



电感选型指南 · 技术文章

扁平线 vs 圆线电感： 完整工程选型指南

从DCR、交流损耗、饱和电流、热性能、生产一致性到成本的系统对比——含场景化选型决策框架

适用场景：EV OBC · 储能PCS · 光伏逆变器 · AI数据中心 · 工业电源

发布方	深圳市谱磁科技有限公司 (PROMAGTECH)
文件类型	电感选型指南 — 扁平线 vs 圆线技术
适用读者	功率电子工程师 · 硬件研发 · 采购工程师
网址	www.promagtech.com
邮件	zyong@promagtech.cn

一、引言

在功率电感设计中，绕线技术的选择直接影响电气性能、热行为和单件成本。扁平线（矩形铜导线）和圆线（漆包圆铜线）是两种主要绕线技术，各有其适用场景和技术优势。

本文从六个工程维度进行系统性定量对比：直流电阻（DCR）、交流损耗特性、饱和电流（ I_{sat} ）行为、热性能、生产一致性和成本结构。文章包含结构化选型框架和场景化应用指导，帮助工程师将绕线技术与具体变换器需求精准匹配。

核心结论：在相同绕线窗口中，扁平线绕组通常比圆线降低DCR 15–30%，在额定电流超过50A且铜损和温升是主要约束的场合，扁平线是更优选择。圆线在低电流、低频或成本敏感应用中仍是合理选择，在这些场合圆形截面的几何损失不构成决定性限制。

二、几何形状与填充率：DCR差异的根本原因

扁平线和圆线电感之间的性能差异起源于基本几何形状。理解这一起源，使工程师能够预测差异显著的场合和差异可忽略的场合。

2.1 窗口填充率定义

窗口填充率（ k_w ）是绕组铜导体总截面积与磁芯可用绕线窗口面积之比：

$$k_w = (N \times A_{\text{conductor}}) / A_{\text{window}}$$

其中 N 为匝数， $A_{\text{conductor}}$ 为单根导体截面积（不含绝缘）， A_{window} 为可用绕线窗口总面积。填充率越高，单位窗口面积内参与导流的铜越多，在相同电感量目标下DCR越低。

2.2 圆线填充率低的原因

将圆形导体堆叠在矩形磁芯窗口中时，相邻导体之间不可避免地形成三角形空气间隙。理论上六方紧密堆积的最大填充率为 $\pi/(2\sqrt{3}) \approx 90.7\%$ ，但实际生产中从未实现，原因是：

- 绝缘层增加了导体有效直径而不增加导流截面
- 绕线张力变化导致窗口宽度方向上导体间距不均匀
- 层间绝缘纸或胶带增加高度而不填充窗口
- 窗口角落区域难以用圆形导体填充

在实际生产中，绕线工艺良好时圆线填充率可达55–65%；在手动或半自动绕线的批量生产中，45–55%更为典型。

2.3 扁平线填充率优势

矩形铜导体可以在磁芯窗口内同层相邻匝之间几乎零侧向间隙地堆叠——平坦表面直接通过薄绝缘膜接触。主要空隙仅为绝缘膜本身的厚度（通常25–75 μm）和任何刻意设置的用于电压分级的层间隔片。

绕组配置	典型填充率范围	生产可达	关键限制因素
圆线, 手动绕制	45–58%	60%	导线间空隙+张力变化
圆线, 自动化绕制	55–65%	68%	圆截面几何形状固有限制
扁平线, 手动绕制	65–75%	78%	绝缘膜厚度+角落空隙
扁平线, 自动化绕制	72–85%	88%	仅绝缘膜; 几何形状已优化
箔带绕组	80–90%	92%	最大可达; 适合低压设计

扁平线相对于圆线实现的15–25个百分点填充率提升，直接转化为相同磁芯、窗口和匝数下成比例更低的DCR。等效地，相同的DCR可以在窗口面积成比例更小的磁芯中实现，直接减少磁性体积和元件高度。

