



新世纪航空模型运动丛书

MOXING FEIJI  
FEIXING YUANLI

# 模型飞机飞行原理

中国航空运动协会组织编写  
朱宝鏊 编著



航空工业出版社

新世纪航空模型运动丛书

# 模型飞机飞行原理

中国航空运动协会组织编写

朱宝臻 编著

航空工业出版社  
北京

## 内 容 提 要

本书是模型飞机的基础理论,包括模型飞机空气动力学和模型飞机飞行力学两部分。模型飞机空气动力学方面有大气和空气的有关知识、空气动力学、机翼的形状和整架模型飞机的空气动力等内容;模型飞机飞行力学方面有力和力矩的平衡、稳定性和与此相关的飞行姿态等内容。

本书可作为初中以上航模爱好者深入掌握模型飞机的较好读物,也可作为航空模型辅导员、社会体育指导员、教练员的培训教材和参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

模型飞机飞行原理/朱宝鏊编著. —北京:航空工业出版社, 2007. 10

(新世纪航空模型运动丛书)

ISBN 978 - 7 - 80243 - 065 - 5

I. 模… II. 朱… III. 模型飞机(航空模型运动) — 飞行原理 IV. G875. 301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 146409 号

## 模型飞机飞行原理 Moxing Feiji Feixing Yuanli

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010 - 64815606 010 - 64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2007 年 10 月第 1 版

2007 年 10 月第 1 次印刷

开本: 787 × 960 1/16

印张: 8.5

字数: 165 千字

印数: 1—3000

定价: 21.00 元

# 《新世纪航空模型运动丛书》

## 编委会

顾主副委  
问：顾诵芬  
任：赵明宇  
主 任：刘文章 毕东海  
员：（按姓氏笔画排列）  
牛安林 甘彦龙 叶树钧 朱宝鏊  
朱建成 刘 鑫 李仁达 肖治垣  
吴大忠 陆钟毅 南 雍 顾 辰  
高 歌 黄永良 程不时 谭楚雄

主 编：毕东海  
副 主 编：谭楚雄

主要编写人员：（按姓氏笔画排列）  
王维忠 朱宝鏊 刘文章 寿尔康  
李仁达 李育廉 李新庄 杨 煊  
余 敏 张 炜 查保传 阎天来  
黄 云 谭楚雄

## 序

19世纪后期，人类探索航空的重点由气球转向重于空气的飞行器——飞机。由于试验飞机的复杂性和危险性，航空先驱们都是首先用不载人的模型飞机反复进行研究，摸索规律，有相当把握后才开始试制载人飞机。英国人凯利的滑翔机、美国人兰利和莱特兄弟等的飞机都是这样进行的。

1903年动力飞机试飞成功，但初期飞机的性能极差，不但速度小（不如快速汽车），而且稳定性也很不好，飞到空中危机四伏，仍然需要通过模型飞机进行研究、试验、改进和完善。载人飞行器的初步成功，使从事学习和研究飞机的队伍迅速扩大，也引起了许多人对模型飞机的兴趣。20世纪初，在发达国家开始了航空模型运动，为这些国家造就了许多航空人才和科技人才。

我国在20世纪30年代后期才出现小规模民间航空模型活动，比西方发达国家晚了20多年。当时没有常设的全国性航空模型运动机构，基层活动属自发性质，参与航空模型运动的人数不多，技术水平和模型器材都很落后，处于萌芽状态。

新中国成立以后，中央人民政府十分重视和提倡航空模型运动。1952年成立了中央国防体育俱乐部，后更名为中国人民国防体育协会，其任务是在人民群众中普及军事技术知识，进行国防教育，储备军事人才，培养国防后备力量。航空模型运动被列为首批重点国防体育项目，有组织、有计划地开展起来，其发展势头超过许多发达国家。1956年，新中国第一届航空模型竞赛在北京举行，此后，每年都举办全国性的航空模型比赛，“文革”期间中断了比赛，1978年恢复了全国比赛。

