

中国民用航空总局飞标司推荐

民用航空器维修基础系列教材

# 燃气涡轮发动机

RANQIWOLUNFADONGJI

(ME-TA、TH)

许春生 主编



兵器工业出版社

责任编辑：朱丽均

封面设计：李 晖

## 民用航空器维修基础系列教材目录

电工基础(ME、AV)

电子技术基础(AV)

电子技术基础(ME)

空气动力学和维护技术基础(ME、AV)

人为因素和航空法规(ME、AV)

涡轮发动机飞机结构与系统(ME-TA)

涡轮发动机飞机结构与系统(AV)

直升机结构与系统(ME-TH、PH)

活塞发动机飞机结构与系统(ME-PA)

燃气涡轮发动机(ME-TA、TH)

活塞发动机(ME-PA、PH)

ISBN 7-80172-540-9



9 787801 725400 >

ISBN 7-80172-540-9

定价：40.00元

中国民用航空总局飞标司推荐  
民用航空器维修基础系列教材

# 燃气涡轮发动机

## (ME - TA、TH)

许春生 主编

兵器工业出版社

## 内 容 简 介

本书为《民用航空器维修基础系列教材》之一。全书分为9章，主要介绍基础知识和工作原理，发动机部件，发动机特性，发动机系统，辅助动力装置，发动机使用维修和螺旋桨等内容。本书文字通俗易懂，并配有大量图解，是民用航空器维修人员执照考试的参考书。

考虑到行业用书的特殊性，为同当前工作实际一致，书中一些单位量的使用保留英制单位。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

燃气涡轮发动机：ME-TA、TH/许春生主编. —北京：  
兵器工业出版社，2006.5

(民用航空器维修基础系列教材)

ISBN 7-80172-540-9

I. 燃... II. 许... III. 民用飞机-航空发动机-  
燃气轮机-教材 IV. V235.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 013745 号

出版发行：兵器工业出版社

发行电话：010-68962596, 68962591

邮 编：100089

社 址：北京市海淀区车道沟10号

经 销：各地新华书店

印 刷：北京市登峰印刷厂

版 次：2006年5月第1版第1次印刷

印 数：1-3000

责任编辑：朱丽均

封面设计：李 晖

责任校对：王 锋

责任印制：赵春云

开 本：787×1092 1/16

印 张：15

字 数：343千字

定 价：40.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

# 《民用航空器维修基础系列教材》 编写委员会

**主任委员：**徐超群

**副主任委员：**任仁良

**编    委：**徐超群 任仁良 郑连兴 许春生  
              李幼兰 王会来 朱丽君 刘建英  
              张铁纯 刘建新 郝劲松

## 出版说明

2005年8月,中国民航规章CCAR-66R1《民用航空器维修人员执照管理规则》考试大纲正式发布执行,该大纲规定了民用航空器维修持照人员必须掌握的基本知识。随着中国民用航空业的飞速发展,迫切需要大批高素质的民用航空器维修人员。为适应民航的发展,提高机务维修人员的素质和航空器维修水平,满足广大机务维修人员学习业务的需求,中国民航总局飞标司组织成立了《民用航空器维修基础系列教材》编写委员会,其任务是编写一套适用于中国民航维修要求,实用性强、高质量的培训和自学教材。

为方便机务维修人员通过培训或自学,参加维修执照基础部分考试,本系列教材根据CCAR-66R1民用航空器维修人员执照基础部分考试大纲编写。这套系列教材共11本,内容覆盖了考试大纲的所有模块,具体每一本教材的适用专业和对应的考试大纲模块见下表:

序号	书名	适用专业	覆盖CCAR-66R1考试大纲模块
1	电工基础	ME、AV	M3
2	电子技术基础	AV	M4、M5
3	电子技术基础	ME	M4、M5
4	空气动力学和维护技术基础	ME、AV	M6、M8
5	人为因素和航空法规	ME、AV	M9、M10
6	涡轮发动机飞机结构与系统	ME-TA	M11
7	涡轮发动机飞机结构与系统	AV	M11、M14
8	直升机结构与系统	ME-TH、PH	M12
9	活塞发动机飞机结构与系统	ME-PA	M13
10	燃气涡轮发动机	ME-TA、TH	M14、M16
11	活塞发动机	ME-PA、PH	M15、M16

该系列教材力求通俗易懂,紧密联系民航实际,针对性强,适合于民航机务维修人员或有志进入民航维修业的人员培训或自学用教材,也可作为CCAR-147维修培训机构的基础培训教材或参考教材。

