

水质科学与工程理论丛书

# 给水管网系统 理论与分析

赵洪宾 著  
严煦世 审

WATER

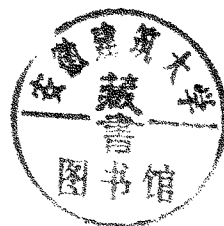
中国建筑工业出版社

China Architecture & Building Press

水质科学与工程理论丛书

# 给水管网系统理论与分析

赵洪宾 著  
严煦世 审



中国建筑工业出版社

Water Quality Science and Engineering Series

# **Water Network System Theories and Analysis**

Written by **Zhao Hongbin**

Professor of Municipal and Environmental Engineering  
Harbin Institute of Technology

Revised by **Yan Xushi**

Professor of Municipal and Environmental Engineering  
Tongji University

China Architecture & Building Press

图书在版编目 (CIP) 数据

给水管网系统理论与分析 / 赵洪宾著. — 北京 :  
中国建筑工业出版社, 2003  
(水质科学与工程理论丛书)  
ISBN 7-112-05624-1

I. 给... II. 赵... III. 给水管道—管网  
IV. TU991.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 110722 号

本书内容多为科研成果, 本学科前沿技术, 作者将给水管网系统理论分析与工程实践, 优化设计与科学管理融为一体。他以 30 余本博士、硕士论文及多年的科研成果与实践为基础, 并吸纳了国外最新观念和成果, 是一部理论专著。

管网建模是进行管网分析的新观念。书中全面阐述了管网建模的技术流程, 模型的校核方法和模型的维护, 构架了管网建模的体系。优化是管网系统的热门课题, 书中论述了改、扩建“实用优化”的设计观点, 还阐明了“实用优化调度”的概念和意义。提出了“管道卫生学”和“生长环”两个新的概念, 并以此为基础阐明了管网水质变化及水质计算问题。这些新观念、新论点将有助于管网系统理论的应用与发展。本书所附光盘展示了书中主要计算机应用软件的操作指导, 从而扩展、延伸并深化了本书的主体内容。

本书可以作为从事给水工程、环境工程和城市建设的工程技术人员管理人员和施工人员参考书。也可以作为大专院校教师、本科生、研究生的教学参考书。

水质科学与工程理论丛书  
给水管网系统理论与分析

赵洪宾 著  
严煦世 审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)  
新华书店经销  
有色曙光印刷厂印刷

\*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 27½ 字数: 679 千字  
2003 年 9 月第一版 2003 年 9 月第一次印刷  
印数: 1—3,000 册 定价: 80.00 元 (含光盘)

ISBN 7-112-05624-1  
TU·4951 (11263)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

## Abstract

This book mostly includes scientific fruits and advanced technologies. Theory analysis, engineering practice, optimal design and scientific management of water distribution system are integrated into a whole. It is an academic monograph based on both the scientific research of 30 masters and doctors for several years and the up-to-date conception abroad.

Water distribution modeling is a new concept of network analysis. The book illustrates modeling process, model calibration and maintenance nearly from all aspects in detail. As a pop theme, optimization is introduced into network system. The opinion of practical optimization in rehabilitation and control of water network system was put forward. Based on the new concepts of "pipe hygienics" and "growth-ring", the deterioration and calculations of water network quality have been presented. All of these will be beneficial to the application and development of theory of water network system. CD-ROM attached shows the application of software and deepens the major content.

The book provides a practical resource for municipal and environmental engineers. It can also be used as a didactical reference book for teachers, undergraduate and post-graduate students in colleges and institutes.

