

团 体 标 准

T/CAAMTB 199—202X
代替 T/CAAMTB 199—2024

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）

（本草案完成时间：2026年4月13日）

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中国汽车工业协会 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 数据集构建	2
4.1 数据集类别	2
4.2 数据集要求	2
4.3 故障车辆数据要求	2
4.4 数据字段要求	2
5 评价方法	3
5.1 测试模型信息收集	3
5.2 模型部署与测试	3
5.3 评价指标与计算方法	3
5.4 评价等级判定	4
6 评价报告	5
附录 A（资料性） 测试模型信息清单模板	6
附录 B（资料性） 测试模型运行结果输出清单模板	7
参考文献	8

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。

本文件代替T/CAAMTB 199—2024《电动汽车电池系统安全预警模型评价方法》，与T/CAAMTB 199—2024相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了“正常车”的术语和定义（见 3.2）；
- 更改了“故障车”的术语和定义（见 3.3）；
- 增加了“突发型热失控”的术语和定义（见 3.4.2）；
- 删除了“突发型内短路”的术语和定义（见 2024 版的 3.4.2）；
- 增加了“容量衰减异常”的术语和定义（见 3.4.6）；
- 增加了数据集类别的内容（见 4.1）；
- 增加了数据集数据的质量要求（见 4.2.4）；
- 更改了评价数据集中故障车辆的故障模式及要求（见 4.3.1，2024 年版的 4.2）；
- 更改了数据集中数据字段的内容（见表 2，2024 年版的表 2）；
- 删除了评价指标体系表（见 2024 年版的表 3）；
- 修改了不同评价数据集各故障模式分布比例要求（见 5.2.3）；
- 更改了“稳定性”指标计算方法（见 5.3.3，2024 年版的 5.4.2）；
- 更改了初步评价的评价等级判定规则表（见表 3，2024 年版的表 4）；
- 删除了“提前预警时间”评价指标（见 2024 年版的 5.5.2）；
- 更改了评价结果修正的规则（见 5.4.2，2024 年版的 5.5.2）。

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。

本文件由中国汽车工业协会提出并归口。

本文件起草单位：北京中汽院科技有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、国家市场监督管理总局缺陷产品召回技术中心。

本文件主要起草人：。

本文件于2024年首次发布，本次为第一次修订。

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的评价数据集构建、评价方法、评价报告等内容。

本文件适用于电动汽车电池系统基于车辆运行数据的混合故障模式安全预警模型的评价，单故障模式安全预警模型的评价参照适用。

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 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 19596 电动汽车术语

GB/T 32960（所有部分） 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（所有部分）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**

运行周期内未发生本标准规定故障模式（3.4）的车辆。

3.3

故障车 **faulty vehicle**

运行周期内发生本标准规定故障模式（3.4）的车辆。

3.4

故障模式 **fault mode**

能够被观察或检测到的零部件或产品故障表现形式。

[来源：GB/T 43388—2023，3.3]

3.4.1

自放电异常 **self-discharge abnormal**

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电压偏低离群的现象。

3.4.2

突发性热失控 **sudden thermal runaway**

因电池或电池系统劣化等原因，造成电池温度不可控上升的现象。

3.4.3

连接异常 **connection abnormal**

高压回路中，电池单体或电池组之间连接松动，导致接触电阻增大、产热增加的现象。

3.4.4

采样异常 **sampling abnormal**

电池采样系统由于线束接触不良、芯片电磁干扰、老化、破损等原因造成的单个或多个电压或温度传感器采集数据失真的现象。

3.4.5

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。

3.4.6

容量衰减异常 capacity decay abnormal

因设计、生产制造、使用等原因，导致电池系统内单个或多个电池单体的容量衰减速度快于其他单体的现象。

3.5

调试数据集 debug data set

按照一定比例混合正常车和故障车，在电池系统安全预警模型（3.1）调试过程中使用，用于算法环境配置、模型接口构建的数据集合。

3.6

评价数据集 evaluate data set

按照一定比例混合正常车和故障车，在电池系统安全预警模型（3.1）调试过程中没有使用，用于评估电池系统安全预警模型（3.1）效果的数据集合。

4 数据集构建

4.1 数据集类别

应按照电池化学体系类型，在对应类别数据集内开展评价活动，数据集类别包括但不限于：

- 搭载磷酸铁锂电池的电动汽车运行数据集；
- 搭载三元锂电池的电动汽车运行数据集；
- 搭载新型化学体系电池的电动汽车运行数据集；
- 搭载混合型电池的电动汽车运行数据集等。

