

格栅对进气道的气动性能和 电磁散射特性的影响

梁德旺 郭荣伟 赵明桂

(南京航空航天大学动力工程系, 南京, 210016)

EFFECT OF HONEYCOMB ON AERODYNAMIC PERFORMANCE AND RADAR CROSS SECTION OF INLET

Liang Dewang, Guo Rongwei, Zhao Minggui

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

摘 要 给出了在进气道内加装格栅对进气道的气动性能和电磁散射特性的影响。结果表明, 格栅明显地降低了 S 弯进气道出口二次旋流, 且使原始单涡旋流消失, 出口流场畸变度减小, 进气道的雷达散射截面值显著降低, 但同时也降低了进气道出口截面上的平均总压恢复系数。还给出了格栅几何尺寸的影响, 及设计中如何选择格栅尺寸。

关键词 S 弯进气道 隐身技术 流动畸变

中图分类号 V 211.48, V 218

Abstract A honeycomb is utilized to reduce the radar cross section (RCS) value of inlets. The effects of the honeycomb on the total pressure distortion, the swirl of secondary flow and total pressure recovery of the S-shaped inlet are described. The experimental results show that the honeycomb with stealthy material can greatly reduce the RCS value of inlets and change the property of the radar cross section. The honeycomb also can improve the aerodynamic performance of inlets. It reduces the degree of total pressure distortion and the swirl of secondary flow, and it can even make the bulk swirl disappear.

Key words S-shaped duct, stealthy technique, flow distortion

进气道是空气飞行器推进系统的重要组成部分, 其工作性能的优劣将直接影响到发动机的工作性能和可靠性。另一方面, 进气道是常规飞行器雷达波的强散射源之一。为了较大幅度地降低常规飞行器的雷达散射面积, 对进气道必须考虑气动与隐身两方面的要求, 精心设计和采取特殊的技术措施。现代飞机如美国的在研飞机 F/A-18E/F^[1] 和 F-22^[2], 一方面充分利用机身和机翼的屏蔽作用, 改善进气道在俯仰或侧滑飞行条件下的气动性能; 另一方面, 采用进口双斜切、管道内涂吸波材料或加装导流板, 进气道呈 S 弯等措施以降低进气道的雷达散射面积。然而进口双斜切造成了地面起飞时切角上部流动分离和出口截面上明显的单涡旋流、流动畸变大和总压恢复低等不良影响。因此, 寻求既具有很好的隐身效果, 又能改善进气道性能的措施意义十分重大。

本文给出了在进气道内出口段加装格栅后进气道的气动性能和电磁散射特性的变化, 结果表明, 格栅可明显地降低进气道出口的流动畸变, 抑制(或消除)旋流, 且大大降低进气道的雷达散射面积。

1 格栅对进气道电磁散射特性的影响

进气道是一个腔体, 进入腔体的大部分电磁波通过终端的反射而对腔体后向电磁散射

1997-10-20 收到, 1998-03-17 收到修改稿

作出贡献。因此,若能在腔体内部靠近终端(发动机进口截面)的地方,用适当的措施减弱终端的反射作用,便可以较好地减少进气道腔体的RCS。格栅就是基于这一思想而提出的。

本文电磁散射实验在南京航空航天大学无人机研究所的微波暗室中进行,模型在电动转台上转动,模拟电磁波入射方位角的变化。实验时电磁波的频率可根据需要调整。背景电平为-45dB。测试系统为低功率连续波测试系统。

图1分别给出了电磁波水平极化和垂直极化情况下格栅安放在某S弯模型进气道内的电磁散射曲线。图中虚线为未安装格栅时进气道的电磁散射特性曲线,实线则为加格栅后进气道电磁散射特性曲线。由图可知,加格栅后的进气道电磁散射在 $-50^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 方位角内明显低于未装格栅进气道的电磁散射,而且其电磁散射特性曲线呈现为各方位角电磁散射能量近乎相等,即不存在闪烁点。可见,格栅可明显降低进气道的雷达散射面积。

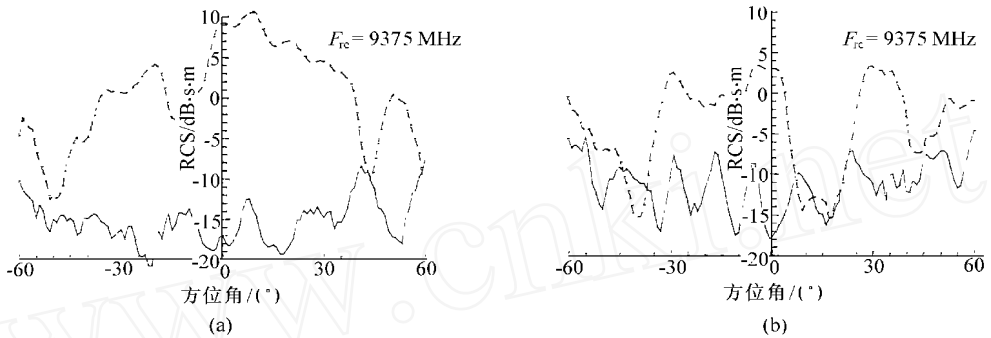


图1 加装终端消波格栅时进气道电磁散射特性曲线

(a) 水平极化, $B/\lambda = 1.0$, $L/\lambda = 1.5$; (b) 垂直极化, $B/\lambda = 1.0$, $L/\lambda = 1.5$

对格栅尺寸、电磁波波长等参数进行了大量的对比实验。结果表明,格栅降低进气道RCS值的效果与格栅几何尺寸、电磁波波长、极化方式和吸波材料的应用等因素有关,而且具有一定的相似规律。

