

低温环境下轮胎滚动阻力特性研究

张新峰, 刘凤阳, 马弋洋

中汽零部件技术(天津)有限公司, 天津

收稿日期: 2025年8月29日; 录用日期: 2025年9月22日; 发布日期: 2025年9月29日

摘要

为应对电动汽车续航里程的法规要求和研发需求, 本文使用扭矩法测试轮胎在低温环境下的滚动阻力性能表现。结果表明, 轮胎滚动阻力随温度降低而升高, 部分雪地型轮胎与普通型轮胎相比滚动阻力随温度变化的程度较低, 标准ISO 28580规定的温度修正系数在低温环境下仍有参考意义; 在低温环境下轮胎滚动阻力随速度和行驶时间的增加均会降低, 电动汽车在分析特定场景下的续航里程及电耗时需要考虑本特性。

关键词

轮胎, 低温滚动阻力, 温度修正系数

Study on Rolling Resistance Characteristics of Tire in Low Temperature Environment

Xinfeng Zhang, Fengyang Liu, Yiyang Ma

CATARC Component Technology (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin

Received: August 29, 2025; accepted: September 22, 2025; published: September 29, 2025

Abstract

In order to meet the regulatory requirements and research and development needs of electric vehicle cruising range, this paper uses torque method to test the rolling resistance performance of tires in low temperature environment. The results show that the rolling resistance of tires increases with the decrease of temperature. And compared with ordinary tires, some snow tires have a lower degree of rolling resistance changing with temperature. The temperature correction coefficient specified in ISO 28580 is still of reference significance in low temperature environment. In low temperature environment, the tire rolling resistance will decrease with the increase of speed and driving time, so this characteristic should be considered when analyzing the cruising range and power

consumption of electric vehicles in specific conditions.

Keywords

Tire, Rolling Resistance in Low Temperature Environment, Temperature Correction Coefficient

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2025 年汽车行业电动化趋势持续深入, 据中国汽车工业协会统计, 2025 年 1 月~6 月纯电动汽车产销分别完成 448.8 万和 441.5 万, 同比分别增长 50.1%和 46.2%, 实现产销同比快速增长。与此同时, 车辆法规也逐渐对车辆低温续航里程提出新的要求。UN R154《关于批准轻型乘用车和商用车标准排放、二氧化碳排放和燃料消耗和/或电能消耗和电里程测量的统一规定(WLTP)》拟引用 GTR 15《针对指标污染物排放、CO₂ 排放和燃料消耗量和/或电能消耗量和电动续驶里程(WLTP 工况)批准轻型乘用车和商用车的统一规定》附录 13 的内容增加低温下电动汽车续航里程试验的相关要求。GB/T 18386.1-2021《电动汽车能量消耗量和续航里程试验方法第 1 部分: 轻型汽车》中也规定了电动车在低温环境下的能量消耗量和续航里程试验方法。

电动汽车的电池在低温下的充放电性能都有衰减[1], 导致电动汽车的续航里程大幅缩减。环境温度从 23℃下降至-7℃时, 续航里程会缩短 30%~50% [2], 让驾乘人员陷入“续航里程”的焦虑情绪。为此, 整车企业也在不断提升电动汽车低温环境下的续航性能。轮胎阻力作为汽车阻力中始终存在的部分, 有研究表明, 与地面摩擦提供动力的轮胎所产生的阻力约占汽车行驶的 30%, 轮胎滚动阻力每降低 10%, 汽车的燃油效率可以提升 2%左右[3]。目前针对轮胎结构[4]、配方[5]及使用条件[6]对滚动阻力影响的研究都是基于 ISO 28580 标准进行试验验证, 测试温度均为 25℃。在法规要求和研发需求[7]的双重背景下, 研究低温环境下的轮胎滚动阻力特性对提升电动汽车低温续航里程有积极意义。

