



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 818—2005

磁性、电涡流式覆层厚度测量仪

Magnetic and Eddy Current Measuring Instrument
for Coating Thickness

2005-12-20 发布

2006-06-20 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

磁性、电涡流式覆层厚度测量仪 检定规程

Verification Regulation of Magnetic and
Eddy Current Measuring Instrument for
Coating Thickness

JJG 818—2005
代替 JJG 818—1993
代替 JJG 889—1995

本检定规程经国家质量监督检验检疫总局 2005 年 12 月 20 日批准,并自 2006 年 6 月 20 日起施行。

归口单位: 全国几何量工程参量计量技术委员会

起草单位: 北京市计量检测科学研究院

天津市计量技术研究所

中国计量科学研究院

本规程委托全国几何量工程参量计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

吴 迅 （北京市计量检测科学研究院）

王心航 （天津市计量技术研究所）

张 恒 （中国计量科学研究院）

www.scr.com.cn

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(2)
4.1 测量力及其变动性	(2)
4.2 示值重复性	(2)
4.3 示值误差	(2)
4.4 示值稳定性	(2)
4.5 电源电压变化对仪器示值的影响	(2)
4.6 校准用厚度片	(2)
5 通用技术要求	(3)
5.1 外观	(3)
5.2 各部分的相互作用	(3)
6 计量器具控制	(3)
6.1 检定条件	(3)
6.2 检定项目	(4)
6.3 检定方法	(4)
6.4 检定结果的处理	(5)
6.5 检定周期	(6)
附录 A 测厚仪示值误差测量结果的不确定度评定	(7)
附录 B 检定证书和检定结果通知书(内页)格式	(11)

磁性、电涡流式覆层厚度测量仪检定规程

1 范围

本规程适用于磁性（磁阻式和磁力式）覆层厚度测量仪和电涡流式覆层厚度测量仪（以下统称为测厚仪）的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

