

2025年12月
第1版



大新华救援国际平台

Chinese version contributed by Grand China Rescue

电动汽车的应急响应 操作指南



现状 - 建议 - 展望

Michel GENTILLEAU

法国消防官-中校

国际消防技术联盟新技术委员会副主席

欧盟新车安全评鉴协会 代表

目录

► 序言	第5页
► 关于电动汽车的注意事项	第6页
► 消防员技术参考工具—救援卡	第8页
► 道路救援：电气风险管理	第11页
- 应急服务可用的安全装置 - 车辆制造商的说明 - 能源“车辆安全化”阶段的整合 - 应急服务的发展前瞻 ○ 紧急呼叫：更优化的操作信息 ○ 救援卡：使文档更易理解与使用 ○ 危害隔离：简化电源切断流程 ○ 尾门与后备厢：确保事故后，更便捷开启	
► 车辆火灾：关注电池热失控风险	第22页
- 热失控的关键 - 热失控的操作 - 应急服务可用的安全装置 - 车辆制造商的说明 - 全球范围内开发的主要技术 - 使用传统消防办法管理热失控 - 应急服务的发展前瞻 ○ 热失控：提升电池稳定性与事故后及时警报 ○ 热失控：全方位检测与预警	



国际消防救援技术联合会主席之序

在过去的十几年，电动汽车已从技术新品发展成为日常交通的重要组成部分。虽然带来了显著优势—减少碳排放、降低噪音、提升能效，但也带来了全新的操作与安全的挑战。其中最具挑战性的问题就是在事故涉及电池高压系统时，如何确保救援工作的安全处置和高效救援。

国际消防救援技术联合会（CTIF）救援与新技术委员会持续关注电动汽车灭火方法的发展，旨在为消防员提供有效的灭火建议方案，优先系统考虑运用现有技术与设备，以确保适宜方法的广泛普及。

应急救援操作指南旨在系统阐述电动汽车火灾的扑救方法、技术手段与战术策略，内容基于对电池技术的最新认知、锂离子电池特性分析及热失控现象的深入研究。同时，本指南还针对涉及电动汽车的道路交通事故，提供应急处置方案，确保在电气风险环境下的作业安全。

在这本操作指南里汇集了应急处置团队的**实战经验**、**研究成果**以及消防安全领域**权威专家**的建议。内容不仅涵盖灭火技巧，更注重战术决策、风险识别、设备规范使用以及保障应急救援队与周边环境安全。

电动汽车技术发展日新月异，其迭代速度往往超出众多标准与规程的适应范围。本指南的核心宗旨在于提供坚实、前沿且专业的理论基础，为应对复杂多变的紧急状况提供指导建议。相信本指南能在处置电动汽车火灾时，提供安全高效作业所需的**知识储备**与增强**专业救援**的信心。

作为国际消防救援技术联合会主席，我谨向 Michel Gentilleau 及同仁致以诚挚谢意，感谢他们编纂本手册。此举完美诠释了国际消防救援技术联合会的核心使命：“通过知识共享，为消防员构筑更安全的工作环境，为人民群众打造更安心的生活环境”。

Milàn DUBRAVAC （斯洛文尼亚）

国际消防救援技术联合会主席



* CTIF (International association of fire and rescue services 国际消防救援技术联合会)



特别鸣谢

Amandine LECOQ (法国)

电池安全团队负责人 INERIS (国家工业环境和风险研究院)

Arjan BRUINSTROOP (荷兰)

消防员, NIPV 培训与行动顾问, 消防教育/国际消防救援服务协会“救援与新技术”成员

Céline ADALIAN (法国)

IDIADA被动安全部门高级经理/ISO 17840工作组联合女主席 (救援卡)

Eric PAILLIER (法国)

消防安全与应急协调员 - TotalEnergies

Joël BIEVER (卢森堡)

消防员, 大公消防救援队南部地区培训主管, 国际消防救援服务协会“救援与新技术”委员会副主席

Marco AIMO-BOOT (意大利)

IVECO集团三级安全负责人, ISO 17840工作组成员 (救援卡)

Pierre CASTAING (法国)

欧盟新车安全评鉴协会前主席, 欧盟新车安全评鉴协会“救援、脱困与事故后安全”小组负责人

Sophia GU (中国)

大新华救援 国际平台 创始人, 中国消防协会CFPA 标准办公室副主任



序言

数年来，消防部门、政府机构、实验室及私营企业一直将电动汽车视为潜在的新风险。

目前，相关实验室测试、现场试验、各种研究、相关报告及国际指南已达数百项。

设备制造商已开发出多种专用工具，旨在帮助救援队伍更高效、更安全地处置此类车辆。

电动汽车（起初为小汽车，如今卡车与客车占比亦逐步提升）销量的快速增长，使应急救援部门得以从一线作业人员处获取宝贵的实战经验。

然而，这些积累的经验并未使消防队在响应程序上达成普遍共识——无论是涉及电动汽车的道路救援作业，还是处置此类车辆的火灾事故。

本文旨在概述两大核心议题：

- 处置电动汽车道路救援作业时的电气风险管理；
- 电动汽车火灾（锂离子电池）中的热失控应对。

鉴于现有文献已对电动汽车与电池基础知识、电气风险及热失控等议题进行充分阐述，这部分章节将仅做简要介绍。

本文件将重点聚焦消防部门处置此类任务可用的装备、器材，并基于现有传统资源提出切实可行的救援操作方案。

最后，针对*道路救援与*车辆火灾两大作业主题，我们将结合欧盟新车安全评鉴协会当前开展的工作，展望消防员的未来发展前景。

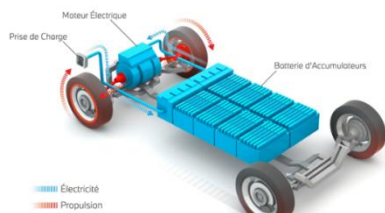
*Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) 欧盟新车安全评鉴协会



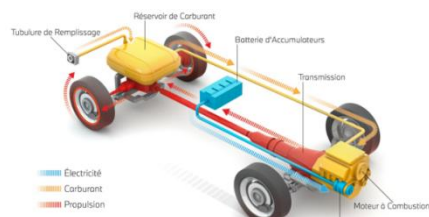
关于电动汽车的注意事项

混合动力/电动汽车可分为四大类:

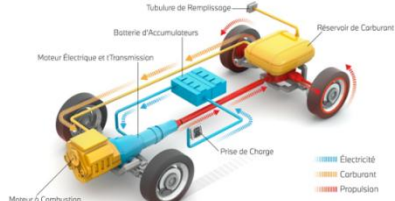
- 混合动力汽车 (HEV)——右上
- 插电式混合动力汽车 (PHEV) ——左下
- 纯电动汽车 (EV)——左上
- (氢) 燃料电池汽车 (FCEV)——右下



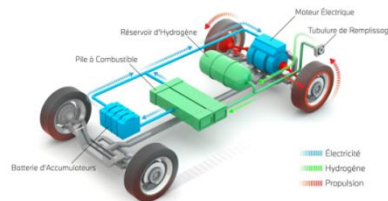
Electric vehicle



Hybrid electric vehicle



Plug-in hybrid electric vehicle



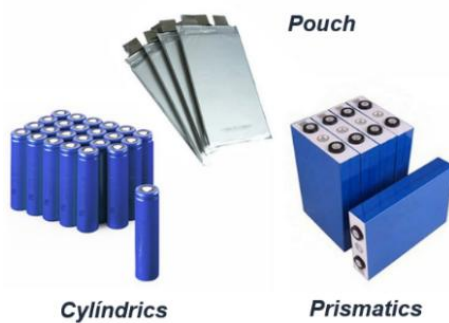
Hydrogen vehicle

电动汽车和混合动力汽车**电池**的容量与位置因车型而异:

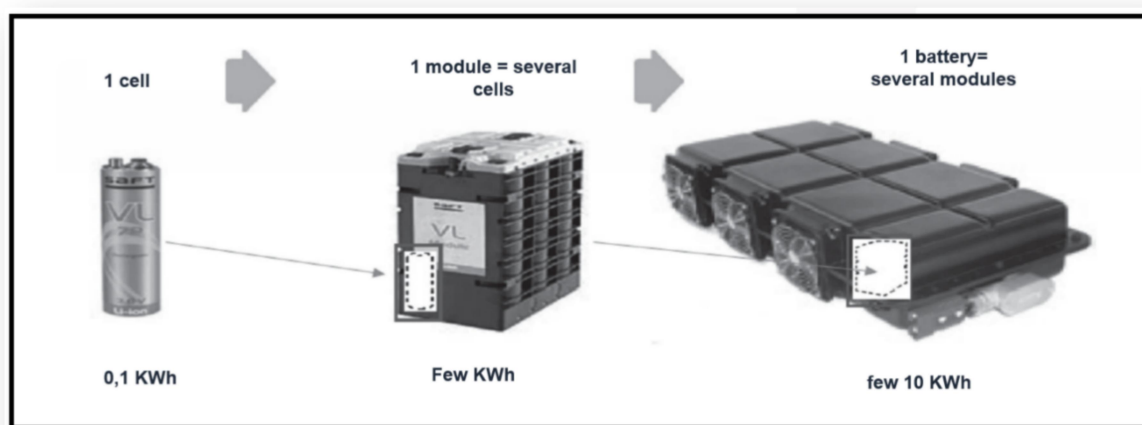
- 汽车: 通常位于车辆地板下方
- 卡车: 位于底盘两侧 (或中央) 或驾驶室后方
- 客车: 置于车顶或车辆后部



