影响鲁奇气化炉连续运行的原因分析

刘海斌

伊犁新天煤化工有限责任公司　新疆　伊犁　835000

摘　要：鲁奇气化炉作为固定床加压气化技术的典型代表，在煤制天然气、合成氨等领域应用广泛，其连续运行周期直接影响企业经济效益。然而，受原料煤性质波动、设备结构缺陷、工艺操作偏差、腐蚀磨损、仪表控制系统可靠性及公用工程保障能力等多重因素耦合影响，实际运行中难以实现长周期稳定，频繁停炉检修成为主要瓶颈。本文从六个维度系统剖析影响连续运行的关键因素，并提出原料煤精细化管控、设备维护优化、工艺参数调优、防护技术升级、控制系统冗余改造及公用工程协同保障等对策，以期为提升气化炉运行周期提供理论依据与实践指导。

关键词：鲁奇气化炉；连续运行；影响因素；分析

引言：鲁奇气化炉以其煤种适应性广、氧耗低、热效率高、煤气热值高等优势，在煤化工领域占据重要地位。然而，该炉型在运行中面临炉蓖卡滞、气化剂分布不均、炉内结渣、内部件腐蚀磨损、仪表失灵等制约长周期运行的瓶颈，导致非计划停炉频发，严重影响装置运行效率与下游系统稳定性。连续运行周期既是衡量气化装置技术管理水平的核心指标，也直接决定企业综合经济效益。本文旨在系统梳理影响连续运行的多维因素，揭示其作用机理，并提出切实可行的优化对策。

1 鲁奇气化炉工作原理与运行特点

1.1 鲁奇气化炉工作原理

鲁奇气化炉采用一种自热式、固定床、逆流接触、连续气化、固态排渣工艺过程。气化剂（蒸汽与氧气）从炉底经旋转炉蓖均匀进入，与自上而下移动的煤料逆向接触。原料煤自炉顶加入，依次历经干燥、干馏、气化、燃烧层和灰层。燃烧层中，原料煤与氧气剧烈氧化，释放大量热量，温度达 1000 - 1100℃，为气化反应供热能；灰层中，中压蒸汽和夹套自产蒸汽与氧气混合后，进入气化炉，经旋转炉篦均匀分布在灰床上与灰渣换热，排入灰锁。气化层中，来自燃烧区的上升气体主要含有 CO2 和水蒸汽，在气化区约 850℃下进行炭与蒸汽还原反应，生成含一氧化碳和氢气的粗煤气；干馏层中，煤被上升的煤气加热到 300℃～600℃时，煤中有机质开始软化，焦油和少量的 H2、CO2、CO、H2S、NH3 从煤中分解出来，350℃～550℃时 CH4 和 C2+ 以上的烃类从煤中逸出，在干馏层，酚、萘等有机物也形成并分解出；干燥层中，由煤锁加入气化炉的煤在干燥和预热层被干燥并加热至约 300℃，此时煤的表面水分和吸附水分被蒸发。粗煤气从洗涤冷器平衡管引出，灰渣经底部炉蓖排出。炉蓖旋转既能均匀布气，又可破渣、排渣，保障炉内料层分布均匀稳定。这种逆流换热与反应耦合设计，让鲁奇气化炉具备热效率高、煤气热值高的特点。

1.2 鲁奇气化炉运行特点

鲁奇气化炉运行特点明显。一是煤种适应性较宽，能气化褐煤等低阶煤种，但对煤的粒度、热稳定性等有特定要求。二是采用加压气化（气化炉外壁按 4.60MPa 的压力设计，内壁仅能承受 0.15MPa 的压差，操作压力为 4.06MPa），可提高气化强度，为后续工序节省压缩能耗。三是炉内逆流操作，气化剂与煤料传热、传质充分，碳转化率高，粗煤气中甲烷含量达 8% - 12%，利于煤制天然气。四是炉蓖为核心转动部件，承担多重功能，机械可靠性决定运行周期。五是气化炉内部温度与组分梯度明显，不同区域对内壁材料、内件腐蚀磨损机理不同。六是对原料煤灰熔点等敏感，操作窗口窄，汽氧比调整不及时易引发异常工况，严重时需停炉处理[1]。

2 鲁奇气化炉连续运行的主要影响因素

2.1 原料煤质量因素

原料煤性质波动是导致气化炉非计划停运的首要诱因，煤的粒度分布直接影响床层透气性，细粉含量过高会导致床层阻力增大、气化剂分布不均，严重时引发沟流风洞甚至过氧爆炸。煤的机械强度差，在干馏层易碎裂产生大量粉煤，加剧上述问题。灰熔融性（灰熔点）和黏温特性尤为关键，当操作温度接近或超过灰熔点时，灰渣会熔融黏结，在炉内形成结渣，阻碍排渣与布气，最终导致出口超温、排灰困难，被迫停炉。原料煤

