

美国空军未来15年科技发展重点

许赞*

中国航空工业发展研究中心 航空技术研究所, 北京 100029

摘 要: 受美国国防预算削减及军事战略调整的影响, 美国空军调整了其科技发展重点。本文以美国空军首席科学家办公室发布的最新科技规划报告为依据, 重点围绕空域、天域等十个技术关键领域, 深入分析美国空军未来15年的科技发展动因与重点, 描绘了美国空军未来科技发展的路线图。

关键词: 美国空军; 科技规划; 关键技术; 技术路线图

中图分类号: V11 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2014) 01-1-10

美国空军承担着“全球警戒、全球达到和全球力量”的作战使命, 美国空军的科技发展必须以支持其作战使命、满足其核心职能为重点。2013年7月, 美国空军首席科学家办公室发布了题为《全球地平线》的报告。该报告以美国国家安全战略、国防部军事战略以及空军科技战略为指引, 借鉴了美国空军科学顾问委员会的先期研究成果(例如《空军科技计划》、2010年发布的《技术地平线》、2011年发布的《能源地平线》和2012年发布的《网络空间愿景2025》等), 考虑了美国空军、联合跨部门作战司令部、一级司令部等部门的要求, 吸收了美国空军《全球伙伴战略》、12项核心职能计划等文件的相关思想, 提出了持续保持全球优势, 在天空、太空和网空中实现全球警戒、全球到达和全球力量的目标。

在这份科技发展规划中, 美国空军首先分析预测未来科技发展环境与威胁, 在此基础上重点分析了天空域、太空域、网络空间域、全球指挥与控制(C2)和情报、监视和侦察(ISR)、任务支援保障等空军核心任务领域的战略趋势、威胁和机遇、变革性技术, 以及制造和材料、运输和后勤、能源、通信、信息技术和金融服务、健康和医药以及教育和培训等工业领域的科技发展趋势与技术重点, 并提出了每个领域近、中、远期技术发展的路线图, 同时将各领域识别

出的重点技术明确按照领导者(L)、跟进者(F)和关注者(W)三个层次对技术进行进一步的投资优先权分类。

1 未来面临的威胁环境

美国空军认为在2025年前后, 世界环境在人口、经济、资源和技术等要素方面将呈现如下趋势: 亚洲将成为拥有先进信息技术的诱人商业市场; 世界人口将呈现稳定增长的态势, 而能源、矿产存量将逐渐减少, 资源、人口间的矛盾日趋突出, 温度和湿度的增加将导致恶劣气候灾害频发; 通信和计算机的增长推动技术发展, 同时恶意软件的指数增长使网络信息安全问题日趋突出; 在空间运用方面, 在轨非美国卫星数量将增加一倍, 成为美国空间安全的挑战。

数十年以来, 美国在新技术的开发和应用方面具有优势。但是, 受当前技术扩散以及商业创新不断加速的影响, 美国国内涉及国家安全领域的研发人员数量不足, 美国在科技领域的优势地位正日趋受到威胁。通过跨域整合天空、太空和网络领域的技术与资源, 美国的敌人有可能以非对称的方法制造威胁, 如利用非对称攻击方式对其经济、物流管理和基础设施进行攻击。在表1中, 按照近、中、远三个时间段具体预测了在天空域、太空域、网络空间域以及跨域的具体威胁,

收稿日期: 2013-08-20; 退修日期: 2013-08-30; 录用日期: 2013-10-26

*通讯作者。 Tel.: 010-57827742 E-mail: yunxu.china@gmail.com

引用格式: XU Yun. USAF's emphasis of science and technology for next fifteen years[J]. Aeronautical Science & Technology, 2013, 25(1): 1-10. 许赞. 美国空军未来15年科技发展重点[J]. 航空科学技术, 2013, 24(1): 1-10.

表1 威胁预测
Table 1 Threat predictions

领域	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
天空威胁	无人机(主要ISR);多模成像导引装置	无人机(无人作战飞机);第四/五代战斗机(2020年前将占70%);“光流”导引装置;弹药(更远程、更高速、更精确);先进平台(低可探测平台、高超声速平台)	无人机(多任务);自主系统(认知增强)
太空威胁	增加的卫星通信干扰能力;太空目标监视识别能力提高;高空核爆(企图)	直接升空拦截;轨道反卫星系统;通测、跟踪和控制(TT&C)以及指挥与控制威胁(干扰、失能和摧毁);太空目标监视识别能力提高	卫星数量(2033年前预计达到750~1500枚);太空目标监视识别能力提高
网络空间威胁	任务漏洞利用(嵌入式、瞄准式);网络敲诈、间谍;无线电利用	量子通信;电子战和网络融合;自主网络代理	2025年前后每年将新生成2亿个恶意软件特征码
跨域威胁	高能微波武器;激光;国外电磁频谱管理;GPS干扰/欺骗;数据泄露/计算机网络利用(CNE);反介入/区域拒止(基础);机器人(遥控驾驶、物流);先进ISR(太空、网络空间、IO、宽带、低信噪比信号、商业系统);主被动多基站传感器	激光;粒子束武器;成熟的反介入/区域拒止威胁;机器人(集群);ISR(全天候、可重构);电离层改造(实用);电子战;使用大规模杀伤武器	自主决策支持系统;电离层改造(大范围)
支持技术	先进材料;先进制造;IT(主机、带宽、处理速度);先进算法(传感器融合,数字射频存储)	先进材料;先进制造;地磁导航;计算机视觉;IT(量子信息科学、超级计算机、生物信息学);先进算法(混沌波形、计算机视觉)	先进材料;先进制造;IT(分布式/本地决策);先进算法;自主系统;先进动力(燃油携带百分比减少)

