康达效应飞行器研究及应用

陈熹德 / 福建省福州市铜盘中学
指导教师　陈　斌

◉ 研究背景

在中学的物理课本中，讲述到流体压强与流速的关系时，通常只是简单讲述流体流速与压强之间的关系：流速越大压强越小，并以此对飞机的飞行原理进行解释。但是部分教辅用书把机翼上下气流速率的差别，说成是因为机翼上面的长度比下面的要长，上下气流为了要同时在机翼后面会合，上面气流的速度会较快。部分课文甚至说机翼形状导致气流速度的差别就是产生升力的的原因。这些说法忽略了平直的机翼也能导致气流速度出现差别。此外，飞机在飞行过程中的失速现象是不能简单地用流速与压强之间的关系进行分析的，因为飞机在失速的过程中气体速度并未发生明显变化，但是升力却大幅降低，这显然不能用流速与压强的关系说明。

我的兴趣由此引发。在老师的指导下，积极开展实验，探索飞机的升力到底与哪些因素有关。

在充分查阅文献资料的基础上，我发现，许多空气动力现象实际上都与康达效应有关，尤其对于飞行器而言，康达效应更是不可或缺的。对此，我希望能够通过实验和理论分析探究康达效应中各种因素之间的相互关系，同时在实验探究的基础上，设计并制造出一种类似 UFO 的康达效应飞行器，以期成为一种新型的教具，使同学们能够更加直观、生动地感受到物理的美妙与乐趣。

◉ 实验探索

➲ 风速与弧度角关系的探究

根据数据分析可知，在控制风速条件不变的情况下，飞行器的表面弧度为 65° 时飞行器的升力最大，为 12.99g；当弧度小于 65° 时，升力值随着弧度的增加而增加，当弧度大于 65° 时，升力值随着弧度的增加而减少。对于这种现象，如果用中学物理教辅书中常见的解释方法，把机翼上下气流速率的变化，说成“是因为机翼上面的长度比下面的要长，上下气流为了同时在机翼后面会合，上面气流的速率会较快”，将无法解释。因为若是根据这种解释，流过上下表面的速度差将在弧度值为 45° 时达到最大值，而非 65°，这远远超出了实验误差可能的影响范围。由此我认为，这种实验现象的产生原因应该是由康达效应的贴壁作用引起的，即在弧度为 65° 的情况下，飞行器的康达效应最为明显。

➲ 面积与升力关系的探究

首先把实验飞行器粘贴到鼓风机的风口上，然后将标准质量载荷放置在实验飞行器上的小盒子里，测量飞行器的载重。实验结果表明，飞行器弧面面积增大，实验飞行器的升力也随之增大；面积与升力之间近似呈现出线性关系。

➲ 风叶挡板对风向的影响

实验发现：当挡板影响了风的方向时，就会对升力产生影响，飞行器升力减弱。由于挡风板的作用，气体的贴壁效果消失了，飞行器升力随之减弱，由此可以证明，康达效应对于飞行器的升力起着关键作用。

➲ 风洞实验 1——风速与升力的关系探索

实验结果表明：当风速低于 3m/s 时，飞行器即使在空载的情况下也是无法飞行的。

对此，我将这一结果与以下公式所示的理论进行了分析与比较。理想流体

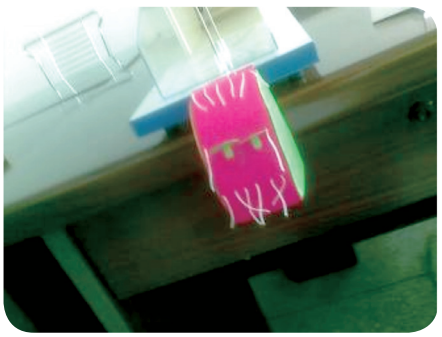


图 1　风叶挡板对风向影响实验



图 2　风洞实验



图 3　实验飞碟 1

的临界起飞速度可用以下表达式求解：

$$v > \sqrt{\frac{2mg}{S\rho}}$$

式中：m 为飞行器的质量 3.5g，g 为重力加速度（g 取 9.8m/s^2），S 为弧面上表面的面积 62.5cm^2，ρ 为空气密度（取 ρ =1.2kg/m^3）。

将数据带入以上公式，得到 v ≈ 3.02m/s。

因此，若想让飞行器起飞，风的速度应大于 3.02m/s，这个值与实验的结果是吻合的。

➲　风洞实验 2——风速与升力的关系探索

因为在上次的风洞实验中，风速最大时只有 3m/s，所以这一次我借来了可提供 11.7m/s 风速的气源，通过气源调整风速，并测试载重，来探索风速与升力的关系。实验结果表明：升力随风速的增大而增大，在风速为 7 ~ 10m/s 时，升力的增加较快。

