

# 乙烯装置急冷油黏度控制措施探讨

邹 铖\*

(中国石化广州分公司, 广东 广州 510000)

**摘要:**急冷油黏度控制是决定乙烯装置节能降耗和稳定运行的关键和难点,通过急冷油增黏机理分析,发现急冷油中沥青质含量是导致黏度升高的主要原因。总结了行业内普遍实施的定期引入调质油、设置减黏塔、注入减黏剂等减黏措施,结合生产实际提出了原料结构优化、裂解反应深度控制、塔釜温度控制、焦粉脱除等工艺调整措施,确保急冷油系统高效、稳定、长周期运行。

**关键词:**乙烯;急冷;黏度;减黏剂

**中图分类号:**TH3

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2022)01-0230-05

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2022.01.046

## Measurements for controlling viscosity of quench oil in ethylene plant

ZOU Cheng\*

(Sinopec Guangzhou Petrochemical Company, Guangzhou 510000, China)

**Abstract:**The control of viscosity of quench oil is the key and difficult point for an ethylene plant to reduce energy consumption and remain stable operation. Through analyzing the viscosity-rising mechanism of quench oil, it is found that the asphaltene content in quench oil is the main reason for the rise in viscosity. General viscosity reduction measurements practiced widely in the industry are summarized, such as regularly adding diesel, installing a viscosity reducing tower, and injecting viscosity reducer, etc. Combined with actual production, some process adjustment measures are proposed such as feedstocks formula optimization, deeply controlling cracking reaction, control of tower bottom temperature and coke powder removal, aiming to ensure efficient, stable, and long-term operation of the quench oil system.

**Key words:**ethylene; quench; viscosity; viscosity reducer

乙烯装置急冷系统设置的主要目的是降低裂解气温度,将裂解气中的重组分进行初步分离,同时最大限度地回收裂解气热量,用于加热工艺用户<sup>[1]</sup>,是乙烯装置节能降耗和稳定运行的关键。理论上,控制的急冷油温度越高,越有利于增大稀释蒸汽发生器传热温差,从而提高传热效率,降低能耗<sup>[2]</sup>。但急冷油温度的提高通常会导致伴随黏度升高而产生的问题,严重影响急冷系统的稳定运行。如何将黏度控制在合理的范围内成为装置运行的难点。

## 1 S&W 工艺急冷油系统典型流程介绍

### 1.1 流程简介

某公司乙烯装置设计年产聚合级乙烯 200 kt,以石脑油、轻烃和加氢尾油为主要原料,采用 S&W 顺序分离工艺。预分馏塔由下至上分为热回收段、中质油段和分馏段,其中急冷油段与中质油以传热为主,分馏段控制汽油干点。从预分馏塔底流出的

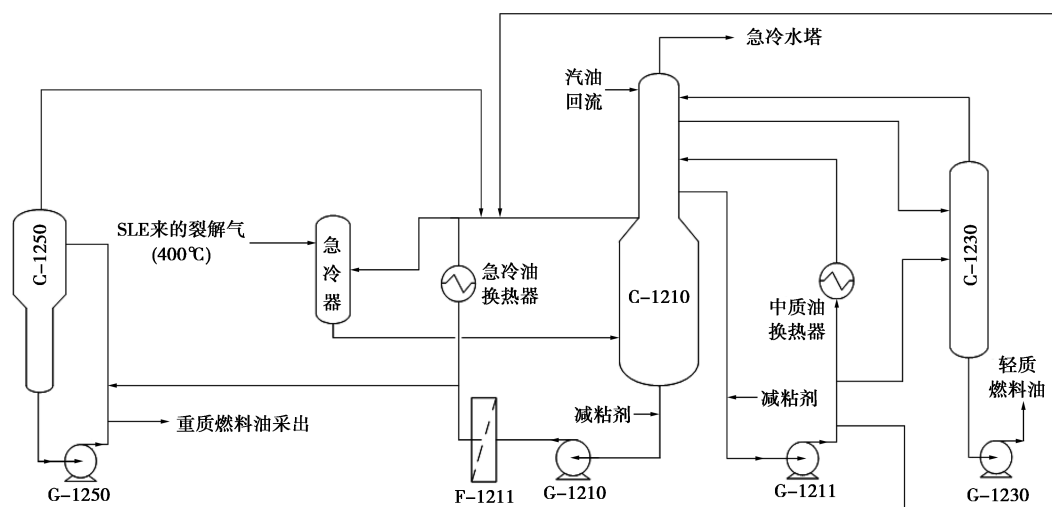
急冷油,经粗滤器之后再经急冷油循环泵(G-1210)升压,再经细过滤器(F-1211)除去焦粒后送至稀释蒸汽发生系统的再沸器,回收热量后,分成 2 股物流,一股物流送急冷器,另一股物流回预分馏塔作为热回收段回流。急冷油单元采用真空闪蒸塔(C-1250)作为减黏手段,一小股急冷油经过高压蒸汽换热器加热后进入 C-1250,塔釜采出重质燃料油(HFO)产品,塔顶气相经过冷凝器被大部分返回预分馏塔,少量不凝气通过真空闪蒸塔喷射器脱除。轻质燃料油(LFO)从分馏段下部采出送至轻质燃料油汽提塔(C-1230),主要用于调节急冷油质量和优化预分馏塔的热量回收。具体流程见图 1。

