



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 1046—2008

方 形 角 尺

Square Gauge

2008—12—22 发布

2009—03—22 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

方形角尺检定规程

Verification Regulation of Square Gauge

JJG 1046—2008

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2008 年 12 月 22 日批准，并自 2009 年 3 月 22 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：中国航空工业第一集团公司北京长城计量测试技术研究所

本规程委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

孙玉玖（中国航空工业第一集团公司北京长城计量测试技术研究所）

王 琳（中国航空工业第一集团公司北京长城计量测试技术研究所）

参加起草人：

谷卫华（中国航空工业第一集团公司北京长城计量测试技术研究所）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量器具性能	(2)
4.1 测量面及侧面的表面粗糙度	(2)
4.2 测量面的平面度	(3)
4.3 后侧面对测量面的垂直度	(3)
4.4 前侧面对后侧面的平行度	(3)
4.5 相对两测量面的平行度	(3)
4.6 相邻两测量面的垂直度	(3)
5 通用技术要求	(4)
5.1 外观	(4)
5.2 标识	(4)
6 计量器具控制	(4)
6.1 检定条件	(4)
6.2 检定项目	(5)
6.3 检定方法	(5)
6.4 检定结果的处理	(12)
6.5 检定周期	(12)
附录 A 分段法测量方形角尺测量面长边方向平面度常用计算公式及计算示例	(13)
附录 B 节距法测量方形角尺测量面长边方向直线度计算示例	(15)
附录 C 测微法测量方形角尺相对两测量面平行度和测量面平面度计算示例	(17)
附录 D 方形角尺工作角的垂直度误差计算示例	(21)
附录 E 检定证书和检定结果通知书内容格式	(22)

方形角尺检定规程

1 范围

本规程适用于方形角尺首次检定、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

JB/T 10027—1999 中华人民共和国机械行业标准 方形角尺

JJF 1094—2002 测量仪器特性评定

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

方形角尺是一种用做垂直度测量的角度计量器具，主要用做直角尺检查仪的校准和直角尺的检定，也可用做检验金属切削机床及某些仪器的机械形状误差、位置误差。

方形角尺按其制造精度可分为 000 级、00 级、0 级和 1 级四个准确度等级。

方形角尺通常用钢、铸铁或花岗岩制成。按其结构形式可分为 I 形（如图 1 所示）、II 型（如图 2 所示）、III 型（如图 3 所示）三种形式。方形角尺一般竖立放置使用，其刻字面在前（刻字面亦称前侧面），后侧面靠在定位挡板上（后侧面亦称定位面），相邻两个测量面之夹角为工作角（相邻两测量面垂直度误差亦称工作角垂直度误差）。方形角尺一般以其边长 H 值作为其型号规格，常见的方形角尺的规格见表 1。

