

教育部高职高专规划教材



食品工程原理 例题与习题

张 妍 主编 姜淑荣 主审



化学工业出版社

食品工程原理 例题与习题

编 著 王 明 编 审 曹 建 刚



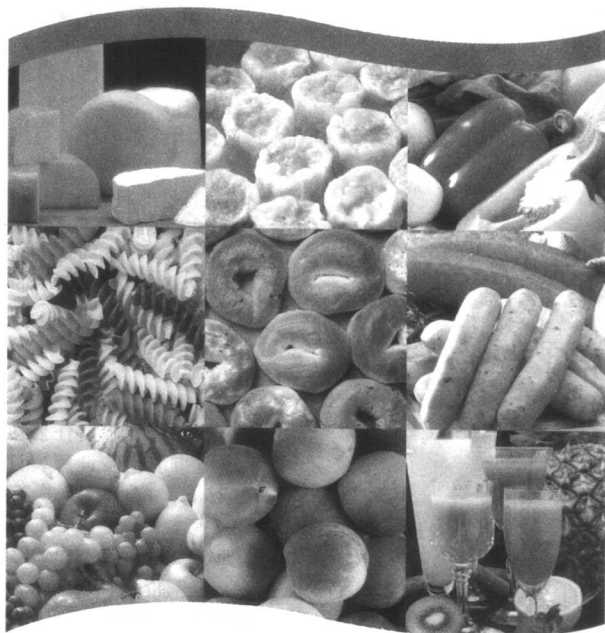
中国轻工业出版社

教育部高职高专规划教材



食品工程原理 例题与习题

张 妍 主编 姜淑荣 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书与姜淑荣主编的《食品工程原理》教材(2006年6月,化学工业出版社)相配套。通过对本书的阅读,进一步明确重点内容,理解知识点,掌握解题方法和技巧。

本书共八章,因《食品工程原理》中的“第四章混合乳化”习题较少,本书未列该章内容,其余章节均与教材对应。本书每章根据教材的内容体系分为若干节,每节分为知识要点和例题解析两部分,侧重于例题解析,并配有教材课后的练习题解答、习题解答。知识要点明确了常用的计算公式和必要说明,例题解析列举了较为典型的计算题,阐明了例题的解法,使用计算公式的注意事项、过程影响因素、工程应用等。

本书可供高职高专食品专业类及相关专业的师生使用,也可作为食品工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

食品工程原理例题与习题/张妍主编. —北京:化学工业出版社, 2006.9

教育部高职高专规划教材

ISBN 978-7-5025-9496-1

I. 食… II. 张… III. 食品工程学-高等学校: 技术学院-习题 IV. TS201.1-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 117968 号

教育部高职高专规划教材
食品工程原理例题与习题

张 妍 主编

姜淑荣 主审

责任编辑:蔡洪伟 陈有华

责任校对:李 军

封面设计:郑小红

*

化学工业出版社出版发行
(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

购书咨询:(010)64518888

购书传真:(010)64519686

售后服务:(010)64518899

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 7 $\frac{3}{4}$ 字数 181 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9496-1

定 价: 14.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

高职高专食品类专业规划教材

编审委员会

主 任 金长义

副主任 葛 亮 盛成乐 徐恒山 阎保平 臧大存

张立彬 张 泰 朱 珠

委 员 陈剑虹 陈 志 杜克生 葛 亮 胡永源

姜淑荣 冷士良 李晓华 梁传伟 穆华荣

潘 宁 孙来华 唐 突 王 莉 王亚林

文连奎 熊万斌 杨登想 杨清香 杨士章

杨永杰 叶 敏 于艳琴 展跃平 张晓燕

张 妍 张英富 赵思明 周凤霞 周光理

朱乐敏 朱 珠

(按姓氏汉语拼音排序)

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

前 言

本书是按照高等职业教育食品类专业规定的职业培养目标编写的。在编写过程中严格按照教育部颁布的教育改革文件精神，把能力为本位作为教育教学的指导思想，重点培养学生的职业道德、创新精神和实践能力。

