



全国汽车标准化技术委员会

National Technical Committee of Auto Standardization

**电动汽车消防安全测试标准
领航项目研究报告**

全国汽车标准化技术委员会

电动车辆分技术委员会

2026 年 3 月

前言

当前，交通领域的低碳化转型正在重塑全球汽车产业格局。我国新能源汽车产业经过多年发展，已经从导入培育阶段逐步走向大规模市场化应用阶段。2025 年，我国新能源汽车产销量分别完成 1662.6 万辆和 1649 万辆，国内新能源汽车销量占国内汽车总销量的比例达到 50.8%，显示出新能源汽车在我国新车消费结构中的地位不断提升。但近年来电动汽车火灾事故频繁发生，对人员生命财产安全带来危害，影响了消费者的购买信心，威胁到电动汽车可持续健康发展。

本项目旨在通过测评电动汽车热事件主动防护功能、被动防护能力、以及车辆起火后的应急消防处置方式等，全面提高电动汽车消防安全能力。首先从车辆端主动感知功能进行验证，包括车辆热事件预警功能、车辆与监控平台联动功能、车辆与消防应急力量的联动功能等。其次从车辆端被动防护能力进行验证，如车辆热扩散防护能力，基于车辆实际测试过程中电池包内部、乘员仓内部及车辆所处环境中所涉及的各类参数包含温度、温升速率、电压、气体成分、气体浓度、气体燃爆极限等，评估车辆对人员及车辆所处环境的危害，如车辆起火将车辆燃烧后的热释放量进行综合考量。进一步地，探究电动汽车着火后科学的应急处置方法，如车辆如何冷却、转运等；合理有效的人员防护措施，如车内需要配备的必要的人员防护用品等。此项目为后续标准化工作的开展奠定基础，以标准化为核心保障电动汽车产业可持续健康发展。

项目牵头单位：中汽研新能源汽车检验中心（天津）有限公司

项目参与单位：中国汽车技术研究中心有限公司

主要编写人：姜成龙、陈文涛、马彪、刘磊、郝维健、张晋杰、李丹华、于东兴、段强领、赵利宏、于洋、史书恒。

目录

- 1 背景及意义3
- 2 国内外研究现状4
 - 2.1 相关标准研究现状4
 - 2.1.1 国际标准现状4
 - 2.1.2 国内标准现状5
 - 2.2 研究方法6
 - 2.2.1 试验验证法6
 - 2.2.2 仿真分析法6
 - 2.2.3 综合评价法7
- 3 研究方案8
 - 3.1 研究方法8
 - 3.1.1 整车火灾事故安全防护验证8
 - 3.1.2 次生危害控制能力测评10
 - 3.1.3 多场景、多工况耦合火灾事故安全防护验证 11
 - 3.2 研究对象 12
 - 3.3 研究目标 12
- 4 实施过程13
 - 4.1 整体数据统计 13
 - 4.1.1 试验车型统计 13
 - 4.1.2 报警时间统计 13
 - 4.2 整车针刺热扩散 14
 - 4.2.1 车型 1 结果 14
 - 4.3 整车加热热扩散 17
 - 4.3.1 整车加热热扩散未起火案例 17
 - 4.3.2 整车加热热扩散起火案例 19
- 5 结论 21

1 背景及意义

在全球应对气候变化、推动能源结构转型的大背景下，新能源汽车产业已成为各国战略性新兴产业的核心领域。我国自“十二五”以来，通过政策引导与市场驱动，实现了新能源汽车产销量的持续高速增长。截至 2025 年底，全国新能源汽车保有量已突破 3000 万辆，占汽车总保有量的比重逐年提升。动力蓄电池系统作为新能源汽车的“心脏”，其安全性直接关系到车辆的可靠运行和乘员的生命安全。

近年来，随着电池能量密度的不断提升和整车轻量化需求的增加，动力电池系统的热安全管理面临严峻挑战。电池热失控引发的火灾事故时有发生，不仅造成财产损失，更对公共安全构成威胁，严重影响了消费者对新能源汽车的信心。据统计，2023 年至 2025 年间，国内报道的新能源汽车火灾事故年均超过 300 起，其中因电池系统热失控引发的事故占比超过 60 %。事故原因涉及电池内部短路、机械损伤、过充过放、外部高温等多种因素，且往往在短时间内迅速蔓延，留给乘员的逃生时间极为有限。

当前，国内外虽已出台多项与动力电池安全相关的标准，如 GB 38031-2025《电动汽车用动力蓄电池安全要求》、ISO 6469 系列《电动道路车辆安全要求》等，但这些标准主要聚焦于电池单体或模组层级的热扩散测试，要求电池系统在发生热失控后 5 分钟内不起火、不爆炸，并发出报警信号。然而，实际事故中，电池包往往并非孤立存在，其热失控后的高温烟气、有毒气体、火焰蔓延等会迅速侵入乘员舱，对乘员造成窒息、中毒、烧伤等二次伤害。同时，车门解锁、车窗升降、应急通讯等逃生救援功能的完好性，直接决定了乘员能否及时撤离。因此，仅依靠部件级的热扩散测试已无法全面评估整车在实际火灾场景下的安全性能。

此外，新能源汽车的使用环境复杂多变，涉及高温、涉水、底部刮碰等多种工况，这些工况可能诱发或加剧电池热失控。例如，夏季高温环境下电池内部反应活性增加，热失控触发温度降低；涉水后电池包密封性下降，可能导致绝缘失效或内部短路；底部刮碰则可能直接造成电池机械损伤，引发内短路。现有标准体系中对这些多场景耦合工况下的火灾安全性能评价尚属空白，无法为企业产品开发、政府监管及消费者选型提供全面依据。

在此背景下，制定一套系统、科学、可操作的《新能源汽车火灾安全技术评价》标准具有重要的理论价值与现实意义。本标准旨在：

- ① 填补整车层级火灾安全评价的空白，从乘员安全防护、逃生救援能力、次生危害控制等角度，构建完整的火灾安全技术评价体系；
- ② 贴近真实使用场景，引入刮底、高温、涉水、低压电源失控等多场景耦合工况，使评

价结果更具现实指导意义；

③ 统一测试方法与评价指标，规范传感器布置、数据采集、判定阈值等关键环节，确保测试结果的可比性和可重复性；

④ 支撑产业高质量发展，为企业优化产品设计、提升火灾安全性能提供技术指引，为政府监管提供科学依据，为消费者选车提供参考标准。

本标准的研究与制定，将有力推动我国新能源汽车火灾安全技术水平的提升，助力构建安全、绿色、可持续的交通体系，为实现“双碳”目标贡献力量。

2 国内外研究现状

2.1 相关标准研究现状

动力电池安全性能的评价一直是国际标准化组织关注的焦点。随着电动汽车产业的快速发展，各国纷纷出台或修订相关标准，逐步形成了覆盖电池单体、模组、系统及整车层级的安全标准体系。

