



“十二五”国家重点图书

水体污染控制与治理科技重大专项

饮用水安全输配技术

张士乔 等编著

非外借

中国建筑工业出版社



“十二五”国家重点图书

水体污染控制与治理科技重大专项

饮用水安全输配技术

张土乔 等编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

饮用水安全输配技术/张土乔等编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 9

“十二五”国家重点图书, 水体污染控制与治理科技重大专项

ISBN 978-7-112-19528-2

I. ①饮… II. ①张… III. ①饮用水-输水-水处理②饮用水-配水-水处理 IV. ①TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 139061 号

本书为“十二五”国家重点图书水体污染控制与治理科技重大专项研究成果之一。针对饮用水输配环节漏损严重、爆管频发、水质下降、管理落后等问题, 吸纳国内外的最新技术成果和工程实践经验, 总结了管网水质保持、优化调度、二次供水、抗震设计、城乡统筹一体化供水、跨区域调水和多水源供水等方面的研究成果和工程应用, 力求使本书内容充分反映当前饮用水安全输配技术领域的新理论和前沿技术, 促进饮用水安全保障事业科技进步。

责任编辑: 俞辉群 石枫华

责任校对: 王宇枢 张 颖

“十二五”国家重点图书
水体污染控制与治理科技重大专项
饮用水安全输配技术

张土乔 等编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20¼ 字数: 466 千字

2017 年 6 月第一版 2017 年 6 月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-19528-2
(28815)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

国家水体污染控制与治理科技重大专项

丛书编委会

主 任：仇保兴

副 主 任：陈吉宁 陈宜明 邵益生

编 委：王秀朵 王洪臣 王晓昌 王峰青 孔彦鸿 孔祥娟
邓 彪 甘一萍 刘 翔 孙永利 孙贻超 孙德智
严以新 严建华 李广贺 杨 榕 杨殿海 吴志超
何 强 汪诚文 宋兰合 张 昱 张 智 张 勤
张仁泉 张 全 张 辰 张建频 张雅君 陈银广
范 彬 林雪梅 周 健 周 琪 郑兴灿 赵庆良
越景柱 施汉昌 洪天求 钱 静 徐宇斌 徐祖信
唐运平 唐建国 黄 霞 黄民生 彭党聪 董文艺
曾思育 廖日红 颜秀勤 戴星翼 戴晓虎

本书执笔主编：张土乔

本书责任审核：刘文君

前 言

“十一五”期间，根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006～2020）》设立的国家水体污染控制与治理科技重大专项（简称水专项），包括了湖泊、河流、城市、饮用水、监控预警和经济政策六个主题。其中饮用水主题主要针对我国饮用水源污染普遍，水污染事件频繁发生，供水系统适应性差，监管技术体系不健全等突出问题，以《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）为依据，通过关键技术研发、技术集成和应用示范，构建针对水源保护—净化处理—安全输配全过程的工程技术体系，以及涵盖供水系统风险管理—水质监测预警—应急保障各环节的监管技术体系，为不断提升我国饮用水安全保障能力，推动相关产业发展和技术进步提供强有力的科技支撑。

“十一五”期间，饮用水主题在水源保护、水厂净化、安全输配、风险管理、检测预警、应急保障等各个环节开展系统研究，初步形成了饮用水安全保障“从源头到龙头”全流程的工程技术体系和以风险评估为基础多层级的监管技术体系。在确保饮用水安全的三个重要环节——“水源保护—净化处理—安全输配”中，管网输配是最后的一环，也是最复杂的一环，更是投资最大的一环，必须保证供水畅通，水质不受污染，并确保用户对水量、水压的要求，以及各种应急要求。饮用水输配系统作为城市供水系统的重要组成部分，是现代社会进步和可持续发展的重要基础设施。研究饮用水安全输配技术的重大意义在于：提升管网输配环节的水质，提高龙头水达标率；节约水资源，减缓城市供水能力不足；避免管网爆管造成的次生灾害及其他社会损失。

管网输配技术的进步反映在我国供水事业的壮大与发展上。伴随着近年来科技的进步，尤其是计算机技术、信息通信、控制与自动化技术的发展及其在供水行业的应用，把管网输配系统的计算、理论与分析推向一个新的层次，不仅丰富了其涵盖的内容，而且拓展了研究的空间。随着管网模型、地理信息系统（GIS）、监视控制与数据采集系统（SCADA）与管网实时控制技术的融合，饮用水安全输配系统发展至今，已构成多学科交叉、集合的系统。

