流域水环境溶解氧参考值推导  
技术指南（征求意见稿）

编制说明

《流域水环境溶解氧参考值推导技术指南》编制组

2025年2月

项目名称：流域水环境溶解氧参考值推导技术指南

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

项目联系人：翁南燕

编制组负责人：霍守亮

编制组联系人：张亚捷

目 录

[1 项目背景 1](#_Toc187747477)

[2 标准制定的必要性 2](#_Toc187747478)

[3 标准编制原则 4](#_Toc187747479)

[4 标准的主要内容及说明 4](#_Toc187747480)

[5 主要试验、验证及试行结果 13](#_Toc187747481)

[6 国外相关研究 15](#_Toc187747482)

[7 与现行法律法规及相关标准的协调性 16](#_Toc187747483)

[8 重大分歧或重难点的处理经过和依据 18](#_Toc187747484)

[9 贯彻措施及预期效果 18](#_Toc187747485)

[参考文献 18](#_Toc187747486)

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》，为满足我国流域水环境精细化管理需求，建立可靠的溶解氧参考值推导方法体系，为相关基准、标准制定提供参考，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》，《流域水环境溶解氧参考值推导技术指南》正式立项，中国环境科学研究院、中国环境监测总站、浙江工商大学、大连理工大学、中国科学院大气物理研究所5家单位共同承担标准编制工作。

**1.2 工作过程**

本标准编制工作过程如下：

（1）**编制组成立**。2024年1月至2月，按照新标准立项计划，中国环境科学学会组织成立标准编制组，由中国环境科学研究院牵头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）**草案形成**。2024年3月至4月，通过搜集国内外相关政策法规、标准、文献或技术资料，并采用座谈、走访、查阅资料等形式开展调研，标准编制组明确标准编制大纲，形成标准草案；

（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，编制组组织召开标准专家论证会，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

2005年《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》提出“完善环境技术规范和标准体系”，到2015年《中共中央 国务院关于加快推进生态文明建设的意见》明确加快制定修订一批环境质量标准，再到2023年《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》强调“加快推进美丽中国建设重点领域标准规范制定修订”，体现出国家对环境标准研究更明确和迫切的要求。2020年，生态环境部印发《生态环境标准管理办法》指出，制定生态环境质量标准，应当反映生态环境质量特征，以生态环境基准研究成果为依据，与经济社会发展和公众生态环境质量需求相适应，科学合理确定生态环境保护目标。然而《渔业水质标准》（GB 11607—89）、《海水水质标准》（GB 3097—1997）、《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）等水环境质量标准距上次制修订已20余年，其完整性、科学性和适用性亟待提升。科学推导水质指标参考值，可为环境质量基准标准的制修订和国家生态环境风险防范体系的构建提供重要科学依据和理论支撑。

溶解氧（dissolved oxygen，DO）即溶解在水中的分子态氧，不同水生生物对DO需求不同；当水体中浓度低于2 mg/L时，大部分生物生存会受到威胁，导致生物多样性减少和水体黑臭。随着水污染防治技术的不断发展，近年来我国地表水环境质量明显改善，但不同流域气候、地理条件和污染物来源不同，水体DO浓度存在较大差异，个别流域断面未达到地表水考核目标的情况时有发生。其中，个别入海河口受纬度、气温和盐度影响，饱和DO浓度较低，且水体受工业和生活污水污染严重，在夏季存在DO未达到考核目标的情况；个别大坝出水区受上游污染物输入、库区富营养化，以及水体层化引起的底层生化耗氧过程加剧等因素影响，在夏、秋季存在DO未达到考核目标的情况；云贵高原地区海拔较高、气压较低，在水质较好的湖泊如泸沽湖、抚仙湖湖心存在DO未达到考核目标的情况；江淮等平原地区人口密集、经济发达、工业化水平高，水体受生活和工业污染比较严重，在夏季存在DO未达到考核目标的情况；夏季太湖流域蓝藻暴发有时会造成水体DO浓度下降导致未达到考核目标的情况；以及冬季辽河、松花江等流域冰封复氧不畅造成水体DO浓度下降导致未达到考核目标的情况。DO对水环境质量提升、水生态系统健康维护以及生物多样性保护等均具重要意义，但当前对其成因和机理仍缺乏研究，对其浓度变化缺少有效管控对策，且当前尚无符合区域水环境特点和生物区系组成的相关参考值发布。现行的《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）中DO标准值借鉴国外基准值，缺乏我国区域水环境特征、水环境自然背景和生态效应研究的相关科学依据。为规范我国流域水环境DO参考值制定程序、技术和方法，推动流域DO基准体系建立和标准制修订，指导流域水生生物保护，统筹流域综合管理，制定本标准。

