

化工行业锅炉长周期运行的经济性优化策略

曾光远 (中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 洋浦 578101)

摘要: 锅炉是工业生产中非常重要的热能转换设备, 其运行效率及经济性直接关系到企业的成本与生产效益。本文主要研究了锅炉长期运行的经济优化策略, 这对于企业降低生产成本、提高能源利用效率具有一定的研究价值。通过对锅炉运行过程中的燃料消耗、设备维护以及热效率等方面进行探讨, 以实现锅炉的长期稳定运行并提升其经济性能。

关键词: 锅炉; 长周期运行; 经济性

中图分类号: TK22

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 016-0064-03

Economic optimization strategy for long-term operation of boilers in the chemical industry

Zeng Guangyuan (Sinopec Hainan Refining and Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578101, China)

Abstract: Boiler is a very important thermal energy conversion equipment in industrial production, and its operating efficiency and economy directly affect the cost and production efficiency of enterprises. This article mainly studies the economic optimization strategies for long-term operation of boilers, which has certain research value for enterprises to reduce production costs and improve energy utilization efficiency. By exploring fuel consumption, equipment maintenance, and thermal efficiency during boiler operation, we aim to achieve long-term stable operation of the boiler and improve its economic performance.

Keywords: boiler; Long term operation; economic

1 锅炉长周期运行的重要性

1.1 经济性提升

①降低锅炉启停成本。锅炉每次停炉和重启需消耗大量燃料, 并伴随设备预热、升温升压、参数调整等额外能耗。长周期运行减少此类操作, 直接节省能源成本。

②减少维护费用。锅炉频繁启停会导致设备磨损加剧(如炉膛耐火材料、阀门、密封件等), 增加部件更换和维修频率。稳定运行可延长部件寿命, 降低综合维护成本。

③避免生产损失。在连续生产工厂中(如发电厂、化工厂), 锅炉停机可能导致全厂停产, 造成巨额经济损失。长周期运行保障生产连续性, 确保企业收入稳定。

1.2 生产效率优化

①稳定供应各级蒸汽。锅炉作为核心能源设备, 持续运行确保下游工艺及设备(如汽轮发电机组、乙烯压缩机透平、透平泵、减温减压器、工艺加热)等稳定运作, 避免因供汽中断导致下游生产线停滞。

②缩短非计划停机时间。通过减少启停次数, 降低因突发故障或调试导致的非计划停机风险, 提升整体生产效率。

1.3 设备寿命延长

①减少热应力损伤。锅炉频繁启停易导致温度、

压力波动大易引发金属疲劳(如汽包、炉管、过热器), 导致受热面出现裂纹或泄漏。稳定运行可以缓解热应力, 延长关键部件寿命。②抑制腐蚀与结垢。锅炉停炉期间, 系统暴露于空气可能导致氧腐蚀; 重启时水质波动易引发结垢。长周期运行配合有效水处理, 可减缓此类问题。

1.4 安全风险控制

①降低操作失误概率。锅炉启停过程涉及复杂操作(如点火、升温升压、并汽), 人为失误风险较高。稳定运行简化操作流程, 减少安全隐患。

②避免工况突变风险。锅炉启停阶段易出现燃烧不稳定、压力骤变等问题, 可能引发爆燃或超压事故。持续运行维持工况稳定, 提升系统安全性。

2 影响锅炉长周期运行经济性的因素

2.1 燃料因素

①燃料品质。不同燃料的质量均有所差异, 具体反映在热值、挥发分、灰分和水分含量等指标上。低热值、高水分或高灰分燃料会降低效率, 增加燃料消耗。硫分、氮含量高会导致 SO_2 、 NO_x 超标; 未燃尽碳增加颗粒物排放。高灰分燃料磨损炉膛和烟道。挥发分过低或颗粒度不均可能导致点火困难、燃烧波动。在燃烧过程中, 采用燃烧稳定性更好的燃料, 可以有效提高锅炉的热效率, 减少不必要的热损失, 对锅炉长周期运行的经济性产生积极影响。

②燃料供应稳定性。在锅炉的正常运行时一旦燃料供应中断或者出现波动就会影响锅炉的正常运行。燃料供应频繁变化，锅炉的燃烧工况就难以保持稳定。不稳定的燃烧条件会导致锅炉内部应力不均及温度变化，这将增加设备的磨损程度。这种磨损会随着时间的推移不断积累，甚至可能造成设备故障导致锅炉无法正常运行。因此，连续稳定的燃料供应是保证锅炉能够长期运行并保持其经济性的重要基础^[1]。

2.2 设备因素

①设备老化与磨损。随着锅炉运行时间的不断增加，其各个部件会面临老化与磨损的问题。受热面管的磨损尤为关键，当管壁不断磨损变薄时爆管事故随时可能发生，这将直接影响锅炉的正常运行。当受热面管不断积灰时，热量传递效率会显著下降，这是因为管壁积灰后导热能力也就变弱，热量不能有效地传递，同时长时间积灰易导致管壁局部过热超温，超出材料耐温极限引发爆管。而阀门磨损会造成泄漏，一旦发生泄漏就会导致系统的密封性被破坏，能源会在泄漏处发生损耗。

