



普通高等教育“十五”国家级规划教材

流体力学

中册

丁祖荣 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十五”国家级规划教材

流体力学

中 册

丁祖荣 编著

高等教育出版社

内容简介

本教材是普通高等教育“十五”国家级规划教材,分上、中、下三册,内容包括绪论篇、基础篇、专题篇、应用与进展篇,共15章。绪论篇综述流体力学在推动社会和科技发展中的重要作用;基础篇围绕流体力学三大要素(流体、运动和力),介绍各专业共同必须具备的力学概念、观点、基本理论和分析方法;专题篇介绍运用基本理论与方法对五个专题不同类型流动问题的分析和求解过程,及有代表性的结果;应用与进展篇介绍流体力学在三个工程领域中的应用,及在计算流体力学和流体测量技术等领域的进展。

本书为中册(专题篇)。内容包括:流体的平衡,不可压缩无粘性流体平面势流,不可压缩粘性流体内流,不可压缩粘性流体外流,可压缩流体流动。

本教材可作为高等学校热能与动力工程、核技术与核工程、暖气与通风工程、机械工程专业本科生的教材,也可供土木工程、化学工程、环境工程、水利工程等专业本科生和有关工程技术人员参考。

本教材配有《流体力学电子教案》和《流体力学网络课程》。

图书在版编目(CIP)数据

流体力学. 中册 / 丁祖荣编著. —北京:高等教育出版社,2003.12

ISBN 7-04-011857-2

I. 流... II. 丁... III. 流体力学-高等学校-教材 IV. O35

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第067423号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	高等教育出版社印刷厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	2003年12月第1版
印 张	16.25	印 次	2003年12月第1次印刷
字 数	290 000	定 价	19.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

序 言

本教材为准备学习流体力学基础知识的工程专业本科生编写。对这类学生来说,他们需要跨越一条存在于专业需要和自身知识结构之间的沟壑。几乎所有的工程专业直接或间接都与流体力学有关系,随着科技的发展和计算机软件的普及,各类工程专业对流体力学知识的需求日趋增长。另一方面,大多数学生对流体运动的感性认识明显的比对固体运动贫乏。本教材的宗旨是帮助这些学生顺利跨越这道沟壑,使其正确掌握能面向新世纪要求的流体力学知识。

在世纪之交,流体力学教学面临来自两方面的挑战:一是流体力学学科进入了一个新的发展时期。主要表现在流体力学的分析手段更为先进,处理流动问题的能力更为强大,对流体运动的认识更加深刻;流体力学与工程技术的结合不再局限于两个专业之间的简单合作,而是进入了相互融合的阶段;流体力学与其他学科领域的交叉渗透进一步深入和扩大等。为了适应这些变化,要求教材的体系和内容必须作相应调整和更新。二是教学课时压缩。在保证基本内容和适当增加扩展内容的前提下,要求教材在内容编排上更加科学合理,叙述精练准确,有利于学生自主学习,并加强多种媒体形式的辅助教学等。根据以上要求,本教材在以下几方面作了探索:

(1) 改变传统模式,建立新的内容体系。将本教材分为绪论篇、基础篇、专题篇和应用与进展篇四部分,约 200 个知识点。绪论篇综述了流体力学在推动社会和科技发展中所起的重要作用;基础篇围绕流体力学三大要素(流体、运动和力)介绍各专业共同必须具备的基本概念、观点、理论和方法;专题篇介绍运用基本理论和方法对五个不同类型流动问题的分析求解过程和有代表性的结果,供不同专业选用;应用与进展篇介绍流体力学在三个工程领域中的应用,及在计算流体力学和测量技术等领域的进展。

(2) 改变传统结构,建立枝状开放式结构。将本教材分为四个层次,各层次均具有相对独立性和可扩展性。如在 B 篇下,B1 相当于章,B1.1 相当于节,B1.1.1 为知识点。例题以知识点名标号排序(第一道与知识点同名,第二道起分别加 A,B,C 等);习题以节名标号排序。补充新的例题或习题均不打乱其他知识点或节中例题或习题的排序。

(3) 注重物理阐述,引导学生建立正确的物理概念和力学模型。这一点对

工科学生应用流体力学知识解决本专业问题,及学习与运用流体力学计算软件时尤为重要。考虑到工科专业的特点,简化公式的推导过程,强调知识点的工程背景、分析的思路、结果的物理意义和如何运用等;对一些概念提出新的解释或表述,并充分运用图片、图表及多媒体手段介绍丰富的流动现象、流动模型,帮助学生理解各种概念和公式的物理本质。

