

# 颗粒计数器校准方法与污染度等级标准

路红,张津津

(中国航空工业颗粒度计量测试站,河南 新乡 453019)

**摘要:**介绍了液体自动颗粒计数器的工作原理、影响颗粒计数器测试准确性的参数及仪器校准方法新老标准的差异,论述了尺寸校准的作用、方法以及使用不同校准方法应采用不同的污染度等级标准。

**关键词:**自动颗粒计数器;校准;标准;液压油

**中图分类号:**TE626.38 **文献标识码:**A

## 引言

随着液压污染控制技术的发展,一个新兴的边缘计量校准技术——液体自动颗粒计数器的校准已广泛用于液压工业领域。通过对仪器校准可准确测试液体中固体颗粒的尺寸和数量,是人们对液压污染测控技术水平和质量意识提高所形成的共识。液体自动颗粒计数器校准方法的国际标准 1977 年颁布,1991 年、1999 年两次修订。第一次修订未对技术内容做大的改动,只做了形式上的标准化;第二次修订除了技术上的进步,改变最大的是用于仪器尺寸校准的标准粉尘,将原来使用的以颗粒最长弦定义为标准颗粒尺寸的 ACFTD(空气滤清器精细试验粉尘)改变成了以颗粒等效圆面积的直径为标准颗粒尺寸的 ISO MTD(ISO 中级试验粉尘)。国际标准化委员会对该标准修订影响到的固体颗粒污染度等级标准也作了相应的修订。本文在介绍自动颗粒计数器的工作原理和校准方法新老标准差异的基础上,也将使用不同校准方法应采用的污染度等级标准做一介绍。

## 1 自动颗粒计数器的工作原理

自动颗粒计数器主要由进样器、颗粒传感器、计算显示系统三部分组成。进样器在测试时保证一定容积的液样按规定流速通过颗粒传感器,颗粒传感器将流经窗口液样中的颗粒信号转换成电信号,计数显示系统再将传感器采集到的电信号进行放大、运算转换成颗粒尺寸和数量的信息通过显示输出。工作原理如下:当被测液样沿垂直方向均匀地流经颗粒传感器窗口时,颗粒传感器的光源发出的平行光束通过传感器的窗口射向光电二极管,二极管将接受的光信号转换为电信号,经前置放大器传输到计数器。当流经传感器窗口的油液中没有颗粒时,

前置放大器的输出电压为一定值。当液样中有颗粒进入传感器窗口时,一部分光被颗粒遮挡,光电二极管接受的光量减弱,于是输出电压产生一个脉冲。由于被遮挡的光量与颗粒的投影面积成正比,因而输出电压脉冲的幅值直接反映颗粒的尺寸,通过累计输出电压脉冲的个数,即可得到不同尺寸颗粒的数目。见图 1。

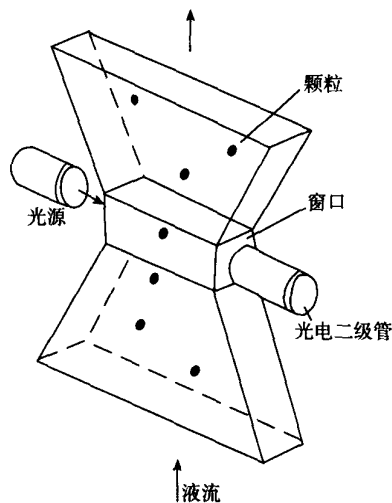


图 1 颗粒传感器原理图

## 2 影响自动颗粒计数器测试准确性的参数

从仪器计数的工作原理可知,通过颗粒传感器的进样体积、流速和液样浓度、颗粒传感器的分辨能力、颗粒传感器的测试尺寸与所对应的阈值电压的关系都与能否准确测试液样中颗粒尺寸和数量密切相关。

### (1) 颗粒传感器的进样体积

收稿日期:2005-06-30。

作者简介:路红(1957-),女,高级工程师,主要从事流体污染测试与控制研究工作,已公开发表文章数篇。

流经颗粒传感器实施计数的进样体积对颗粒数量测试的影响是不言而喻的,所以在新的校准方法标准附录 A 规定的初始检查主要是对进样体积的检查,只有在体积测量变动系数 COV 值小于或等于 3 %,初始检查合格才可以进行其他校准工作。

