

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.01.008

基于浊度、菌落总数和余氯的管网水质评价模型

张 静, 游晓旭, 陆 瑞, 张晓岚, 柴 文, 顾军农, 李玉仙
(北京市自来水集团有限责任公司技术研究院 北京市供水水质工程技术研究中心, 北京 100012)

摘 要: 管网对水厂出厂水细微的水质变化具有较高的敏感度,因此以管网水质作为水厂处理工艺或参数调整的重要参考指标,有利于实现水厂工艺精细化管理,也有利于提高龙头水水质安全性。在38 808个管网水质数据的基础上,建立了3个基于浊度-菌落总数-余氯消耗量的管网水质评价模型,可分别应用于3种场景。在实例分析中,对比了2019年7月—9月和10月—12月的管网水质变化,二者的score分别为1 546和1 501,说明10月—12月的水质轻微变差,但变化不显著。模型3通过对浊度进行修正,消除了浊度季节性变化对管网水质评价的影响,使评价周期选取更为灵活;同时也建立起了管网水质和水厂工艺及参数调整的联系,有利于推动厂网联动。

关键词: 供水管网; 水质评价; 浊度; 菌落总数; 余氯; 厂网联动

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)01-0051-05

Water Quality Assessment Model of Pipeline Network Based on Turbidity, Colony Forming Units and Residual Chlorine

ZHANG Jing, YOU Xiao-xu, LU Rui, ZHANG Xiao-lan, CHAI Wen,
GU Jun-nong, LI Yu-xian

(Beijing Engineering Research Center for Drinking Water Quality, Technology Institute of Beijing
Waterworks Group Co. Ltd., Beijing 100012, China)

Abstract: Pipeline network is highly sensitive to the subtle water quality changes of effluent from waterworks. Therefore, the water quality of pipeline network as an important reference index for water purification process or parameter adjustment of waterworks is conducive to realizing the fine management of water purification process and improving the safety of tap water quality. Based on the 38 808 water quality data from pipe networks, three water quality assessment models based on turbidity, colony forming units and residual chlorine consumption were established, which could be applied to three scenarios respectively. The water quality changes of the pipeline network from July to September in 2019 and from October to December in 2019 were compared, and the score were 1 546 and 1 501, respectively, indicating that the water quality from October to December deteriorated slightly, but the change was not significant. Model 3 modified turbidity to eliminate the influence of seasonal turbidity changes on the water quality assessment of the pipeline network, which made the selection of the evaluation cycle more flexible. In addition, the connection between the water quality of pipeline network and the process and parameter adjustment of waterworks was established, which was conducive to promoting the linkage between waterworks and pipeline network.

Key words: water supply network; water quality assessment; turbidity; colony forming units;

residual chlorine; linkage between waterworks and pipeline network

近年来水厂工艺不断改进,深度处理工艺、超滤、纳滤等工艺的广泛引入使得很多水厂的出厂水质已远优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。这导致当水厂进一步进行水处理工艺参数调整时,出厂水水质变化不显著,因此,很难以其作为精细化工工艺调整的参考指标。而管网对出厂水水质变化更为敏感,新工艺的引入、水源切换以及工艺参数调整等导致的水质、水量变化,对管网水质可能会产生更大的影响,若选择管网水质作为水厂工艺调整的评价和参考指标,可弥补由于出厂水水质指标较优而对精细的工艺参数调整敏感度较低的不足,有利于实现水厂工艺精细化管理。因此,建立管网水质评价方法是十分重要的。

目前,针对管网水质评价应用最广泛的是模糊数学评价法^[1]和综合指数法^[2-3],其中前者基于每一个监测点的一次水质数据进行评价,计算过程复杂且标准宽泛;而后者具有评价结果直观、精度较高的优点,但也是针对每一个监测点的一次水质数据进行评价。然而,城市管网是一个巨大的系统,涉及面积广、情况复杂,如各区域管网的材质、年代、管径情况均不相同,因此,当水质发生变化时,有的管段很快出现黄水、黑水等现象^[4-5],有的管段则会延迟出现反馈或无明显水质变化^[6]。这就导致难以以单个管网点的单次水质评价结果作为判断水厂工艺及参数调整后水质变化的依据。因此,建立能够加强水厂工艺及参数调整和管网水质变化之间联系的管网水质评价方法十分必要。