3 标准编制原则

本标准在编制过程中充分考虑以下原则：

（1）科学性。本标准参考美国环境保护局（US EPA）发布的相关基准文件，结合国内外DO相关研究文献报道内容，规定数据收集与要求、参考值推导方法、参考值审核和参考值应用等技术流程，发展科学、合理的流域水环境DO参考值推导技术；

（2）通用性。本标准统筹考虑不同营养级下的水生生物，强调对珍稀、濒危、特有物种，以及经济价值高、生态学意义突出物种的保护，建立相对统一的DO参考值推导框架，提出适用于不同流域、不同水体类型的流域水环境DO参考值推导方法；

（3）实用性。本标准明确数据来源、物种筛选、数据收集，以及数据质量评价等要求，细化毒性数据预处理和参考值定值等计算步骤，构建具体、可操作的流域水环境DO参考值推导技术。

4 标准的主要内容及说明

本标准主要包括前言和技术内容部分。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；技术内容部分主要包括范围、规范性引用文件、术语和定义、参考值推导技术流程、数据收集与要求、参考值推导方法、参考值审核和参考值应用等8个章节的内容。

**4.1 范围**

规定了流域水环境DO参考值推导的程序、方法和技术要求，适用于科研单位、生态环境管理部门、第三方咨询机构等进行江河、湖泊、水库等流域水环境DO参考值的制定等相关工作。

**4.2 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DO参考值推导的相关技术文件，并在术语和定义、数据收集与要求、参考值推导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，合计6项规范性标准文件。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/T 34666.2 水质基准数据整编技术规范 第2部分：水生生物毒性

HJ 2.3 环境影响评价技术导则 地表水环境

HJ 506 水质 溶解氧的测定 电化学探头法

HJ 596.3 水质 词汇 第三部分

HJ 831 淡水生物水质基准推导技术指南

HJ 945.3 流域水污染物排放标准制订技术导则

**4.3 术语和定义**

主要包括流域、溶解氧、水生生物溶解氧参考值、*x*%致死浓度、*x*%效应浓度、溶解氧最高观察效应浓度、无观察效应浓度、急性毒性值、慢性毒性值、饱和溶解氧浓度、溶解氧饱和度等术语。结合DO特点和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 溶解氧参考值推导术语和定义

