

BH型高效填料的研究及其在煤制烯烃预急冷塔中的应用

崔 侨¹, 郭 凡¹, 李群生^{1*}, 王 堃², 王 敏³, 王文新³, 高秀娟⁴

(1. 北京化工大学化学工程学院, 北京 100029; 2. 中国石油大庆石化分公司, 黑龙江 大庆 163714;
3. 北京世纪隆博科技有限责任公司, 北京 100020;
4. 大唐内蒙古多伦煤化工有限责任公司, 内蒙古 多伦 027300)

摘要:介绍了BH型高效波纹填料的设计原理、结构特点及其在煤制烯烃预急冷塔中的改造应用。改进后的复合填料塔达到了提高分离效果与产品纯度、扩大产品产量、提高产品质量、增加综合效益、缩短投资回收期以及降低能耗的目的。

关键词:BH型高效填料; 煤制烯烃; 预急冷塔

中图分类号:TQ325.3

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)12-0125-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2015.12.033

Study and application of BH-type high efficiency packing in technical transformation of pre-cooling tower of coal to olefins

CUI Qiao¹, GUO Fan¹, LI Qun-sheng^{1*}, WANG Kun², WANG Min³,
WANG Wen-xin³, GAO Xiu-juan⁴

(1. College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China;

2. Daqing Petrochemical Company, CNPC, Daqing 163714, China;

3. Beijing Century Robust Technology Co., Ltd., Beijing 100020, China;

4. Datang Inner Mongolia International Duo Lun Coal Chemical Limited Liability Company, Duolun 027300, China)

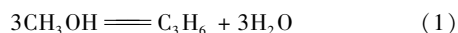
Abstract: The design principle and structure characteristics of BH-type high efficiency packing and its application in the pre-cooling tower of coal to olefins are introduced. The improved composite filler tower has achieved the expected goals, including improving the separating effect and the purity of the product, expanding the production and quality, and reducing energy consumption.

Key words: BH-type high efficiency packing; coal to olefins; pre-cooling tower

烯烃作为现代化学工业中基础的有机化工原料,其相应而生的产品被广泛应用在多种领域中,其中乙烯、丙烯的生产量更是常作为衡量一个国家石油化工行业先进程度的标准^[1],其消费量亦呈现逐年递增的趋势。在化工领域内,丙烯常用于生产聚丙烯、丙烯腈及异丙醇等产品。传统的石油制取乙烯、丙烯的方法由于石油资源的珍贵与短缺已经受到限制。相对于石油资源,我国的煤炭资源更为丰富。因此,目前煤制烯烃技术得到了广泛应用,即煤代替石油生产甲醇,再经过不断脱水最终获得乙烯、丙烯等一些低碳烯烃。

煤制烯烃技术主要有2种:一种是甲醇制取乙烯和丙烯等低碳混合烯烃(MTO);另一种是甲醇制取丙烯(MTP)^[2]。MTP工艺是以固定床绝热反应器系统为基础的。甲醇蒸气在二甲醚(DME)反应器内生成二甲醚,生成的二甲醚在6级MTP反应器内,在蒸汽存在的条件下,选择性地转化为丙烯,式

(1)为甲醇制丙烯反应式。在MTP工艺中,各反应器使用的蒸汽和生成的水主要是在气体分离的预急冷和急冷塔中与反应器的产物彼此分离。从MTP反应器的产物中分离出水后,剩余的烃类气体经过压缩和干燥,最后送去各个塔中精制。



本文中主要研究了BH型高效填料在预急冷塔中的应用。通过应用BH型高效填料设计煤制烯烃生产工艺中的预急冷塔,从而使得反应产物能够更好地冷却,并且冷凝下来的水能与烃类产物有更好的分离效果,最终达到扩产增效,提高经济性、耐用性及节能降耗的目的。

