

面向数据中心应用的高效电源测试

白皮书



摘要

现代数据中心面临着前所未有的功率与能效挑战。这些需求由人工智能、高性能计算和超大规模架构驱动。相关应用在每个机架中集成了更多处理器，将总功率密度和冷却要求推向了新的高度。泰克测试解决方案旨在直面这些挑战。泰克旗下的 EA Elektro-Automatik 双向可回馈电源系统（EA-PSB 系列）和电子负载（EA-ELR 系列）可实现高达 95.5% 的能量回收效率，显著超过竞争产品的效率。这种效率意味着每兆瓦测试可节省数十千瓦电力，从而降低电费成本和热负荷。

此外，泰克 EA 的模块化、可扩展电源模块覆盖了更宽的电压范围（50 V 至 2000 V）和功率范围（数百瓦至数兆瓦），可快速重新配置以满足各种测试需求。同样，其水冷设计确保了在严苛的实验室或生产环境中的可靠运行。

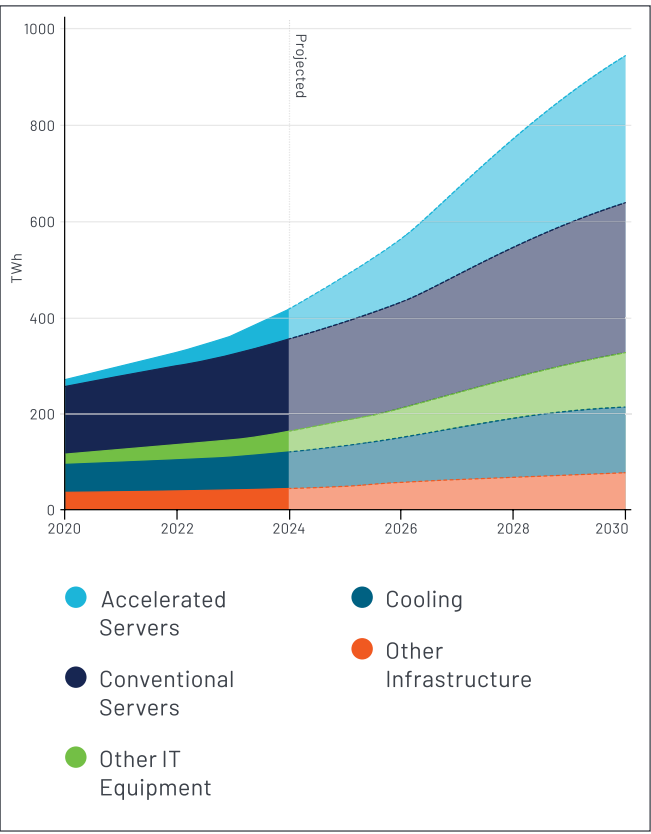


图 1：展示了 2020 年至 2030 年间全球数据中心按设备划分的电力消耗增长趋势（基准情景）

市场背景与测试挑战

数据中心正经历快速演变。人工智能服务器及大型语言模型训练每机柜功耗可达数百千瓦，远超传统企业服务器的能耗水平。同时，物联网与大数据服务因其产生的海量数据，进一步推高了机柜密度与散热需求。正如国际能源署行业报告指出¹，随着人工智能和高性能计算时代的到来，数据中心能耗正呈爆发式增长。这推动着电源架构创新与高效供电方案的发展。设计者如今不仅需要平衡峰值供电能力，还必须统筹每个机柜的能效表现与热管理约束。

随着全球企业竞相部署大规模人工智能工作负载，数据中心建设正迎来爆发式增长，其规模令人震惊。据报道，微软正投入约 800 亿美元建设支持人工智能的数据中心；而 OpenAI 及其硬件合作伙伴已签署了数千 MW 级别的协议，计划部署完整的人工智能园区。这些企业承诺正在全球范围内催生专门建造的高功率数据中心建设热潮，这些站点已经开始重塑地方经济、电网格局和互联网基础设施版图。多项新标准和行业倡议正印证这一趋势。

开放计算项目 (Open Compute Project, 简称 OCP)

数据中心行业领导者（Meta、微软、谷歌等）制定的 OCP 规范²要求采用标准化、高效且模块化的机架组件。这些规范对电源效率、物理形态规格及能源再利用提出了新要求。OCP 着重于减少能源浪费，并支持符合 IEA 标准的灵活可组合机架设计。因此，测试工程师必须确保新型电源单元 PSU 在实际负载条件下满足这些 OCP 标准。