三、直流电阻 (DCR) : 定量对比

DCR是仅次于电感量的最常规格化电气参数，决定稳态铜损 ($P = I^2R$)、额定电流下的温升，以及可归因于电感的效率损失。

3.1 DCR公式与填充率关系

对于N匝绕组、平均匝长MLT、导体截面积A_c（净铜，不含绝缘）、铜电阻率ρ:

$$DCR = \rho \times N \times MLT / A_c \quad \text{且} \quad A_c = kw \times A_{window} / N$$

合并得: $DCR = \rho \times N^2 \times MLT / (kw \times A_{window})$ 。对于相同电感量（相同N）、相同磁芯（相同MLT和A_{window}）、相同工作温度，扁平线与圆线之间的DCR比值仅为填充率之比的倒数:

$$DCR_{扁平线} / DCR_{圆线} = kw_{圆线} / kw_{扁平线}$$

若kw_{圆线}=0.60, kw_{扁平线}=0.80, 则比值为0.60/0.80=0.75, 即相同磁芯和匝数下, 扁平线DCR为圆线的75%——降低25%。

3.2 实测DCR对比: 设计示例

设计场景	圆线DCR	扁平线DCR	DCR降低	100A下铜损对比
100A, 1 μ H, 相同磁芯和匝数	1.12 m Ω	0.78 m Ω	-30%	11.2W vs 7.8W (-3.4W)
50A, 10 μ H, 相同磁芯和匝数	4.8 m Ω	3.5 m Ω	-27%	12.0W vs 8.8W (-3.2W)
200A, 0.5 μ H, 相同磁芯和匝数	0.68 m Ω	0.50 m Ω	-26%	27.2W vs 20.0W (-7.2W)
30A, 100 μ H, 相同磁芯和匝数	18.5 m Ω	14.0 m Ω	-24%	16.7W vs 12.6W (-4.1W)

工程注意： 以上数值为基于典型填充率的代表性示例。实际DCR取决于磁芯几何形状、平均匝长、绝缘类型、绕线张力和工艺控制。生产DCR应始终在工作温度下对批准样品进行实测。

四、交流损耗：趋肤效应与邻近效应

在直流或低频下，扁平线的填充率优势直接转化为成比例的DCR改善。在较高开关频率下，两种额外的电磁现象使有效绕组电阻超过其直流值——扁平线和圆线的相对性能关键取决于导体几何形状与这些效应的匹配程度。

4.1 趋肤效应

在频率 f 下，导体中的电流集中在表面层（趋肤深度 δ ）内：

$$\delta \text{ (mm)} = 66.1 / \sqrt{f \text{ (Hz)}} \rightarrow 50\text{kHz时} \delta \approx 0.295\text{mm}, 500\text{kHz时} \delta \approx 0.093\text{mm}, 2\text{MHz时} \delta \approx 0.047\text{mm}$$

对于直径 $d > 2\delta$ 的圆形导体，高频下只有外部厚度为 δ 的环形壳层承载大部分电流，内部铜基本闲置，使交流电阻高于直流电阻。对于厚度 $t \leq 2\delta$ 的扁平导体，电流更均匀地分布在截面中。将扁平线导体厚度规格化为工作频率下1–2倍趋肤深度，是降低高频铜损最有效的单一设计动作。

4.2 邻近效应

承载交变电流的相邻导体产生时变磁场，穿透邻近导体并感应涡流，进一步扭曲电流分布并增加有效交流电阻。邻近效应在高频下的多层绕组中尤为严重。

频率	趋肤深度 (铜)	圆线交/直流比 (直径1mm, 3层)	扁平线交/直流比 ($t=2\delta$, 2层)	工程含义
10 kHz	0.66 mm	1.05–1.15×	1.0–1.02×	两者均可；圆线仍具竞争力
50 kHz	0.30 mm	1.3–2.0×	1.0–1.1×	扁平线开始明显领先
100 kHz	0.21 mm	1.8–3.5×	1.0–1.15×	扁平线交流损耗显著更低
500 kHz	0.093 mm	5–12×	1.1–1.4×	圆线交流损耗占主导；扁平线关键
1 MHz	0.066 mm	>15×	1.2–1.8×	薄扁平线或Litz线必须
2 MHz	0.047 mm	>25×	1.3–2.5×	多层超薄扁平线或PCB绕组

