

电力电子变换器在工业加热炉温度控制中的节能优化方案

郭旭桐

江苏禄航动力科技有限公司 江苏南京

【摘要】针对工业加热炉能耗高的问题，本文提出电力电子变换器在温度控制中的节能优化方案。通过深入分析加热炉的运行特性，以及电力电子变换器的工作原理，引入先进的控制策略，如模糊控制、自适应控制等，并采取硬件优化措施，如选用高效功率器件、优化电路拓扑。以此实现对加热炉温度的精准调控，降低能耗。经实践验证，该方案有效提升了能源利用效率，为工业加热炉节能改造提供了有价值的参考。

【关键词】电力电子变换器；工业加热炉；温度控制；节能优化；控制策略

【收稿日期】2025 年 3 月 9 日

【出刊日期】2025 年 4 月 9 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250184

Energy saving optimization scheme of power electronic converter in industrial heating furnace temperature control

Xutong Guo

JiangSu LuHang Power technology Co. Ltd, Nanjing, Jiangsu

【Abstract】In response to the issue of high energy consumption in industrial heating furnaces, this paper proposes an energy-saving optimization scheme for power electronic converters in temperature control. By thoroughly analyzing the operating characteristics of the heating furnace and the working principles of power electronic converters, advanced control strategies such as fuzzy control and adaptive control are introduced, along with hardware optimization measures like selecting high-efficiency power devices and optimizing circuit topologies. This approach aims to achieve precise temperature regulation of the heating furnace, thereby reducing energy consumption. Practical tests have shown that this solution effectively improves energy utilization efficiency, providing valuable reference for the energy-saving renovation of industrial heating furnaces.

【 Keywords 】Power electronic converter; Industrial heating furnace; Temperature control; Energy saving optimization; Control strategy

引言

工业加热炉作为工业生产关键设备，能耗占比高，传统温度控制方式存在效率低、能耗大等问题。随着能源危机与环保要求提升，降低加热炉能耗成为工业领域亟待解决的重要课题。电力电子变换器具备高效电能转换与灵活控制特性，将其应用于工业加热炉温度控制的节能优化，对推动工业节能降耗、实现可持续发展具有重要意义。

1 能耗问题剖析

在庞大而复杂的工业生产体系中，工业加热炉占据着极为关键的地位，堪称工业生产的基石。它犹如一位不知疲倦的幕后英雄，广泛且深入地应用于冶炼、化工、建材等众多至关重要的行业领域。在冶炼行业，工业加热炉宛如一座炽热的熔炉，以其强大的高温能量，

将固态金属逐步转化为流动的液态，为后续精密的金属加工流程奠定基础^[1]。在化工行业，诸多化学反应宛如一场微妙的分子之舞，而工业加热炉则通过精准调控温度，为这些反应营造出适宜的特定温度区间，确保反应顺利进行，从而产出各类关乎国计民生的化工产品。在建材行业，烧制水泥、陶瓷等产品的过程中，工业加热炉的稳定运行状态如同定海神针，对产品质量起着决定性作用，细微的温度波动都可能导致产品出现瑕疵，影响最终的成品率与产品品质。

就温度控制层面而言，传统控制模式下，加热炉的温度传感器存在响应延迟，无法迅速捕捉炉内温度的细微变化。这种温度传感器多采用较为基础的技术原理，在面对温度的快速波动时，其内部元件的物理特性变化速度跟不上温度变化节奏。这就导致当实际温度

偏离设定值时,加热设备不能及时做出功率调整,造成温度控制精度严重不足^[2]。例如在钢铁冶炼过程中,若加热炉温度波动过大,会影响钢材的质量和性能。钢材的金相组织形成与加热过程中的温度密切相关,温度波动大可能使钢材内部组织不均匀,进而导致钢材的强度、韧性等关键性能指标无法达到标准,次品率大幅上升。

