

ICS 29.220.99
CCS K82

团体标准

T/CIAPS0040-2024

动力电池健康状态评价方法

Evaluation method for state of health of power batteries

2024年11月08日发布

2024年11月30日实施

中国化学与物理电源行业协会 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 总体原则	3
5 评价指标体系	3
5.1 评价指标体系构成	3
5.2 指标权重确定	3
6 观测变量	4
6.1 功能性指标	4
6.2 安全性指标	4
6.3 可靠性指标	5
7 数据来源	6
8 测算方法	6
8.1 指标结果加权计算	6
8.2 健康状态加权计算	6
9 评价程序	7
附 录 A（资料性）电池功能可靠性系数计算方法	8
附 录 B（资料性）电池机械可靠性系数计算方法	10

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。

本文件由中国化学与物理电源协会提出并归口。

本文件主要编制单位：国联汽车动力电池研究院有限责任公司。

本文件参与编制单位：陕西顷刻能源科技有限公司、无锡锂云科技有限公司、西安建筑科技大学、天目湖先进储能技术研究院有限公司、深圳市量能科技有限公司、惠州亿纬锂能股份有限公司、惠州市赛能电池有限公司、广电计量检测集团股份有限公司、钛深科技、广汽本田、毅博科技咨询（香港）有限公司、河南电池研究院、煤炭科学研究总院有限公司、广东国光电子有限公司。

本文件主要起草人：方升、方彦彦、栗敬敬、李健、杨时峰、徐俊、蒋德珑、林川平、杨乃兴、王愿习、陈学兵、王怡、杨晓亮、陈校军、周书云、邓健想、吴兵、杨文 谢新泰。

本文件首次发布。

动力电池健康状态评价方法

1 范围

本文件规定了动力电池健康状态评价的总体原则、评价指标体系、观测变量、数据来源、测算方法、评价程序。

本文件适用于各类动力电池健康状态自我评价及其他组织开展的评价。

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 38031-2020 电动汽车用动力蓄电池安全要求

GB/T 2900.41-2008 电工术语 原电池和蓄电池

GB/T 19596-2017 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 31486-2015 电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法

T/CSAE 184-2021 电动汽车动力蓄电池健康状态评价指标及估算误差试验方法

3 术语和定义

3.1

单体蓄电池 secondary cell

将化学能与电能进行相互转换的基本单元装置，通常包括电极、隔膜、电解质、外壳和端子，并被设计成可充电。也称作电芯。

[GB/T 19596-2017, 定义 3.3.2.1.1]

3.2

蓄电池电芯组 cell block

一组并联连接的单体蓄电池，可能包含监测电路与保护装置（例如熔断器等）。

[GB/T 19596-2017, 定义 3.3.2.1.2]

3.3

蓄电池模块 battery module

将一个以上单体蓄电池按照串联、并联或串并联方式组合，并作为电源使用的组合体，也称作蓄电池组。

[GB/T 19596-2017, 定义 3.3.2.1.3]

3.4

蓄电池包 battery pack

通常包括蓄电池组、蓄电池管理系统、蓄电池箱及相应附件（冷却部件、连接线缆等），具有从外部获得电能并可对外输出电能的单元。

[GB/T 19596-2017, 定义 3.3.2.1.9]

3.5

额定容量 rated capacity

在规定条件下测得的并由制造商声明的电池容量值。

[GB/T 19596-2017, 定义 3.3.3.4.2]

3.6

可用容量 available capacity

在规定条件下，从完全充电的蓄电池中释放的容量值。

[GB/T 19596-2017, 定义 3.3.3.4.5]

3.7

荷电状态 state of charge (SOC)

当前蓄电池中按照规定放电条件可以释放的容量占可用容量的百分比。

[GB/T 19596-2017, 定义 3.3.3.2.5]

3.8

比功率 state of power (SOP)

按照规定充放电条件下，蓄电池输出的功率与质量比值。

[GB/T 31486-2015, 定义 6.3.6.1.2]

3.9

保持率 retention rate

在一定周期内，直接测量或间接计算得到的蓄电池性能参数的当前值与初始值的比值。

3.10

热失控 thermal runaway

电池单体放热连锁反应引起电池温度不可控上升的现象。

[GB/T 38031-2020, 定义 3.14]

