



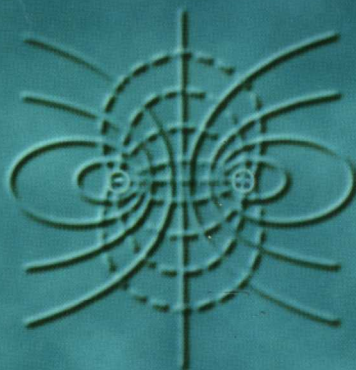
普通高等专科学校教育药学类规划教材

物 理 学

(供药学专业用)

主编 潘百年

主审 张学贤



中国医药科技出版社

普通高等专科学校教育药学类规划教材

物 理 学

(供药学专业用)

主 编 潘百年
主 审 张学贤
编写人员 潘百年 (海军医学高等专科学校)
许 昆 (石河子医学院)
潘 正 (广东药学院)
谭 伟 (湖南医学高等专科学校)
贺德麟 (湖北药检高等专科学校)
审稿人员 张学贤 (中国药科大学)
赵清诚 (沈阳药科大学)
秦任甲 (桂林医学院)

中国医药科技出版社

登记证号：(京)075号

内 容 提 要

本书根据1994年全国高等专科药学专业“八五”教材规划工作会议审订的三年制药学专科《物理学》编写大纲的要求编写，精选了与药学专业关系密切的物理学的概念、基本规律和基本方法等方面的内容。全书共分9章，内容有流体动力学基础、振动和波、热运动的基本知识、电场和磁场、电流、物理光学、原子和分子光谱、原子核物理以及电子学基础。

本书是一本在一定理论上侧重实用性的简明教材，各章既有联系又相对独立，便于各院校选择使用。本书除供高等药类专业作教材外，也可作为相近专业、成人教育的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学/潘百年主编. —北京：中国医药科技出版社，1997.8
普通高等专科学校教育药理学类规划教材供药学专业用
ISBN 7-5067-1694-1

I. 物… II. 潘… III. 医用物理学-高等学校-教材 IV. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第11212号

中国医药科技出版社 出版

(北京海淀区文慧北路甲22号)

(邮政编码 100088)

本社 激 光 照 排 室 排 版
河北省三河市三鑫印刷有限公司 印刷
全国各地新华书店 经销

开本787×1092mm^{1/16} 印张16

字数 364 千字 印数 13001-18000

2000年8月第1版第3次印刷

定价：18.00元

普通高等专科学校教育药学类
规划教材建设委员会名单

主任委员：杨爱菊（开封医学高等专科学校）

副主任委员：何子瑛（湖北药检高等专科学校）

赵增荣（海军医学高等专科学校）

委 员：苏怀德（国家医药管理局科技教育司）

张智德（中国医药科技出版社）

王桂生（新疆石河子医学院）

毛季琨（湖南医学高等专科学校）

陈建裕（广东药学院）

钟 淼（中国药科大学）

秘 书：张修淑（国家医药管理局科技教育司）

杨仲平（国家医药管理局培训中心）

序 言

我国药学高等专科学校教育历史悠久，建国后有了较大发展，但几十年来一直未能进行全国性的教材建设，在一定程度上影响了高等专科学校的质量和发展的。改革开放以来，高等专科学校教育面临更大的发展，对教材的需求也更为迫切。

国家医药管理局科教司根据国家教委的（1991）25号文，负责组织、规划药学高等专科学校教材的编审出版工作。在国家教委的指导下，在对全国药学高等专科学校教育情况调查的基础上，药学高等专科学校教材建设委员会于1993年底正式成立，并立即制订了“八五”教材编审出版规划，在全国20多所医药院校的支持下，成立了各门教材的编审专家组（共51人）和编写组（共86人），随即投入了紧张的编审、出版工作。经100多位专家组、编写组的教师和中国医药科技出版社的团结协作、共同努力，建国以来第一套高等专科学校教育药学类规划教材终于面世了。

