

空压机油液在线监测 — 从能效到可靠性的双重提升

Air Compressor | Oil Monitoring | Energy Efficiency

从血液监测到空压站运维

螺杆 / 离心 / 活塞全覆盖，五维参数实时透视润滑状态。
聚焦能效损失与非计划停机两大痛点，量化在线监测的 ROI。

介电常数 | 水分 ppm | 磨损颗粒 | 电导率 pS/m | 温度

01 **行业痛点与趋势**
10%工业电耗，4000h换油机制失效，SMARTLINK 趋势

02 **五大参数与失效映射**
氧化/乳化/磨粒/静电/温升的预警阈值与机理

03 **经济效益 - 能效+维护**
75kW 单机年省 3000-6000度，ROI <4个月

04 **安装方法与部位详解**
旁路/直插/浸入式，油气桶-油滤-冷却器黄金三角

05 **应用案例与头部企业**
Atlas Copco / Kaeser / Ingersoll Rand / 开山 捷豹

06 **前景与实施路线**
从试点到空压站集控，AI剩余换油寿命预测

01 — 行业痛点与趋势

油品劣化是能耗与停机的隐形推手

全球空压机耗电占工业用电约10%，油液粘度上升10%直接增加传动阻力，系统效率持续下滑。

油品氧化导致排气温度升高 5–15°C，能耗增加 3–8%，油分芯压差加速。

TOP4故障：润滑油乳化 / 氧化结焦 / 轴承磨损 / 油分芯堵塞，均与油状态强相关。

传统按 4000h 定时换油：一刀切导致高温重载工况下风险并存，轻载工况下浪费。

趋势：Atlas Copco Elektronikon + SMARTLINK 已集成油液、露点、流量远程监测，高端机型将油液在线列为标配。

10%

全球空压机占工业用电比例
节能潜力巨大

5–15°C

油劣化引起排气温度上升区间
直接增加 3–8% 能耗

4000h

传统换油周期
实际工况差异 50–100%，需按质换油

五大参数与空压机失效的精准映射

介电常数 / 水分 / 磨损颗粒 / 电导率 pS/m / 温度 — 五维指纹，提前14天锁定故障源

介电常数

反映油品氧化与热裂解，螺杆机油温>90°C时快速上升。极性氧化产物累积，介电常数上漂。

变化>15% 预警结焦风险

失效：油分压差 ↑，排气高温结焦卡死

水分 ppm

螺杆机最怕水，来源为进气冷凝与冷却器内漏。溶解水→乳化，破坏油膜与添加剂。

>300ppm乳化 >500ppm轴承腐蚀

失效：油乳化堵塞油分，轴承点蚀

磨损颗粒

主机转子轴承与齿轮磨损，铁磁颗粒为主。ISO 4406 反映清洁度，趋势比单点更重要。

>50μm预警 ISO>19/17/14 换油

失效：主机异响 → 卡死，齿轮箱失效

电导率 pS/m

Group III基础油+低锌配方，新油 pS/m低易静电。氧化后酸性产物电导率上升，反映老化与污染。

新油<100 / >500 提示酸性物累积

失效：静电放电 / 漆膜前驱，油路放电火花

温度 °C

排气温度与油温强关联。Arrhenius规律：油温每升10°C氧化速率翻倍，寿命减半。

油温>100°C 持续，寿命衰减加速

失效：氧化结焦链式反应，能效崩塌

协同诊断逻辑

水分↑ + 介电常数↑ = 氧化+乳化复合；**电导率↑ + 介电常数↑** = 深度氧化，酸值超标；**磨粒↑ + 温度↑** = 轴承已进入加速磨损期，需14天内维保窗口。

