

767011

静态混合器

——基础及应用

(日)松村辉一郎等著

沈 张 根 译



中国科学院图书馆
基本藏书

47051

《化工装备技术》编辑部

静态混合器

—基础及应用—

蘓原新吾主编

松村辉一郎 森岛泰

升田惠三 秋田雅典

樱井雄三 池永文彦

广田正和 太田幸男

共著

沈张根译

《化工装备技术》编辑部

前 言

“结构简单，使用效果极其优异”的装置并不多见，然静态混合器便属于最出类拔萃的装置。

由极简单的扭曲叶片或交叉条片组装起来的混合器，无运动部件、操作简便，可适用于混合、搅拌、分散、乳化等化学工业及其它广泛的领域。静态混合器以其操作仅需少量动力的优势，在节能呼声日益高涨的今天，不断地得到人们的青睐。

本书就混合元件所具的各种功能列出了具体的数据，并阐述了设计思路及使用方法。因为静态混合器获得大量应用仅是在最近数年，所以已发表的与此有关的论文、应用实例不多，特别是有学术价值的论文更是绝无仅有。作者竭力收集了静态混合器的各种有关论文、技术资料、专利及其它数据，以此编纂了本书。但是由于已公布的可利用的资料为数太少，因此作者的研究成果、经验分析当有片面不周之处，渴望各位读者能对此加以批评指正，以使本书内容能更加完善丰富。

如本书能对静态混合器的发展有少许贡献，那就是作者们最大欣慰了。

本书由《化学装置》21卷第7~22期上刊登的连载论文修改润色后编成。

承蒙《化学装置》总编辑山口笃氏先生及日刊工业新闻出版局各位同仁的大力支持，本书得以顺利出版，在此一并表示深切的谢意。

主编 藤原新吾

1980年9月

编者按:

静态混合器是七十年代发展起来的一种高效单元设备,其发展速度颇为迅猛。至八十年代初国外已有数万台装置在运行。其应用领域极其广泛,尤其在石油、化工、制药、食品、造纸、化纤、日化等部门用于混合、乳化、萃取、反应、强化传热等单元操作过程中更显其优越性。近年来,我国对静态混合器的开发亦日趋广泛,研制单位日益增多。经化工、橡胶、塑料、食品、制糖等部门使用证明,静态混合器是一种非常理想的高效混合装置。它比搅拌器之类的动态混合器具有混合效果好、操作成本低、占地面积小、结构紧凑、维修简单、能耗低、设备内无运动部件而使用寿命长等优点。

为了使广大工程技术人员对静态混合器有更深的、系统性的了解,我们组织有关人员全文翻译了由日本东丽公司基础研究室主任、研究员松村辉一郎等人编著的《静态混合器基础及应用》一书(1981年9月30日刊工业新闻社初版),以飨读者。

本书共分四章,它以日本东丽型静态混合器为主介绍如下内容:

第一章:静态混合器基础。概要介绍了各种静态混合器的构造及特点和日本及其他国家主要静态混合器产品的品种以及流体在静态混合器中的流动状态、混合机理、混合形态和混合效果。

第二章:静态混合器的压力损失。介绍了一些压力损失的计算公式。

第三章:用静态混合器进行的各项单元操作。主要包括溶解、气体混合、粉粒体混合、乳化、液-液萃取、气体吸收、反应等内容。每一单元操作包括原理、装置、实验方法、实验结果(数据和图表以及对实验结果所作的比较、分析)。

第四章:应用实例。包括排水处理及装置、pH调整装置、凝聚沉降装置、锅炉及燃烧装置、热交换器、树脂熔融装置、注塑成型机混合喷嘴、树脂着色装置、双液混合装置、微混合器等内容。分别介绍了装置的原理及特点、主要流程、使用效果。并附有装置结构原理图或实物照片以及实际使用的技术参数等。

书末还附有东丽型静态混合器的压力损失数据表10页。

本书内容通俗并注重实际、深入浅出、图文并茂,对于想了解、应用静态混合器的单位和个人是一本很好的入门书,对于从事该装置设计及应用开发的单位和个人也不失为一本很有价值的理论和实践并重的参考书。

希望本书的出版会为静态混合器在我国的推广和应用起到推波助澜的作用。

上海市化工装备研究所
《化工装备技术》编辑部
新闻路126号

目 录

第一章 静态混合器基础

1.1 从专利资料看静态混合器的特征	(1)
1.2 实用化的静态混合器	(3)
1.3 流体的混合机理	(4)
1.3.1 层流的流速分布(雷诺数 $Re < 1$, 二维斯托克斯流动时)	(5)
1.3.2 层流(雷诺数 $Re > 1$)及过渡区的流速分布	(7)
1.3.3 湍流的流速分布	(7)
1.4 粉粒体的混合机理	(7)
1.5 静态混合器的混合形态	(8)
1.5.1 层流混合	(8)
1.5.2 湍流混合	(9)
1.6 混合效果及混合程度	(10)

第二章 压力损失

2.1 压力损失的理论	(11)
2.2 气体及液体的压力损失	(11)
2.3 气—液混相流的压力损失	(12)

第三章 单元操作与混合

3.1 溶 解	(15)
3.1.1 溶解装置	(15)
3.1.2 实验方法	(16)
3.1.3 实验结果	(16)
3.1.4 与搅拌式溶解装置的比较	(18)
3.2 气体混合	(19)
3.2.1 气体混合存在的问题	(19)
3.2.2 混合性能	(20)
3.3 粉粒体混合	(22)
3.3.1 粉粒体混合中的问题	(22)
3.3.2 构造与混合机理	(23)
3.3.3 混合程度	(23)
3.3.4 应用实例	(26)
3.4 乳 化	(26)
3.4.1 乳化的特征	(26)
3.4.2 乳液粒径	(27)
3.4.3 乳化性能	(28)
3.5 液—液萃取	(33)