电池的基本单元为电芯, 其外形可分为软包、方形或圆柱形。



多个电芯组成一个模组，多个模组组成一个电池包。



尽管现有多种**电池技术**（如镍氢、锂金属聚合物、钠电池等），但**锂离子电池**（Li-ion）仍是电动汽车领域最为常用的技术。汽车电池**外壳**通常采用钢材或铝材制成。

锂离子电池的主要风险包括：

- 电气风险
- 热辐射
- 有毒有害
- 爆炸性

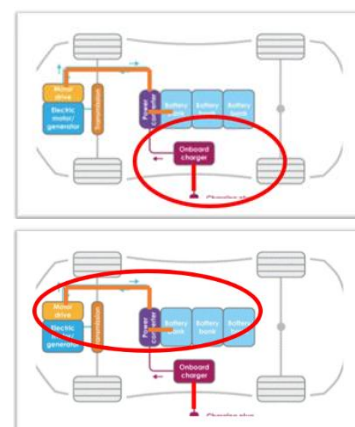


后三项源于电池发生**热失控**产生的主要风险。



消防员在多种操作情况下可能面临电气危险。

- 在**道路救援任务**中**直接接触**高压线或高压电池
- 在**车辆起火**期间（尤其是**清理车辆残骸**时）**直接接触**高压线缆或电池
- 在**车辆起火**期间（尤其是**灭火阶段**）**直接或间接接触**充电线缆

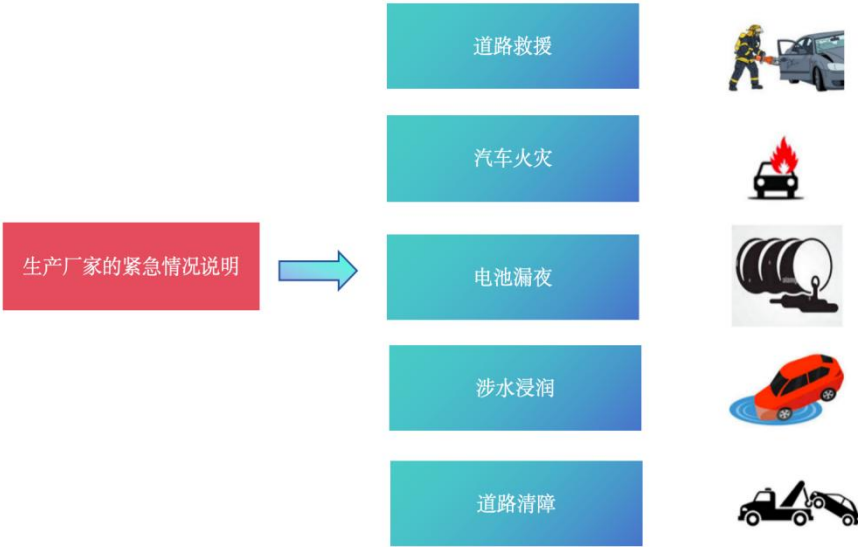


上述情况中涉及的电气危险包括**电击**、**触电伤亡**以及**电弧**的产生。



消防员技术参考工具 — 救援卡

救援卡是符合ISO 17840标准的规范化信息文件。
由车辆制造商制作供应应急救援部门使用，提供**各类作业场景**下的关键信息与处置指导：



ISO 17840标准定义了救援卡的内容与版式， 要求围绕两项核心原则：

- 标准化符号
- 标准化文件结构

所有官方符号详见ISO 17840标准文件。

用于识别和管理电动汽车**电气系统**的最重要符号包括：

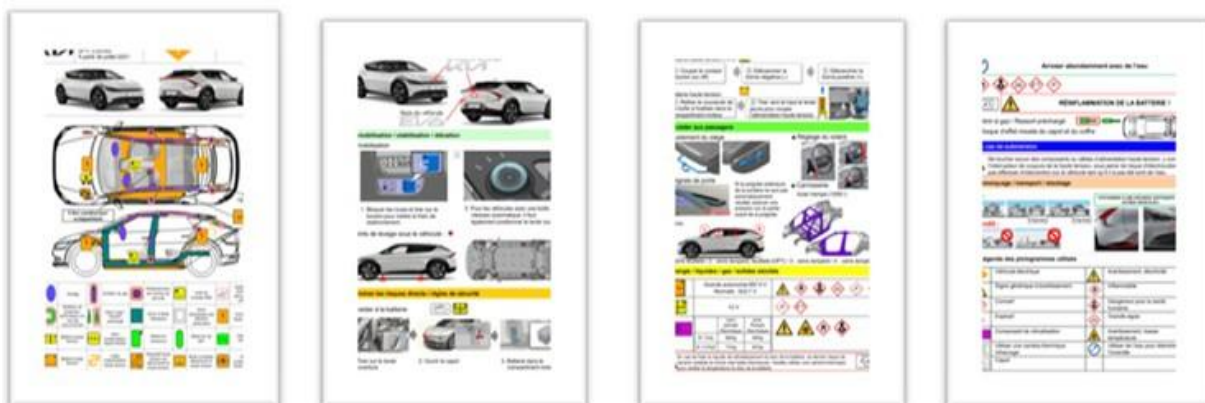
	Airbag		Stored gas inflator		Seat belt pretensioner		SRS control unit		Pedestrian protection active system
	Automatic rollover protection system		Gas strut / preloaded spring		High-strength zones		Special attention		
	Battery, low-voltage		Ultra-capacitor, low-voltage		Fuel tank		Gas tank		Safety valve
	Battery, high-voltage		Power cable, high-voltage		Separator, high-voltage		Fuse box, disabling high-voltage system		Ultra-capacitor, high-voltage
	High-voltage separator to low voltage		Fuse box, disabling high voltage to low voltage		High voltage component		Fuel tank, petrol		Loop disconnecting high voltage to low voltage



救援卡是专为**应急救援服务部门**设计的标准化文件，旨在方便快捷地使用。

其结构遵循欧盟新车安全评鉴协会标准，要求救援卡内容最多为四页（特殊情况可接受五页）：

- 第一页：
 - 应急救援服务相关介绍
 - 车辆照片
 - 符号图例说明
- 第二至四页：
 - 按章节划分的操作指南



每个章节通过特定颜色进行标识，以便快速查阅

1. Identification / recognition	identification	识别和车辆确认
2. Immobilisation / stabilisation / lifting	immobilisation	车辆固定/抬升
3. Disable direct hazards / safety regulations	Energy isolation	安全确认
4. Access to the occupants	Access to the occupants	接触伤员
5. Stored energy / liquids / gases / solids	In case of leak	泄漏处置
6. In case of fire	In case of fire	火灾处置
7. In case of submersion	In case of immersion	涉水浸润
8. Towing / transportation / storage	Towing	清障处置
9. Important additional information	Others	其他处置补充

救援卡下载（Euro Rescue）应用程序获取救援卡（国内暂未上线）

截至2025年9月，该应用程序提供超过1900份救援卡的访问权限，可在联网时在线查阅，或将救援卡下载至智能手机或平板电脑后离线使用。



<https://apps.apple.com/fr/app/euro-rescue/id1516807765>

中国本土暂未上线，敬请期待大新华救援于2027年发布。



针对澳大利亚当地的应急服务部门，开发了ANCAP救援应用程序。该应用可访问类似的救援卡数据库，其中包含专供澳大利亚市场的车型：

(<https://www.ancap.com.au/ancap-rescue-app>)