本规程引用下列文献：

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

JJF 1094—2002 测量仪器特性评定技术规范

GB/T 4956—2003 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法

GB/T 4957—2003 非磁性基体金属上非导电覆盖层 覆盖层厚度测量 涡流法

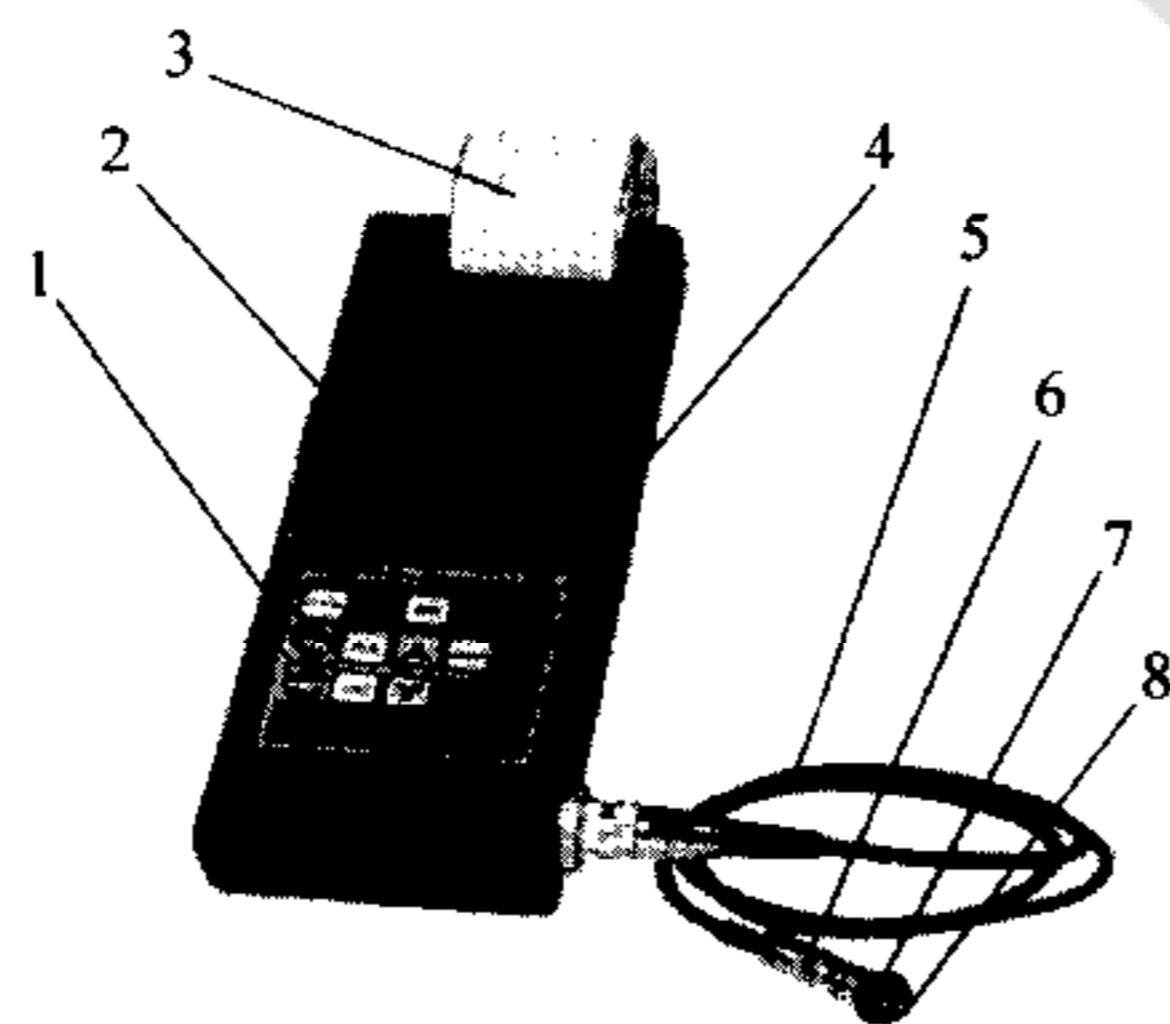
JB/T 8393—1996 磁性、涡流式覆层厚度测量仪

使用本规程时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

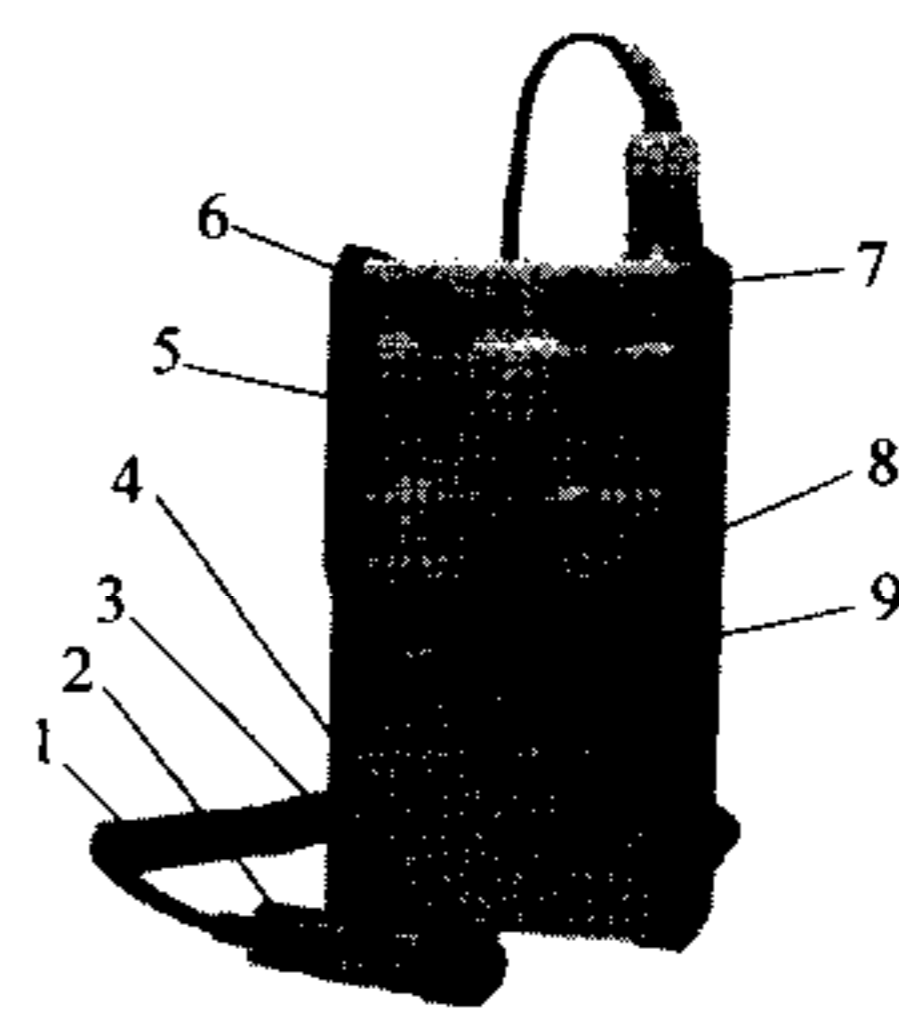
磁性覆层厚度测量仪一般用于测量磁性金属基体上的非磁性覆盖层的厚度；电涡流式覆层厚度测量仪一般用于测量非磁性金属基体上的非导电覆盖层的厚度。

