

Doc No. PMT-WP-2026-  
003-CN

日期 2026-07-05

版本 A/1

页数 8

# 储能变流器（PCS）磁器件 设计与选型指南（3kW – 5MW）

## 摘要

本白皮书面向 3kW 户用至 5MW 工商业储能变流器（PCS），给出双向储能磁器件的标准化设计框架：涵盖由 GB/T 34120-2023、GB/T 36547/36548 及 IEC 62477-1 倒推的合规目标、磁芯材料选型、扁平线绕组工艺、磁集成、抗饱和冗余设计与样品阶段验证清单。

供应商	
公司	深圳市谱磁科技有限公司 (SHENZHEN PROMAGTECH CO.,LTD.)
地址	深圳市光明区凤凰街道东大路 22 号 1 栋 3 层，邮编 518132
联系方式	Tel/WhatsApp +86 13537658938   zyong@promagtech.cn   www.promagtech.com

声明：本文所有数值为基于工程计算与项目经验的设计目标，各项目最终性能以样品实测数据为准。

## 目录

1 概述.....	3
2 合规目标与适用标准.....	3
3 PCS 磁器件功能架构.....	3
4 户用储能 PCS 方案 (3-20kW) .....	4
5 工商业储能 PCS 方案 (50kW-5MW) .....	5
6 磁芯材料选型.....	6
7 绕组工艺与磁集成.....	6
8 样品阶段验证清单.....	7
9 常见问题.....	7
10 关于谱磁科技与免责声明.....	8

## 1 概述

在双向储能变流器（PCS）中，隔离变压器、功率电感、网侧滤波电抗器与 EMI 磁件共同承担能量变换、电气隔离、谐波抑制与传导干扰滤除四项核心功能。工程实践表明，PCS 五大高发问题——磁饱和、并网谐波超标、传导 EMI 超限、温升过高与效率不达标——多可追溯至磁芯选材、绕组工艺或设计冗余不足。

随着 800V 直流母线平台与 SiC 器件推动开关频率上行，传统圆线绕组与单一磁芯策略正日益成为功率密度与散热性能的瓶颈。本文给出器件级设计框架，用于支撑整机合规，而非替代整机级验证。

## 2 合规目标与适用标准

磁器件没有独立的储能标准，设计目标由下列 PCS 整机标准倒推确定。

标准号	名称与范围	与磁件的关联
GB/T 34120-2023	电化学储能系统储能变流器技术要求	电气与安全总体要求
GB/T 36547 / 36548	电化学储能系统接入电网技术规范/测试规范	谐波、功率因数——滤波设计目标
GB/T 42717-2023	电化学储能电站并网性能评价方法	并网验收阶段核验
GB/T 14549	公用电网谐波限值	公共连接点谐波预算
IEC 62477-1	电力电子变换器系统安全要求	绝缘配合与介电试验
UL 1741 / UL 9540	北美并网逆变与储能系统安全体系	出口项目认证

### 倒推的器件级设计指标

- 并网电流 THD < 5%（系统级），滤波环节按 < 3% 留裕量
- 满载温升  $\leq 60\text{K}$ ；工商业每日深充放工况  $\leq 55\text{K}$
- 工频耐压 2500~3000VAC（按母线平台确定）；绝缘电阻  $\geq 100\text{M}\Omega$
- 饱和电流  $\geq 1.5$  倍额定电流
- 共模+差模两级滤波，支撑 Class B 传导限值

## 3 PCS 磁器件功能架构

完整 PCS 能量链路划分为五大磁器件功能单元，每个单元的选材、绕组工艺与参数独立标准化。

功能单元	典型器件
直流侧功率磁件	双向储能电感、直流平波电抗器、升降压功率电感
高频隔离变换	LLC 谐振变压器、DAB 双向隔离变压器、独立谐振电感
并网逆变滤波	单相/三相滤波电抗器、SVG 无功补偿电抗器
EMI 抗扰	共模电感、差模电感、高频抑制磁环组件
集成磁件	漏感复用一体化变压器、耦合电感

## 电压平台适配

- 48/51.2V 户用：轻量化高频磁件，自然冷却、低噪音
- 700/800V 工商业：SiC 适配低漏感磁件，全范围软开关、共模电流抑制
- 1500V 电站级：按项目工程评审后定制

## 4 户用储能 PCS 方案 (3 – 20kW)

适配拓扑：LLC 双向隔离，50–120kHz    电压平台：48V/51.2V 电池，400V 直流母线

### 4.1 LLC 高频隔离变压器

PC95 锰锌铁氧体磁芯，扁平线立绕，窗口填充率 $\geq 90\%$ 。利用变压器自身漏感替代外置谐振电感，精简器件数量；三层绝缘线绕制，耐压 $\geq 2500\text{VAC}$ ，低噪音适合室内安装。

### 4.2 双向储能扁平线功率电感

铁硅铝磁粉芯：饱和磁通密度高，直流偏磁下磁导率衰减平缓，适配电池宽电压波动。同体积下扁平导体较圆线 DCR 降低 20%~40%，铜损与温升同步下降。

### 4.3 并网滤波与 EMI 组合

输出侧电流 THD 按 $\leq 3\%$ 设计，UU 型共模电感抑制高频干扰，支撑整机 Class B 传导达标。

**器件级收益：**磁件降损可为整机效率贡献约 0.3%~0.8% 提升空间；静音运行；10 年设计寿命目标。

## 4.4 典型设计包络

参数	设计目标
功率范围	3 – 20 kW
开关频率	50 – 120 kHz
变压器耐压	≥ 2,500 VAC / 60 s
电感 DCR 对比圆线	同体积下降低 20%~40%
输出 THD 预算	≤ 3%
温升	额定负载下 ≤ 60K

