

测试系统构建基础知识

# 机架布局和热分布

目录

引言

机架设计中热的重要性

设计方法

建模和验证

将设计标准应用到产品上

下一步

## 介绍

每时每刻，新的项目都放在测试工程师的桌前，期望他们开发出不仅能够满足规格要求和发布期限，而且能够提供高质量和可靠性的测量系统。最理想的情况是，工程师有充足的时间和资源进行深入的研究、建模和仿真，以创建完美的系统。不幸的是，在实际应用中，项目进度通常无法允许足够的时间和资源来开发完美系统。**Control Engineering**在2014年8月进行的系统集成研究表明，只有67%的系统项目能够在预算内按时完成。面对着紧迫的发布时间和苛刻的项目时间要求，重要的是要考虑测量系统中可能影响测量质量的各个因素，这反过来更有可能增加时间进度、成本和性能的风险。这些方面包括选择的仪器、连接和电缆的质量以及测量方法的实现。然而，我们经常会忽视热量对测量质量和测量系统可靠性的影响。

本文提供了更多关于如何设计来避免风险的知识。了解热量如何影响测量质量，查看基本设计方法，以及探索用于设计机架测量系统的热建模工具。

## 机架设计中热量的重要性

在通用测量系统中，热量的来源有很多个；然而，在机架安装测量系统中，机架内部产生的热量以及与机架周围环境的热交换是影响测量的热变化的主要来源。因此，你需要关注热量的原因有以下几个：

- **良好的设计实现** - 了解热量的影响并在设计系统时将其考虑在内是一个很好的做法。在了解热量如何影响系统后，您就不会让热量成为影响系统性能的主要变数之一。请记住，在指定的温度范围之外运行仪器可能会影响仪器的质量和预期寿命，这也是设备需要具有良好热设计的一个原因。
- **系统不确定性** - 热量将始终存在并且难以完全消除。因此，通过更深入地理解热量是什么，您可以更好地考虑系统不确定性，并在测量误差和测量结果中更准确地解释它们。
- **系统稳定性** - 稳定性对于良好的测量系统非常重要。如果观察到易变性，通常很难确定根本原因和/或如何解决它。由于这种易变性，系统中的热变化可能导致错误的测试结果。控制系统中的热量有助于最小化这种风险。
- **产品质量** - 产品需要特定的热环境来确保最佳性能，特别是在调整过程中。将系统热量对产品性能的影响降低到最小有助于提高整体产品质量。

## 热量和仪器

对于仪器，热量是一个不可忽视的考虑因素。仪器只有遵循特定温度要求才能满足规格。大多数仪器都会存在温度漂移，如果温度不稳定或超出规定范围，则测量结果会有所不同。如果要正确理解和信任测试解决方案的测量结果，就必须了解这种影响。

例如，看看一些相关行业，如电信和IT都已经按照推荐的或者允许范围内的温度范围采取了最佳的实践方式。大多数设备制造商都会遵循这些最佳实践。一些设备也有其自己的规格，因此设计目标是满足特定设备的规格以及行业的最佳实践。这些行业的主要关注点包括长期可靠性、系统正常运行时间和较低的总拥有成本(TCO)，这与自动化测试非常相关。类似地，自动测试工程师还应考虑与机架系统和热量相关的潜在影响。

这些行业如果没有对热量进行良好的管理，可能会导致更高的运营成本。例如，如果冷却系统故障，温度上升会给系统的其余部分增加负荷，导致设备寿命缩短。如果温度过高，IT系统可能会遇到CPU级的计算错误，从而导致应用程序错误。我们可以部署备用的冷却系统，但这会提高TCO。最重要的是，由于自动关机导致的停机会导致服务中断，任何停机都会导致资金损失。

### 国家和国际标准

关于国家标准，网络设备建造系统(NEBS)和美国采暖、制冷和空调工程师协会(ASHRAE)分别为电信和IT设备制定了指南和最佳实践。

ASHRAE是一个侧重于多个领域实践的组织，而NEBS是专门针对电信设备。ASHRAE可能会参考NEBS中关于机箱和机架安装设备的一些指导，但ASHRAE的最佳实践似乎更全面地涉及外壳设计的所有方面。

虽然这些国家标准不直接适用于测试和测量认证，但它们遵循许多与自动化测试相关的机架设计和性能原则和准则。

国际电工委员会(IEC)制定的国际标准涉及外壳的热方面。外壳制造商主要参考这些标准来设计或测试外壳或为客户提供使用指南。

- IEC 61587-1规定了在室内条件下空机箱（即机柜、机架、机框和机箱）的环境、测试和安全要求。
- IEC 62194-1提供了在室内和室外条件下评估空机箱热性能的方法。

电信和IT行业的设计目标与测试和测量行业类似，但主要的重点领域和挑战有些不同。测试和测量的设计目标更多地侧重于满足单个特定设备的规格，因为目前还不存在用于测试和测量设备机架的通用标准，但是该行业的各个公司各有自己的最佳实践。主要的关注点是确保每个仪器以及被测设备(DUT)保持与其规格一致。这一点甚至比长期可靠性或正常运行时间更重要，因为我们主要在较高温下关注长期可靠性或正常运行时间，而测量准确性在相对较低的温度下也有可能降低。

