

同时考虑到土壤水及农田回归水对护岸稳定的影响,固滨笼与岸坎之间设一层反滤土工布。

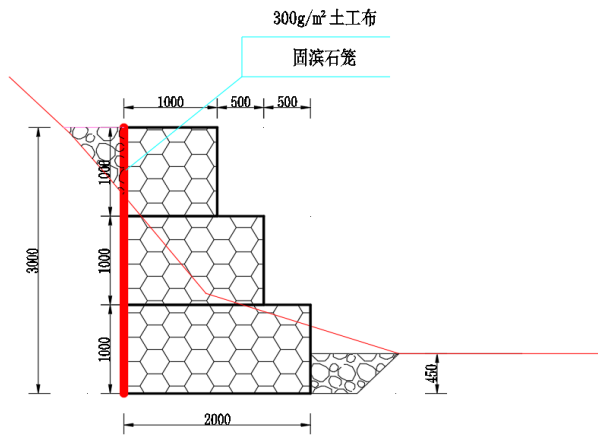


图5 固滨笼护岸断面图

### 3.2.2 堤身填筑材料

根据设计提出的要求,依据就地取料的原则,夯填的砂砾石料可就近在河床、河漫滩中采取,进行碾压。该料经试验分析:砾石含量为60.8%,紧密密度为 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$ ,含泥量为0.9%,内摩擦角为 $32^\circ$ ,其各项指标均满足碾压料要求,河床砂砾石料丰富,可以用于堤身填筑。建议对砂砾石堤体的填筑质量应按相对密度大于0.60控制。

### 3.2.3 格宾网结构

根据工程地质水质检测及易溶盐分析报告,工程区段地基土、地表水、地下水对网丝具有微腐蚀性。故本次设计格宾网采用10%锌铝混合稀土合金包塑钢丝。

固滨笼由机编双绞合六边形金属网面构成的网箱,材料为10%锌铝混合稀土合金包塑钢丝,网孔尺寸为 $100\text{mm}(\pm 5\%) \times 120\text{mm}(\pm 10\%)$ 。绿滨垫由机编双绞合六边形金属网面构成的网箱,材料为10%锌铝混合稀土合金包塑钢丝,网孔尺寸为 $80(\pm 5\%) \times 100\text{mm}(\pm 10\%)$ 。

### 3.2.4 护脚横断面设计

本工程在西河治理段沿线凹岸冲刷严重的陡坎处采用M10浆砌石仰斜式护脚进行防护,根据冲刷和护脚高度计算,本次设计护脚总高为3.0m。根据工程地质水质检测及易溶盐分析报告,工程区段地基土、地表水、地下水对混凝土具有微腐蚀性,本次设计采用抗酸水泥。堤后设置排水措施,纵向每3.0m设 $\Phi 75\text{UPVC}$ 排水管,外倾坡度为5%。根据防洪、管理、施工、构造要求,护脚基础平面夯实后铺设20cm厚砂砾石垫层。

## 3.3 工程效益

通过对定西市安定区西河祁家嘴至北坡段河道治理工程的分析研究,提出了防洪治理工程与河道治理相结合,完

善防洪体系,采用固滨笼生态护岸和M10浆砌石护脚相结合的方式,通过种植吸收特征污染物较强的植物,植物和工程相结合的综合护坡系统进行坡体植被修复和加固,实现对排入河流的污染物进一步拦截,改善河道水环境质量,保证治理段河道行洪宽度,提高河道整体防洪能力,归顺水流以达到行洪安全,确保工程防护区两岸耕地、沿线群众在设计洪水标准下不受洪水侵害,为工程区经济可持续发展提供有力保障促进当地经济的可持续发展。主要效益如下:本工程实施后有效保护了内官营镇先锋村祁家嘴社至万崖村北坡社段农田及附近村镇不受洪水侵害,生态环境得到改善,达到稳定区域内生产、生活,促进社会和谐稳定发展的目的。本工程经济内部收益率(EIRR)8.01%,大于社会折现率8%;经济净现值(ENPV)为238.67万元,大于零;经济效益费用比(RBCR)1.13,大于1,经济上可行。

