

# 基于中国工况的纯电动乘用车续驶里程评价方法研究\*

刘志超<sup>1</sup>, 郑天雷<sup>1</sup>, 龚慧明<sup>2</sup>, 保翔<sup>1</sup>, 纪梦雪<sup>1</sup>

(1. 中国汽车技术研究中心有限公司, 天津 300300; 2. 能源基金会, 北京 100004)

**[摘要]** 纯电动乘用车续驶里程测试的国家标准主要存在试验循环不适用、试验效率低和计算方法不完善三方面的问题。本文中结合中国工况成果及相关试验分析提出评价方法的优化方案,并开展了评价方法优化前后的对比试验。结果表明:试验循环切换为中国工况后,续驶里程平均增加2.20%;试验流程简化后,净试验时长大幅度减少,且续驶里程测试精度无明显差异,平均相差仅为0.60%;计算方法优化后,续驶里程不再受试验循环结构的影响,不同速度区间的续驶里程也可同步细化得到,各速度区间续驶里程与循环续驶里程差异显著。

**关键词:** 纯电动汽车; 中国工况; 续驶里程; 评价方法

## Research on Evaluation Method of Driving Range of Battery Electric Passenger Vehicle Based on China Automotive Test Cycle

Liu Zhichao<sup>1</sup>, Zheng Tianlei<sup>1</sup>, Gong Huiming<sup>2</sup>, Bao Xiang<sup>1</sup> & Ji Mengxue<sup>1</sup>

1. China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd., Tianjin 300300;

2. The Energy Foundation, Beijing 100004

**[Abstract]** There are three main problems in the national standard for battery electric passenger vehicle driving range test, including the inapplicability of test cycles, low test efficiency, and flawed calculation methods. This paper proposes an optimization method of the evaluation method based on the China automotive test cycle and related experimental analysis, and carries out comparative tests before and after the optimization. The results show that after adopting the China automotive test cycle, the average driving range increases by 2.20%. The simplification of the test procedure results in a significant reduction in the net test duration, while the driving range test precision has not changed significantly, only with an average difference of 0.60%. After the optimization of the calculation method, the driving range is no longer affected by the test cycle structure, while the driving range of different phases can be refined at the same time, which is significantly different from the driving range of the whole cycle.

**Keywords:** battery electric vehicle; China automotive test cycle; driving range; evaluation method

## 前言

我国汽车行业在持续快速发展的同时,也带来能源紧张和环境污染问题。加快培育和发展节能与新能源汽车是推动汽车产业可持续发展的紧迫任

务<sup>[1-2]</sup>。国家层面工信部、发改委及科技部三部委联合发布的《汽车产业中长期发展规划》,对2020年之后我国节能与新能源汽车的发展目标提出了明确要求。“双积分政策”及国家第五阶段燃料消耗量标准<sup>[3]</sup>进一步鼓励和推动了新能源汽车产业发展。

2019年,我国新能源汽车产销量分别达到了

\* 中汽中心重点项目(19200121)资助。

原稿收到日期为2020年11月3日,修改稿收到日期为2020年12月15日。

通信作者:刘志超,工程师,工学硕士,E-mail: lzctalent@163.com。

124.2万辆和120.6万辆,其中纯电动汽车产销量分别为102万辆和97.2万辆(乘用车占比近86%),占据了绝对的主导地位。在国家产业政策及相关标准法规的引导下,纯电动汽车市场将会进一步发展壮大<sup>[4-5]</sup>,而续航里程作为纯电动汽车最为关键的指标,如何科学评价显得尤为重要。

与传统燃油车不同,受限于充电时间长和充电设施不完善等因素,存在特有的里程焦虑问题<sup>[6-9]</sup>,续航里程是消费者进行车型选购时最关注的指标之一<sup>[10-11]</sup>。目前纯电动汽车续航里程指标按照国家标准GB/T 18386—2017《电动汽车能量消耗率和续航里程试验方法》测试得到。该标准实施至今满足了纯电动汽车续航里程的评价需求,但随着产业发展和技术进步,标准规定的测试流程、评价方法等已不能完全适用,须进行必要的修订完善。

本文中针对纯电动汽车中体量最大的乘用车型开展研究,通过对国家标准GB/T 18386—2017的分析,明确标准中存在的核心问题并研究相应的解决方案,针对方案中关键参数的确定开展试验验证,确定优化后的试验流程能否在提升试验效率的基础上,客观、全面地评价车辆的综合续航能力。

