

合成气净化单元能耗计算方法

郜丽娟,李初福,姚金松,张 峰

(北京低碳清洁能源研究所,北京 102211)

摘要:为了对某煤制烯烃全厂能量系统进行优化研究,提出基于单元、子系统和全局分段递进协同优化的策略,首先对全厂各个单元进行能耗计算和节能分析。在对合成气净化单元进行能耗分析和计算时,发现目前合成气净化单元粗合成气中夹带水蒸气的折标系数没有统一的基准,因此对合成气净化单元能耗计算方法进行了探索研究,提出了合成气净化单元能耗计算方法,规定了粗合成气中夹带水蒸气的折标系数选取方法以及单位能耗计算的基准。结果表明:提出的方法能较好地反映合成气净化单元的能效水平,并为合成气净化单元对标分析提供统一计算基准,为合成气净化单元能耗计算标准制定提供参考。

关键词:合成气净化;能耗计算;单元能耗;对标分析

中图分类号:TE665.3 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2017)02-0082-04

Calculation method of energy consumption in synthesis gas purification unit

Gao Lijuan, Li Chufu, Yao Jinsong, Zhang Feng

(National Institute of Clean and Low-Carbon Energy, Beijing 102211, China)

Abstract: In order to optimize the energy system of a coal to olefin plant, a segmented progressive and collaborative optimization strategy was proposed based on unit, subsystem and globally. It was found that the standard coal coefficient of water vapor in crude synthesis gas was no unified benchmark with the synthesis gas purification unit energy consumption analysis and calculation. Thus the calculation method of unit energy consumption in synthesis gas purification unit was studied. The calculation method of energy consumption in synthesis gas purification unit was proposed. The method provided how to select the standard coal coefficient of water vapor in the crude synthesis gas and the calculation base of unit energy consumption. It provides a standard calculation for benchmarking analysis of synthesis gas purification unit and provides reference for the calculation standard draft of energy consumption of synthetic gas purification unit.

Key words: synthesis gas purification; energy consumption calculation; unit energy consumption; benchmarking

0 引 言

合成气主要成分为CO和H₂,其来源较为广泛,可以煤、焦炭、渣油、生物质、天然气以及沼气为原料生产^[1]。合成气可用于生产合成油和天然气,也可以用来合成氨、甲醇、醋酸、烯烃的氢甲酰化产品及乙醇、低碳混合醇等,用途十分广泛^[2],是重要的化工原料。近年来开发成功的甲醇制低碳烯烃(DMT0)技术促进C1化工和煤化工的发展,也在一定程度上提高了合成气的市场需求量^[3]。合成气

中含有硫化物、羰基金属等杂质,还可能含有一定量的含氧、含氯及含砷化合物^[4],为保护下游的合成催化剂,必须尽可能将其脱除干净。许多经验已经证明彻底脱除合成气中的有害杂质,能提高下游催化剂的使用寿命和活性稳定性,因此合成气净化也是大型煤化工厂必不可少的一个单元。

合成气及天然气的脱硫脱碳过程是高能耗的过程,对合成气及天然气净化单元进行能耗评价,以降低能源消耗和生产成本,对相关行业生产系统的高效运行具有重要意义^[5-6]。李庆等^[7]对天然气处理

收稿日期:2016-08-15;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.02.016

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2011AA05A202)

作者简介:郜丽娟(1985—),女,吉林梅河口人,工程师,硕士,从事煤洁净转化及反应工程方面的科研工作。E-mail:gaolijuan@nicenergy.com

引用格式:郜丽娟,李初福,姚金松,等.合成气净化单元能耗计算方法[J].洁净煤技术,2017,23(2):82-85.

Gao Lijuan, Li Chufu, Yao Jinsong, et al. Calculation method of energy consumption in synthesis gas purification unit[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(2): 82-85.

