

# 是德科技 过多的校准？

白皮书

## 摘要

“Hi Wendle，我们公司的销售成本一直在增加，老板迫切希望我能够改变现状！您提交的校准预算让我难以承受。校准所占的比例太高了。您能否给我提供一份更经济的校准方案？”“还有，您能否帮助我们控制保修故障？在一周之前，我们就已经遇到了5%的故障。”换一种委婉的说法就是，校准、置信度和成本都处于低谷。

## 简介

测试系统的高置信度意味着被测器件测试结果的高置信度及其对应的“高”成本。反之亦然。测试系统的置信度偏低，意味着被测器件测试结果的置信度也偏低，但却会显著削减成本。对于成本和置信度来讲，在“过多”校准和“不足”校准之间很难寻求一个平衡点。本文将介绍校准变量及其如何寻找平衡点，并将解答一些主要疑问。“这款产品能够正常工作吗？”“校准成本有多高？”本文还为计量学家和制造厂商提供相同的术语表达。

韦氏字典一直是我的首选。韦伯斯特全身心地投入工作，把我们的语言定义为“T”（没有双关语意）。我们根据语言沟通的需要对单词进行略微改动。有人可能会认为，任何计量学词语都是精准定义、普遍适用和理解的。事实上并非如此。下文将介绍一些韦氏字典中的计量学和制造业词汇。

作者: Todd B. Wendle  
是德科技公司

**精度：**“名词，不存在错误或误差：正确性<sup>2</sup>。与实际情况、标准或模型保持一致：精确性b: 测量值与标准或真值的一致性程度。”

**校准：**“动词，确定与标准的偏差并实现标准化(测量仪器)，从而确定恰当的校正因子。”

现在我们了解一下制造测试中的词汇。

**充足：**“形容词，足够满足某个特定要求，特别是：刚好够或符合要求。”

**置信度：**“确定的质量或状态：确实性。”

韦氏字典对“过多校准？”进行了解答。该问题转换成了以下陈述：

“与已知标准相比，测量仪器具备‘刚好够’的精度，可确保待测产品按照说明以合理的成本进行操作。”

这个主观色彩浓厚的定义已经明确下来。这些词汇的含义因人而异。我所认为的精度可能与您的并不相同。您所认为的精确性可能无法满足我的需求。消费者置信度也可能与制造商的不一致。

为了获得消费者置信度，必须以指定方式测量器件性能，以“证明”（可替换为其它表述）测试结果足够精确。“足够精确”是一个言简意赅的词语。它表明器件必须正常工作且随时可用，既能满足客户预期又能保证最低成本。为了更好地吸引客户的注意力，计量学始终要求置信度达到95%。这听起来不错。这是本文的基础。“足够精确”是一个很难实现的计量单位。95%置信度有时会使成本增加。如果市面上没有“足够精确”且达到95%置信度的测量设备，计量学家应当如何处理？真正的答案隐藏在测试设备的性能特征以及成本（众所周知的测量单位）中。

制造商如何“确定”测试设备能够提供所需的置信度，使器件以合理的成本正常工作并且满足（或超越）客户预期？

测试仪器的性能特征由两个主要变量定义：测试系统的测量不确定度、测量结果随时间变化时产生的测量误差。还需注意与被测器件(DUT)相关的不确定度。这些不确定度是重要的，但不在本文探讨范围内。

为了建立两个变量的结构，它们必须分开定义。在本文中，第一个变量定义为由测试系统单个元器件所规定的固有不确定度。不确定度计算涉及到了测试仪器之间的连接、用于固定被测器件的夹具、组合效应。测试设备和测试系统的各个部分都存在一定不确定度。不确定度由多个因素促成。下图不涉及可测误差分量。本文稍后会讨论。

