

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.07.021

# 《城镇给水水质监测预警技术指南》解读及技术应用

李 祥, 孙韶华, 贾瑞宝, 马中雨

(山东省城市供排水水质监测中心, 山东 济南 250101)

**摘 要:** 中国工程建设标准化协会已批准发布了团体标准《城镇给水水质监测预警技术指南》(T/CECS 20010—2021), 并于2021年9月1日正式实施。为此, 介绍了《指南》的编制背景、编制及研究过程、主要内容及监测预警技术的推广应用, 并详细阐述了监测预警技术方法体系的构成, 以及基于常见给水水质风险预警应用场景的单一指标和多指标监测预警方法的研究过程。《指南》对城镇给水水质监测预警技术和业务流程进行了全面梳理总结, 为建立适于我国城镇给水安全保障要求的水质监测预警技术体系奠定了基础, 《指南》的正式实施和应用将有利于提高我国城镇给水水质监测预警的规范性, 并可为保障城镇给水水质安全提供技术支撑。

**关键词:** 城镇给水; 水质监测预警; 单一指标; 多指标; 预警信息响应; 模型

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)07-0132-07

## Interpretation of Technical Guidelines for Monitoring and Early Warning of Urban Water Quality and Its Application

LI Xiang, SUN Shao-hua, JIA Rui-bao, MA Zhong-yu

(Urban Water Monitoring Centre of Shandong Province, Jinan 250101, China)

**Abstract:** The group standard *Technical Guidelines for Monitoring and Early Warning of Urban Water Quality* (T/CECS 20010—2021) has been approved and issued by China Association for Engineering Construction Standardization, and formally implemented on September 1, 2021. This paper introduced the compilation background, compilation and research process, main contents of the guide, and the popularization and application of monitoring and early warning technology. In addition, the constitution of monitoring and early warning technology and the research process of single index and multi index monitoring and early warning methods based on common water quality risk early warning application scenarios were elaborated in detail. The guide comprehensively summarizes the monitoring and early warning technology of urban water supply quality and business process, which lays a foundation for the establishment of water quality monitoring and early warning technology system suitable for the requirements of urban water supply safety in China. Formal implementation and application of the guide will help to improve the standardization of monitoring and early warning of urban water quality and provide technical support for ensuring the safety of urban water quality.

**Key words:** urban water supply; water quality monitoring and early warning; single index; multi index; early warning information response; model

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07502001、2017ZX07502002)

通信作者: 孙韶华 E-mail: jnsunshaohua@163.com

“十一五”以来,依托国家“水专项”的实施,针对饮用水水质监测技术落后、监测-预警-应急体系不健全等突出问题,我国城市供水行业开展了大量的饮用水水质检测及标准化、水质健康风险分析与预警技术等研究,形成了一批水质监测预警技术,推动了我国城市供水监测预警技术的良性发展<sup>[1-3]</sup>。但目前,水质监测预警方式和场景还存在较为单一的问题,如监测预警方式多以传统的在线监测为主,而实验室检测及大数据分析预警则涉及较少;风险预警场景多以水源水质风险为主,而面向供水全过程的场景则较少。同时,监测预警技术欠成熟、监测预警指标和方法体系不健全、监测预警相应规范和标准缺乏等系列问题也较为突出,在实际应用中其对水质风险预警和应对的支撑作用也不显著。因此,亟需开展饮用水监测预警技术梳理与评估研究,编制出台城镇供水水质监测预警相关技术规范或标准。在此背景下,由山东省城市供排水水质监测中心牵头,中国科学院生态环境研究中心、中国城市规划设计研究院、中国环境科学研究院等9家单位共同参与,编制了《城镇供水水质监测预警技术指南》(以下简称《指南》),编制组于2019年向中国工程建设标准化协会申报了团体标准并获得批复,《指南》于2021年9月1日正式实施。

## 1 《指南》的编制思路

目前,水质监测预警还没有统一的定义,供水行业内不同学者也有不同的理解,鉴于此,《指南》首先厘清了水质监测预警的内涵,即:利用实验室检测、在线监测数据给出的水质信息,通过统计、模型分析等方法对城镇供水水源、水厂、管网等环节的水质变化进行警示或趋势预判,为水质安全管理提供支持。在此基础上,根据供水行业水质监管业务的实际需要,在编制过程中贯穿了“横向”和“纵向”两条主线,其中,“横向”以城镇供水全过程的水源、水厂、管网各环节为主线,“纵向”以水质风险分析、监测预警技术、预警信息响应和信息系统建设等业务为主线,围绕水质监测预警技术特点与水质监管业务闭环,形成了《指南》的结构框架。

