

柳州市地表水质量评价及生态治理研究

许 芮, 蒲婉莹, 杜 超, 胡佳欢, 蒋奕冰, 莫奕樟, 黄彩妹, 冯兴会*

桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西 桂林

收稿日期: 2026年6月5日; 录用日期: 2026年7月6日; 发布日期: 2026年7月14日

摘 要

为评价柳州市典型地表水断面的水环境质量并提出生态治理路径, 本研究设置柳江上游来水、市区景观河段、工业影响控制、支流入江口和水源保护相关5类典型断面, 在2024年5~9月平水期至丰水期开展监测, 选取pH、DO、CODMn、COD、NH₃-N、TP和TN等指标, 依据GB 3838-2002采用单因子评价法和综合污染指数法分析水质类别、污染压力及主控因子, 并结合底泥污染和水生态风险指标开展补充分析。结果表明, 断面水质总体处于II~III类, 上游来水和水源保护相关断面水质较好, 支流入江口综合污染指数最高(P = 0.87), TN、TP和NH₃-N为主要影响因子; 工业影响控制断面COD和CODMn相对偏高, 说明有机污染输入和工业排水风险仍需持续监管。底泥及水生态辅助指标显示, 支流入江口和工业影响河段存在营养盐累积及生境质量下降风险。建议从源头控污、重点支流治理、排污口监管、生态缓冲带建设、水生态修复和智慧监测预警等方面推进分区治理。研究可为柳州市优良水质保持及工业城市水生态治理提供参考。

关键词

地表水, 实测数据, 水环境质量, 水生态风险, 生态治理, 综合污染指数

Study on the Quality Assessment and Ecological Governance of Surface Water in Liuzhou City

Rui Xu, Wanying Pu, Chao Du, Jiahuan Hu, Yibing Jiang, Yizhang Mo, Caimei Huang, Xinghui Feng*

College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: June 5, 2026; accepted: July 6, 2026; published: July 14, 2026

Abstract

To evaluate the water environmental quality of typical surface-water sections in Liuzhou City and to

*通讯作者。

文章引用: 许芮, 蒲婉莹, 杜超, 胡佳欢, 蒋奕冰, 莫奕樟, 黄彩妹, 冯兴会. 柳州市地表水质量评价及生态治理研究[J]. 环境保护前沿, 2026, 16(7): 1175-1183. DOI: 10.12677/aep.2026.167119

propose ecological governance strategies, five representative sections were selected, including upstream inflow, urban landscape reach, industrial impact reach, tributary confluence and water-source protection reach. Monitoring was conducted from May to September 2024, covering the normal and wet seasons. The indicators of pH, DO, CODMn, COD, NH₃-N, TP and TN were analyzed using the single-factor method and comprehensive pollution index according to GB 3838-2002. Sediment pollution and aquatic ecological risk indicators were also included as supplementary evidence. The results show that the water quality of the typical sections was generally Class II-III. The upstream inflow and water-source protection sections had better conditions, while the tributary confluence section had the highest comprehensive pollution index ($P = 0.87$), with TN, TP and NH₃-N as the dominant factors. COD and CODMn were relatively higher in the industrial impact section, indicating continued risks of organic pollution and industrial discharge. The supplementary sediment and ecological indicators suggested nutrient accumulation and habitat degradation risks in the tributary confluence and industrial impact reaches. Integrated governance measures, including source control, tributary treatment, outfall supervision, ecological buffer zones, aquatic ecological restoration and intelligent monitoring, are recommended. This study provides references for maintaining good water quality and improving ecological governance in industrial cities.

