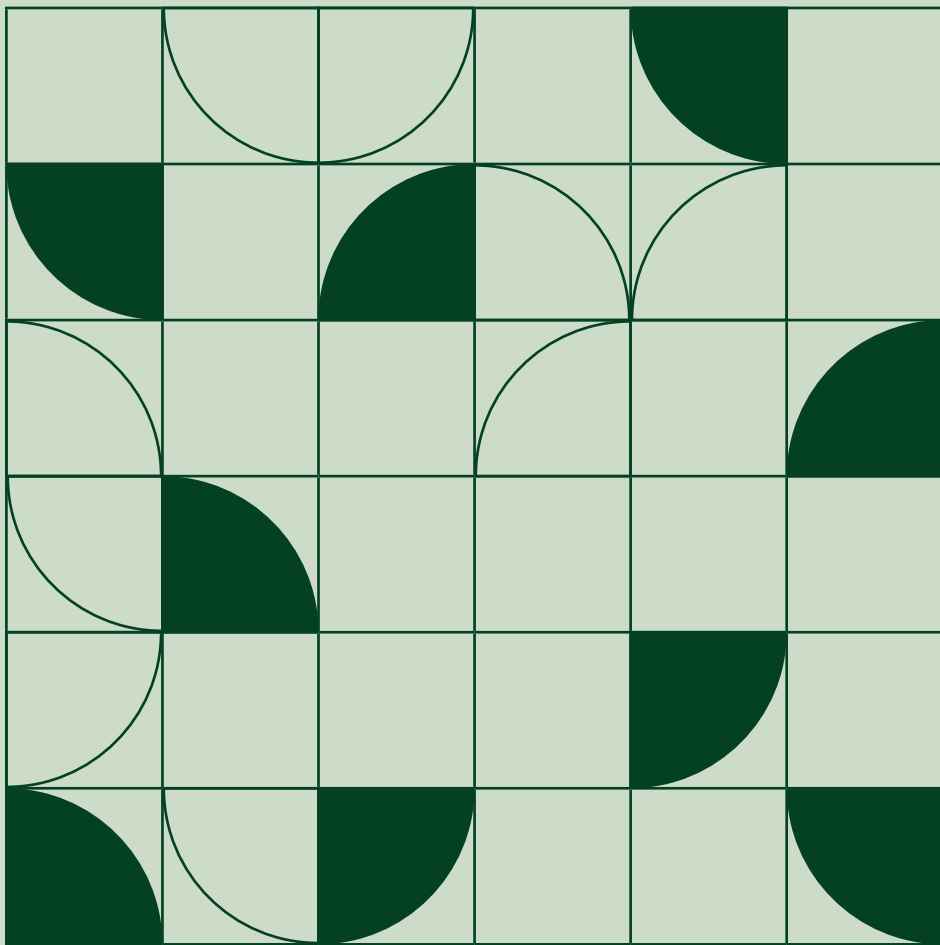


# 机架布局 and 热分布



## 02

### 简介

- 机架式设计中热量的重要性
- 热量和仪器
- 国家标准和国际标准
- 热量对DUT、测试系统或测试结果的影响
- 机架式系统的热分布
- 热不均匀性是如何产生的？
- 系统的热分布应该是怎样的？
- 温度要求和气流分布
- 建模和验证

## 13

- 将设计标准应用于产品
- 在制定规格/限制时考虑热量因素
- 独立系统监测

## 15

- 附加信息
- NI联盟伙伴网络
- NI PXI 机箱冷却
- 立即构建您的专属PXI测试系统

## 简介

每时每刻都会有新项目摆在测试工程师的桌前, 期望他们开发的测量系统不仅能满足规格要求和发布期限, 并且质量优秀, 性能可靠。在理想的情况下, 工程师会有充足的时间和资源来进行深入研究、建模和仿真, 可以打造出完美的系统。不幸的是, 实际的项目安排通常不允许花费大量时间和资源来开发完美的系统。Control Engineering公司在2014年8月进行的系统集成调研表明, 只有67%的系统项目能在预算内按时完成。面对着紧迫的发布进度和苛刻的项目时间要求, 必须全面考虑测量系统中所有可能影响测量质量的因素, 否则可能会导致进度推迟、成本增加甚至性能降低。这些因素包括仪器的选择、连接和线缆的质量以及测量方法的实现。然而, 热量对测量质量和测量系统可靠性的影响却时常遭到忽略。

本文将介绍通过改进设计来规避风险的相关知识, 帮助您了解热量对测量质量的影响、学习基本设计方法并探索用于设计机架式测量系统的热建模工具。

## 机架式设计中热量的重要性

在通用测量系统中,热量的来源有多种可能;然而,在机架式测量系统中,机架内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。

出于以下几个原因,您需要关注热量问题:

- **良好的设计实践**—了解热量的影响并在设计系统时考虑这些因素是很好的设计习惯。在了解到热量如何影响系统后,就可以避免让热量成为影响测量的主要变数之一。请记住,在规定的温度范围之外操作仪器,可能会影响仪器的质量和预期寿命,正因如此,设备需要具备良好的热设计。
- **系统不确定性**—热量会始终存在且难以完全消除。因此,通过更深入地理解热量是什么,可以更好地评估热量对系统不确定性的影响,并在测量误差和测量结果中更准确地解释这些影响。
- **系统稳定性**—稳定性对于良好的测量系统不可或缺。如果观察到易变性,通常很难确定根本原因和/或解决方法。而系统中的热变化可能增大易变性,进而导致错误的测量结果。控制系统中的热量有助于最大程度降低这种风险。
- **产品质量**—产品需要特定的热环境以确保最佳性能,特别是在调整过程中。尽量减少系统热量对产品性能的影响有助于提高整体产品质量。

## 热量和仪器

对于仪器而言,热量是必须着重考虑的因素。仪器只有遵循特定温度要求才能满足规范。大多数仪器都会出现温度漂移,如果温度不稳定或超出规定要求,则测量结果会有所不同。要正确理解和信任测试解决方案的测量结果,就必须明确这些影响。

例如,电信和IT等相关行业都已按照建议或允许的温度范围提供了最佳实践。大多数设备制造商都会遵循这些最佳实践。但一些设备有其自己的规范,此时,设计需要同时满足这些特定的规范以及行业最佳实践。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体拥有成本(TCO),这些因素与自动化测试密切相关。同样,自动化测试工程师也应考虑与机架系统和热量有关的潜在影响。

在这些行业中,如果热量管理不善,可能会带来更高的运营成本。例如,如果冷却系统出现故障,温度的升高会增大系统其他部分的负荷,从而导致设备寿命缩短。如果温度过高,IT系统可能会在CPU级别出现计算错误,引发应用程序故障。我们可以部署备用的冷却系统,但这种做法会增加TCO。最大的问题是,由于自动关机导致的停机会导致服务中断,任何停机都等同于资金损失。

## 国家标准和国际标准

在国家标准方面，网络设备构建系统(NEBS)和美国采暖、制冷与空调工程师协会(ASHRAE)分别为电信和IT设备制定了指导原则和最佳实践。

ASHRAE是一个致力于为多种领域提供最佳实践的组织，而NEBS则更加专注于电信设备。ASHRAE可能会参考NEBS中关于外壳和机架式设备的一些指导，但ASHRAE的最佳实践看上去能够更全面地涵盖外壳设计的方方面面。

虽然这些国家标准无法直接适用于测试和测量认证，但它们在机架设计和性能方面与自动化测试遵循相同的原则和准则。

国际电工委员会(IEC)制定的国际标准涉及外壳的热性能。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导。

- IEC 61587-1规定了在室内条件下空外壳(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外壳热性能的方法。

电信和IT行业的设计目标与测试和测量行业类似，但主要关注的领域和面临的挑战略有不同。测试和测量行业的设计目标更侧重于满足单独设备的规范，因为尽管该行业内各公司都有自己的最佳实践，但没有针对测试和测量设备机架的通用标准。用户的主要关注点是确保每台仪器以及被测设备(DUT)符合规范。这一点甚至比长期可靠性或正常运行时间更为重要，因为长期可靠性或正常运行时间在很高的温度下才会受到影响，而测量精度在相对较低的温度下也有可能下降。

就挑战而言，自动化测试系统存在着更多的限制。其中之一是测试机架通常用于人进人出的环境或无管控的生产设施中。与只有静止物体的无人服务器机房不同，这增加了房间/工厂的整体热分布的随机性。

