

供水管网余氯预测的研究

王海霞, 张信阳

(天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要: 针对饮用水余氯监测数据的滞后性问题, 运用多元线性回归模型, 建立了管网末梢的余氯浓度和加氯量等5个自变量之间的线性关系, 通过数据分析软件 SAS 对华北某新区配水管网 2002 年 9 月至 2002 年 12 月共 4 个月的监测数据进行了回归分析, 并对 2003 年 4 月的余氯浓度进行预测. 预测结果基本符合实际情况, 可以根据此模型来确定加氯量, 预测管网末梢的余氯.

关键词: 余氯; 多元回归分析; 配水管网; 数据监测

中图分类号: TU991.25; O212.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-024X(2003)06-0034-03

Study on forecasting concentration of residual chlorine in water distribution system

WANG Hai-xia, ZHANG Xin-yang

(School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Because of the residence time of water in distribution pipelines, data that reflect residual chlorine concentrations for a given applied dose are only available after a certain time delay. Consequently, applied chlorine doses that are too high or too low are often identified too late for an operator's reaction. A linear relationship is established between the residual chlorine at the end of pipe network and five independent variables such as chlorine doses with the application of multivariate linear regression model. A regression analysis is made based on four months' data of distribution system in a district of the North China with the software of SAS. And the residual chlorine concentrations of April 2003 were forecasted, which was basically consistent with the actual situation. The results show that through this model the chlorine dosage can be determined and the residual chlorine can be forecasted.

Key words: residual chlorine; multivariate regression analysis; distribution system; data monitoring

氯是给水处理中使用最广泛的消毒剂. 在配水管网中保持一定浓度的余氯, 不仅可以确保水的生物稳定性, 对于管网的二次污染也起着预警作用. 但是, 氯能够和一些有机化合物反应生成三卤甲烷、卤乙酸等 DBP 消毒副产物^[1], 而且, 过高的余氯也会产生气味, 引起用户的不满, 故而在给水处理末端控制适量浓度的氯是非常必要的. 余氯在配水管网中的衰减是非常复杂的过程, 它受到许多因素的影响, 如加氯量、配水管材^[2]、流速等等. 水厂根据水质情况来确定加氯量以满足配水管网末端的余氯要求, 但由于水在配水管网中有一段停留时间, 使得反映管网末梢余氯的监测数据在一段时间之后才能获得, 导致管理者不能及时根据水质状况来确定加氯量. 本文通过确立管网末梢

的余氯浓度与加氯量等变量之间的关系, 论证其可行性, 并预测管网末梢的余氯浓度, 以求更好地控制加氯量, 满足水质要求, 将余氯的副作用控制到最小.

1 建立模型

因为余氯衰减过程的复杂性, 传统的余氯衰减模型需要考虑诸多因素, 而有些资料在一般的自来水公司不属于常规监测项目, 因而较难实现. 笔者从现实的角度出发, 用回归分析的方法来预测管网末梢的余氯, 以此来控制加氯量. 这种回归分析是一种处理变量相关关系的数理统计方法. 应用回归分析可以根据一个或几个变量的取值, 预测或控制另一个变量的取值, 并

且可以知道这种预测或控制可以达到什么样的精度^[3]. 本文采用多元线性回归的方法模拟管网末梢的余氯浓度的变化状况,模型如下:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$$

其中, y 为因变量, 管网末梢余氯的浓度 (mg/L); n 为模型变量个数; x_1, x_2, \dots, x_n 为模型变量, 即影响余氯量的因素; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 为模型参数.

2 实例分析

2.1 资料来源

本文模拟华北某新区的配水管网, 它主要由新区水厂供水. 监测数据包括: 加氯量, 出厂水的余氯浓度、温度、浊度、pH 值, 管网中 3 个监测点和管网末梢的余氯浓度、温度、浊度、pH 值. 监测频率为每日一次.

2.2 模型变量的选择

在回归分析中, 要使回归模型最大程度地符合实际情况, 必须充分考虑其影响因素. 在配水管网中, 影响管网末梢余氯浓度的因素主要包括: ①加氯量; ②出厂水的余氯浓度; ③水温; ④停留时间; ⑤水质 (主要是能够和氯反应的有机化合物)^[1,4]. 但在一般的配水管网水质监测中, 由于监测条件的限制, 很少连续监测. 基于监测数值的普遍性, 在本文中, ④不考虑在内, ⑤中只考虑作为常规监测项目的温度、浊度和 pH 值.

