

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2023.01.013

波音 737-800 空调制冷故障分析及健康监测

雷 伟*

(厦门航空有限公司, 厦门 361006)

摘 要: 空调系统为机组、旅客和设备提供飞机内部环境系统, 空调性能好坏直接影响旅客乘坐舒适性及设备正常工作。高温时空调制冷需求高, 而空调故障频发, 常常影响飞机安全运行。随着机队规模不断增加, 如何高效管控空调系统运行状况, 是摆在航司面前的重要技术课题。以波音 737-800 为研究对象, 利用飞机维护手册 (aircraft maintenance manual, 简称 AMM) 和故障隔离手册 (fault isolation manual, 简称 FIM), 介绍空调制冷原理, 深入剖析影响制冷性能的典型故障, 并给出管控措施。介绍了空调健康监测方案和实施途径, 通过机队应用实践, 该方案能有效监控空调制冷性能, 大大提高维护效率, 保障航班运行, 提升自主创新能力, 为企业赢得声誉。

关键词: 空调制冷; 性能分析; 健康监测

中图分类号: V241.07

文献标识码: A

OSID:



0 引言

空调系统作为民航客机增压和温度控制装置, 对飞机的安全飞行至关重要。进入夏季以来, 航线运营中空调系统故障频发, 给航空公司带来很大的困扰。客舱旅客常抱怨空调不制冷或制冷效果差, 驾驶舱出现 PACK、ZONE TEMP 灯亮等警告信息。空调出现故障, 维护人员需要深入排查故障, 无形之中会有航班运行压力, 航班推迟会影响航空公司声誉。因此, 对空调系统典型故障有必要进行事前预防性维护, 提前发现隐患, 减少故障的发生。本文通过持续监控空调运行的性能数据, 利用统计学方法对机队空调状况进行普查, 分析运行规律, 对空调系统实现健康监测。

1 制冷原理

空调制冷系统的核心部件是空气循环机 (air cycle machine, 简称 ACM)。ACM 是一个高速旋转组件, 包括同轴的涡轮、压气机、风扇三部分。图 1 所示为空调制冷系统原理图^[1]: 来自发动机的高温

高压引气 (热路), 通过组件活门, 先进入初级散热器, 冲压空气带走热量; 初步冷却的引气进入 ACM 压气机, 空气压力和温度上升; 压缩后的空气进入次级散热器, 冲压空气进一步带走热量; 次级散热器出来的空气依次经过再加热器和冷凝器后, 变成冷路空气, 和再加热器的热路空气热交换后, 进入 ACM 涡轮; 空气在涡轮中迅速膨胀, 温度降低, 涡轮同时带动同轴压气机和风扇工作; 涡轮出来的冷

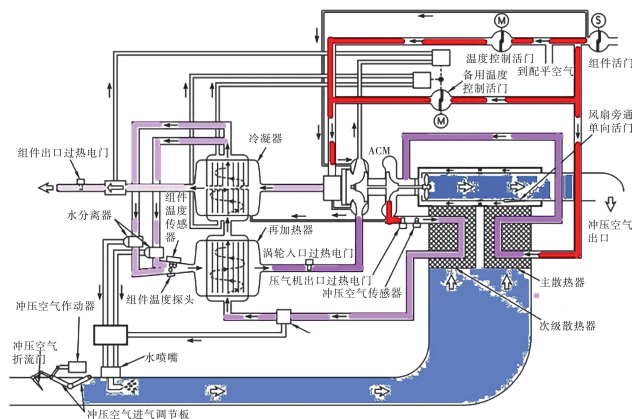


图 1 空调制冷原理

* 通信作者. E-mail: 750338123@qq.com

引用格式: 雷伟. 波音 737-800 空调制冷故障分析及健康监测 [J]. 民用飞机设计与研究, 2023 (1): 81-86. LEI W. Failure analysis and health monitoring of Boeing 737-800 air conditioning cooling [J]. Civil Aircraft Design and Research, 2023 (1): 81-86 (in Chinese).

路空气通过和冷凝器热路进行热交换后,作为冷路进入混合总管;热路空气来自于区域配平空气活门,两路掺混后进入座舱。

2 制冷故障分析

波音 737-800 机队空调性能带有明显的季节特性,夏季故障报告明显增多。统计近 5 年来运行数据显示:机组对空调系统故障报告约 200 次。其中,组件流量及制冷系统故障约占 73%^[2]。

