

解决方案构建指南

# 利用224 Gbps-PAM4 技术构建下一代数据中心

**molex**

# 目录

适用于224 Gbps-PAM4架构的Molex解决方案 .....	01
现代数据中心架构中的224G互连 .....	02
设计基于224G的系统的流程 .....	04
适用于224G架构的Molex连接器系列产品 .....	07
打造面向未来的数据中心 .....	10

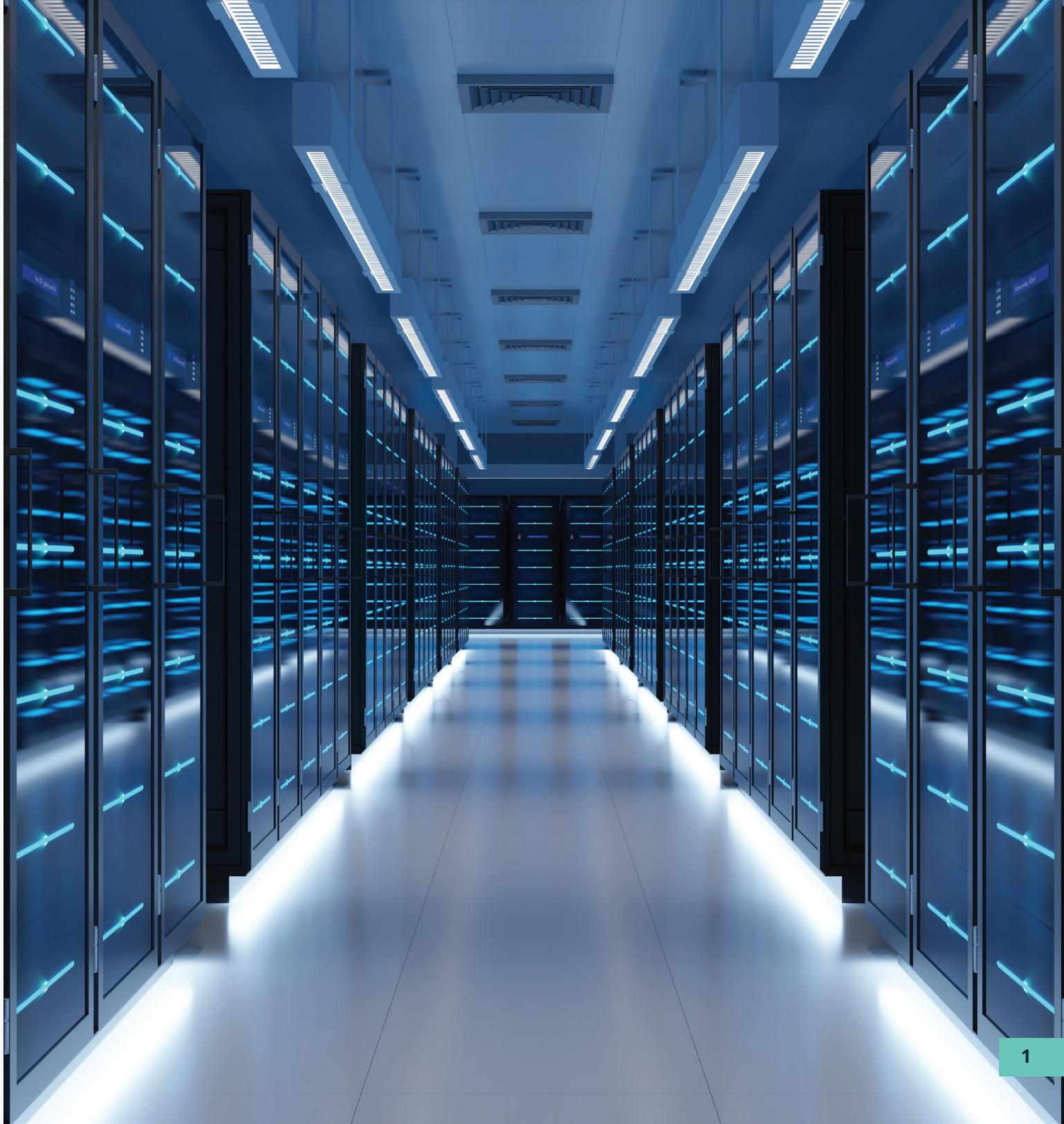
---

## 适用于224 Gbps-PAM 4 架构的MOLEX解决方案

每一代高速串行通信技术都将信道数据速率推向新高，并且每个新的带宽要求都推动我们通过互连方案提升信号完整性的极限。工程师们虽然已经采用了多种技巧，以继续将信道带宽扩展到超过信号的奈奎斯特（Nyquist）频率。但是，对于以224G速率运行的系统，也需要能支持更高信道带宽的元器件解决方案。

当我们仔细观察数据中心时，我们会发现224G信道是通过专用芯片（ASIC）经过印刷电路板和背板进行传输的。在传输路径上，装有连接器、无源和有源电缆以及光纤，以便网络和计算设备能够相互通信。如果没有连接器和线缆系统，这些高速信号通道就无法存在于芯片之外，而只能是单一PCB内短距离通道。

