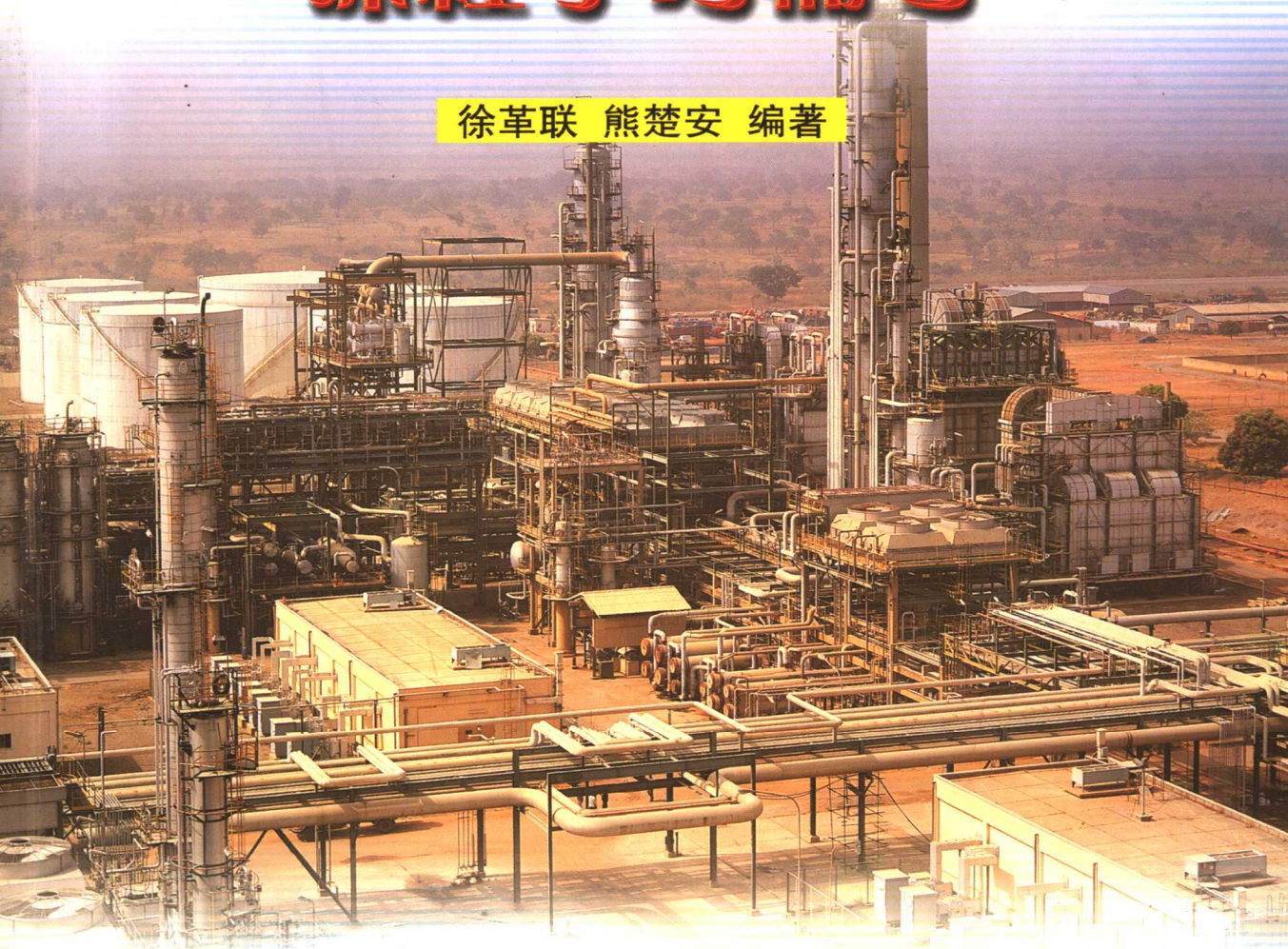


高等学校教学参考书

化工原理

课程学习辅导

徐革联 熊楚安 编著



哈尔滨地图出版社

化工原理课程学习辅导

HUAGONG YUANLI KECHENG XUEXI FUDAO

徐革联 熊楚安 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

哈尔滨地图出版社

· 哈尔滨 ·

图书在版编目(CIP)数据

化工原理课程学习辅导 / 徐革联, 熊楚安编著. — 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2006. 7
ISBN 7-80717-406-4

