AMETEK® | Spectro Scientific
Confidence in knowing

TruVu360
Insight. On-site.

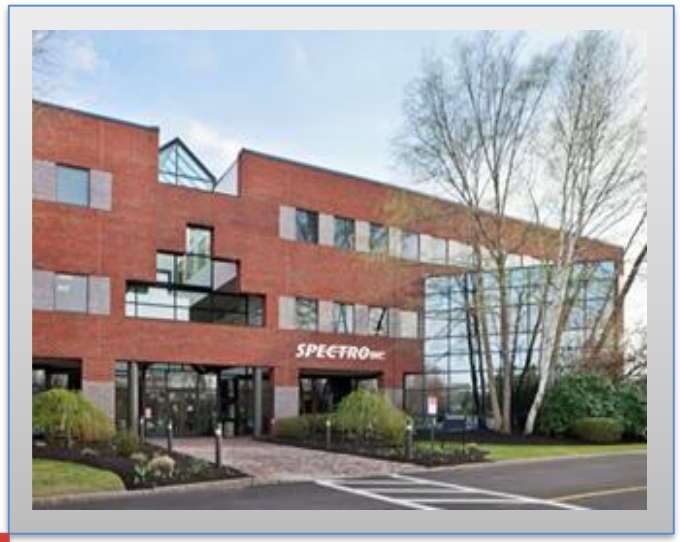
工业生产设备维护解决方案的探讨
-润滑油液监测技术



© 2014 Spectro Scientific | CONFIDENTIAL

关于美国斯派超科技公司

- 成立于1981年5月，位于美国马萨诸塞州切尔姆斯福德市
- 全球机械设备油液分析及润滑油状态监测全套方案的领导者
- 历年来，为行业标准的建立贡献力量，包含磨粒图谱以及目前广泛使用的许多关键技术
- 2012年收购艾默生公司CSI系列油液状态监测仪
- 2013年收购Wilks公司
- 2014年初在北京设立全资子公司
- 2014年收购On-Site Analysis(OSA)公司
- 2018年美国AMETEK集团收购Spectro Scientific



© 2014 Spectro Scientific | CONFIDENTIAL

油液监测技术？

- 提高关键设备，重要设备，运行可靠性
- 降低故障后维修成本
- 降低润滑油使用成本
- 开展预防性维修工作的重要工具



Increase Asset Availability, Reliability, and ROI

- 降低故障停机时间
- 延长设备寿命
- 提高设备可利用率
- 避免设备重大故障

Reduce Operating Expenses

- 降低工业油液消耗
- 降低维修养护成本
- 满足环保标准
- 降低库存成本

Enhance Productivity

- 提高维修效率，缩短维修时间
- 提高安全生产系数
- 提高生产资源的利用率及生产效率
- 降低人员成本

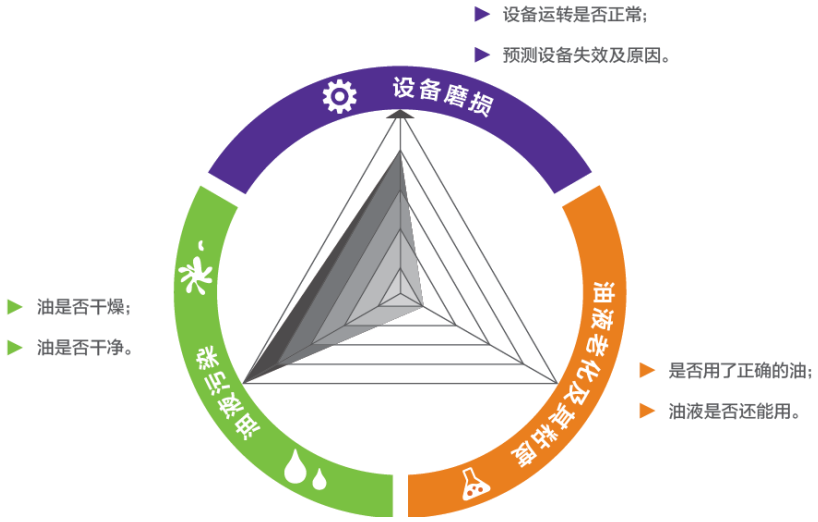
一、什么是油液监测?

- 油液监测技术就是通过对设备中正在使用的润滑油的性能指标、磨损金属和污染杂质颗粒的定期跟踪监测，及时了解掌握设备的润滑和磨损状态信息，诊断设备磨损故障的类型、部位和原因，为设备维修提供科学依据，指导企业进行设备的状态维修和润滑管理，从而预防设备重大事故的发生，降低维护费用油液监测的根本目的是对设备的运行状态进行监测，进而提高设备的可靠性。
- 设备润滑与磨损状态监测（以下简称油液监测）是设备开展润滑管理、设备状态维修的重要基础工作，是提高设备可靠性、保证设备安全运行的重要手段。





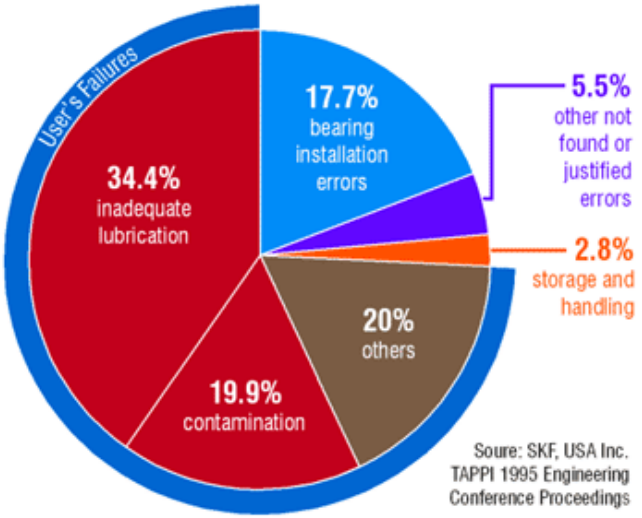
二、油液的监测内容



监测内容	典型受控设备			意义
	齿轮箱	发动机	液压站	
设备异常磨损快速判定	•	•	•	快速判定设备是否出现异常磨损及其磨损程度
污染度	•	√	•	产生二次磨损、阻塞液压系统（各种阀）、阻塞轴承的润滑间隙
粘度	•	•	•	集中反映油液老化及污染状态，直接决定了油膜厚度。
水分	•	•	•	使粘度降低、加速油液老化、产生腐蚀性磨损
氧化度	•	√	•	油液的氧化程度（基础油氧化+抗氧化添加剂损耗）
TAN	•	×	•	针对传动油而言，与氧化度一致
TBN	×	•	×	发动机油老化特性的集中体现
硝化度、硫化度	×	√	×	发动机油工作工程中的副产物
烟炱	×	•	×	发动机燃油系统的工作效能
燃油稀释	×	•	×	使粘度极具下降，干磨、拉缸、发动机自燃、烧机油

油液监测的内容及意义

- 壳牌石油公司对机械故障作了分类统计：在柴油机中，30%的故障是由于污染造成的，其中50%是由于磨损造成的。对于齿轮来说，75%的故障是由于润滑不当、外来污染、腐蚀、轴承失效、维修不足和连续或短暂的超负荷运转造成的；其中51%的故障是与磨损有关，49%的故障是与过载有关。对于滚动轴承来说，40%的故障是由于润滑不当造成的，其中有10%的故障是在轴承正常疲劳寿命期内发生的。



油液类型	问题油样占总检测油液	污染	冷却液渗透	油液老化	过热	氧化	水	燃油稀释	异常磨损	大磨损颗粒
发动机油	23. 3%	21%	9%	4%	3%	9%	3%	7%	43%	—
齿轮油	20%	19%	–	4%	–	–	8%	–	22%	46%
液压油	18. 2%	22%	–	7%	–	–	4%	–	21%	45%

数据来源：美国Noria公司对100,000多份油液监测报告进行分析统计的结果

- 英国流体协会的液压系统寿命研究表明：液压油清洁度为10/7时的系统寿命为24/21时的系统寿命的100倍。
- SKF的轴承寿命研究表明：轴承润滑的污染状况可使轴承的寿命相差500倍; 75%轴承的使用年限小于其设计年限。

国内润滑油监测开展的成功案例

国务院国有资产监督管理委员会
State-owned Assets Supervision and Administration Commission of the State Council

