

电动汽车能量消耗率限值研究

郑天雷,王兆,保翔

(中国汽车技术研究中心有限公司,天津 300300)

[摘要]本文针对我国电动汽车能量消耗率限值标准开展研究。研究在行业内选取典型纯电动乘用车进行能量消耗率试验和数据统计,针对车型技术状态和发展趋势开展广泛调研分析。根据未来应用场景和实施时间建议,研究提出了标准评价体系及第一、二阶段限值指标。最后,依据基础数据和限值对标准实施效果进行了预测。未来标准将在淘汰技术落后车型、降低车型能量消耗率、电能节约和二氧化碳减排方面发挥重要作用。

关键词:电动汽车;乘用车;能量消耗率;限值

Research on Energy Consumption Limits Standard of Electric Vehicle

Zheng Tianlei,Wang Zhao,Bao Xiang

(China Automotive Technology and Research Center Co.,Ltd.,Tianjin 300300)

[Abstract] This paper researches on the energy consumption limits of electric vehicles in China. The study selects typical battery electric passenger cars to carry out energy consumption tests and data statistics, and analyzes the technical status and development trend of electric vehicles. Based on the recommended application scenarios and implementation date, the standard evaluation system and the first and second stage limits are proposed. Finally, the implementation effects are predicted based on the basic data and limits. The standard will play an important role in eliminating backward technology vehicles, reducing vehicle energy consumption, electricity conservation and CO₂ reduction in the future.

Keywords:electric vehicle,passenger car,energy consumption,limits

0 引言

近些年来,我国新能源汽车产业在补贴等相关政策推动下进入快速发展期,成为全球新能源产业发展最为迅速的国家之一,产业规模及产业链完整度均处于全球领先地位。2018年,我国新能源汽车产销量分别完成127.0万辆和125.6万辆,比上年分别增长59.9%和61.7%。随着新能源汽车保有量的快速增长,新能源汽车电能消耗对我国总体能源消耗的影响也将越来越大。同时,能耗直接影响到新能源汽车续航里程,也是体现新能源汽车产品技术水平和竞争力的核心指标。我国《汽车产业中长期发展规划》将新能源汽车作为未来汽车产业创新发展的重要领域和突破口,提出了“2020年我国新能源汽车能耗处于国际先进水平;2025年处于国际领先水平”的发展目标^[1]。

为推动新能源汽车节能降耗,实现我国新能源汽车产业健康发展,我国于2016年启动了推荐性国家标准《电动汽车能量消耗率限值》制定,由中国汽车技术研究中心有限公司组织行业开展研究。该标准于2018年完成制定并发布,成为全球首个针对新能源汽车能耗指标要求的技术标准^[2]。

1 车型范围及基础数据

新能源汽车包括纯电动汽车和插电式混合动力汽车等,按照车辆用途又可分为新能源乘用车和新能源商用车。标准研究之初,项目组就标准适用车型范围开展论证,确定主要以纯电动乘用车为研究目标,主要基于以下两方面考虑:

1) 乘用车在新能源汽车总体产销量中占比最大,且该比例还在逐年提升。2018年,纯电动乘用车在新能源汽车产量中占比62%(2017年为59%),在纯电动汽车产量中占比为80.3%。

2) 乘用车能耗基础试验数据相对完善。与乘用车相比,商用车类型较多、技术状态复杂、质量跨度大,现有新能源商用车车型数量及基础试验数据尚不足以支撑限值体系的建立。

以纯电动乘用车为研究目标,为确定标准评价体系、限值指标等,项目组针对国内纯电动乘用车能量消耗率数据进行测试与分析。基础数据来源于两部分:一是项目组依据最新试验方法标准GB/T 18386—2017工况法测试得到部分车型的能量消耗率数据及不同最高车速下的折算系数分析数据;二是项目组搜集整理

