

游星齿轮轴承失效分析

谭 帅, 曾西军

(哈尔滨航空工业(集团)有限公司, 哈尔滨 150066)

【摘 要】 某发动机用游星齿轮轴承在工作过程中发生失效, 保持架断裂, 滚棒、滚道磨损。本文对失效保持架、滚棒、中间齿轮轴进行了断口形貌观察、金相组织及硬度检测、化学成分分析等工作。分析结果表明, 保持架的断裂性质为疲劳断裂, 滚道的损伤性质为接触疲劳。游星齿轮轴承的失效主要与轴承组件中应力不均匀、局部应力过大有关。

【关键词】 游星齿轮; 轴承; 失效; 疲劳断裂; 接触疲劳

【中图分类号】 V233.4+5 【文献标识码】 A 【文章编号】 1673-6214(2007)02-0037-03

Failure Analysis on Bearing of Planetary Gear

TAN Shuai, ZENG Xi-jun

(Harbin Aviation Industry (Group) Co. Ltd., Harbin 150066, China)

Abstract: The planetary gear bearing of an engine failed in service with the fractured cage and the wearing rollers and raceway. Observations were performed on the fracture surfaces and examinations were given to metallography and hardness as well as chemistry compositions. The results showed that the cage fractured with a fatigue mode and the raceway was damaged with a contact fatigue mode. Failure of this planetary gear bearing is mainly related to the asymmetry stress and the local higher stress.

Key words: planetary gear; bearing; failure; fatigue fracture; contact fatigue

1 引言

在航空发动机转动部件的失效分析中, 相对于其它转动件而言, 轴承失效原因的分析最为困难。轴承的受力状态比较复杂, 而且当轴承的某一部分或零件发生破坏时, 由于轴承组合件的所有相关部件均会发生严重碰撞使失效特征或形貌发生严重破坏, 给分析工作带来困难; 此外, 在轴承使用过程中, 两种或多种失效机理可能同时起作用, 且相互影响^[1]。因此, 必须明确造成不同失效形式的各种原因或条件之间的因果关系。

某发动机游星齿轮轴承在外场工作 424 h 27 min 后进行定检时发现前机匣滑油滤中有大量的铝屑和少量的钢屑, 分解后发现减速器一级游星齿轮的一个中间齿轮轴承组件损伤(共三个中间齿轮轴承)。失效的中间齿轮轴承中, 中间齿轮轴严重剥落, 部分轴承滚棒剥落, 保持架掉爪, 与轴

承配套的间隔圈、锥形垫圈、薄垫圈和齿圈完好。

本文通过对失效保持架、滚棒、中间齿轮轴进行的断口形貌观察、金相组织及硬度检测、化学成分分析, 确定了游星齿轮轴承失效的原因。

2 试验结果

2.1 宏观观察

2.1.1 中间齿轮轴

失效轴承为双列滚子轴承, 在两个滚道中, 位于游星架后端的滚道基本完好, 位于游星架前端的滚道损伤严重, 主要表现为: 约二分之一周长(圆周约为 155mm)的滚道发生片层状剥落, 剥落区中间位置呈半月形, 剥落区下边缘呈明显凹陷, 剥落区周向边缘有小裂纹; 未发生剥落的滚道段上, 可见轻微的磨痕。在镀铜处存在轻微的微动磨损痕迹。

2.1.2 保持架

游星架前端的保持架已严重损坏,游星架后端的保持架基本完好。

游星架前端保持架的12个爪中,有6个爪从根部发生断裂,6个爪未断。

其中一个断爪断面可见疲劳断裂特征,疲劳起源于保持架根部靠外表面的位置(图1)。另外三个已碎裂成块或碾压成金属粉末,对应的保持架表面已被磨平。

6只未断的保持架爪也存在不同程度的磨损挤压痕迹。在兜孔的两个表面中,都存在一定的剥落,内表面的镀层也有剥落,其中一个爪已经被磨损掉了近1/2,还有一个爪根部存在一条裂纹,裂纹与保持架平面约呈45°。