本书面向高职高专食品专业学生进行编写。教材突出知识点，浅显易懂，以实用够用为原则，使教师易教，学生易学；内容方面，在保证知识的系统性和完整性的前提下，更注重理论的实用性；在结构体系上，针对职业教育的特点，按照实际工作分成若干章节来编写；在表述形式上，为了便于理解和掌握，列举了大量习题及解析。

本书与姜淑荣主编的《食品工程原理》教材相配套。依据其知识要点、重点内容进行编写，目的是使食品专业学习者能够通过大量习题进一步掌握重点内容，理解知识点，掌握解题方法和技巧。全书共八章，重点是流体流动、流体输送、传热、蒸发、蒸馏、干燥。

在编写过程中，参考了有关文献资料，在此衷心感谢同行的支持。

参加编写的人员有：张妍，编写每一章的知识要点和例题解析；杨忠义，编写每一章的习题解答和练习题解答；同时感谢姜淑荣老师的指导。

由于时间仓促，笔者水平有限，本书难免出现疏漏，希望能得到大家的批评和指正，笔者不胜感激。

编 者
2006 年 9 月

目 录

绪论	1
知识要点	1
第一章 流体流动	2
第一节 流体静力学	2
知识要点	2
例题解析	3
第二节 流体动力学	5
知识要点	5
例题解析	6
第三节 流体阻力	8
知识要点	8
例题解析	9
第四节 管路计算	12
知识要点	12
例题解析	13
第五节 流量的测量	13
知识要点	13
习题	14
第二章 流体输送机械	16
第一节 液体输送机械	16
知识要点	16
例题解析	17
第二节 气体输送与压缩机械	19
知识要点	19
例题解析	20
习题	21
第三章 非均相混合物的分离	22
第一节 重力沉降	22
知识要点	22
例题解析	22
第二节 过滤	25
知识要点	25
例题解析	25
第三节 离心分离	26
知识要点	26
例题解析	27
习题	27

第四章 传热	28
第一节 热传导	28
知识要点	28
例题解析	29
第二节 对流传热	31
知识要点	31
例题解析	31
第三节 传热过程计算	32
知识要点	32
例题解析	33
第四节 热辐射	35
知识要点	35
例题解析	35
习题	36
第五章 单效蒸发	38
知识要点	38
例题解析	38
习题	41
第六章 干燥	42
第一节 干燥基本原理	42
知识要点	42
例题解析	43
第二节 干燥过程的计算	45
知识要点	45
例题解析	46
习题	47
第七章 蒸馏	49
第一节 蒸馏理论	49
知识要点	49
例题解析	49
第二节 板式塔中双组分精馏的计算	51
知识要点	51
例题解析	52
习题	55
第八章 萃取	57
知识要点	57
例题解析	59
测试题	63
测试题一	63
测试题二	66
测试题三	69

参考答案	72
绪论解答	72
练习题解答（第一章）	72
习题参考答案（第一章）	75
练习题解答（第二章）	79
习题参考答案（第二章）	81
练习题解答（第三章）	83
习题参考答案（第三章）	85
练习题解答（第四章）	86
习题参考答案（第四章）	89
练习题解答（第五章）	93
习题参考答案（第五章）	94
练习题解答（第六章）	95
习题参考答案（第六章）	98
练习题解答（第七章）	101
习题参考答案（第七章）	104
练习题解答（第八章）	107
测试题一参考答案	109
测试题二参考答案	110
测试题三参考答案	111
参考文献	113

绪 论

知 识 要 点

1. 物料衡算、能量衡算的基本概念与计算公式

$$\text{输入质量} = \text{输出质量} + \text{积存质量}$$

对于稳定过程：输入质量 = 输出质量

$$\text{输入能量} = \text{输出能量} + \text{积存能量}$$

对于稳定过程：输入能量 = 输出能量

2. 物料衡算要点

- ① 针对提出的实际问题，弄清衡算目的、已知量、未知量。
- ② 根据问题的类型和性质，确定需要补充哪些数据，并设法从各种渠道去得到这些数据。
- ③ 用流程示意图表示衡算对象，选定适当的衡算系统，即将问题的文字描述转化为图形描述。用闭合线框出衡算系统，注明进、出系统各物流及其组分名称或代号、相状态、流量和组成（包括已知量和未知量，必要时将它们换算成统一单位。）
- ④ 确定衡算基准，即选定其中某一股物流及其数量作为计算基准。
- ⑤ 按框出的衡算范围，列出独立的物料衡算式。
- ⑥ 利用多余的物料衡算式和组成归一性方程来检验计算结果是否正确，并对计算结果的合理性进行分析。