了《新能源汽车推广应用推荐车型目录》(2017年第1~3批)(以下简称“《目录》”)公布数据。其中,2017年《目录》数据依据旧版试验方法标准 GB/T 18386—2005 测试^[3]。与旧版试验方法标准相比,新版标准中最高车速低于 120km/h 车型的试验规定发生变化。为使能耗数据具有可比性,研究仅采用了《目录》中最高车速超过 120km/h 的车型数据。

总体上,标准研究所采用的基础数据类型和数据量情况统计如图 1 所示。其中,用于折算系数分析用的不同最高车速下的能耗数据共 24 组(实测 11 组,仿真计算 13 组);用于标准评价体系和指标分析用的国内车型能量消耗率数据 108 个(摸底试验车型 37 个,《目录》车型 71 个)。

2 标准体系

2.1 评价体系

标准研究过程中,项目组针对能耗评价单位、基准参数、限值确定方式进行研究并广泛征求了行业意见,主要评价体系确定方法及原则如下:

2.1.1 评价单位

目前,汽车能耗试验、研究领域采用的评价单位主要包括 kWh/100km、Wh/km、Wh/(km*kg)、kWh/(100km*kg)等,其中 Wh/km 为 GB/T 18386 标准试验结果采用的单位。研究经过对比分析认为,Wh/(km*kg) 和 kWh/(100km*kg) 体现了单位质量(整备质量/载质量/总质量)下的能耗水平,主要应用于商用车领域。kWh/100km 与传统汽柴油车百公里油耗单位较为接近,行业内应用较为普遍,也更容易被消费者理解和接受,适合作为本标准评价单位。

2.1.2 基准参数

不同车型的能耗存在较大差别,其中存在技术水

平差异的原因,也与车型本身的特征参数相关。研究分别对整车整备质量、脚印面积、车身长度、轴距四个车型参数与能量消耗率之间的相关性进行了分析。总体上看,能量消耗率与四个车型参数间均存在较明显的线性相关性,相关程度无明显差异。考虑到现行乘用车油耗标准以整车整备质量作为基准参数,从评价体系协调、对应的角度出发,纯电动乘用车能耗亦选择整车整备质量作为基准参数。

2.1.3 限值确定方式

以整车整备质量作为基准,考虑采用的限值指标设定方式有两种,一是参照我国现行汽柴油车油耗标准采用阶梯式限值,二是参照欧洲乘用车 CO₂ 标准采用斜线式限值公式,示意图如下所示。

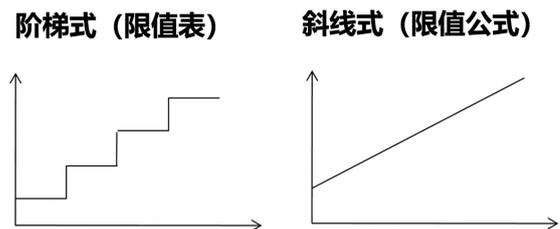


图 2 阶梯式和斜线式评价体系示意图

与阶梯式限值相比,斜线式限值随着基准参数的变化连续增加或减少,限值设定更为细致。然而,考虑到现行试验方法标准 GB/T 18386—2017 仍采用分段式惯性质量加载方法,也即是一定质量范围内的车型采用某一固定的试验质量进行试验,若采用斜线式限值可能出现故意增重而放宽限值的管理漏洞,因此最终确定采用阶梯式限值。具体分组方式与乘用车油耗标准保持一致,依整车整备质量划分为 16 个质量段。

