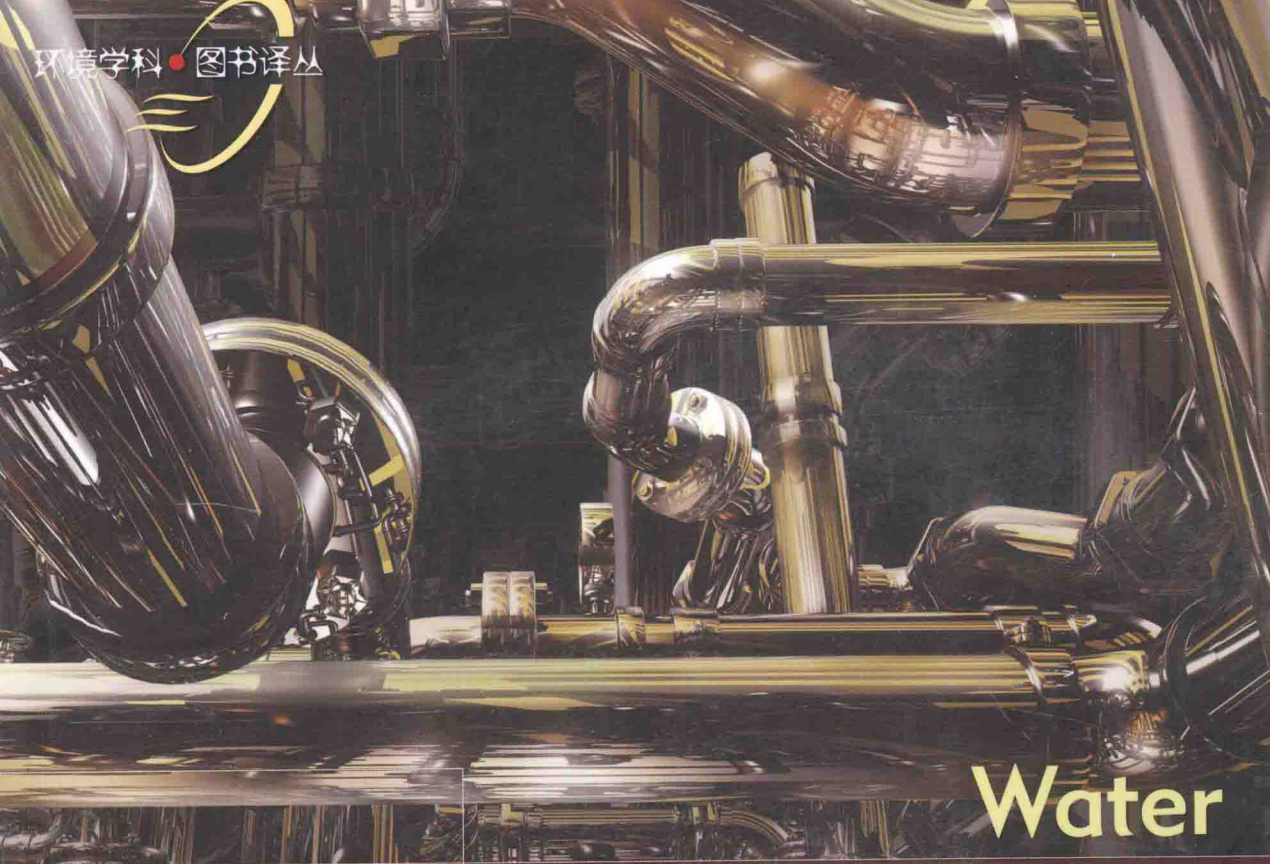


环境学科·图书译丛



Water Distribution Systems

给水管网系统

[英] Dragan A. Savić 主编
John K. Banyard

刘书明 王荣合 吴雪 译



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

环境学科·图书译丛



Water Distribution Systems

给水管网系统

[英] Dragan A. Savić 主编
John K. Banyard
刘书明 王荣合 吴雪 译

JISHUI GUANWANG XITONG



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

图字:01-2012-7212 号

Water Distribution Systems/D. Savić and J. Banyard

Thomas Telford Limited © 2011

All Rights Reserved.

Translation from the English original, by arrangement with Thomas Telford Limited.