4.2 数据集要求

- 4.2.1 评价前宜合理构建调试数据集和评价数据集，且数据集宜每年更新。
- 4.2.2 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。
- 4.2.3 评价数据集宜设定车辆总数不少于 1000 台，数据应符合 4.2、4.3 的要求。
- 4.2.4 数据集中的数据应真实、有效，数据质量宜符合 GB/T 32960.4 的要求。

4.3 故障车辆数据要求

4.3.1 评价数据集中的故障车应至少包括以下故障模式中的五种：

- 自放电异常；
- 突发型热失控；
- 连接异常；
- 采样异常；
- 绝缘失效；
- 容量衰减异常。

4.3.2 评价数据集中的故障车数量宜参照表 1 进行设置，其中单类故障模式车辆数量应不少于 3 台。

表1 评价数据集中故障车数量设置参考值

单位为台

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

4.4 数据字段要求

每台车应至少包含表2中的11个数据字段，数据采集时间间隔不超过10 s，数据周期不低于6个月。

表2 数据字段内容

序号	数据字段	中文解释	有效值范围	单位
1	VIN	车辆代号（脱敏处理）	/	/
2	TIME	UNIX 时间戳	/	/
3	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
4	SPEED	车速	0~500	km/h
5	SUM_MILE_AGE	累计里程	0~999999.9	km
6	SUM_VOLTAGE	总电压	0~6000	V
7	SUM_CURRENT	总电流	-3000~3000	A
8	SOC	荷电状态	0~100	%
9	INSULATION_RESISTANCE	高压对地绝缘电阻	0~60000	kΩ
10	CELL_VOLT_LIST	动力电池最小并联单元电压信息列表	0~60000	mV
11	PROBE_TEMP_LIST	动力电池温度信息列表	-40~210	℃

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。

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，分别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：不同评价数据集各故障模式的分布比例应相同。

5.3 评价指标与计算方法

5.3.1 准确性

5.3.1.1 对比评价数据集的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。

5.3.1.2 查全率是指在所有实际为故障车的车辆中，模型预测为故障车的车辆占比，按公式1计算：

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

式中：

R ——查全率；

TP ——实际为故障车，且模型预测为故障车的车辆数量；

FN ——实际为故障车，但模型预测为正常车的车辆数量。

5.3.1.3 查准率是指在所有预测为故障车的车辆中，实际为故障车的车辆占比，按公式2计算：

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

式中：

P ——查准率；

TP ——模型预测为故障车，且实际为故障车的车辆数量；

FP ——模型预测为故障车，但实际为正常车的车辆数量。

5.3.1.4 F1分数是查全率和查准率的调和平均数，按公式3计算：

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

式中：

- F_1 ——F1分数；
- R ——查全率；
- P ——查准率。

5.3.1.5 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，结果按照 GB/T 8170 的要求修约至小数点后两位。

5.3.2 故障模式识别精确度

5.3.2.1 对比测试模型运行输出的动力电池故障模式识别结果与评价数据集故障车辆设置清单，按照公式 4 计算单次运行的故障模式识别精确度 M ：

$$M = \frac{TP_M}{TP+FN} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- M ——故障模式识别精确度；
- TP_M ——实际为故障车，且模型预测为故障车的车辆中，故障模式识别准确的车辆数量；
- TP ——实际为故障车，且模型预测为故障车的车辆数量；
- FN ——实际为故障车，但模型预测为正常车的车辆数量。

