



**科学家爷爷
谈科学**

打开通天大门的钥匙

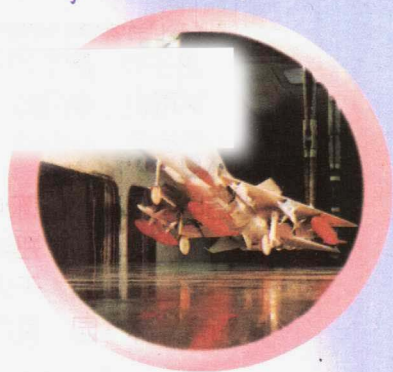
**著名科学家谈空气动力学
与航空航天的发展**

庄逢甘 著



广西师范大学出版社

科学家爷爷谈科学



打开通天大门的钥匙

——著名科学家谈空气动力学
与航空航天的发展

庄逢甘 著

广西师范大学出版社

科学家爷爷谈科学
打开通天大门的钥匙
——著名科学家谈空气动力学与航空航天的发展
庄逢甘 著

责任编辑:于诗藻

封面设计:陶雪华

责任校对:陆良慧

版式设计:林 园

广西师范大学出版社出版发行

邮政编码:541001

(广西桂林市中华路 36 号)

桂林市印刷厂印刷

*

开本:880×1230 1/32

印张:2.75

字数:61 千字

1999 年 3 月第 1 版

1999 年 3 月第 1 次印刷

印数:00 001—20 000 册

ISBN 7 - 5633 - 2803 - 3/V·002

定价:5.00 元



编者的话



科学是什么呢？

远古的时候，人们看到世界上有许多稀奇古怪的事物，弄不懂它们是怎么回事，就用想象来解释它们的存在。比如说，看见风在吹，就想：风不会无缘无故吹来，一定有个什么东西在风的后面吹气或扇扇子。这个在风后面的东西，古人就管他叫风神。

后来，随着人类生产实践的发展，人们发现了很多事物的规律，比如，风是因为空气中冷暖气压不同造成气体流动而形成的。这种通过实践而掌握的对事物的客观认识，就是一种科学认识。科学与神话的区别正在于客观性和主观性的区别上。科学观念是一种对待未知世界和已知世界的客观的态度，认为世界万物都是有联系的，因此可以在实践当中发现它的客观规律。这种规律，被记录传播下来，就是科学知识；对这些知识的实际运用，就是科学技术。



科学知识可以增进和强化人们的科学观念;同样,科学观念又促使人们发现更多的科学知识。所以,我们在学科学的时候,一方面要学习科学知识,另一方面更要树立科学观念。

基于上述认识,我们组织了这套《科学家爷爷谈科学》丛书。作者们绝大多数都是中国科学院的院士,是名副其实的科学家。他们长期从事科学研究,具有最进步的科学思想,掌握着最新、最丰富的科学知识,并对树立和普及中华民族的科学世界观有着崇高的道义感,这就注定了这套丛书与众不同的特色:

首先是丛书所介绍的科学知识的严谨性、尖端性和权威性。作者们长期工作在世界科学研究的前沿,对科学的发展有着精深的理解和高远的前瞻。他们所介绍的科学知识,也是最新、最好的。

其次是丛书作者不只是单纯地介绍科学知识,而且字里行间都贯穿着客观认识世界的科学智慧和科学观念。读者从中不仅可以获得科学的世界观,而且还可以获得科学的人生观,以及科学认识的方法。

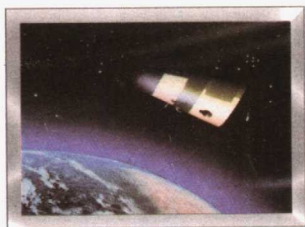
最后,这套丛书涉及领域很广,从自然科学到技术科学到哲学社会科学,无不涉及。丛书首批28个分册,每分册谈及一个分支学科或研究领域,以图文并茂的形式、生动活泼的语言,介绍本学科或研究领域的起源、发展、研究内容、代表人物、分支流派、社会作用及发展趋势等基本内容。大科学家的大手笔驾御,使这些丰富深奥的内容得以简洁、通俗的表现。