内容简介

给水管网是供水系统中的一个重要环节,是城市的重要基础设施之一。科学的设计和管理是给水管网安全运行的重要保障。然而,对于同时具有复杂性和隐蔽性的给水管网系统,如何建立科学有效的管理方法,分析并解决管网设计和运行中各种错综复杂的问题,是现代城市管理者必须面对的问题。本书注重从理论和实践角度阐述管网设计和管理过程中的实际问题 and 解决方法,既包含传统的管网水力学计算原理,也包括管网模型模拟技术、资产管理等;既注重从微观尺度认识给水管网系统,也强调在可持续发展 and 气候变化大背景下的城市供水管理。

本书可作为相关工程设计人员 and 管理人员的工作参考书,也可供给排水、环境工程等相关专业的高年级本科生 and 研究生作为教材 or 教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

给水管网系统/(英)萨维奇(Savić, D. A.), (英)班亚德(Banyard, J. K.)著;刘书明,王荣合,吴雪译.

--北京:高等教育出版社,2014.1

书名原文:Water Distribution Systems

ISBN 978-7-04-038615-8

I. ①给… II. ①萨…②班…③刘…④王…⑤吴…
III. ①城市给水-管网-研究 IV. ①TU991.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 242543 号

策划编辑 柳丽丽	责任编辑 柳丽丽	封面设计 张楠	版式设计 范晓红
插图绘制 尹莉	责任校对 杨凤玲	责任印制 朱学忠	

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印刷 高教社(天津)印务有限公司
开本 787mm × 1092mm 1/16
印张 15.25
字数 350 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版次 2014 年 1 月第 1 版
印次 2014 年 1 月第 1 次印刷
定价 59.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 38615-00

审图号:GS(2013)1796 号

本书插图系原文插图

给水管网担负着输配饮用水的职能,是供水系统的重要组成部分。随着城市的不断发展,给水管网已经演变成一个庞大的网络系统。在我国城镇化发展的进程中,给水管线的长度、类型和投资使用状况都发生了显著的变化。由于缺少足够的科学认识和先进的管理技术,我国给水管网的管理手段相对落后,给水管网也越来越成为制约饮用水安全保障的重要因素。因此,加强对给水管网的科学认识,开展精细化管理,是保障管网的安全运行和管网水质的重要举措,也是城镇化实践中的一项重要内容。

本书注重理论与实践的结合,作者德拉甘·萨维奇(Dragan A. Savić)是给水系统优化控制与管理理论领域的著名学者,约翰·班亚德(John K. Banyard)则在给水管网管理实践方面具有丰富的经验。本书从社会、技术和管理层面,以专业的视角对给水管网系统进行了介绍,旨在使读者建立一个全面、概括性的印象,不仅介绍了基本的理论知识和技术方法,还介绍了相关工程案例和应用经验等。基于这一背景和国内的实践需求,我们着手翻译本书,就是为了学习国际上给水管网系统方面的先进经验,推进中国给水管网系统运行和管理的实践进程。

全书共分11章:第1章:给水行业的发展历史,简要介绍了水处理、管材优选、管道水力计算、管网分析等技术的发展历史,帮助读者对当今的技术现状和实际应用有更深入的了解。第2章:水力学基本原理,主要介绍了流体性质、流体动力学质能守恒方程和管网分析方程的简要推导过程,以帮助读者加深对给水管网的水力学特性的理解。第3章:用水量的估计、预测和管理,主要介绍了用水量的基本组成和影响因素、用水量的估算和预测、用水量的管理等。第4章:给水系统,介绍了自然环境的水文特征、水资源特性和分类、水资源开采和控制制度、饮用水水质参数和标准、水处理方法和给水管网。第5章:给水管网要素,主要介绍了管道设计与维护方法、阀门和其他管道配件在管网压力管理与供水控制中的重要性、常用的水锤控制方法、水泵分类和选型方法。第6章:管网建模,介绍了基本的建模原理,包括管网建模中的复杂性和不确定性问题,以及用水量和需水量的估算过程等。第7章:给水系统设计,阐述了给水系统的设计目标,并提出了给水系统设计的性能指标,包括低压风险、供水意外中断以及水质标准等,还介绍了一些给水系统设计的优化方法及其应用方法。第8章:运营、维护和性能,涵盖了给水管网发展和管理历史、饮用水卫生法规或标准、与水量和水质相关的自动化设备的运营和维护难题等。第9章:资产规划与管理,主要讨论了给水管网系统资产规划与管理的相关问题和解决方案。第10章:财务分析和项目评估,介绍了项目评估的基本概念和方法、项目替代方案及其特定的使用环境,以及基于贴现原则的项目评估案

例。第 11 章:可持续发展和气候变化,介绍了可持续发展的基本原理和驱动因素、供水项目评估中环境、社会和经济层面的可持续性等问题等。

当然,给水管网系统十分复杂,给水管网的运行和管理是一个不断发展、不断完善的过程。希望本书的出版对提高中国给水管网系统的科学管理、加强节水型社会建设能够起到借鉴和参考作用。由于译者水平有限,书中不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

译者

2013 年 6 月

前言

目前,市面上已经有很多关于水力学和给水工程的书籍,那么为什么还需要本书呢?

