

Crash Unlock and Door Open Function Reliability Improvement Solution

Dong WANG, Miao WANG, Baohang ZHANG, Xianpan DENG, Pengxiang WANG, Dayong ZHOU
Geely Automobile Research Institute (Ningbo) Co., Ltd., Ningbo Zhejiang, China
Email: wangdong@geely.com, wangmiao4@geely.com

Abstract: Crash unlock and door open is a basic safety function of the vehicle, and a basic requirement of the regulation test. Based on the main principle and influencing factors of the function, the failure scenarios of the function are classified, optimization suggestions and solution are put forward in three dimensions, such as lower voltage power supply, communication and structure design, in order to improve the reliability of the function, ensure meeting the regulation requirement and the door be locked and opened normally after the collision accident.

Keywords: Crash unlock; Crash door open; Lithium battery; Door lock; Door handle

碰撞解锁及开门功能可靠性提升方案

王栋, 王淼, 张宝航, 邓先攀, 王鹏翔, 周大永
吉利汽车研究院(宁波)有限公司, 宁波, 中国, 315336
Email: wangdong@geely.com, wangmiao4@geely.com

摘要: 碰撞解锁及打开车门是汽车的基本安全功能, 也是碰撞法规测试的基本要求。基于该功能的工作原理和影响因素, 对该功能异常场景进行分类, 在供电、通讯、结构设计等三个维度提出优化建议及方案, 旨在提高该功能可靠性, 确保满足法规要求及碰撞事故后车门解锁及正常打开。

关键词: 碰撞解锁; 碰撞后开门; 锂电池; 门锁; 门把手

1 引言

根据世界卫生组织报告显示, 每年全球因道路交通事故死亡人数高达 135 万, 造成经济损失约为 5180 亿美元^[1]。提升汽车安全性设计已经是挽救人员生命一项重要途径。碰撞后解锁及开门功能作为汽车安全性设计的一项基本功能, 该功能涉及事故后的人员救援和逃生, 也是相关法规和测评测试的基本要求^[2-9]。汽车上安装大量复杂的高低压电气设备及线路, 碰撞事故发生时, 可能会造成电气线路挤压变形、短路起火、电气设备失效等问题。导致低压断电、门锁解锁失效、把手无法弹出、车门无法打开等情况给驾乘人员和救援人员带来很大风险和困扰, 引起社会各方关注。因此通过车辆的相关保护设计及优化, 提升碰撞事故后解锁及开门功能的稳定性及可靠性显得尤为重要。

近年来国内外学者及汽车从业者对碰撞解锁功能的工作原理及测试、影响因素及防护、结构设计等进行了诸多研究。在工作原理、测试方面, 杨慧凯^[10]等论述了碰撞时车门自动解锁的基本原理和设计方法, 提出了蓄电池的布置建议。李春林^[11]等通过台架测试, 探讨碰撞解锁、断油等功能开发。薛飞^[12]等从原理上分析汽车门锁故障产生的原因并提出解决措施。吴哲浩^[13]等提出了面向整车试验工况的车门碰撞解锁系统测试方法, 并将该方法应用于车型开发中, 解决了实际失效问题。任恒^[14]通过研究汽车门锁在碰撞中的作用、碰撞信号传递与电路控制逻辑以及救援安全之间的关系, 为提高车辆碰撞安全性和救援效率提供帮助。在防护措施方面, 胡林^[15]等提出应在新能源车中增加电控系统测试项目。王大丽^[16]等解析车辆电源管理系统设计方法, 提出电源管理设计的趋势。彭帆^[17]等提出了一种可以满足纯电动汽车的电量安全性要求的低压锂电池电源管理策略。黄东扬^[18]阐述电动汽车低压供电系统性能的测试内容、测试方法。在低压供电线束防护方面, 詹鸿洁^[19]等通过导线线径和保险容量值的计算方法, 可提

项目资助信息: 浙江省全省智能汽车全域安全重点实验室开放基金 (ZKLIVCS -202401) 资助。

INFATS & SAE-C/STC Conference in Guangzhou, November 7-9, 2024

高线束可靠性。沈海东^[20]等通过线束仿真与试验结果的对比研究,给出碰撞中线束失效评价的仿真方法和评价指标。苑怀志^[21]等明确了新能源整车高低压线束设计布置原则。严爱萍^[22]提出线束接点如何选择和防护及接点的优化建议。张婉婷^[23]^得整车线束布置相关要求。而对于车身结构设计方面,凌黄宝^[24]等分析隐藏式车门把手在设计过程中的布置、性能、结构仿真及电控原理,总结隐藏式车门把手的潜在失效模式及解决思路。

已有文献主要侧重碰撞解锁功能测试、供电防护、把手结构等维度进行单因素研究,对碰撞解锁及开门功能稳定性提升的综合性研究较少。本文对汽车碰撞解锁及开门功能进行分解,提出每个环节的优化建议及方案,可系统性的改善碰撞解锁及开门的可靠性。

