

GONGYETA
XINXING GUIZHENG
TIANLIAO

YINGYONG

工业塔 SHOUCE

新型规整填料应用手册



刘乃鸿 主编

天津大学出版社

工业塔新型规整填料应用手册

刘乃鸿 主编

天津大学出版社

1993.12

内 容 提 要

本手册总结了目前国内外主要规整塔填料的性能、应用及塔设备的设计计算方法。全书共14章,包括规整填料的综述分类及发展历程,各种主要规整塔填料的几何特性、基本性能及其比较、应用条件与适用范围,规整填料塔装置的设计计算方法,塔填料的表面处理技术和理化性能测试,并以国内应用为主汇总了规整填料工业应用实例,最后概括了塔器技术开发与应用的进展。

本手册可供化工、石油化工、炼油、环保等有关部门的广大工程技术人员与有关大专院校师生参考应用。

(津)新登字012号

工业塔新型规整填料应用手册

刘乃鸿 主编

*

天津大学出版社出版

(天津大学内)

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 14 1/2 字数: 362千字

1993年12月第一版 1993年12月第一次印刷

印数: 1—5000

ISBN 7-5618-0541-1

TQ·17

定价: 10.80元

發展新型塔填料
為科技興化服務

賀國強

一九九三年二月

主编 刘乃鸿

审定 李鑫 萧成基

编者 萧成基（前言）

刘乃鸿（第1、2、3、5、8、13、14章）

袁孝兢（第6、8、10、13章）

于鸿寿（第4、7、8、9、10、13章）

卢励生（第2、3、12、13章）

钱恒元（第2、3、8、13章）

张俊科（第11、12章）

李洪发（第11章）

前 言

塔设备是化学工业中最重要的分离设备，它的性能对工艺过程的能耗、收率及产品质量均有直接关系。本世纪初形成了以泡罩板塔及拉西环填料塔为代表的传统塔型。近30年来国外出现了许多新型的塔内件，成功地用于工业装置中。我国自70年代后，有关部门系统地组织了新型的工业用塔填料的试验、研究、开发及标准化工作，取得了良好成效。根据各方面意见，大家要求将分散的资料汇编整理，以便对新型填料的尺寸规格、性能数据和关联计算及应用情况等进行系统汇总。为此，化工部科学技术研究总院(原科技局)组织编写了《工业塔新型填料应用手册》，其第一部分(散装填料)已于1988年由化工部第六设计院出版。《手册》的规整填料部分，由刘乃鸿同志主编，组织了七位同志分工编写，现已完稿出版。相信本书的出版，对于正确地设计、计算及使用新型塔填料，以取得应有的经济效益，并进一步推动填料塔科研工作的开展，均有裨益。

这里要附带说明的是，任何一种塔填料各有其所长及所短，一种填料在某一情况下使用，效果很好，但用到另一场合，有时就未必适宜，甚至失败。而同一物系在不同条件下，也可能宜采用不同的塔填料。本书第13章收集了一批工业应用实例，供作参考；这里仍强调一下注意避免照套，这是我们多年实际工作的体会。

本书在筹编过程中，有关部门的许多同志热心地参加了编撰、审阅、讨论、提供材料等。大家出于对发展我国填料事业的热诚愿望，在繁忙的工作中克服困难，终于完成了本书，这是令人十分欣慰的。化工部科学技术研究总院的李新顺同志及李鑫总工，一直在组织和支 持这项工作，天津大学出版社大力支持了出版工作，作为一个热心的读者，在此我向他表示衷心感铭。

萧成基

1993.2

编 者 的 话

塔器是量大、面广的重要化工与炼油等行业所用设备。规整填料又是当前促进塔器技术进步的主要设备单元之一。为了推进规整填料塔的开发与扩大工业应用领域,化工局科学技术研究总院组织编写了这本《工业塔新型规整填料应用手册》。它是我国规整塔填料的首次总结,是《新型工业塔填料应用手册》(散装填料部分)的姐妹篇。

本书列举的数据和应用实例,基本上都是来源于国内外各研究、设计、生产单位长期开发、应用的实践。在编写过程中,我们做了许多数据整理工作,希望做到简明、实用并便于比较选择。但仍有少量数据因原有整理方法不一,又难以深入查阅原始数据,故在介绍中仍保留原著的整理方法。手册中介绍的各种规整填料的几何形状结构主要来自国内应用填料的汇集和部分文献报导,希望沿此发展形成统一标准与规格。