## 2 《指南》的主要内容

《指南》共分为7章和5个附录,主要内容包括:总则、术语、基本规定、水源水质监测预警、水厂水质监测预警、管网水质监测预警、数据管理及信息

化系统建设。

### 2.1 总则、术语及基本规定

“第一章 总则”中指出了《指南》的编制目的和适用范围。“第二章 术语”中给出了监测预警、预警阈值、超限值报警、临近限值预警、时序预警等9个定义。“第三章 基本规定”中规定了监测预警的主要技术内容,并指出应综合利用实验室检测、在线监测等数据及其他相关综合信息开展水质预警工作,这也与“大数据时代”背景下《城市供水监管中大数据应用技术指南》(T/CECS 20004—2020)利用供水大数据进行分析的思路相契合,同时对水源、水厂和管网预警的核心重点进行了说明。

### 2.2 水质监测预警基本流程

“第四章 水源水质监测预警”“第五章 水厂水质监测预警”和“第六章 管网水质监测预警”的内容结构框架基本相同,主要从风险分析、监测预警技术和预警信息响应三个方面对供水系统全过程的水质监测预警提出要求,水质监测预警基本流程见图1。其中,风险分析和监测预警技术是《指南》的重点技术内容,贯穿城镇供水系统的各个环节。

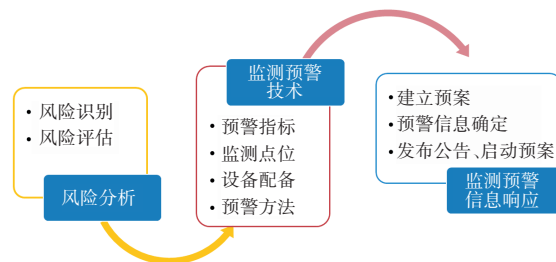


图1 水质监测预警基本流程

Fig.1 Water quality monitoring and early warning process

#### 2.2.1 风险分析

水质风险分析是水质监测预警工作的前提和基础,水质风险分析包括风险识别和风险评估两项工作,涵盖的主要内容有信息互通共享、信息通报与应急联动、风险信息收集与调查的范围和内容、风险源清单的更新、风险评估的原则与方法等。“十二五”期间,中国城市规划设计研究院等单位以国家“水专项”为依托,深入开展了城镇供水水源水质突发污染风险识别与监测管理技术研究,提出了《城镇供水水源水质突发污染风险识别与监测管理实施办法》(以下简称《办法》),该《办法》适用于突发性污染风险的水源风险调查、风险评估及监测管理。《指南》的风险分析部分借鉴参考了该《办法》,

并将水源水质风险分析相关内容延伸至出厂水和管网水。通过梳理相关文献,《指南》列出了常见风险源水源、水厂和管网水质关键指标,以常见风险源水源水质为例,其关键指标如表 1 所示。

表 1 常见风险源水源水质关键指标  
Tab.1 Key indexes of source water quality of common risk sources

