

# 水煤浆浓度对气化炉运行效率及合成气产率的影响分析

刘炳坤 刘浩

蒲城清洁能源化工有限责任公司 陕西 渭南 蒲城 715500

**【摘要】**：水煤浆气化技术是煤炭清洁高效利用的核心技术之一，在煤化工、合成气制备等领域应用广泛。水煤浆浓度作为气化工艺的关键控制参数，直接影响气化炉内传热传质过程、化学反应速率，进而决定气化炉运行效率与合成气产率。本文通过分析水煤浆浓度对气化炉运行参数、碳转化率、能耗及合成气组分的作用机理，探究不同浓度区间下气化系统的运行特性，明确最优浓度控制范围，提出水煤浆浓度优化调控措施，为提升水煤浆气化工艺运行稳定性、提高合成气产率、降低生产能耗提供理论参考与实践指导。

**【关键词】**：水煤浆浓度；气化炉；运行效率；合成气产率；碳转化率；能耗

DOI:10.12417/3041-0630.26.07.022

## 1 引言

我国煤炭资源储量丰富，在能源结构中占据重要地位，传统煤炭利用方式存在能源利用率低、污染物排放量大等问题，与绿色低碳发展理念相悖。水煤浆气化技术作为洁净煤技术的重要分支，将煤炭研磨成煤粉与水、添加剂混合制成浆体，通过气化炉高温高压反应转化为以CO、H<sub>2</sub>为主要成分的合成气，可广泛应用于发电、化工合成、制氢等领域，具有能源利用率高、环保性能优、运行稳定等优势。

在水煤浆气化工艺全流程中，水煤浆浓度是影响气化效果的核心因素。浓度过低时，浆体含水量过高，进入气化炉后水分蒸发消耗大量热量，降低炉内反应温度，导致碳转化率下降、能耗升高；浓度过高则会使浆体黏度增大，流动性、雾化效果变差，影响浆体与气化剂的混合效率，造成气化反应不充分，反而降低合成气产率。当前工业生产中，水煤浆浓度控制不合理是导致气化炉运行效率偏低、合成气产率不稳定的主要原因之一。基于此，深入分析水煤浆浓度对气化炉运行效率及合成气产率的影响，确定最佳浓度区间，优化工艺调控方式，对推动水煤浆气化技术高效发展具有重要意义。

## 2 水煤浆浓度对气化炉运行效率的影响

### 2.1 对炉内温度场与传热过程的影响

气化炉内温度是保障气化反应充分进行的核心条件，水煤浆浓度直接改变炉内热量分配与传热效率。水煤浆由煤粉、水分及添加剂组成，浆体进入气化炉后，首先发生水分蒸发吸热反应，该过程所需热量来源于煤炭的氧化燃烧反应。当水煤浆浓度偏低时，单位质量浆体中水分占比过大，水分蒸发会消耗大量氧化反应释放的热量，大幅降低炉内整体温度，导致气化反应温度偏离最佳区间，热解、气化反应速率显著放缓，无法达到高效气化所需的温度条件。

当水煤浆浓度在合理范围内提升时，浆体含水量减少，水

分蒸发吸热损耗降低，更多氧化反应热量可用于维持炉内高温环境，形成稳定的温度场，保障气化反应在适宜温度下持续进行。相关工业数据表明，水煤浆浓度每提升1%，炉内水分蒸发热损耗可降低2%-3%，炉内平均温度提升30-50℃，气化反应动力显著增强。但浓度超出合理上限后，浆体雾化效果变差，大颗粒浆滴无法与氧气充分混合，局部出现燃烧不充分现象，导致炉内温度分布不均，局部高温或低温区域增多，传热效率下降，影响气化炉整体运行稳定性。

### 2.2 对碳转化率与气化效率的影响

碳转化率是衡量气化炉运行效率的核心指标，反映煤炭中固定碳转化为合成气的比例，与水煤浆浓度密切相关。在适宜浓度范围内，随着水煤浆浓度升高，单位体积浆体中煤粉含量增加，可参与气化反应的碳含量增多，同时炉内温度提升促进碳的热解与气化反应，大幅提高碳转化率。研究数据显示，水煤浆浓度从60%提升至65%时，碳转化率可从92%提升至97%以上，气化效率提升5%-8%，有效减少炉渣、飞灰中残碳含量，降低原料浪费。

当水煤浆浓度过低时，煤粉含量不足，且低温环境抑制碳的气化反应，大量碳无法充分转化，随炉渣排出系统，碳转化率降至85%以下，气化效率大幅降低。而浓度过高时，浆体黏度急剧上升，流动性变差，难以通过喷嘴实现良好雾化，浆滴粒径过大，氧气无法渗透至浆滴内部，碳与气化剂接触不充分，出现局部气化不完全现象，碳转化率反而出现下降，同时加剧喷嘴磨损，增加设备维护成本。

