

# 降低乙烯装置能耗的技术措施

李艳秋\*

(中国石油大庆石化公司,黑龙江 大庆 163714)

**摘要:**根据某新建60万t/a乙烯装置开工初期的能耗数据来分析乙烯能耗高的原因,分析总结出裂解原料、装置负荷、操作水平、能源损失是影响能耗的主要因素,采用优化裂解原料、提高装置负荷、精细操作、降低能源消耗等一系列节能技术和流程改造,最终实现了降低乙烯能耗的目的。

**关键词:**乙烯装置;能耗分析;降低能耗;技术措施

中图分类号:TE08

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)05-0137-03

## Technical measures to reduce energy consumption of ethylene plant

LI Yan-qi\*

(Daqing Petrochemical Company of PetroChina, Daqing 163714, China)

**Abstract:** The causes of high ethylene consumption are analyzed based on the consumption data of 600 000 kt/a new ethylene built plant. The analysis result shows that the influence factors are cracking feedstock, plant capacity, operation level and energy loss. A series of energy saving technology and modifying process procedures of ethylene plant, such as optimizing cracking feedstock, improving plant capacity, optimizing operation, reducing the energy consumption, etc, are performed. And the purpose of reducing the comprehensive energy consumption of ethylene plant is eventually achieved.

**Key words:** ethylene plant; analysis of energy consumption; reduce energy consumption; technical measures

由于工业迅速发展,对能量的需求量越来越大,因此国内外都十分重视节能问题,并把能耗高低作为评价装置生产技术水平、管理水平的重要标志<sup>[1]</sup>。随着石化企业竞争压力日益加大、裂解原料日益紧张的情况下<sup>[2]</sup>,采用节能技术降低乙烯装置能耗意义重大。

## 1 乙烯装置能耗

### 1.1 能耗计算

乙烯装置综合能耗是统计报告期内乙烯生产装置界区内各种燃料和动力以及耗能工质等能源的消耗量。乙烯生产装置区是指从裂解原料进装置开始到产品输出为止的完整生产全过程,包括裂解、急冷、稀释蒸气发生、压缩、碱洗、后分离、火炬排放、废水排放、乙烯丙烯的贮运等工艺单元<sup>[3]</sup>。

乙烯生产装置综合能耗总量(折标准油,下同)等于乙烯生产装置消耗的各种能源实物量与该能源的等价值的乘积之和,按式(1)计算<sup>[4]</sup>:

$$E_c = \sum_{i=1}^n (e_{ic} \times K_i) \quad (1)$$

式中, $E_c$ 为乙烯生产装置燃动能耗总量,kg; $e_{ic}$ 为乙烯生产装置所消耗的某种能源实物量,单位为实物单位; $K_i$ 为某种能源实物量折换标准油系数; $n$ 为乙

烯产品生产所消耗的能源种数。

乙烯单位产品能耗等于乙烯装置生产装置综合能耗总量与期内乙烯合格产品产量之比。按式(2)计算:

$$E_m = E_c / P \quad (2)$$

式中, $E_m$ 为乙烯单位产品能耗,kg/t; $E_c$ 为乙烯生产装置综合能耗总量,kg; $P$ 为乙烯合格产品产量,t。

因此,降低乙烯装置的能耗需要做好2方面工作,一是提高乙烯产品产量,即式(2)中的 $P$ ;二是降低乙烯装置综合能耗总量,即式(2)中的 $E_c$ 。

### 1.2 能耗对比分析

某新建60万t/a乙烯装置设计能耗为613.33 kg/t,2013年4月份装置改造完成开工后乙烯能耗超过设计值,5月份能耗达到763.68 kg/t。将2013年5月份能耗与设计能耗进行数据对比,见表1。分析总结出裂解原料、装置负荷、操作水平、能源消耗是影响能耗的主要因素。

表1 乙烯能耗对比

| 指标名称                       | 设计单耗   | 2013年5月份单耗 |
|----------------------------|--------|------------|
| 燃料合计/(kg·t <sup>-1</sup> ) | 485.73 | 630.61     |
| 燃料气                        | 423.42 | 588.64     |
| 天然气                        | 47.11  | 41.96      |
| 液化气                        | 15.20  |            |

