

ICS 43.040.20

CCS T 40



团 体 标 准

T/CSAE xx—XXXX

电动汽车用动力蓄电池运行安全风险评估 方法

Risk assessment method for the operation safety of electric vehicles
traction batteries

(报批稿)

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中国汽车工程学会 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	2
5 数据要求	3
5.1 数据字段要求	3
5.2 数据清洗要求	3
5.3 数据分析要求	3
6 电池安全检测方法	3
6.1 总体要求	3
6.2 线上评估	3
6.3 现场检测	10
7 风险分析评估	15
7.1 风险等级划分	15
7.2 综合风险评分	16
附 录 A (资料性) 偏离度分析方法	17
A.1 指标异常检测算法	17
A.2 广义极端学生化偏离异常检测	17
附 录 B (资料性) 趋势检测算法	18

前 言

本文件依据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》给出的规则编写。

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。

本文件由电动汽车产业技术创新战略联盟提出。

本文件由中国汽车工程学会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：中汽研新能源汽车检验中心（天津）有限公司、中国第一汽车股份有限公司、特来电新能源股份有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、中汽软件（深圳）有限公司、国网天津市电力公司电力科学研究院、天津大学、北京新能源汽车股份有限公司、上海平高智联科技有限公司、北京理工大学、武汉蔚来能源有限公司、广东电网有限责任公司广州天河供电局、北京科技大学、河北工业大学、北京航空航天大学、厦门金龙联合汽车工业有限公司、青岛美凯麟科技股份有限公司、中创新航科技集团股份有限公司、北京国家新能源汽车技术创新中心有限公司、广州巨湾技研有限公司、深圳供电局有限公司、南方电网电动汽车服务有限公司、上海通敏车辆检测技术有限公司、北京奔驰汽车有限公司、威睿电动汽车技术（宁波）有限公司、极氪汽车（宁波杭州湾新区）有限公司、国联汽车动力电池研究院有限责任公司、浙江工业职业技术学院、苏州苏试广博环境可靠性实验室有限公司、沈阳美行科技股份有限公司。

本文件主要起草人：马天翼、李雪、张宝强、潘垂宇、高胜寒、魏亮、潘博存、周晶晶、向飞、黄忆、何绍清、雷南林、郝雄博、祖国强、李谦、穆云飞、耿兆杰、穆宝、孙同龙、张亚萍、吴登、郭鹏、强宏图、林倪、刘晓楠、苏思宇、赵建智、王颖欣、周奕、陈泽涛、刘畅、洪吉超、孙业鑫、梁峰伟、李政、裴佳琦、荆锴、杨世春、陈飞、李晓宇、周思达、罗斌、马嵩、张翠艳、宋应芝、辛晓冬、高坡、高源、宗磊、朱峰、熊萌、董海书、李毅崑、王卓、黎晓然、何山、柳洲、陈嘉铭、伊丽静、王德刚、于晶、何辉、水江浩、陶慕天、靳小龙、张嘉睿、肖毅川、孙全、李光耀、唐婉、赵志伟、王欢、方彦彦、马小利、沈雪玲、鲁建华、万志平、何也能、周明、张磊、耿杰。

电动汽车用动力蓄电池运行安全风险评估方法

1 范围

本文件规定了在电动汽车用动力蓄电池运行中，利用车载终端、车辆企业监控平台、充换电设施监控平台和公共监控平台的云端数据，结合现场检测设备的检测数据，对动力蓄电池安全风险进行分析和诊断的方法。

本文件适用于基于企业监控平台和现场检测的动力蓄电池安全风险分析与诊断。

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 19596	电动汽车术语
GB/T 27930	电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统之间的通信协议
GB/T 27930.2—2024	电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统之间的通信协议 第2部分：通信协议符合性测试
GB/T 32960.1	电动汽车远程服务与管理系统技术规范 第1部分：总则
GB/T 32960.3—2025	电动汽车远程服务与管理系统技术规范 第3部分：通信协议及数据格式

3 术语和定义

GB 18384、GB/T 19596、GB/T 27930、GB/T 32960.1、GB/T 32960.3-2025界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

监控平台 monitoring data platform

进行数据交互时，能进行数据接收、数据交互、数据处理及数据分析，作为数据接收方的远程服务与管理平台。

[来源：GB/T 32960.3-2025，3.2，有修改]

3.2

线上评估 online assessment

利用企业监控平台的数据，根据已有的电池数据对电池健康状态进行检测分析。

3.3

现场检测 on-site inspection

使用测试设备对电池进行不拆箱快速检测，检测指标包括但不限于外观检查、电池总压、绝缘电阻、内阻测量、充放电测试等。

3.4

电池单体 battery cell

构成电池系统的最小检测单元，具有独立的电化学反应体系，并能够进行充放电的基本功能模块。

注：电池单体既可以是原始出厂的单个电芯，也包括通过结构性并联（如两并）方式组合后，作为系统中统一管理和监测的逻辑单元。

3.5

电池温差 battery temperature range

电池管理系统传输的同一时刻电池最高温度与最低温度的差值。

3.6

电池温升速率 battery temperature rise rate

单位时间内电池最高温度的变化值。

3.7

单体自放电率 cell self discharge rate

单位时间内电量自发减少的比率。

3.8

长周期 long-term period

动力电池安全风险分析中，为获取更全面的运行数据、观察电池性能和状态随时间累积变化趋势所选定的较长数据采集与分析时段。

注：通常涵盖数周至数月，甚至更长的持续监测周期，用于识别电池参数的长期变化特征、稳定性偏移和潜在风险累积情况。

3.9

单位周期 unit time

进行速率类指标计算时所采用的时间基准，用以表示某参数在该时间间隔内的变化量。

注：单位周期可根据需求选取，如 1 秒、1 分钟或 1 小时。

3.10

安全阈值 safety threshold

在动力电池安全风险分析中，通过对电池特性、历史数据、统计分析或试验验证结果进行综合评估所确定的一组关键参数临界值。

注：安全阈值的确定方法由企业根据自身需求、模型要求或通过附录 A 的偏离度分析方法确定。

3.11

数据快照 Data Snapshot

在某一特定时刻或极短时间窗口内采集的一组完整数据。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BMS: 电池管理系统 (battery management system)

