

双螺杆混合元件的特性及应用

刘廷华 朱复华

(北京化工大学塑料机械及塑料工程研究所,100029)

本文论述了双螺杆挤出机混合元件的特性、混合机理及使用场合,并对混合元件的构型设计及在生产中的合理选用进行了探讨。

Speciality and Application of Mixing Elements for Twin-screw Extrusion

Liu Tinghua and Zhu Fuhua

(Institute of Plastics Machinery and Plastics Engineering of Beijing University of Chemical Technology)

The paper expounds the speciality, mechanism and application of mixing elements for twin-screw extrusion. And how to select and apply reasonably these mixing elements in production are investigated.

一、引言

现代社会对高效能的聚合物共混物需求的增长,极大地促进了人们对更适用的混合加工设备的开发和利用。同向旋转双螺杆挤出机以其独特的性能而被公认为是一种高效连续的混合设备。

按现代积木组合式原理设计的同向旋转双螺杆,其混合元件的合理使用尤为重要。这是由于混合元件能使物料沿所受剪切的方向产生十分有效的更迭,形成混合效果极佳的几何流型,使物料获得充分的分布或分散性混合。显然,对同向双螺杆混合元件特性的了解和认识不仅有助于对其混合作用机理进行更深入的理论研究,而且对双螺杆混合元件构型的改进设计以及在生产中的合理选择使用都是有益的。

二、混合元件的特性

同向旋转双螺杆挤出机的混合元件主要有捏合盘元件(如图1)和齿形盘元件(如图2)两种。由于不同的构型设计,使它们对物料

所产生的混合输送作用存在较大的差异。

1. 捏合盘混合元件的特性

捏合盘是同向旋转双螺杆挤出机的主要混合元件。常见的捏合盘的横截面有单凸型(类偏心捏合盘)、双凸型(菱形捏合盘)和三凸型(曲边三角形捏合盘)三类(见图3),



图1 捏合盘元件

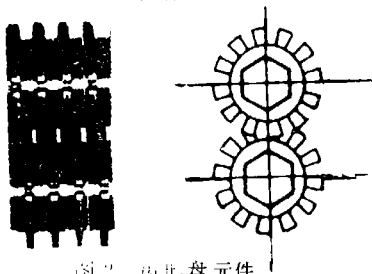


图2 齿形盘元件

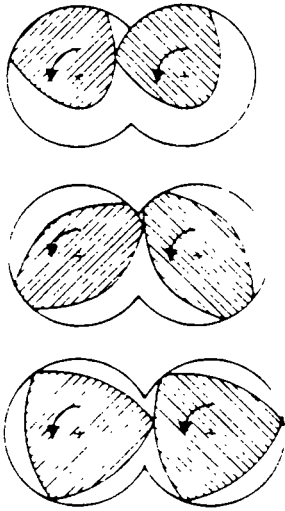


图3 捏合盘元件的横截面形状
(上)单凸,(中)双凸,(下)三凸

可分别与单头、双头和三头的螺纹元件相连接配用。表1列出了截面形状不同的捏合盘的特性及应用场合。

捏合盘片间的错列角不同,对物料的剪切混合及输送能力均有所不同。捏合盘元件可以制作成单片,然后再几片一组地组装到螺杆芯轴上构成捏合盘组合块,这样形成的组合块其错列角是可调的。在实际应用中,也常把捏合盘制作成几片固定在一起的捏合盘块,其错列角就是固定不变的。

捏合盘的错列通常是按正向输送(右旋)

表1 捏合盘的类型、特性及用途

特 性 类 型	组 合	特性	应 用
单凸 (类偏心捏合盘)	与单头螺纹元件配用	剪切较弱	不易混合的物料如环氧树脂、聚酯、聚丙烯酸涂覆粉料等
双凸 (菱形捏合盘)	与双头螺纹元件配用	剪切中等	适用于对剪切较敏感的物料,如玻纤增强等
三凸 (曲边三角形捏合盘)	与三头螺纹元件配用	剪切较强	对能承受高剪切的物料进行混合

