

# MTO 催化剂旋转闪蒸干燥及节能技术的开发及工业应用

蒋秀龙<sup>1\*</sup>, 周铁桩<sup>2</sup>, 王 慧<sup>2</sup>, 黄 帅<sup>2</sup>

(1. 中国石化催化剂有限公司南京分公司, 江苏 南京 210000;

2. 天华化工机械及自动化研究设计院有限公司, 甘肃 兰州 730060)

**摘要:**为优化 MTO 催化剂分子筛干燥工艺,提升催化剂竞争力,开发了一种新型节能催化剂旋转闪蒸干燥技术,即“填料+密封环”组合密封和特殊搅拌结构的新型旋转闪蒸干燥机用于 MTO 催化剂的干燥,避免了干燥机“抱轴”和入口堵塞事故发生,利用尾气循环使高温尾气余热回用,减少了急冷冷却水用量,提高了干燥系统热效率,同时实现了 MTO 催化剂的节能、清洁化生产,提高了经济效益。

**关键词:**催化剂;新型旋转闪蒸干燥机;尾气循环;节能、清洁工艺

**中图分类号:**TH3

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2020)04-0208-04

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2020.04.044

## Development and industrial application of rotary flash drying and energy-conversion technologies for preparation of MTO catalysts

JIANG Xiu-long<sup>1\*</sup>, ZHOU Tie-zhuang<sup>2</sup>, WANG Hui<sup>2</sup>, HUANG Shuai<sup>2</sup>

(1. Nanjing Branch, Sinopec Catalyst Company Limited, Nanjing 210000, China;

2. Tianhua Institute of Chemical Machinery & Automation Co., Ltd., Lanzhou 730060, China)

**Abstract:**To optimize the drying process of the catalyst for MTO and improve the competitiveness of the catalyst, a clean and energy-efficient rotary flash drying technology is developed for preparation of catalyst, i. e. new type rotary flash drying machine with a combined seal system of “stuffing box+seal ring” and special stirring structure is used to dry the catalyst. The technology can avoid shaft holding accident and entrance blockage risk, and the waste heat of high temperature flue gas can be recovered by utilizing flue gas cycle, therefore reducing consumption of quench cooling water and improving the thermal efficiency of the drying system. This technology can realize energy-efficient and clean production of MTO catalyst, and improve economic efficiency.

**Key words:** catalyst; new type rotary flash drying machine; exhaust gas cycling; energy-conversion and clean process

乙烯和丙烯是现代化学工业重要的基础原料,一般采用石脑油裂解工艺生产。为了保持原料来源多样性,各国科学家积极开展石油替代资源的工作<sup>[1-2]</sup>。甲醇制烯烃(简称 MTO)是指以天然气或煤为原料,在催化剂作用下生成乙烯、丙烯等低碳烯烃的工艺,该技术开拓了从非石油资源出发制取石化产品的新工艺路线<sup>[3]</sup>。经过多年努力,国内在 MTO 催化剂及其工艺技术研究方面取得了较好的进展,开发了多种拥有自主知识产权的 MTO 催化剂及其工艺技术。2015 年 12 月,中石化南京催化剂有限公司应用 MTO 催化剂生产专利技术,建成投产了 1 套 MTO 催化剂生产装置。SAPO-34 分子筛(以下简称分子筛)作为 MTO 催化剂的活性组元,目前一般采用复合模板剂法进行工业化生产,包括成胶、晶化、过滤、干燥等生产工序,其中干燥过程主

要为除去分子筛中的模板剂、水等挥发性组分。

因为分子筛流动性差、具有触变性、含有机胺等原因,所以干燥设备的选型要充分考虑设备、环保和节能等方面的因素。在装置建设过程中,经过论证和实验,分子筛的干燥采用了真空干燥方式,但在长周期运行过程中,分子筛的进料、自动纠偏、粉体出料、履带寿命等方面都出现较大的问题,目前采用人工间歇操作方式维持生产。在这种情况下,探索使用已经成熟的旋转闪蒸干燥技术,并对系统进行改进和优化,使之符合 MTO 催化剂分子筛的使用要求,具有重大的现实意义。

## 1 分子筛物料的组成及特点

### 1.1 物料组成

晶化合成的含分子筛混合物,包括分子筛、模板

收稿日期:2019-06-11;修回日期:2020-02-27

基金项目:中国石油化工股份有限公司技术开发(委托)项目(H11009)

