

V211-49
1001-3

漫谈空气动力学

图 pīnzhū 出版

漫谈空气动力学

朱孝业 刘文良 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 3 59千字

1981年5月第一版 1981年5月第一次印刷 印数：0,001—4,000册

统一书号：15034·2201 定价：0.23元

V211-49
100/-3

出版说明

这套陆续问世的《航空与空间技术小丛书》是我社与航空知识编辑部共同编辑出版的航空与空间技术科普读物。

这套读物内容丰富、文笔简洁、插图精致，适合航空与空间技术爱好者以及有志进取科学的广大工农兵和青少年读者阅读。

欢迎读者选购！

欢迎读者提出批评意见和要求。

引 言

没有接触过“空气动力学”的读者，一提起空气动力这个名字，就会感到，“空气动力”看不到、摸不着，有些捉摸不定。因此便会想到，“空气动力学”这门科学深奥、难懂。实则不然，我们在生活中，经常遇到许多由空气动力产生的现象，更重要的是“空气动力学”与航空、国防工业、民用工业及其它工程技术有着密切的关系。

每当我们仰望长空，看见一队队银色的战鹰穿云破雾、直插蓝天时，您可曾想过，是什么力量将几十吨重的银燕支托在空中？当您坐在巨型喷气式客机里看报喝茶时，就好像坐在家中一样舒适，您也许会想过，飞机为什么那样听人驾驶……。

为什么顶风骑自行车感到特别吃力？为什么高速行驶的小轿车，总是制造成十分光滑的流线型？为什么闷热的夏天，人们总是喜欢坐在两个屋子之间的过道中乘凉？

这些现象都是空气动力在起作用，这些问题都可以从“空气动力学”中找到答案。

空气动力对我们并不陌生，人们很早就发现了空气动力，并能利用它为人类服务。例如，风帆和风扇的利用。但那时“空气动力学”还没形成为一门独立完整的科学，空气动力产生的一些现象还不能得到确切的解释。自从飞机出现以后，“空气动力学”便迅速发展起来。“空气动力学”为航空事业

奠定了理论基础。

“空气动力学”是一门基础科学，它是在数学和理论物理学的基础上发展起来的一门学科。它的研究范围很广，特别是与航空等国防工业的关系极为密切。飞机、导弹、卫星、宇宙飞船的研究与发展离不开它；汽车、火车、轮船的研制离不开它；桥梁、高楼大厦、雷达天线、电视发射塔的修建离不开它；就是农、林、牧业生产也离不开“空气动力学”，甚至日常生活中诸如消灭蚊蝇的喷雾器也是应用空气动力原理制成的。由此可见，“空气动力学”的基本原理和知识对我们是多么有用啊！

这本小册子是想用通俗的文字阐述“空气动力学”的基本概念、基本原理，以及用这些原理揭开飞机升天的秘密，讲述驾驶飞机的道理。另外书中也叙述了“空气动力学”实验的主要工具——风洞的工作原理及用途。在书的最后，叙述了“空气动力学”与国民经济的关系，以及“空气动力学”的发展。使读者能够对“空气动力学”这门学科有一个概括了解，认识到“空气动力学”与实现“四个现代化”雄伟宏图的密切关系，从而增加对“空气动力学”这门学科的兴趣。

目 录

引言

一、空气动力学的基本知识	1
1. 从飞机谈起	1
2. 航空史上最基本的科学	2
3. 空气动力学的两大组成部分	2
4. 空气动力学研究的对象——空气及其物理性质	3
5. 研究空气流动的两个基本定理	8
6. 两个重要的力——升力和阻力	15
7. 相对运动原理	18
8. 空气动力的相似律	18
二、飞机与空气动力学	21
1. 风筝的启发	21
2. 机翼升力是怎样产生的	26
3. 机翼上的阻力	30
4. 升阻比, 极曲线	32
5. 飞机上的阻力	34
6. 和声音赛跑——超音速飞行	36
7. 飞机的稳定与操纵	52
8. 气动加热与热防护	62
三、实验空气动力学与风洞	65
1. 什么是风洞	65
2. 风洞的历史	66
3. 风洞的工作原理	67

