GSP气化炉结构优化与关键部件寿命分析

李彦宁

国家能源投资集团宁夏煤业有限公司煤制油分公司 宁夏 银川 751400

摘要: 本文聚焦于GSP气化炉的结构优化与关键部件寿命分析。通过对GSP气化炉的进料系统、反应室、冷却系统及排渣系统等关键部位进行优化设计,旨在提升其运行效率与稳定性。深入探讨关键部件如反应室内壁、冷却水管、排渣阀及煤粉输送管道的磨损腐蚀机理,并采用基于材料性能、有限元分析及数据驱动的多种寿命预测方法,为气化炉的维护检修与寿命管理提供科学依据。本研究对于延长GSP气化炉使用寿命、降低运行成本具有重要意义。

关键词: GSP气化炉; 结构优化; 关键部件; 寿命分析

引言: GSP气化炉作为现代煤化工领域的关键设备,其运行效率与稳定性直接关系到整个生产流程的经济效益与环境影响。气化炉在运行过程中面临着高温高压、腐蚀磨损等严峻挑战,导致关键部件寿命受限,影响气化炉的整体性能。因此开展GSP气化炉的结构优化与关键部件寿命分析,对于提升气化炉性能、延长使用寿命、降低运行成本具有重要意义。本文将从这两个方面进行深入探讨。

1 GSP 气化炉技术特点

GSP气化炉技术特点显著,主要体现在几个方面:第一,原料适应范围广。GSP气化炉对煤质的要求不苛刻,从较差的褐煤、次烟煤、烟煤到石油焦均可使用,也可以两种煤掺混使用。从1989年起,GSP技术开发的重点转向了以工业废物和生物质等为气化原料,其气化原料包括各种变质程度和灰分含量的煤、城市污泥、工业废渣、石油焦以及一些固体废物的干馏产物等。对煤的灰熔点的适用范围比其他气化工艺更宽,即使是高水分、高灰分、高硫含量和高灰熔点的煤种也能使用。第二,设备寿命长。气化炉采用水冷壁结构,避免了因高温、熔渣腐蚀及开停车产生应力对耐火材料的破坏而导致气化炉无法长周期运行。由于不需要耐火砖绝热层,而且炉内没有转动设备,所以运转周期长,气化炉的开工率比较高,基本上是每年一次,可单炉运行,不需要备用炉,可靠性高。水冷壁设计寿命可达25年,且正常使用时维护量很少,运行周期长,有超过10年的使用寿命的经历。第三,气化效率和碳转化率高。GSP工艺的气化效率和碳转化率比较高,冷煤气效率达80%以上。实际煤种测试时(1500°C, 3.0MPa, 氧耗600Nm³/t煤, 蒸汽耗112.5kg/t煤), 热煤气中的H₂+CO千基含量为95.42%, CO₂千基含量为4.06%, 碳转化率为99.6%。第四,操作弹性大。负荷调节灵活: GSP工艺的生产负荷可以比较

灵活,单炉操作负荷为70%~110%。第五,氧耗较低。与水煤浆加压气化工艺相比,氧耗低10%~15%,可降低配套空分装置投资和运行费用^[1]。第六,开、停车操作方便,且时间短。气化炉的开停车比较灵活,所需时间比较短,从冷态达到满负荷仅需1小时,这给稳定生产提供了基础。第七,自动化水平高。整个系统操作简单,安全可靠。监控和测量的核心仪器是气化炉的观测镜,它可传出高负荷反应室的光信号,实现对气化炉内部反应情况的连续观察。

2 GSP 气化炉结构现存问题分析

2.1 进料系统

GSP气化炉的进料系统可能存在的问题主要包括煤粉输送的堵塞、磨损以及计量不准确等问题。由于煤粉在输送过程中可能会受到各种因素的影响,如湿度、粒度分布以及输送管道的设计等,从而导致煤粉在输送管道中堵塞,影响气化炉的稳定运行。煤粉在输送过程中还会对管道和设备造成磨损,增加了设备的维护成本。准确的煤粉计量也是保证气化炉稳定运行的关键因素之一,如果计量不准确,可能会导致气化反应的不稳定,影响产品的质量和产量。

2.2 反应室

反应室是GSP气化炉的核心部分,其中可能存在的主要问题包括高温腐蚀、积灰以及反应不完全等。由于气化反应是在高温高压条件下进行的,因此反应室内的材料需要能够承受高温高压和腐蚀的考验。在实际运行过程中,反应室内壁可能会受到高温熔渣和合成气的腐蚀,导致设备寿命缩短。反应室内还容易积灰,影响气化效率和产品质量。如果反应条件控制不当,还可能导致气化反应不完全,影响产品的产量和质量。

