

ICS 32.020
CCS T45

团体标准

T/CIAPS0048—2025

动力电池机械损伤定量化评价方法

Quantitative mechanical damage evaluation criteria for traction battery

2025年1月24日发布

2025年2月20日实施

中国化学与物理电源行业协会 发布

全国团体标准信息平台

目 次

目 次	I
前 言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
3.1 动力电池系统 power battery system	4
3.2 机械致损 mechanical damage	4
3.3 致损程度 degree of damage	4
3.4 损伤程度 degree of injury	4
3.5 形变 deformation	4
3.6 破损 leakage	4
3.7 变形区域 deformation area	4
3.8 热失控 thermal runaway	5
3.9 安全风险 safety risk	5
4 缩略语和符号	5
4.1 缩略语	5
4.2 符号	5
5 仪器和设备	5
5.1 电池充放电仪	5
5.2 万用表	6
5.3 交流阻抗仪	6
5.4 3D 蓝光扫描仪	6
5.5 GC-MS 联用设备	6
5.6 升降设备	6
6 综合损伤量化方法	6
6.1 综合损伤分级方法说明	6
6.2 致损程度分级	7
6.3 损伤程度分级	8
7 致损程度检测方法	8
7.1 检测流程	9
7.2 测试方法	9
7.3 变形量测试方法	10
8 损伤程度检测方法	10
8.1 检测方法说明	10
8.2 具体检测方法	11
9 评价方法	12
10 评价流程	13

附录 A	14
附录 B	15
附录 C	16
附录 D	17
附录 E	18
附录 F	19
附录 G	20

前 言

本标准依据GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

本标准的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国化学与物理电源行业协会提出并归口。

本标准主要起草单位：深圳市比亚迪锂电池有限公司、中国汽车技术研究中心有限公司。

本标准参与起草单位：蜂巢能源科技（无锡）有限公司、比亚迪汽车工业有限公司、招商局检测车辆技术研究院有限公司、中汽研新能源汽车检验中心（天津）有限公司、北京车和家汽车科技有限公司、极氪汽车（宁波杭州湾新区）有限公司、中汽研汽车检验中心（广州）有限公司、大众汽车（中国）科技有限公司、泛亚汽车技术中心有限公司、煤炭科学研究总院有限公司。

本文件主要起草人：孙华军、王高武、曹文玉、林文生、刘建、陈金雲、刘倩雨、马天翼、闫鹏飞、赵亮、马佳腾、谢鑫、陈立铎、刘仕强、张宝强、韩策、王炜娜、张亚军、刘三兵、罗运俊、杨晓霞、薛洪亮、卢盛鹏、王起亮、方伟、常宏、戴晓谦、申韶鹏、吴兵。

本文件为首次制定。



动力电池机械损伤定量化评价方法

1 范围

本标准规定了动力电池受到外部机械滥用后动力电池损伤程度的检测流程,检测方法和损伤程度分级依据。

本标准适用于乘用车和商用车动力电池系统,其他含有动力电池系统的装置、设备可参照执行。

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 19596 电动汽车术语

GB/T 31485-2015 电动汽车用动力蓄电池安全要求及试验方法

GB/T 38031-2020 电动汽车用动力蓄电池安全要求

3 术语和定义

GB/T 19596、GB/T 31485-2015、GB/T 38031-2020中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 电池系统 battery system