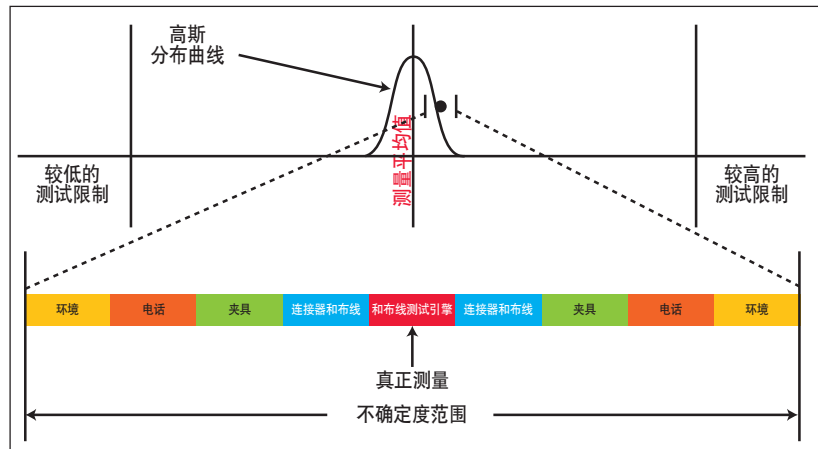


图1. 测量不确定度

图1显示了蜂窝电话测试中的合成不确定度范围。在大多数测试环境中，测试仪运行一次，利用唯一的测试结果确定是否通过了测试。如果对被测器件进行多次测试，第一次测试的结果很可能与第二次测试的结果不同。也可能与第三次测试的结果不一样。测试结果的差异是由测量不确定造成的，用颜色带来显示。

当不确定度的颜色带超出测试限制时，如图2所示，测量结果不确定度变得十分重要。当测试结果越来越接近测试限制时，不确定度的重要性逐渐增加，直至被测器件出现50%的真正合格率和50%的真正不合格率。一旦测试结果及其不确定度范围超出了测试限制，真正不合格率将会达到100%。会是这样吗？

有限的试验测定能够生成两个十分重要的被测器件类别：虚假合格和虚假不合格。整个行业是以这两类被测器件为基础。它们是降低测量不确定度和校正测量误差的理想选择。

在定义了测量不确定度之后，我们来看一下第二个变量——测量误差。测试仪器结果随时间而发生改变。上一年的测试结果很有可能与今年的不一样。在某些情况下，漂移会在几分钟内出现。环境温度在数分钟内下降了10℃，导致频谱分析仪漂移了1dB。在本文中，漂移定义为测量误差和校准误差。

通过更多的图表阐述测量不确定度的定义和影响，以便更好地定义测量误差。

图2. 测试限制跨越了多个被测器件单次测试的正态分布

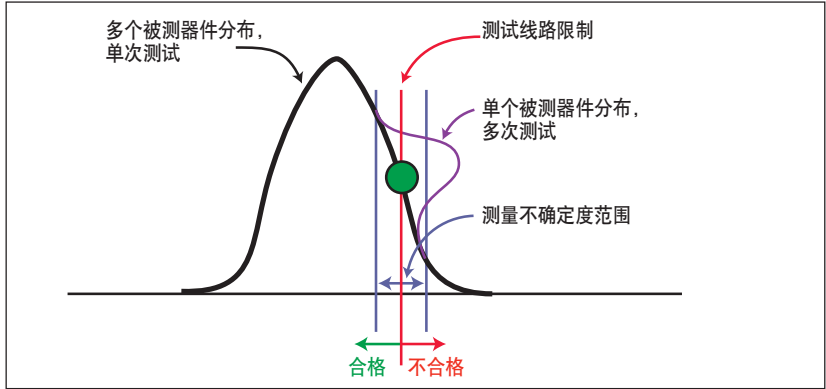
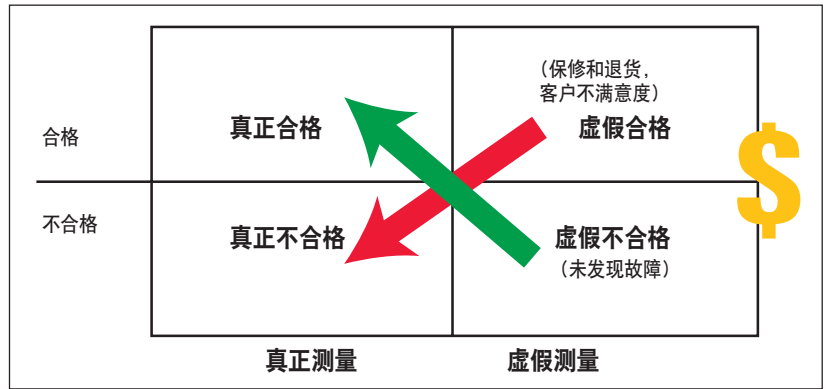


