



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 740—2005

研磨面平尺

Milling Straight Edges

2005 - 03 - 03 发布

2005 - 09 - 03 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

研磨面平尺检定规程

Verification Regulation of
Milling Straight Edges

JJG 740—2005
代替 JJG 740—1991

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2005 年 3 月 3 日批准，并自 2005 年 9 月 3 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：北京市计量科学研究所

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：

马桂茹 （北京市计量科学研究所）

吴 迅 （北京市计量科学研究所）

刘振福 （北京市计量科学研究所）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(1)
4.1 工作面的表面粗糙度	(1)
4.2 工作面的平面度	(2)
5 通用技术要求	(2)
5.1 外观	(2)
5.2 表面质量	(2)
6 计量器具控制	(2)
6.1 检定条件	(2)
6.2 检定项目	(2)
6.3 检定方法	(2)
6.4 检定结果的处理	(4)
6.5 检定周期	(4)
附录 A 等倾干涉法测量平面度及计算	(5)
附录 B 常用段 ($n=3\sim 6$) 分段法计算式 (1) 的简化公式	(8)
附录 C 分段测量研磨面平尺工作面平面度的数据处理示例	(9)
附录 D 研磨面平尺工作面平面度测量结果不确定度评定	(13)
附录 E 检定证书和检定结果通知书内页格式	(21)

研磨面平尺检定规程

1 范围

本规程适用于研磨面平尺首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

本规程引用下列文献：

JJG 28—2000 平晶

JJG 661—2004 平面等倾干涉仪

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

ISO 14253.2: 1999 《测量设备校准和产品检验中 GPS 测量不确定度评定指南》
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

研磨面平尺是一种精密的平面标准器具，其结构形状如图 1 中 (a)、(b) 所示。
研磨面平尺主要用于检定刀口形直尺工作棱边的直线度。

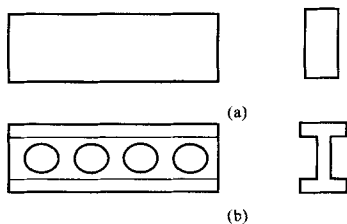


图 1 研磨面平尺结构示意图

4 计量性能要求

4.1 工作面的表面粗糙度

研磨面平尺工作面的表面粗糙度，应符合表 1 的规定。

表 1 研磨面平尺工作面的表面粗糙度

研磨面平尺长度/mm	≤ 330	> 330
R_a 值/ μm	≤ 0.025	≤ 0.05

4.2 工作面的平面度


研磨面平尺工作面的平面度，应符合表2的规定。

表2 研磨面平尺工作面的平面度

研磨面平尺长度 L/mm		$200 \leq L < 300$	$300 \leq L < 500$	$500 \leq L$	
工作面 平面度	纵 向	全长/ μm	≤ 0.15	≤ 0.4	≤ 0.5
		局部/ $(\mu\text{m}/\text{mm})$	—	$\leq 0.25/240$	$\leq 0.4/400$
	横 向/ μm		≤ 0.15		
注：研磨面平尺有效工作长度 $L_{\text{eff}} = L - 2a$ 。					
$2a$ ——研磨面平尺两端点减去的长度，一般取 $a = 5\text{mm}$ 。					

5 通用技术要求

5.1 外观

研磨面平尺非工作面上应标有制造厂名（或厂标）、产品编号、尺寸规格及  标志。

5.2 表面质量

研磨面平尺工作面不得有锈迹、裂纹、划痕、碰伤及影响测量准确度的其他缺陷。研磨面平尺应无磁。

后续检定和使用中检验允许有不影响测量的上述缺陷。

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 环境条件

6.1.1.1 检定室温度应为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；温度变化不得超过 $0.1^\circ\text{C}/\text{h}$ 和 $1^\circ\text{C}/24\text{h}$ 。

6.1.1.2 检定室内的温度与仪器保温箱内的温度之差应不大于 0.2°C 。

6.1.1.3 研磨面平尺在检定室内平衡温度的时间应不少于 10h。长平晶与研磨面平尺放置在仪器内的时间，对小于等于 330mm 研磨面平尺和 210mm 长平晶应不少于 1h；对大于 330mm 研磨面平尺和 310mm 长平晶应不少于 1.5h。

6.1.2 检定设备

检定设备见表3。

6.2 检定项目

检定项目见表3。

6.3 检定方法

6.3.1 外观及表面质量

目力观察与手动试验。

6.3.2 工作面的表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块比较法测量。有争议时用表面粗糙度测量仪测量。

6.3.3 工作面的平面度

以长平晶作为标准，在平面等倾干涉仪（装置）中对研磨面平尺平面度进行测量。

当被测研磨面平尺的有效长度小于或等于长平晶的长度时，采用等倾干涉法（见附录 A）整段测量。

当被测研磨面平尺的有效长度超过长平晶长度（如 300mm 或 500mm 研磨面平尺和 210mm 长平晶）时，采用等倾干涉法分段测量。

表 3 检定项目和主要检定设备

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	外观及表面质量	—	+	+	+
2	工作面的表面粗糙度	表面粗糙度比较样块或表面粗糙度测量仪	+	-	-
3	工作面的平面度	长平晶及等倾干涉仪（装置）或等厚干涉仪	+	+	-

注：表中“+”表示应检项目；“-”表示可不检项目。

分段测量的步骤：

等倾干涉法分段测量时，每段测量长度为 180mm，在 180mm 长度上测 7 个点，计算各测点对 0 与 180mm 两点连线的偏差。然后仪器工作台退回一半即 90mm，加接长管，光斑中心对准 90mm 处十字线，移动长平晶（此时被测研磨面平尺不许做任何移动），并使长平晶的零十字刻线处于光斑中心上；且移动工作台时长平晶上所有十字线都能通过光斑中心，取下接长管，让十字线与干涉环中心重合，移动工作台保证所有十字线都能通过干涉环中心。经过适当等温后，进行测量（90~270）mm 间各测点对 90mm 与 270mm 两点连线的偏差。

