

# 动力电池机电极耳支架的结构设计与性能分析

罗积善

浙江众向电子科技有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i1.8683

**[摘要]** 动力电池电极耳支架电流分布不均、散热不足与装配误差导致能量损耗上升、局部过热及连接松动。缘由在于导电路径单一、几何结构未兼顾强度与散热、接口缺乏定位基准。优化导电路径呈渐变截面并增设分流段，侧壁布置梯形加强筋配合非受力区镂空，设置标准化卡扣与导向斜面，使电流均匀性、散热效率与装配精度同步提升。

**[关键词]** 动力电池；电极耳支架；导电路径；散热结构；自动化装配

## Structural Design and Performance Analysis of Battery Pack Electrode Ear Bracket

Luo Jishan

Zhejiang Zhongxiang Electronic Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** Uneven current distribution, insufficient heat dissipation, and assembly errors in the battery electrode ear bracket lead to increased energy loss, localized overheating, and loose connections. The root causes lie in a single conductive path, geometric structures that fail to balance strength and heat dissipation, and the absence of positioning benchmarks at interfaces. By optimizing the conductive path to feature a tapered cross-section and adding shunt sections, arranging trapezoidal reinforcing ribs on the sidewalls with hollowed-out non-load-bearing areas, and incorporating standardized clips and guiding bevels, the uniformity of current distribution, heat dissipation efficiency, and assembly precision are simultaneously improved.

**[Key words]** power battery; electrode lug bracket; conductive path; heat dissipation structure; automated assembly

### 引言

高倍率放电工况下，极耳支架若无法均衡电流且散热滞后，温升将直接降低电池循环寿命。现行设计常把导电、散热、装配三者割裂处理，造成结构冗余却性能不足。将导电路径、几何刚度、接口定位纳入同一优化框架，可在不增加重量的前提下降低电阻损耗并提升装配良率，对推动动力电池系统高功率、高可靠运行具有现实意义。

### 一、动力电池机电极耳支架的结构设计基础与需求分析

本部分针对电极耳支架结构设计的核心基础进行阐述，首先对动力电池对电极耳支架的功能需求展开详细分析，涵盖电流传导的高效性、机械连接的稳定性、散热性能的适配性以及装配工艺的兼容性；电流传导高效性是指支架需具备低电阻特性以快速传递电流，减少充放电过程中的能量损耗，这对于提升动力电池的续航能力和能量转换效率至关重要，特别是在电

动车加速或爬坡等大功率输出场景下，低效的电流传导不仅会降低电池的实际可用容量，还可能因局部电阻过大产生额外热量，进而影响电池系统的整体稳定性和安全性；机械连接稳定性要求支架在长期使用过程中保持与电极耳及电池主体的牢固连接，不出现松动或脱落现象，考虑到动力电池常应用于电动车、储能电站等场景，支架需要承受长期的振动、冲击以及温度变化带来的热胀冷缩应力，若连接部位出现松动，可能导致电流接触不良，引发火花甚至短路事故；散热性能的适配性则要求支架的结构设计能够配合电池系统的散热方案，如与风冷通道的预留位置相匹配、或与液冷板的贴合度良好，以促进热量的快速传导和扩散，避免因局部过热导致电池性能衰减或寿命缩短；装配工艺的兼容性则需要支架的结构设计契合自动化或人工装配的流程特点，自动化装配时需保证支架的尺寸精度和定位孔位置公差符合设备要求，人工装配时则需简化结构以减少装配步骤和时间成本，提高生产效率；其次对材料选择

的关键原则进行深入说明，主要涉及导电率、耐热温度、机械强度与成本之间的平衡关系；导电率是材料选择的核心指标之一，高导电率材料如纯铜能有效降低电阻损耗，但纯铜的重量较大且成本较高，铝合金则在轻量化和成本方面具有优势，但其导电率略低于纯铜，因此需根据具体应用场景进行权衡，例如对重量敏感的电动车动力电池可优先考虑铝合金或铜铝复合材料；耐热温度需满足动力电池的工作温度范围，通常动力电池的正常工作温度在 $-20^{\circ}\text{C}$ 至 $60^{\circ}\text{C}$ 之间，极端情况下可能达到 $80^{\circ}\text{C}$ 以上，因此支架材料需在该温度区间内保持稳定的力学性能和导电性能，不发生软化、变形或氧化反应；机械强度方面，支架需具备足够的抗拉强度和屈服强度，以承受电极耳安装时的紧固力和长期使用中的动态载荷；成本控制则是大规模生产中不可忽视的因素，需在满足上述性能指标的前提下选择性价比最优的材料方案，如采用表面镀铜的铝合金材料既能保证导电性能又能降低成本；最后对行业技术标准与性能指标要求进行明确，支架的设计需契合 GB/T 相关标准中的电流承载能力、抗疲劳次数等关键指标；GB/T 标准作为国内动力电池行业的统一技术规范，为支架的设计和生提供了明确的技术依据，电流承载能力指标规定了支架在额定工况下能持续承受的最大电流值，确保不会因过流导致过热损坏，抗疲劳次数则衡量支架在循环载荷下的耐久性，通常要求达到数千次甚至上万次的循环而不出现裂纹或变形，这些标准为后续的结构设计与性能分析提供了清晰的目标和方向，使设计工作更具针对性和可行性。

