

文章编号: 1000-8055 (2004) 02-0229-04

一种直升机进气道电磁散射减缩方案 实验研究

韩 东, 郭荣伟, 易海云, 周蓓蓓
(南京航空航天大学 能源与动力学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 对一种与发动机舱融合设计的直升机进气道在垂直极化方式、水平极化方式下进行了电磁散射特性减缩方案研究。通过对比不同减缩方案与全金属模型 RCS 性能参数, 研究了各种减缩方案的减缩效果, 结果表明, 该类进气道在采用电磁散射减缩方案时, RCS 较全金属模型而言, 均有不同程度的降低, 其中采用在前唇口、上下唇口、前输出轴、动力舱粘贴吸波材料缩减方案的减缩效果是最佳的, 可以获得 8 dB 左右的 RCS 减缩效果。另外, 垂直极化方式下采用减缩方案的减缩效果要比水平极化方式效果好。

关键词: 航空、航天推进系统; 直升机进气道; 雷达散射截面; 隐身技术

中图分类号: V 218

文献标识码: A

Experimental Study of RCS Reduction for a Helicopter Inlet

HAN Dong, GUO Rongwei, YI Haiyun, ZHOU Beirbei

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: An experimental study of RCS reduction for a helicopter inlet syncretized with engine cabin was completed in vertical and horizontal polarization ways. Meanwhile, the RCS reduction effects were analyzed for various reduction schemes by comparing with RCS of pure metal model. The results show that RCS of this inlet is lower than that of the pure metal model. Sticking radar absorbing materials on front lip, upper lip, inferior lip, output shaft, and engine cabin has best RCS reduction effect. This method can achieve about 8 dB of RCS reduction. Besides, the effect of RCS reduction in vertical polarization way is better than that of in horizontal polarization way.

Key words: aerospace propulsion system; helicopter inlet; radar cross section; stealth technique

当代雷达探测系统的迅猛发展, 极大地推动了搜索、跟踪目标的能力, 传统的作战武器所受到的威胁越来越严重。隐身技术作为提高武器系统生存、突防的有效手段, 已经成为现代战争中最重要技术措施之一, 受到世界各国的高度重视。

由于武装直升机在现代战争中所起的作用越来越大, 隐身的要求也就越来越高。国内外已对此开展研究, 其成果在先进国家的某些型号上已经得到了应用^[1, 2]。雷达目标特征信号控制技术的核心是降低雷达散射截面 (RCS)。其技术途径主

收稿日期: 2003- 05- 27; 修订日期: 2003- 10- 20

作者简介: 韩东 (1968-), 男, 河南南召人, 南京航空航天大学副教授, 博士, 主要从事航空发动机内流及隐身技术研究

要包括外形技术、雷达吸收材料技术 (RAM 技术)。文献 [3] 对带有前输出轴直升机进气道进行了电磁散射特性实验研究。指出该类进气道在 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 方位角内 RCS 平均值较小, 有利于直升机突防。在 $90^{\circ} \sim 105^{\circ}$ 变化范围内 RCS 平均值较大, 需采取必要的隐身措施。在 $0^{\circ}, \pm 5^{\circ}, \pm 10^{\circ}$ 攻角中, 大多数情况下, -5° 攻角下 RCS 平均值较大, $+10^{\circ}$ 攻角下 RCS 平均值较小。国外在这方面的研究属于机密, 未见公开报道。因此, 进行武装直升机进气道隐身研究对于提高我国武装直升机的战斗性能, 增强国防能力有非常重要的意义。

本文主要通过粘贴吸波材料的方法 (RAM 技术), 对带有前输出轴的直升机进气道, 在方位角从 0 到 135° , 极化方式为垂直极化和水平极化, 终端形式为叶片终端等状态下, 进行五种电磁散射减缩方案实验研究。通过对比得出性能较好的电磁散射减缩方案。

1 实验设备和模型

实验工作在南京航空航天大学微波暗室进行。微波暗室尺寸为 $28\text{ m} \times 8.5\text{ m} \times 8.5\text{ m}$, 实验背景电平为 $-43\text{ dB} \cdot \text{m}^2$ 。实验采用 X 波段, 其频率为 $f = 9375\text{ MHz}$, 波长为 $\lambda = 3.2\text{ cm}$ 。标准平板的边长 $a = 200\text{ mm}$ 。微波暗室的目标信号大于背景 20 dB 。由于该暗室安装了激光瞄准器和光栅编码器, 使实验模型的位置、安装姿态和方位角均得到准确地控制, 提高了测定结果的可靠性。