本手册编写的组织者是化工部科学技术研究总院,主编为化工部上海化工研究院刘乃鸿高级工程师,参加编写的有上海化工研究院刘乃鸿、卢励生、钱恒元高级工程师,天津大学袁孝兢教授,化工部第六设计院于鸿寿高级工程师,化工部兰州化工机械研究院张俊科、李洪发高级工程师。上海化工研究院陈敏高级工程师参加了校对、整理工作。华南理工大学陈唤钦教授等做了部分补充数据的测定工作。

手册在编写过程中得到了许多高等院校、研究及设计院所、填料生产厂与广大工业应用单位的有力支持。化工部上海化工研究院新型填料开发中心、天津大学化学工程研究所与化工分离技术及新型填料开发中心、天津大学化工系传质科研组、化工部第六设计院、兰州化工机械研究院、北京化工研究院、上海医药工业研究院、浙江工学院、上海工程技术大学、清华大学、北京化工学院、西安交通大学、西北大学、河南洛阳石化工程公司设备研究所、中国石油大学、兰州石油机械研究所、上海香料研究所、广西大学等许多单位都提供了他们的研究与应用成果。上海化工研究院、天津大学、江苏省无锡县雪浪化工填料厂、天津天进公司、中国工艺品进出口总公司津新联营仿古瓷厂、天津大学石油天然气加工技术研究开发中心、北京钢铁研究总院填料厂、浙江慈溪市新型填料厂、湖南安沙尼传质设备有限公司(醴陵陶瓷填料厂)、上海华光金属丝网厂、湖北洪湖化工机械总厂、上海环宇化工机械配件厂、湖北洪湖施港化工填料厂、上海塘湾五金填料厂、河北唐山第六瓷厂,江苏张家港市合兴金属丝网厂等填料生产单位都对本手册的编辑与出版工作给予了大力支持,我们深表谢意。

手册初稿完成后,曾请中科院学部委员天津大学余国琮教授、化工部科学技术研究总院李鑫教授级高级工程师、北京化工研究院肖成基教授级高级工程师、天津大学王树楹教授、上海化工研究院陈大昌教授级高级工程师等国内驰名专家、学者进行审阅。他们提出了不少宝贵意见。肖成基教授还撰写了前言,对此,我们表示衷心的感谢。

鉴于编者水平所限,手册中错误、不妥之处及遗漏在所难免,恳请读者批评指正。

编者

一九九二年十月

目 录

第一章 综述	(1)
1.1 填料塔的开发应用概况	(1)
1.2 规整填料的发展	(2)
1.3 规整填料分类	(5)
1.4 规整填料的主要特点	(5)
参考文献.....	(5)
第二章 丝网波纹填料	(7)
2.1 概 述	(7)
2.2 250型金属丝网波纹填料.....	(9)
2.3 500型金属丝网波纹填料.....	(10)
2.4 700型金属丝网波纹填料.....	(15)
2.5 双层丝网波纹填料	(23)
2.6 网孔(板网)波纹填料	(26)
2.7 实验室应用的小型金属丝网波纹填料	(34)
2.8 塑料丝网波纹填料	(37)
参考文献.....	(42)
第三章 板波纹填料	(44)
3.1 概 述	(44)
3.2 金属孔板波纹填料	(44)
3.3 塑料孔板波纹填料	(56)
3.4 压延冲孔板波纹填料	(61)
3.5 陶瓷板波纹填料	(69)
3.6 波纹填料总评	(75)
参考文献.....	(86)
第四章 格里奇栅格填料	(88)
4.1 概 述	(88)
4.2 几何结构与组装方式	(88)
4.3 基本特性	(89)
4.4 适用范围	(94)
参考文献.....	(94)
第五章 网孔栅格填料	(95)

