

大规模生产锂电池负极材料生产工艺的探究

杜旭升 王 凯 许 哲 肖 莉 伍喜华

西安建筑科技大学设计研究总院有限公司 陕西 西安 710055

摘 要：本文探讨了我国锂离子电池负极材料行业的发展机遇、负极材料的分类及特性，并详细分析了大规模生产锂电池负极材料的生产工艺。随着新能源汽车产业的蓬勃发展和储能领域的快速增长，负极材料市场需求持续扩大。文章重点介绍了人造石墨、天然石墨及硅基负极的制备工艺，并提出原材料选择与处理、工艺参数优化、品质控制及环境友好性等关键优化策略。同时，展望了未来市场趋势与技术发展方向，为负极材料行业的可持续发展提供有价值的参考。

关键词：锂电池；负极材料；生产工艺；石墨；硅基材料；大规模生产

1 我国锂离子电池负极材料行业发展机遇与生产工艺优化探究

我国作为全球锂离子电池的制造中心，拥有超过700家锂离子电池生产企业，在全球市场上占据重要地位。随着科技的进步和新能源汽车产业的蓬勃发展，全球对锂离子电池用负极材料的需求持续增长，年需求量已超过200,000吨，并以每年20%的速度递增。这一趋势为锂离子电池负极材料生产企业带来了前所未有的发展机遇。在负极材料的下游应用中，消费类电子产品、储能行业和动力电池均呈现出强劲的增长势头。值得注意的是，消费锂电池的增速已趋于平稳。尽管智能手机、笔记本电脑等消费电子产品仍是锂电池装机的主要市场，但其需求已接近饱和，市场增速相对有限。相比之下，储能类锂电池和动力电池领域展现出巨大的发展潜力。特别是新能源汽车行业的快速发展，作为国家战略性新兴产业，不仅在中国，而且在全球范围内都受到了前所未有的重视。动力电池需求的攀升直接拉动了负极材料行业的增长，预计未来几年内，动力电池对负极材料的需求将持续保持高速增长^[1]。虽然目前储能类锂电池的规模相对较小，但随着新能源发电在电力系统中渗透率的提高，以及5G基站建设的全面提速和电力体制改革的推进，储能领域对锂电池的需求将迅速增长。预计在未来几年内，锂电储能装机量将实现大幅增长，成为负极材料需求的重要增长点之一。随着新能源汽车产业的蓬勃发展、储能领域的快速增长以及消费电子产品的稳定需求，负极材料市场将迎来高速发展的黄金时期。

2 锂电池负极材料分类及特性

2.1 碳材料

(1) 碳材料是锂离子电池负极中最常见、应用最广泛的一类。其特性主要表现在高比容量、低电化学电势

和良好的循环性能上。碳材料的种类繁多，主要包括天然石墨、人造石墨、中间相碳微球(MCMB)、软碳(如焦炭)和硬碳等。天然石墨具有较低的电化学电势和较高的比容量，是锂离子电池负极材料的早期选择。然而，其表面缺陷多、比表面积大，且存在溶剂化锂离子共嵌入现象，易导致石墨层膨胀剥离，从而影响电池性能。因此，对天然石墨进行改性处理，如表面包覆、球化等，是提高其电化学性能的有效途径。(2) 人造石墨则是通过高温石墨化处理得到的，其结构致密、电化学性能稳定。与天然石墨相比，人造石墨具有更好的循环稳定性和更高的充放电效率，但成本相对较高。随着技术的进步和生产规模的扩大，人造石墨的成本正在逐渐降低，使得其在锂离子电池负极材料中的应用越来越广泛。(3) 中间相碳微球(MCMB)是一种具有特殊结构的碳材料，其球形结构有利于锂离子在材料中的扩散和嵌入，从而提高电池的比容量和循环性能；MCMB还具有较好的热稳定性和化学稳定性，使得其在高温和恶劣环境下仍能保持良好的电池性能。(4) 软碳和硬碳则是根据碳材料的石墨化程度来区分的。软碳在高温下可以石墨化，而硬碳则难以石墨化。这两种材料都具有较高的比容量和较好的循环性能，但首次充放电效率较低，且存在电压滞后的问题。为了提高其电化学性能，通常需要对其进行改性处理或与其他材料复合使用。

2.2 非碳材料

随着锂离子电池技术的不断发展，非碳材料在负极中的应用也越来越广泛。与碳材料相比，非碳材料通常具有更高的比容量和更好的倍率性能，但循环稳定性和成本方面仍面临一些挑战。硅具有极高的理论比容量(4200mAh/g)，远高于石墨类材料；硅在充放电过程中会发生严重的体积膨胀，导致电极结构破坏和电池性能