2. 测试原理

目前国际上主流的轮胎滚动阻力测试方法是 ISO 28580:2018《客车, 卡车和大客车轮胎滚动阻力的测量方法。单点测试和测量结果的相关性》。标准规定的测试的环境温度是 25℃, 测试方法有扭矩法、减速度法、功率法和测力法四种。本次研究参考以上标准步骤, 修改测试温度, 使用扭矩法测量轮胎在标准规定的负荷和速度下运行时转鼓的输入扭矩。测量值中除轮胎滚动阻力外, 还包含了轮胎轮辋组合体的轴承损失、转鼓的轴承损失和空气动力学损失等附加损失。可以通过设定特殊工况, 将轮胎负荷减少到 100 N, 使轮胎按照试验速度行驶而不滑动, 可以获得附加损失对应的转鼓输入扭矩。由此可以计算轮胎在规定载荷、速度下的滚动阻力。轮胎滚动阻力及轮胎滚动阻力系数公式如式 1:

$$\begin{cases} F_r = \frac{T_t}{R} - F_{pl} \\ F_{pl} = \frac{T_{pl}}{R} \\ C_r = \frac{F_r}{L_m} \end{cases} \quad (1)$$

式中, F_r ——轮胎滚动阻力, 单位为牛(N);
 T_t ——测试工况转鼓输入扭矩, 单位为牛米(N·m);
 R ——转鼓直径, 单位为米(m);
 F_{pl} ——附件损失, 单位为牛(N);
 T_{pl} ——附加损失工况转鼓输入扭矩, 单位为牛米(N·m);
 L_m ——试验负荷, 单位为千牛(kN);
 C_r ——轮胎滚动阻力系数。

本次研究使用天津久荣工业技术有限公司制造的 TJR-RR-PC (J)-LT 型轮胎低温滚阻试验机进行试验, 设备照片及设备参数分别见图 1 和表 1。



Figure1. Test equipment photo
图 1. 设备照片

Table 1. Test equipment parameters
表 1. 设备参数

转鼓直径	2 m	最大载荷	20 kN
温度控制范围	-40℃~70℃	温度控制精度	±0.5℃
速度控制范围	10 km/h~200 km/h	速度控制精度	±0.2 km/h

3. 数据分析

3.1. 不同温度对轮胎滚动阻力的影响

选取 4 条不同规格的轮胎, 其中 2 条轮胎为雪地型轮胎, 使用轮胎低温滚阻试验机以扭矩法测试轮胎在不同温度下的滚动阻力。测试温度包括 25℃、10℃、0℃、-7℃、-20℃、-30℃。其他测试条件参考 ISO 28580:2018 的规定进行试验。即将充气后的轮胎轮辋组合体置于设备环境箱中, 在目标环境温度下静置 3 h 以上, 使轮胎与环境温度场达到热平衡, 重新调整轮胎气压至试验气压后, 停放 10 min 后再次复核轮胎气压, 然后进行测试。整个测试过程中不再控制或调整轮胎轮辋组合体的气压。测量并记录转鼓输入扭矩、速度、轮胎垂直负荷等数据, 根据式(1)计算轮胎滚动阻力及轮胎滚动阻力系数, 所有滚动

阻力不做温度修正。

Table 2. Rolling resistance of tire at different temperatures (N)

表 2. 轮胎在不同温度下的滚动阻力(N)

温度/℃	轮胎 A	轮胎 B	轮胎 C	轮胎 D
-30	48.94	111.21	89.95	78.12
-20	43.65	93.57	81.88	69.69
-7	39.36	81.23	75.27	62.72
0	36.46	76.30	69.68	57.76
10	33.58	67.39	66.27	52.77
25	30.35	63.12	61.59	49.00

Table 3. Rolling resistance coefficient of tire at different temperatures (N/kN)

表 3. 轮胎在不同温度下的滚动阻力系数(N/kN)

温度/℃	轮胎 A	轮胎 B	轮胎 C	轮胎 D
-30	16.12	13.01	10.82	12.85
-20	14.38	10.94	9.85	11.46
-7	12.97	9.50	9.05	10.31
0	12.01	8.92	8.38	9.50
10	11.06	8.01	7.97	8.68
25	10.00	7.38	7.41	8.06

Table 4. Change rate of rolling resistance coefficient of tire at different temperatures (%)

表 4. 轮胎在不同温度下的滚动阻力系数变化情况(%)

温度/℃	轮胎 A	轮胎 B	轮胎 C	轮胎 D
-30	61.28%	76.20%	46.05%	59.42%
-20	43.82%	48.24%	32.96%	42.24%
-7	29.71%	28.69%	22.22%	27.98%
0	20.13%	20.88%	13.14%	17.87%
10	10.63%	8.52%	7.60%	7.70%
25	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