实验模型如图 1 所示, 测试模型的真实几何尺寸见文献 [3]。该模型为木质的, 表面贴敷 0.065 mm 的铝箔, 铝箔接缝处用高纯度银粉导电胶粘接, 保证表面导电率均匀相等, 以使电磁散射实验不受表面质量的影响。实验模型中不同颜色代表不同的粘贴吸波材料位置区域, 包括进气道前后唇口、上下唇口、动力舱、前输出轴。实

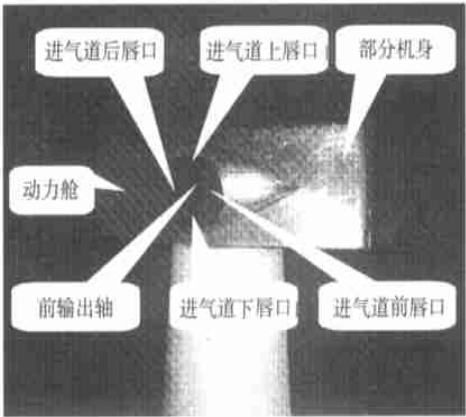


图 1 实验模型
Fig 1 Test model

验采用的终端为铝制的叶片终端, 叶片终端真实几何尺寸见文献 [3]。

2 五种 RCS 减缩方案

由文献 [3] 研究结果得知: 雷达波的主要反射部位是进气道唇口的四周、前输出轴及动力舱。针对这一特点, 应该在这几个部位粘贴吸波材料, 制定出如下五种减缩方案。

本实验采用的吸波材料为胶 TM C-7, 反射率为 -27 dB 。吸波材料的粘贴几何位置可参见图 1 所示。

选取直径为 84 mm 的进气道出口截面面积为量化标准, 其标准面积为 5538.96 mm^2 , 唇口四周粘贴吸波材料面积的无因次量化面积分别为:

- 前唇口的量化面积为: $\frac{59.65}{55.3896} = 1.077$
- 后唇口的量化面积为: $\frac{44.505}{55.3896} = 0.835$
- 上唇口的量化面积为: $\frac{28.9363}{55.3896} = 0.5524$
- 前唇口的量化面积为: $\frac{35.4313}{55.3896} = 0.6397$

表 1 进气道模型的 RCS 减缩方案
Table 1 The scheme of RCS reduction for inlet model

减缩方案一	轴和动力舱粘贴吸波材料
减缩方案二	前后唇口、上下唇口、轴和动力舱粘贴吸波材料
减缩方案三	前唇口、上下唇口、轴和动力舱粘贴吸波材料
减缩方案四	前唇口、上下唇口和动力舱粘贴吸波材料
减缩方案五	动力舱粘贴吸波材料

3 实验结果与讨论

在零攻角, 垂直极化、水平极化方式条件下, 对进气道模型分别进行了五种减缩方案的 RCS 实验研究。分析各种减缩方案的 RCS 分布曲线, 可以发现它们的分布规律大致相同, 图 2 和图 3 给出了减缩方案四在零攻角下, 垂直极化、水平极化方式下与全金属模型对比的 RCS 分布曲线。虚线为全金属模型的 RCS 分布曲线, 实线为减缩方案的 RCS 分布曲线。其中纵坐标 $\text{dB} \cdot \text{m}^2$ 为分贝平方米。表 2 列出了进气道模型在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 、 $30^\circ \sim 60^\circ$ 、 $60^\circ \sim 90^\circ$ 、 $90^\circ \sim 105^\circ$ 、 $120^\circ \sim 135^\circ$ 方位角内, 不同减缩方案以及全金属模型的 RCS 最大值和平均值。结合图 2、图 3 和表 2 可以发现, 五种减缩方案下都有程度不同的减缩效果, 而且减缩方案的 RCS 曲线变化比全金属模型的曲线和缓、均匀。但在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 方位角范围内各种减缩方案的减缩幅度不大。这说明此类采用融合设计的直升机进气道在前向的隐身效果已经较好, 采用减缩措施的效果不明显。这一点与文献 [3] 提出的结论

