

干煤粉气化装置节能降耗措施研究

何红兵

国家能源集团宁夏煤业有限公司煤制油分公司 宁夏 银川 750401

摘要：干煤粉气化装置在新型煤化工工业中地位重要，其能耗占据了项目投资、运行成本中相当比重。本文首先分析了干煤粉气化装置的工艺流程与能耗构成，指出能耗高原因，接着从五方面提出节能降耗措施。该研究不仅提升装置运行效率与经济效益，还为同行业节能降耗提供借鉴经验，推动行业绿色发展。

关键词：干煤粉气化装置；节能降耗；措施研究

引言：能源的高效利用与节能降耗是推动可持续发展的关键议题。干煤粉气化技术是当前最先进的煤气化技术之一，因其具有煤种适应性广、碳转化率高等优势而备受关注。如何通过一系列措施进行节能降耗，对企业来说意义重大。本文试从一典型干煤粉气化工艺装置进行深入剖析，提出具体的节能降耗措施，以期为行业节能措施提供参考。

1 主要工艺流程与能耗分析

干煤粉气化技术是干燥煤粉与氧气等气化剂在高温

高压下部分氧化，生成以一氧化碳和氢气为主的合成气的过程，常见气化炉包括Shell技术、GSP技术、HT-L技术、“国宁炉”技术等。其典型流程为煤块经磨煤机磨制干燥成煤粉，由惰性气体送入低压煤粉仓，间歇性排入煤粉锁斗和给料容器，再经若干煤粉输送管线，持续送入气化炉，在烧嘴端部与气化剂预混，在高温下燃烧反应。生成的粗煤气经多次洗涤后送往下游工段，灰渣由排渣系统排出，黑水送往闪蒸和过滤单元，粗渣和滤饼送到装置区外，废水经处理后大部分回用，见图1。

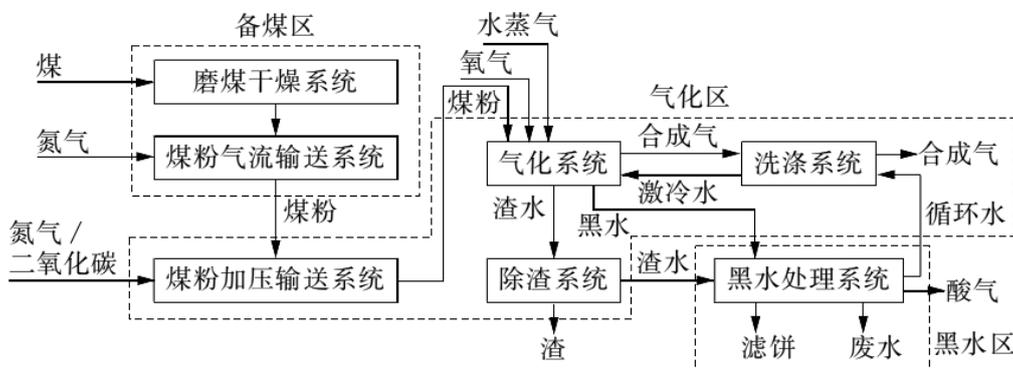


图1 典型干煤粉气化装置工艺流程简图

该技术的能耗主要由煤耗、氧耗、惰性气体消耗、蒸汽消耗、水耗和电耗构成。某典型干煤粉气化装置每产出1000Nm³/h变换气的综合能耗见表1^[1]。造成能耗偏高的主要原因可能是工艺参数不合理导致煤、蒸汽、氮气消耗

高（如炉温不合适、煤质过差等），设备效率低导致电耗高（如电机选型不节能），余热回收不充分（如黑水闪蒸系统部分余热未回收）、新鲜用水量过大（如补充脱盐水过大）及管理粗放导致工艺介质浪费等。

表1 干煤粉气化产品单位产量综合能耗表对比

能耗项目	单位	1000Nm ³ 变换气消耗	折标系数	折标煤量(kgce)	备注
原煤	kg	500	0.7143kgce/kg	357.150	按循环水量的3%计算
氧气	Nm ³	233	0.4000kgce/Nm ³	93.200	
液化石油气	T	0.3456	1.7143kgce/Nm ³	0.592	
天然气	T	2.5464	1.2143kgce/Nm ³	3.092	
氮气	T	89.625	0.4000kgce/Nm ³	35.850	

续表:

能耗项目	单位	1000Nm ³ 变换气消耗	折标系数	折标煤量(kgce)	备注
循环水	T	0.474	0.0857kgce/t	0.041	
脱盐水	kW·h	0.2875	0.4857kgce/t	0.140	
锅炉给水	t	0.2114	0.9714kgce/t	0.205	
蒸汽	kg	76.7	0.1286kgce/kg	9.864	
电	kWh	27.9543	0.1229kgce/(kW·h)	3.436	
合计		503.57			

