



OTAC
广研检测

广州机械科学研究院

风电设备的润滑与磨损





一、风电行业概括

- **国**家“十一五”规划，大力发展风电，全国已有近百个风力发电场共安装了数千余台风力发电机组。
- **我**国与风力发电相关的制造企业也有近百家。
- **预**计到**2020**年世界电力需求上升到约**26**万亿千瓦时，到时即使只成功利用了三分之一的风能资源，即可满足世界电力需求。
- **风**力发电成本将大幅降低，技术装备国产化比例提高，海上风力发电将成为重要能源形式。
- **中**国将成为世界上最大的风电市场和风能设备制造中心，我国风电可能在**2020**年之后，将成为第三大主力发电电源。



OTAC
广研检测

广州机械科学研究院

风电机组总装厂分布图





二、风电设备及运行特点

- 风力发电机组设备昂贵
- 工作环境恶劣，大多在山谷旷野处和近海地区的
- 现场不便对主要部位进行拆卸维修
- 确保可靠稳定的长周期运转，是最机组根本运行条件
- 要求风力发电机组具有极高的可靠性
- 要注重风力发电机组平时的维护，而不是维修



三、润滑在风力发电机组运行中的重要性

- **风**能设备投资成本高，根据美国斯坦福大学的调研，以**1.5MW**的风力发电机组的单位发电成本计算，每年的运行和维护成本约占**18%**。
- **因**此要加大对整个风力发电机组的润滑管理与状态监测，减少备件的磨损和更换，提高装置运行可靠性，提高风力发电机的盈利能力。
- **润**滑油脂作为风力发电机正常运转的不可缺少的重要部件，它的选择和维护直接影响到风力发电机的正常运转和发电成本。



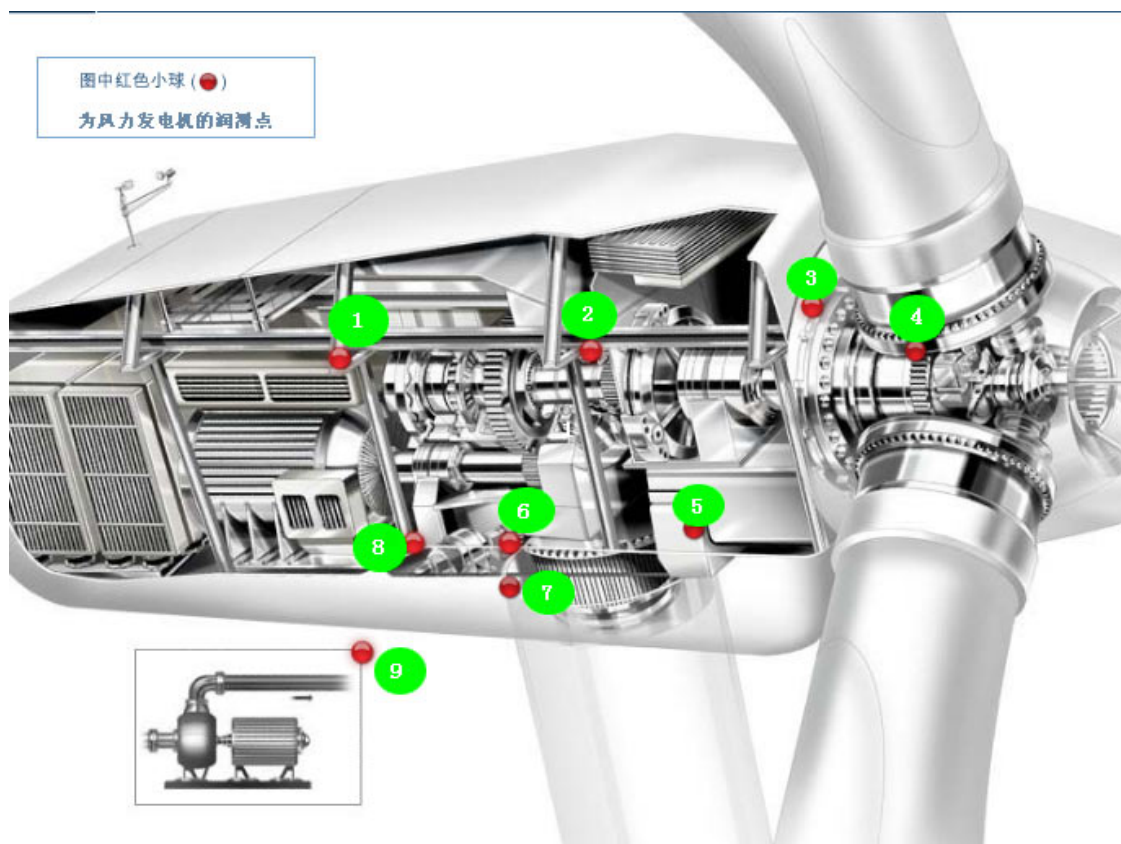
- **国**际上一些组织机构，针对日益增长的风力市场，纷纷制定了相关的润滑维护指导，以便提高风力发电设备的运转可靠性。
- **如**丹麦能源局**2002**年颁布了风力发电机技术指导，美国国家标准协会（**ANSI**）、美国齿轮制造商协会（**AGMA**）、美国风能协会（**AWEA**）联合制定了**ANSI/AGMA/AWEA 6006-A03**风力发电机用齿轮箱的设计与规格的标准。
- **针**对齿轮箱、液压站、轴承等部件的安装、维修、维护进行指导和规范。
- **其**中对润滑油脂的维护与监测都有具体的要求。



