

团 体 标 准

全国团体标准信息平台 T/CSAE 76 - 2018

纯电动汽车再生制动能量回收效能 快速评价及试验方法

Rapid evaluation and test methods for energy recovery effectiveness
of regenerative braking for battery electric vehicles

2018-09-03 发布

2018-09-03 实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 纯电动汽车再生制动能量回收效能的试验方法	2
4.1 总则	2
4.2 试验设备	3
4.3 试验条件	3
4.4 试验方法	4
附录 A （规范性附录）试验用行驶工况	8
A.1 范围	8
A.2 试验循环	8

前 言

本标准是依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由电动汽车产业技术创新战略联盟提出。

本标准主要起草单位：清华大学，中国科学院电工研究所，浙江亚太机电股份有限公司。

本标准主要起草人：张俊智，施正堂，苟晋芳，李禹瞳，孙东升，李超，郑利水，郭昊，李立刚，秦志勇，袁炳。

本标准首次制定。

全国团体标准信息平台

纯电动汽车再生制动能量回收效能快速评价及试验方法

1 范围

本标准规定了纯电动汽车再生制动能量回收效能的快速评价及试验方法。

本标准适用于再生制动系统研发阶段制动能量回收效能的快速评价，适用于可充电储能系统为动力蓄电池的纯电动乘用车。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，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 18384.1 电动汽车 安全要求 第1部分：车载可充电储能系统 (REESS)

QC/T 1089 电动汽车再生制动系统要求及试验方法

GB/T 18386 电动汽车 能量消耗率和续驶里程 试验方法

GB 21670 乘用车制动系统技术要求及试验方法

T/CSAE 44 纯电动乘用车再生制动能量回收率的评价及试验方法

JJF 1221 汽车排气污染物检测用底盘测功机校准规范

GB/T 12534 汽车道路试验方法通则

GB/T 18385 电动汽车 动力性能 试验方法

GB 18352.5-2013 轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第五阶段）

3 术语和定义

GB/T 19596—2017 和 GB/T 18384.1—2015 界定的，以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 19596—2017 和 GB/T 18384.1—2015 中的某些术语和定义。

3.1 纯电动汽车 battery electric vehicle

驱动能量完全由电能提供的、由电机驱动的汽车。电机的驱动电能来源于车载可充电储能系统或其他能量储存装置。

[GB/T 19596—2017，定义 3.1.1.1]

3.2 可充电储能系统 rechargeable energy storage system (REESS)

可充电的且可提供电能的能量储存系统，如蓄电池、电容器。

[GB/T 18384.1—2015，定义 3.1]

3.3 行车制动系 service braking system

用以使行驶中的汽车降低速度甚至停车的制动系统

3.4 制动过程 braking procedure

汽车行驶中行车制动系起作用的过程。

3.5 再生制动 regenerative braking

将车辆行驶过程中的动能及势能转化或部分转化为车载可充电储能系统的能量存储起来的制动过程。

注：改写 GB/T 19596—2017，定义 3.1.3.1.2。

3.6 再生制动回收的能量 recovered energy by regenerative braking

行驶中的汽车用再生制动转化、最终回馈至可充电储能系统的电能。

3.7 车辆可回收能量 recyclable energy of vehicle

制动过程汽车动能和势能的总变化量除去空气阻力、滚动阻力、坡度阻力和车辆内部摩擦阻力消耗的能量后剩余的能量。

3.8 能量回收效能 energy recovery effectiveness

反映再生制动系统能量回收水平的指标，可用制动能量回收效率或再生制动对能量经济性的贡献率来评价。

注：改写 QC/T 1089—2017，定义 3.5。

3.9 制动能量回收效率 braking energy recovery efficiency

汽车制动过程再生制动回收的能量占车辆可回收能量的百分比。

3.10 能量经济性的贡献率 energy economy contribution rate

汽车制动过程中回收、后又用于汽车运行的能量占整个行驶过程中汽车所消耗总能量的百分比。

4 纯电动汽车再生制动能量回收效能的试验方法

4.1 总则

以下方法描述了纯电动汽车再生制动能量回收效能的试验方法。

4.2 试验设备

试验设备包括整车数据采集系统、温度测量仪、电压传感器、电流传感器、配重设备等。为了使用外部设备测量可充电储能系统的电压和电流，应在车辆上提供适当的、安全的、可接近的连接点。表 1 规定了试验测量的参数、单位和准确度。

表 1 测量参数、单位和准确度的要求

测量参数	单位	准确度	分辨率
时间	s	± 0.1	0.1
温度	$^{\circ}\text{C}$	± 1	1
速度	km/h	$\pm 1\%$	0.2
质量	kg	$\pm 0.5\%$	1
电压	V	$\pm 0.1\%$ FS	0.1
电流	A	$\pm 0.1\%$ FS	0.1

