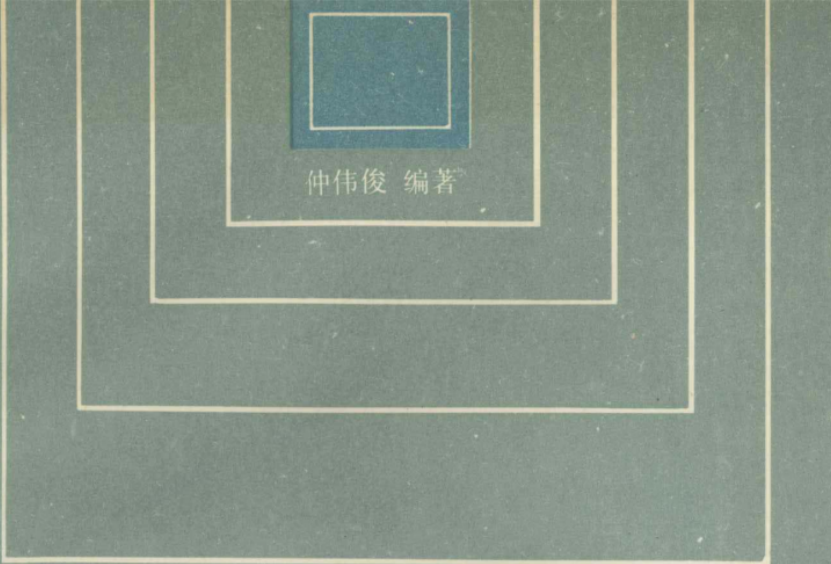




仲伟俊 编著

城市

供水系统的

计算机调度与设计

东南大学出版社



城市供水系统的计算机 调度与设计

仲伟俊 著

东南大学出版社

内 容 提 要

本书分 10 章共三个部分,全面系统地介绍了以运用系统工程的基本理论和方法实现城市供水管网系统计算机优化调度和系统改造扩建优化设计的思想和方法。全书从工程角度出发,注重系统设计思想和方法,强调方案的实用性和可行性。

本书叙述清楚,可供给水工程科技人员、管理干部参考,也为系统工程和相关学科的科技工作者和研究生提供了一个典型完整的系统工程应用案例。

责任编辑 张 克

责任校对 刘娟娟

城市供水系统的计算机调度与设计

仲伟俊 著

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210018)

江苏省新华书店经销 南京邮电学院印刷厂印刷

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 6.75 字数 172 千

1995 年 10 月第 1 版 1995 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—1000 册

ISBN 7-81050-063-5/TP·8

定价:12.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

前 言

随着城市经济的不断发展,人口的不断增加,城市规模的不断扩大,作为城市公用设施中最重要组成部分的城市供水管网系统的供水范围不断扩大,供水量也不断增加,供水系统管理的复杂性也不断提高。这样,采用传统的、主要靠人的经验来管理这样复杂的大系统,很难做到保质保量地满足城市中各种用户的需求。采用现代化的技术和方法,提高城市供水管网系统的管理水平势在必行。从80年代中期开始,我国许多城市的自来水公司开始利用遥测遥控技术在供水管网系统中安装信息检测点,并将检测点检测到的信息传递到调度中心的计算机,实现供水管网系统的实时监控。新技术的引入和应用提出了一系列的新问题。例如:在投资允许的范围内,如何科学合理地设置信息检测点的数量和位置,以最充分提供所需要的系统运行状况方面的信息?在保证服务质量的前提下,如何利用所获得的实时检测信息,确定最优的调度方案,使现有系统能最经济地运行?如何合理扩建和改造现有的供水管网系统,在保证服务质量的前提下,既使系统扩建改造的投资费用尽可能低,又使扩建改造后的系统能经济地运行?从这些实际问题出发,从80年代中期开始,我们运用系统工程的基本思想和方法,研究并解决实现城市供水管网系统计算机优化调度和扩建改造优化设计所面临的一系列问题。通过十多年的工作,形成了一套比较系统完整的解决城市供水管网系统计算机优化调度和扩建改造优化设计的思想和具体方法。本书就是我们多年来在城市供水管网系统方面从事科研工作和工程实践的总结。

