



数据中心的发展趋势

# 2024 年发展趋势展望

# 目录

关于作者	3
简介	4
<b>第 1 章：适应数据中心的越来越多的光纤数量</b>	<b>5</b>
<b>第 2 章：400G、800G 和 1.6T 数据中心链路</b>	<b>11</b>
<b>第 3 章：应对电力挑战</b>	<b>17</b>
<b>第 4 章：数据主权</b>	<b>27</b>
<b>第 5 章：数据中心可持续发展</b>	<b>35</b>
<b>第 6 章：数据中心在 5G 世界中的角色演变</b>	<b>42</b>
<b>第 7 章：数据中心互联 (DCI)</b>	<b>47</b>
<b>第 8 章：AI 数据中心的布线考量</b>	<b>54</b>

# 关于作者



## Earl Parsons 博士

Earl Parsons 博士是康普数据中心架构演进总监。他于 2014 年加入康普，担任首席光学工程师。

在加入康普之前，Earl 获得了美国亚利桑那大学光学科学硕士和博士学位，曾是 TE SubCom（前称 Tyco Telecommunications）技术部门高级成员。Parsons 博士还曾参与 IEEE 802.3db-2022 标准的编辑工作。他热衷于研究有助于构建人工智能数据中心的模和多模光纤系统。



## Kevin Swank

Kevin Swank 是蜂窝网络无线行业的老行家，工作涉及 2G 至 5G 的方方面面。他初入职场时担任软件工程师，之后升迁至产品管理和产品营销的主管职位。Kevin 曾就职于 NEC、Nortel Networks、InnerWireless 和 Black Box 公司，目前负责康普智能蜂窝网络产品营销方向的工作。



## Ken Hall

Ken Hall 是康普北美洲数据中心架构师，负责主导前沿技术发展，以及从全球

的角度规划数据中心相关的光纤基础设施。他参与了高速、超低损耗光纤解决方案的开发和发布，助力数据中心运营商实现高效网络迁移。

此前，Ken 曾在 TE Connectivity/Tyco Electronics/AMP 担任过多种职务。他在全球网络 OEM 和数据中心的计划管理和战略，以及项目管理、市场营销、行业标准和销售管理方面拥有丰富的经验。Ken 还曾负责面向网络电子设备 OEM 的小型铜缆和光纤连接器以及高密度接口的行业标准化和普及。

迄今为止，Ken 在光纤连接器和基础设施管理系统方面拥有 9 项专利。

Ken 拥有美国宾州西盆斯贝格大学的理学学士学位。Ken 既是一位注册通讯设计师 (RCDD)，也是一位网络技术系统设计师 (NTS)。



## Alastair Waite


Alastair Waite 于 2003 年 9 月加入康普，担任企业光纤部门的产品

经理，从那时起，他在公司担任了许多关键职务，包括 EMEA（欧洲、中东和非洲）地区的企业产品管理主管、市场管理主管和 EMEA 地区的数据中心业务部门负责人。

自 2016 年 1 月，Alastair 就一直负责为康普数据中心解决方案设计架构，在这一动态细分市场确保客户的基础设施能够随运营需求而扩展。

在加入康普之前，Alastair 曾是 Conexant Semiconductor 公司光学芯片部门高级产品线经理，全面负责该公司的所有光学接口产品。

Alastair 拥有加拿大威尔士学院电子工程理学学士学位。



这是一个瞬息万变的新世界。要想跟上时代变化，我们需要了解以下内容。

Bob Dylan 说得很好：时过境迁，今非昔比 (Oh, the times, they are a-changin')。的确如此，如果您是数据中心管理者，那更该深有体会。似乎仅一夜之间，应用需求便从谨慎的黄色提醒迅速升级为不断闪烁的亮红色警报。

2023 年，我们共同见证了人工智能全面开花，生成式 AI、机器学习、人工神经网络、深度学习、自然语言处理等技术层出不穷。在此过程中，数据中心管理者及其团队不但要竭力设想如何处理涌入其网络的海量新数据字节，还要应对超低延迟需求、数据中心用电量上涨、所需光纤数量呈指数级增加等等问题。

并且持续增长的不止是应用需求。数据中心规模像葛藤一样不断蔓延，延伸到国界以外。数据主权管理是法律和安全问题，如今俨然成为了政治挑战。

与此同时，各种数据中心（包括超大规模设施、云提供商、MTDC 和企业）正在建立新的合作关系，以发挥市场位置的优势、获取可用资源和紧缺的空白空间。因此，DCI 的主干布线工作已然成为一项重要的任务，需由专门的人员全职负责。

当然，在全球气候危机的大背景下，数据中心运营商必须得重新思考其供应链和网络生命周期中的每一步，这些都会对组织的可持续发展目标带来什么影响。

时代发展千变万化，不变的是从布线、连接和组件到架构、性能弹性和适应性等方方面面的变化将对您的网络基础设施产生深远的影响。在后续章节中，我们将详细讲解您面临的问题，并提供创新型解决方案，展示康普的丰富经验和开箱即用的便捷方案。

**欢迎阅读康普的新版《数据中心趋势》电子书。拥抱变化！**

1

适应数据中心的越来越多的光纤数量

所有数据中心运营商都正持续面临如何满足不断增长的容量需求挑战。能否支持更高数据速率、端口数和光纤密度是提高容量和最终用户体验的关键。这就是我们的目标，对吧？但世界上并没有什么灵丹妙药，单一的解决方案无法完全解决容量问题。但通过有计划地结合相关技术，数据中心运营商能够为容量持续增长提供支持，打造出色的客户体验。在本章中，我们将围绕如何推动可重复性增长问题和趋势展开讨论。

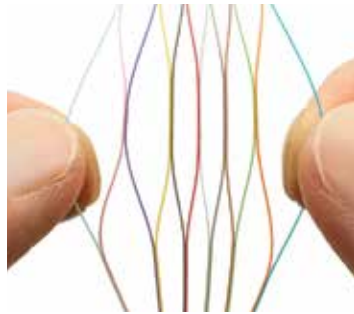
## 光缆槽道拥塞

为实现可预测和可扩展的容量增长，网络基础设施构建模块（包括光缆、槽道、连接和网络架构等）必须保持一致，才能高效满足容量需求并提供尽可能多的价值。随着应用的演进，单模和多模光纤的数量已从每个交换机端口 2 根光纤发展为 8 根和 16 根光纤。光纤数量增长了至少 4 倍或 8 倍，而设备之间及周围的槽道和空间却没有变化。因此，任何容量解决方案都必须考虑光纤光缆结构和连接的创新设计，以更高效地利用可用空间。

紧凑的光缆结构与更多光纤相结合，对于数据中心互联非常有帮助。连接两个超大规模设施时，通常会使用超过 3,000 根光纤作为数据中心互连 (DCI) 的主干布线，一些运营商设计需求已在此基础上翻倍。在数据中心内部，相同的问题会出现在高端核心交换机之间，或汇接机房到机柜列内骨干 (Spine) 交换机之间的骨干光缆上。

## 重新审视光纤结构设计

随着市场对更快更大的数据管道需求的增加，光纤和光网络也在不断发展。此类需求持续攀升，光缆中光纤的设计和封装方式也随之发生了变化，使数据中心可以在无需扩展布线空间的情况下增加光缆结构中的光纤数量。可卷曲带状光纤布线是这个创新链中的重要环节。



### 250 $\mu\text{m}$ 卷曲带状光纤

- 单根 250 微米光纤部分接合
- 减少大量熔接工作，节省时间
- 光缆外径比矩阵带状光纤小 20%-40%，管道利用率更高

从某种程度上说，可卷曲带状光缆是以早期开发的中心束管带状光缆为基础的。自 20 世纪 90 年代中期推出以来，中心束管带状光缆主要用于室外 (OSP) 网络，其特点是在一个中心缓冲管中堆叠了多达 864 根带状光纤。这些光纤被分组，并沿着光缆的延伸方向完全粘合在一起，这种方式增加了光缆的硬度。虽然这对于在数据中心 OSP 应用中部署这类光缆影响不大，但是敷设过程需要穿过狭窄而拥堵的槽道，而硬光缆限制了敷设的灵活度。

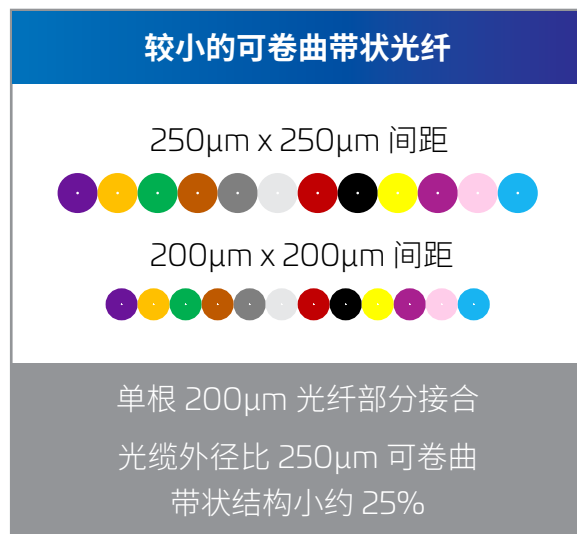
在可卷曲带状光缆中，光纤以不连续的方式粘结在一起，形成了一个松散的网状结构。这种结构使得带状光缆更加柔软，因此一个 2 英寸的套管可装入多达 3,456 根光纤，是传统封装光纤密度的两倍。此外这种结构还减小了光缆的弯曲半径，因而更能轻松用于空间有限的数据中心。

以不连续的方式粘连在一起的光纤具有松散光纤的物理特性，易于收缩和弯曲，因此更易于敷设在狭小空间内。此外，可卷曲带状光纤布线方式与干式光缆完全相同，这有助于减少准备熔接所需的时间，从而降低人工成本。紧密的粘连技术保持了典型带状熔接所需的光纤对准方式。



## 减小线缆直径

几十年来，几乎所有通信光纤的标称涂层直径都是 250 微米。随着市场越来越需要更细的线缆，这种情况已经开始有所改变。许多光缆设计都已经达到了标准光纤直径缩减的实际极限。但对更细光纤的需求促进了光纤物理直径进一步缩减。200 微米涂层的光纤现已用于可卷曲带状光缆和微管道光缆。



必须强调的是，缓冲涂层是光纤中唯一被改变的部分。200 微米光纤保留了传统光纤 125 微米的纤芯/包层直径，以确保熔接操作中的兼容性。在剥除缓冲涂层后，200 微米光纤与 250 微米光纤的熔接流程完全相同。此外，如果需要转换，还可以借助固定装置，将 200 微米光纤“增大”到 250 微米光纤，用以连接到多光纤连接器。

双工应用由任何可用的 8 芯、12 芯、16 芯或 24 芯光纤子缆单元提供支持，迁移到 8 芯或 16 芯光纤应用可享 MPO8 或 MPO16 光纤主干单元的有力支持。16 芯光纤应用是网络团队当前或未来的发展方向，16 芯光纤主干可以最高效地支持当前应用。此配置可支持所有现有应用，不浪费光纤，未来无需现场桥接主干线缆。这些直径更小的线缆结构还具备其他优势，包括光纤数量所需的相关槽道空间更少，使用的布线材料也更少，从而使得可持续价值提高。



## 新连接器尺寸较小，支持连接更多光纤，安装更简单

连接器也在不断演变，新的 VSFF（微双工连接器）配置可提供双工或并行应用支持。高速连接器的常见光纤数量包括单模和多模光纤中的 2 芯、8 芯或 16 芯光纤。部分应用还可以选择 24 芯光纤布线。在决定主干使用哪种光缆子单元时，应考虑当前和未来可能的连接器要求。

最近用于连接收发器的 VSFF 双工连接器，在前几年已进入市场。这些连接器有助于提高收发器的密度，一些情况下还提供扇出选项，从而能够支持更多光纤，充分利用网络设备的容量。下方为旧款 LC 双工和 SN、MDC 和 CS 连接器的参考尺

寸。这些连接器不仅适配于收发器应用，还为综合布线应用的配线架实现了可管理的较高密度。

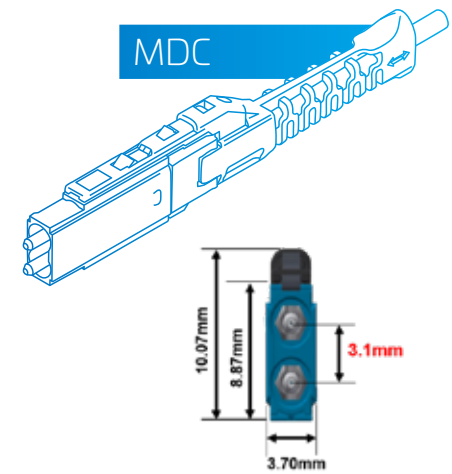
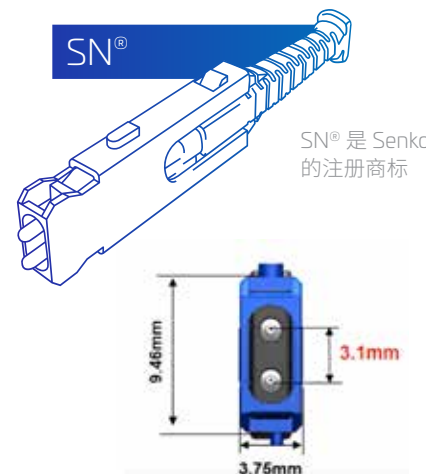
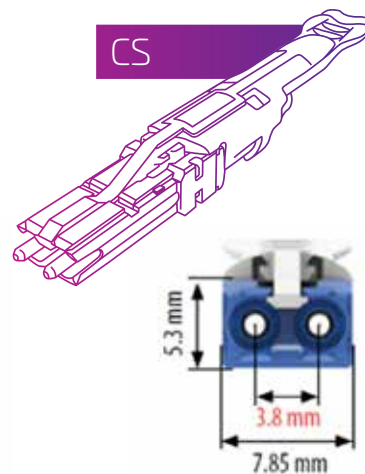
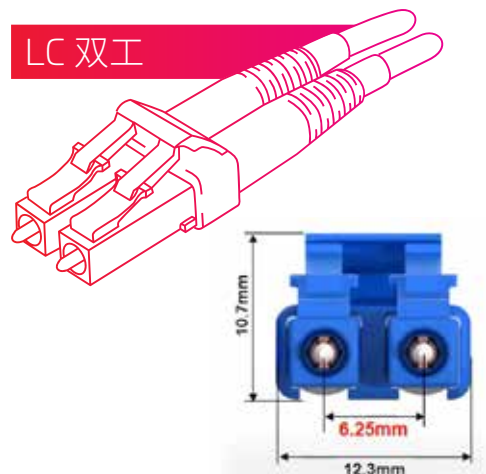
SN 和 MDC 封装中即将推出更多多光纤选项，将以更小的尺寸封装更易于管理的光纤。这些超小型封装 (VSFF) 连接器在与 SN 和 MDC 双工解决方案中相同的空间中内置了 16 或 24 根光纤。



MMC16 和 MMC24 – USConec Ltd



SN-MT16 和 SN-MT24  
SENKO Advanced Components



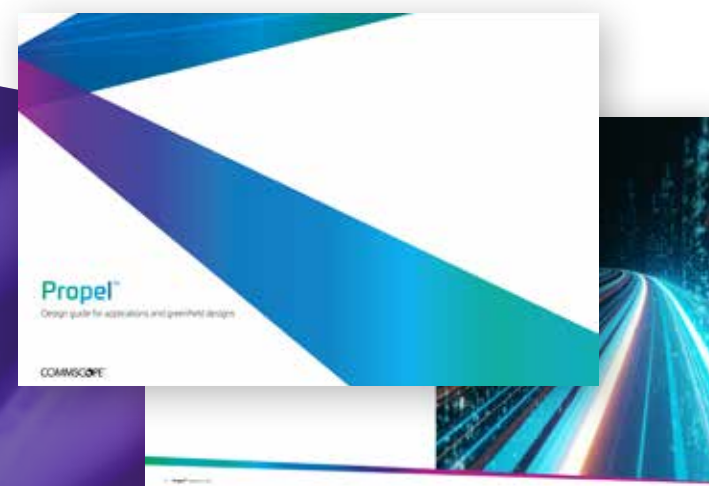
较小型的 MT 套圈（类似于 MPO 连接器中的组件）是一项关键技术，使得能在高度紧凑的连接体中内置更多光纤。目前这些连接器不可互配，但相关开发正在进行中。

