



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1125—2004

滚刀检查仪校准规范

Calibration Specification for Gear Hob Tester

2004-11-09 发布

2005-05-09 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

滚刀检查仪校准规范

Calibration Specification
for Gear Hob Tester

JJF 1125—2004
代替 JJG 65—1986

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2004 年 11 月 09 日批准，并自 2005 年 05 月 09 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：哈尔滨第一工具有限公司

黑龙江省计量检定测试院

哈尔滨市计量检定测试所

吉林省计量科学研究院

本规范由归口单位负责解释

本规范起草人：

孙醒凡 （哈尔滨第一工具有限公司）

李玉英 （哈尔滨第一工具有限公司）

王 利 （哈尔滨市计量检定测试所）

马 荃 （黑龙江省计量检定测试院）

马钟焕 （吉林省计量科学研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
4.1 500mm 标尺的示值误差	(1)
4.2 光学分度头的示值误差	(1)
4.3 指示、记录系统的示值误差	(1)
4.4 传感器的测力	(1)
4.5 切向拖架置零时刀口测刃与顶尖轴线的偏离	(1)
4.6 主拖架运动的直线度	(1)
4.7 轴向拖架运动的直线度	(1)
4.8 径向拖架运动的直线度	(1)
4.9 四个筋形台工作面的表面粗糙度和平面度	(1)
4.10 主拖架上两个筋形台工作面与主拖架运动方向的平行度	(1)
4.11 正弦尺圆柱的表面粗糙度及其母线对筋形台面的平面度	(1)
4.12 基圆盘母线与直尺工作面的平行度及其表面粗糙度	(1)
4.13 基圆盘和主轴的综合圆跳动	(1)
4.14 上、下顶尖的径向圆跳动	(1)
4.15 直尺工作面与主拖架运动的平行度	(3)
4.16 啮合线导槽与轴向拖架导轨的平行度	(3)
4.17 径向拖架导轨与顶尖轴线的垂直度	(3)
4.18 600mm 正弦尺导槽与主拖架运动的平行度	(3)
4.19 基圆盘直径	(3)
4.20 基圆盘与直尺运动的符合性	(3)
4.21 轴向拖架导轨与顶尖轴线的平行度	(3)
4.22 600mm 正弦尺的中心距偏差	(3)
4.23 250mm 正弦尺的中心距偏差	(3)
4.24 200mm 正弦尺的中心距偏差	(3)
4.25 重复性	(3)
4.26 螺旋线测量示值误差	(3)
4.27 齿形测量示值误差	(3)
5 校准条件	(3)
5.1 环境条件	(3)
5.2 标准器及其他设备	(3)
6 校准项目和校准方法	(4)

6.1 校准项目	(4)
6.2 校准方法	(4)
7 校准结果表达	(10)
8 复校时间间隔	(10)
附录 A 滚刀检查仪计量特性指标	(11)
附录 B 校对规及标准锥度轴的技术要求	(13)
附录 C 滚刀检查仪螺旋线测量示值误差校准结果的不确定度评定	(14)

滚刀检查仪校准规范

1 范围

本规范适用于滚刀检查仪的校准。

2 引用文献

本规范引用下列文献：

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

JB/T 10024—1999 立式滚刀测量仪

JJF 1094—2002 测量仪器特性评定

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

滚刀检查仪是检查齿轮滚刀质量的专用仪器。其测量原理是把被测齿轮滚刀的实际形状与仪器传动链复合成的标准运动进行比较，得到的差值便是滚刀的实际偏差。仪器的标准运动由三个基本运动合成，即主轴的转动、传感器的轴向和径向运动。三个基本运动的不同组合，可以获得所需要的各种标准运动，从而实现了对齿轮滚刀各参数的精密测量。滚刀检查仪的结构如图 1 所示，其工作原理如图 2 所示。

4 计量特性

可对滚刀检查仪下列计量特性进行校准。

- 4.1 500mm 标尺的示值误差
- 4.2 光学分度头的示值误差
- 4.3 指示、记录系统的示值误差
- 4.4 传感器的测力
- 4.5 切向拖架置零时刀口测刃与顶尖轴线的偏离
- 4.6 主拖架运动的直线度
- 4.7 轴向拖架运动的直线度
- 4.8 径向拖架运动的直线度
- 4.9 四个筋形台工作面的表面粗糙度和平面度
- 4.10 主拖架上两个筋形台工作面与主拖架运动方向的平行度
- 4.11 正弦尺圆柱的表面粗糙度及其母线对筋形台面的平行度
- 4.12 基圆盘母线与直尺工作面的平行度及其表面粗糙度
- 4.13 基圆盘和主轴的综合圆跳动
- 4.14 上、下顶尖的径向圆跳动

