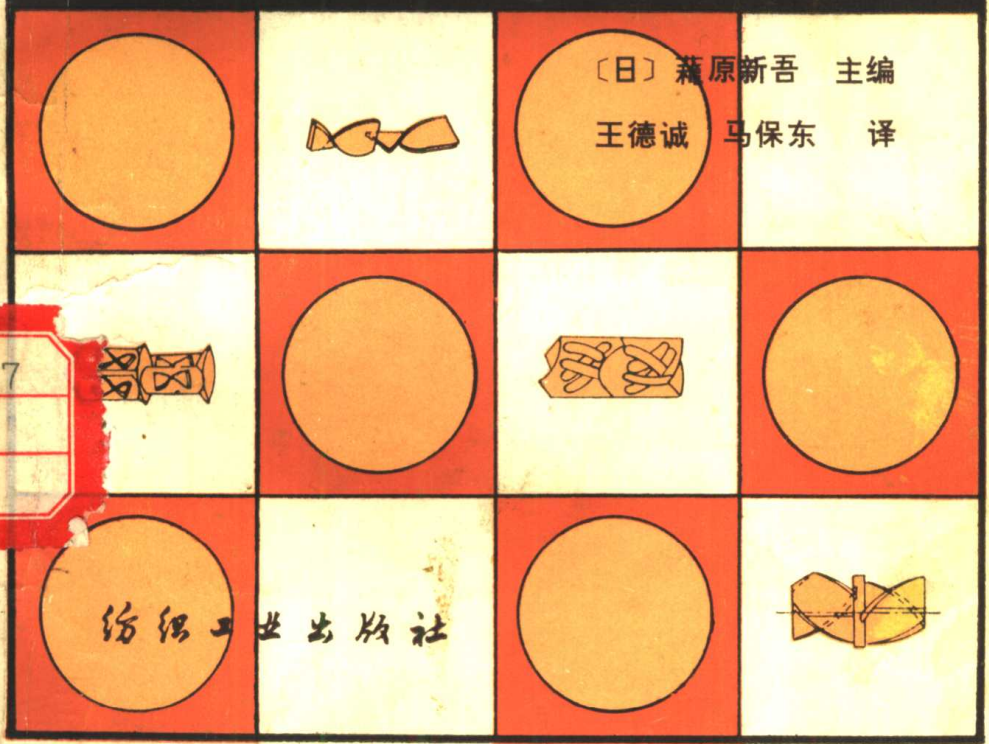


# 静态混合器



1.7

# 静态混合器

—基础和应⽤—

〔日〕藤原新吾 主编

王德诚 马保东 译



纺织工业出版社

## 内 容 提 要

本书为介绍静态混合器的专门著作，主要叙述静态混合器的基础和应用。

作者从专利资料入手，概括了欧美和日本关于静态混合器的发展，简述了静态混合器的混合机理、混合形态和特点。进而介绍静态混合器在溶解、混合、乳化、萃取、气体吸收等化工基本单元操作中的应用，并列举静态混合器在污水处理、凝集沉淀、pH调节、热交换、熔融树脂均温和混炼以及着色等设备和工艺上的应用实例。

本书可供化学纤维、石油化工、轻化食品 and 环境保护等部门从事设计、生产和科研的技术人员使用，也可供大专院校有关专业的师生参考。

责任编辑：周岐林

### 静 止 型 混 合 器

菟原新吾 監修

### 静 态 混 合 器

〔日〕菟原新吾 主编

王德诚 马保东 译

纺织工业出版社出版

（北京东长安街12号）

北京纺织印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/32 印张：8 2/32 字数：173千字

1985年4月 第一版第一次印刷

印数：1—8,000 定价：1.55元

统一书号：15041·134

## 译 者 的 话

静态混合器是完全不带机械活动部件的高效混合设备，具有使生产连续化、装置小型化、节能、省力和提高产品质量等优点。近年来，静态混合器在化纤、油脂、食品、石油化工和环境保护等部门广泛应用，并取得可喜的成果，而且正在逐步部分取代机械回转式搅拌器。

我国已引进和研制静态混合器，并开始应用于化学纤维、石油化工和环境保护等领域。但有关这方面的专门图书资料尚缺。为促进这一高效设备的推广应用，我们翻译了此书，以供有关专业人员参考。由于此书内容新颖，专业性很强，加之翻译水平有限，译文中难免有错误和欠妥之处，敬望读者批评指正。