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **术语** | **本标准** | **其他标准** |
| 1 | 流域（watershed） | 地表水分水线所包括的集水区或汇水区范围 | [HJ 945.3] 地表水分水线所包括的集水区或汇水区范围  [HJ 1291] 地表水及地下水的分水线所包围的集水区。习惯上指地表水的集水区域 |
| 2 | 溶解氧（dissolved oxygen，DO） | 溶解在水中的分子态氧 | [HJ 506] 溶解氧指溶解在水中的分子态氧，通常记作DO，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 |
| 3 | 水生生物溶解氧参考值（reference values of dissolved oxygen for aquatic organisms） | 水环境中溶解氧对水生生物及其生态功能不产生有害效应的最低浓度或饱和度 | [GB/T 34666.2 “水质基准”] 水环境基准，简称水质基准，指能够有效保护人体健康、生态系统与其使用功能的环境因子（污染物质或有害因素）在水环境中的剂量或水平  [HJ 831 “淡水生物水质基准”] 淡水环境中的污染物或有害因素对淡水生物及其生态功能不产生有害影响的最大浓度或水平 |
| 4 | *x*%致死浓度（*x*% lethal concentration，LCx） | 引起一组受试生物中*x*%的个体死亡的某种元素、化合物或综合指标浓度 | [HJ 831 “半数致死浓度”] 引起一组受试生物中50%的个体死亡的污染物浓度 |
| 5 | *x*%效应浓度（*x*% effect concentration，ECx） | 引起一组受试生物中*x*%的个体产生某种效应（如生长率、孵化率抑制等）的某种元素、化合物或综合指标浓度 | [HJ 831] 引起一组受试生物中*x*%的个体产生某种效应（如生长率、孵化率抑制等）的污染物浓度 |
| 6 | 溶解氧最高观察效应浓度（highest observed effect concentration for dissolved oxygen，HOECDO） | 与对照相比，对受试生物产生某种显著效应（如生长率、孵化率抑制等）的最高溶解氧浓度 | [HJ 831 “最低观察效应浓度”] 与对照相比，对受试生物产生某种显著效应（如生长率、孵化率抑制等）的最低污染物浓度 |
| 7 | 无观察效应浓度（no observed effect concentration，NOEC） | 与对照相比，对受试生物未产生某种显著效应（如生长率、孵化率抑制等）的某种元素、化合物或综合指标的临界浓度 | [HJ 831] 与对照相比，对受试生物未产生某种显著效应（如生长率、孵化率抑制等）的最高污染物浓度 |
| 8 | 急性毒性值（acute toxicity value，ATV） | 短期暴露条件下某种元素、化合物或综合指标对受试生物不产生某种效应（如死亡率、活动抑制率等）的毒性值 | [HJ 831] 短期暴露条件下某种污染物的毒性值 |
| 9 | 慢性毒性值（chronic toxicity value，CTV） | 长期暴露条件下某种元素、化合物或综合指标对受试生物不产生某种效应（如生长率、孵化率抑制等）的毒性值 | [HJ 831] 长期暴露条件下某种污染物的毒性值 |
| 10 | 饱和溶解氧浓度（saturated concentration of dissolved oxygen） | 水体与大气（天然系统）氧交换处于平衡状态时的溶解氧浓度 | [HJ 596.3] 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 |
| 11 | 溶解氧饱和度（dissolved oxygen saturation） | 实际水环境中溶解氧浓度与饱和溶解氧浓度比值的百分率\* | [HJ 506 “水中溶解氧的饱和百分率”] 溶解氧实测值与该环境下理论值比值的百分率\* |

注：\*HJ 506中“水中溶解氧的饱和百分率”概念为公式形式，表中已做必要整合；本标准采用定义所作修改不作加粗表示。

HJ 831中，给出“最低观察效应浓度”和“无观察效应浓度”定义，分别为“与对照相比，对受试生物产生某种显著效应（如生长率、孵化率抑制等）的最低污染物浓度”与“与对照相比，对受试生物未产生某种显著效应（如生长率、孵化率抑制等）的最高污染物浓度”；两项定义均是针对污染物浓度。相较于污染物，DO浓度越低代表水质越差；且DO作为水生生物必需的生命物质，当低于一定浓度时，水生生物生存会受到威胁。参考US EPA发布的《Ambient Aquatic Life Water Quality Criteria for Dissolved Oxygen (Saltwater): Cape Cod to Cape Hatteras》和佛罗里达州环境保护部发布的《Derivation of Dissolved Oxygen Criteria to Protect Aquatic Life in Florida’s Fresh and Marine Waters》中使用的HOEC（highest observed effect concentration）以及NOEC定义，本标准提出“溶解氧最高观察效应浓度”定义，并对“无观察效应浓度”定义做适当调整。

**4.4 参考值推导技术流程**

本标准参考US EPA发布的《Guidelines for deriving numerical national water quality criteria for the protection of aquatic organisms and their uses》（以下简称为“US EPA水质基准指南”），并结合DO饱和度的计算，将流域水环境DO参考值推导分为4个主要步骤，包括数据收集与要求、参考值推导方法、参考值审核和参考值应用等。

**4.5 数据收集与要求**

此章节包括数据来源、物种筛选、数据收集和数据质量评价等内容，明确各环节工作的要求和方法。

4.5.1 数据来源

明确数据来源包括生物毒性数据库或经同行评议公开发表的文献或报告中有明确来源的毒性数据，以及开展生态毒理学实验测试出的毒性数据。

4.5.2 物种筛选

美国水质基准研究多集中在鲑科鱼类上；我国则是鲤科鱼类分布最广、占重要地位。参考US EPA水质基准指南与HJ 831，根据我国水生生物分布特征和DO特点，对流域水环境DO参考值推导受试物种要求进行梳理，明确受试物种应符合条件。我国主要流域水环境DO参考值推导受试物种名录见表2。根据美国发布的《金皮书》和《Ambient water quality criteria for dissolved oxygen (freshwater)》文件，推导DO参考值无需考虑其对水生植物的影响。