80 PLUS 红宝石认证

新兴的 80 PLUS Ruby（或称 Titanium+）认证针对数据中心电源设定了极致的效率标准（关键负载点效率约 ≥ 96%）。该标准要求电源在 50% 负载下至少达到 95.5% 的效率，并在高压条件下轻载时保持 90% 的效率。实现 Ruby 级效率需要对损耗机制进行精细验证，您的设备必须能够达成这些微小的损耗指标。

直流电网与微电网集成

超大规模数据中心正开始采用更高电压的直流配电系统（例如 800V 直流架构）及现场直流微电网，以提升整体效率。例如 NVIDIA 等企业正在研发介于设施电源与服务器机柜之间的 800V/1500V（未来趋势）中间直流母线³。这带来了新的测试场景：需要测试高压直流 – 直流转换器以及为机柜内 50V 负载供电的逆变器模块。简而言之，当前电源测试范围已覆盖从 50V 负载轨到千伏级直流电网的完整谱系。

这些趋势中的每一项都带来了测试挑战，包括大电流（数百至数千 A）、高电压（高达 2000 伏）以及高功率（高达 2MW）、能量回馈流动、快速瞬态负载响应和精确的效率测量。市场上许多电源测试设备往往存在不足——例如，许多回馈式负载的最高效率仅约 92%，且需要多台设备并联才能达到大电流。泰克公司很早就意识到了这一市场变化。泰克 EA 系列大功率直流电源和负载专为满足这些新的数据中心需求而优化。该系统可测试是否符合 OCP 和 80 PLUS 标准，支持新一代直流架构，并简化了其他传统设备难以实现的严格效率与可靠性测试。

关键应用场景

几个具体的测试场景展示了数据中心电源测试对专用设备的需求。我们简要概述了泰克解决方案所应对的最重要案例：

800V 系统的高功率测试

新一代 AI 电源机架采用约 800V 直流中间总线。在这些高电压下运行的电源设备可提供数百 KW 甚至 MW 级的功率。例如，一台 800V 的 1MW PSU，电流约为 1250 A。验证此类单元需要额定电压超过 800V 且能处理数百 KW 功率的测试设备。Tektronix EA 10000 系列模块（如 EA-PUB 和 EA-PUL 11000-160）直接满足这些需求。这些单元在 6U 机架内提供高达 1000V、160A 的 60KW 功率，并可并联实现更高功率输出。

电源架 / 电源系统测试

数据中心机架常采用电源架架构（多个 PSU 并联供电至总线，具备冗余功能）。测试整个电源架需应对巨大的累积电流。例如，一个电源架可能并联四个 20KW 的 PSU，在 48V 电压下输出 80KW 功率（电流超过 1600 A）。

测试台可采用三台 EA-PSB 10080-1000 设备并联运行（ $3 \times 30\text{KW} = 90\text{KW}$ ，总电流容量 3000 A）来提供负载。每台设备既可并联输出电流，也可分别独立测试单个 PSU。其多通道模块化特性使适配变得简便：机架线缆只需分流至各 PSU 或输入端即可。

PSU 效率验证

数据中心电源必须在各负载范围内达到高效率目标。为符合 80 PLUS Ruby 或 OCP 标准的测试涉及测量微小损耗（通常 <5% 的输出功率）。借助泰克 EA 电源与回馈

