

APU航线维护策略研究

刘西鹏

(中国东方航空西北公司 飞机维修基地,陕西 西安 710082)

摘要:以 APU 失效故障的统计分析和翻修经验为基础,分析了导致 APU 失效的内、外部因素,给出了 APU 的小时成本估算法。并以减少或削弱失效故障产生根源、提高派遣可靠性、降低综合维修成本为目的,提出了 APU 的航线使用策略、日常维护与例行检查策略、视情检查策略和排故策略,从而系统地建立了对机队管理和航线维护具有指导意义的航线维护综合策略体系。

关键词:失效故障;维护策略;APU

中图分类号:V267 **文献标识码:**A

0 引言

APU(辅助动力装置)的服役寿命既是反映 APU 的设计制造可靠性和厂家修理质量的重要指标,又是衡量航空公司机队管理和航线维护水平的重要参数。导致 APU 不能继续在翼使用的原因,除例行工作需要外,一般都是航线不可排除的故障,这种故障称之为失效故障。失效故障的出现,一方面源于设计制造(R&D)的缺陷或修理(R&O)的缺陷;另一方面来自使用维护不当。因此,以分析失效故障的原因,制定系统的预防措施,作为航线维护程序的补充和技术管理的参考策略,将显著提高并持续改进 APU 的航线使用维护水平,提高在翼使用时间和派遣可靠性,降低综合维修成本。

1 失效故障分析

失效故障包含两个方面:一是航线报告的故障(unscheduled removal reason),是故障的表现;二是修理厂家最终确认的故障(shop findings),是本质的原因。由 Honeywell 统计的常见 APU 失效

故障^[1,2]如表 1 所示(按出现几率降序排列)。

表 1 两种机型 APU 失效故障表

机型	报告故障排序	确认故障排序
GTCP331-250H	滑油渗漏/滑油耗量高	冷却风扇
	自动停车	热部件烧蚀
	不起动	不确定原因
	引气低压	动力/负载封严
	金属屑	未确定原因
	检查未通过	未发现故障
	超温	齿轮箱组件
	客舱异味	涡轮封严
	尾喷排烟	涡轮回油泵
	结构损伤	外物损伤
GTCP36-300A	自动停车	未发现故障
	客舱异味	涡轮
	漏滑油/滑油耗量高	稀油电磁活门
	引气低压	热部件
	不起动	负载压气机部分碳封严
	检查未通过	进气导向叶片
	超温	涡轮封严
	尾喷排烟	压气机进口壳体
	异常噪音	起动离合器
	金属屑	IGV 动作筒

统计表明,21%的 APU 不工作故障是由 APU 本体导致的,而 38%的不工作是由主要的 8 个附件故障导致的^[3]。因此,失效故障由两类相互作用的原因造成:

内部缺陷 包括设计加工缺陷(单个零部件内部缺陷)和装配缺陷(反映零部件相对位置关系)。可分为:热部件应力疲劳和热疲劳,产生烧蚀或裂纹,表现为效率下降,不启动,引起压力低,超温等

收稿日期:2005-05-10;修回日期:2005-06-22

作者简介:刘西鹏(1972-),男,陕西西安人,工程师,工学硕士,研究方向为发动机维护维修技术、测试与排故、项目管理。

故障;封严的磨损失效,表现为燃滑油渗漏或客舱异味;传动件的损伤,表现为金属屑;气动壳体的损伤,表现为效率下降、高温或启动慢;LRU(航线可更换件)的失效。内部缺陷可以造成二次 FOD(外部异物损伤)和气动、润滑系统污染。

外部诱因 FOD、污染和功能附件工作异常。FOD 可导致结构损伤,加剧内部缺陷造成热疲劳和应力疲劳扩展,并能造成二次损伤;气动表面的二次损伤会导致气流损失加剧,效率下降。污染可导致气动曲面变形或磨损,效率下降,加剧由内部缺陷造成的损伤。渗漏(油、气)会导致或加剧系统效率下降的趋势。功能附件如燃油、滑油、空气、电源等控制调节附件异常,会加剧并扩展内部损伤。

航线维护不可能消除内部缺陷,应把重点放在尽早发现内部缺陷,延缓其扩展速度和及时消除或减少外部诱因,防止效率下降和结构性损伤上。其目的在于延长使用寿命,降低综合维修成本。

