

# 气化炉掺烧高硫石油焦技术经济分析

逯志强 王宝文 刘凯 (山东胜星化工有限公司, 山东 东营 257300)

**摘要:** 本文旨在分析气化炉掺烧高硫石油焦技术的经济性, 评估掺烧技术的节能减排潜力。研究发现, 掺烧高硫石油焦不仅可降低生产成本, 还能提升能源利用效率, 对推动行业可持续发展具有重要意义。

**关键词:** 气化炉; 高硫石油焦; 技术分析

## 0 引言

随着能源需求的日益增长, 气化炉作为重要的能源转换设备, 其燃料选择成为行业关注的焦点。高硫石油焦作为一种潜在替代燃料, 其经济性和环保性备受关注。

## 1 概述石油焦的性质与应用领域

石油焦气化转换技术展现了一种高效并且环境友好的能源转换策略。通过此先进技术, 石油焦或煤炭在特定温度与压力条件下, 与氧气和蒸汽等反应剂进行反应, 生成富含一氧化碳(CO)和氢气(H<sub>2</sub>)的合成气。这种合成气不仅能作为工业燃料使用, 还可转化为化工产品的重要原料。在此过程中, 含硫的原料被转换为硫化氢和二氧化硫, 随后通过克劳斯过程进一步精炼为硫磺, 从而实现了资源的高效利用。此技术还有效地分离并去除了重金属, 显著降低了环境污染。因此, 高硫石油焦的气化转换工艺不仅提高了资源利用效率, 同时也大幅减轻了环境压力, 代表了一种兼具环保潜力与应用前景的技术方案。

作为炼油厂延迟焦化工序的副产品, 石油焦具备独特的外观和结构特性, 呈现暗灰色或黑色, 具有金属光泽和多孔质地, 主要由细小的石墨晶体组成, 形态多样, 包括颗粒状、柱状、针状等。其特点包括高碳含量(大约90%至97%)、低氢含量(1.5%至8.0%)、高发热量、低灰分含量以及高硫含量和低挥发性。根据硫含量, 石油焦可分为高硫焦、中硫焦和低硫焦等。经加工处理的低硫石油焦中的针状焦, 作为高品质电极原料, 在钢铁及铝合金生产中具有广泛应用。随着中国石油加工业对高硫原油的处理量日增, 相应产生的石油焦中硫和重金属的含量随之增高, 使得高硫石油焦难以满足特定行业需求, 影响其市场价值。就热值而言, 石油焦的热值比煤高出约20%, 范围在30.25 MJ/kg至34.91 MJ/kg之间, 而煤的热值在24.45 MJ/kg至30.25 MJ/kg范围内。

此外, 相比无烟煤, 石油焦的灰分显著较低, 分

别为0.1%至1.0%和8%至20%<sup>[1]</sup>。

## 2 对高硫石油焦气化过程的技术性分析

### 2.1 成浆性质的探讨

在多个工业领域中, 石油焦因其特有性质扮演着核心角色, 尤其在高浓度浆体制备方面表现卓越, 能够实现大约70%的浓缩比例。这一能力主要由石油焦表面的高度疏水性及其较大的体积密度所促成。疏水质促使石油焦粒子在液态环境中分散更均匀, 减少了颗粒的聚合, 而高密度则意味着石油焦占据了更多空间, 从而提高了浓度。然而, 在应用高浓度石油焦浆体的过程中, 也面临着挑战。其紧密的结构阻碍了通过泵送实现高效雾化的能力, 这限制了其在需要高效雾化的场合的应用。

针对这一问题, 工作人员考虑了采用褐煤来调整浆体性质的方法。褐煤的加入不仅提升了浆体的可塑性和稳定性, 而且引入了额外的水分, 这对于浓度调控极为重要。因此, 在褐煤加入过程中, 需仔细考虑对流体性质、稳定性以及浓度之间平衡的影响。通过细致的实验研究, 能够发现, 在石油焦与褐煤的比例为2:3时, 可制备出浓度超过60%、稳定性良好并具有假塑性的褐煤-石油焦浆体。此种浆体不仅维持了石油焦的原始高浓度特性, 通过引入褐煤还优化了泵送及雾化性能, 拓展了其在更广泛应用领域的潜力。

### 2.2 反应活性的研究

石油焦作为能量载体, 在热化学转换过程中比传统煤炭和石墨展现出较低的反应活性, 这限制了其在高温气化应用中的潜力。特别是在需要高温环境的水煤浆气化技术中, 由于耐火材料温度承受上限的限制, 难以在超过1450℃的条件下稳定运行, 从而影响了石油焦作为有效能源的利用率。

为了解决这一问题, 通过向石油焦添加催化剂以提升其气化活性的方法成为了科研领域和实际应用中的一种有效策略。实验结果显示, 碱性金属(如K、Na)、碱土金属(如Ca)以及特定过渡金属(如