为了确保系统按照设计要求正常运行，选择合适的元器件并进行适当的信道建模和仿真至关重要。在本指南中，我们介绍了采用224G技术构建下一代数据中心架构的设计要点、面临的挑战以及解决方案。同时，我们还探讨了Molex如何将这些解决方案与性能要求相匹配，提供信号完整性数据，并从项目开始阶段就提供有价值的观点和建议。



# 现代数据中心架构中的 224G互连

尽管224G解决方案是为特定应用场合而设计的,但我们可以通过一个典型的可横向扩展的交换矩阵架构来可视化的追踪高速信号在系统中传输过程,重点突出连接器在这个传输过程中的作用。如图1中的框图所示,一组高速数据信号在处理器(如CPU、GPU、TPU等)内部生成,然后依次经过BGA 球栅阵列封装(BGA1)和PCB(印刷电路板)传输路径。一个Near-ASIC连接器接收这些高速信号,并通过混合型电缆将它们传输出去。信号经过高密度背板连接器和外部背板电缆,形成一个交换矩阵通道。

接下来,信号从BGA2封装焊盘传输到另一个Near Chip连接器,然后通过BiPass电缆到达前面板I/O连接器,最终进入无源或有源铜缆或光纤连接器。最后,数据被发送到数据中心的另一个单元,并在更大更远的应用场合中使用。

在此架构中,连接器在224G信道中的如下位置发挥着关键作用:ASIC芯片附近或ASIC封装上、背板电缆接口、BiPass电缆接口、网络信道和可扩展的信道。

## 典型的架构凸显了224G连接器的关键作用

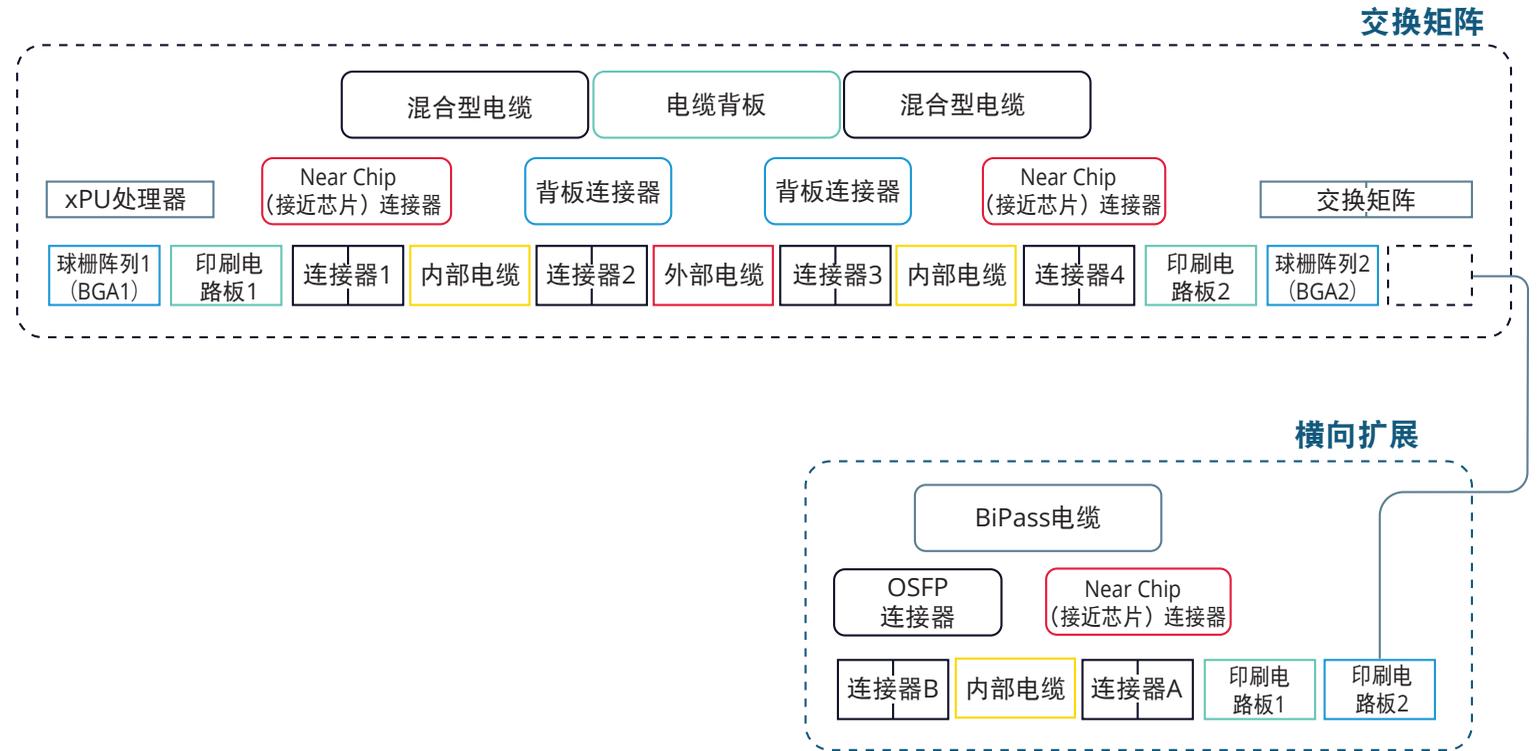


图1: 可横向扩展的交换矩阵架构框图



## 交换矩阵通道中的连接器

在数据中心环境中运行的交换矩阵通道越来越多地使用电缆构建，并且越来越多地使用背板电缆。它由电缆和连接器系统组成，可在连接到背板的模块之间实现高速数据传输，从而可以访问服务器或基础设施设备。背板电缆中使用的专用高速线材比 PCB 上的 224G 走线具有更低的损耗和更长的互连距离，这使得设计人员能够考虑采用原本可能无法实现的架构。