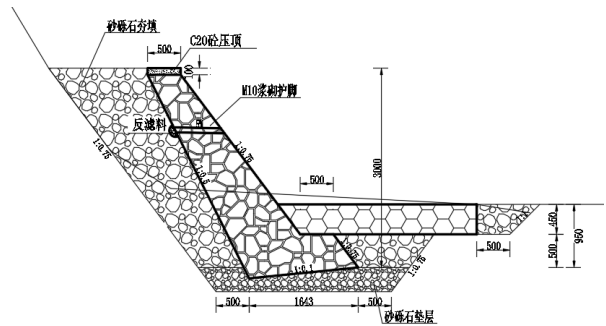


图6 护脚横断面设计图(3.0m)

## 4 结语

河流的生态治理是一个循序渐进的过程。在这个过程中,需要综合考虑到各方面的因素,要充分借鉴国外生态治河的理念和经验,结合水力学、生态学、工程学<sup>[4]</sup>等方面的知识,从河流生态环境的系统性和河流利用与管理的协调性出发,在保障生态环境的前提下治河、用河,实现河流的可持续发展<sup>[5]</sup>。

## 参考文献

- [1] 许士国,刘玉玉,石瑞花,等.多功能河流系统性治理方法及应用[M].中国水利水电出版社:202309.280.
- [2] 王鹏.大型河道整治工程生态护坡型式综合比选及应用[D].扬州大学,2022. DOI:10.27441/d.cnki.gyzdu.2022.001841.
- [3] 凌健.中小河流生态治理河道断面优化[D].南昌工程学院,2019. DOI:10.27839/d.cnki.gncgc.2019.000049.
- [4] 范世鹏.抚顺市清原县中小河流生态治理模式探究[J].水土保持应用技术,2024,(02): 30-32.
- [5] 朱璇睿.水生态保护与修复下的中小河流治理分析[J].资源节约与环保,2022,(08):9-12. DOI:10.16317/j.cnki.12-1377/x.2022.08.012.

# Water quality characteristics and risk assessment of drinking water sources in the Yellow River irrigation area

Shizhao Liu

Henan Provincial People's Victory Canal Support Center, Xinxiang, Henan, 453000, China

## Abstract

The Yellow River irrigation area is a typical agricultural irrigation area in China, and its drinking water source directly affects residents' health and regional development. This article selects typical reservoirs and underground aquifers in the Yellow River irrigation area as research objects, and systematically monitors water quality indicators, including chemical oxygen demand (COD), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), heavy metals (lead, arsenic, cadmium), etc. Based on monitoring data, water quality assessment index (WQI) and health risk model are used for evaluation. The results showed that TP and TN exceeded the standard in some sampling points, and although the concentration of heavy metals was within the limit, there was a cumulative risk. WQI indicates that most water points have good water quality, but there is mild pollution in some areas. The health risk assessment suggests that there is no clear carcinogenic risk for children's intake, but long-term cumulative exposure may increase the risk level. The research conclusion points out that agricultural non-point source pollution control and graded protection of water collection points should be strengthened. At the same time, it is recommended to regularly monitor and establish early warning mechanisms to provide scientific basis for safe water supply in irrigation areas.