在挑战方面，自动化测试系统存在更多的限制。其中一个，测试机架通常处在人进人出的环境或不受控制的生产厂房环境中。这增加了房间/位置的总体热分布随机性，这一点与只有静止物体的服务器室不同。

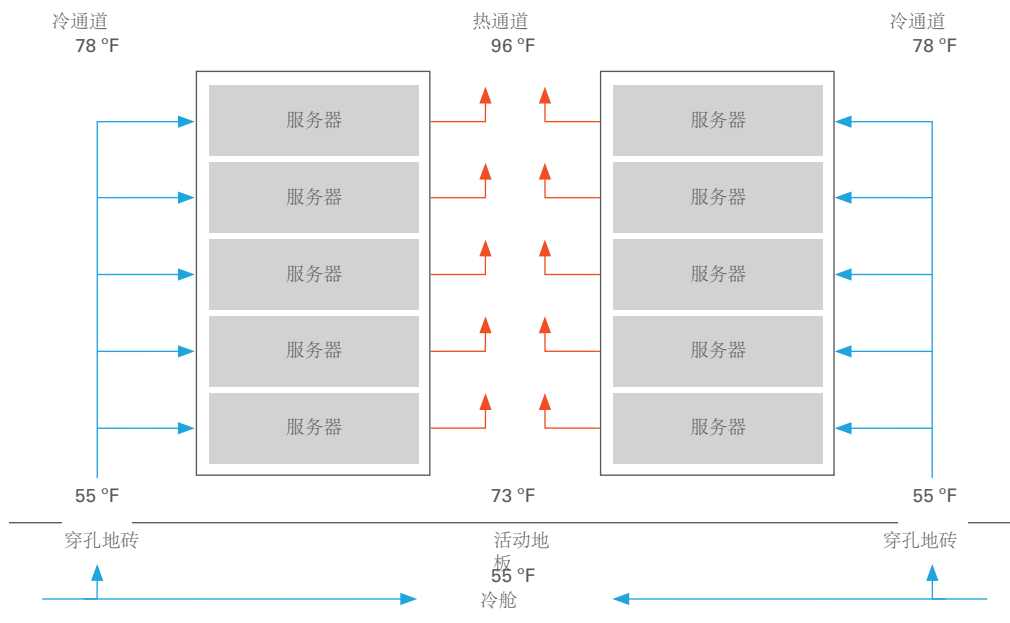


图1. 服务器机房/设施具有受控环境，与放置在不受控制的嘈杂环境中的测试系统不同。

## 热对DUT、测试系统或测试结果的影响

第一个也是最根本的影响在于仪器和DUT的精度。如果您无法确保仪器处在正确的环境温度下，则精度将降低。

例如，如果环境温度在调整阶段和验证阶段之间的变化足以改变仪器或DUT的精度，则校准可能是无效的。这也可能导致制造中的通过/不合格结果不准确。管理此风险的最佳方法是在计算测量不确定度时考虑热偏移。

即使温度在指定的操作范围内，来自不同测试站的数据也会有一些差异。开发环境中采集的数据与生产环境中采集的数据也是如此，其中测试站周围的环境温度变化是偏差的主要原因。

虽然存在偏移，但大多数仪器都是在环境温度下工作。这意味着，即使环境温度发生微小变化，也可能会转化为仪器温度的变化，从而增加不同测试站的数据存在差异的可能性。

由于温度差异可能导致开发和生产的数据存在偏差，因此这也可能发生在验证和确认以及测试开发之间。验证和确认通常是在办公室环境中的台式设备上执行，而测试开发则通常在受控环境中使用机架安装式测试台来进行。这导致仪器所处的完全不同，即使仪器和随后的测试系统完全相同。某些仪器甚至在某些温度范围内具有不同的测量规格，因此在设计和测量计算中使用正确的规格很重要。

此外，前面讨论的环境都无法完美地模拟生产制造环境，因此如果环境中存在未知的信息，建议在设计中采取保守态度，以解决这些环境可能出现的问题。例如，下图对办公区和受控环境中测试台前端几个小时内的室内环境温度数据进行了比较。

受控环境是一个配有专用空调的小房间，可以更加清晰地看到温控器开启和关闭，温度变化更加明显；该房间温度保持在约23°C至25°C。办公区温度较为稳定，但稍微高一点。

