

静态混合器在石油化工中的应用

吴 雨 张力钧 宋忠俊

上海化工研究院, 上海 200062

摘 要:石油炼制过程中,混合是十分普遍且重要的操作,为了满足工艺要求,减少操作成本,必须采取正确的混合方法。常用的混合方式有静态混合与动态混合两种,静态混合器主要通过混合元件对流经管内的流体进行反复的“切割—旋转—重新汇合”,达到混合目的。介绍了静态混合器在石油化工行业的萃取、脱硫、油品调和及精制等工艺过程中的应用。与动态混合相比,静态混合具有分散效果好、混合均匀、结构紧凑、操作成本低等优点,在实际工况下取得了良好的工艺效果和显著的经济效益。静态混合器在石油化工行业的应用具有广阔的前景,值得进一步研究。

关键词:石油炼制;混合;静态混合器;脱硫

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2014.03.007

0 前言

混合是石油化工行业中一种十分普遍又重要的操作,从简单的溶解到复杂的反应都要涉及到混合,反应的速率、产量以及选择性高度依赖于混合性能。不当的混合会产生质量低劣的产品,需要更多的下游工艺进行处理,造成不必要的浪费。曾有文献报道,据估计,在化工行业相对发达的美国每年由于混合问题造成的经济损失高达几十亿美元^[1]。因此,设计高效的混合设备,实现有效的混合,对提高产品质量、减少副产物、优化整个生产过程具有重要的意义。

目前常用的混合方式包括动态混合器和静态混合器。动态混合器是依靠机械动力元件迫使系统发生流体运动,以达到物料混合均匀的目的。静态混合器是指管内无运动元件,依靠流体自身的能量,以静止元件改变流体在管内的流动状态,物体被多次分割、旋转、复合等,从而实现均匀混合。虽然动态混合器仍是目前混合操作中的主流,但占地面积大、能耗高,难以满足对生产工艺连续化、高效化、节能化、装置小型化以及免除经常性维修等方面的迫切要求。与动态混合器相比,静态混合器具有分散效果好、占地面积小、结构紧凑、操作成本低、维修简单、能实现连续化生产等优点^[2]。

1 静态混合器种类及其工作原理

静态混合器最早由荷兰人提出,20世纪70、80年代已有迅速的发展。国内原化工部上海化工研究院,最早对静态混合器进行研究。1977~1978年进行文献查阅和探索试验。1979年正式成立SM型静态混合器专题组,研究工作主要包括实验室基础研究和工业性应用研究。《SMV型静态混合器的研究》于1981年12月通过化工部鉴定,并获得化工部科技成果三等奖,1983年获得上海市优秀产品二等奖和国家经委金龙奖。上海化工研究院化机所已开展了对SH、SK、SL、SX型静态混合器的研究,1985年通过预鉴定,1987年通过正式鉴定并获得了化工部科学技术进步三等奖^[3]。随着研究的深入和应用的普及,目前静态混合器达50余种,国内最常用的有上海化工研究院开发的SV、SX、SL、SK和SH型5种,及国外的凯尼斯型和苏尔士型两类静态混合器。混合元件见图1。

1.1 凯尼斯型静态混合器

凯尼斯型静态混合器是由美国凯尼斯公司研制,以1根管子作外套和托架,在管中装入一连串由薄金属板(或其他材料)交错地向左或向右扭转180°的螺旋片首尾成90°相接而成。如图2所示,原料经过此静态混合器

时,不断地被分割后又混合,达到混合均匀的目的^[4]。



图1 混合元件



图2 凯尼斯型静态混合器

凯尼斯型静态混合器的混合机理有以下三类:

a) 混合元件对流经的原料介质不断起着切割作用使其分散,随后又在2个元件之间汇合,之后进行多次切割和混合。

b) 混合元件使流体自身产生旋转,通过迫使原料介质旋转方向的改变使流体混合。

c) 混合器内部流道的横截面积或位置发生变化,使原料介质产生“自身搅拌”作用。

1.2 苏尔士型静态混合器

根据混合元件的不同,苏尔士型静态混合器又可分为SV、SX及SL三大类,本文主要介绍SV型^[4]。

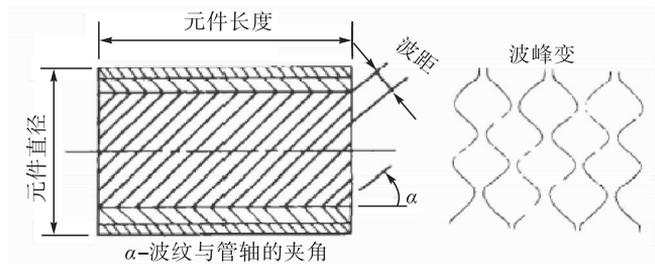


图3 苏尔士型静态混合器

如图3所示,苏尔士型静态混合器有一个外壳,其截面呈圆形、方形或其他形状。混合元件为斜纹或人字纹,然后将波纹板组成与外壳截面相同的形状,相邻元件在管内呈90°。原料介质进入混合元件,按元件通道的形状被切割成细小的流体后,顺着波纹板的形状向前流动。

