

中华人民共和国工业和信息化部
石油和化工计量技术规范

JJF（石化）XXX—XXXX

光学法干膜厚度测量仪校准规范

Calibration Specification for Optical Dry Film

Thickness Measurement Instruments

（报批稿）

2026-××-××发布

2026-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

光学法干膜厚度测量仪 校准规范

JJF（石化）XXX—XXXX

Calibration Specification for Optical

Dry Film Thickness Measurement Instruments

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：济宁市质量计量检验检测研究院

山东省计量科学研究院

参加起草单位：山东恒量测试科技有限公司

本规范委托全国石油和化工行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

张浩然（济宁市质量计量检验检测研究院）

孙 磊（山东省计量科学研究院）

董再孟（济宁市质量计量检验检测研究院）

王 军（济宁市质量计量检验检测研究院）

参加起草人：

梁 彬（黄岛区市场监督管理局）

李倩倩（济宁市质量计量检验检测研究院）

孙小玄（济宁市质量计量检验检测研究院）

岳宗龙（山东恒量测试科技有限公司）

目录

引言.....（Ⅱ）

1 范围.....（1）

2 引用文件.....（1）

3 概述.....（1）

4 计量特性.....（2）

5 校准条件.....（2）

5.1 环境条件.....（2）

5.2 测量标准及其他设备.....（2）

6 校准项目和校准方法.....（3）

7 校准结果表达.....（3）

7.1 校准记录.....（3）

7.2 校准证书.....（3）

7.3 不确定度.....（4）

8 复校时间间隔.....（4）

附录 A 光学法干膜厚度测量仪校准记录格式.....（5）

附录 B 光学法干膜厚度测量仪校准证书内页格式.....（6）

附录 C 测量显微镜示值误差测量结果不确定度评定示例.....（7）

附录 D 标准切割角度测量不确定度评定示例.....（10）

引言

本规范依据 JJF 1071—2010 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011 《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012 《测量不确定度评定与表示》等基础性系列规范进行编制。

本规范主要参考 GB/T 13452.2-2008/ISO 2808:2007 《色漆和清漆 漆膜厚度的测定》制定。

本规范为首次发布。

光学法干膜厚度测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于光学法干膜厚度测量仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1071—2010 《国家计量校准规范编写规则》

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 概述

光学法干膜厚度测量仪是由仪器本体、测量显微镜和标准切割角度的切割刀具组成，可用于切割干膜、并测量干膜厚度的测量仪器，其形状示意图见图1。切割后，可通过测量显微镜看到干膜厚度的分界线，利用测量显微镜测量干膜的厚度。

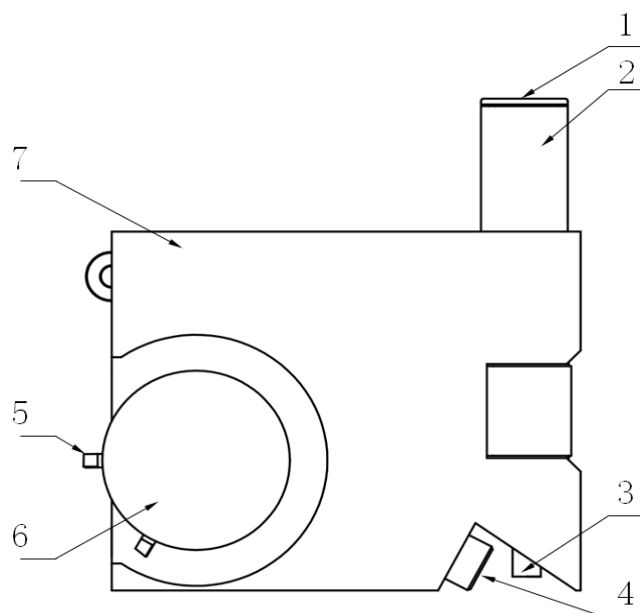


图1 光学法干膜厚度测量仪示意图

1—测量显微镜目镜；2—测量显微镜；3—测量显微镜物镜；4—照明光源；

5—切割刀具；6—切割刀具选择器；7—仪器本体

4 计量特性

具体计量特性见表1。

表 1 光学法干膜厚度测量仪计量特性一览表

序号	项目	技术要求
1	测量显微镜示值误差/mm	MPE: ± 0.02
2	标准切割角度/ $^{\circ}$	MPE: ± 1
注：以上指标不是用于合格线判别，仅供参考。		