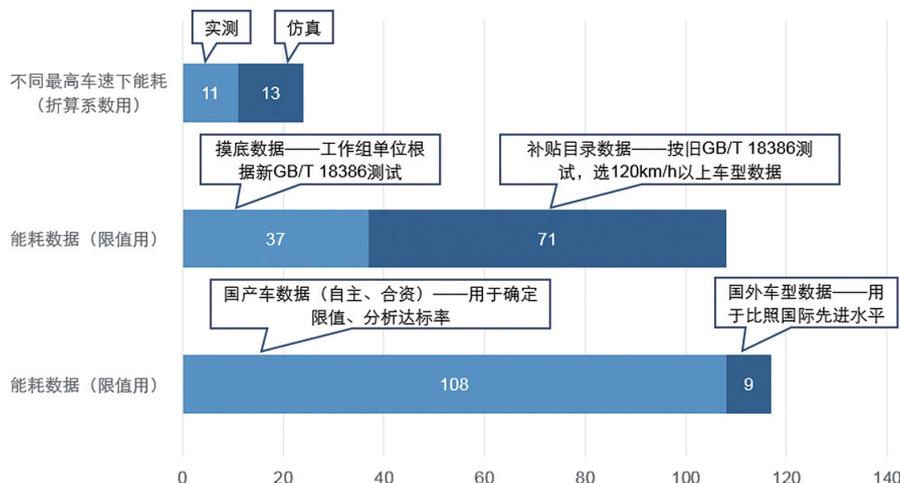


图 1 基础数据类型和数据量

2.2 特殊车型

不同纯电动乘用车车型之间在技术状态上存在一定差异,为体现限值指标的差异性,标准从节能和管理角度对以下两类车型进行了特殊规定:

2.2.1 具有三排及以上座椅的车型

由于迎风面积更大等因素,具有三排及以上座椅的车型平均电能消耗量比同整备质量的普通乘用车更高,但若从单位乘员的平均能耗角度考虑,该类车型在实际道路应用中比普通乘用车运输效率更高。考虑到该类车型在节能方面具有一定贡献,参照汽柴油乘用车标准放宽幅度,规定其能耗限值可在普通乘用车限值的基础上放宽 3%。

2.2.2 最高车速小于 120km/h 的车型

纯电动汽车能量消耗率测试结果与最高车速密切相关。在最新试验方法标准中,当车型最高车速低于 120km/h 时,允许以车型实际最高车速替代 NEDC 试验工况最高车速完成试验,能量消耗率试验结果将更低^[4]。为避免出现通过调低车型最高车速以获取更理想能量消耗率试验结果的管理漏洞出现,标准规定最高车速小于 120km/h 的车型,其限值应在普通乘用车限值的基础上乘以折算系数 K(K<1),从而保证标准的公平性。折算系数计算方法如 2.3 所示。

2.3 折算系数的确定

为确定折算系数公式,需针对不同最高车速对能量消耗率试验结果的影响规律开展研究。研究过程中,将同一试验车型最高车速分别设定为 120km/h、110km/h、100km/h、90km/h 和 80km/h,通过底盘测功机试验对其能量消耗率进行测定,共测试不同车型 13 个。当车型最高车速在 120km/h 及以上时,可以运行完整的 NEDC 试验工况,折算系数设定为 1;当车型最高车速设定在 120km/h 以下时,其折算系数定义为该最高车速下能量消耗率与 120km/h 及以上最高车速下能量消耗率试验结果的比值。数据汇总如下图所示:

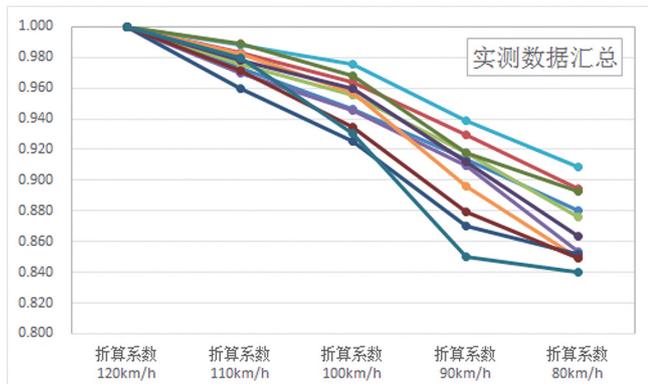


图 3 不同车型折算系数对比

项目组分别对比了折算系数与最高车速、车辆类型、整车整备质量等参数之间的分布关系,发现折算系数与车型最高车速之间相关性最大,与车辆类型、整备质量无明显关系,因此以车型最高车速为变量,对折算系数公式进行拟合。数据处理方法为:1)统计对不同车速(110 km/h、100 km/h、90 km/h、80 km/h)下各车型折算系数的平均值;2)在保证通过(120km/h, 1.00)起始点的情况下,采用最小二乘法拟合线性公式。最终得到折算系数公式如下:

$$K=0.00312 \times V_{\max} + 0.6256$$

式中:

K——折算系数;

V_{\max} ——最高车速,单位为 km/h。

3 应用场景和限值指标

限值指标与未来标准应用场景和实施时间直接相关。为满足不同管理需求,标准设定两阶段限值。其中,第一阶段限值定位于为淘汰部分技术落后车型,可用于新车型准入或新能源汽车补贴政策,建议实施时间为标准发布之日起一年后;第二阶段限值定位于促进少量技术先进车型发展与应用,可用于鼓励少数先进车型的新能源汽车激励政策或未来更长时期的新车型准入,具体时间由主管部门根据第一阶段限值实施情况另行确定。

根据两阶段限值建议应用场景和实施时间,综合考虑国内车型现有技术水平和发展趋势,基于项目组收集到的纯电动乘用车能耗基础数据进行分析,确定了第一、二阶段限值指标。具体方法为,以基础能耗数据平均水平作为基准线,第一阶段限值较基准线放宽 5%,第二阶段限值较基准线加严 10%,最终确定能耗限值指标如表 1 所示。

图 4 为第一、二阶段限值与现有部分国内、国外车型能量消耗率以及相关政策能耗要求的对比情况。总体上看,国内车型平均能耗略高于国外车型,但总体差距不大。第一阶段限值较 2017 年补贴政策限值和双积分管理办法车型积分计算方法条件一限值更为严格,基础数据中国内车型达标率为 65.4%;第二阶段限值与双积分管理办法中车型积分计算方法条件二限值严格程度基本相当,基础数据中国内车型达标率为 24.3%^[5-6]。

需要说明的是,最高车速低于 120km/h 的车型主要集中在小质量段,其能量消耗率试验结果明显偏低。本标准的处理方式是基于折算系数公式根据其最高车速对基准限值进行加严,而相关政策主要基于数据统

表 1 第一、二阶段能耗限值^[2]

整车整备质量 (CM)kg	能量消耗率限值(第一阶段)kWh/100 km	能量消耗率限值(第二阶段)kWh/100 km
CM ≤ 750	13.1	11.2
750 < CM ≤ 865	13.6	11.6
865 < CM ≤ 980	14.1	12.1
980 < CM ≤ 1090	14.6	12.5
1090 < CM ≤ 1205	15.1	13.0
1205 < CM ≤ 1320	15.7	13.4
1320 < CM ≤ 1430	16.2	13.9
1430 < CM ≤ 1540	16.7	14.3
1540 < CM ≤ 1660	17.2	14.8
1660 < CM ≤ 1770	17.8	15.2
1770 < CM ≤ 1880	18.3	15.7
1880 < CM ≤ 2000	18.8	16.1
2000 < CM ≤ 2110	19.3	16.6
2110 < CM ≤ 2280	20.0	17.1
2280 < CM ≤ 2510	20.9	17.9
2510 < CM	21.9	18.8

