




世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材
上海市教育委员会高校重点教材建设项目

流体输配管网

LIU TI SHU PEI GUAN WAN

龚光彩 主编
陈在康 主审

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

流 体 输 配 管 网

上海市教育委员会组编

主 编 龚光彩
副主编 柳建华 李孔清 许淑惠
参 编 章劲文 王许涛 王 瑾 张 泠
主 审 陈在康



机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍了建筑物内部及其小区各专业工种（供暖、建筑给排水、通风及燃气、消防与灭火、空压与制冷系统等）的配管设计方法、水力计算原理与方法等。分析了建筑流体管网的共性，如枝/环状管网水力计算基本理论与方法、计算机分析、管网压力分析、流体机械及其与管网的匹配等，同时还就专业分工的具体特点兼顾了供暖、通风、建筑给排水、消防及燃气水力计算的相对独立性。

本书可作为高等学校建筑环境与设备工程专业的教材，也可作为环境工程、市政工程及城市规划等专业的学生及专业人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

流体输配管网/龚光彩主编. —北京: 机械工业出版社, 2005.2

21世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

ISBN 7-111-15936-5

I. 流... II. 龚... III. 房屋建筑设备—流体输送—管网—高等学校—教材 IV. TU81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 140294 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 刘涛 版式设计: 冉晓华 责任校对: 李秋荣

封面设计: 王伟光 责任印制: 杨曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年2月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·13.875印张·539千字

定价: 34.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

序

建筑环境与设备工程专业是 1998 年教育部新颁布的全国普通高等学校本科专业目录，将原“供热通风与空调工程”专业和“城市燃气供应”专业进行调整、拓宽而组建的新专业。专业的调整不是简单的名称的变化，而是学科科研与技术发展，以及随着经济的发展和人民生活水平的提高，赋予了这个专业新的内涵和新的元素，创造健康、舒适、安全、方便的人居环境是 21 世纪本专业的重要任务。同时，节约能源、保护环境是这个专业及相关产业可持续发展的基本条件，因而它们和建筑环境与设备工程专业的学科科研与技术发展总是密切相关，不可忽视。

作为一个新专业的组建及其内涵的定位，它首先是社会需求所决定，也是和社会经济状况及科学技术的发展水平相关的。我国的经济持续高速发展和大规模建设需要大批高素质的本专业人才，专业的发展和重新定位必然导致培养目标的调整和整个课程体系的改革。培养“厚基础、宽口径、富有创新能力”能符合注册公用设备工程师执业资格并能与国际接轨的多规格的专业人才以满足需要，是本专业教学改革的目的。

机械工业出版社本着为教学服务，为国家建设事业培养专业技术人才，特别是为培养工程应用型和技术管理型人才做贡献的思想，积极探索本专业调整和过渡期的教材建设，组织有关院校具有丰富教学经验的教授、副教授主编了这套建筑环境与设备工程专业系列教材。

这套系列教材的编写以“概念准确、基础扎实、突出应用、淡化过程”为基本原则，突出特点是既照顾学科体系的完整，保证学生有坚实的数理科学基础，又重视工程教育，加强工程实践的训练环节，

培养学生正确判断和解决工程实际问题的能力，同时注重加强学生综合能力和素质的培养，以满足 21 世纪我国建设事业对专业人才的要求。

我深信，这套系列教材的出版，将对我国建筑环境与设备工程专业人才的培养产生积极的作用，会为我国建设事业做出一定的贡献。

陈在康

2005 年 1 月于长沙

前 言

“流体输配管网”是建筑环境与设备工程专业的一门主干课程。它专门讲述建筑设备及城市公用工程中各种流体输配管网的工作原理和计算分析方法，以及流体输配管网的动力源——泵与风机的基础理论和选用方法。本书系统地介绍了建筑物内部及其小区各专业工种（水、暖、通风及燃气、消防、灭火系统等）的配管设计方法、水力计算原理与方法等。另外，本书还扼要地介绍了多相流（包括气液和气固、气粒输送）的设计及水力计算等相关知识。

