

# B737NG 飞机鸟击后导致发动机 EGTHDM 降低的分析

## Analysis of Engine EGTHDM Reduction after Bird Strike of B737NG Aircraft

杨彪 周士魁

Biao Yang Shikui Zhou

北京航空有限责任公司工程部 中国·北京 102604

Engineering Department of Beijing Airlines Co., Ltd., Beijing, 102604, China

**摘要:** 发动机性能监控作为保证航空器持续适航以及发动机视情维护的重要组成部分, 不仅能够帮助提前预测可能的故障, 提前安排维修工作, 还能够避免或减少不必要的维修工作。EGTHDM (Exhaust Gas Temperature Hot Day Margin) 是监控发动机性能状况的一个重要指标, 随着发动机使用时间的不断增加, 发动机的性能将会逐渐衰退。当发动机性能衰退到某一程度时, 就需要考虑对发动机进行必要的措施进行修复。

**Abstract:** Engine performance monitoring, as an important part of ensuring the continuous airworthiness of aircraft and engine maintenance as appropriate, can not only help predict possible faults in advance, arrange maintenance work in advance, but also avoid or reduce unnecessary maintenance work. EGTHDM (Exhaust Gas Temperature Hot Day Margin) is an important indicator for monitoring engine performance. With the continuous increase of engine service time, the engine performance will gradually decline. When the engine performance declines to a certain extent, it is necessary to take necessary measures to repair the engine.

**关键词:** 发动机性能监控; EGTHDM; 措施

**Keywords:** engine performance monitoring; EGTHDM; measures

**DOI:** 10.12346/etr.v4i9.7083

## 1 引言

一只 0.45 kg 的鸟与时速 800 km 的飞机相撞, 会产生 153 kg 的冲击力。随着航空技术的提高, 鸟击飞机的数量越来越少, 但鸟击危害, 尤其是鸟击发动机的危害依然是一个问题。发动机作为飞机的心脏, 状态监控就显得极为重要。

## 2 事件经过

2021 年 7 月 18 日飞机检查发现左发内涵有鸟击痕迹, 询问机组发动机参数正常。飞机收到 CFM 的 CNR (Customer Notification Report) 建议进行一系列工作对发动机性能进行恢复。

2021 年 7 月 19 日按照 CFM 厂家建议完成对左侧发动机清理血迹并对 HPTACC (HIGH PRESSURE TURBINE ACTIVE CLEARANCE CONTROL) 和 TBV (The transient bleed valve) 等部件进行目视检查、孔探工作和试车等工作, 测试正常放行飞机。

2021 年 7 月 20 日执行航班状态监控发现 EGTHDM 数值为 3 °C, 航后对发动机进行水洗工作, 测试正常放行飞机。

2021 年 7 月 21 日执行航班状态监控发现发动机 EGTHDM 恢复不理想, 更换 HPTACC 和 TBV 活门, 后续航班发动机性能监控正常, EGTHDM 恢复。过程详情参照图 1<sup>[1]</sup>。

【作者简介】杨彪 (1987-), 男, 中国北京人, 本科, 工程师, 从事民航飞机发动机管理研究。



图 1 厂家提供状态监控信息

### 3 发动机状态监控

①基于可靠性理论和余度技术设计而成的现代航空发动机的维修主要以视情维护为主，视情维护的主要工作就是对发动机的状态进行监控。

②对发动机进行状态监控是视情维护的重要内容之一，有效地使用 EGTHTDT、趋势监控、滑油耗量监控、振动监控、孔探、磁性堵塞的定期检查等方法可以准确地确定发动机的健康状态。通过有效的状态监控，可以及时检测到不正常的趋势及其程度，从而减少意外的问题及意外的维护工作；有助于当前发动机的排故；有助于发动机维护的管理和预测；减少发动机的突发故障。

③对于状态监控有很多监控手段，论文以 EGTHTDT 为主要分析对象，着重说明本次鸟击故障后对 EGTHTDT 的影响，并分析影响 EGTHTDT 的几个因素和提高 EGTHTDT 的几个措施<sup>[2]</sup>。