续表

| 指标名称                                     | 设计单耗   | 2013 年 5 月份单耗 |
|--|--------|---------------|
| 水合计/(kg·t <sup>-1</sup> )                | 37.13  | 55.28         |
| 工业水                                      | 0.05   |               |
| 脱盐水                                      | 5.29   | 13.51         |
| 循环水                                      | 45.98  | 67.22         |
| 除氧水                                      |        | -0.2          |
| 凝汽机凝结水                                   |        | -11.56        |
| 加热设备凝结水                                  | -14.19 | -13.69        |
| 电/(kg·t <sup>-1</sup> )                  | 28.13  | 32.01         |
| 蒸汽/(kg·t <sup>-1</sup> )                 | 58.57  | 40.83         |
| 10.0 MPa 蒸汽消耗                            | 37.28  | 27.13         |
| 3.6 MPa 蒸汽消耗                             | 115.07 | 85.16         |
| 1.0 MPa 蒸汽消耗                             | -27.45 | -35.25        |
| 0.3 MPa 蒸汽消耗                             | -66.33 | -36.21        |
| 氮气/(kgol·t <sup>-1</sup> )               | 1.5    | 3.63          |
| 风合计/(kgol·t <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup> | 2.3    | 1.32          |
| 工业风                                      | 0.02   | 0.48          |
| 仪表风                                      | 2.28   | 0.84          |
| 乙烯综合能耗/(kg·t <sup>-1</sup> )             | 613.33 | 763.68        |
| 装置投料量/(t·h <sup>-1</sup> )               | 256    | 231           |
| 乙烯收率/%                                   | 29.28  | 27.24         |
| 乙烯产量/(t·h <sup>-1</sup> )                | 75     | 63            |

## 2 优化措施

### 2.1 优化裂解原料

裂解原料的优劣对乙烯收率的高低起到决定性的作用,相同负荷下,乙烯收率的高低决定了乙烯产量的多少,直接影响乙烯能耗。新建装置的裂解原料由循环乙丙烷、尾油、石脑油、碳四[碳四(1)和碳四(2)]组成,各种裂解原料裂解后产品收率见表 3,其中碳四(1)和碳四(2)裂解后乙烯收率仅为 22.83% 和 21.63%,不是优质的裂解原料。

表 2 裂解原料裂解后产物分布 %

| 收率   | 循环乙丙烷 | 尾油    | 石脑油   | 碳四(1) | 碳四(2) |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 氢气   | 2.93  | 0.61  | 0.92  | 1.11  | 0.99  |
| 燃料气  | 9.53  | 11.63 | 16.44 | 25.36 | 24.62 |
| 乙烯   | 49.11 | 33.32 | 32.83 | 20.13 | 19.57 |
| 丙烯   | 2.31  | 16.30 | 16.98 | 22.83 | 21.63 |
| 碳四   | 0.12  | 0.95  | 1.60  | 3.98  | 2.75  |
| MTBE | 0.27  | 2.31  | 3.92  | 9.80  | 7.73  |
| 丁二烯  | 1.26  | 4.38  | 3.91  | 4.01  | 5.84  |

|      |       |       |      |      |      |
|------|-------|-------|------|------|------|
| 丁烯-1 | 0.08  | 0.68  | 1.16 | 2.88 | 2.44 |
| 苯    | 0.24  | 3.63  | 2.61 | 0.87 | 2.36 |
| 甲苯   | 0.03  | 2.34  | 1.37 | 0.45 | 1.25 |
| 二甲苯  | 0.01  | 0.28  | 0.11 | 0.09 | 0.10 |
| 汽油   | 0.55  | 10.73 | 8.66 | 3.85 | 5.61 |
| 焦油   | 0.10  | 8.74  | 5.01 | 1.72 | 3.10 |
| 乙丙烷  | 33.47 | 4.10  | 4.48 | 2.91 | 2.01 |
| 合计   | 100   | 100   | 100  | 100  | 100  |

以 2013 年 5、6 月份装置数据为例,在假定不考虑其他因素的前提下,单纯计算由碳四原料对乙烯能耗的影响,见表 3。计算表明,通过减少碳四原料、增加优质原料降低乙烯能耗效果显著。