这套教材是国家教委“八五”教材建设的一个组成部分，编写原则是紧扣高等专科学校的培养目标，适应高等专科学校改革与发展的要求，保证教材质量，反映高等专科学校的特色。同时，由于我们组织了全国设有药学高等专科学校的大多数院校和大批教师参加编审工作，既强调专家编写与审稿把关的作用，也注意发挥中、青年教师的积极性，使这套教材能在较短时间内以较高质量出版，适应了当前药学高等专科学校发展的需求。在编写过程中，也充分注意到目前高等专科学校教育中有全日制教育、函授教育、自学高考等多种办学形式，力求使这套教材能具有通用性，以适应不同办学形式的教学要求。

根据国务院对各部委的职责分工和国家教委文件要求，我们还将组织这套教材的修订、评优及配套教材（实验指导、习题集）的编写工作，竭诚欢迎广大读者对这套教材提出宝贵意见。

普通高等专科学校教育药学类
规划教材建设委员会
1995年11月

前 言

国家医药管理局受国家教委的委托，于1994年召开了全国高等药学类专科教材建设委员会会议，决定组织编写全国高等药学类专科规划教材，本教材是其中之一。

根据专科教育的培养目标，本教材在保持物理学自身体系的前提下，着重讲授电学、物理光学、原子光谱、分子光谱、激光和电子学基础等内容，适当兼顾其他部分。在选材时，仍以“三基”为主要内容，尽可能避免与中学物理学重复。针对药学专业的需要，本书还介绍了核磁共振波谱、传感器等新技术、新仪器的内容。

本教材以高中物理学为起点，适度运用高等数学，在深度和广度上体现了专科教材的特点。内容叙述力求循序渐进，深入浅出，文字力求通俗易懂。在一定的理论基础上侧重实际应用，力求具有较高的思想性、科学性、实用性和先进性。

本书编写分工如下：湖北药检高等专科学校贺德麟：第一、三章；湖南医学高等专科学校谭伟：第二、六章；海军医学高等专科学校潘百年：绪论、第四、五章；广东药学院潘正：第七、八章；石河子医学院许昆：第九章。本教材审稿专家：张学贤教授、赵清诚副教授和秦任甲副教授。

本书在编写过程中，得到了国家医药管理局科教司、教材建设委员会、责任编辑以及有关院校的关心和大力支持，在此谨致以深切的谢意。开封医学高等专科学校丁平坤副教授给予了热情的帮助，在此也表示衷心感谢。

限于编者水平，书中难免存在这样或那样的缺点、错误，恳切祈望同行、学生予以批评指正，使其不断完善。

编 者

1996年12月

普通高等专科学校教育药学类规划教材目录

- | | | |
|--------------|-------|-------|
| 1. 《高等数学》 | 张德舜主编 | 石中陆主审 |
| 2. 《应用数理统计》 | 林士美主编 | 姚金华主审 |
| 3. 《无机化学》 | 侯新初主编 | 汤启昭主审 |
| 4. 《有机化学》 | 马祥志主编 | 岳保珍主审 |
| 5. 《人体解剖生理学》 | 张尚俭主编 | 王启华主审 |
| 6. 《微生物学》 | 唐珊熙主编 | 牟家琬主审 |
| 7. 《分析化学》 | 张其河主编 | 高文兰主审 |
| 8. 《生物化学》 | 赖炳森主编 | 王淑如主审 |
| 9. 《物理化学》 | 侯新朴主编 | 金祖德主审 |
| 10. 《药理学》 | 张大禄主编 | 李新芳主审 |
| 11. 《药物化学》 | 孙常晟主编 | 李仁利主审 |
| 12. 《药剂学》 | 邹立家主编 | 陆 彬主审 |
| 13. 《药物分析》 | 蔡美芳主编 | 刘文英主审 |
| 14. 《天然药物化学》 | 杨其益主编 | 徐绶绪主审 |
| 15. 《药用植物学》 | 许文渊主编 | 沈联德主审 |
| 16. 《生药学》 | 罗集鹏主编 | 金蓉鸾主审 |
| 17. 《物理学》 | 潘百年主编 | 张学贤主审 |