中灰分灰分增加时，一是矿物质燃烧灰化时要吸收热量，大量排渣会带走气化反应的部分热量，气化热效率降低; 二是为防止气化炉结渣要适当提高汽氧比，这样就降低了气化炉的操作温度，影响了气化强度，蒸汽分解率也会降低，粗煤气产量减少，煤气水的产量提高。同时，随着煤中灰分增加，煤灰中 FeO、CaO、MgO 作为助熔剂，对结渣起到促进作用，加剧了设备磨损，一是炉篦刮刀、护板等，二是煤灰锁上下阀运转周期缩短，设备检修频次增加，开停车频繁。此外，煤的含水量、挥发分、硫含量等指标变化，也会影响气化反应平衡、炉温分布及设备腐蚀速率。原料煤供应缺乏均质化管控，频繁更换煤种或混煤比例不当，都会使气化炉运行偏离最佳工况，可靠性显著下降。

2.2 设备结构与机械故障因素

鲁奇气化炉的结构复杂性决定了其存在多个机械故障高发点，炉蓖作为唯一的大型转动部件，长期在高温、高载荷、高腐蚀性环境下运行，其轴承密封失效、驱动系统故障、炉蓖齿断裂或卡滞是导致停炉的常见原因。炉蓖一旦发生故障无法启动，气化剂分布严重失衡，排渣中断，必须在数小时内停炉处理。煤锁和灰锁作为间歇式加煤，煤灰锁上下阀在频繁动作下易出现密封失效、卡涩或内漏，造成煤锁或灰锁无法正常操作，被迫降负荷或停车。气化炉内筒体在热应力、化学侵蚀及机械冲刷共同作用下，易出现剥落、开裂，导致内夹套泄露，威胁结构安全，直接影响运行稳定性。

2.3 工艺操作因素

炉温控制是核心，操作温度过低会导致气化反应不充分、碳转化率下降，同时增加煤气水生成量；操作温度过高则易引发结渣、熔融物黏附炉壁或炉蓖，造成气化炉工况恶化。汽氧比是调节炉温的关键参数，其设定偏离煤种特性时，会破坏气化反应平衡，引发超温。夹套压差是反映床层状态的重要指标，压差异常升高通常预示床层堵塞、结渣或细粉积聚，若未及时采取降负荷、调整炉篦转速等措施，工况将迅速恶化被迫停炉。煤锁加煤频率、灰锁排渣周期的设定与执行，直接关系床层稳定性，操作不当易造成气化炉床层紊乱。开车、停车、负荷调整等变工况操作过程中，若升温升压速率控制不当，热应力冲击可导设备损坏或内件变形[2]。

2.4 腐蚀与磨损因素

鲁奇气化炉内部环境兼具高温、高压、腐蚀性介质与固体冲刷的多重侵害。粗煤气中含有的 H_2S、HCl、碱金属蒸气等腐蚀性组分，在高温条件下对金属内筒体产生严重腐蚀。炉篦、下灰室、筒体金属结构长期暴露于含硫、含氯的高温煤气中，易发生高温硫腐蚀、氯离子应力腐蚀开裂等问题。炉内煤料及灰渣的固体颗粒在气化剂流和重力作用下，对筒体内壁、炉蓖、布气孔、下灰室等部位产生持续冲刷磨损。

2.5 仪表与控制系统因素

鲁奇气化炉对仪表的依赖程度极高，仪表可靠性直接关乎装置安全与连续运行。炉内温度测量通常采用热电偶，由于高温、腐蚀、冲刷等原因，热电偶易损坏或漂移，导致操作人员失去对炉温的真实判断，盲目调整汽氧比可能引发超温。炉内料位测量采用射线料位计或差压式料位计，受环境条件、粉尘、结垢等因素影响，易出现指示失真，造成料位失控或煤锁、灰锁误动作。气化剂流量计、压力变送器、阀门定位器等现场仪表在恶劣工况下故障率较高，信号偏差会导致自动控制回路失效。控制系统方面，DCS 逻辑组态缺陷、联锁保护设置不当或关键控制回路冗余不足，可能在仪表故障时触发误停车，或在本应停车时未能及时动作，造成事故扩大。

2.6 公用工程与辅助系统因素

公用工程与辅助系统的可靠性是气化炉连续运行的基础保障，氧气供应系统压力、流量波动或纯度下降，会直接扰动气化反应平衡，严重时引发整个系统停车。蒸汽系统若出现压力骤降或带水，将影响汽化剂与炉温稳定性。仪表空气系统压力不足或露点超标，会造成气动阀门动作失常，控制回路瘫痪。

3 提升鲁奇气化炉连续运行的对策措施

3.1 原料煤质量控制

构建全链条原料煤管控体系，从源头保障煤质稳定性。建立严格的煤源准入机制，优选煤种指标波动小、灰熔融特性与炉型匹配度高的煤矿作为主供方，并设定合理的煤质波动控制范围。实施精细化配煤，根据灰熔点、灰分、粒度、热稳定性等关键指标，利用在线或离线分析数据动态调整配煤比，确保入炉煤质均质化。加强煤的筛分管理，严格控制入炉煤粒度，配置筛分设备，减少粉煤量。建立煤质预警机制，当关键指标接近控制边界时，及时调整操作参数，避免工况突变。对于灰熔融性波动大的情况，可配入高灰熔点煤种进行调和，将操作温度区间控制在灰熔点以下的安全裕度内。