本书全面系统地介绍了运用系统工程的基本理论和方法实现城市供水管网系统计算机优化调度和系统扩建改造优化设计的思想和方法。除绪论外,全书共有9章,分为三个部分。第一部分也即第2章,主要讨论了供水管网系统的数学模型及系统的静态和

动态仿真方法,它是后面各部分内容的基础。第二部分包括第3章至第9章,这部分详细阐明了用系统工程思想和方法实现城市供水管网系统的计算机优化调度所涉及的实时信息检测点的确定、系统集结模型的建立、系统的状态估计、短期需水量预测、系统参数故障跟踪和诊断以及各种类型供水管网系统的优化调度等问题及其解决的方法。本书的第三部分也即第10章介绍了供水管网系统扩建改造优化设计问题及其数学模型,讨论了运用分层分解的思想和玻尔兹曼机方法解决系统扩建改造优化设计的方法。

阅读本书要求读者具有“给水工程”、“运筹学”、“大系统理论及方法”方面的基础知识。通过本书的学习,读者可以了解运用系统工程的基本理论和方法解决大规模复杂系统管理和调度问题的基本思想和方法;能详细掌握应用计算机技术和优化技术实现城市供水管网系统优化调度和系统扩建改造优化设计的方法。

这方面的研究工作的开展和本书得以问世,都离不开东南大学徐南荣教授多年来精心的具体指导、支持和帮助。在研究工作中,他指导我确定解决问题的思想,提出解决问题的方法。在本书的写作过程中,他帮我草拟提纲,指导我具体的写作方法。在本书的初稿完成后,他又耗费大量的时间和精力,对稿中各章节仔细审阅,提出了重要意见,并对许多章节进行了修改。此外,东南大学盛昭瀚教授、达庆利教授、胡晚霞副教授和周晶副教授,天津大学李光泉教授、郑丕谔副教授、刘豹教授和王训俭教授均提出了不少宝贵意见和建议。研究生冯勤超和李伦文帮助整理和抄写了本书的多章初稿,在此向他们表示衷心的感谢。

作者水平有限,错误在所难免,恳请读者指正。

仲伟俊

1995年5月于东南大学

目 录

1	绪论	
1.1	城市供水系统及其现代化管理	(1)
1.2	城市供水管网系统的计算机优化调度问题	(3)
1.3	城市供水管网系统扩建改造的计算机优化设计问题	(7)
1.4	本书的主要内容	(8)
2	城市供水管网系统及其计算机仿真	
2.1	城市供水管网系统的水力元件及其状态变量	(10)
2.2	供水管网系统的数学模型	(19)
2.3	供水管网系统的静态仿真	(24)
2.4	供水管网系统的动态仿真	(33)
3	实时检测点的确定和系统集结模型的建立	
3.1	实时检测点的确定	(39)
3.2	系统集结模型的建立	(50)
4	供水管网系统的状态估计	
4.1	引言	(55)
4.2	供水管网系统的状态估计方法	(55)
4.3	错误参数的识别和纠正	(62)
5	供水系统的短期需水量预测	
5.1	引言	(67)
5.2	城市供水系统短期需水量的变化规律	(67)
5.3	城市短期需水量的多元线性回归预测方法	(71)
5.4	城市短期需水量的时间序列预测方法	(79)
6	供水管网系统的参数故障跟踪及诊断	
6.1	引言	(83)
6.2	单故障的跟踪及诊断	(84)
6.3	多重故障的跟踪及诊断	(86)
7	简单供水管网系统的优化调度	
7.1	引言	(91)

