

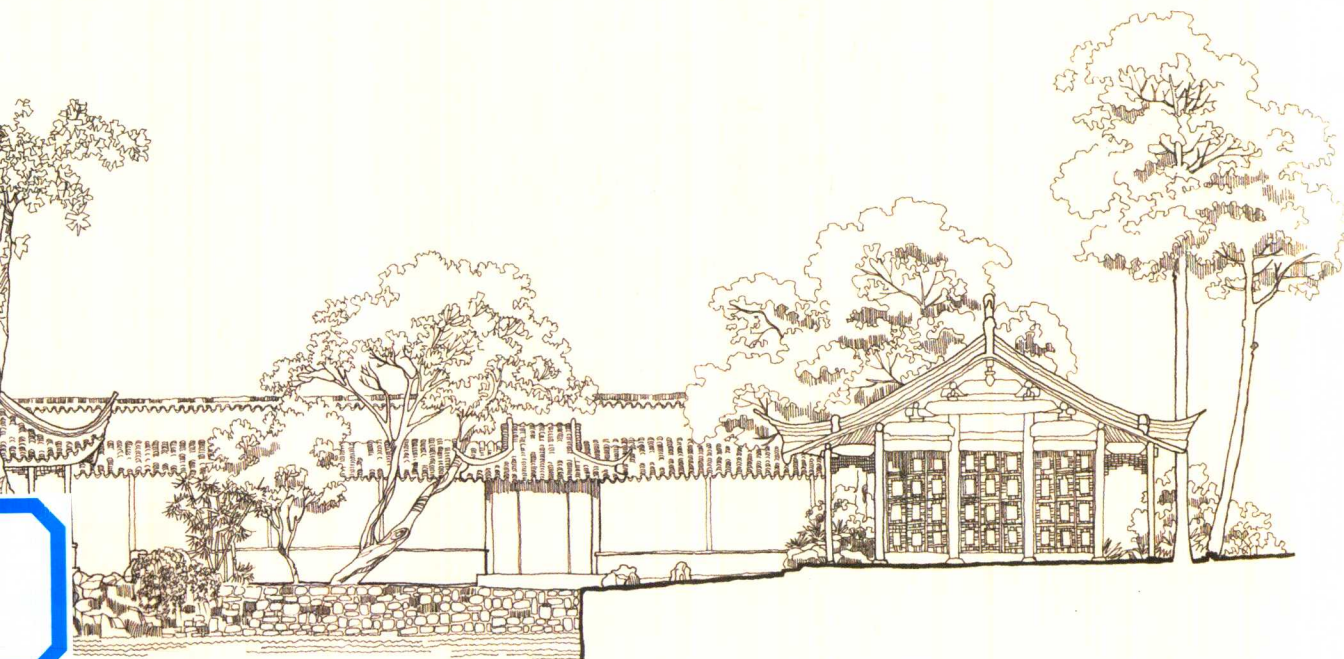


“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

流体输配管网 (第四版)

Fluid Network for Transportation and Distribution

付祥钊 肖益民 主编
潘云钢 主审



中国建筑工业出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

流体输配管网

(第四版)

付祥钊 肖益民 主编
潘云钢 主审



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

流体输配管网/付祥钊等主编. —4 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 7

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材 高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-21774-8

I. ①流… II. ①付… 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(2018)第 012395 号

本书为“十二五”普通高等教育国家级规划教材。

本书系统地阐述了通风空调、采暖供热、城市燃气、建筑给水排水、工厂动力和消防工程等所采用的各种流体输配管网的基本原理和工程计算分析方法。本书总结了编者和各高校使用前几版的教学经验和教学研究成果, 紧跟科技和工程实践的进展, 进一步提炼了各种流体输配管网的共性原理和工程分析方法, 加强了管网的动力源匹配与调节方面的内容。同时进一步改进了文字表述的准确性和清晰性。

全书共分 8 章, 各章内容为: 第 1 章 绪论; 第 2 章 流体输配管网的功能与构成; 第 3 章 管流水力特性与枝状管网水力分析; 第 4 章 枝状管网水力计算案例与分析; 第 5 章 泵、风机的原理与性能; 第 6 章 枝状管网的动力和调节装置匹配; 第 7 章 枝状管网水力工况分析与调节; 第 8 章 环状管网水力计算与水力工况分析。供教学用的环状管网水力计算与水力工况分析软件可通过以下方式下载: 中国建筑工业出版社官网 www.cabp.com.cn → 输入书名或 31599 (征订号) 查询 → 点选图书 → 点击配套资源即可下载。(重要提示: 下载配套资源需注册网站用户并登录)

除作为教材外, 本书还可供公用设备工程师和其他相关工程技术人员学习参考。

责任编辑: 齐庆梅

责任校对: 刘梦然

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

流体输配管网

(第四版)

付祥钊 肖益民 主编

潘云钢 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22 字数: 544 千字

2018 年 7 月第四版 2018 年 7 月第三十次印刷

定价: 46.00 元(附网络下载)

ISBN 978-7-112-21774-8

(31599)

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)

第四版前言

从2001年9月到现在,《流体输配管网》作为建筑环境与能源应用工程(原名:建筑环境与设备工程)专业的主干课程教材,在全国已有16年的教学实践。学习了这本教材的学生,毕业后持续不断地进入了工程领域,承担了流体输配管网的设计、施工、调适和运维等工作。老师们的教学实践和毕业生们的工程实践,为本教材的完善和提升,供应了丰富的养料。借此第四版发行之际,首先向他们表示谢意。