5.1 概述	(95)
5.2 几何结构与组装方式	(95)
5.3 网孔栅格填料的作用原理	(97)
5.4 基本特性	(98)
5.5 适用范围	(100)
参考文献	(103)
第六章 脉冲填料	(104)
6.1 概述	(104)
6.2 几何结构与组装方式	(104)
6.3 脉冲填料的作用原理	(106)
6.4 基本性能	(106)
6.5 脉冲填料的应用	(108)
参考文献	(108)
第七章 古德洛填料	(109)
7.1 概述	(109)
7.2 几何结构与组装方式	(109)
7.3 基本性能	(110)
7.4 设计计算方法	(111)
7.5 适用范围	(112)
参考文献	(113)
第八章 其他规整填料	(114)
8.1 英特洛克斯(Intalox)规整填料	(114)
8.2 格栅(Flexigrid)填料	(115)
8.3 淋水板型填料	(116)
8.4 前苏联研制的波纹填料	(121)
8.5 吉姆派克	(123)
8.6 蒙茨派克	(125)
8.7 拉露派克	(126)
8.8 康-泰派克	(127)
8.9 翅片波纹填料	(129)
参考文献	(129)
第九章 规整填料塔装置	(131)
9.1 概述	(131)
9.2 波纹填料塔	(131)
9.3 格里奇栅格填料塔	(144)
参考文献	(144)

第十章 规整填料塔的设计	(145)
10.1 波纹填料塔的模拟放大与设计计算.....	(145)
10.2 格里奇栅格填料塔的设计计算要点.....	(157)
参考文献.....	(159)
第十一章 塑料、陶瓷规整填料的理化性能测试	(160)
11.1 塑料规整填料的理化性能测试.....	(160)
11.2 陶瓷规整填料的理化性能测试.....	(166)
参考文献.....	(171)
第十二章 金属和塑料规整填料表面处理技术	(172)
12.1 填料表面处理的意义.....	(172)
12.2 金属填料的表面处理技术.....	(172)
12.3 塑料填料表面处理技术.....	(175)
参考文献.....	(181)
第十三章 规整填料的工业应用	(182)
13.1 丝网波纹填料的应用实例.....	(182)
13.2 孔板波纹填料的应用实例.....	(185)
13.3 网孔(板网)波纹填料的应用实例.....	(189)
13.4 压延刺孔板波纹填料的应用实例.....	(190)
13.5 陶瓷波纹填料应用实例.....	(192)
13.6 格里奇栅格填料应用实例.....	(193)
第十四章 填料与塔设备	(196)
14.1 塔填料述评.....	(196)
14.2 塔设备.....	(199)
参考文献.....	(200)
附录 国内填料生产厂家介绍	(202)

第一章 综 述

填料塔是化工和炼油等生产中常见的一种重要单元设备,其量大面广,在蒸馏、吸收、解吸、萃取、化学交换、洗涤、冷却、混合反应和生化处理等过程中都有广泛应用。近几十年来,由于填料研究的发展,一些性能优良的新型填料相继出现,特别是规整填料的不断开发与应用,使传统的填料应用观念受到了挑战。规整填料塔规模日益扩大,最大直径已达14m,改变了工业蒸馏设备长期以板式塔为主的局面。为了扩大应用与深化研究,编辑了这本《工业塔新型规整填料应用手册》,以供广大科研与工程技术人员选用。

1.1 填料塔的开发应用概况

填料塔作为气液传质设备已有悠久历史,早在1836年就用于水吸收氯化氢的操作,1881年用于蒸馏过程。1914年,拉西环(Raschig Ring)的出现是填料塔的一个进步。而后,鲍尔环(Pall Ring)及其改进型(Hy-pak)、阶梯环(Cascade Mini Ring)、泰勒环(Teller Rosette)、比阿雷茨基(Bialecki)环等又进一步推动了填料塔的发展。这类环状填料通量大、强度和刚度较好,但流体分布性能欠佳。与此同时又出现了鞍型填料,如弧鞍型(Berl Saddle)填料、矩鞍型(Intalox Saddle)填料和改进矩鞍型(Super Intalox Saddle)填料等。它们有较好的流体分布性能,但通量往往不及前者。因此,综合两类填料的优点就成了开发新型填料的基点。近期研制成功的金属矩鞍环(Intalox Metal Tower Packing简称IMTP)和半环(Levapak)填料及纳特环(Nutter Rings)填料等,显然具有上述两类填料之优点,显示出优良的分离性能。另外,最近出现的球形填料又是一种新构思^[1,2]。

通常,填料分为颗粒型和规整型两类。上述均指颗粒型,一般均乱堆于塔内,故亦称散堆填料。随着工业发展,对塔设备不断提出新要求。有的塔设备要求分离热敏性物料,有的要求技术改造提高生产能力和产品质量,有的要求降低回流比以求节能,有的要求便于三废处理,等等。板式塔和散堆填料往往难以满足这种种要求,因而结构与排列整齐的规整填料应运而生,得到广泛应用。