DCR: 直流内阻 (DC internal resistance)

SOC: 荷电状态 (state of charge)

SOH: 健康状态 (state of health)

5 数据要求

5.1 数据字段要求

若数据来源于车辆运行监控，其格式和内容应符合 GB/T 32960.3—2025 的要求；若数据来源于充电过程监控，应包含符合 GB/T 27930 和 GB/T 27930.2—2024 要求的数据。

监控平台数据应包含全量的电池各单体电压数据和电池各温度探针的温度数据字段，且获取数据周期应不大于 10s。

5.2 数据清洗要求

在进行电池安全检测数据分析前，应对获取的车辆监测数据进行清洗。数据清洗过程包括异常识别和异常处理。

数据异常识别可通过规范性、完整性、准确性、一致性、时效性等维度进行分析，识别出数据重复或缺失、数据逻辑不一致、数据值域超限等问题。

数据异常处理包括删除、修改、填充等操作。

5.3 数据分析要求

电池安全风险分析前，应对电池性能参数进行计算，包括但不限于电池内阻、电池容量、电池充放电功率、电池充放电效率、电池健康度等参数。

6 电池安全检测方法

6.1 总体要求

电池安全风险分析包括线上评估和现场检测两种方式。线上评估利用企业监控平台数据进行实时安全监控，现场检测通过专用设备对电池进行物理检测。企业应优先通过线上评估对车辆数据进行持续监控与分析，识别潜在风险。当线上评估发现异常或风险等级达到预设阈值时，应启动现场检测流程，对车辆进行物理检查和深度诊断，以确认风险并采取相应措施。

6.2 线上评估

6.2.1 单体压差异常

在车辆 SOC 处于企业自定义安全范围内，且车辆处于静置状态超过 1800 s 的条件下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算电池运行过程中同一时刻最高单体电压与最低单体电压之差，作为单体压差异常判定指标。判定方法如下：

——若存在指标超过安全阈值（企业自定义，例：0.1V），判定单体压差异常；

——若存在同一辆车长周期趋势指标存在上升趋势，判定单体压差异常。

注：趋势计算方法见附录 B。

6.2.2 单体电压过高异常

在任意电池运行状态下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算电池最高单体电压与 BMS 设置的电池最高允许电压的差值，作为单体电压过高异常判定指标。若超过 5s 的连续若干数据帧计算得到的指标大于等于 0.01 V，判定单体电压过高异常。

6.2.3 单体电压过低异常

在车辆处于行驶状态下，从车辆企业监控平台读取数据，并计算电池最低单体电压与 BMS 设置的电池最低允许电压的差值，作为单体电压过低异常判定指标。若超过 5s 的连续若干数据帧计算得到的指标大于等于 0.01 V，判定单体电压过低异常。

6.2.4 总电压过高异常

在车辆处于充电状态下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算电池总电压与 BMS 设置的电池最高允许总电压的比值，作为总电压过高异常判定指标。若超过 5s 的连续若干数据帧计算得到的指标大于等于安全阈值（企业自定义，例：101%），判定总电压过高异常。

6.2.5 电压上升速率异常

在车辆处于充电状态下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算单位周期（企业自定义，例：10s）内电池总电压的变化速率，作为电压上升速率异常判定指标。若充电电流处于指定范围（企业自定义，例：100A~150A），且指标大于安全阈值（企业自定义，例：10V/10s）变化速率，判定电压上升速率异常。

6.2.6 SOC 过高异常

在车辆处于充电状态下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取电池 SOC。当超过 5s 的连续若干数据帧 SOC 大于 100%，判定 SOC 过高异常。

6.2.7 SOC 变化速率异常

在车辆处于充电状态下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算单位周期（企业自定义，例：10s）内 SOC 的变化速率，作为 SOC 变化速率异常判定指标。若指标大于安全阈值（企业自定义，例：10%/10s）变化速率，判定 SOC 变化速率异常。

6.2.8 SOC 指标异常

在车辆处于充电状态下，BMS 上传的 SOC 在连续 30 分钟内不发生变化且 SOC 不大于 90%的条件下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算充电过程中 SOC 开始不变到当前时刻的充电量 Q_0 。SOC 指标异常判定方法见公式（1），若公式（1）成立，则判定 SOC 指标异常。

$$Q_0 > (1 - SOC_1) \times Q_1 \quad (1)$$

式中：

Q_0 ——SOC开始不变到当前时刻，根据车辆BMS上报的总电压和总电流累计计算的电池端充电电量，单位为千瓦时（kWh）；

SOC_1 ——不变期间的SOC，单位为 %；

Q_1 ——电池的电池标称总能量或实际总能量，单位为千瓦时（kWh）。

6.2.9 单体自放电率异常

在车辆处于静置状态超过企业自定义时间（例如 $T \geq 24h$ ）的条件下，从车辆企业监控平台读取数据，并计算电池单体自放电率 φ_i ，作为单体自放电率异常判定指标。 φ_i 按公式（2）计算：

$$\varphi_i = \frac{SOC_{i1} - SOC_{i2}}{SOC_{i1} * T} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- φ_i ——第 i 个电池单体自放电率；
- SOC_{i1} ——电池放置前的 SOC，单位为 %；
- SOC_{i2} ——电池放置后的 SOC，单位为 %；
- T ——电池放置的时间，单位为小时（h）。

单体自放电率异常判定方法如下：

- 若 φ_i 超过安全阈值（企业自定义，例：5%/24h），则判定单体自放电率异常；
- 若存在同一辆车长周期趋势指标存在上升趋势，判定单体自放电率异常。

注：趋势计算方法见附录B。

6.2.10 电池温差异常

在车辆 SOC 处于企业自定义安全范围内，且车辆处于充电状态的条件下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算电池包内电池最大温差 ΔT_{max} 。电池温差异常判定方法如下：

