

文章编号: 1000-8055(2003)06-0772-05

旋翼下洗气流对红外抑制器性能的影响研究

王先炜, 黄 勇, 路玉霞

(北京航空航天大学 航空发动机气动热力重点实验室, 北京 100083)

摘要: 利用地面模拟试验件实验研究了直升机旋翼下洗气流对红外抑制器气动及红外隐身性能的影响。结果表明, 旋翼下洗气流对红外抑制器的气动性能、特征温度、红外辐射等都有明显的影响。旋翼下洗气流速度的增加, 将造成红外抑制器的引射系数降低, 出口气流温度升高, 出口气流温度分布均匀度增加, 并使整流罩及外套特征温度迅速增加。存在一个最佳旋翼下洗气流速度, 使储物仓特征温度最低。最终, 使得在模拟悬停状态下, 考虑和不考虑旋翼下洗气流相比, $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 的平均红外辐射强度大约增加35%。

关键词: 航空、航天推进系统; 下洗气流; 红外抑制; 地面模拟; 特征温度

中图分类号: V 231.3

文献标识码: A

Influences of the Downwash Flow from a Helicopter Rotor on the Performances of an Infrared Suppressor

WANG Xian-wei, HUANG Yong, LU Yu-xia

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Experimental diagnostic study has been performed, and results show that the downwash flow had remarkable impacts on the aerodynamic performances, characteristic temperatures, and infrared radiation. With the increase in the downwash flow velocity, the entrainment coefficient decreased, and the exhaust flow temperature increased, resulting in the rapid increases of the exhausting duct temperature and the suppressor surface temperature. And finally, the downwash flow at hovering condition caused an increase of total infrared radiation between $3\sim 5\ \mu\text{m}$ by about 35%.

Key words: aerospace propulsion system; downwash flow; infrared suppression; sea-level modeling; characteristic temperature

直升机的红外隐身性能是衡量其战场生存性的重要指标, 多年的战争实践也证明了直升机红外隐身性能的重要性。鉴于此, 以美国为首的西方在30年前就重点开展了直升机红外抑制器的研究, 如早期开发的第一代套管式红外抑制器^[1], 并成功地应用于UH-1H直升机上。随着红外探测

技术的提高, 对红外抑制器的性能要求也越来越高, 于是国际上开发出第二代波瓣式红外抑制器^[2], 并应用于直升机、导弹及舰艇所用的燃气涡轮发动机上^[3~5]。目前, 对直升机红外抑制器的改进设计研究还在不断进行^[6]。

在所有这些研究中, 对红外抑制器的引射、掺

收稿日期: 2003-01-23; 修订日期: 2003-04-15

作者简介: 王先炜(1964-), 男, 江西瑞金人, 航空602所高级工程师, 北京航空航天大学航空发动机气动热力重点实验室博士生, 主要从事直升机红外抑制器设计、计算及实验研究

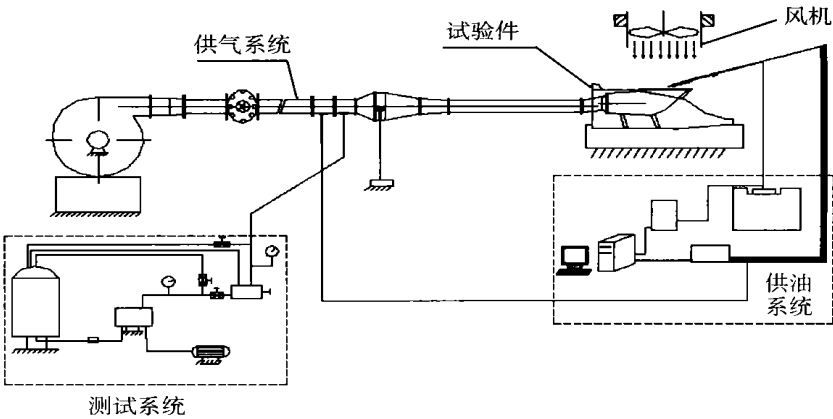


图1 试验系统简图

Fig 1 Schematic of the test ring

混、损失、红外抑制等性能都作了大量实验研究,取得了很多极有实用意义的结果。但迄今为止,尚未有人研究直升机旋翼下洗气流对红外抑制器性能的影响。虽然苏媛等^[7]用数值计算的方法初步探讨过旋翼下洗气流对发动机喷流的影响,表明了旋翼下洗气流的重要性,但没有涉及对直升机红外抑制器性能的影响。本文拟用实验方法,研究旋翼下洗气流对模型红外抑制的影响。