(2) 颗粒传感器的流速极限

液样通过颗粒传感器的流速必须经过校准。因为受光电检测装置频率响应的限制,若颗粒流经传感区的速度过快,传感器输出的脉冲幅值还未达到最大值时颗粒已离开传感区,测出的颗粒尺寸必然小于颗粒的实际尺寸。所以,校准和测试时采用的流速必须调节在颗粒传感器的流速极限范围内。

(3) 颗粒传感器的重合误差极限

颗粒传感器测试颗粒的浓度也要规定一个极限,如果液样的颗粒浓度过高,在通过颗粒传感器的窗口时,会有两个或多个颗粒同时出现在传感区,颗粒的重合效应将引起计数误差。能够使计数误差小于或等于 5 %时颗粒的最高浓度,新标准定义为颗粒传感器的重合误差极限。所以仪器生产厂家根据颗粒传感器的不同类型规定了它的颗粒浓度极限。颗粒传感器的浓度极限最小的为 0.1 个/mL,最大的可达到几个/mL,甚至更多。如果被测液样中的颗粒浓度超过传感器给出的极限值,所测得的结果是不可靠的,有些颗粒计数器将会发出浓度超过极限的信号。所以用户要根据被测液样的常见状态选择颗粒传感器。

(4) 颗粒传感器的分辨力

颗粒传感器的分辨力就是传感器对某颗粒尺寸

的分辨能力。如我们要测试 10 μm 的颗粒,仪器是否会将大于 8 μm 和小于 12 μm 的颗粒均算作 10 μm 记录。分辨力随着颗粒尺寸的变化而不同,尺寸越小,分辨力越差。当需要测试高准确度计数的仪器时,我们就希望测试更小尺寸下的分辨力。新标准规定,颗粒传感器对 10 μm 球形颗粒的分辨力必须小于或等于 10 %,否则认为仪器不合格,需要修理或更换。

(5) 颗粒计数器的测试尺寸和相应的阈值电压

测试的尺寸和相应的阈值电压是颗粒计数器计数的基础,在颗粒传感器测定的尺寸范围内,每一个尺寸就要相对有一个阈值电压,以 mV 来表示。而在这个阈值电压下所测出的颗粒数就代表该尺寸的颗粒数(如图 3 所示,在双对数坐标的校准曲线上某点横座标代表测试的尺寸,而纵坐标代表的则是该尺寸所对应的电压值)。

3 新老自动颗粒计数器校准方法差异

1991 版的校准方法标准主要技术内容是在第 5 章和第 6 章分别描述了颗粒传感器浓度极限和尺寸校准程序,第 7 章简单提到流量变化可能会对颗粒计数产生影响。新的校准方法标准,不仅标准号、名称、颗粒尺寸的定义做了改变,而且还规定了不同状态的计数器所应执行的校准程序,见表 1,增加了许多新的技术内容。为了既能详细介绍每个程序又不增加正文的篇幅,标准除尺寸校准程序外,其他程序按附录编写,每个附录详细介绍一个程序,既清晰明了,又科学实用。表 2 列出了新老自动颗粒计数器校准方法标准的差异。

表 1 APC<sup>\*</sup> 校准程序一览表

APC 状态	执行本标准指定的条款和附录					
	第 6 章 尺寸校 准程序	附录 A 仪器初 始检查	附录 B 重合误 差极限	附录 C 流速极限	附录 D 分辨力	附录 E 准确度
新仪器或现有的 APC 没有按照 本标准校准	×	×	×	×	×	×
最近的校准已超过 6~12 个月	×					
怀疑校准有较大的变化	×					
光学装置(包括光源)经检修或 调整	×	×	×		×	×
传感器或计数的电子元件经检 修或调整	×	×	×	×	×	×
体积测量元件(如流量计、量筒、 水平检测仪等)经检修或调整		×				
清洗传感器				不必要做		
安装了电缆或外围设备				不必要做		
更换了管线和连接件				不必要做		
操作不包括 APC、传感器、体积 测量系统的				不必要做		

