

定-转子除尘技术在 FCC 喷雾尾气除尘上的应用研究

杨凌^{1*}, 申涛², 宋云华³, 刘璐²

(1. 中石化催化剂齐鲁分公司, 山东 淄博 255336; 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; 3. 北京化工大学, 北京 100029)

摘要:针对 FCC 喷雾尾气采用传统的洗涤塔洗涤除尘工艺不达标的情况, 对 FCC 喷雾尾气采用定-转子除尘技术进行了研究。探讨了操作条件对除尘效果、气体压降的影响, 并进行了工业试验。结果表明, 尾气排放达到 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$ 要求, 且系统电耗为原来的 58.9%, 除尘效果满足目前 FCC 喷雾尾气达标排放的要求。

关键词: 炼油裂化催化剂; 喷雾干燥工艺; 定-转子除尘器; FCC 喷雾装置

中图分类号: TQ021

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2018)09-0198-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2018.09.045

Application of stator-rotor dust removal technology in FCC spray tail gas

YANG Ling^{1*}, SHEN Tao², SONG Yun-hua³, LIU Lu²

(1. Qilu Division, Sinopec Catalyst Co., Ltd., Zibo 255336, China;

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

3. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: FCC spray tail gas treated by the traditional scrubber washing and dust removal process cannot meet standard and a stator-rotor dust removal technology is therefore studied to replace the traditional process. The effects of operating conditions on dust removal effect and gas pressure drop are explored and corresponding industrial tests are carried out. The results show that the exhaust emission after treatment is less than $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, meeting emission standard and the system power consumption is only 58.9% that of traditional process. The dust removal effect meets the requirements of current FCC spray tail gas emission standards.

Key words: refinery cracking catalyst; spray drying process; stator-rotor de-duster; FCC spray device

1 定-转子技术介绍

定-转子除尘技术的来源为超重力除尘技术, 是对超重力除尘技术及设备的升级改造。超重力技术(国外称之为 Hige 或 RPB)是一项强化“三传一反”化工过程的新型强化技术及设备, 基本原理就是利用旋转造成一种稳定的、可以调节的离心力场, 以代替常规重力场。超重力技术使得精馏、吸收和复相反应等化工单元操作中气液两相的相对速度大大提高, 使气液相界面更加快速地更新, 并且大大提高了液泛速率, 使得生产强度成倍提高^[1]。

定-转子除尘器作为强化混合与传质的设备, 由壳体、转子、定子、机械密封及传动系统等组成, 定-转子除尘器核心部件为定子及转子 2 部分, 其中定子由端盖与多层静环构成, 转子由转子座与多层动环构成。动环与静环沿径向间隔排列, 形成动环-静环-动环-静环的结构形式^[2]。

定子的静环由多层同心圆上均布的圆柱构成, 流体通道由圆柱间的间隙构成。转子的动环由多层同心环构成, 同心环上开孔作为流体通道。设备外形见图 1。

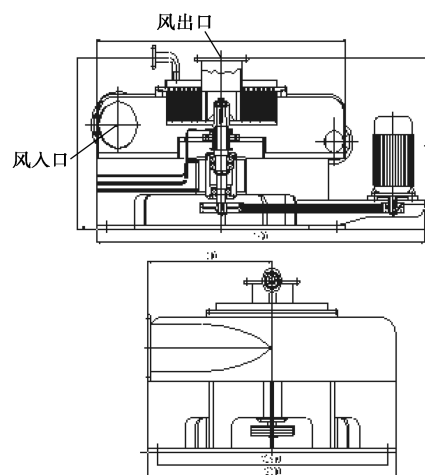


图 1 定-转子除尘器外形图

收稿日期: 2018-02-05; 修回日期: 2018-07-12

作者简介: 杨凌(1973-), 女, 本科, 高级工程师, 研究方向为催化剂, 通讯联系人, 0533-6861609, yangl1.chji@sinopec.com。

定-转子之间的流体受到高度剪切作用,催化剂尾气中的气体和粉尘被高度分散成微小的液滴,强化了粉尘与水滴之间的混合效果。定-转子除尘器定子分布图如图 2 所示。

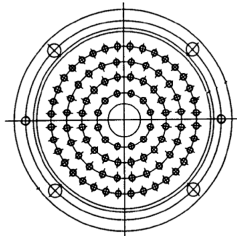
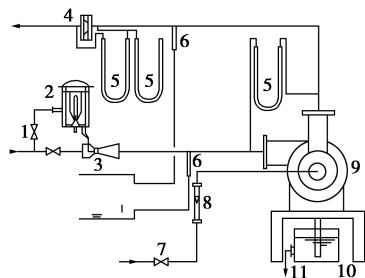


