



中华人民共和国工业和信息化部 兵工民品计量技术规范

JJF（兵工民品） XXXX—20XX

三态颗粒检测仪校准规范

Calibration Specification for Tri-State Particle Detector

（报批稿）

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

三态颗粒
检测仪校准规范

Calibration Specification for Tri-State
Particle Detector

JJF（兵工民品） XXXX—20XX

归口单位：中国兵器工业标准化研究所

主要起草单位：内蒙古北方重工业集团有限公司

参与起草单位：威海戡同测试设备有限公司

国防科技工业 1511 区域计量站

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

杨 婷（内蒙古北方重工业集团有限公司）

吴志鸿（内蒙古北方重工业集团有限公司）

任绍卿（内蒙古北方重工业集团有限公司）

参加起草人：

关铁汉（内蒙古北方重工业集团有限公司）

王卫东（国防科技工业 1511 区域计量站）

陈燕茹（国防科技工业 1511 区域计量站）

吕爱军（威海戡同测试设备有限公司）

刘 攀（威海戡同测试设备有限公司）

崔婧夷（国防科技工业 1511 区域计量站）

目 录

引言（Ⅱ）

1 范围.....（1）

2 引用文件.....（1）

3 术语.....（1）

4 概述.....（1）

5 计量特性.....（2）

6 校准条件.....（2）

6.1 环境条件.....（2）

6.2 测量标准及其他设备.....（2）

7 校准项目和校准方法.....（3）

7.1 颗粒浓度的校准.....（3）

7.2 颗粒平均直径的校准.....（4）

8 校准结果表达.....（5）

9 复校时间间隔.....（5）

附录 A 玻璃微珠颗粒标准溶液的制备.....（6）

附录 B 三态颗粒检测仪校准记录格式.....（7）

附录 C 三态颗粒检测仪浓度示值误差测量结果不确定度评定示例.....（8）

附录 D 三态颗粒检测仪颗粒平均直径示值误差测量结果不确定度评定示例.....（10）

引 言

本规范依据 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

三态颗粒检测仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量分散于液体介质中固、液、气三态颗粒浓度、粒径的三态颗粒检测仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 196-2006 常用玻璃量器检定规程

GB 50073-2013 洁净厂房设计规范

GJB 420A-1999 飞机液压系统用油液固体污染度分级

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语

3.1

三态颗粒 Tri-State Particle

油液中存在的固体颗粒、水珠、气泡三种形态的污染物。

4 概述

三态颗粒检测仪采用悬空取样、动态图像检测的模式，不仅可以检测油液中的固体颗粒污染物数量浓度、形态、粒径分布，还可以观测油液中的水珠、气泡污染物的形态及分布情况，主要用于油液污染检测。

三态颗粒检测仪检测原理如图1所示，LED光源灯的平行光束穿过取样流道，为摄像机提供曝光需要的光亮强度，高分辨率的CCD相机聚焦在液体取样流道的中心平面上，相机对油液连续成像，然后再通过计算机软件对图像进行分析处理，对油液固体颗粒、水珠、气泡污染物给出检测结果。

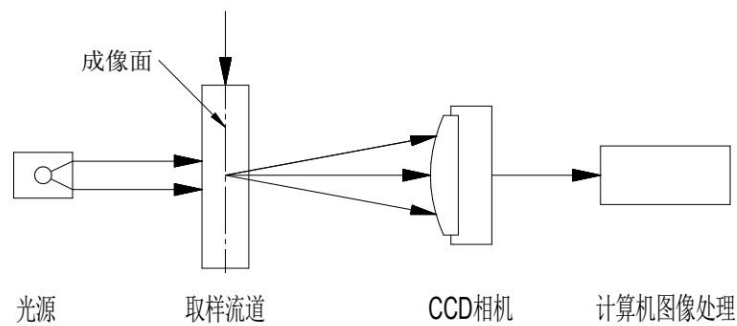


图1 原理图

5 计量特性

5.1 颗粒浓度

三态颗粒检测仪颗粒浓度最大允许误差及重复性应满足表 1 中计量特性要求。

表 1 颗粒浓度的计量特性

计量性能	技术指标
最大允许误差	$\pm 20\%$
重复性	$\leq 10\%$

5.2 颗粒平均直径

三态颗粒检测仪颗粒平均直径最大允许误差及重复性应满足表 2 中计量特性要求。

表 2 颗粒平均直径的计量特性

计量性能	测量范围	技术指标
最大允许误差	$(2\sim 100)\mu\text{m}$	$\pm 8\%$
重复性	$(2\sim 100)\mu\text{m}$	$\leq 3\%$

