

· 节能技术 ·

# 静态混合器的原理及应用

大庆石化设计院 李纯煦

**摘要** 静态混合器是一种结构简单、紧凑的节能设备。流体在流经静态混合器时受混合元件的约束,产生分流、合流、旋转,使流体达到充分的混合。可以在很宽的粘度范围内应用,也可以在层流、过度流或紊流等不同流型下操作,还可以应用于间歇操作或连续操。选用时要考虑混合流体的性质、流体的流动状态、流体的体积比,以及混合元件的类型和个数对混合效果的影响。

**关键词** 混合 混合器 静态混合器 流体混合

## 1 前言

静态混合器是国内外正在大力推广应用的—种结构简单而紧凑的节能设备。

流体流经静态混合器比流经空管的压降要大。可以说,静态混合器是靠消耗动力来提高效率的。

波兰学者 Streiff 把能耗系数  $W$  定义为:

对于静态混合器:

层流时有

$$W = \frac{\lambda}{2} \left( \frac{L_h}{D} \right)^{2.33}$$

湍流时有

$$W = \frac{\lambda}{2} Re \left( \frac{L_h}{D} \right)^2$$

对于动态混合器:

层流时有

$$W = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{P \cdot \theta^3}{\rho \cdot D^5}$$

湍流时有

$$W = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{P \cdot \theta^2}{n \cdot D^3}$$

式中  $L_h$  — 均化段长度;

$\lambda$  — 压降系数;

$D$  — 混合器长度;

$Re$  — 雷诺数;

$P$  — 混合器能耗;

$\theta$  — 混合时间;

$\rho$  — 液体密度;

$n$  — 动力粘度。

根据 Streiff 的定义,可以推导出静态混合器的能耗要比动态混合器的小一个数量级。所以我们说,静态混合器是一种节能设备。

其基本原理是利用混合元件改变流体在管内的流动状态,以达到混合的目的。在多种状态混合器中,应用较广的是 Kenics 型、Sulzer 型、东利型等。自 70 年代在我国开发应用以来,在化工过程及其他工业工艺过程中得到了推广,越来越多的企业和科技人员已经或正在认识,并采用这种新设备,以求取得更好的效益。但是,由于在我国静态混合器的运用和开发历史还很短,因此,不仅需要系统的基础研究,而且还需要在实践中不断总结经验,大力推广这种节能设备,两者结合起来,促进静态混合器技术发展。

## 2 静态混合器的工作原理

所谓静态混合器是指一种内部没有转动元件,而是通过固定在管内的不动元件,使流体达到混合的设备。

国外有人把静态混合器定义为“借助流体管路的不同结构,得以在很宽的范围内使流体

混合,而没有机械转动的流体管路结构体”。

流体在流经静态混合器时,受混合元件的约束,产生分流、合流、旋转,使流体达到充分的混合。

对于层流和紊流等不同流动状态,静态混合器的机理是不尽相同的。层流时,静态混合器是对流体反复进行“分割-位移-重新汇合”的有规则的作用,以达到混合的;紊流时,除了上面的作用外,由于流体在流动的断面上产生剧烈的涡流,使流体的细微部分进一步被分割而达到混合。

以 Kenics 静态混合器的一个单元为例,它分为左旋和右旋两部分,每一部分的螺旋片绕轴旋转 180°, 相邻两部分板片交叉 90°, 每个单元的长度约为管径的 1.5 倍。Kenics 静态混合器由若干个这种混合单元组成。流体从入口处被分割成两股,每一股沿圆通道流动,旋转过 180° 之后,又被分割成两股,以相反方向旋转,然后流出第一个单元。显然,流体经 n 个单元之后,就受到 2<sup>n</sup> 次分割、旋转,最后达到了充分的混合。

对于流体之间的传热来讲,由于静态混合器的内件能引起湍流,使传热强化了。SMK 型的强化传热效果与空管相比,约为 4 倍;SMX 型、SMH 型和 SMV-2.3 型的传热效果约为空管的 8~10 倍。

对于流体间的传质来讲,是由于“分割-位移-重新汇合”的作用,使流体充分混合,界面不断更新,新鲜液体不断从内部带到表面,同时由于频繁地更新界面,增加了气液有效接触面积;当它们回到原位之前,新鲜液体与气体接触而进行传质,加速了质量传递。

如果流体的运动是层流,则相邻流体间的传质纯粹是由于分子扩散。当发生质量传递的流体处于湍流状态下,则传质将以湍流扩散方式进行,这时速率是比较快的。对于多数气体而言,要比分子扩散系数高过 100 倍。对于液体而言,则比分子扩散系数高 10 万倍甚至更多。