## 1 国家标准现状及问题分析

对于纯电动乘用车续航里程评价方法,国家标准GB/T 18386—2017中规定<sup>[12]</sup>:对车辆进行初始等速放电,速度设置为GB/T 18385—2005<sup>[13]</sup>中规定的0.5 h最高车速的(70±5)%,当车速不能达到0.5 h最高车速的65%或行驶达到100 km时,停止放电;进行常规充电直至可充电储能系统(rechargeable energy storage system, REESS)充满;按照新欧洲驾驶循环(new European driving cycle, NEDC)进行工况试验(如图1所示),连续进行试验,每6个循环可浸车一次,当车辆不能满足规定的公差要求时,试验结束;试验结束后可适当浸车,浸车时间小于2 h;最后对车辆进行充电,充电方法与试验前一致。试验流程如图2所示,续航里程为试验开始直至试验结束车辆在转鼓上行驶的里程<sup>[12]</sup>。

GB/T 18386—2017参考国际标准ISO 8714:2002<sup>[14]</sup>和联合国欧洲经济委员会法规ECE R101-03:2013<sup>[15]</sup>的相关内容制定完成,对我国纯电动汽车续航里程的评价起到了非常重要的支撑作用。但随着技术的发展和测试水平的不断进步,标准存在

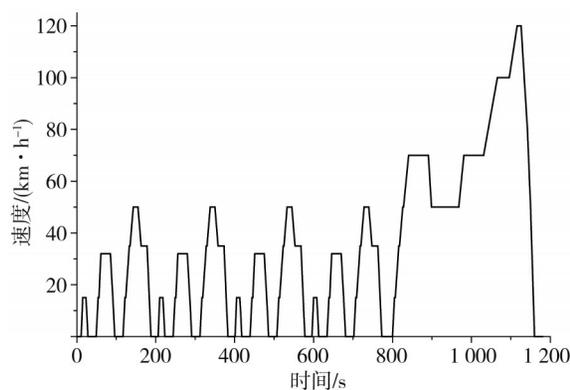


图1 NEDC试验循环曲线

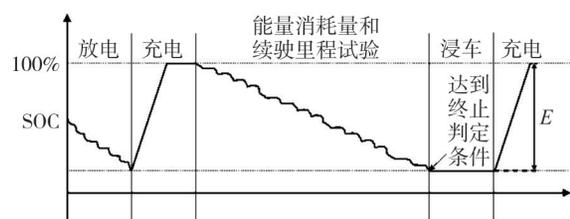


图2 续航里程试验流程示意图

的问题也愈加凸显,主要体现在以下3个方面。

(1)NEDC不适用试验循环:NEDC最早由欧洲提出,所表征的道路特征与我国存在显著差异,依据该循环测试得到的续航里程与车辆实际里程差别较大。

(2)试验效率低:由于试验循环平均车速较低,按照试验循环连续进行试验,试验时间过长。经调研国内相关检验机构了解到,目前完成一款车型的续航里程试验大致需要两天时间,过长的试验时间将增加试验过程中的不确定性,甚至出现试验无效的可能。

(3)续航里程计算方法不完善:试验循环由低到高的速度片段顺序是人为排列的,实际中并没有这种规律,由于不同车速的功率需求不同,车辆跟踪各速度片段的难易程度也会不同,若将试验循环的顺序进行调整,则续航里程试验的结束点将会不一样,续航里程也将发生变化。

## 2 评价方法的优化方案

### 2.1 试验循环

2015年“中国工况”项目启动,历经3年完成研究工作。依据该项目成果制定形成国家标准GB/T 38146.1—2019《中国汽车行驶工况第1部分:轻型汽

车》。其中与本文中分析的乘用车型对应为中国乘用车行驶工况(China light-duty vehicle test cycle for passenger car, CLTC-P)<sup>[16]</sup>,循环曲线如图3所示。

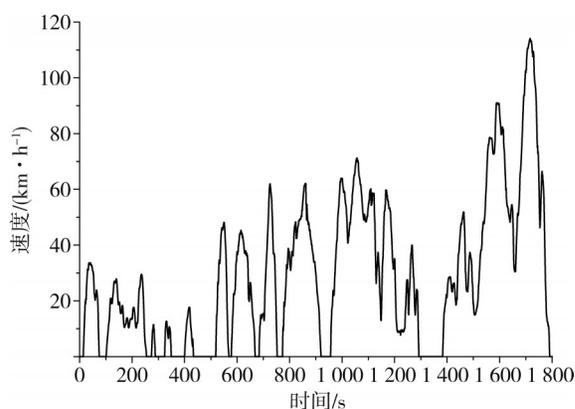


图3 CLTC-P试验循环曲线

结合图1和图3可知,NEDC是稳态工况,CLTC-P是瞬态工况。稳态工况主要受限于早期数据采集的难度及工况合成方法不成熟。随着测试技术的发展和理论的完善,稳态工况逐渐被瞬态工况替代,目前包含欧、美、日等在内的国际主流标准法规均已完成瞬态工况导入。CLTC-P与NEDC特征参数对比见表1。

