

量具的重复性和再现性探究

郝云哲

(陕西法士特汽车传动集团有限责任公司 陕西西安 710119)

摘要：本研究旨在评估某一量具的重复性和再现性，以确定其在测量过程中的准确性和可靠性，从而识别并解决潜在问题，提高测量过程的质量，确保获得准确、一致的测量结果。这样的研究对于保证产品质量、控制生产过程和做出明智的决策都具有重要意义。

关键词：重复性；再现性；实验研究

1. 基本概念

重复性：同一评价人使用相同的测量仪器对同一零件上的同一特性，进行多次测量所得到的测量系统的变差。重复性反映了量具的固有变异性，即量具本身的精度。重复性是在确定的测量条件下连续试验得到的普通原因（随机变差）变差。当测量环境固定和已定义时，即确定了—固定的零件、仪器、标准、方法、操作者、环境和假设条件时，对于重复性最佳的术语是系统内部变差。除了设备内部变差以外，重复性也包括在特定测量误差模型下任何情况下的内部变差。

a、在固定的和规定的测量条件下连续（短期）实验变差；

b、通常指 E.V—设备变差；

c、仪器（量具）的能力或潜能；

d、系统内变差。

再现性：不同评价人使用相同的测量仪器对同一产品的同一特性，进行测量的平均值的变差。再现性反映了不同操作者使用同一量具测量同一零件时的变异性，以及不同操作者之间的变异性。再现性被看作是测量系统之间或测量条件之间的平均变差。

a、由不同的评价人使用同一量具，测量一个零件的一个特性时产生的测量平均值的变差；

b、对于产品和过程条件，可能是评价人、环境（时间）或方法的误差；

c、通常指 A.V—评价人变差；

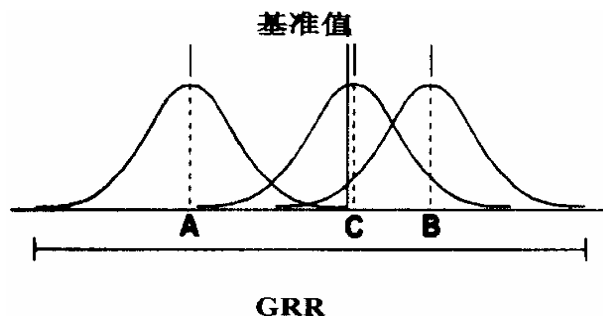
d、系统间（条件）变差；

GRR 或量具 R&R：一个测量系统的重复性和再现性的合成变差的估计。换句话说，GRR 变差等于系统内部和系统之间的方差的总和。

$$\sigma^2 GRR = \sigma^2 \text{再现性} + \sigma^2 \text{重复性}$$

a、具重复性和再现性：测量系统重复性和再现性合成的评估；

b、测量系统能力；依据使用的方法，可能包括或不包括时间影响。



评价人变差：在一个稳定环境中应用相同的测量仪器和方法，不同评价人（操作者）对相同零件（被测体）的测量平均值之间的变差。评价人变差（AV）是一种由于操作者使用相同测量系统的技巧和技能产生的差别造成的普通原因测量系统变差（误差）源。评价人变差通常被假定为与测量系统有关的“再现性误差”，但这并不总是正确的（见再现性）

零件变差：与测量系统分析有关，对于一个稳定过程零件变差（PV）代表预期的不同零件和不同时间的变差。

分辨率：可用作测量分辨率或有效分辨率。测量系统探测并如实显示被测特性微小变化的能力。

2. 适用条件

在进行量具的重复性和再现性研究时，应根据实际情况选择适当的方法和标准，并结合数据分析来评估测量系统的性能。这样可以提高测量结果的可靠性和准确性，为决策提供可靠的依据。