对于研磨面平尺长度不足 90mm 的部分，可以将长平晶只移位 30mm 或 60mm。例如，测量 330mm 的研磨面平尺可分为三段测至 270mm，然后再将长平晶移动 30mm 即测量 120mm 至 300mm 间各测点对 120mm 与 300mm 两点连线的偏差。

根据 90mm 处对 0 与 180mm 两点连线的偏差 a_1 ，180mm 处对 90mm 与 270mm 两点连线的偏差 a_2 ，…， a_{i-1} ，按式（1）求出 90mm，180mm，270mm，…各点对 0 与 300mm 两端点连线的偏差 f_i 。

$$f_i = 2 \left\{ \frac{i}{n} [(n-1)a_1 + (n-2)a_2 + \dots + a_{n-1}] - [(i-1)a_1 + (i-2)a_2 + \dots + a_{i-1}] \right\} \quad (1)$$

式中： n ——段数；

i ——测点序号。

常用段（ $n=3\sim 6$ ）的分段法计算式（1）的简化公式见附录 B。

按 f_{90} ， f_{180} ，…之值将其余各点补插进去。对 120mm，150mm 等位置有重复偏差

f_{120} , f_{150} , ……的（重复偏差之差应不大于 1/6 平面度要求，否则应重测），取其平均值为测量值。并根据长平晶各点平面度偏差和自重变形量（见 JJG 28—2000 平晶检定规程附录 F）对研磨面平尺各对应点进行修正后，按符合最小条件准则处理后得到测量结果。

分段测量研磨面平尺工作面平面度的数据处理示例见附录 C。

研磨面平尺横向平面度用平面平晶等厚干涉法进行测量。

也可用带有 $\phi 310\text{mm}$ 标准平晶的等厚干涉仪测量。当有争议时以等倾干涉法测量结果为准。

6.4 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的研磨面平尺发给检定证书。不符合本规程要求的，发给检定结果通知书，并注明不合格项目。

6.5 检定周期

研磨面平尺的检定周期根据使用情况确定，一般不超过 1 年。

附录 A

等倾干涉法测量平面度及计算

等倾干涉法测量原理如图 A.1 所示。

将两块尺寸差小于 $0.1\mu\text{m}$ 的量块，分别研合在长平晶工作面上两端。也可用专用的三球支承架（钢球直径为 3.18mm 三个钢球的直径差应小于 $0.1\mu\text{m}$ ）代替量块。使用球支承架时，支承架的 3 个支承点应尽量与工作台支承点相重合。

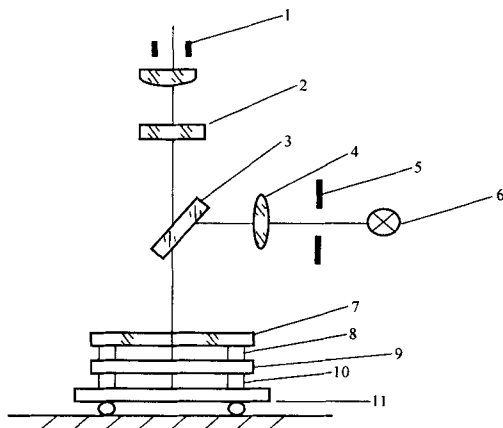


图 A.1 等倾干涉仪（装置）测量原理示意图

1—观察孔；2—玻璃分化板；3—半反射镜；4—透镜；5—光阑；6—光源；
7—长平晶；8—支承量块；9—被测研磨面平尺；10—支承；11—可移动工作台

被测研磨面平尺工作面向上，放在仪器工作台的两个可调距离支承点上，两支承点应置于被测研磨面平尺 $\frac{2}{9}L$ 处（ L ——研磨面平尺长度）。此时应将长平晶连同研合在其上的量块（或球形支承架）放在被测研磨面平尺工作面上。

被测研磨面平尺工作面与长平晶工作面，由量块支承（或球形支承架支承）形成一个平行空气层。它位于平面等倾干涉仪（装置）光路中的聚焦点附近，并与光轴垂直，此时在平面等倾干涉仪（装置）目镜里可观察到一组等倾干涉环。这时工作台从一端移至另一端时，两端干涉环级数的变化应不超过一环。再将测微目镜取下，装上接管，重新套上测微目镜，调整目镜（即调整接管的工作长度），使目镜视场内能同时见到照明光斑的像与长平晶上的十字线。调整长平晶上各点的十字刻线与工作台运动方向平行，且光斑中心与十字刻线重合。将零十字刻线调到光斑中心上，并调整位移手轮上的刻度至零位或需要的位置上，然后取下接管，装上测微目镜，再次检查干涉环的变

化,直至两端的干涉环变化小于一环为止。将仪器保温箱门关上,按要求平衡温度。

用等倾干涉法测量研磨面平尺平面度,实质上是测量研磨面平尺工作面与长平晶工作面间空气层厚度的变化。设各点空气层厚度为 $H_0, H_1, H_2, \dots, H_n$, 则某一点 i 对两端点(0点和 n 点)连线的偏差 F_i 。

$$F_i = \left(1 - \frac{L_i}{L_n}\right)H_0 + \frac{L_i}{L_n}H_n - H_i \quad (\text{A.1})$$

式中: F_i —— i 点对0点与 n 点连线的偏差;

H_0, H_i, H_n ——0点、 i 点及 n 点的空气层厚度;

L_i —— i 点到0点的距离, mm;

L_n —— n 点到0点的距离, mm。

设0点的空气层厚度 $H_0 = \Delta K_0 + K_0$, K_0 为0点空气层厚度中干涉仪级数, ΔK_0 为其干涉级数的小数部分,其他各点的空气层厚度 $H_i = \Delta K_i + K_0$, ΔK_i 为 i 点空气层厚度减去 K_0 而剩下的干涉级数。若用干涉级数表示对两端点连线偏差,则

$$\begin{aligned} F_i &= \left(1 - \frac{L_i}{L_n}\right)\Delta K_0 + \frac{L_i}{L_n}\Delta K_n - \Delta K_i \\ &= (\Delta K_0 - \Delta K_i) - \frac{L_i}{L_n}(\Delta K_0 - \Delta K_n) \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