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 空气洁净度：所有的操作应在符合 GB 50073-2013 至少 7 级或具有相当清洁程度的环境中进行。

6.1.2 环境温度： $(10\sim 50)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.3 相对湿度： $\leq 70\%$ 。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 标准颗粒

6.2.1.1 油中颗粒标准物质

(2~5) mg/L 油中颗粒标准物质，标准物质应有溯源到国家标准的证书，并在有效期内，其扩展不确定度不得大于 10% ($k=2$)。

6.2.1.2 粒径标准物质

粒径为 2 μm 、30 μm 、50 μm 的粒径标准物质，标准物质应有溯源到国家标准的证书，并在有效期内。具体技术要求见表 3。

表 3 检定用标准物质及其技术要求

标准物质编号	粒径	标准物质不确定度
1 [#]	2 μm	0.1 μm , $k=2$
2 [#]	30 μm	1.2 μm , $k=2$
3 [#]	50 μm	1.0 μm , $k=2$

6.2.1.3 玻璃微珠颗粒标准溶液

粒径为 15.6 μm ，浓度为 (12000 $\pm$ 50) 个/mL 的玻璃微珠颗粒标准溶液。具体配制方法见附录 A。

6.2.2 天平：分度值 0.1mg。

6.2.3 单标线容量瓶：1000mL，A 级。

6.2.4 清洁稀释液

YH-15 航空液压油，油液污染度等级为 GJB 420A-1999 0 级以上，作为试验过程中的冲洗与稀释一定浓度的标准颗粒物质液样。

6.2.5 取样容器

带有密封盖的清洁取样容器和准确度等级优于 JJG 196-2006 规定的 A 级的玻璃量器。其中，密封盖、取样容器以及玻璃容器中的颗粒数量，均应小于所测液样颗粒数量（大于规定的最小颗粒尺寸）的 0.5%。

6.2.6 机械振荡器

涂料振荡器或实验室振荡器。

6.2.7 超声波清洗器

超声波清洗器，其底部面积功率密度为 (3000~10000) W/m²。

7 校准项目和校准方法

7.1 颗粒浓度的校准

测试前后需用清洁稀释液清洗油液管路系统，保证测试结果的真实性和准确性，清洗管路约需要 100ml 油液。

开启三态颗粒检测仪，控制流速为 5mL/min，运行一个工作周期；测量油中颗粒标准物质特定粒径大小的颗粒数。浓度和粒径至少均匀选择三个校准点。

测量玻璃微珠颗粒标准溶液特定粒径大小的颗粒数。

7.1.1 颗粒浓度的相对误差

连续测量 3 次，取平均值，按照公式（1）计算其与标准值的相对偏差，作为颗粒浓度的相对误差。

$$\delta = \frac{\bar{c} - c_0}{c_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

δ ——颗粒浓度的相对误差，%；

$\bar{c}$ ——3 次测量结果的平均值，个/mL；

c_0 ——标准粒子浓度，个/mL。

7.1.2 颗粒浓度的重复性

按照 7.2.1 中 3 次的测量结果，按照极差法要求，根据公式（2）计算颗粒浓度的重复性。

$$s = \frac{|c_{\max} - c_{\min}|}{1.69\bar{c}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

s ——微粒计数重复性，%；

$c_{\max}$ ——测量结果的最大值，个/mL；

$c_{\min}$ ——测量结果的最小值，个/mL；

$\bar{c}$ ——3 次测量结果的平均值，个/mL。

7.2 颗粒平均直径的校准

测试前后需用清洁稀释液清洗油液管路系统，保证测试结果的真实性和准确性，清洗管路约需要 100ml 油液。

开启三态颗粒检测仪，运行一个工作周期；测量粒径为 2 μm 、30 μm 、50 μm 的粒径标准物质。

开启三态颗粒检测仪，运行一个工作周期；测量玻璃微珠颗粒标准溶液的颗粒直径。

7.2.1 颗粒平均直径的相对误差

连续测量 3 次，取平均值，按照公式（3）计算其与设定值的相对偏差，作为颗粒平均直径的相对误差。

$$\delta = \frac{\bar{d} - d_0}{d_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

