#物理·技术·社会#

# 机翼外形都是上凸下平的吗？

## ——兼谈升力的认知误区及教学建议

任少铎
（厦门市海沧区东孚中学，福建 厦门 361000）

**摘 要**：以一道考查翼型的中考试题为例，指出当前中学师生对飞机翼型和升力的认知误区．介绍了一些常见的飞机翼型，纠正广大师生对翼型和升力的错误认识，促进广大师生更加科学地认识翼型和升力．

**关键词**：翼型；升力；超临界翼型

中学阶段广大师生对于升力理论存在着一些根深蒂固的错误认识，其认为机翼应当是上凸下平的形状，但现实中 C919 飞机采用的是“下表面路程比上表面更长”的超临界翼型，经典的错误升力理论无法解释其升力来源．错误的升力理论由来已久，且根深蒂固，笔者认为有必要纠正．

### 1 问题缘起

有些教科书在介绍升力时认为机翼的外形都是上凸下平的，不少试题也如此考查，如 2023 年山西省中考第 15 题．

例 1．2023 年 5 月 28 日 12 时 31 分，我国自行研制、具有自主知识产权的 C919 大型客机圆满完成首个商业航班飞行（图 1），正式进入民航市场．下列关于 C919 飞机说法正确的是



图 1

（A）飞机机翼外形做成上凸下平是为了获得升力．

（B）飞机在上升过程中，舱外的大气压会变大．

（C）飞机驾驶员通过超声波和塔台工作人员联络．

（D）飞机采用碳纤维材料来减轻机身质量是利用该材料比热容小的特性．

答案分析：本题答案为（A），即题目认为 C919 飞机机翼的外形是上凸下平的．

然而，事实并非如此．根据官方报道，C919 飞机使用的是超临界翼型，[1] 而且还是中国人第一次设计的超临界机翼．[2] 超临界翼型是一种为提高临界马赫数而采取的特殊翼型，在 1967 年由 Richard T．Whitcomb 提出．典型的超临界翼型如图 2 所示，并非上凸下平形状．现今，超临界翼型已被广泛应用于军用飞机和波音系列以及空客系列飞机，不仅国产 C919 大型客机，国之重器运－20 也采用了超临界翼型．[3]




图 2 典型的超临界翼型

不难看出，气流经过超临界翼型时，通过下表面的路程反而比上表面的路程更长．那么它是如何产生升力的呢？这就要分析经典升力理论的错误之处和飞机升力的本质来源．

### 2 飞机升力的认知误区

之所以认为机翼都是上凸下平的，是源于升力的经典错误解释．经典的错误升力理论认为，被机翼前缘分开的气流要同时到达后缘（以下简称同时达到理论），如图 3 所示．由于机翼上表面路程更长，所以上表面流速大压强小，下表面则相反，这个压强差就是升力的来源．

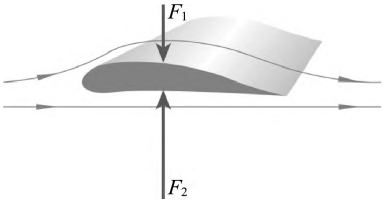



图 3 上下表面的气流同时到达后缘

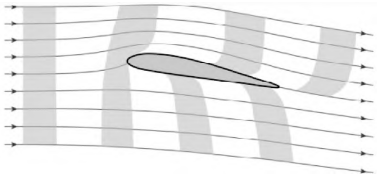


图 4 上表面气流会更早到达后缘

然而，这种经典的解释是错误的．被机翼前缘



中国知网 https://www.cnki.net

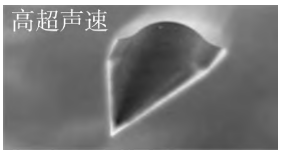
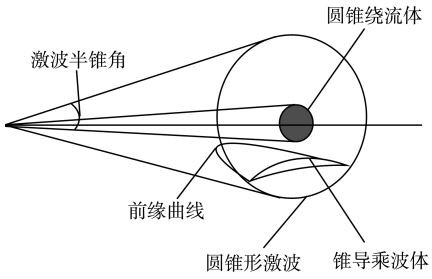
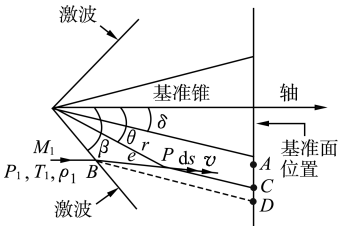
分开的气流要同时到达后缘并无任何依据. 事实上两股气流并不会同时到达后缘. 当飞机稳定飞行时,上表面气流会比下表面气流更早先到达后缘(图 4). 这早已被剑桥大学空气动力学教授霍尔格·巴宾斯基(Holger Babinsky)[4]和北京航空航天大学王洪伟教授[5]论证过. 美国航空航天局(NASA)对此的解释如下:(1) 用实际升力算出上表面的气流会更早到达后缘;(2) 风洞实验表明上表面的气流更早到达后缘;(3) 用"同时到达理论"计算出的升力远小于实际升力.[6]

