

气化炉高效稳定运行的控制策略研究

仇士彬 刘 阳 王 新 屈 卫 吴培源
华能(天津)煤气化发电有限公司 天津 300452

摘 要: 本文研究了气化炉高效稳定运行的控制策略。针对气化炉运行过程中的复杂性和不确定性,提出了先进的控制方法和技术。通过实时监测和调整关键参数,如温度、压力和气化剂流量,确保气化炉的稳定运行。同时优化控制策略,提高气化效率和产物纯度。仿真分析验证了控制策略的有效性,为实际生产提供理论指导和技术支持。本研究对于提升气化炉的运行性能和经济效益具有重要意义。

关键词: 气化炉; 高效稳定运行; 控制策略

1 气化炉工作原理与特性分析

1.1 气化炉工作原理

气化炉是一种用于将固体燃料(如煤、生物质等)在缺氧或有限氧的条件下转化为合成气(含CO和H₂等气体)的设备。其工作原理主要依赖于热解和化学合成反应。具体来说,气化炉的工作过程通常包括预处理、气化和净化阶段;预处理:固体燃料经过粉碎、干燥等处理,以提高气化效率。气化:燃料在气化炉内受热,与气化剂(如水蒸汽、空气等)发生反应生成合成气。这一过程中,燃料中的碳、氢等元素在高温下与气氛发生化学反应,生成可燃性气体。这些气体通常包含一定比例的一氧化碳(CO)、氢气(H₂)、甲烷(CH₄)等。净化:合成气经过净化处理,去除灰尘、硫等杂质,以保证后续利用的安全性和稳定性。气化炉通过精确控制温度、气氛和气化速率,确保气化反应顺利进行并获得高质量的合成气。这些合成气可以被用作燃料,也可以进一步被加工成其他化学品或液体燃料。

1.2 气化炉特性分析

气化炉作为重要的能源转化装置,具有一系列独特的特性;一是稳定性好:气化炉采用成熟的气化工艺,如水煤浆气化工艺,进料稳定、计量可靠,避免了粉煤输送进料不稳定、易燃、易爆、易磨损、易泄漏等技术瓶颈。二是煤种适应性强:气化炉对原料煤的灰熔点无特殊要求,气化反应速度快,碳转化率高,能够气化高灰份、高灰熔点、低挥发份、高碱渣煤、褐煤等多种煤种,实现气化用煤本地化,节约运输成本。三是系统运转率高:气化炉装置运行连续稳定,烧嘴头部采用特殊处理,一次连续运行周期可以保证较长时间,年运行时间可达数千小时^[1]。四是安全性强:气化炉采用先进的安全保护措施,如辐射废锅及水冷壁采用热能工程领域成熟的垂直管结构,最大限度保证水冷壁的安全运行。五

是能量利用率高:气化炉通过辐射废锅回收高温高压合成气的显热,产生高品位饱和蒸汽,充分利用了气化能量集中便于回收的优势,能量利用更充分、更合理。六是环保性好:气化炉采用生物质作为燃料,燃烧过程中产生的污染物较少,且可以回收利用,有助于降低温室气体排放,改善环境质量。另外,气化炉还具有结构复杂、操作灵活等特点,可以根据不同的燃料和气化条件进行定制和优化。这些特性使得气化炉在化工、冶金、能源等领域具有广泛应用前景。

2 当前气化炉常用的控制策略

2.1 PID控制

PID控制,即比例-积分-微分控制,是当前气化炉控制系统中应用最为广泛的一种控制策略。PID控制器通过实时监测气化炉的各项运行参数,如温度、压力、流量等,并根据这些参数与设定值之间的偏差,通过比例、积分、微分三个环节的综合作用,输出控制信号以调整气化炉的操作条件,从而确保气化过程的稳定性和效率。比例环节(P)的作用是实时响应当前偏差,偏差越大,输出调整越强。它有助于快速修正偏差,但可能无法完全消除稳态误差。积分环节(I)则考虑了偏差随时间累积的效果,通过累加偏差值来逐步消除稳态误差,但可能会引入超调和振荡。微分环节(D)基于误差的变化率进行控制,能够预测系统误差的未来走势,并提前进行调整,以减少超调和振荡,提高系统的快速响应能力。在气化炉控制中,PID控制器通常用于温度、压力等关键参数的控制。例如,在气化炉的温度控制中,PID控制器可以根据炉内温度与设定值之间的偏差,调整燃料供应、气化剂流量等操作条件,以确保炉内温度稳定在设定范围内。PID控制器还可以通过与其他传感器和执行器的协同工作,实现对气化炉的全方位监控和调节。PID控制器的优点在于其结构简单、易于实现和调试,且具

