

安装工程概预算人员培训教材

管道工程技术

河南省工程建设概预算
人员资格考核认证领导小组 编



中国物价出版社

安装工程概预算人员培训教材

管道工程技术

河南省工程建设概预算人员
资格考核认证领导小组 编

刘健之 执笔

中国物价出版社

(京)新登字第098号

河南省工程建设概预算人员资格考核认证领导小组

管道工程技术

河南省工程建设概预算人员资格考核认证领导小组

编 审 校 对

主 编 副 主 编

管道工程技术

河南省工程建设概预算人员
资格考核认证领导小组 编

*

中国物价出版社出版发行
郑州航院印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：27 字数：609千字

1992年8月第一版 1992年8月第一次印刷

印数： 1—4000册

ISBN 7-80070-130-1/TB·3

定价：21.00元

前 言

根据河南省城乡建设环境保护厅、中国人民建设银行河南省分行联合颁发的豫建定字(1989)第9号文件精神,为了提高概、预算人员的业务技术素质,搞好考核认证前的培训工作,省工程建设概、预算人员资格考核认证办公室组织有关专家、教授编写了这套安装工程概、预算人员培训教材,即《电气工程技术》、《管道工程技术》、《安装工程土建技术》、《建设工程造价与合同管理》、《安装工程定额与预算》共五本。

这套教材原稿经过有关领导、专家、教授审阅并提了修改意见。在审阅的基础上,召开了审定会议,参加审定人员:省考核办主任孙祥升、郑州工学院王占瑞高级工程师、张省吾副教授、郑州航空学院宋文业高级工程师、张中教授、施振洲副教授、刘健之工程师、杨德钦讲师、河南省第五建筑工程公司赵阿凤高级工程师、河南省建设厅定额站代表顾祥庆工程师、刘福平工程师、王仲辉、中国人民建设银行河南省分行代表张伟栋经济师、黄清信工程师、刘建华工程师、华浩、郑州市定额站副站长安建树工程师、朱鸣涛高级工程师、邓明忱工程师。审定人员一致同意,根据所提修改意见进行修改后的教材,作为我省安装工程概、预算人员的资格认证培训教材,正式出版。

这套教材是紧密结合我省现行的安装工程预算定额和实际情况,按600个学时教学编写的,既可以作为初学概、预算编审人员的培训教材,也可供从事概、预算人员自学使用。

本套教材的编写人员:《电气工程技术》张中教授,《管道工程技术》刘健之工程师、杨文杰高级工程师,《安装工程土建技术》宋文业高级工程师,《建设工程造价与合同管理》施振洲副教授、肖明讲师、杨德钦讲师,《安装工程定额与预算》施振洲副教授、张中教授、陈淑媛高级工程师、刘健之工程师、周淑玲同志、顾祥庆工程师。本套教材的编写顾问:孙祥升。

本套教材在编写过程中得到许多单位和同志的大力支持和热情帮助,在此一并表示感谢。本套教材由于是初次编写,难免有不足之处,望发现后及时提出,以便改进完善。

序

本书系根据高等学校工程经济类专业的教学需要而编写的。

全书共十三章，取材于我国广大的管道工程技术人员多年来的实践经验和积累的技术资料。根据使用对象的要求，在内容的编写上，力求知识面广一些。本书从流体力学基础知识，管道工程图的绘制原理、识读方法，管道工程常用设备、材料，各种类型管道系统的组成与构成原则，到锅炉房、空压站等动力站房，比较系统地介绍了民用安装管道工程技术和常见的工艺管道工程技术的理论和实践知识，其中包括介绍新技术、新工艺和新材料。书后有附录，汇集了管道工程中常用技术资料供使用。在内容的编排顺序上，贯彻了由浅入深、理论联系实际的原则；文字上尽可能使之简练、通俗易懂；形式上图文对照，读者一目了然；计算单位均已采用法定计量单位；介绍管道工程图的绘制皆以新的国家制图标准为基础，从而达到易学、好使用之目的。