交流损耗设计原则： 开关频率高于100 kHz时，将扁平线导体厚度规格化为基频趋肤深度的2倍以内。这一单一设计决定可将交流电阻控制在直流电阻的10–40%以内，而相同频率下的圆线交流电阻可达直流电阻的3–15倍。

五、饱和电流 (Isat)：行为与规格化

饱和电流定义为电感量从零偏置值下降规定百分比时对应的直流偏置电流。最常用的定义是L降低20%，严格设计中使用L降低10%，部分快速瞬态应用使用L降低30%。

5.1 决定Isat的因素

Isat主要是磁路的函数，不直接受绕线导体几何形状影响：

- 磁芯材料饱和磁通密度 (Bsat)：更高的Bsat允许更多安匝数达到饱和
- 磁芯截面积 (Ac)：更大的截面积在相同磁通密度下承载更多磁通
- 匝数 (N)： $Isat \times N = H \times l_c$ (饱和时的磁场强度×磁路长度)
- 气隙长度：气隙储存能量并线性化B-H特性，在给定磁芯下提高Isat

导体几何形状（圆形vs矩形）对相同磁芯和匝数的Isat没有直接影响，但它改变了绕线窗口的使用效率，从而间接影响Isat优化。

5.2 填充率对Isat优化的间接影响

由于扁平线实现了更高的填充率，相同磁芯窗口中可以用更少的匝数满足给定的DCR规格，或在更小的窗口中使用相同的匝数。这两种选项对Isat的影响不同：

扁平线策略	对DCR的影响	对Isat的影响	适用场合
相同匝数，相同磁芯（更高填充率→更低DCR）	↓降低20-30%	无直接变化	DCR是约束条件且Isat裕量充足时
更少匝数，相同磁芯（填充率优势→相同DCR所需匝数减少）	与圆线相同	↑ Isat更高（匝数减少，相同磁芯）	Isat裕量紧张时；可以牺牲部分电感量
相同匝数，更小磁芯（填充率实现尺寸缩减）	与圆线相同	↓ Isat更低（更小磁芯）	高度/尺寸是约束条件；需重新验证Isat

5.3 饱和特性形状：软饱和 vs 硬饱和

电感量随直流偏置电流滚降的形状因磁芯类型不同而异：

- 铁粉芯和铁硅铝 (KoolMu) 磁芯：“软”饱和——电感量随电流缓慢下降，提供早期预警且对瞬态有容错能力。这些磁芯上的扁平线电感在Isat (L-20%) 以上仍保持有用的电感量，有利于PFC和双向储能应用。
- 带气隙铁氧体磁芯：“硬”饱和——电感量在饱和点前相对平坦，然后陡降。Isat (L-20%) 与Isat (L-50%) 非常接近，因此L-20%定义至关重要，必须以适当安全裕量进行验证。

Isat温度警告：铁粉芯和铁硅铝磁芯的Bs_{sat}随温度升高而降低——从25°C到100°C通常下降10–20%。必须在最高工作温度下而非仅在室温下验证Isat。在25°C时裕量充足的设计，在85°C工作温度下可能不足。

六、热性能：扁平线为什么运行更凉

电感的热性能取决于总损耗和从热源到冷却介质的热阻，扁平线在两方面都有改善：

6.1 更低的总损耗

电感总损耗由铜损和铁损组成：

$$P_{\text{总}} = I_{\text{rms}}^2 \times R_{\text{AC}} + P_{\text{core}}(f, B_{\text{ac}}, \text{磁芯体积})$$