3.11

健康状态 state of health

采用综合性评价分数描述的包含功能性、安全性及可靠性的综合性能状态。

4 总体原则

评价指标时，应遵循以下原则：

- a) 科学性原则：评价指标能反映出动力电池老化程度、安全性及可靠性；
- b) 可操作性原则：评价指标应容易获取、计算方法科学合理、便于操作；
- c) 全面性原则：评价指标需结合应用场景，全面反映评价对象与应用场景的适配性，指标需要多参数、多层次、多维度反映动力电池健康状态。

5 评价指标体系

5.1 评价指标体系构成

动力电池健康评价要素包含：功能性指标评价、安全性指标评价及可靠性指标评价，三项要素中都包含多个下一级要素，并有相应的评分标准，如表1所示。

功能性评价指标：室温放电容量保持率，室温倍率放电容量保持率，低温放电容量保持率，高温放电容量保持率，室温荷电保持容量保持率，高温荷电保持容量保持率，室温恢复容量保持率，高温恢复容量保持率，放电比功率保持率。

安全性评价指标：动力电池本征安全性相关参数，该要素包含电滥用边界值、热滥用边界值及机械滥用边界值。

可靠性评价指标：动力电池可靠性相关参数，包含电池功能可靠性系数和机械结构可靠性系数。

表 1 健康状态评价体系指标

动力电池健康状态评价指标体系	功能性指标	保持率
	安全性指标	电池滥用边界值
		机械滥用边界值
		热滥用边界值
	可靠性指标	电池功能可靠性系数
		机械结构可靠性系数

5.2 指标权重确定

建议权重分配原则如下：

- a) 基础数据稳定、准确性高的三级指标进行上调，基础数据不稳定或准确性不高的进行下调；
- b) 观测变量能较为全面的反映三级指标的，对应三级指标权重进行上调，观测变量受基础数据限制，相对片面的进行下调；
- c) 指标之间或观测变量之间有较高相关性的，相关指标的权重总和进行下调。

建议功能性、安全性及可靠性三类指标的权重分别设定为50%、25%及25%。具体权重配置可依据具体评价对象应用领域的侧重需求进行微调，但对安全性及可靠性有国标要求的项目，不可进行减权重处理。

6 观测变量

6.1 功能性指标

功能性指标主要为保持率参数，包括室温放电容量保持率，室温倍率放电容量保持率，低温放电容量保持率，高温放电容量保持率，室温荷电保持容量保持率，高温荷电保持容量保持率，室温恢复容量保持率，高温恢复容量保持率，放电比功率保持率，上述参数推荐参照《GB/T 31486-2015电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法》标准方法进行测试。功能性指标观测变量及权重分配如表2所示。

表 2 功能性指标及其权重

指标名称	观测变量	权重 (%)	属性	观测变量计算方法
保持率	室温放电容量保持率	20	定量指标	采用50%容量保持率为0分,100%容量保持率为20分, 50%~100%容量保持线性计分
	室温倍率放电容量保持率	20	定量指标	同上
	低温放电容量保持率	10	定量指标	采用50%容量保持率为0分,100%容量保持率为10分, 50%~100%容量保持线性计分
	高温放电容量保持率	10	定量指标	同上
	室温荷电保持容量保持率	5	定量指标	采用50%容量保持率为0分, 100%容量保持率为5分, 50%~100%容量保持线性计分
	高温荷电保持容量保持率	5	定量指标	同上
	室温恢复容量保持率	5	定量指标	同上
	高温恢复容量保持率	5	定量指标	同上
	放电比功率保持率	20	定量指标	采用50%比功率能力保持率为0分,100%比功率能力保持率为20分, 50%~100%比功率能力保持率线性计分。

6.2 安全性指标

安全性指标关注动力电池的热失控边界值，表明电池在遇到滥用情况时，不发生热失控的极限值。观测变量主要包括：热滥用边界值，机械滥用边界值，电滥用边界值（过充电边界、过放边界及短路边界）。上述三类观测变量可由多个下级参数单独构成，也可由下级参数耦合后形成，具体观测变量可根据实际情况决定。例如，电滥用过充中边界值可以是SOC，电压或者温度单独构成，也可以是三者耦合

后变为过充边界值。观测变量参数值低于《GB 38031-2020 电动汽车用动力蓄电池安全要求》标准的直接判定0分，高于上述标准要求的依据不同情况赋予分值，具体如表3所示。

