

辊压机辊缝调节对材料厚度均匀性的影响分析

张小同 邱亚青

邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司, 河北 邢台 054000

[摘要]随着锂电池在电动汽车及可再生能源储存等领域的广泛应用, 对其制造工艺的精度与一致性提出了更高的要求。作为锂电池极片制造的核心环节, 辊压工艺通过调节辊缝宽度来控制材料厚度的均匀性, 从而直接影响电池的性能与安全性。大量研究已表明, 辊缝的调节不仅影响材料的压实程度、密实性及导电性, 还与电池的充放电效率及循环寿命密切相关。然而, 由于材料特性差异及工艺参数的不稳定性, 厚度均匀性问题亟待解决。针对辊缝调节对材料厚度均匀性的影响进行的分析, 不仅有助于识别并理解现有工艺的不足之处, 还为锂电池制造工艺的优化提供了理论依据。对辊压工艺中关键参数与材料特性之间的关系进行深入探讨, 将为提升锂电池整体性能及生产效率提供切实可行的解决方案。

[关键词] 辊压机辊缝调节; 锂电池; 材料厚度; 均匀性; 影响

DOI: 10.33142/sca.v8i2.15458

中图分类号: TQ172.6

文献标识码: A

Analysis of the Influence of Roller Gap Adjustment on Material Thickness Uniformity in Roller Press Machine

ZHANG Xiaotong, QIU Yaqing

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract: With the widespread application of lithium batteries in electric vehicles and renewable energy storage, higher requirements have been put forward for the accuracy and consistency of their manufacturing processes. As the core process of lithium battery electrode manufacturing, roll pressing technology controls the uniformity of material thickness by adjusting the width of the roll gap, which directly affects the performance and safety of the battery. Numerous studies have shown that the adjustment of roller gaps not only affects the compaction degree, compactness, and conductivity of materials, but is also closely related to the charging and discharging efficiency and cycle life of batteries. However, due to differences in material properties and instability of process parameters, the issue of thickness uniformity urgently needs to be addressed. The analysis of the impact of roll gap adjustment on material thickness uniformity not only helps identify and understand the shortcomings of existing processes, but also provides a theoretical basis for optimizing lithium battery manufacturing processes. In depth exploration of the relationship between key parameters and material properties in the rolling process will provide practical and feasible solutions for improving the overall performance and production efficiency of lithium batteries.

Keywords: roller gap adjustment of roller press machine; lithium batteries; material thickness; uniformity; influence

引言

在锂电池制造过程中, 辊压工艺作为关键成型技术, 扮演着至关重要的角色。电池极片材料的厚度能够通过调节辊缝宽度精确控制, 而这一过程直接影响着电池的整体性能与安全性。锂电池的性能指标, 如能量密度、循环寿命及充放电效率, 与材料厚度的均匀性密切相关。局部电流密度的增加可能由材料厚度的不均匀性引发, 从而导致热失控或容量衰减等严重问题。提升电池极片的密实度及结构稳定性, 合理的辊缝调节不仅可以实现, 还能有效提高锂离子的迁移效率, 降低电池的内阻。辊缝的调整不仅是简单的物理参数设置, 而是与材料特性、生产工艺及设备性能相互作用的复杂过程。例如, 正极材料如磷酸铁锂与三元材料在辊压过程中对辊缝的适应性有所不同; 前者由于较高的硬度及颗粒粗大特性, 对辊缝调节的要求更为严格, 而后者在辊压时可能面临体积变化的问题, 进一步

增加了辊缝调节的复杂性。因此, 对辊缝调节对材料厚度均匀性影响的深入分析, 能够为锂电池制造提供理论指导, 同时为实际生产中的工艺参数优化奠定基础。推动锂电池极片高质量、高效率生产的关键在于, 通过科学合理的辊缝调节策略, 满足日益增长的市场需求。

1 辊压工艺在锂电池极片制造中的重要性

辊压工艺在锂电池极片制造中的重要性体现在其对极片材料厚度、密度及结构均匀性的精准控制, 这一控制对电池的整体性能、能量密度及循环寿命至关重要。在锂电池正负极片的制备过程中, 必要的厚度一致性与材料密实度必须得到确保, 以避免在充放电过程中出现电流分布不均或局部过热现象, 从而影响电池的安全性与稳定性。材料颗粒的重新排列与压实, 通过施加精确的压缩力实现, 确保极片具有较高的机械强度与电化学性能。不仅仅是决定极片的厚度, 辊压工艺还会影响其孔隙率。过高或过低的孔隙率都会