提出了支持美国应对敌人威胁而需要具备的相关配套技术。

2 未来15年科技发展重点

2.1 空域

美国空军的空中优势将由三个战略趋势而受到挑战:首先,全球化加速了技术扩散,减少了美军技术优势。潜在对手将快速获得并能够使用的包括第五代战斗机、新型导弹、弹药和定向能武器在内的先进系统。其次,美国空军有人机队规模在2027年前将持续缩小,但无人机规模与任务将显著增加,无人机在国际空域的运用能力问题将日渐突出。第三,空中力量的运用将受气候变化、能源成本上升、空中交通管制模式变化等因素的影响。因此,美国必须考虑变革空军的规章、政策和

条令。针对上述环境趋势,美国空军将至少需要在五个技术方面发展变革性技术,尝试从根本上改变作战方法和范式,从而继续保持领先优势,其近中远期技术发展路线图见图表2。

1) 高速系统和定向能:高超声速武器将在近中期能够装备部队,该技术下一步重点是发展ISR平台,并最终在远期形成重复使用和快速响应的平台。定向能武器是以电磁波为代表的一系列变革性技术,可改善飞机自我保护、战区基地防御和压制敌方防空力量的能力。高效高能激光和高能微波系统的发展将使之成为传统动能弹药的补充,并使空军在精确交战、控制杀伤力、攻击速度和效应范围方面取得革命性进步。

2) 自主、分布式决策和分级系统:随着计算、网电安全和平台间连通能力的提高,不同规模自主系统、分布式系统和基于任务需要分布

决策将成为可能,并将随着技术成熟,应用于整个指挥、控制和通信系统以及各类平台。分级或分解系统由更为廉价、小型和具备可扩展性的平台构成,提供更好的任务弹性、经济可承受性和生存力。自主、分布式决策和分级系统都将依赖于安全和可信的硬件、软件、处理和通信。

3) 先进飞机自适应架构:开放式软件架构和支持即插即用的模块化组件(传感器、导引装置等)允许航空电子系统和机载武器系统能够快速适应不断变化的任务。即插即用的软硬件特性,使得航空电子系统和机载武器系统的升级变得更为容易,同时可以实现基于任务需求的配置。在本领域相关软硬件的制造、认证、评价和核实的相关流程将变得更为重要。

表2 空域技术路线图

Table 2 Air domain technology roadmap

主题	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
高速系统/定向能	武器(L)； 高能微波导弹(L)； 目标识别(脉冲激光)(L)	(高速系统)ISR平台(L)； (定向能)安装式飞机自保护(电 激励连续波激光)(L)	重复使用响应平台(L)； 一体化的飞机自防护； 光速打击；(L)
自主/分布式决策/ 分级系统	分布式任务规划(L)； 感知与规避；自动/自主编队 飞行(L)	(指挥与控制、通信)自主终端区 域操作(F)； (平台和操作)合作和自主控制F)	人机认知通信(F)； 人机合作(F)
先进飞机自适应架 构	验证与评价分析增强(F)； 复合材料认证(F)； 大型复合材料结构(F)	(处理)系统之系统认证(F)； (产品)模块化飞机架构(F)； 即插即用航电接口(L)	自动装配和质量保证(F)； 通用武器系统接口(L)
小型弹药/远程导弹	合作控制和可选效应(L)； 自我督导和自适应制导(L)	(小型弹药)多用途、多模效应包 (L)； (远程导弹)传感器/导引装置、天 线、控制、载荷、制导(L)	优化内埋挂载设计(L)； 实时自适应软件(L)
高效飞机和推进 设计	自适应多用途发动机/自适 应发动机技术验证/高效小 尺寸推进(ADVENT/AETD/ ESSP)(L)； 热管理和自适应循环(F)； 层流控制(F)； 共形天线(F)	高效嵌入式涡轮发动机/高效小 尺寸推进(HEETE/ESSP)； 按需的集成子系统(L)； (机体/气动力)轻质单元式结构 (F)； 自适应结构和主动流动控制(F)	自适应高效嵌入式涡轮发 动机(L)； 混合系统/分布式推进(F)； 超声速无尾布局(L)； N+1代高效飞机布局(F)

表3 太空技术路线图

Table 3 Space technology roadmap

领域	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
分解	演示验证分解(L)	演示验证分级(L)； 导航卫星(L)	微卫星(F)； 持久太空感知(L)
廉价发射	100千克至LEO费用为1万 -300万美元	GEO和LEO货物发射(L)	发射原始材料(L)； 发射部署(L)
太空网络	测试平台(L)	太空高可信因特网协议加密(F)	实现敏捷和弹性的设计(W)
架构	可展开天线(L)； 开放标准(L)	合成孔径(F)； 开放架构(L)	可组合星座(L)； 量子计算(F)
通信	AEHF(L)； V/W波段(L)	激光通信(L)	
制造	抗辐射加固(L)	增材制造(F)	太空制造(L)