### 1.2 运行情况

急冷油系统主要运行参数见表 1。一般情况下,急冷油黏度偏高需要加大 HFO 的采出量,适当减少 LFO 采出可以增加进入中质油段和热回收段的柴油组分,同样是降低黏度的调节手段。

收稿日期:2021-02-26;修回日期:2021-11-03

作者简介:邹铖(1987-),男,硕士,工程师,研究方向为乙烯工艺技术,通讯联系人,zoucheng.gzsh@sinopec.com。



C-1210—急冷油塔;G-1210—急冷油循环泵;F-1211—急冷油细过滤器;G-1211—中质油循环泵;C-1230—轻质燃料油汽提塔;G-1230—轻质燃料油循环泵;C-1250—急冷油真空闪蒸塔;G-1250—重质燃料油循环泵

图 1 急冷油系统流程示意图

表 1 急冷油系统主要运行参数

运行参数	原始设计	实际
C-1210 塔顶温度/℃	103	104
进 C-1210 裂解气温度/℃	245	217
中质油返回 C-1210 温度/℃	121	118
E-1250 出口温度/℃	236.1	245
C-1210 塔底温度/℃	197	198
C-1250 塔顶馏出温度/℃	229~244	237
G-1210 出口压力/MPa	1.0	0.8
C-1250 塔顶压力/kPa	91.68	85
去 C-1210 溢流循环中质油/(kg·h <sup>-1</sup> )	67400	59834
C-1210 汽油回流/(kg·h <sup>-1</sup> )	65000	66526
HFO 产品/(kg·h <sup>-1</sup> )	1647	1723
去 C-1230 的中质油/(kg·h <sup>-1</sup> )	1800	1589
急冷油循环量/(t·h <sup>-1</sup> )	916	914

### 1.3 黏度升高的影响

根据国内外相关文献的报道<sup>[3-6]</sup>,急冷油黏度升高主要会产生急冷油换热效果变差、运行困难、流体阻力升高等问题,产生上述影响的原理如下。

#### 1.3.1 黏度与换热器传热系数的关系

急冷油黏度与换热器传热系数的关系参考西德尔(Sieder)-泰特(Tate)关系式<sup>[7]</sup>:

$$\alpha = 0.027(k/d_i)(d_i u_b \rho / \mu)^{0.8} (C_p \mu / k)^{1/3} (\mu / \mu_w)^{0.14} \quad (1)$$

从公式(1)可知,对流传热系数 $\alpha$ 约与黏度 $\mu$ 的0.47次方呈反比,说明黏度上升会使换热器传热效果变差,导致稀释蒸汽发生量减少,装置能耗

升高。

#### 1.3.2 黏度指数型升高

急冷油黏度升高后,系统的热量不能顺利地传递给用户,会引起油温度升高,导致黏度进一步提高,形成恶性循环,若不能得到有效控制,黏度会呈指数型升高,产生类似“飞温”的严重后果,行业内通常称为“飞黏”,会导致装置出现严重的生产困难甚至发生非计划停工。

