流域水环境耗氧污染物溯源

技术指南

（征求意见稿）

编制说明

《流域水环境耗氧污染物溯源技术指南》编制组

 年 月

项目名称：流域水环境耗氧污染物溯源技术指南

承担单位：大连理工大学、中国环境科学研究院、长江水利委员会长江科学院、北京科技大学、北京师范大学、中国环境监测总站、浙江工商大学

项目联系人：李嘉琪

编制组负责人：刘志红

编制组联系人：刘志红

目 录

1 项目背景 1

1.1 任务来源 1

1.2 主要工作过程 1

2 标准编制的必要性分析 2

2.1 保障国家水环境生态安全的重要支撑 2

2.2 系统规范溯源工作、提高治理效率的重要依据 3

3 标准编制原则 4

4 标准主要内容及说明 5

4.1 范围 6

4.2 规范性引用文件 6

4.3 术语和定义 7

4.4 耗氧污染物溯源技术流程 7

4.5 污染超标流域范围确定 7

4.6 资料收集与初步分析 8

4.7 野外现场勘察 11

4.8 多技术集成溯源方法 14

4.9 问题清单制定 17

5 与国内外相关技术标准对比情况 19

5.1 国内外相关技术发展动态 19

5.2 与国内外相关技术标准的比较 21

6 标准中涉及专利的情况 23

7 与相关法律法规以及相关国家、行业和地方标准的关系 23

8 重大分歧意见的处理经过和依据 24

9 标准性质的建议说明 24

10 贯彻标准的要求和措施建议 24

11 废止现行相关标准的建议 24

12 其他应予说明的事项 24

参考文献 25

**1 项目背景**

**1.1 任务来源**

本标准依托于国家重点研发计划项目《长江黄河国控断面重要水环境指标异常成因机理与管控策略》，旨在满足我国流域水环境精细化管理需求，建立可靠的污染物溯源技术体系。按照《中国环境科学学会标准管理办法（试行）》中关于“中国环境科学学会团体标准申报工作通知”的规定，由大连理工大学负责组织团体标准申报工作。2024年8月13日，中国环境科学学会发布《关于<流域水环境耗氧污染物溯源技术指南>等8项团体标准拟立项的公示》，《流域水环境耗氧污染物溯源技术指南》正式立项，大连理工大学、中国环境科学研究院、长江水利委员会长江科学院、北京科技大学、北京师范大学、中国环境监测总站、浙江工商大学共7家单位共同承担标准编制工作。

**1.2 主要工作过程**

**（1）编制组成立与项目启动**

2024年1月至2月，按照新标准立项计划，大连理工大学组织成立标准编制组，由大连理工大学、中国环境科学研究院、长江水利委员会长江科学院、北京科技大学、北京师范大学、中国环境监测总站、浙江工商大学共同承担标准的编制工作，标准编制组初步制定标准总体框架和主要技术内容，明确任务分工与工作进度安排；

**（2）指南草案编制**

根据文献调研、实地调查、专家咨询以及比对分析等工作基础，结合水功能与水环境功能管理的需求，参考国家重点研发计划项目等相关研究成果，编制组成员确定了起草该指南的基本思路和技术路线，最终完成了《流域水环境耗氧污染物溯源技术指南》的初步文稿。

2024年3月至4月，团队收集来自国内外的相关政策法规、标准、文献和技术资料，采用座谈会、实地考察和查阅资料等多种方法进行深入研究，明确了标准编制的大纲，形成了标准的草案；

**（3）标准立项论证**

2024年5月至7月，中国环境科学学会组织标准立项论证会。对立项材料进行深入讨论并提出建议。标准编制小组根据反馈修订标准草案，最终形成标准征求意见稿（初稿）；

**（4）标准编制**

2024年8月到12月，中国环境科学学会组织召开标准技术审查会议，以评估并讨论标准草案（初稿）。标准编写小组将根据专家们的反馈对标准草案进行修改，并生成新的标准草案及其相关解释性文件，并向公众征求意见。

**2 标准编制的必要性分析**

**2.1 保障国家水环境生态安全的重要支撑**

党中央和国务院高度重视水生态环境安全问题，通过政策制定、工程项目推进、监管执法、科技支持、宣传教育等多种手段全面推进水生态环境保护工作，努力保护水资源，维护生态环境的安全和稳定。中共中央办公厅、国务院办公厅出台了一系列关于水生态环境保护的重要文件和政策，如《国务院关于进一步加强长江流域生态环境保护和修复工作的若干意见》、《国务院办公厅关于加强大气、水和土壤污染防治工作的意见》、《国务院办公厅关于实施重大生态保护工程进一步加强水资源保护和水环境治理的意见》和《国务院关于加强黑臭水体治理的意见》等，明确了加强水生态环境保护的目标和措施。党中央和国务院支持和推动一系列重大水生态环境保护工程项目的实施，如南水北调工程、长江经济带发展规划等，旨在改善水资源配置和保护生态环境。为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》，保护和改善水环境质量，加水环境生态风险管理，是保护生态安全，贯彻落实习近平生态文明思想的重要任务。