作者简介:蒋秀龙(1965-),男,工程师,研究方向为干燥过程工艺设备和工程项目管理,通讯联系人,jiangxl.chji@sinopec.com。

剂和无定性组分,经过过滤洗涤,除去绝大部分无定性组分和有机胺,得到分子筛浆液,浆液质量分数在45%~50%。同时分子筛浆液中还存在少量三乙胺,质量分数小于5%,主要分布于分子筛孔道中,在干燥过程中释放出来。

### 1.2 物料特点

分子筛晶粒小、黏性大、流动性差,很容易沉积在容器和管道中。特别是输送量较小或流速较慢时,输送管道很快堵塞,而且很难清理。

分子筛具有触变性。在搅拌或快速流动情况下,流动性好,但在静止或慢速流动时,流动性差,容易沉积到容器底部或输送管壁,慢慢变成硬块。

## 2 分子筛干燥现状

### 2.1 真空带式干燥

真空干燥是一种常见的干燥方式,通过间接加热,然后容器内抽真空,使溶剂蒸发并在冷凝器中冷凝,实现回收利用。真空干燥的特点:①热效率高,可达70%~90%。②干燥温度低,适用于热敏性物料。③密闭操作,无污染。④溶剂可回收利用,废气排放少。真空带式干燥机目前广泛应用于中药浸膏、低聚糖、麦乳精、果汁等高黏度物料的干燥,但由于结构复杂、生产能力较低、密封性差等原因真空带式干燥机在化工行业应用较少。

### 2.2 烘房干燥

在分子筛工业试生产过程中,采用烘房干燥方式。烘房干燥采用人工装盘进料和出料,劳动强度

大,现场温度高,三乙胺气味浓烈,操作环境较差。同时干燥时间需要3~5 d,生产效率较低。在试生产过程中,由于烘房干燥分子筛呈块状,而且干燥程度不均匀,用旋闪干燥系统进行二次干燥,得到干燥程度均一、颗粒度小的分子筛。

### 2.3 旋闪干燥

旋闪干燥由加热器、加料器、搅拌破碎系统、分级器、布袋除尘器、风机等组成,是集干燥、粉碎、筛分于一体的连续式干燥设备,特别适用于滤饼状、膏糊状、稀泥浆状物料的干燥。旋转闪蒸干燥塔内设置有搅拌分散桨,能快速分散团状、块状物料,增大物料与热空气的接触面积,提高传热效率,与喷雾干燥设备相比,具有结构紧凑、干燥时间短、能耗低等优点。

旋闪干燥方式在催化剂制备过程中应用比较普遍,一般用于分子筛干燥。通过调节热风量和热风温度、浆料进料量、分级器转速,可以有效调节物料干燥程度和粒度,干燥效率高。

## 3 新型旋转闪蒸干燥系统设计

### 3.1 旋转闪蒸干燥新工艺

MTO 催化剂分子筛浆液旋转闪蒸干燥系统由气气换热器、蒸汽加热器、电加热器、软管泵、旋转闪蒸干燥机、脉冲布袋除尘器、冷却吸收塔、引风机及管道、阀门、控制等单元组成。分子筛浆液自原料罐经软管泵增压后,均匀地喷洒到旋转闪蒸干燥机内,同时洁净空气与来自脉冲布袋除尘器除尘后的高温