在本书翻译过程中，北京化纤学院周卫华老师参与了审校工作，特此表示感谢。

译 者

## 序 言

世界上有一些“虽然非常简单，却能发挥巧妙作用”的物品，静态混合器就是其中之一。

静态混合器没有可动的部件，仅利用极其简单的扭曲叶片或交错平板的组合，就能在意想不到的广阔领域内很容易地实现混合、搅拌、分散、乳化等化学工业中的基本操作，并且，稍有一些动力就能使之运转。在大声呼吁节能的当今，真是太理想了。

本书用具体的数据来表示那种简单物品所具有的各色各样的效用，并介绍其设计思想和使用方法。静态混合器的效用还是近几年的事情，因此，公开发表的有关静态混合器的论文或应用实例的数量并不很多，权威性学术论文的数量就更少了。作者尽量搜集了有关静态混合器的论文、技术资料、专利等，并根据这些资料进行了执笔的尝试。但公开发表的可以利用的资料在有些方面仍然较少，这就必然使作者按研究结果和经验进行论说的部分有所偏重。这一点敬请谅解。在得到读者的批评指正后，再将内容进一步充实。

希望本书能促进静态混合器的发展。

本书是在《化学装置》第21、22卷连载论文中增加了一些内容后写成的。借此出版之际，向应允出版的《化学装置》总编辑关口篤先生以及曾在出版中给予帮助的日刊工业新闻社出版局的各位先生表示感谢。

主编 蘓原新吾

1980年9月

# 目 录

<b>第一章 静态混合器基础</b> .....	(1)
<b>第一节 静态混合器的特征</b> (对专利资料的回顾) .....	(2)
<b>第二节 应用中的静态混合器</b> .....	(5)
<b>第三节 流体的混合机理</b> .....	(10)
一、层流中的流速分布 (雷诺数 $Re < 1$ , 二次元流时) .....	(13)
二、层流 (雷诺数 $Re > 1$ ) 及过渡区的流速分布.....	(15)
三、湍流中的流速分布.....	(16)
<b>第四节 粉粒料的混合机理</b> .....	(16)
<b>第五节 静态混合器的混合形态</b> .....	(17)
一、层流混合.....	(18)
二、湍流混合.....	(20)
<b>第六节 混合效果及混合度</b> .....	(22)
<b>第二章 压力损失</b> .....	(25)
<b>第一节 压力损失理论</b> .....	(25)
<b>第二节 气体和液体的压力损失</b> .....	(26)
<b>第三节 气-液混合相流体的压力损失</b> .....	(31)
<b>第三章 单元操作与混合</b> .....	(34)
<b>第一节 溶解</b> .....	(34)
一、溶解装置.....	(36)
二、实验方法.....	(36)

三、实验结果.....	(36)
四、与搅拌式溶解机的比较.....	(42)
第二节 气体混合.....	(44)
一、气体混合概要.....	(44)
二、混合性能.....	(44)
第三节 粉粒料混合.....	(52)
一、粉粒料混合的要点.....	(52)
二、构造与混合机理.....	(54)
三、混合度.....	(55)
四、应用实例.....	(57)
第四节 乳化.....	(60)
一、乳化的特点.....	(60)
二、乳化液滴的直径.....	(61)
三、乳化性能.....	(64)
第五节 液-液萃取.....	(74)
一、水-煤油体系萃取.....	(75)
二、醋酸正丁酯-氢氧化钠体系的反应萃取.....	(84)
三、其他研究举例.....	(85)
第六节 气体吸收.....	(87)
一、操作条件和特征.....	(87)
二、气体吸收的容量系数 ( $K_{La}$ ).....	(89)
三、应用.....	(97)
第七节 反应.....	(98)
一、管道反应器.....	(98)
二、聚合.....	(99)
三、中和.....	(100)
四、其他反应.....	(101)

<b>第四章 设备和工艺上的应用</b> .....	(104)
<b>第一节 污水处理用曝气器</b> .....	(104)
一、条件和应用效果.....	(104)
二、结构和安装方法.....	(106)
三、优缺点.....	(108)
四、清水试验的结果.....	(108)
五、活性污泥装置的比较试验.....	(112)
六、活性污泥装置的应用实例.....	(117)
<b>第二节 pH调节装置</b> .....	(122)
一、应用效果.....	(122)
二、pH控制.....	(123)
三、pH控制装置的现状和问题.....	(124)
四、pH调节的连续化.....	(127)
<b>第三节 凝集沉淀处理</b> .....	(129)
一、特点和效果.....	(129)
二、实际应用.....	(130)
<b>第四节 锅炉燃烧</b> .....	(135)
一、燃料的乳化.....	(135)
二、试验锅炉.....	(136)
三、乳化液的特性.....	(137)
四、使用乳化燃料时 $\text{NO}_x$ 和烟尘减少的情况.....	(139)
五、今后的课题.....	(144)
<b>第五节 热交换器</b> .....	(145)
一、高粘度流体的热交换.....	(145)
二、热交换型静态混合器.....	(145)
三、静态混合器的传热特性.....	(148)



