

多螺杆挤出机的研究与应用

王华峰

周才根

(浙江工业职业技术学院,绍兴 312000)

(浙江凯达机床股份有限公司,绍兴 312041)

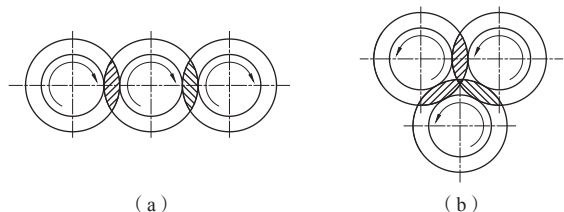
摘要 对三螺杆挤出机的结构、混合机理和挤出特性进行了分析,重点论述了三螺杆挤出机的研发及应用现状,并对四螺杆挤出机的研发现状进行了简要介绍,指出多螺杆挤出机发展的不足之处,对多螺杆挤出机的研究与应用具有一定的指导意义。

关键词 多螺杆 三螺杆 混合机理 挤出性能

螺杆类挤出机是聚合物加工的重要设备,它对促进聚合物改性的进一步发展起到了巨大的作用^[1]。近一百多年以来,随着高分子材料的发展,尤其是聚合物共混改性的飞速发展,螺杆类挤出机不断推陈出新,演化出多种结构形式,如柱塞式、单螺杆式、平行双螺杆式、锥形双螺杆式及多螺杆式,走过了由简单到复杂、由作用单一到兼具多种功能的发展历程。作为挤出机械领域的又一创新,多螺杆挤出机以其灵活多变的排布方式、多个啮合区、小的长径比、较高的产能比、优异的混合特性满足了聚合物的加工质量和产量精细化、系列化、功能化、低成本等方面的要求,受到了越来越多的关注^[2-3]。近年来,国内外的许多学者和厂家对其挤出过程和混合机理进行了较为深入的理论、实验和数值模拟研究,同时不断开发系列化的多螺杆挤出装备和技术,均取得了一定的成果。

1 三螺杆挤出机的结构与性能分析

三螺杆挤出机螺杆的排列形式主要有“一”字排列和全啮合倒品字型的三角形排列,如图1所示。



a——“一”字排列; b——全啮合倒品字型的三角形排列

图1 三螺杆挤出机螺杆的主要排列形式

图1a所示的“一”字排列的三螺杆有两个啮合区,螺杆的旋转方向可以是同向,也可以是异向。当三螺杆的旋转方向为异向时,其效果相当于向内、向外旋转的两对异向双螺杆的啮合作用,由于异向双螺杆之间物料交换能力差,剪切速率低,其混合能力较弱,所以通常选为同向旋转。相比于同向旋转的双螺杆挤出机,同向三螺杆挤出机的啮合区增加一

倍,使物料在机筒中的运动更加复杂,混合效果更强。由于物料通过定量加料器进入料筒中后,可从一根螺杆的螺槽运动至第二根螺杆的螺槽再进入第三根螺杆的螺槽,因此能以较小的长径比获取等同于大长径比双螺杆甚至更好的混合效果。

图1b所示的全啮合倒品字型的三角形排列的三螺杆有三个啮合区及特有的中心啮合区。三根螺杆端面以倒品字形排列,三个中心连线成正三角形,这就从几何关系上较容易地保证了三根螺杆的加工装配精度。全啮合三螺杆的螺纹元件端面曲线的生成以双螺杆相关理论为基础。由于同向和异向旋转的两根螺杆的螺纹元件端面曲线生成原理截然不同,一根螺杆的螺纹元件不可能同时满足两种齿形形成原理。因此,全啮合三角形排列的三根螺杆必然是同向旋转,而且螺纹头数必须为奇数,或为单头,或为三头,不能是双头(双头螺纹三螺杆的任何相位都会有干涉)。

