

# 新能源车电池包用钢质辊压箱体 结构设计及模拟分析

梅杰<sup>1</sup>, 吴双全<sup>2</sup>, 黄定雄<sup>3</sup>

1. 柳州酸王泵制造股份有限公司 广西柳州 545006

2. 柳州华霆新能源技术有限公司 广西柳州 545006

3. 轻驱新能源(柳州)有限公司 广西柳州 545006

**摘要:** 系统阐述了辊压工艺的定义、基本原理、特点及未来发展趋势, 分析对比了铝制箱体和钢质箱体电池包的结构优缺点, 同时对比了冲压成形及辊压工艺, 提出了钢质箱体辊压工艺的新技术方案。钢质箱体辊压工艺方案从受力分析、制造可行性研究、碰撞模拟仿真分析、样件碰撞试验、优化改进到验证校核的设计定型过程进行了论述, 也对产品在轴向的受力载荷进行了全面的模拟分析, 确保了设计方案的可靠性, 解决了铝合金箱体存在的焊接变形和密封性能差等问题, 符合新能源车电池包的结构设计要求。

**关键词:** 辊压工艺; 箱体; 电池包; 结构件; 仿真分析

## Structural design and simulation analysis of steel roller case for new energy vehicle battery pack

MEI Jie<sup>1</sup>, WU Shuangquan<sup>2</sup>, HUANG Dingxiong<sup>3</sup>

1. Liuzhou Acid King Pump Manufacturing Co., Ltd., Liuzhou 545006, Guangxi, China

2. Liuzhou SinoEV New Energy Technologies Co., Ltd., Liuzhou 545006, Guangxi, China

3. Zhiqu New Energy Liuzhou Branch Co., Ltd., Liuzhou 545006, Guangxi, China

**Abstract:** The definition, basic principle, characteristics and future development trend of rolling process are systematically expounded. The structural advantages and disadvantages of aluminum box and steel box battery pack are analyzed and compared, and the stamping process and roll process are also compared, and a new technical scheme of steel box and roll process is proposed. This paper discusses the design formulation process from force analysis, manufacturing feasibility study, collision simulation analysis, sample collision test, optimization and improvement to verification and verification in detail. At the same time, the reliability of the design scheme is ensured through the comprehensive simulation analysis of the force load of the product in the axes. It solves the problems of welding deformation and poor sealing performance of aluminum alloy box, and meets the structural design requirements for battery pack of new energy vehicle.

**Keywords:** roller process; case; battery pack; structural parts; simulation analysis

第一作者: 梅杰, 高级工程师, 主要研究方向为先进制造工艺、质量控制及智能制造等, E-mail: major12@163.com。

## 1 序言

辊压工艺是利用辊子施加压力或摩擦力对物体进行加工或调整的一种方法,通过辊子旋转和作用力来改变物体的形状、密度和表面光滑度等特性<sup>[1, 2]</sup>。辊压工艺在工业生产、机械加工、冶金及建筑等领域有广泛应用,其中在金属加工中,辊压用于板材或线材的拉拔、矫直及厚度调整等,通过调整辊子的形状和压力,以及修改辊轮型面和增加独立控制的伺服电动机,可以精确控制金属材料的形状和性能,实现变截面、柔性化的生产工艺<sup>[3, 4]</sup>。

电池包是纯电动汽车的心脏,是整车中最重要的系统,占整车成本30%~40%。电池包主要包括箱体机械结构件、电池模组及电池管理系统,箱体机械结构件又包括上箱体、下箱体和支撑结构件。电池包结构布局如图1所示。下箱体位于电池包底部,电池模组和电池管理系统位于箱体内部。

