

基于纳米流体与合成酯类的新能源温控解决方案

白瑞晨 林子杰

兰洋（宁波）科技有限公司 浙江宁波 315100

摘要：伴随新能源技术不断迅猛发展，性能优良且稳定可靠的温控系统，对于维持新能源设备的性能表现、使用寿命以及运行安全性起着关键作用。本文将构建一种融合纳米流体与合成酯类的新能源温控处理方案，详细阐释纳米流体以及合成酯类具备的特性，还有它们于温控领域存在的应用优势，深入剖析该方案的运行机理与系统设计重点，为新能源温控技术的进步提供全新思路与方法。

关键词：纳米流体；合成酯类；新能源温控；解决方案

引言

太阳能、风能、电动汽车等新能源在全球能源结构转变进程中占据的地位愈发关键，以电动汽车来说，2023年全球电动汽车的销售数量突破1000万辆，而且这个数字还在持续快速攀升。不过，新能源设备在运转的时候常常会产生大量热量，倘若这些热量不能被及时有效地散发出去，设备的温度就会升高，会对其性能和使用寿命造成影响，甚至还有可能引发安全事故。在此背景下，研发新型高效的温控解决办法有着重要的现实意义。

一、纳米流体的特性及应用优势

纳米流体作为一种新型的高效、高传热性能的能量运输工质，可有效提高热系统的传热性能，提高热系统的高效低阻紧凑等性能指标，满足热系统高负荷的传热冷却要求，满足一些特殊条件（微尺度条件）下的强化传热要求，在强化传热领域具有十分广阔的应用前景和潜在的重大经济价值，被称为未来的冷却散热技术^[1]。

基金项目：2024年宁波市高新区重点科技项目：国产芯片服务器新型液冷复合热管理材料研发及应用示范 2024CX050001

作者简介：

白瑞晨（1987.1.5-），男，蒙古族，辽宁省沈阳市人，日本熊本大学博士研究生，主要研究方向为先进机械系统。
林子杰（1984.11.5-），男，满族，吉林省吉林市人，日本熊本大学博士研究生，主要研究方向为热工学和能源转化领域。

（一）纳米流体的特性

1. 高导热性

当把纳米颗粒添加进基础流体以后，流体内部会出现新的导热路径，使得流体的导热系数增大，热量传递的速度也跟着加快。依据相关研究数据可知，在水中添加质量分数为1%的氧化铝纳米颗粒所制成的纳米流体，其导热系数能提高10%~15%，凭借这样的高导热特性，纳米流体为热量的高效传输给予了坚实支撑。

2. 良好稳定性

纳米流体的稳定性良好，科研人员运用表面改性等技术手段，让纳米颗粒可在基础流体中均匀分布，形成稳定的悬浮液，这样一来，颗粒沉降和团聚的现象就能被有效避免。以用表面活性剂修饰纳米颗粒来说，这种方法能明显降低颗粒间的表面能，大幅提升纳米流体的稳定性，保障其在使用过程中性能的可靠程度。

3. 可调控性

科研人员可根据具体需求，借由更改纳米颗粒的种类、浓度、尺寸以及基础流体的性质，对纳米流体的性能实施精确调节，使其适配多样化的应用场景。在高温工况中，选取具有高熔点的纳米颗粒与基础流体，能让纳米流体于高温环境下正常运作，而在对黏度要求严苛的场合，借由改变纳米颗粒的浓度和尺寸，能使纳米流体获得所需的黏度特性^[2]。

（二）应用优势

于新能源温控范畴内，纳米流体所具备的特性演变为突出的应用优势，凭借其高导热性，纳米流体得以显著提升散热效率，切实降低设备运行温度，强化设备的性能和可靠性。以电动汽车电池热管理系统作为实例，

把纳米流体应用于该系统中,能让电池组的温度分布趋向均匀,防止局部出现过热状况,最终实现电池使用寿命的延长,为电动汽车安全稳定运行筑牢保障根基。

二、合成酯类的特性及应用优势

合成酯类是通过酯化反应形成的有机化合物,由羧酸与醇(或酚)脱水或酰卤、酸酐与醇反应生成。

(一) 合成酯类的特性

1. 优异的润滑性

合成酯类分子结构包含的极性基团,促使合成酯类可吸附于金属表面并构建起坚固的润滑膜,凭借这层润滑膜,金属部件相互间的摩擦与磨损得以有效削减。温控系统内,循环泵、阀门等部件因频繁运作容易出现磨损,若采用合成酯类作为润滑剂,这些部件的磨损程度能大幅降低,系统运行效率也会随之提升,保障温控系统稳定运行。

