

新能源汽车高寒地区适应性试验与优化策略

姚路路 付阳 付航

东风汽车集团股份有限公司研发总院 湖北 武汉 430000

摘要: 高寒地区低温、冰雪等复杂环境严重制约新能源汽车性能与可靠性。通过环境模拟实验室测试、整车低温道路试验等多维度试验方法,系统研究发现动力电池性能衰退、动力与热管理系统效能降低、电子设备可靠性不足等问题。针对上述挑战,提出电池热管理系统优化、动力系统低温改进等适应性策略,有效提升新能源汽车在高寒地区的续航能力、动力性能与安全可靠性,为新能源汽车在极端环境下的推广应用提供技术支持。

关键词: 新能源汽车;高寒地区;适应性试验;优化策略

引言

随着新能源汽车产业快速发展,其在高寒地区的适应性问题日益凸显。低温环境不仅导致动力电池充放电效率下降、续航里程缩短,还影响动力系统与热管理系统正常运行,威胁电子设备与材料的可靠性。本文通过系统的高寒地区适应性试验,深入剖析新能源汽车在极端环境下的性能衰减机理,提出针对性优化策略,旨在突破新能源汽车在高寒地区的应用瓶颈,为提升产品低温环境适应性、拓展市场覆盖范围提供理论依据与实践指导。

1 高寒环境对新能源汽车的影响分析

1.1 动力电池性能显著衰退

在高寒环境中,新能源汽车的动力电池性能面临严峻挑战。低温使得电池内部的化学反应动力学过程显著减缓,电极材料的活性降低,致使电池的充放电效率大幅下降。以常见的锂离子电池为例,低温下锂离子在正负极之间的迁移速率变慢,这不仅延长了充电时间,还导致放电时可释放的电量减少,进而造成续航里程大幅缩水。相关测试数据表明,当环境温度降至-20℃时,部分新能源汽车的续航里程相较于常温状态可能减少40%-50%。低温会使电解液的黏度增加,离子传导能力变弱,电池内阻增大,进一步加剧了电池性能的衰退。这种内阻的增大还会导致电池在充放电过程中产生更多热量,影响电池的安全性与稳定性,长期处于高寒环境下甚至可能缩短电池的使用寿命。

1.2 动力系统与热管理系统效能下降

动力系统在高寒环境下也难以维持最佳工作状态。电动机的效率会因低温而降低,其输出功率和扭矩可能无法达到设计标准,导致车辆的加速性能、爬坡能力等受到影响,驾驶体验明显变差。例如,车辆在低温启动时,电动机可能需要更长时间才能达到正常工作转速,

起步迟缓。热管理系统对于维持动力电池和动力系统的适宜工作温度至关重要,但在高寒环境中,其效能大打折扣。第一,为了给电池和电机升温,热管理系统需要消耗更多能量,这无疑加重了整车的能耗负担;第二,极端低温可能超出热管理系统的设计调节范围,无法有效将电池和电机的温度维持在理想区间,进一步影响它们的性能与寿命。热管理系统中的冷却液在低温下可能出现流动性变差、结冰等问题,阻碍热量传递,导致热管理失效。

1.3 电子设备与材料可靠性降低

高寒环境对新能源汽车的电子设备和材料同样产生诸多不利影响。电子元件,如电池管理系统(BMS)、车载传感器、控制器等,在低温下可能出现性能漂移、响应迟缓甚至故障的情况。BMS若不能准确监测电池状态,会误导电池的充放电控制,严重时引发电池过充、过放等安全问题。车载传感器在低温下可能出现信号失真,影响车辆的智能驾驶辅助功能,如自适应巡航、自动泊车等的正常运行。在材料方面,低温会使汽车的塑料、橡胶等非金属材料变脆,降低其柔韧性和抗冲击性能,容易出现破裂、老化等现象。金属材料则可能因低温产生冷脆效应,导致机械强度下降,影响车身结构和关键零部件的可靠性,如车门、后备箱盖可能难以正常开启关闭,悬挂系统的减震效果变差,增加车辆行驶过程中的安全隐患。

2 新能源汽车高寒地区适应性试验方法

2.1 环境模拟实验室测试

环境模拟实验室测试通过构建可控的极端低温环境,对新能源汽车核心系统进行系统性性能验证。利用大型步入式高低温试验箱,可将温度精准调控至-40℃甚至更低,同时模拟高湿度、低气压等复合环境条件,以还原高寒地区多变的气候特征。试验过程中,对车辆的

动力系统、热管理系统、电子控制单元等关键部件进行实时监测,通过传感器采集电池电压、电机扭矩、冷却液温度等数百个参数,分析其在低温环境下的响应特性与稳定性。例如,针对电池组进行充放电循环测试,研究低温对电池容量、充放电效率及寿命的影响;对车载电子设备开展低温启动与持续运行试验,评估其抗冻性能与可靠性。通过红外热成像技术捕捉部件表面温度分布,识别潜在的散热不均或局部过热风险,为产品优化设计提供数据支撑^[1]。

