

# DCDeepTech(DCDT) OCP ORv3 基础设施深度技术整合报告 : 适配 3M EBO/TwinAx 高密度互连系统的机械与电气架构重构

## 1. 执行摘要与架构愿景

### 1.1 报告背景与核心目标

当前数据中心正处于计算架构的代际更迭期。随着人工智能(AI)模型参数量的指数级增长,底层硬件的功率密度(Power Density)与互连带宽(Interconnect Bandwidth)面临着前所未有的物理挑战。传统的EIA-310 19英寸机柜标准,在应对单机柜功率超过30kW、单芯片互连速率达到112Gbps/224Gbps PAM4的场景时,已逐渐显露出散热瓶颈、布线空间不足以及供电效率低下的结构性缺陷。

本报告基于用户提供的《服务器更新需求材料》<sup>1</sup>,深度剖析如何利用Open Compute Project(OCP) Open Rack Version 3 (ORv3) 架构,构建适配下一代3M EBO (Expanded Beam Optical)及TwinAx高速铜缆产品的基础设施。报告将不仅仅停留在组件列表的堆砌,而是从机械工程学、电力电子学及热流体动力学三个维度,对DCDT机柜组件、DCDT电源系统以及相关连接件进行穷尽式的技术解构。

### 1.2 关键技术路径

本次基础设施更新的核心逻辑在于“空间换效率”与“电压换密度”:

1. 机械重构:利用DCDTORv3的21英寸宽体架构,通过适配件兼容现有的19英寸IT设备,同时释放出关键的侧边空间用于热管理与线缆路由。
2. 供电变革:摒弃传统的AC分布式供电,全面转向DCDT 33kW电源架与48V DC Busbar汇

流排架构，消除 PSU 冗余，降低传输损耗。

3. 互连优化：为 3M TwinAx 粗线径铜缆与 EBO 光学组件创造“零应力”布线环境与“洁净”气流环境，确保高速链路的信号完整性(SI)。
- 

## 2. 机械架构深度解析：从 EIA 19 英寸向 OCP ORv3 21 英寸的物理迁移

Open Rack v3 (ORv3) 架构不仅仅是尺寸的变更，它代表了对数据中心物理空间的重新定义。DCDTGroup 提供的组件库构建了一个灵活的物理层，使得传统的 19 英寸设备能够“寄生”于高效的 21 英寸生态系统中。

### 2.1 框架几何学与空间效率分析

#### 2.1.1 ORv3 21 英寸外壳的结构优势

根据材料清单，基础物理单元为“DCDTGroup - Open Rack v3 (ORv3) 21 英寸外壳”<sup>1</sup>。与 EIA 标准机柜相比，ORv3 的 21 英寸内部宽度(约 533mm)比 EIA 的 19 英寸(482.6mm)增加了约 50mm 的横向净空间。

这 50mm 的增量在工程上具有决定性意义：

- 热交换面积扩展：在原生 OCP 设备中，这允许散热器宽度增加 10%，显著降低热阻。
- 线缆路由通道：对于本次集成的重点——3M TwinAx 电缆，这额外的宽度意味着更大的弯曲半径(Bend Radius)余量，从而避免了线缆因过度弯折导致的阻抗不连续。

#### 2.1.2 垂直单元定义的变革：OpenU vs. RU

ORv3 引入了 OpenU (OU) 的概念，高度为 48mm，略高于传统的 Rack Unit (RU, 44.45mm)。

- 差异分析： $48\text{mm} - 44.45\text{mm} = 3.55\text{mm}$ 。每个垂直单元增加了约 8% 的高度空间。
- 工程价值：这 3.55mm 的微小增量，在堆叠 40 个单元时，累积效应巨大。它允许更厚的 PCB

板材、更高的电容元件，或者更重要的是，为“Open Rack v3 21" to EAI 19" Tray”<sup>1</sup>这样的转接托盘提供了物理厚度空间，使得托盘的存在不会侵占设备本身的散热进风口。

