

城镇水系统研究与应用

孙同谦, 王华, 张明运, 等. 水系治理项目污染源调查分析对策与实践[J]. 净水技术, 2024, 43(10): 134-143.

SUN T Q, WANG H, ZHANG M Y, et al. Countermeasures and practice of pollution sources investigation analysis for river-system remediation projects [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(10): 134-143.

水系治理项目污染源调查分析对策与实践

孙同谦*, 王 华, 张明运, 梁伦彰

(天津市市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300392)

摘 要 水系治理项目往往现场情况复杂、调研难度较大, 污染源分析作为该类型项目前期工作中最关键环节, 能够为后期项目实施提供最直接、最有效的依据。文章以南方某水系治理项目前期调研过程为例, 详细阐述污染源分析对策中技术路线、工作方法, 以及如何以污染负荷估算为标准分析各类型污染的量化指标。为明确目标水系污染源总体分布情况, 该次污染源调查采用现场初勘、实地调查、污染源分析的工作方法, 通过点源污染负荷估算和面源污染负荷估算, 分析得到 4 个主要排口对目标水系入河 COD_{Cr}、氨氮、TP 污染总贡献率分别达 83.1%、78.4%、85.5%, 工业面源污染和农村面源污染对目标水系入河 COD_{Cr}、氨氮、TP 污染总贡献率分别达到 75.41%、87.36%、83.36%。证明对目标子流域污染贡献度较高的排口和面源污染类型, 为后期工程措施提供关键依据。文章所阐述的污染源分析对策可为类似项目前期调研提供思路和借鉴, 为相关项目后期实施提供较为精准的依据。

关键词 水系治理 污染源分析 污染负荷 污染源调查 点源污染 面源污染

中图分类号: X52 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-0177(2024)10-0134-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.10.017

Countermeasures and Practice of Pollution Sources Investigation and Analysis for River-System Remediation Projects

SUN Tongqian*, WANG Hua, ZHANG Mingyun, LIANG Lunzhang

(Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300392, China)

Abstract Water system governance projects often have complex on-site conditions and high research difficulty. Pollution source analysis, as the most crucial link in the early stage of this type of project, can provide the most direct and effective basis for the implementation of later projects. This paper takes the preliminary research process of a water system treatment project in the south as an example to elaborate on the technical route and working methods in pollution source analysis countermeasures, as well as how to analyze the quantitative indices of various types of pollution using pollution load estimation as the standard. In order to clarify the overall distribution of pollution sources in the target water system, this pollution source investigation adopts the methods of on-site preliminary survey, on-site investigation, and pollution source analysis. Through point source pollution load estimation and non-point source pollution load estimation, the total contribution rates of the four main outlets to the COD_{Cr}, ammonia nitrogen, and TP pollution of the target water system entering the river are analyzed to be 83.1%, 78.4%, 85.5%, respectively. Industrial non-point source pollution and rural non-point source pollution contribute to the COD_{Cr}, ammonia nitrogen, and TP pollution of the target water system entering the river are analyzed to be 75.41%, 87.36%, 83.36%, respectively. It proves the types of discharge and non-point source pollution that contribute significantly to the pollution of the target sub basin, providing key basis for later engineering measures. The pollution

[收稿日期] 2023-11-21

[基金项目] 佛山市南海区良安水系水环境综合治理项目勘察设计

[通信作者] 孙同谦(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事给排水、环境工程设计工作, E-mail: suntongq@126.com。

source analysis countermeasures described in this paper can provide ideas and references for similar projects in the early stage of research, and provide a more accurate basis for the later implementation of related projects.

Keywords river-system remediation pollution source analysis pollution load pollution source survey point source pollution non-point source pollution

污染源调查及分析是水系治理前期最基础工作之一^[1],通过污染源调查可以对目标水系的污染源总体分布情况有整体的了解和掌握,通过对污染源的产生、排放及空间结构分析,为目标水系水环境污染治理提供基础支撑。调查内容主要包括生活污水直排口、工业废水排口等直接排放入河的点源污染源,农村生活污染、城镇地表径流污染、农业种植面源污染、养殖面源污染、工业面源污染等面源污染源,以及河涌底泥造成的内源污染。对流域点源污染源、面源污染源的调查主要采用填表、问卷等方式做到全覆盖、不留死角^[2]。采用全覆盖方式进行污染源调研往往工作量较大、周期较长,对于工期紧张的工程项目而言,前期调研工作难以满足全覆盖要求。近年更多的数学模型被广泛用于污染源分析,利用 MCWQI 模型进行水质评价,通过 APCS-MLR 模型识别污染源并计算贡献率^[3],该方法通常应用于污染源调查分析。数学模型在建模过程中所需参数较多,边界条件的确定也比较复杂,在工程项目前期调研中收集资料有限,模型法难以真实反映实际情况。

本文以良安水系治理工作前期污染源调查分析过程为例,详细阐述污染源调研分析方法步骤和技术路线。受限于项目工期要求和资料收集欠缺,本次污染源调研侧重分析典型污染源及其对目标水系的污染程度,在较短时间内明确主要污染源,为后期工程措施提供关键依据。