#### 1.3.3 流体阻力增加

急冷油黏度升高后,流体在管道和设备中的阻力增加,导致输送泵功率增加,能耗升高,伴随的急冷油循环量降低也会导致传热系数降低,影响换热效果。根据公式(2)、(3)可知流体的管路压降与运动黏度的1次方呈正比,急冷油黏度大,使得管路阻力增加,造成急冷油循环泵出口压力降低,甚至导致电机过载跳停,带来安全风险。

$$\Delta p_{sf} = \lambda (L \rho u_b^2 / 2d) \quad (2)$$

$$\lambda = 64\nu / d u_b \quad (3)$$

式中, $L$ 为管路当量长度; $\rho$ 为流体密度; $d$ 为管路内径; $u_b$ 为流速; $\nu$ 为黏度。

## 2 急冷油增黏机理分析

### 2.1 急冷油组成分析

急冷油是裂解气中的重质组分,馏程一般在161~629℃,典型的馏程分布见表2,组成分析见表3,分析数据表明,急冷油中富含大量易聚合的不饱和芳烃和稠环芳烃。

表 2 急冷油馏程

质量分数/%	IBP	5	10	20	28	50	67
温度/°C	161	252	274	309	351	491	629

表 3 典型急冷油馏分组成 %

馏分烃类组成	质量分数	馏分烃类组成	质量分数
链烷烃	0.99	蒽类	0.33
总环烷烃	2.06	总五环芳烃	0.25
总单环芳烃	10.22	苯并噻吩	0.99
萘类	36.59	二苯并噻吩	0.16
茈类+二苯并呋喃	4.86	萘苯并噻吩	0.08
茈类	4.38	未鉴定芳烃	0.49
菲类	8.90	胶质	8.04
环烷菲类	0.99	沥青质	17.95
茈类	2.72	合计	100.00

### 2.2 黏度升高机理

由表 3 可知急冷油中芳烃类组分质量分数大于 70%，沥青质占 17.95%，胶质占 8.04%。有关研究报告<sup>[8]</sup>，沥青质是以缩合的稠环芳烃为核心，以链烷烃和环烷烃取代基为支链，支链上含有 Fe、Ni、S、N、O 等官能团，官能团中非金属杂原子还会与过渡金属形成络合结构的复杂大分子混合物，具有极性、分子质量大的特点，沥青质混合物受片层结构间的氢键、范德华力等作用力影响，极易不断纠缠形成超分子结构。沥青质含量越高，在急冷油流动时需要克服沥青质混合物间作用所引起的摩擦阻力越大，表现为急冷油黏度的升高。

相关研究表明<sup>[9]</sup>，在 210℃ 温度下，急冷油循环时间达到 400 h 后，胶质的质量分数从 8% 上升到 21%，沥青质的质量分数会从 18% 上升到 30%，而芳烃类组分质量分数从 76% 减少至 48%，黏度 (80℃) 从 70 mm<sup>2</sup>/s 上升至 340 mm<sup>2</sup>/s，说明在一定温度和杂质的催化下，急冷油中芳烃类组分缩合转化为胶质、沥青质，该反应在急冷油系统的循环中持续发生，直至生成沥青质，甚至焦油，在急冷油中不断积累，导致黏度不断升高。芳烃缩合反应机理见图 2。

根据有关研究结果<sup>[10]</sup>，胶质是一种富含脂肪链烷烃的分子，可以通过氢键或 π-π 分子间作用力吸附在沥青质上，通过空间位阻抑制沥青质混合物间

