

The Optimization of the Parameters of Electric Vehicle' Fast Charging Bracket on the Base of Pedestrian Protection

Qiang HE^{1,2}, Ju WANG^{1,2}, Huili YU^{1,2}

¹State Key Laboratory of Vehicle NVH and Safety Technology, Chongqing, China, 401120

²Chongqing Changan Automobile Co Ltd, Chongqing, China, 401120,

Email:329117120@qq.com

Abstract: In order to improve the pedestrian leg protection performance of an electric vehicle, the simulation test of the leg impact bumper was carried out via LS-dyna software. The test analysed the key factors of leg injury, and the parameters of fast charging bracket were optimized and improved the pedestrian leg protection performance of the electric vehicle. The test indicates that the DOE method can quickly identify the key factors of response and improve the efficiency of optimization.

Key word: electric vehicle; pedestrian protection; fast charging bracket; DOE

基于行人保护某电动车快充支架的参数优化

何强^{1,2}, 王菊^{1,2}, 禹慧丽^{1,2}

¹汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆, 中国, 401120

²重庆长安汽车股份公司, 重庆, 中国, 401120

Email:329117120@qq.com

摘 要: 为了提升某电动车行人腿部保护性能, 利用 LS-dyna 软件进行了小腿冲击保险杆仿真试验, 分析了造成腿部伤害超标的关键因素, 并通过优化快充支架的相关参数提升了该电动车的行人腿部保护性能。本研究表明, 通过试验设计方法能够较快地识别影响系统响应的关键因子, 提升优化效率。

关键词: 电动车、行人保护、快充支架、试验设计方法

前言

随着国家近几年对新能源汽车的不断重视, 国内传统主机厂以及一些新能源汽车企业都投入了大量的精力来发展新能源汽车^[1]。因为有成熟的汽车平台, 传统汽车企业开发的新能源汽车往往是在普通燃油车的基础上, 通过增加动力电池、充电系统以及局部更改一些部件来实现^{[2][3]}, 相对于全新开发纯电动车, 该方式开发周期短, 开发成本也较低, 是目前传统汽车企业的主要策略^[4]。

行人保护的概念最早由美国提出^[4], 在欧洲和日本得到大力发展^{[5][6][7]}。目前, 欧美日等发达国家都对行人保护法规进行了强制, 同时, 相关国家成立了行人安全工作组, 并制订了行人保护安全法规 GTR。行人保护法规在我国起步相对较晚, 但却发展的很迅速^[8], 目前各汽车企业在车型的开发过程中, 行人保护也是重要的一环。各高校以及科研机构针对行人保护也开展了大量的研究^{[9][10][11]}。本文简单介绍了某纯电动车为了满足行人保护法规的要求, 利用仿真分析结合试验设计法 DOE(design of experiment)的方法^{[12][13]}对电动车的快充支架进行优化, 提高了车辆对行人腿部的保护, 满足了腿部保护的目标要求。

1 行人保护法规简介

我国目前的行人保护为推荐标准（GB/T24550-2009）^{[14][15]}，里面的评价规则参照 GTR 标准。其主要的试验包含以下几项：

- （1）下腿部与车辆保险杠的冲击试验；
- （2）上腿部与保险杠的冲击试验（适用于地盘较高的 SUV 等车型）；
- （3）儿童头部与车辆发动机罩的冲击试验；
- （4）成人头部与车辆发动机罩和挡风玻璃的冲击试验。

本文研究的对象是一辆基于传统轿车而改的纯电动车，腿部试验采用下腿型冲击前保险杠，表 1 是行人保护法规对下腿型伤害法规限值要求以及仿真控制目标。

Table 1. Limit requirement of pedestrian protection lower leg injury

表 1. 行人保护法规要求下腿型伤害限值

	法规限值要求	仿真分析控制目标
MCL—内侧副韧带	<22mm	<20mm
ACL—前交叉韧带		
PCL—后交叉韧带	<13mm	<11mm
小腿胫骨弯矩 Tibia-1		
小腿胫骨弯矩 Tibia-2	<340Nm	<300Nm
小腿胫骨弯矩 Tibia-3		
小腿胫骨弯矩 Tibia-4		