Fe) 的添加可以显著促进气化过程。

因此, 利用这些元素丰富的工业副产品, 比如造纸废液和煤渣等作为催化剂, 不仅能够从经济和资源利用率角度出发提高反应速率和气化效率, 而且还有助于提升石油焦的市场价值和应用潜力<sup>[2]</sup>。

### 2.3 灰分熔点的考察

在化工行业中, 石油焦是关键原料之一, 尤其是其灰分熔融特性对于热壁式气化炉的操作具有重要影响。石油焦的灰熔点通常高于 1400℃, 若未经适当处理直接使用, 将引发一系列技术挑战。操作热壁式气化炉需维持高温环境。对于灰熔点超过 1400℃ 的物料, 尤其是石油焦, 会使得达到气化所需温度的任务更为复杂, 不仅降低气化效率, 还可能影响最终产品质量。

因此, 通过使用熔剂调节石油焦的灰熔点以满足气化炉操作需求, 是解决此问题的关键策略。选择合适的熔剂及其使用比例需考虑石油焦的特定特性。常见熔剂, 如石灰石和氧化铁, 能够有效降低石油焦的灰熔点, 促进气化过程。鉴于石油焦对熔剂反应存在个体差异, 选择熔剂和配比时必须考虑其化学和物理属性。

此外, 石油焦灰分中的微量金属元素, 例如镍(Ni)和钒(V), 在高温下可能侵蚀耐火材料, 化学反应后破坏耐火材料的结构, 进而缩短其使用寿命。一种有效的处理策略是将石油焦与低灰熔点的煤混合使用, 这不仅有助于通过灰渣排除这些金属化合物, 还可优化炉内的温度分布, 提高气化效率。

### 2.4 黏度与温度关系

在水煤浆气化技术的研究中, 对于黏度的精确调控至关重要。这一参数不仅对于气化效率的最大化有直接影响, 而且对于在耐火材料表面形成有效的灰渣保护层以及保持渣口畅通无阻也是必不可少的条件。因此, 将黏度维持在合适的范围内, 对确保气化过程顺畅进行至关重要。需要特别注意的是, 当水煤浆的黏度处于 15 至 40 Pa·s 范围时, 可以显著优化反应器中的流动性, 从而避免由于黏度过高导致的排渣系统阻塞, 同时也防止因黏度过低而无法在耐火材料表面形成有效的保护性灰渣层。这种灰渣层的形成对于保护耐火材料、延长其使用寿命发挥着关键作用。在采用石油焦作为气化原料的场合, 对石油焦的黏温特性进行精细控制亦显得尤为重要。如果石油焦具有较为陡峭的黏温曲线, 则说明其黏度对温度的敏感性较

强, 这可能会引入气化过程的不稳定性。通过添加辅助熔剂或 SiO<sub>2</sub> 等物质, 可以适度调节石油焦的熔化属性, 从而拓展其在黏温特性上的适应范围, 以更好地满足气化工艺的需求。

同时, 采用混合煤种的策略也是一种有效的调整黏温特性的手段。通过精心选择合适的煤种并微调其混合比例, 能够对石油焦的黏温特性进行更为精准的控制。这种策略不仅有助于实现理想的黏温曲线, 同时也充分利用了不同煤种的特点, 进而提升气化过程的整体效能<sup>[3]</sup>。

## 3 研究掺烧石油焦对经济相关影响的深入分析

### 3.1 探究石油焦掺烧对碳转化率的影响机制

在合成气制造技术领域, 碳转化率的作用极为关键, 准确地指示了合成气中碳的利用效率以及气化过程的完整性。这一指标体现了合成气碳含量与原料碳含量之间的比例关系, 对气化装置的性能及其经济效益产生显著影响。碳转化率在气化反应的深度和产生气体的总量上起着决定性的角色。较高的碳转化率意味着原料中碳元素的高效率转化, 导致了更多合成气的生成。这不仅提高了气化设备的生产能力, 还增进了整个过程的经济效益。

相反, 低碳转化率表示大量碳资源未能有效转化, 引致资源的浪费和运营成本的提升, 从而对经济效益造成不良影响。从实际操作经验来看, 多种因素可能会影响碳转化率, 尤其是石油焦的掺烧比例对其有着显著影响。数据分析表明, 随着石油焦的掺烧比例增加, 碳转化率有下降的趋势, 这可能与石油焦特殊的成分结构及其气化特性相关, 一些难以气化的组分降低了总体的碳转化效率。因此, 优化石油焦掺加比例, 严格控制其比例, 成为提升碳转化率的关键。深度剖析石油焦在气化过程中的行为, 确立影响转化率的关键因素, 并基于此制定更加高效的配料策略, 显得至关重要。

鉴于石油焦气化的碳转化率通常在 86% 至 90% 之间, 寻求提升整体碳转化率的方法变得非常必要。采用灰渣循环系统, 将气化过程中生成的微小灰烬颗粒回收至气化炉中, 不仅可以最大程度地回收利用原料中的碳, 降低废弃物排放, 而且能实现资源的高效利用。采取此措施期望能将碳转化率提升至 95% 以上, 以此增强气化装置的性能和经济效益。