2.1.1 国际标准现状

在国际层面，国际标准化组织（ISO）、国际电工委员会（IEC）、联合国欧洲经济委员会（UNECE）等机构制定了一系列涉及动力电池安全标准。

ISO 6469 系列标准是电动道路车辆安全领域的核心标准，共分为三个部分：ISO 6469-1《车载可充电储能系统（RESS）》、ISO 6469-2《操作安全与故障防护》、ISO 6469-3《人员电击防护》。该系列标准对电池系统的电压、绝缘电阻、过流保护等提出了要求，但未涉及热失控后的火灾安全性能。

IEC 62660 系列标准聚焦于锂离子电池单体、模组和系统的性能与安全性测试，包括 IEC 62660-1《性能测试》、IEC 62660-2《可靠性测试》、IEC 62660-3《安全性要求》。其中 IEC 62660-3 规定了针刺、挤压、过充等滥用试验方法，但测试对象仅限于电池单体或模组，未扩展至整车层级。

UN GTR No.20（全球技术法规第 20 号）《电动汽车全球技术法规》是联合国框架下制定的统一技术法规，涵盖电动汽车的噪声、安全、排放等方面。其中关于动力电池安全的要求主要参考了 ISO 12405 系列标准，规定了电池包在机械冲击、振动、热循环等条件下的安全性能，但对热失控后的整车防护能力未作详细规定。

近年来，国际标准化组织开始关注电池热扩散及火灾安全评价。ISO/AWI TS 25344《道路

车辆—动力电池热管理系统性能评价方法》已启动立项，旨在确立全球统一的动力电池热管理系统性能评价方法，其中涉及热失控条件下的热管理能力测试。此外，ISO 19453 系列标准对电动汽车驱动系统电气设备的环境条件进行了规定，间接为电池热安全测试提供了环境参数依据。

总体而言，国际标准在电池安全领域已形成较为完整的基础框架，但仍存在以下不足：一是评价对象多集中在部件层级，对整车在真实火灾场景下的综合性能评估不足；二是热扩散测试方法较为单一，缺乏对多场景耦合工况的考量；三是评价指标多聚焦于“不起火、不爆炸”，对乘员防护、逃生救援等性能关注不够。

2.1.2 国内标准现状

我国动力电池安全标准体系建设起步较早，目前已形成以 GB 38031 为核心、多项配套标准为支撑的较为完善的标准体系。

GB 38031-2025《电动汽车用动力蓄电池安全要求》是我国动力电池安全领域最重要的强制性国家标准，于 2025 年正式实施。该标准在 GB 38031-2020 基础上进行了全面升级，增加了电池包及系统热扩散测试要求，规定电池单体发生热失控后，电池系统应在 5 分钟内不起火、不爆炸，并向乘员发出报警信号。此外，该标准还明确了针刺、过充、短路等触发方式的技术参数，为热扩散测试提供了统一方法。然而，GB 38031-2025 的测试对象仍限于电池包或系统，未扩展至整车；报警信号的判定仅限于信号发出与否，未对报警信息的交互能力、乘员舱内烟气浓度等提出要求。

GB/T 31485-2015《电动汽车用动力蓄电池安全要求及试验方法》规定了电池单体、模组在过充、过放、短路、挤压、针刺等条件下的安全要求，是目前电池安全测试的基础标准之一。但该标准同样未涉及整车层级。

GB/T 31467.3-2015《电动汽车用锂离子动力蓄电池包和系统 第 3 部分：安全性要求与测试方法》对电池包和系统的振动、机械冲击、跌落、翻转、模拟碰撞等机械安全性提出了要求，但未涵盖热失控后的火灾安全性能。

GB/T 2423 系列标准（电工电子产品环境试验）为电池测试提供了环境条件与试验方法，如交变湿热、盐雾、振动等，可作为火灾安全测试的前置工况参考。

在行业标准层面，中国汽车技术研究中心有限公司（CATARC）近年来发布了多项团体标准，如 T/CATARC 0502-2025《整车底部安全防护验证》、T/CATARC 0525-2025《整车夏季涉水安全专项验证》，分别针对底部刮碰、涉水等工况提出了测试方法，为多场景耦合工况验证提供了技术基础。

综上所述，我国动力电池安全标准体系已初具规模，但现有标准多聚焦于部件层级，对整车火灾安全性能的系统性评价仍有待完善。特别是在乘员防护、烟气毒性、逃生救援能力等方面，尚无统一的评价方法与判定指标。本标准正是在这一背景下提出，旨在填补相关空白。

2.2 研究方法

新能源汽车火灾安全评价的研究方法主要分为试验验证法、仿真分析法以及综合评价法三类。

2.2.1 试验验证法

试验验证法是最传统也是最常用的评价手段，通过在实验室或实车环境下模拟电池热失控、火灾蔓延等过程，直接获取车辆的安全性能数据。根据试验对象的不同，可分为部件级测试和整车级测试。

部件级测试：以电池单体、模组或电池包为对象，采用针刺、过充、加热、挤压等方式触发单体热失控，观察热扩散过程及电池包整体安全状态。GB 38031-2025 附录 C 推荐了针刺、过充、加热三种热失控触发方法，并规定了温度传感器布置位置、数据采集间隔等要求。部件级测试的优点是成本较低、周期较短、可重复性强，但无法反映整车结构对火灾蔓延的阻隔作用以及乘员舱内环境变化。

整车级测试：将完整车辆置于专用火灾试验室，通过外部加热、针刺等手段触发热失控，监测乘员舱内温度、烟气浓度、报警信号、车门解锁等参数。整车级测试更贴近真实事故场景，能够全面评估乘员安全防护和逃生救援能力。但整车测试成本高昂、试验周期长、安全风险大，且受车辆状态、环境条件等因素影响较大，测试结果的重复性较难保证。

近年来，国内外研究机构逐步探索将部件级测试与整车级测试相结合，通过部件级测试获取电池热失控特性参数，输入整车仿真模型，再通过少量整车试验进行验证，形成“部件测试+仿真+整车验证”的技术路线。

2.2.2 仿真分析法

仿真分析法借助计算流体力学（CFD）、有限元分析（FEA）、系统动力学等数值模拟方法，构建电池热失控、火灾蔓延、烟气扩散等过程的数学物理模型，通过计算机仿真获取火灾安全性能指标。

