

收集值得信赖的 3D测量值 智能3D测量方法

收集值得信赖的3D测量值 |
智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能

扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂
3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能
3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

收集值得信赖的3D测量值

智能3D测量方法

制造公司每天通过收集尺寸测量数据来监控产品质量。该数据用于调查制造过程的稳定性，确定过程能力，以确保零件的质量与功能，并建立用于量化过程能力的指数，以满足尺寸要求。这都是他们持续改进过程的一部分。

在引入新的制造过程时，可能会出现过程稳定性问题，而无法查明原因并加以纠正。在某些情况下，这些问题与制造过程无关，而是与测量系统本身有关。

测量员知道测量永远都是不精确的。多种变差来源会影响测量系统的性能，从而导致测量的不确定性。通过重复性和量具R&R研究执行测量系统分析（MSA），可以估计测量系统的变差。这些研究使测量员能够评估测量系统的有效性，并最大限度地减少导致总测量过程变差（实际上源自测量系统）的因素。

MSA研究的设置和执行可能相当复杂，在3D测量环境中更是如此，并需要广博的统计学知识才能获得可操作数据。

此白皮书将：

- 解释测量系统分析的主要概念及其在3D测量仪器上的实际应用。
- 通过重复性和量具R&R研究的设置和执行，探索整个数字化过程，以直接从Excel中获得用于分析和共享的结果。
- 为测量员分析研究结果提供建议。



收集值得信赖的3D测量值 |
智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能

扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂
3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能
3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

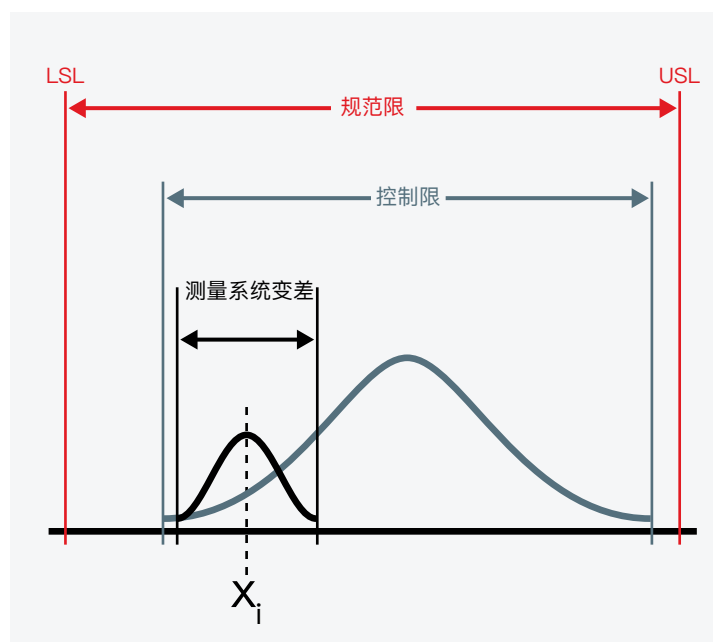
结论

了解MSA基础知识

我们来研究一下MSA在整个零件检测过程中的重要作用。在此过程中，测量员测量关键特性（如大小、尺寸、位置、轮廓和方向），以确定其与名义规范的偏差。他们通过公差和要求评估是否符合控制计划中规定的技术规范。每个测量都有两个主要组成部分：一个代表实际偏差（即实际值），另一个反映了测量系统的变异性。为确保他们的测量系统在任务中值得信赖且可靠，测量员需要确定测量系统的变差幅度，并确保此变差最多占规范限的10%到30%。考虑到制造过程和测量系统的变差，测量系统的变差或性能必须占足够小的比例，而不会对总测量过程变差产生重大影响，并且不会促使过程超出规范限（ LSL 、 USL ）或公差。

图 1
关于总过程变差的
测量系统性能

图1显示了这种相互作用，其中测量系统的性能和测量值（ x_i ）对测量的过程变差具有相对离散和可预测的贡献。此变差是通过SPC技术从生产线上的零件测量结果获得。通常，使用此数据来计算控制限。换言之，测量系统的性能影响总测量过程变差的结果，测量系统分析工作流程有助于识别此性能。



收集值得信赖的3D测量值 |
智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能

扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂
3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能
3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

