

新能源汽车热管理系统设计与能效优化

孙思运 郭晨 王庚

西安智德汽车电子控制系统有限公司 陕西 西安 710065

摘要: 本文聚焦于新能源汽车热管理系统设计与能效优化这一关键议题。首先阐述了新能源汽车热管理系统的重要性,指出其对于保障电池性能、提升乘员舒适性以及整车能效的关键作用。接着深入分析了当前新能源汽车热管理系统在设计方面面临的挑战,包括电池热管理、机电电控热管理以及乘员舱热管理的复杂需求和相互耦合问题。然后详细探讨了热管理系统的设计策略,涵盖系统架构设计、关键部件选型与布局等方面。在此基础上,着重论述了能效优化的方法,如智能控制策略、余热回收利用以及热泵技术的应用等。旨在为新能源汽车热管理系统的进一步发展提供理论支持和实践指导。

关键词: 新能源汽车;热管理系统设计;能效优化;智能控制;余热回收

1 引言

全球对环保和能源可持续发展关注度提升,新能源汽车迎来发展机遇。它以清洁能源为动力,有零低排放、能源效率高等优势。但其核心部件对工作温度要求严格,过高或过低会影响性能、寿命和安全性;乘员舱舒适性也与热管理密切相关。热管理系统是新能源汽车关键子系统,能调节控制电池等部件及乘员舱温度,提高能源利用率、降低能耗。所以,设计高效可靠的热管理系统并优化能效,对提升新能源汽车性能、续航和市场竞争意义意义重大。

2 新能源汽车热管理系统设计面临的挑战

2.1 电池热管理的复杂性

新能源汽车电池组通常由多个单体电池组成,电池组内部温度分布不均匀是一个普遍存在的问题。由于电池单体之间的散热条件不同,在充放电过程中,部分单体电池可能会产生较多的热量,导致温度升高较快,而其他单体电池温度相对较低。这种温度不均匀性会影响电池组的一致性和整体性能,降低电池组的使用寿命。此外,电池的热管理还需要考虑不同工况下的温度变化,如快充、高负荷运行等,这些工况下电池会产生大量的热量,对热管理系统的散热能力提出了更高的要求。

2.2 机电电控热管理与电池热管理的耦合

电机和电控系统在工作过程中产生的热量不仅会影响自身的性能和效率,还会对电池的温度产生影响。例如,在高温环境下,电机和电控系统的散热需求增加,如果热管理系统不能及时将热量散发出去,可能会导致周围环境温度升高,进而影响电池的散热效果,使电池温度升高。反之,电池的温度变化也会影响机电电控系统的工作环境^[1]。因此,在设计热管理系统时,需要考虑

机电电控热管理与电池热管理之间的耦合关系,实现两者的协同控制。

2.3 乘员舱热管理与动力系统热管理的平衡

乘员舱热管理和动力系统热管理对温度的要求不同,且两者的热负荷变化规律也存在差异。在冬季,乘员舱需要加热,而动力系统产生的余热可以为乘员舱提供部分热量;但在夏季,乘员舱需要制冷,而动力系统的散热需求也会增加。如何在这两种热管理需求之间实现平衡,合理分配和利用热量,是热管理系统设计面临的一个挑战。此外,不同地区的气候条件差异较大,热管理系统需要具备良好的适应性和灵活性,以满足不同地区的使用需求。

2.4 空间和重量的限制

新能源汽车对空间和重量有严格的要求,热管理系统的设计和布局需要充分考虑这些限制。热管理系统中的关键部件,如散热器、蒸发器、冷凝器、水泵、风扇等,都需要占用一定的空间,并且会增加整车的重量。过大的空间占用和重量增加会影响新能源汽车的续航里程和动力性能。因此,在设计热管理系统时,需要优化部件的选型和布局,采用轻量化的材料和紧凑的结构设计,以减少空间占用和重量。

3 新能源汽车热管理系统设计策略

3.1 系统架构设计

新能源汽车热管理系统的架构设计应根据整车的性能要求和使用工况进行合理选择。常见的热管理系统架构包括分散式架构和集中式架构。

分散式架构是将电池热管理系统、机电电控热管理系统和乘员舱热管理系统分别独立设计,每个系统都有自己的制冷/制热循环和散热部件。这种架构的优点是系

统设计相对简单,各子系统之间的耦合性较小,便于独立控制和维护。但缺点是系统之间缺乏热量共享和协同控制,能源利用效率较低,且占用空间较大。

集中式架构则是将电池、机电电控和乘员舱的热管理集成在一个统一的系统中,通过共享制冷/制热循环和散热部件,实现热量的综合管理和优化利用。这种架构可以提高能源利用效率,减少系统占用空间和重量,但系统设计复杂,控制难度较大。