序号	风险源类型	监测指标	说明
1	藻类暴发时,藻类及其代谢产生的致嗅物质等	臭和味、水温、微囊藻毒素、锰、COD <sub>Mn</sub> 、藻类总数、叶绿素 a、总磷、总氮、pH 值、甲基异苡醇-2、土臭素、2,4,6-三氯茴香醚、β-环柠檬醛等	臭和味可采用嗅阈值法或热嗅法测定
2	水生生物死亡时,因水生生物腐烂而产生的硫醇硫醚类等物质	臭和味、氨氮、COD <sub>Mn</sub> 、溶解氧、二甲基硫醚(DMS)、二乙基硫醚(DES)、二甲基二硫醚(DMDS)、二甲基三硫醚(DMTS)等	臭和味可采用嗅阈值法或热嗅法测定
3	农药、药物类污染物突发污染	臭和味、色度、挥发酚、氯胺、三卤甲烷、COD <sub>Mn</sub> 、TOC、UV <sub>254</sub>	臭和味可采用嗅阈值法或热嗅法测定;UV <sub>254</sub> 与长期监测值对照
4	有机污染物突发污染时,如醛类、乙二醇、烷烃类和油类、甲基叔丁基醚及不明有机污染物	臭和味、色度、COD <sub>Mn</sub> 和 COD、TOC、UV <sub>254</sub> 、氨氮、石油类	臭和味可采用嗅阈值法或热嗅法测定;UV <sub>254</sub> 与长期监测值对照
5	重金属突发污染	铬(六价)、镍、镉、铅、汞、铊、钡、银、电导率、pH	
6	放射性污染	总 α 放射性、总 β 放射性	
7	洪流、泥石流产生的粗大固体碎屑悬浮物、粉砂及黏土	浑浊度	
8	咸潮污染	氯离子	
9	病原微生物污染	粪大肠菌群、耐热大肠菌群	
10	地下水污染	硝酸盐、氟化物、铁、锰、砷、硬度	

2.2.2 监测预警技术

监测预警技术包括监测预警指标选择、监测点位选择、监测预警设备及监测预警方法等内容。

① 监测预警指标、点位及设备

监测预警指标包括实验室检测指标和在线监测指标。水源水实验室检测预警的一般指标为《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中表 3 规定的检验项目;水源水在线监测指标应根据水源水质风险及水厂工艺运行需要进行选择,地表水源应监测 pH、浑浊度、水温、溶解氧、电导率、氨氮、高锰酸盐指数、总磷、总氮等;地下水水源应监测 pH、电导率、浑浊度、水温、溶解氧等。当存在其他水质风险时,可以加测相关指标,在线监测指标的选择主要参考《城镇供水水质在线监测技术标准》(CJJ/T 271—2017)等。实验室检测和在线监测点位的设置分别依据行业标准 CJ/T 206—2005 和 CJJ/T 271—2017。实验室检测预警设备的选择主要根据水质风险分析及常见的水质污染情况来确定;在线监测预警设备宜选择技术成熟度高、易于操作的设备,同时考虑水质风险等因素。

② 监测预警方法

监测预警方法是监测预警技术的核心,《指南》列出了单一指标监测预警(临近限值预警与异常波动预警为供水行业首次提出)、多指标监测预警和生物综合毒性监测预警三项技术,其构成了城市供水水质监测预警技术的方法体系,如图 2 所示。单一指标与多指标监测预警主要采用常规数理统计、机器学习或深度学习等大数据挖掘分析算法,对实验室检测和在线监测等方式获得的水质数据进行回归或预测分析,提出水质风险预警信息以辅助水质安全管理。该部分的编写主要依据国家“水专项”水质监测预警相关课题研究成果<sup>[1-5]</sup>。

异常波动预警是指对实验室检测或在线监测数据的波动幅度进行统计分析,按照水质管理需要设置一定的数据波动幅度为预警阈值并进行预警的方法。《指南》中预警阈值的确定分为 4 步:按时间顺序排列检测数据、计算相邻检测数据的差值、计算差值的标准差、确定预警阈值,预警阈值的计算可采用差值的平均值加减 3 倍标准差的方法。编制组以济南市 A 水库为例,分析计算出 2016 年—2019



年高锰酸盐指数异常波动的预警阈值为 $\pm 0.90$  mg/L,计算采用的原始数据为2016年—2019年实验室月度检测数据。随着检测数据量随时间的不断增加,预警阈值会有相应变化,后续可根据管理需要,每隔半年或一年对阈值进行修正,以保证预警的合理、有效。