- 若 ΔT_{max} 指标超过安全阈值（企业自定义，例：10℃），判定电池温差异常；
- 若存在同一辆车长周期趋势指标存在上升趋势，判定电池温差异常。

注：趋势计算方法见附录B。

6.2.11 电池温度过高异常

在任意电池运行状态下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算电池的最高温度与温度安全阈值（企业自定义，例：60℃）的差值，作为电池温度过高异常判定指标。若超过 5s 的连续若干数据帧计算得到的指标大于等于 1℃，判定电池温度过高异常。

6.2.12 电池温升速率异常

在任意电池运行状态下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算单位周期（企业自定义，例：600S）电池单体温升速率 V_{CTi} 和电池单体长周期温升变化率（以行驶里程为基准，推荐每 10 000 km）。电池温升速率异常判定方法如下：

- 若 V_{CTi} 指标超过安全阈值（企业自定义，例：10℃/600S）时，判定电池温升速率异常；
- 若存在同一辆车长周期趋势指标存在上升趋势，判定电池温升速率异常。

注：趋势计算方法见附录B。

6.2.13 绝缘异常

在车辆处于非充电状态下，从车辆企业监控平台读取电池整包绝缘电阻 R_{iso} 。若 R_{iso} 持续一段时间（企业自定义，例：60s）低于安全阈值（阈值由电池制造商确定），则判定绝缘异常。

6.2.14 电流过大异常

在车辆处于充电状态下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算充电过程电池电流与最大允许充电电流之比 K_I 。若 K_I 大于等于 105%，且持续超过 5s，则判定电流过大异常。

6.2.15 单体电池内阻异常

在车辆处于固定 SOC 范围（企业自定义，例：0-90%）的充电开始阶段或恒流充电阶段电流发生阶跃变化状态下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算电池单体直流内阻 DCR。若 DCR 超过安全阈值（企业自定义，例：0.001），则判定内阻异常。DCR 按公式（3）计算：

$$DCR = \frac{\Delta U}{\Delta I} \dots \dots \dots (3)$$

式中：

DCR——电池内阻，单位为欧姆（Ω）；

ΔU ——电压响应值，单位为伏特（V）；

ΔI ——电流阶跃值，单位为安培（A）。

6.2.16 内阻增长率异常

在车辆处于固定 SOC 范围（企业自定义，例：0-90%）的充电状态下，从车辆企业监控平台或充电企业监控平台读取数据，并计算单位周期（以行驶里程为基准，推荐每 10000 km）内电池单体直流内阻 DCR 与出厂内阻 DCR_0 之比 K_R 。若 K_R 大于等于 110%，则判定内阻增长率异常。

6.2.17 电池健康状态异常

6.2.17.1 电池健康状态异常的判定指标为 SOH。若 SOH 低于参考值（企业自定义，例：80%），则判定健康状态异常。SOH 按公式（4）、公式（5）计算：

$$SOH = C/E \dots \dots \dots (4)$$

式中：

C ——电池当前估算的满充满放电容量，单位为安时（Ah）；

E ——电池标称容量，单位为安时（Ah）。

$$C = \frac{Q'}{SOC_{new}(n) - SOC_{new}(m)} \dots \dots \dots (5)$$

式中：

Q' ——当前充放电过程中总的充放电电量，单位为安时（Ah）；

m ——当前充放电过程的起始电压，单位为伏特（V）；

n ——当前充放电过程的终止电压，单位为伏特（V）；

$SOC_{new}(n)$ ——新出厂状态电池的开路电压-荷电状态（OCV-SOC）函数关系，即输入一个电压值 n 时，返回其对应的 SOC 值；

$SOC_{new}(m)$ ——新出厂状态电池的开路电压-荷电状态（OCV-SOC）函数关系，即输入一个电压值 m 时，返回其对应的 SOC 值。

6.2.17.2 电池健康状态异常判定应满足如下要求：

——数据来源为车辆企业监控平台或充电企业监控平台；

——计算所依据的数据片段，其表征的荷电状态（SOC）变化范围宜不小于 50%；

——计算所采用的起始电压与终止电压，应为电池系统在相应荷电状态下静置后的开路电压；

——数据采集期间，电池系统温度应处于适宜范围（企业自定义，例：20℃-30℃）。

6.2.18 单体电压一致性异常

在车辆处于充电过程末期（企业自定义，例：SOC > 90%）或充满静置后任意时间点的状态下，从车辆企业监控平台读取数据，并计算在一个数据快照中单体电压一致性系数 ζ_v 。若 ζ_v 低于安全阈值（以企业定义或通过附录 A 的方法比较所有电池单体确定），则判定电压一致性异常。 ζ_v 按公式（6）计算：

$$\zeta_v = 1 - \frac{\sigma_v}{V_{\text{avg}}} \dots \dots \dots (6)$$

式中：

ζ_v ——在该数据快照中，单体电压一致性系数；

σ_v ——在该数据快照中，所采样全部单体电压值的样本标准差；

V_{avg} ——在该数据快照中，所采样全部单体电压值的平均值，单位为伏特（V）。

6.2.19 温度一致性异常

在车辆处于以下任意一种状态：

——稳态运行状态：车辆以相对稳定的电流（企业自定义，如持续充电或放电）运行一段时间后（企业自定义，建议 > 10 min），使得电池包温度场达到动态平衡；

——充分静置状态：车辆长时间（企业自定义，建议 > 60 min）处于非充电、非行驶状态，使得电池包内部温度充分均衡。

从车辆企业监控平台读取数据，并计算一个数据快照中所有温度探针测量值的一致性系数 ζ_T 。若 ζ_T 低于安全阈值（以企业定义或通过附录 A 的方法比较所有电池单体确定），则判定温度一致性异常。 ζ_T 按公式（7）计算：