1937年出现斯特曼(Stedman)金属丝网规整填料以来,相继出现了帕纳帕克(Panapak)、古德洛(Goodle)、斯普雷帕克(Spraypak)、格里奇栅格(Glitsch Grid)、网孔栅格(Perform Grid)、海泊菲尔(Hyperfil)、新克洛斯(Neo-Kloss)、钻石格子(Diamond Grid)、压延金属(Expanded Metal)和苏尔寿(Sulzer)填料等^[3]。70年代后又陆续开发成功脉冲填料(Impulse packing)、麦勒派克(Mellapak)、吉姆派克(Gempak)、凯勒派克(Kerapak)塑料丝网波纹填料、蒙茨派克(Montz-pak)以及Rombopak、Pyrapak、Ralupak和Kon-Tane Packing(一种塑料编织规整填料)等。就结构与形式而言,有的着眼于气液流道的合理安排,使流体尽可能均匀分布;有的侧重于气液两相接触面增大;有的主要考虑降低阻力;有的则为了适应技术改造的要求和降低

成本。总之,规整填料开发着眼点是强化膜式和喷雾传质,降低阻力并促进两相流体均布,使规整填料具有高效、低阻力、高通量和便于放大的特点。

规整填料已在化工、石油化工等许多行业中广泛应用^[5,6]。早在50年代,格里奇栅格填料就用于炼油行业,如今改进的EF-25AP格栅填料用于重油分离,比旧有填料效率提高3倍,最大直径已达12m以上。波纹填料是当今世界上最重要的规整填料系列,已推广应用4000多座塔器,最大直径为14m。目前全世界苯乙烯产量的40%采用波纹填料塔分离。国外目前研制规整填料的主要有瑞士苏尔寿公司、奎尼公司(Kühni);美国格里奇公司、诺尔顿(Norton)公司、科克(Koch)公司;纳特(Nutter)公司;日本住友公司、日挥公司、月岛机械公司、永岡金网公司;德国蒙茨(Montz)公司、拉西(Raschig)公司、还有前苏联等^[7,8]。

在我国,化工部上海化工研究院、天津大学、浙江工学院、上海工程技术大学、化工部第六设计院、上海香料研究所、上海医药工业研究院、兰州石油机械研究所、洛阳石化工程公司设备研究所、清华大学、西安交通大学、华南理工大学、广西大学等都进行了规整填料的研究与应用。估计全国已推广数千座塔器,最大直径6.8m,在取代部分板式塔和旧有填料的技术改造中取得了明显效果。

1.2 规整填料的发展^[14-16]

规整填料的填料单元规则整齐地排列在塔内,这是与散堆填料的基本区别。

自从1937年出现第一种规整填料——斯特曼(Stedman)填料以来,规整塔填料发展迅速,应用规模日益扩大,主要原因是:

(1)化工、精细化工、石油化工的蓬勃发展,要求高效、低阻、低持液量、通量大的塔器。

(2)节能和环境保护均需要低阻力、高效率的塔器。

(3)大型塔器技术改造的要求。

鉴于塔器是量大面广的单元设备,所以世界各国竞相开发研究,甚至产生小小改进偌大效益的见解,短短几十年就形成了比较完整的规整填料系列。当前国外主要规整填料研制及生产单位列于表1-1^[1,8]。

规整填料种类繁多,比较有代表性的主要有以下几类。

1.2.1 斯特曼(Stedman)填料^[9]

该填料于1937年开发,是世界上最早的规整填料。它由金属丝网制成,丝径一般为0.23mm,40~60目。有圆锥形和棱锥形两种,填料每一单元由两个带有缺口的纱网锥做成,将边缘和顶点分别焊起来,整体装入塔内。

1.2.2 古德洛(Goodle)填料^[10,11]

1939年开发,由美国格里奇公司、麦特科斯过程装备公司(Metex process equipment Corporation)制造,日本东京特殊金网公司进一步发展和销售。到1975年已出售610座古德洛填料塔,最大直径1.73m(5英尺8英寸),也是当今较重要的规整填料。