3.5.1 水—煤油系统的萃取	(33)
3.5.2 醋酸n—丁基苄性钠系统的反应萃取	(36)
3.5.3 其它探讨例	(37)
3.6 气体吸收	(37)
3.6.1 操作条件与特点	(37)
3.6.2 气体吸收的容量系数(K_L)	(38)
3.6.3 应用	(42)
3.7 反 应	(43)
3.7.1 管内反应器	(43)
3.7.2 聚合	(43)
3.7.3 中和	(43)
3.7.4 其它反应	(44)

第四章 静态混合器设备在工艺中的应用

4.1 排水处理用曝气设备	(45)
4.1.1 条件及应用效果	(45)
4.1.2 构造与设置方法	(45)
4.1.3 优缺点	(46)
4.1.4 以清水作的试验结果	(47)
4.1.5 以活性污泥实际装置所作的比较试验	(48)
4.1.6 活性污泥装置的实施例	(50)
4.2 pH调整装置	(54)
4.2.1 应用效果	(54)
4.2.2 pH控制	(54)
4.2.3 pH控制装置的现状 及 问题	(55)
4.2.4 pH调整的连续化	(57)
4.3 凝集沉淀处理	(58)
4.3.1 特征与效果	(58)
4.3.2 实际应用	(58)
4.4 锅炉燃烧	(60)
4.4.1 燃料的乳剂化	(60)
4.4.2 试验锅炉	(61)
4.4.3 乳剂的性能状态	(61)
4.4.4 使用乳剂燃料使 NO_x 、煤灰减少	(63)
4.4.5 今后的问题	(64)
4.5 热交换器	(65)
4.5.1 高粘性流体的热交换	(65)
4.5.2 热交换用静态混合器	(65)

4.5.3	静态混合器的传热特性	(66)
4.5.4	热交换器在实际系统中的应用	(69)
4.5.5	静态混合器热交换器的设计方法	(72)
4.6	熔融树脂的均温化	(74)
4.6.1	挤出机中熔融树脂的温度分布	(74)
4.6.2	在配管内流动中发生的温度分布	(74)
4.6.3	静态混合器的种类	(74)
4.6.4	断面温度分布的均一化	(75)
4.6.5	在实际工艺中的应用	(75)
4.7	注射成型机用的混合喷嘴	(77)
4.7.1	熔融聚合物的混炼	(77)
4.7.2	混合喷嘴的特征	(77)
4.7.3	混合喷嘴的构造	(77)
4.7.4	混合喷嘴的性能	(78)
4.7.5	压力损失	(78)
4.7.6	更换颜色时聚合物的损耗	(79)
4.7.7	着色剂的分散性能	(79)
4.8	熔融树脂的着色(后加色法)	(84)
4.8.1	直接混合着色	(84)
4.8.2	各种着色剂的颜料含量与添加率	(85)
4.8.3	母炼胶粉末与后加色法	(85)
4.8.4	液体色的后加色法	(85)
4.8.5	实际工艺中的应用	(87)
4.9	液液混合装置	(87)
4.9.1	高粘性流体的连续混合	(87)
4.9.2	混合操作的特征	(88)
4.9.3	静态混合器的基本混合性能	(88)
4.9.4	静态混合器的应用例	(89)
4.9.5	计量泵	(92)
4.9.6	给料泵	(94)
4.9.7	混合排出部分	(95)
4.9.8	多液计量混合排出装置的实例	(95)
4.10	微混合器	(97)
4.10.1	搅拌操作	(97)
4.10.2	微混合器的构造	(98)
4.10.3	乳化性能	(98)
4.10.4	气—液分散(充气)	(99)
附 录	Hi—混合器的压力损失	(103)

第一章 静态混合器基础

很早以来，人们就采用在流体通路中设置挡板或用迷宫式通路来扰乱流体的流动或改变它的流线，籍此强化传热及层流反应。人们还常常利用挡板及通路的局部收缩与扩大或者喷嘴进行湍流混合。但是，因为这些构造过于简单，不能在流体的广泛粘度范围内作为混合及搅拌的通用手段。

另一方面，由机械驱动的搅拌机作为搅拌操作的主要方式，至今未改变它的统治地位。而近年来人们迫切希望达到工艺过程连续化，提高生产能力，降低劳动强度，节能，装置小型化，降低维修费用等。这对于具有机械运动部分的搅拌机来说是难以完全满足的。为适应这种情况，人们就发明了静态混合器。

静态混合器 (Motionless Mixer) 是一种没有机械运动元件的、能流过液体的构造体，它籍助于流体通路的不同构成，能够在广泛的雷诺数范围内应用于流体的混合。

1.1 从专利资料看静态混合器的特征

根据专利资料，静态混合器的历史可以追溯至1930年前后。当时，北美及德国曾尝试过使流体在它的流通管路中连续地混合，但这些都是些构造简单的挡板及迷宫式通路，试图使流体在流过时发生扰乱而混合。图1.1为典型的一例，但这些都还不属于静态混合器的范围。静态

混合器不包括那些依靠挡板和简单的迷宫式通路以及流体的惯性力(湍流区及过渡区)而混合的通路构造体。

静态混合器的应用范围甚广，它在搅拌，萃取，气体吸收，热交换、溶解、分散、粉粒体混合等化学工程的单元操作方面的应用正在迅速扩大，人们正在开发新的应用机械及装置，其成果正在不断涌现。

应用静态混合器可以期待在工艺过程的连续化，减轻劳动强度、节能、装置小型化，降低维修费用，提高产品质量等方面取得效果。可以预计，在不久的将来，它将在合成纤维、油脂、食品、橡胶、塑料、石油化学、制药、化妆品等各方面以及环境保护，节能有关的领域及机械中得到广泛应用，以取代许多机械搅拌机。