# 前 言

城市是政治、经济、文化的主要载体，是社会进步的里程碑。近年来，我国城市化进程发展迅速，已成为世界城市化进程最快的国家之一。给水管网系统是城镇进步和可持续发展的重要基础设施。

半个世纪以来，给水管网的技术进步反映了我国给水事业的壮大与发展。我从事给水管网系统的教学与科研工作已 40 余载，经历了其发展的主要历程。我深刻地体会到，学科的成长与进步源于社会经济的发展与需求，而社会经济的发展源于科学技术的不断前进。

计算机技术的迅猛发展，把给水管网系统的计算、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間。给水管网系统从以往单纯地研究管网水力计算，拓展到给水管道卫生学，管网水质分析；用水量预测；管网系统优化；管网系统可靠性分析；管网系统的模拟与仿真；无线数据传输系统（MLS）；地理信息系统（GIS）；全球定位系统（GPS）等，已构成多学科交叉、集合的系统。

为适应当今科学进步与城市经济可持续发展的需求，总结近年来我国在给水管网系统理论与工程实践方面所取得的丰硕科研成果，并以诸多国内外最新工程实例为依托，进行分析探索，力求使本书充分反映当前给水管网系统的新理论和前沿技术。为促进学科进步、迎接未来科技新的发展、弘扬我国在本学科领域的特色，使之与世界同步前进，在培养与造就一代新人中发挥其引导和教学作用，是撰写本书的初衷。

全书共分 9 章：

第 1 章分析了影响用水量变化的各种因素。精选了适合于水量预测的主要方法，各种方法都给出了应用实例。

第 2 章系统地叙述了管网水力计算的基础，并着重分析了管网计算的基础方程，及多水源管网的计算。使读者对管网水力计算能有全面的了解。

第 3 章系统地论述了用计算机进行管网计算、分析的基本理论。并重点阐述了利用计算机求解节点方程、解环方程、解管段方程的方法。

第 4 章管网建模是进行管网分析的新观念。本章全面地阐述了建模的作用、过程和方法。从管网模型分类、建模所需的静态信息与动态信息、建模的技术流程到模型的校核方法、校核标准以及模型的维护，构架了完整的建模体系。

第 5 章围绕输水系统的经济性和可靠性问题，进行了充分的论述，并选定了计算实例。

第 6 章系统地阐述了给水管网优化的基础和算法。并对给水管网可靠性及可靠性的优化计算作了重点论述。

第 7 章全面阐述了给水管网改建和扩建的问题。旨在构造管网改、扩建的设计体系。充分论述了改、扩建“实用优化”的设计观点。

第8章论述了优化调度的基本概念及其数学模型。通过精选的4个工程实例,从不同侧面说明了优化调度的实践过程。同时,还深刻地论述了“实用优化调度”的概念和意义。

第9章提出了两个新的概念,即“管道卫生学”和“生长环”,以此为基础深刻地论述了管网水质变化及水质计算的问题。通过工程实例,较全面反映了水质计算所涉及的内容。

本书基本包含了给水管网系统的全部内容:设计、计算、理论分析及科学管理。书中结合各章节内容提供了可贵的工程实例,不仅为实际应用提供了可资利用的各种计算方法,及各项参数,也为今后进一步的发展铺垫了基础。

本书所涉及的内容之丰富,工程实例之广,计算数据之翔实,绝非个人力量所及。不仅是我多年教学和科研的积累,更是我的研究生们论文的集合与其精华浓缩,在字里行间有他们辛勤、创造与智慧的结晶。

本书所附光盘是作者和给排水系统研究室教师以及研究生们多年共同研究与实践的成果。它不仅可以帮助读者直观地了解给水管网系统理论分析的内容和方法,而且光盘所列资料和诸多工程实例,延伸、扩展和加深了书中的主体内容,对阅读和研究本书各章具有引导作用。

这本专著是在我的老师,尊敬的严煦世教授支持、帮助下完成的,并审阅了全书,提出了宝贵的意见。在此,表示深深的敬意。

在本书的撰写过程中,挚友王启荣教授坦诚相助。在此,表示诚挚的谢意。

我的同学、夫人刘学鸿教授,对书稿作了精心地审校、修正和补充,为本书面世付出了辛勤的劳动。在此道声:谢谢了!

