保形油箱的隐身与气动设计

黄敏杰 黄 俊 王冠林 武 哲

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100083)

摘 要: 在预测保形油箱对飞机隐身性能和气动性能影响的基础上,通过一个典型设计范例研究了保形油箱的隐身与气动设计方法,并与传统副油箱的效果进行了对比. 比较结果表明,同样条件下,保形油箱对飞机性能造成的不利影响要比普通副油箱小得多;如果设计适当,保形油箱甚至完全可以改善飞机的隐身和气动性能. 在设计过程中,对飞机上可能安装保形油箱的位置及优劣进行了分析,这些经验可以推广到一般保形外挂和其它型号飞机上. 总结了保形油箱隐身与气动设计的规律,并在保形油箱设计的基础上,结合其它外挂物的特点,给出了一般保形外挂的隐身与气动设计的特点和设计原则.

关 键 词: 保形油箱; 保形外挂; 雷达散射截面; 隐身; 气动性能

中图分类号: V 221

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)09-1019-04

Aerodynamic-stealth design of conformal fuel tank

Huang Minjie Huang Jun Wang Guanlin Wu Zhe

(School of Aeronautic Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the prediction of the influence of aircrafts′ stealth and aerodynamics characteristics by conformal fuel tanks, the method of aerodynamic-stealth design of conformal fuel tanks through a design model was studied, and the effects were compared with the traditional auxiliary tanks. Results show that the conformal fuel tanks bring less bad effects than the traditional auxiliary tanks in the same condition. If well designed, the conformal tanks could improve the performances of the aircraft rather than worsen them. In the designing, the research on the position where conformal tanks placed and the effects was conducted. The experience could be easily extended to other conformal carryings and other type of aircrafts. The rules of aerodynamic-stealth design of conformal fuel tanks were concluded. Based on these results, combined with the characteristics of other carryings, the principles and characteristics of the design of ordinary conformal carryings were also given for consult.

Key words: conformal fuel tank; conformal carrying; radar cross section; stealth; aerodynamics characteristics

1 问题的提出

外挂武器和副油箱是保证及提高现代军用飞机战斗力的主要设备. 为了布置这些设备,传统方法是将它们安装在机体的特定挂架上[1-2],这样将使飞机的外形变得极为复杂. 这种做法改变了飞机的原始气动布局,增加了飞行阻力,削弱了飞机的气动性能,同时还常常使飞机的隐身性能恶化[1]. 保形外挂和保形油箱(CFT, Conformal Fuel Tank)就是在解决飞机性能与外部装载的矛盾过程中产生的.

保形外挂通常根据特定飞机全机面积分布来布置,充分考虑飞机其它部件、系统的正常运行、维修、拆装的方便,以尽量避免飞机性能的恶化. 其设计思想是在保持或不大改变飞机整体流线型(保形)的气动布局的前提下,紧贴机体添置贮存

收稿日期: 2005-11-17

作者简介: 黄敏杰(1982-),男,湖北孝感人,博士生,mjhuang22@ sina. com.

容器,使容器光滑的表面与机翼或机身的表面相切,以求减小飞行阻力和雷达散射面积(RCS). 合理地设计外挂舱的位置和形状,可以使全机的面积分布更接近理想状态,以改善飞机的阻力特性;有时还可以对飞机的强散射源起到修正和遮蔽作用,从而改善飞机的隐身性能.

与普通外挂相比,保形外挂具有以下优点[1,3-4]:①在不减少飞机内部空间和武器装备空间的情况下扩大贮藏空间,增加飞机承载能力;②维持飞机整体流线型,修正面积分布,减小因外挂物引起的阻力增量[5];③增加装载平衡,提高飞行稳定性;④减小 RCS,提高隐身性能;⑤增加挂架位置,提高挂载能力.

由于保形油箱除了具有常规副油箱的功能以外还有这些优点,所以已逐渐成为外挂设计的焦点. 国外已有许多成功地采用保形油箱的例子(如图 1),但国内在这方面的应用研究却很少有报道.



a "阵风"战斗机的保形油箱　　b 巴基斯坦空军的 J-6 机腹保形油箱

图 1　2 种飞机的保形油箱

本文以一种典型飞机保形油箱设计为例,研究保形油箱的隐身和气动设计的方法.

2　保形油箱的设计与分析

某型飞机的外形如图 2.

该型飞机的背部是一块面积很大的减速板,在着陆时需要打开,因此背部可以设置油箱的空间很小;本来机翼与机身相接处——进气道外侧是一个强的角散射源,如果用保形油箱对该处加以修正的话,可以大大改善飞机侧向的隐身性能,但这部分空间已经被起落架所占据. 现在能布置保形油箱的位置只有 3 处:两进气道中间,进气道下方,发动机上方.