四、风力发电机组的润滑特点及技术要求

风力发电机
主要的润滑部位：

- 齿轮箱
- 主轴承
- 发电机轴承
- 叶片轴承
- 偏航系统轴承与齿轮
- 液压刹车系统





(一) 齿轮箱磨损、润滑特点和技术要求

- **齿**轮箱是风力发电机的主要润滑部位，用油量占风力发电机用油量的**3/4**左右。
- **齿**轮箱可以将很低的风轮转速（**600kW**的风力发电机通常为**27r/min**）变为很高的发电机转速（通常**1500r/min**），多采用油池飞溅式润滑或压力强制循环润滑。
- **齿**轮箱润滑油受气候温差、湿度等影响较大，并且处于相对偏远的地区，维修不便，因此设计要求齿轮箱使用寿命长、承受负荷大等



齿轮的材料

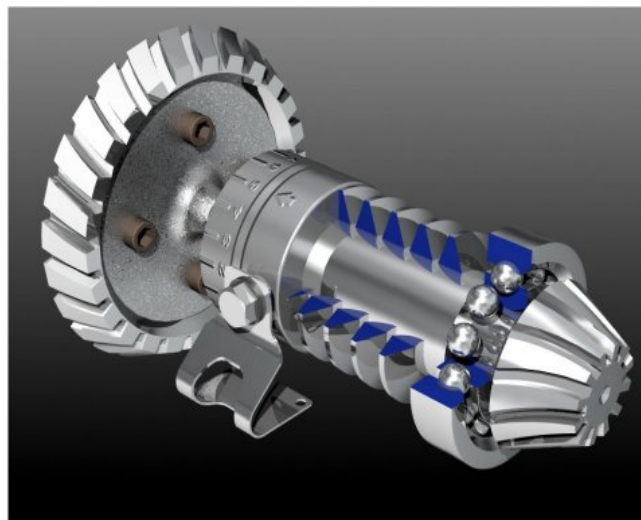
1. 齿轮材料的基本要求：

- (1) 应使齿面具有足够的硬度和耐磨性；
- (2) 齿心具有足够的韧性，以防止齿面的各种失效；
- (3) 同时应具有良好的冷、热加工的工艺性，以达到齿轮的各种技术要求。