图 2 定-转子除尘器定子分布图

2 实验室研究

对现场收集的 FCC 粉尘样品在北京化工大学国家超重力重点实验室进行试验研究^[3],实验流程如图 3 所示,分级效率 EI 是指在一定粉尘粒径范围内颗粒的分离效果。



- 1—侧线进气阀门;2—粉尘发生器;3—文丘里管;
- 4—孔板流量计;5—U 型管压差计;6—采样分析系统;
- 7—进液阀门;8—转子流量计;9—定-转子除尘器;
- 10—水箱;11—液体出口管

图 3 实验流程

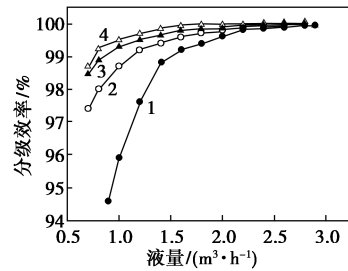
操作参数:转子转速 600~1 500 r/min;气量 200 m³/h;液量 0.5~2.0 m²/h;进口含尘量 3~50 g/m³;进口气体尘粒平均粒径 $d_{50}=2.55 \mu\text{m}$ 。

2.1 操作条件对除尘效果的影响

2.1.1 气液比的影响

在进气量 200 m³/h 的条件下调节喷淋液量,对定-转子除尘效果进行研究,由图 4 可见,气液比 (Q_g/Q_l) 对分级效率 EI 的影响是非常显著的,随气液比的减小,分级效率会明显上升,这是因为液体被离心力以及被定子阻挡破碎成细小的液滴。随着喷淋液量的增加,这些液滴并不是个个紧密靠在一起的,而是有一定的间距,于是可视为是许多个孤立捕集体的串联作用,这时随着单位体积内的液滴生成量的增加,总捕集效率不断地增加,从而提高了除

尘效率。

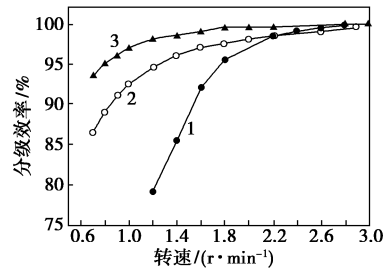


- 1— $Q_1=0.6 \text{ m}^3/\text{h}$;2— $Q_1=1.0 \text{ m}^3/\text{h}$;
- 3— $Q_1=1.2 \text{ m}^3/\text{h}$;4— $Q_1=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$

图 4 分级效率随液量 Q_l 的关系

2.1.2 转速 n 的影响

在进气量 200 m³/h,喷淋量 1 m³/h 的条件下,调节转速,对定-转子除尘效果进行研究。由图 5 可见,随着转速的提高,除尘效率在逐步升高,其原因基于以下几个方面:液体离心力的增加,液滴由于受到的冲击作用增强而被分散得更细小,相同体积液体的液滴总数增加了,所以转速提高有利于捕集效率的提高;含尘气体与液滴的气液接触界面越大,含尘气体在通道中曲折流动,气液接触界面增大,则尘粒接触的液体表面的机会越多,捕集效率越高。



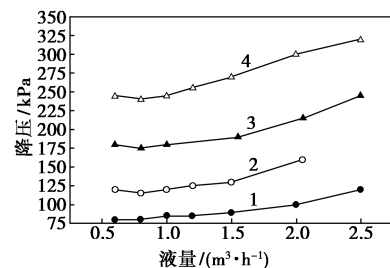
- 1— $n_1=600 \text{ r/min}$;2— $n_2=900 \text{ r/min}$;3— $n_3=1\ 200 \text{ r/min}$

图 5 分级效率随转速 n 的关系

2.2 操作条件对气体压降的影响

2.2.1 液量 Q_l 的影响

由图 6 可见,定-转子除尘器压降随液量的增



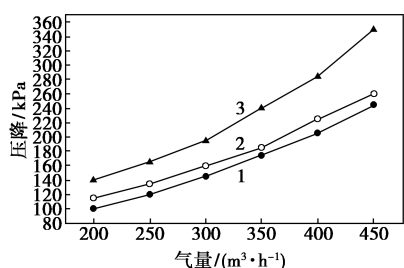
- 1— $Q_1=200 \text{ m}^3/\text{h}$;2— $Q_1=300 \text{ m}^3/\text{h}$;
- 3— $Q_1=400 \text{ m}^3/\text{h}$;4— $Q_1=500 \text{ m}^3/\text{h}$

图 6 压降随液量 Q_l 的变化关系

加都有一个逐渐下降然后又逐渐上升的过程,在气液比上存在一个极值点。这说明在一定的操作范围内设备压降的下降意味着能耗的降低。

2.2.2 气量 Q_g 的影响

从图 7 可以看出,压降随气量的变化是相当大的。这是因为,随着气量的增加,气流通过定子、转子的表观速度增高,而设备的压降与表观速度的平方呈正比,因此,气量增大则压降会明显增大。在喷液的情况下,气量增大带来的定-转子除尘器内气流速度的提高也会使液滴与气体的曳力增加,因而使气体压降增大。



