

地表水环境质量标准的若干问题及修订建议

孙干^{1*}, 左新宇^{2#}, 程帅², 封保根³, 兰峰²

¹中国三峡建工(集团)有限公司, 四川 成都

²长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局, 重庆

³中国长江三峡集团有限公司, 流域枢纽运行管理中心, 湖北 宜昌

收稿日期: 2023年5月1日; 录用日期: 2023年5月31日; 发布日期: 2023年6月7日

摘要

地表水环境质量标准(GB3838)自执行以来, 在水环境水资源监测评价和管理方面发挥了重要作用, 但是在指标体系、指标定义、监测方法、指标限值、评价方式等方面也存在一些亟待修订的问题。通过对标准执行以来遇到的若干问题进行梳理和探讨, 提出了调整评价标准、明晰指标含义、修订指标限值、规范监测方法、引入污染指数和综合污染指数法、完善多系列评价体系等建议。

关键词

地表水环境质量标准, GB3838, 问题, 修订建议

Several Problems and Revision Suggestions of Surface Water Environmental Quality Standards

Gan Sun^{1*}, Xinyu Zuo^{2#}, Shuai Cheng², Baogen Feng³, Feng Lan^{2#}

¹China Three Gorges Projects Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan

²Upper Changjiang River Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Chongqing

³River Basin Complex Administration Center, China Three Gorges Corporation, Yichang Hubei

Received: May 1st, 2023; accepted: May 31st, 2023; published: Jun. 7th, 2023

Abstract

Since the implementation of the Surface Water Environmental Quality Standard (GB3838), it has

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 孙干, 左新宇, 程帅, 封保根, 兰峰. 地表水环境质量标准的若干问题及修订建议[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(3): 496-503. DOI: 10.12677/aep.2023.133062

played an important role in the monitoring, evaluation and management of water environment and water resources. However, there are still some problems that need to be revised urgently in terms of indicator system, indicator definition, monitoring method, indicator limit value, evaluation method, etc. Through sorting out and discussing several problems encountered since the implementation of the standard, the paper puts forward suggestions such as adjusting evaluation standards, clarifying the meaning of indicators, revising indicator limits, standardizing monitoring methods, introducing pollution index and comprehensive pollution index methods, and improving multiple series of evaluation systems.

Keywords

Surface Water Environmental Quality Standard, GB3838, Problems, Revision Suggestion

Copyright © 2023 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

《地表水环境质量标准》(GB3838) (以下简称“《标准》”)是我国最基础的水环境质量标准之一。其颁布实施以来,在我国水污染防治、水生态安全保障等方面发挥了非常重要的作用。随着生态文明建设的不断推进,我国地表水环境状况总体上不断改善;水环境管理要求也不断提高,一些新的形势和要求也随之出现。现行的2002版的《标准》已经实施了20余年,某些方面已难以适应当下监测评价管理要求。因而,《标准》修订的需求也变得日益迫切。

目前,国内外对于地表水环境质量评价标准的选取和规定不尽相同。美国地表水评价首先需要确定其水域使用功能,再按功能可达性进行评价[1]。美国水质标准体系分“基准”和“标准”两个层次,其中水质基准由美国环保局(EPA)发布,水质标准则由各州参照水质基准和本州的水体功能制定,分特定水资源、极好、优质、良好、普通等5级[2]。欧盟地表水环境质量标准是欧盟水框架指令的一部分,其包含生物质量、水文形态、物理化学等方面的要素,生态质量分为极好、良好、中等、差和极差5级。但欧盟成员国众多,各国面临形势和管理能力等也不尽相同,所以其执行也存在较大差异。我国,则由国家制定统一的水质标准,全国各地负责实施和应用。目前我国地表水分I~V类及劣V类等级别。

国内有学者比较了历次版本的《标准》的差别,比较了监测项目和项目限值的变化[3],并对执行中存在的问题进行了探讨;也有学者讨论了标准历次修订版本之间污染物限值的差异[4][5],还有的针对氨氮、总氮等氮元素指标限值相互之间的限值相互关系,指出其存在一定的不合理性[6][7]。郑丙辉等对地表水环境质量标准在指标体系、标准限值和推荐监测方法等方面存在的不足进行了讨论,指出《标准》修改的必要性[8]。尹海龙、徐祖信等通过比较多种不同的水质综合评价方法,对我国单因子水质评价方法提出了改进建议[9][10]。这些研究从各个角度,对《标准》的不足进行了多方面的探讨,部分观点较为中肯,但尚不够全面,而且难以反映当下出现的一些新的情况和要求。本工作对其执行以来遇到的若干问题进行了再次梳理、总结和探讨,力求全面和细致,以为地表水环境质量的修订提供参考。

