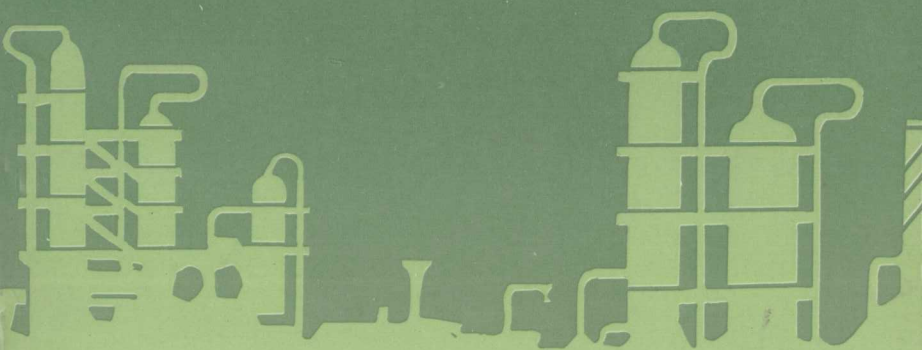


填料塔分析与设计

徐维勤 译 沈自求 校



大连理工大学出版社

填料塔分析与设计

[德]R. 毕莱特 著

徐维勤 译

沈自求 校

大连理工大学出版社

1992年11月

(辽)新登字 16 号

内 容 简 介

本书论述填料精馏塔和填料吸收塔的分析与设计,所用填料包括散堆填料和规则填料。

本书特点是强调实用,书中列举许多有应用价值的资料,包括计算公式、数据和图表,也涉及某些特征填料的操作数据,这些数据来自基础物理模型和大量的实验研究。

本书可供化工和相关行业以及从事环保工作的科研、设计人员使用,也可作化工专业大学生学习的参考书。

Reinhard Billet

Packed Column Analysis and Design

本书原书 RUM-University Bochum, 1989 年出版

填 料 塔 分 析 与 设 计

Tianliaota Fenxi Yu Sheji

徐维勤 译 沈自求 校

大连理工大学出版社发行

(邮政编码:116024)

辽宁师范大学计算机中心排版

大连理工大学印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32

印张: 4.75

字数: 101 千字

1992 年 11 月第 1 版

1992 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1—1000 册

责任编辑: 杨 泳

封面设计: 张春梅 姜严军

责任校对: 杜祖诚

ISBN 7-5611-0633-5/TQ·18

定价: 3.20 元

序

“填料塔分析与设计”研讨会文集在科研和工业界引起很大兴趣,因此,作者决定修改原稿,出版一个经过改进并扩大的版本以满足广泛的需要。本书着重强调实用方面,这对化工和相关行业的及从事环保工作的工程师有很大益处。本书也包含有价值的资料,它们定会有助于化学工程和过程工程大学生从事他们的学习。

附录部分提供一批计算公式和数据表,它们来自基础物理模型和大量的实验研究。这些计算公式和数据表描绘了工业通用填料的流体力学和传质性能,尤其对持液量、载点和泛点、传质和压力降给予了特殊注意。为了做全面评价,书中也涉及某些特征填料的操作数据。

感谢我的同事郑竹霞女士、G. 霍格和 L. 史蒂芬先生在制图方面的协助;感谢 S. 麦克尔先生在评价模型方程方面的有益帮助。

R. 毕莱特(Reinhard Billet)

1989 年 11 月

前 言

1985年10月末,由格利希有限公司发起,在得克萨斯州达拉斯召开了“填料塔专题研讨会”,大约75位工业界和高等院校的代表参加了研讨会,他们从多方面致力于填料精馏塔和填料吸收塔的设计和分析,包括散堆和规则填料。研讨会开了一整天,由于格利希公司的要求,把参加人数限制到25人,会议又开了两次。

我被邀请主持会议,会议主要演讲者是国际公认的精馏及相关的热分离过程方面的权威、德国鲁尔波恩大学热分离过程主席R. 毕莱特教授。我的任务主要是致开幕词并作研讨会的协调人。会议程序除毕莱特博士的报告外,还包括一篇关于帝国化学工业近几年开发的海吉编织床精馏塔的论文。

与会代表发现研讨会没有什么商业特点,这正像格利希公司计划的那样,并未要求毕莱特和我用任何方式强调公司的产品。在我看来,这次研讨会是在很高的专业水平上进行的,而且对专业的探讨态度是没有偏见的,是客观的,这点是很明显的,在我与格利希公司的工作联系中,已经观察到了这一点。

在研讨会结束时,格利希公司董事长A. 阿奇尔先生许诺给每位代表一套印刷的记录,这些由毕莱特博士撰写并由我

编辑的记录,包括在这部专著内。读者将发现,这些资料的确没有偏向任何填料制造厂的产品,他们也可以发现,由毕莱特博士大量实验工作支持的各种类型填料塔所涉及的领域是已发表的其它文献根本不能等同的。

我可以有信心地对那些与填料精馏塔或填料吸收塔打交道并定能受益于这个专著的专业人员说:我们应当对毕莱特博士和格利希公司及形成这份对我们所有的人都有益的资料深表谢意。

奥斯丁得克萨斯大学首席教授

J. R. 费尔 (James R. Fair)

1986 年 10 月

1.1	.....	.....	.....
1.2	.....	.....	.....
目 录			
1.3	.....	.....	.....