向前输送物料的性能,其允许物料通过由错列角形成的空隙造成反混。但中性(90°角错

列)的捏合元件不具有输送能力,依靠向前输送的螺纹元件顺流输送物料至该捏合元件,

的螺纹元件的螺旋方向进行组合的,但也有将错列角设计制作成与螺纹元件旋向相反的,这会使物料向前运动受阻,形成局部高压和高剪切,以满足特定位置的混合效能。

物料在捏合盘叶片间沿螺杆轴向的开放程度取决于错列角。以捏合盘元件叶片旋向不同角度的错列,可使捏合盘具有将物料向前输送、不输送(中性)和逆向输送三种特性,见图4。按右旋方向错列的捏合盘元件具有

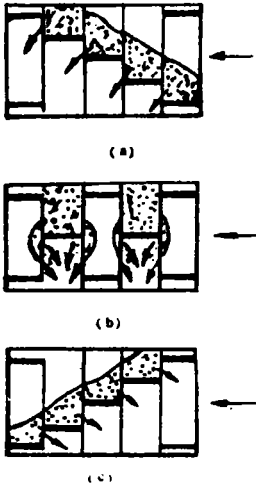


图4 不同错列角对物料的输送能力
a. 右旋螺纹错列的捏合盘
b. 中性错列的捏合盘
c. 左旋螺纹错列的捏合盘

列)的捏合元件不具有输送能力,依靠向前输送的螺纹元件顺流输送物料至该捏合元件,

并迫使物料越过继续向前。逆向输送的捏合盘是按左旋螺旋方向来错列的,对料流产生阻力并形成反压,由此导致顺流螺槽充填程度的增加。但由其形成的反压比采用反螺线元件的低,原因是物料可以从错列角的间隙泄漏。

捏合盘常用的错列角为 90°、60°、45°和 30°。错列的角度不同除能使其具有不同的输送物料的能力外,还能使在相邻的捏合叶片间的料流交换程度及混合剪切能力不同。若将错列角自 30°错列增至 90°错列,则可使物料纵向混合能力增加而逐步损失输送效率,如图 5

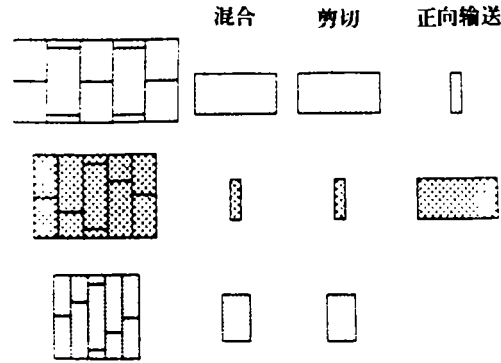


图 5 不同错列角捏合元件的特性
(上)60°错列右旋;(中)30°错列右旋;
(下)30°错列左旋(带正元件)

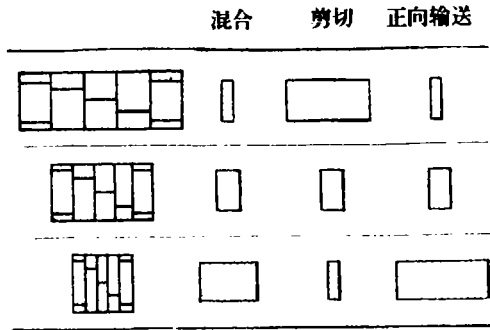


图 6 捏合盘叶片宽度的功能
(上)宽叶;(中)中等宽叶;(下)窄叶

捏合盘叶片的宽度不同,对物料的混合能力也会不同,甚至捏合盘沿螺杆轴向输送物料的能力也因此而不同(见图 6)。窄片的

捏合盘具有良好的轴向输送物料的能力,随着捏合盘叶片变宽,其混合能力和轴向输送能力将减弱,但其横向剪切作用则有所增强。为描述同向旋转双螺杆的混合元件对物料轴向混合的影响,可采用无量纲的佩克莱准数(Peclet number),即雷诺数与普朗特数的乘积($\rho \frac{cul}{\lambda}$)来进行评价。佩氏准数 Pe 值越低,意味着反混能力越强。宽度和错列角不同的捏合盘与螺纹元件混合能力的佩氏准数见图 7。