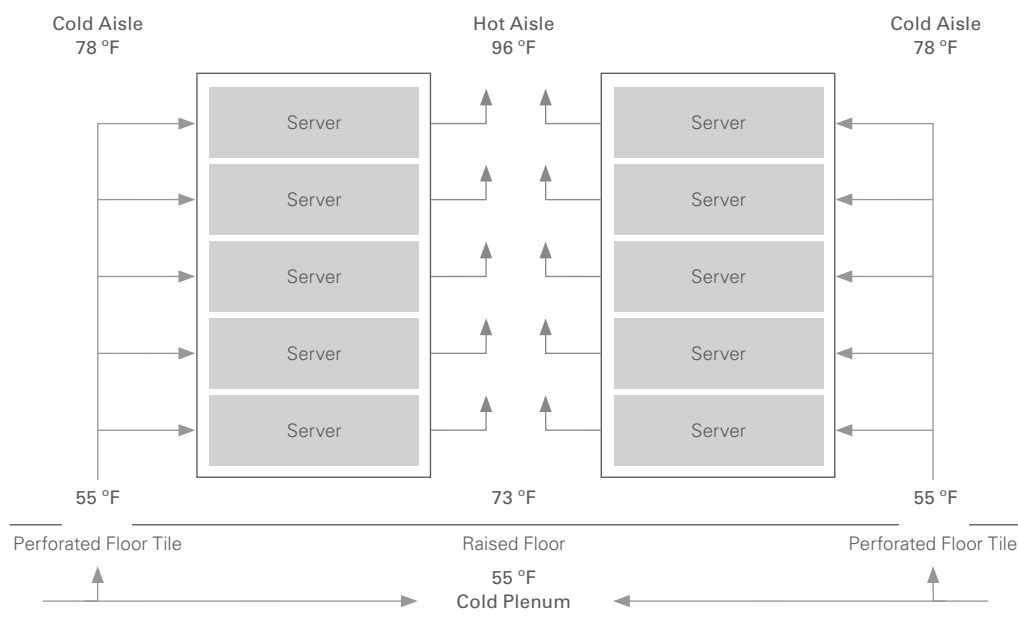


图 1 服务器机房/设施处于受控环境中，与放置在不受管控的混乱环境中的测试系统不同

## 热量对DUT、测试系统或测试结果的影响

首先,最根本的影响在于仪器和DUT的精度。如果无法确保仪器始终处于正确的环境温度下,仪器精度将会降低。

例如,如果环境温度在调整和验证阶段的变化足以改变仪器或DUT的精度,则校准可能无效。这也可能导致用户在制造过程中无法正确判断产品是否合格。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。

即使温度处于规定的操作范围内,来自不同测试站的数据也可能存在一些差异。在开发环境而非生产环境中收集的数据也是如此,测试站周围环境温度的变化是造成此种差异的主要原因。

尽管存在偏移,但大多数仪器仍会在环境温度下工作。这意味着,环境温度即使发生微小的变化,也可能导致仪器温度发生变化,从而增加各个测试站数据互相存在差异的可能性。

温度的变化不仅会导致开发和生产数据存在偏差,也可能在验证和确认以及测试开发阶段之间产生偏差。通常,验证和确认是在办公室环境中的台式设备上执行的,而测试开

发则是在受控环境中使用机架式测试站完成的。即使仪器和后续测试系统是一样的,这也会导致仪器所处的环境完全不同。某些仪器甚至在某些温度范围内具有不同的测量规范,因此在设计和测量过程中使用适当的计算规范非常重要。

此外,前文探讨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因素,建议在设计中采取保守的做法,谨慎应对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做了比较。

受控环境是一个配备专用空调的小房间,可以看到随着温控器开启和关闭,温度会发生明显的变化;该房间温度保持在23°C至25°C之间。办公区温度更稳定,但更热一些。

工作日刚开始时(图表最右侧),两个区域的温度均小幅上升;当员工到达时,室内温度会由于体热和开门而有所升高。请注意,办公区域的温度会随着季节、位置、楼层和其他因素而发生变化。相比之下,受控环境由于配有专用空调,全年温度相对恒定。鉴于上述事实,在进行验证和确认或开发测试和收集数据时,必须始终跟踪环境温度,以便在验证和确认数据与测试数据存在差异时进行数据分析。

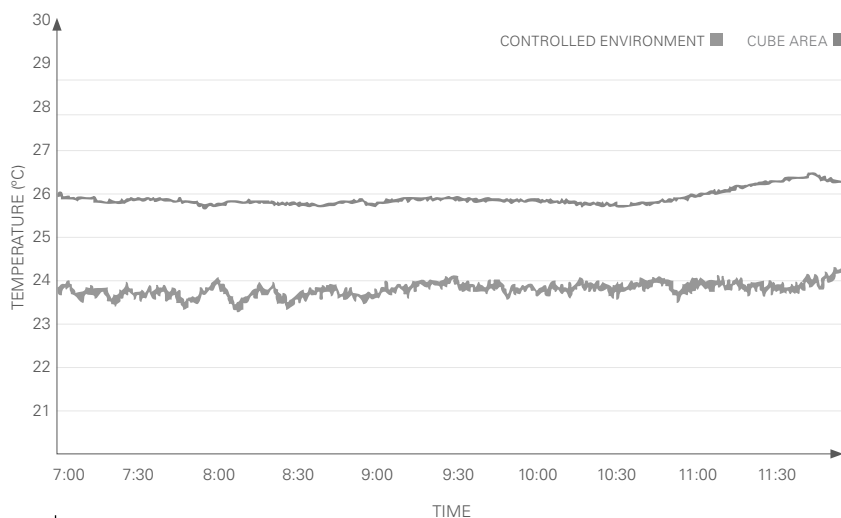


图 2 环境温度

## 机架式系统的热分布

在考虑系统中的热分布时，人们往往想得过于简单。最典型的莫过于“下冷上热”的观点。还有人认为温度梯度在机架上是均匀分布的，但在大多数情况下，这些简化模型并不完全正确。

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。如果用红外测温枪或热电偶适当地测量系统，可以发现机架式系统存在局部热区和水平/垂直轴温度梯度不均匀等特性。这是因为环境中并非只有冷空气和热空气；热分布取决于机架布局、单个设备的风扇速度、进气口和出气口的位置、系统中每个设备的功耗以及系统中所有风扇综合形成的气流。

