文章编号:1005－0523(2006)05－0051－04

供水管网水质建模研究

童祯恭

(华东交通大学 土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:主要对供水管网水质建模的定义、作用及意义作了理论上的探讨,对国内外常用的一些管网模型软件作了简单介绍,提出目前国内水司应重点加强对管网优化投氯水质模型的研究,最后对供水管网水质模型应用前景作了一些展望.

关 键 词:供水管网;水质模型;优化加氯

中图分类号:TU375 **文献标识码**:A

0 前言

饮用水质量直接影响到身体健康,据研究报道[1]:全世界80%的疾病、50%的癌症与饮用不洁净的水有关,而我国有70%的人饮用达不到卫生标准的水.因此,安全饮用水保障供给是每一个人保持生命健康的需要和渴望.

配水管网是供水系统中的重要组成部分.对于管网安全供水,传统的观点认为就是保证给水管网连续、不间断的供水,用户端有足够的水量及水压,供水水质仅决定于水处理厂.随着人民生活水平的提高和医药、卫生事业的不断进步,管网安全供水的内涵也日益完善.新世纪的管网安全供水是指在出厂水质合格并具有足够水量和压力的前提下以尽可给低的造价,同时满足用户在水质、水量及水压三方面的要求.

一般来讲,经过水厂处理过的水都能达到卫生部颁布的"水质标准".出厂水需要通过复杂庞大的管网系统才能输送到用户,水厂至用户途径的管线长度可达数十上百公里,水在管网中的滞留时间可达数日,庞大的地下管网就如同一个大型的"反应器".实践证明,水在这样的反应器内发生着复杂的物理、化学、生物的变化使管网结构完整性被破环,从而导致水质发生变化,造成管网污染.

要改善管网对水质的影响,提高用户节点供水水质,首先必须全面了解水在现有管网中水质变化的情况及各用户节点的水质状况.在复杂的城市输配水管网系统中,用水量具有较强的时空性,加上贮水设施的使用,更使管网水力情况变得变化多端.由于不可能现场监测所有管段和节点上的水质变化,配水系统的水质模型就成为了一个备受关注的监测辅助手段.

1 水质模型定义及作用

随着计算机技术的发展,数学模型在专业领域中的应用越来越广泛,由于资金或其它条件等原因的限制,人们不可能靠试验检测获得所有数据,而只能在少量数据的基础上,建立数学模型,通过求解数学模型来获得所需数据.所谓配水系统水质模型就是指利用计算机模拟水质参数和某种污染物质在管网中随时间、空间的分布,或者模拟某种水质参数产生变化的机理.

水质模型的主要作用[2]:

1)设计和修改系统的运行方案,调节各供水水源的供水量.

2)计算水龄,分析系统的变化效果,改变系统的运行方式以减小水龄.

3)应用管网水质模型进行管网水质分析,是一

收稿日期:2006－01－24

作者简介:童祯恭(1972－),男,福建武平人,工学博士,华东交通大学给排水教研室副教授,研究方向:给水排水工程运行最优化.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

种有效的描述污染物运动的管网水质控制工具.如追踪污染物质的运动,混合及衰减情况,设计解决对策.

4)优化加氯位置及其投加量,保证系统余氯量,同时使消毒副产物最小化.确定水质风险域,建立水质预警预报系统,为给水管网系统管理提供决策方案.

5)为管网的日常维护、运行及管理提供决策依据.如借助模型寻找最佳的管道更换方案、管道改线方案、管道冲洗方案、评估系统对外来污染物的敏感程度等.管网水质数学模型是对管网水质管理的一种很好的手段.

6)借助水质模型,还可对水力模型进行校正,同时还可验证水质采样点布置的合理性.

其中 1)和 2)都是通过改变管网水力运行情况,即通过水源调配改善水质(水质调度),通过调节供水量从而改变水龄、流速、流向等情况.国内这方面还没开始研究,国外相应的文献也很少.同时,对于作用 4),即管网中途加氯问题,在我国也是个新课题,国外是在 20 世纪 90 年代末才开始研究.因为管网可看成是个封装的系统,从技术上来说,对于管网水质的二次污染问题,只有通过水质调度及管网二次加氯技术二种专业方法来改善它.

应用水质模型还具有功能灵活,工作量小,结果明白易懂等优点.总之,水质模型有助于提高水质,保证安全供水,同时也是管网信息化建设的必要步骤.

2 水质模型及软件介绍

2.1 发展历史

尽管对管网系统的水力模型的研究可以追溯到上世纪 30 年代,但管网系统的水质模型是最近才发展起来的.国外起步于上世纪 80 年代,理论研究比较深入.而 80 年代末国内学者对配水管网中的水质仅仅是具有初步的认识,直到 90 年代才开始着手研究.目前的研究主要集中在两个方面:化学及微生物方面的研究.化学方面主要是研究管网中余氯衰减及消毒副产物增长问题;微生物方面主要是研究细菌再生长,生物稳定性的问题.

