

# 电池散热用纳米流体与合成酯类技术突破

林子杰 白瑞晨

兰洋(宁波)科技有限公司 浙江宁波 315100

**摘要:** 基于全球可持续发展的环境下, 电池作为关键的能量存储与转换器件, 在电动汽车、储能系统、便携式电子设备等众多领域获得广泛应用, 电池在充放电过程中必然会产生热量, 要是热量无法及时有效地散出, 就会造成电池温度上升。当面对不断增长的高能量密度电池散热需求时, 传统的电池散热方式逐渐显现出局限性, 而纳米流体和合成酯类技术的问世, 给电池散热领域带来新的希望。纳米流体把纳米级颗粒分散到传统换热介质中, 明显改善流体的热物理性质, 进而提升散热性能; 合成酯类依靠自身良好的热稳定性、生物降解性以及独特的介电性能等优势, 在电池散热应用中表现出巨大潜力。对这两项技术在电池散热方面的突破与应用展开研究, 对推动电池技术发展、拓展电池应用场景有着重要的现实意义。

**关键词:** 电池散热; 纳米流体; 合成酯类; 技术突破; 协同应用

## 引言

在全球能源结构朝着清洁化、低碳化方向加速转型的大背景下, 以电动汽车、储能电站为代表的电池应用领域正呈现出迅猛发展的态势。不过, 电池在充放电过程中必然会产生大量热量, 如果不能及时有效地将这些热量散发出去, 除了会使电池性能下降, 像出现容量衰减、充放电效率降低等情况, 还可能引发热失控这类严重的安全问题, 甚至会造成火灾、爆炸等灾难性后果。纳米流体和合成酯类作为新型散热材料, 在电池散热领域体现出巨大的潜力。纳米流体是把纳米级颗粒分散到基础流体中所形成的一种新型传热工质, 其特有的纳米效应让它具备了优异的热性能; 合成酯类则是一类通过化学合成方法制备而成的、具有良好热稳定性和传热性能的有机液体。这些年, 随着材料科学和化学工程技术不断取得进步, 纳米流体与合成酯类在电池散热方面实现重要的技术突破。

**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:

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。

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。

## 一、纳米流体在电池散热中的技术突破

### (一) 纳米颗粒种类与分散技术的创新

纳米流体属于新型换热介质, 它是把金属或者非金属纳米粉体(粒径一般处于1-100nm范围内)分散到水、醇、油等传统换热介质里形成的, 具有均匀、稳定且导热性能高的特点。纳米颗粒作为纳米流体的核心构成部分, 其种类的挑选对纳米流体的热性能有直接影响。早期关于纳米流体的研究大多聚焦于金属纳米颗粒, 像铜、银等, 这些金属纳米颗粒热导率较高, 能明显增强纳米流体的传热能力。不过, 金属纳米颗粒在基础流体中的稳定性欠佳, 容易出现团聚状况, 进而使得纳米流体的性能降低。为解决该问题, 近些年来研究人员着手探索新型纳米颗粒材料, 其中碳纳米材料凭借独特的结构和优良的性能成为研究焦点。比如, 碳纳米管拥有极高的长径比和热导率, 单壁碳纳米管的轴向热导率可达3000-6000 W/(m·K), 是铜的数十倍。将碳纳米管分散到基础流体中制得的纳米流体, 在电池散热领域呈现出良好的应用前景。此外, 石墨烯作为二维碳纳米材料, 具备超高的热导率(约5300 W/m·K)以及较大的比表面积, 能够切实增强纳米流体的传热性能。有研究显示, 于水基纳米流体里添加少量石墨烯纳米片, 能让纳米流体的热导率提升20%-30%。除碳纳米材料外, 像氧化铝、二氧化钛这类金属氧化物纳米颗粒, 也因良好的化学稳定性和较低的成本而备受关注, 这些金属氧化物纳米颗粒尽管热导率相较金属纳米颗粒要低, 但借助合理的表面修饰与分散处理, 同样可以显著改善纳米流体的

热性能。比如通过表面活性剂对氧化铝纳米颗粒进行修饰，能够有效降低颗粒间的表面张力，提升其在基础流体中的分散稳定性，从而提高纳米流体的散热效果<sup>[1]</sup>。