1978年，中国加入国际航空联合会，我国航空模型运动有些项目跃居世界领先地位，截至目前共有58人59次打破31项世界纪录，夺取世界冠军28个。

目前，航空模型运动是我国正式开展的99个体育运动项目之一，作为科技体育运动项目，航空模型运动具有竞技、教育、娱乐和应用等功能。

竞技功能是航空模型运动的基本功能。通过各种比赛，展现选手的竞技水平，体现“更高、更快、更强”的体育精神，向观众奉献最精彩的场面。在激烈抗争的世界赛场上，中国选手通过顽强拼搏，夺取冠军，为国争光。

对人进行全面素质的培养，是航空模型运动的教育功能。由于这项运动内涵的特殊性，即运动的参与者要自己设计和制作模型飞机；参与者的运动成绩由他操纵放飞的模型飞机的飞行表现来确定，因此决定了这项运动所独具的动手与动脑相结合、脑力与体力相结合的特点。

航空模型运动同时也是一项形象健康、积极向上的娱乐运动项目。它以其模型种类繁多、技术难度跨度大而吸引社会上不同层次、职业、年龄的爱好者参与其中。

航空模型应用于科研、生产和国防是这项运动的另一大功能。航空模型是飞机的先驱，在飞机研制中，航空模型一直是一种不可缺少的研制手段，它在航空产业的各个环节中起着重要作用。

为了贯彻中共中央、国务院《关于进一步加强和改进未成年人思想道德建设的若干意见》的精神，培养青少年科技素质和创新精神，培养热爱航空事业的后备人才，中国航空运动协会组织编撰这套《新世纪航空模型运动丛书》，丛书本身是半个世纪我国开展航空模型运动经验的积累，涵盖了航空模型运动的各个方面，既有航空模型运动的基础知识，又有帮助从事航空模型运动提高知识水平和技巧的专业读物，既介绍适合在小学生中开展活动的《纸模型飞机》，也介绍制作高级航空模型必备的《模型飞机的翼型与机翼》。丛书的作者都是多年从事航空模型运动的专家，具有丰富的教学和航空模型制作、放飞经验。本套丛书面向读者为初中以上的高级航空模型爱好者、全

国中小学航空模型课程的教学人员，从事航空模型运动的运动员、航空模型的设计人员和制造人员，以及各相关人员。

我们希望，丛书的出版，能为促进我国航空模型运动更上一层楼，帮助更多的航模爱好者步入航空科技殿堂，建设中国现代化的和谐社会发挥更大作用。

**《新世纪航空模型运动丛书》编委会**

**2007年8月**

---

<b>第一章 绪论及基本概念</b> .....	( 1 )
一、绪论 .....	( 1 )
二、有关空气的一些知识 .....	( 3 )
<b>第二章 空气动力</b> .....	( 9 )
一、升力及升力系数曲线 .....	( 11 )
二、阻力 .....	( 13 )
三、机翼失速及雷诺数 .....	( 16 )
四、空气动力学相似 .....	( 17 )
<b>第三章 机翼</b> .....	( 21 )
一、翼型 .....	( 21 )
二、机翼形状的影响 .....	( 38 )
<b>第四章 整架模型飞机的空气动力</b> .....	( 50 )
一、整架模型飞机的阻力及极曲线 .....	( 50 )
二、模型飞机的螺旋桨 .....	( 54 )
<b>第五章 模型飞机的飞行</b> .....	( 69 )
一、模型飞机的下滑 .....	( 69 )
二、模型飞机的上升 .....	( 74 )
三、模型飞机的转弯和盘旋 .....	( 85 )
四、线操纵模型飞机的飞行 .....	( 89 )
五、无线电遥控特技模型飞机飞行中的几个问题 .....	( 98 )
六、模型飞机的回收 .....	( 100 )



<b>第六章 模型飞机的平衡和稳定性</b> .....	(104)
一、平衡 .....	(105)
二、模型飞机的稳定性 .....	(110)
三、模型飞机的波状飞行 .....	(118)