7.2	简单供水管网系统优化调度问题的数学模型·····	(93)
7.3	不含增压泵站系统调度方案的两层迭代优化方法··	(98)
7.4	含增压泵站系统调度方案的三层迭代优化方法··	(105)
7.5	简单供水管网系统优化调度问题的乘子法·····	(110)
7.6	简单供水管网系统优化调度问题的直接搜索法··	(119)
7.7	供水泵站内的调度问题·····	(125)
8	含蓄水池供水管网系统的优化调度	
8.1	含蓄水池供水管网系统优化调度问题的数学模型··	(127)
8.2	含蓄水池供水管网系统调度方案的分解—协调 优化方法·····	(133)
8.3	含蓄水池和增压泵站供水管网系统调度方案的三级 递阶优化方法·····	(139)
8.4	基于乘子法的含蓄水池供水管网系统调度方案的分解 —协调优化方法·····	(143)
9	含水塔供水管网系统的优化调度	
9.1	含水塔供水管网系统优化调度问题的数学模型··	(151)
9.2	含水塔供水管网系统调度方案的分解—协调 优化方法·····	(154)
9.3	基于乘子法的含水塔供水管网系统调度方案的分解 —协调优化方法·····	(162)
10	供水管网系统改造的优化设计	
10.1	供水管网系统改造设计问题的数学模型·····	(171)
10.2	供水管网系统改造优化设计问题的分层分解算法	(175)
10.3	供水管网系统布局改造的优化设计方法·····	(178)
10.4	供水管网系统参数改造的优化设计方法·····	(180)
10.5	供水管网系统改造优化设计问题的玻尔兹曼机 方法·····	(190)
10.6	供水管网系统改造优化设计问题的分层和玻尔兹曼机 相结合的方法·····	(198)
	参考文献·····	(201)

1 绪 论

1.1 城市供水系统及其现代化管理

城市供水系统是一个规模非常庞大、性能非常复杂的大系统。它的任务是经济合理和安全可靠地供应人们生活、生产和消防等方面的用水,满足消费者(用户)对水量、水质和水压的要求。

城市供水系统一般由取水泵站、水处理厂、供水泵站、增压泵站、供水管网和水塔、蓄水池等设施组成^{[1][2]}。取水泵站将水源(江、河、湖、水库、地下)的水输送到水处理厂。来自水源的水通过沉淀、过滤和消毒等过程处理成符合国家生活饮用水水质标准或工业用水水质标准的水,然后将它送入清水池。供水泵站(二级泵站)从清水池取水经过供水管网输送到用户。增压泵站、蓄水池和水塔在供水管网中起保证水压、贮存和调节水量的作用。城市供水系统的结构可简单地用图 1-1 描述。整个城市供水系统由取水、水处理和供水三大部分组成。其中供水管网系统在整个城市供水系统中占有最重要的位置。从投资角度来看,它的投资占整个系统投资的 70%~75% 以上。从运行角度来看,它所占的耗电比重也是很大的。

根据城市供水系统的组成状况,为满足用户的需求,城市供水系统包括两类管理问题:一类管理问题是根据供水管网中测压点的检测信息,管理供水泵站的运行;另一类管理问题是对水处理工艺设备和水源进行监测和管理。城市供水系统的管理问题是一个非常复杂的管理问题。对这样的大系统,倘若还是利用传统的管理

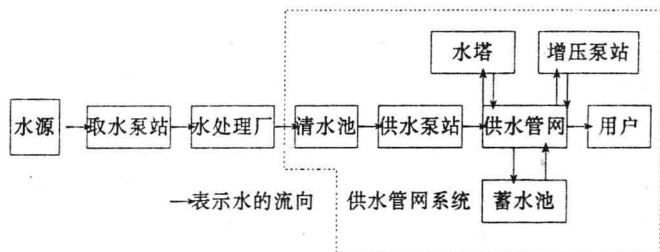


图 1-1 城市供水系统结构图

方式就很难满足用户的需求,更谈不上收到经济效益等问题。利用现代化的管理理论、技术和工具,提高城市供水系统的管理水平,改善系统的社会效益和经济效益是势在必行的。

现代化的组织管理技术——系统工程所涉及的许多基本原理、技术和方法,如现代控制理论、最优化技术和计算机技术的应用,都强有力地促进了大型复杂系统管理水平的提高,也包括促进了城市供水系统管理水平的提高。国外从 60 年代开始,我国从 70 年代初开始已将计算机应用于供水管网系统的设计计算及水处理厂的水质控制等许多方面,并取得了成功的经验。到目前为止,计算机在城市供水系统中的应用几乎涉及到了所有有关方面,如包括:

1) 水质控制

利用微型计算机,控制水处理厂的投药量,提高水质、降低用药量,改善供水系统的经济效益和社会效益。

2) 管网系统的水力分析

在供水管网系统的需水量(即各节点流量)及管网的各种结构参数均已知的情况下,分析计算出各种变量(包括节点压力、管段流量、管段压降及自由水头等)的值,为管网系统的扩建和运行管理提供依据。

3) 供水管网系统的优化调度

利用计算机和遥测、遥控技术,实时检测供水系统运行状况方

面的信息,确定系统中各种调节装置的运行状况(如各供水泵站中投入运行的恒速泵的型号和台数、调速泵的转速、管网系统中水塔、水池的运动状况等),在保证系统服务质量的前提下,使供水成本尽可能低。

4) 供水管网系统的最优化设计

它是对新建或扩建的供水管网系统,根据系统今后一段时间内最大日、最大时的供水要求,设计计算它最经济的供水管网系统的布局和管道的参数,使系统新建和扩建的投资,以及今后一段时间内系统运行费用尽可能低。

实际的需要使得计算机在城市供水系统中的应用主要围绕供水泵站和供水管网系统的运行调度、以及供水系统的扩建设计方面进行。

1.2 城市供水管网系统的计算机优化调度问题

供水管网系统的基本功能就是将经水处理厂处理过的符合国家卫生标准要求的水由供水泵站经供水管网输送到用户。为了保证系统的服务质量,并减少供水成本,在一些大、中城市供水管网系统中可能还建有蓄水池、水塔和增压泵站等设施。蓄水池和水塔可以起到在高低峰用水期调节系统负荷的作用。当系统处于低峰用水期时,由于此时管网系统中的压力较高,系统中的水自动流进蓄水池和水塔,此时它们成为系统的负载。而当系统进入高峰用水期时,蓄水池利用蓄水池泵站、水塔利用其所处较高地理位置所具有的位能将蓄水池或水塔中所存贮的水通过网络输送到用户,此时蓄水池和水塔成为水源。在管网系统中压力较低的地区设置增压泵站,目的是提高这些地区的供水压力,改善服务质量。

由于居民、企事业单位在一天 24 小时中的活动是不同的,其用水时间和用水量随之也有较大的变化,夜间的用水量比白天有

明显的下降。在早晨和晚上,居民生活用水量急剧增加,每天形成两个高峰用水期。当连续若干天对同一时刻的用水情况进行观测,用水量一般比较接近(特殊情况除外)。确定供水管网系统的调度方案,最重要的依据就是在一定时期内,系统需水量的变化规律。当以一天作为一个调度周期时,可将这个周期分为若干个(如 12 个)等间隔的时间区间,假定在一般情况下,每个时间区间内用户的需水量基本不变,因而在该时段内调度方案可不变。城市供水管网系统的计算机优化调度就是根据系统中检测仪器检测获得的系统实时运行状况,确定在一个调度周期中各个时间区间内系统供水泵站、蓄水池泵站内水泵的运行状况(包括恒速泵的开停情况和调速泵的转速)和增压泵站的增压量,做到在保证系统服务质量的前提下,使供水费用尽可能低。

