

润滑油的品质
对设备健康的影响

议程与目标

1. **为什么润滑油被称为设备的“血液”？**
   理解基础油+添加剂构成的生命线逻辑，破除“油都一样”的认知误区
2. **品质差异如何从分子层面影响设备寿命？**
   从油膜厚度、氧化链式反应到污染控制，量化优质与劣质的差距
3. **劣质油品导致的5大典型故障模式是什么？**
   结合液压85%污染故障等真实数据，揭示失效路径
4. **如何建立科学的选油、用油、管油体系？**
   从选型六步法到油液监测与TPM落地，给出可执行清单

本次目标

让每一滴油都成为设备可靠性的保障，而非隐患。帮助工厂在降低 40-70% 故障率的同时，实现 ROI 1:4.5 的维护成本优化。

70-90%
磨损可降低比例（优质油膜）

3-5x
全合成油氧化寿命倍数

什么是润滑油？
设备的血液

80%

基础油 — 躯体

占80-90%，决定粘度、氧化安定性、倾点。Group I→V，合成PAO/酯类在极端工况保持稳定。

20%

添加剂 — 免疫系统

占10-20%，抗磨、极压、抗氧、清净分散、抗泡、抗乳化。缺一不可，先天决定后天表现。

核心类比：基础油是躯体，添加剂是免疫系统。品质不达标 = 先天免疫缺陷，后期再维护也难以弥补。



MICRO VIEW

微观下完整的油膜将金属接触面积降低至 <1%，是设备长寿的第一道防线

五大核心功能

品质决定功能，功能决定寿命

01

减摩抗磨

在摩擦副间形成弹流油膜，阻断金属直接接触。

磨损降低 70-90%

02

冷却散热

循环带走摩擦热，维持系统热平衡，防止局部高温。

带走 30-40% 热量

03

密封与防腐

隔离水与污染，pH中和酸性产物，阻止锈蚀点蚀。

TBN/TAN 平衡保护

04

清洁分散

悬浮烟炱与磨粒，防止油泥、漆膜沉积堵塞油路。

ISO 清洁度决定寿命

05

缓冲减震

油膜吸收冲击载荷，保护轴承与齿轮免于微点蚀与断齿。

延长轴承寿命 2-3x

油膜是生命线

品质不达标，任一功能链断裂即引发连锁失效。好油 = 五维协同。

优质PAO在150°C仍保持强度

衡量品质的6大关键指标