工作台移动时,当移向空气层厚度变小处,在视场中可以看到干涉环会一环一环向中心收缩以致消失,每消失一个干涉环,表明长平晶与被测研磨面平尺表面空气层厚度(亦即长平晶与被测研磨面平尺工作面距离小了 $\frac{\lambda}{2}$;当干涉环扩张时,每扩张一个干涉环,则表明其厚度增大了 $\frac{\lambda}{2}$)。

为了使得到的结果“+”表示凸,“-”表示凹,规定每收缩消失一个干涉环时,表示干涉级数“增大”一级(用“+1”表示);每扩大产生一个新干涉环时,表示干涉环级数“减少”一级(用“-1”表示)。

通常,干涉环收缩或扩张不到一个环的小数部分 ΔK_i ,可用下式计算:

$$\text{当干涉环扩张时, } \Delta K_i = -\left(\frac{D_i}{D_0}\right)^2 \quad (\mu\text{m}) \quad (\text{A.3})$$

$$\text{当干涉环收缩时, } \Delta K_i = \left[1 - \left(\frac{D_i}{D_0}\right)^2\right] \frac{\lambda}{2} \quad (\mu\text{m}) \quad (\text{A.4})$$

式中: D_i —— i 点所测干涉环直径, mm;

D_0 ——仪器标准干涉环直径, mm;

λ ——光波波长, μm 。

标准干涉环直径 D_0 是根据空气层厚度确定的仪器常数,由仪器出厂及周期检定时提供,也可以通过实测由式(A.5)确定:

$$D_0 = \sqrt{D_{i+1}^2 - D_i^2} \quad (\text{A.5})$$

式中: D_{i+1} 与 D_i ——相邻两干涉环直径。

为保证 D_0 的准确, 应取多次测量的平均值。测量次数不得少于 10 次, 每次测量时应改变干涉环直径。

当测量一组干涉环直径时, 标准干涉环直径可由式 (A.6) 求得:

$$D_0 = \sqrt{\frac{12 \sum_{i=1}^K (i-1) D_k^2 - 6(i-1) \sum_{i=1}^K D_k^2}{K(K-1)(K+1)}} \quad (\text{mm}) \quad (\text{A.6})$$

式中: K ——自中心起的干涉环环数;

D_k ——自中心起第 i 环的直径。

$$\text{当 } K=4 \text{ 时} \quad D_0 = \sqrt{\frac{3(D_4^2 - D_1^2) + (D_3^2 - D_2^2)}{10}} \quad (\text{mm}) \quad (\text{A.7})$$

$$\text{当 } K=5 \text{ 时} \quad D_0 = \sqrt{\frac{2(D_5^2 - D_1^2) + (D_4^2 - D_2^2)}{10}} \quad (\text{mm}) \quad (\text{A.8})$$

测量时, 将被测研磨面平尺工作面分为 7 个测点逐点检定, 移动工作台观察并记取每段干涉环的变化量 K_i , 检定每段不到一个环的小数部分并计算出 ΔK_i 再按式 (A.9) 进行计算, 求得被测研磨面平尺工作面各测点对两端点连线的偏差 F_i :

$$F_i = \left\{ [K_i + (\Delta K_0 - \Delta K_i)] - \frac{L_i}{L_n} [K_n + (\Delta K_0 - \Delta K_n)] \right\} \frac{\lambda}{2} \quad (\text{A.9})$$

式中: K_i ——从 0 点到 i 点干涉环变化的整数部分;

K_n ——从 0 到 n 点干涉环变化的整数部分;

ΔK_0 ——0 点干涉级数小数部分;

ΔK_i ——从 0 点到 i 点干涉环变化的小数部分;

ΔK_n ——从 0 点到 n 点干涉环变化的小数部分。

再根据长平晶各点平面度偏差和自重变型量 (见 JJG 28—2000 平晶检定规程附录 F) 对被测研磨面平尺各对应点的偏差进行修正。当对两端点连线偏差符号相同时, 取其最大偏差做为研磨面平尺工作面的平面度; 若出现符号相反时, 按符合最小条件准则处理得到被测研磨面平尺工作面的平面度。

附录 B

常用段 ($n=3\sim 6$) 分段法计算式 (1) 的简化公式 $n=3:$

$$f_1 = \frac{4a_1 + 2a_2}{3}$$

$$f_2 = \frac{2a_1 + 4a_2}{3}$$

 $n=4:$

$$f_1 = \frac{6a_1 + 4a_2 + 2a_3}{4}$$

$$f_2 = \frac{4a_1 + 8a_2 + 4a_3}{4}$$

$$f_3 = \frac{2a_1 + 4a_2 + 6a_3}{4}$$

 $n=5:$

$$f_1 = \frac{8a_1 + 6a_2 + 4a_3 + 2a_4}{5}$$

$$f_2 = \frac{6a_1 + 12a_2 + 8a_3 + 4a_4}{5}$$

$$f_3 = \frac{4a_1 + 8a_2 + 12a_3 + 6a_4}{5}$$

$$f_4 = \frac{2a_1 + 4a_2 + 6a_3 + 8a_4}{5}$$

 $n=6:$

$$f_1 = \frac{10a_1 + 8a_2 + 6a_3 + 4a_4 + 2a_5}{6}$$

$$f_2 = \frac{8a_1 + 16a_2 + 12a_3 + 8a_4 + 4a_5}{6}$$

$$f_3 = \frac{6a_1 + 12a_2 + 18a_3 + 12a_4 + 6a_5}{6}$$

$$f_4 = \frac{4a_1 + 8a_2 + 12a_3 + 16a_4 + 8a_5}{6}$$

$$f_5 = \frac{2a_1 + 4a_2 + 6a_3 + 8a_4 + 10a_5}{6}$$

附录 C

分段测量研磨面平尺工作面平面度的数据处理示例

对于 300mm 研磨面平尺, 可用 210mm 长平晶在等倾干涉仪中分段测量。测量时分 0 至 180mm, 90mm 至 270mm, 120mm 至 300mm 三段进行, 每次测量 180mm 段中的 7 个测点, 共得 21 个读数, 并按下述方法进行数据处理, 参见表 C.1。