内部缺陷、FOD 及二次损伤主要涉及 APU 与外界的接口和防异物结构;各冲击部位损伤(短期);热部件烧蚀(热应力,长期);转子裂纹(长期周期性不平衡应力);气动曲面磨损(效率下降);承力壳体磨损或裂纹(振动);传动系统、离合器、冷却风扇、发电机驱动系、涡轮回油泵、滑油泵、转子本体(断裂、烧蚀、摩擦、撞击)。污染重点涉及气路、油路的防污和清洁上。效率方面重点在气路油路的渗漏、污染、磨损,降低并平衡负荷,排查内部缺陷及二次损伤上。外部附件故障使 APU 运营环境恶化,有的还会直接导致本体损伤或故障。

2 APU 航线使用策略

APU 是一个高价消耗件,其小时成本=总购买价格/总寿命+翻修费用/MTBUR+小时燃油消耗+小时管理费用,如图 1 所示。其中,MTBUR 是平均非例行换发间隔,TSN 表示总使用时间。

以 A320 飞机的 GTCP36-300A 型 APU 为例,海关参考价约 40 万美元,机队寿命按 10 年计算,平均日使用 5 h,平均翻修费用 20 万美元,MTBUR=3 500 h;平均小时燃油消耗 250 lb/h,约 500 美元/h;平均小时管理维护费用(日常维护的人工、设备、LRU 及其修理费用、耗材和一般管理费

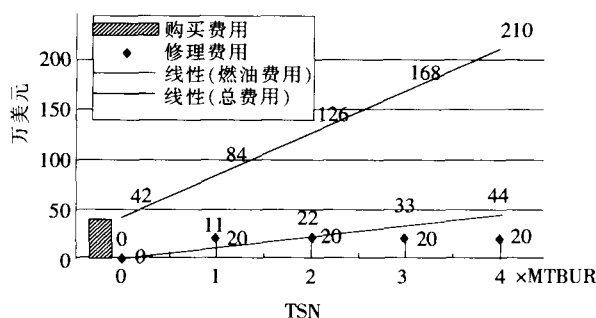


图 1 GTCP36-300A APU 总成本曲线

用,估计为其他费用总和的 20%),依此方法估算的平均小时使用成本不低于 140 美元。而 A300/310 的 GTCP331-250H APU 的平均小时使用费用约为 210 美元。

对一种小时成本为 150 美元的 APU,每天少使用 0.5 h,每年一架飞机可节约 23 万元人民币,对有 30 架飞机的机队则可节约 690 万元人民币。

1) 使用策略 尽量减少 APU 的运行时间,降低加载强度,延长 APU 的使用寿命。减少带故障运行时间,保持滑油及气路清洁,减少渗漏。

2) 操作策略 启动时必须确保进排气通畅,无异物或阻碍。加载前至少 5~10 min 慢车(暖车),使其热部件充分均匀加热;加载时应尽量平稳加载,不要频繁在各种载荷状态之间进行转换,逐步加减速,减少冲击载荷,减少剧烈的应力突变和热应力突变;关车前至少 5 min 慢车(冷却),使热部件充分冷却,减少应急关车。热部件膨胀程度不一致,将使磨损加剧;周期性的剧变热应力,将使烧蚀加剧;冲击性应力,会使内部损伤加剧。这种现象在刚完成修理未充分磨合 APU 时更为突出。

3 日常维护与例行检查策略

1) 清洁 尤其是进气通道、冷却风扇通道、散热器通道等部位,油污会导致气动外形的改变,使 APU 效率降低,温度上升,寿命下降;还会导致客舱异味,乘客投诉。P-1118APU 反映滑油耗量大,拆下后发现其冷却风扇叶片的气动曲面全部被污泥填平,冷却效率低,滑油长期处于高温状态,轴承和封严严重积碳磨损导致内漏。约 3% 的 36-300APU 不工作故障是通过清洗 APU 来排除的^[3]。