这一点很重要，因为这意味着机架顶部不一定是最需要关注的位置，不能根据常见的简化观点一概而论。需要进行全面评估以了解每个系统特有的热分布情况并解决相关问题。

以下示例有助于解释热能在典型机架式测试系统中的分布。



图 3 通常的假设是上热下冷，热量均匀分布，这一假设会导致结果不理想



图 4 局部热区导致整个测试机架的不同位置具有不同的温度



图 5 模块化电源的气流流向俯视图

首先要注意的是局部热区，这取决于系统的机架布局、设备规格及使用情况。在本测试站示例中，电源周围的空气温度最高，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要低，根据系统的不同，处理这些局部热区的方式也可能有所不同。另一点要注意的是，底部热区在x轴上的分布并不均匀。

## 热不均匀性是如何产生的？

通常，热不均匀性是由设备的气流模式而引起的。例如，电源由多个单独的电源单元和电源主机箱组成。从图中可以看出，主机箱内的气流方向为从左到右。这意味着大部分暖空气处于仪器的右侧。

后端排出的气流来自不同的模块；因为并非所有模块都同时运行，所以后端的温度通常不会像右侧一样高。此外，机架系统的热分布还会随使用情况而变化，因此需要进行特性分析，而不是简单地观察给定情景下的温度。

## 系统的热分布应该是怎样的？

需要了解机架式系统的多个方面，才能确定热分布的情况。

首先要了解各系统的独特需求：

- 系统级的规范要求是什么？
- 系统会在什么环境中运行？
- 需要使用哪些仪器，这些仪器有什么温度要求？
- 应用程序只需将温度维持在一定范围内，还是需要温度保持稳定？

例如，如果您的DUT是PXI模块，并且在切换DUT时需要启动和关闭DUT PXI机箱，则机架的热分布会反复变化。要了解具体的变化情况，需要先了解机架热分布中的所有不稳定因素。

最后还要注意，并非机架内的所有点都必须保持温度不变。部分区域的温度比其他区域更高属于常见现象，只要保证所有仪器进气口都在规定的温度范围内即可。

## 设计方法

下一节将重点介绍机架式系统从设计到部署的最佳实践。

在开始机架设计之前，首先应该了解所使用仪器的几个关键元素，这些元素会影响整体设计：

### ■ 评估设备的进气口和出气口

首先应仔细研究仪器，了解模块上进气口和出气口的位置。满足设备温度要求的能力在很大程度上取决于仪器进气口的温度以及散热点的位置。了解这些信息将有助您顺利地绘制出机架的温度分布图。

### ■ 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。您关心的是哪些部分？您对于这些要求是如何理解的？请了解每种仪器的温度规定，以及温度对仪器性能或与担保性能相关的具体规格的影响。例如，3458A规定环境温度必须保持在 $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 间才能保证设备符合规格。此外，如果温度相比上次自动校准后有 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的相对变化，便需要再次执行自动校准。第一项规格涉及环境的绝对温度，第二项则是相对于上次校准的温度。需要了解这些差异及其对解决方案的潜在影响。

### 了解设备对环境温度的定义

大多数传统的台式仪器将环境温度定义为仪器周围环境中的空气温度。通常,对于PXI产品和机箱,环境温度定义为紧邻机箱风扇进风口处的空气温度。因为像PXI-1045这样的机箱需要大约1.75英寸的间隙来实现空气的适当流动,可以放心地假设,在进气风扇周围的上述间隙内测量温度,即可得到所需的环境温度。一种常见的错误是认为仪器的环境温度就是仪器所在房间的温度。

一般来说,如果在桌面上使用仪器,并且附近没有干扰性的热源,这个观点可能是正确的;但是,在机架式设计中,必须使用机架内部特定区域内的空气温度作为仪器的环境温度。机架式设计中的仪器更易受到热问题的影响。

务必根据具体应用和仪器的使用情况准确了解每个设备的环境温度。

在选择机架或开始具体的机架设计之前,请了解机架可能遇到的预期热负载。可通过对系统要使用的所有电子元件进行功率预算来轻松获得相关信息。了解功耗有助于深入了解热负载。

## 对所有电子元件进行功率预算

应考虑设计中包含的所有仪器和外围设备,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,产品规格列出了最差情况下的功耗(在完全使用或满负载的情况下),该数据通常不代表设备的一般或平均性能。在设计中通常以额定最大功耗的60%为基准。尽管如此,机架在将来可能会用于其他用途,导致热负载增加,因此在计算功率预算时应留有余量。

理想情况下,如果可以提前测量设备的实际功耗,则可以最有效地预测整体功耗;但这在系统规划阶段基本无法实现。目前最合理的做法是先完成系统设计,再回头进行测量和文档记录。

## 温度要求和气流分布

根据仪器温度要求和气流分布,绘制出仪器所需的大致位置。热量由下往上流通,因此通常情况下,机架底部较冷,顶部较热。设计时应将最敏感的仪器放在机架的底部。可以使用特定技术为其他机架位置处的仪器创建可接受的热环境,但通常会产生一定的成本。

