

黄河支流流域水环境综合治理与水质提升技术研究

张 瑶

山西金地源地质科技有限公司 山西 太原 030600

摘要：黄河作为中华民族的母亲河，其生态健康直接关系到国家生态安全和区域可持续发展。近年来，随着黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家战略，黄河干流水质有所改善，但众多支流仍面临污染负荷重、生态功能退化、治理碎片化等突出问题。本文以黄河典型支流（如汾河、渭河、沁河、大汶河等）为研究对象，系统分析其水环境污染特征与成因，梳理当前治理中存在的主要问题，并在此基础上，构建“源头控制—过程拦截—末端治理—生态修复—智慧监管”五位一体的综合治理技术体系。重点探讨了农业面源污染削减、城镇污水处理提质增效、工业点源深度治理、河道生态修复、水系连通与生态补水等关键技术路径。最后，提出完善流域协同治理机制、强化科技支撑、健全法规标准体系等政策建议，以期为黄河流域支流水环境质量持续改善提供理论参考与实践指导。

关键词：黄河支流；水环境治理；水质提升；生态修复；综合治理

引言

黄河全长5464公里，流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东等九省（区），流域面积达79.5万平方公里，是我国重要的生态屏障和经济地带。然而，由于自然禀赋脆弱、水资源短缺、人类活动强度大等因素叠加，黄河流域长期面临“水少沙多、水沙关系不协调、水污染严重”等复合型生态问题。尽管近年来国家实施了一系列重大治黄工程，黄河干流水质总体呈改善趋势，但支流污染问题依然突出。据生态环境部发布的《2023年中国生态环境状况公报》显示，黄河流域部分支流如汾河、渭河等仍存在劣V类水体，氨氮、总磷、化学需氧量（COD）等指标超标现象频发，严重制约了流域整体水生态功能的恢复。黄河支流不仅是干流的重要补给水源，更是区域经济社会发展的命脉。其水环境质量直接关系到沿岸数亿人口的饮水安全、农业灌溉和生态福祉。因此，开展黄河支流流域水环境综合治理与水质提升技术研究，不仅具有紧迫的现实需求，更具有深远的战略意义。

1 黄河支流污染特征与成因分析

1.1 主要污染类型与空间分布

黄河支流众多，流域地貌复杂，从上游的高原草甸到中游的黄土高原，再到下游的冲积平原，不同区域污染特征差异显著。上游支流如湟水、大通河等，受人类活动干扰相对较小，水质整体较好，但随着城市化进程加快，西宁、兰州等城市的生活污水及部分冶金、化工企业的工业废水排放，使得局部河段出现有机物和重金属污染风险。中游地区是黄河流域污染最为集中的区域，尤以汾河和渭河为代表。汾河流经山西省核心工业

带，太原、临汾等地焦化、煤化工产业密集，大量高浓度有机废水排入河道，导致氨氮和COD长期超标；渭河则贯穿关中平原，既是国家重要粮食产区，又是西安、咸阳等大城市聚集区，农业面源与城市点源污染交织，总磷成为突出污染物。下游支流如大汶河、金堤河等，虽工业密度较低，但农业种植强度高，农村生活污水收集处理率低，加之受黄河干流顶托和闸坝调控影响，水流缓慢甚至倒灌，极易引发富营养化问题^[1]。这种由地理格局、产业结构和水文条件共同塑造的污染空间分异，决定了治理必须因地制宜、分类施策。

1.2 污染成因解析

黄河支流污染问题的形成并非单一因素所致，而是多重压力叠加的结果。首先，点源污染虽经多年治理有所缓解，但仍未根除。许多中小城市污水处理厂虽已建成，却因管网配套滞后、进水浓度偏低、运维管理粗放等原因，实际处理效能远低于设计标准，尤其在雨季合流制溢流频发，大量未经处理的混合污水直排水体。部分工业园区企业环保意识薄弱，废水预处理设施运行不稳定，甚至存在偷排漏排行为，导致特征污染物持续输入。其次，面源污染已成为不可忽视的主导因素。黄河流域中游农业高度集约化，化肥施用量远超作物吸收能力，大量氮磷随降雨径流进入河道；同时，规模化畜禽养殖快速发展，但粪污资源化利用体系尚未健全，大量养殖废弃物未经处理直接排放或堆置于河岸，成为持续性污染源。再者，水资源过度开发导致生态基流严重不足。黄河本身属于资源性缺水河流，在优先保障工农业和生活用水的背景下，许多支流常年断流或仅维持极低流量，水体自净能力几近丧失，污染物不断累积放大。