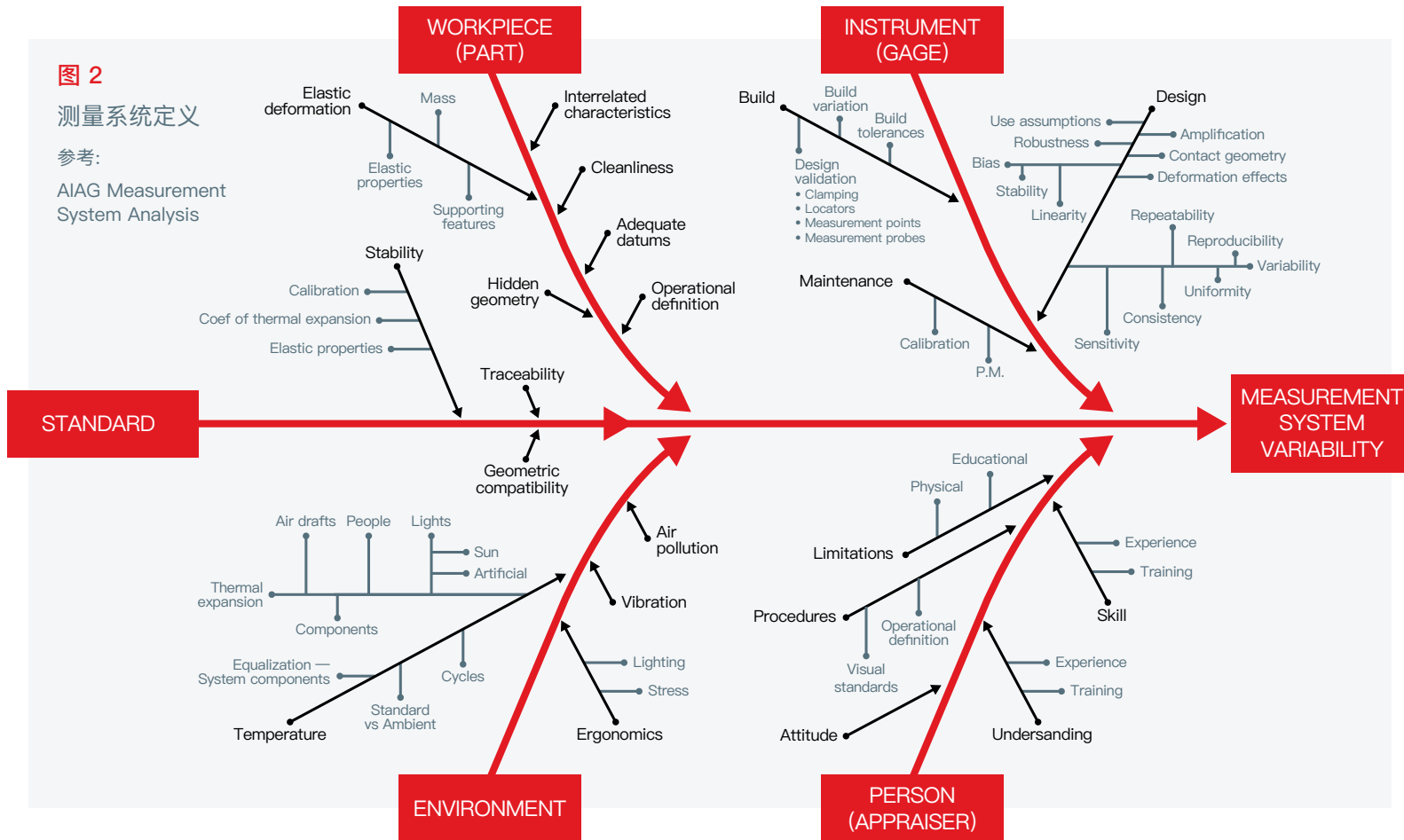
测量系统定义

在确定测量系统的性能之前，确认可能会影响关键特性的测量过程的所有潜在变差来源至关重要。[汽车工业行动集团 \(AIAG\)](#) 指出测量系统是对

测量单元进行量化或对被测的特征特性进行评估，其所使用的仪器或量具、标准、操作、方法、夹具、软件、人员、环境及假设的集合；也就是说，用来获得测量值的整个过程。MSA 必须考虑图2中详述的所有这些因素，因为它们会影响整个测量系统的不确定性。

图 2
测量系统定义

参考：
AIAG Measurement
System Analysis



收集值得信赖的3D测量值 |
智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能
扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂
3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能
3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究
量具R&R研究