下降。通过纳米化、复合化等改性手段,可以有效缓解硅的体积膨胀问题,提高其循环稳定性。锡的氧化物和复合氧化物作为锂离子电池负极材料,可以提供稳定的锂离子存储能力。锡基材料在充放电过程中也存在体积膨胀的问题,需要通过合理的结构设计和改性手段来加以解决^[2]。另外,钛酸锂、金属锂等也是非碳负极材料的重要选择。钛酸锂具有高安全性、高倍率性能和长寿命的特点,但理论容量较低;金属锂则具有极高的理论比容量,但存在锂枝晶生长、负极沉淀和副反应等安全问题,需要通过特殊的电解质和电池结构设计来加以解决。

3 大规模生产锂电池负极材料生产工艺分析

3.1 人造石墨负极制备工艺

人造石墨负极是锂离子电池负极材料中的重要组成部分,其制备工艺相对复杂,但具有较高的可控性和一致性,适用于大规模生产。人造石墨负极的原料主要包括焦炭、沥青焦、针状焦等碳质原料。首先,这些原料需要经过破碎、筛分等预处理步骤,以获得适合后续加工的粒度分布。然后,将预处理后的原料进行石墨化处理,即在高温下使其石墨化,形成人造石墨。这一过程中,温度、压力和保温时间等工艺参数对最终产品的性能有重要影响;为了进一步提高人造石墨负极的电化学性能,还需要进行表面改性处理。常用的改性方法包括包覆、氧化、还原等,以改善石墨颗粒的表面性质,提高其与电解液的润湿性,减少副反应的发生,从而提高电池的循环稳定性和安全性。另外,人造石墨负极的生产过程中还需要注意粉尘污染和能耗控制。通过采用先进的除尘设备和节能技术,可以实现清洁生产,降低生产成本,提高生产效率。

3.2 天然石墨负极制备工艺

天然石墨作为一种自然资源,具有丰富的储量和较低的成本,是锂离子电池负极材料的另一种重要选择。天然石墨的表面缺陷和杂质含量较高,需要经过一系列的加工处理才能满足电池性能的要求;天然石墨负极的制备工艺主要包括破碎、筛分、球化、提纯和表面改性等步骤。首先,将天然石墨矿石进行破碎和筛分,以获得符合要求的粒度分布。然后,通过球化处理,使石墨颗粒形成球形或近似球形,以提高其堆积密度和振实密度,有利于电池的能量密度提升。提纯步骤是为了去除石墨中的杂质,如硅、铝、铁等金属元素和有机物等,以提高负极材料的纯度。常用的提纯方法包括酸洗、碱洗、高温煅烧等。提纯后的石墨还需要进行表面改性处理,以提高其与电解液的润湿性和嵌锂性能。值得注意的是,天然石墨负极的制备过程中需要严格控制粉尘污

染和废水排放。通过采用先进的除尘设备和废水处理系统,可以实现生产过程的环保和可持续发展。

3.3 硅基负极制备工艺

硅基负极材料因具备高比容量与低工作电位的特性,在锂离子电池负极材料领域备受关注。然而,其在嵌锂时体积会大幅膨胀,致使电极结构受损,电池性能随之降低。所以,制备工艺的核心在于控制体积膨胀,维持电极结构稳定。硅基负极制备,首先要挑选高纯度、纳米级硅粉作为原料,为高比容量奠定基础。接着,将硅粉与导电剂、粘结剂充分混合,制成均匀浆料。电极制备阶段,需合理运用涂布工艺,精准把控压实密度,以此保障电极结构稳固,提升电池性能。为有效应对体积膨胀问题,可采取纳米化、多孔化、复合化等改性手段。纳米化把硅颗粒细化至纳米级别,减少嵌锂时的体积变化;多孔化在硅颗粒内构建多孔结构,为锂离子嵌入预留更多空间;复合化则是将硅与碳、金属等材料复合,分散体积应力,增强电极稳定性与循环寿命^[3]。

值得注意的是,硅粉极易团聚,若分散不佳,会造成电极电流分布不均,损害电池性能。因而在浆料制备中,必须选用适宜的分散剂,采用恰当的分散工艺,确保硅粉均匀分布,电极制备工艺的管控同样至关重要;涂布工艺的类型、涂布厚度、压实密度等参数,都会对电极结构与性能产生影响。通过优化这些参数,能够进一步提升硅基负极的电化学性能与循环稳定性。另外,在制备过程中适量添加导电剂,有助于构建导电网络,加快电极内部电子传输,降低电池内阻,提升倍率性能。

4 大规模生产工艺优化策略

4.1 原材料选择与处理

在大规模生产锂电池负极材料的过程中,原材料的选择与处理是确保产品质量和生产效率的关键步骤。企业应严格筛选原材料供应商,确保所采购的原料符合既定的质量标准和规格要求,对于碳基负极材料,如石墨,需关注其纯度、粒度分布和形貌,这些因素直接影响最终产品的电化学性能和加工性能。此外,原材料的处理过程也至关重要,包括破碎、筛分、提纯等环节,需通过精细化的操作来减少杂质含量,提高材料的均匀性和一致性。采用先进的预处理技术,如化学浸出、热处理等,可以进一步改善原材料的性能,为后续的生产工艺打下坚实基础。