另外，VSFF 光纤连接器使较小、较轻的预端接带状光缆可以更轻松地穿过套管。当使用小型可卷曲带状光纤进行部署时，预端接高光纤数 VSFF 连接器可简化并加速安装，节省宝贵的

时间和空间；该连接器按照严格控制的工厂设置进行装配，可提供更多性能保障。因此，与现场端接或熔接相比，预端接 VSFF 连接器的可卷曲带状光纤具备强劲优势。

不难理解，VSFF 连接器一开始的应用目标是让大芯数光缆穿过管槽系统。未来 VSFF 的应用范围可能包括设备接口、扇出光缆或综合布线。

对于信道设计和应用布线考量，请联系您本地的康普销售工程师或参考 [Propel™ 设计指南](#)。





2

400G、800G 和 1.6T 数据中心链路



## 简介

衡量组织是否成功的首要标准就是看其是否能够适应其所在环境的变化。我们称之为生存能力。如果不能适应新的变化，就会丢失客户。

对于云计算数据中心来说，由于对带宽、容量和低延迟需求的不断上升推动了网络速度的提高，其适应能力和生存能力每年都在经受考验。在过去几年中，整个数据中心行业的网络速度已经从 25G/100G 提升至 100G/400G。每次飞跃至更高速度后，就会进入一个短暂的平稳期，之后数据中心管理者需要为下一次升级做准备。

当前，云和超大规模数据中心正在部署 800G 收发器的链路，同时行业也在尝试对 800G 和 1.6T 收发器进行标准化。主要考量因素就是哪种光纤技术更优异。在此，我们来一同分析 400G、800G 和 1.6T 光学收发器的一些考量、权衡和选项。

## 光学收发器类型

光学收发器可以按其支持的距离和光纤类型来分门别类。SR 光学元件在平行多模光纤上通常可以实现 100 米的传输距离。DR 光学元件使用并行单模光纤，长度可达到 500 米或 2 千米。FR 和 LR 光学元件使用双工单模光纤和波分复用 (WDM)，最长分别为 2 千米和 10 千米。这些器件在 400G、800G 和 1.6T 收发器中也有所使用。

## 400G 光收发器

400G 的光学市场正在受到成本和性能的驱动，使用 4x100G 通道的收发器正在取代使用 8x50G 通道的早几代产品。与 8x50G 收发器相比，4x100G 交换机和收发器的成本和功耗较低。

使用 400G 并行光纤的光学元件有多种选项。IEEE 802.3db 标准整理了使用并行多模光纤的 400G 收发器。符合 400G-SR4 标准的光学元件可以通过 8 根光纤（OM4 或 OM5）实现 100 米的传输距离。称作为 400G-VR4 的新应用将支持通过 8 根 OM4 或 OM5 光纤实现 50 米的传输距离，适用于并排应用。对于并行单模光纤，400G-DR4 和 400G-DR4-2 将使用 8 根光纤，分别长达 500 米或 2 千米。

表 1 中的每个并行光纤选项使用 8 根光纤，但因为收发器接受 MPO8 或 MPO12 连接器，仅使用外部 8 根光纤。为符合多次迭代的兼容性，其中 12 芯光缆的中间 4 根光纤未被使用。这促使康普等光缆公司推出一系列 8 芯光缆，其中仅包括用于传输的 8 根光纤。端接了 MPO8 连接器时，8 芯光缆可与 MPO12 光缆连接，且与所有 400G 并行光学元件兼容。

### 400G 并行光学元件

应用	距离	光纤数	光纤类型
400G-SR4	100 米	8	OM4、OM5
400G-VR4	50 米	8	OM4、OM5
400G-DR4	500 米	8	SMF
400G-DR4-2	2 千米	8	SMF

如表 2 所示，IEEE 802.3cu 对 400G-FR4 和 400G-LR4 进行了标准化，在双工光纤上使用 WDM。这些光学元件在单个传输和接受光纤上结合了四个波长。FR 光学元件支持 2 千米距离并提供从 100G-CWDM4 升级的路径。LR 光学元件如果只符合 802.3cu（贴标 400G-LR4-6），则距离可达 6 千米，如果符合 400G-LR4-10 MSA 规范，则可达 10 千米。

### 400G WDM 光学元件

应用	距离	光纤数	光纤类型
400G-FR4	2 千米	2	SMF
400G-LR4	10 千米	2	SMF

从 400G 代开始，对具有并行光纤的光学元件的需求增长迅速，超过了使用 WDM 技术的光学器件。具并行光纤的光学元件旨在实现比 WDM 光学元件更低的成本和功耗。并行光纤还为数据中心运营商提供更高灵活性，例如支持光纤扇出。该技术还支持将一端带 8 根光纤的 400G 收发器连接到使用双工光纤的四个不同 100G 收发器。并行光纤光学元件用于较长的链路，但 WDM 光纤没有用于较短的链路。

## 800G 光收发器

第一代 800G 收发器将使用 8x100G 通道和并行光纤。这些收发器将采用 400G 收发器技术构建，计划于 2024 年发布的 IEEE 802.3df 标准中也将包含相关内容。计划于 2026 年发布的 IEEE 802.3dj 标准项目将主要适用于在 4x200G 通道上运行的光学元件。

### 800G 并行光学元件

应用	距离	光纤数	光纤类型
800G-VR8	50 米	16	OM4/OM5
800G-SR8	100 米	16	OM4/OM5
800G-DR8	500 米	16	SMF
800G-DR4	500 米	8	SMF
800G-DR8-2	2 千米	16	SMF
800G-DR4-2	2 千米	8	SMF

表 3 列出了多个并行光纤光学元件，包括 800G-VR8、800G-SR8、800G-DR8 和 800G-DR8-2。这些元件旨在分别支持 50 米（OM4 或 OM5）、100 米（OM4 或 OM5）、500 米（单模光纤），以及 2 千米（单模光纤）的距离。这些光纤都将需要 8 个光纤对（总计 16 芯光纤），用于 800G 传输。连接器接口将包含 MPO16 或两个 MPO8 连接器。早期的 800G 收发器采用者将该器件用作为 2x400G，也就是将每个 800G 收发器当做 2 个不同的 400G 收发器使用。因此，其接口处

有两个 MPO8 连接器，以支持这种不同的用处。未来，原生 800G 收发器将使用 MPO16 连接器，并将更具主导地位。几乎所有收发器制造商都将提供 MPO16 和 2xMPO8 800G 收发器。

### 800G BiDi 光学元件

应用	距离	光纤数	光纤类型
800G-VR4.2	50 米/70 米	8	OM4/OM5
800G-SR4.2	70 米/100 米	8	OM4/OM5

TB 级 BiDi MSA 发布了使用 8 根多模光纤的 800G 收发器规范（参见表 4）。这些收发器（800G-VR4.2 和 800G-SR4.2）将通过 OM4 支持 50 米或 70 米传输距离，或通过 OM5 支持 70 米或 100 米传输距离。这些光学元件双向运行，每根光纤都同时进行传输和接收工作。不同波长的 VCSEL 用于生成相互分离的传输和接收信号。仅有 OM5 是指定支持多波长运行的多模光纤，因此可提供更长的传输距离。BiDi 使带 100G 通道的 800G 收发器仅使用 8 根光纤运行。

在双工单模选项中，还有 800G 光学元件，实际上是 2x400G-FR4。这些收发器的连接器接口处需要 4 根光纤，通常将使用 2 个 LC 双工连接器。这些收发器还非常适用于超小型封装 (VSFF) 连接器，如 SN 或 MDC。

在 IEEE 802.3dj 标准化了 200G 通道后，将指定单模收发器，包括 800G-DR4、800G-DR4-2、800G-FR4 和 800G-LR4。像 400G 收发器，DR 光学元件将使用 8 根光纤，传输距离达 500 米或 2 千米；FR 将使用双工光纤，传输长达 2 千米；LR 将使用双工光纤，传输长达 10 千米（参见表 5）。这些光纤将直接替换 400G 器件，并使用相同的光缆设备来作为 400G 器件。

### 800G WDM 光学元件

应用	距离	光纤数	光纤类型
800G-FR4	2 千米	2	SMF
800G-LR4	10 千米	2	SMF

表 5

到目前为止，IEEE 802.3 尚未设置 200G VCSEL 和多模光纤的目标。这很正常，与之前的几代一致。对于每种新速度，先指定单模收发器，因为使用更复杂的收发器更易于传递高速信号。多模光学元件成本更低且功耗更低，通常需要更多时间来制定标准。我们相信 200G VCSEL 将在未来的项目中实现标准化。

## 1.6T 光收发器

超过 800G，下一代收发器将使用字母“T”表示每秒传输的 TB 数据量。数据速率翻倍，从每秒 800GB 到每秒 1600GB（或 1.6TB）。

### 1.6T BiDi 光学元件

应用	距离	光纤数	光纤类型
1.6T-VR8.2	50 米/70 米	16	OM4/OM5
1.6T-SR8.2	70 米/100 米	16	OM4/OM5

TB 级 BiDi MSA 已指定 1.6T 收发器，并采用了多波长 VCSEL 和多模光纤。如表 6 所示，1.6T-VR8.2 将支持在 OM4 上达到 50 米的传输距离，以及在 OM5 上达到 70 米的传输距离。1.6T-SR8.2 可实现更长的距离，可支持 OM4 和 OM5 的传输距离分别为 70 米和 100 米。这两种收发器类型将使用 100G 通道和 16 双向光纤。MSA 调用 MPO16 连接器接口作为优选连接器。

### 1.6T 并行光学元件

应用	距离	光纤数	光纤类型
1.6T-DR8	500 米	16	SMF
1.6T-DR8-2	2 千米	16	SMF

率先推出的单模 1.6T 光学元件将为 1.6T-DR8 和 1.6T-DR8-2。两者将使用 16 根并行单模光纤（或 8 个光纤对），并将分别支持 500 米和 2 千米传输距离（参见表 7）。这些光学元件将使用为 800G 开发的相同 200G 通道，但通道数量将提高到 8 个。与 800G-DR8 类似，这些 1.6T 收发器可能采用 MPO16 和 2 个 MPO8 连接器接口。

## 多模和单模

对于小于 100 m 的链路，数据中心运营商可以选择：部署为单模还是多模光学元件？行业中的一些运营商需综合考虑，单模光纤是更加面向未来的选择，而多模可提供更多优势。对于部署了新一代速度接收器的数据中心，单模光学元件所需的费用是等效多模光学元件的两倍。随着时间推移，价格差异将变小；多模收发器比单模式仅稍便宜一些，而速度却是前几代旧款的水平。功耗量则没有发生变化。多模收发器所消耗的功率比单模低 1-2 W。这样每个链路可节省 2-4 W 能量。

随着时间推移，收发器技术将更侧重于越来越短的传输距离。由于通道速度提升，我们看到在机柜列间应用中多模光纤正在取代铜光缆。比较明显的是在人工智能 (AI) 集束中使用了多模光纤。我们预计在未来一代又一代的创新中，多模光纤仍是数据中心网络的关键组成部分。

## 结论

收发器创新步伐持续加快。为数据中心选择的收发器会影响所需的光缆和连接器。康普与收发器生态系统积极联系，确保我们的客户选择适用于其网络的连接策略。欢迎访问 [zh.commscope.com](http://zh.commscope.com)，进一步了解您当前可采取的步骤，以确保您的光纤基础设施能够满足未来所需。





3

应对电力挑战

数据中心运营商经常采用不同方法设计网络和搭建平台。但无论规模大小，每个运营商需应对电力挑战，即如何获得电力以及如何保存电力。当前，数据中心正在经受行业史上罕见挑战，无法保障以适当价格正确地点获得充足电力。实际上，决定在何处构建数据中心既由外部因素决定，也同样受运营商业务策略的影响。

在本章中，我们将探索电力为组织计划带来挑战的三个主要因素。

## 供电问题

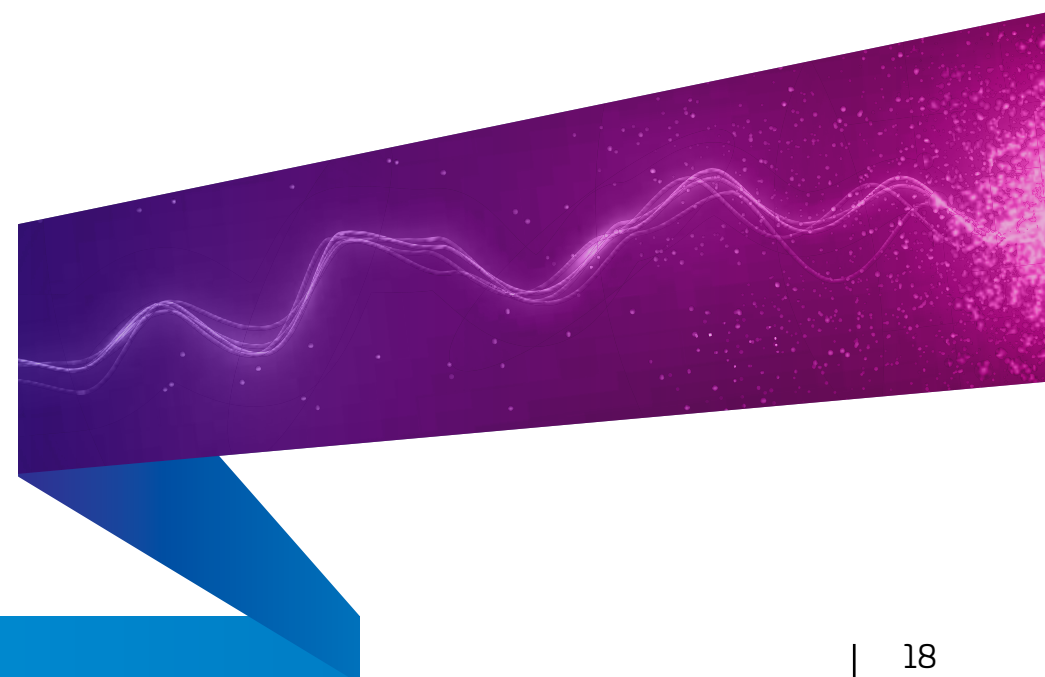
在 2022 年营收电话会议中，全球大型 MTDC Digital Realty 的总裁兼首席执行官 Andy Power 透露，美国北弗吉尼亚州的一家主要电力提供商曾提醒客户，该公司在劳登县东部遭遇瓶颈，供电会延迟到 2026 年<sup>i</sup>。此问题并未报告为发电问题，而是说缺少传输线路来提供所需电力。

有时，预测数据中心电力需求足以促进相关方采取行动。在能源提供商发出提醒后，伦敦（英国）市长办公室发布简报，称要求在伦敦西部提供新电力连接的请求蜂拥而至。大部分新请求来自数据中心运营商，他们希望在沿英国的 M4 走廊穿过该区域的光缆附近进行集中建设。

据英国伦敦市长办公室称：

“数据中心使用了大量的电力来为服务器供电并确保服务恢复性能，这些用电量与城镇或小城市相当。这些数据中心需要的电量已导致该地区的配电和传输网络受到容量限制，消耗了伦敦西部地区近十年中的剩余电量。配电网的新申请主要来自住宅开发、商业场所和工业活动，并将必须等待数年才能进行新的电力连接。”

– 英国伦敦市长办公室，GLA<sup>ii</sup>



## 政治

最近，爱尔兰国家成为了数据中心建造活动的热门地点。这样的成功是一把双刃剑。爱尔兰政府必须保持其在全球数据中心行业中的优势地位，同时平衡为其公民供能和保护环境的责任。爱尔兰议会越来越重视可以采取的措施，并正探索自身应在调整数据中心构建中发挥什么作用。

爱尔兰企业、贸易和就业部部长 Simon Coveney 表示：“显然，未来二十到三十年，我们会迎来一些能源需求挑战...我们必须管理数据，这就涉及数据存储和数据中心。挑战就是找到为数据中心提供持续充足电力的方法，特别要抓住离岸风能的潜力。”<sup>iii</sup>

此外，社会民主党 TD 和气候发言人 Jennifer Whitmore 指出，未来有可能会强制要求数据中心更高效运行：“目前需要暂停数据中心的授权和连接，直到找到围绕数据中心的战略性

从 2015 年到 2022 年，位于爱尔兰共和国的数据中心消耗的电力 (5,200 Gwh) 增加了 400%，2022 年耗电占国家总发电量的 20%。

**Central Statistics  
Office of Ireland,  
2023 年**

审查方法。我们需要了解数据中心如何可以更加高效地运行。但目前对此没有实际的监督方法，难以开展行动。”