当前国内还没有建立一套全面、系统的流域水污染溯源技术标准。现有的标准往往零散且不具备系统性，导致各部门在水污染事件发生时缺乏统一的技术指导和标准流程。这种情况下，溯源工作容易出现混乱，影响溯源效率和准确性。

**2.2 系统规范溯源工作、提高治理效率的重要依据**

生态环境部于2023年发布了《入河入海排污口监督管理技术指南 溯源总则》（HJ 1313—2023），该指南指导各地进行入河入海排污口溯源工作，以厘清入河入海排污口与污染源之间的对应关系，并确定相应的责任主体。目前尚未就非排污口检测到的水体污染的溯源工作及责任主体作出规定。而《流域水环境耗氧污染物溯源技术指南》提出了一种适用于水体污染溯源的通用技术方法，弥补了溯源方法单一方面的不足，为系统规范溯源工作、提高治理效率提供了重要依据。

当水污染事件发生时，能够快速、精准地定位污染源至关重要。这不仅有助于迅速控制污染扩散，减少污染带来的环境和生态破坏，还能及时采取补救措施，降低对公共健康的危害。没有统一的技术标准，各地在处理水污染事件时可能会采取不同的方法，延误最佳处理时机。再者，水污染事件往往伴随着巨大的经济损失，包括治理费用、生态补偿、经济赔偿等。溯源技术指南的制定，可以提高溯源效率和准确性，从而缩短处理时间，减少因污染扩散而导致的额外损失，降低治理成本。

**3 标准编制原则**

**（1）符合性原则**

以《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》以及其他我国现行水环境保护相关法律法规、条例、标准、指南、导则作为主要编制依据，确保《流域水环境耗氧污染物溯源技术指南》内容严格遵循国家现行的环境保护法律法规和政策要求，确保溯源工作符合法律法规的相关要求和标准，以切合国家需求与目标。

**（2）适用性原则**

本标准具有普适性和科学性，基于科学的原理和方法，确保溯源工作的准确性、可靠性和可重复性，具备一定的科学性和可操作性，适用于不同类型和规模的水体污染溯源工作，无论是城市还是农村、工业区还是农业区，都应能够有效指导溯源工作的实施，且有一定的灵活性和可调整性，能够根据不同地域、不同污染类型和程度灵活应用，适应各种复杂的溯源场景和情况。

**（3）可行性原则**

本指南具有实际操作的可行性和实用性，指导实际工作中的污染源追踪和责任界定，使溯源工作能够在现实环境中有效展开。且全面考虑耗氧污染物溯源工作的方方面面，包括技术手段、数据分析、责任主体确定等各个环节，确保溯源工作的全面性和系统性。

首先，目前国内外在水污染溯源技术方面已经积累了丰富的研究成果和实践经验，包括GIS技术、同位素技术、数学模型、三维荧光技术等。这些技术的不断进步和完善，为制定统一的溯源技术标准提供了坚实的基础。

其次，水污染溯源工作涉及环保、水利、农业、城市管理等多个部门的协同合作。近年来，各部门在污染溯源方面已形成了一定的合作机制和技术储备。制定统一的技术指南，有助于进一步规范和优化各部门的协作流程，提高溯源工作的整体效率和科学性。

再者，国家对环境保护和水资源管理的重视程度不断提高，《“十四五”生态环境监测规划》提出“进一步提升重点区域流域水质监测预警与水污染溯源能力”，明确了未来15年内生态环境监测的总体目标和主要任务，强调了水环境质量监测和溯源的重要性。制定本标准不仅符合国家的环保政策导向，也能满足地方政府和相关部门在水污染治理过程中的实际需求，为实现更高效的污染防治提供重要支撑。

**4 标准主要内容及说明**

本标准主要包括前言、引言以及技术内容部分。其中，前言部分主要介绍本标准的提出和归口单位以及编制组情况；引言部分主要介绍标准编制的背景和目的等内容；技术内容主要包括范围、规范性引用文件、术语和定义、耗氧污染物溯源技术流程、污染超标流域范围确定、资料收集与初步分析、野外现场勘察、多技术集成溯源方法、问题清单制定等9个章节的内容。

**4.1 范围**

本标准旨在为江河、湖泊、水库等地表水体中的耗氧污染物溯源提供技术要求和操作方法。标准规定了污染源的识别、溯源流程及技术步骤，适用于水体中自然源和人为活动引入的污染源的溯源，不涉及大气、土壤或地下水中的污染源。

**4.2 规范性引用文件**

本标准在制定过程中，收集了国内流域水环境耗氧污染物溯源的相关技术文件，并在术语和定义、污染超标流域范围确定等章节的部分内容中，引用现行的国家标准、行业标准共6项。凡是未注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。具体包括：