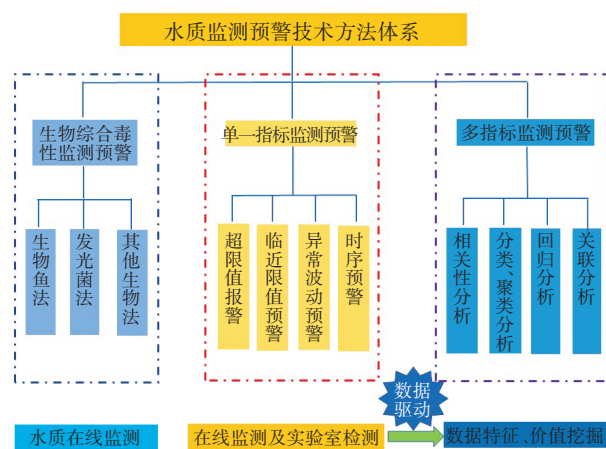


图2 水质监测预警方法体系

Fig.2 Water quality monitoring and early warning technology system

时序预警模型有自回归模型(AR)、差分整合移动平均自回归模型(ARIMA)、指数平滑模型等,具体应用时,应根据业务数据模式特征,选取相吻合的预测模型。济南市B水库的总氮经常超标,编制组根据该水库2012年5月—2016年5月的实验室总氮月检数据,对未来12个月的总氮浓度进行预测。该水库总氮浓度的年际变化趋势不明显,年内存在简单的季节性波动,秋冬季节总氮浓度较低,春夏季节总氮浓度较高,根据数据的波动特点,选用了指数平滑模型,总氮的实测与预测浓度如图3所示。所构建模型的决定系数 $R^2$ 为0.825,根据预测结果,2016年6月—2017年5月该水库的总氮浓度范围为1.76~3.54 mg/L,均超出《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅲ类标准,水质风险较高。编制组还整理了A城市近10年的市民投诉水质情况,并以投诉量较大的臭味问题为例,分析其变化趋势,并对未来一年的臭味月度投诉量进行了预测。该城市的水质臭味问题投诉量整体呈下降趋势,并有一个明显的季节模式,年度高点出现在12月份前后,另外,季节变化幅度显现出随时间减小的趋势。根据数据波动特征,选用包含趋势性和季

节性成分的ARIMA模型进行预测,模型的决定系数 $R^2$ 为0.687,预测结果较满意。

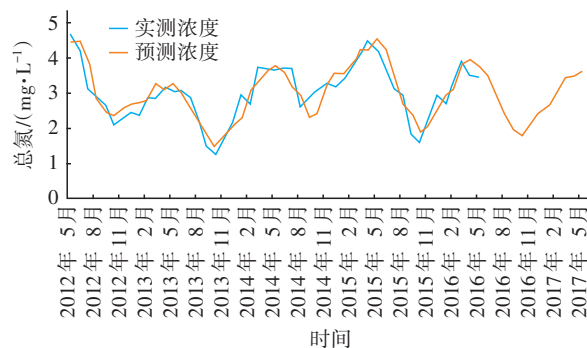


图3 总氮浓度预测曲线

Fig.3 Prediction curve of total nitrogen concentration

多指标监测预警时,首先应根据供水全过程各环节水质风险的类别和特点,选取分析应用场景,然后开展相关性分析、回归/分类分析等监测预警业务应用,《指南》对相关性分析、回归/分类分析模型选择的原则、依据、分析流程及业务判断等进行了重点介绍。

相关性分析可发现不同水质指标之间、水质指标与其他环境类指标之间的内在关联性,便于筛选出水质风险关键指标<sup>[5]</sup>。编制组整理了济南市A水厂出厂水的原始数据,分析了pH、浑浊度、微生物、消毒剂、铝等指标间的相关性,通过数据标准化等预处理,并经Kolmogorov-Smirnov(KS)检验,样本数据基本符合正态分布,故采用Pearson相关系数法进行相关性分析,结果如表2所示。pH与铝呈显著正相关( $p < 0.01$ ),相关系数为0.528;浑浊度与铝、总大肠菌群呈显著正相关( $p < 0.01$ ),相关系数分别为0.155和0.193,浑浊度与二氧化氯呈负相关( $p < 0.05$ ),相关系数为-0.181;总大肠菌群与菌落总数呈正相关( $p < 0.05$ ),相关系数为0.107。铝与pH、浑浊度具有显著的相关性。研究表明,pH是影响饮用水中残余铝浓度最主要的因素之一,其对残余铝浓度的影响主要通过两个方面:一是影响不同铝组分的溶解度,在中性或弱碱性条件下,铝的溶解度较低,在出水中残留量较低;二是影响铝盐混凝剂与水中污染物的作用机制和效果,从而造成水中残余铝浓度的不同。出厂水中的混凝剂残留是导致铝超标的主要原因。有研究指出,当出厂水浊度 $> 0.5$  NTU时,可能会出现铝超标问题,这表明控制出厂水浊度对控制出厂水残余铝是必要的<sup>[6]</sup>。浑浊度

