

检具随机误差的验收评定方法

无锡爱锡量仪有限公司(214028) 吴纪岳 陆国征

摘要:介绍了四种常用的检具随机误差验收评定方法,并分析了各种评定方法的特点及适用性。

关键词:检具 极差 重复性 再现性 能力指数

Evaluation Methods of Random Error for Checking and Accepting Testing Fixtures

Wu Jiyue *et al*

Abstract: Four kinds of usual evaluation methods of random error for checking and accepting testing fixtures are introduced. The features and applicability of the methods are analyzed.

Keywords: testing fixture extreme difference repeatability reproducibility capability index

一、引言

检具(读数式量规、读数式检验夹具、综合检测仪等)的生产供应商将按用户要求设计制造的检具成品交付用户时,双方对于采用什么方法及指标来评定检具质量,以及如何判定检具是否合格,确定检具误差有多大等问题往往存在不一致之处,不同的用户常常也会提出不同的验收要求、方法及指标。为此,本文介绍四种常用的检具随机误差的验收评定方法及指标,并对各种方法的适用性进行分析讨论。

收稿日期:1999年6月

二、四种评定方法介绍

1. 评定方法 1

在等精度测量条件下,可采用 n 次测量结果的最大差值(即极差值)作为误差评定指标。即 n 次等精度测量值分别为 L_1, L_2, \dots, L_n , 其中最大测量值为 L_{\max} , 最小测量值为 L_{\min} , 则 n 次测量值的极差值 $W_n = L_{\max} - L_{\min}$ 。采用极差法进行评定时,一般取 $n = 10$, $W_n \leq T/10$ (T 为工件被检项目公差)。

2. 评定方法 2

采用测量能力指数 C_g 值或 $C_g K$ 值作为评定指标,计算公式为

四、结 语

有控点共轭啮合运动测量法是用对传动元件进行检测、质量评定及工艺分析的一种全新的测量方法,它的最大特点是不再将传动元件仅作为一个几何实体来测量其几何形状精度、特征点空间位置误差等,而是将其还原为按某种特定规律传递运动的传动元件来进行测量及评定。在与其使用状态一致的情况下准确评定其使用质量及精度水平的同时,还可测量出按其几何形状分解的各单项几何参数的精度。因此,这种新型测量方法同时具有已广泛应用的几何测量法和综合运动测量法二者的特点和优势,具有广阔的开发应用前景。

参考文献

- 1 谢华锟. 齿轮测量仪器的近况与发展. 工具技术, 1996(6)
- 2 谢华锟等. 改进的二次包络环面蜗轮副测量仪. 专利号 92. C5 - 812.
- 3 Xie Huakun, *et al.* A new measuring device for double enveloping toroidal worm gearing. Proceeding of MTMI '97: 738 ~ 741
- 4 谢华锟. 国内外齿轮和齿轮刀具测量技术的发展概况. '96 全国齿轮学术讨论会论文集, 1996
- 5 陈志新. 共轭曲面原理. 科学出版社, 1976
- 6 吴序堂. 齿轮的啮合原理. 西安交大出版社, 1986

编辑:张 宪

$$C_g = KT/6S \quad (1)$$

$$C_g K = C_g - |X_E - \bar{X}|/3S \quad (2)$$

式中 K ——缩小系数,一般取 $K=0.2$
 KT ——允许的测量结果分布宽度
 $6S$ ——实际达到的测量结果分布宽度
 T ——工件被检项目公差
 X_E ——样件的实际尺寸
 \bar{X} ——平均测量值
 S ——标准偏差,

$$S = \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)}$$

X_i ——第 i 次测量值

n ——测量次数

采用 C_g 值或 $C_g K$ 值进行能力检验评定时应注意以下事项:

(1) 进行能力检验前应将检具调整到完好状态。

(2) 进行能力检验时,被测件应为检具随带的校准件。若无校准件,则可采用符合受检工序尺寸和精度要求的加工零件。

(3) 检验应按该检具的规定操作方法进行,同一被测件应以相同的安装方法及安装方向重复安装测量 50 次,将每次测量数据记录于检验表中以计算 C_g 值或 $C_g K$ 值。

