

浅谈空气动力学实验对中小学科学教育的意义 ——以雨伞抗风性研究为例

闻 静

(北京市第三十五中学 100037)

一、空气动力学的概念、应用及特点

空气动力学是力学的一个分支,研究物体与大气之间的相互作用。传统上,该学科主要关注飞行器在空气中受到的力,如升力、阻力的形成与变化规律。目前,空气动力学课程通常作为高校航空航天类专业的高年级课程,教学内容涵盖理论分析、实验测量与数值计算。空气动力学是飞行器总体设计的重要基础,我国航天事业的奠基人钱学森,在归国前就曾致力于高速空气动力学的研究,可见其在航空航天等高科技领域的关键作用。

实际上,空气动力学的应用远不止于航空航天。与核物理、纳米技术等高精尖领域不同,空气动力学的现象在日常生活中随处可见。例如,汽车与高铁的外形设计、桥梁与高层建筑的抗风性能,均离不开空气动力学的支持;生活中,高尔夫球的飞行轨迹、足球的“香蕉球”、自行车头盔与电动自行车车棚的设计,乃至羽毛球、橄榄球的运动轨迹,也都涉及空气动力学原理。人类生活在空气中,几乎每时每刻都在与空气发生相互作用,因此,空气动力学的实际应用极为广泛,加强中小学空气动力学教育对提升公民科学素养、培养航空航天科技后备人才具有重要意义。

然而,普通民众尤其是中小学生对空气动力学的了解却十分有限,主要原因在于该学科具有以下特点:

1. 抽象性强。空气动力学的研究对象是空气,而空气本身看不见、摸不着,且随时间不断变化,难以直接捕捉与测量。因此,相关概念和现象往往较为抽象,不易通过简单的公式或模型进行分析和计算,增加了理解难度。

2. 专业性强。中学生在常规物理课程中接触的经典力学模型多为简化或理想模型,而空气动力学所构建的模型通常更贴近实际物理问题:简化模型较少,复杂模型居多;定性描述有限,定量分析为主。这一特点显著提高了中学生的认知门槛。此外,为准确描述复杂的空气运动规律,空气动力学专业课程常涉及大量专业术语与分析方法,例如粘性、湍流模型、转捩、边界层理论以及激波-膨胀波等。这些概念与理论大多建立在高等数学和物理方法基础之上,如微积分、旋度、散度、焓、熵等,理解难度较大。即便是航空航天专业的本科生,也往往难以清晰阐述其中诸多概念。

二、空气动力学课程在中小学开展现状及问题

二、空气动力学课程在中小学开展现状及问题

近年来,国家高度重视中小学科学教育及科技创新人才培养,先后出台了《关于加强和改进中小学实验教学的意见》、《关于加强中小学科技教育的意见》等一系列政策。各中小学不断探索各类科技课程与竞赛活动,但空气动力学内容却很少作为独立模块出现,多仅见于汽车、航模等竞赛的设计环节。由于专业门槛高,多数科学教师难以在科技活动中有效融入空气动力学内容,普及面临以下困难:

1. 课程内容被弱化:在模型竞速类、航模制作类中小学课程或教材中,空气动力学内容常因专业性而被大幅简化。多数教材仅以少量篇幅简述升力、阻力等概念,缺乏系统分析与公式推导,学生难以建立准确、完整的知识体系。

2. 教师专业基础薄弱:由于未系统学习过空气动力学,部分科技教师在教授模型或竞速类课程时,相关知识基础不足。这导致他们在指导学生设计并优化模型外形参数时,往往只能凭借个人经验,而非坚实的理论原理。这种局限尤其制约了深层优化与创新环节的指导效果,使得教师在此过程中常感力不从心,最终演变为与学生协同探索的局面。

3. 学生认知存在误区:由于缺乏专业指导,大多数中小学生对空气动力学现象或概念都较为陌生,甚至存在不少误解。例如,在理解升力产生原理时,很多学生仅知道其与伯努利方程有关:即物体上表面气流速度较快,下表面流速较慢,根据伯努利方程中流速与压力成反比的关系,推导出上表面压力较小、下表面压力较大,从而形成升力。然而,空气动力学专业知识指出,对于常见机翼,上表面吸力通常对升力贡献较大,但升力本质上来源于物体表面压力分布的整体作用。因此,飞行器上表面通常不宜安装过多设备,以免影响其升力表现。此外,绝大多数中小学生对阻力是如何产生的,也不了解减少阻力的具体方法。诸如此类对空气动力学知识的缺失,使得许多学生在面对生活中的相关问题时——例如在大风中如何固定帽子、如何调整纸飞机或风筝以飞得更高、如何骑行自行车才能更省力提速等——往往感到无从下手,不知所措。