$$\zeta_T = 1 - \frac{\sigma_T}{T_{\text{avg}}} \dots \dots \dots (7)$$

式中：

ζ_T ——在该数据快照中，温度测量值的一致性系数；

σ_T ——在该数据快照中，所采样全部温度测量值的样本标准差；

T_{avg} ——在该数据快照中，所采样全部温度测量值的平均值，单位为伏特（℃）。

6.2.20 单体内阻一致性异常

6.2.20.1 单体内阻一致性异常的判定指标为所有单体直流内阻（DCR）的一致性系数 ζ_{DCR} 。若 ζ_{DCR} 低于安全阈值（企业自定义或通过附录 A 的方法比较所有电池单体确定），则判定单体内阻一致性异常。 ζ_{DCR} 计算数据来源于车辆企业监控平台，计算方法如下：

a) 根据 6.2.15 中规定的方法，在满足 6.2.20.4 所述适用条件的工况下，计算出每一个单体 i 的直流内阻 DCR_i ；

b) 根据所有单体的 DCR_i 值，按公式（8）计算其一致性系数 ζ_R ；

$$\zeta_{DCR} = 1 - \frac{\sigma_{DCR}}{DCR_{\text{avg}}} \dots \dots \dots (8)$$

式中：

ζ_{DCR} ——本次计算的单体内阻一致性系数；

σ_{DCR} ——本次计算出的所有单体内阻值的样本标准差；

DCR_{avg} ——本次计算出的所有单体内阻值的平均值，单位为欧姆（ Ω ）。

6.2.20.2 单体内阻一致性异常判定适用条件为在运行过程中，总电流发生显著阶跃变化的时刻（企业自定义，建议不小于额定容量 1/3 对应的电流值，如 150A），且计算结果稳定。

6.2.21 单体容量一致性异常

6.2.21.1 单体容量一致性异常的判定指标为单次充电周期内单体容量一致性系数 φ_q 。若 φ_q 超过安全阈值（企业自定义或通过附录 A 的方法比较所有电池单体确定），则判定容量一致性异常。 φ_q 计算数据来源于车辆企业监控平台，按公式（10）、公式（11）计算：

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{ic=1}^{nc} Q_{ic}}{n} \dots\dots\dots (10)$$

$$\varphi_q = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{\bar{Q}} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

Q_{ic} ——第 ic 个（总数为 nc ）单体的容量，单位为安时（Ah）；

\bar{Q} ——各单体容量的平均值；

Q_{max} ——各单体容量的最大值，单位为安时（Ah）；

Q_{min} ——各单体容量的最小值，单位为安时（Ah）；

φ_q ——各单体容量的极差变异系数，也是评价容量一致性的参数。

6.2.21.2 单体容量一致性异常判定适用条件为充电过程（企业自定义，例：车辆状态为充电，且完成一次 SOC 变化大于 80%的满充）。

6.2.22 电池析锂风险诊断(可选)

6.2.22.1 电池析锂风险诊断指标为充电末段电压变化率 K_{Li} 。通过连续采样点计算出一系列 K_{Li} 值并进行滑动平均处理（例：窗口大小为 6 个点），连续 3 个及以上滑动窗口内 K_{Li} 小于安全阈值（安全阈值由电池制造商技术规格、实验室数据或正常充电过程 K_{Li} 分布确定），则判定存在析锂风险。 K_{Li} 计算数据来源于车辆企业监控平台，按公式（12）计算：

$$K_{Li} = \frac{V(t+\Delta t) - V(t)}{\Delta t} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

K_{Li} ——充电末段电压变化率，单位为伏特每分钟（V/min）；

Δt ——选定的时间间隔，单位为分钟（min）。

6.2.22.2 电池析锂风险诊断判定适用条件为：

——分析相同充电过程（车辆处于充电状态，目标充满至 SOC 100%，充电电流按企业自定义策略控制），且充电模式相同、SOC 大于等于 80 %，且车辆充电状态处于恒流充电阶段；

——当 SOC 大于等于 80 % 时，以 10s 为周期采集并记录电压 - 时间数据。

6.2.23 电池内短路诊断

6.2.23.1 电池内短路诊断指标为内短路电流 I_{ISC} 和内短路等效电阻 R_{ISC} 。若 I_{ISC} 大于安全阈值（企业自定义，建议 0.2A），判定发生内短路； R_{ISC} 越小表示短路越严重，可作为分级管理依据。当 R_{ISC} 小于 1Ω ，应立即触发高等级安全处置。 I_{ISC} 和 R_{ISC} 的计算如下：

在充电过程中，选择充电末段的固定电压区间进行分析。建议选择从 90%SOC 到充电截止的区间，或选择电池组中最低电压单体从 3.3V 到充电截止电压的区间。在所选定的电压/时间区间内，计算该区间的累积充电电量 Q_{seg} 值见公式（13）：

$$Q_{seg} = \int_{t_{strat}}^{t_{end}} Idt \quad (13)$$

式中：

Q_{seg} ——在选定电压区间内充入的电量，单位为安时（Ah）；

I ——充电电流，单位为安培（A）。

根据相邻两次的 Q_{seg} 结果可以计算内短路电流，见公式（14）：

$$I_{ISC} = \frac{Q_{seg_n} - Q_{seg_{n-1}}}{t_{cutoff,n} - t_{cutoff,n-1}} \quad (14)$$

式中：

I_{ISC} ——等效平均内短路电流，单位为安培（A）；

Q_{seg_n} ——第 n 次充电时计算的区段充电量，单位为安时（Ah）；

$Q_{seg_{n-1}}$ ——第 $n-1$ 次充电时计算的区段充电量，单位为安时（Ah）；

$t_{cutoff,n}$ ——第 n 次充电截止时间，单位为秒（s）或分钟（min）；

$t_{cutoff,n-1}$ ——第 $n-1$ 次充电截止时间，单位为秒（s）或分钟（min）。

计算内短路等效电阻，当计算得到的 I_{ISC} 大于阈值时。可进一步的计算内短路电池的等效短路电阻值，见公式（15）：

$$R_{ISC} = \frac{V_{avg}}{I_{ISC}} \quad (15)$$

式中：

R_{ISC} ——计算得到的内短路等效电阻值，单位为欧姆（ Ω ）；

V_{avg} ——所选电压区间的平均电压，单位为伏特（V）；

I_{ISC} ——等效平均内短路电流，单位为安培（A）。

6.2.23.2 电池内短路诊断判定适用条件为：

——完整记录最近两次充电末段的 Q_{seg} 、截止时间 t_{cutoff} 及对应电压区间；

——两次充电的环境温度与 SOC 起始值差异不应超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\%\text{SOC}$ 。