表2 长江、黄河流域水环境溶解氧参考值推导受试物种参考名录

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 生物类群 | 物种名称 | 物种拉丁名 | 分类地位 | | | 物种分布范围 |
| **目** | **科** | **属** |
| 鱼类 | 鲢 | *Hypophthalmichthys molitrix* | 鲤形目 | 鲤科 | 鲢属 | 全国各大水系 |
| 鳙 | *Aristichys nobilis* | 鲤形目 | 鲤科 | 鳙鱼属 | 全国各大水系 |
| 团头鲂 | *Megalobrama amblycephala* | 鲤形目 | 鲤科 | 鲂属 | 长江中下游湖泊 |
| 稀有鮈鲫 | *Gobiocypris rarus* | 鲤形目 | 鲤科 | 鮈鲫属 | 长江水系 |
| 黄河鲤 | *Cyprinus carpio* | 鲤形目 | 鲤科 | 鲤鱼属 | 黄河水系 |
| 胭脂鱼 | *Myxocyprinus astiaticus* | 鲤形目 | 胭脂鱼科 | 胭脂鱼属 | 长江水系 |
| 鲻 | *Mugil cephalus* | 鲻形目 | 鲻科 | 鲻属 | 全国各海域河口 |
| 中华鲟 | *Acipenser sinensis* | 鲟形目 | 鲟科 | 鲟属 | 长江水系 |
| 甲壳类 | 中华绒螯蟹 | *Eriocheir sinensis* | 十足目 | 方蟹科 | 绒螯蟹属 | 全国各大水系 |
| 日本沼虾 | *Macrobrachium nipponense* | 十足目 | 长臂虾科 | 沼虾属 | 全国各大水系 |
| 底栖贝类 | 河蚬 | *Corbicula fluminea* | 帘蛤目 | 蚬科 | 蚬属 | 全国各大水系 |
| 三角帆蚌 | *Hyriopsis cumingii* | 真瓣鳃目 | 蚌科 | 楔蚌属 | 全国各大水系 |

4.5.3 数据收集

参考US EPA水质基准指南与HJ 831，根据我国水生生物分布特征和DO特点，对流域水环境DO参考值推导所需数据进行梳理，明确数据应包括受试生物信息和DO对受试生物的毒性数据；其中毒性数据包括急性和慢性数据2类。

应用毒性百分数排序法、物种敏感性分布法等不同方法进行水质参考值（或基准）推导对物种选择与数据要求均不同。美国要求急、慢性毒性数据来源物种不少于3门8科；HJ 831针对污染物基准推导要求物种至少涵盖包括生产者在内的3个不同营养级、至少包括10个物种。由于DO参考值研究主要关注珍稀、濒危、特有物种，以及经济价值高、生态学意义突出物种，对此提出物种应涵盖3个不同营养级，至少包括8个物种且涵盖以下3个生物类群：1种硬骨鱼纲鲤科鱼（我国流域基本以鲤科鱼类占优势）、1种硬骨鱼纲非鲤科鱼，以及1种非鱼类的底栖动物（如贝类、底栖甲壳类等）。

4.5.4 数据质量评价

参考HJ 831，根据DO特点以及水生生物对DO的要求，对流域水环境DO参考值推导所需数据进行质量评价，明确毒性数据来源的实验设计、受试生物情况、暴露条件、数据分析，以及数据记录的优先性等要求。其中，对于急、慢性毒性数据，受试生物的适宜暴露时间设置为24~96 h（对于急性毒性数据），以及14~21 d（根据不同物种生命周期有所不同）或覆盖一个敏感生命阶段（对于慢性毒性数据）。

对于数据记录的优先性，欧盟提出优先选择暴露时间小于4 d的急性毒性数据；当同一物种有多个可供选择的慢性毒性数据时，选择暴露时间最长的NOEC等要求。参考US EPA水质基准指南，本标准不做此类要求。