Keywords

Surface Water, Measured Data, Water Environmental Quality, Aquatic Ecological Risk, Ecological Governance, Comprehensive Pollution Index

Copyright © 2026 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. 引言

地表水是城市生态系统的重要组成部分，也是维持城市景观、居民生活、工业生产和水生生物栖息环境的重要基础。随着城市化和工业化进程持续推进，城市河流普遍面临污染负荷波动、岸线开发强度增加、生境破碎化和水生态系统稳定性下降等问题。当前水环境治理已逐渐由单一污染削减转向水质改善、水生态修复和长效监管并重。

柳州市位于广西壮族自治区中北部，是广西重要工业城市之一，柳江穿城而过，城市发展与水生态保护之间关系密切。对于工业城市而言，地表水环境质量既受工业企业排放、城镇生活污水和雨污合流溢流等影响，也与支流汇入、农业面源污染、初期雨水径流和岸线开发等因素有关。开展典型断面水质评价，有助于识别不同功能河段的污染压力差异与生态治理重点。

已有城市水环境研究表明，单因子评价法能够直接识别限制水质类别的关键指标，综合污染指数法有利于比较不同断面或不同时段相对污染压力[1]。同时，河流生态健康评价不能仅依赖常规理化指标，还应结合底泥、水生生物和岸线生境等信息进行综合判断[2]。本研究以柳州市典型地表水断面为对象，在整理实测监测数据的基础上，采用单因子评价法和综合污染指数法分析水质类别、主要影响指标和空间差异，并结合底泥和水生态风险指标提出生态治理方案，为柳州市优良水质保持、重点支流治理和城市河流生态修复提供技术参考。

2. 研究背景与意义

2.1. 研究背景

柳州市境内河流水系较为发育，柳江是城市最具代表性的地表水体，承担城市景观、生态调节、生

产生活用水保障和水生生物栖息等多重功能。近年来，随着城市建成区扩展、工业生产活动持续和城乡面源污染输入变化，地表水水质虽总体保持较好水平，但局部河段在丰水期、支流汇入口和排污口下游仍可能出现污染负荷短时升高。

从水生态保护角度看，地表水环境质量不只取决于常规理化指标是否达标，还与河岸带生态完整性、水体自净能力、水生生物栖息环境、底泥污染风险和长期监测监管能力密切相关。因此，柳州市地表水治理既要关注水质类别，也应关注水生态系统健康和潜在污染风险预防。

2.2. 研究意义

从现实意义看，开展柳州市地表水质量评价，有助于掌握不同类型河段的水质差异和主要污染影响因子，为污染源控制、入河排污口监管、污水处理设施优化、重点支流治理和河岸生态修复提供依据。尤其是对支流入江口和工业影响控制断面开展针对性分析，可为城市水环境风险防控和精细化管理提供支撑。

从理论意义看，本研究将典型断面实测数据、水质评价方法、底泥和水生态风险识别及生态治理策略相结合，构建了“断面布设 - 指标检测 - 标准评价 - 风险识别 - 治理适配”的研究框架，可为工业城市地表水环境质量评价和优良水质保持研究提供参考。

3. 研究方法与过程

本研究采用典型断面监测、实验室检测、底泥与水生态辅助调查、标准限值评价和治理策略分析相结合的方法开展研究。整体技术路线为：确定研究对象和断面类型，依据相关监测技术规范采集与保存样品，筛选主要评价指标，依据 GB 3838-2002 开展水质类别判定[3]，在此基础上计算综合污染指数、识别主要影响因子并提出生态治理方案。

3.1. 监测断面设置与布局依据

综合考虑柳州市水系结构、城市功能区分布、工业企业集聚程度、生活污水排放区域、农业面源影响区、入河排污口分布和水源保护需求，本研究设置 5 类典型地表水断面，包括柳江上游来水断面、市区景观河段断面、工业影响控制断面、支流入江口断面和水源保护相关断面。断面设置见表 1。

Table 1. Typical surface water monitoring sections setting in Liuzhou City

表 1. 柳州市典型地表水监测断面设置

编号	断面名称	所在区域	主要功能	可能影响因素
S1	柳江上游来水断面	干流上游	背景水质	上游来水、流域输入
S2	柳江市区景观断面	主城区河段	景观与生态	生活污水、雨季径流
S3	工业影响控制断面	工业集中区下游	水质监管	工业排放风险、排口汇入
S4	支流入江口断面	支流汇入口	支流汇入	面源污染、生活污水
S5	水源保护相关断面	水源保护区附近	饮用水安全	上游来水、水源地保护

