

全国注册环保工程师考试培训教材

注册 环保工程师 执业资格考试 基础考试(下) 复习教程

吴祖成 主编



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

全国注册环保工程师考试培训教材

注册环保工程师执业资格考试基础考试(下)

复习教程

吴祖成 主编



内容提要

本书完全、严格按照《注册环保工程师执业资格考试基础考试的考试大纲》编写,内容覆盖了基础考试下午段的全部内容,即包括工程流体力学与流体机械、环境工程微生物学、环境监测与分析、环境评价与环境规划、污染防治技术、职业法规6门课程。对每门课程书中均设有考试大纲要求、复习点拨、复习内容、仿真习题、习题答案和参考书目。

本书适用于参加注册环保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。

图书在版编目(CIP)数据

注册环保工程师执业资格考试基础考试(下)复习教程/
吴祖成主编. —天津:天津大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-5618-2525-9

I. 注… II. 吴… III. 环境保护—工程技术人员—资
格考核—自学参考资料 IV. X

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 132190 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 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm×260mm
印 张 31.5
字 数 787 千
版 次 2007 年 8 月第 1 版
印 次 2007 年 8 月第 1 次
印 数 1—5 000
定 价 65.00 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要求,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欠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”辅导系列教程,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

2007年4月

前 言

本复习教程参照全国勘察设计注册工程师环保专业管理委员会拟定的《注册环保工程师资格考试基础考试大纲》编写。全书共分为六章,分别为工程流体力学与流体机械、环境工程微生物学、环境监测与分析、环境评价与环境规划、污染防治技术、职业法规。

本书由有多年教学经验的教师编写,内容覆盖大纲的每一知识点,注意基本概念和基础应用,难度适中。考虑到参加考试人员的需求,力争做到概念论述简要且具较强的系统性。为方便读者尽快掌握考试内容,在各章节中指明本章节的复习重点、难点,以及复习中应注意的问题和考试解题技巧等;每一学科的内容包括考试大纲要求、复习点拨、复习内容、仿真习题、习题答案及参考书目。书中编有大量习题和三套模拟试题,期望通过试题的演练提高应试能力。

本书第10章由窦梅编写,第11章由郑平、胡宝平编写,第12章由曾爱斌编写,第13章由马香娟编写,第14章第1节由官宝红编写,第14章第2节、第4节由丛燕青编写,第14章第3节由马静颖编写,第15章由马香娟编写。全书由吴祖成统稿,冯霄、边磊、高俊松、康颖参加了资料整理工作。在编写过程中,还得到浙江大学环境科学研究所、浙江大学环境工程研究所等单位的老师的协助和支持,在此致以真诚的谢意。

本复习教程为首次编写,加之时间仓促,存在不妥和错误在所难免,恳请读者不吝指正,以便再版修改完善。

编者

2007年5月于求是园

目 录

10 工程流体力学与流体机械	(1)
[考试大纲]	(1)
[复习点拨]	(1)
[复习内容]	(2)
10.1 流体力学	(2)
10.1.1 恒定流动与非恒定流动	(2)
10.1.2 理想流体的运动方程式	(2)
10.1.3 实际流体的运动方程式	(2)
10.1.4 伯努利方程式及其使用条件	(3)
10.1.5 总水头线和测压管水头线	(4)
10.1.6 总压线和全压线	(5)
10.2 流体阻力	(5)
10.2.1 层流与紊流、雷诺数	(5)
10.2.2 流动阻力分类	(6)
10.2.3 层流和紊流沿程阻力系数的计算	(6)
10.2.4 局部阻力产生的原因和计算方法	(8)
10.2.5 减少局部阻力的措施	(9)
10.3 管道计算	(10)
10.3.1 孔口(或管嘴)的变水头出流	(10)
10.3.2 简单管路的计算	(11)
10.3.3 串联管路的计算	(13)
10.3.4 并联管路的计算	(14)
10.4 明渠均匀流和非均匀流	(15)
10.4.1 明渠均匀流的计算公式	(15)
10.4.2 明渠水力最优断面和允许流速	(16)
10.4.3 明渠均匀流水力计算的基本问题	(17)
10.4.4 断面单位能量和临界水深	(17)
10.4.5 缓流、急流、临界流及其判别准则	(18)
10.4.6 明渠恒定非均匀渐变流的基本微分方程	(19)
10.5 紊流射流	(19)
10.5.1 紊流射流的基本特征	(19)
10.5.2 圆断面射流	(19)
10.5.3 平面射流	(19)