可以确信,这是国内少见的、最具科学品位的一套科普读物。我们也相信,它的作用和影响,一定会被带到下一个世纪。

1998年8月



代 序



要写一本小册子来介绍力学，要引起人们对它的兴趣，实在是一个很艰难的任务。力学是研究事物运动的一门科学。现在的各种工程设计一定要通过力学的计算和试验，即使对体育竞赛来说这里面也有很多力学问题，所以说力学问题到处存在。对力学的研究，人类很早就注意到了，例如阿基米德(Archimedes, 287—212 B.C.)在他论液体的命题七中说：“若把一个重于液体的固体置于液体中，则它将一直沉到底；如果在液体中称该固体的重量，则所得的重量将比它的真实重量小，所小的重量等于它所排掉的液体的重量。”这就是我们每个人下到水中所感受的浮力，并且这还是一个定量的结果。但是真正关于浮力的定量的理论研究应该说是从伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)、刻卜勒(Kepler, 1571—1630)和牛顿(Sir Issac Newton, 1642—1727)开始并打下坚实的基础



的。伽利略的一生是传奇的一生，他的一句名言“在我看来，如果一个人在证明他的结论时，只是依靠所谓权威性而并没有提出这个结论的新的论据是十分可笑的行为”在今天仍有它的现实意义。亚里斯多德(Aristotle, 384—332 B.C.)曾经说，一个重物体要比一个轻物体下降得快。关于这一说法最晚在5世纪就有人提出疑问，但是由于亚里斯多德的权威，据说一直到伽利略在意大利的斜塔上做了多次试验才被推翻掉。在伽利略最后的著作中明确提出“如果在介质中没有对运动的阻力，那么所有物质都将以同一速度下落”。他还推导了等加速度运动的公式。伽利略的工作当然远远不仅这些，但是这是一个最重要的工作，这一工作为牛顿创立著名的牛顿运动的三大定律打开了道路，奠定了力学基础。

直到牛顿以前，我们认为力学的研究基本是定性的。从牛顿开始才有了定量的分析，并且认为只要我们知道运动的初始条件和作用力的性质，那么以后的运动状态就可以完全确定了。这里人们可能感觉到，确定性这个逻辑结论似乎是不能动摇的。讲到这里我们愿意重复牛顿讲过的话，他说：“我不知道世界上的人将如何看我，但对我自己来说我似乎像一个在海滩上玩耍的小孩，专心致志于不时找一个较光滑的卵石或者是比较好看的贝壳，而真理的汪洋大海躺在我前面还没有被显示出来。”

在牛顿以后的力学发展，我们可称之为经典力学的阶段，由于天体力学的影响，很多著名力学家对所谓 n 体问题进行研究，并且还关心所谓运动的稳定性问题。在19世纪末，有人证明了除了用级数展开的方法以外，无法定量地确定 n 体运动，另外法国的庞加勒(Poincare, 1854—1912)恰证明了一些人所提出的级数展开是发散的。请大家注意那时还没有今天这样的巨型计算机。对于天体力



学来讲,这就使得它明显地陷入困境。庞加勒的一个最大贡献是发展了力学的定性理论,并促进了近代微分几何与拓扑学的发展。他把微分流形、总体的几何概念引入力学研究中来。事实上庞加勒、柯尔莫果洛夫(1903—1993)等人证明了三体问题有周期解,这些解的轨道没有解析表达式,尽管在有些情况下计算机近似地作出这些轨道的图形,但是计算机是不能严格证明轨道是周期性的。

定性研究还有一个重要方面就是所谓结构稳定性的问题。这里的结构稳定性当然不是指一般土木建筑结构和它的稳定性。从牛顿力学的观点来讲运动的发展取决于运动的初始状态,通常的估计是初始状态的细微变化将导致运动状态的细微变化。但是我们中国有句老话即失之毫厘差之千里。现在我们还经常听到有所谓蝴蝶效应,即在南美洲一只小蝴蝶翅膀的扇动会在北美洲引起气候剧烈的变化。这是由于力学系统的非线性性质引起的。力学系统一般都是非线性系统,线性系统只是某种非线性系统的近似。在有些情况下,问题的解对初始条件非常敏感,因此对较长时间后的运动状态我们就无法精确地表达出来,这种解就被称为混沌解。问题还不仅在于初始运动如何描述的问题,而且还涉及到描述运动的数学模型方程,数学模型方程是总结实验的规律加上逻辑推导得出的,其中一般包含着若干物理参数。所谓结构稳定性就是泛指由这些物理参数变化而引起的方程解的变化,所谓稳定就是指此时解的变化只是量上的变化,整个运动图案基本保持不变;所谓不稳定就是指解的变化有质的变化,如果从几何的观点看,那就是直观的几何运动状态发生了显著的变化。