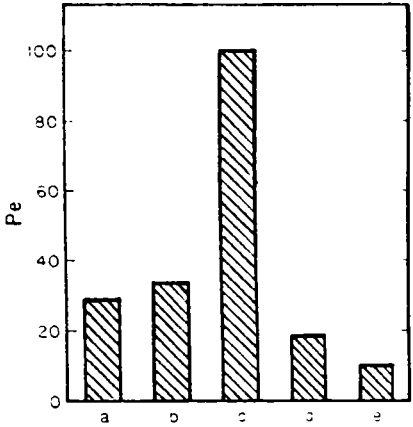


图 7 捏合盘与螺纹元件混合能力的佩氏准数
a. 螺纹元件 b. 30°窄叶片捏合盘
c. 30°宽叶片捏合盘 d. 45°窄叶片捏合盘
e. 30°窄叶片左旋捏合盘

2. 捏合盘元件的混合作用

捏合盘元件由于其捏合叶片垂直于流动方向,对物料具有劈斩作用,使其不同于螺纹输送元件的二维混合特性而具有三维的混合特性。

捏合盘的混合能力体现在对物料所形成的分布混合或分散混合作用。而这种作用是靠物料在捏合盘中受到的剪切,分流和回流来实现的。

捏合盘对物料的分布混合作用是源于物料在流经捏合盘组合块时由一个捏合盘片流入下一个捏合盘片所产生的分流。这是由于在捏合盘片与机筒之间会形成若干分隔开的槽形通道。物料在流入和流出捏合盘片的过

程中,各股料流会经历反复换位、分流和汇合,由此提高了物料表面更新能力和接触界面,使物料得到混合。捏合盘料流中,还存在物料的反向回流,这种反向回流对物料的分布混合有重要的作用。回流量越大,混合越强。影响这种回流量的参数有:物料的非牛顿指数、捏合盘截面的凸型数以及捏合盘片与机筒壁间的间隙值 δ 。有关研究表明:非牛顿指数越小,捏合盘截面凸型数越多或间隙值 δ 越大,反向回流越大。捏合盘叶片间的错列角及旋向也是控制轴向分布混合的重要因素。错列角较大时,轴向回流随之增加,使轴向分布混合能力加强(如图8)

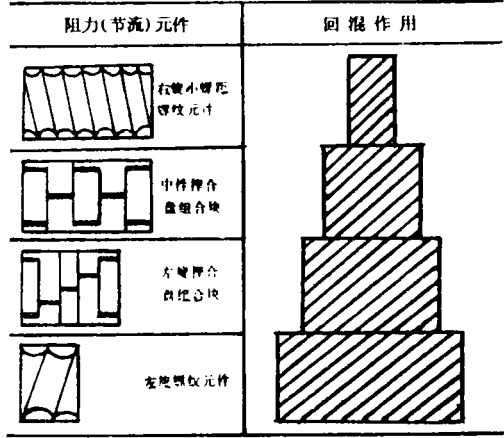


图8 不同螺杆元件轴向混合作用比较

捏合盘对物料的分散混合作用主要体现在错列角和螺杆转速影响方面。随着错列角的增大,分散混合能力提高。而随着螺杆转速增加,平均剪切应力随之增加,分散混合得到加强。而在相同平均剪切应力下,停留时间加长,分散混合质量会越好。

3. 齿形盘混合元件的性能及作用

齿形盘也是用于同向旋转双螺杆挤出机中的一种很好的混合元件,它是由一组或几组带齿的圆盘所组成(图9)。

齿形盘元件的加入相当于在沿物料流道上所设置的障碍,其影响螺槽通道的畅通程度,对轴向混合有直接影响。当组合几对齿形

盘元件后,通道较窄,轴向反混能力提高,但其输送效率有所下降。



图9 齿形盘与螺纹元件的组合

齿形盘元件通常设计成直齿型,这种齿形盘不具有输送物料的能力,物料通过齿形盘元件主要依靠元件两端的压力差,故必须在齿形盘上游联接正向输送的螺纹元件。若将齿加工成斜齿且其倾斜方向与正向输送螺纹元件螺旋方向一致时,便具有一定的正向输送物料能力。

使用齿形盘可以加强对物料的混合。在非啮合区,由于齿片对料流的连续分割,增加了物料的接触界面,有利于分布混合。在啮合区,由于一根螺杆上的齿盘与另一根螺杆上的齿盘是错列的,故料流沿轴向被反复切割,其分布混合作用较为强烈,在两片齿间由于间隙较小因之物料流经此间隙所受剪切较大,形成一定的分散混合效应。而采用增加齿形混合盘的对数或增加每个齿盘的齿片数,均可增强物料的均化作用。

