



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1209—2008

齿轮齿距测量仪校准规范

Calibration Specification for

Gear Pitch Measuring Instruments

2008-05-23 发布

2008-11-23 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

齿轮齿距测量仪校准规范

Calibration Specification for
Gear Pitch Measuring Instruments

JJF 1209—2008
代替 JJG 294—1982

本规范经国家质量监督检验检疫总局于2008年5月23日批准，并自2008年11月23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：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

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

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）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
4.1 下顶尖斜向圆跳动	(2)
4.2 上顶尖对主轴回转中心的同轴度	(2)
4.3 测量滑板定位的变动性	(2)
4.4 测微系统的示值误差	(2)
4.5 单齿距示值的测量重复性	(2)
4.6 仪器测量齿距累积总偏差的示值误差	(2)
4.7 仪器测量齿距累积总偏差时的示值变动性	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
6 校准项目	(2)
7 校准方法	(3)
7.1 下顶尖斜向圆跳动	(3)
7.2 上顶尖对主轴回转中心的同轴度	(3)
7.3 测量滑板定位的变动性	(4)
7.4 测微系统的示值误差	(4)
7.5 单齿距示值的测量重复性	(4)
7.6 仪器测量齿距累积总偏差的示值误差	(5)
7.7 仪器测量齿距累积总偏差时的示值变动性	(5)
8 校准结果的表达	(5)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A 齿距偏差数据处理举例	(6)
附录 B 部分齿轮齿距测量仪计量特性推荐要求	(7)
附录 C 校准齿轮齿距测量仪测量齿距累积总偏差(相对法)示值误差的 不确定度分析	(8)

齿轮齿距测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于相对法自动和半自动齿轮齿距测量仪的校准。

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

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

GB/T 10095.1—2001 渐开线圆柱齿轮—精度 第1部分

JJG 1008—2006 标准齿轮检定规程

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

相对测量法测量齿轮齿距的仪器，采用双测头结构，以被测齿轮的任一齿距（或 K 个齿距）作为齿距初值，依次对齿轮其他齿距（或 K 个齿距）进行比较测量，从而得到其他齿距（或 K 个齿距）相对于齿距初值的偏差，利用圆周封闭特性得到各齿距偏差。其测量原理如图 1 所示。

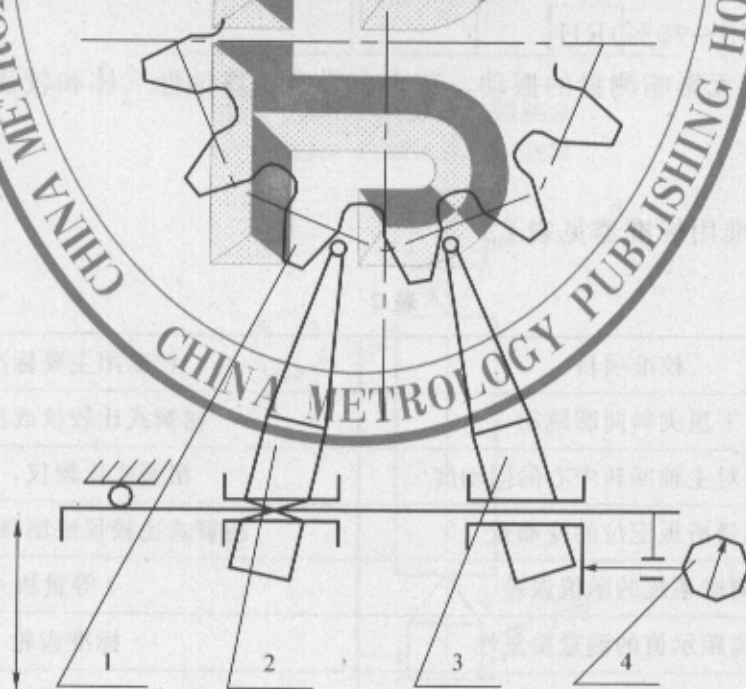


图 1 相对法测量原理

1—被测齿轮；2—定位测头；3—活动测头；4—指示表

4 计量特性

- 4.1 下顶尖斜向圆跳动
- 4.2 上顶尖对主轴回转中心的同轴度
- 4.3 测量滑板定位的变动性
- 4.4 测微系统的示值误差
- 4.5 单齿距示值的测量重复性
- 4.6 仪器测量齿距累积总偏差的示值误差
- 4.7 仪器测量齿距累积总偏差时的示值变动性