2. 制定修订历史

《标准》从首次发布至今,共经历了三次修订。《地面水环境质量标准》(GB3838-83)为首次发布;1988年第一次修订,1999年第二次修订,2002年第三次修订,历次修订基本情况见表1。

Table 1. The basic situation of the surface water standard project revision**表 1.** 地表水标准项目历次修订基本情况

标准编号	GB3838-83	GB3838-88	GHZB 1-1999	GB3838-2002
标准名称	地面水环境质量标准	地面水环境质量标准	地表水环境质量标准	地表水环境质量标准
总项目数	20	30	75	109
基本项目	20	30	31	24
分级	一级、二级、三级	I~V类	I~V类	I~V类
指标体系	基本项目 20 项	基本项目 30 项	基本项目 31 项、湖泊水库特定项目 4 项、有机类特定项目 40 项	基本项目 24 项、地表水源地补充项目 5 项、水源地特定项目 80 项

经过多次修订,评价项目不断扩充,由最初的 20 项增加到目前的 109 项,进一步强化了水域功能划分,修订了部分指标的限值,基本反映我国当时水环境污染特点,形成了符合我国国情状况和管理特点的水环境质量标准体系[4]。

此后,关于标准的修订也一直在不断推进。2009 年,环保部印发了关于征集对修订《地表水环境质量标准》等标准意见的通告(环办函〔2009〕726 号),对《标准》修订问题征求了意见。2016 年,国家标准委向环保部下发了关于《地表水环境质量标准》等 12 项国家标准制修订计划的通知(国标委综合〔2016〕18 号)。2019 年 2 月 27 日,生态环境部组织召开了《标准》修订专家研讨会。但至今,《标准》的第四次修订尚未完成。

3. 存在的主要问题

3.1. 指标体系有待完善

我国地表水环境评价常规项目为 24 项。主要涉及了物理指标、重金属、耗氧有机物、酚、氰、石油、粪大肠菌群等指标。然而,这些指标多局限在水体水质本身。而水环境除了水体本身,还应该包括与之相影响的泥沙等悬浮物、沉降物和水生生物等。另外,水质指标方面,也有很多在当下很常见,或未来十分重要的污染物,标准尚未涉及或较少涉及,例如营养评价类指标和一些新兴痕量有机物类指标等。

水生生物其与人类生命密切相关,又一定程度上能反映水体水质健康状况[1]。目前《标准》涉及到的生物类指标,主要是粪大肠菌群。且在通常评价时,未纳入评价。而美国保护水生生物基准共 60 项,欧盟保护水生生物基准共 45 项,可见,我国水生生物保护的项目类型明显不足[11][12]。

碳氮磷等营养评价类指标方面,《标准》中只有湖库型水体有总氮的限值,而河流总氮不参与评价。总磷方面,河流和湖库采用不同的限值。这种同一指标采用不同尺度的标准进行评价,有其合理性,但是,也存在一些问题。例如对总氮进行评价时,许多水库上游呈河流流态,河流总氮不参与评价,即使其总氮很高,也不会影响其水质类别;而与之相连的下游河段一旦呈湖泊型水库,同样的总氮含量,就可能呈现严重超标情况。同样,总磷在相连接的水库河段、过渡段和湖库段因限值不同,得到的水质类别差异很大。

高锰酸盐指数和化学需氧量都是有机物及还原性无机物质的表征,同时测定则稍显重复。而高锰酸盐指数测定范围为 0.5~4.5 mg/L,适用于大多数的饮用水、水源水和一般地表水等较清洁的水体,化学需氧量测量范围较广,更适合与污染物含量较高的水体。两者可以互补,但是同时测定意义不大[13]。

