

工程实例

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.12.017

# 高密度建成区水源地型水库水质保障策略与实效

唐颖栋<sup>1</sup>, 赵思远<sup>1,2</sup>, 谭辉<sup>3</sup>, 王健<sup>4</sup>, 马珺<sup>3</sup>, 董武<sup>1</sup>,  
李佳宁<sup>1</sup>

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 2. 浙江大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 311122; 3. 深圳市宝安区水务局, 广东 深圳 518036; 4. 深圳市水务规划设计院股份有限公司, 广东 深圳 518001)

**摘要:** 饮用水水源地型水库水质保障与城市高密度快速建设间的冲突是影响周边高密度建成区可持续高质量发展的关键制约因素。以深圳铁岗-石岩水库水源地保护区为研究对象, 分析了该区域水质安全风险现状, 提出了“物理隔离-分区施策-生态修复-调蓄补水”的水质保障策略, 并针对实际工程难点提出相应的解决方案。经过治理, 铁岗-石岩水库入库面源污染得到根本控制, 水质较整治前显著改善, 可为国内水源地型水库水质保障提供实践参考。

**关键词:** 饮用水水源地; 水库; 水质保障; 高密度建成区

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)12-0103-09

## Water Quality Assurance Strategies and Effects of Drinking Water Source Reservoirs in High-density Built-up Areas

TANG Ying-dong<sup>1</sup>, ZHAO Si-yuan<sup>1,2</sup>, TAN Hui<sup>3</sup>, WANG Jian<sup>4</sup>, MA Jun<sup>3</sup>,  
DONG Wu<sup>1</sup>, LI Jia-ning<sup>1</sup>

(1. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China;  
2. College of Environmental & Resource Sciences of Zhejiang University, Hangzhou 311122, China;  
3. Bao'an Water Authority of Shenzhen Municipality, Shenzhen 518036, China;  
4. Shenzhen Water Planning and Design Institute Co. Ltd., Shenzhen 518001, China)

**Abstract:** The conflict between water quality assurance of drinking water source reservoirs and urban high-density rapid construction is the key constraint affecting the sustainable and high-quality development of surrounding high-density built-up areas. Taking the Tiegang-Shiyan Reservoir in Shenzhen water source protection area as the research object, the current situation of water quality safety risks in this area is analyzed, the water quality assurance strategy of “physical isolation, zoned policy, ecological restoration, water storage and regulation” is innovatively proposed, and series of corresponding solutions to practical engineering difficulties are discussed. After the above treatment, the non-point source pollution to the Tiegang-Shiyan Reservoir has been fundamentally controlled, and the water quality has been significantly improved compared to that before the remediation, which could provide

基金项目: 国家重点研发计划“战略国际科技创新合作”重点专项(SQ2018YFE020049)

通信作者: 赵思远 E-mail: zhao\_sy3@hdec.com

practical reference for water quality assurance of domestic water source reservoirs.

**Key words:** drinking water source area; reservoir; water quality assurance; high-density built-up area

自《水污染防治行动计划》实施以来,水源地保护取得了一系列重要进展。2018年,生态环境部联合水利部制定了《全国集中式饮用水水源地环境保护专项行动方案》,将集中式饮用水水源地环境整治列为全面打好污染防治攻坚战“七大标志性工程”之一。国家“十四五”规划仍将“加强重点水源建设、加强水源涵养区保护修复”作为重要任务;广东省水利发展“十四五”规划提出,到2025年,集中式饮用水源水质达标率为100%。各地、各级部门对集中式饮用水水源地保护开展大量专项排查与治理工作,但仍然面临不小的挑战<sup>[1]</sup>。

南方高密度建成区饮用水源地型水库以雨源性湖库为主,主要水源来自境外调水与境内降雨地表径流,水环境容量偏小。随着经济社会的飞速发展,饮用水水源地型水库流域内建成区人口与工业企业规模突增,对水库水质安全威胁日益加剧。然而目前,以流域尺度对高密度建成区饮用水水源地型水库进行水质保障的工程与研究相对缺乏,城市高密度快速建设与水源地湖库保护的冲突仍是影响该区域可持续高质量发展的关键制约因素。

选择深圳铁岗-石岩水库为研究对象,以水质安全风险现状分析为基础,探究南方高密度建成区饮用水水源地型水库的水质保障策略,并以实际工程为例分析施工重、难点,以期国内类似水源地水质安全保障与生态健康恢复提供实践参考。

## 1 研究区域概况

铁岗-石岩水库是兼具供水、防洪等综合效益的中型水利枢纽工程,1992年被深圳市联合划定为铁岗-石岩水库饮用水水源保护区,涉及宝安区与光明区15个街道、近700万人的供水安全问题。目前,水库原水主要通过东部供水工程从东江引入,年均供水量超过 $4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