10.6	气体动力学基础	(19)
10.6.1	压力波传播和音速概念	(19)
10.6.2	可压缩流体一元稳定流动的基本方程	(20)
10.6.3	渐缩喷管与拉伐管的特点	(20)
10.6.4	实际喷管的性能	(21)
10.7	相似原理和模型实验方法	(21)
10.7.1	流动相似的概念	(21)
10.7.2	相似准则	(21)
10.7.3	方程和因次分析法	(21)
10.7.4	流体力学模型研究方法	(22)
10.7.5	实验数据处理方法	(22)
10.8	泵与风机	(23)
10.8.1	泵与风机的工作原理及性能参数	(23)
10.8.2	泵与风机的基本方程	(24)
10.8.3	泵与风机的特性曲线	(25)
10.8.4	管路系统特性曲线	(26)
10.8.5	管路系统中泵与风机的工作点	(26)
10.8.6	离心式泵或风机的工况调节	(26)
10.8.7	离心式泵或风机的选择	(28)
10.8.8	汽蚀与安装要求	(29)
	[仿真习题]	(30)
	[习题答案]	(34)
	[参考书目]	(34)
11	环境工程微生物学	(35)
	[考试大纲]	(35)
	[复习点拨]	(35)
	[复习内容]	(36)
11.1	微生物学基础	(36)
11.1.1	微生物的分类、命名和特点	(36)
11.1.2	非细胞结构的超微生物——病毒	(38)
11.1.3	细菌	(39)
11.1.4	原生动物	(46)
11.1.5	后生动物	(51)
11.2	微生物的生理	(53)
11.2.1	酶的催化特性	(53)
11.2.2	影响酶活力的因素	(54)
11.2.3	微生物的营养类型	(55)
11.2.4	微生物的呼吸类型	(56)
11.2.5	微生物的生长曲线	(58)

11.3 微生物生态	(60)
11.3.1 土壤微生物生态	(60)
11.3.2 空气微生物生态	(62)
11.3.3 水体微生物生态	(62)
11.3.4 水体的自净过程	(63)
11.3.5 污染水体的微生物生态	(64)
11.4 微生物与物质循环	(64)
11.4.1 碳循环	(64)
11.4.2 氮循环	(68)
11.4.3 硫循环	(72)
11.4.4 磷循环	(74)
11.5 污染物质的生物处理	(76)
11.5.1 好氧活性污泥法	(76)
11.5.2 好氧生物膜法	(77)
11.5.3 厌氧消化	(79)
11.5.4 原生动物及微型后生动物在污水生物处理过程中的作用	(80)
[仿真习题]	(81)
[习题答案]	(83)
[参考书目]	(83)
12 环境监测与分析	(84)
[考试大纲]	(84)
[复习点拨]	(84)
[复习内容]	(84)
12.1 环境监测过程的质量保证	(84)
12.1.1 概述	(85)
12.1.2 监测方法的选择	(85)
12.1.3 监测项目的确定	(88)
12.1.4 监测点的设置	(90)
12.1.5 采样与样品保存	(93)
12.1.6 分析测试误差和监测结果表述	(107)
12.1.7 质量控制方法	(111)
12.2 水和废水监测与分析	(115)
12.2.1 物理性质的检验	(115)
12.2.2 金属化合物的测定	(117)
12.2.3 非金属无机物的测定	(121)
12.2.4 有机化合物的测定	(126)
12.3 大气和废气监测与分析	(133)
12.3.1 气态和蒸气态污染物质的监测	(133)
12.3.2 颗粒物的测定	(138)