2 某电动车前部结构

2.1 概况介绍

该电动车基于传统燃油车开发，基础车的行人腿部保护已经能够满足法规要求，但是电动车在中部增加了快充口结构，将会影响该区域的腿部保护性能。同时，前部结构如前罩板、前保本体、小腿下支撑等无法再更改，目前重新设计开发的是充电支座本体和快充支架，其中快充支座本体为黑盒子件，结构也定型，所以目前能够更改的部件只有快充支架，这也导致其开发难度。如何通过对快充支架结构的优化来提升中部区域对行人腿部的保护，将是本文重点研究对象。该电动车前部结构如图 1 所示。

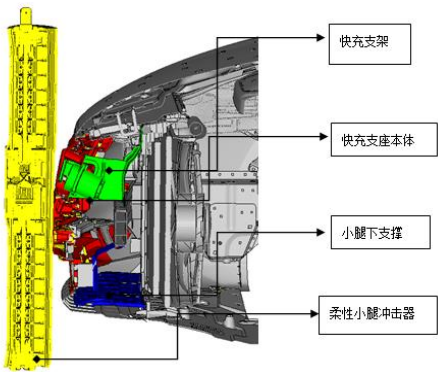


Figure1. Front structure of EV

图 1. 电动车前部结构示意图

2.2 基础方案分析

图 2 是前期设计阶段，设计部门提供的快充支架的方案数据，经过仿真分析结果发现，行人腿部的 MCL 内侧副韧带拉伸量远远超过了仿真分析要求的限值，其余的指标能够满足法规要求。

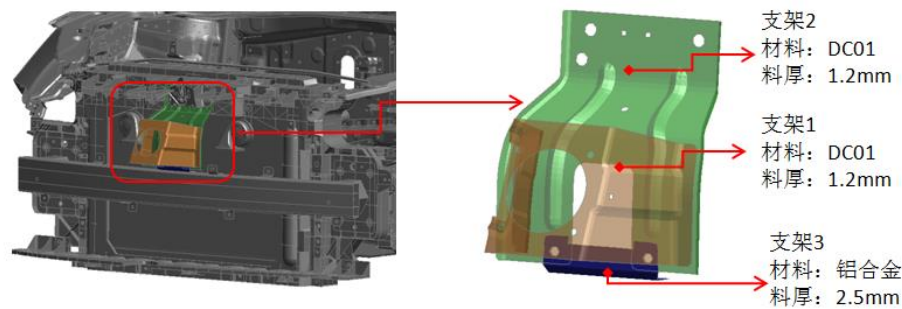


Figure2. Base design of charger bracket

图 2. 快充支架基础方案

碰撞点 Y0 的具体伤害结果统计见表 2。

Table2. Injury result of base design in Y0

表 2. 基础方案碰撞点 Y0 腿部伤害结果

	MCL	PCL	ACL	Tibia-1	Tibia-2	Tibia-3	Tibia-4
仿真目标	<20mm	<11mm	<11mm	<300Nm	<300Nm	<300Nm	<300Nm
碰撞点 Y0	30.5	8.0	9.3	228.3	170.5	184.6	132.7

图 3 和图 4 是 Y0 碰撞点的伤害曲线及仿真动画。从仿真动画发现，小腿冲击块在 15ms 左右开始，发生了剧烈的折弯，在这个过程中快充支架无明显的变形发生。这是导致 MCL 超标的主要原因。

