

乙烯裂解炉热效率影响因素分析及优化措施

李 伟

摘要: 乙烯裂解炉是石化工业中非常重要的装置,其热效率直接关系到整个乙烯装置的生产能耗及经济效益。研究影响乙烯裂解炉热效率的因素,对优化裂解炉运行参数、提高能源利用效率、降低环境污染、实现绿色生产具有重要意义。因此,在能源价格不断上涨、石油化工行业竞争日趋激烈的今天,如何提高裂解炉的热效率、降低乙烯生产能耗,已经成为工业界关注的焦点。

关键词: 乙烯裂解炉;热效率;影响因素;优化措施

乙烯裂解炉的运行受燃料气体的输送路径及反射速率、裂解炉风门系统的调整控制、烟气温度和炉壁散热等因素的影响。这不仅关系到裂解炉的热效率,而且对乙烯装置的安全稳定也有很大的影响。因此,全面分析影响乙烯裂解炉热效率的因素并找到关键控制点,对提高裂解炉操作效率、提高经济效益具有重要意义。

一、乙烯裂解炉热效率影响因素

1. 原料性质

原料特性对乙烯裂解炉热效率有很大的影响,乙烯裂解炉以石脑油、轻柴油、天然气为主要原料,其组成与性能直接影响到裂解反应的速率、产物分布及能耗。原料的相对分子质量,碳氢比,硫含量,金属含量等是影响裂解炉热效率的重要因素。相对分子质量小的原料,如天然气,由于分子间键能小,易断裂,裂解能量较低。相对分子质量较大的原料,如重油,由于分子间键能较大,裂解所需能量也较大。另外,原料碳氢比对热解能耗的影响也很大,碳氢含量高的原料在热解过程中生成的碳烟、焦炭等易附着于管壁,降低换热效率,增加能源消耗^[1]。原料硫含量、金属元素含量等也是影响裂解炉热效率的重要因素,含硫原料在热解过程中生成的二氧化硫等腐蚀性气体不仅会腐蚀炉管及其它设备,而且还会降低换热效率,缩短设备寿命。另一方面,高金属含量的原料在热解过程中生成的金属氧化物也会附着在管壁上,降低换热效率。因此,原料的选择应从原料组成、性质等方面综合考虑,才能保证裂解炉的高效率运行。

2. 裂解温度与压力

裂解温度和压力是影响乙烯裂解炉热效率的两个重要因素,热解温度为裂解炉内原料受热分解所需温度,而热解压力为操作压力,这两个参数直接影响着热解的速率、产物分布和能量消耗。一般情况下,热解温度愈高,反应速率愈快,乙烯等轻烃产率愈高。然而,过高的裂解温度也会引起炉壁结焦、积碳等现象,降低换热效率,增加能源消耗及设备热负荷。热解压力也是影响热解反应及产物分布的重要因素,裂解压力越低,原料越易发生热解,乙烯等轻质烃产率也越高。然而,压力过低时,炉膛内气流速度增大,换热阻力增大,换热效果下降,裂解压力对裂解炉的稳定运行及安全运行具有重要影响。因此,选择热解压力应从反应速度、产物分布、能量消耗和设备安全等方面综合考虑。

3. 炉管设计与材质

在乙烯裂解炉(乙烯裂解炉如图1)中,热管的设计和材料也是影响其热效率的一个重要因素,炉管作为裂解炉的核心部件,其设计与材料的选择直接影响着换热效果、抗腐蚀性能及使用寿命。炉管设计包括管径、管长和管束排布等,这些参数的变化将对炉内流体的流动状态、换热面积和传热效率产生一定的影响。如管径过小,流体的流阻增大,换热效果下降;但是,过大的管径会减小换热面积,也会降低换热效率^[2]。另外,炉管布置方式对换热效果也有一定的影响,合理的排布能保证炉内流体分布均匀,提高换热效果。炉管材料也是影响热效率的重要因素,不同的材料,其热导率,耐腐蚀,耐高温等性能也不同。选用导热性好、耐腐蚀、耐高温的材料,可提高炉管的传热效率,延长炉管的使用寿命。如一些高温合金材料具有优异的耐高温、耐腐蚀

