地表水环境溶解氧异常成因诊断

技术指南（征求意见稿）

编制说明

《地表水环境溶解氧异常成因诊断技术指南》编制组

2025年1月

项目名称：地表水环境溶解氧异常成因诊断技术指南

承担单位：浙江工商大学、中国环境科学研究院、浙江农林大学、北京科技大学、中国环境监测总站、大连理工大学、中国科学院大气物理研究所

项目联系人：汪佳佳

编制组负责人：冯华军

编制组联系人：汪佳佳

1 项目背景

**1.1 任务来源**

依托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》，规范我国地表水环境溶解氧异常诊断技术和流程，提升水质管理科学性、操作一致性和技术水平，改善水体健康、保障生态平衡和促进可持续发展，研究起草此标准。根据《中国环境科学学会标准管理办法（试行）》有关规定，由中国环境科学学会标准工作办公室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<流域水环境耗氧有机污染物溯源技术指南>等8项团体标准拟立项的公示》，《地表水环境溶解氧异常成因诊断技术指南》正式立项，浙江工商大学、中国环境科学研究院、浙江农林大学、北京科技大学、中国环境监测总站、大连理工大学、中国科学院大气物理研究所7家单位共同承担编制工作。

**1.2. 工作过程**

（1）**编制组成立**。2024年1月至2月，根据新标准立项计划，中国环境科学学会组织成立了标准编制组，并由浙江工商大学牵头负责标准的编制工作。编制组初步设计了标准的总体框架和核心技术内容，同时明确了任务分工和工作进度安排。

（2）**草案形成。**2024年3月至4月，组织开展了一系列技术研讨会和专家咨询会议。在充分吸收文献调研成果的基础上，结合实践需求和研究难点，完成了标准初稿的起草工作。初稿包括标准的主要框架、技术指标、适用范围以及具体实施要求。为了确保初稿的科学性和可行性，编制组在此阶段还广泛征求了专家意见，并对初稿内容进行了多轮修改和完善。

**（3）标准立项。**2024年5月至8月，中国环境科学学会组织召开标准立项论证会，对立项材料进行专家论证；会后根据专家意见，标准编制组开展标准草案的修订工作，形成标准征求意见稿（初稿）；

**（4）标准编制。**2024年9月至2025年1月，编制组召开专家论证会，对标准征求意见稿（初稿）进行专家论证；会后根据专家意见，标准编制组开展标准征求意见稿（初稿）的修订工作，形成标准征求意见稿及相关编制说明，公开广泛征求意见。

2 标准制定的必要性

溶解氧是评价地表水环境质量的重要指标，其异常变化直接影响水生态系统的健康与稳定，可能导致水生生物死亡、水质恶化及生态失衡等问题。然而，溶解氧异常成因复杂，涉及水温、污染物负荷、河流动力学等多种因素的综合作用。目前，国内外在溶解氧异常诊断技术方面尚缺乏统一规范，现有方法存在指标体系不完善、成因解析不足和技术适用性局限等问题，难以满足复杂流域和多源污染条件下的实际需求。与此同时，随着流域生态保护与水环境治理需求的不断提升，溶解氧异常已成为影响水质达标和生态功能恢复的突出问题，亟需制定系统、科学的技术指南。

制定《地表水环境溶解氧异常成因诊断技术指南》，能够规范溶解氧异常诊断的指标体系与技术流程，提升诊断工作的科学性与一致性，为污染溯源、防控与流域治理提供有力支撑。这一标准不仅满足国家在《水污染防治行动计划》和《长江保护法》等政策框架下的治理需求，也将推动溶解氧异常诊断技术与国际接轨，助力流域精细化管理，为实现流域水环境质量改善和生态系统保护目标提供技术保障。