如表 2、表 3 和图 2 所示,不同轮胎的滚动阻力和滚动阻力系数都随温度降低而升高(其中 C 轮胎和 D 轮胎为雪地型轮胎),且不同轮胎的滚动阻力系数随温度变化有着明显的线性关系。如表 4 所示,轮胎滚动阻力系数以目前标准 ISO 28580:2018 规定的测试温度 25℃的滚动阻力系数测量结果为基准值,对比上述 4 条轮胎在不同温度下滚阻系数变化情况。在-20℃时,有 3 条轮胎的滚动阻力系数与 25℃时增长超过 40%,另一条轮胎滚动阻力系数增长约 33%,此轮胎为雪地型轮胎。可能部分雪地型轮胎的橡胶配方特殊,使得轮胎滚动阻力随温度下降时增加较为缓慢。

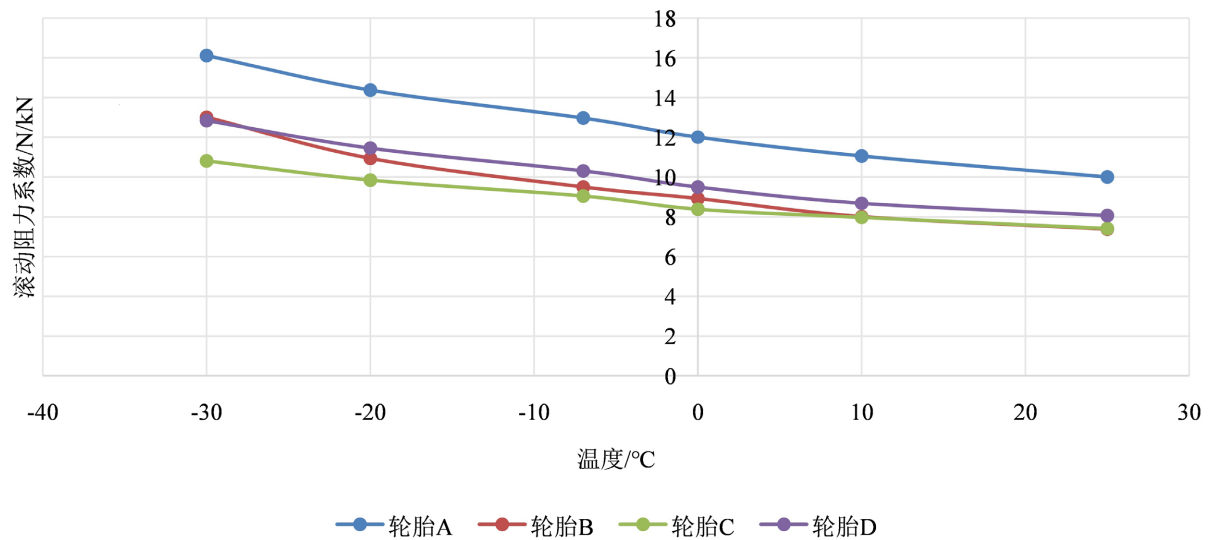


Figure 2. Rolling resistance coefficient of tire at different temperatures

图 2. 轮胎在不同温度下的滚动阻力系数

根据标准 ISO 28580:2018 的规定,对于试验温度 20℃~30℃之间,如果在非 25℃的温度下进行测量,可以用式(2)进行温度修正。

$$F_{r25} = F_r \times [1 + K_t (t_{amb} - 25)] \quad (2)$$

式中, F_{r25} ——25℃的轮胎滚动阻力, 单位为牛(N);

t_{amb} ——环境温度, 单位为摄氏度(℃);

K_t ——温度修正系数, 轿车轮胎为 0.008;

我们另选两条轮胎, 测试其在-10℃、-7℃和-5℃下的滚动阻力, 验证温度修正系数在-7℃下是否可用, 拟定式(3)为-7℃下轮胎滚动阻力修正公式:

$$F_{r-7} = F_r \times [1 + K_t (t_{amb} + 7)] \quad (3)$$

式中, F_{r-7} ——-7℃的轮胎滚动阻力, 单位为牛(N);

Table 5. Verification of temperature correction coefficient

表 5. 温度修正系数验证

/		轮胎 E			轮胎 F		
温度/℃	测试值/N	修正值/N	偏差	测试值/N	修正值/N	偏差	
-7	73.61	/	/	61.58	/	/	
-10	75.72	73.90	0.39%	63.26	61.75	0.28%	
-5	71.84	72.99	-0.85%	60.58	61.55	-0.05%	