作为水专项饮用水主题专项技术成果丛书的重要组成部分，本书的编写目的在于，针对饮用水输配环节漏损严重、爆管频发、水质下降、管理落后等问题与需求，以饮用水主题“十一五”相关课题研究成果为基础，吸纳国内外的最新技术成果和工程实践经验，总结和凝练管网水质保持、优化调度、二次供水、抗震设计、城乡统筹一体化供水、跨区域调水和多水源供水等方面的研究开发成果与工程应用成就，力求使本书充分反映当前饮用水

安全输配技术领域的新理论和前沿技术，并提出战略发展方向，促进饮用水安全保障事业科技进步，引导和培养人才。

全书共分9章：第1章简要分析了饮用水安全输配技术发展概况，存在的主要问题及其应对策略；第2章阐述了供水管网建模技术、模型应用与维护；第3章阐述了供水管网规划与优化设计技术；第4章结合水专项在绵阳的案例，全面阐述了供水管网抗震优化设计技术；第5章通过重庆山地多级加压供水系统、济南开放式局域管网、嘉兴多水源供水系统和广州大型管网运行监控及优化调度系统，论述了供水管网的优化调度技术；第6章围绕管网水质问题，以北京市和广州市为例，从供水管网水质影响因素、安全性评价、生物稳定性等方面论述了供水管网水质保持与控制技术；第7章阐述了管网二次供水改造优化和管理技术，并探讨了上海和深圳的工程实践；第8章围绕浙江大学管网卫生学综合实验平台和南水北调受水区丹江口管网中试基地，介绍了供水管网水质中试平台和基地的建设情况；第9章提出了供水管网输配技术的发展战略。

本书由张土乔教授负责编写与定稿，各章节主要撰写人员为：第1章，张土乔、王荣和、邵煜；第2章，张土乔、程伟平、俞亭超、信昆仑、王荣和；第3章，张土乔、莫罹、常魁、田胜海、姜文超、吕谋；第4章，胡云进、杨玉龙、蒋建群、陈春光；第5章，吕谋、袁一星；第6章，顾军农、白晓慧、林浩添；第7章，白晓慧、顾玉亮、孟明群、许刚、林浩添；第8章，张土乔、邵煜、顾军农；第9章，张土乔、邵煜、王荣和。在编写过程中，水专项相关课题研究人员参加了前期准备和讨论工作。

本书的编写工作得到了住房城乡建设部水专项办公室、水专项总体专家组和饮用水主题专家组的大力支持，水专项饮用水主题相关项目（课题）承担单位提供了“十一五”研究成果与示范工程资料，北京市自来水集团、广州自来水公司、青岛理工大学、清华大学深圳研究生院、上海交通大学、同济大学、浙江大学、郑州自来水投资控股有限公司、中国城市规划设计研究院、重庆大学、重庆市自来水公司等单位及相关示范工程单位提供了技术支持和帮助，在此谨表示衷心的感谢。

由于饮用水安全输配技术涉及的内容和知识领域广泛，加之编者水平所限，谬误在所难免，恳请本书的使用者和广大读者批评指正。

张土乔

2015年3月

目 录

第 1 章 饮用水安全输配技术发展概况	1
1.1 饮用水输配系统概述	1
1.1.1 饮用水输配系统的功能与组成	1
1.1.2 给水管网系统工作原理	3
1.2 给水管网数字化新技术	4
1.2.1 地理信息系统	4
1.2.2 监视控制、数据采集系统与物联网	5
1.2.3 给水管网水力模型	6
1.2.4 给水管网水质模型	9
1.3 给水管网安全输配存在的主要问题及应对策略	11
1.3.1 城市给水管网模型存在的问题	11
1.3.2 城市给水管网规划与优化设计问题	12
1.3.3 管网水质问题与管网水质保持措施	12
1.3.4 二次供水系统存在问题及改善措施	13
1.3.5 给水管网系统优化调度与运行管理问题	14
1.3.6 给水管网抗震设计与漏损控制问题	15
第 2 章 给水管网水力与水质模型	18
2.1 给水管网模型概述	18
2.2 数据收集与水力建模过程	20
2.3 给水管网建模技术	23
2.3.1 稳态水力模型	23
2.3.2 瞬变水力模型	24
2.3.3 水质模型	26
2.4 基于管网在线监测信息的模型校验	28
2.4.1 管网模型的校验简介	28
2.4.2 管网模型校验方法	29
2.4.3 管网模型参数自动率定原理	30
2.4.4 管网模型参数自动率定实例	33