目前,国外已把水质模型应用于实际生产并取得了较好的经济效益及社会效益;虽然国内在水质模型方面的研究取得了一些进展,但水质模型缺乏实用性,真正应用于生产实践上的水质模型基本还没有,还有待于各位同行的进一步努力.

2.2 水质模型软件介绍

国内外对水质模型的研究,早期的工作局限于有代表性的静态管网系统.20 世纪 90 年代的一个重要的进展就是水力模型和水质模型构成了一个图形化的、易用的、成套软件.目前国内外知名的供水管网模拟软件如表 1 所示.

表 1 管网模拟软件介绍

	软件名称	开发公司	备注
国内	HY	上海同济宏扬软件有限公司开发	供水管网模拟软件
	WNW	哈尔滨工业大学给排水教研室研究开发	给水管网管理和分析软件包
国外	EPANET	EPA(美国环境规划属)开发	免费
	WaterCAD	美国海思德公司(Haestad Methods)开发	
	InfoWorks WS	Wallingford 软件有限公司	
	H_2ONET	美商杰明的子公司 MWH Soft 公司推出的软件	
	Stoner/SynerGEE	美国宾夕凡尼亚州 Stoner 公司新开发	
	Aquis	丹麦的 WaterTech a/s 公司推出	
	MIKE NET	是丹麦 DHI 软件家族中的产品	
	PICCOLO	法国 SAFEGE 公司推出的产品	

3 管网余氯衰减水质模型

国内水司在管网水质控制方面,主要还是以控制浑浊度、细菌、大肠菌群、余氯四项常规指标为主,其他指标的研究还不够深入.目前,各水司对如何合理加氯问题都表现出极大的兴趣,但目前真正做到合理加氯的供水系统则很少.出厂水余氧的控制大都停留在经验性阶段,缺乏足够的科学依据.

余氯在输配水系统中的衰减主要来自两方面:即水体耗氯和管壁耗氯.具体表现在以下四点[3]:1)水体中存在可与余氯发生反应的各种有机物和无机化学物质;2)与附着在管道或水池等其他管网组件壁上的生物膜(生长环)发生反应;3)在管壁腐蚀过程中的消耗;4)管道水体和管壁间的质量转输.

目前,有关余氯在水体中的衰减研究的较多,国内外众多学者经过大量研究,提出了各种各样的经验和半经验的氯衰减动力学模型.各模型及其优缺点总结如表 2 所示.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　余氯在水体中的衰减模型

序号	反应级数	表达式	参数	优点	缺点
1	一级反应	$C=C_0\exp(-k_bt)$	k_b	简单,只有一个参数;应用最为广泛	不能反映刚加氯时快速反应时的情景
2	二级反应	$C_x=\frac{C_{x0}(1-K)}{1-K_e^{-M(1-K)t}}$	K M	能反映快速反应时的情景,特别是二次加氯时	从整个反应过程来看,适配性不好
3	平行一级反应	$C=C_0z\exp(-k_{bf}t)+C_0(1-z)\exp(-k_{bst})$	k_{bf} k_{bs}、z	适应性较强,有三个参数	三个参数较难确定

4　管网中途加氯水质建模概述

消毒剂传统的投加方式都是在净水出厂时投加,但这样会导致水厂附近的管网水的氯浓度较高,产生味觉及嗅觉的不适,同时在整个管网中,各节点的余氯浓度在不同的时间上下波动范围较大.当城市供水管网面积较大、输配水时间较长时,管网部分区域余氯难以达标.若在出厂时加大加氯量,会增加卤代烃等消毒副产物的生成.另外,由于在出厂时投加氯,导致氯在管网中的停留时间加长,从而使消毒副产物 DBP 的浓度增加.这些都是传统加氯方式的不利之处,改变这些弊端的方法之一就是采用中途加氯技术.

中途加氯又称二次加氯,是在管网中途的某节点处(如加压泵站或贮水池泵站等)补充加氯.管道很长时,采用此法既能保证末梢余氯,又不致使水厂附近的管网水含余氯量过高.目前各水司都努力寻找加氯量的平衡点,即又保证消毒效果,同时又使 DBP 最小化.

国外对管网二次加氯的研究始于上世纪九十年代末[4],研究的重点就是如何进行优化加氯选址及加氯量的确定.应该来说,国外有关管网二次加氯的研究也不算很早,但发展非常迅速.根据最近对 4 000 家水司的调查统计发现大约有 15%的水司采用了中途加氯措施.

国内目前有关管网二次加氯的研究还处于刚刚起步阶段,虽然有些水司已采用中途加氯方式,但其投加点及投加量的确定大都是凭经验确定的.

管网二次加氯能在保证管网水质安全的前提下,尽量减少加氯量,最大限度地降低出厂水的余氯,同时使整个管网的余氯浓度在不同时空下均匀化.优化加氯不仅可以达到降低水中卤代烃等有害物质、改善管网水质、降低氯耗的目的,同时为水厂加氯控制提供科学依据和科学手段,带来良好的社会和经济效益.

