

# 固定翼飞机空中受油方式研究

彭珂<sup>1,2</sup>, 喻振华<sup>1,2</sup>, 谢超<sup>1,2</sup>

(1. 中航工业金城南京机电液压工程研究中心, 南京 211106;  
2. 航空机电系统综合航空科技重点实验室, 南京 211106)

**[摘要]** 对固定翼飞机空中受油方式进行了全面的分类与总结,介绍了不同受油方式的基本原理,并进行了深入分析与比较。最后针对国内固定翼飞机的发展趋势,对其空中受油方式的发展方向给出了建议。

**关键词:** 固定翼飞机; 空中受油方式; 空中加油方式

## Research on Aerial Fuel Receiving Method for Fixed Wing Aircraft

PENG Ke<sup>1,2</sup>, YU Zhenhua<sup>1,2</sup>, XIE Chao<sup>1,2</sup>

(1. Nanjing Engineering Institute of Aircraft Systems, Jincheng, AVIC, Nanjing 211106, China;  
2. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Aero Electromechanical System Integration, Nanjing 211106, China)

**[ABSTRACT]** This article describes a comprehensive classification and summary of in-flight fuel receiving method for fixed wing aircraft, including principle introduction of different methods, and in-depth analysis and comparison. Finally, aiming at the the tendency of domestic fixed wing aircraft, we bring out proposal for the development of in-flight fuel receiving method.

**Keywords:** Fixed wing aircraft; Aerial fuel receiving method; Aerial refueling method

**DOI:**10.16080/j.issn1671-833x.2016.03.097

空中加油技术对提高飞机作战效能具有十分重要的意义,通过空中加油可以加大飞机航程和作战半径,增加飞机载弹量,延长飞机留空时间,提高飞机利用率,减少飞机出动数量。虽然发展只有几十年的时间,但多次高技术条件下的现代局部战争的实践表明:空中加油技术在现代战争中得到越来越广泛应用,并起到了至关重要的作用。为此美国军方专门规定:所有新机都应具备空中加油的能力或具有供空中加油使用的空间和结构措施,我国 GJB 1003A-2006《飞机燃油系统通用规范》中也作了同样的规定。而多年的理论分析和实践经验也证明,空中加油能力是直接决定加油设备研制复杂度和影响空中加油系统使用效能(空中加油时间或加油效率)的一个重要指标,但真正决定空中加油系统使用效能的往往是受油机的受油能力<sup>[1]</sup>。

随着空中加油技术的不断发展,空中加油专业也不断细化,逐步划分为以加油机为主的空中加油技术和以受油机为主的空中受油技术。空中受油技术是指将安装在飞机上的受油设备与加油机加油设备(锥套或硬管)对接,在加油机与受油机之间提供燃油通道的技术,其重点是受油方式的选择和受油设备的研制。国内外

对空中受油技术已做了大量研究工作,但缺乏全面的总结、分析与比较,限制了相关研究工作的进行。本文对固定翼飞机空中受油方式进行全面分类与总结,介绍不同方式的基本原理,并进行深入分析与比较。最后针对国内固定翼飞机的发展趋势,对其空中受油方式的发展方向给出建议。

## 1 基本分类

空中加油和空中受油相伴而生,要研究空中受油,必须与空中加油紧密结合。目前,空中加油方式有软管-锥套式(Hose-and-Drogue,俗称软式)和伸缩套管式(Boom,俗称硬式)两种。

一般而言,软管-锥套式加油方式是指以加油吊舱或加油平台作为平台,通过加油吊舱或加油平台放出加油软管,软管末端安装一个锥套(主要包括加油接头和稳定伞),用以在飞行中稳定软管并为受油机插入受油插头提供一个漏斗形对接辅助装置,受油机飞行员操纵飞机使受油插头与锥套对接,顶开锥套内的活门实现加油的加油方式。

