

文章编号:2095—0411(2015)02-0051-04

# 横山桥镇农村供水管网水质模型构建及应用<sup>\*</sup>

赵玲萍<sup>1</sup>,张凤娥<sup>1</sup>,董良飞<sup>1</sup>,涂保华<sup>1</sup>,陈春芳<sup>2</sup>

(1.常州大学 环境与安全工程学院,江苏 常州 213164;2.常州市通用自来水公司,江苏 常州 213000)

**摘要:**针对农村供水管网水质现场实测的局限性和模糊性,采用 EPANET 构建余氯和三卤甲烷的水质模型进行实时模拟,将熵权理论应用于水质模糊评价,并以横山桥镇农村供水管网为实例展开研究,及时发现供水管网中评价点 4 处水质不合要求,采取措施改善水质。结果表明该模型对确保供水安全具有一定的应用价值。

**关键词:**水质模型;模拟;熵权

**中图分类号:** TU 991

**文献标识码:** A

**doi:**10.3969/j.issn.2095—0411.2015.02.011

## Establishment and Application of Water Quality Model in Villages Water Distribution System of Hengshanqiao Town

ZHAO Ling-ping<sup>1</sup>,ZHANG Feng-e<sup>1</sup>,DONG Liang-fei<sup>1</sup>,TU Bao-hua<sup>1</sup>,CHEN Chun-fang<sup>2</sup>

(1.School of Environmental and Safety Engineering,Changzhou University,Changzhou 213164,China;  
2.Changzhou CGE Water Co. Ltd.,Changzhou 213000,China)

**Abstract:** In view of the field measurement limitation and the fuzziness of water quality in water supply network, water quality model of residual chlorine and trihalomethanes is established by EPANET ,and water quality is real-time simulated .The entropy weight theory is applied in the fuzzy evaluation of water quality. By studying the rural water supply network of Hengshanqiao town,4 points in the network were found unable to meet the water supply requirement,and measures were taken to improve the water quality.The result indicates the model has the value for ensuring the safety of drinking water supply.

**Key words:** water quality model;simulation;entropy weight

目前,供水安全已成为社会的热点问题。特别是饮用水中的消毒副产物致癌风险不断得到毒理性和生物学的证实。大部分农村地区的水厂采用的是液氯消毒,在此过程中生成的三卤甲烷正是饮用水中含量最大的消毒副产物,其含量与水中的余氯浓度有关。而在农村地区,余氯、三卤甲烷现场监测点数目是有限的,很难覆盖整个农村供水管网,靠现场监测点获得水质实测数据具有一定的局限性。许多学者对余氯、三卤甲烷的生成规律进行了研究,但未

从供水安全角度来综合评价水质<sup>[1-2]</sup>。

针对管网水体本身是复杂的、非线性的模糊系统,笔者采用 EPANET 软件构建了横山桥镇供水管网中余氯和三卤甲烷的模型,动态模拟管网中水质数据,并基于熵权构建了水质模糊评价模型,进行定量化计算和评价,确定供水管网水质等级,可及时发现供水管网中水质不合要求的地段,采取措施来改善水质,对保证饮用水安全具有现实意义。

<sup>\*</sup> 收稿日期:2015-12-02。

作者简介:赵玲萍(1979—),女,江苏扬州人,硕士,讲师,主要从事水系统优化研究。

# 1 供水管网水质模拟和评价模型

## 1.1 供水管网水质模拟模型

EPANET 是由美国环境保护总署开发的,用于城市供水管网水力和水质模拟的软件,具有管网水力计算、水质模拟、信息管理、运行管理等功能<sup>[3]</sup>。目前,基于 EPANET 的供水管网水质模型按照研究所涉及的水质参数,主要有余氯衰减模型、节点水龄模型、消毒副产物模型等。本文在前期供水管网水力模拟的基础上,确定管网余氯衰减动力学参数和三卤甲烷生成动力学参数,利用 EPANET 模拟软件建立余氯、三卤甲烷水质模型进行实时模拟,可得到余氯、三卤甲烷的模拟数据进行量化计算和评价,为水质评价提供依据<sup>[4-5]</sup>。供水管网水质模拟过程如图 1 所示。