## Keywords

Yellow River Irrigation Area; Water quality characteristics; Risk assessment; Water source area; Agricultural non-point source pollution

## 引黄灌区饮用水水源地水质特征及风险评估

刘世钊

河南省人民胜利渠保障中心, 中国·河南新乡 453000

## 摘要

引黄灌区是我国典型农业灌溉区域, 其饮用水水源地直接影响居民健康与区域发展。本文选取引黄灌区典型水库和地下含水层为研究对象, 系统监测水质指标, 包括化学需氧量(COD)、总磷(TP)、总氮(TN)、重金属(铅、砷、镉)等。基于监测数据采用水质评价指数(WQI)及健康风险模型进行评估。结果显示, TP和TN在部分采样点超标, 重金属浓度虽在限值以内但存在累积风险。WQI表明大部分水点水质良好, 但局部存在轻度污染。健康风险评估提示, 儿童摄入无明显致癌风险, 但长期累积暴露可能增加风险水平。研究结论指出, 应加强农业面源污染控制和采水点分级保护, 同时建议定期监控并建立预警机制, 为灌区安全供水提供科学依据。

## 关键词

引黄灌区; 水质特征; 风险评估; 水源地; 农业面源污染

## 1 引言

近年来国际环境污染治理趋向综合性评价策略, 我国灌溉区饮用水安全问题亟待高度重视。引黄灌区覆盖地区广泛, 居民生活饮水主要依赖灌区渠道水或地下含水层, 其水质易受农业活动影响。农业施肥、农药使用导致面源污染物进入水体, 特别是磷、氮的积累引起藻类繁殖, 影响水质安全。以往研究多集中于农业产量提升而忽视灌区水环境变化, 缺乏基于多指标的系统性评估。同时, 我国饮用水风险

研究多针对工业污染水体, 农业灌区水源地评估不足。因此, 开展以引黄灌区为例的水源地水质特征与健康风险评估, 对保障居民饮水安全、指导环保管理具有重要现实意义。本文旨在: 测定典型水源点关键污染物指标, 应用评价指数与健康风险模型进行综合分析, 识别风险因素, 提出精准控制建议, 从而为灌区水资源管理提供决策支持。

## 2 调查与样点布设

### 2.1 调查区域与样点选择

本研究选取的引黄灌区中下游流域, 地处典型黄河引水灌溉区, 是当地主要的粮食和经济作物种植带, 农业活动频繁, 灌溉强度大, 水资源开发程度高。研究覆盖区域涵盖

【作者简介】刘世钊, 男, 中国河南人, 本科, 助理工程师, 从事水利工程运行管理研究。

主要农业用水区与居民生活用水区，具有代表性。共布设渠道水样点9个、地下水采样井4口，合理覆盖了空间异质性。在渠道水样点布设中，选取入黄口作为对照参考点，中游取水点布设在高灌区人口密集段，末端放水点则对应灌区排水返回区域，考虑了农业面源输入与地形影响；地下水样点设在与渠道输水路径相邻的浅层含水层区域，一口井处于长期耕作区，另一口选在远离农业区的居民区，便于对比评价人类活动对地下水水质的影响。样点分布在GIS中统一标注，并对样点周边土地利用类型、灌溉方式、水体流速等信息进行同步记录，以增强数据解读的空间支撑力。

## 2.2 采样时间与频次

为获得具有代表性的动态水质数据，采样设计覆盖全年多个农业生产阶段，具有周期性和代表性。研究按农业活动节律划分采样期：春耕期注重施肥初始影响，夏灌期关注施药与高温下的污染响应，秋收期采集收割前后水质状态，冬封期检测休耕期间水体变化。每一阶段分别在各样点进行晨间、午间和傍晚各一次采样，避免温度与光照对水质造成偏差，总计采样达120份以上。

## 2.3 分析方法与质量控制

实验室分析指标涵盖常规理化参数、有机污染物、重金属等三大类。理化参数中，COD采用高锰酸钾法测定，总磷采用钼酸铵分光光度法，总氮用紫外分光光度法进行测量，数据精度可控。有机污染物按EPA 8260B标准使用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)进行筛查。重金属方面，铅、砷、镉等金属元素通过电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)检测，具有高灵敏度与低检测限的特点。

