

喷气动力装置的红外辐射源及其抑制

张 青 藩

(南京航空学院)

摘要: 本文分析喷气动力装置的红外辐射源, 并讨论抑制红外辐射的技术途径。喷气动力装置的红外辐射来源于燃烧引起的高温, 并可区分为两大类: 固体表面的辐射和热喷流的辐射。一般而言, 抑制红外辐射可从以下三个方面着手: (1) 用冷却或绝热的方法降低辐射表面的温度, 或通过遮挡阻止红外辐射的传播; (2) 加速喷气流与周围空气的混合, 使喷流温度快速降低; (3) 降低燃烧产物中辐射成分的浓度。

主题词: 喷气发动机, 红外辐射, 红外吸收

一、前 言

“隐身”是提高飞行器生存力的重大技术措施。长期以来, 研究隐身技术主要着眼于雷达波隐身, 即致力于使飞行器不被雷达早期发现, 提高飞行器的突防能力和战斗威力。至今, 雷达隐身技术已取得重大进展, 在飞行器外形尺寸相同时, 通过外形设计、结构措施和吸波材料, 已能使雷达散射截面缩小两个数量级以上。近十几年来, 红外探测技术飞速发展, 单元红外探测系统的灵敏度已达 10^{-9} W/cm^2 , 而多元探测系统更为灵敏, 可达 10^{-12} W/cm^2 。采用红外成像系统还允许目标与背景的对比度大为减弱, 其温度分辨率可高达 0.1 K 。据报道, 1984年6月, 美国陆军利用红外成像制导的拦截弹成功地摧毁了一枚在180千米高空的“民兵”导弹; 美国的远红外探测器, 已能在外层空间探测到1600千米以外人体所辐射的热量。可见, 以降低飞行器红外可探测性为目标的红外隐身技术, 已经成为隐身技术中不可忽视的重要分支。

二、喷气动力装置的红外源分析

喷气飞行器的红外辐射包含两大类: 一是机体对环境的反射, 另一是机体表面的自身辐射。本文仅限于讨论喷气动力装置的自身辐射。燃料燃烧引起的高温, 是动力装置自身辐射的根源。这类辐射表现于两方面: 一是机体表面的高温辐射, 另一是热喷流的辐射。前者属于固体表面辐射, 发出的射线有连续波长。辐射强度与表面性质有关, 并与温度的四次方成

正比；后者为气体辐射，对波长有选择性，辐射强度与气层厚度、压力和喷流中辐射分子的浓度有关，并与温度的 $3.0 \sim 4.0$ 次方成正比。

喷气动力装置表面的红外辐射大体包括以下四部分：(1)排气管和喷管内表面辐射，(2)喷管内锥体的表面辐射，(3)涡轮叶片的表面辐射，(4)热壁外表面的辐射。显然，前三者来自喷管的内腔，是表面辐射的主要部分，习惯上统称为喷管腔体辐射，其值与喷口面积成正比。动力装置多置于机舱内部，实际外露表面为蒙皮，其温度比内腔低得多，因此外表面的辐射强度也很小。此外，内腔体的辐射只能传播到飞行器的后半球，大部分辐射能量集中在 $3 \sim 4$ 微米波长以下，能通过 $1 \sim 3$ 微米大气窗口，因此内腔体辐射是喷气飞行器遭受红外寻的导弹攻击的主要危险。

影响热喷流红外辐射的因素有温度、辐射分子浓度和热喷流的尺寸。热喷流具有射流特征，流动过程中与周围空气间产生强烈的动量、质量和热量交换，而温度和辐射分子浓度则不断降低。热喷流自喷口排出后，存在一“等温核心区”，该区长度约为喷口直径的 $4 \sim 5$ 倍。图1表示涡喷发动机和涡扇发动机的实测结果，可见，近80%的红外辐射能是从占热喷流总长约 $(1/5 \sim 1/6)$ 的等温核心区中发出的。

一般情况下，热喷流中的主要辐射成分是 CO_2 和 H_2O ，它们是碳氢燃料的完全燃烧产物。但在实际燃烧过程中还可能生成 CO ， NO_x ，甚至有未燃的低分子碳氢化合物和微碳粒，这些成分具有不同程度的红外辐射能力，它们的存在会增强喷流的红外辐射。

CO_2 分子在 $4.3\mu\text{m}$ 和 $15\mu\text{m}$ 波长附近有强烈辐射带，而 H_2O 分子则在 2.7 和 $6.3\mu\text{m}$ 波长附近有强烈辐射带。图2表示J85-5型涡喷发动机的热喷流辐射。可见，在 $4.3\mu\text{m}$ 附近 CO_2 辐射比 2.7 微米附近 H_2O 的辐射强得多。值得注意的是， CO_2 的辐射正处于 $3 \sim 5$ 微米大气窗口，是当前大多数红外导弹的攻击目标。

