

测试系统构建基础知识

大规模互连系统和连接件

目录

引言

大规模互连系统概述

如何选择大规模互连系统

测试连接件概述

连接件考量因素

下一步

引言

搭建一个测试系统，但却没有考虑如何将仪器连接到被测设备(DUT)，这就类似于开着没有车轮的汽车。你的汽车可能有一流的马力和意大利皮革座椅，但是没有车轮，你就无法到达目的地。大规模互连和测试连接件就是与自动化测试系统道路连接的车轮。在确定所需的仪器、开关数量以及开关在测试系统的安装位置后，下一步是选择一个合适的大规模互连系统，并设计适当的连接件，将DUT无缝地连接到系统的其余部分。

大规模互连系统概述

大规模互连系统是专为简化来自或送往DUT或DUT连接件的大量信号的连接而设计的机械结构。大规模互连系统不是逐一连接每个信号，而是可以同时连接和断开所有信号。对于自动化测试系统，大规模互连系统通常需要一些可互换的机械外壳，所有信号通过该机械外壳从仪器（通常位于测试机架中）连接到DUT，从而帮助用户轻松地快速更换DUT，或是保护仪器前端的电缆连接，避免重复连接和电路断路。

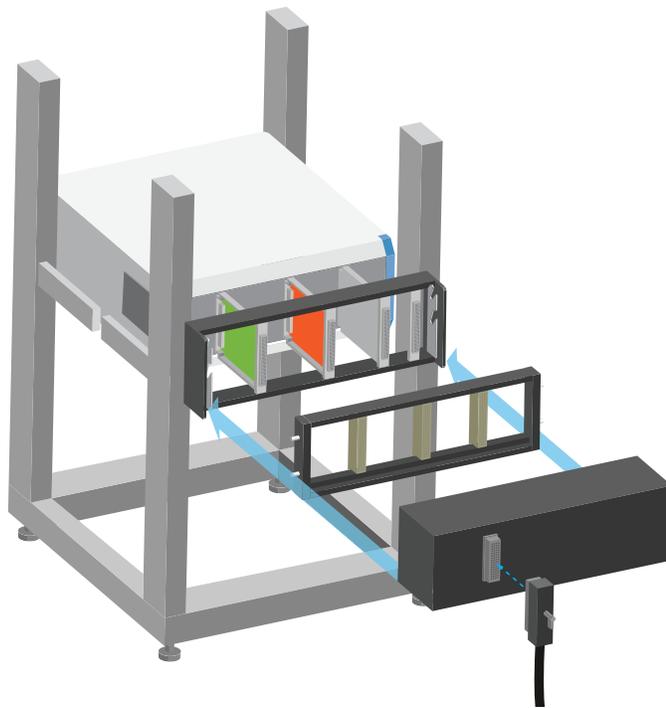


图1.大规模互连系统可同时连接测试系统和DUT之间的大量信号，提供了一种简单的方法，可以使用多个测试连接件在不同的DUT之间复用常用测试设备。

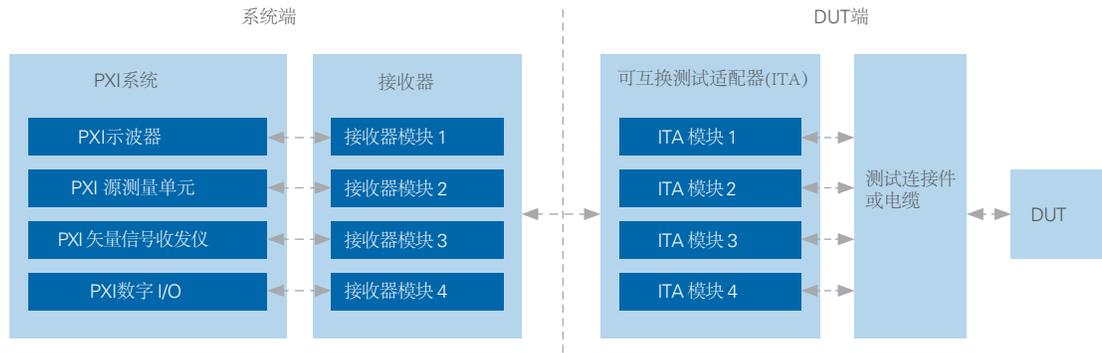


图2.大规模互连系统可以简化为两个部分。系统端组件（通常称为接收器）用于将仪器连接到大规模互连系统，用作为ITA的“插座”。或者，DUT端组件（通常称为ITA）用于将DUT连接到大规模互连系统，用作为接收器的“插头”。接收器和ITA在单个机械操作中相互配合，提供了一种简单的方式在不同DUT之间复用常用的测试硬件。

系统端组件

系统端组件包含仪器和大规模互连系统之间的一切。即使您更改可互换测试适配器(ITA)和连接件来连接各种DUT，系统端组件仍是测试系统中一部分常用的组件。下面是每个系统端组件的简要说明。

