



SHENZHEN PROMAGTECH CO.,LTD. | 深圳市谱磁科技有限公司

工程选型指南 · www.promagtech.com

磁粉芯怎么选:

Fe-Si · Sendust · High Flux · MPP

一份工程师能直接用的选型指南:物性、取舍、定位图与选型计算

项目	内容
文件名称	磁粉芯选型指南 — Fe-Si / Sendust / High Flux / MPP
适用范围	PFC、大电流、滤波、谐振电感用的分布式气隙磁粉芯
面向读者	功率电感设计与采购工程师
作者 / 审阅	张勇 — 电子工程师、谱磁科技创始人
版本 / 日期	CN-1.0 / 2026-07-14
网站 / 联系	www.promagtech.com · +86 135 3765 8938 · zyong@promagtech.cn

文中数值为典型值,以具体牌号/厂商 *datasheet* 与送样实测为准;商品名归各自所有者。



摘要与关键点

一句话结论

磁粉芯的四大主流——Fe-Si、Sendust、High Flux、MPP——本质是在四个维度上做权衡：饱和磁密(Bsat)、磁损、DC bias 能力、成本。Bsat 越高越扛直流偏置,但磁损通常越大。记住一条主线:Fe-Si 最能扛、最便宜但磁损高;MPP 磁损最低、最贵;Sendust 是最均衡的通用选择;High Flux 在紧凑尺寸下 DC bias 最强。

先给结论——速选表:

材料	商品名	Bsat(T)	定位	相对成本
Fe-Si	XFlux / MegaFlux	~1.6	高 Bsat、高磁损、成本低	低
Sendust	Kool M μ	~1.05	低磁损、静音、最均衡	中低
High Flux	High Flux	~1.5	紧凑下 DC bias 最强	中高
MPP	MPP	~0.75	磁损最低、温度最稳	高

表 1 — 四种磁粉芯速选表(典型值,以 datasheet 为准)

关键点:

- 四个权衡维度:Bsat、磁损、DC bias、成本——没有全能材料,只有最匹配你工况的材料。
- Bsat 决定 DC bias:Bsat 越高,同样电流下感量掉得越少。Fe-Si $\approx$ High Flux 最抗偏置,MPP 最先跌。
- 磁损与 Bsat 反向:磁损从低到高:MPP < Sendust < High Flux < Fe-Si。要低损耗就往 MPP 端走。
- 成本从低到高:Fe-Si < Sendust < High Flux < MPP(含镍越多越贵)。
- 分布式气隙:磁粉芯自带分布式气隙、软饱和,不需要像铁氧体那样开外部气隙。

说明 本文数值为典型值,不同牌号/厂商/磁导率差异明显,务必以选定牌号的 datasheet 与送样实测为准。商品名(XFlux、Kool M μ 等)归各自所有者。

1. 磁粉芯为什么关键:分布式气隙与软饱和

磁粉芯是把铁磁合金粉末绝缘包覆后压制成型的磁芯。粉末颗粒之间天然存在无数微小的“分布式气隙”,这带来两个工程上极重要的特性:一是软饱和——感量随直流电流平缓下降,而不是像铁氧体+集中气隙那样到点骤降;二是不需要外部开气隙,磁路更均匀、边缘磁通与局部发热更小。



正因如此,凡是带大直流偏置的电感(PFC 升压电感、储能大电流电感、输出滤波电感),磁粉芯几乎是默认选择。选型的全部功夫,就在于四种材料之间的权衡。

2. 四种材料逐一解剖

Fe-Si(铁硅,商品名 XFlux / MegaFlux)

成分为铁硅合金,磁导率范围约 26–60。最大特点是 Bs_{at} 最高(约 1.6T),因此 DC bias 能力极强、能扛大电流;而且不含镍,成本最低。代价是磁损在四者中最高。适合成本敏感、直流偏置大、损耗不是第一约束的场景——大电流储能电感、部分 PFC。

Sendust(铁硅铝,商品名 Kool M μ)