表1 CLTC-P与NEDC特征参数对比

特征参数	CLTC-P		NEDC	
	特征值	与实际数据差异	特征值	与实际数据差异
平均速度/(km·h <sup>-1</sup> )	28.96	-3.08%	33.60	12.46%
运行平均速度/(km·h <sup>-1</sup> )	37.18	2.28%	43.50	19.67%
平均加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	0.45	-6.25%	0.53	13.63%
平均减速度/(m·s <sup>-2</sup> )	-0.49	-7.55%	-0.75	43.92%
加速比例/%	28.78	-1.24%	23.20	-16.00%
减速比例/%	26.44	0.15%	16.60	-33.81%
匀速比例/%	22.67	1.16%	37.50	48.53%
怠速比例/%	22.11	0.27%	22.60	2.48%

由表1可知,与NEDC相比,CLTC-P的平均速度(含怠速阶段)和运行平均速度均有一定降低,平均加速度和平均减速度也有一定下降,体现出我国实际路况更为拥堵;加速和减速比例大幅增加,匀速比例大幅降低,怠速比例相当,反映出车辆的速度变化更为频繁,路况更加恶劣。

GB/T 38146.1—2019在制定过程中采集了超过3 000万km的实际行驶数据。由表1可知,CLTC-P与实际采集数据差异很小,而NEDC与实际采集数

据差异显著,CLTC-P更能表征国内实际道路情况。依据CLTC-P测得的续驶里程结果更能反映车辆的实际情况,因此下一阶段纯电动车型续驶里程的测试应依据CLTC-P进行。

## 2.2 试验流程

### 2.2.1 试验流程的简化

按照试验循环逐次进行试验的方式(以下称为“常规工况法”)试验时间过长。图4为某款车型按照CLTC-P进行试验时各循环的能量消耗量情况。从循环数量上可知,该车型整个试验过程共运行近27个循环,每个循环的时长为0.5h;在不考虑其他因素的情况下,整个试验的净时长近13.5h,试验效率低。

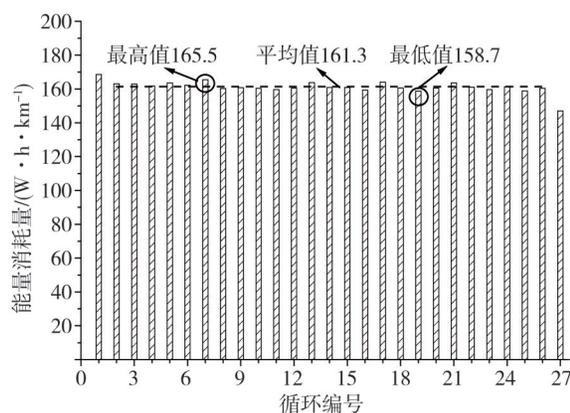


图4 某车型各试验循环的能量消耗量

结合图4可知,该车型第1个循环能量消耗量最高,但从第2个循环开始直至第26个循环,能量消耗量基本稳定在158.7~165.5 W·h/km之间,平均值为161.3 W·h/km,变化幅度非常小,因此可以采用减少试验循环数量的方式进行简化。由于车辆在满电条件下制动能量回收未开启或未完全开启,致使试验前几个循环的能量消耗量偏高(体现为图4所示车型的第1个循环),之后才逐步趋于稳定,因此需研究车辆的能量消耗量经历多少个循环后趋于稳定。简化的总体思路是将稳定后的多个循环以有限的几个循环为代表,剩余的部分通过高速放电的方式实现快速试验。

图5为8款车型前几个循环的能量消耗量情况。可以看出:第1~6款车型仅第1个循环的能量消耗量较高,第2个循环起便较为稳定;而7、8款车型从第3个循环起能量消耗量才趋于稳定,前2个循环均较高。因此,为兼顾所有车型的实际情况,在进行测试时应首先进行2个试验循环,从第3个循环开始

简化。

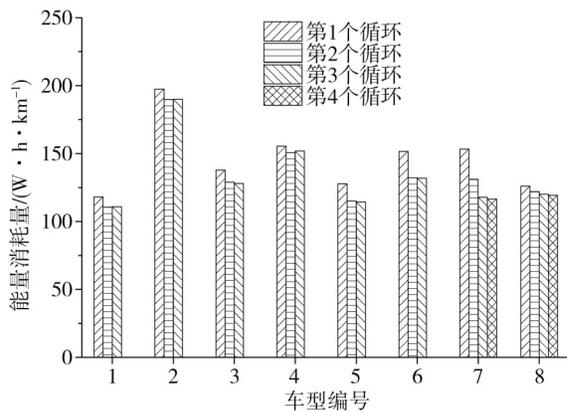


图5 试验初期循环能量消耗量变动

试验流程简化(以下称为“缩短法”)应在对试验结果不产生明显影响前提下,尽可能快速地完成试验。基于此,在结合国际主流标准法规的基础上规定缩短法的试验流程:按照汽车生产企业的建议对车辆进行初始放电,直到荷电状态(stage-of-charge, SOC)达到最低值时停止放电;进行常规充电直至REESS充满;按照CLTC-P进行2个循环的工况试验,然后以100 km/h的速度进行等速放电,再按照CLTC-P进行2个循环的工况试验,最后以100 km/h的速度进行等速放电直至试验结束;试验结束后可适当浸车,浸车时间小于2 h;浸车结束后对车辆进行充电,充电方法与试验前一致。试验流程如图6所示。