2 碰撞解锁及开门功能

碰撞解锁及开门功能可以分解成两个环节,第一环节为:碰撞后门锁系统自动解锁,第二环节为:碰撞后车门手动或者电动打开。门锁系统通常由机械部件、电控部件等组成,机械部件包括但不限于锁芯、锁钩、锁块等,它们负责机械锁定车门。电控部件通过传感器、电子控制单元 ECU (Electronic control unit)、执行器等接收信号并控制开闭锁。根据汽车门锁的结构形式和工作原理,通常将其分为机械门锁和电子门锁两大类。机械门锁应用成熟,相对稳定可靠。电子门锁通过电子器件和电路解闭锁,具有智能化、便捷化等特点。车门外开把手,也通常分为机械把手和隐藏式把手两类。传统机械外开把手,其通过机械结构与门锁相连接,手动施力,稳定可靠。一般情况下,机械外开把手车型的碰撞解锁及开门功能只需要关注碰撞解锁。而随着新能源车的普及,隐藏式外开把手、无把手、按钮门等应用越来越多,其需要电子控制弹出和吸回过程,因此,隐藏式外开把手车辆的解锁及开门功能,不仅要关注碰撞解锁,还需要关注碰撞后把手是否弹出或者开门按钮能否正常工作。

2.1 碰撞解锁及开门功能基本原理

电动化、网联化、智能化、共享化等汽车四化要求,让汽车电子电气架构 EEA (Electrical electronic architecture) 的发展越来越快,正在从分布式架构向域集中式架构、中央集中式架构升级。对于碰撞解锁功能而言,其工作原理基本相同,当车辆碰撞发生时,碰撞传感器识别到碰撞信号后传输给碰撞控制器 ACU (Airbag control unit),碰撞控制器对碰撞信号进行判断,然后将达到点爆阈值的碰撞信号传输到车辆车身中央控制器 CEM (Center electronic module) 或者车辆域控制器 ZCU (Zone controller unit),车身中央控制器通过门模块 XDM (X door module) 控制所有车门解锁及门把手弹出或翻转,如图 1 所示,XDM 包括 DDM (Driver door module)、RLDM (Rear left door module)、PDM (Passenger door module)、RRDM (Rear right door module),它们布置在所对应的车门上。而中央集中式域控电器架构,车辆左域 ZCUD (Zone controller unit driver) 及右域控制器 ZCUP (Zone controller unit passenger) 分别直接控制左、右侧车门解锁及门把手的弹出或翻转,其工作原理简图如图 2 所示。

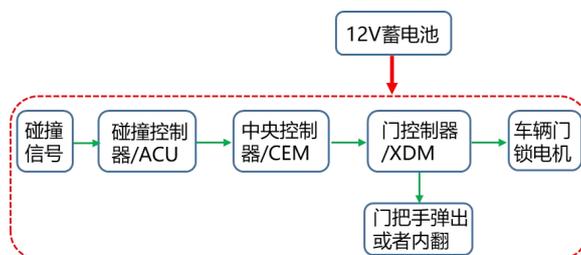


Figure 1. Body center controller crash unlock function logic
图 1. 车身中央控制器碰撞解锁功能逻辑

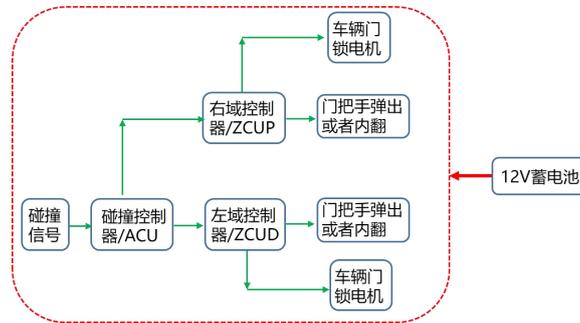


Figure 2. Domain controller crash unlock function logic
图 2. 域控制器碰撞解锁功能逻辑

2.2 碰撞解锁及开门功能影响因素

碰撞解锁及开门功能在执行过程中，低压蓄电池提供稳定的供电，保证相关控制器、门把手电机、门锁电机等处于稳定的工作电压区间内，因此需要保护电池、线束、保险等在碰撞过程中避免破损、挤压、短路等问题。功能通讯需要稳定的信号传输，网络信号或者硬线信号传输到位不能存在中断、错误帧、丢失等现象，因此 CEM 等控制器本体、线束、分离点等应避免损坏，同时还需增加软件策略冗余及传输路径备份设计。此外，包括车身、底盘、内饰等车体结构的变形应避免破坏或者打断整个解锁过程供电和通讯的执行，不能阻碍门把手和门锁系统的驱动及执行。碰撞解锁及开门功能整个执行过程时间应尽可能短，降低其它因素干扰，提升可靠性，简而言之，该功能的三大核心要素为：供电、通讯、结构完整性。

