

# MoS<sub>2</sub> 固体润滑：为什么它能征服真空与高温？

基于 NASA 经典论文的机制、失效与应用梳理

---

核心结论：MoS<sub>2</sub> 的优势成立于合适环境中——控制水分与氧气，是发挥性能的关键。

# MoS<sub>2</sub> 固体润滑： 为什么它能征服 真空与高温？

基于 NASA 经典论文的机制、失效与应用梳理

### 01 极端工况挑战

- 真空中液体润滑剂易挥发
- 高温下易分解
- 航空航天场景可靠性要求高

### 02 MoS<sub>2</sub> 的独特价值

- 内在固体润滑剂 (intrinsic solid lubricant)
- 无需依赖吸附水分等其他物质
- 是真空应用的经典选择

### 03 本文看点

- 润滑原理 看它如何工作
- 环境影响 水分与氧气的关键作用
- 再次失效模式 空气中氧化 / 真空中流失
- 工程应用启示 如何在极端环境中可靠使用 MoS<sub>2</sub>

### 核心结论：

MoS<sub>2</sub> 的优势成立于合适环境中——  
控制水分与氧气，是发挥性能的关键。

资料来源：NASA Technical Paper 1343 (1978)

# 01 润滑原理：层状晶体结构 + 塑性流动

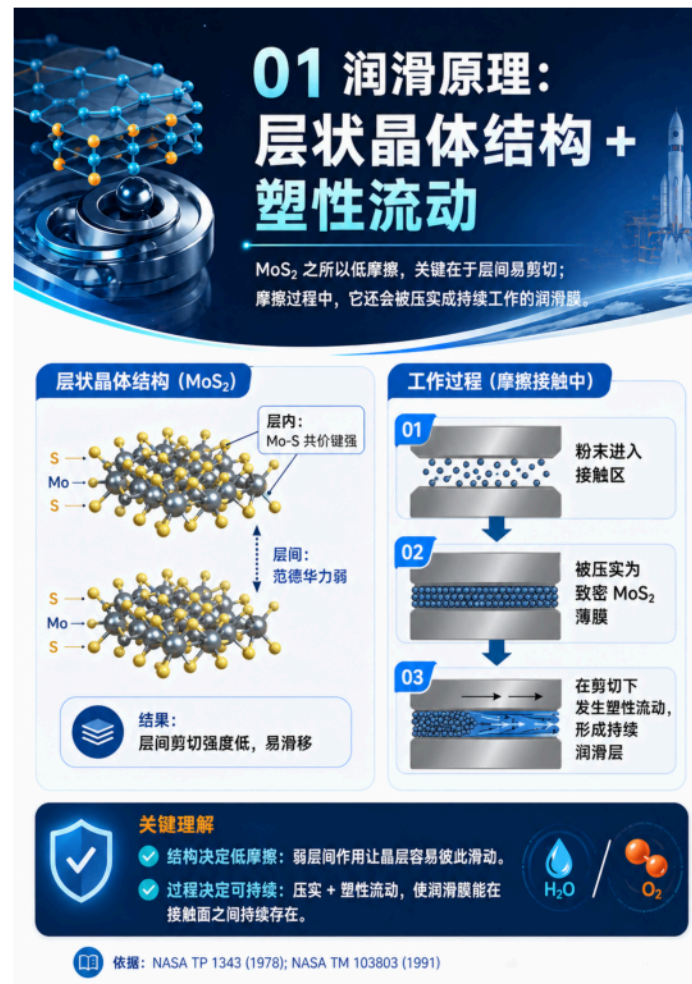


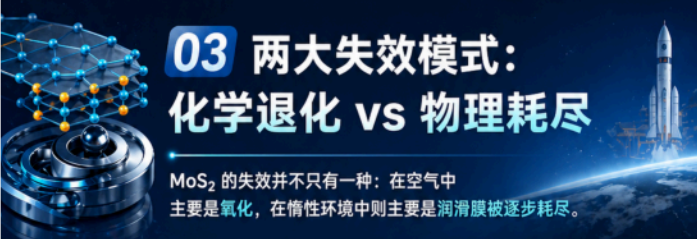
图1 MoS<sub>2</sub>层状晶体结构与润滑机制

## 02 环境影响：水分和氧气，是 MoS<sub>2</sub> 的天敌




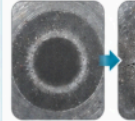
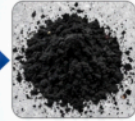
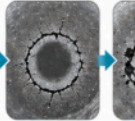
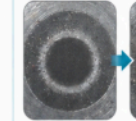






图2 不同环境条件下MoS<sub>2</sub>的摩擦系数与磨损率对比



## 03 两大失效模式：化学退化 vs 物理耗尽



### 03 两大失效模式： 化学退化 vs 物理耗尽

MoS<sub>2</sub> 的失效并不只有一种：在空气中主要是氧化，在惰性环境中则主要是润滑膜被逐步耗尽。

| 空气环境：化学退化（氧化）   | 惰性环境：物理耗尽  |
|---|--|
|  <p>光滑致密膜<br/>(金属色)</p>                        |  <p>中心区域完整</p>                    |
|  <p>黑色粉末状物质<br/>(氧化产物)</p>                    |  <p>中心变薄<br/>微裂纹</p>              |
|  <p>剥落<br/>暴露基底</p>                          |  |
| <p> 致密、金属色的 MoS<sub>2</sub> 膜会转变为黑色粉末状物质</p>   | <p> 几乎不发生明显化学转变</p>               |
| <p> 本质是氧化，氧化产物润滑性差</p>                         | <p> 径向流动使润滑膜从接触区中心向外迁移，中心逐渐变薄</p> |
| <p> 水分会显著加速这一过程；在潮湿空气中，约 5000 周后大部分致密膜已消失</p> | <p> 长期滑动导致微裂纹、剥落，最终暴露金属基底</p>    |

 空气里：失效更快、更突然，根因是**氧化**
VS
 真空/惰性气氛里：失效更慢、更渐进，根因是**材料耗尽**

📖 依据：NASA TP 1343

图3 MoS<sub>2</sub>在空气环境与惰性环境中的失效模式对比

## 04 工程应用：怎么把 MoS<sub>2</sub> 用到最好？



图4 MoS<sub>2</sub>制备方式对比与工程应用建议