电池热失控仿真：基于电化学-热耦合模型，模拟电池单体在滥用条件下的热失控触发过程，预测电池温度、电压、产气速率等参数变化。常用的仿真软件包括 ANSYS Fluent、COMSOL

Multiphysics、Abaqus 等。目前，热失控仿真已能够较好地复现单体层级的温度变化，但对热扩散过程的模拟精度仍有待提高，特别是在考虑电池包内部结构、冷却系统、隔热材料等因素时，模型复杂度大幅增加。

火灾蔓延与烟气扩散仿真：采用 CFD 方法，模拟火灾发生后火焰传播、热辐射、烟气扩散等过程，预测乘员舱内温度场、烟气浓度场、能见度等参数。常用的仿真工具包括 Fire Dynamics Simulator（FDS）、ANSYS CFX 等。该类仿真可为传感器布置、逃生路径优化等提供参考，但需要准确的边界条件和材料参数作为输入，且计算量较大。

结构力学仿真：用于模拟车辆在刮底、碰撞等机械滥用工况下的结构变形，评估电池包受力情况，预测电芯变形及内短路风险。常用的软件包括 LS-DYNA、Pam-Crash 等。机械滥用与热失控的耦合仿真仍是当前研究的热点与难点，涉及多物理场耦合、多时间尺度等挑战。

仿真分析法的优点在于成本低、参数可调、工况覆盖范围广，可用于前期设计优化和后期事故复现。但其预测精度高度依赖模型假设、输入参数准确性以及边界条件的合理性，仍需通过试验数据进行标定和验证。

2.2.3 综合评价法

综合评价法是将试验验证与仿真分析相结合，构建多层次、多维度的火灾安全评价体系。其核心思想是：以试验数据为基础，校准和验证仿真模型；利用仿真模型拓展工况范围，预测不同场景下的安全性能；最终通过多指标加权评分，形成综合性的火灾安全评价结论。

本标准采用的即为综合评价法，具体体现为：

- ① 以整车级火灾事故安全防护验证为主体，通过实车试验获取车辆在热失控后的报警、防护、逃生等核心性能数据；
- ② 设置次生危害控制能力测评作为能力提升项，通过热通量、烟气、爆炸等参数测试，评估车辆起火后对周边环境的影响；
- ③ 引入刮底、高温、涉水、低压电源失控等多场景耦合工况，通过“前置工况+热扩散试验”的串行验证方式，模拟真实使用场景下的火灾安全性能；
- ④ 制定统一的评分标准，将各项测试结果转化为可量化的得分，最终形成整车火灾安全技术评价等级。

综合评价法既发挥了试验验证的真实性优势，又借助仿真分析拓展了工况覆盖范围，同时通过量化评分实现了评价结果的可比性和可解读性，是目前最具应用前景的火灾安全评价方法。

3 研究方案

3.1 研究方法

本标准的研究方法以整车火灾事故安全防护验证为核心，结合次生危害控制能力测评与多场景耦合工况验证，构建涵盖“触发—报警—防护—逃生—救援”全链条的火灾安全技术评价体系。具体研究方法如下：

3.1.1 整车火灾事故安全防护验证

整车火灾事故安全防护验证是本标准的核心内容，旨在复现极端工况下电池系统热扩散引发的整车起火情况，考察热失控发生后整车对乘员的警示、防护以及逃生或救援的综合能力。验证内容包括试验准备、试验方法、数据采集布置、安全预警能力测评、人员防护能力测评、应急救援及自救能力测评等。

3.1.1.1 试验准备

试验环境：为保证测试结果的稳定性和可比性，规定试验环境温度为 $22^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 10%~90%，大气压力为 86kPa~106kPa。环境温度对电池热失控行为有显著影响，因此严格限定温度范围。

试验场地及设备：测试应在专用的动力电池性能整车火灾事故试验室中进行。试验室应具备完善的排风系统（排风量 $\geq 60000\text{m}^3/\text{h}$ ）、烟气处理系统、污水处理能力、消防设施，且试验室与操控间应隔离，确保人员安全。试验室内风速应 $\leq 2.5\text{km/h}$ ，以减少气流对火灾蔓延的干扰。

主要测试设备需经计量认证，精度要求包括：数显温度表精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度精度 $\pm 2\%$ ；大气压力计精度 $\pm 1\%\text{FS}$ ；秒表精度 $\pm 0.1\text{s}$ ；电压、电流测量装置精度 $\pm 0.5\%\text{FS}$ ；气体浓度测量装置精度 $\pm 5\%\text{FS}$ 等。数据记录间隔应不大于 1s，以捕捉瞬态变化。

样品准备：正式测试前，需确认电池电子部件或控制单元处于正常工作状态。对于无前置试验的样品，应进行预处理：以不小于 1I_3 的电流充放电循环不超过 5 次，直至连续两次放电容量变化 $\leq 3\%$ ，取平均值作为实际容量；整车应按照制造商规定补电，确保 $\text{SOC}\geq 95\%$ 。对于混合动力车辆，燃料箱应保持约 1/2 油量；辅助蓄电池满电；档位置于 P 档；无故障报警；照明、空调等处于关闭状态；儿童锁解锁；座椅、方向盘、轮胎气压等调整至标准状态；车内不放置无关物品。

3.1.1.2 试验方法

热失控触发方式：推荐采用针刺方式触发单体热失控，相关参数为：刺针直径 6mm、圆锥

形针尖角度 60°、针刺速度 1mm/s、针刺方向垂直于极片。也可按照制造商推荐的其他方式进行触发。针刺位置应选择电池包内靠近中心或被其他单体包围的单体。

数据采集布置：在电池包、乘员舱、车外等部位布置温度传感器、气体传感器、摄像头、红外热像仪等，监测热失控发生前后关键参数变化。

电池包温度传感器：除 GB 38031-2025 规定的位置外，本标准增加触发单体正负极耳间、相邻单体、电池包总正负端子、泄压口、电池包底部等位置的监测点。

车内温度传感器：在前后排座椅头枕、靠背、座面、地板、空调出风口、方向盘、操控面板、门把手等处布置，监测可接触物表面温度。

车外温度传感器：在机舱盖、车门外把手、后备箱盖等处布置。

气体传感器：车内头枕、空调出风口等处布置，车外电池包泄压口、车门门框、距车 1m 四周等处布置，监测 O₂、CO₂、CO 等气体浓度。

摄像头：车内观察仪表盘、空调出风口、空间变化；车外四周 45°角 5m 距离、正前正后、电池包底部等视角。

红外热像仪：监测整车及电池包温度分布。

所有传感器均需在试验前进行功能验证，确保数据有效。

3.1.1.3 其他装置布置

布置车门开关功能验证装置、车窗开关功能验证装置，用于试验后检测功能是否完好。电安全监测方面，在电池包壳体、车壳与地之间布置电压采集点，测量残余电压。

3.1.1.4 安全预警能力测评

考核车辆在热失控事件中能否发出有效的警示信号，包括：

- ① 仪表盘示警情况：是否显示高温预警、热失控报警等信息；
- ② 提示音示警情况：是否发出蜂鸣、语音等提示；
- ③ E-CALL 示警沟通情况：是否自动触发紧急呼叫，并能与救援中心建立通话。