对测量员的建议

结论

测量系统性能指数

测量系统的性能是使用对测量不确定性进行分类和量化的指标来确定的。通过收集过程数据，测量员可以通过确定与之相关的特定行为来量化总测量变差。通常，这种行为被描述为具有高斯分布（正态分布）的随机变量（ RV ）。图3阐释了这个概念，黑色曲线代表收集的数据，即来自测量过程的测量值，其分布由位置（平均值）和宽度参数（标准差）定义。

影响测量过程的多个因素代表了不确定度的多个来源，这些因素要么是系统的（例如，平均测量值vs.实际值），要么是随机的（例如，测量分布）。根据它们对所确定的分布参数的影响，可对这些不确定度进行分类。如图4中所示，系统不确定度包括偏倚、线性和稳定性，而随机不确定度则包括重复性与再现性。每个类别均可以通过其唯一的分布模式来明确识别。

图 3
高斯分布

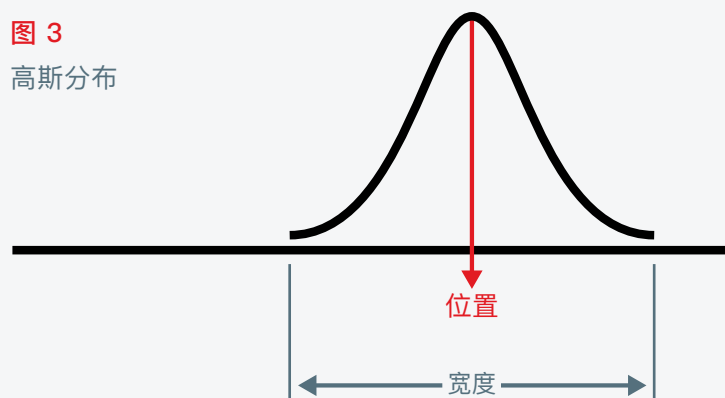
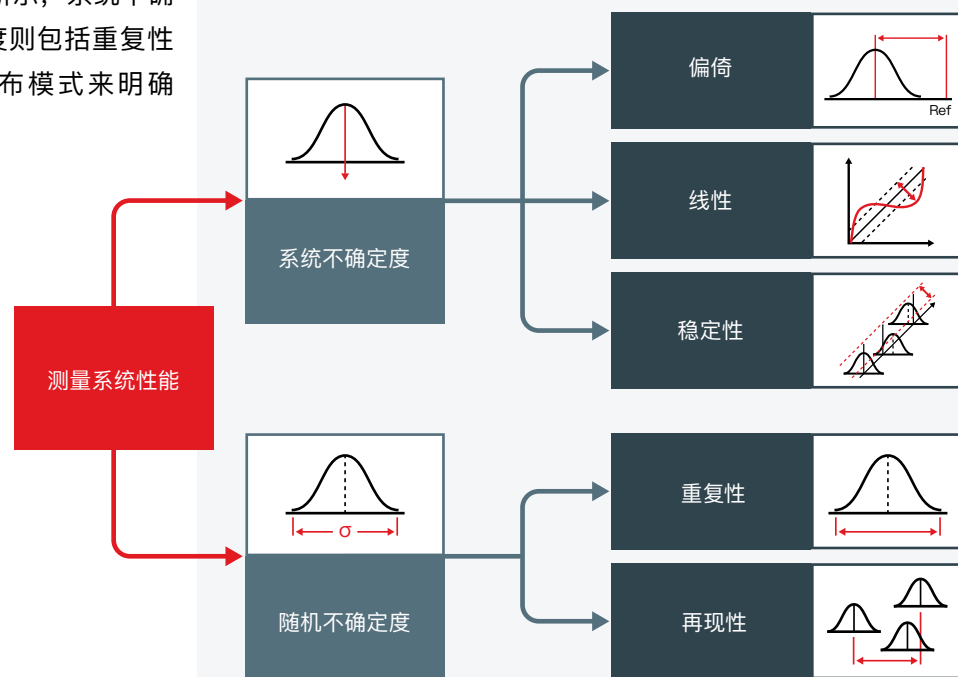


