

# 十六醇在航空紧固件上的润滑作用和应用研究

赵莎莎 沙均洋 汤曼曼

东方蓝天钛金科技有限公司, 山东烟台, 264000;

**摘要:** 由于航空领域的特殊性, 航空紧固件要始终保持可靠性和安全性。航空紧固件的各个部件在运行中会产生大量的摩擦, 而良好的润滑可以减少摩擦、磨损、发热、增加耐蚀等性能, 保证航空器的飞行安全和人身及财产安全, 对航空器的安全发挥着至关重要的意义。而十六醇润滑剂作为航空紧固件上的常用润滑剂, 在航空紧固件润滑体系中占据重要地位。本文对十六醇润滑机理、发挥作用、应用方式等方面进行了分析, 并探讨了未来十六醇润滑改进方向, 为航空紧固件润滑应用提供有力参考。

**关键词:** 十六醇润滑; 航空紧固件; 润滑应用

DOI:10.69979/3041-0673.24.5.032

## 引言

在航空领域, 紧固件作为连接飞机各个部件的关键元件, 其性能的可靠性和稳定性至关重要, 航空紧固件不仅要承受着巨大的机械应力, 还需要在复杂多变的环境条件下, 保持良好的连接状态。而润滑作为提高航空紧固件性能的重要手段之一, 在确保飞机安全飞行方面发挥着不可或缺的作用。

在紧固件润滑体系中, 十六醇因其独特的物理和化学特性, 在紧固件表面构建了一层稳定的润滑膜, 有效降低了紧固件间的摩擦系数, 减少了紧固件的摩擦和磨损, 在航空紧固件润滑体系中占据重要位置。

本文将从十六醇润滑机理、优势及润滑作用、应用方式、改进方向等方面进行分析, 为航空紧固件润滑应用提供有力参考。

## 1 十六醇成膜润滑机理

十六醇分子式为  $C_{16}H_{33}OH$ , 十六醇的分子结构为长链脂肪族, 含有一个羟基和一条有十六个碳原子组成的碳链。这种结构使得十六醇能够在紧固件表面成膜并润滑的机理主要有以下两点:

(1) 碳链的作用: 十六醇分子中含有长碳链结构, 这种长碳链分子中存在着范德华力。当长碳链分子靠近物体表面时, 分子间的范德华力使他们相互吸引, 从而在表面上逐渐聚集并排列整齐。这种排列方式使得长碳链分子能够形成致

密的膜, 覆盖在物体的表面。这层薄膜可以减少摩擦表面之间的直接接触, 降低摩擦力。

(2) 羟基的作用: 十六醇中含有羟基, 羟基的存在使得十六醇为极性分子, 能够与金属表面形成一定的化学键或吸附作用, 增强十六醇在表面的附着力, 进一步提高润滑效果。

## 2 十六醇润滑剂优选分析

在上段中讲述了长碳链及羟基结构可以保证成膜, 但高羟基又将引起化学活性增强, 导致润滑膜稳定性不足, 因此单羟基一元醇可能作为紧固件润滑剂。下面列举了常用的一元醇的种类及其常见物理和化学特性(如表1), 从物理化学特性上进一步分析十六醇作为航空紧固件润滑剂的原因。从表格统计中可以看出, 甲醇-乙醇-丙醇-正丁醇-戊醇该五类醇属于低级及中级醇, 在常温下属于液体, 且与水具有较好的可溶性, 不具备成膜的特性。十二醇、十六醇、十八醇及更高的三十醇, 他们都属于长碳链结构, 且仅有一个羟基, 初步判断符合成膜特性。但从熔点上看, 十二醇的熔点较低, 在稍微高一点的环境中即为液态, 不具备稳定成膜。而十八醇、三十醇虽然沸点温度较高, 熔点温度适宜, 在复杂的温度环境下可以维持稳定的膜层, 但是他们的碳链长度较十六醇的大, 增加了粘性和硬度, 流动性能变差, 成膜难度较大, 且成膜质地坚硬, 不能很好的填充金属表面, 润滑性能则会大大下降。由此可见, 十六醇物理化学特性成就了其作为航空紧固件润滑剂首选原因。

表1 主要一元醇的分类及化学特性

特性	低级一元醇			中级一元醇			高级一元醇		
	甲醇	乙醇	丙醇	丁醇	戊醇	十二醇	十六醇	十八醇	三十醇
碳链	-CH <sub>3</sub>	-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	-C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	-C <sub>12</sub> H <sub>23</sub>	-C <sub>16</sub> H <sub>33</sub>	-C <sub>18</sub> H <sub>37</sub>	-C <sub>30</sub> H <sub>61</sub>
	短链	短链	短链	短链	短链	长链	长链	长链	长链
状态	液态	液态	液态	液态	液态	固/液体	固态(软)	固态(硬)	结晶