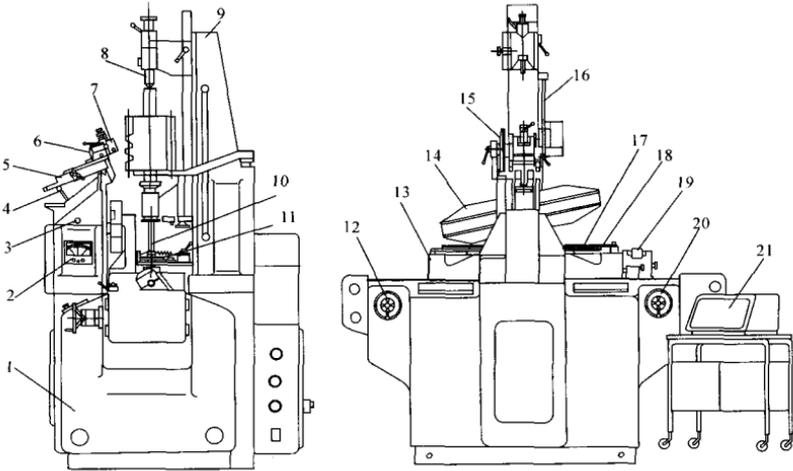


图1 滚刀检查仪示意图

1—机体；2—指示表；3—红色报警灯；4—轴向拖架；5—径向拖架；6—切向拖架；7—传感器；8—上顶尖；9—立柱；10—主轴；11—基圆盘；12—顶尖座升降手动轮；13—主拖架；14—正弦尺；15—啮合线导槽板；16—装表杆；17—上直尺；18—下直尺；19—长度测量系统；20—主拖架手动轮；21—记录器

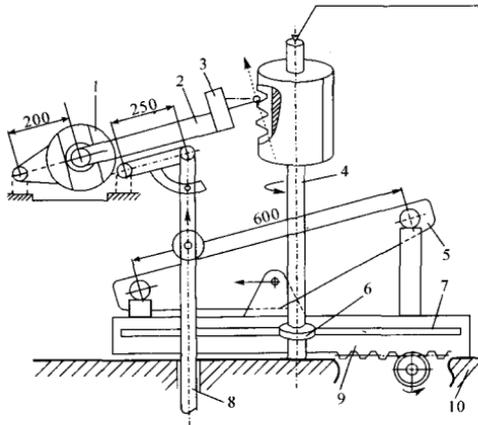


图2 滚刀检查仪原理图

1—啮合线导槽板；2—径向拖架；3—切向拖架；4—主轴；5—600 mm 正弦尺；6—基圆盘；7—上直尺；8—轴向拖架；9—主拖架；10—机体

- 4.15 直尺工作面与主拖架运动的平行度
- 4.16 啮合线导槽与轴向拖架导轨的平行度
- 4.17 径向拖架导轨与顶尖轴线的垂直度
- 4.18 600mm 正弦尺导槽与主拖架运动的平行度
- 4.19 基圆盘直径
- 4.20 基圆盘与直尺运动的符合性
- 4.21 轴向拖架导轨与顶尖轴线的平行度
- 4.22 600mm 正弦尺的中心距偏差
- 4.23 250mm 正弦尺的中心距偏差
- 4.24 200mm 正弦尺的中心距偏差
- 4.25 重复性
- 4.26 螺旋线测量示值误差
- 4.27 齿形测量示值误差

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度

室内温度： $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ ；

室内温度变化： $\leq 0.5^\circ\text{C}/\text{h}$ ；

被校准仪器在室内平衡温度的时间不少于 24h；被校准仪器与标准器温度差 $\leq 0.5^\circ\text{C}$ 。

5.1.2 校准前应先将仪器调平至 $0.02\text{mm}/\text{m}$ 。

5.2 标准器及其他设备

标准器及其他设备见表 1。

表 1 滚刀检查仪校准项目和标准器及其他设备表

序号	校准项目	主要校准器具
1	500mm 标尺的示值误差	激光干涉仪： $\pm 1.5 \times 10^{-6}$
2	光学分度头的示值误差	4 等 12 面棱体、标准轴、1" 自准直仪
3	指示、记录系统的示值误差	3 等量块、校对规、三珠工作台
4	传感器的测力	2 级量仪测力仪；分度值 0.1N
5	切向拖架置零时刀口测刃与顶尖轴线的偏离	标准轴
6	主拖架运动的直线度	1" 自准直仪
7	轴向拖架运动的直线度	合象（或电子）水平仪
8	径向拖架运动的直线度	同上
9	四个筋形台工作面的表面粗糙度和平面度	表面粗糙度比较样块（ R_a ：+12% ~ -17%）、 $\phi 60\text{mm}$ 2 级平面平晶

