北美电源大厂专家交流 20260902

AI 算力与 800V 架构电源产业链深度分析及国产替代进展

摘要

- 800V 架构电容失效主因系设计余量不足及纹波特性匹配偏差，非单一材料缺陷；选型标准已强制升级至“双 85”及实际纹波回放测试。
- 国产电容厂商（三环、江海、法拉电子等）进入验证窗口期，通用位号已批量应用，但 AI/800V 高规格位号仍以海外主供、国产二供备份为主。
- 北美 CSP 电源格局稳固：台达、光宝主导一次电源存量；伟创力凭借系统集成能力在壁垒最高的三次电源（VPD/TLVR）模组占据核心份额。
- 国内电源厂出海进展：欧陆通在谷歌 GPU 项目进入灰度验证，麦格米特处于技术对接期；海外交付与运维能力仍是大陆厂商主要短板。
- VPT 垂直供电技术预计在英伟达 Rubin 平台量产，将带动硅电容增量需求，但现阶段受成本与可靠性制约，仍以高规格 MLCC 阵列为主。
- 谷歌 HVDC 渗透率预计 2027 年升至 30%，采用 400V 双极方案以复用成熟供应链；英伟达 Rubin 则采用单极 800V 方案，技术路径分化。
- 超级电容配置升级：Rubin 800V 机柜单柜 LIC 单体需求量将从百颗级跃升至 850-1,000 颗，用于平抑负载尖峰及争取掉电落盘时间。

Q&A

近期市场关注台达在电容方面出现的质量问题，能否介绍一下该事件的背景以及贵公司的应对措施？

该事件主要涉及高压架构下的电容选型问题。具体而言，在高压母线叠加高频纹波的场景下，电容出现了 ESR（等效串联电阻）异常漂移，导致寿命衰减快于预期。这并非单一供应商的材料问题，而是设计余量未能跟上 800V 架构实际纹波特性的结果，许多电容仍按照传统 48V 谐波模型进行选型，导致其在高压下的寄生参数被放大。此外，800V AI 算力场景中的高频开关会产生很高的 dv/dt，导致系统出现电压尖峰，这也是问题之一。日本厂商提供的是电容硬件本体，而非完整的系统解决方案，问题根源在于元件内部的工艺缺陷，并非来料即损。 为应对此类风险，我们已采取两方面措施：首先，在电容选型上，我们已强制升级

至“双 85”测试标准，即在 85° C 温度和 85%湿度的条件下进行 1,000 小时测试，并且增加了使用实际纹波电流波形的回放测试，而非标准的正弦波测试。其次，我们优化了对流方案的配合与布局，使电源周边的温度比行业平均水平低 8 到 10 摄氏度，从系统层面降低了风险。根据我们内部验证和供应链的交叉确认，目前我方的来料与检验均无问题。

台达电容事件对中国的电容器厂商和电源厂商带来了哪些影响和机遇？

该事件为国内厂商带来了变化和机遇，但挑战并存。 从元器件层面看，此前许多整机客户在高端应用中默认优先选择日系电容，国产厂商多作为第二供应商备选。此次事件后，下游客户的心态发生转变，不再盲目信赖单一海外原厂，会更主动地推动供应链多元化，为国内电容厂商提供了送样和对比验证的窗口期。然而，客户的验证标准也变得更为严格，不仅测试器件本身的参数，更要求在整机真实工况下进行全面评估，包括纹波、电压尖峰、温度循环等全套可靠性。这要求国内电容厂商必须深入理解 800V、车载及 AI 算力等场景的真实工况，实现器件与整机应用的深度匹配，而不能仅停留在提供符合纸面标准的元器件。 从电源厂商层面看，变化更为显著。客户已认识到风险不仅来自元器件本身，更源于器件选型、拓扑布局、散热等系统层面的整体匹配。这为国内电源厂商创造了机会，客户现在更看重厂商是否能提供完整的电源系统解决方案，包括协助进行器件选型评估、应力测试和失效根因定位，从而在 NPI（新产品导入）阶段就筛选掉元器件风险。这加速了国内电源厂商从单纯的硬件制造商向方案提供商的转型升级。 尽管机遇已经出现，但门槛依然存在。高端车规级和 AI 算力领域的认证周期仍然很长，需要经过长期的可靠性老化和多轮整机测试，短期内难以实现对日系产品的大规模替代。我们目前的做法是，将国内优秀的电容和电源厂商纳入验证体系，在 AI 阶段共同进行板级和整机的工况摸底，并向客户提供多供应商的对比测试报告，以区分失效是源于元器件本体还是系统设计。这既为国内厂商创造了验证和入场的机会，也帮助我们的客户规避了单一供应链的风险。