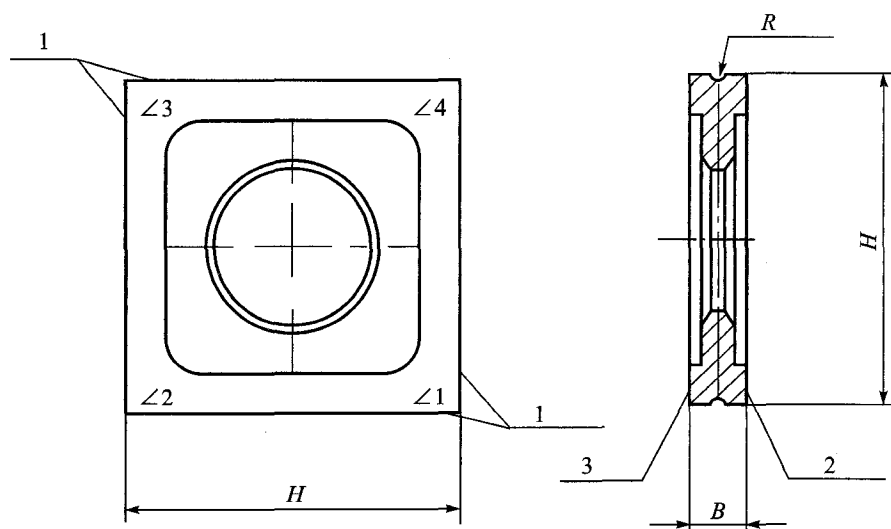


图1 I型方形角尺

1—测量面；2—前侧面（刻字面）；3—后侧面（定位面）

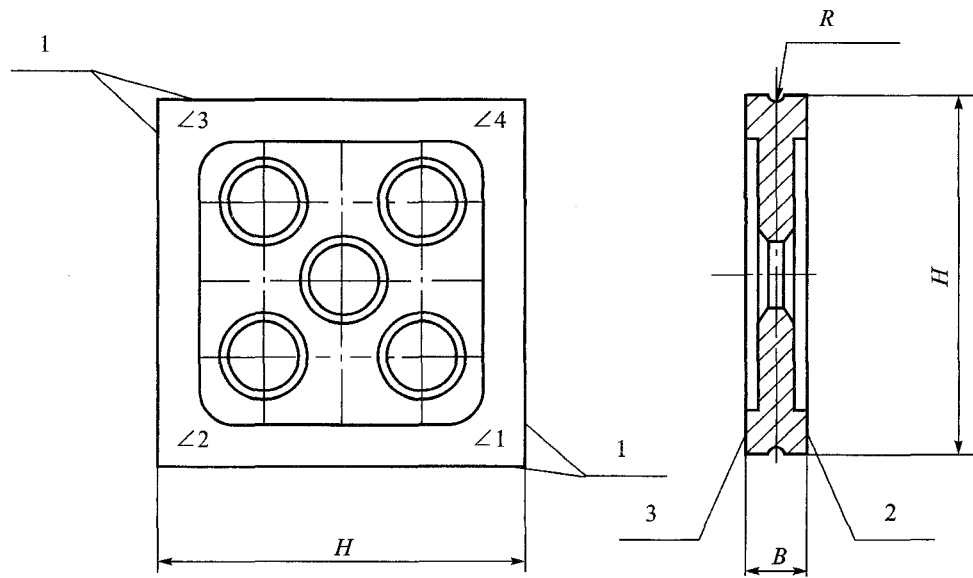


图2 II型方形角尺
1—测量面；2—前侧面（刻字面）；3—后侧面（定位面）

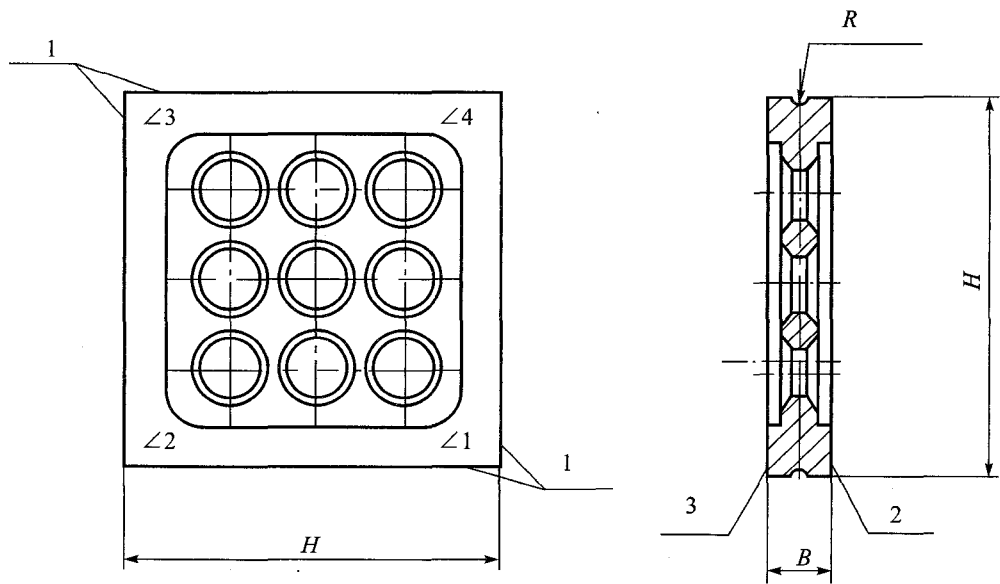


图3 III型方形角尺
1—测量面；2—前侧面（刻字面）；3—后侧面（定位面）

表1 方形角尺的常见规格

结构形式	I 型		II 型		III 型			
H/mm	100	150	200	250	315	400	500	630

4 计量器具性能

4.1 测量面及侧面的表面粗糙度

方形角尺各测量面及侧面的表面粗糙度 R_a 应不超过表2的规定。

表2 方形角尺的表面粗糙度

准确度等级	000		00		0		、 1	
H/mm	≤ 315	> 315	≤ 315	> 315	≤ 315	> 315	≤ 315	> 315
测量面的表面粗糙度/ μm	$R_a 0.05$	$R_a 0.10$				$R_a 0.20$		
侧面的表面粗糙度/ μm	$R_a 0.4$				$R_a 0.8$			

4.2 测量面的平面度

方形角尺测量面的平面度应不超过表3的规定。

4.3 后侧面对测量面的垂直度

方形角尺后侧面对测量面的垂直度应不超过表3的规定。

4.4 前侧面对后侧面的平行度

方形角尺前侧面对后侧面的平行度应不超过表3的规定。

4.5 相对两测量面的平行度

方形角尺相对两测量面的平行度应不超过表3的规定。

4.6 相邻两测量面的垂直度

方形角尺相邻两测量面的垂直度应不超过表3的规定。

表3 计量特性一览表

序号	项 目	准确度等级	H/mm							
			100	150	200	250	315	400	500	630
1	测量面的平面度/ μm	000	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8	0.9
		00	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8
		0	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6	3.0	3.5
		1	2.8	3.2	3.6	4.0	4.5	5.2	6.0	7.0
2	后侧面对测量面的垂直度/ μm	000	8	9	10	11	13	15	18	21
		00	15	18	20	22	26	30	35	42
		0	30	35	40	45	52	60	70	83
		1	60	70	80	90	103	120	140	166
3	前侧面对后侧面的平行度/ μm	000	18	21	24	27	31	36	42	50
		00	18	21	24	27	31	36	42	50
		0	72	84	96	108	124	144	168	199
		1	72	84	96	108	124	144	168	199
4	相对两测量面的平行度/ μm	000	0.8	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.1
		00	1.5	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5	4.2
		0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.2	6.0	7.0	8.3
		1	6.0	7.0	8.0	9.0	10.3	12.0	14.0	16.6

表 3 （续）

序号	项 目	准确度 等级	H/mm							
			100	150	200	250	315	400	500	630
5	相邻两测量面的 垂直度/ μm	000	0.8	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.1
		00	1.5	1.8	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5	4.2
		0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.2	6.0	7.0	8.3
		1	6.0	7.0	8.0	9.0	10.3	12.0	14.0	16.6
注：1. 测量面的平面度不许凸，在各测量面相交处 2.5mm 范围内不计。 2. 后侧面的平面度不许凸。										

5 通用技术要求

5.1 外观

方形角尺测量面、侧面不应有锈蚀、磁性、划伤、碰伤、裂纹、砂眼、毛刺等缺陷；方形角尺的其他面应烤漆，其烤漆面不应有显著的颜色不均匀和脱落现象。

5.2 标识

方形角尺的前侧面应标有代表其工作角序号等标识。

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 环境条件

6.1.1.1 检定室内的温度应为 $(20\pm3)^{\circ}\text{C}$ ，其变化每小时不应超过 0.5°C 。相对湿度不大于 65%RH。

6.1.1.2 受检方形角尺及其主要检定用计量器具必须在检定室内平衡温度 6 h 方可进行检定。在平板上检定时，应将受检方形角尺及检定用计量器具同时置于平板上平衡温度 1 h 方可进行检定。

6.1.1.3 检定室内应无影响测量的灰尘、噪音、振动和磁场。

6.1.2 检定用计量器具

检定用计量器具及技术要求见表 4。

表 4 计量器具一览表

序号	主要检定工具	规格	技术要求
1	表面粗糙度比较样块	$(R_a0.05\sim R_a6.3)\mu\text{m}$	$-17\%\sim 12\%$
2	表面粗糙度测量仪	—	7%
3	长平晶	$L=210\text{ mm}$ $L=310\text{ mm}$	$(-0.3\sim 0)\mu\text{m}$ $(-0.45\sim -0.15)\mu\text{m}$

表 4 （续）

序号	主要检定工具	规格	技术要求
4	平面平晶	$D\geq 100\text{mm}$	1 级
5	刀口形直尺	$\geq 175\text{mm}$	0 级, 1 级
6	自准直仪（或电子水平仪）	—	分度值不大于 $0.2''$ （或 0.001 mm/m ）
7	平板	—	00 级
8	直角尺	刀口形或圆柱形	0 级
9	测微仪	—	分度值 $0.000\ 2\text{ mm}$ 分度值 $0.000\ 5\text{ mm}$ 分度值 0.001mm
10	垂直度测量装置	—	MPE: $\pm(1+H/200)\mu\text{m}$
11	量块	$(1\sim 2)\text{ mm}$	四等
12	塞尺	$(0.02\sim 1.00)\text{ mm}$	Ⅱ 级