②设备维护保养。设备维护保养在整个系统运行中占据着不可忽视的地位。如果能够对设备进行定期且遵循科学方法的维护保养，就能够及时发现潜在问题并加以解决。设备的使用寿命会得到延长，性能也能够稳定地保持在一个较好的水平。相反地要是缺乏有效的维护保养措施，设备就会频繁出现故障，故障发生后不仅要花费大量的人力、物力进行维修，增加维修成本，而且锅炉的运行效率也会受到牵连，最终导致整个锅炉运行的经济性降低。

2.3 运行参数因素

①负荷率。锅炉的负荷率是影响其热效率的关键因素之一，当负荷过低时，炉膛内的温度会随之降低，这使得燃料无法充分燃烧，排烟热损失就会明显增大。例如，原本可以完全燃烧释放热量的燃料，在低负荷下部分未完全燃烧就被排出会造成能量浪费，而当负荷过高时，可能会致使受热面超温，这种情况下锅炉的热效率同样会降低，因为受热面超温可能引发一些不良的物理和化学变化，影响热量的正常传递和转换。

②过剩空气系数。过剩空气系数体现了燃烧时实际空气量与理论空气量之间的比例关系。准确控制这个系数对于保证燃料充分燃烧至关重要，若过剩空气系数过大造成炉膛出口温度增加，排烟热损失也随之增大。就好像给燃烧过程提供了过多不必要的空气，这些多余的空气会带走更多热量，反之，若该系数过小燃料则不能充分燃烧使热效率降低，未完全燃烧的燃料无法释放出应有的热量。

③排烟温度。锅炉的五项热损失中，排烟损失是对锅炉热效率影响最大的一项损失，约为5~8%。所以设法降低排烟损失对提高锅炉效率及全厂的供汽发电经济性有着非常重要的意义，而影响排烟损失主要因素就是排烟温度，所以运行中要关注排烟温度变化。降低排烟温度是提高锅炉热效率的有效措施，从运行操作角度设法降低排烟温度时，仅需要很小的投入，就可以深入地挖掘锅炉节能的潜力，提高锅炉整体运行的经济性。

④锅炉水处理参数。锅炉水处理要解决的问题就是使锅炉设备在使用过程中不因水质不良造成受热面结垢和腐蚀，为了避免这个问题，就得控制锅炉汽水各参数在合理范围内。水处理不当给锅炉所造成的后果可概括为结垢、酸碱腐蚀和汽水共腾等。结垢直接影响传热效果和汽水循环。轻则造成结垢腐蚀、燃料浪费和缩短锅炉寿命，重则引发胀管或爆管事故。而腐蚀直接影响材料强度，轻则缩短锅炉寿命，重则造成裂纹甚至爆炸事故。

2.4 人员因素

操作人员对锅炉运行原理、操作规程的熟悉程度以及操作技能水平直接影响锅炉的运行效果，熟练的操作人员能够根据不同工况及时调整运行参数，确保锅炉处于最佳运行状态，而操作不当，运行参数调整不及时等都可能引发设备故障，降低经济性。同时操作人员的节能意识也对锅炉运行经济性有重要影响^[2]。

3 锅炉长周期运行的经济性优化策略

3.1 加强燃料管理

①燃料品质控制。在锅炉运行中燃料品质至关重要；对于燃油、燃气等要保证成分达到相关标准，对于燃油部分，品质控制的关键指标可能包括粘度、含硫量、水分、灰分、闪点、热值等。例如，粘度影响燃油的流动性和雾化效果，含硫量关系到腐蚀和排放问题。燃气方面，燃气的品质指标可能包括热值、硫含量、水分、烃露点、杂质以及压力稳定性。建立严格的质量检验制度是确保燃料品质的关键，能够稳定燃料的品质是锅炉长周期经济运行的基础。同时，对燃料进行预处理，如LPG管伴热、燃油的预热、过滤等来提高燃料的燃烧效率。

②优化燃料供应系统。锅炉需要有持续稳定的燃料供应系统，防止因燃料供应突然中断而致使锅炉无法正常运行。燃料输送参数需力求稳定且有避免措施，燃气供方需有调压站且有压力高泄压排放火炬设施；燃油压力高可通过回油调整；避免燃料压力高联锁停炉。在确保燃料输送稳定这一环节需定期对燃料输送系统进行细致的检查与维护工作，要确保诸如输油泵、

阀门、过滤器、法兰、仪表等设备都能正常运行且无漏点。同时，采用先进的自动控制系统，凭借该系统实现对燃料输送量的精确把控，保证供应的燃料量能够与锅炉燃烧需求完美匹配，从而提高锅炉效率与稳定性。