实验室数据如何翻译成设备健康语言？ / 04 METRICS THAT MATTER

VI > 100

粘度与粘度指数

油膜厚度的稳定性，VI越高高温不稀、低温不稠。

健康映射：油膜稳定 → 磨损降低 70%

TAN/TBN

总酸值与总碱值

氧化与酸中和能力的晴雨表，TAN突升预警换油。

健康映射：TBN耗尽 → 腐蚀风险↑3倍

FZG >12

抗磨极压 FZG/四球机

重载下油膜破裂后的最后一道化学保护层。

健康映射：等级<10 → 齿轮点蚀、断齿

2-3x 寿命

氧化安定性

决定换油周期，优质合成油抗氧化寿命延长2-3倍。

健康映射：氧化失效 → 粘度飙升 >15%

ISO 16/14/11

清洁度 NAS/ISO

颗粒数直接关联磨损速率，新油应比要求高2级。

健康映射：10μm颗粒即可划伤精密轴承

<500ppm

水分与泡沫特性

水分>500ppm设备寿命降低50%，抗泡性差致抖动。

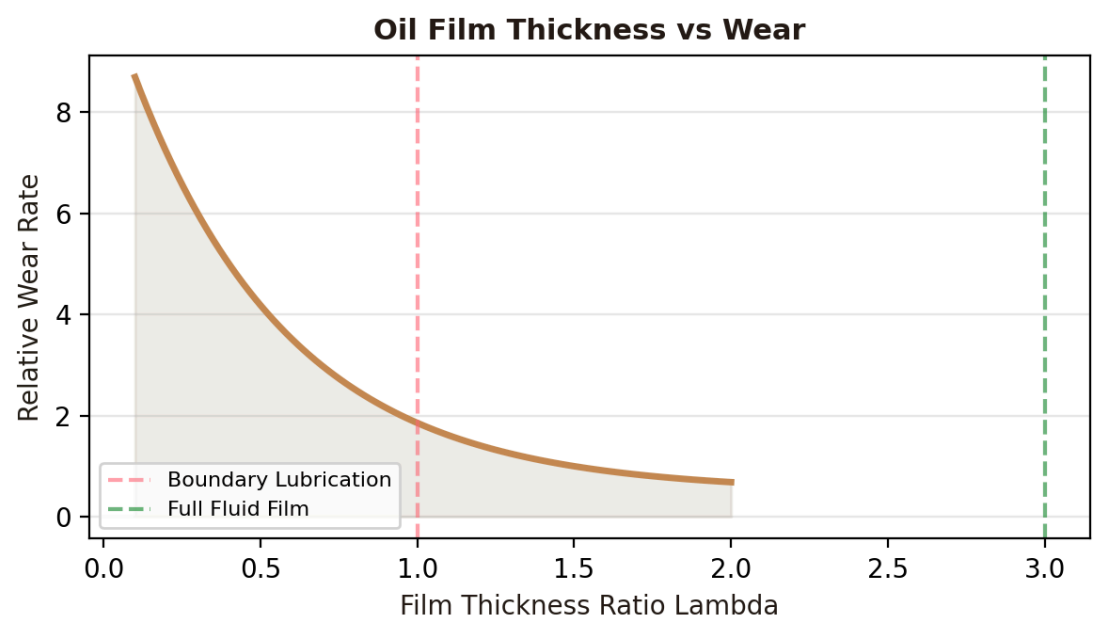
健康映射：水 + 金属 = 氢脆、点蚀、乳化

品质影响一：磨损与摩擦

05 / FROM BOUNDARY TO FULL FLUID FILM — 油膜是生命线

油膜厚度比 λ vs 相对磨损率

Lambda ↓ 磨损指数级 ↑



25% ↓ 厚度

磨损率增加 2-3 倍，磨粒链式反应

<1% 接触

优质合成油保持完整 EHL 弹流油膜

优质油：完整 EHL 油膜

- 金属直接接触面积 <1%，摩擦副完全分离
- PAO/酯类在 150°C 仍保持油膜强度

劣质油：油膜破裂临界点

- 微观凸峰直接碰撞，产生磨粒磨损
- 矿物油高温下粘度崩塌，边界润滑失效

关键洞察：磨损不是线性发生。λ<1 进入边界润滑后，每薄 0.1 都会触发指数级磨损，这正是合成油长寿命的核心壁垒。

品质影响二：氧化与高温失效

OXIDATION CHAIN

劣质油是设备内部的慢性毒药

高温 + 金属催化 + 氧气 → 酸 + 油泥 + 漆膜

后果：粘度飙升 >15%，散热失效

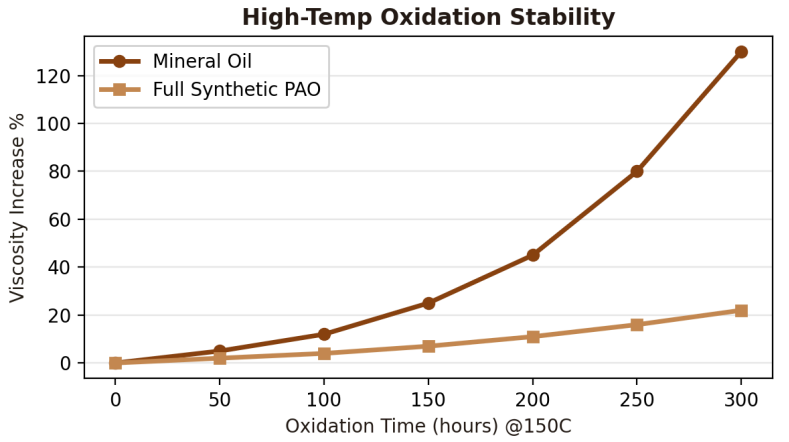