### 4 EGTHTDT 定义

首先我们先认识一下拐点温度 (FRT)：在标准大气压下，发动机在某一大气温度下可以提供一个额定的推力，超过这一大气温度后，为防止发动机超温，就需要减少推力，这个温度就叫拐点温度，不同型号发动机的拐点温度稍有不同，CFM 发动机在标准大气条件下的拐点温度是 30 °C。随着外界温度的增加，提供相同推力越来越困难，就需要 N1 增加，导致 EGT 增加，直到拐点温度之后为了保证 EGT 不到 EGT 红线温度（红线温度的制定是根据涡轮部件材料所能承受的温度负荷而确定的），只能降低 N1，降低推力，来保证发动机正常使用见图 2。

EGTHDM (Exhaust Gas Temperature Hot Day Margin) 是指发动机 EGT 红线温度与发动机在海平面准拐点温度为 30 °C 全功率起飞时的 EGT 值之间的差值。EGTHDM 一般是要通过计算得出的。不同厂家，不同型号发动机的计算方

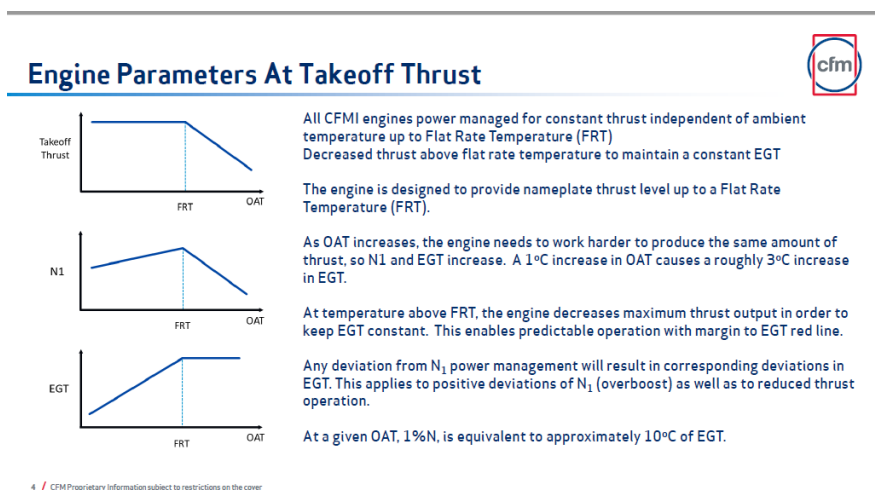


图 2 CFM 厂家技术研讨会

式均各不相同，计算公式中需不同程度引入大气温度，压力，风速等不同参数来进行计算。如图3所示，实线代表了某一新出厂发动机EGT与外界温度的关系，虚线代表了运行一段时间的发动机EGT与外界温度的关系，EGT曲线之所以发生变化是由于发动机性能开始衰退，而我们可以从EGTHDM的变化直观地看出发动机的性能衰退<sup>[3]</sup>。

## 5 影响EGTHDM的几个因素

### 5.1 核心机气路的泄漏损失和表面光洁度的降低

指气流通过压气机、燃烧室及涡轮，由于个别单元体的效率下降，或者由于整个核心机随使用时间增加而导致效率下降，从而引起排气温度升高。发动机静子和转子叶片的表面光洁度对EGTHDM也会产生影响。叶片表面由光滑变得粗糙的过程中，EGTHDM会开始下降，表面变得越粗糙，性能衰退量越大，EGTHDM下降得越多。本次鸟飞入发动机后，瞬间变成血肉，然后附着在叶片上面，增加了叶片的粗糙程度，降低了发动机效率，降低了EGTHDM。

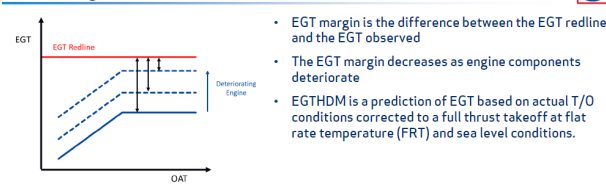
①压气机效率下降，使通过压气机的空气流量减少，导致推力下降，为满足额定推力要求，就要增大耗油量，直接导致EGT升高。压气机效率损失主要表现为：叶型损失：包括附面层内气体摩擦损失和分离损失，主要受叶型损伤及叶

