**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。



# 推动实现美国空军的能源计划

## Achieving the Air Force's Energy Vision

弗里德里克·G·哈蒙，美国空军中校（Lt Col Frederick G. Harmon, USAF）
理查德·D·布拉南，美国空军中校 / 博士（Lt Col Richard D. Branam, PhD, USAF）
杜拉·E·桑德林，美国空军中校（Lt Col Doral E. Sandlin, USAF）*

美国空军是联邦政府机构中最大的能源消费部门，其飞机、地面车辆和设施在2008年的能源耗费达90亿美元。[1] 同年中，空军的燃油账单为70亿美元，占美国政府燃油总耗费的一半以上。[2] 鉴于能源对空军执行其使命至关重要，空军部长制订了《美国空军2010年能源计划》，此计划由三大原则措施支撑：减少需求、增加供应、改变文化；并提出能源愿景：一切工作考虑能源因素（图1）。空军理工学院积极响应空军的能源计划和愿景，组织师生参与前两大措施的实施，建立专门研究替代能源的学位课程，研制混合电动遥驾飞机，测试合成燃油的应用，创设燃料配发管理的新课程，开展燃料储存、管理和配发的研究。第三大措施"改变文化"则不属本文讨论范围。鉴于空军理工学院在能源方面的学术教育和研究卓有成效，因此美国空军应该继续支持我院加强能源相关课程和研究项目。我院可利用增加的经费，建立一个能源研究中心，从而更好地支持空军应对能源相关的挑战。

## 设置替代能源专业学位课程

在美国，研究人员正在探究替代能源（混合电动系统、燃料电池、生物燃油、太阳能）的可行性，力图减少美国对国外石油供应的依赖。这方面的研究大多数关注汽车运输和地面设备，本文则探讨军事界和工业界对清洁、再生能源用于航空领域的兴趣和进展。美国航空航天学会（AIAA）《2009—2013年

图1：空军能源计划三大措施（取自《美国空军2010年能源计划》，见注释1。

* 哈蒙中校是美国空军理工学院航空工程学助理教授；布拉南中校是空天工程学助理教授，目前在阿拉巴马州马克斯韦尔空军基地的空军战争学院担任教官；桑德林中校是物流和供应链管理学助理教授。

战略计划》围绕能源和航空航天发展，将“改进空天能源效率和推进新能源技术”列为一项战略必需。按照这项要求，“AIAA 必须提供协作和信息共享环境，确保最优秀的技术精英和创新人才投身航空航天领域的燃料效能研究，发现新兴机遇，为开创未来清洁和合理价位能源作出贡献。”[3] 美国空军、国防承包商，以及工业界需要这些同时拥有空天工程和替代能源专业知识的研究人才。许多大学提供质量优良的相关领域专业培养课程，但能把这两类专业结合在一起培养学生的院校却少之又少。空军理工学院填补了学术界的这个缺口，在相关专业培养计划中增加了能源相关学位课程，聘请跨两个学科的专家授课，并扩充实验室设施。

面对空军缺乏具有替代能源和空天工程双重教育背景的综合人才的压力，空军理工学院在航空工程学和航天工程学硕士培养计划中增设了研究替代能源系统的专业学位课程。此学位课程作为目前两项硕士培养计划的延伸，要求学生掌握能源、能源优化和空天工程的专业知识，学生应具备航空航天工程专业背景，在此基础上学习能源相关系列课程，主要关注替代能源和先进推进系统，以及它们在微型航空器（MAV）、小型遥驾飞机和高空长时飞机中的应用等研究课题。已经有两名学生在 2010 年完成此系列课程，我院在 2011 年又招入六名学生。

俄亥俄州另有两所大学，即莱特州立大学和代顿大学，通过非常成功的代顿地区研究生联合培养计划，也参与到这项替代能源学位培养计划中。俄亥俄州已经批准了这两所大学设立清洁和再生能源专业硕士学位的建议，两所大学并设计出相关课程，接受空军理工学院学生前来修习。这种军民协作允许军事院校利用民间大学已经具备的研究条件，派学生到民间院校研读课程以满足学位要求。