表 1 (续)

序号	校准项目	主要校准器具
10	主拖架上的筋形台工作面与主拖架运动的平行度	分度值 $0.5\mu\text{m}$ 的扭簧表
11	正弦尺圆柱表面粗糙度及其母线对筋形台面的平行度	表面粗糙度比较样块 (R_a : $+12\% \sim -17\%$)
12	基圆盘母线与直尺工作面的平行度及其表面粗糙度	同上
13	基圆盘和主轴的综合圆跳动	扭簧表
14	上、下顶尖的径向圆跳动	扭簧表、标准轴 (200mm, 300mm)
15	直尺工作面与主拖架运动的平行度	一级千分表
16	啮合线导槽与轴向拖架导轨的平行度	4等量块、扭簧表
17	径向拖架导轨与顶尖轴线的垂直度	4等量块、校对规
18	600 mm 正弦尺导槽与主拖架运动的平行度	3等量块、校对规
19	基圆盘的直径	杠杆式卡规、4等量块
20	基圆盘与直尺运动的符合性	4等多面棱体、标准轴、1"自准直仪
21	轴向拖架导轨与顶尖轴线的平行度	标准轴 (200 mm, 300 mm)、4等量块、扭簧表
22	600 mm 正弦尺的中心距偏差	3等量块、校对规
23	250 mm 正弦尺的中心距偏差	4等量块、标准锥轴、扭簧表
24	200 mm 正弦尺的中心距偏差	同上
25	重复性	模数 $m4 \sim m10$ 标准滚刀、4等量块
26	螺旋线测量示值误差	同上
27	齿形测量示值误差	同上

6 校准项目与校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 1。

6.2 校准方法

校准前应确认无影响校准正确实施和校准结果的外观缺陷及仪器故障。

6.2.1 500 mm 标尺的示值误差

用激光干涉仪进行校准, 校准时激光干涉仪的测量轴线置于上、下直尺的平均高度, 测量点均匀分布, 不少于十点。

6.2.2 光学分度头的示值误差

如图3所示,将200 mm和250 mm正弦尺垫平,拆下传感器座,把1"自准直仪(图中1)置于径向拖架上,装有十二面体(图中2)的心轴顶在两顶尖间并用拨动器与主轴联为一体。自准直仪依次瞄准十二面体的各面,从度盘上读取对应的读数,其中最大正偏差与最大负偏差绝对值之和作为校准结果。

6.2.3 指示、记录系统的示值误差

如图4所示,校对规装在两顶尖间,传感器装入倒锥测头。在校对规的F面放置三珠工作台,三珠工作台与测头之间根据仪器放大倍数置入相应尺寸的三等量块,各放大挡的全量程上应不少于近似均匀分布的五点进行校准。

6.2.4 传感器的测力

用砝码或量仪测力仪校准。选择最小放大挡,在指示表的零和正负最大量程指示值附近进行校准。

6.2.5 切向拖架置零时刀口测刃与顶尖轴线的偏离

上、下顶尖间装入直径为D的标准轴,移动切向拖架,用刀口测头的左、右侧棱分别与标准轴的母线相切,如图5所示。从金属标尺得两个读数 a_1 , a_2 ,其偏离量 Δ 由下式得出:

$$\Delta = (a_1 + a_2)/2 \quad (1)$$

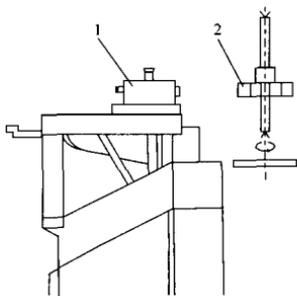


图3

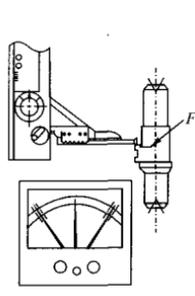


图4

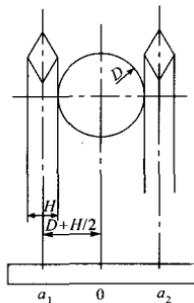


图5

6.2.6 主拖架运动的直线度

1"自准直仪置于主导轨的一端,反射镜固定在主拖架上,两者瞄准后移动主拖架进行校准,从自准直仪读数。

6.2.7 轴向拖架运动的直线度

如图6所示,把200 mm和250 mm正弦尺垫平,600 mm正弦尺转至最大角度并固定,径向拖架上按a、b两个方向放置0.01 mm/m的合象(或电子)水平仪,移动主拖架使轴向拖架升降250 mm进行校准。