铁岗-石岩水库由铁岗水库、石岩水库及将二者连接的石岩排洪渠组成(见图1)。其中,铁岗水库位于宝安区西乡街道,控制流域面积为 $64.0 \text{ km}^2$ ,设计防洪标准为100年一遇洪水。铁岗水库入库支流包括九围河、应人石河、九龙坑河以及石岩排洪

渠,水库下游泄洪通道主要为铁岗排洪渠以及西乡河。石岩水库位于宝安区石岩街道西北角,水库距离石岩街道建城区不足2 km。石岩水库控制流域面积为 $44.77 \text{ km}^2$ ,设计防洪标准为100年一遇洪水,其入库支流包括白坑窝、上屋河、石岩河以及天圳河,水库下游泄洪通道主要为石岩排洪渠与茅洲河<sup>[2]</sup>。铁岗-石岩水库的水质健康不仅关乎周边居民与生产企业的用水安全,同样会对如茅洲河等下游河道的生态健康产生重要影响。

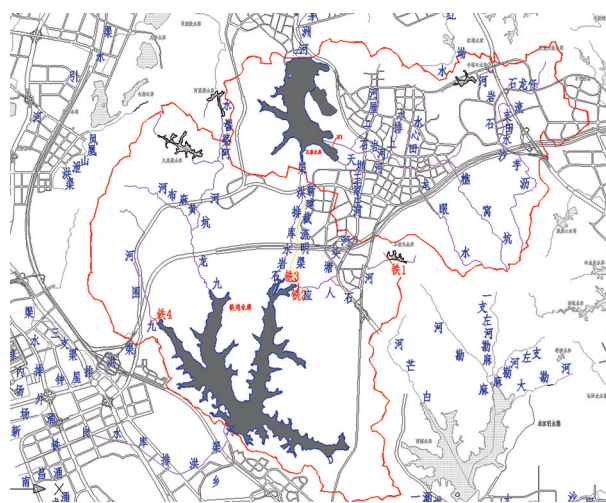


图1 铁岗-石岩水库地理位置与流域水系分布

Fig.1 Geographical location and river distribution of Tiegang-Shiyan Reservoir

本研究区域属亚热带海洋性季风气候,温和湿润,雨量充沛。降雨年内分配极不均匀,汛期(4月—9月)降雨量大而集中,约占全年降雨总量的80%,且降雨强度大,多以暴雨(台风雨或锋面雨)形式出现,易形成局部暴雨和洪涝灾害。

## 2 水质安全风险分析

### 2.1 水质本底条件

通过对深圳市生态环境局发布的《深圳集中式饮用水水源水质状况报告》(<http://www.baoan.gov.cn/xxgk/zdly/hjbh/sysz/>)汇总统计(见图2)发现,2016年—2018年铁岗-石岩水库整体水质较不稳定,其中铁岗水库水质普遍优于石岩水库,但石岩水库水质更加稳定。根据《深圳市饮用水水源保护区管理规

定》要求,深圳市饮用水源地一级保护区的水质不得低于国家地表水Ⅱ类标准。2016年—2018年,铁岗水库各年水质达标率(Ⅱ类水标准及以上)分别为30%、75%与83%;而石岩水库仅2018年部分月份水质达标(占全年33%),个别月份出现Ⅳ类水质情况。

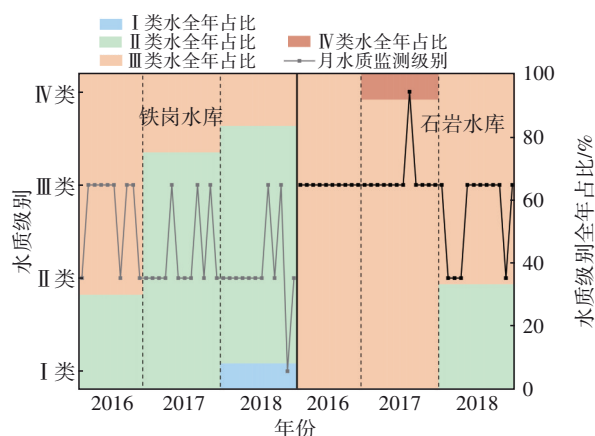


图2 2016年—2018年铁岗-石岩水库水质级别监测结果

Fig.2 Monitoring results of water quality for Tiegang-Shiyan Reservoir during 2016–2018

## 2.2 高密度建成区水环境污染风险

铁岗-石岩水库是保障深圳西部片区用水需求最主要的供水水库。受部分历史问题的影响,该水源地保护区内存在一定的建成区域并随经济发展逐步扩张<sup>[2]</sup>。深圳经济特区成立之初(1980年),乡镇建成区仅占本研究区总面积的2%,主要分布于石岩河附近。随着经济的快速发展,乡镇建成区占比不断增大,于2010年达到25%并维持稳定,形成了石岩河-应人石河流域、九围河流域以及麻布-黄麻布-料坑片区三大乡镇建成区分布区域。

