# 800V HVDC → 50V / 30kW PDB 参考设计（V0.8）技术解读

何佳泷

Open AI Infra 社区AI整机柜项目群供电项目组项目经理
字节跳动技术专家

Open AI Infra
A Chapter of GCC

# 800V HVDC → 50V / 30kW PDB 参考设计规范（V0.8）技术解读

面向 AI 服务器机柜的高功率密度电源分配板：系统架构、关键指标、功率链选型与合规边界




材料性质　论坛交流解读 · 基于 V0.8 版本，部分指标以 TBD 标注

解读日期　2026 年 10 月

# 报告解读框架：按内容分为五类

| | | |
|---|---|---|
| 01 | **系统定位与整体架构**<br>设计范围、供电需求与 PDB 功能链路全景 | §1–2 • P3 |
| 02 | **关键电气设计指标**<br>输入/输出规格、效率、动态响应、采样精度、保护阈值 | §3.1 • P4–5 |
| 03 | **功率链设计与关键器件**<br>熔断器、热插拔、全砖 DCX、ORing、辅源与电容设计 | §3.2 • P6 |
| 04 | **结构 • 热 • EMC • 安规边界**<br>连接器/HVIL 时序、液冷降额矩阵、EMC 八项、绝缘配合 | §4–7 • P7–9 |
| 05 | **通信 • 可靠性 • 测试 • 合规**<br>PMBus/黑盒、HALT/MTBF、功能测试矩阵与全球认证（编委见 P12） | §8–11 • P10–11 |

# 系统总览：800V→50V 功率链路与功能架构

PDB 将机柜垂直母线 800Vdc 转换为 50Vdc 为下游 UBB 供电：例如内置 3 个并联 10kW 液冷全砖隔离 DC/DC，支持热插拔、浪涌抑制、EMC、PMBus 监控与主动放电，安装于服务器托盘内。




### 控制与通信

MCU 采样监控热插拔/模块/IO 状态；PMBus 1.2 + PEC 对外；在位检测与告警

### 辅源 AUX

800V 取电，例如选取1700V SiC 集成反激控制器方案，隔离供给控制/驱动/采样

### 安全功能

输入电容主动放电（2s→<60V）、高压警示灯、HVIL 联锁与故障快速隔离

**800V ±5%**

输入 760–840Vdc；瞬态 720–880V

**50V • K=1/16**

47.5–52.5V；固定变比，非调节输出

**30kW / 45kW**

TDP 稳态；EDP 45kW @50ms

**330×220×34/38.5**

板卡尺寸 mm · 液冷 · 托盘内安装

### 解读要点

› 固定变比 DCX（K=1/16、无反馈稳压）：输出跟随输入母线波动（47.5–52.5V），负载动态由谐振腔 + 15mF 母线电容 + ORing 协同承担，下游必须接受该电压窗口。
› 650A 稳态 / 900A 瞬态大电流使输出侧成为设计主战场：ORing 均流、低感软铜排、15mF 电容纹波寿命与热降额共同决定功率密度上限。

# 关键指标解读 ①：输入 / 输出、效率与动态精度

## 输入侧规格

| | |
|---|---|
| 稳态电压 | 760 – 840 Vdc（800±5%） |
| 瞬态电压 | 720 – 880 Vdc |
| 稳态电流 | 42 A @800Vdc |
| 冲击电流 | 62 A（45kW 工况） |
| 输入功率 | 32kW 稳态 / 47kW•50ms |
| 输入电容 | 100 μF |

## 输出侧规格

| | |
|---|---|
| 输出电压 | 47.5 – 52.5 Vdc |
| 变比 / 稳压 | K=1/16 • 固定变比非调节 |
| 输出电流 | 650A 稳态 / 900A 瞬态 |
| 输出功率 | 30kW / 45kW（>50ms） |
| 纹波 | ≤ 250–500 mVpp（20MHz） |
| 输出电容 | 15mF（3 × 5mF） |