在这套教材的编写过程中，我们得到了中国民航总局飞标司、中国民用航空学院、广州民航职业技术学院、中国民用航空飞行学院、民航管理干部学院、民航上海中等专业学校、北京飞机维修工程有限公司（Ameco）、广州飞机维修工程有限公司（Gameco）、中信海洋直升机公司等单位以及航空器维修领域的 40 多位专家的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编写时间仓促和我们的水平有限，书中还存在着许多错误和不足，请各位专家和读者指出，以便再版时加以纠正。

**《民用航空器维修基础系列教材》编委会  
2006 年 2 月 10 日**

# 前 言

《燃气涡轮发动机》是民用航空器维修人员执照基础部分自学教材之一。该系列教材由编委会组织，根据 CCAR-66R1 要求编写，使用对象为民航在职人员。考虑到民航机型多为国外引进，为同当前工作实际一致，本书保留了一些英制单位。

本书编者为许春生、马乾焯。在编写过程中得到中国民用航空总局飞行标准司，中国民航学院机电工程学院，北京飞机维修工程有限公司培训中心，中国民航广州职业技术学院等单位的大力支持。本书初稿承仁良、朱丽君、陈忠军、李文铨、杜生忠、叶德金、杨晓东、李安等同志的审阅并提出许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

编写自学教材是初次，难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者  
2005 年 12 月



# 目 录

<b>第 1 章 基础知识和工作原理</b> .....	( 1 )
1.1 基础知识 .....	( 1 )
1.2 工作原理 .....	( 8 )
<b>第 2 章 发动机部件 (一)</b> .....	( 20 )
2.1 进气道 .....	( 20 )
2.2 压气机 .....	( 22 )
2.3 燃烧室 .....	( 38 )
<b>第 3 章 发动机部件 (二)</b> .....	( 47 )
3.1 涡轮 .....	( 47 )
3.2 喷管 .....	( 55 )
3.3 轴承、封严、附件传动 .....	( 58 )
<b>第 4 章 发动机特性</b> .....	( 66 )
4.1 涡轮喷气发动机 .....	( 66 )
4.2 涡轮风扇发动机 .....	( 70 )
4.3 涡轮螺桨发动机 .....	( 72 )
4.4 涡轮轴发动机 .....	( 76 )
<b>第 5 章 发动机系统 (一)</b> .....	( 79 )
5.1 燃油和控制系统 .....	( 79 )
5.2 启动和点火系统 .....	( 96 )
<b>第 6 章 发动机系统 (二)</b> .....	( 107 )
6.1 空气系统 .....	( 107 )
6.2 操纵系统 .....	( 116 )
6.3 指示系统 .....	( 119 )
6.4 排气系统 .....	( 130 )
6.5 滑油系统 .....	( 141 )

<b>第7章 辅助动力装置</b> .....	(152)
7.1 综述 .....	(152)
7.2 工作系统和保护 .....	(156)
<b>第8章 发动机使用维修</b> .....	(165)
8.1 发动机维修 .....	(165)
8.2 发动机健康管理 .....	(172)
<b>第9章 螺旋桨</b> .....	(176)
9.1 螺旋桨原理 .....	(176)
9.2 螺旋桨分类与结构 .....	(181)
9.3 涡轮螺桨发动机螺旋桨 .....	(183)
9.4 螺旋桨辅助系统 .....	(191)
9.5 螺旋桨检查、维护和安装 .....	(195)
<b>参考文献</b> .....	(203)

# 第1章 基础知识和工作原理

## 1.1 基础知识

燃气涡轮发动机以空气和燃气作为工作介质。它将燃料的化学能转变成热能，再将热能转变成机械功。掌握力学、热力学、气体动力学、传热学的基础知识和运动规律对理解发动机工作原理是必要的。本章首先复习一些基本知识、概念，然后介绍工作原理。

### 1.1.1 力学基础

#### 1. 物质

自然界的所有物质都是由分子和原子组成的。在任何状态和形状下都具有物质原有特性的最小粒子称为分子。原子是构成物质的基本单元，其简单结构是由原子核和一个或多个电子组成。原子核由一个或多个中子加上一个或多个质子组成。在多数原子中，中子和质子的数目相等。氧原子的原子核由8个质子和8个中子组成，8个电子绕原子核转动。