下图说明了全球数据中心电力消耗（特别是服务器电力消耗）的趋势，图中信息清楚知识了对高效率数据中心设计的需求，这也将成为获得联邦监管机构支持的关键工具。

### 不同最终用户类别的年度能源消耗情况 (TWh)，2016-30

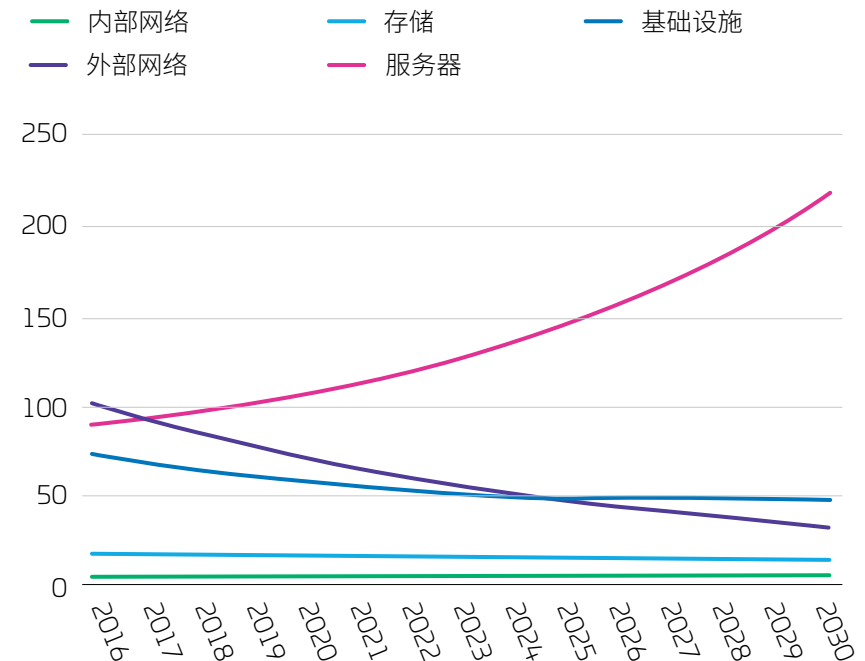


图1

资料来源: [Techmonitor](#)

在东欧，导致当前乌克兰冲突的政治决策对该区域的数据中心行业产生了重大影响。之前，许多东欧国家/地区因占据西部、俄罗斯和亚洲交汇处的地理位置优势而收获颇丰。而现在，相关政府必须重新审视数据中心在数字化经济中的影响。

同时，俄罗斯/乌克兰冲突严重扰乱了配电以及天然气和石油的定价，而很多东西欧国家/地区依赖于此。在俄乌冲突之前，欧洲的很多天然气和石油需求均由俄罗斯提供。自乌克兰遭遇袭击后，天然气价格飙升不止。战争之前，德国等国家/地区一半的天然气和约三分之一的石油均从俄罗斯采购，其中一些能源价格本就是欧洲最高的，而现在涨得更高了。双方实

施的制裁导致德国不得不寻求其他发电方法和能源供应，进而致使家庭和商业等成本进一步升高。图 2 表明欧盟天然气商业价格陡增。

须指出的是，在俄乌冲突之前约一年，欧盟天然气的价格也呈上升趋势。自 2022 年最后一个季度开始，得益于政府干预和高效供应链，能源价格已趋于平稳。

非家庭消费者的天然气价格变动情况，欧盟，2008-2022 年  
(欧元/kWh)

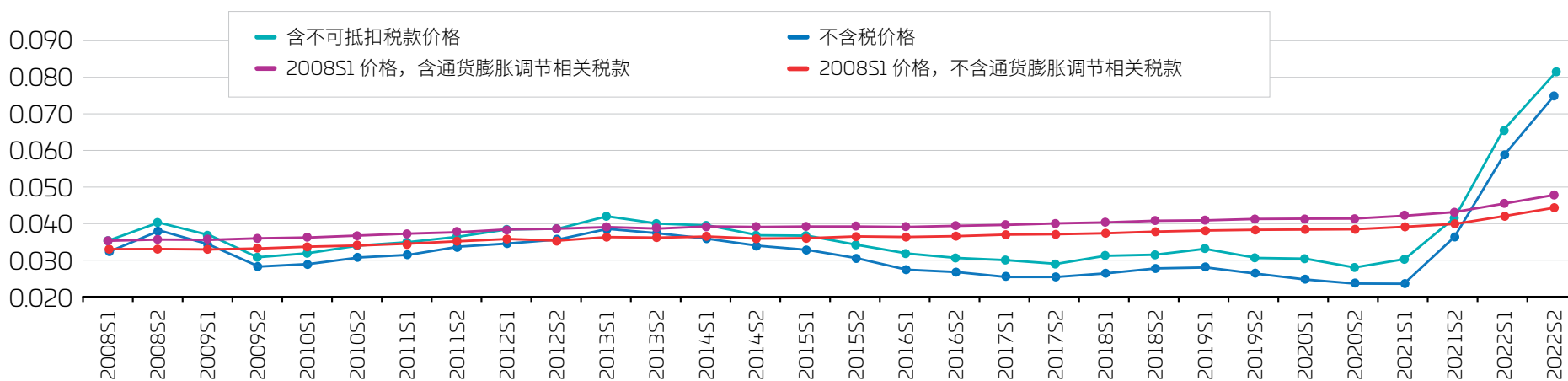


图 2 资料来源:欧盟统计局 (nrg\_pc\_203)

## 社会人口

影响数据中心电力可用性和价格的第三个（也是最后一个）因素是世界人口中心的变迁。关于选择优化的数据中心位置，传统的商业思维是首先追求易于实现的目标。因此，多年来美国和西欧的一些特定市场常受到投资者青睐。美国的中产群体规模庞大、可支配收入高且高密度城市区域相对较少，这些特征表明了投资者可以轻松获得回报。这也为数据中心运营商提供各种便利，包括通用语言、监管系统、供应链路线和大规模资本支出建设的经验。

欧洲市场的条件没那么理想，但并非不能克服。运营商先将目标对准了一线城市，因为那些区域拥有足够的电力。而其中的挑战在于如何应对不同的国家政府、本地商业实践和语言难题。但鉴于西欧拥有大量中产群体和众多资金雄厚的国际公司，预计得到的回报值得投入这些精力。不过，在这些欧洲城市构建数据中心需承担高溢价的土地和电力成本。组织不得不退而求其次，转而选择二线城市，如马德里、马赛、米兰、苏黎世、柏林和斯德哥尔摩。数据中心运营商必须扩大搜索范围，而不是专注于少数几个关键的高价值一线城市，这会增加不同洲际之间的复杂性。这样就要管理四个其他国家/地区的运营和电网，并适应另外三种语言。

在理论上，我们很容易能理解向运营商现有投资组合中增加大型数据中心的复杂性，但对于那些寻求扩大其运营范围的超大规模设施和云提供商来说，我们却难以想象他们所面临的挑战和困难。



表 1 和表 2 有助于您结合实际背景了解问题。表 1 为世界七强经济体 (G7) 的国家人口和 MTDC 电力可用情况。在这些优质市场中，每一百万个人中平均 MTDC 电力需求是 48.7 兆瓦 (MW)，这是个非常庞大的数据。这是要为居于世界前列的数字经济体提供支持所需承担的 IT 电力负荷。

表 2 对比了一些发展较快的亚洲市场的相同指标，这些市场恰好也是增长比较快的 MTDC 区域。即使是新加坡和澳大利亚也明显偏离区域的指标，这七个国家/地区中平均每人的 MW IT 负荷不到 G7 国家的十分之一。

基于这些情况和其他太平洋地区的发现，我们可以清楚地了解到，数据、人口和 5G 交付需求的本地增长超出了数据中心容量的增长。这表明，如果数据中心容量要与人口和更多数据需求保持同步，就需要政府和企业层面采取强有力的推动举措。

从人口和成本的角度，太平洋地区为新数据中心构建提供了超强优势。这同时也很具有挑战性。将新构建的项目从美国转移到欧洲一线和二线城市并非易事，而要在发电和供电发展均不发达的国家/地区尝试和部署相同的容量就更是难上加难，那里还可能没有足够的供水资源来支持本地人口的快速扩张。高能效是关键。

G7 国家	人口 (百万)	数据中心市场规模	数据中心 MW/人口
 美国	335	26,000	77.6
 日本	125	3,600	28.8
 德国	84	2,000	23.8
 法国	68	1,500	22.1
 英国	67	3,000	44.8
 意大利	59	500	8.5
 加拿大	40	1,300	32.5
<b>总计</b>	<b>778</b>	<b>37,900</b>	<b>48.7</b>

表 1

太平洋国家/地区	人口 (百万)	数据中心市场规模	数据中心 MW/人口
 印度	1,392	1,700	1
 印度尼西亚	278	600	2
 菲律宾	111	300	3
 越南	100	315	3
 马来西亚	33	600	18
 澳大利亚	26	1,100	42
 新加坡	5	1,000	200
<b>总计</b>	<b>1,945</b>	<b>5,615</b>	<b>3</b>

表 2

资料来源：451 Research 和康普

## MTDC 在解决电力挑战方面的作用

鉴于本地电力供应、政治稳定性和人口结构变化中固有的成本和不确定性，数据中心运营商正在重新思考其垂直整合策略和构建自有设施的明智之举。这对在数据中心承担支持性功能，而不是主要收入来源的组织尤为如此（就比如软饮料制造商与云服务提供商）。因此，越来越多的基于云和超大规模设施运营商正在选择与在全球范围内占据容量优势的 MTDC 合作。

从多个角度来说，这些新合作伙伴模型所带来的好处多于挑战。MTDC 运营商对固定资产有深入了解，经优化后可满足租户不断发展的需求，以经济实惠的方式提供居于充足的空白空间以及可靠的电力。更重要的是，MTDC 设施位于主要的都会区域，非常适合基于云和超大规模设施运营商，这些企业需要为 5G、工业 4.0 和物联网应用提供低延时和超低延时移动边缘计算。更棒的是，这些设施已经投入使用，可助力较大的数据中心快速、轻松地推广服务，并更快地获得高投资回报。图 3 说明了服务器以及整个运行网络如何扩展到多个位置，以实现边缘计算。MTDC 在支持此类扩展方面起着一定作用。

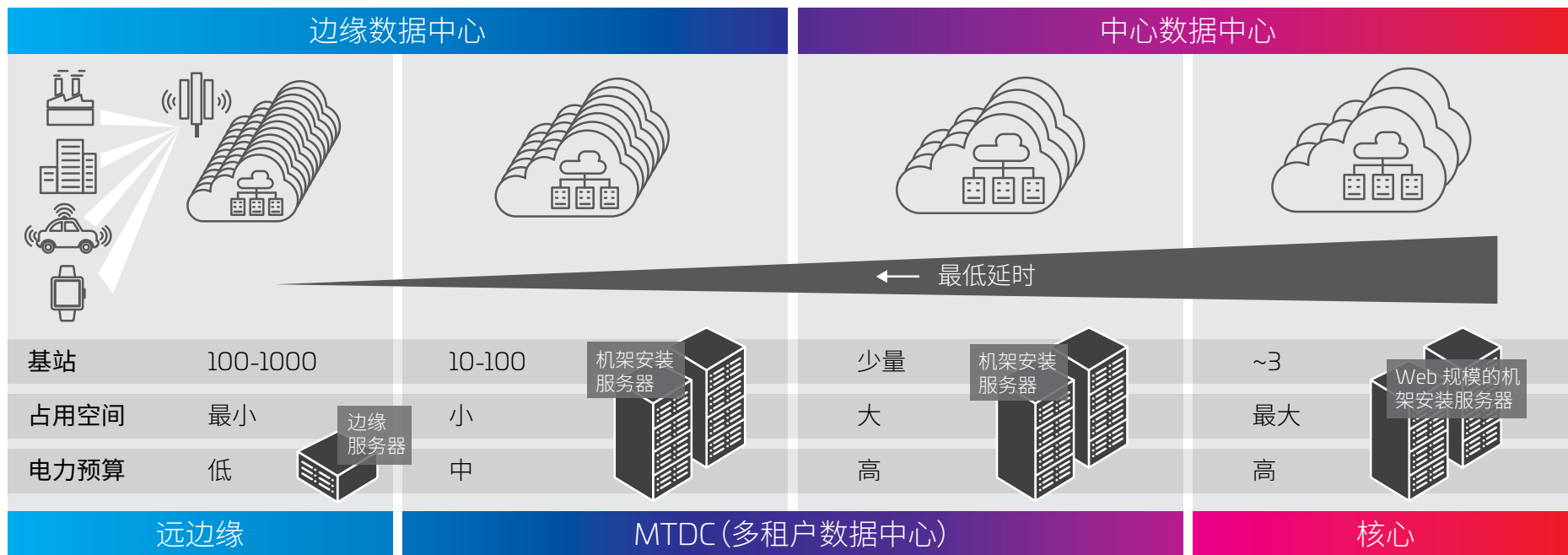


图 3 资料来源：诺基亚，2023 年

为确保在各个 MTDC 的运营符合其预期目标并可以按需互连，必须在项目开始时计划结构化的基础构建。在考虑了外部因素，决定将 MTDC 建设在园区、城市或地区的情况下尤为如此。我们必须从项目开始时就将其结构化的基础构建纳入考虑之中。在考虑基础构建流程时，许多标准可以提供宝贵的指引。

TIA-942 和 EN-50600 等标准为数据中心基础设施提供了有力的指导。这些标准涵盖设计、冷却系统、安全和可持续发展等各个方面。北美的 TIA-942 和欧洲的 EN50600 虽然不是全球性标准，但是两者都提供了稳定可靠的框架，以确保 MTDC 满足冗余、可用性和数据中心内互连的要求。这两个标准用于专门处理数据中心和不同关键区域的电信布线。

如图 4 所示（从左到右），MTDC 的关键功能区是：

**楼宇入口设施 (BEF)** 和场所入口设施，作为外部光纤和铜缆进出 MTDC 的过渡点。采用适当的光纤将外部光缆过渡到内部光缆。

**汇接机房 (MMR)** 负责运营商设备和布线，并未 MTDC 的其他所有区域建立连接服务。

**楼层配线区/中间配线架 (FDA/IDF)** 可实现 MTDC 综合布线和用户机柜之间的本地层灵活性。

**主配线区 (MDA)** 也称为“分界”或“分界点”，是指从 MTDC 网络到用户机柜或机房的最终移交。从此处到 EDA（设备配线区），客户将控制网络，运营过程更像是典型的数据中心运营。请注意，所有布线路径都完全冗余，有 A 和 B 布线路径。

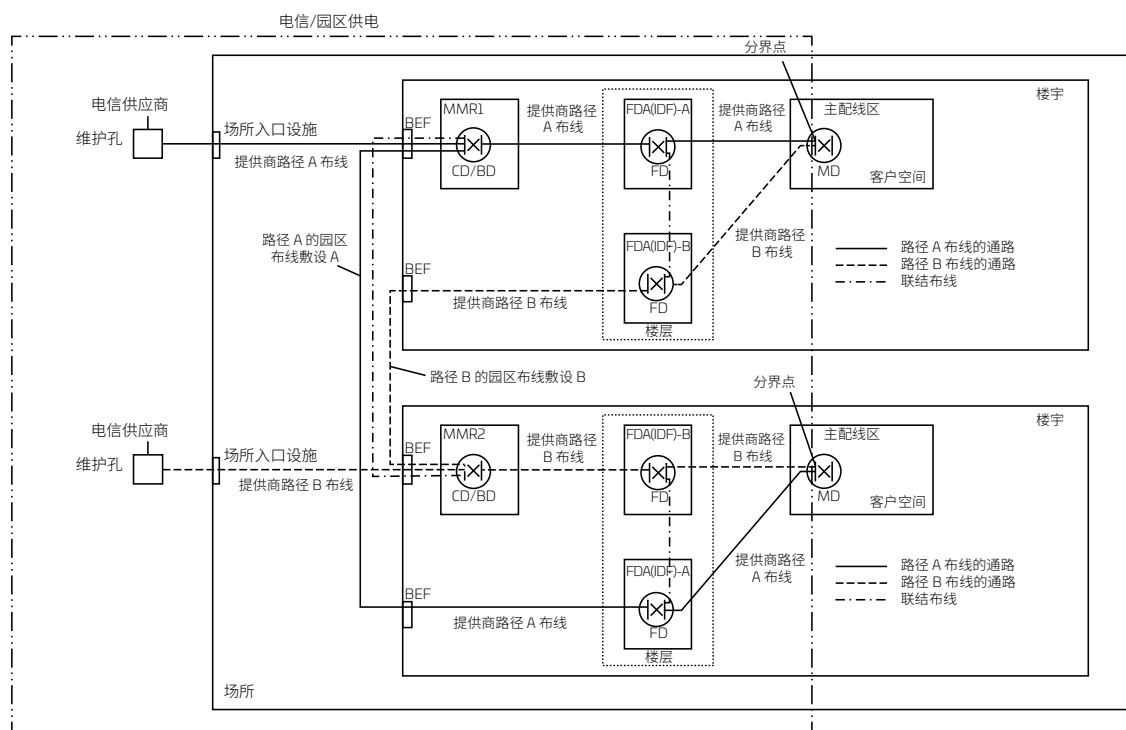


图 4: 数据中心的键功能分区



图 5 显示了一些核心基础设施部件，并说明了这些部件在数据中心的各个功能区中的位置。

光纤入口机架 (FEC)