为提高研究结果的可重复性，本研究补充记录各断面空间位置、采样时间和水文时期等信息。采样时段为 2024 年 5~9 月，覆盖平水期至丰水期，每月采样 1 次；遇明显降雨后补充采集 1 次雨后样品，用于判断雨季径流对支流汇入口和市区河段的影响。监测信息见表 2。

3.2. 样品采集与保存流程

样品采集与现场监测参照《地表水环境质量监测技术规范》(HJ 91.2-2022)和《水和废水监测分析方法》

Table 2. Monitoring information of typical sections in Liuzhou City
表 2. 柳州市典型断面监测信息

断面	经度/E	纬度/N	采样时段	采样频率	水文时期
S1	109.31°	24.36°	2024 年 5~9 月	每月 1 次	平水期 - 丰水期
S2	109.40°	24.32°	2024 年 5~9 月	每月 1 次, 雨后加测	平水期 - 丰水期
S3	109.45°	24.34°	2024 年 5~9 月	每月 1 次, 雨后加测	平水期 - 丰水期
S4	109.42°	24.28°	2024 年 5~9 月	每月 1 次, 雨后加测	平水期 - 丰水期
S5	109.28°	24.38°	2024 年 5~9 月	每月 1 次	平水期 - 丰水期

等要求执行[4][5]。每个断面根据水面宽度、水深和水流条件确定采样垂线与采样点位,采样前记录天气、水温、水位、流速、周边污染源和岸线利用状况,并同步开展现场 pH、溶解氧等指标测定。

水样采集采用瞬时样与混合样相结合方式。常规水质指标每次采集 1 个代表性混合样,平行样比例不低于 10%;雨后补充样主要用于判断短时径流输入影响。采集样品按检测项目分别使用聚乙烯瓶或玻璃瓶保存,COD、CODMn、NH₃-N、TP 和 TN 等样品采集后及时加入相应保存剂或低温保存,置于 4 摄氏度左右冷藏箱避光运输,并按规定时间送实验室检测。采样全过程建立样品标签、交接记录和质控台账,设置现场平行样、空白样和实验室质控样,以保证监测数据的可追溯性和可靠性。

3.3. 检测指标、仪器与标准方法

本研究评价指标包括 pH、DO、CODMn、COD、NH₃-N、TP 和 TN。其中,pH 和 DO 主要反映水体酸碱状态与氧化还原环境;CODMn 和 COD 反映有机污染程度;NH₃-N、TP 和 TN 反映营养盐污染及潜在富营养化风险。

pH 采用玻璃电极法,DO 采用电化学探头法或碘量法,CODMn 采用酸性高锰酸钾法,COD 采用重铬酸盐法,NH₃-N 采用纳氏试剂分光光度法,TP 采用钼酸铵分光光度法,TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法。相关项目检测参照氨氮、化学需氧量、高锰酸盐指数、总磷、总氮和溶解氧等国家或行业标准方法执行[5]-[8],并通过空白、平行样、加标回收和标准曲线核查开展质量控制。

3.4. 底泥与水生态辅助调查

为弥补单纯理化水质指标对水生态状况反映不足的问题,本研究在各断面同步开展底泥和水生态辅助调查。底泥样品采集表层 0~10 cm 沉积物,重点分析有机质、底泥 TN、底泥 TP 及重金属风险等级;水生态调查重点记录叶绿素 a、底栖动物完整性指数、河岸植被覆盖度和岸线硬化程度等指标,用于判断营养盐累积、生境退化和生态系统稳定性风险。相关调查参照河流水生态环境质量监测与评价技术要求开展[2][3]。

3.5. 水环境质量评价方法

水质类别判定采用单因子评价法。该方法以各评价指标中水质类别最差的一项作为断面综合水质类别,可较敏感地反映限制断面水质达标的关键指标。评价标准依据 GB 3838-2002 中 II 类、III 类及相关类别限值。对于 pH 和 DO 等具有适宜范围或下限要求的指标,按标准要求分别进行判定。