5.3.2.2 取测试模型多次运行计算得到的 M 的算术平均值作为最终故障模式识别精确度结果，结果按照 GB/T 8170 的要求修约至小数点后两位。

5.3.3 稳定性

根据测试模型在三个以上不同评价数据集上正式运行测得的F1分数、故障模式识别精确度的不同结果，按照公式5、6分别计算多次运行结果的F1分数稳定性和故障模式识别精确度稳定性，计算结果按照GB/T 8170的要求修约至小数点后两位：

$$S_{F_1} = 100\% - (F_{1,max} - F_{1,min}) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- S_{F_1} ——F1分数稳定性；
- $F_{1,max}$ ——F1分数的最大值；
- $F_{1,min}$ ——F1分数的最小值。

$$S_M = 100\% - (M_{max} - M_{min}) \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- S_M ——故障模式识别精确度稳定性；
- M_{max} ——故障模式识别精确度的最大值；
- M_{min} ——故障模式识别精确度的最小值。

5.4 评价等级判定

5.4.1 初步评价

根据5.3.1和5.3.2的结果对应表3初步确定电动汽车电池系统安全预警模型的评价等级。

表3 评价等级判定规则

评价等级		故障模式识别精确度							
		$M=100\%$	$90\% \leq M < 100\%$	$80\% \leq M < 90\%$	$60\% \leq M < 80\%$	$40\% \leq M < 60\%$	$20\% \leq M < 40\%$	$0\% < M < 20\%$	$M=0\%$
准 确 性	$F_1=100\%$	SSS	SS	S	A	B	C	D	F
	$96\% \leq F_1 < 100\%$	SS	SS	S	A	B	C	D	F
	$90\% \leq F_1 < 96\%$	S	S	S	A	B	C	D	F
	$80\% \leq F_1 < 90\%$	A	A	A	A	B	C	D	F
	$70\% \leq F_1 < 80\%$	B	B	B	B	B	C	D	F
	$60\% \leq F_1 < 70\%$	C	C	C	C	C	C	D	F
	$40\% \leq F_1 < 60\%$	D	D	D	D	D	D	D	F

评价等级	故障模式识别精确度							
	$M=100\%$	$90\% \leq M < 100\%$	$80\% \leq M < 90\%$	$60\% \leq M < 80\%$	$40\% \leq M < 60\%$	$20\% \leq M < 40\%$	$0\% < M < 20\%$	$M=0\%$
$0 \leq F_1 < 40\%$	F	F	F	F	F	F	F	F

5.4.2 评价结果修正

根据5.3.3的结果对评价等级结果进行修正：

—— $S_{F_1} \geq 90\%$ 且 $S_M \geq 80\%$ 时，评价等级结果修正为“X+”；

—— $S_{F_1} \geq 95\%$ 且 $S_M \geq 90\%$ 时，评价等级结果修正为“X++”。

注：“X”表示5.4.1中的评价等级。

6 评价报告

电动汽车电池系统安全预警模型评价应形成评价报告，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；
- 评价结论与改进建议。

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 测试模型信息收集清单模板

序号	项目	描述
1	模型负责人及所属单位	如姓名, xxxx 公司、学校、研究所等
2	模型名称	如 xxxx 模型
3	模型识别的故障类型	自放电异常、突发型热失控、连接异常、采样异常、绝缘失效、容量衰减异常等
4	模型编写语言	如 C/C+语言、Java 语言、matlab 语言、Python 语言等
5	模型配置文件	描述所需工具库的名称、版本、依赖关系等
6	模型运行操作说明	描述模型训练和测试的指令、步骤等

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			评价日期	
模型所属单位			运行次数	
模型版本号			模型负责人	
序号	故障车辆代号	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、突发性热失控、连接异常、采样异常、绝缘失效、容量衰减异常等。				

参 考 文 献

- [1] GB/T 43388—2023 家用汽车产品严重安全性能故障判断指南
-