成分为铁-硅-铝合金,磁导率范围约 26–125。Bs_{at} 约 1.05T,磁损明显低于 Fe-Si,DC bias 与温度稳定性都不错,且磁致伸缩接近零、工作静音(无啸叫)。不含镍,成本中低。它是四者里最均衡的“万金油”,大量通用 PFC 与滤波电感的首选。

High Flux(铁镍 50/50)

成分为约 50% 镍的铁镍合金,磁导率范围约 14–160。Bs_{at} 约 1.5T,DC bias 能力在四者中最强(高 Bs_{at} + 稳定磁导率),磁损介于 Sendust 与 Fe-Si 之间,含镍使成本偏高。适合在紧凑尺寸下要扛大直流偏置的电感。

MPP(钼坡莫合金,Molypermalloy)

成分为镍-铁-钼合金,磁导率范围最宽(约 14–550)。Bs_{at} 最低(约 0.75T),但磁损最低、Q 值最高、温度稳定性最好。含钼含镍使其最贵。适合高频滤波、谐振电感、高 Q、宽温等对损耗和稳定性要求苛刻、直流偏置不极端的场景。

3. 五维横向对比

图 2 四种磁粉芯五维对比(相对值 1-5)

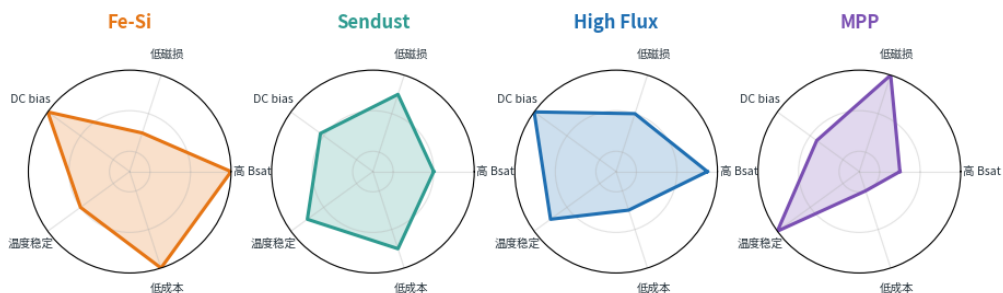




图 2 — 四种磁粉芯五维对比(相对值,越大越好)。

材料	Bsat	磁损(低=好)	DC bias	温度稳定	相对成本
Fe-Si	最高	高	很好	中	低
Sendust	中	低	好	好	中低
High Flux	高	中	最好	好	中高
MPP	低	最低	中	最好	高

表 2 — 五维横向对比(相对定性,数值以 datasheet 为准)

4. DC bias 是核心:看感量保持曲线

电感最怕的是额定电流下感量塌掉。磁粉芯的 DC bias 特性通常用“初始磁导率百分比 vs 直流磁场强度 H”曲线表达——曲线掉得越慢,大电流下感量保持越好。根本规律:Bsat 越高,曲线维持越久。