2.3 碰撞解锁及开门功能异常分类

与三要素相对应，碰撞解锁及开门功能在实现过程中，常见异常或失效问题模式包括：

供电维度：低压蓄电池离位如图 3 所示，蓄电池被挤压破损电压下降如图 4 所示、主供电线束破损或者短路、保险丝失效、锂电池 MOS 断开等引起的电压下降、中断等问题，导致电控解锁失效或者异常。

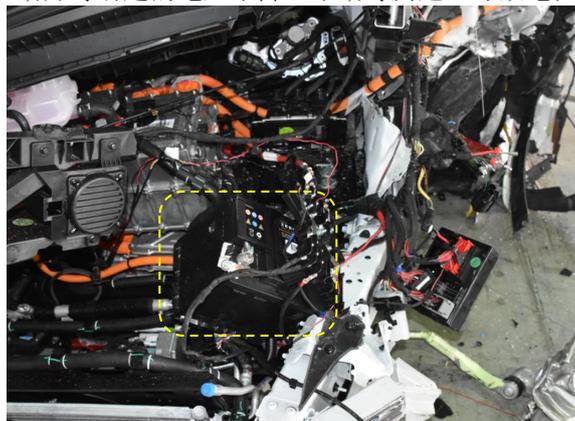


Figure 3. Lower voltage battery out of position after impact test
图 3. 碰撞试验后低压蓄电池离位



Figure 4. Lower voltage battery damage after impact test

图 4. 碰撞试验后低压蓄电池损坏

通讯维度：压降导致 CEM/XDM 重启、CAN 线中断、CEM 或 ZCU 损坏如图 5 所示，以及 CEM 与 XDM 信号传输紊乱、软件错误等引起的信号中断、丢失等电子控制故障问题。



Figure 5. Center electronic module damage after impact test

图 5. 碰撞测试后 CEM 损坏

机械结构完整性维度：结构失稳导致内外把手卡滞、结构缺失、锁芯卡死、锁钩变形等引起的车门无法打开等问题。

3 碰撞解锁及开门功能供电可靠性提升

碰撞解锁及开门功能需要稳定持续的电压，即蓄电池、线束、保险丝组成的供电回路不能出现中断或者开路。提升整车低压供电系统稳定性，可从如下几个方向实现。

3.1 低压蓄电池布置及物理防护

低压蓄电池作为整车功能的基础电源，其布置位置不同，在碰撞中所受到挤压风险也不同，应尽量避免布置在变形吸能区。根据交通事故的统计数据，前部碰撞发生概率较高，因此，低压蓄电池的布置位置建议优先级顺序如下：乘员舱前排座椅区域、后排座椅区域、行李箱区域、前舱区域，如图 6 所示。布置在乘员舱区域，

可以在保护乘员安全的同时保护低压电池，降低其离位、损坏漏液等风险。

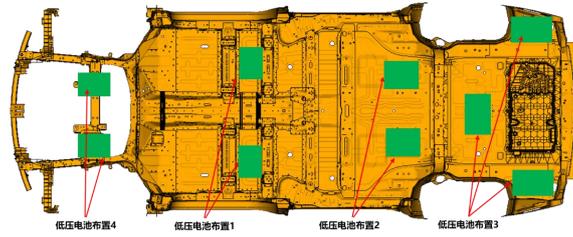


Figure 6. Vehicle lower voltage battery layout position suggestion

图 6. 车辆低压蓄电池布置建议位置

当低压蓄电池必须布置前机舱区域时，正面类碰撞中其挤压风险或者掉电风险增高，可通过额外的防护及固定设计保护电池，蓄电池防护总成举例如图 7 所示，其由固定绑带、限位块、防护支架、固定托盘等组成^[25-27]。固定托盘与绑带固定蓄电池，限位块阻止车身切割电池顶部，防护支架保护电池前端免受挤压，整个总成可以避免电池被挤压及飞出,仿真中防护效果如图 8a 所示，试验后电池表现如图 8b 所示，未有异常及掉电现象发生。