I. 化... II. ①徐... ②熊... III. 化工原理—高等学校—教学参考资料 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 079174 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮编: 150086)

哈尔滨海天印刷设计有限公司印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 31.875 字数: 689 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 1 000 定价: 32.00 元

前 言

《化工原理课程学习辅导》是为高等院校化工类及相关专业编写的一本化工原理教学参考书。它既可与现有的《化工原理》教材配合使用,也可单独使用。

本书编写宗旨是依据《化工原理》各章节的特点,对书中的重点和难点进行论述。论题或大或小,既保持知识的系统性,又具有相对独立性,便于高等院校教师和学生在学习化工原理过程中选择参考,更好地理解 and 掌握教材中的主要内容。帮助读者深刻理解化工原理教材的重点内容,牢固掌握基础知识和基本原理,灵活运用化工原理反应的基本规律,培养正确的思维方法,以及提高自修的能力。

本书各章主要分七部分:教学、学习基本要求;教学、学习指导;知识框图;本章主要知识点;典型例题;本章小结;学生自测。其中:

教学、学习基本要求:本部分主要阐明了化工原理课程教学和学习的的基本要求。

教学、学习指导:更多的是从教学的角度阐明了化工原理教学中应注意和强调的内容。

知识框图:给出了各章的知识联系图,以方便教师教学和学生学习。

本章主要知识点:本部分依据“化工原理课程教学基本要求”,结合学生学习的实际状况,简明阐述各章内容的要点,对于其中的难点和易混淆、疏漏之处给以恰如其分的说明,某些地方适当地加深和拓宽一些必要的内容,希望能起到穿针引线、画龙点睛的作用。

典型例题:本部分选各章典型内容以例题的形式加以分析,用以指导学生认真完成课外作业,是课堂教学的继续和深入。

本章小结:对本章的教学内容进行了总结,以方便师生学习和使用。

学生自测:学业上的成功取决于个人的努力和自我鞭策。本部分可供学生自我检查学习效果使用,以培养学习兴趣,提高学习质量。

同时,为方便教师教学和学生学习,本书附录中给出了《化工原理课程开课报告》,为方便考研的同学使用,还给出了部分高校近年来的研究生考试试题。

参加本书编写工作的有:第1章、第2章、第3章、第4章、第5章徐革联;第6章、第7章、第8章、第9章、第10章熊楚安;全书由徐革联统稿。

本书是在黑龙江科技学院化工原理专业教师多年教学实践的基础上编写而成的,编写时也吸取了众多兄弟院校的宝贵经验,对本书更有特色起了重要作用,在此一并表示诚感谢意。

由于编者水平有限,时间仓促,错误之处恳请读者批评指正。

编 者

2006年7月

目 录

第一章 流体流动	(1)
1 教学、学习基本要求	(1)
1.1 本章学习的目的	(1)
1.2 本章学习要求	(1)
1.3 本章学习应注意的问题	(1)
2 教学、学习指导	(2)
3 知识框图	(8)
4 本章主要知识点	(11)
4.1 流体静力学	(11)
4.1.1 流体的密度	(11)
4.1.2 压力	(13)
4.1.3 流体静力学平衡方程	(13)
4.1.4 静力学基本方程的应用	(14)
4.2 流体动力学	(16)
4.2.1 流体的流量与流速	(16)
4.2.2 定态流动与非定态流动	(17)
4.2.3 定态流体系统的质量守恒——连续性方程	(17)
4.2.4 定态流动系统的机械能守恒——柏努利方程	(18)
4.3 管内流体流动现象	(20)
4.3.1 流体的粘度	(20)
4.3.2 流体的流动型态	(22)
4.3.3 流体在圆管内的速度分布	(23)
4.3.4 流体流动边界层	(24)
4.4 流体流动阻力	(25)
4.4.1 流体在直管中的流动阻力	(25)
4.4.2 局部阻力	(28)