与微生物具有一定的相关性,水中的微生物主要附着在悬浮物上,当水中浑浊度较低时,微生物会失去附着体,也就失去了生存条件。有研究表明,浑浊度与菌落总数存在正相关性,与消毒剂存在负相关性。浑浊度与微生物污染互为因果,微生物污染会造成浑浊度的上升,同时浑浊度较高时会影响消毒效果,导致饮用水中微生物的繁殖,从而增加消毒剂的消耗量。

表2 出厂水水质指标相关性分析  
Tab.2 Correlation analysis of treated water quality indexes

项 目		pH	浑浊度	铝	总大肠菌群	菌落总数	二氧化氯	余氯
pH	Pearson 相关性	1						
	显著性(双尾)	—						
浑浊度	Pearson 相关性	-0.052	1					
	显著性(双尾)	0.289	—					
铝	Pearson 相关性	0.528**	0.155**	1				
	显著性(双尾)	0.000	0.001	—				
总大肠菌群	Pearson 相关性	-0.048	0.193**	0.067	1			
	显著性(双尾)	0.326	0.000	0.167	—			
菌落总数	Pearson 相关性	0.057	0.017	0.026	0.107*	1		
	显著性(双尾)	0.245	0.720	0.601	0.028	—		
二氧化氯	Pearson 相关性	0.128	-0.181*	-0.002	-0.012	0.019	1	
	显著性(双尾)	0.089	0.016	0.981	0.873	0.798	—	
余氯	Pearson 相关性	0.309**	0.005	0.315**	-0.093	-0.032	0.086	1
	显著性(双尾)	0.000	0.944	0.000	0.164	0.633	0.812	—

注: “\*”表示在 0.01 级别(双尾)相关性显著;“\*\*”表示在 0.05 级别(双尾)相关性显著。

叶绿素 a 含量是表征水体富营养化程度的重要指标,编制组以济南市 C 水库为研究对象,整理了近 10 年的原水水质数据,通过标准化预处理和相关性分析,筛选出与叶绿素 a 浓度具有相关性的透明度、硝酸盐、总氮、pH、总磷、氮磷比、氨氮、水温等指标作为水体富营养化的关键影响因子,并将其作为支持向量机(SVM)回归预测模型的输入因子,同时将叶绿素 a 作为模型输出因子,构建了水体富营养化预测预警模型。建模时用于训练和测试的样本数量比例为 2:1。SVM 模型的核函数为径向基函数,它在预测错误率、拒绝率和正确率等方面表现比较优秀<sup>[7]</sup>,损失函数为绝对差函数。惩罚因子  $C$ 、损失系数  $\varepsilon$  以及核函数参数  $g$  是模型的关键因子,采用基于网格搜索的交叉验证方法进行寻优,经过反复调试,确定了最优模型的  $C$ 、 $\varepsilon$ 、 $g$  参数分别为 0.6、0.5、0.16。叶绿素 a 的部分预测结果见表 3,预测相对误差绝对值范围为 0~39%,模型均方误差(MSE)为 0.073。为提高模型预测精度,并进一步提高模型适用性,对应国际公认的叶绿素 a 含量分级,采用高阳俊等人对叶绿素 a 的分级标准(见表 4)<sup>[8]</sup>,同时将水体营养等级改为模型输出因子,部分预测结果

见表 5,营养等级预测准确率可达 90%。

表3 模型部分预测结果  
Tab.3 Partial prediction results of model

实测值/(mg·m <sup>-3</sup> )	预测值/(mg·m <sup>-3</sup> )	相对误差/%
1.07	1.38	29
9.05	6.61	-27
9.50	6.94	-27
4.00	5.32	33
10.00	13.70	37
11.50	14.15	23
1.50	1.85	23
20.60	20.19	-2
22.20	16.87	-24

表4 基于叶绿素 a 的富营养化分级标准  
Tab.4 Eutrophication classification standard based on chlorophyll-a

营养分级	标准分级	叶绿素 a/(mg·m <sup>-3</sup> )
贫营养	I	<1.6
中营养	II	1.6~10
轻富营养	III	10.0~26
中富营养	IV	26.0~64
重富营养	V	64.0~160
极端富营养	劣 V	>160

