

CSA 认证检测在新能源汽车电池安全评估中的应用研究

陈锦图

中国检验认证集团广东有限公司, 广东省广州市天河区, 510623;

摘要: 面向新能源汽车动力电池的安全评估, 需要同时覆盖单体、模组与系统层的电气、热学、机械与化学风险。在多学科约束与快速迭代的产业环境中, 将认证检测结果转化为工程决策, 是保障产品稳态与异常工况可靠性的关键。基于北美广泛采用的认证体系, 构建危险识别、试验策划、制造一致性与监督检验的闭环框架, 阐明认证证据链与风险矩阵之间的映射关系。提出面向生命周期的评价路径与数据要素集, 探讨数字化工具在试验等效性判定、统筹成本与进度中的应用。方法融合可以在不降低安全边界的前提下, 实现测试资源的高效配置与持续符合性维护。结合工况多样性与新材料不确定性, 提出分层验证策略, 以减少重复并保持边界稳固。全文围绕方法与流程展开, 为产业主体开展合规与工程优化提供可操作的路径。

关键词: 加拿大标准协会认证检测; 新能源汽车电池; 安全评估; 风险管理; 一致性控制

DOI: 10.69979/3060-8767.25.06.057

引言

动力电池作为车辆能量系统的核心, 其安全失效具有快速链式传播的特征, 对整车与环境带来高耦合影响。在跨区域合规要求并存的背景下, 如何把认证检测构建为研发、制造与运营协同的公共约束, 成为工程管理的重要议题。围绕认证模式、试验方法、判定准则、工厂审核与监督机制, 本文提出以危险为基础的评价框架, 并给出与企业过程的接口。目标是以最小的冗余覆盖主要场景, 用可追溯的证据支撑安全声明, 并通过数据化手段实现持续符合。电池从材料到系统的多层结构带来复杂的耦合关系, 安全评价不可仅依赖单点试验, 而应在场景覆盖与证据充分度之间取得平衡。认证作为公共治理工具, 在不同市场具有差异与共性, 以兼容差异并维护底线为核心能力, 需要一套透明、可追溯的协作机制。在此背景下, 结合工程管理, 提出面向生命周期的方案, 以期为新技术迭代提供稳定通道。

1 标准体系与方法论基础

1.1 认证框架与方法学

认证检测在工程实践中承担准入门槛与风险证明的双重角色。框架通常由方案确认、型式试验、工厂审核与监督抽样构成。方案确认面向产品定义, 给出安全目标与假设边界, 并形成待验证场景清单。型式试验以危险为基础进行验证, 通过应力加载复现失效机理, 以观测量化指标与判定准则作为证据。工厂审核聚焦过程能力与变更控制, 监督抽样用于跟踪量产一致性^[1]。方法学上需要建立危险识别、危害因果链与控制措施之间

的映射, 将试验用例与场景矩阵对应, 并通过证据分级描述充足性。在资源受限条件下, 引入等效性与代表性原则, 基于物理相似或统计证明减少冗余试验, 同时设置防护性试验, 以确保边界安全。结合决策门机制, 把试验与设计迭代联动, 在数据完整度达标后形成可追溯的安全结论与证书。在实施层面, 应建立需求分解表, 把法规标准条款转化为技术要求与验证任务, 通过追踪矩阵把每一条要求对应到具体试验与记录。证据链的强度取决于样本代表性、工况包络与测量不确定度, 因此需为样本制作储能状态、健康状态与装配差异设定覆盖策略, 并记录偏差来源。测量系统应进行溯源校准, 并在方案中给出精度带与重复性承诺。试验中若出现与假设不一致的表现, 应触发原因分析和补充验证。当设计存在多种材料或结构选项时, 可采用决策树与风险矩阵来安排试验优先级, 把最可能触发危险且后果严重的组合优先验证。对跨平台的通用试验, 可通过边界比方法判断结果可否复用, 对独有风险则安排专门用例, 以形成完整闭环。认证活动的独立性同样关键, 应明确委托方、制造方与检测方的角色边界, 并建立见证机制, 对关键试验进行在场确认与记录。

1.2 电池安全风险的机理模型

动力电池的危险来源可归纳为电气、热学、机械与化学路径。电气路径包含外部短接、过充、过放与绝缘退化。热学路径涉及发热累积、散热受限与热失控触发。机械路径关联跌落、实体挤压与穿刺。化学路径涉及气体生成、电解质挥发与副反应。上述路径在系统层往往相互耦合, 并受到环境与老化影响, 故评价模型需要跨