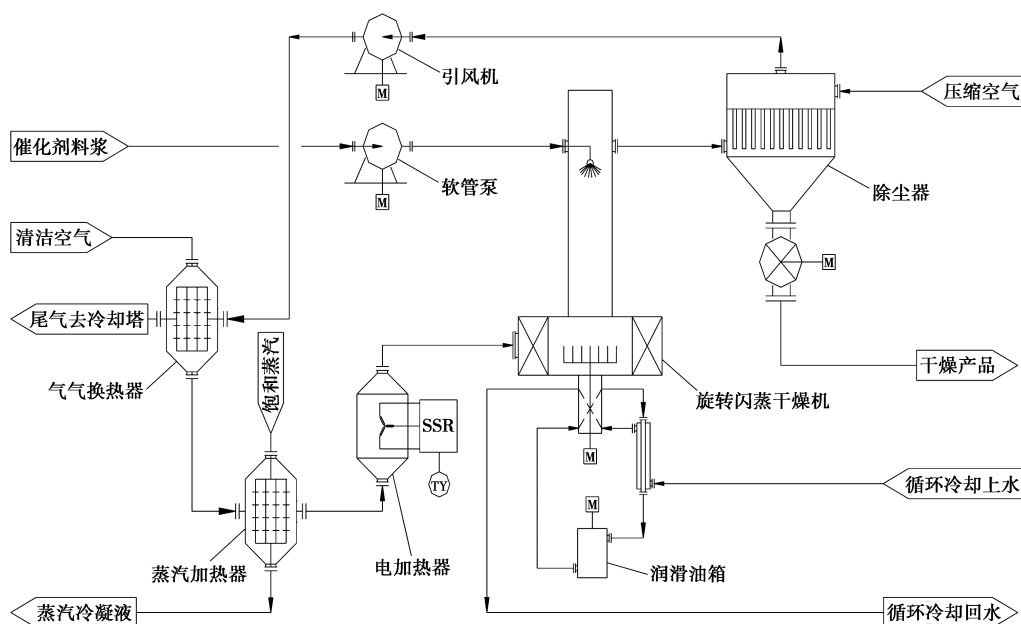


图1 旋闪干燥单元工艺流程简图

尾气在气气换热器内进行换热,换热后的空气经蒸汽加热器和电加热器加热后,从旋转闪蒸干燥机的下侧进风口进入干燥室。进入旋转闪蒸干燥机的分子筛浆液在搅拌器和热风的作用下,被迅速分散、干燥。干燥得到的固体随热风通过旋转闪蒸干燥机顶部的淘析环进入脉冲布袋除尘器中,收集下来的分子筛固体进入下一步工序。而经脉冲布袋除尘器除尘后的干净尾气通过引风机增压后进入气气换热器内与鼓风机增压后进入气气换热器内的空气换热达到余热回收利用目的,换热后的尾气进入尾气洗涤单元净化之后排放。分子筛浆液旋转闪蒸干燥单元的工艺流程简图见图 1。

### 3.2 新型旋转闪蒸干燥机结构特点

本技术的关键设备为一种具有新型搅拌和特殊密封结构的旋转闪蒸干燥器,如图 2 所示。旋转闪蒸干燥器在筒体上与干燥器筒体垂直方向的不同部位设置了 2 个进料管,进料管伸入干燥器的内部,物料通过进料管进入干燥器。在进料管伸入干燥器内部的一端设有喷头,使物料在筒体横截面均匀分布,提高了干燥效率,防止堵料发生。在干燥器的筒体底部设置了若干检修孔,在发生紧急情况时可以快速清除堵料。干燥器的搅拌轴与传动轴通过一个联轴器连接。新型旋转闪蒸干燥机结构见图 2。

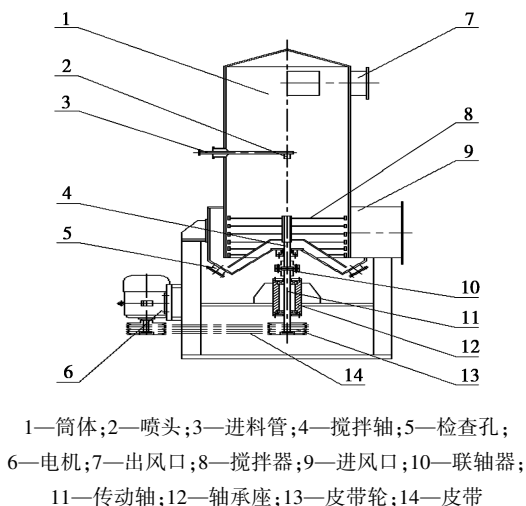


图 2 新型旋转闪蒸干燥机结构示意图

### 3.3 密封结构的改进

分子筛浆液旋转闪蒸干燥机在实际运行过程中极易出现细粉颗粒进入旋转闪蒸干燥机搅拌轴与干燥机主体密封腔内造成设备损坏<sup>[4]</sup>,同时干燥时产生含尘废气,为防止干燥尾气泄露和延长设备使用寿命,必须保证设备密封性能良好。旋转闪蒸干燥机的密封结构主要有迷宫密封和填料密封 2 种。迷