4. 风洞实验的模型和测量仪器	72
四、空气动力学与四个现代化的关系	74
1. 空气动力学与国防现代化的关系	74
2. 空气动力学与国民经济的关系	76
五、空气动力学的发展	81
1. 电子计算机和空气动力学	82
2. 零速空气动力学与垂直起落飞机	84
3. 气动弹性与非定常空气动力学	85
4. 粘性空气动力学和旋涡空气动力学	86
5. 其他	86

一、空气动力学的基本知识

1. 从飞机谈起

在远古时代，我国勤劳勇敢的劳动人民，就曾对绚丽多彩的广阔天空，对飞往蓝天探索天空的奥秘，有着美好的理想。早已流传百世的神话故事“嫦娥奔月”便是人们对于“飞天”幻想的寄托。

早在春秋战国时代，具有丰富实践知识的木瓦工大师，鲁国的能工巧匠公输班（鲁班），首先开始研究并创造了能飞的木鸟。据“杜阳杂编”记载，在唐朝有个士兵叫韩志和的，“善雕木作鸾、鹤、鸥、鹊之状，饮啄动静与真无异，以关戾置于腹内，发之则凌云奋飞，可高三丈至一二百步外，始却下”。韩志和所制的木鸟腹内设有机关，发动后能腾空而起，这和现代模型飞机已很近似了。可见我国古代劳动人民在几千年前就已掌握了最原始的飞行原理，知道应用气流的某些特性，从而创造出了象风筝、孔明灯、竹蜻蜓等原始飞行器，为飞机等飞行器的研制打下了良好的基础。

今天，在我们伟大的社会主义祖国的蓝天，人民空军矫健的战鹰如利箭一般刺破长空，为保卫祖国神圣的领空而巡航；一架架中国民航客机，满载中国人民的友谊飞往世界各地，建立空中桥梁；护林飞机监视着浩瀚的林海草原；农业飞机耕云播雨，喷洒农药化肥；遥感勘测飞机为开发祖国的宝藏而展翅翱翔。飞机已成为人类征服自然的有力工具。飞

机的用途极为广泛。那么可曾知道，飞机为什么会在空中，象鸟儿一样自由飞翔而不掉下来呢？“空气动力学”这把钥匙可以打开飞行科学的大门。

2. 航空史上最基本的科学

由于人们对飞上蓝天、探索天空奥秘早有强烈的愿望，从风筝和鸟类的飞翔得到启发，知道利用风的力量或者在静止大气中运动都可以使比空气重的东西升空。美国的莱特兄弟，在前人长期的生产和科学实践的基础上发明了飞机，并于1903年试飞成功。人们为了掌握飞行的秘密，制造出更理想的飞行器，不断地进行研究和试验，从而认识了空气与物体之间，只要发生相对运动，在物体上就会有空气动力的作用。飞机在天空中所以能飞翔而不掉下来；顶风骑自行车时费力难骑，都是空气动力作用的结果。所以，“空气动力学”是一门研究空气与物体有相对运动时，空气的流动情况及空气作用在物体上产生空气动力的科学。

自从飞机出现以来，人们对研究飞机在空气中运动所产生的力、力矩及其它一些现象，越来越重视。随着航空事业的不断发展，使“空气动力学”这门航空史上最基本的科学，得到了飞速的发展，并逐步形成为一门完整的学科，内容更加丰富，领域也更广阔。

3. 空气动力学的两大组成部分

“空气动力学”的发展是从理论和实验两方面来进行的。这就是“空气动力学”的两大组成部分，即“理论空气动力学”与“实验空气动力学”。

“理论空气动力学”是用数学和力学分析与计算的方法，来研究气流作用在飞行器（或其它运动物体）上的空气动力，以及飞行器受力后运动的规律的一门科学。用“理论空气动力学”的知识可以推算出作用在飞机上的升力、阻力、各种力矩，计算出飞机的飞行高度、飞行速度、航程、载重量等重要数据。这些都是设计一架新飞机时必要的性能参数。

“实验空气动力学”就是用实验的方法来研究飞行器和气流的相对运动，及作用在飞行器上的空气动力的一门科学。随着航空科学的发展，空气动力实验的方法也在不断发展。曾经用过的方法有：物体从高处下落、空气动力车、旋臂机、水洞、风洞、缩尺模型飞行实验、弹道靶场实验等。应用最广泛的是风洞。风洞实验技术还在不断地发展。