由一个或一个以上的电池包及相应附件(管理系统、高压电路、低压电路、热管理设备以及机械总成等)构成的能量存储装置。

3.2 致损程度 degree of damage

指外部施加机械滥用、行为的程度,用来描述机械致损的严重程度,如机械致损后动力电池系统的形变量,破损面积等。

3.3 损伤程度 degree of injury

指受到外部机械致损后,产品本身受到伤害的严重程度,用来描述应致损导致后果的严重程度,如致损后绝缘电阻的下降程度,自放电增加的程度,容量的损失率等。

3.4 形变 deformation

指受到外部机械致损后,材料本身发生拉伸或者压缩变形的情况。

3.5 破损 breakage

指受到外部机械致损后,材料本身应力超过材料极限,从而发生断裂、开裂等的情况。

3.6 变形区域 deformation area

指受到外部机械损伤后,与标准样品相比,测试样品在某一方向上发生连续大小不同的形变量,该

形变量中心或者靠近中心位置最大，四周渐小；以形变量 $\pm 1\text{mm}$ 定义为变形的边界，以此边界形成的封闭区域定义为变形区域。

3.7 热失控 thermal runaway

电池单体放热连锁反应引起电池温度的不可控上升的现象。

注：引自GB 38031中术语。

3.8 安全风险 safety risk

指产品发生热失控事件的概率。

3.9 综合损伤 comprehensive damage

指产品受到外部滥用后，电池包致损程度等级和损伤程度等级的综合评价结果，可用于整体描述动力电池受到机械滥用后的安全风险。

4 缩略语和符号

4.1 缩略语

SOC：荷电状态。

4.2 符号

I_1 ：1h 率放电电流（A），其数值等于额定容量值。

RT：室温（ 22 ± 5 ） $^{\circ}\text{C}$ 。

ΔX ：指电池包在 X 轴方向的最大变形量。

ΔY ：指电池包在 Y 轴方向的最大变形量。

ΔZ ：指电池包在 Z 轴方向的最大变形量。

S_x ：指电池包在 X 轴方向的最大变形面积。

S_y ：指电池包在 Y 轴方向的最大变形面积。

S_z ：指电池包在 Z 轴方向的最大变形面积。

SP_x ：指电池包在 X 轴方向的最大破损面积。

SP_y ：指电池包在 Y 轴方向的最大破损面积。

SP_z ：指电池包在 Z 轴方向的最大破损面积。

ΔR ：指电池包系统绝缘电阻的变化率。

SD_x ：指电池包系统中，编号为 x 电芯的自放电速率。

ΔSD_x ：指电池包系统中，编号为 x 电芯的自放电的变化率。

$D_{\text{cell-x}}$ ：指电池包系统中，电芯 X 轴方向封装与托盘 X 轴外表面的最小距离。

$D_{\text{cell-y}}$ ：指电池包系统中，电芯 Y 轴方向封装与托盘 Y 轴外表面的最小距离。

$D_{\text{cell-z}}$ ：指电池包系统中，电芯 Z 轴方向封装与托盘 Z 轴外表面的最小距离。

5 仪器和设备

5.1 电池充放电仪

适用于动力电池充放电测试。采用电池充放电测试仪对检测对象进行充放电，将检测对象调整至实验所需的荷电状态，对检测对象充放电过程中的电流、电压、时间和容量进行设置和实时记录。测量仪器、仪表准确度应满足GB 38031-2020中6.2条的规定要求。测试过程误差应满足GB 38031-2020中6.3条的规定要求。

5.2 万用表

适用于动力电池电压、电阻的测量。采用万用表对测试样品开展基本的电压、电阻等信息的测量。测量仪器、仪表准确度应满足GB 38031-2020中6.2条的规定要求。测试过程误差应满足GB 38031-2020中6.3条的规定要求。

5.3 3D 蓝光扫描仪

具有功能强大的三维扫描模块，可对扫描动力电池进行快速的扫描采集，并能实时显现扫描对象的三维立体模型。采集完成的数据可一键导出，与主流三维软件兼容，能对扫描结果进行编辑，保存和重复使用。

5.4 气相色谱-质谱（GC-MS）联用仪

台式气相色谱-质谱联用仪或便携式气相色谱-质谱联用仪，用于测试电池系统可能存在的气体成分。设备针对电解液检测的分辨率应 $\geq 1\text{ppm}$ ，检测精度 $\pm 1\%$ ，重复精度 $\pm 1\%$ ，响应时间1s。

5.5 气密检测设备

适用于动力电池包气密性检测，泄漏检测设备误差不得大于0.5%。泄漏量精度 $\pm 1\%FS$ ，气压精度 $\pm 0.25\%FS$ 。

5.6 升降设备

常见的升降设备，具有可调节、可固定的升降臂，能够将新能源汽车或者动力电池系统整体固定并抬升至一定高度。设备载重应 $\geq 2\text{吨}$ ，升降高度 $\geq 1.5\text{米}$ 。

6 综合损伤量化方法

6.1 综合损伤分级方法说明

综合致损程度等级和损伤程度等级，共同确认动力电池机械损伤风险等级。

- I级：电池包无损伤，可正常运行；
- II级：电池包受到轻微损伤，电性能受到影响；
- III级：电池包受到较为严重损伤，安全性能受到影响；
- IV级：电池包受到严重损伤，安全性能遭到破坏，存在安全隐患，无法继续使用；
- V级：电池包受到严重损伤，安全性能遭到严重破坏，存在热失控风险，需尽快处理。

致损程度	IV	IV	IV	V	V
	III	III	III	IV	V
	II	II	III	III	IV
	I	I	II	III	IV
		I	II	III	IV
		损伤程度			

图 1 动力电池机械损伤等级划分矩阵

6.2 致损程度分级

6.2.1 致损程度分级说明

对于电池包系统而言，Z轴方向即为电池包厚度方向，是三个尺寸中最小的一个维度，机械致损最为常见的情况。因此，Z轴方向的变形与破损，较X轴和Y轴更为严重。在开展致损程度定级时，Z轴方向变形量和变形面积的占比权重更高。针对电池包系统存在多处机械损伤位点的，需分别取 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ 、 S_x 、 S_y 、 S_z 和 SP_x 、 SP_y 、 SP_z 最大值进行分级。