宫密封是在旋转轴周围设若干个环行迷宫梳齿,让被密封介质在通过弯曲的通道时产生节流效应而达到密封的目的,迷宫密封磨损小、使用寿命长,但运行监测点多、泄漏量较大<sup>[5]</sup>。填料密封是通过填料压盖压紧填料,使填料发生变形,并和旋转轴的外圆表面直接接触而达到密封目的,填料密封结构简单,但在实际运行中催化剂细颗粒容易进入密封腔内“抱轴”而损坏设备。为了阻止超细粉体进入干燥器底部的密封腔和尾气泄露,采用了“填料+密封环”的新型密封结构,该组合结构内侧采用压力高于干燥机内工作压力的保护气体的迷宫密封,大气侧采用碳纤维填充石墨的耐高温填料密封结构,填料密封用来密封保护气体,防止外泄。运行时可根据实际情况调节保护气压力,使压力略高于干燥机内压力,防止干燥机内尾气外泄。旋转闪蒸干燥机密封结构见图 3。

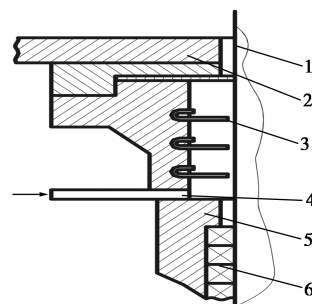


图 3 新型组合密封结构示意图

### 3.4 搅拌器结构改进

旋闪干燥机原搅拌器通用设计结构如图 4(a)所示<sup>[6]</sup>。为使搅拌器的结构形式更有利于分散干燥后的黏性物料,开发了一种新型结构的搅拌器,如图 4(b)所示。旋转闪蒸干燥机进风口环隙处的刮料结构由直线刮料结构更新为弯钩状刮料结构,此优化结构可同时对进风口处的内外壁同时刮料,避免了固体物料在旋转闪蒸干燥机进风口环隙处大量聚集,有效防止了旋闪干燥机环隙口的堵塞。

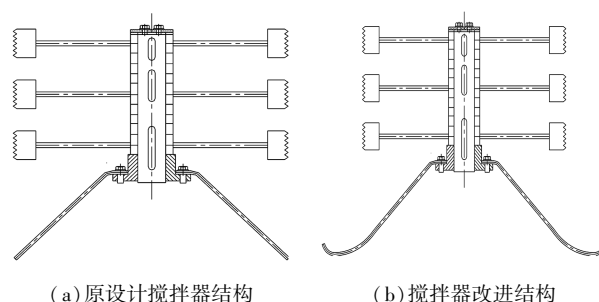


图 4 搅拌器改进前后结构示意图

## 4 系统节能优化设计

### 4.1 余热回收设计

为了提高旋转闪蒸干燥系统热效率,设计了气气换热器。空气经鼓风机增压后进入气气换热器内,与来自脉冲布袋除尘器净化后的一部分(约50%)120℃尾气换热,空气升温到50℃左右,然后经蒸汽加热器一级加热升温至约150℃。热空气与另一部分(约50%)净化尾气混合,进入电加热器二级加热,热空气升温至约250℃,从旋转闪蒸干燥机的进风口进入干燥室。部分尾气的循环使用和部分尾气的余热回收,达到了提高热效率的目的。

本技术通过间接换热器循环利用了高温干燥尾气的热量,提高了干燥系统的热效率,同时减少了后续工段急冷冷却水的用量,这一工艺设计不仅使尾气的余热得以回收利用,还大大降低了系统能耗。

### 4.2 节能效果

以国内采用该技术投产运行的某催化剂厂的生产数据做比较,节能对照计算结果见表1。

表1 余热不回收和回收情况对比表

对比项	余热不回收	余热回收	降低值
蒸汽耗量/(kg·h <sup>-1</sup> )	1105	820	285
急冷水耗量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	27.92	20.04	7.88
蒸汽节省量/(万元·a <sup>-1</sup> )			34.20
急冷水节省量/(万元·a <sup>-1</sup> )			6.49
经济型对比/(万元·a <sup>-1</sup> )			40.69

注:蒸汽按150元/t、急冷水按1.03元/m<sup>3</sup>计算,年工作时间按8000h计算。

(上接第207页)