## 转换效率（800Vdc）

**98.0%** 半载（300A）

**97.5%** 满载（600A） 模块峰值 98.4%

## 动态响应

| | |
|---|---|
| 负载阶跃 | 10%→200%，2.5 A/μs |
| 最大电压偏移 | ≤ 2500 mV |
| 工况序列 | 0→200%@1ms / 200→150%@50ms / 150→10%@30ms |

## 采样精度

| ± 3 % | ± 2 % | ± 2 % | ± 5 % |
|---|---|---|---|
| 输出电流 | 输出电压 | 输入电压 | 温度 |

## 解读要点

› 整机效率裕量仅约 0.4–0.5pct：靠 LLC-DCX 软开关、650V GaN/SiC 器件与磁集成共同兑现，满载 97.5% 是整机热设计（约 770W 损耗@30kW）的输入条件。

› 非调节架构下没有反馈环参与瞬态调节：纹波 ≤500mVpp 与 2500mV 动态上限实质上由谐振腔设计、输出电容容量/ESR 与负载阶跃特性保证。

# 关键指标解读 ②：保护阈值矩阵与放电安全

| 保护项 | 阈值（min / typ / max） | 恢复 • 响应 |
| --- | --- | --- |
| 输入欠压 UVLO | 710 / 720 / 730 V | 恢复 730–750V · ≤200µs · 回滞 5–10V |
| 输入过压 OVP | 870 / 880 / 890 V | 恢复 850–870V · ≤200µs · 回滞 5–10V |
| 输入过流 | 60 – 63 A | 热插拔限流关断 |
| 输出过流（慢速） | 700 A | 故障支路退出，其余支路降额运行 |
| 输出短路（快速） | 990 A | 快速关断（硬短路保护） |
| 输出过压 / 欠压 | OVP 55 – 57 V / UVP 45 V | 状态字上报并锁存，CLEAR_FAULTS 复位 |
| 过温保护 | 供应商自定义 | 可恢复；PMBus OT_FAULT/WARN 双阈值 |

## 主动放电设计 §3.2.4 / IEC 62368-1

- 连接器断开后 2s 内可接触端子电压 < 60Vdc
- 主动放电电路并联输入电容，搭配高压警示灯
- B 型可插拔设备 5s / 其他连接器 2s 的规范底线

## EDP 与熔丝选型 §3.2.1

- EDPP 脉冲：150% / 50ms，重复周期 10s
- 循环负载系数 G=1.4（防缩颈疲劳，留安全裕量）
- 温度降额 Kt=0.85（-40~55℃）、海拔 Ka=0.95
- 额定 1000Vdc；In 与 $I^2t$、双路熔丝仍为 TBD

**解读要点**

› 所有阈值均给出 min/typ/max 窗口，面向多供应商兼容；≤200µs 的输入保护响应要求“检测 → 控制器 → SiC JFET 关断”链路按延迟预算化设计。
› 700A/990A 两级输出保护体现“支路可退出、整机降额不宕机”的冗余供电思想，与 ORing 理想二极管的故障隔离能力互为前提。

# 功率链核心技术解读：四大功能单元

## ① 熔断器与输入浪涌

- **额定 1000Vdc**：覆盖 880V 最大母线，靠近输入连接器安装，先于一切故障能量。
- **TVS 优于 MOV**：<1ns 雪崩响应、钳位精度高、电容 <10pF；VBR ≥(1.3–2)×Udcmax，VC 匹配后级降额。
- **分断与 I²t**：分断能力须覆盖最大预期短路电流；I²t 协调与认证比例 TBD。

## ② 热插拔 Hot Swap

- **浮地双侧架构**：HS 控 +800V、LS 隔离 P_GND，两侧独立可控，按需配置。
- **1200V SiC JFET Combo**：JFET 级联低压 MOS 构成常闭；2 并（单管 ~5mΩ，IJCQ120RM5XC1B）。
- **线性区预充**：控制器令 JFET 工作在线性区给 360μF 电容受控充电，抑浪涌、防拉弧；XDP 类专用控制器驱动。

