

新型耐磨抗腐蚀涂层在主减速器集油器中的应用研究

Application Study of a New Wear-Proof and Corrosion-Proof Coating for Oil Catcher of Main Gearbox

■ 王俊/中国航发动研所

新型耐磨抗腐蚀涂层可使零件表面具有更优异的力学性能和物理、化学性能，能很好地解决集油器与行星架接触表面因阳极化膜被磨损而换件的问题，能有效延长行星传动系统的使用寿命。

通常情况下，传动系统工作过程中的磨损、腐蚀、疲劳等失效现象是缩短装备使用寿命、消耗维修费用的主要因素。传动系统的故障往往是个别零件失效造成的。而零件失效基本上是从局部表面开始，例如，腐蚀是从零件表面开始，摩擦磨损在零件表面发生，疲劳裂纹由零件表面向里延伸。主减速器的行星系集油器的失效也不例外，如图1所示。

涂层的失效机理及解决办法

集油器通常是用螺栓安装在行星架上，随行星架转动，为行星轮系收集和提供润滑油。行星架的材料为高强度合金钢，而集油器由上盘和下盘组成，上盘和下盘通过氩弧焊焊接而成，上下盘的材料为铝合金LF5，厚度为1mm，表面经阳极化处理。在使用一段时间后，集油器与行星架接触表面阳极化膜容易被磨损。在某些工况中，材料既要受到磨料机械力的作用，又要受到高温氧化作用，因而在电化学腐蚀作用下会导致行星架出现腐蚀，



图1 集油器与行星架配合面腐蚀示意图

从而影响行星传动。在返厂分解检查时，一旦出现集油器底部阳极化膜磨损即须更换该件，因此合理采用表面涂层对提高集油器的寿命和可靠性至关重要。

集油器表面金属阳极化膜腐蚀的原因分析

金属腐蚀主要有化学腐蚀和电化学腐蚀两种。不论发生哪种腐蚀，都是由于腐蚀介质的存在，例如，氧气、水、酸、盐及腐蚀性工业气体等。涂层可以防止金属表面与腐蚀性介质的直接接触，在金属表面形成一个屏蔽层，避免发生化学反应，延缓腐蚀发生。研究表明，集油器的铝

合金经过阳极化处理后，得到的氧化膜具有双层结构。内层为较薄的致密、硬度和纯度较高的晶型 Al_2O_3 ，厚度为 $0.03 \sim 0.05 \mu m$ ，占总膜厚的 $0.5\% \sim 2.0\%$ ，又称为阻挡层；外层为硬度较低的非晶型 Al_2O_3 和少量的 $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ，是较厚的多孔层，孔隙率为 35% 。孔隙在酸性或氯离子存在的条件下构成腐蚀源，与异金属接触，极易形成电化学腐蚀。因此，阳极氧化所得的膜层必须进行封闭处理，提高膜层的抗腐蚀和耐磨能力。

解决方法

为延长集油器与行星架间发生电化学腐蚀的时间，以达到延长主减速

器行星系的全生命周期的目的，可以采用以下三种方法，但各有利弊。

方法一，采用耐油橡胶等非金属材料隔离两种金属。此方法将增加主减速器零件数量且需改变连接螺栓长度，非金属件在行星架转动过程中在离心力作用下有无变形及对连接有无影响、非金属老化问题等有待验证。

方法二，采用玻璃纤维等非金属材料制造集油器。此方法目前尚未在减速器内部转动件上应用，难度较大。

方法三，在集油器与行星架接触的面上涂更优质的耐磨防腐涂层。该方法不用新增零件，重量增加不多，改动量最小。

通过综合比较研制风险及进度，倾向于采用方案三。

目前，航空用的耐磨涂料有S04-109H聚氨酯航空叶片保护磁漆、J04-101H氟橡胶叶片漆、HM-102二硫化钼干膜润滑剂、HR-7201固体膜润滑剂、H01-30环氧烘干清漆等，但均缺少微动磨损工况下的使用经验与数据。由于没有可应用的涂层技术可借鉴，需研制新型的耐磨防腐涂层，满足集油器及行星架长久有效的防电化学腐蚀保护要求。