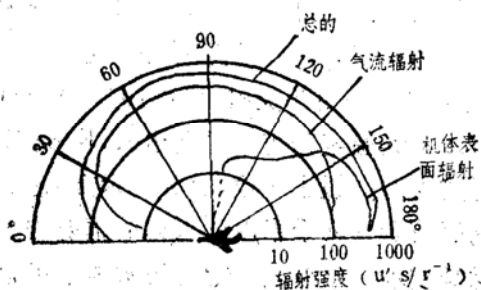


图1 热喷流红外辐射的分布

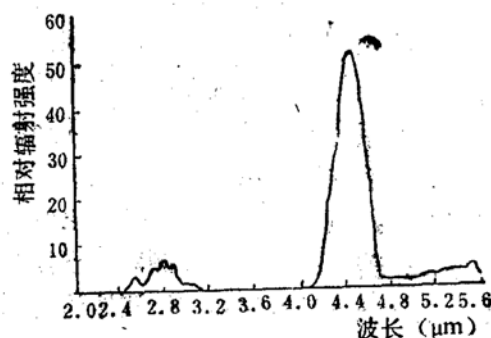


图2 J85-5发动机热喷流辐射特性

航空发动机在加力时，热喷流的初温几乎要高一倍， CO_2 和 H_2O 等辐射分子的浓度也明显提高，因此辐射强度将提高数十倍，甚至近百倍。可见，就红外隐身而言，开动加力是很不利的。

飞行条件下，热喷流的热影响区很长，足以使其红外辐射传播到飞行器的前半球。图3表示飞机动力装置的红外辐射分布。可见，热喷流的红外辐射是使飞机遭受迎面拦截或攻击的主要危险。

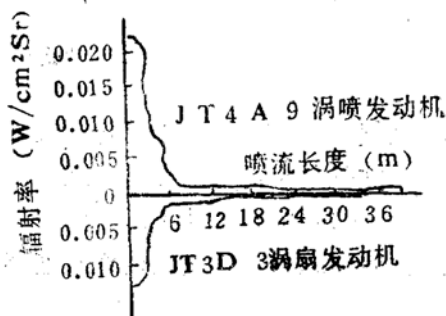


图3 飞机动力装置的红外辐射分布

三、抑制喷气动力装置红外辐射的技术措施

动力装置的高温辐射大体可从以下三方面来抑制：(1)对热壁受热部分冷却或隔热，或通过机械遮挡阻止红外线的传播，(2)通过冷热气流的掺混，加速热喷流的温度衰减，(3)限制燃烧产物中的辐射成分。具体地说，可采用如下技术措施：

1. 二元喷管技术

二元喷管或矩形截面喷管，最初是为实现喷管与机体一体化，便于推力转向和减少阻力而提出的，这种喷管的红外抑制效能主要表现于两方面：(1)加速冷热气流的混合，使喷流温度迅速衰减。根据射流理论，热喷流的等温核心区长度与二元喷管的短边尺寸成正比。实际上，二元喷管横截面的长宽比一般大于6，短边尺寸只有圆管直径的30%左右，可见，二元喷管的等温核心区长度明显缩短，根据图1，相应的红外辐射强度明显降低；(2)二元喷管可对内腔辐射起遮挡作用，使飞行器后向辐射较强的区域限制在较小的立体角内。试验表明，设计良好的二元喷管可使喷流红外辐射强度降低60~80%

2. 红外抑制器

这是综合采用引射掺混，表面冷却和机械遮挡技术的装置，已在直升机上广为采用。如AH-1G型直升机的红外抑制器有两个主要特点：(1)在喷管出口加装引射器。这样的设计既可利用引射器外筒体遮挡高温表面和喷流等温核心区，限制红外线传播，又可利用被引射的空气冷却壁面和喷流。遮挡的结果，使飞机被后半球探测的范围明显缩小；(2)排气管向上弯曲，限制喷管内腔的后向辐射。

适用于喷气飞行器的红外抑制器，国外有过若干专利，但未见实用。因为这类飞机的喷流初温和初速较高，对流阻损失的限制相当严格。但笔者认为，在这类飞机上采用引射喷管来抑制红外辐射是可行的。

3. 采用小函道比风扇发动机

风扇发动机的外函气流温度较低，一般不超过200℃。如果在喷口前装上“混合器”。使内外函气流充分混合，在小函道比时可使热喷流初温平均下降150~200℃，喷流的红外辐射强度降低3~5倍。此外，外函气流可用于冷却壁面，降低壁温，对抑制内腔体的辐射十分有效。

图1分别给出了推力相近的涡喷发动机和涡扇发动机热喷流辐射的实测结果。可见，涡扇发动机的喷流长度和总辐射能量均比涡喷发动机小。因此就隐身而言选用涡扇发动机是有利的。