(4) 在能力检验过程中不允许对检具的任何部位进行调整,若检具在检验过程中发生故障,则检验应重新开始。

(5) 对一般检具进行 C_g 值计算,对关键检具进行 $C_g K$ 值计算。

(6) 按式(1)、(2)计算得到测量能力指数,通常当 $C_g \geq 1.33$ 或 $C_g K \geq 2$ 时可视为该检具合格。

3. 评定方法 3

采用重复性(反映检具本身的误差)和再现性(反映测量产生的误差)指标(即 $GR\&R$ 值)进行评定,其方法是:由一定人数(2 人以上)在同一台检具上对一定数量(通常为 5 件以上)的合格工件进行多次(如 3 次)检测试验,将测量数据填入特制表格,按给定公式进行计算。总重复精度能力指数的计算表达式为

$$GR\&R = \sqrt{E_v^2 + A_v^2} \quad (3)$$

式中 E_v ——重复精度指数,反映检具变差
 A_v ——再现能力指数,反映评价人变差
 重复精度指数的计算公式为

$$E_v = \bar{R} \times K_1 \quad (4)$$

式中 \bar{R} ——多人极差平均值

K_1 ——试验次数系数,2 次时: $K_1 =$

4.56;3 次时: $K_1 = 3.05$

再现能力指数的计算公式为

$$A_v = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - E_v^2 / nr} \quad (5)$$

式中 \bar{X}_{DIFF} ——平均值的极差值

K_2 ——评价人数量系数,2 人时: $K_2 =$

3.65;3 人时: $K_2 = 2.70$

n ——被测零件数

r ——测量次数

上述三种指数在被测工件公差带中所占百分比分别为

$$\begin{aligned} \text{重复精度指数} &: \text{重复精度指数} / \text{公差带} \times 100 \\ &= E_v / T (\%) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{再现能力指数} &: \text{再现能力指数} / \text{公差带} \times 100 \\ &= A_v / T (\%) \end{aligned}$$

$$\text{总重复精度能力指数} : \text{总重复精度能力指数} / \text{公差带} \times 100 = GR\&R / T (\%)$$

评定原则如下:

(1) 若 $GR\&R (\%) < 10 \%$,则检具合格,可以接收;

(2) 若 $10\% \leq GR\&R (\%) \leq 30\%$,则应对总误差中检具误差与人为误差各自所占比例进行分析,并结合检具应用重要性、检具成本、维修费用等相关因素进行综合考虑,以决定检具是否可以接收;

(3) 若 $GR\&R (\%) > 30\%$,则检具不合格,不能接收。

在进行 $GR\&R$ 测试时必须注意以下两点:

(1) 被测工件必须为合格工件;

(2) 被测工件上的检测部位(检测点)不能变动。

4. 评定方法 4

采用检测能力及其指数 M_{cp} 值作为评定指标。检测能力是指检具保证测量的准确可靠程度的能力,可表示为:检测能力 = $2U$;检测能力指数 M_{cp} 表示检测能力满足被测量对象测量准确度要求程度的量值,可表示为

$$M_{cp} = T/2U \quad (6)$$

式中 T ——检测时被检参数允许变化的范围或公差

U ——测量扩展(区间)不确定度

根据我国计量系统对计量器具精度选择要求的评审、确认方法,检测能力指数 M_{cp} 是对应于检验的误判率 $P_{判} = m + n$ 的能力指数(m 为 类误判率,即将合格误判为不合格的概率; n 为 类误判率,即将不合格误判为合格的概率)。

为保证在一定工序能力指数 C_p 条件下加工的零件在检测时将 m 、 n 值控制在一定范围内,则必须保证选用的检具具有相应的 M_{cp} 值。换句话说,一定的 C_p 结果和 M_{cp} 条件必然产生对应的 m 、 n 值。 m 、 n 值与 C_p 和 M_{cp} 的对应关系见表 1。

