

高低温环境下电动汽车性能测试与应对措施

张春伟

北京市产品质量监督检验研究院, 中国·北京 101300

摘要: 由于全球汽车产业电动化进程加快, 电动汽车在低温、高海拔等恶劣环境下的性能问题凸显, 严重限制其应用推广, 因此开展相关性能影响因素分析研究迫在眉睫。论文聚焦电动汽车的电池、电机、电控及车身附件系统, 构建高低温性能测试体系。通过收集典型地区环境数据与实车测试信息, 深入分析极端温度对续航里程、充电效率、操控安全等因素的影响规律。基于此, 提出涵盖车辆技术改进、配套设施完善以及交通协同的技术性对策。同时, 融合智能交通系统 (ITS) 与车路协同技术, 探讨极端气候下交通流调度与电动汽车协同调度的协作原理。研究成果为提升电动汽车环境适应性提供理论支撑, 对推动交通领域低碳发展具有重要参考价值。

关键词: 电动汽车; 性能测试; 应对措施; 车路协同; 智能交通系统

Performance Test and Countermeasures of Electric Vehicles in High and Low Temperature Environment

Chunwei Zhang

Beijing Institute of Product Quality Supervision and Inspection, Beijing, 101300, China

Abstract: Due to the accelerated electrification process in the global automotive industry, performance issues of electric vehicles under harsh conditions such as low temperatures and high altitudes have become prominent, severely limiting their application and promotion. Therefore, it is imperative to conduct research on the factors affecting these performance issues. This paper focuses on the battery, motor, electronic control, and body accessory systems of electric vehicles, establishing a high and low-temperature performance testing system. By collecting environmental data from typical regions and real vehicle test information, we conduct an in-depth analysis of how extreme temperatures affect factors such as range, charging efficiency, and handling safety. Based on this, we propose technical measures that include vehicle technology improvements, the enhancement of supporting facilities, and traffic coordination. Additionally, we integrate Intelligent Transportation Systems (ITS) and vehicle-road coordination technologies to explore the principles of traffic flow scheduling and collaborative scheduling of electric vehicles under extreme weather conditions. The research findings provide theoretical support for enhancing the environmental adaptability of electric vehicles and offer significant reference value for promoting low-carbon development in the transportation sector.

Keywords: electric vehicle; performance test; countermeasures; vehicle-road coordination; intelligent transportation system

0 前言

基于“双碳”目标, 在汽车领域发挥引领作用的以零尾气排放、高能源利用率为特征的电动车辆成为中国交通运输减排重要抓手。由于中国幅员辽阔, 南北地区气候差别较大, 冬季中国北方和夏季中国南方地区极端气候对电动汽车的影响最为显著, 电动汽车受此影响续航里程降低, 无法充电, 电池老化的问题频繁出现, 极大程度降低了人们的使用体验感, 也让人们对电动汽车的发展信心下降。现有文献大多集中在针对电池热管理及电机效率等方面的技术改进上, 并未充分考虑电动汽车在极端气温条件下交通流的变化特点、充电基础设施及交通网络互促联动以及相关方监管问题。论文站在交叉学科的角度, 对“测试分析—技术改进—交通协同”的不同方面的内容作了阐述, 希望能给电动汽车

在未来在不同的天气情况下的安全使用和精准驾驶提供一种解决问题的方式方法。

1 高低温环境下电动汽车性能测试体系构建

1.1 测试环境与指标设计

高低温环境测试覆盖了 -30°C ~ 45°C 温度范围, 分别模拟寒区 (东北、西北地区等) 冬季低温环境、湿热区 (华南、华东地区等) 夏季高温高湿环境以及干旱区 (新疆等) 夏季干热环境等典型的气候场景。在此基础上建立全工况测试方法体系, 以综合评价电动汽车的性能水平。其中, 测试指标分为三类: 动力系统性能方面包括电池容量衰减率、充放电效率、电机峰值功率衰减、续航里程保持率等指标; 安全性方面包括制动距离变化量、轮胎抓地力系数、电池热失控风险参数 (温度梯度、产气速率) 等指标; 使用便利性方面

包括充电时间延长率、空调系统能耗占比较高等指标。在测试过程中基于环境舱（精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ）、底盘测功机、电池管理系统（BMS）数据采集仪等专业设备的实车道路测试和台架模拟相结合的方式，准确获取整车测试各工况下的数据，从而准确分析车辆在极寒温度、极高温环境中的驾驶体验情况。