3. 标准编制原则

**1. 科学性原则**

本标准的制订基于最新的科学研究成果和数据，使用可靠的监测数据和实验结果作为标准制订的基础，并综合考虑环境科学、水文地质学、生态学等多学科的研究结果。

**2. 系统性原则**

本标准综合考虑流域的自然环境和水质现状，诊断流程应涵盖从初步筛查到详细分析的各个环节，形成完整的诊断体系。

**3. 实用性原则**

本标准诊断方法和技术具有实际可操作性，并能有效应对实际水体中的溶解氧异常问题，便于各级管理部门和相关单位理解和实施。

**4. 客观性**

本标准依赖现场数据、监测站数据和实验结果进行诊断，确保结论基于真实数据，减少主观判断的干扰。

**4 标准的主要内容及说明**

**4.1 标准主要条文或技术内容的依据**

（1）科学研究和技术报告

本标准的制定依据了国内外最新的科学研究成果和技术报告，结合了流域内水质监测和调查研究数据，确保标准内容的科学性和前沿性。

（2）国家和地方标准

标准的技术要求参考了《地表水环境质量标准》、《水污染防治法》等国家和地方相关水质标准及环境保护法规，并结合了国家生态环境部和水利部发布的相关技术规范。

（3）专家咨询和审查意见

本标准参考了专家组的咨询意见和审查建议，结合了对现有技术和诊断方案的评估，对标准内容进行了优化和完善。

**4.2 适用范围**

本文件规定了地表水环境溶解氧异常成因诊断的工作流程，内容包括总体要求、数据资料收集、溶解氧异常判定标准以及溶解氧异常成因诊断方法。

本文件适用于地表水环境溶解氧异常成因诊断与分析。

**4.3 规范性引用文件**

本标准在制定过程中，收集了国内外流域水环境溶解氧异常诊断的相关技术文件，并在术语和定义、总体要求、数据资料收集、溶解氧异常判定等章节的部分内容中，引用现行的国家标准、行业标准、团体标准。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

GB 3839 制定地方水污染排放标准的技术原则与方法

HJ 2.3 环境影响评价技术导则 地表水环境

HJ 505 水质 五日生化需氧量（BOD5）的测定 稀释与接种法

HJ 506 水质 溶解氧的测定 电化学探头法

HJ 596.1 水质 词汇 第一部分

HJ 596.2 水质 词汇 第二部分

HJ 596.3 水质 词汇 第三部分

SL 354 水质 初级生产力测定——“黑白瓶”测氧法

**4.4 术语和定义**

本节主要包括地表水、溶解氧、溶解氧异常等术语的界定。结合国内外相关研究成果，编制组通过充分研讨与斟酌，对相关术语和定义进行了优化与完善，确保其科学性、规范性及适用性。以下为主要术语的定义与来源说明：

（1）地表水 surface water

存在于陆地表面的河流（江河、运河及渠道）、湖泊、水库等地表水体以及入海河口和近岸海域。

[来源：HJ 2.3-2018 3.1]

（2）溶解氧 dissolved oxygen

溶解氧指溶解在水中的分子态氧，通常记作 溶解氧，用每升水中氧的毫克数和饱和百分率表示。溶解氧的饱和含量与空气中氧的分压、大气压、水温和水质有密切的关系。

[来源：HJ 506-2009 3]

（3）溶解氧异常 dissolved oxygen anomaly

因受背景值、自然来源、人为活动等影响，导致地表水溶解氧浓度偏低现象，通常表现为溶解氧浓度持续偏低或不符合水体功能区目标要求。

（4）氧饱和值 oxygen saturation value

与大气（天然系统）或纯氧（纯氧废水处理系统）处于平衡的溶解氧浓度。它随温度、氧分压和盐度而变化。

[来源：HJ 596.3-2010 2.95]

（5）溶解氧饱和度 dissolved oxygen saturation

指水中实际溶解氧浓度与该水体的饱和溶解氧浓度的比率，通常以百分比表示。

（6）生化需氧量 biochemical oxygen demand，BOD

在特定条件下，水中的有机物和无机物进行生物氧化时所消耗溶解氧的质量浓度。

[来源：HJ 596.2-2010 2.96]