**4.6 参考值推导方法**

4.6.1 毒性数据预处理

参考US EPA水质基准指南与HJ 831，根据DO特点以及水生生物对DO的要求，对DO毒性数据的预处理过程进行梳理，明确急、慢性毒性值的计算流程。

4.6.2 参考值定值

主要参考US EPA水质基准指南，以及HJ 831、HJ 2.3等标准，根据DO特点以及水生生物对DO的要求，对DO参考值推导过程进行梳理，明确计算流程包括累积频率计算、最敏感生物属筛选、最终毒性值计算、参考浓度推导、参考饱和度推导，以及参考值拟定等6部分。欧盟和其他发达国家多采用基于正态分布、逻辑斯谛分布等模型的物种敏感度分布（species sensitivity distribution，SSD）法进行水生生物水质基准的推导，数据不充足时考虑使用评估因子（assessment factor）法；我国相关标准文件如HJ 831、HJ 1260均采用SSD法。在欧盟采用SSD法的相关文件（如水框架指令等）中，SSD法仅用于确定水环境中污染物（不包括DO）的基准值推导；而US EPA水质基准指南采用的毒性百分数排序法已被明确用于DO的基准值推导。基于以上原因，本标准参考美国相关文件，采用毒性百分数排序法。

在最终毒性值计算部分中，参考US EPA水质基准指南，最终慢性值FCV的计算可根据慢性毒性数据情况采用计算最终急性值FAV的方法进行推导；当慢性毒性数据不足时也可使用FAV除以最终急性/慢性毒性比（final acute chronic toxicity ratio，FACR）来计算。计算FACR需要至少3种不同科、属的水生生物毒理实验得到的急性/慢性毒性比（acute chronic toxicity ratio，ACR）来推导，包括一种鱼类、一种无脊椎动物，以及任一对目标污染物敏感的水生物种。其中：

ACR即一种污染物对同一物种的急性毒性与慢性毒性效应浓度的比值；种平均ACR等于该物种所有ACR的几何平均值。根据情况不同，FACR的计算方法分为：如果种平均ACR随着种平均急性值SMAV的升高而变化，选出SMAV值接近FAV值的物种，FACR等于这些物种ACR的几何平均值；如果没有明显的变化趋势且大量物种的ACR都在10以内，则FACR等于所有物种种平均ACR的几何平均值。其中，如果急性毒性实验的受试生物为海胆、螃蟹和鲍鱼等的胚胎和幼体，考虑慢性毒性试验的开展难度可直接假设ACR等于2。根据HJ 831在标准第一次修订中删除了急慢性毒性比方法的有关情况，本标准在正文中亦不对此方法进行介绍。

在参考浓度确定部分中，长、短期参考值的推导参考US EPA水质基准指南中长、短期基准推导的相关内容。US EPA建立的水质基准为数值型双值基准，由基准最大浓度（criteria maximum concentration，CMC）和基准连续浓度（criterion continuous concentration，CCC）组成，即平均每3年不超过1次的、连续暴露时间为1 h和4 d的某种污染物平均浓度，代表不会对流域水生生物产生不可接受毒性效应的最大浓度。其中，1 h和4 d是分别考虑急性毒性试验和慢性毒性试验结果提出的；3年则是大部分水生态系统经历1次突发污染事故后恢复功能需要的时间。CMC旨在保护水生生物不受高浓度污染物短期作用造成的急性毒性效应影响，可作为短期（或急性）基准，适用于突发性污染事故；CCC则旨在保护水生生物不受低浓度污染物长期作用造成的慢性毒性效应影响，可作为长期（或慢性）基准，适用于水环境日常管理。双值基准概念的提出保证了不会因为在任何时间都将污染物控制在较低浓度而造成“过保护”。对DO而言，CMC为基准最小浓度（criteria minimum concentration）。

此外，由毒性百分数排序法推导出的FAV需进行修正以得出不对多数生物产生不利影响的浓度。对于污染物而言，US EPA水质基准指南建议对FAV除以2进行修正；而对于DO，US EPA发布的《Ambient aquatic life water quality criteria for dissolved oxygen (saltwater): Cape Cod to Cape Hatteras》中则将FAV乘以全部生物属LC5与LC50比率的平均值（该报告中为1.38）加以修正。本标准采用该海水报告中的方法。