上述计量特性的推荐要求见附录 C，供校准时参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

- 5.1.1 温度：见表 1。

表 1

测量齿轮级别	(3~5) 级	(6~8) 级	9 级及以下
温度	(20±2)℃	(20±3)℃	(20±5)℃
温度变化	1℃/h		2℃/h
被校仪器与标准器温差	≤1℃		≤2℃

- 5.1.2 湿度：(35%~75%)RH。

- 5.1.3 仪器室内应无影响测量的振动、灰尘、噪音、腐蚀性气体和较强磁场等。

6 校准项目

校准项目及校准用标准器见表 2。

表 2

序号	校准项目	校准用主要标准器
1	下顶尖斜向圆跳动	扭簧式比较仪或测微仪
2	上顶尖对主轴回转中心的同轴度	扭簧式比较仪，芯轴
3	测量滑板定位的变动量	扭簧式比较仪或测微仪，芯轴
4	测微系统的示值误差	3 等量块
5	单齿距示值的测量重复性	标准齿轮
6	仪器测量齿距累积总偏差的示值误差	标准齿轮
7	仪器测量齿距累积总偏差时的示值变动性	标准齿轮

7 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和仪器故障，并进行必要的准备工作，如预热、调整测头、测头校零等。

7.1 下顶尖斜向圆跳动

将装有分度值为 $0.5\ \mu\text{m}$ 或 $1\ \mu\text{m}$ 的扭簧式比较仪（或测微仪）的表架固定于仪器基座上，使测头在距顶尖尖部（5~7）mm 处与顶尖锥面垂直接触，转动顶尖一周，如图 2 所示。其指示表示值的最大变化量即为校准结果。

7.2 上顶尖对主轴回转中心的同轴度

分别将 150 mm 和 300 mm 的芯轴装在两顶尖间，使分度值为 $0.001\ \text{mm}$ 的扭簧式比较仪及专用表架固定于主轴端面圆盘上，扭簧式比较仪测头与芯轴上端垂直接触，校准时扭簧式比较仪随同主轴一同转动，如图 3 所示。扭簧式比较仪示值的最大变化量即为同轴度。

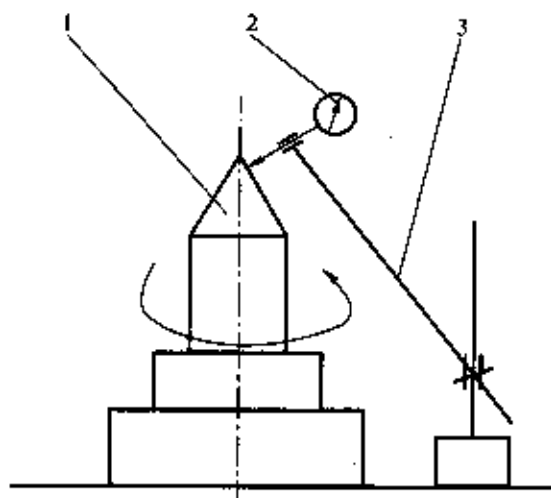


图 2 校准下顶尖斜向圆跳动

1—下顶尖；2—指示表；3—表架

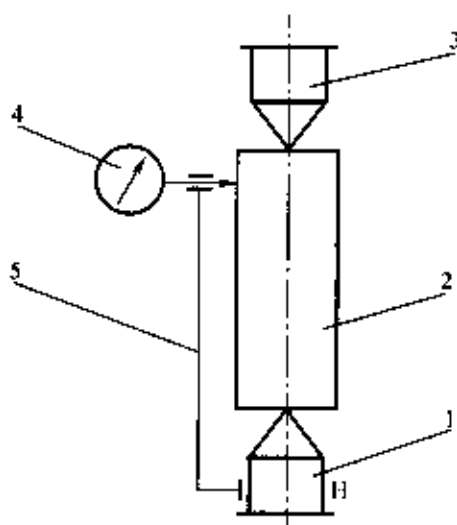


图 3 校准同轴度

1—下顶尖；2—心轴；3—上顶尖；4—扭簧表；5—表架

7.3 测量滑板定位的变动性

将装有扭簧式比较仪（或测微仪）的表架固定于仪器基座上，光面测砧固定于测量滑板台面上，使指示表测头与光面测砧垂直接触，测量滑板往复运动 10 次，如图 4 所示。其指示表示值的最大变化量即为校准结果。