从电能转换效率角度来看,工业加热炉内部的电热元件老化严重,且匹配不合理。长时间的高温、高负荷运行使得电热元件的电阻值发生变化,偏离了初始设计值。而且在元件选型时,可能由于对加热炉实际运行工况预估不足,导致元件功率与加热需求不匹配。在电能转化为热能的过程中,大量电能以无用功的形式消耗,转化效率远低于行业标准。传统控制模式下,加热设备的启停完全依据简单的温度阈值设定,缺乏对实际生产需求的精准考量。在生产节奏多变的情况下,加热设备频繁启停,每次启动瞬间都会产生较大的电流冲击,额外消耗大量电能。因为电机启动时,需要克服转子的惯性,此时电流会远高于正常运行时的电流值,频繁的大电流冲击不仅增加了电能消耗,还对供电系统造成压力。这种粗放式的控制方式,使得能源利用效率长期在低水平徘徊,企业不仅要承担高额的电费支出,还面临着严峻的节能减排压力。

2 优化方案构建

鉴于工业加热炉能耗问题的复杂性,基于电力电子变换器特性构建的新型温度控制节能优化方案应运而生。在控制算法层面,引入先进的模糊控制算法。模糊控制算法能够模仿人类的思维方式,将温度偏差、温度变化率等模糊量作为输入,通过模糊推理规则,快速输出精准的控制量,从而实现了对加热炉温度的快速响应^[3]。当炉内温度接近设定值时,模糊控制算法能够自动减小加热功率,避免温度超调。它依据预先设定好的模糊规则库,将温度偏差分为“正大”“正中”“正小”“零”“负小”“负中”“负大”等模糊子集,温度变化率也类似划分。当温度接近设定值时,温度偏差可能处于“正小”范围,温度变化率为“正小”或“零”,根据规则库,算法输出一个较小的控制量,对减小加热功率,使得温度平稳趋近设定值。

自适应控制算法的融入,进一步提升了系统的智能化水平。自适应控制算法能够实时监测系统的运行状态,根据加热炉负载的变化、环境温度的波动等因素,自动调整控制参数,确保系统始终处于最佳运行状态。比如在冬季,环境温度较低,加热炉需要更多的热量来

维持设定温度,自适应控制算法能感知到这种变化,自动增大加热功率;而在夏季,环境温度较高,算法会相应减小加热功率。在变换器拓扑结构优化方面,采用新型的多电平变换器拓扑结构。这种拓扑结构能够有效降低输出电压的谐波含量,减少电能传输过程中的损耗^[4]。传统的变换器拓扑结构输出电压谐波较多,这些谐波会在传输线路中产生额外的电阻损耗和电感电容损耗,多电平变换器通过增加电平数,使输出电压更接近正弦波,大幅降低了谐波含量。选用低导通电阻、高开关速度的高效功率器件,能够降低功率器件在导通和关断过程中的能量损耗,从多个维度提升系统整体能效。低导通电阻的功率器件在导通时,自身产生的热量少,电能损耗小;高开关速度则能减少开关过程中的过渡时间,降低开关损耗。

3 方案实施效果

将精心构建的节能优化方案应用于实际工业加热炉后,取得了令人瞩目的效果。在温度控制精度方面,通过高精度温度传感器与先进控制算法的协同工作,温度波动范围大幅缩小。以化工行业的反应炉为例,改造前温度波动范围可达 $\pm 10^{\circ}\text{C}$,改造后缩小至 $\pm 2^{\circ}\text{C}$,为化学反应提供了更加稳定的环境,有效提升了产品质量的一致性。许多化学反应对温度极为敏感,在旧的温度控制下,温度波动大使得反应进行的程度不一致,产品的成分、纯度等指标差异明显。而如今温度波动范围缩小,化学反应能够在更稳定的条件下进行,产品质量更加稳定,次品率显著降低^[5]。从能耗数据来看,系统整体能耗显著降低。经过专业的能耗监测设备统计,在相同生产任务下,改造后的工业加热炉能耗降低了20%-30%。这意味着企业在能源成本支出上有了大幅下降,经济效益显著提升。一家中型化工企业,每月电费支出在改造前高达数十万元,改造后每月电费可节省数万元,一年下来节省的电费相当可观。

设备运行稳定性也得到了极大增强。由于加热设备启停次数大幅减少,避免了频繁启停对设备造成的机械冲击和电气应力,设备的故障率明显降低。据统计,设备维护周期从原来的每月一次延长至每季度一次,维护成本降低了约40%。频繁启停会使加热设备的电机、接触器等部件加速磨损,而现在启停次数减少,这些部件的使用寿命延长,维修次数相应减少,不仅降低了维修成本,还减少了因设备故障导致的生产停滞时间,保障了生产的连续性^[6]。通过实际生产数据的对比和分析,充分验证了该节能优化方案在工业加热炉温度控制中的有效性与可行性,为工业企业节能减排、降