给水管网系统是一个复杂、动态的巨系统,也可视为是一座庞大的地下水库和管式反应器。全面地掌握它,控制它是不容易的,而对我国的给水管网系统更为困难。以往诸多的研究与实践不是完善无误的,书中的计算与分析也难免有不当之处,敬请读者指正。

赵洪宾  
2002年10月  
哈尔滨工业大学

# 目 录

第 1 章 用水量预测	1
1.1 概论	1
1.1.1 用水量预测综论	1
1.1.2 建立预测模型的一般过程	3
1.2 指数平滑法	4
1.2.1 移动算术平均法	4
1.2.2 单指数平滑法	6
1.2.3 自动调整平滑参数的单指数平滑法	8
1.2.4 线性指数平滑法	10
1.2.5 二次曲线指数平滑法	12
1.2.6 季节性指数平滑法	15
1.3 自回归——移动平均模型	20
1.3.1 基本模型	20
1.3.2 自适应组合动态模型	21
1.4 灰色预测方法	25
1.4.1 概述	25
1.4.2 灰色模型	26
1.4.3 动态等维新息模型	30
1.4.4 应用分析	30
1.5 用水量预测精度与评价分析	31
第 2 章 给水管网水力计算	33
2.1 管网图形	33
2.2 树状网和环状网的关系	35
2.3 管网图形简化	36
2.3.1 管线省略	37
2.3.2 平行管线的合并	38
2.3.3 管网分解	39
2.3.4 并联串联管段的简化	39
2.4 环状网流量分析	39
2.4.1 最小平方和流量分配法	41
2.4.2 截面法分配流量	43
2.5 管道水头损失	44
2.5.1 圆管内水的流态	44
2.5.2 沿程水头损失公式	44
2.5.3 人工粗糙管的沿程阻力系数试验	46



2.5.4 管流水头损失问题的求解步骤	49
2.6 管线水头损失计算	49
2.6.1 流量和水头损失关系	49
2.6.2 常用水头损失公式	50
2.6.3 局部水头损失	53
2.6.4 串联和并联管线	54
2.7 管网计算的基础方程	55
2.7.1 节点方程(连续性方程)	55
2.7.2 压降方程	55
2.7.3 回路方程(能量方程)	56
2.7.4 虚环方程	57
2.8 管网计算方法	57
2.8.1 流量法	58
2.8.2 水压法	81
2.9 多水源管网计算	92
2.9.1 树状网	92
2.9.2 混合管网	98
2.9.3 环状网	99
2.10 串联分区给水管网计算	104
2.11 取用井水时的管网计算	106
2.12 管网最不利管段损坏时的计算	110
附录	112
<b>第3章 给水管网计算机分析基础</b>	<b>120</b>
3.1 计算机解管网问题的步骤	120
3.2 应用计算机进行管网计算的数值法	121
3.3 提供管网图形信息	123
3.3.1 管网“树”	124
3.3.2 确定管网的初始流量	126
3.3.3 给水管网实时模拟中水头损失公式的应用	127
3.4 管网水力计算的数学模式	128
3.4.1 管段	129
3.4.2 阀门	130
3.4.3 水泵	130
3.4.4 蓄水池	132
3.4.5 净水厂	133
3.5 输入管网图形方法	133
3.5.1 衔接矩阵	134
3.5.2 回路矩阵	136
3.6 管网基本方程组	138
3.7 解节点方程法	143
3.8 解环方程法	145