对于近代力学的非线性问题,要想得到定量的结果,非依靠电子计算机不可。有一位法国天文学家对一个问题计算了一辈子,似



乎是算得够耐心细致精确的了，然而近代电子计算机却发现他的结果有一项系数还是有较大的误差。更何况现在碰到的一些重要问题，一个人一辈子根本不可能算出来，还有一些问题即使用目前现代化的计算机也要算上好几十年。所以从力学的发展来看最早是定性的研究，牛顿以后主要是定量研究并且认为力学是确定论的。从本世纪初特别是在六七十年代以后大家都知道确定性的方程并不都能预测到确定性的结果。这里我不想涉及到统计力学，因为对于很多很多个“分子”组成的运动系统，如果我们单独去描述一个分子的运动是没有多大意义的，统计是一种用来描述多个“分子”运动的方法，用来得到我们所感兴趣的宏观物理量。这和上面谈到的混沌是两种不同的概念。当代的力学是要把庞加莱开创的定性方法进一步发展，同时和大规模的定量计算机结合起来。在大范围内有定性理论指导，可以不使我们沉没于计算数据的海洋中。

实验是科学的基础，力学也不例外。早期刻卜勒关于行星轨道的理论就来源于过去一些轨道模型的计算和他过去的领导泰却(Tycho)所得到的实验结果差八个角分，而刻卜勒清楚地知道实验的误差不可能有八角分那样大，因而他没有忽略八角分这个似乎不大的数量，结果刻卜勒获得了关于行星轨道运动的三大定律。实验可以发现新的现象，而理论也可以预测某些先于实验的结果。但理论的准确性和可靠性必须接受实验的考验，仅有一两个实验结果相符还不能说理论上就全部成立。爱因斯坦的引力理论预测了在100年内水星近日点应该转过一个3角秒的角度，还预测了重星的光谱线应该向着光谱的红色一端有所移动。尽管这些现在都得到了实测的支持，但现在还远不能说爱因斯坦的广义相对论的理论已经很完善了。



力学研究的范围很宽广,大到宇宙小到基本粒子,最近微电子机械系统的发展、纳米材料的制备又引进了介于宏观与微观之间的细观力学。正如我们一开始说的,这本小册子是无论如何不可能都包括进去。不过我们可以总结一下20世纪力学最辉煌、最实际的成就,是它带动了航空航天工程的发展。没有人会否认,“1969年7月21日美国阿波罗11号载人登月飞船指令长阿姆斯特朗踏上月面成为人类上月球的第一人”是20世纪一个伟大的里程碑。我们相信,在21世纪航空与航天将进一步开拓,它对我们力学工作者将提出更富有挑战性的课题。所以在我们这本小册子里,就航空航天力学问题中对本书作者们相对熟悉的空气动力学作一些介绍,从空气动力学这个侧面反映力学的多姿多彩,希望能得到读者的欣赏。

这本小册子是集体的创造。在酝酿过程中,国防科工委系统黄志澄同志起了很大的作用;北京空气动力研究所邓宁丰同志参加了组织编写工作。编写工作主要由北京空气动力研究所朱孝业、陈河梧研究员及北京强度和 environment 研究所黄怀德研究员完成。

庄逢甘

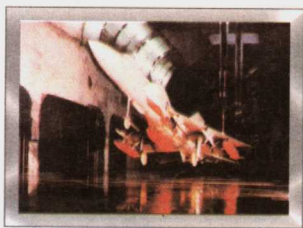
1998年9月1日



目 录



3	一、力学——打开通天大门的钥匙
4	1. 从古代飞天的幻想说起
9	2. 飞机为什么能飞上天
11	3. 航空发展，力学先导
15	4. 神奇的速度
19	5. 非凡的本领
21	6. 扶摇直上重霄九
25	二、返回与再入——力学先行闯险关
26	1. 划时代的突破



- 28 2. “热障”的考验
- 31 3. 目标在一万公里之外
- 34 4. 抗侵蚀，破“黑障”
- 37 5. 通天千里话“下凡”
- 41 **三、风洞——飞行器诞生的摇篮**
- 42 1. 风洞是空气动力学实验的重要设备
- 45 2. 风洞发展简史
- 47 3. 风洞与空气动力相似律
- 49 4. 风洞的分类
- 55 5. 风洞实验模型和实验技术
- 56 6. 风洞与计算机
- 58 7. 风洞应用十分广泛
- 61 **四、气动弹性与振动**