综合污染指数法用于比较不同断面的相对污染压力。对 CODMn、COD、NH₃-N、TP 和 TN 等污染物指标,单项污染指数 P_i 按实测值与相应标准限值之比计算;综合污染指数 P 按各单项污染指数平均值计算,计算式为: $P = (1/n)\sum P_i$ 。式中, P_i 为第 i 项指标污染指数, n 为参与计算的指标数量。 P 值越大,

说明断面污染压力相对越高。

4. 研究结果与分析

4.1. 柳州市典型断面水质实测统计结果

实测数据统计结果显示，柳州市典型地表水断面水质总体处于 II~III 类水平，不同断面之间存在一定空间差异。S1 柳江上游来水断面水质较好，表现出较稳定的背景水质特征；S2 市区景观断面受生活污水和雨季径流影响，营养盐和有机污染指标略有升高；S3 工业影响控制断面 COD 和 CODMn 相对较高，提示工业影响河段仍需加强排水监管；S4 支流入江口断面污染指数最高，是本研究重点关注断面；S5 水源保护相关断面水质整体较稳定(见表 3)。

Table 3. Statistical summary of measured water-quality data for typical sections in Liuzhou City

表 3. 柳州市典型断面水质实测数据统计

断面	pH 范围	DO 范围 /(mg/L)	CODMn 均值 /(mg/L)	COD 均值 /(mg/L)	NH ₃ -N 均值 /(mg/L)	TP 均值 /(mg/L)	TN 均值 /(mg/L)
S1	7.33~7.55	7.1~8.4	2.10	10.2	0.12	0.035	0.83
S2	7.29~7.48	6.8~8.0	2.63	12.0	0.19	0.052	1.06
S3	7.24~7.40	6.4~7.5	3.47	14.7	0.30	0.078	1.34
S4	7.19~7.35	5.9~7.0	4.23	17.2	0.46	0.120	1.70
S5	7.38~7.52	7.0~8.1	2.83	12.6	0.17	0.056	1.00

注：除 pH 外，其余水质指标单位均为 mg/L；CODMn 为高锰酸盐指数。

4.2. 主要污染指标变化特征

DO 在各断面保持相对适宜水平，说明柳州市典型河段总体具备一定复氧能力和水体自净基础。S1 与 S5 断面 DO 范围较高，反映上游来水和水源保护相关河段水质稳定性较好。S4 断面 DO 范围为 5.9~7.0 mg/L，较其他断面偏低，可能与支流汇入口有机物输入和营养盐累积有关。

CODMn 和 COD 在 S3、S4 断面相对较高，说明工业影响河段和支流入江口更容易受到有机污染输入影响。S3 断面 CODMn 均值为 3.47 mg/L、COD 均值为 14.7 mg/L；S4 断面 CODMn 均值为 4.23 mg/L、COD 均值为 17.2 mg/L，均高于上游来水断面。

NH₃-N、TP 和 TN 呈现由上游背景断面向支流入江口断面升高的趋势，其中 S4 断面 NH₃-N、TP 和 TN 均值分别为 0.46、0.120 和 1.70 mg/L，为所有断面最高。该结果表明，生活污水、面源污染、雨季径流和支流汇入可能是营养盐输入的重要途径。

4.3. 综合污染指数评价

根据综合污染指数计算结果，S1 和 S5 断面污染压力较低，说明其水质保持能力较好；S2 处于中等偏低水平，显示主城区河段存在一定污染输入但总体可控；S3 综合污染指数高于 S2，主要受 COD、CODMn 和 TN 影响；S4 综合污染指数最高，主控因子为 TN、TP 和 NH₃-N，是柳州市地表水生态治理中应重点关注的区域(见表 4)。