4.4.3 流体在管路中的总阻力	(29)
4.5 管路计算	(29)
4.5.1 简单管路	(29)
4.5.2 复杂管路	(32)
4.6 流速和流量的测定	(33)
4.6.1 测速管	(33)
4.6.2 孔板流量计	(34)
4.6.3 文氏流量计	(34)
4.6.4 转子流量计	(34)
5 本章小结	(35)
6 典型例题	(36)
7 学生自测	(51)
第二章 流体输送机械	(65)
1 教学、学习要求	(65)
1.1 本章学习的目的	(65)
1.2 本章学习要求	(65)
1.3 本章学习中应注意的问题	(65)
2 本章教学、学习指导	(65)
3 知识框图	(68)
4 本章知识要点	(70)
4.1 概述	(70)
4.2 离心泵的工作原理和主要部件	(70)
4.3 离心泵的主要性能参数	(71)
4.4 离心泵特性曲线及其应用	(72)
4.5 离心泵的汽蚀现象与安装高度	(73)
4.6 离心泵的工作点和流量调节	(74)
4.6 离心泵的联用	(75)
4.8 离心泵的类型和选用	(76)
4.9 往复泵	(76)
4.10 其他类型泵	(77)
4.11 离心式通风机	(77)
4.12 鼓风机	(78)
5 本章小结	(78)

6 典型例题	(80)
7 学生自测	(89)
第三章 非均相物系的分离	(101)
1 教学基本要求	(101)
1.1 本章学习目的	(101)
1.2 本章学习要求	(101)
1.3 本章学习中应注意的问题	(101)
3 知识框图	(104)
4 本章知识要点	(107)
4.1 颗粒沉降	(107)
4.2 过滤	(111)
5 本章小结	(117)
6 典型例题解析	(118)
7 学生自测	(128)
第四章 传热	(137)
1 教学基本要求	(137)
1.1 本章学习目的	(137)
1.2 本章学习要求	(137)
1.3 本章学习中应注意的问题	(137)
2 本章教学、学习指导	(138)
4 本章知识要点	(145)
4.1 概述	(145)
4.1.1 传热的三种基本方式	(145)
4.1.2 传热过程中冷热流体的接触方式	(146)
4.1.3 间壁式换热器的传热过程	(146)
4.2 热传导	(147)
4.2.1 有关热传导的基本概念	(147)
4.2.2 傅立叶定律	(148)
4.2.3 导热系数	(148)
4.2.4 通过平壁的稳定热传导	(148)
4.2.5 通过圆筒壁的稳定热传导	(149)
4.3 对流传热	(150)
4.3.1 对流传热过程分析	(150)

4.3.2	对流传热速率方程	(151)
4.3.3	影响对流传热系数的因素	(151)
4.3.4	对流传热系数经验关联式的建立	(151)
4.3.5	无相变时对流传热系数的经验关联式	(152)
4.3.6	有相变时对流传热系数的经验关联式	(154)
4.4	传热过程的计算	(156)
4.4.1	总传热系数和总传热速率方程	(156)
4.4.3	平均温差计算	(158)
4.4.4	壁温的计算	(160)
4.5	热辐射	(161)
4.5.1	基本概念	(161)
4.5.2	发射能力和辐射基本定律	(161)
4.5.3	两固体间的相互辐射	(163)
4.6	换热器	(163)
4.6.1	换热器的分类	(163)
4.6.2	间壁式换热器的类型	(163)
4.6.3	传热过程的强化措施	(165)
5	本章小结	(165)
6	典型例题解析	(169)
7	学生自测	(177)
第五章	蒸发	(195)
1	教学基本要求	(195)
1.1	本章学习目的	(195)
1.2	本章学习要求	(195)
1.3	本章学习中应注意的问题	(195)
2	本章教学、学习指导	(195)
3	知识框图	(197)
4	本章知识要点	(198)
4.1	概述	(198)
4.1.1	蒸发操作及其在工业中的应用	(198)
4.1.2	蒸发操作的分类	(199)
4.2	单效蒸发与真空蒸发	(199)
4.2.1	单效蒸发设计计算	(199)

