

# 关于一起特殊的 737NG 飞机发动机启动慢故障分析

周 飞

( 山航工程技术公司烟台维修基地, 山东 烟台 264000 )

**摘要:** 波音 737NG 飞机发动机启动慢原因很多, 可能由启动部件, 引气压力, 气源管道系统故障或相关部件失效引起。本文对一起特殊的发动机启动慢故障现象进行分析, 并给出相关的结论, 以对其他维修人员提供了可借鉴的经验, 仅供参考。

**关键词:** 特殊; 737NG; 故障分析

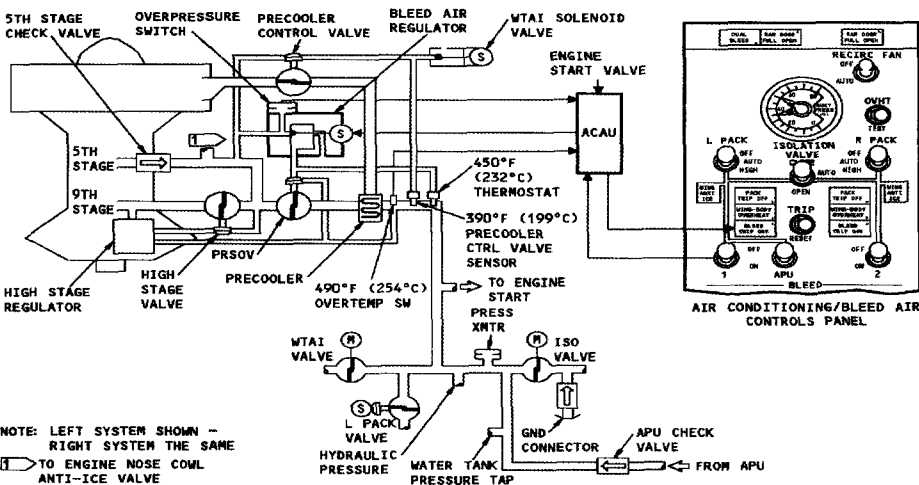
## 0 故障现象

2013 年 7 月, 我公司一架 737NG 飞机航前出港推出启动发动机时, 机组反映左发启动慢。航后通过查看译码数据, 数据显示确实左发启动时间要比右发长, 从启动到慢车, 右发 45 秒左右, 左发 60 秒左右。航后更换了左发启动机, 地面试车启动左发试车测试正常。次日机组反映第一发启动时正常, 第二发启动时慢, 航后更换了 APU IGV 作动筒后试车验证, 第一次先启动左发正常, 再启动右发时启动慢且引气压力基本不上升, 将左发引气电门关闭后, 再启动右发则正常; 第二次先启动右发也正常, 再启动左发时同样启动慢且引气压力也不上升, 将隔离活门或右发引气电门关闭时, 再启动左发也正常了。通过地面试车验证, 故障现象变的清晰了, 即先启动的发动机启动正常, 后启动的发动机启动慢。

## 1 发动机正常启动原理介绍

737NG 飞机发动机启动过程如下: 将启动电门置于 GROUND 位, 启动活门打开使来自 APU 的引气通过并使启动机转动进而驱动发动机的高压转子 (N2 转子) 加速。与此同时高压转子 (N1 转子) 也跟随转动转速上升。当观察到 N2 转速上升到 25% 以上, 或者 N2 转速达不到 25% 以上时, N2 转速到达其最大冷转转速 (指的是 N2 在 5 秒之内的上升小于 5%) 时, 将发动机的启动手柄上提至慢车位。EEC 将控制点火并供油, 当燃烧室点火成功后, 涡轮输出功率将于启动机一起带动转子转速上升。当 N2 转速达到 55% 时, 启动机自动脱离, 启动活门关闭, 启动机慢慢停转。自此以后, 发动机转子的加速仅是由于涡轮产生的功率大于压气机所消耗的功率, 它将带动发动机的转速继续上升, 直到发动机稳定工作在慢车转速。

## 2 故障分析



对于 737NG 飞机来说, 导致发动机启动慢的故障原因大概可归纳为以下三类:

(1) 发动机启动部件性能下降。

(2) APU 引气压力低。

(3) 气源管道渗漏。那么此架飞机这种奇怪的故障现象属于以上哪一类, 接下来我们逐步进行分析: 如果是第一类启动部件性能下降, 很明显如果一台发动机的启动部件性能下降时肯定不会影响到另一台发动机的, 所以这种可能可以排除。如果是第二类 APU 引气压力低的话, 因为正常启动发动机时 APU 是唯一的引气来源, 所以无论启动哪一台发动机都应该出现启动慢的现象, 所以也可以排除第二种可能。那么可能的原因就只有气源管路渗漏这一种可能了, 根据我们航后排故试车验证的故障现象来分析, 由于关闭已经启动好一台发动机的引气电门后, 启动另一发则正常, 我们认为应该是先启动的一台发动机的引气管路或部件存在渗漏, 进一步分析可知渗漏点应该在发动机 PRSOV (引气压力调节) 活门的上游。当使用 APU 引气启动发动机时, 启动活门打开后, 反流保护功能会通过 ACAU 里的启动继电器关闭引气调节器电磁活门从而使 PRSOV 保持在关闭位, 防止 APU 引气反流导致引气压力降低, 因此先启动的一台发动机就可以正常启动; 而当先启动的一台发动机启动好后, 正常情况下发动机引气电门是放在 ON 位的, 这时 PRSOV 打开, 再启动另一台发动机时, APU 引气会经过已经启动好的发动机的 PRSOV 反流到上游存在渗漏的管路和部件, 使 APU 引气压力降低从而导致后启动的发动机启动慢。

通过以上故障分析可知, 既然无论先启动哪一台发动机而后启动的一台发动机都会出现启动慢的现象, 那么应该是左右两台发动机的气源管道或部件都存在渗漏的情况。而且渗漏点就应该出在左右发动机 PRSOV 上游的管路或部件。从图 1 可看出: 五级引气单向

活门、高压机活门、高压级调节器、引气调节器这几个部件都是位于 PRSOV 的上游。那么如何判断是哪个部件存在渗漏, 我们分析认为高压级调节器的回流机械装置故障的可能性较高, 原因是当启动好一台发动机后, 使用 APU 引气启动另一台发动机时, 由于启动好的发动机处于慢车转速 (N1, 20%), 从图 2 中可以看出, 当  $N1 < 26\%$  时, 发动机引气系统使用未调节压力的 9 级引气, 此时引气压力低于  $32 \pm 6 \text{psi}$ , 一般在 20psi 左右。而当使用 APU 引气启动另一台发动机时, APU 负载加大, 引气压力会上升到 30psi 以上, APU 的引气压力显然高于慢车时的发动机引气压力。正常情况下,

# 600MW 机组用汽泵代替电泵启停机组分析

刘 苹, 徐寿友, 张 骥, 张卫军

(国投宣城发电有限责任公司, 安徽 宣城 242000)

**摘 要:** 阐述了机组启停使用电动给水泵的缺点, 使用汽动给水泵组的可行性, 用汽泵代替电泵启停机组的意义, 以及需注意的问题。

**关键词:** 机组启停; 电动给水泵; 汽动给水泵; 安全经济

## 0 引言

国投宣城发电有限责任公司 #1 机组给水系统为典型的配置: 两台 50% 容量的汽动给水泵组和 1 台 30% 容量的电动给水泵组。在机组启停阶段, 电动给水泵系统在给水流量调节与使用方面有很大的灵活性, 但是, 电动给水泵系统相对复杂, 故障率较高, 由于其具有唯一性, 一旦电动给水泵损坏, 机组将很难顺利实现启停。而且电泵作为厂用电系统中功率最大的电机, 耗电量很大, 用汽泵代替电泵启停机组将大大减少购网电量, 降低机组启停成本。基于上述原因, 我们尝试机组启停过程中使用汽动给水泵组, 保持电泵作为备用。经实践完全可以实现只使用汽动给水泵组实现机组的停运。机组启动过程中的上水、冷、热态冲洗完全只用汽前泵, 启动过程中尽量减少使用电泵的时间; 使用汽动给水泵启动, 能获得比电动给水泵启动更好的经济效益; 使用汽动给水泵启动机组的可行性在 2010 年 C 修后的实践中得到了一定的验证。在保证机组安全的情况下, 也为提高机组的经济性和可靠性提供了新的方法。

