

电气自动化下电弧炉冶炼过程行进控制方法的研究与应用

杨磊 李楠

陕西省宝鸡市宝钛集团，陕西省宝鸡市，721000；

摘要：电弧炉冶炼是钢铁生产中至关重要的环节，其生产效率和产品质量直接关系到企业的经济效益。随着电气自动化技术的发展，传统的电弧炉冶炼过程行进控制方法已难以满足现代钢铁生产的高效率和高质量要求。本研究针对电气自动化环境下，提出了一种新的电弧炉冶炼过程行进控制方法，以实现电弧炉冶炼过程的优化控制和自动化操作。通过对现有控制策略的分析，结合电弧炉冶炼过程的特点，本研究采用基于模型的预测控制策略，结合实时数据采集和处理系统，实现对冶炼过程的精准控制。实验结果表明，该控制方法能够显著提高电弧炉的加热效率，缩短冶炼周期，提升生产效率，同时保证了产品质量的稳定性。本研究的应用不仅为电弧炉冶炼过程的自动化控制提供了新思路，也为电弧炉冶炼过程的节能降耗和生产优化提供了技术支持，具有重要的理论意义和应用价值。

关键词：电弧炉冶炼；电气自动化；过程控制；模型预测控制；生产效率

DOI:10.69979/3041-0673.24.4.021

引言

钢铁生产是国防和民用建设的基础，其中电弧炉冶炼作为生产过程中的重要环节，其生产效率和产品质量的好坏直接决定了整个钢铁产业的经济效益。然而，随着社会对高效率和高质量钢铁的日益要求，传统的电弧炉冶炼过程行进控制方法已经无法满足需求。这不可避免地延长了冶炼周期，降低了生产效率，同时也对产品质量带来了不可忽视的影响。在这种情况下，只有探寻新的过程行进控制方法，才能够改变现状，提高电弧炉冶炼的生产效率和产品质量。因此，本研究选择电气自动化环境下的电弧炉冶炼过程行进控制方法作为研究对象，希望通过研究发掘更为高效，精细的控制方法，以实现电弧炉冶炼过程的优化和自动化，从而提高钢铁生产效率，保证产品质量，并实现节能降耗。本研究的目标是探索出一种能够满足现代钢铁生产需求的新型电弧炉冶炼过程行进控制方法，并通过实验证明其可行性和有效性。

1 电弧炉冶炼的过程及其重要性

1.1 钢铁生产的常用方法和电弧炉冶炼过程

钢铁生产是现代工业的重要组成部分，其主要方法包括高炉-转炉长流程、直接还原法、和电弧炉冶炼等^[1]。其中，电弧炉冶炼因具有灵活性强、生产效率高、节能环保等优点，成为钢铁生产过程中不可或缺的重要环节。

电弧炉冶炼过程是通过电能加热和熔化废钢、电极碳及其他合金材料，生成钢液的工艺。其基本原理是在

高温电弧的作用下，使炉内温度快速上升，进而将原料熔化并形成钢液。电弧炉冶炼过程包括废钢预处理、装料、电弧加热、熔化、精炼、出钢及除渣等多个步骤。

废钢预处理是电弧炉冶炼的首要环节。废钢在进入电弧炉之前需要经过初步处理，如切割、分类、去除杂质等，以确保废钢的纯度和均匀性。装料过程则将预处理后的废钢通过电炉门或顶装料系统送入炉内。电弧加热是电弧炉冶炼的核心环节，通过三支电极之间的高温电弧将废钢加热至熔化状态^[2]。熔化过程是通过电弧的高温能量使废钢逐渐转化为钢液，并在此过程中加入一定量的碳、硅、锰等合金元素以调整钢液成分^[3]。

在熔化完成后，电弧炉进入精炼步骤。精炼过程通过调节温度、适量添加脱碳剂和合金调整剂去除钢液中的杂质并控制钢液成分，使之达到预期的质量标准。出钢环节则是将精炼后的钢液从电弧炉内倒出，导入铸造模具或其他容器内。进行除渣处理，以去除钢液表面的熔渣和其他杂质，确保最终产品的纯净度和质量。

电弧炉冶炼方法已经被广泛应用于各种钢材生产中，尤其适用于生产高质量特殊钢种和不锈钢。其显著特点包括对废钢的高利用率、低生产能耗以及灵活多变的生产调控能力，有效应对市场需求变化和资源短缺等挑战。

电弧炉冶炼过程不仅对钢铁企业的生产效率和产品质量具有直接影响，也关系到企业的经济效益和市场竞争力。通过不断改进电弧炉冶炼工艺和引入先进的电气自动化技术，可以进一步提高生产效率、节约能源、