第3章 给水管网规划与优化设计	41
3.1 给水管网规划	41
3.1.1 供水系统规划概述	41
3.1.2 供水系统规划评估	42
3.1.3 规划方案多目标评估方法	43
3.1.4 多工况方案规划优化方法	44
3.2 基于水质安全的给水管网优化设计	46
3.2.1 给水管网优化设计的意义	46
3.2.2 给水管网优化设计模型	46
3.2.3 优化设计问题的求解方法	48
3.2.4 给水管网水质安全评价	50
3.2.5 基于水质保障的给水管网优化	53
3.3 工程实例与应用	53
3.3.1 济南城市供水专项规划示范应用	53
3.3.2 重庆市江南片区多级加压给水管网系统的优化设计	59
3.3.3 青岛区域给水管网优化改造	66
第4章 给水管网抗震优化设计技术	70
4.1 给水管网震损调查与抗震性能分析	70
4.1.1 给水管网震损调查与统计分析	70
4.1.2 地震作用下埋地管道抗震理论与数值分析	74
4.1.3 地震作用下埋地管道抗震性能试验研究	88
4.2 给水管网抗震优化设计	96
4.2.1 给水管网抗震管材选取	96
4.2.2 给水管网抗震接口设计	96
4.2.3 给水管网抗震设计指南	97
4.3 绵阳市科创园区给水管网抗震优化设计	108
4.3.1 工程概况	108
4.3.2 给水管网抗震优化设计方法	108
4.3.3 给水管网抗震优化设计结果	110
4.3.4 优化设计管网的抗震可靠度评估	110
第5章 给水管网运行调度与管理	114
5.1 给水管网优化调度理论	114
5.1.1 调度目标	114
5.1.2 宏观模型	116

5.1.3	微观模型·····	117
5.1.4	分级优化调度·····	118
5.1.5	基于定速泵与调速泵的优化调度·····	122
5.2	管网管理与维护技术·····	124
5.2.1	高压水射流管道清洗技术·····	126
5.2.2	气压脉冲清洗管道技术·····	127
5.3	工程实例与应用·····	131
5.3.1	重庆山地多级加压供水系统的安全运行技术·····	131
5.3.2	济南开放式局域管网优化运行技术·····	134
5.3.3	嘉兴与广州市供水优化调度技术·····	143

第6章 给水管网水质保持与管理····· 148

6.1	给水管网水质控制技术概述·····	148
6.1.1	给水管网水质变化影响因素·····	148
6.1.2	给水管网水质安全性评价·····	149
6.2	管网水质化学稳定性控制技术·····	155
6.2.1	管网腐蚀产物层的结构和组成特征研究·····	155
6.2.2	水源切换条件下的管网腐蚀产物释放的影响·····	162
6.2.3	管网腐蚀产物释放控制技术方案·····	187
6.3	管网水质生物稳定性控制技术·····	190
6.3.1	影响给水管网水质生物稳定性的因素·····	190
6.3.2	饮用水生物稳定性控制技术研究现状·····	192
6.3.3	上海市给水管网微生物再生和生物稳定性分析·····	197
6.4	工程实例与应用·····	209
6.4.1	北京市典型地区调用河北水源水对给水管网铁稳定性的影响 研究·····	209
6.4.2	丹江口水库水源对北京市管网水质影响的中试研究·····	219
6.4.3	广州低硬低碱饮用水水源管网水质稳定性保持技术·····	229

第7章 管网二次供水改造和管理····· 233

7.1	概述·····	233
7.1.1	城市二次供水水质问题·····	234
7.1.2	城市二次供水水质问题原因·····	235
7.1.3	城市二次供水水质控制对策·····	236
7.2	城市二次供水管理模式·····	238
7.2.1	城市二次供水管理模式分类·····	238
7.2.2	国内部分城市二次供水管理模式·····	240