2) 滑油、油滤、滑油散热器维护 油滤或散热

器脏,会导致滑油温度高,润滑不良,加剧轴承和齿轮的磨损,增大转子振动并降低传动件的寿命。应定期检查滑油、油虑、磁堵,并及时更换滑油、油滤并清洗系统。

3) 渗漏(滑油、燃油、气)检查 滑油渗漏会导致滑油耗量增大,增加勤务工作量,并可能导致润滑、冷却、清洗效果不良,使转动系统受损。漏气导致效率降低,EGT(发动机排气温度)余度下降,热应力增大,加剧热部件的损伤,降低转子和热部件的寿命。由于APU上大量活门均采用电控气操纵,漏气也会导致活门工作不稳定,引起难于排除的故障。另外,热气泄漏也会加剧外部附件和导线系统的损伤,严重的还会引起区域高温。燃油泄漏会导致失火的危险,这是APU上唯一直接影响飞行安全的故障症候。

4) 完整性及FOD检查 在APU运转的过程中,每次接近APU时,都应对其进行完整性检查,以便及时发现并排除潜在的损伤或隐患,防止造成更大的损失。①进气滤网:进气滤网损伤,会使外来物更容易进入,导致FOD。一旦发现滤网撕裂,很有可能内部FOD已经产生,应进行内部孔探(内窥镜)检查。②IGV(进气导向叶片):IGV是APU上结构比较脆弱的部位,容易被外来物击伤^[4]。IGV损伤是FOD的重要标志。此时必须对负载压气机和压气机区域进行孔探检查,防止转子长期运行于不平衡状态,损伤机匣,或者导致严重的突发性结构性损伤。③压气机和负载压气机区域:该区域是最容易受外物损伤的区域,也是唯一可能在航线上目视检查到的转子区域,应着重加以关注。④外部机匣接口:外部机匣接口容易发生燃气、滑油等渗漏,也容易因结构受力的原因发生变形或装配位置异常,对发现严重的系统异常和结构损伤非常有价值。⑤附件:外部附件的异常损伤,有可能是运输或安装原因,但也有可能是由于结构振动或卡阻导致,一旦发现,必须找到确切原因,防止更大的损失。R-910APU曾因冷却风扇没有安装到底,导致齿轮没有完全啮合,风扇振动大,最终导致风扇组件和齿轮箱组件严重损伤。⑥线路连接:线路连接问题最容易导致时好时坏的软故障,尤其是线路连接、接头部位要重点检查。

5) 状态监控 ①起动状态监控:APU的起动过

程可从一个侧面反映出APU的性能和工作是否正常。在起动APU时,要重点监控起动时间,起动最高温度,起动机是否正常脱开,起动声音是否正常。起动时间一般不超过1 min,正常在30~40 s左右,起动时间长往往反映出起动机或FCU(燃油调节器)不好;对高龄APU,则反映出性能衰退,热部件严重损伤或严重漏气。起动温度过高是性能衰退的直接表现。起动机长时间不能脱开,表明起动离合器异常,会烧坏起动机或损伤齿轮箱。异常的起动声音,反映出转子或传动系统不正常,必须立即停车,进行转动检查和磁堵检查。②慢车监控:慢车时的EGT偏高,反映出性能衰退。一般在慢车时对APU进行渗漏检查和振动检查。没有发生异常时,才可以加载。③加载监控:在飞机上对APU进行加载时,必须严密监控转速和EGT以及声音。如果声音异常,EGT持续上升,或转速异常,必须立即减负载或停车,排除原因后方可继续加载试车。④关车监控:关车时应检查APU的运转声音和关车时间。异常声音可以反映出转子或附件传动系统异常。

6) 磁堵检查 磁堵检查是发现内部磨损的有效途径。一旦发现金属屑,说明内部磨损已经发生,碳封严的损伤已经开始出现。滑油中的细屑分为铁质、铜质或碳质。铁质金属屑会吸附在磁堵上,而其他细屑会沾在磁堵表面或混在滑油中,可通过放油发现。铁质金属屑表明轴承、齿轮或传动花键发生损伤,铜质颗粒表明发电机的电枢磨损,碳质颗粒是脱落的高温积碳,也可能是磨损的碳封严颗粒。