C.1 计算 0 至 180mm 间各点对 0 与 180mm 两点连线的偏差

按式 (A.9) 且考虑长平晶平面度偏差, 计算该 180mm 长度上各测点对 0 与 180mm 两点连线的偏差。

C.2 计算 (90 至 270) mm 间各点对 90 与 270mm 两点连线的偏差

按式 (A.9) 且考虑长平晶平面度偏差, 计算该 180mm 长度上各测点对 90 与 270mm 两点连线的偏差。

C.3 计算 (120 至 300) mm 间各点对 120 与 300mm 两点连线的偏差

按式 (A.9) 且考虑长平晶平面度偏差, 计算该 180mm 长度上各测点对 120 与 300mm 两点连线的偏差。

C.4 计算 (0 至 270) mm 间各点对 0 与 270mm 两点连线的偏差

根据表 C.1, 90mm 处对 0 与 180mm 两点连线的偏差 $a_1 = -0.076\mu\text{m}$, 180mm 处对 90 与 270mm 两点连线的偏差 $a_2 = -0.205\mu\text{m}$, 按式 (1) 或附录 B 中简化公式计算, 求得 90mm 及 180mm 处对 0 与 270mm 两点连线的偏差 f_i :

$$f_{90} = \frac{4a_1 + 2a_2}{3} = \frac{4 \times (-0.076) + 2 \times (-0.205)}{3} = -0.238(\mu\text{m})$$

$$f_{180} = \frac{2a_1 + 4a_2}{3} = \frac{2 \times (-0.076) + 4 \times (-0.205)}{3} = -0.324(\mu\text{m})$$

再根据 f_{90} 及 f_{180} 的值将其余各点补插进去, 从而求得被测研磨面平尺 0 至 270mm 间各点对 0 与 270mm 两点连线的偏差。

对于 f_{120} 及 f_{150} 各有两个测得值, 分别计算相应测得值之差, 当其不超过 300mm 研磨面平尺平面度要求 ($0.4\mu\text{m}$) 的 1/6 时 (超过时应重测), 取其平均值作为测得值。即

$$f_{120} = \frac{(-0.314) + (-0.310)}{2} = -0.312(\mu\text{m})$$

$$f_{150} = \frac{-(0.345) + (-0.325)}{2} = -0.335(\mu\text{m})$$

C.5 计算 0 至 300mm 间各点对 0 与 300mm 两点连线的偏差

在 120mm 至 300mm 测量段内, 以 120mm 与 270mm 两点连线为基准, 并延长至 300mm, 得到 300mm 这点对此连线的偏差。这点偏差与在 0 至 270mm 测量段内测量结果中连接 120 与 270mm 两点并延长至 300mm 得到的偏差叠加起来, 得到 300mm 这点偏差, 即可求得 0 至 300mm 间各点对 0 与 300mm 两点连线的偏差。按符合最小条件准则处理得到测量结果 (参见表 C.2)。

$D_0 = 3.92\text{mm}$

检测位置 (mm)	干涉环直径/mm			干涉带级数 ΔK_i	$C_i = \Delta K_i - \Delta K_0$	$\frac{L_i}{L_n} C_n$
	d_1	d_2	$d = d_1 - d_2$			
0	6.62	2.53	4.09	-0.09	0	0
30	6.41	2.57	3.84	+0.04	+0.13	-0.01
60	6.38	2.68	3.70	+0.11	+0.20	-0.02
90	6.39	2.60	3.79	+0.06	+0.15	-0.035
120	6.52	2.50	4.02	-0.05	+0.04	-0.05
150	6.59	2.43	4.16	-0.13	-0.04	-0.06
180	6.61	2.30	4.22	-0.16	-0.07	-0.07
90	6.66	2.56	4.10	-0.09	0	0
120	6.70	2.45	4.34	-0.23	-0.14	0
150	5.80	3.44	2.36	-0.26	-0.17	-0.01
180	5.80	2.47	2.33	-0.35	-0.26	-0.01
210	6.77	2.48	4.29	-0.20	-0.11	-0.01
240	6.74	2.54	4.20	-0.15	-0.06	-0.02
270	6.70	2.57	4.13	-0.11	-0.02	-0.02
120	6.69	2.52	4.17	-0.13	0	0
150	6.30	2.42	3.88	-0.02	+0.11	-0.01
180	6.10	2.12	3.98	-0.03	+0.10	-0.03
210	6.32	2.15	4.17	-0.13	0	-0.04
240	6.42	2.20	4.22	-0.16	-0.03	-0.05
270	6.45	2.23	4.22	-0.16	-0.03	-0.07
300	6.50	2.20	4.32	-0.21	-0.08	-0.08

$$\lambda = 0.590\mu\text{m}$$

$\Delta_i =$ $C_i - \frac{L_i}{L_n} C_n$	$F_i =$ $\Delta_i \times \frac{\lambda}{2}$ (μm)	长平晶平 面度偏差 $A_i/\mu\text{m}$	被测研磨 面平尺局 部偏差 $F_i' = F_i - A_i$	$\frac{L_i}{L_n} h_n$	被测研磨面平尺 两点连线偏差/ μm $f_i = F_i' + \frac{L_i}{L_n} h_n$	
0	0	0	0	0	0	
+0.14	+0.041	+0.070	-0.029	-0.054	-0.083	
+0.22	+0.065	+0.119	-0.054	-0.108	-0.162	
+0.185	+0.055	+0.131	-0.076	-0.162	-0.238	
+0.09	+0.027	+0.125	-0.098	-0.216	-0.314	
+0.02	+0.006	+0.081	-0.075	-0.270	-0.345	
0	0	0	0	-0.324	-0.324	-0.312
0	0	0	0	-0.238	-0.238	-0.335
-0.14	-0.041	+0.070	-0.111	-0.199	-0.310	
-0.16	-0.047	+0.119	-0.166	-0.159	-0.325	
-0.25	-0.074	+0.131	-0.205	-0.119	-0.324	
-0.10	-0.030	+0.125	-0.155	-0.079	-0.234	
-0.04	-0.012	+0.181	-0.093	-0.040	-0.133	
0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	-0.312		
+0.12	+0.035	+0.070	-0.035	-0.250		
+0.13	+0.038	+0.119	-0.081	-0.187		
+0.04	+0.012	+0.131	-0.119	-0.125		
+0.02	+0.006	+0.125	-0.119	-0.062		
+0.04	+0.012	+0.181	-0.069	0		
0	0	0	0	+0.062		