利用计算机,实现供水管网系统的优化调度,必须具有相应的硬件基础。也即要有一定数量的遥控检测装置,实时检测出系统的运行状况,作为计算机调度的依据。更重要的、也是更困难的是如何根据系统运行状况,确定系统的最优调度方案。过去主要有两类确定供水管网系统最优调度方案的方法。一类是从控制的角度来解决供水系统的优化调度问题^{[3]~[8]},建立了优化调度问题的比较微观的控制模型,提出了它的控制方案。另一类是从建立供水管网系统的宏观模型的角度来解决供水管网系统的优化调度问题^[9]。这些工作为推动城市供水管网系统管理水平的提高作出了重要的贡献。但是,由于这些工作往往是针对一些具体的系统,从一定的侧面开展工作,所提出的解决问题的方法缺乏普遍意义。

系统工程的运用为解决这类大规模复杂系统的调度问题提供了新的方法和思路。根据系统工程思想,要实现供水管网系统的优化调度,需要解决下列问题。首先必须建立供水管网系统的数学模型。其次,由于必须利用遥控遥测技术获取管网系统实时运行情况的信息,所以需要根据实现计算机优化调度的需要,从技术可行性

和经济合理性出发,确定供水管网系统中所需实时检测的信息类型和数量。

在以上工作的基础上,整个系统的调度过程分为两个阶段。第一个阶段:离线调度阶段,这个阶段的任务是确定今后一个调度周期中各时间区间的调度方案。由于实时检测信息的类型与实现系统计算机优化调度所需要的信息类型不完全一致,在本阶段首先要将检测获得的信息转换成实现计算机优化调度所需要的信息,这就是供水管网系统的状态估计问题。接着,由于实时检测获得的信息描述了系统当前的运行情况,而计算机优化调度所要确定的是系统今后一个调度周期内的调度方案。为此,必须预测系统今后一段时间内的负荷即用户的需水情况。这就必须进行供水系统的短期负荷预测。在估计出今后一个调度周期中各时间区间内的系统负荷后,最后再确定系统在今后一个调度周期中各时间区间内各种调节装置的运行状况,做到在保证系统服务质量的前提下,使供水费用最低,从而实现供水管网系统的优化调度。

在此之后,进入调度过程的第二阶段:在线调度阶段。该阶段的任务是以第一阶段离线调度中所确定的调度方案为基础,确定当前某一个时间区间中系统的调度方案。为此,首先要考虑由于管网系统中会出现主干管道破裂、堵塞等故障现象,对供水管网系统的状态必须实时跟踪,从而判别当前系统是处于正常运行状态还是处于故障运行状态?如系统处于故障运行状态,应及时找出故障发生的位置,以便及早排除故障,同时确定系统在故障状况下的应急调度方案。如系统处在正常运行状态,就须判断当前系统的负荷情况与调度第一阶段所确定的系统负荷情况是否一致?如一致,则第一调度阶段所确定的调度方案可直接投入运行。否则,须修正原定的调度方案再投入运行。

综上所述,城市供水管网系统的计算机优化调度过程包括建立供水管网系统模型、确定实时检测信息的类型和数量、实时检测

信息的处理、系统短期负荷的预测、故障的跟踪、故障状态下故障的诊断及应急调度方案的确定以及正常运行情况下最优调度方案的确定等多方面的问题。供水管网系统计算机优化调度的过程用图 1-2 描述。将城市供水管网系统、调度用信息检测以及计算机调度系统综合在一起,所形成的城市供水管网系统物流和计算机调度的信息流用图 1-3 描述。