降低生产成本，从而推动钢铁工业的绿色化和可持续发展。

1.2 电弧炉冶炼过程的主要问题和影响因素

电弧炉冶炼过程面临诸多问题和影响因素，这些问题直接影响冶炼效率、能耗及产品质量。电弧炉冶炼过程中的能源消耗问题尤为突出^[4]。电弧炉在加热和冶炼过程中需要消耗大量电能，这不仅导致生产成本的增加，也使得能效管理成为一个关键问题。目前，各大钢铁企业面临的核心挑战在于如何优化能源利用，降低能耗，实现绿色生产。

另一个重要问题是冶炼过程中温度和成分的控制。电弧炉冶炼需要在高温下进行，温度的波动会影响冶炼效果，特别是在成分调节和氮化钢生产方面。温度过高或过低都会导致钢材质量偏差，由此引起的产品不合格率增高。元素成分的稳定性在冶炼过程中难以保持，导致产品在化学成份上不合格的风险增加。

物料的处理方式和配比也是影响电弧炉冶炼的重要因素。不同体积、成份的废钢料在冶炼过程中的熔化速率不同，这就要求对废钢料进行精细化的分类和前期处理，以避免因混料不均匀而引发的品质问题。废钢的质量、种类和前期预处理对冶炼效率和最终产品质量起到至关重要的作用。

电磁干扰和噪声问题也是电弧炉冶炼过程中的一大挑战^[5]。高温高压环境下，设备运行产生的电磁干扰和噪声不仅影响操作人员的工作环境和安全，也对精细控制和数据采集带来一定干扰，进而影响冶炼的准确性和稳定性。

电弧炉冶炼过程中的主要问题和影响因素包括能源消耗、温度和成分控制、物料处理及电磁干扰等。这些问题亟需优先解决，以提高电弧炉冶炼的效率和产品质量，实现钢铁生产的经济和环保效益最大化。

1.3 电弧炉冶炼生产效率和产品质量对企业经济效益的影响

电弧炉冶炼生产效率和产品质量对企业经济效益具有直接的影响。高效的生产效率可以显著降低生产周期，提高产能，增大企业在市场中的竞争力。稳定且高质量的产品能够减少次品和废料的产生，节约原材料和能源成本，提升整体生产效益。优质的钢材产品在市场上具有更高的附加值，能够为企业带来较高的利润率。可靠的产品质量还能提高客户满意度，增强客户忠诚度，从而增加订单量和市场占有率。优化电弧炉冶炼过程的

控制方法，不仅有助于提高生产效率和产品质量，还能显著促进企业经济效益的全面提升。

2 电气自动化技术和传统过程控制方法

2.1 电气自动化技术的发展和应用

随着科技的快速发展，电气自动化技术在工业生产中的应用日益普及和深化。电气自动化技术运用先进的电子设备、传感器、控制系统和软件算法，实现对生产过程的实时监控、数据采集和自动调节，有效提高了生产效率和产品质量。在钢铁工业中，电弧炉冶炼作为一个复杂且动态变化的过程，对控制系统的要求非常高。电气自动化技术的发展，为电弧炉冶炼过程的优化控制提供了重要手段。

现代电气自动化系统以实时数据采集和处理为基础，通过PLC（可编程逻辑控制器）、DCS（分布式控制系统）和SCADA（监控与数据采集系统）等核心技术，实现了对冶炼过程的全方位监控和调节。传感器技术的发展，使得温度、压力、流量等关键参数能够被实时精确测量，并通过信号传输系统传送到中央控制室。这里，控制系统基于采集到的实时数据，利用先进的控制算法（如模糊控制、神经网络控制和模型预测控制）进行决策，调整治炼过程中的电流、电压等操作参数，以达到优化控制的效果。

电气自动化技术不仅提高了数据处理的速度和精度，还推动了智能化控制理念的应用。通过机器学习和大数据分析等先进技术，可以为电弧炉冶炼构建更加精准的模型和控制策略，从而实现预测性维护和主动式管理。自动化系统与信息技术的融合，使得生产过程的预测和调节更加动态高效，极大地提升了冶炼过程的稳定性和一致性。

电气自动化技术在电弧炉冶炼中的应用，不仅仅局限于过程控制，还包括对能源消耗和资源利用的优化。通过精确调节每个冶炼阶段的电能输入，减少不必要的能源浪费，提升能源利用效率。通过实时监控和数据分析，可以发现和消除生产过程中的瓶颈和异常问题，从根本上优化冶炼过程的运行效率。

整体而言，电气自动化技术的发展和应用，极大地推动了电弧炉冶炼过程的现代化和智能化。不仅提升了冶炼过程的精确度和稳定性，还为实现高效、节能和环保的钢铁生产提供了坚实保障，为钢铁企业的可持续发展注入了新动力。