δ ——颗粒平均直径的相对误差，%；

$\bar{d}$ ——3次测量结果的平均值， μm ；

d_0 ——标准粒子平均直径， μm 。

7.2.2 颗粒平均直径的重复性

按照 7.3.1 中 3 次的测量结果，按照极差法要求，根据公式（4）计算颗粒浓度的重复性。

$$s = \frac{|d_{\max} - d_{\min}|}{1.69d} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

s ——颗粒平均直径重复性，%；

$d_{\max}$ ——测量结果的最大值， μm ；

$d_{\min}$ ——测量结果的最小值， μm ；

$\bar{d}$ ——3次测量结果的平均值， μm 。

8 校准结果表达

校准结束后出具校准证书，推荐校准证书内页格式见附录A。校准证书应准确、客观的报告校准结果。《校准证书》应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称；
- c) 证书/或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- d) 送校单位的名称；
- e) 进行校准的日期；
- f) 校准所依据的技术规范和标识，包括名称和代号；
- g) 校准结果及测量不确定度的说明；
- h) 校准证书及校准报告签发人的签名或等效标识，以及签发日期；
- i) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- j) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书和报告的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过12个月，根据实际使用情况，用户可自行确定仪器复校时间。

附录 A

玻璃微珠颗粒标准溶液的制备

称取直径为 $15.6\mu\text{m}$ 的 SB 系列玻璃微珠 100mg 置于盛有 1000mL 清洁稀释液的烧杯中。超声处理至少 30s，再置于机械振动台上振动至少 1min，使颗粒充分分散。得到理论浓度为 (12000 ± 50) 个/mL 的玻璃微珠颗粒标准溶液。

附录 B

三态颗粒检测仪校准记录格式

送校单位		仪器名称		出厂编号			
型号/规格		制造商		证书编号			
计量标准器具							
名称	编号	测量范围	准确度等级/最大允许误差/测量 不确定度	溯源机构/证书编号	有效期至		
校准依据文件							
环境温度/℃:		相对湿度/%:	工作地点:				
校准结果							
1、颗粒浓度的校准							
标准物质 名称	粒径范围 /μm	标准浓度 /个/mL	测量值/个/mL		平均值 /个/mL	相对误差 /%	重复性 /%
油中颗粒 标准物质							
玻璃微珠 颗粒标准 溶液							
颗粒浓度相对误差 不确定度: $U=$ _____ $k=2$							
2、颗粒平均直径的校准							
标准物质	标准粒径 /μm	测量值 /μm			平均值 /μm	相对误差 /%	重复性 /%
粒径标准 物质	2						
	30						
	50						
玻璃微珠 颗粒标准 溶液	15.6						
粒径相对误差 不确定度: $U=$ _____ $k=2$							

备注: _____

校准人: _____ 审核人: _____

校准日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

附录 C

三态颗粒检测仪浓度示值误差测量结果不确定度评定示例

C.1 概述

依据 JJF（兵工民品）0056—2026《三态颗粒检测仪校准规范》，以油中颗粒标准物质 GBW(E)120017 中粒径 $>15\mu\text{m}$ 的溶液为例，对三态颗粒检测仪浓度示值误差的测量结果不确定度进行评定。

C.2 测量模型

$$\delta = \frac{\bar{c} - c_0}{c_0} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

δ ——微粒计数（颗粒平均直径）的相对误差，%；

$\bar{c}$ ——3 次测量结果的平均值，个/mL；

c_0 ——标准粒子浓度，个/mL。

C.3 不确定度的来源及评定

测量过程中影响测量结果的不确定因素包括：标准溶液的不确定度、测量环境条件引入的不确定度、人员操作带来的不确定度、被检计量器具分辨率带来的不确定度等。

测量过程中环境的变化、人员操作以及仪器的分辨率引入的不确定度可认为体现在测量的重复性中。不确定度计算见公式（C.2）。

$$u_c = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2} \quad (\text{C.2})$$