7.2.3	二次供水改造面临的主要问题	244
7.3	深圳市二次供水技术研究	244
7.3.1	管网叠压供水与市政管网相互影响	244
7.3.2	深圳市原特区内管网供水能力研究	248
7.3.3	水质改善效果研究	250
7.3.4	管网叠压供水方式节能分析	257
7.3.5	管网叠压供水设备准入条件	259
7.3.6	深圳二次供水改造示范工程	261
7.3.7	结论	262
7.4	上海市二次供水技术研究	263
7.4.1	上海市二次供水现状	263
7.4.2	上海二次供水改造示范工程	266
7.4.3	示范小区二次供水设施改造效果	269
7.5	二次供水水质保障管理体系	273
第8章	给水管网水质中试基地建设	275
8.1	概述	275
8.2	浙江大学管网卫生学综合实验平台	275
8.3	南水北调受水区丹江口水库中试基地	282
第9章	给水管网输配技术发展战略	287
9.1	给水管网规划设计与复杂地质条件下的施工技术	287
9.2	给水管网模型以及高效计算技术	288
9.3	给水管网水质控制和改善技术	289
9.4	给水管网优化调控与节能技术	292
9.5	给水管网漏失检测与爆管预测技术	293
9.6	给水管网监测与智能管理平台建设	294
9.7	给水管网健康诊断与维护管理技术	295
	参考文献	297

第1章 饮用水安全输配技术发展概况

1.1 饮用水输配系统概述

在给水工程总投资中,饮用水输配管网(包括管道、阀门、附属设施等)所占费用一般约70%~80%,并且输配环节消耗的能源占整个给水系统能耗的绝大部分。输配管网是一个非常复杂的系统,即使一个中等规模的城市,其输配管网也是由大量的配水管网以及管件、阀门组成,它们长期埋设于地下,分布于城市每个角落,经历时间的变迁。目前的给水管网系统,尤其是一些中小城市,普遍面临着各种各样的水力和水质问题:首先,管网配置不合理,缺少统一规划,运行能耗高。其次,管网漏损严重,爆管事故频发,部分区域供水压力不足、水量不够等水力问题;此外还有管网的水质问题,尽管出厂水符合国家生活饮用水水质标准并逐年有所提高,而且各地也投入大量资金对老旧管网进行改造更新,但管网水与出厂水的水质相比却明显下降,浊度比出厂水明显升高,管网水的细菌数较出厂水明显增多。因此,如何在管网输配环节保障饮用水安全是一个艰巨和重要的研究课题。

水体污染控制与治理国家重大专项(以下简称水专项)“十一五”期间安排了6个主要以研究管网输配系统为主的课题:

- (1) 长江下游地区饮用水区域安全输配技术与示范(2009ZX07421-005);
- (2) 黄河下游城市给水管网水质保障技术与示范(2009ZX07422-006);
- (3) 南方大型输配水管网诊断改造优化与水质稳定技术集成与示范(2009ZX07423-004);
- (4) 城市供水系统规划调控技术与示范(2008ZX07420-006);
- (5) 南水北调受水区饮用水安全保障共性技术与示范(2009ZX07424-003);
- (6) 山地丘陵城市饮用水安全保障共性技术与示范(2009ZX07424-004)。

1.1.1 饮用水输配系统的功能与组成

1. 给水管网系统功能

饮用水输配系统要保持结构完整,即管道、管件以及附属构筑物不能出现结构上的破坏。结构完整是饮用水输配系统的物质基础。在此基础上通过设计管网尺寸、加压泵组、消毒工艺等达到水力保障和水质安全,最终实现饮用水输配系统经济性、可靠性和安全性三目标(图1-1)。从饮用水角度,管网供水安全应从水量、水压和水质三方面来考虑,管网输配水系统应具有水量、水压和水质保障功能:

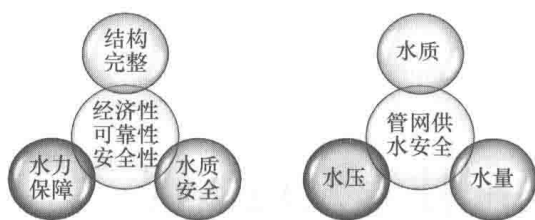


图 1-1 饮用水输配系统的目标和功能

的水量，即通过加压水泵或减压阀等调压设施进行压力管理，以保证用水设施安全和用水舒适。

(3) 水质保障，是指向用户提供符合水质标准的水，即通过设计和优化运行输配水管网系统，有效控制水质变化，把经过水厂净化处理措施后合格的饮用水输送到用户，并保证末梢水质达到或超过饮用水标准。