从图 1 可以看出静态混合器与空管相比,在相同的能量输入条件下,能提供更大的相间

界面面积。

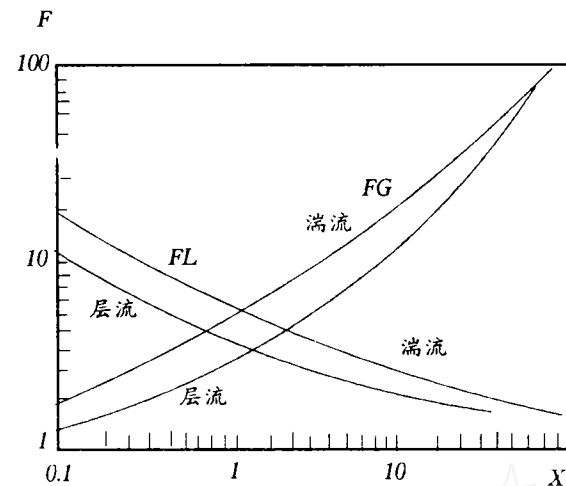


图 1 Lockhard-Martinelli 关联图

### 3 静态混合器的种类

自从 1970 年第一种静态混合器-Kenics 静态混合器问世以来,目前世界上已有 100 多种静态混合器的专利。其中大约有一半类型的静态混合器已实现了商业化。

最新的文献报道,美国开采尼尔公司的新型 Kenics 静态混合器可以以很低的压降来操作,而它的尺寸不受限制;对于空间受限制的场所管子长度再短,它都可以进行混合;它还可以有效地用于非圆形管道。其混合元件是一项专利,它的几何形状使得可以利用边缘促使自然地产生涡流,在不到 1.5 倍管径的这样长度流动范围内,就能提供均匀的混合。

目前我国已开发了多种类型的静态混合器,而且有些生产厂家正在与科研教学部门合作开发新品种。基本可分为五大类,见表 1。

表 1 五类静态混合器

型号	用途及技术性能
SV	适用于粘度 $\leq 10^3 \text{Pa}\cdot\text{s}$ 的液-液、气-液、气-气的乳化、反应、吸收萃取、强化传热过程。最高分散程度为 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 。
SX	适用于粘度 $\leq 10^4 \text{Pa}\cdot\text{s}$ 的中高粘度液-液反应、混合、吸收过程或生产高聚物流体的混合反应过程。
SL	适用于粘度 $\leq 10^4 \text{Pa}\cdot\text{s}$ 的或伴有高聚物介质的液-液、液-固的混合。
SH	适用于精细加工、塑料等部门的混合、乳化、传热等过程。最高分散程度为 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 。
SK	适用于化工、石油、制药、塑料等部门的混合、乳化、传热等过程。

## 4 静态混合器的应用范围

静态混合器具有良好的混合性能及均匀的径向温度分布。所以,其性能有分散性及传热传质性。

静态混合器可以在很宽的粘度范围内应用( $\sim 10^6 \text{mPa} \cdot \text{s}$ ),也可以在层流、过度流、或紊流等不同流型下操作,还可以用于间歇操作或连续操作。

应用的场合包括:

- (1)液-液混合;
- (2)气-液混合;
- (3)气-气混合;
- (4)气-固混合。

由于静态混合器有以上性能,所以它应用很广泛。概括起来有以下四个方面。

- (1)均化作用;
- (2)强化传热;
- (3)传质;
- (4)化学反应(聚合反应)。

在化工及有关工业中,静态混合器在以下几个方面得到了应用:

- (1)塑料和合成纤维;
- (2)食品工业中的混合、乳化;
- (3)民用化学;
- (4)石油化工的燃料乳化、烃类精制、原料预混合等;
- (5)环保污水废气处理。

## 5 静态混合器在石化企业的应用举例

### 5.1 萃取

(1)在常一线轻质油的精制中的应用

乌鲁木齐石化总厂使用静态混合器进行轻质油的精制试验,试验对象为常一线航煤。并与文丘里管进行了比较,结果是静态混合器效果更好。

(2)在催化汽油脱臭装置中的应用

安庆石化总厂炼油厂在催化汽油脱臭装置中采用静态混合器后,总脱硫率为90%左右,

当硫含量在40~60PPM时,能降到3~5PPM;当硫含量高达130PPM时,还能满足80号汽油的出口要求。

(3)在丙烷脱沥青装置中的应用

上海高桥石化公司炼油厂丙烷脱沥青装置以减压渣油为原料,液相丙烷为溶剂,在4.0MPa压力和70℃温度下进行液-液萃取,生产高粘度润滑油料或催化裂化原料,同时得到沥青。