古德洛填料是由12股金属丝织成管状,然后压平成双层金属网带后轧制成波纹形。波纹对

表 1-1

规 整 填 料 的 主 要 研 制 单 位

序号	研制单位	填 料	填料型式	材 质	比表面积 m^2/m^3	备 注
1	Sulzer (瑞士)	A X	带孔波纹丝网	不 锈 钢 等	250	要求理论板不多, 通量大
		B X	带孔波纹丝网		500	分离效率高, 压降小
		C Y	带孔波纹丝网		700	效率最高, 压降较小
		Mellapak	带孔波纹板	不 锈 钢 等	125~750	一般应用
		Melladur	陶瓷波纹填料	陶 瓷	250	腐蚀介质分离
		Kerapak			450	
		D X、E X	波纹丝网	不 锈 钢		用于实验室小塔
2	Glitsch (美)	Gempak	带孔波纹板	不 锈 钢 等	45~450	
		Metpak Goodle	波纹网绕卷			
		Glitsch EF-25A 格栅 EF-25AP	格 栅	不 锈 钢 等 塑 料	40~45	
3	Koch (美)	Flexipac	带孔波纹板	不 锈 钢 等	125~500	与Mellapak相同
		Flexigrid	格 栅	不 锈 钢 等		
4	Kühni (瑞士)	Rombopak	网 板	不 锈 钢 等	230	
5	Montz (德)	Montz-pak A ₃	带孔波纹网	不 锈 钢 等	500	主要用于真空精馏
		B ₁	波纹状穿孔板		100~300	用于一般蒸馏
		B ₂	波纹状穿孔板		500	介于A ₃ 与B ₁ 之间
		C ₁	板 片	聚四氟乙烯	300	分离腐蚀性介质
6	Norton (美)	Intalox 2 T 3 T	波纹状穿孔板	不 锈 钢 等	220	
7	Nutter (美)	Snap-Grids Montz B ₁	开槽条片 波纹状穿孔板	不 锈 钢		Nutter公司在美国也许可 生产MontzB ₁ 填料
8	Raschig (德)	Ralu-pak 250YC	带缝隙波纹板	不 锈 钢 等	250	
9	卡·马克斯公司 (德)	Pyrapak G F	板 网 片	不 锈 钢 等	180 350	
		Perform Grid	板 波	不 锈 钢 等	29 40	
10	Paul Rauschert (德)	Impulse Packing	中空狭颈三棱体	金属、塑料 陶瓷	57~113	

续表

序号	研制单位	填 料	填料型式	材 质	比表面积 m^2/m^3	备 注
11	住友公司	各种Sulzer填料		不锈钢等		
	月岛机械	Rombopak		不锈钢等		Kuhni公司转让
	日挥公司	Performgrid		不锈钢等		
	东京特殊金网公司	Goodle 填料				
	永岡金网公司	Impluse 填料		不锈钢等		德国转让
12	前 苏 联	各种金属网或板波纹填料		不锈钢等		
13	Kimre公司 (美)	Kon-Tane填料	编结形式	塑 料		
14	Metex Process equipment 公司 (美)	Goodle 填料	金属丝网波纹卷	金属丝网		

轴线的斜角一般为 60° ，将两根带子的波纹方向交叉放置一起卷成圆柱形。直径 $500\sim 600\text{mm}$ 以下为整盘形，直径 $500\sim 600\text{mm}$ 以上则制成分块式。

1.2.3 斯普雷帕克 (Spraypak) 填料^[3]

这是1956年英国化学工程学会为了提供一种处理量大、压降小、可利用地下热源的蒸馏塔而研制出的一种大型规整填料。

1.2.4 苏尔寿 (Sulzer) 填料^[12]

1961年瑞士苏尔寿公司首先研制成功金属丝网波纹填料 (Sulzer packing)。以后又陆续开发成功塑料丝网波纹填料，金属或塑料板波纹填料 (Mellapak)、陶瓷波纹板填料 (Kerapak)，应用不断扩大，成为当今世界上重要的规整填料系列。