目 录

| | |
|--------------------------|--------|
| 绪论 | (1) |
| 一、物理学的研究对象 | (1) |
| 二、物理学的研究方法 | (1) |
| 三、物理学与药学的关系 | (2) |
| 第一章 流体动力学基础 | (3) |
| 第一节 理想流体的定常流动 | (3) |
| 一、实际流体和理想流体 | (3) |
| 二、定常流动 流线 流管 | (3) |
| 三、流体的连续性方程 | (4) |
| 第二节 伯努利方程及其应用 | (5) |
| 一、伯努利方程 | (5) |
| 二、伯努利方程的应用 | (7) |
| 第三节 粘性流体的运动 | (9) |
| 一、层流的速度分布 | (9) |
| 二、牛顿粘性定律 | (9) |
| 三、实际流体的伯努利方程 | (10) |
| 四、湍流 雷诺数 | (11) |
| 第四节 泊肃叶定律 | (13) |
| 一、泊肃叶定律 | (13) |
| 二、斯托克斯定律 | (14) |
| 习题一 | (14) |
| 第二章 振动和波 | (17) |
| 第一节 简谐运动 | (17) |
| 一、简谐运动方程 | (17) |
| 二、描述简谐运动的物理量 | (18) |
| 三、简谐运动的合成 | (21) |
| 四、谐振分析 | (22) |
| 第二节 波动 | (24) |
| 一、波的产生与传播 | (24) |
| 二、波动方程 | (25) |
| 三、波的能量 波的强度 | (26) |
| 第三节 波的干涉 | (27) |

| | |
|---------------------------|---------|
| 一、波的叠加原理 | (2 8) |
| 二、波的干涉 | (2 8) |
| 第四节 超声波 | (3 0) |
| 一、声波 | (3 0) |
| 二、超声波的产生 | (3 1) |
| 三、超声波的特性和应用 | (3 2) |
| 习题二 | (3 3) |
| 第三章 热运动的基本知识 | (3 5) |
| 第一节 理想气体的压强和能量 | (3 5) |
| 一、理想气体的微观模型 | (3 5) |
| 二、理想气体的压强公式 | (3 6) |
| 三、理想气体的能量公式 | (3 7) |
| 四、道尔顿分压定律 | (3 9) |
| 第二节 液体的表面现象 | (4 0) |
| 一、表面张力 表面能 | (4 0) |
| 二、弯曲液面的附加压强 | (4 2) |
| 三、液体和固体接触处的表面现象 | (4 4) |
| 四、表面吸附和表面活性物质 | (4 6) |
| 第三节 热力学定律 | (4 7) |
| 一、热力学系统 内能 热量和功 | (4 7) |
| 二、热力学第一定律 | (4 8) |
| 三、热力学第一定律对理想气体的应用 | (4 9) |
| 四、热力学第二定律 | (5 3) |
| 习题三 | (5 6) |
| 第四章 电场和磁场 | (5 8) |
| 第一节 静电场 | (5 8) |
| 一、电荷与电场 | (5 8) |
| 二、电势 | (6 2) |
| 三、场强与电势的关系 | (6 6) |
| 四、静电场中的电介质 | (6 8) |
| 五、静电场的能量 | (7 2) |
| 第二节 磁场 | (7 4) |
| 一、电流的磁效应 磁感应强度 | (7 4) |
| 二、电流的磁场 | (7 6) |
| 三、磁场对运动电荷的作用 | (7 9) |
| 四、磁场对电流的作用 | (8 3) |
| 五、物质的磁性 | (8 6) |
| 第三节 电磁感应 | (9 1) |