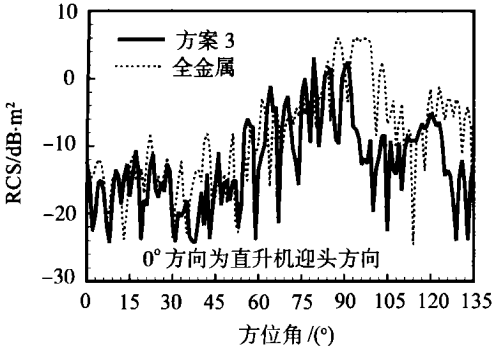


图 2 减缩方案三与全金属对比 (垂直极化)

Fig. 2 Comparison of scheme 3 with metal model (vertical polarization)

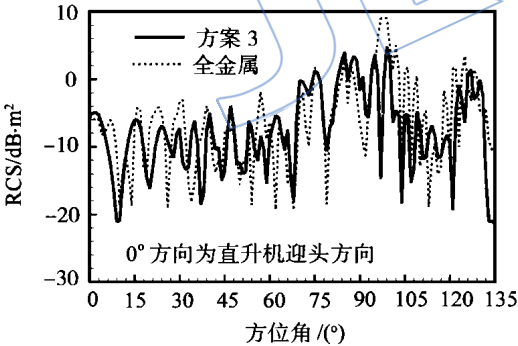


图 3 减缩方案三与全金属对比 (水平极化)

Fig. 3 Comparison of scheme 3 with metal model (horizontal polarization)

吻合。在 $30^\circ \sim 135^\circ$ 时采用 RAM 的隐身效果较好。下面针对不同极化方式在 $30^\circ \sim 135^\circ$ 方位角内不同减缩方案的减缩效果。

(1) 当采用水平极化方式时, 与全金属模型比较, 在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 方位角范围内, RCS 的最大值是在方案二、四、一、三均有下降, 最大幅度为 4.0 dB 左右, 方案五与全金属相差不大。RCS 平均值在各种减缩方案效果不明显; 在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 方位角范围内, 方案三 RCS 最大值比全金属模型低 4.5 dB, 减缩效果明显, 而方案四、五 RCS 最大值与全金属模型相差不大。RCS 平均值在各种减缩方案均有下降, 其中方案三、二、一下降明显, 最大达到 3.3 dB; 在 $90^\circ \sim 105^\circ$ 方位角范围内, RCS 的最大值在各种减缩方案均下降得较多。其中减缩方案三最大下降幅度达到 5 dB。RCS 平均值在方案三、二、四下降较多, 最大幅度为 4.0 dB 左右。在方案一、五下降较小; 在 $120^\circ \sim 135^\circ$ 方位角范围内, RCS 的最大值在各种减缩方案均有 2~3 dB 的下降幅度。RCS 平均值在方案三下降最多, 达 4.2 dB, 在方案四、二也有较大的降幅。

(2) 当采用垂直极化方式时

由表 2 可知, 与全金属模型比较, 在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 方位角范围内, RCS 的最大值除了方案一有较大降幅以外, 其余降幅不明显。RCS 的平均值除了方案五没有减缩效果外, 其它方案的减缩幅度都比较大, 最大幅度为 4.7 dB; 在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 方位角范围内, 五种减缩方案的 RCS 最大值与平均值都有较大的减小, 其中减缩方案三的效果最为明显, RCS 最大值最大降幅为 7 dB, RCS 平均值的最大降幅为 3.2 dB; 在 $90^\circ \sim 105^\circ$ 方位角范围内, RCS 的最大值在方案三、四、二下降得较多, 最大相差 6.3 dB。RCS 平均值在各种减缩方案都下降较多, 其中方案三下降幅度最大, 将近 8 dB; 在 $120^\circ \sim 135^\circ$ 方位角范围内, RCS 的最大值在方案二、三下降较大, 在方案四下降最小。RCS 平均值在方案三下降最多, 达 7.6 dB。在方案二、四也有较大的降幅。

根据上面的分析可得, 在水平极化方式、 $30^\circ \sim 120^\circ$ 方位角范围内, 减缩方案一、三、四的减缩效果较好, 且三者相差不大, 不超过 1 dB 左右。而在 $120^\circ \sim 135^\circ$ 方位角范围时, 方案三的减缩效果最好。在垂直极化方式、 $30^\circ \sim 135^\circ$ 方位角范围内, 减缩方案三、二的减缩效果较好, 方案三的减缩效果最为明显, 比方案二小 2~3 dB。参见表 1 可以看出, 减缩方案二是在前后唇口、上下唇口、前

