

新能源汽车BMS用PCB：厚铜、耐高压与可靠性设计要点

详细介绍：

引言：新能源汽车BMS对PCB的特殊要求

厚铜设计：承载大电流与散热管理

耐高压设计：爬电距离与电气间隙

可靠性设计：材料选择与汽车级认证

BMS典型板结构：从主控板到从控板

制造与测试要点

合通科技在新能源汽车BMS PCB领域的优势

关于新能源汽车BMS用PCB的常见问题

引言：新能源汽车BMS对PCB的特殊要求

新能源汽车BMS（电池管理系统）的核心功能：电压/温度采样、均衡、通信、保护

电池管理系统是新能源汽车动力电池的“大脑”，其核心职能包括：实时监测每一节或每一组电池的电压与

宁德时代（CATL）BMS技术总监张伟

在2023年中国电动汽车百人会上的报告：“BMS电路板的任何一次失效，都可能导致电池组损坏甚至热失控，

与传统消费电子PCB的差异：高电压（200-800V）、大电流（数十至数百安）、恶劣环境（振动、温度、潮湿）

与传统手机或电脑内部PCB相比，新能源汽车BMS用PCB面临截然不同的工作条件：动力电池系统电压已从早期的

500A，即使采样和均衡支路也需承受数安至数十安电流。此外，汽车运行中持续存在的振动（尤其底盘安装

40°C严寒到85°C高温暴晒（叠加电池自发热）的极端温度范围，还有涉水、洗车带来的潮湿盐雾环境，都对

BMS PCB设计三大支柱：厚铜、耐高压、可靠性

综合以上挑战，行业内将BMS用PCB的设计核心概括为三个关键词：厚铜——用于承载大电流并辅助散热；耐

——通过合理的爬电距离、电气间隙和隔离工艺，防止高压击穿；可靠性

——选用汽车级材料并通过严格的温度循环、振动、CAF等测试。国际汽车工程师学会（SAE）

发布的《电池管理系统硬件设计指南》（J2958）明确指出：BMS

PCB的设计评审必须围绕这三个维度展开，缺一不可。本系列文章将深入解析这三大支柱的工程实现要点与工

厚铜设计：承载大电流与散热管理

BMS中大电流通路：充放电主回路、均衡电路、继电器驱动

在新能源汽车BMS中，虽然主功率回路（电池包正负极到接触器/继电器）通常由铜排或粗导线完成，但PCB

均衡电路：被动均衡时，每节电芯通过放电电阻消耗多余能量，电流通常在100mA-

500mA；主动均衡时，能量转移电流可达2A-5A，甚至更高。② 继电器/接触器驱动线圈

：控制主回路接触器闭合的驱动电流约0.5A-2A，但由于电感特性，需考虑瞬间反峰电压。③ 采样电阻连接

：电流检测通常采用分流器（shunt），其两端通过PCB走线连接到AFE（模拟前端），该走线虽不承载主电

电源管理线路：BMS主板上的DC-

DC转换器输入输出电流可能达到数安培。这些路径共同要求PCB具备足够的铜厚来降低温升和压降。

铜厚选择：2oz、3oz、4oz甚至更高，线宽与载流能力计算（IPC-2152标准）

普通消费电子PCB常用1oz（35 μm）铜厚，而BMS用PCB普遍采用2oz（70 μm）起步，关键大电流层甚至使用3

国际电子工业联接协会（IPC）发布的《印制板载流能力标准》（IPC-2152）替代了旧版IPC-

2221中的经验公式，提供了更精确的载流计算模型。根据IPC-

2152，在内层且温升20℃的条件下，2oz铜厚、10mm线宽可承载约10A直流电流；若走线位于表层并增加散热5mm线宽即可满足。

特斯拉（Tesla）电池系统硬件工程师Marco Rodriguez在2022年电池管理研讨会上指出：“在Model 3的BMS从控板中，均衡线路采用了3oz铜厚和局部开窗加锡的复合设计，将温升控制在15℃以内，有效延长了2152在线计算器或仿真软件（如ANSYS SIwave）进行校核，而非简单套用经验值。