12.3.3	固定污染源监测	(139)
12.4	固体废弃物监测与分析	(142)
12.4.1	固体废弃物有害特性监测	(142)
12.4.2	生活垃圾特性分析	(144)
12.5	噪声监测与测量	(145)
12.5.1	基本知识	(146)
12.5.2	噪声的物理量	(148)
12.5.3	噪声测量仪器	(149)
12.5.4	声环境噪声测量	(149)
	[仿真习题]	(152)
	[习题答案]	(156)
	[参考书目]	(157)
13	环境评价与环境规划	(158)
	[考试大纲]	(158)
	[复习点拨]	(158)
	[复习内容]	(158)
13.1	环境与生态评价	(158)
13.1.1	环境与环境系统	(158)
13.1.2	环境质量与环境价值	(159)
13.1.3	环境背景值	(159)
13.1.4	环境容量	(160)
13.1.5	环境污染与生态破坏	(160)
13.1.6	环境质量指数	(160)
13.2	环境影响评价	(160)
13.2.1	环境影响评价概述	(160)
13.2.2	污染源调查与工程分析	(169)
13.2.3	大气环境影响评价	(175)
13.2.4	水环境影响评价	(183)
13.2.5	环境噪声和固体废物环境影响评价	(191)
13.2.6	非污染生态影响评价	(200)
13.2.7	其他环境影响评价内容	(205)
13.2.8	区域环境影响评价	(210)
13.3	环境与生态规划	(215)
13.3.1	环境规划概述	(216)
13.3.2	环境规划原则和规划方法	(217)
13.3.3	环境规划指标体系	(217)
13.3.4	环境目标的定义与确定原则	(218)
13.3.5	环境目标的类型与层次	(218)
13.3.6	环境功能区划	(219)

13.3.7	环境预测	(220)
13.3.8	环境规划的编制步骤	(220)
13.3.9	环境规划的制定程序	(221)
13.3.10	中国环境管理的三大政策	(222)
13.3.11	八项环境管理制度	(222)
	[仿真习题]	(224)
	[习题答案]	(228)
	[参考书目]	(228)
14	污染防治技术	(229)
	[考试大纲]	(229)
	[复习点拨]	(229)
	[复习内容]	(229)
14.1	水污染防治技术	(229)
14.1.1	水质指标	(230)
14.1.2	水体与水体自净	(230)
14.1.3	水环境容量	(234)
14.1.4	水处理的基本方法	(235)
14.1.5	物理化学处理方法	(237)
14.1.6	生物化学处理方法	(268)
14.1.7	水处理厂污泥处理方法	(288)
14.1.8	废水深度处理方法	(292)
14.2	大气污染控制工程	(297)
14.2.1	气象要素、大气结构和组成	(297)
14.2.2	大气污染物的种类和来源	(304)
14.2.3	大气污染物浓度的估算方法	(306)
14.2.4	烟气抬升高度与烟囱高度计算	(311)
14.2.5	燃烧与大气污染	(314)
14.2.6	颗粒污染防治方法	(323)
14.2.7	气态污染防治方法	(339)
14.3	固体废弃物处理处置技术	(352)
14.3.1	固体废弃物的产生与管理	(352)
14.3.2	固体废物对环境的危害	(361)
14.3.3	固体废物预处理技术	(362)
14.3.4	固体废物生物处理	(372)
14.3.5	固体废物热处理	(376)
14.3.6	固体废物的最终处置	(381)
14.3.7	固体废物的资源化与综合利用	(391)
14.4	物理污染防治技术	(397)
14.4.1	噪声污染防治技术	(397)
14.4.2	振动防治技术	(404)

14.4.3 电磁辐射和放射性污染治理技术	(410)
[仿真习题]	(415)
[习题答案]	(423)
[参考书目]	(424)
15 职业法规	(425)
[考试大纲]	(425)
[复习点拨]	(425)
[复习内容]	(425)
15.1 环境与基本建设相关的法规	(425)
15.1.1 中华人民共和国宪法	(425)
15.1.2 中华人民共和国环境保护法	(426)
15.1.3 中华人民共和国水污染防治法	(429)
15.1.4 中华人民共和国大气污染防治法	(431)
15.1.5 中华人民共和国环境噪声污染防治法	(435)
15.1.6 中华人民共和国固体废物污染环境防治法	(437)
15.1.7 建设项目环境保护管理条例	(439)
15.1.8 建设项目环境保护分类管理目录	(442)
15.1.9 中华人民共和国海洋环境保护法	(444)
15.1.10 中华人民共和国环境影响评价法	(446)
15.1.11 中华人民共和国建筑法	(450)
15.1.12 建设工程勘察设计管理条例	(453)
15.2 环境质量标准与污染物排放标准	(455)
15.2.1 环境质量标准	(455)
15.2.2 污染物排放标准	(460)
15.3 工程设计人员的职业道德与行为准则	(468)
15.3.1 环保系统工作人员职业道德规范	(468)
15.3.2 监测工作人员道德规范	(468)
15.3.3 环境监理人员行为规范	(469)
15.3.4 工程技术人员职业道德规范	(469)
15.3.5 工程设计人员职业道德规范	(470)
[仿真习题]	(470)
[习题答案]	(473)
[参考书目]	(473)
模拟试题及参考答案	(475)
模拟试题(一)	(475)
模拟试题(二)	(479)
模拟试题(三)	(485)
模拟试题(一)参考答案	(491)
模拟试题(二)参考答案	(492)
模拟试题(三)参考答案	(493)