表 3 安全性指标及其权重

指标名称	观测变量	权重 (%)	属性	观测变量计算方法
电滥用边界值	过充边界值	20	定量指标	以1C倍率过充，过充至115%SOC发生热失控为0分，过充至200%SOC未发生热失控的样品为20分，115%~200%之间发生热失控的样品按照线性计分
	过放边界值	5	定量指标	以1C倍率过放至0V无破裂，无起火，无爆炸为5分，否则为0分
	短路边界值	20	定量指标	1mΩ短路10min起火或爆炸为0分；无起火，无爆炸，在泄爆阀以外破裂为5分；无起火，无爆炸，泄爆阀破裂为10分；无起火，无爆炸，无破裂为20分
机械滥用边界值	挤压边界值	25	定量指标	以0.1mm/s的速率，采用75mm半圆柱柱挤压电池，热失控极限变形量15%记为0分，极限变形量为50%为25分，15%~50%之间线性计分
热滥用边界值	耐热边界值	30	定量指标	慢速梯度（5°C/min升温速率，从室温至200°C，每5°C为一个保温平台，每个平台持续时间1h）加热热失控温度为130°C记为0分，200°C失控记为30分，130~200°C之间，线性计分

6.3 可靠性指标

可靠性指标观测变量主要包括电池功能可靠性系数、机械结构可靠性系数，相应的权重分配如表4所示。其中，电池功能可靠性系数计算方法参照附录A所示，电池机械可靠性系数计算方法如附录B所示。

表 4 可靠性指标及其权重

指标名称	观测变量	权重 (%)	属性	观测变量计算方法
可靠性系数	电池功能可靠性系数	50	定量指标	电池功能可靠性系数值为0时记为0分，系数为1时记为50分，0~1之间线性计分。
可靠性系数	机械结构可靠性系数	50	定量指标	机械可靠性系数值为0时记为0分，系数为1时记为50分，0~1之间线性计分。

7 数据来源

评价数据获取的渠道包括但不限于：

- a) 送检人提供的可溯源数据；
- b) 评价主体检测数据。

8 测算方法

8.1 指标结果加权计算

根据功能性指标、安全性指标及可靠性指标附属的相应观测变量评价得分，分别按照各变量得分及其权重相乘后，累加获得三大类指标加权得分。具体如下：

$$K_{\text{功能性}} = \sum_{i=1}^n k_{i\text{功能性}} * w_{i\text{功能性}} \dots\dots\dots (1)$$

$$K_{\text{安全性}} = \sum_{i=1}^n k_{i\text{安全性}} * w_{i\text{安全性}} \dots\dots\dots (2)$$

$$K_{\text{可靠性}} = \sum_{i=1}^n k_{i\text{可靠性}} * w_{i\text{可靠性}} \dots\dots\dots (3)$$

$$k_i = \sum_{j=1}^m h_j * P_j \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$K_{\text{功能性}}$ 、 $K_{\text{安全性}}$ 、 $K_{\text{可靠性}}$ —— 分别对应功能性、安全性及可靠性指标加权得分；

n —— 指标观测变量个数；

$k_{i\text{功能性}}$ 、 $k_{i\text{安全性}}$ 、 $k_{i\text{可靠性}}$ —— 分别对应功能性、安全性及可靠性指标第*i*个二级观测变量得分；

$w_{i\text{功能性}}$ 、 $w_{i\text{安全性}}$ 、 $w_{i\text{可靠性}}$ —— 分别对应功能性、安全性及可靠性指标第*i*个二级观测变量的

权重；

h_j —— 对应指标（功能性、安全性、可靠性）第*i*个二级指标下第*j*个三级指标的得分；

P_j —— 对应指标（功能性、安全性、可靠性）第*i*个二级指标下第*j*个三级指标的权重。

8.2 健康状态加权计算

基于8.1测算的每个一级指标得分，将得分与相应的一级指标权重相乘后，累加获得加权得分，该得分为动力电池健康状态得分，具体说明如下：

$$L = K_{\text{功能性}} * x_{\text{功能性}} + K_{\text{安全性}} * x_{\text{安全性}} + K_{\text{可靠性}} * x_{\text{可靠性}} \dots\dots\dots (5)$$

L——健康状态指标加权得分；

$K_{\text{功能性}}$ 、 $K_{\text{安全性}}$ 、 $K_{\text{可靠性}}$ ——分别对应功能性、安全性及可靠性指标加权得分；

$x_{\text{功能性}}$ 、 $x_{\text{安全性}}$ 、 $x_{\text{可靠性}}$ ——分别对应功能性、安全性及可靠性指标的权重。

注：健康状态评价若只选取 $K_{\text{功能性}}$ 、 $K_{\text{安全性}}$ 、 $K_{\text{可靠性}}$ 的一项或者两项，则不再进行加权处理，各分项单独赋予分值。