厚铜蚀刻工艺难点：侧蚀控制、线宽补偿、阻抗匹配

厚铜PCB的制造与传统1oz铜板存在显著差异。由于蚀刻液从铜层表面向侧面侵蚀的速率与厚度成正比，当铜生益科技（生益电子）工艺研发中心

的实验数据表明：对于4oz铜厚，若不做补偿设计，0.5mm线宽蚀刻后实际宽度仅剩0.38-0.42mm。解决方案

线宽补偿：在设计时预先增加线宽（如4oz铜板补偿0.12-0.15mm），但补偿值需通过试产确定。② 选择性蚀

：对大电流线采用“半蚀刻”工艺，即只蚀刻线路间隙，保留大部分铜厚。③ 阻抗匹配

：厚铜走线由于铜层高度增加，特性阻抗会降低，需重新计算线宽和介质厚度。合通科技拥有厚铜蚀刻补偿6oz铜厚提供精准的DFM（可制造性设计）建议。

散热设计：厚铜作为散热层、导热过孔、铝基/铜基板替代方案

BMS中功率元件（均衡电阻、MOSFET、DC-

DC转换器）产生的热量若不能及时散出，会导致PCB局部高温，加速材料老化甚至引发焊点开裂。厚铜本身4玻璃布的0.3W/(m·K)。因此，将发热元件紧贴于厚铜走线或铜皮区域，并通过导热过孔

（密集过孔填充导热胶或直接焊锡）将热量传导至背面散热层，是常见的低成本方案。对于均衡电流极大（

铝基板或铜基板替代传统FR-4。德州仪器（TI）电池管理产品线应用工程师刘明在应用笔记《高功率BMS PCB热管理》中强调：“当单通道均衡功率超过5W时，建议使用金属基板或增加独立散热片，单纯依赖FR-4的导热能力已不足以保证长期可靠性。”



耐高压设计：爬电距离与电气间隙

电动汽车高压平台：400V、800V架构下的绝缘要求

新能源汽车动力电池系统的电压等级已从早期的200V逐步提升至400V主流平台，而保时捷Taycan、小鹏G9、PCB的绝缘设计提出了严峻挑战。在400V系统中，BMS电路需承受的峰值电压可达约500V（考虑电池满电电压

DC变换器等设备在开关过程中会产生高压尖峰，进一步加重绝缘负担。中国汽车技术研究中心（CATARC）发布的《电动汽车高压安全标准》指出：BMS电路板上的高压区域与低压区域之间，必须通过物理隔离或固定AC或更高耐压测试。

爬电距离与电气间隙的计算：依据IEC 60664、UL 60950等标准

爬电距离（Creepage

Distance）是指沿绝缘表面测量的两个导电部件之间的最短距离；电气间隙（Clearance）是通过空气测量的。PCB时，需参考IEC 60664-1《低压系统内设备的绝缘配合》或UL 60950-

1（信息技术设备安全标准）。以800V系统（峰值约1000V）为例，对于基本绝缘，污染等级2（非密封、可能175-399），要求的电气间隙约2.5-3.0mm，爬电距离约3.5-

5.0mm；对于加强绝缘（如高压与低压隔离），则需加倍。UL Solutions高级工程师王振华

在2023年新能源汽车高压安全研讨会上指出：“许多BMS设计失败案例源于低估了污染和老化对爬电距离的影响。高压区域隔离：开槽、绝缘阻焊坝、灌封胶的应用

为满足爬电距离和电气间隙要求，PCB布局阶段应将高压区域（电池电压采样、均衡、继电器高压侧）与低压侧开槽（Slot）

：在高低压之间铣出宽度 $\geq 1\text{mm}$ 的狭长槽孔，打断表面可能形成的污染路径。开槽可有效增加爬电距离，但需配合绝缘阻焊坝：在高压走线之间或高低压交界处加印阻焊油墨形成的凸起，可以阻止污染物迁移。③ 灌封胶

