

纯电动汽车低电导率防冻液配方研发

喻志刚

南昌南铃新材料科技有限公司 江西南昌 330000

【摘要】随着纯电动汽车产业的迅速发展,其热管理系统对防冻液的性能提出了更高要求。低电导率防冻液作为保障电池及电气系统安全稳定运行的关键介质,成为研究热点。本文通过对基础液、缓蚀剂、pH调节剂、消泡剂等成分的筛选与优化,研发出一种适用于纯电动汽车的低电导率防冻液配方。实验结果表明,该配方防冻液在电导率、抗腐蚀性能、低温流动性等方面表现优异,能够满足纯电动汽车在复杂工况下的使用需求,为提升纯电动汽车热管理系统性能提供了有效解决方案。

【关键词】纯电动汽车;低电导率;防冻液;配方研发

Research on Low-Conductivity Antifreeze Formulation for Pure Electric Vehicles by
Yu Zhigang

Nanchang Nanling New Material Technology Co., Ltd. Jiangxi Province 330000

【Abstract】 With the rapid development of the pure electric vehicle industry, thermal management systems have raised higher requirements for antifreeze performance. As a critical medium ensuring the safe and stable operation of batteries and electrical systems, low-conductivity antifreeze has become a research hotspot. This paper develops a low-conductivity antifreeze formulation for pure electric vehicles through the screening and optimization of components including base fluid, corrosion inhibitors, pH regulators, and defoamers. Experimental results demonstrate that the formulated antifreeze exhibits excellent performance in conductivity, corrosion resistance, and low-temperature fluidity, meeting the operational demands of pure electric vehicles under complex conditions. This provides an effective solution for enhancing the thermal management system performance of pure electric vehicles.

【Key words】 pure electric vehicle; low electrical conductivity; antifreeze; formulation research and development

一、引言

纯电动汽车以其环保、高效等优势,逐渐成为汽车产业发展的主流方向。在纯电动汽车的运行过程中,电池、电机及电控系统等关键部件会产生大量热量,若不能及时有效地散热,将严重影响车辆性能、安全性及部件使用寿命。防冻液作为热管理系统的重要组成部分,不仅需要具备良好的散热性能,还需满足低电导率、高抗腐蚀等特殊要求。传统防冻液因电导率较高,在冷却液泄漏时易引发电气短路等安全问题,无法满足纯电动汽车的安全需求。因此,研发一种低电导率且性能优良的防冻液对于纯电动汽车的发展具有重要意义。

二、低电导率防冻液的性能要求

2.1 电导率的重要性

电导率是衡量防冻液电气绝缘性能的关键指标。在纯电

动汽车中,尤其是那些采用高电压平台的车型,对防冻液的电导率要求更为严格。这是因为防冻液的电导率直接关系到车辆的安全性能。如果防冻液的电导率过高,一旦发生泄漏,就有可能引发电气短路,从而导致严重的安全事故。因此,为了降低这种风险,纯电动汽车所使用的防冻液,其电导率需要控制在尽可能低的水平。一般来说,纯电动汽车用防冻液的电导率需控制在 $100\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下,以确保安全。而一些高端的纯电动汽车,甚至要求防冻液的电导率低于 $50\mu\text{S}/\text{cm}$, 以提供更高的安全保障。

2.2 抗腐蚀性能的重要性

在纯电动汽车的热管理系统中,包含有多种金属材料,如铝、铜、铁等。这些金属材料在长期的使用过程中,容易受到腐蚀的影响。因此,防冻液需要对这些金属具有良好的抗腐蚀保护作用。这是通过在防冻液中添加合适的缓蚀剂来实现的。缓蚀剂可以在金属表面形成一层致密的保护膜,这层保护膜可以有效地阻止金属与外界环境发生化学反应,从而防止金属腐蚀。抗腐蚀性能的好坏,直接影响到热管理系

统的使用寿命和可靠性。如果防冻液的抗腐蚀性能不佳，那么热管理系统中的金属材料就容易被腐蚀，从而导致系统故障，甚至影响整车的正常运行。

2.3 低温流动性的重要性

在寒冷地区，纯电动汽车需要在低温环境下正常启动和运行。这对防冻液的性能提出了更高的要求。防冻液需要具备良好的低温流动性，以确保在低温条件下，能够顺利地循环，实现有效的散热。这是通过调整基础液成分及添加剂配方来实现的。通过降低防冻液的冰点，提高其低温流动性，可以确保防冻液在寒冷的环境下，依然能够正常工作，保证车辆的正常运行。