9 评价程序

评价主体开展评价时可遵循以下程序：

- a) 明确评价目的，确定评价对象；
- b) 确定评价指标及相应权重；
- c) 制定评价数据和信息的采集方案并实施；
- d) 根据测算方法计算评价结果；
- e) 对评价结果的符合性进行检验和修正；
- f) 出具评价报告。

附录 A

(资料性附录)

电池功能可靠性系数计算方法

参照IEC62660-2-2010 6.1.1设置振动参数，振动过程中施加温度和湿度控制；温度范围为-20℃~55℃，湿度为85%R.H.。同时，按照制造商规定的标准充、放电方法进行充放电。整个振动过程记录电池的电压和温度，测试完成后检查电池状态，是否有破裂、漏液、极耳损伤等情况。

A.1 容量变化率

电池样品的容量变化率可使用公式1进行计算：

$$x_1 = \frac{H-H'}{H} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

其中， x_1 为容量变化率， H 为四综合测试前电池样品的标定容量， H' 为四综合测试后电池样品的标定容量。

A.2 直流内阻变化率

电池样品的直流内阻变化率可使用公式2进行计算：

$$x_2 = \frac{R_{DC}-R'_{DC}}{R_{DC}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

其中， x_2 为直流内阻变化率， R_{DC} 为四综合测试前电池样品的直流内阻， R'_{DC} 为四综合测试后的电池样品直流内阻。

A.3 交流内阻变化率

电池样品的交流内阻变化率可使用公式3进行计算：

$$x_3 = \frac{R_{AC}-R'_{AC}}{R_{AC}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

其中， x_3 为交流内阻变化率， R_{AC} 为四综合测试前电池样品的交流内阻， R'_{AC} 为四综合测试后的电池样品交流内阻。

A.4 开路电压变化率

电池样品的开路电压变化率可使用公式4进行计算：

$$x_4 = \frac{V-V'}{V} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

其中， x_4 为开路电压变化率， V 为四综合测试前电池样品的满电态开路电压， V' 为四综合测试后电池样品的满电态开路电压。

A.5 电压监控

在四综合测试过程中监控电池样品的电压。该值赋值 y_1 ，如出现电压跳变（1s内单体电压波动大于0.15V），该值为0，如不出现电压跳变，该值为1。

A.6 结构检查

在四综合测试前后对电池进行结构检查，可采用CT进行无损扫描，或进行拆解检查。该值赋值 y_2 ，如出现内部结构损伤，该值为0，如无损伤，该值为1。

A.7 单项电池功能可靠性失效系数计算

单项连续功能可靠性失效指标计算公式：

$$p_i = \exp(x_{i,ref} - x_i) - 1, i = 1, 2, 3, 4 \dots \dots \dots (5)$$

其中， p_i 为单项连续指标失效系数， $x_{1,ref} \sim x_{4,ref}$ 为对应连续性指标的失效阈值，其值分别为0.2、0.3、0.3、0.1。

单项离散功能可靠性失效指标计算公式：

$$p_j = (1 - y_j) - 1, j = 1, 2 \dots \dots \dots (6)$$

其中： p_j 为单项离散指标失效系数。

A.8 总体电池功能可靠性失效系数计算

将所有电池功能可靠性评价指标带入功能可靠性评价系数计算公式，计算评价系数。电池功能可靠性系数计算公式如下：

$$Q = \prod_{i=1}^4 p_i^{\frac{1}{w_i}} * \prod_{j=1}^2 p_j^{\frac{1}{v_j}}, i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2 \dots \dots \dots (7)$$

其中， Q 为最终失效指标系数； $w_1 \sim w_4$ 等为连续失效形式的权重系数，其值分别为0.8、0.5、0.2、0.3； v_1 、 v_2 为离散失效形式的权重系数，其值分别为0.5、0.5。

附录 B

(资料性附录)

电池机械可靠性系数计算方法

对电池包或系统进行四综合测试，其中振动测试参数参照GB38031-2020 8.2.1振动测试，环境温度范围为-20℃~55℃，当温度为0℃以上时湿度保持在85%R.H.，定频振动过程中温度为25℃，湿度50%RH。试验过程中，需监控测试样品内部最小监控单元的状态，如电压和温度等。每个方向完成测试后观察两个小时。四综合前后进行扫频测试，扫频加速度为0.5g，频率范围5Hz~200Hz，扫频速度1oct/min。