图2显示了一个最好情况，测试仪器输出经过校准，测试结果调整到了OEM技术指标的中间点。不确定度范围是指测试仪器的测量不确定度及其它可能因素，如图1所示。在这种情况下，不确定范围不包括可测误差分量。绿色圆点是单个被测器件测试结果。通过多次运行单个被测器件，可以得到粉色分布曲线。这个分布定义了与特定测试相关的测量不确定度。每个被测器件测试结果都包括测量不确定度分布。

当存在被测器件故障时，多个被测器件单次测试分布(图2中的深黑色线)不能通过一个或多个测试规格限制。规格限制有四种：真正合格、真正不合格、虚假合格、虚假不合格。纯粹意义上讲，虚假合格其实是真正不合格，而虚假不合格是真正合格。参见图3。

图3. 虚假合格和虚假不合格



在测量不确定度和测量误差范围内，测试结果有0至50%的几率是不正确的。如果结果不正确，查找原因将会增加成本。这一点是毋庸置疑的。

图4显示了单次测试的结果，与该测试相关的测试仪器输出出现漂移(随时间变化)，从而在初始不确定度范围中增添了可测误差分量。图2中，单次测试结果是真正合格或真正不合格的几率各占一半。如果仪器出现漂移，那么结果将为不合格。总体不合格率的增加将会导致虚假不合格的比例上升。虚假不合格的成本(所有的虚假不合格都归因于测量误差)将会形成校准需求。

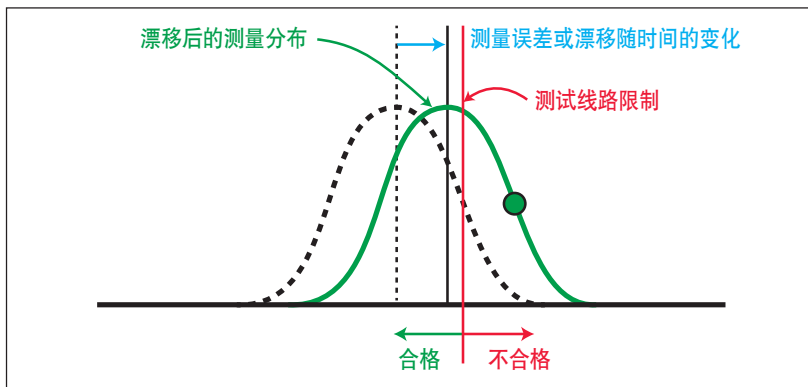


图4. 虚假不合格漂移

现在换一种漂移方式。图5说明了这种情况。由于测量误差发生漂移，所有的被测器件都通过了测试。由于它是渐进式漂移，生产部门很高兴地看到他们所采取的故障减少措施“行之有效”。在供应链上的企业老板对此非常乐见，对所有工作人员给予鼓励。尽管如此，最终的结果却是不乐观的。客户在获得虚假不合格的结果之后，他们会把在保修期内的产品返厂更换。更重要的一点是，维修操作数据库并不直接与返修数据库挂钩。这就意味着，我们需要花费很长时间来识别两个操作数据库之间的连接。故障次数仍然为“零”，但仪器的维修成本会继续增加。在这种情况下，虚假合格成本的上涨要求进行额外的校准。