片表面光洁度的影响。叶端损失：主要由于径向间隙过大导致叶端区的倒流损失。本次更换的TBV活门动作不顺畅，在发动机启动和加速阶段通过控制高压压气机九级到低压涡轮一级的引气流量时降低了高压压气机失速裕度，会引起发动机喘振的发生。降低发动机效率，降低发动机EGTHDM。

②燃烧室富油燃烧会直接导致EGTHDM升高。如油门杆位置误差或供油系统故障导致富油；喷嘴或旋流器有积碳致使局部富油；燃烧室外形变形使冷却不均的局部富油；以及外来物损伤叶片、压气机喘振、放气活门未能关闭等空气流量下降形成富油燃烧等等，都会使EGTHDM升高。经调查这次鸟击事件并不涉及燃烧室富油燃烧，但今后也应给予同样的重视程度。

③涡轮的效率损失与压气机类似，因此控制间隙是减少涡轮损失的关键。例如：涡轮的转子叶片叶尖径向间隙是影响单元体效率及EGT的重要因素之一。HPTACC的作用就是使涡轮径向间隙能始终处于最佳距离，详见图4，这是一种在涡轮机匣上设有环腔，并在环腔中通以可控温度的气体，从而保证机匣和动叶尖部在不同飞行条件下和发动机不同运行状态下，均能提供最佳间隙及最高效率。这次鸟击后HPTACC活门动作不舒畅，未能保证涡轮径向间隙处于最佳间隙，直接降低发动机效率，降低发动机EGTHDM。

EGT Margin & EGTHDM



CFM Proprietary Information subject to restrictions on the cover

图3 CFM 厂家技术研讨会

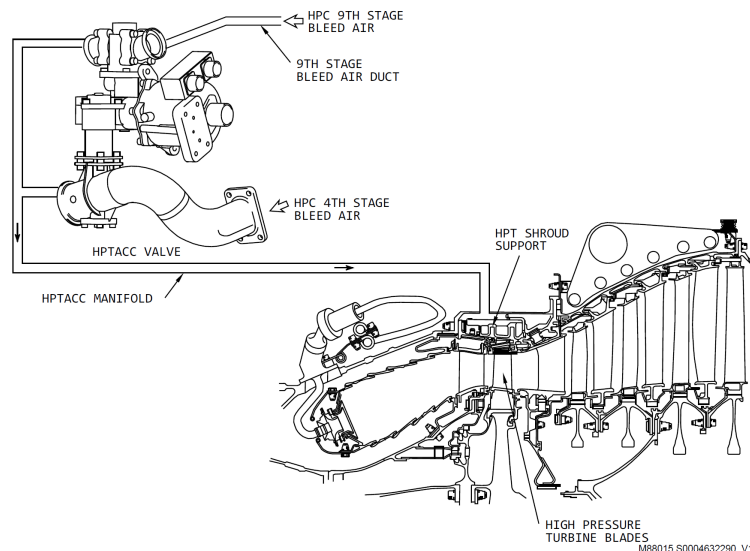


图4 出处于波音 737-800AMM 手册

## 5.2 发动机系统故障或硬件等原因

①由于发动机系统故障,指发动机处于故障状态工作时引起的 EGT 超温,比如喷嘴雾化不良等等导致油量增大,可造成 EGT 超温。

②发动机硬件故障导致,比如鸟击致叶片损坏导致 EGT 超温、不正确的排气温度配平值导致的 EGT 超温、中间级排气活门的损坏、渗漏、堵塞引起的 EGT 超温、EGT 温度指示线路、传感器问题导致的 EGT 超温、发动机内部核心区域损伤造成的发动机 EGT 超温。

③人为因素导致 EGT 超温,发动机启动超温大多数是人为因素造成的。如机组人员违反操作使油门杆推动过快引发 EGT 超温,维护人员的漏操作也可能使 EGT 超温。