的纠缠作用，有利于黏度的降低。此外，急冷油中的链烷烃、环烷烃和芳烃作为轻质组分，对急冷油起稀释作用，同样有利于减黏。

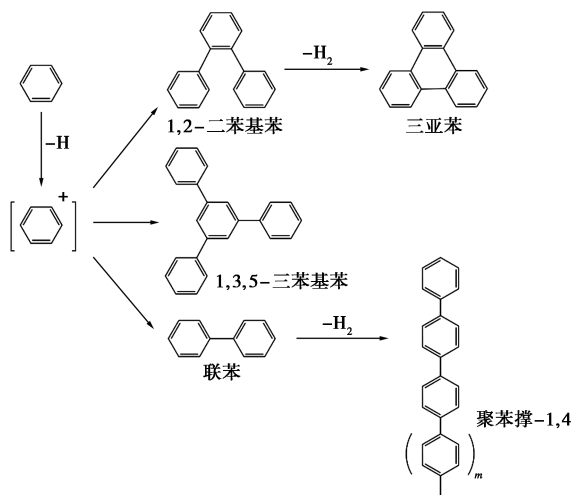


图 2 芳烃缩合反应机理示意图

因此，急冷油黏度升高的根本原因在于高温下芳烃组分向沥青质和胶质转化，其中沥青质不断缩合生产超分子结构导致流体摩擦阻力增大，引起黏度指数型升高，而胶质通过分散作用，抑制沥青质缩合，有一定减黏作用，另外，杂原子的存在不但会促进自由基的生成，催化二次反应，还会增强沥青质的极性，使得分子间作用更加复杂，引起黏度升高。

### 3 常用的黏度控制措施

根据急冷油黏度上升的机理研究结论可知，黏度的控制一方面要靠调整循环时间、控制温度、注入减黏剂来抑制生成胶质和沥青质的二次反应，另一方面则是靠通过及时采出适量的重质组分或注入一定的低黏度组分将急冷油中的胶质和沥青质控制在合理的范围内。国内外目前普遍采用的方法包括以下 3 种。

#### 3.1 调质油

急冷油塔的中质油溢流至塔釜的一股物料可以起到减黏的作用，但其中一部分与裂解气换热后成为气相，使热量上移，这部分热量不能有效地回收，并增加油塔上部/水塔的负荷。

从表 4 比较可以看出，中质油的初馏点比调质油高，因而中质油能更有效地起到减黏作用<sup>[11]</sup>。但引入过多的调质油相当于增加装置原料投入，会导致装置主要产品收率降低，因此尽量不使用调质油

作为常规的减黏措施,可以视作一种应急措施。

表4 中质油、调质油馏程比较  $^{\circ}\text{C}$

项目	初馏点	10%	50%	90%
调质油	183	218	254	280
PO	220	251	284	322

表5 4种主要减黏塔技术比较

减黏方法	汽提介质	操作温度	优点	缺点
蒸汽汽提法	高压蒸汽	随蒸汽量变化	介质干净;可防止汽提塔堵塞	增加急冷油/水塔负荷;减黏效果不理想;消耗高压蒸汽
真空闪蒸法	—	$\geq 240^{\circ}\text{C}$	减黏效果好;不影响急冷油/水塔负荷	需配备抽真空设备;设备在负压下操作,对设备和系统密封要求高;不适合大型装置
裂解气汽提法	高温轻烃裂解气或乙烷炉裂解气	$\geq 250^{\circ}\text{C}$	减黏效果好;不影响急冷油/水塔负荷	超高压蒸汽发生量降低;需考虑如何防止设备堵塞;影响急冷油塔下部负荷
裂解气与急冷油混合后闪蒸法	高温轻烃裂解气或乙烷炉裂解气	$\geq 250^{\circ}\text{C}$	减黏效果好;不影响急冷油/水塔负荷;闪蒸塔不易堵塞	超高压蒸汽发生量降低;影响急冷油塔下部负荷

### 3.3 减黏剂

减黏剂的配方设计必须同时兼备有抗氧化、清静分散、阻聚和金属钝化的功能<sup>[15]</sup>。抗氧化主要用于抑制自由基的生成,从而减少沥青质和胶质的生成,清静分散剂能有效屏障积碳和沥青质相互缔合,通过电荷斥力使沥青质分子分散于油相中。阻聚组分能阻止自由基链反应的进行,抑制部分聚合反应,从而减少聚合物生成。由于裂解气中携带的酸性气体会腐蚀设备,生成的盐类容易与聚合物一起附着在塔壁、塔盘和塔釜上。因此,带有金属钝化作用的减黏剂可以使设备金属表面形成保护膜,不仅抑制盐类的生成,减少聚合物附着,还能缓解设备腐蚀。