6.2.8 径向拖架运动的直线度

如图6所示,把250 mm正弦尺垫平,径向拖架上按a、b两个方向放置0.01 mm/m

的合象（或电子）水平仪，用手分别转动 200 mm 正弦尺和径向进给手柄，使径向拖架进退 100 mm 进行校准。

6.2.9 四个筋形台工作面的表面粗糙度和平面度

表面粗糙度用表面粗糙度比较样块进行比较。

平面度用 $\phi 60$ mm 2 级平面平晶以光波干涉法进行校准。

6.2.10 主拖架上两个筋形台工作面与主拖架运动的平行度

如图 7 所示，把扭簧表用磁性表架分别固定在主导轨的左、右侧，测头与筋形台工作面的工作区域接触，移动主拖架进行校准。

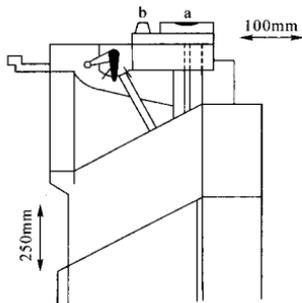


图 6

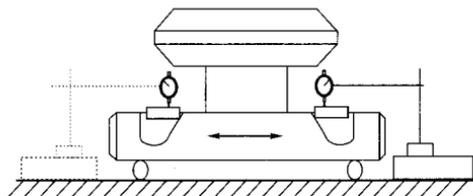


图 7

6.2.11 正弦尺圆柱的表面粗糙度及其母线对筋形台面的平行度

表面粗糙度用表面粗糙度比较样块进行比较。

圆柱母线与筋形台面的平行度用光隙法目测。

6.2.12 基圆盘母线与直尺工作面的平行度及其表面粗糙度

基圆盘与直尺间压紧时用光隙法校准；表面粗糙度用表面粗糙度比较样块进行比较测量。

6.2.13 基圆盘和主轴的综合圆跳动

如图 8 所示，把基圆盘分别固定在上、中、下（a, b, c）三个部位，扭簧表分别接触在大、小基圆盘的外径上，转动主轴进行校准。之后，把基圆盘相对于主轴转 180° 固定，再次校准，取最大值作为校准结果。

6.2.14 上、下顶尖的圆跳动

上、下顶尖之间装一标准轴，扭簧表固定在立柱的表架上，测头垂直接触在上、下顶尖锥面上，转动上、下顶尖分别进行校准。

6.2.15 直尺工作面与主拖架运动的平行度

将装有千分表的磁性表架先后固定在左、右筋形台面上，如图 9 所示。表的测头与上、下直尺的浮动端的工作面接触，移动主拖架进行校准。

6.2.16 啮合线导槽与轴向拖架导轨的平行度

如图 10 所示,把 200 mm 正弦尺垫平,600 mm 正弦尺转至最大角度并紧固,扭簧表固定在径向拖架上,测头与径向导轨的后端面接触,移动主拖架使轴向拖架升降 200 mm 进行校准。

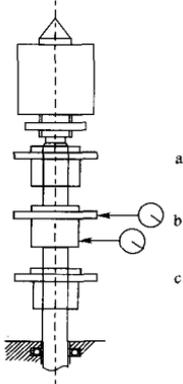


图 8

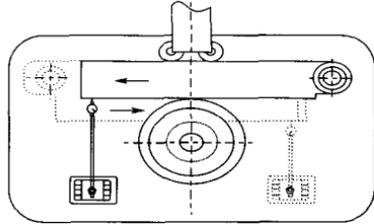


图 9

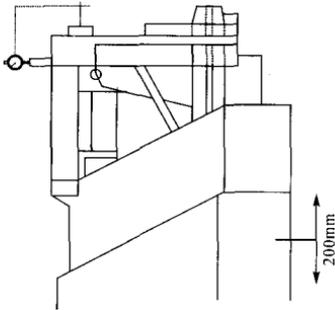


图 10

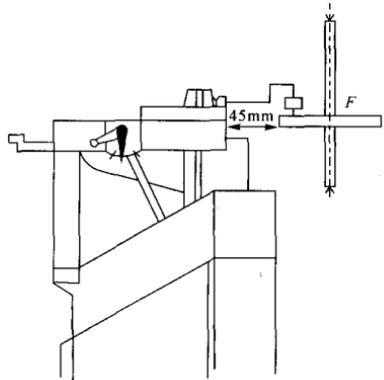


图 11

6.2.17 径向拖架导轨与顶尖轴线的垂直度

如图 11 所示,250 mm 正弦尺垫平,装上校对规,记录器调在 $\times 1000$ 挡,倒锥测头与校对规的 F 面接触,径向拖架进退 45 mm 进行校准。

6.2.18 600 mm 正弦尺导槽与主拖架运动的平行度

如图 12 所示, 600 mm 正弦尺垫以 150 mm 3 等量块, 装上校对规, 记录器调在 $\times 1000$ 挡, 传感器的倒锥测头与 F 面接触, 开动记录器, 直尺与基圆盘脱离, 移动主拖架全程进行校准。

