

全国注册石油天然气工程师考试培训教材

注册 石油天然气工程师 执业资格考试 专业基础考试 复习教程

中国石油大学（华东）化学工程学院 主编



 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

全国注册石油天然气工程师考试培训教材

注册石油天然气工程师执业 资格考试专业基础考试 复习教程

中国石油大学(华东)化学工程学院 主编

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书严格按照《注册石油天然气执业资格考试基础考试大纲》编写,内容覆盖了专业基础考试的全部内容,即包括流体流动与输送、工程热力学、传热学、分离工程基础、过程控制基础、工程设计、环境保护7门课程。对每门课程,书中均设有考试大纲、复习指导、复习内容、仿真习题和习题答案。

本书适用于参加注册石油天然气工程师执业资格考试基础考试的应试人员,同时也可作为相关人员日常工作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

注册石油天然气工程师执业资格考试专业基础考试复习教程/中国石油大学(华东)化学工程学院主编. —天津:天津大学出版社,2014.10

全国注册石油天然气工程师考试培训教材

ISBN 978-7-5618-5211-8

I. ①注… II. ①中… III. ①石油工程—工程师—资格考试—自学参考资料 ②天然气工业—工程师—资格考试—自学参考资料 IV. ①TE

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第237538号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm×260mm
印 张 27.5
字 数 686千
版 次 2014年10月第1版
印 次 2014年10月第1次
定 价 56.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

序 言

执业资格注册制度为我国工程技术人员个人的执业资格确立了符合国际惯例的规格、标准及严格的认证程序,它的建立和实施,必将进一步推动人才的社会化、市场化和国际化的进程,为我国市场经济的可持续发展提供更加规范的人才保障。执业注册资格考试是资格认证程序的核心环节。执业注册资格考试必须严格按照相应的考试大纲执行。

《全国勘察设计注册工程师执业资格考试大纲》是在建设部执业资格注册中心的领导下,根据我国建设行业的具体情况以及与国际接轨的要求制定的。考试大纲由专业考试大纲和基础考试大纲两个部分组成,前者规定了申请者专业能力的测试标准,后者则体现了对申请者工程科学背景的要求。

在执业资格考试中设立基础考试程序是基于下述两个方面的考虑。

(1) 执业工程师的工程科学背景要求是从行业的角度对从业者提出的,它并不完全等同于工科院校的基础和专业基础教育的要求,执业注册资格基础考试并不是工科高校基础教学考试的简单重复。

(2) 执业资格考试是一种按照独立标准进行的公平认证程序,它原则上不受申请者的学历、学位、职务等传统条件的严格限制。因此,申请者所受的工程基础教育背景差异甚大,有必要在统一的标准下进行检验。

所以,对于基础考试,申请者不可消极应考。正确的做法应当是:根据自身的具体情况,按照基础考试大纲的内容进行系统的学习与准备,切实地充实、强化自身的工程科学基础,从容应对考试。

鉴于申请者教育背景、毕业年限、工作性质、工作岗位及工作经历等诸多因素的影响,基础考试大纲的内容对申请者而言或缺或遗忘的情况是普遍存在的,所以为申请者提供适当的考试辅导是必要的、有益的。

天津大学出版社近年来组织出版的“勘察设计注册工程师基础考试”系列辅导教程,按照考试大纲的要求,全面地综合了各类基础课的主要内容,恰当地把握了各类课程的广度和深度,准确地体现了对我国执业资格注册制度及其认证程序的正确理解和对基础考试大纲条目的深入分析,为应考者提供