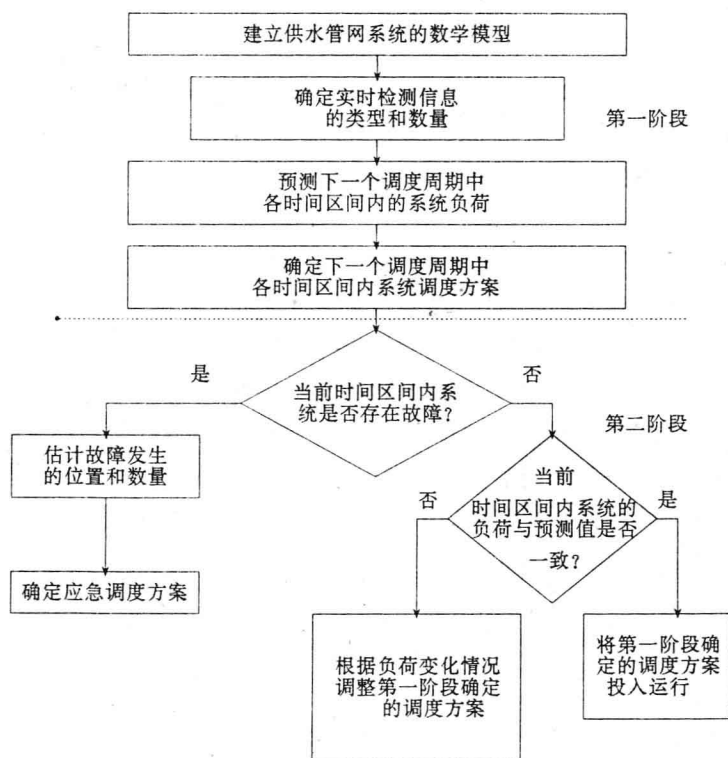


图 1-2 供水管网系统的计算机优化调度过程

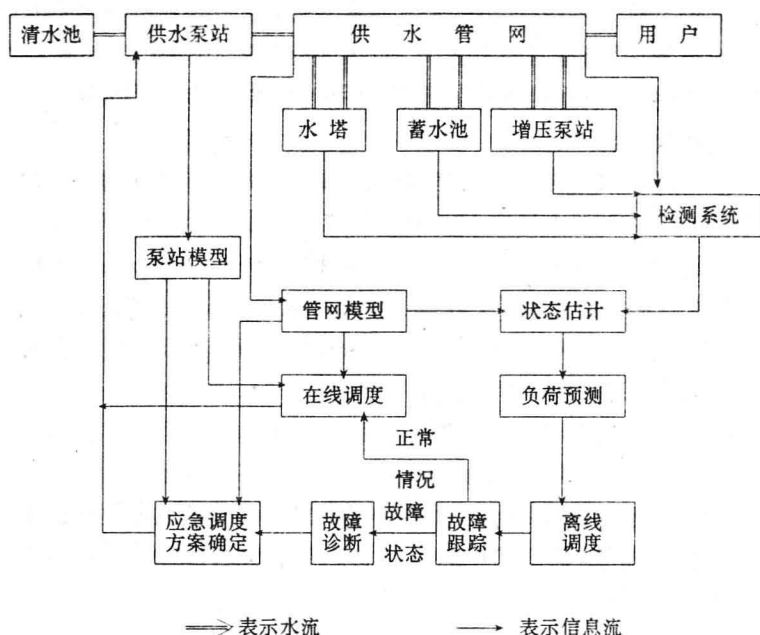


图 1-3 城市供水管网系统的物流和计算机调度信息流图

1.3 城市供水管网系统扩建改造的计算机优化设计问题

供水管网系统优化调度问题的实质就是解决如何充分发挥现有城市供水管网系统的能力,高效优质供应城市各种用户的用水。随着城市经济的不断发展,人口的不断增长,供水范围不断扩大,现有系统会愈来愈不能满足用户的需求,改造扩建原有的供水管网系统几乎是国内大中城市所面临的共同问题。为了最充分有效地利用供水系统改造扩建的投资,计算机技术和优化方法在城市供水管网系统设计中发挥重大作用。该项任务是,根据系统今后

一段时间内最大日、最大时的需水量要求,设计出改造扩建的供水管网的布局(即新增管道的位置)和管道的参数,在保证系统服务质量的前提下,使系统改造的投资费用与今后一段时间内运行费用尽可能低。