接收器

接收器是大规模互连系统中测试系统端的核心组件。它提供一个机制来将多个仪器同时连接到DUT。接收器系统包括框架、安装硬件、接收器模块以及从接收器模块到仪器的连接。

安装硬件

安装硬件将接收器固定在机架或PXI机箱的前部。这些硬件通常安装在19英寸机架的前侧，以方便测试人员进行操作。有些安装硬件带有铰链，以便于接触接收器后面的仪器或电缆。

接收器模块

接收器模块安装在接收器中，使得从仪器到接收器的主连接器（一类标准连接器，可连接到大规模互连系统的DUT端）以及所有其他接收器模块的连接通过一次机械操作即可完成。连接从仪器和其他辅助设备路由到接收器模块内的相应触点。这些连接通常根据所通过的信号的密度、带宽、电流或其它特殊要求来确定。

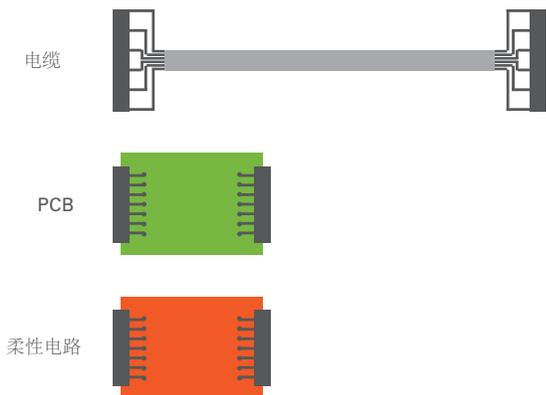


图3. 电缆组件（最上面）提供了灵活的安装和接收器模块位置，但通常具有较长的信号路径。PCB（中间）和柔性电路（最下面）可最小化信号长度，保持信号质量，但灵活性次于电缆组件。

为了将仪器和其他辅助设备连接到接收器模块，可以单独使用或组合使用两种方法：

- **电缆总成** - 使用电缆组件，通过标准或定制电缆从仪器直接连接到接收器中的触点。电缆组件提供了灵活的安装和接收器模块放置，但是接收器模块和仪器之间的信号路径（24英寸或更长）通常较长，这可能会影响性能。
- **接口适配器** - 接口适配器通常用于将仪器连接器（例如DIN、D-SUB、SCSI等）的所有I/O连接到接收器模块。适配器始终与仪器直接匹配，并使用印刷电路板(PCB)、柔性电路或电缆为特定仪器提供最有效的连接方法。接口适配器的优势是接收器模块和仪器之间的信号长度（通常为6英寸）较短，且接收器模块和仪器之间的信号性能可变，但这种方法灵活性较差，因此需要更周密的前期规划，安装位置必须精确，不能灵活更改。

