

# 航空动力油液监测技术数字化

## Digitalization of Aerospace Power Oil Monitoring Technology

康宏志 陈磊 李鲁宁 / 颇尔(中国)有限公司

航空油液污染是引起系统失效的根本原因，需要在搞清楚油液污染物来源的基础上进行监测。采用数字化技术建立在线监测诊断系统对污染物进行快速自动检测并输出评价结果，可以缩短测试时间、提高测试结果的准确性及有效性。

**油**液品质关系到航空动力系统、液压系统以及滑油系统的健康运行及整机的安全运转，掌握油液污染物及其来源，根据相关清洁度标准对油液品质评级与维护具有重要意义。与传统油液监测技术相比，数字化技术可以进行快速自动检测并输出评价结果，缩短测试时间，提高测试结果的准确性及有效性。

### 油液污染物来源

油液污染物可分为固体污染物、液体污染物以及气体污染物。固体污染物会在相对运动的零部件间产生磨损及疲劳，使得零部件间隙增大或阻碍相对运动，影响零部件性能，降低零部件寿命，导致系统或整机的工作不稳定；液体污染物和气体污染物会引起油液黏度变化，影响润滑油性能，导致油膜缺失，造成腐蚀和锈蚀，加剧零部件磨损，降低系统的工作稳定性和使用寿命。

从过程管控角度看，油液污染源大多为系统内生、外部入侵，系统运行过程中产生和维护保养时产生。系统内生主要为生产过程中遗留产生的污染物，如零部件加工和装配过程中的遗留物，管道冲洗过程中

残留的铁屑或毛刺等；外部入侵主要为更换油液或由气孔吸入的各类污染物，如加注油液自带污染物、吸入的高湿度空气或粉尘等；系统运行过程中产生的污染物主要为表面磨损污染物或油液自生污染物，如轴承疲劳后脱落颗粒污染物、泵气蚀后的颗粒剥落、油液添加剂析出等；维护保养时产生的外来污染物主要是拆卸后被空气或外部污染物污染的零部件复装后成为新的污染源。

### 油液清洁度检测

油液清洁度是对油液颗粒污染程度的描述。单位体积的油液中含有固体颗粒污染物的量(质量或颗粒数量)可以表征油液清洁度。现行油液清洁度标准主要有NAS1638、ISO 4406—1999和SAE AS4059F—2013等。油液清洁度检测方法包括质量分析法、光学显微镜计数法、激光颗粒计数法以及滤网堵塞法等。

质量分析法是通过真空抽滤的方法将液样中的颗粒分离收集在预先称好质量的滤膜上，除油干燥后重新获得膜片因截留污染物导致的质量增加，进而了解单位体积中污染物浓度的一种检测方法。质量分析法可以反映污染物总质量，但无法获悉颗粒污

染物尺寸，目前很少使用。

光学显微镜计数法通过真空抽滤的方式将液样中的颗粒分离收集在滤膜上，滤膜干燥后直接放在光学显微镜下采用入射光进行分析，也可以处理后采用透射光进行分析。利用人工计数或图像分析，按颗粒的最长弦来测量颗粒的尺寸。人工计数法局限于环境和操作时长，仅用于线下；图像分析法的局限是无法处理重叠颗粒污染物以及必要的复检会导致时间加长。

激光颗粒计数法是被检测液样通过传感器的一个激光光束形成的狭窄通道，当有单个颗粒通过光束时，检测器接收到的光亮减弱，减弱量与颗粒的投影表面积成比例，由此产生应给电压脉冲，进而被仪器检测并记录。该方法能实现高低压系统在线检测，快速、重复性好且精确度高，可提供实际颗粒数及ISO代码；但对被检测油液要求较高，油液中的水、空气、泥浆、凝胶等会导致错误读数，检测结果易受液体状态(凝胶、不透明或颗粒浓度)的影响。

