



中华人民共和国国家标准

GB/T —202X

纯电动汽车火灾缺陷分析方法

Defect analysis methods of battery electric vehicles fire accidents

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 总则..... 2

 4.1 基本原则..... 2

 4.2 分析程序..... 3

5 火灾事故信息深度分析..... 3

 5.1 概述..... 3

 5.2 火灾事故信息收集..... 3

 5.3 事故信息融合与挖掘..... 4

 5.4 识别失效致因..... 5

6 车辆运行周期数据分析..... 5

 6.1 概述..... 5

 6.2 批次车辆信息收集..... 5

 6.3 批次车辆数据分析..... 5

 6.4 识别失效致因..... 5

7 缺陷工程分析试验..... 6

 7.1 概述..... 6

 7.2 事故车辆残骸及同型号、同批次车辆或零部件收集..... 6

 7.3 试验分析..... 6

 7.4 识别失效致因..... 6

8 缺陷识别与研判..... 6

附录 A（资料性） 批次车辆运行周期数据分析方法..... 8

附录 B（资料性） 缺陷工程分析试验方法..... 10

附录 C（资料性） 纯电动汽车火灾缺陷分析报告（模板） 13

 C.1 缺陷分析工作概述..... 13

 C.2 缺陷分析对象基本信息..... 13

 C.3 火灾事故信息深度分析..... 13

 C.4 车辆运行周期数据分析..... 13

 C.5 缺陷工程分析试验..... 13

 C.6 缺陷分析工作总结及相关建议..... 13

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国产品缺陷与安全管理标准化技术委员会（SAC/TC 463）提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

纯电动汽车火灾缺陷分析方法

1 范围

本文件确立了纯电动汽车火灾缺陷分析的基本原则和分析程序,描述了纯电动汽车火灾事故信息深度分析方法、车辆运行周期数据分析方法、缺陷工程分析试验方法、缺陷识别与研判等内容。

本文件适用于纯电动汽车的火灾缺陷分析,其他类型电动汽车缺陷分析参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5907.1 消防词汇 第1部分:通用术语
GB/T 16840.1 电气火灾痕迹物证技术鉴定方法 第1部分:宏观法
GB/T 19596 电动汽车术语
GB/T 34402 汽车产品安全 风险评估与风险控制指南
GB 38031 电动汽车用动力蓄电池安全要求
GB/T 43387 产品召回 术语
GB/T 43388 家用汽车产品严重安全性能故障判断指南
XF/T 812 火灾原因调查指南

3 术语和定义

GB/T 5907.1、GB/T 19596、GB 38031、GB/T 43387和GB/T 43388界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

纯电动汽车 battery electric vehicle; BEV

驱动能量完全由电能提供的、由电机驱动的汽车。电机的驱动电能来源于车载可充电储能系统或其他能量储存装置。

[来源: GB/T 19596-2017, 3.1.1.1]

3.2

火灾 fire

在时间或空间上失去控制的燃烧(3.3)。

[来源: GB/T 5907.1-2014, 2.3]

3.3

燃烧 combustion

可燃物与氧化剂作用发生的放热反应,通常伴有火焰、发光和(或)烟气的现象。

[来源: GB/T 5907.1-2014, 2.21]

3.4

缺陷 defect

同一批次、型号或者类别的产品中普遍存在的危及人身、财产安全的不合理危险。

[来源: GB/T 43387-2023, 3.1]

3.5

缺陷分析 defect analysis

生产者、召回主管部门或召回技术机构对产品是否存在缺陷所开展的技术分析活动。

3.6

调查分析 investigation and analysis

生产者获知产品可能存在缺陷后, 确认产品是否存在缺陷的过程。

[来源: GB/T 43387-2023, 5.9, 有修改]

3.7

缺陷调查 defect investigation

召回主管部门确认产品是否存在缺陷的过程。

[来源: GB/T 43387-2023, 5.10]

3.8

事故深度调查 in-depth investigation of accident

通过对事故中人-产品-环境多因素复杂交互特征开展深层次采集与处理、还原或复现事故发生全过程、查找事故致因及分析安全风险的技术活动。

[来源: GB/T 43387-2023, 5.6]

3.9

故障模式 fault mode

能够被观察或检测到的零部件或产品故障表现形式。

[来源: GB/T 43388-2023, 3.3]

