整车电池包后刮底安全对比分析及对策研究

何彦村

重庆睿蓝汽车研究院有限公司

摘要：本文对车辆电池包后刮底进行了高精度仿真建模，并做了不同位置的后刮底仿真，筛选出一个最薄弱的位置，对其碰撞情况进行深入的研究和分析，从中总结出了以防护整车电池包为目标的安全策略，并得出了电池包后端需增加缓冲，可新增后部防撞梁或者依靠副车架的优化设计方案。

关键词：电池包底部碰撞；安全应对策略；高精度仿真

0 引言

新能源汽车后刮底碰撞会对电池包造成损坏和影响。一方面，电池的性能会受到影响，包括充电和放电效果，这会对电动汽车的续驶里程造成影响。另一方面，更重要的是乘客的安全，电池包损坏可能会导致电解液泄漏，电池内部密封性差，涉水时外部液体进入电池内引起短路等情况，会对乘客的生命安全造成威胁。

在这种背景下，我们希望能够采用新的设计来应对这种情况。首先，对于汽车电池包的结构设计应考虑独特的防护措施，比如，采用强度更高的框架材料，设计出更合适的避免碰撞的方式等。

在这项研究中，我们探讨并研究各种可能的应对策略，希望能通过这种多角度的研究方法，为未来整车电池包后刮底安全应对策略提供更多的参考价值。

1 工况及电池包防护结构

1.1 工况简介

首先对整车后刮底安全工况设置边界条件，车辆状态为整备状态，在驾驶员位置和前排乘员位置放置一个Hybrid Ⅲ型 50 百分位男性碰撞假人（80 kg）或等质量的配重块；电池完全充电，排空冷却液；由车辆沿倒车方向以 6 km/h 的速度撞击直径为 150 mm 半球形固定刚性壁障；撞击位置选择对电池包最不利的 Y 向位置；壁障与电池包 Z 向重叠量为 34 mm。

1.2 电池包防护结构

本工况着重保护电池包。电池包的自身防护结构十分重要，如图 1 所示，电池包通过安装螺栓与车身连接，电池框架由辊压钢焊接而成。电池包内部有贯通纵梁和多根横梁作为强化结构。底部由多个系统构成，其中包括底板和双层液冷板，底板作为最外层防护，外部喷涂复合材料强化，液冷板由上下两层构成。电池模组嵌入内部纵梁横梁内部，并与纵梁横梁螺栓连接。

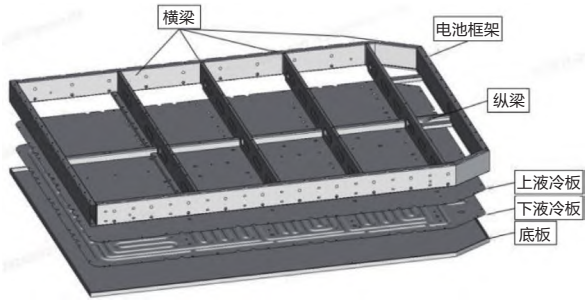

图 1 电池包防护结构

2 仿真模型搭建

2.1 整车建模

建立整车后刮底工况的仿真分析模型，利用 LS-DYNA 软件进行分析计算。模型由白车身、前后车门、机罩、后尾门、电池包、前后悬架和副车架以及驱动电机等系统组成，共 8822992 个节点，8994370 个单元。

其中电池包的模组和底板是考察关键项，电池包模组、框架、液冷板和底板需用 3 mm 尺寸的单元详细建模，电池包通过螺栓预紧与车身连接，使用 Beam-6 号单元模拟，使用 *INITIAL_STRESS_BEAM 关键字，设置相应的预紧参数。

2.2 模型准确性调整

后刮底工况速度较其他高速碰撞对车辆的高度敏感度很高，车辆在设计状态下分析高度变化较大，对后刮底工况影响较大。因此，在分析前将车辆在重力状态下静止 100 ms，待车辆稳定后，再校核重叠量满足 34 mm，车辆以 6 km/h 速度移动。