表 1 误判率 m 、 n 值 (%)

C_p	M_{cp} m, n	2	3	4	5
		m	0.54	0.24	0.15
1	n	0.087	0.069	0.058	0.050
1.33	m	0.08	0.02	0.01	0.006
	$n(\times 10^{-3})$	2.4	2.1	1.8	1.6
1.67	$m(\times 10^{-2})$	1.03	0.11	0.034	0.017
	$n(\times 10^{-5})$	2.3	2.1	2.0	1.8

采用 M_{cp} 值评定检测能力时可分为 A、B、C、D、E 五种情况,每种情况对应的 M_{cp} 值及误判率 $P_{判}$ 值见表 2。选择检具时仅用 A、B 两个级档。

表 2 检测能力评定

级 档	A	B	C	D	E
M_{cp}	3~5	2~3	1.5~2	1~1.5	<1
$P_{判} = m + n$ (%)	0.3~0.16	0.6~0.3	1.0~0.6	3.2~1.3	>3.2
能力评价	合适	基本满足	低	不足	严重不足

三、评定方法及指标分析

1. 极差 W_n 与测量能力指数 C_g 、检测能力

指数 M_{cp} 的关系分析

(1) 极差 W_n 与测量能力指数 C_g 的关系

若测量误差呈正态分布,则 n 次等精度测量的极差 W_n 与标准偏差 S 的关系为

$$S = W_n / D_n \quad (7)$$

式中 D_n 的数值见表 3(表中 n 为测量次数)。

表 3 D_n 值

n	5	10	15	20	25
D_n	2.53	3.08	3.47	3.74	3.93

将式(7)代入式(1),整理后可得

$$W_n / T = K D_n / C_g \quad (8)$$

W_n / T (%) 值的计算结果见表 4。

表 4 W_n / T 值 (%)

缩小系数 K	0.05			0.10			0.15			0.20			
	10	20	50	10	20	50	10	20	50	10	20	50	
C_g	1	2.6	3.1	3.3	5.1	6.2	6.7	7.7	9.4	10.0	10.3	12.5	13.3
	1.33	1.9	2.3	2.5	3.9	4.7	5.0	5.8	7.0	7.5	7.7	9.4	10.0
2	1.3	1.6	1.7	2.6	3.1	3.3	3.9	4.7	5.0	5.1	6.2	6.7	

注: $n = 50$ 时,取 $D_n = 4$ 。

由 W_n / T (%) 值及给定的工件被检项目公差值 T 即可求得允许使用检具的 W_n 值;或由给定的 K 、 n 、 C_g 、 T 值可求得同等精度时允许的 W_n 值。反之,亦可由已知的检具 W_n 值和 C_g 值来判断能否满足工件 T 值的检测要求。现列举应用实例如下:

例 1. 某种电子塞规的测量重复性水平为 10 次重复测量的极差值 $W_n = 0.001\text{mm}$ 。若订货方要求 $K = 0.2$, $C_g = 2$ 时,由表 4 可查得 $W_n / T = 5.1\%$,因此该电子塞规只能用于检测被检项目公差值 $T = 0.02\text{mm}$ 的工件;若订货方要求 $K = 0.2$, $C_g = 1.33$ 时,该电子塞规则可用于检测 $T = 0.013\text{mm}$ 的工件。

例 2. 当被检项目公差值 $T = 0.01\text{mm}$ 时,经查表 4 及计算,求得与不同的 C_g 值相对应的 10 次重复测量极差值 W_{10} 和 50 次重复测量极差值 W_{50} 见表 5。

表 5 (μm)

C_g	1	1.33	2
W_{50}	1.33	1.00	0.67
W_{10}	1.03	0.77	0.51

对于传统的极差评定法(评定方法 1),取测量次数 $n = 10$, 检具测量误差取工件被检项目公差值 T 的 $1/10$, 根据式(1)、式(7)及表 3 计算可得此时 $C_g = 1.03$ 。

