

免责声明：凡在本杂志发表的文章只代表作者观点，而非美国国防部、空军部、空军教育和训练司令部、空军大学或美国其他任何政府机构的官方立场。

X-HALE：未来的大气层监视平台

X-HALE: Designing the Atmospheric Surveillance Platforms of the Future

克利斯朵夫·M·谢勒，美国空军中校（Lt Col Christopher M. Shearer, USAF）*

请设想一下，如果有一个空中监视平台，可携带 500 磅有效载荷，在小型武器射程以外的高度上飞行，可在天空驻位巡逻数周或甚至几年，成本显著低于卫星，并可在一两个星期内重新转到全球任何一个感兴趣区域，那么，对战场指挥官或情报分析员会有多大的帮助。这就是高空长时（HALE）飞机，美国空军理工学院的目标是在 10 至 15 年内使这个概念成为现实。为了实现这个目标，研究人员正在收集新的试验数据，构建这架飞机的理论解析，其研发路径类似莱特兄弟在一百多年前所走过的路。莱特兄弟当时发现，现成的航空数据并不准确，而这样的发现正是他们以后成功的关键。威尔伯·莱特甚至写道：“一开始，我们绝对相信现有的科学数据，但后来对一些事情接二连三地产生怀疑，最后，经过两年的实验之后，我们完全抛弃了前人的数据，决定只信赖我们自己的研究结果。”¹

2003 年 6 月 26 日，美国国家航空航天局一架“太阳神”（Helios）飞机在试飞过程中机翼过度变形，导致飞行失稳及上翼面灾难性损坏，飞机最终坠毁。这场事故令航空航天界大为震惊，它再次警示人们必须精确编制气动数据和计算机软件程序。这是一架采用独特柔性机翼的 HALE 飞机，按照设计，应该爬升到 100,000 英尺的海拔高度。事故调查人员得出的结论是：事故的根本原因在于“缺乏充分的 [气动] 分析方法，导致对结构变化的影响做出不准确的风险评估，继而引出不正确的飞行决定。”² 尽管现代化第

五代战斗机是采用先进的航空工程设计工具研制的，这些工具却无法成功地设计时速低于 80 英里的高柔性 HALE 飞机。而且，目前的设计工具也无法预测这些飞机的稳定性和控制性能。

“太阳神”事故凸显我们缺乏设计“太阳神”等 HALE 飞机所必需的知识和分析工具（计算机软件）。这类飞机有很大的发展潜力，不受大多数地面威胁的影响，并可提供低成本监视能力。在“太阳神”事故之后，国家航空航天局的首要建议是研发一种更先进的多学科（结构、气动弹性、空气动力学、大气、材料、推进、控制等学科）‘时域’分析方法，以适合高度柔性‘变体’飞行器的设计（粗体强调来自原文）。³

虽然缺乏了解这些飞行器的气动特性所必需的基本空气动力学知识和分析工具（尤其是计算机软件），飞机设计师们仍在努力研发能整合最新传感器技术的飞机。可是，大多数设计仍在续航时间、有效载荷的电力供应和有效载荷重量方面遭遇瓶颈。若要充分发挥传感器技术的潜力，我们需要有一个长时监视平台。

自 2008 年以来，空军理工学院与国防部先进研究局（DARPA）合作研发能连续留空五年的 HALE 飞机。这个“秃鹫”（Vulture）计划若取得成功，将集飞机和卫星的优势于一身，飞机的优势在于战位驻守和低成本转移到新任务区，卫星的优势在于能持久运行和保持制高点。