1 BH型高效填料的原理及特点

填料作为填料塔的核心内件,提供了气液两相密切接触并进行传质的平台。填料的传质性能主要取决于填料表面的润湿程度和气液两相流体分布的

均匀程度^[3]。然而,有效传质面积并非填料的几何表面积而是填料润湿部分的面积。因此,气液间的有效传质面积总是比填料面积小,这会降低传质效率。如要获得良好的传质效果,则必须提高填料的润湿性,从而使液相在填料表面成膜良好^[4]。

传质表面更新的理论可以用下述理论公式来描述:

$$k_c = \sqrt{D_{AB}S} \quad (2)$$

式中, k_c 为对流传质系数, $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; D_{AB} 为组分 A 在组分 B 中的扩散系数, m^2/s ; S 为表面更新率, s^{-1} 。

$$N_A = k_c \Delta c_A \quad (3)$$

式中, N_A 为对流传质摩尔通量, $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; Δc_A 为组分 A 在界面处的浓度与主体平均浓度之差, kmol/m^3 。

$$N_A = k_c A (y - y_c) \quad (4)$$

式中, A 为有效传质面积, m^2 ; y 为溶质 A 在气相主体中的物质的量分数; y_c 为溶质 A 在相界面处的物质的量分数。

$$A = a\eta(\pi D^2/4)z \quad (5)$$

式中, D 为填料塔内径, m ; A 为填料的比表面积, m^2/m^3 ; η 为表面利用率; z 为填料塔单位高度, m 。

式(2)为对流传质系数 k_c 的定义式,因此由式(3)的定义可知传质效率与表面更新率 S 的平方根呈正比;依据式(4),随着有效传质面积 A 的增加,传质效率得以提高。

基于上述的理论分析与研究,北京化工大学开发了 BH 型新型高效填料。该填料创新性地将波纹由传统的直线型填料设计为折线型,折角以 $45^\circ \sim 30^\circ \sim 45^\circ$ 的折线变化,连接处以圆角圆滑过渡,其网纹构型如图 1 所示。当液膜沿着填料表面流动时,在波纹折线角度变化处液膜流向发生变化,从而使得液膜发生扰动;此时湍动加剧,流体的流动边界层与层流底层变薄,这在一定程度上减小了传质阻力。同时,折线拐点的存在提高了液膜表面更新率 S ,进一步强化了气液传质过程^[5]。式(6)和式(7)为 BH 型高效填料的干填料层压降模型与泛点前的湿填料层压降模型^[6]。

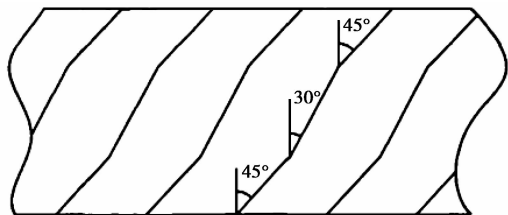


图 1 BH 高效填料网纹构型

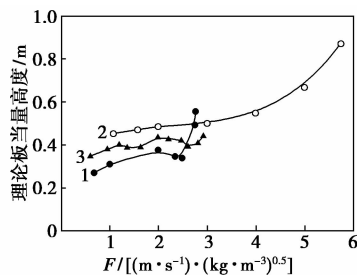
$(\Delta p/\Delta Z)_d = k(\Delta p/\Delta Z)_{d1} + (1 - k)(\Delta p/\Delta Z)_{d2} \quad (6)$
式中, $(\Delta p/\Delta Z)_{d1}$ 为波纹倾角是 45° 时的干塔压降; $(\Delta p/\Delta Z)_{d2}$ 为波纹倾角是 30° 时的干塔压降。

$(\Delta p/\Delta Z)_w = k(\Delta p/\Delta Z)_{w1} + (1 - k)(\Delta p/\Delta Z)_{w2} \quad (7)$
式中, $(\Delta p/\Delta Z)_{w1}$ 为波纹倾角为 45° 时的湿塔压降; $(\Delta p/\Delta Z)_{w2}$ 是波纹倾角为 30° 时的湿塔压降。