近20年的专业教学和工程实践,证明当初专业调整中,整合形成流体输配管网这门专业主干课是恰当的。在此缅怀当时领导和组织我们进行专业调整、课程整合的彦启森先生;同时悼念主审《流体输配管网》第一、二、三版的茅清希先生。

流体输配管网是本专业的基本工程设施。任何工程设施都是因为有需求才有其功能,有功能才有其性能。理解这些主从关系,是学习流体输配管网的基础。在流体力学的理论基础之上,流体输配管网的工程技术性强于科学理论性。建立基本概念、掌握基本原理当然是前提,但更需要在工程应用领域深入,把握好该技术的工程应用方法。现在社会生活中,随处都会遇见流体输配管网,这为学习提供了非常优越的实践条件。建议同学们在老师的指导下,从关注和运维身边的流体输配管网入手,学习本教材。

我们一直强调教材是编给学生看的,也适当考虑了实际工程技术人员参考的需要。本书的内容,老师授课中不必一一照讲,宜根据教学大纲要求,结合所面对的学生情况,组织教学内容,形成自己的教学风格。为了便于不同教学风格的老师,或不同的教学方案,选择和组织教学内容,第四版调整了部分章节的结构。另外,第四版注意突出各种流体输配管网水力计算的共同原理和基本方法,把具体的计算步骤和细节放入计算案例。这便于学生阅读时把握重点,也便于工程技术人员正确理解和使用实际工程中的水力计算软件。另外,“泵与风机的理论基础”改为“泵、风机的原理与性能”,更确切地概括了该章内容。

重庆大学付祥钊教授负责撰写了新增的第1章绪论,并修订了第2~4章;重庆大学肖益民教授负责修订了第5~8章以及第1~8章的思考题与习题;沈阳建筑大学王宏伟教授参与了第6章第2、3、4节的修订。在本书统稿方面,肖益民教授花费了更多的心血,承担了更多的工作。本书配套ppt可发email至jiangongshe@163.com索取。

本书特地聘请工程理论和实践功底均很深厚的潘云钢总工担任主审。潘总在主审中,提出了很多宝贵的意见和建议,使本版教材更好地联系工程实践。在此表示衷心感谢。

感谢一直为本教材付出辛劳的编辑们。

第三版前言

2005年7月，本教材第二版出版发行，至今已有四年了。

这四年，国家在节能减排方面采取了更加有力的措施，国际上的呼声也阵阵高涨。随着国内外节能工作的逐渐深入，流体输配管网在能源保障和能源消耗方面的重要贡献成为工程界的共识。随着主机和末端在工厂的系列化生产，公用设备工程的设计、施工、调试及运行管理的工作量和难度越来越集中到流体输配管网上，流体输配管网性能成为公用设备工程节能的关键。节能减排要求公用设备工程技术人员更深入地认识流体输配管网的基本原理，研发和掌握新的流体输配管网的设计、施工、调试和运行技术。本教材（第三版）力求满足工程界的这一新需求。工程实践中发现，本专业一些毕业生对流体输配管网的功能缺乏认识和理解，不作功能需求分析就生搬硬套地确定管网类型、装置和关键技术参数，为此，本教材将第1章由原第一、二版中的“流体输配管网类型与装置”改为“流体输配管网的功能与类型”，帮助学生理解类型、装置等是由功能需求决定的。

这四年，围绕建筑环境与设备工程专业的教学改革继续深入，不断取得成果。各校逐渐形成有自己特色的课程体系和培养计划。本教材丰富的内容和清晰的层次为适应不同类型的课程安排提供了可能。若在暖通空调等专业课之前讲授流体输配管网，又受学时和学生接受能力的限制，可重点选用本教材的第1~6章和第7章的第7.1、7.4、7.5节，着重学习流体输配管网的功能、基本类型、水力特征与水力计算、匹配和调节的基本原理和基本方法等内容；若在专业课之后讲授流体输配管网，则可略去第1章，选用第2~8章，在把握好基本原理和基本方法的同时，更加深入学习流体输配管网的水力工况分析和调节。编者仍然推荐在建筑环境与设备工程概论课程之后结合认识实习，指导学生自学第1章，在专业课之前教学第2~8章。

第三版的编写分工与第二版相同。付祥钊、肖益民完成了全书统稿工作。

编者希望使用第三版教材的师生和工程技术人员，随时提出批评和改进意见，慷慨贡献教学和工程经验，以利于本教材的不断完善与提高。

谨此再次感谢本教材的编审和出版工作人员。

2009年9月

第二版前言

自本教材第一版发行以来，已经在4届本科生中使用。各高校“流体输配管网”的任课教师和学生通过教学实践，对本教材的改进提供了许多宝贵的意见和建议。

建筑环境与设备工程学科专业指导委员会对本教材一直给予了高度的重视，将其推荐成为普通高等教育“十五”国家级规划教材，并多次对第二版的编写提出了“提炼共性”的指导性意见。在2004年全国高校建筑环境与设备工程专业教学研讨会的总结报告中，指导委员会主任彦启森先生指明：《流体输配管网》要重视“匹配与调节”。

2002、2004年连续两届全国暖通空调制冷学术年会表现了工程界对流体输配管网理论和工程技术，尤其是“管网动力匹配与调节”的关注，也显露出学校专业教学在这些方面的不足。