神东煤炭集团通过油液监测累计节约成本突破2亿元

上海宝钢工业检测公司
SHANGHAI BAOSTEEL INDUSTRY INSPECTION CORP.
油品检测服务专家
提供工业生产与设备保障技术解决方案
首页 | 润滑监测 | 检测项目 | 专业业务 | 解决方案 | 应用案例 | 关于我们 | 联系我们
润滑油液分析 设备润滑诊断
中国润滑油网
资质证明 + 更多
典型案例 + 更多
电气管理专业案例
工业炉窑专业案例
工业建筑专业案例
工业遥控系统专业案例
失效分析专业案例
冷轧带钢跑偏解决方案案例
轧辊磨床专业案例
设备状态管理解决方案
设备状态管理概述
Telesen8833 设备状态数据采集器介
Telesen6821 在线监测保护系统介绍
Telesen3826 在线保护装置介绍
解决方案 + 更多
润滑状态监测 更多
早期预报润滑、磨损故障，减少非计划停机和重大故障；
根据设备的实际状态阿安排维修，避免不必要的维修和换油；
发现、排除故障的根本原因，延缓零部件和润滑油的劣化；
早期预报润滑、磨损故障，减少非计划停机和重大故障；
确定润滑、磨损故障的原因和严重程度，预防类似事故。
设备润滑管理 更多
为产线设备提供合理的机械设备用油选型配置方案；
以机械设备用油性能检测把握油品在役状态，指导现场机械设备用油维护，实现按质换油；
通过对油中磨损颗粒和污染物的监测，把握液压润滑设备的运行状态，为预知状态维修提供依据；

新浪军事 舰船知识 > 军事新闻 > 正文
刘东风：保驾战舰乘风破浪(图)
http://jczs.sina.com.cn 2005年05月10日 08:31 中国国防报

新浪军事 新浪军事 > 综合新闻 > 正文
●查故障不用拆解 ●取滴油便知病根 中级士官李健：堪称铁甲
http://www.sina.com.cn 2010年04月07日 07:05 解放军报

工业用油设备典型润滑失效原因



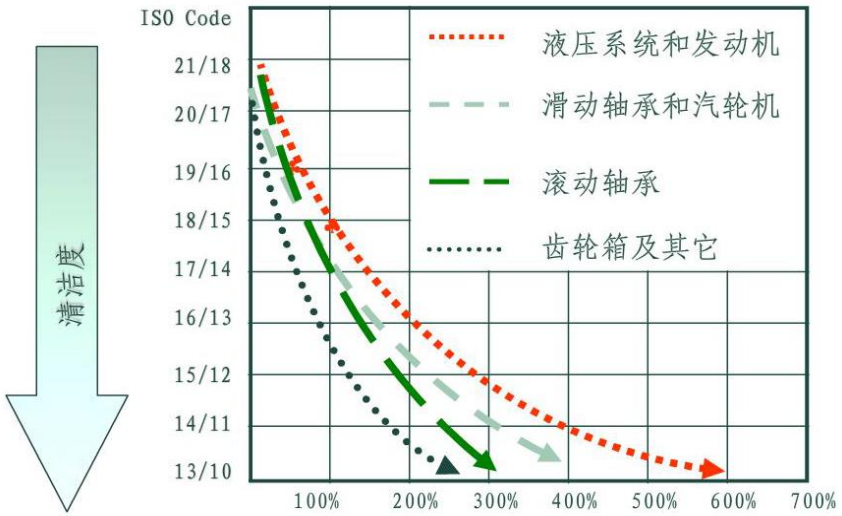
固体颗粒污染及控制

为什么进行污染控制？

润滑油的污染将加速被润滑零件表面磨损及损伤、腐蚀、锈蚀，会引起：

- 造成磨料磨损；
- 堵塞油路；
- 堵塞设备内部滤芯；
- 腐蚀，油液老化

润滑油污染控制与设备使用寿命







Spectro Scientific
Confidence in knowing

固体污染对齿轮箱齿面造成的危害

齿轮传动广泛应用于减速箱、变速箱之中。齿轮传动除了节点啮合为纯滚动之外，齿面各点都是既有滚动又有滑动，而其所受载荷又因单对轮齿受载与两对（甚至多对）轮齿受载不断交替而存在显著差异。齿轮润滑的机制总体上说是弹性流体动力润滑，高速轻载时齿根与齿顶则为混合润滑。这种情况使齿面的不同部位发生不同形式的实效：一般来说，节线附近会出现滚动解除疲劳磨损，而在齿顶和齿根则容易出现胶合磨损。

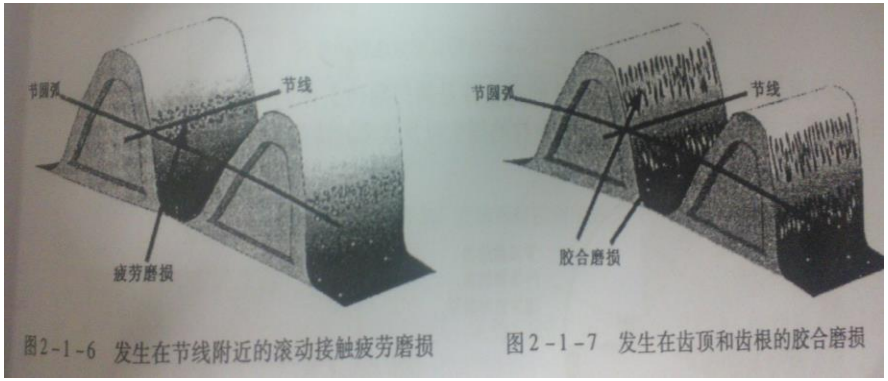


图2-1-6 发生在节线附近的滚动接触疲劳磨损　　图2-1-7 发生在齿顶和齿根的胶合磨损

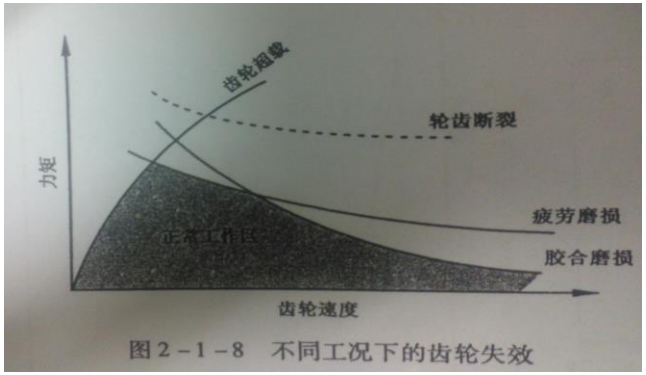
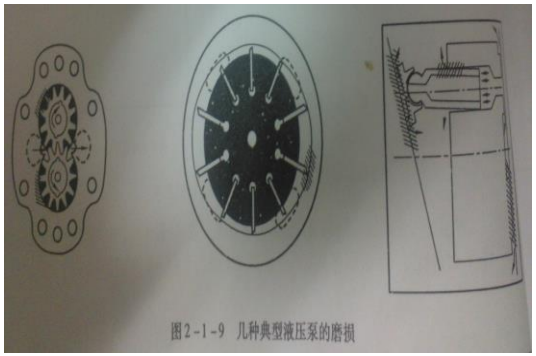


图2-1-8 不同工况下的齿轮失效

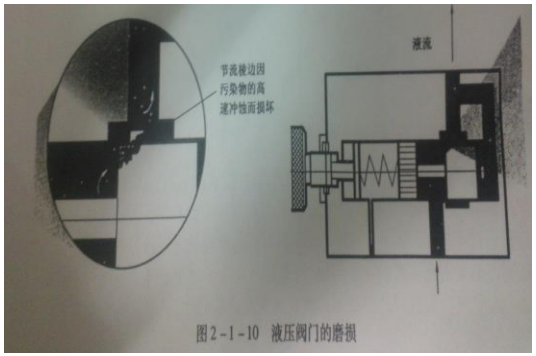
美国Dundee Cement公司报道：其传送6000马力（4413kW）的大型齿轮箱，修理费用每年超过**100万美元。检测证明污染是引起失效的主要问题。**在实施污染检测之前每年必须定期更换齿轮和油液，而实施污染检测之后则每隔5年才换油。

固体污染对液压系统造成的危害

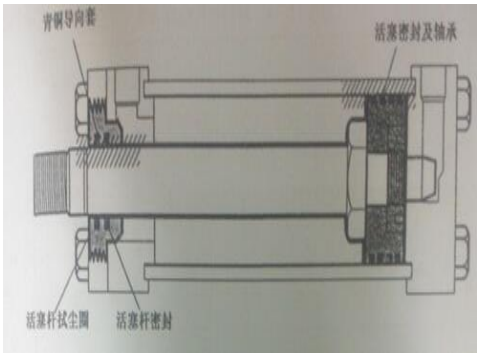
液压系统发展的总趋势是工作压力不断提高，工作速度不断加快，因此机件的量孔和配件处的间隙越来越小，这就进一步提高了对颗粒污染的敏感性。