结合上述分析及图6所示内容可知,缩短法试验前的放电流程更加灵活,试验构成主要基于以下几个方面考虑。

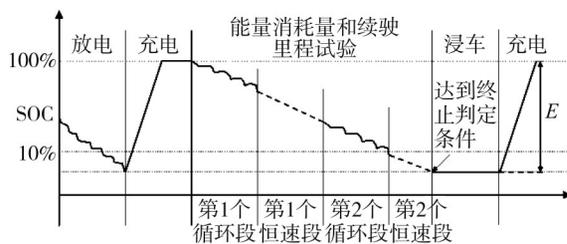


图6 缩短法续航里程试验流程示意图

(1)第1个循环段(DS<sub>1</sub>)包含2个CLTC-P循环,主要反映车辆在试验初期,制动能量回收未充分发挥作用的能量消耗量情况。

(2)第1个恒速段(CSS<sub>M</sub>)和第2个恒速段(CSS<sub>E</sub>)的车速设置最低为100 km/h<sup>[17]</sup>。车速过低一方面不利于试验的快速完成;另一方面,车速越低,车辆越

容易满足速度要求,试验截止时间将会越晚,致使放电量增加。由后文中的式(4)和式(7)可知,放电量增加将使续航里程进一步增加,有可能导致缩短法的续航里程普遍高于常规工况法,影响缩短法的科学性。

(3)第2个循环段(DS<sub>2</sub>)主要反映车辆稳定后的能量消耗量水平。由于一个CLTC-P仅为14.48 km,第2个循环段也包含2个CLTC-P循环,以减小循环误差影响,保障试验结果精度。同时,第2个循环段结束后,REESS的剩余电量应不超过整个试验的10%,这样可大致限定车辆第2个循环段的开始时刻,从而使整个试验的构成相对固定,避免了不同车型随意设定4个片段位置的情况。

缩短法续航里程试验构成如图7所示。

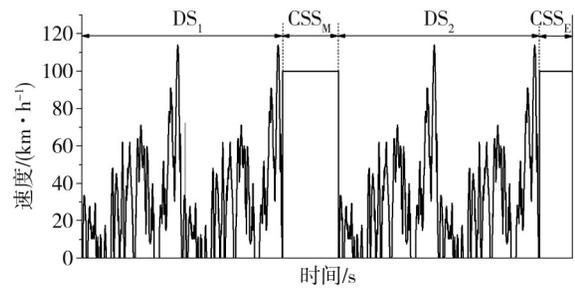


图7 缩短法续航里程试验构成

## 2.2.2 试验效率的提升

缩短法对试验效率的提升主要体现在该方法仅进行4个试验循环,而其余部分以高速形式进行快速放电,减少试验时间。车辆的放电速率为

$$EC_t = EC \cdot v \quad (1)$$

式中: $EC_t$ 为车辆的放电速率, $W \cdot h/h$ ;  $EC$ 为车辆的能量消耗量, $W \cdot h/km$ ;  $v$ 为车辆的平均速度, $km/h$ 。

若车辆以100 km/h的速度放电,能量消耗量相对于循环放电增加水平为 $\eta(\%)$ ,则两种放电速率的关系为

$$EC_{t,100}/EC_{t,cycle} = 100 \times (1 + \eta)/28.96 \quad (2)$$

式中: $EC_{t,cycle}$ 为按照试验循环进行放电时车辆的放电速率, $W \cdot h/h$ ;  $EC_{t,100}$ 为按照100 km/h的速度进行放电时车辆的放电速率, $W \cdot h/h$ ; 28.96为CLTC-P平均车速, $km/h$ 。

缩短法试验时长为

$$t_{STP} = 2 + \frac{BER/28.96 - 2}{100 \times (1 + \eta)/28.96} \quad (3)$$

式中: $t_{STP}$ 为按照缩短法进行试验的净时长, $h$ ; 2为缩

短法4个试验循环的时长,  $h$ ;  $BER$ 为续航里程,  $km$ 。

结合式(3)可得出不同续航里程和  $\eta$  下试验时长的降低水平,如图8所示。

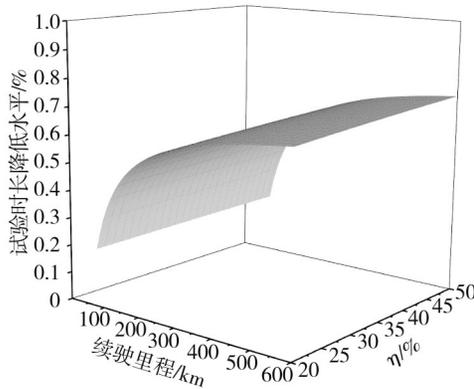


图8 不同续航里程和  $\eta$  对试验时长降低水平的影响

由图8可知,试验时长降低水平随着  $\eta$  增加变化不明显,而随着续航里程增加提升显著,由此可以得出续航里程对试验时长降低水平的影响远大于  $\eta$ 。