B.1 超声探伤参数

设定探伤参数值为 x_1 ，计算公式如下：

$$x_1 = 1 - 10l \dots \dots \dots (1)$$

其中， x_1 为探伤参数值， l 为最大微裂纹的长度，单位mm。 l 取值上限为0.1mm，下限为0.001mm。

B.2 螺栓扭矩保持率

对比电池样品四综合测试前后所有关键位置螺栓扭矩的变化率，以扭矩下降超过60%定义失效螺栓，计算螺栓扭矩保持率，公式如下：

$$x_2 = \frac{N - N_{60\%}}{N} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

其中， x_2 为螺栓扭矩保持率， N 为电池样品关键位置螺栓数量， $N_{60\%}$ 为四综合测试后的扭矩低于原扭矩60%的螺栓数量。

B.3 Z轴一阶固有频率变化率

电池样品的Z轴的一阶固有频率变化率可使用公式3进行计算：

$$x_3 = \left| \frac{f_z - f'_z}{f_z} \right| \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

其中， x_3 为Z轴的一阶固有频率变化率， f_z 为四综合测试前电池样品的一阶固有频率， f'_z 为四综合测试后的电池样品的一阶固有频率。

注：部分电池样品出现测试过后一阶固有频率增大的情况，故公式中采用绝对值。

B.4 Y轴一阶固有频率变化率

电池样品的Y轴的一阶固有频率变化率可使用公式4进行计算：

$$x_4 = \left| \frac{f_Y - f'_Y}{f_Y} \right| \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

其中， x_4 为Y轴的一阶固有频率变化率， f_Y 为四综合测试前电池样品的一阶固有频率， f'_Y 为四综合测试后的电池样品的一阶固有频率。

B.5 X轴一阶固有频率变化率

电池样品的X轴的一阶固有频率变化率可使用公式5进行计算：

$$x_5 = \left| \frac{f_X - f'_X}{f_X} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

其中， x_5 为X轴的一阶固有频率变化率， f_X 为四综合测试前电池样品的一阶固有频率， f'_X 为四综合测试后的电池样品的一阶固有频率。

B.6 应变量变化率

该值以电池样品四综合测试前后扫频所测出的最大应变量为基准，计算测试前后应变量的变化率，公式如下：

$$x_6 = \left| \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{\varepsilon} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

其中， x_6 为电池样品最大应变量的变化率， ε 为四综合测试前最大应变量， ε' 为四综合测试后的该应变片所对应的应变力。

B.7 气密测试

在四综合测试前后对样品进行气密性测试，并赋值为 y_1 ，如通过气密性测试， y_1 为1，不通过则 y_1 为0。

B.8 绝缘测试

在四综合测试前后对样品进行绝缘电阻测试，并赋值为 y_2 ，如通过气密性测试， y_2 为1，不通过则 y_2 为0。

B.9 单项机械性能可靠性失效系数计算

单项连续机械结构可靠性失效指标计算公式：

$$q_i = \frac{x_i}{x_{i,ref}}, i = 1, 2, \dots, 6 \dots\dots\dots (7)$$

其中， q_i 为单项连续指标失效系数， $x_{1,ref} \sim x_{6,ref}$ 为对应连续性指标的失效阈值，其值分别为1、0.4、0.1、0.1、0.1、0.3。

单项离散机械结构可靠性失效指标计算公式：

$$q_j = (1 - y_j), j = 1, 2 \dots\dots\dots (8)$$

其中： p_j 为单项离散指标失效系数。

B.10 总体电池功能可靠性失效系数计算

将所有电池功能可靠性评价指标带入功能可靠性评价系数计算公式，计算评价系数。电池功能可靠性系数计算公式如下：

$$Q = (1 - \prod_{i=1}^6 q_i^{w_i}) * \prod_{j=1}^2 q_j^{v_j}, i = 1, 2, \dots, 6, j = 1, 2 \dots \dots \dots (9)$$

其中， Q 为最终失效指标系数； $w_1 \sim w_6$ 等为连续失效形式的权重系数，其值分别为0.2、0.3、0.85、0.6、0.6、0.55； v_1 、 v_2 为离散失效形式的权重系数，其值分别为0.5、0.5。