为了设计出性能优良、安全可靠的飞行器，就要以空气动力学理论作为指导。但是，实际设计一种新的飞行器时，要想完全依赖理论的计算，得到设计所需要的各种气动力数据是不可能的。特别是近代人类在航空和宇航技术上的突飞猛进，日新月异，许多空气动力学问题急待迅速而准确地解决，有些问题连它的物理本质尚未搞清，更谈不上有成熟的理论了，因此空气动力实验的任务就显得必不可少。理论的探讨也离不开实验的观察和研究。只有通过飞行器的飞行实践及大量的空气动力实验，才能使理论的正确程度得到检验，使得理论得到进一步发展。

4. 空气动力学研究的对象 ——空气及其物理性质

包围地球的空气层——大气层

提起空气人们十分熟悉，人们生活在空气的“海洋”中，一刻也离不开它。空气是无色、无味、透明的混合气体，按重量算，氮约占空气重量的76.8%，氧约占23.1%，其余为其它气体。人类所生存的地球就是被这样的一层空气所包裹着，通常将这层空气叫“大气层”。

大气层一般可分为五层，见图1。从贴近地面向上逐层是：

对流层：这是最贴近地面的一层。这层空气稠密，人们就生活在这一层里。在地球中纬度地带，它离地面的平均距离约为11公里。在赤道上空较高，约为16~18公里；在两极较低，约为7~10公里。这一层并不厚，但它却几乎包含了大气质量的3/4。这主要是地球引力的作用。在这一层里，空气有上下对流，雷、雨、电和风等自然现象都发生在这层里。这层里空气温度随高度的上升而下降，每升高100米，气温下降 0.65°C ，故此层又叫“变温层”。

平流层：位于对流层以上，顶端离地面约30公里。在这一层里，空气只有水平方向的流动。这一层中空气质量约占总大气质量的1/4，空气温度大体不变，平均约为 -56.5°C ，故又称“同温层”。这一层里没有雷、雨以及上升气流的干扰，是飞机飞行的好地方。

平流层以上，依次是中间层、电离层、外层空间。这些层中，空气极为稀薄，其空气质量只占总大气质量的1/3000。电离层以上的外层空间是人造卫星、宇宙飞行器航行的地方。