4.2.2 蒸发器的生产能力与生产强度	(202)
4.3 多效蒸发	(203)
4.4 蒸发设备	(204)
5 本章小结	(204)
6 典型例题解析	(205)
7 学生自测	(207)
第六章 液体蒸馏	(216)
1 教学基本要求	(216)
1.1 本章学习的目的	(216)
1.2 本章学习要求	(216)
1.3 本章学习应注意的问题	(216)
2 本章教学、学习指导	(217)
3 知识框图	(219)
4 本章知识要点	(220)
4.1 概述	(220)
4.2 双组分溶液的汽液相平衡	(220)
4.2.1 理想溶液的汽液相平衡	(220)
4.2.2 温度组成图($t-x-y$ 图)	(221)
4.2.3 $y-x$ 图	(221)
4.2.4 挥发度与相对挥发度	(221)
4.2.5 非理想溶液的汽液相平衡	(222)
4.3 蒸馏的种类	(222)
4.4 精馏原理	(223)
4.4.1 多次部分汽化和多次部分冷凝	(223)
4.4.2 连续精馏装置流程	(223)
4.4.3 塔板的作用	(223)
4.4.4 回流的作用	(224)
4.5 双组分连续精馏塔的计算	(224)
4.5.1 理论板的概念和恒摩尔流的假设	(224)
4.5.2 全塔物料衡算	(224)
4.5.3 操作线方程	(225)
4.5.4 理论塔板数的确定	(227)
4.5.5 进料热状况的影响和 q 线方程	(228)

4.5.6 其他几种精馏方式	(228)
4.5.7 最小回流比的影响与选择	(229)
4.5.8 理论板数的简捷计算	(231)
4.5.9 精馏装置的热量衡算	(231)
4.6 间歇精馏	(232)
4.7 恒沸精馏与萃取精馏	(233)
5 本章小结	(233)
6 典型例题解析	(236)
7 学生自测	(256)
第七章 气体吸收	(274)
1 教学基本要求	(274)
1.1 本章学习目的	(274)
1.2 本章学习要求	(274)
1.3 本章学习应注意的问题	(274)
2 本章教学、学习指导	(274)
3 知识框图	(276)
4 本章知识要点	(279)
4.1 概述	(279)
4.1.1 相组成表示法	(279)
4.1.2 气体吸收过程	(281)
4.1.3 气体吸收过程的应用	(281)
4.1.4 吸收过程的分类	(281)
4.2 气液相平衡关系	(282)
4.2.1 气体在液体中的溶解度	(282)
4.2.2 相平衡关系在吸收过程中的应用	(283)
4.3 单相传质	(284)
4.3.1 定态的一维分子扩散	(284)
4.3.2 分子扩散系数	(286)
4.3.3 单相对流传质机理	(286)
4.3.4 单相对流传质速率方程	(287)
4.4 吸收理论	(287)
4.4.1 双膜理论	(287)
4.4.2 吸收过程的总传质速率方程	(288)

4.5 吸收塔的计算	(290)
4.5.1 物料衡算和操作线方程	(290)
4.5.2 吸收剂用量与最小液气比	(291)
4.5.3 吸收塔填料层高度的计算	(292)
4.5.4 吸收塔理论级数的计算	(296)
4.5.5 吸收塔塔径的计算	(297)
4.5.6 吸收塔的设计型计算	(297)
4.5.7 吸收塔的操作型计算	(298)
4.5.8 解吸及其计算	(298)
5 本章小结	(301)
6 典型例题解析	(302)
7 学生自测	(310)
第八章 塔设备	(327)
1 教学基本要求	(327)
1.1 本章学习目的	(327)
1.2 本章学习要求	(327)
1.3 本章学习中应注意的问题	(327)
2 本章教学、学习指导	(327)
3. 知识框图	(330)
4 本章知识要点	(334)
4.1 概述	(334)
4.2 板式塔	(335)
4.3 填料塔	(337)
4.4 板式塔与填料塔比较	(338)
5 本章小结	(338)
6 学生自测	(339)
第九章 液液萃取	(342)
1 教学基本要求	(342)
1.1 本章学习的目的	(342)
1.2 本章学习要求	(342)
1.3 本章学习应注意的问题	(342)
2 本章教学、学习指导	(342)
4 本章知识要点	(350)