(净化)厂生产能耗的评价方法进行了研究,通过对能耗设备、过程和影响因素的分析,提出基准能耗的概念和计算方法。岑兆海^[8]对天然气净化厂单元能耗评价指标进行了探讨,提出脱硫单元用脱除每千摩尔酸气耗能;脱水单元用脱除每千摩尔水耗能;硫磺回收单元用酸气中每千摩尔硫化氢发生的蒸汽量,作为天然气净化厂新的单元能耗评价指标。刘永健等^[9]对煤制合成天然气装置能耗分析与节能途径探讨,对净化装置进行了用能分析,给出其单元能耗及能量利用效率,然而其在计算过程中,粗煤气中夹带的水蒸气如何计算,并没有给出相关要求。且目前大多数研究是针对合成气或天然气工艺方面进行节能降耗^[10-14],提出的能耗计算和测试方法也大多针对整个装置或装置中其他单元,针对合成气净化单元的能耗计算方法和节能降耗研究不多。然而由于不同气化工工艺粗合成气中水蒸气含量差别大,目前对粗合成气中夹带水蒸气的折标系数选取并没有给出相关规定,因此其不同的折标方法,会引起相同工序的能耗差别比较大,不便于工序的对标分析和节能潜力分析。且国内对于合成气净化单元能耗计算方法尚无明确的标准及依据可循,因此有必要对合成气净化单元能耗计算方法进行研究。本文以某煤制甲醇净化单元为例,对净化单元能耗计算方法中水蒸气的折标系数以及单元能耗如何计算进行了研究。

1 合成气净化装置边界

气化产生的粗合成气,经耐硫变换反应调整H/C比后,采用低温甲醇洗技术脱除去变换气中的酸性组分,因此合成气净化单元主要由变换、脱硫、脱碳过程以及公用工程组成。其单元边界条件如图1所示。

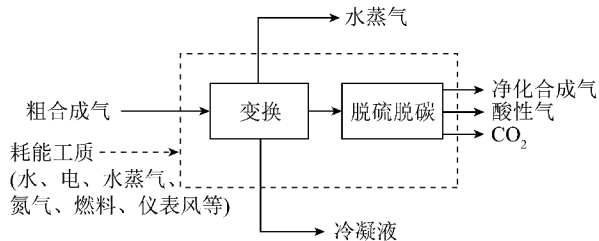


图1 合成气净化单元边界

Fig.1 Border of synthesis gas purification unit

2 净化单元能耗计算方法

2.1 粗合成气中夹带水蒸气的折标系数规定

粗合成气中水蒸气含量大,但目前对粗合成气

中夹带水蒸气的折标系数选取没有给出规定,在使用时其折标系数的选取也不相同,因此不同的折标方法,会引起相同工序的能耗差别比较大,不便于工序的对标分析。且粗合成气中夹带的水蒸气参与后续的变换反应,如果用外加水蒸气代替,则水蒸气的压力必须达到合成气的压力才能进入后续的变换过程。因此本方法规定粗合成气中夹带水蒸气折标系数按照粗合成气压力对应的蒸汽折标系数选取,这样水蒸气的折标系数选取与粗合成气的压力相对应,从而在不同生产过程的净化单元进行节能分析时所参考的能耗数据更具有统一性和可比性,可以用于不同生产过程的净化单元工序的对标分析。

因此净化单元综合能耗计算方法如下

$$E = \sum_{i=1}^n E_i k_i + E_s k_s - \sum_{j=1}^m E_j k_j \quad (1)$$

式中, E 为净化单元综合能耗,kgce; E_i 为净化过程中输入的第*i*种原料或耗能工质数量,t或kWh或m³; k_i 为输入的第*i*种能源的折标系数,kgce/t或kgce/kWh或kgce/m³; n 为输入能源种类数量; E_s 为输入的粗合成气中水蒸气的数量,t; k_s 为输入的粗合成气中水蒸气的折标系数,kgce/t,水蒸气折标系数按照粗合成气压力对应的蒸汽折标系数选取; E_j 为净化过程中输出的第*j*种能源实物量或耗能工质数量,t或kWh或m³; k_j 为输出的第*j*种能源的折标系数,kgce/t或kgce/kWh或kgce/m³; m 为输出能源种类数量。