6.2 检定项目

检定项目见表 5。

表 5 检定项目表

序号	检定项目	检定类别		
		首次检定	后续检定	使用中检验
1	外观	+	+	+
2	测量面及侧面的表面粗糙度*	+	—	—
3	测量面的平面度	+	+	—
4	后侧面对测量面的垂直度	+	—	—
5	前侧面对后侧面的平行度	+	—	—
6	相对两测量面的平行度	+	+	—
7	相邻两测量面的垂直度	+	+	—
注：1. 表中“+”表示应检项目，“—”表示可不检项目。 2. 表中带“*”的项目对于由花岗岩制成的方形角尺可不检定。				

6.3 检定方法

6.3.1 外观

目力观察。

6.3.2 测量面及侧面的表面粗糙度

采用表面粗糙度比较样块比较测量，有争议时用表面粗糙度测量仪测量。

6.3.3 测量面的平面度

对于 000 级和 00 级方形角尺，测量面的平面度用平晶以技术光波干涉法检定。000 级方形角尺测量面平面度使用长平晶检定。00 级方形角尺测量面平面度使用平面平晶检定。当方形角尺的有效长度小于或等于标准器的长度时，采用整段检定；当方形角尺的有效长度超过标准器的长度时，采用分段检定。

对于 0 级和 1 级方形角尺， H 值小于 500 mm 的，测量面平面度用刀口形直尺以光隙法检定。0 级方形角尺测量面平面度用 0 级刀口形直尺检定。1 级方形角尺测量面平面度用 1 级刀口形直尺检定。 H 值等于或大于 500 mm 的方形角尺，通过测量其不同方向的直线度得到平面度。其长边方向直线度用分度值不大于 0.2'' 的自准直仪（或分度值不大于 0.001 mm/m 电子水平仪）以节距法进行检定；短边方向的直线度测量面平面度用 1 级刀口形直尺以光隙法检定。

6.3.3.1 技术光波干涉法

a) 整段检定

方形角尺测量面的平面度以技术光波干涉法整段检定时，将平晶放在被测方形角尺测量面上，使出现清晰的干涉条纹，调整干涉条纹的间隔，使被检区域内出现 3 或 5 条干涉条纹。

测量面平面度 f 的大小，通过平晶直径的最大弯曲量 b 与条纹间隔 a 的比值乘以 $\lambda/2$ 来确定（干涉条纹示意图见图 4），即按公式（1）计算：

$$f = \frac{b}{a} \times \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

式中： f ——测量面平面度， μm ；

b ——干涉条纹的最大弯曲量，mm；

a ——相邻两干涉条纹间的距离，mm；

λ ——所用光源的波长， μm 。



图 4 干涉条纹示意图

根据干涉带的弯曲方向和接触点的位置关系判断被测面的凹凸，平面度凹凸判断方法如图 5 所示。在点 a 或点 b 轻轻加压，如果条纹变密，加压处是“接触点”；如果条纹变宽，则加压另一端是“接触点”。当条纹的曲率中心与“接触点”同侧，则表明呈凸形（如图 5（a）所示），反之，则表明呈凹形（如图 5（b）所示）。

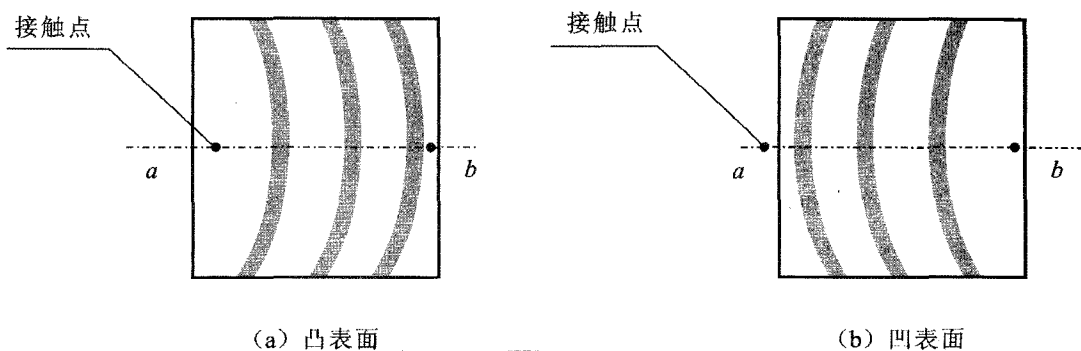


图 5.1 平面度凹凸判断示意图

方形角尺测量面平面度的检定应在长边和短边两个方向上进行，且两个方向均应为凹，取其最大值为该面的平面度。

b) 分段检定

方形角尺测量面的平面度以技术光波干涉法分段检定时，其长边方向的平面度测量过程如下：首先将平晶放在方形角尺的测量面上，使呈现的干涉条纹的方向与被测件的长边方向一致，根据 a) 整段检定的方法，测量各段测量面的局部平面度 f_i 。

测量示意图如图 6 所示，在 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_{n-1}$ 位置上分别进行测量。平晶从测量面的一端开始，首先测得 S_1 位置的 f_1 值，再使平晶沿测量面纵向移动平晶长度的一半距离，分别得到 S_2 位置的 f_2 值、 S_3 位置的 f_3 值…… S_{n-1} 位置的 f_{n-1} 值，根据平晶在各个位置所得到的局部平面度 f_i 按公式 (2) 可求得各测量段相对于两端的偏差值 Δy_i 。

$$\Delta y_i = 2 \left\{ \frac{i}{n} [(n-1)f_1 + (n-2)f_2 + \dots + f_{n-1}] - [(i-1)f_1 + (i-2)f_2 + \dots + f_{i-1}] \right\} \quad (2)$$

