ICS 53.060
CCS J 83

T/CS

团 体 标 准

T/CS 506—2026

工业车辆锂电动力系统可靠性测试与评价方法

Reliability testing and evaluation method of lithium battery power systems for industrial vehicles

2026－07－31 发布 2026－07－31 实施

中国商品学会 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　缩略语 1
5　总则 1
6　可靠性测试 2
7　可靠性评价 7
8　测试评价报告 7

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。

本文件由杭州鹏成新能源科技有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：杭州鹏成新能源科技有限公司、临工重机股份有限公司、南通国轩新能源科技有限公司、浙江大学、山河智能装备股份有限公司、山东矗峰重工机械有限公司、太重集团（上海）装备技术有限公司、湖南星邦智能装备有限公司、浙江景安消防科技有限公司、杭州鹏成储能技术有限公司、杭州华嘉动力科技有限公司、庐江兆如电子科技有限公司。

本文件主要起草人：许奇、许漫、张照良、蔡彬、林伟、毛飞翔、孙晖、吴旭、巩吉昌、侯博伦、庄碧峰、罗俊、赵文稳、伍建中、贾宇鹏、彭俊、刘宗友、李兵、汪洋、胡武君、李晨飞、徐丹泓。

工业车辆锂电动力系统可靠性测试与评价方法

警示——使用本文件的人员应有正规实验室工作的实践经验。本文件并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全和健康措施，并保证符合国家有关法规规定的条件。

1 范围

本文件规定了工业车辆锂电动力系统可靠性测试与评价的总则、可靠性测试、可靠性评价及测试评价报告。

本文件适用于工业车辆锂电动力系统的可靠性测试与评价。

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 18384 电动汽车安全要求

GB/T 18655 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法

GB/T 31467—2023 电动汽车用锂离子动力电池包和系统电性能试验方法

GB/T 31486 电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法

GB 38031—2025 电动汽车用动力蓄电池安全要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业车辆锂电动力系统 industrial vehicle lithium power system

由锂离子电池包、电池管理系统、低压控制系统、DC-DC 转换单元及相关电气附件组成，为工业车辆提供驱动、举升、照明、控制等电能的系统。

3.2

容量保持率 capacity retention rate

在规定的条件下，锂电动力系统经历一定次数循环、贮存或特定工况测试后，其可用放电容量与初始容量之比。

3.3

随机振动 random vibration

振动幅值、频率随时间无规律随机变化，无法通过确定时域函数描述，采用功率谱密度统计表征振动能量分布。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DC-DC：直流-直流转换（Direct Current/Direct Current converter）

DOD：放电深度（Depth of Discharge）

HALT：高加速寿命试验（Highly Accelerated Life Test）

SOC：荷电状态（State of Charge）

5 总则

5.1 测试体系针对工业车辆锂电动力系统的特殊架构，构建系统可靠性耦合验证体系，分为电芯级可靠性测试、电池系统级可靠性测试、高压主电池包专项可靠性测试、低压系统专项可靠性测试、系统级耦合验证与高加速寿命试验层级，形成从电芯到系统的全链条可靠性测试闭环。
5.2 测试前应对测试样品进行外观、结构、电气性能的检查，确认测试样品状态正常，无影响测试结果的缺陷。
5.3 测试过程中应实时记录测试数据、环境条件、样品状态，测试数据应完整、可追溯、可复现。
5.4 测试过程中如出现样品异常、安全风险，应立即终止测试，排查异常原因，记录异常情况。

6 可靠性测试

6.1 电芯级可靠性

6.1.1 总则

电芯级可靠性测试应符合表 1 的规定。

表 1 电芯级可靠性测试要求

测试项目	技术要求	测试环境
常温放电容量/能量	符合 GB/T 31486 的规定：常温 1C 放电容量不低于额定容量，且不超过额定容量的 110%，一致性不大于 5%	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
高低温放电容量/能量	应符合 GB/T 31486 的规定：模块层级，-20 ℃ 1C放电容量，不低于初始容量的 70%；55 ℃ 1C放电容量，不低于初始容量的 95%	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%； 测试温度覆盖：－20 ℃、0 ℃、10 ℃、25 ℃、45 ℃、55 ℃
常温倍率放电容量/能量/温升	放电容量/初始容量×100%符合下列要求： 0.3C：≥100%； 0.5C：≥100%； 1C：≥97%	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度 65%±20%
常温倍率充电容量/能量/温升	放电容量/初始容量×100%符合下列要求： 0.3C：≥100%； 0.5C：≥93%； 1C：≥90%	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
常温不同 DOD 放电容量/能量	符合产品技术文件要求	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
不同倍率隔热温升	符合产品技术文件要求	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%