表 3 碳四原料对装置能耗的影响

|             | 投料量/<br>(t·h <sup>-1</sup> ) | 碳四/<br>(t·h <sup>-1</sup> ) | 碳四<br>比例/<br>% | 实际<br>能耗/<br>(kg·t <sup>-1</sup> ) | 去除碳<br>四能耗/<br>(kg·t <sup>-1</sup> ) | 碳四影<br>响能耗/<br>(kg·t <sup>-1</sup> ) |
|-------------|------------------------------|-----------------------------|----------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 2013 年 5 月份 | 172180                       | 48595                       | 28.22          | 763.68                             | 690.08                               | 73.60                                |
| 2013 年 6 月份 | 174586                       | 46268                       | 26.50          | 683.54                             | 620.71                               | 62.83                                |

### 2.2 提高装置负荷

在原料组分相同的情况下,通过提高装置负荷增加乙烯产量,达到降低乙烯能耗的目的。自 2013 年 5 月份至 2014 年 9 月份逐渐提高装置负荷,2013 年 5 月份装置投料量为 231 t/h,为设计负荷的 90%;2014 年 8 月份装置投料量最多达到 274 t/h,达到设计负荷的 107%,见表 4。不考虑其他因素,单纯计算增加装置投料量对乙烯能耗的影响,见式(3)~式(5)。

表 4 2013 年 5 月份和 2014 年 8 月份装置数据

|             | 装置投<br>料量/<br>(t·h <sup>-1</sup> ) | 乙烯<br>产量/<br>(t·h <sup>-1</sup> ) | 乙烯<br>收率/<br>% | 能源消<br>耗总量/<br>kg | 能耗/<br>(kg·t <sup>-1</sup> ) |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------|------------------------------|
| 2013 年 5 月份 | 231                                | 63                                | 27.24          | 35815955          | 763.68                       |
| 2014 年 8 月份 | 274                                | 87                                | 32.03          | 39441751          | 606.33                       |

第一步:按照 2013 年 5 月份的乙烯收率 27.24% 计算 274 t/h 投料量对应的乙烯产量,见式(3):

$$274 \times 27.24\% = 75 \quad (3)$$

第二步:按照 2014 年 8 月份能源消耗总量计算能耗,见式(4):

$$39441751 / (75 \times 24 \times 31) = 706.84 \text{ kg/t} \quad (4)$$

第三步:计算能耗变化,见式(5):

$$706.84 - 763.68 = -56.84 \text{ kg/t} \quad (5)$$

计算得出装置投料量增加 43 t/h 引起能耗降低 56.84 kg/t,因此提高装置负荷是降低能耗的重要手段之一。

## 2.3 精细化操作

裂解炉是乙烯装置的能耗大户,其能耗占乙烯装置总能耗的 50%~60%<sup>[5]</sup>,因此降低裂解炉能耗是降低乙烯装置能耗的重要途径之一,结合裂解原料组分、炉管表面温度(TMT)、裂解炉工况、烧焦周期等因素综合考虑,不断优化裂解炉辐射段出口温度(COT),找到一个既能增加乙烯收率又能保证裂解炉长周期运行的最佳状态<sup>[6]</sup>。裂解炉切换中,尽可能采取对切方式,减小因裂解炉切换造成乙烯产量降低。裂解炉烧焦操作是完全耗能工况,在烧焦过程中需要消耗大量的稀释蒸汽、工业风、燃料气等能源,因此通过合理控制裂解炉,减少裂解炉烧焦次数,优化裂解炉烧焦方案,缩短裂解炉烧焦时间,可以节省裂解炉烧焦过程中的能量消耗,达到降低装置能耗的目的<sup>[7]</sup>。

实时监控裂解炉出口 CO 含量,及时调节碳二加氢反应器床层温度,在保证乙烯产品质量前提下确保乙烯损失最小。

在装置处于满负荷运转时,乙烯塔和乙烯机也达到了设计负荷,调整过程中注意监控塔顶温度、压力、塔釜温度、塔压差、回流、乙烯机二段排除温度、循环水温度等参数。通过综合调整使乙烯塔和乙烯机在高负荷下平稳运行,降低塔釜乙烯损失。