本章包括静态混合器的专利资料、混和机理、特征及混合形态等内容。

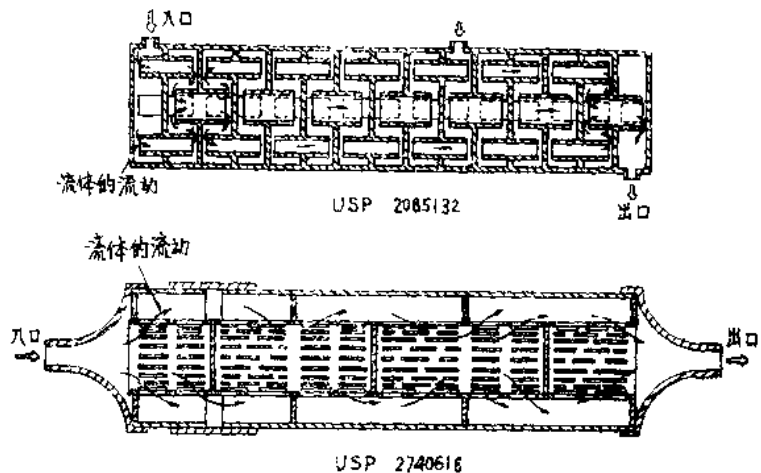


图1.1 静态混合器发明以前的流体通路构造体

静态混合器能使低粘度到高粘度的各种流体不管流速如何都达到高度混合。

后来，人们提出了许多通路构造体的方案。而最早具备静态混合器条件的发明则是荷兰专利NO.185539(比利时专利NO.578478, 1959.8登记)。

该发明附有具体的静态混合器立体图。从该图及流动的断面方向可以看到流体混合的几种状态，如图1.2所示。从此图上可以看出，流体的通路与只设有档板是不同的，它依靠流体的通路，使流体分割，移位然后再重叠，从而达到混合的目的，这就初步提出了设计静态混合器的基本思想。

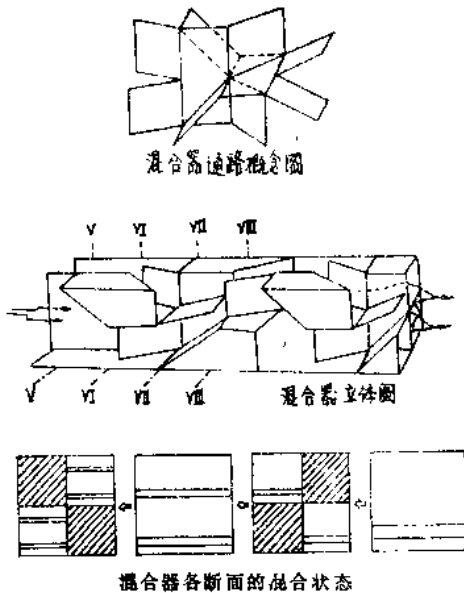


图1.2 世界上最早的静态混合器 (荷兰专利NO.185539)及其混合状态

此后又陆续开发了许多静态混合器，但 这些发明都是以上述荷兰专利作为混合的基本原理，即以“分割—移位—重叠”的想法为基础，综合了不同的流体性质与上述方案而产生的。例如，图1.3为美国道化公司(The Dow Chemical Co.)申请的专利US P3195865(1965.7登记)、美国恩卡公司(American Enka Corp)的专利USP3206170

(1965.9) 登记)。USP3239197 (1966.3. 登记)、道·巴迪谢公司(Dow Badische Co)的USP3583678 (1971.7登记)等，都是对上述基本专利的改良。

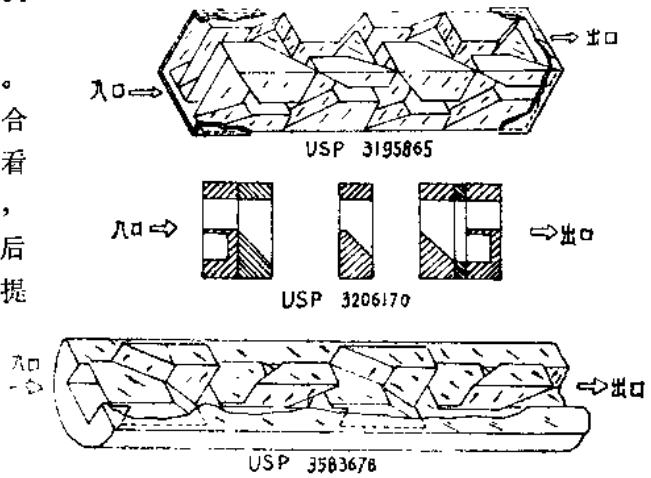


图1.3 由基本专利改变的静态混合器的构造

图1.4所示的阿瑟·D·里特尔公司(Arthur D Little Inc)的专利USP3286992 (1966.11登记)则是以图1.5的专利USP 2601018 (1952.6登记)与上述基本专利的想法相结合而形成的。

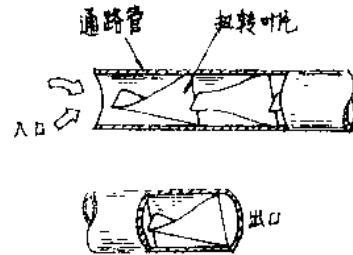


图 1.4 USP 3286992

此外，1970年美国凯尼斯公司(Kenics)根据阿瑟·D·里特尔公司的发明并经得许可，首先使静态混合器商品化。商品名为静态混合器(Static Mixer)，对于普及静态混合器起了极大的作用。以后，以美国为中心，日本、西德相继使静态混合器商品化，从而使它在世界各国正式进入了实用化阶段。