气态、液态和固态是常见的三种物态。物质由一种物态向另一种物态的转变叫相变。

液体中的分子逸出液面向空间扩散的过程叫汽化。逸出液面的分子受到液体表面层分子的吸引力，只有动能足够大的分子，克服表面分子的吸力才能逸出液面。当液体盛在密封容器中，液体汽化后，分子留在液面上方，有一些会因接触液面再回到液体中去。如果单位时间内离开液面的分子个数等于从蒸汽回到液体中的分子个数，则容器中的蒸汽达到饱和，这时蒸汽的压强定义为饱和蒸汽压。单位体积空气中所含的水蒸气质量称为绝对湿度。空气中所含水蒸气密度和同温度下饱和水蒸气密度的比值称为相对湿度，通常用百分数表示。

在一定的温度与压力下，固体将溶解为液体。在一定的压力下，固体的溶解温度叫熔点。固体也可以不通过溶解而直接汽化，称为升华。物质由气态变为固态叫结晶。在相变图上，物质的汽化曲线（AD）、溶解曲线（BD）和升华曲线（CD）交于一点，该点叫三相点。三相点的温度和压强是物质的三种状态平衡共存的条件（见图1-1）。

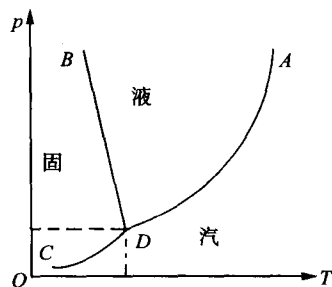


图1-1 相变曲线

### 2. 气体的成分

在燃气涡轮发动机中空气和燃气作为工作介质。空气是由多种气体成分组成，主要成分为氮气（ $N_2$ ）、氧气（ $O_2$ ）和氩气（Ar）等，其所占容积的百分比是：氮气 78.03%，氧气 20.99%，氩气 0.98%。

燃气是空气与燃料进行燃烧后的气体产物。燃气的成分随燃料化学成分的不同以及燃料与空气的混合比例的不同有很大的差异。燃气涡轮发动机通常使用航空煤油作燃料，航空煤油的主要成分是碳原子和氢原子，如  $C_8H_{18}$ 。

### 3. 运动

物质的运动形式是多种多样的，其中，机械运动是最简单最基本的运动。机械运动是一个物体相对于另一个物体的位置随时间变化的过程。质点在时间  $\Delta t$  内，移动了位移  $\Delta s$  时，把质点位移  $\Delta s$  与相应的时间  $\Delta t$  的比值，即表示质点运动的快慢叫速度  $v$ 。速度是矢量，有大小，也有方向。速度对时间的变化率称为加速度。加速度也是矢量，有大小，也有方向。

直线运动有匀速直线运动和变速直线运动。圆周运动是曲线运动的一个特例。物体绕定轴转动时，物体中每个质点作的都是圆周运动，圆周运动是研究物体转动的基础。

牛顿运动定律是研究物体间的相互作用以及由此引起的物体运动状态变化规律的基础。牛顿第一定律又叫惯性定律，是说任何物体都保持静止的或沿一直线做匀速运动的状态，直到作用在它上面的力迫使它改变这种状态为止。力是引起运动物体状态改变的原因。

牛顿第二定律是物体受到外力作用时，它所获得的加速度的大小与外力的大小成正比，与物体的质量成反比，加速度的方向与外力的方向相同。牛顿第二定律的数学表达式通常写成：

$$F = m \times a$$

式中： $F$ ——力；  
 $m$ ——质量；  
 $a$ ——加速度。

在旋转系统中，牛顿第二定律的数学表达式写成：

$$M = J \times d\omega/dt$$

式中： $M$ ——扭矩；  
 $J$ ——转动惯量；  
 $\omega$ ——角速度；  
 $d\omega/dt$ ——角加速度。

牛顿第二定律说明力是产生加速度的原因，扭矩是产生角加速度的原因。对于质量一定的物体，受到的作用力越大，加速度越大；对于转动惯量一定的物体，受到的扭矩越大，角加速度就越大。

