

油煤共炼装置悬浮床高分底部直接冷氢和间接冷氢的作用与实践应用效益分析

张兴伟 杨晓飞 (延长石油集团有限公司榆林炼油厂, 陕西, 榆林, 718500)

摘要: 本文针对延长石油油煤共炼装置悬浮床反应装置中高温高压分离器(热高分)底部温度控制难题, 系统研究直接冷氢与间接冷氢这两种温度控制移出技术的作用和应用优势。通过对两种冷氢注入移热方式的原理、系统构成、控制策略以及工业应用效果对比分析, 体现了直接冷氢技术具备的快速降温特点, 及间接冷氢系统所具备温度均匀分布的优势。研究结果表明, 合理选择并优化冷氢系统, 对于保障油煤共炼装置的安全稳定运行、防止设备结焦堵塞、提高产品收率具有重要意义。

关键词: 油煤共炼; 悬浮床; 高温高压分离器; 直接冷氢; 间接冷氢; 应用效益

中图分类号: TE665.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 036-0064-03

Analysis of the Functions and Practical Application Benefits of Direct and Indirect cold hydrogen at the bottom of the suspended bed in the oil-coal Co-refining unit

Zhang Xingwei, Yang Xiaofei (Yulin Refinery of Yanchang Petroleum Group Co., Ltd, Yulin Shaanxi 718500, China)

Abstract: This paper focuses on the problem of bottom temperature control of the high-temperature and high-pressure separator (thermal high separation) in the suspended bed reaction device of the oil-coal co-refining unit of Yanchang Petroleum. It systematically studies the functions and application advantages of the two temperature control removal technologies of direct cold hydrogen and indirect cold hydrogen. Through the comparative analysis of the principles, system composition, control strategies and industrial application effects of the two cold hydrogen injection heat transfer methods, it demonstrates the rapid cooling feature of the direct cold hydrogen technology and the advantage of uniform temperature distribution of the indirect cold hydrogen system. The research results show that the rational selection and optimization of the cold hydrogen system are of great significance for ensuring the safe and stable operation of the oil-coal co-refining unit, preventing coking and blockage of the equipment, and improving the product yield.

Key words: Oil and coal co-refining; Suspended bed; High-temperature and high-pressure separator; Direct cold hydrogen; Indirect cold hydrogen; Application benefits

油煤共炼技术作为煤炭清洁高效利用的重要途径, 通过将煤粉与重质油混合进行加氢裂化, 生产优质液体燃料, 有效缓解我国石油资源供需矛盾。悬浮床加氢裂化技术作为油煤共炼的核心工艺, 因其原料适应性广、转化率高等优点而备受关注。悬浮床反应器在高温(430—470℃)、高压(15—22MPa)的临氢条件下运行, 反应产物需经过高温高压分离器(热高分)进行气液分离。热高分底部流出物含有未反应的煤粉、催化剂颗粒和重质组分, 温度较高(通常高于400℃), 在后续处理过程中易导致设备结焦、管道堵塞等问题。因此, 有效控制热高分底部温度成为保障装置长周期稳定运行的关键。

1 悬浮床加氢与高低温分离系统

1.1 悬浮床加氢技术特点

延长石油油煤共裂装置悬浮床加氢裂化技术采用空筒反应器结构, 催化剂在反应器内与油煤浆充分混合, 在高温、高压临氢条件下进行加氢裂化反应。该

技术对重质劣质原料具有较强的适应性, 可将煤和重质油中90%以上的组分转化为轻质油品。悬浮床反应器操作条件极为苛刻, 通常需要在460—465℃的温度和18~20MPa的压力下进行生产运行。

反应后产物从悬浮床反应器顶部出去后通过循环氢进入高压分离系统。由于产物中含有气、液、固三相组分, 且温度高、组成复杂, 分离过程面临堵塞、结焦磨损等挑战挑战。高温高压分离器作为首要分离设备, 其操作稳定性直接影响整个装置的运行效率。

1.2 高低温分离系统流程

延长石油油煤共裂装置采用热高分与二级高分相结合的分流流程。自反应器出来的反应流出物466℃进入一级热高压分离器进行气液固分离。一级热高分底部液相主要为重质组分和固体颗粒, 而顶部气相则包含轻质油气和氢气通过循环氢系统进入固定床进行精制和裂化反应目标产品。

一级热高分气相经过冷却后进入二级热高压分离

器,在约 355℃条件下进行油、气、渣三相分离。二级热高分气进入固定床入口与固定床进料混合使用,液相则送至下游产品减压分馏单元。热高分底部液相由于含有大量重质组分和固体颗粒,温度较高,需进一步降温处理以防止结焦和设备堵塞,工艺参数见表 1。