2.2 净化单元单位能耗的计算

净化单元的目的主要为除去粗合成气中的硫化物、羰基金属等杂质,得到纯净的CO和H₂,因此净化单元单位能耗计算时,规定单位产品以净化合成气中CO和H₂的量为基准,计算单位能耗。这样,单位能耗可用于同行业单位能耗比较。其计算方法如下

$$e = E/P \quad (2)$$

式中, e 为净化单元单位能耗,kgce/km³; E 为净化单元综合能耗,kgce; P 为净化合成气中有效气(CO+H₂)含量,km³。

3 能耗计算实例比较

根据现有国家能耗计算相关标准如GB/T 2589—2008《综合能耗计算通则》、GB 30180—2013《煤制烯烃单位产品能源消耗限额》、GB 30178—2013《石油化工设计能耗计算标准》等中给出的综合能耗计算方法,以某厂净化单元某月生产数据为

例对净化单元使用开发的计算方法进行能耗计算,

其净化装置原料公用工程能耗平衡表见表1。

表1 净化单元原料、公用工程能耗平衡表

Table 1 Raw materials and utilities energy balance sheet of purification unit

名称	数值	单位能耗系数/MJ	总热值 ^a /TJ	总热值 ^b /TJ	总热值 ^c /TJ	总热值 ^d /TJ
一、能量输入			3 956.23	5 181.67	4 936.45	5 154.36
1. 原料			3 639.86	4 865.31	4 620.09	4 837.99
粗合成气体积	378 246.4 km ³	9 623	3 639.86	3 639.86	3 639.86	3 639.86
水蒸气质量	325 224.3 t		0	1 225.45	980.23	1 198.13
2. 耗能工质			254.69	254.69	254.69	254.69
氮气 0.46 MPa	12 943 750 m ³	11.72	151.74	151.74	151.74	151.74
氮气 0.50 MPa	1.25 m ³	11.72	0	0	0	0
仪表风体积	75 568.01 m ³	1.58	0.12	0.12	0.12	0.12
循环水质量	8 989 250 t	4.19	37.67	37.67	37.67	37.67
除盐水质量	675 835.8 t	96.42	65.16	65.16	65.16	65.16
3. 燃料动力			61.67	61.67	61.67	61.67
电量	6 575 853 kWh	9.38	61.67	61.67	61.67	61.67
二、能量输出			4 514.51	4 514.51	4 514.51	4 514.51
产出合成气体积	297 436.7 km ³	11 979.3	3 563.08	3 563.08	3 563.08	3 563.08
酸性气体积	1 273 753 m ³	9.43	12.01	12.01	12.01	12.01
除氧水质量	230 081.2 t	28.47	6.55	6.55	6.55	6.55
透平凝液质量	25 615.62 t	152.81	3.91	3.91	3.91	3.91
高温凝液质量	374 453.7 t	320.29	119.93	119.93	119.93	119.93
低温凝液质量	85 589.43 t	320.29	27.41	27.41	27.41	27.41
变换不凝气体积	1 898 048 m ³	7.26	13.77	13.77	13.77	13.77
低压蒸汽 0.46 MPa	47 952.32 t	2 763	132.49	132.49	132.49	132.49
低压蒸汽 1.1 MPa	181 532 t	3 182	577.63	577.63	577.63	577.63
中压蒸汽 4.1 MPa	15 661.94 t	3 684	57.7	57.7	57.7	57.7
三、能效计算/%			114.11	87.12	91.45	87.59
四、能耗计算/tce			-19 049.29	22 764.79	14 397.53	21 832.63
五、单位产品能耗/(kgce·km ⁻³) (以有效气计,下同)			-65.35	78.10	49.39	74.9