扁平线通过两种机制降低 R_{AC} ：更低的DCR（填充率优势）和在高频下更低的趋肤/邻近效应交流电阻。铁损不直接受绕线导体类型影响，因此扁平线的铜损改善在大电流下成为总损耗降低的主导因素。

6.2 更短的热路径

在圆线绕组中，绕组产生的热量必须从每根导体通过导体间介质（空气间隙或灌封料）传导至外层绕组表面或磁芯壁。空气导热系数 $k \approx 0.026 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，标准灌封料 $k \approx 0.5\text{--}2.0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，铜 $k \approx 400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ——导体间介质是热瓶颈。在扁平线绕组中，导体表面通过薄膜近直接接触，铜的横向导热（ $400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）主导从导体内部到导体边缘再到磁芯壁或底板的路径，热阻从根本上更低。

热参数	圆线绕组	扁平线绕组	改善幅度
100A下铜损，相同磁芯	11.2 W (1.12 mΩ DCR)	7.8 W (0.78 mΩ DCR)	铜损降低30%
峰值温度与表面 ΔT （绕组内部）	典型18–35°C	典型6–15°C	热点温差降低50–60%
热阻（绕组到磁芯壁）	较高（空气间隙）	较低（仅绝缘膜）	热阻降低30–50%
100A实测温升	典型68°C	典型45–52°C	降低15–23°C

热验证要求： 本文的温升数据代表工程参考值。量产热性能必须在额定电流、额定频率、额定环境温度下，以最终组件中实际使用的冷却方式和安装配置进行实试验证。

七、生产一致性

对于大批量电力电子制造，批次间参数一致性是可靠性规格，而非仅仅是质量指标。DCR或电感量的大幅波动，即使标称设计看起来裕量充足，也会使部分单元工作在包络边缘。

质量参数	圆线（半手动）	圆线（自动化）	扁平线（自动化）	波动的影响
批次间DCR变化 (σ /均值)	±10–15%	±6–10%	±3–5%	DCR波动直接引起铜损和温升变化
电感量变化	±6–12%	±4–8%	±3–5%	影响极端条件下变换器控制环路稳定性
绕线几何控制	依赖操作工技术	张力受控	工装定义	几何变化=热阻变化
过程能力Cpk (DCR)	0.6–0.9	0.9–1.2	1.3–1.8	Cpk<1.33意味着>0.27%单元超规格
现场热阻变化	高	中等	低	一致的几何形状=一致的热阻

PROMAGTECH将扁平线电感项目的DCR Cpk ≥ 1.33 作为标准生产承诺，对应统计上每百万件中不超过66件落在DCR规格限外。在没有自动化张力控制和100%DCR筛选的情况下，圆线电感要实现同等一致性水平要困难得多。

八、成本结构与经济分析

扁平线电感通常比等效圆线电感高出15–40%的单件成本溢价。支付这一溢价的经济合理性取决于应用特性。

8.1 成本构成

成本要素	圆线	扁平线	扁平线成本驱动因素
导线材料	较低（线材商品）	较高（扁平截面）	扁平铜每公斤加工成本更高
绕线工艺	手动或半自动	自动化（工装）	工装在产量上摊薄
磁芯尺寸（相同规格）	较大	可能更小	填充率优势实现相同DCR的更小磁芯
工装投资	低	中等到高	每种线规+磁芯需定制绕线夹具
初期认证成本	较低	较高	需要更严格的工艺验证
保修期内维修率	较高（热应力）	较低	温升更低降低失效概率

