

乙烯装置中裂解炉工艺控制方案分析

王 颖

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司烯烃二分公司 宁夏 银川 750409

摘要：裂解炉工艺控制对乙烯生产至关重要。关键目标包括实现高产率与高纯度产物、减少结焦延长运行周期、优化能量利用及确保裂解气组成稳定。原料预处理需调控性质、控制进料量和预热温度；燃烧过程要精准控制燃料流量与配比、炉温分布及烟气排放；裂解产物处理环节需把控裂解气出口温度，预防和控制结焦，并实时监测、调控系统压力，确保裂解反应在稳定环境下进行。

关键词：乙烯装置；裂解炉；工艺控制；原料预处理；燃烧控制

引言：乙烯生产中，裂解炉工艺控制至关重要，贯穿原料预处理、燃烧过程及产物处理等多个环节。原料性质、进料量与预热温度的精准调控，是裂解反应高效稳定进行的基础；燃烧过程中，燃料流量与配比、炉温分布及烟气排放的精细控制，为裂解营造适宜环境；裂解产物处理环节，出口温度、结焦预防与控制以及压力的稳定管理，则关乎产品收率、质量及装置安全。全面优化裂解炉各环节工艺控制，是实现乙烯高产率、高纯度，提升装置综合效益，保障乙烯生产稳定、高效、安全运行的关键所在。

1 裂解炉工艺控制的关键目标

裂解炉作为乙烯生产装置的核心设备，其工艺控制对于整个乙烯生产流程的稳定运行、产品质量以及经济效益起着至关重要的作用。裂解炉工艺控制的关键目标是在全方位保障设备安全稳定运行的基础之上，达成乙烯等目标产物的高产率与高纯度，进而提升整个乙烯装置的综合效益。（1）从产物产出角度来看，精准控制反应条件是实现高产率与高纯度的核心手段。裂解反应是一个复杂且对条件极为敏感的过程，温度、压力、停留时间等参数的微小变化都会对产物的分布产生显著影响。通过先进的自动化控制系统，精确调节裂解炉内的温度场，确保各个部位的温度均匀且稳定在最佳反应温度区间，能够促使烃类原料充分裂解，最大程度地生成乙烯等目标产物，同时抑制副反应的发生，减少非目标产物的生成，从而提高乙烯的纯度。（2）减少结焦现象、延长裂解炉运行周期是工艺控制的重要目标之一。在裂解过程中，原料中的杂质以及高温环境下烃类的不完全反应容易在裂解炉管内壁形成焦炭。结焦不仅会降低炉管的传热效率，增加燃料消耗，还会导致炉管局部过热，缩短炉管的使用寿命，甚至引发安全事故。因此，需要严格控制裂解原料的质量，优化裂解工艺条

件，如合理调整稀释蒸汽的用量，以降低结焦速率。同时，定期进行在线烧焦操作，及时清除炉管内的焦炭，保证裂解炉的长期稳定运行，延长其运行周期，减少非计划停炉次数，降低生产成本。（3）优化能量利用、降低燃料消耗对于提高裂解过程的经济性至关重要。裂解反应是一个高能耗过程，燃料消耗在生产成本中占据较大比例。通过采用先进的热集成技术，对裂解炉的余热进行回收利用，如利用高温裂解气预热原料、产生蒸汽等，提高能量的利用效率。同时，优化燃烧器的设计，确保燃料充分燃烧，减少不完全燃烧损失，降低燃料消耗，使裂解过程在经济合理的范围内进行。（4）确保裂解气的组成稳定也是裂解炉工艺控制的关键目标。稳定的裂解气组成能够为后续分离工序提供良好的原料条件，有利于提高分离效率，降低分离能耗，从而提升整个乙烯装置的生产效率，增强企业在市场中的竞争力^[1]。

2 原料预处理环节的工艺控制

2.1 原料性质的调控

在裂解反应体系里，原料性质的精准调控是影响反应效果的核心要素之一，其重要性不言而喻。原料的组成、密度、馏程等各项指标，都会对裂解反应的进程以及产物分布产生深度且关键的影响。（1）不同种类的原料，例如石脑油、乙烷、丙烷等，它们在分子结构和化学性质上存在显著差异，这使得各自的裂解特性大相径庭。基于此，我们必须依据原料的具体性质，灵活且精准地对裂解工艺参数进行调整。通常情况下，轻质原料具有分子量小、结构简单的特点，其裂解所需的能量相对较低，所以裂解温度可设置得相对低一些；而重质原料分子量大、结构复杂，需要更高的裂解温度来提供充足的能量，从而确保其能够充分反应，提高目标产物的收率。（2）原料中的杂质也不容忽视。像硫、氮化合物、重金属等杂质，不仅会对催化剂的活性和稳定性

