

低阶煤制油工艺适应性改进与能耗分析

姚石磊 云峰 曹 崢

内蒙古伊泰煤制油有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要: 随着煤炭资源的深度开发和高效利用需求增加,低阶煤制油工艺日益受到关注。本文聚焦于低阶煤制油工艺的适应性改进及其能耗分析。通过优化催化剂、调整反应条件、改进原料预处理技术,实现了工艺效率的提升。同时,深入剖析了能耗构成及主要影响因素,并提出了节能减排的有效措施。研究表明,这些改进不仅降低了能耗,还增强了工艺的经济性和环境友好性。

关键词: 低阶煤制油工艺; 适应性; 改进; 能耗分析

引言: 低阶煤制油工艺作为煤炭资源高效转化和利用的重要途径,近年来受到广泛关注。随着能源需求的持续增长和环境保护要求的日益严格,传统低阶煤制油工艺面临着原料适应性差、能耗高等挑战。因此,对低阶煤制油工艺进行适应性改进,降低能耗,提高能效,已成为当前研究的热点。本文旨在探讨低阶煤制油工艺的改进方向及能耗分析,以期为该领域的发展提供有益的参考。

1 低阶煤制油工艺概述

1.1 低阶煤的理化特性分析

(1) 化学组成与热解特性。低阶煤,如褐煤,其化学组成中水分含量较高,热值相对较低,但化学反应活性较高。这种煤种的孔隙结构以大孔-中孔体系为主,孔隙度普遍高于10%,有利于化学反应的进行。热解特性方面,低阶煤在加热过程中会释放出大量的挥发分,包括气体和焦油,这为煤制油工艺提供了基础原料。然而,由于其高水分含量,在煤制油过程中可能需要先进行干燥处理以降低水分含量。(2) 煤阶对制油工艺的影响。煤阶是指煤的变质程度,低阶煤由于煤化程度较低,其化学反应活性较高,但同时也意味着其结构较为松散,易于在加工过程中破碎。这对制油工艺提出了特殊要求,如需要控制反应条件以防止煤的过度破碎,同时利用其高反应活性提高液化效率。此外,不同煤阶的煤在热解过程中产生的挥发分组成也有差异,这会影响后续液化产物的质量和分布。

1.2 低阶煤制油的主要工艺路线

1.2.1 直接液化工艺

(1) 反应条件与催化剂。直接液化工艺是将低阶煤在高温高压条件下,通过催化加氢反应直接转化为液体燃料。这一过程中,反应条件通常包括高温(一般在500℃以上)和高压(一般在几十兆帕以上)。催化剂

的选择对液化效率和产物品质至关重要。常用的催化剂包括铁系、镍系和钴系等。这些催化剂能够降低反应活化能,提高液化速率和产物收率。(2) 产物特性与应用领域。直接液化工艺的主要产物包括汽油、柴油和航空燃料等液体燃料。这些产物具有较高的热值和燃烧稳定性,广泛应用于交通运输、工业生产和发电等领域。此外,直接液化产物还可以作为化工原料,用于生产各种化学品和材料^[1]。

1.2.2 间接液化工艺

(1) 气化与合成气净化。间接液化工艺首先将低阶煤进行气化,转化为合成气(主要为一氧化碳和氢气)。气化过程中产生的合成气需要经过净化处理,去除其中的杂质和有害物质,以确保后续费托合成的顺利进行。(2) 费托合成与产物分布。净化后的合成气在催化剂作用下进行费托合成,生成液体燃料和化学品。费托合成的产物分布受到多种因素的影响,包括合成气的组成、催化剂的种类和反应条件等。通过调整这些因素,可以获得不同品质和用途的液体燃料和化学品。

1.3 现有工艺的局限性分析

(1) 原料适应性限制。虽然低阶煤是制油工艺的主要原料,但不同产地、不同煤阶的低阶煤在化学成分、物理性质和反应活性等方面存在差异。这导致某些工艺在处理特定煤种时可能面临困难,如煤的破碎、气化效率、催化剂的失活等问题。因此,开发能够广泛适应不同煤种的制油工艺是当前研究的重要方向。(2) 能耗与环境问题。低阶煤制油工艺通常需要消耗大量的能源,尤其是在气化、液化和净化等步骤中。这不仅增加了生产成本,还可能对环境造成负面影响。此外,工艺过程中产生的废水、废气和固体废弃物处理也是一个难题。如果处理不当,这些废弃物可能对环境造成长期污染。因此,降低能耗、提高能效、开发环保的废弃物处理技