式中： Δy_i —— 各测量段相对于两端的偏差值， μm ；

$f_1, f_2, \dots, f_{n-1}$ —— 各测量段的局部平面度， μm ；

n —— 测量段数；

i —— 测量段序号。

注： $(i-1), (i-2), \dots, (i-n+1)$ 的值不大于 0 时，取值为 0。

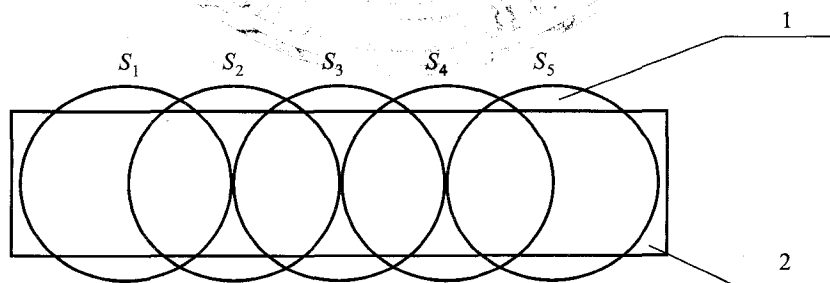


图 6 技术光波干涉法分段测量示意图

1—平晶；2—测量面

当局部平面度为凹时, f_i 取负号, 计算得到的 Δy_i 值均应为负值, 测量面的长边方向平面度由 Δy_i 的最大值确定。

分段法测量方形角尺测量面长边方向平面度的常用计算公式及计算示例见附录 A。

测量面短边方向平面度根据 a) 整段检定的方法测量, 在测量面全长的始、中、末三个位置测量, 测量结果均应为凹, 取其最大值为测量面短边方向的平面度。

取两个方向的较大值为测量面的平面度。

6.3.3.2 光隙法

对于 H 值小于 500 mm 的 0 级和 1 级方形角尺, 测量面平面度用刀口形直尺以光隙法检定。检定时, 刀口形直尺应在方形角尺测量面的不同方位上测量, 其检定方位如图 7 所示。所有检定方位上出现的间隙均应在中间部位, 取其中间隙量最大的值作为方形角尺平面度的测量结果。测量值的大小通过与标准光隙比较确定。光隙的长度不应超过测量长度的三分之一。

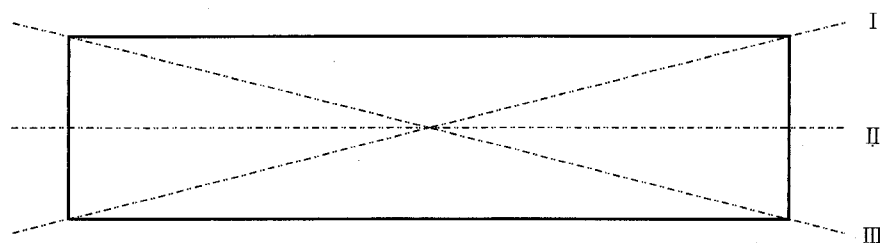


图 7 光隙法检定刀口形直尺的检定方位

6.3.3.3 节距法

对于 H 值等于或大于 500 mm 的 0 级、1 级方形角尺, 通过不同方法测量其不同方向的直线度得到平面度。

方形角尺测量面长边方向的直线度用自准直仪 (或电子水平仪) 在平板上以节距法进行测量, 如图 8 所示。

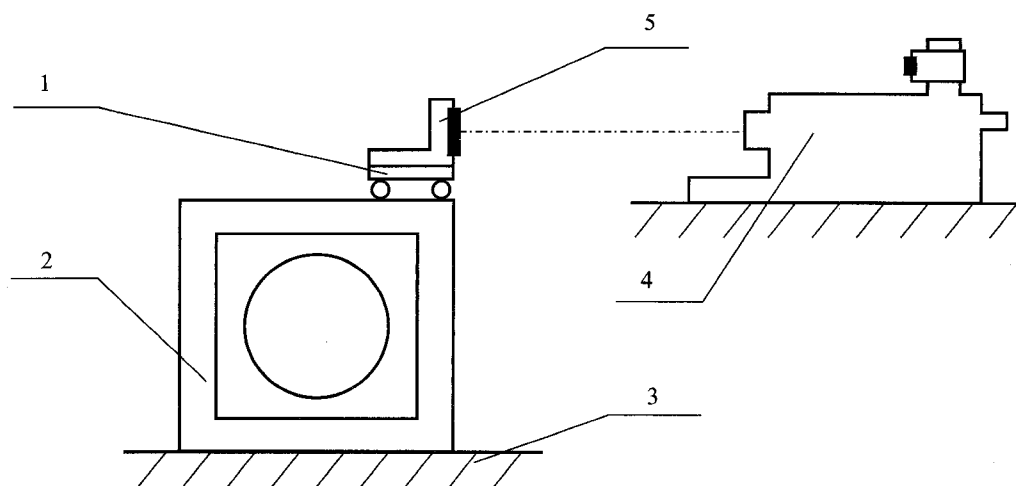


图 8 节距法测量直线度

1—桥板; 2—方形角尺; 3—平板; 4—自准直仪; 5—反射镜

测量时，将被检方形角尺放在平板上，根据方形角尺长度选择适当桥板，一般不少于 6~10 个位置，跨距在 50 mm~100 mm 之间，把自准直仪的反射镜（或电子水平仪）固定在桥板上，将桥板按跨距前后相接从方形角尺一端移至另一端，每移动一个跨距从仪器上记取该位置读数（格数）。根据最小条件评定准则，通过计算或作图进行数据处理，评定被检方形角尺工作面直线度，测量结果应为凹（此时两端点连线法即符合最小条件评定准则）。

节距法测量方形角尺测量面长边方向的直线度计算示例见附录 B。

方形角尺测量面短边方向直线度以光隙法测量，在测量面全长的始、中、末三个位置测量，所有位置间隙均应在中间部位，测量值的大小通过与标准光隙比较确定。取其中最大值作为方形角尺测量面短边方向直线度的测量结果。

取两个方向的较大值为测量面的平面度。

对于 H 值等于或大于 500 mm 的 0 级、1 级方形角尺，在满足测量不确定度要求的情况下，允许使用 6.3.6 中测微法测量相对两测量面的平行度的读数值计算方形角尺测量面的平面度。测微法测量方形角尺测量面平面度计算示例见附录 C。

6.3.4 后侧面对测量面的垂直度

方形角尺后侧面对各测量面的垂直度均应检定，用刀口形或圆柱形直角尺以光隙法检定。测量值通过与标准光隙比较确定，当无法通过与标准光隙比较确定时，应采用塞量块或塞尺的方法确定。

检定进，将被检方形角尺放在平板上，刀口形或圆柱形直角尺分别在图 9 所示的 I、II、III 三个位置靠紧方形直角尺，观察各检定位置上出现的最大间隙均应在中间部位或一端，测量值的大小通过与标准光隙比较确定，当无法通过与标准光隙比较确定时，应采用塞量块或塞尺的方法确定。取其中最大的值作为测量结果。

