

WJ5A1 发动机中央传动锥齿轮组件故障分析及改进措施

Failure Analysis and Improvement Measures on the Central Transmission Cone Gear Assembly of WJ5A1 Engine

刘阿林 (中国民航局沈阳航空器审定中心)

Liu Alin (Aircraft Certification Center of Shenyang of CAAC)

[摘要] 通过对 WJ5A1 发动机中央传动锥齿轮组件故障进行调查、分析, 阐明了原中央传动锥齿轮组件结构设计存在不安全因素。中央传动锥齿轮与轴的配合紧度小, 圆柱销在变化载荷作用下传递扭矩, 与其孔的配合表面产生微动磨损, 微动磨损进一步发展造成了中央传动锥齿轮组件传扭失效。

关键词 发动机 扭矩 微动磨损

[Abstract] The central transmission cone gear assembly of WJ5A1 is investigated and the cause of failure is analyzed in this paper. The result shows that unsafe factors exists in the structural design of the former central transmission cone gear assembly. Fitting tightness between the central transmission cone gear and the axle is small. Columnar pin transfers the torque under alternate loading, and fretting occurs on the contact surface between the pin and the corresponding hole. Further growth of fretting leads to the failure of torque transfer of the central transmission cone gear assembly.

Keywords engine torque fretting

1 故障现象

WJ5A1 850088 发动机装某型飞机, 在起飞后油门从 100° 收到 65°; 突然自动顺桨停车, 单发着陆, 落地后冷转附件机匣内有异常声音。分解检查, 中央传动锥齿轮组件上的圆柱销及螺纹销全部损坏, 有沿轴向折断的, 也有沿径向剪断的, 折断的销子成碎条状; 销孔可见磨损、椭圆变形现象; 锥齿轮与轴配合脱落, 并在配合表面存在磨损痕迹。

2 故障调查

对发动机该组件的修理、维护、使用等情况进行了调查和统计, 发现在某厂修理发动机 400 多次中, 累计已发生 8 台次因中央传动锥齿轮组件松动而报废; 外场定检发现 1 台发动机中央传动锥齿轮组件松动故障; 对外场使用的部分发动机检查, 发现 3 台发动机的中央传动锥齿轮组件存在松动现象。此外, 因传动失效导致 1 台发动机空中停车。

统计发现其故障存在以下特点: (1) 故障发生率高达 3%。(2) 故障发生时间较为集中, 均在 3000h 左右。(3) 故障模式单一, 除空中使用发生传动失效外, 其它故障均表现为中央传动锥齿轮组件松动。

3 故障原因分析

3.1 材料分析

飞机发动机齿轮组件在工作时, 转速高, 传递功率大, 承受交变和冲击载荷, 在齿面之间产生很大的摩擦力及接触应力等。因此, 制造此类齿轮件的材料应有足够的强度和抗磨损性能, 足够的表面硬度。为使齿面具有高的耐磨性及减小表面脆性, 除确保零件表面渗层深度外, 还要求零件渗层组织中的碳化物呈细粒状均匀分布, 以便改善构件的韧性。

锥齿轮是选用 12Cr2Ni4A 钢制造。制造工艺流程为: 锻件毛坯 正火或调质处理 机械加工 渗碳及渗后热处理 (淬火及低温回火) 精加工至成品。故障件用原材料的化学成分和力学性能均符合 GB 3077 技

术条件规定。经对故障件的渗层深度、表面和中心硬度检测、显微组织观察分析,没有发现异常,符合该零件的热处理工艺规程要求。

3.2 结构分析

中央传动锥齿轮组件的结构是通过锥齿轮和轴径向过盈配合(过盈 $0.01 \sim 0.045\text{mm}$)、圆周方向4个过盈圆柱销和2个螺纹销将锥齿轮与轴刚性地连接到一起(图1),由锥齿轮与轴过盈配合表面摩擦和圆柱销传递扭矩。

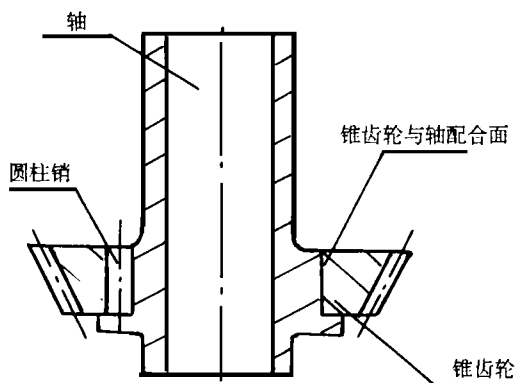


图1 中央传动锥齿轮组件结构示意图

Fig.1 Sketch of central transmission cone gear assembly

当锥齿轮与轴配合过盈量足够大而产生的摩擦扭矩足够传递工作载荷时,圆柱销承受的仅是由于材料弹性变形而施加的剪切力;当过盈量较小而产生的摩擦扭矩不足以传递工作载荷时,工作扭矩将克服摩擦扭矩而使锥齿轮与轴的配合表面产生相对滑动,此时圆柱销和锥齿轮与轴的配合面共同传递扭矩,圆柱销承受的剪切力增大。