四、热交换器在实际工艺上的应用.....	(155)
五、静态混合器型热交换器的设计方法.....	(160)
第六节 熔融树脂的均温化(熔融混合器) .....	(165)
一、挤压机内熔融树脂的温度分布.....	(165)
二、在管道中流动时产生的温度分布.....	(165)
三、静态混合器的种类.....	(167)
四、断面温度分布的均匀化.....	(167)
五、实际生产中的应用.....	(170)
第七节 用于注射成型机的混合喷嘴.....	(172)
一、熔融聚合物的混炼.....	(172)
二、混合喷嘴的特点.....	(172)
三、混合喷嘴的构造.....	(173)
四、混合喷嘴的性能.....	(173)
五、压力损失.....	(176)
六、更换颜色时的聚合物损耗.....	(177)
七、着色剂的分散性能.....	(179)
第八节 熔融树脂的着色(后染法) .....	(190)
一、直接混合着色.....	(190)
二、各种着色剂的颜料含量和添加比率.....	(190)
三、使用着色母粒的后染.....	(191)
四、使用液态着色剂的后染.....	(193)
五、实际工艺上的应用.....	(194)
第九节 双液混合装置.....	(196)
一、高粘度流体的连续混合.....	(196)
二、混合操作的特征.....	(197)
三、静态混合器的基本混合性能.....	(198)
四、静态混合器的应用实例.....	(200)

五、计量泵.....	(207)
六、输入泵.....	(211)
七、混合输出部分.....	(213)
八、多液计量混合输出装置的实例.....	(214)
第十节 小型混合器.....	(217)
一、搅拌操作.....	(217)
二、小型混合器的结构.....	(218)
三、乳化性能.....	(218)
四、气-液分散 (充气) .....	(221)
附表 静态混合器 (高效) 的压力损失数值表.....	(228)

## 第一章 静态混合器基础

采用在流体管路中设置折流板或迷宫以扰乱流体的流动，或以改变流体的流动方向等手段，来促进热传导和层流状态下的反应，是很早以来就一直采用的方法。利用由折流板和缩扩管组成的管路，或采用喷射口等引起湍流混合，也常常是可行的办法。但由于这些装置的结构过于简单，对于粘度范围很宽的流体，哪一种都不能作为进行混合搅拌的通用手段。

另外，虽然靠机械转动驱动的搅拌机仍是目前混合搅拌操作中的主流，但这种具有机械转动部分的搅拌机，已难以满足近年来对于工艺连续化、高效化、省力化、节能化、装置小型化以及免除经常性的维修等方面的迫切要求。为此，静态混合器应运而生。

静态混合器 (Motionless Mixer) 的定义为“借助流体管路的结构，得以在很宽的雷诺数范围内进行流体的混合，而又没有机械式可动部件的流体管路结构体。”因而借助于折流板或简单的迷宫和流体的惯性（湍流区及过渡区）进行混合的管路结构体，均不属于静态混合器。

现在，静态混合器应用范围很广，并正向着作为化工单元操作的搅拌、萃取、气体吸收、热交换、溶解、分散、粉粒料混合等用途方面迅速发展。进而使有效地利用这种特点的新的应用机械和应用系统的开发，正在不断地取得可喜的成果。

由于静态混合器的应用，取得了工艺连续化、省力化、节能化、装置小型化、免除经常性的维修保养和提高质量等效果，故静态混合器必将广泛地应用于合成纤维、油脂、食品、橡胶、塑料、石油化工、药品、化妆品等各个领域，以及与环境、能源等有关的工艺或设备，并能部分取代机械转动式搅拌机。

本章将叙述有关静态混合器的专利资料、混合机理、混合特征和混合形态等内容。

## 第一节 静态混合器的特征 (对专利资料的回顾)

如果根据专利资料回顾一下静态混合器的历史，则可以追溯到1930年前后。那时，美国和德国曾尝试过在管路中使流体连续混合的方法<sup>[1]</sup>，那是由简单的结构组成折流板或迷宫等，利用流过折流板或迷宫的流体湍流来达到混合的目的。

图1-1为其典型实例。这些实例不属于静态混合器的范畴，不象静态混合器那样不管流体的流速多大，都可以使从高粘度到低粘度这样很宽范围内的流体进行混合。

此后，又提出了许多管路结构体<sup>[2]</sup>的方案，但符合作为静态混合器条件的最早发明，是荷兰专利第185539号（比利时专利第578478号，登记于1959年8月）。