3. 能量衡算的要点

- ① 根据题意画出衡算示意图，注明各物流的数量、组成、温度、相状态及焓值。
- ② 确定衡算基准，计算各物流的焓值。
- ③ 列出热量衡算式，求解未知数。

4. 单位制与单位换算

见教材附录常用单位的换算关系。

第一章 流体流动

第一节 流体静力学

知 识 要 点

一、流体的主要物理量

1. 密度、相对密度、重度、比体积

(1) 密度

① 密度的定义

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

② 液体密度的计算（理想液体）

纯组分液体密度的计算：
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-2)$$

液体混合物密度的计算：
$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{X_{w1}}{\rho_1} + \frac{X_{w2}}{\rho_2} + \dots + \frac{X_{wn}}{\rho_n} \quad (1-3)$$

③ 气体密度的计算（理想气体）

纯组分气体密度的计算：
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \quad (1-4)$$

气体混合物密度的计算：
$$\rho_m = \frac{pM_{\text{均}}}{RT} \quad M_{\text{均}} = M_1 X_{v1} + M_2 X_{v2} + \dots + M_n X_{vn} \quad (1-5)$$

(2) 相对密度
$$d_{277}^T = \frac{\rho}{\rho_{\text{水}}} \quad (1-6)$$

(3) 重度 (r) 单位为 N/m^3 ，密度与重度的关系：

$$r = \rho g \quad (1-7)$$

(4) 比体积 (v) 单位为 m^3/kg ：

$$v = \frac{V}{m} \quad (1-8)$$

2. 压力（表压力、绝对压力、大气压力）

三者关系：

表压力 = 绝对压力 - 大气压力
$$p_{\text{表}} = p - p_{\text{大}} \quad (1-9)$$

真空度 = 大气压力 - 绝对压力
$$p_{\text{真}} = p_{\text{大}} - p \quad (1-10)$$

二、流体静力学方程式及其应用

1. 流体静力学方程式
$$p_2 = p_1 + \rho g h \quad (1-11)$$

若以容器底面为基准面，则
$$p_2 = p_1 + \rho g (z_1 - z_2) \quad (1-12)$$

2. 流体静力学方程式的应用

(1) 压力的测量

$$\textcircled{1} \text{ U形管压差计: } p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho_B)gR \quad (1-13)$$

$$\text{被测流体为气体: } p_1 - p_2 = \rho_A gR \quad (1-14)$$

$$\textcircled{2} \text{ 双液体 U形管压差计: } p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho_C)gR \quad (1-15)$$

$$(2) \text{ 液位的测量 } h = \frac{R\rho_{\text{示}}}{\rho} \quad (1-16)$$

例题解析

【例 1-1】求干空气在常压 ($p=101.3\text{kPa}$)、 20°C 下的密度。

解 (1) 根据公式(1-5) $\rho_m = \frac{pM_{\text{均}}}{RT}$ $M_{\text{均}} = M_1 X_{v1} + M_2 X_{v2} + \cdots + M_n X_{vn}$

$$M_{\text{均}} = 32 \times 0.21 + 28 \times 0.79 = 28.84\text{kg/mol}$$

$$\rho_m = 101.3 \times \frac{28.84}{8.314 \times 293} = 1.200\text{kg/m}^3$$

(2) 亦可由《食品工程原理》附录(以下简称附录)查得 20°C 下空气的密度为 1.205kg/m^3

(3) 亦可由手册查得空气的摩尔质量 $M=28.95\text{kg/mol}$

$$\text{根据公式(1-4) } \rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} = \frac{101.3 \times 28.95}{8.314 \times (273+20)} = 1.204\text{kg/m}^3$$

(4) 若查得 101.3kPa 、 0°C 下空气密度 $\rho_0=1.293\text{kg/m}^3$

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T} = 1.293 \times \frac{273}{293} = 1.205\text{kg/m}^3$$