在电源及其上游元器件领域，例如模拟功率芯片、MLCC、铝电解电容、薄膜电容和贴片电感等，贵公司目前纳入了哪些中国供应商？其应用现状如何？

我们在多个元器件领域引入了中国供应商，但不同应用场景的导入程度有所区别。在 MLCC 领域，核心国产供应商是风华高科和三环集团。风华高科侧重于消费和工业领域，三环集团在高容、高压方向能力较强。目前，通用位号的 MLCC 已实现批量应用，但在 AI 所需的高容等规格上，它们大多处于 PE（产品工程）验证阶段，作为第二供应商导入，尚未完全替代海外头部厂商。 铝电解电容领域，主要供应商是江海股份和艾华集团。其产品在导轨电源、通信、DPU 等场景已有批量落地，但在 AI 服务器这类应用中，更多是作为备选进行验证，长寿命、耐高温的规格仍在持续迭代。 薄膜电容领域，法拉电子是国内的核心供应商。其产品已纳入我们高压 DC-Link（应用于 800V 系统及 AI 服务器电源）的验证体系。国内厂商在高压薄膜电容领域进展较快，部分项目已在小批量使用，但最高算力等级的大批量应用仍需等待整机认证的推进。 在铁氧体及功率磁性元件方面，

顺络电子、铂科新材的磁粉芯产品因适配 AI 高频大电流场景，已进入我们的合格供应商名录，并在部分算力电源项目中使用。此外，京泉华、可立克等磁性元器件厂商在工控和通信电源方向的通用功率电感已实现批量导入，而在 TLVR 这类 AI 高端电源应用中，则以验证导入为主。 总体格局是，在通用工业级位号上，国产元器件正考虑大规模放量；但在 AI 算力、800V 车载等最高规格的位号上，仍以海外供应商为主，国产厂商更多是作为第二供应商进行备份。我们的策略是将国产厂商纳入 NPI 联合验证，在整机真实工况下进行纹波、温度循环、浪涌等摸底测试，并向客户提供对比报告，由客户最终决定具体位号的切换比例。一个现实痛点是，许多国产元器件的纸面数据表现良好，但在整机高频高压环境下，其 ESR、温升、饱和电流等参数会出现偏差，这是我们在 NPI 验证阶段重点筛选的问题。

如何看待国内电源整机厂商在北美 ASIC 厂商中的竞争格局与突破进展，例如欧陆通和麦格米特等公司？

我们为北美头部 ASIC 厂商提供从一次、二次到三次电源的全链路覆盖方案，业务模式是 ODM 加系统集成，涵盖从电源模块、中间总线到整机电源架的设计、热协同与可靠性验证，并配合 ASIC 厂商进行参考设计及全球交付。 关于国内竞争对手的出海进展，各家情况不一。欧陆通在谷歌的推进力度最大，已进入其 GPU 电源项目，目前处于机柜挂机的灰度验证阶段，目标是完成验证后成为第二供应商，其越南产线已建好以承接海外订单。对于 AWS 和 Meta，欧陆通尚处于前期的对接送样和研发合作阶段，未有规模化订单落地。其优势在于一次电源能力强，高功率和液冷电源产品矩阵完整，但短板在于二次、三次电源的系统级积累相对薄弱，且北美本地的运维和现场可靠性验证能力仍需时间沉淀。 麦格米特在谷歌的进展相比欧陆通要滞后一个层级，目前处于深度技术对接阶段。

中国大陆电源厂商在北美市场的布局进展如何，尤其是在 CSP（云服务提供商）认证和交付方面面临哪些主要挑战？

中国大陆厂商在北美市场的推进仍在进行中，但尚未进入机房挂机验证阶段。尽管在成本控制方面表现不错，但面临两大制约因素。首先，北美 CSP 严苛的认证周期较长，例如 CSPR 认证，这使得大陆厂商的海外布局进度相较于欧洲市场稍慢。其次，即使通过验证，CSP 普遍采取多供应商策略，大陆厂商通常先获得第二供应商的较小份额，主要供应商位置仍由台系及海外厂商占据。此外，海外交付能力是大陆厂商的一大短板，这不仅涉及产品本身，还包括北美本地的合规要求、NPI（新产品导入）流程、现场故障支持以及全球供应链的交付能力。许多项目在样品阶段后，会因交付和运维环节的问题而受阻。中期来看，未来两到三年内，一次电源领域的大陆厂商有望持续获得部分增量份额，这得益于客户出于供应链多元化诉求而提供的机会窗口。然而，在与 ASIC 深度协同的二次、三次电源领域，由于涉及动态负载、寄生参数、热设计等与芯片的深度绑定，能力建设周期更长，短期内难以快速替代现有供应商。