软管-锥套式加油方式优点表现在:可在大型加油

机上多点安装,具备多点加油能力(可同时为 2~3 架小飞机加油);受油机控制加油过程,对加油员的操作技能要求低,甚至不需要专职加油员(如舰载伙伴加油机,由飞行员或武器控制员兼任);可为固定翼飞机、直升机和倾转旋翼机加油。主要缺点是:加油速度相对较慢;加油对接时锥套易受气流扰动影响,不易控制;对受油机飞行员的技能要求较高。

软式加油设备主要有加油吊舱(翼下加油吊舱(图 1)、伙伴加油吊舱(图 2))和机身中心线加油平台(图 3)两类。其中加油吊舱的加油能力一般为 750~2200L/min 之间,机身中心线加油平台的加油能力一般为 2000~2800L/min 之间。此外,也有在硬管上搭接软管-锥套适配器(BDA)(图 4)的,经地面转换后,可提供软式加油能力<sup>[2]</sup>。

与软管-锥套式加油方式对应的软式受油方式主要以固定式受油装置和可收放式受油装置为代表。



图1 翼下加油吊舱  
Fig.1 Refueling pod under wing



图2 伙伴加油吊舱  
Fig.2 Buddy-buddy refueling pod



图3 机身中心线加油平台  
Fig.3 Refueling store along fuselage centerline



图4 软管-锥套适配器  
Fig.4 Hose-and-drogue adapter

伸缩套管式加油方式(图 5)是指使用一根飞行可控的伸缩式硬质套管,由一名操作员控制其舵面,使硬管处于受油机上方,伸长套管的内管并将加油嘴插入受油机的受油插座的加油方式。



图5 伸缩套管式加油方式  
Fig.5 Refueling method by boom

伸缩套管式加油方式的主要优点是:加油速度快,明显优于加油吊舱和机身中心线平台,为大型飞机(受油能力强)加油时效率很高;硬管的可控性好、抗湍流干扰性强,能够在较复杂的气象条件下使用;由加油机控制加油过程,对受油机飞行员的技能要求较低。伸缩套管式加油方式的主要缺点是:只能进行单点加油,不能同时为多架受油机(与受油机尺寸大小无关)加油,为受油能力弱的小飞机加油时,加油速度快的优势难以有效发挥;对加油员的操作技能和动作规范要求高;不能用于舰载机伙伴加油及为直升机、倾转旋翼机加油。

现阶段硬式加油设备只有硬管空中加油系统一种类型,安装在大中型加油机的后机身底部的中心线附近,加油能力一般大于 3400L/min。

与伸缩套管式加油方式对应的硬式受油方式以受油插座为代表。

## 2 固定式受油装置

固定式受油装置是安装在飞机机体外部,连接受油机空中受油系统的入口,能够与加油机软管-锥套式加油系统中的锥套联合工作的一种受油装置,一般固定在飞机机头前部、座舱上方、座舱右前方或机翼下方等位置,其安装原则是保证对接时飞行员有良好的视野,不能影响飞行员的操作和在任何情况下都不能危及飞行员的安全。值得注意的是此安装原则所有受油方式均需严格遵守。

固定式受油装置由受油插头和受油管组成,并可根据需要加装整流罩,主要实现空中对接、提供受油通道等功能,其中受油管外形一般为直线型或倒L型。

固定式受油装置的优点是结构简单、质量轻、易于布置、拆卸容易,这些优点使得固定式受油装置成为最早使用的受油方式,并获得了广泛应用,其主要用在大型飞机(图95(图6)、A-400M(图7)、E-3、A-50)、飞行速度较低的飞机(幻影-5/50、掠夺者、流星、F-100(图8))及定型飞机加装空中受油装置(歼8、歼10(图9))。但飞机安装固定式受油装置会在飞行中带来气动噪声及产生结构振动,产生飞行员无法忍受的噪声,不仅对飞行员的无线电通话产生严重干扰,还影响了飞行员作战或训练时的注意力;另外也不利于飞机隐身。国内罗



图6 图95固定式受油装置(机头)

Fig.6 Fixed fuel receiving device of Tu95 (nose)



图7 A-400M固定式受油装置(座舱上方)

