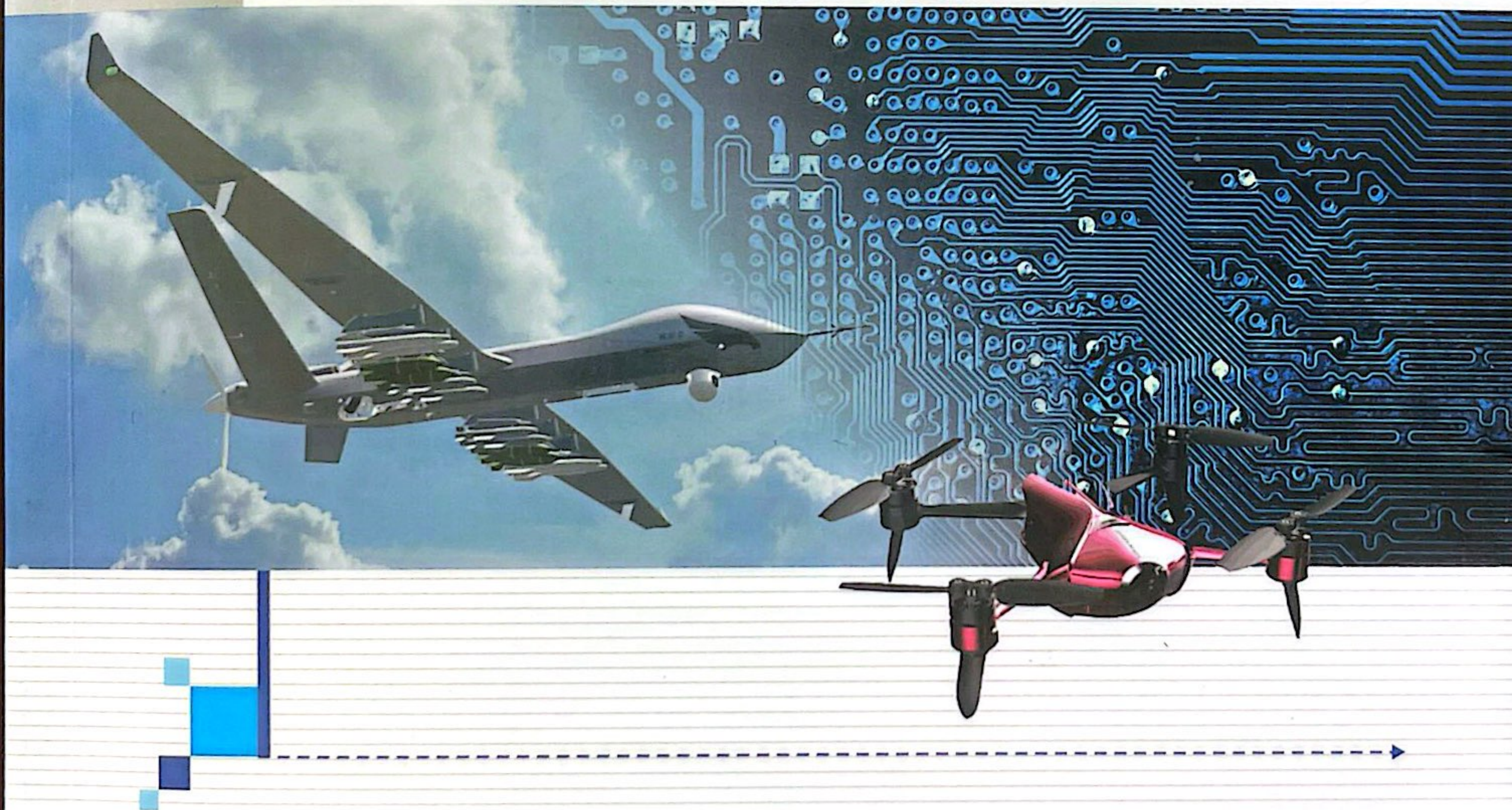




高等教育“十三五”规划教材·无人机应用技术

无人机飞行控制技术

于明清 司维钊◎编著



西北工业大学出版社

高等教育“十三五”规划教材·无人机应用技术

无人机飞行控制技术

于明清 司维钊 编著

西北工业大学出版社

西安

【内容简介】 本书系统地介绍了无人机(固定翼、多旋翼)飞行控制技术的相关知识,全书共分为8章,主要内容包括无人机飞行控制概述、飞机基本知识、测量与传感器、舵机与舵回路、固定翼无人机飞行控制系统、多旋翼无人机及其控制、导航系统以及测控系统等。本书内容全面,深入浅出,通俗易懂,读者通过学习能够掌握无人机飞行控制技术,章后配有相应的习题,可以巩固学习效果。

本书适合作为高等职业院校无人机应用技术专业学生的教材,也可作为无人机爱好者的参考用书,还可作为无人机制造者、无人机运营和无人机驾驶员提供学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