1 实验设备与方法

试验在北京航空航天大学热动力工程研究所的红外隐身试验台上进行,采用DDT-40轴流通风机模拟直升机旋翼所造成的下洗气流,整个系统如图1所示。

口面积 0.04625 m^2 。试验台及试验件详细介绍见参考文献[8]。

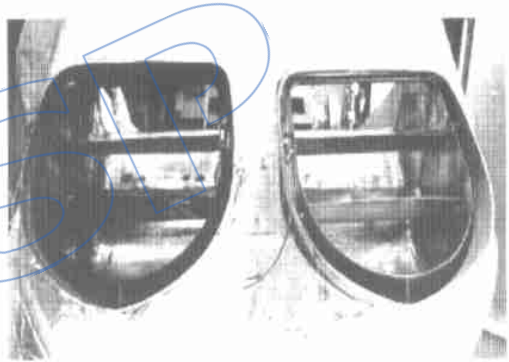


图3 混合管及外套

Fig 3 The mixers and their covers



图2 波瓣主喷管试验件

Fig 2 The primary lobed nozzle

试验件由波瓣主喷管(图2)、混合管及外套(图3)、储物仓、支架、机身及整流罩构成。试验件主要参数为:主喷管进口面积 0.018 m^2 ,混合管进

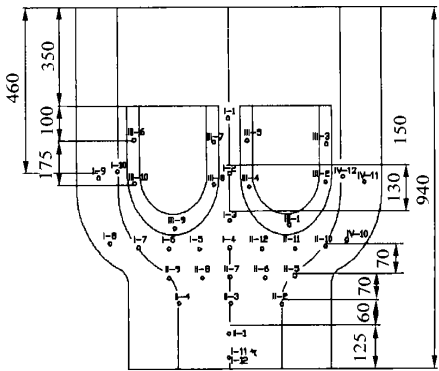


图4 整流罩表面温度测点分布

Fig 4 Distribution of surface temperature detection

外套出口气流压力场和温度场由一支测点间距为 15.5 mm 的12点测压-测温耙沿试件出口截面通过移位机构移位测得;整流罩壁面、外套壁

面、内机身表面、储物仓表面及内腔气体等的温度(共48点,分为4组)由高频响热偶丝测得,热偶测点分布如下:

第Ⅰ组主要分布于整流罩左侧,第Ⅱ组主要分布于整流罩右侧,第Ⅲ组主要分布于两个外套的外表面,第Ⅳ组主要分布于内机身左侧,如图4和图5所示。

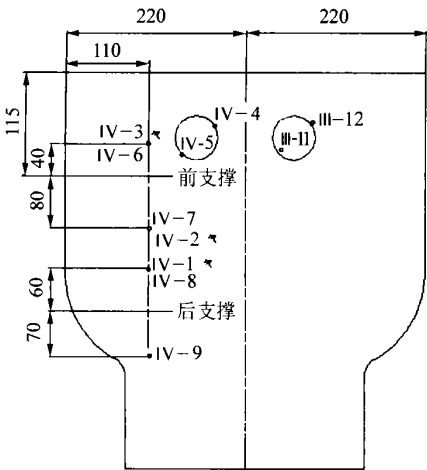


图5 机身、储物仓、内腔温度测点分布

Fig 5 Distribution of inner temperature detection

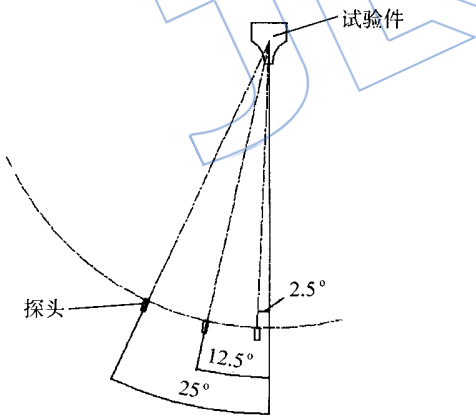


图6 红外测试示意图

Fig 6 Schematic of IR test

试验件的红外辐射信号(3~5 μm)由自行开发研制的ZSHF宽视角、智能型红外辐射计测量,测量方位角分别为2.5°、12.5°和25°(距试验件8 m),如图6所示。