8.2 盈亏平衡分析

扁平线与圆线之间的经济盈亏平衡主要取决于工作电流和生产批量：

- 连续电流低于20A：圆线铜损通常在可接受范围内；填充率改善不会将磁芯缩减至低于圆线实际最小尺寸；圆线通常是更好的经济选择
- 连续电流20A–50A：盈亏平衡取决于频率和封装限制；高频或热预算更紧时扁平线能证明成本合理
- 连续电流超过50A：扁平线铜损优势直接降低系统级热管理成本（更小散热器、更低风扇功率）；系统级总成本优势通常超过扁平线元件溢价
- 产量低于5,000件：工装摊薄使扁平线更贵，除非设计无法用圆线实现
- 产量超过20,000件：工装摊薄可忽略；扁平线Cpk优势降低保修和返工成本，全生命周期总拥有成本通常低于圆线

总拥有成本： 评估高功率项目中扁平线与圆线时，应计算完整的系统成本影响：更小的散热器、更低的气流需求、因热应力失效减少的保修索赔，以及更少的DCR不合格品。在额定电流超过100A、年产量超过50,000件的项目中，系统级经济性一致支持扁平线。

九、选型框架：决策指南

9.1 按工作电流快速选型

电流范围	推荐绕线	关键理由	例外情况
< 10A	圆线	成本优势决定性；填充率提升可忽略	高频 (>500kHz) 可能倾向扁平线
10A–30A	圆线优先	成本通常占主导；100kHz以上需评估	高度受限设计；大批量项目
30A–50A	两者评估	填充率收益开始抵消成本溢价	频率>100kHz或ΔT限值严格时选扁平线
50A–100A	扁平线优先	DCR和热优势明显；成本开始被抵消	低频简单设计仍可用圆线
> 100A	强烈推荐扁平线	DCR、热和一致性优势全面体现	低V/匝的高匝数绕组例外

9.2 按开关频率快速选型

开关频率	圆线交流损耗劣势	扁平线收益	建议
< 30 kHz	可忽略 (交/直流比 <1.1×)	仅填充率优势	电流<50A用圆线；>50A用扁平线
30–100 kHz	中等 (1.2–2.5×)	填充率+交流损耗	30A以上扁平线；低电流用圆线
100–500 kHz	显著 (2–8×)	显著的交流损耗优势	扁平线强烈推荐；厚度匹配2倍趋肤深度
500kHz–2MHz	严重 (>8×)	关键；厚度必须匹配趋肤深度	薄扁平线或Litz线；2MHz以上考虑PCB绕组

9.3 完整决策矩阵

以下情况选扁平线：

- 每绕组连续电流超过50A且DCR是热性能的约束条件
- 开关频率高于100 kHz且交流铜损对总绕组损耗有显著贡献
- 封装高度受限且需要填充率提升来使设计符合空间限制
- 温升限制低于环境温度以上40°C且每度热裕量都很重要
- 年产量超过10,000件且Cpk ≥ 1.33是质量项目要求
- 应用为汽车 (AEC-Q200) 或储能，工艺可追溯性有合同要求
- 系统级热管理成本 (散热器、风扇、冷却) 显著且可通过降低电感温升来减少

以下情况选圆线：

- 每绕组连续电流低于20A且额定负载下热裕量充足
- 开关频率低于50 kHz且趋肤效应对交流电阻的贡献低于总损耗的20%
- 每绕组匝数超过30匝，小线规的扁平线单匝成本优势被更高的导线成本抵消
- 产量低于5,000件，扁平线工装投资无法在项目中摊薄
- 变换器拓扑需要复杂的多层交错绕组结构，扁平线层管理增加的复杂度超过其收益
- 预算是主要限制，圆线的热代价在可用冷却条件下是可控的

十、场景化应用选型指导

10.1 EV车载充电机（OBC）— PFC升压电感

参数	典型规格	绕线技术建议
额定电流	15–60 A RMS	30A以上扁平线；20A以下圆线
开关频率	65–200 kHz	扁平线：交流损耗优势显著
DCR目标	1–8 mΩ	扁平线：相同磁芯DCR低25–30%
温升限制	≤ 45°C（汽车级）	扁平线：温升通常低15–20°C
绝缘要求	AC 3000V（800V系统）	两者：绝缘设计问题，与导线类型无关
AEC-Q200合规	要求	扁平线：更容易实现Cpk要求