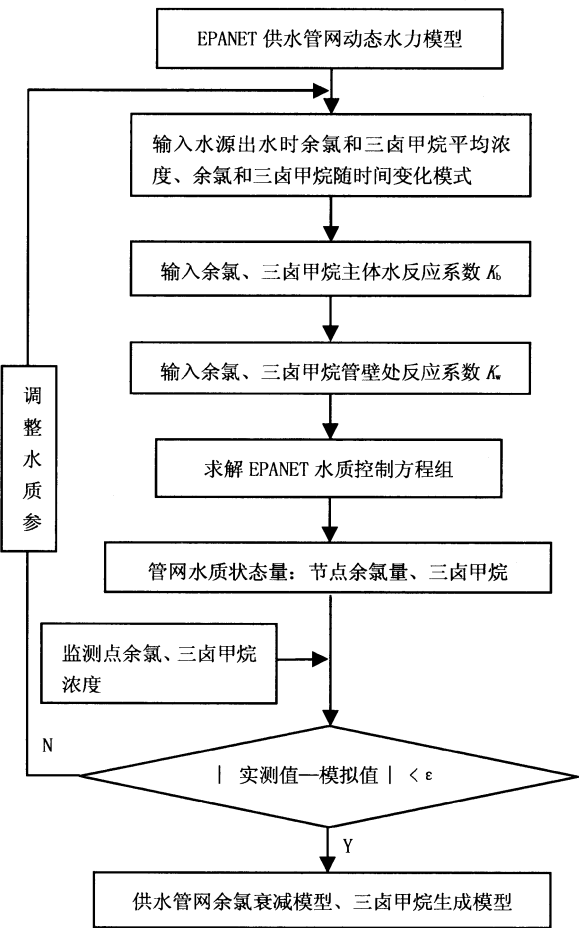


图 1 EPANET 供水管网水质模拟流程图

Fig.1 Flow chart of water quality simulation by EPANET in water distribution system

### 1.1.1 余氯衰减模型

$$C_t = C_0 \cdot \exp(-k \cdot t)$$
 (1)

式中:  $C_0$  为初始余氯浓度,mg/L;  $C_t$  为经过  $t$  时后余氯浓度,mg/L;  $t$  为时间,s;  $k$  为管道总的余氯衰减系数。

### 1.1.2 三卤甲烷生成模型

$$C_1 = C_2 - (C_2 - C_0)e^{-KtC}$$
 (2)

式中:  $C_1$  为三卤甲烷浓度,μg/L;  $C_2$  为三卤甲烷的界限浓度,μg/L;  $C_0$  为三卤甲烷初始浓度,g/L;  $K$  为反应速率常数,L/(mg·h);  $t$  为反应时间,h;  $C$  为水中余氯浓度,mg/L。

## 1.2 供水管网水质模糊评价模型

由于供水管网水质本身是一个影响因素较多、复杂的模糊系统,采用模糊数学方法来解决这个复杂的评价问题,更能客观地反应水质的优劣程度。利用模糊集原理,构建评价对象对评价标准的隶属度矩阵,利用熵权法确定权重较客观合理,最终按最大隶属度原则得到综合评价结果<sup>[6-7]</sup>。模型建立思路如图 2 所示。

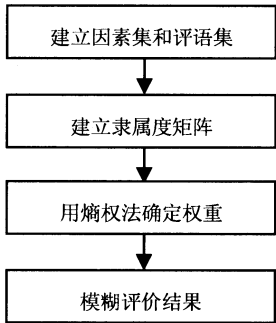


图 2 水质模糊评价模型基本思路

Fig.2 Basic ideas of fuzzy evaluation model of water quality

## 2 实例分析

### 2.1 横山桥镇供水管网概况

横山桥镇全镇面积为 37.12km<sup>2</sup>,所辖 15 个行政村,常住人口 4 万。供水结构为工业和民用混合用水。该镇统一由西石桥水厂供给,输水管线长达 17km,在横山桥增压站对水厂来水进行加压和二次加氯,通过两条输水管线供给全镇。日用水量 7 000~8 000t/d。该镇管网总长度约为 48.4km,管径分布在 DN 100~DN 600,管网近期更新过一次,管网材质由球墨铸铁管和 PE 管组成,其中过桥管为钢管。对其供水管网拓扑结构进行简化,简化后共包括 248 个节点、261 条管段。管网除镇区为环状外,周边农村均为枝状且管线较长,易出现水质问

题。

2.2 横山桥镇供水管网水质模拟及评价

2.2.1 横山桥镇供水管网水质模拟

根据横山桥镇供水管网特征及监测点的布置原则,设置 5 个余氯和三卤甲烷监测点,分别位于供水干管和管网末梢,以便获得实测数据,用以校核水质模型。对每个监测点的余氯含量采用 GBT5750.11—2006《生活饮用水标准检测方法消毒剂指标》中规定的 3,3',5,5'-四甲基联苯胺比色法进行现场测量;从三卤甲烷监测点取出的水样用抗坏血酸终止其氯化反应,回到实验室采用 GBT5750.8—2006《生活饮用水标准检测方法有机物指标》中规定的填充柱气相色谱法快速测定三卤甲烷值。