6.2.2 致损程度分级参数

基于测试结果，综合变形量，变形面积和破损面积，将致损程度分为4个等级，定义如下：

- 一级：轻微刮痕，表面材质损伤，未出现破损，不影响电池包正常使用；
- 二级：轻微变形，可更换防护材料，未出现破损；
- 三级：严重变形，轻微破损，不可修复，长期使用存在进水风险；
- 四级：严重变形，严重破损，存在安全隐患。

表 1 致损程度分级方法

参数指标		致损程度等级			
		I级	II级	III级	IV级
		轻微刮痕，表面材质损伤	轻微变形，可更换防护材料	严重变形，轻微破损，不可修复	严重变形，严重破损，存在安全隐患
形变尺寸	ΔX	$<2\text{mm}$	$<10\text{mm}$	$<20\text{mm}$ 或 $\Delta X < 0.7D_{\text{cell-X}}$	$\geq 20\text{mm}$ 或 $\Delta X \geq 0.7D_{\text{cell-X}}$
	ΔY	$<2\text{mm}$	$<10\text{mm}$	$<20\text{mm}$ 或 $\Delta Y < 0.7D_{\text{cell-Y}}$	$\geq 20\text{mm}$ 或 $\Delta Y \geq 0.7D_{\text{cell-Y}}$
	ΔZ	$<2\text{mm}$	$<5\text{mm}$	$<10\text{mm}$ 或 $\Delta Z < 0.7D_{\text{cell-Z}}$	$\geq 10\text{mm}$ 或 $\Delta Z \geq 0.7D_{\text{cell-Z}}$
形变面积	S_x	$<10\text{mm}^2$	$<20\text{mm}^2$	100mm^2	$\geq 100\text{mm}^2$
	S_y	$<10\text{mm}^2$	$<20\text{mm}^2$	100mm^2	$\geq 100\text{mm}^2$
	S_z	$<10\text{mm}^2$	$<20\text{mm}^2$	100mm^2	$\geq 100\text{mm}^2$
破损面	SP_x	无破损	无破损	$<20\text{mm}^2$	$\geq 20\text{mm}^2$

	SP ₁	无破损	无破损	<20mm ²	≥20mm ²
	SP ₂	无破损	无破损	<10mm ²	≥10mm ²

6.2.3 致损程度分级方法

根据标准章节7中描述方法，开展致损程度检测。检测参数中，以形变尺寸、形变面积或破损面积中的任一条参数的最大等级，作为致损程度等级。

6.3 损伤程度分级

6.3.1 损伤程度分级说明

对于电池包系统而言，不同机械致损程度，无法直接评估电池包实际损伤程度。因此需通过电池包系统的其他参数联合判断。基于机械致损机理，确认从绝缘电阻、自放电、气密和液体泄露成分四个维度开展综合分析。

6.3.2 损伤程度分级参数

基于测试结果，综合绝缘电阻、自放电、气密和液体泄露成分，将损伤程度分为4个等级，定义参数和分级情况见表2。

- 一级：电池包系统各项参数指标未发生明显变化，本征安全未受到破坏；
- 二级：电池包系统受到轻微损伤，气密有一定破坏，但尚未造成相关参数异常，长期使用，存在安全隐患；
- 三级：电池包系统本征安全参数均受到一定程度破坏，短期内需尽快维修，排除安全隐患；
- 四级：电池包系统本征安全参数均受到严重破坏，存在安全风险，不能使用。

表2 损伤程度分级方法

参数指标		损伤程度等级			
		I级	II级	III级	IV级
		本征安全未受到破坏	电池包系统受到轻微损伤，长期使用，存在安全隐患	电池包系统短期内需尽快维修，排除安全隐患	电池包系统存在安全风险，不能使用
绝缘电阻	ΔR	<80%	80~90%	≥90%	≥90%
	Ri	>500 Ω/V	100~500 Ω/V	<100 Ω/V	<100 Ω/V 且 <5000 Ω
自放电	ΔSD _x	<10%	≥10%且<20%	≥20%且<30%	≥30%
	SD _x	<1mV/D	1~2mV/D	2~3mV/D	≥3mV/D
气密性	泄漏速率	<20cm ³ /min	20~50cm ³ /min	50~100cm ³ /min	≥100cm ³ /min
液体泄露	电解液	无	无	无	有
	冷却液	无	无	有	有
	水	无	有	有	有

6.3.3 损伤程度分级参数

根据标准章节8中描述方法，开展损伤程度检测。检测参数中，以绝缘电阻、自放电、气密性或液体泄漏中的任一条参数的最大等级，作为损伤程度等级。

7 致损程度检测方法

7.1 检测流程

致损程度检测的主要目的在于测试机械损伤程度的大小。检测对象可以为整车或者电池包系统，通过常见升降设备，将整车或者动力电池系统整体固定并抬升至一定高度，然后采用3D蓝光扫描装置，对电池包系统进行扫描，获得所测试样品的三维模型。通过与标准样品模型对比，分析测试样品的变形量、变形面积和破损面积等信息，然后根据结果，输出致损程度等级。具体流程如下：