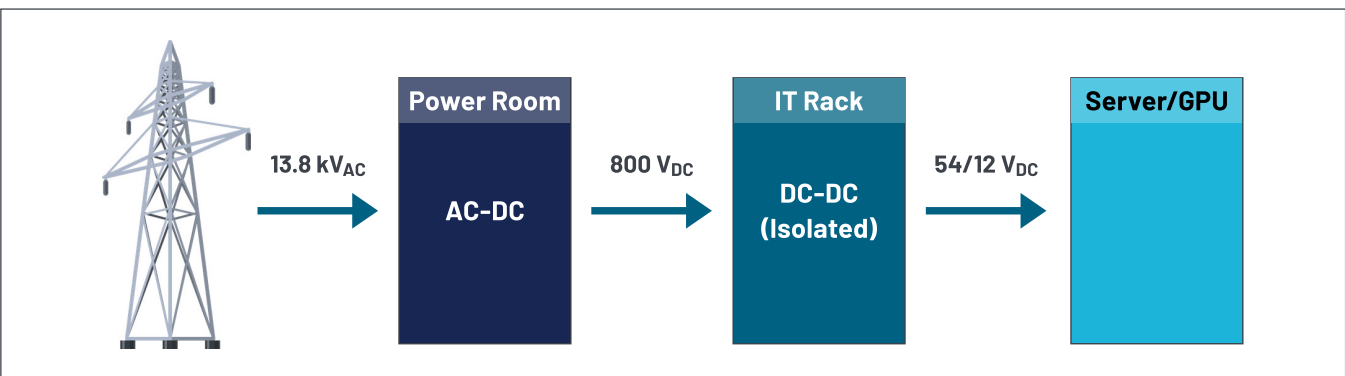


图 2：端到端数据中心电源架构 -- 从 13.8 千伏交流电网输入，到约 800 伏直流中间母线，再经隔离式 DC-DC 转换至 54/12 伏输出线路。新一代 AI 电源机架需要额定电压超过 800 伏的专用大功率测试设备，以验证数百千瓦级别的 PSU。

面向数据中心应用的高效电源测试

式负载，可在不散发多余热量的情况下量化损耗。工程师能够扫描负载电流并与输入电流进行对比。EA-PSB 系列设备 95.5% 的回馈能力意味着几乎所有输入功率都可用于测试。相比之下，传统的回馈单元约 92% 的效率会浪费 MW 级输入中约 80KW 的功率——导致测试成本高昂。因此，这种高效率设计既简化了红宝石级规范的达标验证流程，又在市场上超越了其他竞争对手。

VRM（电压调节模块）测试

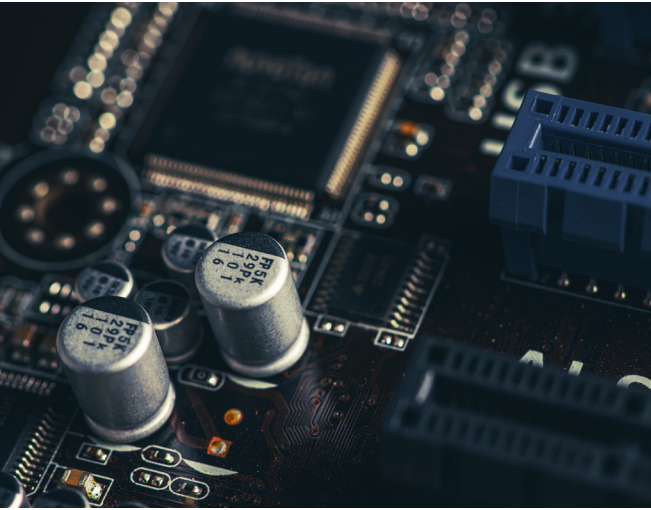


图 3：板级高密度服务器电源电子设备，其中精密稳压与快速瞬态响应需求，驱动了下一代数据中心对 PSU（电源供应单元）和 VRM（电压调节模块）进行精准测试的必要性。

在服务器内部，电压调节模块（VRM）将 48V 电压降至 CPU/GPU 所需的 1V 供电轨。VRM 工程师需要在 48V 输入和数百 A 电流条件下测试模块。EA-ELR 10080-1000 可通过提供遵循 CPU 功耗轨迹的快速可编程电流消耗，模拟 VRM 输出端的服务器负载。同时，EA-PSB 则模拟为 VRM 供电的 48V 电源。这种双设备配置可验证 VRM 如何处理负载瞬变（从空闲状态到满载的斜坡上升）及其对整体效率的贡献。由于 GPU 可能在毫秒级时间内突然吸收或释放约 500A 电流，此类测试能力至关重要。

生产线终端 (EoL) 测试

PSU 的大规模生产要求测试设备具备高吞吐量。一个测试平台可能需要每小时驱动数十台设备，这要求自动化

的切换功能并能够同时处理多个待测设备（DUT）。泰克 EA 的测试系统凭借其紧凑的模块化设计和易于堆叠的特性，允许从单个机架并行测试多个电源单元。PSB 20000 系列采用三路输出设计，仅需单台设备即可同时测试三个独立被测单元。通过软件界面可快速为不同测试方案重新配置设备，从而最大化吞吐量。同时，得益于能量回馈设计，即使机架持续进行测试，采用交流系统的工厂仍能保持可控运行。

