

# 四喷嘴水煤浆气化炉产能提升研究

张 华

国家能源集团宁夏煤业有限公司甲醇分公司 宁夏 银川 750011

**摘要:** 针对某甲醇分公司四喷嘴水煤浆气化炉存在的产能受限、能耗高及运行不稳等问题,本研究通过系统装置体检与数据分析,精准诊断出炉砖抗冲刷不足、烧嘴适配性差、煤浆泵输送不稳及煤浆浓度低等症结,并实施炉砖结构优化、工艺烧嘴改进、煤浆泵出口压力稳定性优化及煤浆浓度提升等改造措施。改造后,气化炉单炉产气量显著提升,甲醇装置产能提高,综合能耗有效降低,年增收益显著,研究为同类气化炉扩能改造提供了可复制的技术方案与实践经验。

**关键词:** 四喷嘴水煤浆气化炉; 产能提升; 炉砖优化; 工艺烧嘴改进

**引言:** 随着《甲醇、乙二醇和二甲醚单位产品能源消耗限额》(GB29436-2023)等政策实施,煤制甲醇能耗受限严格。某甲醇分公司四喷嘴水煤浆气化炉,2024年甲醇综合能耗1758kgce/t,接近限额且距标杆水平差距大,还面临供气不稳、市场低迷等问题。该气化炉设计投煤量有富余,故开展其产能提升研究,以技术改造破瓶颈,为企业及行业发展提供支撑。

## 1 气化炉运行现状分析与问题诊断

### 1.1 装置运行基础数据

改造前,四喷嘴水煤浆气化炉满负荷运行时,单炉产气量为11万Nm<sup>3</sup>/h(有效气CO+H<sub>2</sub>含量约80%),投煤量约1800t/天,煤浆浓度稳定在62%;甲醇装置综合能耗为1758kgce/t,吨甲醇生产成本较高;气化炉拱顶炉砖平均使用寿命约8000小时,存在局部磨损过快问题;工艺烧嘴运行过程中,四喷嘴上部炉壁温度偶有超温现象,影响装置稳定运行;费卢瓦高压煤浆泵出口压力波动范围为±0.5MPa,输送量不稳定,易导致气化炉工况波动。

### 1.2 核心问题诊断

**1.2.1 炉砖抗冲刷性能不足:** 现场勘察发现,气化炉拱顶K砖部位存在明显磨损痕迹,部分区域砖体厚度减少10-15mm。通过流场模拟分析,确定气化炉运行中折返流场在K砖处形成涡流,高速气流携带煤渣对砖体产生持续冲刷,导致炉砖局部磨损加速,使用寿命缩短,需频繁检修,影响装置长周期运行。

**1.2.2 工艺烧嘴适配性差:** 一是原烧嘴热面砖通道为喇叭型式,运行中炉壁高温熔渣沿斜角流至烧嘴喷头上部,引发回火现象,导致四喷嘴上部炉壁温度超温,限制气化炉负荷提升;二是产能提升后,烧嘴喷头氧气流速高达135m/s,远超同行业105-125m/s的合理范围,导致预热烧嘴口预制件底部支撑座烧蚀过快,平均每3个月需

更换一次,被迫倒炉次数增加,影响装置连续运行。

**1.2.3 煤浆泵输送稳定性低:** 费卢瓦高压煤浆泵出口压力波动大,导致煤浆输送量不稳定,气化炉进料量波动幅度达±5%,造成气化反应工况不稳定,有效气产率波动,增加了系统能耗<sup>[1]</sup>。

**1.2.4 煤浆浓度偏低:** 现有煤浆浓度为62%,含水量较高,导致气化过程中需消耗更多热量用于水分蒸发,不仅增加了燃料消耗,还降低了有效气产率,据测算,煤浆浓度每降低1%,有效气产率约下降0.5%,系统综合能耗约增加20kgce/t。

## 2 产能提升技术方案设计与实施

### 2.1 气化炉炉砖结构优化

#### 2.1.1 拱顶K砖结构改良

为消除涡流对炉砖的掏蚀作用,项目组与华东理工大学合作,对拱顶K砖进行结构优化设计:将原有凸出部位改为平滑过渡型式,采用圆弧面设计替代直角过渡,减少气流扰动;同时,选用高密度刚玉莫来石材质替代原有高铝砖,提升砖体抗压强度与抗冲刷性能(抗压强度从80MPa提升至120MPa,常温耐磨性降低50%)。通过ANSYS流场模拟验证,优化后的K砖部位涡流强度降低60%,气流流速分布均匀,有效避免了局部冲刷。

#### 2.1.2 关键部位炉砖系统性优化

除拱顶K砖外,对筒体砖、锥底砖及渣口砖等关键部位也进行了优化:一是将筒体砖由直形砖改为阶梯形砖,增加砖体之间的咬合度,提升整体结构稳定性;二是在锥底砖表面喷涂耐磨涂层(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>复合涂层),增强抗渣侵蚀能力;三是增大渣口砖流通面积,优化渣流通道,减少渣口堵塞风险。优化后,炉砖整体抗冲刷性能与耐久性显著提升。