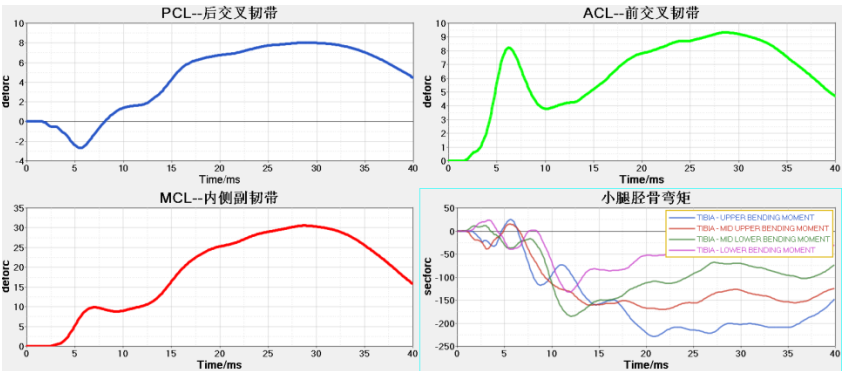


Figure3. Injury curve of pedestrian leg

图 3. 腿部伤害曲线

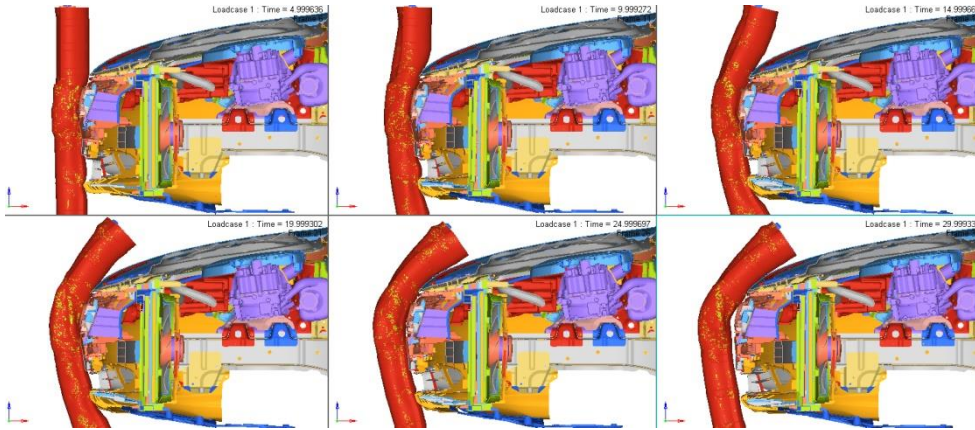


Figure4. Simulation movie of leg impacting





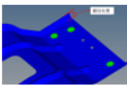
图 4. 腿部仿真动画

2.3 关键因子识别

快充支架系统由三个支架组成，每个支架的相关参数都可能影响到腿部的伤害，所以需要三个支架的参数进行设计。在本次设计中，针对这三个支架一共确定了 8 个控制因子，具体的控制因子及水平如表 3 所示，而系统响应重点关注 MCL 内侧副韧带拉升量。

Table3. Design parameters and level

表 3. 设计参数及水平

		设计参数	水平1	水平2	备注
支架1	A	支架1材料	DC01	DC03	
	B	支架1厚度	1.0mm	1.2mm	
	C	支架1滚缩筋	无滚缩筋 	有滚缩筋 	
	D	支架1开孔	无开孔 	有开孔 	
支架2	E	支架2材料	DC01	DC03	
	F	支架2厚度	1.0mm	1.2mm	
	G	支架2翻边长度	8mm	10mm	
支架3	H	支架3厚度	2.0mm	2.5mm	

因为控制因子数量较多，如果要进行全因子试验需要巨大的计算资源，同时时间周期也较长。所以，采用 8 因子 16 个运行方案的正交试验，每个试验工况下得到的响应结果见表 4。