本书可作为高等学校工程经济类专业的教材和从事管道工程技术人员的参考、工具书，删节后（带*部分）可作为安装工程培训的系列教材。

全书主编刘健之。杨文杰编写第七、八、十章。书中插图由苗晋强绘制。

由于编者知识水平和经验的局限性，书中错误在所难免，恳请读者批评指正，以使本书在实践中日臻完善。

编者1992年6月

目 录

前言	
序	
绪论	
一、管道工程技术在国民经济中的地位和作用……………	(1)
二、管道工程技术课程的目的、任务和研究内容……………	(2)
三、管道工程技术的发展概况…	(3)
第一章 流体力学基础知识……………	(5)
第一节 流体的主要物理性质…	(5)
•第二节 流体静力学……………	(9)
•第三节 流体动力学原理……………	(17)
•第四节 流动阻力和能量损失…	(21)
•第五节 孔口、管嘴出流及气体射流简介……………	(27)
第二章 管道工程图的绘制原理与识读方法……………	(32)
第一节 管道工程图的规定画法与习惯画法 ……………	(32)
第二节 管道轴测图……………	(40)
第三节 管道剖面图……………	(46)
第四节 管道工程图的内容与识读方法……………	(51)
第三章 管子、管路附件的通用标准及连接与加工方法……………	(62)
第一节 管子及管路附件的通用标准……………	(62)
第二节 管道的连接形式……………	(69)
第三节 管道的加工方法……………	(77)
第四章 管道工程常用材料……………	(84)
第一节 常用板材、管材及结构钢材……………	(84)
第二节 绝热与绝热材料……………	(91)
第三节 防腐与防腐材料……………	(100)
第四节 接缝材料……………	(104)
第五章 管道工程常用阀门、附件及支吊架……………	(108)
第一节 常用阀门……………	(108)
第二节 法兰与法兰盖……………	(118)
第三节 管件……………	(121)
第四节 管道支吊架……………	(130)
第六章 给排水工程……………	(135)
第一节 室内给排水工程……………	(135)
第二节 室外给排水工程……………	(145)
•第三节 给排水管道系统中的构筑物……………	(152)
第四节 用水设备……………	(158)
•第五节 室内给排水计算……………	(168)
第七章 供热管道工程……………	(176)
第一节 室内采暖管道工程…	(176)
第二节 室内热水与开水供应	(193)
第三节 室外供热管道工程…	(206)
第四节 供热设备与器具……………	(213)
第八章 通风与空气调节工程……………	(224)
第一节 概述……………	(224)
第二节 通风工程……………	(225)
第三节 空气调节工程……………	(232)
第四节 通风、空气调节系统构件	(246)
第五节 通风、空气调节设备…	(253)
第九章 燃气管道工程……………	(262)
第一节 概述……………	(262)
•第二节 室外燃气输送管网…	(266)
第三节 室内燃气管道系统…	(275)
第十章 锅炉房设备及其管道工程	(284)
第一节 锅炉设备概述……………	(284)
•第二节 锅炉主要工作特性与热平	

衡·····	(296)
•第三节 锅炉房及其设备布置	(302)
•第四节 锅炉房的自动控制··	(308)
第五节 锅炉的节能·····	(313)
第六节 锅炉房管道工程·····	(316)
第十一章 压缩空气站设备与管道	(326)
第一节 概述·····	(326)
第二节 压缩空气站内设备··	(327)
•第三节 站房及设备布置·····	(342)
第四节 压缩空气管道系统··	(347)
第十二章 水泵、水泵站及站内管道	(350)
第一节 水泵·····	(350)
第二节 水泵站·····	(359)
•第三节 水泵机组的布置·····	(361)
第四节 水泵站内的辅助设备与管道·····	(363)
第十三章 风管及管件的展开图··	(370)
第一节 园管的展开·····	(370)
第二节 矩(方)形变径管的展开	(374)
第三节 园形变矩形变径管的展开·····	(376)
第四节 弯管的展开·····	(379)
第五节 三通管的展开·····	(385)
•第六节 四通管的展开及通风机外壳的划线方法·····	(391)