3.1.1.5 数据联通能力测评

考核报警信息与监控平台、手机 APP、电话等信息交互情况，包括：

- ① APP 信息、短信通知是否及时推送；

- ② 电话通知是否接通；
- ③ 企业监控平台是否收到预警并响应。

3.1.1.6 人员防护能力测评

- ① 生命安全防护能力：

绝缘性能：乘员及救援人员可接触位置残余电压 $\leq 60V$ ；

防火隔热：可接触物表面 30min 内最高温度 $\leq 50^{\circ}C$ ，超过 $50^{\circ}C$ 的累计时间作为评分依据；

烟气温度：热失控发生 15min 内烟气温度不超过 $50^{\circ}C$ ，超过时长与最高温度共同评价；

密封性能：15min 内 CO 浓度 $\leq 1700ppm$ ，CO₂浓度 $\leq 10000ppm$ ，O₂浓度 $\geq 14\%$ 。

- ② 热扩散管理能力：监测电芯最高温度、降温速率、电池包排气情况、热量隔离效果等。
- ③ 车辆其他软硬件功能：车门是否正常开启、车窗是否能从内部降下（含自动降窗）。

3.1.1.7 应急救援及自救能力测评

考核车辆是否配备破窗工具（冲击力 $\geq 1500N$ ）、防毒面罩等救援装备，并记录装备名称、类型及功能。

3.1.2 次生危害控制能力测评

为探究极端情况下车辆起火所产生的热量、烟气及燃爆风险及对周边环境的影响程度，本标准设置次生危害控制能力测评作为能力提升项。

热通量测试探头布置（在距车辆 1m 的前、后、左、右四个方向布置热通量探头，监测热辐射强度）；致灾风险系数（记录触发单体热失控温度、时间、热扩散单体数量）；爆燃危害性测评（总热释放量、最大热释放速率、总产热功率）；火焰次数、每次持续时间、火焰沿车体 X/Y/Z 方向喷射距离。烟气危害性测评（总烟气量、最大烟气产生速率）；有毒气体（CO、HF、HCl 等）实时浓度及总量；爆炸危害性测评；飞溅物位置及距离；可燃气体（H₂、CH₄、CO 等）实时浓度及总量；归一化后配置同等比例气体，测试常温及喷阀温度下的可燃气体爆燃下限及最大爆炸压力；测试常温下可燃气体最大燃烧速度。

次生危害测评结果不纳入基础评分，但可作为产品差异化竞争力的展示项。

3.1.3 多场景、多工况耦合火灾事故安全防护验证

为更贴近实际使用场景，本标准设置了四种典型耦合工况，采用“前置工况+热扩散试验”的串行验证方式。

3.1.3.1 刮底后热扩散工况

试验目的：模拟车辆底部发生刮碰后电池包受损，进而引发热失控的场景。刮底可能导致电池包壳体变形、电芯受损、密封失效，增加热失控风险。

试验方法：参考 NESTA-0502《整车底部安全防护验证》，使用 $\Phi 150\text{mm}$ 、45#钢实心半球工装，设定重叠切入量 $33\pm 3\text{mm}$ ，沿+X 方向以 $30\pm 1\text{km/h}$ 速度撞击电池包底部。撞击结束后观察 2h，随后进行气密性、绝缘电阻测试及 3D 形变扫描。若未起火、爆炸且电池包能正常工作，则按本标准进行热扩散试验。

3.1.3.2 高温下热扩散工况

试验目的：模拟夏季高温环境下电池热失控行为。高温会加速电池内部副反应，降低热失控触发阈值。

试验方法：试验开始前，使用外接水冷机（ 65°C ，流量与厂家协商）对电池包循环加热至少 4h，直至电芯最低温度 $> 60^{\circ}\text{C}$ 。随后按本标准进行热扩散试验。

3.1.3.3 涉水后热扩散工况

试验目的：模拟雨季或涉水后电池包进水，引发绝缘失效、内部短路，进而导致热失控的场景。

试验方法：参考 BESTA-0525《整车夏季涉水安全专项验证》中水下刮底或颠簸涉水验证测试，完成涉水前置工况后，检查电池包状态。若未起火、爆炸且能正常工作，则按本标准进行热扩散试验。

3.1.3.4 低压电源失控场景工况

试验目的：模拟低压蓄电池（12V/24V）热失控后对整车功能的影响。低压电源负责供电给门锁、警示灯、E-CALL 等关键部件，其失效可能导致逃生救援受阻。

试验方法：对低压蓄电池采用针刺或挤压方式触发热失控，参数参考 GB 38031-2025 针刺或挤压要求。针刺参数：钢针直径 3~8mm，圆锥形针尖 $20^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ，针刺速度 $0.1\sim 10\text{mm/s}$ ，直至热失控或刺入深度达 90%；挤压参数：挤压力 100kN 或变形量 30%，保持 10min。观察低压电源热失控后整车车门解锁、警示灯、E-CALL 等功能是否正常，以及热蔓延是否扩散至动力电

池系统。

3.2 研究对象

本标准的研究对象为新能源汽车整车，涵盖纯电动汽车、插电式混合动力汽车、增程式电动汽车等类型。试验样品需满足以下条件：

- ① 车辆状态完好，无故障报警，仪表显示正常；
- ② 动力电池系统 SOC $\geq$ 95%（有前置试验者需确保 SOC $\geq$ 95%）；
- ③ 辅助蓄电池满电；
- ④ 混合动力车辆燃油箱油量约为满油量的 1/2；
- ⑤ 档位置于 P 档；
- ⑥ 车辆照明、信号装置及其他辅助装备处于关闭状态，空调系统内循环且关闭；
- ⑦ 儿童锁解锁，座椅、方向盘、头枕处于标准位置；
- ⑧ 轮胎气压调整至制造商规定值或日常使用值；
- ⑨ 车内除必要传感器外，不放置任何非车辆自带物品；
- ⑩ 其余部件均保持出厂状态。