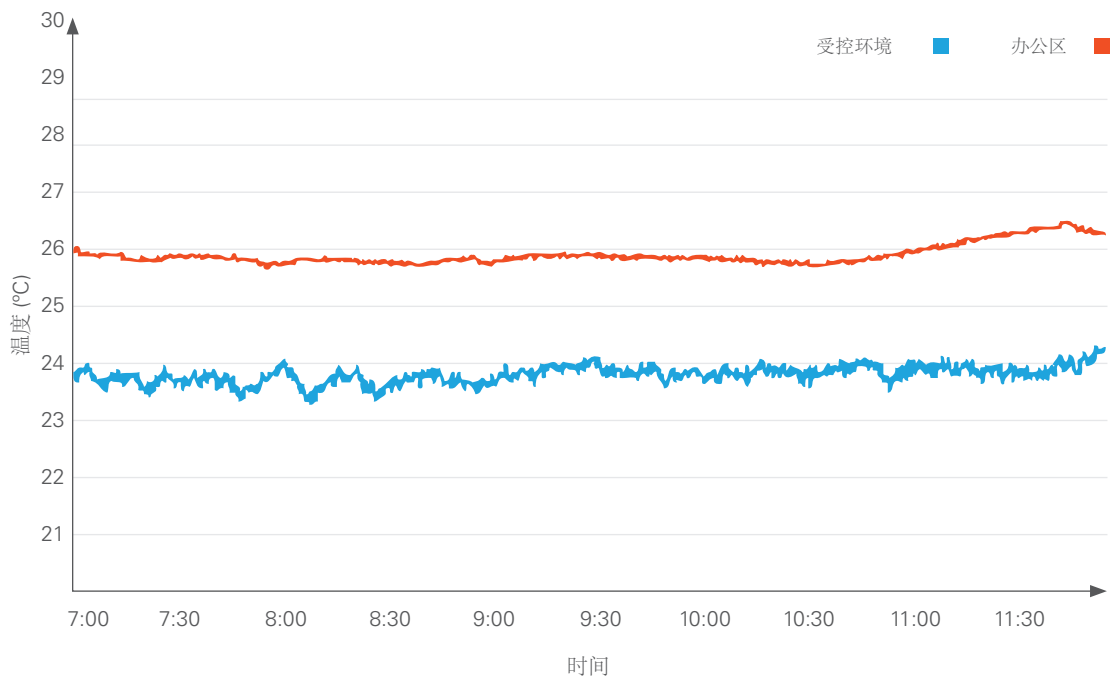


图2. 室内环境温度

一天刚开始时两个温度均轻微升高（图表的右侧）；当人们到达时，由于体热和开门，室内温度有所升高。请注意，办公区域的温度可能会随着时间、位置、楼层和其他因素而变化。相比之下，受控环境温度由于配有专用空调而在一整年中都相当稳定。基于所有这些事实，在进行验证和确认或开发测试和采集数据时必须始终跟踪环境温度。如果验证和确认的数据和测试数据之间存在差异，跟踪环境温度有助于进行数据分析。

### 机架安装系统的热分布

在考虑系统中的热分布时，很多人会对其进行过度简化。最常见的简化莫过于“底部冷，顶部热”的观点，还有人认为温度梯度在机架上均匀分布的，但在大多数情况下，这些简化并不完全正确。



图3. 通常假设上热下冷，热量从下向上均匀分布，这一假设会导致结果不理想。

在实际系统中，热分布受到多个变量的影响，因此，热分布也会不断变化。如果使用红外测温枪或热电偶适当地测量系统，您将看到机架系统存在局部热区，且水平或垂直轴上的温度梯度不均匀等特性。这是因为我们并不是隔离其他一切来处理冷热空气；热分布取决于机架布局、单个设备的风扇速度、入口和出口通风口的位置、系统中每个设备的功耗，以及系统中所有风扇的组合所形成的气流。

这一点非常重要，因为这意味着机架顶部不一定是需要注意的，这直接与热量最常见的过度简化观点之一不一致。了解每个系统独特的热分布特性以及解决相关的问题需要进行全面的评估。

以下示例有助于解释在典型的机架安装式测试系统中，热能是如何工作。



图4. 局部热区或导致整个测试机架的不同位置具有不同的温度。

首先注意的是局部热区，这取决于系统的机架布局和设备规格以及使用情况。在本测试站示例中，电源周围的热量最高，其次是PXI机箱。测试站其他部分的温度似乎比这些局部热区低，因此根据每个系统，可能需要以不同的方式来处理这些局部热区。另一个要注意的是，底部热区在x轴上的分布并不均匀。

### 热不均匀性是怎么产生的？

通常，这种不均匀性源于设备的气流模式。例如，电源由单独的供电单元和电源机箱组成。从图中可以看到，机箱的气流从左流到右。这意味着大部分暖空气在仪器的右侧。

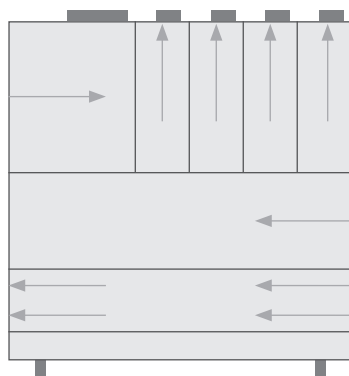


图 5. 模块化电源的气流流向顶视图



后端的排气来自各个模块；不是所有的模块都在同一时间运行，所以后端的温度通常不会像右侧那样高。此外，机架系统的热分布根据使用情况而变化，因此需要进行特性分析，而不是简单地观察特定情况的温度。

### 系统的热分布应该是什么样的？

您需要了解机架式系统的几个方面，以确定热分布的情况。首先，您需要了解每个系统的独特需求：

- 所需的系统级规范是什么？
- 系统将在什么环境下运行？
- 需要使用哪些仪器，这些仪器的温度要求是什么？
- 只需将温度维持在一定的温度范围，还是应用需要温度保持稳定？

