



明阳电路产品介绍

P C B 电 机

股票代码:300739

CONTENT

目录



01 明阳电路介绍

SGC Profile

02 PCB电机介绍

PCB Motor Introduction

03 PCB电机案例分析

PCB Stator Case Study

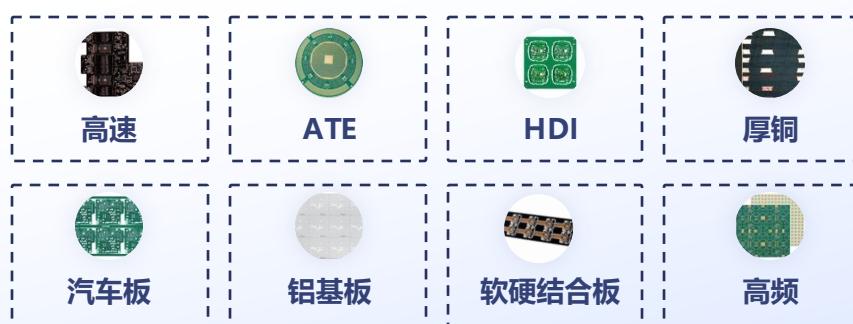
04 PCB电机定子设计与仿真

PCB Stator Design and Debug

05 生产技术与设备

PCB Stator Production

— 明阳电路简介



2025	AI服务器、PCB定子、PCB埋嵌等事业部成立
2024	战略收购槟城工业园
2023	专精市场战略扩产高频、厚铜、ATE产品线
2021	全球扩产并成立技术中心
2019	数智化转型、软硬结合板产线扩产
2018	公司在深交所创业板上市
2015	九江工厂取得国家高新技术企业称号
2014	九江明阳投产
2013	成立德国销售子公司及德国工厂
2010	成立美国销售子公司
2004	通过ISO/TS16949、ISO14001、ISO-9001:2000认证
2001	成立深圳明阳

全球客户



电力 & 能源



EMS



工业控制



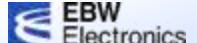
医疗



通信



汽车& 运输



其他

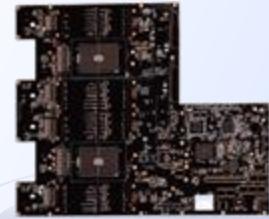




高速产品线

月产能:**36000m²**

- 层数: 12-40层
- 板厚: 3.2-8.0mm
- 厚径比: 40: 1
- 阻抗控制精度: $\pm 7\%$
- 背钻残桩: $\leq 0.2\text{mm}$
- 压合次数: 5-7次



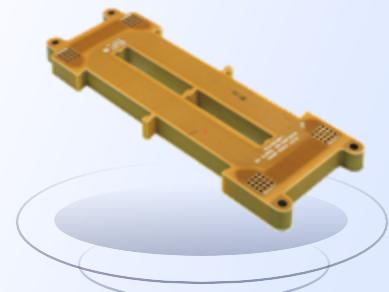
通讯基站、服务器、超算计算机等



厚铜产品线

月产能:**25000m²**

- 铜厚: 3-12OZ
- 层数: 2-26层
- 压合次数: 1-3次
- 电阻控制精度: $< 3\%$
- 耐高压: 2772V dc
60s



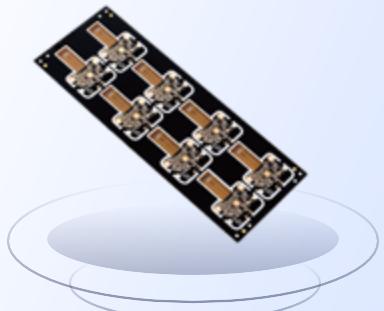
电源、通讯、动力系统、工控安防等



刚挠产品线

月产能:**10000m²**

- 总层数: 30层+
- 软板层数: 1-10层
- 成品板厚: 0.4-3.5mm
- 最小线宽/线距: 3.5/3.5mil
- 压合次数: 1~3次
- 结构: HDI (3阶或以上) + 软硬结合



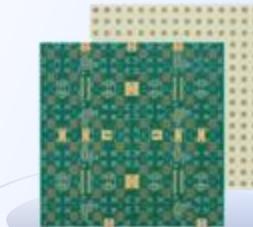
汽车、医疗、航天、工控等



高频产品线

月产能:**5000m²**

- 线宽精度: $\pm 0.6\text{mil}$
- 加工材料: 碳氢、PPE、PTFE(有/无玻布)、混压
- 压合次数: 1-4次
- 埋嵌工艺: 埋容、埋阻、埋/嵌铜块
- 盲槽工艺: 盲槽开盖(槽底图形)、槽壁金属化



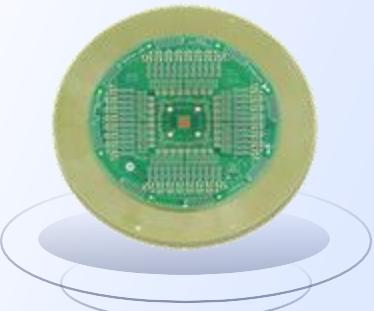
基站天线、汽车ADAS、射频模块等



半导体测试产品线

月产能:**1000m²**

- 层数: 70层
- 板厚: 6.5mm
- 纵横比: $\geq 40: 1$
- Pitch (Min) : 0.35mm
- 表面处理: 水硬金、沉金、镍钯金等
- 阻抗控制精度: $\pm 7\%$



IC测试

一 体系证书

ISO9001:2015 (制造)	IATF16949:201 6 (汽车)	ISO13485:2016 (医疗)	ISO45001:2018 (健康安全)	ISO 14001:2015 (环境)	ISO 14067:2013 (碳足迹)	QC080000:201 7 (有害物质)	ISO27001:2022 (信息安全)	AS9100D:2016 (航空航天)	ISO50001:2018 (能源)
									

深圳



九江





产学研合作单位:



南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



中国科学院深圳先进技术研究院
SHENZHEN INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES



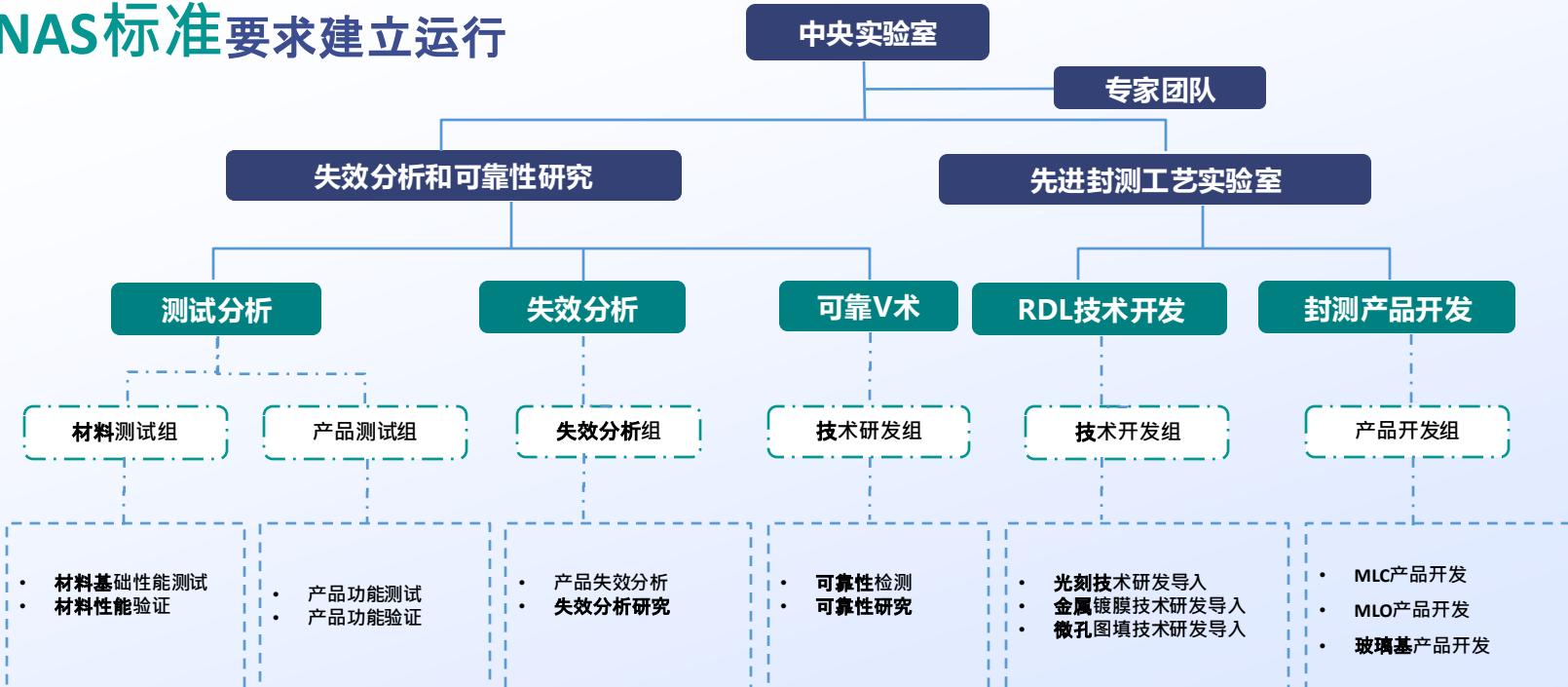
中原工学院
Zhongyuan University of Technology



