



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

工程指南 · www.promagtech.com · PMT-DOC-2026-0726-01 · Rev A/0

高电流磁件热设计与温升实测

损耗从哪来、热往哪走、温升怎么估、又怎么实测

项目	内容
文件编号 / 版本	PMT-DOC-2026-0726-01 · Rev A/0 · 首次发布
文件名称	高电流磁件热设计与温升实测
适用范围	PFC / 储能 / 大电流电感与变压器
作者 / 审阅	张勇 — 电子工程师、谱磁科技创始人
日期	CN-1.0 / 2026-07-26
网站 / 联系	www.promagtech.com · +86 13267069291 · zyong@promagtech.cn

修订记录: A/0 2026-07-26 首次发布。文中数值为典型/示意值,以各项目送样实测为准。

数据声明 本文所有计算/仿真数值仅为设计参考,最终以样品实测数据与双方承认书为准。



摘要与关键点

一句话结论

磁件的温升没有玄学: $\Delta T \approx \text{热阻 } R_{th} \times (\text{铜损} + \text{磁损})$ 。设计降温只有两条路——降损耗(低 DCR 扁平线、控 AC 损、控磁密)和降热阻(加散热面积、修热路、加风、灌封导热)。实测认准三种方法:热电偶(热点)、红外(表面分布)、 ΔDCR 电阻法(绕组平均温升,最能代表绝缘承受的真实温度)。温升限值由绝缘热等级倒推,不是拍脑袋。

关键点:

- 热源只有两个:铜损(I^2R + 高频 AC)与磁损($k \cdot f^\alpha \cdot B^\beta$)。先把损耗算对,温升才估得准。
- 热路四段:绕组 → 磁芯/灌封/骨架 → 散热表面 → 空气(对流+辐射)。每一段都能优化。
- 快速估算: $\Delta T \approx R_{th} \times P$;自然冷小磁件的 R_{th} 可由表面积经验公式粗估,风冷显著降低 R_{th} 。
- 温升限值怎么定:绝缘热等级(155/180/200°C)– 最高环境温度 – 裕度 = 允许温升。
- 实测三件套:热电偶测热点、红外看分布、 ΔDCR 测绕组平均温升——三者角色不同,不能互替。
- 扁平线是热设计的第一杠杆:同窗口 DCR 低约三成,直接把最大的热源砍掉一块。

说明 本文数值为典型/示意值;温升与热阻强依赖结构与安装环境,以送样在真实工况下实测为准。

1. 热从哪来:先把损耗算对

温升的分子是损耗。高电流磁件的损耗只有两类:

铜损: $P(\text{Cu}) = I_{\text{rms}}^2 \times \text{DCR} \times (R_{\text{ac}}/R_{\text{dc}})$ 高频下 $R_{\text{ac}}/R_{\text{dc}}$ 由趋肤+邻近效应决定

磁损: $P(\text{core}) = k \cdot f s^\alpha \cdot \Delta B^\beta \times V_e$ (Steinmetz,系数取自材料 datasheet)

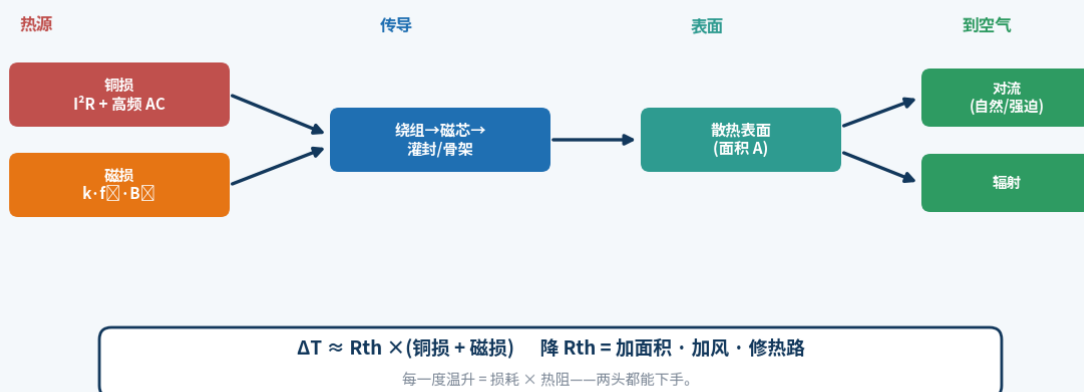
- 大电流低频(PFC、储能):铜损通常主导——这就是扁平线(低 DCR)价值最大的场景。
- 高频变压器(数百 kHz–MHz):磁损与 AC 铜损上位,要控磁密 ΔB 与绕组交错。