编者非常珍视上述的一切，结合自己的教学研究与实践，在第一版的基础上，调整体系，充实内容，改进文字表述。在流体输配管网的功能与组成、分类、管网之间的连接、管网水力特征与水力计算、泵（风机）与管网的匹配、管网水力工况分析与调节等方面努力提炼出共性。将各种管网归纳成开式与闭式、枝状与环状两大分类。通过引入虚拟管道和虚拟闭合的概念，将各种枝状管网统一为闭式枝状管网，建立了通用的枝状管网水力计算方法和水力工况分析与调节方法；通过建立环路共用管路和独用管路的概念，区别压损平衡和阻力平衡；将重力循环管网与机械循环管网的水力计算与水力特征分析方法融会贯通，通过第5、6、7章中前后呼应地强调相似工况的概念和应用，澄清管网运行调节中对泵、风机性能参数变化和能耗变化的模糊认识。在第6、7章深入研究了枝状管网的基础上，第8章以图论为基础，计算机为手段，分析研究了环状管网的匹配与调节。

教材在提炼各种管网的基本原理和基本方法的同时，并未忽视各种管网的特性。清晰地了解气、液、多相流三大类管网不同的水力特征，是流体输配管网工程成功的关键之一。

教材特别指出泵与风机的运行工况、调节阀的调节特性都要受管网或管路特性的影响，要重视掌握泵、风机性能与管网特性的匹配方法以及调节阀的性能与管路特性的匹配方法。

第二版内容比第一版丰富。但不少内容学生自己能看懂，教材上的内容并不需要在课堂上一一讲解。

流体输配管网是各种公用设备工程中形成和发展起来的通用理论与技术，脱离通风空调、采暖供热、城市燃气、建筑给水排水、工厂动力和消防工程等这些具体的工程实际，是讲不好、也做不好的。虽然学生尚未学习专业课，但应该引导他们联系工程实际。作为授课教师则至少必须了解上述工程实际。为此在参考文献中列出了相应参考书。

后续各门专业课教材中，大多编写了管网水力计算、水力工况分析、泵与风机选用等内容。这有利于专业课教材内容体系的完整性。但是，在学了“流体输配管网”课程后，

这些内容没有必要在课堂上再一一讲授，可由学生结合《流体输配管网》自己看。为了让学生掌握和应用好流体输配管网的理论和方法，教师还必须做的工作是，在课程设计、综合课程设计或毕业设计中指导学生遵照工程设计规范，借助设计手册，应用所学流体输配管网理论和方法，计算分析具体的工程，优化管网的设计和调节方案。

第二版除主编、主审和各章编写分工与第一版相同外，重庆大学肖益民和主编一起在调整本教材体系、充实内容等方面作了大量工作，并编写了第 7.3、7.5、8.3 和 8.4 节，各章习题，还编制了供教学用的环状管网水力计算与水力工况分析软件。

由于编者的学识和经验有限，第二版仍会存在不足，恳请读者批评指正，以利以后编写更好的第三版。

2005 年 2 月

第一版前言

“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。它专门讲述公用设备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。

本书是在建筑环境与设备工程专业学科指导委员会组织和指导下，为“流体输配管网”课程编写的教材。许多教师为本教材的编写提供了宝贵的意见和建议。《流体力学与风机》、《空气调节》、《燃气输配》、《供热工程》、《工业通风》、《锅炉及锅炉房设备》、《建筑给水排水》、《建筑消防工程》、《工厂动力工程》等课程的教材是编写本教材的主要参考文献，其教学实践是本教材内容体系得以形成的基本条件。在此一并表示真诚的敬意和衷心的感谢。

本书由重庆大学付祥钊主编，同济大学茅清希主审。各章编写分工如下：

重庆大学付祥钊编写第1~4章；

沈阳建筑大学王岳人编写第6、7章；

西安建筑科技大学王元编写第5章；

广州大学梁栋编写第8章。

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、融汇理论、采纳各种经验和意见等方面，难免有偏差。恳请大家（包括学生们）对本教材的缺点错误予以斧正。

2001年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 大自然创造的流体输配管网	1
1.2 人类创造的大规模流体输配管网工程	4
1.3 建筑环境与能源应用工程中的流体输配管网	6
1.4 掌握流体输配管网理论与技术的方法	8
思考题与习题	10
第 2 章 流体输配管网的功能与构成	11
2.1 流体输配管网的基本功能与基本构成	11
2.2 流体输配管网的分类	13
2.3 气体输配管网的功能与装置	15
2.4 液体输配管网的功能与装置	24
2.5 相变流或多相流管网的功能与装置	45
思考题与习题	55
第 3 章 管流水力特性与枝状管网水力分析	56
3.1 气体管流的水力特性	56
3.2 液体输配管网的水力特性	58
3.3 多相流管网的水力特性	65
3.4 枝状管网的水力共性	77
3.5 枝状管网水力计算的理论基础与基本步骤	81
3.6 枝状管网的水力计算方法	85
思考题与习题	119
第 4 章 枝状管网水力计算案例与分析	122
4.1 通风管网水力计算案例	122
4.2 中低压燃气管网水力计算案例	132
4.3 重力循环热水供暖管网水力计算案例	139
4.4 室外热水供热管网水力计算案例	147
4.5 蒸汽管网水力计算案例	151
思考题与习题	158
第 5 章 泵、风机的原理与性能	162
5.1 离心式泵与风机的基本结构	162
5.2 离心式泵与风机的工作原理及性能参数	166
5.3 欧拉方程	167
5.4 泵与风机的损失与效率	172