桂林航天工业学院
GUILIN UNIVERSITY OF AEROSPACE TECHNOLOGY

一 实验室架构

实验室架构以CNAS标准要求建立运行

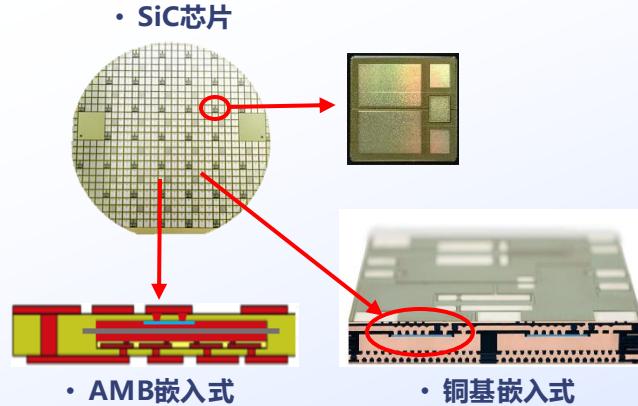


实验室布局



一 技术中心—孵化成果

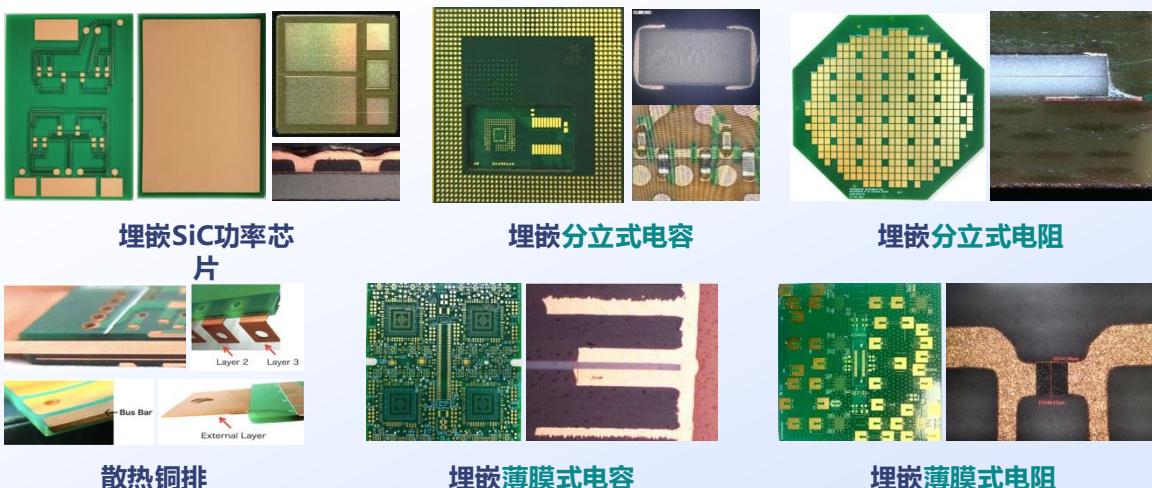
芯片嵌入式PCB解决方案



优点

- 降低热阻，更短散热路径
- 更高的集成度、功率密度、散热效率
- 降低系统复杂性
- 更少组件，连接和预定断点
- 更高产品稳定性和寿命

埋嵌工艺产品



PCB定子轴向电机解决方案

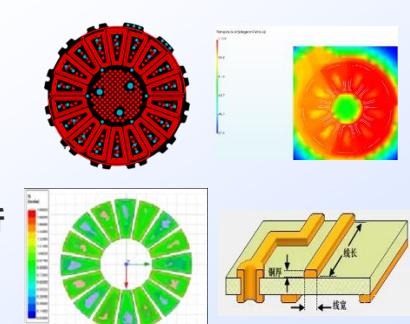
运用:



优点

- 较传统径向电机
- 更小尺寸与重量
- 更少铜耗与碳排放
- 降低功耗
- 有/无磁芯设计
- 加工成本降低

设计与制造



散热工艺

增加残铜率、微流道、高导热材料、埋铜、水冷

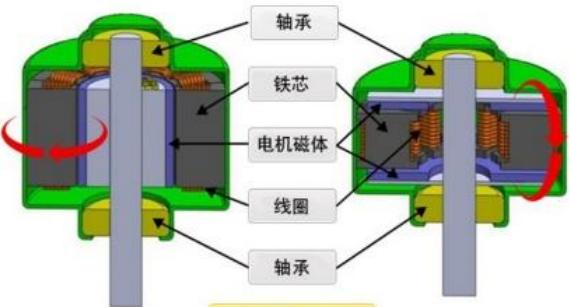
02 PCB电机产品介绍

— PCB定子轴向磁通电机

径向磁通电机



径向磁通电机



轴向磁通电机



轴向磁通电机

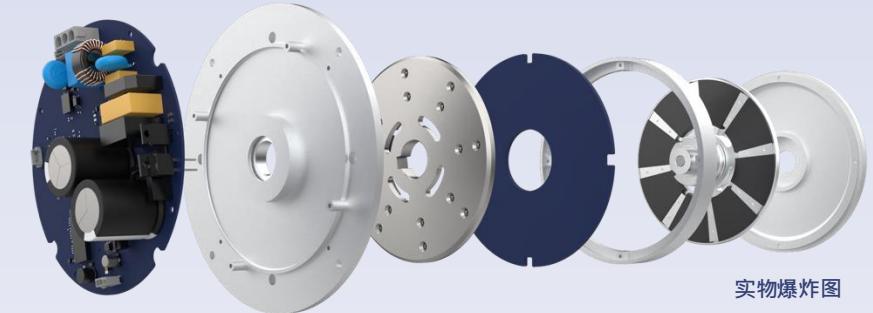


线圈定子实物



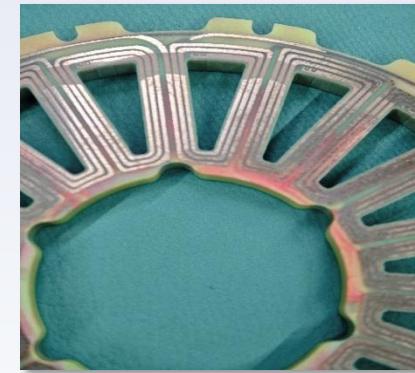
线圈定子实物

PCB定子轴向磁通电机

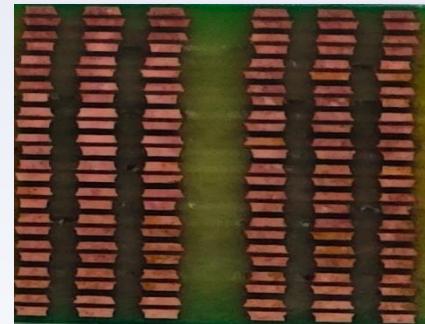


实物爆炸图

无铁芯 PCB定子轴向磁通电机



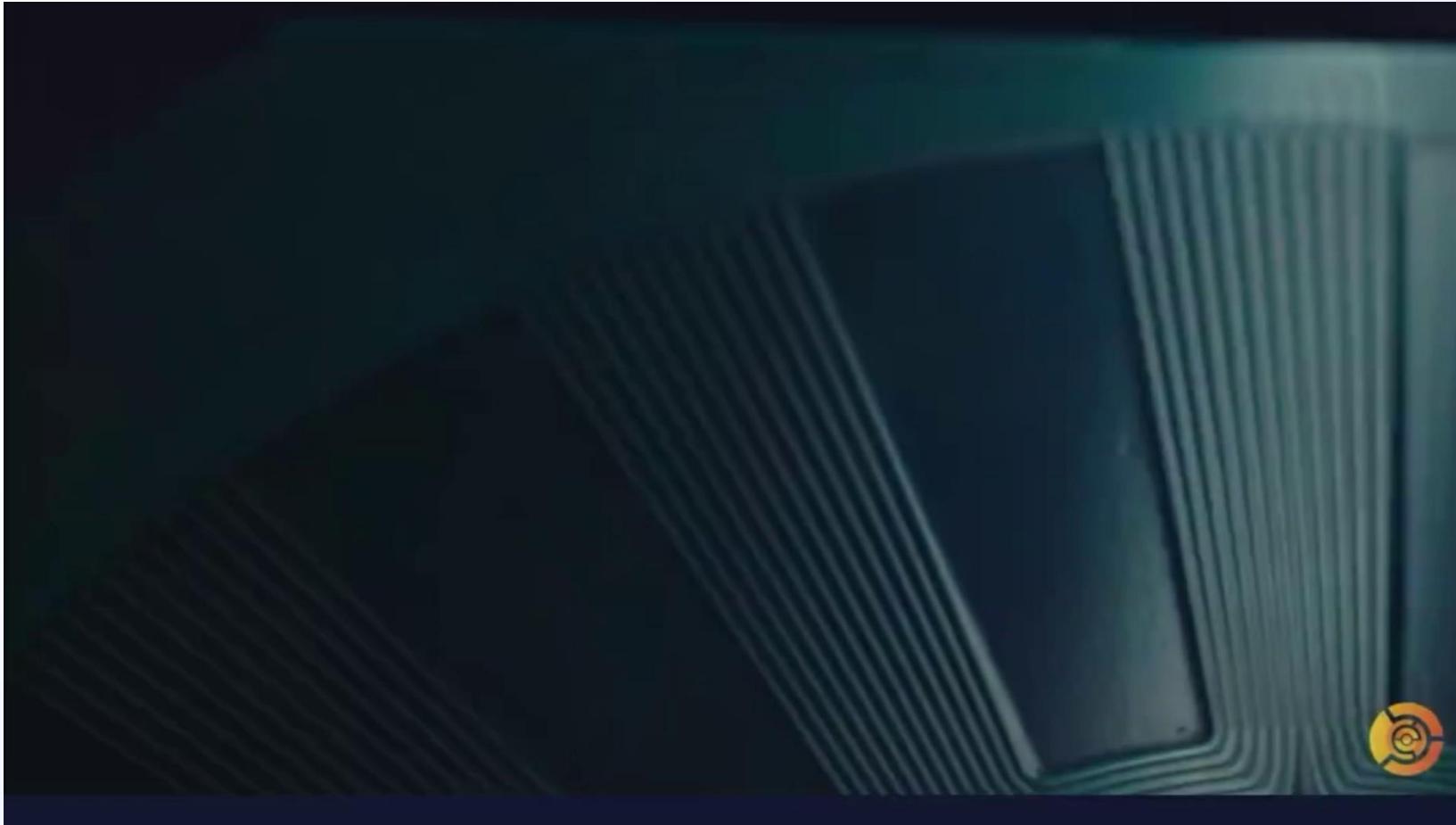
PCB定子实物



PCB定子截面

— PCB电机产品介绍

PCB电机

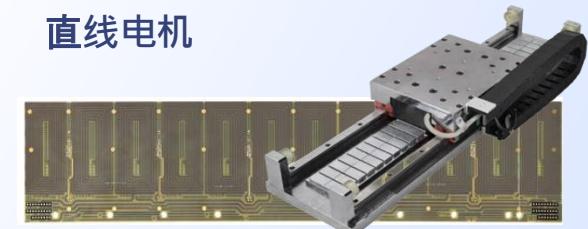


PCB电机技术其他场景

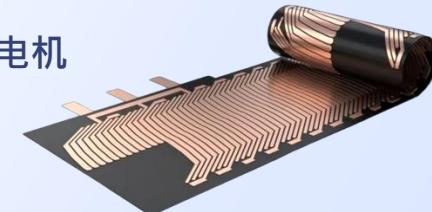
平面电机



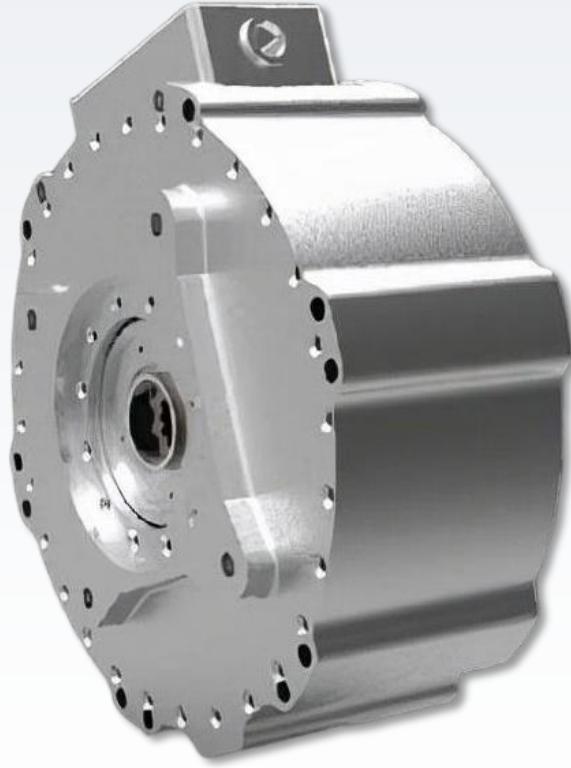
直线电机



空心杯电机

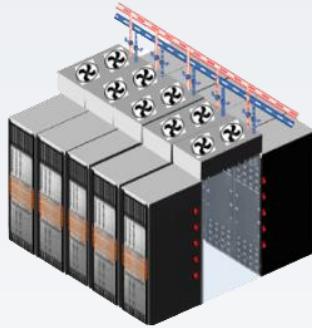


— PCB电机应用场景



机器人关节

已打样



工业电机
(风机、水泵等)

已量产



汽车电子
(电子水泵、电机)

已打样



发电机

已打样



无人机

规划中

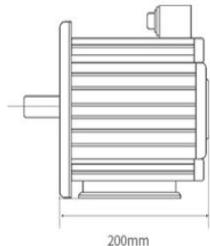


助力骑行

规划中

— PCB电机优势

轻量化



径向电机

轴向尺寸	200mm
重量	20kg



PCB电机

轴向尺寸	87.5mm
重量	11kg

同等功率外径下

60%

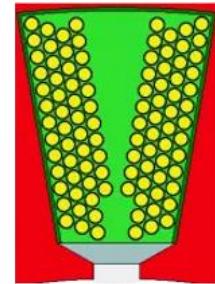
轴向长度

60-80%

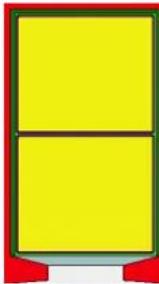
重量

同等体积下，功率提升 30%

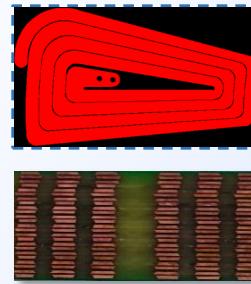
功率密度高



圆线横截



扁线横截



PCB定子槽横截面

圆线
30-
40%

铜满率

扁线
60%

PCB定子槽满率：35% - 60%

设计灵活 + 高可制造性 + 工艺成熟

等热条件下功率密度提升

多种散热工艺、提升整体散热能力

防水性好

PCB定子可浸液；可设计微流道



增强散热能力

根本解决 IP68 实现方式

加工成本低 (较传统轴向磁通电机)



Yasa 几亿美金
自动定子线

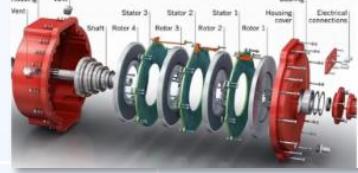
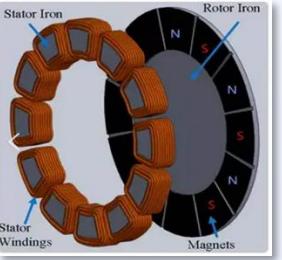
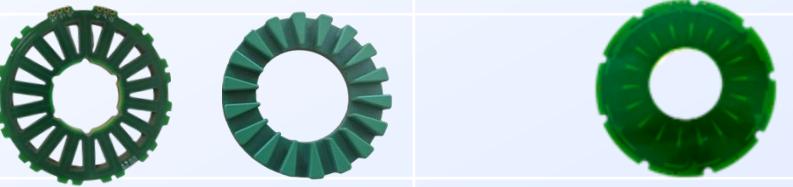


轴向电机铁芯压铸工艺难

PCB电机 两种结构形式

PCB有铁芯方案，较传统轴向电机，节省绕线、灌封的成本，提升了整体集成度。

PCB无铁芯电机，摒弃了铁芯的加工成本、解决了硅钢铁芯的工艺瓶颈。且无需人工焊接、增加长期使用可靠性，减小端部损耗。

电机类型	传统轴向电机	PCB定子轴向电机
图形示例		
实现方式		
重量、体积	含有铁芯及较大的用铜量， 电机整体 重量、体积较大	比传统绕线定子 节省更多铜用量
效率	磁路短，效率比径向电机大	定子 磁滞和涡流损耗的减少 提高了电机效率
成本	工艺复杂，精度要求高， 成本高	无需绕线、灌封， 成本最低
集成度	集成度低	传感器与电控也可直接集成在PCB上， 提高集成度并简化组装

PCB电机团队架构



回思樾

定子设计、生产制造工程师
桂林电子科技大学 硕士
发表专利4篇，其中发明专利3篇，实用新型专利1篇



颜嘉豪

仿真工程师、生产制造工程师
陕西科技大学 硕士
发表论文1篇，专利1篇



段李权

NPI主管，负责难度板跟进及交付
电子科技大学 本科
具有15年厚铜生产经验，发表专利10余篇



刘伟

电机专家，电机电磁仿真，结构设计
长沙理工大学 本科
13年电机研发经验，实用新型专利4篇

PCB电机团队规划

定子制造工艺工程师：

负责PCB电机定子拓扑与线圈布局设计，兼顾电磁效率、机械强度及制造工艺，确保设计方案在理论与实践上均具可行性

电机工艺工程师（制造可行性）：

研究并验证PCB电机制造工艺可行性，评估批量生产中可能出现的制程难点，提出优化措施，保障设计与量产顺利衔接。

电机结构设计工程师：

进行电机运行过程的温升与散热模拟；进行电磁场建模与多物理场耦合分析，验证电机转矩、效率及损耗特性，为设计优化与性能提升提供关键数据支撑。

定子制造工艺工程师

负责PCB电机定子制造工艺开发与优化，涵盖叠层、压合、走线及绝缘处理，解决生产瓶颈，确保定子结构精度、良率与批量一致性。

— 明阳电路PCB电机产品历程



03 PCB电机案例分析

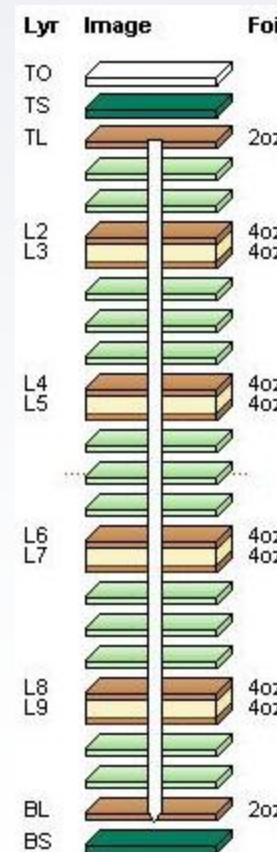
一 PCB电机案例分析

PCB电机——水泵

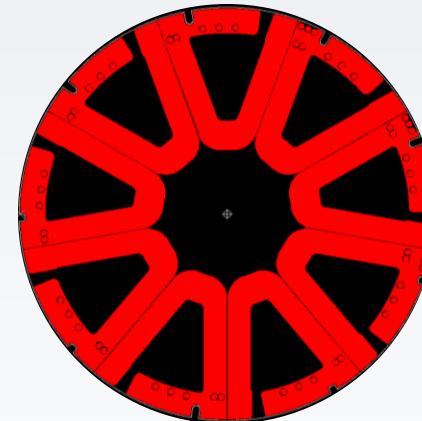
基本信息

应用领域	水泵
功率	300 W
额定电流	23 A
转速	5000 rpm
额定效率	>87%
额定扭矩	0.573 N·m
层数	10 L
内层铜厚	4/4 Oz
成品板厚	2.4mm
成品尺寸	Ø103.75mm