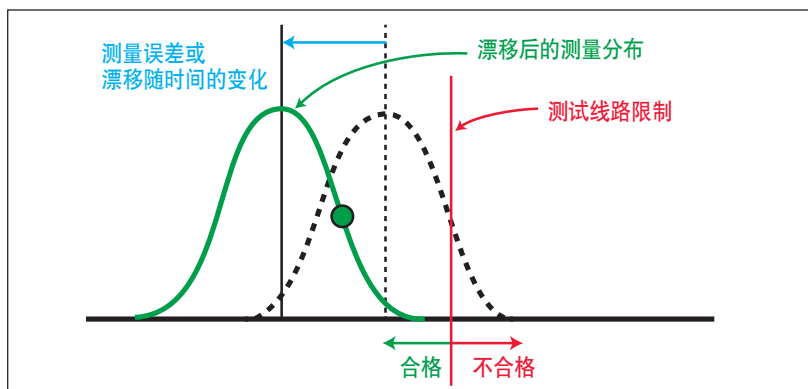


图5. 虚假合格漂移

仪器漂移不具备任何影响，可以产生额外的虚假不合格和虚假合格。随着漂移的变动，被测器件的单个测量分布通过了测试限制，由此会出现无法解释的良品率变化(无论好坏)，过一段时间后，保修成本也会增加。管理部门设定了合理成本预期(换句话说)。在制造业，成本与测试系统的置信度设置有关。在单个生产线上能够整合多个测试系统。真正不合格、虚假不合格和虚假合格都会产生成本。改进测试系统置信度水平的方法只有一个，就是成本。增加收益或通过减少支出而削减成本。没有其它的选择。

有三种方法可以提高置信度。第一种方法是利用校准减少测量误差。第二种是购买更多的昂贵(较低的不确定度)测试仪器。

第三种是通过把计算得出的“测试限制”设为低于实际的测试限制，可以统计不确定度。这通常称为保护频带。保护频带会“人为地”降低不确定度范围，如前面的图表所示。如前所述，本文不会涉及后两种方法。

任何的置信度改进都存在相关成本。在管理成本时，成本必须通过某种投资回报率分析加以论证，具有可接受的回报率。利用校准减少测量误差也不例外。使用稳定的校准程序，校准将会在误差出现之前进行校准，由此很难量化校准支出的ROI。这并不意味着校准程序是不可行的。如前所述，问题的核心还是在于盈亏。回答下面三个问题，了解“过多校准”会对盈亏带来极大影响。

- 测试系统在任何测试中都会检测出被测器件故障吗?
- 能否针对某次测试计算维修成本?
- 客户不满意度是否与被测器件虚假不合格有关系?

我们详细探讨一下这三个问题以及它们对成本的影响。

## 问题 1: 测试系统会检测出被测器件故障吗?

这个问题只有两个答案。会，或者不会。首先假设回答是“不会”，意思是说被测器件将会 100% 通过测试。这个可以有多个解释。

- 测试结果在一段时间内非常稳定，不必重新测试和返工，也不会产生· 维修成本。被测器件具有足够的裕量以保证零故障，测量不确定度和测量误差不会影响测试结果的有效性。
- 测试结果发生变化(逐渐改变或突然改变)，而良品率提高到 100%。如果这种变化没有合理的解释，就有可能出现了仪器漂移; 或者，如果仪器刚刚接受校准或维修，仪器未能经过正确的校准且将不合格判为合格(图 5)。
- 测试限制被人为地或不科学地开放后，可使所有的被测器件均通过测试。预先设定的度量会指导操作行为，有许多操控测试限度的例子用来得出所期望的测试结果。
- 由于测试软件存在缺陷，因而不能执行测试。

尽管良品率提高是一件好事，但是一部分用户会抱怨被测器件故障的减少及其相关的返工成本。只有处于测试下游的用户受到错误测试结果影响时，才会出现这种问题。如果是在工厂内部出现这种问题，就需要返工。如果是在工厂之外出现问题，就需要成本更高的返修。

现在我们讨论一下“会，测试会检出被测器件故障”这一回答。这里有三类故障：真正故障、虚假故障(FF)和虚假合格(FP)。真正故障要求进行返工，以恢复正常工作。即使再多的校准也不会影响这种故障或是相关成本。但是，其它两个就与校准和不确定度直接相关。FF 和 FP 会增加成本，参见图 3。两者在重新测试(测试时间、未测试新产品的机会成本)、虚假不合格故障诊断(劳力和机会成本)和最近一次虚假合格(下游返工、返修和客户不满意度)等方面产生成本。