2 结果分析

2 1 下洗气流对红外抑制器气动性能的影响

模拟悬停状态时(单个)发动机排气量0.634 kg/s,排气温度592℃,并模拟悬停状态时的下洗气流速度(约13 m/s),当环境温度为18℃时,测得红外抑制器的气动性能变化如表1。

表1 有无下洗气流对气动性能的影响

Table 1 Influence of downwash on aerodynamics

	无下洗	有下洗
引射系数	0.979	0.912
出口气流平均速度/(m/s)	30.2	30.1
出口气流平均温度/(℃)	274	291
出口气流温度均匀度	0.81	0.83
出口气流平均温降(℃)	318	301

从表1中可以看出,下洗气流对红外抑制器的气动性能有明显影响。在降低其引射能力(约下降7%),减少环境冷空气的卷吸,从而导致出口气流温度升高(约17℃)的同时,却提高了出口气流温度分布的均匀度。这是因为下洗气流阻碍了红外抑制器的向上排气,阻碍了排气所产生的引射,从而削弱了红外抑制器的引射能力,导致了出口气流温度分布均匀度的提高。从热射流的红外辐射来看,下洗气流将导致红外抑制器的红外辐射信号增加。

2 2 无下洗气流时典型壁温分布分析

在前述状态下,无下洗气流时,典型的整流罩、外套、内腔、机身、储物仓等温度分布如表2所示(注意试验时只模拟左边发动机排气)。

从表2中可以看出,整流罩壁面的最高温度不到70℃,位置位于红外抑制器混合管出口下游,具体测温点为Ⅰ-5,6,7,8,若考虑下洗气流的旋转分速,将对测温点Ⅰ-3,4造成较大影响,故下面将点Ⅰ-3~8的温度平均值作为整流罩特征温度(T_1)进行分析;混合管外套的壁温很高,对红外辐射贡献较大,下面将外套上的测温点Ⅲ-6~10的温度平均值作为外套特征温度(T_2)进行分析;此外,由于对储物仓的温度有限制,下面将储物仓表面的测温点Ⅳ-4,5的平均值作为储物仓特征温度(T_3)进行分析。

表2 无下洗气流时典型温度分布(°C)

Table 2 Influence of downwash on temperatures

组序号	I	II	III	IV
1	51.7	46.8	43.6	81.3
2	57.6	46	37.3	80.9
3	57.5	51.9	41.7	67.3
4	58.9	56.4	49.1	74.7
5	64.4	41.2	40.5	65.4
6	68.2	50	85.5	58
7	69.2	56.4	93.6	47.8
8	63.5	59.6	97.9	54.2
9	58.6	56.5	100.2	62.3
10	58.3	42.8	80	30
11	33.8	43	35.3	30
12	44.7	50.8	36.7	30

点
序
号

2 3 下洗气流对特征温度的影响

下洗气流对整流罩特征温度 T_1 的影响如图7所示。

从图7可以看出, 随着下洗气流速度的增加, 整流罩特征温度 T_1 呈迅速升高趋势。在悬停状态下, 考虑和不考虑旋翼下洗气流相比, 特征温度 T_1 约增加16°C。显然, 这是因为下洗气流导致红外抑制器的引射能力减弱, 使得排气温度升高, 混合管壁温升高, 并通过内腔热辐射使整流罩壁温升高。同时, 下洗气流的向下气动力造成红外抑制器的部分热排气直接与整流罩接触, 从而迅速加热整流罩。