本书由湖南大学龚光彩担任主编，上海理工大学柳建华、湖南科技大学李孔清、北京建筑工程学院许淑惠担任副主编。第1、2章由龚光彩编写，第3章由许淑惠编写，第4章由湖南大学章劲文编写，第5章由龚光彩、王许涛（平顶山工学院）及湖南大学张泠编写，第6章由李孔清、龚光彩、王许涛编写，第7、8章由上海理工大学柳建华、王瑾编写，第9章由李孔清编写，全书由龚光彩统稿。

本书的课时安排建议为48~65学时，各学校可根据自己的特色及专业方向进行合理安排与取舍。本书的特点是考虑到了建筑流体管网的共性，如枝/环状管网水力计算基本理论与方法、计算机分析、管网压力分析、流体机械等，同时还就各专业分工的具体特点兼顾了供暖、通风、建筑给排水、消防及燃气水力计算的相对独立性，便于教学与自学。此外，考虑到知识的相关性，本书还补充了沿程均匀泄流及无压流动的基本知识。

本书的目的是使读者掌握建筑环境与设备工程专业以及相关专业

的流体输配管网原理，进行管网系统设计分析、调试和运行调节的基本理论和方法，并形成初步的工程实践能力，能够正确应用设计手册和参考资料进行管网设计、调试和调节，并为从事其他大型、复杂管网工程的设计、运行管理打下基础。同时，本书也可作为环境工程、市政工程及城市规划等专业的学生及专业人员的参考书。

本书在很大程度上集中了前人的研究成果和经验，同时也融合了编者多年来的教学经验和科研成果。

由于编者的学识和经验有限，在贯彻建筑环境与设备工程专业学科指导委员会精神，融会理论、采纳各种经验和意见等方面，难免有差错，恳请读者予以斧正。

编 者

编者的话

为建筑环境与设备工程专业编写的《流体输配管网》教材，使笔者感受到了前所未有的压力。尽管笔者于2001年7月已编写了一部内部教材（原名《建筑配管系统设计基础》，又名《建筑流体输配管网设计基础》），并从2001年秋季起即开始承担本门课程的教学工作，但深感自己缺乏那种高屋建瓴的能力，笔者是怀着一种忐忑的心情来接受这个工作的。专业改革自1998年开始并持续至今，为适应国家建设发展及迎接世界新技术挑战的需要，要求我国高校培养“厚基础、宽口径”的高级专门人才，在本门课程中如何面对这一目标，是一个重大的课题。

笔者认为系统分析能力是培养本专业高级专门人才的基础，本门课程的编写试图从以下几个方面来体现这一思想。首先应该让读者理解，流体输配除了是流体介质自身的转运与分配外，还是能量输配即能量的转运与分配，流体是能量的载体。笔者希望能为读者提供一种能量分析法，即通过对流体输配过程的分析来理解能量的迁移与输配。第二，应该让读者理解，建筑流体管网是非常复杂的系统，涉及到供暖通风、空调制冷、给排水、消防等专门分工，它们各自的管网系统特征存在共性但又各有特点。基于此，本书除了介绍枝/环状管网基本特点、管路特性、机器特性外，还对本专业中所碰到的大量的有温差特征的管流流动进行了整合。例如，对自然循环热水供暖、烟气流动、燃气流动等总结为小密度差管流流动，管网系统压力分布分析方法等。另外，考虑到供暖、通风、建筑给排水、消防、燃气、空压及冷冻等流体流动各自的特点，对其水力计算原理、过程又分别进行了介绍。通过对这些管网的介绍，学生可以相互比较，进一步理解各类管网的共性与特殊性。第三，尽量保持知识的连贯与相关性，如由于目前为建筑环境与设备工程专业所开设的流体力学教材中并没有无压（重力）流动的必需知识，但由于建筑给排水管网的需要，本书中补充了关于无压流动的基本知识。对于其他管网内容的组织，尽量遵守这一原则。第四，便于自学，通过必要例题讲透基本原理，有助于学生掌握各类管网水力计算原理与分析方法。将能量分析