| | |
|-----------------------|---------|
| 一、电磁感应现象及其规律 | (9 1) |
| 二、电磁感应现象的应用 | (9 4) |
| 三、自感应 | (9 6) |
| 四、磁场的能量 | (9 8) |
| 五、电磁场与电磁波 | (9 9) |
| 习题四 | (104) |
| 第五章 电流 | (108) |
| 第一节 直流 | (108) |
| 一、含源电路的欧姆定律 | (108) |
| 二、基尔霍夫定律 | (110) |
| 三、RC 电路的暂态过程 | (113) |
| 四、温差电现象及其应用 | (115) |
| 第二节 交流 | (118) |
| 一、正弦式电流 | (118) |
| 二、RLC 串联电路 串联共振 | (119) |
| 三、并联共振电路 | (124) |
| 四、交流电的功率 | (126) |
| 习题五 | (132) |
| 第六章 物理光学 | (135) |
| 第一节 光的干涉 | (135) |
| 一、光的相干性 | (135) |
| 二、杨氏双缝干涉 | (135) |
| 三、薄膜干涉 | (137) |
| 第二节 光的衍射 | (140) |
| 一、单缝衍射 | (141) |
| 二、衍射光栅 | (143) |
| 三、光学仪器的分辨本领 | (145) |
| 第三节 光的偏振 | (148) |
| 一、光的偏振 | (148) |
| 二、起偏 检偏 马吕斯定律 | (149) |
| 三、反射和折射光的偏振 | (150) |
| 四、双折射现象 | (151) |
| 五、二向色性 | (152) |
| 六、旋光性 | (153) |
| 第四节 光的吸收 | (155) |
| 一、光的吸收 | (155) |
| 二、光电比色法 | (156) |
| 三、分光光度法 | (157) |

| | |
|----------------------------|-------|
| 第五节 光的量子性 | (158) |
| 一、光电效应 | (158) |
| 二、爱因斯坦光电效应方程 | (159) |
| 三、光电效应的应用 | (161) |
| 四、波粒二象性 | (162) |
| 习题六 | (162) |
| 第七章 原子光谱和分子光谱 | (165) |
| 第一节 原子光谱 | (165) |
| 一、玻尔氢原子理论 | (165) |
| 二、四个量子数 | (168) |
| 三、原子光谱 | (172) |
| 第二节 分子光谱 | (173) |
| 一、分子光谱的特征 | (173) |
| 二、分子能级及其光谱 | (174) |
| 第三节 激光 | (178) |
| 一、激光的发射原理 | (178) |
| 二、常见的激光器 | (180) |
| 三、激光的特点及其应用 | (181) |
| 习题七 | (182) |
| 第八章 原子核物理 | (183) |
| 第一节 原子核的组成 | (183) |
| 一、核的组成 | (183) |
| 二、核力 | (183) |
| 三、原子核的结合能 | (184) |
| 第二节 原子核的放射性衰变 | (186) |
| 一、放射性衰变与位移定律 | (186) |
| 二、放射性衰变定律 半衰期 | (188) |
| 三、辐射量及单位 | (190) |
| 四、核辐射在医药领域的应用 | (192) |
| 五、辐射防护 | (193) |
| 第三节 核磁共振 | (193) |
| 一、原子核的自旋和磁矩 | (193) |
| 二、核磁共振的基本原理 | (195) |
| 三、核磁共振波谱 | (196) |
| 四、核磁共振的应用 | (197) |
| 习题八 | (198) |
| 第九章 电子学基础 | (199) |
| 第一节 整流器 | (199) |

| | |
|----------------------|-------|
| 一、PN 结和晶体二极管 | (199) |
| 二、晶体管整流器 | (201) |
| 三、滤波电路 | (203) |
| 第二节 放大器 | (204) |
| 一、晶体三极管 | (204) |
| 二、单管低频放大器 | (207) |
| 三、直流放大器 | (215) |
| 第三节 集成电路 | (218) |
| 一、集成电路的分类及特点 | (218) |
| 二、集成电路外形与引脚排列 | (219) |
| 三、集成稳压电路 | (219) |
| 四、集成运算放大器 | (221) |
| 第四节 振荡器 | (224) |
| 一、自激振荡的条件 | (224) |
| 二、LC 并联回路的选频特性 | (225) |
| 三、电感反馈式振荡器 | (225) |
| 第五节 传感器 | (226) |
| 一、传感器及其分类 | (226) |
| 二、无源传感器 | (227) |
| 三、有源传感器 | (228) |
| 第六节 抗干扰和安全保障 | (231) |
| 一、干扰 | (231) |
| 二、安全保障 | (232) |
| 习题九 | (233) |
| 习题答案 | (236) |
| 附录 | (239) |
| 附录一 国际单位制 | (239) |
| 附录二 基本物理常量 | (241) |