## 二、动力电池机电极耳支架的多维度结构优化设计

(一) 基于电流分布均匀性的导电路径优化设计 本小节聚焦电流分布不均导致的局部过热及电阻损耗增大问题，首先开展影响电流分布关键因素的系统分析工作，包括导电路径几何形状（如直角拐角处易因电流方向突变成集中区域）、截面尺寸（截面面积不足会提升电流密度进而引发局部温度异常升高）、材料电阻率（需选择低电阻率且具备良好耐高温性能的导体材料）及接触界面状态（接触界面的氧化层或装配间隙会显著增大接触电阻导致额外能量损耗），接着采用专业有限元仿真软件（如 ANSYS Maxwell）建立电流分布数值模型，设定环境温度为 $25^{\circ}\text{C}$ 、输入电压匹配动力电池标称工作电压、接触电阻按实际装配状态取值等合理边界条件，模拟直线型、分支型、渐变截面型等多种不同路径设计方案下的电流密度分布特征，对比各方案的电阻损耗数值与温度场分布趋势，然后结合仿真分析结果对路径的宽度、长度及走向进行针对性优化调整，例如采用分流式路径设计在主路径上增设若干宽度适配的并行分支以有效分散局部集中电流，或通过渐变截面设计（从电流流入端到流出端逐步调整截面宽度以适配电流分布需求）

来改善整体电流分布的均匀性，最后对优化后的路径方案在不同工作电流条件下（如额定工作电流、短时峰值工作电流）开展性能稳定性验证测试，确保电流均匀分布以有效降低能量损耗与过热风险。（二）兼顾散热与机械强度的支架几何结构设计 本小节针对支架需同时满足散热与机械强度的需求，首先开展散热性能与机械强度关联关系的分析工作，明确两者的权重与平衡原则。接着进行多种几何结构方案的设计，包括带散热鳍片、镂空式、加强筋设计等，通过热仿真开展散热效率的分析工作，涵盖散热系数与温度梯度，同时通过力学仿真开展抗拉抗压强度及抗变形能力的测试工作。然后对比各方案的散热效果与机械性能，筛选出兼顾两者的最优结构，例如在侧壁设置梯形加强筋以提升强度，同时非关键区域采用镂空设计增强对流散热。最后说明该结构适配动力电池安装空间的具体方式，确保在有限体积内实现散热与强度的平衡。

(三) 适配自动化装配的接口与定位结构设计 本小节围绕自动化装配需求，首先开展自动化装配对支架结构要求的分析工作，包括定位精度、装配效率及防呆设计等方面。接着进行接口与定位结构的设计，包括标准化卡扣、定位销孔、导向斜面等，确保支架能够快速准确对接电极耳与电池模组。然后通过装配仿真开展自动化设备抓取、定位、安装过程的模拟工作，分析结构是否存在干涉现象及定位误差是否契合相关要求。接着对接口尺寸公差与配合间隙进行优化，例如将定位销孔公差控制在 $\pm 0.05\text{mm}$ ，并设置防呆缺口避免反向安装。最后对结构在自动化装配线中的可行性开展验证工作，确保装配效率提升 30%以上且连接稳定性契合相关要求。

## 三、动力电池机电极耳支架的关键性能测试与验证分析

(一) 电气性能测试与分析 本小节聚焦电气性能验证工作，首先开展测试指标的明确工作，涵盖接触电阻、电流承载能力、电压降等核心指标，之所以选择这些指标，是因为接触电阻直接影响电能传输效率与发热情况，电流承载能力关系到支架在实际工况下的安全稳定，而电压降则能直观反映电能传输过程中的损耗程度，三者共同构成电极耳支架电气性能的关键评价维度，确保覆盖从微观接触到宏观承载的全链条性能表现，确保测试方向清晰且全面；然后介绍具体测试方法，采用四探针法开展接触电阻的精准测试工作，该方法相较于传统两探针法，能有效消除测试引线电阻与接触电阻的干扰，从而获得更精准的接触电阻数值，同时搭建大电流测试系统，选用具备高稳定性的直流电源模块（如输出范围 $0\sim 500\text{A}$ 的可编程直流电源）、 $0.1\text{mV}$ 级高精度电压采集仪与 $0.5^{\circ}\text{C}$ 分辨率的红外温度传感器，确保在加载额定电流（如动力电池常用的 $1\text{C}$ 、 $2\text{C}$ 倍率电流）及过载电流（如 $3\text{C}$ 、 $5\text{C}$ 倍率）时，数据记录的