4.1 概述	(350)
4.2 液液相平衡	(351)
4.3 部分互溶物系的相平衡	(351)
4.4 影响萃取操作的主要因素	(352)
4.5 萃取过程计算	(354)
4.6 液液萃取设备	(354)
5 本章小结	(354)
6 典型例题解析	(358)
7 学生自测	(370)
第十章 固体干燥	(373)
1 教学基本要求	(373)
1.1 本章学习的目的	(373)
1.2 本章学习要求	(373)
1.3 本章学习中应注意的问题	(373)
2 本章教学、学习指导	(373)
3 知识框图	(375)
4 本章知识要点	(379)
4.1 概述	(379)
4.2 湿空气的性质与湿度图	(380)
4.2.1 湿空气的性质	(380)
4.2.2 湿空气的湿度图及其应用	(383)
4.3 干燥过程的物料衡算与热量衡算	(384)
4.3.1 湿物料中的含水量	(384)
4.3.2 干燥过程的物料衡算	(384)
4.3.3 干燥过程热量衡算	(385)
4.3.4 干燥器空气出口状态的确定	(387)
4.3.5 干燥器的热效率	(387)
4.4 干燥速率与干燥时间	(388)
4.4.1 物料中所含水分的性质	(388)
4.4.2 恒定干燥条件下的干燥速率	(388)
4.4.3 恒定干燥条件下干燥时间的计算	(391)
4.5 干燥器	(391)
4.5.1 干燥器的基本要求	(391)

4.5.2 常用工业干燥器	(392)
5 本章小结	(392)
6 典型例题解析	(392)
7 学生自测	(407)
附录一:课程开课报告	(416)
《化工原理》(上)课程开课报告	(416)
《化工原理》(下)课程开课报告	(420)
附录二:部分考研试题选编	(424)
武汉化工学院 2003 年攻读硕士学位研究生试题(B)	(427)
清华大学 1998 年硕士入学考试化工原理试题	(431)
大连理工大学 2000 年硕士生入学考试	(434)
大连理工大学 2002 年试题	(437)
大连理工大学 2002 年硕士生入学考试	(440)
华东理工大学 2001 年硕士研究生入学考试试题	(444)
华东理工大学 2002 年硕士研究生入学考试试题	(446)
华东理工大学 2003 年硕士研究生入学考试试题	(448)
华南理工大学 2000 年攻读硕士学位研究生入学考试题	(450)
华南理工大学 2001 年攻读硕士学位研究生入学考试	(453)
华南理工大学 2002 年攻读硕士研究生入学考试	(456)
华南理工大学 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试	(458)
江南大学 2000 年硕士学位研究生入学考试	(461)
江南大学 2001 年硕士学位研究生入学考试题	(464)
2002 年江南大学硕士学位研究生入学考试题	(466)
天津大学硕士生入学考试业务课程大纲说明	(469)
天津大学研究生院 2000 年硕士生入学试题	(471)
天津大学研究生院 2001 年硕士生入学试题	(474)
天津大学 2002 年硕士生入学试题	(477)
浙江大学研究生入学考试 2000 年试题	(480)
浙江大学 2001 年研究生入学考试题	(484)
浙江大学 2002 年试题	(487)
浙江大学 2003 年试题	(491)
参考文献	(494)

第一章 流体流动

1 教学、学习基本要求

1.1 本章学习的目的

通过本章学习,掌握流体流动过程的基本原理、管内流动的规律,并运用这些原理和规律去分析和计算流体流动过程的有关问题,诸如:

- (1) 流体输送:流速的选择,管径的计算,输送机械选型。
- (2) 流动参数的测量:压强(压力)、流速(流量)等。
- (3) 不互溶液体(非均相物系)的分离和分散(混合)。
- (4) 选择适宜的流体流动参数,以适应传热、传质和化学反应的最佳条件。

1.2 本章学习要求

1. 本章重点掌握的内容

- (1) 静力学基本方程的应用。
- (2) 连续性方程、柏努利方程的物理意义、适用条件、应用柏努利方程解题的要点和注意事项。
- (3) 管路系统总能量损失方程(包括数据的获得)。