在实际设计中,可以根据新能源汽车的类型、性能要求和使用工况等因素,选择合适的系统架构。例如,对于纯电动乘用车,由于其空间和重量限制较为严格,且对能源利用效率要求较高,可以采用集中式架构;而对于混合动力商用车,由于其动力系统较为复杂,各子系统的热管理需求差异较大,可以采用分散式架构或分散式与集中式相结合的混合架构。

3.2 关键部件选型与布局

3.2.1 散热器:散热器是热管理系统中的关键散热部件,其性能直接影响热管理系统的散热效果。在选择散热器时,需要考虑其散热面积、散热效率、风阻等因素^[2]。同时,为了减少空间占用和重量,可以采用新型的散热器材料和结构,如铝制散热器、微通道散热器等。在布局方面,应将散热器安装在通风良好的位置,以提高散热效率。

3.2.2 蒸发器和冷凝器:蒸发器和冷凝器是空调系统的核心部件,其性能对空调系统的制冷/制热效果有重要影响。在选择蒸发器和冷凝器时,需要考虑其换热面积、换热效率、压力损失等因素。同时,为了提高能源利用效率,可以采用变排量压缩机、电子膨胀阀等先进的控制部件,实现对蒸发器和冷凝器换热量的精确控制。在布局方面,应合理安排蒸发器和冷凝器的位置,以减少制冷剂管道的长度和压力损失。

3.2.3 水泵和风扇:水泵和风扇是热管理系统中的动力部件,其作用是推动冷却液和空气的流动,实现热量的传递和散发。在选择水泵和风扇时,需要考虑其流量、扬程、功率等因素。同时,为了降低能耗,可以采用变频水泵和电子风扇,根据热管理系统的实际需求实时调整水泵和风扇的转速。在布局方面,应将水泵和风扇安装在合适的位置,以确保冷却液和空气的流动顺畅。

3.2.4 电池冷却板:电池冷却板是电池热管理系统中的重要部件,其作用是将电池产生的热量传递给冷却液,实现电池的冷却。在选择电池冷却板时,需要考虑其换热面积、换热效率、流阻等因素。同时,为了提高电池冷却的均匀性,可以采用双面冷却、微通道冷却等

新型的冷却技术。在布局方面,应将电池冷却板与电池单体紧密贴合,以确保良好的热接触。

3.3 冷却液和制冷剂的选择

冷却液和制冷剂是热管理系统中的工作介质,其性能对热管理系统的效果和可靠性有重要影响。在选择冷却液时,需要考虑其比热容、导热系数、沸点、冰点等因素。常用的冷却液有乙二醇水溶液、导热油等。乙二醇水溶液具有成本低、防冻性能好等优点,是目前新能源汽车应用最广泛的冷却液;导热油具有沸点高、热稳定性好等优点,适用于高温工况下的热管理。

在选择制冷剂时,需要考虑其环保性能、制冷效率、压力水平等因素。传统的制冷剂,如R134a,具有较高的全球变暖潜值(GWP),对环境有一定的负面影响。随着环保要求的不断提高,新型的环保制冷剂,如R1234yf、R744(二氧化碳)等,逐渐得到应用。R1234yf具有较低的GWP值,制冷性能与R134a相近;R744具有环保、无毒、不可燃等优点,且制冷效率较高,但其工作压力较高,对系统的密封性和安全性要求也较高。

4 新能源汽车热管理系统能效优化方法

4.1 智能控制策略

4.1.1 模糊控制:模糊控制是一种基于模糊逻辑的控制方法,它不需要精确的数学模型,能够处理不确定性和模糊性的信息。在新能源汽车热管理系统中,模糊控制可以根据电池温度、环境温度、乘员舱温度等输入变量,通过模糊推理和模糊决策,输出水泵、风扇、压缩机等部件的控制信号,实现对热管理系统的智能控制。例如,当电池温度较高时,模糊控制器可以自动增加水泵和风扇的转速,提高散热效率;当乘员舱温度达到设定值时,模糊控制器可以自动降低压缩机的转速,减少能耗。

4.1.2 神经网络控制:神经网络控制是一种基于人工神经网络的控制方法,它具有自学习、自适应和非线性映射等能力。在新能源汽车热管理系统中,神经网络控制可以通过对大量的实验数据进行学习和训练,建立热管理系统输入变量和输出变量之间的非线性映射关系,从而实现对热管理系统的精确控制^[3]。例如,神经网络控制器可以根据电池的历史温度数据和环境温度数据,预测电池未来的温度变化趋势,并提前调整热管理系统的运行模式,以保持电池温度的稳定。

4.1.3 模型预测控制:模型预测控制是一种基于模型的控制方法,它通过建立热管理系统的动态模型,预测系统在未来一段时间内的输出响应,并根据预测结果优化控制输入,以实现系统的最优控制。在新能源汽车