2 干煤粉气化装置节能降耗措施

2.1 工艺路线确定与优化

当煤质为挥发分含量低、活性较差、灰分含量高、灰熔点较高的无烟煤时,一般宜选择气化温度高、适应性宽泛的粉煤气化技术^[2]。在选择具体炉型时,要关注气化炉日投煤量、炉膛压力等核心参数,结合企业生产规模、当地煤质、费用等。同一种干煤粉气化炉在不同的气化压力下,其能耗也不同。有研究表明,当气化压力从2.7MPa升高至8.7MPa时,能耗由1359.89kgce(千克标准煤当量)降至1298.88kgce,降幅为4.54%^[3]。胡步千等人研究表明对流废锅流程比激冷流程副产更多中压蒸汽,脱盐水、循环水耗量及废水排放量更少,压缩气体消耗及电耗更高^[4]。选择废锅流程还是激冷流程要结合当地水资源分配和全厂蒸汽平衡情况确定。

在工艺优化方面,常见的做法如下。在节约燃料方面,在主烧嘴运行期间,熄灭长明灯,以减少天然气或LPG的消耗。将火炬气掺入燃料气管网,用于备煤装置热风炉(用于产生干燥热气)燃烧,以减少天然气或高品质燃料气的消耗。

在节水方面,采用加热吹扫真空技术和高压隔膜板框压滤技术,可以使滤饼含水量降至35%以下,采用真空渣沥水技术可以使粗渣含水量降至20%以下,减少因粗渣、滤饼造成的水量损失。用其他装置的部分优质再生水替代进入气化装置的部分新鲜脱盐水。

在余热回收和残碳回收方面,利用废热锅炉回收成气显热产生蒸汽用于发电或供热,采用灰渣冷却器回收灰渣显热等。用离心过滤机和多级过滤分离装备对气化炉黑水进行液固分离,将形成的滤饼(含碳量达25%以上)通过低比例掺混后进入循环流化床(CFB)锅炉再燃烧是一种较好选择^[5]。

2.2 设备选型和节能改造

在设备选型阶段,将效率高且能耗低作为优先挑选标准。以磨煤机为例,根据煤粉气化工艺对煤粉的要求,煤粉细度能在R90(R90为煤粉细度指标,R90=10%

相当于煤粉细度小于等于100 μ m的量不低于90%)为2%-40%之间调节,能满足煤粉气化装置的要求,磨煤干燥系统通常多采用辊盘式磨煤机^[6],优势极为突出,其磨煤效率远超传统磨煤机,同时电耗更低。

在煤粉分离收集方式方面,采用长袋低压脉冲喷吹高浓度煤粉袋式收尘器,喷吹压力低,气源压力只需0.15-0.25MPa,在清灰强度相同的条件下,仅为高压脉冲喷吹压力的1/3-1/4^[6],能节约高压氮气消耗和设备投资。

在风机和泵的选择上,离心式风机和螺杆泵是良好的选项,经过优化设计,运行效率比传统设备提升10%~20%,选用此类设备能够从源头上降低能源消耗,提高能源利用效率。

合理的设备维护与改造能显著提升设备运行效率,降低能源消耗。定期对设备进行维护保养并及时更换磨损零部件。如磨煤机,运行到一定周期后要停机检查磨辊、磨盘等关键部件,一旦有磨损严重的情况,必须进行更换或修复,以恢复磨煤机的工作效率。对风机进行叶轮修复和动平衡调整,能够有效提升其运行稳定性,减少因振动等问题导致的能量损失。对现有设备开展技术改造能进一步挖掘其节能潜力,如在磨煤机上安装变频调速装置,该装置可根据煤粉需求量自动调整磨煤机转速,进而降低电耗。对机泵的密封水管线加装限流孔板可以减少密封水的用量。

2.3 操作控制和检修管理

通过操作控制,优化工艺参数是提升气化炉运行效率与经济性的核心环节。其中操作温度、压力及氧煤比的精准调控尤为关键。氧煤比作为核心参数之一,其数值直接影响气化反应的效率与产物组成。合理提高氧煤比可促进碳的充分转化,提升有效气(CO+H₂)体积分数,同时降低单位产气的氧气与煤炭消耗量;但若氧煤比过高,会导致炉内温度骤升,加剧烧嘴与炉膛耐火材料的热应力,缩短设备使用寿命;反之,氧煤比过低则可能引发碳转化不完全、有效气含量下降及合成气中甲烷等副产物增多等问题。需结合原料煤特性与气化炉型

式，通过多轮次试验确定氧煤比的最优区间，且要根据煤质、负荷及时进行调整。在生产组织层面，需根据市场需求与设备运行规律，科学编排生产计划与检修计划。例如在冬季集中开展空冷系统维护，确保夏季高温时段空冷设备满负荷运行能力；在上下游产业链负荷较低时，动态调整气化炉运行台数与负荷，减少开车停车频次，降低设备启停过程中的物料损耗与能源浪费。在检修后，气化炉完成点火测试并确认具备备用条件后，可仅保留维持系统正压的氮气吹扫与火炬排放功能，其余物料输送系统切换至最小流量模式或临时切断，在保障设备应急响应能力的同时最大限度降低运行成本，实现设备利用率与经济性的平衡优化。