例如，如果您的DUT是PXI模块，并且需要在切换DUT时启动和关闭DUT PXI机箱，则机架的热分布会以重复的方式变化。了解这些重复的变化需要了解机架热分布中的任何不稳定性。

最后，并非机架内部的所有点都要求保持相同的温度。通常有一些区域的温度比其他区域更高，但是要求所有仪器进气口的气流保持在指定温度范围内。

## 设计方法

下一节将重点介绍从设计到推出开发机架式系统的最佳实践。

在开始机架设计之前，您应该了解正在使用的仪器的几个关键元素，这将对设计产生全面影响：

### ▪ 评估设备的进气口和出气口

首先，研究一下您的仪器，了解模块上进气口和出气口的位置。为设备提供温度要求的能力很大程度取决于仪器进气口处的温度以及散热的位置。了解这将有您成功地画出机架设计的热分布图。

### ▪ 了解规格和温度要求

通常，设备会有特定的存放、运行和校准温度要求。你关心的是哪一部分？每一个温度代表什么意思？了解每种仪器规定温度的方式以及温度对仪器性能或规格的影响，特别是那些会影响保证性能的规格。例如，3458A规定环境温度必须保持在 $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 才能保证设备的规格。此外，如果在上次自动校准后温度相对变化 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，便需要再次执行自动校准。第一个规格是环境的绝对温度，第二个是相对于上一次校准的温度。需要理解这些差异及其对解决方案的可能影响。

#### 了解器件的环境定义

大多数传统的台式仪器将环境温度定义为环境的空气温度。通常，对于PXI产品和机箱，环境温度定义为紧接在机箱风扇入风口外部的空气温度。因为像PXI-1045这样的机箱需要约1.75英寸的间隙来允许正确的空气流量，您可以安全地假设这个间隙内靠近进气风扇的温度即是环境温度。

常见的错误是假定仪器的环境温度就是仪器所处的房间的温度。一般来说，如果您在桌面上使用仪器，附近没有会产生影响的热源，这个观点可能是正确的；然而，在机架安装设计中，必须将机架内部的局部空气温度视为仪器的环境温度。机架设计中的仪器更容易受到热问题的影响。

根据具体应用和仪器的使用，务必准确了解每个设备的环境温度。

在选择机架或进入机架设计的任何其他细节之前，请了解机架可能遇到的预期热负载。这可以通过为系统要使用的所有电子设备进行功率预算来轻松完成。了解功耗有助于了解热负载。

### 所有电子产品的功率预算

在设计时考虑所有仪器和外设，包括测量设备、PC、显示器、电池备份以及机架内任何可能的发热源。对于这些设备，请参考产品规格以确定每个设备的功耗。一般来说，产品规格列出了最坏情况下的功耗（在完全使用或满负载下），这通常不代表设备的一般或平均性能。通常，在设计中一般以60%的额定最大功耗为基准。话虽如此，将来您可能会将您的机架设计用于其他目的，这可能会导致热负荷增加，因此在计算功率预算时应留有余量。

理想情况下，如果您可以提前测量设备的实际功耗，则可以获得最佳的整体功耗预测；然而，这在规划系统阶段基本是不可能的。建议在系统设计完成后再返回查看，并进行这些测量和文档记录。

## 温度要求和气流分布

基于仪器温度要求和气流分布，绘制仪器所需的一般位置。热量由下往上流通，因此，机架通常越往底部越凉，越往顶部越热。设计时将最敏感的仪器放在机架的底部。您可以使用技术为其他机架位置中的仪器创建可接受的热环境，但这通常需要一定的代价。

可用性可能会限制某些仪器的放置，需要评估和了解该仪器放置的影响。也许它需要额外考虑如何处理气流或如何为不太常规的设备进气口提供冷空气。在设计时需实时记住这一点。同时，还要考虑仪器规定的任何间隙限制。通常，仪器会规定与设备或设备的出入口保持一定距离。请确保满足这些要求。

## 基于布局的机架尺寸

布局可让您了解安装仪器所需的机架尺寸。在机架选择时应记住考虑外部约束，例如占地面积和房间高度。

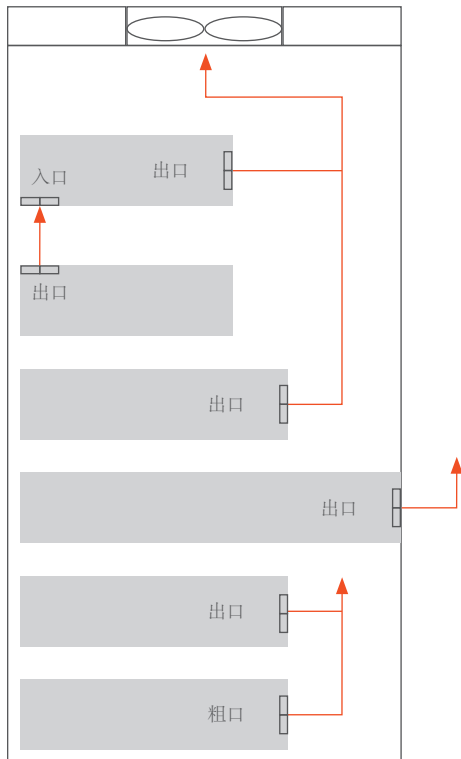


图6. 机架系统中仪器阻止热气流出的示例。

所有仪器的废气应通过一条通畅的通道来排出机架。在此布局示例中，您可以看到整个仪器阻塞其下方仪器的排气。另一个错误的做法是让热空气和冷空气相遇。您可以通过更加巧妙地布置机架来解决这些问题，但首先要了解仪器的入口和出口以及预期的气流。