三、混合元件的构型设计及选用

混合元件的构型设计是确定提供给螺杆有效长度上每一特定位置上所需的剪切或混合作用的强弱。不同的构型可以赋予物料不同程度的分布混合或分散混合。

若是要增强分布混合,则应采用窄片构型的捏合盘元件,或以较小的错列角来获得。也可以采用中等齿数的齿形盘元件组来达到这一目的。对于具有较大错列角或宽片的捏合元件构型,则可用于满足需要较强分散混合的位置。采用中等错列的反向输送捏合盘或多齿的齿形盘组也可达到此目的。

在同向双螺杆挤出机中,物料在加料段

通常是未充满螺槽的。元件构型选择一般常是采用大螺距的正向输送螺纹元件构成较大的容料空间,以适应加料量的调节。而齿形盘和捏合盘混合元件则可用来加速物料的熔融和混炼。在实际生产中,一般宜采用正向输送的螺纹元件来分隔混合元件,以避免在熔融区产生过大的温度梯度,使混合元件的分布混合和分散混合作用均布在物料正向输送熔融和均化过程中。

在排气口前,为使挥发物易于排除,通常是采用在排气口前设置反向螺纹元件形成对熔体的封堵,使螺槽得以充满,并由此建立起压力差。在实际应用中,也可采用反向错列的捏合盘元件来达到上述目的。对于脱挥干燥用的同向双螺杆挤出机,要多处设置排气口,因而可以采用反向错列捏合盘与反向螺纹元件交替使用的方法,使熔体既能有效地被封堵,从而能在排气口处脱除挥发份,又能增强熔体的混合。

在靠近机头的熔体输送区,可采用齿形盘元件来提高熔体的均化质量。对在这一区间因使用混合元件导致流道的扼制所形成的阻碍物料输送的反压,可配用小螺距螺纹元件来加强正向输送能力,由此还能缩短熔体建立压力的回溯长度(即熔体在机头压力下填满螺槽的长度)。

(上接 26 页)

依据。一些成功的塑料异型材挤出成型模头和定型模也证明了这一点。

定型模各段的制造长度一般都标准化了,所以定型模的实际制造长度和计算结果是有差异的。

(二)通过最小冷却时间计算所得到的定型模理论长度 L ,集中地反映了型材特性、牵引速度、定型模温度等因素对定型模长度的影响,可以作为开发高速挤出定型模的依据。对于改进定型模设计有一定的指导意义。

实践表明:合理地采用捏合元件来控制剪切输入量,可以使热敏或剪切敏的填充物在临界温度下很好地混合分散。在进行共混或填充改性中,混合元件的构型设计不当或使用中组合位置不当,均会影响混合质量甚至导致挤出不稳定。譬如,在进行玻纤增强时,齿形盘或窄片捏合盘的设置位置不当,均可导致玻纤长度太短。而在色母料混合挤出中,利用宽构型的捏合盘可获得较强的混合效果。在捏合盘组与捏合盘组之间插入正向输送螺纹元件,可防止颜料过热或过剪切导致的色度衰退。

参考文献

[1] Bigio,D. and L. Erwin,Mixing studies in corotating twin-screw extruders,ANTEC Tech. Papers, 1985
[2] Szydowski, W. and J. L. white,An improved theory of metering in an intermeshing corotating twin-screw extruder,Advan. Polym. Technol. 7,419,1987
[3] D. M. Kalyen,Polym. Eng. Sci. ,29(15),1018, 1989
[4] 耿孝正等编,《塑料混合及设备》,轻工业出版社,1991
[5] R. A. Lai Fook,etal. ,Polym. Eng. Sci. ,31(15), 1157,1991

(本文编辑 ZYT)

(三)目前温度 T_e 及系数 ξ_1 和 ξ_2 的选择有较大的经验成分,对于异型材不同的精度要求,对于挤出成型模头和定型模不同的设计方法和不同的加工精度都会有不同的结果。但对于统一的标准和规范化的设计与制造来说,还是可以足够准确地选定,以满足工程要求的。

参考文献

[1] 刁树森,塑料加工与应用,1985(4):22~29
[2] 徐能裁等,工程塑料应用,1993(3):30~34
[3] 张荫朗,模具工业,1989(6):49~55

(本文编辑 WJW)