## 一、绪论

模型飞机就是能够在空气中飞行的模型。既然能飞，它就一定具有与真飞机一样用来保证飞行的结构，如机翼、尾翼等；可是它又是模型，所以尺寸要比真飞机小，而且也不能装载太重的东西或供人乘坐。

根据模型飞机（简称模型）本身的特点，我们知道，模型飞机飞行的原理也一定与真飞机的飞行原理既相同又不完全相同。模型飞机也是在空气中飞行的，它飞行所依靠的力也是空气动力，所以总的来说模型飞机在空中运动的规律和真飞机一样。如模型飞机也需要机翼来产生升力，需要尾翼来保持平衡和稳定，需要螺旋桨产生拉力使模型飞机上升和前进，需要不断降低高度来保持模型飞机的滑翔等。这些飞行时的规律，由于基本上一致，在航空科学的发展过程中两者关系便显得十分密切。很多飞机的理论是从模型飞机的试验中取得的，而模型飞机的发展也随着真飞机理论的发展而发展。

可是在另一方面，模型飞机毕竟与真飞机不同。模型飞机尺寸小，没有人直接控制和操纵（特种模型例外），所以飞行的过程中便产生了很多新问题，发现了很多新原理。这些飞行原理就是模型飞机“自己”的原理。如果我们不了解这些原理，把真飞机的理论直接套在模型飞机上，一定会得出错误的结果。

模型飞机多数是掌握在广大青少年的手里，各国的航空科研机构很少专门来研究它的各种规律，这就使得航空模型的研究有一定的困难。当我们想进一步探讨它的真相时，便往往感觉到缺乏足够的理论资料。但近年来航空模型成绩显著地上升，充分证明了即使没有很多具有高深学问的人进行专门研究，在广大群众的积极热烈的活动中也能把模型飞机理论和实践都大大推进；而且很明显，当广大的模型飞机积极分子的航空知识愈丰富，他们的活动对模型飞机的改进便愈大。不断出现的良好模型飞机翼型，便都是些具有较高水平的模型飞机精英分子所“发明”的。不过这些人绝大部分不是航空科学家或工程师，他们的创造并没有根据什么高深的理论，只是从一些基本观念出发不断试验和改进，最后得到

了非常好的效果。

学习模型飞机的飞行原理主要是为了能够解决我们在制作和放飞模型飞机时所遇到的问题，并且希望能够在理解的基础上进一步把理论应用到实际中去，改进和提高模型飞机的性能。现代模型飞机已经达到只有每秒0.3米的下沉率，这就是说，在80米高下滑可飞行约4分钟（平静气流中）。自由飞模型飞机在发动机工作5秒的时间内上升到100米以上，总飞行时间也可在3分半以上。近年来改进最快的是无线电操纵模型飞机，到2001年12月止的世界纪录是速度为343.92千米/时，高度为8205米，距离832.43千米，续航时间33小时39分15秒。这些模型飞机性能的改进主要是靠发动机功率的提高和螺旋桨配合良好，以及无线电技术的发展。无线电操纵的模型飞机能够在空中作各种特技，包括倒飞、垂直8字和水平8字等；起飞、着陆都自动从指定地点运行；所有的操纵都是通过无线电波传到模型飞机上，操纵者站在地面上按几个按钮或者扳几下开关即可。当然，所有这一切的成就，如果跟真飞机或导弹方面的成就比较，那实在算不了什么。问题在于模型飞机的成就很多是有业余爱好的人在只有很少专门航空知识和训练、缺乏科学实验及专门科学人才指导之下获得的。

多年来，大家对模型飞机飞行原理的研究主要集中在以下五个方面。

(1) 翼型的研究——已出现了很多优良的模型飞机翼型。航空界为研制无人机也发展了不少适合模型飞机用的翼型。这项工作目前还在进行，很多有经验的模型飞机爱好者都在设计自己的翼型。

(2) 提高机翼性能的研究——这方面的研究是吸收了真飞机理论研究的结果而引起来的。主要是想改变流过模型飞机机翼表面的一薄层气流（边界层）的性质来提高模型的性能。在这个问题上，日本、德国等国家的模型家做了很多试验，如在机翼前缘采用扰流线等。