：对于严苛的振动和潮湿环境（如安装在电池包内部的BMS从控板），可将高压区域或整板用有机硅或环氧树脂灌封。宁德时代（CATL）电池系统设计规范

明确要求：“所有BMS板在采样线束接口和高压连接器周围必须设计足够宽度的阻焊坝或开槽，并通过100%覆盖。高压采样电路PCB设计：分压电阻布局、隔离放大器布局、避免高压击穿

BMS需要采集每节电芯的电压，但高压电池组（比如96节串联电芯）的总电压可达数百伏。AFE芯片通常只耐100V。分压电阻布局：高压采样输入线上串联多个电阻（如4-

6个1206封装电阻）以分散电压，避免单个电阻承受过高电压而击穿。电阻下方不应布置地平面，以防止高压击穿。隔离放大器布局：ISO-

SPI或隔离放大器（如TI的AMC130x系列）两侧分别为高压地与低压地，二者之间的PCB铜箔必须保持足够的厚度。避免高压击穿：高压走线与相邻层的地平面或信号线之间的介质（FR-4）厚度需足够。例如，1000V电压要求FR-4厚度至少0.4mm（约15.7mil）以上，以防层间击穿。模拟器件公司（ADI）

的BMS设计应用笔记建议：“高压采样线应尽可能走在顶层，避免长距离并行，且与低压线路间隔至少2mm。

的BMS设计应用笔记建议：“高压采样线应尽可能走在顶层，避免长距离并行，且与低压线路间隔至少2mm。

可靠性设计：材料选择与汽车级认证

汽车级PCB材料：高TG（ $\geq 150^\circ\text{C}$ ）、耐CAF、抗热冲击（如生益S1000-2M、ITEQ IT-180A）

BMS电路板因其工作环境的特殊性，对基材的要求远超普通工业级PCB。动力电池包在充放电过程中会产生高达105 $^\circ\text{C}$ 的温度；而在寒冷地区停车时又可能经历-

40 $^\circ\text{C}$ 的低温冷冻。因此，汽车级PCB基材的玻璃化转变温度（Tg）是首要筛选指标。根据AEC-Q100 Grade 0的要求，车规级基材Tg应 $\geq 170^\circ\text{C}$ ，Td（热分解温度） $\geq 340^\circ\text{C}$ ，在150 $^\circ\text{C}$ 下1000小时后抗弯强度衰减需小于10%。

以生益S1000-2M为例，其Tg达到180 $^\circ\text{C}$ （DSC法），可通过3次260 $^\circ\text{C}$ 无铅回流焊而不出现分层，且具有优良的通孔可靠性和抗CAF能力。

ITEQ IT-180A的Tg为175 $^\circ\text{C}$ ，Z轴热膨胀系数低（低于Tg时仅45ppm/ $^\circ\text{C}$ ），T260（260 $^\circ\text{C}$ 耐分层时间）超过60分钟，T280（280 $^\circ\text{C}$ 耐分层时间）超过120分钟。生益科技研发中心高级工程师张明

在一次行业技术论坛中指出：“对于部署在电池包内部的BMS从控板，低Z轴CTE比高Tg更为关键，因为反复的温度循环会导致材料膨胀。生益S1000-2M在50-260 $^\circ\text{C}$ 范围的Z轴总膨胀仅2.7%，远低于普通FR-4的4%-5%，这正是BMS用板高可靠性的核心保障。

生益S1000-2M在50-260 $^\circ\text{C}$ 范围的Z轴总膨胀仅2.7%，远低于普通FR-4的4%-5%，这正是BMS用板高可靠性的核心保障。