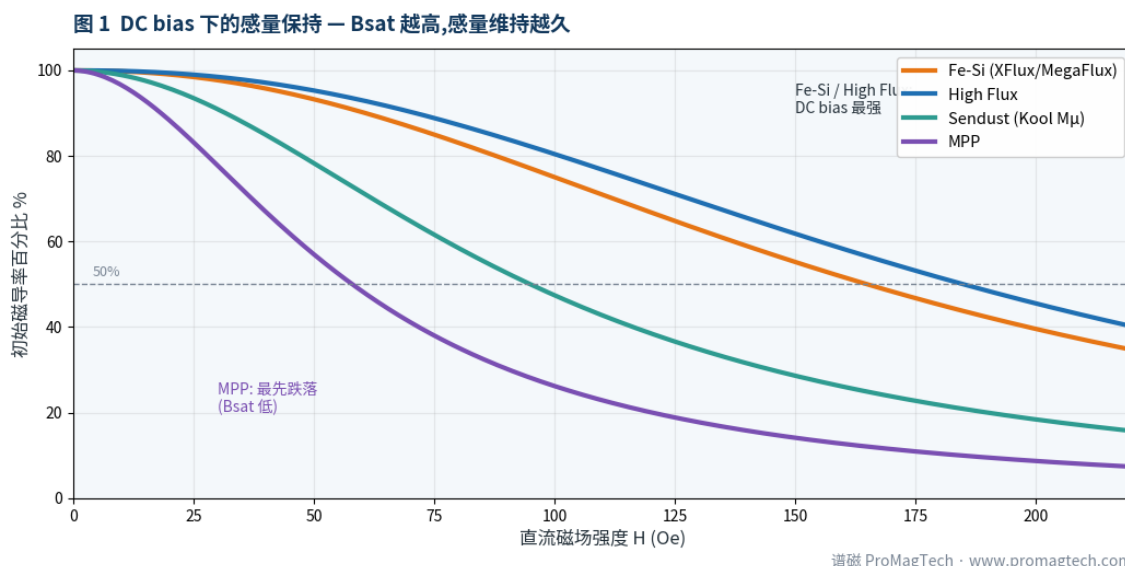


图 1 — DC bias 下的感量保持:Bsat 越高维持越久(示意曲线,以 datasheet 为准)。

怎么用 选型时先定你的额定/峰值电流对应的 H,再在曲线上读该材料还剩百分之多少磁导率;把这个百分比乘回初始感量,才是你实际拿到的感量。别用初始感量去算匝数,否则大电流下必然感量不足。

5. 选型定位图与按应用选

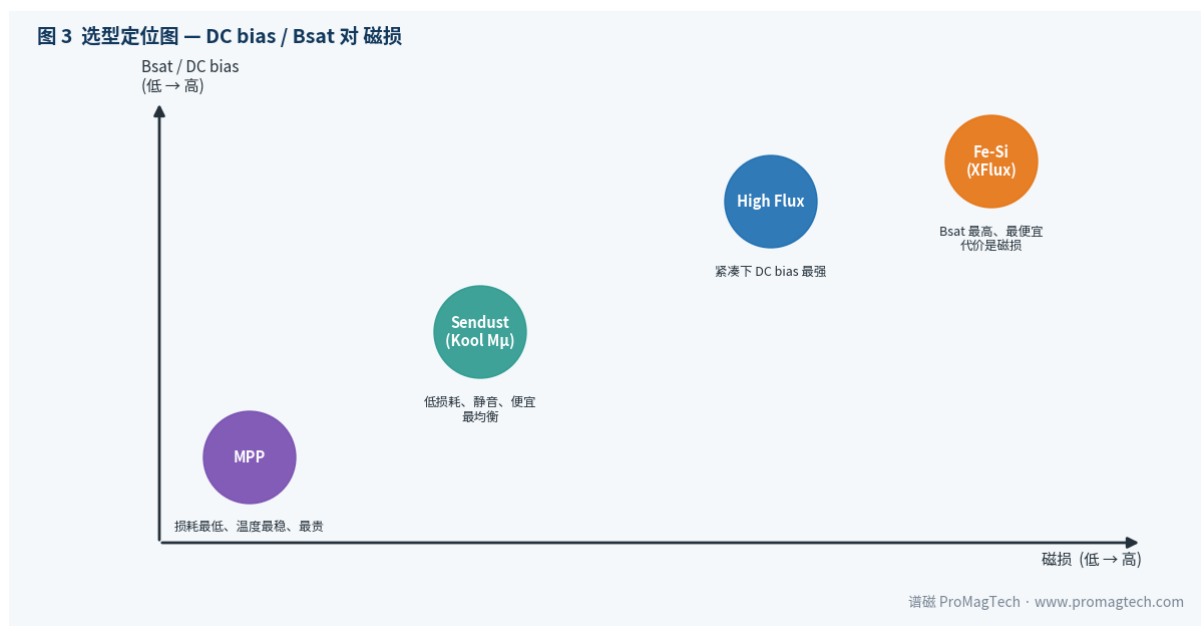


图 3 — 磁粉芯选型定位图:DC bias / Bsat 对 磁损。

把材料和应用对上号:

应用	首选	备选	理由
PFC 升压电感(通用)	Sendust	High Flux	低损耗 + 均衡;高偏置紧凑选 High Flux
PFC(极致成本/大电流)	Fe-Si	Sendust	最便宜、Bsat 最高、扛大偏置
储能 / 大电流电感	Fe-Si	High Flux	高 Bsat 扛大直流
紧凑高 DC bias 电感	High Flux	Fe-Si	高 Bsat + 稳定磁导率
输出 / 滤波电感	MPP	Sendust	低损耗、高 Q
谐振电感 / 高 Q	MPP	—	磁损最低、温度最稳
宽温 / 车规倾向	MPP / Sendust	—	温度稳定性好

表 3 — 应用 — 材料 选型对照 (以实际工况与 datasheet 复核)

6. 工程师怎么算:选型计算流程

下面是可直接照做的八步流程。每一步都对应一个可算的量。

- ① **定需求:**感量 L、额定/峰值电流 I(dc/pk)、纹波 ΔI 、开关频率 f_s 、温升与尺寸限制。
- ② **算储能、定磁芯尺寸:**按储能 E 选磁芯(能量密度决定体积)。
- ③ **选材料 + 磁导率 μ :**按 DC bias 需求(图1)与损耗需求(图3)选四材料之一及 μ 。
- ④ **算匝数 N:**用“偏置后的 AL”而非初始 AL,避免大电流下感量不足。



- ⑤ 校核 DC bias: 算工作点 H, 查曲线得剩余磁导率百分比, 反推实际感量是否达标。
- ⑥ 校核磁损: 用材料损耗曲线/Steinmetz 在工作 ΔB 、 f_s 下估磁损。
- ⑦ 校核温升: 铜损 + 磁损 $\rightarrow$ 除以散热面积 $\rightarrow$ 估 ΔT , 超限则回到 ②/③。
- ⑧ 迭代: 任一项不过, 调尺寸/材料/ μ /匝数, 重算。

常用公式:

储能: $E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{pk}^2$

磁场强度: $H(Oe) = 0.4\pi \cdot N \cdot I / l_e(cm)$ (SI: $H = N \cdot I / l_e$)

感量: $L = AL \cdot N^2$ (AL 取偏置后值)

磁密摆幅: $\Delta B = L \cdot \Delta I / (N \cdot Ae)$

磁损: $P_{core} = k \cdot f_s^\alpha \cdot \Delta B^\beta$ (k, α, β 取自材料 datasheet)

最常见的坑 用“初始 AL ”算匝数——大电流一上, 感量比设计值低一大截。永远用偏置后的有效 AL (或先算 $H \rightarrow$ 查 $\mu \rightarrow$ 修正) 来定匝数。

7. 常见误区

- 只看初始磁导率: 初始 μ 高不代表大电流下感量高; 要看 DC bias 曲线。
- Fe-Si 便宜就无脑用: 磁损高, 高频或散热受限时温升会失控。
- 给磁粉芯再开外部气隙: 磁粉芯自带分布式气隙, 通常不需要, 额外气隙反而增加边缘损耗。
- 忽略磁致伸缩噪声: 对静音敏感的场景, Sendust (近零磁致伸缩) 优于部分高偏置材料。

8. 验证与品质基线(DVP)

验证项	方法 / 设备	判据(示例)
感量 & DC bias	LCR + 直流偏置源	额定电流下 $L \geq$ 规定
饱和电流 I_{sat}	偏置扫描	感量降到阈值前的电流达标
磁损 / 温升	功率分析仪 / 红外	工作点温升 $\leq$ 限值
DCR	微欧计	$\leq$ 规定
批间一致性	抽样统计	参数离散 $< \pm$ 规定%
宽温特性	温箱 + LCR	全温区感量/损耗达标

表 4 — 磁粉芯电感统一验证基线(判据随项目定, 数值以实测为准)

9. 常见问题(FAQ)

问 磁粉芯和铁氧体+气隙怎么选?