1 技术路线及工作方法

1.1 研究区域概况

本次研究依托佛山市南海区良安水系水环境综合治理项目,良安水系位于佛山市南海区狮山镇,主干河涌 6 条,包括罗村涌、良安主涌、良安副涌、王芝涌、王芝截洪沟和良安截洪沟,主涌总长约为 27.305 km,还包括 28 条支涌,所有主涌和支涌全长约为 55 km,河涌成网状遍布良安水系,流域面积约为 49.41 km²。开展水系综合治理前,本流域河涌水质较差,长期处于劣 V 类,难以稳定达到 V 类标准。本次研究通过污染源分析,确定水体恶化原因,明确目标水系各类污染源的污染程度及分布,为后

续工程设计提供基础支撑。

1.2 技术路线

在资料收集的基础上,依据研究范围流域水系分布、地形地貌及区域汇水方向等,对良安水系进行子流域划分^[4],然后按照划分的子流域展开污染源调研,以小流域作为研究对象可提高调研精度,按子流域划分后,同一流域内各排口的调研周期缩短,各排口调研可避免调研周期过长而造成的排口流量、水质不同时段差异。小流域污染源调查分为点源污染调查和面源污染调查两方面:点源污染调查对存在旱季污水的排口进行重点排查,排水明渠可直接向上游溯源排查,找出污染源;面源污染主要在排污单元全面普查的基础上,重点对网格化地块、农村地区直接或间接向河道排放污水和初期雨水的单位、场所进行调查。图 1 为常规小流域污染源调研技术路线。

1.3 工作方法

调研工作主要分为现场初勘、实地调查和污染源分析。(1)现场初勘阶段:通过实地水系的梳理、历史水质资料的掌握,整理水体环境存在的问题,并搜集相关基础资料,为后续的详细调查和水质监测计划奠定基础。(2)实地调查阶段:结合初步勘察和搜集的基础信息资料,对流域内的污染源进行详细踏勘,掌握其分布信息、污染信息等。(3)污染源分析:对掌握到的污染源信息和水质监测数据进行系统联动分析,找出水体恶化的原因,通过污染负荷估算,识别污染源的贡献程度和分布,为后续工程设计提供基础支撑。图 2 为污染源调研工作方法。

2 污染源调查

流域污染源调查对象主要包括点源污染、面源污染、内源污染。点源污染包括生活污水直接排口、污水厂尾水排口、工业废水排口等直接排放入河的污染源;面源污染包括农村生活污染、城镇面源污染、农业面源污染、养殖面源污染、工业面源污染等污染类型;内源污染主要是积累在河道底泥中的污染物。