4.4. 底泥与水生态风险补充分析

从底泥和水生态辅助指标看，水质污染压力较高的 S3 和 S4 断面也表现出较明显的生态风险。S4 支

流入江口断面底泥 TN 和 TP 含量较高，叶绿素 a 浓度和岸线硬化程度相对偏高，底栖动物完整性指数较低，说明营养盐累积和生境质量下降可能共同影响水生生态系统稳定性。S3 工业影响控制断面底泥有机质含量较高，提示有机污染输入和沉积物吸附累积风险值得关注。相关结果见表 5。

Table 4. Comprehensive pollution index assessment results of typical sections in Liuzhou City
表 4. 柳州市典型断面综合污染指数评价结果

断面	综合污染指数 P	主控因子	评价结果	污染压力
S1	0.40	TN	II 类	低
S2	0.51	TN	II 类	中等偏低
S3	0.67	TN、CODMn	II~III 类	中等
S4	0.87	TN、TP、NH ₃ -N	III 类	中等偏高
S5	0.51	TN	II 类	中等偏低

Table 5. Supplementary sediment and aquatic ecological indicators of typical sections in Liuzhou City
表 5. 柳州市典型断面底泥与水生态辅助指标

断面	底泥有机质/%	底泥 TN/(mg/kg)	底泥 TP/(mg/kg)	叶绿素 a/(μg/L)	B-IBI 评分	岸线硬化比例 /%
S1	2.1	850	420	4.8	72	18
S2	2.8	1120	560	7.5	64	46
S3	3.7	1460	720	8.6	58	55
S4	4.2	1680	860	11.2	51	62
S5	2.4	980	500	5.6	69	24

注：B-IBI 为底栖动物完整性指数，分值越高表示生境和生物群落状况越好。

4.5. 污染成因与水生态风险分析

从空间分布看，支流入江口断面和工业影响控制断面是水质波动较明显的区域。S4 断面营养盐指标偏高，可能与支流汇水区生活污水收集处理不足、面源污染输入、雨季地表径流冲刷和河道交换能力较弱有关；S3 断面 COD 和 CODMn 偏高，提示工业集中区下游有机污染输入风险和排口监管压力仍然存在。

结合柳州市产业布局和土地利用特征，工业集中区、主城区硬化地表、城乡接合部农业与生活混合区是影响不同断面水质差异的重要因素。近年来河湖长制、入河排污口排查整治和水污染防治行动为柳州市水质保持提供了制度基础，但局部支流、排污口下游和雨季径流输入仍可能造成短时水质波动。虽然各断面总体处于 II~III 类范围，但从水生态保护角度看，仍需关注营养盐累积、局部有机污染输入、底泥释放和岸线生态功能下降等风险。

5. 讨论

5.1. 研究结果的环境意义

本研究基于实测数据系统评价了柳州市典型地表水断面的水质状况，结果显示柳州市地表水总体保持在较好水平，但不同功能河段之间存在明显差异。支流入江口和工业影响控制断面是污染压力相对集中的区域，说明在优良水质保持背景下，局部污染风险识别与精细化治理同样重要。

研究表明，营养盐和有机污染指标是影响柳州市地表水质量差异的重要因素。对工业城市而言，

水环境治理不应仅关注干流水质类别是否达标，还应重点加强支流、排污口、初期雨水径流、底泥和岸线生态空间的系统治理，从而维持河流生态系统长期稳定。

5.2. 与国内外相关研究的对比

已有城市河流水环境研究指出，城市河流问题通常由水质、水动力、生境、景观和生态过程共同决定，单一水质达标并不能完全代表河流健康状况[9]。本研究中 S1 和 S5 断面水质较好，但 S3 和 S4 断面表现出有机物、营养盐和生态辅助指标的同步波动，说明水质评价与水生态评价结合具有必要性。

与国内其他工业城市河流研究相比，柳州市典型断面整体污染指数不高，但空间差异明显，表现为工业影响控制断面有机污染指标偏高、支流入江口营养盐指标偏高。这与城市土地利用结构对河流水质和溶解性有机质组成具有重要影响的研究结论相一致[9]。国外城市河流治理经验也表明，工业区、交通区和高密度建设区往往是面源污染和排口污染的重点来源，需要通过源头控制、生态缓冲和长期监测协同管理[10]。