铁岗-石岩水库上游流域范围内,建成区面积大、交通流量大,沿库截污工程缺乏应对突发事件的能力,外部污染源易通过地面径流直接进入水库,影响水库水质。经现场勘查发现,九围河及应人石河等河道入库口区域雨天溢流水体存在面源污染,造成库尾区域水质不佳,甚至应人石河因长期存在此种情况,致使河口淤积,现场可嗅轻微臭味。

铁岗-石岩水库流域的变迁见证了深圳市人口从300万人到突破1 300万人、年均GDP从约2亿元到突破2.8万亿元的迅猛发展,见证了深圳市“农业经济”向“服务经济”超常转型的世界奇迹。然而,

“先发展、后保护”的历史问题也极大地威胁着铁岗-石岩水库水源地保护区的水质安全。根据《中华人民共和国水污染防治法》要求,饮用水水源地一、二级保护区已建成排污建设项目应责令拆除或关闭。截至2018年,铁岗-石岩水库一、二级水源保护区内常住人口54.59万人,居民建筑10 174栋,各类工业企业3 689家,创造年工业产值共计1 346.53亿元,占宝安区年工业产值的22.3%。城市高密度快速建设与水源地湖库保护的冲突已成为影响水库周边区域可持续高质量发展的关键制约因素<sup>[3]</sup>。

## 3 铁岗-石岩水库水源地水质保障措施

### 3.1 已有措施梳理及问题分析

截至2018年,铁岗-石岩水库水源地保护区已有或在建主要水质保障措施分布见图3,其规模与改善情况见表1。经梳理发现,已实施工程多为片区管网、河道消黑工程等,水源地整治工程极少。



图3 铁岗-石岩水库水源地保护区已有水质保障措施

Fig.3 Existing water quality assurance measures for the water source protection area of Tiegang-Shiyan Reservoir

九围河、应人石河水环境综合整治工程及石岩水库截污工程等水质改善与保障工程的相继实施,为铁岗-石岩水库入库污染负荷控制提供了一定程度的保障。水库汇水面积内的旱季污水通过市政污水管网实现源头与途中控制,部分初小雨通过截污与调蓄设施实现面源污染控制<sup>[4]</sup>。但是,现状水质保障措施仍以实现“旱季控污、雨污分流”为目标,应对雨季溢流与突发事件能力偏弱,仅能保证石岩片区建成区20 mm以内、铁岗(九围片区)7 mm

的降雨调蓄转输出库,超标的溢流雨水仍然入库造成污染<sup>[5]</sup>。另一方面,现有措施以居民生活、企业生产用水保障为出发点,忽略了流域尺度<sup>[6]</sup>的水资源调度与利用。

表1 铁岗-石岩水库水源地保护区已有水质保障措施规模及改善情况

Tab.1 Scale and improvement of existing water quality assurance measures in the water source protection area of Tiegang-Shiyan Reservoir

项目名称	起始时间	防洪工程	水质改善工程
石岩水库截污工程	2006年—2011年		截流标准:20 mm 初小雨;东岸截排系统:总口截污闸对支流受污染水体进行截流,将20 mm 内的初小雨通过排水明渠、调蓄库及输水隧道排入茅洲河截污箱涵,最终进入市政污水系统;西岸截排系统:通过新建2座前置库湿地,利用分质排放、生物净化的方式对入库水进行处理
石岩河综合整治工程	2017年—	50年一遇	旱季漏排污水以2倍截流倍数转输至市政污水系统;流域范围内建成区7 mm 内的初雨通过截污系统(包括截污闸)弃流至市政污水系统
九围河水环境整治工程	2014年—	50年一遇	100% 的旱季漏排污水( $0.85\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ )通过沿河截污系统提升至市政污水系统;流域范围内建成区 $\leq 7\text{ mm}$ 的初雨( $1.77\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ )通过DN1 800隧洞转输至钟屋排洪渠,不进入铁岗水库
应人石河综合整治工程	2015年—	50年一遇(干流) 20年一遇(支流及截洪沟)	旱季漏排污水以4倍截流倍数转输至市政污水系统;流域范围内建成区 $\leq 7\text{ mm}$ 的初雨通过截污系统及上游分散处理设施弃流至市政污水系统
宝安四大片区正本清源工程	2018年—		通过对建筑立管的改造以及小区内雨污分流管网的完善,建成完整的污水收集体系,雨污水混接改造率、污水收集率均提升到95% 以上
宝安四大片区全面消黑工程	2019年—		通过“厂、网、源、河”四方面的措施实现雨污水管分流改造,正本清源、河道整治工程。从源头遏制污水,实现2019年全面消除黑臭水体总目标