附录

附录 I 法定计量单位与习用非法定计量单位的换算关系表	(393)
附录 II 管道工程图的线型、比例及线宽组·····	(395)
附录 III 钢制管法兰压力——温度等级 (GB9131—88)	(397)
附录 IV 管道工程焊接常用的坡口型式和尺寸·····	(399)
附录 V 常用钢板与钢管额定许应力参考规格表·····	(402)
附录 VI 阀门、器具、设备与仪表图例·····	(408)
附录 VII 居住区生活用水量标准	(416)
附录 VIII 散热器种类与规格··	(417)
附录 IX 设备、管道防腐方法	(424)
附录 X 常用油漆的特性和用途	(435)
附录 XI 泵的性能范围与用途表	(427)
附录 XII 常用风机性能范围及用途表·····	(428)
附录 XIII 各种卫生器具和设备同时使用百分数(%)·····	(429)
附录 XIV 卫生器具给水的额定流量、当量支管管径和流出水头	(430)

主要参考文献 ·····	(431)
---------------------	---------

绪 论

一、管道工程技术在国民经济中的地位和作用

对于管道,人们并不陌生,走进化工厂、热电厂,就可以看到架空敷设的管道。而且有些管道的外表面或外壳层还涂有各种不同的颜色,以示区别;有的企事业单位内,虽然地面上看不到架空敷设的管道,若从检查井钻进地沟,同样可以看到敷设在地沟中的管道、此外,还有一些直接埋地的管道。

时代在进步,人民的居住条件也在不断改善,居民的用水量在不断增长,工业企业,科研部门越来越多,生产工艺多种多样,而且工艺的改革,生产水平的提高,都需要大量的生产和科研用水。此外,为了保证四化建设的顺利进行和人民生命财产的安全,在建筑设计和施工中,还必须设计和安装消防设备,以减少火灾的损失,如此等等。这一切都需要设计给水管道系统,以供应安全可靠、经济合理的饮用水。

生活污水是由居民的生活活动所产生的,主要为生活废料和人的排泄物所污染后的水,虽然并不会含有毒物,但是它具有适于微生物繁殖的条件,含有大量的细菌和病原体,从卫生的角度来看,具有一定的危害性,必须排除。

工业生产和科学研究过程中被用过的水,为工业废料和科研废料所污染,在水质上已不符合生产工艺的要求,也必须处理与排除。

此外还有雨水和雪水的排除等。为了保证污水、雨水能顺利地排走,需要设计合理的排水系统。

随着生产技术和人民生活水平的不断提高,对热水供应的需求量也越来越大。例如,一些工厂的生产车间,生产工艺的要求,需要供应热水清洗零件;生活间需要供应热水给职工洗澡;宾馆、旅社、饭店等也都需要热水供给旅客盥洗;为此需要设计热水供应系统。

冬季,为了保证人民的正常生活和工作条件,在严寒地区,一般都要设计采暖管道系统。

夏季,为了消除炎热,或为了满足某些生产工艺上的要求,如高精度的机床间,较高精度的工、卡、量具室内,电子计算机间等,需要设计空气调节管道系统。

工厂有的车间的一些工序,在生产过程中,会产生有害气体、粉尘、污染室内空气环境,需要设计排风和除尘管道系统,以排除、净化污染了的气体。

燃气在能源结构中,占着一定的比重,它在保护城市环境、防止大气污染,促进生产和改善人民的生活条件等方面起着重要的作用。要把燃气从气源点输送到用户,需要设计燃气输配管道系统。

我国石油和天然气工业的发展,管道运输伴随而兴起,它已成为运输事业中的一支新军,并将成为我国又一经济大动脉。

管道运输具有成本低、运输量大、建设周期短等优势,加之,管道运输能耗小,而且管

道埋于地下,基本上不占土地,运输安全可靠。因此,随着新工艺、新技术的发展,在一些国家,管道运输已突破了单一的石油、燃气输送,开始向输送成品油、煤、矿石、粮食、水泥、垃圾等多种介质的方向发展,已经展示出了管道运用于多种运输的广阔前景。在我国,管道越来越广泛地用来输送气、液和物料等。

此外,化肥和化工产品的生产,氧气和乙炔气的制取,压缩空气的应用等,也都需运用管道和管道工程技术。

综上所述,不难看出,管道作为一种附属设施,广泛应用于各个领域。无论是工、农业生产,科学研究,还是改善人民的生活条件,都离不开管道和管道工程技术,这已经逐步为人们所认识,所以它在我国的国民经济中起着举足轻重的作用。