注:a中未考虑粗合成气中水蒸气的能量,即水蒸气的折标系数选择为0;b中粗合成气中夹带水蒸气折标系数按照粗合成气压力5.8 MPa对应的蒸汽折标系数计算;c中粗合成气中夹带水蒸气折标系数按照低压蒸汽0.7 MPa蒸汽折标系数计算;d中粗合成气中夹带水蒸气折标系数按照合成气中水蒸气的分压对应的折标系数计算,经计算水蒸气的分压为3.02 MPa。

由表1可知,在不考虑粗合成气中水蒸气量的情况下,净化单元能效为114.11%,其单位能耗为-65.35 kgce/km³,能效超过100%,单位能耗为负值,说明不考虑粗合成气中水蒸气的量不合理。因此,按照水气比(变换过程中水蒸气与干基粗合成气的体积比)将粗合成气的量与水蒸气量计算出来,且粗合成气中夹带水蒸气折标系数按照粗合成气压力对应的蒸汽折标系数计算,其能效为87.12%,单位能耗为78.10 kgce/km³;若粗合成气中水蒸气的折标系数不同,其能耗和能效结果相差很大,如计算结果c和d所示,计算结果c中粗合成气中水蒸气压力按照低压蒸汽0.7 MPa折标系数

计算,其能效为91.45%,其单位能耗为49.39 kgce/km³,计算结果d中粗合成气中水蒸气折标系数按照合成气中水蒸气的分压对应的折标系数计算,其能效为87.59%,单位能耗为74.90 kgce/km³。

由表1可看出,计算结果b和计算结果d能效接近,是由于计算结果b对应的蒸汽折标为粗合成气的压力5.8 MPa,其能量折算值为3 768 MJ,计算结果d中粗合成气中夹带水蒸气折标系数按照合成气中水蒸气的分压对应的折标系数计算,经计算水蒸气的分压为3.02 MPa,其对应的蒸汽能量折算值为3 684 MJ,两者的能量折算值相差不大,因此计算出能耗结果比较接近,而单位产品能耗相差近4%。

由以上结果可以看出,粗合成气中水蒸气如果不计入能耗,是不合理的,且粗合成气中水蒸气的折标系数选取的不同,其单位产品能耗也会相差很大,粗合成气中水蒸气的折标系数按照粗合成气压力对于的蒸汽折标系数进行计算和按照低压蒸汽对应的折标系数进行计算其能效相差4%左右,单位能耗相差近29 kgce/km³,说明粗合成气中夹带水蒸气的量及折标系数的选择显著影响能耗和能效计算。因此对水蒸气的折标系数进行规定,以便工序对比时具有统一性,也更便于工序的能耗对比。

4 建立统一的能量折算指标

合成气净化单元能量折算指标主要依据3个标准,包括GB/T 2589—2008《综合能耗计算通则》、GB 30180—2013《煤制烯烃单位产品能源消耗限额》、GB 30178—2013《石油化工设计能耗计算标准》,由于不同标准中相同物质的折标系数不同,造成能耗计算结果有差别,因此建议按照GB/T 2589—2008《综合能耗计算通则》,建立统一的能量折算指标。

5 结 语

本文对合成气净化单元能耗计算方法进行了研究,确定粗合成气中夹带水蒸气的折标系数选取原则,规定粗合成气中夹带水蒸气折标系数的选取按照粗合成气压力对应的蒸汽折标系数计算,并规定单位能耗以净化气中有效气的量为基准进行计算。由此,在相同工序进行对标分析和节能潜力分析时,可以具有统一性,为净化单元能耗计算提供了有益借鉴。

参考文献(References):

[1] 王辅臣,李伟锋,代正华,等. 天然气非催化部分氧化制合成气过程的研究[J]. 石油化工,2006,35(1):47-51.
Wang Fuchen, Li Weifeng, Dai Zhenghua, et al. Preparation of syngas from natural gas by non-catalytic partial oxidation[J]. Petrochemical Technology, 2006, 35(1): 47-51.