图 4
性能指数



收集值得信赖的3D测量值 | 智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能

扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

• 系统不确定度

系统不确定度是与已知参考的正态分布位置密切相关的测量不确定度。在数学上，它会影响测量数据的平均值。其通用术语为准确度误差。准确度误差表示一个或多个测量结果的平均值相对于参考值的一致程度。准确度误差一般可复现，通常由可量化和可纠正的问题造成。三种类型的系统不确定度包括偏倚、线性和稳定性，其中偏倚最常见。偏倚表示一个或多个测量结果的平均值（ $\bar{x}$ ）与参考值（参考）之间的距离。在数学上，通过同一零件上的相同特征的实际值（参考值）与观察到的测量平均值之间的差异来估计偏倚。另一方面，线性表示在整个仪器测量范围内所收集的数据与参考值的匹配程度。它是设备在整个预期测量范围内的偏倚差异。线性表示从测量范围内的一个极端到另一个极端的偏倚变化量。最后一个系统不确定度类型为稳定性。它代表测量系统长期维持其计量功能的能力。稳定性描述了偏倚随时间的变化，通常为两次系统校准之间的时间。

• 随机不确定度

测量不确定度的其余来源为随机不确定度，通常称为精确度误差。精确度误差表示测量系统的局限性所导致的测量数据统计波动。精确度误差描述了重复测量在测量范围内的预期变差。有两种类型的随机不确定度，即重复性和再现性。重复性表示在一组严格受控的条件下获得的测量结果的分散宽度。它描述了系统在相同的设备、零件、模板和环境条件下获得相同的测量结果的能力。窄的分布说明测量的重复性更高。再现性表示不同的操作者使用相同的设备在相同的条件下所获得的测量结果之间的变差。在数学上，这是每个操作者所获取读数的平均值的变差。



收集值得信赖的3D测量值 |
智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能
扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂
3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能
3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

测量系统的能力与性能

测量系统的能力（ $\sigma_{能力}$ ）也称为总标准不确定度，是所有的系统与随机不确定度的组合。它量化了与已知条件下的测量有关的不确定性，并用于识别短时间内的总测量系统不确定度。可使用以下公式来计算能力。

$$\sigma_{能力}^2 = \sigma_{\text{偏倚 (线性)}}^2 + \sigma_{R\&R}^2$$

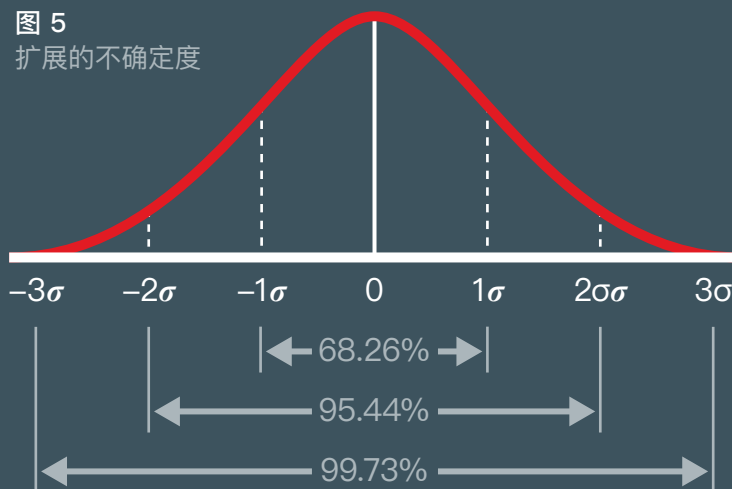
另一方面，性能不仅考虑系统与随机变差的来源，也考虑了随着时间的推移而出现的漂移的来源。它使用以下公式来计算。

$$\sigma_{性能}^2 = \sigma_{能力}^2 + \sigma_{\text{稳定性}}^2$$

扩展的不确定度

测量系统分析过程的最后一步为确定与测量系统相关的扩展的不确定度（ U ）。扩展的不确定度表示总测量不确定度值，它描述了在特定的置信水平内，预期包含系统所获得的真实测量结果的范围。可将其表示为： $U = \pm K\sigma_{tot}$ ，其中， U 是扩展的不确定度， K 为覆盖系数，这是对一期望置信水平的正态分布曲线面积的表示（例如，对于99.73%的置信水平， $K=3$ ）， σ_{tot} 是测量系统的总标准不确定度，通常与其性能相对应。下图列出了测量系统分析期间最常用的置信系数。