1.2 实用化的静态混合器

表 1.1 中列出在国内外市场上销售或在工业上应用的静态混合器的构造。这些静态

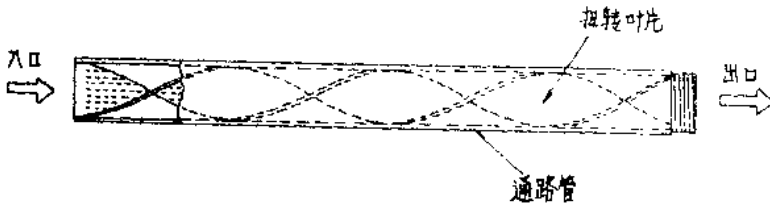


图1.5 USP

表11 正在实际应用的静态混合器

厂家及商品名称	混 合 元 件		能否混合		
	结构图(2单元)	构 成	层流	湍流	粉粒体
美国Kenics公司 静态混合器		把扭转180°左右的叶片交错90°装配	○	○	
瑞士Sulzer四司 SMV型静态混合元件		把交错重叠的波纹板元件错开90°装配	○	○	
瑞士Sulzer公司 BKM型静态混合元件		把平的平板交错90°	○	○	
美国Charless与Ross公司 罗斯ISG混合器		把元件的4个孔按某角度穿通, 流入侧外周的孔在流出侧的中心位置	○	○	○
日本樱制作所(株) 斯凯阿混合器		在中空的四角筒内组装分割板与变位板, 使它们按直角交错排列	○	○	
日本晁立工业(株) 西马沙基管道混合器		按螺旋状左右扭转90°, 按120°三等分把三条叶片装配在孔口内	○	○	
日本东(株) Hi-混合器		把左右扭转180°的叶片插入二个通路内组成元件, 并设置中间室按错开90°装配	○	○	○
美国KomaxSystems公司 科马克思混合器		把板的两端交互弯折45°	○	○	
美国Mixing Equipment公司 赖特宁·茵莱纳混合器		把有3枚翼片的推进括板错开位相串联连接	○	○	
美国DowChemical公司 马尔梯福克思混合器		在中空的四角筒内组装分割板与变位板, 使它们按直角交错排列	○	○	○
西德BASF公司 BASF混合器			○	○	
西德Firma Bran和Lubbe公司 N型罗尔混合器			○	○	

混合器都各有所长与不足，性能方面也有明显的差别。例如，当混合程度与混合长度相同时压力损失不同，混合程度与压力损失相同时则混合器长度(紧凑性)不同，还有在是否有物料的正常滞留现象及耐久性方面的差别等。混合程度的指标一般用通路断面的流体分割层数表示。各混合器中所给出的指标都限于两种流体的混合比例为1:1,且为层流状态时。

多混数混合器在混合比例不同时,例如由10:2变为100:1时,其混合程度急剧下降。也有在层流混合良好,但在湍流区则混合性能变差,而且很少有既能使流体(液体、气体、流动的粘弹性体、以液体与气体流动为动力的粉粒体)混合,又能以同一构造使粉粒体混合的混合器。能使内部摩擦系数比表面摩擦系数更大的粉粒混合的静态混合器有罗斯(Ross)ISG混合器及东丽(Hi混合器(东L Hi-Mixer)。图1.6为Hi-混合器的构造,图1.7为用其进行混合的状态。

在实际应用时,充分认识以上各点是非常重要的。否则于实际工艺应用时可能会得到与所期相反的结果。

1.3 流体的混合机理

静态混合器使流体混合

的机理在层流与湍流时有较大差别。层流时在流体中按“分割—移位—重叠”这三个混合要素的正常规律反复作用而进行混合。而湍流时除了上述三要素外,由于在流动断面方向发生激烈涡流使流体受到强烈的剪切力。

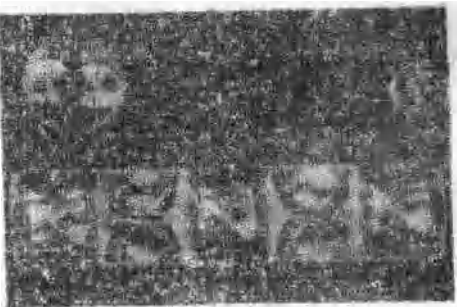
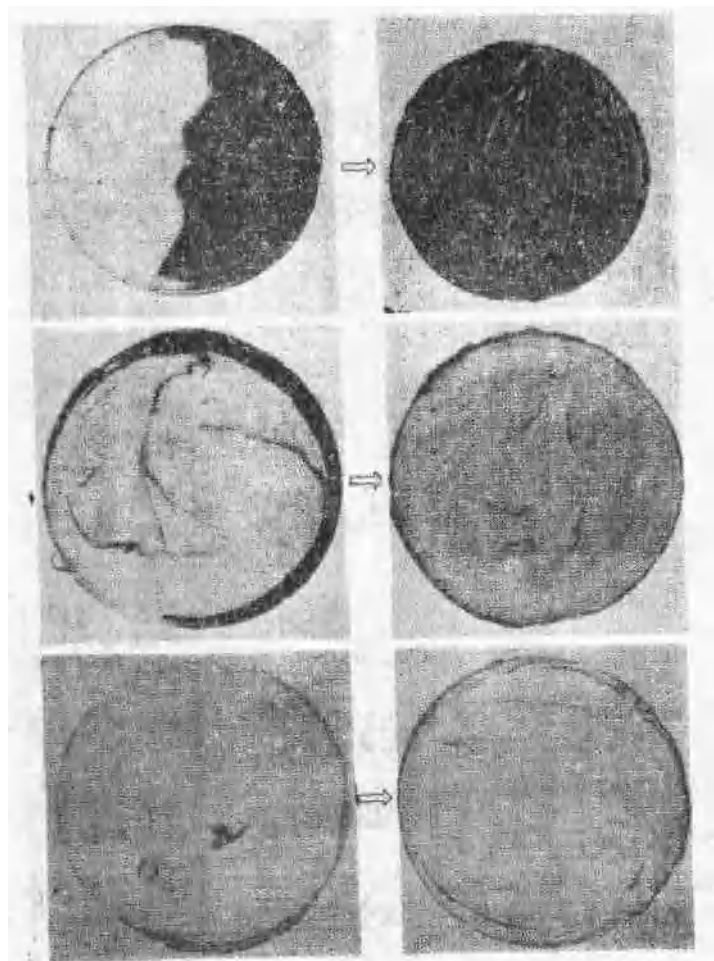