对离子传输性能产生不利影响，进而影响电池的内阻、功率输出与充电速率。通过精细调节辊缝，在微观层面上优化极片的结构，辊压工艺可以实现机械稳定性与电化学性能之间的平衡。随着锂电池技术的不断进步，日益提升的电池对能量密度及安全性的要求，使得辊压工艺的精确控制成为锂电池制造中不可或缺的环节。这一工艺不仅影响电池单体的性能一致性，且对整个电池模组的整体效能与可靠性产生重要影响，推动着锂电池生产技术向高效与智能化方向发展。

2 材料厚度均匀性对锂电池性能的影响

锂电池性能的影响，材料厚度的均匀性至关重要，尤其是在提升电池的能量密度、充放电效率及循环寿命方面，发挥着关键作用。当极片厚度不均时，电池内部的电流分布可能出现不平衡，局部过热、锂枝晶生成，甚至引发短路等安全隐患由此产生。此外，厚度的不均匀性还会导致电池的容量利用率降低，部分区域可能出现过充或过放，进而导致性能衰减及使用寿命缩短。电池内阻的变化，也受到不均匀极片厚度的影响，从而对功率输出和充电速度产生负面影响。在高倍率充放电的情况下，电压不稳定的问题更易在厚度不均的电池中出现，这进一步影响整个电池组的性能一致性。通过确保极片厚度的均匀性，锂电池的整体性能及安全性可以得到有效改善。

3 锂电池极片材料的特性分析

锂电池极片材料的特性在很大程度上决定了电池性能与应用范围。通常具备较高能量密度与稳定性的正极材料，如磷酸铁锂和三元材料，而负极材料则主要以石墨等碳基材料为主，展现出良好的导电性及较低的锂离子嵌入电位。为了满足锂电池在能量存储中的高效需求，优良的电化学稳定性、较高的电压平台及充放电效率是正极材料的基本要求^[1]。同时，负极材料则被要求具有较高的比表面积与离子导电性，以实现充放电过程中快速且稳定的锂离子迁移。电池的容量、倍率性能与循环寿命，均直接受两者匹配性的影响。此外，极片材料的机械强度、厚度均匀性及孔隙结构等因素同样对电池性能起着决定性作用。在极片制备过程中，若材料的分散性、混合均匀性与表面光滑度未能达到标准，必将直接影响电池的内阻、热稳定性及整体性能。通过优化极片材料的特性，锂电池的整体表现及其应用潜力可以显著提升。

4 辊缝调节对正负极材料厚度均匀性的影响

4.1 正极材料（磷酸铁锂、三元材料）厚度均匀性的影响分析

在锂电池正极材料的制造过程中，辊缝调节对于磷酸铁锂和三元材料厚度均匀性的影响至关重要，直接关系到电池的电化学性能、能量密度及循环寿命。磷酸铁锂材料因其优越的结构稳定性及较高的安全性而被广泛应用。然而，由于其硬度较高且颗粒较粗，若辊缝调节不当，例如设置过窄，材料在压制过程中可能承受过大的压缩应力，

导致局部厚度不均，甚至发生破碎。这种情况的发生将显著影响极片的整体导电性与锂离子迁移速度，进而增加电池的内阻。相比之下，三元材料（如镍钴锰氧化物）具备较高的能量密度与活性，但在辊压过程中容易出现体积膨胀或收缩的现象。若辊缝设置过紧，材料可能被过度压缩，从而导致活性物质结构受损及电化学反应性能下降；若辊缝过宽，则极片的密实度不足，材料厚度分布不均，降低锂离子的传导效率与充放电性能。因此，在磷酸铁锂与三元材料的辊压过程中，应依据材料的物理特性与粒度分布进行精细调节，以确保正极材料厚度的均匀性，从而最终实现最佳的导电性能、离子传输效率及电池的长期稳定性。

以下是关于辊缝调节对锂电池正极材料（磷酸铁锂和三元材料）厚度均匀性的影响分析的表格：

表 1 正极材料厚度均匀性的影响分析表

材料类型	特性	辊缝调节不当的影响	影响的电池性能
磷酸铁锂	结构稳定性高、安全性能优越	(1) 辊缝过窄：过大的压缩应力导致局部厚度不均匀，材料破碎。 (2) 厚度不均匀影响导电性和锂离子迁移速度。	增加内阻，降低充放电效率，影响电池循环寿命。
三元材料	能量密度高、活性好	(1) 辊缝过紧：过度压缩造成活性物质结构损伤，电化学性能下降。 (2) 辊缝过宽：密实度不足，厚度分布不均匀。	降低锂离子传导效率，影响充放电性能，减少能量密度。