Fig.7 Fixed fuel receiving device of A-400M (above the cockpit)

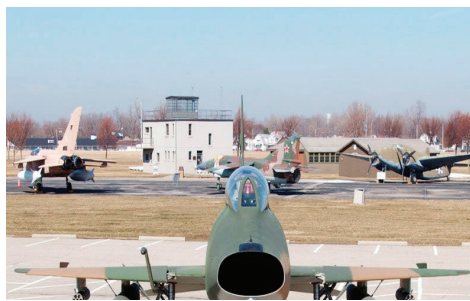


图8 F-100固定式受油装置(机翼下方)

Fig.8 Fixed fuel receiving device of F-100 (below the wing)



图9 歼10固定式受油装置(座舱右前方)

Fig.9 Fixed fuel receiving device of J10 (right front of the cockpit)

乖林<sup>[3]</sup>、胡萍等<sup>[4]</sup>对受油管尾流特性及噪声,祝立国等<sup>[5]</sup>对受油管绕流特性展开了研究,取得了一定成果,改进改善了因固定式受油装置带来的噪声和振动问题。

## 3 可收放式受油装置

随着空中加油技术的不断发展以及新研飞机飞行速度的不断提高,战术指标对飞机气动外形和隐身性能的要求越来越苛刻,攻击机、战斗机等飞机的空中受油技术已全面从固定式受油装置向可收放式受油装置转换。

可收放式受油装置是指安装在飞机机体内部,连接受油机空中受油系统的入口,执行正常飞行任务时收藏在机体内,需要执行空中受油任务时从机体放出,能够与加油机软管-锥套式加油系统中的锥套联合工作的一种受油装置。

此类受油装置是通过改变飞机外形,进而改善飞机气动性能,提高飞机隐身性能、增强飞机战斗力的一种有效手段,一般安装在飞机头部、座舱左前方、座舱右前方、座舱右下方或机翼外挂油箱等位置的机体内,在非加油工况完全消除了由固定式受油装置引起的振动和噪音。可收放式受油装置主要由受油插头、收放式受油探管、信号机构、整流罩等部分组成,主要实现收放、收放锁紧、提供收放到位信号、空中对接、提供受油通道等功能。

可收放式受油装置工作原理是依靠液压作为动力

源驱动收放式探管正常放出和收回并锁紧,并发出适时的指示信号;如果液压能源发生故障,启用应急气源,将受油探管一次性放出并锁紧,保证受油机空中加受油任务完成,保障了飞机的飞行安全。

可收放式受油装置按收放方式一般分为伸缩式受油装置和摇臂式受油装置,其中伸缩式受油装置的收放方式类似于液压作动筒的直线运动,主要是 Su-24 (图 10)、Su-33 (图 11)、Su-35、MIG-29、MIG-31、F-16 (图 12) 等型号战斗机中采用或装在机翼外挂油箱上使用,其收放式受油探管组件内部集成了液压作动系统、锁紧机构、燃油通道等功能部件,具有集成度高、占用机体空间少、便于维护的优点,适合于新研飞机或定型飞机增加受油能力;缺点是制造精度高,加工较困难;另外其为半封闭结构,影响了隐身性能。



图10 Su-24伸缩式受油装置(机头)  
Fig.10 Retractable fuel receiving device of Su-24 (nose)



图11 Su-33伸缩式受油装置(座舱左前方)  
Fig.11 Retractable fuel receiving device of Su-33 (left front of the cockpit)



图12 F-16伸缩式受油装置(机翼外挂油箱)  
Fig.12 Retractable fuel receiving device of F-16 (external hanging tank of wing)

摇臂式受油装置的收放方式是利用摇臂围绕定点做上下运动,主要是“狂风”(Tornado)(图 13)、F-14、F/A-18、美洲虎(图 14)等型号战斗机使用。摇臂式受油装置和伸缩式受油装置的区别主要体现在结构的详细设计和布置上。摇臂式受油装置的液压作动系统与燃油通道在结构上进行了分离,无需担心燃油和液压油的交叉污染,且锁紧机构为开放式,其设计相对简单,便于制造和调节,易维护,故适合新研飞机采用,特别是可以做成全封闭结构,便于实现隐身功能;缺点是占用机体空间纵向距离较长,涉及飞机机体改动较大,不利于已定型飞机改装。