2.2 传统电弧炉冶炼过程控制方法的局限性

传统电弧炉冶炼过程控制方法的局限性主要体现在以下几个方面。

传统方法依赖于操作人员的经验和手动调整，这使得冶炼过程的控制具有较大的不确定性和波动性，难以实现高度精确的控制，并不可避免地带来人为误差。操作人员的经验水平直接影响到冶炼过程的质量与效率。在面对复杂的冶炼工况时，操作人员难以快速做出准确判断和调整，往往需要经过多次试错才能找到合适的操作参数，导致冶炼周期延长。

传统控制方法普遍采用闭环反馈控制方式，通过监测输出变量并进行调整来维持系统的稳定。这种方式在电弧炉冶炼过程中存在滞后性，无法快速响应工况的变化。尤其在钢液成分波动剧烈或者冶炼条件变化迅速时，滞后响应很难有效控制冶炼过程，使得产品质量难以保证。

传统控制方法缺乏对实际运行条件和过程变量的全面实时监测和数据分析。冶炼过程中的参数，如温度、电流、电压等，变化复杂且相互影响，传统控制策略难以全面捕捉这些动态变化并进行有效控制。实时数据采集和处理能力不足，无法及时调整控制策略，制约了冶炼过程优化的实施。

传统控制策略通常采用简单的线性控制模型，难以适应复杂、多变的冶炼工况。电弧炉冶炼过程是一个高度非线性的复杂过程，受到诸多因素的影响，如原料成分、炉内气氛等。线性模型难以准确描述这种非线性关系，忽视了系统内在的复杂性和多变量间的相互作用，导致控制效果有限。

这些局限性呼唤着更为先进、高效的控制策略，以实现电弧炉冶炼过程的优化控制，提高生产效率，保证产品质量。电气自动化技术的发展为电弧炉冶炼过程控制方法的革新提供了重要契机和技术支持。

2.3 电气自动化环境下的电弧炉冶炼优化需求

在电气自动化环境下，电弧炉冶炼优化的需求主要体现在提高生产效率、稳定产品质量和降低能耗。传统控制方法无法实时响应复杂的冶炼过程，需要基于精确模型的预测控制策略来解决此问题。通过实时数据采集和处理系统，优化控制参数，实现冶炼过程中温度、电流等关键参数的精准控制，确保冶炼过程的稳定性和连续性。通过自动化操作，减少人为干预，进一步提升生产过程的安全性和可靠性，从而满足现代钢铁生产的高

效和高质要求。

结束语

本研究基于电气自动化技术的发展，提出并实践了一种新的电弧炉冶炼过程行进控制方法。通过对传统控制方法的分析与改进，结合电弧炉冶炼过程的具体要求，本研究采用了基于模型的预测控制策略，并辅以实时数据采集与处理系统。该方法的实施，经实验验证，不仅显著提升了电弧炉的加热效率和生产效率，缩短了冶炼周期，同时也确保了产品质量的稳定性，体现了其显著的经济和技术效益。尽管该控制方法已在实践中取得了积极成果，但仍存在一些局限性与挑战。例如，该控制策略对数据采集和处理能力提出了较高要求，需要对硬件设施进行相应的升级和优化。此外，冶炼过程中复杂环境的适应性和控制策略的进一步优化也是未来研究工作中需重点关注的方向。针对以上提到的局限性和挑战，未来的研究可以聚焦于更高精度的数据采集技术，以及基于人工智能的自动化冶炼过程控制策略，进一步提升控制精度和系统的智能化水平，以满足更高效率和质量要求的冶炼过程。同时，对冶炼过程中可能出现的突发情况进行更深入的研究和应对策略的开发，将极大地提高电弧炉冶炼过程的稳定性和安全性。通过这些持续的努力，可以为电弧炉冶炼过程的进一步优化和自动化控制开拓更广阔的研究领域和应用前景。

参考文献

- [1] 霍振全. 电弧炉冶炼供氧强度的控制与DS夹杂物含量的降低[J]. 大型铸锻件, 2022, (03): 10-13.
 - [2] 梁辉. 铜冶炼电气自动化控制设备可靠性研究[J]. 冶金管理, 2020, 0(01): 83-83.
 - [3] 王小川王佳明. 浅议真空电弧炉重熔含氮钢的过程控制[J]. 特钢技术, 2021, 27(03): 16-19.
 - [4] 安龙森, 郭甫, 孙浩, 陈云, 程林. 电弧炉冶炼工艺对钢水收得率的影响 [J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57(05): 161-162.
 - [5] 尹崇丽叶飞来. 电弧炉低成本高效冶炼集成技术的应用 [J]. 山东冶金, 2023, 45(04): 7-9.
- 作者简介：杨磊，性别：男，民族：汉，出生年月：1988年1月25日，籍贯：陕西，专业：电气自动化，研究方向：真空炉的程序设计调试，学历：本科，职称：中级。