

不同类型过滤器在含催化剂加氢 还原液固液分离中应用及经济性分析

薛志磊 (南京圣卡孚科技有限公司, 江苏 南京 211800)

摘要: 加氢反应为常见的化工还原反应之一, 为提高反应速度产品转化率, 一般需要配合载氢的金属催化剂做催化助力。伴随着产品还原液的催化剂的在线回收利用将影响产品纯度或者后续工段的稳定进行, 同时催化剂的回用率将直接关系到产品的单耗成本。因此, 选择合适的催化剂分离工艺及可靠的分离设备成为一线工程师的直面难题。过滤做为最为常见的分离设备, 分析清楚各种过滤器的优缺点将极大提高分离工段的生产效率。

关键词: 催化剂; 过滤; 金属颗粒; 滤芯; 成本; 效率; 经济性

在精细化工生产过程中, 加氢还原反应是最常见的反应之一。一般的加氢还原反应往往都需要借助特定的催化剂来提高反应速率和产品转化率。常见的催化剂包括雷尼镍催化剂、钨碳催化剂、钌基纳米催化剂等。这类催化剂基本以贵金属微细分体为催化剂主体, 以活性炭或硅藻土等做为载体, 利用贵金属极强的吸收氢气能力进而提高还原反应的速率。在反应完成后, 失活催化剂需及时从物料体系中分离出来, 其目的一是需要确保反应后目标产品的纯度, 二是需避免失活催化剂残留在体系中造成副产物的增加。根据各工况条件不同, 有些工艺需多种分离工艺串联耦合使用, 有些场合单一分离设备即可达到使用需求。本文将重点介绍不同形式的过滤器和各类类型的功能材料在催化剂分离过滤领域的使用优劣对比。

1 盲端过滤器特点及类型介绍

盲端过滤是指流体流动方向与过滤方向一致的一种过滤形式, 其特点包括:

①工艺原理较为简单, 配套的泵阀仪表较少, 工艺参数单一, 自控要求低; ②单体设备结构简单可靠, 安装、维护、检修容易, 用户能较快掌握操作要领; ③不同结构形式, 不同滤芯材料的变体较多; ④过滤精度可以依靠滤芯的绝对精度来确保目标截留物无穿漏。也可以利用截留物形式滤饼层来保证滤清液的最终出液质量。

1.1 袋式滤芯过滤器特点

袋式滤芯主要由滤袋、支撑龙骨、安装及密封结构三大部分组成。滤袋常用材质为各型有机高分子材料。在催化剂分离领域, 因催化剂及载体颗粒较细(粒

径一般在 0.1-10 μm 分布), 且还原液一般为有机溶剂体系。滤袋材料又因精度层的不同可分为单一精度层和复合精度层。对称精度材料组分单一, 耐受性较好, 滤材绝对精度值较稳定。在使用过程中压差较大, 污染后恢复再生较难。非对称精度材料一般要两种以上材料以热复合、胶黏、喷涂等方式形成材料表面精度。非对称精度材料过滤压差较小, 不会出现深层污染, 较容易实现在线清洗再生。非对称精度材料也存在加工工艺复杂、材料种类较多、各材料层间易出现剥落、精度层易被损伤等缺点。在具体选用材料过程时, 使用者应考虑到自身催化加氢的工艺特点来选择合适材料。主要从稳定性、安全性、经济性、便捷性等几个出发点考虑。

1.2 烧结滤芯过滤器

烧结材料滤芯主要由滤芯主体及安装及密封结构组成。烧结滤芯一般指由原材料粉体经铸模定型、高温烧制而成的烧结材料。除选用特定的原材料粉体外, 有时烧制过程中也需要添加一定的添加剂, 主要起到辅助烧结、微孔成型等作用。烧结滤芯按常见材料分为金属烧结滤芯、无机材料烧结滤芯及有机高分子烧结滤芯。

1.2.1 金属粉体烧结滤芯

常见金属粉末烧结滤芯包括钛合金、S31603、蒙乃尔合金及哈氏合金等。金属滤芯一般都能耐受各型有机溶剂, 选用不同的材质主要考虑到耐酸碱性能。根据过滤方式的不同, 金属滤芯可按照使用要求在脱模加工时做成内光型和外光型。光滑面正对着流体过来的方向, 主要作用是便于截留颗粒物的吹脱。粉末

烧结滤芯的精度与金属粉体粒径关系较大，目前常规精度在 $1\text{--}10\mu\text{m}$ 。不同的脱模工艺造成表面粗糙度不同也会影响到催化剂吹脱效果。

金属烧结滤芯中还有一类金属网烧结滤芯，其成型原理与粉末烧结有所区别。利用不同精度的金属编织丝网复合堆叠，经过高温高压烧制成为整体。再卷制成用户需要的管状滤芯。丝网烧结滤芯的精度来自于原始丝网，一般与金属丝径成对应比例关系，常规精度在 $5\text{--}15\mu\text{m}$ 范围。另外金属丝网烧结滤芯为非对称精度滤芯，在特定的易污染场合有独特的效用。