表 C.2

检测位置/mm	μm						
	对(0与270)mm两点连线的偏差	(120至270)mm两点连线的坐标值	(120至300)mm间各点对120与300mm两点连线的偏差	旋转量	(120至300)mm间各点对0与270mm两点连线的偏差	旋转量	(0至300)mm间各点对0与300mm两点连线的偏差
0	0				0	0	0
30	-0.083				-0.083	-0.015	-0.098
60	-0.162				-0.162	-0.029	-0.191
90	-0.238				-0.238	-0.044	-0.282
120	-0.312	-0.312	0	0	-0.312	-0.058	-0.370
150	0.335	-0.250	-0.035	+0.014	-0.021	-0.073	-0.376
180	-0.324	-0.187	-0.081	+0.028	-0.053	-0.087	-0.369
210	-0.234	-0.125	-0.119	+0.041	-0.078	-0.102	-0.321
240	-0.133	-0.062	-0.119	+0.055	-0.064	-0.116	-0.246
270	0	0	-0.069	+0.069	0	-0.131	-0.131
300		+0.062	0	+0.083	+0.083	+0.145	0

$$F = 0 - (-0.099) \approx 0.099 \mu\text{m}$$

附录 D

研磨面平尺工作面平面度测量结果不确定度评定

D.1 概述

通过对常用规格的研磨面平尺工作面平面度测量结果不确定度的评定, 确认本规程提出的测量原理、测量方法、测量程序和测量条件的合格性。

D.2 任务和目标不确定度

D.2.1 测量任务

测量 200mm 和 330mm 研磨面平尺工作面的平面度。

D.2.2 目标不确定度

根据 JJF 1094—2002《测量仪器特性评价》中 5.3.1.4 的规定, 评定研磨面平尺工作面平面度的不确定度 U_{95} 与其最大允许误差的绝对值 MPEV 之比, 应小于或等于 1:3, 我们按保守估计取 $k=3$, 即

$$U_{95} \leq \frac{1}{3} \text{MPEV} \quad (\text{D.1})$$

则相应目标不确定度 $U_T = U_{95}$ 见表 D.1。

表 D.1 目标不确定度 U_T 一览表

研磨面平尺规格 L/mm	平面度最大允许误差 $\text{MPE}_p/\mu\text{m}$	目标不确定度 $U_T/\mu\text{m}$
200	0.15	0.05
330	0.40	0.13

D.3 原理、方法、程序和条件

D.3.1 测量原理

非接触式技术光波干涉法, 与一已知平面(参考平面)比较法测量。

D.3.2 测量方法

采用等倾干涉法。在等倾干涉仪中用 210mm 长平晶与 200mm 的研磨面平尺整段比较测量或与 330mm 的研磨面平尺分段比较测量, 得到的测量值修正长平晶工作面平面度后, 按最小条件计算得到研磨面平尺工作面的平面度。

D.3.3 初始测量程序

- 用平面等倾干涉仪(装置)测量研磨面平尺平面度;
- 210mm 长平晶做标准器;
- 等倾干涉仪做比较仪使用。
- 两个 1mm 量块研合在长平晶两端做支撑用;
- 研磨面平尺放置在检定室内的温度平衡时间不少于 10h;
- 长平晶与研磨面平尺放置在仪器内的温度平衡时间:
 - 对于 200mm 研磨面平尺和 210mm 长平晶不少于 1h;
 - 对于 330mm 研磨面平尺和 210mm 长平晶不少于 1.5h。

D.3.4 初始测量条件

——平面等倾干涉仪（装置）经检定应符合 JJG 661—2004《平面等倾干涉仪》国家计量检定规程的要求；

——210mm 长平晶的规格经检定符合 JJG 28—2000《平晶》国家计量检定规程的要求；

——210mm 长平晶工作面的平面度经检定符合 JJG 28—2000《平晶》国家计量检定规程的要求，且具有修正自重变形影响后平面度数据的检定证书；

——经检定两块 1mm 量块的尺寸差小于 $0.1\mu\text{m}$ ；

——检定室温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，温度变化不得超过 $0.1^\circ\text{C}/\text{h}$ 和 $1^\circ\text{C}/24\text{h}$ ；

——检定室内的温度与仪器保温箱内的温度之差小于 0.2°C ；

——测温仪的分辨力： 0.01°C ；

——长平晶的制造材料是 K_9 光学玻璃，研磨面平尺是钢制的；

——操作人员是经过培训的，并且十分熟悉平面等倾干涉仪（装置）的使用。

D.4 测量装置图示

测量装置图示见图 A.1。

D.5 不确定度来源及其说明

不确定度来源及其说明见表 D.2。

表 D.2 研磨面平尺工作面平面度测量不确定度分量概况和评注

序号	符号	不确定度分量名称	说 明
1	u_{de}	测量点定位误差	由等倾干涉仪纵、横向定位系统的误差引起。对测量结果影响较小，可忽略
2	u_{λ}	标准干涉环直径	《平面等倾干涉仪》检定规程规定，等倾干涉仪的标准干涉环直径的测量不确定度 $U \leq 0.01\text{mm}$
3	u_{mj}	测微目镜误差	《平面等倾干涉仪》检定规程规定，在全量程范围内，测微目镜的示值最大允许误差为 $\pm 0.010\text{mm}$
4	u_{pp}	干涉环小数级数测量重复性	检定合格的等倾干涉仪的干涉环小数级数测量重复性 ≤ 0.025 个干涉级数
5	u_{nh}	挠度变形	主要考虑研磨面平尺、标准长平晶因自重引起的挠度变形
6	u_{ht}	温度变化	主要考虑温度变化对长平晶与研磨面平尺的影响
7	u_{fd}	分段测量	分段后每个测点两次测量读数带来的影响
8	u_{pp}	长平晶工作面平面度	主要考虑标准平面度的测量不确定度的影响