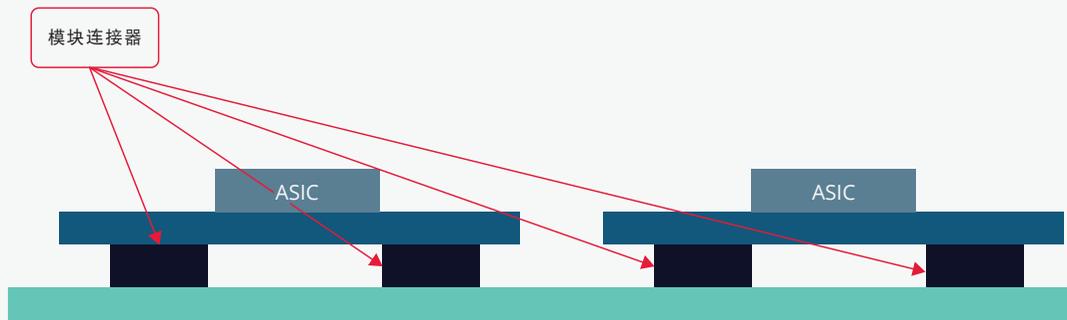
## 可横向扩展架构的通道中的连接器

铜缆或光缆进入系统后，通过已经标准化高速铜连接器，例如QSFP-DD（四信道小型可插拔双密度）连接器或OSFP（八信道小型可插拔）连接器，连接到印刷电路板。另一根飞线电缆连接回Near Chip连接器，将信号直接传输到ASIC芯片或处理器的封装，或传输到其附近。从而，芯片内嵌的应用程序可以沿着交换矩阵的通道传回数据，或将其传入横向扩展架构中的通道。

## 用于专用芯片（ASIC）的模组连接器

尽管BGA（球栅阵列）仍然是专用芯片/处理器与印刷电路板之间的主要的连接方式，但某些专用芯片已经以模组的形式安装在PCB（印刷电路板）上。为了实现这些模组之间的信号传输，需要使用板对板或扣板连接器，以便将来自ASIC（专用芯片）的信号从封装基板传递到PCB（印刷电路板）的铜互连线上。

这些连接器可直接与ASIC（专用芯片）的封装简单互连，无需在BGA的焊盘布局中精确设计高带宽的信号出线。通常，这些专门的焊盘布局需要进行3D电磁仿真才能全面评估其在PCB（印刷电路板）中的性能，但现成的连接方案使我们不需要付出这种设计努力。



# 224G系统的设计流程

当112 Gbps-PAM4信号速率被引入数据中心，通过互连带宽加倍使可支持数据速率翻了一番，这是超越 56 Gbps-PAM4 信号的重要一步。然而，在224G信号下运行并不仅仅是简单地将传输元器件的带宽增加一倍就能成功。我们需要对系统的物理层架构进行升级，以适应带宽的增加。这意味着系统的所有部件都需要重新设计，包括连接器和电缆系统，甚至包括用于构建印刷电路板和半导体的基本材料。

为了设计适用于224G信号的系统，设计人员需要在架构中的每个元器件的信号完整性要求和机械外形尺寸要求之间寻求平衡。由于数据中心环境中的空间限制，选择连接器和线缆布线时，外形尺寸变得尤为重要。然而，并非所有外形尺寸的连接产品都支持224G信号，因此设计人员在评估元器件时必须确定是优先考虑信号完整性还是机械外形尺寸。

表1展示了在224G系统中，影响信号完整性的一些关键因素。

连接器接口	<ul style="list-style-type: none"><li>连接器的输入阻抗由其接口、连接电缆和焊盘布局共同决定。</li><li>物理结构决定了引脚间串扰和连接器本体的辐射</li></ul>
芯片输入输出端口	<ul style="list-style-type: none"><li>输入输出引脚的负载电容和封装电感会影响信号完整性</li><li>为了支持224G，芯片焊盘布局与PCB(印刷电路板)或模组连接器互连必须是高带宽的。</li></ul>
电路板	<ul style="list-style-type: none"><li>电路板因寄生电容效应沿传输线产生电容性负载</li></ul>
铜传输线	<ul style="list-style-type: none"><li>因铜粗糙度而产生的损耗在中频范围内占主导地位（频率范围低于和接近信号的奈奎斯特频率）</li><li>介质损耗在高频下占主导地位（频率范围接近和高于信号的奈奎斯特频率）</li><li>差分串扰必须在信号的奈奎斯特频率范围内低于某个限值（典型值为-40dB）</li></ul>

