

大型填料塔技术及其工业应用

胡 晖^{1,2}, 徐世民², 李鑫钢^{1,2}

(1. 天津大学化工学院, 天津 300072; 2. 天津大学精馏技术国家工程研究中心, 天津 300072)

摘要:指出了填料塔技术大型化存在的主要问题,介绍了由天津大学开发的、应用在大型填料塔中的新型填料(双向波纹填料)和槽盘式气液分布器、环流式进气初始分布器等塔内件的结构,以及大型填料塔技术的成功工业应用实例。

关键词:大型填料塔;规整填料;液体分布器;气体分布器;支承结构

中图分类号:TQ051.8

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2005)07-0053-03

Large-scale packed column technology and its industrial application

HU Hui^{1,2}, XU Shi-min², LI Xin-gang^{1,2}

(1. School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. National Engineering Research Center for Distillation Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The primary problems existing in industrializing pack columns are pointed out, the new structured packing (double-direction ripple packing) and column-inner-parts such as tank-disc liquid distributor and annular flow-typed air inlet distributor developed by Tianjin University are introduced in details with emphasis on the successful applications of large-scale packed column in industry.

Key words: large-scale packed column; structured packing; liquid distributor; gas distributor; supporting structure

近 10 年来,蒸馏装置的发展趋势是现代填料塔逐步取代传统填料塔,且部分取代大型板式塔。大型填料塔共有五大关键部件:高效填料、液体分布器、气体分布器、进气初始分布器和支承结构。填料塔的直径增大以后,其效率就会下降,产生所谓的“放大效应”,填料塔大型化的难点在于如何解决好放大效应问题以及长周期运转的堵塞问题。目前填料塔技术大型化存在的问题主要有:①大型化发展带来的气液分布、流体力学、传质、传热等工程问题;②长周期运转中的设备堵塞结焦问题;③围绕大型和超大型塔器中新型填料、气液分布器、支承梁的开发和应用。笔者将介绍天津大学精馏技术国家工程研究中心开发的大型填料塔技术及其应用情况。

1 研究现状

天津大学精馏技术国家工程研究中心在开发成功新型高效波纹填料的基础上,将化工热力学、现代传质理论、计算流体力学和流程模拟技术等基础理论的研究成果用于解决填料塔大型化问题上,在装置大型化方面取得了重大技术突破,某些技术已达到国际先进水平。1998 年,由天津大学负责设计制造的中国石化茂名石化股份有限公司(简称茂名石化)500 万 t/a 原油常减压蒸馏装置润滑油减压塔

(直径为 8.4 m),其技术、设备全部国产化,是当时国内塔径最大的润滑油规整填料/塔盘复合塔,其一次投产成功标志着我国在化工分离工程领域塔器技术研究、设计和应用方面已达到国际先进水平。2002 年 8 月,天津大学精馏技术国家工程研究中心又成功研制了目前国内直径最大的填料塔——中国石化上海高桥石化股份有限公司(简称高桥石化)800 万 t/a 润滑油型减压塔(直径为 10.2 m)。表 1 为大型减压蒸馏塔在中国石化茂名石化、高桥石化、齐鲁石化股份有限公司(简称齐鲁石化)、上海石化股份有限公司(简称上海石化)和镇海炼化化工股份有限公司(简称镇海炼化)的应用实例。

表 1 大型减压蒸馏塔应用实例

企业(年份)	规模/ 万 t·a ⁻¹	直径/ m	采用技术
茂名石化(1998 年)	500	8.4	新型填料,导液盘式液体分布器,气体分布器
高桥石化(2002 年)	800	10.2	新型填料,导液盘式液体分布器,气体分布器,桁架梁
齐鲁石化(2003 年)	600	7.4	新型填料,导液盘式液体分布器,气体分布器
上海石化(2004 年)	800	9.0	新型填料,导液盘式液体分布器,气体分布器,桁架梁
镇海炼化(2004 年)	600	6.4	新型填料,导液盘式液体分布器,气体分布器,桁架梁

收稿日期:2005-02-01;修回日期:2005-04-22

作者简介:胡晖(1975-),男,博士后,主要从事化工分离工程及天然产物分离工程方面的研究,022-27404701,87401876-8013, huihui@eyou.com, huihui@tom.com;李鑫钢(1961-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为传质与分离和环境工程,022-27404701, Lxg@tju.edu.cn。