绪 论

一、物理学的研究对象

世界是物质的，尽管组成物质的东西是多种多样的，但可分为两种基本形态：大到天地，小到原子、电子，这种形态的物质叫作**实物**；电场、磁场和引力场等也是物质，它们是在某些方面不同于实物粒子的另一种物质形态，但其本身具有动量和能量等物质的特性，人们把它叫作**场**。实物和场有密切的联系，例如一个物体的周围存在引力场，一个运动着的带电粒子的周围存在着电场和磁场，一个核子的周围存在介子场等。在一定条件下，实物和场还可以互相转化。

一切物质都处于永恒不停的运动之中，其运动形式是多种多样的，从简单的物体位置的移动直到思维都是物质运动的不同表现形式。它们既有共同的普遍规律，又有各自的特殊规律。对物质运动形式的研究，形成了自然科学的各个学科。

物理学是研究物质运动的普遍性质和基本规律的科学，它包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核的运动等等。物理学研究的这些运动广泛地存在于自然界的一切复杂的高级的运动形式之中，例如化学变化过程、生物过程等。所以，物理学所研究的物质运动规律具有极大的普遍意义。它是研究其他自然学科和应用科学，其中包括药学在内的重要基础。

二、物理学的研究方法

学习物理学，除了要学习物理学中的各种规律外，还必须学习物理学的研究方法。根据辩证唯物主义的认识论，即实践—认识—再实践的规律，物理学的研究方法由观察、实验、假说和理论等几部分组成。

观察和实验是研究物理学的基础。观察是对所研究的对象，在不改变自然条件的情况下，按照其原来的情况加以观测和考察。实验是在人为的条件下，使所研究的对象反复产生，进行观测研究。由于自然界所发生的过程往往是错综复杂的，在实验时必须尽可能地突出主要因素，控制或忽略次要因素，使问题简化，找出现象的本质。

在观察和实验所获得的大量资料的基础上，经过进一步的整理、分析、概括、判断和推理等过程，得出假说。经过实践的反复验证和不断地补充修改，在一定范围内可正确反映客观规律的假说，最后上升为定律或理论。理论不但能说明一定范围内的现象，而且还能预言和推断新的事实的存在，进一步指导新的实践得到新发展。实践是理论的基础，理论是实践的指南，不断研究下去，物理学将会更完整地反映自然现象的客观规律。

三、物理学与药学的关系

物理学是基础学科之一，物理学的发展促进了现代科学技术的发展，并且和其他学科的关系愈来愈密切。在原子能、电子计算机、自动化、激光等新技术广泛使用的当代，物理学对药学的发展起着巨大的推动作用。电导仪、电泳仪、气相色谱仪、薄层扫描仪、高压液相仪和阿贝折光仪等电子和光学仪器在药学实验室中得到广泛的使用。许多新型精密仪器，例如红外分光光度计、紫外分光光度计、质谱仪、核磁共振波谱仪和微波波谱仪等的使用，已成为研究药物结构的重要手段。借助于物理学的边缘学科之一——量子化学理论，辅以计算机技术，使预测未知化学现象已逐渐成为可能，从而为探求新药物和研究新流程开拓了广阔的前景。

物理学是药学专业的一门重要的基础课，必须牢固地掌握物理学的基本理论和基本知识，培养运算能力和实验技能，学会使用新的仪器。通过物理学的学习和严格训练，必将为学习专业课程和今后的工作打下良好基础。

第一章 流体动力学基础

液体和气体各部分之间很容易发生相对运动，以致这些物体没有固定的形状，物体的这种性质叫作**流动性**。具有流动性的物体叫作**流体**。液体和气体都是流体。流动性是流体区别于固体的主要特征。**流体动力学**研究流体的运动规律及流体与其中固体相互作用的规律。

在人体生命活动中，血液的循环和呼吸道内气体的输运是重要的生理过程；在药物合成和制剂过程中，液体的输送、流量的测量和控制是不可缺少的环节。因此，药学专业的学生，具备有关流体运动的基本知识是完全必要的。