## （二）基础流体的优化与新型纳米流体的开发

基础流体作为纳米流体的载体，其性质会对纳米流体的整体性能产生重要影响，传统的水、乙二醇等基础流体，尽管具备良好的流动性和一定的传热性能，可在某些特殊的应用场景里却存在着局限性，其中水的冰点比较高，在低温环境中容易出现结冰情况，进而对纳米流体的正常使用造成影响；而乙二醇带有一定的毒性，对于环境和人体健康而言存在潜在的危害，所以研发新型的基础流体成为提升纳米流体性能的关键方向。离子液体作为一种新型的绿色溶剂，因具有低蒸气压、较宽的液态温度范围以及良好的热稳定性和化学稳定性等优势，成为纳米流体基础流体的理想选择之一。把纳米颗粒分散到离子液体中所制备的纳米流体，不光拥有优异的热性能，同时还能够在极端温度条件下维持良好的流动性和稳定性。以1-乙基-3-甲基咪唑四氟硼酸盐离子液体作为基础流体，添加二氧化硅纳米颗粒所制备的纳米流体，在-40℃至200℃的温度区间内都能正常运行，其热导率相较纯离子液体提升了15%~20%。另外，像聚乙二醇、硅油这类新型有机溶剂，也被用于纳米流体的制备工作。由于这些有机溶剂具备较低的冰点、良好的化学稳定性以及与纳米颗粒的相容性，所以能够制备出适用于不同工况的纳米流体。就比如说，将聚乙二醇作为基础流体，添加铜纳米颗粒制备而成的纳米流体，在低温环境下依然可以保持良好的流动性，同时拥有较高的热导率，能够有效应用于电动汽车电池在寒冷地区的散热场景<sup>[2]</sup>。

## 二、合成酯类在电池散热中的技术突破

### （一）分子结构设计与热稳定性提升

合成酯类性能和其分子结构间关联十分紧密，借助合理开展分子结构设计，能明显增强它的热稳定性与传热性能。酯类分子主要是由酸和醇经酯化反应生成的，对酸和醇的种类、碳链长短以及官能团位置等进行改变，就能够对合成酯类的分子结构实施调控，从而对其物理化学性质产生影响。在提升热稳定性这一领域，研究人员会通过引入特殊官能团以及优化分子链结构的方式，来强化合成酯类的热稳定性。比如在酯类分子里引入苯环结构，鉴于苯环有着较高的稳定性，所以能够有效提升合成酯类的耐热性。以邻苯二甲酸酯类为例，该类合成酯分子结构中的苯环，让它具备了较好的热稳定性，

其分解温度可达到300℃以上，能够在较高温环境中稳定运行，比较适合应用在对散热有较高要求的电池系统当中。除此之外，通过增加分子链长度和提高支链化程度，同样可以提升合成酯类的热稳定性。较长的分子链与恰当的支链结构可增强分子间相互作用力，让分子在高温环境下不容易出现分解和氧化反应。像季戊四醇酯类合成酯，该物质分子结构里包含多个酯基以及较长碳链，具备出色的热稳定性和氧化稳定性，在电池散热方面呈现出良好性能。有研究显示，季戊四醇酯类合成酯在250℃高温条件下长期使用时，其性能变化幅度较小，能够切实保障电池的散热成效。

### （二）粘度调控与流动性改善

合成酯类的粘度属于影响其在电池散热系统中应用的关键因素。粘度较低时，合成酯类在散热系统中的流动性更好，可提升传热效率；若粘度偏高，则会增大流动阻力，使散热效果下降，因此对合成酯类的粘度实施调控以改善其流动性，成为合成酯类在电池散热领域应用的重要研究方向。通过调整合成酯类的分子结构，能够有效对其粘度进行调控。通常来讲，分子链越短且支链越少的合成酯类，其粘度会越低。短链脂肪酸酯类合成酯像乙酸乙酯、丙酸乙酯等，具备较低粘度和良好流动性，不过因为它们沸点不高，热稳定性欠佳，所以在高温环境里的电池散热中不适用。研究人员为了在保障热稳定性的同时降低粘度，借助引入合适官能团以及调整分子链结构来达成这一目标。比如在酯类分子里引入氟原子，鉴于氟原子电负性较强，能够削弱分子间相互作用力，进而让合成酯类的粘度得以降低。除了对分子结构进行设计，运用添加剂也是调控合成酯类粘度的有效手段。在合成酯类中添加粘度指数改进剂、降凝剂等添加剂，可使其粘温性能和低温流动性得到改善。例如添加聚甲基丙烯酸酯类粘度指数改进剂，能在不影响合成酯类高温性能的情况下，让其在低温时的流动性明显提升，进而拓宽使用温度范围。研究表明，添加适量的粘度指数改进剂后，合成酯类在-30℃的低温下仍能保持良好的流动性，满足了电池在寒冷环境下的散热需求<sup>[3]</sup>。

## 三、纳米流体与合成酯类协同应用于电池散热的前景

### （一）性能协同提升

纳米流体与合成酯类在电池散热领域分别具备独特优势，二者协同应用可实现性能协同提升。纳米流体因热导率较高，能快速进行热量传递；合成酯类则凭借良好的热稳定性与流动性，可保障散热系统长期稳定运行。