在相邻元件交汇处,波纹片之间所构成的通道相交。每个元件中方向不同的波纹通道把管内两侧的流体引来在此混合,混合后又在下一个元件中分成两股,向不同方向流动,从旋转了90°的平面上流过。

1.3 日本东丽型静态混合器

日本东丽型静态混合器是由几个单元混合器和短管及法兰组成,混合器内部具有两排通道,每个通道内都含螺旋片,又把通道分成两部分,相邻混合元件之间有一个中间室,且相邻单元的螺旋叶片旋向相反。其混合效率比凯尼斯型静态混合器要高,但是低于苏尔士型静态混合器^[5]。

2 静态混合器的应用

在石油化工领域,静态混合器主要应用于油品精制、萃取、脱硫、原料油脱盐、油品调和及蜡脱油等工艺过程。

2.1 油品调和

2.1.1 燃料油调和

减压渣油生产过程中,产品达不到装卸、输送和使用要求,必须加入一部分催化轻柴油,降低其黏度。安庆石油炼油厂之前使用喷嘴调和的方法对原油进行调和,实践证明在重质黏油工艺中其调和质量不均匀,采用波纹板静态混合器对燃料油进行调和,能很好地满足多种燃料油和不同比例柴油调和的要求,降低柴油的添加比例^[6]。上海高桥石化炼油厂裂化车间使用SV型静态混合器对油品调和,同样取得了良好的效果;日本采用东丽型静态混合器将A、B重油调和成船用燃料油,做到了船舶燃料的经济混合。

2.1.2 润滑油的调和

润滑油组分与添加剂的调和方式较多,但较为先进的系统则是美国胡拉克公司开发的静态混合系统,静态混合器是该系统的主要元件之一。

2.1.3 沥青的调和

以往的沥青调和主要采用低温风搅拌,但产品达不到高质量、重交通对沥青的要求,而采用机械搅拌方法时,其混合效果较差,有可能完全分层。茂名石化在采用静态混合器对沥青进行调和过程中,很好地达到了对沥青特性的要求,其流程见图4^[7]。

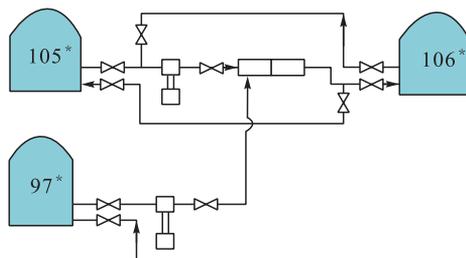


图4 沥青调和工艺

2.2 萃取

萃取操作中,两相不容易均匀混合,从而影响萃取效率。采用静态混合器使两相有控制地均匀混合,既能提高萃取效率,又能有效控制液滴大小,有利于后续澄清分离。乌鲁木齐石化总厂在使用静态混合器对油品精制过程中,以常减压航煤为研究对象,并与文丘里管进行比较,结果表明,静态混合器对油品精制的效果更好;南充炼油厂在异丁醇脱沥青装置上使用静态混合器后,装置加工能力由原来的 62 t/d 提高到 85 t/d,脱沥青油回收率也提高了 2.9%,产品合格率由原来的 95.4% 提高到 99.7%,溶剂比下降了 0.7~0.8,其工艺见图 5;上海高桥石化炼油厂丙烷脱沥青装置以减压渣油为原料,液相丙烷为溶剂,在 4.0 MPa 压力和 70 °C 温度下进行液-液萃取,以获得高黏度的润滑油或催化裂化原料,同时获得沥青。装置原先采用内驱动转盘塔进行萃取,效率较低,为了降低溶剂比、节约能耗并提高油品收率,也曾使用文丘里管,但混合还是不均匀,使用静态混合器后,实现了良好的渣油稀释,提高了油品的收率,降低了成本,节约了溶剂比^[8]。静态混合器在萃取 C4 烃的微量甲醇工艺中同样得到了应用,在合成甲基叔丁基醇过程中,反应产物经蒸馏分离后,未反应的 C4 烃中含有少量的甲醇。在以 C4 烃作为烷基化装置原料之前,必须用水萃取原料中的甲醇。镇海石化总厂使用 SV 型和 SK 型静态混合器进行试验获得成功,考虑工业放大的实际可能,推荐使用 SV 型静态混合器。