该装置原使用内驱动转盘塔,效率较低。为了降低溶剂比、节约能耗和提高油品收率,曾试用过文丘里管进行减压渣油预释,然后进入转盘塔,但是由于混合得不均匀而效果不好。1981年8月以静态混合器代替文丘里管,实现了良好的渣油稀释,提高了油品的收率,降低了溶剂比,节约了能耗。

### 5.2 混合

上海高桥石化公司炼油厂裂化装置在1984年采用静态混合器进行油品调和,取得了良好的效果,静态混合器能耗仅是孔板混合柱的1/3左右,而静态混合器的体积仅是孔板混合柱的1/4~1/5。

### 5.3 乳化

燃料油掺水乳化以后,形成油包水、水包油的乳化液,喷入炉内燃烧,由于水在高温下迅速汽化,造成油的二次雾化,从而使燃料油完全燃烧。这样,不仅提高了热效率,同时也减少了烟气中的 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 和未燃烧的碳的含量,减少了污染。用静态混合器对重油掺水乳化结果表明,热效率提高了3.4%。

上述实际应用情况表明,静态混合器能代替搅拌器、文丘里管、孔板等设备;可以在混合、萃取、分散、乳化、传热传质等工艺过程中得到应用。因此,静态混合器在石油化工方面是大有可为的。

对于大庆石油化工总厂,通过调查分析,有以下一些装置可以应用静态混合器:

- (1)燃料油调和;
- (2)润滑油调和;
- (3)催化裂化、气体分馏、聚异丁烯等装置

的酸、碱洗精制部分；

(4)丙烷脱沥青原料预稀释；

(5)糠醛精制；

(6)白土精制；

(7)催化重整芳烃抽提；

(8)酮苯脱蜡；

(9)污水废气处理。

## 6 静态混合器在选用时应注意的事项

在选用时应考虑要混合的流体的性质(粘度、密度、互溶性等)、流体的流动状态、流体的体积比,以及混合单元的类型和个数对混合效果的影响。

在给定混合程度要求时,要由混合条件和所需的流动状态来选定混合单元的形式。对于中、高粘度流体相混合时,最好在层流条件下操作,流速约在 0.1 ~ 0.3m/s;对于中、低粘度的流体相混合时,最好在层流—紊流条件下操作,流速约在 0.3 ~ 0.8m/s;对于低粘度难混合的流体来说,最好在紊流条件下操作,流速约 0.8 ~ 1.2m/s,对于需强化传热时,流速可在 1.2 ~ 1.4m/s 的完全紊流条件下操作。

对于需要一定停留时间的传热过程,应考虑液滴的聚集现象:即分散的液滴在离开混合器后,发生聚集,从而使比表面积迅速减少。

文献资料表明,在 1m/s 的流速下,原来具有 10000m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> 比表面积的液滴,在 2.5s 后,比表面积迅速降为 2000m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 6.5s 后降为 1000m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>。对于这类过程,一般倾向于用较多的混合元件,并在较低的流速下操作。这样虽然液滴大了一些,但是在整个停留时间内可以保持恒定的比表面积。其结果是,既有利于传质,又有利于相分离。

在选择静态混合器时,需要考虑混合器的直径及长度(或混合器单元数)。混合器的直径由允许的压降来决定。混合器的长度和个数,可视混合程度和操作难易程度来调整,但也有例外,如有时混合器的流速影响混合结果,有时增加混合单元数还不如增加流速(即

减小混合器的直径)来得到更好的结果。混合难易程度见表 2。

表 2 混合难易程度表

项目	流体	粘度	混合比	流动状态	难易程度	单元数
1	A B	大小	大小	层流	容易	5-15
2	A B	大小	1 1	层流	稍难	10-50
3	A B	大小	大小	紊流	很容易	3-10

对常用的 SMV 型静态混合器来讲,不同过程所选用的流速也不同,见表 3。

表 3 SMV 型不同过程的流速

序号	型号规格	过 程	流速 m/s
1	SV-2.3/20	煤油-水乳化	1.18
		高粘度流体冷却	0.02 ~ 0.1
2	SV-3.5/32	异丁烯催化水合制叔丁烯	1.14 ~ 1.04
3	SV 型	CO <sub>2</sub> 空气混合	0.6
		冷、热空气混合	14