4.2 负极材料厚度均匀性的影响分析

辊缝调节在锂电池负极材料厚度均匀性方面的显著影响，不可小觑，其直接关系到电池的内阻、循环寿命及能量密度。负极材料主要由石墨及硅碳等构成，这些材料通常具备较高的比表面积与导电性。然而，在辊压过程中，若辊缝调节不当，材料厚度的不均匀性可能会随之产生，从而影响电池的电化学性能。若辊缝设置过紧，负极材料将承受过度压缩，导致其密度过高、孔隙率降低，影响锂离子的迁移与扩散，进而降低充放电效率并增大内阻。此外，过度的压缩也可能损伤石墨材料的微观结构，影响其稳定性及循环寿命。相对而言，若辊缝过宽，负极极片的压实密度不足，材料厚度分布的不均匀性将影响局部区域的导电性，造成锂离子的嵌入与脱嵌不均匀，甚至可能引发局部极化或过热现象，从而影响电池的安全性与一致性^[2]。因此，在制造过程中，需对辊缝进行精确调节，以确保负极材料的厚度均匀性，从而提升电池性能。

如图所示负极材料粒度分布对锂电池性能的影响：

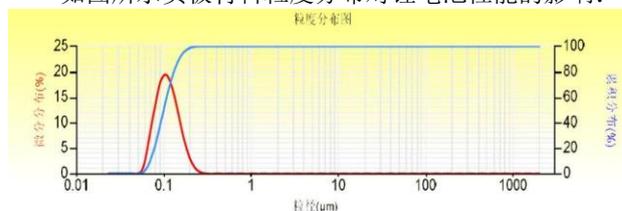


图 1 粒度分布图

4.3 辊缝调节与材料特性之间的相互作用

辊缝调节与锂电池正负极材料特性之间的相互关系，在电池制造过程中至关重要。不同类型的正极材料，如磷酸铁锂与三元材料，以及负极材料如石墨与硅碳，各自具备独特的物理与化学特性，这些特性直接影响材料在辊压过程中的表现及最终极片的质量。对于较硬的正极材料，如三元材料，若辊缝调节过紧，材料将遭受过度压缩，这种情况可能造成颗粒间结合不良及内部应力集中，进而引发厚度不均与裂纹，影响电池的充放电性能及循环寿命。相对而言，在处理较软的负极材料如石墨时，若辊缝过宽，材料未能达到所需的密实度，这将降低电池的导电性及锂离子的传导效率。此外，材料的颗粒形状与分布对辊缝调节的影响同样显著。在辊压过程中，颗粒形状不规则或尺寸分布较大的材料易产生厚度波动。因此，合理的辊缝调节必须综合考虑材料的特性，以确保在整个辊压过程中实现最佳的厚度均匀性。

4.4 辊压工艺参数对材料均匀性的影响

辊压工艺参数在锂电池正负极材料厚度均匀性方面发挥着至关重要的作用，主要影响因素包括辊缝宽度、辊速、辊压压力及进料速度等。辊缝宽度的调整，直接影响着材料在辊压过程中的压缩程度。若辊缝设置过宽，材料将无法得到有效压实，结果可能导致厚度不均匀和密实度不足，从而影响锂离子的扩散速度与电池的充放电性能。相反，若辊缝过窄，材料可能遭受过度压缩，导致颗粒破碎及应力集中，从而削弱结构的稳定性与导电性。辊速也是一个重要因素，适当的辊速有助于确保材料在辊压过程中的均匀分布与有效融合。若辊速过快，物料混合可能不均匀，压制不足；而若辊速过慢，材料在辊压过程中可能受到过多热量的影响，从而改变其特性^[3]。辊压压力的设置同样至关重要，合理的压力能够增强材料间的黏结力，改善极片的密实性。然而，过高的压力可能导致材料形变或破坏，从而降低极片的整体性能。此外，进料速度的调节，对材料在辊压过程中的分布均匀性也有显著影响。若进料速度过快，材料将未能充分压实，最终可能造成极片厚度的波动。通过优化辊压工艺参数，可以有效提升锂电池极片的质量与性能。

5 辊缝调节优化措施

5.1 提高极片厚度均匀性的优化策略

提高锂电池极片厚度均匀性的优化策略，主要包括辊缝调节的精确控制与辊压工艺的全面改进。建立基于材料特性及生产需求的辊缝调节标准，至关重要。结合不同正负极材料的物理与化学特性，辊缝宽度需合理设置，以确保材料在辊压过程中的有效压实与均匀分布。辊压设备的选型与维护，同样不可忽视。具备高精度控制系统的辊压机必须选择，以实时监测辊缝宽度及压力变化，从而保持工艺参数在生产过程中的稳定。此外，提升极片厚度均匀