液压泵：泵是液压系统的心脏，颗粒造成的磨损会使工作性能劣化乃至最终完全失效。



液压阀：液压阀阀杆掇尺寸的完整性是阀门准确工作的保证。液压阀受到冲蚀磨损后会导致尺寸的改变、液体的泄漏、颗粒的增生以及效率的降低。



液压缸：污染物的入侵主要是通过液压缸活塞杆及密封件。

固体颗粒污染是引起液压系统故障最重要的因素。英国中央液压研究所和美国海军研究实验室的统计资料证明，约85%的液压系统故障都与污染有关。

水分污染及控制

- 机械设备在使用过程中，受工作环境如高低温变化、高湿气等影响，不可避免的会有一定量的水汽进入，造成污染。
- **水分主要来源**
  - 冷去液泄漏
  - 空气中水分凝结
  - 外界经呼吸帽或者密封系统进入的水分
- **水污染存在形式**
  - 溶解水
  - 乳化水
  - 游离水
- **水分危害**
  - 水污染会直接造成油液润滑下降，加速磨损，缩短设备寿命；
  - 水分与酸共同作用，导致设备腐蚀；
  - 导致添加剂水解、加速基础油氧化，形成漆膜和油泥

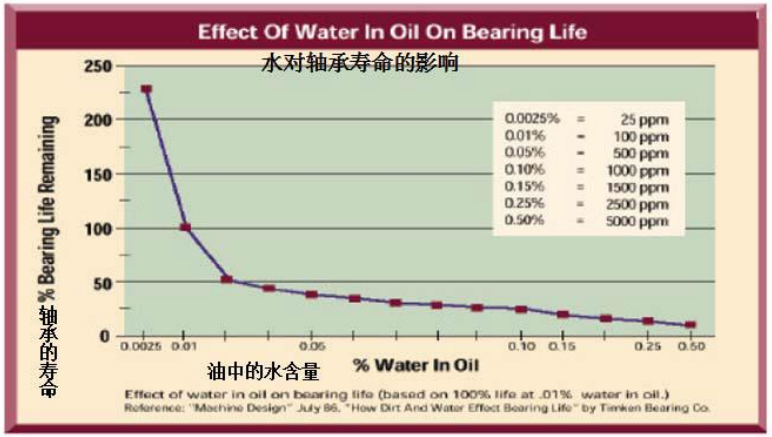
案例图：



液体制冷剂进入气缸，冲刷磨擦面油膜，引起活塞磨损



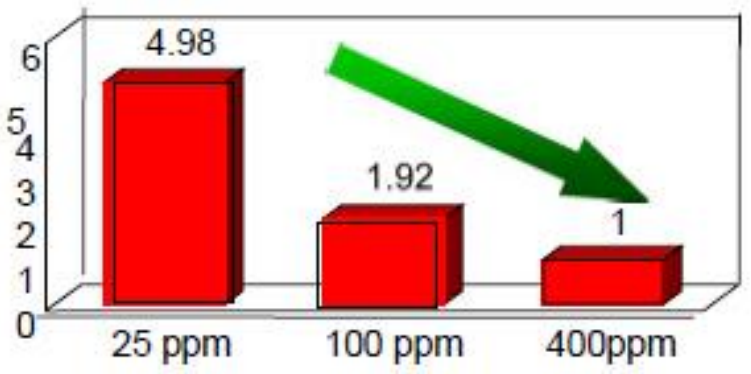
稀释后的润滑油，引起曲轴磨损



水分污染与设备故障

- **Timken研究结果：**
- 含400ppm水分的油品比含100ppm水分的油品使轴承寿命降低48%
- **SKF研究结果：**
- 含500PPM水分的油品比含100ppm水分的油品使轴承寿命降低50%

含水量	寿命比率
25 ppm	4.98
100 ppm	1.92
400 ppm	1.00



Spectro Scientific
Confidence in knowing

著名国际大企业对污染的认识

通用电气

（润滑系统）可靠性和可维修性是污染控制的函数，有效的污染控制导致更长的设备寿命。

SKF

如果能将润滑剂中所有大于油膜的颗粒完全去掉，滚动轴承将应有无限的寿命。
干净——干则无水，净则无尘

美国钢铁企业调查报告

超过75%的液压系统的故障是由于液压油中的颗粒污染所引起。

BHP调查报告

63%齿轮箱的失效和更换与润滑直接相关。

美孚

污染是润滑故障和零件过度磨损的最大的单一根源。

GE汽车

通过使用高效率的油过滤器，发动机的磨损能减少70%。

润滑油是否老化？

- 润滑油在使用过程中受到各种环境条件（高温、高压、水解、蒸发、过滤）和污染（水、空气、固体颗粒等）的作用，同时还会受到各种机械运动的挤压和剪切，因此它将不可避免地发生衰化变质。老化会引起
- **老化的危害**
  - 粘度升高：流动性变差，内摩擦力加大，功率消耗增大，磨损加剧；丧失润滑油承受载荷功能，润滑性能变差；
  - 酸值增加：造成机件腐蚀；
  - 滤网堵塞：形成油泥、漆化物、残炭等沉积物；
  - 添加剂损耗：丧失抗磨、防锈、清洁、动能传递等功能；
- **老化监测指标**
  - 粘度
  - 氧化度
  - 总酸值/总碱值





老化失效案例

- 应用案列，澳大利亚BlueScope钢厂因润滑油氧化生成油泥&漆膜而导致灾难性事故
- 2006你那5月23日，在准备停机检修时，5#高炉的24#鼓风透平机组突然发生喘振，最终导致设备严重损坏。
- 事故原因：润滑油经常处于高温高氧化，降解后的氧化剂成为不溶物沉积而形成油泥和薄膜，最终导致伺服阀粘滞和要死。

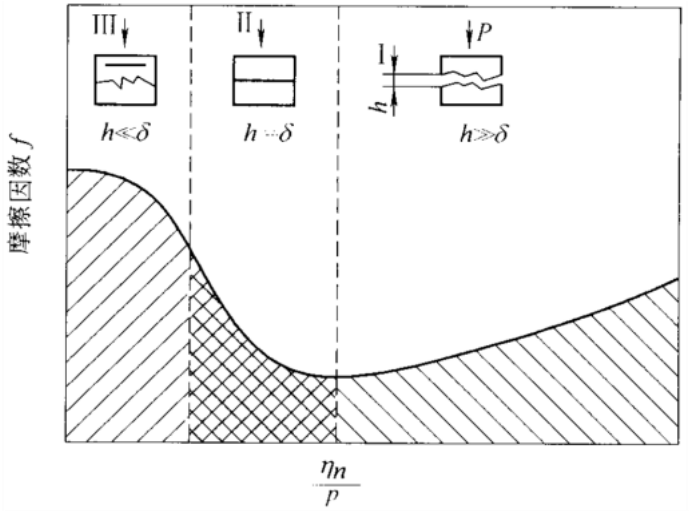


这次事故导致的直接损失是1300万澳元！

© 2014 Spectro Scientific | CONFIDENTIAL

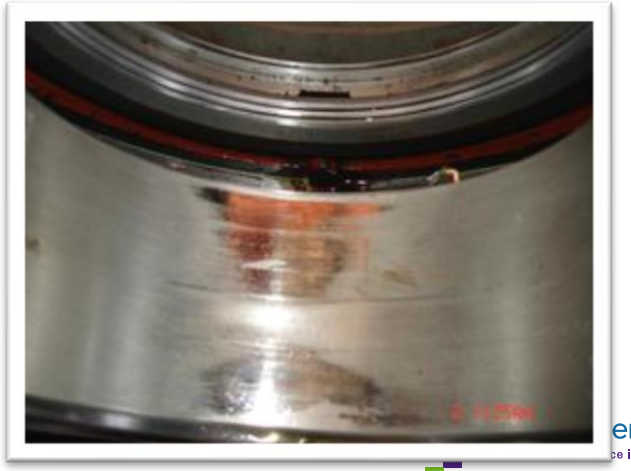
粘度监测及控制

- 粘度：是液体油品流动时内摩擦阻力的量度，用于表征油液的抗剪切能力，是选油的重要依据之一。
  - 太小：表示流动阻力小，油膜容易破裂
  - 太大：表示流动阻力大，摩擦阻力大，流动困难
- 粘度是润滑油最重要的物理特性，不仅可决定润滑油的润滑能力，也可决定其负载能力。粘度也是油液本身物理、化学状态变化及其污染物存在的集中体现，可作为一个综合指标，为润滑油的降解或污染程度的变化提供早期预警。
- 选择方法：根据设备制造商的推荐选用相同黏度的润滑油
- 粘度是保障油膜厚度的最主要指标