2. 本章应掌握的内容

- (1) 两种流型(层流和湍流)的本质区别,处理两种流型的工程方法(解析法和实验研究方法)。
- (2) 流量测量。
- (3) 管路计算。

3. 本章一般了解的内容

- (1) 边界层的基本概念(边界层的形成和发展,边界层分离)
- (2) 牛顿型流体和非牛顿型流体

1.3 本章学习应注意的问题

(1) 流体力学是传热和传质的基础,它们之间又存在着密切的联系和相似性,从开始学习流体流动就要学扎实,打好基础。

(2) 应用柏努利方程、静力学方程解题要绘图,正确选取衡算范围。解题步骤要规范。

2 教学、学习指导

(1) 从研究对象谈起

化工原理课程涉及的物料绝大部分是流体,涉及的过程,绝大部分是在流动条件下进行的。由于各个化工设备中的流体力学现象大都比较复杂,如果不了解管流、绕流、射流、尾流、二次流等各种流动;不了解滴、泡、膜的流体力学行为,就很难真正理解各种化工设备中所发生的过程。过去,在化工原理课程教学中之所以存在重过程、轻设备的重要原因之一,就在于师生双方都缺乏必要的流体力学知识,因而难以对设备的性能作进一步的分析。现行各种版本教材中的流体流动这一章,远不能满足教学需要;有的院校开设传递过程原理课,也替代和弥补不了这一欠缺。应开设流体力学课,以作为化工原理课程的先修课。当然,按经典的流体力学开设课程,过深过多;组织力量编写一本内容深浅适度,结合化工特点的流体力学教材,是十分必要的。

(2) 流动的宏观规律讲授的着眼点

目前化工原理教材中,在流体流动这一章实际上只讨论管流。对流动的研究,无非包含两个方面的内容:一是关于流动的宏观规律;另一个是关于流动的内部结构。

在教学内容的剪辑和教学过程的处理上,针对流动的宏观规律的讲授,采用了与固体质点力学相仿的方式加以展开,亦即流动的宏观规律讲授的着眼点,在于按照对运动的描述(速度、加速度)、受力分析、力与运动的关系(牛顿定律)、守恒原理而依次展开。其所以采用这样的处理,是基于流体力学与固体质点力学同属力学现象的统一性,亦即其共同性;同时,与统一性相对应,又便于着力体现流体力学与固体质点力学的差异性,也就是流体力学的特殊性。因此,从传授知识内容角度说,它比较完善地体现了承前启后的作用;从开发学生智力角度说,它有助于训练学生坚持用已有的认识(对固体质点力学的认识)去研究新的领域(流体力学领域),并从新领域的特殊性中领悟与树立新的观点和概念,体察科学的继承和发展的关系。

(3) 关于考察方法的转变

流体运动与固体质点运动,存在着许多差异性。但其主要的或基本的差异,表现在对运动的描述和其受力分析两个方面,其他都是从属的。

固体质点力学与流体力学,其考察的基本对象,都是众多分子组成的微团(质点),只是流体力学必须考察众多的微团(质点)同时发生的运动。这既是它与固体质点运动的一个差异,也造成了流体运动描述方面的复杂性。幸而,发生在化工设备中的流动绝大多数是连续、定态的流动,因而可采用欧拉座标、用流场的方法对运动进行描述,此时,速度、加速度等运动参数已不再是微团的属性,而成了空间点的属性。这样,研究与考察的对象,不再是某个微团的行为随时间变化的经历,而是不随时间而变化的、无始无终的流场了。

在多年的教学经历中,感觉到并非多数学生都能自觉地意识到考察场与考察方法的这一转变,由此而导致许多认识上的模糊和混乱。不少学生在课堂上似乎已经接受了这一考察方法,但离开课堂后在复习与思考问题时往往仍沿用考察固体质点运动的拉格朗日座标。为此,考虑在化工原理课程教学的全过程中,进行预先的设计,在多次涉及这类问题的不同章节内容中,反复阐明这种考察方法的转变。

流体微团运动和固体质点运动的另一个基本不同点是其受力种类的差异。较之固体质点,流体微团在受力方面有两点特殊:一是静压力,二是摩擦力。

流体可以在任何方向传递压力,这是静压力出现的前提。流体微团不仅在重力场中而且在压力场中运动。摩擦力虽然是固体质点力学中已经熟知的,但流体力学中的内摩擦力却遵循着特殊的规律。

按照力与能的已知关系,在讲解受力分析时,已可预见机械能守恒式中必将出现静压能项。这是因为流体在压力场内对抗压力差运动必然获得静压能;而顺着压力差运动必将释出静压能。与内摩擦力相对应的能,就是流动过程中的机械能耗散。这种耗散,不是流体与壁面摩擦的结果,而是流体的内摩擦的结果。

(4) 柏努利方程怎么推导

运动的守恒原理,不论是机械能守恒还是动量守恒,都是牛顿定律的反映。它直接将两个状态或两个空间位置上的运动参数联系起来,而避免了各中间过程。这一点,在固体质点力学和流体力学中都是相同的,但在具体处理时,流体力学采取了不同的形式,其原因已在对运动的描述和受力分析中作了阐述。