10 工程流体力学与流体机械

【考试大纲】

10.1 流体动力学

恒定流动与非恒定流动 理想流体的运动方程式 实际流体的运动方程式 伯努利方程式及其使用条件 总水头线和测压管水头线 总压线和全压线

10.2 流体阻力

层流与紊流、雷诺数 流动阻力分类 层流和紊流沿程阻力系数的计算 局部阻力产生的原因和计算方法 减少局部阻力的措施

10.3 管道计算

孔口(或管嘴)的变水头出流 简单管路的计算 串联管路的计算 并联管路的计算

10.4 明渠均匀流和非均匀流

明渠均匀流的计算公式 明渠水力最优断面和允许流速 明渠均匀流水力计算的基本问题 断面单位能量和临界水深 缓流、急流、临界流及其判别准则 明渠恒定非均匀渐变流的基本微分方程

10.5 紊流射流

紊流射流的基本特征 圆断面射流 平面射流

10.6 气体动力学基础

压力波传播和音速概念 可压缩流体一元稳定流动的基本方程 渐缩喷管与拉伐管的特点 实际喷管的性能

10.7 相似原理和模型实验方法

流动相似的概念 相似准则 方程和因次分析法 流体力学模型研究方法 实验数据处理方法

10.8 泵与风机

泵与风机的工作原理及性能参数 泵与风机的基本方程 泵与风机的特性曲线 管路系统特性曲线 管路系统中泵与风机的工作点 离心式泵或风机的工况调节 离心式泵或风机的选择 汽蚀与安装要求

【复习点拨】

工程流体力学与流体机械包含流体力学基本内容和输送机械两部分内容。应重点掌握流体力学基础理论在工程上的应用,如连续性方程积分式、伯努利方程的应用。为使考试取得满意成绩,在进行复习准备时,要按考试大纲规定的内容加深对基本概念、基本原理的理解,在此基础上熟练掌握基本的计算方法和技巧,并综合、灵活地运用基础理论分析和解决实际的工程

问题,最终体现为掌握好解选择题的技巧。

【复习内容】

10.1 流体动力学

要求:应掌握恒定流动与非恒定流动、理想流体、总水头线和测压管水头线、总压线和全压线等基本概念,还要掌握伯努利方程式在工程计算中的应用。了解理想流体和实际流体的运动方程式。

10.1.1 恒定流动与非恒定流动

流体流动时,若任一点处的流速、压力、密度等与流动有关的物理参数都不随时间而变化,就称这种流动为恒定(稳态、定态)流动。反之,只要有一个物理参数随时间而变化,就属于非恒定流动。

本章重点在恒定流动。

10.1.2 理想流体的运动方程式

理想流体是指无黏性即黏度为零的流体。理想流体的运动方程式又称欧拉方程式,直角坐标系下的形式为

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho \left(\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (10.1-1)$$

式中: u_x 、 u_y 、 u_z 分别为流体流速 u 在 x 、 y 、 z 方向上的分量; g_x 、 g_y 、 g_z 分别为单位质量流体所受体积力在 x 、 y 、 z 方向上的分量; p 为压力。

联合求解欧拉方程和连续性方程,可得任意时刻(t)、任意位置(x 、 y 、 z)的 p 、 u_x 、 u_y 、 u_z 。

10.1.3 实际流体的运动方程式

实际流体的运动方程式又称奈维-斯托克斯方程,简称N-S方程。直角坐标系下牛顿型黏性流体的N-S方程如下。

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (10.1-2)$$

等式左边4项代表惯性力,右边第三项代表黏性力。右边第一项和第二项分别与体积力和压力有关。

目前,采用计算机数值流体力学的方法求解连续性方程、N-S方程以及流体的状态方程 $f(\rho, p, T) = 0$ 等5个方程组成的偏微分方程组,再结合具体问题的初始条件和边界条件,可获得速度场、压力场和密度场,现已成功解决了许多湍流问题。但事实上,由于方程组中含有