了重要的学习资料。相信这些系列辅导教程能够为申请者的学习与考试准备提供切实的帮助。热切希望今后能够出版更多的分册,以帮助不同专业的申请者。

全国勘察设计注册工程师基础考试专家组组长 林孔元

前 言

注册石油天然气工程师是指经过全国统一考试合格,取得《中华人民共和国石油天然气工程师执业资格证书》并经注册登记,在石油天然气领域从事工程设计、建造、生产、管理、技术研发及相关业务的专业技术人员。为了满足广大考生复习、应考的需要,帮助应试者顺利通过考试,天津大学出版社特邀请了中国石油大学(华东)富有教学经验和教材编写经验的教师,集体编撰了涵盖7门专业科目的《注册石油天然气工程师执业资格考试专业基础考试复习教程》。

本书严格按照《注册石油天然气工程师执业资格考试基础考试大纲》编写,内容覆盖了专业基础考试所要求的全部内容,即包括流体流动与输送、工程热力学、传热学、分离工程基础、过程控制基础、工程设计和环境保护7门课程。书中对每门课程均设有考试大纲要求、复习指导、复习内容、仿真习题和习题答案。本书不仅适用于参加注册石油天然气工程师执业资格考试基础考试的应试人员,同时也是相关人员日常工作的一部重要参考书。

本书第1章流体流动与输送由段红玲编写,第2章工程热力学由宋春敏编写,第3章传热学由郭晓燕编写,第4章分离工程基础由王万里编写,第5章过程控制基础由杜鹃编写,第6章工程设计由赫佩军编写,第7章环境保护由张秀霞编写。中国石油大学(华东)有关专家、教授负责审校。在此,对他们的大力协助和支持表示衷心的感谢。

2014年8月



目 录

1 流体流动与输送	(1)
考试大纲	(1)
复习指导	(1)
复习内容	(2)
1.1 流体流动的阻力	(2)
1.1.1 流体概述	(2)
1.1.2 水力半径	(5)
1.1.3 雷诺数、流态及其划分	(7)
1.1.4 圆管沿程阻力、局部阻力的计算	(8)
1.1.5 当量长度	(14)
1.2 压力管路	(17)
1.2.1 实际流体的伯努利方程	(17)
1.2.2 管路特性曲线	(24)
1.2.3 简单管路的水力计算	(25)
1.2.4 复杂管路(并联、分支)的水力计算	(27)
1.2.5 水击现象	(31)
1.3 流动参数的测量	(32)
1.3.1 孔板流量计	(32)
1.3.2 超声波流量计	(33)
1.3.3 容积式流量计	(36)
1.3.4 速度式流量计	(38)
1.3.5 质量流量计	(42)
1.3.6 测压计	(44)
1.4 两相流动	(48)
1.4.1 气液两相流的特点	(49)
1.4.2 截面含气率和截面含液率	(49)
1.4.3 气相折算速度和液相折算速度	(50)
1.4.4 两相流的雷诺数	(51)
1.5 液体输送机械	(55)
1.5.1 螺杆泵和往复泵的工作原理	(55)
1.5.2 离心泵的工作原理	(61)
1.5.3 离心泵的汽蚀与吸入特性	(65)
1.5.4 离心泵特性曲线	(69)