2 格栅对进气道气动性能的影响

格栅是降低进气道腔体RCS值的有效措施,可望用于现代隐身飞行器进气道中。然而,格栅对进气道气动性能的影响是飞行器设计师们关心的另一重要问题。

图2给出了气动实验用S弯进气道模型示意图。它是一个典型的矩形截面S弯管道,实验时模型的安装相当于飞机的左舷进气道,并置于自由射流风洞中,来流 Ma 数约0.12,在进气道出口联结有另一抽气源,形成吹吸联合供气系统。实验时格栅置于进气道的后直段,可通过调节抽气流量使进气道来流流量系数接近于1.0。

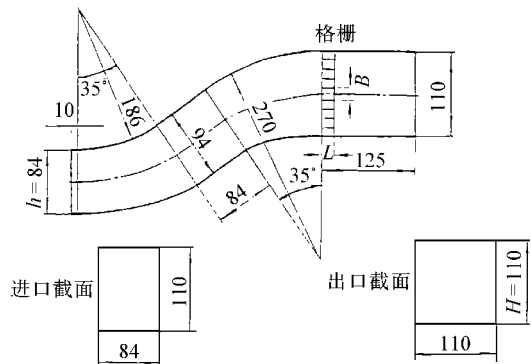


图2 矩形截面S弯进气道模型示意图

(1) 格栅对进气道出口横向速度矢量图的影响 进气道出口旋流不外乎下面两种形式,一种是反向旋转的双涡旋流;另一种是类似于固体涡的单涡旋流。研究结果表明,加装格栅

可使进气道的出口横向速度减小, 单涡旋流消失, 为发动机的稳定工作起了积极作用。

(2) 格栅尺寸对进气道气动参数的影响规律 图 3 给出了格栅尺寸对进气道出口旋流系数值的影响规律。图中 H 为进气道出口截面尺寸; L 为格栅流向长度; B 为格栅尺寸。图中 $LH/B^2 = 0$ 的点对应于未加格栅时进气道出口旋流值(即原始旋流)。由图可知, 当原始旋流为单涡旋流时, 加格栅后, 随着格栅栅格尺寸 B 的减小或随着格栅沿流向长度 L 的加长, 出口旋流系数值将逐渐减小, 当 $LH/B^2 = 10$ 时降低旋流的效果明显, 达 90% 左右。当原始出口旋流矢量图为双涡时, 无论格栅尺寸为何值或是否加格栅, 其出口旋流系数值基本不变。

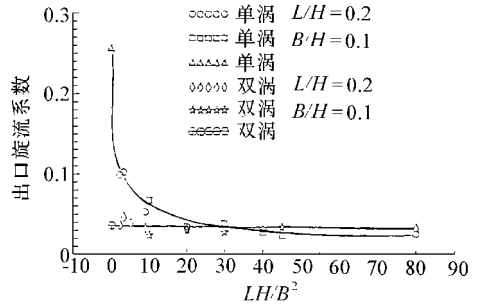


图 3 格栅尺寸出口旋流系数值的影响

图 4 给出了格栅尺寸对进气道出口流场畸变 DC_{60} 的影响规律。由图可知, 无论原始旋流是单涡或双涡, 畸变值 DC_{60} 均有随着格栅尺寸 B 的减少或随着格栅流向长度 L 的增加而呈线性减小之规律。所不同的是原始旋流形式不同, DC_{60} 减小率不同。

图 5 则给出了格栅尺寸对进气道出口截面平均总压恢复系数的影响规律。由图可见, 随着格栅尺寸 B 的减小或随着格栅流向长度 L 的增加, 出口截面平均总压恢复系数 σ 将线性下降, 对气流品质带来了好处, 但同时也带来了不利, 即出口总压恢复系数下降。

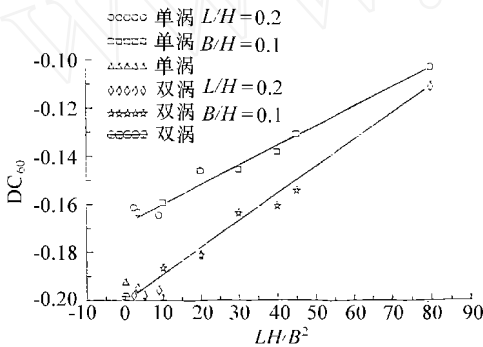


图 4 格栅尺寸对出口流场畸变的影响

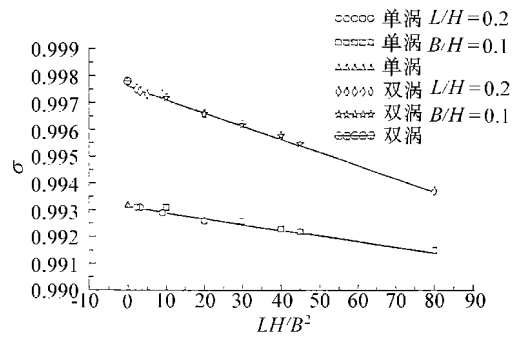


图 5 格栅尺寸对出口平均总压恢复系数的影响

3 结束语

(1) 格栅是降低腔体电磁散射极为有效的措施, 其降低进气管道 RCS 值的效果与格栅几何尺寸、电磁波波长、极化方式和吸波材料的应用等因素有关。

(2) 进气道的尾部加装格栅在一定程度上使进气道的气动性能改善。它明显降低了 S 弯进气道出口二次旋流, 且使原始单涡旋消失, 出口流场畸变度减小, 但同时也降低了进气道出口截面上的平均总压恢复系数。

参 考 文 献

- Hall G R, etc. Development of the F/A-18E/F air induction system. AIAA 93-2152, 1993
- 理查林 D. 现代隐身飞机 魏志祥等译 北京: 科学出版社, 1991. 189