低 ○ 平均 ◐ 高 ●

	电缆	采用电缆的大规模互连	采用PCB或柔性电路的大规模互连
信号质量	◐	◐	●
避免串扰	◐	◐	●
性能连续性（系统到系统）	◐	◐	●
DUT之间频繁互换	○	●	●
适用于设计和特性分析	●	○	○
适用于验证和确认(V&V)	◐	◐	◐
适用于生产测试	○	●	●
系统易于维护和升级	○	○	●
系统可重配置性（即可扩展性）	○	◐	●
易于复制（例如全球部署）	○	◐	●

表1. 电缆适用于器件的设计和特性分析，而大规模互连则适用于生产测试环境。

DUT端组件

DUT端组件包括大规模互连系统和连接件或DUT之间的一切。DUT端组件组装在一个装置中，通常称为ITA，通过一组公共的仪器可以轻松地进行互换，以测试不同的DUT。下面简要说明DUT端的每个组件。

ITA

可互换测试适配器(ITA)是大规模互连的DUT端核心组件，包含机柜或机械框架以及与接收器配对的ITA模块和触点，并将系统输入和输出传输到DUT。如果接收器是插座，那么ITA就是插头。许多测试系统可在不更换测试系统和接收器的情况下，通过更换不同的ITA来测试各种DUT。

ITA模块

ITA模块安装在ITA内部，其方式与接收器模块安装在接收器内部的方式大致相同。它们为主互连系统提供了经由接收器传输的各种信号，并通过电缆、PCB或ITA外壳内的其他连接来实现这些连接。我们需要选择正确的ITA模块和触点来匹配之前指定的接收器模块和触点。然后将正确的信号从机箱内路由到连接件或DUT连接器。

外壳

外壳是容纳ITA和相应ITA电缆/模块的机械外壳。常见的做法是将ITA外壳和测试连接件集成到单个框架或物理平台上，并在其上放置DUT，比如在消费电子或半导体测试中；或者在ITA和DUT之间连接一条电缆。虽然我们可以选择标准机箱，但实际上几乎每个外壳都进行了一定程度的定制，以满足DUT的要求。

测试连接件

每个DUT都不相同，因而需要独特的连接方法来实现最高效的测试。例如，一些DUT更适合在ITA和DUT之间连接单条电缆，而其他DUT则更适合采用集成式测试连接件（例如钉子夹具床），从而提供了无需电缆的直接连接方法。

如何选择大规模互连系统

选择最佳的大规模互连方法可确保测试系统能够发挥其全部潜力，充分利用仪器的所有功能。然而，性能只是决策时需要考虑的一个方面，应该与成本结合考虑。为了找到满足高性价比解决方案，应该将大规模互连系统的资本支出与标准电缆的总成本（包括设计、验证、定制件的生命周期管理、维护成本和文档描述）进行比较。完整大规模互连配置(包含高速模拟、高速数字、开关和射频信号)的平均价格在\$ 10,000至\$ 15,000范围内。但是，估算应用成本时最好应要结合大规模互连系统供应商提供的报价进行考虑。

以下常规步骤可以帮助您确定哪些大规模互连选项适用于您的系统，但是您也应该咨询大规模互连专家和NI联盟合作伙伴（例如MAC Panel或Virginia Panel Corporation (VPC)），他们可以指导您做出正确的决定。除了提供建议外，一些大规模互连供应商还提供现成的大规模互连套件，包含接收器模块和用于常用仪器的匹配ITA模块，从而减少了配置大规模互连系统所需的时间和精力。您只需提供系统所使用仪器的列表，他们可以提供相应的套件，包括接收器模块和匹配的ITA模块。