目前北美主要 CSP（如谷歌、AWS、Meta）的电源供应格局是怎样的，不同 ASIC 芯片体系下的电源份额分布情况如何？

北美 CSP 的电源供应格局呈现分层且相对稳固的特点，具体如下： 在谷歌的 TPU 体系中，一次电源（PSU/HVDC）方面，台达是绝对主力，占据存量市场主要份额，光宝则作为传统备选补充产能缺口。欧陆通已进入谷歌的挂机灰度验证阶段，获得的是增量市场的二供机会，不涉及存量份额。麦格米特则处于审厂和方案对接阶段。二次电源方面，随着谷歌向 HVDC 高压母线架构迁移，传统 48V 中间总线的比例下降，台达和光宝依然是主力，伟创力则深度参与二次电源模组的集成与 NPI。大陆厂商虽能交付二次电源样品，但尚未获得谷歌的大规模放量项目。三次电源（近芯片垂直供电的 TLVR/VPD 模组）壁垒最高，伟创力和台达是核心模组供应商，MPS 和英飞凌提供电源控制器与 DrMOS，大陆厂商目前基本未获得直接的大规模份额，主要以电感、PCB 等元器件配套切入，模组整机尚在送样验证。谷歌的策略是，存量成熟机型尽量不更换供应商，仅在新增资本开支的增量项目中进行供应商多元化测试。 在亚马逊体系中，一次电源由台达占据第一、光宝位居第二，两者合计份额最高。大陆厂商如欧陆通、麦格米特虽已完成送样，但仍处于方案评估阶段，进度慢于谷歌。AWS 对供应商的北美本地交付、故障响应和长期可靠性文档要求极为严格，导致认证周期很长。二次电源以 48V 中间总线架构为主，由台达、维谛和光宝主导，大陆厂商有样品但无规模化应用。三次电源方面，AWS 自研 ASIC 采用背面垂直供电方案，模组主供为台达和伟创力，大陆厂商主要停留在元器件配套层面。AWS 同样执行多供应商策略，但供应商切换的节奏比谷歌更为保守。 在 Meta 体系中，一次电源同样是台达份额较高，光宝是重要备选。Meta 在 800V 高压机柜等增量项目中开放了二供导入窗口，欧陆通、麦格米特正在送样对接，但未进入机房灰度验证。Meta 的特点是在新架构项目中愿意给予外部厂商机会。二次电源以 48V 总线为主，台达和伟创力优势明显。三次电源方面，随着其自研 ASIC 功耗提升，模组仍由台达和伟创力主导，大陆模组厂商尚未获得直接份额。 从不同 ASIC 芯片生态来看，谷歌 TPU 这类自研 ASIC，其电源模组采用 AVL（合格供应商名录）制，由 ODM 和电源厂商完成。例如 TPU V7/V8 的三次电源模组，伟创力和台达是核心供应商，MPS 和英飞凌提供芯片。AMD 的 MI 系列 ASIC 以 MPS 的标准模组为主，台达参与部分定制化。英伟达生态则不同，其一次电源 Power Shelf 由台达主供、光宝二供，麦格米特在大陆厂商中份额最大；二次和三次电源则由台达、维谛和伟创力高度参与。 总结而言，北美头部 CSP 的存量主供市场基本由台达、光宝等厂商占据。大陆厂商获得的机会多来自新增项目的增量份额，而非存量替换。一次电源是大陆厂商最容易突破的环节，二次电源有少量样品，而壁垒最高的三次电源模组则几乎没有大规模应用案例，多以降维提供无源器件或 PCB 物料的方式参与。

伟创力在北美 CSP 的电源供应体系中，尤其是在一次、二次和三次电源的份额情况如何？为何在一次电源供应商名单中较少出现？

伟创力在北美 CSP 电源体系中的定位和市场份额呈现结构性差异。在一次电源领域，伟创力几乎不直接供应；二次电源有少量项目参与；而真正获得可观份额的领域集中在三次电源，即 VPD、VRM 等近芯片供电模组，在 Meta、谷歌、AWS 的