4) 包括小型弹药和远程导弹的武器：自适应架构的方法同样适用于武器系统，在满足武器认证要求的情况下，通过建立标准化的机械、电子和计算机总线接口实现对多种子部件(传感器/寻的装置、推进装置、效应包)即插即用，并根据特定的传感器、推进和战斗部配置调整气动、制导、导航和控制算法，这将依赖于具备高效处理能力和存储能力的先进任务计算机，多功能/多频段孔径和天线的进步、自主和协同控制策略的发展。多用途、多模效应包包括动能、定向能和非动能效应。

5) 高效飞机和推进：本主题的技术发展空军在能源方面的努力相一致，详见本文2.9部分。

2.2 太空域

对于美国空军而言，太空领域最重要的威胁源自航天发射和小卫星技术的全球扩散所导致的空间竞争日趋激烈；另一方面，空间资产所受的网络和物理威胁将日趋加重，同时空间频谱的超负荷使用，使得美国空军需要开始使用更高频率的频谱段。针对上述环境趋势，美国空军需要发展变革性技术，通过利用以下的技术领域彻底变革空间系统架构。

1) 可分解卫星星座：空间技术的未来需要更具成本效益和能够响应快速进入太。这需要具备部分先进能力、但能很好实现集成的太空装备。利用分散系统或及分离的卫星星座能补充少数大型、能力极强的传统卫星，具备更好的经济可承受性、敏捷性和改进弹性，降低太空系统的脆弱性，平衡性能与成本。目前计算机、传感器和材料的进步已经允许建立

大量相互连接的卫星星座，实现全球实时覆盖。

2) 廉价发射系统：与发展小型卫星星座相适应，美军正着手发展支持小型载荷发射任务的廉价发射系统，形成小型、低成本的发射能力。如DARPA正在推进的空中发射辅助进入太空(ALASM)项目，将为进入太空提供新的方法。

3) 创新技术方案：太空增材制造(将支持在轨建设和维修)等新技术与模块化、开放系统系统的结合，将有助于实现低成本、灵活、可重构的空间系统。自主性空间系统和地面控制将引发空间作战的变革。

2.3 网电空间域

在网电空间领域,影响美国空军科技发展的主要战略趋势是使用量日趋增加的货架产品、恶意软件数量的指数增长、云计算的广泛应用以及网络信息系统的愈加复杂等。网电空间安全的主要威胁是系统和处理的脆弱性。不完全受控的供应链所提供、源自外国的货架产品和恶意软件将成为这种威胁的重要来源。云计算不仅带来计算与存储的便利性,而且也带来物理安全的风险性。面对复杂的网络空间安全态势,美国空军需要发展一系列变革性技术领域,如网电空间信任根、一体化网电空间作战、网电空间态势感知等。

1) 网络空间信任根:开发可信的硬件、软件、供应链、带外(OOB)指挥和控制和云服务,提高空军网络和系统的安全性、灵活性、弹性和可信性,以确保对抗环境的任务执行。

2) 一体化网电空间作战:开发进攻性网电能力,在战时想定中增加动能作战,以影响战略、战役和战术任务。开发持久或及动态介入能力,以在网电空间、信号情报、电子战/电子防护、空间和通信中遂行协同任务,在对抗和“反介入/区域拒止”(A2/AD)环境获得灵活的全谱情报、监视和侦察能力。

3) 网电空间态势感知:发展全面的网电态势感知能力,以在己方和针对敌方的任务中获得网电优势。

《网电空间愿景2025》将是美国空军网电技术发展的重要指导性文件,网电空间领域技术路线图见表4。

2.4 全球指挥控制和ISR

指挥控制和情报、监视与侦察是美国空军关键的军事能力,然而这一能力受到包括国家财政预算削减、敌方反介入和区域拒止能力、大规模杀伤性武器扩散、全球网络一体化、城市化等发展趋势的影响,并将严重危害美国空军在该领域的的能力。因此,美国空军必须发展在创新指挥控制和分析、战场空间网络、跨任务和域的一体化三个领域发展变革性技术,以应对挑战,确保美空军的技术优势。

1) 创新的指挥控制和

分析:确保信息传输速度超过交战速度是本领域的愿景。该部分技术包括数据分析、神经形态计算、认知建模、自主和协同预见。更好的传感器将获得更好的数据,进而实现更好的自动化和自主,最终目标是实现将关键信息更快地交付至用户手中。将数据分析、协同预见、操作者知识、神经形态计算、认知建模整合至灵活自主系统之内,将实现以当前指挥控制和ISR任务1/5的资源发现五倍的目标。开发全源情报融合与可视化技术,为指挥控制和ISR提供改进的分析和规划能力,建立与操作者合作的智能平台,增强和补充分析人员的能力,提高现有系统的弹性和适应性。

2) 战场空间网络:经济可承受、高速宽带空天地IP网络将可提供实时的情报、监视和侦察与指挥控制协同能力。利用现有的基础设施和高级数据链网管,实现高效的全球指挥控制和具有任务感知网的战术数据链,构建安全、自组建、弹性、灵活的IP网络。装备目前装备的敏捷、弹性和高性能的超视距指挥与控制(BLOS-C2)快速反应能力(QRC)和战术数据链网关,并将其作为构建联合空中分层网络(JALN)的基础。确保卫星和通信拒止环境中的指挥控制能力,通过多层保密网络实现一体化协同作战能力。