3.3 研究目标

本标准的研究目标如下：

- ① 构建覆盖整车层级、多场景耦合的新能源汽车火灾安全技术评价体系，填补国内外相关标准在整车火灾防护、乘员安全、逃生救援等方面的空白；
- ② 明确火灾事故中乘员安全防护的关键指标与判定阈值，包括报警信号有效性、可接触物表面温度、烟气浓度、残余电压、车门车窗功能等，为产品研发和测试提供量化依据；
- ③ 规范火灾安全测试的试验方法、传感器布置、数据采集及处理要求，确保测试结果的可比性、可重复性和可追溯性；
- ④ 引入次生危害控制能力测评，为评估车辆起火后对周边环境的影响提供技术手段，支撑城市公共安全管理和应急救援规划；
- ⑤ 通过多场景耦合工况验证，提升评价结果与实际使用场景的贴合度，为企业优化电池包结构设计、热管理系统、预警策略等提供指导；

⑥ 制定统一的评分标准，将各项测试结果转化为综合得分，形成直观的火灾安全技术评价等级，便于政府监管、企业自评和消费者选型参考。

4 实施过程

4.1 整体数据统计

4.1.1 试验车型统计

目前整车热扩散在测车型纯电（EV）以及插混（PHEV）占比基本一致，EV 车型占 46.67%，PHEV 车型占到 53.33%。在这些车型中，约有三分之二的车企选择使用针刺方式触发，其余采用加热方式。其中，约有 20%的车辆未触发单体发生热失控，均采用的是针刺方式，而使用加热方式的单体均能被触发。在这些车型里，只有一个样本发生了起火现象，其余车辆均能较好的控制热扩散的发生。

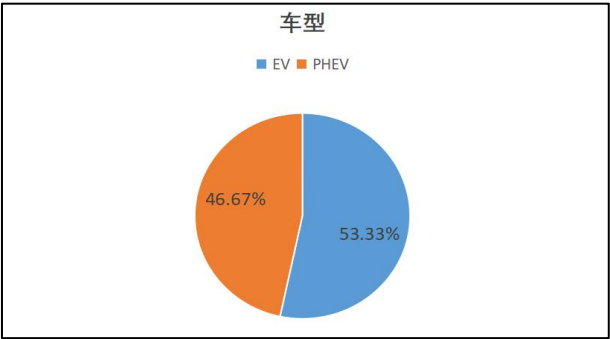


图 1 整车热扩散车型汇总

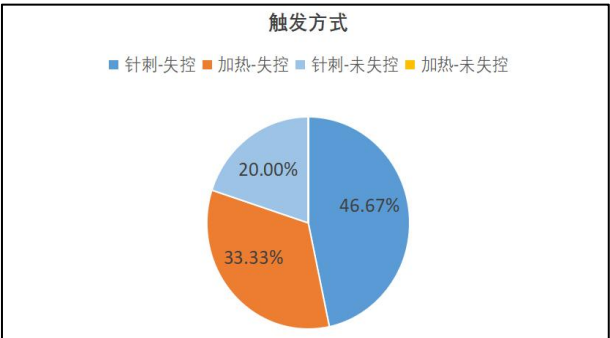


图 2 整车热扩散触发方式汇总

4.1.2 报警时间统计

在测试过程中，所有的车型均能通过仪表，声音等发出热失控的报警信号（包括起火的一个样本），提醒电池存在热失控危险。选取其中 16 个车型，其中针刺触发以及加热触发方式各 8 个，对其报警时间进行统计。在这里报警时间定义为从人为触发单体发生热失控，到车内接

收到热报警信号之间的时间。

具体时间如图 3 和图 4 所示，在针刺触发场景下，各车型报警时间存在差异，但都能在热失控发生的一分钟内发出信号。车型 4 表现出最长的报警延迟，约为 46 s，是所有测试车型中的峰值；车型 12、车型 16 的报警时间分别约为 31 s 和 25 s，同样存在较明显的延迟；其余车型（车型 1、7、9、6、10）的报警时间均控制在 10 s 以内，响应更为及时。

在加热触发场景下，报警时间呈现正负分化，车型 11 报警延迟最长，约为 49 s；车型 8、13、15 的报警时间分别约为 28 s、27 s、19 s，均存在不同程度的延迟；车型 2、3、5、14 的报警时间为负值，代表在人为触发热失控之前，系统已提前发出报警信号，其中车型 14 提前报警时间最长，约为 75 s，体现出优异的热失控预判能力。