二、管道工程技术课程的目的、任务和研究内容

在工程建设中,只要有建设工程项目,就有管道安装工程,而且占据着一定的比重。但由于管道工程技术分属于多种学科、涉及的领域非常广泛;管道的种类繁多,内容十分丰富,因此,在一本书中,包罗万象地综合论述管道工程技术的全部内容,的确是较困难的。但考虑不同的教学对象和生产实际应用的需要,我们确定了《管道工程技术》这门课程内容选编的原则是:内容尽可能全一些,做到基础理论知识与实际应用技术并重。

《管道工程技术》课程的目的主要是培养学生识读、理解管道工程施工图和实干的能力,所以该课程是以管道工程图、管道工程常用设备、材料、管路附件等作为研究对象,比较系统的介绍管道工程技术内容。它的主要任务有以下几方面。

1. 研究管道工程中常用的流体力学基础知识,介绍几个常用公式,让学生掌握一些管道水力计算的知识与方法。

2. 比较系统地介绍民用安装工程和经常遇到的一些工艺管道工程,如给排水、通风与空气调节、燃气输配和压缩空气管道等管道工程图的绘制原理、设计原则、识图步骤与施工安装方法,使学生具有一定的阅读、绘制管道施工图的知识,掌握常用的施工、安装方法。

3. 介绍管道工程中常用设备和一些新型设备的知识,使学生初步掌握常用管道设备的类型、结构及选用的原则,安装及使用方法。

4. 介绍管路附件及构筑物在管道系统中的延长、分支、转弯和控制等作用,使学生熟悉它们的应用和安装方法。

5. 以锅炉房、水泵站及压缩空气站为例,介绍动力站房的布置原则、站房内的设备和管道等知识。

6. 与管道工程并行的防腐与绝热工程是延长管道系统使用寿命、节约能源和保证设计、使用效果的重要辅助工程,书中介绍一些防腐的机理、防腐措施与方法;绝热结构与方法等。

7. 随着新技术的发展,新材料的不断出现,管道工程中的用材种类正在增多,在一些场合已出现非金属管材、管件、替代金属管材、管件的趋势。聚氨脂发泡技术的发展,为供热管道的直接埋地创造了条件,本书将介绍一些管道工程新技术、新材料的应用,使学生掌握这方面的新知识,跟上新科技发展的步子。

8. 随着我国的工农业生产的发展,对能源的需求也越来越多,节约能源有很重大的意义。管道工程中,节约能源确有一定潜力,书中介绍管道工程中一些有关的节能措施与方法,以加深学生对节能的认识。

其他如化肥、化工等高压管道,本书未曾提及,有待学生今后进一步深化学习。

三、管道工程技术的发展概况

管道工程技术是随着人类文明和生产力的发展而发展的。

人类在长期地与自然环境作斗争的实践中发现了管道的应用。我们的前人用打通竹节的竹管把高处的水引往低处的自流管道,是最原始的供水形式,现在的水库供水,仍然是这一供水形式的应用,条件是要有高程差,从而它的应用受到了限制。要使水等液体从低处输往高处,这就需要有管道的知识和技术。

使用管道并使其真正发展成为管道工程技术学科,把它广泛地应用到各个领域,那只是在泵、风机等管道动力设备的发明、发展后才得以实现的。

如果说天才的俄国学者H·E·儒柯夫斯基创立了船用和航空用的螺旋桨理论,并研究出了它们的计算方法,从而奠定了轴流水泵和通风机的计算基础的话,那么泵和风机等动力设备的生产、制造技术的不断提高和发展,为管道工程技术的发展与广泛应用提供了可靠保证。

泵的发明,解决了液体从低处往高处流的问题;风机的使用解决了气体的强制输送。随着泵与风机种类的研究与制造技术的进步、空气压缩机与制冷机等问世,更使管道工程技术向前大大地推进了。高层建筑的给水、机械循环采暖系统的应用,压缩空气作为动力之源乃至气力输送等都是借助泵与风机等动力设备得以实现的。