从将该发明具体化的静态混合器的立体图和流动的断面来看，流体混合的状态如图1-2所示。如图1-2表明的那样，与只在流体管路中设置折流板不同，这是利用流体管路分割流体而在流体位移后又使之重新汇合的方法。这是进行流体

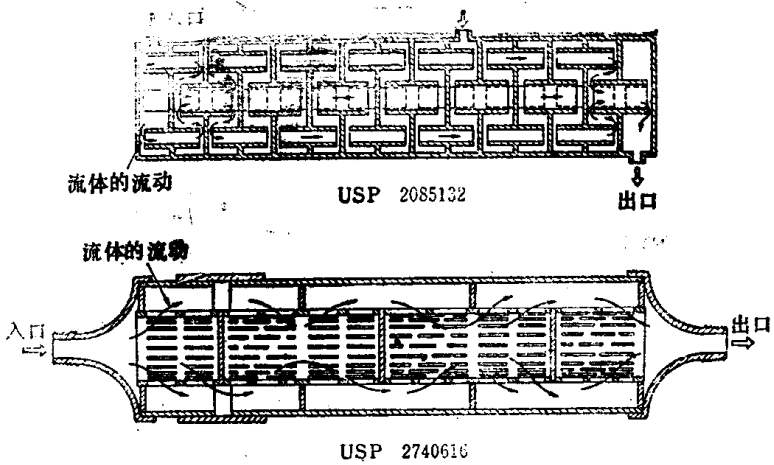


图1-1 静态混合器产生以前的流体管路结构体

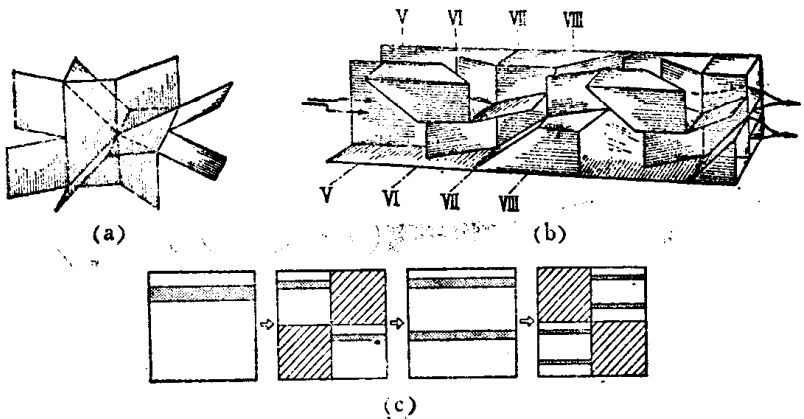


图1-2 世界上最早的静态混合器（荷兰专利第185539号）及其混合状态

(a) 混合器管路示意图 (b) 混合器立体图  
(c) 在混合器各断面上的混合状态

混合的静态混合器基本思想的最早反映。

以后，又相继开发了多种静态混合器<sup>[3]</sup>，这些专利都承袭了上述荷兰专利的混合的基本思想，即以“分割—位置

移动—重新汇合”的想法为基础，并考虑了流体的性质以及对过去各种方案的设想，进行综合分析而产生的。

例如，图1-3所示的由道化学公司( The Dow Chemical Co.) 提出的美国专利 USP●3195865 (登记时间：1965年7月)、美国恩卡公司(American Enka Corp.) 提出的 USP 3206170 (登记时间：1965年9月) 和 USP3239197 (登记

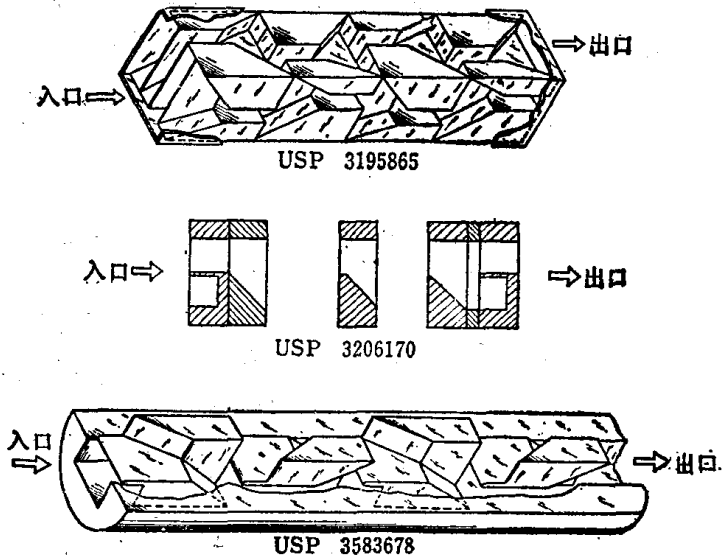


图1-3 将基本专利改进后的静态混合器结构

时间：1966年3月)、道巴登公司(Dow Badische Co.) 提出的USP3583678 (登记时间：1971年7月) 等都是由基本专利改进而来的。

另外，图1-4所表示的亚瑟·D·利特尔公司(Arthur D. Little Inc.) 提出的美国专利USP3286992 (登记时间：1966年11月) 被认为已综合了图1-5的美国专利USP2601018