D.6 首次评估

D.6.1 首次评估——不确定度分量的说明及计算

(1) u_{dw} ——测量点定位误差

B类评定

测量点定位误差主要是等倾干涉仪纵、横向定位系统的误差引起,由测量点纵向定位误差和横向定位误差组成。由于标准干涉环直径和被测干涉环直径是比较测量,测量目标是研磨面平尺工作面的平面度,且其数值很小。因此对检定合格的等倾干涉仪而言,测量点定位误差对测得值的影响很小,可以忽略不计。

$$u_{dw} \approx 0$$

(2) u_{ba} ——标准干涉环直径

B类评定

根据 JJG 661—2004《平面等倾干涉仪》检定规程规定,在 10 个不同干涉级数的情况下进行 10 次标准干涉环直径 D_0 的测量,其平均值 $\overline{D_0}$ 的不确定度 ($3s$) 不超过 0.01mm,即影响量的极限值 $a^* = 0.01\text{mm}$ 。其对被测量影响的极限值 a 计算如下:

根据干涉环小数级数的计算公式:

$$\Delta K_i = (D_i/D_0)^2$$

$$\frac{d\Delta K_i}{dD_0} = -\frac{2D_i^2}{D_0^3}$$

得

$$d\Delta K_i = |-2\Delta K_i/D_0| \times dD_0$$

取 $dD_0 = a^*$,正、负号表示干涉环收缩方向与极限值大小无关,取其绝对值。

有
则

$$d\Delta K_i = 2\sqrt{\Delta K_i}/D_0 a^*$$

$$a = d\Delta K_i \lambda / 2$$

$$= (2\sqrt{\Delta K_i}/D_0) a^* \lambda / 2$$

实际测量时,取 $\Delta K_i \approx 1$, $D_0 = 3.87\text{mm}$, $\lambda = 0.5893\mu\text{m}$ (λ ——钠光波长以下同不再说明), $a^* = 0.010\text{mm}$,则

$$a = (2 \times \sqrt{1}/3.87) \times 0.010 \times (0.5893/2) \approx 0.0015(\mu\text{m})$$

保守估计为矩形分布,取分布因子 $b = 0.6$,标准干涉环直径的不确定度分量 u_{ba} :

$$u_{ba} = ab = 0.0015 \times 0.6 = 0.0009(\mu\text{m})$$

(3) u_{mj} ——测微目镜的误差

B类评定

测微目镜误差引入的不确定度分量 u_{mj} ,主要由测微目镜示值误差的不确定度分量 u_{ms} 和其回程误差的不确定度分量 u_{mh} 两部分构成。

测微目镜的回程误差在考虑干涉环小数级数测量重复性时,已将其影响计算进去,为避免重复计算,故在此不予考虑, $u_{mh} = 0$ 。

测微目镜示值误差的不确定度分量 u_{ms} 的评定

B类评定

根据 JJG 661—2004《平面等倾干涉仪》检定规程,平面等倾干涉仪测微目镜示值最大允许误差在全量程范围内为 $\pm 0.010\text{mm}$,极限值 $a^* = 0.010\text{mm}$ 对被测量影响的极限值 a 按下式计算:

根据干涉环小数级数的计算公式:

$$\Delta K_i = (D_i/D_0)^2$$

有
令
有
则

$$\frac{d\Delta K_i}{dD_i} = \frac{2D_i}{D_0^2}$$

$$d\Delta K_i = (2\sqrt{\Delta K_i}/D_0) dD_i$$

$$dD_i = a^*$$

$$d\Delta K_i = (2\sqrt{\Delta K_i}/D_0) a^*$$

$$a = d\Delta K_i \lambda / 2$$

$$= (2\sqrt{\Delta K_i}/D_0) a^* \lambda / 2$$

取 $\Delta K_i \approx 1$, $D_0 = 3.87\text{mm}$, $\lambda = 0.5893\mu\text{m}$, $a^* = 0.010\text{mm}$, 则

$$a = (2 \times \sqrt{1}/3.87) \times 0.010 \times (0.5893/2) \approx 0.0015\mu\text{m}$$

估计为正态分布, 取分布因子 $b = 0.5$, 则测微目镜示值误差的不确定度分量 u_{ms} :

$$u_{ms} = ab = 0.0015\mu\text{m} \times 0.5 = 0.00076\mu\text{m}$$

测微目镜误差的不确定度分量 u_{mj}

$$u_{mj} = u_{ms} = 0.00076\mu\text{m}$$

(4) u_{gr} ——干涉环小数级数测量重复性

B类评定

根据 JJG 661—2004《平面等倾干涉仪》国家计量检定规程规定, 10次重复测量得到干涉环小数级测量的重复性, 其值 ($3s$) 应小于 0.025 个干涉级数, 即 $a^* = 0.025$ 个干涉级数。在实际测量中, 取 3 次读数的平均值作为测得值, 则其对被测量影响的极限值 a 为

$$a = (a^* / \sqrt{3}) \lambda / 2 = (0.025 / \sqrt{3}) \times 0.5893 / 2 = 0.0043(\mu\text{m})$$