1.2 典型工况测试方法

低温续航衰减测试：在 -20°C 环境下，按 NEDC 工况循环运行至电池 SOC 由 100% 降至 20%，记录其行驶里程，与常温数据相比即得衰减率；实验发现，在 -10°C 时续航衰减 25%，在 -20°C 时衰减达到 35%。主要是由于电池内阻大、电解液粘度高使可用容量降低的缘故。

高温充电效率测试：当在 40°C 条件下用直流快充桩从 30% 充到 80%，测得充电功率曲线和温升速率。当电池温升大于 55°C 时，充电功率自动低于 50kW 以下，充电时间比常温延长了 40%，同时高温会加快 SEI 膜生长速度，使得电池循环寿命减少 15%~20% 左右。

极端温度操控稳定性测试：通过低温冰雪路面（模拟低温）和积水路面（模拟高温强降雨）紧急制动、弯道操控行驶，观察：低温时由于低温会使得轮胎胎压降低导致轮胎的接地面积减小、制动距离增加 20%；高温时由于轮胎的轮胎胎面变软，在弯道处车辆很容易发生侧滑现象，此时应依靠 ESC 系统维持行驶稳定性。

2 高低温环境对电动汽车性能的核心影响分析

2.1 电池系统：能量供给的温度敏感性

低温情况下，锂离子迁移速度慢、电池可用容量呈非线性衰减，同时在充电过程中容易发生锂枝晶析出问题；而温度升高时，会造成电池内部副反应增多，电池的自放电率提高到常温下的 3 倍以上，另外电池热管理系统（液冷回路等）的散热功耗也会随之增大，耗电会进一步增加。某动力电池企业的实验数据表明：三元锂电池 -20°C 容量保持率仅为 65%，且在 45°C 的条件下，充放电循环达到 500 次后，容量衰减已经超过 20%，由此可见，在电池实际运行过程中，低温、高温都将影响电池正常的运行工况。

2.2 电机驱动系统：效率与可靠性双重挑战

低温状态下，电机润滑油黏度增大，轴承摩擦损耗增大，造成效率降低，峰值效率降 5%~8%；高温下，电机绕组绝缘材料容易老化，散热系统不够的时候，绕组温升有可能超过 180°C 的安全限度，造成短路故障。通过测量得知，在 45°C 环境中，连续运行两个小时后，电机工作效率会从 95% 降到 88%，温度上升速率达到每分钟 1.2°C ，即达到主动降功率保护机制，以减少运行时的异常故障风险。

2.3 电控与车身系统：功能协同性弱化

低温会使传感器的信号传递滞后（胎压监测系统延迟 30% 反应时间）、线路变脆（线束耐低温条件下造成

损坏概率增大 25%），从而使得 ESP、ABS 等主动安全部件不能正常工作；高温高湿环境可加速 PCB 板的腐蚀，造成车载充电机（OBC）通信报错频繁，在某款车型上，华南地区夏季充电断流率为常温情况下的 18% 左右；对于空调来说，在极端温度下空调的能耗会超过车辆总能耗的 40%，会极大加大车辆续航的压力，这种“能耗—续航”的恶性循环将持续下去。

2.4 交通流影响：供需失衡与风险传导

从交通系统层面上看，极端天气下，电动汽车的集中充电导致单个充电站点瞬间负荷增大超过本身实际容量，在寒潮下（以当天当地为例），单站的瞬间负荷可能骤然提升至常态下的 300%；其次出现车辆故障多发、救援需求量大，冬日如 2024 年 1 月北京、哈尔滨等地电动汽车故障救援增长 220%，并且呈现数量多、响应快的特点；还有低温引起的续航焦虑易造成车主频繁查找充电桩的现象，给导航系统带来较大的流量波动冲击，影响交通流预测的准确性。