表 1 悬浮床加氢系统典型操作参数

参数名称	操作范围	单位	备注
反应温度	460—465	℃	悬浮床反应器
反应压力	18—20	MPa	悬浮床反应器
热高分温度	约 400	℃	底部液相
二级热高分温度	约 355	℃	气液固分离
氢纯度	≥ 95	vol%	循环氢
氢油比	1000—1500	Nm ³ /t	悬浮床进料

2 直接冷氢与间接冷氢技术原理

2.1 直接冷氢系统

直接冷氢技术是将低温氢气直接注入热高分底部物流中,通过冷热流体混合实现快速降温的方法。这一系统由氢气、注入喷嘴、控制阀门和温度检测仪表等组成。

直接冷氢的工作原理是冷氢直接通过喷嘴进入高分内部与反应产物直接进行热交换的过程。冷氢(通常为循环氢,温度约 45℃)与热高分底部物流(约 450℃)混合,通过氢气与高温物流之间的对流和传导传热,实现快速热量交换。直接冷氢系统的降温效果显著,可在短时间内将物料温度降低至安全处理范围。

直接冷氢系统的主要优点是响应速度快、降温效果显著、系统结构相对简单。然而,其不足之处在于温度控制精度较低,可能出现局部过冷或偏流、介质倒流等现象,且对混合设备的设计要求较高。

2.2 间接冷氢系统

间接冷氢系统采用高分内部夹套外部增加换热盘管作为热交换设备,通过夹套壁面将高温物料的热量传递给冷氢,实现降温目的。该系统由换热器、冷却介质循环系统和控制单元组成。

间接冷氢基于间接传导式传热原理,高温物料与循环氢在换热器内分别流经不同的通道,通过夹套壁面进行热量传递。这种设计避免了两种流体的直接接触,保证了物料的正常流动形态和有效防止物料倒窜。间接冷氢系统能够实现更为精准的温度控制,有效了局部过冷或过热的情况。

间接冷氢系统的主要优势在于温度控制精准、物料性质稳定、系统运行平稳。其投资成本较高,设备结构复杂,可能存在结垢以及传热效率下降的问题。

2.3 技术对比

直接冷氢与间接冷氢系统在技术特性方面存在显

著差异,下表从多个维度对这两种技术进行了对比分析,冷氢系统对比见表 2。

表 2 直接冷氢与间接冷氢技术对比

对比指标	直接冷氢系统	间接冷氢系统
降温机理	直接混合传热	间壁式传热
响应速度	快	相对较慢
温度控制精度	较低	高
设备复杂度	较低	高
投资成本	较低	高
维护要求	相对简单	复杂
局部偏流和介质倒流风险	较高	低

3 操作参数与控制策略

3.1 关键操作参数分析

冷氢系统的高效运行主要依靠于对关键参数的精准控制。温度是核心参数,需要根据热高分底部物料的性质以及后续工艺要求,调整合适的操作温度。温度过高可能会导致设备结焦,过低则可能导致重质组分凝固,造成管道凝结堵塞。

系统压力控制对于系统稳定运行同样也是至关重要。系统压力波动直接影响直接冷氢注入,波动大会造成温度波动大或介质倒窜堵塞喷嘴,需要通过压力控制阀来维持系统压力平稳。压力波动虽然对间接冷氢系统影响较小,但仍需确保夹套两侧压差处于安全范围内。

循环氢流量是直接冷氢系统稳定的关键参数,流量大小直接影响降温效果。流量不稳定在人为不干预的情况下可能导致高分底部温度波动大会导致超温结焦或凝结堵塞管道。对于间接冷氢系统,冷却介质流速和温度是主要调节控制手段,需要根据热负荷变化实时进行调整,冷氢温度控制手段极低,冷氢温度被压缩机出口温度所限制,因此以流量控制为准。

3.2 控制策略与安全联锁

为确保冷氢系统安全稳定运行,需要采用多参数协同控制。安全联锁系统是防止设备损坏的重要保障。当检测到温度超过安全阈值或流量异常时,联锁系统会自动启动应急程序,包括紧急切断、系统泄压、急速降温,阀位自保等操作,防止事故发生。特别是针对直接冷氢系统,需要设置最低流量联锁,防止氢气中断导致设备超温,温度超温时会打开泄压阀,保证设备安全。

4 工业应用与效益分析

4.1 工业应用案例

延长石油 45 万 t/a 煤油共炼工业示范装置采用了先进的悬浮床加氢裂化技术与高低温分离系统。其装置在热高分底部设置了冷氢注入系统为直接冷氢,有效控制了底部温度,防止了重质组分在高分底部堆积导致减压系统现结焦问题。运行数据表明,合理设计

的冷氢系统可使热高分底部温度稳定控制在工艺要求范围内,保障装置连续运行时间超过 270 天。

某专利技术描述的油煤共炼制取喷气燃料的装置中,热高分底部重质渣油在经减压阀排出前,采用了精准的温度控制系统。该系统通过调节冷氢注入量,将热高分底部温度控制在适宜范围内,为后续固定床加氢精制和加氢裂化单元提供了稳定的进料条件,最终成功生产出符合标准的喷气燃料。