2.2 整车低温道路试验

整车低温道路试验将新能源汽车置于真实的高寒地区道路环境中,全面检验车辆在实际工况下的综合性能。试验场地通常选择在极寒地带,如中国漠河、俄罗斯西伯利亚等高纬度区域,这些地区冬季平均气温低于 -30°C ,且存在冰雪覆盖、道路结冰等复杂路况。试验车辆需完成冷启动、怠速运行、加速减速、爬坡、制动等一系列典型驾驶操作,记录车辆在低温下的启动时间、动力响应延迟、制动距离延长等数据。通过车载数据记录仪采集车辆行驶过程中的实时数据,分析传动系统、转向系统、悬挂系统在低温环境下的动态特性变化。例如,观察轮胎在冰雪路面的抓地力衰减情况,测试电子稳定程序(ESP)在极端条件下的介入时机与控制效果。长时间的道路行驶试验还能暴露车辆密封性能缺陷,检测车门、车窗、充电接口等部位在低温下是否出现缝隙增大、密封性下降等问题,为整车防寒设计改进提供依据。

2.3 电池低温滥用测试

电池低温滥用测试聚焦于新能源汽车动力电池在超出正常使用范围的极端低温条件下的安全性与可靠性。通过设置 -30°C 至 -50°C 的超低温环境,对电池进行过充、过放、短路、挤压等滥用试验,监测电池在异常工况下的电压、电流、温度变化及热失控风险。在低温过充试验中,模拟用户在低温环境下误操作或充电设备故障导致的过充场景,研究电池内部化学反应的变化规律,分析电池隔膜穿孔、锂枝晶生长等潜在安全隐患。低温过放试验则考察电池在极端低温下过度放电时的容量恢复能力与结构稳定性。采用机械挤压与针刺试验,评估电池在低温下遭受外部物理冲击时的防爆性能,通过压力传感器与高速摄像机记录电池变形过程与内部热失控反应,验证电池安全防护结构在低温环境下的有效性,为电池安全标准制定与产品优化提供关键数据^[2]。

2.4 耐久性与老化试验

耐久性与老化试验通过长时间、高负荷的低温循环

运行,评估新能源汽车各系统在高寒环境下的长期性能衰减与老化规律。试验车辆需在低温实验室或真实高寒环境中,经历数千小时的连续运行,涵盖不同驾驶模式与工况循环。在低温耐久性测试中,对车辆动力总成进行高强度的启停循环试验,监测电机轴承磨损、减速器齿轮疲劳裂纹扩展等机械部件老化情况;对电池系统进行数百次低温充放电循环,分析电池容量衰减速率与内阻增长趋势,评估电池在高寒地区的使用寿命。利用盐雾试验模拟高寒地区道路除冰盐对车辆底盘、车身的腐蚀作用,结合振动试验模拟冰雪路面颠簸,加速车辆结构件与电子设备的老化进程。通过定期拆解检查与性能复测,获取车辆各部件的磨损数据与性能退化曲线,为制定合理的维护保养周期与产品使用寿命提供科学依据,确保新能源汽车在高寒地区长期稳定运行。

3 新能源汽车高寒地区适应性优化策略

3.1 电池热管理系统优化

(1) 在高寒环境下,锂离子电池的电解液黏度增加、离子迁移速率降低,致使电池充放电效率显著下降,续航里程大幅缩减。需构建主动式与被动式相结合的复合热管理系统。采用相变材料作为被动保温层,其在凝固过程中释放潜热,可为电池提供基础温度保障;集成液冷/液热循环管路,通过乙二醇水溶液的循环流动,精准调控电池模组温度,确保其工作温度维持在 15°C - 35°C 的高效区间。(2) 引入热泵技术可有效提升电池热管理系统能效。热泵能够从环境空气中汲取热量,经压缩升温后传递至电池包,相较于传统电阻加热方式,制热效率提升3倍以上。结合智能温控算法,依据电池SOC(荷电状态)、温度梯度等参数实时调整热泵功率,实现热能的按需供给,减少能耗浪费。(3) 针对极端低温工况,开发余热回收利用机制。将驱动电机、电控系统在运行过程中产生的废热,通过热交换器传递至电池系统,既能降低部件温升压力,又能为电池预热,形成能量闭环。采用多层真空绝热材料包裹电池包,配合纳米气凝胶隔热垫,最大限度减少热量散失,保障电池在 -30°C 环境下仍能保持稳定性能。