以图4所示车型为例,该车型  $\eta$  为41.86%,带入式(2)可得其100 km/h的等速放电速率是循环放电速率的4.90倍。该车型的续航里程为390.83 km,常规工况法的试验时长为13.50 h,缩短法的试验时长按照式(3)计算结果为4.35 h。由此可知,该车型缩短法较常规工况法净试验时长减少9.15 h,减少幅度为67.78%,试验效率显著提升。由于  $\eta$  对试验时长降低水平影响较小,取  $\eta$  为图4所示车型的值,研究不同续航里程下的试验时长降低水平,如图9所示。

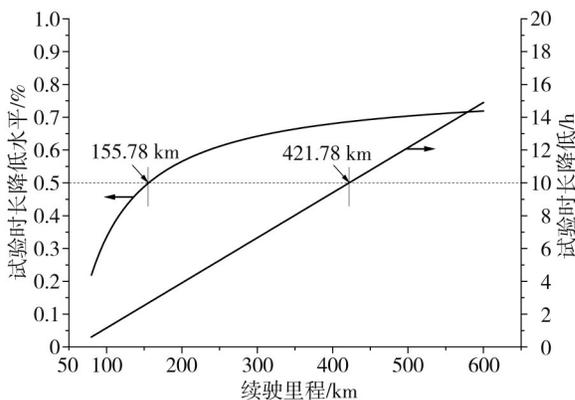


图9 特定  $\eta$  下不同续航里程车辆缩短法试验时长

由图9可知,在图4所示车型  $\eta$  下,当车辆的续航里程超过155.78 km时,试验时长降低水平可达到50%以上;当车辆的续航里程超过421.78 km时,试验时长可降低10 h以上。

## 2.3 计算方法优化

续航里程的测量按照实验循环进行,当车辆无法满足循环速度要求时,测试结束。该方式受试验循环构成的影响存在一定理论缺陷,需进行优化。优化的整体思路是基于试验前后 REESS 的电能变化量和完整试验循环的能量消耗量,通过计算得出续航里程。对于常规工况法和缩短法,计算公式不同。

### 2.3.1 常规工况法

常规工况法的续航里程为

$$BER = \frac{E_{REESS, CCP}}{EC_{DC}} \quad (4)$$

$$EC_{DC} = \sum_{c=1}^n (EC_{DC, c} \times K_c) \quad (5)$$

$$K_c = \begin{cases} \frac{\Delta E_{REESS, c}}{E_{REESS, CCP}}, & c \leq 2 \\ \frac{1 - K_1 - K_2}{n - 2}, & c > 2 \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $BER$ 为续航里程,  $km$ ;  $E_{REESS, CCP}$ 为常规工况法试验前后, REESS 的电能变化量,  $W \cdot h$ ;  $EC_{DC}$ 为循环能量消耗量,  $W \cdot h/km$ ;  $c$ 为试验循环序号;  $n$ 为常规工况法试验结束后,车辆行驶的完整试验循环数量,不含试验结束时未运行完成的试验循环;  $EC_{DC, c}$ 为第  $c$  个试验循环的能量消耗量,  $W \cdot h/km$ ;  $K_c$ 为第  $c$  个试验循环的权重系数;  $\Delta E_{REESS, c}$ 为第  $c$  个试验循环 REESS 的电能变化量,  $W \cdot h$ 。

式(5)中  $n$  不含最后一个未运行完成的试验循环,保障了能量消耗量是基于完整的试验循环获得,从而不受试验循环结构的影响,试验结果的客观性和稳定性更好。式(6)中权重系数的计算考虑了前两个试验循环的能量消耗量较大,需要单独进行计算,两个循环之后的能量消耗量理应相同,但受试验操作的影响会在允许误差范围内出现小范围地波动,而从理论上来说各循环的权重系数应相同。

### 2.3.2 缩短法

缩短法的续航里程为

$$BER = \frac{E_{REESS, STP}}{EC_{DC}} \quad (7)$$

$$EC_{DC} = \sum_{c=1}^4 (EC_{DC, c} \times K_c) \quad (8)$$

$$K_c = \begin{cases} \frac{\Delta E_{REESS, c}}{E_{REESS, STP}}, & c \leq 2 \\ \frac{1 - K_1 - K_2}{2}, & c > 2 \end{cases} \quad (9)$$

式中： $E_{REESS,STP}$ 为缩短法试验前后REESS的电能变化量， $W \cdot h$ ； $EC_{DC}$ 为循环能量消耗量， $W \cdot h/km$ ； $K_c$ 为第  $c$  个试验循环的权重系数。