根据表 5 所示,在上述几个测试点中,其他温度下的轮胎滚动阻力经修正至-7℃与在-7℃下测得轮胎滚动阻力相比,最大偏差为-0.85%,标准 ISO 28580:2018 规定的温度修正系数在-7℃下能起一定到作用,但仍需更多数据进行验证。

3.2. 低温环境下行驶条件对轮胎滚动阻力的影响

另选一条轮胎分别在-20℃和-7℃的环境温度条件下,测试 10 km/h~130 km/h 速度区间内轮胎滚阻

及滚动阻力系数的表现，研究低温环境下不同速度对轮胎滚动阻力的影响。

Table 6. Rolling resistance of tire at different speeds (N)
表 6. 轮胎在不同速度下的滚动阻力(N)

速度/(km/h)	10	20	30	40	50	60	70
-7℃	57.18	57.06	56.66	56.16	55.60	55.17	54.77
-20℃	74.86	78.80	74.86	72.41	70.72	69.27	68.16
速度/(km/h)	80	90	100	110	120	130	/
-7℃	54.34	53.90	53.54	53.06	52.47	52.47	/
-20℃	65.98	65.11	64.30	63.33	62.22	61.80	/

Table 7. Rolling resistance coefficient of tire at different speed (N/kN)
表 7. 轮胎在不同速度下的滚动阻力系数(N/kN)

速度/(km/h)	10	20	30	40	50	60	70
-7℃	8.10	8.08	8.02	7.95	7.87	7.81	7.76
-20℃	11.16	10.60	10.26	10.02	9.81	9.65	9.50
速度/(km/h)	80	90	100	110	120	130	/
-7℃	7.70	7.63	7.58	7.51	7.43	7.43	/
-20℃	9.34	9.22	9.11	8.97	8.81	8.75	/

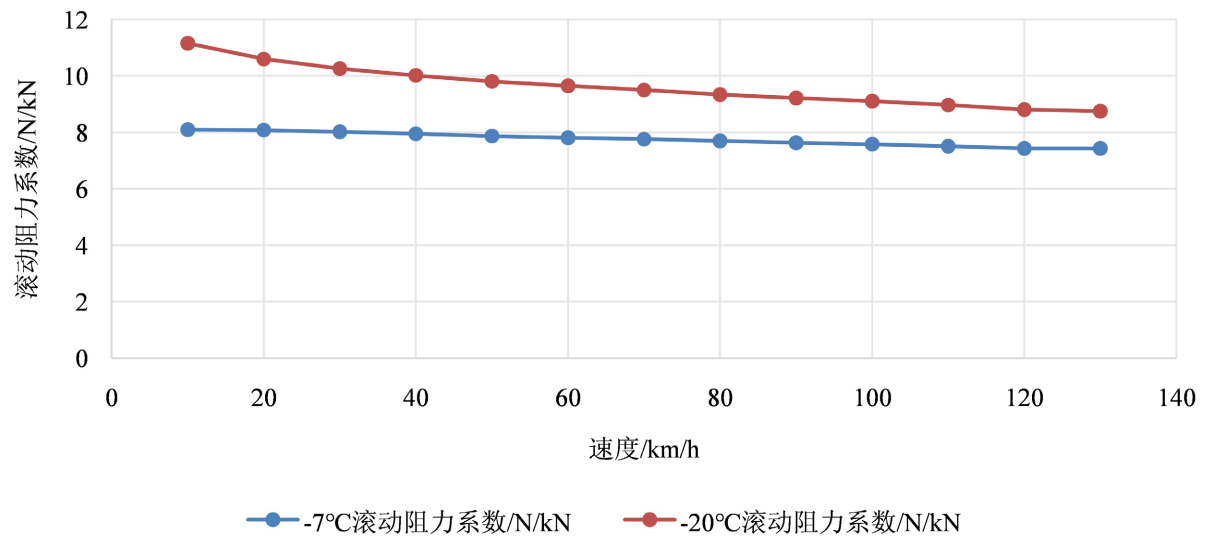


Figure 3. Tire rolling resistance coefficient at different speeds
图 3. 轮胎在不同速度下的滚动阻力系数

根据表 6、表 7 及图 3 所示，轮胎在低温环境下滚动阻力及滚动阻力系数随速度的增高而降低；整体变化趋势并不呈现明显线性，且温度越低时，非线性越显著。速度低时，轮胎滚动阻力随速度变化明显，当速度超过 100 km/h 时，滚动阻力受速度影响很小。这个规律与常温下轮胎滚动阻力随速度的变化趋势不同[8]。另一方面，低温行驶环境下，路面可能有冰雪覆盖，一定程度上会影响车辆的行驶安全性，平均车速可能会比常温更低，这也提醒我们后续制定轮胎低温滚动阻力测试标准时应当注意设置轮胎测试