5.5	性能曲线及叶型对性能的影响	177
5.6	相似律与比转数	183
5.7	其他常用泵与风机	191
	思考题与习题	199
第6章	枝状管网的动力和调节装置匹配	202
6.1	泵、风机在管网系统中的工作状态点	202
6.2	泵、风机的选配	212
6.3	泵、风机与管网的连接	223
6.4	调节阀的节流原理与流量特性	232
6.5	调节阀的匹配	242
	思考题与习题	250
第7章	枝状管网水力工况分析与调节	253
7.1	管网系统压力分布图	253
7.2	枝状管网水力工况分析方法	263
7.3	管网系统水力工况调适与水力稳定性	269
7.4	枝状管网的调节阀调节	273
7.5	枝状管网的动力调节	281
7.6	管网系统水力工况分析与调节案例	289
	思考题与习题	293
第8章	环状管网水力计算与水力工况分析	296
8.1	管网图及其矩阵表示	296
8.2	恒定流管网特性方程组及其求解方法	305
8.3	环状管网的水力计算与水力工况分析方法	317
8.4	环状管网动力与调节装置匹配概要	320
8.5	角联管网的流动稳定性及其判别式	321
8.6	环状管网水力计算与装置匹配案例	323
8.7	环状管网的水力工况分析与调节案例	331
	思考题与习题	337
	参考文献	339

第 1 章 绪 论

1.1 大自然创造的流体输配管网

大自然用了亿万年的时间创造各种各样神奇的生物流体输配管网。这些流体输配管网是自然界生物体正常演替的基本条件之一。

人体是大自然的绝妙创造。人体结构的基本单位是细胞。由简单到复杂，细胞分化形成组织，组织构成器官，各个器官按照一定的顺序排列在一起，完成一项或多项生理活动。各种结构构成若干系统，形成了完美的人体，当它们无故障地协调配合运行时，人体内各种复杂的生命活动得以正常进行，人体处于健康状态。人体有八大系统：运动系统、神经系统、内分泌系统、血液循环系统、呼吸系统、消化系统、泌尿系统和生殖系统。

其中血液循环系统是人体的体液（包括细胞内液、血浆、淋巴和组织液）及其借以循环流动的管道组成的系统。血液循环系统分为心脏和血管两大部分，叫做心血管系统，如图 1-1-1 所示，这是经千百万年进化形成的人体内的流体输配管网之一。它将消化道吸收的营养物质和肺吸进的氧输送到各组织器官并将各组织器官的代谢产物输入血液循环系统，经肺、肾排出体外。血液循环系统有两个相互贯通的环路，肺循环和体循环。肺循环：右心房→右心室→肺动脉→肺部毛细血管网→肺静脉→左心房，肺循环使血液与肺持续不断地进行气体交换，排出二氧化碳，获得氧气，维持供氧能力。体循环：左心房→左心室→主动脉→各级动脉→各级毛细血管网→各级静脉→上/下腔静脉

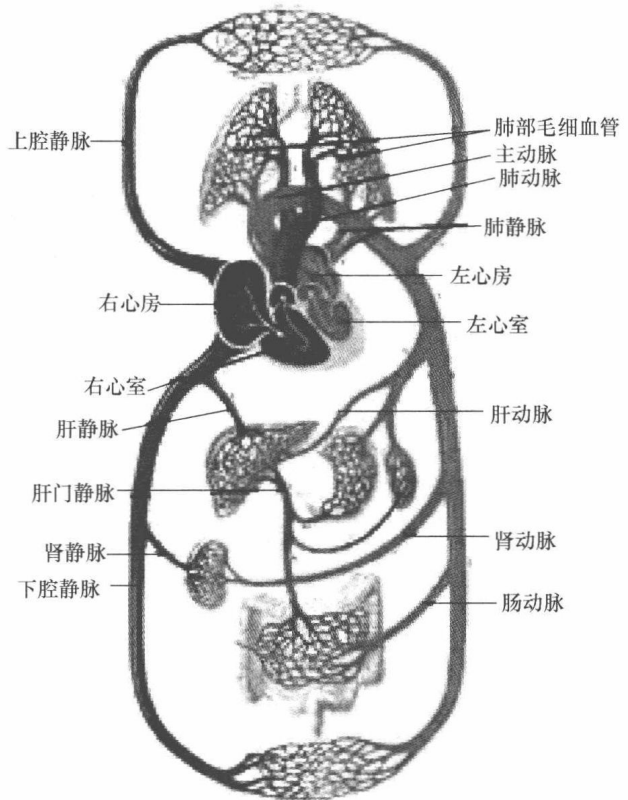


图 1-1-1 人体血液输配管网

→右心房，血液通过体循环将氧输配到身体的各部分，与那里的器官或组织进行质交换，提供氧，带走二氧化碳，维持身体的正常机能。

建筑环境与能源应用工程专业的空调冷水输配系统的构造和功能与此类似，如图 1-1-2所示。空调冷水输配系统也有两个相互贯通的环路，主机（冷水机组）循环和建筑

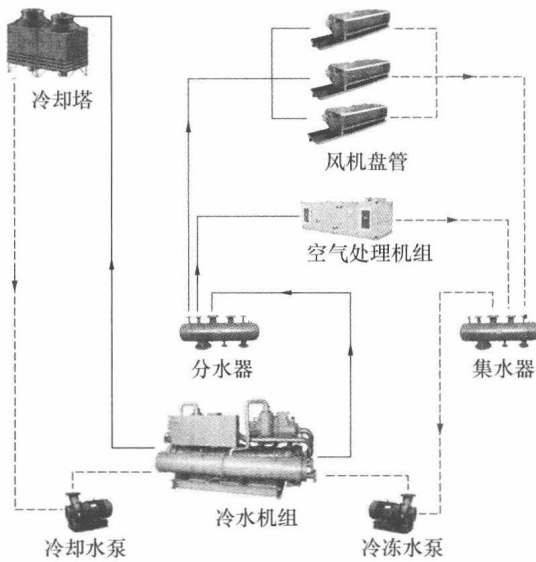


图 1-1-2 空调冷水输配管网

体循环。“主机循环”可类比为肺循环，从建筑内吸收热量而升温的空调冷水，被回水管汇集到集水器，由集水器→主管→冷水循环泵→主机→分水器，已升温的水与主机进行热交换，排出热量，获得冷量，维持供冷能力。右心房右心室是肺循环的动力，冷水循环泵是主机循环的动力。肺使血液维持供氧能力，主机使冷水维持供冷能力。“建筑体循环”可类比为体循环，从主机获得冷量、温度降低具有供冷能力的空调冷水被送入分水器，由分水器→供水干管→支管→建筑内各末端装置（风机盘管、空气处理机组），在末端装置进行热交换，提供冷量，带走热量，使建筑维持所要求的室内环境温度，建筑体内的各末端装置相当于人体的各脏器和组织。