可卷曲带状光纤光缆



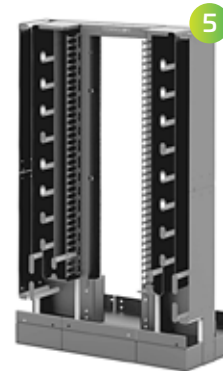
高密度光纤跳接配线架



MPO 线缆组件



光纤配线架



光纤连接器盒

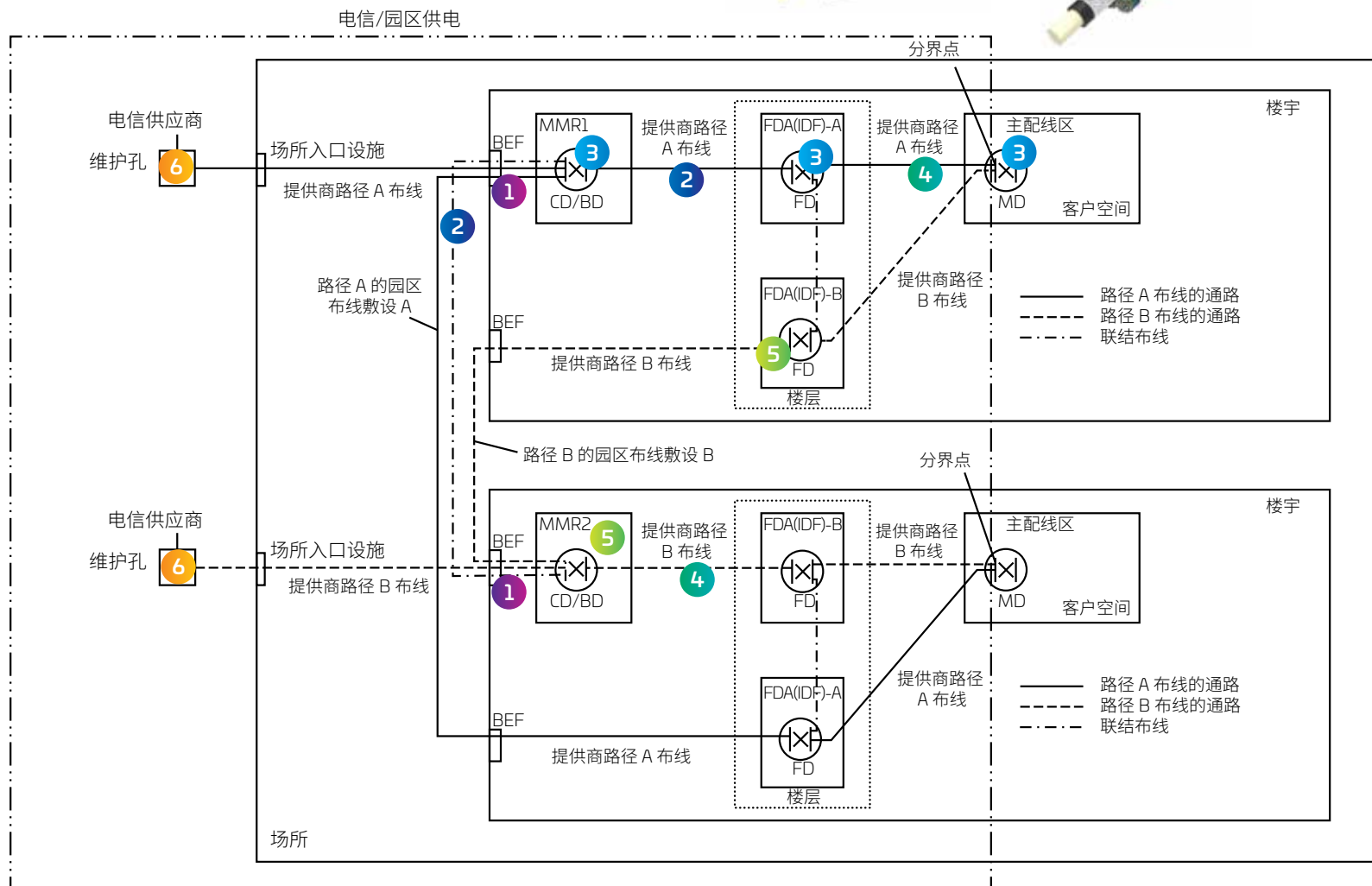


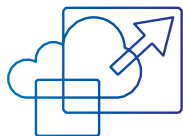
图 5

## 结论

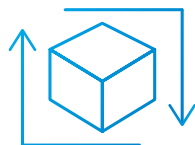
在构建 MTDC 时，需综合考虑电力、政府和人口增长这三个主要因素，以及由此产生的影响。数据中心运营商必须针对扩展进行设计。高能效是关键。



**高效电力使用：**应该尽可能多地使用电网能源为 IT 设备供电，而不是被低效的硬件浪费掉。



**高效设计：**基础构建应当足够灵活，以便随时随地在支持新客户和主机房进行升级。查看 TIA942 和 EN50600-2-4 标准获取指导。



**高效供应链：**探索合作伙伴和供应链如何帮助在新地点构建数据中心。产品选型的整体全球方法可帮助合作伙伴对产品集进行分级，以便及时交付，而且还可以简化和加速现场安装。

<sup>1</sup> Digital Realty Trust, Inc.; 2022 年第 2 季度电话财报会议，文稿；2022 年 7 月 28 日

<sup>2</sup> 英国伦敦西部电力容量限制；英国伦敦市长，伦敦议会，简报；2022 年 7 月

<sup>3</sup> 尽管能量使用猛增，但仍未对数据中心实施上限；Irish Times，文章；2023 年 6 月 13 日

4

数据主权



## 龟兔赛跑

在“龟兔赛跑”寓言中，步伐缓慢但锲而不舍的乌龟与兔子赛跑。兔子的速度快很多，但太过自负。我们都知道，行动迟钝但持之以恒的乌龟沿着道路不断前行，最终赢得比赛。

目前，相同的场景正在世界各地重演，各个国家政府正坚定不移地缓缓向前推进数据主权目标。不久前，这些行动迟缓的官僚机构在编写法规方面举步维艰，并且还得紧跟更灵活的私营实体，这些私营实体正在跨国边界快速推广其数字服务。这一状况现在正开始发生变化。

欧盟 (EU) 的 27 个成员国在 2018 年采用了《通用数据保护条例》(GDPR)，这一新法规掀起了类似的法规浪潮，使得确保数据主权的全球性工作得以快速展开。GDPR 的推出提供了一个法律框架，让联邦政府首次可以对之前在国家管辖范围外运营的企业进行金融处罚。处罚的潜在严重性会给 CEO 和 CIO 敲响警钟，警示其慎重对待数据主权问题。同时，其他国家/地区的立法者和当地政府都开始思考如何借助类似的法律框架保护其公民和行业发展。但是，像这样的国家举措通常会伴随不良后果。

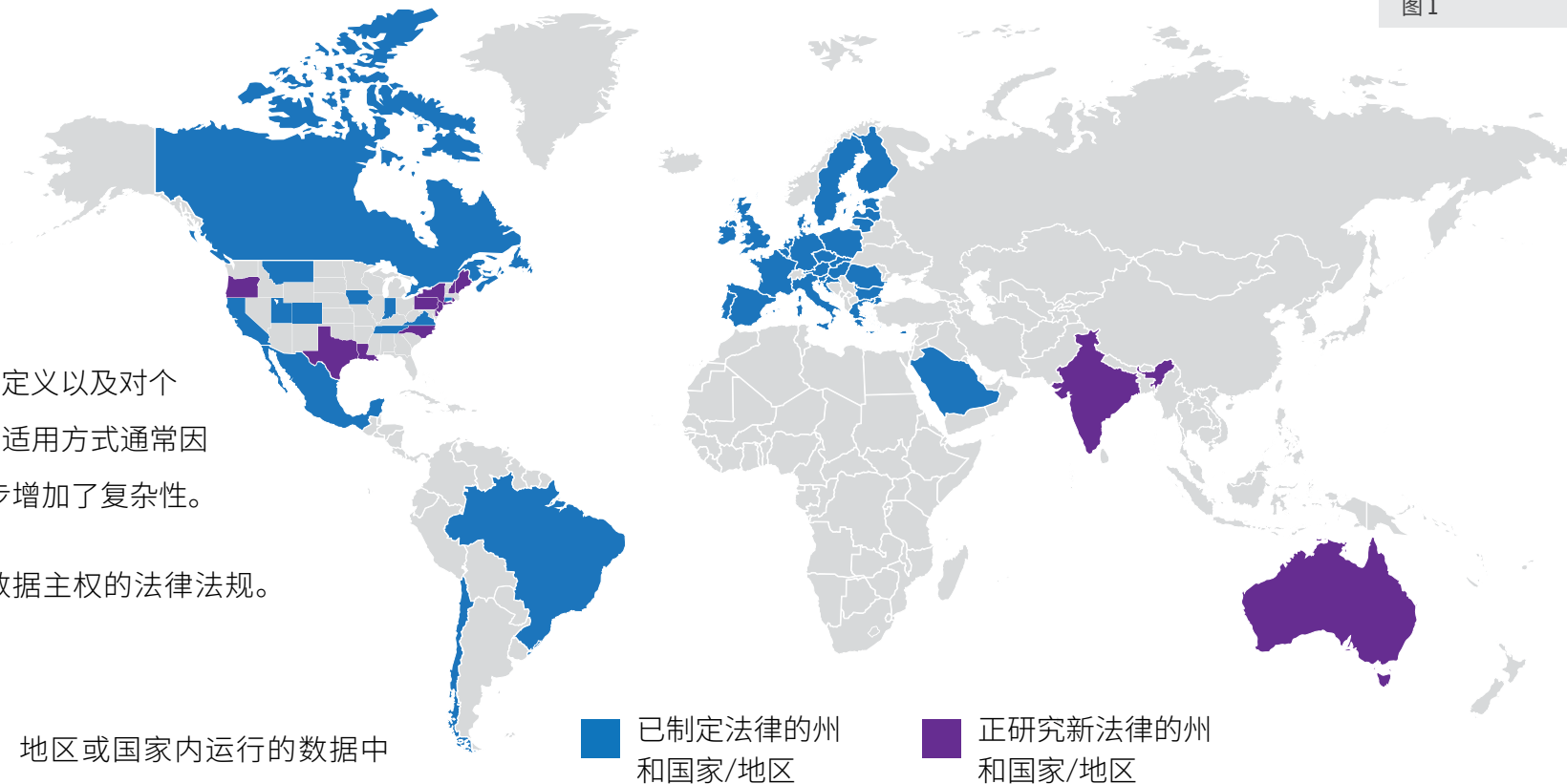
## 国家数据主权立法

图 1

除了像 GDPR 这种引起广泛报道的大型国际隐私监管条例外，还有数不尽的小型地区性法规，这些法规的关注度较低，但对寻求扩张的国际业务造成了关键阻碍。“数据主权”的定义以及对个人、商业实体和法律交易的适用方式通常因国家/地区而异，这又进一步增加了复杂性。

全球各地颁布了许多有关数据主权的法律法规。图 1 列出了其中一些例子。

每一套法规都对在相关州、地区或国家内运行的数据中心产生直接影响。例如，欧盟目前正在考虑一项计划，该计划将迫使供应商将所有数据存储于欧盟内部，并要求获得云网络安全认证。此外，欧盟网络安全监管机构 ENISA 正在起草更严格的新要求，以确保外国政府不可访问欧盟数据。因此，非欧盟组织可能必须要创建“主权云”运营。此类云运营需要完全位于欧盟内，遵循欧盟法规，并以此替代所有其他国家法规。这对美国和中国的技术公司来说可能会有问题。作为一种替代选项，公司和总部位于欧盟的云提供商正在考虑合作，这至少可临时提供解决方法。



## 数据主权与数据驻留

初看之下，“数据主权”和“数据驻留”这两个词似乎密切相关，甚至可以互换。但事实并非如此。

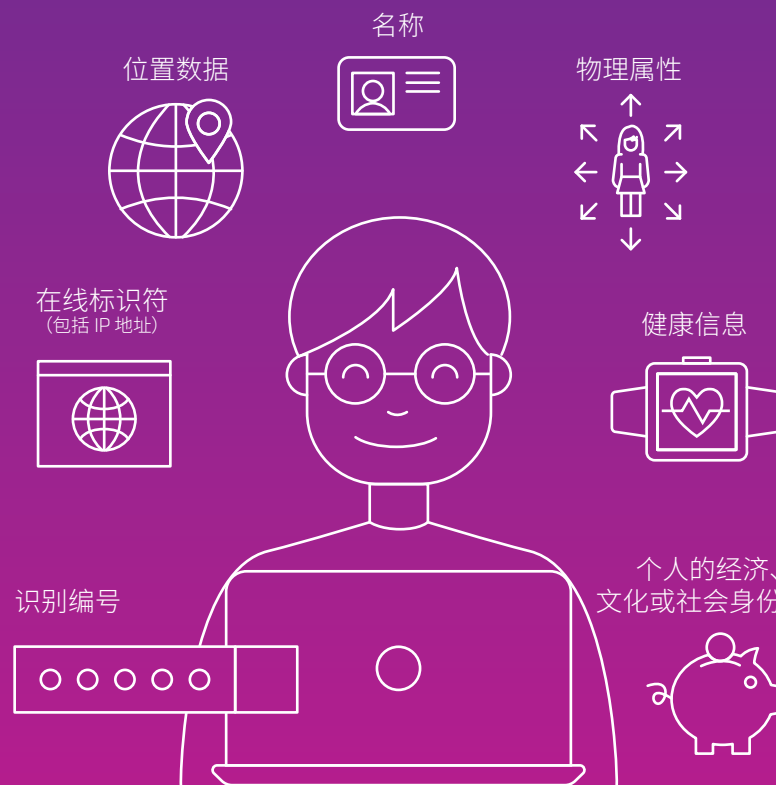
**数据主权**是指适用于存储在数据来源及当前所在的国家/地区的数据的法律和政府政策。鉴于全球数据日益全球化和云系统的快速普及，在各种数据主权指导方针的范围内执行和操作都面临着许多困难，这是显而易见的。

**数据驻留**是指将数据存储在与数据创建地管辖范围之外的业务决策。若要移动数据（以及用于存储或处理），则须遵守具体地区的法律、惯例，并按预期执行相关操作。

总之，“数据驻留”是指数据在物理上和地理上存储的地方，而“数据主权”是指适用于存储在数据来源国家/地区及地理位置所属国家/地区的数据的法律和政府政策。

## GDPR 个人数据

欧盟《通用数据保护条例》将个人数据定义为与可直接或间接用于识别个人身份的任何个人相关信息，包括：



## 支离破碎的数据主权体系带来的挑战

对于大型跨国企业来说，深刻了解每个州和国家/地区的数据主权法规并不容易，可能会严重阻碍其全球步伐。新设施的选址决策不再仅取决于商业应用的力量；公司还必须考虑当地法规以及其会对可以存储和处理数据的位置产生什么影响。以下举了几个例子。

### 数据类型和地理位置

其中一个首要考虑因素是要存储和处理的数据类型。例如，数据是否受个人隐私法规保护（即数据是否与个人资料、就业情况、财务、健康和/或支付相关）？一旦确定并理解了数据类型的特征，就必须在本地或国家数据主权法律的背景下进行评估。例如，一些法律指定了哪些类型的数据可以或不可以离开数据来源国家/地区以及跨国界。其他法律允许移动来源国家/地区以外的一些数据类型，但前提是目标国家/地区已签署同等隐私保护协议（或法律）。

