

# 锂离子电池隔膜的研究进展

李仁浩 张建腾 李 福

多氟多阳福新材料有限公司 河南 焦作 454150

**摘要:** 随着能源储存和电子设备技术的快速发展,锂离子电池在日常生活和工业生产中发挥着越来越重要的作用。作为锂离子电池的关键组成部分,隔膜的性能直接影响电池的安全性、能量密度和循环寿命。因此,对锂离子电池隔膜材料的研究具有重要意义。本文综述了近年来锂离子电池隔膜材料的研究进展,包括制备方法、材料类型和发展方向等方面,以期对相关领域的研究者提供参考。

**关键词:** 锂离子电池;隔膜材料;研究进展

## 引言

隔膜作为锂离子电池的核心组件之一,主要作用是隔离正负极材料,防止短路,同时允许锂离子的传输。隔膜作为锂离子电池的重要组成部分,其性能直接影响电池的安全性、能量密度和循环寿命。因此,对锂离子电池隔膜的研究具有重要意义。本文将介绍锂离子电池隔膜的研究进展,重点探讨隔膜材料的种类、制备方法和性能要求以及通用型隔膜和新型隔膜的研究进展和发展方向。

### 1 隔膜的性能要求

理想的锂离子电池隔膜需要具备以下性能特点:隔膜需要能够在各种环境条件下保持稳定,包括电池内部的高温、高压、以及可能存在的化学腐蚀等环境因素。这样才能够确保电池的安全性和稳定性。隔膜需要具备良好的离子导电性,以确保锂离子在电池内部的高效传输。这样能够提高电池的充放电效率,缩短充电时间,并降低电池的内阻。隔膜的电子导电性需要较低,以防止电池内部的短路。如果隔膜的电子导电性过高,可能会导致电池内部的电流异常流动,从而引起电池过热甚至爆炸等安全问题。隔膜的孔径分布和孔隙率需要有良好的控制,以保证锂离子的传输效率和电池的容量。如果孔径和孔隙率不合适,可能会导致锂离子传输受阻,影响电池的性能。理想的锂离子电池隔膜还需要具备成本低廉、易于大规模生产和使用等优点。这有助于降低电池的成本,提高其市场竞争力,并推动锂离子电池技术的更广泛应用和发展。

## 2 锂离子电池隔膜材料的研究进展

### 2.1 微孔聚烯烃隔膜

微孔聚烯烃隔膜是一种广泛应用于锂离子电池的隔膜材料,这主要归功于其高孔隙率、低成本、优良的化学稳定性和机械强度等特点。这种隔膜的制造过程相

对简单,而且其性能通常能够满足大多数常规电池的需求。随着锂离子电池朝着更高能量密度的方向发展,对隔膜的离子导电性要求也随之提高。微孔聚烯烃隔膜的离子导电性相对较低,这在一定程度上限制了其在高能量密度电池中的应用。为克服这一难题,研究者们尝试通过改变聚烯烃的分子结构或添加无机纳米粒子等方法对微孔聚烯烃隔膜改性<sup>[1]</sup>。在分子结构改性方面,研究者们尝试通过引入极性基团或增加分子链的移动性来提高聚烯烃的离子导电性。例如,通过引入磺酸基团,可以使聚烯烃具有更高的离子导电性和水吸湿性,从而适用于高能量密度电池。在添加无机纳米粒子方面,研究者们尝试将纳米尺度的无机粒子(如纳米氧化物、纳米碳管等)添加到聚烯烃基质中。这些无机粒子可以提供额外的离子导电通道,同时还能提高隔膜的机械强度和热稳定性。这种方法可能会增加隔膜的制造成本,并可能产生对环境不友好的废弃物。虽微孔聚烯烃隔膜在锂离子电池中仍有着广泛的应用,但为适应未来电池的高能量密度需求,还需要对其进一步的改性和优化。

### 2.2 改性聚烯烃隔膜

改性聚烯烃隔膜是通过对聚烯烃分子链改性,引入极性基团或无机粒子,以提高锂离子电池隔膜的离子导电性和孔径分布均匀性。这些改性措施可以有效地改善隔膜的物理和化学性能,提高电池的能量密度和安全性。为提高隔膜的离子导电性,研究者们采用了接枝、共混等方法,将极性基团引入聚烯烃分子链。这些极性基团可以提供额外的离子导电通道,并增强隔膜对电解液的浸润性。例如,通过在聚丙烯中引入羧基基团,可以显著提高其离子导电性和浸润性。除极性基团的引入,添加无机纳米粒子也是提高隔膜性能的有效方法。二氧化硅、氧化铝等无机纳米粒子可以均匀地分散在聚烯烃基质中,提高隔膜的机械强度和热稳定性。改性聚