2.3 冷却系统

冷却系统是GSP气化炉中至关重要的部分,用于冷却

合成气和熔渣，保护设备免受高温损伤。冷却系统可能存在一些问题，如冷却水喷头磨损、堵塞以及冷却效果不佳等。冷却水喷头是冷却系统的关键部件，其结构直接决定了冷却水在冷却室内的流动分布。如果喷头磨损或堵塞，会导致冷却效果不佳，甚至可能引发设备超温等安全问题。

2.4 排渣系统

排渣系统是GSP气化炉中将反应后的熔渣和合成气排出设备的部分。排渣系统可能存在一些问题，如堵渣、排渣不畅以及设备磨损等。由于熔渣具有较高的温度和粘度，容易在排渣管道和设备中堵塞，影响气化炉的稳定运行，排渣过程中还容易对设备和管道造成磨损，增加了设备的维护成本^[2]。

3 GSP 气化炉结构优化方案

3.1 进料系统优化

进料系统是GSP气化炉的关键组成部分，负责将煤粉稳定、连续地送入气化炉内。首先，对煤粉输送管道进行优化设计。采用耐磨、耐腐蚀的材料，如不锈钢或合金钢，以提高管道的耐用性。对管道内壁进行抛光处理，减少煤粉在输送过程中的摩擦阻力，降低堵塞风险。可以在管道的关键位置安装振动器或敲击装置，定期清理管道内的积粉，确保煤粉输送的顺畅。针对煤粉计量不准确的问题，可以采用更精确的计量装置，如电子秤或质量流量计。这些装置能够实时监测煤粉的流量和质量，确保煤粉按照预设的比例送入气化炉内，对计量装置进行定期校准和维护，确保其准确性和可靠性。引入自动化控制系统，对进料系统进行实时监测和控制。通过传感器和控制器，实现煤粉输送、计量和给料的自动化调节。当煤粉流量或质量发生变化时，系统能够自动调节给料速度，确保气化炉的稳定运行。

3.2 反应室优化

反应室是GSP气化炉的核心部分，负责完成煤粉的气化反应。采用耐高温、耐腐蚀的材料对反应室内壁进行防护，定期对反应室内壁进行检查和维护，及时修复受损部位，延长设备寿命。设计积灰清理装置，定期对反应室内的积灰进行清理。可以采用机械清灰或气流清灰的方式，通过振动或气流将积灰从反应室内壁上清除。优化气化炉的运行参数，如气化温度、压力和停留时间等，减少积灰的产生。对反应室的结构进行优化设计，提高气化效率。例如，可以采用多级气化技术，将气化过程分为多个阶段进行，每个阶段采用不同的气化温度和压力条件，以提高气化产物的质量和产量，还可以优化气化炉的几何形状和尺寸，使气流分布更加均匀，提

高气化效率。

3.3 冷却系统优化

冷却系统是GSP气化炉中至关重要的部分，负责冷却合成气和熔渣，保护设备免受高温损伤。首先对冷却水喷头进行改进设计，提高其耐磨性和抗堵塞能力。可以采用耐磨材料制造喷头，同时优化喷头的结构和尺寸，使其能够适应不同的冷却需求。定期对喷头进行检查和清洗，确保其畅通无阻。优化冷却系统的流程设计，提高冷却效率。对冷却系统的管道和设备进行保温处理，减少热量损失，提高冷却效果。为了实现资源的节约和环境的保护，可以对冷却水进行循环利用。通过安装冷却水回收装置和过滤器等设备，将冷却水中的杂质和污染物去除，然后将其重新送回冷却系统中进行循环利用。这不仅可以减少水资源的浪费，还可以降低冷却系统的运行成本。

3.4 排渣系统优化

3.4.1 排渣管道优化

排渣系统是GSP气化炉中将反应后的熔渣和合成气排出设备的部分。针对现有排渣系统存在的问题，如堵渣、排渣不畅以及设备磨损等，提出以下优化方案：对排渣管道进行优化设计，提高排渣效率。可以采用耐磨、耐腐蚀的材料制造管道，同时优化管道的几何形状和尺寸，使其能够适应不同的排渣需求，定期对管道进行检查和清理，确保其畅通无阻。

3.4.2 排渣装置改进

对排渣装置进行改进设计，提高其可靠性和耐用性。可以采用更先进的排渣技术，如气力排渣或液力排渣等，以提高排渣效率和减少设备磨损。对排渣装置进行定期维护和检修，确保其正常运行^[3]。

3.4.3 排渣系统自动化控制

引入自动化控制系统对排渣系统进行实时监测和控制。通过传感器和控制器实现排渣过程的自动化调节和监控。当排渣管道出现堵塞或排渣不畅时，系统能够自动报警并采取相应措施进行处理，确保气化炉的稳定运行。

