

# 空中加油技术的“前世今生”

## ——美俄欧空中加油机发展及技术对比分析

■吴元兴

空中加油机自诞生以来，在现代空战中的地位与作用越来越重要。在空中加油机的有力支援下，作战飞机的航程与作战半径增大，临空打击和防御外打击能力增强，对空军的战略布局和战术执行产生重要影响。本文详细介绍美国、俄罗斯和欧洲一些国家空中加油机的发展历程和主要型号，对其加油方式和性能特点进行分析，从中理清空中加油机的技术发展趋势。

### 美俄欧空中加油机发展脉络

美国的空中加油机发展起步较早，第二次世界大战结束后，随着美国空军全球战略的推进，其对远程作战能力的需求促使空中加油技术迅速发展。1948年，美国空军开始使用KB-29M空中加油机。这是在B-29轰炸机基础上改装而来的初代加油机，标志着美国空中加油力量初步形成。20世纪50年代，美国空军开始大规模装备第一代空中加油机KC-97系列，初步构建空中加油体系，推动其作战范围向全球延伸。进入20世纪60年代，喷气式战斗机和战略轰炸机性能的提升，对空中加油机提出更高要求。美国空军开始研制KC-135空中加油机，这也是目前美国空军空中加油力量的核心装备之一。KC-135凭借较快的飞行速度、较大的载油量和较高的可靠性，在冷战期间美国空军的战略威慑、全球快速部署任务中发挥了重要作用。20世纪90年代后，随着美军作战理念发生转变，KC-46A大型空中加油机诞生。KC-46A是一款具备信息化作战能力、可同时对多种作战飞机加油的新型空中加油机。

俄罗斯的空中加油技术源于苏联时期的发展。冷战期间，为有效抗衡美国空军，苏联大力发展空中加油技术，并于20世纪60年代推出由米亚-4“野牛”轰炸机改装的空中加油机。这是苏联空军早期空中加油力量的重要组成部分，为苏联战略轰炸机远程作战提供了一定保障。20世纪70年代，苏联空军开始装备伊尔-78空中加油机，进一步提升远程作战能力。该机在冷战对抗前沿和阿富汗战争中均投入了使用。苏联解体后，俄罗斯继承伊尔-78等空中加油机，并在其基础上继续改进空中加油技术，以



图①：欧洲A330MRTT型空中加油机。  
图②：俄罗斯伊尔-78空中加油机。  
图③：美国KC-46A大型空中加油机。

满足新的军事战略需求。

欧洲的空中加油机发展起步较晚。冷战期间，欧洲空军依赖美军进行空中加油或直接向美国购买空中加油机。20世纪80年代，英国在L-1011“三星”客机基础上改装出第一款空中加油机——VC-10K加油机，这是欧洲发展空中加油机的初步尝试。此后，法、德等国开始联合探索空中加油技术，欧洲空中加油机发展步入正轨。随着欧洲航空工业发展和欧洲一体化进程加快，欧洲各国着手联合研制空中加油机，催生出A330MRTT型空中加油机，这是欧洲空中加油机项目发展的重要成果。

### 美俄欧主要空中加油机

KC-97是美国空军早期的空中加油机，载油量17吨。其加油方式为硬管加油（又称桁式加油），即通过伸出的加油桁杆与受油机的受油口对接进行燃油传输。这种加油方式在当时较为先进，但随着受油机性能提升，加油速度慢、对接要求高等局限性逐渐显现。

KC-10是在客机基础上改装而来的大型空中加油机，最大载油量161吨，不仅载油量较大，还能运送货物和人员，是世界上第一款多功能空中加油平台。海湾战争期间，KC-10与KC-135两款加油机协同行动，为美军大规模空中作战行动提供燃油保障。KC-10可以为C-5运输机、B-1B轰炸机等大型飞机提供

空中加油支持，也可以为护航战斗机加油，提升空中作战的灵活性与持续性。

KC-135采用喷气式发动机，载油量90吨左右。其加油方式有硬管和软管两种，可根据受油机需求进行切换，对于大型战略轰炸机，多采用硬管加油，提高加油效率；对于战斗机等小型飞机，多使用软管加油。KC-135机动性强、航程远，可在全球范围内为美军作战飞机提供空中加油保障，在越南战争、海湾战争和阿富汗战争中，都能看到KC-135的影子。如今，该机作为美军空中加油体系核心力量，能够确保美军飞机长途奔袭执行作战任务。