## 找到适合的数据中心

根据数据类型和地理位置，托管数据存储和处理有四种选择：

- **内部部署：** 在这种情况下，组织须在其已知位置的数据中心处理和存储数据。这为遵从数据主权法规提供了理想选项。内部部署数据中心还可以设计用于匹配支持机器学习和人工智能等高级应用所需的敏捷云性能。目前，正在通过以云为先的方法构建更多内部部署数据中心。
- **混合云：** 混合云环境组合了一切皆服务 (XaaS) 提供商的高能效云基础与本地内部部署的资源。一方面，混合云可满足大型云提供商所需的灵活性、可扩展性和成本结构，非常适合处理非监管数据。另一方面，必须符合当地法规的数据可以存储在内部部署中，让企业可以更好地管理各种数据主权要求。
- **私有云：** 私有云设计使用基于云的大型基础设施，均不归最终用户所有。但是，云提供商可以将一部分底层 IT 基础设施专用于单个客户，并确保客户访问权限完全隔离。不过，与混合云一样，私有云也涉及一些权衡取舍。例如，将 IT 基础设施完全隔离可有效跟踪和审查如何存储和处理数据，但不能确保私有云中的数据符合国家或地区数据主权法律。
- **公共云：** 公共云包括大型通用 IT 基础设施，均不归最终用户所有。公共云将数据放在全球各地的外部部署数据中心，因此数据的地点和所有权不是问题。

## 电力和位置

决定了托管类型后，接下来的关键便是要了解所需电力是否可支持新安装或扩展现有安装。任何数据中心的基本单元均由服务器和放置服务器的机架构成。内部托管通常涉及 4 至 20 个已安装服务器，每个服务器耗电约为 1kW，具体取决于所需执行的处理过程。在内部数据中心安装 100 个机架，电能效率 (PUE) 为 1:2，这可能产生 1MW–5MW 功耗。

而云级部署的功耗则大很多，因为需要更大的服务器密度来支持云服务提供商提供的所有操作模型。在本实例中，每个机架 25 个服务器并不少见，每个位置有成千上万个机架，而每个机架消耗 20kW–80kW 功率。无论数据中心是云级部署还是内部部署，电力是否充足以及数据的延时性能都对计算和存储资源的位置有直接影响。

## 物理基础设施

无论数据驻留在何处，基础设施必须基于强大而敏捷的主动布线基础进行构建。物理层基础设施必须足够灵活，以支持迁移到更高数据速率，同时满足运行中的设备不断演变的要求。

幸运的是，数据中心网络拓扑已取得长足进步，可以更轻松、更高效地为更加稳定、灵活和面向未来的部署和应用提供强力支持。其中一个主要挑战涉及从三层架构（核心、接入层和汇聚层）迁移到 Clos 交换架构，通常称为“分支 (Leaf) 与骨干 (Spine)”（见图 2）。这个较新的拓扑以“任意”互连方法为基础，非常适合当前的高光纤密度设计。更加扁平，减少服务器之间的跳跃次数，让架构可以轻松扩展；水平扩展仅会因骨干交换机上的端口数而受到限制。由于网络更加扁平化和快速，布线中的物理层应可支持当前传输速度和未来数据速率。

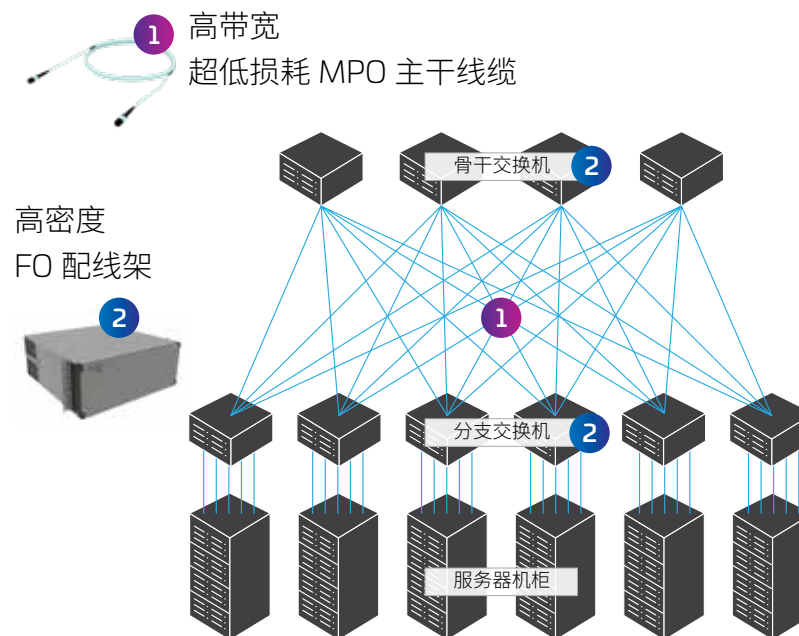


图 2：更扁平的新分支和骨干架构采用内部部署和混合数据中心的三层折叠式 Clos 设计



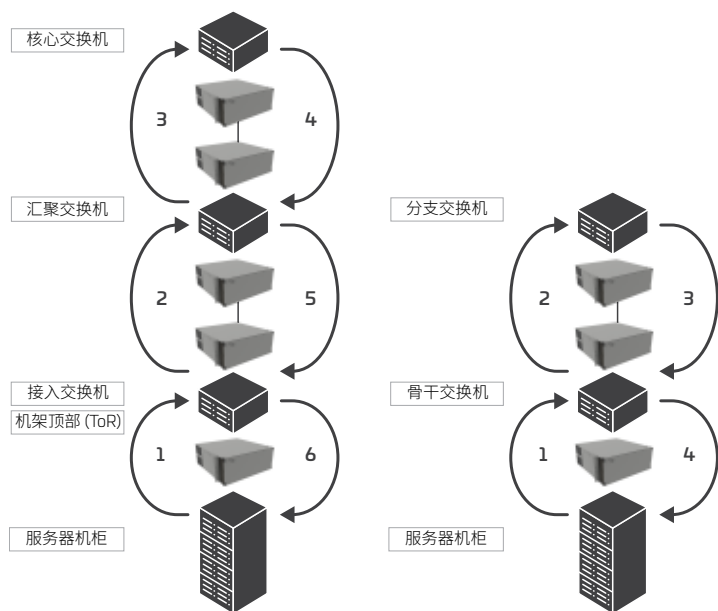


图 3: 传统三层交换架构与分支和骨干架构

在图 3 中，左侧的堆栈使用传统三层交换架构，需要数据进行六次独立的跳跃，以穿过交换层并到达目标服务器。右侧堆栈说明更扁平分支和骨干架构的固有优势。减少交换层的数量可以减少跳数和延迟，最多可减少 33%。

随着云级架构继续普及，行业正在围绕分支和骨干拓扑进行整合，但有一个小缺点：要满足更大型数据中心的海量数据处理要求，许多网络管理者正在采用三层 Leaf 和 Spine 拓扑，如图 4 所示。

另请注意，未来这些架构将越来越多受到 16 芯光纤 MPO 连接的支持。随着超大规模的云级数据中心从 100G 通道速度迁移到 400G、800G、1.6T 及以上，MPO-16 连接成为了实现更高速度的基本构建模块。图 4 显示了 16 芯光纤 MPO 连接如何支持三层 Clos 网络。

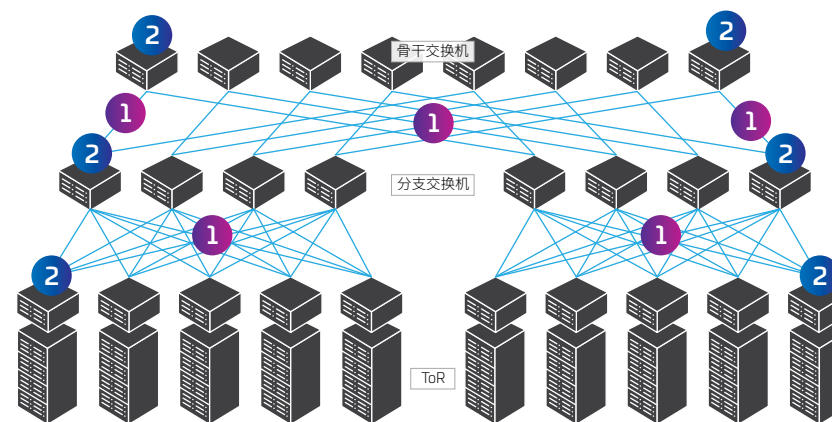
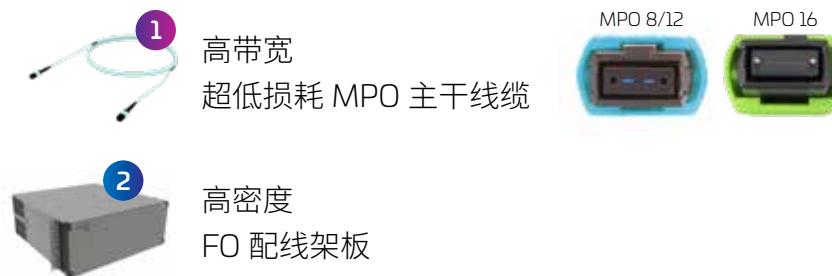


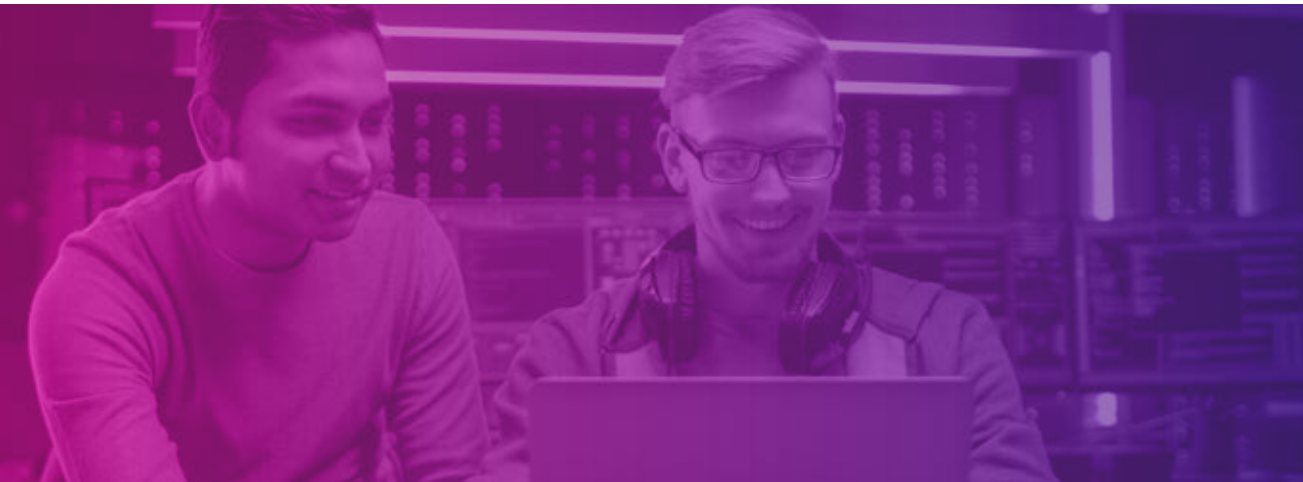
图 4: 添加了物理基础设施部件的三层 Clos 网络，包括 MPO-16 连接器

## 结论

虽然不同地区对于“数据隐私”都有不同定义，但大家都一致同意，数据隐私至关重要，在这个快速网络全球化的时代尤为如此。展望未来，始终充满挑战。如果以过去十年作为一个指示点，未来制定和应用数据主权法律的地方性差异可能会增大。

构建能够支持数据主权的数据中心基础设施至关重要，而这也并非白日做梦。成功与否取决于能不能将灵活性融入物理基础设施，以确保相关设施可以支持未来拓扑以及下一代服务器和交换机的数据速率。

考虑到这一点，数据中心管理者必须熟练掌握新的连接技术（如 MPO-16），为支持不断增长的带宽需求设计出色的结构布线。



5

数据中心可持续发展

谈论可持续性发展时，我们总会关注碳足迹以及当前决策对未来的影响。作为行业领军者，康普始终挑战自我，不断追问：

*我们是否已全力塑造更可持续的行业典范，成为企业公民的榜样？*

*我们如何进一步减少或弥补我们的环境影响，并加强全球的沟通与协作？*

*哪些新技术和策略能够满足我们与供应商、合作伙伴和客户的共同环境需求？*

同时，世界正在建造更多数据中心。2010年至2020年间，全球生成、采集、复制和使用的数据量增长了接近5000%，并且数据使用量从1.2TB增长到59TB。数据用量呈指数级增长，且尚未出现放缓迹象；相关的支持性新技术和网络基础设施亦是如此。

要使应用程序连接类型、带宽和延迟性能跟上社会需求的步伐，就需要实现大规模的地域多样化、容量和可访问性。服务提供商的应对方式是继续建设各种类型和规模的数据中心，并投资于更多的互连网络，以创造更大的容量和更低的延迟。

乍一看，继续建设新的信息通信技术网络基础设施似乎与我们的环境可持续性目标背道而驰。但事实却不是这样。在本章中，我们将介绍康普如何成功地平衡数据中心容量的增长和地球的环境保护。

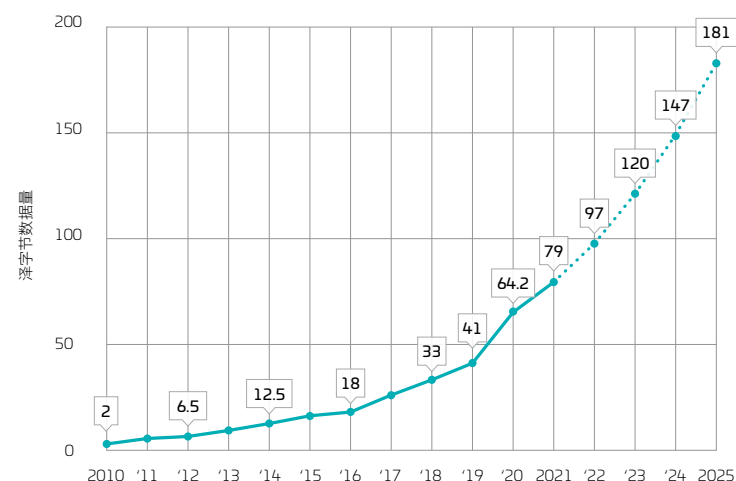


图1：生成、使用、复制和存储的全局数据  
资料来源：Statista.com

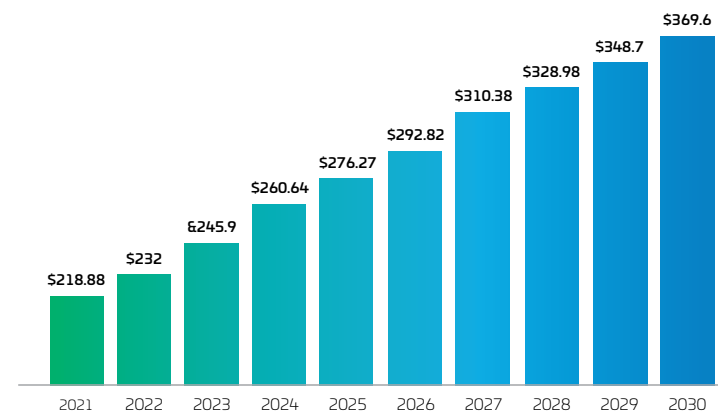


图1：生成、使用、复制和存储的全局数据  
资料来源：Statista.com

## 数据中心应对环境挑战

尽管数据中心行业历来谨慎，但已采取了果断的措施解决其环境影响。451 Research 报告《企业之声：2023 年数据中心可持续发展报告》显示，在 76% 的企业技术决策中，环境因素非常重要或有一定重要性，其中包括数据中心<sup>11</sup>。更具体地说，数据中心提供商如何专注于降低所消耗能源的碳强度、减少用水和逐步淘汰柴油发电机等举措是吸引众多关注的热点。报告的其他发现显示：