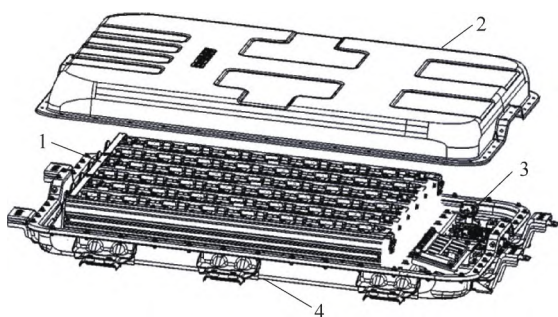


图1 电池包结构布局

1—电池模组 2—上箱体 3—电池管理系统 4—下箱体

箱体机械结构件的作用是支撑电池模组并确保电池模组和电池管理系统处于一个密闭的空间内,避免湿气进入电池包内部,防止电解液泄漏出来。

## 2 铝制箱体和钢制箱体对比分析

市场上主要的电动汽车动力电池包箱体有铝合金箱体、钣金冲压成形箱体、滚压箱体,这3种箱体的差异是下箱体的材料和结构成形方式不同。铝合金箱体主要由铝合金型材边框和铝合金型材底板构成,边框和底板为铝合金挤压型材。钣金冲压成形箱体是由钣金一体冲压成形,中间纵横交错焊接横梁和纵梁,钣金成形件起密封作用,横梁和纵梁起结构支撑作用。钢制辊压箱体与钣金冲压成形箱体类似,边框为钢制辊压型材,底面是钢制面板,中

间焊接横梁和纵梁。

在结构强度上,钢制辊压箱体强度最高,铝合金箱体次之,钣金冲压成形箱体较低。因此,钣金冲压成形箱体多用于重量较轻、体积较小的电池包。在生产制造成本上,由于铝合金箱体铝材料成本较高,所以成本最高,钢制辊压箱体和钣金冲压成形箱体成本接近,但钣金冲压成形箱体针对不同型号的箱体,需要制作不同规格的冲压模具,模具费用较高,钢制辊压箱体只需制作一次模具,通过调整辊压型材长度和宽度可以变形成不同型号尺寸的箱体。

辊压下箱体结构件的材料为高强钢,包括底板、圈梁、电池支撑结构件及吊耳组件等。

底板是厚度为1~2mm的钢板,位于下箱体的底部。底板的四周边缘焊接辊压成形的圈梁,电池支撑结构纵横交错地分布在下箱体内部(见图2),并焊接在底板上。吊点套筒是一种类似圆管形状的零件,位于箱体的中部,也同样焊接在底板上。

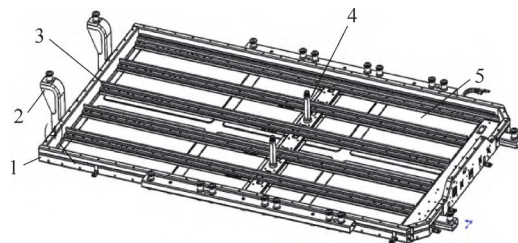


图2 下箱体

1—圈梁 2—吊耳组件 3—电池支撑结构件  
4—吊点套筒 5—底板

## 3 钢制辊压箱体结构件设计流程

首先通过受力分析计算确定箱体结构件和大模组结构件的设计方案,并评估安装过程是否存在绝缘问题,然后完成制造可行性分析和成本分析,确定初版设计方案<sup>[5]</sup>。初版设计方案进行碰撞模拟仿真分析,通过仿真分析结果确定初版设计方案是否满足“不起火、不爆炸”的要求。通过碰撞模拟仿真分析考核后,进入样件碰撞试验阶段<sup>[6]</sup>。样件碰撞结果与仿真分析结果进行同步评估,两个结果需满足一定的契合度,避免试验出现误差。通过样件碰撞试验后,评估设计方案是否需要优化,最后锁定设计方案。碰撞模拟仿真和样件试验流程如图3所示。