答 要大直流偏置、宽电流、软饱和 $\rightarrow$ 磁粉芯; 要极低磁损、高频小电流、成本敏感 $\rightarrow$ 铁氧体 + 气隙。PFC 电感这类宽电流通常磁粉芯, 高频变压器/谐振腔用铁氧体。

**问 为什么 PFC 多用磁粉芯？**

答 PFC 电感工作在大直流偏置、宽电流范围,需要软饱和特性维持感量。磁粉芯软饱和正好匹配;铁氧体+气隙硬饱和不适合。

问 Sendust 和 Kool M μ 是一回事吗？

答 是。Kool M μ 是 Magnetics 公司对铁硅铝(Sendust)材料的商品名,类似的还有各家的 Sendust/铁硅铝牌号,物性同族。

问 High Flux 和 MPP 都含镍,差在哪？

答 High Flux 是铁镍(约 50% 镍),Bs_{at} 高(~1.5T)、DC bias 强但磁损较高;MPP 含钼(镍铁钼),Bs_{at} 低(~0.75T)但磁损最低、Q 最高、温度最稳。要扛偏置选 High Flux,要低损耗选 MPP。

问 磁粉芯需要留外部气隙吗？

答 通常不需要。磁粉芯的分布式气隙已内置在材料里;额外开集中气隙会增加边缘磁通损耗,一般是画蛇添足。

问 怎么快速估 DC bias 下的感量？

答 算工作点磁场强度 $H = 0.4\pi \cdot N \cdot I / l_e$,在材料的 $\mu-H$ 曲线上读剩余磁导率百分比,乘回初始感量即为实际感量。

问 温度高对磁粉芯有影响吗？

答 除传统铁粉芯有热老化外,Fe-Si/Sendust/High Flux/MPP 热稳定性较好,MPP 最佳;但磁损随温度和频率变化,宽温应用要按 datasheet 的温度曲线复核。

问 同样磁导率 μ ,选哪种材料？

答 看你的主约束:偏置大 $\rightarrow$ Fe-Si/High Flux;损耗低 $\rightarrow$ MPP/Sendust;成本敏感 $\rightarrow$ Fe-Si/Sendust;静音 $\rightarrow$ Sendust。 μ 相同不代表可互换,DC bias 与损耗差别很大。

10. 术语

- **磁粉芯** — 铁磁合金粉末绝缘包覆压制成型的磁芯,自带分布式气隙、软饱和。
- **分布式气隙** — 粉末颗粒间无数微小气隙,使磁芯软饱和、无需外部集中气隙。
- **B_{sat}(饱和磁密)** — 材料能承受的最大磁密;越高越抗直流偏置。
- **DC bias** — 电感感量随直流电流下滑的特性。
- **软饱和 / 硬饱和** — 感量随电流平缓下降 / 到点骤降。
- **磁导率 μ** — 材料导磁能力;磁粉芯常见 μ 14–550。
- **AL 值** — 单匝电感系数, $L = AL \cdot N^2$;需用偏置后的 AL。
- **Steinmetz 方程** — 磁损经验式 $P_{core} = k \cdot f^\alpha \cdot B^\beta$,系数取自 datasheet。
- **磁致伸缩** — 磁化引起的微形变,是电感啸叫的来源;Sendust 近零。



11. 延伸阅读

本文属谱磁《800V 高压功率磁件选型总纲》体系;相关深度文:

- [800V 高压功率磁件选型总纲\(Pillar 总图\)](#)
- [OBC PFC 升压电感选型\(磁粉芯在 PFC 的应用\)](#)
- [AIDC / 储能 PCS 大电流电感设计](#)
- [20-60kW PFC 电感选型与设计指南](#)
- [扁平线 vs 圆线电感怎么选\(绕组侧\)](#)

12. 关于谱磁

深圳市谱磁科技有限公司(成立于 2013 年,深圳光明区)研发制造扁平线电感、平面变压器、共模电感与 PFC 电感,广泛用于 800V EV OBC 与直流充电、AI 数据中心电源、储能 PCS、光伏逆变与工业电源。可按你的工况选定磁粉芯材料/磁导率并送样验证 DC bias 与温升。

作者 / 审阅:张勇,电子工程师、谱磁科技创始人。

联系方式: 张勇 · +86 135 3765 8938 · zyong@promagtech.cn · www.promagtech.com

最后更新:2026-07-14 · 版本 CN-1.0

© 2026 深圳市谱磁科技有限公司 版权所有。本文为工程参考,数值以送样实测为准;商品名归各自所有者。