GB 3838 地表水环境质量标准

HJ 884 污染源源强核算技术指南准则

HJ 1310 入河入海排污口监督管理技术指南 名词术语

T/CSES 72 流域水环境模型评估验证技术指南

T/ZAEPI 027 基于三维荧光技术的水环境污染深度溯源技术规范

《地下水污染同位素源解析技术指南（试行）》（环办土壤〔2022〕16号）

**4.3 术语和定义**

主要包括溯源和污染源等术语。结合国内外相关研究成果，经斟酌讨论，对相关术语和定义进行修改完善（见表1）。

表1 术语和定义说明

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **术语** | **本标准** | **其他标准或文件** |
| 1 | 溯源 traceability | 通过分析和技术手段，确定地表水中耗氧性污染物的来源与位置，特别针对固定污染源，以支持污染治理和环境管理。 | [HJ 1310，3.3.7“入河入海排污口溯源”]通过资料查找、徒步排查、技术设备探查等方式，查找入河入海排污口污水来源，明确工业、农业 等污水类型，确定责任主体的过程。 |
| 2 | 污染源 pollution source | 在地表水环境中造成环境污染的耗氧污染物（COD、氨氮、总氮及总磷）发生源，包括：自然发生源：水体本身存在的自然过程所产生的耗氧性污染物；人为活动源：由于人类活动向环境引入的耗氧性污染物的场所、设备或装置。可以是水体本身存在的自然源，也可以是由人类活动引入的污染源，不涵盖大气、土壤及地下水中的污染源。 | [HJ 884，3.2“污染源”] 指造成环境污染的污染物发生源，通常指向环境排放有害物质或对环境产生有害影响的场所、设备或装置等 |

**4.4 耗氧污染物溯源技术流程**

本标准将流域水环境耗氧污染物溯源分为5个主要步骤，包括污染超标流域范围确定、资料收集与初步分析、野外现场勘察、多技术集成溯源方法、问题清单制定等。

**4.****5 污染超标流域范围确定**

通过收集和分析历史水质监测数据，结合水质标准进行初步筛查，明确超标污染物的时空分布与趋势变化，从而准确界定污染超标流域的范围。此步骤是污染源溯源的第一步，为后续的污染源识别与分析提供基础数据。

在确定污染超标流域范围的过程中，优先使用自动监测站提供的连续、实时数据，若数据不足，则补充人工监测数据，确保数据的完整性和准确性。通过对比污染物浓度与相关水质标准限值，结合污染物的时空变化和历史趋势，科学判断污染超标的区域和时段。为后续溯源工作奠定了数据基础，确保后续污染源追踪、技术应用等步骤的顺利进行。

**4.6 资料收集与初步分析**

**（1）适用条件**

本分析方法适用于流域内污染物浓度与常见污染源之间具有明显季节性变化和空间分布特征的地区，特别是针对农业、畜禽养殖、城市污水排放以及部分工业排放等污染源。在污染源类型较为常见的区域（如农业主导流域、典型的畜禽养殖区和城市污染区），该方法能够迅速识别潜在污染源，为后续的溯源工作提供方向。

**（2）资料收集**

通过收集污染超标流域内相关的污染源数据，为后续的污染源溯源工作提供必要的基础资料。针对四种耗氧污染物（COD、氨氮、总氮、总磷），资料的收集应具有高度的相关性和聚焦性，确保所获得的数据与污染源及污染物浓度之间有直接联系，从而有效支持污染源的识别和后续溯源分析。

针对农业活动的资料收集，应聚焦于流域内的化肥和农药使用数据。这些数据对于氮、磷的溯源尤为重要，因为化肥的施用直接影响氮和磷的浓度。此外，农业灌溉的方式和作物种植结构也应纳入数据收集范围，尤其是雨季和非雨季之间的差异。降水在雨季可能导致化肥和农药的流失，进而影响水体中氮、磷等污染物的浓度。因此，农业活动的资料收集需结合气象数据（如降水量）进行分析，以确保数据的时空一致性。

对于畜禽养殖源，应收集养殖场的数量、分布、密度、排污处理设施以及排放情况。这些数据直接影响COD、氮、磷等污染物的排放和浓度。畜禽养殖场的规模、种类和污染物处理能力直接关联污染物的源头和流动路径，尤其是氮、磷和COD等污染物的排放量。因此，畜禽养殖相关数据的收集需特别关注养殖业对污染物的贡献。

城市污染源资料的收集应关注污水处理厂的排放情况，特别是COD、氮、磷等污染物的浓度和排放量。流域内城市化程度较高的地区，其污水处理设施可能是主要的污染源，因此，收集这些城市的污水处理厂数据，能够为溯源分析提供关键的线索。

工业排放源的资料应聚焦于化工、制药等高污染行业的废水排放数据。工业废水排放中，COD是一个关键的污染物，其浓度和排放量的监控数据将帮助识别工业污染源的贡献。因此，收集工业排放相关数据时，重点关注COD污染物的排放情况及其空间分布。

在水质监测数据方面，应重点收集该流域内COD、氨氮、总氮、总磷等污染物的历史水质监测数据，尤其是关键监测点的时间序列数据，并区分雨季与非雨季的数据。这些数据将揭示污染物在不同季节、不同时间段的变化规律，为后续的溯源工作提供重要参考。同时，应结合空间分布分析，识别污染热点区域，为污染源的定位和识别提供依据。

此外，流域的降水量、土地利用类型、水文数据和气象数据也是污染源识别中不可或缺的重要资料。这些数据有助于了解流域内的污染物迁移、扩散和稀释过程，以及降水对污染物浓度的冲刷作用。