注: \* 自动颗粒计数器。

表 2 新老校准方法标准内容差异

标准号	标 准 号	
	ISO 4402 - 1991	ISO 11171 - 1999
标准名称	液压传动 - 液体自动颗粒计数器的校准 - 用空气滤清器精细试验粉尘 (ACFTD) 的方法	液压传动 - 液体自动颗粒计数器的校准
标准颗粒代号	ACFTD	ISO MTD
标准颗粒名称	空气滤清器精细试验粉尘	ISO 中级试验粉尘
颗粒形状	不规则形	不规则形
颗粒尺寸定义	用颗粒的最长弦表示颗粒的尺寸	用颗粒投影面积相等的圆的直径表示颗粒的尺寸
量值溯源	国际标准给出 ACFTD 1mg/L 悬浮液中每 mL 的颗粒数, +	可溯源至 NIST*, NIST 发售的标准粉尘为 RM 8631, 标准悬浮液为 SRM 2806
仪器初始检查	无	附录 A 作出规定, 体积变动系数 COV 3% 为合格
重合误差程序	用 3, 6, 9, 12, 15, 18mg/L 的 ACFTD 颗粒悬浮液校准得出仪器的重合误差极限	用生产厂家推荐的仪器浓度极限的 0~150% 的 ISO UFTD (ISO 超细试验粉尘) 悬浮液校准, 得出仪器的重合误差极限
流速极限	无	附录 C 作出详细规定
分辨力	无	附录 D 规定, 仪器对 10μm 球形颗粒的分辨力 10% 为合格
颗粒计数准确度	无	附录 E 规定, 测试三个浓度为 1mg/L 的 ISO UFTD 悬浮液, 三个液样的变动系数 COV 值应在规定的范围内, 且计数准确度也应在规定的范围内
二次校准悬浮液制备	无	根据附录 F 步骤制备, 可代替一次校准悬浮液 (SRM 2806) 校准自动颗粒计数器

注: \*NIST 为美国国家标准计量院。

4 自动颗粒计数器尺寸校准

虽然修订后的 ISO 11171 标准中增加了许多原标准没有的程序,但是,只有尺寸校准为必需程序,规定校准周期是 6~12 个月必须校准一次,而其他几项则是针对新仪器和光学装置、颗粒传感器、体积测量元件检修或调整后需执行的,所以尺寸校准就显得尤为重要。

4.1 尺寸校准流程

确保仪器初始检查合格 确定使用的校准液准备和分析(在工作流速下)校准液(三个) 计算每个液样每个通道所测颗粒的差值百分率  $Dq$ ,  $Dq$  合格后选择 18 个不同的尺寸 绘制尺寸和相应的阈值电压曲线图 尺寸校准完成。

4.2 新老标准方法尺寸校准差异

尺寸校准,标准颗粒的尺寸起着决定性的作用。老标准使用的标准颗粒采用的尺寸是不规则颗粒的最长弦,而新标准使用的标准颗粒采用的尺寸则是不规则颗粒的等效圆面积直径。ISO/ TR 16386 给出二者的差异(见图 2)和 ACFTD 与 ISO MTD 颗粒尺寸的转换关系(见表 2)。笔者 2002 年参加了 ISO/ TC131(国际标准化组织 TC131 分技术委员会)为验证 ISO/ CD16009 标准草案举办的国际比对试验,按照程序要求,将一只用 ACFTD 校准过的颗

粒传感器重新用 ISO MTD 二次校准悬浮液按 ISO 11171 进行了尺寸校准,由此得出了 ACFTD 和 ISO MTD 标准颗粒对颗粒传感器尺寸校准的差异,见图 3。