2.1 散热器

散热器故障占制冷系统故障的比例为 38%,如图 2 所示。散热器是气气冷却、折翅式散热器,两股独立的气流从空气通道流过。散热器由于表面存在

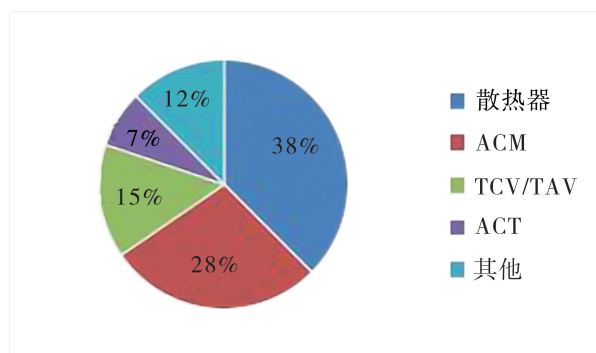


图 2 制冷系统故障类别

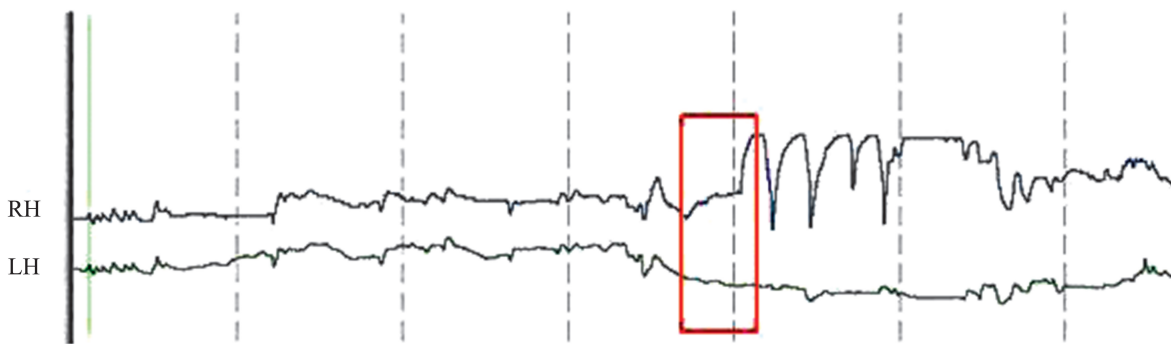


图 3 初期散热器出口温度参数趋势图

2.2 ACM

ACM 是一个由涡轮、压气机、风扇组成的同轴高速旋转组件,一薄层空气轴承支撑着轴,空气轴承可以让 ACM 在很小的摩擦下高速旋转。ACM 故障表现主要包括:转子卡滞、制冷效果下降、风扇叶片磨损断裂等^[2]。

波音维修方案中,没有针对 ACM 的例行维修项

的灰尘、杂物堵塞而降低冷却效率,其故障现象多为空调温度偏高或冲压进气门全开灯保持亮。根据空调运行数据统计分析,散热器使用循环数接近 1 500 以上时,散热器性能开始明显影响空调制冷效果。针对夏季高温和环境空气污染状况,采取定期更换空调散热器、定期在翼水洗或氮气吹洗散热器以及定期监控空调参数并提前干预的方法,来保证系统的制冷能力。目前,散热器清洁或更换工作仅以时限为依据具有一定的局限性和盲目性。根据维护经验,初/次级散热器进出口温度和温降能较为准确地反映散热器的清洁程度。定期对散热器进出口温度进行采集能为散热器相关工作提供一个相对可靠的参考和依据,并且能优化目前的散热器清洁及更换方案。此外,基于预防性维护思路,适航文件内执行工程线路改装方案为对波音 737-800 飞机空调系统初级散热器出口管道安装温度传感器,以此来监控散热器温度及效能。通过采集初级散热器出口温度快速访问记录器(quick access recorder,简称 QAR)参数,对比左右侧空调参数变化情况,能够有效发现性能衰退趋势,地面人员及时采取措施排除故障。故障一侧散热器出口温度快速升高而导致组件跳开;另一侧满足组件工作要求,散热器出口温度随之降低,如图 3 所示。

目。航线运行中,ACM 故障按 MEL 放行限制较多,风险较大。基于预防性维修方案,通过在散热器拆卸、清洁和安装工作中,增加检查 ACM 风扇叶片状况以及 ACM 启动力矩的工作,可以发现叶片磨损超标的情况。通过对空调性能数据监控和可靠性分析发现,ACM 风扇叶片磨损/断裂故障与散热器严重污染有一定关系,建议加强散热器的清洁工作。