6.2.24 电池采样异常诊断

电池采样异常诊断指标包括：

a) 单体采样跳变率 K 。若任意一个单体电池的采样跳变率 K 的最大值高于安全阈值（安全阈值以企业定义，参考安全指标： $K=10\%$ ；温度采样： $K=5\%$ ），判定电池采样异常。计算数据来源于车辆企业监控平台或充电企业监控平台，其计算方法如下：

在单次充放电周期的数据采集中，若单个电芯的采样值（电压或温度）在相邻两个采样时刻的变化量超过预设的物理阈值（企业自定义，例：电压采样超过 4.9V），则记为一次采样跳变。单体采样跳变率 K 用于衡量指定单体的采样跳变频率，如公式（16）所示：

$$K = \frac{n_0}{n_1} \times 100\% \quad (16)$$

式中：

n_0 ——在该周期内，指定单体发生采样跳变的总次数；

n_1 ——在该周期内，该单体的总采样次数（上传总帧数）。

b) 相邻位置单体出现对称性变化的极值率 K' 。若任意一对相邻单体的对称跳变率 K' 的最大值高于阈值（安全阈值以企业定义，参考安全指标 $K' = 5\%$ ；温度采样： $K' = 5\%$ ），判定电池采样异常。计算数据来源于车辆企业监控平台或充电企业监控平台，其计算方法如下：

在单次充放电周期的数据采集过程中，若一对物理位置相邻的电芯，其采样值（电压或温度）同时发生采样跳变，且变化方向相反（一个突增，一个突降），则记为一次对称跳变。相邻单体对称跳变率 K' 用于衡量该对相邻单体的对称跳变频率，如公式（17）所示：

$$K' = \frac{n_0}{n_1} \times 100\% \quad (17)$$

式中：

n_0 ——在该周期内，该相邻单体对发生对称跳变的总次数；

n_1 ——在该周期内，该单体对的总采样次数（上传总帧数）。

6.2.25 热失控风险诊断

在车辆处于充电状态下，热失控风险诊断指标为单次充电数据的电压降、最高电池温度、温升速率。计算数据来源于车辆企业监控平台或充电企业监控平台。若同时满足判定条件 a)、b)、c) 中的两项时，判断存在热失控风险：

- 被监测的单体（或模组、系统）在检测窗口内出现明显电压突降，且其下降幅度 ΔV 满足 ΔV 大于等于 $0.25 \times V_{init}$ ；
- 监测温度探针的温升速率大于等于 $1^\circ\text{C}/\text{s}$ 且持续 3s ；
- 监测温度探针温度达到制造商规定的最高工作温度。

6.3 现场检测

6.3.1 单体压差异常

在车辆 SOC 处于指定范围（企业自定义，例：电池包在 30%、50%、70%）且车辆状态处于静置状态（企业自定义，例：车辆未启动或电池处于拆解状态）超过 1800s 的条件下，通过检测设备或者 OBD 读取电池数据并计算电池运行过程中同一时刻最高单体电压与最低单体电压之差，作为单体压差异常判定指标。判定方法如下：

- 若存在指标超过安全阈值（企业自定义，例：0.1V），判定单体压差异常；
- 若存在同一辆车长周期趋势指标存在上升趋势，判定单体压差异常。

注：趋势计算方法见附录B。

6.3.2 单体电压过高异常

在任意电池运行状态下，通过检测设备或者 OBD 读取电池数据并计算电池最高单体电压与 BMS 设置的电池最高允许电压差值，作为单体电压过高异常判定指标。若超过 5s 的连续若干数据帧计算得到的指标大于等于 0.01 V，判定单体电压过高异常。

6.3.3 SOC 过高异常

在车辆处于充电状态下，通过检测设备或者 OBD 读取电池 SOC。若超过 5s 的连续若干数据帧 SOC 大于 100%，判定 SOC 过高异常。

6.3.4 单体自放电率异常

在车辆处于静置状态超过企业自定义时间（例如 $T \geq 24\text{h}$ ）的条件下，通过检测设备或者 OBD 读取电池数据并计算电池单体自放电率 φ_i ，作为单体自放电率异常指标。

$$\varphi_i = \frac{SOC_{i1} - SOC_{i2}}{SOC_{i1} * T} \quad (18)$$

式中：

- φ_i ——第 i 个电池单体自放电率；
- SOC_{i1} ——电池放置前的 SOC，单位为%；
- SOC_{i2} ——电池放置后的 SOC，单位为%；
- T ——电池放置的时间，单位为小时（h）。

单体自放电率异常判定方法如下：

- 若 φ_i 超过安全阈值（企业自定义，例：5%/24h），则判定单体自放电率异常；
- 若存在同一辆车长周期趋势指标存在上升趋势，判定单体自放电率异常。

注：趋势计算方法见附录B。

6.3.5 电池温差异常

在车辆 SOC 处于企业自定义安全范围内，且车辆处于充电状态的条件下，通过检测设备或者 OBD 读取电池数据并计算电池包内电池最大温差 ΔT_{\max} 。电池温差异常判定方法如下：

- 若 ΔT_{\max} 指标超过安全阈值（企业自定义，例：10℃），判定电池温差异常；
- 若存在同一辆车长周期趋势指标存在上升趋势，判定电池温差异常。

注：趋势计算方法见附录B。

6.3.6 电池温度过高异常

在任意电池运行状态下，通过检测设备或者 OBD 读取的电池数据并计算电池的最高温度与温度安全阈值（企业自定义，例：60℃）的差值，作为电池温度过高异常指标。若超过 5s 的连续若干数据帧计算得到的指标大于等于 1℃，判定电池温度过高异常。