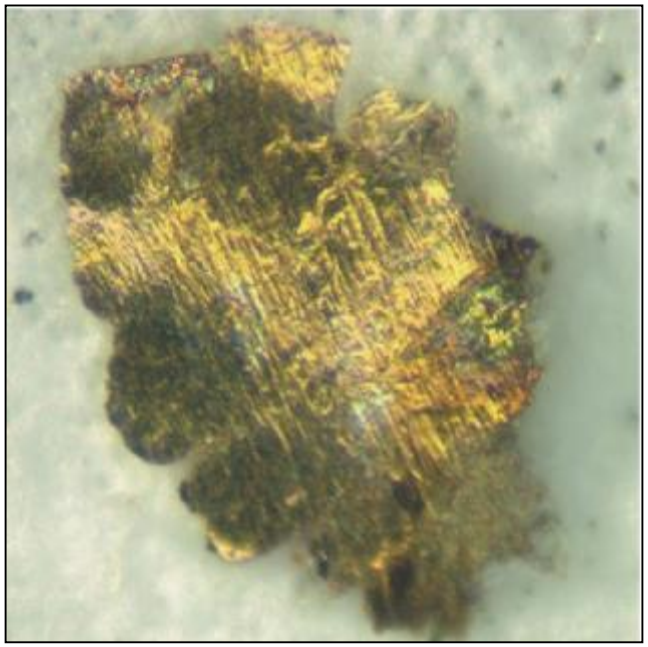
润滑油黏度对润滑状态影响的Stribeck曲线

h–油膜厚度　　*δ*–运动副表面粗糙度



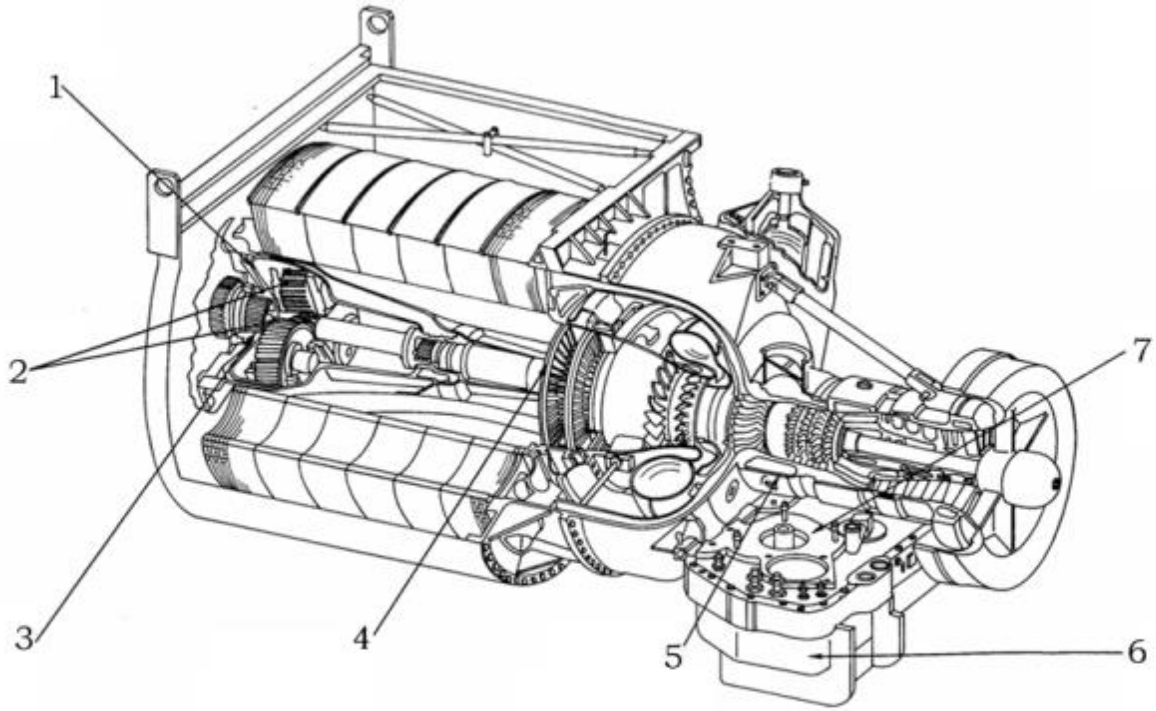
设备磨损监测

基于油液监测技术的设备磨损状态监测技术是通过监测悬浮或溶解在被测油液中的各种元素颗粒（**统称为：磨粒**）的成分、浓度、形状、尺寸、数量、颜色、表面纹理等物理特性，对设备的磨损位置、磨损状态、磨损原因、磨损机理等进行推理研究的设备状态监控技术。



磨粒特征	磨粒
成分	磨损位置
浓度	磨损程度
尺寸	磨损程度
数量	磨损程度、污染程度
颜色	磨粒成份－磨损位置
形状	失效原因
表面纹理	失效原因

磨损元素检测



1. 轴瓦及滚珠(Fe, Cr), 轴承套(Ag, Cu, Zn, Pb)
2. 行星轮系(Fe, Ni, Cr)
3. 齿轮(Fe, Ni, Cr)
4. 主轴(Fe, Ni, Cr, Mo)
5. 子驱动系统： 齿轮(Fe, Ni, Cr), 键(Fe, Cr)
6. 轴承(Fe, Cr), 齿轮(Fe, Ni, Cr)
7. 油泵(Fe, Ni), (Cu, Si)

© 2014 Spectro Scientific | CONFIDENTIAL

新一代的Minilab 153工业油液监测工具



MiniLab153系列油液现场监测系统

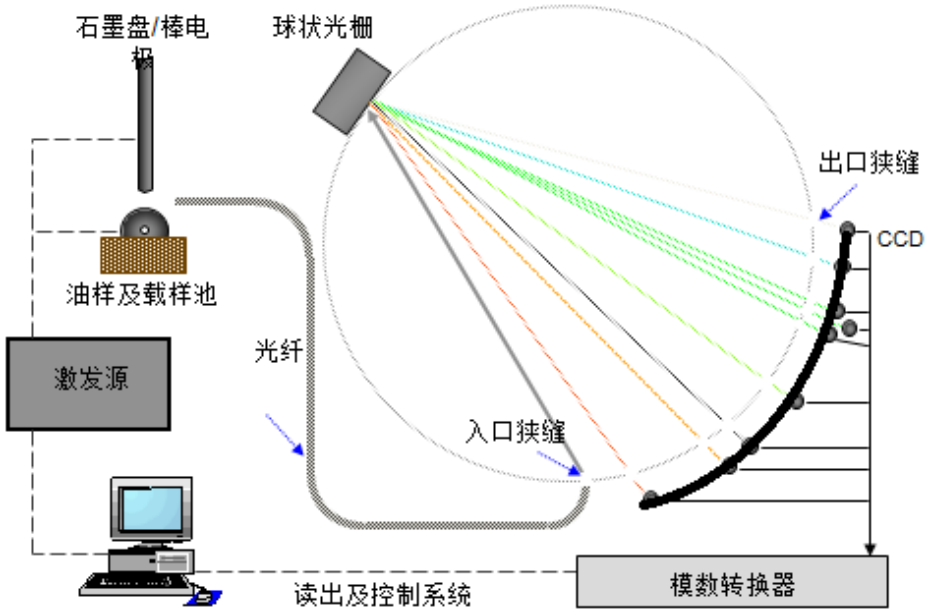
- 元素分析：油样消耗量约3ml, 30 秒检测时间
  - 24至31种元素（PPM）
  - 油样无需预处理，无需化学试剂
- 磨粒污染分析:油样消耗量约10ml, 1-2 分钟检测时间
  - 颗粒计数，磨粒分类（智能铁谱），铁磁性颗粒尺寸、数量及浓度分部（铁量分析，直读铁谱）
- 老化指标：油样消耗量约50ul，1 分钟检测时间
  - 水分，TAN/TBN, 氧化度、硝化度、硫化度、烟炱等
  - 无需有机溶剂
- 运动粘度：油样消耗量约60ul，0.5-5 分钟检测时间
  - 40℃运动粘度（实测），100℃运动粘度（计算）
  - 无需有机溶剂
- 铁量分析:油样消耗量约0.5ml，1 分钟检测时间
  - 铁磁性颗粒总量（ppm）
  - 无需有机溶剂

检测内容	检测标准（ASTM）
元素分析	D6595，SH/T0863
磨粒分析	D7596
理化指标	D7889
运动粘度	D8092
燃油稀释	D8004
铁量分析	D8120