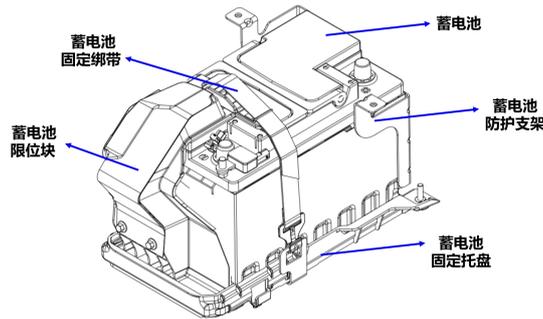


Figure 7. Vehicle lower voltage battery protection system design

图 7. 车辆低压蓄电池防护设计

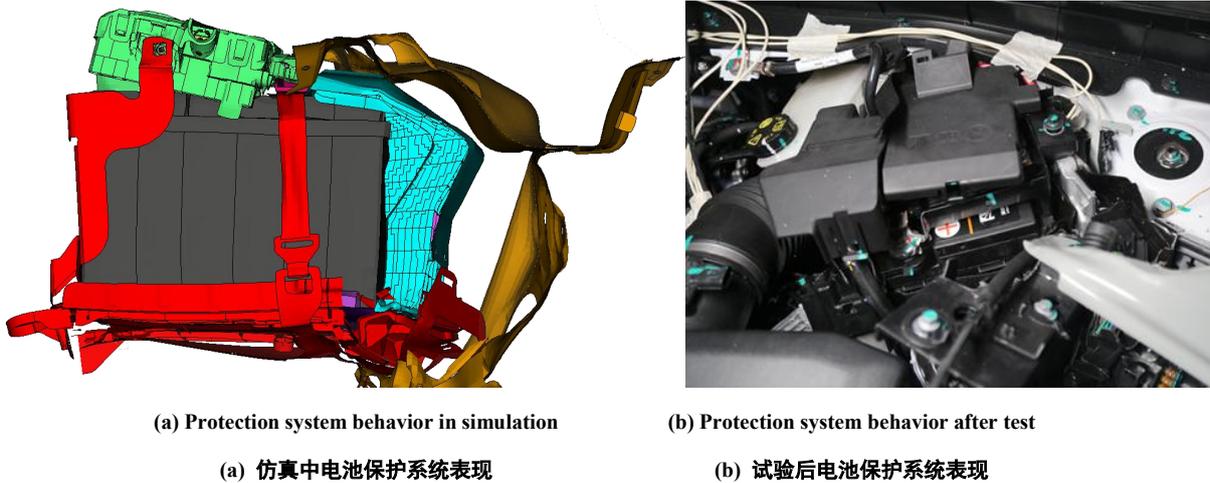


Figure 8. Lower voltage battery and protection system behavior after impact test

图 8. 低压蓄电池及保护系统作用表现

对于采用按键、触摸开门方式开门的无外开把手车型称为 POD (Power operated door) 车型，如图 9 所示，其需要车门顶出电机及限位器电机配合才能实现开门，整个过程需要低压持续稳定供电。



Figure 9. Without external door handle vehicle
图 9. 无外开把手按键式开门车型

针对这类车型，可增加低压备份供电且布置位置与主电源分开，以应对极端碰撞工况下的解锁开门需求，主电源可布置在前舱如图 10a 所示，副电池布置在行李箱或者乘员舱等位置如图 10b 所示，在主电源无电、电压不足或供电中断时，备份电源补充供电。主副电源之间增加电压防反设计，互不干扰，可以保证碰撞解锁开门功能一直处于供电状态。



(a) Main battery

(a) 主电源



(b) Backup battery

(b) 备份电源

Figure 10. Main lower voltage battery and backup lower voltage battery layout position
图 10. 无外开把手车型主电源、备份电源布置

3.2 低压配电优化

汽车线束的主要作用是传输交换汽车电气功能的输入输出信号，传递蓄电池、电机等发电部件发出的电流到各执行器，实现汽车各电器零部件的协同控制与管理。供电线束尤其是主供电线束及主分线盒应尽量避开碰撞变形区并留出冗余长度应对碰撞过程中的拉扯等现象，举例如图 11 所示，低压主线束由侧柱挤压变形区域移至非变形区域，降低挤压破损短路风险。