把两组 150 mm 量块的位置对调, 再次校准。取两次校准的算术平均值作为校准结果。

6.2.19 基圆盘的直径

用杠杆卡规进行校准, 取三次测量值的平均值作为测量结果。

6.2.20 基圆盘与直尺运动的符合性

主拖架移至某一端, 如图 13 所示。用 1" 自准直仪瞄准多面体的某一面后, 从长度标尺上读数 a_1 , 移动主拖架主轴转 n 转 ($\phi 30$ mm 基圆盘 $n = 5$, $\phi 90$ mm 基圆盘 $n = 1$), 自准直仪再次瞄准棱体的同一个平面, 从标尺上读数 a_2 , 则运动的符合性按下式计算:

$$\Delta l = (a_2 - a_1) - n\pi D \quad (2)$$

式中: D ——基圆盘直径。

这项校准至少要重复三次, 取其中绝对值最大值。

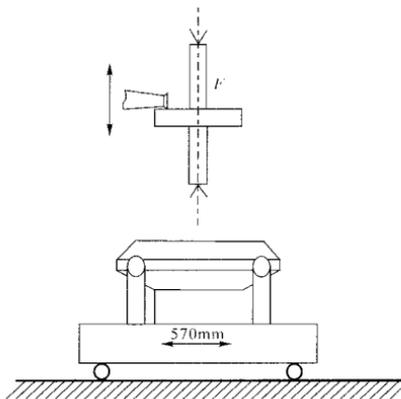


图 12

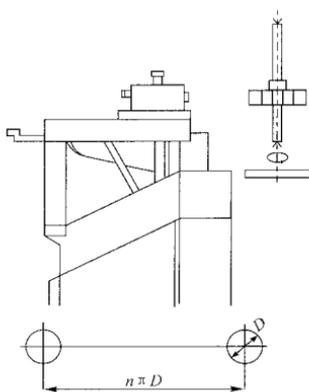


图 13

6.2.21 轴向拖架导轨与顶尖轴线的平行度

如图 14 所示, 把 200 mm 和 250 mm 正弦尺垫平, 600 mm 正弦尺转最大角度并紧固, 扭簧表固定在径向托架上, 先后装以长 200 mm 和 300 mm 的标准轴, 测头分别接触在标准轴的正面和侧面, 移动主拖架带动轴向拖架升降 200 mm 进行校准, 取最大值作为校准结果。

6.2.22 600 mm 正弦尺的中心距偏差

如图 15 所示, 把 200 mm 和 250 mm 正弦尺垫平, 600 mm 正弦尺两端各垫以 75 mm 和 225 mm 3 等量块, 装上校对规, 记录器调在 $\times 1000$ 挡, 倒锥测头和 F 面接触, 从指

示表上读取 b_1 ，长度标尺上读取 a_1 。移动主拖架至标尺读数为 $a_2 = a_1 + 387.298$ 处，在传感器测头和 F 面之间置入 100 mm 的 3 等量块，从指示表上读取为 b_2 ，把 75 mm 和 225 mm 量块互换位置重复上述校准，取两次读数 ($b_2 - b_1$) 的最大差值作为校准结果。

注：操作时应注意，主拖架的移动方向必须是轴向拖架上升的方向，否则会碰坏传感器。

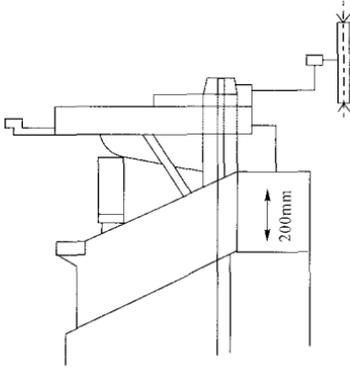


图 14

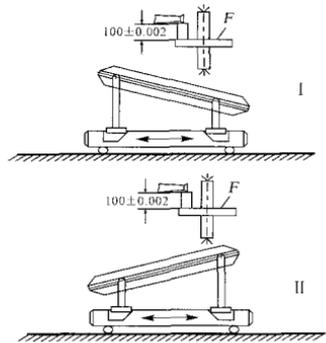


图 15

6.2.23 250 mm 正弦尺的中心距偏差

如图 16 所示，装一标准锥轴，250 mm 正弦尺垫以 $H = 37$ mm 的 4 等量块，记录器调在 $\times 1000$ 挡，传感器倒锥测头与 120° 锥体母线接触（需切向移动传感器找最高点），径向拖架进退 35 mm，示值变化量作为校准结果。