牛顿第三定律说明两个物体之间的作用力和反作用力在同一直线上，大小相等而方向相反。作用力和反作用力是分别作用在两个物体上。

### 4. 常见力

在日常生活和工程技术中经常遇到的力有：重力、弹力、摩擦力等。重力是因地球吸引而使

物体受到的力。物体的质量指物体中包含物质的多少，用  $m$  表示。在重力作用下，任何物体产生的加速度都是重力加速度  $g$ ，重力的方向和重力加速度的方向相同。如重力用  $W$  表示，则：

$$W = m \times g$$

发生形变的物体，由于要恢复原状，对与它接触的物体会产生力的作用，这种力叫弹力。弹力是产生在直接接触的物体之间并以物体的形变为先决条件的。弹簧被拉伸或压缩时，它对与之相连的物体有弹力作用，这种弹力总是力图使弹簧恢复形状。在弹性限度内，弹力大小和形变成正比，遵循虎克定律：

$$F = k \times x$$

式中： $F$ ——弹力；

$k$ ——弹簧刚性；

$x$ ——位移。

两个相互接触的物体做相对运动时，或有相对运动的趋势时，在接触面之间产生一对阻止相对运动的力叫摩擦力。相互接触的两个物体在外力作用下，虽有相对运动的趋势，但不产生相对运动，这时的摩擦力叫静摩擦力。外力超过最大静摩擦力，物体间产生了相对运动，这时也有摩擦力，叫滑动摩擦力。摩擦力大小与正压力成正比，并取决于摩擦系数。

物体运动过程中还受到惯性力、阻尼力的作用。

振动是物体运动的一种形式，凡是物体在一定位置附近做往复运动，称为振动。振动分两种基本形式，即自由振动和受迫振动。振动物体离开平衡位置的最大距离叫振幅。它的大小说明物体振动的强弱程度。物体完成一次全振动所经历的时间叫周期。单位时间内物体完成全振动的次数叫频率。物体做自由振动时的频率叫自由振动频率或固有频率。自由振动频率的高低完全由物体本身的性质决定与外力大小无关。

## 1.1.2 热力学基础

### 1. 热力学概念

在热力学中将研究对象的物质及其所在的空间称为系统。系统之外能以某种方式与系统发生相互作用的局部区域内的物质称为外界。系统可能呈现各种不同的状态，平衡态是系统与外界不发生相互作用的条件下，其宏观性质不随时间变化的状态。系统从一个平衡态向另一个平衡态变化时所经历的全部状态的总和称为热力过程。封闭的热力过程称为热力循环，简称循环。此时系统从一个平衡态经过一系列的状态又回到原来的状态。实施热力循环的目的是实现系统与外界连续不断地进行热能与功的转换。

### 2. 基本状态参数

可以直接测量的状态参数称为基本状态参数，例如温度  $T$ 、压力  $p$ 、比容  $\nu$  等。

比容：单位质量气体所占有的容积称为比容，以  $\nu$  表示。如以  $V$  表示气体的容积， $m$  表示气体的质量，则：

$$\nu = V/m$$

比容的倒数即单位容积气体的质量称为气体的密度，以  $\rho$  表示

$$\rho = m/V$$

压力：气体的压力是气体分子对容器壁作用力的结果。在物理学上一个大气压是指在海平面标准状态下的大气压力，其值等于 760mmHg 或等于 101 325Pa。静压是气体或液体在静止时的压力；气体或液体的总压是静压和速度引起的冲压压力之和。

温度：温度和压力一样是气体的一个宏观的量，温度的数值与气体分子平均直线运动动能成正比。温度的数值表示法称为温标。摄氏温标选用标准大气压下水的两相点（冰水混合物）为  $0^\circ$ ，沸点为  $100^\circ$ 。华氏温标选用标准大气压下水的两相点为  $32^\circ$ ，沸点为  $212^\circ$ 。华氏和摄氏温度之间的关系是：

$$^\circ\text{C} = (^\circ\text{F} - 32) \times 5/9$$

$$^\circ\text{F} = 9/5^\circ\text{C} + 32$$

如果以  $-273^\circ\text{C}$  作为温度的坐标原点，即把  $-273^\circ\text{C}$  作为绝对温度  $0^\circ$ ，摄氏  $0^\circ$  作为绝对温度  $273^\circ$ ，这种温度坐标称为绝对温度坐标，以 K 表示

$$T(\text{K}) = t^\circ\text{C} + 273$$

温度有静温和总温，静温是气体或液体中热的测量；总温是气体或液体中能量的测量。如果气体或液体是静止的，能量由温度代表，静温等于总温。然而如果气体或液体在运动，仅部分能量是热的形式，其余的能量表现为速度。