原因很简单,本书的编者们在业内理论知识和工程经验都非常丰富、并能将两者较好地结合在一起的专业人员。随着英国给水行业在 20 世纪 80 年代后期私有化,原有供水公司的组织和管理均发生了变化,包括供水标准提高、业内专家数量减少和投资金额下降等,因此需要为从事本行业的工程师提供有用的参考,尤其是提供业内最新的实际应用信息。当发达和发展中国家面临给水行业中常见的设计和管理问题时,当需要满足不断增长的环境和可持续发展要求时,还有当工程师没有足够的精力实时更新国际研讨会中本行业的最新技术知识时,本书都可以提供帮助。我们同样认为,需要有一本书可以为水环境工程专业的大学本科高年级学生和研究生提供有益的指导,同时,当他们毕业后进入供水公司、环保机构或咨询机构时,本书同样可以提供帮助。

我们并没有试图在书中涵盖给水行业的所有知识,而是侧重于给水系统。在该方面,工程师们已具备优化解决问题的能力,并在原有基础上取得了较大发展。

为了达到上述目的,我们邀请了学术机构、咨询机构以及供水公司的相关专业人员编纂本书,以确保每章的内容都能够做到理论与应用兼顾。

我们希望本书能为读者们的工作和学习提供帮助,而不是被束之高阁。

Dragan A. Savić

John K. Banyard

ABC activity-based costing 作业成本法	DG2/3 Director General Measure 2/3 供水报表(低压/供应中断)
ACO ant colony optimisation 蚁群优化算法	DRM discolouration risk model 变色风险模型
AoS appraisal of sustainability 可持续发展评价	DAF dissolved air flotation 溶解气浮选
ASR aquifer storage and recovery 地下水回灌	DMA distribution management areas 管网管理区域
AM area meter 分区计量	DOMS distribution operation and maintenance strategies 给水系统的运营和维护策略
AMP asset management plan 资产管理计划	DMA district metered area 分区计量区域
AZNP average zone night pressure 区域平均夜间压力	DCM domestic consumption monitor 生活用水量监控
BPSO best practicable sustainable option 最切实可行的可持续性评价	DWI Drinking Water Inspectorate 饮用水监管局
BMV burst main valve 破裂控制阀	DWSP drinking water safety plan 管网综合风险管理方法
BABE bursts and background estimates 爆管和背景漏耗估计方法	ELL economic level of leakage 经济的漏耗水平
CAPEX capital expenditure 资本支出	ECF electro-coagulation - flotation 电絮凝浮选法
CAMS catchment management strategy 流域管理政策	EGL energy grade line 能量梯度线
CFD computational fluid dynamics 计算机模拟流体动力学	EA Environment Agency 环境署(英国)
CARE-W Computer Aided Rehabilitation of Water Networks 给水管网更新计算机辅助决策	EIA environmental impact assessment 环境影响评价
CBA cost - benefit analysis 成本效益分析	EPA Environmental Protection Agency 美国国家环境保护局
CEA cost - effectiveness analysis 成本效能分析	ET evapotranspiration 蒸散
DDA demand-driven analysis 需水量驱动分析	EPR evolutionary polynomial regression 进化多项式回归
DEM digital elevation model 数字高程模型	