产生负面影响,还可能腐蚀设备,同时引发一系列副反应,进而降低产品质量。因此,采用有效的净化手段去除这些杂质至关重要,只有这样才能为裂解反应创造一个良好的条件,保障裂解反应高效、稳定地进行。

2.2 原料进料量的控制

在裂解反应体系中,原料进料量的稳定控制是确保整个裂解过程平稳、高效运行的关键前提。裂解反应是一个对反应条件极为敏感的复杂过程,原料进料量的任何波动都可能引发一系列连锁反应,进而影响裂解反应的最终效果。(1)当原料进料量出现波动时,炉管内物料的停留时间会随之发生改变。停留时间过长,原料会在炉管内过度裂解,导致裂解深度过大,生成大量小分子的副产物,降低目标产物(如乙烯、丙烯等)的收率和选择性;而停留时间过短,原料裂解不充分,裂解深度不足,同样无法获得理想的目标产物产量和质量。

(2)为了实现原料进料量的精准控制,需借助先进的流量控制装置,依据预设的参数,将原料进料量严格稳定在设定范围内。同时,在进料过程中,要充分考虑裂解炉的负荷能力,合理匹配进料量与后续工艺环节(如分离、提纯等)的处理能力。只有做到各环节的协调统一,才能避免因进料量过大或过小而导致的反应失衡,保障裂解反应在最佳状态下持续进行。

2.3 原料预热温度的控制

在裂解工艺流程里,原料进入裂解炉前的预热环节是保障裂解反应高效、稳定进行的重要前置步骤,而预热温度的精准把控则是这一环节的核心要点。(1)预热温度的高低对裂解反应的起始条件有着决定性影响。当预热温度过低时,原料进入裂解炉后,需要从炉内吸收更多热量才能达到裂解反应所需的活化能,这无疑会大幅增加炉管的热负荷。长期处于这种高负荷运行状态,炉管容易出现热疲劳、蠕变等问题,加速炉管的老化和损坏,缩短其使用寿命,同时还会额外消耗大量能源,提高生产成本。(2)若预热温度过高,原料在预热阶段就可能提前发生部分裂解反应。这些不期望发生的反应会生成一些不必要的副产物,不仅会降低目标产物的收率和纯度,还可能对后续的分离和提纯工序造成干扰,增加操作难度和成本。(3)必须借助预热器上先进的温度控制装置,依据原料的种类和裂解工艺的具体要求,通过精确的反馈调节机制,将原料预热温度稳定在适宜的精确范围内,为裂解反应创造良好的起始条件^[2]。

3 裂解炉燃烧过程的工艺控制

3.1 燃料流量与配比控制

在裂解反应体系中,燃烧过程扮演着至关重要的角

色,它为裂解反应营造出必需的高温环境。而燃料流量的精准控制,则是维持炉温稳定的核心要素。(1)裂解炉在不同运行阶段和工况下,热负荷需求存在差异。操作人员需依据这些实际需求,动态调节燃料(像天然气、燃料油等)的供应量。只有燃料流量恰到好处,才能确保炉内温度稳定地处于设定的裂解温度范围之内,为裂解反应提供稳定且适宜的热条件。(2)燃料与空气的配比也不容忽视。合理的配比能够保证燃料充分燃烧,释放出最大热量,从而提高燃烧效率。若空气过量,会带走大量热量,导致能耗增加;若空气不足,燃料燃烧不充分,不仅会产生一氧化碳等污染物,还会造成能源浪费,引发炉温波动。因此,精准控制燃料与空气配比,是实现高效、清洁燃烧的关键。

3.2 炉温分布的控制

在裂解反应进程中,炉管内温度分布的均匀性是影响反应效果的关键因素。由于裂解反应对温度极为敏感,若不同位置的炉管温度差异过大,会使原料在炉管内裂解不均匀。部分区域温度过高,原料过度裂解,产生过多小分子副产物;而温度过低的区域,原料裂解不充分,目标产物收率降低,进而严重影响产物分布和产品质量。为实现对炉温分布的精准控制,需在炉体不同部位合理布置温度检测装置,实时、准确地获取各区域的温度数据。依据这些数据,利用先进的烧嘴调节系统,动态调整各区域的燃料供应量。对于辐射段炉管,其出口温度是影响裂解深度的重要参数,必须重点把控。通常要根据原料的种类以及目标产物的具体要求,科学合理地设定相应的温度值,确保裂解反应在最佳条件下进行。