## 2.4 降低能源消耗

### 2.4.1 降低燃料气消耗

#### (1) 准确计量燃料气

新建乙烯装置的裂解炉燃料气共由 3 部分组成:自产燃料气、外引天然气和外引液化气,其中自产燃料气全部作为裂解炉的燃料气使用,大约占燃料气消耗量的 93.5%。燃料气的消耗量没有计量表,只能通过以上 3 块计量表累加计算出来。自产燃料气的计量表受温度、压力的影响较大,偏差也较大,很难准确计量。2013 年 7 月份为准确计量,将自产燃料气计量表增加温压补偿,经过补偿后计量自产燃料气量下降 12% 左右,燃料气消耗量也随之下降。

#### (2) 燃料气放火炬流程改造

燃料气压力控制系统由控制阀 PC-33501 进行三分程控制,当压力低于设计压力时,PV-330501A

打开补充天然气来保证燃料气压力,当压力高于设计值时,PV-330501B 打开,通过 6B 管线排放至火炬,如果 PV-330501B 全开后,压力还高于设计值时,PV-330501C 阀门将打开,通过 12B 的管线排放至火炬,原设计流程中燃料气压力高只能排放火炬,为了节约能源,降低损失进行流程改造,在 6B 管线上增加一条去低压瓦斯管网管线,见图 1 中的虚线,当燃料气压力高于设定值时 PV-33051B 打开,燃料气首先会并入低压瓦斯管网,供给其他装置使用,减少燃料气的损失,降低燃料气能耗。

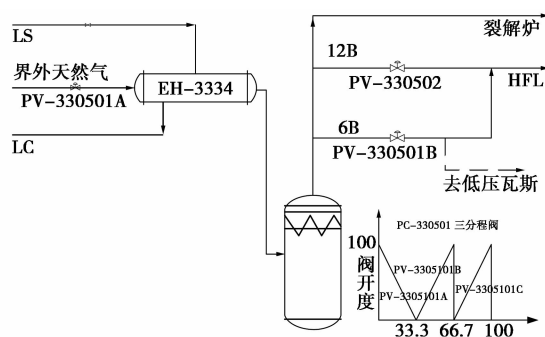


图 1 新增燃料气去低压瓦斯管线

### (3) 稳定燃料气系统压力

在裂解气干燥器切换过程中充压和泄压的步骤会对燃料气系统压力产生较大影响,合理控制充压、泄压速率,可以避免燃料气压力高时放火炬,或燃料气压力低时从界外补入天然气/液化气,降低燃料气总消耗,因此稳定燃料气系统的压力对降低装置能耗起到重要作用。

### 2.4.2 降低循环水消耗量

新建装置由于循环水换热器设计能力过大,造成正常运行时循环水消耗量大大超过设计流量,通过采取多种调整手段尽量减少设计本身缺陷对能耗的影响。根据循环水换热器热介质出口温度情况,在流速满足要求的情况下根据装置负荷、环境温度的变化及时调节循环水流量;关小循环水一次水窜二次水阀门,关小二次水窜回水的阀门,并对一次水循环水换热器回水阀进行限位;对处于备用或停用状态的循环水换热器进行彻底倒空置换,必要时进行盲板隔离;对使用循环水冷却的备用泵关闭循环水并倒空,减少循环水消耗。

### 2.4.3 优化蒸汽系统

优化蒸汽平衡系统,充分利用自产 10 MPa 蒸汽,减少 10 MPa 和 4.0 MPa 蒸汽的外引量,关闭 10 MPa 减 1.4 MPa 的减温减压器阀门降低能源

(下转第 141 页)

表3 族组成分析(质量分数) %

| 环烷烃  | 异构烷烃  | 正构烷烃  | 环烯烃  | 异构烯烃 | 正构烯烃 | 芳烃   |
|------|-------|-------|------|------|------|------|
| 4.47 | 63.14 | 25.84 | 0.35 | 4.60 | 1.46 | 0.12 |

表4 馏程分析

| 初馏点  | 10%  | 20%  | 30%  | 40%  | 50%  | 60%  | 70%  | 80%  | 90%  | 干点    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 39.6 | 58.3 | 62.0 | 65.5 | 68.9 | 72.6 | 76.5 | 81.1 | 87.2 | 95.8 | 113.5 |