1— $Q_l=0.8\text{ m}^3/\text{h}$; 2— $Q_l=0\text{ m}^3/\text{h}$; 3— $Q_l=2.0\text{ m}^3/\text{h}$

图 7 压降随气量 Q_g 的变化关系

3 工业试验研究

基于实验研究结果,天华院和北京化工大学联合设计、制作工业试验装置,在现场进行试验研究。

3.1 工艺流程描述

如图 8 所示,循环水池中的水经循环泵输送定-转子除尘器,对含尘气相进行除尘操作,含有粉尘的水靠重力自流回到循环水池(沉降池),经过沉降除渣,澄清液循环使用。

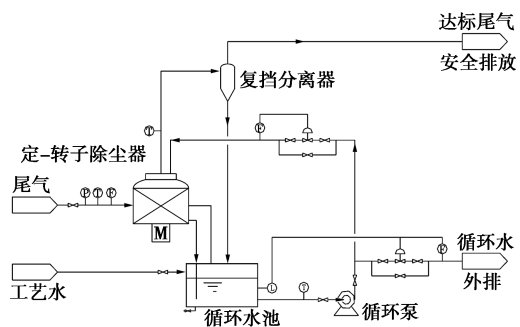


图 8 定-转子除尘工艺流程简图

操作过程中定-转子除尘循环水量要求控制在 $10\text{ m}^3/\text{h}$ 左右,采用流量调节阀控制。

3.2 工业实验结果

操作参数:转子转速 $1\ 500\text{ r}/\text{min}$,电机功率 15 kW ;气量 $2\ 000\text{ m}^3/\text{h}$;液量 $10\text{ m}^3/\text{h}$;进口含尘

量 $1\ 800\text{ mg}/\text{m}^3$;进口气体尘粒平均粒径 $d_{50} = 2.55\ \mu\text{m}$ 。

针对 FCC 喷雾尾气采用定-转子除尘器进行工业试验研究,主要考察喷淋水量、废气处理量对粉尘处理的情况,同时对工业新鲜水和沉淀池出来的碱性污水对比研究,考察装置的除尘效果,经过试验研究得出如下结论。

喷淋水量变化对除尘效果的影响见表 1、表 2。

表 1 喷淋水量变化对除尘效果的影响(沉降碱性污水)

序号	检测点	风量/ ($\text{m}^3 \cdot$ h^{-1})	喷淋水 量/($\text{m}^3 \cdot$ h^{-1})	温度/ $^{\circ}\text{C}$	粉尘/ ($\text{mg} \cdot$ m^{-3})	氯化氢/ ($\text{mg} \cdot$ m^{-3})
1	除尘设备入口	1622	10	90.30	943.00	6.17
	引风机出口	1453		37.83	20.07	3.91
2	除尘设备入口	1607	8	90.63	815.67	4.88
	引风机出口	1445		37.63	32.50	4.07
3	除尘设备入口	1633	5	91.70	759.67	5.53
	引风机出口	1465		34.37	43.07	4.11

表 2 喷淋水量变化对除尘效果的影响(工业水)

序号	检测点	风量/ ($\text{m}^3 \cdot$ h^{-1})	喷淋水 量/($\text{m}^3 \cdot$ h^{-1})	温度/ $^{\circ}\text{C}$	粉尘/ ($\text{mg} \cdot$ m^{-3})	氯化氢/ ($\text{mg} \cdot$ m^{-3})
1	除尘设备入口	1657	10	90.37	989.00	6.25
	引风机出口	1501		37.85	11.02	3.93
2	除尘设备入口	1629	8	91.52	897.57	6.13
	引风机出口	1489		35.62	18.62	3.92
3	除尘设备入口	1627	5	91.67	820.58	5.59
	引风机出口	1479		34.89	33.07	4.18

风量变化对除尘效果的影响见表 3、表 4。

表 3 风量变化对除尘效果的影响(沉降碱性污水)

序号	检测点	风量/ ($\text{m}^3 \cdot$ h^{-1})	喷淋水 量/($\text{m}^3 \cdot$ h^{-1})	温度/ $^{\circ}\text{C}$	粉尘/ ($\text{mg} \cdot$ m^{-3})	氯化氢/ ($\text{mg} \cdot$ m^{-3})
1	除尘设备入口	3009	10	139.0	939.5	6.56
	引风机出口	3523		58.6	50.9	3.67
2	除尘设备入口	2150	10	120.0	991.0	6.39
	引风机出口	2511		45.6	37.0	1.77
3	除尘设备入口	1151	10	113.0	997.0	5.68
	引风机出口	1028		44.3	22.0	1.64