5　水质建模的步骤及技术关键点

5.1　关键技术点

目前,出厂水余氧的控制大都在经验性阶段,缺乏足够的科学依据.要想科学的优化加氯,首先必须了解余氯在管网中的衰减情况.由于配水管网的复杂性和余氯消耗反应的不确定性,使得氯衰减机理还不是很明确,众多学者经过大量研究,提出了各种各样的经验和半经验的氯衰减动力学模型.总的来说,模型参数越多,模拟的结果也就越准确,对参数的确定也带来了更多的难度.因此,余氯衰减模拟的技术关键就是确定一个最适合某管网的动力学模型,同时对模型中各参数值进行现场实验测定或者通过计算机进行动态模拟修正,使水质模型具有真正的实用性.对于管网二次加氯的技术而言,目前它的关键问题及难点就是在于如何科学地确定管网中途加氯投加点的位置以及各投加点投加量的问题.

5.2　主要步骤

模拟水质变化的数学模型,一般包括系统分析和系统中数学方程两部分.系统分析是理论的、观测的或试验的.所建立的数学模型应当尽可能地简便而不失其要求的精度,模拟技术包括以下内容[5]:

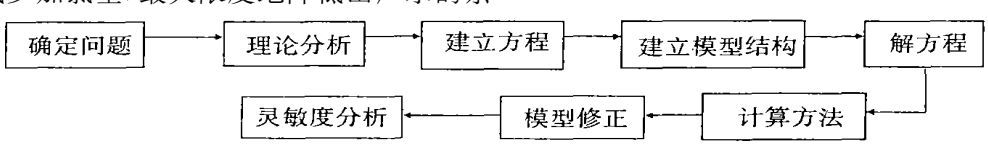

图 1　模拟技术流程图

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

根据如上框图,水质模拟的主要步骤如下:

1)管网简化;

2)建立管网水力模型并求解;

3)建立管网水质数学模型 ;

4)求解水质模型,模拟管网中水质变;

5)模型参数校正.

5.3 基础数据

管网水质数学模拟需要如下三类的基础数据[6]:

1)水力学数据

水质模型以水力模型的结果作为它的输入数据,管网水质计算需要水力模型提供的流向、流速、流量等数据,因此水力模型会直接影响到水质模型的应用.

2)水质数据

优化水质监测点位置,进行水质部分参数值的现场检测.用实测数据进行模型参数的校正及模型准确性评估.

3)反应速率数据

水中物质的反应速率数据主要信赖于被模拟的物质特性,随不同的供水水源、处理方法及管线条件变化而相应变化.可通过长时间现场跟踪测定获得,也可根据计算机模拟获得.

6 结束语

建立城市输配水管网水质变化的模型,开发相应的水质模型软件,建立水质预警预报系统;以输配水管网的图形、管理和运行信息数据库为基础,建立必要的水质数据库,实现对管网水质的动态模拟.模拟的结果可以以图形或报表的形式输出,实时监测管网某物质的分布及变化,并可提供在线的中、短期水质预报.管理人员可随时了解管网当前的水质情况,采取合理措施提高管网水质.借助模型可使供水企业更加充分地认识各物质在配水管网中的分布情况和变化规律,及时发现导致水质恶化的"瓶颈"管段,制定相应的冲洗、维修甚至改造方案.通过对水质的模拟,还可以为管网水质监测点的设置及优化管网二次加氯技术提供依据,及为企业改进供水技术、加强供水管理提供可靠的理论基础.

借助管网水质模型,控制出厂水在输配过程中的二次污染,使居民生活用水达到"饮水标准".同时提高人们对饮用水水质的认识,有效指导生产,加强对供水水质的控制.这对保障人民身体健康,保证社会经济的持续稳定发展都有着重要而积极的意义.

参考文献:

[1] 侯会乔.关于城市供水二次污染问题的分析[D].城镇供水管道施工与养护技术研讨会论文集,2002.

[2] 王利娟.给水管网水质监测模拟及评价研究[D].上海:同济大学,1999.

[3] Mays, L. W. Water distribution systems handbook [M]. New York: McGraw-Hill, 2000

[4] Dominic L.Boccelli, Michael E.Tryby, James G.Uber, et al. Optimal scheduling of booster disinfection in water distribution systems[J]. Water Resour Plng and Mgmt, 1998, 124(2): 99～111.

[5] 谢永明.环境水质模型概论[M].北京:中国科学技术出版社,1996.

[6] 严煦世,刘遂庆.给水排水管网系统[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.

Study on Water Quality Modeling of the Water Distribution System

TONG Zhen-gong

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University , Nanchang 330013, China)

Abstract: The definition and the function of the water quality modeling in water distribution systems are discussed in this text, and the water quality software at the present time is concluded. Also, it gives us a good view of the applications of the water quality modeling while the Water Supply department should put more emphases on the optimal disinfection.

Key words: water distribution system; water quality modeling; optimal disinfection

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net