## 问题2: 能否针对某次测试计算维修成本?

这个问题开始对虚假合格故障进行调查。注意: FP不包含任何因最终用户使用而引发的被测器件故障。这些被测器件在接受测试时属于真正合格。

如果答案是“不能”,良品率未发生变化,虚假合格不会产生较多的被测器件FF和FP故障成本。但如果良品率发生了变化,我们有必要找出原因。

如果答案是“能”,测量不确定度和测量误差会导致虚假不合格。它们遵循两种方式。虚假不合格被测器件在下游中显示为故障,但由于它还需要组装,因而在其它阶段中显示为返工(成本更高)。器件返工没有具体的原因,良品率不能得到改进。第二种成本更高的方式是指客户收到的虚假合格被测器件,该器件被确定为存在故障。客户把器件进行返厂保修,会增加成本。无论是返工还是保修,虚假合格器件都产生了直接成本。一般说来,虚假合格会比虚假不合格耗费高出十倍的成本。

## 问题3: 客户不满意度是否与被测器件虚假不合格有关系?

这个问题很重要。如果客户对器件故障感到不满,他不仅会要求厂商退回费用,而且会告诉他的朋友和同事。这项因素虽然难以去量化,但的确需要考虑评估客户的校准需求和降低虚假合格率。

切记,校准需求的财务分析并不包含所有的虚假不合格和虚假合格成本。真正不合格的确会产生成本,但与测量不确定度和测量误差无关。进一步讲,有必要把被测器件FF和FP测量不确定度成本与测量误差成本分隔。

在下一节中,我们会量化测量误差的效应。通过收集一些统计上有效的数据,一个有能力的统计员能够说明虚假合格和虚假不合格的分配与数量。第二步是全面了解重新测试/返工流程及其相关成本。第三步是全面了解返修成本,并且评估客户不满意度的成本。借助这些数据,测量误差投影——被测器件FF和FP成本——可以算出。至少可以进行有效评估。

可以计算四个成本组件，分别是：由最终用户获得的虚假合格、在下游中的虚假合格、虚假不合格成本、客户不满意度成本。

第一个是指最终用户得到的虚假合格。对虚假合格与返修平均成本相乘的结果进行统计分析，可以算出这项成本。

第二个是指在下游中的虚假合格，可连接到上游的虚假合格；FP成本即为返工成本，与下游返工流程中的故障识别有关。记住：FP其实是真正不合格。在本分析中，它只是用于识别真正不合格的额外成本。

第三个是与测量误差有关的虚假不合格。如果测试软件内置了重新测试功能，被测器件FF成本是指第二次重复测试的次数与第一次重复测试成本相乘的结果。第二部分是连续两次都未通过产品测试的被测器件，但是在返工流程中，可作为虚假不合格进行故障诊断和重新测试。以下例子显示了部件的移除并替换，以确保被测器件“固定”。这部分成本是指FF的数量乘以故障诊断成本、真正合格重新测试成本、不必要的替换部件造成的成本。图6显示了虚假不合格生产环境中的流程图。