术是当前工艺改进的关键。

2 低阶煤制油工艺的适应性改进

2.1 催化剂的优化与创新

(1) 新型催化剂的研发与应用。催化剂在低阶煤制油工艺中起着至关重要的作用。新型催化剂的研发与应用可以显著提高工艺效率,降低能耗,改善产物品质。例如,针对直接液化工艺,可以研发具有高活性、高选择性和稳定性的纳米催化剂,以提高液化速率和产物收率。对于间接液化工艺,可以开发高性能的铁基、钴基或镍基费托合成催化剂,以提高合成气的转化率和目标产物的选择性。(2) 催化剂性能对工艺效率的影响分析。催化剂的性能直接影响低阶煤制油工艺的效率。优秀的催化剂能够降低反应活化能,加速反应进程,从而提高工艺效率。同时,催化剂的选择性也至关重要,它决定了产物的分布和品质。因此,在催化剂的研发过程中,需要综合考虑其活性、选择性、稳定性和再生性能等因素,以确保催化剂在实际应用中的优异表现。

2.2 反应条件的优化调整

(1) 温度与压力的控制策略。温度和压力是影响低阶煤制油工艺效率的关键因素。过高的温度和压力可能导致设备损坏和能耗增加,而过低的温度和压力则可能降低反应速率和产物收率。因此,需要制定合理的温度与压力控制策略。例如,在直接液化工艺中,可以通过优化加热方式和调整压力控制策略,使反应在更温和的条件下进行,从而提高工艺效率。在间接液化工艺中,可以通过精确控制合成气的组成和反应温度,以优化费托合成反应,提高产物的品质和收率^[2]。(2) 反应时间与物料比例的优化。反应时间和物料比例也是影响工艺效率的重要因素。过长的反应时间可能导致产物过度裂解或结焦,而过短的反应时间则可能使反应不充分。合理的物料比例可以确保反应的高效进行,同时减少副产物的生成。因此,在工艺设计过程中,需要通过实验研究和模拟仿真等手段,确定最佳的反应时间和物料比例,以提高工艺效率。

2.3 原料预处理技术的改进

(1) 提高低阶煤的可液化性。低阶煤的可液化性是影响其制油工艺效率的重要因素。通过改进原料预处理技术,如热解提质、研磨破碎、干燥脱水等,可以显著提高低阶煤的可液化性。例如,热解提质技术可以通过热解反应去除低阶煤中的部分挥发分和含氧官能团,从而提高其液化速率和产物收率。研磨破碎和干燥脱水技术则可以减小煤粒的粒径和水分含量,使其更易于液化和反应。(2) 减少杂质对工艺的影响。低阶煤中含有大

量的无机矿物质和有机杂质,这些杂质可能对制油工艺产生不利影响。因此,在原料预处理过程中,需要采取有效的措施去除这些杂质。例如,可以通过物理分选、化学浸出或生物降解等方法去除煤中的无机矿物质;通过溶剂萃取或酸碱处理等方法去除煤中的有机杂质。这样可以减少杂质对工艺设备的影响,提高工艺的稳定性 and 效率。

2.4 系统集成与能量优化

(1) 多联产系统的构建与集成。多联产系统是指将多种能源转化技术集成在一起,形成互补互利的综合能源系统。在低阶煤制油工艺中,可以构建以煤制油为核心的多联产系统,将气化、液化、发电等过程集成在一起,实现资源的优化配置和能量的高效利用。例如,可以将气化产生的合成气用于发电或化工原料的生产;将液化产生的副产物如石蜡、沥青等用于建筑材料或道路铺设等领域。这样可以提高资源的综合利用率和工艺的经济性^[3]。(2) 余热回收与能源梯级利用。低阶煤制油过程中会产生大量的余热,通过余热回收装置,将这些余热进行回收利用。可以将余热用于预热原料、加热工艺用水等,减少对外部能源的需求。同时,实现能源的梯级利用,根据不同环节对能源品质的需求,合理分配能源,提高能源的利用效率。例如,将高温余热用于发电,中低温余热用于工艺加热等,最大限度地降低能源消耗,实现低阶煤制油工艺的节能减排和可持续发展。

3 能耗分析与节能减排措施

3.1 能耗构成分析

(1) 一次能源与二次能源消耗量计算。在低阶煤制油过程中,一次能源主要包括低阶煤本身以及用于辅助反应的天然气、石油焦等;二次能源则涵盖电力、蒸汽等。精确计算一次能源消耗量,需结合煤制油工艺的原料转化率、反应流程,通过物料衡算与能量守恒原理,确定单位产品所需的低阶煤及其他一次能源用量。对于二次能源,以电力为例,需统计各设备(如粉碎机、反应釜搅拌器、气体压缩机等)的功率及运行时长;蒸汽消耗量则依据工艺加热、干燥等环节的热需求进行核算。通过系统的计量与计算,可清晰掌握低阶煤制油全流程的能源消耗规模,为后续分析提供数据基础。(2) 主要能耗环节的识别。经分析,低阶煤制油的主要能耗环节集中在煤的气化、加氢液化反应以及产品分离精制阶段。煤的气化过程需将低阶煤转化为合成气,此过程需消耗大量热量维持高温环境;加氢液化反应中,为促进煤与氢气发生深度反应,需保持特定的温度和压力条件,相应的加热、加压设备能耗颇高;在产品分离精制