多年的生产实践证明,物料的塑炼、分散主要靠啮合区的强剪切作用完成。三螺杆啮合区的成倍增加,碾压面积成倍增加,使物料在螺杆中的塑炼、均化、剪切的次数成倍增加,运转中对物料构成了高效的挤压、破碎、揉捏、压延、拉伸作用,有效地提高了设备的塑炼、熔融、分散性能,改善了塑炼质量^[4]。正是这种高效的混捏作用使三螺杆无需单螺杆或双螺杆的大直径、大长径比,就可获得同等质量同等产量的生产条件,充分体现出三螺杆挤出机高效的混合均化特性、结构上的紧凑性和经济性。

2 三螺杆挤出机的研发与应用现状

2.1 三螺杆挤出机的研发现状

三螺杆挤出机的研制开发目的是使投资成本与产能比及塑炼质量达到最佳。三螺杆挤出机作为面

市不久的一种新型设备,其在螺杆轴承设置、制造工艺、运作机理等方面需要进行深入研究。国外关于三螺杆挤出机的研究报道很少。由于三螺杆挤出机的复杂性及实验条件的限制,目前国内对于三螺杆挤出机的研究多倾向于采用 CAE 技术对螺纹元件挤出过程的三维流场进行模拟分析,直接采用实验的方法对三螺杆挤出机的混炼特性进行研究的文献比较少^[5]。

2000 年,北京化工大学塑料机械及塑料工程研究所姜南研究设计了国内第一台三角形排列的三螺杆挤出机。2003 年应企业委托研究设计了另一型号的三角形排列的三螺杆挤出机。朱常委^[4]和雷焱^[6]结合这两台工业样机的试制,通过深入分析三螺杆几何学,研究论证了三螺杆挤出机的不干涉运转条件;运用计算机辅助几何设计系统(CAD),利用 C、VC6.0、Visual Lisp 语言,专门为螺纹元件曲线设计编制了法向修正软件,并重新设计了全部螺纹元件,使相互啮合的三根螺杆螺纹元件的轴向曲线设计及制作更精确。

朱向哲等^[7-11]利用 ANSYS 软件包对聚乙烯熔体在螺杆外径为 45 mm、螺杆根径为 35 mm、相邻两螺杆的中心距为 41 mm、机筒内径为 46 mm、两螺杆的间隙为 0.4 mm、机筒和螺杆的间隙为 0.5 mm、螺杆螺纹导程为 45 mm、螺杆的螺纹均为右旋、逆时针旋转的双螺杆,“一字”型排列的三螺杆,三角形排列的三螺杆及四螺杆反应器中的流动进行了模拟计算。计算结果表明,螺杆反应器的啮合区具有较大的速度梯度,有利于物料的充分混合。双螺杆、“一字”型排列三螺杆、三角形排列三螺杆和四螺杆反应器的啮合区个数分别为 1、2、3、4,由于啮合区个数的增加,其物料混合能力也逐渐增强。三角形排列三螺杆和四螺杆反应器具有特殊的结构“中心区”。中心区的物料形成环流,环流的存在促进了中心区物料的混合,增加了物料在中心区的混合时间;经过计算,物料不能滞留于中心区。双螺杆、“一字”型排列三螺杆、三角形排列三螺杆和四螺杆反应器的流量、回流量、回流系数及平均剪切速率依次逐渐增大。从理论上验证了多螺杆反应器在物料输运能力及物料混合能力等方面均具有较佳的能力,多螺杆反应器更适合聚合物的加工。

胡冬冬等^[12]利用粘性和粘弹性的流体分析软件 Polyflow 对三角形排列的三螺杆挤出机捏合盘元件中聚合物熔体的等温流场进行了模拟,重点对粒

子的运动轨迹和中心区物料粒子的停留时间进行了统计学分析。结果表明,中心区虽然会形成局部的瞬态小环流,但不会引起物料滞留,中心区的部分流体直接流过中心通道,其停留时间比其它绕三根螺杆作螺旋运动的流体要短得多;三螺杆挤出机的输送能力比双螺杆要强,且三角形排列的输送能力略高于“一字”形排列的输送能力。