关于不同生命阶段和暴露持续性下DO基准的报道，US EPA发布的《Ambient aquatic life water quality criteria for dissolved oxygen (saltwater): Cape Cod to Cape Hatteras》给出了弗吉尼亚州不同生活史阶段（亚成体和成体期、生长期，以及幼体增长期）的水生生物在持续低氧暴露（大于24 h）和间歇低氧暴露（小于24 h）情况下的海水DO基准值（基于US EPA水质基准指南推导）或相关计算公式；根据以上报告以及US EPA水质基准指南，US EPA发布的《Ambient water quality criteria for dissolved oxygen, water clarity and chlorophyll a for the Chesapeake Bay and its tidal tributaries》分别给出了弗吉尼亚州切萨皮克湾3个指定用途（产卵、育苗期的洄游鱼类，开放水域鱼类和贝类，以及深水季节性鱼类和贝类）下的DO基准，涉及不同暴露方式（持续时间和发生频率）下的保护受精卵孵化和幼体增长、保护生长、保护亚成体和成体存活、保护潮汐淡水物种，以及保护濒危物种（短吻鲟）等功能。基于以上研究，本标准亦提出区分生命阶段和暴露持续性的DO长、短期参考值推导过程。

需要注意的是，DO浓度并非越高越好，DO过饱和可能引发水生生物气泡病。但GB 3838中I类水标准为饱和率90%（或7.5 mg/L），并未规定饱和度上限。《金皮书》中提出为保护淡水和海洋生物，水中溶解气体不应超过现有大气压力和静水压力下气体饱和值的110%。由于当前相关研究仍待深入，暂不在当前参考值推导技术中考虑过饱和的影响。

**4.7 参考值审核**

梳理参考值的审核流程，包括技术自审核和专家审核2部分；并明确审核项目，包括数据获取方法、数据整体质量等方面的科学性、有效性等。

**4.8 参考值应用**

梳理DO参考值的应用场景，明确将主要用于指导流域DO基准、标准的制修订，流域水生生物保护，以及流域综合管理等工作。其中，参考浓度主要用于指导流域基准值制定和水生生物保护；参考饱和度消除了流域、季节间DO浓度自然差异，适用于流域标准制修订和水环境综合管理工作；此外，参考浓度辅以参考饱和度，可用于更全面评估水体的生态环境状况。

5 主要试验、验证及试行结果

本标准基于课题早先研究实践编制。通过检索相关文献并开展低氧暴露实验，共筛选出长江、黄河流域共40种代表性淡水生物，获取相关毒性数据，推导幼体期、成体期的DO短期参考浓度。涉及40种水生生物，包括脊索动物门10个科的硬骨鱼类共35种，节肢动物门溞科、绿钩虾科和钩虾科共4种，以及刺胞动物门1种。

根据毒性百分数排序法，筛选出幼体期、成体期4个最敏感生物属为鳢属、钩虾属、梭鲈属和铜鱼属，涉及物种包括乌鳢、月鳢、斑鳢、端足类钩虾、梭鲈和圆口铜鱼。以相关数据通过公式算得最终急性值为2.25 mg/L（与重要物种SMAV对比后仍使用此数值）。根据现有数据中各属LC5和LC50比值的平均值1.22修正得到的最终急性值，得到长江、黄河流域淡水生物幼体期、成体期的短期参考浓度为2.75 mg/L。

以上数据收集和参考值推导过程可充分反映我国主要流域淡水生物区系组成特征，用作推导技术的初步验证（长期参考浓度与短期参考浓度推导公式相同）；所得幼体期、成体期短期参考浓度与《Ambient water quality criteria for dissolved oxygen (freshwater)》中冷水基准4.0 mg/L和温水基准3.0 mg/L均相近，结果合理。提出的短期参考值，可为短期低氧暴露下水生生物保护与水环境应急管理工作提供指导；结合长期参考值，可在没有相应基准发布情况下，视情作为临时相关基准值。此外，长期参考值旨在保护水生生物不受低浓度DO长期作用造成的慢性毒性效应影响，适用于水环境日常管理，可为GB 3838中不同水域功能（如I类，源头水、国家自然保护区；II类，集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等；III类，集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区）的DO限值修订与差异化标准体系建立提供科学依据。