考虑到水体富营养化是我国水环境目前面临的最主要的问题之一。因此,《标准》中关于总氮、总磷、高锰酸盐指数等富营养状态分级的相关指标有待补充或修订[14]。

另外,痕量有机物类指标有待调整。尽管标准中有 80 项特定选测项目,其中大部分是痕量有机物,但是由于种类太多,且抗生素、环境激素、染发剂等个人护理品中含有的新型持久性污染物(POPs)等容易接触到风险污染物,在标准中尚未涉及[8] [11]。

此外,金属汞、镉、铬(六价)、氰化物等部分已纳入的指标,在大多数地表水断面的日常监测中常年未检出;而且在监测分析中还可能造成二次污染[15]。因此,可以考虑从《标准》基本项目中予以降级,可降低其监测频次,或者移至补充项目或特定项目中。

3.2. 部分指标涵义有待明晰

现行《标准》中铜、锌、铅、镉、铁、锰、汞、砷、硒 9 项指标前面未加“总”字,也未加“可溶性”前缀。在《标准》的修订说明对此进行了解释,指标的前 6 项为可溶性,后 3 项为总量。但由于在正文中未说明[1],修订说明也并未随地表水质量标准一起发布,因此这一解释并不易被大部分从业人员所获取、理解、区分和执行。对铜、锌、铅、镉的样品,有些机构采用自然沉降 30 min 取澄清样,有些则按照修订说明做“可溶性”物质监测,采用 0.45 μm 的过滤样,这会在很大程度上影响结果的可比性。另外,氰化物、挥发酚、石油类等指标的含义也有待明晰。

3.3. 监测方法有待更新

对于各监测项目的分析方法,《标准》要求优先选用表 4~6 中规定的方法,也可以采用 ISO 等体系的等效方法,但需要经过适用性检验。这样的原则是合理的,但是这些方法多采用 2002 年前的国家标准或行业标准,经过 20 多年的发展,很多方法进行了改版更新,或者已经逐渐淘汰,取而代之的是一些新的方法。

以重金属为例,《标准》中多采用原子吸收等方法,这通常要求对不同元素采用相对应的光源,因而不同元素需要单独测量,或采用多通道进行同时测量,效率不高。而现在以等离子体发射光谱法为基础的方法,能够一次测定多个指标,极大的提高了工作效率。又以石油类指标为例,《标准》中石油类采用的是红外法,而 2019 年 1 月 1 日起,石油类采用新标准,使用紫外分光光度法,萃取剂又四氯化碳变为正己烷。因此标准中的监测方法有待更新。

此外,对于同一指标,有多种检测方法的,不同的检测方法,其检测精度和测量范围可能有所不同,此时,还可增加方法适用性的描述,以提高监测数据的准确性和可比性。

3.4. 标准限值不尽合理

《标准》24 项基本项目中,有多项指标在评价中可操作性差,或意义不大,目前已经使用较少。有部分指标限值划分跳跃性大,或同元素的相关限值存在一定的矛盾。还有部分指标,其不同水质类别标准限值相同,执行中也存在一些问题。

以水温为例,表 1 中水温的评价要求是采用人为造成的环境水温周平均变化,而日常采样通常是定期采样,非连续采样监测或自动监测,难以进行周平均水温的计算。此外,水温变化是由人为造成和自然变化带来也难以界定。而且,很多水体,水温一天内变幅就可能达到 5 $^{\circ}\text{C}$ 以上。因此水温标准一定程度上缺乏可操作性。

pH 值限值方面,在 GHZB1-1999 中,pH 值 I~IV 类的标准限值是 6.5~8.5; V 类水限值为 6~9。GB3838-2002 中,则统一为 6~9。这一方面放宽了标准限值,也统一了尺度,便于执行。但是,pH 结果为 9.0 和 9.1 时,水质类别就变为一个未超标,一个劣 V 类。监测值只有 0.1 的小幅变化,而水质类别却相差很远。

而溶解氧, 则由于受水温、气压等影响, 在不同季节或海拔条件下, 其绝对含量差异较大。例如在西藏等高海拔地区, 在水温较高时, 水体饱和溶解氧甚至达不到Ⅲ类水标准限值 5 mg/L。而在水体出现富营养化, 或剧烈掺混导致气体过饱和时, 但气体过饱和也有可能导致水体中鱼类等水生生物出现气泡病, 甚至导致死亡。此时溶解氧绝对值很高, 含量可能高于 I 类水限值, 但是未必是水体健康的表现。因此, 溶解氧的限值除了设置下限, 还应该适当设置上限。