作者简介: 李伟(1985.01—)男,回族,本科学历,中级工程师,主要从事煤化工,裂解乙烯方面的研究工作。

性，能够在高温高压条件下保持高的传热效率。因此，为保证裂解炉的高效率和长寿命运行，必须综合考虑材料的导热性、耐腐蚀性和耐高温性。



图1 乙烯裂解炉

二、乙烯裂解炉热效率优化措施

1.降低排烟温度

在乙烯裂解炉中，降低烟气温度是一种行之有效的方法，裂解炉的排烟温度和热效率有直接的关系，排烟温度愈低，热效率愈高（排烟温度和热效率关系如表1）。二十世纪七十年代初，我国裂解炉烟气温度一般控制在220-230℃，其热效率约为86%-87%。随着技术的不断提高，裂解炉的设计不断优化，烟气温度不断下降。70年代末，新型裂解炉的排烟温度已降至130-140℃，其热效率可达92-93%。近几年来，随着各种先进工艺的应用，排烟温度进一步降低到110-120℃，热效率提高到93%-94%。在一些先进的设计中，排烟温度可低于100℃，热效率可达95%。但是，烟气温度过低也会引起对流段腐蚀等一系列问题，烟气中酸性气体在较低温度下易发生冷凝，形成酸露点，引起对流段炉管的腐蚀^[3]。因此，在实际生产中，为了兼顾热效率与腐蚀风险，一般应将排烟温度控制在110℃左右。如某石油化工公司通过改进对流段设计，使用耐蚀材料，成功地使烟气温度控制在110℃左右，使裂解炉热效率稳定在94%以上，避免了对流段腐蚀。可增加换热面积，增加对流段的管束数量，缩短对流段的距离等^[4-5]。同时，对对流段炉管表面积灰量进行定期清洗，可以有效地降低排烟温度，采取上述措施后，可进一步提高裂解炉的热效率，并确保其安全运行。

表1 排烟温度和热效率关系

| 排烟温度（℃） | 热效率（%） |
|---------|--------|
| 220-23 | 86-87 |
| 130-140 | 92-93 |
| 110-120 | 93-94 |
| 100以下 | 95以上 |

2.降低过剩空气率

过剩空气率是指燃烧过程中实际需要的空气量与理论空气量的比值，是影响裂解炉热效率的一个重要因素。在保证燃料充分燃烧的情况下，减小过剩空气率，可有效地降低排烟热损耗，提高裂解炉热效率。实际运行中，燃料烧嘴过剩空气系数一般分别为110%、120%和115%，但这些数值往往偏大，会造成排烟热量的增加和热效率的下降。采用新型烧嘴及优化燃烧系统，可有效地减少过剩空气的产生，如采用新型燃烧器，其过剩空气系数可分别降低到106%-108%和112%-115%，当排烟温度相同时，过剩空气系数由110%降低到105%，可使裂解炉热效率提高0.6%-0.8%。为降低过剩空气率，可优化燃烧系统设计，提高燃烧控制精度等。如一家石油化工公司，在裂解炉改造中使用新型强制通风式燃烧器，结合先进的燃烧控制技术，成功地将过剩空气率降至最佳水平，使裂解炉热效率提高1%左右^[6]。另外，对燃烧系统进行定期的检查与清洗，对于维持较低过剩空气率，避免因燃烧器堵塞或磨损而产生过量空气是十分重要的。除降低过剩空气速率外，也可采用其它方法降低烟气的热损耗。以乙烯装置废热为例，对助燃空气进行预热，可降低能耗，预热空气的热负荷与燃耗基本相等。采用此种预热工艺，既可提高裂解炉热效率，又可降低乙烯生产能耗。

