

GSP气化炉关键部件磨损机理及寿命预测

何宵毅¹ 郭蕊熙²

1. 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

2. 国家能源投资集团宁夏煤业有限公司烯烃二分公司 宁夏 银川 751400

摘要: GSP气化炉作为现代煤化工领域的关键设备,其关键部件的磨损机理及寿命预测对于确保气化炉的安全、高效运行具有重要意义。本文深入分析了耐压壳体、水冷壁、耐火材料衬里及激冷室等关键部件的磨损机理,探讨了材料性能、运行工况及数据驱动等多种寿命预测方法。研究结果显示,理解磨损机理并合理运用预测方法,可显著延长部件使用寿命,降低维护成本,提高气化炉的整体效能。

关键词: GSP气化炉; 关键部件; 磨损机理; 寿命预测

1 GSP 气化炉技术概述

1.1 GSP气化炉的工作原理

GSP气化炉是下喷式加压气流床液态排渣气化炉,操作压力在2.0~4.0MPa之间。其工作原理是将粉煤及气化剂(如氧气、水蒸气)通过组合喷嘴送入气化炉内的高温高压反应室。喷嘴设置于气化炉顶部,与壳牌气化炉喷嘴配置相异。反应室内,粉煤边燃烧边释放巨量热能以助自身气化,产出粗煤气伴生熔渣。两者共同穿越反应室底部排渣通道,流入下方的激冷室。在激冷室内,熔渣遇激冷水迅速冷却固化为玻璃态,经由渣锁斗定期移送至渣池中。粗煤气则在接近饱和温度(例如220℃左右)时被冷却,从激冷室顶端排出,历经两级文丘里洗涤器连续处理,确保含尘量低至 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 后,输送到合成单元。

1.2 GSP气化炉的关键部件

GSP气化炉的关键部件主要包括耐压壳体、燃烧室和激冷室。耐压壳体为GSP气化技术的核心组件之一,采用多层内置水夹套与多通路结构设计,共规划了六层通道,融入多种原料雾化手段。每一通道均配备独立水夹套以实现冷却,确保喷嘴受热均衡,维持低温状态,显著提升了喷嘴的使用寿命。尤为独特的是,GSP耐压壳体的中心管道功能灵活,既可作为干粉输送通道,也可作为氧化剂通道,此特性为其独有^[1]。燃烧室是GSP气化炉的另一大关键设备,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。气化室由一圆柱形反应室组成,其上部有轴向开孔,用于安装燃烧器(或喷嘴)。反应室的四周装有水冷壁管,压力高于反应室压力,水受热沸腾变成蒸汽,降低炉壁温度。在冷却管靠近炉中心侧有密集的抓钉,用来固定碳化硅耐火层,形成流动

渣膜,对耐火层起到保护作用。激冷室是一个上部为圆形筒体、下部缩小的空腔。热粗煤气和液体熔渣、固体熔渣从气化室出来,经过一个喇叭口的排渣口进入激冷室。在激冷室内,熔渣被激冷水冷却后固化成玻璃状的渣粒,洗涤水和熔渣从底部排出,粗煤气被冷却至接近饱和状态后从激冷室中部排出,然后进入气化后工艺系统(如文丘里洗涤器、激冷洗涤塔等)。

2 GSP 气化炉关键部件磨损机理分析

2.1 耐压壳体的磨损机理

耐压壳体是多喷嘴对置式水煤浆气化炉的核心部件之一,其磨损机理复杂且多样。烧嘴回火是导致喷嘴磨损的重要原因,原料煤的煤质异常、黏湿特性较差以及操作弹性较小,都可能导致温度小幅波动,进而引起渣口压差升高。当液态渣的黏度增大后,渣在炉壁表面流动至烧嘴口处积聚,影响烧嘴物料的正常喷出,形成回火。回火不仅会导致烧嘴物料喷出受阻,还会因高温火焰长时间撞击烧嘴,造成烧嘴端面的损坏。轻质浇注料在高温气氛下容易粉化,当高速火焰外缘与毛刺状厚薄不均的渣膜接触后,一部分火焰被折射回来并撞击到烧嘴的端面,进一步加剧烧嘴的损坏。水煤浆浓度升高也会加剧耐压壳体的磨损,当水煤浆浓度升高时,氧气流速应相应增大,此时烧嘴端面的氧气浓度升高,氧化反应剧烈,对烧嘴头部的损坏加剧,水煤浆含固量升高,水煤浆通道磨损加剧,烧嘴头部受冲刷最为严重。水煤浆通道的变化不仅影响烧嘴的雾化效果,严重时还可能导致气化炉本体或内件损坏。烧嘴结构不合理同样会导致磨损,无论是中心氧还是水煤浆及外氧的流通面积,都需要满足各自介质的流量要求。当烧嘴结构不合理时,物料的流量发生变化,会导致各反应区域发生偏移,进而造成烧嘴寿命缩短。例如,中心氧流量太大