图1.6 静态混合器(Hi-Mixer)的构造



混合前的流体断面状态

混合后的流体断面状态

图 1.7 由静态混合器(Hi-Mixer)得到的混合状态(5单元, 流体粘度5泊, 流速2厘米/秒)

在混合三要素中,移位是居主要地位的。各种混合器的差别仅在于使物料移位的方式不同。而由于这一差别,使混合器的构造及混合性能也产生很大差别。移位的方式可以分为两大类,表1.1中所列的混合器可以分为以下几类。

(1) 多通路管的相对移位

属于这一类的有罗斯ISG混合器, SMV型静态混合元件, BKM型静态混合元件、科马克思 (Komax) 混合器, 马尔梯福克思 (Multiflux) 混合器、PSM混合器, BASF混合器, Hi—混合器 (粉体用)。

(2) 在通路管断面发生的流速分布引起的相对位移

属于这一类的有凯尼斯公司的静态混合器、赖特宁、茵莱纳 (Lightnin Inliner) 混合器、N型罗尔 (Rohr) 混合器、埃莱斯坦特 (Erestat) 混合器、斯凯阿混合器、西马沙基管式混合器、Hi—混合器。

属于第(1)类的混合器因为沿流动的断面方向不产生剧烈的涡流, 因此主要用于层流混合; 而第(2)类则对层流及湍流均能适用

属第(1)类的混合器的移位方式, 大致都运用如图 1.2 中所示的方式, 而SMV型混合元件(苏尔士公司)则如图 1.8 所示具有以波纹板交错叠层的构造, 与其它混合器呈不同的混合状态。SMV混合元件的混合状态如图 1.9 所示, 它不同于图 1.2 方式的混合状态。在此构造中, 若只用2块波纹板

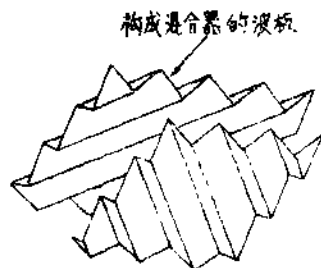
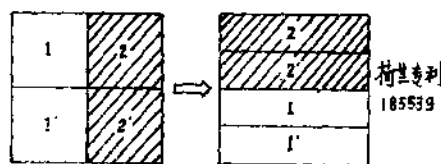
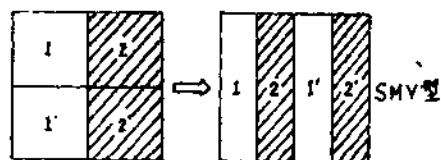


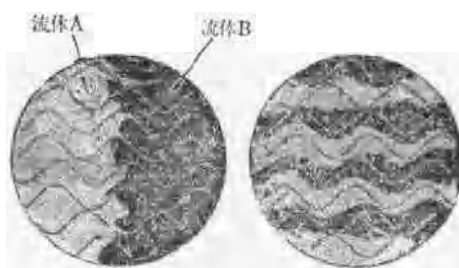
图1.8 SMV型混合元件 (苏尔士公司)

有时就难以进行混合, 通常以5块以上叠层为宜。单个元件的混合状态如图1.10所示。



混合前的流体断面 混合后的流体断面

图 1.9 SMV型混合元件与荷兰专利 185539的混合状态不相同的示意图



混合前的流体断面 混合后的流体断面

图 1.10 SMV型混合元件的混合状态

此外, BKM型混合元件(苏尔士公司)也是利用以倾斜棒使流体移位的性能的独特构造, 混合机理如图1.11所示。

属于第(2)类的混合器的移位方式是沿通路断面方向产生流速分布。此流速分布由固定在通路内的扭转叶片及弯管产生, 弯管处的流速分布如图1.12所示。凯尼斯静态混合器及Hi—混合器等属于第(2)类的混合器都使用扭转叶片。由扭转叶片产生的流速分布情况可由周向移动、径向固定的近似模型求得。

1.3.1. 层流的流速分布 (雷诺数 $Re < 1$, 二维斯托克斯流动时)

雷诺数 $Re < 1$, 二维斯托克斯流动时 流线函数可以表达为

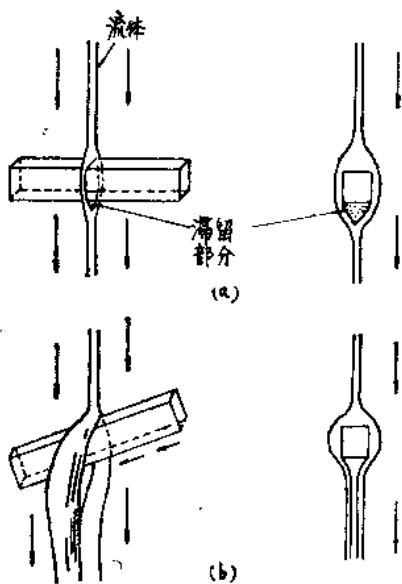


图 1.11 BKM混合元件的混合机理

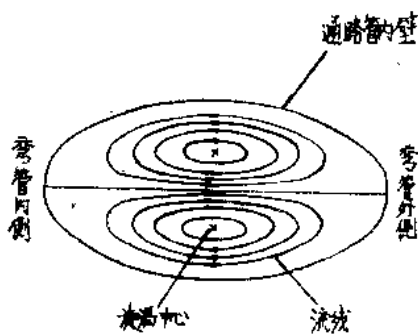


图 1.12 椭圆形断面曲管中产生的涡流

$$\nabla^2 \psi = 0 \quad (1.1)$$

由此式，通路断面的流线可画成如图 1.13 中所示的涡形线。图 1.13 是通路管内壁 (半径 $R=1$) 的流速 = 1，扭转叶片固定，由有限元素法解式 (1.1) 得到的。因为流速 (图中的黑色部分) 在各流线处是不同的，所以在流体各部分产生移位。图 1.14 为存在于半圆上左右两边的流体的移位状况与叶片的扭转角度的关系。由此图可知，混合器的扭转角度在 180° 附近最为适宜，此值以外的其它角度会使其混合程度变差。

