

ICS
T

QC

中华人民共和国汽车行业标准

QC/T ×××××—201×

电动汽车再生制动系统要求及试验方法

Requirements and test methods for regenerative braking system in

electric vehicles

××××—××—××发布

××××—××—××实施

中华人民共和国工业和信息化部

发布

目 次

前 言.....	I
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 符号.....	2
5 要求.....	2
6 试验方法.....	3
7 试验结果处理.....	3
附录 A（规范性附录） 电动汽车再生制动系统制动安全的试验方法.....	6
附录 B（规范性附录） 电动汽车再生制动系统制动能量回收效能的试验方法.....	7

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009的规则起草。

本标准由全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC114）提出并归口。

本标准起草单位：。

本标准主要起草人：。

电动汽车再生制动系统要求及试验方法

1 范围

本标准规定了纯电动乘用车再生制动系统的范围、术语和定义、符号、要求、试验方法及试验结果的处理。

本标准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，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 18386 电动汽车 能量消耗率和续驶里程 试验方法

GB/T 19596 电动汽车术语

GB 7258 机动车运行安全技术条件

GB 21670 乘用车制动系统技术要求及试验方法

3 术语和定义

GB/T 19596界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1. 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存储系统，如蓄电池、电容器等。

3.2. 再生制动系统 regenerative braking system

汽车减速过程中，由电机进行汽车制动，并对制动能量进行回收，最终回馈至可充电储能系统的系统。

3.3. 回收的制动能量 recovered braking energy ($E_{\text{制回}}$)

汽车减速过程中，由再生制动系统回收，最终回馈至可充电储能系统的能量，单位为kWh。

3.4. 最大理论制动能量 theoretical maximum braking energy ($E_{\text{理制}}$)

汽车减速过程中所需施加的制动能量，单位为kWh。

3.5. 制动能量回收效能 braking energy recovery effectiveness

制动能量回收效能用于评价制动能量回收有效性，包括制动能量回收效率、制动能量回收系统续驶里程贡献率及制动能量回收系统能量消耗率贡献率。

3.6. 制动能量回收效率 braking energy recovery efficiency ($\eta_{\text{制回}}$)

汽车减速过程中，由再生制动系统回收，最终回馈至可充电储能系统的能量 ($E_{\text{制回}}$) 与汽车减速过程中所需施加的制动能量 ($E_{\text{理制}}$) 之间的比值。

$$\eta_{\text{制回}} = \frac{E_{\text{制回}}}{E_{\text{理制}}} \quad (1)$$

3.7. 制动能量回收系统续驶里程贡献率 braking energy recovery range contribution rate ($P_{\text{续驶里程}}$)

相同试验条件下，开启与关闭制动能量回收功能时电动汽车运行里程的差值 (D_1-D_2)，与关闭制动能量回收功能时的运行里程 D_2 的比值。

$$P_{\text{续驶里程}} = \frac{D_1 - D_2}{D_2} \times 100\% \quad (2)$$

3.8. 制动能量回收系统能量消耗率贡献率 braking energy recovery range contribution rate ($P_{\text{能量消耗率}}$)