(4) 注重研究方法的介绍和归纳。为适应现代计算机数值计算的发展和应
用,在基础篇中加强了微分分析的内容,引入速度场、加速度场、压强场等概念;
一开始就以 $N-S$ 方程作为支配方程,专题篇各章中的运动方程均作为 $N-S$ 方
程的简化情况直接导出;并在应用与进展篇中设章介绍计算流体力学的基础知
识。设章集中介绍积分方法(控制体法),并加强了相似理论(模型实验)的内容,
这两部分都是常用的工程研究方法。在专题篇中按内流和外流分别设章,每一
类包含多种流动形式,有利于掌握它们的共性。

(5) 注重培养学生的应用和创新能力。注意介绍在流体力学发展过程中的
应用和创新事例;在基础篇和专题篇中通过例题介绍流体力学的各种应用;在应
用与进展篇中较为系统地介绍流体力学在三个工程领域中的应用,并介绍流体力
学的新进展及与其他学科的交叉渗透,培养学生的创新和拓展意识。

(6) 有利于学生自主学习。例题具有典型性、实用性和前后连贯性,每道例
题标有反映相关知识点内容的标题,以便于检索;习题按节标号排序,以利于学
生自主选择;本教材还配有网络版,供学生自主学习。

(7) 关于沿用“无量纲量”的说明。如何称呼所有量纲指数都等于零的
量,至今仍是个有争议的问题。国标 GB3101—93 指出“所有量纲指数都等于
零的量往往称为无量纲量”,也称为“量纲为一的量”。本教材采用“无量纲
量”的提法。

本教材的主要使用对象是非力学类工程专业的本科生,如动力、能源、暖
通、机械及相关专业的本科生。多学时课程以前三篇内容为主,应用与进展篇
内容可选讲或作为学生自学用;少学时课程则只讲基础篇,及选专题篇部分章
节。

华中科技大学的莫乃榕教授担任本教材的主审,提出了许多有价值的意见
和建议;上海交通大学流体力学教研室的资深教授朱世权、孙祥海、郑国桦、吴君
朋等分别审阅了部分章节,提出过许多宝贵的意见和建议;上海交通大学机械动
力学院杜朝辉教授提供了宝贵资料,在此表示衷心感谢。高级工程师于乃华承
担了几乎全部书稿的打印工作,研究生张可丰承担全部书稿的编辑排版和部分
绘图工作,陈平汉、谢其军参加部分绘图工作,张景新(博士生)和王勇协助例
题和习题的校对工作等,在此也一并致谢。最后要感谢家人对作者的支持和鼓
励。

作者试图为读者提供一本讲解简练、内容较为丰富的流体力学基础教材,限于作者水平,再加上时间仓促,教材中必存在不当和谬误之处,恳请专家与读者不吝指正,帮助作者及时修正。

作 者

2003年7月于上海交通大学

中册目录

专题篇

C1 流体的平衡	2
C1.1 引言	2
C1.2 流体的平衡微分方程	3
C1.2.1 欧拉平衡方程	3
C1.2.2 等压面	4
C1.2.3 流体平衡的条件	5
C1.3 流体静力学基本方程	6
C1.4 均质液体的相对平衡	8
C1.4.1 等加速度直线运动	8
C1.4.2 等角速度旋转运动	10
C1.5 均质液体对平壁的总压力	13
C1.5.1 平壁总压力大小	13
C1.5.2 平壁总压力作用点	14
C1.6 均质液体对曲壁的总压力	18
C1.6.1 二维曲壁	18
C1.6.2 三维曲壁	23
C1.7 浮力与稳定性	23
C1.7.1 阿基米德浮力定律	23
C1.7.2 潜体与浮体的平衡	25
C1.8 大气中的压强分布	28
习题	30
C2 不可压缩无粘性流体平面势流	34
C2.1 引言	34
C2.2 无粘性流体无旋流动一般概念	35