6.2.24 200 mm 正弦尺的中心距偏差

如图 17 所示，600 mm 正弦尺垫以 75 mm 和 225 mm 量块，200 mm 正弦尺垫以 $H = 30$ mm 4 等量块，250 mm 正弦尺垫平。把扭簧表装在径向拖架上，测头与 60° 锥体母线接触（切向移动传感器找最高点）。移动主拖架使轴向拖架升降 50 mm，指示表的示值变化量作为校准结果。

6.2.25 重复性

对 $m5 \sim m10$ 的 AA 级标准滚刀进行五次啮合线测量，取得各次啮合线测量值 y_i ， $i = 1, \dots, 5$ ，按极差法进行计算。在重复性条件下，单次测量结果的实验标准差 s 由下式得出：

$$s = (y_{\max} - y_{\min}) / 2.33 \quad (3)$$

式中： y_{\max} ——五次测量的最大值；

y_{\min} ——五次测量的最小值。

6.2.26 螺旋线测量示值误差

按标准齿轮滚刀实际参数组合量块，调整仪器，对标准齿轮滚刀切削刃螺旋线测量三次，取各次仪器螺旋线测量值与该标准齿轮滚刀螺旋线实际值之差为示值误差，三次

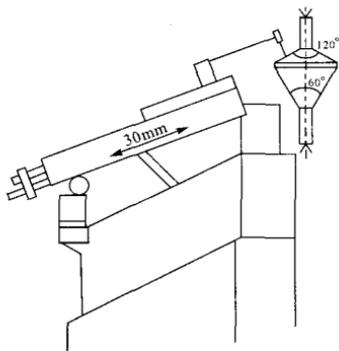


图 16

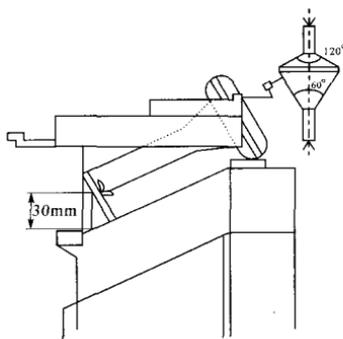


图 17

误差的平均值作为螺旋线测量示值误差。

6.2.27 齿形测量示值误差

按标准齿轮滚刀实际参数组合量块调整仪器，对标准齿轮滚刀单一齿的齿形误差测量三次，取各次仪器齿形测量值与该齿轮滚刀齿形实际值之差为示值误差，三次误差的平均值作为齿形测量示值误差。

7 校准结果表达

经校准的滚刀检查仪发给校准证书。校准证书至少应给出：

- 实验室的名称和地址；
- 进行校准的日期、校准所依据的技术规范的名称及代号；
- 校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- 指示、记录系统的示值误差；
- 切向拖架置零时刀口测刃与顶尖轴线的偏离；
- 600 mm 正弦尺导槽与主拖架导轨的平行度；
- 螺旋线测量示值误差和齿形测量示值误差的校准结果测量不确定度。

8 复校时间间隔

复校时间间隔建议为 1 年。使用频繁的仪器复校时间间隔可适当缩短。

附录 A

滚刀检查仪计量特性指标

推荐的计量特性指标见表 A.1。

表 A.1 滚刀检查仪计量特性指标

序号	项 目 名 称	技 术 指 标
1	500 mm 标尺的示值误差	$\pm (0.5 + L/200) \mu\text{m}$ (其中 L : 测量长度, 单位 mm)
2	光学分度头的示值误差	$\leq 30''$
3	指示、记录系统的示值误差	\leq 满量程的 2.5%
4	主传感器的测力 副传感器的测力	$(0.8 \pm 0.2) \text{ N}$ $(0.4 \pm 0.1) \text{ N}$
5	切向拖架置零时刀口测刃与顶尖轴线的偏离	\leq 游标的分度值
6	主拖架运动的直线度	水平方向 $\leq 8''/570\text{mm}$ 垂直方向 $\leq 3''/570 \text{ mm}$
7	轴向拖架运动的直线度	$\leq 2''/250 \text{ mm}$
8	径向拖架运动的直线度	$\leq 2''/100 \text{ mm}$
9	四个筋形台工作面的表面粗糙度工作面的平面度	$\leq R_a 0.1 \mu\text{m}$ $\leq 1 \mu\text{m}$ 不允许凹
10	主拖架上的两个筋形台工作面与主拖架运动方向的平行度	$\leq 1 \mu\text{m}$
11	正弦尺圆柱的表面粗糙度 圆柱与筋形台面的平行度	$\leq R_a 0.2 \mu\text{m}$ 圆柱与筋形台面之间不得有光隙
12	基圆盘母线与直尺工作面的平行度 基圆盘工作面的表面粗糙度	接触处不得有光隙, $\leq R_a 0.2 \mu\text{m}$
13	基圆盘和主轴的综合圆跳动	$\leq 4 \mu\text{m}$
14	上、下顶尖的径向圆跳动	$\leq 2 \mu\text{m}$
15	直尺工作面与主拖架运动的平行度	$\leq 30 \mu\text{m}/570 \text{ mm}$
16	啮合线导槽与轴向拖架导轨的平行度	不大于 $2 \mu\text{m}/200 \text{ mm}$
17	径向拖架导轨与顶尖轴线的垂直度	$\leq 3 \mu\text{m}/45 \text{ mm}$
18	600 mm 正弦规导槽与主拖架运动的平行度	$\leq 1.2 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ $\leq 3 \mu\text{m}/570 \text{ mm}$
19	基圆盘的直径	$D \pm 0.001 \text{ mm}$
20	基圆盘与直尺运动的符合性	$\leq 4 \mu\text{m}/\text{转}$