Table4. Design of experiment and results
表 4. 试验方案及响应结果

标准序	A	B	C	D	E	F	G	H	响应 MCL
1	1	1	1	1	1	1	1	1	23.03
2	2	1	1	1	1	2	2	2	23.65
3	1	2	1	1	2	1	2	2	20.90
4	2	2	1	1	2	2	1	1	21.00
5	1	1	2	1	2	2	2	1	25.29
6	2	1	2	1	2	1	1	2	24.34
7	1	2	2	1	1	2	1	2	23.35
8	2	2	2	1	1	1	2	1	22.78
9	1	1	1	2	2	2	1	2	22.70
10	2	1	1	2	2	1	2	1	22.80
11	1	2	1	2	1	2	2	1	20.43
12	2	2	1	2	1	1	1	2	20.46
13	1	1	2	2	1	1	2	2	24.77
14	2	1	2	2	1	2	1	1	23.87
15	1	2	2	2	2	1	1	1	22.13
16	2	2	2	2	2	2	2	2	21.90

通过对系统响应的主效应图来确定影响 MCL 的关键因子，系统响应的主效应图见图 5。从系统响应图来看，影响 MCL 的关键因子主要有三个：支架 1 材料、支架 1 厚度和支架 1 溃缩筋，而其他因子对 MCL 都不显著，在下一步的优化过程中，结合其他相关性能将这些不显著因子固定在某一水平，其中支架 1 进行开孔，支架 2 材料为 DC01，支架 2 厚度为 1.2mm，支架 2 翻边长度 10mm，重点对三个关键因子进行优化设计。

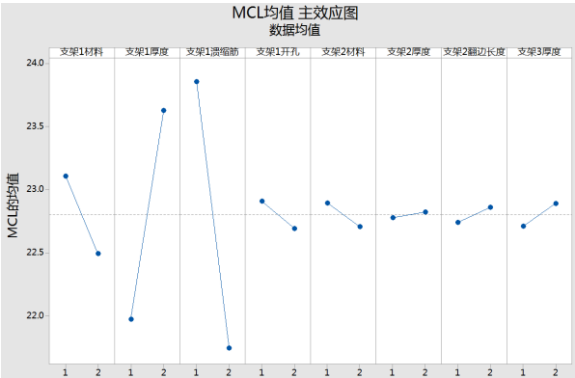


Figure5. The main effect diagram of MCL
图 5. MCL 主效应图

2.4 优化设计

通过前面的正交试验，识别出了关键因子，需要对这几个关键控制因子再进行更加详细的优化设计。结合成本、工艺以及其他性能等因素，关键控制因子的具体水平如表 5 所示。根据这些关键因子进行全因子仿真试验，一共得到了 81 个技术方案。

Table5. Key design parameters and level

表 5.关键设计参数及水平

设计参数	水平 1	水平 2	水平 3
支架 1 材料	DC01	DC03	DC05
支架 1 厚度	1.0mm	1.2mm	1.5mm
溃缩筋深度	4.5mm	7.0mm	9.0mm
溃缩筋宽度	20mm	25mm	30mm

3 优化后仿真分析结果

根据仿真分析结果，再结合支架的刚度性能以及工艺制造等因素，最后确定支架 1 的材料为 DC03，厚度为 1.2mm，溃缩筋宽度设置在 22mm 左右，深度在 8mm 左右。最终，Y0 处的仿真试验结果满足了法规要求，具体结果见表 6。图 6 为优化之后的伤害曲线，图 7 为仿真分析动画。从动画可以发现，腿部的弯曲趋势得到了明显改善，快充支架发生了溃缩变形。

Table6. The CAE result of leg after optimization

表 6. 优化之后腿部仿真结果

	MCL	PCL	ACL	Tibia-1	Tibia-2	Tibia-3	Tibia-4
仿真目标	<20mm	<11mm		<300Nm			
Y0_优化前	30.5	8.0	9.3	228.3	170.5	184.6	132.7
Y0_优化后	18.5	5.3	7.9	152.3	199.4	274.3	201.9