针对中国的应急救援部门，开发了CNCAP救援卡应用程序。该应用可访问类似的救援卡数据库，专供中国市场：



道路救援：电气风险管理

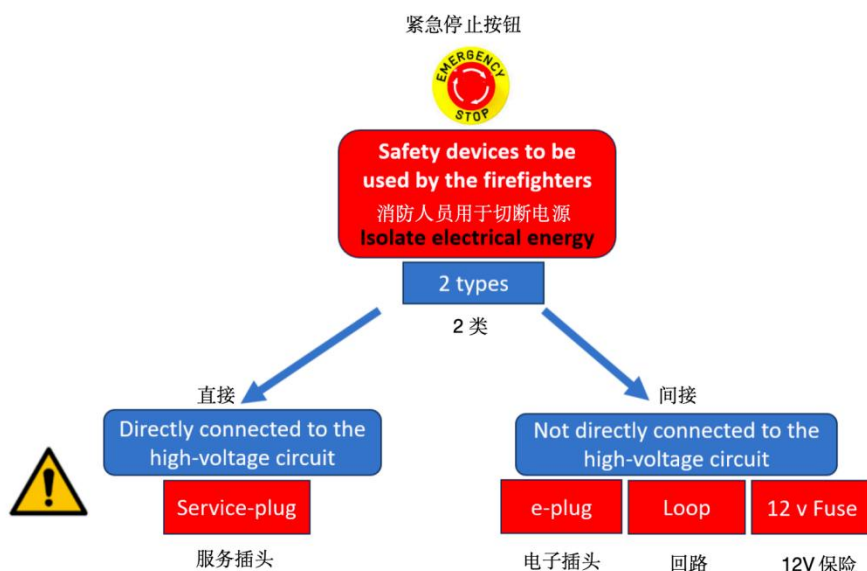
——应急救援服务可用的安全装置

电动汽车配备了可供应急救援服务部门在救援操作中使用的**安全装置**。

这些安全装置专门用于切断高压电池的电力，从而消除电气危险，使紧急干预能够安全进行。

车辆制造商已按照ISO 17840标准，在其救援卡中提供了这些装置的安装位置 and 操作方法信息。这些操作文件为应急服务部门提供了相关信息与操作指导。

安全装置可分为两大类：



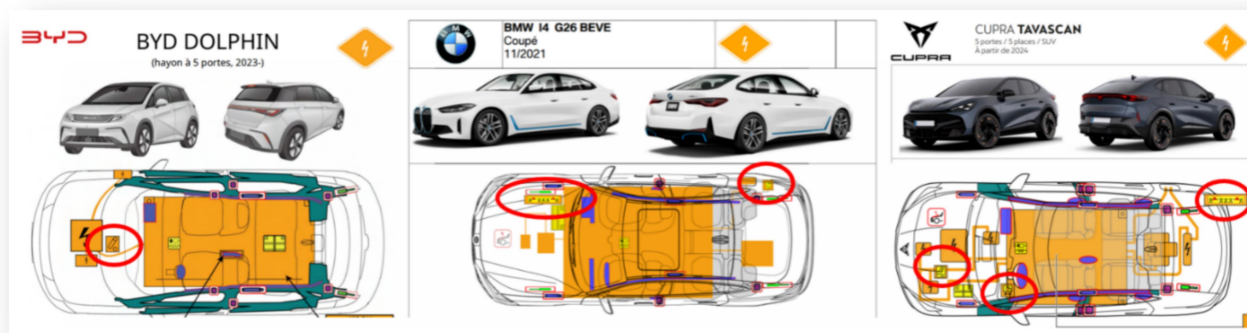
这些装置在电动汽车里的位置各不相同。根据制造商和车型的不同，每辆车可能配备1至3个此类装置。

其具体位置因车辆类型而异：

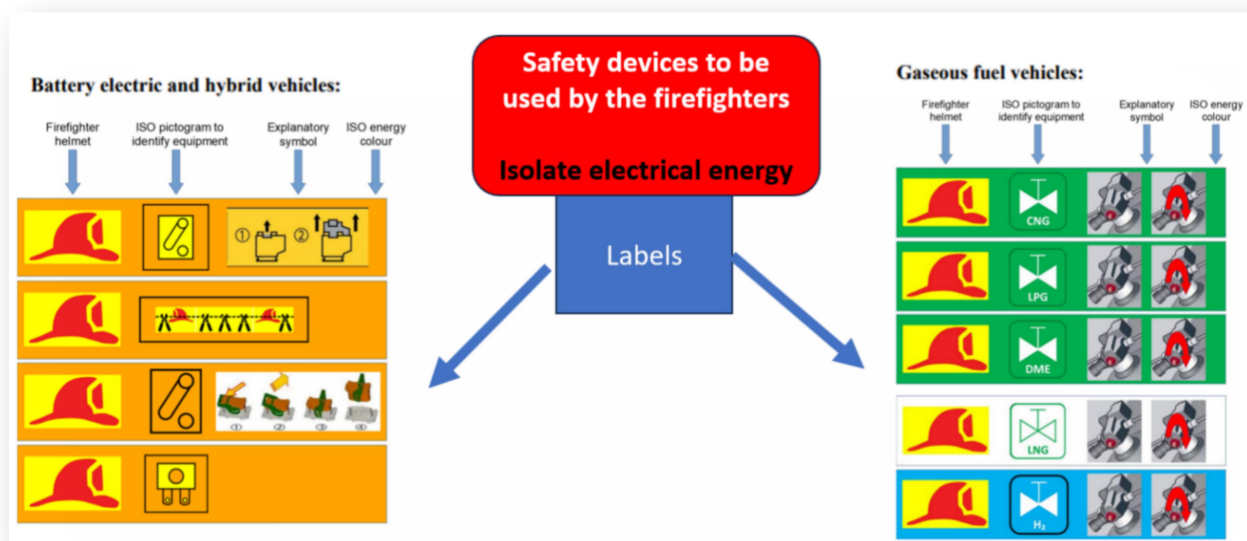
- 汽车：乘客舱、后备箱、前（发动机）舱，有时也位于外部（例如底盘下方）
- 卡车：乘客舱或底盘安装位置
- 客车：驾驶员座椅附近或车辆后部



所有这些安全装置均通过特定符号在救援卡上进行标识（ISO 17840标准）。



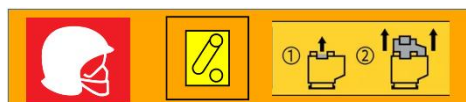
所有安全装置均采用ISO 17840标准符号在救援卡上进行标识，并且通常在车身上进行物理标记。为确保各品牌和车型间的一致性，标签格式由欧盟新车安全评鉴协会统一定义：



标签用橙色标签标注，表明该安全装置与高压相关。

消防员头盔图案表示该设备紧急情况下需要佩戴。但头盔型号的选择，参考车辆制造商建议自行决定。

另一种可能的标签示例：



ISO标准中代表该安全装置的符号已整合至标签中。

最后，安全装置使用方法的图解说明由车辆制造商说明。

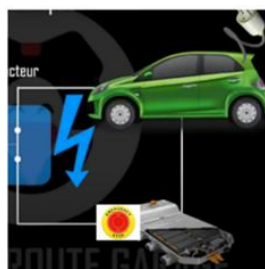


“维护插头”是一种位于高压电路上的安全装置，通常直接与高压电池相连。

维护插头可断开高压电路，使系统处于可安全操作的状态。

重要提示：操作维护插头需要佩戴专用的个人防护装备（PPE），包括绝缘手套、面部防护等装备。

此类操作通常用于车辆维护保养。



操作前、后状态对比：

操作前：高压电路带电 操作后：高压电路断开

维护插头可能有不同的设计，其使用方式也各不相同：



MG 5



BYD Dolphin



MG HS



Opel ampera



Polestar 2

救援卡上有维护插头标准符号的标准标识（ISO 17840）：

橙色表明此为高压电路上的安全装置。

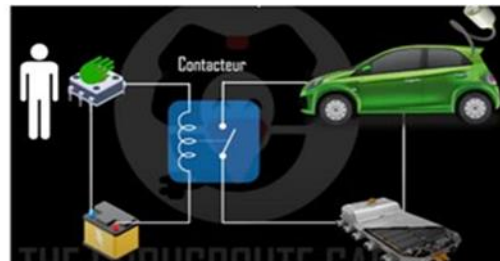


欧盟新车安全评鉴协会定义标准“维护插头”的识别标签：



“电子插头（e-plug）”“回路（loops）”和“12伏保险（12 volts fuses）”等安全装置位于低压电路上。它们可用于间接断开高压电路上的继电器，从而隔离高压元件。

与维护插头不同，操作这些装置无需特殊的个人防护装备（PPE）。



操作前后状态对比：

分别展示了隔离前后高压电路的状态



这些装置的设计和操作方式可能因制造商而各有不同:

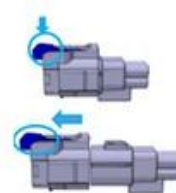
- 电子插头



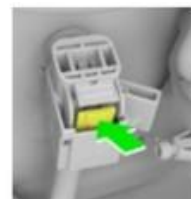
BMW i4



NIO EL 6



CHERY Tiggo



ORA funky cat

救援卡上标示的“电子插头”标准符号 (ISO 17840) :
黄色表明此为低压电路上的安全装置。



欧盟新车安全评鉴协会定义的标准化“电子插头”识别标签:



- 回路



BYD SEAL



KIA EV3



MERCEDES CLA Coupé



JEEP Avenger

救援卡上标示的“回路”标准符号 (ISO 17840) :
黄色表明此为低压电路上的安全装置。



欧盟新车安全评鉴协会定义的标准化“回路”识别标签:



- 12伏保险



SKODA Kodiak



Ford Capri



MAXUS Mifa 7

救援卡上标示的“12伏保险”标准符号 (ISO 17840) :
黄色表明此为低压电路上的安全装置。



欧盟新车安全评鉴协会定义的标准化“12伏保险”识别标签:



TABLE SUMMARISING ISOLATING ENERGY SAFETY DEVICES				
Type	Examples	ISO symbol	Euro NCAP labels (example)	Specific PPE
Service-plug				
e-plug				
Loop				
12 volts fuse				

安全装置对比表格				
类型	样本	ISO 图例	NCAP 图例	个人防护穿戴要求
服务插头				
电子插头				
回路				
保险				

车辆制造商的说明

车辆制造商针对电动汽车切断电源需要提供具体操作说明。

这些操作说明详见救援卡第3章（根据 ISO 17840标准定义）：

3. Disable direct hazards/ safety regulations

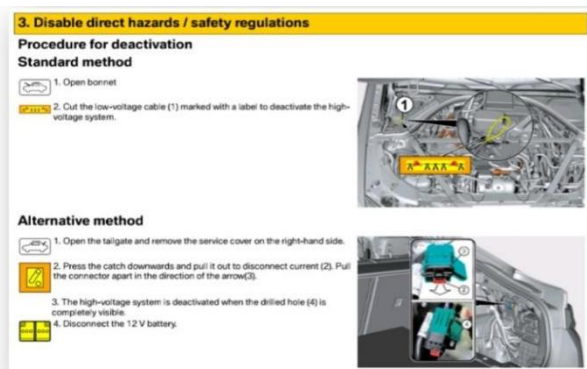
制造商的说明通常包含以下要素：

- 接入与断开低压电池的操作步骤（汽车通常为12伏，重型车辆和客车通常为24伏）
- 靠近并操作用于关闭高压系统安全设备的步骤，包括所需注意事项的详细说明。

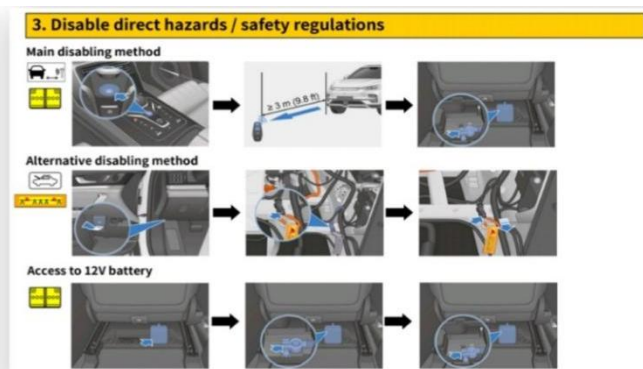
对于后者，可能会提供不同的操作方案：

- 主流程（优先）—— 首选且最安全的方法
- 备用方案1 —— 若主流程无法执行时的次级选项
- 备用方案2 —— 额外的备用方法

每种操作方案可能会使用不同类型的安全装置（电子插头、回路、12伏保险或其他高压隔离装置）。



BMW



BYD



需要注意的是，部分车辆制造商的说明指出：

- 安全气囊的展开是确认车辆高压电路自动断开了的一个充分必要条件
- 或
- 关闭发动机是使车辆高压电路自动断开了的一个充分必要条件。

参考车辆制造商的说明，以确保安全有效地进行操作。

在对道路事故车辆实施救援操作之前，消防人员必须：

- 确认车辆型号和类型
- 参考对应的救援卡

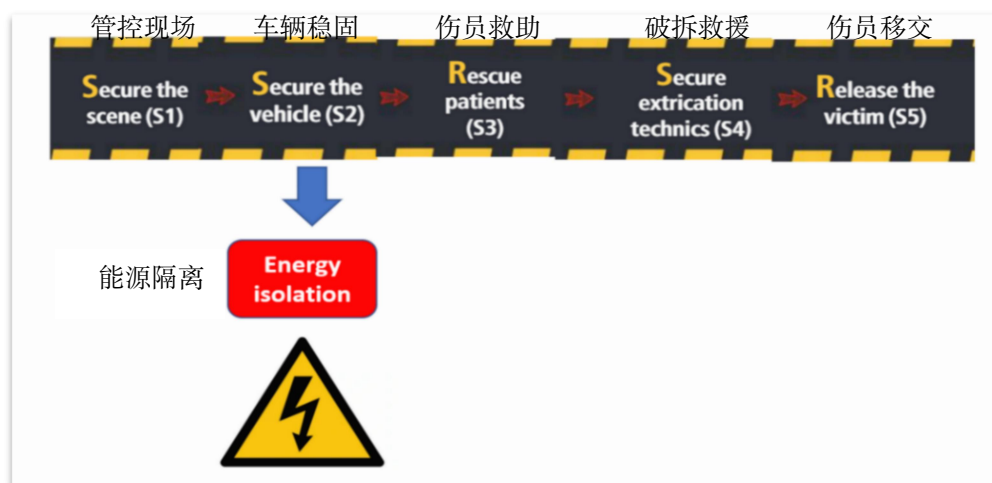
这一步骤至关重要，旨在确保在操作过程中采用正确的断电操作和安全措施。

需要注意的是，尽管近期发布的救援卡包含此类详细信息，但并非所有旧版救援卡都具备同样完整的内容。

能源“车辆安全化”阶段的整合

为了在道路救援操作中妥善管理电气风险，必须将专门的“车辆安全化”阶段纳入整体救援流程，该阶段专注于**车载能源系统管控**。

道路救援作业的通用流程可划分为一系列结构化阶段，每个阶段对应特定的操作目标。在这一流程中，车辆安全化阶段是管控电气风险、保障救援人员安全的关键环节。该通用流程具体定义如下：



车辆安全化阶段的目标，是让消防人员能够像在任何标准救援任务中一样，安全且高效地进行救援。

对于电动或混动车辆，该阶段具体包括：

- 固定车辆
- 隔离能源（此处指电气系统）

车辆安全化阶段必须始终遵循以下基本原则：



识别能源类型、车辆型号（品牌、车型、年份）及对应的救援卡

目视**观察**高压电气系统的能源（电池）和传输载体（橙色高压线束）。检查是否有任何可见损坏（线缆破损、电池外壳变形等）。如有必要，采取相应的防护措施（例如标记或警示受损区域，以防意外接触）。

禁止触碰橙色线缆和电池（以及与橙色线缆相连且通常标有黄色三角警示标识的部件）。检查过程中发现的任何损坏情况，请立即报告。

通过以下方式**固定**车辆：关闭发动机（确保车辆已熄火）、施加车辆制动（机械式或电动制动）、将变速器置于驻车挡（P挡）并楔止车轮（如有可能）。如需操作指导或存有疑问，请参阅救援卡第2部分“车辆固定”获取详细操作说明。

按照救援卡第3部分“能源切断”中描述的程序，对高压系统进行**隔离**，并在必要时使用消防员可用的安全装置（插头、回路、12伏保险等）。



	在执行最后一步操作（高压隔离）之前，应将关闭低压系统（12伏或24伏）作为一项即刻反射性操作来执行（在此之前，需预判后续救援行动可能用到的电气设备，如电动门把手、电动车窗、电动尾门、电动座椅等，并提前处理好）。。
	请注意，高压 隔离 操作仅在需要实施车辆破拆道路救援技术（如使用液压工具进行切割、扩张或顶升），或救援人员面临明确且紧迫的危险（如橙色高压线缆可见损坏），或处于特定情况（如有被困者被压在车下）时，才应施行。
	部分救援卡注明，高压电池在发生碰撞时会自动断开。在此情况下，若仍需消防人员手动操作安全设备（回路、电子插头等），则救援卡上必须明确说明此要求。若操作说明中认为自动断开即可，则需提供高压已断开状态的视觉确认方法（例如安全气囊已展开或仪表盘上的警示灯已亮起）。

	需注意，因剧烈撞击而与电动汽车分离的电池包（例如电芯/模组散落在路面上），必须始终视为存在潜在的电气危险。
---	---



- 应急服务的发展前瞻

○ 紧急呼叫：更优化的操作信息

现行紧急呼叫法规要求，通过eCall 112系统（2018年在欧洲实施）自动向应急服务部门数字化传输关键的车辆与事故数据（备注：中国的AECS（2027年7月1日强制执行），分两种途径：SOS平台确认之后转发警情到122，或者SOS触发直接对接公安部PSAP）。