89%

的受访者认为数据中心高能效和可持续发展非常重要或有一定重要性。



80%

的受访者认为数据中心的水消耗是主要问题或中等重要的问题。



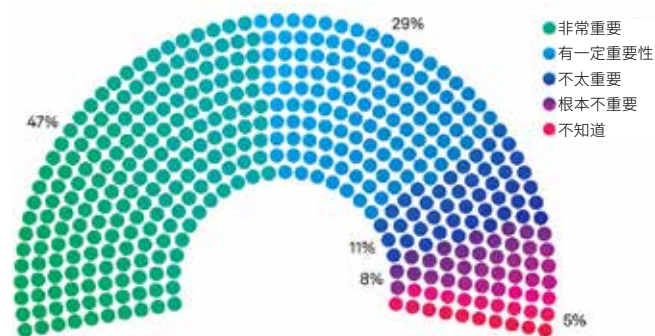
36%

的公司关闭数据中心是为了改善碳足迹。

在这份报告的执行摘要中，451 Research 所属的标普全球市场情报部总结道：

“可持续发展的要求以及计算基础设施（如更高密度的芯片）中的变化将推动数据中心行业测试和采用创新技术。其中包括液体冷却、微型模块化数据中心、柴油发电机的替代方法以及数据中心建设和运营方面的其他技术变革。客户将继续激发创新活力，促使行业成为可持续发展的先行者，为更广泛的企业树立榜样。”

图 3：企业技术决策中环境的作用  
资料来源：451 Research



如果数据中心运营商想要在提高可持续性和增加容量和性能等方面取得成功，则必须借助基础设施技术合作伙伴的力量，并且他们正在以各种形式获得帮助。

基于光纤的新产品和产品组合现在可以支持多代应用和设备升级，同时减少不可回收的包装材料和安装作业。先进的布线配置也有助于简化网络基础设施，可对空间占用和能量消耗产生积极影响。无源和有源组件的新组合展示了应用程序性能和访问的巨大潜力，可使客户和环境大受裨益。

## 在降低资源消耗的同时提高速度

在过去几年中，数据速率实现了飞速提升，超越了传统的 10G。收发器速度快速从 100G/200G 转移到 400G、800G、1.6T 及以上<sup>iii</sup>。

到 2027 年，100G 服务器的发货量有望占领市场主导地位。为了支持典型的 1:1 收敛比，分支和骨干结构需要在 400G 上运行。

过去，更快速的芯片组意味着功耗和成本更高。但是，得益于并行光学元件和扇出选项的优异成果，单个高速交换机端口现在可以支持一个、四个或八个不同的设备。也就是说提供相同或更高的容量所需的交换机更少了——现在一个交换机可以完成六个交换机的工作。此外，这些新功能减少了交换层数，减小了每千兆比特的成本和功耗，并降低了网络复杂性，减缓了开采和加工矿物和制造的需求。这些高能效技术正在推动数据中心运营商在三年更新周期之前完成升级和迁移。

Propel™ 是康普的端到端、超低损耗、模块化综合布线光纤平台，可实现基于应用扩展的模块和适配器选项的 1:1 匹配，使其成为非常高效的光纤解决方案。

该产品组合还兼备出色的可持续性，旨在减少浪费、节省空间、减少燃料使用并延长产品生命周期。

- 4U 配线架包装比典型配线架小 20%，轻 16%。
- 一位技术人员即可完成安装，减少了二氧化碳排放。
- 支持多次升级，有助于减少开采材料和制造影响
- 组件采用环保物料

MPO16 连接进一步增强了可持续性：

- 塑料减少 62%（主干更少，链路更多）
- 钢材减少 61%（超高密度配线架）
- 纸板减少 57%，包装耗材减少 33%

## 转向 8 芯和 16 芯光纤连接的趋势

从历史上看，基于 12 芯和 24 芯光纤的单元是光缆结构的常态。然而，向更迅速通道速度的转移推动了向 16 芯光纤 MPO 连接的迁移，这是 400G 及更高速度的基本组成部分。16 芯光纤以及 8 芯光纤连接带来了更多特定应用的光纤配置和模块化连接，从而简化了从设计、安装到后期操作的一切。

展望未来，预计将通过 2 芯、8 芯或 16 芯光纤交付数据中心应用。这意味着，要更大程度提高交换机端口利用率，并更大程度减小功耗，主干布线必须与所支持的应用一致。双工应用可受所有主干选项的支持，而 8 芯或 16 芯光纤应用受 8 芯或 16 芯光纤主干的良好支持，16 芯光纤选项可提供更高的灵活性。为了代替 16 芯光纤主干线缆，也可按照需要组合同等长度的 8 芯光纤主干，以支持 16 芯光纤应用。

为数据中心连接选择正确的构建模块可很好地帮助数据中心实现其可持续发展目标。如上所述，16 芯光纤主干是支持 400G 及以上速度的较为灵活和高效的方法。因此，网络管理者可以减少其功耗，并从布线成本中获得更丰厚的回报。从现场人工和空间要求上考虑，16 芯光纤选项也可实现更高能效因此，16 芯光纤可提升后期操作效率、减少上门服务次数以及相关的二氧化碳排放量。

## 重新思考光纤布线结构

数据中心运营商还可以通过另一种方式来改善其环境效益，就是采用新型创新式光纤布线设计。可卷曲带状光纤光缆便是一个很好的例子。较小直径的光缆通常重量较轻，槽道承重和空间占用方面占有优势，而可卷曲带状光纤光缆发展迅速，现已能够在较小直径的护套中置入更多光纤。

中心束管矩阵带状光缆可在一个中心缓冲管中堆叠多达 864 根带状光纤，在一定程度上，其早期发展为可卷曲带状光纤光缆打下了基础。这些光纤被分组，并沿着光缆的延伸方向完全粘合在一起，这种方式增加了光缆的刚性。虽然这对于在数据中心 OSP 应用中部署光缆影响不大，但是这些光缆要满足有限的敷设空间限制，所以最好不要使用又粗又硬的光缆。

在可卷曲带状光缆中，光纤以不连续的方式粘结在一起，形成了一个松散的网状结构。这种布局使带状光纤更加灵活，使其能够弯曲，并在一定程度上避免干扰其他光纤。光纤现在可以“卷曲”到筒状空间中，与扁平带状相比可以更有效地利用空间。

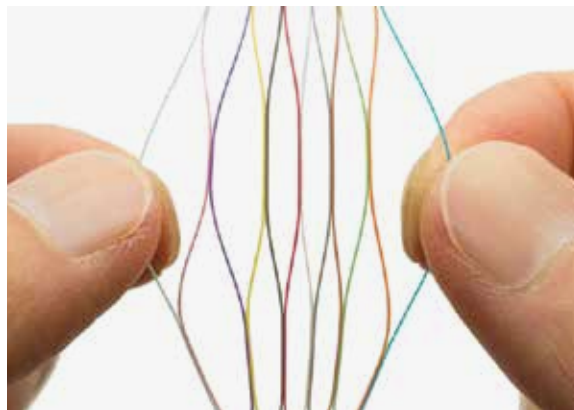


图 4：可卷曲带状光纤的不连续粘结

6 根包含 3,456 根可卷曲带状光纤的光缆装入一根 4 英寸的管道中，密度是传统封装光纤的两倍多。与传统矩阵带状光缆相比，可卷曲带状光缆消耗的塑料和相关材料要少得多，同时可以更好地保护光纤，提高敷设灵活性。此设计还有助于提高现场安装效率。



## 低碳包装

显然，无论光纤布线或任何基础设施组件采用何种包装类型或设计样式，都会让数据中心产生碳足迹。其中挑战在于如何确保出色保护产品的同时，尽可能地减少安装后包装对环境的影响。一种方法是尽量使用再生包装材料和/或可回收包装材料，而不是一次性塑料。开发以绿色环保为重点的材料以及回收利用的进步，带来了更多更高效、更环保的选择。

产品包装的另一个考量因素是其总体重量和尺寸，这对交通运输过程中燃油消耗量和二氧化碳排放量非常关键。相关企业需谨慎考虑这些材料将如何影响安装人员和数据中心运营商在现场的易用性和效率。

生产位置和供应商多样化也起着一定作用。最近的供应链限制也凸显了这一点。可持续发展计划需考虑当下和未来资源的可用性。毕竟世界很小。预合格组件供应选项的多样性有助于避免耗尽环境资源。我们已经看到了建设产能的趋势，这可以确保部件随时随地可用。

<sup>1</sup> 关于 2021 年数据状况的 54 个预测；《福布斯》，文章；2020 年 12 月 30 日

<sup>2</sup> 2023 年数据中心服务和基础设施趋势；451 Research，报告；2022 年 12 月

<sup>3</sup> 将使用 MP016 的新收发器 800G-DR8、800G-DR8-2、800G-SR8、800G-VR8、1.6T-SR8.2、1.6T-VR8.2、1.6T-DR8、1.6T-DR8-2

## 例证

最近，一家大型社交媒体提供商通过升级到新一代基础设施架构，显著改善了碳足迹表现。该企业成功减少塑料、钢材、纸板和包装材料的消耗，同时简化了原有架构并实现至少三代连接。



6

数据中心在 5G 世界中的角色演变

几十年来，数据中心一直位于或靠近网络中心。对于企业、电信运营商、有线电视运营商以及近来的 Google 和 Facebook 等服务提供商而言，数据中心是 IT 的心脏和肌肉。

云技术的出现更是彰显了现代数据中心的重要性。但仔细聆听，您会听到变革来临时的隆隆声。

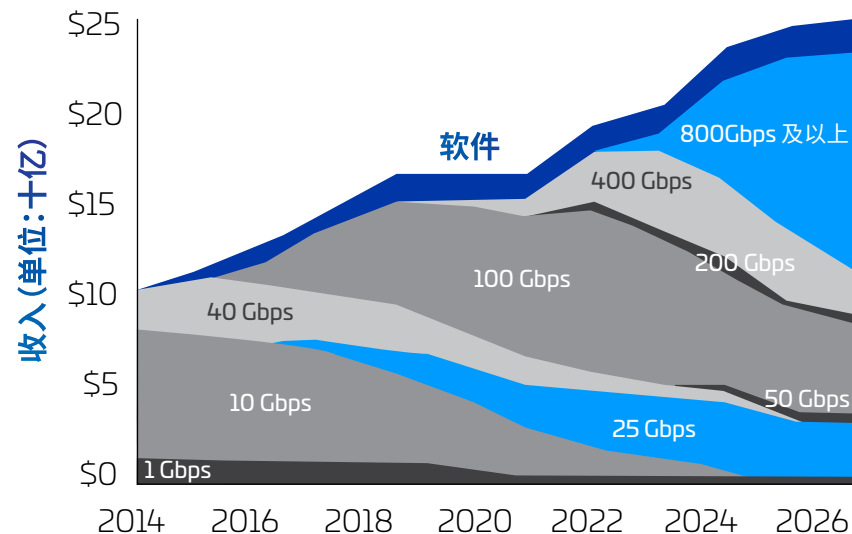
随着网络计划迁移至 5G 和物联网，IT 管理者开始关注边缘，并且需要将更多容量和处理能力部署在更靠近最终用户的位置。在此过程中，他们将会重新评估数据中心的作用。

Gartner<sup>1</sup> 认为，到 2025 年，将有 75% 的企业生成数据在边缘创建和处理——而 2018 年这一数据仅为 10%。

与此同时，数据量方面也要准备迎接新的挑战。一辆自动驾驶汽车预计平均每小时可产生 4T 数据。

现在网络都在争相确定如何才能更好地应对边缘流量的激增以及对低延迟性能的需求——而且不会破坏其现有数据中心的设施投资。

答案之一是大量投资于东西向网络链路和对等冗余节点，在生产数据的地方建设更多的处理能力。但数据中心呢？它们将会发挥什么样的作用？



资料来源：650 Group，2020 年 12 月市场情报报告

<sup>1</sup> 边缘计算对于基础设施和运营领导者意味着什么；Smarter with Gartner；2018 年 10 月 3 日

## AI/ML 反馈循环

未来超大规模和云计算数据中心的商业应用主要在于其庞大的处理能力和存储容量。随着边缘活动日益活跃，需要借助数据中心的巨大力量创建数据处理算法。在由物联网赋能的世界，人工智能 (AI) 和机器学习 (ML) 的重要性不容小觑。将其付诸实施的数据中心的角色也同样不容忽视。

为了生成驱动 AI 和 ML 所需的算法，需要处理大量数据。核心数据中心已经开始部署更强大的 CPU，以配合 TPU 或其他专用硬件。此外，这通常需要超高速、大容量网络，以及先进的交换层，为处理同一问题的服务器库提供支持。AI 和 ML 模型正是这些艰辛努力的成果。

另一方面，需要将 AI 和 ML 模型放在更能提升业务影响力的位置。例如，对于面部识别等企业 AI 应用，超低延迟要求需要它们在本地部署，而不是在核心部署。但是，还必须定期调整模型，以便将边缘收集的数据反馈到数据中心，从而更新和优化算法。

## 利用沙盒还是拥有沙盒？

AI/ML 的反馈循环是一个例子，说明数据中心需要能够支持更广泛和多样化的网络生态系统，而不是控制它。对于超大规模数据中心领域的重要参与者来说，适应分布更广、协作性更强的环境并不是件易事。他们希望确保，如果您在部署人工智能或机器学习或访问边缘时，您会使用他们的平台，但不一定要使用他们的设施。

像 AWS、Microsoft 和 Google 之类的提供商现在正在向客户所在的位置（包括私人数据中心、运营商中心机房和企业内部的本地存储）配置具有一定容量的机架。这使客户能够使用提供商的平台，在其设施中构建和运行基于云的应用。由于这些平台也嵌入在许多运营商的系统中，因此客户也可以在运营商存在任何位置运行其应用。该模式仍处于起步阶段，为客户提供了更大的灵活性，同时使提供商能够在边缘进行控制并声明所有权。

与此同时，其他模型展现出了一种更开放、更具包容性的方法。边缘数据中心制造商开始设计可以提供标准化计算、存储和网络资源的托管数据中心。较小的客户（如游戏公司）可租一台虚拟机来服务其客户，而数据中心运营商则会以收益分享模式向您收费。对于一家正在努力打入边缘市场的小企业来说，这种模式具有超强吸引力（或许是其赢得竞争的关键途径）。

## 基本挑战

随着下一代网络前景逐渐明朗，行业必须应对实施方面的挑战。就数据中心内部而言，我们了解到：服务器连接将从每通道 50G 增加到 100G；交换机背板带宽将增加到 25.6T；而迁移到 100G 技术将让我们获得 800G 可插拔模块。



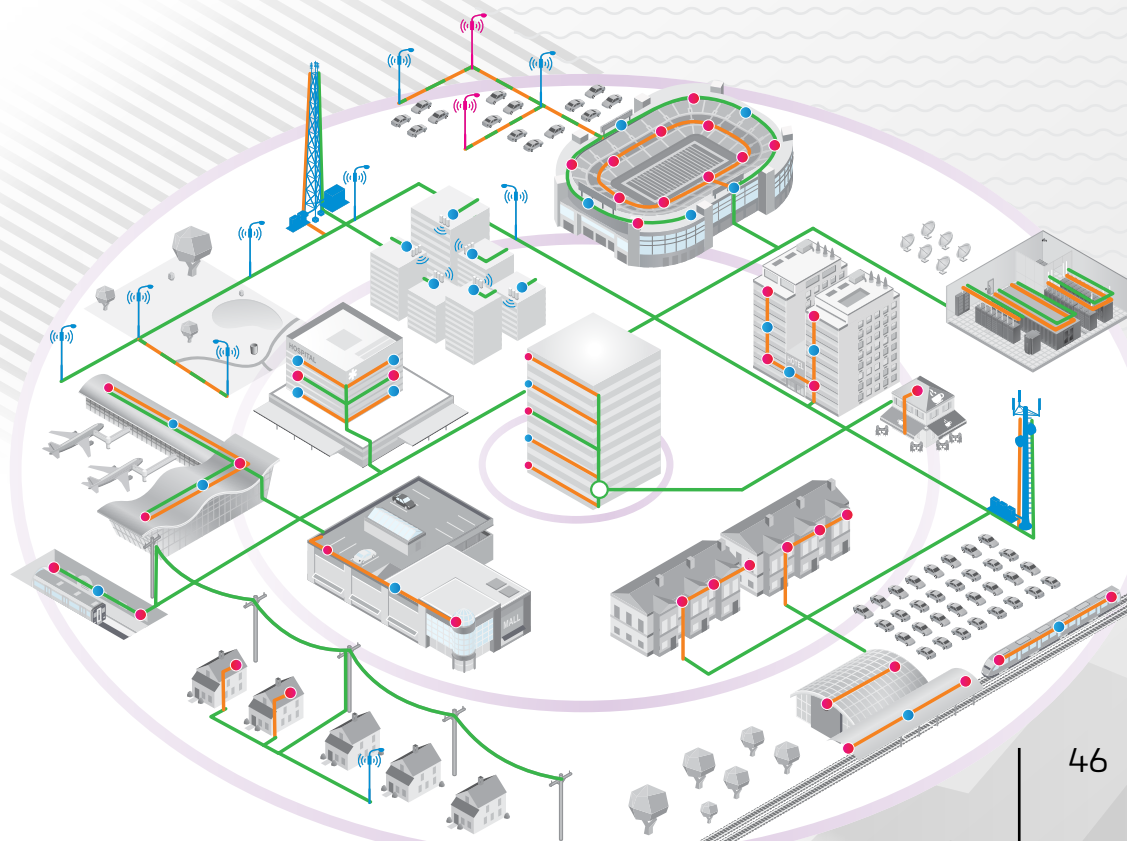
我们尚不明确如何设计从核心到边缘的基础设施——具体来讲，就是我们如何实施 DCI 架构和城域网/远距离链路并支持高冗余对等边缘节点。另一个挑战是开发实现海量流量管理和路由所需的协调和自动化功能。随着行业迈向支持 5G/物联网的网络，这些问题都亟需解决。