综上所述，飞行器在飞行过程中，康达效应是提供其升力的重要因素。在控制其他条件不变的情况下，飞行器在表面弧度为 65° 时获得最大的升力；飞行器获得的升力随着面积和风速的增加而增加。

◉ 康达效应飞行器的设计与研究

在反复实验的基础上，我使用 EPS 泡沫做骨架，用纸和窗花纸做蒙皮，用电吹风和玩具直升机的螺旋桨做风源，做成了图 3 所示的飞碟 1。

在一栋大楼前的无人空地上，我事先调好了遥控器，摆好了飞碟。当我把遥控器的电源打开时，可怕的事情发生了：飞碟一下子飞了起来，飞到一定高度的时候向左边的墙撞了过去，一下子撞毁了。

对于实验为什么失败，我的分析是：① 实验前对遥控器的操作不熟悉；② 对飞碟能够获得的升力大小没有作足够的预估，只是凭感觉担心飞行器飞不起来，却没想过如果快速飞起来，如何保证安全。

在飞碟 1 撞毁之后，我觉得飞碟 1 的 EPS 泡沫板材料的抗打击性不够，才导致撞毁事件的发生。于是，我更换了材料，用 PVC 板制作了一个新的飞碟 2（见图 4）。但实验发现它飞不起来，而且极不稳定。我分析认为：飞碟因材料的更换而变重了，造成升力不足；高度太高，造成重心太高，稳定性差。我在老师的指导下，重新对结构进行了设计和改进，主要从增大受风面积和尽可能降低高度两方面考虑，制作了飞碟



图 4　实验飞碟 2

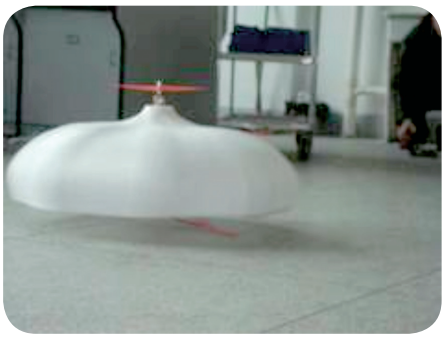


图 5　实验飞碟 3

3（见图 5）。

飞碟 3 做好了，我在实验时欣喜地发现，当螺旋桨旋转起来时，飞碟反向旋转着，稳定地飞了起来。我认为是飞碟自身旋转所产生的离心力使飞碟在空中保持了平衡。

实验过程中，我还将鳍状导流板粘贴于飞碟上，发现当螺旋桨旋转起来时，飞碟反向旋转明显减弱。这说明鳍状导流板可以对气体形成导流作用，并抵消掉自旋作用。

◉ 总结与展望

我通过理论分析与实验探究相结合的办法，发现飞行器的升力除了依靠气体流速不同造成的压强差外，康达效应的附壁作用才是大部分飞机机翼获得升力的主要原因。在康达效应消失的情况下，即使上下表面存在速度差也不能有效提供升力。在分析探究了康达效应中各种因素之间相互关系的基础上，又通过实验探究，设计并制造出一种类似于 UFO 的康达效应飞行器。

我希望通过我的探究与设计，能够解释中学物理教学中的一些疑难问题。同时，我也希望所制作的康达效应飞行器能够作为一种教具，为同学们充分地展示流体与压强的关系，激发同学们对物理、对科学的兴趣与热情。

康达效应飞行器结构简单，成本较低，今后可以广泛应用于诸如运输、救灾等生产、生活实践中，造福于社会。

◉ 创新点

◈ 在对飞行器飞行原理在实验和理论探究基础上得到康达效应对飞行器飞行影响的结果。

◈ 在康达效应探究的基础上设计了一种新型飞行器，并实现了相同动力情况下升力提高，在空气动力学结构上取得了一定的突破。

◈ 独到的结构设计实现了力学与工程学原理的良好结合。

◈ 模仿鱼鳍的原理设计了鳍状导流板和稳定飞行器的活动面板，查询时未见到同类研究成果。

该项目获得第 27 届全国青少年科技创新大赛创新成果竞赛项目中学组物理学一等奖。

专家评语

康达效应亦称边界吸附效应，是流体力学的一个物理效应。本项目通过实验对此效应做了一些研究，并对康达效应做了一些理论描述，在此基础上设计了一个演示康达效应的飞行器模型。建议进行更细微的研究。 ■