- EPS extended period simulation 扩展周期分析
- FOSM first order second moment model 一次二阶矩法模型
- FDO flexible design option 灵活的设计选项
- GA genetic algorithm 遗传算法
- GIS geographic information system 地理信息系统
- GGA global gradient algorithm 全局梯度算法
- GAC granular activated carbon 粒状活性炭
- GUI graphical user interface 图形用户界面
- GHG greenhouse gas 温室气体
- GDP gross domestic product 国内生产总值
- GSS Guaranteed Standards Scheme 承诺标准要则
- HDA head-driven analysis 水头驱动分析
- HDN heuristic derived from nature 启发式算法
- HDPE high-density polyethylene 高密度聚乙烯
- HPPE high-performance polyethylene 高性能聚乙烯管
- HGL hydraulic grade line 水力坡度线
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change 政府间气候变化专业委员会
- IRR internal rate of return 内部收益率
- IMF International Monetary Fund 国际货币基金组织
- ISO International Organization for Standardization 国际标准化组织
- IWA International Water Association 国际水协会
- lcd litres per capita per day 升/人/天
- MIEX magnetic ion exchange 离子交换技术
- MDPE medium-density polyethylene 中密度聚乙烯
- MCS Monte Carlo simulation 蒙特卡洛模拟法
- MCA multi-criteria analysis 多指标分析法
- MOGA multi-objective genetic algorithm 多目标遗传算法
- NOM natural organic matter 天然有机物
- NTU nephelometric turbidity units 浊度单位
- NPSH net positive suction head 汽蚀余量
- NPV net present value 净现值
- NHPP non-homogeneous Poisson process 非齐次泊松过程模型
- NRV non-return valve 止回阀
- Ofwat Office of Water Services 水务办公室
- OSEC on-site electrolytic chlorination 现场电解氯化法
- OPEX operational expenditure 运营支出
- OPI operational performance index 运营性能指数
- OECD Organisation for Economic Co-operation and Development 经济合作与发展组织
- OPA overall performance assessment 整体绩效考核
- PI performance indicator 性能指标
- PE polyethylene 聚乙烯
- PU polyurethane 聚氨酯
- PVC polyvinyl chloride 聚氯乙烯
- PPRA pre-and post-rehabilitation assessment 水质改善前后评估
- PMA pressure managed area 压力管理区
- PRV pressure-reducing valve 减压阀
- PSV pressure-sustaining valve 稳压阀
- PDF probability density function 概率密度函数
- PFI public finance initiative 公众主动融资
- PSBR public sector borrowing requirement 公共部门借款需求

RCP rapid crack propagation 快速裂纹扩展	定服务处
SOSM second order second moment model 二次二阶矩法模型	UKWIR UK Water Industry Research 英国水行业研究会
SoSI security of supply index 供水安全指数	UNCED UN Conference on Environment and Development 联合国环境与发展大会
SA simulated annealing 模拟退火法	UPVC unplasticised polyvinyl chloride 硬聚氯乙烯
SSF slow sand filtration 慢砂过滤	WDS water distribution system 给水管网系统
SIC Standard Industrial Classification 标准工业分类	WIS Water Industry Standard 水行业标准
SEA strategic environmental assessment 战略环境评价	WIS water into supply 供水区
SCADA supervisory control and data acquisition 数据采集与监控系统	WRc Water Research Centre 水研究中心
DWI the Drinking Water Inspectorate 饮用水监管局	WSP water safety plan 水安全计划
WRAS the Water Regulations Advisory Scheme 水务法规咨询机构	WSP water service provider 供水公司
UKAS UK Accreditation Service 英国鉴定服务处	WLC whole-life costing 全寿命成本
	WCED World Commission on Environment and Development 世界环境和发展委员会
	WHO World Health Organization 世界卫生组织