缩短法的计算与常规工况法大体一致，区别为缩短法仅进行4个试验循环，同样对前2个循环的能量消耗量进行区分，后2个循环则代表车辆稳定后的能量消耗量情况，2个循环的权重系数相同。

### 3 试验研究

#### 3.1 试验循环的影响

下一阶段，我国纯电动乘用车续航里程的测试将以CLTC-P循环进行，而试验循环的变化必将影响车辆的能量消耗量和续航里程结果<sup>[18]</sup>。图10为22款车型分别按照NEDC和CLTC-P两种循环进行试验的续航里程结果。

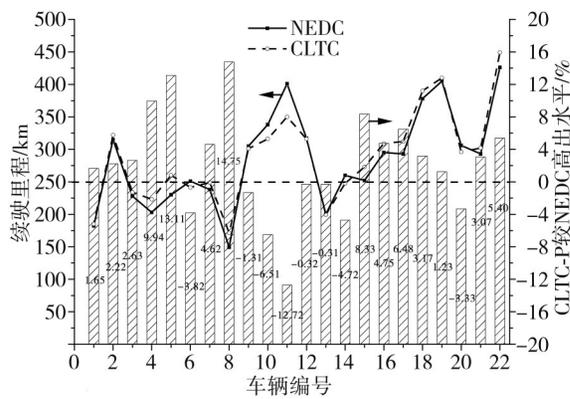


图10 CLTC-P和NEDC续航里程对比

由图10可知，与NEDC相比，车辆在CLTC-P下续航里程变化范围为-12.72%~14.75%，其中14款车型增加，8款车型降低，平均增加2.20%。此结果是在常温、空调等其他耗电部件不开启条件下的结果，不能完全代表实际使用情况。以考虑空调因素为例，车辆综合续航里程为

$$\begin{cases} BER_{综合} = \lambda_1 BER + \lambda_2 BER_{低温} + \lambda_3 BER_{高温} \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1 \end{cases} \quad (10)$$

式中： $BER_{综合}$ 为考虑空调开启因素时，车辆的续航里程， $km$ ； $BER$ 为空调不开启时，车辆的续航里程， $km$ ； $\lambda_1$ 为空调不开启的使用比例； $BER_{低温}$ 为开启空调制热时，车辆的续航里程， $km$ ； $\lambda_2$ 为开启空调制热的使用比例； $BER_{高温}$ 为开启空调制冷时，车辆的续航里程， $km$ ； $\lambda_3$ 为开启空调制冷的使用比例。

根据目前研究结果，开启空调制热时续航里程

平均下降37.00%，开启空调制冷时续航里程平均下降18.56%<sup>[19]</sup>，代入式(10)可得

$$BER_{综合} = (1 - 37\% \lambda_2 - 18.56\% \lambda_3) BER \quad (11)$$

由式(11)可知， $BER_{综合}$ 必小于 $BER$ ，且随着开启空调比例的增加， $BER_{综合}$ 下降越显著，这也是车辆实际里程与测试里程差异的主要原因。

#### 3.2 两种试验方法对比

常规工况法作为评价纯电动汽车续航里程最为传统的方法，在国际范围内得到了广泛应用，车辆标称的续航里程为按照该方法试验得到。因此，缩短法能否实现续航里程的科学评价，关键在于依据该方法试验得到的结果是否与常规工况法大致相同。为此，本文中分别从仿真和试验两个方面对常规工况法和缩短法结果进行对比，结果如图11和图12所示。