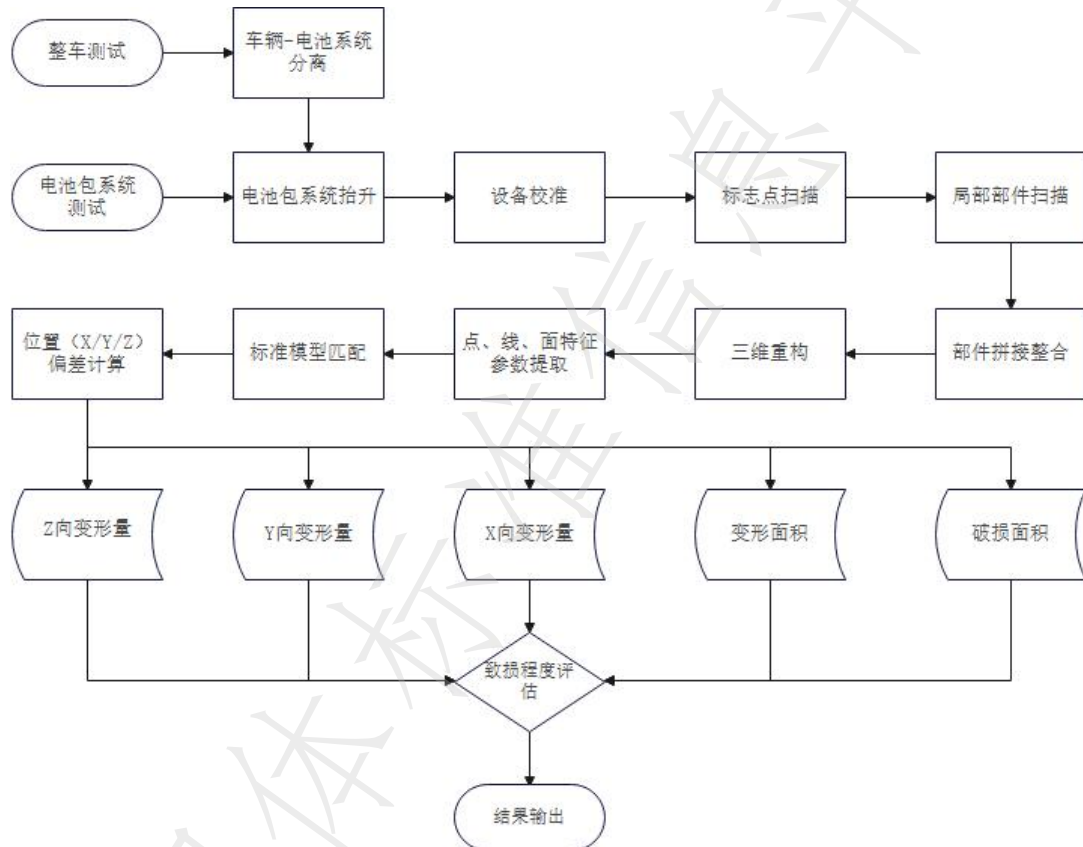


图2 致损程度检测工作流程图

7.2 测试方法

7.2.1 三维数字扫描

采用3D蓝光扫描仪，按照测试的标准要求，对待测样品先进行整体标志点扫描，然后对各部分单独扫描。具体扫描要求如下：

- 扫描面要求：包括电池包前、后、左、右、上和下六个面，需覆盖完整电池包结构；
- 扫描精度要求：扫描结果输出精度不得低于 $\pm 0.1\text{mm}$ ；
- 数据处理要求：扫描各部分结果可以自动完成拼接。

7.2.2 3D模型构建

扫描结果完成的数据可一键导出三维模型，兼容三维编辑功能，可修剪冗余数据。具体要求如下：

- 扫描结果支持常用3D分析软件，如CAD等；

——扫描结果支持输关键零部件位点、线、面的位置。

7.3 变形量测试方法

7.3.1 标准模型构建

扫描同款电池包，构建标准电池包数据模型。

7.3.2 形变类型分类

以电池包系统防护、密封材料有无开裂、破损，形变量是否超过 $\pm 1\text{mm}$ 作为判断依据，将形变类型分为刮痕，形变和破损三种情况。

7.3.3 形变尺寸分类

测试样品与标准样品模型对比，以标准样品模型为依据，计算测试样品形变位点在X轴、Y轴和Z轴的变形量。测量结果中，“+”表示尺寸大于标准样品，即测试样品外凸；“-”表示尺寸小于标准样品，即测试样品内凹。由于测量误差的影响，对于 $\pm 1\text{mm}$ 以内的差异，不计为形变。同一变形区域内，取最大变形量最为该区域在特定方向上的变形量。