(2) 测量能力指数 C_g 与检测能力指数 M_{cp} 的关系

式(6)中的测量扩展(区间)不确定度 U 可表示为

$$U = ku_c$$

式中 u_c ——合成标准不确定度

k ——覆盖因子

若取 $k = 3$, 则 $2U = 6S$, 比较式(1)可得

$$C_g = KM_{cp} \tag{9}$$

因此,若取 $K = 0.2$, 则 C_g 值和 M_{cp} 值的对应关系见表 6。

表 6 C_g 值与 M_{cp} 值的对应关系

M_{cp}	2	3	4	5
C_g	0.4	0.6	0.8	1

由表可见,对应于 A、B 两个级档 M_{cp} 值(2 ~ 5)的 C_g 值为 0.4 ~ 1。

2. 形位公差规定值与 C_g 值的关系分析

国标 GB1958 - 80《形状和位置公差检测规定》中规定“测量精度用测量总误差来表示,测量总误差是形位误差的测得值与其真值之差。”即测量总误差是以下三类误差的综合结果:

(1) 以测得要素作为实际要素引起的误差(如布点引起的误差);

(2) 由测量设备、测量温度、测量力等因素引起的误差;

(3) 采用近似评定方法引起的误差。

极限测量总误差允许占给定公差值的 10% ~ 30%。由于形位公差是单向公差,因此 C_g 值计算公式为

$$C_g = KT/3S = 0.2/P \tag{10}$$

式中 P ——极限测量总误差占给定形位公差值的百分比

被测要素各公差等级允许的极限测量总误差百分比及相应的 C_g 值见表 7。

表 7 极限测量总误差与相应的 C_g 值

公差等级	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$P(\%)$		33		25		20		16		12.5		10	
C_g		0.6		0.8		1		1.25		1.6		2	

四、四种评定方法的适用性分析

(1) 检具与其它计量器具一样,其测量误差亦可分为系统误差、随机误差和粗大误差。粗大误差可采用多种判别法则予以剔除。系统误差(如定位误差、测点选择误差、线性误差以及相对测量中的校准件误差等)本文不作讨论。前述四种评定方法均适用于评定呈正态分布的随机误差。

(2) 重复性和再现性评定法(GR&R 法)不仅考虑了检具本身引起的测量误差,而且考虑了已掌握该检具使用方法的同一操作人员使用同一台检具时产生的测量误差。虽然该测试方法较繁琐,耗时较多,且需占用一定数量的操作人员,但该方法的评定结果较为客观。美国汽车制造业及国内美资汽车制造企业通常均采用该方法评定及验收检具。实测结果证明,若将 GR&R 值控制在 10% 以内,则该方法为四种评定方法中最严格的方法。

(3) 测量能力指数评定法(C_g 、 $C_g K$ 值法)是德国汽车工业及国内德资汽车制造企业普遍采用的评定方法。该方法仅考虑检具本身引起的测量误差,一般选取 $K = 0.2$, C_g (或 $C_g K$) = 1.33。在要求较严格的场合选取 C_g (或 $C_g K$) = 2。

(4) 传统的极差评定法的应用较为简单,要求 10 次重复测量求得的检具误差应小于被检项目公差的 $1/10$ (即 $W_{10} = T/10$)。由表 4 可知,当 $K = 0.2$, $C_g = 1.33$ 时,重复测量 50 次则可得 $W_{50} = T/10$;若仅重复测量 10 次,则要求 $W_{10} = 0.77 T = T/13$ 。由此可见,采用传统极差评定法验收检具时,其要求比要求 $C_g = 1.33$ 更为宽松。

(5) 检测能力指数评定法(M_{cp} 值法)主要用于选择检具以控制误判率。由表 6 可知,即使

孔内键槽复合量规的设计

淮阴工业专科学校(223001) 叶伟昌 梁 萍

齿轮、带轮、联轴器等通常采用平键与轴联接,平键用于传递转矩或兼作导向。由于键为标准件,因此键宽与键槽宽的配合采用基轴制。在批量生产中,通常采用键槽复合量规检验轮毂键槽的槽宽及槽深尺寸,同时采用对称度量规检验键槽的对称度。下面对这两种量规的设计方法作一介绍。