笔者针对由于管网各管段的管材、管龄等特性多样而造成对水质变化反馈时效不同的问题,在现有的管网水质数据基础上,建立了涉及多管网监测点长时间段内的管网水质评价模型,使新建立的管网水质评价模型能更客观、更准确地反映水厂工艺及参数调整对管网水质的影响,真正建立起两者的联系,推进厂网联动的进程。

1 实验方法

本研究采用北方某市2014年1月—2021年5月间,共计77个月的管网水质监测数据建立模型,监测频率为2次/月,每次监测252个管网监测点,包括浊度、色度、臭和味、余氯、菌落总数和总大肠菌

群6项水质指标。该市管网水质整体偏好,监测数据中色度、臭和味、总大肠菌群均符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。因此,本研究采用浊度、菌落总数、余氯3项指标建立管网水质评价模型。其中,80%的数据用来创建模型,20%的数据用来评价模型。

2 结果与讨论

2.1 单点管网水质评价模型

单点管网水质评价主要用来考察管网点的管段情况,除了考虑该管网采样点的水质指标以外,还需考虑该点的水质波动情况,因此本模型在之前的研究基础上引入了浊度和菌落总数的均值和标准偏差,模型1如下所示:

$$\text{score} = \sum_{i=1}^n 1.1 \times [17A_1(1.0 - ZD_i) + 0.07A_2(100 - JL_i)] - 10 \times (10 \times ZD_{\text{均值}} + 0.1 \times JL_{\text{均值}}) - 5.5 \times (10 \times \text{标准偏差}_{ZD} + 0.1 \times \text{标准偏差}_{JL}) \quad (1)$$

式中:score表示模型评分; ZD_i 为同一管网监测点第*i*次水质监测的浊度,NTU; JL_i 为同一管网监测点第*i*次水质监测的菌落总数,CFU/mL; $ZD_{\text{均值}}$ 为同一管网监测点固定周期内所有浊度检测值的均值,NTU; $JL_{\text{均值}}$ 为同一管网监测点固定周期内所有菌落总数检测值的均值,CFU/mL;标准偏差_{ZD}为同一管网监测点固定周期内所有浊度检测值的标准偏差;标准偏差_{JL}为同一管网监测点固定周期内所有菌落总数检测值的标准偏差;*n*表示同一管网监测点固定周期内水质监测次数;*i*表示同一管网监测点固定周期内水质监测次数的次序,取值为1~*n*; A_1 表示同一管网监测点水质监测数据中浊度小于所有浊度监测数据均值的次数占该监测点固定周期内监测总数的概率,即同一管网监测点固定周期内所有浊度数据中,低于浊度均值的次数与总监测次数的比值; A_2 表示同一管网监测点水质监测数据中菌落总数小于所有菌落总数监测数据均值的次数占该监测点固定周期内监测总数的概率,即同一管网监测点固定周期内所有菌落总数数据中,低于菌落总数均值的次数与总监测次数的比值。

与综合指数法的单点单次管网水质评价模式

相比,该评价模型从一维的单点单次评价提升至二维的一个时期内单点的水质评价,即增加了时间维度,使评价更客观、更准确。此外,该模型评价管网水质好坏的标准是相对的,可以是同一管网监测点在不同时期的评分,也可以是相同供水条件下不同管网点之间的比较。一是浊度和菌落总数水质指标更低,二是水质指标更稳定、波动更小,则认为这一管网监测点水质更优。即当管网监测点1与管网监测点2对比时, score 越高表明该管网监测点的水质更好且更稳定。若通过评价发现某一点管网评分总是很低,则表明该点所处管网较为敏感或管段情况较差,当该供水区域的水厂进行工艺调整或水源切换时,应警惕该点出现水质变差的情况。