C2.2.1 欧拉运动方程	35
C2.2.2 无旋流动中的伯努利积分	36
C2.2.3 有关无旋流动的几个概念	38
C2.3 速度势与流函数	40
C2.3.1 速度势函数	40
C2.3.2 流函数	41
C2.4 平面势流与基本解	45
C2.4.1 均流	46
C2.4.2 点源与点汇	47
C2.4.3 点涡	48
C2.4.4 偶极子	49
C2.5 绕圆柱的平面势流	52
C2.5.1 无环量圆柱绕流	52
C2.5.2 有环量圆柱绕流	55
C2.6 绕机翼的平面势流	57
C2.6.1 儒可夫斯基升力定理	57
C2.6.2 绕翼型流动的库塔条件	58
C2.6.3 机翼升力	59
C2.7 叶栅中的升力定理	62
C2.8 平面势流复势解法简介	64
习题	68
C3 不可压缩粘性流体内流	71
C3.1 引言	71
C3.2 管道入口段流动	72
C3.3 平行平板间层流流动	73
C3.3.1 固定平板间的定常层流	73
C3.3.2 一般库埃特流	75
C3.4 圆管层流流动	78
C3.4.1 圆管层流速度分布	78
C3.4.2 泊肃叶定律	81
C3.5 圆管湍流流动	83
C3.5.1 湍流与湍流切应力	83
C3.5.2 圆管湍流速度分布	87
C3.6 圆管流动沿程损失	90

C3.6.1	达西公式	91
C3.6.2	达西摩擦因子	91
C3.6.3	穆迪图	96
C3.7	局部损失	100
C3.7.1	局部损失因子	101
C3.7.2	含局部损失的管道损失	106
C3.8	非圆形管中的流动	108
C3.8.1	非圆形管流量公式	108
C3.8.2	非圆形管流动沿程损失	110
C3.9	明渠均匀流	111
C3.9.1	明渠流简介	111
C3.9.2	谢齐公式	113
C3.9.3	明渠 Fr 数	115
	习题	117
C4	不可压缩粘性流体外流	120
C4.1	引言	120
C4.2	边界层概念	121
C4.2.1	边界层特点	121
C4.2.2	边界层厚度	123
C4.3	平板层流边界层精确解	125
C4.3.1	普朗特边界层方程	125
C4.3.2	布拉修斯平板边界层精确解	126
C4.4	边界层动量积分方程	127
C4.5	无压强梯度平板边界层近似计算	129
C4.5.1	平板层流边界层	129
C4.5.2	平板湍流边界层	133
C4.6	压强梯度的影响:边界层分离	136
C4.7	绕流物体的阻力	139
C4.7.1	摩擦阻力与形状阻力	140
C4.7.2	圆柱绕流与卡门涡街	142
C4.7.3	不同形状物体的阻力系数	146
C4.8	自由湍流射流	150
C4.8.1	平面自由湍流射流的结构	151
C4.8.2	射流边界层方程	153

C4.8.3 射流动量积分方法	154
习题	157
C5 可压缩流体流动基础	160
C5.1 引言	160
C5.1.1 热力学基础知识	161
C5.2 声速、马赫锥与激波	164
C5.2.1 声速	164
C5.2.2 马赫锥	166
C5.2.3 激波	169
C5.3 一维定常可压缩流能量方程	170
C5.3.1 绝能流能量方程	170
C5.3.2 等熵流伯努利方程	171
C5.3.3 等熵流气动函数	173
C5.4 一维变截面管定常等熵流	177
C5.4.1 截面变化对流动的影响	177
C5.4.2 喷管内等熵流	180
C5.5 摩擦与热交换等截面管流	185
C5.5.1 绝热摩擦管流	185
C5.5.2 无摩擦热交换管流	191
C5.6 正激波	195
C5.6.1 基本方程	195
C5.6.2 一维正激波气动函数	196
C5.6.3 正激波前后参数变化	199
C5.7 二维超声速流动简介	201
C5.7.1 斜激波	201
C5.7.2 膨胀波	203
C5.7.3 斜激波与膨胀波在自由边界上的反射	204
习题	206
附录 D 有关几何图形公式	208
附录 E 平板边界层数据	209

附录 F 物体阻力系数	211
附录 G 气动函数数据	213
主要参考文献	225
习题答案	227
索引	231
例题索引	236
Synopsis	238
Contents	239
作者简介	242



专 题 篇

在基础篇中引入了流体力学的基本概念和观点,建立了反映流体运动特点的基本方程,介绍了流体力学的一般分析方法。这些知识为求解实际流动问题提供了理论和方法上的准备。其中有些理论和方法,如伯努利方程、动量方程、量纲分析等,可直接用于求解工程问题;但有些理论,如 $N-S$ 方程等,需要结合具体问题进行简化后才能求解。除一般分析方法外,还有针对不同类型的流动问题采用的特殊分析方法。