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

前言

缩写词

作者名录

第 1 章 给水行业的发展历史 1

1.1 引言 1

1.2 水处理和给水系统的发展历史 1

1.3 管道选材的优化 5

1.4 管道流量计算的发展 8

1.5 管网分析 11

参考文献 15

参考法规 15

第 2 章 水力学基本原理 16

2.1 简介 16

2.2 流体的基本性质 16

2.3 基本流体方程 17

2.4 管道水头损失 21

2.5 管网稳态分析 24

2.6 管网非稳态分析 28

2.7 管网水质分析 30

参考文献 32

第 3 章 用水量的估计、预测和管理 34

3.1 前言 34

3.2 用水量的变化 36

3.3 用水量的组成 36

3.4 用水量的影响因素 38

3.5 用水量的估算 39

3.6 用水量预测 41

3.7 用水量的管理 42

3.8 水量平衡 44

3.9 调整生活方式 45

3.10 未来展望 45

3.11 结论 46

参考文献 47

参考法规 49

第 4 章 给水系统 50

4.1 引言 50

4.2 水资源管理 50

4.3 水处理 61

4.4 给水管网 68

参考文献 70

参考法规 73

第 5 章 给水管网要素 74

5.1 简介 74

5.2 管道 74

5.3 水泵 82

5.4 阀门 84

5.5 配水池 88

5.6 系统整合 91

5.7 水锤控制 92

参考文献 93

参考法规和标准 93

第 6 章 管网建模 94

6.1 引言 94

6.2 管网模型分类 94

6.3 基本建模原理 98

6.4 管网建模数据 101

6.5 建模过程 103

6.6 模型率定 108

参考文献	110	9.10 资产全寿命成本管理	167
第 7 章 给水系统设计	112	9.11 总结和展望	170
7.1 引言	112	参考文献	171
7.2 给水系统需求	112	参考法规	173
7.3 给水系统优化设计	114	第 10 章 财务分析和项目评估	174
7.4 不确定性下的给水 系统规划	119	10.1 引言	174
7.5 给水系统灵活性设计 介绍	121	10.2 项目评估的原因	174
参考文献	125	10.3 基本概念	176
参考法规	127	10.4 钱从哪里来?	181
第 8 章 运营、维护和性能	128	10.5 评估方法和备选方案	184
8.1 引言	128	10.6 贴现	188
8.2 管网发展和管理历史	129	10.7 评估方法	190
8.3 监管	129	10.8 一些实际问题	197
8.4 分析	134	10.9 其他方面	200
8.5 干预措施	138	10.10 结语	201
8.6 决策	145	10.11 实例应用	201
8.7 评估	147	10.12 进一步的信息	203
参考文献	148	参考文献	203
参考法规	150	参考标准	204
第 9 章 资产规划与管理	151	第 11 章 可持续发展和气候 变化	205
9.1 引言	151	11.1 引言	205
9.2 背景	152	11.2 可持续发展的驱动因素	207
9.3 管理机构	153	11.3 气候变化	209
9.4 资产管理驱动力	154	11.4 评估供水项目的环境、社会 和经济可持续性	212
9.5 资产性能指标	155	11.5 用水安全	217
9.6 资产评估技术	158	11.6 回顾与反思	217
9.7 资产干预措施	161	参考文献	218
9.8 资产退化	162	参考法规	220
9.9 资产失效后果评价	165	索引	221

给水行业的发展历史

Dragan A. Savić *University of Exeter, UK*

John K. Banyard *Independent consultant, Warwick, UK*

1.1 引言

如何延长给水行业基础设施的寿命是当今给水工程师们面临的一个重要问题。现在,有幸生活在发达国家的人们可能会认为自来水供应是理所当然的,然而在浴室、洗衣机和洗碗机尚未普及的时代,很多人家里只有一个冰冷的水龙头。另外,随着社会的发展,全球用水量正在显著增加,同时人们对水质的要求也不断提高,但这些因素却常常被人们忽视。给水技术的发展历史悠久,自然会给人一种“这个行业已经僵化且缺乏创新”的印象(Council for Science and Technology, 2009)。更不幸的是,部分从业者认为:前辈们的理论一定也适用于当今社会。因此,我们有必要占用一小部分篇幅回顾一下水处理和给水系统的发展历史,帮助读者对当今的技术现状和实际应用有更深入的了解。同时,希望将来在回顾给水行业的发展时,本段内容可以提供参考。

本章将分别介绍现代输配水工程中必不可少的四种技术:

- 水处理
- 管材优选
- 管道水力计算
- 管网分析

最后,本章会简单介绍一些新近出现的技术难题,这意味着创新依然是本行业最主要的发展动力。

1.2 水处理和给水系统的发展历史

历史上的首个人工给水设施的建造时间已经无法精确考究。但毫无疑问的是,人类的生存离不开洁净的饮用水。对早期游牧民族来说,清澈的河流和泉水是生存的根本。

早期的大城市均坐落在水源地附近,而考古证据表明,人类早期文明至少能追溯到

公元前四千年前。最早出现的给水工程建筑应该是引水渠(高架渠)或水井。但是与在这里猜测究竟在哪里以及何时出现首个给水工程建筑,还不如以古罗马,特别是弗龙蒂努斯(Frontinus)(公元35—103年)在给水工程领域的著作为参考,更能帮助我们了解给水系统的发展史(Frontinus,1980)。当然,弗龙蒂努斯并不是第一个著有供水领域著作的罗马人:大约100年前,罗马建筑师维特鲁威(Vitruvius)(约公元前75—前15年)创作了一部建筑方面的巨著《建筑十章》(Vitruvius,1970),书中所涉及的众多领域中就包括引水渠的设计和建造。然而,由于弗龙蒂努斯在公元97年被任命为罗马渡槽总监(相当于水利部部长),不仅如此,弗龙蒂努斯的工作报告还被后人整理成书,教育着一代又一代的学生,因此了解他的工作内容更有利于加深我们对于早期给水系统的认识。

弗龙蒂努斯并不是职业工程师,而是一位非常出色的军事家。他曾于公元76年被任命为不列颠行政省总督,任期结束后(公元78年),他回到罗马,撰写了一部概述军事谋略的书。随后,他遇到了这个他始料未及的挑战——担任渡槽总监。在此期间他撰写了《论罗马城的供水问题》(*De aquis urbis Romae*)一书(Frontinus,1980),在这部书中,他阐述了自己对罗马供水历史的认识。他在书中写到:自罗马建国以来的441年间,罗马人的水源一直都是井水、泉水和台伯河水;而在公元前312年前后,第一条引水渠——亚壁水道(Appian aqueduct)——投入使用。该水道以阿匹乌斯·克劳狄斯·克拉苏(Appius Claudius Crassus)的名字命名,亚壁古道(Appian Way)也是以他的名字命名的。亚壁水道长约5英里^①,大部分建于地下。弗龙蒂努斯还在书中详细介绍了他在担任渡槽总监之前建成的七条引水渠。值得今天的工程师们深思的是其所述的那些水道是如何建造并使用了长达400年之久的。