4.3 试验条件

4.3.1 车辆条件

试验车辆应依据每项试验的技术要求加载。

轮胎应选用制造厂作为原配件所要求的类型，并按制造厂推荐的轮胎最大试验负荷和最高试验速度对应的轮胎充气压力进行充气。机械运动部件用润滑油黏度应符合制造厂的规定。

车上的照明、信号装置以及辅助设备应该关闭，除非试验和车辆白天运行对这些装置有要求。

除驱用途外，所有的储能系统应充到制造厂规定的最大值（电能、液压、气压等）。

试验驾驶员应按车辆制造厂推荐的操作程序使动力电池在正常运行温度下工作。

试验前，试验车辆应至少用安装在车辆上的可充电储能系统行驶 300km。[GB/T 18386-2017 4.3.2]

试验开始时，轮胎应为冷态且处于与车辆静止时车轮实际负载相对应的规定压力。[GB 21670-2008 5.1.2.6]

4.3.2 电动汽车试验质量

电动汽车整车整备质量与试验所需附加质量的和，附加质量为 100kg。[GB/T 18386-2017 4.3.1]

4.3.3 再生制动系统状态要求

车辆再生制动系统其包含摩擦制动系统和电制动系统，再生制动系统状态应满足 GB 21670-2008 4、5 及附录 D 规定的针对摩擦制动系统和电力再生式制动系统的相关内容。[T/CSAE 44-2015 5.1.3]

4.3.4 底盘测功机试验条件

底盘测功机的试验条件应满足 JJF 1221 所规定的相关内容，并根据其内容校准。[T/CSAE 44-2015 5.1.4]

4.3.5 道路试验条件

4.3.5.1 车辆的质量状态应符合各类试验的相应规定，并在试验报告中说明。[GB 21670—2008 5.1.2.1]

4.3.5.2 各类试验应按相应的规定车速进行；如车辆的最高设计车速低于试验规定车速，应以最高设计车速进行试验。[GB 21670—2008 5.1.2.2]

4.3.5.3 除特殊规定外，试验路面应具有良好的附着性能。[GB 21670—2008 5.1.2.4]

4.3.5.4 试验应在风速小于 3m/s 不致影响试验结果的情况下进行。[T/CSAE 44—2015 5.1.5.4]

4.3.5.5 对完全或部分依靠与车轮永久连接的电机驱动的车辆，所有试验应在电机结合的条件下进行。[GB 21670—2008 5.1.8]

4.3.5.6 如果进行道路试验，试验条件应当符合 GB/T 12534 的要求。[T/CSAE 44—2015 5.1.5]

4.3.6 电池状态要求

可充电储能系统的荷电状态要求应按照 GB 21670—2008 附录 B 规定的方法确定。

可充电储能系统的充放电要求应满足 GB/T 18385 规定的充电程序和 GB/T 18386 规定的放电程序。[T/CSAE 44—2015 5.1.6]

4.3.7 电机状态要求

电机的状态要求应满足 GB 21670—2008 4、5 及附录 D 规定的针对电力再生式制动系统的相关内容。[T/CSAE 44—2015 5.1.7]

4.3.8 环境温度条件

在（5 ~ 32）℃环境温度下进行室外试验。

在（20 ~ 30）℃室温下进行室内试验。[GB/T 18386—2005 4.3.2]

4.4 试验方法

4.4.1 总则

确定制动能量回收效率和能量经济性的贡献率应该使用相同的试验程序。

4.4.2 公差

试验循环中的速度公差和时间公差应该满足图 1 给出的公差和基准曲线的要求。

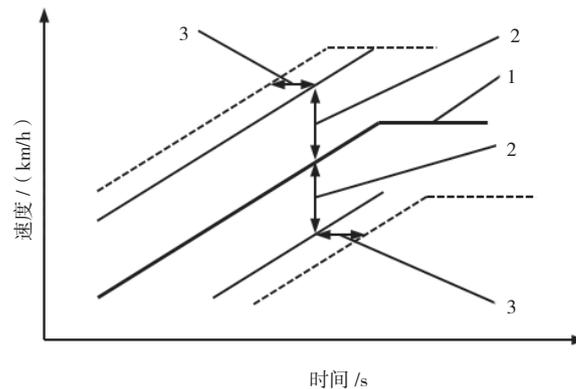


图1 基准曲线和公差

说明:

- 1——基准曲线;
2——速度公差, 单位为千米每小时 (km/h);
3——时间公差, 单位为秒 (s)

图1中的每一个点给出的速度公差为 $\pm 2\text{km/h}$, 时间公差为 $\pm 1\text{s}$ 。

在每个行驶循环中, 允许超出公差范围的累计时间应不超过 4s 。在试验报告中应注明超出公差的总时间。[GB/T 18386-2017 4.4.2]