游星架后端的保持架基本完好,但兜孔的两个表面上,存在一定程度的磨痕。对爪的根部进行观察,发现根部倒角加工质量较差,表面粗糙,不圆滑。

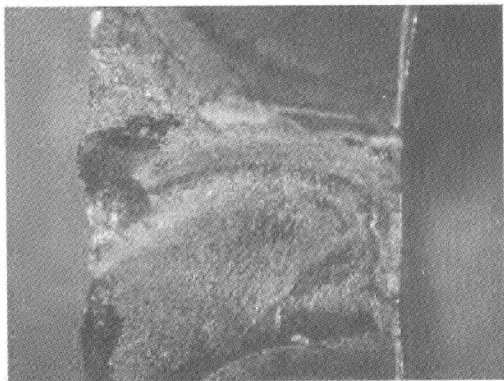


图1 保持架爪根部断口形貌
Fig.1 Fractograph of the cage prong root

2.1.3 滚棒

前后滚道中共安装有24个滚棒,前滚道中的12个滚棒均存在不同程度的损伤,其中5个滚棒出现大面积剥落,剥落形态及尺寸与滚道中的剥落相对应,另有4个滚棒损伤程度较轻,剥落及磨痕主要在滚棒的中部,表现为周向磨痕,其余的各只滚棒中,除存在剥落及硌伤外,还有挤压的痕迹。后滚道中的12个滚棒只在柱面上有极少量硌伤及轻微的磨痕。

2.2 硬度检查

2.2.1 中间齿轮轴

中间齿轮轴滚道处损伤位置附近的硬度是

61.7HRC;未损伤处的硬度是62HRC;两滚道中间部位的硬度是62.3HRC;心部的硬度是40.5HRC,均符合技术要求。

2.2.2 滚棒

未损坏滚棒的硬度为63.0HRC~64.5HRC,损坏的滚棒硬度为62.5HRC~65.0HRC,符合技术要求。

2.2.3 保持架

布氏硬度值为119(材料标准要求硬度 ≥ 110)。

2.3 显微组织观察

2.3.1 中间齿轮轴

中间齿轮轴表层组织为高碳马氏体及少量残余奥氏体,碳化物颗粒细小且数量很少,符合标准要求。心部组织为低碳马氏体,渗层深度为1.5mm,塑性及脆性夹杂物级别均为0.5级,均达到技术要求。

在中间齿轮轴滚道剥落区域下边缘的明显凹陷处取样观察,发现凹陷深度约为0.08mm,裂纹从剥落区向内部扩展(图2)。纵向剖面可见到裂纹的扩展方向。

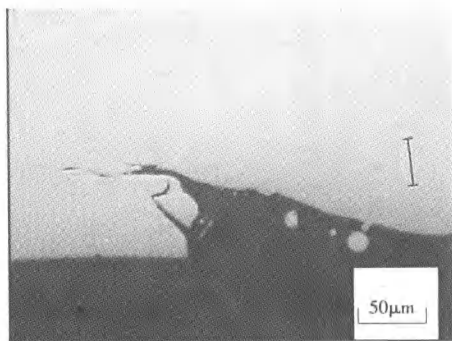


图2 齿轮轴损伤区裂纹形貌
Fig.2 Crack at the damaged zone on gear shaft

扫描电镜下观察滚道上的剥落区域,发现剥落处呈鳞片状,呈层状特征(图3)。剥落区为多块剥落连结而成,为疲劳剥落损伤形貌^[2]。

2.3.2 滚棒

滚棒显微组织为隐晶细小回火马氏体和均匀分布的细小碳化物,碳化物级别为3级,符合技术要求。脆性夹杂物、塑性夹杂物、点状不变形夹杂物均为0.5级,总和为1.5级,符合技术要求;未见碳化物偏析。