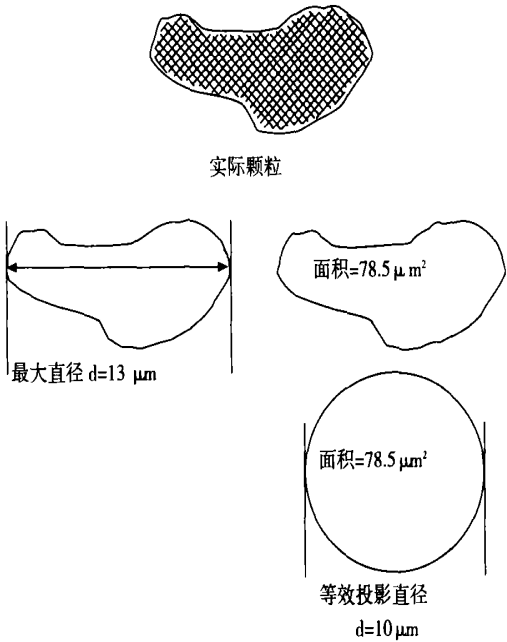


图 2 颗粒的最大直径与等效投影直径

表 3 ACFTD 与 ISO MTD 颗粒尺寸之间的关系  $\mu\text{m}$

ACFTD 尺寸转换 为 ISO MTD 尺寸		ISO MTD 尺寸转换 为 ACFTD 尺寸	
ACFTD 尺寸	ISO MTD 尺寸(c)	ISO MTD 尺寸(c)	ACFTD 尺寸
1.0	4.2	4.0	
2.0	4.6	5.0	2.7
3.0	5.1	6.0	4.3
5.0	6.4	7.0	5.9
7.0	7.7	8.0	7.4
10.0	9.8	9.0	8.9
15.0	13.6	10.0	10.2
20.0	17.5	15.0	16.9
25.0	21.2	20.0	23.4
30.0	24.9	25.0	30.1
40.0	31.7	30.0	37.3

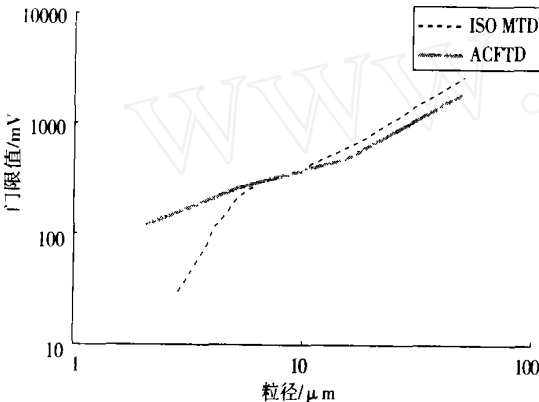


图 3 采用 ACFTD 与 ISO MTD 的校准曲线

5 使用与校准方法相配套的污染度等级标准

新的校准方法标准无论从颗粒量值的溯源性，还是技术内容、结构形式、可操作性等方面均优于老校准方法标准。所以，在新校准方法标准 ISO 11171:1999 颁布后，国家液压气动标准化委员会及时组织了对该标准以及该标准涉及标准的翻译和转换为国家标准的编制工作，并于 2002 年发布了 GB/ T 18854 - 2002《液体自动颗粒计数器的校准》和与该标准配套使用的等同采用 ISO 4406:1999 编制的 GB/ T 14039 - 2002《液压传动 - 油液 - 固体颗粒污染等级代号》、等同采用 ISO 16889:1999 编制的 GB/ T 18853 - 2002《液压传动过滤器 - 评定滤芯过滤性能的多次通过方法》。这些标准 2004 年 9 月已在全国液压气动行业范围内宣贯。

由于老的校准方法和与之配套的等级代号等国

际标准使用已 20 多年，我国的一些工业领域已按照该系列标准编制了各自的行业标准。如校准方法、等级代号、过滤器测试方法和污染度控制验收水平标准等。使用新的校准方法及配套的标准，还需要各方面的协调和修订相关标准，估计还会有一段两套标准体系并轨使用的时间，请有关读者按如下标准组合而不可随意使用。

(1) 使用新的校准方法标准校准自动颗粒计数器，那么尺寸校准使用的就是以颗粒的等效圆直径为尺寸长度的标准颗粒。用该计数器测试液样后判定污染度等级就应该采用新的等级代号标准，即 ISO 4406:1999 或 GB/ T 14039 - 2002 采用  $4\mu\text{m}$  (c)、 $6\mu\text{m}$  (c)、 $14\mu\text{m}$  (c) 三个尺寸范围的颗粒数代码表示液样的污染度等级。

(2) 如果继续使用老的校准方法标准校准自动颗粒计数器，校准用颗粒仍是以颗粒最长弦为尺寸长度的 ACFTD 粉尘，用该计数器测试液样后判定污染度等级就应该使用老的等级代号标准，即 ISO 4406:1987 或 GB/ T 14039 - 1993《液压传动 - 油液 - 固体颗粒污染等级代号》采用  $5\mu\text{m}$  和  $15\mu\text{m}$  两个尺寸范围的颗粒数代码表示液样污染度等级。

(3) 特别值得注意的是：使用新老不同校准方法校准后的自动颗粒计数器，虽然其测试结果中各自表征的颗粒直径不同，即老标准的  $1\mu\text{m}$  在新标准中表示为  $4\mu\text{m}$  (c)，但是，检测的实际污染颗粒直径并没有改变。因此，所检测油液系统的污染度水平没有改变，仅仅是检测的颗粒尺寸的定义发生了改变。