* 作者是美国空军理工学院航空航天工程系助理教授。

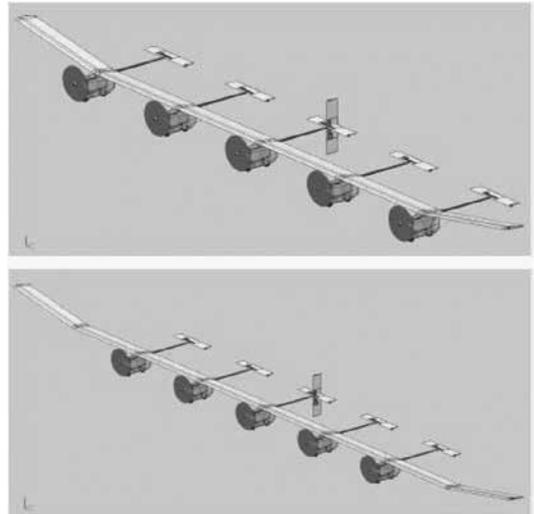
为了适应作战任务的要求，HALE 飞机采用大展弦比机翼和细长机身，因此极其柔韧。这些几何形状特征使得飞机机翼在低搏动频率时容易发生大幅动态变形。而“太阳神”试飞过程显示，这种变形可能会对飞机的飞行特性产生不利影响。⁴ 尽管发生了上述试飞事故，国防部先研局“秃鹫”计划的进展、其他民用 HALE 飞机的研发设计以及最近的分析结果都揭示了我们的实验测试数据严重不足。⁵ 但这些数据非常重要，有助于我们加深对 HALE 飞机的飞行动力学和操纵性能的了解，以及验证最近在软件和空气动力学研究方面的进展。⁶

实验性高空长时飞机

空军理工学院为验证与 HALE 飞机相关的软件和空气动力学理论，从 2007 年开始寻找现成的可用数据，未果。随后在国防部先研局召集的一次会议上，来自学术界、国防部（包括本文作者）、国家航空航天局和工业界的专家们证实了我们的怀疑：可用于此等验证研究的完整数据根本不存在。⁷ 有趣的是，国家航空航天局的“太阳神”飞机原本可以提供这些信息，但是由于政治原因和软件编程障碍而未能在飞机上安装信息收集仪器。

由于缺乏可用的数据，空军理工学院借助密歇根大学研究人员的独特专业知识，开始另一项研究努力，2008 年 8 月 27 日，空军理工学院与密歇根大学航空航天工程系建立合作关系，共同研发实验性高空长时(X-HALE) 遥控无人机；这个合作项目得到空军研究实验室航空器部的支持，并由空军理工学院主导。此合作项目利用空军理工学院、空军研究实验室和密歇根大学研发的工具，设计了一架 HALE 飞机，并提出两个不

同的设计配置方案（见图），各自带有某些设计特点（见附表）。如果对飞机第一个配置方案（翼展 6 米）的试验没有获得必要的飞行动力特性（辅之以机翼柔性和飞机横向及纵向控制性能），则转向试验翼展为 8 米的配置方案。⁸



图：X-HALE 飞机 6 米翼展（上）和 8 米翼展（下）设计方案

翼展	6 米或 8 米
弦长	0.2 米
机翼面积	1.2 平方米或 1.6 平方米
展弦比	30 或 40
长度	0.96 米
螺旋桨直径	0.3 米
最大起飞重量	11 或 12 千克
电力/重量要求	30 瓦/千克
空速	12—18 米/秒
最大航程	3 千米
最大续航时间	45 分钟

X-HALE 飞机的首次试飞时间安排在 2011 年春末或夏季，地点在印第安纳州坎普阿特伯里。对于这些飞行试验，密歇根大学将负责提供飞机操纵方面的专门知识；空军

理工学院负责提供试飞方面的专门知识和项目管理；空军研究实验室负责提供资金和项目监督。这些试验的目的是利用积累的试飞数据来验证 HALE 飞机设计工具，以最终成功建造和飞行 X-HALE 飞机。X-HALE 的试飞分为两个阶段，在第一阶段，飞机将携带数量有限的仪器，是以减少软件编程风险。在第一阶段试飞成功之后，研究人员将再建造一架飞机，携带更多的仪器，执行更多的试飞任务，以完成研究的主要目标，即收集试飞数据用以验证 HALE 飞机的研究软件和空气动力学理论。研究人员打算与几家大型航空航天公司分享所有的数据，这些公司一直在密切关注这个研究项目。