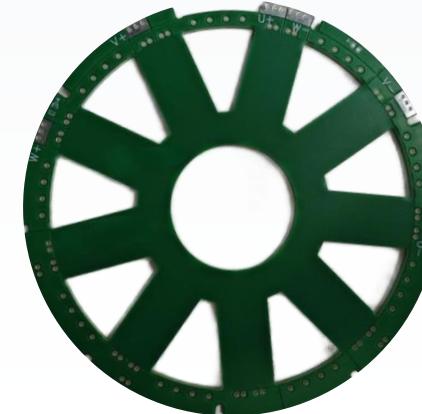
叠构图



内层线路图形



成品图片



PCB水泵整机图



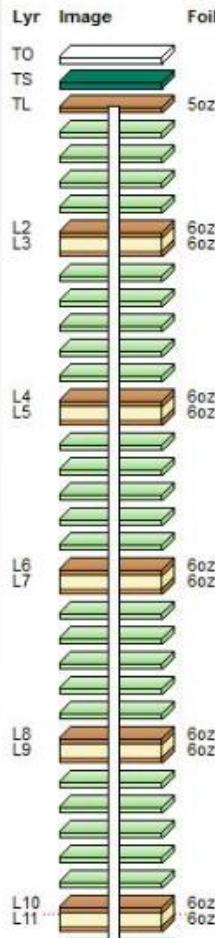
一 PCB电机案例分析

PCB电机——水泵

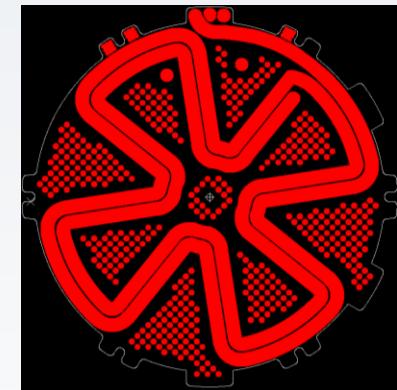
基本信息

应用领域	水泵
功率	400 W
额定电流	40 A
转速	4500 rpm
额定扭矩	0.85 N·m
层数	20 L
内层铜厚	6/6 Oz
成品板厚	6.9mm
成品尺寸	Ø87.89*89mm

叠构图



内层线路图形



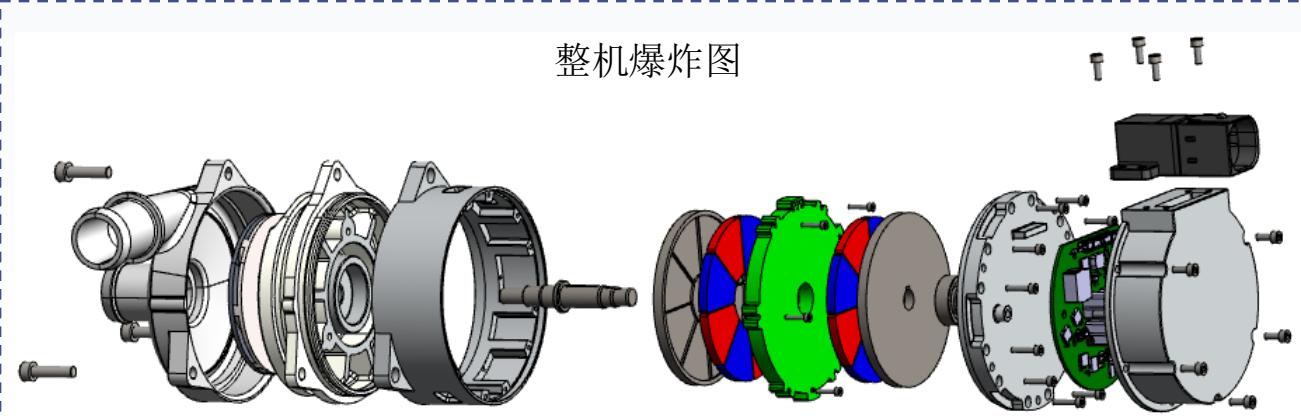
成品图片



整机组装图



整机爆炸图



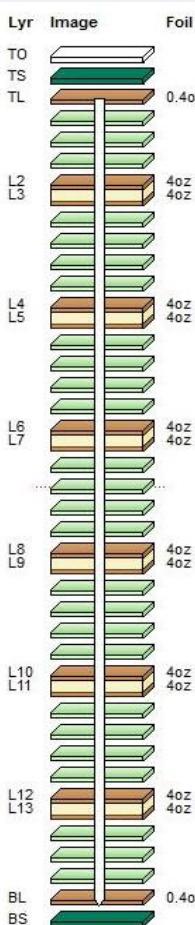
一 PCB电机案例分析

PCB电机——风机

基本信息

应用领域	风机
功率	400 W
额定电流	1 A
转速	1800 rpm
层数	14L
内层铜厚	4/4 Oz
成品板厚	3.800 mm
成品尺寸	Ø154.5 mm

叠构图



内层线路图形

方案一



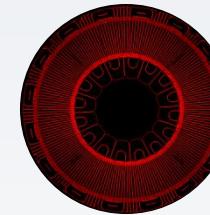
成品图片



方案二



方案三



整机测试



电机组装爆炸图



轴向磁通电机
PCB定子



一 PCB电机案例分析

PCB电机——大型服务器风机

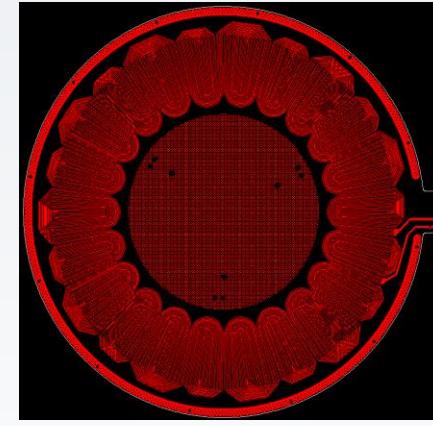
基本信息

应用领域	主驱电机
功率	6000 W
额定电流	15 A
转速	3600 rpm
层数	26L
内层铜厚	4/4 Oz
成品板厚	6.500 mm
成品尺寸	Ø400 mm