3) 跨任务和域的一体化:通过分析对于战场空间的理解将实现预见性的指挥控制,推动态势感知的监控、搜集、评

表4 网电空间技术路线图

Table 4 Cyberspace technology roadmap

领域	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
任务保证	通过所管理信息对象的任务感知(L); 基于网电操作的云(L)	任务感知网电指挥与控制(L); 可信的基于网电操作的云(L)	自主网电集体(L)
进攻网络	集成信号情报、电子战/电子防护和通信的进攻网电能力(L)	支持跨网电、信号情报、电子战/电子防护和通信的协同任务的持久介入ISR能力(L)	自主进攻网电作战(L)
信任根	量子加密(W); 硬件/软件信任根(F)	实施网电态势感知(L); 可信的嵌入式系统(L)	动态软件(F); 可信的自动化(F)

表5 指挥控制和ISR路线图

Table 5 C2 and ISR roadmap

领域	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
创新指挥与控制以及分析	面向高效决策的双向人机信息流(F)	面向实施分享学习/利用/决策的可调人机合作(F)	面向利用和分享决策的弹性、协作人机合作(L)
战场空间网络	野战超视距指挥控制(L); 多数据链网关(L)	网络使能武器(L); 任务感知网络(L); 联合空中分层网络(L); 通信信号建模(L)	自主&认知网络(L)
跨任务和域的一体化	面向第四代第五代战斗机的ISR企业(F); 一体化指挥控制和ISR的空、天、网规划(L)	资源的动态重新分配(F); 认识电子战(L); 自主任务组合和优化(L)	自动空天网传感器规划(F); 完全一体化的空天网动态规划和执行(L)

估、计划、任务分配和执行。实现武器系统与计划与指示、搜集、处理和利用、分析和结果生成、分发(PCPAD)的跨域全面一体化。重点包括：实现弹性空间能力的小卫星；全面利用持久红外数据作为情报源；实现第五代战斗机搜集、处理和分发“作为攻击目标的”ISR数据的能力。认知电子战和签名的进步将降低瞄准的情报需求，需要开发复杂电磁环境下快速试验和评估通信系统的能力。开发自动化决策辅助和自主信息系统弹性的指挥控制架构将确保全球力量跨域使用全部可用装备的分布式规划和同步。

该领域技术路线图见表5。

2.5 任务支援保障

当前美军采办方法强调的是系统或平台的垂直集成，而日益增加的系统复杂性大大延长了研发周期。为了实现快速装备、跨平台集成和模块化升级的目标，现有采办流程需要重新聚焦于采购与任务和系统架构相一致的部件，开发与之相适应的方法与流程，发展和应用新的研发工具与手段。美国空军在本领域所需实施的变革性行为与技术包括：

1) 数字化设计工具(数字线)：在近中期建立“建模公共资源”架构，集成不同领域的能力规划、材料性能、部件和系统设计、试验、制造和保障。集成的工具和流程将大大提高折中的可能、实现关键决策的风险量化、识别和管理技术成熟风险，减少后期发现系统性能缺陷的可能。数字线将在产品的能力规划与分析、初步设计、详细设计、制造、保障和训练的全寿命期提供可靠的支持。

2) 先进的原型设计方法：在国防部和空军范围，原型设计一直是采办前实现风险规避、概念确定、新技术优化和提供工艺水平的关键环节。通过建立由实验室、联合作战用户、学术界和工业界联合的原型设计中心，将能够实现快速发现，形成风险承受能力相关的文化，建立多约束优化的工作能力。通过实践开放创新和挑战大奖赛等新颖的工作模式，将可利用

全球研发资源，需求更为广泛的可能解决方案，获得更好的跨域解决方案，同时还有望降低成本。

3) 敏捷的劳动力雇佣模式：敏捷的劳动力资源是实现空军快速响应新兴技术挑战和机遇的关键。需要新的创新理念以吸引和激励全球顶尖人才，采用灵活的雇佣和管理模式，实行技术和管理双轨并行的模式来吸引和保留更多的人才。

任务支援保障路线图见表6。

2.6 使能技术

根据对未来机会、威胁和已识别的发展趋势的评估，为了应对未来各种不对称威胁，美国空军将在未来15年重点加强以下五个技术领域的投入。

1) 材料科学：材料科学为空军所有物理系统提供基础，在电子材料、光学材料、磁材料等方面将出现较大的进展，如纳米光子学与等离子体学的耦合将实现期间密度和处理速度的数量级增加，还有量子计算机和冷原子导航系统，这些由以材料学进步为基础。未来15年，材料学的趋势仍旧是支持进一步小型化和降低成本，满足设计复杂性的增加，其中，石墨烯、碳纳米管以及超材料的制备将是备受关注的领域。

2) 生物技术：生物技术将在未来取得重要的影响，其中新型生物电子设备、新型人机接口(包括通过植入技术实现人与机器的直接耦合)、神经计算和生物传感器。生物传感器将提供更好的坚固性、低功耗和更好的抗电磁脉冲能力。增强人体机能相关的生物技术将成为美空军科技发展的重点之一。

3) 自主和机器人系统和平台：自主技术和机器人系统已在整个国防系统得到了广泛的应用。空军在该领域的技术发展包括进一步实现相关系统的小型化、增加任务寿命时间，通过提高自主系统的信息采集、传输和处理能力，以实现更为鲁棒的编队和集群飞行和作战能力。自主系统的自学习和可信赖能力将不断提高，从而可以实现更少的人力监管。