3.10

失效 failure

汽车在正常使用过程中, 整车、主要的系统或零部件因质量问题导致预定功能完全丧失或基本性能严重下降的现象。

注: 预定功能、基本性能是指产品在法规、标准中规定的和企业明示的功能及性能。

[来源: GB/T 43388-2023, 3.4]

3.11

失效致因 failure cause

引起汽车产品失效(3.10)的设计、制造、标识、外因等根本原因。

3.12

缺陷工程分析试验 defect engineering analysis and test

在缺陷分析过程中, 运用专业设备和技术手段开展产品安全测试并进行系统性分析的过程。

[来源: GB/T 43387-2023, 5.15, 有修改]

4 总则

4.1 基本原则

4.1.1 纯电动汽车火灾缺陷分析工作应遵循“科学严谨、依法依规、实事求是、注重实效”的原则。

- 4.1.2 纯电动汽车火灾缺陷分析宜采用“火灾事故分析+运行数据分析+缺陷工程分析”相结合的方式开展。
- 4.1.3 纯电动汽车火灾缺陷分析宜基于多源数据由召回技术机构或具有相应技能、资质的技术团队开展。
- 4.1.4 已实施召回措施的缺陷车辆，宜持续进行火灾缺陷监测与分析、召回效果评估等。
- 4.1.5 召回技术机构宜建立新能源汽车火灾事故深度调查技术团队与体系，加强火灾缺陷分析。
- 4.1.6 生产者宜加强新能源汽车火灾事故调查与缺陷分析能力，建立新能源汽车火灾事故应急处置与改进机制。

4.2 分析程序

当以下任一情况出现时，开展纯电动汽车火灾缺陷分析，分析流程如图1所示：

- 纯电动汽车火灾事故失效致因可能是产品本身设计、制造、标识等问题；
- 需要启动缺陷分析的其他情况。

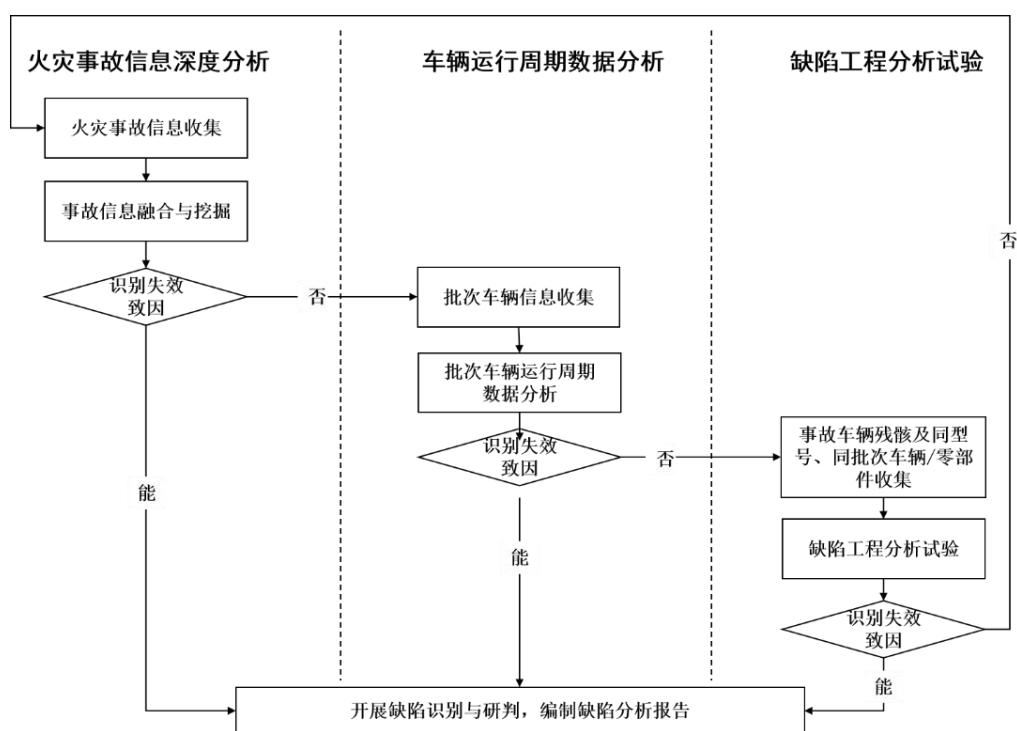


图1 纯电动汽车火灾缺陷分析流程

5 火灾事故信息深度分析

5.1 概述

基于一同或多起同型号、同批次纯电动汽车火灾事故现场调查情况，收集纯电动汽车火灾事故基本信息、事故车辆数据信息、事故现场调查信息、事故物证分析信息和其他相关信息，综合分析故障模式、识别火灾失效致因。