速度。

我们进一步分析轮胎在低温环境下滚动阻力随行驶时间的变化趋势，选择 30 km/h、60 km/h、80 km/h 和 100 km/h 做典型速度，分析轮胎在-7℃和-20℃时，轮胎行驶 30 min 内，轮胎滚动阻力随时间的变化规律。

Table 8. Tire rolling resistance at different driving time(-7℃) (N)

表 8. 轮胎在不同行驶时间下的滚动阻力(-7℃) (N)

时间/(s)	0	400	1000	1800
30 km/h	69.72	54.58	53.74	53.55
60 km/h	69.30	55.41	54.47	54.33
80 km/h	67.75	56.26	55.35	55.18
100 km/h	63.73	57.60	56.81	56.71

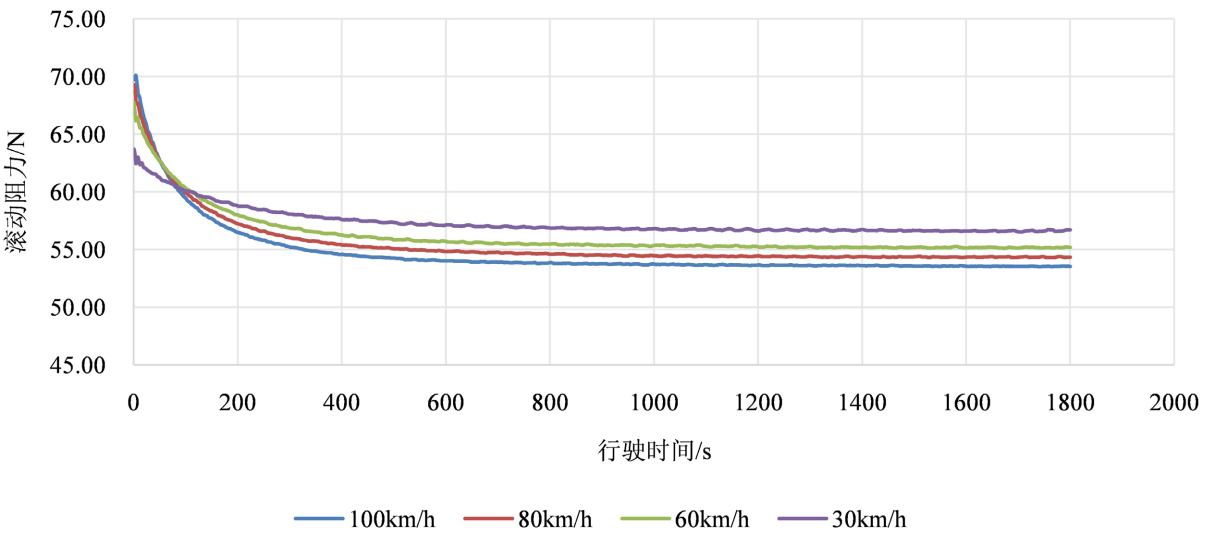


Figure 4. Tire rolling resistance at different driving time (-7℃)

图 4. 轮胎在不同行驶时间下的滚动阻力(-7℃)

Table 9. Tire rolling resistance at different driving time (-20℃) (N)

表 9. 轮胎在不同行驶时间下的滚动阻力(-20℃) (N)

时间/(s)	0	400	1000	1800
30 km/h	97.89	67.28	66.17	66.06
60 km/h	97.24	68.95	67.68	67.52
80 km/h	95.05	70.84	69.51	69.41
100 km/h	89.46	74.76	73.48	73.30

根据表 8、表 9 及图 4、图 5 所示，无论在-7℃还是在-20℃，轮胎速度越高，在启动瞬间的轮胎滚动阻力越高；且随着轮胎持续行驶，滚动阻力不断降低，在 400 s 时左右基本已经趋于稳定状态。在关注车辆短时间行驶等特殊场景下的燃油经济性可以参考本规律进行深入研究。