### 3.2 分析石油焦掺烧对于装置投资成本的影响

当选定石油焦作为煤气化的主体原料, 面对由其

独特物性带来的一系列技术挑战,尤其表现在生产阶段的细微粒子增多问题,需要对工程设计及操作方式进行精细调整。

其一,煤气化设施遭遇的主要困扰之一是细渣和细灰的累积,这不仅降低了系统的运转效率,而且增加了设备及管线堵塞的风险。解决这一问题的办法是扩大设备和管道的规模,确保气体流畅无阻,并对细渣的处理和转运系统进行强化,保障生产流程的连续性。

其二,高硫石油焦的使用使得气化产生的合成气中含有较多的硫化氢( $H_2S$ ),这不仅对随后的气体净化步骤提出更严格的要求,还会在CO转化过程中引起 $CO_2$ 的增加。面对增加的酸性气体处理需求,必须扩大吸收和解吸装置的规模,以实现气体的有效处理,并考虑溶剂使用量、再生所需的能量及其它能耗的增加。

值得强调的是,硫化氢在酸性气体去除环节的浓缩量有可能会增长至原有的3至5倍,应对这一变化,不仅要升级改造配套的硫回收系统,还需要优化工艺流程,确保硫化氢的有效回收。从资金投入角度看,使用石油焦作为煤气化原料的设施初期成本通常较高,主要由于其运营复杂性较大。面对含硫量较高的原料,处理灰渣的需求增加以及设备及管道材料的升级使得初始投资额度提高,但这种投资是为了满足生产的需求和提升效率,是追求长期可持续发展战略中的关键步骤。

归纳而言,采用石油焦为煤气化原料,其整个工程的高效和稳定运行需要周密的计划与优化,这不仅涉及到设备和工艺流程的改进,还包含投资和运营成本的综合考量。

## 4 高硫石油焦掺烧优化技术的开发与应用

### 4.1 优化工艺流程,安装高效装置

在将石油焦整合入气化过程中,反应温度显著提升,这一变化不但加快了气化反应的速率,更实现了与传统煤炭气化相比较的气体产量增加,从而提高生产效率及优化工艺流程作出了积极贡献。此外,气体产品中的高附加值成分比例亦有所提升,这意味着在生产气体的成分中,具有更高经济价值的部分比重增加,这对整体工艺流程的经济效益至关重要。然而,伴随气化温度的上升,值得特别关注的是硫化氢( $H_2S$ )含量的增加。由于硫化氢具有较强的腐蚀性和毒性,其浓度的增加可能对设备造成损害,并对操作人员的

健康构成威胁。

因此,实施预脱硫装置的应用显得尤为重要。其核心目的在于预先去除气体中的硫化氢,以免其对后续净化步骤造成不利的影响。通过该处理,可以有效地降低气体中硫化氢的浓度,以确保经低温甲醇洗涤或克劳斯硫回收系统处理的气体满足规定的 $H_2S$ 浓度标准。

### 4.2 设计炉砖结构,防止反应过热

在全石油焦的气化转化过程中,观察到碳的转化率大约为85.66%,此数值相较于使用煤作为原料的过程略显逊色。这种性能差异主要源于在气化过程中,一部分石油焦中的碳未能彻底转化成预期的气态产物,部分碳素以废渣形式残留,这不仅降低了转化效率,还可能导致资源浪费和环境污染。

此外,与煤气化相比,全石油焦气化需要在更高约100摄氏度的操作温度下进行。尽管较高的温度有助于提升气化效果,但此举也引发了一系列挑战,尤其是气化炉内部温度的上升加剧了炉壁的损伤。长期面对这种高温环境不仅损害炉壁的材料,缩短了其使用寿命,也带来了潜在的安全隐患。针对此类挑战,迫切需要对气化炉进行改进。改进措施应包括炉砖结构和材料的重新设计,例如,通过减少高铬砖的厚度同时增加隔热砖的厚度,达到降低炉壁温度,预防过热的目的。另一个有效措施为适当调整气化炉渣口的尺寸,以延长反应时间,增加碳向气体转化的机会,进而促进转化率的提升。

## 5 结语

气化炉掺烧高硫石油焦技术具有显著的经济优势和环保效益,对于降低生产成本、提高能源利用效率具有重要意义。随着技术的不断完善和推广,相信未来这一技术将在能源领域发挥更大的作用,推动行业的可持续发展。

### 参考文献:

- [1] 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(05):8-11.
- [2] 严东.气化炉掺烧高硫石油焦技术经济分析[J].大氮肥,2020,43(03):164-168.
- [3] 孙国武,李艳红.原料煤掺烧高硫石油焦在Shell气化炉中的应用[J].煤化工,2017,45(02):19-23.

### 作者简介:

逮志强(1983-),男,汉族,山东东营人,本科,2006年毕业于山东农业大学,研究方向:化工工程。