计算机技术和优化方法在城市供水管网系统扩建改造优化设计方面的应用受到人们极大的重视。这一方面的工作目前已取得了多方面的研究成果^{[3][4]},如建立了多种实用有效的系统设计模型,提出了多种优化管网参数和供水泵站运行的设计方法。但是,对于同时将管网布局和参数设计作为整体系统的一部分,全面考虑供水管网系统的设计问题还有待进行。

系统工程的思想、方法和人工神经网络技术的有机结合为全面解决供水管网系统的设计问题提供了新的方法和思路。根据系统工程的思想,解决该问题,需要建立供水管网系统改造设计优化问题的数学模型,确定优化的布局设计方案和进行管道参数的优化等方面的工作。

1.4 本书的主要内容

本书比较全面系统地介绍作者在过去十年中运用系统工程的基本理论和方法解决供水管网系统的水力分析(仿真)、优化调度和优化设计方面的研究成果。除绪论外,全书共有9章,它可以分成三大部分。

第一部分也即第2章,它是后面各部分内容的基础。它主要介绍供水管网系统的组成,系统中各种水力元件的数学模型和供水管网系统的数学模型。研究利用分层迭代计算的方法对供水管网系统进行动态和静态仿真的方法问题。

第二部分包括第3~9章,这部分详细阐明用系统工程的思想和方法实现供水管网系统的计算机优化调度所涉及的问题和解决的方法。第3章讨论系统中实时信息检测点的确定和解决方法,研

究建立系统简化模型的方法。第4章主要论述利用非线性最小二乘法估计计算机优化调度所需的实时检测信息的方法,讨论当时信息出现大的误差时的识别和纠正。第5章详细分析在一定时期内城市需水量的变化规律,介绍运用多元线性回归和时间序列预测城市短期需水量的方法。利用状态估计技术实现供水管网系统中参数故障的跟踪和诊断是本书第6章的主要内容。第7~9章分别针对各种不同组成结构的供水管网系统,建立其优化调度问题的数学模型,提出多种不同的求解优化调度问题的方法。

本书的第三部分也即第10章主要介绍供水管网系统扩建改造的设计问题。建立供水管网系统改造优化设计问题的数学模型,针对不同的情况,讨论将管网布局优化和水源及管网参数优化分层计算以及将水源参数优化和管网参数优化分解计算求解该问题的方法问题;讨论利用随机神经网络——玻尔兹曼机求解管网扩建改造优化设计问题的方法问题。

本书第二部分的内容和第三部分的内容有相对独立性。如果读者只想了解有关供水管网系统的计算机优化调度问题,可阅读第1~9章。如果读者只想了解有关供水管网系统改造优化设计问题,可阅读第1,2,10章。

2 城市供水管网系统及其计算机仿真

2.1 城市供水管网系统的水力元件及其状态变量

供水管网系统是由直径大小不等的管道按一定的配置方式连接而成的大规模复杂网络系统。系统的基本组成中包括了管道、水泵、水塔和蓄水池等不同的水力元件。不同的水力元件用不同的变量描述其运行情况,各种变量之间有不同的关系式。

2.1.1 管道

供水管网系统中的管道按其作用不同分为两类,一类是相对而言直径比较大的管道,它被称为输水管道(也称干管),在它上面,承接许多用户,沿线配水。另一类直径相对而言比较小的管道,称为配水管道(也称作支管)。在城市供水管网系统中,配水情况相当复杂,既有工厂、机关、事业单位等大量用水的单位,也有数量很多但用水量比较少的居民用水。显然,沿管道所接用户不但很多,而且各用户的用水量变化极大。按照这样复杂的实际情况来计算管网,事实上既没有可能也没有必要。在实际计算管网时,总是对管网系统加以简化,即将沿管线配出的流量化成节点流出的流量。化成节点流量后,两节点间管道中的流量不再沿管线变化,这样既能合理描述管网系统的运行情况,又大大方便了管网的计算。

管网中任一管道的流量由两部分组成,一部分是沿管道的配水流量,另一部分是通过该管道输水到以后管道的转输流量。转输