端装置相当于人体的各脏器和组织。

人体呼吸系统由鼻、咽、喉、气道、肺及胸廓组成。呼吸道以环状软骨（俗称喉结）下缘为界，环状软骨下缘以上为上呼吸道；环状软骨下缘以下则为下呼吸道。上呼吸道由鼻、鼻窦、咽喉构成。上呼吸道感染就是指这一部分发生了炎症。下呼吸道包括气管和支气管，再往下就是肺脏。呼吸系统的功能主要是吸入体外空气，向体内输送氧气；呼出体内气体，将二氧化碳等废气排出体外。建筑的新风系统吸入建筑外的空气，向建筑内输送氧气；排风系统排出建筑内的空气，将二氧化碳等废污气体排出建筑外。新、排风两个系统功能加起来与呼吸系统相当。控制室内空气质量是调控建筑环境的首要任务。建筑学将建筑物视为“凝固的音乐”，音乐是美妙的，但凝固了就没有生机。新生儿的第一声啼哭，宣告一个独立的新生命的开始；新、排风系统的启动使“凝固”的建筑有了生机。人体的呼吸采用同一器官——鼻；建筑的呼吸采用排风口和新风口两个装置。人体的胸廓具有足够的坚硬度来保护肺脏，而同时又具有一定的活动性，与肺一起，类似风箱，实现了呼吸的动力功能。新、排风系统，却分别采用新风机与排风机，各自承担新、排风的动力功能。人体的呼吸由一套系统完成；建筑的“呼吸”用了两套系统。现代建筑的“呼吸”系统效果普遍很差，能源消耗很大。现代社会，城市居民 90%的时间是在建筑内，人的呼吸实质上是由建筑“呼吸”系统和人体呼吸系统共同完成的，建筑新风系统吸入室外空气，人体吸入建筑内的空气；人体将体内废气呼到建筑内，建筑排风系统将其排到室外。建筑“呼吸”系统效果差，人体呼吸效果必然差，建筑新、排风系统是建筑环境与能源应用工程最基本、最普遍的流体输配管网。构建和维护好建筑新、排风系统是当今建筑环境与能源应用工程专业急需解决的难题。人体呼吸系统具有巨大的肺泡表面，以便与血液系统之间进行氧气和二氧化碳的气体交换。空气进入肺泡，与肺泡周围毛细血管内的血液进行气体交换，使氧气进入血液，由血液系统输配到身体的各部位；血液中的二氧化碳进入肺泡中，由呼吸系统排出体外。这是人体最重要的两大流体输配管网之间的质关联。可惜，人工的建筑“呼吸”系统不具备这样的质关联，新风输配管网必须直接将室外空气输

配到建筑的各室内空间；排风管网必须直接从建筑各室内空间捕集废污气体，将其排出建筑之外。

人体的流体输配管网各组成部分的功能是相辅相成的，其中任何一部分发生了障碍都将或多或少地对整个机体功能产生影响。建筑的流体输配管网也是如此，任何局部的故障都将影响整个功能的实现。但是前者的多数损伤或障碍，可以通过自愈机能修复或消除，维持正常运行。后者没有前者的这种自愈机能，任何微小的损伤或故障，若不及时修理与维护，迟早会影响正常运行。这是生物流体输配管网与机械流体输配管网的重大区别。本教材研讨的是机械流体输配管网，但这并不妨碍我们去想象怎样使后者具有前者的机能。

植物的流体输配管网也很神奇。植物通过蒸腾作用提供水分和矿物质上升的动力。蒸腾作用是水分从活的植物体表面（主要是叶子）以水蒸气状态散失到大气中的过程。与物理学的蒸发过程不同，蒸腾作用不仅受外界环境条件的影响，而且还受植物本身的调节和控制，因此它是一种复杂的生理过程。植物幼小时，暴露在空气中的全部表面都能蒸腾。蒸腾作用的过程如下：土壤中的水分在根压作用下进入根毛→根内导管→茎内导管→叶内导管→叶肉细胞→气孔→大气。这些植物的机体和组织结构形成了流体输配管网。蒸腾作用的生理意义有下列三点：（1）蒸腾作用是植物对水分的吸收和运输的一个主要动力，特别是高大的植物，假如没有蒸腾作用，由蒸腾拉力引起的吸水过程便不能产生，植株较高部分也无法获得水分。（2）矿质盐类（无机盐）要溶于水中才能被植物吸收和在体内运转，蒸腾作用是水分吸收和流动的动力，矿物质随水分的吸收和流动而被吸入并分布到植物体各部分中去。所以，蒸腾作用对这两类物质在植物体内的输配都是有帮助的。（3）蒸腾作用能够降低叶片的温度。太阳光照射到叶片上时，大部分能量转变为热能，如果叶子没有降温的本领，叶温过高，叶片会被灼伤。蒸腾过程中，水变为水蒸气带走大量热量，降低叶片表面温度。影响蒸腾作用的外界因素有，（1）光：光促进气孔的开启，蒸腾增加。（2）水分状况：恰当的水分有利于气孔开放，过多的水分反而使气孔关闭。（3）温度：气孔开度一般随温度的升高而增大，但温度过高失水增大也可使气孔关闭。（4）风：微风有利于蒸腾，强风蒸腾降低。（5）CO₂浓度：CO₂浓度低促使气孔张开，蒸腾增强。树木的生长发育是靠树根吸收水分和养分，进而通过叶片的光合作用制造碳水化合物，供应枝干、根系等。树木的流体输配管网，主要是树心和皮层。一般情况下，树皮侧重于运输水分和养分，树心侧重于运输叶片制造的光合产物。它们的职能在不同的季节会发生一定的变化，比如说春季，主要是为向上、向外的生长扩展服务，运输水分和养分；秋天则是以积累储存碳水化合物为主（主要是枝干、根系、果实和种子）。