本增效提供了有力支撑。

4 成果与展望

电力电子变换器应用于工业加热炉温度控制的节能优化方案,在攻克传统控制模式能耗难题方面取得了显著成效。在传统模式下,工业加热炉往往存在能源浪费严重、温度控制精度低等问题,导致能源利用效率低下,设备运行性能不佳。而该节能优化方案通过对控制算法的深度优化,如引入先进的智能控制算法,能够根据加热炉实时的温度需求和工况变化,精准地调整电力电子变换器的输出参数,实现对加热功率的精确调控^[7]。对变换器拓扑结构进行创新性设计,采用新型的拓扑结构,有效降低了变换器自身的损耗,提高了电能转换效率。

由于温度控制更加精准稳定,产品的一致性和良品率得到大幅提高,进而增强了企业的市场竞争力。从行业发展视角审视,该方案为工业加热炉节能改造树立了标杆,提供了极具价值的可借鉴模式。其成功经验能够启发相关技术的研发与创新,推动整个技术领域的进步。其他企业在面临类似能耗困境时,完全可以参考此成熟方案,并紧密结合自身生产流程、设备状况等实际情况进行针对性改进,从而有力地促进整个行业的技术升级,助力工业领域向绿色、高效的方向迈进。

展望未来,随着电力电子技术向更高功率密度、更低损耗方向发展,以及智能控制算法不断优化升级,可深入探索融合神经网络、专家系统等前沿技术的更高效控制策略。神经网络具有强大的学习和自适应能力,能够处理复杂的非线性关系,有望进一步提升温度控制的精度和系统的自适应能力;专家系统则可将行业内的专业知识和经验融入控制过程,做出更合理的决策^[8]。在变换器拓扑结构方面,研发具有更高集成度、更强可靠性的新型拓扑结构。通过持续创新,推动工业加热炉节能技术朝着智能化、高效化方向大步迈进,为工业领域实现绿色低碳发展注入源源不断的动力,助力工业企业在环保与经济发展之间找到最佳平衡点。

5 结语

电力电子变换器应用于工业加热炉温度控制,凭借先进控制策略与硬件优化,精准调控温度,降低能耗,

显著提升能源利用效率与设备稳定性。该节能优化方案切实解决传统模式的高耗能问题,为工业加热炉节能改造提供有效路径。展望未来,伴随电力电子技术与智能算法创新发展,不断探索更优控制策略和拓扑结构,将推动工业加热炉节能技术向智能化、高效化进阶,助力工业绿色低碳转型。

参考文献

- [1] 毕长飞.电力电子变换器 MPC 权重系数的 ANN 设计[J/OL].机械设计与制造,1-5[2025-04-19].
- [2] 马运东,惠雪,段彬,等.《电力电子技术及控制》教材编著的思考——电力、电子与控制知识的融合[J/OL].电气电子教学学报,2025,(01):148-151[2025-04-19].
- [3] 刘千啸,陈小强,王英,等.基于体积优化的之字形电力电子变压器并联多脉波整流技术研究[J].电气工程学报,2025,20(01):108-118.
- [4] 汤建,邹志翔,薛明军,等.电力电子变换器并联系统的稳定控制策略及参数设计[J].电力自动化设备,2025, 45(03): 102-108.
- [5] 李驰,叶之菁,舒文彬,等.用于分布式光伏制氢的高效紧凑多端口电力电子变换器[J/OL].电网技术,1-11[2025-04-19].
- [6] 徐荣姬,董逸凡,刘青青.基于 DAB 的单级双向 AC/DC 变换器设计[J].中国新技术新产品,2024,(21):78-80.
- [7] 杨鹏,李倩,史善哲,等.基于分数阶的反激变换器精细建模[J].河北科技大学学报,2024,45(05):461-470.
- [8] 王书征,高铁峰,李先允.新型电力系统背景下电力电子技术实验课程教学改革探索[J].科技视界,2024, 14(27): 32-35.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

