

# 粉末涂料用聚酯树脂精馏柱填料应用研究

罗逸<sup>1,2</sup>, 梁宝荣<sup>1,2</sup>, 程润<sup>1,2</sup>, 张海松<sup>1</sup>, 高浩然<sup>1</sup>, 王海华<sup>1</sup>

(1.擎天材料科技有限公司,广东 东莞 523000; 2.中国电器科学研究院股份有限公司,广州 510300)

**摘要:** 主要通过对比不同结构、不同比表面积的填料在生产线上的应用数据,利用 PRO/II、Aspen Plus 等模拟软件进行模拟,讨论了填料对酯化反应速度、分离程度等的影响,并通过调整上下填料装填角度找到相对最优、最耐用的填料装填方式。

**关键词:** 填料; 比表面积; 持液量

中图分类号: TQ630.6

文献标志码: A

文章编号: 1007-9548(2025)04-0001-04

## Study on Application of Polyester Resin Filler for Powder Coatings

LUO Yi<sup>1,2</sup>, LIANG Bao-rong<sup>1,2</sup>, CHENG Run<sup>1,2</sup>, ZHANG Hai-song<sup>1</sup>, GAO Hao-ran<sup>1</sup>, WANG Hai-hua<sup>1</sup>

(1.Kinte Material Science And Technology Co., Ltd., Dongguan 523000, Guangdong, China;

2.China Electric Apparatus Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** By comparing the application datas of different fillers structures and different specific surface area fillers on the production line, and simulates by using PRO/II, Aspen Plus and other simulation software, the effects of fillers on the reaction rate and separation degree were discussed, and the best and most durable fillers packing method was found by adjusting the fillers angle.

**Key words:** fillers; specific surface area; liquid holding capacity

## 0 引言

粉末涂料具备经济、环保、高效和性能卓越等优点,而聚酯树脂占粉末涂料配方相当大的比例,对涂料的性能起到关键的作用。聚酯树脂是通过多元醇与多元酸缩聚脱水而成,精馏柱在脱水过程起到传质、传热和重、轻组分分离重要作用,推动反应正向移动,探索其在不同填料结构下的分离效果影响,优化其结构和工艺参数,有利于产品质量稳定,生产效率提高。

使用电子计算机来描述整个化工生产过程就是化工过程模拟,并通过电子计算来获得化工过程性能的信息。Aspen Plus (Advanced System for Process Engineering) 是目前国内外化工模拟中较为常见的标准大型流程模拟软件之一<sup>[1]</sup>,在工厂设计、可行性研究、工艺方案比较、老装置改造和操作人员的培训等领域

PRO/II 应用较多,本文利用国际公认的 PRO/II、Aspen Plus 等模拟软件进行模拟和优化,旨在聚酯树脂反应釜精馏柱填料选择和装填方式上提供一定的参考依据。

由于考虑成本、资源等因素,目前普遍出现工厂具备聚酯树脂生产条件,但缺少化工模拟资源和容错成本空间的情况,或者具备模拟条件的研发机构却又缺少生产的条件,本文把两者较好地结合在一起,把化工模拟在工业化中进行实践。

## 1 模拟部分

### 1.1 热力学选择

人们提出了许多数学模型、经验方程式、混合规则对物系的物性进行估算,但至今未提出一个通用的计算方法,热力学模型针对不同物系呈现多样化的现状,对于间歇反应精馏而言,由于整个过程都为非稳态过程<sup>[2]</sup>,因此物质的质量、物系的组分含量、理论板数等都在变化,性质时刻都在改变,热力学方法理论的研究表明,NRTL、UNIQUAC 和 WILSON 3 种活度系数模型

收稿日期: 2024-06-30

作者简介: 罗逸(1989—),男,本科,助理工程师,主要从事粉末涂料用聚酯树脂研究工作。E-mail:luoyi@cei1958.com。

均应用于该体系, NRTL 模型计算更易收敛<sup>[2]</sup>。

### 1.2 精馏柱填料

化工行业常见的填料有鲍尔环、塑料填料、陶瓷填料、金属丝网填料、鞍形填料等。

鲍尔环气流阻力小, 液体分布均匀, 具有通量大、阻力小、分离效率高及操作弹性大等优点, 本文采用直径为 50 mm 金属鲍尔环, 其比表面积为 134 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 空隙率为 0.949%。