树木复杂的流体输配管网，由无数根毛通过树干和树枝将水输送并分配到亿万树叶细胞中，又将光合作用所制造的碳水化合物输送到各个部位去消耗和贮藏。所依靠的输配管道是木质部的导管和韧皮部的筛管等，动力是叶片的蒸腾力、根压力和树干中水的内聚力。树木的流体输配管网比动物和人体的优越，对于人工的流体输配管网而言，更是无与伦比。它的流体输配动力遍布全身，不但确保流体在亿万细胞中按需分配，而且能承受损毁性的打击，只要有肢体存在，即使残缺的部分，也能构成有效的流体输配功能，使树木的残肢断体得以新生，再次生长发育成新的完美植株。以心脏为流体输配主动力的动物和人体血液输配系统，一旦心脏受到损毁，整个系统瘫痪，难以维系生命。人工的流体输配管网则更显脆弱，不止泵与风机等动力设备出现故障后不能运行，即使是局部问题，也会

造成整个输配功能失调。树木的流体输配管网还有一个神奇之处，它从几十米深的根梢将流体输送到几十米高的树梢叶片，没有噪声、没有振动，悄无声息。

建筑的机械流体输配管网功能与动植物、人体内的生物流体输配管网类似。但是，在功能和性能水平两方面，大自然亿万年进化的成就是人工望尘莫及的。人类流体输配管网工程要想建成仿生物类型的流体输配管网，除了学习仿生学外，基础理论需要从机械流体力学扩展到生物流体力学，材料方面需要发展生物材料。

建筑环境与能源应用工程专业可以从自然界获取灵感，推动流体输配管网的科技进步。

1.2 人类创造的大规模流体输配管网工程

尽管人类的工程创造远远比不上大自然的造化，但其成就对人类社会进步的意义仍是伟大的。人类的生存与发展，离不开水、空气等流体的输送与分配。人类早期用于输配流体的工具是竹筒、陶罐、皮囊等。由于这些容器的输配功能极为有限，不能长距离持续性大规模地进行，那个时期的人类必须临水而居。待到发明了管道，组成了输配水的管网，人类才有了在更广阔的区域上生存发展的条件。这些流体输配管网，正如人体呼吸系统、心血管系统等维系人体健康一样，维系着人类社会的生存和发展。各种流体资源与人类需求在空间分布上的不完全一致，是流体输配管网产生和发展的根本原因。当它们正常运行时，除建筑环境与能源应用工程专业和其他一些相关专业外，社会往往忽视其存在，但当它们出现故障时，社会即刻就会出现困境，甚至陷入灾难之中。建筑环境与能源应用工程等专业担负着建设和维护管理流体输配管网、保障社会正常生存发展的重任。

当今世界，有三大不同规模等级的流体输配管网，建筑的、城区的和地域（包含若干城市，甚至若干国家）的，同一规模等级内还可进一步细分。

建筑的流体输配管网在建筑内输送和分配水、空气等清洁流体，或从建筑的各个位置收集和输送污染或使用后的流体，排出室外。一般的现代建筑都需配置供水管网、通风管网、燃气管网、排水管网、消防排烟管网等。现代医院等功能复杂的建筑还需配置氧气输配管网等，保障抢救和医治病人的需求。工业厂房内还要配置工业生产所需的各种动力管网，如蒸汽管网等。

城区的流体输配管网，人们感受最直接的是城市给水管网、燃气管网、热力管网和排污管网、排雨洪管网等。其中，热力管网以水、蒸汽等流体为热媒，通过对这些流体的输送和分配，满足城区各种热用户的要求。世界上城区热力管网先进的有美国、俄罗斯、英国、德国、法国、芬兰、波兰、丹麦、瑞典等国家。俄罗斯全国城市70%的热量由城区的管网输配，莫斯科整个城区的热力输配管网的干线总长超过3000km。瑞典的城市热力输配管网总长达6400km。北京热力集团的流体输配管网长度约1400km，以水为热媒供热，是中国最大的城市热力管网。该管网为提高北京市民生活水平，保障政府机关和社会各机构的正常运转，改善城市环境，发挥着重要的作用。

地域规模的流体输配管网，对国家和国际社会的安危影响最直接的是石油、天然气长输管网。中东的石油输配管网为全世界所关注，它的正常与否关系世界的安宁。天然气是清洁能源，天然气燃烧后的二氧化硫、粉尘的排放量接近为零，二氧化碳的排放量也很