表 4 风量变化对除尘效果的影响(工业水)

序号	检测点	风量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	喷淋水 量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	温度/ $^{\circ}\text{C}$	粉尘/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	氯化氢/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)
1	除尘设备入口	2933	10	137.0	945.5	6.54
	引风机出口	2747		57.3	12.2	3.35
2	除尘设备入口	2247	10	122.0	984.6	5.53
	引风机出口	2492		48.7	17.0	1.52
3	除尘设备入口	1331	10	113.0	981.3	5.46
	引风机出口	1267		45.2	11.0	1.22

4 结果与讨论

4.1 实验室结果

(1)定-转子除尘器是各种除尘设备中性能较好的一种^[4],在实验条件下对粉尘的捕集效率达99%以上,切割粒径范围在0.02~0.30 μm ,符合除尘装置排放气体中粉尘浓度的国标要求,设备压降不大于30 kPa,与电除尘相当。

(2)定-转子除尘器除尘效率与颗粒性质、操作气液、转子转速有关,随气液比、转速增大,除尘效果增大。

4.2 工业试验结果

(1)采用碱性污水除尘,在满足气液比不大于145.3的操作条件下(即操作条件1,沉降水10 m^3/h ,水经除渣后可循环使用),定-转子除尘后粉尘含量 $\leq 20 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。

(2)采用工业水除尘,在满足气液比不大于186.2的操作条件下,定-转子除尘后粉尘含量 $\leq 20 \text{ mg}/\text{m}^3$,满足环保要求。

(3)由于定-转子除尘器进口尾气为洗涤塔洗涤后的尾气,废气中的大部分HCl气体基本被去除,达到8 mg/m^3 以下,定-转子除尘器再对此进行深度脱除的效果已经不是很明显。

(4)装置除尘效率

现场试验研究结果表明,粉尘排放浓度均 $\leq 20 \text{ mg}/\text{m}^3$,HCl含量 $< 8 \text{ mg}/\text{m}^3$,由于检测采用重量法,因此检测的粉尘排放浓度是粉尘和盐的总和。除尘效果满足《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996),尾气中盐排放浓度 $\leq 20 \text{ mg}/\text{m}^3$,粉尘排放浓度 $\leq 20 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。

操作条件(1)除尘设备入口粉尘排放量均值1.36 kg/h ,引风机出口粉尘排放量均值0.039 kg/h ,除尘效率为97.1%。操作条件(4)除尘效率为99.1%。操作条件(5)除尘效率为98.6%。操作条件(6)除尘效率为97.8%。除尘效率达到了预期除尘效率95%~99%,完全可以满足本项目除尘的技术要求。

4.3 装置物耗

主要物耗为水,操作条件碱性污水除渣后循环使用,喷淋量比较大,电耗比较高;操作条件采用工业水除尘,除尘后的水循环使用,仍需要补充0.1~0.2 m^3/h ,用以置换,防止废水中粉尘累积,造成效果差,经综合计算建议采用操作条件碱性污水除渣后作为喷淋水使用。

4.4 装置能耗

主要能耗为定-转子除尘器电机电耗,定-转子除尘器配套电机功率为15 kW,在设计工况下实际功耗约为11 kW。就传统的洗涤塔洗涤装置而言,由于洗涤过程主要采用循环泵喷淋除尘工艺,主要功耗在循环泵的电耗,针对2000 m^3/h 除尘装置折算循环泵功耗在18.7 kW。定-转子除尘功耗为洗涤塔除尘功耗的58.9%,装置节能效果明显。

5 结论

针对FCC喷雾尾气采用传统的洗涤塔洗涤除尘工艺不达标的情况,采用定-转子除尘技术对FCC喷雾装置进行实验室小试和现场工业试验研究,研究结果表明,定-转子除尘器以除尘效率高、切割粒径小、设备体积小、操作费用低、操作弹性大等显著特点,实现了尾气排放达标即 $\leq 20 \text{ mg}/\text{m}^3$ 要求,且系统电耗为原来的58.9%,除尘效果明显能够满足目前FCC喷雾尾气达标排放的要求。

参考文献

- [1] 宋云华,初广文,陈建铭,等.定-转子反应器及其应用[J].CN,200410042631.6[P].2004-05-28.
- [2] 林海霞.定-转子反应器气液传质及压降特性研究[J].北京:北京化工大学,2007.
- [3] 杨晖,陈建铭,宋云华.超重力尿素湿法烟气脱硝技术的研究[J].化学工业,2015,39(1):12-16.
- [4] 初广文,宋云华,陈建铭,等.定-转子反应器制备纳米碳酸钙[J].化工进展,2005,24(5):545-548.■