

## 航空科普

## 身小作用大：飞机的“翼梢小翼”

□ 关耀辉 武文韬

## 鸟类飞行引发的思考

在20世纪70年代，当人类终于摆脱现实引力，能够飞得比任何鸟类都高、都快时，空气动力学家理查·惠特科姆在重新端详鸟类时得到了启发，意识到：鸟类翅膀的末端往往呈现出与翅膀整体不一致的外形，有的向上翘起，有的如鸥类则是翘起同时向后弯折。这是为什么呢？那是因为在升力原理作用下，上下机翼表面存在的气压差将机翼“推”上天空。然而，这个效应在翼尖的位置则会带来另外一个现象：在机翼的尽头——翼尖处，下表面高压空气会“绕过”机翼的最末端，直接与低压空气相汇对冲。原处于上翼面的空气自然是无法抵挡压力较高的下翼面空气，使得部分高压空气从下翼面“逃逸”到了上翼面。

与此同时，飞机在空中始终与空气处于高速的相对运动状态。想象一下在划船时，当船桨划过平静的水面，是不是能看到它拨动的水流表面出现了小漩涡？同样的，运动的机翼就像在空气这片“水面”上划动的“船桨”，在翼尖处形成一个强烈的逆时针旋转的漩涡气流，称为翼尖涡流。

## 鸟类翅膀带来的启发

翼尖涡流会反过来作用在机翼上，将原应流向机翼的气流方向向下偏转，称之为下洗流，改变飞机的升力方向，也可以理解为飞机被“向下吹”以及“向后吹”——这股“向后吹”的力就被称之为诱导阻力。

不知道大家在见到飞机时有没有注意到，有的机翼末端是直的，而有的则是翘起来的呢？这种布置在机翼最末端，作为机翼延展结构的翼梢装置，称为“翼梢小翼”。

徐炳南 摄

为了克服诱导阻力，飞机就不得不提升速度、加大油门，也就导致飞机的燃油经济性变差，更加费油的飞机也就导致了更贵的机票。同时，飞机起飞、降落产生空气涡流也会滞留在跑道上长达3分钟，使后续航班的起降滞后并带来隐患。

应对翼尖涡流，自然界的鸟类给出了它们的答案——翅膀（机翼）末端上翘。这正是现在运用在民用航空中最主流的抵消翼尖涡流的办法。

翼梢小翼就像一堵墙，立在了高、低压空气本应相汇的区域，从根源上制止了原翼尖涡流的产生。然而，除非拥有一个无限长的机翼或者圈状的机翼，完全消灭翼尖涡流是不可能的，翼梢

小翼最顶端成为了新的相汇区。但此时上下气压差已经大大减小，所产生的翼尖涡流也大打折扣，有效减少了诱导阻力。

## 各种各样的翼梢装置

翼梢小翼也并非百利而无一害，更不是越大越好。额外的小翼结构增加了重量，增加了机翼在空气中的摩擦阻力、增加了飞机驻场转运、停靠航站楼所占用的空间。因此，基于各种飞行器的不同飞行需求，并随着对空气动力学的理论研究逐渐深入，民航历史上出现了各种

各样的翼梢装置。

梯形翼梢小翼（单段式翼梢、端板式小翼）最早出现于20世纪80年代末的B747-400，也在此后同时应用在A330、A340飞机上，较为显著的特征是其侧面呈一个面积较大的梯形，且与机翼之间没有平滑的过渡，像折纸一般被从机翼上“折”起来。翼尖帆（飞镖式小翼）被用于截至目前世界上最大的客机——A380的机翼上，也见于A300、A310以及部分老式的A320上，其显著特点就是小翼侧面几乎垂直于机翼平面，小翼上下几乎对称，整体长得类似一个“飞镖”。

双叉弯刀式小翼（双羽式小翼）被用于波

音737max系列飞机上，显著特点为在翼尖处出现了一个“人”字形的分叉，也可以理解为一个朝上、一个朝下的“双生”小翼。螺旋式翼梢小翼（双翼梢小翼）这种实验性的翼梢小翼被视为是翼梢小翼的“终极形态”，几乎能够彻底消除翼尖涡流。然而由于其外形复杂，制造难度、工艺性以及对材料的要求都很高，目前尚未运用在民航领域。融合式翼梢小翼被用于A320neo、A350等机型上，也是目前最为广泛采用的一种小翼设计，其明显的特点是与机翼的连接处浑然一体，呈一个圆滑的弧线，并略微向外倾斜。斜削式翼梢（后略式翼梢）出现在波音767、777、787等机型，这种翼尖装置并不会如上述小翼般向上翘，而是如刀尖一般向后倾斜，与机翼形成一定的后掠角。翼尖帆板这种翼尖装置通常出现在较老式型号的飞机机翼末端，视觉上体现为长在机翼末端的几个“爪子”。