3.9 解管段方程法 .....	150
3.10 小结 .....	151
<b>第4章 给水管网系统建模</b> .....	<b>153</b>
4.1 给水管网模型的类型 .....	154
4.1.1 管网宏观模型 .....	154
4.1.2 管网简化模型 .....	155
4.1.3 管网微观模型 .....	155
4.2 建模所需信息 .....	155
4.2.1 管网静态信息 .....	156
4.2.2 管网动态信息 .....	161
4.3 给水管网模型 .....	165
4.3.1 建模过程 .....	165
4.3.2 管网模型的校验 .....	167
4.3.3 管网模型的校验标准 .....	168
4.3.4 管网模型的维护更新 .....	169
4.4 管网工况模拟仿真计算 .....	169
4.4.1 给水管网工况模拟仿真计算的意义 .....	169
4.4.2 给水管网工况模拟仿真计算内容 .....	169
4.4.3 管网工况模拟仿真计算类型 .....	170
4.5 给水管网模型的应用 .....	171
4.5.1 掌握和分析管网运行工况 .....	171
4.5.2 给水管网系统优化运行调度 .....	172
4.5.3 给水管网系统优化改建扩建 .....	172
4.5.4 给水管网系统紧急事故处理 .....	172
4.5.5 给水管网系统水质分析与控制 .....	172
4.6 给水管网改扩建模型实例分析 .....	173
4.6.1 给水管网改扩建的理论依据 .....	173
4.6.2 改建扩建方案计算 .....	175
<b>第5章 输水系统设计和计算</b> .....	<b>178</b>
5.1 输水系统的基本形式 .....	178
5.1.1 无压重力流输水管渠 .....	179
5.1.2 无压和有压交替的重力输水管渠 .....	179
5.1.3 压力输水管渠 .....	180
5.2 压力输水管渠 .....	181
5.2.1 压力输水管渠设计计算 .....	181
5.2.2 决定输水管条数 .....	183
5.2.3 压力输水管的扩建计算 .....	186
5.2.4 事故流量计算 .....	187
5.3 有压重力流输水管渠 .....	189
5.3.1 管线高程与水压的关系 .....	189
5.3.2 有压重力流输水管计算 .....	190

5.3.3 重力输水管的扩建计算 .....	192
5.3.4 水池位置选择 .....	192
5.4 无压渠道 .....	193
5.5 输水能量分析 .....	194
5.5.1 输水管能量利用情况 .....	194
5.5.2 中途增压泵站布置 .....	195
5.6 输水管优化计算 .....	197
5.6.1 重力输水系统 .....	197
5.6.2 水泵加压系统 .....	200
5.7 管线内的空气 .....	201
5.8 输水管线附属设备 .....	202
5.8.1 空气阀 .....	202
5.8.2 放水管 .....	203
5.8.3 水锤消除器 .....	205
5.9 输水管材选择 .....	206
<b>第6章 管网优化计算</b> .....	<b>209</b>
6.1 优化设计目标 .....	209
6.2 管网优化计算的基础式 .....	211
6.2.1 目标函数 .....	211
6.2.2 约束条件 .....	213
6.2.3 优化计算中的变量关系 .....	213
6.3 管段流量未分配的管网优化计算 .....	216
6.4 流量已分配的管网优化计算 .....	219
6.4.1 拉格朗日未定乘数法 .....	219
6.4.2 线性规划法 .....	222
6.4.3 无条件极值法 .....	223
6.5 管网技术经济计算的课题和计算 .....	225
6.5.1 管网技术经济计算的课题 .....	226
6.5.2 流量已分配时的环状网优化计算 .....	230
6.5.3 管段水头损失已知时的环状网优化计算 .....	234
6.5.4 不同流量分配对费用函数的影响 .....	234
6.5.5 重力流管网优化计算 .....	235
6.5.6 管网的近似优化计算 .....	238
6.5.7 优化计算时用水量变化和水塔作用的考虑 .....	240
6.6 管网系统可靠性 .....	242
6.6.1 可靠性指标 .....	243
6.6.2 管网系统各组分可靠性指标的确定 .....	245
6.6.3 管网系统备用 .....	247
6.6.4 调节水池 .....	250
6.6.5 管网各组分故障时对流量的影响 .....	251
6.6.6 管网设计时的可靠性考虑 .....	253