表 1: 224G 通道中信号完整性的影响因素

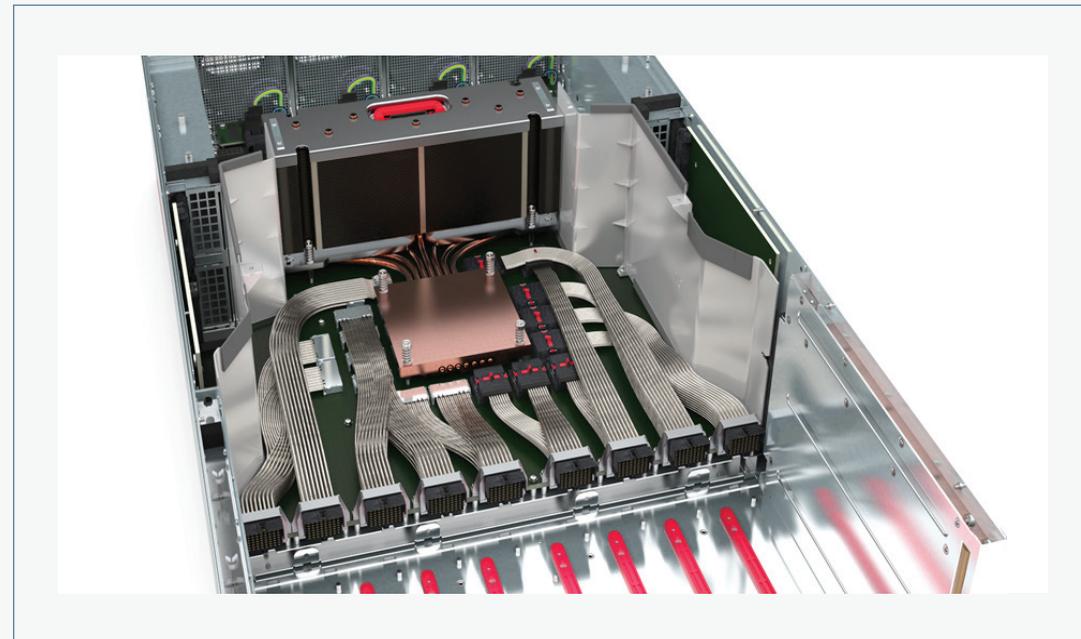
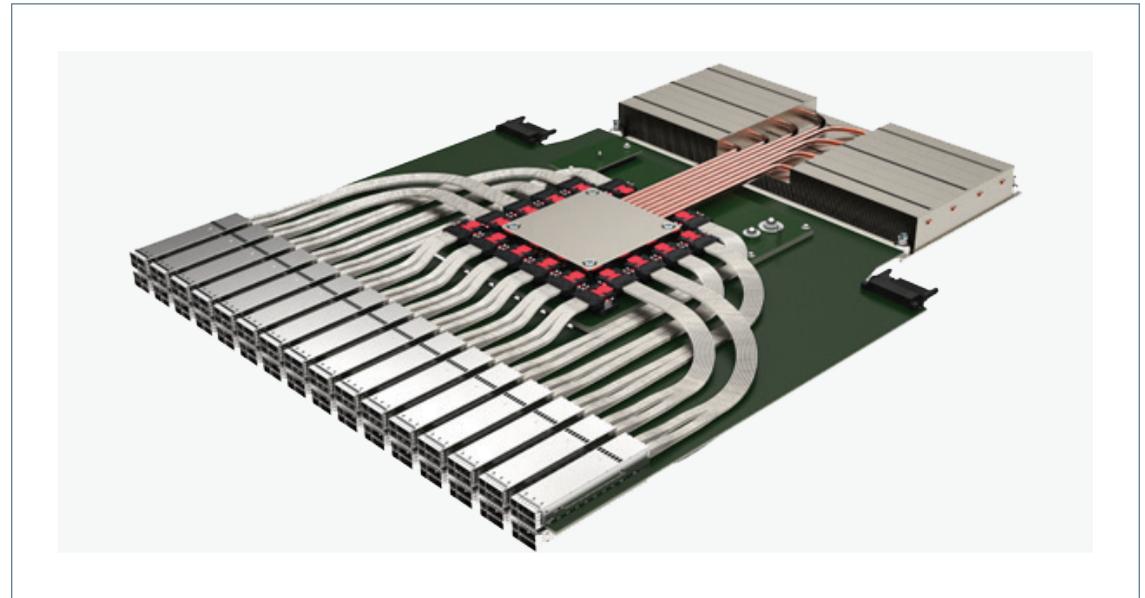
在优先考虑信号完整性的情况下，验证设计方案的最佳方法是采用带有S参数模型的系统级建模方法对候选连接器产品进行验证。尽管候选连接器的规格可能支持224G，但表1中所示的任何因素都可能影响性能并导致信道不达标。连接器提供商可以提供采用仿真方法提取的连接器电气模型或基于测量的S参数模型的应用指导说明，或提供用于仿真的认证过的连接器数据。