根据历史数据分析,ACM 检查工作与卡滞故障间隔时间的关系比较离散,ACM 卡滞具有较强的突发性。针对 ACM 性能下降的情况,目前通过循环执行监控管道温度并视情纠正措施来预防。此外,借助孔探设备检查 ACM 状态有一定效果。方法如下:将孔探摄像头通过扩散管单向活门深入扩散管内筒,对 ACM 进行拍照。如图 4 所示,左 ACM 叶片脏、叶片尖端风蚀严重;右 ACM 叶片状态干净、完好。利用孔探仪的测量功能,还可以测量风扇叶片弦长,并与 AMM 标准进行对比。



a) 左 ACM



b) 右 ACM

图 4 ACM

2.3 TCV/TAV

件号为 398908-3/398908-4 的温度控制活门,属于电气作动活门,根据控制系统电信号调节或关断气源系统的气流。通过向相应的电机电路供电,活门蝶形盘可以双向作动,由凸轮作动的极限位置电门在全开和全关位向旋转电机提供关断信号。在波音 737-800 飞机上,该活门用于空调组件温度控制活门(temperature control valve,简称 TCV)以及区域温度配平空气调节活门(简称 trim air valve,简称 TAV)位置。近 5 年来,温控活门非计划拆换率一直处于较高水平。根据波音技术文件,当组件/区域温度控制器(pack/zone temperature controller,简称 PZTC)中储存有相关故障信息时,P5 板 PACK 灯或 ZONE TEMP 灯将在 Master Recall 测试时点亮。此类信息

通常可以复位清除,空调系统功能正常。依据波音 737NG-FTD-21-09003 和可靠性分析报告表明:设计缺陷是活门故障主要原因,当左组件 TCV 或驾驶舱 TAV 失效在开位,该故障可能导致客舱、驾驶舱温度过高。波音发布 SB 737-21A1203 支持更换左组件 TCV 及驾驶舱 TAV 位置件号为 398908-4 的活门。霍尼韦尔针对 TCV 的设计缺陷,重新设计了 398908-5 的 TCV,使用 398908-3 构型上的限制电门(耐热性、可靠性更好)以及改进后的作动器,并保留了 398908-4 构型上新型的蝶形盘密封环。

2.4 ACT

Ram air inlet actuator,冲压进气门作动器,简称 ACT。目前波音 737-800 机队存在 2 种构型冲压进气门作动器:旧构型(ram air door actuator,简称 RADA),件号 541674-4;新构型(smart ram air door actuator,简称 SRADA),件号 67600014-1。新构型 ACT 送修后经常测试 NFF(no fault found),送修后返回件中,NFF 率高达 50%。依据波音 737-SL-21-109 提供的信息,SRADA NFF 率高与系统部件的上电顺序有关。SRADA 由自身控制器进行控制,当系统上电时,PZTC/PFTC(pack zone temperature controller/pack flow temperature controller)会进行 BITE(Built-in Test Equipment),因产品设计问题,当 SRADA 控制器晚于 PZTC/PFTC 上电时,PZTC/PFTC 认为这种情况属于“故障”,因此会触发一条故障代码储存在 SRADA 控制器的存储器中,当执行 Master Recall 操作时,该故障代码就会被调出,并点亮 PACK 灯。故送修件在测试台上无法检测出故障。目前,波音已修订相关手册,强调排故及换件过程中,需要对相应的 ACT 跳开关进行复位,以便清除存储在 SRADA 控制器中的故障记忆,尽可能减少 Master RECALL 后点亮 PCAK 灯的概率。RADA 送修报告表明,主要故障为 ACT 内部的轴承、衬套等部件老化,导致部件性能衰退。针对 RADA 构型作动器,波音推出 SB 737-21-1174,对现有冲压门机构进行改装:更换作动器的连杆手柄组件并改装固定端衬套,减少作动器的负载。针对折流门松动及进气门机构磨损问题,按照手册要求对冲压门机构进行检查并调整。

2.5 其它部件故障

其他空调部件故障发生率不高,且分布相对离散。在翼清洁散热器时检查扩散管单向活门安装

表 1 驾驶舱空调温度数据采集

机号	环境温 度/℃	APU 管道 压力/PSI	左组件出 口温度/℃	驾驶舱管 道温度/℃	左散热器 时间/h	前舱管道 温度/℃	前舱区域 温度/℃	后舱管道 温度/℃	后舱区域 温度/℃	右散热器 时间/h	右组件出 口温度/℃
----	------------	------------------	---------------	---------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	---------------

温度 20 ℃ 左右,组件出口温度 30 ℃ 左右^[3]。根据采集的空调数据进行统计分析,识别出制冷效果差的飞机,及时采取维护措施,防止空调制冷差影响服务质量。

3.2 空调性能参数实时监控

传统方式下,通过地面采集空调系统运行数据,实现对空调系统健康监测的目的。但随着机队规模的大幅增加,地面人工采集数据的方式不仅花费大量的人力和物力,而且存在实效性和局限性。地面采集到的数据是在飞机落地后空调系统的运行状态,无法实时获知空中航段的工作状况。该方式没有有效利用数据采集组件获取实时数据做译码分析,不能准确分析出具体故障源头,仅仅通过故障现象来换件,一个个排除故障部件,效率不高且准确性差,被动排故容易导致重复性故障发生,且无有效预警机制和性能衰退趋势分析。