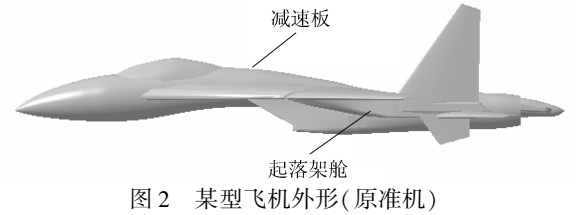


图 2　某型飞机外形(原准机)

本文选择保形油箱位于进气道中间及进气道下方 2 种情况进行分析.

2.1　保形油箱对飞机隐身性能的影响

方案 1　保形油箱位于进气道中间

本方案的油箱布局如图 3 所示.

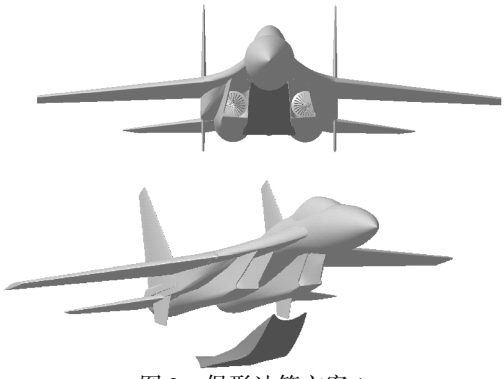


图 3　保形油箱方案 1

该方案油箱的体积小于 4.38 m^3,占据机腹下 2 个挂架的位置. 将两进气道中间用保形油箱填补,可以使这里的耦合散射几乎完全消失,同时减少了飞机的浸润面积,这对隐身性能和气动性能的改善都是有利的. 图 4 是该方案的 RCS 分析结果与原准机的对比.

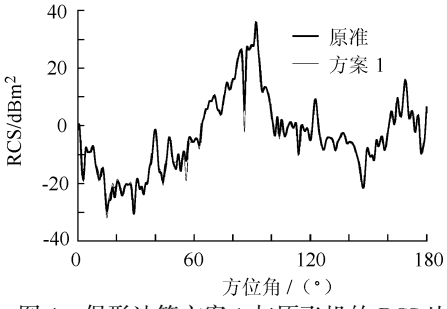


图 4　保形油箱方案 1 与原飞机的 RCS 比较
(物理光学法(PO),波长 0.032 m,目标仰 10°)

从图 4 中可以看出,如果不考虑多次、耦合散射,加装保形油箱之后在水平面上各个观察角度上飞机的 RCS 几乎完全没有改变. 事实上,如果考虑多次、耦合散射,则加装保形油箱之后,在±30°(头向)和±150°(尾向)附近飞机的 RCS 应有明显改善[6].

方案 2　保形油箱位于进气道下方

本方案的油箱布局如图 5 所示.

该方案油箱的体积小于 1.27 $m^3 \times 2$,占据进气道下左右共 2 个挂架的位置. 油箱与进气道外表面的过渡相当流畅,二者几乎融为一体,所以对飞机的隐身和气动性能几乎没有什么影响. 图 6 是该方案的 RCS 分析结果与原机的比较.

从 RCS 计算结果可以看出,第 2 种保形油箱

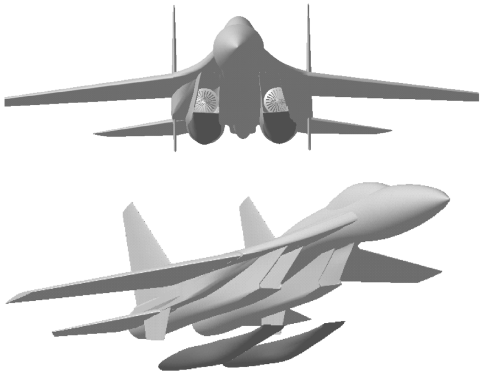


图 5　保形油箱方案 2

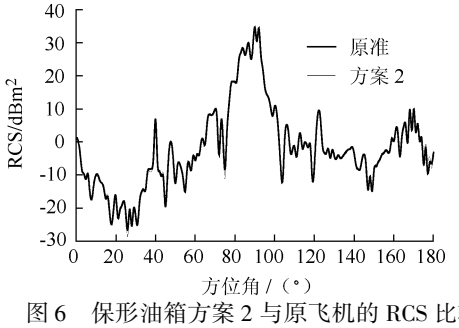


图 6　保形油箱方案 2 与原飞机的 RCS 比较
(PO 法,波长 0.054 m,目标仰 10°)

方案几乎完全没有改变原飞机的隐身性能,或者说保形油箱的散射已经完全融在飞机自身的散射中了.