温度循环测试：-40℃~125℃，500-1000次循环

BMS电路板在其设计使用寿命中必须经受数千次环境温度与自发热交替变化的考验。IPC-6012DA（汽车刚性PCB性能标准）是车规级PCB的专用附加标准，它将传统IPC-

6012的视觉验收标准升级为基于性能的要求，专门针对汽车应用中的热循环、机械振动和长期使用寿命等。40℃保持15分钟、125℃保持15分钟，转换时间不超过1分钟，连续500至1000次循环。

以安装在电池包内部的CMU（从控板）为例，热循环测试中需要重点关注：①孔壁铜层无裂纹或分离，必须符合IPC汽车电子标准委员会（APCAC）前主席Michael Carano

曾指出：“热循环失效是汽车PCB在现场故障的主要原因，通孔孔壁铜层在反复热胀冷缩下会产生疲劳裂纹，1000次热循环及相应的切片验证，确保产品在整车生命周期内的可靠性。

振动与冲击：厚板增强、螺钉固定孔、元件加固胶

新能源汽车在行驶过程中，电池包会持续承受来自路面不平和底盘悬挂系统的振动与冲击。BMS电路板若直接安装在电池包内部，需符合ISO 16750-

3《电气系统环境条件》的要求，振动测试需覆盖10Hz至2000Hz的频率范围，加速度水平根据实际安装位置而定。在PCB设计层面应对振动冲击的策略主要包括：①板边5mm区域内设置较宽的铜箔加强环，或沿板边排列螺钉。

湿度与盐雾：防腐蚀表面处理（沉金、沉银优先于OSP）

新能源汽车可能在高湿度和沿海盐雾环境中长期运行，这对BMS电路板的耐腐蚀性能提出了明确要求。IPC-6013明确规定汽车PCB必须满足环境耐受性方面的要求，包括防湿、防腐蚀和化学污染物保护。整车厂普遍要求在PCB表面处理的选型对长期耐腐蚀性有关键影响。OSP（有机保焊膜）虽然成本低、表面平整度高，但耐潮湿环境性能较差。