式中：

u_c ——三态颗粒检测仪浓度示值误差的相对标准不确定度；

$u_{1\text{rel}}$ ——测量重复性引入的标准不确定度；

$u_{2\text{rel}}$ ——标准物质定值不确定度引入的标准不确定度。

C.3.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_{1\text{rel}}$

根据规范要求，在相同条件下对仪器进行重复性测量 10 次，测量数据如下表（C.1）（单位：个/mL）：

表 C.1 重复性测量数据

1	2	3	4	5	6
275.4	266.3	267.6	278.3	274.9	277.3
7	8	9	10	平均值	标准偏差 s
264.5	271.6	264.4	257.3	269.76	6.83

由于日常检定或校准中取 3 次测得的平均值作为仪器的示值，故 $n=3$ 。

因此，其重复性引入的相对不确定度为 $u_{1\text{rel}} = \frac{s}{I\sqrt{n}} \times 100\% = 1.5\%$ 。

C.3.2 油中颗粒标准物质定值不确定度引入的标准不确定度分量 $u_{2\text{rel}}$

油中颗粒标准物质证书给出的定值相对不确定度 $U_{\text{rel}}=10\%$ ($k=2$)。

$$u_{2\text{rel}} = \frac{U_{\text{rel}}}{2} = 5.0\%$$

C.4 标准不确定度

C.4.1 主要标准不确定度汇总表

表 C.2 测量结果不确定度分量

不确定度分量	不确定度来源	不确定度值	评定方法
$u_{1\text{rel}}$	测量重复性	1.5%	A 类
$u_{2\text{rel}}$	油中颗粒标准物质	5.0%	B 类

C.4.2 相对标准不确定度的计算

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以相对标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2} = 5.3\%$$

C.5 相对扩展不确定度

$$U_{\text{rel}} = 11\%, k=2$$

附录 D

三态颗粒检测仪颗粒平均直径示值误差测量结果不确定度评定示例

D.1 概述

依据 JJF（兵工民品）0056—2026《三态颗粒检测仪校准规范》，以直径为 $2\mu\text{m}$ 的油基单分散球形颗粒标准物质为例，对三态颗粒检测仪固态颗粒平均直径示值误差的测量结果不确定度进行评定；以直径为 $15.6\mu\text{m}$ 的 SB 系列玻璃微珠为例，对三态颗粒检测仪液态和气态颗粒平均直径示值误差的测量结果不确定度进行评定。

D.2 测量模型

$$\delta = \frac{\bar{d} - d_0}{d_0} \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

式中：

δ ——颗粒平均直径的相对误差，%；

$\bar{d}$ ——3 次测量结果的平均值， μm ；

d_0 ——标准粒子平均直径， μm 。

D.3 不确定度的来源及评定

D.3.1 固态颗粒平均直径示值误差测量结果不确定度的来源及评定

测量过程中影响测量结果的不确定因素包括：标准溶液的不确定度、测量环境条件引入的不确定度、人员操作带来的不确定度、被检计量器具分辨率带来的不确定度等。测量过程中环境的变化、人员操作以及仪器的分辨率引入的不确定度可认为体现在测量的重复性中。不确定度计算见公式（D.2）。

$$u_c = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2} \quad (\text{D.2})$$

式中：

u_c ——三态颗粒检测仪平均直径示值误差的相对标准不确定度；

$u_{1\text{rel}}$ ——测量重复性引入的标准不确定度；

$u_{2\text{rel}}$ ——标准物质定值不确定度引入的标准不确定度。

D.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_{1\text{rel}}$

根据规范要求，在相同条件下对仪器进行重复性测量 10 次，测量数据如下（单位： μm ）：

表 D.1 重复性测量数据

1	2	3	4	5	6
2.1	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1
7	8	9	10	平均值	标准偏差 s
2.0	2.2	2.2	2.1	2.09	0.07

因此，其重复性引入的相对不确定度为 $u_{1\text{rel}} = \frac{s}{I\sqrt{n}} \times 100\% = 1.9\%$ 。

D.3.1.2 标准物质定值不确定度引入的标准不确定度分量 $u_{2\text{rel}}$

标准物质证书给出颗粒直径为 $2.1\ \mu\text{m}$ ，定值不确定度为 $U=0.1\ \mu\text{m}$ ($k=2$)。因此， $u_{2\text{rel}}=2.4\%$