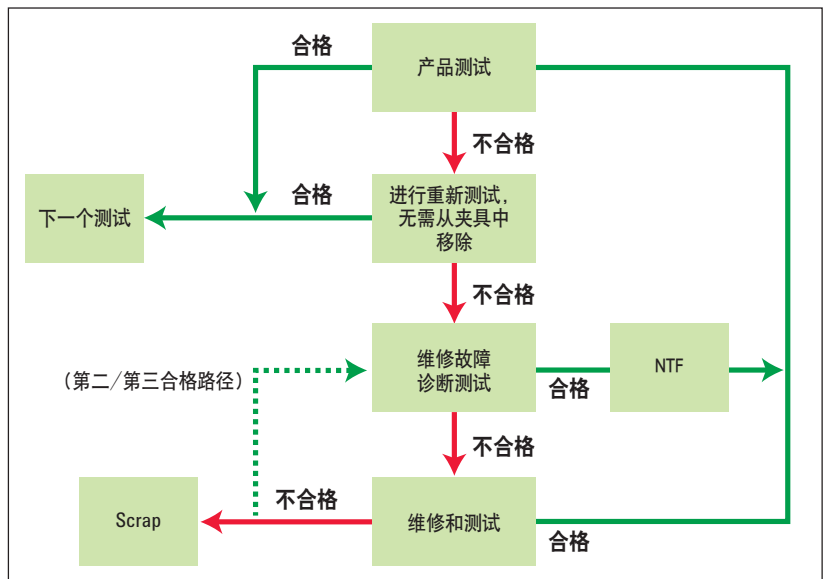


图6. 典型的虚假不合格流程

切记，必须把被测器件 FF 和 FP 测量不确定度成本与测量误差成本分隔。有两种实现方式。利用历史数据，被测器件的 FF 和 FP 成本可以用曲线图表示。此时，成本包括测量不确定度和测量误差的成本。利用测试仪器的 OEM 技术指标和统计结果(包括测试限制)，可以算出测量不确定度的成本——被测器件 FF 和 FP 成本。

从总体被测器件 FF 和 FP 成本中减去上述成本，可以得出与测量误差有关的被测器件 FF 和 FP 成本。另一种方式是计算两次校准之间的成本。两次校准之间的差值就是与测量误差相关的成本。(假定测量不确定度在这段时间内没有改变。)

还有第四种潜在成本。即，客户不满意度。它是非常主观且难以量化的。这种成本是真实存在的，与您过去所用的产品发生故障有关。如果可以获得可靠评估，务必要将评估结果囊括在分析中。

与现有测试仪器相关的被测器件 FF FP 成本现在已经非常明确。校准成本会怎样？比较困难的是，弄清楚客户需要什么程度的校准、对哪个器件进行校准以及是否需要对整个仪器进行校准。更糟糕的是，校准成本存在着巨大差异。我应当选择哪家供应商？校准支持是否划算？

校准服务的“水平”(类型和频率)对于建立足够的置信度而言非常关键。“足够”是其中的关键。计量学家与统计员一样，会在高置信度低风险的结果提取方面“犯错误”。这个精确程度与被测器件测试的精度正好相反。理想的测量是不存在的。所有测量都具有一定的误差。测量误差可以降低至最低，但却与它的成本成反比。总之，误差是无法消除的。

每个测试结果分布在超出测试限制后，都包含测量误差和测量不确定度。了解仪器漂移的影响是确定采用哪种校准的关键。除此之外，为了量化测试仪器中的测量不确定度，有必要采用带标明测试精度比或者记录不确定度的校准。下一步是确保了解测试仪器在对被测器件进行全面校准时表现的性能。所有的校准服务不都是一样的。有些测试点会被删除，在有些情况下还会删除整个测试项。校准提供商通常提供各类校准服务，包括最小限度的测试和一个完整的认可的校准。

最后但也是很重要的是，您的客户可能要求使用特定的校准标准。ISO 17025 是一种新兴的校准标准。它比常规校准标准更加出众，还会提供额外的文档和更高级别的保证程度，从而使您接受的校准服务满足特定的技术要求。

预先设定的度量会而且的确指导操作行为。改善良品率、保修成本和停机时间是业务操作经理的责任。对于他或她而言，高置信度低风险意味着更高的成本（非常昂贵的设备和校准支出）、更久的停机时间（校准时间延长）和更低的良品率（高置信度会揭示更多的被测器件故障）。有三个指标可用来改善上述情况。增加校准并不是一个常见的决策。然而，了解这些影响因素和测量误差带来的财务影响，将会帮助企业很好地解决这类问题。它将会为减少在特定校准和校准周期内出现的测量误差提供充分的依据。

现在，我们看一下一般方程。

校准费用 ~ 在校准周期内日常 FF+FP 校准成本的总和 + (在校准周期内的 FF + FP 成本节约)。一端是测量误差的财务影响，另一端是校准成本。重要的是，使两端相等。方程两端的成本测量时间必须相同。校准成本通常是以为年为周期，而被测器件故障成本则是以天为周期。两者没有对比的可能性，更不必说应用在同一方程中。