序	.....	.....
前言	.....	.....

第一章 绪 论	.....	1
第二章 塔填料	.....	3
2.1 散堆填料	.....	4
2.2 规则填料	.....	8
第三章 填料塔流体力学	.....	19
3.1 持液量	.....	19
3.2 载液和液泛	.....	26
3.3 压力降	.....	33
第四章 填料层中的传质	.....	38
4.1 效率关联式	.....	51
4.2 端效应	.....	71
4.3 尺寸效应	.....	74
4.4 中间工厂数据的整理	.....	82
4.5 填料层中液体分布	.....	89
第五章 流体动力学和传质的模拟	.....	101
5.1 流体动力学和负荷能力	.....	105
5.2 分离效率	.....	113
5.3 压力降	.....	120

第六章 填料的综合过程工程计算.....	124
----------------------	-----

第七章 结 论.....	130
--------------	-----

符号表.....	133
----------	-----

填料名称对照表.....	137
--------------	-----

参考文献.....	138
-----------	-----

1.....	金 鑫 章一校
--------	---------

2.....	杨嘉春 章二校
--------	---------

3.....	杨嘉春 章二校
--------	---------

4.....	杨嘉春 章二校
--------	---------

5.....	杨嘉春 章二校
--------	---------

6.....	杨嘉春 章二校
--------	---------

7.....	杨嘉春 章二校
--------	---------

8.....	杨嘉春 章二校
--------	---------

9.....	杨嘉春 章二校
--------	---------

10.....	杨嘉春 章二校
---------	---------

11.....	杨嘉春 章二校
---------	---------

12.....	杨嘉春 章二校
---------	---------

13.....	杨嘉春 章二校
---------	---------

14.....	杨嘉春 章二校
---------	---------

15.....	杨嘉春 章二校
---------	---------

16.....	杨嘉春 章二校
---------	---------

17.....	杨嘉春 章二校
---------	---------

18.....	杨嘉春 章二校
---------	---------

第一章 绪 论

当今,经济形势有利于填料塔在精馏、吸收、液-液萃取过程中的发展。在环境保护技术上,例如,空气、气体和水的净化过程,采用填料塔也变得愈来愈重要。在多数应用场合,传质被用来作为基本单元操作,而直接接触传热也可能是使用填料装置目的之一。

在许多情况下,对一些热分离过程来说,填料塔的分析与设计可能是困难的,这不仅要用到实验室和中间工厂的放大结果,而且,也可能由于转换方法不可靠而失败。

对于填料塔来说,大多数流体力学计算一般并不复杂,而且可以得到适于工业应用的结果。然而,当传质计算指出所期望的塔高明显增加时,时常出现它的不可靠性。直到几年前,人们还不能把从专门实验得到的吸收数据满意地转换用于精馏,虽然过去一些研究者对解决这一问题曾做了有益的贡献。

参照传质操作的物理定律,可以提供一些适用于所有的汽-液和气-液系统热分离过程的描述,这是由于它们应用了同样的基本原理。基于这种认识,在作者的实验室内,对大量的专用塔内件和各种尺寸塔填料进行了试验,对由不同物系、不同塔径和塔高得到的大量试验结果进行了系统的分析并与先前研制的模型进行了比较。该模型为计算填料塔的传质效率提供了可能性。像压力降和持液量这样的流体力学参数,如

第二章 塔 填 料

具有高通量和低比压降的塔内件与传统设备相比,可以显著降低能量消耗,尤其是对于需要许多传递单元的分离过程,这些内件可以减少投资费用;它们的另一个优点是允许塔底温度低一些,因而有利于热敏性混合物的精馏。热分离技术的发展有这样的特点,即采用具有优秀的过程工程特性的高性能的填料,并能给化学及有关工业带来特殊的利益。因之,此处选择了具有这类性能的填料系统,它们可以被看作是西欧和美国在此领域所取得进展的代表。为了确定填料的特性和获取工业规模塔的数据,我们在实验室和外面的中试装置上进行了科学研究,试验体系和试验塔以及试验参数汇总于表 1。