自研 ASIC 平台均有项目落地。 这种市场格局并非源于技术能力不足，而是由商业模式、业务定位及客户采购习惯共同决定的： 第一，业务定位差异。台达、光宝是电源产品制造商，直接以 PSU、中间总线电源等产品参与 CSP 的独立招标。伟创力的电源业务分为两块：一块是 Power Modules，专注于板级、与 ASIC 芯片强耦合的二次、三次电源模块（如 VPD、TLVR），这部分业务直接面向 ASIC 厂商和 CSP 进行模组招标；另一块是整机 ODM 系统集成业务，在交付服务器或 AI 机柜整机时，所需的一次电源会从 AVL（合格供应商名录）中选择台达、光宝等成熟供应商进行采购，因此不会与其在一次电源单品市场直接竞争。 第二，客户采购习惯与运维体系。北美 CSP 已形成固定采购习惯，将一次电源视为可替换配件，进行单独招标、库存管理和维护。台达、光宝等厂商已建立起数十年的全球维修和备件库存网络，支持 PSU 现场热插拔更换。若伟创力大规模供应 PSU，客户需为其新增一套独立的备件、RMA 及库存管理体系，改动成本高昂。因此，客户倾向于向专业电源大厂采购 PSU，而将板级模组等集成业务交由 ODM 厂商。第三，三次电源的产品特性。三次电源模组（如 VPD、TLVR）并非独立、可热插拔的配件，它与 AI 加速卡深度绑定，是涉及芯片 PDN（供电网络）、PCB、散热的强耦合子系统的一部分。其招标主体是板卡子系统的供电模组，这恰好与伟创力的业务赛道吻合。因此，在谷歌 TPU、AWS 及 Meta 的自研 AI 加速卡项目中，伟创力与台达同为三次电源模组的核心供应商，并获得了实际出货份额。 第四，商业策略考量。一次电源市场竞争激烈，价格战导致毛利率偏低。从资源分配角度，伟创力优先将资源倾斜于价值量和技术壁垒更高、与 AI 板卡深度绑定的板级近芯片供电模组以及整机系统集成业务，而非投入重兵去争夺标准化的 PSU 存量市场。这是一种战略性选择。

伟创力在三次电源领域具体提供的是完整的 POL（Point of Load）模块，还是其中的某个部件？

提供的是完整的模块。

请详细说明一个完整的 POL（Point of Load）电源模块包含哪些具体环节和组件构成？

完整的 POL 电源模块业务主要有两种模式。第一种是提供标准化的独立 POL 模块产品，客户直接采购后自行集成，这种模式在北美大型 CSP（云服务提供商）自研的 ASIC 平台项目中机会较少，主要由维谛等厂商主导。第二种是板载集成式的 POL 子系统，这也是我们公司在谷歌、Meta、AWS 的 ASIC 项目中获得市场份额的主要模式。这种模式下交付的是一个完整的负载点供电总成，它并非独立可订购的标准模块，而是直接集成在 ASIC 主板上的一套子系统。 一个完整的 TLVR（Trans-Inductor Voltage Regulator）三次电源模组主要由六部分组件构成：

1. **功率半导体器件：**包括 PWM 控制器和 DrMOS 等，负责电压调节与开关控制。

2. **磁性元件**：主要是高功率电感，例如在 VR14/PVDD 架构中广泛使用的金属磁粉芯电感，它决定了大电流的输出表现。核心供应商包括国科、Sunlord 等国内外厂商。
3. **电容阵列**：输入侧通常采用 MLCC 和薄膜电容，用于处理输入纹波电压的尖峰；输出侧则以大量的 MLCC 为主，就近为 ASIC 内核供电，以抑制负载的瞬态扰动并改善 PDN（Power Delivery Network）阻抗。
4. **载体基板**：高频 PCB 载板至关重要，不仅要优化布线以降低寄生电感和改善电流通路，在 TLVR 结构中还需考虑与 ASIC 主板的机械对接及热传导路径。
5. **结构与散热相关部件**：包括模组的压接框架、定位结构件和导热垫片。TLVR 多采用压接而非焊接方式装配，因此对机械压力的管控直接影响电气接触和散热效果，装配工艺门槛很高。
6. **连接器与互联结构**：这部分用于实现模组与 ASIC 主板之间的大电流互联。通常不使用传统接插件，而是直接压接铜柱，在大电流下控制接触阻抗是关键。

除了硬件组件，完整的交付还包括一系列系统工程服务：

1. **前期协同定义**：与 ASIC 芯片厂商对齐最大电流、瞬态跳变、电压精度、PDN 阻抗目标、功耗及温度边界等规格，并据此进行模组方案的拆解。
2. **方案设计与仿真**：进行 PDN 仿真、热仿真和应力仿真，评估电感和电容的选型组合，并设计基板布线和压接结构。许多失效并非源于元器件本身，而是仿真阶段对寄生参数的考虑不足。
3. **元器件选型与 AVL 导入**：筛选电容、电感、功率器件等，将国内外供应商纳入对比验证，最终形成合格物料清单。
4. **NPI 原型试产与调试**：进行样机调试和动态负载测试，模拟 ASIC 在真实业务场景下的电流跳变，以检验纹波、电压跌落和温升等性能。
5. **可靠性验证**：通过温度循环、冷热冲击、老化、振动等测试，在整机工况下摸底，并区分失效根因是器件本身问题还是系统装配的寄生效应所致。
6. **规模化量产装配**：TIM2（Thermal Interface Material 2）和 VR 的压接工艺是制造过程中的关键难点，压力的一致性直接影响电气性能和良率。
7. **量产测试、追溯与失效分析**：包括出厂全功能测试，并在批量生产阶段提供失效分析支持，配合 ASIC 客户进行硬件版本的迭代。