4.2 工艺参数优化

在大规模生产中,需要精确控制反应温度、时间、压力以及物料配比等关键参数,以确保化学反应的充分进行和产物的均匀生成。例如,在石墨负极的改性过程

中,通过调整热处理温度和保温时间,可以优化石墨的微观结构,提高其嵌锂/脱锂能力。同时,采用自动化和智能化控制系统,实现生产过程的精准调控,减少人为误差,提高生产稳定性和重复性;不断探索新的合成路径和工艺方法,如溶胶-凝胶法、气相沉积法等,也是提升负极材料性能的有效途径。

4.3 品质控制

品质控制是确保负极材料大规模生产质量一致性的关键。建立一套完善的质量管理体系,涵盖从原材料进厂到成品出厂的每一个环节,通过严格的检验、测试和评估,确保产品符合既定的质量标准 and 客户要求。采用先进的检测技术和设备,如X射线衍射(XRD)、扫描电子显微镜(SEM)、透射电子显微镜(TEM)等,对负极材料的结构、形貌和成分进行精确表征。同时,实施持续的质量改进计划,通过数据分析、问题追踪和纠正措施,不断消除生产过程中的质量隐患,提升产品整体质量水平^[4]。

4.4 环境友好性

在大规模生产锂电池负极材料的过程中,注重环境友好性是实现可持续发展的重要方面。企业应积极采用环保材料和工艺,减少有害物质的排放和资源的消耗。例如,选用可再生或可回收的原料,开发低能耗、低排放的生产技术,实施废弃物分类处理和资源化利用。加强环境管理体系建设,如ISO 14001环境管理体系认证,确保生产活动符合环境保护法规和国际标准。通过技术创新和绿色供应链管理,推动负极材料生产向更加环保、高效的方向发展,为构建绿色低碳的能源体系贡献力量。

4.5 未来市场趋势与技术展望

随着新能源发电在电力系统中渗透率的持续提高,以及5G基站建设的全面提速和电力体制改革的推进,国内锂电储能装机量将迎来快速增长。预计到2025年,新能源发电侧、5G基站、电网侧以及用户侧等多个领域的锂电储能需求将大幅提升,为锂电池负极材料市场提供了广阔的发展空间。特别是硅炭负极材料,由于具有高比容量的特性,其渗透率预计将不断提升,到2025年,

硅炭负极材料在全球负极材料市场中的占比将达到36%左右。这一趋势将直接推动负极材料行业的技术进步和产业升级。为了抓住这一市场机遇,负极材料生产企业需要不断优化生产工艺、提高产品质量和降低成本。一方面,通过原材料选择与处理的精细化、工艺参数的优化以及品质控制的加强,实现负极材料的大规模稳定生产。另一方面,积极投入研发,探索新的合成路径和改性方法,如纳米化、复合化等技术手段,提高负极材料的电化学性能和循环稳定性,以满足不同领域的应用需求。同时,随着环保意识的日益增强,负极材料生产企业还需要注重环境友好性,积极采用环保材料和工艺,减少有害物质的排放和资源的消耗。通过技术创新和绿色供应链管理,推动负极材料生产向更加环保、高效的方向发展,为构建绿色低碳的能源体系贡献力量。

未来,随着新能源汽车产业的蓬勃发展、储能领域的快速增长以及消费电子产品的稳定需求,负极材料市场将迎来高速发展的黄金时期。负极材料生产企业需要紧跟市场趋势,抓住发展机遇,不断推动技术创新和产业升级,以实现可持续发展。

结束语

综上所述,大规模生产高质量的锂电池负极材料是满足市场需求、推动行业发展的关键。通过不断优化生产工艺、加强品质控制并注重环境友好性,负极材料生产企业能够紧跟市场趋势,实现可持续发展。未来,随着新能源汽车和储能领域的进一步发展,负极材料行业将迎来更加广阔的发展前景。企业需要不断投入研发,探索新技术,以满足市场的多元化需求。

参考文献

- [1]郭志强,唐章杰.新型纳米石墨烯负极材料的制备及其在锂离子电池中的应用研究.电池,2020,50(1),1-5.
- [2]黄春.新能源正极材料厂房电气设计成本优化浅析[J].电气工程应用,2022(3):44-46.
- [3]程东浩,刘振东,荀立强.动力锂离子电池运输安全性探讨[J].电池,2020(2):172-176.
- [4]欧韦聪.锂电池制造工艺控制及潜在问题分析[J].化工管理,2021(32):173-175.