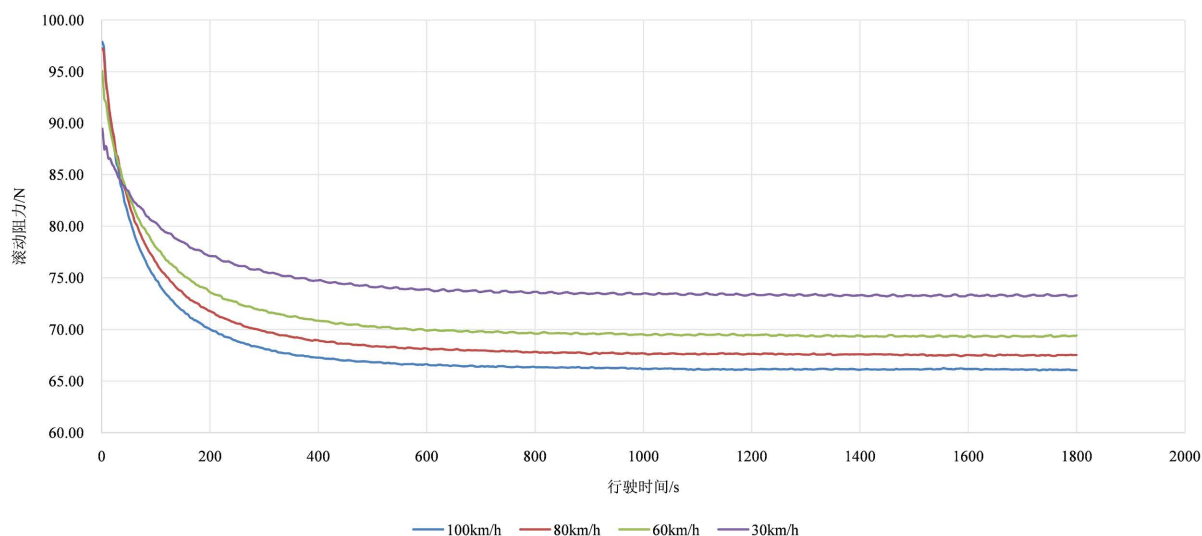


Figure 5. Tire rolling resistance at different driving time(-20°C)

图 5. 轮胎在不同行驶时间下的滚动阻力(-20°C)

4. 总结

本文使用轮胎低温滚阻试验机, 使用扭矩法对普通型轮胎和雪地型轮胎进行低温条件下的轮胎滚动阻力测试, 得到以下结论:

- (1) 轮胎滚动阻力随温度降低而升高; 部分雪地型轮胎与普通型轮胎相比, 滚动阻力随温度变化程度较低。
- (2) ISO 28580:2018 规定的温度修正系数在低温环境下仍有一定参考价值, 后续制定轮胎在低温环境下的滚动阻力测试方法时可以结合实际测试数据参考修改。
- (3) 在低温环境下, 轮胎滚动阻力随速度和行驶时间的增加而降低, 电动汽车在研究某些特定行驶工况下的续航里程和耗电量时, 需要考虑轮胎特性。

参考文献

- [1] 周知义. 温度对蓄电池性能及电动汽车续航里程影响的分析[J]. 蓄电池, 2023, 60(4): 167-170, 200.
- [2] 于旭东, 徐爽, 李科迪. 低温环境对纯电动汽车续航里程的影响因素研究[J]. 汽车电器, 2023(2): 1-3, 6.
- [3] 赵又群, 郭硕, 王峰, 等. 汽车轮胎滚动阻力研究综述[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2024, 38(1): 1-8.
- [4] 周涛, 官声欣. 轮胎滚动阻力性能的影响因素和仿真优化[J]. 汽车制造业, 2024(6): 43-44, 54.
- [5] 王书磊, 周宝珍, 王俊英, 等. 低生热助剂 DC-02 在低滚动阻力全钢子午线轮胎胎面胶中的应用[J]. 轮胎工业, 2025, 45(7): 410-413.
- [6] 马弋洋, 魏晓辰, 陈泰吉, 等. 偏转角度对轿车子午线轮胎滚动阻力系数的影响[J]. 时代汽车, 2022(24): 19-21, 27.
- [7] 杨振环, 李秋魁, 李良帅, 等. 浅谈电动汽车轮胎的开发[J]. 汽车实用技术, 2024, 49(22): 49-53.
- [8] 段振亚, 樊丽娟, 王涛, 等. 轮胎滚动阻力影响因素试验分析[J]. 石油化工设备, 2016, 45(1): 6-11.