通常采用NaCl、48小时或96小时中性盐雾测试），含镍的沉金方案通常优于OSP。

上海机动车检测认证技术研究中心（SMVIC）电子实验室负责人陈建新

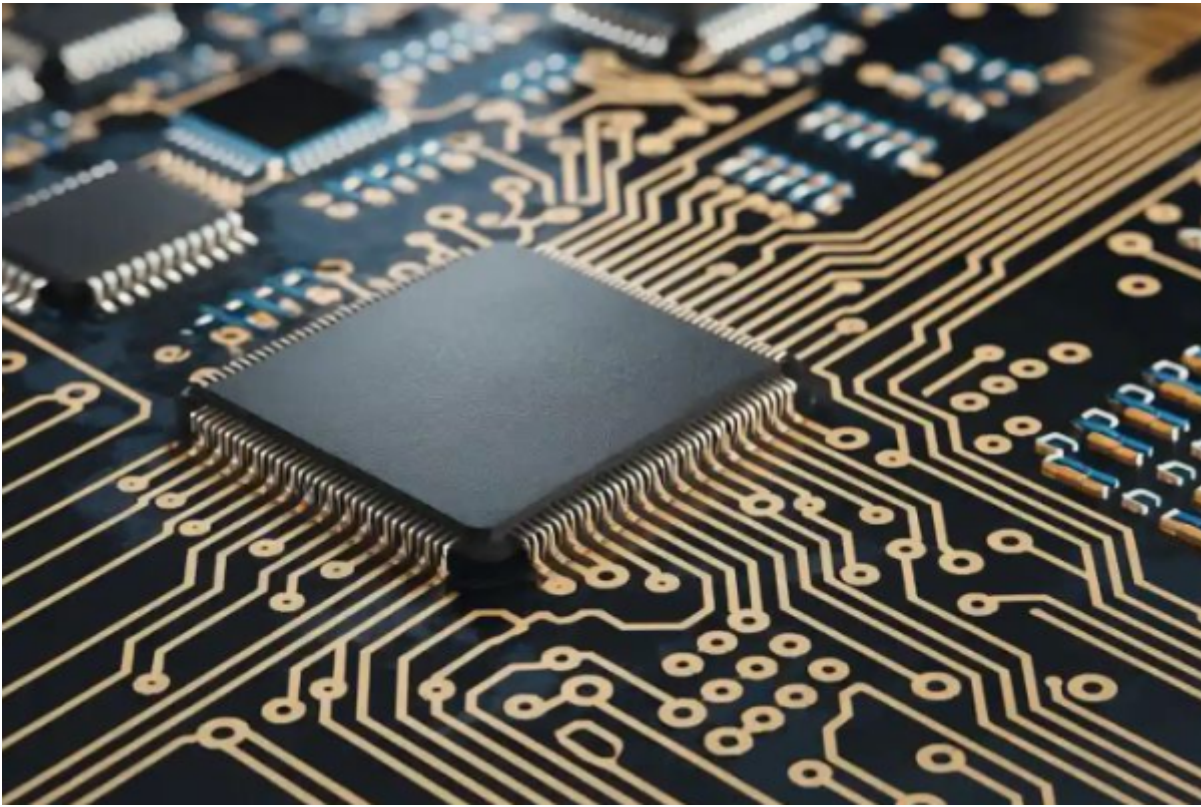
在分析车规PCB失效模式时强调：“盐雾环境下的腐蚀问题在沿海地区的新能源汽车中尤为突出。OSP焊盘在AEC-Q100/Q200对PCB的间接要求

AEC-Q100和AEC-

Q200虽然是针对IC芯片和无源元件的认证标准，而非直接面向PCB制造商的规范，但它们在BMS设计中对PCB基材和元件的要求与AEC-Q100标准要求IC芯片能够在-

40℃至+125℃的工作温度范围内稳定运行，某些应用甚至要求扩展至150℃，这就倒逼作为载板的PCB基材也需满足类似要求。AEC-Q200则针对被贴装在PCB上的电阻、电容和连接器等无源元件，要求它们与PCB本身实现同寿命设计，因此PCB制造商需严格执行IATF

16949汽车质量管理体系，从来料检验到出货检验的每一个环节均建立可追溯记录，并按批次保留切片样片。



BMS典型板结构：从主控板到从控板

BMS主控板：多层板（6-8层），集成MCU、AFE、CAN收发器、高压隔离

BMS主控板（BMU, Battery Management

Unit）是整个电池管理系统的核心，负责处理所有从控板采集的数据、执行状态估算（SOC、SOH、SOP）、
典型的主控板叠构为：Top层放置MCU、CAN收发器、隔离芯片及信号走线；GND层提供完整参考平面；电源层
SPI）实现电气隔离，隔离带宽度通常 $\geq 3\text{mm}$ 。英飞凌（Infineon）BMS系统架构师Klaus Mueller

在2023年慕尼黑电子展的演讲中指出：“现代BMS主控板对PCB的层间电容和阻抗控制提出了更高要求，尤其
从控板（CMU）：2-4层，电池单体采样与均衡

从控板（CMU, Cell Monitoring

Unit）直接部署在电池模组内部或紧贴电芯，负责采集每节电池的电压和温度信号，执行被动均衡，并将数
Chain）或CAN总线传送至主控板。由于每个从控板只需处理少量电芯（通常6-
12串），且无需复杂通信协议，其结构相对简单，多数采用2层或4层双面PCB。