（7）底泥耗氧量 sediment oxygen demand，SOD

由底泥沉积物氧化和生物呼吸作用引起的上层水体溶解氧的消耗速率，一般以单位表面积底泥在单位时间内消耗的溶解氧量表示。

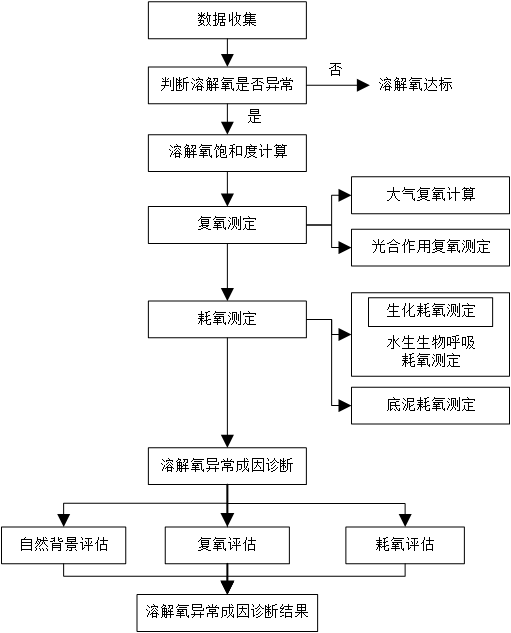
（8）硝化 nitrification

藉细菌氧化含氮物质。氧化的中间产物为亚硝酸盐，最终产物为硝酸盐。

[来源：HJ 596.1-2010 2.69]

**4.5 溶解氧异常诊断流程**

溶解氧诊断技术流程通常包括以下几个方面：（1）数据资料收集；（2）溶解氧异常判定标准；（3）溶解氧异常成因诊断。



**图1 溶解氧异常诊断技术流程**

**4.6 溶解氧异常诊断标准**

溶解氧作为反映水体生态健康的重要指标，其异常变化直接影响水体的功能和生态系统的平衡。《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）明确规定了不同水功能区的溶解氧最低浓度要求，这些标准与水体的使用目标和生态功能密切相关。例如，III类水功能区要求溶解氧不低于5 mg/L，而IV类水功能区要求溶解氧不低于3 mg/L。因此，当监测点溶解氧日均值低于相应水功能区目标值时，表明水体未能达到预期的生态功能或使用目标，可能存在生态失衡或污染问题。

通过日均值来判定溶解氧异常能够更全面地反映水体中溶解氧的动态变化，避免因单次监测值的偶然性导致的误判。日均值综合了水体中溶解氧随时间变化的波动情况，是表征水体长期生态状况的更科学、更稳定的方式。这种方法对诊断水体健康状况以及识别异常变化的原因具有重要意义。此外，这种判定方式还能直观反映水体偏离功能区目标的程度，帮助及时识别因污染负荷、底泥耗氧或水动力条件变化引起的异常问题。溶解氧异常判定为水质管理和流域治理提供了科学依据，能够为管理部门迅速采取针对性治理措施提供技术支持。

最后，采用GB 3838中相应水功能区的目标值作为判定依据，确保了判定方法的标准化和可操作性。这种统一标准的判定方式不仅便于技术实施和结果比较，也为不同区域和时间的监测数据提供了可比性，为溶解氧异常的分析和治理工作奠定了坚实基础。

**4.7 数据资料收集**

数据收集涉及全面收集与水体溶解氧相关的各类数据，包括水质数据、气候气象数据和地形地貌数据。这些数据来源包括地表水水质自动监测系统、现场取样、气象站数据、遥感数据等。数据收集的准确性和完整性对于后续的溶解氧异常判定和成因分析至关重要。

收集这些数据是为了全面了解影响溶解氧变化的关键因素，为溶解氧异常判定和成因分析提供基础支撑。水质数据（如溶解氧、pH、水温、盐度、高锰酸盐指数等）直接反映了水体的化学和物理状态，是判定溶解氧异常的核心依据；气象水文数据（如温度、降雨、风速等）揭示了外部环境对水体复氧能力及生态过程的影响；地形地貌数据（如海拔高程、流域坡度等）则影响了水体的流动性和污染物输移过程。通过收集、整合和校验这些数据，可以构建完整的多维数据集，从而准确识别溶解氧异常的空间分布特征及其潜在驱动机制，为溶解氧异常诊断和水质治理方案的制定提供科学依据。

