

测试系统构建基础知识

# 自动化测试系统 总体拥有成本模型计算

目录

引言

开发成本

部署成本

运行和维护成本

财务分析方法

实际场景

结论

## 引言

大多数组织并不认为生产测试是最重要的，但为了防止产品在客户使用产品过程中出现重大质量问题而影响公司品牌，生产测试是必要的。然而，生产测试成本可能很高，并且常常被误解，特别是在没有简单的方法来量化高质量产品或缩短上市时间对业务的积极影响时。但是领先的企业对这种“必要之恶(necessary evil)”的观点并不以为意，因为他们思想超前，总是努力了解开发、部署和维护测试系统的总成本。而且实际上，自动化测试的成本远不止是测试机架的资本成本和操作员的人力成本。

本指南将介绍有关评估测试组织所需的工具和信息，可大幅节省成本的更改建议，以及如何做出更明智的投资决策来提高贵公司的盈利能力。



图1. 对总体拥有成本进行正确的建模有助于了解特定测试资产整个生命周期的成本，并提供了适应未来战略投资的财务框架。

## 开发成本

对于大多数应用，相比部署和操作及维护成本，构建自定义自动测试系统相关的开发成本是最低的。这是因为我们通常仅构建一个系统来作为进行概念验证、性能基准测试和测试覆盖评估。然而，开发测试系统的总成本根据最终目标的不同可能会有很大差异。开发新产品的组织通常使用不同的架构和仪器来开发和比较多个测试系统，以确定最佳的方法。

研发（工程）团队负责产品设计和构建大部分开发系统，因此，成本通常算到其预算或成本中心中。成熟的测试部门与他们的研发团队合作来影响产品的设计，通常称为测试设计或 DFT（Design for Test），同时也致力于开发测试系统。这是最佳做法之一，但并不总是所有测试组织都能够这样做。

如果构建的测试系统是用于测试单个设备或组件的功能，那么需求收集、仪器选择、连接固定和软件开发相关的工作较为简单。然而，如果测试部门设计的是多用途的标准化测试系统来验证多个设备或组件的功能，则开发成本可能更高。您必须花更多时间确定系统必须完成的所有功能，被测设备(DUT)连接件必须灵活，并且软件必须更具可扩展性，以便在添加新设备时轻松进行更改。

其他工作，例如编写硬件或测量抽象层或大规模互连系统，需要更多的前期开发成本，但对于技术快速更新换代或长生命周期系统面临仪器使用周期结束问题等情况，这些前期开发成本将给测试组织带来投资回报。

与开发自动化测试系统相关的主要成本是：

- **计划** - 正确估算确定测试系统所有可行选项所需的时间和费用，包括在供应商网站、产品演示会、评估、贸易展览和论坛上花费的时间。
- **开发人员培训** - 包括与学习一组新的软件开发工具（集成开发环境[IDE]或测试执行软件）和硬件平台（例如，基于SCSI或PXI的机架堆叠式平台）相关的时间和培训课程费用。
- **开发工具** - 购买测试软件（IDE或测试执行软件）开发许可证相关的成本。
- **开发工作** - 概念验证测试系统的硬件和软件开发时间。
- **开发系统** - 最初购买用于针对当前或其他新系统进行基准测试的概念验证或示范测试系统相关的资本成本。



## 部署成本

产品投入生产后，必须扩展概念验证或示范测试系统，以满足产品的产量需求。测试系统的吞吐量（每个时间单元内测试的设备台数）直接影响满足需求所需的系统数量，产品管理和销售渠道决定了产量预测。除了测试功能的覆盖率外，所需测试系统的数量也是在开发阶段最应该考虑的因素，因为这直接影响总部署成本。

提高测试系统部署成本的另一个因素是发货。对于小型组织，这并不是问题，因为制造测试和研发部门可以设在同一栋楼，或至少在地理位置上紧挨着。然而，即使是一些较小的公司，如果他们没有足够的能力或专业技术来自己制造和测试设备或组件，也会选择将产品的制造和测试外包。而大型公司可能将制造测试和研发部门设在同一个国家的不同地区，甚至在两个不同的国家。这会显著增加部署成本，特别是对于大型和/或重型制造测试系统的情况。较慢的货运方式有助于降低该成本，但前提是有足够的时间可以等待。最佳做法是在开发阶段考虑所有测试系统的物理尺寸和重量，特别是在比较两个选项时，因为这可显著降低下游成本。