无人机飞行控制技术/于明清,司维钊,编著. —西安:
西北工业大学出版社,2018.8(2020.9重印)
ISBN 978-7-5612-6127-9

I. ①无… II. ①于… ②司… III. ①无人驾驶
飞机—飞行控制—高等教育—教材 IV. ①V279

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 203005 号

WURENJI FEIXING KONGZHI JISHU

无人机飞行控制技术

策划编辑:杨 军

责任编辑:王 尧

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号

邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm

1/16

印 张:11.25

字 数:270 千字

版 次:2018 年 8 月第 1 版

2020 年 9 月第 3 次印刷

定 价:38.00 元

目 录

第 1 章 无人机飞行控制概述.....	1
1.1 飞行控制的基本概念	1
1.2 飞机导航方法概述	7
1.3 无人机概述.....	10
习题	15
第 2 章 飞机的基本知识	16
2.1 气体运动的一般知识.....	16
2.2 飞机的空间运动及操纵.....	20
习题	30
第 3 章 测量与传感器	31
3.1 空气动力学参量的测量.....	31
3.2 惯性量的测量.....	44
3.3 方位角的测量.....	60
3.4 位置的确定.....	63
习题	66
第 4 章 舵机与舵回路	67
4.1 飞机操纵系统.....	67
4.2 舵机的工作原理.....	69
4.3 舵回路.....	75
习题	81
第 5 章 固定翼无人机飞行控制系统	82
5.1 概述.....	82
5.2 飞行姿态控制系统.....	87
5.3 高度的稳定与控制.....	92
5.4 飞行速度的稳定与控制.....	95
5.5 电传操纵系统.....	96
5.6 无人机飞行控制系统	103
习题.....	105

第 6 章 多旋翼无人机及其控制.....	106
6.1 多旋翼无人机系统的概念	106
6.2 多旋翼无人机的飞行原理和控制方式	115
6.3 多旋翼无人机动力装置	122
6.4 多旋翼无人机飞行控制技术	136
习题.....	149
第 7 章 无人机导航系统.....	150
7.1 惯性导航系统	150
7.2 GPS 导航系统	153
7.3 GLONASS 导航系统	156
7.4 北斗导航系统(BDS)	158
7.5 组合导航系统	161
习题.....	163
第 8 章 无人机测控系统.....	164
8.1 概述	164
8.2 任务规划与航迹规划	166
8.3 无人机测控系统	168
习题.....	172
参考文献.....	173

高等教育“十三五”规划教材·无人机应用技术



- ◎ 无人机结构与系统
- ◎ 无人机航拍技术
- ◎ 无人机任务载荷
- ◎ 无人机图像处理
- ◎ 无人机载SAR图像信息提取技术
- ◎ 无人机景象匹配辅助导航技术
- ◎ 无人机编队飞行技术
- ◎ 无人机飞行管理
- ◎ 无人机导航定位技术
- ◎ 无人机应用基础
- ◎ 无人机飞行安全及法律法规
- ◎ 无人机动力技术
- ◎ 植保无人机与施药技术
- ◎ 无人机空气动力学与飞行原理
- ◎ 无人机专业英语
- ◎ 无人机遥感测绘技术及应用
- ◎ 无人机任务规划
- ◎ 无人机设计与制造技术
- ◎ 无人机系统驾驶员理论与实践
- ◎ **无人机飞行控制技术**
- ◎ 无人机电机与电调技术
- ◎ 无人机整机组装与调试
- ◎ 无人机集群无线自组织网络
- ◎ 无人机集群
- ◎ 无人机后勤保障
- ◎ 无人机飞行防相撞技术

- ◎ 无人机概论
- ◎ 5G网联无人机
- ◎ 无人机组装、调试与维护
- ◎ 无人机健康管理
- ◎ 无人机空域感知与碰撞规避技术
- ◎ 无人机系统基础教程
- ◎ 无人机复合材料结构与制造技术
- ◎ 无人机模拟飞行及操控技术
- ◎ 无人机实操及实训技术
- ◎ 无人机操控技术
- ◎ 无人机结构与原理
- ◎ 无人机组装技术与维护



西北工业大学
官方微信



西北工业大学出版社
天猫旗舰店

ISBN 978-7-5612-6127-9



9 787561 261279 >

定价：38.00元

第 2 章 飞机的基本知识

飞上蓝天是人类自古以来的美好愿望,人类为此付出了艰苦的努力甚至牺牲。1903 年 12 月 17 日,美国的莱特兄弟把这一千古梦想变成了现实。经历百余年的演变,现代飞机已是一个由多个复杂系统组成的综合体,是当代高新技术应用的产物。为使飞机能够达到预期要求,需要多学科和多个技术领域的共同合作。本章简要介绍与飞机相关的基本知识与概念。