通过聚焦于与四种耗氧污染物相关的关键数据，确保所收集的资料具有足够的相关性、时效性和空间一致性，为后续污染源溯源工作奠定坚实的数据基础。

**（3）初步分析与溯源判断**

通过对已收集的历史水质监测数据、污染源活动模式、气象数据及流域土地利用数据的初步分析，进行污染源的初步定位和溯源判断。该分析主要聚焦于四种耗氧污染物（COD、氨氮、总氮、总磷）在流域中的浓度变化及其季节性特征，通过多维度数据的结合，快速锁定可能的污染源，并为后续详细溯源工作提供初步线索。

**a）数据分析与污染物浓度变化分析。**初步分析应从已收集的历史水质监测数据入手，尤其是针对COD、氨氮、总氮和总磷等耗氧污染物的浓度变化进行对比分析。根据季节性差异，雨季和非雨季的水质数据应分开处理。在雨季期间，由于降水的影响，污染物浓度通常会出现突增现象，而非雨季则可能保持相对稳定。通过这种季节性数据对比，可以初步推测污染源的季节性特征，并进一步确定哪些监测点存在长期或突发性的污染物浓度超标。

**b）污染源初步定位。**基于污染物浓度的季节性变化，结合流域内的农业活动、畜禽养殖、工业排放等因素，可以进行污染源的初步定位。例如，如果某个区域的氮、磷浓度在施肥季节或降水期间显著升高，则可能表明农业活动（如化肥使用）是主要污染源。同时，分析流域内各类活动的空间分布和时间节点，可以进一步确认各污染源类型的影响。比如，畜禽养殖区附近的氮、磷浓度偏高，可以初步推测养殖活动是污染源之一。

**c）初步溯源结果确认。**在完成初步分析后，若能准确地通过时空分析识别出污染源，并且污染物浓度与活动模式之间有明显的相关性，则可以确认初步溯源结果。此时，可以将初步溯源结果反馈给相关部门，开展后续的污染治理工作。然而，如果初步分析未能明确污染源，或结果仍不明确，则应进入更细化的调查和数据收集阶段，继续开展后续的详细溯源工作。

**4.7 野外现场勘察**

**（1）适用条件**

野外现场勘察适用于在初步分析阶段未能准确识别污染源的情况下，通过现场勘察与数据采集进一步确认污染源的位置和种类。特别适用于以下情况：

**a）隐蔽污染源的识别。**现场勘察能够帮助发现一些难以通过历史数据分析和初步排查识别的隐蔽污染源，如非法排污点、生活污水排放源等。

**b）点源污染源的确认。**对于流域内的点源污染（如工业厂区、污水处理厂等），现场调查可以通过直接证据和采样数据确认污染源的确切位置和类型。

**（2）绘制点位布设草图**

在开始现场勘察之前，必须首先对污染超标流域进行详尽的初步分析，并结合历史水质监测数据、地形地貌、污染源分布等信息，绘制现场点位布设草图。草图的绘制应涵盖以下要素：

**a）监测点位置。**应标注出流域内已有的监测点以及新设采样点的位置，确保这些点位能够覆盖污染物浓度变化较大的区域。

**b）污染超标点。**在草图上标注出历史监测中存在污染超标的点位，作为重点关注区域。

**c）潜在污染源位置。**识别并标明农业、畜禽养殖、工业排放等潜在污染源的位置。特别是需要标出可能对水质产生影响的设施，如养殖场、工厂、农业区等。

**d）水系分布。**草图应包括流域内主要的水系，如河流、支流、湖泊等，并明确排污口位置，便于后续采样和勘察。

**e）影响因素。**考虑到水质变化可能受到的其他影响因素（如排污口、交通道路等），应在草图上标出这些可能的影响点。

通过草图的合理布设，确保勘察和采样过程中能够准确锁定潜在污染源和污染超标区域，便于现场调查与数据采集。

**（3）现场排查、采样确定重点区域**

现场排查与采样是污染源溯源的重要步骤，通过采集不同位置、不同时间段的水样，确定污染物的浓度变化趋势和污染源的具体位置。在这一阶段，采样的重点应放在污染物浓度变化较大的区域以及潜在污染源的附近，确保采样数据的代表性与准确性。具体步骤包括：

**a）选择采样点。**根据污染物浓度的时空变化特征，选择污染超标区域及其上游、下游、旁侧的关键位置进行采样，特别是在农业、养殖、工业排放区等可能污染源附近进行重点采样。

**b）考虑季节性变化。**应注意不同季节（如雨季与非雨季）的污染物浓度变化，季节性差异可能对水质监测数据产生显著影响，因此应选择在不同季节的代表性采样点进行对比分析。

**c）采样频次与数量。**采样时，需根据流域污染物浓度的变化情况，确保覆盖不同时间段（如日间与夜间、雨季与干季）、不同水体位置（如主流、支流、湖泊、排污口等）的样本，保证样本的代表性和完整性。如果遇到特殊天气情况，如降水影响，需要及时制定补充采样方案，确保采样数据的全面性。