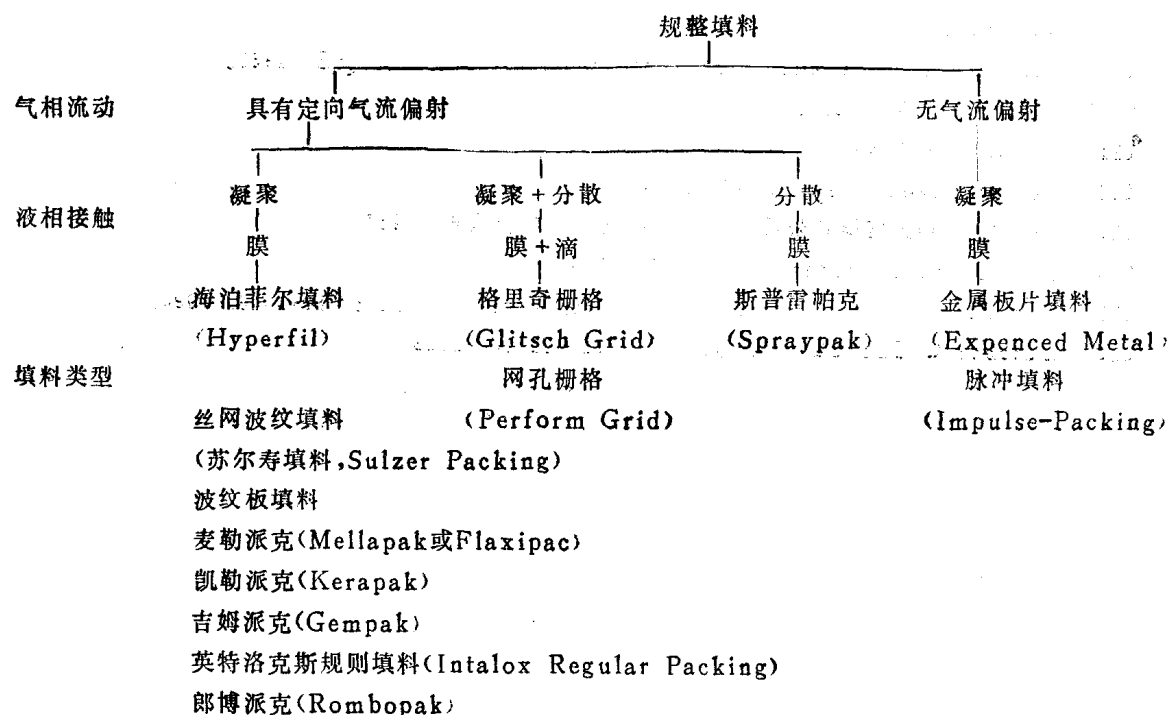
1.2.5 格里奇栅格 (Glitsch grid) 填料^[13]

格里奇栅格填料为美国格里奇公司的专利。1961年问世以来，至今仍作为防堵性能最好的高效气液直接传热、传质填料而广泛应用。它包括金属栅格 EF-25A型和塑料栅格 EF-25AP型两种。

此外，主要的规整填料尚有网孔栅格填料 (perform grid packing)、脉冲填料 (Impulse-packing)、蒙茨派克 (Montz-pak)、郎博派克 (Rombopak)、培让派克 (Pyrapak)、吉姆派克 (Gempak)、康泰塔填料 (Kon-Tane Tower packing)、以及压延冲孔板波纹填料、双层丝网波纹填料、海泊菲尔 (Hyperfil) 填料等。

1.3 规整填料分类^[8]

填料塔属于微分气液接触的操作。填料作为气液接触的基本元件，按其使用性能一般分为通用型和精密型两大类，有时也按制造材质分成实体填料与网体填料。目前，一般按气液流动及接触方式分类，结果如下所示。



如果按结构及操作特点分类，规整填料又可分为七类^[3]。

- (1) 单元接触型：斯特曼填料、双层网水平波纹填料等。
- (2) 绕卷型：古德洛填料、海泊菲尔填料、新克洛斯填料等。
- (3) 水平波纹板型（喷雾型）：斯普雷帕克填料，帕纳帕克（Panapak，一种波峰相对叠成的水平波纹填料）等。
- (4) 垂直波纹板型：各种型式的苏尔寿填料，吉姆派克，蒙茨派克等。
- (5) 栅格型：格里奇栅格、弗莱克西栅格（Flexi grid）填料等。
- (6) 板片型：压延金属板填料、多孔金属板填料、垂直布填料等。这类填料的特点是将压延金属板、金属板或塑料布等纵向组成填料单元装入塔内。
- (7) 蜂窝型及喷射型：网孔栅格填料，塑料蜂窝板填料等。

1.4 规整填料的主要特点

- (1) 人为地“规定”了填料层中气液接触途径，规则排列组装，尽量克服两相流体分布不均，以消除塔的放大效应，保证分离效率。
- (2) 规整填料在整个塔截面上形成许多并列耦合、空间对称的传质小单元。

参 考 文 献

- [1] 化工部上海化工研究院. 塔器, 1982.
- [2] 天津大学化学工程研究所. 精密精馏科技论文集, 1983.