法、管网系统共性与特殊性分析的方法相融合，分析各种管网系统的内在联系、规律，通过本门课程的教学，加强学生系统分析的能力。

尽管笔者有一种良好的愿望，但囿于自身的学识，自觉难以达成初衷，写出一本令人满意的教材。所幸的是，有许多前人通过其卓越的工作与创造为本书提供了丰富的素材和营养，例如《流体机械泵与风机》（中国建筑工业出版社，先后由周谟仁、蔡增基教授主编）关于泵与风机的描述，非常精炼，且可读性好；再如由中国建筑工业出版社出版的《流体输配管网》（由付祥钊教授主编）在不同管网共性的融合以及教材的内容体系组织、深度等方面极具特色；此外，本书还参考了《燃气输配》、《燃气调压工艺学》、《供热工程》、《工业通风》、《空气调节》、《简明建筑设备工程手册》、《建筑给水排水工程》及《高层建筑设备设计》、《水力学》等教材、专著。陈在康老教授为本书的体系结构及教学目标提供了非常有益的指导并担任了本书的主审，笔者从这位老教授身上感受到了老一代那种认真与精益求精的严谨治学态度和一种甘于奉献于社会的高尚情操，并深受鼓舞。本书的作者柳建华、许淑惠、章劲文及李孔清等老师也为本书的体系及内容深度提供了有益的建议并付出了艰辛的劳动。正是由于这些令人肃然起敬的老师、专家们的贡献，使得笔者可以吸收他们的营养，弥补自身学识、水平的不足。

龚光彩

于长沙岳麓山

目 录

序

前言

编者的话

第 1 章 流体输配基础	1
1.1 有压管网水力计算基础	1
1.1.1 枝状管网与环状管网	1
1.1.2 小密度差管流流动	12
1.2 无压流动基础——明渠均匀流	16
1.2.1 概述	16
1.2.2 明渠均匀流的计算公式	18
1.2.3 明渠水力最优断面和允许流速	22
1.2.4 明渠均匀流水力计算的基本问题	25
1.2.5 无压圆管均匀流的水力计算	29
第 2 章 泵与风机的理论基础	34
2.1 泵与风机的分类及性能参数	34
2.1.1 常用泵与风机的分类	34
2.1.2 泵与风机的性能参数	35
2.2 离心式泵与风机的基本方程——欧拉方程	37
2.2.1 能量转换与迁移	37
2.2.2 理想叶轮 速度三角形	38
2.2.3 理想叶轮欧拉方程	40
2.2.4 实际叶轮欧拉方程	41
2.2.5 理论扬程 H_T 之组成	42
2.3 实际叶轮的理论性能曲线	44
2.3.1 叶型及其对性能的影响	44
2.3.2 实际叶轮的理论流量—压头曲线与流量—功率曲线	46
2.4 泵与风机的实际性能曲线	48
2.4.1 水力损失	49
2.4.2 容积损失	50
2.4.3 机械损失	50
2.4.4 泵与风机的全效率	51
2.4.5 泵与风机的性能曲线	52

2.5 相似律与比转速	54
2.5.1 泵与风机的相似律	54
2.5.2 风机的无因次性能曲线	56
2.5.3 比转速	59
2.6 其他常用流体机械	62
2.6.1 轴流式风机	62
2.6.2 贯流式风机	64
2.6.3 往复泵与真空泵	66
2.6.4 深井泵与旋涡泵	67
2.6.5 常用压缩机	68
2.7 相似律的实际应用	75
2.7.1 当被输送流体的密度改变时性能参数的换算	75
2.7.2 当转速改变时性能参数的换算	76
2.7.3 泵叶轮切削——仅叶轮直径 D 改变的换算	76
2.7.4 当叶轮直径和转速都改变时性能曲线的换算	76
第3章 冷、热水循环管路	78
3.1 水的自然循环	78
3.1.1 自然（重力）管流水力特征	78
3.1.2 自然（重力）循环热水系统的工作原理	79
3.1.3 自然循环热水系统的形式和特点	80
3.1.4 自然循环热水系统的作用压力	81
3.2 水的机械循环	87
3.2.1 机械循环水力特征	87
3.2.2 机械循环水系统的工作原理	88
3.2.3 机械循环水系统形式	89
3.2.4 高层建筑水系统的特殊问题	97
3.3 水循环系统管路水力计算	99
3.3.1 循环管路水力计算的原理	99
3.3.2 室内热水循环管路水力计算的任务和方法	103
3.3.3 自然循环热水供暖系统的水力计算	106
3.3.4 机械循环热水供暖系统的水力计算	113
3.3.5 不等温降法水力计算	122
3.3.6 室外热水供热管网的水力计算	132
3.3.7 空调冷冻水系统的水力计算	135
3.3.8 冷却水系统的水力计算	137
第4章 蒸汽管网	140
4.1 室内蒸汽管路系统的基本形式与水力特征	140
4.1.1 蒸汽管路系统的水力特征	140

