

[发动机]

某燃气涡轮发动机电动增压泵工作异常分析

文/刘 辉¹ 赖 华²

1. 上海电机学院; 2. 中国航发湖南动力机械研究所

某燃气涡轮发动机在使用过程中出现电动增压泵供油瞬时下降、响声异常的现象。通过燃气涡轮发动机的原理。大量试验数据的分析, 返厂检查和试验验证对比等对此故障进行了分析, 提出有效的解决方案并进行了验证, 为后续工作提供参考。

燃气涡轮发动机是以连续流动的气体为工质带动叶轮高速旋转, 将燃料的能量转变为有用功的内燃式动力机械, 是一种旋转叶轮式发动机。燃油泵是向发动机主燃烧室和加力燃烧室提供一定流量和一定压力燃油的油泵。燃油在燃烧室中通过燃烧将化学能转变为热能, 并将一部分热能转变为推进功。因此, 燃油泵是供给发动机能量并使其产生推力的能源设备, 发动机的性能与燃油泵的性能有密切关系。例如, 发动机最大推力与燃油泵能否以一定压力向燃烧室提供所需要的最大燃油量有关。高性能发动机需要流量大、压力高的高性能燃油泵。因此, 对燃油泵的研究一直是航空发动机及其控制系统发展的关键内容。

随着航空发动机推力的增加, 要求燃油泵提供更大的燃油量。随着燃油量的增加, 油泵的体积与重量大大增加, 这是高推重比发动机不允许的。为此, 采用轻质材料, 提高油泵的转速, 采用新的设计技术成为燃油泵的发展方向。用齿轮泵作为发动机主燃油泵的优点是流量大、体积小、可靠性高。但齿轮泵是由发动机带动的定排量泵, 油泵出口流量取决于发动机转速, 而发动机所需要的燃油流量的调节是依靠调节回油量实现的。在高空低速飞行时, 发动机仅需要很少的燃油流量, 这就必须由回油阀将油泵出口的大量燃油再回流到油泵进口, 不

仅耗损能量, 而且大量回油使燃油温度迅速增加, 降低了燃油冷却各部件的冷却效果。变速变流量的齿轮泵是今后齿轮泵的发展方向, 即齿轮泵不由发动机带动, 而由大功率高速电动机带动, 通过调节电动机转速改变油泵转速, 从而达到调节供油量的目的。油泵转速独立于发动机, 更便于对供油量的控制, 有利于控制性能的提高, 此外大功率电动机还可作为发动机的起动动力, 对发动机起动也是有利的。采用变速变流量的齿轮泵的困难在于大功率的电动机的体积与重量必须在可接受的范围。采用离心泵作为主燃油泵和加力燃油泵的优点是结构简单、重量轻、油温温升小、可靠性高、流量大, 缺点是小流量时温升高、压力摆动大。新型离心泵采用整体式燃油泵和计量装置; 各转动部件和静子采用耐高温复合材料; 采用新型叶轮设计和封严技术; 采用无刷直流电动机作为驱动器。这些技术的应用, 使离心泵能满足在全飞行包线范围内从发动机起动到最大状态的供油量和供油压力。

油泵是一种能量转换装置, 它将原动机的机械能转变为具有一定流量和一定压力的液体(工作介质)的能量。燃油泵的工作介质为燃油, 它是向发动机主燃烧室和加力燃烧室提供燃油的油泵; 航空发动机作为热机和推进器, 将油泵所提供的燃油的

热能转变为有效功，产生相应的推力，而发动机推力和耗油率取决于对油泵供油量的控制。因此，燃油泵是航空发动机控制系统的重要组成部分。

燃气轮机工作时需要足够的燃油供给。某型燃气轮机装备的电动增压泵是燃油供给系统的一个重要环节，安装在燃气轮机舱的侧壁上，作用是把从油箱来的燃油经增压后供给燃气轮机的燃油调节系统，保证燃气轮机正常工作的油量，由直流电动机带动增压泵正常工作。某燃气轮机在试验时，电动增压泵工作屡次出现异常响声现象，对电动增压泵的工作原理、结构进行分析可知，导致异常响声主要由泵用直流电动机故障原因造成，为此提出了解决措施，并对其进行了试验验证。