5.2 火灾事故信息收集

5.2.1.1 事故基本信息

事故基本信息一般包括但不限于：

- 事故信息，包括事故时间、事故地点、事故车辆状态及驾驶路况、事故车辆电量、人员伤亡情况、事故车辆存放地点、是否有事故现场视频等；
- 事故过程信息，包括车辆火灾事故发生、发现、扑救等过程情况等；
- 事故处置信息，包括事故车辆在灭火后的存放、拖运以及处置情况等；
- 消防调查信息，包括按照 XF/T 812 的要求调查得到的信息，如车辆在火灾事故前发生的其他交通事故、底盘磕碰、涉水、泡水、电池更换或维修、车辆改装与加装等情况，初步的火灾事故原因分析与判断情况等。

5.2.1.2 事故车辆数据信息

事故车辆数据信息一般包括但不限于：

- 事故车辆信息，包括事故车辆电气系统布置图、电池系统布局图，事故车辆维修保养记录，事故发生前 7 天车辆运行数据及运行周期数据等；
- 事故车辆动力电池信息，包括动力电池系统的动力电池位置、制造商、总容量、总电压、总重量、充电功率、系统冷却形式，电池电芯的制造商、规格型号、电芯容量、电芯重量、最大可持续充电功率、最大可持续放电功率、最大可持续充放电电流、电池的电化学体系、正极材料类型，以及电池管理系统模块位置、BMS 模块制造商、软件制造商、硬件制造商等。

5.2.1.3 事故现场调查信息

事故现场调查信息一般包括但不限于：

- 事故数据预分析，包括事故发生前 7 天车辆运行总电压、总电流、温度、绝缘电阻安全参数关联分析，以及温度探针温度、动力电池电芯电压等参数一致性分析内容；
- 事故勘查信息，事故车辆车身、动力机舱、后备箱、底盘、乘员舱、电池、电机、电控主要零部件等烧损、残留痕迹情况分析，火灾蔓延趋势及起火部位研判内容等；
- 事故车辆故障模式及事故致因分析，包括事故车辆故障模式的识别过程、发生火灾的原因。

5.2.1.4 事故物证分析信息

事故物证分析信息一般包括但不限于：

- 电气短路痕迹分析信息，包括车辆高压线束、低压线束及其接插件产生的熔痕分析；
- 火灾痕迹分析信息，包括车辆线束、塑料件等因火烧产生的熔痕分析；
- 电池包烧损分析信息，包括电池包外壳、电池包内部部件及线束烧损情况，电池包内结构件、模组或电芯的机械变形和拉弧情况分析，模组或电芯的 CT 测试分析，电芯拆解测试分析；
- 外部火源分析信息，非车辆自身部件燃烧分析，包括打火机、火柴、充电宝等。

5.2.1.5 事故其他相关信息

事故其他信息一般包括但不限于：

- 事故车辆经销商信息，包括经销商名称、联系电话、通讯地址、车辆销售日期等；
- 事故车辆运行周期数据分析，包括事故车辆快充比例、最大充电电流、日运行里程、绝缘变化、历史报警信息、有无电或热滥用等车辆使用情况，及安全参数关联分析、一致性分析等内容。

5.3 事故信息融合与挖掘

根据收集的多次火灾事故信息与火灾事故深度调查报告内容，识别、确认事故车辆的故障模式。

5.4 识别失效致因

结合识别的多次火灾事故车辆故障模式，进一步分析故障模式与产品本身设计、制造、标识问题的关联关系，识别失效致因：

- 若通过车辆故障模式分析能够识别失效致因，应按照第 8 章的要求开展缺陷识别与研判；
- 若通过车辆故障模式分析无法识别失效致因，应按照第 6 章描述的方法进一步识别。

6 车辆运行周期数据分析

6.1 概述

收集事故车辆同型号、同批次或者使用同样零部件车辆信息，并根据火灾事故信息深度分析结果，选择单个或多个合适的分析方法对批次车辆运行周期数据进行分析。其中，运行周期数据通过抽样方法确定收集范围，具体方法如下：