在 EPANET 模型中,选择模拟周期为 96h,水力步长为 30min,水质步长为 5min,每 5min 输出一组水质数据。水源点(增压站)出水余氯和三卤甲烷平均浓度为分别为 0.72mg/L、16.2μg/L。初始余氯浓度和三卤甲烷浓度均设为 0。余氯和三卤甲烷水体反应速率系数  $K_b$  分别为  $-1.04d^{-1}$ 、 $0.12d^{-1}$ ,余氯和三卤甲烷管壁反应速率系数  $K_w$  分别为  $-0.20\text{ m/d}$ 、 $0.01\text{ m/d}$ 。从实测值与模拟值的比较来看,余氯误差最大为 0.1mg/L,远小于模型允许的误差(即水源出水余氯浓度的 50%);三卤甲烷误差最大为 5.73μg/L,远小于允许误差 30μg/L,两者均满足模型的校核标准。可见,模型的校验结果较理想,利用 EPANET 建立的该水质模型比较符合实际,能较准确地反映任一节点余氯和三卤甲烷在管网中浓度分布的真实情况。管网中节点 25 一个周期内余氯和三卤甲烷模拟值如图 3、图 4 所示。

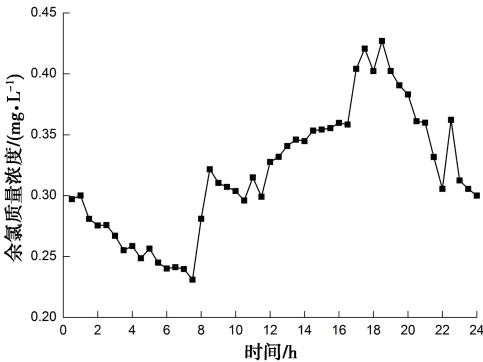


图 3 节点 25 一个周期内余氯模拟值

Fig.3 Simulated values of residual chlorine within a cycle at node 25

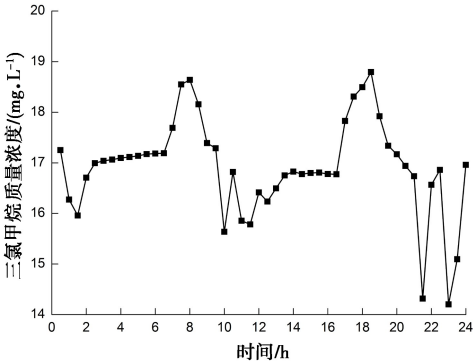


图 4 节点 25 一个周期内三卤甲烷模拟值

Fig.4 Simulated values of THM within a cycle at node 25

因此,可采用得到的模拟数据进行水质评价,综合观测各点的水质情况,并对异常点即水质不合要求的节点进行处理。这里,由于篇幅有限,仅从管网 248 个节点中随机选取部分节点的水质模拟数据进行定量计算和评价,详细数据如表 1。

表 1 横山桥镇供水管网水质模拟数据

Table 1 Simulation data of water quality in water distribution system of Hengshanqiao town

水质评价因子	评价点 1	评价点 2	评价点 3	评价点 4	评价点 5	评价点 6
$\rho(\text{余氯})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.47	0.60	0.55	0.22	0.36	0.51
$\rho(\text{三卤甲烷})/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	17.34	16.23	16.39	17.57	18.72	17.34

2.2.2 横山桥镇供水管网水质模糊评价

选取余氯和三卤甲烷作为评价因子,根据我国现行的 GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》以及 CJ94—2005《饮用净水水质标准》,拟把水质分为优、良、合格、差 4 级。水质分级标准值见表 2。

表 2 水质分级标准值

Table 2 Water quality classification standards

水质评价因子	优	良	合格	差
$\rho(\text{余氯})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	1.0	0.5	0.3	$<0.3$
$\rho(\text{三卤甲烷})/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	10	25	60	$>60$

根据表 1 中的数据,计算水质因子的隶属度,得到评价隶属度矩阵  $R$ 。如评价点 1 的隶属度矩阵  $R_1$  为:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0.850 & 0.150 & 0 \\ 0.511 & 0.489 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

将原始判断矩阵(表 1)进行归一化处理,得到归一化判断矩阵

$$B =$$

$$\begin{pmatrix} 0.657\ 9 & 1.000\ 0 & 0.868\ 4 & 0.000\ 0 & 0.368\ 4 & 0.763\ 2 \\ 0.554\ 2 & 1.000\ 0 & 0.935\ 7 & 0.461\ 8 & 0.000\ 0 & 0.554\ 2 \end{pmatrix}$$

计算可得评价指标的熵值  $H = (0.987\ 0\ 0.987\ 3)$ , 评价指标的熵权  $W = (0.505\ 0.495)$ 。

最后,根据模糊数学的最大隶属度原则可以判断评价等级,评价结果见表 3。

表 3 水质评价结果

Table 3 The results of water quality evaluation

评价点	优	良	合格	差	评价等级
1	0.252 9	0.671 3	0.075 8	0.000 0	良
2	0.390 6	0.609 4	0.000 0	0.000 0	良
3	0.334 6	0.665 4	0.000 0	0.000 0	良
4	0.245 0	0.255 0	0.000 0	0.505 0	差
5	0.207 4	0.439 1	0.353 5	0.000 0	良
6	0.263 0	0.737 0	0.000 0	0.000 0	良