图 7 是采用 RCS 的高频综合方法计算得到的 2 种方案与原飞机的 RCS 结果的比较. 综合方法全面考虑了目标表面散射贡献(PO 法计算)、棱边贡献(ECM+PTD 法计算)和多次散射的贡献(SBR 法计算),因此能提供目标 RCS 更为全面准确的信息. 其中,ECM 表示等效电磁流(Equivalent Circuit Method); PTD 表示物理绕射(Physical Theory of Diffraction); SBR 表示射线追踪(Shooting and Bouncing Rays). 从结果来看,方案 1 保持了飞机在各个主要方位角上的隐身性能,并使飞机在非主要散射方向上的 RCS 值有所降低,且在 30°侧向和 150°侧向附近改善效果最为明显. 方案 2 几乎没有对飞机的隐身性能造成不利影响.

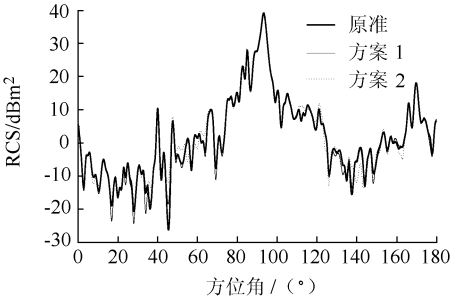


图 7　2 种保形油箱方案与原飞机的 RCS 比较(PO+(ECM+PTD)+SBR 综合计算,波长 0.1 m,目标仰 10°)

这一结果充分验证了本文提出的隐身设计思想,也与前面的预期相符.

2.2　保形油箱对飞机气动性能的影响

采用保形油箱可以从 2 个途径使飞机的气动性能得到改善[2-4]:调整截面积分布和减小飞机的浸润面积. 设计时让 2 种保形油箱的最大截面积位置恰好避开了飞机的最大截面积位置,以求改善飞机的跨音速阻力特性. 估算了采用 2 种保形油箱方案前后飞机的气动性能,图 8 给出了升阻比(C_l/C_d)的估算结果比较.

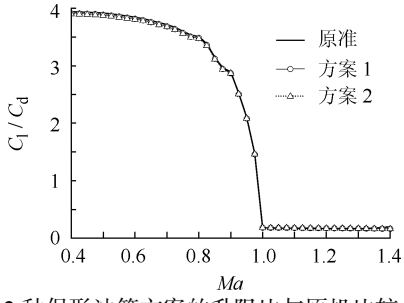


图 8　2 种保形油箱方案的升阻比与原机比较(迎角 10°)

图 8 可见,加装保形油箱后飞机的升力系数甚至稍优于原飞机. 加装保形油箱后,亚音速、跨音速段飞机的阻力系数略有增加,增加幅度最大约2.1%;2 种保形油箱方案都会导致飞机的升阻比下降,但是影响并不大:最大下降幅度约为 1%,这是完全可以接受的.

2.3　保形油箱与普通副油箱的比较

为与普通外挂副油箱比较,本文对飞机挂装容积近似的副油箱时的状态也进行了分析. 图 9 中副油箱的容积小于 4.4 m^3,图 10 中副油箱的容积小于 1.2 m^3×2,它们占据的位置也与相应的保形油箱方案相近. 这 2 种状态与原型机及相应的

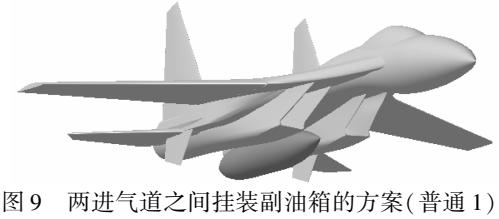


图 9　两进气道之间挂装副油箱的方案(普通 1),容积小于 4.4 m^3

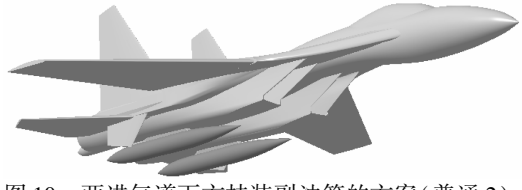


图 10　两进气道下方挂装副油箱的方案(普通 2),容积小于 1.2 m^3×2

保形油箱方案的 RCS 对比如图 11、图 12.