总结来看，维谛更多提供独立的标准 POL 模块成品；我们公司在北美 AI ASIC 项目中主要交付板载集成式的 TLVR/POL 子系统总成，价值重心在于系统仿真、方案集成、特殊装配工艺、整机工况验证和大规模制造交付；而台达则两种模式并行，既有独立的 POL 模块产品，也从事集成式的 TLVR 模组总成业务。

三次电源本质上是 Buck 转换器，它是否存在分立式方案（即将 GaN MOS、电感、控制器芯片等分开使用）和集成式方案（例如将 GaN MOS 和控制芯片封装在一起的稳压器）这两种技术路径？另外，台达、MPS 以及贵公司的业务模式和核心价值有何不同？

是的，三次电源作为一种大电流负载点供电方案，确实存在分立和集成两种技术路径。 关于各公司的业务模式和核心价值，具体如下：

1. **台达**：作为系统集成商，台达提供完整的 TLVR/VPD 三次电源总成模块。其业务模式是进行方案设计、装配和验证，直接向 ASIC/CSP 客户交付成品模组，而其中的芯片和磁性器件等关键元器件则从外部采购。
2. **MPS**：核心业务是销售电源芯片，PWM 控制器和 DrMOS 是其核心产品和护城河。同时，MPS 也将其业务延伸至提供整套 VPD 模组，这种模式下芯片自产，电感、电容等则对外采购。
3. **我们公司（伟创力）**：我们提供的是完整的 3,000W 电源模块，业务模式与台达类似，但价值重心不在于生产电感等单一元器件。具体来说：

- **芯片**：我们不自研芯片，PWM 控制器和 DrMOS 等向 MPS、英飞凌等公司采购。
- **磁性元件**：TLVR 耦合电感属于外部 AVL 物料，由国科、太阳诱电等供应商供货。我们不生产电感本身，而是将定制的 TLVR 电感集成到模组中。
- **其他组件**：电容阵列、基板、压接结构件、导热垫片等也全部从外部选型采购。

我们的核心价值在于系统工程能力。我们与 ASIC 厂商深度协同，对齐数百安培大电流瞬态负载的规格要求；进行 PDN 仿真布局，管控从控制器到 DrMOS 再到电感之间的寄生参数；设计定制化的基板和 TLVR 压接机械结构；并将所有元器件（DrMOS、控制器、定制 TLVR 耦合电感、大量 MLCC 电容等）高效地集成到主板上。此外，我们还负责 NPI 调试、全套可靠性验证，并解决量产制造中的工艺痛点，如压接工艺的压力一致性、模组翘曲、接触阻抗和散热等问题。最终，我们向 ASIC 客户交付一个经过完整测试的 TLVR/VPD 三次电源总成模组，客户可直接装配使用。简而言之，电感只是我们采购并集成到模组中的一个核心零件。

据了解，英伟达目前尚未使用 VPD（Vertical Power Delivery）方案，是这样吗？

是的。

随着供电方案从 VPT（垂直供电技术）向下一代集成 TR 的 IVR（集成电压调节器）演进，您认为哪些零部件或技术方案将发生最显著的变化？

变化最大的主要体现在三个方面。首先，VPT 本身不仅是一个电源模组，它要求 GPU 基板、封装、整机散热及测试体系进行全方位的配套改造，工程验证周期非常长，这也是其预计在英伟达 Rubin 这一代平台才能实现量产落地的原因。其次，需要厘清 TLVR（跨耦合电感多相降压）与 VPT 的关系。TLVR 是一种电路拓扑架

构，可以横向放置，也可以垂直放置集成到 VPT 中，两者是拓扑与物理安装位置的关系，可以组合使用。例如，谷歌 TPU 目前量产落地的方案就是 TLVR 拓扑与 VPT 垂直放置的组合，这也是我们公司已批量交付的模组形态。VPT 作为一种物理安装形态，将电源模组置于芯片正下方的主板背面，实现垂直向上供电，从而缩短电流路径。当前已出货的英伟达 Blackwell GPU 采用的是横向 TLVR 方案，并未采用 VPT，VPT 技术被规划用于下一代 Rubin 平台，目前尚处研发试验阶段。

在 VPT 垂直供电方案下，硅电容用量是否会显著提升？PCB 板是否会大规模采用埋容埋感技术？功率器件方面，是会转向大规模使用氮化镓芯片，还是继续沿用硅基 DrMOS？