下面是使用一般方程的三个特殊情况。它们非常简单，但是很难确定实际变量的数值。

当  $f(t)CE^1 = f(t)SumFFPE^2$  时，校准保持平衡，对校准费用提高后的潜在成本节约进行评估（削减 FFFP 测量误差成本）

当  $f(t)CE^1 < f(t)SumFFPE^2$  时，评估校准的程度和频率

当  $f(t)/CE > f(t)SumFFPE^2$  时，校准可能过多或过于频繁，以往万一，仍然要进行评估（您想要降低多少个 FP 的校准程度或缩减校准周期？）

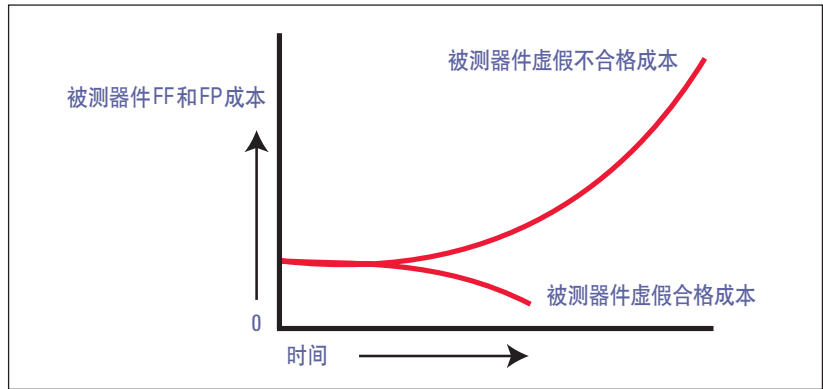
$f(t)$  = 测量时间

CE = 校准费用

FFPE = 由测量误差直接导致的被测器件虚假不合格 / 虚假合格支出

1. 一般为单一事件。
2. 数值一直增长，与漂移程度和 FF 与 FP 支出直接有关

图7. 跨过界限



上图阐述了这一点。财务影响随着时间而发生改变。图7显示了当FF FP成本稳定不变时的一次测试。测试设备的性能开始漂移，多个被测器件单次测试分布跨过了测试限制。良品率下降是第一反应。其次是被测器件FF成本增加，FP成本降低。FF FP成本开始上升。

图8. 良品率得到了改善?

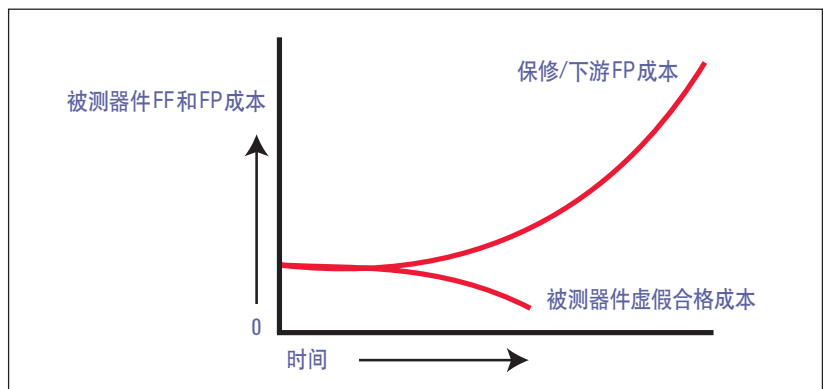


图8显示了一种可能。此时，被测器件的FF和FP成本稳定不变。成本处于“控制”中。测试仪器开始偏离测试限制，良品率只有在虚假合格率上升时才能得到改善。被测器件FF成本降低，但是保修成本和客户不满意度开始增加。更糟糕的是，客户在查看保修成本时会遇到时延。如前所述，两个看似不相干的事件之间很可能没有任何联系。FF FP成本再一次开始上升。