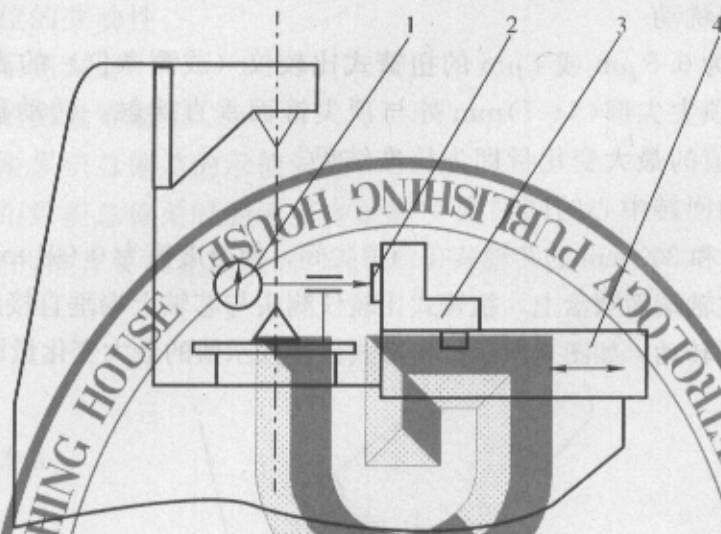


图 4 校准测量滑座定位的变动性

1—指示表；2—光面测砧；3—测量滑板；4—径向滑座

校准时，应在测量滑板中行程、长行程的中速、快速挡分别进行。

7.4 测微系统的示值误差

根据测微系统的量程，均匀选择相应尺寸间隔（不少于 3 点）的 3 等量块进行校准。先用最小尺寸量块对零，依次用其他量块校准各点正向示值误差；再用最大尺寸量块对零，依次用其他量块校准各点负向示值误差。受检点示值误差按下式计算：

$$\delta_i = r_i - \frac{(L_i - L_0)}{l} \times 100\%$$

式中： r_i —— i 点读数值；

L_i ——第 i 块量块实际尺寸；

L_0 ——对零量块实际尺寸；

l ——校准时测微系统所对应的量程。

以正向示值误差和负向示值误差中的较大者作为校准结果。

在满足测量不确定度要求的情况下，允许使用其他方法进行校准。

7.5 单齿距示值的测量重复性

用实验标准偏差 s 来表征单齿距示值的测量重复性。将标准齿轮安装在仪器上，对同一齿距进行多次重复测量。测量次数不少于 10 次，采用贝塞尔公式计算重复性 s ：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{\mu i} - \bar{f}_{\mu})^2}{n-1}}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

测量 6 级及以下齿轮的仪器，也可以采用极差法（测量 5 次），计算重复性 s ：

$$s = \frac{f_{p\max} - f_{p\min}}{2.33}$$

7.6 仪器测量齿距累积总偏差的示值误差

仪器测量齿距累积总偏差示值误差的校准用标准齿轮做标准器，在标准齿轮的分度圆柱、齿宽中间位置的端平面上对左、右齿面分别进行测量。在确保不发生干涉的情况下（测头直径小于 $\frac{\pi m}{2}$ ），宜选择直径较大的测头。当从上端面观察时，齿序从1号齿起，顺时针排列。两测头与齿面的接触点应位于齿高中部同名齿廓同一圆柱面上，两测头按标准齿轮的齿距角 $\gamma = \frac{360^\circ}{z}$ 安装，测头与齿面的接触应对称的位于齿轮中心线两侧并位于分度圆处的同一圆周上。测量一周后进行数据处理（数据处理方法参考附录A）。当测量一周后，测头读数应回零。若测头回零误差大于 $0.5 \mu\text{m}$ ，则应重新进行测量。

连续测量5次齿距累积总偏差 F_p ，取5次 F_{pi} 的平均值与标准齿轮齿距累积总偏差 F_{pb} 之差作为仪器测量齿距累积总偏差 F_p 的示值误差，计作 ΔF_p 。

$$\Delta F_p = \frac{\sum_{i=1}^5 F_{pi}}{5} - F_{pb}, \quad i = 1, 2, \dots, 5$$