4.1.2 室内蒸汽管路系统的形式	141
4.2 室内蒸汽管路系统的凝结水	144
4.2.1 低压蒸汽管路系统的凝结水	144
4.2.2 中压蒸汽管路系统的凝结水	147
4.3 室内低压蒸汽管路系统的水力计算方法和例题	149
4.3.1 室内低压蒸汽管路系统的水力计算方法	149
4.3.2 室内低压蒸汽管路系统的水力计算例题	150
4.4 室内中压蒸汽管路系统的水力计算方法和例题	153
4.4.1 室内中压蒸汽管路系统的水力计算方法	153
4.4.2 室内中压蒸汽管路系统的水力计算例题	155
4.5 室外高压蒸汽管网的水力计算	157
4.6 凝结水管网的水力计算方法	158
4.7 凝结水管网的水力计算例题	162
第5章 建筑给排水网路基础	168
5.1 建筑给水管网的水力计算基础	168
5.1.1 给水系统及其分区与给水方式	168
5.1.2 给水管网计算	171
5.2 建筑排水网路	187
5.2.1 建筑排水网路组成	187
5.2.2 建筑排水网路计算	191
5.2.3 建筑雨水排水与高层建筑排水概述	201
5.3 消防给水管网	202
5.3.1 消火栓给水管网	202
5.3.2 自动喷水灭火系统管网及水力计算	209
5.4 建筑内部热水管网	217
5.4.1 热水供应系统分类、组成与供水方式	217
5.4.2 热水系统管网计算	218
第6章 气体流动及其网路	236
6.1 通风空调管路	236
6.1.1 气体输配管网形式与装置	236
6.1.2 通风管道阻力计算	239
6.1.3 均匀送风管道设计计算	257
6.2 气力输送系统的设计计算	263
6.2.1 气固两相流的特征	263
6.2.2 气力输送系统设计的主要参数	266
6.2.3 气力输送系统的阻力计算	268
6.3 燃气管网水力计算基础	274
6.3.1 水力计算基本公式	274

6.3.2	摩阻系数 λ	275
6.3.3	实用的水力计算公式	278
6.3.4	燃气管道水力计算图	280
6.3.5	压力修正系数	282
6.3.6	局部阻力	285
6.3.7	附加压头	287
6.3.8	管道的当量管径和当量长度	287
6.3.9	燃气管道总压力和压力降分配	290
6.3.10	管道计算	293
第7章	其他管网系统	308
7.1	压缩空气管网	308
7.1.1	压缩空气消耗量	308
7.1.2	压缩空气管网系统设计容量的确定	310
7.1.3	压缩空气管网系统	311
7.1.4	管道的水力计算	313
7.2	其他消防系统管网	315
7.2.1	泡沫灭火系统	316
7.2.2	二氧化碳灭火系统	318
7.2.3	卤代烷灭火系统	319
7.3	制冷工艺管道	320
7.3.1	制冷工艺管道的特征	320
7.3.2	管径的确定方法	323
第8章	泵、风机与管网系统匹配	329
8.1	管网系统压力分布及管路性能曲线	329
8.1.1	管路特性曲线	329
8.1.2	泵、风机与管网匹配的工作点	331
8.1.3	运行工况的稳定性	332
8.1.4	泵与风机的喘振及其预防	334
8.1.5	系统效应的影响	335
8.1.6	泵或风机联合运行及工况分析	338
8.2	管网系统的压力分布	342
8.2.1	管网压力分布图的作用及绘制方法	342
8.2.2	液体管网系统的压力分布	344
8.2.3	气体管网系统的压力分布	353
8.3	管网系统的工况调节	356
8.3.1	管网系统的水力工况分析	356
8.3.2	泵与风机的工况调节	358
8.4	泵与风机的选用和安装	368