有良好的鲁棒性和适应性。然而对于复杂的气化过程，单纯的PID控制可能难以达到理想的控制效果。因此在实际应用中，常常需要对PID控制器进行参数整定和优化，以适应不同的气化条件和运行要求。

2.2 模糊控制

模糊控制是一种基于模糊集合论和模糊逻辑推理的智能控制方法。与传统的PID控制不同，模糊控制不需要建立被控对象的精确数学模型，而是通过模糊语言变量和模糊规则来描述系统的动态特性和控制要求。这使得模糊控制特别适用于那些数学模型难以获取或动态特性不易掌握的控制对象，如气化炉等复杂工业过程^[2]。在气化炉控制中，模糊控制器可以根据炉内温度、压力等参数的模糊描述，以及操作人员的经验和知识，通过模糊推理得出合适的控制策略。模糊控制的优点在于其能够处理复杂性和不确定性，且具有良好的鲁棒性和自适应性。模糊规则的制定和调试需要一定的经验和知识，且模糊控制器的性能往往受到模糊规则完备性和模糊推理算法效率的影响。在实际应用中，常常需要将模糊控制与其他控制方法相结合，以提高控制效果和可靠性。

2.3 神经网络控制

人工神经网络是一种模仿生物神经网络结构和功能的数学模型，具有强大的自学习和自适应能力。在神经网络控制中，通过训练神经网络来建立被控对象的输入输出关系模型，并根据该模型输出控制信号以调整气化炉的操作条件。在气化炉控制中，神经网络控制器可以通过采集炉内温度、压力等参数的历史数据，并利用这些数据对神经网络进行训练和优化。训练完成后，神经网络控制器可以根据实时输入数据预测气化炉的未来状态，并根据预测结果输出合适的控制信号。例如，当预测到炉内温度即将升高时，神经网络控制器可以提前调整燃料供应或气化剂流量，以避免温度过高。神经网络控制的优点在于其能够处理复杂性和非线性问题，且具有良好的自学习和自适应能力。神经网络控制器的训练和优化需要大量的历史数据和计算资源，且其性能往往受到网络结构、训练算法和参数设置等因素的影响。在实际应用中，常常需要将神经网络控制与其他控制方法相结合，以提高控制效果和计算效率。

3 气化炉高效稳定运行控制策略面临的挑战

3.1 原料煤质量波动

气化炉的高效稳定运行极大地依赖于原料煤的稳定性和一致性，在实际的工业生产过程中，原料煤的质量却常常面临着波动的挑战。这种波动可能源自于多种因素，如煤种的频繁更换导致煤质差异较大，开采过程中

杂质的不可控混入降低了煤的纯度，以及存储条件的变化如温度、湿度等影响了煤的物理和化学性质。原料煤质量的波动会直接导致气化过程中反应条件的改变，比如煤的灰熔点变化可能影响气化炉的操作温度，挥发分含量的波动可能影响气化效率和产物的组成，水分的不同则可能影响气化剂的消耗和炉内的热平衡。这些变化都对气化炉的稳定运行构成了严峻的挑战。

3.2 操作条件变化

气化炉的操作条件，包括温度、压力、气化剂流量等，是气化过程的关键控制参数，对气化效率和产物质量有着至关重要的影响。这些操作条件在实际生产过程中往往会受到外界环境和生产需求的多重影响而发生变化。例如，气温的变化可能影响气化炉的散热效果，导致炉内温度波动；生产负荷的调整可能导致气化剂流量的不稳定，进而影响气化反应的进行。操作条件的变化还可能受到设备老化、仪表漂移等因素的影响。这些操作条件的变化会对气化过程产生直接且显著的影响，如温度过低可能导致气化不完全，降低产物质量；压力过高则可能危及设备安全，甚至引发事故。

3.3 设备故障

气化炉作为复杂的工业设备，其运行过程中难免会遇到各种设备故障的挑战。这些故障可能源自于机械部件的磨损、电气系统的短路或断路、仪表的失灵等多种原因^[1]。设备故障的发生不仅会影响气化炉的正常运行，降低生产效率，还可能对生产安全构成严重威胁。例如，气化炉内的耐火材料破损可能导致炉温失控，进而引发炉内反应的异常；气化剂管道泄漏则可能导致有毒有害气体的泄露，对操作人员的健康构成威胁，甚至可能引发爆炸事故。

4 气化炉高效稳定运行控制策略研究

4.1 控制策略设计目标

在气化炉的高效稳定运行控制策略研究中，首要任务是明确控制策略的设计目标。这些目标不仅关乎气化炉的运行效率、产物质量，还直接影响到生产安全、设备寿命以及环境友好性等多个方面。首先，控制策略应确保气化炉能够持续、稳定地运行，避免因操作条件波动或原料煤质量变化而引起的故障停机。这要求控制系统具有高度的自适应性和鲁棒性，能够实时监测并调整关键参数，如温度、压力、气化剂流量等，以维持气化过程的稳定性。其次，控制策略应追求气化效率的最大化，通过优化操作条件，提高煤气的转化率和产物的纯度，从而降低生产成本，提高经济效益。这需要对气化过程中的化学反应机理有深入的理解，并能够根据反应