弗龙蒂努斯曾批评罗马皇帝奥古斯都(Augustus)主持建造的奥古斯塔(Alsietian)水道,他认为该引水渠的水源不净,不应给人们饮用。这说明当时的人们已经认识到了不洁净的饮用水会导致疾病——事实上如果认识不到我们反倒应该惊讶了。

弗龙蒂努斯在书中也透露他实际上是接了一个——用现在的话说——“烂摊子”。他命人测量各水道的尺寸数据并绘制图纸,这样他就不需要亲自到现场查看,他的属下可以通过图纸将问题阐述明白。为防止漏水,他将所有的引水渠用铅做内衬,并严厉打击水道沿岸住户非法取水的行为。没有迹象表明当时引水渠中的水有经过任何净化处理,但是当水从引水渠末端流入水箱时,水中的大部分杂质都已沉降,从而起到了一定的净化作用。以前,罗马城里遍布贩卖清水的小商贩,弗龙蒂努斯对此甚是不满,他的从军经历使他意识到规章和纪律的必要性,他也成功地将上述理念应用到管理罗马给水系统的工作中。他的观念和做法为资产管理者们提供了一个很好的管理范例,而上述理念在1900多年以后才被人们广泛认知。虽然弗龙蒂努斯只关注罗马城的水道建设,但饮用水的供给对整个罗马帝国来说都是极其重要的,最有名的当属法国南部城市尼姆附近的加尔水道桥(Pont du Gard)。但它并不是唯一的非罗马城的引水渠,例如今天我们还可以在巴塞罗那哥特大教堂附近看到曾为该城市供水的引水渠遗址。

不幸的是,随着罗马帝国的衰落和灭亡,引水渠年久失修,人们的取水方式也退化到了帝国最初440年的状态(如果弗龙蒂努斯说得没错的话)。整个欧洲也经历着相同

^① 1英里=1.609344千米。

情况,并且持续了很多个世纪。中世纪时期,修道院开始在水井后增设输水管道。当时很流行建造水井,井水通过管道被输送到当地居民家中(Barty-King,1992)。

1589年,弗朗西斯·德雷克(Francis Drake)爵士在英国普利茅斯市主持开凿了一条新的供水渠(虽然不像传说的那样一日之内建成),该水渠被称为“德雷克水渠”(Drake's Leat)。到了1613年,由米德尔顿(Myddelton)筹资建设的“新河”(New River)水道竣工,该水道将20英里外的利河(River Lea)河水输送至伦敦,以满足其不断增长的用水需求。然而,这些工程水平都远不及古罗马人。在弗龙蒂努斯之后约1500年,人类的给水工程技术才逐渐回升到古罗马时期的高度。

随着工业革命的爆发,水处理技术和清洁用水供应的不足开始显现出来。为获得更好的生活条件,大量农场工人涌入新兴的工业城市。城市人口的大量增加给给水系统和公共卫生设施建设造成了巨大的压力。霍乱和伤寒等传染病也因此频繁发生。

1819年,诗人雪莱(Shelley)在他的诗作《皮特·贝尔三世》(*Peter Bell the Third*)(Shelley,1839)中用如下语句描述了当时城市的境况:

“伦敦仿佛地狱般,人口稠密,烟雾弥漫。”

1842年发布的一份报告(Chadwick,1842)曝光了工人阶级的生活状态。方框1.1中的引述揭示了当时人们的悲惨境遇。

方框 1.1 大不列颠劳动人口卫生报告(Chadwick,1842)节选

“工人阶层之间传播的各种流行病主要是通过空气传播,传染源主要来自腐烂的动物尸体和蔬菜、排泄物、潮湿的环境和封闭拥挤的居住条件,而这些恶劣的生活环境遍布全国各地……”

“凡是频繁暴发传染病的地区一定符合上述环境条件……”

“现有的给水系统无法保障环境的清洁,也无法使居民养成卫生习惯。”