## 2.2 异构集成的机械适配机制

核心挑战在于如何将窄体的 19 英寸设备稳固地锚定在宽体的 21 英寸框架内。DCDT 提供了一套精密的适配生态系统。

### 2.2.1 21转19英寸适配导轨的力学模型

组件“Open Rack v3 21" to EAI 19" Adapter Rails – 1OU”<sup>1</sup> 是连接两种标准的桥梁。

- **力矩分析**: 在传统机柜中，设备直接安装在立柱上。在 ORv3 适配模式下，适配导轨充当了悬臂梁(Cantilever Beam)。当安装重型 GPU 服务器(重量可能超过 35kg)时，导轨必须承受巨大的剪切力(Shear Force)和弯曲力矩(Bending Moment)。
- **结构刚度**: DCDT 的设计必须确保在满载情况下，导轨的形变(Deflection)控制在微米级别，以防止服务器下垂导致的连接器对准失败。适配导轨通过多点固定于“Open Rack v3 IT Rails - 2 OU”<sup>1</sup> 之上，将点载荷转化为面载荷，分布于 ORv3 立柱上。

表 1: 机械承载与适配组件规格分析

组件名称	英文标识	功能定义	机械工程考量
适配导轨	Adapter Rails - 1OU	19"设备挂载接口	需具备高抗扭刚度，防止设备前端下垂。
IT 导轨	IT Rails - 2 OU	基础承载基准	48mm 节距对齐，提供 Z 轴方向的连续支撑。
托盘	Tray - 1OU	非标设备承托	解决无原厂滑轨设备的安装，需考虑钢板厚度对 U 位的影响。

紧固件包	Fastener kit	锁紧与固定	M6/#10-32 标准，需严格遵循扭矩规范以防滑丝。
------	--------------	-------	-----------------------------

## 2.2.2 动态稳定性与抗震设计

在引入高密度铜缆(TwinAx)后，机柜后部的线缆重量显著增加，且维护时需频繁抽拉设备。

- **倾覆力矩管理**: “Front Stabilizer Kit / Side Stabilizer”<sup>1</sup> 的部署至关重要。当一台 800mm 深度的服务器被抽出时，机柜重心的前移可能导致灾难性的倾倒。前置稳定器实际上延长了机柜的物理底座，增加了抗倾覆力臂。
- **侧向稳定器**: 在连排部署中，侧向稳定器不仅锁定机柜间距，还通过刚性连接形成“岛式”结构，大幅提升整体抗震等级(Seismic Rating)。

## 2.3 气流遏制与热力学密封

在异构机柜中(21" 框装 19" 货)，最致命的风险是“气流短路”(Airflow Short-circuiting)。

### 2.3.1 侧边间隙的流体力学

\$21" - 19" = 2"\$. 设备两侧各留有 1 英寸(25.4mm)的空隙。

- **旁路效应**: 根据流体力学原理，流体总是选择阻力最小的路径。服务器内部充满了散热片、内存和线缆，流阻极高。而两侧的空隙是开放通道，流阻接近于零。若不封堵，冷空气将直接从两侧穿过，导致服务器内部芯片过热。
- **解决方案**: “Open Rack v3 - Side Panels”<sup>1</sup> 在此语境下具有双重含义。除了机柜外部的侧板，DCDT 系统必然包含配合适配导轨使用的内部挡风板(Air Baffles)。这些挡板必须形成气密性密封，强迫冷空气建立足够的静压(Static Pressure)以穿透服务器组件。

### 2.3.2 空位封堵与回流防止

“Open Rack v3 - Blank Panel - 1OU”<sup>1</sup> 的作用是防止热风回流(Hot Air Recirculation)。在文丘里效应(Venturi Effect)作用下，高速流动的冷通道空气可能会在未封堵的空 U 位产生负压，将后方的热气吸回前方，形成局部热点。对于对温度极其敏感的 3M 光学模块，这种热回流是性能杀手。

---

### 3. 电气架构变革：48V DC Busbar 供电系统的深度解构

本次更新中最具革命性的变化在于摒弃了 AC PDU，全面采用 DCDT Electronics 的 48V 直流母排架构。这不仅是电压的改变，更是能量传输拓扑的根本性重构。