## ③ 全砖 DC/DC（核心）

- **拓扑**：ISOP 级联全桥 LLC-DCX——原边串联天然均压（约 400V/级），副边并联分担大电流。
- **器件**：原边 650V GaN 8×8mm 双面散热 ×8（IGLC65R020D2，27mΩ）；副边 80V/1.4mΩ Si MOS ×16。
- **性能**：软开关、满载与 30% 轻载均 >98%；模块 10kW、116.8×61×14mm、峰值 98.4%

## ④ ORing • AUX • 输出电容

- **ORing**：3 路理想二极管（禁用整流二极管），每路 ≥250A / 脉冲 300A，Vds ≥80V，支路故障自动隔离。
- **AUX**：反激 + 1700V SiC 集成控制器；UV/OV/OC/OPP/OTP/SCP 全保护，符合 62368-1。
- **输出电容**：铝电解为主（≥15mF、低 ESR 长寿命）+ X7R MLCC 高频旁路，按 IPC-9592B 降额。

**选型权衡** GaN 压摆率可达 100V/ns，驱动抗扰与 PCB 回流路径是设计红线；ISOP 半桥器件减半但原边电流翻倍，故参考设计推荐全桥。

# 结构设计：整机包络、连接器与高压互锁时序

## 整机包络与系统接口 §4.1–4.3

- **外形**：330 × 220 × 34/38.5 mm，服务器托盘内安装，液冷冷板散热
- **待确认**：外形细节、安装固定与水道设计 TBD，需与需求方交互
- **功率/流体**：800V 输入连接器 ×1、50V 输出铜排 1 组（对接 UBB）
冷板进出水软管 1 组、Panel-to-Board 信号连接器 ×1

## 信号连接器 §4.4.3 • Panel-to-Board

- **额定**：≤250V / ≤2.5A·pin；耐压 ≥1500V；绝缘电阻 ≥5000MΩ
- **温度**：−40 ~ +105℃；与主功率连接器共用面板安装
- **8–12 pin**：I²C（SCL/SDA）2、隔离 VCC 1–2
- **功能针**：在位/热插拔检测 ×2（对应 HVIL）、写保护/告警 1–2、备用 2–4

## 800V 输入连接器 §4.4.1 • 电气要求

- **电压额定**：≥800Vdc，裕量预留至 1000–1200V（覆盖 ±5% 波动与瞬态过压）
- **电流额定**：工作 39.5A（30kW@760V、η97%），按 ≤80% 降额选取 → 额定 ≥50A
- **绝缘配合**：电气间隙 ≥10mm、爬电距离 ≥12.5mm（按材料组校核，见 §7）
- **验证**：Hi-pot 耐压 + 绝缘电阻，判据符合 §7 安规要求

## 安全联锁与机械时序 §4.4.1.2

① **HVIL**：高压互锁联动门锁/拔出机构，开门或拔出即断电
② **预充**：预充触点确认可靠连接后才允许预充，抑制浪涌
③ **PE**：保护接地触点先接触、后断开
④ **解锁**：插销/锁扣解锁瞬间立即触发断电时序
⑤ **防触电**：分离状态插针不可触及带电体（Touch-proof）

## TBD 项 • §4.4.2 / §4.5

50V/650A 输出铜排结构（TBD）；机械冲击与振动条件（TBD），均待与需求方确认。

## 连接器通用验证 §4.4.4

额定电流温升、Hi-pot/IR、插拔寿命（半插/慢拔/误插）、机械保持力、湿热/冷凝/漏液/振动后功能。

**解读要点** 800V 带电热维护安全 = 机械时序（HVIL 联动 → PE 先接后断 → 预充授权 → Touch-proof） + 电气主动放电 2s；结构包络、水道、铜排与振动条件是 V0.8 最集中的 TBD 区。

# 热设计：环境边界、PG-25 液冷与全器件降额矩阵

## 环境边界 §5.1

- **冷启动**：−10 ~ 0℃（低温开机/空调故障/北方极端）
- **额定**：0 ~ 55℃（典型机房 18–27℃ + 自温升）
- **降额**：55 ~ 65℃ 输出功率线性降额，约 2%/℃
- **存储**：−40 ~ 70℃（1K4）/ 85℃（1K5 可选），冷却液排空
- **湿度**：20–85%RH 非冷凝；40℃ 以上限 60%
- **露点**：液温 ≤ 环境露点 + 3℃ 时加热或限温
- **海拔**：>3000m 每 1000m 温度降额 2℃（工作至 5000m）