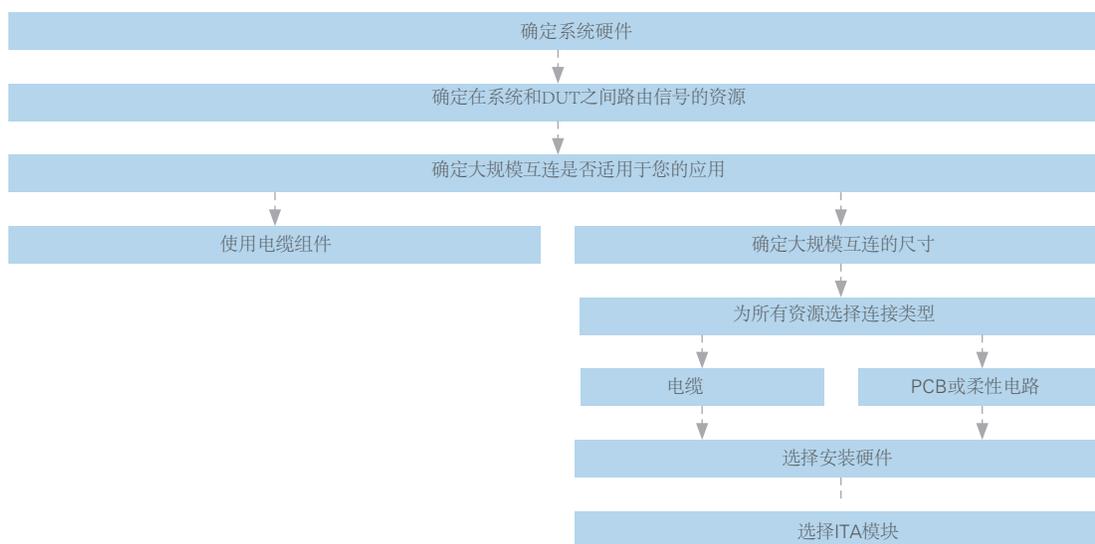


图4. 大规模互连系统的考量因素

1. 确定系统硬件

首先，确定测试DUT所需的系统硬件。这包括仪器、开关、路由到DUT所需的任何辅助硬件（例如电源）以及测试机架的尺寸和样式。

2. 确定测试系统路由到DUT所需的资源。

根据测试系统和被测设备的复杂程度，您很可能会需要通过大规模互连系统来路由所有必需的仪器和辅助组件连接。有些测试组件不需要通过大规模互连系统进行路由，例如PXI嵌入式控制器或RAID存储系统。

在选择通过大规模互连系统进行路由的资源时，必须考虑测试需求可能的未来变化，以便构建一个灵活的测试系统来满足未来的需求。例如，如果您有额外的资源，比如额外的仪器或电源通道，可能当前DUT并不需要，但未来的DUT可能会需要，那么您就可以基于这些未来变化预期规划好这些资源的路由，从而节省时间和金钱。

3. 确定应用最佳接口类型 - 电缆或大规模互连。

此选择取决于多个因素，包括系统的复杂性、技术性能要求、灵活性和总体拥有成本。决策时请使用表1作为指导，同时也需要咨询大规模互连专家，以确保您为测试系统做出正确的选择。假设您决定使用大规模互连，以下步骤可以帮助您确定接收器和ITA的尺寸以及选择正确的接收器模块、ITA模块和安装硬件。

4. 确定接收器和ITA的尺寸。

接收器有许多不同的尺寸和样式可供选择，具体取决于前面几个问题的答案。接收器最好保留备用插槽，以方便将来进行扩展。类似于PXI系统仪器的规划，一般的指导原则是初期设计时至少保留20%的插槽未被占用。请注意，ITA的尺寸将始终与接收器的尺寸匹配。

5. 选择接收器模块和连接方法（电缆或接口适配器），以满足所有必需资源的路由。

所选择的接收器模块和连接方法取决于测试目标、所选仪器和任何其他辅助要求。同样地，您可以使用表1作为指导，但请务必咨询大规模互连专家，以确保您为测试系统做出正确的选择。您可以选择各种各样的模块和触点形式来满足所有信号类型的要求，包括：

