

饮用水输配管网中的余氯衰减模型

刘 星¹, 单金林¹, 郝静敏¹, 章 艺²

(1. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072; 2. 山东大学 山大科技股份有限公司, 山东 济南 250061)

摘 要: 介绍了管网中余氯消耗动力学机理并在此基础上建立了管段余氯衰减模型, 采用拉格朗日—时间驱动法编程对模型求解。将此模型应用于实际管网得到了较好的模拟效果。

关键词: 余氯衰减模型; 拉格朗日—时间驱动法; 水质模型

中图分类号: TU991.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2003)06-0042-02

1 管网余氯衰减模型

按照研究所涉及的水质参数的不同, 可将配水系统水质模型分为余氯衰减模型、DBP 模型、微生物质量模型和惰性污染物模型^[1,2]。现将通用的给水管网水质模型具体应用到余氯的研究上, 建立余氯衰减模型。

1.1 余氯浓度管段方程

首先对管网中水体的流动作出如下假设:

① 流体以一个恒定的平均流速按平流方式通过系统;

② 在垂直于流体流动方向上的任一横截面上, 具有均匀的径向浓度(即径向完全混合);

③ 由于轴向流动速度远远大于径向扩散速度, 故忽略由于湍动混合、分子扩散及流速变化等综合影响而引起的径向扩散。

假定系统的密度恒定, 通过质量衡算得到余氯衰减模型的管段方程:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -u_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + R(C_i) \quad (1)$$

式中 u_i ——管中液体流速

C_i ——任一管段 i 中的余氯浓度

R ——反应率

对于单组分反应来说, 主体流反应方程:

$$R_b = CK^n \quad (2)$$

式中 K ——反应常数, 可由经验值得出

n ——反应级数

壁流反应方程:

$$R_w = \frac{2K_w K_f C}{r(K_w + K_f)} \quad (3)$$

式中 K_w ——壁流反应系数, 可由经验值得出

K_f ——物质传输系数, 可由 Sherwood 经验公式得出

r ——管段半径

1.2 节点混合方程

假定流体流入节点, 混合是完全的、瞬间完成的, 即不考虑时间、化学反应等因素, 那么对于管网中的某一节点来说:

管段流入量 + 水源流入量 = 管段流出量 + 节点流出量

从而得到节点混合方程:

$$C_{i|x=0} = \frac{\sum_{j \in J_k} Q_j C_{j|x=L_j} + Q_s C_s}{\sum_{i \in I_k} Q_i + Q_k} \quad (4)$$

式中 $C_{i|x=0}$ ——管段 i 起始点的浓度, mg/L

$C_{j|x=L_j}$ ——管段 j 结束点的浓度, mg/L

x ——管段的长度, m

I_k ——流入节点 k 的管段组

J_k ——流出节点 k 的管段组

C_s ——进入节点 k 的外部水源余氯浓度, mg/L

Q_s ——进入节点 k 的外部水源流量, L/s

Q_k ——流出节点 k 的节点流量, L/s

1.3 水质模型的求解

将式(1)、(4)联立求解, 给定每一管段 i 起始点的浓度 C_i 和起始时刻的源水浓度作为初始条件。

对于涉及化学传质有关内容的模型,一般采用欧拉法或拉格朗日法进行求解^[3]。本模型采用拉格朗日——时间驱动法(Lagrangian Time - Driven Method)进行系统仿真。简单地说,就是以固定时间间隔对整个管网进行一次计算并修改管网的状态参数。其程序设计流程见图1。