与水互溶	互溶	互溶	互溶	微溶	微溶	不溶	不溶	不溶	不溶
熔点/℃	-97.8	-114.3	-127	-89.8	-78	24℃	49-51	56-59	86-87
沸点	64.7	78.4	97.2	117.72	137.5	255-259	179-181	336	443.3
毒性	较强	低毒	低毒	低毒	较强	低毒	低毒	低毒	低毒
易燃性	是	是	是	是	是	低	低	低	低

### 3 十六醇润滑发挥的作用

#### 3.1 良好的润滑性能

##### 3.1.1 降低摩擦系数

在航空器的高负荷运行环境下，紧固件之间的摩擦会导致能量的损耗和磨损的加剧。十六醇能够在紧固件表面形成一层均匀的润滑膜，有效降低摩擦系数，减少摩擦产生的热量和磨损，提高紧固件的使用寿命和可靠性。例如在航空发动机的紧固件中，十六醇的润滑作用可以减少发动机的功率损耗，提高燃油效率，同时降低紧固件的磨损风险，确保发动机的安全运行。

##### 3.1.2 增加抗磨损性能

航空器在飞行过程中会经历各种复杂的力学环境，如振动、冲击等。十六醇的润滑膜可以承受这些力学作用，减少紧固件表面的磨损，提高紧固件的抗磨损性能。例如在飞机起落架的紧固件中，十六醇可以有效保护紧固件免受频繁的起降冲击和磨损，确保起落架的安全可靠。

#### 3.2 良好的化学稳定性

##### 3.2.1 抗氧化性

航空器在高空飞行时，会收到紫外线、氧气等因素的影响，容易导致紧固件表面的润滑膜氧化变性。十六醇具有较好的抗氧化性能，能够在一定程度上防止润滑膜被氧化，延长润滑膜的使用寿命。

##### 3.2.2 耐腐蚀性

航空器在不同的气候条件下运行，可能会接触到雨水、海水、化学物质等腐蚀介质，十六醇可以在紧固件的表面形成一层保护膜，阻止腐蚀介质与金属接触，提高紧固件的耐腐蚀性能。例如在海洋上空飞行的紧固件中，海水中含有大量的氯离子，氯离子会对铁、铜、铝、锌等多种金属造成腐蚀，形成金属离子和氯化物离子，而在潮湿的环境中，这种腐蚀速度更快。如在金属表面涂覆一层十六醇，十六醇可以有效防止海水对紧固件的腐蚀，确保飞机的结构安全。

#### 3.3 安全性

##### 3.3.1 低挥发性

十六醇的长碳链结构，使得十六醇分子间相互缠绕，而且十六醇的分子量较大，分子间的相互吸引力增强，分子间

的运动相对困难，不易挣脱分子间的引力挥发到空气中。而且十六醇的沸点高达 179℃~181℃，这表明常规温度下很难到达沸腾而变成气体挥发。

##### 3.3.2 低毒性

十六醇挥发性较低，在航空器的飞行中，能够有效减少润滑剂的损失和对环境的污染。而在机舱等环境中，低挥发性的十六醇润滑剂的使用，可以确保客舱环境的清洁和舒适。

### 4 十六醇润滑涂覆和应用方式

#### 4.1 紧固件十六醇润滑制备流程

航空紧固件十六醇润滑按照标准 AS87132 或者 Hi-Shear 305 执行。十六醇润滑剂配置如表 2 和表 3，紧固件十六醇润滑制备流程如图 1。

表 2 AS87132 中十六醇润滑剂配置

	等级 A	等级 B	等级 C	
十六醇浓度	30g/L~90g/L	120g/L~150g/L	270g/L~300g/L	溶剂
应用温度	40℃~55℃	40℃~55℃	40℃~55℃	基
十六醇浓度	10g/L~30g/L	30g/L~60g/L	60g/L~100g/L	水基
应用温度	最高 71℃	最高 71℃	最高 71℃	

表 3 Hi-Shear 305 十六醇润滑剂配置

	水基	溶剂基	
十六醇浓度	74.8g/L ~104.72g/L	119.68g/L~149.6g/L	外螺纹
十六醇浓度	22.44±7.48g/L~89.76±14.96g/L	37.4±7.48g/L~134.64±14.96g/L	内螺纹



图 1 航空紧固件十六醇润滑表面制备流程图

#### 4.2 涂覆方式

##### 4.2.1 直接涂抹

十六醇常温下为固体，但质地较软，稍微对十六醇进行

升温,可以变为液体。因此可以采用固体或液体的形式直接涂抹的在航空器紧固件的表面。可以使用刷子、喷枪等工具进行涂抹,确保十六醇均匀覆盖在紧固件的表面、螺纹、孔洞、凹陷等部位。直接涂抹的方式适用于小规模、异形的航空器紧固件或者现场维修。