D.3.2 气态和液态颗粒平均直径示值误差的测量结果不确定度的来源及评定

测量过程中影响测量结果的不确定因素包括：标准溶液的不确定度、样品称量引入的不确定度、玻璃微珠颗粒标准溶液制备引入的不确定度、测量环境条件引入的不确定度、人员操作带来的不确定度、被检计量器具分辨率带来的不确定度等。

测量过程中环境的变化、人员操作以及仪器的分辨率引入的不确定度可认为体现在测量的重复性中。不确定度计算见公式 (D.3)。

$$u_c = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2 + u_{3\text{rel}}^2 + u_{4\text{rel}}^2} \quad (\text{D.3})$$

式中：

u_c ——三态颗粒检测仪平均直径示值误差的相对标准不确定度；

$u_{1\text{rel}}$ ——测量重复性引入的标准不确定度；

$u_{2\text{rel}}$ ——标准物质定值不确定度引入的标准不确定度；

$u_{3\text{rel}}$ ——样品称量引入的标准不确定度；

$u_{4\text{rel}}$ ——玻璃微珠颗粒标准溶液制备引入的标准不确定度。

D.3.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_{1\text{rel}}$

根据规范要求，在相同条件下对仪器进行重复性测量 10 次，测量数据如下（单位： μm ）：

表 D.2 重复性测量数据

1	2	3	4	5	6
15.4	15.1	15.7	15.4	15.7	15.6
7	8	9	10	平均值	标准偏差 s
15.2	15.1	15.9	15.3	15.5	0.28

因此，其重复性引入的相对不确定度为 $u_{1\text{rel}} = \frac{s}{I\sqrt{n}} \times 100\% = 1.0\%$ 。

D.3.2.2 玻璃微珠颗粒标准物质定值不确定度引入的标准不确定度分量 $u_{2\text{rel}}$

标准物质证书给出玻璃微珠颗粒直径为 $15.6\ \mu\text{m}$ ，定值不确定度 $U=0.6\ \mu\text{m}$ ($k=2$)。因此， $u_{2\text{rel}}=2.0\%$

D.3.2.3 样品称量引入的标准不确定度分量 $u_{3\text{rel}}$

试验所用天平的检定证书给出的不确定度 $U=0.1\text{ mg}$ ($k=2$)，试样质量为 100 mg ，则样品称量引入的标准不确定度为：

$$u_{3\text{rel}}=0.05\%$$

D.3.2.4 玻璃微珠颗粒标准溶液制备引入的标准不确定度分量 $u_{4\text{rel}}$

玻璃微珠颗粒标准溶液制备过程中使用到 1000 mL 容量瓶，其不确定度 $U=0.4\text{ mL}$ ($k=2$)。

$$U_{4\text{rel}}=0.02\%$$

D.4 标准不确定度

D.4.1 固态颗粒

D.4.1.1 主要标准不确定度汇总表

表 D.3 测量结果不确定度分量

不确定度分量	不确定度来源	不确定度值	评定方法
$u_{1\text{rel}}$	测量重复性	1.9%	A 类
$u_{2\text{rel}}$	油中颗粒标准物质	2.4%	B 类

D.4.1.2 相对标准不确定度的计算

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以相对标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2} = 3.0\%$$

D.4.2 液态和气态颗粒

D.4.2.1 主要标准不确定度汇总表

表 D.4 测量结果不确定度分量

不确定度分量	不确定度来源	不确定度值	评定方法
$u_{1\text{rel}}$	测量重复性	1.0%	A 类
$u_{2\text{rel}}$	玻璃微珠标准物质	2.0%	B 类
$u_{3\text{rel}}$	样品称量	0.05%	B 类
$u_{4\text{rel}}$	标准溶液制备	0.02%	B 类

D.4.2.2 相对标准不确定度的计算

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以相对标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2 + u_{3\text{rel}}^2 + u_{4\text{rel}}^2} = 2.3\%$$

D.5 相对扩展不确定度的评定

固态颗粒： $U_{\text{rel}}=6\%$ ， $k=2$

液态和气态颗粒： $U_{\text{rel}}=5\%$ ， $k=2$

中华人民共和国工业和信息化部
兵工民品计量技术规范
三态颗粒检测仪校准规范
JJF（兵工民品）XXXX—20XX
版权所有 不得翻印