与黑臭水体治理或重污染河段修复研究不同，柳州市地表水治理更适合突出“优良水质保持与风险防控”的思路。本研究表明，即使总体水质类别较好，支流入江口、工业影响河段和岸线硬化区域仍可能出现底泥营养盐累积、水生生物完整性下降和水生态风险上升。因此，治理策略应从单纯工程截污进一步拓展到水质、水生态和流域管控协同。

5.3. 研究不足之处

第一，监测断面数量相对有限，虽覆盖了上游来水、城市景观、工业影响、支流入江口和水源保护等典型类型，但对小支流、排污口下游和城乡接合部河段的精细刻画仍有不足。

第二，监测时间主要集中在平水期至丰水期，尚未覆盖完整水文年，对枯水期低流量条件下污染物浓缩效应的分析仍不充分。

第三，本研究虽增加了底泥和水生态辅助指标，但相关调查仍以典型断面为主，对浮游植物优势种、鱼类群落、微量有机污染物和重金属形态分布等内容关注不足。第四，综合污染指数法能够反映断面相对污染压力，但指标权重相对简化，对季节变化、流量条件和污染源贡献比例的定量刻画仍需进一步加强。

5.4. 未来研究方向

未来应在柳江干流、重点支流、排污口下游和城乡接合部河段进一步加密监测断面，形成覆盖枯水期、平水期和丰水期的长期动态监测体系，提高污染风险识别的时空分辨率。同时，可将水质监测与底泥调查、水生生物评价、遥感监测、无人机巡查和污染源溯源技术结合，构建水质-水生态-污染源协同评价体系。

对于支流入江口和工业影响控制断面，后续研究可引入同位素示踪、污染物指纹识别或排水管网模型，定量解析生活污水、工业排水、农业面源和雨季径流的贡献比例。还可结合 SWMM 等模型工具模拟不同降雨情景和生态设施布局下的污染削减效果，为精细化治理和工程方案优化提供依据。

6. 综合治理方案及其适配性分析

基于水质评价结果、底泥与水生态风险分析，本研究提出“污染源控制-工程治理-生态修复-智慧监管-长效管护”相结合的综合治理方案。该方案既强调污染物削减，也强调河岸带生态功能恢复和风险预警能力提升。

6.1. 污染源控制

污染源控制是地表水生态治理的基础。柳州市应继续强化工业企业稳定达标排放，加强重点行业排

水监管和入河排污口排查整治,完善污水管网和雨污分流系统,减少生活污水和初期雨水直排入河。针对农业面源污染,应推广测土配方施肥、生态沟渠和农田缓冲带建设,减少氮、磷等营养盐进入河流。

6.2. 工程治理与生态修复联合应用

对于污染负荷较高的支流入江口和工业影响河段,可采取工程治理与生态修复联合措施。工程治理侧重截污纳管、排口整治、管网修复、初期雨水调蓄和污水处理设施完善;生态修复侧重生态护岸、人工湿地、生态浮岛、水生植物恢复和滨水缓冲带建设。两类措施相互补充,既能快速削减污染负荷,又能提升河流自净能力和生态景观价值。

6.3. 分区治理策略

不同断面治理重点应与污染特征相匹配。S1 柳江上游来水断面应以流域协同保护和上游输入监控为主;S2 市区景观断面应重点推进雨污分流、初期雨水调蓄、岸线生态化改造和城市面源污染控制;S3 工业影响控制断面应强化工业排水监管、排污口溯源、企业雨污分流核查和在线监测;S4 支流入江口断面应重点推进生活污水收集、农业面源削减、入江口湿地建设和底泥风险管控;S5 水源保护相关断面应加强水源地保护、风险预警和应急管控。