## C919飞机独特的翼梢小翼

小翼虽小，却能“四两拨千斤”，不仅能减少飞行时产生的翼尖空气涡流，降低飞行诱导阻力，还能起到省油、降噪等功效。

在我们的国产大飞机——C919飞机上，便是采用的“超临界机翼+融合式翼梢小翼”的设计。超临界机翼设计允许飞机在高空高速下保持较小的阻力，同时能够保证机翼有较大的厚度及较小的后掠角属于飞行器设计中的尖端技术。针对性能敏感的超临界机翼，我们的设计人员另辟蹊径，设计出了与机翼翼型浑然一体的融合式鲨鱼鳍翼梢小翼，也成为了航空爱好者们辨识C919飞机的显著标志之一。

## 小话筒

## 奋斗是青春最亮丽的底色

【编者按】

近日，试飞中心开展“90工程”青年人才培养活动。创新课程、模型搭建、徒步拉练……5天的培训丰富而精彩，让学员们收获颇丰。让我们一起看看他们的感受。

## 创新也包括从1到1.1持续提升

测试工程部 陈家益

通过深入学习和参与创新课程，我深刻体会到创新对于企业，特别是大飞机这样的国之重器的重要性。创新不仅仅是指

从无到有，从0到1的突破，它同样涵盖了在现有基础上的不断进行微小改进和优化的过程，即从1到1.1持续提升和精益求精。

## 学习成就未来

科技与信息化部 李光宇

作为一名90后试飞青年，大飞机事业的光荣使命已落在我们肩上，这是一项无比崇高的责任。大飞机事业的新篇章，也将由我们这一代来续写，这是我们义不容

辞的职责。大飞机青年工作者必须不断学习、不断进步，不断提升自己的专业技能和素养，才能更好地服务大飞机事业，推动它不断向前发展，实现新的飞跃和突破。

## 在协作中迸发智慧火花

试飞工程部 冷中明

在飞机模型搭建的环节中，我深刻体会到了团队协作的重要性。每个人都有自己的专长和想法，但只有将这些想法和专

长融合在一起，确保每个人的工作都能无缝对接，形成一个整体，才能搭建出既美观又实用的飞机模型。

## 一以贯之、久久为功

张长杰

培训活动每天从早上8点开始一直到下午6点，犹如一场知识盛宴，在这个过程中，让我的身心都得到了极大的锻炼。在试飞这条道路上，我们还有很多知识和技

术需要学习，还有很多项目等待我们去突破和攻克。路漫漫其修远兮，吾辈当上下求索之。坚持四个长期，我们必将迎来大飞机事业新的辉煌！

## 共同面对挑战和困难

王天鸽

一个优秀的团队不仅要有优秀的个人，更要有良好的团队协作精神和能力。在团队合作中，我们需要相互信任、相互支

持、相互鼓励，共同面对挑战和困难。只有这样，我们才能发挥出最大的潜力，创造出惊人的成就。

## 相互理解、相互支持

发展规划部 汤睿君

通过徒步拉练，学员们相互“握手”“搭把手”，相互理解、相互支持，彼此更加信任。作为管理部门员工也深刻意识到服务

型号、服务技术一线的重要性。通过这次培训，相信我们再遇到困难时，会拿出“披荆斩棘”的勇气和“干成拿下”的决心。

## 科学家精神

## 蓝天追梦 报国无悔

## 歼8飞机首任总设计师黄志千的故事

参与组建新中国第一个飞机设计室，参与设计新中国第一架喷气式歼击机歼教1飞机，新中国第一型高空高速歼击机歼8飞机总设计师，培养出新中国第一代飞机设计团队，把全部心血和生命奉献给了新中国的飞机设计事业……他就是我国著名飞机总设计师黄志千。

黄志千1914年出生在江苏省淮阴县。少年时期的他，凭借过人的勤奋，以优异的成绩考入上海交通大学机械系航空专业。从此，他把一生献给了自己钟爱的航空事业。

1937年抗日战争爆发，23岁的黄志千怀揣抗日救国的志向，志愿参加空军，积累了宝贵的飞机制造实践经验。为了掌握更先进的飞机制造技术，他留学英国，刻苦学习航空设计技术。当时，英方禁止中方人员进入设计部门，还封锁了核心技术资料。但优秀的黄志千被英方破例选中，负责机身尾部结构设计。