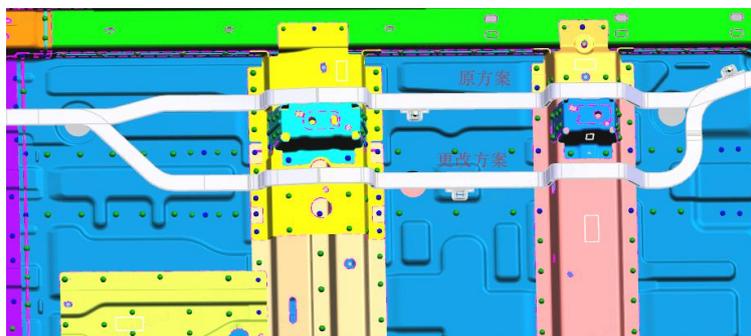


Figure 11. Lower voltage power harness adjustment example

图 11. 低压供电线束调整示意图

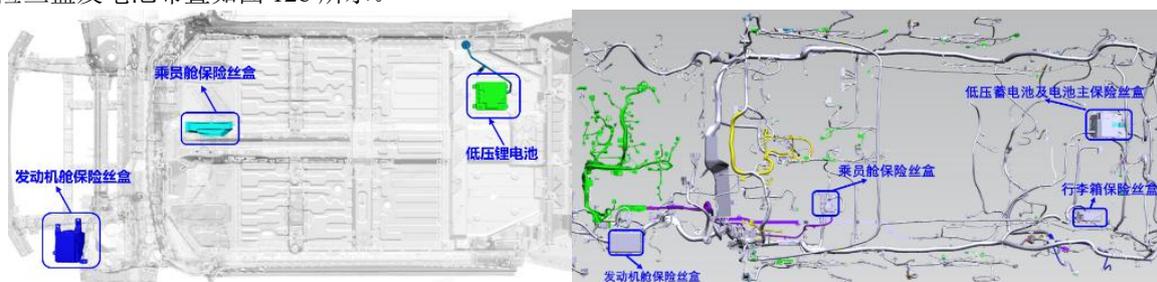
整车一般配备两个或者三个保险丝盒，布置在发动机舱及乘员舱、行李箱，连接发动机舱线束、仪表线束和地板线束等，而且不同电子设备一般会通过并联的方式进行连接。车辆碰撞后，涉及到救援，除了解锁开门功能外，还涉及到其它功能，如座椅调节、危险警报灯、紧急呼叫等，如表 1 所示。

Table 1. Part of post-crash rescue function module list

表 1. 碰撞后部分救援类功能模块清单

控制模块	功能说明
XDM	解锁及弹把手开门
BCM(Break control module)	制动功能
HCM(Headlamp control module)	前大灯
RCM(Rear lamp control module)	尾部灯
SM(Seat module)	座椅调节
BECM(Battery energy control module)	碰撞后断高压
ECM(Engine control module)	碰撞后断油
TCAM(Telematics connectivity antenna module)	紧急呼叫

为了降低碰撞救援类功能供电失效风险，需要把解锁、开门、座椅调节、紧急呼叫等救援类功能相关保险丝布置在乘员舱或行李箱保险丝盒内。乘员舱保险丝盒一般要求布置在驾乘人员脚部区域，在保护乘员的同时保护保险丝盒，因此碰撞事故中受损风险较低。同时优化线束走向，采用两段式或三段式结构，避免区域挤压、切割问题产生，导致救援类功能失效。双保险丝盒及电池布置如图 12a 所示，如果车型包含行李箱保险丝盒，三保险丝盒及电池布置如图 12b 所示。



(a) Two fuse box and battery

(b) Three fuse box and battery

(a) 双保险丝盒及蓄电池

(b) 三保险丝盒及蓄电池

Figure 12. Fuse box and lower voltage battery layout position

图 12. 保险丝盒及低压蓄电池布置图

乘用车低压蓄电池通常分为铅酸电池或锂电池两类。前者能量密度低、稳定、应用范围广。后者质量轻，循环寿命长。目前采用低压锂电池的新能源车越来越多，碰撞过程中线束如受到挤压破损，可能会引发锂电池

4.2 控制及通讯线束优化

碰撞解锁功能一般通过高速 CAN 总线传输信号，在 CAN 线上具有线束压接点，通常称为 SP (splice point) 点，其影响电气功能的稳定性，因此 CAN 应尽量避免布置在变形区域，特别是 SP 点，应远离碰撞区，避免一个压接点中断导致整个 CAN 线中断的问题，举例如图 16 所示。此外，CAN 总线往往在最远的 ECU 上布置 120 欧姆的终端电阻，提高抗干扰能力及网络信号的传输质量，搭载终端电阻的 ECU 应布置在非变形区域，并保护其插接头和电路板完整性，避免信号传输中断。

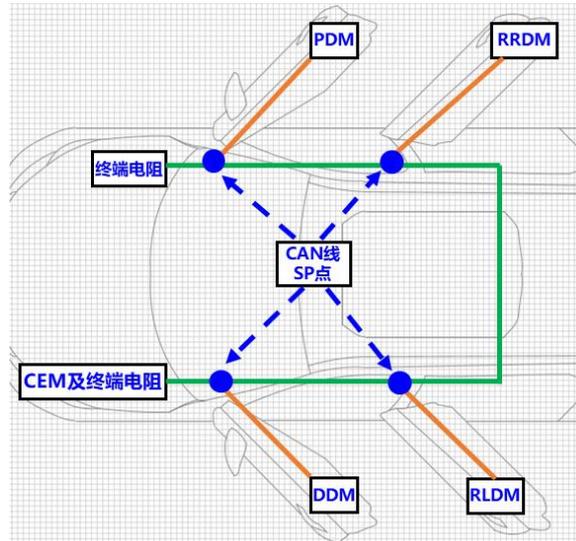


Figure 16. Body CAN bus splice point layout
图 16. CAN 线 SP 点分布

4.3 控制逻辑优化

碰撞过程中，车体结构变形挤压线束、电池在高加速度冲击下震荡、保险丝熔断等原因导致低压供电会出现短暂下降现象，如图 17 所示，蓄电池电压出现了 250ms 的下降，最低至 2V。上述现象远低于整车控制器的工作电压，如果控制器无备份电容，控制器会伴随着整车电压恢复至 12V 而重新启动 Reset。碰撞解锁功能执行过程中，如果 ECU 重启，其无法存储原始状态而中断原工作流程。该现象扩展至，导致解锁及门把手弹出等功能出现执行中断甚至失效。