- 低频交流信号
- 电源
- 射频信号
- 微波信号
- 热电偶
- 光纤

6.选择安装硬件。

在选择接收器模块和连接方法后，下一步是选择安装硬件，这取决于几个因素。大多数使用大规模互连的系统都会安装在19英寸的机架组件。如果采用电缆系统，建议将接收器安装在铰接框架上，以便于接触仪器和机箱。如果使用接口适配器，则建议使用标准安装法兰将接收器安装到PXI机箱中，然后将接收器和机箱安装到机架内的滑架上。

7.选择匹配的ITA模块和触点。

所配置的ITA模块和触点应匹配步骤五的选择。ITA模块中的触点可能不需要完全填充也可完全匹配接收器模块中的触点。在大多数情况下，来自特定仪器的所有资源都会传递到接收器模块。然而，ITA端并不需要所有这些资源才能测试特定的DUT;因此，并非所有ITA模块都需要完全填充触点。

测试连接件概述

测试连接件是在测试系统和DUT之间提供可重复连接的器件，通常采用定制设计来满足特定DUT的需要。在连接件背面使用大规模互连时，您可以使用一个通用仪器机架来互换各种测试连接件；还可以通过轻松地互换不同DUT的测试连接件来重复利用测试设备，这是通用测试仪或高混合测试仪的理想选择。

在设计测试连接件时，请提前了解您要执行的测试类型，因为器件设计、DUT特性、验证和确认(V&V)以及生产测试的需求是完全不同的，而且需要的测试连接件功能也各不相同。

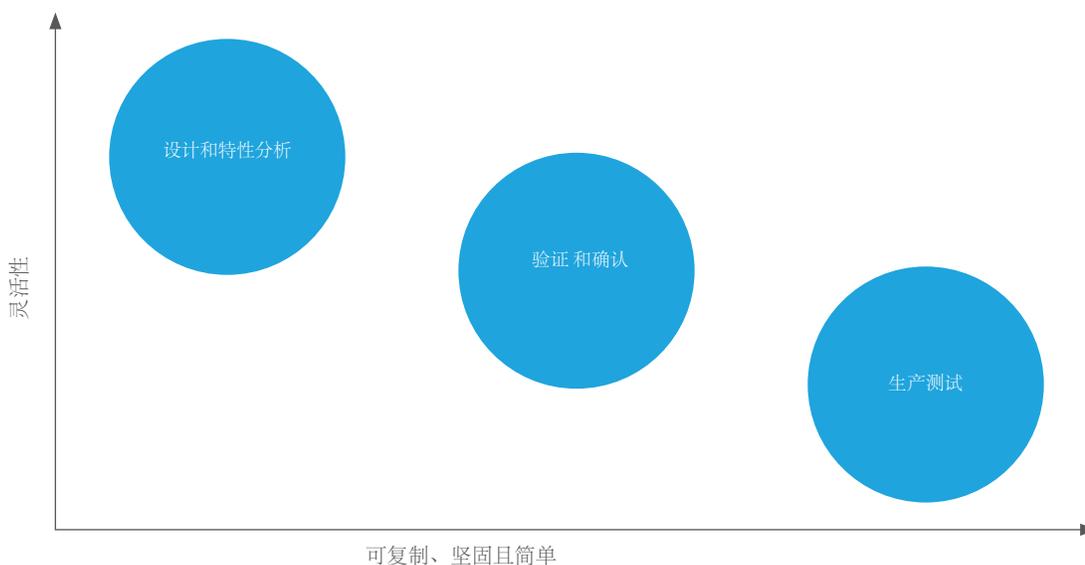


图5.生产测试系统需要坚固、易用且易于复制的测试连接件，而仪器系统设计和特性分析需要电缆、探头和Kelvin夹具的灵活性。

设计和特性分析

在产品设计阶段，我们必须能够灵活地连接或断开DUT到测量仪器之间的电缆或引脚，以便对设计中的任何和所有元件进行测试或故障排除。这时就需要一种高度灵活的方式来与仪器连接，而不是采用大规模互连和连接件的简单或坚固型测试系统。许多设计工程师采用具有电缆、探头和Kelvin夹具的仪器，这样可轻松地更改连接。除了故障排除，设计工程师通常需要对器件的实际行为进行特性分析或记述，以便确定器件的规格参数，为开发V&V测试台或生产测试系统的测试工程师提供指导。