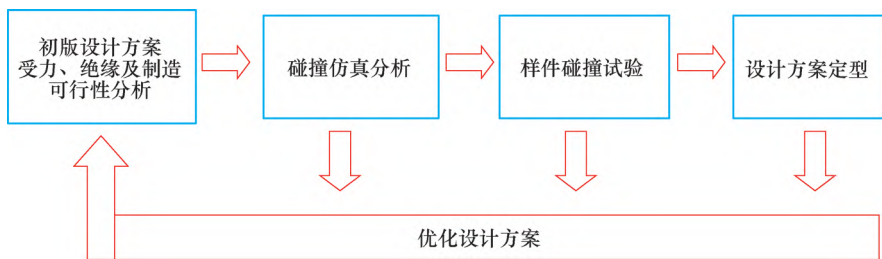


图3 碰撞模拟仿真和样件试验流程

#### 4 钢制辊压箱体结构件设计方案

一体横纵梁式模组结构件包括圈梁、纵梁、L形梁、T形梁、端板及横梁。其中，L形梁2根，T形梁4根，端板2个，纵梁6根，如图4所示。

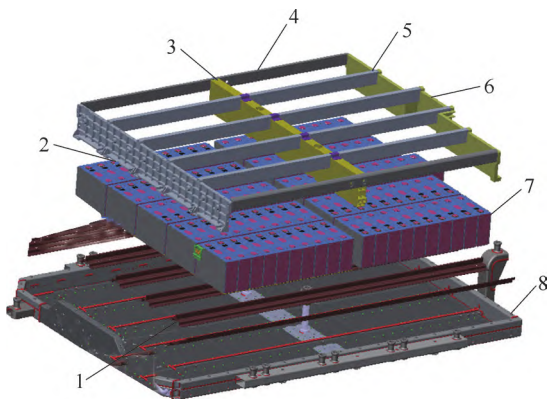


图4 一体横纵梁式模组结构件

1—纵梁 2、6—端板 3—横梁 4—L形梁  
5—T形梁 7—电芯单体 8—圈梁

结构件的安装位置和连接形式如下。

1) 纵梁位于大模组下方，作用是支撑电芯单体。截面为“几”字形，材料厚度为1.2mm，焊接在下箱体上。端板是铸铝件，位于大模组前后端，横梁是辊压钢焊接成形，位于大模组中部。纵梁、端板和横梁均是通过螺栓紧固在下箱体上，与下箱体联成一体。L形梁、T形梁均为铝型材挤出件，梁的两端镶套螺纹套，通过螺栓紧固在端板和横梁上。

2) 圈梁为“日”字形辊压钢，截面设计的关键尺寸是长和宽，以及上盖安装螺栓的铆接螺母安装孔。截面的长和宽尺寸根据电池系统空间要求和吊耳位置确定，铆接螺母安装孔根据上盖密封面尺寸和安装螺栓间距要求确定。箱体材料为DP980高强钢，抗拉强度410MPa，安全系数9，判定极限45.6MPa，最大应力值42MPa（见图5），结论是安

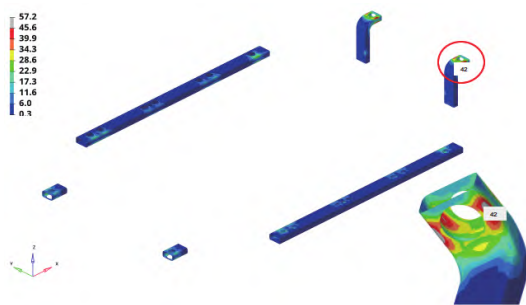


图5 箱体结构件Z向随机振动结果

全的。

3) 纵梁为辊压钢，截面设计的关键尺寸是侧向支撑面、底部支撑面及圆角，两个支撑面尺寸根据电池系统空间要求、电芯单体的尺寸及液冷总成尺寸来确定，圆角尺寸在设计上要求尽量小，辊压工艺成形要求内圆角半径大于1.8倍料厚。

4) L形梁和T形梁为铝型材挤出件，截面设计的关键参数是横截面的面积和螺纹镶套的尺寸。截面面积根据电池系统空间尺寸、电芯空间尺寸及强度要求来确定，螺纹镶套安装位置根据电池系统空间尺寸和端板过钉孔位置尺寸来确定。

5) 端板是铸铝件，关键的设计尺寸是外轮廓尺寸和底面加强筋。外轮廓尺寸根据电池系统空间尺寸、电芯尺寸及纵梁尺寸来确定，底面加强筋根据端板受力情况来确定。端板材料为ADC12压铸铝合金（JIS标准），抗拉强度228MPa，安全系数9，判定极限25.3MPa，最大应力值22.8MPa（见图6），结论是安全的。

6) 中间横梁是辊压钢焊接件，关键的设计尺寸是外轮廓尺寸和机加工的避让槽尺寸。外轮廓尺寸根据电池系统空间尺寸、电芯尺寸来确定，避让槽尺寸根据纵梁尺寸、T形梁尺寸来确定。横梁材料为6061铝合金，抗拉强度310MPa，安全系数9，判定极限34.4MPa，最大应力值14.3MPa（见图7），



图6 端板结构

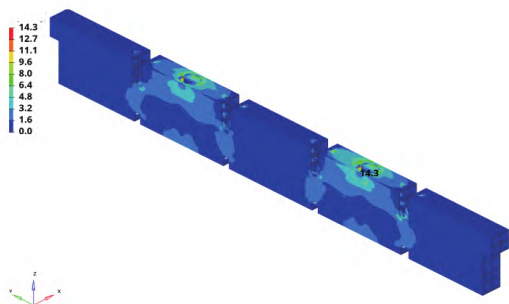


图7 横梁结构

结论是安全的。重量对比, 铝合金箱体在36Hz一阶模态的重量为35kg, 钢制辊压箱体在44Hz一阶模态的重量为50kg。

7) 辊压工艺参数设计如下: 电芯支撑纵梁折弯内圆角半径 $\geq 1.5$ 倍料厚, 圈梁折弯内圆角半径 $\geq 1.8$ 倍料厚, 型材厚度选择1.2mm或1.5mm, 滚轮选择5个, 尺寸公差设计 $\pm 0.5$ mm。