● USP为United States Patent, 美国专利。——译者注

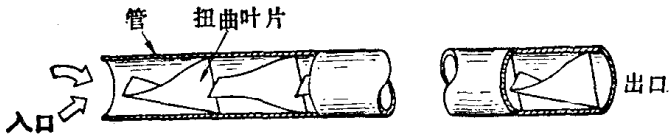


图1-4 USP3286992

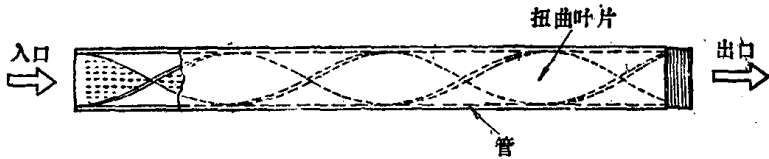


图1-5 USP2601018

(登记时间：1952年6月) 中的基本专利思想。

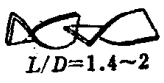





接着，美国的肯尼斯公司(Kenics)从亚瑟·D·利特尔公司得到了该发明的许可，1970年首先在世界上成功地实现了静态混合器的工业生产，商品名称为斯塔梯克混合器(Static Mixer)，这对于加快静态混合器的普及有着极大的意义。

此后，以美国为中心，在日本、西德都实现了静态混合器的工业生产，世界各国便进入实际应用阶段。

## 第二节 应用中的静态混合器

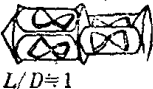


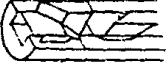

表1-1所列为世界上已进行工业生产或正在使用着的静态混合器的结构。这些静态混合器各有优缺点，在其性能方面有很大差别，如混合器长度和混合度一定时，其压力的损失

表1-1 应用中的静态混合器

厂家名称	混合单元		能否混合		
	构造图 (2单元)	组合	层流	湍流	粉粒料
肯尼斯公司(美国) 斯塔梯克混合器	 $L/D=1.4\sim 2$	把扭曲成 $180^\circ$ 左右的叶片错开 $90^\circ$ 排列	○	○	
苏尔泽公司(Sulzer)(瑞士) 静态混合单元 SMV型		把交替重叠的斜波形板式单元体错开 $90^\circ$ 排列	○	○	
苏尔泽公司(Sulzer)(瑞士) 静态混合单元 BKM型		把窄的平板互相错开 $90^\circ$ 排列	○	○	
查莱斯和罗斯公司(Charless & Ross)(美国) 罗斯ISG型混合器		单元体的4个孔以一定角度窜通,在流入端位于周边,在流出端则处于中心部位	○	○	○
樱制作所 直角型混合器	 $L/C=1.5$	在中空的方形筒内组装分割板和变位板,使它们垂直地交叉排列	○	○	
界立工业公司 岛崎管道混合器		把向左或右扭转 $90^\circ$ 的、相互分割成 $120^\circ$ 的三个螺旋叶片,通过孔板交替地组合起来	○	○	



续表

厂家名称	混 合 单 元		能否混合		
	构造图 (2单元)	组 合	层流	湍流	粉粒料
东丽公司 高效混合器	 $L/D=1$	在两个通道内设置插入向左或右扭成180°的叶片单元体和中间室，并错开90°排列	○	○	○
科马克斯公司 (Komax) (美国) 科马克斯混合器		把板的两端互相折成45°	○	○	
混合设备公司 (Mixing Equipment) (美国) 直联式混合器		把3个叶片的螺旋桨，互相错开某一位相，直接相连	○	○	
道化学公司(美国) 多流道混合器		在中空的方筒内组装好分割板和变位板，使它们垂直地交叉排列	○	○	○
巴斯夫公司 (BASF) (联邦德国) 巴斯夫混合器			○	○	
菲马-布兰和吕贝公司(Firma Bran & Lütbe) (联邦德国) N型管道混合器			○	○	

注 “○” 表示能混合。——译者注