作为这项新专业培养计划的一部分，空军理工学院还设计出一门独立研修课程，要求学生研究小型遥驾飞机推进系统构件的性能分析方法，如电动机、先进蓄电池、内燃机和燃料电池等。在这个新兴学术领域有一定发展之后，我院计划建立一个实验室课程，专门探讨燃料电池技术、电动机、先进蓄电池和超电容器的基础机理。

空军理工学院正在努力培养对替代能源和航空航天工程都有一定研究的跨学科专业人才，满足空军和工业界的人才需求。新一代工程师将支持空军实施能源计划，实现降低能源需求的目标，重点放在提高推进系统效率，以及通过使用替代能源来加强能源供应。从战略位置上看，空军理工学院与空军研究实验室位于同一个基地（赖特—帕特森空军基地），周围有许多航空航天企业，因此有利于我院学生能就近获得实际工作经验。完成学业的学生可获得跨能源工程和航空航天工程的“混合”学位，因此我院的这项新培养计划具有明显特色。

## 研制遥驾飞机混合电动系统

工业界和高校学术界都在研究新型推进技术，包括为航空航天器设计混合电动系统。有些混合电动系统采用内燃机加电气驱动系统，也有些采用燃料电池形式。在实验飞机协会 2009 年美国奥什科什 AirVenture 大会上，德国 Flight Design 飞机设计制造公司展示了一款可用于普通飞行器的并联式混合电动推进系统，其中采用了内燃机和电动机（图 2）。功率为 30 kW 的电动机采用蓄电池动力，对尺寸缩小的 86 kW Rotax 914 发动机提供

图 2：Flight Design 公司研制的混合电动推进系统（取自 Jason Paur,“Hybrid Power Comes to Aviation”），见注释 4。

加力，用于起飞和爬升过程。[4] 这种动力辅助并联混合配置还允许飞行员在发动机故障时利用电动力滑翔。另一家公司 AeroVironment 在为大型遥驾飞机研制电气驱动与氢燃活塞发动机混合配置的系统，准备安装到其高空长时“全球观察者”（Global Observer）遥驾飞机中。[5] 在此之前，加州大学戴维斯分校三位研究人员已经推出一种用于小型遥驾飞机的混合电动系统概念设计，为空军理工学院目前研制的遥驾飞机样机奠定了基础。[6]

空军理工学院毕业生 Ryan Hiserote 选取了三种用于小型遥驾飞机的典型并联式混合电动系统概念设计，每种设计采用三种电池放电结构，共构成九种不同配置。[7] 通过对比研究他发现：对于一架执行典型的五小时情监侦飞行任务的遥驾飞机来说，最适合的配置是一台内燃机加一台电动机和一个离合机构，脱开发动机之后，飞机便转入电动静音飞行。在情监侦空中飞行过程中，发动机处于关机状态，从而减少飞机噪音痕迹。在空军理工学院航空航天工程系学习的军队和文职学员在 Fred Harmon 助理教授的指导下，正在设计一种基于双点概念设计的混合电动遥驾飞机样机，此设计中包含一台能保证巡航速度的内燃机、一台电动机和一组能保持较低续航速度（巡逻速度）的蓄电池。这种并联式混合电动设计比仅采用电动动力的飞机获得更长的留空时间和更远的航程，并且比汽油动力飞机表现出更小的噪音和热痕迹。此新型遥驾飞机重量为 13.6 千克，耗油比传统内燃机动力飞机低 40%，在执行空中情监侦任务期间仅依靠电动系统动力飞行，即处于“静音”飞行模式，从而提高飞机的任务能力。这些科研努力表明，人们对混合电动技术运用于航空航天领域的兴趣越来越高，也表明此技术具备作战潜力。

除了研究碳氢辅助燃料动力发动机的混合电动系统之外，许多公司和高等院校还在开发基于燃料电池的技术，希望将此技术用于航空领域。波音公司最近成功试飞一款有人驾驶飞机（采用 Dimona 电动机的双座滑翔机，16.3 米翼展），该机使用质子交换膜燃料电池 / 锂离子电池混合推进系统。[8] 波音公司专家相信，这种燃料电池技术可以驱动小型有人和无人驾驶飞机。对于大型商用飞机，设计人员可能将固态氧化物燃料电池用作如辅助动力装置等二次发电系统。佐治亚州理工学院也设计、制成并试飞一款燃料电池动力遥驾飞机。[9] 另外，美国海军最近起飞一款称为“离子虎”(Ion Tiger)的小型遥驾飞机，飞机动力来自一个 500 瓦燃料电池。[10] 还有，空军研究实验室制成一种基于燃料电池的系统，为一款“美洲狮”（Puma）遥驾飞机提供动力。依据和空军研究实验室签署的一份小企业技术创新科研协议，他们对原来只靠蓄电池提供动力的“美洲狮”进行了改造，改用燃料电池混合系统，从而将此飞机的续航时间从 3 小时提高到 9 小时，极大改善了飞机的任务能力。[11] 在 2009 年 7 月，

