

燃料电池汽车热管理系统设计与能量利用效率提升

刘传跃

国能邳州生物发电有限公司 江苏徐州

【摘要】随着环保需求增长，燃料电池汽车兴起。热管理系统对其性能、寿命至关重要。涵盖冷却、加热、保温等多环节，关乎电池、电机等部件稳定运行。通过优化部件布局、智能调控策略、选用新型材料，提升能量利用效率，增强整车动力性与经济性，助力产业发展。

【关键词】燃料电池汽车；热管理系统；能量利用；部件布局；智能调控

【收稿日期】2025 年 3 月 5 日

【出刊日期】2025 年 4 月 6 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250168

Design of thermal management system and improvement of energy utilization efficiency of fuel cell vehicles

Chuan Yue Liu

Guoneng Pizhou Biological Power Generation Co., Ltd, Xuzhou, Jiangsu

【Abstract】As environmental protection needs grow, fuel cell vehicles are on the rise. Thermal management systems are crucial for their performance and longevity. They cover multiple aspects such as cooling, heating, and insulation, ensuring the stable operation of components like batteries and motors. By optimizing component layout, implementing intelligent control strategies, and selecting new materials, energy utilization efficiency can be improved, enhancing both the vehicle's power performance and economic viability, thus supporting industry development.

【Keywords】Fuel cell vehicle; Thermal management system; Energy utilization; Component layout; Intelligent control

引言

当今世界，环境问题严峻，传统燃油车面临淘汰。燃料电池汽车零排放、高效率优势突显，成为发展热点。然而其热管理系统影响续航、寿命。不同工况下，精准控温、高效用能挑战重重，亟需优化设计提升性能，推动产业前行。

1 剖析热管理关键需求

在燃料电池汽车的复杂系统中，热管理堪称保障车辆性能与稳定运行的核心环节。燃料电池作为车辆动力的关键来源，其内部的电堆等核心部件对工作温度有着极为严苛的要求^[1]。它们适宜的工作温区相当狭窄，温度稍有偏差，便会引发一系列严重问题。当处于低温环境时，燃料电池的启动过程会遭受重重阻碍，启动时间大幅延长，甚至可能无法正常启动。在寒冷的冬季，当环境温度低于零下 10 摄氏度时，部分燃料电池汽车的启动时长会从常温下的数秒增加至数分钟，功率输出也会降低 30% - 50%。而一旦温度过高，燃料

电池的性能则会迅速衰退。过高的温度会加速电堆中催化剂的老化，降低电极反应效率，使得燃料电池的输出电压和功率持续下降，严重影响其使用寿命与工作可靠性。

不仅燃料电池部件如此，电机与电控系统同样对温度变化极为敏感。电机在运行过程中会产生大量热量，如果不能及时有效地散发出去，电机绕组的电阻会增大，导致铜耗增加，进而降低电机的效率与输出功率^[2]。长期处于高温环境下，还会加速电机绝缘材料的老化，缩短电机的使用寿命，甚至引发短路等故障。电控系统作为车辆动力控制的“大脑”，其内部的电子元件对温度稳定性要求极高。温度的波动可能会导致电子元件的参数发生漂移，影响控制信号的准确性与稳定性，进而干扰整个车辆的动力控制与运行安全。

鉴于上述情况，燃料电池汽车的热管理系统面临着艰巨的任务。它必须协同各个部件的散热与加热需求，无论是在炎炎夏日车辆持续高速行驶导致部件温

作者简介：刘传跃（1975-）男，汉，安徽淮南，技师，大专，研究方向为热能动力。

度飙升，还是在寒冬时节车辆启动时需要快速提升部件温度，热管理系统都要精准应对。并且，车辆在实际运行中会遭遇各种复杂工况，如频繁启停、急加速急减速、长时间爬坡等，这些工况下部件的产热特性与温度需求各不相同。热管理系统需要具备高度的灵活性与智能性，能够实时感知各部件的温度状态，动态调整散热与加热策略，从而为燃料电池、电机、电控等部件营造适宜的工作环境，确保车辆在各种复杂条件下都能稳定、高效地运行。