当纳米流体和合成酯类结合后，纳米流体的高导热性能可弥补合成酯类热导率相对较低的缺陷，而合成酯类良好的流动性和热稳定性又能为纳米流体构建稳定的分散环境，进而降低纳米颗粒团聚情况，提升纳米流体的稳定性与使用寿命。以碳纳米管纳米流体为例，将其分散至热稳定性优良的季戊四醇酯类合成酯中制备复合散热流体时，碳纳米管的高导热性能可使复合散热流体的热导率显著提高，从而更高效地将电池产生的热量传递出去；另一方面，季戊四醇酯类合成酯所具备的良好流动性与稳定性，能够保障碳纳米管在其中实现均匀分散，进而避免纳米颗粒出现团聚和沉淀问题，最终达到延长复合散热流体使用寿命的效果。实验结果显示，该复合散热流体的热导率相比纯季戊四醇酯类合成酯有40%~50%的提升，并且在长时间使用过程中依然能保持性能稳定，不仅可以有效增强电池的散热效果，降低电池工作温度，还能对电池性能和安全性起到提升作用。

### (二) 成本优化与产业化推进

尽管纳米流体与合成酯类在电池散热领域呈现出出色的性能，可当前其较高的成本却制约着大规模应用。纳米流体制备环节中，纳米颗粒的合成及分散技术较为复杂，致使成本偏高；合成酯类因分子结构设计及特殊合成工艺的缘故，生产成本也一直处于高位。不过，若把纳米流体和合成酯类协同运用，便能在一定程度上实现成本优化，进而推动产业化进程。就纳米流体而言，通过与合成酯类协同应用，能够降低对高性能、高成本纳米颗粒的依赖。比如在合成酯类良好的分散环境下，部分成本较低的金属氧化物纳米颗粒也可发挥不错的散热效果，由此降低纳米流体的制备成本，并且合成酯类的大规模生产技术相对成熟，借助规模化生产能够降低单位成本<sup>[4]</sup>。将纳米流体与合成酯类混合制备复合散热流体时，在保障散热性能的基础上，可适当减少两者的使用量，进一步达到降低成本的目的除此之外，鉴于纳米流体与合成酯类技术的不断进步与完善，其制备工艺会逐渐趋向简化，生产效率会不断提高，成本也会逐步下降。就像新型纳米颗粒合成技术以及合成酯类制备工艺的研发，会让纳米流体和合成酯类的生产成本大幅降低。当纳米流体与合成酯类协同应用的成本下降到某个程度时，会更有利于其在电池散热领域实现大规模产业化应用，从而对新能源产业的发展起到推动作用。

### (三) 环境友好与可持续发展

在全球愈发重视环境保护与可持续发展的大背景下，

纳米流体和合成酯类协同用于电池散热具备重要环境意义。传统电池散热材料部分含氟制冷剂及有机溶剂，对环境和人体健康有一定危害。而纳米流体与合成酯类在设计制备时，能选用绿色环保材料和工艺，以达成环境友好的目标。纳米流体的基础流体可选取水、离子液体等绿色溶剂，纳米颗粒也能采用二氧化硅、氧化铝等无毒无害材料。合成酯类同样能通过挑选可再生原料与绿色合成工艺，来降低对环境的影响。比如以植物油为原料制备的合成酯类，拥有可再生、生物降解性良好等优势，在使用期间不会对环境造成污染。当纳米流体与合成酯类协同应用时，借助合理的配方设计和工艺优化，能够进一步降低对环境的影响，可以通过提升复合散热流体的稳定性和使用寿命，降低其更换频率，进而减少废弃物产生。另外，在复合散热流体的回收与处理方面，可开发相应环保技术，实现资源循环利用，推动电池散热技术可持续发展<sup>[5]</sup>。

### 结语

综上所述，纳米流体与合成酯类在电池散热领域均实现显著的技术突破。纳米流体借助纳米颗粒种类及分散技术的创新，以及基础流体的优化和新型纳米流体的开发，使其热性能和稳定性得到大幅提升；合成酯类则依靠分子结构设计及热稳定性增强，以及粘度调控和流动性改善，在电池散热中呈现出优异性能。把纳米流体与合成酯类协同应用于电池散热，具备性能协同提升、成本优化、产业化推进以及可持续发展等广阔前景。

### 参考文献

- [1] 李翠兰, 王云力, 陈露, 等. 新能源汽车电池散热装置的优化设计[J]. 汽车维修技师, 2025, (12): 109-111.
- [2] 揭琳锋, 李伟, 熊树生. 新能源汽车圆柱形电池组纵向流散热理论分析[J]. 车用发动机, 2025, (02): 58-64.
- [3] 徐浩鹏. 汽车锂离子电池组热管理系统设计与散热性能评估[J]. 汽车维修技师, 2025, (08): 50-51.
- [4] 袁歆睿, 战楠, 张振杰, 等. 车用动力电池冷却系统结构设计及散热性能分析[J]. 包装工程, 2025, 46(07): 305-311.
- [5] 张云峰, 蒋杜伟, 董志博, 等. 基于 $Fe_3O_4$ 纳米流体热管的动力电池散热特性模拟研究[J/OL]. 汽车工程师, 1-8[2025-06-17].