Antares DLR-H2 实验飞机试飞成功，成为世界上第一架采用燃料电池动力起飞的有人驾驶飞机。[12] 不久前，空军理工学院启动了一项概念设计工具研发项目，用于探讨在微型航空器中使用燃料电池的利益得失。[13] 此工具整合空气动力学、推进、动力管理和动力源等方面的精密分析，确定一款微型航空器执行既定任务的续航能力。

以上在混合电动系统方面的多项研究成果，无论是基于内燃机还是燃料电池，都清楚表明人们对替代能源在航空领域的应用充满兴趣，上述成果将在不同尺寸 / 类型的飞机和不同任务的应用中发挥作用。例如，如前所述，空军理工学院科研人员正在测试一种用于小型遥驾飞机的混合电动系统样机，以确定其在执行典型情监侦任务中的用处。另外，我院学生正在开发一种用于教练机的混合电动系统概念设计，以测定在一次典型的教练任务中可以节省多少燃料和能源。美国空军应支持空军理工学院对燃料电池技术的研究，使我院能加大研究力度，确定这些技术对小型遥驾飞机和微型航空器的航程及续航能力有多大改进。对于大型飞机，这些技术也可以用作辅助动力。混合电动系统将对上述空军能源计划中呼吁的第一项措施做出贡献，有助于空军降低能源需求。

## 开展合成燃油应用测定

空军理工学院也正在努力支持这项能源计划中的第二项措施：增加能源供应。我院正在开展替代能源的研究。航空油对空军和民航系统而言都是一项巨大的开支。在 2006 年，燃油费用在历史上第一次成为美国民航业运营成本中的最大一项费用。[14] 美国空军作为美国政府的最大航空油用户，每年消耗约 25 亿加仑。[15] 空军可以减少燃油开支，途经包括使用替代燃料（例如 Fischer-Tropsch [FT 或费—托 ] 合成燃油）、设计更高效的发动机或新式推进系统、研制更优化的空气动力配置和更轻的飞行器结构。[16]

工商界和政府都成立了具体部门，研究和验证替代燃料应用。有一个联合计划称为“商业航空替代燃料项目”，目的是通过联合新兴的喷气发动机替代燃料工业，将这些新型燃油用于商业航空，从而促进航空业的能源安全和环境可持续发展。[17] 在空军研究实验室，担任推进系统理事会燃料及能源技术顾问的 Bill Harrison 也强调指出，美国需要增加国内燃料供应，需要研究、测试和验证新型替代 / 本国产燃油。[18] 替代燃料可以取代如 JP-5、JP-7 和 JP-8 号航空油等许多传统燃料。例如在 2007 年 8 月，B-52 轰炸机通过认证，可以使用比例为 50/50 的合成油 / JP-8 混合油。[19] 空军还在 2007 年成立了替代燃料认证办公室，经空军部长特许，负责管理对空军所有作战平台（40 多种）、保障设备和基地基础设施使用比例为 50/50 的 FT/JP-8 混合油认证工作。[20] 现在空军中几乎所有作战平台都已通过认证，可以使用加入合成油的混合油。

空军理工学院积极研制取代传统喷气发动机燃料的替代燃料。喷气发动机燃料属于通称为煤油的碳氢大类材料。[21] 把基于 FT 合成燃料工艺的合成燃油与从石油提炼的传统燃油（如 JP-8 号航空油）相比，FT 燃油来自其它原材料，如煤、天然气或生物质，这是一个催化化学过程，先将原料转化为一氧化碳和氢气，然后结合而成为更长的碳氢分子链。理论上，FT 燃油的能源含量足以取代传统燃油，但是我们需要开展更多的研究，探讨这些燃油在那些原本使用传统燃油的设备中的使用情况。[22] 空军理工学院的燃烧优