© 2014 Spectro Scientific | CONFIDENTIAL

Spectroil 120C-检测磨损金属元素





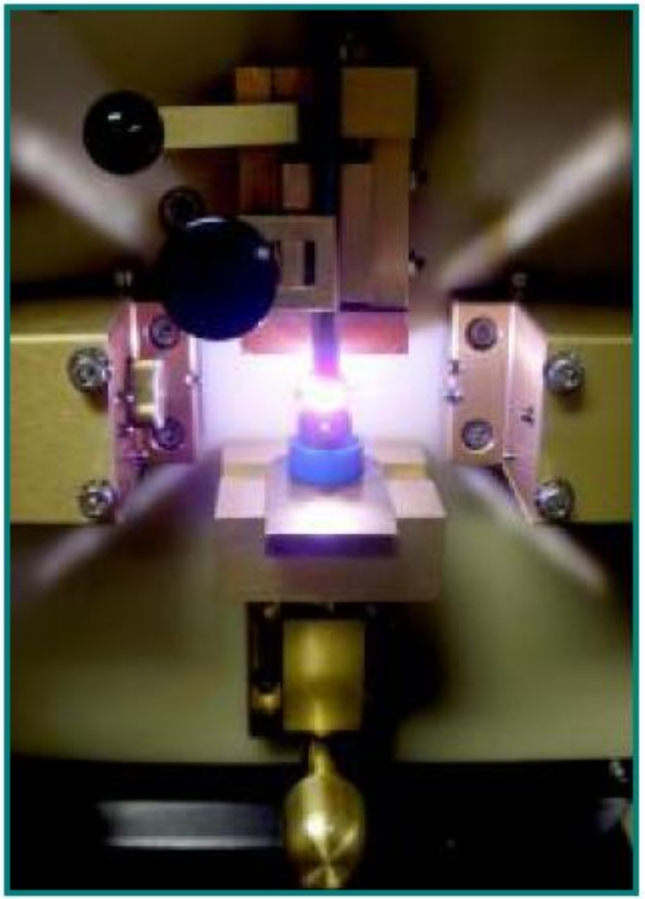


RDE(Rotation Disk Electrode), 旋转石墨盘电极激发技术，采用交流脉冲电弧激发源

MiniLab153：120C可以检测的金属磨损元素

序号	被测元素	范围(PPM)
1	铝-Al	0-1,000
2	钡-Ba	5-6,000
3	硼-B	0-1,000
4	镉-Cd	0-1,000
5	钙-Ca	0-6,000
6	铬-Cr	0-1,000
7	铜-Cu	0-1,000
8	铁-Fe	0-1,000
9	铅-Pb	0-1,000
10	镁-Mg	0-6,000
11	锰-Mn	0-1,000
12	锂-Li	0-1,000

序号	被测元素	范围(PPM)
13	钼-Mo	0-1,000
14	镍-Ni	0-1,000
15	磷-P	5-6,000
16	硅-Si	0-1,000
17	银-Ag	0-500
18	钠-Na	0-6,000
19	锡-Sn	0-1,000
20	钛-Ti	0-1,000
21	钒-V	0-1,000
22	锌-Zn	0-6,000
23	钾-K	0-1000
24	锑-Sb	0-1000

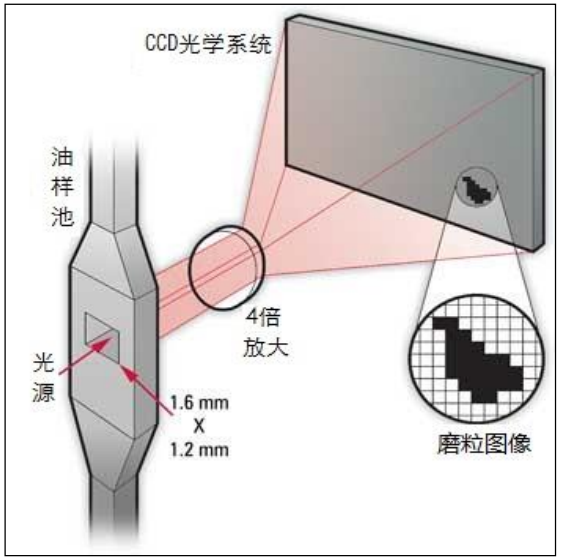


Spectro Scientific
Confidence in knowing

© 2014 Spectro Scientific | CONFIDENTIAL

固体污染分析：LNF直接成像及智能识别技术

LNF 是**基于激光投影和人工智能识别技术**，记录和识别磨损颗粒。如右图所示，当油样进入系统后，穿过样品池时，此时脉冲激光照射此样品池，所得到的信号由4倍放大器放大之后，投影到CCD上，然后由一个高速照相机对其进行拍照，然后经由神经网络技术对其进行分析，从而得出该油样的磨损颗粒计数以及形态的信息。

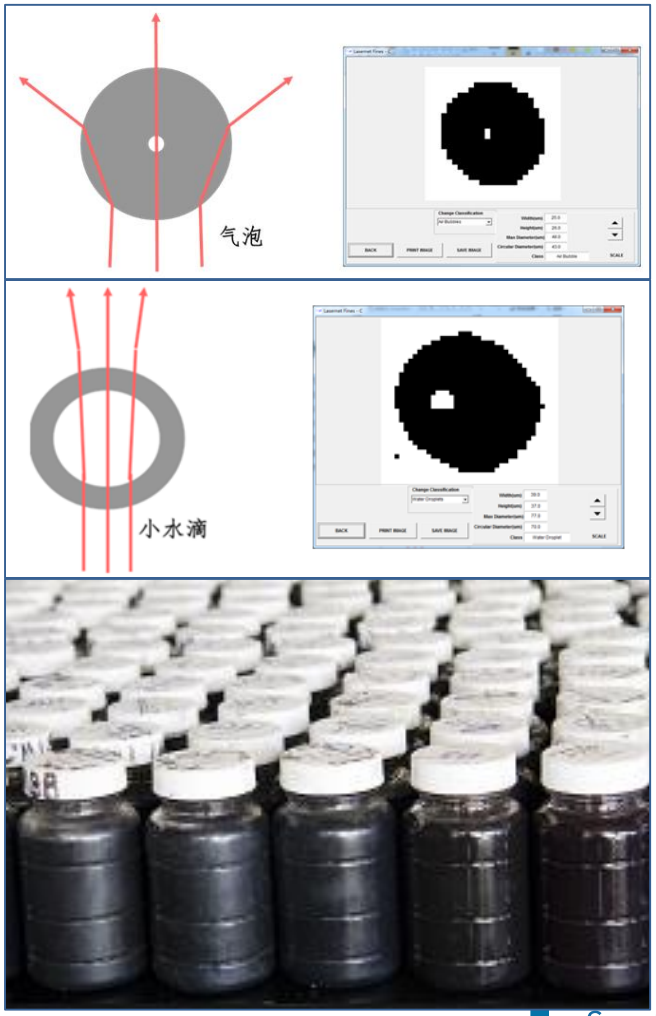




© 2014 Spectro Scientific | CONFIDENTIAL

直接成像法的技术优势

- 智能识别水滴与气泡
- 可以得到磨粒的总量、大小、分布信息（可以采用ISO4406，NAS等国际标准，也可以自定义清洁度等级）。
- 它能测量重度污染油样和“黑色”油样，可以直接测定高烟炱（2%）的发动机油，以及高污染度（5，000，000颗粒/ml）油样。
- 可直接检测污染程度高的油液



Spectro Scientific
Confidence in knowing

设备磨损原因的检测

- **磨粒智能识别与分类（智能铁谱功能）**：利用洛克希德马丁公司的军用智能识别技术，自动将金属磨损颗粒分为：
  - 切削磨损：油液中存在硬质颗粒
  - 接触磨损：油膜厚度减小
  - 疲劳磨损：表面缺陷