解析说明

方法一从空气由 21%氧(体积分数)和 79%氮(体积分数)组成的混合气体考虑计算。方法二不需计算,利用已有的附表查出。方法三认为空气纯组分,气体具有压缩性,因而密度随 p 、 T 变化,这里可按理想气体计算密度,其体积分数等于摩尔分数。方法四是利用温度与压力的关系进行换算。四种方法均可满足工程计算要求。另外注意理想气体计算公式中 p 的单位是 kPa 。

【例 1-2】若将 20kg 密度为 1000kg/m^3 的油与 80kg 密度为 800kg/m^3 的油混在一起,求混合后油的密度。

$$\text{解 根据公式(1-3) } \frac{1}{\rho_m} = \frac{X_{w1}}{\rho_1} + \frac{X_{w2}}{\rho_2} + \cdots + \frac{X_{wn}}{\rho_n}$$

$$\text{其中: } X_{w1} = \frac{20}{20+80} = 20\% \quad X_{w2} = \frac{80}{20+80} = 80\%$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{20\%}{1000} + \frac{80\%}{800} \quad \rho = 833.3\text{kg/m}^3$$

解析说明

计算混合液体密度时应注意已知条件所给的组成表示法,应先换算成公式要求的质量分数表示后再进行计算。

【例 1-3】某离心泵的入口处设有真空表,其读数为 120kPa ,其出口处设有压强表读数为 200kPa 。当地大气压强为 300kPa ,求离心泵出入口的压强差。

$$\text{解 泵入口处的绝对压强为: } p_1(\text{绝压}) = \text{大气压} - \text{真空度} = 300 - 120 = 180\text{kPa}$$

$$\text{泵出口处的绝对压强为: } p_2(\text{绝压}) = \text{表压} + \text{大气压} = 200 + 300 = 500\text{kPa}$$

$$\text{泵出口、入口处的压强差为: } p = p_2(\text{绝压}) - p_1(\text{绝压}) = 500 - 180 = 320\text{kPa}$$

解析说明

应用计算公式进行计算时，首先应注意各符号的物理意义，如离心泵出入口的压强差是绝对压强的差值。同时注意单位的一致性。也可简化计算：如果规定表压为正值，则真空度为负值，则泵出口、入口处的压强差为： $p_2(\text{表}) - p_1(\text{真}) = 200 - (-120) = 320\text{kPa}$ 。

【例 1-4】 当地大气压为 700mmHg 时，问位于水面下 20m 深处的绝对压强是多少？

解 $p_0 = \frac{700}{760} \times 1.0133 \times 10^5 = 9.333 \times 10^4 \text{Pa}$ 常温下 $\rho_{\text{水}} = 998.2\text{kg/m}^3$

由公式(1-12) $p_2 = p_1 + \rho g(z_1 - z_2) = p_0 + 998.2 \times 9.81 \times 20 = 2.89 \times 10^5 \text{Pa}$

解析说明

计算公式中单位要统一，另外熟练掌握单位之间的换算关系。

【例 1-5】 测量地下油罐的储量，可采用如图 1-1 所示的装置。通入氮气，控制其流量，有气泡在观察瓶中逸出即可。若已知水银 U 形管读数 $R = 140\text{mm}$ ，通气管距油罐底 $h = 30\text{cm}$ ，油的密度为 850kg/m^3 ，指示剂密度为 13600kg/m^3 ，油罐直径为 2m，试求油罐中所储油量是多少？

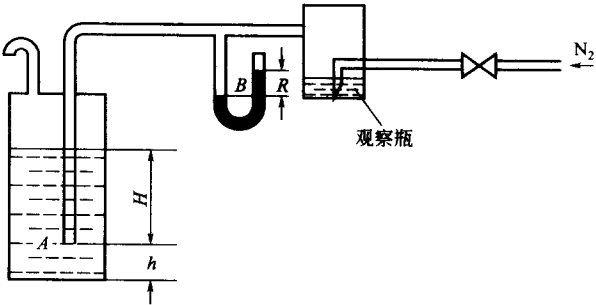


图 1-1 [例 1-5] 附图

解 由于氮气流速可忽略，因此 $p_A = p_B$

$$p_A = \rho_{\text{油}} g H \quad p_B = \rho_{\text{指}} g R \quad \rho_{\text{油}} g H = \rho_{\text{指}} g R$$