2.1 气体运动的一般知识

飞机(飞行器)是在空气当中运动的,因此首先就必须了解空气运动的相关知识,从学科分类上来说,属于空气动力学的范畴。根据我们的需求,在此只介绍有关气体运动的相关定义和定律。更深层次的内容,有兴趣的可以参考相关的资料和书籍。

2.1.1 空气介质的连续性

在研究物体的运动以及物体和空气的相互作用时,通常不考虑空气介质的分子间的自由行程,认为空气在空间是连续分布的密集介质。

2.1.2 运动的相对性

不论是物体静止、空气运动,还是空气静止、物体运动,只要物体相对于气流的速度向量相同,作用在物体上的空气动力就完全相同,这就是运动的相对性原理。这一原理看似简单,但在航空技术的发展,特别是飞机设计方面具有重大的意义,利用风洞来验证和实验飞机的气动特性就是运动的相对性原理最基本的利用。

2.1.3 定常流动

一般情况下,都假定气流的运动是定常的,即气流中每点的密度、压力、速度等均不随时间的变化而变。如果不满足上述条件,就称流动是非定常的。

2.1.4 连续方程

气流中一个微团流动的轨迹称为流线,两条流线之间形成单位厚度流管,如图 2-1 所示。假定空气的流动为定常流动,当气流流过某个物体时,可把气体当作在截面积发生变化的管子中流动,这种假想的管子被称为“流管”,如图 2-2 所示。许多流线在空间包围成流管。因为空气微团的形状和密度在流动中会发生变化,所以流管的横截面沿长度方向可以处处不同。

在定常流动中任取一流管,并任意截取两个截面 I 和 II,如图 2-2 所示,分别以 v_1, ρ_1, A_1, m_1 和 v_2, ρ_2, A_2, m_2 表示界面 I 和 II 处的气流速度(m/s)、密度(kg/m³)、截面积(m²)和单位时间所流过的空气的质量(kg)。根据质量守恒定律及空气流动的连续性,在单位时间