在剥落处取样观察发现,其裂纹的走向大部

分与表面呈一定角度,个别有与表面平行的及亚表面出现的裂纹如图4所示,为疲劳剥落的形貌特征。

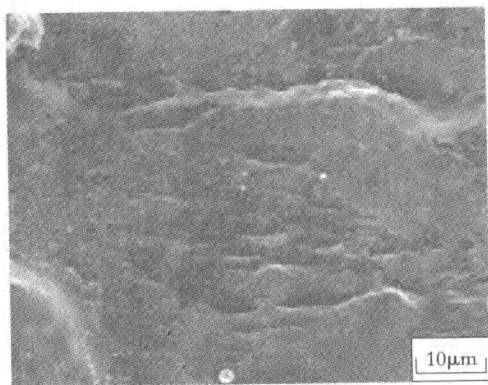


图3 齿轮轴损伤区形貌

Fig.3 Damaged zone of the gear shaft

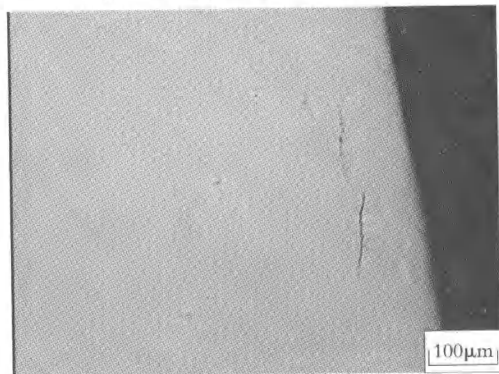


图4 滚棒损伤区裂纹形貌

Fig.4 Cracks at damaged zone of roller

2.3.3 保持架

保持架的显微组织为 α -Al基体上分布有第二相,未见过烧特征。

2.4 成分分析

化学成分分析结果表明,中间齿轮轴用材12Cr2Ni4A钢;保持架用材为LD7铝合金;滚棒材料经光谱定性分析,为GCr15。

对从中间齿轮两跑道中间凹槽里搜集到的金属粉末进行光谱分析,其所含元素主要为Fe,其它元素由多到少依次为Cu、Mn、Al、Cr、Ni、Pb。

3 分析讨论

轴承组件分析结果表明:保持架发生了疲劳损伤,滚道发生了接触疲劳损伤。而失效轴承组件材料的各项指标符合相关技术要求,因此,轴承

的失效应与材质无关。

减速器一级游星齿轮中,共有三个中间齿轮轴承。三个中间齿轮轴承中,仅有一个发生失效。失效轴承为双列滚子轴承中,在正常工作情况下,轴承的两排滚子系统载荷相同,滚子系统的损伤应该同时发生,而该轴承只有一个滚子系统发生严重损伤,一个则完好无损,因此推断故障轴承的失效和局部异常应力有关。

以下几种因素均可引发异常应力:一是外物进入,二是各零件间相互配合不当,譬如轴承的装配游隙、滚棒之间的直径差(一套差),三是某一零件的制造质量(包括材料质量、冷热加工质量)欠佳,在工作过程中,首先损伤,或直接造成其它零件的损伤。

从轴承的损伤形貌看,没有外物介入导致的压痕、击伤特征;从油泥和金属粉末的光谱分析结果看,未发现组件所用材料以外元素,因此,可排除外物进入轴承组件导致损伤的可能。由于轴承组件损伤严重,实际的装配游隙已被破坏,而滚棒也遭到了损伤,无法测量其尺寸,因此无法判断零件配合情况对本次损伤的作用。根据轴承组件分析测试结果,可以排除材质原因。就本次损伤而言,如果前滚道上有个别滚棒尺寸偏大,滚道与滚棒的工作状态将发生变化,这种变化可能导致滚棒与滚道的接触应力增大,也可能使两者之间的摩擦力增大,从而导致中间齿轮轴或滚子的损伤产生接触疲劳^[3],或者由于滚棒的运动状态发生变化导致保持架爪根部出现异常应力,而如果此时保持架爪根部加工质量又存在诸如角部不圆滑存在尖边的情况,则可能在保持架根部外径的尖角处产生疲劳裂纹并继续发展至折断。从前面滚棒及保持架的观察结果可以看出,保持架兜孔边缘的加工质量并不好,倒角粗糙且不圆滑,一旦出现异常应力,很容易在兜孔底部靠外圆的尖角处产生裂纹。

轴承组件中,游星齿轮轴承内套圈仅有公转,无自转,因此内套圈滚道面上有一个恒定受载区^[1],该受载区略小于半个周长。轴承内套圈滚道上的剥落损伤区(约74mm,圆周约为155mm)大小恰好略小于半个圆周长,可判定该损伤区对应于内套圈的恒定受载区。根据轴承损伤形貌,

(下转第61页)