1. 振动的基本概念	62
2. 从塔科马大桥之毁谈起	65
3. 气动弹性振动的分类	67
3.1 涡激振	67
3.2 驰振	68
3.3 扰流抖振	69
3.4 颤振	70
4. 振动的测量仪器	71



航空与航天是 20 世纪人类认识和改造自然进程中最活跃、最有影响的科学技术领域。人类从陆地到大气层,从大气层到宇宙空间,每一次活动范围的飞跃,都集中了航空航天技术的众多新成就。空气动力学在航空航天进步和发展中扮演了非常重要的角色。

没有接触过空气动力学的人们感到“空气动力”看不到、摸不着、很抽象、难理解。因此自然会联想到空气动力学这门科学深奥、难懂。实则不然,凡是有空气(原指流体)流动的地方,都有空气动力学的问题。因而,空气动力学应该成为现代社会必须普及的知识。

空气动力学既是基础科学,也是技术科学。它是在数学和理论物理的基础上发展起来的一门学科。它的研究领域十分广泛,与国民经济、国防建设有着直接的密切的关系。飞机、导弹、卫星、宇宙飞船、航天飞机等的研究与发展离不开它;汽车、火车、轮船等交通工具的发展离不开它;就是农林、环保、风工程也离不开空气动力学。人们已逐渐认识到了空气与物体只要有相对运动,在物体上就会有空气动力的作用。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在物体上产生空气动力的科学。

自从 1903 年美国莱特(Wright)兄弟试制成功人类历史上第一架低速飞机起,在低速飞机不断完善、发展的过程中,人们用古老的流体力学理论,对飞机在空气中运动时产生的力、力矩深入进行了研究,逐步掌握其规律。随着飞行速度的提高,为了要使飞行速度超过声速,人们克服了重重困难,终于突破了“声障”,于是就



产生了超声速空气动力学。今天，人造卫星满天飞，载人飞船已多次把人送上月宫，星际探测器已飞出太阳系，到茫茫的太空去遨游。由于火箭、导弹的飞行速度高达十几倍声速，于是遇到了“热障”。人们发展了气动加热及热防护的理论和方法，保证导弹再入大气层，准确地击中地面目标，以及卫星安全返回地面。总之，随着航空航天技术的不断发展，使空气动力学这门基础科学，得到了飞速的发展，使它的内容更加丰富，应用的领域更加广阔。

● 一、力学——打开通天
大门的钥匙





1. 从古代飞天的幻想说起

当你抬头看到蓝天上飘动的白云，看到自由飞翔的鸟儿，你曾想否，像鸟儿一样飞向蓝天，去摘回一朵美丽的白云；或者，恨不得有孙悟空的七十二般武艺，腾云驾雾，一纵十万八千里，去窥视太空的奥秘。其实，我们的祖先在远古时代就已经从鸟儿那里得到有关飞行的最初认识。人类为了能像鸟儿一样翱翔蓝天，前前后后奋斗了两千多年。千百年来，多少人向往着飞上天去(图1)！“嫦娥奔月”的美丽神话，家喻户晓，说的是嫦娥偷吃了不死药，变得身手不凡而奔向月亮，离别了人间，永生在天堂。而14世纪末，我国有一位叫万户的勇士，利用自己制造的火箭飞行器尝试登天，却

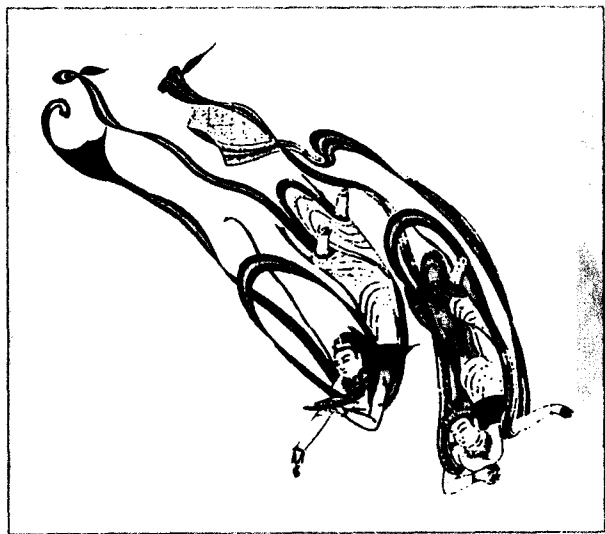


图1 敦煌飞天壁画(摹本)