2. 良好的热稳定性

合成酯类作为一类化合物,其闪点和燃点数值较高,一般而言闪点处于200℃之上,燃点甚至能达到300℃,正是因为具备这样高的闪点和燃点,合成酯类在高温环境里依旧可保持稳定性能,不容易出现分解与变质问题。新能源设备运行期间经常遭遇高温工况,所以合成酯类凭借自身良好的热稳定特性,能充分契合新能源设备高温运行时的要求,保障自身性能不会因高温而受到影响^[3]。

3. 化学稳定性

合成酯类与大多数金属及非金属材料均具备良好的兼容性,当它和铝合金、铜等金属材料以及塑料、橡胶等非金属材料接触时,不容易发生化学反应,这种优异的兼容性让合成酯类能切实保护设备零部件不被腐蚀,起到延长设备使用寿命的作用。

(二) 应用优势

在新能源温控系统里,合成酯类依靠上述特性,能作为工作介质高效传递热量,又能充当润滑剂减少部件磨损,显著提升系统的可靠性并延长使用寿命,为新能源温控系统的稳定运行提供有力支撑。

三、基于纳米流体与合成酯类的新能源温控解决方案工作原理

该温控解决方案核心在于协同运用纳米流体的高导热特性与合成酯类的综合优势,借助循环系统构建热量传递通道,实现从新能源设备到外部环境的热量转移,其具体工作原理可从热量吸收、传递及介质循环三个环

节展开详细阐释:

(一) 热量吸收

新能源设备运转过程中所产生的热量,最先经由设备表面和纳米流体-合成酯类混合介质的接触界面实现传导。纳米流体内部的纳米颗粒构建起导热网络,使其热传导效率显著优于传统流体,能在极短时间内吸附设备表面热量,让设备温度快速降低。

(二) 热量传递

吸收热量后的混合介质借助分子热运动及对流两种机制,把热能定向输送到循环系统的散热器。在这个过程中,合成酯类的分子结构给混合介质带来独特优势:它的极性基团形成的润滑膜能降低流体与管道内壁的摩擦阻力,让混合介质在管径10-20mm的循环管道中维持0.5-1m/s的稳定流速,能量损耗比传统介质少15%-20%,同时纳米流体较高的导热系数(相比基础流体提高10%-15%)促使热量以傅里叶热传导的方式快速到达散热器翅片表面。

(三) 冷却介质循环

混合介质在散热器完成热交换降温后,由扬程10-15m的离心泵驱动,经回流管道重新流入设备冷却腔,由于循环泵叶轮设计契合合成酯类的润滑特性,能防止气蚀现象对泵体造成损伤^[4]。整个循环系统采用闭环构造,当介质温度传感器监测到设备表面温度超出设定数值,比如高于电池最佳工作温度25-40℃时,控制系统便会自动调节泵的转速,一般在1500-3000rpm区间内调整,并借由改变5-10L/min的流量实现动态温控,这种持续循环运作的机制,让温控方案得以适配设备不同的负载状况。

四、系统设计要点

在构建基于纳米流体与合成酯类的新能源温控系统时,系统设计环节至关重要,其涵盖纳米流体与合成酯类的选择与配比、循环系统设计以及温度监测与控制三大核心板块,每个板块的精细设计都直接影响着温控系统的整体性能与可靠性。

(一) 纳米流体与合成酯类的选择与配比

1. 纳米颗粒与基础流体的选择

纳米流体的性能表现,在较大程度上由纳米颗粒与基础流体的选择所决定,于高温环境中,氧化锆、碳化硅等纳米颗粒因具备耐高温且化学稳定性强的特性而成为优先选择,再搭配具有高沸点的二甲基硅油作为基础流体,二者相互结合能经受住高温的考验,在300℃以上

的高温工况里，依旧保持良好的导热性能和稳定性，有效满足高温运行设备的散热需求。在低温环境下，氧化铝纳米颗粒与乙二醇混合形成的基础流体更具优势，乙二醇凝固点较低，这使得混合流体即便处于 -40°C 的极寒条件下，也能保持良好的流动性，同时氧化铝纳米颗粒持续发挥增强导热的作用，确保设备在低温环境下稳定运行。

2. 合成酯类的选择

合成酯类的选用同样要综合考虑系统多方面要素，系统的工作压力、温度区间以及和其他材料的兼容性，都是决定合成酯类适用性的关键指标，对于处于高压环境中的温控系统，其工作压力通常超过 10MPa ，此时具备高粘度指数的合成酯类更能满足需求。这类合成酯类在高压状态下，能维持稳定的黏度，形成坚固的润滑膜，减少流体与管道、部件间的摩擦，有效降低能量损耗，保障系统高效运转。当温控系统需要接触多种金属材料，像铝合金、铜合金等，合成酯类的腐蚀性就成为重要的考量因素，选用对金属腐蚀性低的合成酯类，能避免金属部件受到腐蚀，延长设备的使用寿命，确保系统长期稳定运行。

