DOI:10.19789/j.1004-9398.2019.06.015

浅析高校乙烯裂解实验装置的维护*

龙 威[1,2**] 连 结[1] 敖永昶[2] 张玉山[2]

(1. 广东石油化工学院化学学院,广东 茂名 525000;
2. 广东石油化工学院化学工程学院,广东 茂名 525000)

摘要: 本文以广东石油化工学院乙烯裂解实验装置为研究对象,分析了近8年该套设备的裂解在轻质化原料占有比、乙烯收率、双烯收率及能耗等参数变化情况. 通过对装置炉管受腐蚀的情况和内在原因等进行分析,并不断改进维护与保养方法,在高校实现了乙烯和双烯收率达到33.11%和48.23%,能耗降低至596.29 kg/t. 因此,乙烯裂解实验装置的正确维护和合理保养,能有效地降低能耗,适度提高乙烯和双烯的收率.

关键词: 乙烯裂解; 降低能耗; 维护与保养

中图分类号: TQ221.21

0 引 言

乙烯裂解实验装置既是化工生产的重要设备[1],也是石油化工行业的核心装备,同时还是石油化工专业本科生教学、实践操作、专业技能培养学习的重点装置[2]. 该装置通过水蒸气带动轻质油进行热裂解,实现了乙烯产品的制备及收集.

国内对化工安全生产高度重视,涉及高温高压及易燃易爆性气体相关的化工装置必须严格监管,这导致了国内多家高校取消了乙烯裂解装置. 考虑操作安全上,不允许在读本专科学生独立操作. 至目前,国内高校保留乙烯裂解实验装置的学校较少,不超过10所,其原因主要在于实验装置带来的安全隐患和保养维护难度大. 中国石油大学、东北石油大学的乙烯裂解实验装置是专人专项负责制度,由于该设备体积大、运行参数众多、启动运行周期时间长,又带有高温及循环内压. 因此,该装置的运行、维护和保养工作显得十分重要.

近年来,我国科研人员非常重视乙烯裂解装置及过程的研究,并取得一定的成果[3-5],主要集中在裂解焦化、网络控制与计算模拟[6]、优化裂解进程[7]及动力学研究等[8]. Han等[9]则通过长达7年的持续研究,对乙烯裂解炉的炉管进行扫描电镜与碳化物分析,结果显示使用温度会影响碳化物在炉管内表面上进行微观的渗碳作用,而根据炉管的材质可以构筑炉管性能与内表层碳化物之间的线性关系,有利于改善炉管内表面结构,达到抗腐蚀耐高温的目的. 同样,国外的研究者对乙烯裂解的研究也主要集中在裂解反应机理模拟及炉管内的积炭及维护工作上[10-11].

基于毕业生的工作实践经验反馈,石油炼制企业中的乙烯裂解实验装置必不可少、十分重要,同时匹配实时监控,日夜不间断运转[12]. 因此,从专业技能需求的角度来说,石化专业的本专科毕业生很有必要学会独立操作乙烯裂解实验装置,这也是我校延续使用和维护保养这套装置的原因[13]. 广东石油化工学院拥有1台乙烯裂解实验装置,既方便校内教学,又使得本校石油化工专业本专科学生受益良多. 因此,本文借助自身经验就高校乙烯裂解实验装置的维护进行评析与建议.

1 乙烯裂解实验原理

乙烯裂解实验进料原料为C_3H_8、石脑油(NAP,naphtha)、常压瓦斯油(AGO,atmospheric gas oil)、轻减压瓦斯油(LVGO,light vacuum gas oil)、加氢裂化减压瓦斯油(HVGO,hydrocracking vacuum gas oil)等. 通过高温裂解装置,生成多组分的低烃类产品. 乙烯裂解实验主要工艺参数列于表1. 该装置虽然在常压下进行,但涉及的管路、阀门、温控、冷却线路较多,主要分为进料系统、裂解炉模块、产品冷却