2.2 往年同时期区域管网评价模型

对于大型供水企业,不仅关注水厂出水水质的逐年变化情况,还需关注供水管网水质的逐年变化情况,以此作为全市管网或者各大水厂供水区域水质逐年评价的参考。在此应用情景下,需涉及供水区域内多个管网监测点,因此弱化了模型1中单点水质波动的计算项,并对其进行了改进。往年同时期区域管网评价模型,即模型2如下所示:

$$\text{score} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [10B(1.0 - ZD_i) + AC(100 - JL_i) - DE(YL_{CCi} - YL_{GW_i})]_j \quad (2)$$

式中: ZD_i 为区域管网监测点第 i 个水质监测点的浊度, NTU; JL_i 为区域管网监测点第 i 个水质监测点的菌落总数, CFU/mL; YL_{CCi} 为区域管网监测点第 i 个水质监测点的出厂水余氯, mg/L; YL_{GW_i} 为区域管网监测点第 i 个水质监测点的余氯, mg/L; n 表示区域管网监测点内监测总点数; m 表示监测周期内监测总次数; i 表示同区域管网监测点内水质监测点的次序, 取值为 $1 \sim n$; j 表示监测周期内监测的次序, 取值为 $1 \sim m$; A 表示浊度-菌落总数加权值, 其值为所有监测数据中浊度均值与菌落总数均值的比值; B 表示区域管网监测点水质监测数据中浊度小于所有浊度监测数据均值的次数占该监测点固定周期内监测总数的概率, 即区域管网监测点固定周期内所有浊度数据中, 浊度低于总体浊度均值的次数与总监测次数的比值; C 表示区域管网监测点水质监测数据中菌落总数小于所有菌落总数监测数据均值的次数占该监测点固定周期内监测总

数的概率, 即区域管网监测点固定周期内所有菌落总数数据中, 低于总体菌落总数均值的次数与总监测次数的比值; D 表示浊度-余氯消耗量加权值, 其值为所有监测数据中浊度变化量与余氯消耗量均值的比值, 其中浊度变化量为浊度均值与出厂水浊度之差, 为简化计算, 此处出厂水浊度采用企业内部标准 0.3 NTU; E 表示区域管网监测点水质监测数据中余氯消耗量大于所有余氯消耗量监测数据均值的次数占该监测点固定周期内监测总数的概率, 即区域管网监测点固定周期内所有余氯消耗量数据中, 高于总体余氯消耗量均值的次数与总监测次数的比值。

采用模型2时需要注意, 大城市供水量通常呈季节性周期变化, 管网水浊度以年呈周期性变化, 夏季浊度低、冬季浊度高, 由于不同城市供水量、管网特性不同, 因此供水量引起的浊度变化程度很难统一。因此, 采用模型2对比的是往年同时期的管网水质情况, 以避免由于季节性供水量变化对管网水质带来的影响。

2.3 水厂工艺或参数调整前后管网水质评价

如前所述, 大型城市供水量随季节变化较为明显, 夏季供水量大, 出厂水在管网中水力停留时间短, 管网水浊度偏低; 冬季供水量小, 出厂水在管网中水力停留时间长, 管网水浊度较夏季高。为了消除浊度季节性变化对管网水质的影响, 使模型在应用时间上更具灵活性, 本研究在模型2的基础上进行了改进而得到了模型3。

$$\text{score} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [10B(1.0 - ZD_{i\text{修正}}) + AC(100 - JL_i) - DE(YL_{CCi} - YL_{GW_i})]_j \quad (3)$$