④外界环境变化原因,如高海拔、严寒条件下启动,空气水分、盐分及微尘含量过高等,要么启动缓慢,涡轮负荷加大,或形成富油燃烧,或使叶片腐蚀或封严破坏致核心机效率下降等都有可能造成 EGT 温度升高。

## 6 可以有效提高 EGTHDM 的几个措施

### 6.1 发动机水洗

①飞机发动机的性能保持得良好与否,不仅关系到飞行安全,也直接影响着航空公司的运行成本。众所周知,定期的水洗发动机可以在一定的范围内保持和恢复发动机性能,提高发动机的工作效率,恢复 EGTHDM,延长发动机的在翼使用时间,同时可以减少燃油消耗,降低发动机的维护使用成本。

②通过对发动机进气道、风扇叶片及整个核心机气路用一定压力的水洗,一般可提升  $5^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$  的 EGTHDM。此法简单省时收效快,是维护手册中推荐的延长机上发动机使用寿命的航线维护方法。尤其对机群航线分布在沿海地区或多沙尘地区的发动机,此法效果显著。但是,如果在发动机水洗后并没有明显效果,则表明 EGT 的下降是由于发动机性能衰退导致的。

### 6.2 大修和部件的改进和升级

当发动机大修时,根据各单元体对 EGT 影响程度的不同,可分别制定不同的维修方案。随着发动机设计技术的进步,发动机公司不断设计制造出性能更好的部件,通过采用这些部件可以使提高发动机的效率,从而增加 EGTHDM。

### 6.3 减推力起飞

减推力起飞是有效提升 EGTHDM,减少 EGTHDM 衰退的方法。据 GE 公司的分析,采用减推力起飞可以显著地降低每 1000 个循环 EGTHDM 的衰退值。

### 6.4 增加发动机暖机时间

在起飞前进行一定时间的发动机暖机,可以使 EGT 有效回落,可以提高 EGTHDM。暖机的时间随发动机的性能情况而定,一般需要达到 10 min 以上,对于性能衰退较严重的发动机可以适当增加暖机时间。

### 6.5 限制运行

只允许在低温低海拔机场运行。

## 7 此次鸟击导致 EGTHDM 降低分析

综合上面的分析,本次鸟击导致的 EGTHDM 从  $40^{\circ}\text{C}$  下降到  $3^{\circ}\text{C}$  事件的原因是:

①鸟击后残留在发动机内的血液和残骸导致叶片表面光滑度下降,EGTHDM 下降,水洗后核心机气路表面光洁,发动机性能恢复,EGTHDM 上升到约  $20^{\circ}\text{C}$ 。

② HPTACC 和 TBV 活门由于有血液和残骸附着导致动作不顺畅,致使压气机和涡轮效率降低,EGTHDM 降低,更换活门后 EGTHDM 上升到约  $40^{\circ}\text{C}$ 。

## 8 结语

鸟击是航空业的一部分。随着我国航班量的快速增长和生态环境的逐步改善,鸟击对航空安全的威胁越来越大。鸟击防范工作是一个综合性工作,需要机场管理机构、航空公司、空中交通管制部门、航空安全管理机构及各级政府部门共同努力,长期合作,才能收到良好的效果。

作为飞行人员,要加深对鸟击相关知识的了解,熟悉其可能引起的故障,掌握遭遇鸟击后的处置方法,在飞行中本着“预防为主,合理处置”的原则,确保每次航班生产安全正常。

作为机务人员,发生鸟击发动机情况后,按照程序对发动机进行检查并进行状态评估,并结合发动机状态监控数据,并咨询飞行人员鸟击后发动机重要参数变化,制定出相应的处理方案,才能准确的进行排故,才能对发动机进行准确的修复,从而保证航空器持续适航。

### 参考文献

- [1] 唐庆如.航空发动机状态监控[J].中国民航飞行学院学报,2007(5):3-8.
- [2] AIR CHINA CFM56-7 LOW EGTHDM DISCUSSION[R].CMF 厂家技术研讨会,2021.
- [3] 贺力铭,宋力涛. EGT 影响因素分析及提高 EGT 裕度的措施[J].航空工程与维修,1999(6):20-21.