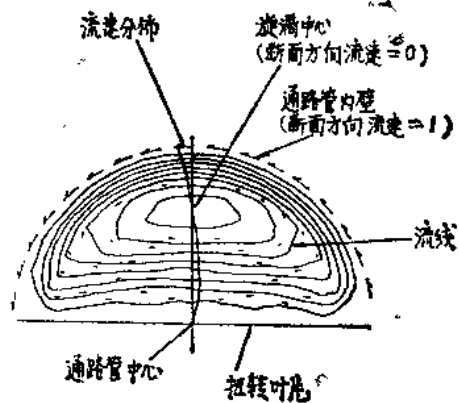


图 1.13 扭转叶片内通路断面的流线

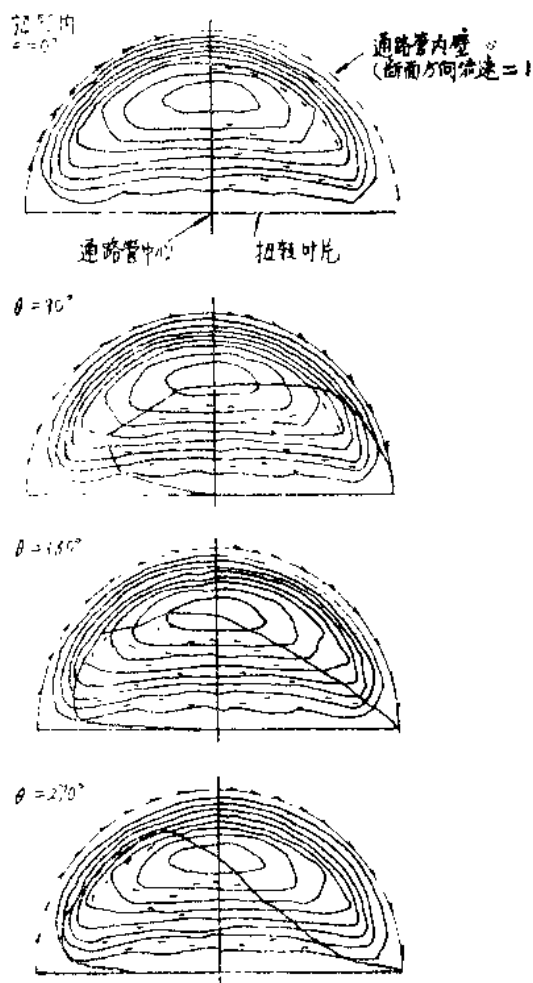


图 1.14 扭转叶片内通路断面的流体的移位 (稳定的层流区, 雷诺数 $Re < 1$)

1.3.2 层流(雷诺数 $Re > 1$)及过渡区的流速分布

随着雷诺数的增大, 流线受雷诺数及扭转间距的影响而呈复杂的形态。图1.15中示

出雷诺数=378, 809, 1600, 扭转间距/管径=5.24的计算例。图1.16则为雷诺数 $Re=1200$, 扭转间距/管径=5.24, 3.14, 2.25的计算例。

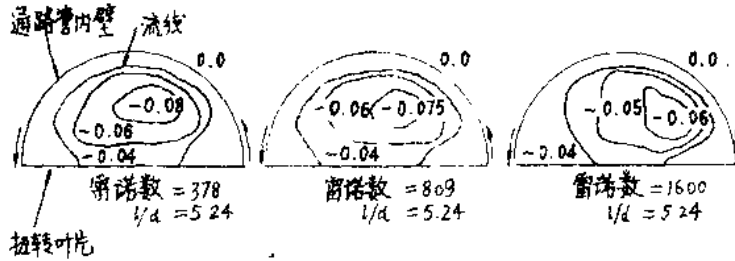


图 1.15 扭转叶片内通路断面的流线

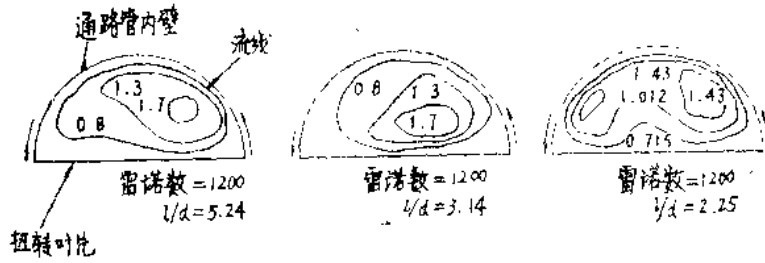
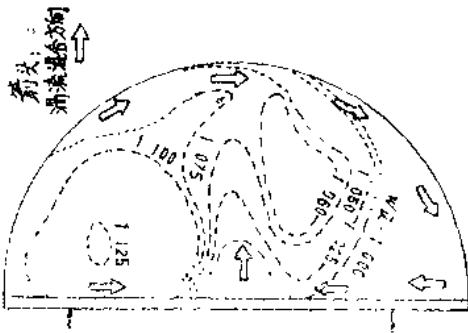