6 国外相关研究

美国最早开展水环境质量参考值（基准）的研究和制定工作，自20世纪60年代，US EPA相继发布《绿皮书》《蓝皮书》《红皮书》和《金皮书》等水环境质量基准的纲领性文件，形成以保护水生生物和人体健康的水质基准为主，营养物基准、沉积物基准、微生物基准、生物学基准、野生生物基准和物理基准等为辅的较为完整的水环境质量基准体系。这些基准一般用数值或描述表达，为美国各州制修订水环境质量标准提供科学依据。

在《金皮书》（Quality Criteria for Water 1986）中，DO基准部分参考《Ambient water quality criteria for dissolved oxygen (freshwater)》，根据水生生物对DO敏感性的不同，分别探讨DO对冷水和温水生物及其不同生活史阶段生长和生存的影响，制定了淡水DO急、慢性基准值（见表3）；数值来源于大量文献报道中水生生物生长数据与相关温度、疾病和污染物压力数据计算出的生产减损数据，其推导过程未参考US EPA水质基准指南。其中，冷水基准主要用于一般生活在20℃以下水体中的鲑科鱼类或与鲑科鱼类DO敏感度相似的鱼类；温水基准主要用于适宜生存温度较高的温水鱼类。不同生活史阶段的鱼类对DO的敏感度不同，早期生活史阶段的鱼类对DO更敏感，需要制定更高的基准值。为了保护冷水鱼栖息地常见的昆虫，DO急性基准值采用4 mg/L替代鲑科鱼类的急性基准值3 mg/L。为满足7 d平均值的DO数值要求，限制1 d最小值的发生频率为每年3次，或将冷水鱼可接受的1 d最小值增至4.5 mg/L、温水鱼1 d最小值增至3.5 mg/L。

表3 美国淡水溶解氧国家基准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **不同鱼类及其生长阶段** | | **溶解氧基准值（mg/L）** | | | |
| **30 d平均** | **7 d平均** | **7 d平均最小** | **1 d最小2** |
| 冷水基准 | 早期生活史阶段1 | — | 9.5（6.5） | — | 8.0（5.0） |
| 其他生活史阶段 | 6.5 | — | 5.0 | 4.0 |
| 温水基准 | 早期生活史阶段 | — | 6.0 | — | 5.0 |
| 其他生活史阶段 | 5.5 | — | 4.0 | 3.0 |

注：1早期生活史阶段包括所有胚胎、仔鱼和孵化后30 d的稚鱼阶段。如果早期生命处于底部砾石环境，上覆水的溶解氧基准采用括号外数值；如果早期生命处于上覆水环境中，采用括号内数据。2瞬时浓度，要求在任何时间都能够达到。

由于1986年《金皮书》中的淡水DO基准未参考US EPA水质基准指南，US EPA随后对相关文献进行了初步调查，发现与US EPA水质基准指南一致的其他数据，表明1986年的淡水DO基准能够准确描述低氧对淡水水生生物的影响并起到保护作用。

参考US EPA水质基准指南，US EPA于2000年和2003年相继发布《Ambient aquatic life water quality criteria for dissolved oxygen (saltwater): Cape Cod to Cape Hatteras》和《Ambient water quality criteria for dissolved oxygen, water clarity and chlorophyll a for the Chesapeake Bay and its tidal tributaries》等基准文件，用以指导弗吉尼亚州（科德角南部至哈特拉斯角）沿海水域，以及弗吉尼亚州切萨皮克湾等区域的DO基准制定，并认为经过适当修改可用于指导美国其他沿海地区的DO基准制定。

以上指南的发布均为本标准的制定提供有效参考。

7 与现行法律法规及相关标准的协调性

本标准不涉及专利。

本标准编制过程中衔接《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》《中华人民共和国长江保护法》《中华人民共和国黄河保护法》和《水污染防治行动计划》等现行法律法规，并充分参考相关国家标准、行业标准、团体标准等。

