



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高等教育建筑环境与能源应用工程系列规划教材

第2版

流体输配管网

龚光彩 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费电子课件

第 2 版

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21 世纪高等教育建筑环境与能源应用工程系列规划教材

流体输配管网

第 2 版

主 编	龚光彩				
副主编	柳建华	李孔清	许淑惠	章劲文	
参 编	王许涛	王 瑾	唐海兵	张 冷	
主 审	陈在康	王保国			



机械工业出版社

TU81
G783.02

北京机械工业出版社 (010) 88379203 邮编 100044

本书系统介绍了建筑物内部及其小区各专业工种（供暖、建筑给水排水、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、建筑给水排水、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能源应用工程专业的教材，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。

本书的电子课件、综合作业（课程设计）以及部分习题答案免费提供给选用本教材的授课教师，请需要者根据书末的“信息反馈表”索取，或登录机械工业出版社教材服务网（www.cmpedu.com）下载。

图书在版编目（CIP）数据

流体输配管网/龚光彩主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2013.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-40830-7

I. ①流… II. ①龚… III. ①房屋建筑设备-流体输送-管网-高等学校-教材 IV. ①TU81

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第305652号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：刘涛 责任编辑：刘涛 版式设计：霍永明

责任校对：姜婷 封面设计：路恩中 责任印制：乔宇

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2013年2月第2版第1次印刷

184mm×260mm·25印张·619千字

标准书号：ISBN 978-7-111-40830-7

定价：42.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

序

建筑环境与设备工程专业（2012年更名为建筑环境与能源应用工程）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作贡献的思想，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（建筑环境与能源应用工程）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（建筑环境与能源应用工程）专业人才的培养产生积极的作用，会为我国建设事业作出一定的贡献。

陈在康

第2版前言

建筑环境与能源应用工程学科在可持续发展及生态文明发展建设过程中发挥着越来越重要的作用，而整体或系统分析方法是本学科高素质人才培养的关键。“流体输配管网”正是培养学生整体和系统分析能力的重要环节之一，本书的修订出版仍秉承这一指导思想。

本书修订了第1版使用过程中所发现的一些印刷错误（有不少错误是兄弟院校在使用过程中发现的，在此谨致谢意）。考虑到专业建设发展的需要（如地热等可再生能源应用），适当补充了部分有关渗流的基础知识；同时也为了适应地源热泵推广的需要，增加了地埋管换热器水力计算方法示例。实际上，水源热泵也越来越受到重视，这也是本书一直坚持编入“无压流动”部分基础知识的原因，这对本专业的学生是很有好处的。

本书的课时仍建议为48~65学时，各校可以根据自己的教学大纲进行调整。在教学过程中要注意课堂教学和学生自己动手相结合。有些环节是很容易完成的，例如让学生自己动手制作泵或风机模型。我们在教学过程中坚持了这一点，发现这样可以调动同学们的积极性，同学们的反映也非常好。布置作业时一定要注意综合性，这样可以提高同学们的分析能力。实际上，同学们是有很好的学习热情的。另外，在教学过程中，要注意共性问题的前后联系及应用，如膨胀水箱接点问题，小密度差作用分析，伯努利方程在水压线、允许吸上真空高度和汽蚀余量分析中的应用等。实际上，从吸液池液面到水泵吸入口断面、吸入口断面到易发生汽蚀段这两段分别对应了两个简单的伯努利方程，对这些问题的理解同样有助于提高学生的系统分析能力。

本书修订的编写团队仍是第1版的各位老师。本书现有两套不同风格的PPT电子课件（可从机械工业出版社获取），另外，本书还将配套出版教辅用书（近期由机械工业出版社出版）。