### 3. 理想气体的状态方程

只有当气体压力不太大和温度不太低的时候，才可以近似地把气体看作理想气体，这时候可以忽略气体分子本身的体积和分子间的引力。

对于 1kg 质量的气体，理想气体状态参数之间的一般关系式即理想气体状态方程：

$$pv = RT$$

式中  $R$  称为气体常数，表示  $pv$  与  $T$  之间的比例系数。 $R$  的数值只决定于气体的种类而不随气体的状态变化。气体常数的法定计量单位是  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。空气的气体常数为  $287.06\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

其他气体的气体常数可用下式计算

$$R = 8314/M$$

物质的量称为摩尔， $M$  为气体的摩尔质量，法定计量单位为  $\text{kg}/\text{mol}$ （千克/摩尔）。氧气的摩尔质量为  $32\text{kg}/\text{kmol}$ （千克/千摩尔）；氮气的摩尔质量为  $28\text{kg}/\text{kmol}$ （千克/千摩尔）；二氧化碳的摩尔质量为  $44\text{kg}/\text{kmol}$ （千克/千摩尔）。

对于  $m\text{kg}$  的完全气体：

$$pV = mRT$$

#### 4. 功和热

功是力和沿着力的方向所移动的距离的乘积。

在热力学中不能说在某种状态下系统具有多少功，只能说系统与外界交换了多少功，并规定，系统对外界做功，则功为正；外界对系统做功，则功为负。功的法定计量单位为焦耳（J）。

在单位时间内所做的功称为功率。功率的法定单位为瓦特（W）， $1\text{W}(\text{瓦特}) = \text{J/s}$ （焦耳/秒）。

系统在过程中通过边界与外界之间依靠温差所传递的能量称为热量，不能说在某状态下系统具有多少热量，而只能说系统与外界在过程中交换了多少热量。热量的法定计量单位为焦耳（J）。

#### 5. 热力学定律

热力学第一定律确定各种能量形式可以互相转变，热可以转变为功，功也可以转变成热。工质受热做功的过程中，工质从外界吸取的热量，一部分转变为工质膨胀时对外作的功，一部分转变为工质内能。能量形式可以转变、传递，但是能量不会消失。确切地说，在某一个孤立体系内，全部的能量是一定的。

在等容加热条件下，气体不对外做功，外界加入  $1\text{kg}$ （千克）静止气体的热量全部转变为气体的内能。它与气体温度的关系可表示为：

$$dq = c_v dT$$

$c_v$  称为定容比热，即气体内能的增量等于气体温度增量与定容比热的乘积。

为计算方便起见，把气体的内能和功合在一起，称为气体的焓。只有在等压条件下，对外做功为零，焓的增量在数值上正好等于外界加入气体的热量。等压加热时，外界加入气体的热量与气体温度的关系可表示为：

$$dq = c_p dt$$

$c_p$  称为定压比热。 $c_p/c_v$  称为比热比，用  $k$  表示。在常温下空气的  $k$  为 1.4，不同成分气体的比热比随气体温度变化。

热力学第二定律确定在热动力机中，工质从热源所得到的热量，不可能全部变为功，而只能将其中一部分热量变为功，其余的热量必须通过工质放给某一个冷源。转变的功与工质得到的热量之比称为热效率。热源与冷源之间运行的理想循环即卡诺循环的效率是这两个热源和冷源之间的任何热机可能达到热效率的极限。

热力学第二定律有各种说法，常见的有：

开尔文说法：“不可能制造出从单一热源吸热并使之全部转变为功的循环发动机”；

克劳修斯说法：“不可能由低温物体向高温物体传送热量而不引起其他变化”。

### 1.1.3 气体动力学基础

#### 1. 气体动力学

气体动力学是研究气体在流动过程中，气体与气体、气体与固体之间相互作用所遵循的规律以及参数变化的规律。

气体的密度随着压力或温度的变化而变化的性质称为气体压缩性。压缩性是气体的重要属性。黏性是实际气体的一个物理属性。它表示出气体对于切向力的一种反抗能力。这种反抗力只在运动气体流层间发生相对运动时才表现出来。

当气流流过平板时，在板面上，气流速度为零，愈靠外流速愈大，直到离开板面一段距离的地方，气流速度才与未扰动的气流速度没什么显著的差别。平板附近气流速度出现这样的分布正是气体黏性的表现。黏性使直接接触板面的一层气体完全贴在静止的板面上，和板面没有相对运动。通常将靠近物体表面附近速度梯度很大的一薄层气体称为附面层（见图 1-2）。