(3) 模型飞机动稳定性的研究——模型飞机在飞行时最容易出现的不好现象是波状飞行。牵引滑翔机在脱钩时，或者自由飞模型飞机在进入滑翔时都会出现波状飞行。这种飞行状态严重地影响了模型总的飞行时间，因此必须加以克服。研究模型飞机的动稳定性不但可以进一步了解波状飞行的原因和克服办法，而且还可以设法使模型遇到上升气流时特别敏感，并且不受突风或不稳定气流的影响。

(4) 模型飞机的各部分比例及配置问题——模型飞机的形式很多，有的尾翼在前面，有的机翼放得很高，有的机翼面积很大、尾翼面积很小，有的机身很长，各种形式都有它的优点和缺点。研究各种比例及各种形式的特点可以帮助我们设计出最合乎要求的模型。

(5) 螺旋桨的研究——对于模型飞机来说，动力的功率很大固然重要，但螺

螺旋桨能否配合，使功率能有效地变为拉力更为重要。螺旋桨合不合适对模型飞机性能有直接的影响，对于自由飞模型飞机和橡筋模型飞机来说都是如此。

不过，无论我们对哪一个问题感兴趣，在我们进一步研究之前首先要将有关的基本原理弄清楚。一般来说，应先学习与空气动力有关的知识，特别是在低速度时的空气动力学的知识，这就包括了关于翼型、机翼等方面的问题。只有初步了解模型各部分单独在空气中运动所受到的空气动力以后，才能进一步研究整架模型飞机在空中飞行时产生的各种情况。

大家在学习基本的模型飞机的原理时，最好能通过制作和放飞模型飞机来进一步体会这些原理、发展这些原理。很多问题需要更多的试验和研究才能确定。在把理论应用到具体问题上时必须注意两点：第一，理论的研究往往有很多假设，所以不一定完全和实际情况符合，理论计算的结果很多偏重于“好”的方面，计算性能往往比实际情况好。第二，在实际经验中所遇到的问题一定要分清是偶然的还是经常的现象，是外界的原因还是内部的原因。如模型飞机在飞行中突然下坠，我们应设法再飞一次（如果没摔坏或能够修好），当第二次放飞没有出现原来的问题时，那就表示第一次的情况可能是外界的原因，并不是模型飞机本身不好。有些问题最好在它同样反复出现多次后再用理论去分析其原因，不要随便看到一次便分析起来，否则，很可能得出错误的结论。

## 二、有关空气的一些知识

空气是我们日常生活中不可缺少的东西，它具有很多特性。这里只介绍一些和模型飞行有关的性质。

空气是一种混合气体，包括氧气、氮气、水汽和一些稀有气体等成分。早年的研究证明，大气中空气的成分基本是不变的：地面的空气含有20.9%左右的氧气，78%左右的氮气；而到达离地面100千米的高空，空气虽然很稀薄，但空气的成分还是差不多。

一般物体都可以说是由分子组成的。如果是固体，分子与分子之间连接得很坚固，物体的形状可以保持得很好，要用很大的力才能使它变形。液体的分子与分子连接比较差，所以液体没有一定的形状，装在什么样的瓶子里便是什么样子。不过液体的体积还是保持得很好，要想将一杯水压缩成为半杯水简直就是不可能的。至于气体，分子与分子之间的连接最差，所以气体没有一定的形状也没有一定的体积，只要加以压力便可以很多气体压缩到一个小瓶子里。

空气是很多气体混合而成的，本来就没有一种所谓“空气分子”的东西。不过因为各种气体混合得很均匀，所以考虑空气的一些物理特性时能够笼统地把空气当作一种气体看待。在这里我们主要是想讲一讲关于空气的压强、密度和黏性三个特性，因为这三种特性和模型飞机关系非常密切。