由于编者的学识和经验有限，本书在修订出版后也难免会有差错，敬请读者谅解，恳请读者批评斧正。

编者

2012年12月

第1版前言

“流体输配管网”是建筑环境与能源应用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、湖南大学章劲文担任副主编。第1、2章由龚光彩编写，第3章由许淑惠、龚光彩编写，第4章由章劲文、唐海兵（长沙理工大学）编写，第5章由龚光彩、王许涛（河南城建学院）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。

本书的电子教案、习题、综合作业（课程设计）及部分习题答案主要由龚光彩、章劲文、唐海兵、李孔清、柳建华、许淑惠等提供。湖南大学龙舜心老师为综合作业提供了宝贵建议，谨此致谢。

全书由陈在康、王保国两位教授主审。

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、建筑给水排水、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能源应用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，在贯彻建筑环境与能源应用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

为建筑环境与能源应用工程专业编写的《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，涉及供暖通风、空调制冷、给水排水、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，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、建筑给水排水、消防、燃气、空气压缩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性与相关性，如由于目前为建筑环境与能源应用工程专业所开设的流体力学教材中并没有无压（重力）流动的的必要知识，但由于建筑给水排水管网的需要，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《流体力学泵与风机》（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。北京理工大学王保国教授为本书提供了宝贵意见，在此极为感谢。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	
第 2 版前言	
第 1 版前言	
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	11
1.2 无压流动基础——明渠均匀流	14
1.2.1 概述	14
1.2.2 明渠均匀流的计算公式	16
1.2.3 明渠水力最优断面和允许流速	19
1.2.4 明渠均匀流水力计算的基本问题	22
1.2.5 无压圆管均匀流的水力计算	24
1.2.6 渗流简介	28
思考题与习题	31
第 2 章 泵与风机的理论基础	32
2.1 泵与风机的分类及性能参数	32
2.1.1 常用泵与风机的分类	32
2.1.2 泵与风机的性能参数	32
2.2 离心式泵与风机的基本方程——欧拉方程	35
2.2.1 能量转换与迁移	35
2.2.2 理想叶轮 速度三角形	36
2.2.3 理想叶轮欧拉方程	37
2.2.4 实际叶轮欧拉方程	38
2.2.5 理论扬程 H_T 之组成	39
2.3 实际叶轮的理论性能曲线	40
2.3.1 叶型及其对性能的影响	40
2.3.2 实际叶轮的理论流量-压头曲线与流量-功率曲线	42
2.4 泵与风机的实际性能曲线	43
2.4.1 水力损失	44
2.4.2 容积损失	45
2.4.3 机械损失	46
2.4.4 泵与风机的全效率	46
2.4.5 泵与风机的性能曲线	47
2.5 相似律与比转速	48
2.5.1 泵与风机的相似律	49
2.5.2 风机的无量纲性能曲线	50
2.5.3 比转速	53
2.6 其他常用流体机械	55
2.6.1 轴流式风机	55
2.6.2 贯流式风机	57
2.6.3 往复泵与真空泵	58
2.6.4 深井泵与旋涡泵	59
2.6.5 常用压缩机	61
2.7 相似律的实际应用	66
2.7.1 当被输送流体的密度改变时性能参数的换算	66
2.7.2 当转速改变时性能参数的换算	67
2.7.3 泵叶轮切削——仅叶轮直径 D 改变的换算	67
2.7.4 当叶轮直径和转速都改变时性能曲线的换算	67
思考题与习题	68
第 3 章 冷、热水循环管路	71
3.1 水的自然循环	71
3.1.1 自然（重力）管流水力特征	71
3.1.2 自然（重力）循环热水系统的工作原理	72
3.1.3 自然循环热水系统的形式和特点	72
3.1.4 自然循环热水系统的作用压力	73
3.2 水的机械循环	79