## 1 机组启停使用电泵方式的缺点

### 1.1 电泵系统复杂, 事故率高

电动给水泵组由电动机、主给水泵、前置泵、液力耦合器、辅助油泵、冷油器、各冷却水系统等组成。启动电动给水泵前, 需要做大量的辅助工作, 投入冷却水系统, 辅助有系统, 电泵电机测量绝缘及送电, 电动给水系统的注水, 投入机械密封水等工作。电动给水泵启动之后, 需要监视电泵组大量的运行参数, 同时增加了维护量。机组启动起来后, 仍然需要启动汽动给水泵组, 增加了启机的工作量, 也增加了事故率。

### 1.2 电泵电机为 6KV 大功率电机, 启动时增加其他辅机运行的危险系数

电泵电机额定功率 8200KW, 额定电流 917A, 启动电流更大, 在启动瞬间使 6KV A 段电压由 6.42KV 降至 5.34KV (如下图), 如 6KV A 段母线电压不高情况下, 将降至更低, 其他辅机由于母线电压低, 出力不足, 联锁启动备用设备, 或者超电流运行, 甚者造成个别辅机

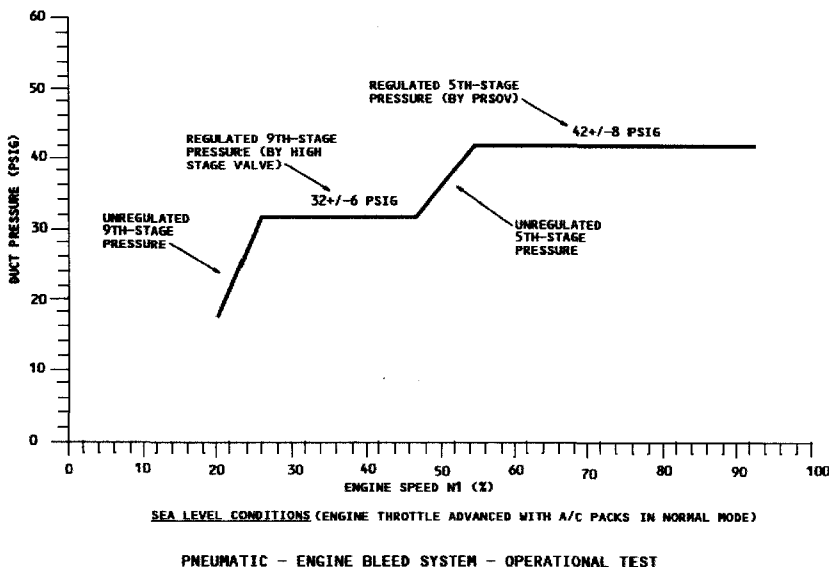


图 2 发动机引气系统操作测试

当高压引气调节器下游气流压力大于第九级引气压力时, 调节器上的回流机械装置打开, 控制关断的引气压力到达高压引气活门, 关闭高压引气活门, 这样就能防止较高压力的 APU 引气通过高压级活门回流到发动机内部。如果高压级调节器的回流机械装置故障, 那么高压级活门不能正常关闭, 就会导致 APU 引气通过先启动好的发动机已经打开的 PRSOV 活门和不能正常关闭的高压级活门回流到该

发动机内部, 从而导致启动另一台发动机时引气压力不够, 所以出现发动机启动慢的现象。经过以上分析, 我们把故障原因锁定在左右发动机的高压引气调节器, 最后更换左右发的高压引气调节器后故障顺利排除。

## 3 总结

737NG 飞机发动机启动慢故障比较常见, 通常都是由于启动部件性能衰退导致, 然而引气系统部件故障导致发动机启动慢的故障比较少见, 而由于一台发动机的部件渗漏导致启动另一台发动机出现启动慢的故障就更少见, 此次故障是由于双发同一个引气部件故障导致这种奇怪故障现象还是我公司第一次遇到。根据后续跟踪此次故障拆下的两个高压引气调节器的返修报告, 返修厂家给出的结论是高压调节器内部的回流膜盒装置磨损。这个结论和我们当时的分析判断一致, 波音的一份 737NG-FTD-36-05001 也指出, 高压引气调节器低使用寿命的原因正是由于回流膜盒装置严重磨损导致。本次故障的排故经验也值得广大拥有 737NG 机队的兄弟航空公司借鉴, 希望通过该故障分析为飞机维修人员提供参考从而在以后类似的故障处理中提高排故效率。

### 参考文献:

[1] 戴伯鸿. 浅析 737NG 型飞机发动机引气系统及其故障 [J]. 科技创新与应用, 2013 (11).