——X轴（车型行驶方向为X轴方向）形变尺寸分析：对比标准样品模型，测量样品与标准样品在X轴方向的差异量，按差异的绝对值依次记为 ΔX_1 、 ΔX_2 等；

——Y轴形变尺寸分析：对比标准样品模型，测量样品与标准样品在Y轴方向的差异量，按差异的绝对值依次记为 ΔY_1 、 ΔY_2 等；

——Z轴形变尺寸分析：对比标准样品模型，测量样品与标准样品在Z轴方向的差异量，按差异的绝对值依次记为 ΔZ_1 、 ΔZ_2 等。

7.3.4 形变面积测量

根据7.3.3中方法，测得测试样品在各方向上的变形量后，每个变形量代表一个变形区域，作变形区域在此方向的投影，然后采用积分法求得变形区域的形变面积。与形变尺寸对应，形变面积记为 S_{x1} 、 S_{y1} 、 S_{z1} 等。

7.3.5 破损面积测量

与7.3.4中方法相似，作破损区在特定方向上的投影，然后采用积分法求得破损区域的面积。与形变尺寸对应，破损面积记为 SP_{x1} 、 SP_{y1} 、 SP_{z1} 等。

7.3.6 内裂纹测量

通过包体CT，确认内部材质有无开裂情况。

8 损伤程度检测方法

8.1 检测方法说明

机械损伤后，电池包系统除外部变形，还会造成电池包系统内部的异常，通常表现为绝缘电阻异常，电芯自放电大，内阻异常和容量损失等。因此，可通过对比此参数与初始参数的差异，作为评价损伤程度的指标。

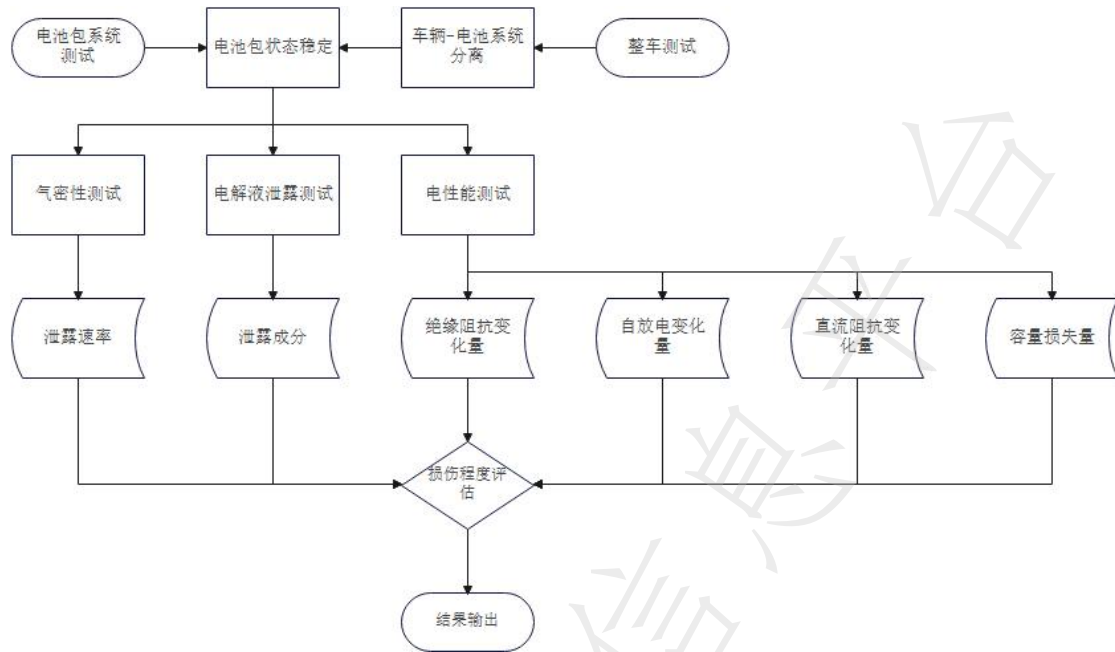
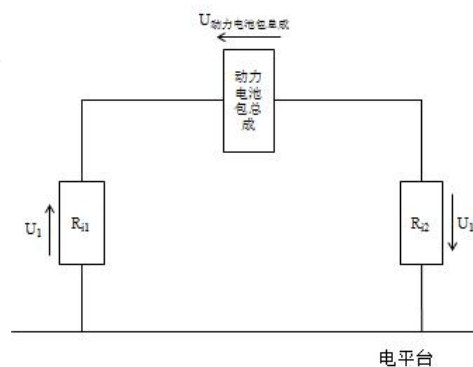