KC-46A是美国空军最新一代空中加油机，载油量超过96吨，采用先进的数字化座舱和加油控制系统，加油操作便捷高效。加油设备包括硬管加油杆和软管加油系统，能够同时对多架飞机进行加油作业。另外，KC-46A还配备电子对抗系统等自卫武器，可以应对复杂的作战环境。未来，该机将逐步取代KC-135，成为美国空军空中加油机的主力机型，逐步在美军全球战略部署、快速反应和联合作战中发挥作用。该机能够快速部署到前沿基地，为美军作战飞机提供及时的空中加油保障，还能与美国海军的舰载机部队协同，提升美军海空一体化作战能力。

米亚-4原本是苏联时期的一型战略轰炸机，后改装为空中加油机。该机载油量80吨左右，采用硬管加油，虽然能够满足部分战略轰炸机的加油需求，

但由于飞行速度慢，为战斗机加油存在困难，同时装备数量较少，因此在苏联空中加油体系中发挥的作用有限。

俄罗斯伊尔-78基于伊尔-76运输机研制，继承了后者良好的野战起降能力和较远的航程。该型机的载油量达到92吨，机翼两侧和机尾各有一套加油装置，可同时为三架飞机进行加油，提高了加油效率。伊尔-78的航程较远，能够为图-95轰炸机提供空中加油支持，延长后者的巡逻时间和巡逻范围，进一步增强俄罗斯在北极地区及周边海域的战略威慑力。

A330MRTT型空中加油机由欧洲空中客车公司研制，机长58.8米，翼展60.3米，最大载油量111吨。该机采用软管加油，可同时对两架战斗机进行加油，并具备空中受油能力。机舱内有较大的运输空间，可兼顾人员和货物运输工作。A330MRTT型空中加油机主要负责为北约作战飞机提供空中加油支持，曾在阿富汗战争中为参战的北约各国战斗机和运输机提供空中加油，保障其作战行动。在海外军事干预行动及本土防空作战演练中，该机也承担相应的空中加油任务，提高空军的作战效能和灵活性。

### 美俄欧空中加油机技术对比

美俄欧空中加油机在加油方式上各不相同。美国空军的空中加油机主要采

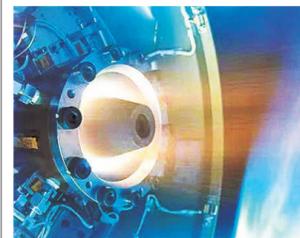
用硬管加油，兼有软管加油。俄罗斯的空中加油机主要采用软管加油。欧洲A330MRTT型空中加油机以软管加油为主，同时机上配有硬管加油设备。

从技术上看，硬管加油速度快，但对对接技术难度大。软管加油的对接技术难度小，适配性好，可为更多类型飞机加油，但输油速度慢。从加油方式看，美国空军使用的组合式加油在为大型飞机加油时具有明显优势。而俄罗斯空中加油机使用的软管加油技术，更能满足中小型战斗机的受油需求。欧洲软硬结合的加油技术，可兼顾不同类型飞机的加油需求。

就不同空中加油机性能而言，美国KC-135的可靠性较高，但服役年限太久，机体老化明显。KC-46A技术领先，采用先进航电技术、数字化控制系统等，具有多机加油和信息化作战能力，但售价较高。俄罗斯伊尔-78的载油量较大，且能适应各种复杂恶劣环境，但加油技术已经落后，加油效率和信息化程度较低。欧洲A330MRTT型空中加油机的经济性较好，客货两用设计和先进的加油系统，能够很好地满足欧洲各国的使用需求，缺点是对民用技术依赖度高。

在全球冲突不断、局势动荡的背景下，美、俄和欧洲国家都不断改进和完善空中加油技术，以适应未来复杂多变的空中作战保障需求。未来这些空中加油机将继续扮演重要角色，提升本国空军的战略作战能力及影响力。

### 世界首台液体燃料爆震发动机测试成功

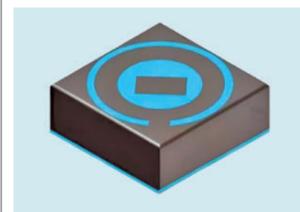


液体燃料爆震发动机(示意图)。

据日本媒体报道，11月14日，日本宇宙航空研究开发机构从鹿儿岛县内之浦宇宙空间观测所发射一枚探空火箭，用于测试世界首台液体燃料爆震发动机(DES2)。该火箭于当天上午11时30分发射，飞行至217千米高度后落入海中。此次试验验证了旋转爆震发动机系统在太空环境下的性能。

爆震发动机利用超音速冲击波引发燃料快速反应，具有燃料效率高、结构简单等优点，有望使火箭发动机实现小型化和轻量化。这次试验是继2021年气体燃料爆震发动机测试成功后的又一突破性进展。研究人员表示，此次测试成功标志着爆震发动机技术朝着实用化迈进一步，为推动深空探测和高效火箭推进技术发展奠定基础。