层级表达,从单体材料到模组结构再到系统控制。机理模型以能量与放热速度为核心变量,结合阈值与监测能力刻画演化阶段,由此推导可观测信号与预警窗口,并据此确定保护动作与判据^[2]。同时引入韧性概念,在失效被触发时,通过电气切断、热隔离与结构解耦减缓蔓延,以争取处置时间。模型与认证测试的结合,为试验设计与指标选择提供依据。为了覆盖复杂性,可引入多尺度表示,在微观层表达材料反应与气体生成,在介观层表达单体与模组的热耦合,在宏观层表达整包与舱室的能量交换。多尺度之间通过能量守恒与边界条件进行耦合,并结合控制策略形成可分析的系统模型,再把模型输出映射到试验观测量,以验证正确性。模型还应纳入结构连接的失效模式,如焊接界面疲劳与紧固件松弛,并评估由此带来的电气与热学路径变化。为提升可观测性,需要规划传感与诊断策略,把单体层与系统层的关键信号进行融合,例如温度、电压差与壳体形变等量的联合判断。

2 评估指标与试验设计

2.1 热失控与电气故障的评价路径

热失控评价关注触发难度、蔓延速度与对外危害三个维度。触发难度通过外部加热、针刺或挤压等方式实现,并以温升速率与阈值作为表征。蔓延速度以相邻单元受热与火焰蔓延距离作为观测,对外危害以火焰、火花、喷射物、有毒气体与壳体破裂等表现进行记录^[3]。电气故障评价覆盖外部短接、过充、过放、反极性与绝缘性能。短接场景强调导体阻值范围、电压平台变化与电流峰值,过充过放关注电压越界时间、温升趋势与保护动作触发,绝缘性能考察泄漏路径、爬电距离与介质耐受。试验设计需要明确初始状态、边界条件与终止准则,并配置监测通道,包含温度、电压、电流、压力与烟雾等多维量。对判定标准应坚持人身与财产保护优先,以无起火、无爆裂、无持续燃烧与外壳完好等级别作为合格要求,在系统层再叠加功能保护有效性核验。为了提高效率,可采用组合用例方法,在保证独立性的前提下合并相近工况,通过正交设计减少试验轮次,并把关键因子变化对输出的影响用灵敏度矩阵表达。对新技术路线需要开展方法适配,例如固态电解质会改变触发方式与蔓延模式,针刺或挤压的边界设置应据此调整,同时引入舱室通风与火灾探测的联动考察,以体现系统层防护。布置测点时应兼顾代表性与可维护性,壳体外表与内部核心部位都需覆盖,采样频率与记录时长要能完整捕捉触发、发展与终止三个阶段。对判据可设置等级,

以体现不同应用场景下的可接受风险,并在证书中明确限制条件,避免脱离边界的扩展应用。对整车层面的电气故障,还需联动高压与低压系统,并考察熔断、隔离与电源管理的协同有效性。对火灾处置的相互作用也应评估,包括灭火介质与电池材料的反应与二次风险,同时验证通风排烟与隔热结构的配合效果。后鉴定是改进的重要环节,通过断面观察、成分分析与形态学手段还原失效路径,把结论回写到模型与策划中,以提升下一轮试验的针对性。

2.2 一致性控制与质量管理在认证中的作用

型式试验给出样品层面的安全证明,而量产一致性需要过程化保障,因此认证需与质量管理深度耦合。在设计冻结后,对关键材料、电芯结构与电控策略建立基线,并通过来料检验、过程能力指数与抽样验证维持稳定。变更管理是一致性的核心,当材料供应商配方、几何参数或软件策略发生调整时,应触发影响评估与再验证路径。评估应根据风险等级选择台架试验、部件试验或整包试验,并给出回归范围和警戒值^[4]。工厂审核从组织制度、设备维护、计量校准到不合格处置,均需溯源到安全目标,同时把抽检结果与制造参数进行数据关联,形成漂移看板。借助统计方法识别趋势异常,提前介入改进。借助这一套机制,认证证书从一次性结果转为持续性承诺。在供应链层面,应建立可追溯体系,把原料批次、工艺窗口与关键过程参数绑定到产品身份,当现场出现异常时,可以快速定位到可能的漂移源,并决定是否开展再评估。对维保与售后环节,也应提出一致性要求,在更换零部件与软件版本时同步更新证据链,并对风险点进行复核,保证在全寿命阶段保持与型式结果的一致表现。提前策划过程,可以采用跨部门评审,把风险清单转化为过程控制点,并在量产前完成小批量验证,用以确认工艺窗口与检测方法的适用性。对供应链变更建立分级告知机制,按照影响程度设置备案、复核与再验证路径,同时要求提供可追溯的数据包,以支持独立判断。在现场运行期间,建立反馈通道,把维保故障与用户使用特征回流到一致性系统,促成设计与制造的同步优化。审核周期与频次应依据风险设定,对关键工序开展分层审核,把现场巡查、远程核验与文件审查结合,形成常态化机制。对过程能力可采用控制图与能力指数进行量化,当出现漂移与异常点时,迅速定位并组织跨部门复盘,用事实与数据推进纠正预防。