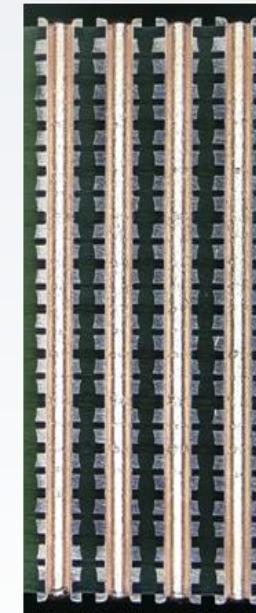
成品图片



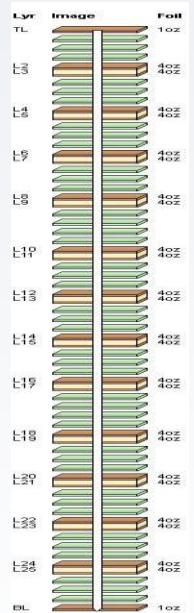
内层线路图形



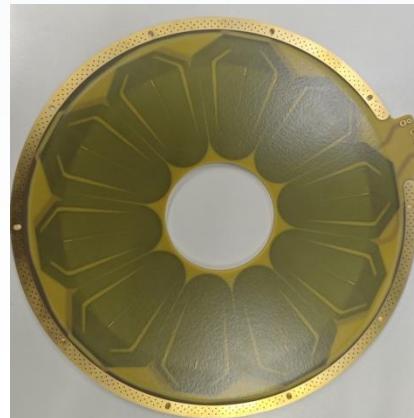
切片图



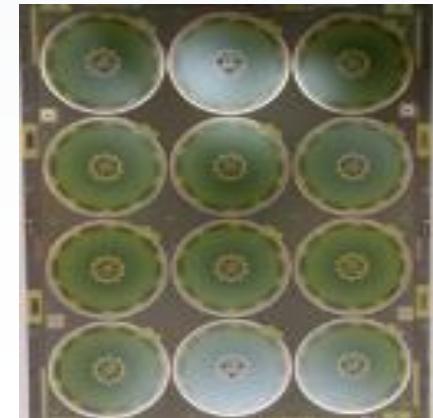
叠构图



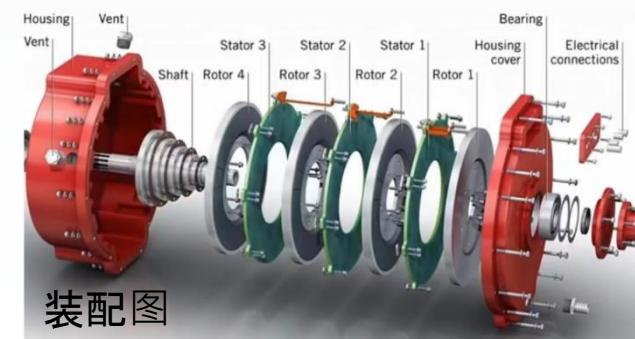
取消阻焊，压低流胶PP



小尺寸板多拼



装配图



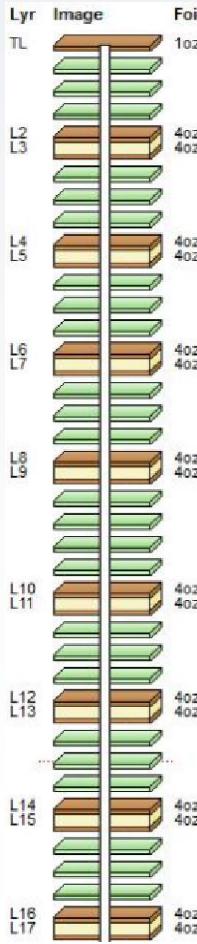
一 PCB电机案例分析

PCB电机——发电机

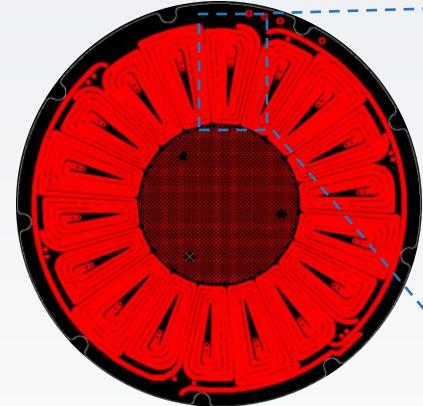
基本信息

应用领域	发电机
功率	500 W
额定电流	12 A
转速	500 rpm
层数	32L
内层铜厚	4/4 Oz
成品板厚	7.900 mm
成品尺寸	Ø250 mm

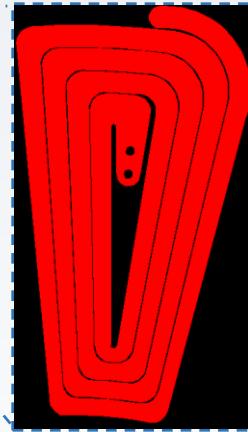
叠构图



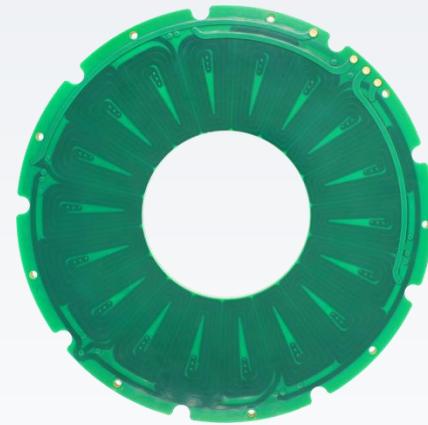
内层线路图形



局部放大图



成品图片



客户整机组装图



更薄, 更轻



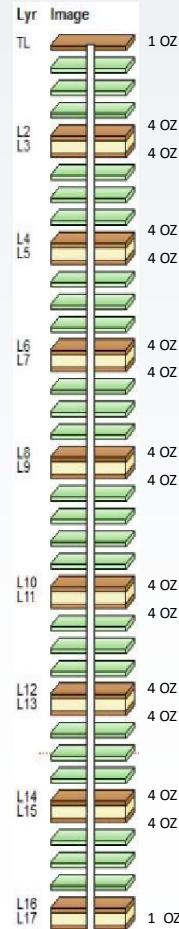
一 PCB电机案例分析

PCB电机——机器人关节电机

基本信息

应用领域	关节电机
功率	200 W
额定电流	9 A
转速	7200 rpm
层数	26L
内层铜厚	4/4 Oz
成品板厚	5.700 mm
成品尺寸	Ø68.5 mm

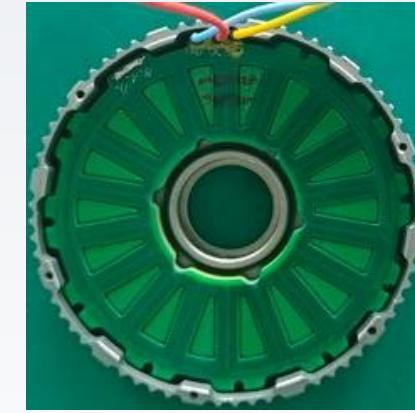
叠构图



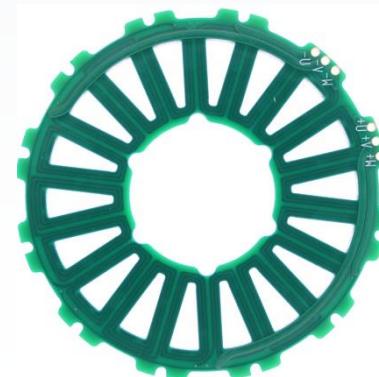
内层线路图形



成品组装图片



成品图



组装测试



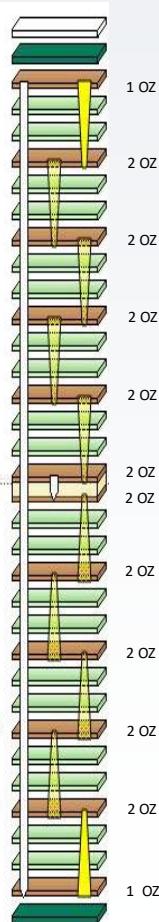
一 PCB电机案例分析

PCB电机——机器人关节电机

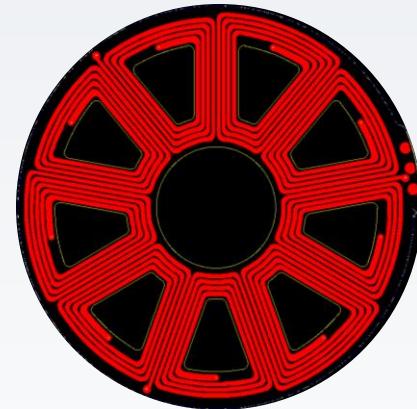
基本信息

应用领域	指关节电机
功率	25 W
额定电流	1 A
转速	3600 rpm
层数	12L (5阶HDI)
内层铜厚	2/2 Oz
成品板厚	2.100 mm
成品尺寸	Ø19.0 mm

叠构图



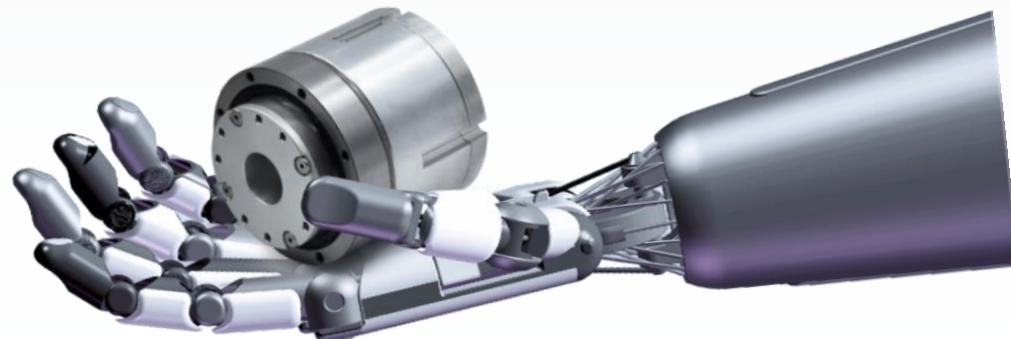
内层线路图形



成品图



应用



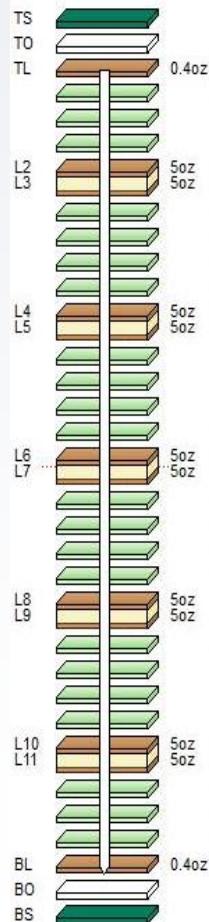
一 PCB电机案例分析

直线电机PCB线圈产品展示-磁悬浮

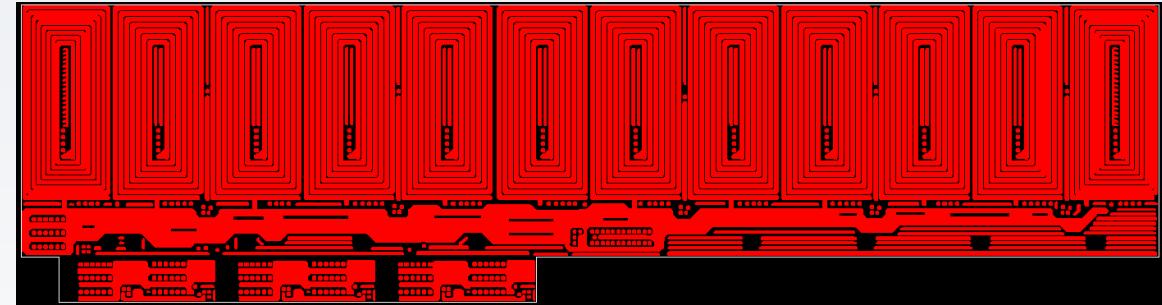
基本信息

应用领域	直线电机
功率	1000 W
额定电流	10 A
层数	12L
内层铜厚	5/5 Oz
成品板厚	3.350 mm
成品尺寸	129 mm*496 mm