### 1.3 催化剂评价工艺流程

LY-9702 催化剂性能评价使用 250 mL 固定绝热床反应器,催化剂装填量 100 mL,装填时使用 150 mL 载体稀释。装置流程如图 1 所示。

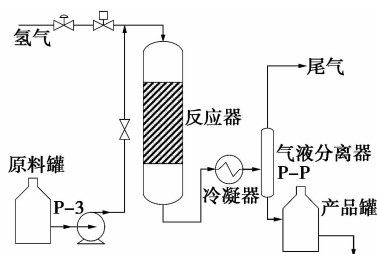


图1 评价装置工艺流程图

原料油和氢气经计量控制后进入反应器上部预热段混合,并加热至需要的反应入口温度,之后油品进入反应段,反应产物经冷凝后分离,液体进入产品罐,尾气经计量后放空。根据相应的工艺参数,为了满足作为乙烯裂解料的工艺要求,应将产品的溴价

(上接第 139 页)

损失,适当调整裂解气压缩机、丙烯机和乙烯机抽汽量,优化合理利用各等级蒸汽,减少蒸汽损失。

## 3 结语

新建 60 万 t/a 乙烯装置运行 1 年多,通过优化措施,乙烯能耗逐渐降低,2014 年 9 月份乙烯能耗已达到 581.22 kg/t。

(1) 逐渐降低碳四原料的比例,增加优化轻烃原料的投入量,增加乙烯收率,降低装置能耗。

(2) 自 2014 年 3 月份装置负荷提高到设计负荷,提高装置产量,达到降低能耗的效果。

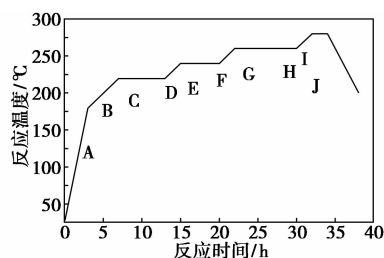
(3) 加强操作人员培训,一方面加强操作人员的节能意识,另一方面增强操作技术水平,通过统一操作、精细操作使装置处于长期平稳运行。

在石化企业竞争激烈的环境下,企业应该不断增加节能降耗的投入与研究,应用节能技术以

控制在 0.8 g/100 g 以内。

### 1.4 催化剂硫化

LY-9702 催化剂的主活性组分是 Co-Mo,新的和再生过的催化剂以氧化态形式存在,在投料使用之前需要对催化剂进行硫化预处理,将金属氧化物转化成具有更高活性的硫化物,硫化过程如图 2。



A—点火炉点火升温(升温速率 50℃/h),系统压力 1.5 MPa;

B—开始注入 DMDS;C、E、G、I—恒温阶段;

D、F、H—升温速率 10℃/h;J—硫化结束降温预备投油

图2 LY-9702 硫化过程

### 1.5 投油开车

硫化结束后,将系统压力升至 2.5 MPa,入口温度控制在 220℃,反应器改为绝热操作,投入原料油,原料油空速 2.5 h<sup>-1</sup>,氢油体积比 200:1。

## 2 结果与讨论

### 2.1 反应温度

由图 3 可见,反应器初期投油温度在 220℃,产品溴价 0.28 g/100 g,随着反应趋于稳定,逐渐降低

谋求进一步的发展,节能技术的采用不仅是企业竞争和发展的需要,也是社会发展战略的必然要求。

### 参考文献

- [1] 蔡世干,王尔菲,李锐.石油化工工艺学[M].北京:中国石化出版社,2006:313-314.
- [2] 吴德荣.乙烯联合装置能耗分析和节能技术[J].化学工程,2007,35(12):66-70.
- [3] 魏家文,徐明成.扬子乙烯能耗统计及节能措施[J].乙烯工业,2011,23(3):26-29.
- [4] 乙烯单位产品综合能耗限额和计算方法[J].浙江节能,2010,(4):55-57.
- [5] 陈国忠.中国石化裂解炉能耗现状分析与节能改造[J].石油化工,2012,41(12):1394-1400.
- [6] 彭海波.优化裂解炉日常操作有效提高乙烯收率[J].江西化工,2012,(1):35-37.
- [7] 刘树青.乙烯装置裂解炉节能降耗措施分析[J].中国化工贸易,2012,(3):281-296. ■