因篇幅有限,本文选取良安水系中的王芝截洪沟流域作为典型子流域进行详细阐述和调研研究方法论述。

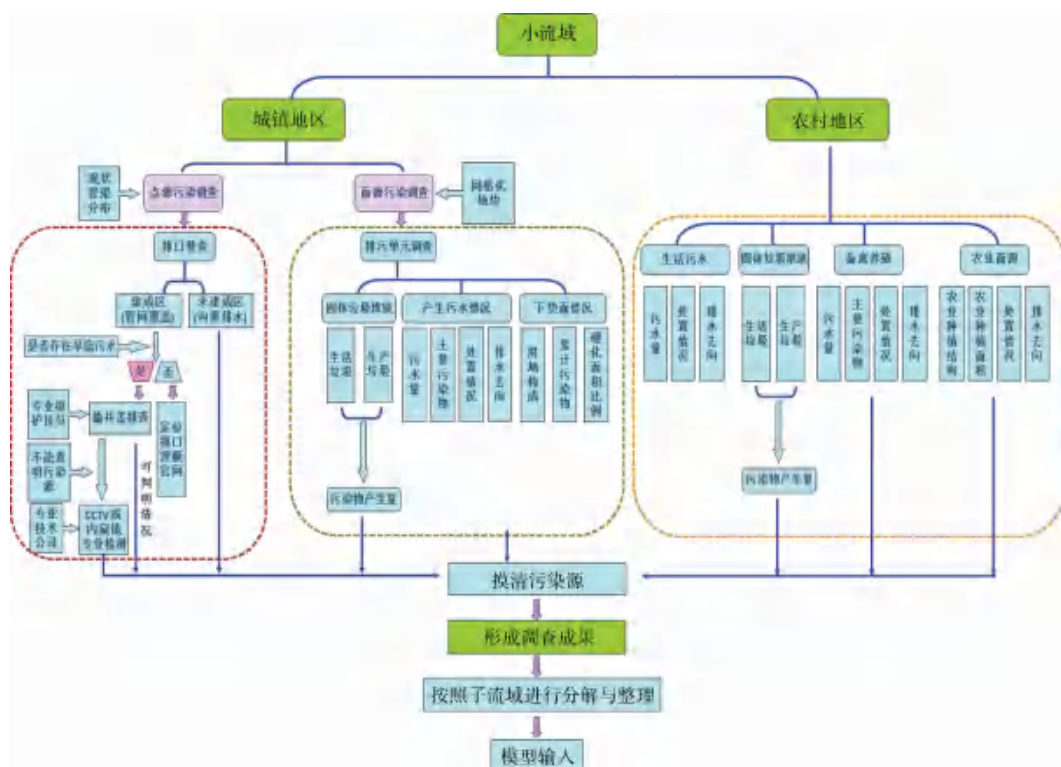


图 1 水系污染源调研技术路线

Fig. 1 Technical Roadmap of Pollution Source Investigation for River-System

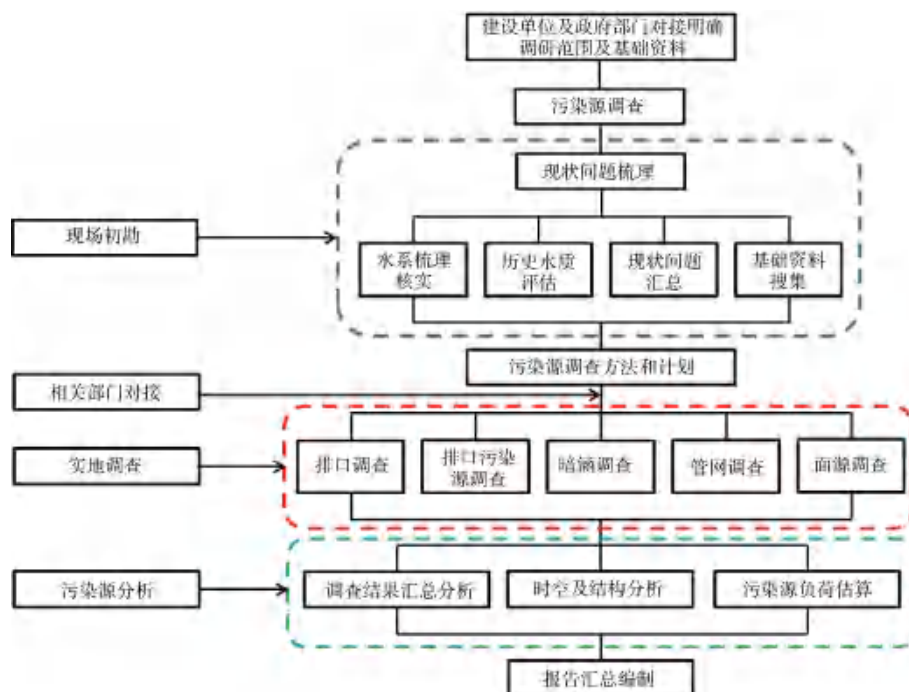


图 2 污染源调研工作方法

Fig. 2 Working Methods of Pollution Source Investigation

2.1 点源排口调查

图3为典型子流域王芝截洪沟水系分布,包括王芝截洪沟主沟以及汇入主沟的穆院支沟、新村坑排洪沟、岭背支沟、下旺田支沟、刘洞支沟、塘头支涌、招大支沟、海板支沟、芦塘支沟9条支沟,该子流域水系总长为16.37 km。经现场调研,子流域共有排口303个,其中重点排口43个。图4为排口位置记录,表1为排口调查统计表示例,所有排口应详细记录排口类型(污水/雨水/合流水/未知)、排放方式(间歇/连续)、入河方式(明管/明渠/暗渠/拍门)、材质(PVC/砼)、排口断面(圆形/矩形)、尺寸、水质颜色、臭味(有/无)、悬浮物(有/无)、位置(给定坐标)、管底标高、所在位置地面标高、摸排时间,形成排口统计表,以便为后期设计提供依据。随着各地水系治理的持续开展,水环境质量取得成效的同时,各地开展排污口排查工作也更加完善和规范。



图3 典型子流域水系分布

Fig. 3 River-System of Typical Sub Watershed



图4 排口位置分布图

Fig. 4 Location Diagram of Discharge Outlets

表1 排口调查统计表示例

Tab. 1 Example of Discharge Outlets Statistics

序号	排口 编号	排口 类型	排放 方式	入河 方式	材质	形状	尺寸/ mm	水质 颜色	臭味	悬浮 物	排口位置(国家 84 坐标系)		地面标 高/m	管底标 高/m
											坐标 X	坐标 Y		
1	排口 1	合流	间歇	明管	PVC	圆形	φ100	浑浊	有	无	703 914. 97	2 551 422. 19	2. 04	1. 94
2	排口 2	污水	间歇	明渠	砼	矩形	300×300	无	无	无	703 882. 07	2 551 418. 71	2. 32	1. 92
3	排口 3	污水	连续	拍门	砼	圆形	φ400	无	无	有	703 847. 21	2 551 402. 04	2. 22	1. 82
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