2.2.3 结果分析

从表 3 可知,在横山桥镇供水管网中选取的 6 个评价点中,大多数水质良好,评价点 4 水质最差,没有达到水质要求。从原始数据也可以看出,评价点 4 的余氯值偏低,低于 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》要求的 0.3mg/L。余氯浓度低于下限标准,除自身不能满足水质要求外,更不能保证其下游节点的水质要求。分析评价点 4 在管网中的位置及周围用水情况会发现,评价点 4 位于管网中间段,管径为 DN 600,在这条管段上用户用水量很小,水在管道内的流速低,水力停留时间很长,造成氯耗很大,余氯值低,从而导致水质非常恶劣。

因而,对余氯浓度不达标的时段和区域应采取措施进行处理。首先,建议加强对评价点 4 的实时监测,同时可采取两个措施:一是在管网途中加氯。在评价点 4 的上游节点投加氯,使余氯浓度达标,且上游管段余氯浓度也相应提高,水质得以改善,如图 5;二是改善管网水力工况,减少甚至消除低流速管道,减小水力停留时间,从而提高该区域的水质,保证供水安全。按照自来水公司管网近期规划,要求在评价点 4 处向南新建管道往南方向供水,以此提高节点用水量,提高管道流速,降低余氯的消耗。

同时,从计算得到的熵权可以看出,三卤甲烷的熵权略低于余氯,说明三卤甲烷在水质评价中的地位不可忽视。当使用液氯对水进行消毒时,氯会与水天然有机前驱物质发生反应生成若干消毒副产物。研究表明,三卤甲烷是饮用水中含量最大的消毒副产物,具有致突变性和致癌性,会对人体健康造成极大危害。目前,许多供水行业学者对三卤甲烷的生成规律进行了研究,三卤甲烷已成为供水安全的研究热点,对其进行正确的模拟及评价是非常必

要的。

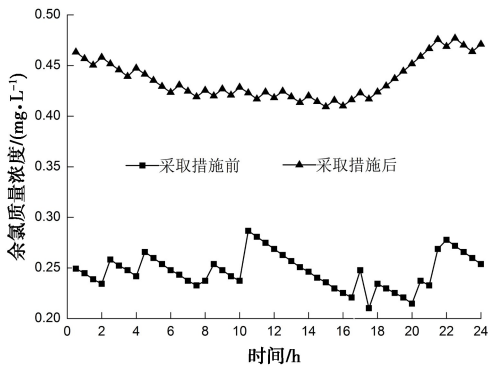


图 5 采取措施前后管段余氯变化比较结果  
Fig.5 Comparison result of residual chlorine change in pipe before and after taking measures

3 结 论

- 1)为保障农村饮用水的安全供给,采用 EPA-NET 软件构建了供水管网中余氯和三卤甲烷的水质模型,避免了实测数据的局限性。
- 2)将熵权理论应用于模糊评价中,丰富和改进城市供水管网水质评价方法,并以横山桥镇供水管网水质作为实际研究对象进行分析。
- 3)构建农村供水管网余氯和三卤甲烷的水质模型并应用,能及时发现水质不达标的地方,从而采取措施提高管网水质,可为供水部门决策者和技术人员在日后水质管理工作提供依据。

参考文献:

[1]郝鹏鹏,孙乔,刘晓琳,等.上海市浦东新区饮用水三卤甲烷和卤乙酸含量及其健康风险评价[J].环境与职业医学,2014,31(6):442-447.

[2]Derya Baytak,Aysun Sofuoglu.Seasonal variation in drinking water concentration of disinfection by-products in IZMIR and associated human health risks[J].Science of the Total Environment,2008,407(1):286-296.

[3]Rossman L A.EPANET 2 UsersManual[M].Cincinnati:USEPA,2000:25-39.

[4]严烈,徐斌,高乃云.饮用水中典型氯化消毒副产物生成模型的研究进展[J].净水技术,2010,29(1):16-22.

[5]徐剑,张凤娥,夏文楠,等.供水管网中三卤化物生成的预测模型研究[J].常州大学学报(自然科学版),2013,25(3):24-27.

[6]杨伦标,高英仪,凌卫新.模糊数学原理及应用[M].广州:华南理工大学出版社,2011:45-68.

[7]谌昭胜,芳菊,童祺恭.两种供水管网水质评价方法的对比研究[J].市政技术,2010,28(5):73-75.

(责任编辑:李艳)