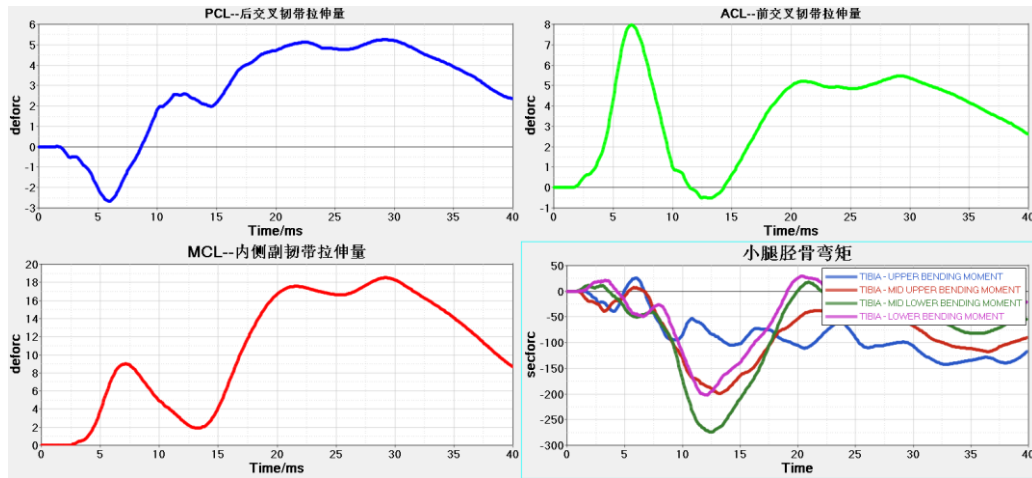


Figure6. Leg injury curve after optimization in Y0

图 6. 优化之后 Y0 处腿部伤害曲线

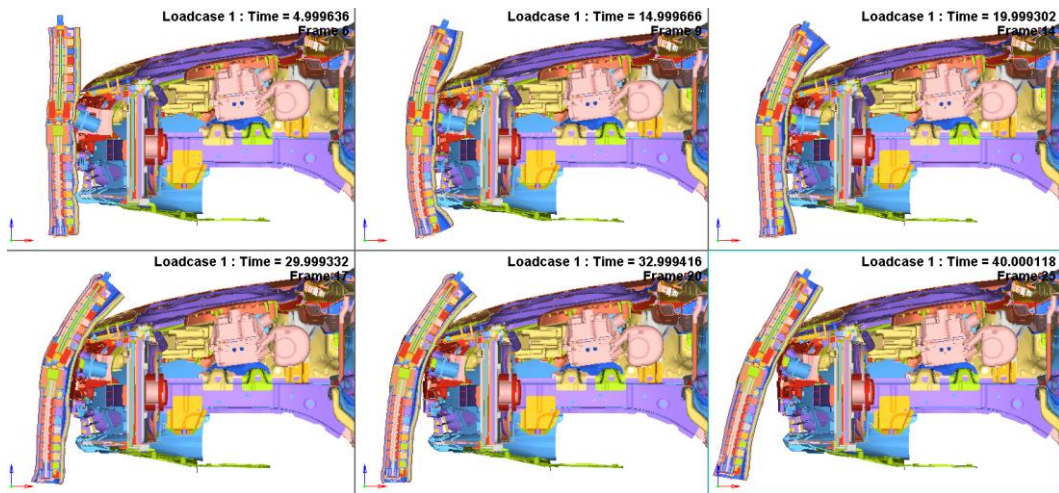


Figure7. Simulation movie of leg after optimization in Y0

图 7. 优化之后 Y0 处腿部仿真动画

结论

本文首先通过仿真分析手段找出了影响腿部伤害超标的相关部件，并通过正交试验法识别出关键因子，然后针对关键因子进行全因子试验，最终确定了能够满足行人腿部伤害的快充支架参数。通过研究表明，利用正交试验法能够较快地识别出影响行人腿部伤害的关键参数，提升优化效率。

References (参考文献)