这表明部分车型的加热触发报警系统具备提前预警的潜力，而另一部分车型仍存在报警滞后。

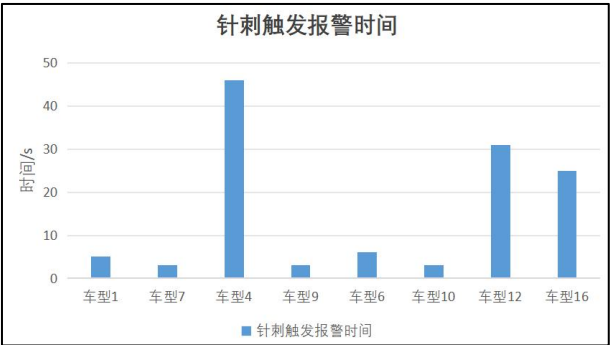


图 3 针刺触发报警时间

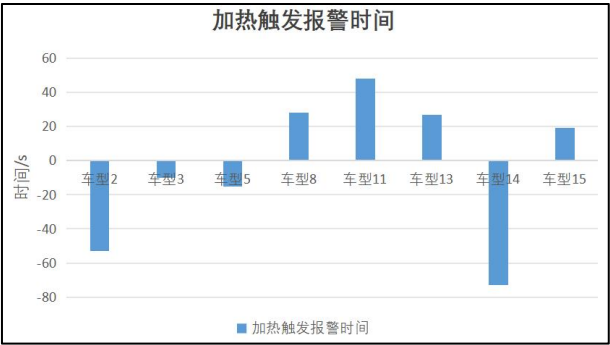


图 4 加热触发报警时间

4.2 整车针刺热扩散

4.2.1 车型 1 结果

选取车型 1 为整车针刺热扩散测试典型代表车型。

针刺条件：

- (a) 刺针材料：钢；
- (b) 刺针直径：5 mm；
- (c) 针尖形状：圆锥形，角度为 30° ；
- (d) 针刺速度：0.5 mm/s。

图 5 为针刺过程针的温度变化曲线，随着针刺进行，电池发生热失控现象，针的温度也随之直线升高。

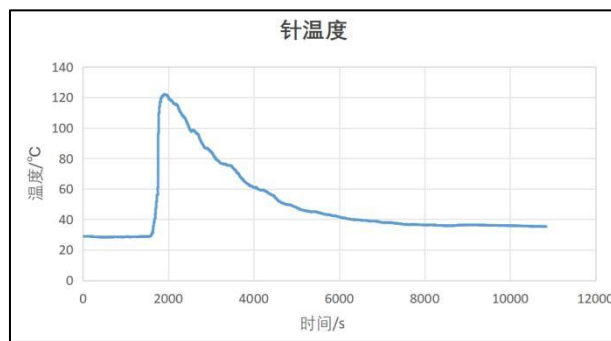


图 5 针刺过程针温度曲线

如图 6 所示，热失控时电池产气和电解液的混合物从防爆阀排出，热失控后 5s，车内仪表盘提供热失控报警信号同时伴随提示音对乘客进行提醒。车外同步开启双闪，且车窗均自动降下。

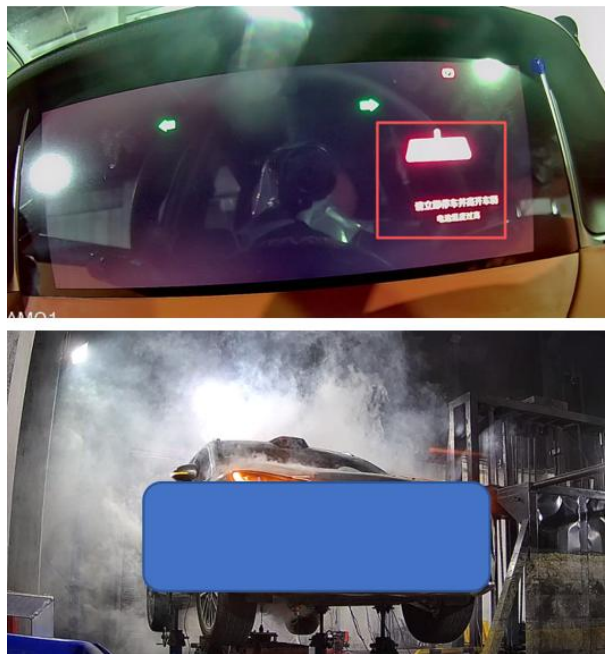


图 6 报警时刻测试照片

试验时，按照测试规程的要求，对车内温度以及气体进行实时监测。图 7 为车内温感数据，从实验开始到结束，温度一直比较平稳，没发生温度明显升高现象。这表明当单一电芯发生热失控时，热量并未传导至车里，以及热失控时喷出的高温烟气并未对车内的温度造成实质性的影响。

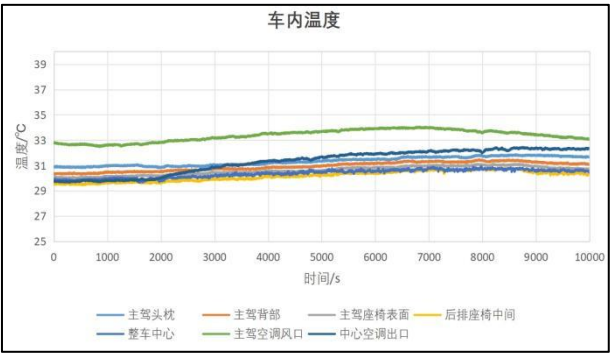


图 7 车内温感线温度变化曲线

图 8 和图 9 为车内 CO 以及 CO₂ 浓度传感器数据。空调出风口、头枕等位置作为特征点进行分析。对于 CO 浓度，时间与峰值：在约 1500 - 2000 秒之间出现尖锐浓度峰值，主驾空调出风口（黄色曲线）浓度最高，大于 10000 ppm；其余测点（如中心出风口、各头枕位置）峰值依次降低，后排相关测点峰值最低。

衰减趋势：峰值后浓度快速下降，约 3000 秒后各测点浓度均回落至接近 0 ppm，后续保持平稳无明显波动。

空间差异：主驾区域（出风口、头枕）浓度显著高于副驾及后排区域，体现出主驾侧 CO 累积更明显的空间分布特征。

对于 CO₂ 浓度，时间与峰值：同样在约 1500 - 2000 秒间形成峰值，中心空调出风口（灰色曲线）峰值最高，约 3500 ppm；主驾出风口次之（约 3200 ppm），副驾及后排测点峰值依次递减。

衰减趋势：峰值后浓度快速回落，约 3000 秒后逐步稳定在 500 - 600 ppm 区间，各测点浓度趋于一致，无后续大幅波动。

空间差异：峰值阶段前排（主驾、副驾、中心）测点浓度显著高于后排，体现出前排 CO₂ 累积更集中的特点；稳定阶段各区域浓度差异较小。

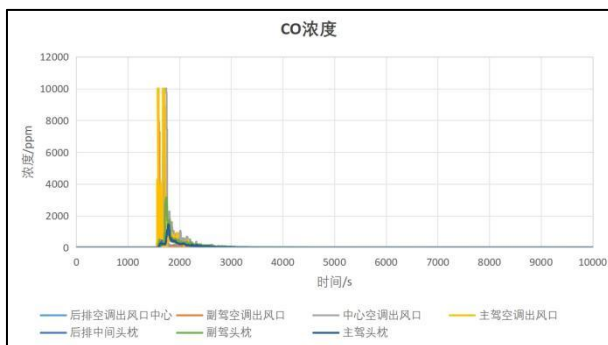


图 8 车内 CO 浓度变化曲线

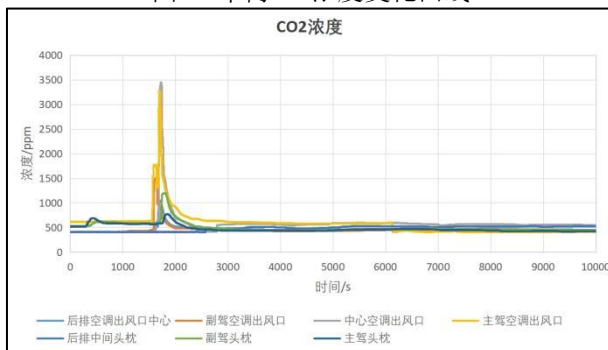


图 9 车内 CO2 浓度变化曲线

4.3 整车加热热扩散

4.3.1 整车加热热扩散未起火案例

选取车型 8 为整车加热热扩散测试典型代表车型。测试前按照规程要求对电池包进行改制，布置加热片以及电芯间的温感线等。加热功率设置为 1000W，加热截止条件依据规程要求。