烯烃隔膜的生产成本相对较高,这限制了其在锂离子电池大规模生产中的应用。因此,如何在保证隔膜性能的同时降低生产成本,是改性聚烯烃隔膜研究的一个重要方向。

### 2.3 无纺布类隔膜

无纺布类隔膜是一种以纤维交织而成的非织造材料,其结构较为松散,具有高孔隙率、良好的机械强度和化学稳定性。这种隔膜的生产成本较低,适合大规模生产。无纺布类隔膜的离子导电性和浸润性较差,限制了其在高能量密度电池中的应用。为改善无纺布类隔膜的性能,研究者们采用了多种方法,如纤维表面改性、纤维束细化等,这些方法能够增加隔膜的孔径,提高其离子导电性和浸润性。在纤维表面改性方面,研究者们通过化学方法在纤维表面引入极性基团,如羟基、羧基等,以提高隔膜对电解液的浸润性和离子导电性。另外,也有研究者通过物理方法对纤维表面涂层处理,以改善隔膜的离子导电性和浸润性。在纤维束细化方面,研究者们通过改变纤维的直径和分布,以提高隔膜的孔径和孔隙率。有研究者采用超细纤维制备无纺布类隔膜,这种隔膜具有更高的孔隙率和更优异的机械性能。此外,也有研究者通过纤维束的排列和结构调整,以提高隔膜的孔径和孔隙率。无纺布类隔膜是一种具有成本优势的非织造材料,但其离子导电性和浸润性较差。通过纤维表面改性和纤维束细化等方法对其改性,可以改善其性能并扩大其应用范围。

### 2.4 陶瓷复合隔膜

陶瓷复合隔膜是一种特殊的电池隔膜材料,它是由陶瓷纤维或纳米陶瓷颗粒与聚合物复合而成。这种材料在锂离子电池领域具有重要的应用价值,它具有高机械强度、良好的化学稳定性和高温性能。陶瓷复合隔膜的制造过程相对复杂,且其生产成本相对较高,这也限制了它在锂离子电池领域的大规模应用。为降低成本和提高生产效率,研究者们正在通过探索新型的陶瓷纤维或纳米陶瓷颗粒制备方法以及优化复合工艺等方法对陶瓷复合隔膜改性。新型的陶瓷纤维和纳米陶瓷颗粒的制备方法正在不断被探索。例如,有些研究者正在研究如何通过溶液法或气相法等低成本方法制备出高质量、均匀的陶瓷纤维或纳米陶瓷颗粒。同时,也有研究者尝试通过改变聚合物种类或添加其他材料来优化复合工艺,以提高陶瓷复合隔膜的综合性能。除降低成本和提高生产效率外,研究者们还在探索如何提高陶瓷复合隔膜的电化学性能<sup>[2]</sup>。例如,有些研究者正在研究如何通过改变聚合物或陶瓷颗粒的厚度、大小和分布等参数来优化陶

瓷复合隔膜的孔结构和渗透性,从而提高电池的离子电导率和倍率性能。陶瓷复合隔膜作为一种具有优异性能的锂离子电池隔膜材料,其研究和发展受到了广泛的关注。虽其生产成本较高且加工困难,但随着研究者们不断探索新的制备方法和优化复合工艺,陶瓷复合隔膜的应用前景仍十分广阔。尤其在高温和高电压环境下使用的锂离子电池,如电动汽车和航空航天等领域,陶瓷复合隔膜有望发挥更大的作用。

### 2.5 聚合物电解质隔膜

聚合物电解质隔膜是一种以聚合物为主要材料的隔膜,其特点在于具有较高的离子导电性和机械强度。这种隔膜通常由聚合物、无机填料和增塑剂等成分组成,这些成分的优化配比和独特组合赋予了聚合物电解质隔膜良好的化学稳定性、热稳定性和机械性能。近年来,研究者们一直致力于通过不断优化聚合物配方和制备工艺,以期提高聚合物电解质隔膜的综合性能。例如,有研究者采用先进的纳米技术,将纳米尺度的无机填料均匀地分散在聚合物基体中,以实现聚合物电解质隔膜的纳米复合化。这种纳米复合化的方法显著提高了隔膜的离子导电性和机械强度,同时也有利于提高生产效率。此外,研究者们还通过改变聚合物基体的分子结构、交联密度和填料的粒径、形貌等手段,进一步优化了聚合物电解质隔膜的性能。例如,研究者们开发了一种具有高离子导电性和优异机械强度的聚合物电解质隔膜,该隔膜是通过采用特殊的交联剂对聚合物交联而制备得到的。这种交联方法不仅提高了隔膜的机械强度,同时也提高了其化学稳定性和热稳定性。