考虑到一系列的设计因素，设计师可以通过多种方式将系统带宽提升至56GHz以上，从而支持224 Gbps-PAM4信号互连。这些方法包括选择用于构建电路板材料、优化传输线设计和选择合适的连接器来实现224G信号互连。实际上，连接器和电缆是影响224G信号通道的信号完整性的最关键元件，因此与值得信赖的创新型连接器供应商合作显得尤为重要。

## 芯片输入输出端口与封装

尽管系统设计人员在印刷电路板、架构中的电缆排布以及线对板连接器接口等方面拥有最终控制权，但系统的某些方面并不总是在系统工程师的职责范围内。当我们考虑系统主机处理器的封装时，这一点尤为重要。半导体/封装提供商有责任以最小的寄生效应和大于信号奈奎斯特频率的可靠端接来连接芯片输入输出端口，这通常是决定链路损耗预算的受限因素。

在建模系统级行为模型并评估系统其他部分是否能满足工作目标时，芯片及其封装的信息至关重要。由于224G信号通道中PCB(印刷电路板)上的铜走线长度较短，因此大部分的信号功率谱的主要连接器相互作用。在对系统行为进行建模时，应选择一组完整的数据。



## 印刷电路板 (PCB)

我们可以在印刷电路板上安装芯片和连接器，从而实现信号在元器件之间的传输。对于224G信号通道而言，印刷电路板上的通孔在高频下具有高电容性，这会导致过孔互连阻抗的降低。由于印刷电路板的损耗特性，224G信道的印刷走线通常较短，其主要用于将芯片（从BGA焊盘或模组连接器）连接到线对板连接器或光模块。

PCB(印刷电路板)上短互连通道电气性能主要由回波损耗决定，其要求在PCB走线每端都要精确阻抗匹配。这意味着连接器本体和芯片封装的输入阻抗在超过224G信号的奈奎斯特频率的范围都必须平坦，以保持较低的回波损耗。在选择铜线对板连接器（如双轴电缆）时，连接器供应商应明确说明产品是否符合224G要求，以及用于系统级仿真的信号完整性建模数据（例如在touchstone文件）。



## 电缆

因为电缆的导体损耗较小，224G系统互连架构中使用的电缆来实现通道互连是比较合适的。尽管电缆是有导体损耗的，但先进类型的电缆类型（如双轴电缆）可以提供比采用低损耗电介质材料的PCB(印刷电路)板低得多的损耗。因此，电缆是某些应用铜互连应用的首选。Twinax（双轴电缆）电缆的结构还能确保电缆的差分阻抗的一致性，从而减少连接器接口处的回波损耗。

当互连长度超过1米或互连的电气损耗预算较小时，可能需要采用替代方案来替代无源铜缆。在这种情况下，可以考虑使用有源电缆（ACC-基于线性均衡的有源电缆或AEC-基于DSP/Retimer的有源电缆），与光缆相比，有源电缆或铜缆成本更低。在长度超过3到5米的线路中，无源或有源铜缆上的链路损耗将远超损耗预算，解决办法是把信号连接到光纤收发器并通过光缆输出。OSFP和QSFP-DD收发器通常用于这些连接场合，它们将出现在系统架构的横向扩展结构部分。

## 外形尺寸优先的原则

设计支持224G信号通道的系统的另一种方法是根据外形尺寸选择适当规格的连接器的。边缘计算和人工智能（AI）中的激进设计可能会迫使设计人员优先考虑小尺寸连接器，这将促使我们在设计过程的早期就选定连接器。选定连接器后，系统其余部分的信号完整性将被优化，来确保信号通道性能符合要求。

一个主要的挑战是基于尺寸形态选择连接器时，不同尺寸形态的连接器的标准化程度不同。目前，能够支持224G的互连解决方案尚未被普遍地标准化。尽管系统架构可横向扩展应用的前面板I/O连接器已经连接器外形规格和屏蔽罩选项已经完成标准化，但不同提供商提供的连接器和电缆并不总是相互兼容的。在设计流程的早期阶段选择连接器提供商并与其合作时，这是一个关键的考虑因素，目的是确保所部署的系统具备可伸缩性和可扩展性。