2. 常用的齿轮材料:

各种牌号的优质碳素结构钢、合金结构钢、铸钢、铸铁和非金属材料等。一般多采用锻件或轧制钢材。

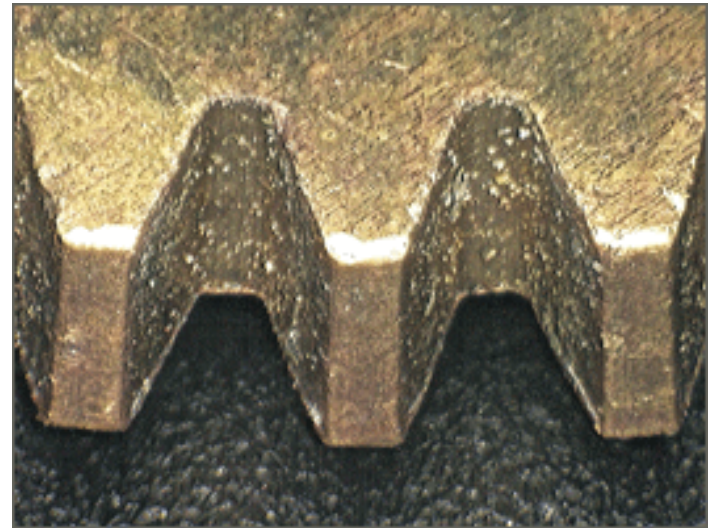




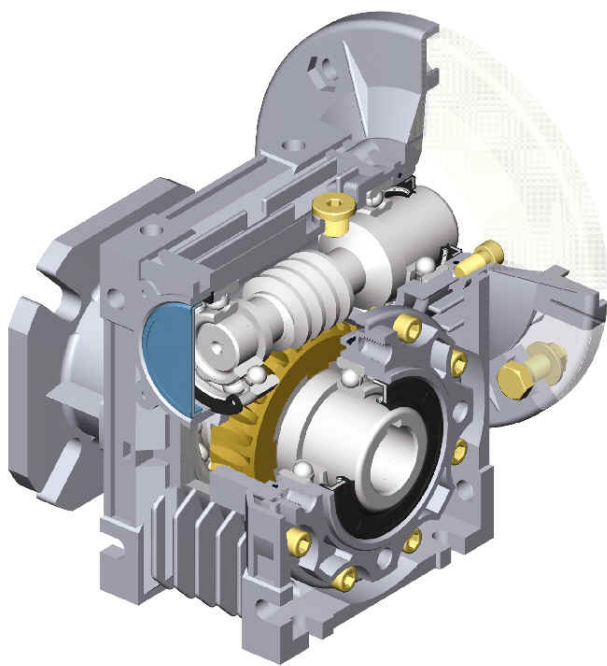
(1) 当齿轮结构尺寸较大，轮坯不易锻造时，可采用铸钢件；



(2) 开式低速传动时，可采用灰口铸铁或球墨铸铁



(3) 低速重载的齿轮易产生齿面塑性变形，轮齿也易折断，宜选用综合性能较好的钢材；



(4) 高速齿轮易产生齿面点蚀，宜选用齿面硬度高的材料；受冲击载荷的齿轮，宜选用韧性好的材料。



3. 钢制齿轮的热处理：

● 表面淬火

表面淬火常用于中碳钢和中碳合金钢，如 **45**、**40Cr** 钢等。表面淬火后，齿面硬度一般为 **40~55HRC**。

特点是抗疲劳点蚀、抗胶合能力高。耐磨性好；由于齿心部分未淬硬，齿轮仍有足够的韧性，能承受不大的冲击载荷。



钢制齿轮的热处理:

● 渗碳淬火

渗碳淬火常用于低碳钢和低碳合金钢，如 20、20Cr钢等。渗碳淬火后齿面硬度可达56~62HRC，而齿轮心部仍保持较高的韧性。

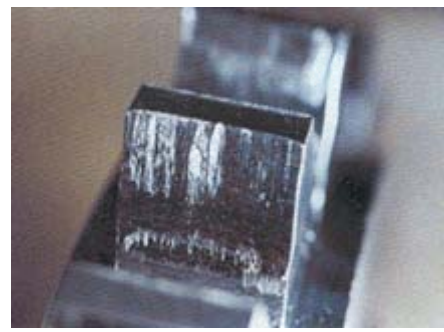
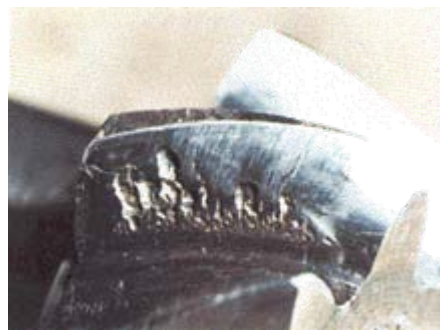
轮齿的抗弯强度和齿面接触强度高，耐磨性较好，常用于受冲击载荷的重要齿轮传动。





三、风力发电机齿轮箱的失效形式

- 轮齿折断
- 齿面点蚀
- 齿面磨损
- 齿面胶合
- 塑性变形





(一) 轮齿折断:

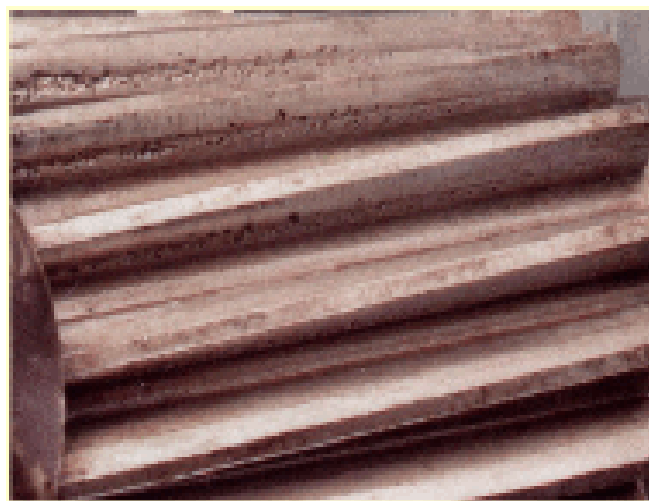
1. 由于多次重复的弯曲应力和应力集中造成的疲劳折断;
2. 由于突然严重过载或冲击载荷作用所引起的过载折断。





(二) 齿面点蚀:

齿轮工作时，在齿面啮合处，由于循环交变应力长期作用，当应力峰值超过材料的接触疲劳极限，经过一定应力循环次数后，先在节线附近的齿轮表面产生细微的疲劳裂纹。随着裂纹的扩展，将导致小块金属剥落，产生齿面点蚀。