## 3 锂电池隔膜的进展及发展方向

### 3.1 通用型隔膜

随着锂离子电池的广泛应用和不断发展,对隔膜的需求也日益增加。为满足市场的多样化需求,研究者们开发了通用型隔膜,这种隔膜适用于多种锂离子电池型号和规格,具有较高的生产效率和较低的成本。通用型隔膜的开发需要对不同锂离子电池型号和规格的特点深入的研究。研究者们通过分析不同电池的电解质、正负极材料以及电池的工作条件,了解它们对隔膜性能的要求。在此基础上,他们针对性地优化隔膜的结构和性能,以确保其适用于各种锂离子电池。为提高通用型隔膜的性能,研究者们采用了多种方法。一方面,他们通过调整隔膜的孔径、厚度和孔隙率等参数,来优化离子的传导性能和机械强度。另外,他们还尝试引入新的材料和技术,如纳米纤维、陶瓷涂层和复合材料等,以提升隔膜的性能和稳定性。此外,为提高生产效率并降低

成本, 研究者们还在不断探索新的制造工艺。例如, 他们正在研究利用先进的成型技术、纳米技术和自动化生产线等, 来实现隔膜的大规模高效生产。

### 3.2 新型隔膜

新型隔膜材料是指具有创新性和前瞻性的隔膜材料, 如纳米纤维隔膜、水凝胶隔膜和自支撑隔膜等。这些新型隔膜材料具有独特的性能和优异的适应性, 可以满足未来锂离子电池发展的需求。纳米纤维隔膜是一种由纳米纤维交织而成的隔膜材料, 具有高离子导电性和良好的机械强度。这种隔膜可以通过纳米纤维的排列和取向来控制, 从而获得更好的电化学性能。研究者们正在探索各种纳米纤维材料的制备和性能优化, 以实现更高效、更稳定的锂离子电池。水凝胶隔膜是一种由水凝胶网络组成的隔膜材料, 具有高离子导电性和良好的化学稳定性。这种隔膜可以在室温下制备, 并且具有很好的浸润性和机械强度。水凝胶隔膜可以适应于各种电解液, 并且可以在高温和低温条件下保持良好的性能。因此, 水凝胶隔膜被认为是下一代锂离子电池隔膜的有力竞争者。自支撑隔膜是一种具有自我支撑特性的隔膜材料, 可以在制备过程中直接形成电池隔膜。这种隔膜具有高强度、高韧性、高孔隙率等优点, 可以显著提高锂离子电池的能量密度和循环寿命。自支撑隔膜的制备工艺比较复杂, 需要采用特殊的制备方法和材料体系, 但它被认为是未来锂离子电池隔膜的重要发展方向之一。为开发新型隔膜, 研究者需要不断探索新的材料体系和制备工艺, 并深入理解这些新材料的性能和机理。同时, 还需要解决新型隔膜的大规模生产问题, 以实现其在锂离子电池领域的广泛应用。

### 3.3 其他隔膜的研究

除上述的三种主流隔膜材料, 其他隔膜的研究也在不断和改进。这些研究包括对现有隔膜材料的改进和优化, 以提高其性能和生产效率<sup>[3]</sup>。例如, 通过改变聚烯烃隔膜的分子结构, 可以调整其孔径和孔隙率, 提高离

子导电性和机械强度。添加无机填料或使用新型的聚合物基材等方法, 也可以增强隔膜的综合性能。此外, 研究者们还深入研究了隔膜的多层结构、表面改性和浸润性等问题。通过优化隔膜的结构设计和表面性质, 可以改善锂离子电池的性能和安全性。例如, 通过在隔膜表面引入亲水性基团, 可以提高隔膜的吸液性和离子导电性。而通过调整隔膜的多层结构和各层材料的搭配, 则可以更好地满足电池在高功率和高温环境下的使用需求。随着锂离子电池技术的不断发展和应用领域的不断扩大, 隔膜作为关键组件之一, 其研究和发展也将持续。未来, 隔膜材料将会更加多元化和性能化, 以满足不同类型和需求的锂离子电池的发展要求。同时, 随着电动汽车、可再生能源等领域的快速发展, 隔膜的研究和应用也将更加注重环保和可持续发展等方面的问题。

### 结语

锂离子电池隔膜是锂离子电池的关键组成部分, 对于电池的性能和安全性具有重要影响。本文介绍了锂离子电池隔膜的研究进展, 包括隔膜材料的种类、制备方法和性能要求, 以及通用型隔膜和新型隔膜的研究进展和发展方向。未来, 随着电动汽车、便携式电子设备等领域的快速发展, 锂离子电池隔膜的研究将更加深入, 通用型隔膜和新型隔膜的研究将更加广泛。同时, 随着科学技术的不断进步, 锂离子电池隔膜的性能将得到进一步提高, 为锂离子电池的发展提供更好的支持。

### 参考文献

- [1]王振华, 彭代冲, 孙克宁.锂离子电池隔膜材料研究进展[J].化工学报, 2018, 69(01): 282-294.
- [2]徐千惠, 陈泰伊, 郑怡筱, 等.锂离子电池用纳米纤维隔膜的开发和研究[J].轻纺工业与技术, 2019, 48(06):912.
- [3]国家自然科学基金委员会, 中国科学院.中国学科发展战略·能源化学[M].北京: 科学出版社, 2018: 1-20.