## 5 工况分析

工装的安装点如图8所示, 按 GB 38031—2020《电动汽车用动力蓄电池安全要求》规定的载荷功

率谱PSD如图9所示。

有限元仿真建模的网格类型、网格单元尺寸、网格数量(100万个), 以及材料的屈服强度、弹性模量等参数设置见表1。工况仿真分析如图10~图12所示。箱盖材料为DC06钢板, 抗拉强度297MPa, 安全系数9, 判定极限33MPa, 最大应力

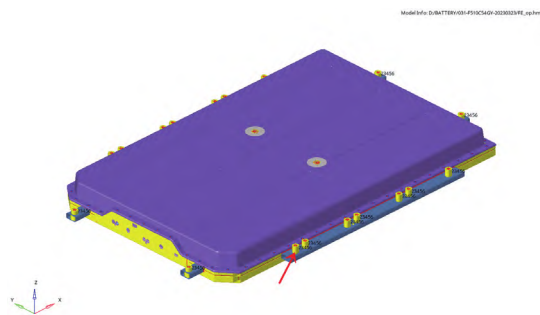


图8 工装的安装点

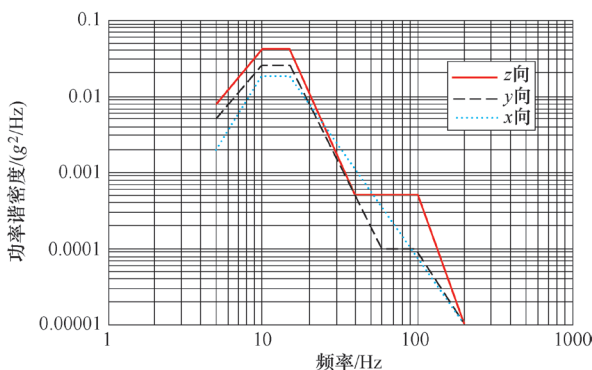


图9 载荷功率谱PSD

注: 电池包PSD频率为5~200Hz, Z向重力加速度均方根为0.64g; Y向重力加速度均方根为0.45g; X向重力加速度均方根为0.5g。

表1 有限元仿真模型参数设置

| 零件    | 图示 | 网格设置                        | 材料设置                                                                   | 连接设置                  |
|-------|----|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 上盖    |    | 类型: 4点壳单元S4R<br>尺寸: 6mm     | 材料: DC06<br>密度: 7.77g/cm <sup>3</sup><br>弹性模量: 224GPa<br>抗拉强度: 297MPa  | 点Coup模拟螺栓             |
| 模组    |    | 类型: 8点六面体C3D8R<br>尺寸: 2~8mm | 材料: 按质量、刚度<br>等效原则设置                                                   | 点Coup模拟螺栓             |
| 模组固定件 |    | 类型: 4点壳单元S4R<br>尺寸: 3~5mm   | 材料: DP980<br>密度: 7.85g/cm <sup>3</sup><br>弹性模量: 205GPa<br>抗拉强度: 410MPa | 点Coup模拟螺栓,<br>Acm模拟焊点 |
| 箱体    |    | 类型: 4点壳单元S4R<br>尺寸: 3~5mm   | 材料: DP980<br>密度: 7.85g/cm <sup>3</sup><br>弹性模量: 205GPa<br>抗拉强度: 410MPa | 点Coup模拟螺栓,<br>Acm模拟焊点 |