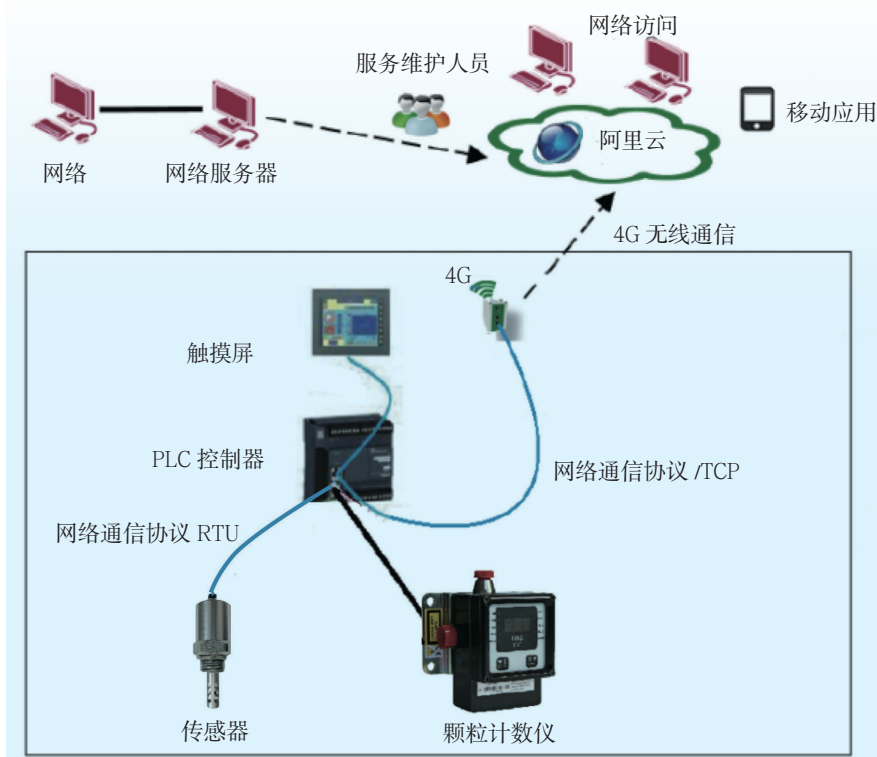
滤网堵塞法是将污染液通过一个均匀且一致开口(或微孔)的滤网时测定滤网特性变化的一种检测方法，当污染油液通过滤网时，尺寸

大于微孔孔径的颗粒被滤除，滤网逐渐堵塞，从而引起滤网两端的压差增加（恒流量原理）或者通过滤网的流量减小（恒压差原理）。该方法结果精确、可重复计数，可用于在线检测，不受水、空气、泥浆、高度颗粒集中以及流体界面的影响，可用于测量暗色和不透明流体。

## 油液水分检测

油液水含量是对油液中水分污染物的描述。水分在油液中的存在形式分为游离水、乳化水（油包水）和溶解水。溶解水可以用油液水分饱和度表示，油中水分饱和度是指当前温度下油中水分的实际含量与油中水分饱和含量的比值，以0 ~ 100%表示，0代表油中不含水，100%代表当前温度下油中水分含量完全饱和。游离水、乳化水和溶解水均可以油液中测得的实际水分含量表示，即ppm。

油液水分检测方法有卡尔费休滴定法和传感器法。卡尔费休滴定法是在电解池内卡氏试剂达到平衡时注入含水的样品，水参与碘、二氧化硫的氧化还原反应直至水分全部耗尽，从而测定含水量。该方法测定结果能精确到10ppm，可以测量溶解水、乳化水和游离水。但此方法是一种相对复杂的测试，通常在实验室进行，费时、成本高且不适合水含量较高的情况。传感器法是借助水分检测仪测量流体中水分饱和度。在已知被测量流体的饱和曲线时，该方法测得的结果可以转换成百分比或ppm含水量，结果不受温度影响，操作简单便捷，测试精确度高（误差±2%），可在线测试，测量液体范围较广，成本低。但该方法只能测量流体中的溶解水含量。



颇尔油液品质在线监测诊断系统

## 在线监测诊断

油液清洁度等级和含水量是评价油液品质的基础指标，此外，对于不同应用点，油液黏度、密度、漆类污染物指数、介电常数等指标也会对现场工况产生影响，市场需求端对油液检测提出了更高要求，即在线检测多个参数指标。颇尔油液品质在线监测诊断系统（PALL OMDS）针对工业4.0需求设计制造。可对含水量、清洁度等级、黏度、密度、介电常数、温度等一系列数据实现实时监测，还可定制液位控制、滤芯寿命判定以及颗粒污染物类型等参数监控。在线监测的数据稳定可靠、操作界面友好，可以全自动运行。操作面板上设置LCD显示屏，可本地显示设备运行状态和各项监控指标。通过网络，采用云技术将检测设备运行状态和各项油品参数上传，

通过手机、电脑终端等进行参数实时查询。数据处理后，系统可自动生成各项运行指标的状态趋势及报告，并储存于服务器。

## 结束语

由油液清洁度和水含量的测试方法可以看出，伴随科学技术的发展，检测元件的不断升级迭代，油液检测技术由手动测试向自动化及数字化转变；由单一参数测试向多参数集成测试转变，对操作人员技能水平的依赖程度逐渐降低，测试效率大大提升。数字化检测方法在可预见的未来会迅速向油液检测市场普及，加速智能化。

**航空动力**

（康宏志，颇尔（中国）有限公司，工程师，从事污染控制及过滤分离技术研究）