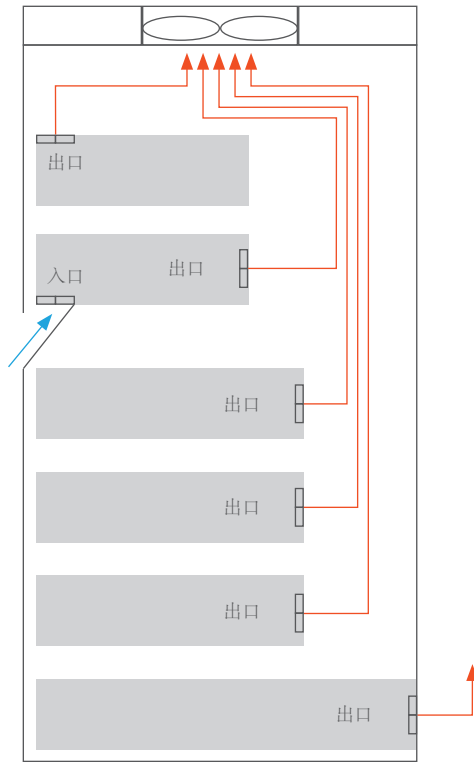


图7. 机箱系统正确排气布局示例

重新放置仪器，为所有仪器的热气提供连续的气流路径。此外，通过机械分离来确保所有仪器尽可能吸进来自外部的空气。

对于仪器的进气口位于机架内部的情况，基于仪器的安装方式，一个仪器的废气可以再循环到另一个仪器的入口。多个仪器的废气可以进入彼此的进气口。这可能会显著增加机架内的环境温度，并且越朝上，温度越高。

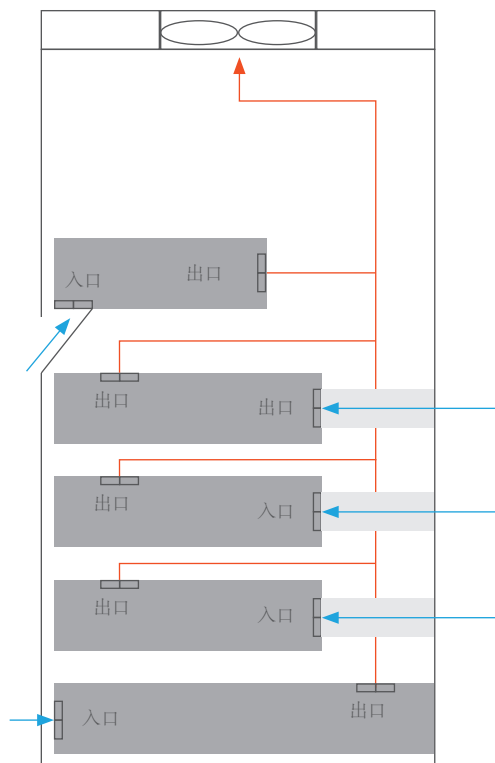


图8. 机架设计中自定义入口通风示例

在这些情况下，理想的方法是提供从机架外部到仪器入口的隔离路径。这可确保正确理解和控制仪器的环境温度。

记住，仅仅观察进气口温度是不够的。确保根据仪器的规格为每台仪器提供足够的间隙，以确保其周围有适当的绝缘和气流。忽略这些约束虽然较为简单，但常常会导致大量空间未使用或浪费。因此，为了获得仪器规定的性能，必须遵循这些间隙规格。

从图片来看，仪器之间正在形成局部热气流。记住，红色的热箭头只是为了表示该热量将被阻止进入进气口。为设备进气口设计隔离路径可使得空气在机架周围和上方流动。大多数机架组件为所有仪器的侧面提供足够的间距，以确保可以形成适当的“烟囱效应”。仪器释放的热量也应该允许在进气口隔离屏障周围流动。有许多方法可确保热量从机架中正确排出而不会影响仪器。这些只是其中几个例子。

### 热传递和气流

如前所述，大多数仪器的出气口温度等于环境温度。自热和空气加热会导致偏差：

- 自热 - 由于来自其他组件的热气以及自热效应，电子设备上的任何部件都会升温到环境温度以上。我们无法控制自热。
- 空气加热 - 巧妙的机架系统布局可以最大程度减少空气加热，正确设计的机架冷却系统或室内冷却系统可以解决环境加热的问题。因此，在设计系统时我们可以控制此偏差。