内,从截面 I 流过的空气质量与从截面 II 流过的是完全相等的。即

$$m_1 = v_1 \rho_1 A_1 = m_2 = v_2 \rho_2 A_2 \quad (2-1)$$

由于截面 I 和 II 是任意截取的,所以式(2-1)可以写成

$$v \rho A = C \text{ (常数)} \quad (2-2)$$

这就是连续方程, v 表示气流的速度。

在飞机飞行速度不太大的情况下,空气流过飞机表面时,其压力及温度变化很小,因此其密度变化也很小,这时可以认为空气是不可压缩的流体, ρ 为常数。则连续方程可简化为

$$vA = C \text{ (常数)} \quad (2-3)$$

式(2-3)表明,横截面积大则流速小,横截面积小则流速大。

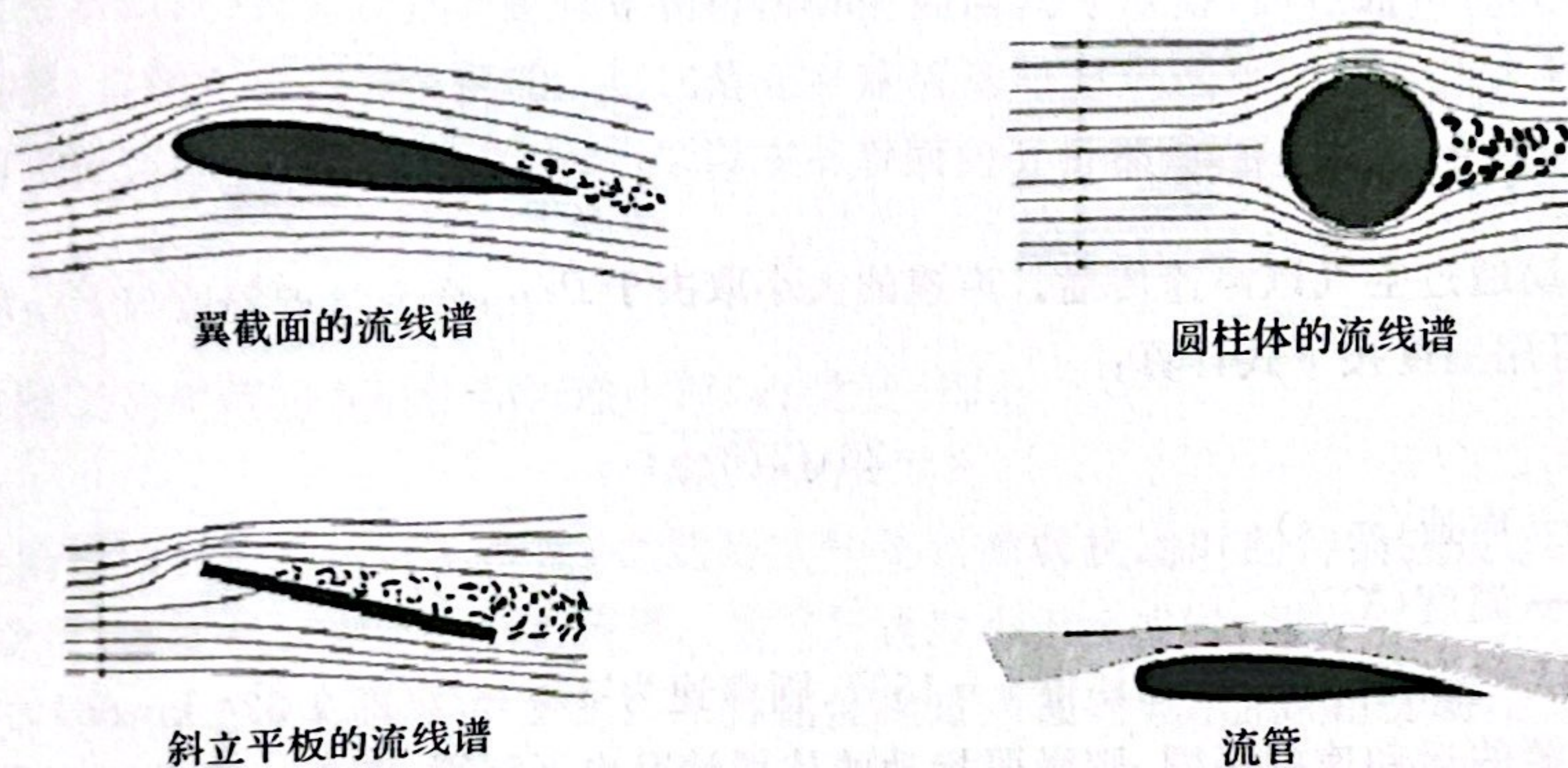


图 2-1 流线-流管示意图

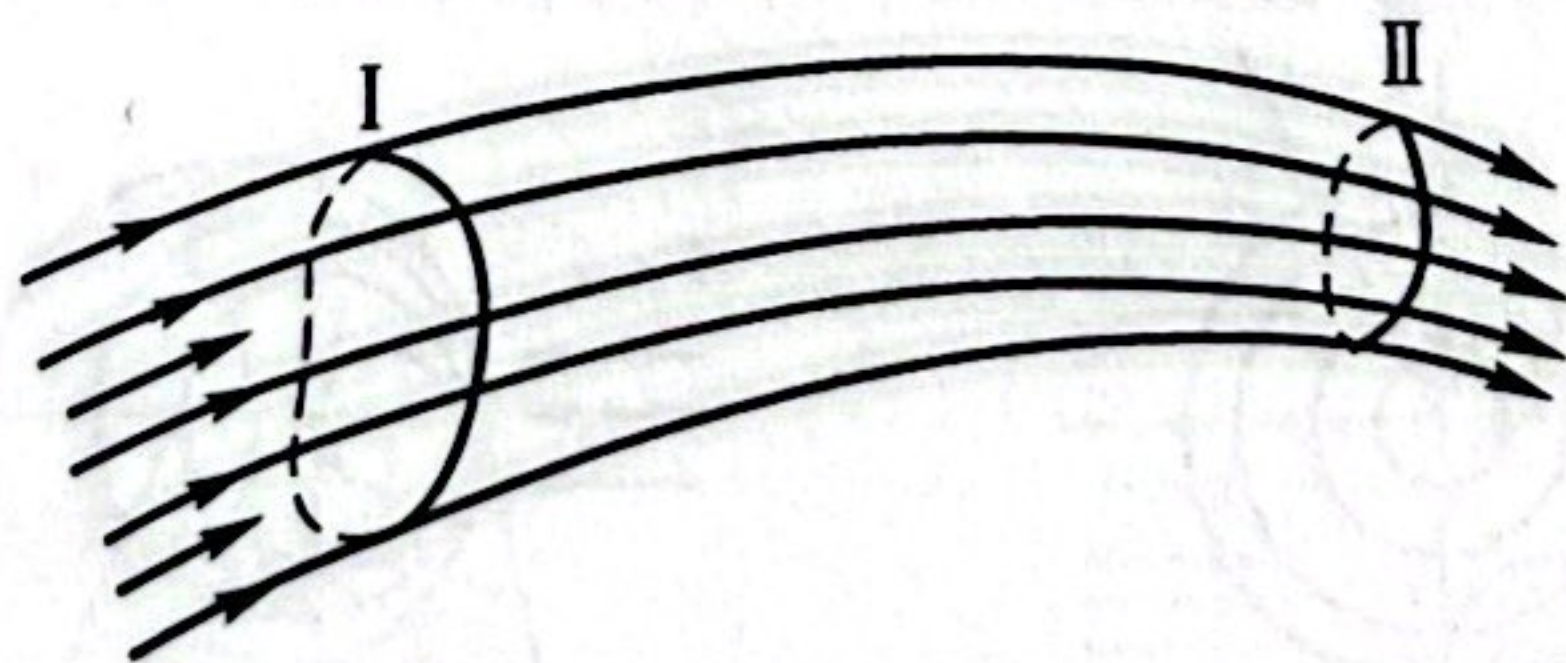


图 2-2 流管示意图

2.1.5 伯努利方程

在流管中气体的压力能、动能、内能可能因为截面积的变化而变化,但其总能量不变(不计摩擦损失),如图 2-3 所示,这就是能量守恒定律。通过分析可以得到关系式为