泰克解决方案概述与优势

泰克 EA 系列提供专为数据中心 PSU 测试而设计的全面可再生电源与负载产品线。

超高能量回收效率



图 4：EA-BT 20000 系列针对电池测试和电池模拟进行了优化。

EA-PSB 系列双向电源在理想条件下可实现高达 95.5% 的能量回馈至电网。实际上，这意味着测试过程中能源（及热量）浪费大幅减少。更低的浪费意味着更低的冷却需求与运营成本。例如，在 1MW 测试级别，相较于传统的 92% 能效的设备，EA 电源更高的效率可节省约 30-40KW 电力。在长期测试过程中，这将是相当可观的节电量。

模块化与可扩展性



图 5：EA-PSB 双向电源的能量回收效率为 96%

面向数据中心应用的高效电源测试

EA 产品系列覆盖了从数百瓦到数 MW 的功率范围。每个模块（例如 EA-PSB 11000-80 4U）均采用紧凑型设计，可并排安装于机架中。模块支持并联以倍增电流输出，或串联以倍增电压。实践中，这意味着可以根据需求快速构建测试系统——例如从单个 30 kW 模块到总计 3.84 MW 的多机架系统。模块化设计还允许在测试需求变更时直接替换更高功率单元，无需购置整套全新测试平台。

宽电压范围

泰克 EA 系列模块可无缝覆盖从低到高的电压应用，标准单元的输出电压范围覆盖 60V 至 2000V。如需更高电压，可将两个单元串联堆叠，最高可达 3000V。这意味着系统能够测试从 48V 电压调节模块到新兴的 800V-1500V 直流总线电源在内的所有设备。因此，单次投资即可适配未来多种数据中心电源架构。

大电流能力

部分数据中心负载需要极大的电流。泰克的 EA-PSB 和 ELR 10080-1000 型号可在单个 4U 机架单元内提供高达 1000 A 的电流（通过并联这些模块可实现更高电流负载）。举例而言，测试 50V、600 A 的供电轨已相当于 30KW 功率。竞品可能需要两台独立设备才能达到 600 A，这将使投资和运营成本翻倍。而单机解决方案可实现更简洁的测试配置，同时降低资本支出。

水冷系统及安全考量

数据中心工程实验室或生产车间可能相当炎热。泰克 EA 系列为其许多大功率型号设备提供水冷配置的选项。水冷技术提高了可靠性，大幅减少了热量散发，使设备能在不过热和低噪音的环境下以全额定功率运行。这在实验室环境和生产中长时间测试时是一个显著优势。它还能降低可闻噪声，营造更好的工作环境。此外，泰克 EA 电源包含可编程安全功能（报警条件和限制）以保护被测设备。在实验室或生产车间，这些因素至关重要，因为合规和可靠性是首要考虑。

软件与控制

所有设备均配备直观的控制软件和标准接口（包括以太网、USB、EtherCAT 等）。工程师可编写复杂测试序列脚本、执行远程监控，并与自动化测试台架集成。结合每台设备配备多个独立通道等功能，这种软件灵活性进一步提升了测试吞吐量。

我们致力于为用户提供“精准”的解决方案：为应用场景提供电压、电流与效率的完美匹配。

明星产品推荐

EA-PSB 10080-1000(4U)

一款双向直流电源，能够在低压下提供高达 1000A 的 30kW 输出。在负载模式下，它能够吸收来自被测设备的电能并回馈至电网。该设备非常适合测试 48V PSU。其 95.5% 的效率显著降低了测试能耗。[点击查看更多](#)

EA-ELR 10080-1000(4U)

一款额定功率 30KW、最大电流 1000 安的可编程直流电子负载。它能在 PSU 或电池备份单元 (BBU) 模拟服务器负载曲线，快速切换负载电流以模拟 CPU/GPU 的动态特性，支持恒流、恒功率及自定义波形模式。[点击查看更多](#)

EA-PUB 11000-160(6U)

一款来自泰克 EA 工业系列的高压直流电源。该设备可提供高达 1000 V 的电压，输出功率达 60KW。此型号适用于极高电压的直流机架供电需求（例如，为 800V 直流母线供电或为高压直流电源单元放电）。它具有高度稳定性和精准控制能力，适用于新型转换器模块的特性测试。[点击查看更多](#)

自动化模块化机架系统

借助灵活且模块化的 EA 机架系统产品组合，可在单个 42U 机架内集成高达 300KW 的功率。这使得设备能够在配备急停链和绝缘监测等可选安全附件的安全外壳中使用。

用户价值

1. 降低测试能耗成本

双向系统 95.5% 的回馈效率意味着更少的能量以热能形式耗散。例如，对 500KW 测试功率实现 95.5% 能量回收时，仅损耗 17.5KW；若效率为 92%，损耗将达到 40KW。在数百小时的测试过程中，这将累积为显著的总拥有成本节约，并有效减轻冷却系统负担。