这三个方向确实是行业内的热点，但需区分概念与量产现实。 第一，关于硅电容。从逻辑上看，VPT 将供电模组置于芯片正下方，极大缩短了电流路径，对 PDN（供电网络）阻抗要求更低，因此需要大量近场的去耦电容。硅电容凭借其高电容密度和极低的 ESL（等效串联电感）特性，非常适合用于近芯片去耦。然而，在量产现实中，谷歌和 Meta 已经量产的 VPT+TLVR 方案并未大规模导入硅电容作为主力，而是以高规格的 MLCC 阵列为主，硅电容仅扮演小部分补位的角色。制约其放量的主要因素是高昂的成本以及可靠性问题，特别是在温度循环和机械压接应力下，硅电容本体较脆，而 VPT 模组采用压接装配，使得机械应力风险更为突出。因此，VPT 架构理论上会拉动硅电容需求，但现阶段仅为增量补充，尚未成为标配，预计下一代平台才可能看到用量的显著提升。 第二，关于 PCB 埋容埋感。行业内确有此技术路线，旨在将电容电感埋入 PCB 载板以进一步压缩寄生参数。但目前已量产的 VPT 方案并未大规模采用，电容电感仍以表贴方式安装在 VPT 子母板的两面。主要原因是埋容埋感会大幅提升 PCB 载板的成本和良率管控难度，且一旦器件失效便无法维修，只能整块基板报废。考虑到 AI 算力硬件的成本压力和返修需求，现阶段量产项目不愿承担此代价。VPT 带来的实际变化是其配套的子基板在层数、铜厚、阻抗控制及过孔设计等方面的规格要求大幅提高，但埋容埋感更多是下一代硬件的预研方向，目前并未普遍落地。 第三，关于氮化镓。VPT 架构本身并不强制要求替换为氮化镓，硅基 DrMOS 仍是当前 VPT 量产方案的主力。VPT 解决的是物理供电路径和寄生参数问题，属于机械与布局架构的变革，而非功率器件的换代。目前谷歌、Meta 已出货的 VPT 模组全部采用硅基 DrMOS。氮化镓的优势在于开关损耗更低、开关速度更快，有利于提升效率和降低发热，但其器件成本更高，驱动环路设计难度更大，且浪涌可靠性验证积累不如成熟的硅基 DrMOS。当单路相电流持续提升，功耗进一步拉高，客户追求更高电源转换效率时，氮化镓会作为备选方案导入，但它并非 VPT 的必选项。因此，两种技术路径将会并行，现有 VPT 项目将继续沿用成熟的硅基 DrMOS，而部分下一代更高功耗的 XPU 平台新项目会评估导入氮化镓 DrMOS 作为增量方案，不会出现一刀切的替换。

目前谷歌数据中心机柜采用±400V 或 800V 高压直流供电方案的渗透率情况如何？

谷歌存量的机房基本不进行改造，其±400V/800V HVDC 的比例几乎为零。在 2026 年新增的机柜中，HVDC 的渗透率预计在 5%至 8%之间，主要为试点集群，主力供电方案仍是 AC PSU。预计到 2027 年，新建机柜中 HVDC 的渗透率将提升至 30%左右，这主要与 TPU v8 平台的部署节奏相关。尽管渗透率有所提升，但从整体全机房的综合占比来看，HVDC 的比例仍然偏低。

谷歌与英伟达在 800V 供电方案的路径选择上有何差异？谷歌是否正从±400V 转向 800V 方案？

谷歌与英伟达的 800V 方案在技术路线上存在显著差异，并且会并行存在。谷歌、Meta 等遵循 OCP（开放计算项目）规范，采用的是±400V 双极方案，也称为三线制，其线间电压差为 800V，但对地电压仅为 400V。该方案的优势在于可以直接复用电动汽车行业成熟的 400V 功率器件、连接器和电容供应链，安规风险更低。谷歌并非放弃±400V 双极方案，而是在此基础上进行标准演进。目前已落地试点的是 1.0 版本。相比之下，英伟达在其 Rubin 平台中采用的是单极 800V 直流方案，这是另一套不同的架构。