非线性项,如 $u_x(\partial u_x/\partial x)$ 、 $\rho(\partial u_x/\partial t)$ 等,求解过程十分困难。

10.1.4 伯努利方程式及其使用条件

1. 理想流体的伯努利方程式

在重力场中,对不可压缩理想流体沿流线的稳定流动,将欧拉方程式积分可得理想流体的伯努利方程式:

$$gz + \frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} = C \quad (10.1-3)$$

式中:等号左边 3 项分别代表单位质量理想流体的位能、动能和静压能,单位 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。三者之和称为机械能。

上式使用条件是重力场、不可压缩理想流体、稳定流动。

上式表明,在重力场中,不可压缩理想流体沿流线稳定流动时,各点的 3 种能量尽管可以相互转化,但总和是不变的。

若将伯努利方程应用于管路上,形式为

$$gz_1 + \frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} \quad (10.1-4)$$

式中:下标 1、2 分别代表流体上游和下游的过流断面。

2. 实际流体的伯努利方程式

由于实际流体有黏性,在管内流动时要消耗机械能以克服阻力,因此,在式(10.1-4)的右边须增加一项 w_f 。它表示单位质量流体通过流动系统的机械能损失,简称阻力损失,单位 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。若再计入外加功 w_e (其单位与 w_f 相同,为 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)。于是有下述实际流体的伯努利方程式:

$$gz_1 + \frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + w_e = gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + w_f \quad (10.1-5)$$

上式即为按 1 kg 流体计的不可压缩实际流体的伯努利方程式。

若将式(10.1-5)两边同除以重力加速度 g ,又令 $w_e/g = h_e$, $w_f/g = h_f$,则可得到以单位重量(1 N)流体为基准的伯努利方程式:

$$z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + h_e = z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_f \quad (10.1-6)$$

显然,上式中各项的单位均为 m;其中 z 为位头, $p/\rho g$ 为静压头, $u^2/2g$ 称为动压头(速度头), h_e 称为外加压头(外加能头), h_f 称为压头损失。

使用伯努利方程式时,应注意以下几点。

(1) 作示意图。为了有助于正确解题,在计算前可先根据题意画出流程示意图。

(2) 输入、输出面的选取。输入、输出面(即流通截面)应与流动方向相垂直,两者之间的流体必须连续不断,且面上的已知条件应最多,并包含要求的未知数在内。通常选取系统进、出口处截面作为输入、输出面。

(3) 基准水平面的选取。由于等号两边都有位能,故基准水平面可以任意选取而不影响计算结果,但为了计算方便,一般将基准面定在某一流通截面的中心上,这样,该截面的位能就为零。

(4) 压力的选取。等号两边都有压力项,可用绝压或表压。通常以用表压较为方便。

【例 10.1-1】机械能的相互转化。

如图 10.1-1 所示,一高位槽中液面高度保持为 H ,高位槽下接一管路。在管路上 2、3 处各接两根垂直玻璃管,一根是直的,用来测静压;一根有弯头,用来测动压头与静压头之和,因为流体流到弯头前端时,轴向速度变为零,动压头全部转化为静压头,使得静压头增大为 $(p/\rho g + u^2/2g)$ 。设流体阻力损失可以忽略,2 点处垂直细管内液柱高度如图所示;2、3 处为等径管。试定性画出其余各细管内的液柱高度。

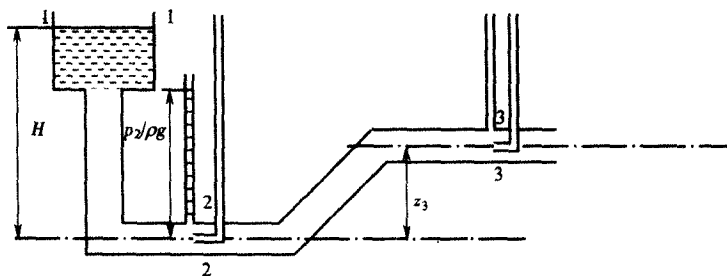


图 10.1-1 例 10.1-1 附图 1

解:阻力损失可以忽略的流体即为理想流体,由面 1-1 流向面 2-2 时,因无阻力损失,故总水头(位头 + 静压头 + 动压头)不变,所以,在 2 处有弯头的小管内液面(代表总水头)应与面 1-1 相平,如图 10.1-2 所示。