6.1.2 常温放电容量/能量

常温放电容量/能量测试应按下列流程执行：
a) 放电：在环境温度 25 ℃±2 ℃下，以 0.5C 放电至 2.5 V；
b) 静置 10 min；
c) 充电：以 0.5C 恒流充电至 3.65 V，恒压充电至 0.05C；
d) 静置 10 min；
e) 放电：以 0.5C 放电至 2.5 V，记录放电容量及能量；
f) 重复步骤 b)～e) 3 次，记录每次放电容量及能量，取 3 次放电容量及能量平均值。

6.1.3 高低温放电容量/能量

高低温放电容量/能量测试应按下列流程执行：
a) 充电：在环境温度 25 ℃±2 ℃下，以 0.5C 恒流充电至 3.65 V，恒压充电至 0.05C；
b) 静置 10 min；
c) 放电：以 0.5C 恒流放电至 2.5 V，记录放电容量作为对比容量；
d) 静置 10 min；

e) 充电：在环境温度 25 ℃±2 ℃下，以 0.5C 恒流充电至 3.65 V，恒压充电至 0.05C；
f) 静置 10 min；
g) 将电芯放置在目标温度环境下至少 6 h（0 ℃及以下搁置 12 h 以上）；
h) 放电：以 0.5C 恒流放电至 2.5 V，记录放电容量及能量；
i) 将电芯在测试环境条件下放置至少 6 h 后以 0.5C 恒流充电至 3.65 V，恒压充电至 0.05C；
j) 静置 10 min；
k) 重复步骤 g)～j)，完成温度 55 ℃、45 ℃、25 ℃、10 ℃、0 ℃、-10 ℃、-20 ℃下的放电容量及能量测试。

6.1.4 常温倍率放电容量/能量/温升

常温倍率放电容量/能量/温升测试应按下列流程执行：
a) 搁置：在环境温度 25 ℃±2 ℃下搁置至少 4 h，SOC 0%；
b) 充电：在环境温度 25 ℃±2 ℃下，以 0.5C 恒流充电至 3.65 V，恒压充电至 0.05C；
c) 静置 10 min；
d) 放电：以 1/3C 恒流放电至 2.5 V，记录放电容量及能量；
e) 静置 30 min；
f) 重复步骤 a)～e)，更改放电电流为 0.5C、1C，分别记录放电容量、能量与电芯温升。

6.1.5 常温倍率充电容量/能量/温升

常温倍率充电容量/能量/温升测试应按下列流程执行：
a) 搁置：在环境温度 25 ℃±2 ℃下搁置至少 4 h，SOC 0%；
b) 充电：在环境温度 25 ℃±2 ℃下，以 1/3C 恒流充电至 3.65 V，恒压充电至 0.05C；
c) 静置 30 min；
d) 放电：以 0.5C 恒流放电至 2.5 V，记录放电容量作为初始对比容量；
e) 静置 10 min；
f) 重复步骤 a)～e)，更改充电电流为 0.5C、1C，分别记录充、放电容量、能量与电芯温升。

6.1.6 常温不同 DOD 放电容量/能量

常温不同 DOD 放电容量/能量测试应按下列流程执行：
a) 充电：在环境温度 25 ℃±2 ℃下，以 1C 恒流充电至 3.55 V，0.2C 恒流充电至 3.65 V；
b) 静置 10 min；
c) 放电：以 1C 恒流放电至 2.5 V，记录放电容量作为初始对比容量；
d) 静置 10 min；
e) 重复步骤 a)～d)，充电截止电压改为 3.6 V、3.55 V，分别记录不同 DOD 下的放电容量与能量。

6.1.7 不同倍率隔热温升

不同倍率隔热温升测试应按下列流程执行：
a) 在 25 ℃恒温环境下放电：以 0.5C 恒流放电至 2.5 V 截止；
b) 静置 30 min；
c) 将温感置于电芯表面，然后用隔热棉将电芯完全包裹；
d) 在 25 ℃恒温环境下，对电池进行 0.5C 恒流充电至 3.65 V，恒压充电至 0.05C；
e) 静置 10 min；
f) 放电：以 0.3C 恒流放电至 2.5 V 截止，记录放电容量；
g) 静置 10 min；
h) 在 25 ℃恒温环境下，对电池进行 0.3C 恒流充电至 3.65 V，恒压充电至 0.05C；
i) 静置 10 min；
j) 重复步骤 f) ～ i)，循环 3 次；
k) 重复步骤 a)～j)，更改充电电流为 0.5C、1C，分别记录充、放电容量、能量、电芯表面温度。