6.4. 水生态长期修复

水生态长期修复应以河流生态系统健康为目标。在柳江干流和重点支流两岸,应合理控制岸线硬化强度,恢复滨水植被,构建乔木、灌木、草本相结合的生态缓冲带。在支流入江口、污水处理厂尾水下游和城乡接合部河段,可建设人工湿地或生态滞留区,提高氮、磷和有机物削减能力,并为底栖动物和水生植物恢复创造生境条件。

6.5. 监测与评估

监测与评估是综合治理方案长期发挥作用的保障。柳州市可进一步完善自动监测、人工巡查、无人机巡查、遥感识别和大数据预警相结合的监测体系,对重点断面、重点排污口、支流入江口和水质敏感河段开展动态监管。对水质异常波动,应及时开展污染溯源和现场核查,实现由事后治理向提前预防转变。

6.6. 方案适配性分析

从评价结果看,S4 支流入江口和 S3 工业影响控制断面是综合治理的重点对象。对 S4 断面,应重点削减生活污水和农业面源输入,建设生态缓冲带和入江口湿地;对 S3 断面,应加强工业排水监管、排污口溯源和企业雨污分流核查;对 S2 市区景观断面,应强化初期雨水调蓄、岸线生态化改造和城市面源污染控制。S1 和 S5 断面水质较好,应以水质稳定保持和水源地风险预防为主。

该方案能够与不同类型断面的污染特征相匹配,具有较强针对性。通过源头削减、过程拦截、生态净化和长效监管协同推进,可提高柳州市地表水水质稳定性和水生态系统韧性。

7. 结论与展望

(1) 基于实测数据的评价结果显示,柳州市典型地表水断面水质总体处于 II~III 类水平。S1 柳江上游来水断面和 S5 水源保护相关断面水质较好,S4 支流入江口断面污染压力相对较高。

(2) COD、CODMn、NH₃-N、TP 和 TN 是影响不同断面水质差异的重要指标。S3 工业影响控制断面有机污染指标相对偏高,S4 支流入江口断面营养盐指标相对较高,支流汇入、生活污水、面源污染和雨

季径流应作为重点监管方向。

(3) 底泥与水生态辅助指标显示,支流入江口和工业影响控制断面存在一定营养盐累积、生境质量下降和水生态风险,说明柳州市地表水治理应由水质达标保持进一步转向水生态系统健康提升。

(4) 柳州市地表水生态治理应坚持“污染源控制-工程治理-生态修复-智慧监管-长效管护”相结合的路径,未来研究应进一步加密监测断面,补充底泥、水生生物和微量污染物调查,并结合遥感监测、无人机巡查和污染源溯源技术,构建更完整的水质-水生态综合评价体系。

参考文献

- [1] 朱伟,夏霆,姜谋余,赵联芳.城市河流水环境综合评价方法探讨[J].水科学进展,2007(5):736-744.
- [2] 关于征求《河流水生态环境质量监测与评价技术指南》等3项国家环境保护标准意见的函[EB/OL].
https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk06/202009/t20200930_801824.html, 2020-09-30.
- [3] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. GB 3838-2002 地表水环境质量标准[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [4] 生态环境部. HJ 91.2-2022 地表水环境质量监测技术规范[S].北京:中国环境科学出版社,2022.
- [5] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].第4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [6] 生态环境部. HJ 535-2009 水质氨氮的测定纳氏试剂分光光度法[S].北京:中国环境科学出版社,2009.
- [7] 生态环境部. HJ 828-2017 水质化学需氧量的测定重铬酸盐法[S].北京:中国环境科学出版社,2017.
- [8] 环境保护部. HJ 636-2012 水质总氮的测定碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法[S].北京:中国环境科学出版社,2012.
- [9] 王建龙,陈吉宁.城市面源污染及其控制技术研究进展[J].环境科学学报,2012,32(4):761-772.
- [10] Walsh, C.J., Roy, A.H., Feminella, J.W., Cottingham, P.D., Groffman, P.M. and Morgan, R.P. (2005) The Urban Stream Syndrome: Current Knowledge and the Search for a Cure. *Journal of the North American Benthological Society*, **24**, 706-723. <https://doi.org/10.1899/04-028.1>