### 新型超材料可提升6G通信质量



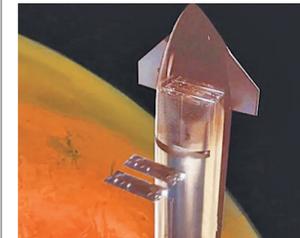
新型超材料(示意图)。

据外媒报道，英国格拉斯哥大学开发出一种新型超材料，可改变电磁波的极化方式，能改善卫星的数据传输和遥感质量。

据介绍，这种厚度仅有0.64毫米的超材料，由几何图案的铜单元构成，可利用自身特性在卫星常用频段内将线极化的电磁波转换为圆极化波。圆极化波比传统的线极化波更具稳定性，能够阻挡信号衰减，抵抗大气干扰，提高卫星与地面站之间的通信质量。另外，圆极化波还能够增加卫星通道容量，推动地面天线简化设计，提升卫星信号跟踪能力。

报道称，这种超材料的使用，将推动航天通信技术的发展，成为未来6G通信卫星上的重要材料。在军事侦察、导弹预警和网络监测等方面，这种超材料同样具有潜在应用价值，包括增强军事通信与监控网络的覆盖范围和灵活性等。

### 美科技公司提出“火星连线”通信计划



“火星连线”项目发射卫星(示意图)。

据外媒报道，美太空探索技术公司负责人近日在火星探索计划分析小组会议上，向美国国家航空航天局提出“火星连线”项目，计划在火星与地球之间提供可靠的高速数据传输服务。

报道称，“火星连线”项目设想在火星轨道上部署一个类似“星链”的卫星星座，配有先进的激光通信技术。它将与在地球轨道运行的“星链”卫星之间进行通信连接，实现双方的高速通信。考虑到火星与地球之间距离遥远，该通信网络的数据传输速度达每秒4兆比特(Mbps)。报道称，这一方案迎合了美国国家航空航天局“寻求使用商业方案支持火星探索的目标”。

(高京京、曹亚铂)



## 坦克“下蹲”

■西南

从侧面望过去，图中的韩国K-1主战坦克(左)和K-2主战坦克(右)的车身犹如下蹲一般，前低后高，炮管几乎触碰到地面。车上乘员依旧有条不紊地进行训练，可见这种情况并不是发生故障。实际上，这两辆主战坦克的怪异姿势是其悬挂系统的“杰作”。

不同于主动防御系统等坦克的“外挂件”，悬挂系统置身车体内部，其作用相当重要。打个比方，没有悬挂系统的坦克就像一块硬邦邦的“铁疙瘩”，只有在悬挂系统的支撑下，这块“铁疙瘩”才能成为在战场上驰骋的“装甲堡垒”。那么，悬挂系统究竟是什么？

悬挂系统是连接坦克车体与负重轮之间的传动装置，用于将车体重量分布在各个负重轮上，缓冲地面对车体碰撞产生的冲击力等，保证坦克在高速间平稳行驶。早期的坦克采用刚性连接，即负重轮直接固定在车体上，没有悬挂系统。其乘坐体验可能就一个字：颠！随后许多简单的悬挂系统陆续出现，虽然样式五花八门，但在原理上都是使用弹簧作为缓冲器，协助坦克实现高速行驶。

坦克悬挂系统主要有克里斯蒂悬挂、平衡式悬挂、扭杆式悬挂和液气式悬挂等。克里斯蒂悬挂是第一种使坦克实

现高速行驶的悬挂系统，结构简单、可靠性高，T-34等多型苏联坦克曾使用。平衡式悬挂又称连锁式悬挂，在第二次世界大战前较为流行，这种非独立悬挂的减震性能好，但缓冲能力有限。扭杆式悬挂被公认为目前最成功的悬挂系统，二战以来的许多坦克都使用这种悬挂系统。

液气式悬挂出现时间最晚，技术也最先进。这种具备主动调节能力的悬挂系统，缓冲能力更强，使坦克在高速行驶中平稳性更好，这对于坦克的行进间射击非常有利，德系坦克的“炮口酒杯”绝活也得益于此。另外，液气悬挂的主动调节功能使得坦克可以主动调节车身后、左右的倾斜度，从而具备更大的射击角度。韩国K-1/2主战坦克、日本90式主战坦克均采用这一技术，这几型坦克常常能做出“前俯后仰”式的“下蹲”或“晚倒”等动作。

液气悬挂系统虽然被认为是最好的悬挂系统，但其结构复杂，实际麻烦不少。因此，许多坦克同时采用液气式悬挂和扭杆式悬挂，这种混合式悬挂大大提高了坦克的可靠性。