3.2 水质保障创新治理策略

针对铁岗-石岩水库所面临的水环境污染风险及现有保障措施的不足,本方案在汇水区已建、在建及拟建工程基础上提出了“物理隔离-分区施策-生态修复-调蓄补水”的创新治理策略,将铁岗-石岩水库流域建设成水源地保护、水环境治理、水生态修复和水资源利用的标杆区,实现“让保护更严格、让发展更充分”的水质保障目标。

3.2.1 物理隔离

利用石岩河、应人石河、九围河入石岩-铁岗水库库尾形成生态库,通过现状河道将建成区雨洪水引入生态库进行滞蓄。在生态库与主库体间新建生态堤,切断不达标水体与铁岗-石岩水库主库的水力联系,从而在建成区与饮用水水库之间形成物理隔离,避免不达标水进入饮用水水库。

3.2.2 分区施策

建成区雨水是污染源控制的重点,应与饮用水水库隔离;而生态区雨水则是无污染的清洁水源,应作为饮用水源直接入库。如此情形与水源区范围调整的相关原则与思路类似,所以参考水源区范围调整依据之一的汇水条件发生变化原则,通过工程措施使水库汇水条件发生变化,避免建成区雨水入库,是唯一适用于本项目的水库水质保障方向。基于上述分析,提出分区施策的技术方案,其实施路线如图4所示。

将各子流域划分为生态区和建成区,通过新建清水截流沟及转输隧洞,将生态区清洁雨水与建成区雨水进行剥离,使清洁雨水通过清水截流沟转输进入饮用水水库,实现饮用水资源收集;建成区产生的不达标雨水则通过汇流河道汇入人工湿地并最终进入生态库。生态库通过对不达标雨水资源

的净化与调蓄,配合传输隧道及补水系统,实现对雨洪水资源的合理配置与利用。

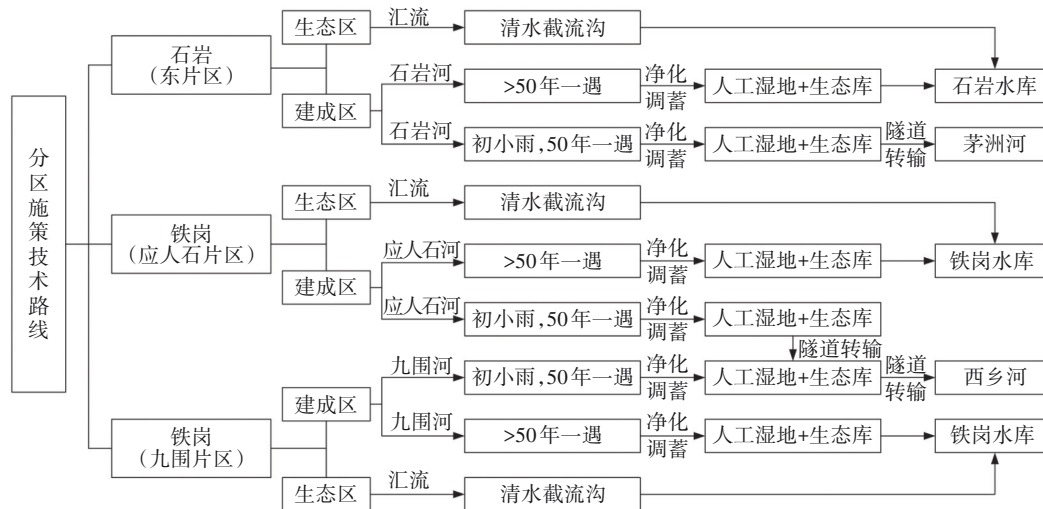


图4 铁岗-石岩水库水源地水质保障措施分区施策技术路线

Fig.4 Technical route for regional implementation of water quality assurance measures in the water source area of Tiegang-Shiyan Reservoir

### 3.2.3 生态修复

通过人工和自然的修复手段,根据修复进程不断调整及改进生态修复方案,使之保持弹性指标,形成相对稳定的动植物群落。水库的各种建筑物在设计时应与自然绿化协调,建设生态景观是为了辅助拦截进入生态库的污水并进行水体自净循环,也为了防止污水滞留发黑发臭。对各河口生态库分别进行生态主题营造,形成“一库一景”的特色化生态景观。为在生态库区实现“三季有花、四季有景”的绿化效果,分别在应人石河生态库、九围河生态库种植特色乔木景观林带。

### 3.2.4 调蓄补水

截流建成区不达标雨水引入人工湿地,利用生态技术对水中污染物进行深度削减,净化后的水体溢流进入生态库进行调蓄,通过闸门控制分时排放,为下游河道补充生态基流,同时新建抽水泵站,将生态库水体加压向上游河道、暗涵、小湖塘等补水。