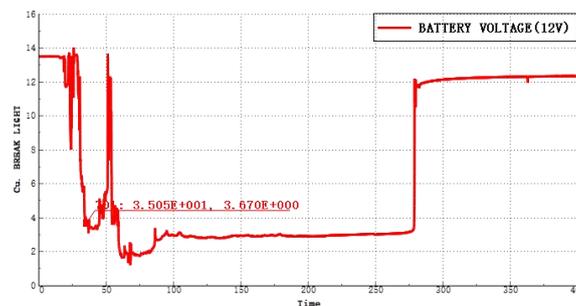


Figure 17. Low voltage drop during in impact progress
图 17. 碰撞过程中电压下降

为了应对碰撞过程中的控制器重启现象，需要增加解锁开门功能的控制冗余，如图 18 所示。其中碰撞控制器需要持续发送碰撞信号至少 4s，可以通过 PWM (Pulse width modulation) 硬线信号和 CAN 网络信号两种方式传输给 CEM，碰撞控制器增加备份电容，应对供电中断。CEM 收到碰撞信号后，把整车模式切换至碰撞模式，发送碰撞解锁命令给 XDM 至少 10s，如果碰到重启，其会存储并记录重启前状态，继续发送碰撞命令。门模块通过 CAN 网络收到 CEM 指令后，至少驱动 600ms，最长 2000ms 驱动门把手弹出和解锁。如果网络结构

及硬件支持，还可以在 CEM 与 XDM 之间增加硬线信号传输，与 CAN 通讯互为备份，提升传输稳定性。另外，主要控制器应该设计相应的自唤醒工作逻辑，以应对通讯中断、终端电阻损坏、信号丢失 bus-off 的场景。

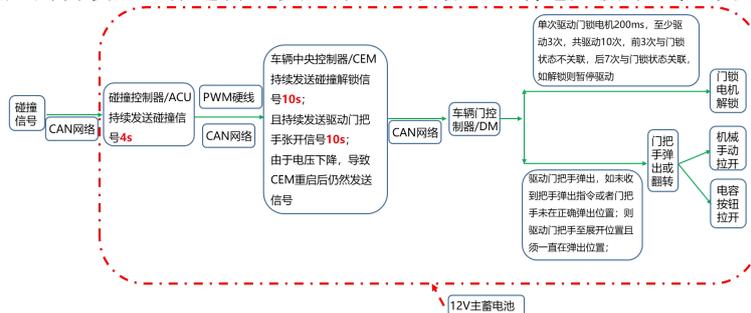


Figure 18. Crash unlock and handle pop out logic
图 18. 碰撞解锁及门把手弹出控制策略说明

5 碰撞解锁及开门功能机械结构可靠性提升

为了保证门把手及门锁区域的结构完整性，除了加强车门及车身结构强度等传统设计要求外，车门把手的机械连接结构应作为碰撞解锁开门功能电控系统的备份，以应对电控功能失效的碰撞场景。

5.1 车外门把手提升

包括隐藏式把手在内的车外门把手，应该保持与车门锁系统的物理连接结构，如拉线或拉杆等，门锁及内外拉线如图 19 所示，可发现门锁总成保留了两个物理拉线，一根与内开把手相连，一根与外开把手相连。碰撞后即使电控功能失效，仍能在解锁状态下对把手系统施力驱动门锁与锁舌分离后打开车门。

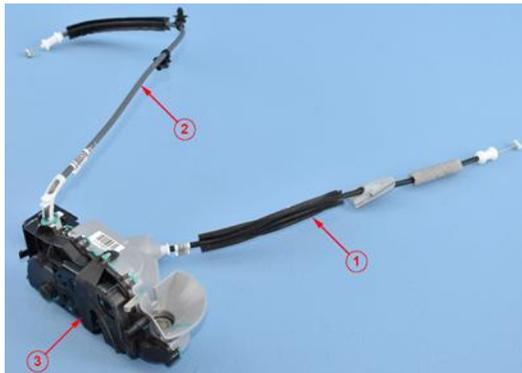


Figure 19. Door lock system and cable line connection with external and interior handle
图 19. 门锁与内外拉线实物

5.2 车内门把手提升

车内应保留内开物理拉手，电开门或者电动门应保留应急内开拉手，且布置在易操作的区域如图 20a 所示，应急内开把手应采用通用易识别标识，便于不同用户理解，如图 20b 所示。除此之外，还需把碰撞解锁及开门功能、内外开把手操作细则、应用场景在车辆使用纸质及电子说明书中进行详细描述。