- 总体样本需要覆盖火灾事故车辆同型号、同批次车辆，采用随机抽样、分层抽样或系统抽样方法进行抽样，具体抽样数量根据前期事故深度调查分析结果和拟选用分析方法进行确定，以保证分析的科学性和合理性，提取抽样车辆运行周期数据作为分析对象；
- 根据对抽样车辆数据分析结果，决定是否增加抽样。

6.2 批次车辆信息收集

收集纯电动汽车火灾事故车辆同型号、同批次或者使用同样零部件车辆信息，包括但不限于：

- 整车信息，包括车牌号、VIN、生产者名称（全称）、车辆品牌、车型、车辆型号、车辆生产时间、车辆上牌时间、车辆性质、车辆类别、动力类型、底盘类型，部分车辆生产制造数据、运行周期数据、故障和维保信息；
- 电池系统信息，包括电芯供应商、模组供应商、电池包供应商、电池管理系统软件供应商、电池管理系统硬件供应商、电芯形状、电芯型号、电芯类型、电芯电极材料、电芯电解液成分、电芯充放电功率/电流限制表、电池包内模组串并联方式、电池包内部高低压布局图、电池包内部模组和电芯布局图、电池包内温度及电压传感器数量、电池包托盘材质、电池包防水设计、电芯及电池系统生产制程数据、电池系统冷却型式、电池系统阻燃系数、电池系统保险的熔断曲线；
- 电机系统信息，包括电机类型、额定电压、空载电流、额定电流、启动电流、最大连续电流、额定功率、最大输出功率、额定转速、空载转速、最大转速、额定转矩、最大转矩；
- 电控系统信息，包括软件供应商、硬件供应商、额定电压、额定电流。

6.3 批次车辆数据分析

系统分析所收集的批次车辆信息，附录A给出了批次车辆运行周期数据分析的常用方法。批次车辆数据分析宜通过数据平台开展。

6.4 识别失效致因

结合识别的多次火灾事故车辆及事故车辆同型号、同批次车辆故障模式，进一步分析故障模式与产品本身设计、制造、标识问题的关联关系，识别失效致因：

- 若通过车辆故障模式分析能够识别失效致因，应按照第 8 章的要求开展缺陷识别与研判；
- 若通过车辆故障模式分析无法识别失效致因，应按照第 7 章描述的方法进一步识别。

7 缺陷工程分析试验

7.1 概述

根据火灾事故信息深度分析、批次车辆运行周期数据分析结果，确定缺陷工程分析试验的内容，收集事故车辆残骸、事故车辆同型号、同批次车辆或零部件，选择单个或多个合适缺陷工程分析试验方法，设计试验方案、搭建试验平台、完成试验验证，附录B给出了缺陷工程分析试验的常用方法。

7.2 事故车辆残骸及同型号、同批次车辆或零部件收集

收集事故车辆残骸及同型号、同批次车辆或零部件，以开展基于缺陷工程分析试验的缺陷分析：

- 事故车辆残骸：事故现场调查中留取的特征残骸零部件；
- 同型号、同批次车辆：与事故车辆型号相同、零部件配置相同、车辆生产批次和零部件生产批次相同、车辆三电系统软件版本相同的产品车辆；
- 同型号、同批次车辆零部件：与事故车辆型号相同、零部件配置相同、车辆生产批次和零部件生产批次相同、车辆三电系统软件版本相同的车辆拆解下来的零部件，包括但不限于电池系统、电机、电控系统等主要零部件的硬件及软件。

7.3 试验分析

7.3.1 事故车辆残骸试验分析

事故车辆残骸试验分析应对事故车辆的电机、电控、电池系统、高低压线束等残骸零部件进行分析、拆解，对异常部位进行测量、测试、取样分析，识别故障模式和失效致因。分析方法参考附录B。

7.3.2 事故车相邻在用车辆分析

选取与事故车辆火灾致因零部件相同批次、车辆生产下线前、后5台的在用车辆，对与故障零部件同型号的零部件进行检测分析、拆解，对发现的异常部位进行测量、测试、取样分析，识别故障模式和失效致因。分析方法参考附录B。

7.3.3 新车对比分析

新车对比分析应将事故车同一型号最新车辆或零部件进行装配情况检查、性能检测分析、故障注入测试、拆解分析等，并对发现的异常部位进行测量、测试、取样分析，以识别故障模式和失效致因。分析方法参考附录B。