3.2.1 机械循环水力特征	79	5.1.2 给水管网计算	158
3.2.2 机械循环水系统的工作原理	80	5.2 建筑排水网路	173
3.2.3 机械循环水系统形式	81	5.2.1 建筑排水网路组成	173
3.2.4 高层建筑水系统的特殊问题	87	5.2.2 建筑排水网路计算	175
3.3 水循环系统管路水力计算	89	5.2.3 建筑雨水排水与高层建筑排水 概述	184
3.3.1 循环管路水力计算的原理	90	5.3 消防给水管网	185
3.3.2 室内热水循环管路水力计算的 任务和方法	93	5.3.1 消火栓给水系统管网	185
3.3.3 自然循环热水供暖系统的水力 计算	95	5.3.2 自动喷水灭火系统管网及水力 计算	191
3.3.4 机械循环热水供暖系统的水力 计算	101	5.4 建筑内部热水管网	198
3.3.5 不等温降法水力计算	109	5.4.1 热水供应系统分类、组成与 供水方式	198
3.3.6 室外热水供热管网的水力计算 ..	118	5.4.2 热水系统管网计算	199
3.3.7 空调冷冻水系统的水力计算	121	思考题与习题	213
3.3.8 冷却水系统的水力计算	123	第6章 气体流动及其网络	214
思考题与习题	126	6.1 通风空调管路	214
第4章 蒸汽管网	130	6.1.1 气体输配管网形式与装置	214
4.1 室内蒸汽管路系统的基本形式与水力 特征	130	6.1.2 通风管道阻力计算	216
4.1.1 蒸汽管路系统的水力特征	130	6.1.3 均匀送风管道设计计算	233
4.1.2 室内蒸汽管路系统的形式	131	6.2 气力输送系统的设计计算	238
4.2 室内蒸汽管路系统的凝结水	133	6.2.1 气固两相流的特征	238
4.2.1 低压蒸汽管路系统的凝结水	134	6.2.2 气力输送系统设计的主要参数 ..	241
4.2.2 中压蒸汽管路系统的凝结水	136	6.2.3 气力输送系统的阻力计算	242
4.3 室内低压蒸汽管路系统的水力计算 ..	138	6.3 燃气管网水力计算基础	248
4.3.1 室内低压蒸汽管路系统的水力 计算方法	138	6.3.1 水力计算基本公式	248
4.3.2 室内低压蒸汽管路系统的水力 计算例题	139	6.3.2 摩阻系数 λ	249
4.4 室内中压蒸汽管路系统的水力计算 ..	141	6.3.3 实用的水力计算公式	252
4.4.1 室内中压蒸汽管路系统的水力 计算方法	141	6.3.4 燃气管道水力计算图	253
4.4.2 室内中压蒸汽管路系统的水力 计算例题	142	6.3.5 压力修正系数	255
4.5 室外高压蒸汽管网的水力计算	144	6.3.6 局部阻力	257
4.6 凝结水管网的水力计算方法	145	6.3.7 附加压力	259
4.7 凝结水管网的水力计算例题	149	6.3.8 管道的当量管径和当量长度	259
思考题与习题	154	6.3.9 燃气管道总压力和压力降分配 ..	261
第5章 建筑给水排水网路基础	156	6.3.10 管道计算	264
5.1 建筑给水管网的水力计算基础	156	思考题与习题	278
5.1.1 给水系统及其分区与给水 方式	156	第7章 其他管网系统	279
		7.1 压缩空气管网	279
		7.1.1 压缩空气消耗量	279
		7.1.2 压缩空气管网系统设计容量的 确定	280
		7.1.3 压缩空气管网系统	281
		7.1.4 管道的水力计算	283