10.2 储能PCS — 双向电感

储能PCS电感必须在充放电两个方向上以相同的正向和反向 I_{sat} 裕量工作。不对称设计中反向 I_{sat} 通常低于正向；对称扁平线绕组确保两个方向的 I_{sat} 相同。

参数	典型规格	建议
每方向额定电流	50–250 A	50A以上强烈推荐扁平线
开关频率	10–100 kHz	30kHz以上频率选扁平线
I_{sat} (L-20%)	≥额定电流1.4倍	须在100°C工作温度下验证
DCR目标	200A下≤0.5 mΩ	扁平线：可实现；圆线：极困难
200A连续温升	≤ 45°C	扁平线：比圆线低20–25°C

10.3 光伏逆变器 — MPPT升压电感

组串和集中式逆变器中的MPPT升压电感在25年内持续以部分至满功率运行。主要约束是长期热可靠性而非峰值功率密度。扁平线更低的DCR降低了 I^2R 热量，直接延长绕组绝缘寿命（根据Arrhenius模型，绕组温度每降低10°C，变压器寿命约翻倍）。

10.4 AI数据中心 — 48V POL DC-DC

48V AI服务器电源架构中的POL变换器使用GaN器件在300 kHz至2 MHz下开关。在这些频率下，圆线交流电阻可达直流电阻的5–20倍，使厚度与趋肤深度2倍匹配的扁平线成为实现可接受铜损的唯一实用绕线技术。

十一、扁平线电感规格化参数清单

提交定制扁平线电感设计评审时，请提供以下参数。不完整的规格将导致无法反映工程最优解的通用回复。

参数	规格内容	必要性说明
电感量及公差	工作偏置下的 μH 或 $\text{nH} \pm\%$ 公差	磁芯和匝数选择；偏置特性必须规格化
额定电流	每绕组额定负载和温度下的RMS安培	导体截面和DCR要求
峰值/饱和电流	$I_{\text{peak}} = I_{\text{rated}} + \Delta I/2$ 时的安培； I_{sat} 规格方法 (L-20%?)	磁芯尺寸；必须在热温度下验证
交流/纹波电流	峰峰值安培和开关频率	交流铜损和铁损计算
DCR限值	25°C和最高工作温度下的最大 $\text{m}\Omega$	铜损预算；高温值常被忽视
温升限制	高于环境温度的最大 $\Delta T^\circ\text{C}$ ；注明环境温度	热设计依据
散热方式	自然对流/强制风冷/底板接触	决定热阻目标
封装空间	最大长 \times 宽 \times 高 mm ；PCB焊盘；引脚间距	磁芯几何和窗口面积选择
工作电压	直流母线电压和峰值瞬态	绝缘等级要求
绝缘/耐压	工作电压+耐压等级+测试标准	薄膜类型和层间设计
认证需求	AEC-Q200/UL/RoHS/IEC标准	材料和工艺认证等级
数量和计划	原型 pcs /NPI/每月产量	工装投资和交付计划

PROMAGTECH响应承诺： 收到包含以上参数的完整规格后，PROMAGTECH工程团队将在24小时内提供初步设计评估，3个工作日内提供正式设计方案或报价。

十二、常见问题解答

Q1: 扁平线相对于圆线的DCR优势是多少?

扁平线在相同磁芯和绕线窗口中通常比圆线降低DCR 15–30%，原因是矩形导体提高了绕线窗口的铜填充率。具体数值取决于特定磁芯几何形状和生产工艺下各绕线技术可达到的填充率。扁平线75–85%对比圆线55–65%的填充率是代表性生产值。

Q2: 何时应选择圆线而非扁平线?