6.3.7 电池温升速率异常

在车辆处于充电状态下，通过检测设备或 OBD 读取电池数据并计算单位周期（企业自定义，例：10s）电池系统最大单体温升速率 V_{CTmax} 。若 V_{CTmax} 指标超过安全阈值（企业自定义，例：3℃/10s）时，判定电池温升速率异常。 V_{CTmax} 按公式（19）、公式（20）计算：

$$V_{CTi} = \frac{(T_{endi} - T_{starti})}{t_i} \quad (i = 1, 2, 3 \dots k) \quad (19)$$

$$V_{CTmax} = \max(V_{CTi}) \quad (i = 1, 2, 3 \dots k) \quad (20)$$

式中：

- V_{CTi} ——各温度探针电池温升速率；
- V_{CTmax} ——电池系统最大单体温升速率；
- T_{starti} ——电池采样开始时刻电池第 i 个温度探针采样温度值，单位为摄氏度（℃）；
- T_{endi} ——电池采样结束时刻电池第 i 个温度探针采样温度值，单位为摄氏度（℃）；

- t_i ——采样时间，单位为秒（s）；
 k ——电池系统中温度采集点的个数。

6.3.8 电压上升速率异常

在车辆处于充电状态下，通过检测设备或 OBD 读取电池数据并计算单位周期（企业自定义，例：10s）内电池总电压的变化速率 K 。若 K 大于安全阈值（企业自定义，例：10V/10s）变化速率，判定电压上升速率异常。

6.3.9 绝缘电阻过低异常

在车辆处于静置状态下，通过检测设备或 OBD 读取电池绝缘电阻值。若绝缘电阻值持续一段时间（企业自定义，例：60s）降低至小于等于规定阈值（企业自定义，例：272k Ω ），则判定绝缘电阻过低异常。

6.3.10 电流过大异常

在车辆处于充电状态下，通过检测设备或 OBD 读取电池数据并计算充电过程电池电流与最大允许充电电流之比 K_I 。若 K_I 大于等于 105%，且持续超过 5s，则判定电流过大异常。

6.3.11 单体电池内阻异常

在电池处于固定 SOC 点（企业自定义，例：90%）下，对静置后的电池施加一个充电电流脉冲的工况，通过检测设备或 OBD 读取电池数据并计算电池单体直流内阻 DCR。若 DCR 超过安全阈值（企业自定义，例：0.001），则判定内阻异常。DCR 按公式（21）计算：

$$DCR = \frac{\Delta U}{\Delta I} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

- DCR ——电池内阻，单位为欧姆（ Ω ）；
 ΔU ——电压响应值，单位为伏特（V）；
 ΔI ——电流阶跃值，单位为安培（A）。

6.3.12 单体电压一致性异常

在车辆处于充电过程末期（如 SOC > 90%）或充满静置后任意时间点的状态下，通过检测设备或 OBD 读取电池数据并计算在一个数据快照中单体电压一致性系数 ζ_v 。若 ζ_v 低于安全阈值（以企业定义或通过附录 A 的方法比较所有电池单体确定），则判定电压一致性异常。 ζ_v 按公式（22）计算：

$$\zeta_v = 1 - \frac{\sigma_v}{V_{avg}} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

- ζ_v ——在该数据快照中，单体电压一致性系数；
 σ_v ——在该数据快照中，所采样全部单体电压值的样本标准差；
 V_{avg} ——在该数据快照中，所采样全部单体电压值的平均值，单位为伏特（V）。

6.3.13 温度一致性异常

在车辆处于以下任何一种状态：

——稳态运行状态：车辆以相对稳定的电流（企业自定义，如持续充电或放电）运行一段时间后（企业自定义，建议>10 min），使得电池包温度场达到动态平衡；

——充分静置状态：车辆长时间（企业自定义，建议>60 min）处于非充电、非行驶状态，使得电池包内部温度充分均衡。

通过检测设备或 OBD 读取电池数据并计算一个数据快照中所有温度探针测量值的一致性系数 ζ_T 。若 ζ_T 低于安全阈值（以企业定义或通过附录 A 的方法比较所有电池单体确定），则判定温度一致性异常。 ζ_T 按公式（23）计算：

$$\zeta_T = 1 - \frac{\sigma_T}{T_{avg}} \quad (23)$$

式中：

ζ_T ——在该数据快照中，温度测量值的一致性系数；

σ_T ——在该数据快照中，所采样全部温度测量值的样本标准差；

T_{avg} ——在该数据快照中，所采样全部温度测量值的平均值，单位为摄氏度（℃）。

6.3.14 单体内阻一致性异常

6.3.14.1 单体内阻一致性异常的判定指标为单次充电周期内最小单体内阻一致性系数 ζ_{DCR} 。若 ζ_{DCR} 低于安全阈值（企业自定义或通过附录 A 的方法比较所有电池单体确定），则判定单体内阻一致性异常。 ζ_{DCR} 计算数据来源于检测设备或 OBD 读取的电池数据，计算方法如下：

- 根据 6.3.11 中规定的方法，在同一测试工况下，计算出每一个单体 i 的直流内阻 DCR_i ；
- 根据所有单体的 DCR_i 值，按公式（24）计算其一致性系数 ζ_R ；

$$\zeta_{DCR} = 1 - \frac{\sigma_{DCR}}{DCR_{avg}} \quad (24)$$

式中：

ζ_{DCR} ——直流内阻一致性系数；

DCR_{avg} ——本次测试中所有单体直流内阻的平均值，单位为欧姆（Ω）；

σ_{DCR} ——本次测试中所有单体直流内阻的样本标准差。

6.3.14.2 所有单体的直流内阻 DCR_i 必须在完全相同的测试工况下测得，该工况应遵循 6.3.11 的规定。

6.3.15 电池析锂风险诊断

6.3.15.1 电池析锂风险诊断指标为充电末段电压变化率 K_{Li} 。通过检测设备或者 OBD 读取电池数据，计算出一系列 K_{Li} 值并进行滑动平均处理（例：窗口大小为 6 个点），连续 3 个及以上滑动窗口内 K_{Li} 小于安全阈值（安全阈值由电池制造商技术规格、实验室数据或正常充电过程 K_{Li} 分布确定），则判定存在析锂风险。 K_{Li} 按公式（25）计算：