7.2 其他消防系统管网	285	8.4.3 泵与风机的选用原则	332
7.2.1 泡沫灭火系统	285	8.5 泵与风机的安装与运行	340
7.2.2 二氧化碳灭火系统	288	8.5.1 泵的汽蚀与吸上真空度	340
7.2.3 卤代烷灭火系统	288	8.5.2 泵与风机的安装	348
7.3 制冷工艺管道	289	8.5.3 泵与风机的运行	350
7.3.1 制冷工艺管道的特征	289	思考题与习题	353
7.3.2 管径的确定方法	291	第9章 管网水力计算的计算机方法	355
思考题与习题	296	9.1 图论基础	355
第8章 泵、风机与管网系统匹配	297	9.1.1 图的概念	355
8.1 管网系统压力分布及管路性能曲线	297	9.1.2 图的矩阵表示	357
8.1.1 管路特性曲线	297	9.2 管网水力计算及水力工况的计算机	
8.1.2 泵、风机与管网匹配的工作点	299	分析	361
8.1.3 运行工况的稳定性	300	9.2.1 流体输配管网的基础参数	361
8.1.4 泵与风机的喘振及其预防	301	9.2.2 节点流量平衡方程	365
8.1.5 系统效应的影响	302	9.2.3 回路压力平衡方程	368
8.1.6 泵或风机联合运行及工况分析	304	9.2.4 泵与风机性能曲线的代数方程	369
8.2 管网系统的压力分布	308	9.2.5 流体输配管网中的流量分配	
8.2.1 管网压力分布图的作用及绘制		规律	371
方法	308	9.2.6 流体管网水力计算的计算机分析	
8.2.2 液体管网系统的压力分布	309	步骤和实例	373
8.2.3 气体管网系统的压力分布	317	9.3 输配管网调节的计算机分析	380
8.3 管网系统的工况调节	319	9.3.1 管网的调节方法	380
8.3.1 管网系统的水力工况分析	320	9.3.2 管网流体的稳定性及其判别	381
8.3.2 泵与风机的工况调节	321	思考题与习题	383
8.4 泵与风机的选用和安装	330	参考文献	384
8.4.1 常用泵的性能及选用原则	330		
8.4.2 常用风机的性能及适用范围	330		

而城市给水、排水管网系统均属市政工程（城市道路也可属市政）安全消防（可以理解为环境控制需要的一种延伸，即可以归入一种“广义的”可满足环境控制目标需要的管网系统）有：

消防系统 { 消防给水系统（冷水排水）、泡沫灭火系统等
防排烟系统（暖通空调）

其他，如制冷工艺在制冷机组各元件（零部件）之间的连接管道内的流动、空气压缩机等。

按照流体性质，管道又可分为简单管路、复杂管路。复杂管路是简单管路、串联管路与并联管路的组合。一般可分为枝状管网和环状管网。

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，二是能量的转运与

第 1 章

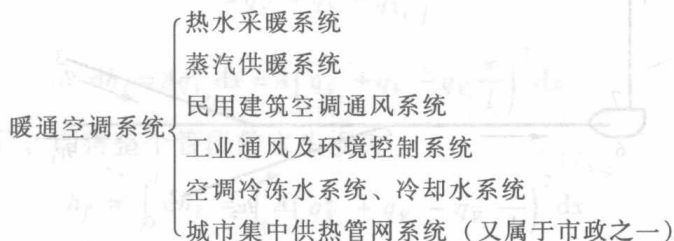
流体输配基础

1.1 有压管网水力计算基础

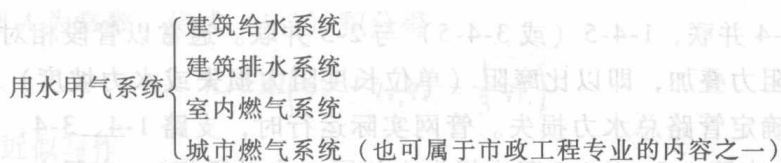
建筑流体输配管网按照目的和用途划分，大致可分为下述四类：

- 1) 满足（建筑或运动建筑）环境控制（生产工艺或生活所需要的环境）目标的管网系统。
- 2) 满足生产工艺及生活需要的用水、用气管网系统。
- 3) 安全消防。
- 4) 其他，如制冷机组各元件（零部件）之间的连接管道、空气压缩管道等。