单参数告警 → 多参数融合，降低误报 60%

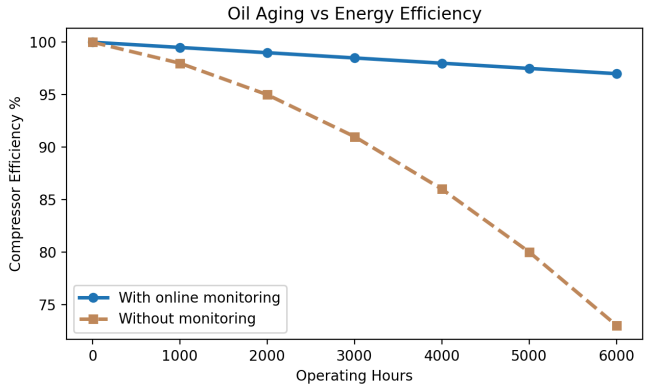
03 — 经济效益

能效与维护双收益，单机年综合节省 1–2 万元

以 75kW 螺杆机年运行 6000h、电价0.8元计，传感器成本仅 2000–4000元

能效收益：及时换油锁住效率

-3~8% 能耗

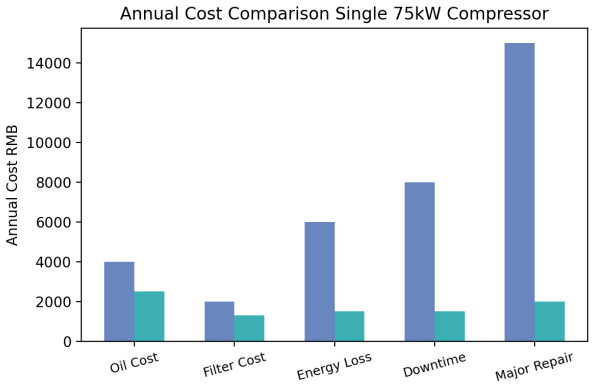


3000–6000 度
单机年省电量
≈ 3000–6000元

4.2%
10台站房实测整站
能效提升案例

维护收益：从定时到按质

有监测 vs 无监测



换油周期 4000h → 6000–8000h，油费省 30–40%

避免乳化堵油分，滤芯寿命提升 30%

磨粒提前14天预警，避免主机大修 5–15 万

减少非停：空压站停机损失 >1万元/小时

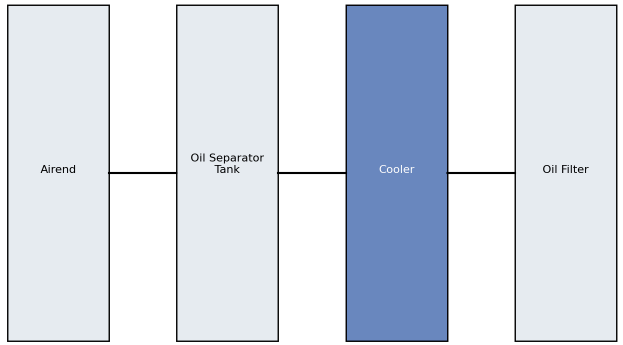
ROI < 4 个月 — 传感器投入 2000–4000元，当年回报 3–5倍，油液是空压机的“血常规”

5分钟检测避免5万元大修

04 — 安装方法与部位

从油路拓扑选中黄金测点

螺杆空压机油路流程 · 传感器最佳位置 = 油分后、冷却器前



螺杆机

点1：油气桶回油管 - 颗粒+水分主测点
点2：油滤前 - 介电+电导判氧化
点3：主机轴承回油 - 磨损颗粒

离心 / 活塞机

离心：齿轮箱独立回路，重磨粒+水分
活塞：曲轴箱，重水分+酸值关联
避开气泡区，10bar内需减压

1

旁路循环 推荐

油气桶回油管引出，流量 1L/min，压力≤10bar，配减压阀与 10μm 前置滤。最稳，气泡最少，适合在线 EIS 连续监测。

2

油路直插

油滤座预留 G1/2 接口直接拧入，耐温 120°C，耐震。安装于油分后、冷却器前，温度补偿准确，响应最快。

3

油箱浸入式

浸入油气分离桶底部，监测水分沉积与乳化层。适合活塞机曲轴箱与长期停机水分析，需加防扰流罩。

安装要点： 避开回油气泡区 → 选择满油管段 → 配温度传感器做补偿 → 水平/45°安装防沉积 → 接入 Elektronikon / 集中控制系统 MODBUS。

05 — 应用案例

5分钟检测，避免5万元大修

汽车厂 Atlas Copco GA90 75kW

介电常数上升20%预警结焦

油温长期>95°C，介电常数7天内+20%，颗粒>ISO 19/17/14。及时换油并清洗油路，避免主机卡死。

节省主机大修12万元，非停0小时

纺织厂 Kaeser ASD60 变频

水分 >400ppm，发现冷却器内漏

清晨高湿度启机，水分从80ppm突增至420ppm，电导率同步上升。检查发现水冷器O-ring渗漏。

避免轴承乳化腐蚀，油分芯寿命+35%

钢铁厂 Ingersoll Rand 离心式

磨粒突增，齿轮箱轴承提前预警

铁磁颗粒>50μm计数 12→98个/小时，温度无明显变化。拆检发现高速轴轴承剥落，未影响生产。

提前14天预警，大修费5-15万规避

国内空压站 10台×75kW 集中

统一加装在线监测，能效提升4.2%

按介电常数按质换油，换油周期从4000h延至6800h，油耗降32%。接入集控，实现剩余寿命预测。

年省电费8万元，油费节省约30%

06 — 知名企业使用现状

国际已标配，国内高端机型开始选配

共性：从卖整机到卖压缩空气服务 CaaS，油液健康度成为能效担保与按方计费的依据。

Atlas Copco

MK5s + SMARTLINK

全球第一，O-Box 油污染检测已集成露点与油液五维监测，OPC UA 远程推送至客户能源管理平台。

- GA90-160 支持介电常数超15%结焦预警
- 75kW+变频机型标配率 >65%

Kaeser / Ingersoll Rand

德国 Sigma Control 2 与美国 Intellisys 双路径。

- Kaeser：Sigma Air Manager 群控按质换油
- IR 离心机 MSG 标配颗粒度 ISO 4406

Gardner Denver

CompAir / iConn 平台，油分芯寿命预测。

- iConn 预测剩余寿命，避免虚假压差报警
- 英德市场后服务核心卖点

国内一线：捷豹 / 开山 / 鲍斯 / 凌格风 / 复盛

- 2024后高端永磁变频预留 G1/2 油液传感器接口，选配率快速爬升
- 复盛/凌格风接入 Atlas 技术，油监测纳入节能分成合同，后市场占生命周期70%核心

07 — 市场前景与实施路线 · 总结

油液是空压机的血液，传感器是空压机的血常规

后市场占生命周期 70%，到 2028 年 50% 以上 75kW+ 机型将标配在线 oil 监测，AI 根据介电常数与 pS/m 自动计算剩余换油时间 RUL。

STEP 01 · 试点

选 2–3 台关键机

1台工频 + 1台变频，覆盖高温高湿工点。旁路循环安装，接入 MODBUS。

STEP 02 · 基线

跑 2 个月建基线

记录新油基准介电常数/电导率/水分，设阈值：Δ介电>15%，水分>300ppm，ISO>18/16/13。

STEP 03 · 集控

接入空压站集控

接入 Sigma Air Manager / Elektronikon，按质换油，能效与滤芯寿命联动预测。

5 分钟在线检测，避免 5 万元主机大修 · 综合 ROI < 4 个月

从“定期换油”到“按质换油”到“AI预测寿命”，油液在线是压缩空气服务 CaaS 与能效担保的计量基础。建议立即启动小规模试点。