时,会使预混合区的混合物流速增大,造成中心管出口处的磨损加剧。

2.2 水冷壁的磨损机理

水冷壁是气化炉的重要部件,其磨损主要源于灰粒、煤粉气流以及吹灰器工作不正常时的冲刷。在气化炉运行过程中,灰粒和煤粉气流以一定的流速向下流动,会对水冷壁壁面造成严重的冲刷和磨损。如果吹灰器工作不正常,也可能导致水冷壁局部区域的冲刷磨损加剧。为了减少水冷壁的磨损,通常采取在管子上易磨损的部位贴焊短钢筋的措施。由于短钢筋和水冷壁接触良好,能得到较好的冷却,因此不易烧坏。还应加强气化炉的运行管理,确保吹灰器等设备正常工作,减少冲刷磨损的发生。

2.3 耐火材料衬里的磨损机理

气化炉的耐火材料衬里在使用过程中会受到多种因素的侵蚀和磨损,主要包括高温、温度激变、气氛变化以及熔渣的腐蚀等。耐火材料的损毁形态复杂,损坏机理多样,归纳起来主要有机械损坏和化学侵蚀两大基本类型。机械损坏主要包括热剥落、结构剥落、高温热疲劳以及机械冲击等所造成的破坏。在气化炉运行过程中,耐火材料会经历多次温度激变,导致热膨胀不均匀,从而产生裂纹甚至剥落,熔渣的冲刷和磨损也会加速耐火材料的损坏^[2]。化学侵蚀则主要是气化炉燃烧产生的氢气和一氧化碳等还原性气体对耐火材料的侵蚀。这些气体与耐火材料的结构成分反应,破坏耐火材料的结构,降低其使用寿命。具体化学反应根据耐火材料的成分而定。

2.4 激冷室及相关设备的磨损机理

激冷室是气化炉的重要部件之一,其主要作用是冷却高温熔渣和合成气,防止设备因高温而损坏。激冷室及相关设备的磨损机理主要包括冲刷磨损、热震损坏以及腐蚀等。冲刷磨损主要源于高温熔渣和合成气对激冷室内壁的冲刷。在气化炉运行过程中,高温熔渣和合成气以一定的流速进入激冷室,对激冷室内壁造成严重的冲刷和磨损,激冷水喷头也可能因冲刷而磨损或堵塞,导致激冷效果下降。热震损坏则主要发生在激冷室与燃烧室连接处的下渣口和导向管等部件。在气化炉运行过程中,这些部件会经历多次温度激变,导致热膨胀不均匀,从而产生裂纹甚至断裂。腐蚀则主要源于高温熔渣对激冷室内壁的侵蚀。熔渣中的化学成分可能与激冷室内壁的材料发生反应,导致材料变质和损坏。

3 GSP 气化炉关键部件寿命预测方法

3.1 基于材料性能的寿命预测

基于材料性能的寿命预测方法是一种从材料科学角度出发,通过评估气化炉关键部件所用材料的物理、化学及机械性能,来预测其使用寿命的方法。这种方法的核心在于深入理解材料的微观结构与宏观性能之间的关系,以及这些性能如何影响部件在特定工作环境下的耐久性。在GSP气化炉中,关键部件如耐压壳体、水冷壁、耐火材料衬里和激冷室等,均采用了高性能的耐热、耐腐蚀材料。这些材料的性能,如硬度、韧性、抗蠕变性、抗氧化性和耐腐蚀性,直接决定了部件的寿命。基于材料性能的寿命预测方法首先需要对这些材料的性能进行全面测试,包括实验室模拟环境下的加速老化试验,以获取材料在不同条件下的性能退化数据。利用这些性能退化数据,结合部件的实际工作环境(如温度、压力、介质成分等),可以建立材料的性能退化模型。该模型能够预测材料在长时间服役过程中的性能变化趋势,进而估算出部件的剩余寿命。通过对比不同材料在同一环境下的性能表现,还可以为部件的材料选择提供科学依据,以延长其使用寿命。值得注意的是,基于材料性能的寿命预测方法虽然具有理论上的严谨性,但在实际应用中仍面临诸多挑战。例如,材料的性能退化往往受到多种因素的共同影响,且这些因素之间可能存在复杂的相互作用,使得模型的建立变得异常复杂。此外,实验室模拟环境与真实工作环境之间可能存在差异,导致预测结果存在一定的不确定性^[3]。