### 2.2 工艺烧嘴结构改进与性能提升

### 2.2.1 烧嘴热面砖结构改造

针对四喷嘴上部炉壁温度超温问题，将烧嘴口上半部热面砖由锥形改为直角设计，形成“上直下锥”的复合结构：上部直角结构可有效阻挡高温熔渣流向烧嘴喷头，避免回火；下部锥形结构则保证煤浆与氧气的充分混合。通过FLUENT数值模拟，改造后烧嘴喷头区域温度降低80-100℃，炉壁超温现象明显改善。

### 2.2.2 烧嘴尺寸与孔道优化

为解决氧气流速过高导致的烧嘴头部关键结构部件侵蚀问题，联合高校对烧嘴尺寸进行精准核算：根据不同生产负荷（100% - 120%），设计3种规格的烧嘴喷头，将氧气流速控制在110 - 120m/s的合理范围；同时，优化烧嘴内部煤浆与氧气输送孔道结构，采用螺旋式煤浆通道与环缝式氧气通道，增强煤浆雾化效果（雾化粒径从80μm降至60μm）与气流扰动强度，提升气固混合均匀度。改造后，烧嘴头部关键结构部件使用寿命延长至12个月，非计划停车次数减少90%。

### 2.3 煤浆泵出口压力稳定性优化

针对费卢瓦高压煤浆泵出口压力波动问题，项目组对比分析了不同类型蓄能器的稳压效果，最终确定在煤浆泵出口管线上新增75升容积的球形/椭圆形蓄能器（选用丁腈橡胶皮囊，工作压力10-15MPa）。蓄能器通过吸收压力脉动，有效稳定出口压力：投用前，压力波动范围为±0.5MPa，投用后收缩至±0.1MPa，煤浆输送量波动幅度降至±1%，为气化炉稳定进料提供了保障<sup>[2]</sup>。同时，对煤浆泵进出口阀门进行升级，选用耐磨陶瓷阀门，延长阀门使用寿命，减少维护频次。

### 2.4 煤浆浓度提升与配浆工艺优化

为提升煤浆浓度，项目组开展了多轮试验：一是深入摸索现用煤种的碳棒磨损比，确定最佳煤粒级配（粒径 ≤ 0.1mm的煤粒占比65%，0.1-0.5mm占比25%，0.5-1.0mm占比10%），提高煤粒堆积密度；二是优化添加剂种类与用量，选用萘系高效分散剂替代原有木质素磺酸盐，添加量从0.5%降至0.3%，有效降低煤浆黏度（从1200mPa·s降至800mPa·s），提升煤浆流动性。通过工艺调整与验证，最终将煤浆浓度从62%稳定提升至62.5%，煤浆含水量降低0.5%。

## 3 改造效果验证与效益分析

### 3.1 改造效果验证

#### 3.1.1 产能与运行稳定性提升

改造后，对四喷嘴水煤浆气化炉进行了为期6个月的运行监测，结果显示：单炉产气量从11万Nm<sup>3</sup>/h提升至12.6万Nm<sup>3</sup>/h，增幅14.5%；有效气（CO+H<sub>2</sub>）含量从

80%提升至82%，碳转化效率从96%提升至98%；气化炉可在100%-120%负荷范围内稳定运行，烧嘴压差波动从±0.3MPa降至±0.1MPa，炉壁温度稳定在265 - 270℃，无超温现象；拱顶炉砖最长运行时间达到10000小时，较改造前延长25%；煤浆泵出口压力稳定，无因进料波动导致的工况异常。此外，改造后的气化炉可为一套甲醇装置提供富余合成气，助力整套甲醇装置产能释放。

#### 3.1.2 能耗与生产成本降低

根据装置能耗核算数据（见表1），甲醇装置增产后，原料煤用量147.80万吨，折标能耗117.75万吨ce；燃料煤用量45.61万吨，折标能耗27.19万吨ce；电力消耗8288.01万千瓦时，折标能耗1.02万吨ce；其他能源折标能耗合计17.34万吨ce，总能耗158.48万吨ce。甲醇产量91.80万吨，核算出单位产品综合能耗为1726.39kgce/t，较改造前的1758kgce/t降低31.61kgce/t；吨甲醇生产成本下降55元，主要得益于能耗降低、原料利用率提升及非计划停车损失减少<sup>[3]</sup>。