氮素方面, 总氮、氨氮限值几乎一致, 但自然水体中还大量的硝酸盐氮存在。水源地补充项目中硝酸盐氮的限值为 10 mg/L。总氮包含氨氮、硝酸盐氮等, 这使得三者的限值存在一定的冲突。

此外, 重金属指标等指标其不同水质类别标准限值相同, 例如金属砷, I~Ⅲ类水标准限值均为 0.05 mg/L, IV~V 类水标准限值均为 0.1 mg/L。若砷含量从 0.049 变为 0.055 mg/L, 其绝对含量变化不大, 但水质等级却从 I 类跳跃为 IV 类。除了重金属指标, 这种情况还存在于氟化物、氰化物、挥发酚等多个指标。

3.5. 水质等级区分度不高的问题

《标准》将水体划分 I~V 类及劣 V 类, 不同等级的水质便于比较, 但对于同一等级的水体, 必须通过具体指标含量才能进行比较, 而参与评价的指标又较多, 这客观上给管理带来一定的不便。例如氨氮 1.01 mg/L 和 1.49 mg/L, 都处于 IV 类水, 但其污染程度明显不同。此时, 水质等级评价的区分度就显得不够。

3.6. 单因子评价方法的不足

《标准》采用单因子评价的方法, 即一票否决制。这一定程度上减轻了评价的工作难度。但是, 某项指标超标和多项指标超标, 可能评价得到相同的水质等级, 这不便于精细化的污染防。另一方面, 某些指标超标, 并不一定意味着该水体完全失去其对应的水体功能。水体功能是否受损, 与污染因子的影响程度有关, 不应该认为一项污染因子超标, 则水体丧失了使用功能。因此, 单因子评价, 容易导致保护不足或者过保护的问题。

4. 修订建议

4.1. 调整评价指标

首先, 评价指标体系可以适当增加水生生物、悬浮物、沉积物等相关指标, 突出保护自然生态及人体健康的重要功能。例如水生生物指标方面, 可以考虑增加浮游植物(藻类)细胞密度等。一方面, 浮游植物的过度生长富营养化的主要表现, 可以根据浮游植物生物量进行水质评价; 另一方面, 浮游植物的具体种类的监测, 有利于判断水体是否存在藻毒素等健康风险, 这对于人们生活饮用水的保护十分重要。

其次, 为表征水体营养等级可以增加指标叶绿素 a 为常规指标[16], 或者参考《地表水环境质量评价办法》(试行), 采用综合营养状态指数法, 选取叶绿素 a、总磷、总氮、透明度和高锰酸盐指数等作为富营养化水体补充指标。

对于痕量有机物指标, 建议在特定项目中剔除部分常见未检出或未开展的项目, 适当增加微囊藻毒素、POPs、抗生素、微塑料等指标。

此外, 对于 24 项基本指标中长期未检出的指标, 可以调整到补充指标或特定指标中, 或者降低其监测频次。目前, 生态环保部, 在“十四五”国家地表水监测及评价方案(试行)中试用了“9 + X”监测方式、“5 + X”评价方式。这种方式能降低监测成本, 同时还可以较好的利用自动监测的数据结果。当然,

对于部分重点断面或水质变化幅度较大的断面,这种方式能起真正涵盖我国地表水主要污染指标,做到科学防治,尚有待观察和验证。因此,根据具体需要,按照一定周期进行表 1 中全指标的分析,依然是有必要的。

4.2. 明晰指标含义

生态环保部在 2017 年《国家地表水环境质量监测网监测任务作业指导书》和 2020 年修订的《国家地表水环境质量监测网采测分离采样技术导则》中,明确铜、锌、铅、镉是指溶解态含量;明确了砷、汞、硒为总量;明确了氰化物、挥发酚、石油类等涵义。这一定程度上有利于规范这些项目的监测,下一步,可将作业指导书和技术导则,纳入标准正文。

另外,对于总磷的前处理,中国环境监测总站于 2019 年 12 月印发《地表水总磷现场前处理技术规范(试行)》的通知,根据浊度的不同,采用不同的前处理方式[17],并于 2022 年 4 月,将这一规定作为附录,写入了《地表水环境质量监测技术规范》(HJ 91.2—2022),并于 8 月正式实施,这也有利于规范总磷监测前处理过程,增加数据可比性[18]。