## 7 快速估算压降的方法

我们在选用静态混合器时,不可避免地要计算流经静态混合器产生的压力降。下面是快速估算压降的方法。

对于单相流和多相液体的流动,阻力降可用单相流动相同的方法计算:

$$\Delta P = f \frac{\rho_c}{2} \cdot W \frac{L}{d_n}$$

式中  $\Delta P$ — N/m<sup>2</sup>;

$W$ — 表观速度, m/s;

$\rho_c$ — 连续相密度, kg/m<sup>3</sup>;

$L$ — 水力直径, m。

对于气—液两相流动来讲, Sulzer 和 Kenics 混合器的阻力降可用 Lockhard—Martinelli 法计算,即先计算纯气体压降  $\Delta P_G$ , 然后计算纯液体的压降  $\Delta P_L$ , 再用这些数据来计算 X 值:

$$X = \left( \frac{\Delta P_L}{\Delta P_G} \right)^{0.5}$$

# 导磁体辅助钢球锉板高频感应表面淬火

贵州虹山轴承总公司 李 冀 黔

导磁体在高频感应表面加热淬火中的应用,是一种先进的工艺,在感应圈上卡上导磁体后,能减少磁力线逸散损失,提高感应器的效率。可使零件获得高硬度、高耐磨性、高疲劳强度的表层组织,具有节电显著、大幅度提高工件寿命、降低产品制造成本等优点。1993年下半年,我厂在钢球锉板进行表面淬火中,采用了这种方法,取得了明显的综合经济效益。

在中小型轴承生产中,对钢球的制造有一道把毛坯锉制成球型的工序。即在锉球机上采

用两块刨满锉齿并经表面淬火处理的锉板(我厂采用规格是 $\Phi 690/\Phi 380$ ,平均厚度约110mm,重约200kg,材质:GCr15),其中一块高速旋转,使夹在两锉板中大量的球毛坯不停地滚动,经过一段时间后,就锉制成了球形。一对锉板在使用一段时间后,锉齿就磨损得不能再用了。这时,锉板必须进行一次再加工:把锉板从锉齿机上拆卸下来,进行退火、车削、刨齿,最后进行表面感应淬火,才能装机使用,每块锉板加工一次的各项耗电及费用见表1。

表1 锉板加工的各项耗电及费用

加工项目	加工耗电(kWh)	电费(元)	加工总费用(元)	备 注
退 火	110	33.00	53.00	(1) 电费按 0.30 元/kWh 计算; (2) 不包括停机约两小时卸装费、影响生产造成的损失、锉板每次机加工切削导致材料损失(约 6kg,合30元)及其它费用。
机 加 工	50	15.00	95.00	
表面感应淬火	44	13.20	50.00	
合 计	204	61.20	198.00	

图2为Sulzer混合器输入能量与相间界面的关系曲线图。

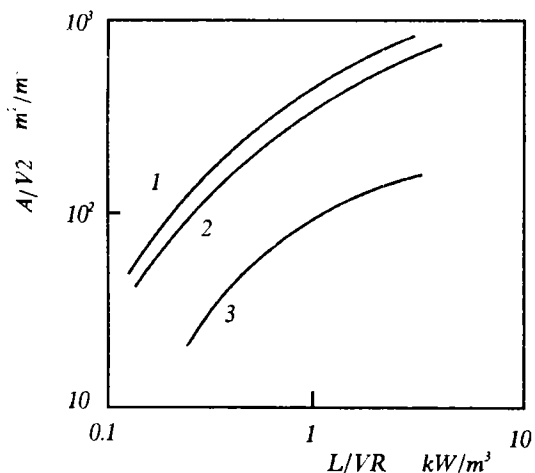


图2 Sulzer混合器输入能量与相间界面的关系

1-SMV8 2-SMV16 3-空管

最后,由图1查出 $F_G$ 和 $F_L$ 值,代入下式,计算两相流的压降 $\Delta P_m$ :

$$\Delta P_m = F_G^2 \times \Delta P_G + F_L^2 \times \Delta P_L \quad \text{N/m}^2$$

总之,静态混合器是一种节能设备,但是受工艺条件限制,特别是在老装置改造时,由于系统压降的约束,所以在选用时要根据实际操作条件,通过必要的计算,选择合适型号的混合器,以满足工艺的要求。

### 参考文献

- [1] Inter. Chem. Eng. 1986.[1]
- [2] 炼油设计. 1986.1
- [3] 静态混合器工业应用实例.(之一)
- [4] OIL & GAS J. 1991. Vol 89. No.13.P.68