三、空气动力学科学教育在中小学可实施的方式

针对上述问题,可采取以下措施逐步推动空气动力学在中小学阶段的普及与教学改进:

1. 构建梯度化课程体系,全面开发配套教学资源

遵循学生认知发展规律,将空气动力学教学内容划分为循序渐进的三个阶段。在小学阶段,注重激发兴趣与感性认知,通过活动或游戏引导学生感知空气动力学现象。例如,组织学生使用材质、大小相同而表面光滑程度不同的球进行投掷比赛,从而直观感受空气阻力的作用。初中阶段则逐步引入基本空气动力学关系,如机翼展弦比对升力的影响。学生可动手制作不同形状的纸飞机,测量其展弦比,并结合飞行实验对相关规律进行定性分析,初步建立理论与实际现象的联系。高中阶段进一步深化,引入较为复杂的空气动力学概念,并设计相应的实验课程。例如,引导学生探究不同风速与迎角条件下雨伞的振荡规律,从中理解流动分离与分离涡流等核心概念,培养科学探究与分析能力。

配合课程推进,系统开发配套实验教具、模拟软件和可视化课件,提升教学的直观性与互动性。同时,结合真实科技发展案例——如飞机与汽车演进历程——融入课程内容设计,既降低知识的抽象程度,又增强学生的学习兴趣与现实关联感,实现知识传递与素养培养的有机统一。

在中小学空气动力学课程的设计中,应区别于常规学科的教学模式,不宜沿用“先理论、后实践”的传统授课方式。教师应注意避免过多使用专业术语与抽象理论,以免学生因概念晦涩而产生畏缩情绪。为此,建议在课堂教学中采用“问题—探究—实践—反思”为主线的项目式学习路径。课程可从学生生活中常见的空气动力学现象或趣味玩具入手,提出问题并引导学生探究诸如竹蜻蜓叶片的扭转角度、风筝的常见外形及尾飘位置对能否成功放飞的影响等,构建“探中学”“做中学”的学习场景,以激发学生对空气动力学的熟悉感与探索兴趣。

同时,应积极搭建简易的空气动力学实验平台,鼓励学生利用风扇、电子秤等日常物品,自制简

易测试装置(图1),开展如升力测试等基础实验。这类实验虽精度有限,不适用于定量分析,却能有效帮助学生定性理解空气动力学中的基本关系与规律,逐步构建科学的空气动力学思维,并在持续的实践探究与总结反思中,培养形成探究性思维能力。

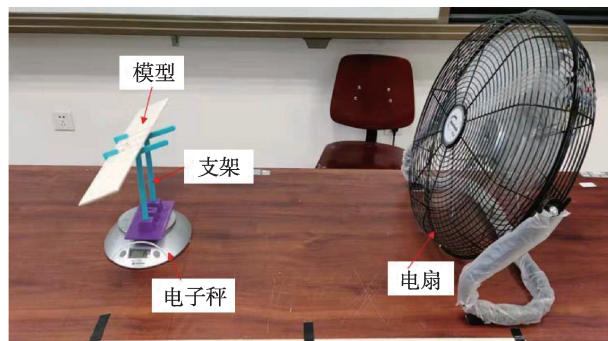


图1 简易空气动力学实验装置

2. 加强教师培训与科研机构支持

要让空气动力学课程真正走进中小学课堂,除了开发学生用的资源,一套完善的教师支持体系同样关键。首先,所有实验教具、模拟软件和可视化课件,都应配备详尽的《教师教学指导手册》。这份手册能成为老师的“课堂助手”,清晰说明实验步骤、教学技巧乃至常见问题的解答,让即便非专业出身的老师,也能自信地带领学生动手探索。同时,多维度的培训必不可少。线下可以组织丰富的工作坊和实践活动——例如,一起制作和测试纸飞机,亲身感受升力与阻力的奥秘;或走进航空航天高校的博物馆、风洞实验室,在真实的科研氛围中深化理解。线上则可通过组建专家指导群,建立“云端智库”,让老师们在教学中遇到难题时,能第一时间获得专业的解答与支持。