覆层测厚仪按指示方式可分为数字式和指针式两大类，测量范围一般在 $(0\sim 1250)\mu\text{m}$ ，大的可测至 30mm ，仪器最高分辨力可达 $0.1\mu\text{m}$ 。仪器按示值最大允许误差划分为AA~D五个准确度级别。仪器外形结构图如图1所示。



(a) 数字式覆层厚度测量仪外形图

1—功能按键；2—数字显示器；3—打印机；
4—电源开关；5—探头导线；6—探头；
7—探头护套；8—球面测头

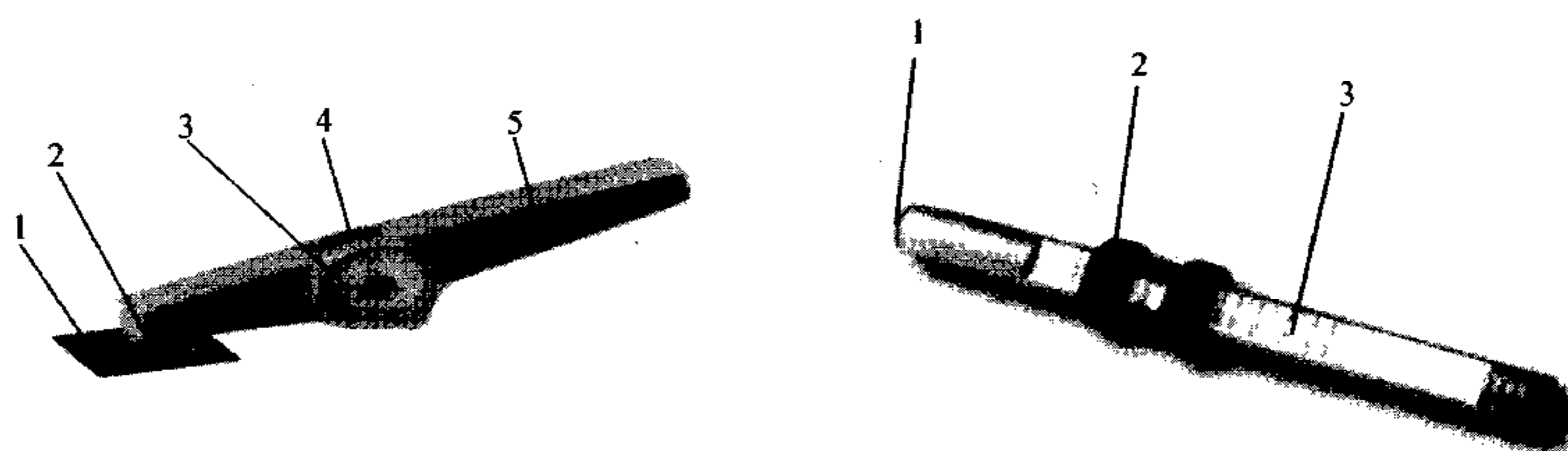


(b) 指针式覆层厚度测量仪外形图

1—探头导线；2—探头；3—探头护套；
4—球面测头；5—指示表；6—调零旋钮；
7—增益旋钮；8—测量开关；9—电源开关

图1 覆层厚度测量仪外形图

磁性覆层厚度测量仪按工作原理又可分为磁阻式和磁力式两种。磁阻式覆层厚度测量仪是通过测量测头与基体金属之间因覆盖层（电镀、喷漆等工艺形成）引起的磁路磁阻变化，得到被测覆层厚度。磁力式覆层厚度测量仪是通过测量永久磁铁（测头）与基体金属之间因覆盖层引起的磁力变化，得到被测覆层厚度，仪器外形结构图如图 2 所示。电涡流式覆层厚度测量仪是通过测量测头与基体金属之间因在覆盖层引起的电涡流变化，得到被测覆层厚度。