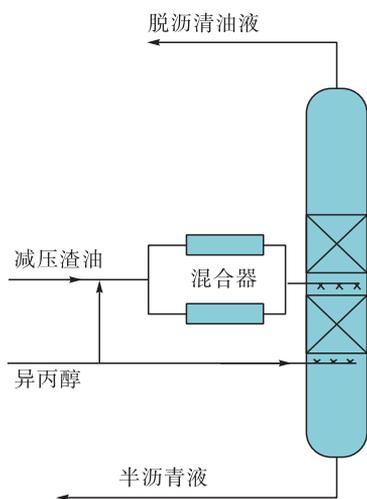


图 5 异丁醇脱沥青工艺

2.3 脱硫

汽油脱硫醇是改进汽油质量的重要工序。目前,我国已有多套脱硫醇装置采用静态混合器,并取得良好的效果。大连石化炼油总厂在汽油脱硫醇装置采用 2 台 DK 型混合器替代塔式设备,节省了投资和操作费用且

效果显著;美国两家炼油厂用静态混合器进行汽油碱洗脱甲醇和硫醇,产品不带碱,压力降大为降低;我国炼厂也已将 SK 型静态混合器用于 C5 脱硫醇,同样取得了满意的效果,齐鲁石化炼油厂原采用填料塔来脱除硫醇,但处理能力低、压力降大,抽提率不高,硫醇含量一般在 15 mg/kg 左右,甚至能达到 30~50 mg/kg,鉴于安庆石化使用静态混合器对汽油除臭获得成功的经验,该厂使用 SK 型静态混合器对填料塔进行技术改造,改造后精制油的硫醇硫含量降至 5.98 mg/kg,满足了生产要求^[9];塔河油田所产原油含富硫化氢,对设备、原油储罐及管线等关键部位腐蚀较大,使用原脱硫装置所获得的原油存在大量的碱性脱硫剂极性分子,并未与原油中的 H₂S 充分反应^[10]。但为了确保外输油 H₂S 含量控制在 15 mg/kg 以内,只能通过提高脱硫剂配比来降低 H₂S 的含量,极大地提高了成本,同时,脱硫剂在一定的程度上同样抑制了破乳效果,当油品输送到下游用户时,可能导致管线含水率超标,对下游炼油企业生产设备造成较大的影响。基于此,制定了在外输首站现有输油流程上安装静态混合器,对加注脱硫剂和原油进行强制混合的解决方案。项目改造后,外输油的 H₂S 含量由原来的 25~30 mg/kg 下降到 15 mg/kg 以内,脱硫剂的配比度也由原来的 1.5‰~2‰ 下降到 1‰ 以内,极大地降低了脱硫剂的成本;兰化化工研究院在 FCC 液化气脱硫方法的选择上,对比了塔式设备和静态混合器对脱硫效果的影响,结果表明,含 H₂S 1 500 mg/kg 的液化气经过两级静态混合器 NaOH 碱洗脱硫后,其 H₂S 的含量可降至 2 mg/kg 以下^[11]。

2.4 脱蜡及脱盐

2.4.1 脱蜡

原油脱蜡是根据油、蜡对溶剂的溶解能力不同,使蜡形成均匀的结晶,以便使用过滤的方法将油蜡分离。与搅拌器相比,静态混合器不容易磨损,具有能耗低,无噪音,维修简单,清洗方便等特点,特别适用于高黏度物质以及粉粒状物料的混合。

2.4.2 脱盐

江汉油田原油综合含水 60% 以上,含盐量高达 16×10⁴ mg/L,油气集输流程中采用加药、管道破乳、粗粒化陶粒降脱水及掺水洗盐电脱水,处理后的原油含水可降到 0.5% 以下,但盐含量仍高达 300 mg/L,高于原油外输指标。在原油输送上端安装了 SV 型静态混合器后,原油的平均含水低于 0.1%,含盐量为 188 mg/L,达到了原油外输标准;武汉石油化工厂常减压装置在扩能改造后,脱盐装置出现脱后含盐、含水上升等问题,通过对装置改造后的情况进行分析,在原工艺过程中增设静态混合器,脱盐效率得到了有效的提高^[12];中国石化总公司北京设计院设计的 SK 型静态混合器,用于山东胜利炼油厂