金属丝网波纹填料是由金属丝网制成, 优点是压降低、分离效率高, 为难分离物质、沸点接近物质提供有效分离手段, 具体特性参数如表 1 所列。

表 1 金属丝网填料特性

型号	理论塔板/ m	比表面积 <sup>①</sup> / (m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup> )	孔隙率/ %	压力降/ (Pa·m <sup>-1</sup> )
CY700	8~10	700	87	460
CY500	5~6	500	95	200

注: ①比表面积指单位体积填料的总表面积。

### 1.3 试验方法

方法: 将高度相同、比表面积不同的填料安装到精馏柱上, 分别将多元醇、多元酸和催化剂按照配方量投入反应釜进行搅拌, 并通以氮气保护, 根据设定的工艺: 阶段 1 是投完料~180 °C 快速升温, 阶段 2 是 180~190 °C 慢速升温, 阶段 3 是 190~200 °C 慢速升温, 阶段 4 是 200~210 °C 慢速升温, 阶段 5 是 210~220 °C 慢速升温, 阶段 6 是 220 °C~保温快速升温, 加热至保温后恒温, 反应至取样清晰, 收集得到每个反应阶段的出水量等数据, 接着依次改变填料装填方式, 再收集相关数据。

模拟: 建模后, 将生产数据与模拟数据进行可靠性比对, 运用模拟软件得出精馏柱填料持液量等相关数据, 分析不同填料结构和填料装填方式对聚酯树脂反应速度和分离程度等方面的影响。

## 2 结果与讨论

### 2.1 CY500 填料(上下 90°)实际和模拟数据对比

CY500 不同反应阶段数据如表 2 所列。

表 2 CY500 不同反应阶段数据

项目	温度/°C					
	投完料~180	180~190	190~200	200~210	210~220	220~保温
时间/min	120	40	100	90	90	220
阶段实际出水量/kg	1 400	400	1 084	872	786	1 358
阶段模拟出水量/kg	1 398	399	1 088	876	787	1 353
出水量相差/kg	-2	-1	4	4	1	-5
出水总量相对误差/%	0.1	0.3	0.4	0.5	0.1	0.4
持液量 <sup>①</sup> /kg	4.224~4.267	4.724~4.796	4.722~4.809	4.722~4.887	4.722~5.250	4.040~4.076
分离程度(醇量)/kg	1.953	0.249	0.928	0.853	0.891	0

注: ①持液量指单位体积填料含有的液体质量, 分离程度指的是在特定阶段下酯化水里含醇质量, 下同。

由表 2 可知, 在总体模拟升温阶段时间基本一致的前提下, 模拟的批次出水量总体相对误差不大于±0.5%, 得到比较贴近实际生产数据模拟结果, 精馏

系统整体分离程度较为理想, 符合正常生产要求。

### 2.2 CY700 填料(上下 90°)实际和模拟数据对比

CY700 填料不同反应阶段数据如表 3 所列。

表 3 CY700 填料不同反应阶段数据

项目	温度/°C					
	投完料~180	180~190	190~200	200~210	210~220	220~保温
时间/min	113	45	75	90	75	170
阶段实际出水量/kg	1 524	264	1 050	830	932	1 300
阶段模拟出水量/kg	1 531	267	1 052	831	936	1 304
出水量相差/kg	7	3	2	1	4	4
出水总量相对误差/%	0.5	1.1	0.2	0.1	0.4	0.3
持液量/kg	5.555~5.607	4.724~4.796	5.566~5.676	5.564~5.742	5.069~5.495	5.450~5.520
分离程度(醇量)/kg	1.519	0.021	1.360	0.929	0	0

由表3可知,在总体模拟升温阶段时间基本一致的情况下,模拟的批次出水量总体相对误差也较小,得到比较贴近实际生产数据模拟结果,符合正常生产

要求。

### 2.3 $\phi 50$ 鲍尔环填料实际和模拟数据对比

$\phi 50$  鲍尔环不同反应阶段数据如表4所列。

表4  $\phi 50$  鲍尔环不同反应阶段数据

项目	温度/℃					
	投完料~180	180~190	190~200	200~210	210~220	220~保温
时间/min	113	75	75	105	90	222
阶段实际出水量/kg	1 500	500	948	776	708	1 504
阶段模拟出水量/kg	1 505	515	943	777	710	1 510
出水量相差/kg	5	15	-5	1	2	6
出水总量相对误差/%	0.3	2.9	0.5	0.1	0.3	0.4
持液量/kg	6.452~6.529	7.557~7.655	7.512~7.670	7.522~7.810	7.483~8.219	6.777~8.657
分离程度(醇量)/kg	2.310	0.313	1.434	0.728	0.541	0