3.加强炉体保温与减少热损失

为降低热损耗，提高裂解炉的热效率，必须加强炉体保温，裂解炉炉体隔热性能的好坏，直接关系到热损失及裂解炉的生产效率。为提高炉体隔热性能，可在炉墙结构中增设隔热层，如将ZS-1型耐高温绝缘层用作中间层，可大大降低热传导损耗。在此基础上，通过在炉膛内壁上添加ZS-233抗高温反射涂料等高温反射层，将辐射部分热量反射至炉膛中央，进一步提高热效率。在炉管外壁增加远红外辐射涂层，可以有效地提高换热效果，降低热损耗，如使用ZS-1061耐高温远红外辐射涂层，可有效地提高高温环境下的辐射吸收能力，提高传热效率，同时，该涂层还能有效地解决由于高温下炉管氧化腐蚀而引起的传热效率降低的问题。裂解炉除增加隔热层、反射层外，还应重视其漏风问题，炉体漏风将造成大量热损失至周围环境，降低了裂解炉的热效率。因此，要定期检查炉壁的密封性，并对漏风的部位进行及时修补，如某石油化工公司在例行检修时，发现烧嘴孔、侧壁窥孔等部位有漏风现象，及时修补，

并采用模块化保温技术,使炉体密封性和保温性得到明显改善^[7]。另外,对裂解炉隔热材料的选用及隔热设计也是值得注意的问题,采用优良的隔热材料及合理的隔热设计,可大大降低热损耗。如采用优质隔热材料,如可塑耐火材料内衬,陶瓷纤维内衬,高温保温涂料,以及增加保温层厚度,都能进一步改善炉体隔热性能。

4.改进对流段设计与操作

对流段的设计与运行也是提高裂解炉热效率的重要手段之一,对流区是裂解炉的一个重要换热区,它的设计与运行直接影响着裂解炉的热效率。为提高对流段的换热效果,在换热器上加装扭板是一种行之有效的方法,扭转片能改变管内流体流动状态,增大传热面积,提高传热效率^[8]。如一家石油化工公司,通过在辐射段加设扭曲片的裂解炉,使裂解炉运行时间增加10%左右,乙烯丙烯产量提高。

除加装扭板外,还可通过声波清灰器或优化吹灰工艺对对流段炉管表面积灰进行清灰。积灰会降低换热效率,增加散热,因此,定期清除积灰量对保证对流段高效运行具有重要意义。如在石油化工生产中,应用声波除灰器定期除灰,大大提高了换热效率,降低热损耗。另外,对炉内空气进行预热也是一种行之有效的方法,利用乙烯生产过程中产生的余热、低压蒸汽、冷凝液及冷媒对空气进行预热,可降低燃料消耗,提高裂解炉热效率。如某石油化工公司采用烟道气排烟余热对助燃空气进行预热,可节约燃料5%左右,热效率提高1%左右,因此,在改进对流段设计与运行时,应重视过剩空气系数的控制。过量空气系数过大会增加排烟热量,降低热效率,因此,在保证燃料充分燃烧的同时,应尽可能减小过剩空气系数。如采用新型烧嘴、优化燃烧控制

技术等,可将过剩空气系数控制在最佳水平,提高裂解炉热效率。

结束语

综上所述,深入研究影响裂解炉热效率的因素,提出有效的优化措施,对提高裂解炉能源利用率、降低乙烯能耗、降低环境污染、实现绿色生产具有重要意义。未来,随着技术水平的不断提高,石油化工工业的不断发展,乙烯裂解炉热效率的优化将向智能化、精准化方向发展。采用先进控制技术与优化算法,可实现裂解炉自动调控与智能控制,提升裂解炉运行效率与经济效益,促进石油化工工业可持续发展。

参考文献

- [1]位卫卫,孙波林.乙烯裂解炉对流段化学清洗情况综述[J].中国设备工程,2021,(22):270-271.
- [2]林文燕.先进控制技术在乙烯裂解炉上的开发及应用[J].辽宁化工,2021,50(09):1329-1332.
- [3]薛磊.乙烯裂解炉辐射段节能衬里研究[J].石化技术,2021,28(05):16-18.
- [4]黄子坤.乙烯裂解炉工艺概述与节能措施[J].山东化工,2021,50(07):146-147.
- [5]潘伟.乙烯装置裂解炉节能降耗措施分析[J].化工设计通讯,2019(5):2.
- [6]郑磊,翟凤阁,佟乐,等.裂解炉热效率影响因素及改进措施[J].当代化工,2018,47(10):3.
- [7]武晨阳.乙烯裂解炉改造及效果分析[J].石油石化节能与计量,2024,14(8):57-60.
- [8]许可.乙烯裂解炉炉体密封问题分析及改进[J].齐鲁石油化工,2022(002):050.