2.2 面源污染调查

该典型子流域主要面源污染为工业面源污染、城镇面源污染、农村面源污染,农业面源污染和养殖面源污染所占比重较小。需要特别注意的是,上述面源污染不与点源污染有交叉,例如工业面源污染不包括工业废水排口造成的点源污染,而是指工业生产过程中向环境排放有害物质或对环境产生有害影响的生产场所、设备和装置,事前没有考虑环境保护的要求,或者虽然考虑但在技术上或经济上存在一时难以解决的困难,因而没有采取相关措施或设立必要装置而形成的,工业企业所排出的污染物在大气沉降的作用下降落在地面,随着降雨的冲刷进入水体所造成的污染。同样,城镇面源污染和农村面源污染也不包括相应区域的点源污染。农业面源污染和养殖面源污染是指种植作物的农田及畜禽养殖、鱼塘等造成的污染。图5为该典型子流域面源污染分布图,需要对各面源污染区域的面积在图中进行测量,其中工业面源污染为10.497 km²,城镇面源污染为3.177 km²,农村面源污染为2.109 km²,农业面源污染为0.995 km²,养殖面源污染为0.383 km²。面源污染调研为后续面源负荷计算提供依据。

2.3 重点排口溯源

所有点源排口应进行溯源摸排,明确上游污水排放情况,若存在雨污合流或清污合流的情况,后期工程措施应尽量靠近源头、靠近上游进行分流,而非在沿河进行末端截污。图6中以某河段

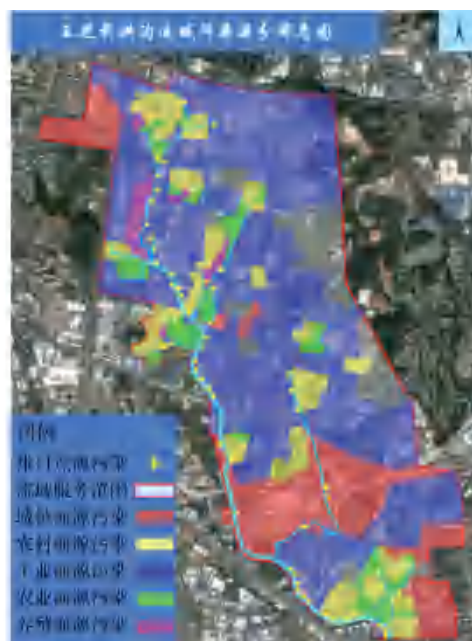


图5 面源污染分布

Fig. 5 Distribution of Non-Point Source Pollution

重点排口溯源为例,该河段在进行点源排口调查时发现排口53及穆院支沟一起点汇入流量较大,通过溯源清晰判断出合流管及合流暗渠路由位置,后期工程措施可考虑保留原合流管及合流暗渠作为雨水出路,沿原路由位置平行敷设污水管道,所有接入合流管及合流暗渠的污水支管切改进入新敷设污水管道,最终通过河段上游工业区内雨污分流改造解决下游河道污染问题。各排口溯源应按上述方法明确污染排放轨迹以为后期污染治理提供准确依据。



图6 某河段重点排口溯源

Fig. 6 Traceability of Key Discharge Outlets in a River Section

2.4 内源污染调查

本项目结合治理需求,2020 年第 4 季度对良安流域河涌不同断面进行泥质检测。检测的 101 个点位如图 7 所示,其中本次研究子流域王芝截洪沟水系选取 28 个点位进行检测,参考《佛山市河道清淤及淤泥处理处置工作指引》,重点检测总镉、总汞、总砷、总铅、总铬、总铜、总镍、总锌、氟化物(以氟计)、氰化物(以 CN 计)10 项指标,泥质检测结果及淤泥分类指标限值如表 2 所示。

根据要求,属于 I 类的且经过土壤改良等处理措施,达到《绿化种植土壤》(CJ/T 340—2016)等相关技术标准后,可用于绿化用土。属于 II 类的,可用于制砖、建材;属于 III 类的,可用于工业园区和园区厂房、道路的基础用土;超过 III 类限值的,经无害化技术处理后再次检测属于 I、II、III 类的可按对应类别处置;未经处理或经处理后检测仍超过 III 类限值的,需要开展浸出毒液鉴别。浸出液低于 IV 类限值应进行单独填埋、卫生填埋,或将检测负荷生活垃圾焚烧协同处置标准的纳入生活垃圾焚烧设施协同处



图 7 泥质取样点布置
Fig. 7 Layout of Sediment Sludge Sampling Points

表 2 检测结果及淤泥分类指标限值
Tab. 2 Detection Results and Limit Values of Sediment Sludge Classification Indices

序号	检测指标	研究子流域对象实际检测平均值/(mg·kg ⁻¹)	I 类限值	II 类限值	III 类限值	IV 类限值
			总量/(mg·kg ⁻¹)	总量/(mg·kg ⁻¹)	总量/(mg·kg ⁻¹)	浸出液/(mg·kg ⁻¹)
1	总镉	4.52	0.80	20	65	1
2	总汞	0.24	1.2	25	38	0.1
3	总砷	10.39	25	25	60	5
4	总铅	46.76	300	800	800	5
5	总铬	141.37	200	1 000	2 500	15
6	总铜	78.29	300	1 500	10 000	100
7	总镍	44.19	80	200	900	5
8	总锌	97.34	350	4 000	10 000	100
9	氟化物(以氟计)	124.22	1 000	2 000	2 000	100
10	氰化物(以 CN 计)	—	20	50	135	5