2. 给水管网系统组成

整个给水系统可划分为取水、处理和输配 3 个子系统：

- (1) 水源取水系统，即利用取水设施、提升设备和输水管渠把各种水资源（一般河流、湖泊、水库等地表水资源和地下水）输送到水厂。
- (2) 给水处理系统，即利用各种物理、化学、生物等水质处理技术和设备对原水进行处理，包括絮凝、沉淀、过滤、消毒等常规和深度处理工艺。
- (3) 输配管网系统，包括输水管渠、配水管网、水压调节设施（泵站、减压阀）及水量调节设施（清水池、水塔等），水质调节设施（二次加氯站、消毒副产物消除设施）等，又称为输水与配水系统。

图 1-2 为一个典型的输配水管网系统，以下简要介绍其组成。

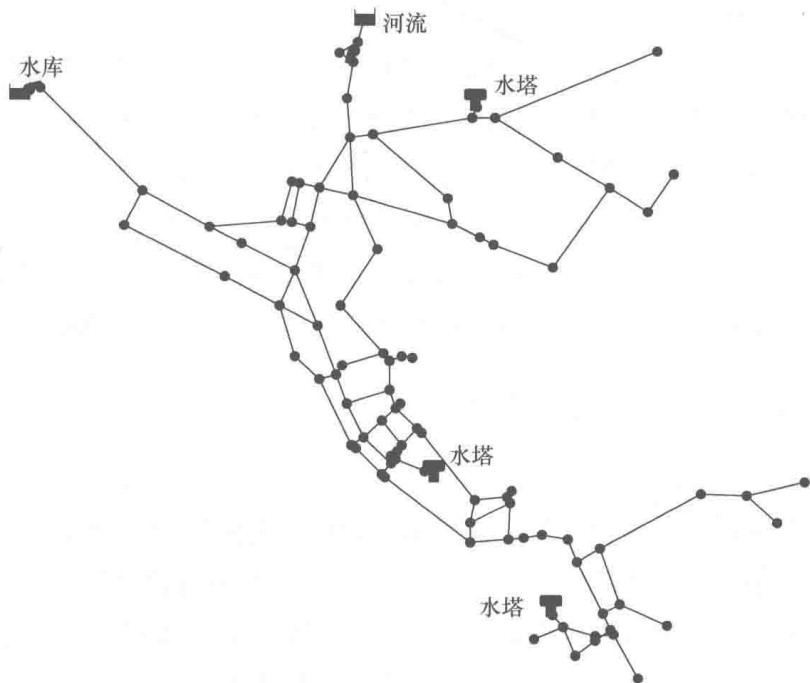


图 1-2 管网输配系统的组成

(1) 输水管：是指在较长距离内输送水的管道或渠道，一般不沿线向外供水。如从水厂将清水输送至供水区域的管道或区域给水系统中连接各区域管网的管道等。

(2) 配水管网：分布在供水区域内的配水管道，将输水管末端的水量分配供水区域的用户。配水管网由主干管、干管、支管、连接管和分配管等构成。配水管网中还需要安装消防栓、阀门和监测仪表（压力、流量、水质检测等）等附属设施，以保证消防供水和满足生产调度、故障处理、维护保养等管理需要。

(3) 泵站：泵站是输配水系统中的加压设施，一般由多台水泵并联组成泵组。泵组提供水流机械能克服管道内壁的摩擦阻力和用户所需的最低用水压力。给水管网系统中的泵站有供水泵站（又称二级泵站）和加压泵站（又可称三级泵站）两种形式。

(4) 水量调节设施：有清水池和水塔等形式，其主要作用是调节供水与用水的流量差。水量调节设施也可用于贮存备用水量，以保证消防、检修、停电和事故等情况下的用水，提高系统的供水安全可靠性。

(5) 减压设施：用减压阀、流量控制阀等稳定输配水系统局部的水压，以避免水压过高造成管道或其他设施的漏水、爆裂；另外排气阀等调节设施用来保护管网免受水锤破坏。

(6) 水质调节设施：有二次加氯泵站、末端放水设施、消毒副产物消除设施等多种形式，用以调节由于水体在管网中停留时间过长而形成的水质下降。

1.1.2 给水管网系统工作原理

1. 给水管网系统的水力计算原理

从水源开始，水流到达用户前一般要经过多次提升（特殊情况全重力输送除外）：水流在水源取水时经过第一级加压，提升到水厂进行处理，处理后的清水贮存于清水池中，清水经过第二级加压进入输水管和管网，供用户使用。第一级加压的目的是取水和提供原水输送与处理过程中的能量要求，第二级加压的目的是提供清水在输水管与管网中流动所需要的能量，并提供用户用水所需的水压。如果水源离水厂很远时，原水需经多级提升输送到水厂，或水厂离用水区域很远时，清水需要多级提升输送到用水区的管网。