2. 通过多设备并行测试实现更高吞吐量

EA 系列具备紧凑尺寸和多通道能力，支持对多个电源进行并行测试或对单个被测设备进行并行操作。客户反馈其测试吞吐量可达单设备配置的二至四倍。小巧的机身尺寸意味着即使在密集的实验室环境中，也能并排安装多个测试机架。

3. 可靠的 AI 就绪电源验证

现代数据中心 PSU 必须能够应对快速负载变化，并在大电流下保持严格的电压调节。快速响应负载与电源能精准复现这些工况。由于设备专为持续高功率运行而设计（必要时采用水冷系统），测试结果具有高度一致性和可重复性。这使得设计者确信电源单元在实际应用中将如预期般稳定运行。

4. 占地面积与成本节约

电源模块设计的一个关键优势在于，在给定功率下其物理占用空间更小。更少的模块意味着更低的机架空间占用和更简化的线缆管理。结合长期更低的能源成本，尽

管初始资本支出相近，这些系统的总拥有成本（TCO）通常低于业内其他系统。例如，实现 1000 A 输出可能仅需一台 4U 设备，而竞品方案可能需要两台 4U 设备（占用空间翻倍）。在拥有数十个机柜的设施中，这种节省将产生显著的规模化效应。

5. 面向未来的灵活性

由于泰克提供的测试仪器覆盖高达 2000V 及数 MW 的功率范围，单次实验室投资即可适配未来架构。无论是未来的 800V GPU 机柜还是 1500V 互连链路，泰克均已做好准备。相同硬件可在不同项目中重复使用，这对规划演进标准的工程团队尤其具有吸引力。

结论

AI 和 HPC 技术已彻底改变数据中心电力设计格局，测试设备必须同步革新。泰克正提供这种新一代测试能力。泰克旗下的 EA Elektro-Automatik 产品系列将极致效率（回馈效率高达 95.5%）、宽广的电压 / 电流范围与模块化灵活性融合于成熟易用的平台中。这意味着数据中心电源制造商和系统设计者既能满足开放计算项目和 80 PLUS Ruby 能效标准、应对新型直流架构，又能实现更低的长期运营成本。

参考文献

外部资源

1. IEA (2025), Global data centre electricity consumption, by equipment, Base Case, 2020–2030, IEA, Paris
<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-data-centre-electricity-consumption-by-equipment-base-case-2020-2030>, Licence: CC BY 4.0
2. <https://www.opencompute.org/projects/rack-and-power>
3. <https://developer.nvidia.com/blog/nvidia-800-vhvc-architecture>



扫码关注泰克公众微信号

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

服务时间：9:00am-5:00pm，周一至周五

Tektronix (China) Co., Ltd.
泰克科技（中国）有限公司
泰克中国客户服务中心
免费热线：400-820-5835

Beijing Branch
泰克科技（中国）有限公司
北京分公司
北京市朝阳区酒仙桥路 6 号院
电子城国际电子总部二期
七号楼 2 层 203 单元
邮编：100015
E-mail: china.mktg@tektronix.com

Shanghai Branch
泰克科技（中国）有限公司
上海分公司
上海市长宁区福泉北路 518 号
9 座 5 楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
E-mail: china.mktg@tektronix.com

Shenzhen Branch
泰克科技（中国）有限公司
深圳分公司
广东省深圳市深南东路 5002 号
信兴广场地王商业大厦 3001-3002 室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
E-mail: china.mktg@tektronix.com

Chengdu Branch
泰克科技（中国）有限公司
成都分公司
四川省成都市锦江区三色路 38 号
博瑞创意成都 B 座 1604
邮编：610063
电话：(86 28) 8620 3028
E-mail: china.mktg@tektronix.com

Wuhan Branch
泰克科技（中国）有限公司
武汉分公司
湖北武汉市洪山区文化大道 555 号
融创智谷二期 B1 栋 7 层 05 室
邮编：430072
E-mail: china.mktg@tektronix.com

更多宝贵资源，请访问 TEK.COM.CN

版权所有 © 泰克科技。保留所有权利。泰克产品受美国及外国专利保护，包括已授权和待授权专利。本出版物中的信息取代之前所有发布材料中的信息。保留规格和价格变更的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。所有其他贸易名称均为其各自公司的服务标志、商标或注册商标。

022826 SBG 1EC-74232-0