## 液冷边界 §5.2 • PG-25

- **配方**：25% 丙二醇 + 75% 去离子水（含缓蚀/杀菌/pH 缓冲）
- **冰点**：约 −10℃；OCP / NVIDIA MGX 标准冷板工质
- **材料**：适配铜、不锈钢与镍镀层；低粘度、泵送功耗小
- **进液**：5 ~ 40℃；流量、流阻 TBD
- **禁忌**：导电——仅限管路内，严禁接触 PCB / GPU 板卡
- **乙二醇**：EG25/EG50 防冻更强但有毒，机房不推荐

## 器件降额 §5.3 • IPC-9592B

- **第一优先**：全部半导体 Tj ≤ Tjmax − 25℃
- **MLCC**：工作电压 ≤60% 额定，自发热 ΔT ≤20℃
- **铝电解**：电压 ≤80%（≥250V 可 90%），纹波电流 ≤80%
- **功率开关**：Vds 重复尖峰 ≤90%（<200V）/ ≤80%（>200V）
- **电流/栅压**：Id ≤90%、Vgs ≤80%；禁止重复雪崩
- **磁件**：热点低于绝缘限值 25℃；铁粉芯 ≤100℃
- **其他**：连接器 ≤70%；熔丝快断 90%/慢熔 85%；TVS 70%

**热应力验证 §9.2.1** 760/800/840V × 631.5/600/571.4A 满载、最高环温/水温下，热电偶实测壳温 · 温升 · 结温，全部落在降额曲线内。

### 解读要点 • 30kW 热设计三句话

› 满载损耗约 770W（η97.5%）几乎全部经冷板带走——热设计本质是冷却液 → 冷板 → 封装的全链路热阻分配。
› 降额是覆盖电容 / 半导体 / 磁件 / 连接器的全器件族矩阵，而不是只看结温一项。
› PG-25 导电，使漏液桥接 FMEA 与滴水测试（§7.3）成为必选项。

# 系统边界：EMC 八项与安规绝缘配合

## 安规 §7 • IEC 62368-1 + GB 4943.1

- **标准目标：**IEC/EN/UL 62368-1 + GB 4943.1，目标 CB / CE / UL / CCC
- **环境分级：**OVC II（2500V）/ PD2 / 最高海拔 5000m

| 绝缘类型 | 电气间隙 | 爬电距离（材料组 Ⅰ/Ⅱ/Ⅲ，mm） |
|---|---|---|
| **加强绝缘** | **≥ 4.5 mm** | 8.0 / 11.2 / 16.0 |
| **基本绝缘** | **≥ 2.3 mm** | 4.0 / 5.6 / 8.0（测量 +0.2） |

- **抗电强度：**基本 2500Vdc / 加强 4000Vdc ×60s；产线 100% 测 1–4s
- **接地/湿热：**保护接地 ≤20mΩ；40℃/93% ×120h 湿热后耐压
- **液冷安全：**静水压 3×、非金属件 87℃×14d 蠕变、泄漏引导 + 滴水测试 + FMEA
- **故障安全：**异常/单一故障不起火；可触及端子放电至 ≤60V（§3.2.4）

## EMC §6 • CISPR 32/35 八项（Class A +6dB）

- **标准基线：**CISPR 32/35、FCC Part 15-B、EN 300 386；800Vdc（760/840）满载、25±5℃
- **RE 辐射：**30MHz–40GHz，Class A + 6dB 裕量（判据 A）
- **CE 传导：**150kHz–30MHz，Class A + 6dB（判据 A）
- **ESD：**接触 ±6kV / 空气 ±8kV（判据 B）
- **EFT：**±2kV，5/100kHz（判据 B）
- **Surge：**线-线 ±1kV/2Ω、线-地 ±2kV/12Ω（B）
- **RS / CS：**10V/m（80M–6G）/ 3V（150k–80M）（A）
- **工频磁场：**3A/m（判据 A）
- **判据/滤波：**A=功能不降低；B=可暂时降级但自恢复；先测原始 EMI 再算插损，Y+CM 扼流圈 X+DM 电感多级组合