通过计算可知,发动机起动时中央传动锥齿轮承受最大扭矩为 $287\text{N}\cdot\text{m}$,发动机稳定工作时承受最大扭矩 $96\text{N}\cdot\text{m}$ 。锥齿轮与轴最大过盈 0.045mm 时摩擦扭矩 $187\text{N}\cdot\text{m}$,最小过盈 0.01mm 时摩擦扭矩 $41\text{N}\cdot\text{m}$,因此当锥齿轮与轴过盈最小时,圆柱销在发动机和稳定工作时分别传递 $246\text{N}\cdot\text{m}$ 和 $55\text{N}\cdot\text{m}$;当锥齿轮与轴的过盈最大时,圆柱销在发动机起动时传扭 $100\text{N}\cdot\text{m}$,稳定工作时不传扭。

由此可见,WJ5A1发动机中央传动锥齿轮组件的圆柱销在发动机起动-停车循环中传递扭矩。锥齿轮与轴过盈越大,圆柱销传递的扭矩越小;锥齿轮与轴过盈量越小,圆柱销传递的扭矩越大。

3.3 中央传动锥齿轮组件的微动磨损

从中央传动锥齿轮组件设计来看,当圆柱销传递最大扭矩时,考虑到圆柱销承载的极限情况,由1~2个

销子先承力,则其形成的挤压应力为 $248.2 \sim 124.1\text{MPa}$,远远小于材料的屈服极限,结构的设计使圆柱销和销孔的应变均在弹性范围内。

圆柱销与销孔过盈配合,其圆柱销传递扭矩时,圆柱销与销孔在载荷作用下产生弹性变形,相互接触的表面产生微幅相对滑动,导致圆柱销与销孔微动磨损。根据微动磨损的机理,传递的扭矩越大,挤压应力越大,变形越大微动磨损越严重;反之越轻。

发动机从起动-工作-停车循环中,传递扭矩的圆柱销反复承受变化的载荷,随着工作时间的不断延长,圆柱销与销孔配合表面的微动磨损也在不断发展。当微动磨损发展到一定程度,圆柱销与销孔出现配合间隙。由于存在间隙而产生冲击载荷,该冲击载荷又使销子进一步地被挤压、碾磨而变细,间隙增大。间隙进一步增大,冲击载荷也在不断地加强,这样当冲击载荷产生的冲击应力超过材料的屈服极限时,圆柱销被剪碎导致中央传动锥齿轮组件传动扭失效。

调查的结果也说明了这样一个发展过程,在13台故障机中,12台在不同程度上存在松动现象,说明圆柱销和销孔已由装配时的过盈配合磨损发展成了间隙配合。这12台发动机如果不被提前发现,随着时间的延长发展的结果也是一样。第13台空中停车发动机的故障也是中央传动锥齿轮组件传扭失效。

3.4 故障原因

850088发动机中央传动锥齿轮组件传扭失效,与零件的材质无关,是由于锥齿轮与轴配合紧度小,圆柱销在变化载荷作用下传递扭矩,与其孔的配合表面产生微动磨损,进而出现间隙产生冲击载荷,磨损进一步加剧。当其达到一定程度时,冲击载荷超过材料的屈服极限,圆柱销与销孔产生塑性变形,圆柱销被剪碎。

4 改进措施和建议

(1) 更改结构设计,使锥齿轮与轴做成一体,不用圆柱销传递扭矩,消除微动磨损,从根本上解决传扭失效的问题。

(2) 利用电子束焊把原结构中的锥齿轮和轴焊成一体,工作扭矩完全由过盈配合面和电子束焊点承担。该法必须解决电子束焊点抗疲劳和抗氧化腐蚀问题。

(3) 在准确判断初始装配过盈和微动磨损发展速率的情况下,有条件地限制使用到微动磨损产生间隙。

(4) 这种圆柱销传递扭矩的结构设计中,圆柱销和销孔表面存在微动磨损,有潜在的不安全因素,在重要的传扭机构中应谨慎使用。