式中: $ZD_{i\text{修正}}$ 为监测组区域管网内第 i 个管网监测点修正后的浊度, NTU; 其余参数同模型2。

3 实例应用

通过实例应用展示模型3中浊度的修正方法及其管网水质评价结果。本实例以2019年7月—9月某水厂供水区域内30个管网监测点、每月2次的水质监测数据作为水厂工艺参数调整前管网水质评价的对象; 以2019年10月—12月相同的30个管网监测点、每月2次的水质监测数据作为水厂工艺参数调整后管网水质评价的对象。根据模型2, 分别

计算出工艺参数调整前后浊度和菌落总数的修正系数,结果如表 1 所示。

表 1 管网水质评价的模型 2 参数

Tab.1 Model 2 parameters for water quality evaluation of pipeline networks

监测时间	浊度			菌落总数			余氯消耗量			浊度-菌落 总数加权值 (A)	浊度-余 氯消耗 量加权 值(D)
	浊度均 值/NTU	浊度实 测值小 于浊度 均值次 数/次	修正 系数(B)	菌落总数 均值/ (CFU· mL ⁻¹)	菌落总 数实测 值小于 菌落总 数均值 次数/次	修正 系数(C)	余氯消耗 量均值/ (mg·L ⁻¹)	余氯消 耗量大 于余氯 消耗量 均值次 数/次	修正系 数(E)		
2019年7月	0.39	26	0.79	1.64	26	0.91	0.375	28	0.96	0.237 8	0.24
		21			26			29			
2019年8月		24			29			30			
		24			28			30			
2019年9月		23			27			26			
		24			27			29			
2019年10月		24	28		0	0					
		22	26		0						
2019年11月		19	30		0						
		9	30		0						
2019年12月		8	29		0						
		6	29		0						

收集待评价管网供水区域所属水厂的月供水量,计算各管网监测点的浊度月均值,数据列于表 2。进行月供水量和浊度月均值相关性分析,得到相关系数为-0.528 3,表明浊度月均值与月供水量呈负相关关系。浊度与月供水量之间的工作曲线

表达式如下所示:

$$ZD_{\text{月均值}}=-0.033\ 7\times Q_{\text{月}}+1.785\ 5\tag{4}$$

式中:ZD_{月均值}为每月供水区域内 30 个管网监测点所有浊度数据的均值,NTU;Q_月为该区域管网监测点所属水厂的月供水量,10⁶ m³。

表 2 2019 年 7 月—12 月供水量和浊度月均值

Tab.2 Water supply and average turbidity from July to December in 2019

监测时间	月供水量/m³	浊度月均值/ NTU	月供水量均值/ 10 ⁶ m³	理论浊度/NTU	工艺调整前后的 理论浊度差/NTU
2019年7月	43 651 400	0.33	42.71	0.346 2	0.093 0
2019年8月	42 761 600	0.32			
2019年9月	41 702 500	0.32			
2019年10月	39 336 900	0.34	39.95	0.439 2	
2019年11月	40 577 100	0.46			
2019年12月	39 932 700	0.58			

分别计算出工艺参数调整前后水厂供水量均值,代入式(4),得到工艺参数调整前后理论浊度分别为 0.346 2 和 0.439 2 NTU,理论浊度差为 0.093 0 NTU。将工艺参数调整后,即 2019 年 10 月—12 月 30 个管网监测点每次监测到的浊度减去理论浊度差 0.093 0 NTU,得到各管网监测点的浊度修正值,即 ZD_{i修正}。然后将 ZD_{i修正}和计算所得参数 A~E 代入模型 3,得到工艺参数调整前管网水质评价得分

score₁为 1 546,工艺参数调整后管网水质评价得分 score₂为 1 501。

评分差值 Δscore>0,表明水厂工艺及参数调整对管网水质有改善作用;Δscore<0,表明水厂工艺及参数调整对管网水质有负面影响;Δscore=0,表明水源切换、工艺及参数调整对管网水质无影响。