4) 知识发现和决策工具：存储和处理信息，并对信息进行

知识发现，作出正确的决策时空军作战的核心。空军在很多作战想定中需要实现对大量数据的实时处理。因此，该技术领域需要通过推动基础研究，发展新的算法和计算机硬件，以允许从数据中提取知识，从而满足多样化和大规模的信息处理要求。未来，“大数据”的挑战将极为常见。

表6 任务支援保障路线图
Table 6 Mission support roadmap

领域	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
数字化设计工具	优化的数字化设计工具(L)； 密切工业界(L)	系统之系统折中(L)； 开放架构/建立信任(F)； 数字线拓展至练习、概念、训练 环境(L)	紧密的一体化数字线和 原型设计流程实现敏捷 开发和现场快速可扩展 能力(L)
原型设计	原型设计项目演示验证(L)； 开放挑战(F)	末端至末端的原型设计中心/联 合用户和工业界试验(L)	
敏捷劳动力	拓展弹性雇佣&管理实践 ——试验室演示验证(F)	通过原型设计开发劳动力技能 (F)	

表7 使能技术路线图
Table 7 Enabling technology roadmap

领域	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
材料科学	可用于军用的灵活电子产品(F); 基于超材料的天线、探测器和涂料(F)	分子工程材料和设备(F); 基于超材料的光学探测器和滤镜(F); 大型飞机冷原子导航(L)	基于芯片的冷原子导航(L); 可调的超材料设备(F); 基于等离子体的高速/低功率光子(F)
生物技术	生物传感器(F); 人机接口;生物/非生物接口控制(F); 合成生物学和遗传控制(F)	生物电子设备(F); 人类感知计算机增强技术(F); 大规模神经计算机(W)	面向自适应设备、材料、燃料和电子设备的合成生物(F); 人类认知计算机增强技术(F); 通用神经计算机(W)
自主和机器人系统和平台	人在回路中的飞行器(F);信息可视化理解工具(F)	可信、鲁棒的人机团队(F); 对抗环境下的总体性能(F)	对抗环境下最少人工监督的总体性能(F)
知识发现和决策工具	众包(W); 大奖赛竞争(W); 数据收集/传递算法(F); 知识发现工具(F)	集成规划(L); 百亿亿字节数据集中的数据发现(F)	对抗条件下的实时从数据到决策工具(L)
社会预测和效果干预	可操作的外来文化洞察和工具(L); 面向自动化信任的可操作洞察(F); 认知影响建模(F)	武器对行为效应的可操作预测(F); 空军效应的干预工具套件(L); 可信的国外使用自主系统(F)	集成至任务规划的干预工具(L); 用于干预的网络工具(L); 可信的国内使用自主系统(F)

5) 社会预测和效果干预:针对社会行为的预测和分析是空军实施作战的重要挑战,典型如针对特定场景的武器使用影响预测。现有预测工具具有一定效果,但仍受制于相关数据的数据量和对人类行为认知的不足,短期内主要发展数据收集技术和认知技术,通过建模和试验为作战人员提供支持任务规划的工具。

使能技术领域具体发展的关键技术见表7。

2.7 制造和材料

制造的全球化正导致美国制造业从业人数不断减少,对美国国防部和美国空军所需的国防工业基础产生严重的削弱作用,并严重影响美国空军及时应用可靠先进技术应对新型威胁的能力。当前,敏捷制造与分布式制造的全球化趋势将加剧这一挑战,如何确保美国空军的制造技术优势将变得至关重要。鉴于此,美国空军需要发展变革性技术以实现更加快捷的研发和部署,包括先进制造、革新的资质和认证范式、数字线和数字线组,为了实现这些变革性技术,所需发展的使能技术具体有:

1) 先进材料:空军在先进材料领域更多的是相应政府的材料基因组倡议,并充分利用材料基因组计划的相关成果,将一体化计算材料工程的相关成果与工具应用于航空材料的研发中。

2) 先进制造和设计工具:数字线涵盖了空军装备从材料的发现和开发、部件设计、到生产线的末端。先进材料开发的建模与仿真工具将与现有制造流程的数字化建模仿真工具建立接口,通过对材料特性和各种不同制造工艺的深刻认识,最终实现部件制造的最优工艺选择。

3) 人体性能监控和增强(HPMA):了解特定工作负荷条件下操作者的能力和认知水平,是提供高性能产品的关键,这意味着需要实时监控操作者的情况。因而可穿戴、非侵入式监控和报告装置(智能绷带)的相关传感器材料和制造技术将十分重要。

4) 数据采集和管理:建模与仿真工具不仅仅用于验证和评价。不确定性的量化是实现充分利用数字线能力的关键因素。采集和管理数据十分重要。来自“数字线”每一步的数据,以及来自作战部队维修和性能的数据,构成了所谓的“数字双线”(概念),从实现对材料、部件,乃至子系统和系统级的预测。

制造和材料路线图见表8。

2.8 后勤和运输

后勤所消耗的能源占美国空军总能耗的大部分,不仅对美国空军的军事行动成败至关重要,同时影响整个美国空军的寿命周期费用,美国空军的愿景是定义一个新的成熟、考虑全额成本的后勤和战斗支持体系,通过利用若干领域(如安全和可信的网络、自动化、增材制造、工业界最佳实践和直接投送等)的技术进步,实现后勤整体费用的降低。因此,重点关注的变革性技术领域包括:

1) 自主化:通过增加自主或遥控系统的使用,驻地后勤和运输的效率将得到提升。通过部署该类系统,可以有效减少前沿部署的人员数量。物资的处理和装卸(武器和货物)、服务、维修、应急响应、安保以及基地监视等工作都将可以通过自主/遥控操作来实现。

2) 现场生产和制造能力:利用增材制造等先进工程制造技术,现场制造能在有效质量控制下提供急需的零部件。

通过使用包括可重复使用原材料在内的当地资源,能在节省费用的同时提高灵活性。

3) 高效后勤:用于发电的能源和设备的运输通常占据了大量的运输能力,所以提高能源传输效率具有重要意义。先进的处理和运算能力可进行最佳的路线选择,安排最佳的行程计划,并对线路进行跟踪。同时,引入成熟的商业运营模式也将能够提升运输过程中的透明度和用户满意度。

4) 针对偏远、恶劣区域的直接投送:减少中间环节进行直接投送,可大幅减少相应的后勤需求。精确空投技术、无人机技术、自主技术和机器人技术能实现及时向目标地域提供所需材料,同时减少人员需求和仓储成本。

各技术主题关键技术发展重点见表9。

2.9 能源

能源对于美国空军执行各种任务都至关重要,是确保完成天空、太空和网空任务的重要前提,针对当前和未来一段时期能源可用性和经济可承受性的严峻挑战,美国空军将继续执行《能源地平线》所提出的各项建议和技术关注重点,按照“减少需求、增加供给、提高弹性”的主题思想,围绕先进推进、能源存储密度、能源弹性和高效定向能四个技术主题开展相关研究,见表10。

表8 制造和材料路线图

Table 8 Manufacturing and materials roadmap

技术	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
快速开发的先进材料	建模与仿真工具(L,F);弹性电子设备(L)	建模与仿真辅助设计(L,F);混合结构(F)	建模与仿真辅助资格(L);含能材料(L);超材料(L)
先进制造和设计工具	建模与仿真工具(L,F);减少零部件变化性,减少资格认证测试(L,F)	建模与仿真辅助设计(L,F);开放架构可重构系统(L)	建模与仿真辅助资格(L);快速反应系统的小批生产(L)
先进传感器	多光谱(L)	低功率计算机芯片(W)	即插即用模块化(L)
数据捕获和管理	连续过程改进(L)	数字线(L)	预测(L)
材料状态感知	先进无损检测(L,F)	预测工具(L)	数字线组(L)
人体性能监控和增加	生物传感器标记(L);穿戴式试验装置(L,F)	性能治疗(W)	远程激活疗法(W)

表9 后勤和运输技术路线图

Table 9 Logistical and transportation technology

主题	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
自动化	机器人仓储(F);集成到航空港和航线服务的自动化(L)	机器人航运/处理(F);综合自动化航运(F);自动化的传感器和基地保护(L)	可选有人的空运和加油(F)
现场生产和制造	增材制造(W);3D打印(W);多材料回收(F)	增材制造技术生产的零件的认证(F)	用于部署地点的现场制造(L)
后勤效率	对下一代空中交通管制的兼容性(F);后勤态势感知(F)	高能源效率飞机和推进(L);利用认知实现的后勤告警、感知和优化(L)	自我意识、自主的后勤管理(F)
偏远、恶劣基地的精确投送	精确空投(L)	高效高功率升降(L);用于基地防御的陆基激光(L)	自动地面投送系统(F);空投(F);货运无人机(F)

表10 能源路线图

Table 10 Energy roadmap

主题	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
减少需求/提高效率	推进:ADVENT(L);气动:融合翼(F)、升力体、层流优化;热管理循环(F);建模仿真:系统之系统(L)	推进:HEETE(L);无人机用能源采集(L);能源采集:热电/热释电开发(F);网络能源效率(F)	推进:自适应HEETE(L);混合系统/分布式推进(F);N+1代效率飞机布局(F)
增加供给/存储	替代燃料(F);可适应存储/新兴电池技术(F)	倒置变质空间光伏阵列存储:纳米材料(L)	超导磁存储(W)
能源弹性	微节点(F);替代燃料(F)	替代燃料(F)	紧凑型自给式反应堆(W)
定向能(DE)		定向能能量束(L);替代动能武器的定向能武器(L)	定向能能量束(L);替代动能武器的定向能武器(L)

1) 先进推进:飞行燃料消耗已占空军能源消耗总量的86%,提高新型飞机系统的推进及空气动力学效率,将有效减少能源消耗。近期/中期的研究重点分别是自适应通用发动机技术和高效嵌入式涡轮发动机,远期则应关注提高飞机空气动力学效率的解决技术,如层流优化、混合机翼布局以及升力体结构等。

2) 能源存储密度:能源存储密度的大幅提升能够改变现有航空航天能源配置方式。超级电容器具备快速充电/放电能力,然而目前仍然存在能量密度低、成本高和自身放电等问题。对中期发展,则需关注提高电池、固体氧化物燃料电池、光伏电池、高温半导体和相变材料的效率。就远期目标而言,新的高温超导材料将缩短充电/放电之间的延时,并提供几乎实时的可用功率、短期内非常高的输出功率和高能量密度。