(a) 手持式磁力覆层厚度测量仪外形图

(b) 笔式覆层厚度测量仪外形图

1—校准片；2—测头；3—读数盘；4—拨轮；5—机体

1—测头；2—读数窗；3—刻度

图 2 磁力式覆层厚度测量仪外形图

4 计量性能要求

4.1 测量力及其变动性

测头的测量力： $(0.3 \sim 1.5) \text{ N}$ 。测量力变动性不超过 $\frac{1}{3}F$ ，其中 F 是十次测量力的平均值。此项要求不包括磁力式覆层厚度测量仪。

4.2 示值重复性

示值重复性不超过相应示值最大允许误差的五分之一。

4.3 示值误差

仪器示值最大允许误差和相应准确度等级见表 1。

4.4 示值稳定性

仪器示值在一小时内的变化小于该仪器示值最大允许误差的绝对值。

4.5 电源电压变化对仪器示值的影响

仪器电源电压变化引起的仪器示值变化应满足 4.3。

4.6 校准用厚度片

校准用厚度片（简称校准片）的厚度测量结果不确定度和均匀性见表 1。

表 1 准确度等级、示值最大允许误差和校准用厚度片的要求

μm

项目名称			准确度级别				
			AA	A	B	C	D
示值最大允许误差			$\pm(0.3+0.5\%H)$	$\pm(0.5+1\%H)$	$\pm(1+3\%H)$	$\pm(2+5\%H)$	$\pm(3+10\%H)$
校准片	厚度测量结果不确定度	$h \leq 50$	0.15	0.3	0.5	1.0	1.5
		$h > 50$	$0.3\%h$	$0.6\%h$	$1\%h$	$2\%h$	$3\%h$


表 1 (续)

项目名称			准确度级别				
			AA	A	B	C	D
校准片	均匀性	$h \leq 50$	± 0.15	± 0.3	± 0.5	± 1.0	± 1.5
		$h > 50$	$\pm 0.3\%h$	$\pm 0.6\%h$	$\pm 1\%h$	$\pm 2\%h$	$\pm 3\%h$

注：1. H ——标准厚度片（或校准板覆层的）的实际厚度值； h ——校准片实际厚度值。
2. 校准片厚度测量结果不确定度为扩展不确定度， $k=3$ 。

5 通用技术要求

5.1 外观

5.1.1 仪器铭牌应标有仪器名称、型号、编号、制造厂名称'（或厂标）及标志。

5.1.2 仪器外表应整洁、无明显划痕、锈迹、损伤、起泡、漆膜脱落等现象，校准片表面不应有严重划伤或损伤。

5.1.3 仪器上的文字、符号、数值及单位应字迹清晰。指示表表盘刻线清晰、无断线。与测量有关的数值应注明单位。数字显示清晰，无闪烁、缺笔划和连笔划现象。

5.1.4 电池和充电器的安装处应有明显的极性标志。

5.2 各部分的相互作用

5.2.1 指示表的指针运动平稳、无卡滞、粘针、爬行等现象。

5.2.2 接插件连接可靠、使用方便。各操作开关、旋钮、按键和指示灯工作可靠、有效。紧固件不得有松动或缺损现象。

5.2.3 仪器具有的功能应工作可靠、有效。

后续检定和使用中检验的仪器，允许有不影响计量性能的上述缺陷。

6 计量器具控制

计量器具控制包括，首次检定、后续检定和使用中检验。

6.1 检定条件

6.1.1 检定条件见表 2。

表 2 检定条件

检定室温度 ($^{\circ}\text{C}$)	室温变化 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	相对湿度 (%RH)	被检仪器在室内平衡温度的时间 (h)
20 ± 2	≤ 1	≤ 75	≥ 3
外部环境	检定地点附近不应有强磁场干扰。		

6.1.2 检定设备

主要检定设备见表 3。

6.2 检定项目

检定项目见表 3。

表 3 检定项目和主要检定设备一览表

序号	检定项目	主要检定设备	首次检定	后续检定	使用中检验
1	外观	—	+	+	+
2	各部分相互作用	—	+	+	+
3	测量力及其变动性	测力仪 (分辨力 $\leq 0.1\text{N}$)	+	-	-
4	示值重复性	基体 (表面粗糙度 $R_a \leq 0.2\mu\text{m}$ 、平面度 $\leq 1\mu\text{m}$ 下同)、标准厚度片 (板)	+	+	+
5	示值误差	基体、标准厚度片 (板) 组	+	+	-
6	示值稳定性	基体、标准厚度片 (板) 及检定台架	+	-	-
7	电源电压变化对仪器示值的影响	基体、标准厚度片 (板) 及可调电压的供电电源	+	-	-
8	校准用厚度片	三等量块、 数显电感式测微仪 (分辨力 $\leq 0.1\mu\text{m}$, 测量力 1N) 平面工作台 (平面度 $\leq 1\mu\text{m}$, 许凸不许凹)	+	+	-