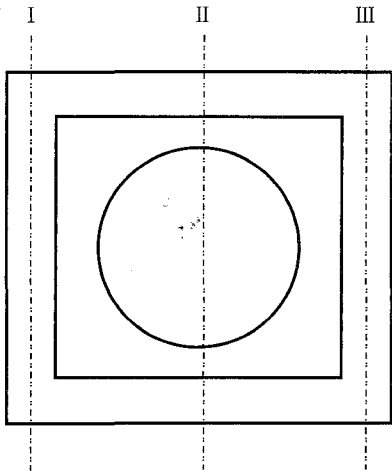


图 9 后侧面对测量面的垂直度测量位置

6.3.5 前侧面对后侧面的平行度

方形角尺前侧面对后侧面的平行度用分度值为 0.001 mm 的测微仪以测微法检定。将被检方形角尺平放在平板上，方形角尺后侧面与平板接触，前侧面向上。检定时，方形角尺不动，测微仪支座在平板上移动，表头与方形角尺前侧面接触，在全部受检范围内，测微仪最大读数与最小读数之差即为前侧面对后侧面的平行度测量结果。

6.3.6 相对两测量面的平行度

方形角尺相对两测量面的平行度用测微仪以测微法检定。对于 000 级方形角尺，测微仪分度值应不超过 0.000 2 mm；对于 00 级方形角尺，测微仪分度值应不超过 0.000 5 mm；对于 0 级和 1 级方形角尺，测微仪分度值应不超过 0.001 mm。

测微法的测量示意图如图 10 所示，测量时，应根据方形角尺的型式在受检面上取点。对于中间开槽的方形角尺，取点方法如图 11 (a) 所示，中间不开槽的方形角尺，取点方法如图 11 (b) 所示。在测微仪上进行读数并记录下来，测微仪最大读数与最小读数之差即为方形角尺相对两测量面的平行度。

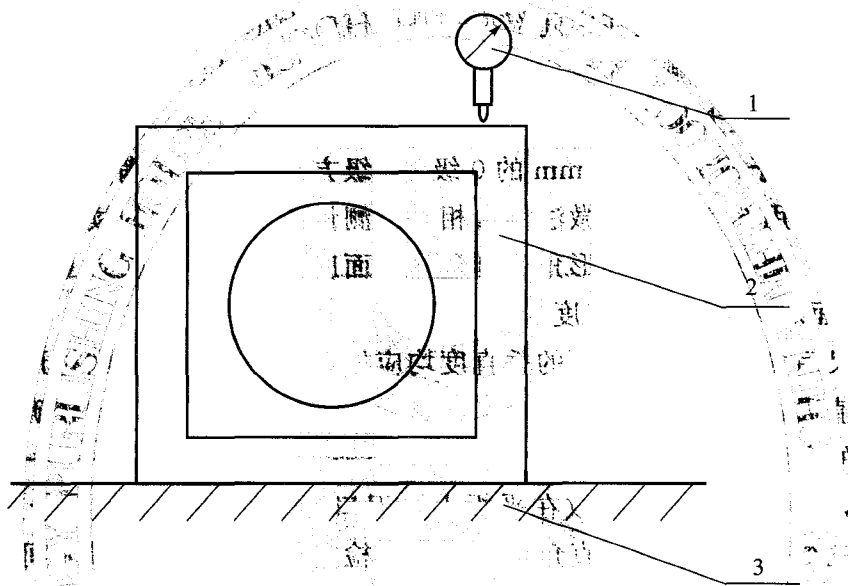


图 10 测微法测量示意图

1—测微仪；2—方形角尺；3—平板

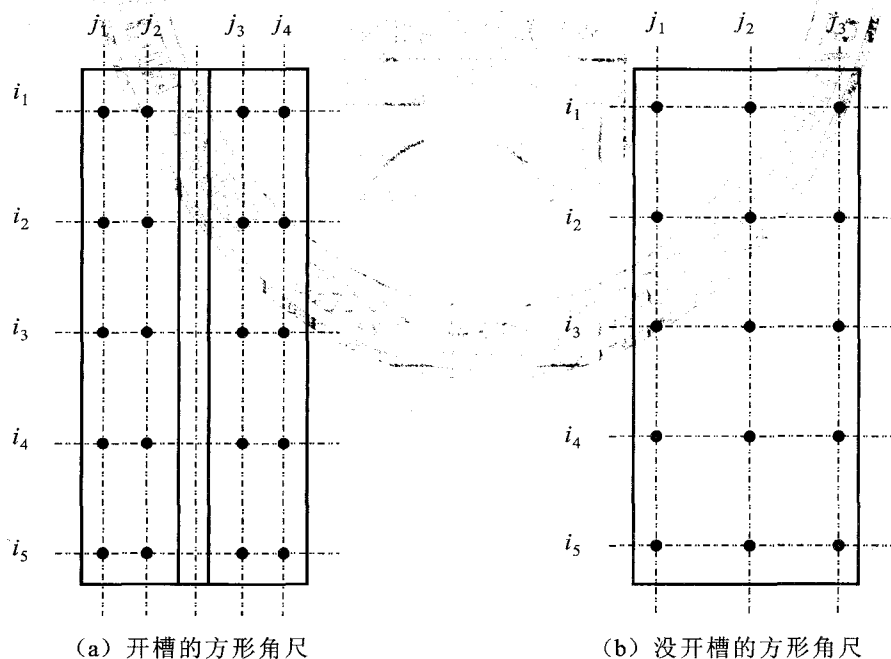


图 11 测量点布局

方形角尺相对两测量面的平行度计算示例见附录 C。

6.3.7 相邻两测量面的垂直度

方形角尺相邻两测量面的垂直度用垂直度测量装置检定，垂直度测量装置原理图见图 12。对于 000 级方形角尺，垂直度测量装置配置的指示器分度值应不超过 0.000 2 mm；对于 00 级方形角尺，垂直度测量装置的指示器分度值应不超过 0.000 5 mm；对于 0 级和 1 级方形角尺，垂直度测量装置的指示器分度值应不超过 0.001 mm。