# 适用于224G架构的 MOLEX连接器系列产品

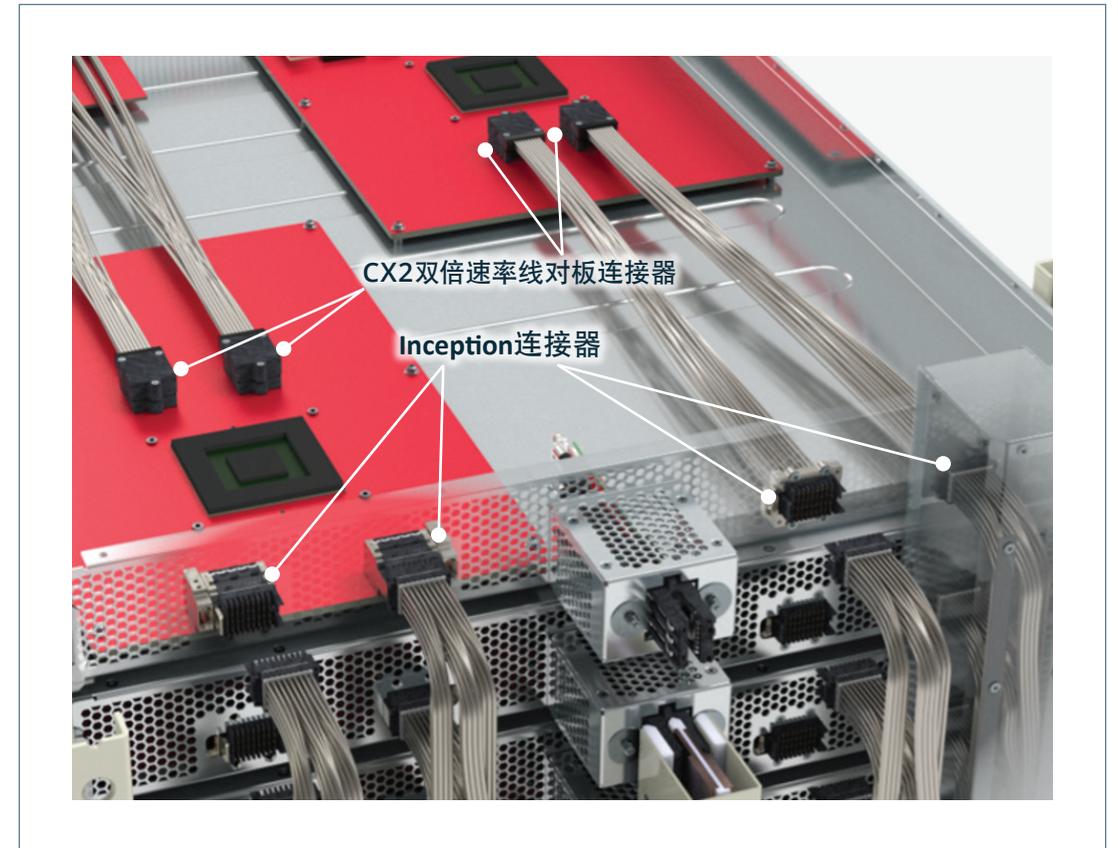
作为下一代数据中心架构构建领域的领导者，Molex率先向市场推出了一套完整的224 Gbps-PAM4互连解决方案组合产品。这些产品涵盖了系统架构的各个方面，包括ASIC(专用芯片)互连解决方案、电缆和背板等。

## INCEPTION系列不区分插头和插座的公母自配式高速背板连接器方案和CX2双倍速率NEAR-ASIC (接近芯片) 线对板方案

Inception是一种创新的不区分插头和插座的公母自配式背板连接器产品，其优先针对电缆互连架构应用而设计，对于基于机架的硬件架构内部和机架之间提供最灵活的高速电缆设计方案，并且由于其无插头和插座的差异，接口两端的信号完整性和机械完整性是一样的。作为硬件通信架构的骨干互连，Inception专为高效通信和数据交换应用而设计，具有机械坚固的连接特性并采用损耗最低的线材，紧凑的排列以适应尽可能小的空间。

为了构建交换矩阵架构系统，Inception产品可以与CX2-DS双倍速率 (CS2-DS) 高速线对板方案配对。CX2-DS是一种放置在专用芯片附近 (Near-ASIC) 的高速线对板互连方案，用于实现芯片与周边元器件或系统外部的高速低损耗通信。CS-2 DC针对机械坚固性做了优化设计，插配后用螺钉固定，确保接口完全插接到位，并将插入力传递到螺钉上，接口具有可靠稳定的机械摩擦行程 (WPIE) 并被连接器壳体完全保护着，手指无法触碰到。此外，高性能Twinax (双轴电缆) 线缆和创新型屏蔽结构能够极大的提高发送和接收通道的隔离度。

Inception和CX2-DS系列的元器件组合在一起，通过采用2组连接器的电缆背板以及3组连接器电缆背板和4组连接器电缆背板系统来互连多个机框，实现了多个机框之间的扩展互连。每个系统都针对高速信号和机械坚固性进行了优化。