#### 3.1 33kW 电源架的功率电子学分析

“DCDT 33kW 1OU Open Rack v3 Power Shelf”<sup>1</sup> 是整个机柜的能源心脏。

##### 3.1.1 功率密度与冗余拓扑

该电源架高度仅为 1OU(48mm)，却能提供 33kW 的输出功率。

- 模块化设计：包含 6 个“DCDT 5.5kW Open Rack Version 3 (ORv3) Power Supply”<sup>1</sup>。
- N+1 冗余：实际配置通常为 5+1 模式，即 5 个模块全负荷工作提供 27.5kW，1 个模块作为热备。若负载低于 27.5kW，则系统处于均流(Current Sharing)模式，进一步降低单模块热应力。
- 转换效率：DCDT ORv3 整流器通常采用图腾柱 PFC(Totem-pole PFC)和 LLC 谐振转换器拓扑，在 50% 负载下效率可达 97.5% (Titanium 钛金级)。与传统服务器内置的白金级 PSU (~94%)相比，全链路能效提升约 3.5%。对于 30kW 的机柜，这意味着减少了约 1kW 的废热排放。

##### 3.1.2 输入端的相平衡技术

“Power Shelf Universal Input Power Connector Plug” (HARTING)<sup>1</sup> 负责引入市电。通常采用 3 相 400V/480V 输入。

- 负载平衡:电源架内部电路自动将 6 个整流模块分配到三相电路上,确保三相电流的不平衡度(Unbalance) 小于 5%。这对减少零线电流和谐波污染至关重要。

## 3.2 48V 直流母排(Busbar)的物理优势

为什么是从 12V 转向 48V?核心在于欧姆定律与焦耳定律的权衡。

### 3.2.1 $I^2R$ 损耗的指数级降低

设机柜负载为  $P = 30\text{kW}$ 。

- **12V 系统:** 电流  $I = 30,000 / 12 = 2,500 \text{ A}$ 。
- **48V 系统:** 电流  $I = 30,000 / 48 = 625 \text{ A}$ 。
- **损耗对比:** 传输损耗  $P_{\text{loss}} = I^2 R$ 。电流降低 4 倍,意味着在导体电阻  $R$  不变的情况下,热损耗降低至原来的  $1/16$ 。
- **Busbar 设计:** “Busbar Support Bracket”<sup>1</sup> 支撑着机柜后部的实心铜排。由于电流大幅降低,母排的截面积可以减小,同时保持低温运行。这消除了传统机柜中成百上千条 AC 电源线的阻抗损耗和空间占用。

### 3.2.2 接触电阻与连接器摩擦学

“ORv3 BB1000 Connector”(TE Connectivity)<sup>1</sup> 是连接 IT 设备与母排的关键组件。

- **浮动容差:** BB1000 设计有 +/- 2mm 左右的浮动机制(Float),以补偿机柜制造公差和设备插入时的对准误差。
- **大电流触点:** 该连接器需承载高达数千瓦的功率。其触点通常采用高导电铜合金基材,表面镀银或金,以降低接触电阻(Contact Resistance)。
- **热插拔安全性:** 设计遵循“地-零-火”的接通顺序(虽为 DC, 指代接通时序),确保地线最先接触,最后断开,防止静电放电(ESD)损坏设备。同时,连接器结构防止手指触碰带电体(Touch Safe)。

## 3.3 智能监控与遥测(Telemetry)

“Murata Remote Management Unit (MWOC-RMU)”<sup>1</sup> 是电源系统的神经中枢。

- **PMBus 协议**: RMU 通过 PMBus 总线实时采集每个整流模块的电压、电流、温度和风扇转速。
  - **削峰填谷 (Peak Shaving)**: 在高密度 AI 计算中, GPU 的瞬时功耗可能会突破 TDP 上限。RMU 可配合管理软件, 在检测到总功率接近阈值时, 向服务器发送节流(Throttling)指令, 防止母排过载跳闸。
- 

## 4. 适配 3M EBO/TwinAx 的基础设施优化策略

上述机械与电气架构的升级, 其最终服务对象是数据传输的介质——3M 的 EBO 光纤与 TwinAx 铜缆。本章节将论证 ORv3 环境如何具体赋能这些高性能互连组件。