$$K_{Li} = \frac{V(t+\Delta t) - V(t)}{\Delta t} \quad (25)$$

式中：

K_{Li} ——充电末段电压变化率，单位为伏特每分钟（V/min）；

ΔV ——在相同充电条件选定时间间隔内的电压变化量，单位为伏特（V）；

Δt ——选定的时间间隔，单位为分钟（min）。

6.3.15.2 电池析锂风险诊断判定适用条件为：

- 分析相同充电过程（车充电状态，目标充满至 SOC 100%，充电电流按企业自定义策略控制），且充电模式相同、SOC 大于等于 80%，且车辆充电状态处于恒流充电阶段；
- 当 SOC 大于等于 80 % 时，以 10s 为周期采集并记录电压 - 时间数据。

6.3.16 电池内短路诊断

6.3.16.1 电池内短路诊断指标为内短路电流 I_{ISC} 和内短路等效电阻 R_{ISC} 。若 I_{ISC} 大于安全阈值（企业自定义，建议 0.2A），判定发生内短路； R_{ISC} 越小表示短路越严重，可作为分级管理依据（当 R_{ISC} 小于 1Ω ，应立即触发高等级安全处置）。 I_{ISC} 和 R_{ISC} 的计算方法如下：

在充电过程中，选择充电末段的固定电压区间进行分析。建议选择从 90%SOC 到充电截止的区间，或选择电池组中最低电压单体从 3.3V 到充电截止电压的区间。在所选定的电压/时间区间内，计算该区间的累积充电电量 Q_{seg} 值见公式（26）：

$$Q_{seg} = \int_{t_1-\Delta t}^{t_1} Idt \quad (26)$$

式中：

- Q_{seg} ——在选定电压区间内充入的电量，单位为安时（Ah）；
- I ——充电电流，单位为安培（A）。

根据相邻两次的 Q_{seg} 结果可以计算内短路电流，见公式（27）：

$$I_{ISC} = \frac{Q_{segn} - Q_{segn-1}}{t_{cutoff,n} - t_{cutoff,n-1}} \quad (27)$$

式中：

- I_{ISC} ——等效平均内短路电流，单位为安培（A）；
- Q_{segn} ——第 n 次充电时计算的区段充电量，单位为安时（Ah）；
- Q_{segn-1} ——第 n-1 次充电时计算的区段充电量，单位为安时（Ah）；
- $t_{cutoff,n}$ ——第 n 次充电截止时间，单位为秒（s）或分钟（min）；
- $t_{cutoff,n-1}$ ——第 n-1 次充电截止时间，单位为秒（s）或分钟（min）。

计算内短路等效电阻，当计算得到的 I_{ISC} 大于阈值时。可进一步的计算内短路电池的等效短路电阻值，见公式（28）：

$$R_{ISC} = \frac{V_{avg}}{I_{ISC}} \quad (28)$$

式中：

- R_{ISC} ——计算得到的内短路等效电阻值，单位为欧姆（ Ω ）；
- V_{avg} ——平均电压，单位为伏特（V）；
- I_{ISC} ——等效平均内短路电流，单位为安培（A）。

6.3.16.2 电池内短路诊断判定适用条件为：

- 完整记录最近两次充电末段的 Q_{seg} 、截止时间 t_{cutoff} 及对应电压区间；
- 两次充电的环境温度与 SOC 起始值差异不应超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\%\text{SOC}$ 。

6.3.17 电池采样异常诊断

电池采样异常诊断指标包括：

a) 单体采样跳变率 K 。若任意一个单体电池的采样跳变率 K 的最大值高于阈值（安全阈值以企业定义，参考安全指标： $K=10\%$ ；温度采样： $K=5\%$ ），认定电池采样异常。其计算方法如下：

在单次充电或静置周期的数据采集，若单个电芯的采样值（电压或温度）在相邻两个采样时刻的变化量超过预设的物理阈值（企业自定义，例：电压采样超过 4.9V），则记为一次采样跳变。单体采样跳变率 K 用于衡量指定单体的采样跳变频率，单体指标极值率，如公式（29）所示：

$$K = \frac{n_0}{n_1} \times 100\% \quad (29)$$

式中：

n_0 ——在该周期内，指定单体发生采样跳变的总次数；

n_1 ——在该周期内，该单体的总采样次数（上传总帧数）。

b) 相邻位置单体出现对称性变化的极值率 K' 。若任意一对相邻单体的对称跳变率 K' 的最大值高于阈值（安全阈值以企业定义，参考安全指标 $K' = 5\%$ ；温度采样： $K' = 5\%$ ），认定电池采样异常。其计算方法如下：

在单次充电或静置周期的数据采集，若一对物理位置相邻的电芯，其采样值（电压或温度）同时发生采样跳变，且变化方向相反（一个突增，一个突降），则记为一次对称跳变。相邻单体对称跳变率 K' 用于衡量该对相邻单体的对称跳变频率。其计算方法如公式（30）所示：

$$K' = \frac{n_0}{n_1} \times 100\% \quad (30)$$

式中：

n_0 ——在该周期内，该相邻单体对发生对称跳变的总次数；

n_1 ——在该周期内，该单体对的总采样次数（上传总帧数）。

7 风险分析评估

7.1 风险等级划分

风险级别分为高风险、中风险、低风险 3 级：

a) 高风险，指代可能导致事故，需要应急处理停车处理或请求数据的故障；

b) 中风险，指代影响车辆性能，需要提醒用户进行维修的故障；

c) 低风险，指代不影响车辆正常行驶的故障。

风险等级与故障项目的对应关系见表 1。

表 1 风险等级划分

风险等级	故障项目
高风险	热失控风险、电池内短路、单体电压过高异常、单体电压过低异常、总电压过高异常、电压上升速率异常、电池温度过高异常、绝缘异常、电流过大异常
中风险	电池析锂、单体差异异常、电池温差异常、电池温升速率异常、SOC 过高异常、SOC 变化速率异常、SOC 指标异常、单体自放电率异常、电池健康状态异常、单体电池内阻异常、单体电压一致性异常、温度一致性异常、单体内阻一致性异常、单体容量一致性异常
低风险	电池采样异常、电池内阻增长率异常