[2] 欧阳朝斌,赵月红,郭占成. 合成气制备工艺研究进展及其利用技术[J]. 现代化工,2004,24(6):10-13.
Ouyang Zhaobin, Zhao Yuehong, Guo Zhancheng. Progress and utilizing scheme of synthetic gas preparation technology[J]. Modern Chemical Industry, 2004, 24(6): 10-13.

[3] 陈香生,刘昱,施磊. 以天然气或煤基为原料的甲醇制低碳烯烃工艺工业化应用进展[J]. 炼油技术与工程,2005,35(1):5-9.

Chen Xiangsheng, Liu Yu, Shi Lei. Commercial application development of MTO process by tanking natural gas of coal as feedstock[J]. Petroleum Refinery Engineering, 2005, 35(1): 5-9.

[4] 李喜云,雷军,张清建. 合成气深度净化技术及其经济性分析[J]. 天然气化工,2013,38(1):69-71.
Li Xiyun, Lei Jun, Zhang Qingjian. Syngas deep purification technology and its economic analysis[J]. Natural Gas Chemical Industry, 2013, 38(1): 69-71.

[5] 龙晓达. 90年代天然气处理加工利用技术进展[J]. 石油与天然气化工,1999,28(4):265-271.

[6] 岑兆海. 天然气净化厂装置性能考核与硫收率计算探讨[J]. 天然气与石油,2011,29(1):22-24.
Cen Zhaohai. Performance assessment on gas purification unit and sulfur recovery rate calculation[J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29(1): 22-24.

[7] 李庆,李秋忙,马建国,等. 天然气处理(净化)厂生产能耗的评价方法研究[J]. 石油规划设计,2009,20(4):21-23.
Li Qing, Li Qingmang, Ma Jianguo, et al. Evaluation method of energy consumption in the natural gas conditioning plant[J]. Petroleum Planning & Engineering, 2009, 20(4): 21-23.

[8] 岑兆海. 天然气净化厂单元能耗评价指标探讨[J]. 天然气与石油,2011,29(4):29-31.
Cen Zhaohai. Discussion on evaluation index of unit energy consumption in gas purification plant[J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29(4): 29-31.

[9] 刘永健,何畅,冯霄,等. 煤制合成天然气装置能耗分析与节能途径探讨[J]. 化工进展,2013,32(1):48-53.
Liu Yongjian, He Chang, Feng Xiao, et al. Analysis of energy consumption and energy saving approach in a coal to SNG plant[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2013, 32(1): 48-53.

[10] 唐怡红. 2.0万t/a甲醇装置的合成气净化技术[J]. 上海化工,1997,22(5):15-18.
Tang Yihong. Gas purification technology for 200 000 t/a methanol installation[J]. Shanghai Chemical Industry, 1997, 22(5): 15-18.

[11] 李奇,李伟,姬忠礼. 高含硫天然气净化装置分析[J]. 化工进展,2014,33(2):3176-3182.
Li Qi, Li Wei, Ji Zhongli. Exergy analysis of highly sour natural gas purification plant[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2014, 33(2): 3176-3182.

[12] 周静. 浅析天然气净化脱硫装置节能措施[J]. 科技与企业,2014(8):160.

[13] 王林平,魏立军,杨会丰,等. 天然气净化厂脱硫装置能耗计算及测试方法[J]. 油气储运,2013,32(10):1101-1106.
Wang Linping, Wei Lijun, Yang Huifeng, et al. Energy consumption calculation and test method for desulfurization unit in gas processing plant[J]. Oil and Storage and Transportation, 2013, 32(10): 1101-1106.

[14] 陈倩. 60万t甲醇装置的全流程模拟及能效优化[D]. 天津:天津大学,2013.