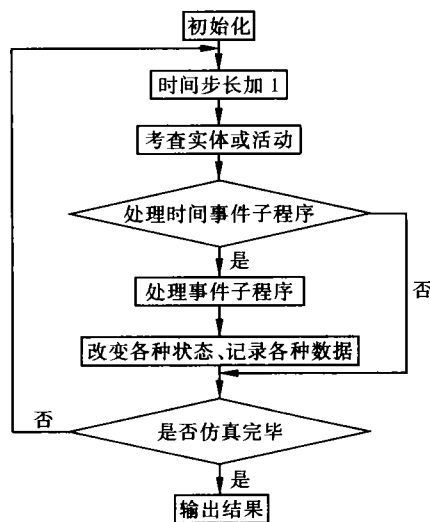


图1 时间步长法简要流程框图

2 余氯衰减模型的验证

2.1 数据背景

以华北某市的一个实际的独立管网系统进行管网余氯衰减模拟仿真。该区供水面积约为 40 km², 人口在 50 万人左右, 属中型城市, 其供水结构为工业和居民混合用水, 有三个水厂。

水源一: 水头为 0.5 MPa, 余氯为 1.0 mg/L;

水源二: 水头为 0.5 MPa, 余氯为 1.0 mg/L;

水源三: 水头为 0.42 MPa, 余氯为 1.0 mg/L;

节点数为 115 个, 管段为 138 个, 管网中无中间加压泵和蓄水池; 管线直径为 300~1 000 mm; 余氯的衰减系数取经验值(0.3/d); 选取 5 个监测点, 对模拟值进行比较分析。模拟周期为 24 h, 水力步长为 1 h, 水质步长取 0.01 h(该值远小于数值算法的要求), 每隔一个水力步长输出一次结果。

2.2 数据模拟

由于零时刻各节点水质很难测得, 故采用示踪剂试验的方法测定各节点水质, 即假定管网中无余氯, 将三个水厂在水出厂前向管网加氯的时刻定义为零时刻, 以相同条件的周期进行若干次模拟, 直至

周期余氯的变化达到稳定时, 得到该周期模拟结果。

2.3 结果分析

我国《生活饮用水卫生标准》中规定, 集中式给水的出厂水在接触 30 min 后, 水中游离性余氯 ≥ 0.3 mg/L, 管网末梢不低于 0.05 mg/L。由模拟结果可知, 除节点 94、95 外全区所有节点都能满足要求。节点 94、95 为全区管网的最不利点, 节点 95 余氯的残留值在 0.02~0.03 mg/L 之间, 节点 94 的余氯残留值几乎为零。

另外在示踪过程中发现, 大部分管网末梢一般在第二个周期的余氯值即达到稳定, 而节点 94、95 以及 20 的余氯变化则需要经过很长时间才趋于稳定。

从水力学和传质角度分析, 节点 94、95 的余氯残留值不能满足要求主要有以下两方面的原因: ①其上游管段的流速很低(在 0.06 m/s 以下), 从而造成余氯在这些管段的停留时间过长, 余氯衰减耗尽; ②其上游管段长度较长, 且为枝状管网, 易形成死水区, 从而造成余氯量不足。

针对这个问题, 可结合具体情况采取以下补救措施: ①定时在管网末端放水以缩短水在管网中的停留时间; ②建立管网内水流流速标准, 通过改造未调整管段管径, 以控制管段流速; ③结合管网改造工程将枝状管网连接成为环状管网, 以避免形成死水区; ④局部补氯。

通过建立余氯衰减模型并对其进行求解, 可以较好地模拟出实际管网中余氯的分布和变化情况, 从而帮助决策对于不符合规范要求的节点采取何种补救措施。例如本管网通过程序模拟, 在节点 94、95 上游设加氯点模拟节点加氯, 得到较好的效果。

参考文献:

- [1] 李欣, 宋学峰, 赵洪宾. 配水管网水质变化的研究(II) [J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1999, 32(3): 52-56.
- [2] Patrick Laurent, Pierre Servais. Testing the SANCHO model on distribution systems [J]. J AWWA, 1997, 89(7): 92-98.
- [3] Lewis A Rossman, Paul F Boulos. Numerical methods for modeling water quality in distribution systems: A comparison [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 1996, (2): 137-146.

电话: (022)27400830(O) 27408451(H)

收稿日期: 2003-01-27