本篇将不同专业和工程领域中具有共性的和代表性的流动归纳为 5 个专题。根据每个专题的特点对基本方程作不同的简化,再结合具体条件进行求解或部分求解,每个专题都有自己的理论特色和实用意义。通过对各个专题的系统分析,既巩固基础篇的知识,又学习对不同类型流动问题的求解方法,有利于拓宽思路,培养灵活运用基础理论,将多种分析方法结合起来解决具体问题的能力。在了解了整个分析过程后,对所得结果的意义、适用范围和局限性才能有较全面的认识。

为了便于理解又不失代表性,5 个专题中除 C_5 外主要涉及不可压缩流体, C_3 和 C_5 以一维流动为主,其他各章以二维流动为主。 C_1 讨论流体静力学, C_2 和 C_4 讨论外流问题, C_3 和 C_5 讨论内流问题。每个专题都有很强的工程背景,学习时必须抓住每个专题的特点,同时也要注意不同专题之间的联系。例如在大雷诺数流动中, C_2 和 C_4 分别代表外流中边界层内外的流动,它们互为边界,实际上是相互匹配的。 C_3 和 C_5 均以管道流动为主, C_5 中计算摩擦阻力要用 C_3 中的结果。当马赫数降低时, C_5 的可压缩流动就转化为 C_3 的不可压缩流动。

本篇是对基础篇内容的延伸和具体化,因此仍是今后学习各专业课程及从事相关的工程技术和研究工作的基础。

C1 流体的平衡

C1.1 引言

要使一个运动着的刚体静止下来并非难事,只要对该刚体施加与引起刚体运动的合力和合力偶大小相等、方向相反的反力和反力偶即可。要使一股流动着的流体静止下来决非易事,对一盆运动着的水即使让盆静下来,盆内的水仍要作长时间的振荡运动后才能静止下来。由此看来,流体的平衡并非想象中那样简单,由于流体的易变形性,必须使所有流体质点都处于平衡时,才可称流体处于平衡状态。

尽管流体平衡的条件比较苛刻,在局部范围内流体相对于存储它的容器处于平衡或大体平衡状态的例子还是比比皆是。在平衡的粘性流体中,由于流体质点之间无相对运动,流体中的应力状态最为简单:既无由角应变率引起的切应力,也无由线应变率引起的附加法向应力;即在应力矩阵(B3.2.22)式中偏应力项为零,只有压强项存在。因此,对处于平衡状态的流体的力学分析几乎都集中在研究流体内的压强分布规律及其对边界的压强合力上。

流体平衡是流体运动的一种特殊形式,包括在惯性系(静止或匀速运动系)中的平衡和非惯性系中的相对平衡。研究流体平衡规律的学科称为流体静力学。流体静力学虽然最早可追溯到公元前3世纪阿基米德发现浮力定律,并将它应用于浮体和沉体的浮力计算上,但真正揭示流体平衡规律的还是欧拉(1755),欧拉建立了描述流体质点平衡状态的平衡微分方程。流体静力学的任务是研究流体平衡的条件、静压强分布规律、静止流体对固体物面的压强合力、非惯性系中流体的相对平衡及浮体稳定性等。

静力学知识在工程上有广泛应用。例如贮液(气)罐(内部受压)、潜体(外部受压)的压力分析;水坝、桥墩、闸门的受力分析;水压机、液压系统原理;汽车制动闸设计;测压计、液体比重计、大气测高仪的原理;虹吸泵、离心分离机原理;船舶、浮吊、船坞的浮力和稳定性分析;气球、气艇稳定性分析等。

C1.2 流体的平衡微分方程

C1.2.1 欧拉平衡方程

流体处于平衡状态时,意味着所有流体质点之间均无相对运动,按斯托克斯假设,粘性应力处处为零。在直角坐标系中,设可压缩流体在体积力 $f = (f_x, f_y, f_z)$ 作用下处于平衡状态,即 $u = v = w = 0$ 。在可压缩流体 N-S 方程分量式(B3.4.2)中,惯性力和粘性力项均为零,只剩下体积力和压强梯度项

$$\rho f_x - \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (\text{C1.2.1a})$$

$$\rho f_y - \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (\text{C1.2.1b})$$

$$\rho f_z - \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (\text{C1.2.1c})$$