3 高低温环境下电动汽车性能提升的应对措施

3.1 充电基础设施优化：差异化布局与多技术协同的温敏型网络构建

对于充电基础设施优化，差异化布局、储能协同和车路信息交互共建温敏型网络，根据不同气候分区特点（寒区和高温区），寒区充电站内设置供暖保温舱（保证暖区内设备维持在 5°C 以上）并结合地源热泵取暖降低取暖消耗；高温区充电站内增设遮阳挡板、加装风冷散热装置，使得暖区内充电桩本体温度可降低到 40°C 以下，保障充电站区域内的工作人员和电动汽车安全正常工作，2024 年乌鲁木齐市实施改造措施后，经过试点测试改造后冬、夏充电故障率分别为 3%、1%，分别降低了 12 个百分点，相应改善了冬、夏季充电站充电效率 18%；结合大型充电站安装集装箱式锂电池等储能方式削峰填谷的方式辅助温差较大地区充电站解决温差带来充电负荷的冲击问题，如深圳市某快充站采用储能系统后电网负荷波动幅度从 $\pm 40\%$ 收窄至 $\pm 15\%$ ，提高早高峰电价时节约电费 22%，达到平衡电网压力的作用；依托于车路协同技术对大功率直流充电站进行 2×6 安装方式布局改建，结合 RSU 向路侧车辆发布充电站运行温度状态、可用功率大小、车辆等待队列等充电站信息，在车联网云平台上根据精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的高精度气象预报信息预测车辆到达时间，进而提前推送续航里程的预测预警，指引车辆避开被另一段时间点超载的站点，在减少基于能量计算错误而导致的抛锚隐患的同时增加了桩体的利用率，实现“设施硬件升级—能源柔性调节—信息精准交互”的一体化充电服务体系。

3.2 交通管理层面：构建极端气候应对体系

3.2.1 动态交通流调控：建立极端气候条件下分层分类管控体系

根据寒潮、高温橙色预警及其他极端天气事件特点，

制定“风险分级—区域联动—精准调控”管理措施。

寒区低温应对：基于 ITMS，在全国 -20°C 以下的区域打通“能源保障优先通道”，以车载终端实时识别充电物流车、应急救援车等重点车辆为目标，及时启用智能系统自动优先优化信号配时、提高各类重点车辆通过优先通道的通过效率达 40% 以上；以哈尔滨、长春为典型寒区充电站选点，于充电站周边 500m 范围布置分布式加热融雪装置（功率密度 $500\text{W}/\text{m}^2$ ），并依据路面积雪厚度传感器（精度 $\pm 2\text{mm}$ ）监测数据，调整分布式加热融雪装置加热功率至满足融雪要求，从而抑制充电车辆排队路段结冰的发生率 $< 5\%$ ，避免充电车辆排队时路面因路面结冰而导致的区域性的交通堵塞。

高温区负荷调节：建设华南高温高湿地区的“新能源物流车错峰充电调度平台”，依托电网负荷预测（精确率 $\pm 8\%$ ）和车辆运行大数据，对物流车充电量 70% 以上，按 23:00-7:00 谷电时段派送至充电场站，同时结合充电场站配置智能遮阳棚（降低充电场站内环境温度达 $8^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ ）以及风冷系统的手段，在正午时分充电场站午间 11:00-15:00 时段的充电负荷即可实现整体压降 60%；利用城市主干道可变情报板（分辨率达 1080P 以上）提前发布的信息引导私家车至屋顶光伏充电站，并实时报告屋顶光伏充电站的位置及充电桩数量，并提示当前环境温度，让私家车选择不超过 35°C 的低温条件下的光伏充电区域。

3.2.2 车辆健康监测机制：建设全生命周期的风险预警和响应体系。

基于车联网平台（数据采集频率 $\geq 10\text{Hz}$ ），建设“实时监测—智能预警—主动干预”车辆安全管理体系。

异常状态精准识别：开发基于 LSTM 的电池热失控预警模型，采用基于阈值 $\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的电池温度梯度、基于阈值 $0.3\text{mL}/\text{s}$ 的产气速率、基于阈值 $\pm 2\%$ 的充电电压波动共 12 个重要特征参数。对超 10% 车辆某行政区电池温度 $> 55^{\circ}\text{C}$ 时产生热失控预警信号并提前 30min 发出报警；预警时对接近电池高温极限的车辆告知车主强制断电，如该区应急主管部门组织调度灭火力量在离失火地点最近处的 3 公里处前置布防并启动预案，发布交通途径的交通广播在社会面上及时发布信息疏散车辆，并开启绿色通道让滞留人员可以快速离开。

续航危机主动干预：针对续航小于 50km 且附近 3km 内未建有充电站的情况，向车载终端和手机 APP 发布“代充电服务”调令，在用户确认 10 分钟后派出带有移动充电舱的救援车（续航补给能力为 200km/次），将本可占用道路时间 45 分钟的道路抛锚事故人为消除，京津冀试点冬季时段较以往减少续航引起的交通事故数 70%，并能杜绝“单车故障引发连锁拥堵”的风险。