通过对空调系统线路原理的深入分析,在满足适航安全的前提下,对一些传感器执行工程改装方案,对空调系统参数自动远程采样,可实现空调性能监控和趋势分析。线路改装涉及到的传感器有:组件温度传感器 T471/T474、冲压空气控制温度传感器 T481/T482、混合总管温度传感器 T472/T475^[4-5]。通过线路改装,数字飞行数据采集单元(digital flight data acquisition unit,简称 DFDAU)可

以识别出传感器的信号。如图 6 所示,通过控制显示组件(control display unit,简称 CDU)可方便读取空调传感器温度值。地面人员通过对 QAR 数据译码分析,可方便监控全航段空调系统运行状态。



图 6 CDU 监控空调温度

利用 ACMS 实时动态监控功能,通过 ACARS 空地数据链实时向地面下传空调监控报文,实时监测空调运行状态。当监控参数偏离门限值时,邮件或短信通知维护人员进行相应检查处理。空调系统实时监控流程图如图 7 所示。

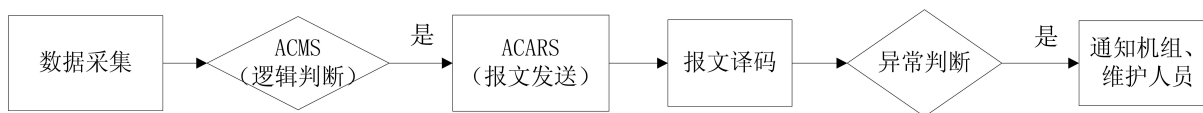


图 7 实时监控流程图

4 结论

空调系统管路、部件和传感器线路相对其他系统而言会复杂些。在实际维护实践中,空调系统性能不佳的原因往往是若干个部件性能衰退的结果。为有效降低故障率,并有效提高排故效率,结合典型故障对现行空调系统维修方案持续优化,加强对空调故障的监控和处理力度,提前发现性能下降的

部件进行预防性维修和排故,可确保空调工作性能良好,为航司赢得声誉。

参考文献:

- [1] The Boeing Company. 737-700/800/900 Aircraft Maintenance Manual [Z]. [S.l.]: The Boeing Company, 2018.
- [2] 厦门航空. 厦门航空 737NG 机队空调性能可靠性分

- 析报告[R]. [S.l. :s. n.],2018.
- [3] The Boeing Company. 波音服务信函:SL 737-SL-21-108-A[Z]. [S.l.]: The Boeing Company, 2018.
- [4] The Boeing Company. 737-700/800/900 Wiring Diagram Manual[Z]. [S.l.]: The Boeing Company, 2018.
- [5] 沈凯杰,赵红华,苟俊哲,等. 波音 737NG 机队空调性能趋势监控方法研究[J]. 航空维修与工程,2018, 3(3):80-82.
- [6] The Boeing Company. 波音服务通告:SB 737-21A1203 [Z]. [S.l.]: The Boeing Company, 2013.
- [7] The Boeing Company. 波音服务通告:SB 737-21-1174 [Z]. [S.l.]: The Boeing Company, 2013.
- [8] 常士基. 现代民用航空维修工程管理[M]. 太原:山西科学技术出版社,2002:249-252.
- [9] 任仁良,张铁纯. 涡轮发动机飞机结构与系统[M]. 北京:兵器工业出版社,2006:340-341.
- [10] The Boeing Company. 波音 737NG 飞机维护计划文件(MPD)[Z]. [S.l.]: The Boeing Company, 2018.
- 作者简介**
雷 伟 男,硕士,工程师。主要研究方向:航空器适航与维修技术、飞机维护可靠性分析。E-mail: 750338123@qq.com

Failure analysis and health monitoring of Boeing 737-800 air conditioning cooling

LEI Wei *

(Xiamen Airlines Company Ltd. , Xiamen 361006, China)

Abstract: The air conditioning system provides the internal environment system of the aircraft for the crew, passengers and equipment, and the performance of air conditioning directly affects the passengers comfort and normal running of the equipment. During the high temperature season, the cooling demand for air conditioning is high, and the frequent failure of air conditioning often affects the safe running of aircraft. With the increasing size of the fleet, how to efficiently manage and control the running of the air conditioning system is an important technical issue for the airline company. Taking the Boeing 737-800 as the research object, this paper uses the aircraft maintenance manual (AMM) and the fault isolation manual (FIM), introduces the principle of air conditioning cooling, deeply analyzes the typical faults affecting the cooling performance, and provides effective measures. The air conditioning health monitoring scheme and its implementation path were introduced. Through the application practice of the fleet, this scheme can effectively monitor the cooling performance of air conditioner, greatly improve the maintenance efficiency, ensure the flight operation, enhance the independent innovation ability, and win the reputation of the enterprise.

Keywords: air conditioning cooling; performance analysis; health monitoring

* Corresponding author. E-mail: 750338123@qq.com