性的重要措施之一，便是优化辊压速度。适宜的辊压速度能够提高材料的流动性与分散性，从而增强整体均匀性。进料系统的均匀与稳定速率，亦为关键。物料在辊压过程中出现堆积或不均匀分布的情况，应予以避免。引入先进的数字化监控技术，如在线厚度检测与反馈控制系统，可以实时调整辊缝及其他工艺参数，从而实现更加精确的厚度控制。定期分析与总结生产过程中的数据，能够识别潜在影响因素并进行相应调整，持续优化生产工艺，以确保极片厚度的均匀性，提升电池的整体性能与安全性。

5.2 过程参数的调整与控制

在锂电池极片制造中，过程参数的调整与控制对于产品质量的保障，至关重要，特别是在辊压工艺环节。辊缝宽度的精确调整，被视为关键因素。合理设定的辊缝宽度，需基于材料特性及其在辊压过程中的行为进行优化。对于不同类型的正负极材料，如磷酸铁锂与三元材料，建议依据材料实验结果，实施定制化的辊缝宽度设置，以确保材料在压制过程中实现理想的密实度与均匀性。辊压压力的监控与调整，同样不可忽视。应根据实际生产情况灵活应对，采用实时监测系统跟踪压力变化，并在出现偏差时，及时调整，避免因材料过度压缩或压实不足而引起的厚度不均。同时，辊速的选择与调整，对极片的质量产生深远影响。适当的辊速，能够确保材料在辊压过程中的充分流动与均匀分布，从而提升极片的整体均匀性。进料速度，也属于重要参数，必须保持稳定的进料速率，以防物料在进入辊压区域时出现不均匀堆积，导致最终产品的厚度波动^[4]。为更有效地控制这些过程参数，可以引入数字化与智能化的工艺控制系统，实现数据的实时反馈与闭环控制，及时响应生产中的变化，优化工艺参数。此外，定期分析与总结生产数据，潜在因素的识别将有助于影响厚度均匀性的识别，并为持续改进工艺提供有力支持。

5.3 辊压工艺的智能化与自动化调节方案

在锂电池极片制造中，辊压工艺的智能化与自动化调节方案，日益受到关注，显著提升了生产效率及产品质量。先进的传感器与监测系统的引入，成为实现对辊缝宽度、辊压压力及辊速等关键参数的实时监控的重要措施。这些传感器在辊压过程中，能够收集大量数据，并配合数据分析软件，对生产环境及材料状态进行动态评估，以确保工艺参数始终维持在最佳范围内。例如，基于机器学习算法的智能控制系统，具备预测材料在不同条件下行为的能力，能够自动调整辊缝与压力，以获得最佳的压制效果。生产过程中的调节灵活性与效率，因自动化控制系统的应用而得以提升。操作人员可通过人机界面实时监控与控制辊压设备，快速应对生产中出现的异常情况。此外，借助先进的计算机视觉技术，极片的厚度与表面质量，得以进行在线检测，从而实现闭环反馈调节。当厚度波动或表面缺陷被检测到时，系统能够迅速调整辊缝或其他工艺参数，以确保最

终产品的均匀性与一致性。智能化与自动化技术的综合运用,不仅增强了极片生产过程的稳定性与可控性,还降低了人力成本与生产风险,从而提升整体生产效率与产品质量。

6 结语

对辊压机辊缝调节对材料厚度均匀性影响的深入分析,揭示了这一工艺参数在锂电池极片制造中的重要性。辊缝的合理设置,直接关系到材料的压实程度及厚度一致性,且深刻影响电池的 electrochemical performance、能量密度及循环稳定性。在锂电池技术快速发展的背景下,辊缝调节策略的优化显得尤为重要。未来,结合先进的智能化技术与精细化管理方法,辊压工艺的效率与产品的一致性,预计将进一步提升。随着对辊缝调节影响机制的深入研究,技术进步将在锂电池行业得到推动,为更高性能的电池产品提供有力支持。不断探索辊压机工艺参数与材料特性之间的关系,必将为锂电池的创新发展奠定坚实基础。

[参考文献]

- [1] 申惠赞. 电池极片辊压机轧辊的辊型电磁调控[D]. 秦皇岛:燕山大学,2023.
 - [2] 关玉明,姜钊,赵芳华,等. 锂电池极片不平度研究与辊压机结构优化分析[J]. 机械科学与技术,2018,37(2):287-292.
 - [3] 马嵩华,田凌. 锂电池极片辊压机刚度分析与结构优化[J]. 中国机械工程,2015,26(6):803-808.
 - [4] 李湃. 锂电池极片辊压过程轧制力模型研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2022.
- 作者简介:张小同(1984.10—),男,毕业院校:黑龙江八一农垦大学,专业:机械设计制造及其自动化专业,毕业日期:2008年6月,学历:大学本科,任职单位:邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司,主要工作:锂电行业辊压机的设计。