生产高辛烷值汽油调和组分是切实可行的,通过催化剂和工艺技术的组合优化,控制原料催化柴油中芳烃加氢饱和深度,并将原料中部分芳烃转化并富集到石脑油馏分中,从而在对催化柴油进行改质的同时,可以生产出适量的高辛烷值汽油调和组分,缓解企业柴油质量升级的压力,为高芳烃的催化柴油改质提供一条经济、有效的加工途径。

### 参考文献

- [1] 孙磊,朱长健,程周全.催化裂化柴油加工路线的选择与优化[J].石油炼制与化工,2019,50(5):48-54.
- [2] 徐以泉,王振元,庞新迎,等.柴油加氢裂化降低柴油比方案分析[J].中外能源,2016,21(7):85-89.
- [3] Xu X, Mao A. Study on the catalytic cracking performance of FCC LCO[J]. Petroleum Refinery Engineering, 2007, 37(6): 1-5.
- [4] 张寒,王吉云.催化柴油加工路线选择及经济性分析[J].石油与天然气化工,2015,(4):44-48.
- [5] 王福江,张毓莹,龙湘云,等.催化裂化柴油馏分加氢精制提高

## 5 结论

为优化MTO催化剂干燥工艺,提高产品质量,提升催化剂竞争力,通过对目前常用的旋转闪蒸干燥系统进行改进和节能优化,设计了一种节能新型催化剂旋转闪蒸干燥系统。利用“填料+密封环”组合密封和特殊搅拌结构的新型旋转闪蒸干燥机,避免了干燥机轴承“抱轴”和入口堵塞风险,利用间接式翅片管换热器使新鲜空气与旋转闪蒸干燥器产生的高温尾气在换热器中间接换热,提高了干燥系统的热效率,同时减少了急冷冷却水的用量,本技术提高了干燥系统的热效率,实现了MTO催化剂的清洁化生产,提高了经济效益。

### 参考文献

- [1] 张世杰,吴秀章,刘勇,等.甲醇制烯烃工艺及工业化最新进展[J].现代化工,2017,37(8):1-6.
- [2] 郝西维,张军民,刘弓.甲醇制烯烃技术研究进展及应用前景分析[J].洁净煤技术,2011,17(3):48-51.
- [3] 宋庆锋,杨晓明.MTO工艺中分子筛催化剂的研究和应用进展[J].工业催化,2009,17(9):1-7.
- [4] 王世宏,何德强,孙中心,等.分子筛旋转闪蒸干燥系统中密封结构的改进[J].化工机械,2008,35(4):237-238.
- [5] 张际强,汪任初.旋转闪蒸干燥机喂料螺旋轴端密封结构的改造[J].化工机械,2006,33(3):183-184,144.
- [6] 天华化工机械及自动化研究设计院.新型旋转闪蒸干燥机:CN,200520078365.2[P].2006-03-22.■
- [6] 十六烷值研究[J].石油炼制与化工,2013,44(10):28-32.
- [6] 孙士可,曾榕辉,吴子明.FD2G催化裂化柴油加氢转化技术应用总结[J].炼油技术与工程,2019,(7):16-19.
- [7] 孙士可,黄新露,彭冲.催化裂化柴油加氢转化馏分利用方案研究[J].石油炼制与化工,2019,50(9):10-14.
- [8] 任金晨,柳伟,袁长富,等.催化柴油加氢裂化生产汽油和BTX技术相关专利分析[J].当代石油石化,2018,26(5):32-36,40.
- [9] Chen Jinwen, Yang Hong, Ring Zbigniew. HDS kinetics study of dibenzothiophenic compounds in LCO[J]. 2004, 98(1/2): 227-233.
- [10] Chen J, Te M, Yang H, et al. Hydrodesulfurization of dibenzothiophenic compounds in a light cycle oil[J]. Petroleum Science and Technology, 2003, 21(5/6): 911-935.
- [11] Vincenzo Calemma, Roberto Giardino, Marco Ferrari. Upgrading of LCO by partial hydrogenation of aromatics and ring opening of naphthenes over bi-functional catalysts[J]. Fuel Processing Technology, 2010, 91(7): 770-776.
- [12] Upare D P, Rao R N, Yoon S, et al. Upgrading of light cycle oil by partial hydrogenation and selective ring opening over an iridium bi-functional catalyst[J]. Research on Chemical Intermediates, 2011, 37(9): 1293-1303.■