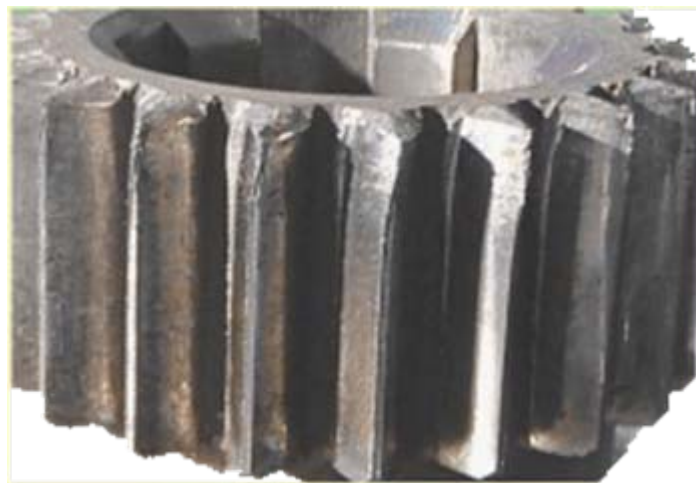
● 点蚀

- 点蚀是由于接触面上金属疲劳而形成细小的疲劳裂纹，裂纹的扩展造成的金属剥落现象。
- 点蚀常发生在齿轮和滚动轴承表面，如果点蚀状态不得到及时控制，会引起更严重的设备损坏问题，引起噪音、振动，点蚀不断扩大，最终导致断齿失效。
- 形成点蚀的原因很多，齿轮和轴承表面粗糙、材料缺陷、润滑油选择不当都是形成点蚀的主要原因。
- 磨损金属成为污染物进入润滑油，这些金属颗粒在齿轮箱中循环，被挤压，镶嵌在齿轮和轴承表面上，这些碎片会缩短轴承预期使用寿命**30%**以上。



(三) 齿面磨损:

1. 灰尘、金属微粒等污染颗粒进入齿面间引起的磨料磨损;
2. 齿面间相对滑动摩擦引起的磨损, 与润滑油有直接关系。



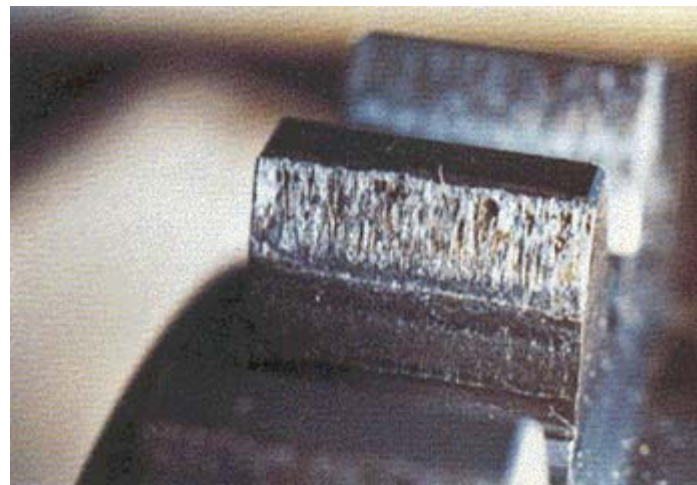
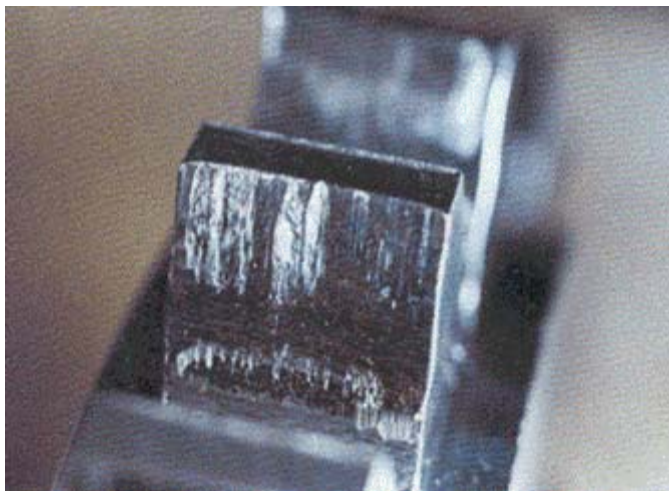


- **齿面磨损**
- **正常磨损**：齿面上的相对滑动会引起磨损，凡磨损率不影响齿轮在预期寿命内的功能的磨损，称正常磨损。正常磨损的齿面，光亮平滑，没有宏观擦痕，润滑状态良好。
- **磨粒磨损**：当齿轮在啮合过程中，由于落在齿面上的微小颗粒而引起的齿面磨损，称为磨粒磨损。磨粒磨损的磨损率较正常磨损大，齿面发暗，沿滑动速度方向有条横。微小颗粒可来自灰尘、油脂中的杂质和污物、铁屑等。
- **污染控制**：按照现代设备润滑的污染控制实践，对齿轮油的污染控制能有效地延长齿轮箱的使用寿命。