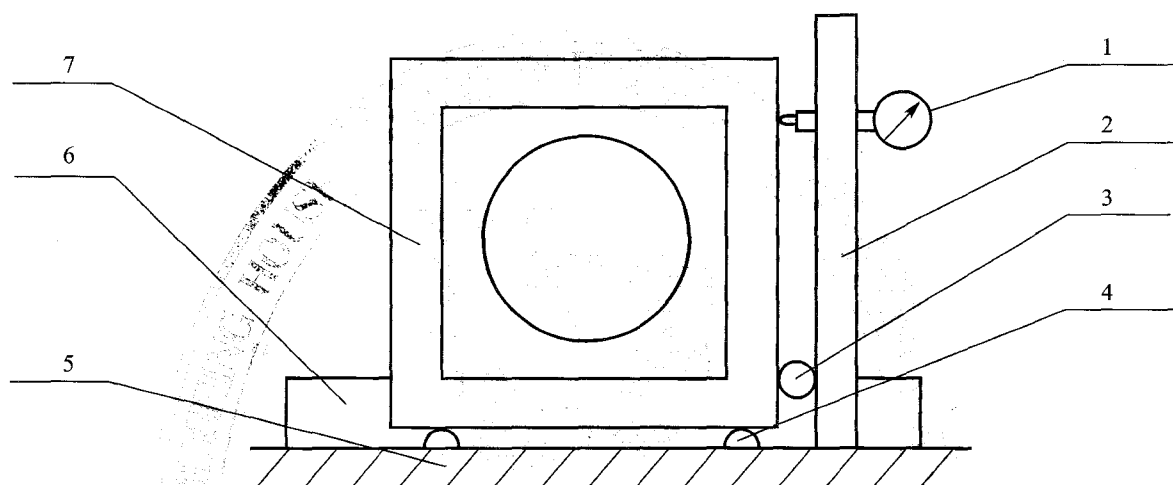


图 12 垂直度测量装置原理图

1—指示器；2—立柱；3—固定测头；4—半圆弧支撑块；5—工作台；6—定位挡板；7—方形角尺

检定前应将一对半圆弧支撑块放在垂直度测量装置工作台上，半圆弧块位置约在距方形角尺边缘 $2H/9$ 处。检定时，首先将被检方形角尺的第Ⅳ测量面放置在半圆弧块上，方形角尺的后侧面与垂直度测量装置定位挡板靠紧，Ⅰ测量面与垂直度测量装置的测头接触。如图 12 所示，把垂直度测量装置的活动测头移到方形直角尺的顶端距上边缘 5 mm 位置处，用手推动方形直角尺靠紧固定测头，在指示器上进行读数并记录下来，以 m_1 表示。然后依次使方形角尺Ⅱ面、Ⅲ面、Ⅳ面与垂直度测量装置的测头接触，分别得到读数 m_2 、 m_3 、 m_4 ，最后应重新使方形角尺Ⅰ测量面与垂直度测量装置的测头接触，回零误差应不超过指示器的分度值。

计算时首先应按照公式 (3) 求出四个读数的算术平均值 $\bar{m}$ ：

$$\bar{m} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{4} \quad (3)$$

方形角尺工作角的垂直度误差 $\Delta\alpha_i$ 可按公式 (4) 计算：

$$\Delta\alpha_i = m_i - \bar{m} \quad (4)$$

所测得的 $\Delta\alpha_i$ 的代数和理论值应为零，数字修约后的代数和不应超过指示器的分度值。

注：方形角尺的内角为工作角，读数前应注意判断正负符号，当 α_i 大于 90° 时， $\Delta\alpha_i$ 为正号，否则为负号。

方形角尺工作角的垂直度误差计算示例见附录 D。

6.4 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的方形角尺，发给检定证书，证书中须注明被检方形角尺的准确度等级并给出每一个工作角的垂直度误差。

经检定不符合本规程要求的方形角尺，发给检定结果通知书，并说明不合格项。

6.5 检定周期

方形角尺的检定周期应根据其稳定性和使用的具体情况确定，一般不超过 1 年。

附录 A

分段法测量方形角尺测量面长边方向平面度常用计算公式及计算示例

A.1 常用计算公式

将常用的测量段数 n 代入公式 (2), 可以得到分段法测量平面度常用计算公式如下:

$n=3$:

$$\Delta y_1 = \frac{4f_1 + 2f_2}{3} \quad (\text{A. 1})$$

$$\Delta y_2 = \frac{2f_1 + 4f_2}{3}$$

$n=4$:

$$\Delta y_1 = \frac{6f_1 + 4f_2 + 2f_3}{4} \quad (\text{A. 2})$$

$$\Delta y_2 = \frac{4f_1 + 8f_2 + 4f_3}{4}$$

$$\Delta y_3 = \frac{2f_1 + 4f_2 + 6f_3}{4}$$

$n=5$:

$$\Delta y_1 = \frac{8f_1 + 6f_2 + 4f_3 + 2f_4}{5} \quad (\text{A. 3})$$

$$\Delta y_2 = \frac{6f_1 + 12f_2 + 8f_3 + 4f_4}{5}$$

$$\Delta y_3 = \frac{4f_1 + 8f_2 + 12f_3 + 6f_4}{5}$$

$$\Delta y_4 = \frac{2f_1 + 4f_2 + 6f_3 + 8f_4}{5}$$

$n=6$:

$$\Delta y_1 = \frac{10f_1 + 8f_2 + 6f_3 + 4f_4 + 2f_5}{6} \quad (\text{A. 4})$$

$$\Delta y_2 = \frac{8f_1 + 16f_2 + 12f_3 + 8f_4 + 4f_5}{6}$$

$$\Delta y_3 = \frac{6f_1 + 12f_2 + 18f_3 + 12f_4 + 6f_5}{6}$$

$$\Delta y_4 = \frac{4f_1 + 8f_2 + 12f_3 + 16f_4 + 8f_5}{6}$$

$$\Delta y_5 = \frac{2f_1 + 4f_2 + 6f_3 + 8f_4 + 10f_5}{6}$$

A.2 计算示例

用直径为 100 mm 的平面平晶, 以分段法测量 $H=300$ mm 方形角尺测量面长边方向的平面度。方形角尺测量面长边方向的长度 $H=300$ mm, 平面平晶的直径 $D=100$ mm。

$$\text{故测量段数 } n = \frac{l}{0.5D} = \frac{300 \text{ mm}}{0.5 \times 100 \text{ mm}} = 6$$

经分段测量得到各位置的局部平面度分别为： $f_1 = -0.06 \mu\text{m}$ ， $f_2 = -0.06 \mu\text{m}$ ， $f_3 = -0.09 \mu\text{m}$ ， $f_4 = -0.12 \mu\text{m}$ ， $f_5 = -0.09 \mu\text{m}$ 。