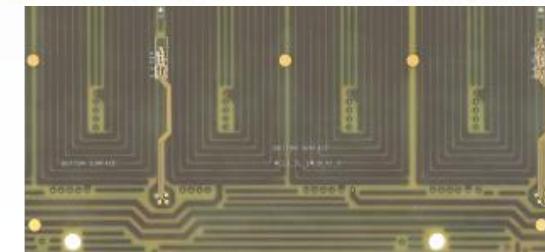
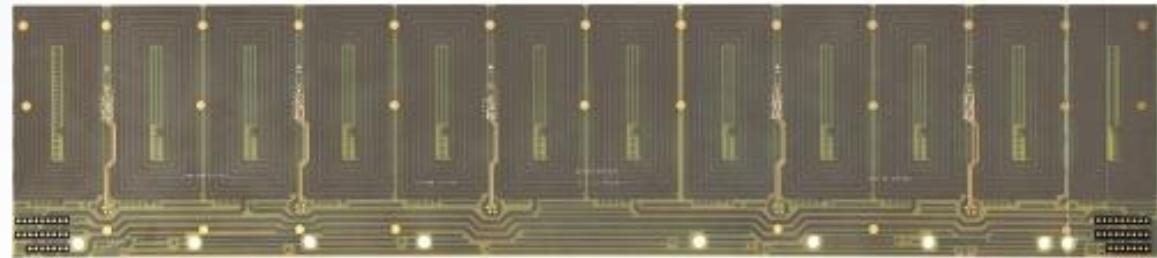
叠构图



内层线路图形



成品图片



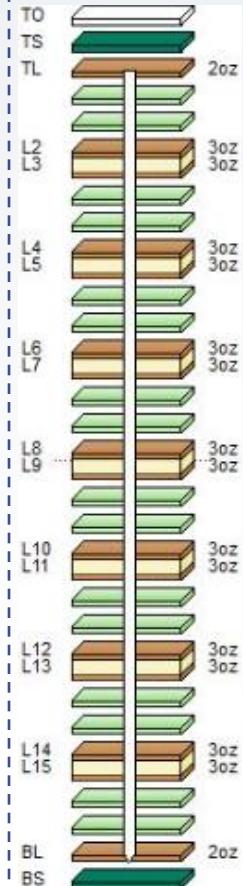
一 PCB电机案例分析

直线电机PCB线圈产品展示-医疗

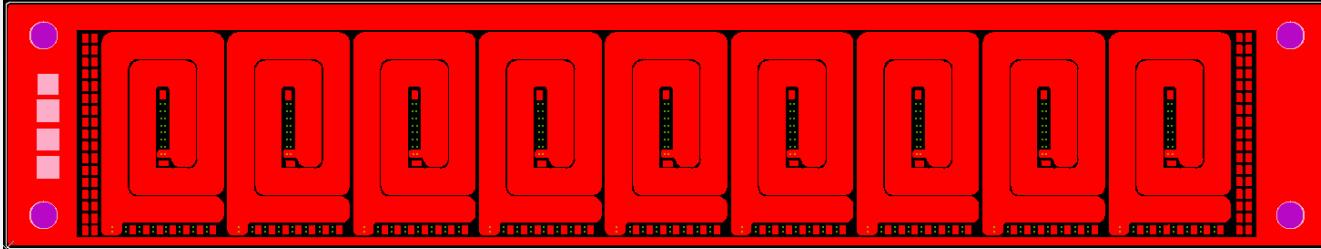
基本信息

应用领域	直线电机
功率	100 W
额定电流	5 A
层数	16L
内层铜厚	3/3 Oz
成品板厚	2.70 mm
成品尺寸	140*26 mm

叠构图



内层线路图形



成品图片



应用图片



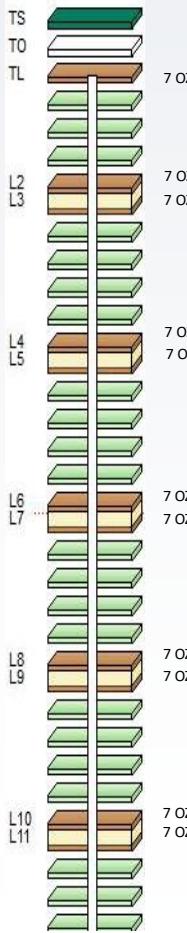
一 PCB电机案例分析

直线电机定子产品展示-平面电机

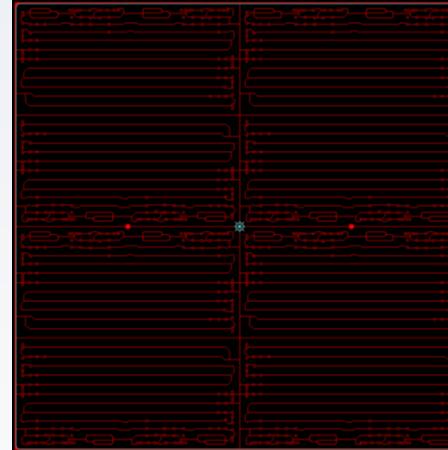
基本信息

应用领域	平面电机
功率	500 W
额定电流	1 A
层数	16L
内层铜厚	7/7 Oz
成品板厚	5.10 mm
成品尺寸	321 mm*321 mm

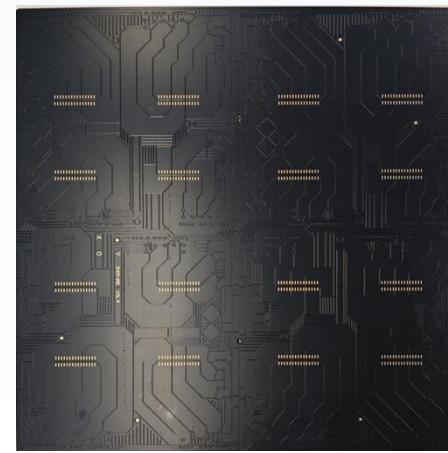
叠构图



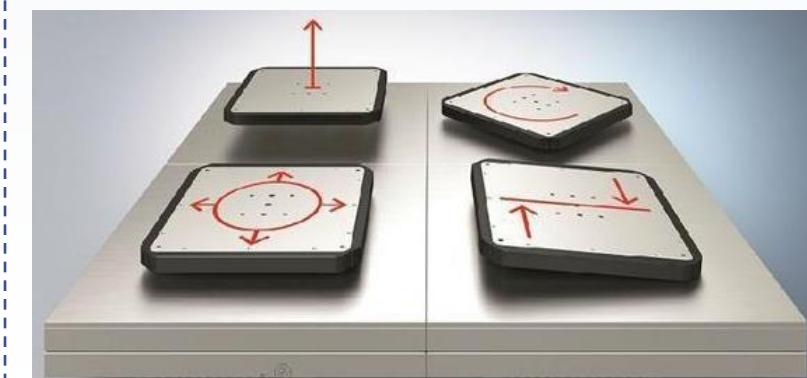
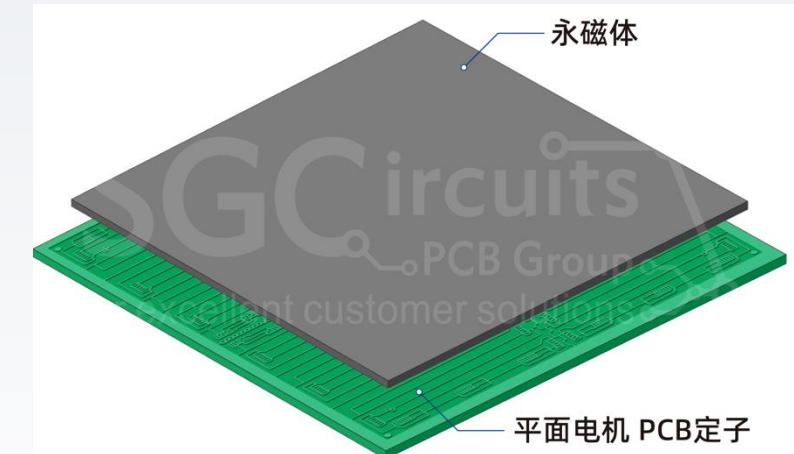
内层线路图形