a、质量控制：在生产过程中，需要确保产品的质量符合规定的标准。通过评估量具的重复性和再现性，可以确定测量系统的可靠性，并采取必要的控制措施；

b、新量具评估：当引入新的量具或测量方法时，需要验证其重复性和再现性，以确保其能够提供准确和一致的测量结果；

c、校准和维护：定期校准和维护量具是确保其准确性的重要步骤。通过监测重复性和再现性，可以判断量具是否需要校准或维修；

d、比较不同测量方法：如果有多种测量方法可用于同一特性的测量，比较它们的重复性和再现性可以帮助

选择最可靠的方法；

e、改进测量过程：如果发现量具的重复性或再现性较差，可以进行根源分析并采取改进措施，例如培训操作人员、改进测量程序或更换量具。

f、法规和标准要求：某些行业或领域可能有特定的法规或标准，要求对测量系统进行重复性和再现性评估；

g、验证测量系统的稳定性：在长期使用过程中，测量系统可能会发生变化。定期进行重复性和再现性研究可以验证系统的稳定性；

h、跨多个地点或部门的测量：当测量在不同地点或部门进行时，了解量具的重复性和再现性有助于确保结果的一致性和可比性。

需要注意的是，具体使用条件可能会因行业、应用场景和质量管理要求的不同而有所变化。

3、试验过程

计量型测量系统分析通常采用均值-极差法，计数测量系统分析通常采用小样法。本文以某公司机加工产品离合器齿毂内孔直径特性为例，采用均值-极差法展开试验。

a、确定研究对象

被测量的特性-齿轮外齿跨棒距，要求 M=Φ 112.97 ± 0.03

评估的量具 -外径千分尺 0.01/100-125 GB/T1216

b、选择样本：

选择 n=10 件可代表覆盖整个工序特性公差带宽度变化范围的样品(当以前分析时的 GR&R 值低于 20%时，也可选 5 件)。

c、确定操作者：

选择 3 人(当以前分析时的 GR&R 值低于 20%时，也可选 2 人)，分别定义为 A、B、C。

测量人员需了解量具工作原理、测量程序以及数据记录和处理的方法，具备量具使用的相关经验和技能，及相关检验资质的认可。

d、测量次数

每位评价者分别测量 3 次(10×3)，从而识别出可能存在的显著差异。

4、测量方案及数据收集

a、3 个操作员在全然不知情的状况下利用校准合格的量具对随机抽取的 10 个样品进行盲测，每个操作员对同一样品的同一特性在盲测的情况下重复测量 3 次。

b、被测量的产品由组织者将其进行编号，但这些编号不能让进行测量工作的操作员知道和看到。

c、让操作员 A 以随机盲测的顺序测量 10 个样品，等操作员 A 把 10 个样品第一次测量完后由组织者将其重新混合，再让操作员 A 以随机盲测的顺序进行第二次测量 10 个样品，第三次随机盲测则以此类推；在操作员 A 把 10 个样品共 3 次全部测量完后由进行 GR&R 测量系

统计分析的工作人员将其重新混合，然后让操作员 B 和/或 C 在不互相看对方的数据下测量这 10 个样品，操作员 B 和/或 C 的 3 次随机盲测同操作员 A 的随机盲测方法。

表 1 数据收集表格

Table with columns for Part Name, Characteristics, Inspector, and Measurement Data. Includes a header for '量具重复性和再现性数据表' and a detailed data grid for 15 samples and 3 inspectors.

5. 数据计算

(1) 计算均值和极差

a、用 1、2、3 行中的最大值减去它们中的最小值，把结果记入第 5 行。在第 6、7、8 行和第 11、12、13 行重复以上步骤，并将结果分别记录在第 10 行和第 15 行，分别得到 A、B、C 评价者的测量极差。

b、填入第 5、10 行及 15 行的数据是极差，所以它们总是正值。

c、将第 5 行的数据相加，然后除以零件抽样数量即可得到第一个评价者的极差平均值，

使用此方法分别将第 10、15 行数据相加后，除以零件抽样数量即可得到第二、三评价者的极差平均值；

极差均值: X-bar_A = 112.9757, R-bar_A = 0.0010;

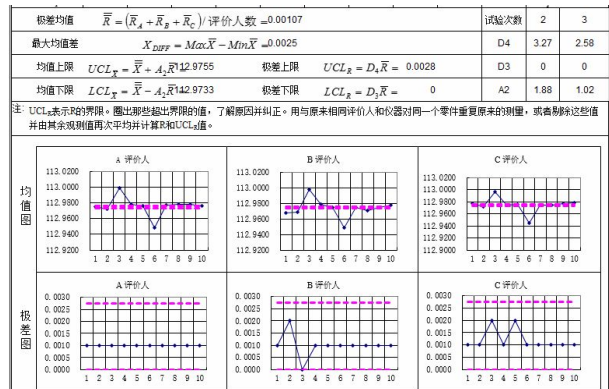
X-bar_B = 112.9732, R-bar_B = 0.0010;

X-bar_C = 112.9743, R-bar_C = 0.0012;