（四）齿面胶合：

高速重载传动时，啮合区载荷集中，温升快，因而易引起润滑失效；低速重载时，油膜不易形成，使两齿面金属直接接触而熔粘到一起，随着运动的继续而使软齿面上的金属被撕下，在轮齿工作表面上形成与滑动方向一致的沟纹，这种现象称为齿面胶合。





（五）齿面塑性变形：

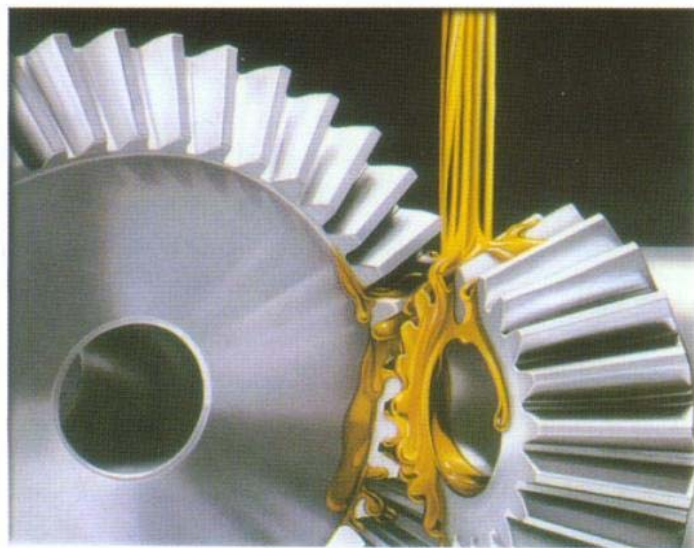
低速重载传动时，若齿轮齿面硬度较低，当齿面间作用力过大，啮合中的齿面表层材料就会沿着摩擦力方向产生塑性流动，这种现象称为塑性变形。





齿轮传动的润滑

润滑可以减小齿轮的摩擦、磨损，同时也可以起到冷却、防锈、降低噪声、改善齿轮的工作状态、延长齿轮的使用寿命等作用。





齿轮箱的润滑

风力齿轮箱的润滑特点：

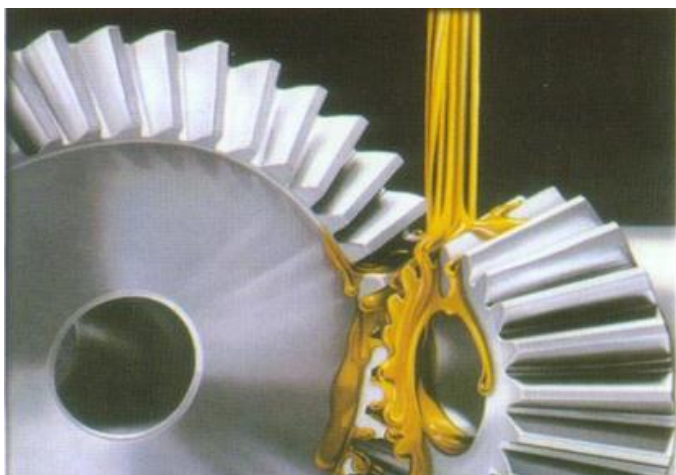
- (1) 形成油膜的条件差
- (2) 齿轮的接触压力非常高；
- (3) 齿面间同时有滚动和滑动
- (4) 润滑是断续性的
- (5) 齿轮的材料、热处理、机械加工 等对润滑也有影响。





2. 齿轮润滑剂的作用

- (1) 减少齿轮和相邻运动部件的磨损；
- (2) 减少摩擦力和功损失；
- (3) 散热，冷却作用；
- (4) 减少噪声、振动和齿轮间的冲击；
- (5) 排除脏物；