化及分析激光实验室正在研究 FT 燃油用于超密燃烧室的可行性，该实验室拥有数种诊断手段（例如：测定燃剩碳氢化合物和氧化氮含量），可用于分析这些新型燃料的性能。阶段性成果表明新型燃料大有可为，证明 FT 燃油可以取代传统喷气发动机燃料。

## 设置石油管理专业课程和燃油配发研究课程

最近，空军理工学院设置了一个燃料管理理科硕士专业，属于物流和供应链管理范畴。在 2010 年秋季，空军五名燃料管理军官入学，投入这门新专业的学习。专业课程包括库存模型、需求预测、供应链韧性、替代燃料、环境问题、以及石油的运输、配发和储存。学生完成此专业学习计划后，将分配到空军石油局、国防后勤局及各大司令部参谋部的其他石油管理岗位。

在空军理工学院运营学系学习的美国和国际学生开展了有关燃料管理的大量深度和前沿研究。例如，David Mazzara 少校完成了遥驾飞机空中加油的成本效益比分析。[23] James Nicholson 少校论证了在空中机动司令部内用生物柴油取代石油基柴油类燃油的费效比，得出传统燃料价格提高后如何补偿生物柴油生产成本所需的价格数据。[24] Juan Salaverry 中校设计出一个预测其母国阿根廷喷气发动机燃料价格走向的模型。[25] Murat Toydas 少校研制出两个非线性优化模型，可用于验证在特定起飞地、目的地和加油机基地的飞机起飞燃油重量与加载货物之间的互相交换关系。[26] Evren Kiymaz 中尉开展了一项测定空运燃油的能效研究。[27] 所有这些科研活动都在于寻找降低燃料需求或者提高燃料供应的新途径。

空军理工学院一名完成了空中机动司令部高级研修计划的近期毕业生 Phil Morrison 少校在一项非常成功的研究中，完成了调整 KC-135 压舱重量的研究。[28] 他的设想是把压舱燃油从机身前部的燃油箱移出去，代之以在飞机其他部位安放其他重量（比如防护装甲），这样做有两个重大好处：(1) 加油机可以向受油机输送更多的燃油；(2) 空军可以从 KC-135 机队的节油改进中收获重大的节省效益。Morrison 少校的这项研究表明，他的建议如果得到实施，可在不到两年时间内收回成本，并在此后每年节约 1,400 万美元的燃油费用。空军最近已经拨出资金来改造 KC-135 的压舱油箱设计。

## 结语和建议

美国空军通过减少需求、增加供应和改变文化这三大措施，正致力实现减少能源开支和提高能源安全的目标。空军理工学院坚定支持空军能源计划中的前两大措施，具体表现为开设研究替代能源和燃料的新专业课程，研制混合电动推进系统，测试可以取代传统燃油的合成燃油，以及推动燃油配发和管理方面的研究等科学教研活动。空军理工学院的军队和文职学员在读完航空航天工程、替代能源和燃油管理等专业课程之后，将具备跨学科知识背景，走上技术领导岗位，把学到的知识和技术运用于关键的航空和航天领域，为空军实现能源计划做出贡献。

美国空军需要全力支持空军理工学院在能源领域的投入。空军理工学院应扩大课程设置，开设更多的能源和燃料相关课程，并建造能测试混合电动系统、燃料电池和合成燃油的实验室。我院需对各种概念设计工具加以改进，以能分析空军未来飞机如混合电动教练机和遥驾飞机的各种选择方案。我院

还需要对基于燃料电池的系统做进一步研究，测定这种技术能将小型遥驾飞机和微型航空器的航程和续航能力提高多少。对于大型飞机，我院应该开展更多科研，理解燃料电池系统作为辅助动力装置的可行性。另外，如果我院获得足够的支持，可能考虑建造一个专门研究能源的跨学科研究中心。显然，空军理工学院在支持美国空军实现能源愿景的过程中必能发挥关键的作用。♣