某些仪器的放置可能受到可用性的限制,需要评估和了解仪器位置的影响。也许需要额外考虑如何处理气流或如何为非常规的设备进气口提供较冷的空气。在设计时请始终记住这些考量因素。此外,还要考虑仪器规定的任何间隙限制。通常,仪器必须与设备或设备的进气口/出气口保持一定距离。请确保这些规范得到满足。



## 基于布局确定机架尺寸

可通过仪器布局确定所需的机架尺寸。在选择机架时应考虑外部限制因素，例如占地面积和房间高度。

所有仪器的废气应通过一条通畅的通道排出机架。在此示例布局中，可以看到有一个仪器阻碍了其下方仪器的排气。另一个错误的做法是让冷热空气相遇。您可以通过更巧妙地布置机架来解决这些问题，但首先需要充分了解仪器的进气口/出气口以及预期的气流。

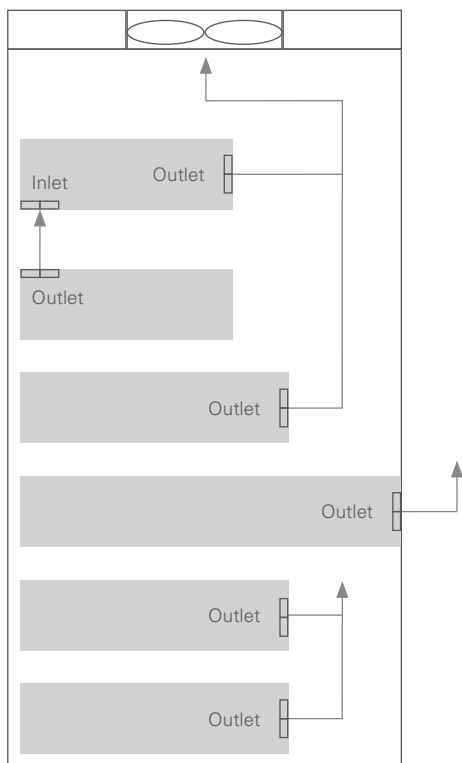


图 6 机架系统中仪器阻塞排气示例

重新放置仪器，为所有仪器的废气提供通畅的排气路径。此外，通过机械分离以确保所有仪器尽可能从外部空气中实现进气。

对于仪器进气口位于机架内部的情况，由于仪器的安装方式，某个仪器的废气可能会再循环其他仪器的进气口。可能还会有多个仪器的废气进入彼此的进气口，导致机架内的环境温度显著升高，并且越靠上的位置温度越高。

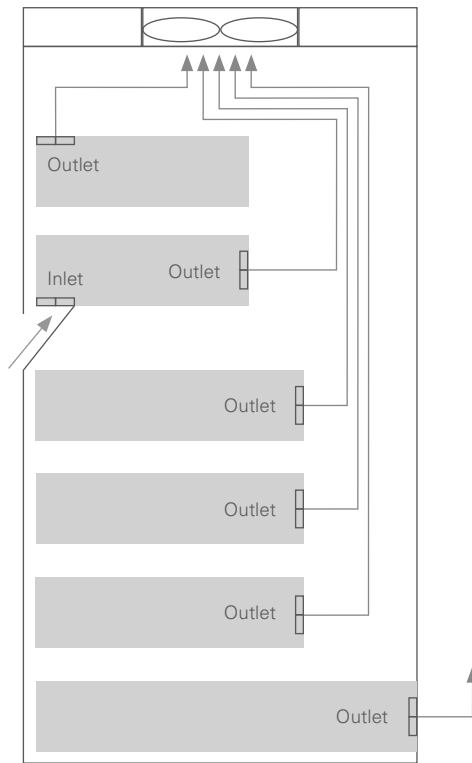


图 7 机架系统中正确排气布局示例

在这些情况下,理想的方法是提供一条从机架外部到仪器进气口的隔离路径。此方法可确保正确了解和控制仪器的环境温度。

请记住,仅仅考虑进气口温度是不够的。请确保根据仪器的规格为每台仪器提供足够的间隙,在仪器周围实现适当的绝缘和空气流通。为了节省空间,很多设计人员会忽略这些限制。然而,要想获得仪器规定的性能,必须遵循这些间隙规范。

从图中可以看出,仪器之间正在形成局部热气流。请记住,使用红色热量箭头只是为了表示该热量将被阻止进入进气口。请为设备进气口设计隔离路径,使空气可以在机架周围和上方流动。大多数机架组件会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”。仪器释放的热量应被允许在进气口隔离屏障周围流动。有很多方法可以确保在不影响仪器的前提下从机架中正确排出热量。以上所述只是其中几个例子。

## 热传递和气流

如前所述,大多数仪器的出气口温度与环境温度接近。

二者的差异源于自热和空气加热:

- **自热**—由于来自其他组件的热气以及自热效应,电子设备上的任何组件都会升温至环境温度以上。我们无法控制自热。
- **空气加热**—巧妙布局的机架系统可以最大限度地减少空气加热,而合适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,在系统设计阶段可以控制此偏差。

在本例中,由于两个机箱在不同位置安装了不同的PXI卡,其自热和空气加热情况略有不同。

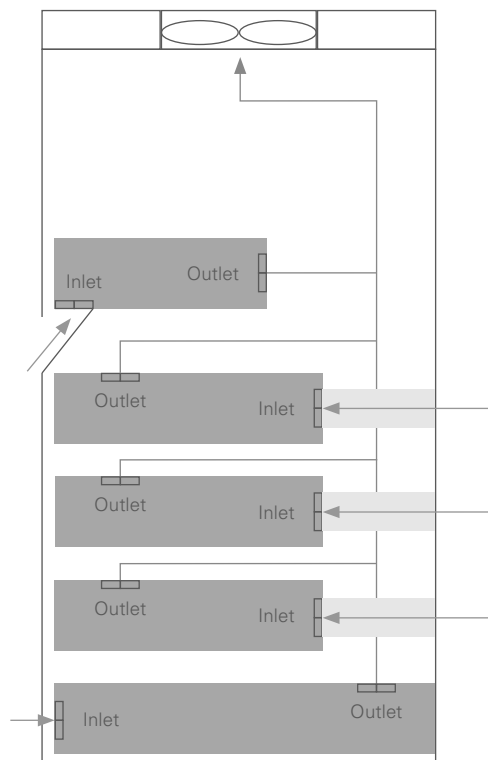


图 8 机架中的自定义进气口示例

## 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风扇进行自我冷却的能力。在此方法中,设备产生气流,机架的表面和通风口进行热量交换。

## 主动冷却

被动冷却仅依赖于设备风扇和热传递,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。

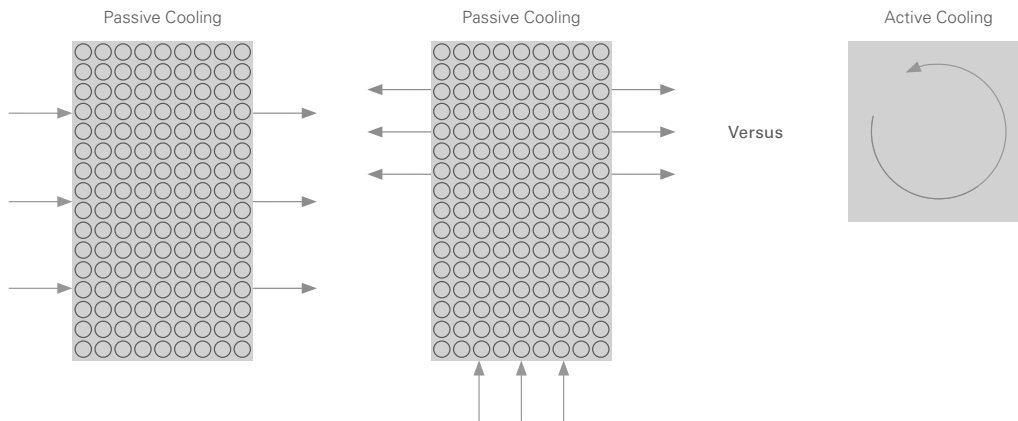


图 9 被动冷却依赖于内部仪器的风扇，而主动冷却则使用安装在机架中的辅助风扇和鼓风机

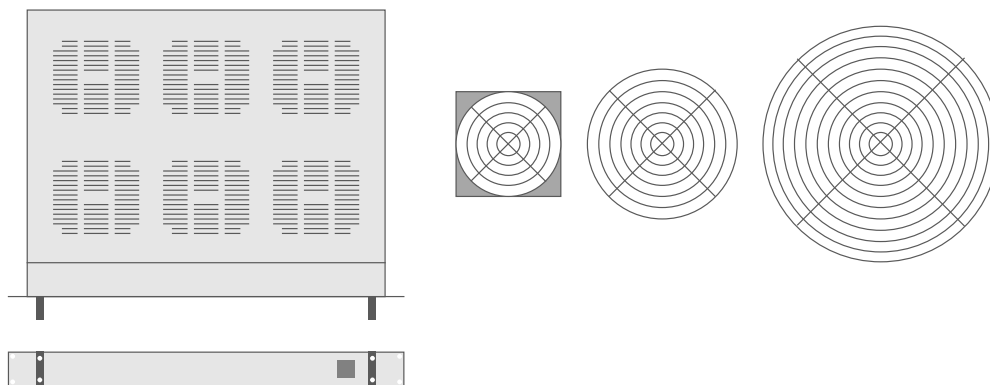


图 10 主动冷却选项包括内部托盘以及侧面或顶部安装式风扇等

通常情况下，机架式测试系统需要强制风冷。常见做法是机架顶部安装一个尺寸合适的排气扇；但是，通风口和气流需要根据排气扇的位置进行规划。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协助通风。如果机架有需要冷却的热点，也可以考虑局部散热。为此，可以使用单独的风扇或风扇盘。