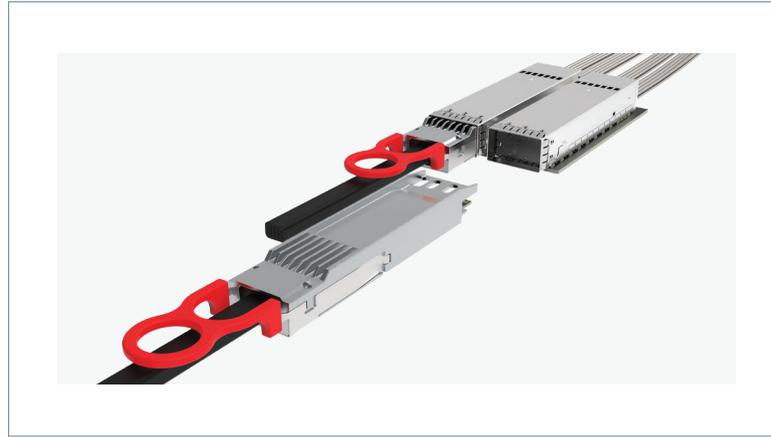
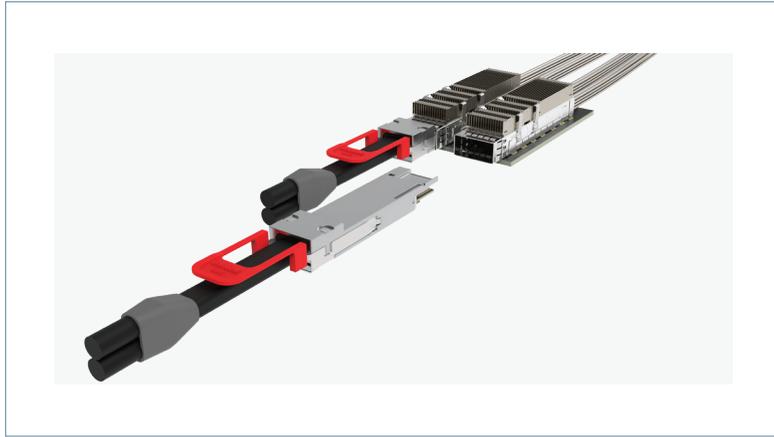


## MIRROR MEZZ增强型224G扣板连接器

Mirror Mezz增强型连接器将我们的扣板互连技术提升到能够支持224 Gbps-PAM4的水平。与以前的版本相比，我们改进了阻抗波动和串扰指标，同时保持了低至5毫米板对板配高的业内领先的信号密度。Mirror Mezz增强型连接器还保留了Mirror Mezz系列的不区分插头插座之母自配的特点和外形尺寸，因此同样能减少系统物料清单（BOM）中的器件品类数量（SKU数量）。其专为模块化应用而设计，可以添加或移除单个计算模组，以根据所需的功能级别定制每个系统

通过向系统添加更多的Mirror Mezz增强型连接器配合PCB（印刷电路板）板级组件上的所支持互连拓扑结构，系统可以支持更多的计算模块，从而实现计算能力的升级。当今市场上的一个很好的例子是OCP开放加速卡基础设施（OAI）系统，最多可以安装多达8个GPU模组。而未来系统的架构，例如上面所描述的类似OAI这样的系统，在采用Inception/CX2-DS方案作为交换矩阵架构互连方案的同时，也可以采用Inception高速背板连接器和高速电缆实现到单独的机箱间的互连。





## OSFP 1600、QSFP 800和QSFP-DD 1600连接器和电缆解决方案

这些坚固耐用的I/O连接器和电缆专为224 Gbps-PAM4而设计，具有卓越的机械耐用性和出色的屏蔽性能，可最大限度地减少串扰，并在更高信号速率的奈奎斯特频率下提供更好的信号完整性。

OSFP 1600是我们OSFP产品系列的下一代升级产品，与OSFP MSA标准兼容，适用于224 Gbps应用。OSFP连接器不向后兼容QSFP-DD的接口形态，其是一种替代QSFP-DD的接口形态，可以支持更快的数据速率和更好的散热性能，因为其更大的尺寸可提供更多的风流和更好的冷却能力。

设计符合MSA标准的QSFP 800和QSFP-DD 1600具有更小的外形尺寸，其向后兼容前几代产品。

上面列出的每个产品系列都包括表面贴装连接器、BiPass和外部电缆解决方案。

- 耐用的SMT(表面贴装)连接器和屏蔽罩的解决方案提供卓越的屏蔽性能，能够屏蔽从连接器接口到SMT(表面贴装)焊接引脚与电路板焊接区在内的各部分，以确保信号在224 Gbps通道传输时具有更低的误码率 (BER)。
- BiPass电缆采用标准化Twinax (双铜轴电缆)，将I/O (输入输出) 接口与Near-ASIC(接近芯片)高速线对板方案和高速背板解决方案相结合，可以减少散热负荷、降低机架成本并提高设计灵活性，实现低损耗高速线缆互连替代高损耗的PCB走线互连。
- 无源电缆 (DAC) 和有源电缆 (AEC) 有多种类型的配置、优化过的线缆端接设计和支持用于系统定位问题的通用接口管理规范 (CMIS)。无源直连电缆 (DAC) 是低成本、低延迟应用的理想选择。与光模块方案相比，我们的基于Retimer (时钟再生芯片) 技术的有源电缆 (AEC) 可以以更低的成本提供卓越的可维护性。

## 协作方式

充分利用连接器提供商的专业知识是方案选择、产品认证和最终量产的关键步骤。Molex深知通过开展合作可以加快产品上市时间，更精确地选择产品，并在各系统操作需求之间取得优化的平衡。

- 我们的工程师可以在设计项目开始时针对产品方案的选择提供关键建议，从而加速前端工程和物理层设计的进程。
- Molex将电子计算机辅助设计 (ECAD) 和机械计算机辅助设计 (MCAD) 相结合，可以提供能描述产品真实性能的数据，Molex提供的信号完整性数据，可以帮助设计人员判断信道性能与标准规范的要求一致性。
- 我们采用先进的互连解决方案，支持可扩展的产品架构，可以支持项目整个生命周期的需求。
- Molex了解这些产品的机械和散热方面的性能，能为您推荐满足系统需求的解决方案。