2 优化系统设计架构

在燃料电池汽车热管理系统的优化进程中，合理布局冷却管道是一项极具基础性且关键的工作。传统的冷却管道布局常常存在流路过长、弯折过多的问题，这无疑大大增加了冷却液在管道内流动时的阻力。冷却液需要耗费更多的能量来克服这些阻力，导致其流速减缓，从而严重影响了换热效率^[3]。为了解决这一问题，工程师们致力于通过精确的流体力学模拟与实地测试，精心规划冷却管道的走向。尽可能缩短流路，减少不必要的弯折与迂回，使冷却液能够顺畅、高效地在管道内循环流动。采用直线型或接近直线型的管道布局，同时对管道的管径进行合理优化，确保冷却液在不同工况下都能保持最佳的流速与流量，从而显著提升其换热效率，为燃料电池的稳定运行提供可靠的散热保障。

采用集成式热交换器是提升热管理系统效能的又一重要举措。以往分散式的热交换器占用空间大，且各热源之间的热量转移效率较低。集成式热交换器凭借其紧凑的结构设计，能够将多个热源的热量集中进行高效转移。它巧妙地将不同温度、不同性质的热源与冷源进行整合，通过精心设计的内部流道与换热表面，实现热量在不同介质之间的快速传递与交换^[4]。以燃料电池堆产生的废热与电机系统产生的热量为例，集成式热交换器可以同时收集这两种热源的热量，并将其合理分配给需要预热的部件，如电池组或车内暖风系统。这种一体化的设计不仅极大地节省了空间，还提高了热量的综合利用效率，使整个热管理系统的结构更加紧凑、运行更加高效。

在应对燃料电池汽车复杂多变的运行工况时，引入相变材料蓄热技术具有重要意义。燃料电池在启动、加速、爬坡等极端工况下，产热速率会发生剧烈变化，容易导致系统温度出现大幅波动。相变材料具有独特的热物理性质，在温度变化过程中，能够通过相变吸收或释放大量的热量，从而平抑系统的温度波动。当燃料

电池系统产热过多时，相变材料吸收热量并发生相变，将多余的热量储存起来；而当系统处于低温工况或产热不足时，相变材料则释放储存的热量，为系统补充热能。在寒冷的冬季，车辆启动初期，相变材料释放的热量可以快速提升燃料电池的工作温度，使其尽快达到最佳工作状态，同时也为车内供暖提供了一定的热量支持。

3 创新智能调控策略

在燃料电池汽车热管理系统里，创新智能调控策略的落地实施是提升系统性能的关键所在。这一策略以先进的传感器技术为依托，能够对系统中的温度、流量等关键参数展开实时且精准的监测^[5]。以车辆的核心组件为重点，在燃料电池堆、电机及其控制器、电池组等各个关键部位，均密集部署了高精度传感器。这些传感器如同敏锐的“触角”，能够全方位、无死角地捕捉系统运行状态信息，无论系统运行时的细微温度波动，还是流量的瞬间变化，都能精准感知。传感器收集到的大量数据，会以毫秒级的速度实时传输至中央控制单元，为后续的智能决策筑牢坚实的数据根基，从而为系统的高效稳定运行提供有力保障。

中央控制单元接收到传感器数据后，会立即启动精心搭建的智能算法模型。该模型融合了多种先进的算法，如模糊逻辑控制算法、神经网络算法等，能够对复杂多变的数据进行深度分析与处理^[6]。模型会依据输入的温度、流量等参数，精确计算出当前工况下泵、阀的最佳开闭程度。当燃料电池堆温度升高时，模型会快速计算并发出指令，动态调整冷却液泵的转速，加大冷却液流量，同时精准控制各个阀门的开度，实现冷却液在系统内的精准分配，使冷却液能够优先流向温度较高的区域，高效地带走多余热量。这种精准的调控能够有效避免冷却液的浪费，大幅提升热管理系统的能源利用效率。

在不同车速、负载的复杂工况下，热管理系统面临着更为严峻的挑战。而创新智能调控策略能够实现加热、冷却模式的自动、无缝切换。当车辆处于低速行驶或怠速状态时，燃料电池堆产热相对较少，系统会自动切换至加热模式，利用少量的电能或回收的余热对燃料电池堆进行适当加热，维持其最佳工作温度。一旦车辆进入高速行驶或爬坡等大负载工况，燃料电池堆产热急剧增加，系统则迅速切换至冷却模式，启动大功率冷却风扇、加大冷却液流量，全力保障燃料电池堆处于最佳温度区间。这种智能化的模式切换能够确保热管理系统在各种工况下都能高效响应，为燃料电池汽车