3.2 重视设备维护保养

①制定科学维护计划。参照锅炉设备的运行时长、工况以及制造商建议制定完整维护计划，易磨损部件（如受热面管、吹灰器等）的维护周期缩短，相对稳定部件的维护间隔适当延长，要确定每次维护时设备检查、清洁、润滑、紧固、调试等具体事项逐一落实。②状态监测与故障预警。运用先进监测技术与设备像温度传感器、压力传感器、振动传感器等，对锅炉设备的运行状态进行实时监测，采集温度、压力、振动等数据随时监测设备潜在的问题，再通过数据分析软件处理与分析监测数据，构建故障预警模型。一旦设备运行参数偏离正常范围即刻发出预警信号，提前开展维护工作，避免故障恶化，削减维修成本。

3.3 运行参数优化调整

①负荷优化调整。结合生产计划、季节更替以及历史运行数据对锅炉负荷予以预测，合理分配负荷促使锅炉尽可能在高效区间运作。在生产淡季或者夜间低谷时段，适当降低负荷，以防高负荷运行造成能源浪费，对于需频繁变负荷运行的锅炉进行优化调整策略，避免突变冲击设备，确保燃烧稳定。

②过剩空气系数优化。锅炉应安装氧量分析仪等设备，用以实时监测烟气含氧量，进而计算过剩空气系数。操作人员依据监测数据及时调整送风量，将过剩空气系数维持在合理区间。当锅炉负荷变化时，氧量会变化，需调整风量。锅炉运行时要维持合适的过量空气系数，通常燃油、燃气锅炉的过剩空气系数控制在1.05-1.15为宜。对燃烧器优化升级，提升其调节性能与燃烧效率。采用分级燃烧、低氮燃烧等新型燃烧器技术，既能降低氮氧化物排放又能让燃料与空气更充分混合，从而优化过剩空气系数。

③排烟温度控制调整优化。加强受热面吹灰，特别是水平烟道及尾部受热面省煤器、空气预热器的吹灰，效果明显。同时定期对受热面进行化学清洗，清除顽固积灰或腐蚀产物；尽量多使用下层燃烧器，燃烧器采用停上投下方式，降低火焰中心位置；在尾部烟道扩展省煤器换热面积，充分利用烟气余热预热锅炉给水；使用烟气再循环，不仅可以降低排烟量，同时可以降低锅炉NO_x；燃料预处理，对高水分燃料进行预干燥，减少烟气中水蒸汽含量，降低排烟温度；尽量维持稳定工况，避免锅炉频繁启停或大幅变负荷

运行；调整给水温度，合理控制给水温度，避免因给水温度过高导致排烟温度过高；采用变频或永磁调速风机控制，变频或永磁调速可以精准技术调节引风机和送风机的风量，精准匹配燃烧需求。

④锅炉汽水参数调整优化。在锅炉水处理调整方面，调整方法多种，需灵活应用，平衡水质与热损失。例如通过调整氨加药泵频率或现场行程、药液浓度控制锅炉给水pH、氢电导率；通过调整磷酸盐加药泵频率或现场行程、连排定排、药液浓度控制锅炉炉水pH、电导率、磷酸根；此外，锅炉连排水开太大或者频繁进行定排灰造成热量损失，需优化排污频率，结合连续排污与定期排污，保证水质前提下尽量提高锅炉热效率。只有合理控制锅炉给水及炉水各参数在正常范围内，才能确保锅炉产出合格蒸汽，避免了汽包内壁及受热面管道内壁结垢，防止下游装置的透平机组叶片积盐结垢，维持各设备长期稳定运行。

3.4 人员管理与技术创新

①人员培训与激励。定期组织操作人员参与专业技能培训，培训内容包含锅炉运行原理、操作规程、故障处理、节能技术等，不定期邀请行业专家来讲课，采用理论讲解、案例分析、仿真模拟等形式，提升操作人员业务水平。建立完善激励机制，把操作人员绩效与锅炉运行经济性指标挂钩，对节能降耗表现优秀的操作人员予以奖励，以激发其工作积极性与创新精神。②技术创新应用。相关研究人员应该实时关注行业新技术发展动态，积极引入先进的节能技术和设备。应用智能控制系统实现锅炉运行的自动化、智能化控制，优化运行参数。对现有的锅炉设备进行技术改造，如对受热面进行强化传热改造，采用新型保温材料减少散热损失等，通过技术改造提升锅炉的整体性能，实现长周期运行的经济性优化^[3]。

4 结论

锅炉长周期运行的经济性优化属于系统工程，涵盖燃料管理、设备维护、运行参数调整、人员管理与技术创新等多方面。实施这些优化策略，可有效提升锅炉热效率，减少能源消耗与设备故障率，延长设备寿命，进而提高锅炉运行经济性和企业经济效益。

参考文献：

- [1] 荣坤鹏.火力发电厂中热能动力锅炉的燃料及其燃烧探究[J].电力设备管理,2021(5):88-89,145.
- [2] 王中玉.锅炉长周期运行寿命管理模式应用分析[J].电气技术与经济,2024(02):287-290.
- [3] 初旭.降低锅炉热损失提高锅炉效率[J].设备管理与维修,2022(16):157-158.