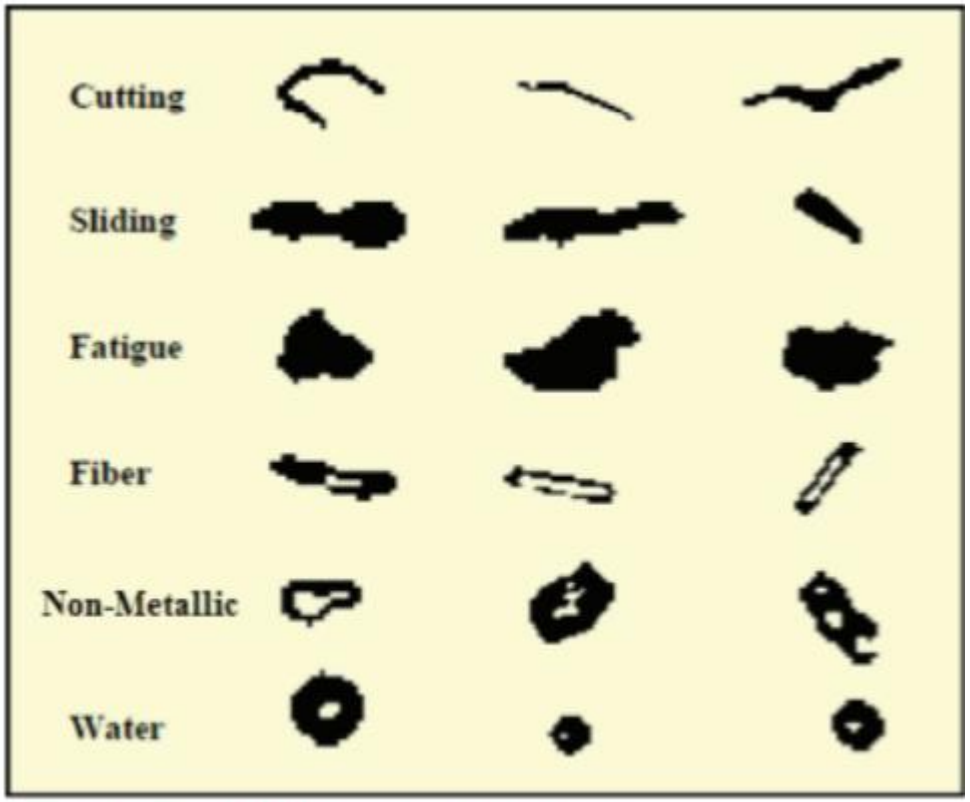


Figure 2: Examples of Particle Class Morphology

Spectro Scientific
Confidence in knowing

NAS及ISO污染度等级

Cleanliness Level Correlation Table						
Code to ISO4406: 1999	Particles per Millilitre (ISO11171 um [c])			NAS 1638 (1964)	Disavowed SAE level (1963)	SAE AS 4059
	>4 Microns	>6 Microns	>14 Microns			
23/21/18	80,000	20,000	2,500	12		–
22/20/17	40,000	10,000	1,300	11		A12 / B12 / C11
21/19/16	20,000	5,000	640	10		A11 / B11 / C10
20/18/15	10,000	2,500	320	9	6	A10 / B10 / C9
19/17/14	5,000	1,300	160	8	5	A9 / B9 / C8
18/16/13	2,500	640	80	7	4	A8 / B8 / C7
17/15/12	1,300	320	40	6	3	A7 / B7 / C6
16/14/11	640	160	20	5	2	A6 / B6 / C5
15/13/10	320	80	10	4	1	A5 / B5 / C4
14/12/09	160	40	5	3	0	A4 / B4 / C3
13/11/08	80	20	2.50	2		A3 / B3 / C2
12/10/07	40	10	1.30	1		A2 / B2 / C1
11/09/06	20	5	0.64	0		A1 / B1 / C0
10/08/05	10	2.50	0.32	00		A0 / B0 / C000

Spectro Scientific
Confidence in knowing

MiniLab153基于红外光谱原理定量检测水分含量

- 红外法检测润滑油中的水分含量的现行标准方法为ASTM E2412
- 基于ASTM E2412标准，通过定制的检测算法可准确测定润滑油中的水分含量。
- 工业润滑油具有良好的油水分离特性:透平油100-200PPM；齿轮油及液压油500-3000PPM。
- 润滑油中的游离水和乳化水会对红外光产生折射和反射作用。
- MiniLab53采用创新的红外全谱分析技术，准确测定润滑油的总水分含量

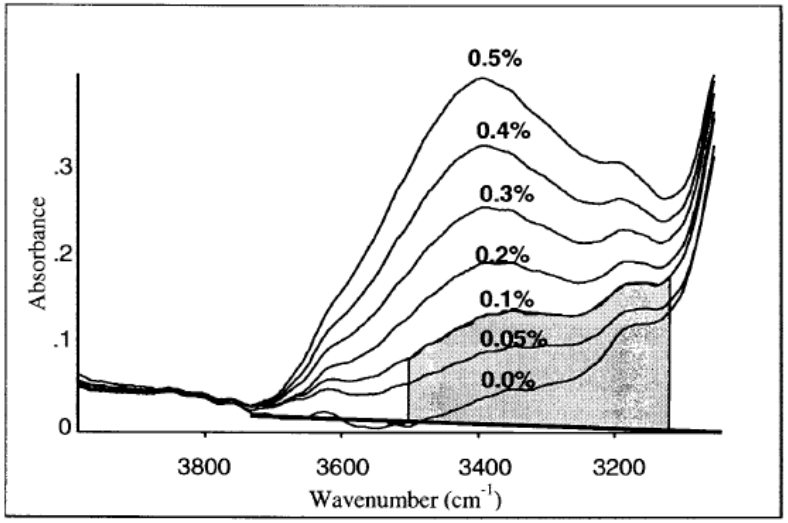
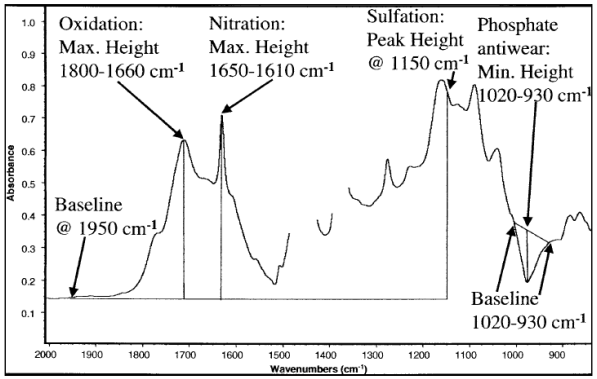


FIG. A1.1 Example of Integrated Band Measurement Area for Water in Crankcase Oil



Spectro Scientific
Confidence in knowing

润滑油老化的检测（总酸值/总碱值与氧化度）



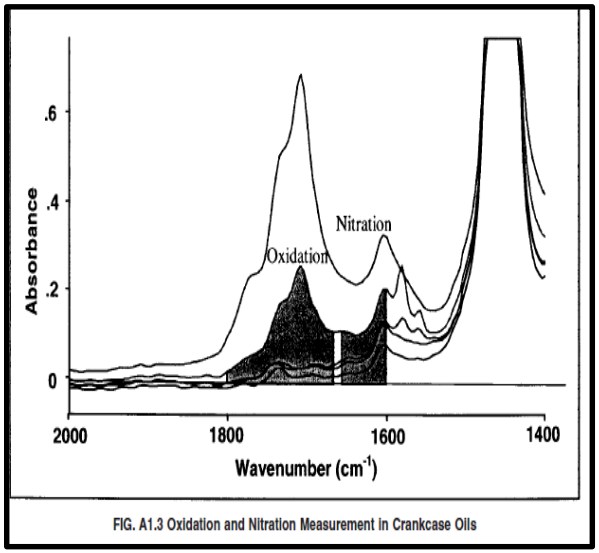
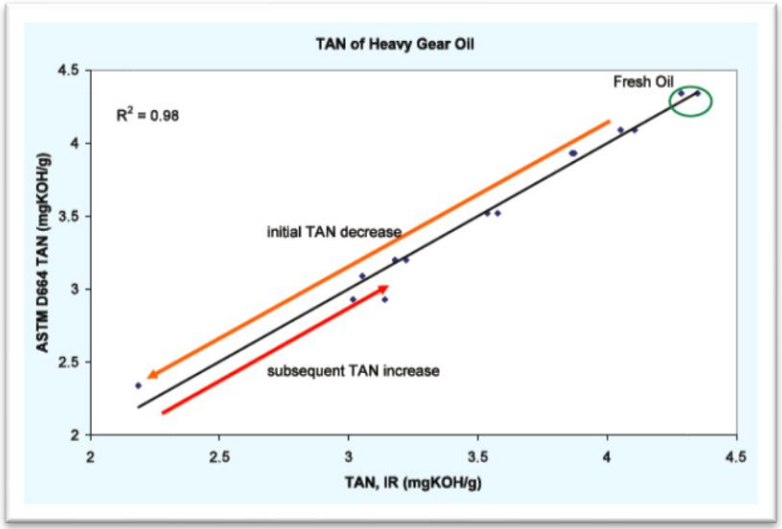
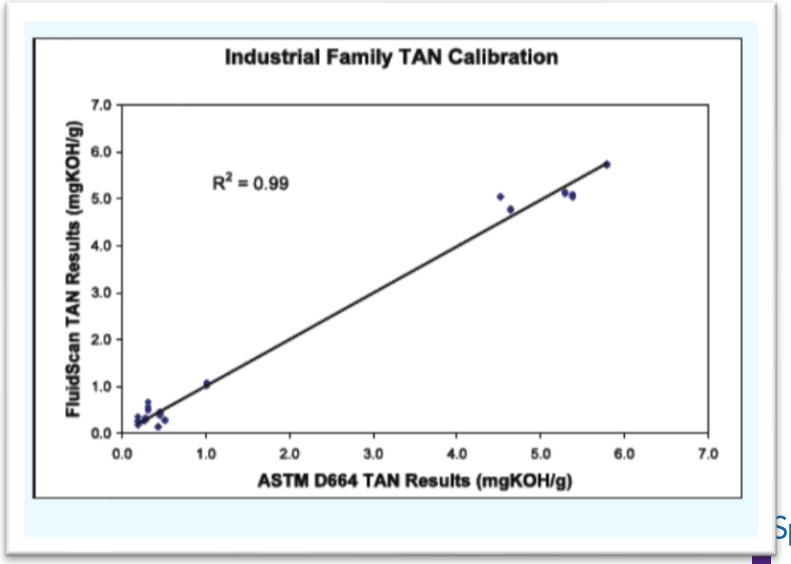