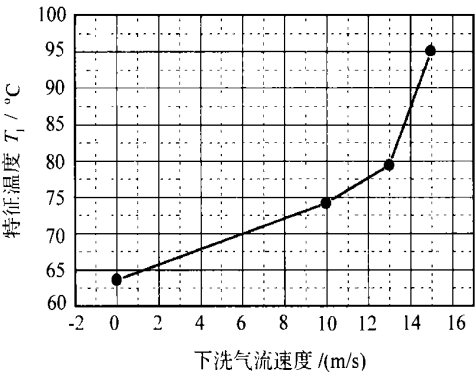


图7 下洗气流对特征温度 T_1 的影响

Fig 7 Influence of downwash on T_1

下洗气流对外套特征温度 T_2 的影响如图8所示。从图中可以看出, 随着下洗气流速度的增加, 特征温度 T_2 也基本呈迅速升高趋势。在悬停状态

下, 考虑和不考虑旋翼下洗气流相比, 特征温度 T_2 约增加14°C。因为外套是安装在混合管出口末端, 红外抑制器的热排气必然与之有接触, 故其壁温肯定比整流罩壁温要高, 这可以通过图7、图8的比较看出。同样, 因为下洗气流导致红外抑制器的引射能力减弱, 使得排气温度升高, 因此外套壁温升高。

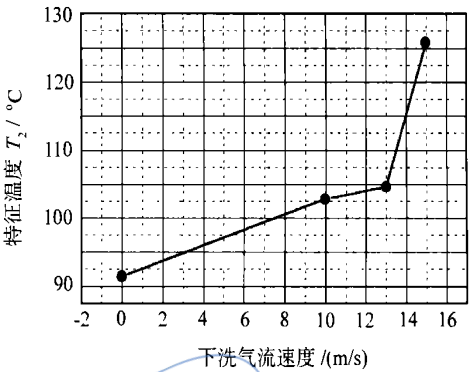


图8 下洗气流对特征温度 T_2 的影响

Fig 8 Influence of downwash on T_2

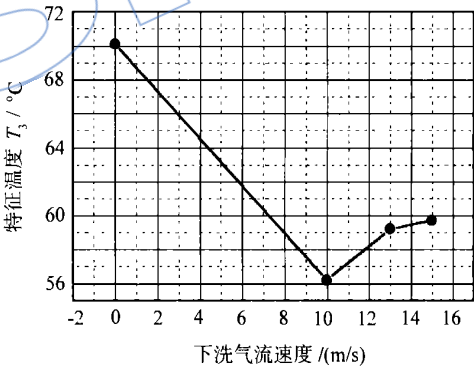


图9 下洗气流对特征温度 T_3 的影响

Fig 9 Influence of downwash on T_3

而下洗气流对储物仓特征温度 T_3 的影响则如图9所示。从图中可以看出, 下洗气流对 T_3 的影响规律不是单调的, 似乎存在某个最佳速度, 使得储物仓特征温度 T_3 最小。究其原因, 是因为红外抑制器上部在位于储物仓处开设了一个进气口所致。一方面, 由于这一进气口开在上部, 故旋翼下洗气流能进入这个进气口, 因此, 下洗气流带来的冷空气会起到对储物仓进行降温的作用; 另一方面, 下洗气流又会导致红外抑制器的引射能力减弱, 使得排气温度升高, 混合管壁温升高, 储物仓附近气流温度升高, 并通过内腔热辐射使储物仓壁温升高。二者相互作用的结果, 使得在下洗气流

速度较小时(图中小于 10 m/s),对红外抑制器的气动性能影响不大,而冷却换热效果显著,因此储物仓特征温度 T_3 随下洗气流速度的增加而降低;但速度较大时,则对红外抑制器的气动性能影响很大,而冷却换热效果基本维持不变,因此储物仓特征温度 T_3 随下洗气流速度的增加开始升高。

2.4 下洗气流对整体红外辐射的影响

在前面介绍的3个不同方向,测得下洗气流对红外辐射强度的影响如图10所示。从图中可以看出,无论从哪个方向来看,随着下洗气流速度的增加,都将导致红外抑制器的红外辐射强度增加。