图 10 为实验过程中电池包温感数据，随着加热的进行，电池温度逐渐升高，2min50s 后触发热失控，目标电池温度急剧升高，外表面温度升高到 300℃ 以上。同时带动相邻电芯温度迅速升高，达到约 200℃。随后电池温度逐渐降低，表明电池包未发生热扩散现象。

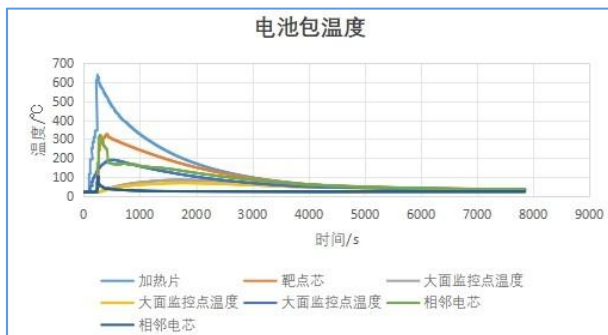


图 10 电池包温感数据

发生热失控后 28s，车内仪表盘提供热失控报警信号同时伴随提示音对乘客进行提醒。车外同步开启双闪，车窗未自动降下。



图 11 车内热失控报警图片

试验时，按照测试规程的要求，对车内温度以及气体进行实时监测。图 12 为车内温感数据，从实验开始到结束，温度一直比较平稳，没发生温度明显升高现象。这表明当单一电芯发生热失控时，热量并未传导至车里，以及热失控时喷出的高温烟气并未对车内的温度造成实质性的影响。

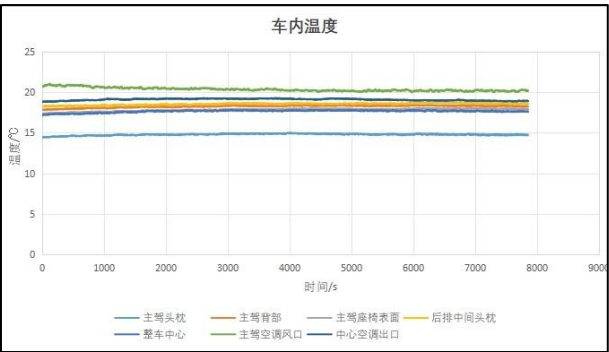


图 12 车内温感线温度变化曲线

图 13 展示了车内不同位置 CO 浓度随时间的变化规律。整体上趋势类似，副驾空调出风口（绿色曲线）在电池发生热失控后浓度急剧飙升至峰值约 360ppm，是所有监测点中浓度最高、上升最快的位置，之后快速回落。其余监测点浓度也有所升高，但没出现明显回落现象，浓度普遍在 200ppm 以下。说明副驾空调出风口位置最接近 CO 释放源，而且由于车窗未开，在测试中后时间段各点位浓度差异逐渐缩小，但整体维持在较高水平。

相对于 CO，CO₂ 变化并不明显在发生热失控后各点位浓度有小幅度的增加，随后保持一个平稳的状态。

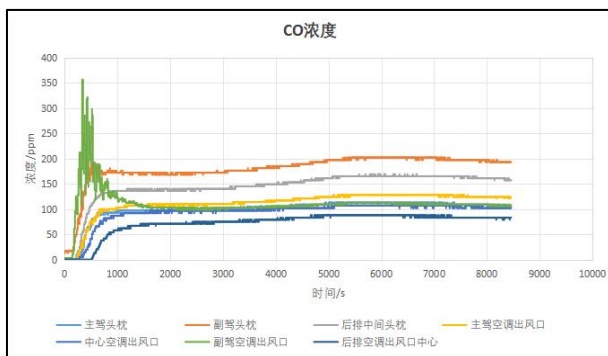


图 13 车内 CO 浓度变化数据

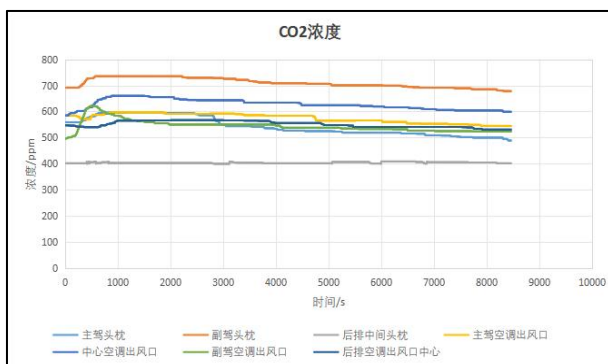


图 14 车内 CO2 浓度变化数据

4.3.2 整车加热热扩散起火案例

车型 2 在实验过程中，发生了电池的热扩散现象导致起火。试验采用加热功率为 600W，具体电池包的温度数据如图 15 所示。随着加热的进行，加热片的温度传导至目标电芯，约 5 分钟后电芯发生热失控，电池温度剧烈升高。在发生热失控前 50s，车内仪表盘提供热失控报警信号同时伴随提示音对乘客进行提醒。车外同步开启双闪，车窗同步自动降下。单一电芯发生热失控后，周围电芯温度逐渐升高，引发周围电芯相继发生热失控现象，电池包的温度一直居高不下。最终在热失控发生的 2 小时后，电池包突然起火最终导致整车被燃烧。