图 5
扩展的不确定度



收集值得信赖的3D测量值 | 智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能

扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

选择适当的方法来评估复杂3D测量系统的不确定度

要评估系统的测量不确定度，首先需要定义其测量模型。该模型为测量系统的输出量与测量过程中，已知涉及的输入量之间的关系的数学表示。存在两种类型的测量：直接和间接，这将影响模型的定义方式。直接测量是测量仪器直接提供输出量。例如，使用千分尺来测量外径（ Y ），并直接提供物理值 X 。在该情况下，将测量模型（即函数）确定为 $Y = X$ 。但是，大多数3D测量仪器执行间接测量。它们无法直接提供值（ Y ），而是考虑几个（ n ）物理值（ X_i ）， $Y=f(X_1, \dots, X_n)$ 的函数。例如，便携式CMM使用多个编码器的位置与方向来获得特定的输出。在本示例中，这些物理值为编码器的位置与方向，用于计算输出量，全部都受特定的测量不确定度的影响（ u_{x_i} ）。因此，测量臂所提供的测量结果（ Y ）取决于用于估计的一组值（ X_i ）以及相关的不确定度（ u_{x_i} ）。最后，测量值（ Y ）也具有总不确定度（ u_y ）。

如果表示测量系统的模型明确用公式表示，则可将其用于使用两种策略（泰勒级数或蒙特卡罗模拟）将不确定度从输入量传播到输出量。这些策略在诸如[测量中的不确定度表达指南（GUM）](#)。等出版物中得到了深入探讨。另一方面，如果模型过于复杂而无法用公式明确表示或参数未知，则应使用实验策略。使用统计工具分析输出量，可以估计测量系统的总不确定度。例如，在测量员使用带扫描仪的便携式CMM来测量曲面轮廓度的情况下，确定测量的函数会更加复杂。在这种情况下，必须使用实验分析。由于它是直接根据测量结果来完成的，测量员无需分解整个测量系统，从而使其更简单、更直接且更易于理解。

收集值得信赖的3D测量值 | 智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能

扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

¹ 测量数据评估 — 测量中的不确定度表达指南（JCGM 100:2008）由国际计量局出版

使用实验方法和智能3D测量软件来进行MSA研究

执行实验分析以确定复杂3D测量系统的扩展的不确定度，需要先进行重复性研究，然后进行完整的量具R&R研究。通过使用不同的设置和试验来收集系统测量结果的数据，测量员可以使用前面所述的性能指数来估算总变差。但这些研究在传统上执行起来很复杂，需要具有广博的统计学知识才能获得适当的结果。

PolyWorks®提供集成的MSA智能3D测量软件解决方案，用于在全数字化过程中进行复杂3D测量系统的研究。它使用户能够：

- 1 指定控制计划所需的关键特性；
- 2 通过选择其类型和定义关键参数来创建研究，这对质量控制和可追溯性至关重要；
- 3 仅在一个通用软件平台中，通过执行所有3D测量仪器配置和测量环境的数据采集来进行研究；
- 4 使用连接到智能3D检测数据的预格式化电子表格，生成直接在Microsoft Excel中发布的信息丰富的报告；并且，
- 5 可以在Excel中执行复杂的分析，无需统计软件应用程序方面的高级专业知识。

从研究的设置到测量的获取和自动生成的结果（如指数和图），PolyWorks MSA解决方案可确保所有计算均在一个软件生态系统中执行，全数字链可保证数据完整性与值得信赖的结果。

图 6
PolyWorks MSA 工具栏



收集值得信赖的3D测量值 | 智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能

扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

重复性研究



进行测量系统分析的第一步为重复性研究。它评估的是当受到最小数量的变差源影响时，测量系统的变差性（设备变差）。它在测量系统的初步评估期间使用，用于快速比较不同的系统配置，比如夹具夹紧的位置或测量硬件的参数。

通过以下方式执行重复性研究：

- 1 – 将零件放入夹具中（如果适用）；
- 2 – 使用3D测量仪器来测量零件；
- 3 – 从夹具中移除零件；
- 4 – 重复步骤1到3，始终使用相同的零件、夹具和测量仪器。

使用控制计划，测量员可以确定必须进行统计分析的关键特性。零件至少要测量10次，通常至少要测量30次，才能获得设备变差的良好估计。这种类型的研究通常由高级测量员来进行，他们具有快速发现测量过程中的问题并轻松解决问题的必要经验。