1. 键槽复合量规设计方法

检验孔用的键槽复合量规如图1所示。该量规实质上是一种将两组塞规组合在一起的极限量规(通、止规),因此其工作面的基本尺寸及制造公差均可按光滑塞规来选择。用该量规检验键槽时,通端“T”控制键槽宽度 b 的最小极限尺寸;止端“Z”控制槽宽上的最大极限尺寸; t_1 控制槽深 t 的最小极限尺寸; t_2 控制槽深 t 的最大极限尺寸。

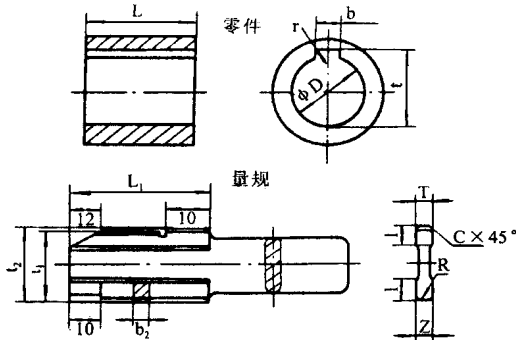


图1 键槽复合量规

键槽复合量规的主要尺寸及公差的确定方法见表1。

该键槽复合量规具有以下特点:

(1) 利用 t_1 、 t_2 及 T 端可检验槽深尺寸 t 是否合格及槽宽 b 的最小极限尺寸,然后只需将量规翻转 180 即可用 Z 端检验槽宽 b 是否超过最大极限尺寸。由于不需更换量规,可减少辅助时间,提高检验效率。

(2) 在量规制造和检测时, t_1 和 t_2 不会发生相互干涉。

尺寸代号	确定原则或计算公式	公差确定
T	$T = b_{\min}$	制造公差按光滑塞规公差确定
Z	$Z = b_{\max}$	
t_1	$t_1 = t_{\min}$	
t_2	$t_2 = t_{\max}$	
C	$C = r$ (键槽的最大圆角半径)	
b_2	$b_2 = Z - (0.5 \sim 1)$	
L	$L >$ 工件被测量面槽深($t + D$)	
R	$R = D/2 - 1$ (D为工件内孔直径)	
L_1	$L_1 = L + 15(L_1 - 40)$	

生相互干涉。

(3) 量规前端有长度为 12mm 的大倒角,因此用止端(Z)检验槽宽 b 时不会与其它尺寸发生干涉。倒角也可用圆弧替代,圆弧半径可按具体情况确定。

2. 键槽复合量规设计实例

被测工件见图1。已知工件内孔直径 $D = \phi 30H8(+0.033)_0$ mm,键槽宽度 $b = 10fS9(\pm 0.018)$ mm,槽深 $t = 33.3^{+0.2}_0$ mm,圆角半径 $r = 0.5$ mm,键槽长度 $L = 30$ mm,试确定量规各部分尺寸。

(1) 计算量规工作尺寸

计算检验槽宽 b 的量规通端和止端尺寸 首先根据国标 GB1957 - 81《光滑极限量

实际需要选用 GR&R 评定法或 C_g ($C_g K$) 评定法。

参考文献

- 1 形状和位置公差标准手册. 中国标准出版社,1996
- 2 廖念钊等. 互换性与技术测量. 中国计量出版社,1990
- 3 黄耀文等. 企业计量管理培训教材. 江苏省技术监督局,1997

编辑:张 宪

收稿日期:1999年1月(修改稿)

A、B 两个级档的 M_{cp} 值 2~5,也仅相当于 C_g 值 0.4~1。

(6) 无锡爱锡量仪有限公司在检具产品的实际验收工作中,对于通用量规类产品(如内径、外径及深度量规)或被检项目公差值较大的简单检具产品通常采用传统的极差评定法;对于一般检具产品或综合检测仪类产品则根据实