此外,长期的人为干预使河流生态系统严重退化。河道被渠硬化,天然湿地大面积萎缩,河岸植被遭到破坏,水生生物栖息地丧失,河流从具有生命活力的生态系统退化为单纯的输水通道。最后,治理体系的碎片化加剧了治理难度。流域管理涉及水利、生态环境、住建、农业农村等多个部门,且跨越多个行政区域,缺乏统一规划、统一标准和统一监管,“各自为政”的局面使得治理措施难以协同,整体效益大打折扣。

2 黄河支流综合治理技术体系构建

2.1 源头控制: 削减污染负荷

源头控制是水环境治理的根本,必须从工业、城镇和农业三大领域同步发力,系统性削减入河污染负荷。在工业领域,应大力推动重点行业绿色转型,通过清洁生产审核、循环经济园区建设等手段,从工艺源头减少污染物产生。对于焦化、煤化工等高污染行业,必须严格执行行业排放标准,并针对酚、氰化物、多环芳烃等特征污染物开发专项治理技术。同时,强化工业园区废水集中处理能力建设,推行“一园一策”,确保企业预处理达标后再进入园区污水处理厂,杜绝稀释排放。在城镇生活污染治理方面,不能仅满足于污水处理厂的“有无”,更要追求“高效”。应全面推进现有污水处理厂提标改造,使其出水水质稳定达到地表水Ⅳ类甚至更高标准。更重要的是,加快雨污分流管网建设,彻底解决合流制区域雨季溢流污染问题,并通过分布式、小型化处理设施覆盖城乡结合部和农村聚居区,补齐污水收集短板^[2]。在农业面源防控上,需转变传统粗放模式,推广测土配方施肥、缓控释肥和有机肥替代,从源头减少化肥流失。同时,构建种养结合的循环农业体系,将畜禽粪污转化为有机肥还田,实现资源化利用。此外,应在农田与水体之间设置生态缓冲带,通过植被过滤和土壤吸附作用,有效拦截随地表径流迁移的氮磷污染物。

2.2 过程拦截: 构建绿色基础设施

在污染物从陆域向水体迁移的过程中,可通过构建一系列基于自然的解决方案(Nature-based Solutions)进行有效拦截。生态沟渠是一种低成本、高效益的面源污染控制措施,通过在农田排水沟渠内种植耐污植物,利用植物吸收、微生物降解和底泥吸附等多重机制净化径流。河岸带作为水陆交错的关键生态界面,其修复至关重要。应拆除硬质护岸,恢复原生乔灌木植被,形成宽度适宜的生态缓冲区,不仅能有效过滤面源污染物,还能防止水土流失、提供生物栖息地。此外,在支流汇入口、村庄下游等污染负荷较高的关键节点,可规划建设

小微人工湿地群。这些湿地通过物理沉降、植物吸收和微生物转化等过程,逐级削减污染物浓度,形成一条沿河分布的“生态净化链”,显著提升流域整体的水质净化能力。

2.3 末端治理: 强化人工净化能力

对于已经进入水体的污染物,尤其是历史累积污染严重的河段,仍需依赖高效的人工净化技术进行末端治理。一方面,可对污染底泥进行环保疏浚,清除内源污染,并结合原位覆盖或化学钝化技术防止二次释放;另一方面,可在重点排污口下游或水质敏感区部署强化净化工程,如太阳能曝气复氧装置,提升水体溶解氧水平,激活好氧微生物的降解活性。在污水处理技术层面,应积极推广膜生物反应器(MBR)、移动床生物膜反应器(MBBR)等高效低耗的新工艺,以应对低温、高盐等黄河流域特殊工况^[3]。尤为关键的是,应将污水处理厂尾水视为潜在的再生水资源,在其排放口下游配套建设尾水深度净化人工湿地,进一步去除残余氮磷,实现从“达标排放”向“生态友好排放”的跃升,为河道提供稳定优质的生态补水。

2.4 生态修复: 恢复河流健康生命

水质的持续改善最终依赖于河流生态系统功能的整体恢复。首要任务是保障河流的基本生态基流。这需要在流域水资源统一调度框架下,科学核定各支流的生态流量阈值,并将其作为刚性约束纳入取水许可管理。同时,大力推动再生水回用,将处理后的城市污水用于工业、市政和生态补水,既缓解水资源压力,又为河道注入“活水”。在物理形态上,应摒弃过去“三面光”的河道整治模式,拆除不必要的硬质护岸,采用格宾石笼、植生袋等生态工法重塑自然岸线,并通过营造深潭、浅滩、沙洲等多样化的微地形,重建水生生物所需的复杂栖息环境。水生植被的恢复是提升水体自净能力的核心,应根据本地物种选育适宜的沉水、浮叶和挺水植物,构建稳定的水下森林系统。此外,打通被道路、堤坝阻隔的断头河,恢复历史水道,增强水系连通性,并保护和修复天然湖泊、沼泽等湿地系统,使其重新发挥调蓄洪水、净化水质、维护生物多样性的“地球之肾”功能。