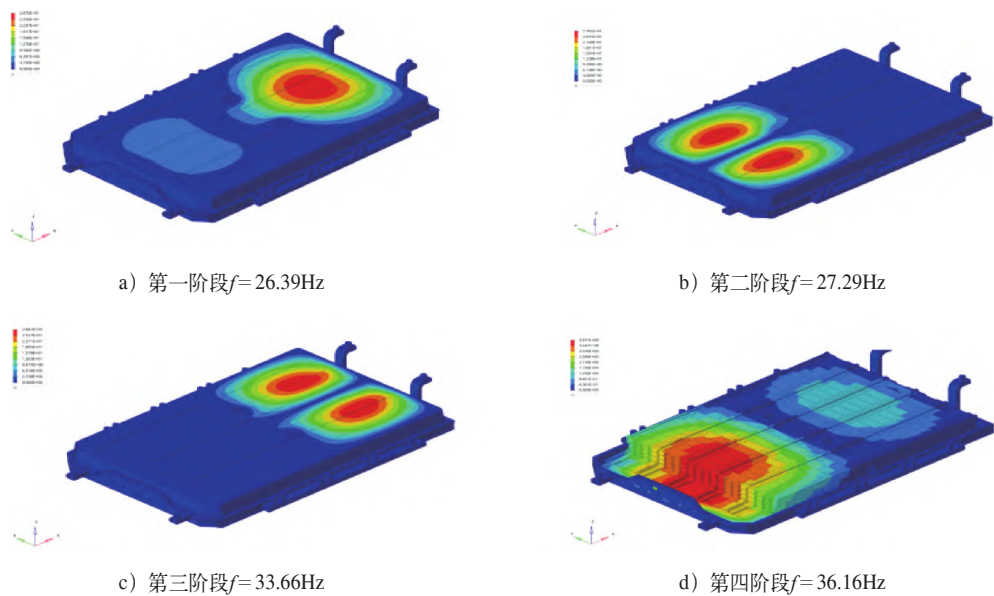


图10 第一阶至第四阶模拟分析

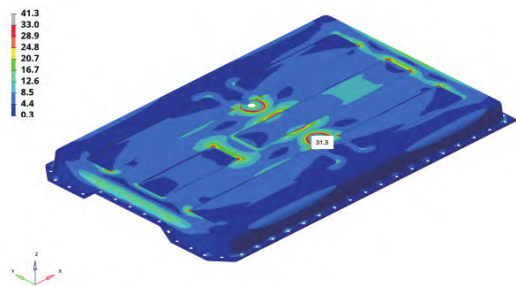


图11 箱盖Z向随机振动结果

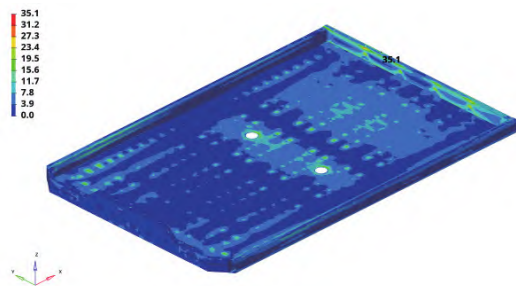


图12 箱体Z向随机振动结果

值31.3MPa, 结论是安全的。箱体材料为DP980高强度钢, 抗拉强度410MPa, 安全系数9, 判定极限45.6MPa, 最大应力值35.1MPa, 结论是安全的。箱盖第一阶模态为19.60Hz, 整包第一阶模态为36.16Hz, 整包的随机振动安全。

## 6 结束语

对于钢制辊压箱体结构件, 设计方案关键是截面尺寸设计, 既要考虑辊压工艺能否满足要求,

又要考虑电池包整体结构强度、焊接工艺及密封性要求, 内圆角半径不能小于板材厚度的1.5倍, 否则有安全风险等。易于平台化设计是钢制辊压箱体相较于钣金冲压箱体的重大优势, 辊压成形拓展了板材的传统成形工艺, 不仅生产效率高、节约材料, 而且产品强度高、质量稳定, 具有较好的应用推广价值。

## 参考文献:

- [1] 王华. 辊压引伸复合成形工艺研究[D]. 太原: 中北大学, 2008.
- [2] 郭文凤, 刘春梅, 王云, 等. 柔性辊压成形技术及装备发展现状与展望[J]. 现代制造工程, 2024 (1): 151-161.
- [3] 龚元明, 李欣, 周京, 等. 辊压成型工艺现状及发展趋势[J]. 汽车工艺与材料, 2019 (2): 6-11.
- [4] 刘武锋. 新能源汽车电池包下箱体生产工艺分析[J]. 汽车实用技术, 2024, 49 (19): 122-126.
- [5] 王宁, 马浩岚, 姚会君. 电动汽车电池箱体轻量化设计[J]. 河南科技, 2024 (17): 19-23.
- [6] 杨万欣, 阮诗伦, 谷俊峰. 车用电池箱的多工况仿真分析及优化设计: “第二十届中国CAE工程分析技术年会”论文集[C]. 北京: 中国力学学会产学研工作委员会, 2024.

(收稿日期: 20250108)