6.7 管网可靠性优化计算 .....	255
<b>第7章 给水管网改建和扩建</b> .....	261
7.1 现状资料的收集 .....	261
7.1.1 给水构筑物现场调查 .....	261
7.1.2 测定管线水力阻力 .....	262
7.1.3 离心式水泵特性测试 .....	266
7.1.4 管网测压 .....	268
7.2 管网改建和扩建 .....	270
7.2.1 确定计算流量 .....	271
7.2.2 确定自由水压 .....	271
7.2.3 新敷平行管线的管径选择 .....	271
7.2.4 泵站和管网的水力联系 .....	272
7.3 水泵及泵站改建和扩建 .....	276
7.3.1 水泵分级工作图 .....	276
7.3.2 水泵的计算流量和扬程选择 .....	276
7.3.3 水泵选用 .....	278
7.3.4 水泵工作情况 .....	279
7.3.5 原有水泵工作的改进 .....	283
7.3.6 多泵站的最优流量分配 .....	284
7.3.7 调速水泵 .....	285
7.4 调节构筑物 .....	287
7.4.1 给水系统扩建时调节构筑物的设置问题 .....	287
7.4.2 调节构筑物的工况分析 .....	289
7.4.3 高位水池、水塔位置和最优容量的选择 .....	291
7.5 给水管网改扩建实用优化设计 .....	293
7.5.1 实用优化设计目标 .....	295
7.5.2 目标函数 .....	297
7.5.3 约束方程 .....	300
7.5.4 实用优化设计算法—MDOD法 .....	303
7.5.5 给水管网改扩建实用优化设计模型的求解 .....	306
7.6 管网微观模型的建立和工况分析 .....	308
7.6.1 建立管网工况微观仿真模型 .....	308
7.6.2 管网工况分析 .....	312
7.6.3 给水管网改扩建实用优化方案 .....	313
7.7 多环优化法 .....	317
7.7.1 选择最合适的管网图形和最优参数 .....	319
7.7.2 配水源位置和流量的选择 .....	322
7.7.3 扩建管网定线 .....	322
7.7.4 环状网改建的优化 .....	323
<b>第8章 给水系统优化调度</b> .....	327
8.1 优化调度的基本概念 .....	327
8.1.1 实现给系统优化运行的基本调控方式 .....	328

8.1.2 给水系统的在线控制和离线控制 .....	329
8.1.3 给水系统的微观数学模型与宏观数学模型 .....	329
8.1.4 用水量预测 .....	330
8.2 给水系统优化调度模型 .....	331
8.2.1 优化调度模型分类 .....	331
8.2.2 优化调度模型的建立 .....	332
8.3 优化调度实例一 .....	334
8.3.1 优化调度模型中控制参数的决定 .....	334
8.3.2 模型求解 .....	335
8.4 优化调度实例二 .....	335
8.4.1 DQ市日用水量预测 .....	335
8.4.2 实用优化调度模型 .....	337
8.4.3 模型参数的确定 .....	339
8.4.4 计算结果及分析 .....	345
8.4.5 DQ市供水管网优化调度系统软件的设计 .....	347
8.5 优化调度实例三 .....	347
8.5.1 实用宏观仿真模型 .....	347
8.5.2 变速泵开机台数的确定 .....	348
8.5.3 混合泵站的优化调度 .....	350
8.5.4 混合供水系统的优化调度方法 .....	351
8.5.5 直接优化调度系统的应用 .....	355
8.6 优化调度实例四 .....	360
8.6.1 测压点压力宏观模型 .....	361
8.6.2 管网直接优化调度模型 .....	368
8.6.3 CF市供水管网优化调度模型 .....	369
<b>第9章 供水管网水质计算</b> .....	<b>376</b>
9.1 概述 .....	376
9.2 “生长环”的成因 .....	376
9.3 余氯衰减速度系数 .....	378
9.4 管网中的三卤甲烷 .....	380
9.5 管网水质模型 .....	381
9.5.1 管网水质模型的作用 .....	381
9.5.2 稳态水质模型 .....	381
9.5.3 动态水质模型 .....	382
9.6 水质模型校核 .....	383
9.6.1 常用的模型校核方法 .....	383
9.6.2 管网系统水质数据的采集 .....	384
9.6.3 水质模型校核框架 .....	384
9.7 供水管网水质计算实例 .....	386
9.7.1 现场概况 .....	386
9.7.2 数据采集 .....	386

---

9.7.3 余氯衰减系数的确定 .....	387
9.7.4 管网系统水力模拟 .....	389
9.7.5 管网系统水质模拟 .....	389
9.7.6 管网余氯衰减系数的敏感性分析 .....	390
9.7.7 水质模拟的误差分析 .....	391
结语 .....	394
主要参考文献 .....	396
术语索引 (汉英) .....	399
术语索引 (英汉) .....	409