流体的流动分为层流和紊流两种状态。雷诺数用于表示流体惯性力与黏性力之比：

$$Re = \rho v D / \mu$$

式中： $Re$ ——雷诺数；

$\rho$ ——流体的密度；

$v$ ——平均速度；

$D$ ——特征尺寸；

$\mu$ ——流体的动力黏性系数。

雷诺数较小时，流体做层流流动；雷诺数较大时，流体做紊流流动。由层流变为紊流或由紊流变为层流时的雷诺数称为临界雷诺数。光滑管内流动的临界雷诺数为 2 300。

## 2. 连续方程

气体在流动过程中遵守质量守恒、牛顿运动定律、能量守恒和转换定律。

将质量守恒定律应用于运动流体所得到的数学关系式称为连续方程。一维定常流积分形式的连续方程为：

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 = \text{常数}$$

式中： $\rho$ ——密度；

$A$ ——面积；

$v$ ——速度。

## 3. 动量方程

动量是质量和速度的乘积。动量方程是将牛顿第二定律应用于运动流体所得到的数学关系式。对于一个确定的体系可表述为，在某一瞬间体系的动量对时间的变化率等于该瞬间作用在该体系上所有外力的合力。

$$\sum F = q_{m2} v_2 - q_{m1} v_1$$

式中： $q_m$ ——流体的质量流量。

上式说明，在定常流中，作用在控制体内流体上全部外力的合力等于单位时间流出和流入该控制体的流体在该方向的动量之差。

## 4. 伯努力方程

能量守恒与转换定律应用于运动流体所得到的数学关系式。不可压流的伯努力方程

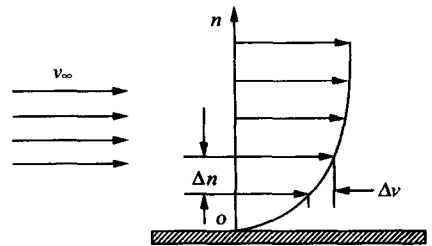


图 1-2 附面层内的速度分布



(忽略位能):

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{常数}$$

式中:  $p$ ——静压;

$\frac{\rho v^2}{2}$ ——动压。

它说明在不可压流中任一点流体的静压与动压之和保持不变。定义不可压流的静压与动压之和为全压,也可以称为总压,用  $p^*$  表示。静压是气体或液体静止时的压力;动压或冲压是气体和液体运动引起的。在不可压流中,当流动管道横截面积缩小时,流体的流速增大,压力下降;当流动管道横截面积扩大时,流体的流速下降,压力增高。

### 5. 音速 (声速)

音速是物质介质中微弱扰动的传播速度。在气体力学中音速是一个非常重要的量,因为气流速度与音速之比是判断气体压缩性质的指标。音速与气体状态参数之间有如下关系:

$$a = \sqrt{kRT}$$

$$a = \sqrt{dp/d\rho}$$

式中:  $k$ ——比热比;

$R$ ——气体常数;

$T$ ——气体静温;

$p$ ——静压;

$\rho$ ——密度。

流场中任一点处的流速  $v$  与该点处气体的音速  $a$  的比值,叫该点处气流的马赫数,用  $Ma$  表示,即

$$Ma = v/a$$

根据马赫数的大小可以把流动分为亚音速流动  $Ma < 1.0$ ; 音速流动  $Ma = 1.0$ ; 超音速流动  $Ma > 1.0$ 。

气流速度等于当地音速,即  $Ma = 1$  时的状态叫做临界状态。临界状态时的参数称为临界参数。临界参数有临界音速、临界速度、临界温度、临界密度和临界面积等。

### 6. 激波

超音速气流遇到高压区域或遇到障碍物而减速时必定产生激波。激波是一层极薄的流动区域,在该区域,气体分子间产生强烈的撞击,造成相当大的机械能损失,这部分损失的机械能在激波中转变成热能。气流通过激波后流速和总压下降,静压和静温升高。它是属于有摩擦损失的绝能流动,因而在激波前后总温不变。

超音速气流遇到高压区或钝头物体时所产生的激波,如激波的波面与气体流动方向相垂直,这种激波称为正激波。超音速气流遇到高压区或者绕内钝角流动或者遇到楔形物时都会产生斜激波。超音速气流流过钝头物体时,在物体前面产生的激波往往是脱体激波,这种激