验证和确认

V&V是通过对具有统计代表性的一组产品进行测试来检查特定产品是否满足设计规格的过程。

验证

验证是检查器件是否满足相应法规和规范的客观过程。验证通常在设计和开发阶段以及开发阶段完成后执行。在开发期间，验证测试有时需要模拟系统其余部分的行为或进行建模，以预测或预了解器件开发完成后的行为。开发完成后，验证测试可以采用回归测试，重复多项测试设计，以确保器件随着时间的推移持续满足设计要求。

确认

确认是一个比较主观的过程，涉及主观评估器件是否满足最终用户的操作需求，这通过为新产品创建需求问题描述来实现。确认测试的要求来自于用户需求、规格和/或行业法规。在确认规范时，我们的目标是确保规范能够涵盖用户的需求，而不是确保给定器件满足其规范要求。

在V&V过程中采集的测试数据也可用于确定生产测试系统的测试限制。虽然只有一小部分给定的产品进行了V&V，但几乎所有最终产品都需要通过生产测试。因此，V&V过程设计的连接件通常有助于减少DUT和仪器之间的连接，使得这些连接件相比用于生产测试的连接件较不坚固。

生产测试

生产或功能测试通常在制造过程结束时进行，目的是测试产品是否满足公布的规格和质量标准。许多时候，功能测试是自动化进行的，以便提高生产力以及减少人为交互导致的错误。有时，生产测试包括仿真或模拟产品的实际工作环境。最重要的是，功能测试使用的是客户最终使用的连接器，而不是PCB上的各种测试点。

由于每个设备的制造和运输都经过生产测试，连接件的设计必须坚固耐用，最大程度延长正常运行时间，且必须易于使用且符合人体工程学。同时应该尽量减少测试操作员所需的交互。将DUT与连接件或仪器到连接件的连接电缆对准所花费的额外时间会降低工作效率并增加测试成本，并且增加由于人机交互而导致错误的风险。最后，生产测试系统（包括测试连接件）应易于复用于其他部署。

连接件考虑事项

当设计测试连接件时，确保连接件使用正确的接线类型和技术，尽可能使用PCB而不是电缆，并尽可能多地自动连接。此外，我们还需要为连接件制定预防性维护计划，以确保长期的成功部署。

正确接线

电线通常是噪声和误差的来源，因此我们应该为测试连接件选择最佳类型的电线。为了确保信号完整性，一些电线提供了绝缘、屏蔽、保护或双绞线等特性。一些仪器手册建议使用特定电缆，但这通常取决于正在执行的测量类型。例如，双绞线是执行差分测量时抑制噪声的理想选择。使用屏蔽电缆也是抑制噪声的一种技术，但重要的是根据信号源和输入配置的接地使用正确的接地方案。最后，保护功能通常用于消除数字万用表(DMM)或源测量单元(SMU)的HI和IO端子之间漏电流和寄生电容的影响。