### 风扇容量

为了更好地了解合适的风扇大小，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，同时还要考虑机架中所有设备的总功率瓦数和机架内外空气间的温差。

要获得较高的CFM，可能需要在成本、振动和声学噪声方面做出一些妥协。此外，无论风扇的CFM有多高，机架都无法冷却到低于房间环境的温度。此方程的目的是在所有参数之间实现良好的平衡。空气阻力也会影响风扇的冷却能力。空气阻力会随着气流路径上物体横截面积的增大而增加，包括进气口的面积和气流路径上设备的面积。因此，风扇的CFM额定值应留有余量，以确保其能够克服空气阻力并仍提供必要的空气流动。

在评估总瓦数时, 请避免使用设备的额定功率; 额定功率通常是设备可能消耗的最大功率, 但设备很少会达到这一功率。建议使用50%到60%的额定功率。更合理的方法是通过机架系统的PDU来计算实际功率并使用该值。

Delta T( $\Delta T_c$ )等于需要从机架带走的热量。此数值取决于设备要求或仿真结果, 可能根据机架内的位置不同而有所变化, 通常在仪器出气口或机架顶部的数值较高, 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

如果系统成本高昂, 如组件交付周期长、系统是关键或战略应用程序的一部分, 或者存在许多未知因素, 则设计步骤中应包括建模。

### 机架设计建模

除了理论计算外, 机架系统的建模和仿真还可以显著加快设计的优化, 并能够提供有效的反馈来帮助您了解需要改进的领域。

请在软件中输入尽可能多的设计规范以获得最准确的建模。如果无法找到必要的规范, 请评估类似的组件/仪器, 并询问团队里的资深成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, 无论是通过评估仪器的温度要求、进行计算来优化气流和温度, 还是对设计进行仿真, 都相当于执行了真正的合格性测试。随后即可根据设计进行制造并验证其性能。

可以使用温度传感器或热成像仪来表征性能。应关注机架内的关键区域, 例如机架的进气口和仪器的进气口。在收集整个机架的温度数据时, 请为机架供电并以常规的方式运行仪器, 因为待测产品通常是在此种条件下工作。这样可以最真实地了解温度情况。

有时可能还需要测试某些最坏情况下的负载条件(例如当热负载处于最高或最低值时), 以确保设计仍然可以适应这些条件。需考虑测试时间点、测试持续时间和测试条件, 例如有多少操作人员, 可能与测试站有哪些正常交互等, 这些都是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情况或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表、方程和仿真工具, 以熟悉系统。随后, 使用温度传感器或热成像仪执行系统特性分析, 以验证设计并对其进行迭代, 直到满足要求。最后, 执行Gage R&R研究以验证稳定性和性能, 确保站到站的性能与生产测试及验证和确认阶段的性能一致。

## 基于系统监测的可维护性

考虑实施支持实时评估的健康和监测系统，以确保系统仍能满足预期的性能。对系统性能的反馈可确保您至少在测试期间做出有据可依的决策，同时帮助您更好地了解测量数据并更好地预测系统的维护需求。

重点领域包括：

- 用于监测系统性能的独立系统
- 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

## 规格验证

在推导规格时需了解假设条件。如果实际采集数据时的环境条件与推导假设条件不同，请务必考虑这一偏差。确保在所提供的温度条件下获得预期的性能。

## 限值计算

与规格验证类似，推导限值时应考虑温度差异和温度变化。如果测试环境的温度范围与产品规格中规定的温度范围不同，则应适当使用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，但用于测试这些模块的环境一般是标准制造测试车间，温度通常维持在 $24 \pm 4^\circ\text{C}$ 。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。

# 将设计标准应用于产品

## 在制定规格/限制时考虑热量因素

使用机架设计采集数据期间，在对制造测试限值进行规格验证时，请勿忽视热量的影响。如果预期结果和实际结果之间存在差异，原因可能是热量因素。

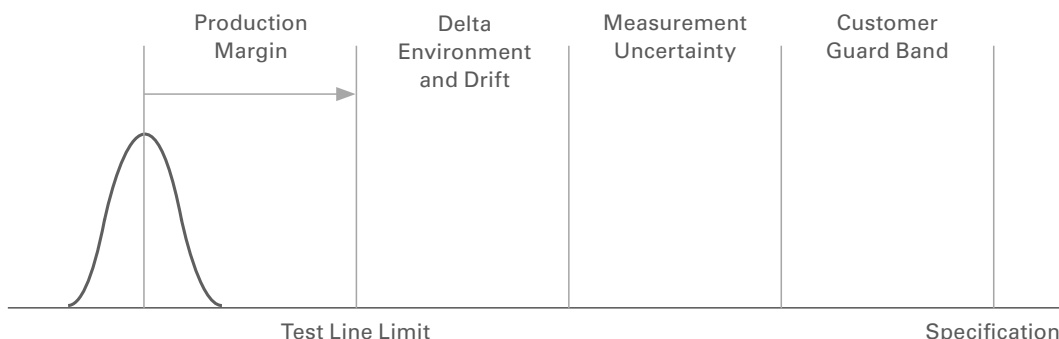


图 11 | 通用规格模型示例

## 独立系统监测

### 实时监测温度

实时温度监测可助您在测试期间做出灵活的决策。您可以在确定违反了某个操作要求后立即停止测试；或者出于稳定性考虑，在继续测试前先执行自校准或施加延迟。此外，当未来出现性能或测量结果相关问题时，历史数据可以提供有用的信息。