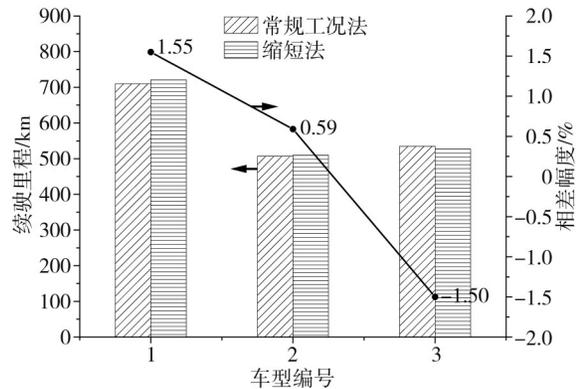


图11 常规工况法与缩短法仿真结果对比

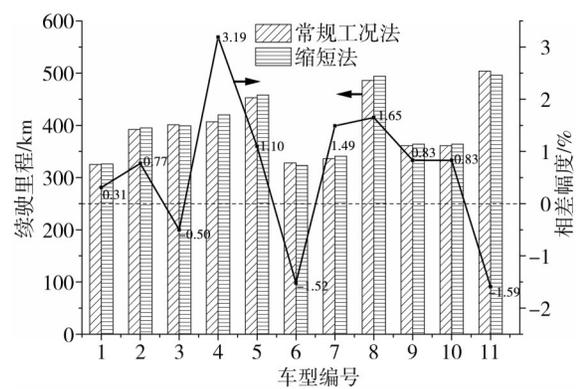


图12 常规工况法与缩短法试验结果对比

由图11可知，与常规工况法相比，缩短法的续航里程变化范围为-1.50%~1.55%，平均增加0.21%，相差幅度很小，理论上验证了缩短法的可行性。

由图12可知，与常规工况法相比，缩短法的续

驶里程变化范围为-1.59%~3.19%,平均增加0.60%,进一步验证了缩短法的科学性。

### 3.3 试验结果的细化

缩短法在科学评价车辆工况续驶里程基础上,还可计算获得车辆单独进行某一速度区间的续驶里程情况,对于CLTC-P则包含了低速、中速和高速3个速度区间。

缩短法的速度区间续驶里程为

$$BER_p = \frac{E_{REESS,STP}}{EC_{DC,p}} \quad (12)$$

$$EC_{DC,p} = \sum_{j=1}^4 (EC_{DC,p,j} \times K_{p,j}) \quad (13)$$

$$K_{p,j} = K_{c=j} \quad (14)$$

式中: $BER_p$ 为速度区间 $p$ 的续驶里程,km; $p$ 为CLTC-P的低速、中速、高速各个速度区间; $EC_{DC,p}$ 为速度区间 $p$ 内的能量消耗量, $W \cdot h/km$ ;  $j$ 为速度区间的序号,两个试验循环段 $DS_1$ 和 $DS_2$ 的速度区间 $p$ 共计4个; $EC_{DC,p,j}$ 为第 $j$ 个速度区间 $p$ 的能量消耗量, $W \cdot h/km$ ;  $K_{p,j}$ 为第 $j$ 个速度区间 $p$ 的权重系数; $K_{c=j}$ 为按照式(9)计算得到的第 $c$ 个试验循环的权重系数。

计算前,首先需要确定速度区间 $p$ ,然后各个参数分别取该速度区间的值进行计算,得到该速度区间的续驶里程。通过式(12)~式(14)可分别计算出车辆在单独进行低速、中速或高速时的续驶里程结果,即计算结果包含3个值。按照上述计算方法对某车型的续驶里程进行计算,结果如图13所示。

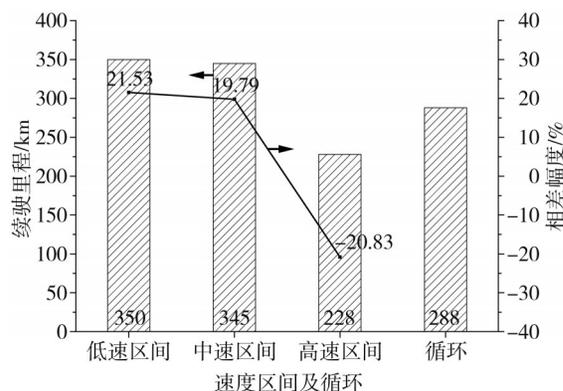


图13 不同速度区间及循环的结果对比

由图13可知,该车型的循环续驶里程为288 km,而低速、中速、高速3个速度区间的续驶里程为350、345和228 km,较循环续驶里程分别增加21.53%、19.79%和-20.83%。

由此可知车辆的续驶里程情况与实际使用场景

密切相关,若车辆仅在市区或市郊等速度较低的场景中行驶,则续驶里程通常会比车辆标称得高;若车辆的使用场景以高速为主,则续驶里程将会大幅度降低。

## 4 结论

本文中对纯电动乘用车续驶里程评价方法开展了系统研究,通过标准分析和试验验证,得到以下结论:

(1)GB/T 18386-2017存在试验循环不适用、试验效率低和续驶里程计算方法不完善三方面关键性问题;

(2)试验循环切换为CLTC-P后,综合22款车型结果显示,续驶里程较NEDC的变化范围为-12.72%~14.75%,平均增加2.20%;但考虑开启空调等因素,车辆的续驶里程大幅降低;

(3)缩短法能够实现试验时长大幅降低,同时又能保障得到与常规工况法基本一致的试验结果,续驶里程平均增加仅为0.60%;

(4)计算方法优化后,试验结果不再受循环结构的影响,同时能在循环续驶里程的基础上,同步得到车辆各速度区间的续驶里程情况;不同速度区间结果与循环续驶里程差异显著,有助于理解实际使用时续驶里程与标称里程存在差异的原因。

## 参考文献

- [1] 余承其,张照生,刘鹏,等.大数据分析技术在新能源汽车行业的应用综述——基于新能源汽车运行大数据[J].机械工程学报,2019,55(20):3-16.  
SHE C Q, ZHANG Z S, LIU P, et al. Overview of the application of big data analysis technology in new energy vehicle industry: based on operating big data of new energy vehicle[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2019, 55(20): 3-16.
- [2] 程浩.浅析新能源汽车的发展趋势[J].汽车实用技术,2019(22):1-2.  
CHENG H. Development trend of new energy vehicles[J]. Automobile Technology, 2019(22):1-2.
- [3] 中华人民共和国国家市场监督管理总局,中华人民共和国国家标准化委员会.乘用车燃料消耗量评价方法及指标:GB 27999—2019[S].北京:中国标准出版社,2019.  
State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Fuel consumption evaluation methods and targets for passenger cars: GB 27999—2019 [S]. Beijing: China Standard Press, 2019.