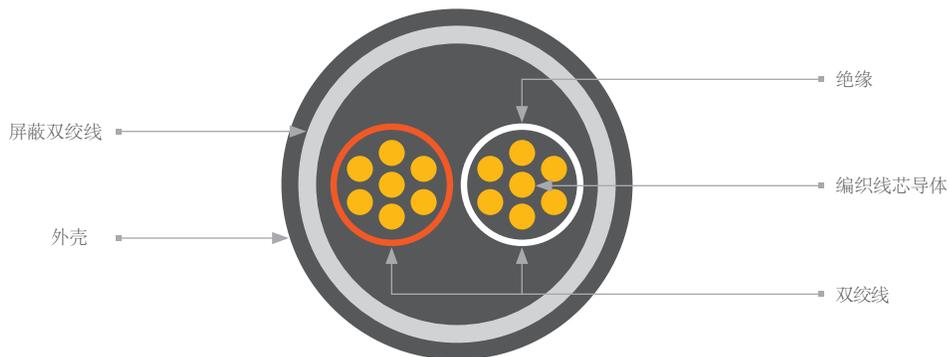


图6.为了保持信号完整性，不同的电缆提供屏蔽、绝缘、双绞线或保护等不同功能。

最大程度减少操作员交互

大规模互连系统的目标是提高测试设备复用性，以及减少可能导致错误、降低产量和增加测试总成本的操作员交互。除了使用大规模互连系统来减少用户交互之外，良好的测试连接件应最大化测试操作者通过单次交互实现的测试连接件和DUT之间的连接数量。例如，一些测试连接件利用由单个操作手柄驱动的连接方法或者利用电动或气动马达自动地完成多个连接。生产测试时，通常使用客户最终用于连接设备的连接器来进行连接。

构建可复制且易于扩展的连接件

某些接线技术可以保持信号完整性，但建议在测试连接件中使用PCB来提高信号完整性，以及减少测试操作员或技术人员在安装阶段的接线工作。使用可同时进行多个连接的测试连接件有助于提高生产能力、测试重复性和用户人体工程学，但是同时必须减少测试连接件内部的布线量并且在可能的情况下用PCB替换电线，因为这可以进一步提高信号完整性，减少安装和连线相同测试系统所需的时间。需要权衡的是，设计定制PCB需要更多的前期成本和工作量，但这些付出将在第一个系统以及随后复制的测试系统部署后得到回报。

为测试连接件制定预防性维护计划

为了确保测试系统能够长期提供支持，总测试系统维护计划中应包括测试连接件维护计划。这应包括整个测试系统生命周期中进行定期检查和/或更换连接器、电缆、弹簧针、继电器和其他组件。在选择检查周期时，需要考虑特定部件的故障率。判断故障率时，请参考供应商提供的平均故障间隔时间(MTBF)或公司特定的服务故障率。尽管在比较或分析仪器时两者都是有用的，但是服务故障率可能更实用，因为它可指示仪器实际上如何用于特定应用。如果不知道服务故障率数据，可通过MTBF数据导出理论故障率，从而计划符合成本和风险容限的检查周期。

下一步

NI PXI配置指南

PXI配置指南可帮助您比较仪器选项并配置基于PXI的测试系统，包括PXI机箱、控制器、模块、软件、服务和附件。

使用[PXI配置指南](#)，配置专属于您的测试系统

MAC Panel

MaC Panel公司为希望在测试或测量环境中实现可靠、经济高效的电气连接的公司提供了解决方案源。除了全系列的大规模互连产品，包括为PXI设计的MaC Panel SCOUT大规模互连系统，MaC Panel公司还提供了定制布线服务、钣金加工和定制设计帮助以及一系列选项来支持全球的自动化测试设备。

了解更多关于[MAC Panel](#)

Virginia Panel Corporation

Virginia Panel Corporation，简称VPC，致力于为商业、军事、电信、航空航天、医疗、汽车和消费电子应用设计、制造和销售大规模互连产品。

了解更多关于[VPC](#)

NI联盟伙伴目录

NI联盟合作伙伴网络是一个由全球1,000多家独立第三方公司组成的项目，提供完整的产品以及集成、咨询和培训服务。其中一些公司，如MAC Panel和VPC，提供定制布线解决方案、大规模互连系统和完整的连接件解决方案。

浏览[NI联盟合作伙伴目录](#)