6.2 电池系统级可靠性

6.2.1 总则

电池系统级可靠性测试分为安全测试和电性能测试，应符合表 2 的规定。

表 2 电池系统级可靠性测试要求

测试项目		技术要求	测试环境
安全测试	质量、外观、尺寸、极性	符合产品技术文件要求	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
	绝缘	符合产品技术文件要求	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%； 测试温度覆盖：－20 ℃、0 ℃、10 ℃、25 ℃、45 ℃、55 ℃
	耐压	符合产品技术文件要求	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度 65%±20%
电性能测试	室温容量及能量	符合 GB/T 31467—2023 中 7.4.2 的要求	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
	高温容量及能量	符合 GB/T 31467—2023 中 7.4.3 的要求	环境温度：40 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
	低温容量及能量	符合 GB/T 31467—2023 中 7.4.4 的要求	环境温度：0 ℃±2 ℃、-20 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
	加热温升	符合产品技术文件要求	环境温度：-20 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
	振动	符合 GB 38031—2025 中 5.2.1 的要求	常温环境，振动条件按 GB 38031—2025 执行
	湿热循环	符合 GB 38031—2025 中 5.2.5 的要求	按 GB 38031—2025 规定的温湿度交变条件执行
	温度冲击	符合 GB 38031—2025 中 5.2.8 的要求	按 GB 38031—2025 规定的温度冲击条件执行
	过温保护	符合 GB 38031—2025 中 5.2.11 的要求	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
	过流保护	符合 GB 38031—2025 中 5.2.12 的要求	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
	过充电保护	符合 GB 38031—2025 中 5.2.14 的要求	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%
	过放电保护	符合 GB 38031—2025 中 5.2.15 的要求	环境温度：25 ℃±2 ℃； 相对湿度：65%±20%

6.2.2 质量、外观、尺寸、极性

按 GB/T 31467—2023 中 7.1～7.3 的规定执行。

6.2.3 绝缘

绝缘测试应按下列流程执行：

a) 测试前将电池包放电至 SOC 0%，断开外接负载与控制线路；
b) 按 GB 18384 的规定，将绝缘测试仪的高压端接电池包正负极并联端，低压端接电池包外壳接地端；
c) 施加 500 V 直流测试电压，持续 60 s，记录绝缘电阻值；
d) 测试过程中无击穿、无闪络，绝缘电阻值符合产品技术要求为合格。

6.2.4 耐压

耐压测试应按下列流程执行：

a) 测试前将电池包放电至 SOC 0%，断开外接负载与控制线路；
b) 按 GB 18384 的规定，将耐压测试仪的高压端接电池包正负极并联端，低压端接电池包外壳接地端；

c) 施加 1 000 V 交流测试电压，持续 60 s，记录测试过程中的泄漏电流值；
d) 测试过程中无击穿、无闪络、无异常发热，泄漏电流符合产品技术要求为合格。

6.2.5 室温容量及能量

室温容量及能量测试应按下列流程执行：
a) 充电：连接充电机，将电池包充电至 100% SOC；
b) 环境适应：将电池包置于 25 ℃±2 ℃环境中，静置至电池包温度稳定在 25 ℃±2 ℃；
c) 放电：按放电 Map 降流放电，以 Imax（304 A）放电至截止电压，记录放电容量、放电能量；
d) 测试完成后，将电池包回充至 50% SOC，妥善保管。

6.2.6 高温容量及能量

高温容量及能量测试应按下列流程执行：
a) 充电：连接充电机，将电池包充电至 100% SOC；
b) 环境适应：将电池包置于 40 ℃±2 ℃环境中，静置至电池包温度稳定在 40 ℃±2 ℃；
c) 放电：按放电 Map 降流放电，以 Imax（304A）放电至截止电压，记录放电容量、放电能量；
d) 测试完成后，将电池包置于 25 ℃±2 ℃环境中恢复至室温，回充至 50% SOC，妥善保管。