5 校准条件

5.1 环境条件

环境温度为 $(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 校准项目和测量标准

序号	校准项目	测量标准名称及技术要求
1	测量显微镜示值误差	标准玻璃线纹尺 (0-10) mm, MPE: $\pm 0.002\text{mm}$
2	标准切割角度	万能工具显微镜, MPE: $\pm 6'$
注：允许使用满足技术指标要求的其他设备进行测量。		

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

光学法干膜厚度测量仪的校准项目见表 2。

6.2 校准方法

6.2.1 校准前检查

光学法干膜厚度测量仪的各组成部件，不得有影响计量性能的缺陷。测量显微镜目镜旋转灵活，静止可靠；切割刀具不得有锈蚀、磕碰；切割刀具选择器无卡滞，定位后稳定可靠。

6.2.2 测量显微镜示值误差

将标准玻璃线纹尺水平放置于工作台，将测量显微镜的物镜对准标准玻璃线纹尺的刻线，调整目镜焦距，使线纹在目镜视野内清晰可见，通过测量显微镜测量线纹间的间距，其测量值 L_1 与标准值 L_2 之差为示值误差，测量显微镜的示值误差计算见式（1）。取测量显微镜的始、中、末三点进行校准，取三点的最大值作为校准结果，校准结果保留小数点后三位有效数字。

$$\delta = L_1 - L_2 \quad (1)$$

式中：

δ ——测量显微镜示值误差，mm；

L_1 ——测量显微镜读数值，mm；

L_2 ——标准玻璃线纹尺显示值，mm。

6.2.3 标准切割角度

光学法干膜厚度测量仪切割刀具的标准切割角度，使用万能工具显微镜测量。测量时，将切割刀具拆卸后，横向放置于测量仪器的载物台，调整仪器，使刃口边缘清晰地出现在仪器视场内，按仪器操作方法进行测量，测量时要避免切割刀具的边缘倒角和毛刺等影响测量结果的因素。标准切割角度重复测量 3 次，以 3 次测量的平均值 α' 作为校准结果，标准切割角度的公式见式（2），校准结果保留小数点后一位有效数字。

$$\alpha = \alpha' \quad (2)$$

式中：

α ——切割刀具的标准切割角度，°；

α' ——由万能工具显微镜测得的实际值，°

7 校准结果表达

7.1 校准记录

校准记录应详尽记录测量数据和计算结果，推荐的校准记录格式见附录 A。

7.2 校准证书

经校准的光学法干膜厚度测量仪应出具校准证书，校准结果应在校准证书上反映。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071—2010 中 5.12 的要求，推荐的校准证书的内页格式见附录 B。

7.3 不确定度

校准证书应给出各校准项目的扩展不确定度，评定示例见附录 C、D、E。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由光学法干膜厚度测量仪的使用情况、使用者、切割刀具本身质量等诸多因素所决定，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔，建议一般不超过 12 个月。

附录 A

光学法干膜厚度测量仪校准原始记录格式

共 页 第 页

基本信息					
委托单位		原始记录号		校准证书号	
仪器名称		规格型号		设备编号	
制造厂商		环境温度	℃	相对湿度	%
校准前检查					
1. 外观检查：无影响计量准确性的缺陷。 是 ☐ 否 ☐					
校准结果					
项目	测量结果				
2. 测量显微镜的示值误差/mm	测量位置			最大值	扩展不确定度 U $k=2$
	始	中	末		
3. 标准切割角度/°	测量次数			平均值	扩展不确定度 U $k=2$
	1	2	3		
所使用的主要计量标准器					
名称	编号	证书号	测量范围	有效期	不确定度或准确度等级 或最大允许误差
校准依据	JJF（石化）004-2026《光学法干膜厚度测量仪校准规范》				
校准地点		校准日期		年 月 日	