满足（建筑）环境控制目标的管网系统又可分为下述管道系统：

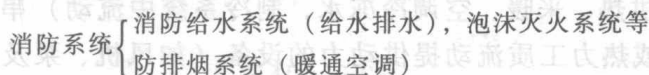


满足生产工艺与生活需要的用水、用气系统大致为：



而城市给水、排水管网系统均属市政工程（城市道路也可属市政）。

安全消防（可以理解为环境控制需要的一种延伸，即可以归入一种“广义的”可满足环境控制目标需要的管网系统）有：



其他，如制冷工质在制冷机组各元件（零部件）之间的连接管道内的流动，空气压缩管道等。

按照流体力学特性，管道又可分为简单管路、复杂管路。复杂管路是简单管路、串联管路与并联管路的组合，一般可分为枝状管网和环状管网。

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，二是能量的转运与

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的压头为

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

风机应具有的风量为

$$q_v = q_{v_1} + q_{v_2} + q_{v_3} \quad (1-2)$$

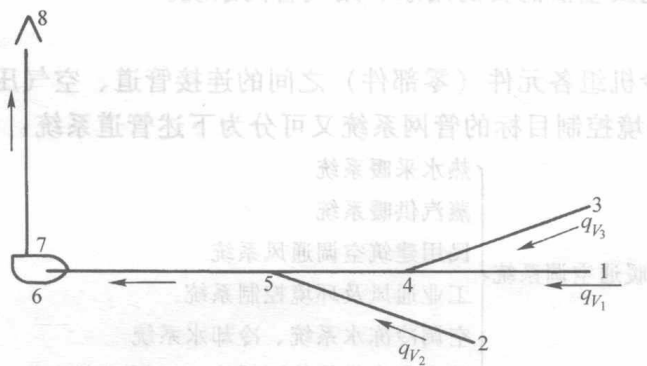


图 1-1 枝状管网

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）相对最小的一支参加阻力叠加以确定管路总水力损失。管网实际运行时，支路 1-4、3-4，两者阻力损失相同（自动平衡）；支路 2-5、1-4-5 阻力损失也相同（自动平衡）。实际上，由于给定的时刻各节点压力参数的唯一性，并联管路的阻力损失一定相同。但如果管路（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，图 1-1 所示枝状管网也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，建筑环境与能源应用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。

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转输流量。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做是连续地进行,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 $q_{v_i} = q_v l$,末端泄出转输流量为 q_{v_e} 。

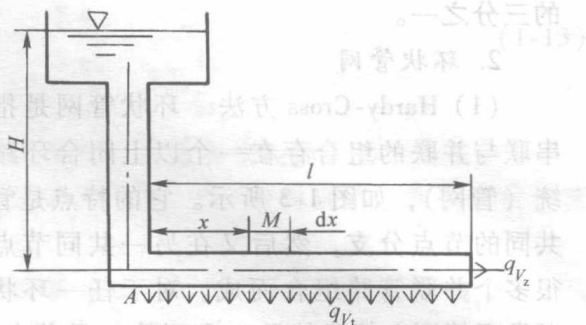


图1-2 均匀泄流管路

在距泄流起点A距离为 x 的点M断面处,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

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

$$\begin{aligned} q_{v_x} &= q_{v_e} + q_{v_i} - q_v x \\ &= q_{v_e} + q_{v_i} - q_{v_i} \frac{x}{l} \end{aligned}$$

$$\text{则 } dh_f = A q_{v_x}^2 dx = A \left(q_{v_e} + q_{v_i} - q_{v_i} \frac{x}{l} \right)^2 dx$$

将上式沿管长积分,即得整个管段的水头损失

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

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。将式(1-3)积分得

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

式(1-4)可近似写作

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

在实际计算中,常引入计算流量 q_{v_e} 。

$$q_{v_e} = q_{v_e} + 0.55 q_{v_i} \quad (1-6)$$

于是,有

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

式(1-7)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_e} 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 $q_{v_e} = 0$ 的特殊场合,式(1-7)成为