(4) 采用显微镜计数法检测油液系统污染度时，由于采用显微镜检测的仍然是颗粒的最长弦直径，而不是颗粒的等效圆直径，所以还应采用 ISO 4406:1987 或 GB/ T 14039 - 1993《液压传动 — 油液 — 固体颗粒污染等级代号》判定等级。

参考文献：

[1] ISO 11171 - 1999. Hydraulic Fluid Power - Calibration of Liquid Automatic Particle Counters[S].  
[2] ISO 4402 - 1991. Hydraulic Fluid Power - Calibration of Automatic Count Instruments for Particles Suspended in Liquid - Method Using Classified AC Fine Test Dust contaminant[S].  
[3] ISO/ TR16386. Impact of Changes in ISO Fluid Power Particle Counting - Contamination Control and Test Filter Standards,1998[S].

# 油液分析技术在设备维修中的应用与研究

许斌<sup>1</sup>,余学军<sup>2</sup>

(1. 91315 部队,辽宁 大连 116041;2. 中国石油华北润滑油销售分公司,北京 100101)

**摘要:**论述了油液分析技术的主要内容及其在设备现代维修中的作用,阐述了油液分析技术用于设备现代维修的依据,重点介绍油液理化指标及污染度检测、油液铁谱分析技术、油液光谱分析技术在设备状态监测与故障诊断中的应用方法。

**关键词:**理化分析;铁谱分析;光谱分析;状态监测;故障诊断

**中图分类号:**TE626.3      **文献标识码:**A

## 前言

随着科学技术的不断发展,人们对设备管理的概念已经从一般的常规管理向综合管理方向发展,形成了设备现代化管理的新型科学,其中包括设备运行、状态监测、故障诊断、趋势预报和决策维修等。设备维修体制,也已从早期的事后维修和按计划维修开始进入现代的具有预知性的状态维修。设备状态监测的内容相当广泛。主要有功能性监测诊断技术、振动噪声监测技术和油液分析监测与诊断技术。其中油液分析监测与诊断技术已证实是一种效能高、费用低的维修管理技术,目前已得到广泛应用。该技术主要是通过对各类发动机、液压系统、传动系统的油样进行分析,从而判断系统工作状态或故障部位。

### 1 油液分析技术的主要内容

油液分析技术主要分析内容包括两大类:一是

对油液中所含磨损颗粒的数量、大小、形状、纹理、颜色、成分及其变化情况的分析;二是对油液劣化变质程度的分析,如氧化程度、硫化程度、硝化程度、聚合化程度、污染程度,被其他油液或水所稀释的程度、添加剂成分损耗程度等。油液分析的主要作用是监测设备(工作)状态、诊断故障、失效分析、预测故障、预防事故,提高设备可靠性和安全性;油液分析技术的应用使视情维修成为可能,可以最大限度地降低故障和维修带来的损失,高效地使用设备。

油液分析技术手段一般可分为油液理化指标及污染度检测、油液铁谱分析及油液光谱分析。对应的油液分析设备和仪器很多,但基本也可分为三类。第一类是油液理化性能分析仪器,如粘度计、水分

收稿日期:2005-11-28。

作者简介:许斌(1961-),男,海军专业技术大校,1985年毕业于海军工程大学油品分析专业,现从事油品分析,已公开发表文章6篇。

## THE CALIBRATION METHOD OF PARTICLE COUNTER AND PARTICLE CONTAMINATION LEVEL STANDARDS

LU Hong, ZHANG Jin-jin

(China National Aviation Industry Particle Measuring Center, Xinxiang 453019, China)

**Abstract:** The principle of the liquid automatic particle counter and the parameters for influencing the particle counter accuracy were introduced, and the differences of the new and old standards for the instrument calibration were enumerated. The function and method of size calibration, and that the appropriate particle contamination level standards should be used for the different calibration methods were discussed.

**Key Words:** liquid automatic particle counter; calibration; standard; hydraulic oil

## 上海罗湾实业有限公司

ShangHai LUWATECH Industrial Co.,Ltd

地址:上海浦东新区康桥东路333号9栋

TEL:13917337146(微信) 021-58073569

E-mail:maorong.long@luowansy.com

<https://luwatech.1688.com>

<http://www.luowansy.com>

<http://www.luwatech.com.cn>

---

颗粒计数器专业供应商