7.2 综合风险评分

7.2.1 评分计算

根据表1描述的风险项目，进行综合评分计算：

$$S = \sum_{i=1}^m w_i \times n_i \times c_i \quad (31)$$

式中：

w_i ——告警严重度权重；

n_i ——在评估周期 τ 内，告警出现次数；

c_i ——数据置信系数（当采样完整性<95%时宜下调）。

表 2 告警严重度权重 w_i

风险名称	权重 w_i
单体电压过高异常、单体电压过低异常、总电压过高异常、电压上升速率异常、电池温度过高异常、绝缘异常、电流过大异常	25
电池析锂、单体电压极差异常、电池温差异常、电池温升速率异常、SOC 过高异常、SOC 变化速率异常、SOC 指标异常、单体自放电率异常、电池健康状态异常、单体电池内阻异常、单体电压一致性异常、温度一致性异常、单体内阻一致性异常、单体容量一致性异常	15
电池采样异常、电池内阻增长率异常	5

7.2.2 紧急程度阈值确定

根据S评分得到车辆处理紧急程度，阈值确定方法为：

- 当触发“热失控风险”、“电池内短路”等严重故障诊断时，应直接判定为高风险等级，无需进行后续综合风险评分。综合风险评分S适用于对其他异常状态的风险累积程度进行评估。
- 评估周期结束时，对同车型车辆的 S 值进行从小到大排序；
- 取90%分位值作为高紧急度 T_{high} ，70%分位值作为中紧急度 T_{mid} 。

7.2.3 紧急程度判定与要求

紧急程度别分为高等级、中等级、低等级 3 级：

- 高等级，若综合评分S大于等于高紧急度阈值 T_{high} 时，判断为高级紧急程度，应立即下发限功率或停车检修指令，24 h内完成现场检测；
- 中等级，若综合评分S大于等于中紧急度阈值 T_{mid} 且小于高紧急度阈值 T_{high} 时，判断为中级紧急程度，7日内安排现场检测，并将在线监控频率提高至不大于3h；
- 低等级，若综合评分S小于中紧急度阈值 T_{mid} 时，判断为低紧急程度，维持常规监控，按月复核评分变化趋势。

附录 A
(资料性)
偏离度分析方法

A.1 指标异常检测算法

正态分布的“3σ”原则：在正态分布中，区间（ $\mu - 3\sigma$, $\mu + 3\sigma$ ）是随机变量X实际可能的取值区间，X落在该区间以外的概率小于千分之三，在实际问题中一般认为这种事件是不会发生的。如果变量属于这千分之三，即是异常点。

正态分布N(μ , σ)由均值 μ 和标准差 σ 唯一决定的分布,根据样本数据估算出均值 μ 和标准差 σ ,样本数为n,按公式(A.1)、公式(A.2)计算。

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)}{n} \quad \text{..... (A.1)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{(n-1)}} \quad \text{..... (A.2)}$$

式中：

μ ——指标均值；

n ——指标样本数量；

σ ——指标标准差。

A.2 广义极端学生化偏离异常检测

在对样本数据进行异常检测，需要进行假设性检验时，如果样本数量较小或总体标准差未知，正态分布已不适合应用于样本假设性检验，可以根据样本量选择合适自由度的t分布对样本进行假设性检验。广义极端学生化偏离异常检测是基于t分布进行假设性检验的异常检测算法。首先指定样本异常比例(h) ($0 < h < 1$)和显著水平 α (一般为0.05)，计算样本均值(μ)和标准差(σ)，根据公式(A.3)计算检验统计量 R_j ，筛选出最大的检验统计量，根据公式(A.4)计算临界值 λ_j ，循环计算 μ 、 σ 、 R_j 、 λ_j ，直到筛选出 $n \times h$ 个检验统计量，如果 R_j 大于 λ_j ，样本异常，其它情况样本正常。

$$R_j = \frac{\max(y_j - \mu)}{\sigma} \quad (1 \leq j \leq n \times h) \quad \text{..... (A.3)}$$

$$\lambda_j = \frac{(n-j) \times t_{p, n-j+1}}{\sqrt{(n-j-1 + t_{p, n-j-1}^2) \times (n-j+1)}} \quad (1 \leq j \leq n \times h) \quad \text{..... (A.4)}$$

$$t_p = 1 - \frac{\alpha}{2 \times (n-j+1)} \quad (1 \leq j \leq n \times h) \quad \text{..... (A.5)}$$

式中：

μ ——样本均值；

σ ——样本标准差；

y_j ——第i个样本值；

n ——样本总量；

R_j ——第j个检验统计量；

λ_j ——第j个样本临界值。

附 录 B
(资料性)
趋势检测算法

对时间序列样本进行趋势判断可以使用非参数趋势检测算法Mann-Kendall计算,算法可有效对非正态分布指标进行趋势检测。先根据公式 (B.1) 计算样本的统计量S, 然后根据公式 (B.3) 计算标准正态分布统计量Z, Z大于0时, 样本存在上升趋势, Z小于0时, 样本存在下降趋势。

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{..... (B.1)}$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & x_j - x_k > 0 \\ 0 & x_j - x_k = 0 \\ -1 & x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad \text{..... (B.2)}$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad \text{..... (B.3)}$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{..... (B.4)}$$

式中:

- S —— 样本统计量;
- x_j —— 时间序列中第j个观测值;
- x_k —— 时间序列中第k个观测值;
- sgn —— 符号函数;
- n —— 样本总数;
- Z —— 正态分布统计量;
- $\text{Var}(S)$ —— 统计量S的方差。