4 GSP 气化炉关键部件寿命分析

4.1 关键部件确定

在GSP气化炉的运行过程中，关键部件的寿命直接影响到整个气化系统的稳定性和效率。首先需要明确对GSP气化炉的关键部件进行明确界定，这些关键部件主要包括气化炉的反应室内壁、冷却系统的冷却水管、排渣系统的排渣阀以及进料系统的煤粉输送管道等。气化炉的反应室内壁直接与高温、高压的合成气和熔渣接触，因此面临着严重的热应力和化学腐蚀问题。冷却系统的冷却水

管负责将合成气和熔渣的热量传递给冷却介质,其材料需要承受高温高压和腐蚀的考验。排渣系统的排渣阀负责控制熔渣的排放,其密封性和耐磨性至关重要。进料系统的煤粉输送管道则负责将煤粉稳定、连续地送入气化炉内,其耐磨性和流畅性直接影响到气化炉的进料效率和稳定性。

4.2 磨损腐蚀机理分析

对于GSP气化炉的关键部件,其磨损和腐蚀机理是复杂多样的。以下是对这些机理的详细分析;(1)反应室内壁:在高温高压条件下,合成气和熔渣中的腐蚀性物质会与反应室内壁发生化学反应,导致材料的腐蚀。由于气化炉内部存在着强烈的湍流和冲刷作用,反应室内壁还会受到严重的机械磨损。这种磨损和腐蚀的交互作用,使得反应室内壁的寿命大大缩短。(2)冷却水管:冷却水管在高温高压的冷却介质中运行,面临着严重的热应力和化学腐蚀问题。冷却水管内壁可能会受到冷却介质的冲刷和腐蚀,导致管壁变薄甚至穿孔。冷却水管外壁也会受到高温合成气和熔渣的辐射热和传导热的影响,产生热应力,进一步加剧了管壁的磨损和腐蚀^[4]。

(3)排渣阀:排渣阀在排放熔渣时,需要承受高温高压和熔渣的冲刷作用。这种冲刷作用会导致阀门的密封面磨损,降低阀门的密封性能。熔渣中的腐蚀性物质也会对阀门的材料产生腐蚀作用,进一步缩短了阀门的寿命。(4)煤粉输送管道:煤粉输送管道在输送煤粉时,煤粉中的硬质颗粒会对管道内壁产生冲刷作用,导致管道磨损,煤粉中的水分和腐蚀性物质也会对管道内壁产生腐蚀作用,进一步加剧了管道的磨损和腐蚀。

4.3 寿命预测方法

为了准确预测GSP气化炉关键部件的寿命,需要采用科学、合理的方法。以下是对几种常用寿命预测方法的介绍和分析;第一、基于材料性能的预测方法:这种方法主要依据材料的力学性能和化学性能来预测部件的寿命。通过实验室测试获得材料的抗拉强度、屈服强度、硬度、耐腐蚀性等指标,然后根据这些指标来评估部件在特定工况下的寿命。这种方法忽略了部件在实际运行过程中的复杂应力状态和腐蚀环境,因此预测结果可能存在一定的误差。第二、基于有限元分析的预测方法:有限元分析是一种数值计算方法,可以模拟部件在特定

工况下的应力分布和变形情况。通过有限元分析,可以获得部件在热应力、机械应力等复杂应力状态下的应力分布图,进而评估部件的寿命。这种方法能够更准确地反映部件在实际运行过程中的应力状态,因此预测结果更加可靠。第三、基于数据驱动的预测方法:这种方法主要依据历史运行数据来预测部件的寿命。通过收集和分析部件在运行过程中的温度、压力、流量等参数数据,建立部件寿命与这些参数之间的数学模型。利用这个模型来预测部件在未来一段时间内的寿命。这种方法需要大量的历史数据作为支撑,且模型的准确性和可靠性受到数据质量和模型复杂度的影响。第四、综合预测方法:为了提高预测的准确性和可靠性,可以采用综合预测方法。即将基于材料性能的预测方法、基于有限元分析的预测方法和基于数据驱动的预测方法相结合,综合考虑部件的材料性能、应力状态和运行数据等因素,对部件的寿命进行预测。这种方法能够更全面地反映部件在实际运行过程中的复杂情况,提高预测的准确性和可靠性。

结束语

通过本次对GSP气化炉结构优化与关键部件寿命分析的深入探讨,不仅揭示了气化炉运行中的关键问题,还提出针对性的优化方案与寿命预测方法。这些成果为气化炉的高效稳定运行提供了坚实的理论与实践指导。未来,将持续关注气化炉技术的发展动态,不断探索创新,致力于推动煤化工行业的绿色、可持续发展,为构建更加清洁、高效的能源体系贡献力量。

参考文献

- [1]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.
- [2]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.
- [3]李修春.智能高效上吸式生物质气化炉设计[J].农业机械,2021,(09):94-95. DOI:10.16167/j.cnki.1000-9868.2021.09.049.
- [4]孟祥进,魏静,曹昆朋.水煤浆气化炉工艺烧嘴泄漏原因浅析[J].化工设计通讯,2022(4):4-5.