注释：

1. John D. Anderson Jr., Introduction to Flight [飞行概论], 3rd ed. (New York: McGraw-Hill, 1989), 29.
2. Thomas E. Noll et al., Investigation of the Helios Prototype Aircraft Mishap [太阳神原型飞机事故调查], vol. 1, Mishap Report (Washington, DC: Headquarters NASA, January 2004), 10, http://www.nasa.gov/pdf/64317main_helios.pdf.
3. 同上。
4. 同上，第 9 页。
5. Christopher M. Shearer and Carlos E. S. Cesnik, "Nonlinear Flight Dynamics of Very Flexible Aircraft" [高柔性飞机的非线性飞行动力特性], (presentation AIAA-2005-5805, AIAA [American Institute of Aeronautics and Astronautics] Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit, San Francisco, 15—18 August 2005), <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/76937/1/AIAA-2005-5805-748.pdf>; 另参看 Shearer and Cesnik, "Trajectory Control for Very Flexible Aircraft" [高柔性飞机的飞行轨迹控制] (presentation AIAA-2006-6316, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Keystone, CO, 21—24 August 2006), <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/77218/1/AIAA-2006-6316-117.pdf>.
6. 技术资料来源包括 Christopher M. Shearer, "Coupled Nonlinear Flight Dynamics, Aeroelasticity, and Control of Very Flexible Aircraft" [高柔性飞机的非线性飞行动力特性、气动弹性和控制性能耦合], (PhD diss., University of Michigan, 2006); Rafael Palacios and Carlos E. S. Cesnik, "Static Nonlinear Aeroelasticity of Flexible Slender Wings in Compressible Flow" [柔性细长机翼在可压缩流中的静态非线性气动弹性], (presentation AIAA-2005-1945, 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, Austin, TX, 18—21 April 2005), <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/76231/1/AIAA-2005-1945-496.pdf>; Leonard Meirovitch and Ilhan Tuzcu, "Unified Theory for the Dynamics and Control of Maneuvering Flexible Aircraft" [柔性飞机操纵的动态和控制之统一理论], AIAA Journal 42, no. 4 (April 2004): 714—27; Mayuresh J. Patil, Dewey H. Hodges, and Carlos E. S. Cesnik, "Nonlinear Aeroelastic Analysis of Complete Aircraft in Subsonic Flow" [亚音速流中整机非线性气动弹性分析], Journal of Aircraft 37, no. 5 (September—October 2000): 753—60; 以及 Mark Drela, "Integrated Simulation Model for Preliminary Aerodynamic, Structural, and Control-Law Design of Aircraft" [飞机的初步气动、结构和控制法则设计集成模拟模型], (presentation AIAA-99-1394, 40th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference and Exhibit, St. Louis, MO, 12—15 April 1999), http://web.mit.edu/drela/Public/web/aswing/asw_aiaa.pdf.
7. 国防部先进研究局于 2008 年 9 月 10 日和 11 日在华盛顿召集了一次非线性气动弹性工具会议。
8. “辅之以机翼柔性和飞机横向及纵向控制性能”来自 HALE 飞机机翼的内在柔性。当副翼有动作或横滚输入时，机翼外端先变形。飞机其余部分的移动迟于最早的机翼外端移动。这样的反应仿佛海洋中波浪的形成过程，海岸线附近的水流移动总是迟于最早的波浪移动。副翼输入导致的飞机移动迟缓造成额外的稳定性和控制性能问题。在大多数飞机上，机翼呈刚性，副翼输入导致整架飞机几乎立即开始横滚。

结语

空军的目标是获得持久空中监视能力，帮助情报界实现长久的梦想。研究人员在飞机平台和传感器研发方面已经取得长足的进展，但是不对称战争不断扩散，意味着美国迫切需要拥有能够在意向目标上空连续巡航几周或几年的飞机。空军理工学院和战略伙伴携手合作，努力向作战部队提供这些能力，成就斐然。今后的方向是把卫星的制高优势和飞机的导航灵活性结合到同一个平台中。通过 X-HALE 项目，空军理工学院和航空航天工业界将获得需要的试验数据和经过验证的设计工具，最终研制出能满足作战部队需要的持久空中监视飞机。♣