**4.8 溶解氧异常成因诊断**

在确认溶解氧异常后，深入分析其成因是制定有效治理措施的关键环节。溶解氧异常可能由多种因素引起，包括自然背景、生态活动以及人为污染，因此，成因诊断需要结合多种技术手段和数据分析方法，以全面揭示溶解氧变化的驱动机制。

首先，需要对水体的自然背景值进行校正，以准确评估溶解氧的异常程度。自然背景值反映了未受人为干扰的水体溶解氧水平，是识别异常的重要基准。校正过程通常结合历史监测数据和自然条件的综合分析，确保背景值的科学性和代表性。

其次，利用“黑白瓶”法测定水体的光合作用复氧。这一方法通过分别测量遮光和透光条件下的溶解氧变化，定量评估水体中光合生物光合作用对溶解氧的贡献。“黑白瓶”法能够帮助分析水体中浮游植物生产力及其在溶解氧动态变化中的作用，为诊断溶解氧异常的生态成因提供依据。

此外，还需要分析水体中的生物化学耗氧和底泥耗氧对溶解氧的消耗作用。生物化学耗氧主要由水体中的有机物降解及氮、磷等污染物的生物氧化引起，是溶解氧下降的重要因素。底泥耗氧则由底泥中有机质的分解和微生物活动引起，通常在静水或流速较低的区域对溶解氧影响显著。通过对这两类耗氧过程的定量分析，可以识别污染负荷对溶解氧的直接和间接影响。

最后，综合各项分析结果，可以将溶解氧异常归因于自然因素（如气温、水动力条件变化）、生态活动（如藻类暴发）或人为污染（如农业面源污染、工业排放）。这种系统性的诊断不仅有助于明确异常成因，还为制定针对性的治理措施提供了科学依据。

1. 主要试验、验证及试行结果

**5.1. 数据收集与处理**

在各典型地表水流域进行现场数据收集，涵盖了水质、气候气象及地形地貌等相关数据。通过标准化的数据采集程序，确保数据的代表性和准确性。对采集的数据进行质量控制，使用数据管理系统进行存储和备份。

**5.2. 溶解氧异常判定测试**

结合地表水水质标准，对现场监测的溶解氧数据进行了详细分析，开展了多次溶解氧异常判定测试。这些测试覆盖了不同类型的水体和流域，包括湖泊、水库、河流以及入海河口等。测试结果表明，溶解氧异常判定标准在多种环境条件下均具有良好的适用性和准确性，为后续的成因分析奠定了基础。

**5.3. 溶解氧异常成因诊断方法测试**

**（1）自然背景影响评估**

对不同水体类型进行了自然背景值的校正测试，验证了该方法在饱和溶解氧计算中的适用性。在淡水、盐度较高的湖泊及入海河口区域的应用表明，自然背景值校正能够有效识别溶解氧异常的自然影响，为异常判定提供了科学依据。

**（2）复氧评估**

测试了水体复氧能力的核心参数，包括大气复氧速率和光合作用复氧速率。结果显示，大气复氧速率能够一定程度上反映水体与大气氧气交换的动态强度，而光合作用复氧速率测定则有效量化了浮游植物和其他光合生物对水体复氧的贡献。这些评估为水体复氧能力的全面诊断提供了重要数据支持。

（3）耗氧评估

通过实验测定了生物呼吸、底泥耗氧以及生物化学耗氧对溶解氧消耗的贡献。结果表明，底泥中的有机质分解和微生物活动是静水区域溶解氧下降的重要原因，而生物化学耗氧的主要来源包括含碳有机物的分解和硝化过程。测试还验证了抑制剂法在细化硝化耗氧和氨氧化过程中的可靠性，为不同耗氧过程的定量分析提供了技术支持。

**5.4. 试行结果**

（1） 实际应用案例

在若干流域水体中试行了上述诊断技术，结果表明，本标准能够准确识别溶解氧异常及其成因。例如，在某些流域，溶解氧异常被确认由底泥耗氧和硝化作用引起，结果为相关治理措施的制定提供了科学依据。