校准员：

核验员：

光学法干膜厚度测量仪校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX				
校准机构授权说明				
校准的技术依据 JJF（石化）004—2026《光学法干膜厚度测量仪校准规范》				
校准环境及地点				
地点				
环境温度	℃	相对湿度	%	其他
校准使用的计量（基）标准装置				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大 允许误差	计量（基）标准证书编 号	有效期至
校准结果				
序号	项目	技术 要求	校准结果	
1	外观检查		测量值	扩展不确定度（ $k=2$ ）
2	测量显微镜的示值误差/ μm			
3	标准切割角度/ $^{\circ}$			
备注				

测量显微镜示值误差测量结果不确定度评定示例

C.1 校准方法

校准方法见 6.2.2。

C.2 测量模型

测量显微镜示值误差的测量模型见式（C.1）：

$$\delta = L_1 - L_2 \quad (\text{C.1})$$

式中：

δ ——测量显微镜的示值误差，mm；

L_1 ——测量显微镜读数值，mm；

L_2 ——标准玻璃线纹尺显示值，mm。

方差和灵敏系数：

由式（C.1）得方差传播公式：

$$u^2(\delta) = c_1^2 u^2(L_1) + c_2^2 u^2(L_2) \quad (\text{C.2})$$

式中：

$u(\delta)$ ——测量显微镜示值误差的测量不确定度；

$u(L_1)$ ——测量显微镜读数值引入的不确定度；

$u(L_2)$ ——标准玻璃线纹尺引入的不确定度。

因为 $c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial L_1} = -1$ ， $c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial L_2} = 1$ ，所以式（C.2）简化为：

$$u^2(\delta) = u^2(L_1) + u^2(L_2) \quad (\text{C.3})$$

令 $u_c = u(\delta)$ ， $u_1 = u(L_1)$ ， $u_2 = u(L_2)$ ，

则式（C.3）简化为：

$$u_c^2 = u_1^2 + u_2^2 \quad (\text{C.4})$$

式中：

u_c ——测量显微镜示值误差的测量不确定度；

u_1 ——测量显微镜读数值引入的不确定度；

u_2 ——标准玻璃线纹尺引入的不确定度。

C.3 不确定度来源见表 C.1

表 C.1 测量不确定度来源

序号	不确定度来源	不确定度分量
1	标准玻璃线纹尺的示值误差引入的不确定度分类	u_1
2	测量显微镜的分辨力引入的不确定度分量	u_2
3	测量重复性引入的不确定度分类	u_3
4	温度对 20℃ 会有偏离，而测量显微镜与标准玻璃线纹尺之间存在热膨胀系数差引入的不确定度	u_4

C.4 不确定度评定—测量显微镜示值误差测量结果不确定度的评定

C.4.1 由标准玻璃线纹尺的示值误差引入的标准不确定度分量 u_1

标准玻璃线纹尺 MPE: $\pm 2 \mu\text{m}$, 符合均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_1 = \frac{2\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 1.16 \mu\text{m} \quad (\text{C.5})$$

C.4.2 由测量显微镜的分辨力引入的标准不确定度分量 u_2

测量显微镜的分辨力为 $2 \mu\text{m}$, 区间半宽度为 $1 \mu\text{m}$, 符合均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则由分辨力引入的不确定度分量为:

$$u_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58 \mu\text{m} \quad (\text{C.6})$$

C.4.3 由测量重复性引入的标准不确定度分量 u_3

在各种条件均不改变的情况下, 在短时间内对测量显微镜 5mm 处进行重复性测量, 共测量 10 次 (即 $n = 10$)。实验数据见表 C.2 (单位: mm):