在强制传输的数据中，包括车辆识别码（VIN）和车辆能源类型（如电动、混合动力、氢能、内燃机）。这些数据点构成了首要的识别要素。

虽然车辆能源类型信息在道路事故或车辆起火时至关重要，但仅凭此仍不足以完成完整的车辆识别。

精确识别车辆对于查找对应具体车型的救援卡至关重要。

相比之下，车辆识别码（VIN）可用于通过车辆注册系统（SIV）来识别确切车辆（法国自2022年起，应急服务部门已可访问该系统）。

在此背景下，欧盟新车安全评鉴协会已在其2030路线图中纳入优先目标，即通过EuroRescue应用程序，利用车辆识别码（VIN）和/或车辆注册号来实现救援卡的识别。

此外，在其最新的评估协议中，欧盟新车安全评鉴协会决定鼓励通过eCall 112系统传输更多数据。

这些补充信息包括：

- 潜在受害者人数；
- 碰撞方向（正面、侧面或后部碰撞）；
- 碰撞速度变化量（碰撞时的减速度）。

其未来的目标是能够获取一个“严重度指数”，用以界定事故的严重程度，使应急服务部门在紧急呼叫中心接到呼叫后，能够优化调配前往事故现场的应急资源。



○ 救援卡: 使文档更易理解与使用

救援卡是提供给紧急服务部门在救援任务中使用的操作工具，所以必须清晰、准确且简洁。

尽管 ISO 17840 标准提供了框架模板，但救援卡的格式仍然千差万别，有些救援卡在现场难以让救援人员理解和应用。

为解决这一问题，欧盟新车安全评鉴协会引入了一套规则和评估标准，以确保救援卡尽可能简洁易懂。

只有完全按照欧盟新车安全评鉴协会技术公告TB 030*制作的救援卡才能获得评分。

这些建议强调简洁性、信息清晰度和操作效率，旨在为所有情况下的一线救援人员提供支持。



○ 危险隔离: 简化能源切断流程

经国际消防救援服务协会调研，目前不同电动汽车车型使用的能源切断方案多达70余种。

这些差异涉及不同的断电设备、设备位置、操作流程以及个人防护装备要求，所有这些都使得一线救援人员的任务变得复杂且耗时。

为解决此问题，欧盟新车安全评鉴协会根据国际消防救援服务协会的建议*(CTIF*)，引入了以下原则，以推行简洁且标准化的能源切断流程：

- 鼓励采用简单、安全的方案，覆盖所有可能的操作场景。
- 强烈建议采用自动能源切断方式。
- 在自动切断的情况下，确认能源已切断的状态指示器必须对一线救援人员清晰可见（例如展开的安全气囊、仪表盘警示灯……）。此信息也必须在救援卡的第 3 章中列出。



- 如需手动断电（在自动断电不可用或需要特定操作的情况下），必须能从车辆的两个不同区域进行操作断电。
- 切断能源装置操作时，所需个人防护装备不得超出消防员标准防护装备的范围。
- 救援卡（第3章）必须明确列出所有已解除的风险，包括高压电路、60V系统、12V电路及烟火装置。



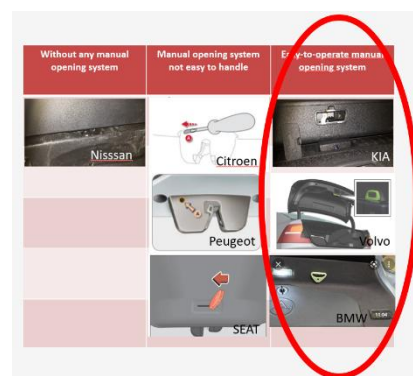
○ 尾门与后备厢：确保事故后更便捷地开启

尾门或后备厢通常是消防人员为了接近被困人员实施救援，或者是为了操作关键安全设备（例如电子插头或隔离回路）的关键通道。

然而，事故后的车辆状况可能导致这些部件难以被打开，尤其是那些仅依靠电动开启系统的车辆。

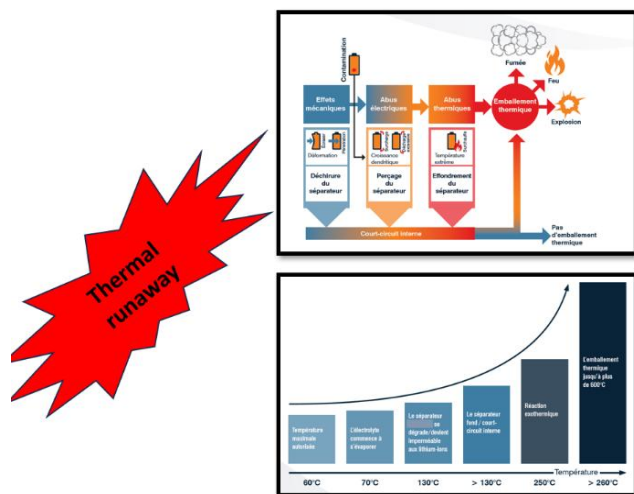
由于在救援行动中快速进入至关重要，欧盟新车安全评鉴协会决定推进车辆采用在碰撞后仍能快速、便捷开启尾门或后备厢的设计。

可通过两种方式实现：一是采用撞击后仍能正常运作的电动开启系统；二是配备手动车内释放装置，使消防员可从车内直接开启尾门或后备厢。



车辆火灾：关注电池热失控风险

- 热失控主要原因



起火原因与源头？

外部热源 / 内部短路* / 过充电 / 浸水

外部征兆？

火焰（喷射火舌）/ 烟气 / 爆裂声响

如何判断火情？

类似于可燃气体泄漏，可表现为燃烧或无明火状态，并伴随浓密烟气排放

需要记住的电芯临界温度：

130°C 至 180°C

需要记住的电芯临界温度：

130°C 至 180°C 之间（视所使用的技术而定）

* 撞击、缺陷、穿刺后.....

EDAI 数据

此类事件已识别的风险如下：

-  - 火焰（燃烧/蔓延）
 - 可能喷出融化的金属（比如是那种圆柱形的电芯）
 - 有时候可能存在非常快速的热失控反应
-  - 浓度高、毒性气体（例如一氧化碳、氟化氢）
-  - 在密闭空间（停车场或者车辆内部）看到可燃气体（氢气、甲烷等）的爆炸



需注意，当电池外壳为铝制时，熔融金属喷射物常来自该外壳。

“电芯碎片或火花产生的火箭效应”主要与圆柱形电芯相关，这类电芯常用于轻型电动代步设备，如踏板车和电动自行车。

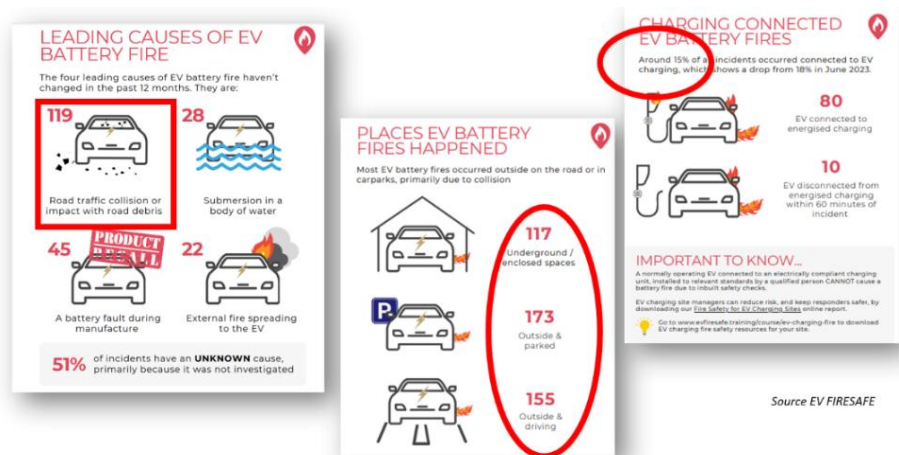
快速热失控是多样的，也是多方面造成的：如触发原因（外部热源、内部短路、过充等）、电池设计与架构、电芯化学特性以及荷电状态（SOC）。因此，过程可能非常缓慢，甚至几分钟之后才发现火焰；也可能极为迅速，仅在数秒内就发现了火焰。

热失控过程中产生的烟雾不仅浓密，而且有毒、易燃，给应急救援任务带来了巨大挑战——特别是在封闭空间内进行救援的时候。



大数据智能应用平台

事故数据的分析揭示了关于热失控发生条件的几个重要趋势：



- 与其他已明确的原因（如浸水、制造缺陷或暴露于外部热源）相比，因道路碰撞引发热失控的比例也很高。
- 大量热失控事故发生在封闭空间内。
- 据估计，在约15%的热失控事件中，车辆点火时正在充电。

