

T/CAAMTB

中国汽车工业协会团体标准

T/CAAMTB XXXX—XXXX

电动汽车电池系统安全预警模型评价方法

Evaluation method of safety warning model for battery system of electric vehicle

(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

中国汽车工业协会 发布

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。

本文件由中国汽车工业协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

电动汽车电池系统安全预警模型评价方法

1 范围

本文件给出了电动汽车电池系统安全预警模型评价的数据集构建、评价方法、评价报告等内容。

本文件适用于第三方机构开展的电动汽车电池系统安全预警模型评价活动，企业也可参照本文件开展电池系统安全预警模型自评价。

本文件适用于混合故障模式的电动汽车电池系统安全预警模型评价活动，单故障模式的电动汽车电池系统安全预警模型评价活动参照适用。

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 19596 电动汽车术语

GB/T 32960 电动汽车远程服务与管理系统技术规范

3 术语和定义

GB/T 19596、GB/T 32960界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电池系统安全预警模型 *safety warning model for battery system*

运用机器学习、故障特征识别等技术，实现电池系统监控数据异常特征识别，预测电池系统安全风险的策略机制。

3.2

正常车 *normal vehicle*

运行周期内具有未发生故障记录标签的车辆。

3.3

故障车 *faulty vehicle*

运行周期内具有记录故障原因标签的车辆。

3.4

调试数据集 *debug data set*

按照一定比例混合正常车和故障车，在模型构建调试过程中使用的数据集。

3.5

评价数据集 *evaluate data set*

按照一定比例混合正常车和故障车，在模型构建调试过程中没有使用，用于评估模型构建质量的数据集。

3.6

自放电异常 *self discharge fault*

电池的能量未通过放电进入外电路而是以其他方式损失，造成单个或多个单体出现明显的离群状态且存在安全隐患的现象。

3.7

突发型内短路 *sudden internal fault*

电池单体内部由于正负极片异常导通等原因，致使电池发生突然热失控的现象。

3.8

连接异常 *connection fault*

高压回路中，电池单体或电池组之间连接松脱，造成电池数据失真的现象。

3.9

采样异常 sampling fault

电池采样系统发生故障导致单个或多个传感器采集数据失真的现象。

3.10

绝缘失效 failure of insulation

电池系统由于车辆涉水、电芯漏液、绝缘层老化或其他原因造成的绝缘阻值低于限值的现象。

4 数据集构建

4.1 数据集要求

4.1.1 评价前宜构建调试数据集和评价数据集，且数据集宜每年更新。

4.1.2 调试数据集可自行设定故障车与正常车数量比例，数据字段应符合 4.3 的要求。

4.1.3 评价数据集宜设定车辆总数不低于 1000 台，数据应符合 4.2、4.3 的要求。

4.2 故障车辆数据要求

故障车评价数据集应包括但不限于自放电异常、突发型内短路、连接异常、采样异常、绝缘失效等故障模式，其中：

——故障车数量宜根据表 1 进行设置；

——单类故障模式车辆数量不低于 3 辆。

表1 评价数据集故障车数量设置表

车辆总数（台）	故障车总量（台）
[1000, 5000]	[15, 30]
[5000, 10000]	[30, 100]

4.3 数据字段要求

每辆车应至少包含以下19个数据字段，数据采集时间间隔不超过10s，数据周期不低于6个月，数据字段信息见表2。

表2 数据字段

数据字段	中文解释	有效值范围	单位
VIN	车辆识别码		
TIME	UNIX 时间		
CHARGE_STATUS	充电状态	1~4	1 停车充电 2 行驶充电 3 未充电状态 4 充电完成
SPEED	车速	0~500	km/h
SUM_MILE_AGE	累计里程	0~999999.9	km
SUM_VOLTAGE	总电压	0~1500	V
SUM_CURRENT	总电流	-2000~2000	A
SOC	SOC	0~100	%
INSULATION_RESISTANCE	绝缘电阻	0~60000	kΩ
MAX_VOLT_CELL_ID	最高电压电池单体代号	1~1000	
MAX_CELL_VOLT	电池单体电压最高值	0~15000	mV
MIN_VOLT_CELL_ID	最低电压电池单体代号	1~1000	
MIN_CELL_VOLT	电池单体电压最低值	0~15000	mV
MAX_TEMP_PROBE_ID	最高温度探针序号	1~1000	
MAX_TEMP	最高温度值	-40~210	°C
MIN_TEMP_PROBE_ID	最低温度探针序号	1~250	
MIN_TEMP	最低温度值	-40~210	°C
CELL_VOLT_LIST	单体电压列表	1~65531	mV
CELL_TEMP_LIST	探针温度列表	1~225	