3.2.3 政策与标准协同创新：健全极端环境适应性的制度建设。

以“标准引领—政策激励—机制保障”三维协同，构建大农业产业链，全面协同发展。

技术标准刚性约束：工信部牵头制定的《电动汽车极端环境性能认证规范》已经明确对汽车的续航保持率（ -20°C ）、充电效率保持率（ 45°C ）、低温启动成功（ -30°C ）等提出了高于普通车辆标准的 15 项强制性的测试指标，所有车企在新品上市前都需完成“黑河冬季低温、吐鲁番夏季高温”的双极端场景认证后才能进入市场。同时，倒逼车企加大研发投入来提升环境适应性，在 2024 年试点期间车企热管理系统研发投入占总投入的比例提高了 35 个百分点。

价格机制柔性引导：开展北方采暖区“阶梯式峰谷充电补贴”政策，在 23:00-7:00 谷电时段，由原来的电价上浮 0.3 元/千瓦时提高到上浮 0.5 元/千瓦时，使充电时段由原来偏重的早、晚高峰时间段（10:00-16:00）转移到其他时间，从而达到将原平均峰谷时段比例由 6 : 4 调整为 3 : 7 的效果。以北京、沈阳等地为例，采用谷电时段充电的办法使得谷电时段充电利用率达到提升 55%，电网调度平衡负荷率显著提高。配套出台“极端气候充电保障基金”，按照充电费 5% 的比例从其中提取费用投入寒区充电桩保温改造和高温区充电桩散热工作。

跨部门应急联动机制：成立由交通部、能源局、气象局、工业和信息化部共同负责的“极端气候电动汽车运营保障专班”，依托国家级数据共享平台（数据更新频率 $\leq 10\text{min}$ ），实时汇聚气象预报（精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，时效 72h）、电网负荷（分辨率 100kW）、车辆分布（定位精度 $\pm 5\text{m}$ ）等数据信息，于寒潮/高温预警发布后 4 小时内完成：一是能源部门启动充电站储能系统满荷运行；二是交通部门布设高速服务区移动充电车（单台服务能力 200 次/日）；三是车企远程开启受影响区域车辆电池预加热/冷却功能，“风险预判—资源调配—实时管控”全链条联动，极端气候下降低系统故障率 $\geq 60\%$ 。

4 结论与展望

研究表明，高低温环境下的电动汽车存在“机械性能退化—使用体验下降—交通系统耦合风险”传导规律，应当从车、设施、管三维多角度开展相应工作；利用电池热管理及能量优化技术提高极端条件下续航稳定性；加强充电设施温控及充电设施建设与网络布局、电力协调、双向充放电技术等改造；综合采取车路协同下交通流调控、不同区域间道路网间的调度、动态预警和应急支援措施；有利于降低极端天气运行风险、提高交通系统的整体效率。

按照车路云一体化技术的发展思路，对极端温度条件下两者共存的混行车道的交通流特性进行相关研究，并建立

气候—车型—道路的耦合模型，基于数字孪生思想提出区域充电网络的温度适应性规划方法实现投资与气候风险相匹配，同时利用基于碳交易的极端气候充电引导策略运用市场力量激励用户侧负荷调节；该工作有望为电动汽车在严苛气候条件下的推广提供相应的技术路线及运行模式，基于此应持续加强多领域的协同发展，从而更好地落实“双碳”背景下绿色交通建设。

参考文献：

- [1] 刘海峰,胡祥,郭成胜,等.低温环境下纯电动汽车电能特征分析[C]//第三十一届中国汽车工程学会年会论文集(四),2024.
- [2] 叶圣杰.考虑不同高低温环境需求的纯电动汽车集成热管理系

统研究[D].合肥:合肥工业大学,2023.

- [3] 李春明,赵宇,赵振宁.低温环境下的电动汽车性能影响研究[J].价值工程,2015,34(18):150-151.
- [4] 刘滨,欧阳,刘博鑫,等.浅析低温环境下纯电动汽车续驶里程缩减的因素[J].汽车工业研究,2022(1):43-47.
- [5] 侯满哲.张家口冬奥会电动汽车低温环境下的电池管理技术研究[Z].河北省,河北建筑工程学院,2019-11-27.

作者简介：张春伟（1987-），男，中国北京人，本科，中级工程师，从事汽车工程研究。