图13 狂风摇臂式受油装置(座舱右前方)  
Fig.13 Fuel receiving device by rocker of Tornado (right front of the cockpit)



图14 美洲虎摇臂式受油装置(座舱右下方)  
Fig.14 Fuel receiving device by rocker of Jaguar (lower right of the cockpit)

#### 4 受油插座

受油插座是指安装在受油机空中受油系统的入口,能够与加油机伸缩套管式加油系统的加油接嘴联合工

作的一种受油装置。

受油插座一般安装在飞机座舱前方、座舱顶部、座舱后部、机翼等位置的机体内(图 15~18),主要由壳体、锁紧机构、自封活门和通信线圈等部分组成,用于实现硬式空中加油空中对接、提供燃油流道和加受油机之间通讯等功能,其工作原理是加油机加油接嘴插入受油机



图15 F-117受油插座(座舱前方)

Fig.15 Receptacle of F-117 (front of the cockpit)



图16 KC-10受油插座(座舱上方)

Fig.16 Receptacle of KC-10 (above the cockpit)



图17 F-35受油插座(座舱后方)

Fig.17 Receptacle of F-35 (behind the cockpit)



图18 F-15受油插座(机翼)

Fig.18 Receptacle of F-15 (wing)

受油插座后,推动受油插座自封活门打开,实现燃油流道导通,并由锁紧机构锁紧加油接嘴,同时通信线圈提供对接信号给加/受油机,并可实现双机通信。

受油插座由于具有受油能力强的特点,在大型飞机上获得了广泛使用,特别是对加油速度要求很高的远程战略大型轰炸机而言,受油插座成为唯一可选的受油方案,一度成为美国空军的唯一受油方式,但是硬式加/受油设备结构复杂,研制难度大,且需专门的加油人员操作进行加受油,限制了大范围应用,故现仅有美式空军战斗机使用受油插座。

## 5 结束语

提高加油设备的加油能力和受油机的受油能力都是提高空中加油系统工作效率及飞机作战效能的有效途径。在提高受油机受油能力时,更重要的是努力提高受油系统参数匹配能力,从而缩短加油时间。

近年来我国进行了大量新型号飞机的研制,这些飞机均提出了具备空中受油能力的要求。从我国国情考虑,在未来相当长的时间内,国内需要空中加油支持的固定翼飞机主要是各种战斗机、舰载机、预警机、运输机、指挥机,结合我国空中加油技术的发展趋势,对空中受油方式的发展方向提出如下建议。

(1)对于战斗机、舰载机等中小型飞机,建议采用软式受油方式,优先发展可收放式受油装置。如果是新研飞机,采取伸缩式受油装置和摇臂式受油装置都是适合的,具体选择因素取决于飞机结构布局需要;对于定型飞机增加受油能力来说,伸缩式受油装置是一个较好的选择,如果飞机结构所限,可采取固定式受油装置。

(2)对于预警机、运输机、指挥机等大型飞机来说,从现有国情考虑,建议采用软式受油方式,主要方式为固定式受油装置,以满足各型预警机、运输机、指挥机的空中加油需求;从空中加油技术发展情况考虑,建议适时发展能与伸缩管式加油系统配套的受油插座,以满足日后技术发展的需要;如果飞机结构布局允许,可以在飞机上部署受油装置和受油插座两种方式,以适应不同的加油方式。

(3)从技术层面来讲,固定式受油装置需要向简单实用、轻型方向发展,采用复合材料是大势所趋;可收放式受油装置和受油插座则除了需要更加简单实用、轻型外,良好的隐身性能更是发展趋势,将会越来越受到军队和主机所重视。

## 参考文献

- [1] 王文平.空中加油系统主要技术指标分析[C]//航空航天科  
(下转第109页)