## 4 工艺调整措施

### 4.1 原料组成与裂解深度控制

原料的差异和裂解深度的区别会导致裂解燃料油收率的不同。急冷油循环总量相对稳定,当系统中的裂解燃料油含量降低后,急冷油含量相对升高,相应的循环时间延长,同时,急冷油被热裂解气汽提的程度增加,轻组分含量降低使得急冷油黏度升高。受近年来乙烯装置原料轻质化的影响,裂解气中柴油组分大幅降低,使得急冷油塔黏度普遍升高<sup>[16]</sup>。

随着装置原料中加氢尾油比例升高,裂解炉后移热量增加,急冷油塔釜温、急冷油循环量均有所增

### 3.2 减黏塔

据国内文献报道<sup>[12-14]</sup>,主要的减黏塔技术有4种,分别是蒸汽汽提法、真空闪蒸法、裂解气汽提法、裂解气与急冷油混合后闪蒸法。4种方法的操作条件和优缺点见表5。

加,在多引入调质油、提高HFO黏度、增加HFO外采量的应对措施下,急冷油黏度仍然有所上升,说明急冷油中沥青质、胶质含量发生了显著变化。从源头上防止急冷油黏度增加的有效措施如下。

(1)降低裂解原料中的芳烃含量,减少因二次反应产生的稠环芳烃含量。

(2)降低裂解深度,减少停留时间。

(3)监控裂解炉运行,控制结焦速率,避免因快速生焦造成焦质酥松,脱落后进入急冷油中成为焦粒母体。

### 4.2 急冷油塔塔釜温度

急冷油塔塔釜温度反映了急冷油中重组分的含量,因为低沸点的轻组分介质会在较高的塔釜温度下发生气化,而重组分介质含量的升高也会导致黏度的升高。虽然降低塔釜温度有利于控制黏度,但受传热温差降低影响,稀释蒸汽发生量也会显著降低,导致装置能耗增加。为了最大程度地利用高位热能,同时满足急冷油运行的黏度需要,一般建议将塔釜温度控制在 $195\sim 205^{\circ}\text{C}$ 。

### 4.3 裂解轻、重质燃料油采出

LFO采出量偏高,会使急冷油塔中的柴油组分减少,黏度增大;采出量偏低,会造成柴油组分随裂解汽油进入急冷水塔,造成急冷水的乳化,因此,LFO采出量应根据实际运行需要控制在合理范围内。HFO主要组分为沸点高于 $350^{\circ}\text{C}$ 的沥青质组分,增大其采出量可以有效降低急冷油黏度。

#### 4.4 急冷油循环量

急冷油塔内一般存有上百吨急冷油,循环量为 900~1 000 t/h,采出量为 1~2 t/h,大部分急冷油处于内循环状态。长时间高温下的循环会使不饱和芳烃组分发生聚合,生成沥青质导致黏度升高。理论上,适当加大急冷油循环量有利于提高换热效果,使急冷油热量更多地传递给工艺水,用于发生稀释蒸汽,从而降低急冷油回流温度,有利于控制黏度。但加大回流量受限于机泵的能力,同时更大的循环量也会增加电耗或透平蒸汽消耗。

#### 4.5 稀释蒸汽压力

急冷油温度通常在 170~210℃,主要作为热源与工艺水换热,发生稀释蒸汽,供蒸汽裂解使用。由于稀释蒸汽通常控制在 0.5~0.8 MPa,对应的沸点为 159~175℃。适当降低稀释蒸汽压力可以相应降低工艺水沸点,从而加大与急冷油的换热温差,从而提高急冷油取热效果,降低急冷油塔塔釜温度,减缓黏度上升趋势。

#### 4.6 焦粉脱除

针对急冷系统内存在焦质、焦粉多的问题,对急冷油细过滤器进行了改良设计,把原来的纯滤网式急冷油过滤器改为刮焦式自动清焦急冷油过滤器。急冷油经过急冷油泵由刮刷式自动清焦急冷油过滤器的进口进入,然后经过滤网系统后由出口流出,进入后续的设备。刮刷式自动清焦过滤器的驱动装置顺时针转动,带动刮刷以 2 r/min 的速度清除滤网上的焦渣,刮刷清理下来的滤渣和急冷油经过新增的 F-1212 过滤器,以滤除滤渣。过滤后的急冷油返回急冷油塔,改造的工艺流程见图 3。