在这种情况下，由于安装了不同的PXI卡并且位于机架的不同位置，两个机箱的自热和空气加热稍微有所不同。

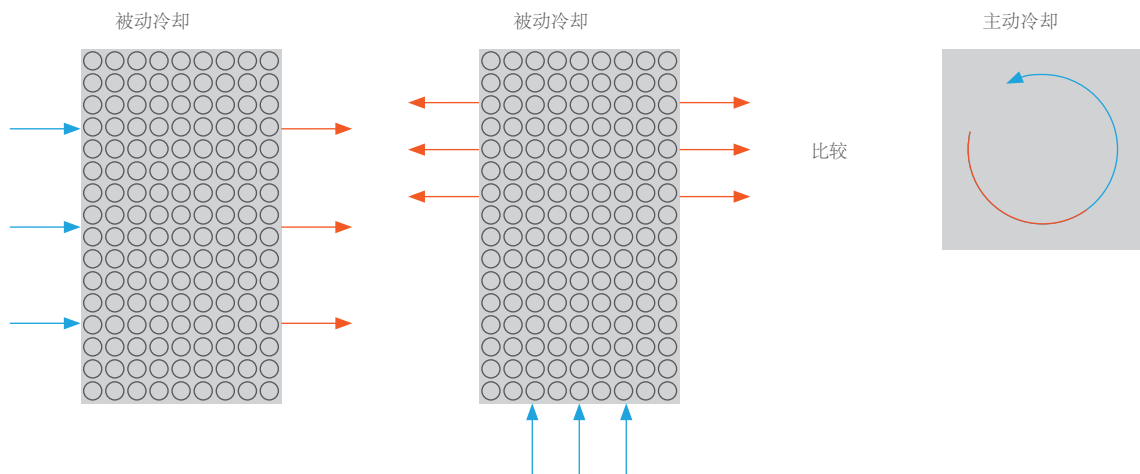


图9. 被动冷却依赖于内部安装仪器的风扇，而主动冷却则使用辅助风扇和安装在机架中的鼓风机。

### 被动冷却

被动冷却柜的目的是最大限度地发挥内部安装设备通过其风扇冷却自身的能力。在这种方法中，设备会产生气流，并且机架中的表面和通风口交换热量。

### 主动冷却

被动冷却只需依靠设备风扇和热传递，而主动冷却柜需要使用额外的风扇和/或鼓风机进行战略性部署，以补充空气，增加散热。

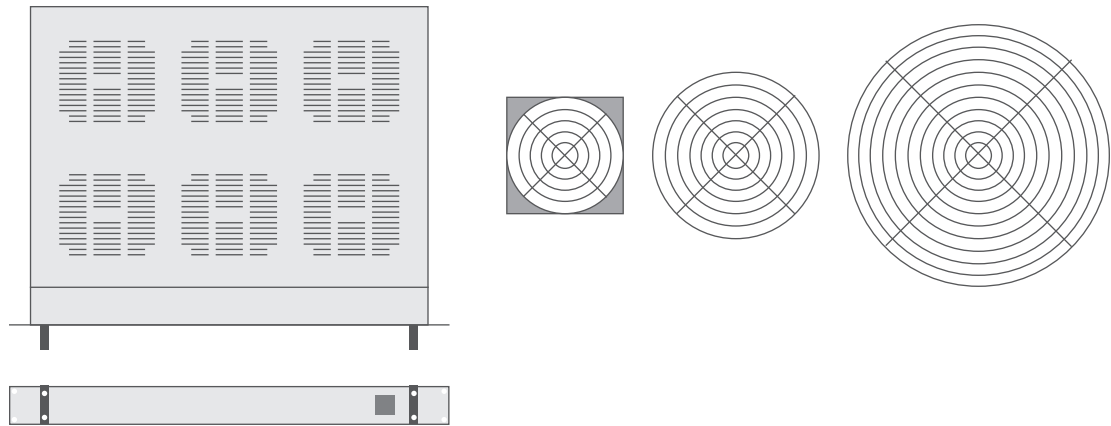


图10. 主动冷却选项的范围从单个托盘涵盖到侧面或顶部安装的每个风扇。

通常情况下，机架式测试系统需要强制风冷。通常在机架顶部安装一个尺寸合适的排风扇；然而，通风口和气流需要根据排气扇位置来计划。如果空气路径发生弯曲、遇到障碍物、或者在某个区域集中了多个大功率仪器，则建议在机架中间放置风扇盘以帮助通风。如果机架具有需要冷却的热点，则还可以考虑局部散热。您可以使用单个风扇或风扇盘来实现此目的。

### 风扇容量

为了更好地了解合适的风扇大小，我们需要计算风扇每分钟能够移动的空气量，以立方英尺/分钟(CFM)为单位，同时需要考虑机架中所有设备的总功率瓦数和机架内外部空气之间的温差。

获得高CFM通常需要一些代价，如成本、振动和声学噪声。此外，无论风扇的CFM多高，机架的冷却温度不能低于房间的室温。因此，这个方程的目的是在所有这些参数之间实现良好的平衡。空气阻力也是风扇冷却能力的一部分。空气阻力会随着气流路径中物体的横截面积的增大而增加，无论其是进气区域的开口面积还是气流路径中的装置面积。因此，风扇额定CFM应给予一定的余量，以确保其能够克服空气阻力并仍然提供必要的气流运动。