1.5.5	离心泵与管路的匹配	(71)
1.5.6	泵功率的计算	(75)
1.6	气体输送与压缩机械	(77)
1.6.1	通风机、鼓风机和真空泵的工作原理与结构	(77)
1.6.2	压缩机的工作原理、结构和特性曲线	(80)
1.6.3	离心式压缩机的滞止和喘振现象	(86)
1.6.4	基本工艺参数计算	(87)
	仿真习题	(89)
	习题答案	(99)
2	工程热力学	(100)
	考试大纲	(100)
	复习指导	(101)
	复习内容	(101)
2.1	热力学第一定律	(101)
2.1.1	热力系统	(101)
2.1.2	工质的热力学状态及其基本状态参数	(102)
2.1.3	工质的状态变化过程	(103)
2.1.4	热力循环	(103)
2.1.5	热力学第一定律	(104)
2.1.6	热力学能和总能	(104)
2.1.7	能量的传递和转化	(105)
2.1.8	热力学第一定律的基本能量方程	(106)
2.1.9	能量方程的应用	(110)
2.2	理想气体的性质及其热力过程	(113)
2.2.1	理想气体及理想气体状态方程	(113)
2.2.2	理想气体的比热容	(113)
2.2.3	理想气体的热力学能、焓及熵	(115)
2.2.4	理想气体的热力过程	(116)
2.3	热力学第二定律	(121)
2.3.1	热力学第二定律	(121)
2.3.2	可逆循环及其热效率	(122)
2.3.3	卡诺循环及卡诺定理	(122)
2.3.4	熵参数与熵增原理、过程方向的判据	(124)
2.3.5	熵方程	(125)
2.3.6	焓参数的基本概念与热量焓	(127)
2.4	实际气体的性质及水蒸气	(128)
2.4.1	理想气体状态方程用于实际气体的偏差	(128)
2.4.2	范德瓦尔状态方程	(129)
2.4.3	对应态原理与通用压缩因子图	(130)

2.4.4	饱和温度与饱和压力	(130)
2.4.5	水的定压加热汽化过程	(130)
2.4.6	水和水蒸气的状态参数	(132)
2.4.7	水蒸气表和图	(132)
2.4.8	水蒸气的基本过程	(134)
2.5	气体及蒸汽的流动	(136)
2.5.1	稳定流动的基本方程	(137)
2.5.2	促使流速改变的条件	(138)
2.5.3	喷管的计算	(140)
2.5.4	绝热节流	(146)
2.6	压气机及气体动力循环	(147)
2.6.1	单级活塞式压气机的工作原理和理论耗功量	(147)
2.6.2	活塞式压气机余隙容积的影响	(149)
2.6.3	多级压缩和级间冷却	(150)
2.6.4	叶轮式压气机的工作原理	(150)
2.6.5	活塞式内燃机实际循环的简化	(152)
2.6.6	活塞式内燃机的理想循环及热力学比较	(152)
2.6.7	燃气轮机装置的定压加热循环	(155)
2.7	制冷循环	(157)
2.7.1	制冷基本原理	(157)
2.7.2	蒸汽压缩制冷循环	(158)
2.7.3	制冷剂的性质	(160)
	仿真习题	(160)
	习题答案	(167)
3	传热学	(168)
	考试大纲	(168)
	复习指导	(168)
	复习内容	(169)
3.1	基本概念	(169)
3.1.1	热量传递的基本方式	(169)
3.1.2	传热过程和传热系数	(170)
3.2	热传导	(170)
3.2.1	导热基本定律	(170)
3.2.2	导热微分方程及定解条件	(174)
3.2.3	通过平壁、圆筒壁和球壳的稳态导热	(177)
3.2.4	通过肋片的稳态导热	(181)
3.2.5	非稳态导热	(183)
3.2.6	集总参数法简化分析	(184)
3.3	对流传热	(186)

3.3.1	影响对流传热的因素	(187)
3.3.2	相似原理及其应用	(190)
3.3.3	强制对流换热计算	(195)
3.3.4	自然对流换热计算	(200)
3.3.5	凝结换热现象及换热计算	(201)
3.3.6	影响膜状凝结的因素	(203)
3.3.7	沸腾换热现象及换热计算	(204)
3.3.8	影响沸腾换热的因素	(207)
3.4	热辐射	(207)
3.4.1	黑体辐射基本定律	(208)
3.4.2	实际固体与液体的辐射特性	(210)
3.4.3	实际物体的吸收比	(211)
3.4.4	角系数的定义、性质及计算	(212)
3.4.5	两固体表面间的辐射换热计算	(213)
3.4.6	遮热板	(216)
3.5	传热过程与换热器	(217)
3.5.1	传热过程的分析与计算	(217)
3.5.2	换热器的形式及平均温差	(222)
3.5.3	换热器的计算	(235)
3.5.4	传热的强化和隔热保温技术	(244)
	仿真习题	(249)
	习题答案	(255)
4	分离工程基础	(256)
	考试大纲	(256)
	复习指导	(256)
	复习内容	(257)
4.1	混合物气液平衡原理及计算	(257)
4.1.1	临界现象与临界参数	(257)
4.1.2	气液平衡条件和各参数关系	(257)
4.2	平衡蒸馏(闪蒸)原理	(259)
4.2.1	平衡蒸馏(闪蒸)的基本原理	(259)
4.2.2	平衡蒸馏的计算	(259)
4.2.3	分离方式的选择	(260)
4.3	精馏	(260)
4.3.1	两组分气液平衡	(260)
4.3.2	两组分连续精馏的分析和计算	(267)
4.3.3	两组分精馏的操作型计算	(281)
4.3.4	特殊精馏	(284)
4.3.5	多组分精馏	(285)