## （一）空气的压强

气体的压力是由于气体分子在不断地运动时冲击到物体表面产生的。气体分子经常不停地运动，我们感觉或者测量到的气体压力就是气体分子的冲击力。假如在一个瓶子里存在的气体分子愈多，那么平均的冲击力便愈大。物体表面每单位面积所受到的空气压力称为空气的压强，所以同一瓶子里气体的分子愈多，气体的压强就愈大。如果气体分子数目不变而温度升高，那么瓶子内的分子运动活跃，速度加大，结果冲击力也加大，气体的压强相应增大。

地球的周围有一层空气——大气。空气的分子非常活跃，由于地球具有很大的吸引力，所以地球表面的空气不会向宇宙空间跑掉。在大气层内空气分子的数量愈靠近地面愈多，愈离开地面便愈少。在低空，分子数目多、温度高，所以空气压强比较大，随着高度增加，分子数目减少，温度也降低，大气的压强也逐渐减小。

在海平面温度  $15^{\circ}\text{C}$  时，标准大气压强为每平方厘米 1.034 千克力<sup>①</sup>（称为一个大气压），这相当于 760 毫米汞柱<sup>②</sup>向下压的压强。事实上这数字只是一个标准，由于气候和地区的不同，即使是在海平面上，各处的大气压强不一定等于这个数值。工程上的计算有时会把 1 千克力/厘米<sup>2</sup> 算作 1 个大气压。

当空气流动的时候，分子的活动情况就不相同了，所以气体的压强也有变化。气体流动时，在流动的方向所有的空气分子会有较大的冲击作用，压强也就加大。这种由于气流流动而形成的压强称为动压强。我们在大风天里所感到的风力，就是空气的动压力。当气体向一个方向流动的时候，气体分子向其他方向冲击的平均力量便相对地减小，作用在平行于气流方向的物体表面上的压强称为静压强。这就是说，气体流动时，速度愈大动压强便愈大而同时静压强愈小；反之，速度愈小动压强便愈小而静压强愈大。气体不动时，静压强便最大。这个关系首先是由瑞士数字家伯努利所证明并整理为数学公式，通常称为伯努利定律。

① 1 千克力 = 9.80665 牛。

② 1 毫米汞柱 = 133.322 帕。

## (二) 空气的密度

物体内所含有的物质的数量称为质量，质量是不随地区、气候不同而起变化的，譬如有 5 千克水，在地球上 是 5 千克，而在月球上也还是那么多（假设不会蒸发等）。重量是物体受到地球的吸引力而由我们感觉到或者量度到的力量，地球吸引力的大小与物体和地球的距离远近有关，所以物体的重量是会改变的。同样的物体，质量没有改变，但在地球各处不同的地方重量可能不同。当然，物体离地球球心的距离变化不大（地球平均直径约 12700 千米），如高度变化在数十米甚至数百米之内，重量的微小变化是很难感觉或测量出来的。

空气的密度，就是单位体积空气的质量。在不同的地区气压不同时，空气的密度也会不同。为了计算容易，国际上规定了一种标准的大气情况，称为国际标准大气，按照这种标准在各个不同的高度上空气的温度、压强和密度便是一定值。

每单位体积空气的质量称为空气的密度。按照国际标准，在海平面温度 15℃，压强 760 毫米汞柱下，空气的密度为 1.226 千克/米<sup>3</sup>。我们都知道，纯净的水每立方米质量为 1000 千克，所以比较起来，空气算是很轻的东西了。

对于模型飞机的计算来说，一般采用海平面的标准值就可以了。如果大气情况不是标准值，温度不是 15℃，压强不是 760 毫米汞柱高，可根据下式计算出大气密度

$$\rho = \frac{0.465p}{273 + t} \quad (1-1)$$

式中： $\rho$ ——大气密度，千克/米<sup>3</sup>；

$p$ ——大气压强，毫米汞柱；

$t$ ——大气温度，℃。

## (三) 空气的黏性

现在我们先讨论一下流体的黏性，然后再看空气的黏性对模型飞机的飞行有什么影响。

假如我们将两块平板合在一起，然后将上面的一块推动，我们便会感觉到有摩擦力。这种摩擦力是固体与固体之间的摩擦力。为了减小摩擦力，大家都知道应该在两平板之间加上润滑油。加上润滑油后，摩擦力是大大减小了，可是并不能完全消除。即使加的油很多，以至平板与平板之间根本分开，中间隔着一层润