由此可知,管道工程技术作为一门学科,它的产生、发展也经历了一个由小到大,从简单到复杂的过程,是伴随其它科学技术的发展,逐渐自我完善起来的。

管道工程技术在我国属于年轻的学科。旧中国发展十分缓慢,当时的中国处于半封建半殖民地,内受反动统治阶级的摧残与压迫、外受帝国主义的侵略与掠夺,造成了生产力的极端落后,人民生活贫困,科学技术不发达,因而管道工程技术的基础十分薄弱,当时,城市里只有少量的给、排水工程,供热方面仅有一些小型锅炉设施和少量的厂区内供热管道,通风和空气调节技术完全是一个空白,其技术和设备也完全靠外国进口。

解放后,党和政府十分重视科学技术的发展。随着电力、电子、计算机、冶金、石油、化工、机械、轻工及建筑业等各领域、各学科技术的发展,管道工程技术也日趋发展与完善起来。

进入80年代以来,我国实施改革、开放的政策,工农业、科学技术等发展更快了,人民的生活水平有了很大的提高。现在我国的城市建设发展迅速,给排水管道不断增加,在一座现代化的城市里敷设的给水输配管网与排水管道,长达数千公里之多;而且高层建筑拔地而起,目前我国已有总高182米的深圳国际贸易中心大楼(53层),高度超过百米以上的高层建筑将会越来越多。高层建筑的崛起,将使室内给水,排水、采暖和空气调节等的技术推向了新水平,出现了无塔供水,无压锅炉供暖和采用分区供应的新方式,还普遍设置了各种自

动控制的灭火装置。

现在我国几乎所有的大中型企业、事业单位都配备有供热、通风、空气调节设施，基本上做到了冬暖夏凉。此外，许多工厂在除尘、排尘方面也基本上达到了国家卫生标准。用于管道工程的动力设备，包括大型的空气调节设备都实现了国产化，结束了完全从外国进口技术和设备的历史。

为了适应管道运输业的发展，1973年4月，石油部成立了管道局，几万名职工转战南北，基本上建成了管道输送网，累计铺设的管道就有几万公里之多。现在我国各主要油田的油、气都可以通过管道，运往炼油厂、城市和各转运港口。

我国管道工程建设和施工技术也在不断提高。从原来的简单的手工操作和体力劳动，逐步转变为具备先进施工技术水平的机械化施工。目前，该管道局拥有各种设备几万台，能承担输送各种油品、天然气、水、蒸汽、化工产品、以及煤等介质的管道施工；还掌握了建设10万立方米储油罐和使用定向钻穿大型河流技术，达到世界先进水平……。一支朝气蓬勃的管道工程技术队伍已经成长起来。

目前我国的管道工程技术和管理水平虽然还比较落后，但是它已显示出了旺盛的活力，随着时间的推移，科学技术的继续不断发展，人民生活水平的不断提高，必将对管道工程技术提出更高的要求，可以断言，管道工程技术亦必将随之而发展，并继续发挥出更大的作用。

第一章 流体力学基础知识

物质有固体、液体和气体、三种形态，流体是液体和气体的总称。流体力学则是研究流体彼此之间，流体与刚体之间相互作用时所发生的运动与平衡规律及其实际应用的科学。

第一节 流体的主要物理性质

一、流体

流体与固体不同，是不能承受任何切力的物质，即使所受的切力很小，流体各质点之间也会发生宏观的相对运动（流动），也就是说，流体具有流动性，这就是流体作为介质便于用管道、槽、沟输送的主要原因。但流体能够承受较大的压力。蒸汽泵、空气锤、液压机等都是流体抗压能力和流动性的运用。

从物理学概念来看，流体也是由大量分子组成的，与固体相比，液体分子间距大，气体分子间距更大。然而流体力学的研究方法属于宏观方法，在流体力学中把流体看作是由无数流体质点（分子团）组成的连续的无间隙的密实物质，称为连续介质，据此，把流体的质点分布和流体的各种物理参数（压力、速度、温度、密度等），表达为空间座标点(x、y、z)和时间t的连续函数，运用严格的数学方法来研究。