(a) Emergency interior handle layout

(b) Emergency handle marking

(a) 紧急内开把手布置

(b) 紧急内开标识

Figure 20. Door open electronic button and emergency interior handle layout and handle marking

图 20. 门护板上电开按钮及紧急内开拉手布置与标识

5.3 儿童锁功能提升

机械儿童锁在市场上应用成熟且广泛，其一般位于车门内板上，通过机械钥匙或者旋钮控制车内把手能否打开车门，如图 21a 所示，可以避免儿童误操作，提升行车安全性。当机械儿童锁被激活后，即使碰撞后整车解锁，车内仍然无法通过内开把手拉开车门，只能通过外开把手打开车门。在极端碰撞事故中，这种设计增大了车内无法开门的风险。为了减少此类风险，建议采用电子儿童锁或虚拟儿童锁，如图 21b 所示，其通过电信号控制车内把手与门锁的连接，操作便捷，碰撞后车辆解除中控锁也可同时解除儿童锁，可以提升在紧急情况下车内打开车门的成功率。



(a) Mechanical child lock

(b) Electronic child lock

(a) 机械儿童锁

(b) 电子儿童锁

Figure 21. Mechanical child lock, electronic child lock and control

图 21. 机械儿童锁、电子儿童锁及控制

6 结论

碰撞解锁开门功能是汽车安全系统的重要组成部分，在碰撞事故救援中起到至关重要作用。解锁开门功能面临着供电或通讯中断、把手无法弹出、设计冗余缺失或不健全等各类问题。本文基于解锁开门功能整个执行

链条，每个环节均提出了优化方向和措施：

1) 供电系统提升：对蓄电池及保险丝盒的布置位置、保护系统、断电开关、线束走向、备份供电等提出要求及建议，改善碰撞过程中供电系统的安全性、完整性。

2) 通讯系统提升：通过网络和硬线两路碰撞信号提升冗余性、优化解锁相关控制器布置、通讯线束布置控制策略提升冗余性等措施，改善碰撞过程中通讯系统的准确性及时效性。

3) 机械系统提升：保留内外把手与门锁机械连接、固化紧急内开把手布置及标识、选用电子儿童锁等措施，改善解锁开门功能机械维度表现。

本文优化思路及方案对提升车辆碰撞后其它救援功能可靠性或稳定性也具有参考意义。随着汽车智能化发展，未来的研究方向可在云端备份碰撞信号、缩短解锁过程时长、解锁功能标准要求制定等方面开展。

参考文献 (References)