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = C \text{ (常数)} \quad (2-4)$$

式(2-4)称为伯努利方程,表示静压 P 与动压 $\frac{1}{2} \rho v^2$ 之和沿流管不变。动压的物理意义是单位体积空气流动的动能。当 $v=0$ 时,动压为零,此时静压达到最大值,以 P_0 表示,此值称为总压。故式(2-4)可写为

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = P_0 \quad (2-5)$$

这表明,在同一流管中,流速大的地方静压小,流速小的地方静压大,静压最大处的流速为零。把流管无限变细就成了一条流线,上述关系在同一流线上同样成立。这一方程在飞机上有着重要的应用。飞机的空速和升降速度的测量都是基于这一理论来实现的。

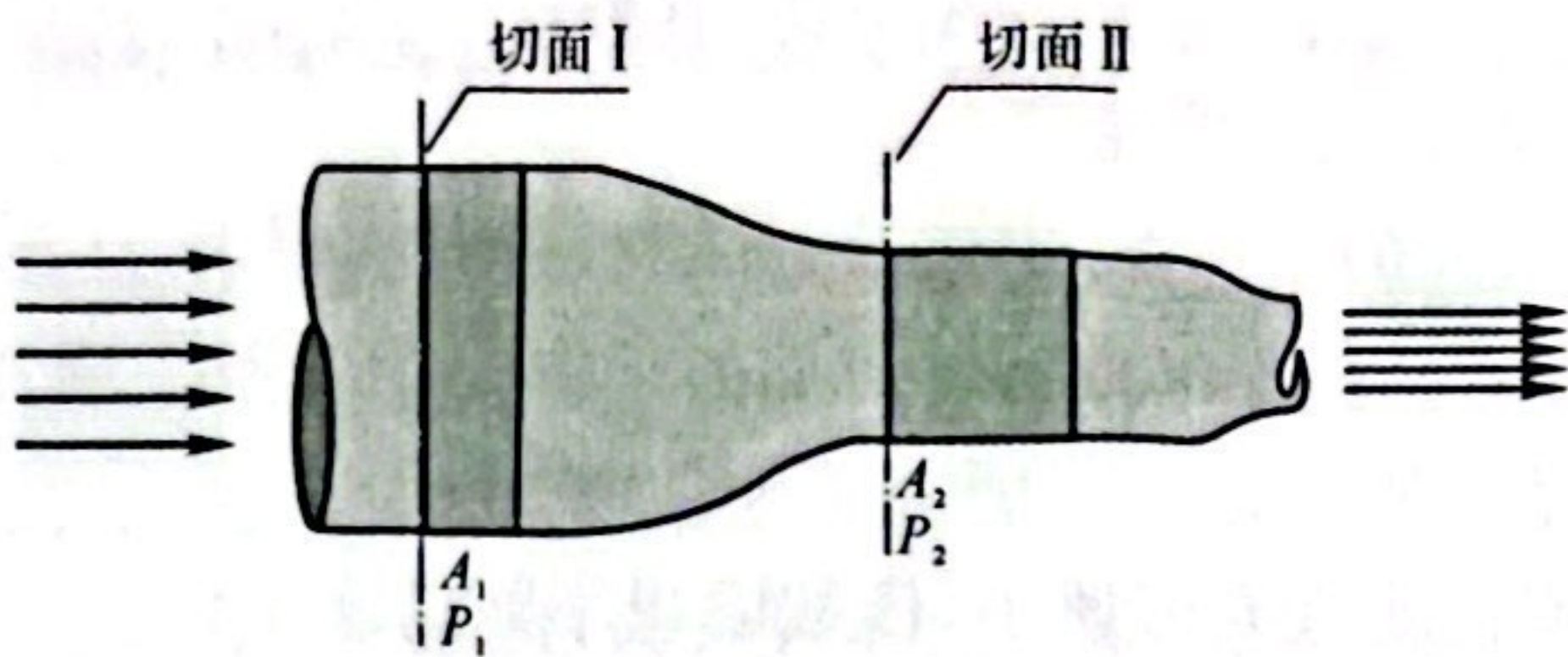


图 2-3 流体流动示意图

2.1.6 微弱扰动的传播

微弱扰动通过空气以声速传播。声速的大小取决于 P/ρ , 而空气的温度与 P/ρ 成正比, 因此, 声速又可用温度按下式计算:

$$a = 20\sqrt{273 + t} \tag{2-6}$$

式中 a ——声速(m/s);
 t ——温度(℃)。

在标准大气条件下,海平面温度 $t = 15^{\circ}\text{C}$, 则声速为 340 m/s(即 1 224 km/h)。

若扰动源的运动速度不同, 则微弱扰动的传播情况也不相同, 图 2-4 显示了不同运动速度情况下的微弱扰动的传播情况。

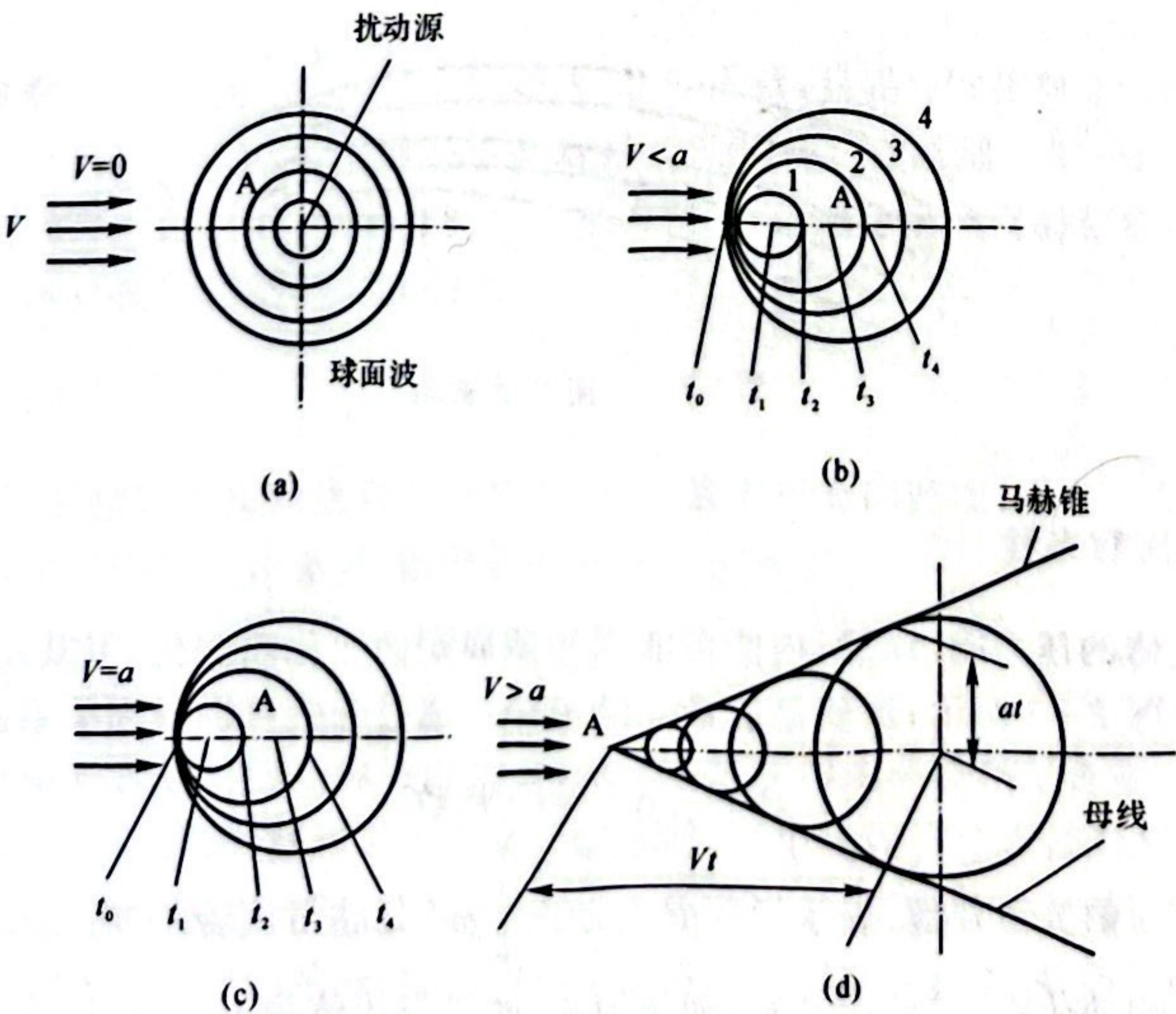


图 2-4 微弱扰动的传播

当扰动源静止($V = 0$) 时,发出的球面波以声速向四面八方传播(见图 2-4(a))。

根据运动相对性原理,扰动源以速度 V 在静止空气里运动相当于扰动源静止而气流以速度 V 流动。因此,当扰动源以亚声速($V < a$) 运动时,从 A 点发出的弱扰动一面以声速 a 向外传播,另一面又被流动的空气顺流带走。经过 $\Delta t = t_1 - t_0$ 时间,波面到达 1 的位置,半径为 $a\Delta t$,波面各点都顺流后移了 $a\Delta t$ 的距离,以此类推(见图 2-4(b))。

