



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 480—2007

X 射线测厚仪

X-Ray Thickness Gauge

2007-06-14 发布

2007-12-14 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

X 射线测厚仪检定规程

Verification Regulation of

X-Ray Thickness Gauge

JJG 480—2007
代替 JJG 480—1987

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2007 年 6 月 14 日批准，并自 2007 年 12 月 14 日起施行。

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

起草单位：上海市计量测试技术研究院

本规程委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

廖 寅（上海市计量测试技术研究院）

沈志泽（上海市计量测试技术研究院）

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 重复性	(2)
4.2 示值误差	(2)
4.3 示值漂移	(2)
4.4 漏射线	(2)
5 通用技术要求	(2)
5.1 外观	(2)
5.2 各部分的相互作用	(2)
6 计量器具控制	(2)
6.1 检定条件	(3)
6.2 检定项目	(3)
6.3 检定方法	(3)
6.4 检定结果的处理	(4)
6.5 检定周期	(4)
附录 A X射线测厚仪示值误差测量结果的不确定度分析	(5)
附录 B 标准厚度板的外形和技术要求及检验方法	(8)
附录 C 检定证书和检定结果通知书内页格式	(9)

X 射线测厚仪检定规程

1 范围

本规程适用于 X 射线测厚仪的首次检定、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—1998 《测量不确定度评定与表示》

JJF 1094—2002 《测量仪器特性评定》

GB 18871—2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

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

X 射线测厚仪(典型的外形结构如图 1 所示)是一种非接触式的动态测量仪器，又可称 X 射线厚度计、X 射线厚度仪等。仪器利用 X 射线穿透被测材料时，X 射线强度的变化与材料厚度相关的特性，测定材料的厚度。主要用于轧制生产线或处理线上连续测量钢带、铜带、铝带等材料板的厚度。仪器的测量范围一般为(0.01~80)mm，分辨力为 0.01mm, 0.001mm。

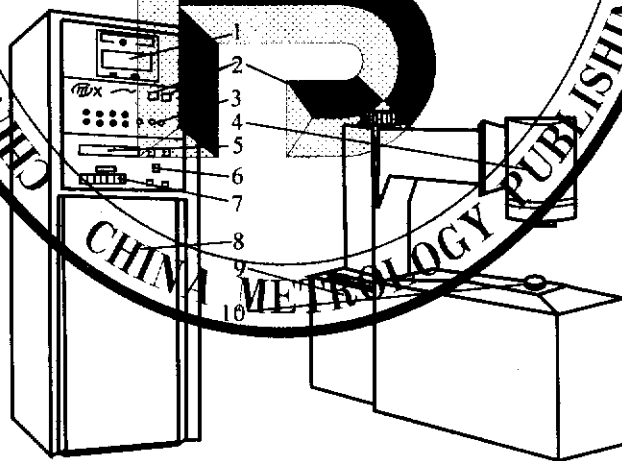


图 1 X 射线测厚仪

1—记录器；2—射线指示；3—电源开关；4—射线探测头；5—数字显示器；
6—预置键；7—量程选择；8—电源箱；9—“C”形测量架；10—射线发射孔

4 计量性能要求

4.1 重复性

X射线测厚仪的重复性要求见表1。

4.2 示值误差

X射线测厚仪的示值最大允许误差和相应准确度等级要求见表1。

表1 X射线测厚仪的重复性、示值最大允许误差的要求

分辨力 (mm)	重复性 (mm)	示值最大允许误差	
		0 级	1 级
0.01	0.03	$\pm (0.03\text{mm} + \frac{H}{100})$	$\pm (0.05\text{mm} + \frac{3H}{100})$
0.001	0.003	$\pm (0.003\text{mm} + \frac{H}{1000})$	$\pm (0.005\text{mm} + \frac{3H}{1000})$

注：表中 H 为标准厚度板的实际厚度，mm。

4.3 示值漂移

在测量范围内，仪器示值在 2h 内的变化量不大于该仪器示值最大允许误差的绝对值。

4.4 漏射线

X射线测厚仪启动测量时，距 X 射线发生装置表面 5cm 和 1m 处的漏射线最大剂量当量率分别不大于 $10\mu\text{Sv/h}$ 和 $1\mu\text{Sv/h}$ 。

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(或厂标)及 CMC 标志。

5.1.2 仪器附带的标准厚度板表面应无影响计量性能的划伤或损伤。

5.1.3 仪器上的文字、符号、数值及单位应字迹清晰，与测量有关的数值应注明单位。数字显示清晰，无闪烁。

5.2 各部分的相互作用

5.2.1 仪器上的各操作开关、功能按钮和指示灯工作可靠、有效。

5.2.2 仪器的测量支架应操作灵活，锁紧机构工作可靠。

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 检定环境条件

6.1.1.1 检定室内的温度： $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$ ，其温度变化不大于 5°C/h ；环境相对湿度不大于 75%。