矢量式为

$$\rho f - \nabla p = 0 \quad (\text{C1.2.2})$$

(C1.2.1)和(C1.2.2)式即为流体的平衡微分方程,是由欧拉(1755)首先建立的,又称为欧拉平衡方程。方程的物理意义是:在静止流体中,作用在单位体积流体上的体积力与压强合力(压强梯度)平衡;另一种说法是在静止流体中压强在空间的变化是由于体积力存在造成的(图 C1.2.1)。一般情况下体积力分布为已知条件(如重力),压强分布是要求的。如果流体是不可压缩的(如水),即流体密度为常数,可对欧拉平衡方程直接积分求压强分布;如果流体是可压缩的(如大气),还需要补充密度与压强之间的关系式才能求解(参见 C1.8 节)。

流体压强 $p(x, y, z, t)$ 在一点邻域内的空间增量可用全微分表示

$$dp = \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz$$

将(C1.2.1a,b,c)中的压强偏导数与体积力分量的关系式代入上式可得

$$dp = \rho(f_x dx + f_y dy + f_z dz) \quad (\text{C1.2.3})$$

上式称为压强全微分式,表示沿单位体积流体的体积力增加方向产生压强增量,沿任何方向积分该式可得该方向的压强分布式。

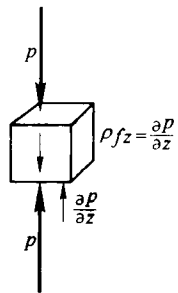


图 C1.2.1

C1.2.2 等压面

等压面是指流场中压强处处相等的面(图 C1.2.2),如水与大气交界的自由液面就是等大气压面。沿等压面 $dp=0$,由(C1.2.3)式可得

$$f_x dx + f_y dy + f_z dz = f \cdot dr = 0 \quad (\text{C1.2.4})$$

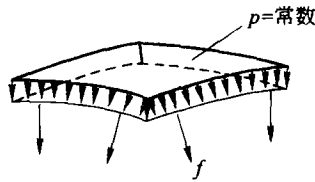


图 C1.2.2

上式称为等压面微分方程式, dr 为等压面上任意点的矢径微分,积分此式可得等压面方程。(C1.2.4)式表明等压面上各点的矢径微分矢量均与体积力矢量垂直,即体积力处处与等压面垂直,这是等压面上的体积力特征。

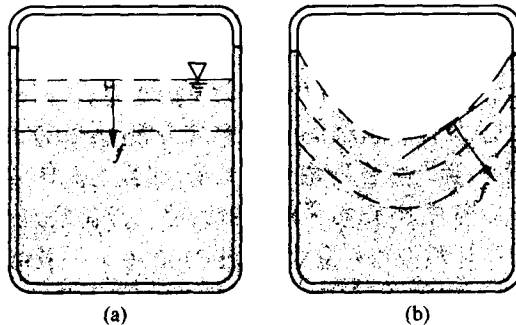


图 C1.2.3

在静止的盛水圆筒中重力垂直向下,等压面就是水平面(图 C1.2.3a);在绕垂直对称轴作等角速度旋转的盛水圆筒中(图 C1.2.3b),体积力除垂直向下的重力外,还有沿水平方向的惯性离心力,两者的合力形成下凹的旋转抛物面形的自由液面(将在 C1.4.2 中详细讨论)。利用体积力处处与等压面垂直的特点,通过观察等压面(如自由液面)的形状,可判断体积力的作用方向及压强递增的方向。

[例 C1.2.2] 两种液体的分界面:等压面

设密度分别为 ρ_1 和 ρ_2 的两种互不相混的液体放在同一容器中,试证明当它们处于平衡状态时其分界面必为等压面。

解: 设两种液体的体积力相同(如重力): $f = (f_x, f_y, f_z)$ 。

在分界面上任取相距 dr 的两点 A 和 B,设两点的压差为 $dp = p_A - p_B$ 。由于分

界面分属两种液体,且均处于平衡状态,由(C1.2.3)式分别可得压差方程

$$dp = \rho_1(f_x dx + f_y dy + f_z dz)$$

$$dp = \rho_2(f_x dx + f_y dy + f_z dz)$$

两式分别除以 ρ_1 和 ρ_2 ,再相减可得

$$\left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2}\right)dp = 0$$

由于 $\rho_1 \neq \rho_2$,要使上式成立,只有 $dp = 0$,证明分界面必为等压面。

讨论:上述结论不局限于静止液体,当容器以等角速度绕中轴旋转,两种液体均处于相对平衡状态时,其分界面也是等压面。

C1.2.3 流体平衡的条件

并不是所有流体在重力场中都能保持平衡状态,例如房间内的空气在局部被加热(如热水汀附近)后会产生对流运动,可见流体在重力场中保持平衡是有条件的。

对均质流体, $\rho = \text{常数}$,由(C1.2.3)式可得

$$d\left(\frac{p}{\rho}\right) = f_x dx + f_y dy + f_z dz \quad (\text{C1.2.5})$$