请详细阐述谷歌在数据中心供电架构上向 800V 演进的具体路径、当前部署状态以及与英伟达 Rubin 方案的主要区别？

谷歌向 800V 的演进包含两个层面。第一层是当前正在小规模部署和试点的方案，即 400V 双极 HVDC 架构。该架构的总线之间压差为 800V，因此常被称为 800V HVDC，但这并非单极 800V。TPU v8 平台即采用此 400V 双极方案，这也是 2027 年新建机柜的技术基线。目前，这一方案在谷歌 AI 芯片集群中的渗透率约为 5%至 8%。第二层是远期规划。OCP（开放计算项目）规划的下一代 2.0 标准将原生支持单极 800V VDC 作为一个可选模式，但这将与现有的 400V 模式兼容，而非取代。单极 800V 的硬件试点预计要到 2028 年的时间窗口，主要面向更高功率密度，并配合中压直转的固态变压器用于新建数据中心。 谷歌现阶段不直接采用单极 800V，主要原因是该方案意味着对地电压直接达到 800V，要求所有安规绝缘器件的耐压等级提升一个档次。现有的 400V 高压器件供应链无法直接复用，包括 BDU、连接器等都需要重新开发和验证，周期长且机房运维流程改动大。相比之下，400V 双极方案可以大量复用成熟的 400V 等级器件，工程落地风险更可控。 英伟达的 Rubin 平台采用的是一套独立的单极 800V 两线制方案，不属于 OCP 体系，与谷歌和 Meta 的技术路线不同。总结而言，2026 年和 2027 年，谷歌 AI 集群的主力供电方案仍是 400V 双极的 Sidecar（侧柜）方案，预计明年新增的渗透率将达到 30%至 40%，不会切换至单极 800V。

在谷歌和英伟达各自的 800V HVDC Sidecar 或 Power Rack 方案中，超级电容的具体配置、核心用途以及关键性能指标是怎样的？

在两种方案中，超级电容的核心用途并非作为长时间断电备份，而是主要用于平抑 GPU 等计算单元在毫秒至秒级的剧烈负载尖峰，并在掉电瞬间为算力板卡争取数据落盘和安全关机的时间，其功能不替代 UPS 或 BBU 电池。 谷歌的 400V 双极 Sidecar 方案，针对 230kW 的 TPU 机柜，其超级电容模组配置在 Sidecar 的 CP shelf 中。设计目标是补偿尖峰功率和提供 3 到 5 秒的市电中断维持（hold up）时间，而非满功率支撑。超级电容模组的最大输出功率通常按机柜额定功率的 25%至 35%配置，即对应 230kW 机柜，其最大释放功率约为 60kW 至 80kW。在实际试点项目中，超级电容属于选配，部分集群仅部署 BBU 锂电池，尚未成为强制标配。硬件形态上，Sidecar 内部配置 2 到 3 组超级电容模组 Shelf 串联以适配 400V 母线电压，单 Shelf 对应 25kW 至 30kW 的补偿功率。 英伟达 Rubin 的 800V 单极 Power Rack 方案，同样针对 230kW 机柜，将超级电容定位为必选组件。其设计目标更为激进，hold up 时间目标为 10 到 15 秒。超级电容的最大输出功率覆盖机柜额定功率的 40%至 50%，即最大释放功率可达 90kW 至 115kW。需要明确的是，这同样不是以 230kW 满功率运行 15 秒，而是在 90kW 至 115kW 的峰值功率下维持 10 到 15 秒。硬件形态上，Power Rack 内含 2 到 4 个独立的模组单元 Shelf 串联以适配 800V 直流母线电压。器件路线上优先采用 LIC（锂离子超级电容），EDLC（双电层电容）为备选。 一个关键的共性是，超级电容的设计逻辑并非满功率备份。稳态负载由 Sidecar 或 Power Rack 的整流电源供给，瞬态尖峰由超级电容吞吐以降低对上游电网和整流器的压力。电网掉电时，超级电容支撑最初数秒，为 BBU 锂电池的切入创造窗口，长时间后备依然依赖 BBU。

对于英伟达不同代际的 AI 服务器机柜，例如 GB200、Vera Rubin（48V Power Rack）以及下一代 Rubin Ultra（800V Power Rack），其单机柜配置的超级电容类型和数量分别是多少？

不同代际机柜的超级电容配置存在显著差异。上一代 GB200 的 140kW 机柜采用的是 EDLC（双电层电容），单颗容量较小，单机柜大约需要 300 颗。 当前出货的 Vera Rubin 230kW 机柜采用的是 48V Power Rack 方案，已切换为能量密度更高的 LIC（锂离子超级电容）。其标准配置中，每个 1U 抽屉模组包含 28 颗 LIC 单体，单机柜 Power Rack 内放置 4 个 1U 抽屉模组，总计 112 颗 LIC 单体。对于需要更高尖峰冗余的部分大客户，会配置 5 个抽屉模组，总计 140 颗 LIC 单体。由于 LIC 单颗能量密度远高于 EDLC，因此虽然功率补偿能力更强，但所需颗数反而减少，不能与 GB200 的 EDLC 颗数直接对比。 对于预计在 2027 年落地的下一代 Rubin Ultra（内部代号 Kevlar）的 800V Power Rack 方案，其母线电压提升至 800V。采用标称电压 3.8V 的 LIC 单体，单条串联支路就需要 210 颗以上单体。为满足 90kW 至 115kW 的峰值输出能力，需要多路并联。根据供应链 BOM 测算，一个 230kW 级别的 800V Power Rack，单柜所需的 LIC 单体数量级在 850 到 1,000 颗左右。