以左、右齿面齿距累积总偏差示值误差的较大者作为校准结果。应按被校准仪器的最大允许误差选择相应级别的标准齿轮进行校准。一般情况下测量3级~5级齿轮的仪器，分别用高一等级的标准齿轮（2级~4级）做标准器；测量6级及以下齿轮的仪器，用5级（含）以上标准齿轮做标准器；标准齿轮分度圆直径在（50~125）mm段，齿数不少于36齿。

7.7 仪器测量齿距累积总偏差时的示值变动性

取仪器连续测量5次左齿面齿距累积总偏差 F_p 的最大差值和连续测量5次右齿面齿距累积总偏差 F_p 的最大差值中的较大者作为校准结果。

8 校准结果的表达

校准后的齿轮齿距测量仪，填发校准证书，给出校准结果及示值误差的测量不确定度，并说明标准器的不确定度及其溯源的有效性。

9 复校时间间隔

复校时间由使用者自行决定。建议复校时间间隔为1年，使用频繁的仪器复校时间间隔可适当缩短。

附录 A

齿距偏差数据处理举例

相对测量法数据处理方法及计算举例见表 A.1。

将读数 f_{pi} 列表后, 首先计算读数的平均值 \bar{f}_p , 再分别将读数 f_{pi} 减去平均值 \bar{f}_p , 得到第 i 齿的齿距偏差 f_{pi} , 其中绝对值最大的即为单个齿距偏差 f_p 。

再由 1 号齿开始, 将单个齿距偏差 f_{pi} 进行代数累加, 得到对应齿的齿距累积偏差 F_{pi} , F_{pi} 的最大变化量即为齿距累积总偏差的测量值 F_p 。

表 A.1 相对测量法数据处理方法及计算举例

 μm

齿序	相对于第一个齿距的差值 f_{pi}	单个齿距偏差 f_{pi} ($f_{pi} = f_{pi} - \bar{f}_p$)	齿距累积偏差 F_{pi} ($F_{pi} = \sum_{k=1}^i f_{pk}, k=1, \dots, n$)
1	0	-0.6	-0.6
2	-0.6	-1.2	-1.8
3	-0.3	-0.9	-2.7
4	0.3	-0.3	-3.0*
5	3.6	3.0*	0
6	1.5	0.9	0.9
7	1.8	1.2	2.1*
8	-0.6	-1.2	0.9
9	0.1	-0.5	0.4
10	0.2	-0.4	0
	平均值 $\bar{f}_p = 0.6$	$f_p = \pm f_{pi \max} = 3.0$	$F_p = F_{p \max} - F_{p \min} = 5.1$

例中: $f_p = \pm |f_{pi \max}| = 3.0 \mu\text{m}$

$$F_p = F_{p \max} - F_{p \min} = 2.1 - (-3.0) = 5.1 \mu\text{m}$$

附录 B

部分齿轮齿距测量仪计量特性推荐要求

部分齿轮齿距测量仪计量特性的推荐要求见表 B.1，供校准时参考。

表 B.1 部分齿轮齿距测量仪计量特性的推荐要求

 μm

仪器型式	半自动齿距测量仪	自动齿距测量仪
下顶尖斜向圆跳动	2.0	1.5
上顶尖对主轴回转中心的同轴度	5/150 mm 10/300 mm	5/150 mm 10/300 mm
测量滑板定位的变动性	1.0	0.5
测微系统的示值误差	1.0%	
单齿距示值的测量重复性	0.2	0.2
齿距累计总偏差的示值误差	3.5~5	3
齿距累计总偏差的示值变动性	2	2

附录 C

在案

校准齿轮齿距测量仪测量齿距累积总偏差

(相对法) 示值误差的不确定度分析

C.1 概述

本例是在本规范推荐的条件下, 采用模数 $m=2$ 、 $Z=36$ 、2 级精度标准齿轮校准 3406 型自动齿轮测量仪 (以下简称仪器), 对测量齿轮齿距累积总偏差示值误差的不确定度进行分析。

C.2 数学模型

仪器测量齿轮齿距累积总偏差的示值误差 ΔF_p :

$$\Delta F_p = F_p - F_{p\text{标}} \quad (\text{C.1})$$

式中: F_p ——被校仪器测得标准齿轮齿距累积总偏差;

$F_{p\text{标}}$ ——标定标准齿轮的齿距累积总偏差。

C.3 方差和灵敏系数

依据不确定度传播律公式

$$u^2(\Delta F_p) = c_1^2 \cdot u^2(F_p) + c_2^2 \cdot u^2(F_{p\text{标}}) \quad (\text{C.2})$$