产品实物图



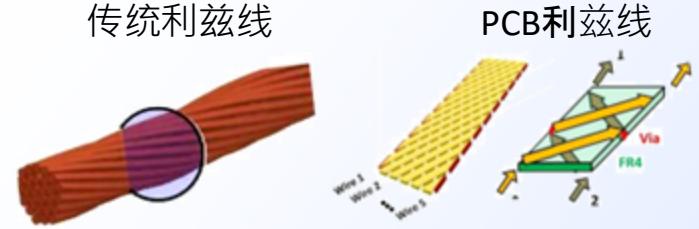
应用图片





利兹线

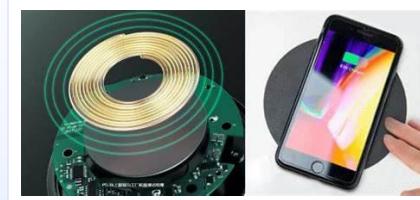
利兹线优势



利兹线应用场景



高频变压器

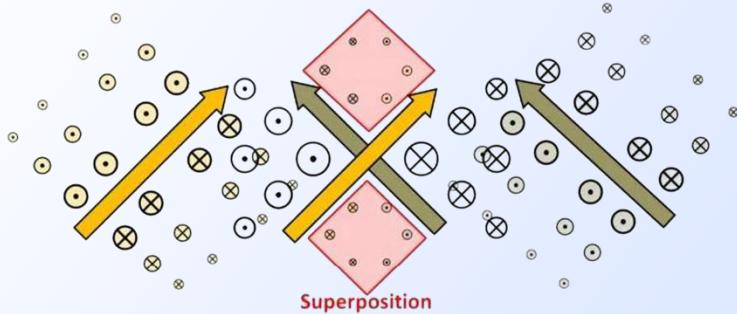


无线充电器



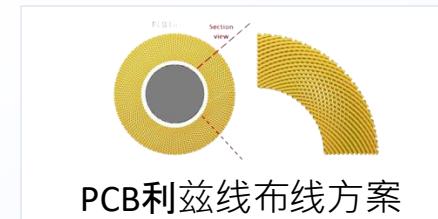
电机线圈

$$\text{Ampere Law: } H \cdot 2\pi r = I$$

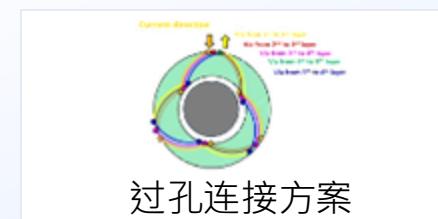


- 1.更低涡流损耗
- 2.更小邻近效应

PCB布线示意图



PCB利兹线布线方案



过孔连接方案



无线充电器



PCB利兹线布线图

04 PCB电机定子设计与仿真

— PCB电机定子设计

轴向电机PCB定子设计工具开发

线圈绕组电阻&载流仿真计算

Resistance Formula	$R = \rho * L / A = 2 \rho * L / (W1 + W2) * T$		规格	参数	单位	设计	参数	单位
铜电阻计算	Unit	Value	功率:	48	W	层数:	26	L
成品线宽Width(W)	mm	0.91	线顶宽(W2)	0.76	V	板厚:	5.6	mm
铜厚Thickness(T)	mm	0.14	负载电压V:	48	A	内/外径:	96/234	mm
横截面积Area(A)	mm ²	0.7051	横截面积:	0.7051	mm ²	铜厚:	4	Oz
单相单层线圈组数	组	6	线圈电阻R:	0.1	Ω	线宽线距:	Oct-36	mil
单个线圈匝数	匝	7	热损耗:	17.70	W			
布线层数	层	4						
单匝线圈长度	mm	180.0						
单相总匝数	匝	168						
线长Length(L)	mm	30240.00						
电阻率Resistivity(ρ)	Ω·mm ² /mm	1.72E-05						
电阻值Resistance(R)	Ω	0.12						
并联组数	/	6						

电阻率：铜在20°C时是0.0000172 欧姆平方毫米／毫米（注意单位）

绕组匝数&布线层数计算

载流/A	17	横截面积	0.7mm ²	
铜厚/Oz	2	3	4	6
总线宽/mil	426	284	213	142
最小线宽/线距	6/6	8/8	10/10	12/12
单层单槽匝数	14	14	7	7
单槽布线空间/mm	10	10	10	10
线宽设计/mil	22.12148481	20.12148481	36	32
	19.25729686	14.11426655	5.916666667	4.4375
并联组数	20	16	6	6
串联层数	2	2	4	4
总层数	42	34	26	26

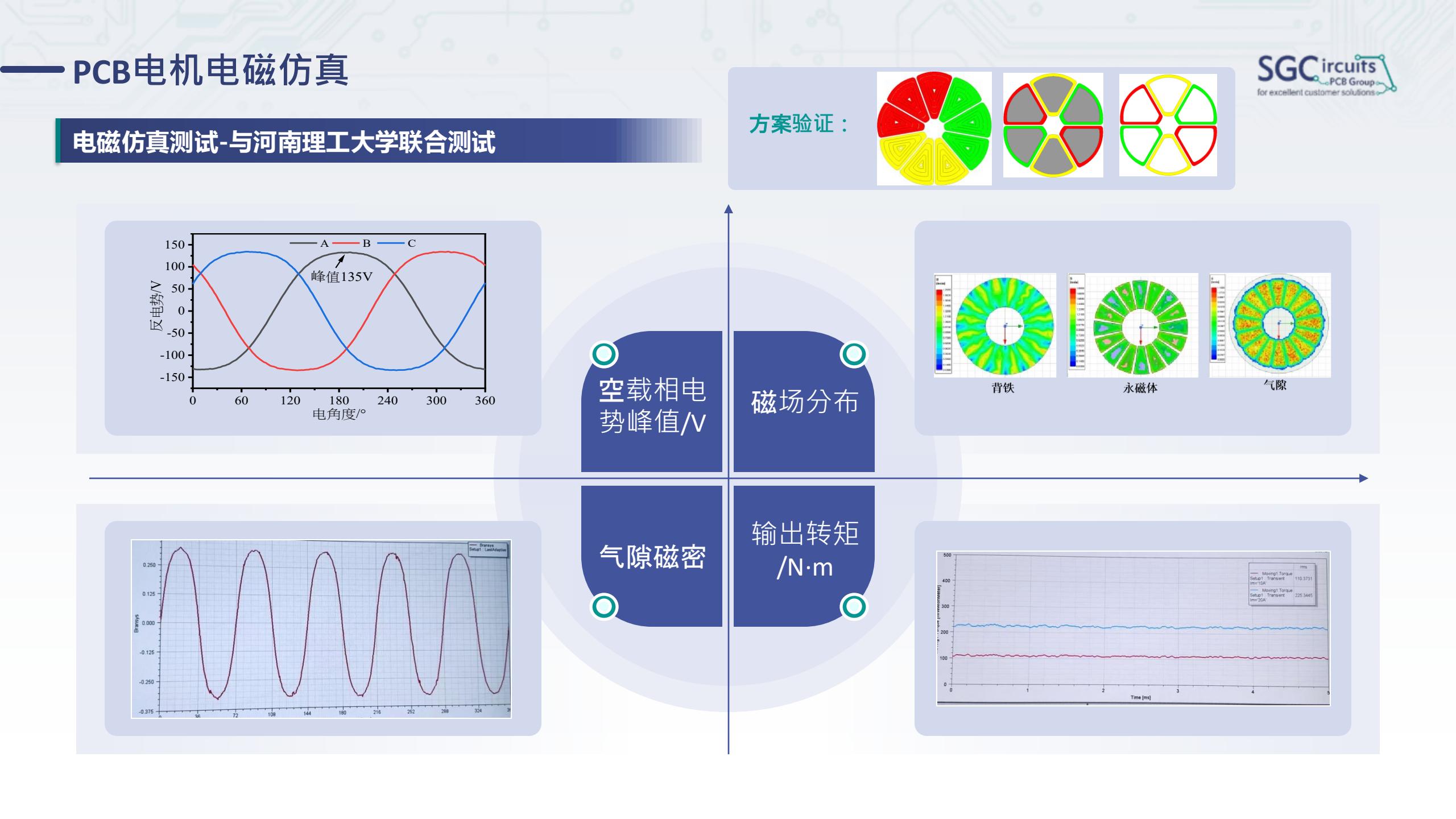
PCB走线载流计算器

电流:	0.869	安培
铜厚:	2	oz/in. ²
温升:	30	C
外层线宽:	2.501	mil
内层线宽:	6.507	mil

$I = k\Delta T^{0.44} A^{0.725}$
Where I = current in amperes, A = cross section in sq. mils, and ΔT = temperature rise in °C

过孔载流仿真计算

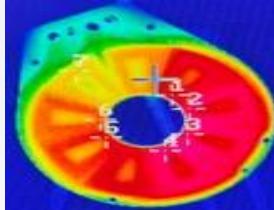
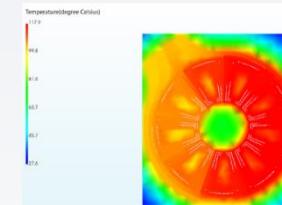
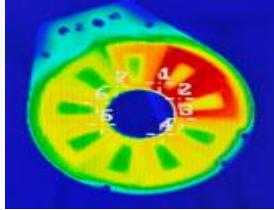
孔径:	20	mil
孔壁铜厚:	25	um
温升:	30	C
电流:	4.340	安培





— PCB电机定子热仿真

红外热成像与热仿真测试

降温方式	红外热成像实测	电流	PCB板级热仿真	测试条件与结果
自然降温		5 A, 114 °C		负载电流：5A AC 冷却方式：自然对流 红外实测温度：114 °C 仿真与实测结果基本一致
风冷降温		5 A, 53 °C	/	/
水冷降温		5 A, 27 °C (20 A最高88 °C)	/	/