将上述测量结果带入公式 (A.4)，可得：

$$\Delta y_1 = \frac{10f_1 + 8f_2 + 6f_3 + 4f_4 + 2f_5}{6} = -0.38 \mu\text{m}$$

$$\Delta y_2 = \frac{8f_1 + 16f_2 + 12f_3 + 8f_4 + 4f_5}{6} = -0.64 \mu\text{m}$$

$$\Delta y_3 = \frac{6f_1 + 12f_2 + 18f_3 + 12f_4 + 6f_5}{6} = -0.78 \mu\text{m}$$

$$\Delta y_4 = \frac{4f_1 + 8f_2 + 12f_3 + 16f_4 + 8f_5}{6} = -0.74 \mu\text{m}$$

$$\Delta y_5 = \frac{2f_1 + 4f_2 + 6f_3 + 8f_4 + 10f_5}{6} = -0.46 \mu\text{m}$$

故被测方形角尺测量面长边方向的平面度为 $0.78 \mu\text{m}$ (凹)。

附录 B

节距法测量方形角尺测量面长边方向直线度计算示例

B.1 用电子水平仪测量

用分度值为 0.001 mm/m 的电子水平仪检定 $H=600$ mm 的方形角尺测量面长边方向的直线度, 桥板跨距选择 $L=100$ mm, 则跨段数 $n=6$, 仪器在方形角尺测量面各点读数以及用算法评定直线度示例列于表 B.1。

表 B.1 算法评定方形角尺工作面直线度

序号 /跨段数 i/n	测量位置 /mm	读数/字 a_i	相对读数/字 $b_i=a_i-a_1$	累积读数/字 $c_i=\sum_{i=0}^i b_i$	旋转量/字 $d_i=-\frac{c_n-c_0}{n} \times i$	符合两端点连线 法的各点数据/字 $\Delta'_i=c_i+d_i$
0	—	—	—	0	0	0
1	0~100	-4	0	0	-5	-5
2	100~200	-6	-2	-2	-10	-12
3	200~300	-11	-7	-9	-15	-24
4	300~400	+9	13	+4	-20	-16
5	400~500	+11	15	+19	-25	-6
6	500~600	+7	11	+30	-30	0

表 B.1 中符合两端点连线法的各点数据符合最小条件, 方形角尺测量面长边方向直线度以字 (格) 值表示为:

$$\Delta = \Delta'_{\max} - \Delta'_{\min} = 0 - (-24) = 24(\text{字})$$

按照公式 (B.1) 计算方形角尺测量面长边方向直线度的线性值 f :

$$f = CL\Delta \quad (\text{B.1})$$

式中: f ——方形角尺测量面长边方向直线度, μm ;

C ——仪器分度值, mm/m ;

L ——桥板跨距, mm ;

Δ ——符合最小条件的方形角尺直线度, 字。

按照公式 (B.1) 计算表 B.1 中方形角尺工作面直线度为:

$$f = CL\Delta = 0.001 \text{ mm/m} \times 100 \text{ mm} \times 24 = 2.4 \text{ } \mu\text{m}$$

B.2 用自准直仪测量

当用自准直仪检定方形角尺测量面长边方向直线度时，列表计算的过程与表 B.1 完全相同，只是计算公式应为：

$$f = 0.005CL\Delta (\mu\text{m}) \quad (\text{B.2})$$

式中：C —— 仪器分度值，"/格；

L —— 桥板跨距，mm；

Δ —— 符合最小条件的方形角尺测量面长边方向直线度，格。

注：如果读数的计量单位为秒，即 Δ 的计量单位为秒，则式 B.2 应为 $f=0.005L\Delta (\mu\text{m})$ 。

附录 C

测微法测量方形角尺相对两测量面平行度和测量面平面度计算示例

C.1 开槽的方形角尺测量面平面度和相对两测量面平行度计算示例

开槽的方形角尺相对两测量面平行度和测量面平面度检定按照如图 11 (a) 所示方法取点。在测微仪上得到原始测量数据如表 C.1 所示。

表 C.1 原始数据 / μm

测量位置	j_1	j_2	—	j_3	j_4
i_1	0.0	0.0	—	0.2	0.5
i_2	-0.2	-0.4	—	-0.5	-0.4
i_3	0.0	0.1	—	1.0	1.6
i_4	2.0	2.0	—	2.8	3.5
i_5	4.2	3.8	—	4.6	5.2

C.1.1 相对两测量面的平行度计算

观察表 C.1 中数据, 最大值为 $5.2 \mu\text{m}$, 最小值为 $-0.5 \mu\text{m}$, 最大值与最小值之差为 $5.7 \mu\text{m}$, 即为方形角尺相对两测量面的平行度。

C.1.2 测量面的平面度计算

应用方形角尺相对两测量面平行度的原始测量数据, 运用基面转换原理, 可以计算得到相应测量面平面度, 平面度按对角线法评定。计算时, 对测得的各点的读数值, 运用基面转换原理, 使两对角线上的点分别等值, 则经转换后得出的各点值即符合对角线原则, 其最大与最小值之差即为受检面的平面度。

具体计算过程如下:

观察表 C.1 中数据, 左对角线 (即对角线 I) 两顶点的数据分别为 $0.0 \mu\text{m}$ 、 $5.2 \mu\text{m}$, 为使两者等值, 应以右对角线 (即对角线 II) 为转轴进行坐标转换, 其单位旋转量按公式 (C.1) 计算, 结果为 $0.650 \mu\text{m}$ 。

$$\frac{(5.2 \mu\text{m} - 0)/2}{4} = 0.650 \mu\text{m} \quad (\text{C.1})$$

根据各点到旋转轴的距离不同, 计算各点的旋转量如表 C.2 所示。

表 C.2 以对角线 II 为转轴的各点旋转量 / μm

2.600	1.950	—	0.650	0.000
1.950	1.300	—	0.000	-0.650

表 C.2 (续)

/ μm

1.300	0.650	—	—0.650	—1.300
0.650	0.000	—	—1.300	—1.950
0.000	—0.650	—	—1.950	—2.600

继续观察表 C.1 中数据, 右对角线 (即对角线 II) 两顶点的数据分别为 $0.5\ \mu\text{m}$ 、 $4.2\ \mu\text{m}$, 为使两者等值, 应以左对角线 (即对角线 I) 为转轴进行坐标转换, 其单位旋转量按公式 (C.2) 计算, 结果为 $0.462\ 5\ \mu\text{m}$ 。

$$\frac{(4.2\ \mu\text{m} - 0.5\ \mu\text{m})/2}{4} = 0.462\ 5\ \mu\text{m} \quad (\text{C.2})$$