真实飞行中,升力的定性解释并不容易. 空气动力学中通常用环量定律解释升力,中学阶段,学生尚不具备这些知识基础,不宜过度解释. 但无论如何不能违背事实、黑白颠倒地解释升力.

## 3 翼型的种类分析

翼型的选择和设计是飞机设计中必须要进行的一项工作. 美国飞机设计专家 D. P. Raymer 曾指出:"从许多方面来说,翼型就是飞机的心脏."[7]可以说,翼型是飞机气动力的"基因"和"灵魂". 自 20 世纪初莱特兄弟发明人类第一架飞机以来,翼型研究的每一次重要突破,都有力促进了航空飞行器的更新换代或性能的大幅提升. 总体上,翼型发展的简要历程如表 1 所示.[3]

表 1 翼型的主要发展历程

| 布局形式 | 机翼平面外形 | 机翼剖面翼型 | 增升减阻机理 |
|---|---|---|---|
| 低速  | 平直翼 | 低速翼型 | 椭圆机翼、自然层流减小诱导阻力和黏性阻力 |
| 高亚声速(跨声速)  | 后掠翼 | 超临界翼型 | 后掠超临界机翼,提高巡航升阻比和阻力发散马赫数 |
| 超声速  | 薄翼型 | 大后掠机翼和薄翼型降低激波阻力 | |
| 高超声速  |   |   | 乘波流型提高升阻比 |

由表 1 可知,翼型的发展大致经历了 4 个阶段.

(1) 低速飞行,通常指马赫数(该点速度与当地声速之比)小于 0.3 的飞行.[8]低速飞行时,厚翼型的优势是可以在更大的上仰角度下飞行,并产生比薄翼型更大的升力,所以低速翼型通常采用前缘半径较大、厚度较大、弯度较小的低速翼型.

(2) 亚音速飞行(马赫数 0.3～0.8)和跨音速飞行(马赫数 0.8～1.4)时,机翼周围会出现局部超声速气流和激波,为降低阻力并提高飞行控制性能,很多民航飞机选用超临界翼型.

(3) 超音速飞行(马赫数 1.4～5)时,机翼周围会形成激波和膨胀波.[9]为了减小激波阻力和兼顾低速特性,机翼一般都是上下对称的形状,按照线化近似理论,超音速飞机的机翼,弯度和厚度部分都不会产生升力,升力仅由机翼的仰角所产生,[10]所以不少战斗机的机翼都是对称的薄翼型. 美国 F-16 战斗机的机翼采用的 NACA64A-204 翼型就是典型的对称翼型,如图 5 所示.[3]

(4) 高超音速飞行(马赫数大于 5)时,风洞试验初步表明,采用乘波优化方案可进一步提高升阻比. 乘波体(Waverider)指:飞行时前方超音速气流在飞行器机身下方,被倾斜的飞行器腹部压缩,向下形成一种激波,如同把水激荡开去,向着机体下后方而去,飞行器也会受到反弹的升力. 飞



中国知网 https://www.cnki.net

行器就像骑在激波的波面上，依靠激波的压力产生升力“乘波”前行.

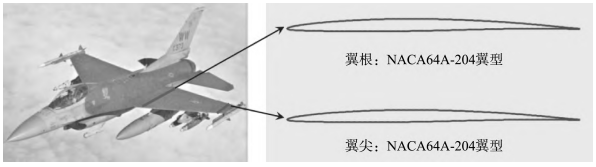



图 5　第三代战斗机 F-16 及其使用的翼型

当今，翼型设计不仅需要考虑气动力特性，还需要考虑电磁、气动热和声学等多方面因素. 毫无疑问，“上凸下平”式翼型仅仅是实用翼型的一小类，并不是全部，无论如何不能认为机翼都是“上凸下平”的!