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

该式表明:管路在只有沿程均匀途泄流量时,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。对于任一环状管网,可以发现管网上管段数目 n_g 和环数 n_k 及节点数 n_p 存在下列关系

$$n_g = n_k + n_p - 1 \quad (1-9)$$

如果管网中的每一管段有两个未知数: q_v 和 d , 那么进行环状管网水力计算时,未知数的总数为 $2n_g = 2(n_k + n_p - 1)$ 。

环状管网遵循串联和并联管路的计算原则,根据其特点,存在下列两个条件:

1) 任一节点(如 G 点)流入和流出的流量相等。即

$$\sum q_{Vc} = 0 \quad (1-10)$$

这是质量(体积)平衡原理的反映。

2) 任一闭合环路(如 ABGFA)中,如规定顺时针方向流动的阻力损失为正,反之为负,则各管段阻力损失的代数和必等于零。即

$$\sum h_{ABGFA} = 0 \quad (1-11)$$

这是并联管路节点间各分支管段阻力损失相等的反映。

环状管网根据上述两个条件进行计算,理论上没什么困难,但在实际计算程序上是相当繁琐的。因此环状管网的计算方法较多,这里先对哈迪·克罗斯(Hardy-Cross)的方法作一简单介绍,采用此方法,易于编制计算机程序。

计算程序如下:

1) 将管网分成若干环路,如图 1-4 所示分成 I、II、III 三个闭合环路。按节点流量平衡确定流量 q_v , 选取限定流速 v , 定出管径 D 。

2) 按照上面规定的流量与损失在环路中的正负值,求出每一环路的总损失 $\sum h_H$ (以后写作 $\sum h_i$)。

3) 根据上面给定的流量 q_v , 若计算出来的 $\sum h_i$ 不为零,则每段管路应加校正流量 Δq_v , 而与此相适应的阻力损失修正值为 Δh_i 。所以

$$h_i + \Delta h_i = S_i (q_{v_i} + \Delta q_v)^2 = S_i q_{v_i}^2 + 2S_i q_{v_i} \Delta q_v + S_i \Delta q_v^2$$

略去二阶微量 Δq_v^2

$$h_i + \Delta h_i = S_i q_{v_i}^2 + 2S_i q_{v_i} \Delta q_v \quad (1-12)$$

所以

$$\Delta h_i = 2S_i q_{v_i} \Delta q_v$$

对于整个环路应满足 $\sum h_i = 0$, 则

$$\sum (h_i + \Delta h_i) = \sum h_i + \sum \Delta h_i = \sum h_i + 2 \sum S_i q_{v_i} \Delta q_v = 0$$

根据上式就 Δq_v 求解,便得出闭合环路校正流量 Δq_v 的计算公式:

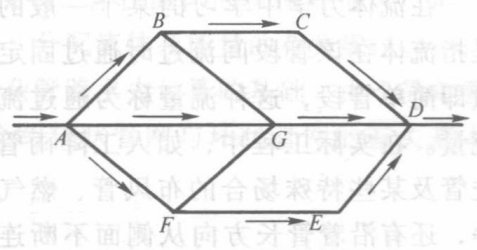


图 1-3 环状管网

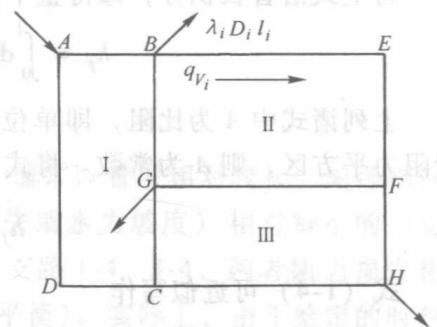


图 1-4 环路划分

$$\Delta q_v = -\frac{\sum h_i}{2\sum S_i q_{v_i}} = -\frac{-\sum h_i}{2\sum \frac{S_i q_{v_i}^2}{q_{v_i}}} = \frac{-\sum h_i}{2\sum \frac{h_i}{q_{v_i}}} \quad (1-13)$$