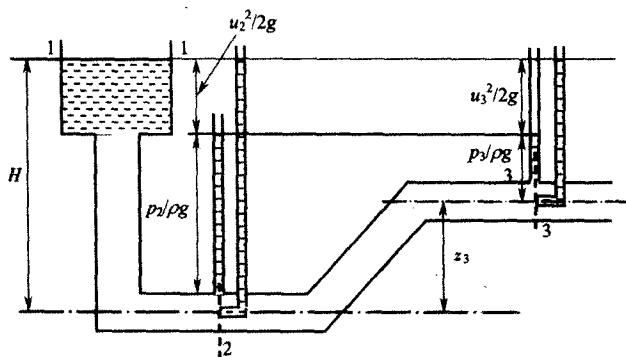


图 10.1-2 例 10.1-1 附图 2

理想流体由面 1-1 流向面 3-3 时,因无阻力损失,故总水头不变,所以,在 3 处有弯头的小管内液面(代表总水头)应与面 1-1 相平,如图 10.1-2 所示。

因 2、3 处为等径管。由面 2-2 流向面 3-3 时,动压头不变,故静压头与位头之和不变,但位头增大(由 0 变为 z_3),相应地,静压头就要减小,3 处垂直玻璃管内水位(代表静压头)如图 10.1-2 所示。

10.1.5 总水头线和测压管水头线

位头 z 、静压头 $p/\rho g$ 和动压头 $u^2/2g$ 之和称为总能头,在水力学中称为总水头,用 H 表示,即 $H = z + p/\rho g + u^2/2g$ 。位头 z 和静压头 $p/\rho g$ 之和在水力学中称为测压管水头。

由于“头”为流体柱高度,因此用它来表示流体的各种机械能大小颇为直观。

实际流体的伯努利方程各项及总水头、测压管水头的沿程变化可用几何曲线表示(如图 10.1-3 所示)。水经过流断面(流通截面)的测压管水头连线称为测压管水头线,而总水头的连

线则称为总水头线。

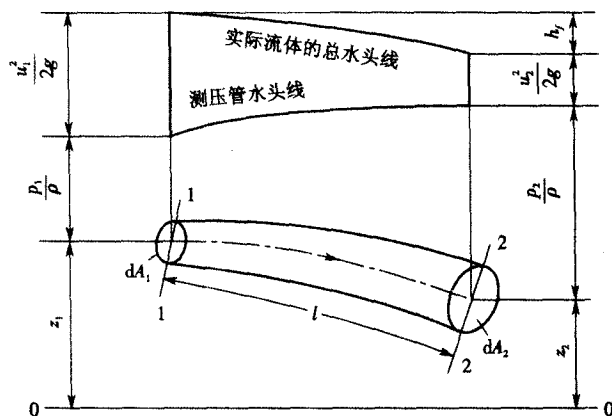


图 10.1-3 测压管水头线和总水头线

对于理想流体,由式(10.1-4)可知,其总水头线为一条水平直线。对于实际流体,由于流体在流动过程中总是有压头损失,故其总水头线总是沿程下降的。

测压管水头线沿流动方向可以上升也可以下降,这是因为沿流动方向,流速可能因为管径的变大(或变小)而变小(或变大)。

10.1.6 总压线和全压线

10.1.5 节中的总水头线和测压管水头线主要用于液体的流动,而气体的流动用类似的总压线和势压线更为方便。

位能 ρgz 、静压 p 和动能 $\rho u^2/2$ 之和称为总压,即 $P = \rho gz + p + \rho u^2/2$,将各流通断面上的总压连成线则称为总压线。位能 ρgz 和静压 p 之和则称为势压,将各流通断面上的势压连成线则称为势压线(全压线)。