2.4 日常管理

强化员工培训体系，定期组织节能技术专项培训，内容涵盖设备操作优化、能耗监测方法及异常工况处置，通过理论考核与实操演练提升员工节能技能水平；同步建立量化考核机制，制定包含单位产品能耗、设备空载率、水电气单耗等指标的考核体系，将节能目标分解至班组与个人，实施月度排名与季度奖惩。在生产组织层面，推行班组劳动竞赛与成本革命行动，通过设立“节能标兵岗”“微创新提案奖”等载体，鼓励员工从设备启停顺序优化、管道泄漏排查、照明系统分区控制等细节入手挖掘节能潜力，定期汇总优秀案例形成标准化操作手册。生产调度需根据原料煤供应波动与下游产品需求变化动态调整运行参数，通过原料煤库存监测、市场价格趋势分析预测，提前3-5天制定配煤调整方案，确保入炉煤热值、灰分、挥发分等指标稳定在目标区间，避免因煤质突变引发氧煤比频繁修正导致的能耗波动。供煤工段需建立煤质—氧煤比联动控制模型，通过在线灰分检测仪与气化炉运行数据实时反馈，将入炉煤灰分波动范围控制在±1%以内；同时优化新鲜水使用管理，通过循环水系统压力监测与备用泵自动启停逻辑优化，将新鲜水补入量降低至工艺最低需求值；对煤粉仓惰性化保护与流化氮气系统进行流量标定，在确保安全的前提下将氮气消耗量控制在设计值的85%-90%，通过以上措施实现能源利用效率与生产稳定性的双重提升。

2.5 能源综合利用

推进能源综合利用需与煤炭开采、电力、化工等产业构建协同机制，具体合作及效益如表2所示，与煤炭开采企业合作时采用低质煤（市场价约180-220元/吨，仅为优质煤的30%-40%）进行气化，可使企业煤炭采购成本降低25%-30%，低质煤利用率从不足30%提升至95%以

上；与电力企业合作回收煤气化装置余热发电，可实现余热利用率超90%，能源转化效率提升15%-20%；开发副产品价值方面，回收粗煤气中硫化氢（含量约0.5%-2%）经处理可生产硫磺（吨产值约1200元）、硫酸（吨产值约800元），减少硫化氢排放98%以上，降低环保处罚风险，回收二氧化碳（占粗煤气体积比15%-25%）可用于生产尿素（吨成本降低8%-12%）及碳酸饮料原料，实现污染物排放减少30%以上、企业额外经济效益提升10%-15%，推动干煤粉气化装置节能降耗与绿色发展。

表2 能源综合利用合作及效益

合作/利用方向	核心措施	关键数据指标
与煤炭开采企业合作	低质煤气化	低质煤价180-220元/吨，采购成本降25%-30%，利用率从<30%提至>95%
与电力企业合作	余热回收发电	余热利用率 > 90%，能源转化效率提升15%-20%
硫化氢回收利用	工艺处理生产硫磺、硫酸	硫化氢含量0.5%-2%，排放减少 > 98%，硫磺吨产值约1200元
二氧化碳回收利用	生产尿素、碳酸饮料原料	二氧化碳占比15%-25%，尿素吨成本降8%-12%，额外效益提升10%-15%

结束语

综上所述，干煤粉气化装置节能降耗意义重大，通过设备优化、工艺改进、操作管理及能源综合利用等多方面举措，在能耗降低、经济效益提升和环境效益改善上成效斐然。不仅为企业节省成本、增加收益，还减轻了环境压力。这些成果为行业树立了标杆，提供了宝贵经验。未来，应持续探索创新，不断优化节能降耗策略，推动干煤粉气化技术朝着更高效、更绿色、更可持续的方向迈进。

参考文献

- [1]方林勇.CO变换单元模拟及煤气化综合能耗分析研究[D].华东理工大学,2015.
- [2]谢东升.煤气化技术的选择研究[J].能源化工,2017,38(3):11.
- [3]剡建明,李若晨,赵岐,王亦飞.水煤浆和粉煤气化制甲醇过程能耗分析的研究[J/OL].煤炭转化.20251112.1501.002.
- [4]胡步千,张占一,施俊华,夏智.煤制合成氨装置工艺技术组合比选与能耗分析[J].化肥设计,2023,01.0031.04.
- [5]李刚健.煤化工气化滤饼组份分析与综合利用概述[J].科技信息,2012,35:466.
- [6]杨建国.煤粉气化装置中的磨煤干燥系统设计概要[J].硫磺设计与粉体工程,2006,(05):18-23+53.