根据所选变量的不同, 建立了 3 个多元线性回归模型, 如表 1.

表 1 不同模型变量的比较

Tab. 1 Comparison between variables for the model

模型	变量个数	模型变量
第 1 个	5	加氯量, 出厂水余氯浓度及温度、浊度、pH 值
第 2 个	5	加氯量, 出厂水余氯浓度及管网中 3 个监测点的余氯浓度
第 3 个	8	加氯量, 出厂水余氯浓度及温度、浊度、pH 值, 管网中 3 个监测点的余氯浓度

模型的目的在于预测管网末梢的余氯浓度, 控制加氯量. 在第 1 个模型中, 监测单位可以根据连续监测数据来预先估计加氯量以及出厂水余氯浓度、温度、浊度、pH 值, 从而预测计算管网末梢的余氯. 而第 2 个和第 3 个模型中, 管网中 3 个监测点的余氯浓度是无法预先估计的, 无法达到模型的目的, 故而采用第 1 个回归模型.

2.3 数据处理

在模拟过程中, 数据的预处理是非常关键的一步. 在配水管网水质监测的过程中, 人工取样的过程、仪器

的差错和检验方法等都可能引起异样的数据. 这些异常的数据首先应该被剔除, 否则将会影响结果的真实性^[3,5]. 在本系列数据中, 剔除的数据主要包括: ①在时间序列上, 有明显异常的数据; ②在同一时刻的数据中, 出现明显异常的数据; ③监测单位记录有突发事件的监测数据. 数据处理之后, 原有的两部分监测数据, 第一部分 (2002 年 9 月 ~ 2003 年 12 月) 从原来的 82 条记录剔除到现用的 74 条, 第二部分 (2003 年 4 月) 从原来的 19 条记录剔除到现用的 18 条.

2.4 回归分析

原有的两部分监测数据, 第一部分用于数据的回归分析, 第二部分用于回归模型的检验. 本文运用国际著名的大型集成软件 SAS 中的回归分析对第一部分的监测数据进行预测和分析, 回归方程为:

$$y = 0.146326 - 0.001559x_1 - 0.003927x_2 - 0.012630x_3 + 0.028692x_4 + 0.000147x_5$$

其中, y 为管末梢余氯浓度 (mg/L); x_1 为出厂水温度 (°C); x_2 为出厂水浊度 (°C); x_3 为出厂水 pH 值; x_4 为出厂水余氯浓度 (mg/L); x_5 为加氯量 (kg/d).

回归变量的基本情况如表 2. 模拟结果如图 1 和图 2 所示.

表 2 回归变量的基本特征

Tab. 2 Typical values of variables for the model

项目	监测出厂水				加药量 /(kg · d ⁻¹)	管网末梢 余氯浓度 /(mg · L ⁻¹)
	水温 /°C	浊度 /°C	pH 值	余氯浓度 /(mg · L ⁻¹)		
最小值	6.0	0.36	7.57	0.70	78.00	0.06
平均值	13.6	0.64	7.89	0.93	131.70	0.07
最大值	27.0	1.37	8.10	1.20	207.00	0.10
标准差	6.7	0.20	0.11	0.16	34.85	0.01

从图 1 和图 2 可以看出, 模型预测值基本符合实际监测值. 回归分析的结果表示其平均绝对误差为 0.00749, 平均相对误差为 10.72%. 其中相对误差全部在 25% 以内, 在 20% 以内的总计占 93.24%, 模型基本符合要求. 但同时从图 1 也可以看出, 回归模型在管网末梢余氯变化较大的时候, 模拟的效果不是特别理想, 这说明如果源水水质有较大变化或者加氯量有明显变化的情况下, 回归模型的模拟效果可能不是太好.

2.5 预测分析

模型建立的目的在于应用于工程实际. 为进一步验证回归模型的有效性, 用其预测该管网 2003 年 4 月管网末梢的余氯浓度, 预测结果如表 3 所示.