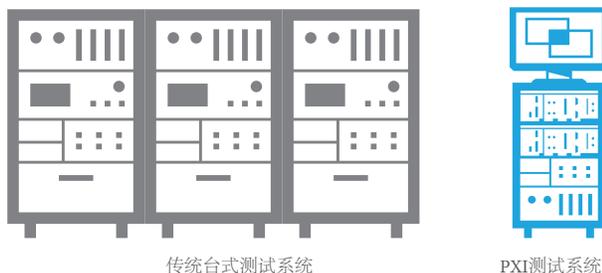


图2.在比较两个具有类似性能的测试系统时，应选择更小型、更轻质的测试系统来降低部署成本。

与部署自动化测试系统相关的主要成本是：

- **资本设备** - 所需的测试系统数量直接影响这一成本，而所需的测试系统数量由产品需求和测试系统吞吐量决定。
- **系统组装** - 将各个组件组装到测试系统中所需的时间，包括建造一个19英寸或21英寸的仪器支架或其他机械外壳、安装所有测试仪器、连接电缆和接线、安装开关和大规模互连以及固定。
- **软件部署** - 这些成本涉及编译软件组件，然后将这些组件从开发计算机导出到目标计算机以供执行。
- **运输和物流** - 测试系统的尺寸和重量以及生产或制造设施所需的测试系统数量将直接影响这一成本。运送的距离和收货所需的时间窗口也会影响成本。取决于系统的坚固性，可能需要特殊包装。

## 操作和维护成本

与测试系统相关的最后一项也是经常被忽视或低估的成本是运行和维护成本。这些通常不回到最初设计产品或设备的研发团队，而是基本上由制造或生产团队承担；这种成本中心的分离使得跨部门协作成为共同的痛点。如果公司选择将其产品的制造和测试外包出去，则外包制造商承担各项成本，并按统一费用或小时费率收取服务费。

与操作和维护自动测试系统相关的成本是：

- **每小时运行成本** - 测试系统操作员和技术支持人员的劳动力成本，以确保系统在制造期间正常运行。测试系统的数量和操作系统所需的技能水平直接影响该成本。
- **操作员培训** - 每个操作员学习如何使用测试系统所需的时间。成本通常仅限于每个操作员必须参加培训的时间量，而不管形式如何（动手培训、在线培训或面对面培训）。拥有多种测试系统的公司必须决定其人员配置策略，是每个操作员均可以操作每个测试系统，还是每个测试系统由专人操作。
- **维护** - 保持测试系统和仪器工作正常相关的成本。它通常包括每年校准设备的成本、以及在故障时更换仪器的预测成本。系统是否易于维护也会影响这一点。
- **备件库存** - 在计划外停机（例如仪器故障）或计划内停机（例如校准）时保留备用仪器所需的成本。每个测试系统都需要备用仪器；采用多个不同测试系统的公司，由于产品高度混合，需要更大量的备用仪器和零件，以确保较长的正常运行时间。
- **安装** - 功耗高或产生大量热量的测试系统需要安装特殊的大功率电气装置或冷却塔以确保正常的性能。
- **公用设施** - 与供电、冷却和占地面积相关的成本测试系统。制造工厂每平方英尺的价格和电费因地理位置不同可能会有较大差异。



## 财务分析方法

由于开发和部署成本会分摊到多个年份，并且未来会出现操作和维护成本，因此必须使用财务模型来确定测试系统的总体拥有成本。对于传统投资场景，项目需要产生收入和利润。然而，对于测试系统来说，不存在收入或利润，而是哪个测试系统更具经济效益。类似的情况包括高效照明或建筑保温的投资，这需要前期成本，但成本会通过长远地减少公用设施费用来实现效益。