2层从控板成本最低，适用于对成本和空间敏感的家用电动车电池包。但4层板能提供更好的地平面完整性，
开尔文（Kelvin）连接

：电流检测电阻的采样线必须从电阻两端直接引出，避免大电流路径上的压降影响测量精度。② 均衡电路

：均衡电阻和MOSFET周围需增加铜皮和散热过孔，必要时开窗加锡以增强散热。③ 温度传感器

：NTC热敏电阻需尽量贴近电芯表面，其走线应与功率线分开。宁德时代（CATL）电池系统设计规范

要求：“所有电压采样线必须采用差分对形式，走线等长，且远离均衡电流路径至少2mm，以避免磁场耦合-
柔性板（FPC）在BMS中的应用：排线连接替代线束

传统BMS中，从控板与电芯极耳之间需要大量采样线束，不仅增加成本和重量，还因线束接头多而降低可靠
Printed

Circuit）已逐渐替代线束用于电芯采样连接。FPC通过蚀刻在聚酰亚胺（PI）基材上的精细铜线路，将每个
比亚迪（BYD）刀片电池BMS设计团队

公布的资料显示，采用FPC采样排线后，电池包内线束总长度减少约60%，装配时间缩短40%，且FPC的标准化
铜箔厚度通常为 $18-35\mu\text{m}$ ，需满足采样电流（mA级）要求；② 弯折半径应 $\geq 3\text{mm}$ ，避免线路断裂；③

覆盖膜开窗位置需准确对准电芯连接点，且贴合工艺需保证无气泡。合通科技可提供FPC打样及FPC+PCB刚柔结合板：集成采样与连接的一体化方案

刚柔结合板 (Rigid-Flex)

将刚性PCB和柔性FPC融合为一体，在BMS应用中可将从控板（刚性部分）与采样排线（柔性部分）整合。特斯拉 (Tesla) Model 3/Y的BMS设计

即采用了刚柔结合板技术，显著提高了生产自动化程度和可靠性。然而，刚柔结合板制造成本较高，且需注PCB行业顾问、前TTM技术总监Mark Thompson

指出：“刚柔结合板在BMS中的应用需要控制覆盖膜开窗精度和弯折次数，设计时应避免在柔性区域布置过

制造与测试要点

钻孔：厚铜板的钻头磨损与孔壁质量优化

BMS用PCB常采用2-

4oz厚铜，而厚铜对机械钻孔工艺提出了特殊挑战。铜层较厚时，钻头在穿透铜箔和玻璃布纤维过程中磨损。日立VIA Mechanics (日立维雅机械) 钻孔应用实验室

的研究表明，钻厚铜板时推荐使用硬质合金钻头并缩短单次钻孔叠板数（例如，常规1oz铜板可叠3-

4块，2oz铜板建议叠2块）；同时降低进给速率为常规的70%-80%，提高主轴转速（ ≥ 30 万转）以减小切削力。钻孔后必须进行去钻污（除胶渣）

处理，等离子清洗或高锰酸钾法可有效去除孔壁残留的胶渣和钻屑。对于厚铜板，因孔口铜箔切削量大，必合通科技

针对BMS厚铜板的钻孔工艺建立了参数矩阵，可依据铜厚和孔密度推荐最优钻速和叠板数，保证孔壁粗糙度。

阻焊：厚铜上的阻焊覆盖平整度、高压区域的阻焊桥

厚铜线路表面高低差显著（2oz铜高出基面约 $70\ \mu\text{m}$ ，4oz高出 $140\ \mu\text{m}$ ），容易导致阻焊油墨在铜面边缘堆积。真空丝印或帘幕涂布

工艺，使油墨均匀填充铜线间隙；②针对厚铜区，先印一层薄油墨预固化，再印第二层加强覆盖；③线路设Taiyo油墨公司技术指南

指出：在厚铜板上形成可靠阻焊桥的最小线距应不低于 0.2mm ，且阻焊厚度需 $\geq 15\ \mu\text{m}$ 。合通科技可提供厚铜

电测：高压绝缘测试（耐压测试仪）、飞针测试开路/短路

BMS用PCB出货前必须经过两类电测：常规的飞针测试（或专用测试夹具）验证网络开路/短路；以及高压绝缘（也称为耐压测试或Hi-

Pot测试），用于验证高低压隔离区域是否有漏电或击穿风险。高压测试通常施加的电压为额定工作电压的1.2倍加 1000V （例如， 800V 系统的隔离测试电压为 3750V AC 或更高）。Chroma（致茂电子）电源测试专家