# Contents

<b>Chapter 1</b>	<b>Water Demand Forecasting</b>	1
1.1	Introduction	1
1.2	Exponential Smoothing Method	4
1.3	Auto-regression-moving-average Model	20
1.4	Grey Forecast Method	25
1.5	Prediction Precision and Evaluation	31
<b>Chapter 2</b>	<b>Hydraulic Analysis of Water Network System</b>	33
2.1	System Maps	33
2.2	Looped Network and Branched Network	35
2.3	Network Configuration Skeletonization	36
2.4	Flow Analysis for Looped Network	39
2.5	Pipe Head Losses	44
2.6	Pipe Head Losses Calculation	49
2.7	Basic Equations of Hydraulic Analysis	55
2.8	Calculation Methods	57
2.9	Multi-Sources Network Calculation	92
2.10	Network Calculation for Zoning Network In Series	104
2.11	Network Calculation for Well Source System	106
2.12	Worst-Case Calculation	110
<b>Chapter 3</b>	<b>Computer Analysis Fundament</b>	120
3.1	Computer Calculation Process	120
3.2	Numeric Method for Computer Calculation	121
3.3	Network Figuration	123
3.4	Mathematic Mode for Network Calculation	128
3.5	Input Methods for Network Maps	133
3.6	Base Equations	138
3.7	Node Equation Solution	143
3.8	Loop Equation Solution	145
3.9	Pipe Equation Solution	150
3.10	Brief Summary	151
<b>Chapter 4</b>	<b>Water Distribution Modeling</b>	153
4.1	Model Types of Water Distribution System	154
4.2	Data Acquisition	155

---

4.3	Network Model	165
4.4	Simulation Calculation of Operation Point In Water Network System	169
4.5	Model Application	171
4.6	Case Study of Rehabilitation	173
<b>Chapter 5</b>	<b>Design and Calculation of Water Supply System</b>	<b>178</b>
5.1	Basic Types of Water Supply System	178
5.2	Pressure Conduit	181
5.3	Gravity Transmission Conduit	189
5.4	Open Conduit	193
5.5	Energy Analysis of Water Transmission	194
5.6	Optimal Calculation of Water Supply Mains	197
5.7	Air in the Pipelines	201
5.8	Appurtances	202
5.9	Pipe Material Selection	206
<b>Chapter 6</b>	<b>Optimal Calculation of Water Network System</b>	<b>209</b>
6.1	Optimal Design Objectives	209
6.2	Base Equations for Optimal Calculation	211
6.3	Optimal Calculation for Flow-Undistributed Network	216
6.4	Optimal Calculation for Flow-Distributed Network	219
6.5	Technical Economic Problems and Calculation	225
6.6	Reliability Analysis	242
6.7	Optimal Calculation of Network Reliability	255
<b>Chapter 7</b>	<b>Upgrading and Expanding of Water Distribution System</b>	<b>261</b>
7.1	Dada Collection	261
7.2	Rehabilitation	270
7.3	Pumps and Pumping Stations	276
7.4	Regulating Structure	287
7.5	Practical Optimal Rehabilitation Design	293
7.6	Water Distribution Micro-Modeling and State-of-the-art Analysis	308
7.7	Multi-Loop Optimization	317
<b>Chapter 8</b>	<b>Optimal Control of Water Network System</b>	<b>327</b>
8.1	Basic Concept of Optimal Control	327
8.2	Decision Model of Optimal Control	331
8.3	Case One	334
8.4	Case Two	335
8.5	Case Three	347
8.6	Case Four	360
<b>Chapter 9</b>	<b>Water Quality Calculation of Water Network System</b>	<b>376</b>
9.1	Introduction	376



---

9.2	Contributing Factors of Growth-Ring .....	376
9.3	Rate Coefficient of Chlorine Decay .....	378
9.4	Trihalomethane in water Distribution System .....	380
9.5	Water Quality Model of Water Distribution System .....	381
9.6	Water Quality Model Calibration .....	383
9.7	Case Study .....	386
	<b>Acknowledge</b> .....	394
	<b>References</b> .....	396
	<b>Index (Chinese-English)</b> .....	399
	<b>Index (English-Chinese)</b> .....	409