FIG. A1.3 Oxidation and Nitration Measurement in Crankcase Oils

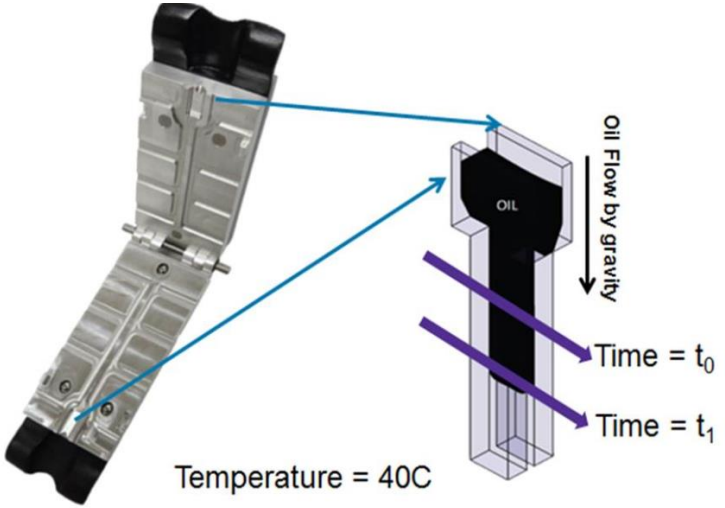




润滑油运动粘度的测量

- 开合式载样池的两个面板闭合后形成“毛细管”
- 测量过程中，油液沿“毛细管”竖直留下
- 油液的流速与油液的粘度及重力有关
- 油液粘度与油液的流速成正比
- 面板内置高精度红外传感器（测量油液流速）
- 专利设计ASTM D8092

$$Viscosity = C1 \times t + C2$$





Spectro Scientific
Confidence in knowing

传统的“送检”油液监测模式



好处：

- 采购第三方实验室的检测服务，无固定资产投入
- 满足现行工业标准，历史积累雄厚
- 油液监测及摩擦学专家做后盾

局限性：

- 检测周期长（数周时间）
  - 油样寄送困难、周期长无法解决
- 无法将油液监测数据纳入设备实时、动态管理流程
  - 重新取样监测复核失去意义
- 信息缺失
  - 整个监测评估过程需要大量人员介入，造成信息丢失
  - 受控设备及油样信息缺失
  - 取样或送样过程产生污染、遗漏
- 维修养护意见针对性差
- 对于大型集团客户而言，数据透明度差
  - 无法把油液监测技术列为关键性能指标（KPI）

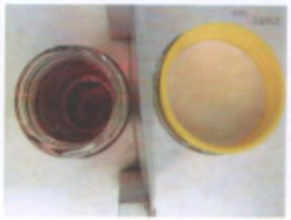
© 2014 Spectro Scientific | CONFIDENTIAL

传统典型的油液监测报告

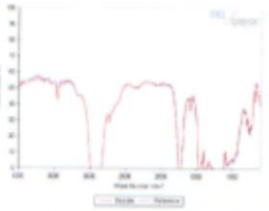
分析结果			本次样品	历史数据	
检测编号			1700781	1700782	1700783
样品评级			?	✓	✓
检测日期			12.01.2013	11.10.2012	31.03.2012
取样日期			09.01.2013	06.10.2012	27.03.2012
换油日期			20.03.2012	20.03.2012	20.03.2012
补加油量		l	20	0	0
油品使用时间		h	1027	509	3
总运行时间		h	1027	509	3
已换油			否	否	否
磨损金属					
铁	Fe	mg/kg	12	4	0
铬	Cr	mg/kg	9	1	0
锡	Sn	mg/kg	1	0	0
铝	Al	mg/kg	0	0	0
镍	Ni	mg/kg	0	0	0
铜	Cu	mg/kg	11	0	0
铅	Pb	mg/kg	1	0	0
钼	Mo	mg/kg	0	0	0
PQ指数	-		< 25	< 25	< 25
污染					
硅	Si	mg/kg	23	14	12
钾	K	mg/kg	0	0	0
钠	Na	mg/kg	1	0	0
水分（KF）	ppm		773	476	319
油品状态					
黏度@40°C	mm²/s		46.41	46.37	46.21
黏度 100°C	mm²/s		8.01	7.99	8.03
黏度指数	-		145	144	147
添加剂					
钙	Ca	mg/kg	25	24	21
镁	Mg	mg/kg	3	3	2
硼	B	mg/kg	0	0	0
锌	Zn	mg/kg	46	14	12
磷	P	mg/kg	1638	1633	1679
钡	Ba	mg/kg	2	1	1
硫	S	mg/kg	1024	1117	1058
附加检测					
中和值	mgKOH/g		1.08	0.85	0.67
密度@15°C	kg/m³		919	920	920
清洁度等级	ISO 4406 (1999)		23/19/15	20/17/13	18/16/11

注意

瓶子和瓶盖

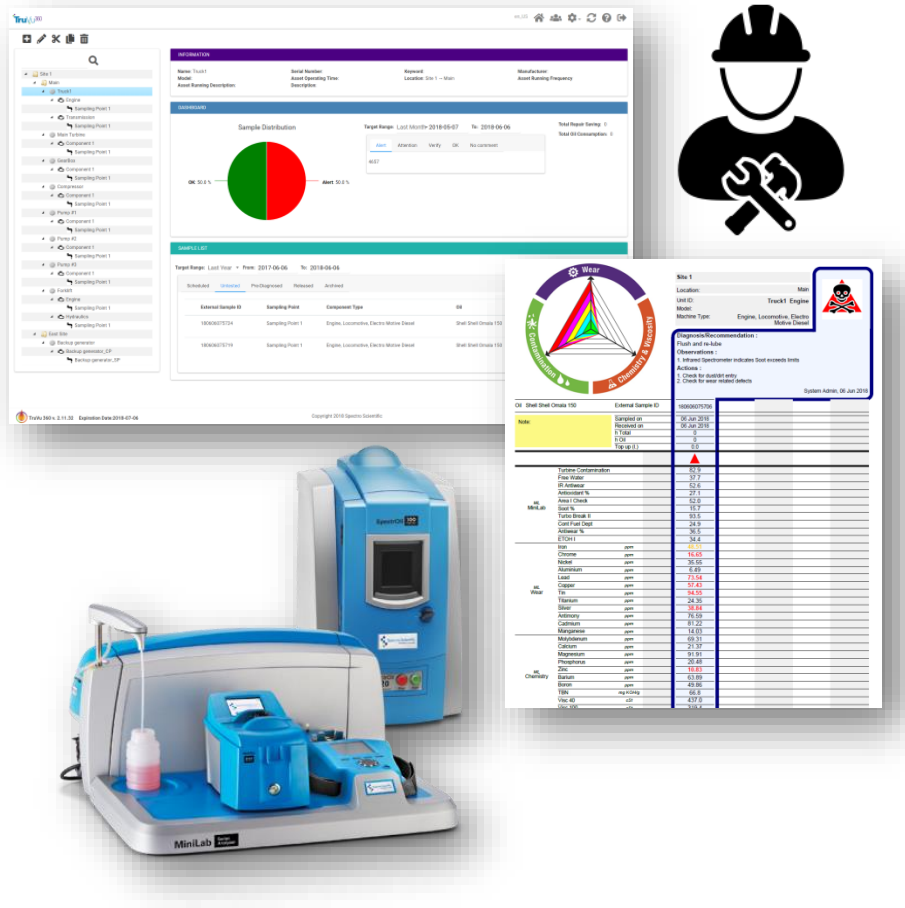


红外光谱



TruVu 360™ 企业智能油液监测平台的核心理念

- 一个专门针对设备管理部门设计的软件平台
- 两个核心部分
  - TruVu 360TM 服务器软件系统 – 基于网络技术的软件平台
  - 检测硬件系统、控制及检测数据上传软件（TDC）
- 与第三方检测实验室的检测数据高度一致
- 功能强大、信息面广
  - 对受控润滑点的缺失分析
  - 开放式智能诊断系统、维修养护建议、养护活动记录、经济效益分析
  - 设备状态图形化显示及汇总
- 操作简便
  - 检测速度：5-15分钟/油样
  - 无需有机溶剂
  - 向导化、视频化操作流程