马兴巍等^[13]基于三角形排列的三螺杆挤出机的研究开发,对螺纹元件所形成的流场、特有的三个啮合区和中心区流场进行了模拟研究。通过对流速、流向、剪切速率、剪切黏度等挤出特性的剖析,说明这种三螺杆挤出机具有较强的输送能力;三个啮合区较其它区域有高的速度梯度、剪切速率;中心区存在瞬态环流和回流。在计算条件下,中心区的物料中的 95%,会在 5 s 内流出中心区,其余物料在中心区的停留时间不会超过 100 s。

何和智等^[14]利用 ANSYS 软件中的 Flotran CFD 分析功能对同向旋转三螺杆挤出机计量段实际流道真实尺寸的三维非牛顿模型流场进行数值模拟,分析了振动力场作用下挤出机计量段内的黏度分布、压力分布、速度分布及振幅对流量的影响,同时与无振动状态的挤出特性进行了比较。结果表明,振动力场的引入使熔体黏度和流量呈周期性变化,熔体黏度降低,螺棱两侧压差随振幅增大而增大,剪切作用增强,分散性混合能力和分布性混合能力提高。

张文呈^[15]使用聚合物流动分析软件 Polyflow 对三角形排列的全啮合同向三螺杆挤出机工业样机进行三维等温流场的数值模拟,并结合实际试验的测试数据,以对比探讨计算方法和结果的正确性。其研究结论为,与同规格的双螺杆挤出机比,三螺杆挤出机有较好的混合及自清洁能力;三螺杆挤出机中粒子的运动轨迹,空间交换的频率比双螺杆挤出机的高。三螺杆挤出机虽然有多个啮合区的存在,剪切频率成倍高于双螺杆挤出机,但剪切强度并不明显高于双螺杆挤出机,不会挤出过热。三螺杆挤出机的剪切温升高于双螺杆挤出机,对于中小规格机型,虽尚不足以达到自热挤出条件,但可使外部加热器的断电周期相对延长,这对节能降耗有益。结合试验数据对比,证实了整个计算过程的正确性。

邓零兰^[16]对组合式三螺杆挤出机中的熔体流场和混合性能进行了数值模拟研究,在实验验证的基础上,结合正交试验设计方法,研究了啮合块类型、下游螺纹元件、体积流率和螺杆转速对熔体流场

及混合特性的研究。结果表明,啮合区熔体压力主要受下游螺纹元件的影响;正向和中性啮合块的回流量及剪切速率主要受螺杆转速影响,随螺杆转速的提高而提高,而反向啮合块则主要受下游螺纹元件影响,反向螺纹元件使其回流量及剪切速率提高;中性啮合块的分布混合能力随螺杆转速的提高而增强,随体积流率提高而降低,受下游螺纹元件的影响减小;反向啮合块的分布混合能力优于中性啮合块,随螺杆转速提高而增强,受体积流率影响较小。

2.2 三螺杆挤出机的应用现状

北京化工大学塑料机械研究所姜南与企业合作,从2000年开始,经过6年的研究,率先开发了三角形排列的全啮合三螺杆挤出机,实现了三根螺杆的同步、主动、全啮合和非干涉运转,并进行了一系列理论、实验研究和工业化试生产,测试结果表明,所开发的三螺杆挤出机具备工业化生产的条件。工业样机的实际应用结果表明,三螺杆挤出机工作可靠,具有较低的比能耗、较强的混炼能力和优异的排气性能,显示出很强的技术和经济优势^[17]。

石家庄德倍隆科技有限公司是最早研发三螺杆挤出机的单位之一,现已开发出两大系列(LTS一字形系列、TTS倒三角形系列)共5个品种在三螺杆挤出机产品^[18-19]。该公司开发出产品后,并没有急于推向市场,而是在LTS-52型及TTS-47型三螺杆挤出机上进行了大量的工艺试验。结果表明,无论LTS型还是TTS型三螺杆挤出机,在混合质量、产量、能耗、排气性能上均明显优于双螺杆挤出机。