总压线总是沿程下降的,势压线沿程变化则与动能变化有关。

10.2 流体阻力

要求:应掌握层流与紊流的基本概念;能用雷诺数判断流动型态;了解流动阻力产生的原因和减少局部阻力的措施;熟练计算两种阻力。

10.2.1 层流与紊流、雷诺数

当流体流动时,在不同条件下,可以观察到两种截然不同的流动型态——层流和紊流。

层流(laminar flow,又称滞流)时,流体质点在各自的轨道上运动,彼此不发生干扰或碰撞,因此,流动平稳有序。流动速度很低时往往保持为层流型态。

紊流(turbulent flow,又称湍流)时,流体质点之间不断地碰撞与掺混,导致流动紊乱,流速和压强等流动参数随时间无序地脉动。在实验中可以观察到,湍流时不断有旋涡生成、移动、扩大、分裂和消失。

判断流动型态的准则数是雷诺数,用符号 Re 表示, $Re = du\rho/\mu$ 。当 Re 数较小时,流体作层流运动; Re 数较大时,流体作紊流运动。例如,流体在圆形直管内流动,当 $Re \leq 2\,000$ (还有一说为 $2\,300$)时为层流;当 $Re > 4\,000$ 时,圆管内形成湍流;当 Re 在 $2\,000 \sim 4\,000$ 范围内时,流动处于一种过渡状态,可能是层流也可能是湍流,或是二者交替出现,这要视外界干扰而定,一

般称这一 Re 数范围为过渡区。

雷诺数是一个无因次准数,故其值不会因采用不同的单位制而不同。

10.2.2 流动阻力分类

按流体在流动中产生机械能损失的不同的外在原因,可将流动阻力分为 2 种类型。

1. 沿程阻力

它是沿流动路程上由于各流体层之间的内摩擦而产生的流动阻力,因此也叫做摩擦阻力。在层流状态下,沿程阻力完全是由黏性摩擦产生的。在紊流状态下,沿程阻力一部分由边界层内的黏性摩擦造成,另一部分也是主要部分则由流体质点的迁移和脉动造成。沿程阻力最终用来克服固体表面与流体之间的摩擦力,因此也称为表面阻力。

2. 局部阻力

流体在流动中若遇到局部障碍时,如流道发生弯曲、流通截面扩大或缩小、流体通道中的各种各样的物件如阀门等,由于流体的流速或流动方向突然发生变化,产生边界层分离和涡流,从而导致局部阻力损失(又称形体阻力损失)。由于引起局部损失机理的复杂性,目前只有少数情况可进行理论分析,多数情况需要用实验方法确定。

流体在工程设备中流动时,上述两类流动阻力都会产生。因此掌握计算流动阻力的原理和方法是必要的。

10.2.3 层流和紊流沿程阻力系数的计算

根据伯努利方程和管内流体受力平衡可以推得管内流动沿程阻力的计算通式如下:

$$\text{单位质量流体的沿程阻力 } w_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2} \quad \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (10.2-1)$$

$$\text{单位体积流体的沿程阻力 } \Delta p_f = \rho w_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho u^2}{2} \quad \text{J} \cdot \text{m}^{-3} \text{ 或 Pa} \quad (10.2-2)$$

$$\text{单位重量流体的沿程阻力 } h_f = \frac{w_f}{g} = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2g} \quad \text{J} \cdot \text{N}^{-1} \text{ 或 m} \quad (10.2-3)$$

上述公式对层流和紊流均适用。由上述公式计算阻力损失,关键是摩擦系数 λ 的获取。层流和湍流时的 λ 求法有所不同。

1. 层流流动时的 λ

理论上可以精确导出圆管内层流时的 λ 计算式如下:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (10.2-4)$$

将式(10.2-4)代入式(10.2-1)可知,层流时管内沿程阻力与平均流速 u 的一次方成正比。

2. 紊流流动时的 λ

对于紊流的摩擦系数 λ ,目前还无法从理论上推导出来,需查取经验图(Moody 图,见图 10.2-1)或通过经验关系式计算。

由图 10.2-1 可见,紊流时,随雷诺数 Re 增加, λ 将减小,当 Re 增大到某一数值后(见图中虚线以右), λ 基本不变,此时沿程阻力与速度的平方成正比,故称这一区域为阻力平方区。

3. 非圆形管内的沿程阻力

以上所讨论的都是流体在圆管内的沿程阻力。化工生产中会遇到非圆形的管道,例如有些气体输送管是矩形的,有时流体会在内外两管之间的环隙内流过等。

对于非圆形管内的流体流动,也可以按前面介绍的圆管公式计算沿程损失,但须将公式中