风力发电机齿轮油的技术要求

- 很好的极压抗磨性能
- 良好的冷却性能和清洗性能
- 良好的热氧化稳定性
- 良好的水解安定性、抗乳化性能
- 很好的粘温性能、低温性能
- 较长的使用寿命
- 较低的摩擦系数，降低齿轮传动中的功率损耗





影响风电机组齿轮和轴承失效的因素

- 属于安装方面的原因占**16%**,
- 属于污染方面的原因也占**16%**,
- 属于润滑方面的原因占**34%**
- 属于材料疲劳方面的原因也占**34%**,
- 使用中**70%**以上的齿轮和轴承达不到预定寿命。



（二）液压刹车系统的特点和润滑要求

- **重要性：**当风速超快、振动过大、电机温度过高等故障时，通过液动制动装置的动作来实现紧急停机。液压制动系统在保证机组正常运行、防止事故发生、对风机启动和停机控制起着重要作用。
- **制动形式：**风力发电机中的制动系统分为机械刹车与气动刹车，其刹车系统的动力来自液压制动系统，推动高速主轴上圆盘式刹车等执行动作。
- **液压油的作用：**实现制动系统的动作，并对液压元件起到润滑保护作用。



液压油的技术要求

- 优异的粘温性能
- 良好的抗磨性能
- 良好的防腐、防锈性能
- 优异的低温性能和过滤性能
- 优异的清洁程度
- 良好的空气释放性
- 良好的抗氧化性能好
- 良好的水解安定性和抗乳化性能





（三）发电机轴承润滑脂的技术要求

- 轴承是发电机的主要润滑部位，长期运转温度可达**80℃**以上，夏天在旷野地带受太阳直射，温度会更高。
- 要求发电机轴承润滑脂能够在高温下保持良好的润滑而不流失，要求润滑脂具有良好的高温性能；在低温下又有较好流动性，使润滑脂具有良好的粘附性和，使用温度范围为**-30~150℃**。
- 发电机功率较大，要求润滑脂具有良好的抗磨极压性能、抗氧化性能和防锈性能。



（四）风电机组润滑油液的抗氧化性

- 抗氧化性能风电机组润滑油液的重要指标，其直接影响油品的使用寿命、润滑效果和设备的磨损状态。
- 氧化后生成的胶质、沥青质和油泥等，使油品粘度上升；粘度过大，齿轮工作时克服润滑油内部摩擦所消耗的功率就增大，使得传动功率降低。其循环流动速度也就慢，冷却散热作用的效果就差，
- 粘度过大，滤清效果差，不能及时将磨损下来的金属屑、碳粒和尘土等杂质从摩擦表面上洗滤掉，加剧系统的磨损。
- 由于油的氧化生成酸性产物，酸性物质会对金属产生腐蚀。
- 油品氧化后使油品功能添加剂不断消耗，其抗氧化性能、抗磨能力、抗泡等性能都会逐渐下降，严重影响润滑效果。
- 油品中的金属粉末和氧化产物又促进了氧化反应的进一步深化，因此新油的抗氧化性能，和在用油的清洁程度是很重要的指标。



五、风电机组日常润滑管理的要点

- 选择好初装油，制度新油质量把关制度。
- 保证在用油液的清洁，再好质量的润滑油，若混入灰尘等固体颗粒物，都会对系统中的齿轮表面、液压泵阀、轴承等产生极大的擦伤磨损，缩短抗疲劳使用寿命。
- 保证油品的干燥，水分的污染将引起部件腐蚀，破坏边界润滑保护层，水分还会使添加剂发生化学反应，缩短油品使用寿命。
- 保证油品的运转温度适宜，及时清理散热片，排除故障，提高散热效果。
- 建立油液定期监测制度，及时了解机组的润滑与磨损状态，指导机组的润滑管理与视情维护。