2.3 评价规则

后刮底工况要求如下：

（1）电池包无电解液、冷却液泄漏。

（2）外壳不允许出现破裂，电池包气密性完好。

对于后刮底工况，无电解液、冷却液泄漏，则电池模组和冷却管路不能破裂。针对电池模组受到电池框架保护，模组不会直接与壁障接触，但会受到框架变形的挤压侵入，我们将框架对模组的侵入量作为指标，与电池工程师商议，将目标定位 5 mm。冷却液在液冷板内流动，液冷板不能出现破裂和裂纹，液冷板的塑性应变不允许超过液冷板材料的延伸率 30%。

电池包有气密性要求，电池底板不允许出现破裂和裂纹，液冷板的塑性应变不允许超过液冷板材料的延伸率 20%。

仿真结果中电池模组应侵入量小于等于 5 mm，冷却板塑性应变小于等于 30%，底板塑性应变小于等于 20%。超过该目标即认为出现破裂和裂纹，该电池包的性能不满足要求。

2.4 电池包最弱点确定

为确定后刮底工况电池包最薄弱位置，我们采取均布碰撞点方法对其仿真分析，分析其中 11 个点的后刮底工况，仿真模型示意如图 2 所示。

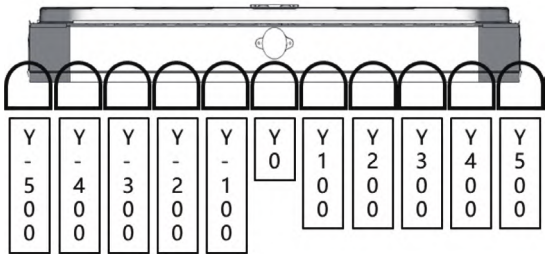

图 2 某车仿真分析模型示意

分析结果如表 1 所示，各个点均有超标项，但 Y-0 位置的底板、液冷板及模组侵入均超标。基于结果可得 Y-0 处为电池包最薄弱位置，后续分析选择 Y-0 位置作为后刮底工况的基础模型。

3 后刮底工况优化设计

当前分析的车型电池包后端无遮挡，壁障在接触电池包前无任何零件接触，整车的能量全由电池包吸收，给电池包增加了很大的负担，如图 3 所示。

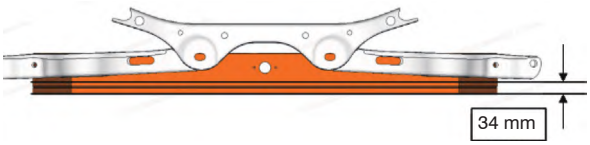

图 3 电池包后部视

4 改善方案

4.1 增强电池框架

壁障撞击电池包时，其中大部分能量由框架吸收，将电池框架增强，抑制框架变形，可保护电池模组、底板和液冷板。电池外框架材料强度要求提升至 1180 DP，厚度提升至 2.5 mm，电池内纵梁材料强度要求提升至 1180 DP，厚度提升至 2.0 mm，电池底板材料强度要求提升至 780 DP，厚度提升至 1.5 mm。增强方案如图 4 所示。

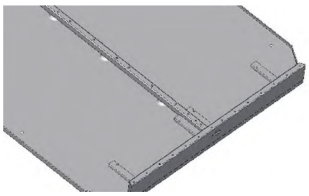

图 4 增强电池框架方案示意

该方案合计增加质量 3.3 kg，后刮底碰撞仿真结果得出，Y-0 位置模组侵入量为 1 m，小于目标值 5 mm，液冷板上板塑性应变 5%，小于目标值 30%，液冷板下板塑性应变 14%，小于目标值 30%，底板塑性应变 16%，小于目标值 20%。该方案电池框架可吸