2.4 热稳定性的重要性

在车辆运行过程中，防冻液会经历高温环境。这对防冻液的热稳定性提出了挑战。防冻液需要具有良好的热稳定性，在高温下不易分解、变质，能够保持其性能的稳定性。如果防冻液的热稳定性差，那么在高温下，防冻液可能会产生沉淀、结垢等问题，这些问题会影响散热效果，甚至影响系统的正常运行。因此，防冻液的热稳定性，是保证车辆正常运行的重要性能指标。

三、低电导率防冻液配方设计

3.1 基础液选择

基础液是防冻液的主要成分，对其性能起着决定性作用。目前，常用的防冻液基础液有乙二醇、丙二醇等。乙二醇具有较高的沸点和较低的冰点，且价格相对较低，但其有一定毒性；丙二醇毒性较低，安全性好，但成本较高，多用于环保型高端产品。考虑到纯电动汽车对环保和安全及低成本要求，本研究选用乙二醇作为基础液。为进一步降低电导率，对乙二醇进行深度纯化处理，采用离子交换树脂、反渗透膜等技术去除其中的杂质离子，使处理后的乙二醇电导率降至 $0.2 \mu\text{S/cm}$ 以下。

3.2 缓蚀剂添加

缓蚀剂是提高防冻液抗腐蚀性能的关键添加剂。针对热管理系统中的多种金属材料，选用复合缓蚀剂体系。其中，醇醚对铝合金具有良好的缓蚀效果，苯并三氮唑对铜及铜合金有特效，硅氧烷类化合物可在铁金属表面形成保护膜。通过优化各缓蚀剂的配比，使复合缓蚀剂在极低电导率的基础液中仍能发挥高效的抗腐蚀作用。实验结果表明，当硅氧烷、苯并三氮唑和醇醚类化合物的质量比为 5:1:2 时，防冻液对铝、铜、铁等金属的腐蚀速率均低于 0.05mm/年 ，满足纯电动汽车热管理系统的抗腐蚀要求。

3.3 pH 调节剂的使用

在纯电动汽车的运行过程中，防冻液的 pH 值对于维持其稳定性和抗腐蚀性能具有至关重要的作用。由于各种化学反应的发生，防冻液的 pH 值可能会发生变化，因此需要添加适量的 pH 调节剂来保持其稳定。在选择 pH 调节剂时，我们通常会选择有机胺类缓冲剂，这种缓冲剂能够将防冻液的 pH 值控制在 7.5 - 9.0 的弱碱性范围内。在这个 pH 值区间内，缓蚀剂的作用效果最佳，能够有效地防止酸性物质对金属的侵蚀，从而保护汽车发动机和其他金属部件不受腐蚀。

3.4 消泡剂的添加

在防冻液的循环过程中，由于泵的作用以及管路中的压力变化，很容易产生气泡。这些气泡的存在会严重影响防冻液的传热效率，甚至可能导致气蚀现象，从而损坏系统的部件。因此，添加适量的消泡剂是至关重要的。我们通常会选择聚醚类消泡剂，这种消泡剂具有良好的消泡性能和持久性。添加量控制在 0.01% - 0.05% 之间，能够有效地消除循环过程中产生的气泡，保证防冻液的正常循环和散热效果，从而确保纯电动汽车的正常运行。

四、配方优化与实验验证

4.1 实验设计

采用正交实验设计方法，对基础液浓度、缓蚀剂配比、pH 调节剂用量、消泡剂用量等因素进行优化。以电导率、抗腐蚀性能、低温流动性和热稳定性为评价指标，设计多组实验方案，每组实验重复三次，取平均值以提高实验结果的准确性。

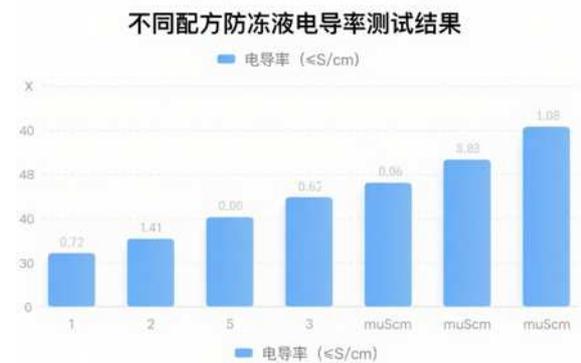


图 1 不同配方防冻液电导率测试结果图

4.2 实验结果与分析

4.2.1 电导率测试

通过电导率仪对不同配方的防冻液进行电导率测试。结果表明，随着基础液丙二醇纯度的提高和添加剂中离子性物

质含量的降低,防冻液的电导率显著下降。在优化配方下,防冻液的电导率稳定在 $30\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右,远低于纯电动汽车对电导率的要求(图1)。