### 4.1 3M TwinAx 铜缆的布线空间物理学

随着信号速率向 112G/224G 演进, 铜缆的趋肤效应(Skin Effect)和介质损耗显著增加。为了由于传输距离的限制, 必须使用更粗线径(如 26AWG 甚至 24AWG)的 TwinAx 电缆。

#### 4.1.1 弯曲半径与阻抗连续性

- **问题**: 粗壮的 TwinAx 线缆非常僵硬。如果弯曲半径(Bend Radius)小于线径的 5-10 倍, 线缆内部的几何结构会发生形变, 导致差分对之间的间距改变, 进而引起特征阻抗偏离  $100\Omega$ , 产生信号反射(Return Loss)。
- **ORv3 解决方案**:
  1. 移除 AC 线缆: DCDT Busbar 系统消除了每台服务器后部 2 条粗大的 AC 电源线。
  2. 移除侧边 PDU: 电源架集中在机柜中部或底部, 无需侧边垂直 PDU。
  3. 结果: 机柜后部(热通道)释放了巨大的体积空间。这使得 TwinAx 线缆可以采用大弧度的路由方式引出, 经过“Brush pass-through panel”<sup>1</sup> 进入侧边或顶部桥架, 完全避免了强行折弯。

## 4.2 3M EBO (Expanded Beam Optical) 的环境洁净度保障

3M EBO 技术通过扩束透镜将光束直径扩大，降低了对灰尘的敏感度，但并非免疫。

### 4.2.1 正压防尘体系

- 盲插风险：EBO 连接器常用于背板盲插。如果机柜内部积灰严重，连接器对接面上仍可能形成光路遮挡。
- 气流控制：通过严格使用“Open Rack v3 - Blank Panel”<sup>1</sup> 和“Side Panels”<sup>1</sup>，机柜内部形成了一个相对封闭的风道。结合机房的精密空调与过滤系统，机柜进风口的空气质量得到保障。
- 毛刷板过滤：“Brush grommet panel”<sup>1</sup> 在允许线缆穿过的同时，利用刷毛形成迷宫式密封，有效阻挡大颗粒灰尘从走线孔逆流进入设备区域。

## 4.3 信号完整性与接地系统

高速信号对电磁干扰(EMI)和地电位漂移极度敏感。

### 4.3.1 等电位连接网络

“Grounding strap / bonding kit”<sup>1</sup> 在此系统中扮演了信号基准面的角色。

- 高频噪声回路：对于 224Gbps 的信号，其基频高达 112GHz(PAM4)。微小的地电位差都会转化为共模噪声。
- 实施细节：DCDT 的接地套件必须将机柜框架、适配导轨、IT 设备外壳以及 Busbar 的回路地 (Return) 紧密连接。特别是在使用适配导轨时，由于增加了连接界面，必须使用带齿垫圈 (Star Washers) 刺破喷漆层，确保金属对金属的低阻抗连接。

---

## 5. 综合技术参数与选型对照表

为了更直观地展示各组件在整个系统中的位置与参数，以下表格总结了基于材料<sup>1</sup>的关键技术指

标。

表 2: 电气子系统关键参数与选型依据

子系统	组件	关键技术参数(典型值)	对 TwinAx/EBO 系统的影响
电源输入	HARTING Input Plug <sup>1</sup>	3-Phase 400/480VAC, 60A+	稳定的输入源减少电压波动对 SerDes 的影响。
AC/DC 转换	DCDT 33kW Power Shelf <sup>1</sup>	Output: 50.5VDC (Nominal), 33kW	高功率密度支持 GPU 集群, 这是高速互连的主要载体。
电力传输	Busbar Support Bracket <sup>1</sup>	Rating: >1000A DC	极低阻抗, 减少 EMI 辐射, 净化电磁环境。
取电接口	TE BB1000 Connector <sup>1</sup>	Current: ~300A - 500A	稳定的接触电阻防止压降, 保障光模块(3.3V) 供电稳定。
智能管理	Murata RMU <sup>1</sup>	Interface: RJ45 / PMBus	监控功率热点, 预防局部过热导致的信号丢包。