归根结底,课程的种子只有在肥沃的土壤中才能生根发芽。培养一批真正懂空气动力学、善于传授空气动力学的科技教师,正是这片不可或缺的土壤。只有教师们准备好了,这门充满魅力的学科才能在中小学真正落地开花,点燃下一代对科学与飞行的好奇与热情。

3. 建立评价与展示平台,激发教师和学习学生的学习兴趣

在科技竞赛中设立空气动力学专项赛道或评价维度,为学生提供成果展示与交流的平台。除竞赛通道外,还可通过举办校园空气动力学主题科技节、优秀作品巡展,或利用科普公众号、视频号等新媒体渠道,对学生的小论文、实验视频、自制学具等进行广泛展示与传播,增强学生的成就感和影响力。通过荣誉激励与成果认可,增强学生学习成就感,进一步激发其对航空航天与工程领域的兴趣。

在为学生搭建科技竞赛舞台的同时,也应为科技教师建立相应的评价与展示体系,激发其教学热情与创新动力。如将教师指导学生取得的空气动力学项目成果、课程开发贡献及教学实践创新纳入评优评先及职称评定的重要参考依据,增强教师的职业成就感与获得感。也可以为科技教师打造教学成果交流与推广平台,比如定期举办“空气动力学教学案例研讨会”或“优秀教具设计展评”活动,鼓励教师展示自行开发的实验方案、自制教具或可视化课件。对于其中具有普适性、创新性的优秀成果,应协助其进行推广、应用乃至成果转化,让教师的智慧在更大范围内产生价值。同时可以提供持续的专业发展支持,将教师在空气动力学领域的学习进修纳入教师继续教育学时认定体系。优先推荐表现优异的教师进入高校或科研院所参加深度研修、参与前沿科普项目,为其打开职业发展的新通道,形成“教学-成长-发展”的良性循环。

四、以“雨伞抗风性实验”为例展示空气动力学在中小学教育中的实验教学方法

从生活中的空气动力学现象入手开展教学,能够有效激发学生的学习兴趣,并帮助他们更直观地理解相关概念。雨伞的抗风性问题便是一个典型案例。在风雨天气中,撑伞者常能感受到伞面被风向上拉扯,并伴随明显的摇晃与震动;当风力增强

时,部分雨伞甚至因难以承受这类气动载荷而发生结构损坏,影响正常使用。这一常见现象背后,实则涉及升力、流动分离等多个空气动力学原理,是引导学生理解复杂气动概念的理想教学载体。

为系统探究雨伞在风中的力学行为与性能表现,我们指导学生采购不同规格的雨伞,并搭建简易实验支架,设计并完成了一系列空气动力学测试。实验主要内容如下:

(1)雨伞抗风性实验

实验中将雨伞模型固定于迎角机构,在风洞中分别以 $v=5\text{ m/s}$ 、 8 m/s 、 10 m/s 三种风速,以及 0° 至伞体被吹翻的迎角 α 范围内进行测试,如图2所示。学生通过视频录像可以记录不同风速下的雨伞振荡情况,并在录像截屏中,采用量角器等文具即可记录不同风速下雨伞振荡振幅。

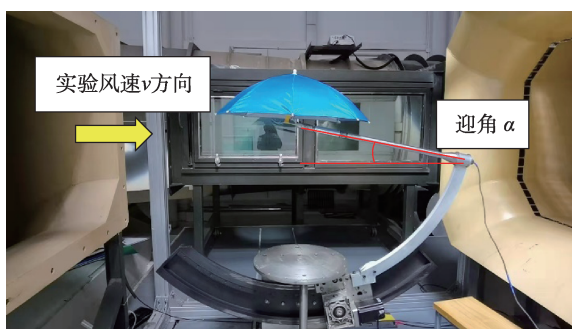


图2 雨伞的抗风性实验安装
(图中实验状态为 $v=0\text{ m/s}$, 雨伞迎角 $\alpha=15^\circ$)

由一系列的雨伞抗风性实验可以测得,伞的抗风特性随着风速 v 增加而减小,也随着迎角 α 的增加而减小。在微风(5 m/s)以下的风速下,伞的迎风面会出现部分受压从而使得伞体略微向前倾斜,但随着风速增加到四、五级(10 m/s)时,伞体会出现明显的振荡,打伞者会有握不住伞等体验,同时,迎角 α 的增加也会加剧伞的不规则振荡,当迎角 α 增加到 20° 时,伞会受到剧烈的俯仰振荡而会自动收拢。