经验分界 先做一张损耗分解表(铜损/磁损各多少瓦),再谈散热。损耗构成不同,降温手段完全不同——铜损主导加铜,磁损主导降 ΔB 或换材料。



2. 热往哪走:热路径与热阻

图 1 热从哪来、往哪走 — 高电流磁件的热路径



谱磁 ProMagTech · www.promagtech.com

图 1 — 高电流磁件的热路径:热源 → 传导 → 表面 → 空气。

热离开磁件要走完四段路,每段都有热阻,总热阻 R_{th} 决定同样损耗下的温升:

路段	决定因素	改善手段
绕组内部 → 表面	绕组结构、浸漆/灌封导热	扁平线立绕(层间热路短)、导热灌封
磁芯/骨架 → 表面	接触面积、材料导热	导热垫/胶、金属基板贴装
表面 → 空气(对流)	表面积 A 、风速	加散热面积、风道、强迫风冷
表面 → 环境(辐射)	表面发射率、温差	黑色/哑光表面略有帮助

表 1 — 热路四段与改善手段

快速估算(自然冷、小型磁件的常用经验式):

$$\Delta T(K) \approx [P(mW) / A(cm^2)]^{0.833} \quad (\text{表面功率密度经验式,量级估算})$$

或 $\Delta T \approx R_{th} \times P$, R_{th} 由样品实测标定后用于同结构外推

提醒 经验式只做量级判断。结构、灌封、安装面、邻近发热器件都会改变 R_{th} ——定型必须实测。

3. 温升限值怎么定:从绝缘热等级倒推

温升限值不是拍脑袋,是从绝缘系统的热等级倒推出来的:

允许温升 $\Delta T(max) = \text{绝缘热等级} - \text{最高环境温度} - \text{设计裕度}$

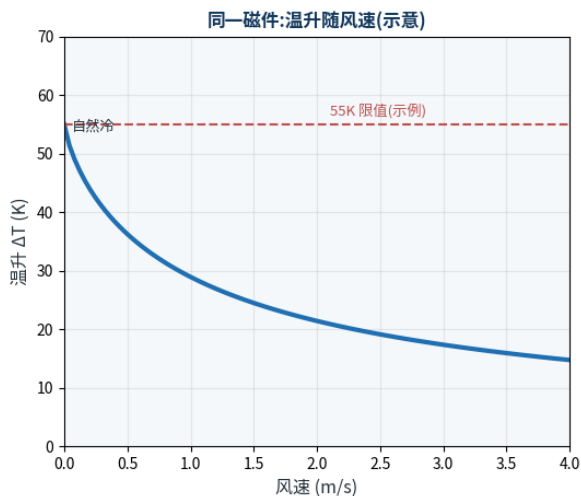
例:180°C(H级)绝缘,车规 Grade 1 环境 125°C,留 15K 裕度 → $\Delta T \leq 40K$

- 为什么要裕度:热点温度高于平均温升;绝缘寿命随温度指数缩短(经验上每高 8–10°C 寿命减半)。
- 车规场景:环境温度按装车位置最坏情况取,详见 AEC-Q200 篇的 Grade 定义。



4. 温升怎么实测:三种方法,角色不同

图2 温升与风速关系,以及怎么实测



三种温升实测方法

方法	测什么	特点
热电偶	热点、接触式	便宜,只测点
红外热像	表面分布	快,只看表面
ΔDCR 电阻法	绕组平均温升	测的是铜的真实温度,无需内埋传感器

ΔDCR 法: $\Delta T = (R_{\text{热}}/R_{\text{冷}} - 1) / 0.00393(\text{铜})$

谱磁 ProMagTech · www.promagtech.com

图2 — 温升随风速(示意)与三种实测方法。

方法	测什么	优点	局限
热电偶	热点温度(接触)	便宜、直接	只测贴点,埋线影响绕组
红外热像	表面温度分布	快、全貌	只看表面,发射率要标定
ΔDCR 电阻法	绕组平均温升	测铜的真实温度,无需内埋	是平均值,热点比它高

表2 — 三种温升实测方法对比

ΔDCR 法是磁件行业最标准的绕组温升方法——铜电阻随温度线性变化,断电瞬间测电阻回推温度:

$$\Delta T = (R(\text{热}) / R(\text{冷}) - 1) / 0.00393 \quad (\text{铜的温度系数 } \alpha \approx 0.00393/\text{K})$$

流程:冷态测 $R(\text{冷})$ → 满载运行至热平衡 → 断电快速测 $R(\text{热})$ → 回推 ΔT

实操要点 ①热平衡判据:温度 30 分钟变化 $< 1\text{K}$;②断电后电阻要外推回断电瞬间(测多点回归);③热点评估:ΔDCR 平均值 + 红外/热电偶热点修正。三种方法配合用,才是完整的温升报告。