3) 能源弹性:空军必须有能力不间断地监测和评估能源,并具备在各种替代能源之间进行快速切换的灵活性,这需要对智能电网进行安全、智能的监测和控制。近期通过开展先进的能量管理与分配计划来解决基础设施的脆弱性问题,如针对微电网的研究,远期应当密切关注以小型自持核反应堆为基地能源供应的选择。美国空军还将继续可替代燃料方面的努力,以确保其全球机动能力。

4) 高效定向能:定向能技术不但功效高,而且能够带来革命性的能力。定向能技术或许能使诸如基于空间的、目前尚不具可行性的能量获得广泛应用。鉴于定向能武器能量消耗较少,未来将可替换动能反导武器,能有效减少后勤保障负担并加快现有反导导弹系统的更替。

2.9 通信、信息技术和金融服务

近乎实时的全方位信息技术和通信手段已经成为军民领域形成竞争优势的关键,美国空军认为掌握这一领域的技术至关重要。特别考虑到未来美国空军面临的敌人往往具有人口优势,因此必须加强自主智能计算相关领域技术研究,以维持长期的技术优势。海量信息的处理和分析能力,将有望显著提高美国空军多方面的作战能力。而实时的数据分析方法通

常受制于包括处理能力、通信能力、计算机智能等多方面因素的影响,因此美国空军必须发展革命性的技术,以期在通信、信息技术和金融领域取得更大的优势。革命性的技术包括:

1) 符号推理模型和神经计算:大规模符号推理模型及神经形态学计算结构是实现经济、灵活、认知和可信的系统的核心技术,预计可降低计算成本约100倍,神经计算数据分析性能将可提升100倍,从而是提取和处理大规模数据成为可能。

2) 三维芯片堆叠:三维芯片堆叠是将多颗芯片进行三维空间垂直整合,以解决半导体制程受到电子及材料的物理极限的限制,使摩尔定律得以延续。未来15年中,该技术将使运算密度及能量利用效率提高百倍以上,使嵌入式系统的运算速度达到千万亿次水平。未来15~25年,低成本、低功耗的纳米电子器件和纳米材料领域的进步,将使计算系统的小型化、计算性能和能量利用效率再提升100倍。

3) 频谱共享技术:通过允许部分用户在不影响主用户的前提下动态共享部分频谱,从而实现对频谱资源的再利用,从而有效解决频谱资源稀缺的问题。目前,高宽带组件及设备领域的新兴技术使通信频谱进一步拓展,这将促进未来同步多任务、多模式频谱共享技术的发展。

通信、信息技术和金融服务路线图见表11。

2.10 医药和保健

医疗和保健关乎美国空军作战人员的生命安全,也是美国空军费用支出不断增长的部分。这些因素凸显了推进医疗和保健模式变革对于美国空军的重要意义。来自生物武器和“生物黑客”的潜在威胁,也使发展医疗和保健领域的革命性技术更具价值。美国空军可利用移动技术、传感技术和数

表11 通信、信息技术和金融服务路线图

Table 11 Communications, IT and financial services roadmap

领域	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
通信	自适应波形推理(L); 近场通信(W)	联合通信、电子战、信号情报和网络(L)	量子通信(F); RFID物联网传感器 网状网络(W)
硬件	多层三维一体化的CPU-存储系统(W); 用于指挥与控制的量子计算机(F)	多层三维集成嵌入式HPC(L); 纳米部件(F)	石墨烯电路(W)
IT 软件	增强现实(L); 用于软件重用的开放标准(L)	大型系统软件开发和验证与评价(F)	大量服役的机器人 (W)
计算机智能	人性能增强/计算机智能(L); 深度学习和自然语言问答(F)	人在回路中的自主指挥控制和决策(L); 用于数据分析的拓展的机器学习(F)	人友好、可信赖的自主系统(F); 接近人等级的通用智能(F)
金融	基于行为的情报预测分析(F,W)	万亿级的内存数据库管理(F)	实时智能分析(F)

表12 医疗和保健技术路线图
Table 12 Pharmaceutical and health care roadmap

领域	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
移动健康/量化自我	用于智能装置的医学和性能应用(“干”数据:心跳、血压、呼吸、体温等)(F);无线生物传感器(F)	“干”“湿”数据一体化的改进应用和传感器(生物医学/挥发性有机化合物)(F);自适应和个性化性能训练养生法(L)	自适应系统(自动适应人的体格和认识能力)(L)
纳米医学	基于纳米粒子的诊断(W)	治疗学(核酸运载工具)(W)	遥控激活和外部控制的吞服式纳米粒子(W)
组学	多样性的生物标志物和指示(碱基对改变相关/连接到特定的代谢缺陷的某些蛋白质组表达)(W)	增加针对特定任务环境增多的生物标志物零件方面的相互依赖的知识(F);药物基因组学;由于基因构成的药物反应(W)	任务选择——满足环境的操作者(实验胚胎学)(F)
大“我”数据	电子健康记录(F);数字化身份识别牌;随身医疗病史(F)	全天时携带的智能信息:医疗史、训练史、组学数据和间接寻址的内部数据存储库(idata)的相互关系(F)	利用实时、动态数据分析实现长时间范围的预测能力提高(F)
个性化健康&性能	战地医护点能力提升:内部出血的诊断与控制(F)、分流器/主动脉球囊闭塞(L),定制的肢体恢复(F);个性化的健身及性能;不同的生物传感器/应用,个体性能跟踪(W)	全位置护理:远程医疗遥控护理/诊断(F)、机器人手术(F),3D生物印刷(W),高海拔地区氧气闭环控制器(L);个体化的控制面板:个体的全身心性能跟踪和聚集生物感知;(F)	健康的连续量化:为了预防的虚拟行为辅导(F);远程量化伤病鉴别分类(L);指挥官的任务控制面板:基于集体对任务环境和系统的作战健康适应性的远程跟踪和自适应(L)