4. 减小热喷流中红外辐射源的浓度

热喷流的实际燃烧产物中除 H_2O 和 CO_2 外，可能出现 CO ， NO_x ，未燃碳氢化合物和微碳粒。试验表明， CO 和未燃碳氢化合物只在低功率状态出现，因此研究其红外特性对隐身技术无实际意义。 NO_x 和微碳粒主要在大功率状态产生，但与 CO_2 相比， NO_x 浓度通常低两个数量级，辐射强度很低，因此就隐身而言，主要应着眼于限制微碳粒的排放。

热喷流中的微碳粒是直径为0.01~1.0 μm 的球体，当其浓度增高时，喷流的透明度逐渐降低，继而出现肉眼可见的黑烟。喷流中的碳粒红外辐射强度与浓度和喷流尺寸有关，浓度相同时，大推力发动机的辐射比小推力发动机强。当冒烟数为20~25时，开始出现肉眼可见

黑烟,这时由于微碳粒的辐射导致喷流的红外辐射强度提高约20%。

限制微碳粒排放主要有两条途径:一是在燃油中加入“阻烟添加剂”。实践表明,在电站燃气轮机中采用以锰、钡以及铁为基的添加剂可以明显降低冒烟数。但这类添加剂中的金属元素在燃烧时生成氧化物,容易积沉在涡轮叶片表面,影响气动性能和工作可靠性;二是合理设计燃烧室,使燃油和空气均匀混合,防止局部富油区产生。目前国外民航机中通过采用蒸发式喷嘴或空气雾化喷嘴,已经基本上能够消除排气冒烟。但与此同时,燃烧的稳定工作范围缩小。因此这些成功技术不能简单地移植到军用飞机,特别是歼击机上,因为后者的飞行姿态变化较猛,燃烧室工作条件变化很大,要求有足够宽广的稳定燃烧范围。所以从隐身角度研究燃烧的基本要求是,既要消除冒烟,又不过份牺牲稳定燃烧范围。

结 束 语

前述四项措施,具有不同程度的红外抑制效果,只有综合采用一切可能的抑制技术,才有可能使飞行器的红外可探测性抑制到最低限度。

多年来,美苏一直把发展红外探测系统作为提高空间侦察和导弹预警能力的重要手段。据报导,在“星球大战”计划中,红外探测,红外成像制导,背景和目标的红外特性以及红外对抗等都占据了相当重要的地位。计划发展的天基监视跟踪系统,都以巡航导弹的喷气动力装置、火箭和导弹的尾焰作为监视和跟踪的目标。不难预料,这些技术的应用必将构成对各类飞机的严重威胁。因此,以降低飞行器红外可探测性为目标的动力装置红外抑制技术,应当成为隐身技术研究中不可缺少的分支。

参 考 文 献

- (1) Segalman, I. and Semerjian H., Turbine Engine Infrared Signature Program, AD-AO 28659, 1976.
- (2) 张幼文, 红外光字工程, 上海科技出版社, 1981.
- (3) 红外系统原理, 国防工业出版社, 1975.
- (4) Hurley, J.F. and Banthin, C.R., Infrared Radiation Suppressor for a Gas Turbine Engine, U.S. Pat. 4136518.
- (5) AD-749798.
- (6) Hamadi, M.B. et al, Radiation Properties of Soot from Premixed Flat Flame, Combustion and Flame, 68:57-67 (1987).

A RESEARCH ON EXPLOSIVE PROBLEM IN END-BURNING SOLID PROPELLANT ROCKET MOTORS

Li Zhaomin

(Beijing Institute of Technology)

Abstract: In this paper, the explosive problem in end-burning solid propellant rocket motors is discussed. The primary causes of the explosion in end-burning rocket motors is analyzed. It is experimentally indicated that when a combined charge consisting of the wood false grain and the short propellant grain is used for selecting the increase rate of initial burning surface, the experimental results will reveal an unsuitable increase rate due to large deviation. If the conclusion obtained from these experiments is used in the design of end-burning grain, the rocket motor will explode.

Keywords: Solid rocket engine, Propellant explosion property, Research

INFRARED SOURCES OF JET PROPULSION SYSTEM AND THEIR SUPPRESSION

Zhang Qingfan

(Nanjing Aeronautical Institute)

Abstract: Infrared sources of jet propulsion systems were analyzed and their suppression techniques were discussed in this paper. Infrared radiation of the systems are caused by high temperature due to fuel combustion, and can be grouped into two kinds: radiation from solid surface and radiation from exhausted gases. Generally, the suppression techniques for the infrared radiation include three aspects: (1) lowering radiation surface temperature by cooling and/or insulating, or blocking propagation of infrared rays; (2) speeding mixing processes between exhaust gas and surrounding air; (3) diluting radiative species of combustion products.

Keywords: Jet engine, infrared radiation, Infrared absorption

TEST AND ANALYSIS ON COMBUSTION OF TRI-PROPELLANT

Song Lianzhong

(The 11st Research Institute)

Abstract: Tri-propellant rocket engine is a new concept developed in recent