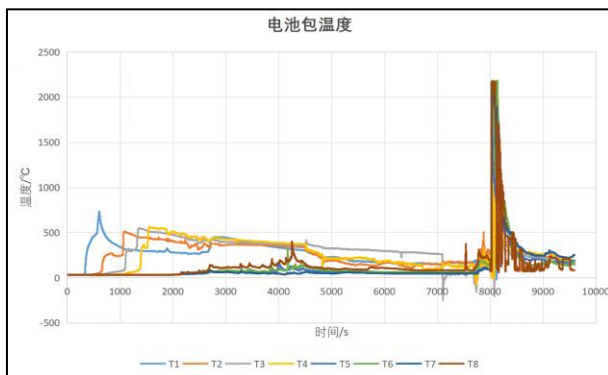


图 15 车型 2 电池包温度数据

图 16 为车内温度数据，当燃烧现象发生之前，即使电池包内连续发生单体热失控现象，车内温度也保持比较稳定的状态。当燃烧现象发生时，车内温度瞬间提升。

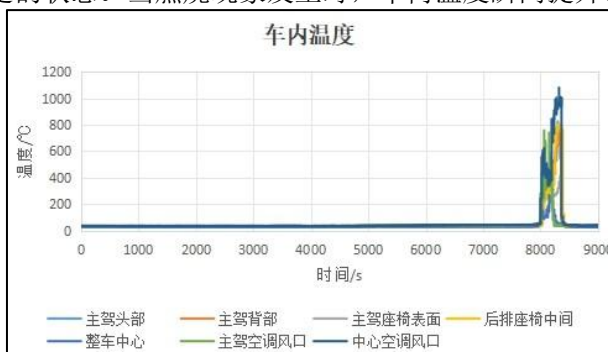


图 16 车型 2 车内温度数据

图 17 和图 18 为 CO 及 CO₂ 浓度曲线，二者在整体上变化趋势较为一致。热失控发生之后，由于排气原因导致车内传感数值均有所增加后降低，但电池包发生了热扩散现象，其他电芯的失控导致排气现象时有发生，在 3000s 至 5000s 二者均维持在 2000ppm~4000ppm 之间波动。5000s 以后气体的浓度逐渐下降到比较低的水平，当发生燃烧现象时，气体浓度瞬间飙升至超过 10000ppm。



图 17 车型 2 CO 浓度数据

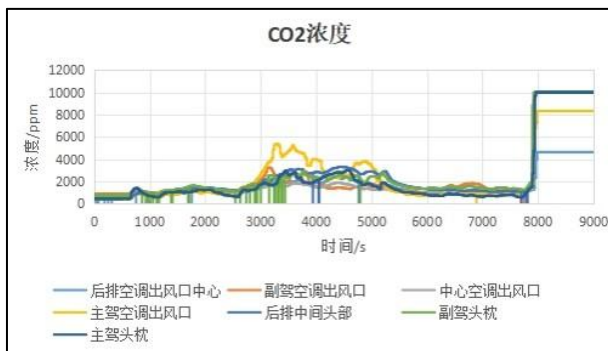


图 18 车型 2 CO₂ 浓度数据

图 19 为车型 2 试验后图片，车外烧蚀现象严重，车内可燃物件基本彻底损坏。



图 19 车型 2 试验后照片

5 结论

本研究围绕新能源汽车火灾安全技术评价展开，采用以整车火灾事故安全防护验证为核心、结合次生危害控制能力测评与多场景耦合工况验证的综合评价方法，构建了涵盖“触发—报警—防护—逃生—救援”全链条的火灾安全技术评价体系。通过试验测试与数据分析，系统探究了整车在热失控条件下的火灾安全性能及其影响因素，得出以下主要结论：

整车火灾事故安全防护验证方法能够有效评估车辆在热失控后的综合安全性能。试验结果表明，该体系可全面考察车辆在热失控发生后的报警响应、乘员防护、逃生救援等关键能力。针刺与加热两种触发方式均能有效引发单体热失控，但不同车型的报警时间存在显著差异：针刺触发场景下，多数车型报警时间在 10 s 以内，但个别车型延迟达 46 s；加热触发场景下，部分车型具备提前预警能力（提前报警最长 75 s），而部分车型仍存在滞后（最长 49 s）。这表明当前车辆热失控预警系统的响应速度和可靠性仍有较大提升空间，统一评价方法有助于推动行业技术进步。

乘员舱内环境参数是衡量火灾安全性能的核心指标。典型案例分析显示，热失控发生后，车内 CO、CO₂浓度及温度变化与车辆密封性、空调系统状态、车窗开启策略等密切相关。在未起火案例中，CO 浓度峰值可达 360 ppm（副驾空调出风口），CO₂浓度峰值约 3500 ppm，但车内温度未见明显升高，表明热失控释放的烟气可能通过空调系统侵入乘员舱，对乘员造成中毒风险。而起火案例中，热扩散导致电池包持续排气，车内 CO 浓度长时间维持在 2000~4000 ppm，起火瞬间飙升至 10000 ppm 以上，车内温度急剧上升，严重威胁乘员生命安全。因此，将烟气浓度、温度等参数纳入评价体系，对于保障乘员逃生时间和救援条件具有重要现实意义。

多场景耦合工况验证更贴近实际使用条件，本标准引入了刮底、高温、涉水、低压电源失

控四种典型耦合工况，采用“前置工况+热扩散试验”的串行验证方式。试验结果表明，前置工况可能改变电池包状态（如密封性下降、电芯变形等），进而影响热失控行为。然而，当前耦合工况的试验方法仍处于探索阶段，部分工况（如涉水后热扩散）的试验参数和判定标准尚需进一步验证和优化。

次生危害控制能力测评可作为产品差异化竞争力的重要补充。本标准设置的热通量、爆燃危害、烟气危害、爆炸危害等测评项，能够量化车辆起火后对周边环境的热辐射、有毒气体释放及燃爆风险。尽管该部分测评不纳入基础评分，但可为城市公共安全管理和应急救援规划提供技术支撑。测试结果表明，不同车型在热释放速率、烟气产生量、可燃气体浓度等方面差异显著，部分车型具备较好的热蔓延阻隔能力和低毒排放特性，显示出潜在的安全优势。

当前标准体系仍存在局限性，需持续完善与升级。尽管本标准已初步构建了整车火灾安全技术评价框架，但受限于试验样本数量、工况覆盖范围及技术认知深度，仍存在以下不足：一是评价指标阈值（如烟气浓度限值）主要参考现有文献和标准，缺乏大规模实车试验数据支撑；二是多场景耦合工况的试验方法尚未充分验证其代表性和可重复性；三是次生危害测评的测试手段和数据处理方法仍需标准化。此外，部分车型在测试中表现出热扩散现象甚至起火，说明当前电池系统的热安全设计仍有优化空间，企业需在产品开发中更加注重整车的系统级防护。

基于本研究存在的不足，未来的研究方向可聚焦于：进一步完善多场景耦合工况的试验方法，积累更多车型的测试数据，建立更具代表性的阈值数据库；引入仿真分析与试验验证相结合的混合建模思路，利用仿真拓展工况范围，降低试验成本；深化次生危害机理研究，建立热释放、烟气扩散与周边环境影响的量化关联；推动标准体系的动态更新，根据技术进步和事故案例反馈，持续优化评价指标与判定依据。

综上，本研究提出的新能源汽车火灾安全技术评价体系能够系统评估整车在热失控后的综合安全性能，为产品研发、政府监管和消费者选型提供了科学依据。然而，当前标准仍处于发展阶段，部分测试方法和评价指标尚需进一步验证和完善，尚未完全满足形成统一强制性标准的条件。未来需依托行业协作与技术突破，分阶段推进标准的成熟与工程适配。