8.4.1 常用泵的性能及选用原则	368
8.4.2 常用风机的性能及适用范围	370
8.4.3 泵、风机的选用原则	371
8.5 泵与风机的安装与运行	381
8.5.1 泵的汽蚀与吸上真空度	381
8.5.2 泵与风机的安装	390
8.5.3 泵与风机的运行	392
第9章 管网水力计算的计算机方法	397
9.1 图论基础	397
9.1.1 图的概念	397
9.1.2 图的矩阵表示	399
9.2 管网水力计算及水力工况的计算机分析	405
9.2.1 流体输配管网的基础参数	405
9.2.2 节点流量平衡方程	408
9.2.3 回路压力平衡方程	411
9.2.4 泵与风机性能曲线的代数方程	413
9.2.5 流体输配管网中的流量分配规律	415
9.2.6 流体管网水力计算的计算机分析步骤和实例	417
9.3 输配管网调节的计算机分析	426
9.3.1 管网的调节方法	426
9.3.2 管网流体的稳定性及其判别	427
参考文献	429

第 1 章

流体输配基础

1.1 有压管网水力计算基础

1.1.1 枝状管网与环状管网

流体输配管网有两个基本任务：一是流体（物质）的转运与分配，另一是能量的转运与分配。而且在这种流体（物质）、能量的转运与分配过程中，存在流体的机械能损失。本书的目的即在于通过各种管网的学习，掌握流体管网转运、分配流体及能量的有关规律。

简单管路、串并联管路、枝状管网与环状管网是复杂管路水力计算的基础。由于简单管路、串并联管路在流体力学中都有介绍，故本节主要介绍枝状管网与环状管网的有关基本知识。

1. 枝状管网

顾名思义，枝状管网是指输送流体的管道通过串联与并联的组合呈树枝状排列的管道系统（管网）。图 1-1 所给出的即是一由三个吸气口，六根简单管路，并、串联而成的排风枝状管网。

根据并、串联管路的计算原则，可得到该风机应具有压头为

$$H = \frac{p}{\gamma} = h_{11-4-5} + h_{15-6} + h_{17-8} \quad (1-1)$$

风机应具有的风量为

$$q_v = q_{v1} + q_{v2} + q_{v3} \quad (1-2)$$

管段 1-4、3-4 并联，1-4-5（或 3-4-5）与 2-5 并联。通常以管段相对较长，局部构件最多的一支参加阻力叠加，即以比摩阻（单位长度阻力损失或水力坡度）相对最小的一支参与阻力叠加以确定管路总水力损失。管网实际运行时，像支路 1-4、3-4，二者阻力损失相同；支路 2-5、1-4-5 阻力损失也相同。但如果

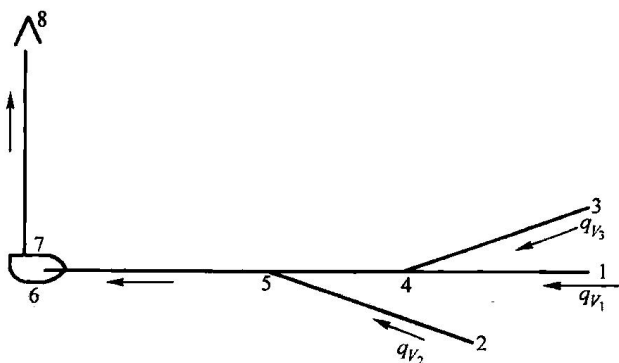


图 1-1 枝状管网

管路（径）设计不合理，则不同并联支路所分配得到的实际流量就会与用户所要求的设计流量有大的偏差。

当热力系统（如供热、采暖、空调冷冻水，制冷系统中流动）串接换热或传热设备及末端设备时，为流体或热力工质流动提供动力的设备（如风机、泵及压缩机等）必须考虑这些串接的换热器或末端装置所消耗的阻力。这些换热器或末端装置的两侧流体各自的阻力或压降可以通过产品样本查到或依据相关的手册、计算公式进行计算。

实际上，当把大气作为一个虚（伪）节点时，上图所示枝状管网亦可被理解为一种特殊的环状管网，这一点请读者自行理解。

另外，建筑环境与设备工程中经常碰到一类管段即沿程均匀泄流管路，如图 1-2 所示。本书将其理解为一种特殊的枝状管路，即在干管上连续开出许多孔口，每个孔口相当于一个“分支”。这种管路在进行水力计算时存在特殊性。