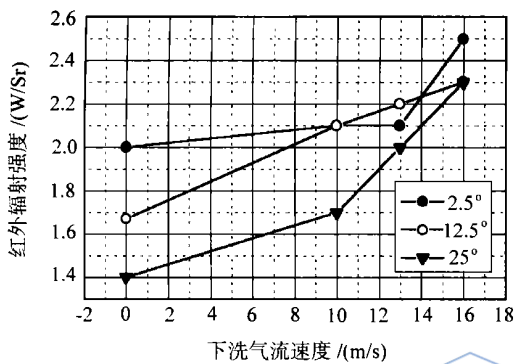


图10 下洗气流对各向红外辐射强度的影响

Fig 10 Influence of downwash on IR intensity

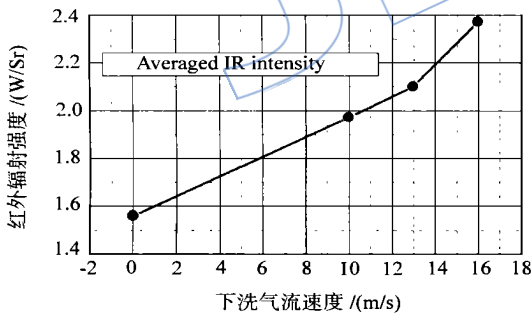


图11 下洗气流对红外辐射平均强度的影响

Fig 11 Influence of downwash on bulk IR intensity

这是因为下洗气流不仅导致红外抑制器的引射能力减弱,使得排气温度升高,热排气的红外辐射强度增加,还通过内腔热辐射导致整流罩、外套等壁温升高,使得固体壁面的红外辐射强度也升高。除个别点外(应该是实验误差造成),从 2.5° 方向测得的红外辐射强度最大,从 12.5° 方向测得的次之,从 25° 方向测得的最小。将这3个方向取平均将减小实验误差的影响。下洗气流对3个方向平均的红外辐射强度的影响如图11所示。从图11中可以

看出,在悬停状态下,考虑和不考虑旋翼下洗气流相比,平均红外辐射强度大约增加35%。

3 结 论

由模型实验,本文可得出以下结论:

(1) 旋翼下洗气流对红外抑制器的气动性能、特征温度、红外辐射等都有明显的影响。

(2) 在悬停状态下,考虑和不考虑旋翼下洗气流相比,红外抑制器的引射系数下降约7%,导致混合管出口气流平均温度升高约 170°C ,并出口气流温度分布均匀度略微增加。

(3) 旋翼下洗气流速度的增加,将造成整流罩及外套特征温度的迅速增加。在悬停状态下,考虑和不考虑旋翼下洗气流相比,整流罩及外套特征温度约增加 150°C 。

(4) 旋翼下洗气流速度较小时,储物仓特征温度 T_3 随下洗气流的增加而降低;而速度较大时,随下洗气流的增加而升高。使储物仓特征温度 T_3 最低的最佳下洗气流速度约为 10 m/s 。

(5) 旋翼下洗气流速度的增加,将造成红外抑制器整体红外辐射强度的迅速增加。在悬停状态下,考虑和不考虑旋翼下洗气流相比,平均红外辐射强度大约增加35%。

参考文献

- [1] Picasso B D, Ottomeyer J D, Haworth L A, et al Preliminary Airworthiness Evaluation of the UH-1H with Hot Metal Plus Plume Infrared Suppressor and Infrared Jammer[R]. AD Report, A110213, 1981.
- [2] Skebe S A, McComick D C. Parameter Effects on Mixer-Ejector Pumping Performance[R]. AIAA Paper AIAA-88-0188, 1988.
- [3] Presz W M, Jr, Nelson C B. Gas Turbine Exhaust Cooling Concepts[R]. AIAA Paper AIAA-94-3083 1994.
- [4] 路玉霞, 吴寿生, 魏福清, 等. 速度比对波瓣混合器混合气动性能的影响[J]. 航空动力学报, 2002, 17(1): 53-57.
- [5] Birk A M, VanDam D. Infrared Signature Suppression for Marine Gas Turbines Comparison of Sea Trial and Model Test Results for the DRES Ball RSS System[J]. J. of Eng. for Gas Turbines & Power, 1994, 116: 75-81.
- [6] Frawley R C. IR Suppressor[P]. US Patent 6122907, 2000.
- [7] 苏媛, 王吉飞, 曹义华, 等. 旋翼洗流对发动机喷流影响的计算分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2001, 27(3): 297-300.
- [8] 路玉霞, 吴寿生, 黄勇. 红外抑制器地面模拟试验研究[R]. 602所科研报告, KT-01-13 2002.