## 携手共进

我们深知构建和实施下一代网络需要协调一致共同努力。

云数据中心的低成本、大容量计算和存储能力都无法在边缘数据中心复制，因此云数据中心依然会发挥一定作用。但是，随着网络内部的责任变得越来越分散，数据中心的工作将从属于更大的生态系统。

将所有这些组合在一起，将得到一个更快、更可靠的物理层，从核心开始一直延伸到网络的边缘。这个布线设计和连接平台由传统的以太网光学和相干处理技术提供支持，并将扩大容量。使用共封装光模块和硅光子技术的新型交换机将进一步提高网络效率。当然，到处都需要更多的光纤——采用超高密度、紧凑的光纤布线，这将支撑网络性能的发展。



7

数据中心互联 (DCI)

## 遍布园区，进入云端

数字化发展趋势正在推动更多流量通过网络流向更多数据中心，以及在企业数据中心和灾难恢复位置之间流动，最终流向多个云对等点。为了保持良好的服务质量，我们需要快速安全地将流量发送到整个园区并发送到云中。因此，数据中心互联 (DCI) 已经成为基本要素，这让数据中心不再是单独的孤岛，而是高度互联生态系统的一部分。

在这些和其他应用的推动下，2023 年和 2028 年之间 DCI 市场的复合年增长率预计将增长 16% 以上。

## 数据中心互联是什么？

数据中心互联是指连接参与共同任务的两个或多个独立数据中心的基础设施。DCI 的地理范围差异很大。一个园区中的多个数据中心可以定义为园区级 DCI，同时多个城市的数据中心集群可以构成区域性 DCI（也称为“可用区域”）。在大的层面，遍布世界各地的数据中心网络相互连接，创建全球 DCI。

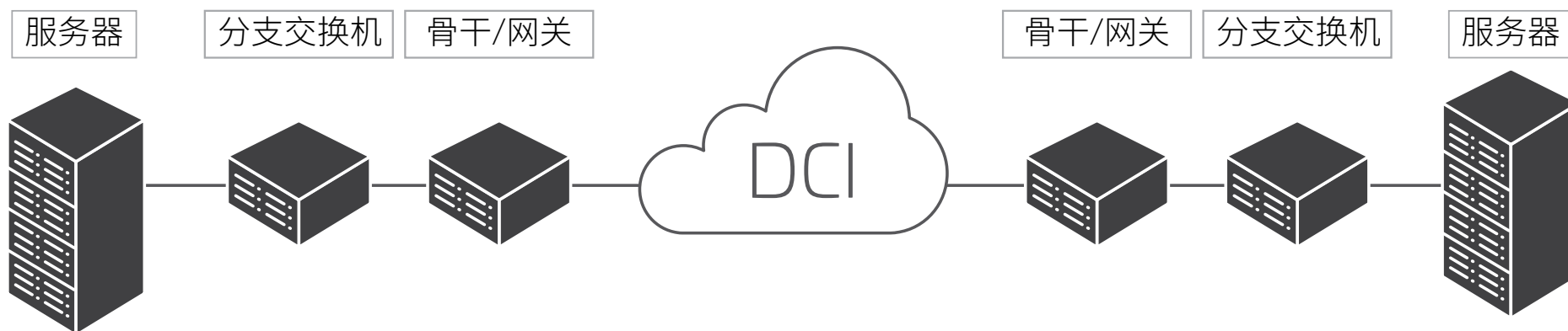


图 1: DCI 基本架构



## DCI 传输

在 DCI 中的数据中心之间传输数据的方法有很多。其中可能涉及通过专用光纤或波长服务发送高速以太网或光信号的技术。在大多数情况下，DCI 需要高速广域网链路，这种链路可能要使用 MPLS、以太网、VPLS、城域以太网等。

选择合适的 DCI 基础设施、架构和拓扑需考虑多种变量，包括数据中心的位置、数据中心之间的距离、波长和可用性要求、当地服务提供商的实力以及安全问题。

深入到组件级别时，也面临着许多选项和变量。以下是可能影响您决策的几个发展情况。

## 边界边缘（网关）设备

在创建数据中心结构时，分支和骨干交换机是不可或缺的一部分，可确保高效传输东西向数据。随着数据中心接近云级，骨干层交换机通常专用于促进东西向数据流动。架构中添加了一组新的交换机，称为“边界边缘交换机”，用于处理数据中心结构边缘的传入和传出流量。在某些情况下，可以使用边界分支交换机在分支层执行将数据移交交给 DCI 网络的工作。

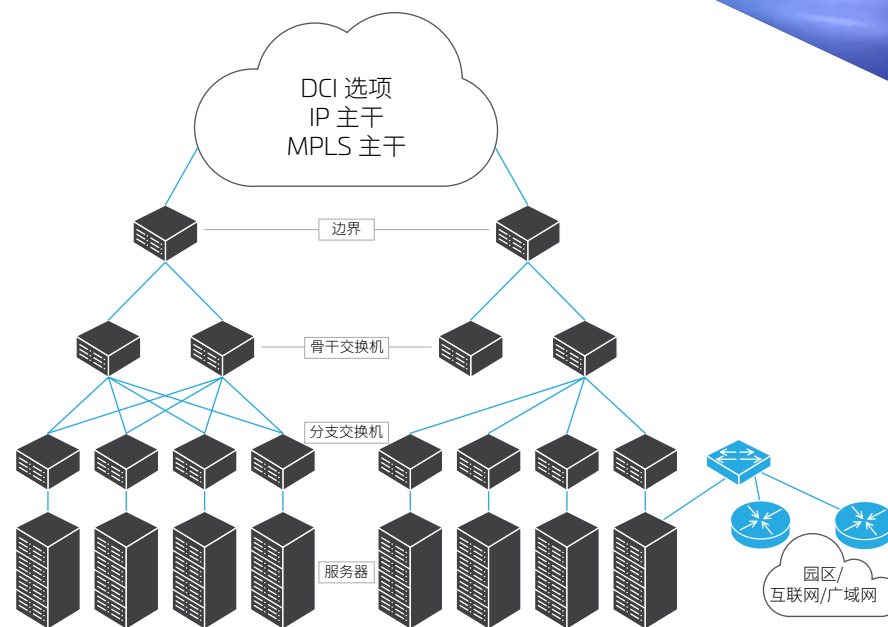


图 2：边界边缘交换机的放置

## 相干光学元件

相干传输在长距离和海底链路中已有大约十年的使用历史，而这项技术现正迁移到数据中心。随着时间推移，相干收发器的制造商已减少了其光学元件的尺寸、功率和成本，以便更易于用到越来越短的链路中。IEEE 以太网对在高达 80 千米的光纤链路上采用 100G 和 400G 相干信号进行了标准化。新项目 (802.3dj) 将为仅 10 千米上采用 800G 相干技术的编写标准。



图 3: QSFP-DD 相干光学元件模型



图 4: CFP2 相干光学元件模型

随着数据中心不断增长并变得更加互联，DCI 网络的带宽需求也日益高涨，在多个波长上达到了 100Tbps。得益于更快数据速率（每个波长 400Gbps 和 800Gbps）的大力支持，此类带宽需求将持续攀升。

由 IEEE802.3ct 标准提供支持，相干光学元件通常用于超高带宽应用，超长距离从 100G 到 1T。这些系统中内嵌了强大的数字信号处理芯片 (DSP)，可缓解光纤损伤造成的线性效应，包括多色色散和极化模式色散。

相干光纤元件利用光的自然属性，优化数字调制方式及其在远距离应用中的承载性能。但是，相干传输将发生变化以适应 DCI 应用。在拟议的新标准 (IEEE802.3dj) 的支持下，有望在仅 10 千米的距离内实现 800G 链路。

## 密集波分复用 (DWDM)

DWDM 使多个波长的光可以同时穿过同一光纤，每个波长承载一个离散信号。紧凑的波长间距可在单根光纤上实现 96 个信道。DWDM 是一项多功能传输技术，能够为相干光学元件以及开关调变 (ook) 放大信号提供支持。与相干调制结合时，单个信道带宽可以扩展到 400GB 或 800GB。

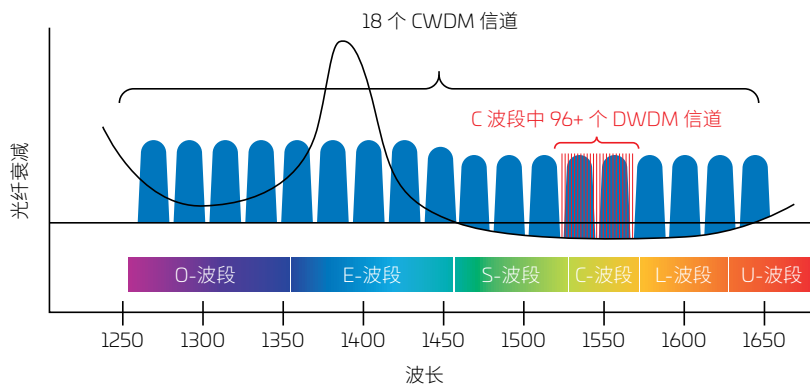


图 5: CWDM/DWDM 波段和信道配置

## QPSK 相干编码与四电平脉幅 (PAM4)

相干系统以相移键控 (PSK) 技术为基础，这是一种相位调制技术，支持根据四个相移方向（例如 0°、90°、180° 和 270°）对每个比特的多个符号进行编码。许多系统使用正交相移键控 (QPSK) 来编码每个符号的 2 个比特。双极化 QPSK (DP QPSK) 使用水平和垂直极化以及 QPSK 代表两倍的比特。

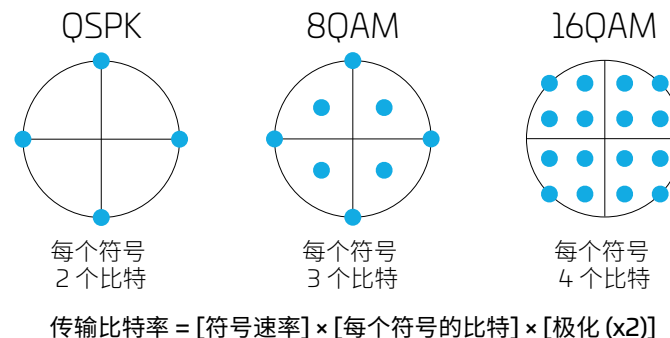


图 6: 高阶调制—Constellation™ 图

脉幅调制 (PAM) 是一种调制方案，而四电平脉幅 (PAM4) 是其中的四电平调幅方法，专为短程光纤链路设计。PAM4（见图 7）使用四个振幅脉冲，每个脉冲包含两个比特的数据，可使传统二进制信号的带宽翻倍。四电平脉幅 (PAM4) 兼备简单和低功率的优点，也因此成为了 100G 和 400G 以太网应用的热门选择。

与相干光学元件不同，PAM4 对光纤受损非常敏感。因此其传输范围受到限制，通常不超过 30 千米，而相干光纤通信系统在经过放大的链路上横跨数千千米的距离。

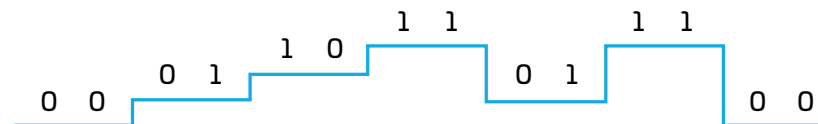


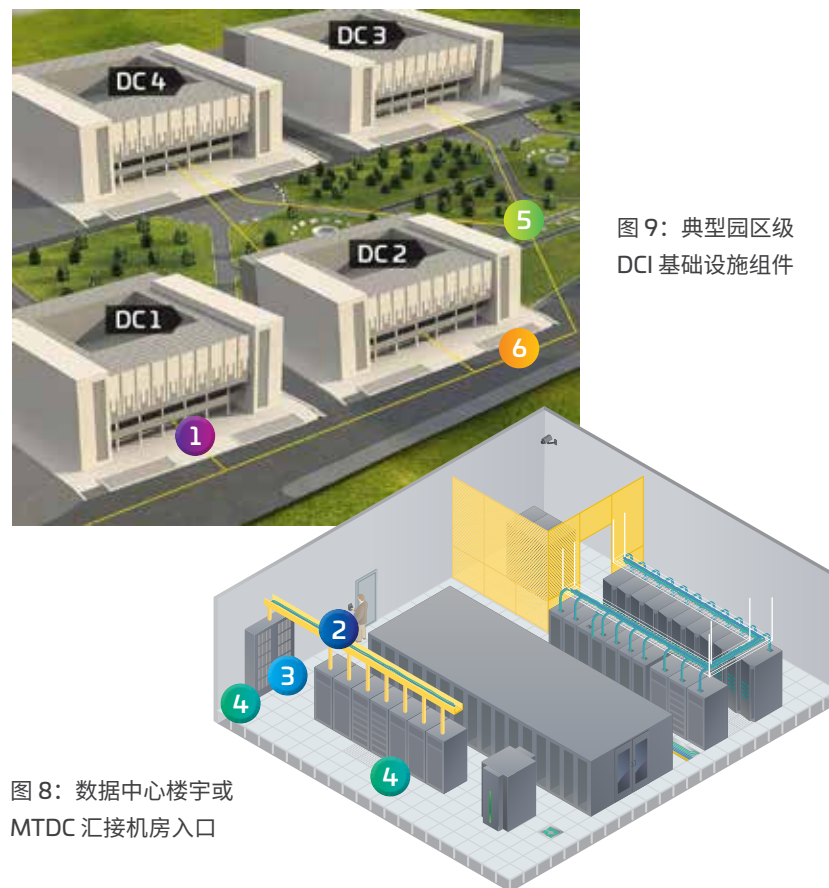
图 7: 四电平脉幅 (PAM4) 信号传输技术

## 新设计推动包含更多光纤的 DCI 网络

东西向数据流持续扩展，低延迟 LEAF 和 SPINE 交换架构的迁移正迅速推进，导致数据中心内部及之间的数据量激增，形成了如海啸般汹涌的数据洪流。同时使得具有多座楼宇的数据中心园区飞速发展。此趋势并不局限于美国的少数超大规模企业，对全球云和 MTDC 提供商也有影响。

光缆在数据中心内完成端接后，就需要将其熔接到后续目的地或连接到跳接和交叉连接设备。此过程使用位于汇接机房 (MMR) 或主配线区 (MDA) 的光纤配线架 (ODF) 来完成，其中所有网络布线汇聚一处，为配线做好准备。

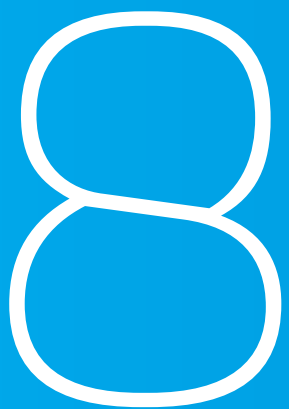
为了确保此区域可以满足未来增长需求并易于管理，跳线必须保持良好的卫生状况。如前所述，DCI 网络正在整个园区中发挥越来越重要的作用，并将在不久的将来为 100T 或以上的吞吐量提供支持。这将需要数千根光纤，这些光纤将全部汇集在 MMR 或 MDA 中，因此良好的跳线管理至关重要。所以必须要确保同时对 ODF 进行光纤跳线布线管理和光纤松弛管理，这将是确保 MDA 和 MMR 可满足所有未来需求的关键。