6.1.1.2 检定地点附近不应有影响测量的震动和电磁干扰。

6.1.1.3 仪器电源电压波动量不超过其额定电压的 $\pm 10\%$ 。

6.1.1.4 仪器应在接通电源后预热 1h，变换量程时，应稳定 15min 后方可进行检定。

6.1.2 检定用设备

主要检定用设备见表 2。

6.2 检定项目

检定项目见表 2。

表 2 检定项目和主要检定用设备一览表

序号	检定项目	主要检定用设备	首次检定	后续检定	使用中检验
1	外观	—	+	+	—
2	各部分的相互作用	—	+	+	+
3	重复性	标准厚度板(见附录 B)	+	+	—
4	示值误差	标准厚度板	+	+	+
5	示值漂移	标准厚度板	+	+	—
6	漏射线	X 射线辐射防护仪，需经检定合格且基本误差不超过 $\pm 20\%$	+	+	+

注：表中“+”表示该项必须检定，“—”表示该项可以不检定。

6.3 检定方法

6.3.1 外观

目视观察。

6.3.2 各部分的相互作用

目视观察和手动试验。

6.3.3 重复性

选择仪器的最小量程挡，用一块厚度数值大于二分之一该量程的标准厚度板，在标准厚度板的同一位置连续测量 10 次，其重复性 s 按式(1)计算：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

式中: X_i ——第 i 次测量的仪器示值, mm;

$\bar{X}$ —— n 次测量的算术平均值($n=10$), mm。

6.3.4 示值误差

X 射线测厚仪按使用要求调整起点后, 在仪器的每一量程内选择大致均匀分布的 3~5 个点作为受检点(含最接近量程上、下限的点), 用相应的标准厚度板 H_i 依次测量, 每点测量 1 次, 在仪器上读得该点的示值 h_i , 其示值误差 δ_i 按式(2)计算:

$$\delta_i = h_i - H_i \quad (2)$$

式中: h_i ——第 i 点仪器的示值, mm;

H_i ——相应标准厚度板的实际厚度($i=1, 2, \dots$), mm。

6.3.5 示值漂移

选择仪器的最小量程挡, 用一块厚度数值在 1/3 以上该量程的标准厚度板, 在标准厚度板的同一位置进行测量, 记下开始测量时的读数。以后利用仪器的记录设备每隔 1min 记 1 次读数, 连续记录 2h。示值漂移 D 按式(3)计算:

$$D = Y_{\max} - Y_{\min} \quad (3)$$

式中: $Y_{\max}$ ——读数值中的最大值, mm;

$Y_{\min}$ ——读数值中的最小值, mm。

6.3.6 漏射线

取一形状和面积与 X 射线发射孔相同, 厚度 6mm 以上的铅块, 覆盖(栓塞)X 射线发射孔, 调整仪器处于最大量程、射线发射最小状态, 启动测量。使用 X 射线辐射防护仪分别测量距 X 射线发生装置表面 5cm 和 1m 处的剂量当量率。测量 5cm 处时, 测量重复读数 10 次; 测量 1m 处时, 测量重复读数 20 次。最大的示值作为测量结果。

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。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。

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

X 射线测厚仪示值误差测量结果的不确定度分析

A.1 测量方法

X 射线测厚仪的示值误差是用标准厚度板进行检定的。

A.2 数学模型

X 射线测厚仪的示值误差为

$$\delta = h - H$$

式中：h——仪器的示值，

H——标准厚度板的实际厚度。

A.3 方差和灵敏系数

灵敏系数为： $c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial h} = 1$ ；

令 u_1 、 u_2 分别表示 h 、 H 的标准不确定度，则

$$u_\delta^2 = (c_1 \cdot u_1)^2 + (c_2 \cdot u_2)^2$$

A.4 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	c_i	$c_i \cdot u_i$ (μm)	自由度
u_1	测量重复性	0.7	1	0.7	27
u_2	标准厚度板	$H < 5\text{mm}$ 时：0.4 $H \geq 5\text{mm}$ 时：1.9	-1	$H < 5\text{mm}$ 时：0.4 $H \geq 5\text{mm}$ 时：1.9	50

注：表中 H 为标准厚度板的实际厚度，mm。

A.5 计算标准不确定度分量

A.5.1 测量重复性引起的不确定度分量 u_1 及自由度 ν_1

X 射线测厚仪的测量重复性引起的不确定度可以通过连续测量得到测量列，采用 A 类方法进行评定。

选择 9.998mm 标准厚度板，连续测量 10 次，得到测量列(mm)：9.995，9.996，9.996，9.997，9.996，9.995，9.996，9.995，9.997，9.996。