有两种类型的重复性研究：

类型1量具研究²：

- 评估偏倚和重复性对测量的影响
- 需要已知尺寸的认证的参考
- 输出两个指标：Cg和Cgk
- 当有认证的参考可用并且测量系统的稳定性不是问题时适用

量规R研究³：

- 评估测量系统的重复性与稳定性
- 无需认证的参考
- 将I-MR图作为变差和稳定性评估的基础

它们之间的主要区别在于，类型1研究需要认证的参考来帮助确定可能的偏倚，并且无需评估测量系统的稳定性。

收集值得信赖的3D测量值 | 智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能

扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

² 国际自动机工程师学会发布的航空发动机供应链的测量系统分析要求（AS13003）。

³ 汽车工业行动集团（AIAG）发布的测量系统分析（MSA）。

PolyWorks MSA解决方案促进了这两项重复性研究：

- 1 - 通过创建一个包含所有需要的测量、特性、控制和输出指标以及要测量的工件数的完整检测项目，为测量员在研究的必要步骤中提供逐步的向导，从而确保具有一个稳健的测量模板。
- 2 - 然后，在整个测量获取阶段，通过屏幕上的说明和3D显示为操作者提供指导。
- 3 - 一旦测量获取过程完成，检测结果会自动发布到预格式化的Excel电子表格中，这些电子表格与检测项目的3D检测数据动态连接。
- 4 - 预格式化的电子表格为测量员提供了自动计算和分析就绪的设备变差结果，即重复性、性能指数和图。
- 5 - 要完成此分析并快速优化测量过程，测量员可调整检测项目中的测量参数并查看它们对设备变差的直接影响，PolyWorks会自动更新电子表格索引和图的值。

量具R&R研究

虽然重复性研究使您能够分析和优化测量系统设备变差，但仍需要量具重复性与再现性研究，或量具R&R研究，才能完成测量系统的最终验证。

量规R&R研究通常在重复性研究之后进行，因为它们需要更多的资源、零件和成本。此外，通过先进行重复性研究，使测量员可在分析和纠正其再现性之前纠正设备变差。存在几种公认的经验方法，可以估计测量系统重复性与再现性的不确定度。两种最常用的方法为：平均值和极差法（X-bar R）以及方差分析法（ANOVA）。在这两种情况下，数据收集都要遵循严格的规则，才能确保可信的结果：

- 操作者数量：至少需要3个操作者，他们必须在生产环境中使用测量系统。
- 零件的数量：必须至少选择2个零件，代表在制造过程中发现的变差。如果可能的话，最好选择10个，零件数量越多，对过程行为的估计就越好。
- 重复次数：每个操作者必须多次测量所有零件。通常，重复2次或3次即可。
- 测量的随机顺序：为确保测量顺序不会影响结果，每个操作者均必须以随机顺序测量零件。

收集值得信赖的3D测量值 | 智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

PolyWorks MSA解决方案使用户能够使用这两个标准方法来创建和执行完整的量具R&R研究:

- 1 - 测量员快速选择分析方法并指定参数,例如操作者的数量、重复次数和零件。
- 2 - 然后, PolyWorks以特定的运行顺序创建包含所有必要工件的检测项目。
- 3 - 然后将运行顺序单自动输出到Excel电子表格中, 以便在测量收集过程中为操作人员提供指导, 确保测量顺序是随机的。
- 4 - 工具栏在检测过程中为操作者提供指导, 确保测量所有的关键特性, 并获取足够的探测与扫描数据, 以获得可靠的测量抽取。
- 5 - 完成测量时, 测量员使用检测项目来估计测量系统的变。

X-bar R与ANOVA这两种方法之间的主要区别在于对结果的分析。X-bar R方法可以使用控制图计算的结果来量化重复性与再现性。AIAG的“测量系统分析”指南详细介绍了该方法。采用ANOVA方法的量具R&R提供更多信息, 因此更全面。

方差分析 (ANOVA) 是一种统计分析方法, 它将测量系统中的变差来源分解如下:

- 重复性: 测量系统中不能归因于其他变差来源的变差。
- 操作者: 操作者之间的变差。
- 零件/操作者交互: 操作者与零件之间的交互所造成的变差 (当操作者以不同的方式测量不同的零件时) 。
- 零件之间: 来自研究中的零件的变差。它代表制造过程变差。