表 2 直升机进气道在不同减缩方案的 RCS 平均值与最大值 (dB · m²)

Table 2 The RCS average value and maximum value of helicopter inlet at different scheme

极化方式		水平极化					
减缩方案		方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	金属
0~30°	最大值	- 4.55	- 4.44	- 4.93	- 4.15	- 3.53	- 3.38
	平均值	- 10.06	- 9.14	- 10.04	- 10.42	- 8.92	- 8.66
30~60°	最大值	- 4.17	- 5.71	- 3.93	- 4.50	- 1.87	- 1.79
	平均值	- 11.02	- 9.90	- 10.58	- 10.5	- 9.78	- 9.71
60~90°	最大值	3.03	2.91	1.03	5.45	4.23	5.52
	平均值	- 3.84	- 3.17	- 4.46	- 4.26	- 4.24	- 1.20
90~105°	最大值	4.13	5.23	4.04	4.71	5.42	9.04
	平均值	- 1.93	- 3.83	- 4.37	- 3.04	- 1.09	- 0.50
120~135°	最大值	1.41	0.19	1.43	- 0.82	1.58	3.47
	平均值	- 3.84	- 5.31	- 7.95	- 6.17	- 4.35	- 3.77

极化方式		垂直极化					
减缩方案		方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	金属
0~30°	最大值	- 10.71	- 12.33	- 10.63	- 11.12	- 12.01	- 8.12
	平均值	- 15.46	- 17.72	- 16.47	- 16.20	- 16.22	- 15.12
30~60°	最大值	- 10.92	- 7.59	- 6.99	- 7.42	- 7.24	- 6.62
	平均值	- 17.66	- 19.20	- 17.34	- 16.23	- 14.51	- 14.50
60~90°	最大值	2.13	2.78	- 1.16	0.93	- 0.745	5.91
	平均值	- 6.01	- 6.18	- 6.68	- 6.19	- 6.46	- 3.41
90~105°	最大值	4.39	1.45	- 0.45	- 0.40	2.11	5.91
	平均值	- 6.02	- 7.45	- 9.39	- 7.52	- 6.14	- 1.67
120~135°	最大值	- 2.58	- 5.59	- 5.17	- 4.65	- 3.74	- 1.25
	平均值	- 6.57	- 10.67	- 13.29	- 9.65	- 7.81	- 5.75

输出轴、动力舱均粘贴吸波材料，其粘贴吸波材料的面积在五种减缩方案中是最大的，但其减缩效果并不是最好。减缩方案三是在前唇口、上下唇口、前输出轴、动力舱粘贴吸波材料，减缩效果较好。综合考虑而言，采用减缩方案三是最佳的选择。

同时还可以发现，当采用垂直极化方式时，五种减缩方案无论是在 RCS 最大值还是平均值的减缩效果一般好于水平极化方式。另外，由于方案五主要是针对动力舱采取的减缩措施，实验表明效果并不太好，说明进气道入口处口面场对电磁散射的贡献较大，必须对其采取必要的减缩措施。

4 结 论

(1) 对于采用融合隐身设计的直升机进气道在前向采用减缩措施的效果不明显，没有必要采

用 RAM 减缩措施。在侧向采用减缩措施效果明显；(2) 几乎在所有的方位角范围内，在相同实验条件下减缩方案下的 RCS 值都比全金属下的 RCS 值要低。其中采用在前唇口、上下唇口、前输出轴、动力舱粘贴吸波材料的减缩方案三的减缩效果是最佳的；(3) 各种减缩方案的整个 RCS 曲线变化趋势比全金属模型的曲线和缓、均匀；(4) 在垂直极化方式下采用不同的减缩方案的减缩效果，要比在同样工况下、水平极化方式下、同样减缩方案的效果好。

参考文献

[1] [美] 克拉特 E F 著 雷达散射截面预估测量和减缩 [M] 阮颖铮，陈海译 北京：电子工业出版社，1988

[2] 理查森 现代隐身飞机 [M] 北京：科学出版社，1991

[3] 韩东，郭荣伟，谭慧俊，等 一种直升机进气道方案的电磁散射特性 [J] 航空动力学报，2002，17 (5)：528- 532