- **回收期 (PP)** - 这是指回收项目投资成本所需的时间。计算包含两部分。首先，必须确定前期成本，看看开发部署新测试系统和部署更多旧系统之间的成本差。由于旧系统已经开发好了，因此没有相关成本。第二，前期成本除以新系统的效率（吞吐量）可节省的每年运营成本。

$$\text{回收期(PP) [yr.]} = \frac{\text{前期成本[\$]}}{\text{每年节省[\$/yr.]}}$$

- **投资回报率 (ROI)** - 这是项目生命周期内利润与投资金额的比率，以百分比表示。这个计算较为复杂，因为它需要计算旧选项和新选项的预计总拥有成本，然后计算两者的差。接着将此结果除以更具成本效益的选项的总成本，所得结果再减去1（100%）即可得到投资回报率。

$$\text{投资回报率(ROI) [\%]} = \frac{\text{净节省总额 [\$]}}{\text{总成本[\$]}} - 1$$

- **其他模型** - 要确定项目或财务投资的可行性，还可以使用许多其他财务模型，例如内部收益率(IRR)、净现值(NPV)和修正后内部收益率(MIRR)。但是，当将两个选项相互比较时，大多数高级模型都不适用，可以将分析简化为PP和ROI。



## 实际场景

以下实际场景有助于演示如何使用财务分析来确定总体拥有成本，从而有据可依地做出关于购买新测试系统架构的决策，而不是仍然采用旧方法。

### 概述

B公司是一家价值2亿美元的IP卫星通信系统制造商。他们目前的生产测试系统是使用传统机架堆叠式仪器设计的。B公司开发了这些测试系统，并将其部署到合同制造商的设备上进行产品测试，合同制造商以每小时30美元的统一费率收取费用。

以下是当前测试系统的主要特点：

- 完整的功能和全面的测试覆盖范围
- 中等资本投入
- 组织员工都接受过操作培训
- 吞吐量没有达到最佳状态

因为B公司最近投资了一个更大的销售渠道，使其雷达产品能够进入新市场，其生产能力必须从每年10,000台增加到25,000台。



图3. 每年需要增产15,000个产品

他们的工程团队与NI合作，指定一个新的基于PXI的测试系统，该系统必须能够将每个DUT的测试时间缩短3倍。然而，新的解决方案需要前期开发和部署成本，因此，在作出决定之前，必须建模来比较迁移到新系统和基于现有架构购买更多测试设备这两个选择对业务的影响。

**现有机架堆叠式系统**

NRE资本投资:	N/A
NRE开发时间:	N/A
资本支出:	每个系统\$100,000
# 现有测试系统:	10台
测试时间:	每台设备40分钟
产量/吞吐量:	每年1,000台设备

**基于PXI的新系统**

NRE资本投资:	\$90,000
NRE开发时间:	\$150,000
资本支出:	每个系统\$120,000
# 现有测试系统:	N/A
测试时间:	每台设备13分钟
产量/吞吐量:	每年3,000台设备

**其他财务变量**

摊销时间表:	5年
更换现有系统:	不需要, 继续运行
每小时运行成本:	\$30 (合同制造商)
所需的吞吐量	每年25,000台设备

**开发和部署成本**

在评估过程中最常见的假设是, 基于现有架构购买额外的测试系统更经济, 因为组织员工已经受过充分培训, 并且无需开发成本。系统的架构是现成的, 只需要复制即可。而新系统需要在开发期间会发生规划、架构设计、培训和其他非现金工程(NRE)成本。

但是, 新系统的吞吐量优势不能忽视; 吞吐量直接决定了达到预计产量增长必须购买的额外或新测试系统数量。在本例中, 扩大现有测试系统的数量需要15个额外的系统, 而新的基于PXI的系统只需要5个即可满足生产量。