4.3.6	精馏塔结构及其工作原理	(288)
4.4	吸收	(290)
4.4.1	稀溶液的气液相平衡	(290)
4.4.2	传质机理和吸收速率	(292)
4.4.3	两相间的传质	(297)
4.4.4	吸收塔的设计及计算	(299)
4.4.5	填料塔结构及其工作原理	(308)
4.5	吸附	(311)
4.5.1	吸附原理	(311)
4.5.2	吸附平衡	(311)
4.5.3	吸附过程的描述和吸附速率	(313)
4.5.4	吸附剂	(314)
4.5.5	吸附分离工艺	(315)
4.5.6	吸附分离设备	(316)
4.6	非均相混合物分离	(324)
4.6.1	颗粒的沉降运动	(324)
4.6.2	重力沉降和离心分离设备	(327)
	仿真习题	(330)
	习题答案	(333)
5	过程控制基础	(335)
	考试大纲	(335)
	复习指导	(335)
	复习内容	(336)
5.1	过程控制基础	(336)
5.1.1	自动控制系统	(336)
5.1.2	流程图与方框图	(337)
5.1.3	过渡过程与品质指标	(339)
5.2	被控对象特性	(340)
5.3	常用检测仪表	(343)
5.3.1	仪表的性能指标	(343)
5.3.2	常用压力测量仪表	(344)
5.3.3	常用物位测量仪表	(347)
5.3.4	常用流量测量仪表	(351)
5.3.5	常用温度测量仪表	(355)
5.4	控制仪表与控制规律	(359)
5.4.1	基本控制规律	(359)
5.4.2	控制器的基本功能	(361)
5.4.3	控制器	(362)
5.5	执行器	(363)

5.5.1	执行器的基本组成	(364)
5.5.2	气动执行器	(364)
5.5.3	电动执行器	(366)
5.5.4	气动执行器的选择	(367)
5.6	简单控制系统	(369)
5.6.1	简单控制系统的设计	(369)
5.6.2	简单控制系统的投运	(370)
5.7	计算机控制系统	(371)
5.7.1	计算机控制系统的组成	(371)
5.7.2	直接数字控制系统	(372)
5.7.3	集散控制系统	(372)
5.7.4	现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)	(375)
5.7.5	数据采集与监视控制系统	(377)
	仿真习题	(379)
	习题答案	(386)
6	工程设计	(387)
	考试大纲	(387)
	复习指导	(387)
	复习内容	(387)
6.1	工程设计要求	(387)
6.1.1	工程设计不同阶段的主要工作内容及要求	(387)
6.1.2	工艺流程设计的主要任务	(393)
6.1.3	工艺流程图的绘制要求	(393)
6.2	工程设计安全	(395)
6.2.1	工程设计安全、劳动卫生考虑的主要因素	(395)
6.2.2	工程设计安全、劳动卫生的基本内容	(396)
6.3	工程设计技术经济分析	(398)
6.3.1	设计方案评价的一般方法	(398)
6.3.2	工程设计的评价准则及主要要求	(399)
6.3.3	工程设计技术经济应分析的因素及基本内容	(400)
	仿真习题	(402)
	习题答案	(404)
7	环境保护	(405)
	考试大纲	(405)
	复习指导	(405)
	复习内容	(406)
7.1	油气田开发环境污染源及其污染物	(406)
7.1.1	水污染源及其污染物	(406)
7.1.2	废气污染源及其污染物	(407)