上述模型可很好地表征 BH 型高效填料的压降特性,同时也为新型填料构型的设计与优化改进奠定了基础。

此外, BH 型高效填料的表面经过特殊的亲水性处理以及物理和化学粗糙化处理,增加了填料的成膜性,大大增加了单位体积内的液膜面积并降低了大表面张力物系的成膜难度。因此,填料的表面利用率 n 增加,则由式(5)可知气液间有效传质面积 A 亦得到进一步加大,填料的分离能力有了进一步提高^[7]。通过上述几方面对传质效果的强化,传质通量 N_A 得到大幅提高,优化了 BH 型填料的传质性能,提高了填料的分离效率及生产能力。

北京化工大学对 BH 型高效填料的传质性能做了大量的实验与理论研究。在冷模实验装置中,对 BH 型填料进行了氧解吸实验以探究其传质性能,并与 Mellapak 系列填料在相同实验条件下进行对比。为研究填料波纹倾角对填料传质性能的影响,将 BH-250 与 Mellapak250X 及 Mellapak250Y 型填料在相同实验条件下的传质效率数据进行了对比,结果如图 2 所示。

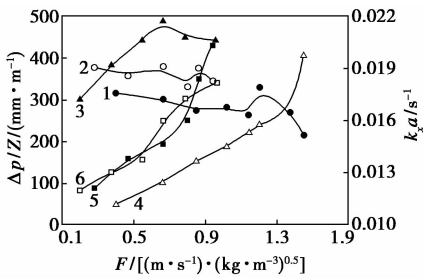


1—Mellapak250X; 2—Mellapak250Y; 3—BH250
 $L = 16.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

图 2 波纹倾角对规整填料性能的影响

由图 2 可以看出, BH 型填料的传质性能介于 X 型与 Y 型填料之间。在一定的液相负荷范围内,动能因子 F 对 BH 型填料的传质效率影响不大,且在泛点附近时传质效率并没有明显下降的趋势;然而 Mellapak 型填料在泛点附近传质效率急剧降低^[8]。由此可知 BH 型填料的折线式波纹结构对传质效果起到了良好的促进作用,操作性能稳定且操作弹性大。

为研究比表面积对填料性能的影响,对 BH-1000、BH-1500、BH-2000 3 种不同比表面积的丝网波纹填料的性能进行了测试,实验结果如图 3 所示。由图 3 可知,随着比表面积的增大,填料的传质性能增大,但是传质性能的增强是以降低流体力学性能为代价的。



1— $k_x a$, BH-1000; 2— $k_x a$, BH-1500; 3— $k_x a$, BH-2000;

4— $\Delta p/Z$, BH-1000; 5— $\Delta p/Z$, BH-1500; 6— $\Delta p/Z$, BH-2000

图 3 比表面积对填料性能的影响

总的来说, BH 型高效填料独特的折线式结构能使物料分离得更加充分,提高了生产力与产品纯度,节约了资源与能量,在工业上有着良好的应用前景。

2 BH 型高效填料在煤制烯烃预急冷塔中的实际应用

2.1 设计方案

某煤制烯烃加工厂采用 MTP 工艺生产丙烯。其 MTP 反应产物在预急冷塔这一急冷系统中进一步冷却,从而与烃类产物分离。预急冷塔的烃类产物自塔顶气相线进入下一级急冷塔,预急冷塔中的水相由急冷水泵输送至工艺空冷器,以用作急冷水循环。热急冷水在工艺空冷器及急冷塔预冷器冷却后,大部分被送往预急冷塔以初步冷却 MTP 反应产物,少部分在急冷塔最终冷却器进一步冷却后送往下级急冷塔,进一步冷却 MTP 反应产物。图 4 所示为预急冷塔工艺流程图。