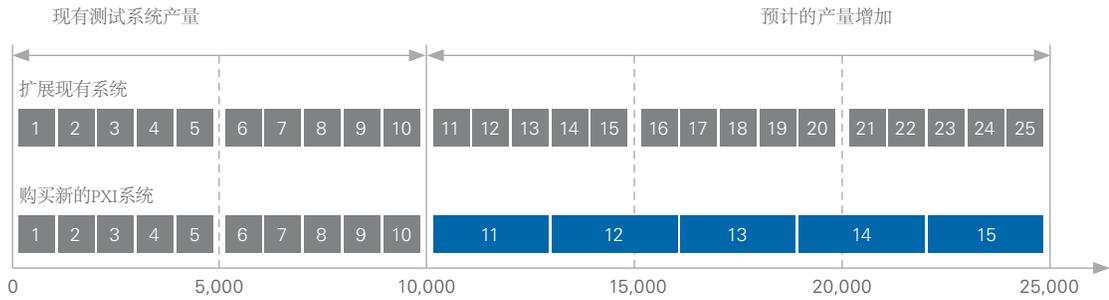


图4. 新PXI测试系统提供了高出3倍的吞吐量，大大减少了满足产品增产需求所需的系统数量。

在确定每种方法所需的测试系统数量后，您可以比较开发和部署相关的总成本，并直接理解吞吐量、资本支出和NRE的影响。

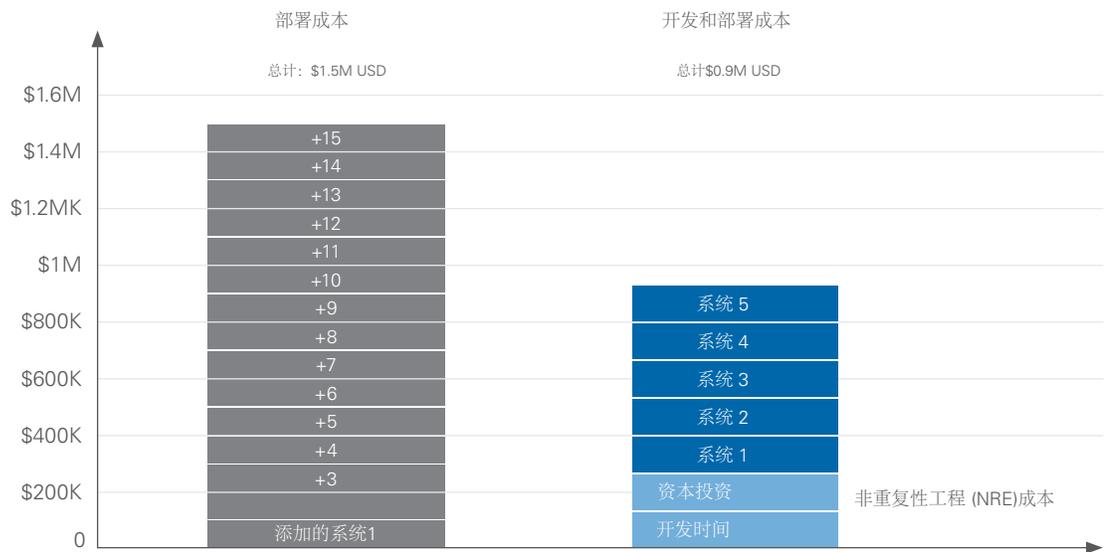


图5. 尽管新的基于PXI的测试会带来NRE开发成本，但是新系统的开发和部署总成本却降低了60万美元。



在本例中，比较开发和部署成本后，购买新解决方案比扩展现有测试系统更具成本效益。扩大现有系统的虚增成本主要源于系统的低吞吐量。仅仅从吞吐量的角度来看，就需要三倍的测试系统才能满足所需的产量，从而增加了部署成本。

但是如果变量发生了变化，会怎么样呢？对不同的假设情景进行建模，确保即使在最坏的情况下也有其优势。

要建模的一些假设情景包括：

- 如果新系统的开发时间翻倍，成本是否也翻倍？
- 如果资本支出由于通货膨胀而增加10%怎么办？
- 如果吞吐量仅提高了1.5倍，而不是3倍，会怎么样？
- 如果销售量从25,000台减少为仅20,000台，会怎么样？
- 如果额外的占地空间有限，该怎么办？
- 如果必须在测试设施中安装额外的电源或冷却装置，该怎么办？
- 如果之前的仪器使用周期结束，该怎么办？

## 操作和维护成本

在开发和部署所需数量的测试系统后，您必须在项目或产品整个生命周期中对其进行操作和维护。与操作和维护测试系统相关的成本通常由公司的制造团队承担，而测试系统的开发和部署则由研发（工程）团队承担。在没有领导指导的情况下，工程团队可能会对开发和部署进行成本优化，而不考虑对操作和维护成本的影响。