## 4 水质保障工程重难点分析

以铁岗-石岩水库水质保障工程(二期)为案例,对高密度建成区水库型水源地水质保障过程中存在的工程重点、难点及相应的解决方案进一步探讨。

### 4.1 水库调度系统与方法

生态库是水质保障策略中的关键环节。一方

面,生态库配合生态堤等工程接纳了流域内主要面源污染负荷,为主库区水质保障创造了物理隔离的条件;另一方面,生态库能够对建成区收集雨水形成调蓄,并配合输水隧洞对周边河道等水体形成补给,发挥防洪度汛、生态补水的重要作用。铁岗-石岩水库水质保障工程(二期)巧妙地以2条转输隧洞将应人石河口生态库、九围河口生态库及下游的西乡河相连通,配合生态库与铁岗水库主库间的连通闸,科学地构建了水库调度系统。

在确保挡水、泄水建筑物安全的前提下,避免下游洪水灾害;在满足防洪要求、入库水质达标的情况下,尽量利用生态库水资源,最大限度地发挥生态库的综合效益。参照“地表水Ⅲ类水质标准下的降雨标准”和“片区入库河流防洪标准”两个标准控制因素,并取两者中的高值作为设计标准的原则,本工程生态库及转输隧洞的设计标准为50年一遇,应人石河口生态库与九围河口生态库防洪限制水位标准如表2所示。

表2 生态库防洪限制水位标准

Tab.2 Ecological reservoir flood control limit water level standard m

项 目	景观水位	汛限水位 (起调水位)	预警水位
应人石河口生态库	24.0	21.0	28.0
九围河口生态库	23.0	20.0	24.9

为保证下游河道安全,当入库洪水小于50年一遇时,九围排出隧洞正常向下游西乡河下泄;当入库洪水大于50年一遇时,九围排出隧洞关闸,不向下游泄流。

生态库所在流域暴雨洪水在汛期具有明显季节性变化规律,可实行分期防洪调度方式。因此,采用分期动态汛限水位对生态库及转输隧洞水位进行控制,具体调度方案如图5所示。

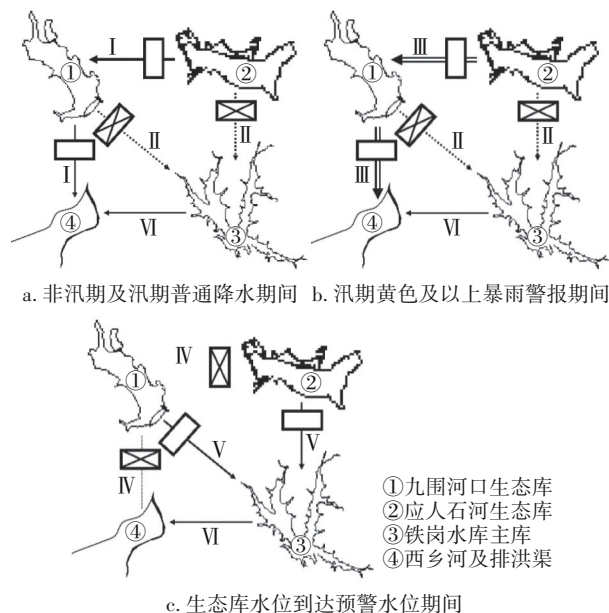


图5 水库调度系统运行示意

Fig.5 Operating schematic diagram of reservoir dispatching system

① 非汛期(11月—次年3月)水库调度方案如图5(a)所示。应人石河—九围河生态库转输隧洞与九围河生态库—西乡河转输隧洞开闸,闸控保证生态库区水位不超过相应限制水位(I,对应图5中措施I,下同);生态库与铁岗水库主库间生态堤连通闸保持关闭,当生态库水质达到Ⅲ类水标准,且生态库水位高于铁岗水库水位,开启水闸(II)。

② 汛期(4月—10月)无降水及普通降水期间,水库调度方案与非汛期调度方案保持一致(I+II),如图5(a)所示。

③ 汛期(4月—10月)气象部门发布黄色及以上暴雨警报期间,水库调度方案如图5(b)所示。应人石河—九围河生态库转输隧洞与九围河生态库—西乡河转输隧洞开闸,提前预泄至生态库汛限水位(III);生态库与铁岗水库主库间生态堤连通闸保持关闭,当生态库水质达到Ⅲ类水标准,且生态库水

位高于铁岗水库水位时,开启水闸(II)。

④ 当生态库水位到达预警水位时,水库调度方案如图5(c)所示。应人石河—九围河生态库转输隧洞与九围河生态库—西乡河转输隧洞进水闸关闭(IV);当生态库水位高于主库水位时,开启生态堤连通闸,生态库水位低于主库水位时,生态堤连通闸保持关闭(V)。

⑤ 铁岗水库向西乡河调度方案仍以原方案进行调度,即当铁岗水库水位为26.3~28.0 m时,下泄流量为50 m<sup>3</sup>/s;水位为28.0~28.6 m时,下泄流量为100 m<sup>3</sup>/s;水位为28.6~28.8 m时,下泄流量为200 m<sup>3</sup>/s;水位超过28.8 m时,水闸全开(VI)。