置;浸出液超过 IV 类限值的,要开展危险废物鉴定并按照有关规定单独制定处置方案。分类处置方式可以向下兼容,即 I 类也可按 II 类或 III 类的方式处置,但 II 类不能按 I 类的方式处置。根据本次研究子流域泥质的实际检测值,除总镉指标不能达到 I 类限值,其余指标均能达到 II 类,考虑与其他子流域清淤污泥合并处置,本次清淤污泥考虑用于工业园区和园区厂房、道路的基础用土进行外运处置。

3 污染负荷估算

3.1 点源污染负荷估算

在河道污染分布形式中,点源污染作为一种典

型的集中排污方式而长期存在,通常以河岸排口及水上突发污染事故的形式而广泛出现^[5]。点源污染对河道的污染机理较为复杂,其中河道形态对点源污染机理因二次环流现象及较强的紊动特性而导致物质输运和能量交换^[6]。在实际工程中,往往难以对点源污染进行更为深化的研究,通过选取典型排口进行点源污染负荷估算,可以对各排口的污染情况及分布定性和定量的明确,为后期进一步确定工程措施提供有效依据。

本次点源污染负荷估算选取实地调查中流量较大、水质颜色异常、臭味较大的排口作为重点排口进

行水质检测,重点排口共计 15 个,根据水质检测结果进行点源污染负荷估算。

点源负荷 $W_{d,j}$ 计算如式(1)~式(2)。

$$W_{d,j} = \sum W_{di,j} \quad (1)$$

$$W_{di,j} = C_{di,j} Q_{di} 365 \quad (2)$$

其中: $W_{di,j}$ ——排口 i 水体中污染物 j 一年的污染排放量, t/a ;

$C_{di,j}$ ——排口 i 水体中污染物 j 排污质量浓度, mg/L ;

Q_{di} ——排口 i 水体中污染物 j 排污水量, m^3/d 。

表 3 为所选取子流域重点排口污染负荷计算表(节选),各排口分别在上下午对水质中 COD_{Cr} 、氨氮、TP 3 项污染物进行检测,根据平均流量计算各污染物年排放量及所有排口总负荷,可得到各排口各污染物污染负荷占比。 COD_{Cr} 、氨氮、TP 排口总负荷分别为 1 268. 471、195. 052 3、33. 267 7 t/a 。如图 8 所示,根据以上数据,绘制 COD_{Cr} 、氨氮、TP 3 项污染物对应的各排口点源污染负荷统计图。

表 3 重点排口污染负荷计算

Tab. 3 Calculation for Pollution Load at Key Discharge Outlets

排口名称	取样时间	排口水质平均值/ (mg·L ⁻¹)			平均流量/ (m ³ ·d ⁻¹)	COD _{Cr} 负荷/ (t·a ⁻¹)	氨氮 负荷/ (t·a ⁻¹)	TP 负荷/ (t·a ⁻¹)	排口总负荷/(t·a ⁻¹)			污染负荷占比		
		COD _{Cr}	氨氮	TP					COD _{Cr}	氨氮	TP	COD _{Cr}	氨氮	TP
穆院分支沟	07:00—10:00	11	2.40	0.19	200	0.803	0.175 2	0.013 9	2.19	0.356 2	0.03	0.2%	0.2%	0.1%
一排口 2	15:00—18:00	19	2.48	0.22		1.387	0.181	0.016 1						
穆院主支沟	07:00—10:00	29	6.26	0.52	35	0.370 5	0.08	0.006 6	0.817 6	0.186 4	0.014 6	0.1%	0.1%	0.04%
排口 21	15:00—18:00	35	8.33	0.63		0.447 1	0.106 4	0.008						
穆院主支沟	07:00—10:00	47	3.21	0.48	1 100	18.870 5	1.288 8	0.192 7	28.105	2.597 7	0.373 4	2.2%	1.3%	1.1%
排口 52	15:00—18:00	23	3.26	0.45		9.234 5	1.308 9	0.180 7						
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

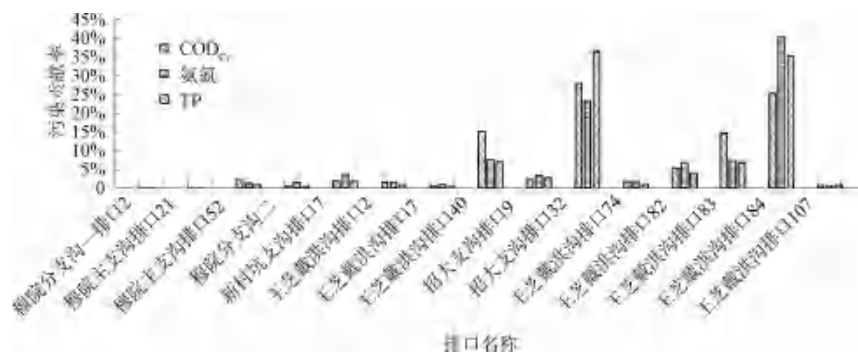


图 8 各排口对该水系点源污染负荷比例统计

Fig. 8 Statistics on the Proportion of Point Source Pollution Load in the River-System at Each Discharge Outlet