(2)雨伞丝线流动显示实验

为了能观察伞表面流场流动情况,学生采用了

丝线流场实验。实验中,学生在伞表面粘贴长度约为 5 cm , 间距为 1 cm 的丝线,雨伞模型为了方便观察丝线的抖动情况,还喷了黑色的哑光漆(图3)。通过观察丝线抖动情况就可以探究模型表面气流状况。



图3 伞的丝线模型

观察雨伞上表面的丝线情况(如图4)发现。当迎角较小时($\alpha < 10^\circ$),伞迎风面有一部分正压,使得丝线贴着伞面,但此区域面积随着迎角的增加而减少;而伞中后部丝线受负压影响,会向上抖动,且向上抖动区域也随着迎角增加而增大,当迎角 α 增大到 10° 以上,丝线抖动幅度增加,且抖动方向不规则,这说明伞中后部已产生分离涡流场,涡流的振荡也引起了雨伞的振荡。

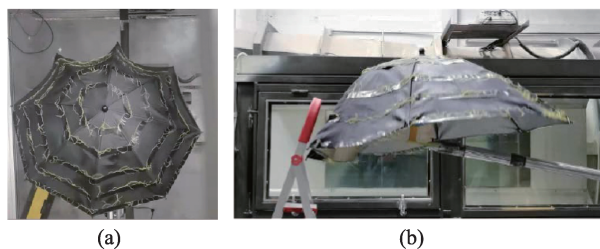


图4 $v=8\text{ m/s}$, $\alpha=10^\circ$ 时丝线流场
(a)俯视图;(b)侧视图

雨伞的抗风实验是学生在学习了初步的空气动力学知识后,自己设计并完成的雨伞空气动力学实验。实验研究了雨伞在风中不稳定的原因,由此可以在后续制定雨伞的抗风性措施,解决雨伞在风

中不稳定等问题。

本案例体现了实验方法在中学阶段空气动力学教学中的核心价值。实验作为空气动力学研究的重要手段,能够将抽象复杂的理论知识转化为直观、可感知的现象。尽管相关理论涉及较多复杂概念,但其基础实验方法却相对简单易行——学生完全可以通过丝线法、烟雾可视化等方式,直接观察气流流动状态,从而绕过繁琐的公式推导,直接感知气动原理与现象之间的关系。

在本案例中,实验使用了风洞设备,但这并非中小学开展空气动力学教学的必备条件。教师可引导学生利用日常条件展开探究:例如在户外借助风速仪测量自然风速,观察并记录不同模型在风中的运动表现;使用电子秤测量简易机翼的升力,或借助拉力计估算模型所受阻力。测量方式可根据具体实验目标和模型特点灵活设计,无需追求数据的精确性,而应着眼于引导学生识别变量与因变量之间的关系,理解现象背后的科学规律。通过这样的教学设计,既能保持学生对空气动力学探索的兴趣,又能在实验过程中渗透科学思维与研究方法,实现“在趣中学、在探中悟”的教学目标。

五、小结

空气动力学是一门专业性强且极为抽象的学科,在我国航空航天领域起着非常关键的作用。但与此同时,空气动力学又与我们的生活息息相关,因在科学教育中存在着一定的缺失,很多中小學生都无法理解并利用空气动力学原理去解决生活中的问题。

在中小学中普及空气动力学,可以采用以实验为主的教学方法,绕开复杂的公式与模型,通过实验让学生去直观、具体地去了解空气运动的规律,

进而理解空气动力的一些基本概念和原理。目前中小学的物理教育方式多以理论讲授、公式记忆与习题训练为主,实验仅起辅助作用,且大部分物理实验方法固定、结果已知,缺少了对学生探究实践、科学建模、问题解决等科学素养的培养。而由于空气本身的不易捕捉、不易观察等特点,让空气动力学的学习又回到了推理——实验——归纳分析的科学研究方法中。因此在中小学开展空气动力学实验,不仅能提升中小学生的科学素养,更能提升其实验探究能力,是做好实验教学、加强中小学科学教育的有效途径。

参考文献

- [1](美)小约翰·D. 安德森, 空气动力学基础(第5版)[M], 航空工业出版社, 北京, 2014
- [2]刘沛清, 流体力学通论[M], 科学出版社, 北京, 2021
- [3]王晓璐, 代君, 刘战合, 赵辉. 引导式教学方法在“空气动力学”课程上的应用[J]. 教育教学论坛, 2016, 23: 170-171.
- [4]温瑞英. 基于学生能力提升的《空气动力学》课程改革及建设[J]. 中国民航飞行学院学报, 2020, 31(03): 41-44.