目前我国尚无流域水环境DO参考值推导的相关标准。其他标准中，《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）可用于指导水污染防治、地表水水质保护、人体健康保障，以及生态系统维护等工作，按照地表水环境功能分类和保护目标，划分5类水域功能，规定水环境质量应控制的项目及限值。其中，地表水环境质量标准基本项目涉及指标24项，含DO，其5类水域功能标准限值分别为饱和率90%（或7.5）、6、5、3和2，单位为mg/L。本标准将为DO参考值推导提供指导，所得结果可用于地表水环境质量基准、标准制修订工作。《淡水生物水质基准推导技术指南》（HJ 831—2022）可用于指导和规范单一化学污染物的淡水生物水质基准推导工作，明确水质基准推导过程中受试物种筛选、毒性数据筛选、毒性数据预处理、物种敏感度分布模型拟合与评价，以及基准定值等程序与技术要求。本标准参考值推导部分主要参考美国DO基准推导所用毒性百分数排序法，在物种筛选、数据收集、毒性数据预处理，以及参考值定值等步骤，结合我国水生生物分布特征和DO特点，对美国DO基准推导方法进行本土化修改，增加了计算饱和DO浓度从而得出DO饱和度的过程，并与HJ 831中相关内容保持高度一致。

其他标准如《渔业水质标准》（GB 11607—89）、《海水水质标准》（GB 3097—1997）中也给出了DO限值，因与本标准编制关系不够紧密或实际应用有限，不在此部分提及。

8 重大分歧或重难点的处理经过和依据

本标准编制过程中无重大意见分歧。

9 贯彻措施及预期效果

本标准颁布实施后，一是开展标准的试点应用，组织相关宣贯培训，尽快实现标准在行业内的推广应用；二是定期对标准应用效果进行跟踪评价，基于执行情况和实践案例对标准进行补充完善。

本标准将为流域DO基准、标准的制修订，流域水生生物保护，以及流域综合管理提供规范化指导，通过标准的有效实施，实现地表水质量基准、标准体系健全统一，加强珍稀、濒危、特有物种和高经济价值物种等保护工作，提升流域水生态环境保护精准化、精细化、科学化水平。

参考文献

GB 3838. 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

GB/T 34666.2. 水质基准数据整编技术规范 第2部分：水生生物毒性[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2017.

HJ 2.3. 环境影响评价技术导则 地表水环境[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.

HJ 506. 水质 溶解氧的测定 电化学探头法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.

HJ 596.2. 水质 词汇 第二部分[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.

HJ 596.3. 水质 词汇 第三部分[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.

HJ 831. 淡水生物水质基准推导技术指南[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2022.

HJ 1260. 海洋生物水质基准推导技术指南（试行）[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2022.

T/CSES 13. 水生态学基准制定技术指南[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2020.

US EPA. Ambient aquatic life water quality criteria for dissolved oxygen (saltwater): Cape Cod to Cape Hatteras [R]. Washington DC: Office of Water, 2000.

US EPA. Ambient water quality criteria for dissolved oxygen [R]. Washington DC: Office of Water, 1986.

US EPA. Ambient water quality criteria for dissolved oxygen, water clarity and chlorophyll a for the Chesapeake Bay and its tidal tributaries [R]. Washington DC: Office of Water, 2003.

US EPA. Guidelines for deriving numerical national water quality criteria for the protection of aquatic organisms and their uses [R]. Washington DC: Office of Water, 1985.

US EPA. Quality criteria for water [R]. Washington DC: Office of Water, 1986.

冯承莲, 吴丰昌, 赵晓丽, 等. 水质基准研究与进展[J]. 中国科学：地球科学, 2012, 42(5): 646-656.

黄炜惠, 李文攀, 霍守亮, 等. 美国溶解氧基准标准及其对我国的启示[J]. 环境科学研究, 2021, 34(6): 1338-1346.

黄钰铃, 方金鑫, 王泽平, 等. 云南高原湖泊溶解氧达标考核要求探讨[J]. 中国水利水电科学研究院学报(中英文), 2022, 20(5): 387-393.

李文攀, 张亚捷, 谭伟, 等. 我国地表水溶解氧现状及其标准研究[J]. 环境保护, 2023, 51(15): 46-51.