通气管插入油罐的深度为： $H = 0.14 \times 13600 / 850 = 2.24\text{m}$

油罐内油的液位为： $H + h = 2.24 + 0.3 = 2.54\text{m}$

油罐的体积量为： $V = \frac{\pi}{4} d^2 (H + h) = 0.785 \times 2^2 \times 2.54 = 7.98\text{m}^3$

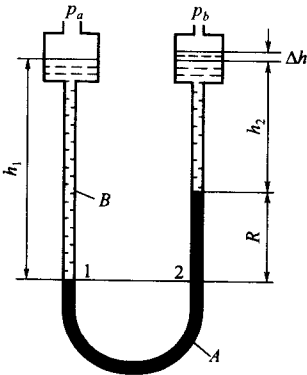


图 1-2 [例 1-6] 附图

解析说明

利用静力学原理，可对液体进行液位测量，尤其用于食品生产中经常使用大罐液位的测量。

【例 1-6】 用微压压差计测量气体压强差，在测压前，扩大室内液体处于同一水平面，如果扩大室不够大，则产生一定误差。见图 1-2 微压压差计测量 a 、 b 两点处的压力差，已知 $R = 400\text{mm}$ ，U 形管直径 $d = 5\text{mm}$ ，扩大室直径 $D = 50\text{mm}$ 。求实际压差为多少？若不考虑扩大室高差，会产生多少误差？($\rho_A = 1010\text{kg/m}^3$ ， $\rho_B = 920\text{kg/m}^3$)

解 指示剂密度为 ρ_A 的压差计读数为 R 时，扩大室会出现高差 Δh ，其计算值为

$$\frac{\pi}{4}d^2R = \frac{\pi}{4}D^2\Delta h \quad \Delta h = \left(\frac{d}{D}\right)^2 R = \left(\frac{5}{50}\right)^2 \times 0.4 = 0.004\text{m}$$

取等压面 1-2, 则 $p_1 = p_2$ $p_1 = p_a + h_1\rho_B g$ $p_2 = p_b + (\Delta h + h_2)\rho_B g + R\rho_A g$

$$h_1 = h_2 + R \quad p_a - p_b = (\rho_A - \rho_B)gR + \rho_B g \Delta h$$

$$= (1010 - 920) \times 9.81 \times 0.4 + 920 \times 9.81 \times 0.004 = 389.3\text{Pa}$$

若不考虑扩大室高差, 则计算得

$$p_a - p_b = (\rho_A - \rho_B)gR = (1010 - 920) \times 9.81 \times 0.4 = 353.2\text{Pa}$$

$$\text{相对误差为:} \quad \frac{353.2 - 389.3}{389.3} \times 100\% = -9.27\%$$

解析说明

微压压差计广泛应用于所测压差不大, 但又需精确读数的场所, 实际上扩大室的液位要发生变化, 为减少误差, 要求扩大室的面积至少是 U 形管的面积的 10 倍。这样的误差才在工程允许的范围之内。

第二节 流体动力学

知 识 要 点

一、流体流动的相关概念

1. 流量

体积流量 q_v , m^3/s ; 质量流量 q_m , kg/s

二者之间的关系为:

$$q_m = q_v \rho \quad (1-17)$$

2. 流速 (u)

$$u (\text{m}/\text{s}) = \frac{q_v}{A} \quad (1-18)$$

流速与质量流量、体积流量的关系: $q_m = q_v \rho = u A \rho$

$$(1-19)$$

二、流体动力学方程式及其应用

1. 连续性方程 ($u_1 A_1 \rho_1 = u_2 A_2 \rho_2$)

$$(1-20)$$

对于不可压缩流体, 连续性方程为:

$$q_v = u_1 A_1 = u_2 A_2 = \cdots = u_n A_n = \text{常量} \text{ 或 } \frac{u_1}{u_2} = \frac{A_2}{A_1} \quad (1-21)$$