实时性与准确性,同时为支架样品搭建恒温环境舱(控制温度波动 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ),排除环境温度波动对测试结果的影响,进一步提升数据可靠性,分别加载额定电流与过载电流,持续记录电压降数值及温度变化情况,为后续分析提供数据支撑;接着开展对比实验,选取优化前的原始结构支架与经过拓扑优化、材料改性后的新型支架作为测试样本,每组样本采用相同材料厚度(如0.8mm铜合金)与加工工艺制备,重复测试3次以减少偶然误差,在过载电流条件下,持续监测时间设定为30分钟,期间每隔5分钟记录一次温度变化与电压降数据,重点观察支架与极耳接触区域的温度分布情况,判断是否存在局部过热导致材料软化或结构变形现象,获取优化前后支架的接触电阻数据,分析过载电流条件下支架的性能稳定性,观察是否出现过热或损坏现象;随后基于实验数据绘制电流-电压降、电流-温度变化曲线,采用Origin软件进行曲线拟合与异常值去除,绘制电流-电压降曲线时,需将电流值按梯度划分为0到额定电流、额定到过载电流两个区间,分析不同区间内电压降的变化斜率,明确线性变化与非线性变化的分界点,电流-温度变化曲线则需标注出材料的玻璃化转变温度或熔点等关键阈值,观察温度上升速率与电流强度的相关性,为后续判断支架的热稳定性提供直观依据,分析各指标随电流变化的规律,明确关键变化节点。最后结合QC/T 1022等行业标准对测试结果进行评估,具体参考QC/T 1022-2016《电动汽车用动力电池电极端子和连接排》中第5.3条(接触电阻要求)、第5.4条(电流承载能力要求)及第5.5条(电压降要求)的具体条款,对测试结果进行逐项比对,同时参考国际标准ISO 12405-1中关于动力电池电气性能测试的通用要求,确保测试结果的通用性与权威性,判断是否契合性能要求,总结电气性能的优势与存在的薄弱环节,为后续设计改进提供明确依据。

(二)机械可靠性测试与验证分析 本小节开展机械可靠性测试与验证工作,首先确定测试项目,涵盖抗振动、抗疲劳、抗拉强度等核心项目,确保覆盖机械性能的关键维度。然后选择适宜的测试设备,包括振动测试台、疲劳试验机、万能材料试验机等专业设备,保证测试结果的准确性与可靠性。接着制定详细测试方案,设置随机振动谱5-2000Hz/10g持续24小时的振动条件,以及循环载荷 $\pm 50\text{MPa}/10^6$ 次的疲劳测试条件,模拟支架实际使用中的受力场景。随后开展测试工作,持续观察支架在测试过程中的状态变化,记录是否出现松动、变形或断裂等现象,并采集相关数据。之后对测试数据进行系统分析,对比预设的设计指标判断机械可靠性是否达到要求。最后总结机械性能的薄弱环节,提出针对性改进措施,如在关键部位增

加强筋或优化材料配方等,以提升机械可靠性。

(三)热稳定性测试与分析 本小节开展热稳定性测试与验证工作,首先明确测试场景,涵盖正常工作温度25-60 $^{\circ}\text{C}$ 及极端高温80-120 $^{\circ}\text{C}$ 两种典型场景,确保测试覆盖支架实际使用中的温度范围。然后介绍具体测试方法,采用高低温试验箱分别保持不同温度各2小时,在此期间开展接触电阻与机械强度变化的测试工作,获取核心指标数据。接着开展实验,持续记录高温环境下支架的外观变化情况,以及接触电阻变化率、机械强度保留率等关键指标数据。随后分析热稳定性的影响因素,包括材料热膨胀系数、耐热温度、高温氧化等关键因素,明确各因素对热稳定性的影响程度。最后判断支架在极端高温条件下是否能够保持正常功能,总结热稳定性表现,提出针对性提升方案,如在支架表面喷涂耐高温涂层或更换更适宜的耐热材料等,以增强热稳定性。

### 结语

通过重构导电路径、协调散热与强度、细化接口定位,支架在电流均匀性、温升控制与装配效率方面获得同步改善。优化思路不依赖新增材料,仅调整形状与配合关系,为同类型连接件提供可复制的轻量化改进范式。后续可把疲劳寿命与高温老化纳入长周期验证,以进一步确认结构耐久性。

### [参考文献]

- [1]周豫城,尹辉俊,易超,覃振尧,陈涛.车用动力电池包正向到底工况仿真及其结构改进[J].机械设计,2025,42(04):134-140.
- [2]陈振宇,万里,汪学阳,卢樱棋,廖仲杰,安肇勇,林韵.大型一体化压铸电池托盘的结构设计与优化[J].特种铸造及有色合金,2025,45(05):656-661.
- [3]代元军,王英杰,李保华.带偏心轮夹紧装置PEMFC封装结构设计与性能研究[J].电源技术,2024,48(10):1960-1965.
- [4]汪红辉,李彦仪,储德初,刘一凡,许铤.长期储存条件下某纽扣型蓝牙耳机电池失效机理分析[J].电源技术,2025,49(06):1175-1182.
- [5]胡成志,王国贤,唐伟建,李阿飞,陈章贤,杨则恒,张卫新.高比能锂离子电池高镍正极材料的表面包覆改性研究进展[J].化工学报,2024,75(11):4020-4036.
- [6]袁歆睿,战楠,张振杰,宋振兴,张世怡.车用动力电池冷却系统结构设计及散热性能分析[J].包装工程,2025,46(07):305-311.