由数学分析知,上式右边表达式可表示为全微分形式的充分必要条件是 f_x, f_y, f_z 满足如下条件

$$\frac{\partial f_y}{\partial x} - \frac{\partial f_x}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial f_z}{\partial y} - \frac{\partial f_y}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial f_x}{\partial z} - \frac{\partial f_z}{\partial x} = 0 \quad (\text{C1.2.6})$$

与上述条件等价的是单位质量流体的体积力必须有势,即可表为

$$\mathbf{f} = -\nabla \pi \quad (\text{C1.2.7a})$$

上式中 $\pi(x, y, z)$ 称为力势函数,与体积力分量的关系为

$$f_x = -\frac{\partial \pi}{\partial x}, \quad f_y = -\frac{\partial \pi}{\partial y}, \quad f_z = -\frac{\partial \pi}{\partial z} \quad (\text{C1.2.7b})$$

(C1.2.7)式表明要使均质流体能保持平衡或保证(C1.2.5)式成立的条件是体积力必须是有势力。重力是有势力(参见 B3.2.2)

$$\pi = gz \quad (\text{B3.2.9})$$

因此均质流体在重力场中能保持平衡状态。

对正压流体,密度是压强的函数 $\rho = \rho(p)$,可以引入一个压强函数 $P(\rho)$

$$P(\rho) = \int \frac{d\rho}{\rho} \quad (\text{C1.2.8})$$

由(C1.2.3)式

$$dP = \frac{d\rho}{\rho} = f_x dx + f_y dy + f_z dz \quad (\text{C1.2.9})$$

只要体积力是有势力,上式也能成立。因此正压流体(如等温、绝热气体)在重力场中同样可以保持平衡状态。

可以证明(参见文献[17]),非正压流体在重力场中不能保持平衡状态。大气的密度除了与压强有关外还与温度有关 $\rho = \rho(p, T)$,当考虑赤道和北极的巨大温差时,大气表现出斜压性(在局部范围内,温度的变化可以忽略,大气仍按正压流体处理);海水的密度与含盐分多少有关,而盐浓度与海水温度有关,因此在大尺度范围内海水表现出斜压性,也属斜压流体,它们都不能在重力场中保持平衡,而会产生对流。

【例 C1.2.3】 贸易风:流体平衡条件

设大气满足完全气体状态方程

$$p = R\rho T \quad (\text{B1.4.5})$$

设在赤道和北极地区离地面相同高度处压强相同,等压面上各点与地面的距离相等。由于太阳光照射强度不同,赤道与北极两处温度相差悬殊,由(B1.4.5)式相应的密度不相同,因此大气密度除了沿高度变化外还随地球纬度改变而改变。等压面(图 CE1.2.3 中的实线)与等密度面(虚线)不重合(见图 CE1.2.3),造成大气层的非正压性,不满足流体平衡条件。这样形成在赤道处大气自下向上,然后在高空自赤道流向北极;在北极大气自上向下,最后沿洋面自北向南吹的大气环流。通常将沿洋面自北向南吹的风称为贸易风。

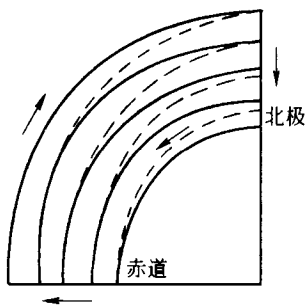


图 CE1.2.3

C1.3 流体静力学基本方程

在 B3.6.1 中曾讨论了静止的均质流体在重力场中的压强分布,在 z 轴垂直向上的直角坐标系中的表达式为

$$p = -\rho gz + C \quad (\text{B3.6.3})$$

上式可改写为

$$gz + \frac{p}{\rho} = \text{常数} \quad (\text{C1.3.1})$$

上式可看作伯努利方程(B4.3.3)式在 $v = 0$ 时的特殊形式,但适用于整个流场(参见 C2.2.2)。 gz 代表单位质量流体的重力势能, p/ρ 代表单位质量流体的压强势能,(C1.3.1)式表示在静止的均质流体中单位质量流体的总势能在全流