**d）数据验证。**采样结果应及时进行分析，验证历史监测数据与现场采样数据之间的关联，确保数据的准确性和可比性，为后续的污染源分析和确认提供可靠依据。

**（4）排查形式与方法**

在实际现场排查过程中，需要根据不同污染源的特征，采用多种形式和方法，确保调查全面且具有针对性。主要排查形式包括：

**a）农业污染源调查。**对农业污染源，重点检查施肥、灌溉、农药使用等情况，核查农业用肥记录和水质监测数据，结合施肥时间和污染物浓度变化，分析农业活动对水质的潜在影响。

**b）畜禽养殖污染源调查。**检查养殖场的废水排放情况、污水处理设施、排污管道等，并核查养殖活动期间的污染物排放记录。应特别注意是否存在违规排放现象，如养殖场废水未经处理直接排放。

**c）工业污染源调查。**对于工业污染源，检查各类工业企业的排污口、污水处理设施、排放记录等，特别是化工厂、制药厂等排放COD的企业，核查是否存在超标排放问题。

**d）城市生活污水排放调查。**针对城市生活污水排放，应检查流域内城市的污水处理厂及其排放状况，重点关注COD、氮、磷等污染物的排放数据，分析城市生活污水对水质的影响。

**4.8 多技术集成溯源方法**

**（1）适用条件**

本方法适用于以下情况：

**a）污染源复杂、交织的情况：**当流域内存在多个污染源，它们的影响在时间、空间上交织在一起，单一的技术手段难以分辨时，通过多技术集成能够精准分离各个污染源的贡献。例如，农业、工业、养殖等多种污染源共同作用下，水质变化可能较为微弱，但对环境的影响依然显著。

**b）水质变化不显著但长期影响的污染源：**在一些情况下，污染源可能没有造成明显的水质波动，但其长期积累的污染效应仍然对生态系统造成潜在危害。例如，某些隐蔽的地下水污染源或小型工业污染源，虽然水质变化不大，但仍会对水体产生积累效应。

**c）需要高精度和全面分析的情况：**当常规的监测和现场勘察难以提供足够的信息时，可以通过集成多个技术手段来提高溯源的准确性和全面性，确保污染源的识别更加科学和精确。

**（2）地理信息系统（GIS）技术**

对采用地理信息系统（GIS）技术的耗氧污染物溯源过程进行梳理，明确数据收集、空间分析、污染源预测和结果验证与精确化等步骤流程。

在基于地理信息系统（GIS）技术的水污染溯源方法部分中，通过查阅相关文献，宋轶黎（2021）根据各采样点的污染物浓度，采用专业电子地图信息编辑和开发软件Arc GIS 10.7版本，绘制研究区域浅层地下水样中各污染物的空间分布，通过正定矩阵因子分解模型，取得污染物残差及其在各污染源中的贡献率，判定污染源。王利（2024）提出地理信息系统（GIS）技术在河流污染治理中的应用包括提供精确的空间数据分析、具备强大的模拟和预测功能、实现对污染源的实时监测和提供空间决策支持系统，协助河流污染监管和应急响应工作。

1. **稳定同位素技术**

对采用稳定同位素技术的耗氧污染物溯源过程进行梳理，明确样品采集与准备、同位素分析、同位素数据解析与源头识别和溯源结果验证与精细化等步骤流程。

在基于稳定同位素技术的水污染溯源方法部分中，通过查阅相关文献，谢馨等（2024）选取太湖流域南京高淳松溪河汇水区域为典型农业面源研究区，基于野外调研、常规监测及稳定氮同位素示踪技术，阐明了研究区水化学及不同形态氮的分布特征，定量解析了研究区不同污染源对重点断面的硝酸盐贡献比例。孟志龙等（2024）以潇河灌区为研究区，于2022年12月—2023年10月对地表水进行采样分析，综合运用水化学分析、氮氧双同位素示踪技术、IsoSource源解析模型，对潇河灌区硝酸盐污染特征及来源进行分析。硝化作用在流域氮循环中占主导地位，反硝化作用不明显。污水及粪便是潇河灌区主要硝酸盐来源。宋洪运等（2024）归纳了硝酸盐氮氧稳定同位素检测方法，梳理了硝酸盐氮氧稳定同位素数学模型的发展过程，介绍了现阶段常用溯源模型的原理和应用情况，分析了氮氧稳定同位素与其他同位素、微生物技术和流域水文模型等结合进行硝酸盐溯源的研究进展。任朝斌等（2024）介绍了水环境中氮的主要来源（自然和人为）及时空变化特点，强调自然因素（如降雨）和人为活动（如污水和农业施肥）对水环境中氮分布的影响；详细阐述了同位素技术识别水环境中氮来源的发展历程（单同位素、双同位素和多同位素联合溯源阶段）；讨论了同位素技术在辨别水环境中氮循环过程（硝化、反硝化、矿化和同化作用）中的应用。

**（4）数学模型**

在基于数学模型的水污染溯源方法部分中，通过查阅相关文献，栾焱（2013）以滨州市为研究区域，分析了滨州市的水环境状况，流域环境监测，废水污染源分布以及近几年的水质类别状况。鉴于滨州市水环境信息的零碎性，抽象性以及空间特性，在分析了国内外 GIS 及水质模型的研究现状基础上，提出了利用水质模型、GIS 和数据库技术对滨州市水环境信息进行管理的基本方法。着重探讨了一维和二维稳态水质预测模型、数据库技术、水环境信息的集成管理、GIS 动态水质预测以及网上发布技术的应用研究。