尽管查德威克(Chadwick)的报告确实促使政府积极采取措施改善居民的生活条件,特别是卫生条件,但当时的人们还缺乏预防疾病的知识,而这成为了改革的一大障碍。

很难理解当时为何没有人认识到疾病和受污染的水之间的联系,更何况当时的人们也都希望能用上干净的水。1852年,《伦敦水法》(*The Metropolis Water Act*)规定凡是从泰晤士河汲取的水以及伦敦圣保罗大教堂周围方圆五英里范围内的供水都要进行过滤处理。但即便如此,19世纪的医学界仍然坚持伤寒和霍乱是通过瘴气(污浊空气)传播的,与水质无关。当时人们认为水表面上看起来是清澈的,就表示是干净的。

即使在著名的布罗德街(Broad Street)水泵事件(1854年)发生以后,人们对伤寒和霍乱起因的认识也几乎没有发生变化。约翰·斯诺(John Snow)医生早在1849年就发表了一篇关于霍乱的文章,他认为霍乱不是经由瘴气传播的(Snow,1849),但是这篇文章几乎没有引起人们的注意。仔细阅读查德威克的报告,我们就会发现他也赞同霍乱等属于空气传播类疾病的观点。1854年,在伦敦的一个区——其范围包括今天的牛津街、摄政街、莱斯特广场和查林十字大道——爆发了霍乱。这并不算什么大不了的事情,因为在当时的伦敦,霍乱和伤寒频繁爆发,事实上在整个不列颠联合王国,甚至全欧洲和美国都是如此。然而,斯诺医生逐渐意识到他所有的病人都是从布罗德街的水泵汲水的。斯诺医生由此绘出了此次霍乱爆发的传播途径,并向政府机构说明疫情与

布罗德街的水泵有关系。后来,人们撤走了水泵,疫情也迅速消退了。斯诺在1855年发表文章详述了霍乱疫情的爆发以及他如何阻止疫病蔓延的过程(Snow,1855)。进一步调查表明,引发霍乱的水泵的取水井和一个粪坑毗邻。但具有讽刺意味的是:尽管成功阻止了霍乱蔓延,但是当局在疫情平息后立刻恢复了这台水泵的使用。

然而,斯诺的成果并未被当时的医疗机构所接受。他曾对被污染的水做化学和微生物学检测,但并未找到可能引起霍乱爆发的物质。今天看来,这是难以置信的结果,而且通过显微镜就可以确认水中的确有微生物存在。然而又过了30年,才有法国科学家路易斯·巴斯德(Louis Pasteur)提出致病微生物学说。我们无法考究巴斯德确立这一理论的具体时间,因为从1865年起他就发表了很多相关文章,但一直到1880年他才正式提出微生物理论。事实上并不是巴斯德创立了微生物理论——这个理论已经作为一种猜想存在了很多年——而是他有力地证明了该理论的正确性,同时也推翻了被普遍接受的瘴气理论。

回顾历史并不是一件容易的事,如今我们都会惊讶于当初的医学界普遍支持瘴气理论。饮用不洁净的水会导致疾病,这是几个世纪以来都被公认的事实:这也正是中世纪的修道院都会酿制啤酒的一个主要原因,这算是带给我们一个意外的好处。但不管怎么说,在巴斯德证明微生物理论之前,大部分人的确都认为伤寒、霍乱、鼠疫等疾病是通过瘴气传播的。当时水处理工艺的发展也因此受到了很大限制。

历史上第一个有记载的水处理过滤系统诞生于1808年,苏格兰的佩斯利。然而,这并不代表当时的城市建设者们对公共卫生有什么先见之明。更确切地说,应该是约翰·吉布(John Gibb)安装了一个过滤系统,旨在改善他的布料场的漂白工艺罢了。因为佩斯利坐落在卡特河(River Cart)沿岸,每逢暴风雨季,河水都会被搅得混浊不堪,而河水水质起伏变化严重影响了成品布料的色泽。据说吉布的这套过滤系统非常有效,他也会把多余的过滤水卖给那些有需要的人。

1829年,詹姆斯·辛普森(James Simpson)在切尔西建造了首个市政水过滤装置(慢速过滤器)。

美国的首个水过滤装置建于1833年,弗吉尼亚州里士满。1872年,詹姆斯·柯克伍德(James P. Kirkwood)在纽约州波基普西市建立了一个被称为“英式过滤器”的大型过滤装置。在巴斯德的理论被主流医学界所接受之后,对水进行除菌处理就是自然而然的选择了。水过滤装置能有效避免疾病的爆发是无可争议的,然而尽管精心设计的过滤装置能有效提高水质,但它依然不能保证水的纯净。

