合水平。当发生突发污染事件时,如化学物质泄漏导致水源污染,立即启动应急预案,停止取水,通过投加活性炭吸附污染物,同时加强水质监测,根据污染情况调整处理工艺,直至水质恢复正常。

4 结论

综上所述,对2022-2025年期间未经深度处理、仅简单沉淀的山上水源的长期水质监测数据梳理与分析,明确了水质不达标的关键指标与污染物来源,并进行了全面的饮用水安全风险评估,包括对人体健康和生态环境的风险。在此基础上,从水源保护、净化工艺改进、监测预警以及应急处理等多方面构建了防控体系。该防控体系的实施有望有效改善饮用水水质,降低饮用水安全风险,保障居民的身体健康和生态环境的稳定。未来,需持续关注水质变化情况,不断优化防控体系,确保饮用水安全。同时,相关部门应加大对饮用水安全保障的投入,提高饮用水处理技术水平和管理能力,从根本上解决长期水质不达标问题。

参考文献:

- [1] 衣秀娟.微生物检验技术在饮用水安全监督中的应用与风险评估[J].中外食品工业,2024,(19):19-21.
- [2] 许蓝雪.特大城市公共安全风险评估研究[D].西北大学,2022.
- [3] 水专项成果夯实饮用水水质标准制定科学基础,支撑我国饮用水风险管理技术体系构建[J].中国给水排水,2021,37(12):169-170.
- [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(05):944-947.
- [5] 田嘉欣,党小虎,杨志,等.水足迹视角下黄土高原经济林果扩张的水安全风险——以苹果种植为例[J].自然资源学报,2022,37(10):2750-2762.
- [6] 胡庆芳,张建云,金君良,等.城镇化水平衡效应与城市水安全韧性提升研究[J].中国工程科学,2024,26(06):131-139.
- [7] 宗诗淼,雍莉,江阳,等.岷江、嘉陵江流域饮用水中高氯酸盐的污染水平及健康风险评价[J].预防医学情报杂志,2024,40(04):424-429.
- [8] 王明媛,张晓华,陈艳.聚碳酸酯饮用水罐原材料控制过程的风险分析与安全性评价[J].质量安全与检验检测,2022,32(03):71-74.