动式的过滤分离器,完善地面储油系统的脱水及自动排放水系统;改善飞机油箱的结构,使其更易于排除水分杂质;在飞机油箱内和储油罐内采用抗微生物的涂料;定期对油箱进行吸水干燥;定期对油箱和储油系统进行微生物检测。另外,还可以在喷气燃料中加入抗微生物添加剂^[3]。

一旦证实燃油系统发生微生物污染,应及时清洁去除。油箱中的微生物的清除工作可以用机动刷或手用刷加水冲洗并干燥来完成,对已枯干并粘附在结构表面的微生物膜,可以用软质刮板加以清除。并采用生物灭菌剂来杀灭油箱中的微生物,国外有 Biobor JF 和 Kathon FP 1.5 灭菌剂,国内有 T901A 灭菌剂等,使用浓度低灭菌效果好。杀菌剂类型已知的有吗啉及其混合物、异噻啉的混合物等^[3]。

7 结束语

燃油微生物对飞机的危害正逐步得到飞机维

护工程人员的重视,国外航空公司在对燃油微生物的监测与控制领域方面的研究已远远领先于我们,国内还没有一套快速完整的监控方法,检测方法的市场化更是空白,有待我们加大研究的力度。

参 考 文 献

- [1] 夏志新. 液压系统污染控制[M]. 北京:机械工业出版社, 1992:10-15.
- [2] IATA Aviation Fuel Working Group. Guidance Material on Microbiological Contamination in Aircraft Fuel Tanks[J]. *International Air Transport Association*, 2005:1-20.
- [3] 吴晓金. 喷气燃料的微生物危害及对策[J]. 中国民航飞行学院学报, 2001, 12(4):20-22.
- [4] 顾继东. 微生物对金属的腐蚀和对有机材料的分解[J]. 材料工程, 1999, 7:5-7.
- [5] 周德庆. 微生物学教程[M]. 北京:高等教育出版社, 2002:25-35.
- [6] 朱绒霞, 杜会玲. 航空燃料系统铝合金的微生物腐蚀[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2002, 19(2):28-29.
- [7] 袁斌, 刘贵昌. 材料微生物腐蚀的研究概况[J]. 材料保护, 2005, 38(4):38-41.

(上接第39页)

推断轴承的失效过程为,滚棒运行到内套圈恒定受载区时,运转受到不正常的阻滞作用,使本应受力很小的保持架受到不正常的相对较大的应力作用,当该力超过保持架能承受的应力水平时,保持架某一爪在根部倒角处将产生疲劳裂纹,造成该爪相邻的两个滚棒运动空间加大,运转更不平稳,疲劳裂纹进一步扩展,至一定深度时保持架爪发生断裂。掉下的爪或块,落在滚道内,引发滚棒的不正常滚动,内滚道表面产生疲劳剥落损伤,随着碎块和碎屑的增多,滚棒与滚道之间的接触应力急剧增大,滚道的疲劳剥落加速,滚棒同时也会发生剥落损伤。随着轴承的运转,掉爪逐渐被碾碎,与滚道的剥落碎屑一起随润滑油逐渐排出(油滤检测时将发现大量的金属末)。这样,与该掉爪相邻的两个滚棒运动空间增大,运转更加不平稳,对其相邻爪的撞击力更大,导致相邻爪根部的疲劳裂纹加速扩展而相继断裂。随着掉爪增多,滚道剥落损伤也更加严重。

4 结论与建议

- 1) 游星齿轮轴承组件中保持架的断裂性质为疲劳断裂,滚棒、滚道的损伤性质为接触疲劳;
- 2) 游星齿轮轴承的失效可能与轴承组件中应力不均匀、局部应力过大有关;
- 3) 建议严格控制滚棒的冷加工质量,注意保持架兜孔倒角部位的冷加工质量,控制好轴承组件的装配质量。

参 考 文 献

- [1] 陶春虎, 钟培道, 王仁智等. 航空发动机转动部件的失效与预防[M]. 北京:国防工业出版社, 1997:217-223.
- [2] 张栋, 钟培道, 陶春虎. 机械失效的实用与分析[M]. 北京:国防工业出版社, 2000:204-207.
- [3] 宋海荣, 赵爱国, 刘元春等. 某发动机轴承失效原因分析[J]. 失效分析与预防, 2006, 1(2):49-52.