7.4 识别失效致因

结合已识别的火灾事故车辆及事故车辆同型号、同批次车辆故障模式，结合缺陷工程分析试验结果，进一步分析故障模式与产品本身设计、制造、标识问题的关联关系，识别失效致因：

- 若通过车辆故障模式分析能够识别失效致因，应按照第8章的要求开展缺陷识别与研判；
- 若通过车辆故障模式分析无法识别失效致因，应重新按照第5章描述的方法进行识别。

8 缺陷识别与研判

8.1 将识别出的失效致因，按照 GB/T 34402 进行风险评估，确定风险等级。

8.2 纯电动汽车火灾缺陷分析工作应汇总整理火灾事故信息、火灾事故深度调查报告、批次车辆信息、缺陷工程分析试验方案等过程资料，并进行存档、备份。

8.3 针对每一次纯电动汽车火灾缺陷分析，应开展缺陷识别与研判，编制缺陷分析报告，附录 C 给出了缺陷分析报告的模板，报告应包括但不限于以下内容：

- 缺陷分析工作概述；
- 火灾事故信息、批次车辆信息；
- 火灾事故信息深度分析；
- 车辆运行周期数据分析；
- 缺陷工程分析试验；
- 缺陷分析工作总结及相关建议。

附录 A
(资料性)

批次车辆运行周期数据分析方法

批次车辆运行周期数据分析可采用的方法包括但不限于表A.1中所示的方法。

表 A.1 批次车辆运行周期数据分析常用方法

序号	方法	方法描述
1	对比分析法	通过批量数据横向、纵向对比，揭示批次车辆故障模式演化过程。具体方法如下： ——横向比较，即同一时间或时间段下不同指标的对比，用于研究同型号、同批次车辆间的差异性以及同一车辆不同电芯间的差异性，识别离群或异常个体； 注：如不同车辆之间某SOC段压差对比、电池系统不同电池电芯某时间的电压对比等。 ——纵向比较，即不同时间条件下同一指标的对比，用于研究失效致因导致故障模式随时间演化过程的数据表现，分析异常个体失效过程。 注：如同一车辆的电池系统温度、电压、绝缘阻值等随时间变化趋势。
2	描述统计分析法	通过横向、纵向统计批次车辆运行周期数据的最大值、最小值、均值、中位数、标准差，揭示批量车辆的分布特征和集中趋势，描述用户行为习惯指标与安全相关的显著特征。具体方法如下： ——横向统计分析，即对同一时间下不同车辆或同一车辆不同电芯的相同安全参数进行统计性分析，用于研究不同车辆间或同一车辆不同电芯间同一参数统计量的相互关系和分布规律； 注：如批次车辆同一SOC范围最大压差或同一车辆不同电芯最高电压等。 ——纵向统计分析，即计算一段时间内同一车辆某一安全参数的日统计量，用于研究同一车辆数据分布特征和发展趋势。 注：如电池系统在一年内每日各温度传感器的最大值、每日电压最大值等。
3	回归分析法	通过批量数据统计、分析、处理，预测和解释未来的数据变化趋势、变量间的定量关系。具体方法如下： ——确定失效致因等自变量与火灾事故、故障模式发生等因变量； ——确定自变量与因变量之间的定量关系表达式； ——根据变量的多少、自变量和因变量之间的关系等，合理选择不同的回归方法，用于预测火灾事故、故障发生等因变量的变化。 注：如电池系统内温度、电流、电压与车辆故障工况之间关系等。
4	聚类分析法	通过提取批次车辆动力电池运行数据的一致性指标，并完成待评估车辆指标与参考车辆指标的聚类差异化程度计算，实现对待评估车辆动力电池的安全状态量化评估。具体方法如下： ——结合车辆运行数据中的电压、电流、SOC等参数，提取车辆一致性特征； ——选取车辆稳定运行阶段的一致性特征作为参考样本； ——将待评估样本与参考样本混合后使用K-means、DBSCAN等聚类方法进行