估计为正态分布, 取分布因子 $b = 0.5$, 则

$$u_{gr} = ab = 0.0043 \times 0.5 = 0.00215(\mu\text{m})$$

(5) u_{nb} ——挠度变形

B类评定

研磨面平尺和长平晶的自重会引起其挠度变形, 对测量结果产生影响。

测量方法中规定研磨面平尺在测量时, 两支承点置于被测研磨面平尺 ($2/9$) L 处, 认为此时产生的挠度变形最小, 未对其予以修正。根据有关资料常见结构的研磨面平尺其最大自重变形量及其不确定度分量 $u_{ny} = ab$ 见表 D.3。表中研磨面平尺的最大自重变形量 a 按保守估计服从矩形分布, 分布因子 $b = 0.6$ 。

表 D.3 研磨面平尺规格、最大自重变形量和不确定度分量 u_{ny}

研磨面平尺 L 规格/mm	最大自重变形量/ μm	不确定度分量 $u_{ny}/\mu\text{m}$
200	0.003	0.0018
330	0.007	0.0042

长平晶由于测量时, 两量块置于长平晶的两端点处, 其自重引起的挠度变形对测量结果会产生影响, 但长平晶自重对其平面度的影响在长平晶的检定证书已予以修正, 因此此项不确定度分量主要考虑长平晶自重变形量测量的扩展不确定度。根据 JJG 28—

2000《平晶》国家计量检定规程，长平晶自重变形量测量的扩展不确定度 U ($k=3$) 和不确定度分量 u_{np} 见表 D.4。

表 D.4 长平晶自重变形量测量的扩展不确定度 U 和不确定度分量 u_{np}

长平晶规格/mm	扩展不确定度 $U/\mu\text{m}$ ($k=3$)	不确定度分量 $u_{np}/\mu\text{m}$
210	0.010	0.0033

挠度变形引起的不确定度分量 u_{nb} ：

$$u_{nb} = \sqrt{u_{ny}^2 + u_{np}^2}$$

$$\text{当 } L = 200\text{mm 时 } u_{nb} = \sqrt{0.0018^2 + 0.0033^2} = 0.0038 \text{ } (\mu\text{m})$$

$$\text{当 } L = 330\text{mm 时 } u_{nb} = \sqrt{0.0042^2 + 0.0033^2} = 0.0053 \text{ } (\mu\text{m})$$

(6) u_{kt} ——温度变化

B 类评定

温度对测量结果的影响主要表现在两个方面，对 20℃ 的偏离和温度变化。在满足规程所规定的条件下，温度偏离 20℃ 对测量结果的影响很小可忽略不计。温度变化对测量结果的影响较大。

当环境温度符合本规程所规定的温度条件时，在平面等倾干涉仪保温箱内，等温 1h 后，研磨面平尺和长平晶的自身温度不一致性均应小于 0.05℃，温度变化对测量影响的极限值为：

对 $L = 200\text{mm}$ 的研磨面平尺线胀系数 $\alpha_y = 11.5 \times 10^{-6}/\text{℃}$ ，平尺宽度 $l_{y1} = 36\text{mm}$ ，温度差 $\Delta T = 0.05\text{℃}$ ，

$$\begin{aligned} a_{y1} &= \Delta T \alpha_y l_{y1} \\ &= 0.05\text{℃} \times 11.5 \times 10^{-6}/\text{℃} \times 36\text{mm} \\ &= 0.0207\mu\text{m} \end{aligned}$$

保守估计符合矩形分布，取 $b = 0.6$ ，则

$$u_{y1} = a_{y1} b = 0.0207 \times 0.6 = 0.012 \text{ } (\mu\text{m})$$

对 $L = 330\text{mm}$ 的研磨面平尺 $\alpha_y = 11.5 \times 10^{-6}/\text{℃}$ ，其尺宽 $l_{y2} = 60\text{mm}$ ， $\Delta T = 0.05\text{℃}$ ，

$$\begin{aligned} a_{y2} &= \Delta T \alpha_y l_{y2} \\ &= 0.05\text{℃} \times 11.5 \times 10^{-6}/\text{℃} \times 60\text{mm} \\ &= 0.0345\mu\text{m} \end{aligned}$$

保守估计符合矩形分布，取 $b = 0.6$ ，则

$$u_{y2} = a_{y2} b = 0.0345 \times 0.6 = 0.021 \text{ } (\mu\text{m})$$

对 210mm 长平晶 $\alpha_p = 8 \times 10^{-6}/\text{℃}$ ， $l_p = 25\text{mm}$ ， $\Delta T = 0.05\text{℃}$ ，

$$\begin{aligned} a_{ip} &= \Delta T \alpha_p l_p \\ &= 0.05\text{℃} \times 8 \times 10^{-6}/\text{℃} \times 25\text{mm} \\ &= 0.01\mu\text{m} \end{aligned}$$

保守估计符合矩形分布，取 $b = 0.6$ ，则

$$u_{ip} = a_{ip} b = 0.01 \times 0.6 = 0.006 \text{ (}\mu\text{m)}$$

环境温度对 $L = 200\text{mm}$ 的研磨面平尺平面度测量的影响 u_{ht1} :

$$\begin{aligned} u_{ht1} &= \sqrt{u_{iy1}^2 + u_{ip}^2} \\ &= \sqrt{0.012^2 + 0.006^2} \\ &= 0.014 \text{ (}\mu\text{m)} \end{aligned}$$

环境温度对 $L = 330\text{mm}$ 的研磨面平尺平面度测量的影响 u_{ht2} :

$$\begin{aligned} u_{ht2} &= \sqrt{u_{iy2}^2 + u_{ip}^2} \\ &= \sqrt{0.021^2 + 0.006^2} \\ &= 0.022 \text{ (}\mu\text{m)} \end{aligned}$$