计增加了小质量端限值斜率。因此,尽管从图中来看小质量段标准限值高于政策限值,但应结合具体车型的最高车速比较两者实际的严格程度差异。

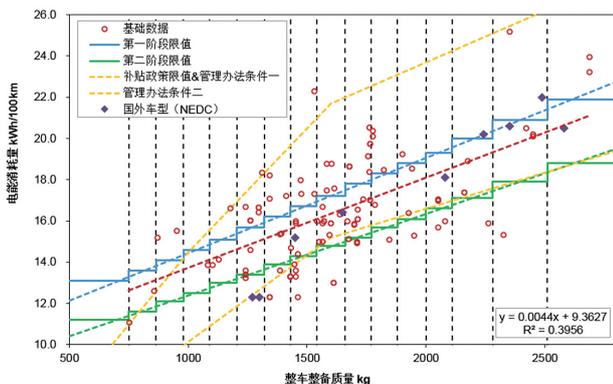


图 4 车型基础数据与第一、二阶段限值对比

4 标准实施效果预测

标准实施后将在淘汰技术落后的高能耗车型、降低车型平均能量消耗率、电能节约和二氧化碳减排方面发挥作用。下面以标准部分国内车型能量消耗率为基础,假定第一、二阶段限值作为准入要求实施,对标准实施效果进行预测。主要参数统计或假定如下:

中国汽车 China Auto | 2019

4.1 能量消耗率

由于缺少车型产销量数据,这里近似采用车型平均能量消耗率进行预测。其中,以标准基础数据的采集时间(2017年)为基准年份,将现有数据平均值作为当年我国纯电动乘用车平均能量消耗率;将剔除不满足第一、二阶段限值后的数据平均值作为实施第一、二阶段限值后的平均能量消耗率。

4.2 行驶里程和使用年限

不同区域、不同类型车辆的年行驶里程区别较大,目前国内缺乏详细的公开统计数据。这里假定纯电动乘用车平均年行驶里程约为 10000km,平均使用年限为 10 年。

4.3 产销量

按照《汽车产业中长期发展规划》要求,预计到 2020 年我国新能源汽车年产销达到 200 万辆;到 2025 年新能源汽车占汽车产销 20%以上。现假定纯电动乘用车在新能源汽车中的占比保持目前比例不变,2025 年汽车总产量假定为 3500 万辆,可以估算得到 2020 年、2025 年纯电动乘用车产量分别为 120.4 万辆和 421.4 万辆。

4.4 单位电耗的 CO₂ 排放

根据《电动汽车能耗折算方法》国家标准报批稿,综合考虑我国火力发电比例、输变电效率、燃料煤碳排放系数等影响因素,结合电力行业未来发展趋势,预测 2017~2025 年电动汽车每消耗 1kWh 电量时发电端产生的二氧化碳如下表所示^[7]:

表 2 2017~2025 年发电端二氧化碳排放量预测

年份	发电端二氧化碳排放量 kg/kWh
2017	0.799
2018	0.787
2019	0.776
2020	0.765
2021	0.756
2022	0.746
2023	0.737
2024	0.728
2025	0.719

4.5 节电量及 CO₂ 减排量

假定第一阶段限值于 2020 年实施、第二阶段限值于 2025 年实施,以 2017 年为基准年份,通过插值计算得到 2017~2020 年、2020~2025 年之间各年度的平均能量消耗率、产量。综上统计和假定数据,可计算得到与 2017 相比,2018~2025 年我国新生产纯电动乘用车在其使用年限内节省的电量和二氧化碳减排量,如下

图所示。总体上看,标准的实施预计使 2018~2025 年生产的纯电动乘用车在其使用周期内减少电能消耗 337.1 亿度,减少二氧化碳排放 2473.8 万吨。

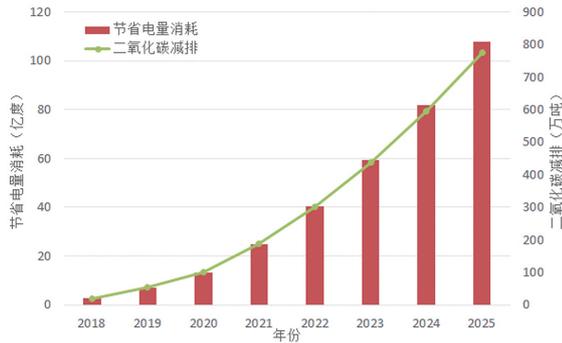


图 5 标准实施效果预测

5 结束语

为推动电动汽车节能降耗,实现我国新能源汽车产业健康发展,项目组开展了全球首个针对纯电动汽车能耗指标的《电动汽车能量消耗率限值》标准研究。本文全面介绍了标准研究过程中所采用的基础数据以及适用车型范围、标准评价体系、应用场景和限值指标等主要技术内容的研究分析过程。同时,研究针对标准实施后车型在整个使用周期内的电能节约和二氧化碳减排总量进行了预测。标准发布后,结合相关政策措