表13 教育和训练路线图
Table 13 Education and training roadmap

主题	近期(FY13-17)	中期(FY18-22)	远期(FY23-27)
身临其境的环境/可视化	“阿凡达”(W);多用户游戏(F);社交网络(F)	3D世界(F);大规模开放在线课程(MOOCs)(F)	“全息甲板”(F)
专家系统/人工智能	合成队友(L);“桌面”训练器(F)	智能辅导(F)	混合主导对话(F)
网络/带宽	5G(F)	6G(F)	7G(F)
移动	智能装置(W)	可穿戴装置(F)	控制论(Cybernetics)(F)

据技术的进步,为了实现作战人员医疗和保健水平的革命性提升,发展下列变革性技术。

1) 个性化医疗:个性化医疗通过纳米技术、各种“体”技术、移动技术及检测技术优化每个军人的健康和医疗状况,实现对个体的实时诊断、护理、预防和治疗。移动技术的突破在构建个性化保健和医疗体系以及持续性反馈系统方面将发挥重要作用。

2) 组学:组学(Omics)主要包括基因组学、蛋白组学、代谢组学、转录组学、脂类组学、免疫组学、糖组学、和 RNA 组学等。组学从整体的角度出发去研究人类组织细胞结构,基因,蛋白及其分子间相互的作用,通过整体分析反映人体组织器官功能和代谢的状态,为探索人类疾病的发病机制提供

新的思路。

医疗和保健技术路线图见表12。

2.11 教育和训练

美国空军的训练需求日趋复杂,作战人员的技能要求也越来越高。与此同时,信息技术的发展使教育与训练的虚拟化成为可能。逼真、自适应、互动式基于实战场景的教育与训练能够根据训练者的个人需求将通过实战获得的经验教训有机地结合起来。在教育和训练领域,美国空军将重点发展包括基于网络的自适应智能化系统、移动网络、“桌面”训练器、可穿戴式装置、可视化技术、虚拟空间等技术,见表13。

3 结束语

近年来,美国空军在科技发展方面制定了多份发展规划,然而受新型全球性挑战以及更深层次全球财政不确定性等方面的影响,美国空军不得不对其科技发展重点进行调整。从美国空军新的

的科技发展规划的内容安排看,美国空军科技发展重点已经聚焦于与作战概念创新相关的革命性和相关工业技术上,典型如高超声速及定向能武器、可信弹性网电空间、可靠的“定位、导航与定时”、生物计算、先进材料与制造等;并将采取灵活创新的采办策略(如众包、样机策略等)和高效费比的运行机制(如数字线等),实现充分利用科学技术及能力发展的最新成果。

‘AST

参考文献

[1] United States Air Force Chief Scientist (AF/ST) Report. Global Horizons: United States Air Force Global Science and Technology Vision. Final Report[R]. AF/ST TR 13-01, 2013.

- [2] United States Air Force Chief Scientist (AF/ST) Report. Global Horizons: United States Air Force Global Science and Technology Vision. Appendix[R]. AF/ST TR 13-01, 2013.
- [3] President of the United States. National Security Strategy[R], 2010.
- [4] Sustaining U.S. Global Leadership: Priorities for 21st Century Defense[R]. 2012.
- [5] United States Air Force Chief Scientist (AF/ST) Report. Technology Horizons: A Vision for Air Force Science & Technology 2010-2030(Volume 1)[R]. AF/ST-TR-10-01-PR, 2010.
- [6] United States Air Force Chief Scientist (AF/ST) Report. Cyber Vision 2025: United States Air Force Cyberspace S&T Vision 2012-2025[R]. AF/ST-TR-12-01, 2012.
- [7] United States Air Force Chief Scientist (AF/ST) Report. Energy Horizons: United States Air Force Energy S&T Vision 2011-2026[R]. AF/ST-TR-11-01-PR, 2011.

作者简介

许赞(1972-) 男,博士,高级工程师。主要研究方向:航空科技咨询、技术预见和科技规划研究。

Tel: 010-57827742

E-mail: yunxu.china@gmail.com

USAF's Emphasis of Science and Technology for Next Fifteen Years

XU Yun*

Aviation Industry Development Research Center of China, Beijing 100029, China

Abstract: Impacted by defense budget cuts and adjustment of military strategy, the U.S. Air Force (USAF) also will adjust development priorities of its science and technology. According to the latest report about science and technology planning released by the Air Force Chief Scientist's Office, this paper focused on ten key areas of technology, such as airspace and tamrac, and deeply analysed USAF's technological development motivation and emphasis in the next fifteen years, and depicted the roadmap of USAF's future technology development.

Key Words: USAF; technology plan; key technology; technology roadmap

Received: 2013-08-30; Revised: 2013-08-30; Accepted: 2013-10-26

*Corresponding author. Tel.: 010-57827742 E-mail: yunxu.china@gmail.com