(7) u_{fd} ——分段测量

B类评定

当研磨平尺长度 $L = 330\text{mm}$ 时, 采用 210mm 长平晶分段测量是一个经济、有效的测量方法。分段的位置分别为 $(0 \sim 180)\text{mm}$, $(90 \sim 270)\text{mm}$ 和 $(120 \sim 300)\text{mm}$ 。在 $(90 \sim 270)\text{mm}$ 范围内每点是两次测得值取平均作为该点测量结果, 由于下列各不确定度分量之间无值得考虑的相关性, 因此分段测量时, 两次测得值引起的不确定度分量 u_{fd} :

$$\begin{aligned} u_{fd} &= \sqrt{2 \times (u_{dw}^2 + u_{bz}^2 + u_{mj}^2 + u_{gr}^2 + u_{nb}^2 + u_{ht}^2)} \\ &= \sqrt{2 \times (0 + 0.0009^2 + 0.00076^2 + 0.0022^2 + 0.0053^2 + 0.022^2)} = 0.032 \text{ (}\mu\text{m)} \end{aligned}$$

(8) u_{pp} ——长平晶工作面平面度

B类评定

长平晶工作面平面度直接对研磨面平尺的测量结果产生影响, 为此在检定方法中对其进行修正。根据 JJG 28—2000《平晶》, 长平晶工作面平面度的测量扩展不确定度 U ($k=3$) 和不确定度分量 u_{pp} 见表 D.5。

表 D.5 长平晶平面度测量的扩展不确定度 U 和不确定度分量 u_{pp}

长平晶规格/mm	扩展不确定度 $U/\mu\text{m}$ ($k=3$)	不确定度分量 $u_{pp}/\mu\text{m}$
210	0.010	0.0033

D.6.2 首次评估——不确定度分量之间的相关性

没有任何输入量具有值得考虑的相关性。

D.6.3 首次评估——合成标准不确定度和近似不确定度

当各不确定度分量之间的不存在相关性时, 合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_{dw}^2 + u_{bz}^2 + u_{mj}^2 + u_{gr}^2 + u_{nb}^2 + u_{ht}^2 + u_{pp}^2}$$

当 $L = 200\text{mm}$ 整段测量时,

$$u_c = \sqrt{0 + 0.0009^2 + 0.00076^2 + 0.0022^2 + 0.0038^2 + 0.014^2 + 0.0033^2} = 0.015 \text{ (}\mu\text{m)}$$

当 $L = 330\text{mm}$ 分段测量时,

$$u_c = \sqrt{u_{fd}^2 + u_{pp}^2} = \sqrt{0.032^2 + 0.0033^2} = 0.032 \text{ (}\mu\text{m)}$$

取 $k=3$, 则近似不确定度 U_E :

$$U_E = u_c k$$

当 $L = 200\text{mm}$ 整段测量时, $U_E = 0.015 \times 3 = 0.045 (\mu\text{m})$

当 $L = 330\text{mm}$ 分段测量时, $U_E = 0.032 \times 3 = 0.096 (\mu\text{m})$

D.6.4 首次评定的不确定度概算汇总

首次评定的不确定度概算汇总见表 D.6。

表 D.6 不确定度概算汇总 (首次评定)

分量名称		评定类型	分布类型	变化限 a^*	变化限 $a/\mu\text{m}$	相关系数	分布因子 b	不确定度分量 $u_x/\mu\text{m}$
u_{dv} 测量点定位误差		B						0
u_{hs} 标准干涉环直径		B	矩形	0.01mm	0.0015	0	0.6	0.0009
u_{m1} 测微目镜误差		B		0.010mm	0.0015	0	0.5	0.00076
u_{θ} 干涉环小数级数测量重复性		B	正态	0.025 个干涉级	0.0043	0	0.5	0.0022
u_{θ} 研磨面平尺 挠度变形	$L = 200\text{mm}$	B	均匀		0.003	0	0.6	0.0018
	$L = 330\text{mm}$				0.007	0	0.6	0.0042
u_{θ} 长平晶 挠度变形		B				0	0.4	0.0033
u_{θ} 挠度变形	$L = 200\text{mm}$	B				0		0.0038
	$L = 330\text{mm}$					0		0.0053
u_{θ} 温度变化	$L = 200\text{mm}$	B	矩形	0.05℃		0	0.5	0.014
	$L = 330\text{mm}$				0.022			
u_{θ}		B				0		0.032
u_{θ} 长平晶 工作面平面度		B				0	0.4	0.0033
合成标准不确定度 u_c		$L = 200\text{mm}$ (整段测量)						0.015
		$L = 330\text{mm}$ (分段测量)						0.032
近似不确定度 U_E ($k = 3$)		$L = 200\text{mm}$ (整段测量)						0.045
		$L = 330\text{mm}$ (分段测量)						0.096

D.6.5 首次评定的不确定度概算讨论

上述计算结果表明:

对 $L = 200\text{mm}$ 研磨面平尺整段测量时, $U_E = 0.045\mu\text{m} < U_T = 0.05\mu\text{m}$;

对 $L = 330\text{mm}$ 研磨面平尺分段测量时, $U_E = 0.096\mu\text{m} < U_T = 0.13\mu\text{m}$ 。

目标不确定度已经得到满足，即 $U_E < U_T$ 。不需再做进一步评定和改进。

D.7 不确定度评定报告

上述 210mm 长平晶整段法测量 200mm 研磨面平尺工作面平面度和分段法测量 330mm 研磨面平尺工作面平面度的测量结果不确定度评定表明，采用本规程规定的测量条件、方法和程序测量研磨面平尺工作面平面度，相应目标不确定度均已经得到满足，即 $U_E < U_T$ ：

$L = 200\text{mm}$ 研磨面平尺整段测量时， $U_E = 0.045\mu\text{m} < U_T = 0.05\mu\text{m}$ ；

$L = 330\text{mm}$ 研磨面平尺分段测量时， $U_E = 0.096\mu\text{m} < U_T = 0.13\mu\text{m}$ 。

附录 E

检定证书和检定结果通知书内页格式

E.1 检定证书内页格式

检定结果

温度： ℃ 湿度： %

序号	检定项目	检定结果
1	外观及表面质量	
2	工作面的表面粗糙度	
3	工作面的平面度	
检定依据：JJG 740—2005 研磨面平尺检定规程		

E.2 检定结果通知书内页格式

具体要求同 D.1，并指出不合格项目。