## 4.2 施工期水质保障

铁岗—石岩水库水质保障工程(二期)实施了应人石河生态库、九围河生态库、环库转输通道、铁岗排出隧洞和生态覆盖绿等工程。施工期间大量人员机械进入饮用水源地一级保护隔离区,各项施工作业密集展开,水库水质风险显著增加。水源地保护区内生态环境及物种多样性基底条件普遍较好,因此施工期间对治理水体的水质保障措施在本工程中尤为重要。

对施工过程中可能出现的潜在污染风险提出了如下对策措施。

① 生态堤围堰施工引起的库区底泥扰动迁移风险

钢板桩围堰施工前至工程结束全周期,在围堰下游侧设置过滤带,拦截施工期间产生的泥沙颗粒,同时可以围截潜在的事故性溢油污染。布设3道过滤带,即从上游至下游依次采用土工布+围油栏、围油栏、围油栏布设,每道间隔5~10 m。在构筑钢板桩围堰时,选用液压振动钢板桩机代替传统冲击打桩机械,减轻底泥扰动,钢板桩之间的锁口严禁施用油脂。在非雨季进行钢板桩围堰施工,以防河口入库径流裹挟扰动的泥沙迁移至更大范围。在钢板桩施工及拆除过程中,如需使用平台作业船,则应在过滤带的上游侧作业,且平台船定位下桩作业需严格按照相关规范,减少下桩引起的泥沙扰动。

② 库尾半幅导流阶段的各作业面水土流失入库风险

采用围挡—植草沟—沉砂池系统(见图6)以应对各作业面水土流失入库的风险。

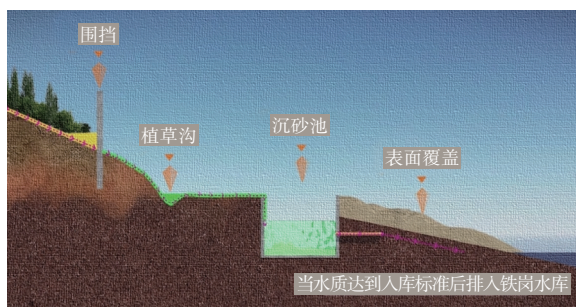


图6 防止作业面水土流失入库系统示意

Fig.6 Schematic diagram of reservoir entry system for preventing soil and water loss of working surface

针对各施工情况,具体方案如下:a. 环库路施工中,作业面一侧高程较高处设置围挡与植草沟(排水沟),每隔一段距离设置一处沉砂池,定期及暴雨前后对排水沟和沉砂池进行疏通和清淤;b. 在截流渠施工中,导排水需进入沉淀池沉淀;c. 在管涵施工中明挖作业须沿箱涵区两侧设置施工围挡,两侧设置沙袋挡护,盾构作业需在井口周围设置排水沟、连接沉砂池;d. 临时堆土区及作业面裸土雨季采用土工布覆盖、周边沙袋围合,在临时堆土区周边布设排水沟,排水沟沿线布设沉砂池。另外,成立雨季施工管理小组,对可能发生的重大雨情、汛情等气象信息及时掌握,及时采取覆盖、拦挡等应急措施。

③ 基坑排水作业中含泥沙、油污水外溢入库风险

施工期间,所有需排放入库的基坑排水需先进入沉砂池进行预处理。分别在应人石生态库、九围河生态库、生态库连接管涵和排出隧洞施工范围内,各设置一处基坑排水集中沉砂池。对沉砂池出口水质进行检测,达到地表水准Ⅳ类(TN除外)标准后,方可排放入库。当沉砂池排水水质无法达到入库标准时,应沉砂后输送至附近市政污水管网接入点。

④ 施工过程中淤泥晾晒、机械设备维修、汽车冲洗废水/余水入库污染风险

淤泥晾晒场地周边设置排水沟,连接沉淀池,沉淀池出口处设置水质监测点,清淤工程期间由第三方机构每日采样,达到地表水准Ⅳ类(TN除外)标准后方可排放入库;不达标的余水排入市政污水管网。选择次新机械入场,在施工过程中加强对机械设备的检修,以防止设备事故性漏油现象的发生;

施工机械设备应在库区外专业维修点维修保养,避免车辆机械油污释放。另外,机械设备维修和汽车冲洗产生少量废水,废水中主要为悬浮物和石油类,因此洗车场不得设立在水源地一级保护区范围内,并通过设立围油栏的沉砂池,将施工废水经沉淀、油水分离等措施处理后用于场地外围洒水抑尘。