无论使用什么方法, 变差的来源都被认为是统计上独立的。因此, 它们是在一个随机的基础 (方差的和) 上进行组合, 以表示总不确定度。

首先, 该方法确定了零件与操作者之间的交互所造成的变差是否显著。如果很显著, 则必须按以下方式在系统的总再现性 (σ 再现性) 中将它们考虑进来:

$$\sigma_{\text{再现性}}^2 = \sigma_{\text{操作者}}^2 + \sigma_{\text{交互}}^2$$

在研究期间直接确定重复性 ($\sigma_{\text{重复性}}$) 之后, 可以按以下方式确定测量系统的重复性与再现性 ($\sigma_{R\&R}$):

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{\text{再现性}}^2 + \sigma_{\text{重复性}}^2$$

收集值得信赖的3D测量值 | 智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

最后，通过按以下方式将测量系统的重复性与再现性添加到估计的制造过程变差（ $\sigma_{\text{零件之间}}$ ）中，可获得总测量过程变差（ $\sigma_{\text{全部}}$ ）：

$$\sigma_{\text{全部}}^2 = \sigma_{R\&R}^2 + \sigma_{\text{零件之间}}^2$$

研究结果的分析包括：

- 确保测量系统的不确定度（ $\sigma_{R\&R}$ ）对总过程变差的贡献较小。估计的制造过程变差（零件之间）应占据变差的大部分。当来自零件之间的变差的贡献相对高于其他不确定度时，意味着测量系统能够可靠地区分制造误差。

- 将测量系统变差与规范限（公差）进行比较，以确保变差最多不超过该限值的30%。

PolyWorks MSA解决方案的发布步骤通过易读的表格、摘要和图将MSA研究数据转换为可解释的结果和可操作的数据，如图7所示。这是数字研究过程中的一个强大且重要的部分，因为它极大地促进了研究结果的解释和问题诊断。它使用户能够将结果发布到选定的X-bar R或ANOVA Excel模板中，并快速分析测量误差和其他变差的来源。例如，在执行ANOVA研究时，测量员可将方差分为四个类别：零件、评估人员、零件与评估人员之间的交互以及量具造成的重复性误差。

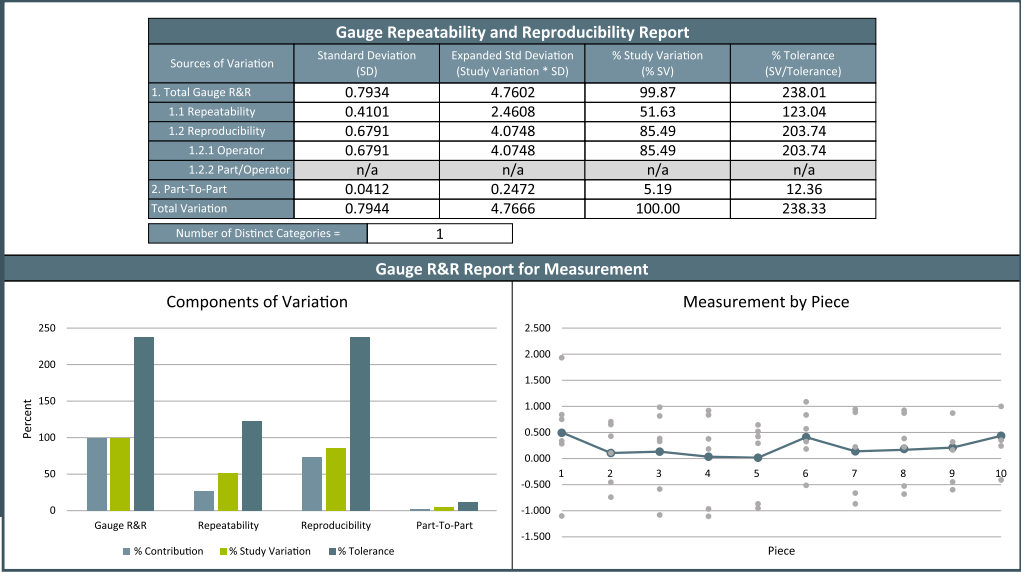


图 7
量具R&R

收集值得信赖的3D测量值 | 智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

对测量员的建议

在系统测量结果中所收集的数据可以反馈测量不确定度影响。使用性能指数（第5页），测量员可以采取纠正措施来优化他的测量过程。我们使用一个具体的例子—误差值的目标与散点图，如图8中所示。