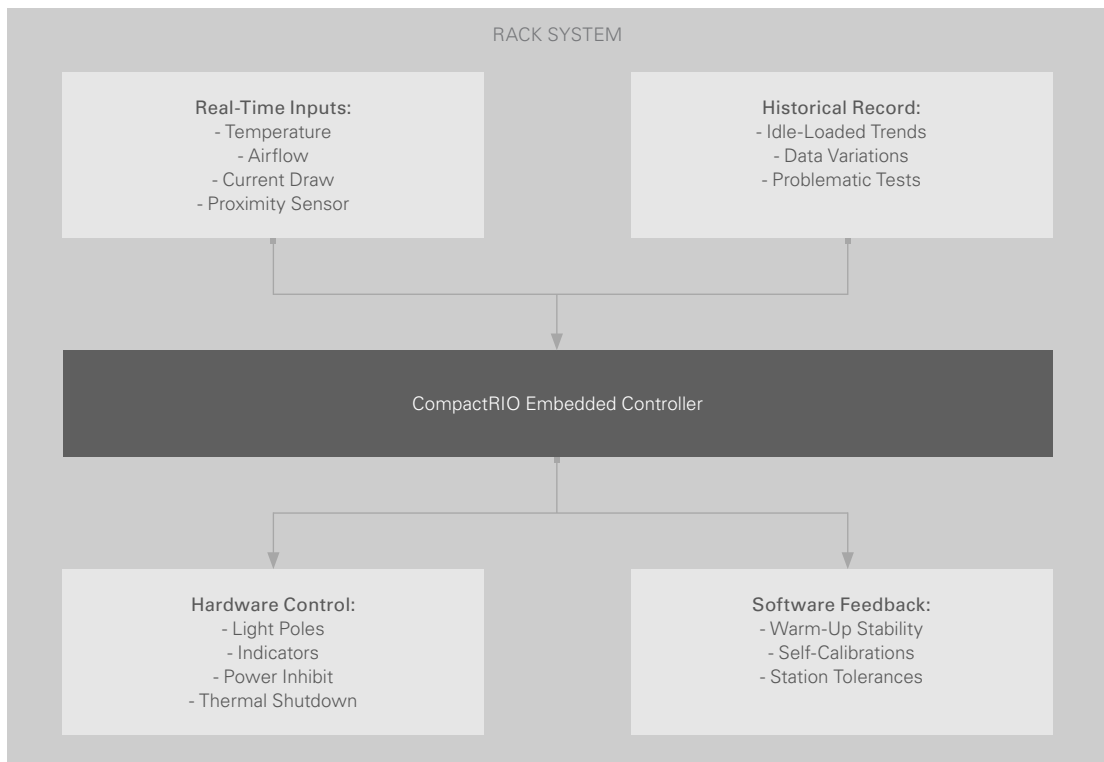


图 12 | 基于CompactRIO的独立监测系统示例

例如，可以使用嵌入式独立系统来监测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期间根据相关数据做出决策，也可监测和管理测试站资源以支持并行测试。一般来说，独立监测系统可以用于多个任务，这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。

此方法应用十分广泛，主要包括：

- 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
  - 维护所需的仪器健康数据
  - 机架门，使用接近传感器检测系统是否开启
  - 温度状态，以便实行热停机机制来保护系统
- 获取数据以在测试应用中做出实时决策
- 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的状态反馈，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，更准确地了解测量数据和预测系统的维护活动。

## 附加信息

### NI联盟伙伴网络

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联盟伙伴均可通过其独有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机箱经专门设计和验证，能够满足甚至超越大多数高功率PXI模块的冷却要求。NI设计的机箱远远高于PXI和PXI Express要求，可分别为PXI和PXI Express机箱的每个外设插槽提供30 W和38.25 W的供电和冷却功率。这种高标准的供电和冷却有助于高性能模块（如数字化仪、高速数字I/O和RF模块等）在需要连续采集数据或高速测试的应用中发挥高级功能。

[进一步了解NI PXI机箱的设计优势](#)

## 立即构建您的专属PXI测试系统

NI是PXI的缔造者和领先供应商，这一模块化仪器标准已经拥有70多家供应商，提供超过1,500种产品。您可以为您的应用选择合适的机箱、控制器和模块，并根据在线配置指南的建议选择系统所需的组件和附件。

[配置您的专属PXI系统](#)