TruVu 360™ 企业级智能油液监测系统的工作流程

TruVu 360™ 云端、服务器端软件

数据信息

- 受控设备
- 润滑油液
- 监测及养护规程
- 监测内容
- 监测结果
- 异常数据
- 诊断结果
- 养护建议
- 养护实操
- 故障记录
- 费用节省
- 趋势分析

流程

监测流程规划 → 油样检测 → 分析诊断 → 故障反馈 → 数据备份

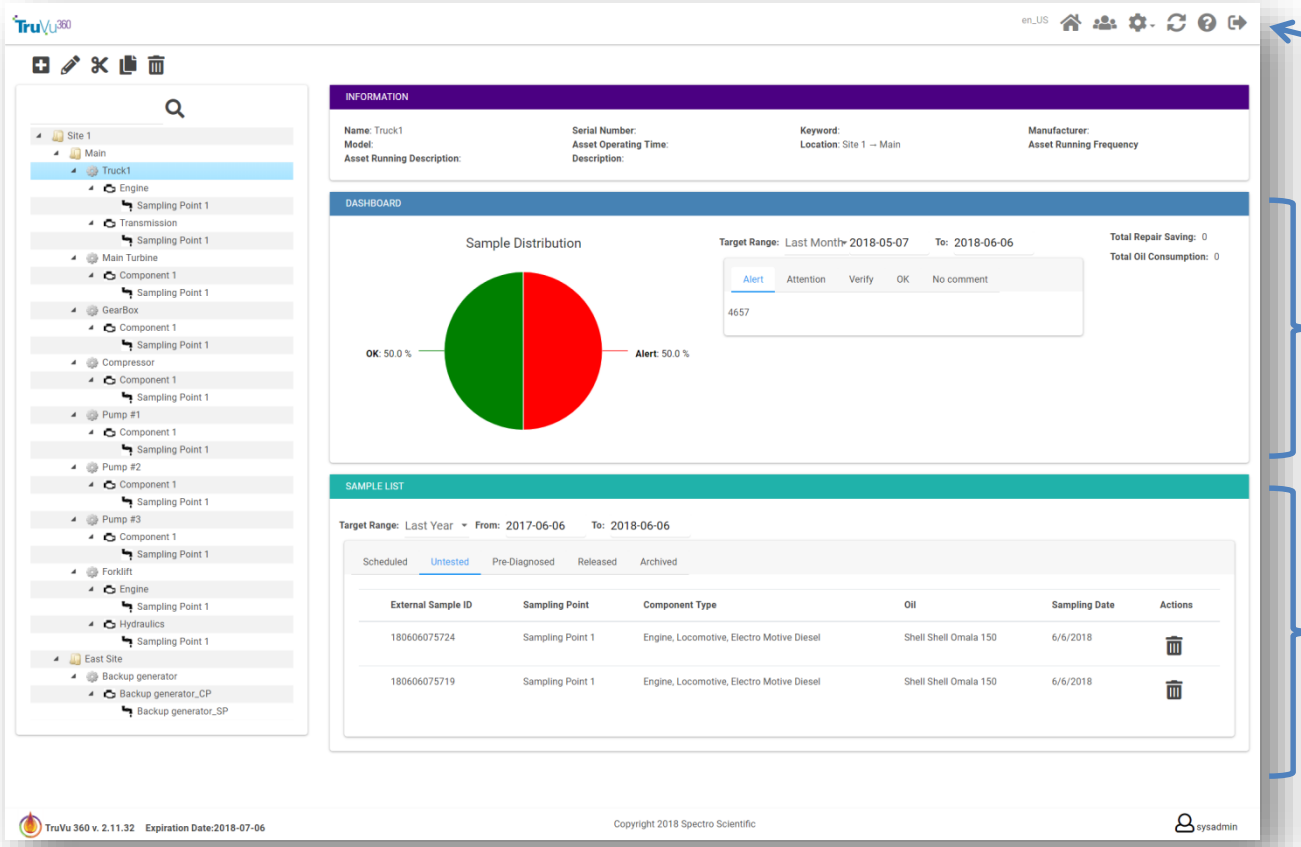
检测设备控制及数据上传



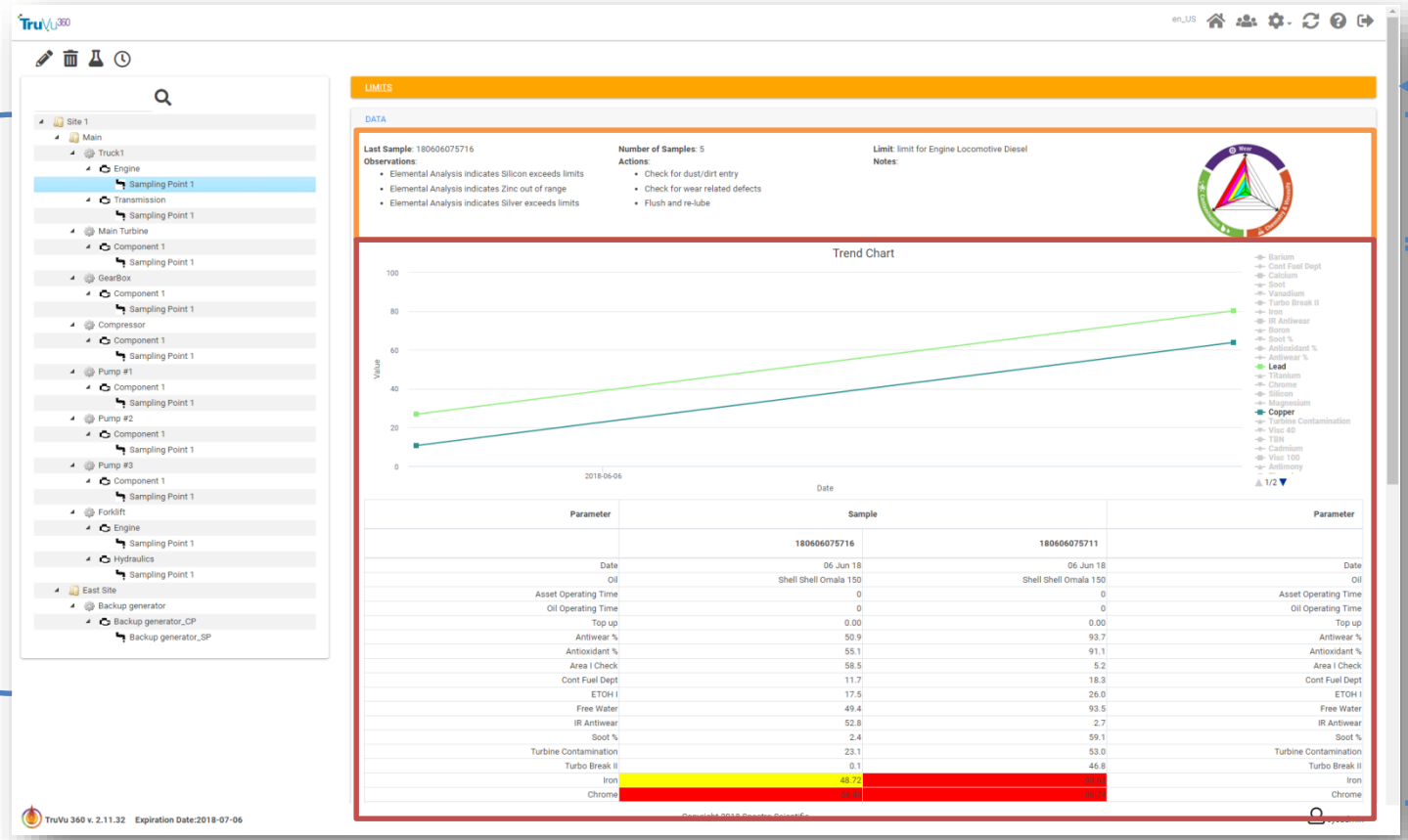


MiniLab 系列油液监测系统

智能化、平台化管理设备养护流程、设备监测及养护数据



对受控润滑点的历史监测数据自动进行趋势分析



现场油液监测中心（监测数据与大型实验室一致）

- 可将检测系统放置在普通工作台
- 无需实验室环境，无需特殊装修
- 占地面积小（约2平米）
- 检测速度快（5-15分钟/油样）
- 无需专业理化分析人员，设备养护工程师即可操作
- 培训及试运行时间短（1周）
- 废弃物少，无需有毒有害溶剂及气体



© 2014 Spectro Scientific | CONFIDENTIAL