4.2.2 抗腐蚀性能测试

采用全浸腐蚀实验法,将铝、铜、铁等金属试片分别浸泡在不同配方的防冻液中,在一定温度下保持一定时间后,测量金属试片的腐蚀失重,计算腐蚀速率。实验结果显示,优化后的复合缓蚀剂体系能有效抑制金属腐蚀,各金属试片的腐蚀速率均在允许范围内,且明显低于未添加缓蚀剂或缓蚀剂配比不合理的对照组(图2)。



图2 不同金属在优化配方防冻液中的腐蚀速率对比图

4.2.3 低温流动性测试

为了全面评估防冻液的低温流动性,我们进行了详尽的实验研究。实验的核心内容是通过精确测定防冻液的冰点,以及在多种不同低温环境下的运动粘度,来综合评价其低温流动性。实验过程中,我们采用了先进的测试设备和技术,确保了实验数据的准确性和可靠性。

实验结果表明,通过精心调整基础液浓度和添加剂配方,我们成功优化了防冻液的性能。优化后的防冻液冰点可低至 -40°C ,这一指标远低于一般防冻液的标准,显示出其在极端低温环境下的优越性能。此外,在 -30°C 的低温条件下,优化后的防冻液运动粘度小于 $100\text{mm}^2/\text{s}$,这一数据也远优于一般防冻液,表明其在低温环境下的流动性极佳。

参考文献

- [1]张震.电液混合动力汽车能量管理策略研究[D].青岛大学,2024.DOI: 10.27262/d.cnki.gqda.2024.002117.
- [2]张泽.纯电动汽车双离合变速器液压系统设计与应用研究[D].河北工业大学,2022.DOI: 10.27105/d.cnki.ghbgu.2022.000966.
- [3]李静,何家志,廖兰,等.浅析新能源纯电动汽车用冷却液[J].中国汽车,2022,(03): 19-23+35.
- [4]王铭伟.新能源汽车驱动电机控制器硬件设计研究[D].合肥工业大学,2021.DOI: 10.27101/d.cnki.ghfgu.2021.001986.

这样的低温流动性表现,使得优化后的防冻液能够满足寒冷地区纯电动汽车的使用需求。在寒冷的冬季,纯电动汽车的运行对防冻液的低温流动性提出了更高的要求,而我们的优化防冻液完全能够胜任这一挑战。

4.2.4 热稳定性测试

为了进一步验证优化后防冻液的热稳定性,我们进行了高温环境下的稳定性测试。实验中,我们将防冻液置于 120°C 的高温环境中,保持一定时间,然后观察其外观变化,并检测其电导率、pH值、腐蚀性能等指标的变化情况。

实验结果显示,优化后的防冻液在高温环境下表现出优异的热稳定性。在高温保持过程中,防冻液未出现分层、沉淀等现象,其外观保持清澈透明。同时,其电导率、pH值、腐蚀性能等指标的变化较小,均在可接受范围内,表明其在高温环境下的性能稳定。

这样的热稳定性表现,使得优化后的防冻液能够在高温环境下保持良好的性能,满足纯电动汽车在高温环境下的使用需求。无论是在寒冷的冬季还是炎热的夏季,我们的优化防冻液都能够为纯电动汽车提供可靠的保障。

五、结论

通过对基础液、缓蚀剂、pH调节剂、消泡剂等成分的精心筛选与优化,成功研发出一种适用于纯电动汽车的低电导率防冻液配方。该配方防冻液在电导率、抗腐蚀性能、低温流动性和热稳定性等方面均表现优异,能够有效满足纯电动汽车热管理系统的严格要求。经实验验证,该低电导率防冻液的电导率可稳定控制在 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右,对多种金属的腐蚀速率低于 $0.05\text{mm}/\text{年}$,冰点可达 -40°C ,在高温下性能稳定。本研究成果为纯电动汽车低电导率防冻液的开发提供了一种可行的方案,有望推动纯电动汽车热管理技术的进一步发展。未来,随着纯电动汽车技术的不断进步,对防冻液性能的要求将更加苛刻,需进一步深入研究,不断优化配方,以满足行业发展的需求。