3. 配比优化

当纳米流体与合成酯类按3:2的体积比混合时，混合介质的综合性能可达到最佳平衡状态，在此配比条件下，纳米流体所具备的高导热特性能得到充分发挥，合成酯类的润滑及稳定优势也能完美展现，可保证混合介质拥有良好的导热性能，又能使其具备出色的流动性和稳定性。在实际进行配比优化的过程中，通常可采用响应面法等优化算法，将散热效率、混合介质稳定性以及能耗等作为目标函数，借由构建数学模型来分析各因素之间的交互作用，实现对配比的精细化优化。

(二) 循环系统设计

1. 管道布局

管道设计应遵循减少弯折与缩短路径的准则，选用大管径搭配短路径的设计方案，大管径的管道能使流体流速下降，有效抑制湍流状况的产生，削减流动阻力，而短路径的设计，则直接缩短了流体的传输距离，进一步降低阻力。为防止热量在传输过程中过多散失，对管道实施全面保温处理十分必要，可选取聚氨酯泡沫等保温性能优良的材料，将其包覆在管道外壁，把热量散失率控制在5%以内，保证混合介质在管道传输时，热量得以有效留存，满足设备散热需求。

2. 循环泵选型

循环泵的流量需满足新能源设备在最大发热量时的散热要求，如一台在最大功率下发热量为 50kW 的新能源电机，经计算可知，循环泵流量需达到 $15\text{L}/\text{min}$ 以上，方可及时带走所产生的热量。扬程则要能克服管道阻力与散热器阻力，借由对管道长度、管径、弯头数量以及散热器结构等因素进行计算分析，来确定合适的扬程数值^[5]。

3. 散热器设计

对于纳米流体-合成酯类混合介质，鉴于其导热性能较为优良，采用较小的翅片间距（譬如 $1\text{--}2\text{mm}$ ），能有效增加热交换面积，提高热量传递效率，较大的散热面积则可加快与外部环境的热交换速率。借由开展实验测试并进行模拟分析，不断对翅片间距、翅片高度、散热面积等参数加以调整，可使散热器的散热效率提升 $15\%\text{--}20\%$ ，确保混合介质所携带的热量能够迅速散发至外部环境当中。

(三) 温度监测与控制

1. 温度传感器布置

在新能源设备关键部位，像电动汽车电池模组中心、电机绕组端部等容易发热的位置，以及循环系统进出口等关键节点，都需布置温度传感器。为了保证监测数据精准可靠，应该选择高精度、响应速度快的温度传感器，譬如热电偶、热电阻等，热电偶传感器具备测温范围广、响应速度快的特点，能在 0.5 秒内迅速对温度变化作出反应，热电阻传感器则拥有高精度的优势，测量误差可控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内，将二者结合使用，就能实时且准确地监测设备和混合介质的温度变化情况。

2. 控制系统设计

采用PID控制、模糊控制等成熟控制算法，可依据温度传感器反馈信号，自动调节循环泵转速、散热器风扇转速等设备运行参数，以PID控制来说，其借由对比例（P）、积分（I）、微分（D）三个参数的调节，可实现对系统温度的动态控制。

3. 报警与保护功能

合理设定温度报警阈值后，一旦设备温度超出安全范围，系统就会即刻发出声光报警信号，用以提醒操作人员，倘若电动汽车电池温度过高，系统自动降低其充电或放电功率，减少热量产生，当温度持续攀升并突破极限阈值，系统便启动备用冷却系统，譬如开启辅助风扇、启用备用循环回路，确保设备安全。

结语

本文提出的新能源温控解决方案基于纳米流体与合成酯类,充分借助纳米流体的高导热性和合成酯类的优良性能,借由合理的系统设计,实现对新能源设备高效且可靠的温控。该方案在提升新能源设备性能、延长设备使用寿命、保障设备安全等方面展现出显著优势。未来需进一步开展相关研究,优化纳米流体的制备工艺,降低合成酯类的生产成本,推动该温控解决方案的广泛应用。

参考文献

[1]周宁,吴华伟,祝小元,李智,彭建平.基于特斯拉阀和纳米流体的车用驱动电机冷却性能研究[J].机床

与液压,2025,53(10):215-221.

[2]田俊涛,袁海,肖刚,王明琼,郭竞飞.纳米流体增强LTCC复合微流道结构散热技术[J].电子工艺技术,2025,46(03):8-11.

[3]陈文颖,刘洋,刘卫亮,张晓雷,王昕,康佳垚.绿电交易场景下计及温控负荷的高铁站两阶段调度策略[J].太阳能学报,2025,46(01):547-556.

[4]李志洪,马楷,田强,马宏.国内外合成酯航空发动机油储存稳定性考察[J].合成润滑材料,2022,49(04):25-28.

[5]郭淑怡,杜雪飞,周华.酶催化合成酯类润滑油综述[J].合成润滑材料,2021,48(04):17-22.