集油器用表面耐磨抗腐蚀涂层研制

底漆的研制

底漆必须与阳极氧化处理的铝合金间具有良好的黏结力和良好的封闭作用和防腐性，阻止腐蚀介质的渗透，延缓金属腐蚀从破坏点的迅速蔓延。底漆通常包含基料树脂、颜填料、工艺用助剂。

环氧树脂是目前使用最为广泛的一种防腐基料树脂，飞机蒙皮的底漆

大部分采用的都是环氧树脂。新型涂层选择防腐性、力学性能优异的改性环氧树脂，在铝合金上具有更优异的附着力和抗冲击性能，能提高漆膜的抗碰撞性，还具有较好的伸展性，满足高低温物理和力学性能，对铝合金基材提供良好的封闭性。

为了得到长期有效的防护，必须添加具有钝化、络合作用的磷酸锌等防腐颜填料，在铝合金表面起钝化作用，延缓腐蚀。除添加防腐颜填料，还添加了低介质透过率的磷片状云母粉。磷片状的结构在漆膜中层层重叠，与底材平行或交错排列，形成复杂曲折的渗透路径，使腐蚀介质的扩散路线变得复杂，延缓外界腐蚀因子的渗透。磷片片径纵横越大，涂层的抗渗透性能越强。

在涂料配方中助剂的用量虽然很少，仅占涂料总量的0.1%~2%，却是涂层中不可或缺的部分。助剂可以预防涂料缺陷，例如，涂料中存在气泡、流平性不好、凝絮、沉降等现象。选用硅烷偶联剂KH-550作为附着力（黏结力）增进剂，既有类似环氧树脂的环氧官能团，也有与树脂相近的硅乙氧基，在体系中可以降低两相界面的张力，提高相容性。通过硅烷偶联剂的亲水特性，提高底漆中的环氧树脂与铝合金表面的润湿性。再通过KH-550中化学基团的作用，使底漆与金属以化学键结合，提高底漆对铝合金表面的附着力（黏结力）。

面漆的研制

面漆必须具备以下两个特点：漆膜致密，化学性质稳定，封闭性好，耐磨性好，耐航空润滑油性好；能满足耐盐雾、耐霉菌和耐湿热的三防要求。

面漆采用改性环氧聚氨酯涂层

体系。将环氧树脂与聚氨酯固化剂复配，制备出的涂层具有优异的耐化学品性、耐油性、防腐性，与底漆的配套性好。环氧树脂中-OH与含-NCO-的聚氨基甲酸酯固化剂起化学反应固化成膜，添加聚四氟乙烯润滑剂（PTFE）、助剂、耐磨、防腐颜填料和防霉剂等，达到抗渗透、防腐、耐磨润滑、防霉等目的。

聚四氟乙烯润滑剂具有较低的表面能，具有良好的化学稳定性、热稳定性和润滑性，由于氟原子能吸附于基体表面，使聚四氟乙烯润滑剂在极短的滑动时间内，能在基材表面形成稳定的转移膜，摩擦系数低，具有良好的润滑作用。另外，聚四氟乙烯润滑剂具有独特的耐高低温性能、优异的化学稳定性、自润滑性。但其线性膨胀系数较大，耐磨性及导热性差，为了改善该涂层的耐磨性，需添加耐磨颜填料，例如，石墨、金属氧化物、金属氟化物等，以有效提高涂层的耐磨性和力学性能。

集油器用表面耐磨抗腐蚀涂层在工程中的应用

对新型涂层按照技术协议规定的技术指标要求进行测试考核，考核指标和提供的样件性能均满足要求，目前已在主减速器上得到应用。集油器在返厂分解检查时，未发现涂层起泡、脱落、锈蚀、明显磨损等不良现象，技术状态良好。集油器用表面耐磨抗腐蚀涂层的推广应用，可以提高直升机主减速器行星系集油器用表面耐磨抗腐蚀涂层研制、开发技术水平，具有较好的推广应用前景和经济价值。

航空动力

（王俊，中国航发动力研究所，工程师，主要从事直升机传动设计技术的研究。）