6.2.7 低温容量及能量

低温容量及能量测试应按下列流程执行：
a) 环境适应：将电池包置于 25 ℃±2 ℃环境中，静置至温度稳定；
b) 充电：连接充电机，将电池包充电至 100% SOC；
c) 环境适应：将电池包置于 0 ℃±2 ℃环境中，静置至电池包温度稳定在 0 ℃±2 ℃；
d) 放电：按放电 Map 降流放电，以 1/3C 放电至截止电压，记录放电容量、放电能量；
e) 环境适应：将电池包置于 25 ℃±2 ℃环境中，静置至温度稳定，回充至 100% SOC；
f) 重复步骤 c)～e)，完成 0 ℃±2 ℃环境下 Imax 放电测试、-20 ℃±2 ℃环境下 1/3C（202 A）与 Imax（304 A）放电测试；
g) 测试完成后，将电池包置于 25 ℃±2 ℃环境中恢复至室温，回充至 50% SOC，妥善保管。

6.2.8 加热温升

加热温升测试应按下列流程执行：
a) 环境适应：将电池包置于 25 ℃±2 ℃环境中，静置至温度稳定；
b) 充电：连接充电机，将电池包充电至 100% SOC；
c) 环境适应：将电池包置于-20 ℃±2 ℃环境中，静置至电池包温度稳定在-20 ℃±2 ℃；
d) 放电：以-21 A 放电 31 s，同时闭合加热继电器，记录电池包监测点温度变化；
e) 持续监测至电池包最低温度不小于 5 ℃，停止测试，记录完整的温升曲线、加热时长；
f) 测试完成后，将电池包置于 25 ℃±2 ℃环境中恢复至室温，回充至 50% SOC，妥善保管。

6.2.9 振动

按 GB 38031—2025 中 8.2.1 的规定执行。

6.2.10 湿热循环

按 GB 38031—2025 中 8.2.5 的规定执行。

6.2.11 温度冲击

按 GB 38031—2025 中 8.2.8 的规定执行。

6.2.12 过温保护

按 GB 38031—2025 中 8.2.11 的规定执行。

6.2.13 过流保护

按 GB 38031—2025 中 8.2.12 的规定执行。

6.2.14 过充电保护

按 GB 38031—2025 中 8.2.14 的规定执行。

6.2.15 过放电保护

按 GB 38031—2025 中 8.2.15 的规定执行。

6.3 高压主电池包专项可靠性

6.3.1 大功率冲击可靠性测试

6.3.1.1 测试环境：环境温度 25 ℃±2 ℃，相对湿度 65%±20%。
6.3.1.2 测试工况：模拟工业车辆频繁举升、牵引作业时的尖峰电流工况，设置峰值电流不小于 2 倍额定放电电流，脉冲宽度 10 s～30 s，脉冲间隔 30 s～60 s，循环次数不小于 1 000 次。
6.3.1.3 监测指标：实时监测电池包电压、电流、温度、绝缘电阻，记录尖峰电流冲击下的电压降、温升情况。
6.3.1.4 合格判定：测试完成后，电池包无破损、无漏液、无热失控，容量保持率不小于 95%，绝缘电阻符合产品技术文件要求。

6.3.2 随机振动可靠性

6.3.2.1 测试环境：环境温度 25 ℃±2 ℃，相对湿度 65%±20%。
6.3.2.2 测试工况：模拟工业车辆崎岖路面运行的随机振动工况，振动频率 10 Hz～2 000 Hz，加速度幅值符合工业车辆路面振动谱，振动方向 X、Y、Z 轴向，每个轴向振动时长不小于 2 h。
6.3.2.3 监测指标：振动过程中实时监测高压连接器的接触阻抗、电池包绝缘耐压性能，记录振动过程中的异常情况。
6.3.2.4 合格判定：测试完成后，高压连接器接触阻抗变化率不大于 5%，绝缘耐压性能符合 GB 18384 的规定，电池包结构无松动、无破损，电气性能正常。

6.4 低压系统专项可靠性

6.4.1 持续微循环可靠性

6.4.1.1 测试环境：-35 ℃～60 ℃交变温度环境，温度交变周期 24 h，相对湿度 65%±20%。
6.4.1.2 测试工况：模拟工业车辆低压系统持续待机、频繁启停的微循环工况，设置低压系统持续工作电压 24 V±10%，工作电流 0.5 A～5 A，循环启停次数不小于 10 000 次，总测试时长不小于 1 000 h。
6.4.1.3 监测指标：实时监测低压系统的输出电压精度、静态功耗、工作温升，记录循环过程中的异常情况。
6.4.1.4 合格判定：测试完成后，低压系统输出电压精度误差不大于±0.5 V，静态功耗符合产品技术要求，无异常发热、无功能失效。