**（5）三维荧光技术**

对采用三维荧光技术的耗氧污染物溯源过程进行梳理，明确样品采集与预处理、三维荧光光谱分析、荧光指纹匹配与污染源分析和结果验证与溯源精确化等步骤流程。

在基于三维荧光技术的水污染溯源方法部分中，通过查阅相关文献，刘卓然等（2024）于2022—2023年采集密云水库的典型农业小流域土门西沟小流域内源样品构建指纹库，采集7、8月河道6个重点断面水样进行三维荧光光谱测定，通过平行因子分析解析小流域氮素来源。付嘉琦等（2023）基于三维荧光光谱（3D-EEM）的图谱形状、荧光峰位置、荧光峰强度、荧光峰个数信息和荧光参数，结合平行因子分析（PARAFAC）对南昌市某河的3D-EEMs进行分析并进行DOM溯源研究。

**4.9 问题清单制定**

**（1）问题识别与分类**
问题识别是溯源工作中的核心环节，涉及对流域内所有污染问题的全面识别与分类。为确保问题清单的科学性和可操作性，首先需基于前期的溯源结果，识别出流域内的所有污染问题，并将其系统地分类。分类标准可根据污染物种类（如COD、氨氮、总氮、总磷等）及污染源类型（如农业面源污染、工业污染、生活污水、城市径流等）进行。通过这种分类方法，能够清晰界定污染问题的具体类型，从而为后续的评估、治理措施的设计和优先级排序提供依据。

**（2）评估污染源的贡献**

在识别污染问题后，下一步是对每一个污染源的贡献程度进行评估。该步骤将基于溯源分析中的水质数据和污染源的分布信息，分析每个污染源对总污染物负荷的贡献比例。对于污染源的贡献评估，重点应放在那些具有显著影响或占比高的污染源。通过评估不同污染源的贡献，能够确定哪些污染源是治理的重点对象。需要使用量化方法（如源项负荷计算、污染物浓度分布分析等）来评估各污染源对污染物总负荷的影响，确保评估结果的科学性和可操作性。

**（3）确定污染物排放超标程度**

为了明确各类污染物的排放超标程度，本部分将依据水质监测数据和模型模拟结果，对各污染物的排放超标情况进行定量分析。在评估超标程度时，应设定合理的阈值，明确污染物超标的严重性及其超标范围。对于不同污染物，根据其超标程度，制定相应的管理措施。例如，超标严重的区域应立即进行治理措施，超标较轻的区域可采取监控、预警等方式进行管理。根据污染物浓度和超标情况，对流域内的污染问题进行分级管理，并明确划定重点治理区与次要治理区。此步骤对于制定有针对性的治理方案具有重要指导意义。

**（4）明确治理措施与建议**

在问题识别、污染源评估、超标程度分析的基础上，应提出具体的治理措施和建议。治理措施的设计要具有针对性，且符合流域的实际情况。不同类型的污染源应对应不同的治理措施。

鉴于流域水质变化、污染源治理进展、政策变化等因素的影响，问题清单需要建立动态更新机制。随着水质监测、污染源治理措施的实施和效果评估，应定期对问题清单进行调整和更新。更新机制确保了问题清单始终保持与时俱进，能够反映最新的污染源变化及治理效果。同时，通过动态更新机制，可以确保治理措施在实施过程中不断优化和调整，以适应实际情况的变化，确保长期有效的污染控制与水质改善。

**5 与国内外相关技术标准对比情况**

**5.1 国内外相关技术发展动态**

**（1）国外水污染溯源技术发展现状**

大部分国家如美国、加拿大、澳大利亚、英国，都颁布了正式的水污染溯源标准，其目的一是确保数据准确性和可比性，为水污染高效溯源提供可靠的数据基础。二是提高技术水平和标准化程度，促进水污染溯源技术的进步和创新，推动相关技术的发展和应用，提高水污染溯源工作的技术水平和标准化程度。

发达国家的水污染溯源框架通常可以分为以下三种类型：

**a）综合型框架：**

这种框架综合考虑了水质监测、环境调查、污染源识别和溯源分析等多个环节，通过整合各种数据和信息，实现对水污染的全面监测和溯源分析。如美国的水质监测和污染源追踪框架就是一个综合型框架，涵盖了多种监测技术和方法。

**b）地理信息系统（GIS）辅助型框架：**

这种框架利用GIS技术对水体特征、地形地貌、污染源位置等信息进行空间分析和可视化，辅助污染源追踪和溯源分析。例如，欧盟的水框架指令要求成员国建立水文地理信息系统，用于水资源管理和水质保护。

**c）同位素追踪型框架：**

这种框架利用同位素技术对水体中的污染物进行标记和追踪，通过分析同位素比值或同位素丰度变化，实现对污染源的溯源分析。例如，加拿大等国家利用氧、硫等同位素对水污染进行追踪和溯源。