入河 COD_{Cr} 贡献率较高的排口排序为:招大支沟排口 32(桥下涵洞)(27.9%)>王芝截洪沟排口 84(25.5%)>王芝截洪沟排口 40(15.1%)>王芝截洪沟排口 83(14.6%),4 个排口对目标水系入河 COD_{Cr} 总贡献率达到 83.1%。

入河氨氮贡献率较高的排口排序为:王芝截洪沟排口 84(40.4%)>招大支沟排口 32(桥下涵洞)(23.2%)>王芝截洪沟排口 40(7.5%)>王芝截洪沟排口 83(7.3%),4 个排口对目标水系入河氨氮总贡

献率达到 78.4%。

入河 TP 贡献率较高的排口排序为:招大支沟排口 32(桥下涵洞)(36.3%)>王芝截洪沟排口 84(35.2%)>王芝截洪沟排口 40(7.1%)>王芝截洪沟排口 83(6.9%),4 个排口对目标水系入河 TP 总贡献率达到 85.5%。

综合分析点源污染方面,上述 4 个排口为 COD_{Cr} 、氨氮、TP 3 项污染物主要排放点源,各污染物入河贡献率较其他排口更高,4 个排口对目标水

系污染总贡献率分别达 83.1%、78.4%、85.5%，后期工程措施应重点关注。流域治理项目往往工作量大、工期紧张，对所有排口进行溯源难以实现，采取上述分析方法正是在较短时间内明确主要污染源的关键。进一步对上述 4 个主要排口溯源后发现，其中两个为上游排水单元污水直排口，直接进行封堵，将排水单元污水出路调整至其对应的市政污水干管；另外两个为雨污合流排口，沿上游管道平行敷设污水管道，将上游排水单元污水出户管接入新敷设污水管道，保留排水单元雨水出户管接入原合流管道，原合流管道作为雨水干管收集雨水排入河道。

3.2 面源污染负荷估算

目前在计算面源污染负荷方面，主要的估算方法包括排污系数法、模型法、水文分割法等。使用 SWAT 模型所需参数较多，区域性差异大，地面基础信息的获取难度较大，且研究成果大多只针对某一特定流域或地域^[7]；相较于以上模型，输出系数法算法简单，所需参数较少，主要通过产污系数、排污系数、入河系数等参数估算污染物产生量、排放量，产污系数受人为因素影响较小，污染物产生量估算较为准确^[8]。系数法对数据要求较低，应用性强^[9]，因此，在我国面源污染负荷研究中取得了广泛的应用，水系治理项目前期调研经常采用系数法对面源污染进行研究。

面源负荷 $W_{m,j}$ 计算如式(3)~式(4)。

$$W_{m,j} = \sum W_{mi,j} \quad (3)$$

$$W_{mi,j} = \theta_{mi,j} S_{mi} \varphi_{mi} T \quad (4)$$

其中： $W_{mi,j}$ ——面源污染类型 i 水体中污染物 j 一年的污染排放量，t/a；

$\theta_{mi,j}$ ——面源污染类型 i 水体中污染物 j 的排污系数；

S_{mi} ——面源污染类型 i 的面积/人数/头数/质量等；

φ_{mi} ——面源污染类型 i 的污染物入河系数；

T ——估算时段，a。

城镇面源污染相关参数选取：城镇面源污染物主要指城市垃圾、大气降尘、动植物遗体和部分交通废弃物。影响城镇面源污染量的主要因素是土地利用情况、人口密度、街道地面类型、清扫频率和交通流量等。参考《第二次全国污染源普查城镇生活源

产排污系数手册》城镇生活源水污染物产污校核系数，广东省属于第二区，流域所在区域属于狮山镇镇区。本次选取系数如下： COD_{Cr} 取值为 200 mg/L，氨氮平均值为 16 mg/L，TP 平均值为 3 mg/L，入河系数取 0.9。

工业面源污染相关参数选取：工业污染源是指工业生产过程中向环境排放有害物质或对环境产生有害影响的生产场所、设备和装置。它主要是事前没有考虑环境保护的要求，或者虽然考虑但在技术上或经济上存在一时难以解决的困难，因而没有采取相关措施或设立必要装置而形成的。结合研究子流域周边主要企业为机械加工、金属制品加工等，参考《第二次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》工业源系数手册相关行业参数，本次选取系数如下： COD_{Cr} 平均值为 71.72 mg/L，氨氮平均值为 1.1 mg/L，TP 平均值为 0.21 mg/L，入河系数取 0.8。

农村面源污染相关参数选取：参考《第二次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》农村居民生活水污染物产污校核系数，广东省属于第二区，农村地区分类按 3 类、有水冲式厕所考虑。本次选取系数：区域生活污水量取 52.1 L/(人·d)， COD_{Cr} 产生系数取 38 g/(人·d)，氨氮产生系数取 3.19 g/(人·d)，TP 产生系数取 0.42 g/(人·d)。