扰动源以声速($V = a$) 运动相当于气流以声速流过静止扰动源(图 2-4(c))。这时波面虽以声速向外传播,但对着气流方向的波面始终彼此相切。这表明当气流流速等于声速时,弱扰动无法逆向传播,也就是说,扰动源产生的空气压力和密度的变化只影响它后面的空气。

当扰动源以超声速($V > a$) 运动时,其波面传播如图 2-4(d) 所示。这时波面一面扩大,一面顺流后移且呈圆锥状。该圆锥称为马赫锥,其母线称为马赫线。

从以上分析可以看出,在亚声速流中弱扰动可向四面八方传播,而在超声速流中,弱扰动不能逆向传播,只能在扰动锥内传播。这就是亚声速流动与超声速流动的本质区别。由于目前无人机的飞行速度基本上都是亚声速,所以本书后面的分析都是在基于亚声速条件下的。

2.1.7 马赫数 Ma

马赫数定义为气流速度(V) 和当地声速(a) 之比,即

$$Ma = V/a \tag{2-7}$$

空气中的声速即声波的传播速度,也就是空气受到微弱扰动时的传播速度。飞机(扰动源)使空气受扰,该扰动以声速向四周传播。当飞行速度小于声速时,前方空气已受到扰动,将绕过飞机,空气密度不发生太大的变化。飞行速度接近声速时,扰动源和扰动波几乎同时到达,前方空气已来不及躲开,局部的空气密度将明显增大。飞行速度超过声速后,前方空气在没有受到扰动的情况下接近飞机,飞机前面邻近处的空气密度将会突然增大,这就形成了激波,如图 2-5 和图 2-6 所示,可见马赫数的大小可以表示空气受压缩的程度。