注: 1. 表中“+”表示该项必须检定;“-”表示该项可以不检定。
2. 自动关机型测厚仪可不作示值稳定性检定。

6.3 检定方法

6.3.1 外观

目力观察。

6.3.2 各部分相互作用

目力观察和手动试验。

6.3.3 测量力及其变动性

将测头垂直压向测力仪的工作台面上, 当测头外护套基面与测头测量面在同一平面时, 记下测力仪的示值, 取十次示值的平均值作为测量力。取十次示值中的最大与最小值之差作为测量力变动性。

6.3.4 示值重复性

选择仪器的最小量程挡，在基体工作面中央位置附近放置一个数值大于三分之二量程的标准厚度片，在同一位置连续测量十次，取十次示值中的最大值与最小值之差的三分之一作为测量结果。

6.3.5 示值误差

按使用说明书对测厚仪进行调校。在仪器的每一量程内大致均匀分布三至五点作为受检点（含最接近量程上、下限的点），选取相应厚度和准确度级别^①的标准厚度片（对磁力式覆层厚度测量仪只能选用标准厚度板） $H_i (i=1, 2, \dots)$ 依次测量，每点测量五次，取五次读数的平均值作为该点的示值 $h_i (i=1, 2, \dots)$ ，其示值误差 δ_i 按下式计算：

$$\delta_i = h_i - H_i \quad (1)$$

仪器每一量程内各点示值误差均应满足表 1 中的相应要求。

6.3.6 示值稳定性

选择仪器的最小量程挡，在基体工作面中央位置附近放置一个数值大于二分之一量程的标准厚度片，将测头装在检定台架上垂直压向标准厚度片，并使其固定。记下第一次读数，以后每间隔 15min 记一次读数，连续记录 1h，取五次读数中的最大值与最小值之差作为测量结果。

6.3.7 电源电压变化对仪器示值的影响

选择仪器的最小量程挡，在基体工作面中央位置附近放置一个数值大于二分之一量程的标准厚度片，将可调式直流稳压电源或可调式交流变压器接在仪器的电源端，并用电压表监视。按仪器要求调整电源电压至仪器许可的供电电压下限，测量标准厚度片三次，取其平均值作为该点示值 L_1 ，再分别将电源电压调整到仪器额定工作电压和仪器许可的供电电源上限，各测量标准厚度片三次，取其平均值作为该点示值 L_2 、 L_3 ，按下式计算仪器的示值变化。取 ΔL_1 、 ΔL_2 中绝对值大的作为测量结果。

$$\Delta L_1 = L_1 - L_2 \quad (2)$$

$$\Delta L_2 = L_3 - L_2 \quad (3)$$

6.3.8 校准用厚度片

用数显电感式测微仪（选择 1N 测力的测头）和三等量块，在平面工作台上用直接法或比较法测量。

先使数显电感式测微仪对零，再将被测的校准用厚度片放在平面工作台上，在规定的测量区域内均匀分布五或九个点（见图 3）测量，取中心点五次示值的平均值作为校准片的实际厚度值，取各点示值与实际厚度值的最大差值作为校准片的均匀性。