对比表2~4数据可明显看到,持液量 $\phi 50$  鲍尔环>CY700 丝网填料>CY500 丝网填料,持液量高峰同样集中在190~200℃、200~210℃以及210~220℃,均是呈现先增加后减少的趋势。金属丝网填料持液量相比金属鲍尔环填料持液量在酯化过程波动较小,可能是由于金属丝网填料比较立体和规则,回流液分布比鲍尔环填料回流液均匀,鲍尔环填料堆砌过程无规则,相对容易产生沟流等情况导致。

对比3种填料的分离程度中跑醇数据,跑醇总量 $\phi 50$  鲍尔环>CY500 丝网填料>CY700 丝网填料,跑醇量最多的阶段为投完料~180℃,此时反应基本未开始,醇单体是最多的一个阶段,当温度达到水沸点100℃以上时,醇单体极易混在原材料水中跑出,因此控制该阶段的升温速度和柱顶温度尤其重要;跑醇量次多的阶段为190~200℃,该阶段醇单体含量也很高,属于反应最剧烈的阶段之一,也极易跑醇;当反应到一定程度,尤其是220℃后,醇单体逐渐反应成半聚体,基本不会跑醇,在生产过程中,针对不易跑醇升温阶段,可适当缩短时间,提高生产效率。

理论上来说,在相同的回流比条件下,升温速度越快,越容易跑醇。从上表中酯化时间来看,尽管装填了 $\phi 50$  鲍尔环批次升温时间比CY500 丝网填料批次和CY700 丝网填料批次长约20 min,但跑醇总量仍最多,可见比表面积大的填料比比表面积小的填料分离效果更好,相同条件下跑醇量相对较少。

### 2.4 装填不同比表面积填料对反应速度影响

金属丝网填料起到关键的传质、传热作用,从图1可以看出,出水速度CY700>CY500>金属鲍尔环。在200℃前出的水主要是原材料本身含水,比表面积对出水速度影响不大,但进入反应剧烈阶段后,CY700

填料比表面积更大,可以更好地进行气液交换,更利于重组分和轻组分分离,酯化反应速度更快。从上表中数据计算出相同的反应程度,CY700 填料可比CY500 填料生产效率提升13%以上,比金属鲍尔环效率提升16%。但同时,CY700 填料相比CY500 填料持液量多约15%,持液量多会导致填料受重力更大,填料容易在精馏柱内部产生坍塌风险。

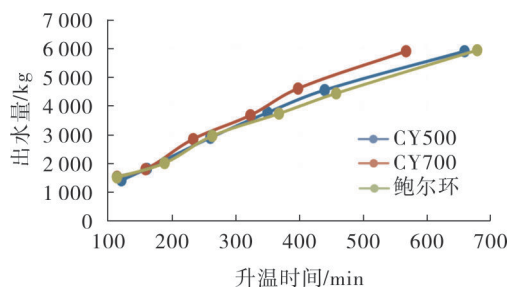


图1 装填不同比表面积填料在反应过程出水量对比

### 2.5 上下15°装填方式安装

上下15°装填方式的不同阶段数据如表5所列。

### 2.6 上下90°装填方式安装

由表3和表5可以看出,在升温基本一致的情况下,模拟的整体偏差较小,可信度高,填料上下15°装填方式比上下90°装填方式出水速度前期略微偏快,后期基本相当,如图2所示。故装填比表面积相同的填料,热交换比表面积相同,不同装填方式对酯化反应速度影响不大。

填料上下15°装填方式比上下90°装填方式持液量少约20%,满足使用要求,可能是由于上下90°装填方式回流水收到的阻力更大,需要通过的路径更远,停留时间更多导致。不同装填方式出水速度基本一致,但