3 应用实施与方法融合

3.1 生命周期视角的认证闭环与数据映射

面向产品全周期,可把认证检测划分为前期策划、研发验证、生产一致性、市场监督与事件复盘等阶段。前期策划定义场景与试验组合,研发验证在迭代中完成证据累积,生产一致性通过审核与抽样保持稳定,市场监督借助抽检、巡检与数据上报识别边界风险,事件复盘把现场信息映射回模型与试验用例。数据是闭环运转的载体,需要构建证据元模型,把试验对象、工况、加载、量测指标、判据、结论与责任人等要素结构化纳入知识库,以便跨平台共享与复用。在这一框架下,仿真与试验协同工作,仿真用于探索边界与筛选用例,试验用于确证与标定,二者通过统一的数据模板完成相互校验。在运行阶段,应把现场监测与维护记录接入证据链,当触发阈值接近时,启动预警并评估是否需要开展补充验证,如能量密度提升后的热稳定测试或新工况下的电气保护核验。为了提升透明度,可建设可视化看板,把证据覆盖度、剩余风险与改进行动以图形方式呈现,让管理层能够在统一刻度下进行资源配置,并及时发现瓶颈。同时推进培训与能力建设,使研发、测试、制造与服务团队形成共同语言,减少跨部门理解偏差。这一点对于提升闭环效率与减少返工具有直接价值。绩效指标的设定应覆盖及时性、有效性与经济性三个方向,例如证据覆盖度、积压工单与整改闭合天数等量,用以衡量闭环健康状态。通过定期评审,把指标趋势与资源配置联动,当负荷高于阈值时,动态增配试验时段与评审人力,以避免瓶颈扩大。记录管理需要具备版本控制、权限分配与审计追踪功能,并支持跨组织协作,这样可以保证证据在全链路上的一致与完整。当出现事故或重大异常时,启动演练过的应急流程,同步开展安全评审与舆情沟通,在查明原因与完成改进之前保持风险可控。

3.2 标准协同与未来技术展望

随着化学体系、结构形式与充换模式的演进,安全风险呈现多样化,这要求认证标准与技术路线之间保持协同。在国际、区域与行业层面,推动术语一致、测试方法互认与判据映射,以降低重复验证带来的资源占用。场景化测试将成为趋势,通过道路环境、气候幅度与负载变化的组合,生成更贴近使用的工况,把系统控制策略与物理边界同时纳入考察。通过云端数据同化改进模型,并把关键参数回写到试验策划。新的测量与感知手段也会改变评价方式,包括高精度温度场与气体识别、在线成像与局部声学监测等手段,它们能够帮助更早期

识别异常,并为控制策略提供依据。伴随数字化与智能化的深入,认证检测将从静态准入演进为动态护航。在治理层面,应探索跨区域信息互通与结果采信机制,让不同市场在保持底线一致的前提下,减少重复试验。同时对新兴技术设置梯度门槛,通过试点路径逐步扩展适用范围,以兼顾创新速度与公共安全。虚拟测试与物理测试的融合将更加深入,通过数字孪生,把结构、热与控制行为统一在同一模型体系内,以降低试验成本并提高覆盖度。互认机制的完善需要以透明数据为基础,不同方对证据的可靠性有一致判断,从而让跨区域准入更高效。人才与组织能力也是关键,应构建跨学科团队,让材料工程、热学、电气控制与制造质量形成合力,使标准协同落到实处。行业协作平台将促进数据标准化,在安全不泄露的前提下,实现多方共享,以便更准确地识别共性风险,并推动试验方法改进。开放知识的积累可通过案例库、指南与教材的形式沉淀,并用于培养新人,由此形成从标准到实践再到教育的良性循环。

4 结语

围绕新能源汽车电池安全,把认证检测与工程流程对齐,是实现可靠与高效并重的关键之策。通过危险为基础的框架,将试验与设计、制造、运营连接起来,用清晰的证据链支撑安全声明与持续符合。面向未来,在标准协同、数据贯通与工具融合方面仍有空间,只要保持闭环机制与透明治理,就能够在技术快速演进的同时,维持稳固的安全底座,为产业发展提供长期支撑。当合规要求与工程方法被统一到清晰可执行的路径,产业链就能够把安全变成可管理的确定性,并在可预期的秩序中展开创新。

参考文献

- [1]本刊采编部.助力政府采购需求标准建设引领绿色低碳出行——中国质量认证中心召开新能源汽车政府采购需求标准座谈会[J].中国政府采购,2025,(02):80.
- [2]张海豪.新能源汽车的认证管理与标准体系[J].质量与认证,2017,(05):33-34.
- [3]申亚飞,周皓,王侃.认证认可技术促进新能源汽车产业发展[J].质量与标准化,2011,(S1):31.
- [4]洪宇,傅宁.新能源汽车换电质量管理体系认证制度的研究[J].汽车与配件,2024,(13):66-67.