在评估总功率瓦数时，请不要使用设备的额定功率；这通常是设备可以耗散的最大可能功率，但是设备很少情况下需要使用这么大的功率。建议使用50%到60%的额定功率。或者更好的做法是，使用机架系统的PDU来计算出实际功率，并使用该值。

Delta T ( $\Delta T_c$ )等于需要从机架中带走的热量。这需要查看设备要求或模拟结果。该数据根据机架内的不同位置可能会有所不同 - 通常在仪器出口或机架顶部较高, 因此请务必了解适合您系统的 $\Delta T$ , 以及如何确认是否实现了该  $\Delta T$ 。

## 建模和验证

如果系统的成本高, 包括组件的交货周期长, 而且是关键或战略应用的一部分, 或系统包含许多未知参数, 则建模应该是设计过程的一部分。

### 机架设计建模

除了理论计算, 机架系统的建模和仿真可以大大加快设计优化, 并能够提供有效的反馈来帮助您了解哪里需要改进。

在软件中输入尽可能多的设计规范以获得最准确的建模。如果您找不到必要的规范, 请评估类似的组件/仪器, 并询问团队的资深组员是否有使用这些设备的经验, 以便获得估算值。未知事项越少, 建模就越准确。

在对设计进行了详细的研究后, 无论通过评估仪器的温度要求、通过计算来优化气流和温度, 还是进行设计仿真, 您已经相当于执行了真正的合格性测试。此时, 您可以根据设计进行制造并验证设计的性能。

可以使用温度传感器或热成像相机来分析性能特性。关注机架内重要的关键区域, 例如机架的进气口和仪器的进气口。收集机架设计中的温度数据, 同时为机架供电并以常规的方式运行仪器, 因为它们通常用于要测试的产品。这可让你最真实地了解温度的行为。

有时可能还需要运行某些最坏情况的负载条件, 例如热负载处于最高或最低时, 以确保设计可以适应这些条件。考虑测试时间点、测试持续时间和测试条件(有多少操作人员, 可能与测试站有哪些正常交互等)作为可能影响结果的因素。仔细分析结果, 找出任何以前未识别的异常或您可能需要解决的问题。

### 验证方法

首先, 在设计初期使用标准图形、方程式和仿真, 以熟悉系统。第二, 使用温度传感器或热成像来执行系统特性分析, 以验证设计并进行设计迭代, 直到满足要求。最后, 执行Gage R & R研究来验证稳定性和性能, 以确保站到站的性能与生产测试和验证、确认阶段的性能一致。



### 基于系统监测的可维护性

健康和监测系统使您能够实时评估系统，以确保系统仍能满足预期的性能。通过获得对系统性能的反馈，您至少可以在测试期间做出有据可依的决策，同时也可以更好地了解测量数据和更好地预测系统的维护活动。

重点领域包括：

- 用于监测系统性能的独立式系统
- 用于报告维护问题的系统看门狗
- 用于验证测试条件的测试反馈
- 用于评估和趋势分析的历史记录

## 将设计标准应用于产品

### 制定规格/限值时考虑热容量

使用机架设计采集数据时，在考虑对制造测试限值进行规格验证时，不要忽视热量的影响。如果预期结果和实际结果之间存在差异，热量可能是这些差异的原因。

### 规格验证

在推导规格参数时，必须清楚假设条件。如果采集实际数据时的环境条件与推导的假设条件不同，请务必记得考虑进去。确保在所提供的温度条件下获得预期的性能。

### 限制值计算

与规格验证类似，限制值推到应考虑温度差异和温度变化。如果产品规格规定了某个温度范围，而您在不同温度范围的环境中进行测试，则应适当考虑设备的温度系数来补偿差异。例如，NI开关模块的工作温度通常规定为0至55°C，但是测试这些模块的一般温度环境是标准制造测试车间，温度通常维持在 $24\text{ C} \pm 4\text{ C}$ 。在确定测试限值时，应从规格和测量不确定度中减去最坏情况下的等效温度系数。

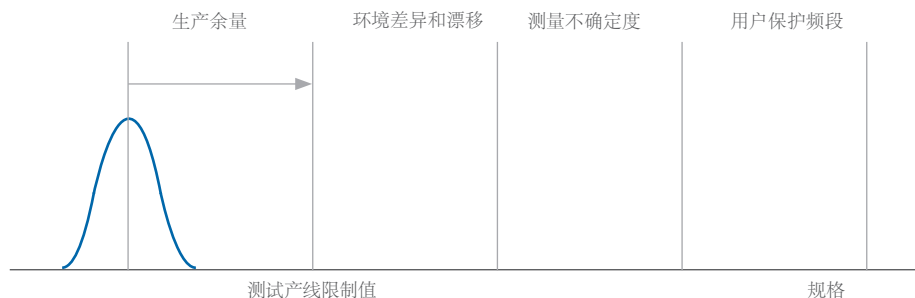


图11. 通用规格模型示例

## 独立系统监测

### 实时监测温度

实时监测温度使您能够在测试期间做出动态决策。 比如确定违反了某个操作要求后立即停止测试； 或者确定需要先执行自校准或施加延迟，然后再继续执行稳定性测试。 最后，历史数据可以在出现性能或测量结果相关问题时提供所需的信息。