建议：在测试前应对PCB进行清洁干燥，去除可能的离子污染，以免产生误判。测试时需将高压区域与低压区 5mA ，无击穿或闪络即为合格。合通科技配备高压测试仪（可达 5000V

AC），可按客户要求对BMS板执行100%高压绝缘测试并出具报告。

合通科技在新能源汽车BMS PCB领域的优势

新能源汽车BMS用PCB的设计与制造，必须同时满足厚铜载流、耐高压绝缘和全生命周期可靠性三大核心要求（4oz甚至更高）、爬电距离与电气间隙计算，到严格的热循环、高压漏电、CAF及振动测试，每一个环节都直PCB的技术门槛正在持续提升，不具备汽车级工艺能力的PCB厂商将难以进入主流供应链。

合通科技作为全品类PCB制造商，已建立完整的新能源汽车BMS PCB解决方案体系：厚铜工艺支持2-

6oz，最小线宽 0.2mm ，侧蚀控制与阻抗匹配经验成熟；耐高压设计团队可依据IEC 60664/UL

60950提供爬电距离优化建议，并执行100%高压绝缘测试；可靠性保障涵盖IATF 16949质量管理体系、IPC-6012DA标准及全套验证测试（热循环、CAF、振动等）。同时，合通科技提供从2层从控板到8层主控板、从

PCB的Gerber文件或技术要求，合通科技将为您量身打造高可靠、高性价比的新能源汽车电池管理系统电路板。

关于新能源汽车BMS用PCB的常见问题

BMS PCB使用4oz厚铜时，最小线宽可以做到多少？

4oz铜厚（约140 μm）条件下，常规蚀刻工艺可稳定实现最小线宽0.3mm（300 μm），合通科技经过补偿优化

高压采样线如何避免PCB层间击穿？

保证高压走线与其相邻层（通常是地平面）之间的绝缘介质厚度足够。FR-

4的介电强度约为20kV/mm，但考虑长期老化和缺陷，设计安全系数取3-

5倍。对于1000V峰值电压，建议介质厚度 $\geq 0.4\text{mm}$ （约15.7mil）。此外，避免高压线下方有裸露铜皮或尖锐

BMS从控板采用2层板还是4层板更合适？

2层板成本最低，适用于电芯数量少、均衡电流小的方案（如电动自行车、12V启停电池）。但对于车规级动

BMS PCB需要进行哪些汽车级可靠性测试？

至少包括：①热循环（-40℃~125℃，500-

1000次）；②高温高湿偏置（85℃/85%RH，1000小时，施加偏压）；③CAF测试；④振动与机械冲击（ISO 1

3）；⑤高压绝缘测试（3750V

AC，1分钟）；⑥可焊性与老化测试。合通科技可依据客户要求提供全套或部分测试报告。

柔性板（FPC）替代线束时，弯折寿命一般要求多少次？

BMS中FPC通常在装配时弯折一次，之后基本不活动，因此弯折寿命要求并不高（约10-

20次）。但需注意弯折半径 $\geq 3\text{mm}$ ，且不要在弯折区域布置过孔或元件。若用于可维护的电池包（如换电模

合通科技能否生产刚柔结合板用于BMS？

可以。合通科技支持刚性+柔性一体化设计，刚性区域厚度0.4-2.0mm，柔性区域采用聚酰亚胺（PI）基材，

35 μm，覆盖膜颜色可选。刚柔结合板可省去连接器，适用于高集成度的电池模组采样总成。请提供设计文