表 A.1 (续)

序号	项 目 名 称	技 术 指 标
21	轴向拖架导轨与顶尖轴线的平行度	正母线 $\leq 3 \mu\text{m}/200 \text{ mm}$ 侧母线 $\leq 8 \mu\text{m}/200\text{mm}$
22	600 mm 正弦尺的中心距偏差	$\pm 0.012 \text{ mm}$ (或 $\pm 2 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$)
23	250 mm 正弦尺的中心距偏差	$\pm 0.015 \text{ mm}$ (或 $\pm 1 \mu\text{m}/35 \text{ mm}$)
24	200 mm 正弦尺的中心距偏差	$\pm 0.02 \text{ mm}$ (或 $\pm 2.5 \mu\text{m}/50 \text{ mm}$)
25	重复性	$\leq 1 \mu\text{m}$
26	螺旋线测量示值误差	最大允许误差: $2 \mu\text{m}/$ 任意一个导程; $3 \mu\text{m}/$ 任意三个导程; $4 \mu\text{m}/$ 任 100 mm
27	齿形测量示值误差	最大允许误差: $1.5 \mu\text{m}/6 \text{ mm}; 2 \mu\text{m}/12.5 \text{ mm};$ $2.5 \mu\text{m}/25 \text{ mm}; 4 \mu\text{m}/50 \text{ mm}$

附录 B

校对规及标准锥度轴的技术要求

B1 校对规如图 B.1 所示。

平面 M 与顶尖孔轴线偏离 ≤ 0.01 mm；

平面 F 与顶尖孔轴线的垂直度 ≤ 0.5 $\mu\text{m}/$ 全长；

平面 M , F 的平面度 ≤ 0.5 μm 。

B2 标准锥度轴如图 B.2 所示。技术要求如下：

60° 和 120° 的角度公差 $\pm 3''$ 。

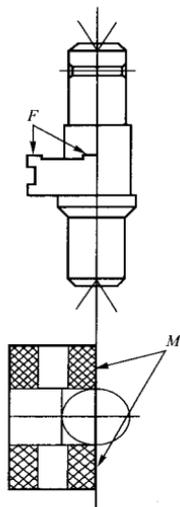


图 B.1

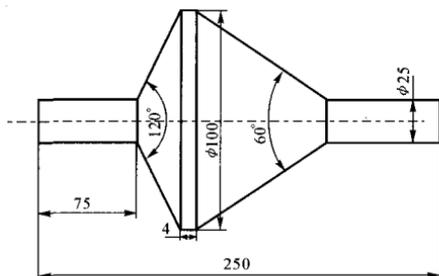


图 B.2

附录 C

滚刀检查仪螺旋线测量示值误差校准结果的不确定度评定

C.1 概述

以德国产 PWF-250 滚刀检查仪为例, 给出仪器螺旋线测量示值误差校准结果的不确定度评定示例。

C.2 数学模型

仪器螺旋线测量示值误差 e :

$$e = s_s(1 + \alpha_s \Delta t_s) - s_b(1 + \alpha_b \Delta t_b) \quad (C.1)$$

式中: s_s ——仪器测头运动的三圈导程数值;

s_b ——标准滚刀螺旋线的三圈导程数值;

α_s, α_b ——分别为仪器与标准滚刀的线胀系数;

$\Delta t_s, \Delta t_b$ ——分别为仪器与标准滚刀温度偏离标准温度 20℃ 的值。

式 (C.1) 舍去微量, 整理后得

$$e = s_s - s_b + s_s \Delta \alpha + s_s \alpha \delta t \quad (C.2)$$

式中: $s_s \approx s_s \approx s_b$,

$$\alpha \approx \alpha_s \approx \alpha_b$$

$$\delta \alpha = \alpha_s - \alpha_b,$$

$$\delta t = \Delta t_s - \Delta t_b$$

C.3 灵敏系数和方差

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial e}{\partial s_s} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial e}{\partial s_b} = -1; \quad c_3 = \frac{\partial e}{\partial \alpha} = s_s \Delta t; \quad c_4 = \frac{\partial e}{\partial \delta t} = s_s \alpha$$