收稿日期: 2019-04-21

* 广东石油化工学院2018年成人教育教学与管理研究项目

** 通信作者: longwei@gdupt.edu.cn

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

系统 3 部分. 石脑油、轻烃或加氢尾油等原料进入裂解炉管,通入稀释的水蒸汽让油类中烃成分的分压快速降低,流速加快,缩短了炉管内的停留时间,减少了结焦炭化引发的堵塞. 裂解炉的炉管温度是可控的,一般选择范围是 600 ~ 1 200℃,在高温炉管内,烃类成分可快速发生裂解反应,生成乙烯、丙烯等多种产品[14]. 混合产品经过导管进入线性急冷换热器进行冷却,产品分为气相(裂解气) 和液相(油水混合物) 两类,液相产品经过分液和反复萃取,可以获得相应的油品. 该装置可以较好地用于评价不同油类原料和不同的裂解条件下的工艺特征,也可用于延长操作周期的结焦抑制剂实验. 装置的功能主要有: (1) 探究裂解原料的特性; (2) 研究裂解产物的分布规律; (3) 探究加热炉结垢焦的腐蚀机理; (4) 优化工业裂解炉的生产条件; (5) 培育学生的工程实践能力. 石油化工专业的大学生,可通过该装置产生的油品可作为油品性能评价与分析试验的原料,进一步通过切割可以获得不同碳原子数的氢烃油品,由于模拟润滑油、轻质汽油的生产,具有十分直观的现实指导意义.

表 1　乙烯裂解实验主要工艺参数

项目	指标
原料种类	C_3H_8、NAP、AGO、LVGO(<420 ℃) 、HVGO(>500 ℃)
气态或液态原料进料量	1 ~ 3 kg/h
蒸馏水进料量	0. 5 ~ 2. 5 kg/h
水油质量比	0. 3 ~ 0. 9
裂解炉出口温度	780 ~ 920 ℃ ±1℃
裂解炉入口最高压力	(0. 300 ± 0. 005) MPa
裂解炉出口最高压力	(0. 200 ± 0. 005) MPa
停留时间	0. 09 ~ 0. 70 s

注: NAP. 石脑油; AGO. 常压瓦斯油; LVGO. 轻减压瓦斯油; HVGO. 加氢裂化减压瓦斯油

乙烯裂解实验装置的核心部位是裂解炉,如图 1 所示. 在外壁保温材料的背后含有 6 台竖立的加热炉,中间布满了辐射段炉管[15]. 在管路经过的两边都匹配上了测温点,实时监控各段的实时温度,水蒸气带动着油从左到右分别经过了每一个炉管和加热装置,装置连接之间的横跨温度则容易受冷液化,这也是焦炭容易聚集的部位. 炉管需要每半年就拆下来清洗处理 1 次,内部受腐蚀的强度决定了受热是否均匀,严重时候可能导致裂纹处破损漏气.

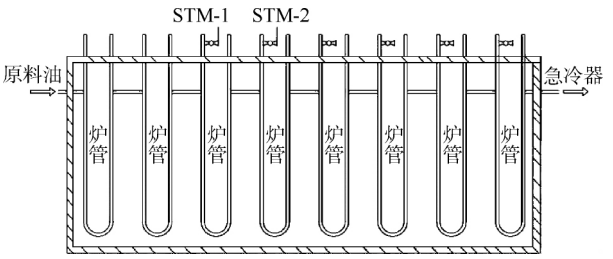


图 1　乙烯裂解实验装置的裂解炉

注: STM. 连接接口,接进样管路

乙烯裂解的装置在运行过程中经常遇到两类情况: 一是高温导致的油品结焦堵塞; 二是含 S、Cl 化合物生产的酸性物质的腐蚀. 研究表明裂解气除了较多的乙烯等烃类气体外,还含有一定比重的硫化氢气体,这是因为油品通过乙烯裂解炉发生了大量的自由基反应导致,因此,介于自身的特点,乙烯裂解装置的防腐维护技术显得十分重要.

2　腐蚀的成因剖析

轻质油成分中含有微量 S、N 和 Cl,重质油成分则还有相对较多的 S、N、O、Cl 和金属成分等,这些非烃类物质在高温水蒸气的带动下,容易发生反应,形成 H_2S 和 HCl,对装置炉管的内壁及管道的拐弯处进行腐蚀,严重时会出现裂纹甚至漏气,并形成危险. 因此,对乙烯裂解实验装置进行定期的检测与保养是非常必要的.