在上述仅考虑开发和部署成本的情况下，新测试系统比基于先前架构购买额外测试系统更经济。现在分析项目前五年两个选项的运营和维护成本，以了解其对总测试成本的影响。

在本例中，B公司外包了产品的制造和测试。合同制造商向公司B收取每小时30美金的测试费用。

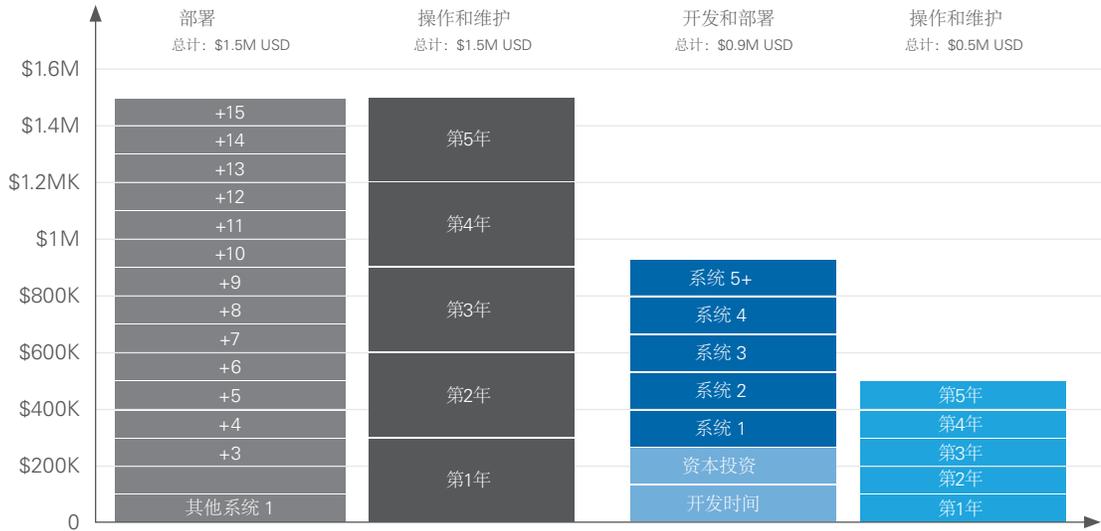


图6. 基于PXI的测试系统不仅具有很低的开发和部署成本，而且其操作和维护成本远低于之前的系统。

### 总拥有成本

虽然在这种情况下PXI选项是最好的选择，但确定总体拥有成本以有效地创建新系统的经济利益模型仍然很重要。该五年分析包含了对PP、ROI、总节约成本和每个部分的测试成本降低等变量的分析。在分析中，开发和部署成本平均摊销到五年内。



图7.与扩大现有解决方案相比，新测试系统在五年内总共节省了166万美元，投资回收期为11个月。



## 场景总结

在这两个选项中做出选择时，有许多因素需要考虑。人们通常认为，扩展旧解决方案更容易且更便宜，但进一步分析显示，投资新的高性能系统才是一个明智的财务决策。PXI系统的财务优势主要源于吞吐量提高了3倍，这使得B公司只需购买三分之一的测试系统即可完成同样的任务，从而节省了资金投入。在这五年期间，这一决策也显著降低了他们向合同制造商支付的操作和维护成本，从而实现了11个月的PP和124%的投资回报率。

## 结论

随着设备复杂性和上市时间压力持续上升，自动化测试系统的总体拥有成本将继续在公司的盈利能力中发挥重要作用。要实现这一目标，不能仅看测试系统的初始资本成本，应确保所有相关成本都纳入采购决策中。本指南主要针对自动化生产测试，但您可以举一反三，将相同的概念应用于将产品从初始概念带到终端用户手里的其他阶段，包括研发、特性分析、验证和确认。

作为PXI平台、LabVIEW图形系统设计软件和TestStand测试管理软件的开发者以及PXI系统联盟的创始成员之一，NI 40多年来一直致力于帮助公司开发自动化测试系统，涉及的行业从半导体生产涵盖到航空航天和国防。我们在全世界50多个国家的区域现场工程师团队也可随时为各种规模的企业提供服务，确保最高的产品质量，同时降低测试成本。如有其它需求，请联系当地NI销售代表。