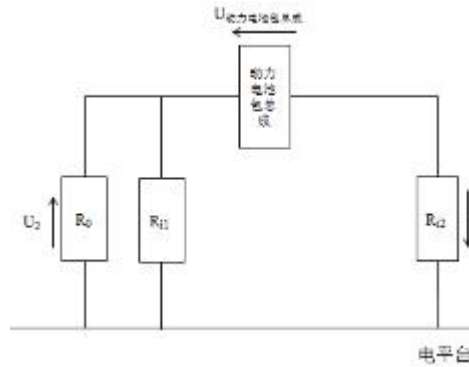
图3 损伤程度检测工作流程图

8.2 具体检测方法

8.2.1 绝缘电阻变化量检测

机械损伤可能破坏电池包系统内部绝缘防护，因此通过绝缘电阻变化量，可直接评估产品内部绝缘是否存在损伤，及损伤程度。首先需要测试损伤后的电池包系统的绝缘电阻，在测量时若绝缘监测功能会对电池包或系统绝缘电阻的测试产生影响，则应将绝缘监测功能关闭或者将绝缘电阻监测单元从B级电压电路中断开，以免影响测量值，否则制造商可选择是否关闭绝缘监测功能或者将绝缘监测单元从B级电压电路中断开。将电池包继电器吸合，测量动力电池包总成正负极和托盘之间的电压。较高的一个定义为 U_1 ，较低的一个定义为 U_1' 。添加一个已知的测量电阻 R_0 ($R_0 \geq 1M\Omega$) 跟电池系统并联（如下图所示），测量 U_2 和 U_2' 。计算绝缘电阻 R_i ，通过对比电池包系统出厂时的绝缘电阻值，得到绝缘电阻变化率。

图4 U_1 和 U_1' 的测量示意图

图5 添加测量电阻 R_0 ， U_2 和 U_2' 的测量示意图

8.2.2 自放电变化量检测

电池包系统自放电测试按如下步骤进行：

- 1) 样品在室温下静置1h；
- 2) 按照电池系统厂家自放电设定的SOC调整；
- 3) 搁置1h，测各单体电芯的OCV1；
- 4) 搁置电池系统厂家自放电设定的时间T，测各单体电芯的OCV2；
- 5) 电芯自放电速率 $SD_x = (OCV_{x1} - OCV_{x2}) / T$ ；
- 6) 电芯自放电变化率 $\Delta SD_x = (\text{出货}SD_x - \text{损伤后}SD_x) / \text{出货}SD_x$ 。

8.2.3 气密性检测

机械损伤最容易造成的损伤为电池包系统气密性的失效。因此检测损伤后电池包系统的气密性，用来评估损伤程度，是极其重要的一个指标。具体步骤如下：

- 1) 样品在室温下静置6h以上，确保电池包内外压达到平衡；
- 2) 根据厂家要求或者推荐的气密性测试方法，连接气密检测装置；
- 3) 输入干燥氮气或者氦气；
- 4) 根据测试电池包内压力、气体泄漏量或根据体积自动计算该电池包系统的气体泄漏速率 ΔP_{sys} ；
- 5) 采用相似方法，测试电池包冷却系统的气密性，得到液冷系统的气体泄漏速率 ΔP_{cool} 。

8.2.4 液体泄露检测

针对损伤变形大，但并未破损的情况，气密性无法评价内部损伤情况。但内部的液冷系统或者电芯可能存在破损，发生冷却液或者电解液泄露的情况，因此可通过测试电池包系统内部气体成分，来确认是否存在电解液或者冷却液，评估损伤程度。具体方法如下：

- 1) 样品在室温下静置1h；
- 2) 取出电池包系统透气阀，接入气密检测管路；
- 3) 抽取电池包内部气体；
- 4) 将抽出气体自动转入到GC-MS联用设备，测试电池包系统泄露成分，判断是否存在电解液或者冷却液泄露情况。进一步的，通过湿度计评估电池包内部气体湿度，综合电池包系统的气密性，联合判断电池包是否存在进水、涉水或者透气阀失效的情况。

9 评价方法

按照标准开展致损程度和损伤程度参数的测量，基于表1和表2中具体参数指标，判定致损程度等级和损伤程度等级。具体方式为，致损/损伤评价指标中，任意一条测试结果参数满足所属等级，即判定该动力电池的致损/损伤等级。

在此基础上，综合致损程度等级和损伤程度等级共同确认动力电池机械损伤风险等级。综合评估结果，共分为5个等级，依次为Ⅰ级，对应电池包无损伤，可正常运行；Ⅱ级，对应电池包受到轻微损伤，电性能受到影响；Ⅲ级，对应电池包受到较为严重损伤，安全性能受到影响；Ⅳ级，对应电池包受到严重损伤，安全性能遭到破坏，存在安全隐患，无法继续使用；Ⅴ级，对应电池包受到严重损伤，安全性能遭到严重破坏，存在热失控风险，需尽快处理。