相同车辆状态、测试工况、环境条件下，关闭与开启制动能量回收功能时能量消耗率的差值 (W_2-W_1)，与开启制动能量回收功能时的能量消耗率 (W_1) 的比值。

$$P_{\text{能量消耗率}} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (3)$$

4 符号

下列符号适用于本文件。

$E_{\text{制回}}$: 回收的制动能量 (kWh)。

$E_{\text{理制}}$: 最大理论制动能量 (kWh)。

$\eta_{\text{制回}}$: 制动能量回收效率。

D_1 : 开启制动能量回收功能时电动汽车运行里程 (km)。

D_2 : 关闭制动能量回收功能时电动汽车运行里程的差值 (km)。

$P_{\text{续驶里程}}$: 制动能量回收系统续驶里程贡献率。

W_1 : 开启制动能量回收功能时能量消耗率。

W_2 : 关闭制动能量回收功能时能量消耗率。

$P_{\text{能量消耗率}}$: 制动能量回收系统能量消耗率贡献率。

I : 制动能量回收系统回馈至可充电储能系统总线的电流 (A)。

U : 可充电储能系统两端的电压 (V)。

$E_{\text{动减}}$: 汽车减速过程中的动能减少量 (kWh)。

V : 汽车减速过程中的车速 (km/h)。

A 、 B 、 C : 车辆滑行系数。

m : 汽车基准质量 (kg)。

V_1 、 V_2 : 汽车减速过程中的车速， V_1 为前一时刻的车速， V_2 为后一时刻的车速，且 $V_1 > V_2$ ，单位为km/h。

$E_{\text{总消耗}}$: 一个NEDC循环下电动车消耗的总能量 (kWh)。

D : 一个NEDC循环下电动车的运行里程 (km)。

I_1 : NEDC试验循环内，可充电储能系统总线的电流 (A)。

U_1 : NEDC试验循环内，可充电储能系统两端的电压 (V)。

5 要求

5.1 制动性能

- 5.1.1 汽车的制动性能应满足GB 21670《乘用车制动系统技术要求及试验方法》的要求。
- 5.1.2 汽车在紧急制动情况下，制动能量回收功能开启时，制动距离应不比制动能量回收功能关闭时加长，平均减速度应不比制动能量回收关闭时小。
- 5.1.3 在动力蓄电池SOC可用范围内，汽车的平均减速度（MFDD）都能达到《GB 21670乘用车制动系统技术要求及试验方法》的要求。
- 5.1.4 按照附录A进行试验，车辆的平均减速度变异系数（CV）不超过15%。
- 5.1.5 按照附录B中的等速法进行试验，制动能量回收装置开启与关闭，续驶里程的变化量应小于3%。

5.2 制动时汽车方向稳定性

- 5.2.1 制动时汽车应不发生跑偏、侧滑，应不失去转向能力。
- 5.2.2 制动过程中，车辆应不超过3.5m车道。

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 测量仪器、仪表连接与启动

测量电流的采样频率不低于 20Hz。

能量消耗量、车速和时间的测量装置应同步启动。

测量电流的仪器应安装在动力蓄电池的一条直接入线上，为了使用外部设备测量母线电流，制造商应当在车辆上提供适当的、安全的、可接近的连接点。

6.1.2 测量仪器、仪表准确度

测量仪器、仪表准确度应满足以下要求：

- 车速测量装置：±0.2km/h；
- 时间测量装置：±0.1s；
- 制动踏板力测量装置：2%；
- 轮胎气压测量装置：2%；
- 电流测量装置：±0.5%最大测量值或±0.2%FS；
- 电压测量装置：±0.5%最大测量值或±0.2%FS；
- 道路测试仪的车速、制动距离精度：1%。

6.2 试验程序

分为制动安全试验和制动能量回收效能试验。按附录 A 进行制动安全试验并满足 5 的要求时，再按附录 B 进行制动能量回收效能试验。

7 试验结果处理

7.1 回收的制动能量的计算方法

$$E_{\text{制回}} = \frac{\int I \times U dt}{3600 \times 1000} \quad (4)$$

式中：

$E_{\text{制回}}$ ——汽车减速过程中，由再生制动系统回收，最终回馈至可充电储能系统的能量，单位为kWh；

I ——汽车减速过程中，回馈至可充电储能系统总线的电流，按附录 B 中的试验得到，单位为 A；

U ——汽车减速过程中，可充电储能系统两端的电压，按附录 B 中的试验得到，单位为 V。

7.2 最大理论制动能量的计算方法

$$E_{\text{理制}} = E_{\text{动减}} - \int V \times (A + B \times V + C \times V^2) dt \quad (5)$$

式中：

$E_{\text{理制}}$ ——试验循环内汽车减速过程中所需施加的制动能量，单位为 kWh；

$E_{\text{动减}}$ ——试验循环内汽车减速过程中的动能减少量，单位 kWh；

V ——试验循环内汽车减速过程中的车速，由附录 B 中的试验得到，单位为 km/h。

A 、 B 、 C ——车辆滑行系数，由厂家或试验所按照《GB 18352 汽车轻型污染物排放限值及测量方法》附件 CC 中规定的滑行方法进行滑行试验得到。

$$E_{\text{动减}} = \frac{1}{2} \times m \times \frac{V_1^2 - V_2^2}{3.6^2 \times 3600 \times 1000} \quad (6)$$