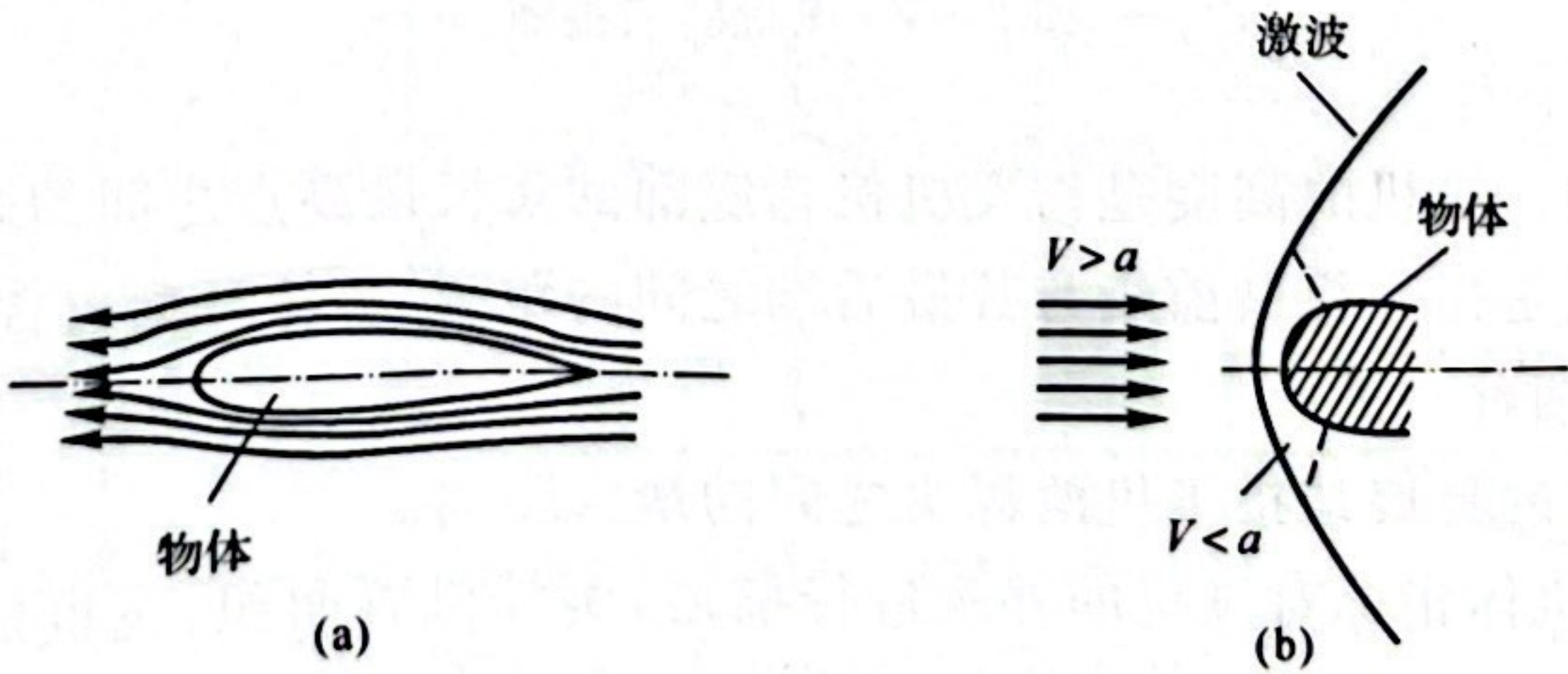


图 2-5 气流流经物体的情况

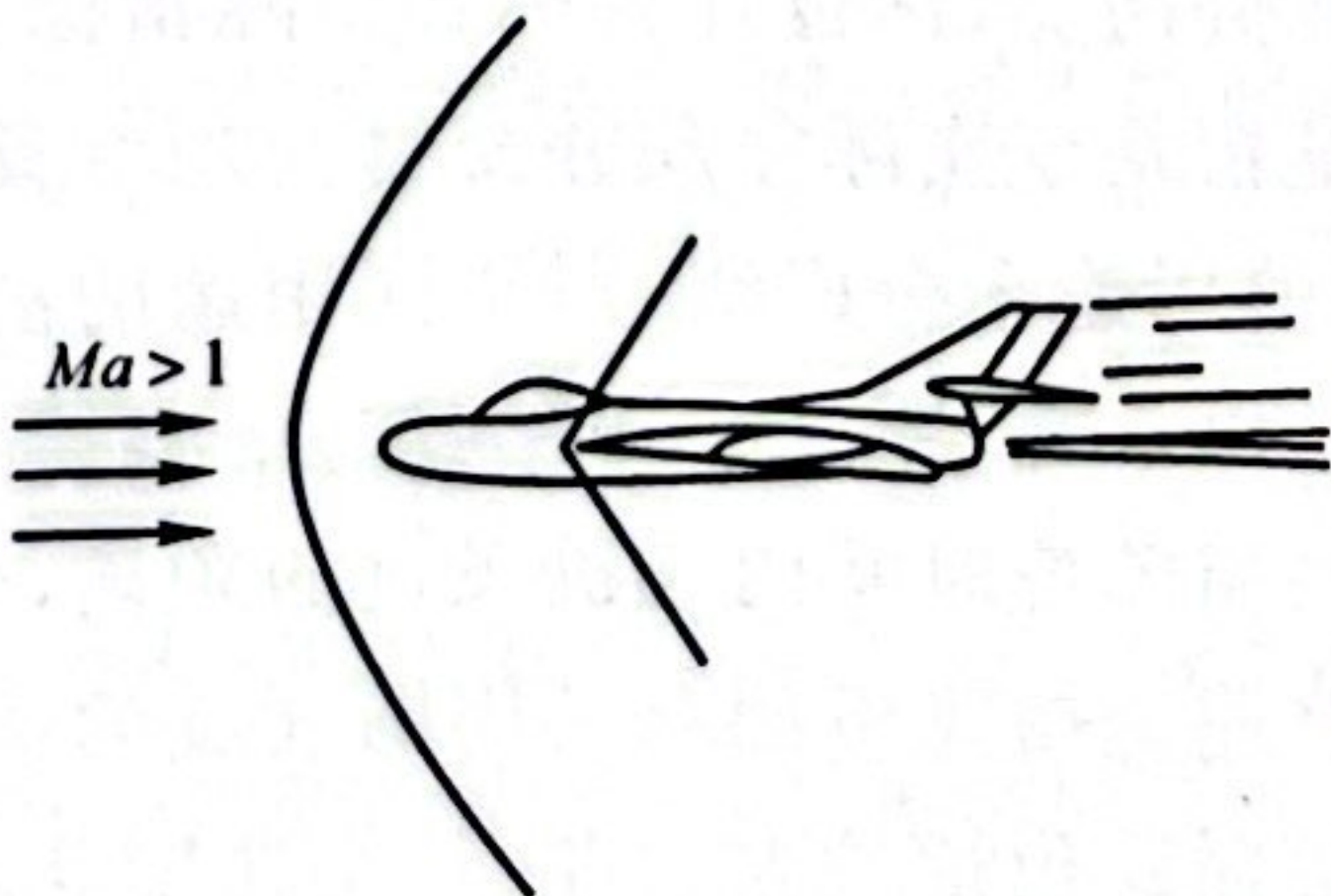


图 2-6 激波示意图