### 解读要点

› 绝缘按材料组取爬电、抗电强度 60s + 产线 100% 筛选——安规验证建立在层层“裕量”之上。
› EMI 在 Class A 限值上再留 6dB。
› 判据 A/B 区分“不允许掉链子”与“允许暂时降级后自恢复”的功能等级。

# 通信与监控：PMBus 1.2 命令集、LINEAR 格式与故障黑盒

## 物理层与地址 §8.1–8.2

- **信号线**：SDA / SCL / POWER_GOOD（可选）+ 地址线 A0、A1
- **速率**：100 / 400kHz，符合 SMBus 2.0（§3.1.2/3.1.3）
- **PEC**：强制校验：主机命令与模块响应均带 PEC，不兼容无 PEC 主机
- **时序**：连续命令序列 >30ms 时，帧间 TBUF ≥200μs
- **地址**：A0/A1 上下拉电阻设 4 地址；地址 = 8·A0 + A1 + 88

## LINEAR 数据格式 §8.3

- **输出量**：Vo 用 16bit 无符号尾数 + 固定指数 −9（LSB 1.953mV）
- **其他量**：11bit 补码尾数 + 5bit 补码指数；不支持 Direct 格式
- **分辨率**：Vin 1V、Iin 1/8A（exp −3）、Io 1A
- **时间/功率**：0.5ms（exp −1）/ 64W（exp 6）；温度 exp −2
- **示例**：VIN_ON=680V → 0x02A8；Vo 55V → 0x6E00

## 命令集与状态字 §8.4

- **控制**：OPERATION 0x01、CLEAR_FAULTS 0x03、WRITE_PROTECT 0x10
- **输入/OC**：VIN_ON/OFF 740/720V；OC_FAULT/WARN 660/640A
- **OT/OV/PG**：OT 110/100℃、VIN_OV 880V、PGOOD_ON/OFF 39/35V
- **状态字**：0x79–7E（Vin/Vout/Iout/Temp/CML…），故障位锁存
- **遥测/块读**：READ_* 0x88–97；0xDA/DB/DC 聚合读三模块（16B/模块）

## 黑盒与远程控制 §8.5–8.6

- **触发**：OVP/OCP/OTP 等故障关断时写入非易失存储（NVM）
- **首故障**：上电后仅记录首个故障，重新上电或 ON 后解锁
- **容量**：10 条历史 ×32B：事件/状态字 + V·I·T + 运行时长
- **寿命**：NVM 10000 次擦写；每存满 10 条擦除一次闪存
- **命令/控制**：0xE0 读事件、0xE1/E2 偏移、0xD1 擦除；0x10 解锁后 0x01 开机/0x00 关机

**解读要点** 固定变比 DCX“只监不控”——PMBus 承担遥测、保护阈值与开关机，不参与输出稳压；首故障锁定黑盒 + 三模块块读为均流评估与现场失效定位提供数据链；BMC 字段定义仍为 TBD。

# 可靠性、测试矩阵与合规体系，及论坛讨论点

## 可靠性 §9 • IPC-9592B 贯穿

- **寿命指标：** MTBF > 1,000,000h（液温 45℃、100% 负载、90% 置信）
- **应力验证：** 热/电压/电流三类；760/800/840V × 631.5/600/571.4A
- **HALT：** 8 项步进（低/高温、温变、振动、电压、负载），RCA 闭环
- **寿命试验：** THB 85/85×1000h、HTOB×1000h、温循 ≥700、PTC ≥15
- **量产质量：** 100% BI/HASS → 抽样 → ORT；PFMEA/SPC/PCN 管控
- **设计闭环：** DFMEA 冻结前缓解；EVT→DVT→PVT，等效 ≥6 年