10 评价流程

动力电池损伤安全性分级评价流程如下：

- a) 组织单位发起评价工作，或由参评单位自荐发起评价工作；
- b) 参评单位确定需要评价的产品，依据本文件开展自我评价，根据评价指标体系中的指标和方法，对照评价指标基准值进行评价和等级评定；
- c) 参评单位自评通过后，提交相关材料至组织单位。组织单位开展材料初审，初审合格后，由组织单位委派的专家组对参评单位自我评价结果开展评价，得出评价结论；
- d) 组织单位发布最终评价结果。

注：组织单位可以是政府单位、产品生产单位或第三方机构等需要对市场在运行动力电池包产品机械损伤后安全性能进行分级评价的机构组织。

附录 A

(资料性附录)
表 1 仪器装置清单

装置清单	规格型号	备注	图片
充放电设备	普遍	环境仓	/
气密性测试仪	ATEQ-F620(6bar±15%)		
气密工装	定制，与防爆阀配合		
MetraSCAN 3D 追踪式三维蓝光扫描仪	光源：15 对蓝色激光线 测量分辨率：0.025mm 测量速度：1,800,000 次测量/秒		
C-Track	/		
控制器	/		
计算机软件 VXelement	VXelements 自定位技术，操作简单，集成了点云数据采集、摄影测量点云数据对比检测分析、点云数据后期处理功能		

附录 B

(资料性附录)
动力电池包底部侵入量评价示例



图6 蓝光扫描得到的电池包底部形貌

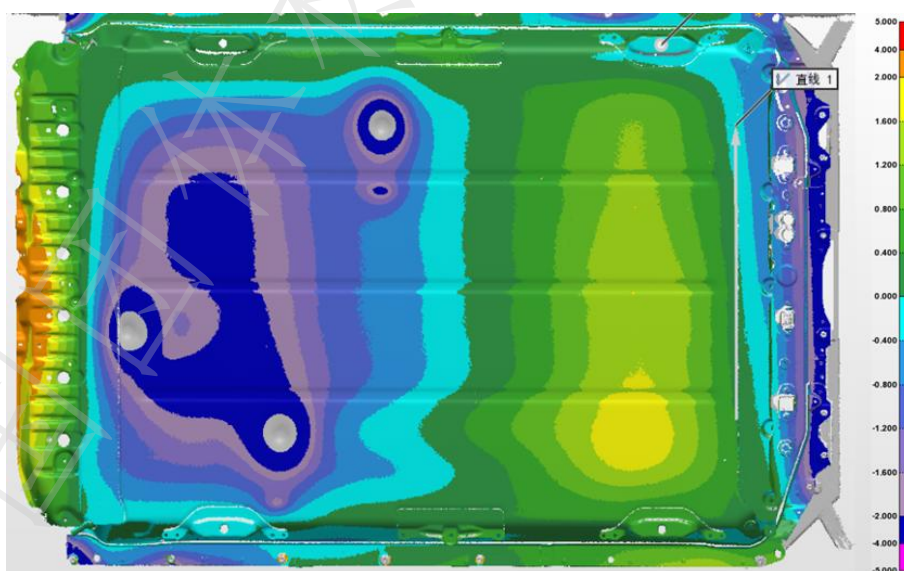


图7 蓝光扫描得到的电池包底部平面度伪彩图

附录 C

(规范性)

电芯自放电变化率计算方法

电芯自放电变化率按照式 (C. 1) 计算:

$$\Delta SD_x = (\text{出货}SD_x - \text{损伤后}SD_x) / \text{出货}SD_x$$

式中:

ΔSD_x —— 自放电变化率, 单位为百分数 (%);

损伤后 SD_x —— 损伤后电池的自放电速率, 单位为mV/D;

出货 SD_x —— 出货态电池的自放电速率, 单位为mV/D。

附录 D

(规范性)

电池包阻抗计算方法

电池包阻抗按照式 (C.2) 计算:

$$N_x \text{DCIR} = 1000 * \Delta V_x / I \text{ (A)}$$

式中:

 $N_x \text{DCIR}$ —— 指包体序号为x的直流内阻, 单位为 $\text{m}\Omega$; ΔV_x —— $V_{x2} - V_{x1}$ 为直流充电前后电压有效值的差值, 单位为V;

I —— 为恒流充电有效值。

附录 E

(规范性)

电池包绝缘电阻计算方法

电池包绝缘电阻按照 (C.3) 计算:

$$R_i = R_0 \frac{U_1 - U_2}{U_2} \left[1 + \frac{U_1'}{U_1} \right]$$

式中:

 R_i ——绝缘电阻; R_0 ——已知的测量电阻; U_1 ——动力电池包总成正负极和托盘见较高的一个电压; U_2 ——已知电阻与电池系统并联后测量的电压; U_1' ——动力电池包总成正负极和托盘见较低的一个电压。