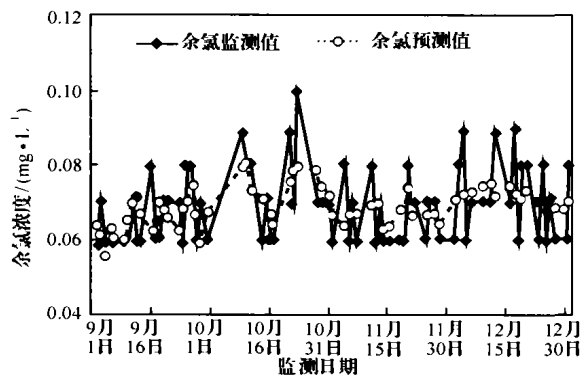


图1 管网末梢余氯的监测值与预测值的比较

Fig. 1 Comparison between measured values and modeled values at pipe network ending

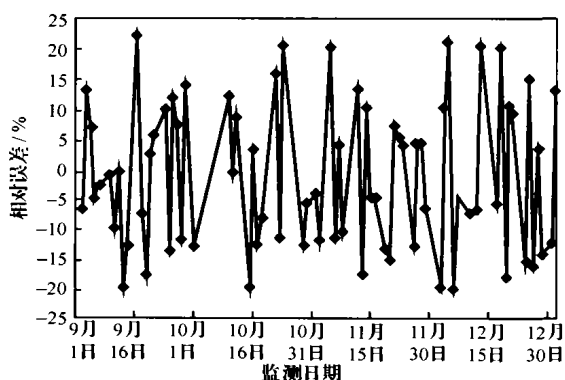


图2 管网末梢余氯的相对误差图

Fig. 2 Relative errors of residual chlorine at pipe network ending

分析结果显示预测值基本符合监测数据,平均绝对误差为0.005 73,平均相对误差为10.10%,而且相对误差全部控制在20%的范围以内,验证了模型的有效性.从表3可以看出,预测的数据几乎全部偏大,这可能因为两个原因:①4月份出厂水的浊度普遍偏低,而回归模型是建立在9月份到12月份的数据之上的,因此预测数据可能会偏大.②源水水质的逐渐恶化也会导致实测值低于预测值.

3 结论

从实例预测的结果看,建立在管网末梢的余氯浓

表3 管网末梢余氯的误差表

Tab. 3 Absolute errors and relative errors for model forecasting

日期	余氯监测值 /(mg·L ⁻¹)	余氯预测值 /(mg·L ⁻¹)	绝对误差 /(mg·L ⁻¹)	相对误差 /%
1	0.060 0	0.063 5	-0.003 5	-5.80
2	0.060 0	0.067 1	-0.007 1	-11.79
3	0.060 0	0.068 3	-0.008 3	-13.86
4	0.060 0	0.067 9	-0.007 9	-13.23
7	0.060 0	0.064 3	-0.004 3	-7.23
8	0.060 0	0.068 3	-0.008 3	-13.87
9	0.060 0	0.067 5	-0.007 5	-12.45
10	0.060 0	0.070 4	-0.010 4	-17.37
11	0.060 0	0.066 3	-0.006 3	-10.58
14	0.060 0	0.060 9	-0.000 9	-1.47
15	0.060 0	0.062 8	-0.002 8	-4.62
16	0.060 0	0.061 7	-0.001 7	-2.77
17	0.050 0	0.057 3	-0.007 3	-14.60
18	0.060 0	0.0624	-0.002 4	-4.05
21	0.060 0	0.062 0	-0.002 0	-3.42
28	0.050 0	0.055 2	-0.005 2	-10.44
29	0.050 0	0.058 2	-0.008 2	-16.31
30	0.050 0	0.058 9	-0.008 9	-17.76

度和出厂水余氯浓度、温度、浊度、pH值以及加氯量的多元线性回归模型基本符合实际情况,可以通过此模型预测管网末梢的余氯浓度,确定加氯量,但同时可能有3方面的原因影响模型的精度:①人工取样、仪器的精度等操作过程造成数据的准确性和精度有误差;②数据的不连贯性会影响回归的精度;③季节的变化也会影响回归的准确性,如果条件允许,应该采用季节性的回归方程.

参考文献:

- [1] 李晓东,蔡国庆,马 军.水中有机成分及其对饮用水水质的影响[J].给水排水,1999,25(5):12-14.
- [2] 罗岳平.自来水管道内腐蚀对管网水质的研究影响[J].中国给水排水,1998,14(2):58-60.
- [3] 中国科学院数学研究所数理统计组.回归分析方法[M].北京:科学出版社,1975.1-4.
- [4] Manuel J Rofriguez, Jean B Serodes. Assessing empirical linear and non-linear modeling of residual chlorine in urban drinking water systems[J]. Environmental Modelling & Software, 1999,14:93-102.
- [5] 杨位钦,顾 岚.时间序列分析与动态数据建模[M].北京:北京理工大学出版社,1988,23-26.