滑油，但还是会感觉到有摩擦力。不过这时候的摩擦力不是固体与固体之间的摩擦力，而是润滑油由于黏性作用产生的摩擦力了。

为了更进一步了解黏性的作用，我们可以将油层的厚度放大很多倍考虑。两块平板之间的油可看作是由很多很薄的油层组成的，最靠近下面一块平板的油层，由于黏性的作用，附在下面的平板上。当下面的平板不动时，油层也不动，所以它的速度是零。而最靠近上面平板的一层也是附着在上面的平板上。所以当上面的平板以速度  $V$  移动时，油层的速度也是  $V$ 。介于这两薄层之间的其他油层速度便不一致了。愈靠近下面的速度便愈小、愈靠近上面的速度便愈大，整个油层的变化是从 0 渐增大到  $V$ 。由于每一薄层的速度都不同，所以油层与油层便会产生摩擦力，即所谓黏性摩擦力。根据试验的结果，整个平板运动所受到的摩擦力与上面平板的速度  $V$  成正比（下面平板不动）而与两平板的距离  $d$  成反比，即是与油的总厚度成反比，与平板的面积成正比。将这些关系计算为

$$f \approx \frac{SV}{d} \quad (1-2)$$

式中： $f$ ——黏性摩擦力，牛；

$V$ ——两平板的相对速度，米/秒；

$d$ ——油层的厚度，米；

$S$ ——平板面积，米<sup>2</sup>。

要将这比例式改成等式需要乘上一个系数，这系数便称为 [动力] 黏度（旧称黏性系数），用符号  $\mu$  来表示。所以式 (1-2) 便为

$$f = \frac{\mu SV}{d} \quad (1-3)$$

$\mu$  的数值主要根据油的性质和温度而定。油愈黏， $\mu$  的数值也愈大，代入公式中相乘的结果黏性摩擦力也就愈大，所以  $\mu$  的数值主要是表示油的黏性的大小。

用式 (1-3) 可求得  $\mu$  的单位，将公式移项得

$$\mu = \frac{fd}{SV} \quad (1-4)$$

将这些单位代入式中为

$$\mu \text{ 的单位} = \text{牛} \cdot \text{米} / (\text{米}^2 \cdot \text{米} / \text{秒}) = \text{牛} \cdot \text{秒} / \text{米}^2 = \text{帕} \cdot \text{秒}$$

对于各种不同的液体， $\mu$  的数值也不同。只要知道了速度的变化率，即式中的  $V/d$  和  $\mu$  的数值便可求出每单位面积的黏性摩擦力。

液体的黏性摩擦力的计算完全可以应用到气体上。空气也是有黏性的，空气

的黏度为  $0.0000178$  帕·秒（当温度为  $15^{\circ}\text{C}$  时）。从这个数字便可看出空气的黏性是非常微弱的。虽然空气黏度很小，但对于飞机来说关系很大，尤其是模型飞机，一定要考虑到空气黏性的影响。

空气流过物体表面的时候，也像润滑油一样，最靠近物体表面的空气是附着在物体表面的，离开表面稍远，空气的速度便可以稍大。远到一定距离后，黏性的作用便不明显，在这附近的气流速度等于没有黏性作用时气流的速度。所以空气的黏性作用只是明显地表现在物体表面薄薄的一层空气内，离开了这紧靠着物体表面的一薄层便可以认为空气没有黏性，这一薄层空气称为边界层（旧称附面层）。在边界层内的空气流动情况与外面的气流不同，边界层最靠近表面的地方气流速度是  $0$ ，最外面的地方流动速度和外面的气流流动速度相同。我们将边界层的各局部速度用箭头长短来表示，如图 1-1 所示。而边界层内空气黏性摩擦力的总和就等于物体的表面阻力，或者称为摩擦阻力。