不论哪一种的水污染溯源框架类型，可普遍分为监测和数据收集层、分析和模型建立层、溯源分析和决策支持层三个主要层次。监测和数据收集层包括水质监测站点的建立、监测设备的部署和数据采集等工作。通过监测和数据收集，获取水体的实时或定期监测数据，为后续的溯源分析提供数据支持。这一层次通常是水污染溯源工作的基础；分析和模型建立层是在监测和数据收集的基础上，进行数据分析和处理，建立数学模型或GIS模型等，对水体的污染情况进行分析和模拟。通过分析水文、水质等数据，确定污染物的传播路径和可能的污染源，为溯源分析提供科学依据；溯源分析和决策支持层是在分析和模型建立的基础上，进行溯源分析和决策支持，确定污染源的位置、传播途径和影响范围，并提出相应的治理建议和措施。这一层次是水污染溯源工作的最终目标，通过科学分析和决策支持，实现对水环境的保护和治理。这三个层次相互关联、逐级推进，构成了完整的水污染溯源工作体系，确保了工作的系统性、科学性和有效性。

**（2）国内水污染溯源技术发展现状**

国家标准委员会和环境保护部门发布了一系列水质监测标准和水环境调查评估标准，包括水质监测方法、监测设备和设施、数据采集和处理、水体环境质量评价、水污染源调查和评估、水环境风险评估等方面的标准，如《地表水环境质量监测规范》等。然而，目前国内水污染溯源技术标准体系尚不完善，标准内容和涵盖范围相对较窄，未能覆盖水污染溯源工作的各个环节和方面，且一些标准的执行和实施情况不够到位，相关部门和单位在实际工作中对标准的应用和执行存在一定程度的不足。尚需进一步加强标准体系建设、标准执行和实施、标准更新和修订等工作，提高标准的科学性、适用性和操作性。

**5.2 与国内外相关技术标准的比较**

**（1）与国际现行标准的关系**

美国环境保护署（EPA）发布的《水质监测与评估技术手册》（Water Quality Monitoring and Assessment Technical Handbook）提供了关于水质监测和评估的技术指南，涵盖了水样采集、分析方法、数据处理和解释等方面的内容。其中包括了针对污染源追踪的技术指南，如化学追踪、同位素追踪等方法的应用指南，作为本指南技术手段溯源的参考。

欧盟于2000年发布的《水框架指令》（Water Framework Directive）是欧盟对水质管理和保护的法规，要求成员国建立水文地理信息系统，包括污染源追踪和溯源分析的要求。该指令要求成员国建立水体质量监测和溯源分析体系，以实现对水污染源的追踪和溯源，作为本指南技术手段溯源的参考。

澳大利亚于1996年发布的《澳大利亚水质指南》（Australian Water Quality Guidelines）提供了关于水质监测和评估的技术指南，包括水质监测方法、数据分析、溯源分析等方面的内容。其中包括了针对水污染溯源的指导，如同位素追踪、环境调查和评估等方法的应用指南，作为本指南技术手段溯源的参考。

加拿大发布的《加拿大水质监测和污染溯源技术指南》（Canadian Water Quality Monitoring and Pollution Source Tracing Technical Guidelines）提供了关于水质监测和污染溯源的技术指南，包括水质监测方法、污染源识别和溯源分析等方面的内容。该指南详细介绍了化学追踪、同位素追踪、传感器监测等技术手段在水污染溯源中的应用方法和操作指南，作为本指南技术手段溯源的参考。

**（2）与国内现行标准的关系**

**a）与《入河入海排污口监督管理技术指南 溯源总则》的比较与衔接**

《入河入海排污口监督管理技术指南 溯源总则》（HJ 1313—2023）与本标准都是针对水污染溯源工作而发布的技术指南，它们在应对水环境保护和治理方面有着不同的侧重点和目标。《入河入海排污口监督管理技术指南 溯源总则》主要针对具体的排污口监管和管理工作，强调对排污口的监督、管理和溯源调查，侧重于局部性和针对性，着重于排污口的监管和管理措施，包括了排污口的设置、监测、违法行为处罚等内容。而本标准侧重于流域尺度上的水污染溯源工作，强调了整个流域范围内水污染的监测、分析和溯源分析，着重于整体性和系统性，包括了多种技术手段和方法，如遥感、GIS、同位素分析等，用于识别和追踪污染源，实现对水污染的高效溯源。因此在方法论上，本指南提供了一套系统的水污染溯源方法和技术，有更强的全面性。

**b）与《地表水环境质量标准》的比较与衔接**

《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中对水环境质量的评价主要基于监测数据和指标，如水质指标、污染物浓度等，用于判断水环境的质量状况。本标准则提供了一套系统的水污染溯源方法和技术，用于识别和追踪污染源，从根本上解决水环境质量问题。在实践中，对水环境质量进行评价的结果可能会指示出水体受到的污染程度，而本标准则可以帮助确定污染源并提出相应的治理措施，从而解决水环境质量问题。

**6 标准中涉及专利的情况**

本标准中不涉及专利的使用。

**7 与相关法律法规以及相关国家、行业和地方标准的关系**

《入河入海排污口监督管理技术指南 溯源总则》（HJ 1313—2023）规定了入河入海排污口现场及非现场溯源调查方法，为本标准提供了基本的技术框架和理论基础，使得本标准能够在已有的技术体系上进行扩展和深化。