常见腐蚀成因有: (1) 含 S 化合物长期存积与装置的炉管中,没有得到及时的清除,H_2S 和 SO_2 均是在高温下含 S 物中与水蒸气进行反应的结果,继而溶在水或蒸汽中使得管道内呈现强酸性; (2) 含 Cl 化合物在高温裂解过程中往往和水蒸气反应,生成了 HCl,溶于水后呈现强酸性,增加了内壁和转弯处的腐蚀强度; (3) 含 N 化合物容易在水蒸汽提供氧原子的作用下被氧化,形成氧化性强的酸; (4) 乙烯裂解炉管自身材质质量差,如 Cr25Ni20(HK40) 材质在工作温度 1 050℃时仍能保持很好的强度,实效脆化很少,而 Cr25Ni35NbM 或 Cr35Ni45 材料在高温下性能就比较差; (5) 油品中金属组分往往容易在炉管内壁形成结焦,吸收焦炭而不断增大,导致炉管受热不均匀,气流受阻较明显.

最容易受腐蚀的部位是冷却系统装置,如图 2 所示,通过裂解炉的乙烯等气体均要进入冷却系统

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

进行冷凝,从而实现油水分离,虽然末端的温度较低,且有冷凝水不断循环,但临近产物区,大量 H_2S、HCl 等酸性气体的释放,导致腐蚀特别严重.

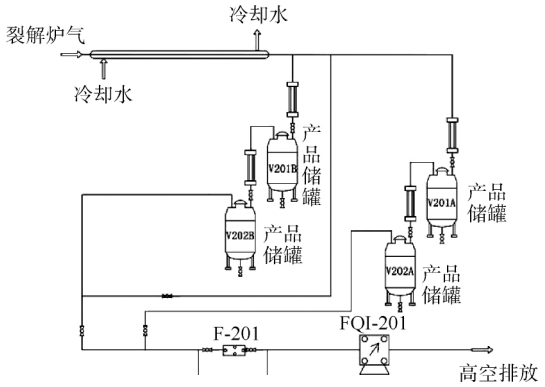


图 2 乙烯裂解实验装置的冷却系统

除上述部件以外,还有很多附件配套设施[16-17],均是金属材质的,受腐蚀程度较大的另一个原因是乙烯裂解装置的运行时间长,一旦开启运行,必须 24 h 不间断的反应,一般会运行 1 ~ 2 周后才会停止,长时间的运转要求对装置的材质、气密性、防护措施提出了较高的要求.

3 乙烯裂解装置防腐保养数据分析

通过对装置的保养与优化,装置抗腐蚀性能不断提高,异常维修次数及费用就逐年减少[18]. 2010 年以前,由于缺乏科学合理的保养和防护措施,乙烯裂解反应装置几乎每年需维修2 次,维修后仍需邀请厂方工程师进行现场检修,极大地阻碍了正常教学与科研发展. 2010 年以后,由于炉管的防护措施不断加强,同时我校对操作的学生进行了切实有效的安全操作教育,可以做到每隔 3 年才专业维修 1 次,极大地降低了维修成本,使对应的教学与科研工作能顺利进行.

近年来乙烯装置的主要指标变化情况列于表 2. 采取了科学合理的防护和保养措施后,乙烯裂解实验装置能够适应于原料轻质化合多样化[18],与 2011 年裂解轻质化原料占比相比较,2018 年增加了 1. 93%,能耗降低了 41. 81 kg/t,双烯收率增加了 0. 67%,乙烯收率增加了 0. 46%,没有出现明显的装置性能变差的迹象,这与茂名石化乙烯装置的运行效率体现基本一致[19].

表 2 乙烯装置近年来的主要指标变化情况

年度/年	裂解轻质化原料占有比/%	乙烯收率/%	双烯收率/%	能耗/(kg·t^{-1})*
2011	33. 85	32. 65	47. 56	638. 10
2012	34. 02	32. 75	47. 61	631. 21
2013	34. 12	32. 81	47. 72	622. 44
2014	34. 65	32. 86	47. 88	621. 79
2015	35. 12	32. 91	47. 92	619. 30
2016	35. 34	32. 96	48. 01	602. 47
2017	35. 61	33. 01	48. 12	598. 34
2018	35. 78	33. 11	48. 23	596. 29

* 以标准油计算

4 保养与防护措施

乙烯裂解实验装置作为专业技能培训的主要仪器设备,不同的角度可以实施不同的保养和防护技术,主要分为以下 4 个方面.

4.1 室内空气净化技术

室内空气的对流与更换,对乙烯裂解实验装置所在的房间安装了 18 台排气扇,分别位于房间四周墙壁的不同高度,对冷却系统出口处另配 1 台大功率的专业通风换气设备,保证及时降低室内 H_2S、SO_2 等有毒有害且有腐蚀性气体浓度,也确保学生现场操作的安全[20]. 同时,在室内安装 H_2S 气体自动检测仪,实时反映 H_2S 气体浓度,发挥警示作用,提醒人员开启通风设备置换室内空气.