## 5 工商业储能 PCS 方案 (50kW – 5MW)

**适配拓扑：**T 型三电平+DAB 双向，SiC 器件     **电压平台：**700V/800V 直流母线

### 5.1 DAB 双向高频隔离变压器

N87 锰锌铁氧体，多层扁铜箔绕制。核心工艺能力为漏感精准可控（20–40 $\mu$ H，公差按项目约定），是全负载区间 ZVS 软开关的前提。原副边隔离耐压 3000VAC，适配 800V SiC 高 dv/dt 回路，抑制共模漏电流。

### 5.2 非晶合金储能电抗器

1K107 非晶带材：中低频铁损约为传统硅钢的 1/3；满载温升 ≤ 55K；可承受 2 倍额定电流短时冲击，适配每日多次深度充放电工况。

### 5.3 三相滤波电抗器与纳米晶共模电感

滤波电抗率 4%–5%，支撑系统功率因数 ≥ 0.95。纳米晶共模电感初始磁导率高、有效抑制频段宽，降低对地漏电流，减少并网 RCMU 误跳闸。

## 5.4 典型设计包络

参数	设计目标
功率范围	50kW – 5MW（模块化）

直流母线	700 V / 800 V
DAB 漏感	20 – 40 $\mu$ H，公差可控
隔离耐压	3,000 VAC / 60 s
电抗器温升	每日深充放工况 $\leq$ 55K
短时过载	2 倍额定电流
电抗率/功率因数	4 – 5% / $\geq$ 0.95

电站级项目（1500V 平台）经联合设计评审后按项目定制，欢迎带参数交流。

## 6 磁芯材料选型

材料	频率区间	典型器件	核心特性
PC95/N87 锰锌铁氧体	50 kHz – 500 kHz	高频变压器、小型滤波电感	高频涡流损耗低
铁硅铝磁粉芯	20 kHz – 150 kHz	双向储能功率电感	高饱和、抗直流偏磁
1K107 非晶	1 kHz – 50 kHz	大功率储能电抗器	铁损低、温升小
纳米晶	10kHz – MHz 级	共模电感	初始磁导率极高

**选型原则：频率定材质，直流偏磁定气隙，温升定线规。**

## 7 绕组工艺与磁集成

### 7.1 扁平线立绕

窗口填充率 $\geq$ 90%；同体积下 DCR 铜损较圆线降低 20%~40%。薄型导体在 SiC 开关频率下削弱趋肤与邻近效应，控制交直流电阻比。

### 7.2 磁集成

通过漏感复用、多绕组共磁路、滤波与隔离复合三种路径，将多个磁件合并为单一组件。项目实测：磁件重量降约 30%，体积缩减 25%~50%，物料与装配成本同步下降。

### 7.3 抗饱和冗余设计

储能工况磁件统一执行 1.5 倍额定电流饱和冗余；优化气隙长度与磁通集中区铁芯截面，避免过载与母线宽幅波动下的波形畸变与效率骤降。

## 8 样品阶段验证清单

建议在设计冻结前完成以下核验项。标注 (S) 者为整机厂执行的系统级测试。

项目	方法	判定
电感-电流曲线（直流偏磁）	LCR 表+偏磁源	1.5 倍额定下衰减在设计限内
温升分布	热电偶/红外，额定负载	≤60K（工商业工况≤55K）
介电耐压	耐压测试 60 秒	2500~3000VAC 无击穿
绝缘电阻	兆欧表 500/1000VDC	≥100MΩ
漏感（DAB/LLC）	LCR 副边短路法	在约定公差内
直流电阻 DCR	微欧计	按图纸
传导 EMI (S)	LISN 扫描	支撑 Class B 限值

## 9 常见问题

### Q1：储能电感为什么优先选铁硅铝而不是铁氧体？

储能电感承受大直流偏置。铁硅铝饱和磁通密度高、磁导率随偏磁下降平缓；铁氧体饱和点低，需大气隙，边缘磁通损耗大。

### Q2：DAB 变压器漏感为什么要精准控制？

漏感是 DAB 拓扑的能量传输元件，决定传输功率与软开关范围；偏差过大轻载丢失 ZVS，效率与 EMI 同时恶化。

### Q3：扁平线一定比圆线好吗？

不一定。大电流、高填充场景扁平线优势明显；匝数很多或频率极高时需逐例评估涡流损耗，谱磁可按工况提供仿真对比。

## 10 关于谱磁科技与免责声明

深圳市谱磁科技有限公司（成立于 2013 年）专注扁平线功率电感与高频变压器，服务储能 PCS、充电桩、光伏逆变与工业电源客户。核心能力：扁平线立绕工艺、漏感可控变压器设计，以及覆盖电感量、直流偏磁、漏感、DCR、耐压与绝缘电阻的项目制检验。

### 工程合作流程

- 第一步：提供工况参数——拓扑、电流波形、频率、电压、散热方式、结构包络
- 第二步：工程评审，1 个工作日内给出初步方案
- 第三步：仿真、图纸与打样，提供免费样品评估
- 第四步：按第 8 章清单联合验证，确认后量产

样品评估与方案评审：[www.promagtech.com](http://www.promagtech.com) | [zyong@promagtech.cn](mailto:zyong@promagtech.cn) | +86 13537658938（微信同号）

免责声明：本文仅供工程参考，不构成性能承诺。内容如有变更恕不另行通知；最终参数以各项目批准的产品规格书为准。

版本	日期	说明	编制
A/1	2026-07-05	首次发布	谱磁科技工程部