4.2 效益对比分析

从工业应用效果来看,直接冷氢系统因其响应速度快、投资成本较低的优势,在需要对温度变化作出快速响应的设备表现突出。特别是在进料流量波动较大的工况下,直接冷氢可通过快速调节氢气流速,有效防止温度失衡。

间接冷氢系统则在温度控制精度和运行稳定性方面具有明显优势。其对物料性质的保护作用使其在对产品品质要求较高的场合更加适宜。虽然投资和运营成本较高,但长期运行稳定性和产品品质的一致性可带来较高的经济效益。

在实际工业装置应用中,延长石油 45 万 t/a 煤油共炼工业示范装置根据工艺要求和操作条件灵活选择或组合使用两种冷氢技术。可以在热高分底部首先采用直接冷氢进行快速降温直接冷氢设置了最低阀位开度 10%,再通过间接冷却方式实现精准温度控制,间接冷氢经过换热后直接进入固定床反应器入口,实现了兼顾效率与稳定性。

5 技术应用挑战与发展趋势

5.1 当前面临的技术挑战

尽管直接冷氢和间接冷氢技术在油煤共炼装置中已得到成功应用,但仍面临诸多技术挑战。对于直接冷氢系统,氢气和高温物流的均匀混合是一大难题。不均匀混合可能导致局部过热或过冷,影响设备稳定运行,严重时导致锥部结焦。此外,高压氢气的注入还会引起系统压力波动,对压力控制系统的响应速度提出了更高要求,操作精制度要求极高。

间接冷氢系统面临的主要挑战是换热表面的结垢问题。热高分底部物流中含有煤粉、催化剂颗粒和重质组分,容易在换热表面沉积结垢,降低传热效率,增加系统压降,甚至导致设备堵塞。解决结垢问题需要从材料选择、设备结构和清洗策略等多方面着手。

两种冷氢系统均需应对高温高压工况下的材料选择问题。热高分底部物流温度高,且含有硫化氢等腐蚀性介质,对设备材料的耐腐蚀性和高温强度提出了极高要求。合适的材料选择是保障设备长周期运行的关键因素之一。其应用装置选择采用 TP347 不锈钢作

接触表面效果显著。

5.2 技术应用发展趋势

未来冷氢技术的发展将呈现以下趋势:朝着系统优化与集成化方向发展,通过改进设备结构和优化系统配置提升冷氢系统的效率与可靠性,增加自控性能。例如,研发新型混合设备以增强直接冷氢的混合效果,或者设计抗结垢换热器来提升间接冷氢系统的稳定性。

结合智能化控制策略的应用将进一步提高冷氢系统的控制精度和风险能力。基于人工智能和机器学习的先进控制算法能够实现对冷氢系统的预测性控制和优化调整,实现增强系统应对复杂工况的处置能力。

新材料与新技术的引入将为冷氢系统的发展带来新契机。例如,纳米涂层技术的应用能够改善换热表面的抗结垢性能,碳化钨涂层技术将改善表面磨损问题,新型复合材料的研发则可延长设备在高温高压腐蚀环境下的使用寿命。

6 结论

系统的探究了油煤共炼装置悬浮床高分底部直接冷氢和间接冷氢的作用机理与技术特性,得出以下结论:直接冷氢技术借助氢气与高温物料的直接混合来实现快速降温,具备响应速度快、系统简易的优势,但温度控制精度较低,存在局部过温度过低的风险,温度分布不均,会发生物料急剧缩合导致结焦风险。间接冷氢技术通过间壁式换热器实现物料降温,温度控制精准,运行稳定,但设备复杂,表面易结垢,需要一套控制系统来配合,投资成本较高。从延长油煤共炼装置应用显示,合理设计与操作的冷氢系统对于保障油煤共炼装置长周期稳定运行至关重要。延长石油煤油共炼示范装置的成功运行证实,适合的冷氢控制策略可使装置高分段连续稳定运行周期倍增。

参考文献:

- [1] 郭强, 高雄成, 艾克利. 悬浮床加氢裂化技术在煤油共炼装置的应用 [J]. 中国石油石化, 2017(04):45-46.
- [2] 王振波, 金有海. 重油悬浮床加氢循环尾油旋流分离技术应用研究 I. 冷模试验 [J]. 化工机械, 2006, 33(3):129-132.
- [3] 李慧杰. 煤焦油悬浮床加氢装置反应温度的影响及控制 [J]. 化工设计通讯, 2021(06).
- [4] 张登跃, 靳鹏, 谷小虎, 林雄超. 悬浮床高温煤焦油沥青质加氢裂化反应过程中供氢溶剂作用研究 [J]. 现代化工, 2019(10):106-110.
- [5] 韩磊. 加氢处理装置高压空冷器入口管道腐蚀仿真模拟 [J]. 炼油技术与工程, 2025(8):21-25.