“空气动力学”就是要研究物体（如飞机）和空气的相对运动的力学现象，因此必须了解空气的存在与组成及其一些物理特性。

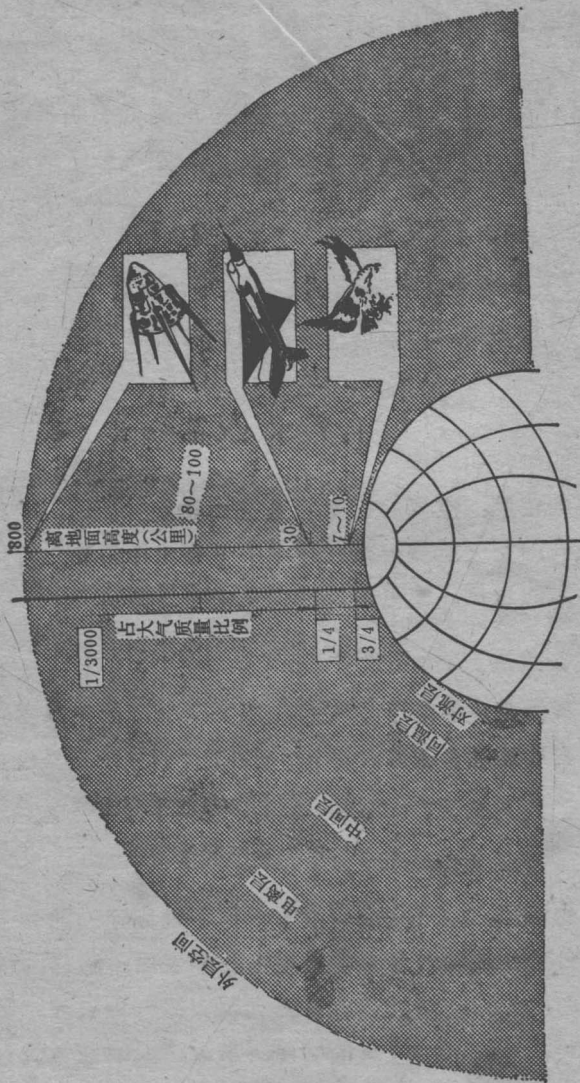


图1 大气层的组成及空气成份

空气的一些物理性质

空气温度：空气也和其它物质一样，是由不同成分的气体分子所组成的。空气中的无数分子在不停地、无规则地运动着，这就是分子的热运动。空气温度的高低表明了空气分子热运动速度的大小。空气的温度高即为空气分子运动速度大，分子的平均动能大；空气的温度低即为空气分子运动速度小，分子平均动能小。温度一般以摄氏温度（ $t^{\circ}\text{C}$ ）或绝对温度（ TK ）来表示。摄氏温度以冰溶化的温度为零度，以摄氏负 273 度为绝对温度的零度。因此两者之间关系由下式决定：

$$TK = 273^{\circ} + t^{\circ}\text{C}$$

测量温度的单位叫“度”。

空气的密度：空气的密度就是空气稠密的程度，它是指单位体积内的空气质量。按物理学中牛顿定律得知，物体质量 m 等于它的重量 G 被重力加速度 g 去除，即

$$m = \frac{G}{g}$$

因此，空气的密度 ρ 等于空气的比重 γ （单位体积空气的重量）被重力加速度 g 去除，即

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

空气密度的单位是公斤·秒²/米⁴。

空气的压强：空气是由大量的、作不规则运动的分子所组成的。分子在运动时会不断地撞击物体表面，这样的撞击就会对物面产生力，这种力就是空气压力的一种来源。另一方面空气和其它物质一样会被地球所吸引，因此空气就有重量。由于重量的存在，上层空气对下层空气就会有压力。故

空气的压力是由空气的重量和分子的不规则运动而产生的。

空气的压力是很大的，但到底有多大呢？这是很难回答的问题，因为压力的大小与空气作用于物体的表面积有关。1650年德国马德堡市市长，学者葛利克为了说明空气压力之大，曾安排了一场有趣的表演。有一天，他把皇帝和议员们请来，他拿了两个直径约560毫米的铁质空心半球，严密地组成一个球体（无任何连接结构），然后通过一个预先设置的小孔把球内的空气抽掉，封住小孔，外面的空气便把两个半球紧紧地压在一起了。这时他用经过挑选的骏马从两边拉这两个半球，两边各用八匹马才把半球拉开，可见空气的压力是多么大了。这就是后来人们所说的马德堡半球的故事。由此可以看出，560毫米直径球体表面积上作用的空气压力，相当于八匹马的拉力。

空气压力的大小是用压强来衡量的，所谓压强就是指物体单位面积上所受的垂直力，用 $\text{公斤}/\text{厘米}^2$ 或 $\text{公斤}/\text{米}^2$ 表示。大气压强通常用水银柱高度表示。一个大气压强等于760毫米水银柱高，等于每平方厘米上作用了1.0336公斤的力。压强和压力是两个不同的概念。在本书中，把单位面积上的空气压力称为压强。但是由于习惯原因，在不少书和文章中把压力称为压强，如常说的标准大气压力，实际上是指大气压强，这点是应该注意的。

空气的压强、密度、温度三者之间有一定的关系，即在一定的温度下，压强愈大空气密度愈大；在一定的压强下，空气的绝对温度愈高空气的密度就愈小。

空气的粘性：液体有粘性人们是很熟悉的，如油比水粘稠，但空气的粘性不易觉察出来。实际上空气也是有粘性的，

只不过比液体小得多，大约只有水的百分之一，机油的四万分之一。在一般工程上，把空气当做理想流体而不计粘性，误差不大。但在“空气动力学”中粘性是一个很重要的参数。

空气的压缩性：液体的压缩性很小。一般将液体的压缩性忽略不计，认为液体是不可压缩的，也就是在压力或温度改变时，液体的自身体积不改变。空气则不然，空气的体积是随压力和温度的不同而变化的。如皮球在充气前是瘪的，用气筒加压后就涨圆了；踩瘪的乒乓球用热水一烫就会鼓起来，这就说明空气是可压缩的。空气的压缩性在“超音速空气动力学”中是极重要的。