- [1] ZOU Y, ZHANG Y, CHENG K. Exploring the impact of climate and extreme weather on fatal traffic accidents[J]. Sustainability, 2021,13(1): 390.
- [2] China Standardization Committee. GB 20071-2006. The protection of the occupants in the event of a lateral collision. Beijing: Standards Press of China, 2006.03.
中华人民共和国标准化委员会.GB 20071-2006 汽车侧面碰撞的乘员保护.北京:中国标准出版社,2006.3.
- [3] China Standardization Committee. GB 20072-2006. The requirement of fuel system safety in the event of rear-end collision for passenger car. Beijing: Standards Press of China, 2006.03.
中华人民共和国标准化委员会.GB 20072-2006 乘用车后碰撞燃油系统安全要求.北京:中国标准出版社,2006.3.
- [4] China Standardization Committee. GB 11551-2014. The protection of the occupants in the event of a frontal collision for motor vehicle. Beijing: Standards Press of China, 2014.09.
中华人民共和国标准化委员会.GB 11551-2014 汽车正面碰撞的乘员保护.北京:中国标准出版社,2014.09.
- [5] China Standardization Committee. GB/T 37337-2019. Protection of the occupants in the event of a lateral pole collision. Beijing: Standards Press of China, 2019.03.
中华人民共和国标准化委员会.GB/T 37337-2019 汽车侧面柱碰撞的乘员保护.北京:中国标准出版社,2019.03.
- [6] C-NCAP Management Center.C-NCAP management rules. (2021 edition) Tianjin: China Automotive Technology and Research Center,2024.38-51
C-NCAP 管理中心.C-NCAP 管理规则 (2024 年版).天津:中国汽车技术研究中心,2024:38-51.
- [7] China Insurance Auto Safety Index Management Center. Measures for the administration of insurance automobile safety index in China (2023 edition) Beijing: Insurance Auto Safety Index Management Center of China,2023.
中国保险汽车安全指数管理中心.中国保险汽车安全指数管理办法 (2023 版).北京:中国保险汽车安全指数管理中心, 2023.
- [8] China Standardization Committee. GB 15086-2013. Motor vehicle' door locks and retention components performance requirements and test methods. Beijing: Standards Press of China, 2013.09.
中华人民共和国标准化委员会.GB 15086-2013 汽车门锁及车门保持件的性能要求和试验方法.北京:中国标准出版社.2013.09
- [9] Euro NCAP Rating Group. Euro NCAP (2023) [EB/OL] 2022-05-18.<https://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/>.
- [10] Yang H,Yan M,Han H. The Overview Scheme of Vehicle Crashing. Proceedings of the 2014 SAE China Annual Conference. 2014.500-502.
杨慧凯,闫明毅,韩宏纪.车辆碰撞解锁方案综述.2014 中国汽车工程学会年会论文集.2014.500-502.
- [11] Li G,Guo C,Zhou S, et al.Test and Analysis to A Car Crash Unlocking System. Auto Electric Parts. 2014,05:75-79.
李高林,郭春光,邹圣星,范学.某车型碰撞解锁系统测试分析.汽车电器.2014,05:75-79.
- [12] Xue F,Xin F,Wang D, et al. Analysis and Troubleshooting on Failure of Vehicle Electric Door Lock System. Auto Electric Parts. 2019,06:66-68.
薛飞,辛丰强,王东生,杨曦.汽车电控门锁失效分析与解决方案.汽车电器.2019,06:66-68.
- [13] Wu Z,Tong B,Cui J, et al. Research and Application of Testing Method of Vehicle Door Crash Unlocking. 2020 The 5th Annual Conference of Auto Testing Technology of China-SAE.2020.71-76.
吴哲浩,童兵亮,崔杰,等.车门碰撞解锁系统测试方法研究与应用. 2020 中国汽车工程学会第五届汽车测试技术年会论文集. 2020.71-76.
- [14] Ren H.Research on the Correlation between Car Door Lock Safety and Collision Rescue.Internal Combustion Engine & Parts. 2024,11:35-37.
任恒,基于汽车门锁安全与碰撞救援的关联性研究.内燃机与配件.2024,11:35-37.
- [15] Hu L, Gu Z, Wang Z, et al.Current Status and Trend of Automotive Safety Procedures/Programs.Automotive Engineering, 2024,46(02):p.187-200.
胡林,谷子逸,王丹琦,等.汽车安全性测评规程现状及趋势展望.汽车工程,2024,46(02):187-200.
- [16] Wang D,Cheng L,Long S et al.Analysis on Design Method and Trend of Automobile Power Management System. Auto Electric Parts. 2022,06.71-73.
王大丽,程琳,龙苏华,等.汽车电源管理系统的设计方法趋势浅析.汽车电器.2022,06.71-73.
- [17] Peng F,Luo W. Study on optimal strategy of low-voltage power supply management for pure electric vehicles. Journal of GuanXi University of Science And Technology. 2024,35(6),56-64.
彭帆,罗文广.纯电动汽车低压电源管理优化策略研究.广西科技大学学报.2024,35(6),56-64.
- [18] 黄东扬,熊天善,梁丽边. 电动汽车低压系统电性能测试方法.装备制造技术.2023.07:304-310.
- [19] Zhan H,Hu J,Yi K.Lectotype of Wire and Fuse for Vehicle Harness. Auto Engineer.2020.04.28-30.
詹鸿杰,胡军,易磊.汽车线束导线和保险丝的选型.汽车工程师.2020.04.28-30.
- [20] Shen H,Dong R,Dai C.Research on Failure Evaluation Method of Low Voltage Cables in Vehicle Crash.Automobile Technology. 2021,03:57-62.

- 沈海东,董瑞强,代超.汽车碰撞中低压线束的失效评价方法研究.汽车技术.2021,03:57-62.
- [21] Yuan H,Shen B,Li K, et al. Application Layout of New Energy Vehicle Wiring Harness. Auto Electric Parts. 2023,04:8-11.
苑怀志,沈博识,李堃恺,张腾,浅谈新能源汽车线束应用布置.汽车电器.2023,04:8-11.
- [22] 严爱萍.关于汽车线束接点的防护及优化. 世界汽车. 2023.03:82-85.
- [23] 张婉婷.汽车线束及其空间布置应用.汽车实用技术.2022,10:100-102.
- [24] 凌黄宝,张剑平,覃海泉.基于新能源平台的隐藏式车门把手应用研究.汽车与驾驶维修.2024,03:36-39.
- [25] Geely Holding Group Co Ltd. Automobile battery protection device and automobile.China, CN 113370789 B, 2024-01-30.
浙江吉利控股集团有限公司.一种汽车蓄电池保护装置及汽车.中国,CN 113370789 B, 2024-01-30.
- [26] Geely Holding Group Co Ltd. A kind of automobile battery limit block, automobile battery protection device and automobile.China, CN 113540675 B, 2023-06-27.
浙江吉利控股集团有限公司.一种汽车电池限位块、汽车电池保护装置及汽车.中国,CN 113540675 B, 2023-06-27.
- [27] Geely Holding Group Co Ltd. Vehicle. China, CN 219601170, 2023-08-29.
浙江吉利控股集团有限公司.一种车辆. 中国, CN 219601170, 2023-08-29.