的稳定运行和性能发挥提供有力保障,从而使整个系统始终维持在最佳温度区间,实现能量利用效率的最大化。

4 甄选高效散热材料

在燃料电池汽车热管理系统中,散热材料的性能对系统的整体效能起着至关重要的作用。为了实现更高效的散热,科研人员和工程师们不断探索新型材料,其中新型导热硅胶便是极具潜力的选择之一。传统的导热硅胶在界面传热方面存在一定局限,难以充分填补部件之间的微小缝隙,导致热量传递受阻。而新型导热硅胶通过对配方和工艺的优化,极大地强化了界面传热能力。其独特的分子结构使其能够紧密贴合部件表面,有效填补缝隙,减少热阻^[7]。当燃料电池工作产生热量时,新型导热硅胶能够迅速将热量传递到散热部件,确保各部件在适宜的温度范围内稳定运行,为能量高效利用奠定坚实基础。

碳纤维复合材料在热交换器领域的应用也是提升散热效率的关键举措。热交换器作为热管理系统的核心部件,需要在保证高效散热的同时尽可能减轻自身重量,以降低车辆的整体能耗。碳纤维复合材料凭借其出色的特性脱颖而出,它不仅具有轻质的特点,能够显著降低热交换器的重量,进而减轻整车负担,还具备优异的导热性能。与传统材料相比,碳纤维复合材料制成的热交换器能够更快速地将热量传递出去,提高热交换效率^[8]。在车辆行驶过程中,热交换器能够高效地将燃料电池产生的多余热量散发到外界,维持系统的热平衡,保障燃料电池持续稳定地输出能量,助力车辆实现更高的能量利用效率。

纳米流体冷却液的研发与应用为热管理系统带来了新的突破。普通冷却液的热导率有限,在快速传递热量方面存在不足。纳米流体冷却液则通过在基础冷却液中添加纳米级的粒子,如纳米铜、纳米氧化铝等,大幅增强了热导率。这些纳米粒子均匀分散在冷却液中,形成稳定的悬浮液,极大地提高了冷却液的传热能力。当纳米流体冷却液在热管理系统的管路中循环流动时,能够迅速吸收燃料电池及其他发热部件的热量,并快速将热量传递到散热器进行散发。这种高效的热量传递方式全方位降低了系统的热阻,使得燃料电池汽车

在运行过程中能够更高效地管理热量,减少能量因过热而损耗,从而有力地推动能量的高效利用,提升燃料电池汽车的整体性能和续航里程。

5 结语

燃料电池汽车热管理系统持续革新,将为新能源汽车注入强大动力。未来,随着材料科学、人工智能深度融合,热管理系统会更加智能精准。有望进一步拓展燃料电池汽车适用场景,提升续航里程,降低成本,实现大规模普及,引领绿色出行新时代,让城市交通更环保、高效。

参考文献

- [1] 周文龙.纯电动汽车电池热管理系统优化设计及应用分析[J].时代汽车,2025,(08):100-102.
- [2] 周全,王汝金,张秀平,等.新能源汽车热管理系统用电动空调压缩机国家标准修订要点解析[J].制冷与空调,2025,25(03):75-79.
- [3] 杜常清,孙嘉豪,李文浩,等.纯电动汽车热管理系统集成设计及多级模糊控制策略研究[J].汽车技术,2025,(02):17-25.
- [4] 陈莹.智能网联汽车热管理系统的远程监控与诊断[J].汽车维修技师,2025,(06):75-76.
- [5] 刘洪民,温嘉怡,伏佑,等.纯电动汽车热管理系统及控制方法研究[J].专用汽车,2025,(03):39-41.
- [6] 牛家骅.新能源汽车热管理系统故障诊断与优化维修方案[J].专用汽车,2025,(03):105-107.
- [7] 王宁波,郭焱华,田博,等.基于电动汽车电池包散热性能提升的风-液混合冷却热管理系统研究[J].制冷与空调,2025,25(02):92-98.
- [8] 杨晴霞,卢威威,邹忠月,等.电动汽车热管理系统集成模块设计与优化[J].低温与超导,2025,53(02):72-78.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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