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta F_p)}{\partial F_p} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial(\Delta F_p)}{\partial F_{p\text{标}}} = -1$$

C.4 标准不确定度一览表 (表 C.1)

表 C.1 标准不确定度一览表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \frac{\partial \Delta F_p}{\partial x_i}$	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
$u(F_p)$	仪器测得标准齿轮齿距累积总偏差读数	0.502 μm	1	0.502
$u(F_{p1})$	齿距累积总偏差测量重复性	0.268 μm	-1	0.268
$u(F_{p2})$	环境和调整影响	0.425 μm		0.425
$u(\delta_1)$	温度变化量	0.05 μm		0.05
$u(\delta_2)$	两测量头位置调整不正确	0.115 μm		0.115
$u(\delta_3)$	安装偏心	0.066 μm		0.066
$u(F_{p\text{标}})$	标准齿轮齿距累积总偏差	0.333 μm		0.333
$u_c = 0.6 \mu\text{m}$				

C.5 计算标准不确定度分量

C.5.1 被校仪器测得标准齿轮齿距累积总偏差读数值的不确定度 $u(F_p)$ (1) 齿距累积总偏差测量重复性 $u(F_{p1})$

将标准齿轮装于两顶尖之间，在重复性条件下，对一个齿距连续测量 10 次，求得单个齿距偏差测量重复性实验标准差为：

$$s = 0.2 \mu\text{m}$$

5 次测量齿距累积总偏差平均值的不确定度：

$$u(F_{p1}) = s \frac{\sqrt{Z}}{2 \cdot \sqrt{5}} = 0.268 \mu\text{m}$$

(2) 校准仪器时环境和调整影响量引起的不确定度分量 $u(F_{p2})$ a. 校准仪器时温度变化量引起的不确定度分量 $u(\delta_1)$

规范要求校准仪器时温度变化量不大于 1.0℃/h，温度变化取反正弦分布。

$$u(\delta_1) = \frac{2\pi r \cdot \alpha \cdot \Delta t}{Z \sqrt{2}} = 0.05 \mu\text{m}$$

b. 仪器两测量头位置调整不正确引起的不确定度分量 $u(\delta_2)$

两测量头应位于齿轮同一垂轴剖面内分度圆附近的同一圆周上，并且活动测头的移动方向应与齿距偏差方向一致。由于存在调整误差，设此项测量齿距误差不超过 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ 。按均匀分布处理。

$$u(\delta_2) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} \mu\text{m} = 0.115 \mu\text{m}$$

c. 齿轮安装偏心引起的不确定度分量 $u(\delta_3)$

标准齿轮安装在标准芯轴上，由于存在安装误差和芯轴偏心影响，取偏心：
 $e = 0.5 \mu\text{m}$ 按反正弦分布处理。

$$u(\delta_3) = \frac{2e \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{Z}\right)}{\sqrt{2} \cdot \cos\alpha} = 0.066 \mu\text{m}$$

将 a、b、c 合成：

$$u(F_{p2}) = \frac{\sqrt{Z}}{2} \cdot \sqrt{0.05^2 + 0.115^2 + 0.066^2} = 0.425 \mu\text{m}$$

则： $u(F_p) = \sqrt{0.268^2 + 0.425^2} \mu\text{m} = 0.502 \mu\text{m}$

C.5.2 检定标准齿轮齿距累积总偏差的不确定度分量 $u(F_{pk})$

检定标准齿轮 $m=2$ 、 $Z=36$ 、2 级精度，检定结果的扩展不确定度 $U=1 \mu\text{m}$ ， $k=3$

$$u(F_{pk}) = \frac{1}{3} \mu\text{m} = 0.333 \mu\text{m}$$

C.6 合成标准不确定度

由于输入量 $u(F_p)$ 与 $u(F_{pk})$ 不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{0.502^2 + 0.333^2} \mu\text{m} = 0.6 \mu\text{m}$$

C.7 扩展不确定度

$$U = 2 \times u_c = 2 \times 0.6 \mu\text{m} = 1.2 \mu\text{m}, \quad k = 2$$

C.8 报告与表示

用 $Z=36$ 、 $m=2$ 、2 级精度的标准齿轮校准 3406 型自动齿轮测量仪，测量齿轮齿距累积总偏差的示值误差的不确定度为：

$$U = 1.2 \mu\text{m}, k = 2$$