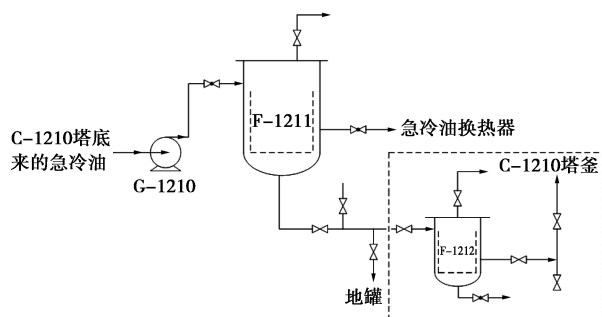


图 3 F-1211 排滤渣流程改造示意图

投用自动清焦过滤器后,系统运行稳定,没有出现管线减薄而发生泄漏的事故。急冷油内焦质、焦粉数量的减少有利于改善急冷油的品质,对降低黏度有利。

## 5 结语

急冷油黏度的控制是装置平稳运行和节能降耗的重难点问题,通过黏度升高影响和原因的机理分析,找出了沥青质含量这一重要影响因素。从抑制其生成方面,可以采取注入减黏剂、控制原料组成、降低裂解深度、降低塔釜温度等措施;从控制其浓度方面,可以通过减黏塔分离出富含沥青质的重质燃料油和引入调质油稀释等措施进行控制。由于影响急冷油黏度的因素众多,要做到减黏系统的高效长周期的运行必须进行各影响因素相关参数的全局优化。

### 参考文献

- [1] 王松汉. 乙烯装置技术与运行[M]. 北京: 中国石化出版社, 2009: 407-410.
- [2] 胡杰, 王松汉. 乙烯工艺与原料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017: 944-45.
- [3] 罗灵力, 蒋鹏飞, 张磊, 等. 汽油分馏塔系统的运行瓶颈与优化措施[J]. 乙烯工业, 2019, 31(1): 45-48.
- [4] 刘玉东, 李荔华, 何金龙, 等. 急冷油系统优化运行探讨[J]. 乙烯工业, 2013, 25(1): 15-17.
- [5] 李吉辉. 乙烯装置急冷油系统存在的问题及解决措施[J]. 化工工程与装备, 2010, 4(4): 57-61.
- [6] 张孝明. 镇海乙烯装置急冷油减粘系统运行分析[J]. 乙烯工业, 2013, 25(2): 37-39.
- [7] 柴诚敏, 张国亮. 化工流体流动与传热[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 230-231.
- [8] 程亮, 杨林, 邹长军, 等. 影响稠油粘度的化学组成灰焓分析[J]. 吉林化工学院学报, 2006, 23(2): 19-26.
- [9] 董忠杰, 盖月庭, 谢红霞, 等. 乙烯装置急冷油系统减粘技术的研究[J]. 乙烯工业, 2004, 16(2): 67-71.
- [10] 赵瑞玉, 展学成, 张超, 等. 特超稠油黏度的影响因素研究[J]. 油田化学, 2016, 33(2): 319-324.
- [11] 任耀杰. 乙烯装置急冷油系统运行分析与优化[J]. 乙烯工业, 2012, 25(1): 11-14.
- [12] 张伟. 三种乙烯装置急冷油减粘流程的分析评价[J]. 乙烯工业, 2014, 26(1): 19-23.
- [13] 蒋勇, 洪晓江. 乙烯装置急冷油粘度控制及减粘塔运行分析[J]. 石油化工, 2004, 33(3): 258-262.
- [14] 佟珂, 徐德仁, 白元峰. 小乙烯装置急冷油减粘系统的设计[J]. 化工设计, 2010, 20(1): 20-22.
- [15] 郝阳, 段巍卓, 赵伟奇, 等. 乙烯装置急冷系统优化措施[J]. 化工设计, 2019, 29(2): 9-12.
- [16] 王勇, 褚连良. 乙烯装置急冷油减粘技术初探[J]. 化工中间体, 2012, 9(3): 8-12. ■