氧化产物使流体阻力剧增，换热效率下降，阀芯卡滞、滤芯堵塞频发

漆膜沉积不可逆

高温区形成清漆，导致抱轴、活塞环粘结，停机大修成本陡增

关键对比：优质全合成油氧化寿命是矿物油的 **3-5倍**，150°C 仍保持油膜强度时矿物油已失效。

150°C 高温氧化测试 VISCOSITY INCREASE %



3-5×

全合成 vs 矿物油
氧化寿命延长

130%

矿物油300h后
粘度增长峰值

07 / 品质影响三：污染控制失效

1个颗粒的连锁破坏

优质油的清净分散与抗乳化体系是污染的最后防线。一旦失效，微米级颗粒与水分便会触发不可逆的磨损-堵塞-腐蚀循环。

清净分散不足

添加剂耗尽 → 油泥、漆膜沉积 → 油路与滤芯堵塞 → 润滑失效与阀芯卡滞

抗乳化性差

水分无法分离 >500ppm → 氢脆、点蚀、锈蚀 → 精密轴承寿命降低50%以上

连锁失效

颗粒产生新颗粒，磨损率指数级上升。10μm颗粒即可划伤伺服阀与齿轮副。

85% 液压系统故障源于油液污染
源自行业统计，非油品本身，而是污染控制失效

16/14/11 优质新油 vs 劣质新油 20/18/15
ISO 4406 清洁度等级，每提升一级颗粒数减半，磨损率显著下降

五大典型故障模式

劣质油导致的设备“重症”

	故障现象	根因	后果
1	**异常磨损 / 拉缸** 油膜破裂	油膜强度不足，抗磨剂失效，λ<1 后微凸峰直接碰撞产生磨粒	**轴承抱死，齿轮点蚀，精度永久丧失**
2	**高温卡死 / 烧瓦** 氧化沉积	氧化安定性差，酸+油泥+漆膜，粘度飙升 >15% 散热失效	**阀芯卡滞、滤芯堵塞，停机大修**
3	**液压抖动 / 无力** 空气滞留	抗泡性差，空气释放值高，气蚀导致压力波动与海绵响应	**精度丧失，效率下降，能耗上升**
4	**齿轮箱噪音 / 断齿** 极压不足	FZG等级 <10，极压膜化学保护缺失，重载冲击下齿面剥落	**传动失效，突发停产风险极高**
5	**油品乳化 / 锈蚀** 水污染	水分 >500ppm，防锈剂缺失，抗乳化性差引发氢脆、点蚀	**寿命缩短50%以上，腐蚀不可逆**