3.2 设备维护与检修优化

针对炉蓖运行故障问题，优化炉蓖结构设计，增强破渣能力，并选用耐高温、耐磨、耐腐蚀的先进材料。

建立炉蓖运行状态监测系统，实时监测驱动系统、炉蓖扭矩等参数，实现故障早期预警。对煤锁、灰锁关键阀门，采用长寿命、高可靠性的进口或国产优质阀门，并建立定期更换与维修机制，避免在线故障，基于运行数据优化检修周期，推行基于状态的预防性维修，避免过度维修与维修不足并存[3]。

3.3 工艺操作优化

开发基于入炉煤质实时分析数据的操作参数优化模型，自动优化汽氧比、料位控制范围等关键参数，减少人工经验调整的不确定性。实施多项参数综合控制，将热电偶测量值与炉出口煤气组分、压差、蒸汽产量等辅助信息相互校验，提高炉温判断准确性。建立压差预警与处置预案，根据不同压差段特征采取调整气化剂、改变排渣周期、降负荷等差异化应对措施，防止压差高损坏设备。优化变工况操作程序，制定标准化的升温升压，严格控制温度压力升降速率，减少热应力损伤。

3.4 腐蚀与磨损防护

针对腐蚀与磨损问题，采取材料升级、表面防护与工艺控制相结合的综合策略。对内筒体、下灰室高温腐蚀严重部位，前期对腐蚀位置气刨打磨，采用 J427 焊接，表面采用Ni625焊条堆焊防腐处理，提高抗热震性与抗侵蚀能力，优化波斯曼套筒空间，减少死区与湍流，避免局部腐蚀加剧。对炉蓖、内部护板等磨损严重部件，采用高铬铸铁、碳化钨堆焊或镶嵌耐磨陶瓷等耐磨措施，延长使用寿命。工艺控制方面，严格控制入炉煤硫含量、氯含量，降低腐蚀介质浓度；优化炉温分布，避免局部过热区加速腐蚀。建立腐蚀磨损监测体系，定期采用测厚、无损检测等手段评估关键部件剩余寿命，在故障发生前实施计划性修复或更换。

3.5 仪表与控制系统优化

对关键温度测点，采用多点冗余热电偶设计，即使单点故障仍能维持可靠测量；引入红外测温、煤气组分分析等间接测温手段作为补充校验。对料位测量，采用双原理或多探头的冗余配置，如射线料位计与差压式料位计联合使用，提高测量可靠性。定期对现场仪表进行在线校验与维护，重点检查腐蚀、冲刷敏感部位。控制系统方面，实施关键控制回路的硬件冗余配置，包括控制器、电源模块、通讯网络等；优化联锁逻辑设计，区分安全联锁与操作联锁，避免因仪表信号瞬时波动引发误停车。建立控制系统故障应急预案，确保在 DCS 失效时，关键阀门与设备具备现场手动操作能力[4]。

3.6 公用工程保障

强化公用工程系统的可靠性管理，构建本质安全的辅助保障体系。氧气系统设置压力、流量、纯度多重监控与预警，确保供应稳定；蒸汽系统加强汽源调度与疏水管理，防止带水进入气化炉；循环水系统实施双路供电、备用泵自动切换，保证冷却水不间断供应；仪表空气系统设置干燥装置与备用储罐，确保空气质量与压力。对关键公用工程引入设备，建立备用设备定期切换与带载试验制度，确保应急状态下可无缝切换。加强与上游公用工程单元的协同联动，建立公用工程异常工况下的应急预案，明确气化炉减负荷、紧急停车等处置程序，避免因辅助系统故障导致主装置损坏。

结束语

鲁奇气化炉的连续运行周期是衡量煤气化装置综合技术水平的关键指标，也是企业降本增效的核心突破口。影响因素错综复杂，涉及原料煤品质、设备可靠性、工艺精准度、腐蚀磨损进程、仪表控制系统稳定性及公用工程保障能力等多个维度，各因素相互耦合、互为因果。通过原料煤精细化管理、设备可靠性提升、工艺操作智能化、腐蚀磨损主动防护、控制系统容错设计及公用工程本质安全保障等综合措施，可显著降低非计划停炉频次，为煤化工装置实现更长周期、更高效、更安全的运行奠定坚实基础。

参考文献

[1] 陈爱军. 浅析鲁奇气化炉带粉原因及优化措施 [J]. 氮肥技术，2024，45(3)：22-25.

[2] 刘宏卫. 煤化工鲁奇气化炉自动化改造的研究与设计 [J]. 山西化工，2025，45(11):166-170,251.

[3] 周学东. 鲁奇气化炉灰箱、煤箱下阀泄漏的原因分析及技术改造 [J]. 氮肥与合成气,2021,49(12):17-20.

[4] 孟祥清. 鲁奇加压气化炉夹套减薄腐蚀原因分析及应对措施 [J]. 山东化工，2021,50(20):131-132.