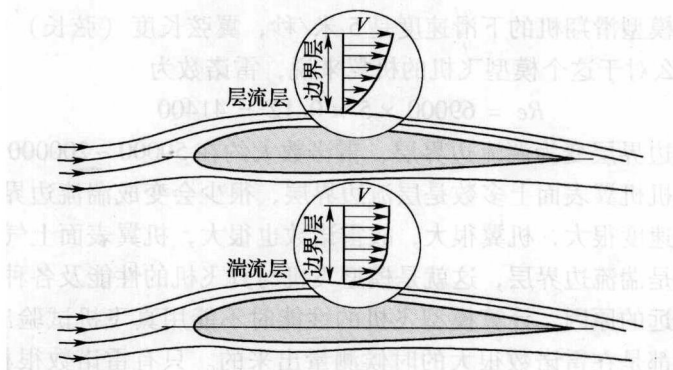


图 1-1 边界层内气流速度的变化

气流在刚开始遇到物体时，在物体表面所形成的边界层是比较薄的。以后流过物体的表面愈长，边界层便愈厚。在开始的时候，边界层内空气的流动是比较有层次的。各层的空气都以一定的速度在流动，这种边界层称为层流边界层。以后边界层内的流动便慢慢地混乱起来了；一方面由于气流流过物体表面受到扰乱（不管物体表面多光滑，对于空气质点来说还是很粗糙的），同时空气质点的活动也是很活跃的，结果使边界层内的气流便不再是很有层次的了；靠近最上面的速度比较大的空气质点可能走到底下速度慢的那一层来，而底下的质点也会走到上面去，这种边界层称为湍流边界层。

如果气流的速度愈大、流过物体表面的距离愈长或者空气的密度愈大，层流边界层便愈容易变成湍流边界层。相反，如果气体的黏性愈大，流动起来便愈稳定，愈不容易变成湍流边界层。在考虑层流边界层是否会变成湍流时，这些有关



的因素都要估计在内，所以我们将这些因素都乘起来，然后根据乘积来决定边界层到底会不会变。这个乘积称为雷诺数（纪念首创的科学家雷诺），用符号  $Re$  来表示。所以雷诺数  $Re$  为

$$Re = \frac{\rho V b}{\mu} \quad (1-5)$$

式中： $\rho$ ——空气密度，千克/米<sup>3</sup>；

$V$ ——气流速度，米/秒；

$b$ ——气流流经物体的距离，米；

$\mu$ ——黏度，帕·秒。

对于模型飞机的计算来说， $\rho$  可用 1.226， $\mu$  可用 0.000017，如果计算  $b$  的单位用米，计算  $Re$  的公式可简化为

$$Re = \frac{1.226 V b}{0.0000178} \approx 69000 V b \quad (1-6)$$

假设牵引模型滑翔机的下滑速度是 5 米/秒，翼弦长度（弦长）12 厘米（即 0.12 米），那么对于这个模型飞机的机翼来说，雷诺数为

$$Re = 69000 \times 5 \times 0.12 = 41400$$

要使层流边界层变为湍流边界层，雷诺数大约在 50000 ~ 200000 之间。所以一般的模型飞机机翼表面上多数是层流边界层，很少会变成湍流边界层。而对于真飞机来说，速度很大，机翼很大，故雷诺数也很大，机翼表面上气流形成的边界层绝大部分是湍流边界层，这就是模型飞机与真飞机的性能及各种空气动力的作用都相差很远的原因。计算模型飞机的性能时不能用真飞机试验出来的数据，因为这些数据都是在雷诺数很大的时候测量出来的。只有雷诺数很相近的时候，譬如在  $Re = 50000$  左右时试验出来的数据才可以用在一般的牵引模型滑翔机和橡筋模型飞机上。

总之，由于空气的黏性作用，模型飞机和真飞机有很多不同之处，决定黏性的作用主要根据雷诺数的大小。如果两架相像的飞机的雷诺数很接近，那么空气对这两架飞机的作用也相同，关于这一点以后再做叙述。