## 测试矩阵 §10

- **§10.1 功能：** 16+ 项——冲击电流、开关电压、效率、调节率、精度、纹波、瞬态
- **保护项：** OCP/SCP/OVP/UVP/OTP、热插拔、均流（IPC-9592B 附录 C）
- **判据：** A=全程不降性能；B=可暂时降级、可自恢复、数据不丢
- **§10.2 环境：** HALT/THB/HTOB、温循、PTC；随机振动 2.4Grms
- **机械：** 振动 3.8Grms、冲击 30g/11ms、包装 26 次（1m）、跌落 100mm
- **§10.3–10.5：** 固件（产品/托盘级）、EMS/EMI/声学、安规与制造符合性

## 合规 §11 • 全球部署

- **测试机构：** 认可实验室测试；目标市场本地测试签 NDA 保密
- **认证：** CB / CE / UL / CCC；目标国家/地区覆盖清单 TBD
- **工厂：** 资质维持并接受认证机构定期审核
- **标识/环保：** 法规标签、EMC/安全设计要求、RoHS 类限害物质
- **变更：** 认证后任何设计/物料变更须经事先书面批准
- **归档：** 报告/证书/注册/DoC 保存，随法规更新复审复测

## V0.8 待完善（TBD）

- 结构尺寸 / 水道、冷却液流量与流阻（§4/§5）
- 熔断器标称 In、$I^2t$ 与双路熔丝必要性（§3.2）
- ORing Rds(on)、反向漏电流、软启动时间（§3.2）
- 输出铜排、冲击振动、BMC 通信字段（§4.4/4.5/§8）

## 建议论坛讨论点

- 固定变比母线对 GPU 毫秒级动态负载的影响边界
- GaN 100V/ns 驱动抗扰、双面散热封装与布局工艺
- ISOP 自动均压 / 交错纹波收益；EDP 循环下熔丝疲劳建模
- 非调节架构下 PMBus 只监不控，黑盒如何支撑预测性运维

* **注：** 以上 TBD 项与讨论点基于 V0.8 整合初稿整理，最终以正式发布版本为准。

# 编委单位与报告作者

感谢以下 **23 家** 编委单位、**47 位** 作者共同参与本参考设计 V0.8 的编写与技术评审（按源稿顺序）。

GCC · Open AI Infra

## 系统与云计算厂商 10 家

**北京抖音科技有限公司** · 何佳泷

**北京百度网讯科技有限公司** · 程冰

**中兴通讯股份有限公司** · 刘造

**京东云计算有限公司** · 王贵林、李升、席朝飞

**北京快手科技有限公司** · 余曦

**天翼云科技有限公司** · 庞玮、吕和栋

**上海哔哩哔哩科技有限公司** · 陆汉城

**小红书科技有限公司** · 陈立波、任晓磐

**锐捷网络股份有限公司** · 李武

**华为技术有限公司** · 韩明明

## 电源系统厂商 10 家

**汇川联合动力系统股份有限公司** · 韩坤、葛科勇、王震、刘玉龙、王才兵

**台达电子企业管理（上海）有限公司** · 朱鹏程、周新、邵勇全

**长城电源技术有限公司** · 张晋颖、吴恒

**芯源系统股份有限公司（MPS）** · 刘少纯、魏海彬、徐晟、张兴宇、黎彦君、刘顺满

**讯湃科技（上海）有限公司（XPOWER）** · 祝锦、黄秀成

**深圳麦格米特电气股份有限公司** · 韩龙飞、张俊文

**苏州悉智科技有限公司** · 刘波、闵峰

**英飞凌科技（中国）有限公司** · 宋清亮

**永初智元（上海）科技有限公司** · 徐迎春、田若男、罗月亮

**杭州芯宇半导体有限公司** · 魏晓刚、余训龙

## 连接器厂商 3 家

**安费诺公司** · 吴国继、刘诣林

**莫仕（中国）投资有限公司深圳分公司** · 崔君君、李建邦

**中航光电科技股份有限公司** · 聂静良

**Thanks for review** **欢迎技术讨论与指正**

全球计算联盟 Open AI Infra · 2026.10

Global Computing Consortium
全球计算联盟

2026全球计算大会(CGC2026)

COMPUTING GLOBAL CONFERENCE 2026

# 谢谢！

规范下载链接