表5 富营养化模型等级预测结果  
Tab.5 Grade prediction results of eutrophication model

实测值/(mg·m <sup>-3</sup> )	实际等级	预测等级
1.07	I	I
9.05	II	II
9.50	II	II
4.00	II	II
10.00	II	II
11.50	III	III
1.50	I	II
20.60	III	III
22.20	III	III

2.2.3 监测预警信息响应

监测预警信息响应是出现预警警情信息后的系列响应措施,主要包括加密监测、核实有效性、发布预警公告、启动应急预案等<sup>[9-10]</sup>。以水源水质监测预警信息响应为例,具体流程如图4所示。

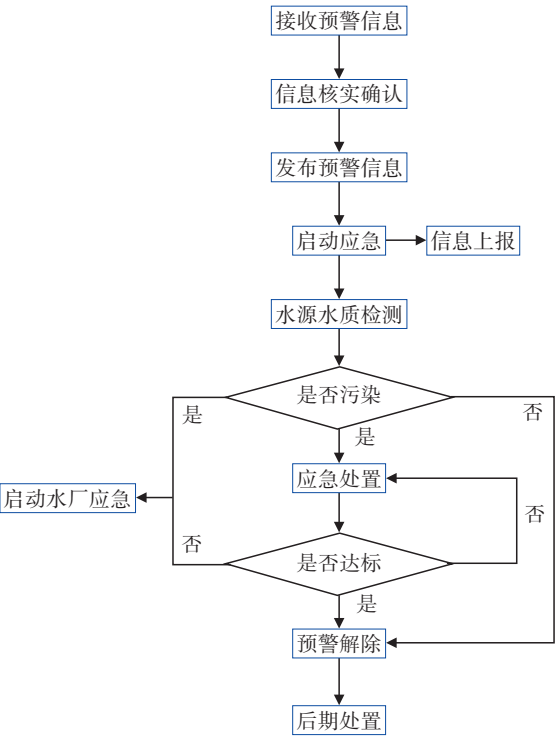


图4 水源水质监测预警信息响应流程

Fig.4 Water quality monitoring and early warning information response process

2.3 数据管理及信息化系统建设

“第七章 数据管理及信息化系统建设”包括数据管理和信息化系统建设两部分内容。水质数据质量是监测预警能否有效的基本保障,《指南》针对

可能会存在的数据错误或质量不高等问题,按照实验室及在线水质监测数据质量控制、数据清洗、数据审核和数据备份的技术流程,从数据管理角度提出了要求。信息化系统建设与监测预警工作密切相关,“十一五”以来,全国很多省市都构建了供水水质监管业务化管理平台,鉴于行业内信息化系统建设相关标准的缺失,《指南》首先提出了系统设计及建设原则、数据库等方面的要求,然后分别从系统基础建设、系统功能和系统安全等方面进行了规定。

3 监测预警技术推广应用

作为国家“十三五”水专项“城市供水全过程监管技术系统评估及标准化”和“城市供水全过程监管平台整合及业务化运行示范”2个课题的重要研究成果,《指南》中的多项水质监测预警技术已获得国内供水行业专家的高度认可,在课题实施期间,课题组有针对性地对相关预警技术进行了优化提升,建立了适于城镇供水水源、水厂、管网等供水全过程的规范的水质监测预警流程体系。《指南》中的水质异常波动预警、临近限值预警、超限值报警、时序预警、回归分析等多项监测预警技术也已集成至“十三五”水专项国家及山东省省市两级城市供水监测预警平台,如图5所示。目前平台已稳定、有效运行半年以上,累计有效预警50余次,为全面提升山东省城镇供水水质监测预警能力和应急响应能力提供了科技支撑。



图5 山东省城市供水全过程监管平台

Fig.5 Urban water supply whole process supervision platform in Shandong Province

4 结语

《指南》编制组通过梳理、总结、凝练“水专项”在水质监测预警方面的研究成果,明确了水质监测预警的内涵,编制了城镇供水水质监测预警相关技术标准,提出了监测预警的技术方法及其配套的信