表1 甲醇增产后装置能耗核算表

能源类型	用量	折标系数	能耗（tce）
原料煤（t）	1477980	0.7967	1177506.67
燃料煤（t）	456055.46	0.5961	271854.66
天然气（万m <sup>3</sup> ）	28.22	11.5685	326.49
电力（万千瓦时）	8288.01	1.2290	10185.96
电折算燃料煤（t）	37798.56	0.5973	22577.08
蒸汽折算燃料煤（t）	305293.98	0.5973	182352.09
2.5MPa蒸汽（t）	193776	0.0959	18585.18
去聚甲醛蒸汽（t）	1053990	0.0949	-100042.31
水（t）	575.45	2.5710	1479.49
合计（tce）	-	-	1584825.31
产量（t）	-	-	918000
单位产品能耗（kgce/t）	-	-	1726.39

### 3.2 效益分析

#### 3.2.1 直接经济效益

根据试验性测算，改造总投入91.3万元，改造后两台气化炉负荷提升至184m<sup>3</sup>/h，全年可实现：一是增产甲醇6.8万吨，按甲醇市场均价2400元/吨计算，新增产值1.63亿元；二是变换副产蒸汽19.2万吨，按蒸汽市场价150元/吨计算，新增收益2880万元；三是因能耗降低与成本下降，每吨甲醇新增利润55元，6.8万吨甲醇新增利润374万元。扣除改造投入后，预计年增加收益3605.02万元，投资回收期仅0.03年，经济效益显著。

#### 3.2.2 间接经济效益与社会效益

在间接经济效益方面，更高的产能规模与更低的生产成本，使企业在煤化工产品价格战中拥有更大利润空

间, 2025年甲醇市场价格波动幅度达 $\pm 200$ 元/吨, 改造后企业仍可保持稳定盈利; 同时, 项目实施激发了干部员工创新积极性, 形成了“技术改造-效益提升-再创新”的良性循环, 提升了员工凝聚力与企业核心竞争力。在社会效益方面, 本项目为同类型四喷嘴水煤浆气化炉扩能改造提供了可复制的技术方案, 具有显著的示范作用; 通过产学研合作, 推动了高校科研成果的工业化应用, 培养了一批具备气化装置优化、设备改造能力的技术人才; 此外, 能耗降低与产能提升符合国家“双碳”目标与高耗能行业转型升级要求, 为煤化工行业绿色低碳发展提供了实践案例。

#### 4 未来优化方向

结合本次改造实践与煤化工行业发展趋势, 未来可从以下三方面进一步挖掘装置潜力, 推动技术持续升级: 一是探索更高煤浆浓度的实现路径。当前煤浆浓度提升至62.5%, 仍有进一步提升空间(目标63%-64%)。后续可通过深化煤种配比研究、优化添加剂复配方案(如复配萘系分散剂与高分子稳定剂), 在保证煤浆流动性的前提下进一步降低含水量, 预计可使系统综合能耗再降15-20kgce/t。二是引入智能调控技术赋能装置运行。基于气化炉温度、压力、有效气含量等实时运行数据, 搭建AI智能控制系统, 实现烧嘴负荷、煤浆进料量的自适应调节, 减少人工干预导致的工况波动; 同时, 开发设备健康管理模块, 对炉砖磨损、烧嘴老化等状态进行预判, 提前制定检修计划, 进一步降低非计划停车损失<sup>[4]</sup>。三是开展炉砖在线监测技术研发。当前炉砖磨损状态主要通过离线勘察判断, 存在滞后性。后续可在

拱顶、筒体等关键部位植入耐高温、耐冲刷的温度与厚度传感器, 结合数据传输与分析系统, 实时监测炉砖状态, 精准掌握磨损速率, 为炉砖更换与维护提供精准依据, 延长炉砖整体使用寿命, 降低检修成本。未来, 随着国家对高耗能行业能耗管控的进一步收紧, 四喷嘴水煤浆气化炉的节能降耗与产能提升将成为行业发展的核心方向。本研究形成的技术成果与优化思路, 可为行业同类装置改造提供参考, 助力我国煤化工产业向高效化、绿色化、智能化方向高质量发展。

#### 结束语

本研究通过对四喷嘴水煤浆气化炉的系统性技术改造, 成功解决了制约装置产能与能耗的核心问题, 实现了企业经济效益与社会效益的双重提升。实践表明, 依托技术创新挖掘现有装置潜力, 是煤化工企业应对政策压力、提升市场竞争力的有效路径。后续需持续深化技术研发与应用, 推动装置运行效能进一步提升, 为煤化工行业转型升级贡献更多实践经验。

#### 参考文献

- [1]张蒙恩,孟雪.四喷嘴对置式水煤浆气化炉中黑水能量利用研究[J].氮肥与合成气,2022,50(5):3-5.
- [2]常庆明,洪守坤,张旭.对置式水煤浆气化炉内燃烧气化过程的数值模拟[J].天然气化工(C1化学与化工),2021,46(2):87-92.
- [3]马艳军,马廷卫,孔德升.多喷嘴水煤浆气化炉运行瓶颈分析及优化措施[J].大氮肥,2025,48(2):73-76,81.
- [4]王志敏,侯茂林,贾博,等.多喷嘴对置式气化炉试烧高硫石油焦总结[J].中氮肥,2022(5):8-11.