本质规律：品质缺陷 → 油膜/氧化/污染/泡沫四道防线逐级失守 → 连锁失效

好油切断首环，后续成本归零

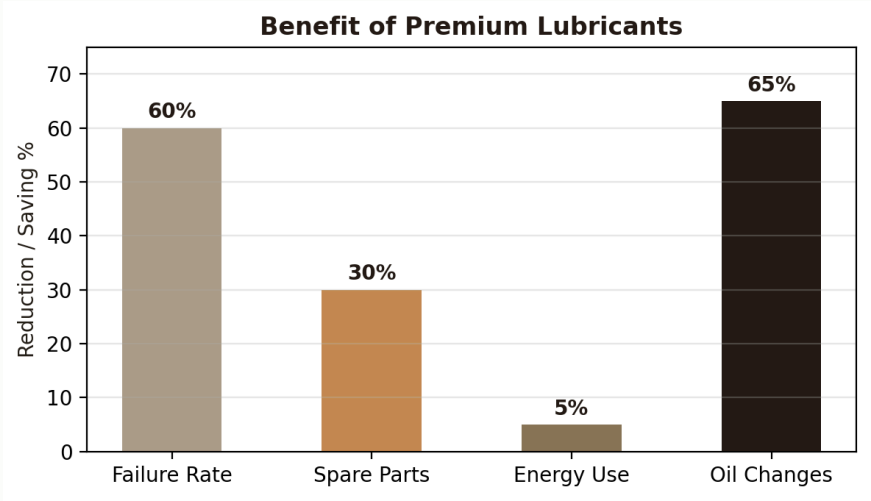
经济账：优质油品的ROI

便宜的油是最贵的油

09 / DIRECT COST vs HIDDEN RETURN
某钢铁厂年省120万维护费

优质油品的量化收益

REDUCTION / SAVING %



-60%
废油处理成本下降

1:4.5
钢铁厂实测投资回报比

直接成本

+30-50%

优质油采购单价
高于普通矿物油

隐性收益

2-4x

换油周期延长
非计划停机锐减

故障率降低 40-70%

备件消耗降低30%，轴承抱死、齿轮点蚀大幅减少

能耗降低 3-8%

摩擦系数降低，液压效率提升，电机负载下降

停机成本远超差价

每小时停机损失＞全年油品差价，预防价值最高

废油与环保

换油频次减半，危废处理与碳排放同步降低

案例：某大型钢铁热轧线升级全合成
年维护费节省 **120万元**

ROI 1:4.5

如何选择合适的润滑油？

01 **看工况：温度、负荷、速度、环境**
粉尘 / 高湿 / 高温 → 需更高 VI、更强抗乳化与清洁度

02 **看OEM要求：粘度与认证**
API、ACEA、DIN、ISO **关注认证而非营销概念**

03 **看基础油：Group I → V**
Group IV PAO / V 酯类 = 合成优于矿物，高温稳定

04 **看添加剂技术：实证配方**
抗磨、极压、抗氧体系需第三方台架验证

05 **看兼容性：密封与旧油风险**
评估密封材料膨胀，严禁不同体系油品擅自混用

06 **看供应商：技术服务 > 价格**
提供油液监测、润滑审计、换油策略的长期伙伴



QUALITY DIFFERENCE
左瓶：氧化后劣质油，已发黑含油泥
右瓶：优质全合成油，清澈稳定



11 / 油液监测：设备的“血液化验”

血液化验，听见设备心跳

从定期换油到基于状态的预测性维护，油液是唯一不拆机就能看见内部磨损的窗口。

粘度 | TAN / TBN | 水分 ppm | 颗粒计数 ISO | 光谱元素 Fe/Cu

趋势比绝对值更重要

单点数据看不出问题，连续曲线才能预警。关注月度增长率，**Fe +15ppm/月** 立即排查。

建议频率：关键设备每月一次，普通设备每季度一次

目标：通过油液监测预测 RUL，故障前 4-6 周干预

12 / BEST PRACTICE IN TPM

最佳实践：让好油发挥好效果

污染控制不是买好油就结束，80%污染来自人为与流程，TPM是放大器。

5S 专用化管理
专用油桶、3μm过滤加油机、标签化色码，避免交叉污染

过滤 新油二次洁净
新油即过滤后再使用，目标清洁度比OEM要求高2级 ISO

3定 正确加注
定量、定点、定时，避免过量过少导致起泡与热量积聚

培训 操作工是第一道防线
80%污染来自误操作，一分钟培训胜过一小时抢修

数字化 可追溯润滑数据库
建立换油、化验、故障联动的润滑台账，实现预测性维护



FIELD PRACTICE
现场定点取样 + 实验室化验，趋势比单点数值更重要

13-14 / 总结与行动清单

品质是设备长寿的基石

选择优质润滑油，不是成本，而是对设备可靠性最划算的投资 — 三句话记住核心

油膜是生命线

品质决定油膜是否在极端工况下依然存在，λ＞3 时接触面积＜1%

清洁是长寿药

1个10μm颗粒就能划伤精密轴承，ISO 16/14/11 是底线不是目标

监测是听诊器

通过油品看设备，比拆机更早4-6周发现问题，趋势比单点更重要

1. **盘点在用油品：**是否满足OEM最高认证与粘度要求？
2. **抽检新油&在用油：**清洁度与水分，目标比要求高2级
3. **评估关键设备：**是否值得升级到全合成PAO/酯类？
4. **获取工具包：**《设备润滑审计表》+ 免费油样检测名额

立即行动：劣质油导致85%液压故障，每小时停机损失远超油品差价。让每一滴油都成为可靠性的保障。

谢谢聆听 · Q&A