极差均值: R-bar = (R-bar_A + R-bar_B + R-bar_C) / 评价人数 = 0.00107

最大均值差: X-bar_DIFF = Max X-bar - Min X-bar = 0.0025

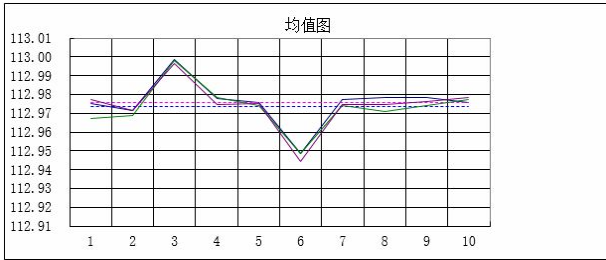
表 2 均值-极差图



(注:当实验次数为2次时 D4=3.267, A2=1.880; 为3次时 D4=2.575, A2=1.023; 实验次数小于7时, D3 均为0)

如表1所示:所有的极差都受控(即:均在控制限内),那么评价人是一致的,则方可进行下一步骤;如果所有的极差都不受控,那么可能是由于评价人技术,位置误差或仪器的一致性不好所造成,则在进行下一步骤之前应先纠正这些特殊原因,并使极差图进入控制中,方可进行下一步骤。

表3 均值图



如表2所示:有一半以上平均值落在控制限之外,则该测量系统足以检查出零件间变差,并且该测量系统可以提供控制该过程的有用数据;如果有一半以下的平均值落在控制限之外,则该测量系统不足以检查出零件间变差,并且不能用于过程控制,同时不能进行该检验、测量和试验设备测量系统的重复性和再现性分析工作。

(2) 重复性标准偏差

$$EV = \bar{R} \times K_1$$

$$= 0.0011 \times 0.5908 \text{ (试验系数)}$$

$$= 0.0006$$

当试验次数 r = 3 时, $K_1 = 0.5908$

(3) 再现性标准偏差

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / nr)}$$

$$= \sqrt{(0.0025 \times 0.5231)^2 - 0.0006^2 / 10 \times 3}$$

$$= 0.0013$$

当评价人 m = 3 人时, $K_2 = 0.5231$

n 为零件数, r 为试验次数。

若根号内为负值,则 AV 缺省为 0。

(4) 测量系统双性 (GRR 或 R&R)

$$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

$$= \sqrt{0.0006^2 + 0.0013^2}$$

$$= 0.0014$$

(5) 零件变差

$$PV = R_p \times K_3$$

$$= 0.0507 \times 0.3146$$

$$= 0.0159$$

(6) 总变差

$$TV = \sqrt{R\&R^2 + PV^2}$$

$$= \sqrt{0.001^2 + 0.0159^2}$$

$$= 0.0160$$

(7) 各变差占总变差的百分比

$$\%EV = 100 \times (EV/TV)$$

$$= 100 \times (0.0006/0.0160)$$

$$= 3.94\%$$

$$\%AV = 100 \times (AV/TV)$$

$$= 10 \times (0.0013/0.0160)$$

$$= 8.03\%$$

$$\%R\&R = 100 \times (R\&R/TV)$$

$$= 100 \times (0.0014/0.0160)$$

$$= 8.94\%$$

$$\%PV = 100 \times (PV/TV)$$

$$= 100 \times (0.0159/0.0160)$$

$$= 99.60\%$$

(8) 计算数据分级数 (有效分辨率)

$$\text{分级数 (ndc)} = 1.41 \times (PV / R\&R)$$

$$= 1.41 \times (0.0159/0.0014)$$

$$= 16$$

Ndc 取整数,且必须 ≥ 5。

表4: 数据计算

测量系统分析				%总变差 (TV)	
重复性 - 设备变差 (EV)	$EV = \bar{R} \times K_1$	试验次数 K_1		$\%EV = 100 \times (EV/TV)$	
	$= 0.0011 \times 0.5908$	2 0.8862		$= 100 \times (0.0006/0.0160)$	$= 3.94\%$
	$= 0.0006$	3 0.5908			
再现性 - 评价人变差 (AV)	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / nr)}$	评价人数 K_2		$\%AV = 100 \times (AV/TV)$	
	$= \sqrt{(0.0025 \times 0.5231)^2 - (0.0006^2 / (10 \times 3))}$	2 0.7071		$= 100 \times (0.0013/0.0160)$	$= 8.03\%$
	$= 0.0013$	3 0.5231			
重复性和再现性 (R&R)	$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	零件数量 K_3		$\%R\&R = 100 \times (R\&R/TV)$	
	$= \sqrt{0.0006^2 + 0.0013^2}$	2 0.7071		$= 100 \times (0.0014/0.0160)$	$= 8.94\%$
	$= 0.0014$	3 0.5231			
		4 0.4467			
零件变差 (PV)	$PV = R_p \times K_3$			$\%PV = 100 \times (PV/TV)$	
	$= 0.0507 \times 0.3146$	5 0.4030		$= 100 \times (0.0159/0.0160)$	$= 99.60\%$
	$= 0.0159$	6 0.3742			
		7 0.3534			
		8 0.3376			
		9 0.3249			
总变差 (TV)	$TV = \sqrt{R\&R^2 + PV^2}$	10 0.3146		有效分辨率 $= 1.41(PV/R\&R)$	$= 1.41 \times (0.0159/0.0014)$
	$= \sqrt{0.001^2 + 0.016^2}$				$= 16$
	$= 0.0160$				