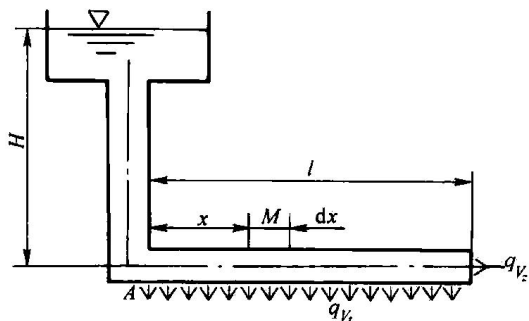


图 1-2 均匀泄流管路

在流体力学中学习的某个一般的管段流动是指流体在该管段间流过时通过固定不变的流量即简单管段，这种流量称为通过流量或运输流量。在实际工程中，如人工降雨管、滤池冲洗管及某些特殊场合的布风管、燃气分配管段等，还有沿着管长方向从侧面不断连续向外泄出或排出的流量 q_v ，可称之为途泄流量。其中最简单的情况就是管段每单位长度上泄出的流量均相同即等于 q_v ，这种管路称为均匀泄流管路（见图 1-2）。分析沿程均匀泄流管路时可将这种途泄看作是连续地进行，以简化计算。如沿途均匀泄流管段长度为 l ，直径为 d ，总途泄流量 $q_v = q_v l$ ，末端泄出运输流量为 q_{V2} 。

在距泄流起点 A 距离为 x 的点 M 段面处, 取长度为 dx 的微小管段。因 dx 很小, 可认为通过该微段的流量 q_{v_x} 不变, 其水头损失可近似按均匀流计算, 即

$$dh_f = dS_x q_{v_x}^2 = A q_{v_x}^2 dx$$

$$q_{v_x} = q_{v_2} + q_{v_1} - q_{v_x}$$

而
则

$$= q_{v_2} + q_{v_1} - q_{v_1} \frac{x}{l}$$

$$dh_f = A q_{v_x}^2 dx = A \left(q_{v_2} + q_{v_1} - q_{v_1} \frac{x}{l} \right)^2 dx$$

将上式沿管长积分, 即得整个管段的水头损失

$$h_f = \int_0^l dh_f = \int_0^l A \left(q_{v_2} + q_{v_1} - q_{v_1} \frac{x}{l} \right)^2 dx \quad (1-3)$$

上列诸式中 A 为比阻, 即单位长度的阻抗。如果管道的粗糙情况和直径不变且流动处于阻力平方区, 则 A 为常数。将上式积分得

$$h_f = Al \left(q_{v_2}^2 + q_{v_1} q_{v_2} + \frac{1}{3} q_{v_1}^2 \right) \quad (1-4)$$

上式可近似写作

$$h_f = Al (q_{v_2} + 0.55 q_{v_1})^2 \quad (1-5)$$

在实际计算中, 常引入计算流量 q_{v_c}

$$q_{v_c} = q_{v_2} + 0.55 q_{v_1} \quad (1-6)$$

于是, 有

$$h_f = Al q_{v_c}^2 = S q_{v_c}^2 \quad (1-7)$$

上式和简单管路计算公式形式上相同, 所以均匀泄流管路可以理解成一种特殊的简单管路, 可按流量为 q_{v_c} 的简单管路进行计算。故沿程均匀泄流管路既是特殊的“分支”(枝状)管路, 又是特殊的简单管路且按简单管路计算。

在通过流量 $q_{v_1} = 0$ 的特殊场合, 上式成为

$$h_f = \frac{1}{3} Al q_{v_2}^2 = \frac{1}{3} S q_{v_2}^2 \quad (1-8)$$

该式表明: 管路在只有沿程均匀泄流流量时, 其水头损失仅为转输流量通过时水头损失的三分之一。

2. 环状管网

(1) Hardy-Cross 方法 环状管网是指管道通过串联与并联的组合存在一个以上闭合环路的管道系统(管网), 如图 1-3 所示。它的特点是管段在某一共同的节点分支, 然后又在另一共同节点汇合, 是很多个并联管路组合而成。对于任一