管网水力计算需满足流量连续性和水头损失方程组。水力计算模型目前主要有流量驱动模型和压力驱动模型。流量驱动模型假定管网节点的用水量为给定值，采用梯度法迭代求解管网节点的水压和管道流量。EPAENT 计算引擎就是采用了流量驱动模型。压力驱动模型假定节点用水量不是恒定的，与节点水压存在一定关系，目前国内外学者发展了相关的压力驱动模型，相比较流量驱动模型，压力驱动模型更符合实际情况，对比消防供水模拟，漏损预测等具有较好的模拟效果。

2. 给水管网系统的水质计算原理

给水管网的计算服从质量守恒原理和各种反应动力学原理。溶解在水体的物质将具有与携带流体相同的平均流速，沿着管道长度迁移，水体中各种化学组分之间，以及化学组分与管壁之间按反应动力学规律发生反应。在多数运行条件下，认为纵向扩散不是重要的迁移机制，即假定管道输送的相邻水体之间没有质量混掺。

水质在节点混合：不同水质的水体在管道节点中的混合，通常认为是瞬间混合的。于是离开节点的物质浓度，简化为节点进流管段浓度的流量权重之和。而实际上，在一些十字节点和双 T 形节点，在多个管道流入节点混合并具有多个管道流出情况下，并不满足节点完全混合假定，实际节点的混合程度跟流速和管径等影响因素存在复杂的关系。但大多数情况下，完全混合假定简化了管网水质计算，且对管网水质计算的精度影响不是很大。

蓄水设施中的混合：通常假设蓄水设施（水池和水库）中的物质是完全混合的，对于许多在注水和放水条件下的水池是合理的（Rossman&Grayman，1999）。在完全混合状态下，通过水池的物质浓度是当前浓度与任何进水浓度的混合。

主体水反应与管壁反应：当物质在管道中向下游移动或者驻留在蓄水池中时，水中各成分之间发生物理、化学和生物的反应，同时各成分与管壁之间也发生了反应。通常我们用常微分方程组来表述各个成分之间的反应。图 1-3 为输配管网影响水质因素及相互反应示意图。初始水质、温度和流速是影响主体水反应与管壁反应的主要因素。当溶解物质流过管道时，可以迁移到管壁并与管壁材料（例如位于管壁上或者靠近管壁的腐蚀产物或者生物膜）反应。同时管壁的微生物可以进入到主体水中与主体水一起反应。

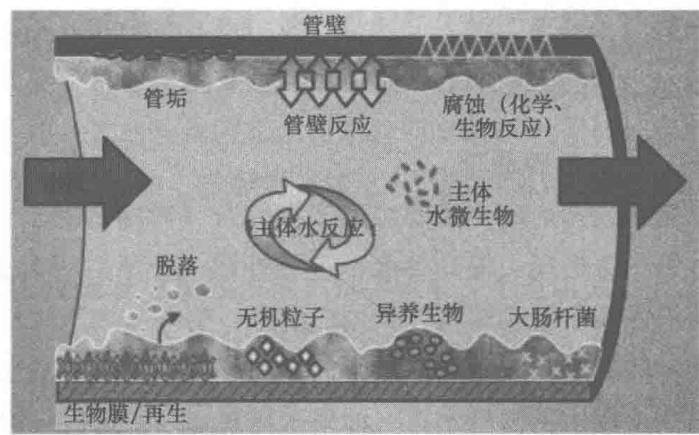


图 1-3 输配管网影响水质因素及相互反应示意图

管网水质数值算法：管网水质数值算法有欧拉算法（有限体积算法和有限差分算法）和拉格朗日迁移算法等多种形式，各有优缺点。目前较为常用的是采用拉格朗日迁移算法。EPANET 以及 EPANET-msx，为了跟踪离散水体在管道中移动的变化，以及节点处固定长度时间步长下的混合（Liou&Kroon，1987），使用了基于拉格朗日时间的方法。

1.2 给水管网数字化新技术

1.2.1 地理信息系统

地理信息系统（Geographic Information System，简称 GIS）是一种综合图形表达、

空间数据分析和专业技术管理的计算机软件系统。它是以对地形、地貌的测绘测量为基础,把海量数据存贮于关系数据库中,应用数据库的存贮、搜索、分析等功能,通过图形、图表等计算机工具直观表达出来,为专业领域的应用提供辅助决策的工具系统。GIS系统广泛应用于资源管理、城市规划、环境评价、商业决策、市政建设等领域。在给水管网领域,我们通过GIS进行事故影响范围分析、用水量计算与预测、用水收费管理等。