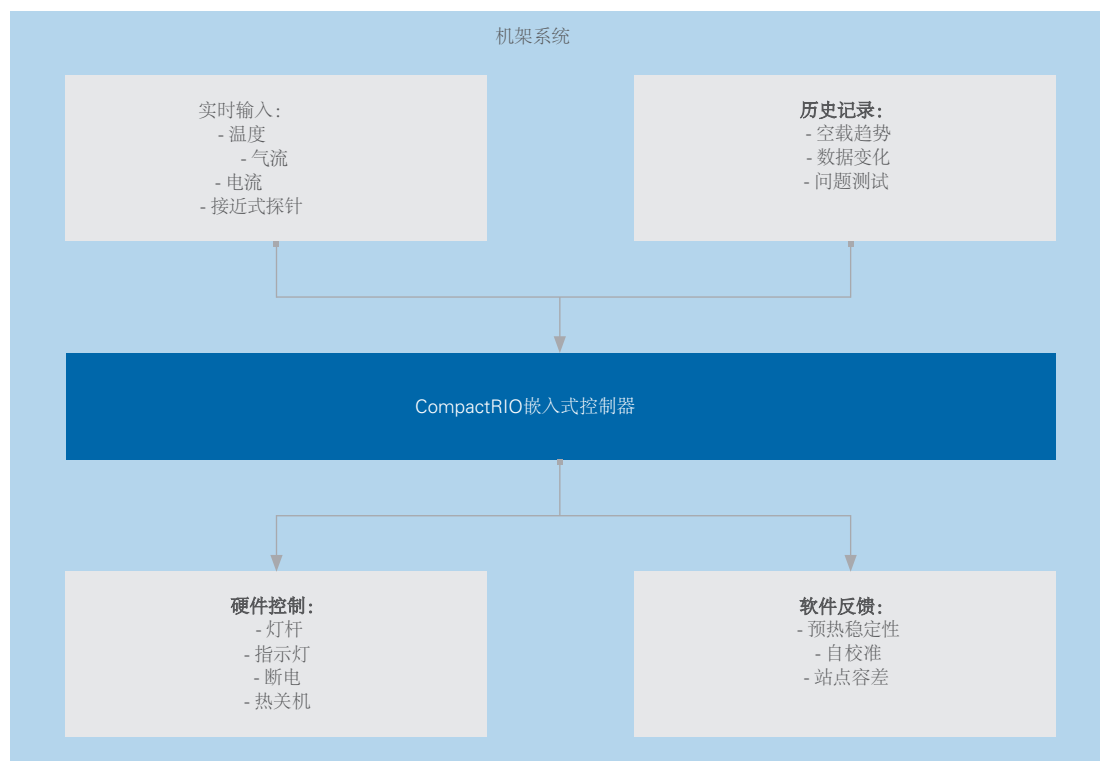


图12. 基于CompactRIO的独立监测系统示例

例如，您可以使用嵌入式独立系统来监视和控制测试站设计的某些方面。您可以监测温度，并在测试执行中根据温度数据做出决策，也可监测和管理测试站资源，以支持并行测试。一般来说，您可以对多个任务使用独立监测系统，不仅有助于机架系统的设计和验证，而且也有利于部署和长期使用。

虽然存在许多选项，您可以使用此类方法来：

- 监测
  - 整个机架的环境温度
  - 仪器的气流、电流消耗和内部温度
  - 仪器健康以便进行维护
  - 机架门，使用接近式传感器检测系统是否被打开
  - 温度状态，实行热停机机制以保护系统
- 获得数据，为测试应用做出实时决策
- 记录历史数据以供将来分析
- 通过灯杆、指示灯或显示器向测试站用户提供测试站状态反馈，并报告任何超出容差的情况

健康和监测系统可以帮助您实时评估系统，在测试期间做出有据可依的决策，以及更好地了解测量数据和预测系统的维护活动。

## 下一步

### NI 联盟合作伙伴网络

NI联盟伙伴网络项目囊括了全球950多家独立的第三方公司，旨在为工程师提供基于图形化系统设计的完整解决方案和高品质产品。从产品和系统到集成、咨询和培训服务，NI联盟伙伴都通过独一无二的产品和技术来帮助用户应对当前一些最为严峻的工程挑战。

[查找联盟伙伴](#)

### NI PXI机箱冷却

NI机箱经设计和验证，可满足或超过大多数高功率PXI模块的冷却要求。NI设计的机箱远远高于PXI和PXI Express要求，分别为PXI和PXI Express机箱的每个外设插槽提供30 W和38.25 W的电源和冷却。这种高标准的功率和冷却使得高性能模块（例如数字化仪、高速数字I/O和RF模块）的高级功能能够满足需要连续采集或高速测试的应用的需求。

[了解更多关于NI PXI机箱设计优势](#)

### 立即构建专属于您的PXI测试系统

NI是PXI的创造者和领先供应商，这一模块化仪器标准已经拥有70多家供应商，提供超过1500种产品。为您的应用选择合适的机箱、控制器和模块，并使用在线配置指南为您推荐系统所需的组件和附件。

[配置您的PXI系统](#)