二、密度和容重

流体的第一个物理性质是具有质量。流体的质量常以密度来反映、对于均质流体，单位体积的质量称为密度，用符号 ρ 表示。

$$\rho = M/V \quad (1-1)$$

式中： ρ ——流体的密度， kg/m^3 ；

M ——流体的质量， kg ；

V ——流体的体积， m^3 。

流体的第二个物理性质是具有重量。对于均质流体，单位体积的重量称为流体的容重。用符号 γ 表示。

$$\gamma = G/V \quad (1-2)$$

式中： γ ——流体的容重， N/m^3 ；

G ——流体的重量， N ；

V ——流体的体积， m^3 。

流体的密度和容重是两个不同的概念，计量单位也不相同，但有密切的联系。根据牛顿第二定律，重力可以用下式表示：

$$G = Mg \quad (1-3)$$

式中: M ——流体的质量, kg ;
 g ——重力加速度, m/s^2 。

式1—3两边同除以 V 得:

$$G/V = \frac{M}{V} \cdot g \text{ 即}$$

$$\gamma = \rho g \quad (1-4)$$

流体的密度和容重不是一定的, 随外界压力和温度而变化。例如水在1个标准大气压和4℃时, 密度 $\rho = 10^3 \text{kg/m}^3$, 容重 $\gamma = 9.81 \text{KN/m}^3$; 水银在1个标准大气压和0℃时, 密度和容重是水的13.6倍; 干空气在20℃, 760mmHg时的密度为 $\rho_{\text{干}} = 1.2 \text{kg/m}^3$; $\gamma_{\text{干}} = 11.80 \text{N/m}^3$ 。

三、压缩性与热胀性

压缩性和热胀性是流体的第三个物理性质。

流体受到外部压力, 体积缩小、密度增大的性质称为流体的压缩性。

流体受热, 体积膨胀、密度减小的性质称为流体的热胀性。

(一) 液体的压缩性与热胀性

液体被压缩时, 其质量并不改变, 只反映在体积的改变上。液体的压缩性一般用体积压缩系数表示为:

$$\beta = -\frac{dV}{V} / dp \quad (1-5)$$

式中: β ——体积压缩系数, m^2/N ;

V ——液体的体积, m^3 ;

dp ——压强增量, N ;

dv ——体积减少量, m^3 。

因为 dV 与 dp 的变化方向相反, 压强增加时, 体积减小, 所以式中加一负号。

同理, 液体的热胀性可以用体积热胀系数表示为:

$$\alpha = \frac{dV}{V} / dT \quad (1-6)$$

式中: α ——体积热胀系数, T^{-1} ;

dT ——温度增量, K ;

其它符号同前。

表1-1及1-2列举出了水在0℃时, 不同压强下的体积压缩系数和一个大气压下, 不同温度(℃)时的容重和密度。

从表1-1和表1-2中列举的数值上可以看出, 当温度在20℃以下时, 水的压缩性和热胀性都很小, 其它液体也是一样, 一般在实际中, 可以近似地把液体看成是不可压缩的(包括不可膨胀的)流体, 此时液体的密度和容重可视为常数, 同温度和压力无关。只有在某些特殊

表1-1 水的体积压缩系数 (°C时) m^3/N

压强 (MPa)	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
β	0.538×10^{-9}	0.536×10^{-9}	0.531×10^{-9}	0.528×10^{-9}	0.515×10^{-9}

表1-2 一个大气压下水的容重与密度

温度 (°C)	容重 (KN/m ³)	密度 (kg/m ³)	温度 (°C)	容重 (KN/m ³)	密度 (kg/m ³)	温度 (°C)	容重 (KN/m ³)	密度 (kg/m ³)
0	9.806	999.9	15	9.799	999.1	60	9.645	983.2
1	9.806	999.9	20	9.790	998.2	65	9.617	980.6
2	9.807	1000.0	25	9.778	997.1	70	9.590	977.8
3	9.807	1000.0	30	9.755	995.7	75	9.561	974.9
4	9.807	1000.0	35	9.740	994.1	80	9.529	971.8
5	9.807	1000.0	40	9.731	992.2	85	9.500	968.7
6	9.807	1000.0	45	9.710	990.2	90	9.467	965.3
8	9.806	999.9	50	9.690	988.1	95	9.433	961.9
10	9.805	999.7	55	9.657	985.7	100	9.399	958.4

情况下,例如水击和温度较高(如热水采暖)时,才需要考虑其压缩性和热胀性。

(二) 气体的压缩性和热胀性

气体与液体则不同,具有显著的压缩性和热胀性。压强和温度之间存在着复杂的关系,温度和压强的变化对气体的密度和容重影响很大。但在温度不过低、压强不过高时,气体的密度、体积、压强和温度之间的关系服从热力学中所得的结论:

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (1-7)$$

式中: p ——气体的绝对压强, N/m^2 ;

T ——气体的绝对温度, K ;

ρ ——气体的密度, kg/m^3 ;

R ——气体常数, $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ 。

对于空气, $R=287$, 对于其它气体 $R=\frac{8314}{n}$ (n 为该气体的分子量)。

式1-7在热力学中,称为理想气体的状态方程式,也叫克拉伯隆方程式(所谓理想气体,是指这样一种气体,它的分子是不占容积的质点,同时,分子之间又没有内聚力),它对研究气体的规律起着重要的作用。

四、粘滞力和粘滞性

为了说明流体的粘滞力和粘滞性,以流体在管中的流动为例。图1-1为流体在管中的流

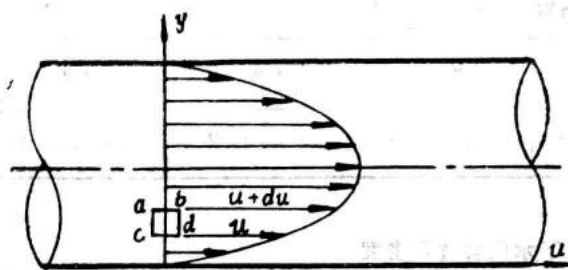


图1-1 管道中流体断流速分布

运动，因而在接触面上产生一种相互作用的切力，叫做流体的内摩擦力，或称为粘滞力、切应力。内摩擦力具有反抗流体内部质点间或流层间的相对运动的性质，这一性质叫做流体的粘滞性。

牛顿建立在实验的基础上，总结并提出了流体内摩擦定律。用切应力可表示为：

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \cdot \frac{du}{dy} \quad (1-8)$$

式中 τ ——切应力， N/m^2 （简称帕，记作 p_a ）；

F ——内摩擦力， N ；

A ——摩擦流层的接触面积， m^2 ；

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度。

μ ——流体的动力粘滞性系数， $\frac{N}{m^2} \cdot s (p_a \cdot s)$ 。

不同的流体有不同的 μ 值，同一流体 μ 值越大，粘滞性越强。此外，流体粘滞性的大小还可以用运动粘滞系数来表达，即

表1-3 水的粘滞系数

t (°C)	$(10^{-3} p_a \cdot s)$	$(10^{-6} m^2/s)$	t (°C)	$(10^{-3} p_a \cdot s)$	$(10^{-6} m^2/s)$
0	1.792	1.792	40	0.656	0.661
5	1.519	1.519	45	0.599	0.605
10	1.308	1.308	50	0.549	0.556
15	1.140	1.140	60	0.469	0.477
20	1.005	1.007	70	0.406	0.415
25	0.894	0.897	80	0.357	0.367
30	0.801	0.804	90	0.317	0.328
35	0.723	0.727	100	0.284	0.296

①国际单位制与工程单位制换算见附录 I。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-9)$$

式中: ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

ν ——运动粘滞系数, m^2/s , (简称斯)。

流体的粘滞性对流体运动有很大的影响, 因为, 内摩擦力作负功, 不断消耗运动流体所具有的能量, 在工程水力计算中必须考虑。如果流体处于静止状态, 流体各质点间没有相对运动, 也就没有切应力, 则流体不显粘滞性。

水和空气的 μ 和 ν 值见表1-3和表1-4。

表1-4 一个大气压下空气的粘滞系数

t (°C)	ν ($10^{-3} \text{P}_a \cdot \text{s}$)	ν ($10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)	t (°C)	ν ($10^{-3} \text{P}_a \cdot \text{s}$)	ν ($10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)
0	0.0172	13.7	90	0.0216	22.9
10	0.0178	14.7	100	0.0218	23.6
20	0.0183	15.7	120	0.0223	26.2
30	0.0187	16.6	140	0.0236	28.5
40	0.0192	17.6	160	0.0242	30.6
50	0.0196	18.6	180	0.0251	33.2
60	0.0201	19.6	200	0.0259	35.8
70	0.0204	20.5	250	0.0280	42.8
80	0.0210	21.7	300	0.0298	49.9