7.1.3 固体废物污染源及其污染物	(408)
7.1.4 噪声污染	(408)
7.2 环境污染源的综合治理	(408)
7.2.1 废水处理技术措施	(409)
7.2.2 石油污染土壤的处理技术	(412)
7.2.3 固体废物的处理技术	(414)
7.3 环境保护法规	(415)
7.3.1 中国人民共和国环境保护法	(415)
7.3.2 中华人民共和国水污染防治法	(417)
7.3.3 中华人民共和国大气污染防治法	(418)
7.3.4 中华人民共和国环境噪声污染防治法	(419)
7.3.5 中华人民共和国固体废物污染环境防治法	(421)
7.3.6 中华人民共和国海洋环境保护法	(422)
仿真习题	(424)
习题答案	(426)

1 流体流动与输送

考试大纲

1.1 流体流动的阻力

绝对粗糙度 相对粗糙度 水力半径 雷诺数 流态及其划分 圆管沿程阻力、局部阻力的计算 当量长度

1.2 压力管路

实际流体的伯努利方程 管路特性曲线 简单管路的水力计算 复杂管路(并联、串联、分支)的水力计算 水击现象

1.3 流动参数的测量

孔板流量计 超声波流量计 容积式流量计 速度式流量计 质量流量计 测压计

1.4 两相流动

气液两相流的特点 截面含气率 截面含液率 气相折算速度 液相折算速度 两相流的雷诺数

1.5 液体输送机械

螺杆泵和往复泵的工作原理 离心泵工作原理 离心泵的汽蚀与吸入特性 离心泵特性曲线 离心泵与管路的匹配 泵功率的计算

1.6 气体输送与压缩机械

通风机、鼓风机和真空泵的工作原理与结构 压缩机的工作原理、结构和特性曲线 离心压缩机的滞止和喘振现象 基本工艺参数计算

复习指导

流体以一定流量沿着管道(或明渠)由一处流到另一处,是一种属于流体动力过程的单元操作。化工生产处理的物料(包括原料、产品和载体等)多数为流体,按照工艺要求在生产设备和机器之间输送这些物料,是实现连续化生产的重要环节。流体流动是研究流体(液体和

气体)的力学运动规律及其应用的学科。其主要研究在各种力的作用下,流体本身的状态以及流体和固体壁面间、流体和流体间、流体与其他运动形态之间的相互作用的基本规律。

当送料点的流体能量足够高时,流体能够按所要求的输送量自行流至低能量的受料点,否则就需用流体输送机械给流体补给能量。流体从输送机械取得机械能,用来补偿受料点和送料点间的能量差,并克服流体在管道或渠道内流动时所受到的流动阻力。

该课程以流体流动的基本规律和流体输送机械为体系,结合生产实际,具有一定的理论和实际意义。题型为单项选择(包括基本概念、基本原理、工程计算、实际应用等)。在复习时,要求按照考试大纲规定的内容,加强对基本概念、基本原理等基础知识的掌握和理解,并能与工程实际相结合,分析和解决实际问题。

复习内容

1.1 流体流动的阻力

要求:重点掌握流体的黏性、流动型态、判据,流体在圆管内流动时沿程阻力的计算;熟悉流体流动过程中常用的基本概念和术语;掌握雷诺数及局部阻力的计算;一般了解局部阻力产生的原因。