- 热失控的操作层面

广泛的实验室测试、实际场地试验以及全球消防员的实战经验，为电池热失控积累了丰富的知识。

这些积累的数据现在能够帮助识别关键操作要素，用以指导应急救援部门制定应对策略。

需掌握的重点涉及热失控的发展与行为特征、灭火策略，以及应急响应人员面临的风险与安全考量等具体方面：

- 热失控的发展过程：

- 如上所述，热失控的动力学过程可能差异巨大。在某些情况下，火焰和烟雾几乎瞬间出现；而在另一些情况下，烟雾出现几分钟后火焰才被看到。

这种火焰出现的不可预测性，加之其爆发点的不确定性以及突发性爆炸的潜在风险，对在车辆附近操作的救援人员构成了重大威胁。因此，任何在车辆附近的救援人员都必须采取防护措施以避免灼伤。此外，消防员在进行汽车破拆道路救援操作时，必须预见随时可能发生的热失控并为之做好准备。



- 电池热失控在自由燃烧（即未进行任何灭火或冷却操作）状态下的**平均持续时间约为30分钟**，极少超过一小时。这一参数对于制定救援方案至关重要，尤其是决定是采取主动进攻，还是采用与电池直接接触的灭火技术（例如电池穿孔法）。

此类救援方案必须始终基于对风险与救援效益的细致评估。

- **没有可见火焰**的热失控（仅表现为释放烟雾）在密闭或封闭环境中会带来显著的**爆炸风险**。在此阶段，受热电池会释放易燃气体，主要是甲烷（ CH_4 ）和氢气（ H_2 ）。当这些气体在封闭空间内（如车库、地下停车场或车辆搁置空间）积聚时，可能形成易爆环境。在此类情况下，尤其是在没有引燃的情况下，其情况等同于未引燃可燃气体泄漏环境。



- 发生热失控的电池可能在初次事件**数小时甚至数天后复燃**。因此，在宣布救援结束前，必须确认无残余热源。如果条件允许，应使用**热成像仪**进行检测，以便精确探测电池模组内的余热。此外，也可考虑使用**一氧化碳（CO）探测器**。

同时向执法部门以及任何救援抢修或拖车服务机构通报涉事车辆类型（电动、混动或氢能）及事故背景（热失控可能引发复燃风险）也至关重要。

- **电池复燃**较为常见，在记录在案的案例中约占13%（数据来源：EV Firesafe）。
- **复燃**最常发生在**车辆或电池被移动后**，例如在路边抢修或事故后拖车过程中。这一现象的发生通常有几种起因，如受损电芯与相邻电芯、电芯与车辆结构内金属部件之间的电接触（如先前发生热失控或道路碰撞后的机械冲击），抑或电芯与水接触（例如使用灭火水后水分渗入）。在这些情况下，电芯间的接触或电芯与水的相互作用可能会造成短路，从而引发二次加热，并可能再次导致热失控事件。



- 灭火及冷却

- 所有现有测试及操作反馈均一致证明了**水作为灭火剂在电池热失控情况下的有效性**。**水在抑制热传导方面也非常有效（通过冷却）**，有助于限制相邻电池模组或邻近车辆之间的连锁反应。

- 然而，尽管水是极佳的灭火介质，但**将其直接注入电池壳体内部**仍然极其困难（如果有可能的话）。

这是因为大多数高压电池外壳采用紧凑、密封且加固的设计。这类外壳通常具备防水功能且结构与车辆底盘一体化，应急救援人员难以触及（例如电动汽车的底板下方电池或电动客车的车顶电池包）。

- 在灭火操作过程中，消防员应利用**电池外壳上任何易熔或薄弱部位**，以提高灭火水的渗透效果。

潜在的接入点包括：线缆出口、因高温产生的开口或变形，以及外壳的破损处，尤其是当外壳为铝制时（熔点约660℃）。

对于钢制外壳，**受热引起的热变形**也可产生有效开口，使水或冷却剂更接近受影响的电芯。

同样的原理也适用于轻型电动代步设备（如电动踏板车和电动自行车），其塑料电池外壳通常更容易熔化，从而可以更快地接触到电芯进行灭火或冷却操作。

- 目前所有测试均表明，在电池火灾的**灭火阶段**，消防员不存在**电气危险**。然而，在**清理残骸和火场检修阶段**情况则有所不同。

在此阶段，必须**严格避免任何与电气部件的接触**，因为尽管明火已看似熄灭，但残余电能可能仍然存在。

- 电池热失控过程中产生的**烟雾浓密、有毒且易燃**，会显著降低能见度，并阻碍人员进入封闭空间。这些特性使得灭火和救援行动对应急救援人员而言极具挑战性与危险性。



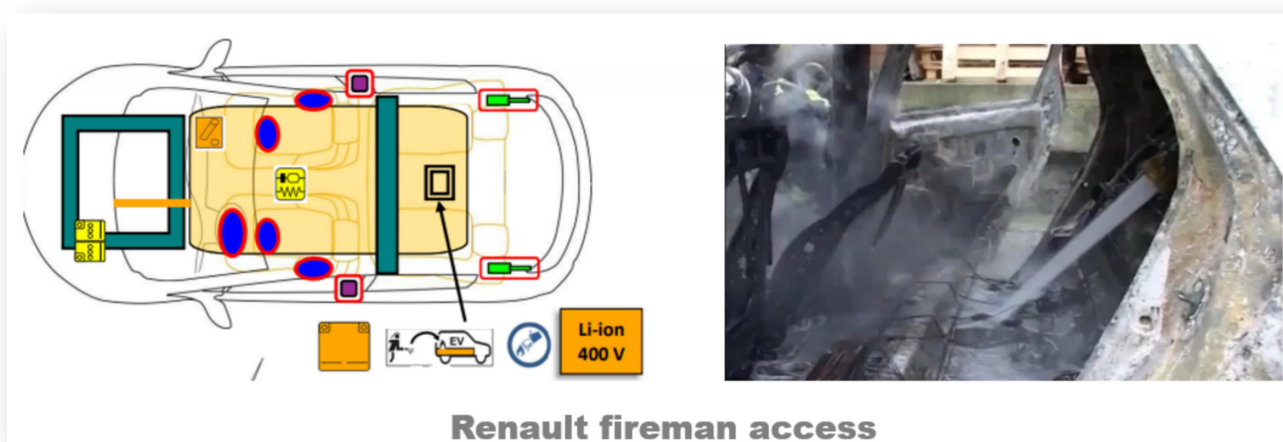
- 救援人员面临的风险

- 由于热失控过程中产生的烟雾具有毒性【尤其是含有氟化氢(HF)和一氧化碳(CO)】，必须确保救援人员配有针对有毒物质暴露环境下的强化防护装备（配备适当的个人防护装备，包括呼吸防护装置）。
- 由于热失控过程中产生的烟雾具有易燃性（尤其是含有氢气（H₂）和甲烷（CH₄）），**必须加强人员的防爆防护，特别是在车辆周围作业、在密闭空间内操作或使用隔热毯时。**
- 由于热失控过程中可能发生爆燃和熔融金属飞溅，需要加强对救援人员（尤其是直接接触车辆作业的人员）的热风险防护。
- 由于热失控过程中可能出现圆柱形电芯飞落的情况（虽然这在电动汽车中不常见，但在电动自行车/踏板车情况下较为常见），需要加强对救援人员的机械风险防护。

- 应急救援可用的安全装置

虽然车辆制造商已通过提供电气隔离装置（如隔离回路、12伏保险和电子插头）来对应应急响应人员的电气风险管控，但对电池热失控问题尚未给予同等程度的重视。

不过，部分电动汽车现已配备“消防员通道”装置，该装置集成在电池壳体上，可使应急救援部门直接将水注入电池内部，以协助进行冷却和灭火作业。



Renault fireman access

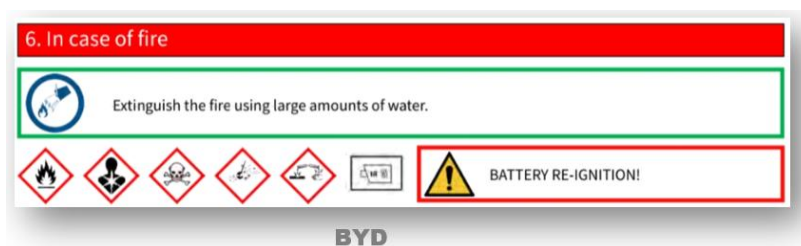
-车辆制造商的说明

汽车品牌制造商关于电动汽车火灾风险的说明，详见救援卡第6章。

6. In case of fire

6.如果发生火灾

这些说明中鲜少包含具体的操作建议，通常侧重于关于电池复燃风险以及使用热成像仪监测潜在热点的通用性建议。



-全球范围内开发的主要技术

基于前文总结的关于电池热失控特性的认知，许多消防救援机构以及私营公司已开发出基于不同理念的技术方案。

我们将介绍三种主要方法：

- 车辆浸没法；
- 穿刺电池外壳注水灭火法；
- 使用隔热毯法；

同时概述每种方法的制约因素、使用限制及局限性。

对上述技术的介绍，在任何情况下都不构成对其适用性或有效性的确认。

▪ 车辆浸没法：

浸没电池是控制热失控最有效的方法之一。

虽然这种方法易于应用于独立的电池，但当电池包集成在车辆内部时，其实施就变得复杂得多。尽管如此，部分消防救援机构已将这一原理应用于电动汽车。



为实现这一目标，他们采用浸没设备，这些设备或根据需要现场临时搭建，或作为操作资源预先准备，亦或通过与外部机构合作获得（例如配备隔离容器或浸没容器的拖车公司）。



关于车辆浸没法的说明:

- 除浸没容器外，浸没操作通常还需要额外的设备，如起重或牵引工具。因此，车辆的浸没是一项**复杂的操作**，需要周密的规划、协调和充足的资源。
- 任何需要**救援人员直接接触**车辆的浸没操作，都必须在**无火焰**的情况下进行。这一操作限制意味着，救援行动必须根据具体阶段谨慎选择时机。

实施任何浸没技法，都必须满足以下操作条件之一：

- 操作应该在热失控循环的无火焰阶段进行，通常是在低动能热失控的早期阶段。
- 用传统灭火方法（例如水带）进行初步进攻式灭火，以减轻或消除热失控的热效应。
- 操作在热失控循环结束后进行，即当热活性已显著减弱或停止时。

考虑到应急救援部门的响应时间，第一种情景（在热失控刚刚开始、无可见火焰时进行干预）在实际情况下极为罕见。

- 浸没容器内**车辆的后期管理**可能面临重大挑战，包括运输物流、储存地点和搬运处理。
- **浸没容器中水的处理**也可能面临挑战，包括需要由专业公司进行处理、处置物流及相关经济成本。
- 车辆浸没法技术的应用通常仅限于**轻型电动代步设备**（如电动摩托车和自行车）及**乘用车**，不适用于卡车、客车或重型商用车等大型车辆。



- 将**电池浸没在容器中的有效性**取决于水能否渗透电池外壳。**电池的结构**（包含一个或多个模组）和/或**其损坏程度**（例如铝制外壳是否完好或已损坏）或**变形情况**（例如钢制外壳是否完好或已变形）将是影响这种有效性的关键因素。

如果不具备一个或多个上述有利条件，浸没法可能效果不佳，可能需要数日甚至数周时间。

- 对正在发生或已发生热失控的**车辆或电池进行浸没处理**，并不能保证车辆从容器中取出后**不会再复燃**。

复燃通常发生在车辆被移动后（例如在拖车或抢修作业期间）。这些移动可能导致损坏的电芯相互接触和/或与外壳内残留的水分接触，从而引发新的内部短路。

只有将所有电芯完全浸没才能有效防止此现象发生。

然而，在热失控发生后，电池外壳很少能保持密封—极端高温（尤其是下壳机械穿孔）造成的变形或损坏会破坏其完整性，使得完全浸没难以实现。



■ 穿孔注水灭火法:

鉴于水是一种有效的灭火和冷却剂，但难以注入密封的电池外壳中，目前已开发出多种电池穿孔工具，以便于进行定向注水。

部分采用手动操作，另一些则使用机械化系统，可实现电池外壳的可控穿孔。

主要的有：



COBRA ColdCut

<https://www.coldcutsystems.com/handling-of-lithium-ion-fires/>



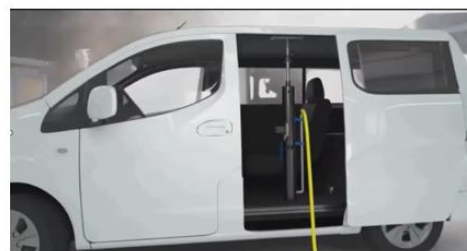
Murer

https://www.murer-feuerschutz.de/e-loeschlanze/index_en.php



Rosenbauer

<https://www.rosenbauer.com/en/products/fire-fighting-systems-and-body-components/rfc-battery-extinguishing-system>



AVL Stingray One

<https://www.avl.com/en/testing-solutions/e-mobility-testing/battery-testing/avl-stingray-one>



工具	穿孔方式	穿孔动力	主穿孔区域	使用灵活性	准备阶段救援人员接触情况	穿孔阶段救援人员接触情况	灭火阶段救援人员接触情况
COBRA ColdCut	高压水	液压	顶部				
AVL Stingray One	刚性冲头	气动	顶部				
Murer	刚性冲头	手动	顶部				
Rosenbauer	刚性冲头	气动	底部				

穿孔方法说明:

- 考虑到相关电池的容量（可达100千瓦时）及由此产生的电气风险，**必须与具体穿孔工具的制造商确认**，无论天气状况如何（雨、雪、雾），**救援人员均不会面临电气危险**。
- 还需确定这些工具能**发挥效用的操作场景**（电动汽车、电动客车、电动卡车、独立电池等）。
- 与浸没法相同，穿孔技术的使用涉及**救援人员**在设备安装期间，以及某些情况下在整个穿孔或灭火阶段，**与车辆进行物理接触**。这要求车辆周围**完全无火焰**。这一操作限制意味着，救援行动必须根据热失控的某些特定阶段谨慎选择时机（参见前文）。
- **在救援人员与车辆存在直接接触的所有作业阶段**，均必须采取**人员水压防护措施**（例如持续布设防护水幕），防范突发引燃或爆燃，确保人员安全。
- **对电池外壳进行穿孔**，尤其是使用刚性或机械冲头时，可能**触发热失控**。
- **根据电池结构**（多个模组）和/或**车辆配置**（多个电池包）的不同，可能需要在**多个位置进行穿孔**，以确保水能有效渗透并灭火。
- 专为从**底盘下方**穿刺电池而设计的工具，可能因轮胎爆裂而严重受限——这是车辆严重起火时的常见后果。

当轮胎爆裂时，车辆通常会直接坠地（部分高底盘的运动型多功能车除外），导致**底盘与地面接触**，工具无法在车底使用。

- 向正处于热失控状态的**电池外壳内注水**，并不能保证之后不会发生复燃。

如前文浸没法部分所述，这些复燃现象通常发生在车辆被移动或移位之后。

- **超高压设备（UHD）**技术的缺点是大量有害物质会残留在灭火过程的水中。测量结果显示，与其他灭火方法相比，**超高压设备方法**可能从电池中**释放出更多的有害物质**，主要包括钴、镍等重金属。



■ 使用隔热毯法:

使用隔热毯并非扑灭热失控的方法，但可应用于已受热失控影响的车辆，或存在风险的邻近车辆。

对于第一种情况（车辆已发生热失控），使用隔热毯的目的是降低热量和烟雾的影响，以实现以下效果：

- 避免连锁反应
- 和/或改善封闭空间内的能见度
- 和/或方便在车辆附近安全部署额外资源。



在第二种情况下，其目标将是保护靠近燃烧车辆的车辆。



关于隔热毯法的说明:

- 当用于已发生热失控的车辆时，若处于封闭空间内或车辆附近存在障碍物（如其他车辆、建筑物或碎片）时，该操作可能很困难甚至无法进行。隔热毯的有效性取决于其能否完全覆盖车辆，这需要车辆周围有足够的间隙和地面空间以便正确铺开。
- 该隔热毯用于起火车辆场景时，主要作用是**管控烟气与高温热气流**，**保护现场周边及邻近环境**免受热辐射与烟雾的影响。
- 当用于已发生热失控的车辆时，事件中**释放的易燃气体**与某些类型的毯子材料相结合，可在覆盖物下方或在其移除过程中**引发爆炸现象**。*
- 在“用于邻近车辆”的场景下，**隔热毯为车辆提供有效保护**，有助于防止因附近燃烧车辆的热传递或热失控而造成的连锁反应。