表 1 填料研究试验条件

试验系统	氯苯/乙苯 33, 67, 733 mbar	氯-空气/水 1 bar, 298 K	空气/水 293 K	二氧化碳- 水/空气 293 K
塔径	0.22 m	0.3~1.4 m	1.3~2 m	0.3 m
填料层高度	1.4~1.5 m	1~2 m	0.22~0.3 m	1.3~1.4 m
试验参数	$a/H, \Delta P/H,$ $\Delta P/n_1$ $=f(F_V)L/V=\text{常数}$	$HTU_{OV}, \Delta P/H,$ $\Delta P/NTU_{OV}=$ $f(F_V)U_L=\text{常数}$	$F_{V,F,L}$ $=f\left(\frac{L}{V}\sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}\right)$ $h_L=f(U_L)F_V=\text{常数}$	$\beta_L \cdot a$ $=f(U_L)F_V=\text{常数}$

(续表)

技术特性和操作参数	n_t = 理论级数, HTU_{OV} = 传质单元高度, H = 填料层高度, E_v = 负荷因子, w_L = 液体负荷, L = 液体流量, V = 汽体流量, h_L = 持液量
-----------	---

(1mbar = 0.1 MPa——译者注。)

2.1 散堆填料

从优化操作性能、降低材料消耗和生产成本来考虑,散堆填料的最新发展在经济方面特别值得注意。这些填料的特点是每个理论级的压降低,这对节能和避免热分离过程中产品的热分解来说是绝对必要的。我们将把注意力转到满足上述条件的比较新型的填料,但把说明限于那些从我们实验室中研究得到的可适于工程性能数据的例子。

事实上,许多传统的散堆填料在大直径塔中产生了困难和问题,这些缺点构成了使用它们的限制。经常出现的困难是确保填料表面最大程度的润湿,因为要做到这一点,需要液体在进料入口或塔顶处沿整个横截面上均匀分布。另外,因为填料的杂乱放置,特别是在塔壁处液体趋于分布不均,结果许多散堆填料床遭致形成沟流的危险。这是因为在具有一定物性的混合物的分离中,填料的流体动力学特性不可控制并且是不规则的。鉴于这种分布不均的可能性,可以预料,大直径塔中散堆填料床的分离效率比较差。为了实现较高的生产能力和分离效率,采用特殊的塔板及在某些情况下使用规则填料较采用乱堆填料为优。这种情况最近已有很大的变化。

近年来,在散堆塔填料方面已趋向于采用网格状设计,特别是塑料填料,其发展主要是塑料诺尔派克环,根据系统的研究,认为这种形式的填料效果最佳,并推荐使用该种填料。仅

次于这种填料的是塑料、陶瓷和金属高流环以及塑料和金属阶梯环(米尼环)填料,新设计的是鞍形填料包括高流鞍和改进的鞍型填料,前西德已发表了塑料狄恩派克填料,这些填料见图 1。

在精馏、吸收及解吸装置上对网格状填料进行的综合实验研究结果表明,这些填料是生产能力高和压降低的塔内件。同样也证明了它们可以成功地用于困难的工作条件,如热敏性混合物的分离以及在较低能耗条件下需要许多传递单元的混合物分离。这是因为它们每个理论级的比压降相对较低。

图 2 给出了新型塑料填料的一些比较试验结果,所用的参照填料为鲍尔环,就负荷能力和比压降来说,这些新设计显示了卓越的性能。

图 3 展现了一些金属填料的结果,从该图可以明显地看出,50 mm 高流环填料单位效率的压降远低于同样公称尺寸的传统鲍尔环和特普派克填料。

在用金属阶梯环进行的试验中,也获得了很好的结果,图 4 指出了这些结果,并将其与小尺寸鲍尔环的数据进行了比较。与其它型式的散堆填料相比,高流环和阶梯环填料的效果极为显著。

根据图 5,将 50 mm 陶瓷鲍尔环和陶瓷矩鞍填料的性能与同样尺寸陶瓷高流环相比,显然高流环单位床层高度和单位效率的压降比较低,并且其生产能力比较高。

对于诺尔派克、高流环和阶梯环来说,其特点是,在主要操作范围内,直至 F 因子大约为 $2.6 \text{ m}^{-1/2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{1/2}$,它们的效率几乎与负荷无关。对于间歇操作以及塔必须不同的处理能力下操作时,这是一个很大的特点。