GIS的功能主要表现在四个方面,即:数据采集、图形表达、数据库管理与空间分析。数据采集是将地面实物的测量信息,以一定的格式,如数据、文字、图片、影像等,输入到计算机中去,这是建立GIS的第一步;图形表达是把地理信息,通过“层”组织,并以透明的方式叠加,通过开关方式把想要展示的层显现出来(如道路为一个层,给水管线为一个层,阀门为一个层),可以同时显示所有层,也可以只显示一个层;数据库管理是把所采集的信息,以一定的规则管理起来,便于不同目的的应用。图形中的一个点,不只是几何图形的一个点,它还包括大量的属性信息。如一个给水管网节点,它不但包括节点的坐标、高程,还包括节点流量、用水量变化曲线、服务人口、接入水表等。通过数据库管理功能,就可以方便检索、提取、修改和应用等;空间分析是GIS的最终目标。通过空间分析,把系统中的点、线、面、物体等结合在一起,从而实现专业分析功能。如可以通过拓扑分析,确定节点和管线是否相连,两条管线是否相交相连,一个节点的服务面积上有多少用户,一条管线施工的工程量大小等。

1.2.2 监视控制、数据采集系统与物联网

1. 监视控制与数据采集(SCADA)系统

SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)系统,即监视控制与数据采集系统,通过对现场的运行设备进行监视和数据采集,在专业分析的基础上,进行参数调节、信号报警、设备控制等决策操作。SCADA系统的应用领域很广,如工业生产、基础设施管理、设备管理等,最广泛的应用是线性资产的管理,如给水管网、电力系统、铁路系统、石油管道等。

SCADA由如下几个子系统组成:

- (1) 人机交互界面,用于监测数据显示、中央信息处理和过程控制;
- (2) 实时控制系统,用于数据采集和控制指令传输;
- (3) 远程终端(Remote Terminal Unit,简称RTU),与感知器相连,把监测信号转换成数据,并传送至实时控制系统;
- (4) 可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller,简称PLC),用于现场设施上,比专用RTU经济实惠,适用性广;
- (5) 通信系统,用于实时控制系统和远程终端之间的数据通信。

SCADA系统采集的数据是基于时间序列的,不同的终端可能采集不同的数据,如节点处的水压、阀门处的阀门开启度、泵站处的水泵开关和转速、管段处的流量等。由于信号格式和时间的不一致,接收的信息往往以ASCII文本的格式存放于不同的文件之中,

应用时还须进行必要的数据管理与处理。

SCADA 应用的一个重要问题,就是噪声处理。在数据传输过程中,会存在大量的错误,如某个点的数据没有传送出来,某个点的设备故障,时间错位,监测数据异常等,在应用时,必须对数据进行噪声处理,做到既能不错过重要信号,又对捕捉的实时信号给出正确的指令。

在给水管网运行管理方面,SCADA 广泛应用于辅助调度决策中。在给水管网模型应用方面,SCADA 的重要作用之一,就是校核模型系统,使模型与物理系统相吻合,从而能够通过模型系统准确预测下一时刻管网的运行状态。SCADA 目前成为给水管网不可或缺的组成部分,在规模以上供水企业中,几乎全部采用 SCADA 系统进行辅助调度管理。但 SCADA 系统的应用,在国内目前仍处于基本的数字显示、人工经验调度的水平,基于给水管网模型系统的预案科学调度,在少数大的供水企业中,逐步开始应用,如深圳、上海、郑州等城市。基于物联网技术的自动抄表系统,已在深圳、上海浦东等地应用,但基于物联网的给水管网优化调度,目前还没有成功案例,在一定时期内,仍是管网工作者的努力方向。

2. 物联网 (Internet of Things)

物联网是通过各种信息传感设备,如传感器、射频识别 (RFID) 技术、全球定位系统等装置与技术,实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程中需要的各种信息,并与互联网结合,形成的一个物物相连的网络,其目的是通过物与物、人与物、物与网络的互动,实现对物体的识别、管理和控制。SCADA 系统是物联网的一种。