3.2 动力系统低温适应性改进

(1) 电动机在低温环境下存在磁钢性能衰退、润滑油脂黏度增加等问题,导致输出功率下降、效率降低。优化电机设计时,采用耐低温永磁材料,提升磁钢在低温下的剩磁密度和矫顽力;选用低温流动性优异的润滑脂,降低轴承与转子间的擦阻力,确保电机在 -40°C 环境下仍能保持90%以上的额定功率输出。(2) 变速器的低温适应性改造聚焦于齿轮油性能提升与结构优化。研发低黏度、高黏

温指数的专用齿轮油,其在低温下仍能保持良好的流动性和润滑性能,减少换挡阻力;对变速器壳体进行加强筋设计,增强结构刚性,防止低温脆化;采用预加热技术,通过电加热丝对齿轮油进行预热,缩短车辆冷启动后的动力响应时间。(3)优化动力系统的标定策略,针对低温工况重新匹配电机扭矩-转速曲线与变速器换挡逻辑,使动力输出与低温环境下的车辆运行需求更适配。在冷启动阶段,采用柔性扭矩输出策略,避免因瞬间大扭矩需求导致电池过放电;根据环境温度实时调整能量回收强度,在保证制动安全的前提下,最大化能量回收效率,从而提升车辆在高寒地区的续航能力^[3]。

3.3 电子设备与材料防护升级

(1)电子控制单元(ECU)在低温环境下易出现电路板焊点脆化、电容性能漂移等问题。对ECU进行灌封处理,选用耐低温环氧树脂胶填充电路板缝隙,隔绝水汽侵入并增强机械稳定性;采用宽温域电子元器件,如工作温度范围达-55℃-125℃的钽电容、贴片电阻等,确保电子设备在极端环境下正常运行。(2)线束作为车辆电气系统的关键连接部件,需进行低温性能强化。采用耐低温PVC绝缘材料包裹导线,其在-40℃时仍能保持良好的柔韧性,防止外皮脆裂;优化端子压接工艺,增加镀金层厚度,提升接触可靠性,避免因低温氧化导致的接触电阻增大问题。对线束进行冗余设计,关键信号线路采用双路备份,提高系统容错能力。(3)内饰与外饰材料同样面临低温考验。选用热塑性弹性体(TPE)替代传统硬质塑料,其在低温下仍具有良好的抗冲击性能;对橡胶密封条进行配方改良,添加耐寒增塑剂,降低玻璃升降器、车门密封胶条的硬化程度,提升整车密封性和NVH性能。采用表面镀膜技术增强车漆的抗冻融能力,防止漆面开裂剥落。

3.4 智能能量管理系统应用

(1)构建基于多传感器融合的智能能量管理系统,实时采集电池温度、SOC、环境温湿度、车辆行驶工况等数据。通过深度学习算法对数据进行分析预测,建立

能量消耗模型,提前规划能量分配策略。例如,在车辆即将驶入低温区域时,自动启动电池预热程序,避免因温度骤降影响电池性能。(2)优化能量回收策略,基于车辆动力学模型和驾驶员意图识别技术,实现制动能量回收的动态调节。在低温湿滑路面,降低能量回收强度,优先保障制动安全;在长下坡路段,结合地形数据智能调整回收功率,将多余动能高效转化为电能存储。通过模糊控制算法协调电池充电电流与电压,防止过充过放,延长电池使用寿命。(3)引入车网互动(V2G)技术,在车辆停泊期间,利用低谷电价时段为电池充电,并在电网负荷高峰时反向放电获取收益。智能能量管理系统根据电池健康状态、电网电价波动和用户出行计划,自动决策充放电策略,实现能源的高效利用和经济效益最大化。通过OTA远程升级功能,持续优化能量管理算法,提升车辆在不同工况下的能源管理水平^[4]。

结语

综上所述,新能源汽车高寒地区适应性研究对推动行业发展具有重要意义。通过科学试验揭示了低温环境对新能源汽车关键系统的影响规律,所提出的优化策略显著提升了车辆在高寒地区的使用性能与可靠性。然而,极端环境下新能源汽车技术仍面临诸多挑战,未来需进一步深化跨学科研究,探索新材料、新技术应用,持续优化高寒适应性解决方案,助力新能源汽车产业实现更广泛的地域覆盖与技术突破。

参考文献

- [1]胡国春.新能源和智能化汽车低温环境适应性试验开发与验证[J].汽车知识,2023,23(3):118-120.
- [2]何俊南,张广秀,李广友,等.新能源汽车高寒环境可靠性行驶试验研究[J].汽车实用技术,2024,49(21):13-17,44.
- [3]冯永超.新能源汽车安全性能评估与优化策略[J].汽车维修技师,2025(6):129-130.
- [4]汪茵.新能源汽车永磁同步电机无传感器的控制策略优化[J].专用汽车,2025(3):108-110.