阶段，通过蒸馏、萃取等方法分离不同组分，需要消耗大量的蒸汽和电力。识别这些主要能耗环节，有助于针对性地制定节能策略。

3.2 能耗影响因素探讨

(1) 原料煤质与工艺参数的敏感性分析。原料煤质对能耗影响显著。低阶煤的水分、灰分、挥发分及固定碳含量不同，其发热量和反应活性存在差异。例如，高水分煤在气化前需进行干燥处理，增加了热能消耗；高灰分煤不仅降低了有效成分含量，还会在气化过程中影响气流分布，导致能耗上升。工艺参数方面，反应温度、压力、停留时间等参数的微小变化，都会改变反应进程和能耗。通过敏感性分析可知，适当降低反应温度但延长停留时间，在保证转化率的前提下，可减少加热能耗；优化压力参数，能降低压缩设备的电力消耗。

(2) 设备效率与能耗的关系。设备效率直接决定能耗水平。以气体压缩机为例，高效压缩机的绝热效率高，压缩相同体积的气体所需的功更少，从而降低电力消耗；先进的换热器传热效率高，能更充分地回收余热，减少对外部热源的依赖。此外，设备的运行稳定性也至关重要，频繁的设备故障和启停会导致额外的能源损耗。因此，提高设备效率、加强设备维护管理，是降低能耗的关键途径。

3.3 节能减排措施与效果预测

(1) 高效催化剂与节能设备的应用。采用高效催化剂可显著降低反应的活化能，使反应在较低温度和压力下进行，从而减少加热和加压设备的能耗。例如，新型纳米催化剂能提高煤的转化率和油品收率，缩短反应时间，间接降低能耗。同时，引入节能设备，如高效变频电机、新型换热器、高效蒸馏塔等，可从设备层面降低能耗。预计通过高效催化剂与节能设备的应用，能使整体能耗降低15%-20%。(2) 废气废水处理技术的改进。传统废气处理方法能耗较高，改进后的膜分离、生物处理等技术，在保证处理效果的同时降低能耗。废水处理方面，采用先进的反渗透、蒸发结晶等技术，实现废水的回收利用，减少新水取用和废水处理能耗。通过这些技术改进，不仅能降低处理环节的能耗，还能减少污染物排放，实现资源的循环利用^[4]。(3) 碳捕捉与利用技术的探索。碳捕捉与利用技术可将低阶煤制油过程中

产生的二氧化碳进行捕获，用于生产化工产品或地质封存。虽然该技术目前存在能耗较高的问题，但随着技术发展，采用吸附法、吸收法等新型碳捕捉技术，有望降低其运行能耗。通过碳捕捉与利用，不仅能减少温室气体排放，还能将二氧化碳转化为有价值的资源，实现环境效益与经济效益的双赢。

3.4 经济效益与环境影响评估

(1) 能耗降低对生产成本的影响。能耗降低直接减少了能源采购成本，如电力、天然气等费用的下降。同时，由于设备效率提高，减少了设备维修和更换成本。以某低阶煤制油项目为例，若能耗降低15%，预计每年可节省生产成本数千万元。此外，能耗降低还能提高企业的市场竞争力，在能源价格波动时，更具成本优势。

(2) 减排措施的环境效益分析。节能减排措施的实施，可大幅减少废气、废水和二氧化碳的排放。减少二氧化硫、氮氧化物等废气排放，能降低酸雨、雾霾等环境问题的发生；废水减排可保护水资源，减少水体污染；二氧化碳减排则有助于缓解全球气候变暖。通过环境效益量化分析，可直观展现低阶煤制油工艺节能减排对生态环境的积极影响，为推动行业绿色可持续发展提供有力支撑。

结束语

低阶煤制油工艺的适应性改进通过优化催化剂、调整反应条件、改进原料预处理技术和系统集成，有效提高了工艺效率。同时，针对能耗问题，实施节能减排措施，降低了生产成本，实现了环境效益与经济效益的双赢。未来，随着技术的不断进步和创新，低阶煤制油工艺将更加高效、环保，为煤炭资源的清洁高效利用提供有力支撑，推动能源行业的绿色可持续发展。

参考文献

- [1]张宏伟.低阶煤直接液化工艺的适应性改进与能耗分析[J].煤炭转化,2021,(03):31-32.
- [2]王永刚.低阶煤制油技术进展及能耗优化研究[J].化工进展,2020,(05):68-69.
- [3]李松,刘振宇.低阶煤分级转化联产油气的工艺优化与能耗分析[J].燃料化学学报,2020,(10):105-106.
- [4]黄戒.低阶煤制油工艺系统集成与节能优化[J].煤炭学报,2021,(14):131-132.