农业面源污染相关参数选取：农田面源污染产生量以调查所获得水田、旱地、其他等用地面积为依据，参考《全国地表水环境容量核定技术指南》和中国生态环境部公布的农田径流污染物流失源强系数确定，标准农田的 COD_{Cr} 排放系数为 10 kg/(亩·a)，氨氮排放系数为 2 kg/(亩·a)，TP 排放系数为 0.12 kg/(亩·a) (1 亩≈666.67 m²)。标准农田指的是平原、种植作物为小麦、土壤类型为壤土、化肥施用量为 25~35 kg/(亩·a)，降水量在 400~800 mm 的农田。对于其他农田，对应的源强系数需要进行修正，包括坡度修正系数、农田修正系数、土壤类型修正系数、化肥施用量修正系数、年降水量修正系数等。

养殖面源污染相关参数选取：畜禽养殖业污染物产生量以调查所获得养殖规模及粪污利用方式为依据，参照《第二次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册》和《农村环境连片整治示范项目技术指南》选取产排污系数。其中规模化养殖场入河系数结合养殖场与河道距离在 0.1~0.9 进行选取，本项目河道距离附近养殖场距离较近，选取系数 0.5。

表 4 为所选取子流域各面源污染负荷计算,根据各面源污染类型对应 COD_{Cr}、氨氮、TP 3 项污染物年排放量,可得到各面源污染类型各污染物污染负

荷占比。如图 9 所示,根据以上数据,绘制 COD_{Cr}、氨氮、TP 3 项污染物对应的各面源污染类型负荷统计。

表 4 各面源污染类型污染负荷计算值

Tab. 4 Calculation Value for Pollution Load of Various Non-Point Source Pollution Types

序号	面源污染类型	产污量/(t·a ⁻¹)			入河系数	入河量/(t·a ⁻¹)		
		COD _{Cr}	氨氮	TP		COD _{Cr}	氨氮	TP
1	城镇面源污染	104.36	2.95	0.63	0.9	93.92	2.66	0.57
2	工业面源污染	225.85	11.54	2.21	0.8	180.68	9.23	1.77
3	农村面源污染	146.15	17.84	1.86	0.9	131.54	16.06	1.67
4	农业面源污染	14.08	2.82	0.17	0.3	4.22	0.85	0.05
5	养殖面源污染	12.07	0.52	0.23	0.3	3.62	0.16	0.07

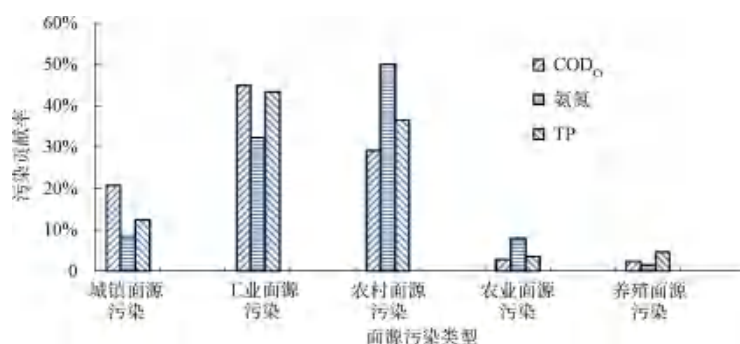


图 9 各面源污染类型污染负荷比例统计

Fig. 9 Statistics on the Proportion of Pollution Load of Various Non-Point Source Pollution Types

各面源污染类型入河 COD_{Cr} 贡献率排序为:工业面源污染(43.64%)>农村面源污染(31.77%)>城镇面源污染(22.69%)>农业面源污染(1.02%)>养殖面源污染(0.87%)。

各面源污染类型入河氨氮贡献率顺序为:农村面源污染(55.47%)>工业面源污染(31.89%)>城镇面源污染(9.17%)>农业面源污染(2.92%)>养殖面源污染(0.54%)。

各面源污染类型入河 TP 贡献率顺序为:工业面源污染(42.82%)>农村面源污染(40.54%)>城镇面源污染(13.73%)>养殖面源污染(1.67%)>农业面源污染(1.24%)。

综合分析面源污染方面,工业面源污染和农村面源污染较其他面源污染类型对 COD_{Cr}、氨氮、TP 3 项污染物贡献较高,两种面源污染类型对目标水系入河 COD_{Cr}、氨氮、TP 3 项污染物总贡献率分别达到 75.41%、87.36%、83.36%,结合重点排口溯源指向的上游工业区及农村,后期工程措施应重点关注工业、农村两方面面源污染类型采取针对性措施。

4 结论

水系治理项目一般体量都比较大,现场情况往往错综复杂,前期调研量、调研难度都比较大,流域内水系之间往往纵横交错、附近市政管网和农污管网遍布,这些情况都会增加水系治理项目前期工作难度。污染源调查是水系治理项目前期工作的关键,全面且精准的污染源分析能够为后期“控源截污”等工程措施提供最直接最有效的依据,参考上述一系列污染源调研分析方法步骤和技术路线,可对目标水系各类型点源污染、面源污染的分布、排放及污染贡献度等因素量化指标,为项目后期的实施提供较为准确的依据。