2 新型高效规整填料和塔内件

2.1 规整填料

规整填料是一种在塔内按均匀几何图形排列、整齐堆砌的填料。规整填料的特点是规定了气、液流径,改善了填料层内的气、液分布状况,在很低的压降下可以提供更多的比表面积,使得处理能力和传质性能均得到较大程度的提高。

天津大学精馏技术国家工程研究中心在天津大学已有高效填料的基础上,开发出新型高效波纹填料——双向波纹填料(图 1)。它是在金属孔板波纹填料和 Intalox 散堆填料基础上开发的新一代规整填料,兼有金属孔板波纹填料和 Intalox 散堆填料的优点。其结构特点是在波纹填料的楞线上按一定间距冲有反向波纹,每一波纹片上形成方向相反、大小不同的波纹组装成填料盘。由于板片上不冲孔,而是开有反向波纹环,因此它比孔板波纹填料表面积增加 8%~12%,纵向开孔率却比后者大大提高,约为 40%。该种填料的特点是传质比表面积大,气、液流路得到优化,横向扩散能力强。另外,在抗堵塞能力、刚度、压力降及通过能力方面都大大优于金属孔板波纹填料。该新型填料目前已经成功应用于多座大型填料塔,如国内目前最大的塔器——高桥石化润滑油减压塔。

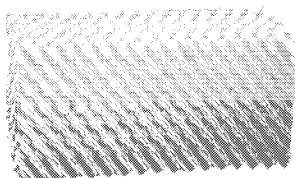


图 1 双向波纹填料结构示意图

2.2 液体分布器

填料塔的传质过程要求塔内任一截面上气、液两相流体能均匀分布,从而实现密切接触、高效传质,其中液体的初始分布至关重要。国内外研究表明,填料塔直径对填料性能的影响很小,填料床层上液体的初始分布是影响填料效率发挥的关键因素。

槽式液体分布器是工业中最常用的液体分布器,属于重力型液体分布器,比较易于达到液体的均匀分布及稳定操作等要求,尤其适用于高液体负荷下的填料塔。根据液体分配次数可以将其分成一级、二级和多级槽式液体分布器。多级槽式液体分布器在大型填料塔中应用很广,目前多采用带垂直

布液板的线分布型结构,按其支承方式可分为 3 种:压圈托槽式、悬槽式、埋藏梁托槽式。其中悬槽式液体分布器因其喷淋孔的水平度不受填料床层变化的影响,目前国内外应用范围较广;埋藏梁托槽式液体分布器的主要结构特征在于“埋藏梁”,云梯梁就位后,填料、填料压圈、二级槽、一级槽再依次就位,这种结构可保证分布器的水平度一劳永逸。

槽盘式气液分布器是盘式液体分布器的发展,并具有槽式液体分布器的某些优点。槽盘式气液分布器由 5 部分组成:矩形升气管、V 形挡液板、特制导液管、铺板和连接件。它有 3 种基本结构:全可拆式、局部可拆式和全焊接式,与盘式分布器的主要差别在于:上大下小的 2 排小孔分别开在矩形升气管的上部和中部,靠特制的导液管将液体导入填料表面的低气速区。该分布器的主要特点在于增设了防护屏和自动排污系统,抗堵塞能力更强,可同时起到集液、气体分布、液体分布和侧线采出的功能。

槽盘式气液分布器结构如图 2 所示。

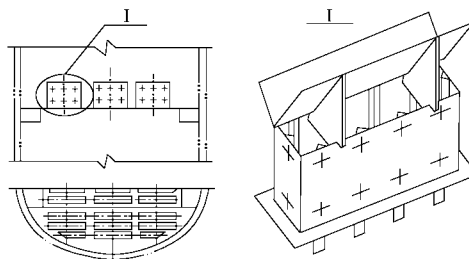


图 2 槽盘式气液分布器结构示意图

2.3 气体分布器

目前,常用的进气分布器类型有多孔直管式、直管挡板式、切向号角式、单切向环流式、双列叶片式、双切向环流式和轴径向式。其中双切向环流分布器综合性能颇为优良,多用于大型填料塔,主要由顶板、入口导流板、弧形导流板、内套筒和外套筒(塔壁)组成。弧形通道、弧形导流板、塔底空间和分布器上方均布空间的共同作用使进料气体在塔内均匀分布。

天津大学化学工程研究所在计算机三维设计和流体力学计算的基础上设计了带导流器和捕液吸能器的新型双切向环流式进气初始分布器(图 3)。其特点是改进了导流板的结构,多层倒锥式导流器使气流分布更均匀;捕液吸能器由栅板式框架与捕液填料所组成,其作用在于防止下部液体被气流搅起而产生严重的液沫夹带。