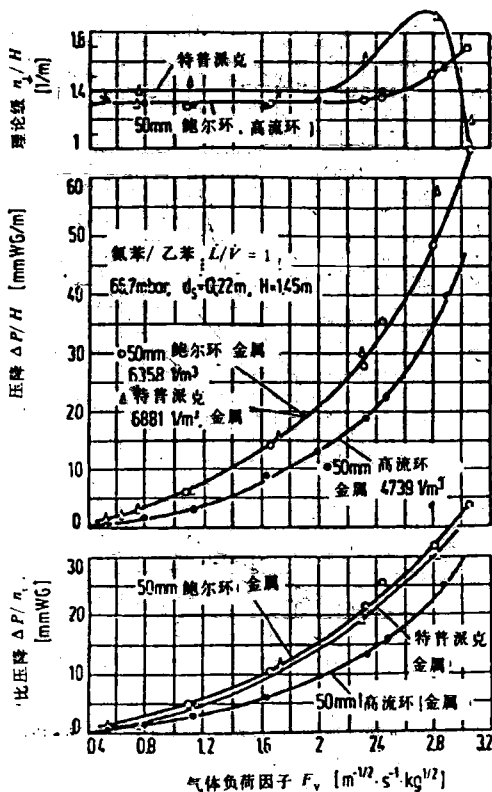


图2 塑料高流环、诺尔派克与塑料鲍尔环性能数据之比较
(mmWG 即毫米水柱, $1 \text{ mmWG} = 9.8 \text{ Pa}$, 下同——译者注。)

所给出的这些结果仅是一些例子,因而,还不能说此处所给出的数据已经很全了,而另外一些数据将在第三章给出。

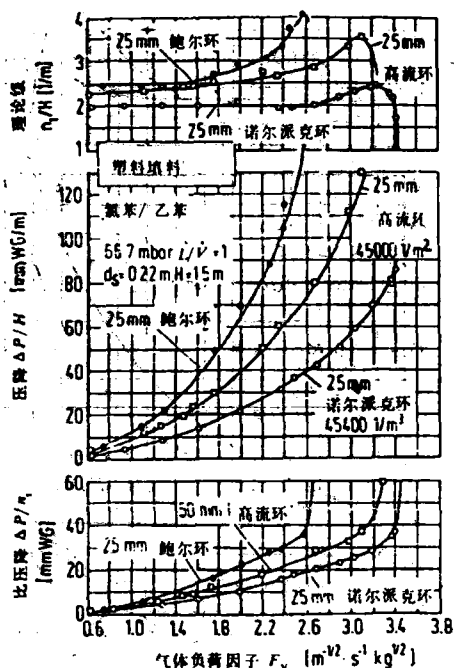


图3 金属高流环、特普派克与金属鲍尔环性能数据之比较

2.2 规则填料

众所周知,规则填料可以实现每个理论级的压降最小,因此,它们最适于需要许多分离级而能耗最小的分离过程,在热敏性混合物的分离过程中,它们可以使得塔底温度最低。即使规则填料的基本投资通常高于散堆填料,对分离过程经济的个别研究发现,能量费用在总费用中通常是决定性因素,在许多情况下,这促进了规则填料而不是散堆填料的应用。

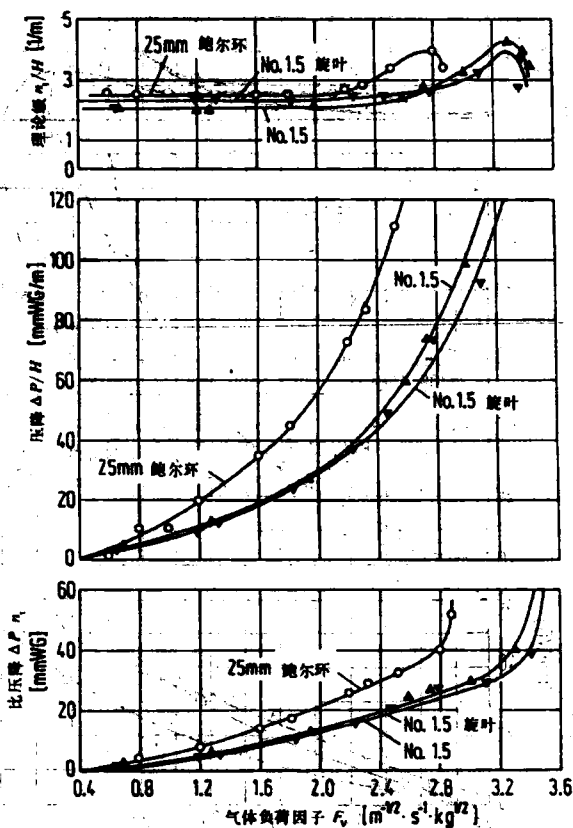


图4 光滑和有孔(旋叶)CMR环与金属鲍尔环性能数据之比较

试验条件: 氯苯/乙苯, 66.7mbar, $L/V=1$,

$d_s=0.22\text{m}$, $H=1.52\text{m}$,

▲ CMR环, 金属, No. 1.5, 64495 $1/\text{m}^3$,

▼ CMR环旋叶, 金属, No. 1.5, 62432 $1/\text{m}^3$,

○ 25mm 鲍尔环, 金属, 53200 $1/\text{m}^3$