本实例中评分差值 Δscore 略小于 0,表示 2019 年 10 月—12 月的管网水质略差于 2019 年 7 月—9

月,但是差别不大,若将两个得分与水厂工艺或参数调整相关联,可知此次工艺参数调整对管网水质无明显影响。若水厂此次的工艺调整为增加混凝剂、助凝剂或者预氧化剂等药剂的投加,而管网水质并未得到改善,则水厂应将药剂投加向减量方向调整;若此次工艺调整为减少药剂投加,管网水质无明显变化,则可在减少药剂投加和水质之间找到平衡点,实现节能降耗的目标;若此次调整的是某工艺参数,则需将该参数朝相反方向进行调整,然后再次进行管网水质评价,从而将工艺参数、药剂投加控制在一个较为精准的范围内。管网水质评价模型对水厂工艺及参数调整具有实际指导意义,同时,对于推进厂网一体化或厂网联动有积极作用。

4 结论

针对供水区域内多个管网水质监测点进行评价,以面源管网水质对水厂工艺或参数调整、水源切换进行反馈,相较目前单点单次管网水质评价方法具有更广泛的应用性,且与水厂工艺及参数联合分析,可为水厂工艺参数优化、供水集团逐年评价水厂工艺提升状况等提供更精准的依据;考虑到管网浊度呈现以年为周期的季节性变化,通过对浊度进行修正,使应用过程中数据选取的监测周期更具灵活性。通过建立起水厂工艺及参数调整和管网水质之间的联系,以管网水质变化情况作为水处理工艺或参数调整的参考目标,可使工艺或参数调整范围更精准,有利于实现水厂的精细化管理,也能促进水厂节能降耗。

参考文献:

- [1] 彭玲,刘玉菲,郑建春,等.城市供水管网安全性评估分析方法[J].净水技术,2020,39(10):140-148.
PENG Ling, LIU Yufei, ZHENG Jianchun, *et al.* Safety assessment and analysis for urban water supply distribution network[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(10): 140-148 (in Chinese).
- [2] 王晓光,周慧,张有君.应用GRNN模型对给水管网水质的综合评价[J].沈阳理工大学学报,2011,30(4):63-66.
WANG Xiaoguang, ZHOU Hui, ZHANG Youjun. Synthetic evaluation of water quality in water supply networks based on the GRNN model [J]. Journal of Shenyang Ligong University, 2011, 30(4): 63-66 (in Chinese).
- [3] 吉瑞博,王志红,龙志宏,等.基于风险评估的供水管网水质监测点优化模型研究[J].中国给水排水,2021,37(3):52-59.
JI Ruibo, WANG Zhihong, LONG Zhihong, *et al.* Water quality monitoring points optimization model for water supply network based on risk assessment [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(3): 52-59 (in Chinese).
- [4] 李礼,李玉仙,王敏,等.管垢差异对水源切换后铁释放程度的影响及其黄水风险判断[J].给水排水,2016,42(S1):273-277.
LI Li, LI Yuxian, WANG Min, *et al.* The iron release rules of the pipes with different scale when water source switch and red water risk prediction [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42 (S1): 273-277 (in Chinese).
- [5] 陈世恩,韩悦,李朝晖,等.岷江水系上游某市供水管网黄水问题分析[J].给水排水,2018,44(S2):223-226.
CHEN Shi'en, HAN Yue, LI Zhaohui, *et al.* Analysis of yellow water problem in drinking water distribution system of a city in the upper reaches of Minjiang River [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44 (S2): 223-226 (in Chinese).
- [6] 赵蓓,张海祥,李礼,等.自备井置换区域管网水质风险评估[J].中国给水排水,2021,37(13):32-39.
ZHAO Bei, ZHANG Haixiang, LI Li, *et al.* Risk assessment for water quality of distribution network in areas using self-supply wells after water source replacement [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37 (13): 32-39 (in Chinese).

作者简介:张静(1990—),女,内蒙古扎赉特旗人,博士,高级工程师,主要研究方向为给水处理。

E-mail:zj_zoey@163.com

收稿日期:2022-10-20

修回日期:2023-01-13

(编辑:沈靖怡)