序号	方法	方法描述
		无监督分类； ——使用聚类结果的混淆矩阵对待评估样本相较于参考样本的数据波动程度进行量化； ——对量化结果进行分级，实现车辆安全状态的直观描述。
5	阈值分析法	通过设定单个或多个与火灾强相关安全参数的临界值，进行批次车辆阈值筛查分析，揭示批次车辆超阈值情况及所处的状态。具体方法如下： ——结合事故车辆同型号、同批次或者使用同样零部件车辆的动力电池充放电功率/电流限制表等电池系统信息，额定转矩、额定电压、额定电流等机电控系统信息，设定与火灾强相关的安全参数临界值； ——对批次车辆运行周期数据与设定的安全参数临界值进行对比分析，确认车辆出现异常的时间、出现异常的零部件以及出现异常的频率。
6	因果关联分析法	通过对比火灾强相关的安全参数与故障模式特征数据间的响应情况、响应速度，揭示缺陷产品潜在的数据异常特征，包括关联规则分析、复杂网络分析、失效机理分析、根因分析、相关性分析与主成分分析。
7	模糊推理法	通过专家经验和最大隶属度原则、阈值原则、择近原则等，推断最有可能的失效致因。具体方法如下： ——基于专家经验，识别风险因素； ——基于历史失效案例库，构建模糊数据集，并对个风险因素进行分层分级，便于算法收敛； ——基于历史失效案例及专家经验，指定模糊规则逻辑，每个因素的印象程度从 0~1，越相关则值越大。 注：高温的、快充比例高的车辆更容易发生热失控，则温度因子、快充比例因子权重重大。
8	多维关联分析法	通过跨学科交叉方法提炼关键因素，从多个维度对批次车辆运行周期数据进行深入的分析，以揭示数据之间的内在关联和规律，包括时间序列建模、因子分析与权重量化、多变量耦合分析、大数据分析 with 智能诊断。具体方法如下： ——时间序列建模，通过分析纯电动汽车火灾事故随时间动态演变的规律，结合电池状态、温度波动、充电行为等车辆关键运行参数的变化趋势，构建时间序列模型，识别潜在的安全隐患和故障演化路径； ——因子分析与权重量化，通过对电池性能、环境条件、驾驶员操作等可能影响纯电动汽车发生火灾的各种因素进行全面考虑，抽取主要风险因子，量化风险因子对火灾事故发生的影响权重，从而确定在火灾致因中占据主导地位的因素； ——多变量耦合分析，通过整合车辆使用过程中多源异构数据，探索不同变量间复杂的相互作用关系，例如电池老化速率、系统过载、环境温度与湿度等因素如何叠加促发火灾的可能性； ——大数据分析 with 智能诊断，基于批次车辆运行周期数据，运用大数据挖掘和 AI 算法，对车辆全生命周期内各个阶段的运行数据进行运算分析，识别故障模式、火灾风险因子。

附录 B

(资料性)

缺陷工程分析试验方法

缺陷工程分析试验可采用的方法包括但不限于表B. 1中所示的方法。

表 B. 1 缺陷工程分析试验常用方法

方法类型	方法	方法描述
无损分析方法	计算机层析成像(CT)分析方法	通过利用X射线、γ射线或其他射线源,对失效残骸或故障件进行断层扫描和图像重建,从而获取被检测物内部的结构、材质和受损状况等信息。具体方法如下: ——通过CT扫描观察被检查物的裂纹、扭曲和膨胀等受损形态,残骸内部各零部件的位置、形状和相互关系; ——在不破坏被检测物体的情况下,辅助判断失效残骸或故障件内部杂质、装配异常等失效位置和失效致因。
	直流内阻(DCIR)法	通过测量电池包或电池电芯在直流电流下的内阻,与原始值进行对比分析,判定电池包或电池电芯问题的一种方法。具体方法如下: ——电池包或电池电芯在短时间内通过一个恒定直流电流,测量电流通过前、后电池包或电池电芯的电压,计算出电池包或电池电芯电压差(ΔU),并根据公式 $R = \Delta U / I$ 计算出当前的直流内阻(DCIR)值; ——测试并计算出不同SOC下的电池包或电池电芯充电和放电DCIR值; ——对比所测DCIR值与初始值,判定电池包或电池电芯是否有微短路、虚焊等不良现象。
	电化学阻抗谱(EIS)法	通过测量电芯/电极交流阻抗随频率变化,获取电极反应速率、扩散系数、电化学反应机理等关键特征。具体方法如下: ——根据电芯的容量或电极状态选择合适的电化学工作站并设定测试频率范围、电压或电流正弦信号振幅等参数; ——测量样品电化学阻抗谱并对其进行拟合计算,获取电芯或电极的动力学特性以及电极/电解质界面的性质变化规律; ——分析电芯析锂、滥用等问题对电池本质性能的影响。
	超声扫描显微镜(SAM)法	通过超声波扫描技术,对电池电芯内部产气、析锂及电解液浸润干涸等典型损伤行为实现快速在线探测。具体方法如下: ——根据电池电芯的尺寸选择合适的工装,并设定相应的频率探头和扫描模式,在电脑中生成电池电芯内部图像; ——对电池电芯内部结构缺陷以及电池内部产气、析锂及电解液浸润干涸等进行分析,进而确定对电池性能的影响。
零部件有损分析方法	绝热加速量热法(ARC)	通过对绝热条件下物质化学反应的时间-温度-压力等数据的测试,评估其初始反应温度、热失控温度、破坏效应及反应历程等,可以精确的检测出在热失控过程中电池内部材料由于产热副反应导致的电池电芯温度实时变化情况。具体方法如下: ——电池热失控测试,通过夹具将电池固定在量热腔内部,测温热电偶固定于电池表面,通过电压采集设备同步检测电池开路电压变化。检查连接线路无误后,启动测试软件,设置起始温度、升温步阶(建议5℃)、等待时间(30 min~60 min)、