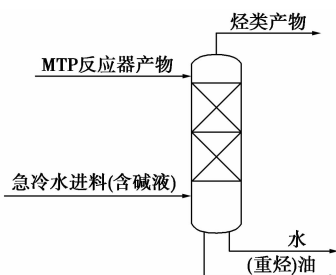


图 4 预急冷塔工艺流程图

有腐蚀性的有机酸。因此,采用碱液计量泵向预急冷塔的急冷水进料加入碱液,从而调整塔内水溶液的 pH。

在改造前的生产过程中预急冷塔中的原有填料出现问题,导致部分填料被泵吸出。经化工流程模拟软件的模拟计算,并与实际工况相结合,现采用由北京化工大学开发的,规格为 BHB0 ($125 \text{ m}^2/\text{m}^3$) 和 BHB1 ($160 \text{ m}^2/\text{m}^3$) 的 BH 型高效规整填料装填而成的复合填料塔对原塔进行改造。需进行设计改造的预急冷塔为 3 座。

2.2 经济效益分析

采用 BH 型高效填料设计改造后的预急冷塔的生产能力得到大幅提高,彻底消除了改造前的生产障碍, MTP 反应产物的冷却效果显著增强,达到了扩产增效的目的,取得了良好的经济效益。

(1) 预急冷塔的良好运转对聚丙烯生产系统做出不容小觑的贡献。生产能力扩大,相应的聚丙烯产量由改造前的 40 万 t/a 增加至 48 万 t/a。仅此一项,每年可带来约 300 万元的经济效益。

(2) 预急冷塔分离能力增强,初步冷却效率显著提高,塔顶与塔釜的温差由改造前的 25°C 提高到 42°C ,这对提高最终产物聚丙烯的质量至关重要。保守估计,仅此一项可对整个工艺系统带来 200 万元/a 的经济效益,而本技术改造中设备投资约 96 万元。

(3) 能耗降低,塔内全部填料压降仅为 1.8 kPa,较改造前降低了 30%。

(4) 综合以上几项,合计经济效益优异,改造后的经济收益为 500 万元/a,改造投资为 96 万元,若每年开工时间为 11 个月,则投资回报期约为 2.1 月。

3 结论

(1) 采用 BH 型高效填料的生产能力与经济效益的大幅提高说明:采用构型设计合理的填料,塔的传质效率与分离能力将极大提高,既有利于产品质量的提升以达到生产中产品纯度的要求,又能节约原料成本进而达到节能降耗的效果。

(2) 使用 BH 型复合填料塔改造的 MTP 工艺流程中的预急冷塔解决了生产过程中出现的不稳定或塔无法操作的问题,为后续工段的顺利进行奠定了基础。

(3) 预急冷塔的成功技改,在整体上扩大了

MTP 反应器内发生的反应还会生成少量的具

(下转第 129 页)

多。有些气体会对机器和管道有不同程度的腐蚀,造成一定的经济损失。该净水厂使用格栅与进水泵房为合建式脱水机房,使用浓缩压榨一体机。

1.2.2 水质净化厂除臭工艺

传统的除臭工艺有物理除臭、化学除臭和生物除臭,而城市污水的生物除臭一般多用传统的生物滤池和生物滴滤池等,都是局部抽取再处理^[7-8]。北郊水质净化厂常用根据所在区域污水厂臭气散发强弱的情况来进行全过程生物除臭,同时对该污水厂臭气散发严重部位进行局部除臭,该水质净化厂除臭工艺如图1所示。

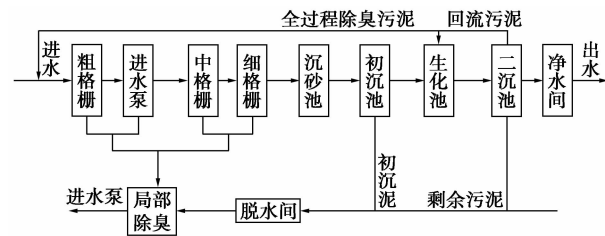


图1 水质净化厂除臭工艺图

2 除臭原理

2.1 全过程生物除臭

将生物培养箱放置在生物滤池缺氧段进行培养,并且通入一定量的空气,水和污泥进生物培养箱会带出部分除臭菌。这样除臭微生物与水以及污泥中的恶臭物质发生吸附、凝聚和生物转化降解等