*第二节 流体静力学

流体“静止”包括两种情形, 一是流体对地球没有相对运动, 称为绝对静止, 简称静止; 一是流体对地球有相对运动, 但流体各部分之间没有相对运动, 称为相对静止。处于静止和相对静止状态下的流体统称为静止流体或平衡流体。

流体静力学研究的内容是流体处于静止和相对静止状态下的力学规律及其应用。

一、静压强的定义

压强即压应力, 表示每单位面积上的压力。

从静止或相对静止的均质流体中, 任取隔离体 V , 四周流体对该体积 V 的作用力, 用箭头表示, 如图1-2。设用一平面 $ABCD$ 将此体积分为 I 、 II 两部分。假定将 I 部分移去, 并以等效的力代替它对 II 部分的作用, 使 II 部分仍保持平衡。

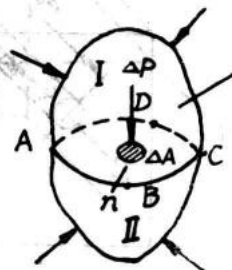


图1-2 压强定义

上的总压力是 ΔP ，则 ΔA 面上的平均压强为：

$$p_{cp} = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-10)$$

当所取的面积无限缩小到一点 a 时， $\frac{\Delta P}{\Delta A}$ 趋近于一个极限值，该极限值称为 a 点流体的静压强，以 p 表示，即：

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-11)$$

流体静压强的因次为力/面积，在国际单位制中，常用单位帕，以 Pa 表示， $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ ；更大的单位为 MPa ， $1\text{MPa} = 10\text{bar} = 10^6\text{Pa}$ 。

二、静压强的特性

流体静压强有三个特性。

1. 流体静压强的方向必定沿着作用面（受压面）内法线方向。

这个作用面可能是固体壁面，也可能是流体内部的任何作用面。这是不用证明的，因为只有沿作用面的内法线方向，才不会有切应力。切应力是与相对运动同时存在的，静止流体中自然不存在质点之间的相对运动。

2. 任何一点的压强各向等值。

任何一点的压强不会因为作用面方向的改变而改变。图 1-3 表示一个微小质点的受力情况，由于该质点是静止的，所以 $p_x = p_y = p_z = p$ ，也就是说流体任何一点的静压强的大小，与作用面的方向无关。

3. 流体静压强是坐标的函数

流体中任何一个点，只有一个压强，但不同的点，静压

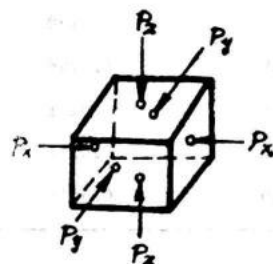


图1-3 点压强各向等值

强不一定相同。

三、流体静压强的分布规律

从静止的流体中取出任意位置的圆柱形隔离体，如图1-4所示。微小圆柱体的横截面积取得无限小，设为 ΔA ，长度为 Δl ，这个圆柱体在全部外力的作用下处于平衡状态。

周围静止液体对圆柱体表面的作用力有侧面压力和两端面的压力。根据流体静压强与作用面正交的特性，侧面压力没有轴向分力，设圆柱体上下两端面的压力分别为 P_1 和 P_2 ，沿着圆柱体的轴向，且方向相反，圆柱

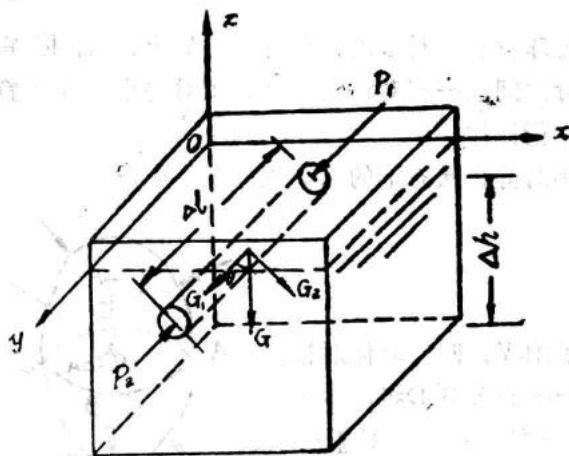


图1-4 液体内微小水柱体的平衡