1.2.2 无机材料烧结滤芯

无机材料烧结滤芯主要包括陶瓷烧结滤芯及碳化硅烧结滤芯。此两种材料在一般溶剂耐受性、抗氧化性等相差不大。陶瓷滤芯因主要材料为 Al_2O_3 和 SiO_2 ，在耐受高浓度酸及耐碱性上要弱于碳化硅材料。无机烧结滤芯一般为保证滤管强度，材料烧结厚度一般在 10mm 以上。无机材料烧结滤芯过滤精度在 $1\text{--}20\mu\text{m}$ 均有使用。

1.2.3 有机高分子烧结滤芯

有机材料烧结滤芯材质主要由PE、PP、PTFE等高分子材料烧制而成。其材料化学性质与同材质的滤袋基本相同。但因成型结构的不同，有机高分子烧结滤芯的安装使用特点更类似于金属烧结滤芯。但高分子滤芯也有部分局限性，如耐高温性能偏弱、在线反冲再生清洗再生效果差。目前常见高分子烧结滤芯精度在 $5\text{--}20\mu\text{m}$ 范围。

盲端过滤器特点如前文所介绍，根据不同生产体系介质体系和催化剂组分的不同，选取对应合适材质的滤芯。盲端过滤器配套加氢反应时一般为间歇加氢工艺，每批次的加氢还原液需在固定时间内过滤处理完成，清液去下一工段，催化剂一般返回加氢釜继续套用。在一定周期催化剂失活后，需将催化剂排出系统。盲端过滤器中一种快开式烛式过滤器可以将催化剂粉体已滤渣形式排出，极方便催化剂的回收包装。

2 错流过滤器特点及类型介绍

错流过滤是指流体流动方向与过滤方向垂直的一种过滤形式，其特点包括：

①流体流动方向与滤清液滤出方向垂直，催化剂滤饼层不易在过滤层表面富集；②过滤精度为滤芯本身精度，精度高，不容易造成深层次污染；③开停机及在线反冲需借助自控程序操作方便；④需要一定的在线循环体积，且最终截留物催化剂需以浓浆形式排

出系统；⑤整体系统连续运行能力强，配合连续加氢反应，全工艺连贯性较好。

错流过滤器中滤芯未无机膜滤芯，其主要指无机陶瓷膜滤芯和碳化硅膜滤芯。两种材质膜管使用工艺及设备安装结构基本相同，按体系中耐受酸碱度不同综合考虑最终使用哪种材质滤芯。无机膜滤芯一般制成多孔道膜管，包括7孔、19孔、37孔等。单孔道膜管因有效过滤面积低、残留量大在催化剂分离工艺中很少利用。

因错流过滤器常配套连续加氢反应系统使用，整个系统的连贯性较高，其常见流程如图1所示：

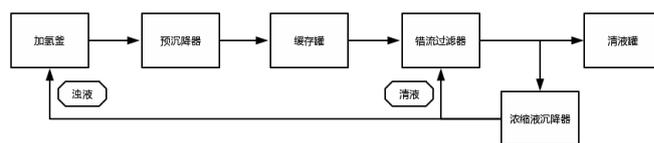


图1 错流过滤一般流程

全系统密闭连续运行，一般为保证原料不被氧化形成副产物，全系统往往在氢气保护下运行。系统内催化剂可整批置换采出，也可保持装置内催化剂恒浓度将破碎失活的催化剂连续采出。

3 加氢反应中催化剂应用特点

加氢反应为常见的还原反应之一，其反应条件及催化剂应用特点如下：

①加氢反应温度一般较高，较多工况反应时温度高于溶剂沸点；②反应压力较高，在反应过程中基本维持较高压力以避免溶剂闪蒸爆沸；③氢气还原环境，硬件安全要求较高，如防爆等级CT4以上，且现场严禁静电产生；④催化剂一般为活性金属如镍、钨，甚至于用到贵金属。也有使用金属氧化物或硫化物做催化剂，本文不再赘述。金属微粒一般负载在硅藻土或炭载体上以充分发挥出比表面积大的优势，也有做成骨架形式形成同样效果。

加氢催化剂一般原始粒径在 $60\text{--}300$ 目不等，但在循环套用过程中会出现原始颗粒的崩解，最后形成微米级甚至亚微米级细粉。催化剂金属粉体颗粒不会因为形态的变化而有活性变化，但更细的粉体会使得催化剂失去较多的比表面积，进而失去载氢能力。同时随着反应的进行，伴生的各类副反应会产生各种不溶于主溶剂的焦油类副产。这些副产焦油很容易包裹在微米级细粉上从而使整个催化剂颗粒失去活性。