常减压装置的电脱盐过程,从运行结果看,效果良好,脱盐后的盐量从原来的 3~10 mg/L 下降到 2 mg/L 以下,水油混合均匀,电极不易短路且未引起原油乳化,同时,压降也有所降低。

静态混合器除了在上述工艺过程中得到应用外,还可应用到石油化工行业中的传热、反应、分散以及苯类试剂生产等工艺过程。

3 结论

静态混合器是国内外大力推广应用的一种结构简单而紧凑的节能设备,在国外已取得了广泛的应用,国内从 20 世纪 70 年代后才得到实际开发。到目前为止已在石油化工单元操作中发挥作用,无论在油品调和、萃取还是脱硫及脱盐脱蜡等工艺流程中,静态混合器的使用增强了混合效果,节省了投资成本并实现连续化生产,取得了良好的工艺效果和显著的经济效益。静态混合器在石油化工行业的应用具有广阔的前景,值得进一步研究和实践。

参考文献:

- [1] Paul E L, Atiemo-Obeng V A, Kresta S M. Handbook of Industrial Mixing Science and Practice [M]. New Jersey: John Wiley and Son, 2004.100-108.
- [2] 涂善东,王正东,顾伯勤,等.新世纪的化工机械技术展望[J].化工进展,2003,23(3):258-266.
Tu Shandong, Wang Zhengdong, Gu Boqin, et al. Development of Process Equipment Technology in 21st Century [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2003, 23 (3): 258-266.
- [3] 陆振民.苏尔士 SMV 型静态混合器的研究及其在国内的应用[J].石油化工设备技术,1989,15(2):57.
Lu Zhenmin. The Research and Application of SMV Static Mixer in China[J]. Petroleum and Chemical Equipment Technology, 1995, 15(2): 57.
- [4] 宋忠俊.静态混合器分布混合性能及其应用和选择[J].化工装备技术,1991,12(1):17-22.
Song Zhongjun. Application and Selection for Distributive Mixing Performance of Static Mixer [J]. Chemical Equipment Technology, 1991, 12(1): 17-22.
- [5] 张玉龙.静态混合器[J].中国氯碱,2001,7(7):38-39.
Zhang Yulong. Static Mixer [J]. China Chlor, 2001, 7 (7): 38-39.
- [6] 吴廷元.波纹板静态混合器调和燃料油[J].油气储运,1986,6(3):23-24.
Wu Tingyuan. The Application of Corrugated Plate Static Mixer in Oil Reconcile [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 1986, 6(3): 23-24.
- [7] 江灿星.静态混合器在沥青调和上的应用[J].石油化工设备,1986,15(7):44-46.
Jiang Canxing. The Application of Static Mixer in Asphalt Reconcile [J]. Petroleum and Chemical Equipment, 1986, 15(7): 44-46.
- [8] 李纯煦.静态混合器的原理及应用[J].节能,1995,8(2):17-20.
Li Chunxu. Principle and Application of Static Mixer [J]. Energy Conservation, 1995, 8(2): 17-20.
- [9] 徐先盛. DK 型混合器在油品脱硫工艺中的应用[J].石油化工环境保护,1993,5(3):31-37.
Xu Xiansheng. The Application of DK Static Mixer in Desulfurization [J]. Environment Protection in Petrochemical Industry, 1993, 5(3): 31-37.
- [10] 张春晓,习常全,马敬,等.富气脱硫系统存在的问题及解决对策[J].天然气与石油,2009,27(5):33-36.
Zhang Chunxiao, Xi Changquan, Ma Jing, et al. The Problems and Solutions of Desulfurization System in Rich Gas [J]. Natural Gas and Oil, 2009, 27(5): 33-36.
- [11] 任斌,陈君,杨波,等.塔河油田重质原油脱硫工艺优化与应用[J].天然气与石油,2011,29(6):34-36.
Ren Bin, Chen Jun, Yang Bo, et al. Desulfurization Process Optimization and Application of Crude Oil in Tahe Oilfield [J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29(6): 34-36.
- [12] 蔡援建.脱盐装置工艺技术改造后的操作优化[J].辽宁化工,2005,9(10):445-448.
Cai Yuanjian. Optimization Operation of Desalination Plant Process [J]. Liaoning Chemical Industry, 2005, 9(10): 445-448.