圆形管的连续性方程为:

$$\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \quad (1-22)$$

2. 柏努利方程

(1) 理想流体柏努利方程

$$\textcircled{1} \text{ 以单位质量流体为计算基准: } gz_1 + \frac{1}{2}u_1^2 + \frac{p_1}{\rho} = gz_2 + \frac{1}{2}u_2^2 + \frac{p_2}{\rho} \quad (1-23)$$

$$\textcircled{2} \text{ 以单位重量流体为计算基准: } z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} \quad (1-24)$$

(2) 实际流体柏努利方程

① 以单位质量流体为计算基准:

$$gz_1 + \frac{1}{2}u_1^2 + \frac{p_1}{\rho} + W = gz_2 + \frac{1}{2}u_2^2 + \frac{p_2}{\rho} + E_{\text{损}} \quad (1-25)$$

② 以单位重量流体为计算基准:

$$z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + H = z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_{\text{损}} \quad (1-26)$$

3. 柏努利方程式的应用

① 柏努利方程是流体力学中十分重要的方程式, 它阐明了流体流动或流体平衡时各种各样形式机械能之间转化规律及其外界机械能之间的转化, 柏努利方程与连续性方程联立, 共同解决流体流动中的实际问题。

若为静止流体, $u_1 = u_2 = 0$, 则式(1-24)可表达为 $gz_1 + \frac{p_1}{\rho} = gz_2 + \frac{p_2}{\rho}$, 即静力学基本方程式, 可见静力学基本方程式是柏努利方程的一个特例。

② 计算流体输送机械的功率, 有效功率: $P_{\text{有}} = Wq_m$ (1-27)

例题解析

【例 1-7】 在稳定流动系统中, 水连续地从粗管流入细管。粗管规格 $\phi 89 \times 4\text{mm}$, 细管规格 $\phi 57 \times 3.5\text{mm}$, 已知粗管中水的流速为 0.9m/s , 试求细管中水的流速?

解 粗管内径: $d_1 = 89 - 2 \times 4 = 81\text{mm} = 0.081\text{m}$

细管内径: $d_2 = 57 - 2 \times 3.5 = 50\text{mm} = 0.050\text{m}$

由公式(1-22) $\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$ $u_2 = u_1 \times \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 = 0.9 \times \left(\frac{0.081}{0.050}\right)^2 = 2.36\text{m/s}$

细管中水的流速为 2.36m/s 。

解析说明

计算公式中直径应是内径 (流体在管内流动), 因此管子规格给出后, 应将壁厚减去。

【例 1-8】 管子的内径为 100mm , 303K 水的流速是 5m/s , 求体积流量和质量流量。

解 当 $t = 303 - 273 = 30^\circ\text{C}$ 30°C 时水的密度 $\rho = 995.7\text{kg/m}^3$

$u = 5\text{m/s}$ $d = 100\text{mm} = 0.1\text{m}$

$$q_v = u \times A = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times u = 0.785 \times 0.1^2 \times 5 = 3.9 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$$

$$q_m = \rho \times q_v = 995.7 \times 3.9 \times 10^{-2} = 38.8\text{kg/s}$$

解析说明

体积流量与质量流量之间的换算关系, 流量与速度之间的关系, 是流体流动过程中常见的公式之一。

【例 1-9】 用泵从河中抽水作为喷洒冷却器用水。泵的吸入口内径为 120mm , 泵出口管内径为 80mm 。水的流量是 $45\text{m}^3/\text{h}$ 。水出口处比河面高 6m , 大气压为 10^5Pa 。损失能量为 98.1J/kg , 求泵的有效功率。

解 取水出口处和河面处为两个截面, 其中河面为基准面。

根据柏努利方程式: $gz_1 + \frac{1}{2}u_1^2 + \frac{p_1}{\rho} + W = gz_2 + \frac{1}{2}u_2^2 + \frac{p_2}{\rho} + E_{\text{损}}$

其中: $z_1 = 0$ $z_2 = 6\text{m}$ $p_1 = 0$ (表压) $p_2 = 10^5\text{Pa}$ (表压)