第一节 理想流体的定常流动

一、实际流体和理想流体

实际流体具有一定的粘性。流体作层流时，流速不同的两接触层间存在摩擦力叫作内摩擦力，也叫作**粘性力**。流体流动时，其内部存在粘性力的性质叫作流体的**粘性**。有些液体，如水、酒精等，粘性很小，而气体的粘性更小。为使问题简化，在讨论粘性很小的流体时，其粘性可以忽略。

实际流体，所受压强改变时，流体的体积或多或少会发生改变，密度也随之发生变化。一般情况下，液体可压缩性很小，例如，水在 10°C 时，压强每增加一个大气压，减小的体积只不过是原来体积的二万分之一。因此，在一般情况下可把液体看成是不可压缩的。气体与液体相比，可压缩性较为显著。但是，当气体处在低速流动状态下时，若所受压强变化很小，所引起的体积和密度的变化也很小。在这种条件下，讨论气体问题时，也可将其看成是不可压缩的。

在研究流体运动时，为了突出流动性这一基本特征，可以用一个理想化的流体模型来代替实际流体进行分析，这一模型叫作**理想流体**，其特点是绝对不可压缩和没有内摩擦（粘性）。

二、定常流动 流线 流管

对运动的流体而言，一般情况下同一时刻通过空间各点的流速是不相同的；而通过空间任一固定点的流速也是随时间而变化的，即流体的流速随空间和时间而变化。若流体通过空间任一固定点的流速不随时间变化，这样的流动叫作**定常流动**，否则就是**非定常流动**。

在实际问题中，若空间各点的流速随时间变化十分缓慢，一般可作为定常流动处理。例如，药物生产中，通常用管道输送流体原料，开始输送时，管内各点的流速随时间变化，是

非定常流动；经过一段时间后，管内各点的速度基本不变，这时就可以看成是定常流动。

为了形象地描述流体的运动情况，在流体流过的空间可作出这样的一些曲线，使任一瞬间曲线上任何一点的切线方向和流体粒子通过该点时的速度方向一致，这些曲线叫作**流线**，如图 1-1 所示。当流体作定常流动时，由于空间每一点的速度方向只有一个，并且保持不变，所以各条流线不会相交，流线的形状也保持不变，并与流体粒子的轨迹重合。如果在流动的流体中标出一个截面 S_1 ，并且通过它的周边上各点作许多流线，由这些流线所组成的管状体就叫作**流管**，如图 1-2 所示。由于流体粒子流经流管中各点的流速方向与流线方向一致，因此流管中的流体只能在管中流动而不能流出管外，流管外的流体也不会流入管内。对于定常流动，流管的位置和形状保持不变。这样，就可以把整个流动的流体看成由许多流管组成。通过研究流体在流管中的运动规律，就可了解整个流体的运动规律。

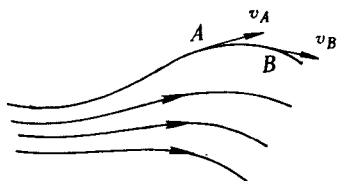


图 1-1 流线

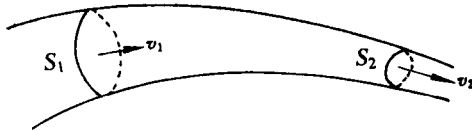


图 1-2 流管

三、流体的连续性方程

如图 1-2 所示，在不可压缩的、作定常流动的流体中取一个很细的流管，并在流管中任取两个与流管垂直的截面 S_1 和 S_2 ，每一截面上的各物理量都可以看成是均匀的。设流体在 S_1 和 S_2 处的流速分别为 v_1 和 v_2 ，则在 Δt 时间内流过这两个截面的流体的体积应该相等，即

$$\begin{aligned} S_1 v_1 \Delta t &= S_2 v_2 \Delta t \\ S_1 v_1 &= S_2 v_2 \\ S v &= \text{常量} \end{aligned} \quad (1-1)$$