3.2 基于运行工况的寿命预测

基于运行工况的寿命预测方法则是从气化炉的实际运行角度出发,通过分析关键部件在运行过程中的受力状态、温度变化、介质腐蚀等工况参数,来预测其使用寿命。这种方法更侧重于部件在真实工作环境下的表现,因此预测结果更加贴近实际情况。在GSP气化炉中,关键部件的运行工况复杂多变,包括高温高压、高速气流冲刷、熔渣侵蚀、热应力等。这些工况参数对部件的寿命有着直接的影响。基于运行工况的寿命预测方法首先需要收集并整理这些工况参数的历史数据,包括气化炉的运行记录、监测仪表的读数、部件的检修记录等。利用这些数据,结合部件的设计参数和材料性能,可以建立部件的寿命预测模型。该模型能够反映部件在不同工况下的寿命变化趋势,为运行人员提供及时的维护预警。此外,通过对历史数据的深入分析,还可以发现影响部件寿命的关键因素,为优化气化炉的运行策略提供指导。基于运行工况的寿命预测方法同样存在局限性,一方面,工况参数的监测可能受到仪表精度、数据采集频率等因素的限制,导致预测结果的准确性受到影响。

另一方面，部件的寿命不仅受到当前工况的影响，还可能受到历史累积损伤的影响，这使得预测模型需要更加复杂和精细。

3.3 基于数据驱动的使用寿命预测

基于数据驱动的使用寿命预测方法是一种利用大数据和机器学习技术，通过挖掘和分析气化炉关键部件的历史运行数据，来预测其使用寿命的方法。这种方法的核心在于利用数据中的隐含信息，发现部件寿命与运行参数之间的潜在关系。在GSP气化炉中，关键部件的历史运行数据包含了丰富的信息，如部件的检修记录、故障记录、运行参数的变化趋势等。这些数据为数据驱动的使用寿命预测提供了基础。通过收集并整理这些数据，利用机器学习算法（如支持向量机、神经网络、随机森林等）进行训练和学习，可以建立部件的使用寿命预测模型。该模型能够根据当前的运行参数和历史数据，预测部件的未来寿命，通过对模型的深入分析和解释，还可以发现影响部件寿命的关键因素，为优化气化炉的运行和维护策略提供科学依据。与基于材料性能和运行工况的使用寿命预测方法相比，基于数据驱动的使用寿命预测方法具有更高的灵活性和适应性。它不需要深入了解部件的材料性能和运行工况的详细信息，而是直接利用数据中的隐含信息进行预测。这使得该方法在复杂多变的工业环境中具有广泛的应用前景。数据的质量和数量对预测结果的准确性有着至关重要的影响，因此在实际应用中需要注重数据的采集、处理和质量控制。

4 延长 GSP 气化炉关键部件使用寿命的措施

延长GSP气化炉关键部件使用寿命的措施主要包括以下几个方面：第一，优化材料选择与处理，针对气化炉内不同部件所承受的高温、高压、腐蚀等恶劣工作环境，应选用具有优异耐热、耐腐蚀、耐磨损性能的材料。同时对材料进行适当的预处理，如热处理、表面涂层等，以提高其抗腐蚀、抗磨损能力，从而延长使用寿命^[4]。第二，加强运行监测与维护，定期对气化炉的运行状态进行监测，包括温度、压力、流量等关键参数的

实时记录与分析，以及部件的磨损、腐蚀情况的定期检查。一旦发现异常，应立即采取措施进行调整或维修，避免问题恶化导致部件提前失效。制定合理的维护计划，定期对关键部件进行清洗、检查和更换，确保其处于最佳工作状态。第三，改进气化炉操作工艺，通过优化气化炉的操作参数，如氧气流量、煤粉粒度、气化温度等，可以减少部件的磨损和腐蚀。同时合理控制气化炉内的气氛，避免产生过多的腐蚀性气体，从而减轻对部件的腐蚀损害。第四，引入先进技术与设备，随着科技的不断发展，新的材料和工艺不断涌现，为延长气化炉关键部件的使用寿命提供了更多可能。因此，应积极引进和应用新技术、新材料和新设备，以提高气化炉的整体性能和部件的耐久性。通过优化材料选择、加强运行监测与维护、改进气化炉操作工艺以及引入先进技术与设备等措施，可以有效延长GSP气化炉关键部件的使用寿命，提高气化炉的运行效率和稳定性。

结束语

综上所述，GSP气化炉关键部件的磨损机理复杂多样，寿命预测需综合考虑多种因素。通过深入研究磨损机理，结合先进的寿命预测技术，能够更加准确地评估部件的剩余寿命，为气化炉的维护与管理提供科学依据。未来，随着材料科学与大数据技术的不断发展，GSP气化炉关键部件的磨损控制与寿命预测将迈向更加智能化、精准化的新阶段。

参考文献

- [1]刘斌.现代煤化工项目煤气化技术运用分析[J].化工设计通讯,2021,47(06):3-4.
- [2]付晶.现代煤化工项目煤气化技术的应用和探讨[J].石化技术,2020,25(11):229.
- [3]牛国芳.现代煤化工项目煤气化技术的应用和探讨[J].当代化工研究,2021(01):57-58.
- [4]张志坚.水煤浆气化装置倒炉检修直接作业安全管理分析与建议[J].安全、健康和环境,2020,18(03):51-53.