5. 降温升的工程手段(按性价比排序)

手段	作用机理	典型收益(示意)
扁平线立绕替代圆线	铜填充率高 → DCR 降	DCR ↓ ~30%, 铜损同比降
叠磁芯/加大磁芯	匝数 ↓、H ↓、表面积 ↑	铜损与温升双降(见案例篇)
导热灌封	填充空气隙, 热路打通	内部热点 ↓, 抗振动附赠
强迫风冷 / 风道	对流系数大幅上升	1~2 m/s 风速温升可近半
金属基板/导热垫贴装	把热导给结构件	底部热路打开, 适合低轮廓
降 ΔB (高频件)	磁损按 ΔB^2 下降	磁损主导场景立竿见影

表 3 — 降温升手段一览(收益为示意量级, 以实测为准)

6. DVP: 温升相关验证基线

验证项	方法 / 设备	判据(示例)
损耗分解	功率分析仪 + 计算	铜损/磁损与预算一致
温升 ΔT (平均)	ΔDCR 法	$\leq$ 限值(由绝缘等级倒推)
热点温度	热电偶 + 红外	热点 $\leq$ 绝缘等级 - 裕度
热平衡确认	连续监测	30min 变化 $< 1K$
高温工作寿命	HTOL(见 AEC-Q200 篇)	按项目定
批间一致性	抽样	DCR/温升离散 $< \pm$ 规定%

表 4 — 温升验证基线(判据随项目定)

7. 常见问题(FAQ)

问 温升用平均值还是热点值判定?

答 都要。 ΔDCR 给绕组平均温升, 决定绝缘系统平均老化; 热点(热电偶/红外)决定最坏点。判定时平均值对绝缘等级、热点对热等级上限, 双条件都要过。

问 为什么我的红外温度比 ΔDCR 低?

答 红外只看表面, 绕组内部比表面热; 灌封件尤甚。所以红外单独用会低估绕组温度, 要与 ΔDCR 配合。

问 自然冷和风冷的温升差多少?

答 量级上, 1~2 m/s 的风速常能把温升压到自然冷的一半左右(结构相关)。所以送样测温升必须约定风况, 否则数据没有可比性。



问 扁平线对温升的帮助有多大？

答 同窗口下 DCR 低约三成,铜损同比下降;在铜损主导的大电流场景,这常是最便宜的一大块温升收益。

问 温升限值一般定多少？

答 没有通用值,由绝缘热等级倒推:等级 – 最高环境 – 裕度。40–65K 常见,但车规高温环境下会更紧。

问 灌封会不会让温升更高？

答 相反,合格的导热灌封填充了内部空气隙,内部热点通常下降;但灌封增加对外热容,热平衡时间变长。选材要看导热系数与 CTE 匹配。

问 谱磁怎么交付温升数据？

答 按约定工况(电流、频率、风速、环温)做 ΔDCR + 热点双方法测试,交付含损耗分解与热平衡曲线的温升报告,随样品一起。

8. 术语

- **Rth(热阻)** — 单位损耗引起的温升, K/W; 总热阻决定 ΔT 。
- **ΔDCR 电阻法** — 用铜电阻随温度的线性变化回推绕组平均温升的方法。
- **热点(Hot spot)** — 磁件内部温度最高点,通常在绕组内层。
- **热平衡** — 温升不再随时间变化的稳态,判据常取 30min < 1K。
- **绝缘热等级** — 绝缘系统长期可承受的温度等级(155/180/200°C 等)。
- **Steinmetz 方程** — 磁损经验式 $P=k \cdot f^\alpha \cdot B^\beta$, 系数取自材料 datasheet。
- **HTOL** — 高温工作寿命测试,本质考验绝缘寿命。

9. 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\(Pillar 总图\)](#)
- [匿名案例:11kW 图腾柱 PFC 电感\(损耗-温升核算实例\)](#)
- [磁粉芯怎么选\(磁损与材料\)](#)
- [AEC-Q200 与车规可靠性\(Grade 与 HTOL\)](#)
- [扁平线 vs 圆线电感\(DCR 与铜损\)](#)
- [AIDC / 储能 PCS 大电流电感设计](#)
- [48V AI 数据中心:圆线的热死区](#)



10. 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。温升测试按约定工况交付 ΔDCR + 热点双方法报告。

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 13267069291 · zyong@promagtech.cn · www.promagtech.com

最后更新:2026-07-26 · PMT-DOC-2026-0726-01 · Rev A/0

数据声明 本文所有计算/仿真数值仅为设计参考,最终以样品实测数据与双方承认书为准。

© 2026 深圳市谱磁科技有限公司 版权所有。