但其主要关注入河入海排污口的监督管理，而本标准覆盖了更广泛的水体类型，提供了更全面的溯源技术指导，且在溯源方法和技术细节上进行了更深层次的探讨和规范，包含了先进的监测技术、数据分析方法以及污染源识别流程，提升了溯源工作的科学性和精准度。

《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）为地表水体的污染物浓度和水质要求提供了基本的标准和指导。本标准在制定过程中充分参考了这一标准，以确保溯源技术能够准确反映和维护水质要求。通过对水质标准的兼容，本标准能够有效地支持水体污染的检测和治理工作。此外，该标准中规定的污染物浓度限值为本标准确定溯源技术中需重点关注的污染物种类提供了理论基础，从而保证溯源结果的准确性和有效性。

**8 重大分歧意见的处理经过和依据**

本导则在专家评审过程中，不存在重大分歧意见。

**9 标准性质的建议说明**

本导则属于团体标准，由中国环境科学学会归口。

**10 贯彻标准的要求和措施建议**

本指南是开展水污染溯源的重要标准之一，作为指导性标准，以团标的形式发布实施，随后根据标准实施情况适时对标准进行完善、修订与补充。

**11 废止现行相关标准的建议**

本导则不存在新旧标准的替代关系。

**12 其他应予说明的事项**

无。

**参考文献**

张怀成,董捷,王在峰.水污染源源解析研究最新进展[J].中国环境监测,2013,29(1):18-22.

魏潇淑,陈远航,常明,高红杰,张列宇.流域水污染监测与溯源技术研究进展[J].中国环境监测,2022,38(5):27-37.

王英俊,沈鉴,王文霞等.水质荧光指纹污染溯源技术在跨界断面污染监管中的应用[J].环境监控与预警,2023,15(2):1-7.

朱利,李家国,李凯云,马秀秀.遥感技术在水生态环境管理的应用与前景[J].环境监控与预警,2019,11(5):22-27.

Magner JA,Brooks KN.Integrating sentinel watershed-systems into the monitoring and assessment of Minnesota’s (USA) waters quality[J].Environmental monitoring and assessment,2008,138(1-3):149-158.

马文娟, 刘丹妮, 杨芳, 王鹤立, 王希欢, 李崇蔚, 廖海清.水环境中污染物同位素溯源的研究进展[J]. 环境工程技术学报, 2020, 10(2): 242-250.

刘颖,刘丹.我国流域事故污染源搜索的困境与方法初探[J].水资源与水工程学报,2009,20(1):72-77.

李瑞康.欧美国家水环境监测技术与措施及其启示[J].河北省科学院学报 ,2018(04):71-75.

宋轶黎.基于GIS监测技术的城市浅层地下水污染溯源方法的研究.[浙江省丽水生态环境监测中心](https://kns.cnki.net/kcms2/organ/detail?v=i12nDYUbXpI0659U968o_oEyYr1B2hQF1vIjP-3WVoNDG54QwUUjd4zIf_HL-lqcvtfqwmYIg51LeF4feEs0deaYw0VjtwufvrJ5gaqgM9UlxiANLMC9fnLtLNMdLHsvKO0s0kRzN1hHv6MSDCPTMcWjoiG6Nu1Njug-7gl2lUd-nEgn3wKrCOfUznl95PQGx_aYdVs3wI2X7OYRX6715bbvpD0EyOTQ7PYG0N-HX9XPaISpCVK5zA==&uniplatform=NZKPT&language=CHS" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank),10.14034/j.cnki.schj.2022.06.026.

谢馨，夏成红，张守斌，吴礼军.基于稳定同位素示踪技术的南京典型农业面源氮定量溯源[J].农业科技，10.19501/j.cnki.1006-2009.20241119.001.

宋洪运，彭辉，王硕，石晓兰，姜梦.基于稳定同位素的水体硝酸盐溯源研究进展[J].10.15985/j.cnki.1001-3865.202306089.

任朝斌，王龙，张千千.同位素技术示踪水环境生源要素氮的来源及循环过程研究进展[J].农业科技.10.15928/j.1674-3075.202404120126.

刘卓然，金中天，姜佳玉，李佳澄，陈大地，陈磊，沈珍瑶.基于荧光指纹的土门西沟小流域农业面源溯源研究[J].水资源保护.

付嘉琦，桂双林，易其臻，闫冰，夏嵩，詹聪，魏源送，郑利兵，胡大洲.基于三维荧光及平行因子分析的南昌市某河可溶性有机物溯源及治理策略[J].环境工程学报.

United States Environmental Protection Agency (EPA). "Water Quality Monitoring and Assessment Technical Manual." Published by EPA, 2010.

European Union. "Water Framework Directive." Published by the European Union, 2000.

Australian Government. "Australian Water Quality Guidelines." Published by the Australian Government, 2018.

Government of Canada. "Canadian Water Quality Monitoring and Pollution Source Tracking Technical Manual." Published by the Government of Canada, 2015.