息化要求,填补了供水行业空白。《指南》的实施将有利于提高城镇供水水质预警的规范性,并进一步提升城市供水管理效能,可为保障城镇供水安全提供技术支撑。但是,随着水质检测、大数据、计算机信息化等技术的快速发展,在水质监测预警技术研发和预警系统构建方面,还有很多理论和技术仍需进一步深入的研究,预警结果的有效性也需在应用中不断地调整和优化。今后,仍需针对以下问题开展研究工作:供水系统水质监测预警技术体系还不够完善,面向供水全过程的水质监测预警模型针对性和适用性不够强,预警关键技术和方法有待进一步模式化、流程化和规范化。

#### 参考文献:

- [1] 宋兰合. 城镇供水水质监测预警系统建设实践[J]. 中国给水排水, 2014, 30(18): 15-17.  
SONG Lanhe. Construction practice on water quality monitoring and early warning system for urban water supply [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(18): 15-17(in Chinese).
- [2] 杨柳忠, 黄健, 边际, 等. 城市供水水质监测预警系统技术平台研究概述[J]. 建设科技, 2012(5): 74-76.  
YANG Liuzhong, HUANG Jian, BIAN Ji, et al. Research on the technology platform of urban water quality monitoring and early warning system [J]. Construction Science and Technology, 2012(5): 74-76 (in Chinese).
- [3] 李文攀, 周密, 白雪, 等. 集中式饮用水水源地水质预警指标体系构建[J]. 中国环境监测, 2016, 32(1): 128-132.  
LI Wenpan, ZHOU Mi, BAI Xue, et al. Research on water quality early-warning index system of drinking water source area [J]. Environmental Monitoring in China, 2016, 32(1): 128-132(in Chinese).
- [4] 王子健, 饶凯锋. 突发性水源水质污染的生物监测、预警与应急决策[J]. 给水排水, 2013, 39(10): 1-3.  
WANG Zijian, RAO Kaifeng. Biological monitoring, early warning and emergency decision of sudden water quality pollution [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(10): 1-3(in Chinese).
- [5] 余忻, 张志果, 安玉敏, 等. 大数据时代下的城市供水监管探索与实践[J]. 给水排水, 2020, 46(6): 168-171.  
YU Xin, ZHANG Zhiguo, AN Yumin, et al. Exploration and practice on supervision of urban water supply in the big data era [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(6): 168-171(in Chinese).
- [6] 曲志军, 肖定华. pH和浊度对水中残余铝的影响研究[J]. 城镇供水, 2008(1): 33-36.  
QU Zhijun, XIAO Dinghua. Effects of pH and turbidity on residual aluminum in water [J]. City and Town Water Supply, 2008(1): 33-36(in Chinese).
- [7] 武毅, 李祥, 马中雨, 等. 基于支持向量机的山东省水资源承载力评价研究[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(2): 893-901.  
WU Yi, LI Xiang, MA Zhongyu, et al. Water resources carrying capacity evaluation based on the support vector machine in Shandong Province [J]. Journal of Safety and Environment, 2021, 21(2): 893-901(in Chinese).
- [8] 高阳俊, 曹勇, 赵振, 等. 基于叶绿素a分级的东部湖区富营养化标准研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(S2): 218-220.  
GAO Yangjun, CAO Yong, ZHAO Zhen, et al. Study on the eutrophication control standard for eastern lake basing on the chlorophyll-a classification [J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(S2): 218-220(in Chinese).
- [9] 张晓健, 陈超. 应对突发性水源污染的城市应急供水的进展与展望[J]. 给水排水, 2011, 37(10): 9-18.  
ZHANG Xiaojian, CHEN Chao. Emergency drinking water supply against water pollution accidents in China: progress and prospect [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(10): 9-18(in Chinese).
- [10] 崔福义. 城市供水应对突发性水质污染若干技术问题的思考[J]. 给水排水, 2009, 35(8): 1-3.  
CUI Fuyi. Reflection on countermeasures of the water pollution accident in urban water supply [J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(8): 1-3 (in Chinese).

**作者简介:**李祥(1985-),男,山东泰安人,硕士,高级工程师,主要从事水质监测预警研究工作,济南市“讲理想、比贡献”活动“十佳科技创新项目奖”获得者。

**E-mail:**sdsflixiang@163.com

**收稿日期:**2021-10-13

**修回日期:**2021-12-25

(编辑:刘贵春)