电动增压泵的工作原理

1. 组成

旋板泵又称叶片泵，在现有航空发动机燃油系统中，通常用做辅助增压泵。其质量优于柱塞泵和齿轮泵，抗燃油污染能力优于柱塞泵，而供油量的调节性能又比齿轮泵好。

用于某燃气涡轮发动机上的电动增压泵主要是为了将燃油箱来油进行增压后供给燃气涡轮发动机，由直流电动机和旋板泵组成，直流电动机带动旋板泵工作。其结构图如图1所示。

2. 工作原理

油泵的吸油和排油：油泵壳体内装有一个旋转子组件，由偏心衬套、旋转子 and 四块相互垂直的旋板及上下轴承座等组成。当传动轴带动旋转子旋转时，四块相互垂直的旋板所形成的四个容积逐渐发生变化，即有两部分容积由小变大形成真空吸油，另两部分容积不断减小形成排油。由于传动轴在电

动机的带动下连续地带动旋转子旋转，从而完成连续不断地吸油和排油。

减压活门：增压油路中燃油压力的大小随调压弹簧压力的大小相应变化，当出口压力超过调压压力时，使多余的燃油流入到进口，达到减压的目的。

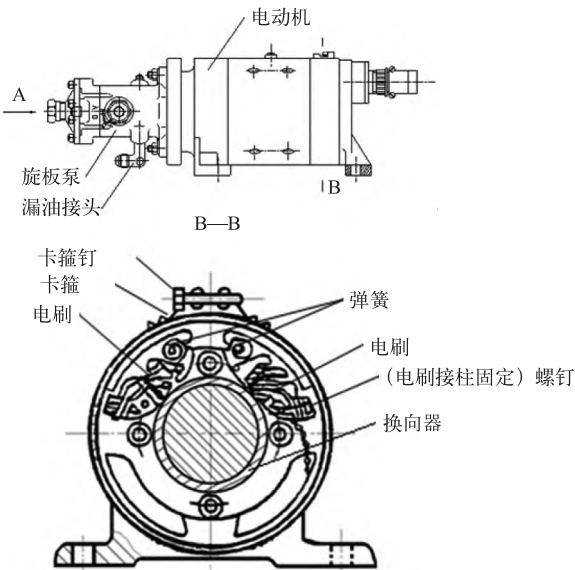


图1 电动增压泵结构图

故障现象及故障分析

1. 故障现象

某型电动增压泵在使用时出现电动增压泵供油瞬时下降、响声异常的现象，经现场更换电动增压泵，故障现象排除。对故障件进行性能检查发现，故障件的泵压力有摆动、工作电流降低现象，故障件出厂时性能检测结果与复试性能检测结果对比见表1。

表1 增压泵出厂时及故障后复试性能对比

电压/V		进口压力/bar		出口流量/ (L/min)		出口压力/bar		工作电压/V		密封性	
出厂	复试	出厂	复试	出厂	复试	出厂	复试	出厂	复试	出厂	复试
24±0.5	24±0.5	0	0	0	0	0.21	0.189~0.21	7.2	4.7	各结合面无渗漏油	各结合面无渗漏油
		0	0	110	110	0.188	0.175~0.189	7.0	4.6		
		-0.039	-0.039	70	70	0.138	0.134	6.8	4.6		