结论：风冷时，功率可提升2倍；水冷时，功率可至少提升4倍，
因此提高PCB定子的散热及防水效果，在功率提升等方面至关重要。

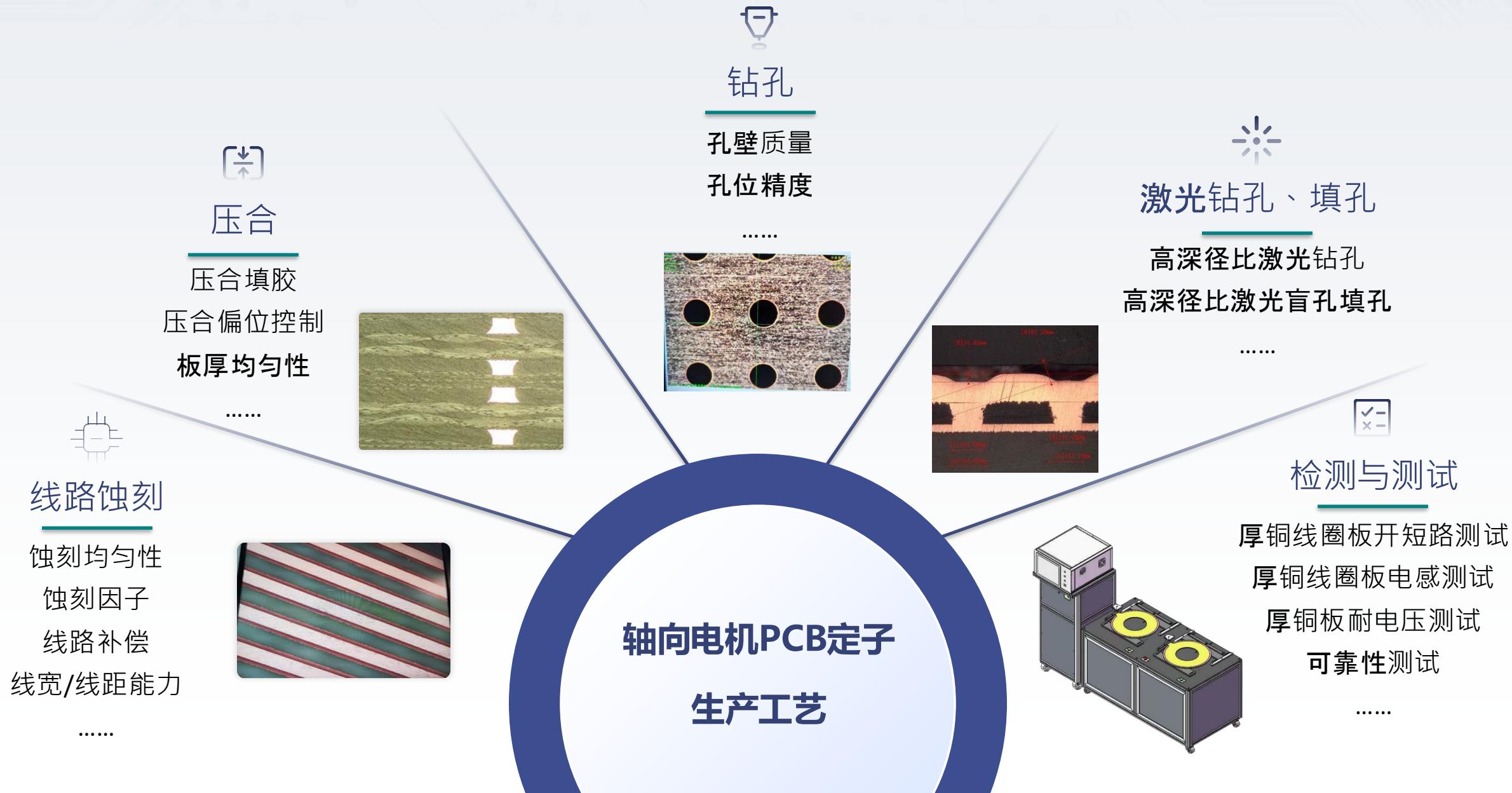


应对多场景做设计

防护方式	样品示例	防护	绝缘等级(对标电机绝缘等级)	成本	交付周期
阻焊层		阻焊油墨防水，可短时间内浸没至水中；	B级绝缘	低	正常交付
压半固化片		1. 可满足高耐压，3 mil可满足2700V耐压； 2. 防水等级更高，能够抵御高压蒸汽和水喷射；	F级绝缘	中等	增加1-2天
软硬板结合		1. 可将电控与定子通过柔性板连接，支持整机浸没水中； 2. 柔性板可进行多次弯折，一体化集成减少线路焊接；	根据表层不同的防护可满足不同的绝缘等级	中等	增加1-2天



05 生产技术与设备



— PCB电机定子生产关键设备

6-10 oz厚铜内层蚀刻

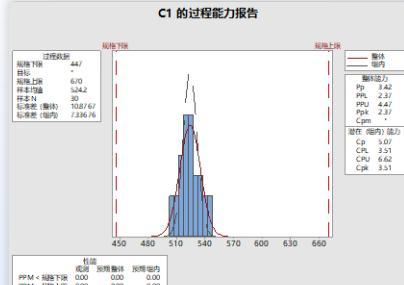


外层宇宙真空+二流体蚀刻线

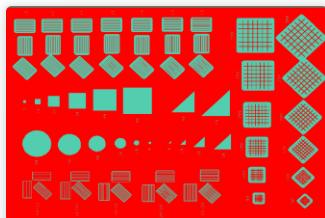
出色的去蚀刻毛边能力

蚀刻均匀性：上喷≥ 95%

下喷≥ 96%



6-10 oz厚铜压合填胶



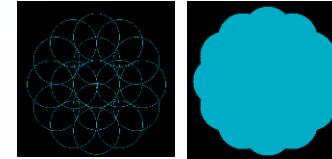
Burk Lamination System

- Fully automated hydraulic press
- Maximum Temperature 260 C
- Layer to Layer Alignment 50um
- Maximum 50 layers

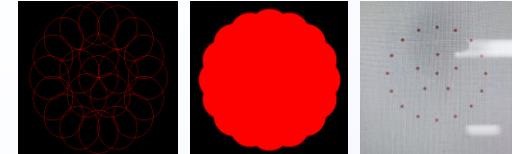


无分层，无空洞，无白斑

厚铜激光钻孔&电镀填孔



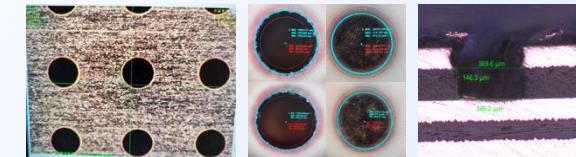
0.3mm叠孔图（用0.1mm小孔叠）



0.35mm叠孔图（用0.1mm小孔叠）



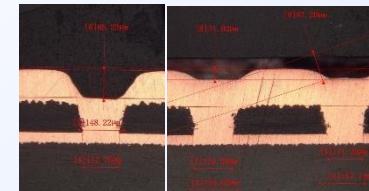
三菱激光钻孔机



厚铜激光钻孔图示



水平沉铜线



厚铜激光盲孔电镀填孔
(左第一次填孔, 右第二次填孔)



VCP填孔线

背光等级：9.5级
填孔饱满度：大于等于90%

— PCB电机定子测试系统

出货前对应国标的测试方法

在PCB定子生产中容易产生短路、线缺口等缺陷，而这些缺陷用传统PCB的检测方法很难检测出，因此我司针对PCB定子购入定子综合测试仪对定子进行相间绝缘、匝间绝缘、耐电压、电感、电阻等进行测试，避免问题板流出。



关于轴向磁通电机定子测试国家标准及要求

测试项目	核心要求
耐电压	1000 V + 2 倍额定电压 (1 min无击穿)
绝缘电阻	冷态绝缘电阻 $\geq 1 M\Omega$ (500 V 兆欧表)
匝间绝缘	采用脉冲电压法(如 1.2/50 μs 波形)，匝间 冲击电压 ≥ 1.5 倍额定电 压，波形无畸变
直流电阻	冷态下各相电阻偏差 $\leq 2\%$

定子测试仪测试项目及量程

序号	项目名称	量程
1	测试电压	AC 300-3000V
	电气强度	泄漏电流 AC 0-10mA
	测试时间	0-99 S
2	测试电压	AC 300-3000V
	相间绝缘	泄漏电流 AC 0-10mA
	测试时间	0-99 S
3	绝缘电压	DC 500V/1000V
	绝缘电阻	2-500MQ
	测试时间	0-99S
4	电阻	0-22-200-2002-20002
	电阻差	0-100%
5	匝间电压	DC 300-3000V
	匝间绝缘	波形差 0-100%
	面积差	0-100%
6	电压	AC 0-250V
	功率电流	AC 0-5A
	功率	AC 0-1000W
7	反嵌测试	OK/NG
8	旋向	顺时针/逆时针
9	环境温度	0-50°C



Thank You

扭矩缺口

在 $\varnothing 40$ mm外径约束下，单个PCB定子盘（单转子）可实现的最大扭矩约0.15 N·m量级；最低项目要求为 ≥ 0.8 N·m。若为单转子，则近似需 ≥ 5 盘PCB定子，结构高度与装配复杂度显著上升。即便采用双转子拓扑为潜在方案，单盘扭矩提升约1.8–2.0×，仍需 ≥ 3 盘PCB定子才能覆盖 ≥ 0.8 N·m；

可靠性风险

多盘堆叠热路径增长，AMS制动循环中磁钢温度更易逼近退磁阈值（160 °C上限），退磁与热老化风险上升。50–100 g冲击工况下，双转子结构的磁钢/胶粘/铆接可靠性与转子动平衡要求提升。

E-boost 细长、电机轴蜗杆、径向外径增大，转动外量增大（相比径向会大）导致刹车延迟；调整减速力矩，传动需要重新布局，增加风险且增长验证周期；