## 面向未来

未来，DCI 网络的部署和扩展将持续推进，覆盖更广泛的园区并深入云端，这一发展趋势无可阻挡。交换架构将持续扁平化以支持机器学习和人工智能，过程中所创建和分享的数据将随之增多，而其中大部分数据来自于机器，而与人类不同的是，这些机器从不休息，也不会感到疲倦。如此一来，数据负载和 DCI 网络需求也将与日俱增。这为园区网络设计人员带来了实际挑战，在网络必须跨城域或他人拥有的土地上互连数据中心时尤为如此。

如果数据要无缝且顺畅地遍历这些地理位置，光缆的数据承载能力必须有所提升。通过缩小包层尺寸为每根光缆添加更多光纤，或者引入商业可行的替代光纤技术，都可以实现这个目标。



# AI 数据中心的布线考量

## 简介

几十年来，人工智能 (AI) 的威胁一直是科幻小说不变的主题。荧幕反派角色，比如 HAL 9000、终结者、复制人和《黑客帝国》中的机器人，都站在了人类的对立面，迫使人类必须克服这些技术带来的威胁。最近，DALLE-2 和 ChatGPT 的发布引起了广大公众对 AI 可以做什么的极大兴趣，也引发了人们关于 AI 将如何改变教育和工作性质的讨论。AI 也是当前和未来数据中心增长的主要驱动力。

AI 包含以下三个方面：

- 在训练期间，大量数据被输入算法，算法使用数据并从数据中“学习”。
- 然后，算法接触新数据集，并将负责基于在训练期间学习的内容生成新知识或结论。例如，这是一张猫的照片吗？此过程称作“推理 AI”。
- 第三个方面是“生成式 AI”，这可能比较有意思。生成式 AI 是指算法根据简单的提示“创建”原始输出，包括文本、图像、视频、代码等。

AI 计算由图形处理单元 (GPU) 进行处理，GPU 是专为并行处理而设计的芯片，非常适合 AI。用于训练和运行 AI 的模型会占用大量处理能力，这通常是单台机器无法承受的。

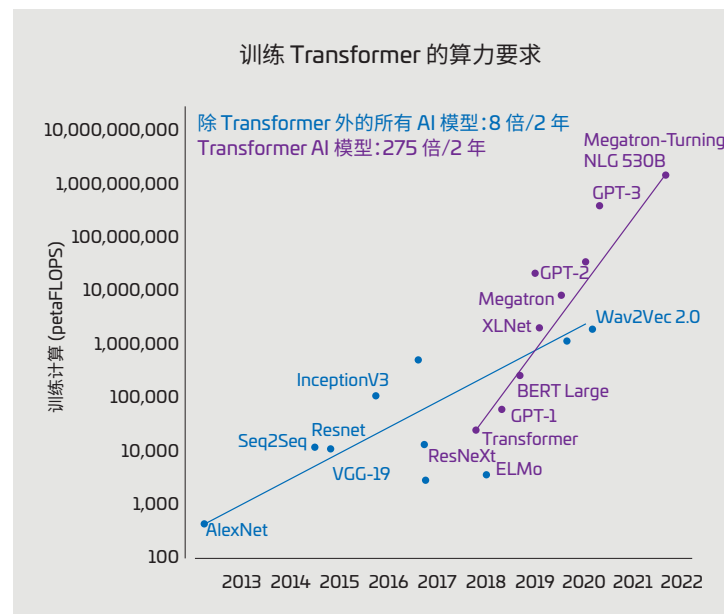


图 1: AI 模型大小 (单位: petaFLOPS)

(资料来源: <https://blogs.nvidia.com/blog/2022/03/25/what-is-a-transformer-model/>)

图 1 显示了 AI 模型的历史增长情况，单位为 petaFLOPS（每秒千万亿次浮点运算）。处理这些大型模型需使用多个服务器和机架上的众多互联 GPU。AI 数据中心部署了几十个这样的 AI 集群，而将所有内容连接在一起以保持数据流动的布线基础设施正面临着一系列棘手挑战。

以下内容概述了 AI 数据中心布线的一些关键挑战和机遇，以及一些最佳实践和成功技巧。

## 典型数据中心架构

几乎所有现代数据中心，尤其是超大规模数据中心，使用的都是折叠式 Clos 架构，也称为“分支和骨干”架构。数据中心的所有分支交换机都连接到所有骨干交换机。在数据中心中，服务器机架连接到机架顶部 (ToR) 交换机。然后，ToR 连接到行末端的分支交换机或通过光缆连接到另一个房间。机架中的服务器通过一至两米的短铜缆连接到 ToR，传输 25G 或 50G 信号。

这种配置可让数据中心使用很少的光缆。例如，使用 F16 架构的 Meta 数据中心（参见图 2），一行中每台服务器机架有 16 根双工光缆。这些线缆从 ToR 延伸到行的末端，在那里它们与模块连接，将双工光纤组合成 24 根光缆。接着，这 24 根光缆延伸到另一个房间，与分支交换机连接。

数据中心在实施 AI 时，会将 AI 集群部署在采用传统架构的计算集群旁。传统计算有时称为“前端网络”，AI 集群有时称为“后端网络”。

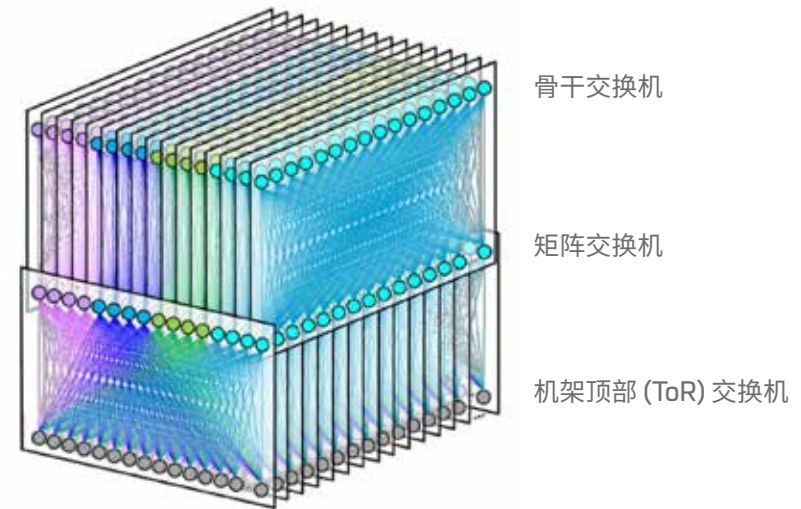


图 2: FaceBook F16 数据中心网络拓扑结构

(资料来源: <https://engineering.fb.com/2019/03/14/data-center-engineering/f16-minipack/>)



## 带有 AI 集群的数据中心

如上所述，AI 集群具有特有的数据处理要求，因此需要新的数据中心架构。GPU 服务器需要更多的服务器间连接，但是由于电力和散热的限制，每个机架不得不减少服务器的数量。因此，与传统数据中心相比，AI 数据中心中的机架间布线更多。每台 GPU 服务器都连接到行内或房间内的交换机。这些链路需要在长距离内达到 100G 到 400G 的速率，而这是铜缆所无法支持的。此外，每台服务器都需要连接到交换机网络、存储和带外管理。

### 例如：NVIDIA

举个例子，可以看看 AI 领域知名企业 NVIDIA 提出的架构。NVIDIA 发布了新款 GPU 服务器 DGX H100，该服务器具有 4 个 800G 交换机端口（作为 8 个 400GE 运行）、4 个 400GE 存储端口以及 1GE 和 10GE 管理端口。一个 DGX SuperPOD（图 3）可以包含 32 个这样的 GPU 服务器，这些 GPU 服务器可连接到单行中的 18 台交换机。然后，每行将拥有 384 个 400GE 光纤链路用于交换机网络和存储，还有 64 个铜缆链路用于管理。数据中心的数量将显著增加。前面提到的 F16 架构将在服务器机架数量保持不变的情况下拥有 128 (8x16) 根双工光缆。

## AI 集群的链路有多长？

在 NVIDIA 描绘的理想场景中，AI 集群中的所有 GPU 服务器将紧密结合在一起。与高性能计算 (HPC) 一样，AI/机器学习算法对延迟极为敏感。有人估计，运行大型训练模型有 30% 的时间花在网络延迟上，70% 的时间花在计算上。由于训练一个大模型的成本可能高达 1000 万美元，因此这种网络延迟时间代表着一笔巨大的费用。即使是节省 50 纳秒或 10 米光纤的延迟，效果也非常明显。AI 集群中几乎所有的链路都限制在 100 米范围内。

不幸的是，并非所有数据中心都能够在同一行部署 GPU 服务器机架。这些机架需要大约 40 kW 才能为 GPU 服务器供电。这一功率比典型服务器机架的更高，按较低功率要求构建的数据中心将需要腾出专门的 GPU 机架空间。



图 3：NVIDIA SuperPOD 的渲染

(资料来源：<https://www.nvidia.com/en-us/data-center/dgx-superpod/>)

## 如何选择收发器？

运营商应仔细考虑其 AI 集群使用哪些光收发器和光缆才能更大幅度地降低成本和功耗。如上所述，AI 集群中的最长链路将限制为 100 米。由于距离短，光学设备成本将主要集中在收发器上。使用并行光纤的收发器将具有一个优势：它们不需要使用光复用器和分解复用器进行波分复用 (WDM)。这降低了并行光纤收发器的成本和功耗。收发器节省下的费用远远抵消了多芯光纤取代双工光缆所略微增加的成本。例如，使用带有八芯光纤的 400G-DR4 收发器比采用双工光缆的 400G-FR4 收发器更具成本效益。

单模和多模光纤应用可以支持长达 100 米的链路。硅光子技术的发展降低了单模收发器的成本，使其更接近等效多模收发器的成本。我们的市场研究表明，对于高速收发器 (400G+)，单模收发器的成本是等效多模收发器成本的两倍。虽然多模光纤

的成本略高于单模光纤，但由于多芯光纤成本主要由 MPO 连接器决定，因此多模和单模光纤之间的成本差异较小。

此外，高速多模收发器的功耗比单模收发器少一两瓦。单个 AI 集群具有 768 个收发器 (128 个内存链路 + 256 个交换机链路 x2)，使用多模光纤将节省高达 1.5 kW 的功率。与每个 DGX H100 消耗的 10 kW 相比，这似乎微不足道，但对于 AI 集群来说，任何降低功耗的机会都非常宝贵。

在 2022 年，IEEE 短距离光纤工作小组完成了 IEEE 802.3db 的工作，该规范为新的超短距离 (VR) 多模收发器确立了标准。此新标准针对的是 AI 集群等行内布线，最大覆盖范围为 50 米。这些收发器有可能更大程度地降低 AI 连接的成本和功耗。

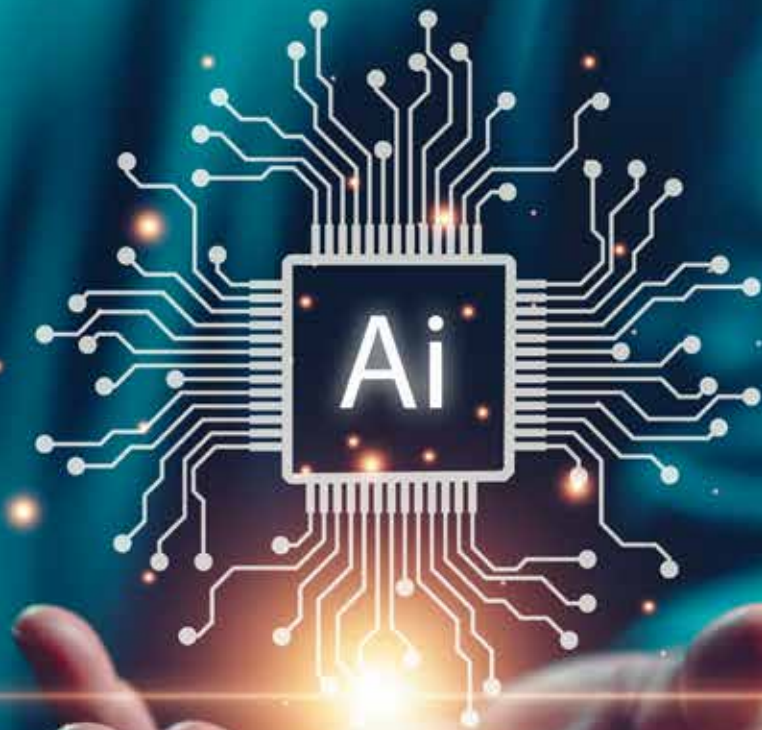
## 收发器与 AOC

许多 AI、ML 和 HPC 集群使用有源光缆 (AOC) 来互联 GPU 和交换机。AOC 是两端集成了光发射器和接收器的光缆。大多数 AOC 用于短距离，通常与多模光纤和 VCSEL 搭配使用。高速 (>40G) 有源光缆将使用与连接光收发器的光缆相同的 OM3 或 OM4 光纤。AOC 中的收发器未必和设备兼容，如果不兼容将无法工作。AOC 的收发器直接接入设备即可，但是由于安装人员测试 AOC 中的收发器，因此不需要具备清洁和检查光纤连接器所需的技能。

AOC 的缺点是它们不具备收发器所拥有的灵活性。AOC 安装非常耗时，因为布线时必须连接收发器。正确安装带有扇出功能的 AOC 尤其具有挑战性。AOC 的故障率是同等收发器的两倍。当 AOC 发生故障时，必须通过网络来安装新的 AOC。这会占用计算时间。最后，当需要升级网络链路时，必须拆除有问题的 AOC 并更换为新的 AOC。相对于 AOC 连接而言，光纤布线是基础设施的一部分，并且可以在几代数据速率迭代升级中保持生命力。

## 结论

仔细考虑 AI 集群的布线将有助于节省成本、功耗和安装时间。合理的光纤布线将使企业能够充分受益于人工智能。



康普通过创意构想和突破性发现，推动通信技术的发展。这些构想和发现均足以激发伟大的人类成就。我们与客户和合作伙伴合作设计、创造并构建世界先进网络。发现新的机遇并实现更美好的明天是我们的激情和承诺。了解更多信息，请访问 [zh.commscope.com](http://zh.commscope.com)。

### 康普公司（全球总部）

地址：1100 CommScope Place,  
SE Hickory NC 28602, 美国  
电话：+1 828 324 2200

### 业务联系方式

#### 康普电讯（上海）有限公司

**北京办公室**  
地址：北京市东城区建国门南大街7号  
璞邸酒店C座6层605室  
邮编：100005  
电话：010-8593 7300

**上海办公室**  
地址：上海市闵行区吴中路1799号  
万象城B座2楼  
邮编：201103  
电话：021-8022 3300

#### 广州办公室

地址：广州市天河区珠江新城华夏路30号  
富力盈通大厦701室  
邮编：510623  
电话：020-8715 5800

#### 武汉办公室

地址：武汉市洪山区珞狮南路（文荟街交叉口）  
星光时代大厦10楼1003号  
邮编：430079  
电话：027-8768 8258, 8768 8558

#### 深圳办公室

地址：深圳市南山区科苑路科技园  
金融基地2栋5楼F单元  
邮编：518057  
电话：0755-2639 6610

#### CommScope Solutions International Inc.

地址：香港九龙观塘观塘道388号创纪之城  
1座8楼811-18室  
电话：+852-2515 7500

#### CommScope Technologies LLC Taiwan Branch

地址：新北市板桥区新站路16号38楼  
邮编：22041  
电话：+886-02-7753-1599

### 工厂联系方式

#### 康普科技（苏州）有限公司

地址：江苏省苏州工业园区  
出口加工区B区  
启明路77号  
邮编：215121  
电话：0512-8818 1000

#### 康普通讯技术（中国）有限公司

地址：江苏省苏州工业园区  
苏虹西路68号  
邮编：215021  
电话：0512-6761 0069

### 请关注



@ 康普公司

# COMMScope®

[zh.commscope.com](http://zh.commscope.com)

如需了解更多信息，请访问我司网站或联系您的康普销售代表。

© 2024 CommScope, Inc. 保留所有权利。CommScope及CommScope标识是康普公司和/或其关联公司在美国及其他国家/地区的注册商标。更多商标信息，请见<https://zh.commscope.com/trademarks>。产品名称、商标和注册商标均为其各自所有者的财产。

EB-117988.1-ZH.CN (04/24)