此项测量允许采用满足测量不确定度要求的其他方法。

6.4 检定结果的处理

各受检项目均符合本规程相应要求的填发检定证书，并注明准确度级别；不符合本规程要求的填发检定结果通知书，并注明不合格的项目及其相应的检定结果。

^①标准厚度片的准确度级别的选取应对应于表 1 中校准片的准确度级别。

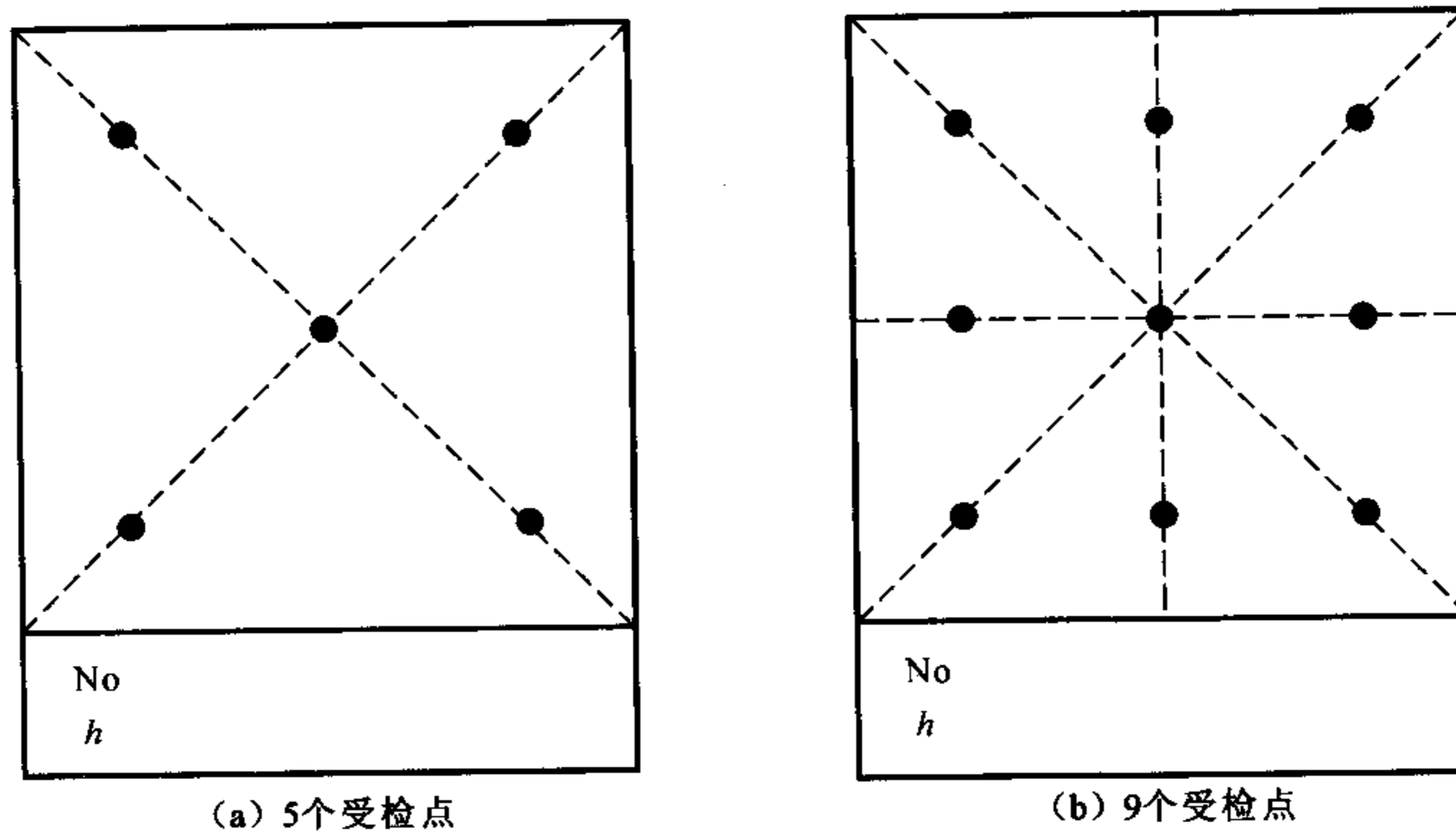


图3 校准用厚度片的测量位置和测量点数示意图

6.5 检定周期

检定周期应根据实际使用情况确定，一般不超过1年。

附录 A

测厚仪示值误差测量结果的不确定度评定

A.1 测量方法

首先按使用说明书对测厚仪进行调校,然后用仪器测量标准厚度片。仪器示值的平均值 h_i 与标准厚度片的实际值 H_i 之差即为示值误差 δ_i 。本文中以测厚仪的 (0~10) μm 、(0~500) μm 和 (0~1000) μm 示值受检段为例,进行测厚仪示值误差测量结果不确定度评定。

A.2 数学模型

示值误差计算公式: $\delta_i = h_i - H_i$

式中: δ_i ——测厚仪在某点的示值误差;

h_i ——该点仪器的平均测量值;

H_i ——标准厚度块的标准厚度值。

A.3 方差和灵敏系数

依 $u_c^2(\delta_i) = \sum \left[\frac{\partial \delta_i}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$, 有

$$u_c^2 = u^2(\delta_i) = c_1^2(h_i)u^2(h_i) + c_2^2(H_i)u^2(H_i)$$

式中: $c_1(h_i) = \frac{\partial \delta_i}{\partial h_i} = 1$ $c_2(H_i) = \frac{\partial \delta_i}{\partial H_i} = -1$