从技术架构上来看,物联网可分为三层:感知层、网络层和应用层。感知层由各种传感器以及传感器网关构成,包括诸如给水管网系统的水压传感器、水质传感器、水位传感器、阀门等设备的二维码标签、RFID 标签和读写器、摄像头、GPS 等感知终端。感知层的功能是识别物体,采集信息。网络层由各种专用网络、互联网、有线和无线通信网、网络管理系统和云计算平台等组成,负责传递和处理感知层获取的信息。应用层是物联网和用户的接口,它与行业需求结合,实现物联网的智能应用,如给水管网系统的调度管理、模型应用、资产管理等。

由于给水管网模型系统中存在大量不确定信息,如节点用水量、管段摩阻系数、用水量变化系统、阀门开启度等。物联网技术的应用,将可以提供准确的实测信息,从而为给水管网系统的精细化和准确化管理提供科学依据,如智能水网系统、自动抄表系统、优化调度系统等。

1.2.3 给水管网水力模型

管网建模与模型校核是模型应用的关键,成功与否关系到其生命周期内各项工作的准确度与合理性。模型的作用不仅仅是调度与检漏,而且还包括规划、设计、应急处理、日常维护等用途。模型应用不是一个简单的如何使用程序的过程,而是一个应用软件技术,在给水管网生命周期内,进行系统研究、创造和发挥的过程。

1. 国内外模型发展足迹

人类文明的发展是与给水排水科技发展密切相关的,不管是古埃及、古罗马,还是几千年前的中国,给水排水科技发展史都是其历史发展的一个重要组成部分。自 20 世纪 40 年代发明 ENIAC 计算机以及 Hardy Cross 1935 年建立以他名字命名的水力计算方法以来,给水排水模型系统一直在随计算机科技的发展而发展,从未停止。1965 年 Don J. Wood 提出数字模型方法,并开发出 KYPIPE 系统,从此开启了现代给水排水管网系统模拟技术。1974 年 9 月,杨钦教授编写的“749”计算程序,开始了我国在这一领域的研究,最有影响的“7512”计算程序,成为我国的里程碑。

给水排水管网模拟技术从科研到商品化,也经历了一个漫长的过程。1965~1983 年,在世界范围内,发表了数百篇有影响的论文,在给水排水管网的各个领域,提出各种各样的计算方法、优化理论和实际应用成果等,最有影响的就是节点计算法和有限元分析优化技术。1993 年,美国环境保护局(EPA)开发了世界上最有影响的 EPANET,从此建立了给水管网软件计算标准。因为专业软件系统的发展,企业模型应用技术也随之提高。目前,专业软件系统已经成为美国、欧洲等发达国家给水排水企业不可缺少的工具,不管是设计、日常运行与维护,还是管理与技术监督,都是在模型的基础上进行。

2. 给水管网建模技术

确定数据源是管网建模的第一步,随着计算机技术的发展而不断变化,数据源从最初的数据文件输入,到施工图纸处理、卡片输入,再到现在的 CAD 图转化、GIS 数据、航空照片、Google Map、Google Earth 等数据源。建模过程的数据处理就是把各种数据源的信息,通过专业的分析与综合,在管网模型中反映表达出来,主要表现在以下几个方面:

模型与 GIS 系统集成:能够把地理地貌的信息,通过数字化处理,转化成管网模型节点数据的地面标高;把管线图形信息,转化成模型中的管线;把管配件信息转化成模型相应的元素。所有这些数据的处理都是一次连接,永远受益。例如,要把 GIS 数据库中的水塔点元素,转化成给水管网模型的水塔,只需要把两个数据库相应的字段一一相连,系统就可以把 GIS 数据转化成模型数据。

节点流量分配:对于不同工作目标的模型,其节点流量分配方法也不同,常用的是水表数据源。对给水系统,直接把水表分配到节点上去,这样可以随抄表周期而自动更新节点流量;对于污水系统,也可以利用给水抄表数据,以一定的损耗系数,按给水系统的方式计算污水量。其他节点流量分配方法,还有土地规划法、人口规划法、沿线流量法等。

模型简化:按照 GIS 数据的全面程度、管网规模和应用目标,要对管网系统进行一定程度的简化,从而达到提高计算速度和减少工作强度的目的。模型简化按应用目的的不同而采用不同的简化方式,但一个总原则是水力条件不变。常用的简化方式有切除支管法、节点合并法、管线合并法等。

模型与 SCADA 系统集成:管网 SCADA 监测数据,包括水量、水质、水压、水泵运行、水库水位等,是十分珍贵的,在现实工作中如何应用,存在很多问题。原因之一就是