1.1.1 流体概述

1. 流体及其特点

从力学的特征讲,气体和液体是一种受任何微小剪切力都能连续变形的介质,它们几乎没有抵抗变形的能力,不但整体会发生运动,内部质点也易发生相对运动。气体和液体具有的这种易变形的特征就是流动性,这是其与固体最显著的区别,因此把气体和液体统称为流体。

液体和气体虽然都是流体,但在研究流体流动的基本原理时也要注意它们之间的区别。与气体相比,液体分子间距离较小,分子间的吸引力较大,液体具有一定的体积,在容器中能够形成一定的自由表面;液体的体积随压力的变化很小,随温度的变化也不很显著,说明液体不易被压缩,因此可把液体视为不可压缩流体。而气体则不然,气体没有一定的体积,总是充满容纳它的整个容器;当压力和温度变化时,其体积变化比较大,说明气体很容易被压缩,因此把气体视为可压缩流体。

2. 流体的黏性及黏度

1) 流体的黏性

流体在管内流动时,由于管壁的吸附力,靠近壁面的一层流体处于静止状态,同时由于流体内部分子间有相互作用力,静止层分子对相邻分子有阻碍作用,使相邻分子的运动速度变慢,离壁面越远,此种阻力就越小。因此,靠近管壁处的流速 $u_0 = 0$,管中心处的流速最大,沿径向存在着速度差异。这样,可将管内的流体视作许多速度不同的薄层圆筒形流体,如图1.1-1所示。相邻两层流体间存在着一种力,速度快的流体层对速度慢的流体层有一种向前拉的力;反之,速度慢的流体层对速度快的流体层有一种向后拉的力,这两种力大小相等、方向相反。因为相邻两层流体的这种相互作用是在流动流体内部产生的,故称为内摩擦

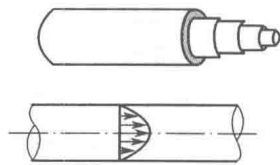


图 1.1-1 管内流体层的速度分布

力。流体在流动时产生内摩擦力的这种性质称为流体的黏性。

黏性是流体固有的属性之一,只不过流体的黏性只有在其流动时才会表现出来。黏性越大,其流动性就越小。流体在流动时产生的内摩擦力是流动阻力产生的根源。也就是说,流体流动时必须克服内摩擦力而做功,从而将流体的一部分机械能转变为热能而“损失”掉。

2) 牛顿黏性定律

实验证明,对一定的流体,内摩擦力 F 与两流体层的速度差 Δu 成正比,与两流体层间的垂直距离 Δy 成反比,与两流体层间的接触面积 S 成正比,这种关系可以用牛顿(Newton)黏性定律来描述:

$$F = \mu \frac{du}{dy} S \quad (1.1-1)$$

式中: $\frac{du}{dy}$ 为速度梯度,即与流体流动方向相垂直的方向上速度随距离的变化率; μ 为比例系数,其值与流体性质有关,流体的黏性越大,其值越大,所以也称为流体的黏性系数。

牛顿黏性定律表明流体流动的内摩擦力的大小与流体性质有关,且与流体流动的速度梯度和流层接触面积成正比。

单位面积上的内摩擦力称为摩擦应力或剪应力,以 τ 表示,则

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.1-2)$$

流体的黏性系数又称为动力黏度,简称黏度。

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}}$$

黏度的物理意义:它是促使流体流动产生单位速度梯度的剪切力,也就是说黏度是速度梯度为 1 时,在单位面积上由于流体的黏性所产生的内摩擦力的大小。

3) 黏度的单位及换算

黏度数据常用物理单位制(CGS)表示,而本课程主要采用国际单位制(即 SI 制),有些计算中还可能用到工程单位制。在 CGS 制中,黏度的单位为 P(泊),通常采用 cP(厘泊)作为黏度的单位;在国际单位制中,黏度的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。不同单位之间的换算关系为

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 = 10 \text{ P} = 1000 \text{ cP}$$

$$1 \text{ P(泊)} = 1 \text{ dyn} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$$