1895年,在美国路易斯维尔工作的乔治·W·富勒(George W. Fuller)在研究处理俄亥俄河河水时,成功地将化学混凝和过滤两种处理方法结合在一起,由此,被当今世界各地水处理厂所广泛采用的经典两阶段式处理工艺诞生了。随后,他成立了自己的咨询机构,并于1902年在新泽西州小瀑布建造了更大规模的水处理系统。

富勒也在快速重力过滤器方面有所研究,这种装置如今已很普遍。尽管化学混凝和澄清的概念已经存在了100多年,但这并不意味着一直没有发展。假如富勒有机会访问现代的水处理工厂,他肯定能认出自己发明的基本工艺流程,但他同样也会为当今复杂而精密的水处理系统而惊叹。如今的混凝过程已经能通过计算机精确控制,分离过程由各种澄清池完成,其效果远远高于富勒当年所能达到的水平。甚至他所依赖的重力分离过滤器现如今也可以被新兴的溶气浮选分离装置代替。近些年,膜过滤的出

现已经开始挑战传统的水处理工艺,但是膜过滤装置是分子水平上的过滤,它需要过滤预处理,或者在膜过滤之前采用半真空装置,添加化学混凝剂使分子键断裂。

尽管化学混凝和过滤技术取得了很大进步,但是,现代水处理过程中还有一个对整个过程产生重要影响的环节——消毒。当富勒和与他同时代的人探寻滤去水中细菌的方法的时候,另一种思路也渐渐成型,即利用消毒剂直接杀死细菌。当然,消毒剂必须是对人体无害的,故此,通常用强氧化剂作为消毒剂。

大约在 20 世纪初,氯首次作为给水消毒剂投入使用,但存在较多的争议,尤其是在比利时(米德尔凯尔克和安特卫普)。1897 年,尽管梅德斯通已进行了一系列行之有效的加氯试验,但是英国依然没有大规模使用氯作为消毒剂。1903 年,英国剑桥郡的福伯收容所(Fulborne Asylum)爆发了伤寒,当局向上议院申请批准将氯作为饮用水消毒剂,但上议院以氯有毒性为由驳回了申请。又过了 12 个月,英国的林肯郡爆发了霍乱,有人建议从剑桥郡伤寒事件中吸取教训,于是有人未经许可向饮用水中投加了氯,随后疫情立即消退。但他们又犯了一个严重的错误:疫情消退后他们又停止向饮用水中投加氯,这导致林肯郡在随后的几年中又爆发了数次霍乱。然而,林肯郡依然是英国首个采用氯作为饮用水消毒剂的地区。从那时起,用氯消毒饮用水变得越来越普遍,并且有效遏制了伤寒和霍乱的传播。1909 年,泽西市成为美国第一个确定永久性使用氯作为饮用水消毒剂的直辖市。之后,用氯或氯化物(如次氯酸盐)做消毒剂逐渐成为了饮用水处理工艺中必不可少的一环。

1935 年,英国南部城市克罗伊登爆发了伤寒,当时该市尚未采用氯为饮用水消毒剂。此次伤寒事件后,英国政府修改了法案,要求给水管网中必须有一定的余氯含量。从那时起,英国各地基本没有再出现过霍乱和伤寒疫情。读者可以在本书第 4 章中了解到有关当代水处理技术应用的实例。

确保给水管网中的余氯含量对给水工程师们来说极具挑战性。水处理设施出水的氯浓度较高,管网水中的氯随着输送距离的增加不断衰减。尽管 20 世纪 90 年代末期美国水务协会(American Water Works Association)主席在就职演说中说道:“如果你闻不到自来水中的氯味,那么最好别喝。”但这句话仅给瓶装水的生产商带来了些许安慰,因为人们还是不喜欢自来水中有过浓的氯味。如今,给水工程师们必须合理控制管网中的余氯浓度,在保证公众健康和满足用户对饮用水口味的挑剔之间达到平衡。因此,对管网中的流态进行分析研究是十分必要的,这将在本章第 4 和第 5 小节阐述。

1.3 管道选材的优化

在过去的 150 年中,给水管材一直在不断地优化。

但在此之前的 1750 年,弗龙蒂努斯明确指出铅可以用作输水管材(今天我们依然可以在博物馆中看到当时的铅管),也可用来制造控制水量的分流设施。有趣的是,在弗龙蒂努斯之前 100 年,维特鲁威就已提出了类似虹吸管网的概念(他的描述并不十分明确,因为他只是基于当时的认识作出假设),而那时的管材还不能承受输水过程中产生的冲击力。因此,古罗马人偏爱引水渠而非输水管道可能并非因为人们没有发现虹吸的现象,而是受到管材的限制。

考古证据表明,古罗马的给水工程师们也使用陶管输水。事实上,陶管在更早期的