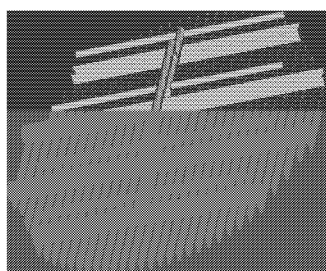


图3 双切向环流式进气初始分布器三维设计图

2.4 支承结构

填料支承装置的作用是支承塔内填料床层。对填料支承装置的要求是:①应具有足够的强度和刚度;②应具有大于填料层空隙率的开孔率,防止在此发生液泛;③结构要合理,利于气、液两相均匀分布,阻力小,便于拆装。

大型塔支承梁的设计好坏对填料及塔板效率影响很大。天津大学精馏技术国家工程研究中心和北洋精馏公司借用铁路桥梁桁架的设计原理,开发出独具特色的填料塔支承结构——桁架支承梁,它具有强度高、挠度小、透气性好等优点。桁架支承梁中间可以穿行,可利用空间高度大大降低,从而降低了全塔高度;同时桁架支承梁改善了大支承梁造成的气流旋流、冲击而影响塔板及填料性能发挥的缺点。桁架梁与普通工字钢梁相比,可使气体实现横向混合,减少气相流动阻力,同时可减少金属质量。

3 工业应用

上海高桥石化公司润滑油减压塔是目前国内最大的塔器,在该塔器中,塔内填料采用新型双向波纹填料;液体分布器设计采用全连通式一级槽式导流板,使液体分布更均匀;并且增设具有抗堵塞性能的新结构;采用加设规整填料的埋藏云梯梁支承分布槽结构,这样既保证了大直径、低床层的填料塔对分布器的液体多点分布均匀的要求,也有效地利用了有限的空间高度;支承梁采用独具特色的优良桁架梁。装置一次投产成功,各项技术指标见表2~表5。

表2 物料平衡

	塔顶	侧线1	侧线2	侧线3
原油流量/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$	7.20	15.38	49.71	76.67
原油质量分数/%	0.74	1.58	5.03	7.86
	侧线4	侧线5	侧线6	塔底
原油流量/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$	43.54	48.33	25.17	242.13
原油质量分数/%	4.46	4.95	2.58	24.81

表3 主要的质量指标

	密度(20℃)/ $\text{g}\cdot\text{mm}^{-3}$	黏度/ $\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$			碳残留量(质 量分数)/%
		50℃	80℃	100℃	
侧线1	0.8697	4.48	2.49		
侧线2	0.8813	11.43	5.07		
侧线3	0.8930		8.87	5.37	
侧线4	0.9070		15.93	9.40	< 0.1
侧线5	0.9133		24.84	11.46	0.4
侧线6	0.9263		55.70	26.69	3.0
残渣	0.9920			431.60	

表4 主要的质量指标(低负荷)

	密度(20℃)/ $\text{g}\cdot\text{mm}^{-3}$	黏度/ $\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$		碳残留量(质 量分数)/%
		50℃	100℃	
侧线1	0.8584			
侧线2	0.8658	8.83		
侧线3	0.8808	20.97		< 0.1
侧线4	0.8982		9.46	< 0.1
侧线5	0.9020		12.37	0.2
侧线6	0.9077		16.48	0.6
残渣	0.9581		217.80	13.4

表5 主要产品馏程

	产品馏程/K								
	初馏点	2%	10%	30%	50%	70%	90%	97%	终馏点
侧线1	292		298		308		321		331
侧线2		346	355	260	366	370	380	387	
侧线3		375	391	404	412	419	431	437	
侧线4		408	429	443	453	468	481	491	
侧线5		416	450	463	470	479	492	510	

4 结论

(1)如何解决好放大效应问题是填料塔大型化的核心问题。“规整填料在没有气、液分布不良现象的条件下,几乎没有放大效应”已成共识。

(2)双向波纹填料的成功开发和基础理论研究的成果使填料塔大型化技术取得重大突破。大型塔器的开发呈现现代规整填料塔逐步取代大型板式塔的趋势。

(3)新型规整填料、液体分布器、气体分布器、进气初始分布器和支承结构的开发和优化组合,是设计出高效塔器的保证。

(4)将最新的计算机模拟技术和计算流体力学的最新成果应用于塔设备的开发,可以大大加快研发的速度和效率。■