LIC 和 EDLC 两类超级电容单体的功率规格和在实际应用中的配置策略有何不同？

在单体规格上，LIC 的电压平台更高，约为 3.8V，容量可达 3,300 法拉。而 EDLC 的电压平台通常在 2.7V 至 3.0V 之间。 在应用配置策略上，以一个 760W 的机架为例，如果采用 EDLC，通常会配置其负载的 20%到 30%作为瞬时补偿能力，即配置 150W 到 200W 左右的 EDLC 就足够了。单个 EDLC 模块的峰值功率可以达到 3kW 以上，但其持续时间非常短，主要用于应对瞬时需求。

谷歌与另一家北美头部云服务商在数据中心电源配置方案上有何不同，以及两家公司在 CBU 配比上的共同趋势是什么？

谷歌倾向于采用集中式 BBU 方案，为整机架配置共享的大容量 BBU，其容量与负载的配比为 1.2:1，即每 1 兆瓦负载配置 1.2 兆瓦的 BBU 容量以提供更高冗余。另一家云服务商 OA 则倾向于分布式 BBU 方案，为每个节点独立配置 BBU，容量与负载的配比为 1.1:1，该方案更注重空间利用率和快速替换能力。两家公司的共同趋势是均在大幅提升 CBU 的配比，以应对 AI 训练负载剧烈的瞬时波动。CBU 配比（按峰值负载计算）已从 2025 年的 5%提升至今年的 15%至 20%。

目前新建 AI 数据中心采用液冷方案的渗透率是多少，以及未来的发展趋势如何？

在新建的 AI 数据中心中，液冷方案今年的渗透率约为 35%，预计明年将突破 60%。需要指出的是，数据中心内部的管路通常是作为标准配置预先铺设的，但冷却液体的实际注入和使用则根据客户的具体部署节奏而定。

近期 Flex 公司增加 BBU 订单的原因及其具体增幅是怎样的？

Flex 近期 BBU 订单的增幅在 20%以上。加单主要源于三个方面的原因：首先，AI 算力机架的功耗曲线急剧攀升，规划功率已从 2025 年的 30-50 千瓦/机柜，跃升至今年的 120 千瓦起步，并预计在明后年冲击 300 千瓦。功率的快速增长超出了预期，作为备电的最后防线，BBU 的容量也必须相应地翻倍甚至三倍增长，配置比例从过去的 1:1 提升至 1.3:1 到 1.5:1，直接拉高了单机用量。其次，CBU 已从选配项转变为标准配置，与 BBU 形成叠加需求。AI 训练负载的瞬时波动剧烈，需要 CBU 进行兜底，BBU 已无法单独及时响应，因此头部 CSP 厂商普遍同时采购 BBU 和 CBU，两者是“1+1>2”的叠加关系而非替代关系。最后，产业链上下游均在抢占产能，提前锁定电芯、电容、功率半导体等长周期物料，这些物料的扩产周期长达 12 到 18 个月。当前需求的增长曲线远比供给曲线更为陡峭，导致整个产业链的备货周期普遍提前 6 到 9 个月，订单的集中释放造成了显著的加单现象。

除了 BBU 之外，电源产业链上游是否还有其他零部件也出现了类似的加单或供应紧张情况？

是的，其他几个关键零部件也面临类似情况。第一是超级电容，即 CBU 的核心部件。第二是高压直流接触器和熔断器，在 800V 架构下，这些保护器件的断流能力要求从几百安培跃升至上千安培，原有的 48V 规格产品已全部失效，整个品类正处于强制替换周期。第三是液冷快接头，虽然单价不高，但用量巨大，每个节点至少需要 2 到 4 个。目前液冷接头的产能非常紧张，类似于 2021 年的 IGBT 市场，供应商的产能协议已经锁定至 2027 年。因此，加单现象不仅限于 BBU，而是整个高压与液冷产业链都在同步收紧。其中，BBU 的需求增长最为迅猛，高压保护器件是被动替换，而液冷接头则是用量最大的一个隐性瓶颈。

在英伟达的电源架构体系中，EDLC 与 LIC 的技术路线是如何定位的，未来是否会成为标配？

在英伟达的电源架构中，EDLC 和 LIC 并非竞争关系，而是互补关系。EDLC 主要用于解决瞬时功率补偿问题，而 LIC 则用于解决持续供电的转换问题。未来两者都将成为标准配置，分别在不同层级解决不同的供电挑战。