- [1] 李晓英, 李敏. 新能源汽车产业发展现状及对我国发展的启示[J], 邵阳学院学报 (自然科学版), 2016.13(1): 68-76.
Li X Y, Li M. Present Situation of New Energy Automobile Industry Development and the Enlightenments for China.[J],Journal of Shaoyang University (Natural Science Edition),2016.13(1):68-76.
- [2] 雷芳芳. 我国新能源汽车的发展[J], 汽车工程师, 2009.5:12-15
Lei F F. Development of New Energy Vehicles in China.[J],Auto Engineer ,2009.5:12-15
- [3] 刘卓然, 陈健, 林凯. 国内外电动汽车发展现状与趋势[J], 电力建设, 2015.36(7): 25-31
Liu Z R, Chen J, Lin K. Domestic and Foreign Present Situation and the Tendency of Electric Vehicles.[J],Electric Power Construction, 2015.36(7): 25-31
- [4] 陈吉清, 邱泽鑫. 纯电动汽车车载充电技术的发罩研究[J], 科技管理研究, 2015.16:36-40
Chen J Q, Qiu Z X. Research on the Development of Vehicular Charging Technology for Pure Electric Vehicles.[J],Science and Technology Management Research,2015.16:36-40
- [5] Gennarelli T A, Thibault L E, Adams J H, et al. Diffuse axonal injury and traumatic coma in the primate.[J]. Annals of Neurology, 1982, 12(6):564-74.
- [6] Foltz E L, Jenkner F L, Jr W A. Experimental cerebral concussion.[J]. Journal of Neurosurgery, 1979, 47(1-2):105-122.
- [7] Lighthall J W. Controlled cortical impact: a new experimental brain injury model.[J]. Journal of Neurotrauma, 1988, 5(1):1.
- [8] 韩晓磊, 徐晶才. 行人保护技术发展现状分析[J], 汽车工程师, 2015.8: 13-15
Han X L, Xu J C. Development of Vehicle Pedestrian Protection.[J],Auto Engineer,2015.8:13-15
- [9] 林高泽, 杨海燕. E-NCAP V8.0 与 J-NCAP 行人保护性能试验规程对比[J], 汽车工程师, 2015.12: 13-17
Lin G Z, Yang H Y. Pedestrian Protection Test Method Comparison Between E-NCAP V8.0 and J-NCAP.[J],Auto

Engineer,2015.12:13-17

- [10] 孙丽, 杨啟梁. 基于行人保护的乘用车保险杠系统参数优化[J], 科技通报, 2016.32(6):195-199
Sun L, Yang Q L. The Optimization of the System Parameters of Passenger Vehicles' Bumper on the Base of Pedestrian Protection.[J],Bulletin of Science and Technology,2016.32(6):195-19
- [11] 徐福慧, 王栋, 李博, 王亚军, 吴沈荣 . 行人保护冲击前大灯试验与模拟对比研究 [A]. The 12th International Forum of Automotive Traffic Safety , 2015. 12:157–158
Xu F H,Wang D ,Li B ,Wang Y J, Wu S R. Comparative Study on Pedestrian Protection test and Simulation on Headlamp.[A] The 12th International Forum of Automotive Traffic Safety , 2015.12 :157–158
- [12] 徐涛, 徐天爽, 左文杰. 正交、均匀试验设计与数据处理软件 V1.0 [OL]. 软件著作权. 中华人民共和国国家版权局:2010SR63351, 2010.
- [13] 张君媛, 林逸. 基于非参数统计的汽车乘员约束系统参数灵敏度分析[J]. 汽车工程, 2004.26(4):443-445
Zhang J Y,LIN Y. Parameter Sensitivity Analysis for Vehicle Occupant Restraint System Based on Non-parameter Statistics.[J],Automotive Engineering,2004.26(4):443-445
- [14] 张大伟, 吕晓江, 孙立志. 中日两国行人保护法规对比[J]. 汽车工程师, 2014.7:13-14
Zhang D W,LV X J, Sun L Z. Comparison of Pedestrian Protection Regulations between China and Japan.[J],Auto Engineer ,2014.7:13-14
- [15] GB/T 24550-2009, 汽车对行人的碰撞保护[S].