（2） 方法的有效性与局限性

试行结果验证了方法的有效性，如自然背景值校正能够准确诊断溶解氧异常的自然原因。然而，在特定环境条件下，如高盐度水体或极端气候条件下，某些方法的适用性和准确性仍需进一步研究和优化。

（3）后续改进建议

根据试行结果，对诊断方法提出了改进建议，如加强对极端环境条件下数据的处理能力、优化底泥耗氧测定的实验条件等。这些建议将用于进一步修订和完善标准，以提高其适用性和准确性。

1. 国内外相关异常诊断标准研究

当前，国内外尚无地表水溶解氧异常成因诊断的相关标准发布。

1. 重大分歧或重难点的处理经过和依据

在编制本技术指南的过程中，面对一些分歧和重难点问题，编制团队通过科学论证、专家咨询和广泛调研，形成了系统的处理过程和依据。以下是详细的处理经过和依据说明：

**7.1 溶解氧异常的确定**

（1）分歧与难点

在确定溶解氧异常的标准时，不同专家对背景值与水功能区目标的选择、评估时间尺度的设定等问题存在分歧。部分专家认为应以自然背景值为基准，而另一些专家则主张直接参考国家地表水水质标准；在时间尺度上，短期数据能捕捉突发异常，而长期数据更能反映整体生态状况。

（2）处理经过和依据

项目组组织多次专题研讨会，邀请生态学、水环境科学、环境工程等领域的专家进行深入讨论，分析国内外溶解氧异常界定的科学依据和实际效果。对典型流域的历史监测数据进行系统分析，评估不同溶解氧水平对水生态系统的影响，结合实际数据确定合理的溶解氧异常判断标准。

**7.2 溶解氧异常诊断技术的选择与应用**

（1）分歧与难点

不同诊断技术在不同地区实施溶解氧异常诊断时，技术流程和步骤的标准化程度不一致，可能导致诊断结果的差异。

（2）处理经过和依据

首先，比较不同技术在国际和国内的应用效果和适用条件，形成技术选择的初步方案。组织技术专家进行评审，讨论各种技术的优缺点，结合地区特征和实际需求，制定适合的技术优先级方案。

通过上述各方面的处理经过和依据，确保本技术指南的制定过程科学合理、公正透明，并兼顾各方利益，具备良好的可操作性和实际效果。

1. 贯彻措施及预期效果

**8.1. 贯彻措施**

（1）制定实施计划

步骤和时间表：明确技术指南的实施步骤和时间节点，确保各项措施有序推进。

责任分工：明确各相关部门和单位的职责分工，确保任务落实到位。

（2）加强监测与评估

监测网络建设：在流域内建设和完善溶解氧监测网络，确保监测数据的全面性和准确性。

实时监测和数据共享：建立实时监测系统和数据共享平台，及时掌握溶解氧变化情况，便于各方协同治理。

评估机制：建立定期评估机制，对技术指南的实施效果进行评估和调整，确保各项措施的有效性。

（3）推广先进技术

技术推广：通过技术培训和经验交流等方式，推广溶解氧异常诊断的流程和成功经验。

技术支持：提供技术指导和支持，帮助各地解决在技术应用过程中遇到的问题和困难。

（4）强化政策支持

政策激励：制定和落实相关政策激励措施，鼓励各地积极实施溶解氧异常诊断技术。

法规保障：完善相关法律法规，为技术指南的实施提供法律保障，确保各项措施依法推进。

**8.2 预期效果**

（1）水质改善

通过实施技术指南，预期流域断面的溶解氧水平得到一定提升。

（2）增强异常诊断准确性

通过标准化的溶解氧异常诊断技术流程，能够提高异常诊断的准确性和一致性，从而有效识别并处理水体中的溶解氧异常问题。

（3）规范化技术实施

通过制定和推广标准化的技术流程和评估方法，能够规范溶解氧提升技术的实施，促进技术的一致性和标准化应用，提升整体技术水平。

（4）管理效益

通过技术指南的实施，提升各级政府和相关部门的水环境治理能力和管理水平。同时，建立和完善综合管理体系，推动流域综合治理和可持续发展。