式中， $\sum h_i$ 为整个环路的阻力损失之和； S_i 为管路阻抗。注意各管段损失的正负号。

当计算出环路的 Δq_v 之后，加到每一管段原来的流量 q_v 上，便得到第一次校正后的流量 q_{v_1} 。

4) 用同样的程序，计算出第二次校正后的流量 q_{v_2} ，第三次校正后的流量 q_{v_3} ，……，直至 $\sum h_i = 0$ 满足工程精度要求为止。

前面介绍了枝状管网与环状管网，实际上，实际管路系统在许多场合是由枝状管网与环状管网共同构成的，这样的管网就是一般的复杂管网，其水力计算方法仍然遵循枝状管网与环状管网水力计算的基本方法。

【例 1-1】 如图 1-5 所示，两个闭合环路和管网。 l 、 D 、 q_v 已标在图上。忽略局部阻力，试求第一次校正后的流量。

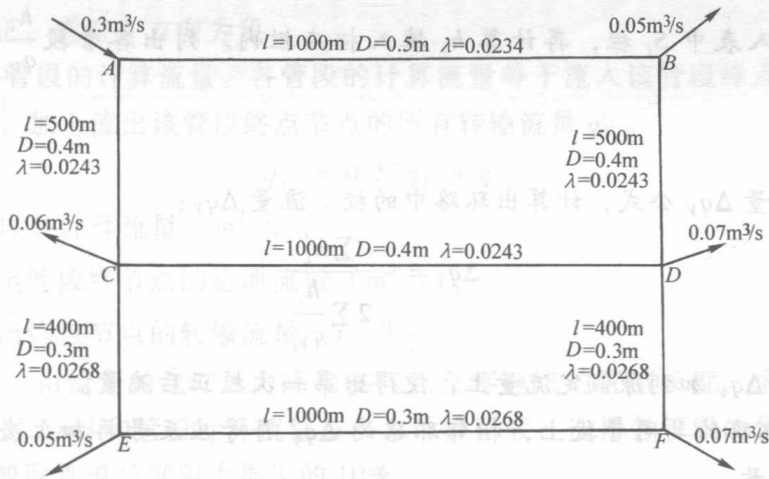


图 1-5 环网计算图

【解】 1) 按节点 $\sum q_v = 0$ 分配各管段的流量，列在表 1-1 中假定流量栏内。

2) 计算各管段阻力损失 h_i ：

$$h_i = \lambda_i \frac{l_i}{D_i} \frac{1}{2g} \left(\frac{4}{\pi D_i^2} \right)^2 q_{v_i}^2 = S_i q_{v_i}^2$$

表 1-1 环网计算表

环路	管段	假定流量 $q_{v_i}/(\text{m}^3/\text{s})$	$S_i/(\text{s}^2/\text{m}^5)$	h_i/m	h_i/q_{v_i} $/(\text{s}/\text{m}^2)$	Δq_v $/(\text{m}^3/\text{s})$	管段校正流量 $/(\text{m}^3/\text{s})$	校正后流量 $q_{v_i}/(\text{m}^3/\text{s})$	备注
I	AB	+0.15	59.76	+1.3446	8.897	$\Delta q_v = \frac{-\sum h_i}{2\sum \frac{h_i}{q_{v_i}}} = -0.0014$	-0.0014	0.1486	}
	BD	+0.10	98.21	+0.9821	9.821		-0.0014	0.0986	
	DC	-0.01	196.42	-0.0196	1.960		-0.0014	-0.0289	
	CA	-0.15	98.21	-2.2097	14.731		-0.0175		
	共计 (Σ)			0.0974	35.410		-0.0014		