4.4.3 结束试验的标准

- 当车载仪器给出驾驶员停车指示时, 应停止试验;
- 按附录A中A.2规定的工况完成4个连续完整的循环试验。

4.4.4 试验的有效性

在底盘测功机上循环工况试验时, 实际车速超过理论车速公差允许范围, 且单次超过车速偏差的时间大于 1s , 或循环累计超过车速偏差的时间大于 4s , 该试验视为无效。

4.4.5 底盘测功机试验方法

4.4.5.1 对于配备了制动防抱死系统或车辆稳定性控制系统的电动汽车, 建议使用四驱底盘测功机进行试验。[T/CSAE 44-2015 5.2.7.1]

4.4.5.2 底盘测功机设定

试验前, 底盘测功机应按照 GB 18352.5-2013 附录C中的规定设定车辆道路负荷, 并在底盘测功机上模拟。

4.4.5.3 在底盘测功机上按照 5.4.7 进行循环工况试验。

4.4.6 道路试验方法

在道路上按照 5.4.7 进行循环工况试验。

4.4.7 循环工况试验

将可充电储能装置的荷电状态调整至中间值附近, 按照附录A规定的循环工况进行试验。若出

现 5.4.4 的试验, 则本次试验无效。进行连续 4 次循环工况的测试, 对有效的试验组结果取平均, 作为试验的总体评价结果。至少要完成 3 次有效的循环工况试验。

如果试验驾驶员能够选择车辆上的几种运行模式 (运动型、舒适型、经济型等), 那么应该寻找最好的与循环工况参考车速曲线相配合的挡位。对于具备多种滑行再生制动强度模式的车辆, 试验前应设置好相应模式并将再生制动强度模式记录在试验报告中。4 次循环工况试验中, 不允许改变再生制动强度模式。

4.4.8 再生制动回收的能量的计算

$$E_{\text{reg}} = \sum_{i=1}^n \left(\int_{t_{i0}}^{t_{ik}} U_{\text{bat_ij}} I_{\text{bat_ij}} dt \right) \quad (\text{动力蓄电池充电过程})$$

式中:

- E_{reg} ——再生制动回收的能量, 单位为焦耳 (J);
 - t_{ik} ——第 i 次制动过程的末了时刻, 单位为秒 (s);
 - t_{i0} ——第 i 次制动过程的起始时刻, 单位为秒 (s);
 - $U_{\text{bat_ij}}$ ——第 i 次再生制动过程中第 j 个采样时刻动力蓄电池端电压, 单位为伏特 (V);
 - $I_{\text{bat_ij}}$ ——第 i 次再生制动过程中第 j 个采样时刻动力蓄电池母线电流, 单位为安培 (A)。
- $U_{\text{bat_ij}}$ 和 $I_{\text{bat_ij}}$ 的采样频率至少为 0.1s, 小数点后至少保留一位数字。

4.4.9 车辆可回收能量的计算

$$E_{\text{recyclable}} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{2} m \sigma (v_{i0}^2 - v_{ik}^2) - \int_{t_{i0}}^{t_{ik}} v_{ij} (A + B \cdot v_{ij} + C \cdot v_{ij}^2) dt \right)$$

式中:

- $E_{\text{recyclable}}$ ——车辆可回收能量, 单位为焦耳 (J);
- m ——车辆试验质量, 单位为千克 (kg);
- σ ——汽车旋转质量换算系数, 由厂家提供;
- v_{i0} ——第 i 次制动过程的起始车速, 单位为米每秒 (m/s);
- v_{ik} ——第 i 次制动过程的末了车速, 单位为米每秒 (m/s);
- v_{ij} ——第 i 次制动过程中第 j 个采样时刻的车速, 单位为米每秒 (m/s);
- A, B, C ——车辆滑行系数, 由厂家或试验所按照 GB 18352 规定的滑行方法进行滑行试验得到。

4.4.10 制动能量回收效率的计算

$$\eta_{\text{reg}} = \frac{E_{\text{reg}}}{E_{\text{recyclable}}} \times 100\%$$

式中:

- η_{reg} ——制动能量回收效率。

4.4.11 能量经济性的贡献率的计算

$$\delta_{\text{reg}} = \frac{E_{\text{reg}} \cdot \eta_{\text{charge}} \cdot \eta_{\text{discharge}}}{E_{\text{bat_out}}} \times 100\%$$

$$E_{\text{bat_out}} = \sum_{p=1}^l \left(\int_{t_{p0}}^{t_{pk}} U_{\text{bat_pj}} I_{\text{bat_pj}} dt \right) \quad (\text{动力蓄电池放电过程})$$