## 注释:


1. Air Force Energy Plan 2010[ 美国空军 2010 年能源计划 ], (Washington, DC: Assistant Secretary of the Air Force for Installations, Environment, and Logistics, 2010), 4, http://www.safie.hq.af.mil/shared/media/document/AFD-091208-027.pdf.
2. Mark J. Lewis, "Military Aviation Goes Green" [ 军事航空变绿 ], Aerospace America 47, no. 8 (September 2009): 25, http://www.aerospaceamerica.org/Documents/Aerospace%20America%20PDFs%20(2009)/Aerospace%20America_SEP2009.pdf.
3. American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), "2009—2013 Strategic Plan: Sections I and II" [2009—2013 年战略计划，第一和第二节 ], (Reston, VA: AIAA, 2009), 1, http://www.aiaa.org/pdf/industry/Strat_Plan_ShortVersion_March09.pdf.
4. Jason Paur, "Hybrid Power Comes to Aviation" [ 混合动力进入航空 ], Wired.com, 28 July 2009, http://www.wired.com/autopia/2009/07/hybrid-aviation.
5. "Stratospheric Persistent UAS: Global Observer" [ 全球观察者：在平流层坚持守望的无人飞机 ], AeroVironment, http://www.avinc.com/uas/stratospheric/global_observer.
6. Frederick G. Harmon, Andrew A. Frank, and Jean-Jacques Chattot, "Conceptual Design and Simulation of a Small Hybrid-Electric Unmanned Aerial Vehicle" [ 小型混合动力无人飞机概念设计和模拟 ], Journal of Aircraft 43, no. 5 (September—October 2006): 1490—98, http://www.dodsbir.net/sitis/view_pdf.asp?id=REF%203%20AF103_209.pdf; 另参看 Frederick G. Harmon, Andrew A. Frank, and Jean-Jacques Chattot, "Parallel Hybrid-Electric Propulsion System for an Unmanned Aerial Vehicle" [ 遥驾飞机中的并联混合电动推进系统 ], (presentation, Association for Unmanned Vehicle Systems International Unmanned Systems North America 2004 Symposium, Anaheim, CA, 3—5 August 2004); 另参看 Frederick G. Harmon, Andrew A. Frank, and Sanjay S. Joshi, "Application of a CMAC Neural Network to the Control of a Parallel Hybrid-Electric Propulsion System for a Small Unmanned Aerial Vehicle" [ 将 CMAC 中性网络应用于小型无人飞机并联混合电动推进系统的控制 ], (presentation, Institute of Electrical and Electronics Engineers International Joint Conference on Neural Networks, Montreal, Canada, 31 July—4 August 2005); 另参看 Frederick G. Harmon, Andrew A. Frank, and Sanjay S. Joshi, "The Control of a Parallel Hybrid-Electric Propulsion System for a Small Unmanned Aerial Vehicle Using a CMAC Neural Network" [ 运用 CMAC 中性网络控制小型无人飞机中的并联混合电动推进系统 ], Neural Networks 18 (2005): 772—80.
7. Ryan M. Hiserote and Frederick G. Harmon, "Analysis of Hybrid-Electric Propulsion System Designs for Small Unmanned Aircraft Systems" [ 对小型无人飞机混合电动推进系统设计的分析研究 ], (presentation AIAA-2010-6687, 8th Annual International Energy Conversion Engineering Conference, Nashville, TN, 25—28 July 2010).
8. "Boeing Successfully Flies Fuel Cell-Powered Airplane" [ 波音研制的燃料电池动力飞机成功试飞 ], Boeing, 3 April 2008, http://www.boeing.com/news/releases/2008/q2/080403a_nr.html.
9. Thomas H. Bradley et al., "Flight Test Results for a Fuel Cell Unmanned Aerial Vehicle" [ 燃料电池动力无人飞机试飞结果 ], (presentation AIAA-2007-32, 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, 8—11 January 2007); 另参看 Blake A. Moffitt et al., "Design and Performance Validation of a Fuel Cell Unmanned Aerial Vehicle" [ 燃料电池动力无人飞机的设计和性能验证 ], (presentation AIAA-2006-823, 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, 9—12 January 2006).
10. "Surveillance Vehicles Take Flight Using Alternative Energy" [ 使用替代能源的侦察机升空 ], Public Affairs, Office of Naval Research, 2009, http://www.onr.navy.mil/Media-Center/Press-Releases/2009/Surveillance-Vehicles-Alternative-Energy.aspx.

11. “UAS Advanced Development: Fuel Cell Puma”[ 无人飞机的先进设计：介绍燃料电池动力“美洲狮”飞机 ], AeroVironment, http://www.avinc.com/uas/adc/fuel_cell_puma.