5 评价方法

5.1 测试模型信息收集

收集测试模型的完整基本信息，测试模型基本信息收集清单模板见附录A.1。

5.2 模型部署与测试

5.2.1 根据实际测试环境部署测试模型。

5.2.2 在调试数据集上进行测试模型试运行，根据试运行结果调试模型。

5.2.3 在三个以上不同评价数据集上正式运行测试模型，记录测试模型运行结果及运算时间，测试模型运行结果输出清单模板见附录B。

注：不同评价数据集数据源相同，车次顺序不同。

5.3 评价指标体系

评价指标包括准确性、稳定性、故障模式识别精确度、提前预警时间，指标分类及取值规则见表3。

表3 评价指标体系及取值规则

指标类型	评价指标	评价方式	取值规则
基础指标	准确性	定量	测试模型在评价数据集上正式运行结果的查全率和查准率的调和平均数
	稳定性	定量	测试模型在不同评价数据集上正式运行结果的稳定程度
进阶指标	故障模式识别精确度	定性	故障模式类型识别准确的比例 $\geq 60\%$
	提前预警时间	定性	针对突发型内短路故障模式，预警时间早于故障发生时间 15 min 以上

5.4 指标计算方法

5.4.1 准确性

5.4.2 对比评价数据集故障车辆设置清单和测试模型运行输出的正常车与故障车识别结果，分别计算单次运行结果的查全率、查准率和 F1 分数。

5.4.3 查全率是指在所有实际为正例的样本中，预测正确的正例占的比例，按公式 1 计算：

$$R = \frac{TP}{TP+FN} * 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R ——查全率，单位为%；

TP ——真正例，即实际为故障车，且被模型预测为故障车的样本数量；

FN ——假负例，即实际为故障车，但被模型预测为正常车的样本数量。

5.4.4 查准率是指在所有预测为正例的样本中，预测正确的正例占的比例，按公式 2 计算：

$$P = \frac{TP}{TP+FP} * 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

P ——查准率，单位为%；

TP ——真正例，即实际为故障车，且被模型预测为故障车的样本数量；

FP ——假正例，即实际为正常车，但被模型预测为故障车的样本数量。

5.4.5 F1 分数是查全率和查准率的调和平均数，按公式 3 计算：

$$F_1 = 2 * \frac{R * P}{R + P} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

F_1 ——F1分数，单位为%；

R ——查全率，单位为%；

P ——查准率，单位为%。

5.4.6 取测试模型多次运行计算得到的 F1 分数的算术平均值作为准确性结果。

5.4.7 稳定性

对比测试模型在三个以上评价数据集上正式运行计算得到的F1分数，按照公式4计算稳定性：

$$S = |F_{1,max} - F_{1,min}| \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- S——稳定性，单位为%；
- $F_{1,max}$ ——F1分数的最大值，单位为%；
- $F_{1,min}$ ——F1分数的最小值，单位为%。

5.4.8 故障模式识别精确度

对比测试模型运行输出的故障模式识别结果与评价数据集故障车辆设置清单，计算单次运行测试模型故障模式识别准确的车辆数量占故障车辆设置总数的比例，取多次运行计算结果的算术平均值作为最终故障模式识别精确度结果。

5.5 评价等级判定

5.5.1 根据表4中的评价指标判定电动汽车电池系统安全预警模型等级。

表4 评价等级判定规则

指标判定	评价等级	等级特征
准确性 \geq 90%，稳定性 \leq 1%	A	示范领先
准确性 \geq 85%，稳定性 \leq 1%	B	成效卓越
准确性 \geq 75%，稳定性 \leq 2%	C	有效发展
准确性 \geq 70%，稳定性 \leq 2%	D	初具规模
准确性 \geq 60%，稳定性 \leq 3%	E	合格
准确性 $<$ 60%或稳定性 $>$ 3%	F	不合格

5.5.2 出现以下情形时：

- 测试模型识别故障模式类别的精确度 \geq 60%时，评价等级为“X+”；
- 针对突发型内短路故障模式，提前预警时间 \geq 15 min时，评价等级为“X++”。

注：“X”表示5.5.1中的评价等级。

5.6 评价报告

电动汽车电池系统安全预警模型评价活动应形成评价报告，评价报告要素宜包括但不限于以下内容：

- 测试模型基本信息；
- 评价机构信息；
- 评价环境与评价依据；
- 评价结论与分析。

附 录 A
(资料性)
测试模型信息清单模板

A.1 测试模型信息收集清单内容模板见表 A.1。

表A.1 测试模型信息清单模板

序号	项目	描述
1	模型负责人及所属单位	
2	模型名称	
3	模型应用场景	
4	模型识别的故障类型	
5	模型编写语言	如 C/C+语言、Java 语言、matlab 语言、Python 语言等；
6	模型配置文件	描述所需库的名称、版本、依赖关系
7	模型运行指令	描述如何操作模型训练和测试

附录 B
(资料性)

测试模型运行结果输出清单模板

- B.1 测试模型运行结果输出清单宜采用.csv 格式保存。
- B.2 测试模型运行结果输出清单内容模板见表 B.1。

表B.1 测试模型运行结果输出清单模板

模型名称			模型所属单位	
版本号			模型负责人	
序号	车辆 VIN 号	故障模式 ^a	故障预警时间	故障定位电池单体代号
			XX 年 XX 月 XX 日 hh:mm:ss	
模型运行时间 (s) :				
^a 故障模式类型包括但不限于自放电异常、突发型内短路、连接异常、采样异常、绝缘失效等。				