图 1.16 扭转叶片内通路断面的流线

1.3.3 湍流的流速分布

流线受到雷诺数、扭转间距的强烈影响。流速分布状况已不可能由理论计算求得, 而必须由实验求得。图1.17为雷诺数 $=1.4 \times 10^5$ 的实验例。



箭头, 沿流体流动方向 (与平面成直交的方向) 扭转的带状板的扭转方向 雷诺数 $=1.4 \times 10^5$, $l/d=10.3$

图 1.17 扭转叶片内通路断面的流线

1.4 粉粒体的混合机理

干燥状态的粉粒体, 它的内部摩擦系数通常超过表面摩擦系数。因而就与粘性流体一样, 由于通道壁面的剪切力, 大都不能形成均匀的流速分布。在通路管的收缩扩大、弯管等部分产生不连续的速度分布, 在同一横截面处基本上接近活塞流, 但难以给出粉粒体的流速分布。因此, 从混合器的必要的三要素“分割—移位—重叠”来看, 使用以通路断面方向产生速度分布为移位方式的静态混合器就难以使粉粒体混合, 因此以混合器分类中属于第(1)类的混合器更为适宜。

因为粉粒体容易引起架桥及滞留现象, 通路部分都必须具有物料安息角以上角度並

且通道必须光滑。表1.1中所列的混合器中，符合这二条件而适用于粉粒体的有 Hi—混合器(粉体用)及罗斯ISG混合器(粉体用)。Hi—混合器所采用的叶片扭转角度，流体用则以180°为宜；面粉粒体用则以90°为宜。

1.5 静态混合器的混合形态

静态混合器的一般特征以及这些特征产生的利弊如表1.2所示。静态混合器的基本

工艺组成方式有图1.18所示的工种。实际工艺流程大多把几个基本程流进行组合而使用。混合器前面所接的两种液体合流部分的构造由液体的粘度、比重、混合比例、相容性等而定。特别是在两种液体接触的同时在接触界面因进行反应和凝胶化而发生相变的场合，必须充分注意合流部分的构造及流速以及对混合器的选择。

表1.2 静态混合器的特征

项 目	特 征	优 点	缺 点
构 造	无机械的可动部分	<ul style="list-style-type: none"> • 不须维修保养 • 容易工艺连续化 • 能设置在地位狭窄的场所 	
	单一要素的集合体	<ul style="list-style-type: none"> • 设备费便宜 	<ul style="list-style-type: none"> • 流动方向长
	通路复杂		<ul style="list-style-type: none"> • 流动阻力大
混 合 操 作	移动混合(含层流混合)	<ul style="list-style-type: none"> • 能耗少 	<ul style="list-style-type: none"> • 无破碎混合
	由自身流动而混合	<ul style="list-style-type: none"> • 混合时间缩短 • 混合能量小 • 能控制混合状态 	
	流动的断面方向混合		<ul style="list-style-type: none"> • 纵向混合少
被 混 合 体	流体，粉粒体		
混 合 形 态	带状混合(层流)		

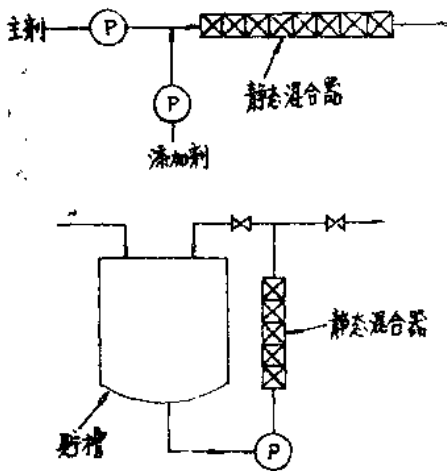


图1.18静态混合器的实际工艺中的基本流程

1.5.1 层流混合

静态混合器引起的流体混合形态显然不同于具有回转部分的混合机及搅拌机的混合状态。图1.19为两种流体混合时发生的层流混合形态。

混合形态由带状变为连续的线条状、断续的线条状甚至粒子状，这取决于混合时的雷诺数、韦伯数等的数值。例如，流速、粒度、混合器直径恒定时，随着流体间的表面张力变大而由带条状变为线条状甚至粒子状。图1.20为以实际液体所作的混合形态的一例。