- 〔3〕 全国化工与炼油机械技术情报网合编.塔器, 兰州石油机械研究所, 1973.
- 〔4〕 化工部上海化工研究院.新型塔填料分离技术及应用论文选, 1990.
- 〔5〕 沈复, 汤渭龙, 徐孝民.化工进展, (1)47, 1988.
- 〔6〕 钱伯章.近年塔器填料应用的进展, 中国石油化工总公司填料技术交流会议论文(苏州), 1987.
- 〔7〕 化学工程手册(第13册, 气液传质设备), 化学工业出版社, 1979.
- 〔8〕 刘乃鸿, 陈大昌.塔器技术最近发展与新型填料开发应用. 全国第三次塔器技术交流会论文(兰州), 1990.
- 〔9〕 Stedman D F, Trans. Am. Inst. chem. Engrs. (33)15B, 1937.
- 〔10〕 C.E.P.74(16), 46, 1978.
- 〔11〕 伊川玲二, ケミカル・インシニヤリンク, 25(9)63, 1980.
- 〔12〕 Sulzer. Tech. Rev.(8)25 1984.
- 〔13〕 清华大学.美国格里奇公司(Glitsch Inc.)考查报告, 1987.
- 〔14〕 Hydrocarbon processing, (2)37, 1989.
- 〔15〕 J R Fair, J L Braro.Chemical Engineering progress, 86(1)19, 1990.
- 〔16〕 Butcher C.The Chem.Engineer., 81(451)25, 1988.

第二章 丝网波纹填料

2.1 概述

波纹填料分两大类：丝网波纹填料和板波纹填料。

丝网波纹填料又分为金属丝网和塑料丝网两种。它们均由垂直排列的波纹丝网条片组成盘状规整填料，每盘填料高度约40~300mm，如图2-1所示。波纹方向与塔轴倾斜角为30°或45°，相邻两片波纹方向相反，在波纹片上隔一定距离可以开小孔。填料盘直径比塔径小几毫米，紧密地装满塔截面。每盘填料外侧可以有翻边，上下相邻两盘交错90°排列起来。对于小塔径，填料整盘装填；对于直径在1.5m以上的大塔或无法兰结构的塔器，则可采用分块形式从人孔装入塔内拼装。原则上，凡能加工成波纹的丝网材料均可制成丝网波纹填料，目前主要材质有不锈钢、铜、铝、蒙耐尔（Monel）、铁、镍、塑料等。

2.1.1 丝网波纹填料的开发

1961年，瑞士苏尔寿公司首先研制成功金属丝网波纹填料，称为苏尔寿填料。1962年陆续报导其性能，1964年开始出售，1965年在化工厂安装了第一座金属丝网波纹填料塔^[1]。以后工业应用日益扩大，1975年该公司进行了系统总结并进一步开发^[2]，1976年展出了塑料丝网波纹填料，1977年金属丝网波纹填料已应用800座塔器，目前最大直径6m。同时研制成功波纹板填料^[3-5]，继而应用金属丝网波纹填料又成功地进行了真空精馏热泵节能技术的开发，取得节能80%的显著效果^[6-8]。80年代苏尔寿公司又研制成功DX型和EX型实验室应用的小型高效金属丝网波纹填料。

美国科克（Koch）公司和日本住友公司都是接受苏尔寿公司专利进行研究与销售波纹填料的公司^[9-10]。它们都进行了大量的推广应用^[11-12]。上海石油化工总厂引进的分离对苯二甲酸二甲酯（DMT）金属丝网波纹填料塔是日本住友公司提供的。

1973年前苏联也发表了金属丝网波纹填料的研究成果^[13]。美国格里奇公司、德国蒙茨公司等也都研制了金属丝网波纹填料^[14, 15]。如今，金属丝网波纹填料已成为最重要的高效精密型规整填料之一。

1970年，我国建成第一座金属丝网波纹填料塔。20年来估计有数百座金属丝网波纹填料塔投产，最大直径2m以上，生产成效显著。

2.1.2 波纹填料的几何特性及计算公式

1) 波纹填料的主要几何参数

波纹填料片示意图如图2-2、图2-3所示。它的几何参数主要有下列几项。

(1) 厚度 δ ：波纹网或板的厚度主要依据材料的强度和成型填料的刚度而定。一般说，厚度尽可能薄些，这样压降小、通量大、省材料、重量轻。依不同材质，波纹填料网或板厚度通常在0.1~1.5mm之间。