1947年，英国伦敦郊外，一架“流星”喷气式战斗机灵巧地在云层中穿梭，最高飞行速度达到975公里/小时，创造了当时飞机飞行速度的世界纪录。看着自己参与设计的飞机试飞成功，黄志千心中有了新的希望：有朝一日中国也能制造出喷气式飞机。

新中国成立前，中国航空工业的技术基础非常薄弱，只能简单地修理、装配、仿造国外的飞机。新中国成立后，中国的航空工业在修理、仿制苏联飞机的技术基础上，沿着引进、消化、改进、创新的道路，开展了自行设计飞机和组建设计队伍的工作。

在为数不多的设计人员中，见过喷气式飞机

编者按：

本期，我们走进新中国著名飞机总设计师黄志千。“胸怀祖国、服务人民的爱国精神；勇攀高峰、敢为人先的创新精神；追求真理、严谨治学的求实精神；淡泊名利、潜心研究的奉献精神；集智攻关、团结协作的协同精神；甘为人梯、奖掖后学的育人精神。”这是科学家精神的内涵。科技兴则民族兴，科技强则国家强。强大的科技离不开科学家精神支撑，科学家们爱国、创新、求实、奉献、协同、育人，为我们留下宝贵的精神财富。本报特设专栏，分享航空科学家故事，一起感受科学家精神闪耀光辉。

的人屈指可数。缺少技术资料，技术人员就从科研院所借来外文资料，边翻译边学习；缺少试验设备，他们就自己动手，焊接加工。“图纸是工程的基础，一定要严格遵守制图规定，练好基本功。”黄志千对待工作异常严谨，培养年轻人耐心细致，经常一边带着修改设计问题，一边给大家示范讲解。当时，歼教1设计图纸多达上万张。为了确保上百人设计的图纸协调一致，黄志千通宵达旦地审核把关。为了尽快让年轻人练好基本功，黄志千会在图纸上进行详细的修改和批注，便于设计人员及时发现图纸问题、提高设计图纸的能力。

进行试验的时候，正值沈阳的冬天，风比钢硬、钢比风冷。但团队上下攻克难关的意志坚如磐石。

在多数东北人选择“猫冬”的时候，黄志千带领设计人员拖着木质战机型模型，顶风冒雪跑到郊外，进行风洞试验。“每次试验，他都在场，像守望自己孩子一样，观察战机的每一举一动。”顾诵芬院士回忆说，长达2个月的时间，黄志千带领设计人员一起梳理试验数据，确保了战机两侧进气设计的可靠性。

1958年7月26日，在北陵机场，当信号弹划破天际，歼教1呼啸着向跑道滑去，轻盈地飞上蓝天，成功做出多个高难度动作。飞机着陆后，黄志千和在场的设计人员高兴地欢呼起来。如今，人们已无法想象，研发者当时在完成这“惊天一飞”时所拥有的巨大决心与勇气。歼教1型飞机从1956年11月开始设计，到1958年7月飞上天，只用了1年9个月的时间，其研制周期比日本、波兰、捷克斯洛伐克同时代教练机的研制周期都短。

除了专注技术业务和管理工作，黄志千对年轻人的培养更是不遗余力。他要求青年技术人员要具有严格的工程素质，特别重视预研工作，甚至亲自给他们上英语课。为使设计人员尽快掌握设计技术、提高业务能力，他组织编制了多个基础性技术大纲、制度，掀起了一阵又一阵大练基本功的热潮，为后来自行研制歼击机打下了坚实的基础。

1965年5月，黄志千接受航空工业部的派遣带队前往西欧，乘坐的飞机失事，他不幸罹难，年仅51岁。为天空而生，又在天空陨落，这位航空赤子以悲壮的方式告别了他挚爱的飞机设计事业。之后，他的学生们继承了他的遗志，成功地把歼8战机送上祖国的蓝天。



在一次外场开展ARJ21特检工作过程中，来自客舱公司的工程师与来自上飞公司的工艺员正一起加紧确认飞机大翼的检修状态。在闷热的机库内，汗水顺着他们的额头滑落，但仍然一丝不苟地检查着每一寸机翼。当时的我频繁来往办公室与施工现场去协调解决飞机改装的技术问题，看见现场每一位工作人员差不多都是汗流浹背的状态，被他们的“热”忱所感染，不禁记录下了这一瞬间。

尹楚雄 摄

热火朝天的干劲