## 4　结论与建议

飞机的机翼外形并不都是上凸下平的，C919 等不少民航客机的机翼都是下表面路程更长的超临界翼型. 机翼上表面气流流速大于下表面并不是因为其要同时到达后缘，通常情况下机翼上表面气流会更早到达后缘.

中学阶段的教学，可以简化复杂的理论，但切不可黑白颠倒. “同时到达理论”虽然可以简单地解释升力，但其却存在本质上的错误，与事实严重背离，所以不应用此理论解释升力和推测翼型. 对于升力的解释，笔者认为可以用图片或视频介绍低速飞行时机翼周围存在很多涡，使得机翼上表面流速大于下表面，从而形成升力；同时告诉学生这只是局限性的解释，并引导学生课后查阅资料了解更多有关升力的知识和我国航天事业的发展.[11] 如此既关注学生认知又不违背科学性，还可激发学生对我国航天事业的兴趣，提升物理学科核心素养.

**参考文献：**

1　中国青年网. C919 突破多项关键技术 打造自主航空产业[EB/OL]. [2023－07－15]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1751707498347686615&wfr=spider&for=pc.
2　新华社. 瞭望|C919 突显中国产业链升级[EB/OL]. [2023－07－15]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1758997339077977161&wfr=spider&for=pc.
3　韩忠华，高正红，宋文萍，等. 翼型研究的历史、现状与未来发展[J]. 空气动力学学报，2021，39(6)：1－36.
4　Babinsky，Holger. How do wings work? [J]. Physics Education，2003，38(6)：497.
5　王洪伟. 我所理解的流体力学[M]. 北京：国防工业出版社，2018.
6　NASA. Lift Theories Activity [EB/OL]. https://www.grc.nasa.gov/WWW/k－12/airplane/wrongl.html.
7　Raymer D. Aircraft design：A conceptual approach [M]. 5th edition. Washington，DC：AIAA，Inc.，2012. doi：10.2514/4.869112.
8　邢琳琳. 飞行原理[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2016.
9　徐敏. 空气与气体动力学基础[M]. 西安：西北工业大学出版社，2015.
10　陆志良. 空气动力学[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2009.
11　任少铎. 伯努利方程的本质及机翼升力的教学分析[J]. 物理教师，2023，44(6)：63－65.

（收稿日期：2023－10－23）

（上接第 63 页）

通过观察实验现象总结运动规律；另一种是理论演绎法，在学生原有知识的基础上，经演绎推理得到结果. 在深入考量这两种方法优劣的基础上，应先采用演绎推理的方式得到平抛运动规律，再进行实验验证. 这种教学设计既可以兼顾两者之长，又能够弥补两者之短.[7]② 传统与现代相结合，传统的实验虽然精度不高，但是它是锻炼学生思维的非常好的素材. 利用现代的信息技术做实验固然精度高，费时少，但是学生的思维不能得到很好的锻炼，学生很多时间只是充当一个看客. 因此本节课对于验证平抛运动竖直方向与水平方向的特点时笔者采用了两组粗测与精测相结合实验，既有演示实验，又有学生亲自参与的学生实验. 精测实验只需一个手机与传统实验装置相结合，具有可推广性. ③本节课采用大量的问题链，加强师生的互动，活跃课堂气氛. 学生动手动脑、积极思考、体验成功、获得发展. 真正实现深度学习，有效地提升了学生的核心素养能力.

**参考文献：**

1　关亚琴. 中学物理深度学习的研究进展述评[J]. 物理教师，2021(5)：2－6.
2　郭华. 深度学习及其意义[J]. 课程·教材·教法，2016(11)：26－32.
3　曹晓东. 物理学科深度学习的内涵、特征及课堂实施策略[J]. 江苏教育，2019(15)：70－71.
4　曹会. 促进深度学习的实验教学创新设计—以“实验：探究平抛运动的特点”为例[J]. 物理教师，2014(6)：19－20.
5　肖炳茹，冯洁，李红梅. 基于 Vernier Video Physics 软件的物理实验探究——以“探究平抛运动的特点”为例[J]. 中学教学参考，2023(8)：50－54.
6　中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)[S]. 北京：人民教育出版社，2020.
7　邢红军，石尧，李静. “平抛运动”教学的高端备课[J]. 物理教师，2021(5)：19－20.

（收稿日期：2024－01－02）



中国知网 https://www.cnki.net