电池包绝缘电阻也可按照 (C.4) 计算:

$$R_i = R_0 \left[\frac{U_2'}{U_2} - \frac{U_1'}{U_1} \right]$$

式中:

 R_i ——绝缘电阻; R_0 ——已知的测量电阻; U_1 ——动力电池包总成正负极和托盘见较高的一个电压; U_2 ——已知电阻与电池系统并联后测量的电压; U_1' ——动力电池包总成正负极和托盘见较低的一个电压; U_2' ——已知电阻与电池系统并联后测量的较低的一个电压。

绝缘电阻变化率按照 (C.5) 计算:

$$\Delta R = \frac{R_{\text{出厂}} - R_i}{R_{\text{出厂}}} * 100\%$$

式中:

 ΔR ——绝缘电阻变化量; R_i ——绝缘电阻; $R_{\text{出厂}}$ ——电池包系统出厂时的绝缘电阻值

附录 F

(资料性)

致损程度等级判定案例

下表为某动力电池致损程度参数指标测试评价案例。从测试结果可知，虽然破损面积等参数符合要求，但该动力电池包形变尺寸 ΔX 和形变面积 S_x 均达到 II 级，因此判定该动力电池包致损程度等级为 II 级。

参数指标		致使程度等级				测试结果
		I 级	II 级	III 级	IV 级	
形变尺寸	ΔX	$<2\text{mm}$	$<10\text{mm}$	$<20\text{mm}$ 或 $\Delta X < 0.7D_{\text{cell-x}}$	$\geq 20\text{mm}$ 或 $\Delta X \geq 0.7D_{\text{cell-x}}$	8mm
	ΔY	$<2\text{mm}$	$<10\text{mm}$	$<20\text{mm}$ 或 $\Delta Y < 0.7D_{\text{cell-y}}$	$\geq 20\text{mm}$ 或 $\Delta Y \geq 0.7D_{\text{cell-y}}$	1mm
	ΔZ	$<2\text{mm}$	$<5\text{mm}$	$<10\text{mm}$ 或 $\Delta Z < 0.7D_{\text{cell-z}}$	$\geq 10\text{mm}$ 或 $\Delta Z \geq 0.7D_{\text{cell-z}}$	1mm
形变面积	S_x	$<10\text{mm}^2$	$<20\text{mm}^2$	100mm^2	$\geq 100\text{mm}^2$	18mm^2
	S_y	$<10\text{mm}^2$	$<20\text{mm}^2$	100mm^2	$\geq 100\text{mm}^2$	5mm^2
	S_z	$<10\text{mm}^2$	$<20\text{mm}^2$	100mm^2	$\geq 100\text{mm}^2$	5mm^2
破损面积	SP_x	无破损	无破损	$<20\text{mm}^2$	$\geq 20\text{mm}^2$	无破损
	SP_y	无破损	无破损	$<20\text{mm}^2$	$\geq 20\text{mm}^2$	无破损
	SP_z	无破损	无破损	$<10\text{mm}^2$	$\geq 10\text{mm}^2$	无破损
综合结果		致损程度等级为 II 级：轻微变形，可更换防护材料，未出现破损				

附录 G

(资料性)

损伤程度等级判定案例

下表为某动力电池致损伤度参数指标测试评价案例。从测试结果可知，虽然绝缘电阻、自放电、气密性等参数符合要求，但该动力电池包内部检测到水汽，因此判定该动力电池包损伤程度等级为Ⅱ级。

参数指标		损伤程度等级				测试结果
		I级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	
绝缘电阻	ΔR	<80%	80~90%	$\geq 90\%$	$\geq 90\%$	10%
	R_i	$>500 \Omega/V$	$100 \sim 500 \Omega/V$	$<100 \Omega/V$	$<100 \Omega/V$ 且 $<5000 \Omega$	$1000 \Omega/V$
自放电	ΔSD_x	<10%	$\geq 10\%$ 且 $<20\%$	$\geq 20\%$ 且 $<30\%$	$\geq 30\%$	2%
	SD_x	$<1\text{mV/D}$	$1 \sim 2\text{mV/D}$	$2 \sim 3\text{mV/D}$	$\geq 3\text{mV/D}$	0.5mV/D
气密性	泄漏速率	$<20\text{cm}^3/\text{min}$	$20 \sim 50\text{cm}^3/\text{min}$	$50 \sim 100\text{cm}^3/\text{min}$	$\geq 100\text{cm}^3/\text{min}$	$10\text{cm}^3/\text{min}$
液体泄露	电解液	无	无	无	有	无
	冷却液	无	无	有	有	无
	水	无	有	有	有	有
综合结果		致损程度等级为Ⅱ级：电池包系统受到轻微损伤，长期使用，存在安全隐患				