### 4.3 水利转输隧洞建设

铁岗-石岩水库水质保障工程(二期)涉及较多的水利转输通道,若采用明渠方式布置,将占用大量城市用地,同时不可避免地占用林地空间,一方面,易对自然生境与动物栖息地造成破坏,危害生态环境健康;另一方面,城市用地与林地指标的占用为施工准许审批过程增加了难度。为突破上述困境,结合埋设深度、地质条件、周边情况等,水利转输通道采用明渠、顶管、箱涵、隧洞等结构相结合的方式,从而大幅减少地面用地占用,减少林地空间占用。

根据地勘结果发现,环库地层变化大,地下水位高,地质条件较复杂,软岩中间穿插硬岩,因此,该工程创新地采用了“盾构+矿山法综合施工工艺”,选用复合式土压平衡盾构机,并以盾构机空推经过矿山法洞段,大幅减少了盾构机转场、吊装、拼装时间。在转输隧洞实际施工过程中,为解决实际难题,该工程实现了如下工法创新:

① 盾构始发反力架改进。常规盾构始发反力架推进反力作用于主体底板上,施工期需调整主体结构施工顺序,占用工期较长,且需要较大的施工空间。本项目将反力转移至主体侧墙结构上,保证了在受限空间内迅速完成反力架的安装与加固,大大缩短了施工工期,减少了工作井尺寸。

② 隧洞衬砌结构优化。盾构段隧洞原设计采用20 cm钢筋混凝土进行防腐,经过结构计算及国内类似工程案例调研,优化为改性环氧涂层进行防腐,但对于地质条件较差、隧洞埋深较浅区段保留20 cm衬砌混凝土防腐,大大减少了衬砌混凝土施工难度并节约了施工工期。

③ 模板安装工艺改良。常规模板安装工艺无法准确定位,易形成模板错缝,安装时间久,安全风险大。本工程经过试验调试,在其背部增加一个楔形结构,便于模板安装时快速定位,减少作业人员调整工作量,有效降低模板微调时对模板的破

坏,同时降低高空作业潜在的安全风险。

## 5 工程效果

根据深圳市集中式饮用水水源水质状况报告,2019年—2021年铁岗-石岩水库水质月检测情况如图7所示。

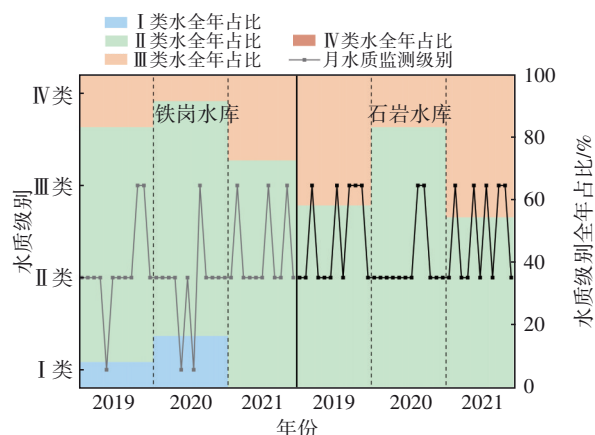


图7 2019年—2021年铁岗-石岩水库水质级别监测结果

Fig.7 Monitoring results of water quality of Tiegang-Shiyan Reservoir during 2019-2021

石岩河口生态堤于2019年初完成围堰合龙后,石岩河流域尚未发生过雨后河水进入饮用水水源水库的情况,入库面源污染初步得到控制,水库水质较整治前(见图2)得到显著提升,水质达到II类水的月份占比由11%提高至66%。应人石河口生态堤、九围河口生态堤围堰尚未合龙,虽未完全阻止雨后河水进入饮用水水源水库,但工程拦污带的设置对水质提升产生了一定的作用,水质达到II类水及以上的月份占比由65%提高至83%。

## 6 结论与展望

饮用水水源地保护是饮用水安全保障中至关重要的环节,是党中央、国务院明确的污染防治攻坚战“七大标志性战役”之一。以深圳铁岗-石岩水库水源地保护区为研究对象,分析了该区域水质安全保障面临的水环境污染风险,提出了“物理隔离-分区施策-生态修复-调蓄补水”的高密度建成区雨源性水库水源地水质保障策略,并针对实际工程难题提出相应的解决方案。经过治理,铁岗-石岩水库入库面源污染得到根本控制,水质较整治前显著改善,保障了周边近700万人的饮用水水质安全。

① 具备系统思维——以流域尺度分区统筹饮用水水源地水质保障

从水污染治理到水生态健康恢复,本质上都是

从无序到有序过程的转变。高密度建成区饮用水水源地污染来源复杂,一方面受到流域内城镇、工业企业产生的点面源污染的威胁,另一方面吸纳境外调水存在潜在的污染负荷。因此,应基于系统思维,以流域尺度开展水质保障策略研究,梳理水源地水源、污染源、集水区域(自然集水与市政管网集水)、汇水路径(自然河道与管网路线)以及区域自然人文条件等要素,科学、系统地分区施策,做到由表及里、对症下药。