崔鹏等^[18]从机械设计角度,对石家庄德倍隆科技有限公司生产的LTS型、TTS型三螺杆挤出机与双螺杆挤出机进行了比较,指出LTS和TTS型三螺杆挤出机操作范围更宽,混炼能力更强,能够降低能耗,能满足新材料对混合效果不断提高的要求。

王鹏等^[19]对石家庄德倍隆科技有限公司生产的三螺杆挤出机与双螺杆挤出机进行了比较。结果表明,三螺杆挤出工艺是生产聚烯烃填充母料的比较理想的新一代加工方法。它的推广应用对于提高填充母料生产技术水平将会起到积极的推动作用,是双螺杆挤出机的更新换代产品。

王鹏^[20]采用石家庄德倍隆科技有限公司生产的三螺杆双阶挤出机进行了聚氯乙烯(PVC)电缆料的挤出试验,在能耗、产量、电缆料外观及性能方面与某双螺杆双阶挤出机进行了比较。结果表明,三螺杆双阶挤出机生产的PVC电缆料料条表面光

滑细腻、呈现油亮光泽,料条内部剖面上没有气孔、针眼等缺陷,无传统双螺杆双阶机常见的分散不良现象,料条光泽度高、拉伸不易断裂、韧性好,优于传统双螺杆双阶挤出机所生产的电缆料。

3 四螺杆挤出机的研发现状

我国已开发出四螺杆反应混炼机。它综合了缩聚反应器、螺杆挤出机、混炼机、啮合机、密炼机、研磨机的特点,可用于生产改性塑料、塑料合金、色母料和填充母料等^[3]。由于四螺杆挤出机结构复杂,挤出过程受到影响的因素较多,目前对于四螺杆挤出机的混炼机理还处于定性分析阶段。

朱向哲等^[10,21-22]利用计算流体力学法(CFD),对聚合物熔体在四螺杆挤出机螺纹元件中的流动规律进行了数值模拟。利用所得的速度场和压力场,计算了四螺杆挤出特性,并和双螺杆、一字型排列和三角形排列的三螺杆挤出机进行了对比分析。结果表明,四螺杆的四个啮合区具有较大的压力和速度梯度,物料在四螺杆中流动1周,共经过4个啮合区,因此其混合性能明显好于双螺杆挤出机。在中心区有明显的环流现象,延长了物料的停留时间分布,且中心区物料没有滞留现象。由于中心区的存在导致了四螺杆挤出机的建压能力较弱;但四螺杆挤出机在产量、分布性混合和分散性混合等方面好于双螺杆和三螺杆挤出机。

4 结语

多螺杆挤出机以其优异的混合特性、较好的产能比、较小的长径比已在功能塑料的制备、高亮度涂料的制备和富有营养及色香味具佳的新型方便食品的加工领域得到很好的应用。与任何一种新机型的问世一样,三螺杆挤出机特别是正三角形排列的全啮合三螺杆挤出机的工业化应用,因其在轴承设置、制造工艺等诸多方面有特殊性,技术上尚待成熟,还没有形成被业界普遍认可的理论研究,其运作机理还有待深入研究,各方面工作都有待不断开拓前进。这是一项非常有前景的工作,对推进挤出共混理论的发展,促进螺杆类挤出技术的创新发展具有指导和实际应用意义。

参考文献

- [1] 朱复华.挤出理论及应用[M].北京:中国轻工业出版社,2001.
- [2] 姜南,邢应生,闫宝瑞,等.三螺杆挤出机及其特性[J].塑料,2003,32(1):56-59.
- [3] 陈怡,刘延华.多螺杆挤出机的开发与应用进展[J].中国塑料,2004,18(6):17-20.