则 $u_c^2 = u^2(h_i) + u^2(H_i)$

A.4 标准不确定度一览表

表 A1 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度值 (μm)	灵敏系数 c_i	$ c_i \times u_i$	自由度 ν_i
u_{11}	标准厚度片	10 μm ($U=0.15, k=3$) $0.15 \times \frac{1}{3} = 0.05\mu\text{m}$	-1	10 μm : 0.05 μm	50
u_{12}		500 μm ($U=0.3\%h, k=3$) $0.3\% \times 500 \times \frac{1}{3} = 0.5\mu\text{m}$		500 μm : 0.5 μm	
u_{13}		1000 μm ($U=0.3\%h, k=3$) $0.3\% \times 1000 \times \frac{1}{3} = 1.0\mu\text{m}$		1000 μm : 1.0 μm	

表 A1 (续)

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度值(μm)	灵敏系数 c_i	$ c_i \times u_i$	自由度 ν_i
u_2	测量力及其变动性	测量力及其变动性不超过 $\frac{1}{3}F$ 忽略		...	
u_3	仪器分辨力	$\frac{0.1}{2 \times \sqrt{3}} = 0.03\mu\text{m}; \frac{1}{2 \times \sqrt{3}} = 0.3\mu\text{m}$	1	$0.03\mu\text{m}, 3\mu\text{m}$	50
u_{41}	测量重复性	$10\mu\text{m}: (0.3 + 0.5\% \times 10) / 5 \times 3 = 0.023\mu\text{m}$	1	$0.023\mu\text{m}$	9
u_{42}		$500\mu\text{m}: (0.3 + 0.5\% \times 500) / 5 \times 3 = 0.187\mu\text{m}$		$0.187\mu\text{m}$	
u_{43}		$1000\mu\text{m}: (0.3 + 0.5\% \times 1000) / 5 \times 3 = 0.353\mu\text{m}$		$0.353\mu\text{m}$	

注：上表测量是在 20℃ 条件下进行的。

A.5 计算标准不确定度分量

A.5.1 标准厚度片引入的不确定度分量 u_1

标准厚度片的厚度测量结果不确定度见规程表 1，其中 $k=3$ ，根据 $u = \frac{U}{k}$ 则

$$10\mu\text{m 标准厚度片: } u_{11} = 0.15 \times \frac{1}{3} = 0.05\mu\text{m}$$

$$500\mu\text{m 标准厚度片: } u_{12} = 0.3\% \times 500 \times \frac{1}{3} = 0.5\mu\text{m}$$

$$1000\mu\text{m 标准厚度片: } u_{13} = 0.3\% \times 1000 \times \frac{1}{3} = 1.0\mu\text{m}$$

自由度按相对不确定度 10% 计，则

$$\nu_1 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{10}{100}\right)^{-2} = 50$$

A.5.2 测量力及其变动性引入的不确定度分量 u_2

测量力及其变动性不超过 $\frac{1}{3}F$ 时，对测量结果的影响可忽略， $u_2 = 0$

A.5.3 仪器分辨力引入的不确定度分量 u_3

由仪器分辨力 d 引入的不确定度分量 u_3 呈矩形分布，由此带来的标准不确定度为：

$$u(x) = d \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.3d$$

则 $0.1\mu\text{m}$ 分辨力（测量范围 $< 1000\mu\text{m}$ ）时，

$$u_{31} = 0.1 \times 0.3 = 0.03\mu\text{m}$$

$1\mu\text{m}$ 分辨力（测量范围 $\geq 1000\mu\text{m}$ ）时，

$$u_{32} = 1 \times 0.3 = 0.3\mu\text{m}$$

估计相对不确定度最多为 10%，则自由度

$$\nu_3 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{10}{100}\right)^{-2} = 50$$

A.5.4 仪器测量重复性引入的不确定度分量 u_4

按仪器测量重复性规定同一点测量 10 次, 取极值情况, 正态分布计算:

$$\text{受检段 (0~10) } \mu\text{m: } u_{41} = (0.3 + 0.5\% \times 10) / 5 \times 3 = 0.023\mu\text{m}$$

$$\text{受检段 (0~500) } \mu\text{m: } u_{42} = (0.3 + 0.5\% \times 500) / 5 \times 3 = 0.187\mu\text{m}$$

$$\text{受检段 (0~1000) } \mu\text{m: } u_{43} = (0.3 + 0.5\% \times 1000) / 5 \times 3 = 0.353\mu\text{m}$$

$$\text{自由度 } \nu_4 = n - 1 = 9 \quad (n = 10)$$

在 $10\mu\text{m}$ 受检点由测量重复性导出的不确定度分量小于仪器分辨力引入的不确定度分量, 此时应该用后者代替重复性。在 $500\mu\text{m}$ 、 $1000\mu\text{m}$ 受检点由测量重复性所引入的不确定度分量大于由仪器分辨力引入的不确定度分量, 则后者已经包括在重复性不确定度分量中。