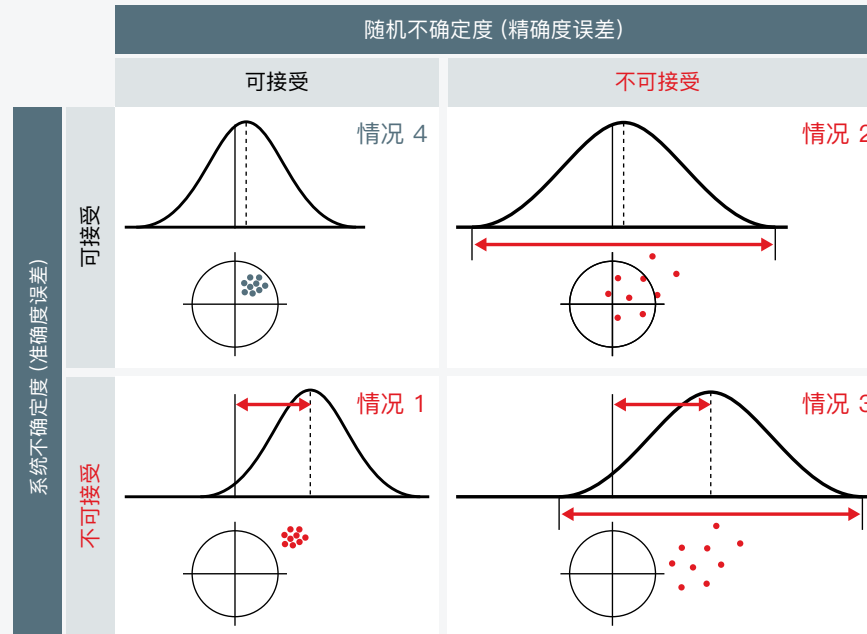


图 8 准确度与精确度误差

测量员可以确认的第一个问题（情况1）为是否存在准确度误差—此误差可能来自系统线性的偏倚，但在两种情况下，这个误差都可以很容易地纠正。准确度误差的可能原因为⁴：

- 测量仪器需要校准
- 仪器、设备或夹具磨损
- 分析过程中使用的参考有误
- 测量方法（例如，夹紧技术）

测量员可能面临的第二个问题是什么时候会出现精确度误差（情况2）。这可能与测量系统本身有关（重复性）或由操作者造成（再现性）。

可能引起精确度误差的原因⁴：

- 与零件有关：形状、位置、表面光度、锥度、样本一致性
- 与仪器有关：维修、磨损、装置或夹具的失效、较差的质量或保养
- 与方法有关：设置、技巧、夹持、夹紧的变差
- 与操作者有关：技巧、位置、缺乏经验、操作技能或培训、感到疲劳

如果存在所有误差源（情况3），测量员应使用指数来分解测量系统性能，并每次纠正一种类型的误差，以便测量系统可以接受（情况4）。

⁴ 汽车工业行动集团（AIAG）发布的测量系统分析（MSA）。

收集值得信赖的3D测量值 | 智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能

扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论

结论

有效的测量系统分析过程可以确保您收集到值得信赖的3D测量结果。今天，无需再忍受需要多个第三方软件解决方案和统计软件应用方面的高级专业知识才能实现的过时的复杂过程。PolyWorks® MSA智能3D测量软件解决方案在使用3D测量仪器的环境中极大地简化了MSA研究的设置与执行，并提供了可靠的测量系统变差分析。它提供了一种易于使用的全数字工作流程，可确保测量数据的完整性，并允许制造商自信地为每个新零件执行MSA研究，从而能够提供更出色的质量控制。

Laurent Émond-Girard, P.Eng., M.A.Sc.
制造过程工程师, InnovMetric

polyworks
shanghai

了解更多信息

联系我们: 86-21-6226-1617 | info@polyworks.com.cn

访问我们的网站: www.polyworks.com.cn



收集值得信赖的3D测量值 |
智能3D测量方法

了解MSA基础知识

测量系统定义

测量系统性能指数

- 系统不确定度
- 随机不确定度

测量系统的能力与性能

扩展的不确定度

选择适当的方法来评估复杂
3D测量系统的不确定度

使用实验方法和智能
3D测量软件来进行MSA研究

重复性研究

量具R&R研究

对测量员的建议

结论