4.3. 更新监测方法

建议首先可以将《标准》表 4~6 可将方法来源中的年份信息删除,以最新版的为准,这样可以避免经常引用过期标准。

第二,对于具体项目,更新监测方法,补充一批新的精度好,效率高的监测方法,以改善检测精度或者提高检测效率;剔除一些不再常用的,或者过时的方法,逐步实现监测方法的更新。例如重金属元素监测方法中,除了有原子吸收分光光度法以外,还应纳入效率更高的等离子体电感耦合发射光谱法等。而溶解氧目前基本上均是采用仪器在现场直接测得,碘量法基本上已经不用了,则可以考虑删除。适时跟踪国际、国家和行业等关于各指标监测的方法,选取权威、稳定、准确、易实施的监测方法,提高监测效率和精度,以确保水质监测结果的准确性和可比性。

此外,对于同一指标,有多种监测方法的,还应增加方法适用性的描述。

4.4. 修订指标限值

对于限值不甚合理,存在矛盾,或不够完善的,需要调整限值。对于水温、pH 值建议修订指标限值。对于溶解氧,可更多的采用饱和度进行监测评价,并且建议增加过饱和状态的限值,例如,达到 130%甚至更高的过饱和状态,也应认为处于超标状态。对于重金属、石油类等指标,根据最新的研究,调整其限值,尽量避免多个等级,同一限值的情况。

此外,还应该根据水域功能要求,从饮用水安全、人体健康、水生生物保护、富营养化治理等角度,研究指标阈值,根据水域不同功能要求和阈值分别设置限值。目前,我国已经相继发布了人体健康、湖泊营养物、淡水水生生物的水质基准制定技术指南;以及镉、氨氮、苯酚的淡水水生生物水质基准,及中东部湖区总磷、总氮、叶绿素 a 的湖泊营养物基准等水质基准。这些基准中的阈值,将对标准指标限值的修订起到指导作用。

4.5. 改进评价方式

为避免对于不同绝对含量,但相同的水质等级,不便于比较其优劣的情况,可以引入单项水质污染指数[10]。对于非溶解氧指标(不包括 pH)可以采用以下公式:

$$\text{污染指数 } I_i = \frac{\text{实际浓度}}{\text{水质指标浓度限值}}$$

引入污染指数,可以对同一水质等级不同浓度的情况进行比较,对于劣Ⅴ类水的比较方面,更能体现其优越性。

此外,为了改进单因子评价方法的不足,可以引入综合污染指数法[8]。综合污染指数法,则需要对不同水质指标赋予一定的权重系数,然后在单项水质污染指数的基础上,通过加权平均的方法计算。可以参考以下公式:

$$WQI = \sum I_i \times \omega_i$$

WQI ——综合污染指数;

ω_i ——水质指标*i*的权重系数。

这种评价的好处是,避免因单一指标的超标而否定了水体的其他功能。例如某水体总磷超过Ⅲ类水标准,处于Ⅳ类水标准,但是其他指标均正常。此水体依然有较好的使用价值。

4.6. 完善评价体系

建议《标准》由单标准向系列标准转变,构建“1+N”水环境标准体系[9]。针对富营养化水体、黑臭水体、饮用水等特殊状态或特殊用途的水,制定不同的指标体系。

例如新版的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2022),于2023年4月1日正式实施。其指标体系、限值等都发生了一些变化,这实际上也是对地表水环境质量标准的一种补充和修订;对于富营养化水体,可以设置采用总磷、总氮、叶绿素a、高锰酸盐指数、透明度等项目作为富营养化水体补充项目集;对于黑臭水体,设置化学需氧量、色度、浊度等指标,结合臭和味、氨氮等指标构成黑臭水体的补充项目集。

此外,对于《地表水环境质量评价办法》(试行)中关于河流、流域(水系)的评价方法,以及水质时空变化趋势分析的内容,也可以考虑纳入《标准》中。

4.7. 小结

综上所述,可以从以下方面对《标准》展开修订:

- 1) 适当增加水生生物、悬浮物、沉积物等相关指标,关注富营养化和痕量有机物等指标,将部分长期未检出的指标从基本指标中调出,突出保护自然生态及人体健康的重要功能;
- 2) 规范统一指标的名称,明晰其含义,以便于准确理解和执行;
- 3) 删除所用监测方法的年份版本信息,跟踪国际、国家和行业新方法,适时更新调整监测方法,有必要时增加方法适用性的描述;
- 4) 参考最新水质基准或阈值成果,修订优化指标限值;
- 5) 改进单因子评价方法的不足,并纳入河流、流域评价和时空变化趋势分析的内容;
- 6) 尝试构建“1+N”水环境标准体系,实现单标准向系列标准转变。

5. 结论

现行《地表水环境质量标准》已经执行了20余年,在指标体系、指标定义、监测方法、指标限值、评价方式等方面的某些内容,已难以适应当下监测评价管理要求,亟待修订。建议通过增加水生生物、悬浮物、沉积物等相关介质的监测,调入富营养化等指标,调出长期未检出的指标等方式来优化调整评价标准,规范统一指标名称,明晰指标含义,修订指标限值,规范更新监测方法、改进单因子评价方法的不足、完善多系列评价体系等方式,对《标准》展开修订。这些修订将更好的适应当下和未来的形势,更好的指导我国环境监测与管理。

基金项目

本文由中国三峡建工(集团)有限公司技术服务项目资助(合同号: JG/18091B)。

参考文献

- [1] 秦延文, 刘琰, 刘录三. 流域水环境质量评价技术研究[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [2] 王以尧, 王雅璐, 韩永旺, 等. 地表水环境质量标准综述(二)——国外地表水环境质量标准, 基准介绍及分析[J]. 四川环境, 2022, 41(2): 273-280.
- [3] 郭晓茆, 陈建江. 执行 GB3838-2002《地表水环境质量标准》的思考[J]. 环境监测管理与技术, 2002, 14(4): 30-32.
- [4] 王菲菲, 李琴, 王先良, 等. 我国《地表水环境质量标准》历次修订概要及启示[J]. 环境与可持续发展, 2014, 39(1): 28-31.
- [5] 陈华. 《城镇污水处理厂污染物排放标准》与《地表水环境质量标准》的比较和发展趋势探索[J]. 净水技术, 2019, 38(10): 56-61.
- [6] 陈迪, 刘金吉. 关于《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)应修订的相关问题探讨[J]. 污染防治技术, 2013, 26(2): 79-84.
- [7] 易雯. 《地表水环境质量标准》中氮、磷指标体系及运用中有关问题的探讨[J]. 环境保护, 2004(8): 10-11.
- [8] 郑丙辉, 刘琰. 地表水环境质量标准修订的必要性及其框架构想[J]. 环境保护, 2014, 42(20): 39-41.
- [9] 尹海龙, 徐祖信. 我国单因子水质评价方法改进探讨[J]. 净水技术, 2008, 27(2): 1-3.
- [10] 徐祖信, 尹海龙. 城市水环境管理中的综合水质分析与评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [11] 张远, 林佳宁, 王慧, 等. 中国地表水环境质量标准研究[J]. 环境科学研究, 2020, 33(11): 2523-2528.
- [12] 朱兴旺, 王绪鹏, 李青, 等. 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)实践与建议[C]//中国环境科学学会. 2009年学术年会论文集. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 318-321.
- [13] 宋盼盼, 黄琳, 吴朝霞. 高锰酸盐指数与化学需氧量的相关性分析及应用[J]. 水利技术监督, 2015, 23(6): 91-91, 95.
- [14] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版. 北京: 中国环境出版社, 2002.
- [15] 戴秀丽, 许燕娟, 承燕萍. 中国地表水环境质量标准监测体系现状研究及完善建议[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(12): 7-10.
- [16] 李昱燃, 李欣悦, 林莉. 2018年汉江中下游水华现象的思考与建议[J]. 人民长江, 2020, 51(8): 62-66.
- [17] 吴丹, 金小伟, 朱红霞, 等. 地表水总磷测定中现场前处理方式及分析方法比对研究[J]. 中国环境监测, 2020, 36(4): 123-131.
- [18] 中华人民共和国生态环境部. HJ 91.2-2022 地表水环境质量监测技术规范[S]. 2022.