C.2 重复性测量试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测得值/ mm	5.003	5.004	5.006	5.007	5.009
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测得值/ mm	5.004	5.003	5.002	5.005	5.004
平均值/ mm	5.0047				
贝塞尔公式	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.11 \mu\text{m}$				

则由测量重复性引入的不确定度分量为:

$$u_3 = s = 2.11 \mu\text{m} \quad (\text{C.7})$$

C.4.4 由温度引入的标准不确定度分量 u_4

在测量前, 标准玻璃线纹尺已经放置在工作台上充分恒温 (即两者温度差忽略不计), 所以此处主要考虑温度偏离 20°C , 标准玻璃线纹尺与测量显微镜的线膨胀系数的影响。在测量过程中, 实验室温度保持在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的范围内, 标准玻璃线纹尺的线膨胀系数为 $\alpha = 8.6 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 测量显微镜的线膨胀系数为 $\alpha = 9.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 其线膨胀系数差为 $0.9 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 的温度区间内, 其温度区间半宽为 2°C , 符合三角分布, $k = \sqrt{6}$, 则

当校准尺寸 $L=5\text{mm}$ 时，由温度偏离 20°C 引入的线膨胀系数误差为：

$$e_4 = \pm 5 \times 0.9 \times 10^{-6} \times 2 = 0.01 \mu\text{m} \quad (\text{C.8})$$

则由温度引入的测量不确定度分量为

$$u_4 = \frac{0.01}{\sqrt{6}} = 0.01 \mu\text{m} \quad (\text{C.9})$$

C.5 合成标准不确定度

C.5.1 不确定度分量汇总

测量 5mm 测量显微镜的测量不确定度分量及计算结果见表 C.3。

表 C.3 标准不确定度一览表

序号	不确定度分量	不确定度来源	不确定度分量的值/ μm
1	u_1	标准玻璃线纹尺的示值误差引入的不确定度分类	1.16
2	u_2	测量显微镜的分辨力引入的不确定度分量	0.58
3	u_3	测量重复性引入的不确定度分类	2.11
4	u_4	温度对 20°C 会有偏离，而测量显微镜与标准玻璃线纹尺之间存在线膨胀系数差引入的不确定度	0.01

C.5.2 合成标准不确定度计算

由于参与计算的各项标准不确定度分量之间不相关，则合成标准不确定度为：

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \\
 &= \sqrt{1.16^2 + 0.58^2 + 2.11^2 + 0.01^2} \mu\text{m} \\
 &= 2.48 \mu\text{m}
 \end{aligned} \quad (\text{C.10})$$

C.6 扩展不确定度计算

包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度 U ：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 2.48 \mu\text{m} = 4.9 \mu\text{m} \quad (\text{C.11})$$

附录 D

标准切割角度测量不确定度评定示例

D.1 校准方法

校准方法见 6.2.3。

D.2 测量模型

切割角度测量模型见式 (D.1)：

$$\alpha = \alpha' \quad (\text{D.1})$$

式中：

α ——切割刀具的标准切割角度，°；

α' ——由万能工具显微镜测得的实际值，°。

方差和灵敏系数：

由式 (D.1) 得方差传播公式：

$$u^2(\alpha) = c_1^2 u^2(\alpha') \quad (\text{D.2})$$

式中：

$u(\alpha)$ ——切割刀具标准切割角度的测量不确定度；

$u(\alpha')$ ——万能工具显微镜引入的不确定度；

因为 $c_1 = \frac{\partial \alpha}{\partial \alpha'} = -1$ 所以式 (D.2) 简化为：

$$u^2(\alpha) = u^2(\alpha') \quad (\text{D.3})$$

令 $u_c = u(\alpha)$ ， $u_1 = u(\alpha')$ ，

则式 (D.3) 简化为：

$$u_c^2 = u_1^2 \quad (\text{D.4})$$

式中：

u_c ——切割刀具标准切割角度的测量不确定度；

u_1 ——万能工具显微镜引入的不确定度；

D.3 测量不确定度来源见表 D.1

表 D.1 测量不确定度来源及说明

序号	不确定度来源	不确定度分量
1	万能工具显微镜的测角目镜存在示值误差引入的不确定度分类	u_1
2	万能工具显微镜分辨力引入的不确定度分量	u_2
3	测量重复性引入的不确定度分类	u_3
4	温度对 20℃ 会有偏离，而切割刀具与万能工具显微镜之间存在膨胀系数差引入的不确定度	u_4