发现少量金属屑后应立即清洗滑油系统,并持续监控。如果颗粒不消失,说明损伤持续存在或在继续发展。大量金属屑出现后应分解整个APU,更换轴承和封严,彻底清洗并分解检查全部滑油系统零件。否则残留在某些滑油通道中的金属屑会对碳封严造成持续二次的损伤。经验表明,没有彻底处理的此类APU,会在1 000 h左右发生漏油(发生过3次);而铜质颗粒只可能来自发电机,必须对APU和发电机都进行修理。P-1248 APU因大量金属屑吊下,航线人员虽然发现了黄铜质金属屑,但吊发时直接装上了原发电机,导致其后装上的APU起动瞬间FCU法兰边断裂,起动机烧坏;后发现发电机转子严重磨损卡死,大量的金属

屑进入滑油泵中,导致其驱动 FCU 的花键轴不规则地剧烈震动,使法兰断裂;同时,金属屑严重堵塞离合器,起动机长时间不能脱开而过热烧坏。

4 视情检查策略

一旦 APU 使用过程出现较大的异常,应有针对性地进行检查和维护。

1) 自动停车后检查 自动停车后,必须根据停车原因进行相应的检查。但必须注意的是,ECB 指示的停车原因只是最有可能导致故障现象的电路相关的 LRU 问题。ECB 不能探测机械故障。如 ECB 反映“不加速”时,会给出各种可能导致故障的 LRU 件,但故障的根源可能与所有指示的项目无关,而是机械卡阻或效率严重下降。在这种情况下,转速不正常,凡是需要齿轮箱驱动的相关附件的特征参数都不正常,如燃油泵、起动机、IGV 动作筒、燃油分配器、稀油电磁活门等,在每次试图启动时,ECB 会随机反映上述部件的一个或几个故障,即使换掉全部 LRU 也不会排除故障。

2) 发现金属屑后的检查 参见磁堵检查。

3) 发现 FOD 后的检查 如果进气滤网损伤,则 FOD 可能来自 APU 外部,应该排除外部异物进入的原因。如果滤网正常,则说明 FOD 是由于发动机本身结构损伤产生的碎片导致的二次损伤,必须找到原始损伤部位,并对气流流经的各个部位尽可能进行孔探检查。即使很小的损伤也会导致应力集中,加剧应力疲劳和烧蚀情况。而流道的损伤会导致效率下降。

4) 发现性能衰退后的检查 性能衰退一般表现为发动机使用时间长,排气温度高,引气压力低。一般应对主要转子和热部件进行孔探,转子叶片或气流曲面损伤导致的间隙增大、效率下降是性能衰退的主要原因。

5) 高龄 APU 的检查 TSO(翻修后使用时间)超过 MTBUR 50%的 APU 应视为高龄 APU。如 GTCP331-250H 和 GTCP36-300A 的 MTBUR 约为 3 500 h^[1-2]。高龄 APU 效率低,EGT 裕度下降,可靠性降低,随时有可能失效,并且结构损伤呈加速趋势,应尽快拆下送修。如因故不能及时拆下,应该限制使用时间和载荷,定期孔探监控,防止发生严

重的结构性破坏。

5 排故策略

对出现故障的 APU,应参考手册排故。对排故手册不能涵盖的大量故障,应综合分析。

1) 一般排故策略 APU 排故一般可以参考手册中的排故程序来进行。但仍然存在大量的故障隔离程序不能涵盖的故障,必须以发动机物理原理为基础,先建立故障现象和故障产生外部诱因之间的联系,对相关系统有针对性地检查,逐步缩小故障范围;如果不能排除故障,则必须对故障产生的内部诱因进一步地排查,采用孔探、试车或者内场分解等手段,进行排除。

2) ECB 问题 ECB 只能监控特征参数,检测电路系统是否正常,不能监控或发现机械结构的故障,也不能检测机械连接、协调工作的问题。因此 ECB 反映的故障给出了一种提示性结论,只是故障现象与 LRU 关系的一种理论或统计关联,要结合对机械结构、LRU 件的连接(电路、油路、气路、机械传动等)做进一步的检查,对整体系统综合判断来确定故障原因。航线排故中,换完 ECB 指示的全部可能零件,故障不能排除的现象很常见。