表 3: 机械子系统关键参数与选型依据

子系统	组件	功能描述	工程实施要点
核心骨架	DCDTORv3 Frame <sup>1</sup>	21" 宽体架构	必须确认机房地板承重满足高密度部署要求。
异构适配	Adapter Rails 21" to 19" <sup>1</sup>	兼容标准 EIA 设备	需配合侧边挡风板(Air Baffle)使用, 否则不仅散热失效, 还

			会导致机柜啸叫。
线缆管理	Brush Pass-through <sup>1</sup>	线缆穿越密封	刷毛密度需足以支撑 TwinAx 线束重量而不产生大缝隙。
稳固系统	Front/Side Stabilizer <sup>1</sup>	防倾倒	仅在部署阶段或维护阶段生效，但属于强制性安全规范。

## 6. 实施路线图与操作建议

### 6.1 阶段一：基础设施准备

1. 机柜定位与调平：安装 DCDTORv3 机柜，并立即部署“Front Stabilizer Kit”<sup>1</sup>。由于整机重量可能超过 1000kg(满载)，地面水平度至关重要。
2. 电力骨干构建：安装“Busbar Support Bracket”<sup>1</sup> 及铜排。此时需进行绝缘电阻测试(Megger Test)，确保母排与机柜框架完全隔离。
3. 电源架植入：安装“Power Shelf Rails - 2OU”<sup>1</sup>，滑入 DCDT 33kW 电源架，并连接 HARTING 输入插头。

### 6.2 阶段二：混合 IT 环境部署

1. 适配件安装：根据规划的 U 位，安装“21" to EAI 19" Adapter Rails”<sup>1</sup>。
  - 关键步骤：在安装导轨的同时，必须同步安装配套的侧边气流挡板(Side Air Dams)。这是大多数部署失败的根源——遗漏挡板导致热宕机。
2. 设备上架与供电：滑入 19 英寸服务器。
  - 供电连接：将 TE BB1000 连接器卡入母排，并通过直流线缆鞭(Cable Whip)连接至服务器后端的 DC 输入接口。注意：服务器必须支持 48V DC 输入，或需外挂 DC-DC 转换器。

## 6.3 阶段三：互连与热管理闭环

1. **3M 组件连接**: 敷设 TwinAx 线缆。利用机柜宽出的侧边空间梳理线束，避免在连接器根部产生应力。
  2. **气流封堵**: 在所有未安装设备的空闲 U 位安装“Blank Panel - 1OU”<sup>1</sup>。
  3. **遥测上线**: 连接 Murata RMU<sup>1</sup> 至带外管理网络，验证所有 PSU 的健康状态及母排电压读数。
- 

## 7. 结论与展望

本报告论证了基于 DCDT 和 DCDT 组件构建 OCP ORv3 基础设施的可行性与优越性。通过从 EIA 19 英寸向 ORv3 21 英寸的迁移，我们不仅获得了一个能够兼容现有 IT 资产的物理平台，更重要的是获得了一个为未来十年高密度计算准备的能源与散热容器。

- **机械层面**: DCDT 的适配套件完美解决了异构设备的物理兼容性，同时 21 英寸架构释放的侧边空间彻底解决了 TwinAx 粗线缆的布线难题。
- **电气层面**: DCDT 的 48V 架构不仅提升了 3.5% 的端到端能效，更通过消除 AC 线缆混乱，间接优化了散热气流，为 3M EBO 光学组件提供了更稳定的热环境。
- **战略意义**: 该方案是传统数据中心向 AI 算力中心演进的最佳过渡路径——既保留了对通用计算(19")的支持，又具备了接纳下一代超高密度 OCP 原生计算节点的能力。

这一深度整合方案，将确保数据中心在面对 112G/224G 高速互连时代时，拥有坚实的物理底层支撑，实现性能、效率与可靠性的全面跃升。

---

报告撰写人:资深数据中心基础设施架构师

参考资料来源:1

### Works cited

1. 服务器更新需求材料new.pdf