### 2.3 对气化系统能耗的影响

气化系统能耗主要包括浆体制备能耗、输送能耗、气化反应能耗及后续净化处理能耗，水煤浆浓度对各环节能耗均有显著影响。在浆体制备环节，浓度适中时，煤粉与水、添加剂混合均匀，研磨能耗处于合理水平；浓度过高需增加研磨时间与

能耗,才能保证煤粉粒度达标,确保浆体具备基本流动性。

在输送与气化环节,低浓度水煤浆含水量高,输送相同质量煤粉需输送更多浆体,增加泵体输送能耗;同时水分蒸发消耗大量热量,需增加氧气通入量维持炉温,导致氧耗、煤耗同步上升,比氧耗、比煤耗分别增加10%-15%。高浓度浆体虽减少输送与气化热损耗,但黏度增大导致管道输送阻力增加,泵体功耗上升,且雾化不佳引发反应不完全,后续净化处理负荷加大,整体能耗不降反升。只有控制水煤浆浓度在最优区间,才能实现各环节能耗协同降低,提升气化炉整体运行经济性。

### 3 水煤浆浓度对合成气产率及组分的影响

#### 3.1 对合成气产率的影响

合成气产率是水煤浆气化工艺的核心产出指标,直接决定生产效益,其与水煤浆浓度呈现先升高后降低的变化规律。在合理浓度范围内,提高水煤浆浓度,可减少水分蒸发对反应热量的消耗,炉内气化反应更充分,单位质量煤粉转化生成的合成气总量增加,合成气产率稳步提升。工业实践表明,水煤浆浓度在58%-65%区间内,浓度每提升1%,合成气产率可提升1.2%-1.5%,有效气(CO+H<sub>2</sub>)产量显著增加。

当水煤浆浓度低于58%时,炉内温度偏低,气化反应受限,大量煤粉无法转化为有效合成气,且水分稀释合成气浓度,导致合成气产率大幅下降,有效气含量降低。当浓度超过67%时,浆体雾化效果恶化,浆滴团聚严重,气化反应无法完全进行,部分煤粉转化为甲烷、二氧化碳等副产物,有效合成气生成量减少,合成气产率出现明显下滑,同时合成气中杂质含量增多,影响后续加工利用。

#### 参考文献:

- [1] 张孝雨,何国锋,李磊.水煤浆性能的影响因素及技术进展[J].洁净煤技术,2019,25(06):96-104.
- [2] 任小佳.水煤浆浓度变化对煤气化工艺的能耗影响[J].化工设计通讯,2019,45(03):25-26.
- [3] 崔意华.水煤浆浓度对气化炉气化效率的影响研究[J].煤化工,2020,48(02):45-48.
- [4] 王超.基于数值模拟的水煤浆气化炉运行参数优化研究[J].煤炭工程,2021,53(05):112-116.

#### 3.2 对合成气组分的影响

水煤浆浓度通过改变炉内反应温度、反应氛围,直接影响合成气中各组分的占比。适宜的高浓度水煤浆可提升炉内温度,促进CO、H<sub>2</sub>生成反应,抑制CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>等副反应,使合成气中有效气(CO+H<sub>2</sub>)占比提升至80%以上,满足化工合成、发电等生产需求。

低浓度水煤浆对应的炉内低温、富氧环境,会促进完全燃烧反应,导致合成气中CO<sub>2</sub>含量升高,H<sub>2</sub>含量降低,有效气组分占比下降;同时低温下焦油、酚类等副产物生成量增多,增加合成气净化难度。过高浓度的水煤浆则因反应不充分,合成气中CH<sub>4</sub>、飞灰含量增加,有效气组分占比下降,且炉内易出现结渣现象,影响合成气持续稳定产出。

### 4 结论

水煤浆浓度是影响气化炉运行效率与合成气产率的关键参数,其通过改变炉内温度场、传热传质效率、碳转化速率及反应路径,对气化炉运行稳定性、能耗、合成气产量与组分产生全方位影响。浓度过低会导致炉内热量损耗大、碳转化率低、能耗高、合成气产率下降;浓度过高则引发浆体雾化不佳、反应不充分、设备磨损加剧等问题,同样降低气化效率与合成气质量。

工业生产中,将水煤浆浓度控制在62%-65%的最优区间,同时结合原料煤特性、制浆工艺、气化炉型优化工艺参数,建立自动化浓度调控系统,可有效提升气化炉运行效率,提高碳转化率与合成气产率,降低系统能耗,实现水煤浆气化工艺高效、稳定、经济运行。未来需进一步研发高浓度、低黏度水煤浆制备技术,深化浓度与气化反应机理研究,推动水煤浆气化技术向更高效、更节能方向发展。