4.2 根源上除硫脱硫技术

从源头上除硫和脱硫,大部分的油类产品提炼前需要经过脱硫和除硫的处理,如图 3 所示,在进样系统处安放脱硫除硫专业设备,保证原料通过泵时就开始净化和减少硫含量,也可以将原料手动进行碱液的洗涤处理,可使产品中含硫产物降低 35% 左右,从而减少裂解炉及后续仪器的硫化物排放量,减缓酸性介质的排放和腐蚀程度.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

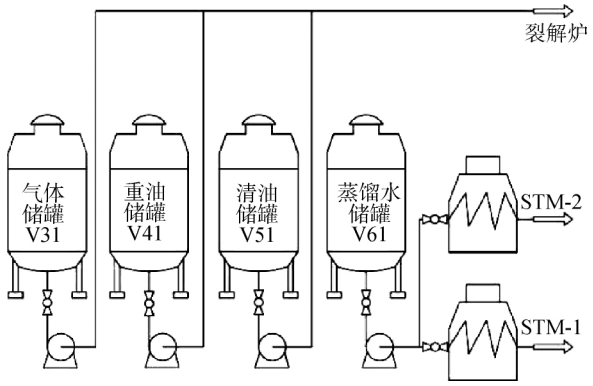


图 3　乙烯裂解实验装置的进样系统

4.3　冷却系统部位的净化技术

对冷却系统部位再次进行含硫净化处理，即将产物通入一定浓度的氨水溶液中，保证气体产物在释放前经过脱硫处理. 在冷却水作用下，含氮与大部分含氯化合物也能得到除去，这样可以保证产物气体的排放安全. 净化吸收作用发生后的水溶液可以再次进行盐类物质的提纯，不仅可以获得大量的无机盐，还可以将吸收水溶液得以再生.

4.4　炉管的洗涤与净化技术

炉管的洗涤与净化是非常重要的保养措施[21]，乙烯裂解实验装置中的炉管较长且复杂，常用水蒸气净化法，在装置启动和关闭前通过纯水蒸气运行 3 h，可以保证炉管内部的杂质和残留物顺利带出，保证炉管内的管道洁净与通畅.

对于横跨炉管内部的结焦，应做到每周进行手动清焦，确保积碳在管内不聚集，减轻对因聚集残留物对炉管内部的腐蚀. 对于炉管拐弯处和有裂纹处，需进行除锈剂处理，并以电焊固牢，涂防锈油. 除此之外，改变炉管的内表面金属构成[22]，一方面可以加强抗腐蚀性能，另一方面还可以发挥防止油品裂解产品氧化的作用.

5　结　论

本文评析了高校乙烯裂解实验装置的特点，对其受腐蚀成因进行了分析，阐述了其防护与保养的具体措施. 通过实践表明: 乙烯裂解实验装置运行良好、维修次数减少，对应运行后的实验结果稳定，符合高校本专科教学和科研的需要. 在石油化工领域，乙烯裂解实验装置可适应的情况较多，可适应于石脑油、轻质汽油、轻柴油、轻质拔头油、原料液化气等的深度加工炼制，乙烯和双烯收率可达到 33.11% 和 48.23%，具有典型的示范作用. 通过维护和防腐保养后，乙烯裂解实验装置的能耗可降低至 596.29 kg/t，有效地节约了能耗，也降低了维修费用，实际性运转性能得到大幅度提升.

参 考 文 献

[1] RANA M S, SÁMANO V, ANCHEYTA J, et al. A review of recent advances on process technologies for upgrading of heavy oils and residua [J]. Fuel, 2007, 86(9): 1216 – 1231.

[2] 刘刚，张雄飞，赵爱利. 裂解原料性质对乙烯装置运行的影响及对策 [J]. 石化技术与应用，2018, 36(5): 339 – 342.

[3] ZHAO C, LIU C, QIANG X. Cyclic scheduling for ethylene cracking furnace system with consideration of secondary ethane cracking [J]. Industry Engineering Chemical Research, 2010, 49(12): 5765 – 5774.

[4] GENG Z, WANG Z, ZHU Q, et al. Multi-objective operation optimization of ethylene cracking furnace based on AMOPSO algorithm [J]. Chemical Engineering Science, 2016, 153: 21 – 33.