## 3 水质特征分析

### 3.1 理化指标分布

水体的基本理化参数反映其自净能力与对污染物的敏感性。pH值在所有样点中均保持在7.0-7.8之间，表明水体整体呈弱碱性，有利于大部分水生生物的生存。DO的平均浓度为6.5 mg/L，部分上游采样点可达7.2 mg/L，显示水体溶氧能力良好，表明水体污染未造成严重耗氧状态。电导率(EC)作为反映水中溶解性无机盐浓度的重要指标，在地下水中普遍高于渠道水，最大值可达850  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，而渠道水平均在430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右，说明地下水受地质岩溶矿物溶出作用更明显。在夏季和灌溉高峰期，部分渠道水EC数值出现短暂升高，可能与施肥溶液径流有关。温度变化对EC和DO的影响显著，灌区不同季节对比分析将为水质变化的归因提供有力支撑。

### 3.2 营养盐污染状况

COD作为有机污染的综合指示指标，整体在2.8-5.6 mg/L之间波动，平均值为4.2 mg/L，满足《地表水环境质量标准》中三级水标准限值(6 mg/L)，说明有机物污染在可接受范围内。然而，总磷(TP)和总氮(TN)浓度表现

出显著的区域与时序差异。TP均值为0.12 mg/L，部分中游样点最高可达0.23 mg/L，TN平均值为3.6 mg/L，远高于地表水Ⅲ类标准(TN限值为1.0 mg/L)，显示农业施肥是主要污染来源。

## 3.3 重金属监测结果

重金属元素虽在检测中均未超出国家《生活饮用水卫生标准》限值，但其潜在健康风险不容忽视。铅平均浓度为0.008 mg/L，部分近农业排水点最高达0.014 mg/L，虽未超标但已接近安全警戒线。镉浓度均值为0.0009 mg/L，低于限值0.005 mg/L，但在地下水井中镉检测值略高于地表水样，表明地下含水层对镉有一定富集趋势。砷的浓度在0.003-0.005 mg/L之间波动，地下水样中接近限值上限，值得高度关注。

## 4 风险评估方法与结果

### 4.1 水质评价指数(WQI)

为了全面反映水质现状与综合污染水平，本文采用多指标加权法构建水质评价指数(Water Quality Index, WQI)模型。模型选取的指标包括化学需氧量(COD)、总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮、重金属类(铅、砷、镉)等共计九项，分别赋予不同权重值，权重依据各指标对人体健康与生态系统的潜在危害程度、变异性以及检测准确性综合确定。在计算过程中，使用归一化方法处理各项指标，使其在同一数值体系下进行比较与评价。

结果显示，WQI值在60-85之间波动，表明水体质量处于中等至良好之间，但在特定位置存在明显污染隐患。尤其是某些渠道下游采样点，其WQI值接近或低于65，主要由于氮、磷浓度上升以及水体自净能力不足所致。值得注意的是，地下水样点的WQI均值相对较高，约在80以上，反映地下含水层相对封闭、受外部干扰较小的特点。因此，通过WQI评价可为管理者提供直观的空间分布水质状态，为后续治理与监管提供依据。

### 4.2 健康风险模型

为进一步评估水质对人体健康的潜在威胁，本文依据美国环境保护署(US EPA)推荐的健康风险评估框架，分别从非致癌风险(Hazard Quotient, HQ)和致癌风险(Cancer Risk, CR)两个维度进行分析。评估对象为不同人群(成人与儿童)饮用水暴露路径，暴露参数设置参考《人体暴露参数手册》，每日饮水量设定为2 L，暴露频次为350天/年，累计暴露时间为30年。

在HQ分析中，所有目标污染物的浓度均未超过对应的参考剂量(RfD)，其中TP、TN主要通过慢性摄入累积形成影响，但HQ值均低于1，风险较小。然而铅的HQ值为0.31，虽未超标，但显著高于其他元素，儿童人群的HQ值则达到0.52，提示其对低剂量重金属更为敏感。在CR方面，砷的计算致癌风险值为 $1.7 \times 10^{-5}$ ，略高于世界卫生组织