2.5 智慧监管: 提升治理效能

现代信息技术为水环境治理提供了强大赋能。应构建“空—天—地”一体化的智能监测网络,综合利用卫星遥感大范围识别污染热点、无人机灵活巡查排污口、水质自动监测站实时感知水质变化,实现对流域污染状况的动态、精准掌握。在此基础上,建立流域水环境数

字孪生平台,集成水文、气象、污染源、土地利用等多维数据,通过模型模拟预测污染扩散路径、评估治理措施效果,为科学决策提供支撑^[4]。同时,深化“河长制”改革,将其与智慧平台深度融合,开发公众参与APP,鼓励社会监督,形成政府主导、企业履责、公众参与的多元共治格局,确保各项治理措施落地见效、长效运行。

3 面临的挑战与对策建议

3.1 主要挑战

尽管治理工作取得阶段性成果,但黄河支流综合治理仍面临深层次挑战。首先是资金瓶颈,此类工程投资巨大、回报周期长,地方财政普遍承压,而社会资本因盈利模式不清晰、风险较高而参与意愿不足。其次是技术适配性问题,许多源自南方湿润地区的水污染治理技术,在黄河流域干旱半干旱、冬季寒冷、泥沙含量高的特殊环境下“水土不服”,运行成本高、效果不稳定。再次是长效机制缺失,部分地区存在“为迎检而治理”的短期行为,缺乏常态化、法治化的制度保障,一旦监管放松,污染极易反弹。最后,全球气候变化带来的不确定性日益凸显,极端强降雨事件频发会瞬间冲刷大量面源污染物入河,而持续性干旱则进一步压缩本就紧张的生态用水空间,给治理工作带来双重压力。

3.2 政策建议

为应对上述挑战,亟需从体制机制、科技支撑和政策保障等多维度协同发力。首先,必须打破行政与部门壁垒,完善流域协同治理机制。应强化国家层面的统筹协调,建立跨省区的支流联防联控平台,并探索实施“流域横向生态补偿”机制,通过经济杠杆激励上下游地区共同保护水环境。其次,要强化科技引领作用,设立国家级重点研发专项,集中攻关高寒干旱区低能耗污水处理、泥沙-污染物协同迁移机理、面源污染智能监测等关键技术,并加快制定适用于黄河流域的地方性技术标准与规范。第三,创新投融资模式至关重要,应大力推广EOD(生态环境导向的开发)模式,将环境治理项

目与周边土地增值、文旅康养等产业收益捆绑,吸引社会资本投入。同时,可考虑设立黄河流域生态保护专项基金,引导绿色信贷、绿色债券等金融工具支持水环境项目。最后,必须健全法治与考核体系,加快出台《黄河保护法》的配套实施细则,明确各方权责,并将支流水质改善目标纳入地方政府生态文明建设考核,实行严格的问责和“一票否决”制度,确保治理责任落到实处。

4 结语

黄河支流流域水环境综合治理是一项复杂的系统工程,必须摒弃“头痛医头、脚痛医脚”的碎片化思维,坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理。本文提出的“五位一体”技术体系,强调从污染源头到生态终端的全链条管控,融合工程措施与自然解决方案,兼顾水质改善与生态功能恢复。汾河等典型案例证明,只要坚持科学规划、精准施策、久久为功,重度污染的黄河支流完全有可能实现水质根本性好转。未来,应进一步强化流域统筹、科技赋能与制度创新,推动治理模式从“被动应对”向“主动预防”、从“工程主导”向“生态优先”转变,最终实现“有河有水、有鱼有草、人水和谐”的美丽黄河愿景。

参考文献

- [1]田康,刘柏均,丁亚飞,等.黄河流域水环境治理政策空间协同测度及动态演变[J].人民黄河,2025,47(11):102-107+113.
- [2]王凯,金冠.黄河下游湿地生态修复对水环境质量的影响研究[J].中国资源综合利用,2025,43(12):181-183.
- [3]郭庚.统筹水资源、水环境、水生态:深入推进黄河生态保护治理[C]//河海大学.《水资源保护》创刊40周年学术交流会暨2025(第十三届)水生态大会论文集.山东乾元工程集团有限公司,2025:192-195.
- [4]谭诗钰,李玮,刘效广,等.组态视角下黄河流域城市水环境质量提升路径研究[J].干旱区资源与环境,2025,39(06):146-155.