4) 运动黏度

流体的黏度 μ 与密度 ρ 之比称为运动黏度,用 ν 表示,即 $\nu = \mu / \rho$ 。

运动黏度的 SI 制单位和工程单位制单位均为 m^2 / s ,而 CGS 制单位为 cm^2 / s ,称为斯托克斯(Stokes),习惯上称为沱(读音 duò),以符号 St 表示,同样有 $1 \text{ St} = 100 \text{ cSt(厘沱)} = 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$ 。

5) 黏度的影响因素

温度对流体黏度的影响很大,气体的黏度远小于液体的黏度,而且液体和气体的黏度随温度呈相反的变化关系。液体的黏度随温度的升高而减小,而气体的黏度却随温度的升高而增大。这是因为黏度的物理本质是分子间的吸引力和分子的运动与碰撞。由于液体分子间的距离比气体小得多,因而流体分子间的吸引力要大得多,使得造成液体和气体黏性的主要因素不

同,即分子间的吸引力是造成液体黏性的主要因素,当温度升高时,分子间的距离增大,吸引力减小,故液体的黏度减小;相反,气体分子间的吸引力微不足道,造成气体黏性的主要因素是气体分子作混乱运动时在不同速度的流体层间所进行的动量交换,温度愈高,气体分子的混乱运动和碰撞愈强烈,动量交换愈频繁,气体的黏度就愈大。压力对液体的黏度基本没有影响,对气体黏度的影响也很小,在工程计算中可忽略,只有在极高或极低的压力下,才需要考虑压力对气体黏度的影响。

3. 粗糙度的概念

流体通常是在管道中进行流动和输送的,以保证生产的连续性进行。通常将管道壁面的凸出部分的平均高度称为管壁的绝对粗糙度,以 ε 表示;而将绝对粗糙度与管径的比值 ε/d 称为管壁的相对粗糙度。按照管道的材质种类和加工方法,大致可将管道分为光滑管与粗糙管。通常把玻璃管、塑料管等列为光滑管;将钢管、铸铁管等列为粗糙管。

4. 流量和流速

1) 体积流量

单位时间内流体流过管路任一截面的体积称为体积流量,以 V 表示,其单位为 m^3/h 或 m^3/s 。

2) 质量流量

单位时间内流体流过管路任一截面的质量称为质量流量,以 W 表示,其单位为 kg/s 或 kg/h 。

体积流量与质量流量的关系为

$$W = V\rho \quad (1.1-3)$$

式中: ρ 为流体的密度, kg/m^3 。

3) 平均流速

单位时间内流体在流动方向上流过的距离称为流速。实践证明,流体在管路内流动时,由于流体具有黏性,管路截面上流体的流速沿半径是变化的。流体在管路中心流速最大,愈靠近管壁流速愈小,在管内壁处流速为零。流体在截面上某点的流速称为点速度,以 u_r 表示。流体在同一截面上各点流速的平均值称为平均流速,简称流速,以 u 表示,单位为 m/s 。在工程上,平均流速是流体的体积流量 $V(\text{m}^3/\text{s})$ 除以管路的截面积 A ,即

$$u = \frac{V}{A} \quad (1.1-4)$$

式中: A 为管路的截面积, m^2 。

显然, W 、 V 和 u 三者的关系为

$$W = V\rho = uA\rho \quad (1.1-5)$$

4) 质量流速

单位时间内流体流过管路单位截面积的质量称为质量流速,以符号 G 表示,常用单位为 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其表达式为

$$G = \frac{W}{A} = \frac{V\rho}{A} = u\rho \quad (1.1-6)$$

气体的体积流量、流速和密度随温度、压力的变化而变化,但其质量流速不变化,这是因为气体的流速 u 和密度 ρ 成反比例变化,故其质量流速 G 不变。因此,在气体管路的分析和计算