5 对策及建议

上述污染源调研分析方法基于所研究流域在一定周期内相关排水单元产污情况无较大变化,建议在类似水系治理项目调研过程中明确是否有其他相关在建项目,若流域内正在实施雨污分流改造、老旧小区提质增效、园区企业整改等对产污有所影响的相关工程,还应结合相关项目周期、工程实施目标、

预期效果等进行边界条件和水质监测周期的合理确定,避免其他在建项目对研究区域的影响,同时也应避免分析成果对应的工程措施与在建项目冲突或重复。

参考文献

- [1] 沙桐,王洋,汪聪,等. 南方水系发达区域村镇水环境综合治理关键技术与示范[J]. 净水技术, 2022, 41(10): 115-119, 129.
- SHA T, WANG Y, WANG C, et al. Crucial technologies and demonstration of comprehensive treatment of water environment in villages and towns in southern developed water system areas[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(10): 115-119, 129.
- [2] 刘园. 流域水环境的污染源调查[J]. 水力发电, 2022, 46(9): 23-27, 36.
- LIU Y. Investigation of pollution sources for water environment in a river basin[J]. Water Power, 2022, 46(9): 23-27, 36.
- [3] 赵尚玉,郑小慎,叶怡. 滨海新区地表水水质评价与污染源分析[J]. 中国环境监测, 2023, 39(2): 107-116.
- ZHAO S Y, ZHENG X S, YE Q. Surface water quality evaluation and pollution source analysis in Binhai new area[J]. Environmental Monitoring in China, 2023, 39(2): 107-116.
- [4] 刘佳嘉,周祖昊,陈松,等. 考虑城市管网的分布式水文模型子流域划分及编码研究[J]. 水利水电技术, 2019, 50(6): 49-54.
- LIU J J, ZHOU Z H, CHEN S, et al. Study on urban pipeline network-considered division and coding of sub-watershed for distributed hydrological model [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2019, 50(6): 49-54.
- [5] 陆圣杰,朱海,徐洁如,等. 连续弯曲河道点源污染物输运特性三维数值模拟[J]. 水利水电科技进展, 2023, 43(2): 16-26.
- LU S J, ZHU H, XU J R, et al. Three-dimensional numerical simulations of transport characteristics of point source pollutant in a sinuous open channel[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2023, 43(2): 16-26.
- [6] 李民康,冀鸿兰,罗红春,等. 流凌条件下弯道水力特性数值模拟[J]. 水利水电科技进展, 2021, 41(3): 41-49.
- LI M K, JI H L, LUO H C, et al. Numerical simulation of hydraulic characteristics of curved channels under ice flow conditions[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2021, 41(3): 41-49.
- [7] 杨金凤,冯爱萍,王雪蕾,等. 海河流域农业面源污染潜在风险识别方法[J]. 中国环境科学, 2021, 41(10): 4782-4781.
- YANG J F, FENG A P, WANG X L, et al. An identification method of potential risk for agricultural non-point source pollution in the Haihe River Basin [J]. China Environmental Science, 2021, 41(10): 4782-4781.
- [8] 陶园,徐静,任贺靖,等. 黄河流域农业面源污染时空变化及因素分析[J]. 农业工程学报, 2021, 37(4): 257-264.
- TAO Y, XU J, REN H J, et al. Spatiotemporal evolution of agricultural non-point source pollution and its influencing factors in the Yellow River Basin [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(4): 257-264.
- [9] 冉蛟,向蓉,肖克彦. 多邛海主要入湖河流氮、磷入湖污染负荷特征研究[J]. 环境污染与防治, 2023, 45(9): 1213-1217.
- RAN J, XIANG R, XIAO K Y. Study on the characteristics of nitrogen and phosphorus pollution load in main inflow rivers of Qionghai Lake[J]. Environmental Pollution and Control, 2023, 45(9): 1213-1217.

(上接第 65 页)

- [20] ZHAO J, JIANG T X, CHENG Y, et al. The influence of micro-flocculation on membrane fouling during ultrafiltration of dissolved organic matter[J]. Journal of Water Process Engineering, 2023, 56: 104361. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104361.
- [21] 魏钊. 厌氧-好氧-MBR 工艺对膜污染控制及有机物去除特性的研究 [D]. 南京: 东南大学, 2022.
- WEI T. Study on membrane fouling control and organic matter removal by anaerobic-aerobic-MBR bioreactor [D]. Nanjing: Southeast University, 2022.
- [22] 邹慧. 典型有机物引起的超滤膜污染机理及控制策略研究 [D]. 金华: 浙江师范大学, 2023.
- ZOU H. Study on mechanism and control strategy of ultrafiltration membrane fouling caused by typical organic matters [D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2023.
- [23] 王天一. 混凝超滤处理滤池反冲洗废水的效能及优化研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022.
- WANG T Y. Study on the efficiency and optimization of coagulation ultrafiltration treatment of filter backwash wastewater [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2022.