由于各输入量彼此独立, 根据不确定度传播律, 其方差为

$$u_c^2 = u^2(e) = u^2(s_s) + u^2(s_b) + (s_s \Delta t)^2 u^2(\delta \alpha) + (s_s \alpha)^2 u^2(\delta t) \quad (C.3)$$

C.4 标准不确定度一览表

表 C.1 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$	$ c_i \cdot u(x_i) / \mu\text{m}$	自由度
$u(s_s)$	仪器测量重复性	0.64 μm	1	0.64	9
$u(s_b)$	标准滚刀螺旋线导程	1.202 μm	-1	1.202	∞
$u(\delta \alpha)$	仪器与标准滚刀线胀系数差	$0.816 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$s_s \Delta t$	0.231	50
$u(\delta t)$	仪器与标准滚刀温度差	0.289 $^\circ\text{C}$	$s_s \alpha$	0.314	8
$u_c = 1.42 \mu\text{m} \quad \nu_{\text{eff}} = 204$					

C.5 输入量的标准不确定度评定

C.5.1 仪器测量重复性引起的不确定度分量 $u(s_s)$

取一把 $m = 10$ 的单头标准滚刀, 在重复性条件下, 用被测滚刀检查仪测量其螺旋

线 10 次, 用贝塞尔公式计算出单次测量结果的实验标准差 $s = 1.1 \mu\text{m}$, 实际校准时取三次测量平均值, 故

$$u(s_a) = \frac{1.1}{\sqrt{3}} = 0.64 (\mu\text{m}) \quad \nu_1 = 9$$

C.5.2 标准滚刀螺旋线导程测量引起的不确定度分量 $u(s_b)$

标准滚刀参数: $m = 10$, $n = 3$, $Z_0 = 1$, 根据公式

$$U_b = (0.5 + 0.5 \sqrt{m}) \sqrt{n} \times 10^{-3} (\text{mm}) \quad (\text{C.4})$$

(注: 引自 JJG2055—1990 齿轮螺旋线计量器具检定系统 8.3 标准滚刀)

计算标准滚刀螺旋线导程引起的不确定度, 当 $n = 3$, $m = 10$ 时, $U_b = 3.605 \mu\text{m}$, U_b 为扩展不确定度, 在正态分布条件下, 取包含因子 $k = 3$, 故

$$u(s_b) = \frac{3.605}{3} = 1.202 \mu\text{m}, \text{取 } \nu_2 = \infty$$

C.5.3 温度偏离 20°C , 由线胀系数差引起的标准不确定度分量 $u(\delta\alpha)$

仪器与标准滚刀线胀系数均取 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, 两者之差的 最大可能性为 $2 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, 在其分布区间内服从三角分布, 估计其相对不确定度为 10%。故

$$u(\delta\alpha) = \frac{2 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}}{\sqrt{6}} = 0.816 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}, \nu_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{10}{100} \right)^{-2} = 50$$

C.5.4 仪器与标准滚刀存在温差引起的不确定度分量 $u(\delta t)$

等温后, 两者温差 δt 在 $(-0.5, +0.5)^\circ\text{C}$ 分布区间内服从均匀分布, 估计其相对不确定度为 25%。故:

$$u(\delta t) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289^\circ\text{C}, \nu_4 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{25}{100} \right)^{-2} = 8$$

C.6 计算合成标准不确定度 u_c

$$u_c^2 = u^2(s_a) + u^2(s_b) + (s_z \Delta t)^2 u^2(\delta\alpha) + (s_z \alpha)^2 u^2(\delta t) = 1.42 \mu\text{m}^2$$

C.7 计算有效自由度 ν_{eff}

$$\nu_{\text{eff}} = u_c^4 \div \left[\frac{u^4(s_a)}{\nu_1} + \frac{u^4(s_b)}{\nu_2} + \frac{(s_z \Delta t)^4 u^4(\delta\alpha)}{\nu_3} + \frac{(s_z \alpha)^4 u^4(\delta t)}{\nu_4} \right] = 204$$

C.8 扩展不确定度

$$U_{95} = t_{95}(\nu_{\text{eff}}) u_c = 2.78 \mu\text{m} \approx 2.8 \mu\text{m}$$

C.9 不确定度报告

滚刀检查仪三个导程螺旋线测量结果的扩展不确定度为

$$U_{95} = 2.8 \mu\text{m} \quad \nu_{\text{eff}} = 204 \quad k_{95} = 1.96$$