3.3 烟气排放的控制

在裂解炉的燃烧过程中,及时排出燃烧产生的烟气是维持炉内稳定运行的关键环节。烟气的顺畅排出能够确保炉内压力稳定,若烟气排出不畅,炉内压力升高,不仅可能导致炉体结构受损,还会引发烟气泄漏等安全隐患;反之,若压力过低,空气会过量吸入炉内,干扰燃烧过程。实际操作中,借助引风机和挡板的协同调节,将炉膛压力精准控制在微负压状态。同时,对烟气中的氧含量和温度进行实时监测,这些参数是反映燃烧状况的重要指标。依据监测数据,通过反馈机制及时调整燃料与空气的配比以及引风量。如此一来,可优化燃烧过程,使燃料充分燃烧,提高热量利用率,有效降低排烟热损失,在保障裂解炉安全稳定运行的同时,实现节能降耗与高效生产的目标^[3]。

4 裂解产物处理环节的工艺控制

4.1 裂解气出口温度控制

在裂解反应流程中，裂解气离开辐射段后的温度控制是极为关键的环节。裂解反应在辐射段内达到一定深度后，裂解气若不迅速降温，其中的活性分子会持续发生二次反应，导致乙烯、丙烯等目标产物进一步分解或聚合，造成目标产物的大量损失，严重影响产品收率和质量。实际生产中，通常借助急冷器对裂解气进行快速冷却。在此过程中，必须严格把控裂解气出口温度。若出口温度过高，二次反应会加剧，目标产物损耗增加；若温度过低，裂解气中的重组分可能冷凝成液态，进而堵塞管道，影响装置的正常运行。为确保裂解气出口温度稳定在合理区间，需要根据裂解气的具体组成和实时流量，精准调节急冷介质（如急冷油、急冷水）的供应量和温度，通过动态调整实现裂解气出口温度的精确控制，保障裂解装置的高效稳定运行。

4.2 结焦的预防与控制

在裂解生产过程中，炉管内壁结焦是一个不容忽视的问题。结焦现象的发生会显著降低炉管的传热效率，使得裂解反应所需的热量无法有效传递，进而导致燃料消耗增加、能耗上升。而且，结焦还会阻碍物料在炉管内的正常流动，影响裂解反应的均匀性，降低目标产物的收率和质量。为有效预防和控制结焦，需从多个方面入手。首先，严格控制裂解温度，避免温度过高引发过度裂解和结焦反应。其次，精准调控原料在炉管内的停留时间，合理缩短停留时间，可减少重组分的聚合机会，从而降低结焦风险。此外，适当提高稀释蒸汽的用量和比例，能够降低原料的分压，改变反应环境，有效抑制结焦反应的进行。即便采取了一系列预防措施，炉管仍可能逐渐积焦。因此，还需定期对炉管进行在线或离线清焦处理，及时清除焦层，恢复炉管的传热性能，确保裂解装置的长期稳定运行。

4.3 压力控制

在裂解炉系统的运行过程中，压力控制是保障反应顺利进行和物料稳定流动的关键因素。炉膛压力与炉管

内的压力状况，对裂解反应的平衡以及物料的传输有着直接且重要的影响。若炉膛或炉管内压力过高，会显著增加原料在管道和炉管中的流动阻力。这就像在狭窄的通道中推动重物，压力越大，阻力越大，原料流动变得困难，导致原料在炉管内的停留时间发生改变，进而降低反应速率，影响裂解产物的生成和分布。反之，当压力过低时，外界空气容易渗入裂解炉系统。空气的混入会改变燃烧环境，干扰燃料的正常燃烧，使燃烧过程不稳定，可能导致火焰闪烁、熄灭等问题，严重影响裂解反应的进行。为确保裂解反应在稳定的压力环境下开展，需借助压力检测装置实时精准监测系统压力，并通过相应的调节阀门，根据压力变化及时进行调整，将炉膛压力和炉管内压力始终维持在设定的合理范围之内。

结束语

裂解炉工艺控制贯穿乙烯生产的全流程，从原料预处理环节对原料性质、进料量及预热温度的精准把控，到燃烧过程中燃料流量与配比、炉温分布及烟气排放的精细调节，再到裂解产物处理环节对裂解气出口温度、结焦以及压力的严格控制，每一环节都紧密相连、相互影响。这些工艺控制措施不仅关乎裂解炉设备的安全稳定运行，更对乙烯等目标产物的高产率、高纯度产出起着决定性作用，直接影响整个乙烯装置的综合效益。只有不断优化各环节的工艺控制，才能实现裂解炉的高效、节能、稳定运行，提升企业在市场中的竞争力。

参考文献

- [1]黄子坤.乙烯裂解炉工艺概述与节能措施[J].山东化工,2021,50(7):146-147
- [2]蒋明敬.乙烯装置气体原料裂解炉炉管异常分析[J].石油化工设备技术,2021,42(2):47
- [3]段巍卓,梁智杨,彭志荣,喻芳,刘均怡,童运齐.乙烯装置裂解炉区域工艺改造和控制优化[J].乙烯工业,2022,30(3):44-4774