12. Pat Toensmier, “The Cutting Edge: Fuel Cell Powers Manned Flight”[ 前沿技术：介绍燃料电池动力有人驾驶飞机 ], Defense Technology International, September 2009, 60.

13. Paul M. Hrad and Frederick G. Harmon, “Conceptual Design Tool for Micro Air Vehicles with Hybrid Power Systems”[ 混合动力微型航空器的概念设计工具 ], (presentation AIAA-2010-6688, 8th Annual International Energy Conversion Engineering Conference, Nashville, TN, 25—28 July 2010).

14. Frank Sietzen, “Growing Fuels for Greener Skies”[ 更绿燃料和更绿天空 ], Aerospace America, September 2009, 32.

15. 见注释 1，第 4 页。

16. 见注释 2，第 24 页。

17. “Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative”[ 商用航空替代燃油建议 ], (CAAFI brochure), caafi.org, 17 August 2010, http://www.caafi.org/about/pdf/CAAFI_brochure_August_2010.pdf.

18. William E. Harrison, “Alternative Energy for Aerospace Applications”[ 替代能源用于航空领域 ], (presentation, 4th Annual Dayton Engineering Sciences Symposium, Dayton, OH, 27 October 2009).

19. 见注释 2，第 24 页。

20. Beatriz Rodriquez and Thomas M. Bartsch, “The United States Air Force's Process for Alternative Fuels Certification”[ 美国空军替代燃料认证程序 ], (presentation AIAA-2008-6412, 26th AIAA Applied Aerodynamics Conference, Honolulu, HI, 18—21 August 2008).

21. Tim Edwards, “Kerosene Fuels for Aerospace Propulsion-Composition and Properties”[ 煤油燃料用于航空推进——成份和属性 ], (presentation AIAA-2002-3874, 38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, Indianapolis, IN, 7—10 July 2002).

22. M. A. Mawid, “Development of a Detailed Chemical Kinetic Mechanism for JP-8 and Fisher-Tropsch-Derived Synthetic Jet Fuels”[JP-8 航空油和 FT 合成燃油之详细化学动能机制研究 ], (presentation AIAA-2007-5668, 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, Sacramento, CA, 8—11 July 2007); 另参看 Tim Edwards et al., “Fuel Composition Influence on Deposition in Endothermic Fuels”[ 燃油成份对吸热燃油沉淀的影响 ], (presentation AIAA-2006-7973, 14th AIAA/AHI Space Plane and Hypersonic Systems and Technologies Conference, Canberra, Australia, 6—9 November 2006).

23. Maj David J. Mazzara, “Autonomous Air Refueling for Unmanned Aircraft Systems: A Cost/Benefit Analysis”[ 无人航空器自主空中加油：成本效益比分析 ], graduate research paper AFIT/IMO/ENS/09-08 (Wright-Patterson AFB, OH: Air Force Institute of Technology, 2009).

24. Maj James B. Nicholson, “Bio-Diesel for Air Mobility Command Assets: The Way Ahead”[ 空中机动司令部资产应用生物柴油的前景 ], graduate research paper AFIT/IMO/ENS/09-10 (Wright-Patterson AFB, OH: Air Force Institute of Technology, 2009).

25. Lt Col Juan A. Salaverry, “Predicting Argentine Jet Fuel Prices”[ 预测阿根廷喷气发动机燃料价格走向 ], AFIT/GLM/ENC/07M-01 (thesis, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, OH, 2007).

26. Maj Murat Toydas, “Fuel Savings Opportunities from Air Refueling”[ 空中加油中的节油机会 ], AFIT/LSCM/ENS/10-12 (thesis, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, OH, 2010).

27. Lt Evren Kiymaz, “Fuel Efficiency Assessment with DEA”[ 对 DEA 的燃油能效评估 ], AFIT/LSCM/ENS/10-07 (thesis, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, OH, 2010).

28. Maj Phil G. Morrison, “Reballasting the KC-135 Fleet for Fuel Efficiency”[ 调整 KC-135 机队压舱油，提高燃油能效 ], graduate research paper AFIT/IMO/ENS/10-10 (Wright-Patterson AFB, OH: Air Force Institute of Technology, 2010).