#### 4.2.2 浸泡润滑

将紧固件浸泡在十六醇溶液中,使十六醇溶液充分的渗透到紧固件的内部和表面,形成良好的润滑膜。可以依据紧固件的尺寸、材质和工作要求选择合适的工装,调整十六醇溶液的浓度、浸泡时间、浸泡温度,这种方法适用于批量处理的紧固件,可以保证润滑效果的一致性。

#### 4.3 应用方式

航空器紧固件十六醇润滑体系主要有十六醇润滑、涂铝+十六醇润滑、干膜润滑+十六醇润滑、蓝色阳极化+十六醇润滑、氧化+十六醇润滑。从分类可以看出,十六醇可以独立涂覆在紧固件的表面起润滑作用,也可以与其他表面处理方式复配应用。十六醇润滑剂经常和铝涂层或者干膜润滑剂配合使用,发挥协同作用。在铝涂层或者干膜润滑后使用十六醇润滑可以作为一种补充润滑剂,降低部件之间的摩擦系数,确保航空器零部件的顺畅运转。

### 5 十六醇润滑性能的局限性

#### 5.1 无法适应航空器高低温使用范围

航空器在飞行中会经历低温、高温等温度环境。在高空飞行,可能面临零下几十度的温度,而在发动机机舱附件,温度可能高达数百摄氏度。十六醇的熔点在 $49^{\circ}\text{C}\sim 51^{\circ}\text{C}$ ,在常温环境下能够保持润滑的稳定性。而在零下几十度的温度下,十六醇润滑膜变硬,润滑性能下降;在超过熔点的温度下,尤其在高达几百的高温下,十六醇又易挥发、脱落、分解或氧化,将造成润滑性能的下降或者失效,导致航空器零部件的磨损、断裂、分离等飞行事故发生。

#### 5.2 耐压性能有限

十六醇润滑剂是由一定的分子间作用力和化学氢键作用在物体表面成膜,这种润滑膜在相对温和的环境下能够保持稳定的结合力和膜层的稳定性。但是航空器紧固件在使用过程中需要承受较大的压力,在高压作用下这种膜层容易被挤出紧固件的接触表面,导致润滑膜破裂或者消失,无法持续为紧固件提供有效的润滑和保护,从而增加了紧固件松动、磨损甚至断裂的风险。

### 6 十六醇润滑改进方向

#### 6.1 适应航空宽温度范围

航空飞行环境复杂,温度变化大。未来的十六醇润滑剂需要在更宽的温度范围内保持良好的润滑性。一方面需要改进配方和生产工艺,提高润滑剂的高温稳定性,使其在发动机等高温部位能够发挥润滑作用。另一方面需要优化低温流动性,确保在高空低温环境下也能保持润滑膜,减少紧固件在低温启动时的摩擦阻力。

#### 6.2 提升附着力、耐磨、耐蚀等性能

航空领域存在着各种腐蚀介质,如大气中的水分、盐分等会对航空器零部件产生腐蚀。航空器在起降、飞行过程中承受着复杂的力学环境,高频,高振动,高冲击等都会对航空器零部件结构稳定性和飞行安全产生影响。未来的十六醇需要不断提升其附着、耐磨、耐蚀等性能,这可能需要通过优化分子结构、添加耐磨剂、采用纳米技术或者与石墨、二硫化钼润滑成分、胶黏剂等联合使用的方式来实现,使十六醇润滑剂在高负荷、高摩擦的复杂的环境下保持稳定附着且具备优良的耐摩擦耐蚀性能,降低零部件之间的摩擦和振动,保证航空器零部件的飞行安全。

### 7 结论

总体而言,十六醇在航空器紧固件润滑方面虽然存在一定的局限性,但由于良好的润滑和相对稳定性,简单的操作和应用,在非关键部位的航空器紧固件润滑和临时润滑解决方案中仍然发挥重要作用。未来通过对十六醇的结构改进、配方优化、润滑成分复合使用、纳米技术引用等方式来提升十六醇的润滑、工作温度范围、耐蚀耐压等性能,将为关键部位、极端环境下的航空器紧固件润滑应用提供更多的可能。

#### 参考文献

- [1] 郑建峰,王旭.民用飞机钛合金紧固件表面处理的应用与研究[J].上海涂料,2012,50(5):17-20.
- [2] NASM1515-2011.航空航天紧固件系统[Z].
- [3] AS87132TM-2024,Lubricant,Cetyl Alcohol,1-Hexadecanol,Application to Fasteners[S].
- [4] Hi-Shear 305,CETYL ALCOHOL LUBRICATION OF FASTENERS[S].
- [4] 郭岳,郭辉等.不同状态下十六醇润滑对拧紧力矩的影响[R].紧固件连接结构应用与发展-测试与可靠性:267-270.

作者简介:赵莎莎,女,汉族,山东青岛,硕士,中级工程师,研究方向:表面处理特种工艺及质量管理体系。