根据各点到旋转轴的距离不同, 计算各点的旋转量如表 C.3 所示。

表 C.3 以对角线 I 为转轴的各点旋转量

/ μm

0.000	0.462	—	1.388	1.850
—0.462	0.000	—	0.925	1.388
—0.925	—0.462	—	0.462	0.925
—1.388	—0.925	—	0.000	0.462
—1.850	—1.388	—	—0.462	0.000

将表 C.1、表 C.2、表 C.3 对应点的数据相加, 即得到符合对角线法评定平面度的各点数据, 如表 C.4 所示。

表 C.4 符合对角线法的各点数据

/ μm

2.600	2.412	—	2.238	2.350
1.288	0.900	—	0.425	0.338
0.375	0.288	—	0.812	1.225
1.262	1.075	—	1.500	1.962
2.350	1.762	—	2.138	2.600

观察表 C.4 中数据, 最大值为 $2.600\ \mu\text{m}$, 最小值为 $0.288\ \mu\text{m}$, 最大值与最小值之差 $2.3\ \mu\text{m}$ 即为按对角线法评定的方形角尺测量面平面度。

C.2 没开槽的方形角尺测量面平面度和相对两测量面平行度计算示例

没开槽的方形角尺相对两测量面平行度和测量面平面度检定按照如图 11 (b) 所示方法取点。在测微仪上得到原始测量数据如表 C.5 所示。

C.2.1 相对两测量面的平行度计算

观察表 C.5 中数据, 最大值为 $6.4\ \mu\text{m}$, 最小值为 $0.0\ \mu\text{m}$, 最大值与最小值之差 $6.4\ \mu\text{m}$ 即为相对两测量面的平行度。

表 C.5 原始数据 / μm

测量位置	j_1	j_2	j_3
i_1	0.0	0.2	0.6
i_2	1.3	1.0	1.1
i_3	2.3	1.7	2.1
i_4	4.6	4.0	4.2
i_5	6.4	5.6	5.8

C.2.2 测量面的平面度计算

参考 C.1.2 的方法, 计算得到以对角线 II 为转轴的单位旋转量为 $0.725 \mu\text{m}$, 各点的旋转量如表 C.6 所示。以对角线 I 为转轴的单位旋转量为 $0.725 \mu\text{m}$, 各点的旋转量如表 C.7 所示。符合对角线法评定平面度的各点数据如表 C.8 所示。

表 C.6 以对角线 II 为转轴的各点旋转量 / μm

2.900	1.450	0.000
2.175	0.725	-0.725
1.450	0.000	-1.450
0.725	-0.725	-2.175
0.000	-1.450	-2.900

表 C.7 以对角线 I 为转轴的各点旋转量 / μm

0.000	1.450	2.900
-0.725	0.725	2.175
-1.450	0.000	1.450
-2.175	-0.725	0.725
-2.900	-1.450	0.000

表 C.8 符合对角线法的各点数据

/ μm

2.900	3.100	3.500
2.750	2.450	2.550
2.300	1.700	2.100
3.150	2.550	2.750
3.500	2.700	2.900

观察表 C.8 中数据, 最大值为 $3.500\ \mu\text{m}$, 最小值为 $1.700\ \mu\text{m}$, 最大值与最小值之差 $1.8\ \mu\text{m}$ 即为按对角线法评定的方形角尺测量面平面度。

附录 D

方形角尺工作角的垂直度误差计算示例

用分度值 $0.5\ \mu\text{m}$ 的垂直度测量装置测量 $H=400\ \text{mm}$ 的方形角尺相邻两测量面的垂直度, 读数值如下: $m_1=0.0\ \mu\text{m}$, $m_2=2.4\ \mu\text{m}$, $m_3=3.2\ \mu\text{m}$, $m_4=2.6\ \mu\text{m}$, 回零 $m_{1(0)}=0.2\ \mu\text{m}$ 。

计算四个读数的算术平均值 $\bar{m}$:

$$\bar{m} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{4} = \frac{0.0\ \mu\text{m} + 2.4\ \mu\text{m} + 3.2\ \mu\text{m} + 2.6\ \mu\text{m}}{4} = 2.05\ \mu\text{m}$$

计算工作角的垂直度误差 $\Delta\alpha_i$:

$$\Delta\alpha_1 = m_1 - \bar{m} = 0.0\ \mu\text{m} - 2.05\ \mu\text{m} = -2.0\ \mu\text{m}$$

$$\Delta\alpha_2 = m_2 - \bar{m} = 2.4\ \mu\text{m} - 2.05\ \mu\text{m} = +0.4\ \mu\text{m}$$

$$\Delta\alpha_3 = m_3 - \bar{m} = 3.2\ \mu\text{m} - 2.05\ \mu\text{m} = +1.2\ \mu\text{m}$$

$$\Delta\alpha_4 = m_4 - \bar{m} = 2.6\ \mu\text{m} - 2.05\ \mu\text{m} = +0.6\ \mu\text{m}$$

附录 E

检定证书和检定结果通知书内容格式

E.1 检定证书内页格式

1. 外观：
2. 测量面的平面度： μm 。
3. 相对两测量面的平行度： μm 。
4. 工作角的垂直度误差：

$$\Delta\alpha_1 = \mu\text{m}$$

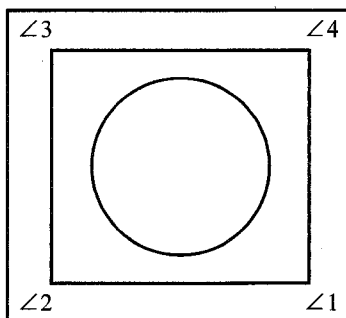
$$\Delta\alpha_2 = \mu\text{m}$$

$$\Delta\alpha_3 = \mu\text{m}$$

$$\Delta\alpha_4 = \mu\text{m}$$

注：1. 测量结果中，“+”表示工作角大于 90° ，“-”表示工作角小于 90° 。

2. 测量示意图如下：



E.2 检定结果通知书内容格式

检定结果通知书内容应包括以下内容：

- 1) 按照本规程检定不合格的项目及具体值。
- 2) 处理意见或建议。

中华人民共和国
国家计量检定规程

方形角尺

JJG 1046—2008

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1.75 字数32千字

2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

印数1—2 000

统一书号 155026—2400 定价: 30.00 元