低。天然气的开发利用是世界能源发展的一个重要方向，世界各发达国家都抓紧了对天然气的开发利用。不如人意的是，天然气的产地与使用地大多不重叠，甚至相距万里。大规模建设和运营天然气输配管网是新能源时代的必备条件。当今，欧盟的天然气输配管网有188.47万 km，美国的天然气输配管网达358.547万 km。跨国、跨洲的天然气输配管网，不但能保障世界各国安度寒冷的冬天，更是全球实现可持续发展的需要。

我国现有天然气输配管网48.85万 km。其中最值得一提的是西气东输管网。

我国西部地区天然气资源比较丰富，约占全国天然气总资源量的60%，特别是新疆塔里木盆地蕴藏着丰富的油气资源，其中天然气资源量8万多亿 m^3 ，占全国天然气总资源量的22%。我国西部地区的塔里木、柴达木、陕甘宁和四川盆地蕴藏着26万亿 m^3 的天然气资源，约占全国陆上天然气资源的87%。塔里木北部的库车地区的天然气资源量有2万多亿 m^3 ，是塔里木盆地中天然气资源最富集的地区，具有形成世界级大气区的开发潜力。塔里木盆地天然气的发现，使我国成为继俄罗斯、卡塔尔、沙特阿拉伯等国之后的天然气大国。而在西部对资源的需求不大，这一严重的供求不平衡，是我国“西气东输”工程得以产生的现实基础。启动“西气东输”工程是把西部的天然气资源优势变成西部经济优势的大事。它不仅有效地将新疆地区的天然气资源转化为现实的经济资源，造福新疆各族人民，而且能为沿线省、自治区、直辖市经济社会发展提供清洁的能源，有助于改善我国的能源结构，减少大气污染，提高人民生活质量，是适合我国国情的必然选择。实施西气东输工程的结果表明，该工程促进了我国能源结构和产业结构调整，带动了东、西部地区经济共同发展，改善了长江三角洲、珠江三角洲及管网沿线地区人民生活质量，有效治理了大气污染。“西气东输”工程，建设了覆盖全国疆土的天然气输配管网，并和国际天然气输配管网相连。“西气东输”工程形成的天然气输配管网是我国地域规模等级的流体输配管网的代表。

“西气东输”工程一线，西起新疆塔里木轮南油气田，向东经过库尔勒、吐鲁番、鄯善、哈密、柳园、酒泉、张掖、武威、兰州、定西、西安、洛阳、信阳、合肥、南京、常州等大中城市，终点为上海。东西横贯新疆、甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、安徽、江苏、上海等9个省区，全长4200km，上游气田开发、主干管道铺设和城市输配管网总投资超过3000亿元，年设计输气量120亿 m^3 ，设计压力为10MPa。全线采用自动化控制，供气范围覆盖中原、华东、长江三角洲地区。迄今输配天然气能力已逾120亿 m^3 。

“西气东输”工程二线，西起新疆的霍尔果斯，经西安、南昌，南下广州，东至上海，途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、河南、安徽、湖北、湖南、江西、广西、广东、浙江和上海13个省、自治区、直辖市。干线全长4859km，加上若干条支线，管道总长度超过7000km。二线管网开辟了西气东输的第二供气通道，增强了我国天然气输配管网的安全性和可靠性。二线管网主供气源为引进土库曼斯坦、哈萨克斯坦等中亚国家的天然气，国内气源作为备用和补充气源。与土库曼斯坦签署协议，通过已经启动的中亚天然气管网，每年引进300亿 m^3 天然气，在霍尔果斯进入西气东输二线管网。二线管网是确保国家油气供应安全的重大骨干工程。它将中亚天然气与我国经济最发达的珠三角和长三角地区相连，同时实现塔里木、准噶尔、吐哈和鄂尔多斯盆地天然气资源联网，有利于改善我国能源结构，保障天然气供应，促进节能减排，推动国际能源合作互利共赢。该工程由中国石油天然气集团公司独资建设，对管径、设计压力等工艺方案及市场分配方案进行了优化比

选, 并开展板材、制管、施工机具等科研攻关工作, 完成了工程可行性研究和管网设计, 于 2008 年全线开工, 2010 年建成通气。据专家测算, 西气东输二线管网建成, 每年可替代 7680 万 t 煤炭, 减少二氧化硫排放 166 万 t、二氧化碳排放 1.5 亿 t。

西气东输三线工程, 路线确定为从新疆通过江西抵达福建, 把俄罗斯和中国西北部的天然气输往能源需求量庞大的长江三角洲和珠江三角洲地区。

1.3 建筑环境与能源应用工程中的流体输配管网

1.3.1 流体输配管网在专业中的作用

建筑环境与能源应用工程的基本任务是为人类的生存与发展提供必需的建筑环境, 同时高效应用各种能源, 保护城市环境和全球生态环境。完成这一任务, 首先需要向建筑内有人空间输送新鲜空气。当室内空间划分简单时, 可以通过开启的外门窗, 直接向室内空间输送新鲜空气。随着建筑规模的扩大, 室内空间布局日渐复杂, 加上室外新鲜空气采集位置的限制, 由外门窗直接向室内各空间输送新鲜空气非常困难, 尤其是那些位于建筑内区、没有外门窗的房间。这就需要为建筑构建输送和分配新鲜空气的管网系统——新风系统, 保障各建筑空间都能获得所需的新鲜空气。同时, 还得捕集各室内空间的废气和污染气体, 将其排出室外, 这又需要构建具有该功能的建筑排气管网。