2. 故障分析

通过对故障件进行分解检查试验，发现故障电动增压泵的泵用直流电动机试验时存在间歇工作的异常现象。将故障电动机防护带拆下，现场检查发

现换向器表面烧伤（发黑），如图2所示。换向器表面有油污附着，如图3所示，导致电刷与换向器接触不良，从而引起电动机工作不正常。

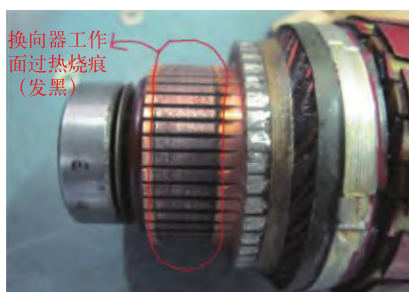


图2 故障件换向器

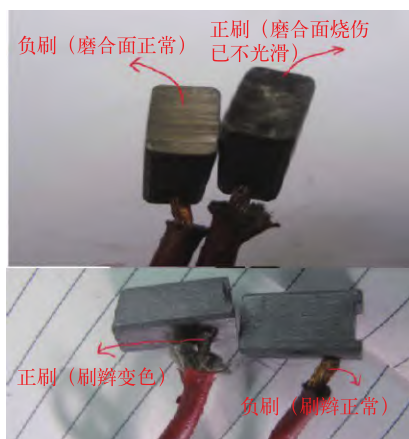


图3 故障件电刷

经过反复试验分析发现,此工作异常现象是由直流电动机内腔有油引起的。直流电动机在正常运转时,工作声音是比较平稳、柔和的。电动机工作时的声音主要是由机械噪声、电磁噪声和通风噪声组成,电动机工作声音异常来源见表2。

表2 电动机工作声音异常来源

故障来源	故障原因	检查方法
机械噪声	转子动平衡不好 电动机轴间间隙不合适 电刷与换向器接触不良 轴承问题 电动机内部进入异物	用断电法检查: 若电动机断电声音消失,是由电磁噪声原因引起 若电动机断电声音随电动机惯性运转产生的噪声,是由机械噪声原因引起
电磁噪声	电动机匝间短路、相间短路、并联绕组中有支路断路 电动机长时间过载工作	

3. 故障定位

针对此故障产品,通过排除试验,确定这台产品工作声音异常是由机械噪声电刷和换向器接触不良引起的。

4. 工作声音异常原因分析

电动机正常运转时,电刷和换向器表面形成一

层氧化膜,起到良好的导电润滑效果。对于有刷电动机换向器表面要求较高,表面应清洁干燥,无任何油类、水分和灰尘等异物破坏氧化膜。

由于电动机内部进燃油,污染了换向器表面,加之工作环境湿度较大,破坏了已形成的氧化膜,并进一步影响氧化膜重新形成。造成电刷和换向器不能充分接触,增加接触电阻及换向火花。此时会产生如下现象:一是会引起电刷过热膨胀卡滞在电刷盒内;二是加快了电刷和换向器工作面的异常磨损,使换向器及电刷之间滑动性能变差,换向器表面出现条纹及沟槽,最终造成电动机间歇性工作或换向器烧伤以及磨损严重。

在工作状态下,由于电动机内部进油,导致轴承润滑脂被稀释,离心力的作用将被稀释的润滑脂从轴承内甩出,甩出的润滑脂、碳粉和航空燃油的混合物附着在电动机的内部,导致换向器表面、定子内腔、电枢装配上和轴承防尘盖上有黑色泥状物质。电动机轴承一直处于非正常工作状态(轴承润滑不良),随着工作时间的增加,滚珠与内外圈保持架磨损加剧,造成轴承间隙增大,因而出现异常响声。

结束语

综合上述分析,该电动增压泵工作声音异常故障是由于泵用直流电动机在外场使用过程中进入燃油,引起电动机换向不良以及轴承润滑脂缺少,随着工作时间的延长,导致电动机轴承缺油以及间歇性工作而出现异常响声。产品在设计和使用时应采取措施加强电动机连接部分的密封性,避免异物进入电动机影响其正常工作。**EA**

(收稿日期:2023-02-01)

参考文献

- [1] 樊思齐. 航空发动机控制[M]. 西安:西北工业大学出版,2008.
- [2] 航空发动机燃油与控制系统旋板式燃油泵设计指南:HB Z 200—1991[S]. 北京:航空航天工业部,1991.
- [3] 陈昊洋,杜紫岩. 涡轴发动机动力涡轮转速传感器容错控制方法研究[J]. 电气应用,2021,40(6):99-105.