5. 研究空气流动的两个基本定理

在物理学中，将液体和气体统称为流体。在很多情况下，液体和气体有许多共同的特性，如流动性、粘性、压缩性等。因此，研究流体流动的基本定理，即流体流动的连续定理和柏努利定理，也是“空气动力学”中研究空气流动性质的基本定理。

流体的连续定理说明了什么

为什么河道里的水在宽而深的地方流动缓慢，在狭窄而浅的地方流动湍急？为什么在两个房间的过道处风就大些？为了说明问题，我们用水来作个简单的实验。

将图2中水平放置的容器里灌满水，然后把两端水龙头同时打开，让水从容器的变截面管中流过，因为水是不可压缩的流体，它有一种连续流动的本性。当水在稳定流动时（即水在流动时的物理特性，如温度、密度、压强等不随时

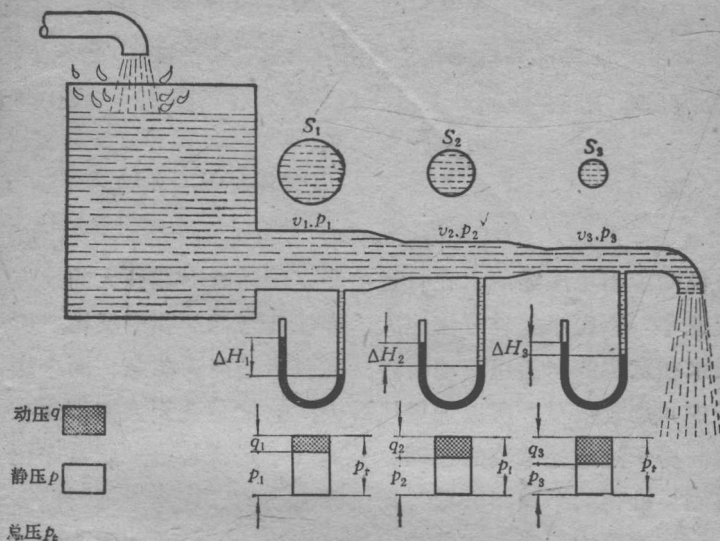


图2 水在变截面管中的流动情况

间而变化时), 根据“质量守恒法则”可知, 每一秒流过管道任何截面水的质量是相等的。即一秒内流过 S_1 、 S_2 、 S_3 截面水的质量 m_1 、 m_2 、 m_3 是相等的。由此可知,

$$m_1 = m_2 = m_3 = \text{常量} \quad (1)$$

因为

$$m = \rho v S \quad (2)$$

式中 m —— 每秒流过管道水的质量;

ρ —— 水的密度;

v —— 水的流速;

S —— 管道截面积。

由于水是不可压缩的, 故

$$\rho = \text{常量} \quad (3)$$

所以

$$m_1 = m_2 = m_3 = v_1 S_1 = v_2 S_2 = v_3 S_3 = \text{常量} \quad (4)$$

由此可知，如果

$$S_1 > S_2 > S_3$$

必然是

$$v_1 < v_2 < v_3$$

这说明了不可压缩的水在管道中稳定流动时，截面大的地方流速小，截面小的地方流速大，即流速与截面积成反比。所以水在宽阔的河道里流动缓慢，在狭窄处流动湍急。两个房子中间比较狭窄，所以那里风就大，这就是夏天人们喜欢在两间房子过道处乘凉的道理。公式（4）就是由“质量守恒法则”推得的“连续方程”，即流体流动的“连续定理”。

在管道中，流体流动的快慢（即流速）与截面大小的关系，可用管中“流线”的稠密程度来表示。它可以直观地给出流体流动的图象，这个图象叫“流线谱”。从流线谱，可以清楚地看出流线与截面的关系：截面大流速小，流线稀疏；反之流线稠密。

什么是柏努利定理

当向有一定距离的两张平行纸片间猛力吹气时，便会发现一个奇怪的现象，这时，两张纸片不是分开，反而是向一起靠拢（图3）。这是怎么回事呢？原来，任何物体在空气中都会受到空气的压力。当物体与空气相对静止时，物体感受到的只是大气的压强，即静压。静压只随高度变化，在同一海拔高度处压强是相等的。当物体与空气有相对运动时，物体所感受到的静压就会因动能的存在而减小了。因此，当向两张平行的纸片间吹气时，由于纸片外面的空气是静止的，