特性调整控制策略,以实现高效的气化过程。控制策略应注重生产安全,确保气化炉在运行过程中不会发生超温、超压等危险情况,同时防止有毒有害气体的泄露,保障操作人员的生命安全。这要求控制系统具备完善的故障检测和诊断功能,能够及时发现并处理潜在的安全隐患。最后,控制策略还应考虑环境友好性,通过优化气化过程,减少废气、废渣的排放,降低对环境的污染。这需要对气化产物的后续处理过程进行综合考虑,确保整个生产过程的环保性。

4.2 先进控制策略应用

为了实现气化炉的高效稳定运行,先进控制策略的应用成为必然选择。这些策略基于现代控制理论,结合气化炉的特性和运行要求,能够显著提高控制系统的性能和效果。其中,模糊控制是一种常用的先进控制策略,它通过模拟人的思维方式和决策过程,对气化炉等复杂工业过程进行智能控制。模糊控制器能够根据输入变量的模糊描述,通过模糊推理得出合适的控制输出,从而实现对气化炉的精确控制。这种控制策略特别适用于那些数学模型难以获取或动态特性不易掌握的控制对象。另外,神经网络控制也是一种具有强大自学习和自适应能力的先进控制策略。它通过训练神经网络来建立气化炉的输入输出关系模型,并根据该模型输出控制信号以调整气化炉的操作条件。神经网络控制器能够处理复杂性和非线性问题,对气化炉的动态特性进行准确预测和控制。还有诸如预测控制、自适应控制等先进控制策略也在气化炉的控制中得到了广泛应用。这些策略通过实时监测和预测气化炉的运行状态,提前调整控制参数,以实现气化过程的优化控制。先进控制策略的应用显著提高气化炉的运行稳定性和气化效率,降低生产成本和环境污染。同时这些策略还增强控制系统的鲁棒性和自适应性,使气化炉能够更好地应对原料煤质量波动、操作条件变化等挑战。

4.3 控制策略优化与仿真分析

在气化炉控制策略的研究中,控制策略的优化与仿真分析是不可或缺的一环。通过对控制策略进行优化,可以进一步提高气化炉的运行效率和稳定性;而仿真分

析则能够为控制策略的优化提供有力的支持和验证。控制策略的优化通常包括参数整定、算法改进和结构优化等方面。参数整定是指根据气化炉的特性和运行要求,调整控制器的参数设置,以使其达到最佳的控制效果。算法改进则是指对控制算法进行改进和优化,以提高其计算效率和准确性^[4]。结构优化则是指对控制系统的结构进行设计和调整,以使其更加符合气化炉的控制需求。仿真分析则是通过建立气化炉的数学模型或仿真平台,对控制策略进行模拟和测试。通过仿真分析,可以评估控制策略的性能和效果,发现潜在的问题和不足,并为控制策略的优化提供有力的依据。仿真分析还可以对气化炉的运行过程进行模拟和预测,为实际生产提供指导和参考。在控制策略优化与仿真分析的过程中,需要充分利用现代计算机技术和数值分析方法。通过计算机仿真和数值计算,可以对气化炉的复杂过程进行准确模拟和预测,为控制策略的优化提供有力的支持,还需要结合实际生产经验和数据,对仿真结果进行验证和修正,以确保控制策略的实用性和可靠性。

结束语

通过本研究,深入探讨了气化炉高效稳定运行的控制策略,并提出了切实可行的解决方案。研究结果表明,先进的控制策略能够显著提高气化炉的运行稳定性和气化效率,为工业生产带来显著的经济效益。未来,将继续深入研究气化炉的控制技术,不断优化和完善控制策略,为气化炉的高效稳定运行提供更加可靠的技术保障。

参考文献

- [1]韩鹏.制约壳牌气化炉长周期稳定运行因素分析[J].化学工程与装备,2022(11):229-230.
- [2]张圆明,刘效洲,肖伟,等.基于熔铝炉的高效生物质气化燃烧系统的研究和设计[J].节能,2023,42(03):73-76.
- [3]彭维珂.基于等离子气化的固废高效资源化利用系统设计及性能分析[D].华北电力大学(北京),2022. DOI:10.27140/d.cnki.ghbbu.2022.001415.
- [4]吕复,吕元,吕宜德,等.高效节能型生物质气化炉新工艺设备选型设计创新要点[J].工业炉,2021,43(03):45-49.