图7和图8描述了随时间而变化的数值。鉴于情况越来越糟糕，必须要采取相应的措施。还有另外一种可能：在校准费用和被测器件故障FF与FP成本差(与校准周期内的测量误差有关)之间存在一个平衡点。

这种平衡指的是“足够”校准。

根据特定ROI分析可知，更高级别或更频繁的校准可能会带来更大的回报。

图9. 校准效应

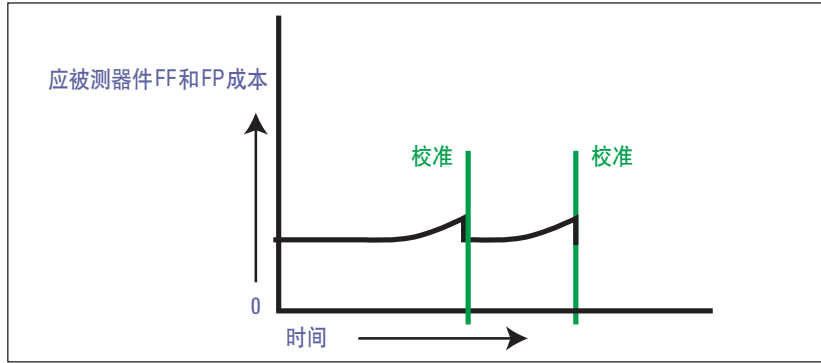


图 9 中的阶跃函数表示周期校准产生的财务影响。这是对您的校准投资的回报。即便是不存在故障，且不会立即产生投资回报，校准仍然能够创造价值。在图 7 中，很容易看出测试仪器是否应当漂移或发生故障，返工成本或保修成本的存在几率很高。校准能够确保这种情况不会发生。如果不使用返工 / 保修基准来计算校准回报率，校准就会成为一种预防措施。校准的“成本”是否与无校准带来的潜在损失相对应？绘制您所处的特定情境，以便了解哪一种校准最适合您。

值得考虑的一点是，随着被测器件的数量和返工 / 保修成本的增加，校准 ROI 也会快速上升。

总之，校准工作中会有很多个变量因素。每种应用情境都会受到特定变量及其数值的影响。测量误差会导致虚假合格和虚假不合格。这两种都会产生高昂成本。它们会影响公司的盈亏。通过分离测量不确定度和测量误差有关的错误结果成本，可为校准调整提供机会。校准能够改善您的收益、支出以及客户满意度！

最后，经理将会获知下面的好消息。

“经理先生，最新的校准程序报告以及财务说明已经放在您的办公桌上了。”

“我们的保修故障率下降了 10%。最新的校准程序按照计划正常运行。”



myKeysight  
www.keysight.com/find/mykeysight  
个性化视图为您提供最适合自己的信息!

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息, 请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表, 请访问:  
www.keysight.com/find/contactus

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189  
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863

#### 是德科技(中国)有限公司

地址: 北京市朝阳区望京北路3号  
电话: (010) 64397888  
传真: (010) 64390278  
邮编: 100102

#### 上海分公司

地址: 上海市虹口区四川北路1350号  
中信泰富利通广场5楼、16-19楼  
电话: (021) 36127688  
传真: (021) 36127188  
邮编: 200080

#### 广州分公司

地址: 广州市天河北路233号  
中信广场66层07-08室  
电话: (020) 38113988  
传真: (020) 86695074  
邮编: 510613

#### 成都分公司

地址: 成都高新区南部园区  
天府四街116号  
电话: (028) 83108888  
传真: (028) 85330830  
邮编: 610041

#### 深圳分公司

地址: 深圳市福田区  
福华一路六号免税商务大厦3楼  
电话: (0755) 83079588  
传真: (0755) 82763181  
邮编: 518048

#### 西安分公司

地址: 西安市碑林区南关正街88号  
长安国际大厦D座5/F  
电话: (029) 88867770  
传真: (029) 88861330  
邮编: 710068

#### 是德科技香港有限公司

地址: 香港北角电气道169号25楼  
电话: (852) 31977777  
传真: (852) 25069292

香港热线: 800-938-693  
香港传真: (852) 25069233