表 5 CY700 填料(上下 15°装填方式)不同反应阶段数据

项目	温度/°C					
	投完料~180	180~190	190~200	200~210	210~220	220~保温
时间/min	150	72	55	50	103	112
阶段实际出水量/kg	1 730	1 234	536	735	737	814
阶段模拟出水量/kg	1 723	1235	530	729	744	819
出水量相差/kg	-7	1	-6	-6	7	5
出水总量相对误差/%	0.4	0.1	1.0	0.9	1.1	0.6
持液量/kg	3.934~3.987	4.248~4.551	4.777~4.896	4.008~4.341	4.248~4.551	3.957~3.982

上下 15°装填填料持液量更少,填料不容易坍塌,更耐用。

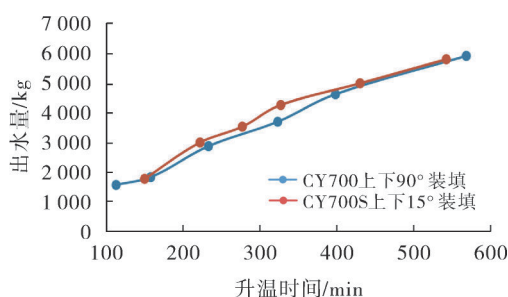


图 2 不同填料装填角度在反应过程出水量对比

### 3 结语

通过收集生产线上数据并利用 PRO/II、Aspen Plus 等模拟软件进行模拟,对比了装填不同比表面积的丝网填料和不同填料装填方式下的酯化速度、持液量和分离效果等数据,得到如下结论:

1)对比 3 种不同比表面积填料,发现比表面积大的填料更有利于传质传热,酯化反应速度更快,生产效

率更高,CY700>CY500>φ50 鲍尔环;

2)持液量 φ50 鲍尔环>CY700 丝网填料>CY500,上下 90°装填方式>上下 15°装填方式,持液量少填料受力相对较小,持液量多填料会产生坍塌风险,因此使用 CY700 的丝网填料,采用 15°的上下装填方式,填料会更耐用;

3)相同比表面积填料,改变不同的填料装填角度,对酯化反应速度影响不大;

4)分离效果 CY700>CY500>φ50 鲍尔环,比表面积大的填料分离效果越好,跑醇量越少,酯化反应过程跑醇最多的阶段为投完料~180 °C,其次为 200~210 °C 阶段,跑醇最少阶段为内温 220 °C后,该阶段在生产效率上存在提升空间。

### 参考文献:

[1] 朱建军.ASPENPLUS 模拟与分析酯化反应精馏过程[J].江苏石油化工学院学报,1995(3):14-19.  
 [2] 周年忠.聚对苯二甲酸戊二酯间歇反应精馏过程的模拟优化[J].广东化工,2012(17):41-42. ◆

## 《现代涂料与涂装》征稿启事

### 征稿范围:

- ★ 涂料涂装行业关键核心技术自主创新及进口替代进展
- ★ 最新涂料涂装政策、标准解读及应对措施
- ★ 环境友好型涂料及特种功能型涂料的研发及创新应用
- ★ 涂装行业 VOC 源头控制、过程管理、末端治理技术及设备,涂料涂装废水处理技术及设备
- ★ 涂料涂装行业安全生产管理创新
- ★ 传统制造业(汽车、工程机械、轨道交通、船舶)、战略性新兴产业和新型基础设施涂装智能化及新工艺、新材料和新设备

### 征稿要求:

- (1)来稿涉及技术保密问题需通过作者单位审查;来稿请注明作者单位(中英文)、地址及邮编。
- (2)请勿一稿多投,如欲改投,请提前告知本编辑部。稿件收到后即发回执,稿件一经刊发,即按规定付给稿酬,并赠送期刊 3 本。来稿一般不退,请作者自留底稿,半年内未接到通知,作者可自行处理。
- (3)稿件要求内容新颖、主题明确、逻辑严谨、文字精炼、格式规范、数据真实,全文字数不少于 5 000 字,相似度不高于 15%,附 200 字左右的摘要并列关键词(3~8 个)及相应的英文;附作者简介,内容包括:姓名(出生年)、性别、学历、职称、主要从事的工作或研究方向、联系方式及身份证号。
- (4)稿件一律采用法定标准计量单位名称和符号。
- (5)文章标题以 3 级为限,文题简洁,表格一律为三线表,文中插图要清晰。
- (6)参考文献勿省略,置于文末,并在文中注明序号、排好次序。

### 投稿方式:

请访问现代涂料与涂装官网(<https://xdlytz.magtechjournal.com>)进行在线投稿。