6. 结果评估:

%GRR 或 %R&R 接受准则:

a)、%R&R < 10%, 可接受;

b)、10% ≤ %R&R ≤ 30%, 依据量具的重要性、成本及维修费用等因素, 决定是否可接受或不可接受;

c)、%R&R > 30%, 不能接受, 必须进行改进;

本次试验结果分析

(1) $EV=0.0006$, 设备误差值较小, 说明由量具本身带来的差异误差小, 测量系统可靠;

(2) 试验结果 $\%R\&R=3.99\% < 10\%$, 因此测量系统可以接受。

研究结果显示, 量具的重复性良好, 各个操作者在相同条件下获得的测量结果具有较高的一致性。重复性偏差在可接受的范围内, 表明量具在同一操作者多次使用时具有稳定的测量性能。再现性方面, 不同操作者之间的测量结果也展现出了一定的一致性。虽然存在一些差异, 但这些差异并未超出预期范围, 且可以通过培训和标准化操作进一步改善。

综合来看, 该量具的重复性和再现性表现符合要求, 可以在相应的测量环境中提供可靠的测量结果。然而, 为了持续改进测量系统, 建议定期进行校准和维护, 并加强操作者的培训。

另外, 针对试验结果 $\%R\&R$ 大于 30% 时, 重复性和再现性不满足要求, 需制定并实施相应的改进措施。并进行各种原因分析以发现问题予以改进, 必要时更换量具或对量具重新进行调整, 并对以前所测量的库存品再进行抽样检验, 如发现库存品已超出产品规格公差必须立即进行追踪并通知顾客, 同时按顾客要求进行处理。

(1)、当重复性 (AV) 变差值大于再现性 (EV) 时, 可采取下列措施:

a)、增强量具的设计结构。

b)、改善量具的夹紧或被测量产品定位的使用方式 (检验点)。

c)、对量具进行维护和保养。

(2)、当再现性 (EV) 变差值大于重复性 (AV) 时, 可采取下列措施:

a)、再明确订定或修改作业标准, 加强操作员对量

具的操作方法和数据读取方式的技能培训。

b)、可能需要采用某些夹具协助操作员, 以提高操作量具的一致性。

c)、量具经维修校准合格后再进行 $\%R\&R$ 分析。

7、结束语

量具的重复性和再现性是相互关联的, 它们共同反映了量具的精度和稳定性。在实际应用中, 需要根据具体情况选择合适的量具, 并进行定期校准和维护, 以确保测量结果的准确性。

重复性和再现性对于确保测量结果的准确性和可靠性非常重要, 高重复性和再现性意味着量具能够提供可靠的测量数据, 减少测量误差的影响。

为了评估量具的重复性和再现性, 通常会进行测量系统分析 (MSA)。这包括收集多个测量数据, 分析这些数据的差异, 并确定量具是否满足所需的精度要求。在实际应用中, 保持量具的良好状态、进行定期校准和维护, 以及对操作者进行培训, 都有助于提高量具的重复性和再现性。

参考文献:

[1]测量系统分析中重复性再现性应用浅谈[J]. 王党库;刘蕾.汽车实用技术,2019

[2]浅谈零件泄漏检测实践分析[J]. 郭宗伟.内燃机与配件,2018

[3]精密度试验数据处理的 VBA 程序设计及应用[J]. 田文卿;李继文;王川.计算机与应用化学,2016

[4]重复性和再现性在机加工行业的运用[J]. 敖昌翔;苏桂生.科技展望,2015

[5]三坐标测量机在汽轮机叶片测量中的应用[J]. 郭旗.数字技术与应用,2010(12)