A.6 合成标准不确定度

各不确定度分量之间不存在值得考虑的相关性。

$$\text{受检段 (0~10) } \mu\text{m: } u_{c1} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{u_{11}^2 + u_{31}^2} = \sqrt{0.05^2 + 0.03^2} = 0.058\mu\text{m}$$

$$\text{受检段 (0~500) } \mu\text{m: } u_{c2} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{u_{12}^2 + u_{42}^2} = \sqrt{0.5^2 + 0.187^2} = 0.533\mu\text{m}$$

$$\text{受检段 (0~1000) } \mu\text{m: } u_{c3} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{u_{13}^2 + u_{43}^2} = \sqrt{1^2 + 0.353^2} = 1.06\mu\text{m}$$

A.7 有效自由度 ν_{eff}

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\frac{u_1^4}{\nu_1} + \frac{u_3^4}{\nu_3} + \frac{u_4^4}{\nu_4}}$$

$$\text{示值受检段 (0~10) } \mu\text{m: } \nu_{\text{eff1}} = \frac{0.58^4}{\frac{0.05^4}{50} + \frac{0.03^4}{50}} = 80$$

$$\text{示值受检段 (0~500) } \mu\text{m: } \nu_{\text{eff2}} = \frac{0.533^4}{\frac{0.5^4}{50} + \frac{0.187^4}{9}} = 58$$

$$\text{示值受检段 (0~1000) } \mu\text{m: } \nu_{\text{eff3}} = \frac{1.06^4}{\frac{1^4}{50} + \frac{0.353^4}{9}} = 58$$

A.8 扩展不确定度:

示值受检段 (0~10) μm , 取置信水平 95%, 自由度为 80, 查表得 $k = 2.0$

$$U = t_{0.95}(80) \times u_{c1} \\ = 2.0 \times 0.058 = 0.116\mu\text{m}$$

示值受检段 (0~500) μm , 取置信水平 95%, 自由度为 58, 查表得 $k = 2.0$

$$U = t_{0.95}(58) \times u_{c2} \\ = 2.0 \times 0.533 = 1.06\mu\text{m}$$

示值受检段 (0~1000) μm , 取置信水平 95%, 自由度为 58, 查表得 $k = 2.0$

$$U = t_{0.95}(58) \times u_{c3} \\ = 2.0 \times 1.06 = 2.12\mu\text{m}$$

A.9 测量不确定度报告

通过上述测量不确定度评定可知，扩展不确定度由标准不确定度和有效自由度获得，其置信概率为 95%，其值见表 A2。

表 A2 扩展不确定度一览表

 μm

厚度片	标准 不确定度	有效 自由度	置信概率	扩展 不确定度	示值最大允许误差 AA 级	示值最大允许误差 A 级
10	0.058	80	95%	0.12	0.35	0.6
500	0.533	58	95%	1.1	2.8	5.5
1000	1.06	58	95%	2.1	5.3	10.5

以上不确定度评定表明，本规程给出的技术要求、检定条件、检定方法是科学的、合理的、可行的。

附录 B

检定证书和检定结果通知书（内页）格式

B.1 检定证书（内页）格式

检 定 结 果

序号	主要检定项目	检定结果
1	测量力及其变动量	
2	示值重复性	
3	示值误差	
4	校准用厚度片	
检定依据：JJG 818—2005 磁性、电涡流式覆层厚度测量仪检定规程		

B.2 检定结果通知书（内页）格式

检 定 结 果

序号	主要检定不合格项目	检定结果
1		
2		
3		
检定依据：JJG 818—2005 磁性、电涡流式覆层厚度测量仪检定规程		

www.scr.com.cn

中华人民共和国
国家计量检定规程
磁性、电涡流式覆层厚度测量仪
JJG 818—2005
国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲2号
邮政编码 100013
电话 (010)64275360
<http://www.zgjl.com.cn>
北京市迪鑫印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16开本 印张1 字数16千字
2006年5月第1版 2006年5月第1次印刷
印数1—1 500