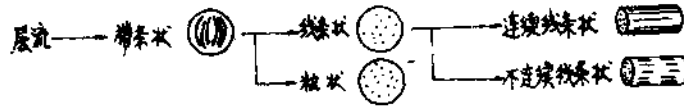


图 1-19 层流的混合状态

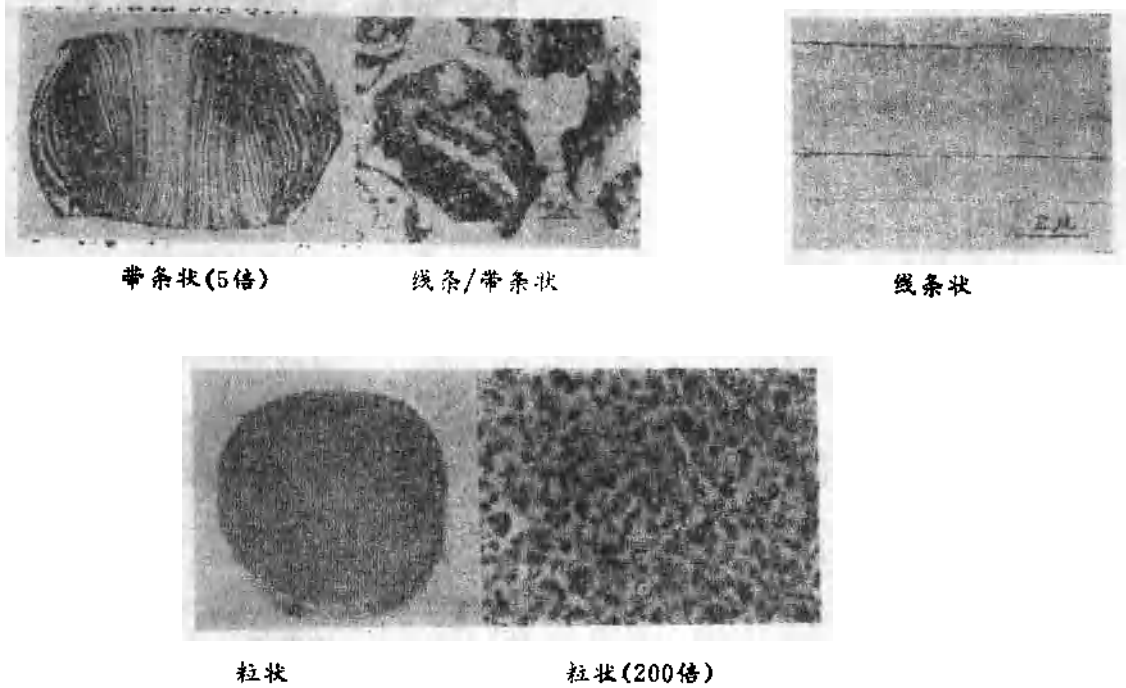


图 1.20 层流的混合形态(用Hi-混合器)

表1.3 混合的难易性

项 目	流体	粘度	混合 比率	流动 状态	混合 难易
1	A B	大小	大小	层流	容易
2	A B	大小	1 1	层流	稍难
3	A B	大小	小 大	层流	困难
4	A B	大小	小 大	湍流	极容易

混合器的单元数及口径根据液体的状态(粘性、相溶性、比重)、混合比例、所要求的混合状态、接触界面的液体结构变化等不同,由实验方法、经验方法来决定。把根

据实验决定的混合器尺寸放大时通常根据雷诺数,但是在雷诺数 <100 (严格说为1以下)时混合程度、混合状态与雷诺数无关,只决定于单元数。因此在混合的流体相同时,根据实验决定的单元数可适用于各种流速及混合器直径。表1.3为具有相容性的两种牛顿液体混合时粘度及混合比例与混合难易性的关系。

1.5.2 湍流混合

如1.3项中所述,适用于湍流混合的静态混合器为使用扭转叶片形式的混合器。这是因为随着流速增大沿流动的断面方向产生许多强涡流及很大的剪切力。由于此很大的

剪切力, 引起了使气—液、液—液、固—液等分散甚至液—液、固—液溶解的效果。

尽管扭转叶片式以外的静态混合器用于湍流混合无疑也是可以的, 但从那些结构中向流体投入的能量在壁面摩擦中较之流体间摩擦消耗更多这一点来看, 则较扭转叶片式混合器差。

笔者以实验得到的将水份分散于重油(水/A重油, = 0.1容积, 非离子活性剂-0.01容积%, 平均流速 = 2米/秒)以及把(空气分散于水中空气/水 = 0.1标准容积, 水平均流

速 = 1.5/米秒)的混合状态示于图1.21及图1.22中。

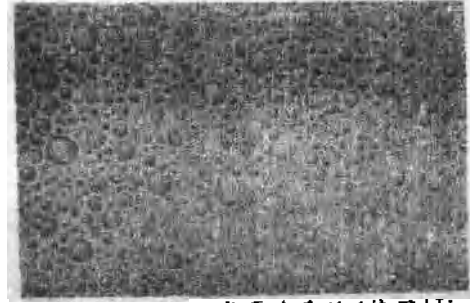


图1.21 水分散于A重油(使用Hi—混合器W/O乳液, 500倍)

1.6 混合效果及混合程度

两种流体混合的混合效果M可以用下式来表达:

$$M = f(\rho_1, \rho_2, \eta_1, \eta_2, \sigma, D_F, Q_1, Q_1/Q_2, V, D, L, \dots) \quad (1.2)$$

把此式以无因次表示则为:

$$M = f(N_{Re}, N_{We}, N_{Fr}, N_{Sc}, \eta_1/\eta_2, \rho_1/\rho_2, Q_1/Q_2, L/D, e_1/D) \quad (1.3)$$

式中: ρ : 密度; η : 粘度; σ : 表面张力; D_F : 扩散系数; Q : 流量; V : 流速; D : 混合器直径; L : 混合器长度; L_1 : 混合器有效长度; 注脚1, 2: 单一流体的编号; t 混合流体; N_{Re} : 雷诺数; N_{We} : 韦伯数; N_{Fr} : 弗鲁德数; N_{Sc} : 施密特数。

在层流而且高粘度的场合中, 因为可以忽略惯性、扩散、重力、比重差等, 所以 $N_{Re}, N_{Fr}, N_{Sc}, \rho_1/\rho_2$ 可以忽略。此外, 在层流低粘度场合, 即使可以忽略 N_{Re} , 但 $N_{Fr}, N_{Sc}, /\rho_2$ 也不能忽略。在静态混合器中, 特别是层流时, 混合比 Q_1/Q_2 、粘度比 η_1/η_2 对混合效果的影响很大, 是呈现静态混合器性能差别的因素。

在湍流中可以忽略 N_{Fr} , 此外 ρ_1/ρ_2 的影响也小, 其它因素则或多或少地影响混合效



图 1.22 空气分散于水中(Hi—混合器)

果。把混合效果以数值表示时, 通常用层流的流体层数表达为下式。

$$N = A \cdot a^n$$

式中 N : 混合层数

A : 混合前的液流数

n : 单元数

a : 混合器的特性值(混合器每一单元的流体分割层数)

典型混合器的混合特性值 a 列于表 1.4 中。

表 1.4

	a
凯尼斯静态混合器	2
罗斯 ISG 混合器	4
东丽 Hi—混合器	4