热管理系统中,模型预测控制可以考虑电池、电机电控系统和乘员舱的热动态特性,以及热管理系统各部件的能量消耗,通过优化算法求解最优的控制策略,实现热量的综合管理和能源的高效利用。例如,在冬季,模型预测控制器可以根据电池的温度需求和电机电控系统产生的余热量,优化热泵系统的运行模式,实现余热的合理分配和利用。

4.2 余热回收利用

4.2.1 余热用于电池加热:在冬季,电池的性能会受到低温的影响,需要对其进行加热以提高充放电效率。可以利用电机电控系统产生的余热,通过热交换器将余热传递给电池冷却液,实现对电池的加热。这种方法不仅可以减少额外的加热能耗,还可以提高电池的温度均匀性,延长电池的使用寿命。

4.2.2 余热用于乘员舱加热:同样在冬季,乘员舱需要加热以提供舒适的环境。可以将电机电控系统和电池产生的余热通过热泵系统或直接热交换的方式,为乘员舱提供热量。与传统的电加热方式相比,余热回收利用方式可以显著降低乘员舱加热的能耗,提高整车的续航里程。

4.2.3 余热用于预热冷却液:在冷启动时,发动机或电机的冷却液温度较低,会导致摩擦损失增加,能耗增大。可以利用余热对冷却液进行预热,提高冷却液的初始温度,减少冷启动时的能量损耗。例如,在混合动力汽车中,可以利用发动机排气的余热对冷却液进行预热。

4.3 热泵技术的应用

4.3.1 热泵空调系统:传统的汽车空调系统在制冷和制热时采用不同的工作模式,制冷时采用蒸气压缩制冷循环,制热时采用电加热方式,能耗较高。而热泵空调系统可以通过切换四通换向阀,实现制冷和制热模式的转换,在制热时可以从外界环境中吸收热量,将其转移到乘员舱内,从而提高制热效率,降低能耗^[4]。研究表明,热泵空调系统在制热工况下的能效比(COP)可以达到2-3以上,远高于电加热方式的COP(约为1)。

4.3.2 热泵与余热回收的结合:将热泵技术与余热回收利用相结合,可以进一步提高新能源汽车热管理系统的能效。例如,在冬季,热泵系统可以从外界环境中吸收热量,同时回收电机电控系统和电池产生的余热,将这些热量综合利用,为乘员舱和电池提供加热,实现能源的最大化利用。

4.4 优化热管理系统的运行模式

4.4.1 行驶模式下的运行模式优化:在行驶过程中,根据车速、电池温度、电机温度等参数,动态调整热管理系统的运行模式。例如,在低速行驶时,电机和电控系统的产热量较小,可以适当降低水泵和风扇的转速,减少能耗;在高速行驶时,电机和电控系统的产热量较大,需要增加水泵和风扇的转速,加强散热。

4.4.2 充电模式下的运行模式优化:在充电过程中,电池会产生大量的热量,需要及时散热以保证电池的安全和性能。同时,可以利用充电时的电网电能,对乘员舱进行预热或预冷,减少行驶过程中的能耗。例如,在冬季充电时,可以启动热泵系统为乘员舱预热,同时对电池进行加热,使电池在充电前达到适宜的温度,提高充电效率。

4.4.3 驻车模式下的运行模式优化:在驻车状态下,根据环境温度和电池的剩余电量,合理控制热管理系统的运行。例如,在寒冷环境下,如果电池剩余电量较低,可以减少对电池的保温加热能耗,优先保证车辆的启动性能;在炎热环境下,可以适时启动通风系统,降低乘员舱和电池的温度,减少下次启动时的预热和预冷能耗。

结语

新能源汽车热管理系统的设计与能效优化是提升其性能、续航与市场竞争力的关键。本文深入剖析了设计面临的电池热管理复杂、多系统耦合、热管理平衡及空间重量限制等挑战,并从系统架构、部件选型布局、工作介质选择等方面提出设计策略。同时,阐述了智能控制、余热回收、热泵技术应用及运行模式优化等能效提升方法。未来,随着技术持续进步,新能源汽车热管理系统将朝着更高效、智能、集成化方向发展,为新能源汽车产业的蓬勃发展提供坚实支撑,助力全球交通领域实现绿色低碳转型。

参考文献

- [1]丁奕.新能源汽车热管理系统优化设计研究[J].汽车测试报告,2024,(21):41-43.
- [2]罗振华.新能源汽车热管理系统故障诊断与性能优化[J].汽车维修技师,2025,(14):30-31.
- [3]刘琳.新能源汽车热管理系统创新设计与性能评估[J].汽车知识,2025,25(06):18-20.
- [4]王涛,关爱如.新能源汽车电池热管理系统优化研究[J].商用汽车,2025,(01):45-48.