- [4] 王吉猛. 纯电动汽车驱动系统参数设计及优化[D]. 长春: 吉林大学, 2019.  
WANG J M. Design and optimization of driving system for battery electric vehicle[D]. Changchun: Jilin University, 2019.
- [5] 邱先文. 纯电动汽车技术状况及发展趋势研究[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2019, 48(6): 74-79.  
QIU X W. Study on technical status and development trend of battery electric vehicle [J]. Small Internal Combustion Engine and Vehicle Technique, 2019, 48(6): 74-79.
- [6] WAGER G, MCHENRY M, WHALE J, et al. Testing energy efficiency and driving range of electric vehicles in relation to gear selection[J]. Renewable Energy, 2014, 62: 303-312.
- [7] WAGER G, WHALE J, BRÄUNL T. Driving electric vehicles at highway speeds: the effect of higher driving speeds on energy consumption and driving range for electric vehicles in Australia[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 63: 158-165.
- [8] BI J, WANG Y X, SAI Q Y, et al. Estimating remaining driving range of battery electric vehicles based on real-world data: a case study of Beijing, China[J]. Energy, 2019, 169: 833-843.
- [9] 陈燎, 杨帆, 盘朝奉. 基于电池能量状态和车辆能耗的电动汽车续航里程估算[J]. 汽车工程学报, 2017, 7(2): 113-122.  
CHEN L, YANG F, PAN C F. A driving range estimation model for electric vehicles based on battery energy state and vehicle energy consumption [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2017, 7(2): 113-122.
- [10] DAZIANO R. Conditional-logit Bayes estimators for consumer valuation of electric vehicle driving range [J]. Resource and Energy Economics, 2013, 35(3): 429-450.
- [11] 孙志诚, 周博雅, 戴天禄, 等. 电动汽车续航里程估计准确度评价[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(32): 344-350.  
SUN Z C, ZHOU B Y, DAI T L, et al. Evaluation method for estimation accuracy of battery electric vehicle cruising range [J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(32): 344-350.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 电动汽车能量消耗率和续航里程试验方法: GB/T 18386—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Electric vehicle energy consumption and range test procedure: GB/T 18386—2017 [S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 电动汽车动力性能 试验方法: GB/T 18385—2005 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Electric vehicle power performance test method: GB/T 18385—2005 [S]. Beijing: China Standard Press, 2005.
- [14] Electric road vehicles-reference energy consumption and range-test procedures for passenger cars and light commercial vehicles: ISO 8714: 2002 [S/OL]. [2002-11]. <https://www.iso.org/standard/34087.html?browse=tc>.
- [15] Uniform provisions concerning the approval of passenger cars powered by an internal combustion engine only, or powered by a hybrid electric power train with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and / or the measurement of electric energy consumption and electric range, and of categories M<sub>1</sub> and N<sub>1</sub> vehicles powered by an electric power train only with regard to the measurement of electric energy consumption and electric range: UN ECE R101: 2013 [S/OL]. [2013-4]. <https://unece.org/transport/vehicle-regulations-wp29/standards/addenda-1958-agreement-regulations-101-120>.
- [16] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家标准化委员会. 中国汽车行驶工况第1部分: 轻型汽车: GB/T 38146.1—2019 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.  
State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. China automotive test cycle-part 1: light-duty vehicles: GB/T 38146.1—2019 [S]. Beijing: China Standard Press, 2019.
- [17] Global technical regulation on worldwide harmonized light vehicles test procedures (WLTP): UN GTR 15 [S/OL]. [2019-12]. <https://wiki.unece.org/display/trans/Latest+GTR+15>.
- [18] 李礼夫, 韦毅, 龚定旺, 等. 纯电动汽车动力电池续航里程与行驶工况分析[J]. 机械设计与制造, 2018(11): 139-142.  
LI L F, WEI Y, GONG D W, et al. Research on the effects of driving cycle on driving range of power battery of pure electric vehicle [J]. Machinery Design & Manufacture, 2018(11): 139-142.
- [19] 解难, 胡月昆, 杨帆, 等. 环境温度对电动汽车续航里程影响的试验研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2018, 32(6): 21-25.  
XIE N, HU Y K, YANG F, et al. Research on the influence of ambient temperature on the driving mileage of electric vehicles [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2018, 32(6): 21-25.