式中：

m ——汽车基准质量，单位为 kg；

V_1 、 V_2 ——试验循环内汽车减速过程中的车速， V_1 为前一时刻的车速， V_2 为后一时刻的车速，且 $V_1 > V_2$ ，单位为 km/h。

7.3 能量消耗率的计算方法

能量消耗率 W 是一个 NEDC 循环下电动车消耗的能量与行驶的里程数的比值：

$$W = \frac{E_{\text{总消耗}}}{D} \quad (7)$$

$$E_{\text{总消耗}} = \int I_1 \times U_1 dt \quad (8)$$

式中：

$E_{\text{总消耗}}$ ——NEDC 一个循环下电动车消耗的总能量，由电流和电压的乘积对时间积分得到；

D ——NEDC 一个循环下电动车的运行里程；

I_1 ——NEDC 试验循环内，可充电储能系统总线的电流，由附录 B 中的试验得到，单

位为 A;

U_1 ——NEDC 试验循环内, 可充电储能系统两端的电压, 由附录 B 中的试验得到, 单位为 V。

附录 A

(规范性附录)

电动汽车再生制动系统制动安全的试验方法

- A.1 试验车辆、场地、磨合等要求按照 GB 21670 中试验方法 7 中的要求。
- A.2 按照 GB 21670 的试验方法中第 7 条进行试验。
- A.3 可充电储能系统不同 SOC 条件下汽车制动效能恒定性的试验。
选取车辆续航能力分别处于以下 3 种状态来进行试验：
- a) 车辆完成充电或 SOC 在 95%以上；
 - b) 车辆放电，完成三分之一等速续驶里程；
 - c) 车辆放电，完成三分之二等速续驶里程。
- A.3.1 车辆空载，本试验规定的制动初速度为车辆最高车速的 80%，且不能超过 160km/h。试验时，首先确认温度最高的车轴上的行车制动器的平均温度处于 65-100℃；在附着系数良好的水平路面上，将车辆加速到试验规定车速以上 5km/h，挂入空挡，在车速下降到试验规定车速时全力进行行车制动。
- A.3.2 对电传动系与车轮无法脱开的车辆，均在电传动系结合的条件下进行。
- A.3.3 车辆从规定初速度制动到 10km/h 过程中，车轮应未发生抱死，并记录制动距离 S_1 。
- A.3.4 根据试验结果计算得出汽车的平均减速度 MFDD₁。
- A.3.5 开启制动能量回收功能，重复 A.3.1—A.3.3，并根据试验结果计算得出这 3 种情况下的 MFDD，及其标准差 (Std. dev) 和平均值 (Mean)。
- A.3.5 将标准差 (Std. dev) 与平均值 (Mean) 的比值，定义为不同 SOC 下电动汽车制动试验中的 MFDD 变异系数 (CV)。即 $CV = \text{Std. dev} / \text{Mean}$ 。

附录 B

(规范性附录)

电动汽车再生制动系统制动能量回收效能的试验方法

- B.1 试验车辆、场地、磨合等要求按照 GB/T 18386 中规定的要求。
- B.2 本试验分为等速法试验和工况法试验，先按照 B.3 进行等速法试验，当该试验结果被认定为有效时，再依据 B.4 进行工况法试验。
- B.3 等速法试验
- B.3.1 开启制动能量回收功能。
- B.3.2 指定某一车速 (60–80km/h)，进行等速法试验，记录试验车辆驶过的距离 D_0 (km)。
- B.3.3 关闭制动能量回收功能。
- B.3.4 以 B.3.2 中指定的车速进行等速法试验，记录试验车辆驶过的距离 D_0' (km)。
- B.3.5 比较 D_0 与 D_0' 。若 $(D_0 - D_0') / D_0' \leq 3\%$ ，则宣布此次试验结果有效；否则无效。
- B.4 工况法试验
- B.4.1 开启制动能量回收功能。
- B.4.2 按照 GB/T 18386 的试验方法进行试验。
- B.4.3 实时测量动力蓄电池的母线电流和电压，并将回馈电流记为 I (A)，总电流记为 I_1 (A)，动力蓄电池两端的电压记为 U (V)。
- B.4.4 在试验循环结束时，记录试验车辆驶过的距离 D_1 (km)。
- B.4.5 关闭制动能量回收功能。
- B.4.6 重复 B.4.2–B.4.3。
- B.4.7 在试验循环结束时，记录试验车辆驶过的距离 D_2 (km)。
-