6.4.2 电磁兼容性

6.4.2.1 测试环境：符合 GB/T 18655 规定的电磁兼容暗室，环境温度 25 ℃±2 ℃，相对湿度 65%±20%。
6.4.2.2 测试工况：模拟工业车辆高压大电流突变工况下的电磁干扰环境，按 GB/T 18655 的规定，开展传导发射、辐射发射、传导抗扰度、辐射抗扰度测试。
6.4.2.3 监测指标：测试过程中实时监测低压系统的工作状态、输出电压稳定性，记录异常情况。
6.4.2.4 合格判定：测试过程中低压系统无功能失效、无输出异常，电磁发射与抗扰度性能符合 GB/T 18655 的规定。

6.5 系统级耦合验证与高加速寿命试验

6.5.1 系统级耦合

测试应按下列流程执行：

a) 测试环境：-35 ℃～60 ℃交变温度环境，叠加随机振动，相对湿度 65%±20%；
b) 测试工况：模拟工业车辆全工况运行场景，高压主电池包与低压系统同时工作，高压系统频繁进行大功率充放电，低压系统同步进行持续微循环与控制指令输出，测试时长不小于 500 h；
c) 监测指标：实时监测高压系统能量效率、低压系统电压精度、DC-DC 转换效率，记录高低压系统协同工作过程中的异常情况；
d) 合格判定：测试完成后，高压系统能量效率不小于 95%，低压系统电压精度误差不大于±0.5 V，DC-DC 转换效率不小于 90%，高低压系统无协同失效、无功能异常。

6.5.2 高加速寿命试验（HALT）

测试应按下列流程执行：

a) 测试工况：施加超出产品技术文件规定的常规使用条件的环境应力与工作应力，温度-40 ℃～85 ℃，温度变化率不小于 10 ℃/min，叠加随机振动、大功率冲击工况，测试时长不小于 100 h；
b) 测试对象：工业车辆锂电动力系统，包含高压主电池包、低压系统、DC-DC 转换单元及管理系统；
c) 监测指标：实时监测系统部件工作状态、性能参数，记录失效发生的时间、位置、失效模式；
d) 试验要求：通过 HALT 试验快速暴露高低压接口、功率器件、控制单元的潜在失效模式，针对失效模式完成优化验证。

7 可靠性评价

7.1 评价总则

评价方法应采用主从系统关联分析法，以高压主电池包为主系统、低压控制系统为从系统，结合分系统测试结果、系统级耦合测试结果、HALT 试验结果，对工业车辆锂电动力系统的整体可靠性综合评价，评价结果应分为合格、不合格等级。

7.2 评价指标

可靠性评价指标应符合表 3 的规定。

表 3 可靠性评价指标

评价指标	指标要求
常温放电容量保持率	≥95%
高温（55 ℃）放电容量保持率	≥90%
低温（-20 ℃）放电容量保持率	≥70%
1C 倍率放电容量保持率	≥97%
1C 倍率充电容量保持率	≥90%
绝缘耐压性能	符合 GB 18384 的规定
输出电压精度	误差不超过 ±0.5 V
持续微循环后功能完整性	无功能失效、无异常发热
电磁兼容性能	符合 GB/T 18655 的规定
DC-DC 转换效率	≥90%
高压系统能量效率	≥95%
HALT 试验潜在失效模式	无影响系统安全与功能的致命失效

注：若所有指标全部达标，则判定为合格；若有任一项核心指标未达标，则判定为不合格。

8 测试评价报告

8.1 测试评价报告应完整、准确、客观反映测试与评价内容，所有数据应真实、可追溯、可复现。

8.2 测试评价报告应包含下列内容：

——报告编号、报告版本、发布日期、有效期；

——委托单位、测试单位，名称、型号、批次、编号、数量、技术参数等样品信息；
——测试依据、测试标准、测试环境，名称、型号、精度、计量有效期等测试设备信息；
——抽样方案、抽样记录、样品前置检查结果；
——测试数据、测试曲线、测试结果及、符合性判定；
——主从系统关联分析报告、HALT 试验结果与失效分析报告；
——可靠性综合评价结论、不符合项及整改情况；
——测试人员、审核人员、批准人员签字，测试单位盖章。

8.3 测试评价报告应妥善保管，应保留至样品设计寿命周期结束，且不应少于 10 年。