因此，目前主流的无论间歇加氢还是连续加氢在

保证产品转化率的前提下,首要考虑的问题就是降低产品催化剂单耗,且在工艺上能较为顺利的淘汰失活废催化剂。

上述两点又是相辅相成的,一旦废催化剂不能及时高效排出,很容易导致副产增多、催化剂整批淘汰、有效还原物产品损失太多等一系列连锁工况。

反应后的还原物体系往往具有以下特点:高温、高固含、溶剂流动性差、固体粒径分布宽泛、特殊产品需要隔绝水和空气等。因此,很难有一套标准工艺能完全百分百适用于所有工况。在充分分析对比各自加氢反应的条件,并做好相应的预处理并明确最终催化剂处理方式后,选用合适的过滤设备就显得尤为关键。

4 不同形式过滤器滤芯的应用性能对比

通过对上述不同类型、不同材质过滤器的结构原理、使用形式的对比,再结合加氢还原反应体系中的特点,将各种滤芯性能优劣做对比分析见表1:

表1 各种滤芯性能优劣对比分析表

过滤形式	结构特点	材料分类	优点	缺点
盲端过滤器	袋式滤芯	对称精度滤袋	易加工成型,材料单一耐受性好	易造成催化剂细粉体深层污染,不易再生
		非对称精度滤袋	表层有绝对精度,不易深层污染,易清洗再生	材料加工复杂,会出现分层剥落
	烧结滤芯	金属烧结	对溶剂耐受性较好,耐温性能较好,强度可靠	在特殊酸性条件下腐蚀较严重
		无机材料烧结	耐溶剂耐酸性能较好	耐碱性较差,对温度变化较敏感
		有机高分子烧结	可选择出耐酸碱都较好的材料	耐温性烧差,污染后不易再生,滤饼层较厚
	错流过滤器	陶瓷膜管	应用范围广,高精度膜层,几乎能截留所有类型催化剂颗粒	耐碱性稍差,对温度变化较敏感
碳化硅膜管		耐酸碱性能优异,能适应各型介质	精度范围有限,成本较高	

5 经济性对比

做为一般生产经营企业而言,无论是主反应单元还是分离精制单元,各类能源消耗及材料损耗都是产品单耗的主要组成部分。过滤器的滤芯无论什么材料、形式、更换周期长短,企业都是当做易耗品来考量。因此在确保工艺可行的前提下,催化剂分离装置的整体性价比就尤为重要。

表2中就各型滤芯的一般应用场合及成本优势做简单对比,以便综合考量滤芯选用。

表2 各型滤芯的一般应用场合及成本优势对比

过滤形式	结构特点	材料分类	寿命周期	更换成本	配套及其他
盲端过滤器	袋式滤芯	对称精度滤袋	0.5-1年	较低 < 200¥/m ² (四氟材质除外),支撑体成本另算	简单
		非对称精度滤袋	0.5-1年	低 < 100¥/m ² ,支撑体成本另算	简单
	烧结滤芯	金属烧结	1-2年	高 > 3000¥/m ²	简单
		无机材料烧结	1-2年	较高 > 2000¥/m ²	简单
		有机高分子烧结	0.5-1.5年	较低 < 400¥/m ²	简单
	错流过滤器	陶瓷膜管	1-2年	高 > 2000¥/m ²	复杂
碳化硅膜管		1-2年	很高 > 5000¥/m ²	复杂	

注:表2中滤芯使用寿命及跟换成本只是按最常见材料和结构形式做泛泛统计,以便给非行业内人士提供大致的成本概念。并不能做为实际比价参考,在滤芯、过滤器及整体分离单元的造价核算中,要综合考量壳体材质、滤芯材质、密封结构、备台关系、配套泵阀罐组、占地空间、自动化程度等等各类因素,影响实际投入成本的因素要远复杂的多,本文不再展开过多描述。

6 结语

在实际生产中还需综合考虑体系安全温度、加氢反应压力、催化剂的活性及还原液后续处理方式等各种因素。设计及使用者必须充分考虑所选工艺及设备的安全性、稳定性、经济性及可操作性,这样才能为加氢反应效能的提高起到有效助益的作用。

参考文献:

- [1] 杨贝文.一种可在线更换滤芯的自清洗过滤器[J].内江科技,2012.
- [2] 聂新山.高效网式过滤器的试验研究与特点分析[J].新疆水利,2011.
- [3] 高云龙.实时不间断自清洗过滤器的设计[J].机电信息,2012.
- [4] 石乔.基于催化过滤技术的废弃脱硝催化剂资源化利用实验研究[J].工程科技I辑,2022.
- [5] 金珊.陶瓷膜分离对氨基苯酚生产中镍催化剂的研究[J].工程科技I辑,2006.

作者简介:

薛志磊(1987-),男,江苏扬州人,大学本科,助理工程师,主要研究方向:化工设备。