方法类型	方法	方法描述
		终止温度，开始测试，直至达到测试终止温度，设备开启降温模式，待温度降到室温，测试完成，可以获得电池时间温度的热特性曲线来评价电池的热稳定性和安全性； ——电池充放电产热特性测试，将电池与充放电设备连接，放在量热腔内部，检查连接线路无误后，启动仪器。经过较长时间的温度均衡，等待电池与腔体温度几乎一致（一般要求温差不超过 0.2℃）且均达到设定的起始温度左右，将加速量热仪切换到“Exotherm 模式”，开始对电池进行充放电测试，直至充放电结束或达到保护温度，可以获得电池在充放电过程中温度、产热功率和能量等数据。
	零部件拆解分析法	针对故障零部件，如电机、电控、电池系统、高低压线束等，对故障件或者同批次零部件进行专业拆解，对异常部位进行测量、测试、取样、检测分析等，以识别故障模式、失效致因等。拆解后常用的测试分析包括但不限于： ——红外光谱（FT-IR）/拉曼光谱（RAMAN），采用 FTIR 或 RAMAN 检测方法对拆解后电芯正负极材料、电解液、隔膜等材料进行分析，对其官能团或分子结构缺陷进行分析； ——扫描电子显微镜（SEM），检测电芯负极材料表面枝晶状、絮状、棒状、块状等特征析锂，可初步判断特定电池体系下的析锂程度；对隔膜和活性材料进行表面和截面的形貌分析，常辅助 EDS 进行区域形貌和元素成分、含量分析，判断电池过充和电解液氧化分解情况； ——能量弥散 X 射线谱（EDS），对电芯拆解后隔膜或活性材料表面进行成分分析； ——透射电子显微镜（TEM），通过加速和聚集的电子束投射到非常薄的样品上，将样品内部材料晶格层级得微观结构呈现出来，可分析电池材料微观结构的变化。对金属锂的晶体结构采用冷冻 TEM 进行分析； ——X 射线衍射（XRD），分为原位 X 射线衍射和非原位 X 射线衍射。原位 X 射线衍射通过充放电设备辅助，还原电池电芯内材料在整个充放电过程中真实状况，尤其是满电态下的相变及结构稳定性变化情况；非原位 X 射线衍射是在材料反应结束后或在特定阶段后进行测试。通过 X 射线衍射测试分析正负极材料结构和充放电过程中的相变； ——金相分析，对现场提取的金属件如铜、铝导线等部件，采集残留熔痕。可使用金相分析方法获取金属材料的晶粒尺寸、晶界分布、相组成等组织形态，观察金相试样中熔化区、熔化过渡区及导线基体等部位的显微组织特征，分析判定熔痕形成过程，初步判定故障件内部微观损伤、焊接缺陷、短路点和故障发生位置、失效致因等； ——电感耦合等离子体光谱法（ICP）/原子吸收光谱法（AAS），采用 ICP 或 AAS 检测分析法对拆解后电池正负极材料、电解液、隔膜等材料中的元素含量进行定量分析； ——高低压线束拆解分析参考 GB/T 16840.1 开展。
	加速老化试验法	根据不同的产品或零部件类型、工作原理、故障类别，通过设计环境、工况、充放电倍率、应力等合理的加速老化条件，模拟长周期运行条件下待分析问题与产品安全/可靠性之间的映射关系，识别失效致因。常见的老化试验方法包括但不限于： ——高低温老化测试法，将电池置于高温或低温条件下，模拟不同环境下的使用场景，通过充放电循环测试，以达到加速电池老化的效果； ——充放电倍率老化测试法，设计合理的充电倍率，通过反复充放电以达到加速电池