式中：

- δ_{reg} ——再生制动对能量经济性的贡献率；
 - η_{charge} ——动力蓄电池的平均充电焦耳效率，由厂家提供；
 - $\eta_{\text{discharge}}$ ——动力蓄电池的平均放电焦耳效率，由厂家提供；
 - $E_{\text{bat_out}}$ ——动力蓄电池的输出能量，单位为焦耳（J）；
 - t_{pk} ——第 p 次动力蓄电池放电过程的末了时刻，单位为秒（s）；
 - t_{p0} ——第 p 次动力蓄电池放电过程的起始时刻，单位为秒（s）；
 - $U_{\text{bat_pj}}$ ——第 p 次放电过程中第 j 个采样时刻动力蓄电池端电压，单位为伏特（V）；
 - $I_{\text{bat_pj}}$ ——第 p 次放电过程中第 j 个采样时刻动力蓄电池母线电流，单位为安培（A）。
- $U_{\text{bat_pj}}$ 和 $I_{\text{bat_pj}}$ 的采样频率至少为 0.1s，小数点后至少保留一位数字。

附录 A
(规范性附录)
试验用行驶工况

A.1 范围

本附录描述了纯电动乘用车的试验循环，并给出了工况试验所采用的基准曲线。

A.2 试验循环

试验循环可由用户指定，并在试验报告中说明。推荐使用 ECE-15 工况或中国工况市区道路行驶工况。ECE-15 工况如图 A.1 和表 A.1 所示。

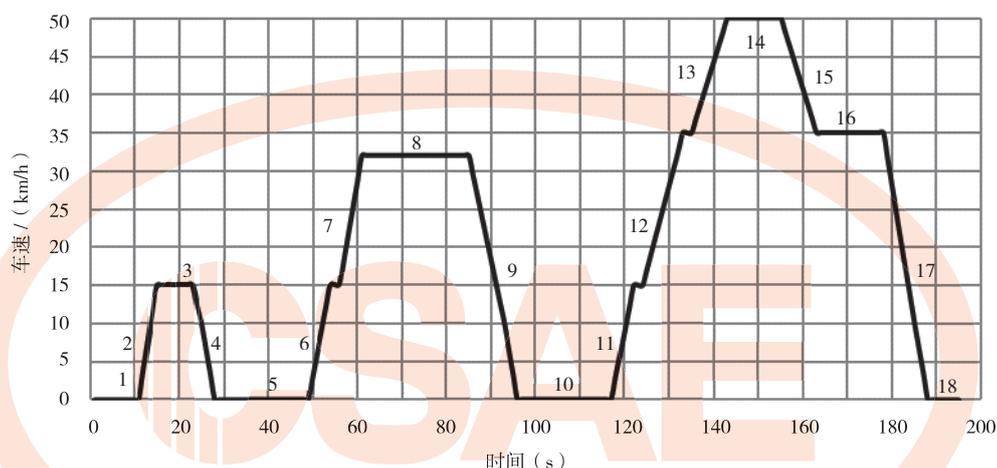


图 A.1 ECE-15 工况

表 A.1 ECE-15 工况

运转次序	操作状态	工况序号	加速度 m/s^2	速度 km/h	操作时间 s	工况时间 s	累计时间 s
1	停车	1	0.00	0	11	11	11
2	加速	2	1.04	0 ~ 15	4	4	15
3	等速	3	0.00	15	8	8	23
4	减速	4	-0.83	15 ~ 0	5	5	28
5	停车	5	0.00	0	21	21	49
6	加速	6	0.69	0 ~ 15	6	12	55
7	加速		0.79	15 ~ 32	6		61
8	等速	7	0.00	32	24	24	85
9	减速	8	-0.81	32 ~ 0	11	11	96
10	停车	9	0.00	0	21	21	117

续表

运转次序	操作状态	工况序号	加速度 m/s^2	速度 km/h	操作时间 s	工况时间 s	累计时间 s
11	加速	10	0.69	0 ~ 15	6	26	123
12	加速		0.51	15 ~ 35	11		134
13	加速		0.46	35 ~ 50	9		143
14	等速	11	0.00	50	12	12	155
15	减速	12	-0.52	50 ~ 35	8	8	163
16	等速	13	0.00	35	15	15	178
17	减速	14	-0.97	35 ~ 0	10	10	188
18	停车	15	0.00	0	7	7	195
工况统计		单位		数值		占总时间的百分比 $\%$	
停车		s		60		30.77	
加速		s		42		21.54	
等速		s		59		30.26	
减速		s		34		17.44	
总时间		s		195		100.00	
平均车速		km/h		18.77		-	
一个循环的工作时间		s		195		-	
一个循环的理论行驶距离		m		1017		-	

全国团体标准信息平台