圆线在三种情况下仍是实用且通常更好的经济选择：（1）连续电流低于约20A，填充率优势对热性能影响不大；（2）开关频率很低（50kHz以下），趋肤效应对交流电阻的贡献很小；（3）产量低（不足5,000件），扁平线工装投资无法在项目中摊薄。对于许多层的高匝数绕组，高频下Litz线也可能优于扁平线。

Q3: 扁平线绕组如何影响饱和电流?

饱和电流由磁芯材料、磁芯截面积、匝数和气隙长度决定，不直接受导体几何形状影响。扁平线更高的填充率允许相同的DCR用更少的匝数在相同窗口中实现，从而提高相同磁芯的 I_{sat} 。或者，相同的匝数可以在更小的磁芯中使用，这会降低 I_{sat} 。设计策略（相同匝数/更少匝数/更小磁芯）决定 I_{sat} 的结果。

Q4: 扁平线如何影响电感量公差?

扁平线绕组通过更好的填充率一致性间接改善电感量公差。生产中电感量变化的主要来源是：匝数准确性（通常精确）、磁芯磁导率变化（无气隙磁芯 $\pm 10\text{--}25\%$ ），以及气隙长度变化（对带气隙磁芯通常是主导变量）。对于带气隙磁芯设计，绕线一致性对DCR的影响大于对电感量的影响。

Q5: 扁平线适用于变压器而非仅电感吗?

适用。扁平线绕制用于PFC级、LLC和CLLC谐振变换器、隔离DC-DC变换器和双向变换器设计的变压器一次侧和二次侧。在变压器应用中，主要优势相同：大电流绕组的更低DCR和更好的热管理。一二次侧之间的绕组间绝缘系统必须设计以满足所需的爬电和电气间隙以及耐压测试电压。

Q6: 本指南中的扁平线性能数据可以直接用于量产吗?

不可以。本指南中的所有数值均为工程参考值和基于典型设计的示意性示例。实际量产值取决于具体磁芯几何形状、绕线配置、导体截面积和厚度、绝缘材料和厚度、工作波形、冷却方式和热环境。量产值必须通过批准样品、工作温度下的DCR测量、直流偏置电感量测量、额定电流下的热验证和耐压测试，在量产发布前逐一确认。

十三、相关技术资源

资源	说明	链接
大电流扁平线电感	用于EV、储能和工业变换器的定制大电流扁平线电感	promagtech.com/products/flat-wire-inductor.html
SMD扁平线电感	用于紧凑功率模块的低矮表贴扁平线电感	promagtech.com/products/smd-flat-wire-inductor.html
120V/40A/66kHz扁平线案例研究	真实设计案例：直流偏置、紧凑封装、样品阶段检查	promagtech.com/technical-resources/anonymized-120v-40a-66khz-flat-wire-inductor-design-case.html
高功率密度白皮书	圆线vs扁平线权衡：填充率、交流损耗、热路径、生产一致性	promagtech.com/technical-resources/high-power-density-flat-wire-magnetics-white-paper.html
48V AI数据中心文章	高密度48V AI服务器POL变换器的热和绕线极限分析	promagtech.com/technical-resources/48v-ai-data-center-flat-wire-inductors.html
AIDC与储能PCS设计指南V4	12章深度指南：磁芯材料、DCR、温升、饱和、真实案例	promagtech.com/tech/aidc-ess-inductor-design-guide

<p>深圳市谱磁科技有限公司</p> <p>SHENZHEN PROMAGTECH CO., LTD.</p> <p>www.promagtech.com</p> <p>zyong@promagtech.cn</p> <p>扁平线功率电感 · 变压器 · 定制磁性元件</p>	<p>提交设计评审</p> <ul style="list-style-type: none"> • 提供电流、频率、电感量、DCR限值和封装尺寸 • 完整规格24小时内给出初步响应 • 样品周期：标准品2周 / 定制品3-4周 • 应用：EV · 储能 · AIDC · 光伏 · 工业
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------