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} h_i = 9.996\text{mm}$$

实验标准差:
$$s = \sqrt{\frac{\sum (h_i - \bar{h})^2}{n-1}} = 0.7\mu\text{m}$$

另选取 0.200mm 和 19.800mm 的标准厚度板, 各在重复性条件下连续测量 10 次, 每组测量列按上述方法计算得到单次实验标准差如表 A.2 所示。

表 A.2

标准厚度板厚度 (mm)	0.200	9.998	19.800
单次实验标准差 s_j (μm)	0.8	0.7	0.7

合并样本标准差 s_p 为:

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} = 0.7\mu\text{m}$$

则

$$u_1 = s_p = 0.7\mu\text{m}$$

$$\nu_1 = \sum_{j=1}^m \nu_j = 3 \times (10 - 1) = 27$$

A.5.2 标准厚度板引起的不确定度分量 u_2 及自由度 ν_2

标准厚度板引起的不确定度来源于标准厚度板的厚度测量结果的不确定度, 可根据证书给出的不确定度, 采用 B 类方法进行评定。

标准厚度板的实际厚度 $H < 5\text{mm}$ 时, 厚度测量结果的不确定度为 $1.0\mu\text{m}$, 包含因子为 2.6, 则

$$u_2 = \frac{1.0\mu\text{m}}{2.6} = 0.4\mu\text{m}$$

标准厚度板的实际厚度 $H \geq 5\text{mm}$ 时, 厚度测量结果的不确定度为 $5.0\mu\text{m}$, 包含因子为 2.6, 则

$$u_2 = \frac{5.0\mu\text{m}}{2.6} = 1.9\mu\text{m}$$

估计其相对不确定度为 10%, 则

$$\nu_2 = \frac{1}{2} \times (10\%)^{-2} = 50$$

A.6 合格标准不确定度 u_c 及有效自由度 ν_{eff}

$H < 5\text{mm}$ 时:
$$u_c = \sqrt{0.7^2 + 0.4^2} \mu\text{m} = 0.8\mu\text{m}$$

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{0.8^4}{\frac{0.7^4}{27} + \frac{0.4^4}{50}} = 50$$

$H \geq 5\text{mm}$ 时:
$$u_c = \sqrt{0.7^2 + 1.9^2} \mu\text{m} = 2.0\mu\text{m}$$

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{2.0^4}{\frac{0.7^4}{27} + \frac{1.9^4}{50}} = 50$$

A.7 扩展不确定度

$H < 5\text{mm}$ 时, 取置信概率 $p = 95\%$, 查表得到: $t_{95}(50) = 2.01$, 则

$$U = t_{95}(50) \cdot u_c = 1.6\mu\text{m}$$

$H \geq 5\text{mm}$ 时, 取置信概率 $p = 95\%$, 查表得到: $t_{95}(50) = 2.01$, 则

$$U = t_{95}(50) \cdot u_c = 4.0\mu\text{m}$$

A.8 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 A.3。

表 A.3

标准厚度板厚度 (mm)	扩展不确定度 (μm)	示值最大允许误差 (mm)	
		0 级	1 级
0.200	1.6	± 0.0032	± 0.0056
9.998	4.0	± 0.013	± 0.035
19.800	4.0	± 0.023	± 0.064

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

标准厚度板的外形和技术要求及检验方法

标准厚度板的外形和技术要求：

标准厚度板的材料一般为 45 号钢，要求其表面粗糙度不大于 $R_a 0.32\mu\text{m}$ 。标准厚度板的厚度测量结果的不确定度和均匀性见表 B.1。

表 B.1 标准厚度板的厚度测量结果的不确定度和均匀性要求

标准厚度板厚度 (mm)	厚度测量结果的不确定度 (μm)	均匀性 (μm)
$H < 5$	1.0	± 1.0
$H \geq 5$	5.0	± 5.0

注：表中 H 为标准厚度板的实际厚度 (mm)。

标准厚度板的整体外形如图 B.1 所示 (矩形)。



图 B.1 标准厚度板的外形

标准厚度板的检验方法：

用立式光学计和 4 等量块，按比较法进行检验。

检验时，应在标准厚度板的测量区域内均匀分布的 5~9 个点进行测量，取其算术平均值作为标准厚度板的实际厚度值；取各点示值与实际厚度值的最大差值作为标准厚度板的均匀性。

附录 C

检定证书和检定结果通知书内页格式

表 C.1 检定证书内页格式

序号	检定项目	检定值	允许值
1	重复性		
2	示值误差		
3	示值漂移		
4	漏射线		
该仪器依据 JJG 480—2007《X 射线测厚仪》国家计量检定规程检定合格。			

表 C.2 检定结果通知书内页格式

序号	检定项目	检定值	允许值	检定结果
1	重复性			
2	示值误差			
3	示值漂移			
4	漏射线			
该仪器依据 JJG 480—2007《X 射线测厚仪》国家计量检定规程检定不合格，不合格项见表。				