第二, 为了人体健康, 使人感受到舒适, 能够高效地工作, 建筑环境温度需要维持在大约 16~28℃ 范围, 空气相对湿度需要维持在大约 40%~70% 范围。由于室外全年季节和天气的变化, 建筑围护结构的得热或失热, 室内人员设备的散热散湿等原因, 如果不采取一定的措施, 一年中会有部分时间, 建筑环境内的温湿度会超出上述范围。工程上通常在建筑环境内各空间设置具有热湿交换功能的末端装置, 当空间温湿度将超过上述范围的上界时, 该空间的末端装置从室内空气与环境中吸收相应的热量或水蒸气量, 使温湿度下降, 保持在要求的范围内; 在这一过程中, 末端装置必须及时排走吸收的热湿量, 才能持续保持吸收能力。反之, 当温湿度将要达到下界时, 末端装置向室内送出相应的热量或水蒸气量, 使温湿度回升, 维持在要求的范围内; 这时必须向末端装置源源不断地提供热量

和水蒸气量。这都需要流体输配管网以水、蒸汽等流体为介质, 汇集各末端装置吸收的热湿量, 将其排出所调控的建筑环境, 送入热汇与湿汇中; 或从热(湿)源中获取热(湿)量, 及时输送到建筑内, 按需要分配给各末端装置。图 1-3-1 为排除建筑热量的冷却水管网的局部实景。

此外, 所有生产的各个环节, 其工艺对环境、能源、空气、水等都有特定的需求; 同时, 生产活动产生的污染、废弃的流体物质也需要及时排除; 还需要供应热量和排除余热。这些需求在时间和空间上是变化的。

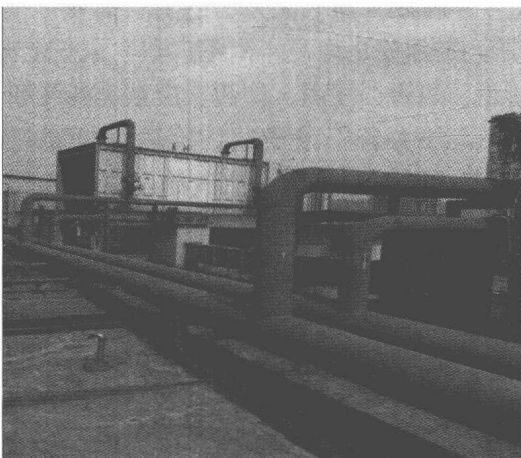


图 1-3-1 排除建筑热量的冷却水管网

需求的空气、水、燃气及热量等从何而来(源)?使用后废弃的流体和热量,又向何处而去(汇)?人类在全球生态环境中寻找它们的源与汇。这些源与汇所存在的时空域与人类所要求的时空域并不一致,往往相差很大。当存在地域差异时,就需要创建上节介绍的地域规模的流体输配管网。当有需求的建筑与城市中的源或汇不相邻时,就需要创建城镇规模的流体输配管网;而在建筑中,源(汇)的位置与需求位置不一致时,就需在建筑内创建流体输配管网。有关流体输配管网的原理和技术是建筑环境与能源应用工程专业的基本原理与技术之一。《流体输配管网》专门学习研讨流体输配最核心的原理与技术。作为流体输配管网工程,除本书涉及的技术原理外,还涉及许多社会的、经济的问题,以及制造业生产的设备材料的性能与质量、工程结构安全、甚至保温隔热等专门性问题。在工程实践中,它们都可能成为某一项工程成败与否、可行与否的关键问题之一。这些问题将在各专业课程和实践教学环节中学习解决。而对本书所研讨的流体输配原理与技术的把握是否确实,应用是否恰当,始终是任何一个流体输配管网工程必然面临的关键问题。

1.3.2 流体输配管网基本类型

工程中的流体输配管网有各种不同的类型,依在具体工程中承担的任务而异,第2章将作具体介绍。从输配流体的目的看,可以分为两类。第一类是流体的直接应用,即直接满足工程对某种流体的需求。例如:为维护室内空气质量所输配的清洁空气,从居住空间排除的污染空气,为燃烧器输送的燃气,为饮用或洗涤用的清洁水,从卫生间排除的污水或废水等。这类流体输配管网具有进口和出口,进口从源处将流体吸入管网内,通过管网输送分配到要求的时空点,在该点上管网出口开启,送出所需要的流体流量。这些送出的流体不再回到管网内。第二类是流体的间接应用,以满足工程对热量的需求,管网中所输配的流体是热量的载体。在热源处,管网内流体并不流出或流入,而是通过接入管网的换热器,从热源取得热量,然后载着热量被管网输配到需求热量的时空点,在那里也不流出或流入,而是通过需求点的换热器将所承载的热量传出,然后在管网内回到热源处,再次从热源换热器获取热量。如此不停地在管网内循环流动,将热源热量持续不断地输送给需求的时空点。

直接输配流体的管网类型称为开式。它不仅与环境有着流体的质交换,而且管网内的流动与环境流体是力学相关的。

以流体为载体输配热量的管网类型称为闭式。它与环境只有间接的热交换,没有流体的质交换,管网内的流动与环境流体不存在力学相关性。

两者在流体输配技术上有明显的区别。不过理论上可通过引入虚拟管路的概念,将两者在水力特性分析上达成一致。在第3.4节将具体介绍。

1.3.3 流体输配管网的能效

可以用所输配的流量与所消耗的能源之比来表征流体输配管网的能效。现代社会,建筑使用中所消耗的能源占社会总能耗的三分之一左右,供暖、通风、空调能耗是其中的主要组成部分,由冷热源主机、末端和流体输配这三部分能耗构成。图1-3-2显示了某建筑空调系统的能耗比例。从装机容量看,主机最大,但从全年累积能耗看,流体输配的能耗与主机相当,采用大规模管网的工程,输配能耗累积量可能会超过主机。提高能效是流体