3) 线路问题 线路问题是软故障的最主要原因。由于线路本身发生断裂、磨损、损伤的可能性并不大,大多数问题发生在线路连接或接头本身。这种问题量线不解决问题,量线时是脱开接头测量线路的,量不出接头和接触问题。R-933 号 APU 曾因滑油低压电门导线插头在翻修时固定插钉的橡胶件未取下,装上后接触不良,导致频繁无规律性 LOP(滑油低压)自动停车,长时间找不到原因,不得不拆下 APU 返回修理厂排故。

4) 偶发性故障或无故障吊发 偶发性故障是常见的问题,此类问题的根源是系统本身控制协调的失误,或内置软件系统的紊乱,不影响工作。约 17%的故障经系统重启动可以排除^[3]。无故障拆发也是很正常的现象,每 10 000 飞行小时约发生 4 次 36-300APU 拆下送修但未发现任何故障^[3]。总有一些复杂故障,受飞机上相关电源、空调、引气、客舱控制系统的交联影响而无法确认,需要送入修理厂,隔离飞机系统进行排故。

5) 拆装问题 排故过程中,必然要更换零部件。APU 冷区使用大量铝质件,随着温度变化,尺寸和塑性变化较大,一般采用紧固螺套结构连接。拆装易导致螺杆断裂或螺套脱落。此情况在航线上很难处理,有时不得不吊发修理。因此,必须特别小心,尽量等部件冷却后施工,并及时喷涂滑油或松动剂润滑降温处理。①管路安装。滑油、气和燃油管路一般采用喇叭口密封,对不正容易破坏封严或损坏螺纹,必须先用手拧紧后用扳手紧固。②紧固力矩问题。打完螺母或螺栓力矩后,必须用手检查垫片是否可动,如螺母下夹住了杂质颗粒,尽管力矩已够,实际上并未达到紧固的目的。

6) 发电机故障 发电机不属于 APU,吊发时必须确保发电机正常。发电机故障会损伤 APU。

APU 故障不是孤立的,可能是多种现象并存的,也是可以互相影响和相互转化的。只有通过故障现象的详细分析,综合运用排故手册和发动机物理原理,配合恰当的检查 and 测试手段,才能最终揭示故障的根源。

6 结语

航空营运人无法豁免适航性责任和经营效益

的压力,因此,航空运营人的工程部门不应仅局限于生产厂家提供的维护程序,而应该结合自身机队、气候、运营特点,不断完善其维修管理程序和技术程序,以安全运营并降低综合维修成本为维修管理的最终目标。可以利用航线使用策略来完善其运营管理;以日常维护和例行检查策略优化其例行维修活动;以视情检查策略和排故策略来指导非例行维护工作;并将上述检查项目视情加入航前、航后、周检、A 检、技术状态普查或者非例行工作单中,必将提高其维护水平并有效降低维修成本。

参考文献:

- [1] Honeywell Inc. Airbus A310/A300-600 331-250 commercial APU in-service summary[Z]. Phoenix, Arizona, USA: Honeywell Inc, 2000.
- [2] Honeywell Inc. Airbus A320 36-300 commercial APU in-service summary[Z]. Phoenix, Arizona, USA: Honeywell Inc, 2001.
- [3] Honeywell Inc. Honeywell 36-300 APU A319/A320/A321 operators' conference [Z]. Phoenix, Arizona, USA: Honeywell Inc, 2001.
- [4] Honeywell Inc. Honeywell 2004 technical symposium[Z]. Dali PR China: Honeywell Inc, 2004.

Study on APU Airline Maintenance Tactics

LIU Xi-peng

(Aircraft Maintenance Base, China Eastern Xibei Airlines, Xi'an 710082, China)

Abstract: Proceeding from statistics analysis of the APU failures and the experience obtained in a preemptive revisionism, this paper analyses the exterior and interior factors leading to APU failure, and gives an algorithm to estimate cost on hourly calculated basis, on purposes of eliminating failures' sources, enhancing dispatching reliability, as well as lowering comprehensive cost of maintenance. This paper also proposes the airlines' APU routine operation tactics, routine maintenance and regular overhaul tactics, conditional overhaul tactics and fault removal tactics. A comprehensive maintenance tactics system is therefore established, with strategically guiding significance to the air fleet management and to the comprehensive maintenance of airlines.

Key words: failure of removal; maintenance tactics; APU

(责任编辑:杨媛媛)