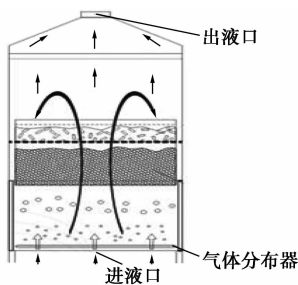


图2 生物培养箱

作用,除臭微生物以这些恶臭物质为养料进行繁殖,使得污水厂各构筑物恶臭物质在水和污泥中得到去除,并且将部分二沉池污泥通过污泥泵进入进水井,实现污水厂恶臭的全过程除臭^[9]。生物培养箱如图2所示。

该过程除臭原理为:微生物在一定的条件下将 H_2S 和 NH_3 等恶臭气体转化成硫酸根和氨根离子等,其除臭原理如图3所示。

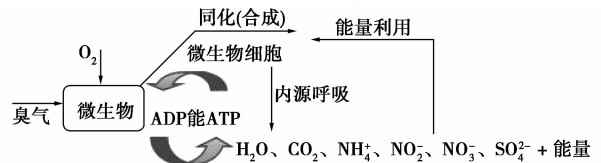


图3 除臭原理图

2.2 局部物理除臭

该污水厂在臭气散发严重的部位加了局部除臭。局部除臭是通过螺瓷风机收集臭气,在格栅间通过水流管道将臭气抽取,而在脱水机房的浓缩机上通过倒扣漏斗伞型集气罩形式将臭气吸取,再通过喷水使其雾化,从而臭气与活性炭接触的表面积增大,达到更好的除臭效果。

3 采样频率、采样点及检测方法

2013年7月以及2014年7月,1天采3次,分别在上午9点、下午1点和下午6点左右,连续10d。格栅和沉砂池离水面50cm处测量,在脱水机构筑物内测量臭气浓度。 H_2S 检测方法为亚甲基蓝分光光度法, NH_3 用纳氏试剂分光光度法,用GDYQ-20全自动双通大气采样器采集气体。

4 除臭效果

根据国内外对各个污水处理厂臭气的检测以及对该水质净化厂的感官,对该厂3个比较臭的构筑物进行检测,来评价除臭工艺运行效果。

(上接第127页)

全套装置的生产能力,降低能耗,投资回报期仅为2.1月,最终取得显著的综合效益。

参考文献

[1] 周传雷. 我国煤制烯烃产业现状及发展前景[J]. 化学工程师, 2011, 25(8): 42-45.
 [2] 郭艳玲. 浅析煤制烯烃[J]. 煤, 2013, (11): 48-49.
 [3] 李群生, 田原铭, 常秋连, 等. BH型高效填料塔技术的研究及其在化工生产中的应用[J]. 化工进展, 2007, 26(s1): 201-203.

[4] 陈常贵, 柴诚敬, 姚玉英. 化工原理(下册)[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004.
 [5] 周媛, 李群生, 张泽廷. 新型丝网波纹填料的流体力学特性研究[J]. 北京化工大学学报, 2005, 32(3): 13-15.
 [6] 常秋连, 李群生, 王金福. 新型高效填料层压降的数学模型[J]. 中国科技论文在线, 2010, 5(6): 427-433.
 [7] 李群生. 精馏过程的节能降耗及新型高效分离技术的应用[J]. 化肥工业, 2003, 30(1): 1-5.
 [8] 常秋连. BH型新型高效填料的研究开发及产业化应用[D]. 北京: 北京化工大学, 2008. ■