泵的入口管直径 $d_1 = 120\text{mm} = 0.12\text{m}$, 泵的出口管直径 $d_2 = 80\text{mm} = 0.08\text{m}$ 。

$$\text{泵的出口管流速: } u_2 = \frac{q_v}{\frac{\pi}{4} d_2^2} = \frac{45}{0.785 \times 0.08^2 \times 3600} = 2.49 \text{ m/s}$$

$$u_1 = 0 \quad E_{\text{损}} = 98.1 \text{ J/kg} \quad \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{代入柏努利方程解出: } W &= g z_2 + \frac{1}{2} u_2^2 + \frac{p_2}{\rho} + E_{\text{损}} \\ &= 9.81 \times 6 + 0.5 \times 2.49^2 + \frac{10^5}{1000} + 98.1 = 260 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

$$\text{泵的有效功率: } P_{\text{有}} = \rho q_v W = 1000 \times 260 \times \frac{45}{3600} = 3.25 \text{ kW}$$

解析说明

(1) 选择基准面时, 一般选择位置较低的截面, 同时使柏努利方程中的一个 z 为零, 以方便计算。选取截面时, 主要考虑与已知条件和待求参数相关的截面, 截面多选在较大液面上, 可认为较大液面上的流速为零。

(2) 选用柏努利方程时, 要根据题目所给条件。如题已知阻力损失能量为 98.1 J/kg , 故选用以单位质量流体为计算基准的柏努利方程公式较为合适, 使计算简便。

(3) 在计算过程中, 应注意压强的表达方式的一致性, 如果一个截面用表压, 那么另一截面也用表压。

【例 1-10】 车间冷却水循环系统, 见图 1-3, 冷却水由 A 经过两个换热器到 B 的损失能量为 100 J/kg 。由 B 回到 A 的损失能量为 50 J/kg , 循环冷却水流量为 $40 \text{ m}^3/\text{h}$, 密度为 1000 kg/m^3 。试问 (1) 若泵效率 $\eta = 0.65$, 泵的轴功率是多少? (2) 若 A 处压力表读数为 260 kPa , 估计 B 处压力表的读数为多少?

解 (1) 由于是循环管路, 因此可选管路上任一截面为 1-1 截面, 2-2 截面。

$$z_1 = z_2 \quad p_1 = p_2 \quad u_1 = u_2$$

代入柏努利方程得: $W = E_{\text{损}} = 100 + 50 = 150 \text{ J/kg}$

$$\text{泵的轴功率为: } P_{\text{轴}} = \frac{W q_m}{\eta} = \frac{150 \times 40 \times 1000}{3600 \times 0.65} = 2.564 \text{ kW}$$

(2) 取 A 处为 1-1 截面, B 处为 2-2 截面, 以 A 处为基准面。

$$z_1 = 0 \quad u_1 = u_2 \quad z_2 = 10 \text{ m} \quad p_1 = 260 \text{ kPa} \quad W = 0 \quad E_{\text{损}} = 100 \text{ J/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{代入柏努利方程得: } p_2 &= p_1 - (z_2 g + E_{\text{损}}) \rho \\ &= 260 \times 10^3 - (10 \times 9.81 + 100) \times 1000 = 61.9 \text{ kPa} \end{aligned}$$

解析说明

求 B 处压力表的读数时, 方法有两种: 可在 A、B 间列柏努利方程, 也可在 B、A 间列柏努利方程。第二种方法是: 取 B 处为 1-1 截面, A 处为 2-2 截面, 以 A 处为基准面。

$$z_1 = 10 \text{ m} \quad z_2 = 0 \text{ m} \quad u_1 = u_2 \quad p_2 = 260 \text{ kPa} \quad W = 150 \text{ J/kg} \quad E_{\text{损}} = 50 \text{ J/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{代入柏努利方程} \quad p_1 &= p_2 - (z_1 g + W - E_{\text{损}}) \rho \\ &= 260 \times 10^3 - (10 \times 9.81 + 150 - 50) \times 1000 \\ &= 61.9 \text{ kPa} \end{aligned}$$

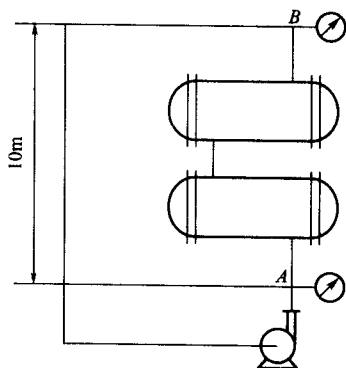


图 1-3 [例 1-10] 附图