表 1 后刮底工况 11 个点分析结果

检测项		后刮底 (6 km/h)										
		Y-500	Y-400	Y-300	Y-200	Y-100	Y-0	Y100	Y200	Y300	Y400	Y500
模组侵入≦ 5 mm		0	0	3	3	2	6	2	4	3	0	0
塑性应变	液冷板上板 (目标值 30%)	11%	17%	13%	26%	4%	10%	5%	25%	13%	17%	10%
	液冷板下板 (目标值 30%)	23%	26%	20%	24%	12%	33%	11%	27%	24%	24%	23%
	底板 (目标值 20%)	25%	24%	22%	26%	22%	23%	24%	28%	22%	23%	23%

收整车的动能，保护电池，但重量增加较大。

4.2 新增电池包后部防撞梁

在电池包后部增加一个防撞梁，车辆向后行驶的过程中先与电池包后部防撞梁碰撞，防撞梁参与吸能，然后与电池包碰撞，此时能量大大降低，对电池包的撞击程度大大降低。具体实施方案为：防撞梁的材料强度为1180 DP，厚度为 2.0 mm，防撞梁与车身连接件材料强度为 590 DP，厚度为 2.0 mm，如图 5 所示。

图 5 新增电池包后部防撞梁方案示意

该方案合计增加质量 2.7 kg，后刮底碰撞仿真结果得出，Y-0 位置模组侵入量为 0 mm，小于目标值 5 mm，液冷板上板塑性应变 4%，小于目标值 30%，液冷板下板塑性应变 8%，小于目标值 30%，底板塑性应变 10%，小于目标值 20%。该方案的电池包后部防撞梁吸收整车 70% 的动能，壁障对电池包的撞击程度降低。

4.3 副车架下沉方案

副车架部分零件向下增厚，副车架最低点低于电池包 10 mm，车辆向后行驶过程中，先与副车架撞击，再与电池包碰撞，如图 6 所示。

图 6 新增电池包后部防撞梁方案示意

该方案合计增加质量 2.9 kg，后刮底碰撞仿真结果得出，Y-0 位置模组侵入量为 0 mm，小于目标值 5 mm，液冷板上板塑性应变 3%，小于目标值 30%，液冷板下板塑性应变 9%，小于目标值 30%，底板塑性应变 11%，小于目标值 20%。该方案利用副车架参与吸能，壁障对电池包的撞击程度降低。

表 2 后刮底工况三种方案结果汇总

检测项		后刮底 (6 km/h)			
		Y-0	方案一	方案二	方案三
模组侵入≦ 5 mm		6	1	0	0
塑性应变	液冷板上板 (目标值 30%)	10%	5	4	3
	液冷板下板 (目标值 30%)	33%	14	8	9
	底板 (目标值 20%)	23%	16	10	11

三种方案的结果汇总如表 2 所示。

从后刮底工况三种方案结果汇总表可以看出，方案一增重最大，但结果比方案二、方案三稍差；方案二和方案三结果接近，增重也较接近。方案一为电池包硬抗方案，对电池包的刚性要求较大，方案二和方案三均为降低半球形壁障与电池包撞击能量。

5 结语

电池包的安全性能十分重要，结合以上仿真分析结果，得出如下几点结论：

（1）整车电池包后刮底安全应优先考虑电池包后部防撞梁或者车辆其他系统作为电池包的缓冲，减缓电池包的撞击能量。

（2）电池包的底板、液冷板的位置应被电池框架包裹，避免与壁障直接接触。

（3）本文采用的车型副车架较高，没有对电池包有较好的保护，因此，在车型设计前期应选用较低的副车架，并在 Y 方向覆盖电池包，以达到用较小的重量完善后刮底工况的目标。

通过本文的研究，希望对电池包的保护设计有一定参考价值。

参考文献

[1] 孙明宇，王立民，王青贵．电动汽车起火事故调查分析 [J]. 科技与创新 ,2021,(09):32-34.

[2] 刘鹏．纯电动汽车动力电池整体式冷板性能研究 [D]. 长春：吉林大学 ,2021.

[3] 刘高君．电动汽车电池壳体力学特性研究 [J]. 青岛大学学报 ,2014（3）：60-63.