② 兼顾水源地保护与高密度建成区共同发展

高密度建成区水库型水源地水质保障工程常需面临“先保护、后发展”所带来的历史遗留问题。水库水源地保护范围内高密度建成区的征拆工作将产生极大的财政补偿压力,影响当地经济发展与社会稳定。为有效化解水源地保护和高密度建成区发展之间的矛盾,一方面,可通过新建生态堤、生态库、截污沟等工程措施实现对建成区污染源的物理隔离;另一方面,结合新建物理隔离工程措施,优化调整原水源地保护范围,在保留原有住宅企业的同时进一步释放土地利用价值。

③ 注重施工期水质安全与生态健康保障

大量人员机械进入饮用水水源地一级保护区内,各项施工作业密集展开,水库水质污染及生态破坏风险显著增加。一方面,工程选址尽量避让林木区域,为野生动植物保留必要的生存空间,同时结合原生态基底优化设计,减少对原生态的破坏。另一方面,应同步密切关注一级水源保护区范围内施工作业水质指标变化,开展饮用水水源地水源保护工程施工期水质保障措施及其监测管控方法关键技术研究。

## 参考文献:

- [1] 段文秀,朱广伟,刘俊杰,等. 水源型水库水生态安全评价方法探索[J]. 中国环境科学, 2020, 40(9): 4135-4145.  
DUAN Wenxiu, ZHU Guangwei, LIU Junjie, et al. An evaluation method for ecological security of water resource reservoirs [J]. China Environmental Science, 2020, 40(9): 4135-4145(in Chinese).
- [2] 王增钦. 深圳市城市水库水源地保护与片区协调发展方式探索[J]. 水利规划与设计, 2021(3): 53-56.

- WANG Zengqin. Exploration on the coordinated development mode of urban reservoir water source protection and area in Shenzhen City [J]. Water Resource Planning and Design, 2021 (3): 53-56 (in Chinese).
- [3] 周芬,卢晓燕. 浙江省水库饮用水源地安全保障措施研究[J]. 中国农村水利水电, 2009(8): 37-40.
- ZHOU Fen, LU Xiaoyan. Research on the safety guarantee measures of reservoir drinking water sources in Zhejiang Province [J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(8): 37-40(in Chinese).
- [4] 楼少华,吕权伟,任珂君,等. 从深圳治水历程研究高密度建成区排水系统的选择与改造[J]. 中国给水排水, 2018, 34(18): 18-21.
- LOU Shaohua, LÜ Quanwei, REN Kejun, *et al.* Study on the selection and reconstruction of urban drainage system in high density construction area from the course of water control in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(18): 18-21(in Chinese).
- [5] 马珺,孙玉梅,谭辉. 铁岗-石岩水库水质保障工程对湿地自然保护区的影响及保护措施探讨[J]. 珠江水运, 2020(17): 68-69.
- MA Jun, SUN Yumei, TAN Hui. Discussion on Tiegang-Shiyan Reservoir water quality assurance project's impact on wetland nature reserve and protection measures [J]. Pearl River Water Transport, 2020(17):68-69(in Chinese).
- [6] 邵宇航,唐颖栋,吕丰锦,等. 以深圳麒麟山天鹅湖为例的南方城市湖塘整治[J]. 中国给水排水, 2021, 37(24): 93-99.
- SHAO Yuhang, TANG Yingdong, LÜ Fengjin, *et al.* Taking swan lake of Qilin Mountain in Shenzhen as an example for improvement of lakes and ponds in southern cities [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(24): 93-99(in Chinese).

作者简介:唐颖栋(1975- ),男,浙江绍兴人,硕士,正高级工程师,主要从事流域水环境综合治理工作。

E-mail:tang\_yd2@hdec.com

收稿日期:2021-12-28

修回日期:2022-04-18

(编辑:衣春敏)

## ·信息·

### 《中国给水排水》继续入选中国科学引文数据库(CSCD)核心库

2023年6月2日,中国科学院文献情报中心发布了2023—2024年度中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database,简称CSCD)来源期刊遴选结果。

经过中国科学引文数据库定量遴选、专家定性评估,2023—2024年度中国科学引文数据库收录来源期刊1339种,其中中国出版的英文期刊316种,中文期刊1023种。中国科学引文数据库来源期刊分为核心库和扩展库两部分,其中核心库995种(以备注栏中C为标记),扩展库344种(以备注栏中E为标记)。中国科学引文数据库来源期刊每两年遴选一次。每次遴选均采用定量与定性相结合的方法,定量数据来自中国科学引文数据库,定性评价则通过聘请国内专家定性评估对期刊进行评审。定量与定性综合评估结果构成了中国科学引文数据库来源期刊。

《中国给水排水》杂志连续入选CSCD核心库,欢迎广大作者继续踊跃投稿支持期刊高质量发展。

(本刊编辑部)