* <https://www.evfiresafe.com/post/ev-fire-blanket-explosion>



- 使用传统消防资源管控热失控

当使用传统消防资源（如水带）扑救电动汽车火灾时，必须采用明确的**操作策略**，并充分考虑上述标准及观察结果。

该策略必须同时采取针对相关人员的防护措施，以防范之前提到的热辐射、毒性、爆炸及电气等风险。

应考虑两种主要场景，每种场景均有其特定目标：

两种情况



电动汽车火灾，未发生电池热失控

目标：阻止热失控发生

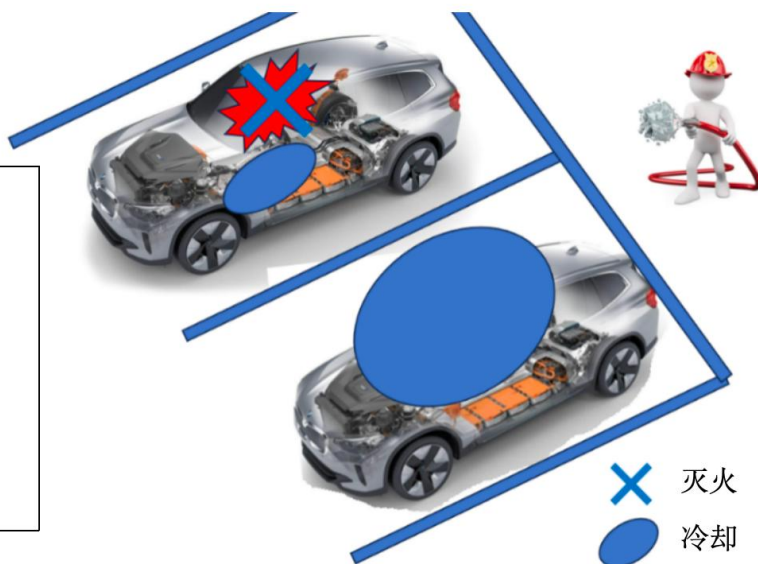


电动汽车火灾，已发生电池热失控

目标：尝试扑灭热失控，并防止火势蔓延

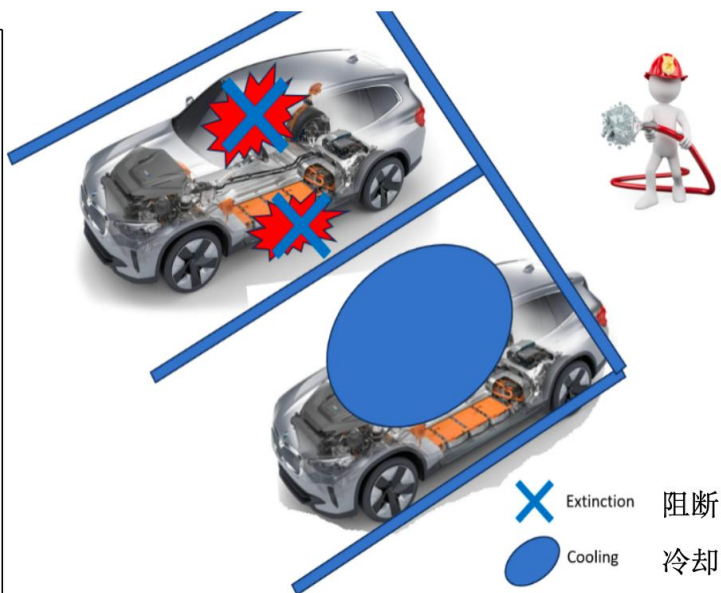
在第一种情况下（电动汽车起火但未发生热失控），必须采取以下措施：

- 保护救援人员的安全（呼吸防护装备）
- 保护环境（人员和物品）
- 扑灭车辆火灾
- 预防热失控（冷却电池）
- 阻止热传导引起的各类蔓延，引起连锁反应（冷却车辆、冷却电池）

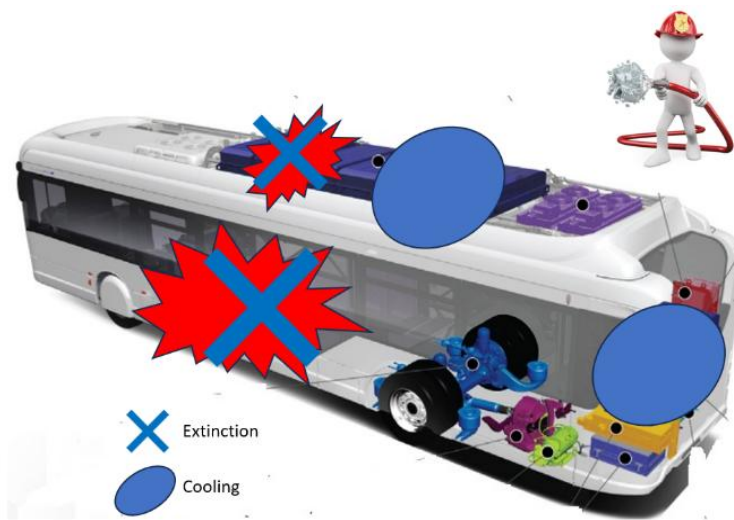


在第二种情况下（电动汽车起火伴随热失控），必须采取以下措施：

- 保护救援人员的安全（呼吸防护装备）
- 保护环境（人员和物品）
- 扑灭车辆火灾
- 阻断热失控（如果方式有效）
- 如果灭火过程无效，停止操作，执行任其燃烧策略
- 预防热失控（冷却电池）
- 特别注意**：如果热失控过程只有浓烟没有火焰，要考虑有可能发生**爆炸**的风险
- 考虑一切复燃的情况发生



例如电公交车



务必 在处置方案中纳入以下判定标准：

电池发生热失控后，自由燃烧状态下的燃烧时长约30分钟，极少超过1小时！

=> 资源投入与风险权衡 <=> 预期处置效果



在电动汽车灭火操作过程中，水枪手应严格遵守以下操作规范：

- 使用开花喷雾对车辆部位大流量射水，流量 125 升 / 分钟
- 通过电池壳体易熔部位直流射水，流量 125 升 / 分钟《火焰喷出位置，即为灭火注水可用切入点》
- 若处置无效 => 停止扑救热失控（可控燃烧）

做好现场防护，防止发生多米诺连锁效应。

实操经验：使用 2 支水枪（总水量 2500 升）持续灭火 10 分钟，仍无明显效果时，必须采用“可控燃烧”处置策略。



这种进攻性灭火方法的有效性可通过热成像仪进行监测，重点关注电池外壳。

关键指标是随时间推移的温度下降幅度（ ΔT° ），而非绝对温度本身。

为了解释本文关于热失控的个别观点，例如：动力学特性、演变过程、传统灭火方式等内容，特提供一段2024年5月在法国进行的测试视频供参考。



测试视频001



测试视频002

请关注“大新华救援”公众号观看视频和阅读中文注释

注意：视频结尾处使用的穿孔工具所进行的测试仅属于特定工具。由此设备获取的数据不能类推至所有类型的穿孔工具。



需要说明的具体情况:



电动汽车充电时起火

灭火程序仅在充电点电源已切断后使用

- 按下充电点上的紧急停止按钮
- 关闭总电源

如果电源未切断 → 仅进行环境保护



EDAI66



电动公交车起火

⚠ 注意车顶电池重量风险

整车起火时，电池包可能坍塌坠落。

需两支消防水带同步作业：

第一小组：处置车辆火情

第二小组：冷却电池，条件允许时灭火



EDAI66



氢燃料电池车辆起火

灭火处置流程：优先冷却氢气储气瓶

需两支消防水带同步开展作业：

第一小组：冷却氢气储气瓶

第二小组：扑灭车辆及高压动力电池火情



EDAI66



大数据智能应用平台

针对电动汽车的灭火策略可整合为更全面的车辆灭火策略，适用于所有能源类型车辆*（液化石油气、压缩天然气、液化天然气、氢气），并采用特定技术：

➤ 同时使用两根水带进行同步强力攻击，目标如下：

- 第1组：冷却能源装置（气罐/高压电池），以防止事态升级，延缓热扩散，并降低爆炸或热失控的风险。
- 第2组：扑灭车辆火灾

该技术的具体操作方式如下：



* 针对每种能源类型的特定要点的整体策略



— 应急救援服务的发展前瞻

○ 热失控：提升电池稳定性与事故后警报

电动汽车电池的热失控一直是全球消防救援部门关注的核心问题，尤其是在道路交通事故发生后。

为解决此问题，欧盟新车安全评鉴协会决定将以下标准纳入其测试规程中：

- 热失控发生后电池具备更高的稳定性：电池在发生热失控后，应维持稳定的热状态达规定时长（例如20、40或90分钟）。这种稳定性可确保应急救援部门能够安全介入，从而开展人员撤离和救援行动。
- 事故后热失控警报：发生交通事故时，一旦出现热失控现象，必须立即通知应急救援部门。

车辆仪表盘上专用的热失控指示器必须便于救援人员清晰识别，以确保在事故后操作中能够快速评估并安全救援。



○ 热失控：全方位检测与警报

电动汽车电池的热失控问题，如今已成为消防救援部门在所有操作场景（包括行驶、停放和充电状态）下的关键关注点。

这种扩展的认知凸显了持续监测与警报系统的必要性，以确保无论车辆处于何种运行状态，应急救援人员和车辆使用者都能得到及时通知。

为全面提升电动汽车在各类场景下的安全性，欧盟新车安全评鉴协会已将以下标准引入其测试规程：

- 在停放状态（无论是否充电）下，为确保热失控能及时检测到并尽快通知应急救援部门，车辆所有者将通过联网智能手机接收检测到的风险通知。在此情况下，还会触发声音和/或警示灯，以提醒车辆附近的人员注意。