式 (1-1) 叫作**流体的连续性方程**。它表明，不可压缩的流体作定常流动时，通过流管任一截面的流速与截面积的大小成反比，截面积大处流速小，而截面积小处流速大。上式用于管道时，式中 v 为管道截面上的速度平均值，即 $v=Q/S$ ； S 为管道的截面积； Q 为单位时间内通过管道任一截面流体的体积，叫作**体积流量**，单位是米³·秒⁻¹ (m³·s⁻¹)。在化学工程中，除用体积流量外，还常用**重量流量**，即单位时间内通过管道任一截面的流体的重量，用 G 来表示，单位是牛顿·秒⁻¹ (N·s⁻¹)。这样，式 (1-1) 又可以写成以下两个流量方程：

$$Q_1 = v_1 S_1 = v_2 S_2 = Q_2 \quad (1-2)$$

$$\text{或} \quad G_1 = \gamma Q_1 = \gamma Q_2 = G_2 \quad (1-3)$$

式 (1-3) 中 $\gamma = \rho g$ ，叫作**流体的重度**，表示单位体积流体的重量，单位是牛顿·米⁻³ (N·m⁻³)； ρ 为流体的密度， g 为重力加速度。

从流量方程式可以看出，在化工或制药工程中，对流量、管径、流速要综合考虑。当

流量确定后,若设计管径小,流速就大,这样势必增大流体流动的能量损耗。若设计流速小,管径就大,这样势必增大管道材料的耗费。因此,在工艺设计中必须二者兼顾,通常对流速的选取有一定的经验范围。

例题 1-1 一冷却器由 21 根内径为 18mm 的列管组成,冷却水由内径为 54mm 的导管流入列管中,已知导管中的流速为 $1.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,求列管中的水流速度。

解 已知导管的内径 $d_1=0.054\text{m}$,列管的内径 $d_2=0.018\text{m}$ 。设冷却水在导管中的流速为 v_1 ,在列管中的流速为 v_2 。根据流量方程

$$Q_1=21Q_2$$

$$\text{即} \quad \frac{\pi}{4}d_1^2v_1=21\times\frac{\pi}{4}d_2^2v_2$$

Q_1 和 Q_2 分别表示导管和每一根列管管路的流量。代入已知条件,得

$$v_2=\frac{1}{21}\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2v_1=\frac{1}{21}\times\left(\frac{0.054}{0.018}\right)^2\times 1.4=0.60\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

即列管中的水流速度为 $0.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

第二节 伯努利方程及其应用

一、伯努利方程

理想流体作定常流动时,对同一细流管,任一截面处的压强 p 、速度 v 和高度 h 满足如下关系式:

$$p+\frac{1}{2}\rho v^2+\rho gh=C \quad (1-4)$$

式中 C 是一个常量,对不同的细流管,这个常量值一般不同, ρ 是流体的密度; g 是重力加速度,这个关系式叫作**伯努利方程**。从式 (1-4) 可以看出, $\frac{1}{2}\rho v^2$ 和 ρgh 分别表示单位体积流体的动能和势能。压强 p 具有单位体积流体能量的量纲,所以可把压强看成是单位体积流体的压强能。这样,式 (1-4) 表明:在同一细流管的任一截面处,单位体积流体的动能、势能和压强能之和是一个常量。

可见,伯努利方程实质上是能量守恒定律在理想流体作定常流动中的表现。它表明流体粒子的总机械能是守恒的,但其动能、势能及压强能可以相互转换。

根据需要,伯努利方程可以写成其他形式。对于同一细流管,若设任意两截面处的压强、流速、高度分别为 p_1 、 v_1 、 h_1 和 p_2 、 v_2 、 h_2 ,则式 (1-4) 可以写成如下形式

$$p_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho gh_1=p_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho gh_2 \quad (1-5)$$

若将式 (1-4) 的各项除以流体的重度 γ ,即

$$\frac{p}{\gamma}+\frac{v^2}{2g}+h=C' \quad (1-6)$$

式中 $C'=C/\gamma$ 。式 (1-6) 表示在同一细流管的任一截面处,单位重量流体的压强能、动能、重力势能之和等于一个常量。这是化工中常采用的一种形式。