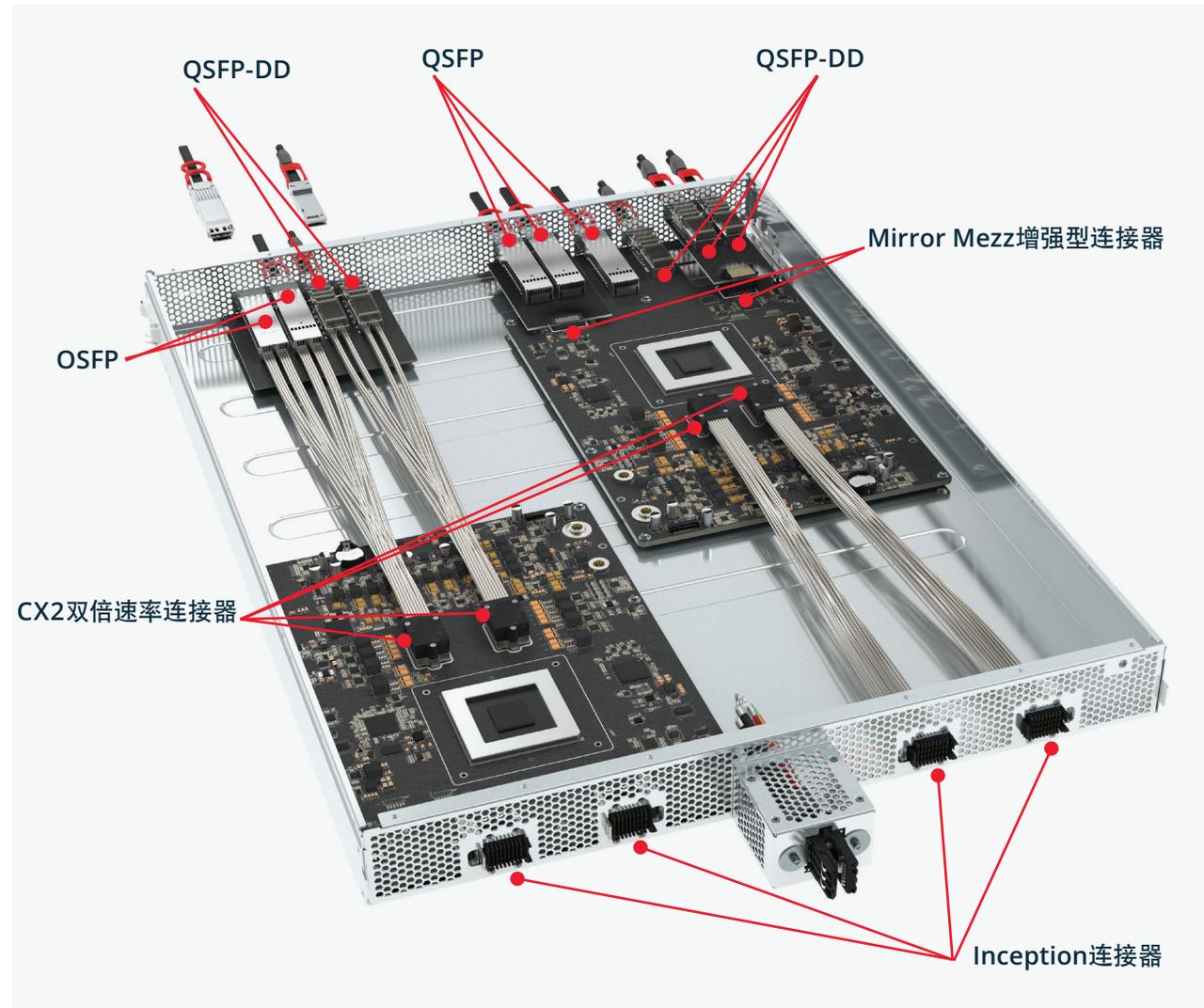


## 打造面向未来的数据中心

随着生成式人工智能、边缘计算和数字孪生建模等新技术的涌现，我们正在重新审视数据中心的计算需求。随着计算资产之间数据传输速率的不断提高和数据量的不断增加，我们需要与224G互连应用配套的解决方案。随着数据密集型应用场合的增加以及计算需求的不断增长，数据信号速率翻倍的趋势将延续。因此，业界必须开展跨学科和跨领域合作，转变数据中心架构以支持更快的数据速率。

随着每个新一代信号速率的应用限制的出现，连接器和电缆系统将继续充当更高带宽的信号互连的关键推动者，连接器系统提供商将在系统设计中发挥重要作用。Molex能提供更先进的连接器系统方案支持每一次数据速率加倍，不断突破极限，逼近物理定律的边界。借助我们先进工程团队的专业知识，我们可以共同开发下一代数据中心的架构，来支持当今和未来最严苛的应用。

请与我们的专业工程团队取得联系，并查看我们率先推出的全面224G产品系列。通过这种方式，您可以开启您的224G之旅。欢迎访问[molex.com/224G](https://molex.com/224G)了解更多信息。





*creating connections for life*

**molex**