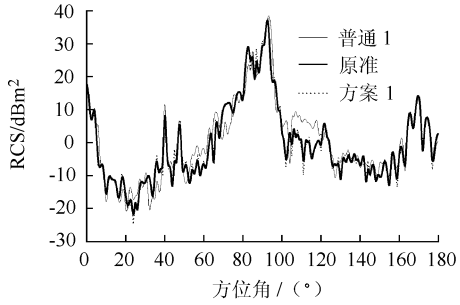


图 11 保形油箱方案 1、普通油箱方案与原飞机的 RCS 比较(PO 法,波长 0.1 m,目标仰 10°)

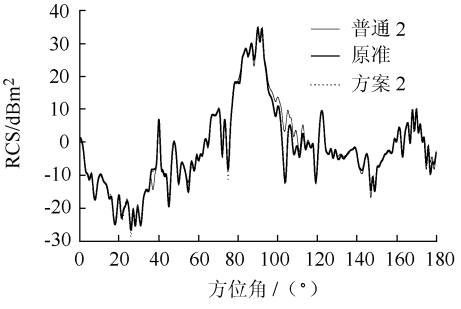


图 12 保形油箱方案 2、普通油箱方案与原飞机的 RCS 比较(PO 法,波长 0.054 m,目标仰 10°)

在方位角 105°附近(侧后向),挂装普通副油箱时飞机的 RCS 要比使用保形油箱和原飞机的 RCS 高出 3 ~ 5 dB,其它方位角上 RCS 与后两者基本相同. 这充分说明采用保形油箱在保持和改善飞机隐身性能方面的优越性.

在气动方面,保形油箱除了升阻特性优于普通油箱方案以外,贴近机身的保形油箱对飞机的纵轴转动惯量的影响也比普通油箱小,因此对飞机滚转操纵性的不利影响也小,如表 1. 这里不展开讨论.

表 1 保形油箱与相应普通油箱方案对飞机转动惯量的影响比较 %

保形方案 1	普通 1	保形方案 2	普通 2
1.4	2.9	3.5	3.9

3 结 论

前面的设计实例给出了保形油箱的设计中需要考虑的一些问题,并充分验证了保形油箱在保持和改善飞机的隐身和气动性能方面的优越性. 这些设计经验适用于保形油箱的设计,而且对一般保形外挂的设计也有指导意义. 一般保形外挂的隐身与气动设计可以遵照以下原则进行:

1) 尽量用保形外挂填补或遮挡飞机上的强散射源,如凹腔结构及角散射区;

2) 保形外挂尽量安排在飞机截面积突然变化的位置,以修正飞机的截面积分布;

3) 对于性能要求较低的方向,可以适当降低保形外挂的形状要求;

4) 保形外挂的位置应尽量靠近飞机纵轴和重心,以减小对飞机的对称装载和转动响应的影响.

为了论文安排的方便,本文的设计例子都做了简化处理,如飞机的三维模型建模、气动性能的计算等. 设计中也仅仅考虑了部分因素,如与其它大的部件之间的协调关系、面积率分布等. 实际保形外挂的设计还需要综合考虑诸如飞机承力件的位置、检修口盖位置、外挂功能的实现等许多因素[3],有时还需要对飞机本身做必要的改装,甚至影响到新飞机的设计.

参考文献 (References)

[1] 车海林,陈迎春,柴建中. 飞机保形油箱气动力设计初探[J]. 飞机设计,2004,6(2):19-22
Che Hailin, Chen Yingchun, Chai Jianzhong. A preliminary study on aircraft conformal fuel tanks in aerodynamic configuration design[J]. Journal of Aircraft Design, 2004, 6(2): 19-22 (in Chinese)

[2] 顾诵芬. 飞机总体设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2001:128-130
Gu Songfen. Aircraft conceptual/preliminary design[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2001:128-130(in Chinese)

[3] Charlton E, Cunningham A. F-16 CFT design for gunfire with CFD[R]. AIAA-2003-3677, 2003

[4] Ciancarelli C R, Dorsett K M. Optimizing the F-16 conformal fuel tank using design of experiments[R]. AIAA Paper 2000-4522, 2000

[5] 方宝瑞. 飞机气动布局设计[M]. 北京:航空工业出版社, 1997:1079-1082
Fang Baorui. The aerodynamic arrangement design of aircraft[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1997: 1079 - 1082 (in Chinese)

[6] 黄沛霖. 大型、复杂耦合散射目标的 RCS 计算方法研究[D]. 北京:北京航空航天大学航空科学与工程学院,2003:7-8
Huang Peilin. Research on RCS computing technique of large-scale and complicated coupling scattering object[D]. Beijing: School of Aeronautic Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003:7-8(in Chinese)

(责任编辑:文丽芳)