方法类型	方法	方法描述
		老化的效果。
系统性试验方法	故障注入试验方法	故障注入是一种通过有意引入故障或异常情况来测试系统在常情况下的响应和稳定性的方法。这种测试方法可以模拟出系统在面对不同故障情况时的表现，帮助缺陷分析人员评估故障或异常的危害及风险程度。常见的故障注入测试方法有： ——外部总线故障注入, 外部总线故障注入是通过 CAN 总线的外部接口进行注入，通过改变信号传输线路中的数据、信号或链路物理结构来实现故障注入。外部总线故障注入可分为物理层故障注入、电气层故障注入和协议层故障注入； ——基于探针的故障注入, 基于探针的故障注入即将故障注入探针与被注入器件管脚、管脚连线、电连接器引脚相接触，通过改变管脚/引脚输出信号或互连结构实现故障的注入； ——基于插拔式的故障注入, 插拔式故障注入方法是在确保不会造成不可恢复性影响的前提下，对车辆内部以及电池系统元器件、电路板、导线、电缆等的“拔出”或“插入”操作，以实现故障的注入； ——软件故障注入, 软件故障注入是将故障代码注入到受试设备目标程序源代码中，注入后的源代码正确编译并下载到目标芯片，当程序运行并满足预定的触发条件时，注入的故障将被激活。受试设备软件故障注入主要针对外部软/硬件激励无法设备或模拟的故障类型开展； ——基于硬件预置缺陷的故障注入, 对于电池系统、高压连接器件等关键零部件，采用合适的方法预先在测试车辆或零部件中植入硬件缺陷，结合试验设计，完成故障注入，如焊接不良、采样线路干涉、电芯漏液等问题。
	仿真分析方法	仿真分析方法通过建立被研究对象的模型，模拟和评估系统、事务或流程，找到解决原问题的方案。常见的仿真分析方法有： ——整车碰撞仿真：对实际工况建立碰撞仿真模型，通过仿真结果更方便观察碰撞过程中的零部件缺陷，便于分析因故障造成的安全事故； ——电池包热扩散仿真：对电池包建立热扩散仿真模型，基于仿真模型，观察热扩散的路径，分析识别电池包短路起火的缺陷位置，对该位置进行防护以有效规避问题； ——整车消防火灾仿真：通过分析不同起火位置的整车火焰/温度蔓延规律，寻找整车发生事故导致起火的初始位置，识别车辆缺陷； ——热电耦合仿真：通过热电耦合仿真，模拟真实车辆行驶或充电等工况下高压零部件缺陷导致电气安全事故。如不合理的熔断器选型导致发生短路事故时无法及时分断电路，或仿真将生产工艺不合格导致的缺陷零部件应用于整车时引起的安全事故等。

附 录 C

(资料性)

纯电动汽车火灾缺陷分析报告(模板)

C.1 缺陷分析工作概述

包括但不限于开展缺陷分析的原因、开展分析的维度等内容。

C.2 缺陷分析对象基本信息

包括但不限于火灾事故信息收集、批次车辆信息等内容。

C.3 火灾事故信息深度分析

包括但不限于多次火灾事故信息、事故深度调查报告内容,及总结出的故障模式。

C.4 车辆运行周期数据分析

包括但不限于选择的分析方法,生产制造数据分析结果、维修保养数据分析结果、同批次同型号车辆运行数据分析结果,及总结出的故障模式。

C.5 缺陷工程分析试验

包括但不限于试验方案、试验方法、试验过程和试验结果,及总结出的故障模式。

C.6 缺陷分析工作总结及相关建议

包括但不限于通过火灾事故信息深度分析、车辆运行周期数据分析和缺陷工程分析试验结果总结出的故障模式及失效致因,并给出相关的解决措施或建议。