D.4 不确定度评定—标准切割角度测量结果不确定度的评定

D. 4. 1 由万能工具显微镜的测角目镜示值误差引入的标准不确定度分量 u_1

测角显微镜 MPE: $\pm 1'$ ，符合均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{1'}{\sqrt{3}} = 0.58' \quad (\text{D. 5})$$

D. 4. 2 由万能工具显微镜分辨力标准不确定度分量 u_2

测角显微镜的分辨力为 $1'$ ，区间半宽度为 $0.5'$ ，符合均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则由分辨力引入的不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29' \quad (\text{D. 6})$$

D. 4. 3 由测量重复性引入的标准不确定度分量 u_3

在各种条件均不改变的情况下，在短时间内对标称值为 45° 的切割刀具标准切割角度进行重复性测量，共测量 10 次（即 $n = 10$ ）。实验数据见表 D. 2（单位： $^\circ$ ）：

D. 2 重复性测量试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测得值/'	44.98	44.87	44.96	44.95	44.96
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测得值/'	44.92	44.89	44.82	44.91	44.93
平均值/'	44.949				
贝塞尔公式	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.88'$				

测量结果取三次测量结果的平均值，则由测量重复性引入的不确定度分量为：

$$u_3 = s/\sqrt{3} = 1.66' \quad (\text{D. 7})$$

D. 4. 4 由温度引入的标准不确定度分量 u_4

在测量前，切割刀具已经放置在工作台上充分恒温（即两者温度差忽略不计），所以此处主要考虑温度偏离 20°C ，万能工具显微镜与被校切割刀具的线膨胀系数的影响。在测量过程中，实验室温度保持在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的范围内，万能工具显微镜的线膨胀系数为 $\alpha = 9.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，切割刀具的线膨胀系数为 $\alpha = 11.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，其线膨胀系数差为 $2 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 的温度区间内，其温度区间半宽为 2°C ，符合三角分布， $k = \sqrt{6}$ ，则

当切割角度为 45° 时, 由温度偏离 20°C 引入的线膨胀系数误差为:

$$e_4 = \pm 5 \times 2 \times 10^{-6} \times 2 = 0.01' \quad (\text{D. 8})$$

则由温度引入的测量不确定度分量为

$$u_4 = 0.01/\sqrt{6} = 0.01' \quad (\text{D. 9})$$

D. 5 合成标准不确定度

D. 5.1 不确定度分量汇总

测量 45° 切割刀具标准切割角度的测量不确定度分量及计算结果见表 D. 3。

表 D. 3 标准不确定度一览表

序号	不确定度分量	不确定度来源	不确定度分量的值/'
1	u_1	万能工具显微镜的测角目镜存在示值误差引入的不确定度分类	0.58
2	u_2	万能工具显微镜分辨力引入的不确定度分量	0.29
3	u_3	测量重复性引入的不确定度分类	1.66
4	u_4	温度对 20°C 会有偏离, 而切割刀具与万能工具显微镜之间存在线膨胀系数差引入的不确定度	0.01

D. 5.2 合成标准不确定度计算

由于参与计算的各项标准不确定度分量之间不相关, 则合成标准不确定度为:

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \\
 &= \sqrt{0.58^2 + 0.29^2 + 1.66^2 + 0.01^2} \\
 &= 1.8' \quad (\text{D. 10})
 \end{aligned}$$

D. 6 扩展不确定度计算

包含因子 $k = 2$, 则扩展不确定度 U :

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 1.8' = 3.6' \quad (\text{D. 11})$$