(上接第 56 页)

3 结束语

本文基于多层前馈 MLP 神经网络,充分考虑轮胎侧偏纵滑工况下的非线性特征,建立了轮胎六分力模型。并进一步通过设计结合下山单纯形法与随机值法的混合优化算分进行神经网络模型的超参数调优,得到强化的自适应轮胎模型。另外利用 PAC2002 魔术公式进行半经验轮胎模型的建模求解,以此对上述不同模型的侧向力、纵向力及回正力矩的结果进行对比,得到如下结论:

1) 基于同款轮胎的测试数据,PAC2002 半经验模型的侧向力拟合误差、纵向力拟合误差以及回正力矩拟合误差均高于 MLP 神经网络轮胎模型的拟合误差,说明神经网络算法在处理轮胎六分力的非线性特征方面能力较好。

2) 对神经网络自适应轮胎模型应用下山单纯形与随机值法的混合优化算法进行超参数调优效果理想,

将在促进纯电动汽车节能技术应用,推动电动汽车降低能耗、节约电力能源方面发挥重要作用。

参考文献

- [1] 工业和信息化部.三部委关于印发《汽车产业中长期发展规划》的通知:工信部联装[2017]53号[A/OL].(2017-04-25)[2019-09-04]http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757018/c5600356/content.html.
- [2] 全国汽车标准化技术委员会.电动汽车能量消耗率限值:GB/T 36980-2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [3] 全国汽车标准化技术委员会.电动汽车能量消耗率和续驶里程 试验方法:GB/T 18386-2005[S].北京:中国标准出版社,2005.
- [4] 全国汽车标准化技术委员会.电动汽车能量消耗率和续驶里程 试验方法:GB/T 18386-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [5] 财政部.关于调整新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知:财建[2016]958号[A/OL].(2016-12-29)[2019-09-04].http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/tongzhigonggao/201612/t20161229_2508628.html.
- [6] 工业和信息化部.乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法[EB/OL].(2017-09-27)[2019-09-04].http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146402/n7038720/c7045050/content.html.
- [7] 全国汽车标准化技术委员会.电动汽车能耗折算方法:GB/T 37349-2019[S].北京:中国标准出版社,2019.

可以进一步提升模型的拟合精度。

参考文献

- [1] LI Bin,YANG Xiaobo,YANG James.Tire model application and parameter identification—a literature review[J].SAE Int. J. Passeng. Cars – Mech. Syst,2014,7(1):231-243.
- [2] MANTARAS D A,LUQUE P,NAVA J A,et al.Tyre – road grip coefficient assessment.part 1:off –line methodology using multibody dynamic simulation and genetic algorithms [J].VEHICLE SYSTEM DYNAMICS,2013,51(10):1603-1618.
- [3] 朱永康.神经网络法预测汽车轮胎的微观与宏观性能[J].现代橡胶技术,2016,42(5):18-26.
- [4] 杨丽,吴雨茜,王俊丽,等.循环神经网络研究综述[J].计算机应用,2018,38(S2):1-6+26.
- [5] KUIPER E,OOSTEN J.The pac2002 advanced handling tire model[J].VEHICLE SYSTEM DYNAMICS,2007,45:153-167.
- [6] RASHID Tariq.Python 神经网络编程[M]林赐,译.北京:人民邮电出版社,2018.
- [7] JAUREGUI J C.Parameter identification and monitoring of mechanical systems under nonlinear vibration[M].Cambridge: Woodhead publishing,2014.