[5] MENG D, SHAO C, ZHU L. Ethylene cracking furnace TOPSIS energy efficiency evaluation method based on dynamic energy efficiency baselines [J]. Energy, 2018, 156: 620 – 634.

[6] LIU C, JIAN Z, QIANG X, et al. Cyclic scheduling for best profitability of industrial cracking furnace system [J]. Computers & Chemical Engineering, 2010, 34(4): 544 – 554.

[7] ZHAO C, LIU C, QIANG X U. Dynamic scheduling for ethylene cracking furnace system [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, 50(21): 12026 – 12040.

[8] FANG Z, QIU T, CHEN B. Improvement of ethylene cracking reaction network with network flow analysis algorithm [J]. Computers & Chemical Engineering, 2016, 91(4): 182 – 194.

[9] HAN Z Y, XIE G S, CAO L W, et al. Material degradation and embrittlement evaluation of ethylene cracking furnace tubes after long term service [J]. Engineering Failure Analysis, 2019, 97: 568 – 578.

[10] HARIBAL V P, CHEN Y, NEAL L, et al. Intensification of ethylene production from naphtha via a redox oxy cracking

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

scheme: process simulations and analysis [J]. Engineering, 2018(5): 714 - 721.
[11] OTEGUI J L, BONA J D, FAZZINI P G. Effect of coking in massive failure of tubes in an ethylene cracking furnace [J]. Engineering Failure Analysis, 2015, 48: 201 - 209.
[12] SCHULZ E P, BANDONI J A, DIAZ M S. Optimal shutdown policy for maintenance of cracking furnaces in ethylene plants [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2006, 45(8): 2748 - 2757.
[13] 林琪. 原位涂层抑制结焦技术在茂名乙烯装置 H-115 炉的工业应用 [J]. 广东石油化工学院学报, 2017, 27(3): 57 - 60.
[14] 张建平,欧阳少波,熊道陵,等. 聚醋酸乙烯酯制备成型活性炭性能的初步研究 [J]. 有色金属科学与工程,2018, 9(3): 58 - 64.
[15] 段巍卓,梁智杨,彭志荣,等. 乙烯装置裂解炉区域工艺改造和控制优化 [J]. 乙烯工业,2018,30(3): 44 - 47.
[16] 陈志静,谭强. 基于 CFD 的化工管道内介质流态模拟 [J]. 广东石油化工学院学报,2018,28(4): 90 - 94.
[17] 杨磊,范晓光,王战勇. 乙烯装置原料的裂解性能评价 [J]. 石油化工高等学校学报,2018, 31(5): 22 - 26.
[18] 袁鹏慧,张清华,胡勤,等. 石化大型机组故障诊断综述 [J]. 广东石油化工学院学报,2017,27(3): 90 - 94.
[19] 王威,刘全稳,陈国民,等. 热介质锅炉余热回收系统优化选型及矿场应用 [J]. 广东石油化工学院学报,2018,28(6): 90 - 92.
[20] 黄格省,师晓玉,张彦,等. 国内外乙烷裂解制乙烯发展现状及思考 [J]. 现代代工,2018,38(10): 7 - 11.
[21] 张志梅. 乙烯裂解炉管焊缝腐蚀原因分析 [J]. 当代化工研究,2017(11): 97 - 98.
[22] 宋美,李盼,杨龙坤. 氧化腐蚀法平滑金纳米结构粗糙表面 [J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2018, 39(3): 24 - 27.

Analysis on the Maintenance of Ethylene Cracking Experimental Equipment in Universities

LONG Wei[1,2] LIAN Jie[1] AO Yongchang[2] ZHANG Yushan[2]

(1. College of Chemistry, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming Guangdong 525000;
2. College of Chemical Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming Guangdong 525000)

Abstract: The ethylene cracking experimental device of Guangdong University of Petrochemical Technology was chosen in this paper, the parameters change of the cracking light weight, raw material occupation ratio, ethylene yield, diene yield and energy consumption of equipment octennial were analyzed. Through the analysis of the corrosion of furnace tubes and its internal causes, and continuous improvement of maintenance methods, the yield of ethylene and diene had reached 33.11% and 48.23%, and the energy consumption was reduced to 596.29 kg/t. Therefore, the reasonable maintenance methods of the ethylene cracking experimental device can effectively reduce energy consumption and moderately improve the yield of ethylene and diene.

Keywords: ethylene cracking; reducing energy consumption; maintenance method

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net