柏努利方程是流体流动章涉及的一个重要方程。怎么推导柏努利方程呢?柏努利方程有不同的推导方法,一般认为,采用什么推导方法合适,要取决于教学目的。主张开设流体力学课以作为化工原理课程的先修课,自然更喜欢采用流体力学的推导方法,以便使学生更好地掌握流体力学的研究方法。为了与固体质点力学相衔接,常采用拉格朗日座标以导出沿轨线的机械能守恒式;为了对学生再一次强调考察方法的转变,又将沿轨线的守恒式转变为沿流线的守恒式;然后再作种种假定和修正,进一步把沿流线的守恒式演变为沿管道的机械能守恒,以体现如何将理想条件下的公式修正应用于实际条件下的各种讨论对象,使学生体察这种常用的工程处理方法。这种推导和讲授,不再是纯数学的处理,而着重于工程观点和工程方法的阐明。教学过程要注意从单纯的知识传授转变为兼顾能力的培养,就要在备课中下点“苦功夫”,挖掘反映事物本质的内在规律性,而不满足于教本的简单演绎。

柏努利方程系以单位流体为基准,又以流体微团与周围流体不发生能量和动量交换为前提,因此,它原则上不适用于合流,也不适用于分流。因为在合流与分流中,都会发生两流股间的能量和动量交换。这是学生经常容易产生理解错误的地方。讲清这一点,就不难理解为什么在三通中分流时,有时阻力系数会出现负值的情况。

动量守恒定律和能量守恒定律都源自牛顿第二定律,动量守恒定律也同样适用于流体流动。在解决流体流动问题时,可以在能量或动量守恒定律中选用一个,也只能选择一个。这就应该明确选何者为宜。以往在国内各种版本的化工原理教材中大多不讲动量守恒,这是有欠缺的。因为在选用柏努利方程时,其前提是机械能耗散可以确知、有公式可以计算、或是能预先判定其可以忽略不计;实际上,毕竟仍有许多重要情况的机械能耗散尚未得知,而其受力情况可以分析并能作出相应的判断,或者所求的未知量是力,这时,动量守恒定律就行之有效了,完全不讲动量守恒,不仅失去了力学体系的完整性,而且缩小了学生的视野,从开发学生智力角度来讲,是不利的。

(5) 要致力于实验方法论的阐述

在应用上述宏观守恒原理解决管流问题时,并不深入探讨流动的内部结构。对管流来说,内部结构的首要问题是流体的速度分布。

在讲解泊谟叶方程时曾遇到一个问题,它究竟是作为阻力公式来推导呢?还是作为速度分布来推导?怎样提出问题呢?

细想之后,作了这样的处理:从过程的数学描述这个一般性的命题着手,在进行过程分析(运动和受力状况)的基础上,力图将所有定性的分析给以定量的数学描述。

数学描述的基本点是:

- ① 按流动空间的几何形状选取合适的微元体;
- ② 对该微元体列出守恒式和过程特征方程式。

对管流来讲,守恒式就是力平衡式;层流流动过程的特征方程就是流体的本构方程(对牛顿流体就是牛顿粘性定律)。

有了过程的数学描述,就可在其求解中寻找所关心问题的答案,如速度分布或阻力等。在湍流时,力平衡方程仍然有效,但流动过程的特征方程未能建立,这时只有求助于实验。

化工原理课程中,在处理层流与湍流时采用了不同的研究方法,即解析法和实验法。其所采取这两种不同的方法,一方面是由于人们对湍流的认识尚不足以达到从理论上导出过程特征方程的定量表达式;另一方面则借此以说明化工常用的实验研究方法。数学解析法和实验法都是在理论指导下进行的,前者是在严格的本门学科(流体力学)的理论指导下进行的;后者则是在指导实验的理论(因次论)指导下进行的。在化工原理教学过程中,阐明这种实验理论的方法论和原则是很重要的,是能力培养的一个重要方面。如果教学中只着眼于导出阻力计算的经验式,就是单纯知识传授的一种反映。应该指出的是,即使采用实验方法,也不能脱离本门学科的理论指导。没有对运动和受力状况的定性分析,就不可能正确地列出有关的变量,同时也就不可能有效地运用因次分析的方法。运用实验方法以解决实际问题,在化工过程中是屡见不鲜的,这是对过程的现有认识与实验方法论巧妙结合的结果。

(6) 给学生以“尺度”的概念