- [4] 朱常委. 三螺杆挤出机螺纹元件及混合机理研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2002.
- [5] Barrena M A, Vega J F, Martínez-Salazar J. Three-dimensional modeling of flow curves in co-rotating twin-screw extruder elements [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 197(1-3): 221-224.
- [6] 雷焱. 三螺杆挤出机螺纹元件的理论研究及设计[D]. 北京: 北京化工大学, 2001.
- [7] 朱向哲, 谢禹钧, 苗一. “一字”型排列三螺杆挤出机三维流场分析[J]. 工程塑料应用, 2004, 32(10): 34-36.
- [8] Zhu Xiangzhe, Xie Yujun, Yuan Huqun. Numerical simulation of extrusion characteristics for co-rotating tri-screw extruder[J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2007, 46(4): 401-407.
- [9] 朱向哲, 袁惠群. 三螺杆挤出机挤出特性的数值模拟[J]. 高分子材料科学与工程, 2008, 24(3): 32-35.
- [10] 朱向哲, 陈德荣, 谢禹钧. 基于 CFD 多螺杆反应器挤出特性的分析[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2006, 26(1): 58-62.
- [11] 朱向哲, 奚文. 三螺杆挤压熔体输送段功耗特性的数值分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 119-123.
- [12] 胡冬冬, 陈晋南. 啮合同向三螺杆挤出机中三维等温流动的数值模拟[J]. 化工学报, 2004, 55(2): 280-283.
- [13] 马兴巍, 姜南. 三螺杆挤出机螺纹元件流场分析[J]. 中国塑料, 2005, 19(9): 93-97.
- [14] 何和智, 陈君辉, 谢圣明. 振动力场作用下三螺杆挤出机计量段中聚合物挤出的模拟[J]. 中国塑料, 2006, 24(4): 104-107.
- [15] 张文呈. 三角形排列的全啮合三螺杆挤出机流场分析剪切分散和剪切温升计算研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2007.
- [16] 邓霁兰. 组合式三螺杆挤出机中流动与混合的数值模拟[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [17] Jiang Nan, Zhu Changwei. Study on extrusion characteristics of the tri-screw extruder[J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2008, 47(6): 590-594.
- [18] 崔鹏, 王保民. LTS 型、TTS 型三螺杆挤出机与双螺杆挤出机的比较[J]. 工程塑料应用, 2008, 36(9): 69-71.
- [19] 王鹏, 孙浩. 三螺杆挤出工艺在填充母料生产中的应用[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(6): 80-82.
- [20] 王鹏. 三螺杆双阶机在 PVC 电缆料生产中的应用[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(7): 73-74.
- [21] 朱向哲. 四螺杆挤出机常规螺纹元件三维流场分析[J]. 塑料, 2005, 34(2): 93-96.
- [22] 朱向哲, 袁惠群. 四螺杆挤出机中聚合物流动特性的计算机模拟[J]. 高分子材料科学与工程, 2008, 24(9): 14-18.

THE RESEARCH AND APPLICATION OF MULTI-SCREW EXTRUDERS

Wang Huafeng

(Zhejiang Industry Polytechnic College, Shaoxing 312000, China)

Zhou Caigen

(Zhejiang Kaida Machine Tool Co. Ltd., Shaoxing 312041, China)

ABSTRACT The structure, mixing mechanism and extrusion characteristic of tri-screw extruder were analyzed, the study and application status of tri-screw extruder were expounded emphasisly. Besides, the study status of four-screw extruder was introduced concisely. The inadequacies of multi-screw extruders development was pointed out. This had some guidance significance to research and application of the multi-screw extruders.

KEYWORDS multi-screw, tri-screw, mixing mechanism, extrusion characteristic

原料供应紧张致 PTFE 价格稳步上扬

生产氟碳涂料的重要原料聚四氟乙烯 (PTFE) 价格由 2010 年 8 月的 5.6 万元/t 上涨至目前的 14 万元/t 以上。

长期从事化工贸易分析师表示, PTFE 价格迅速上涨背后的一个重要原因是供给紧张。尽管国内 PTFE 产能过剩, 但是生产 PTFE 的主要原料四氟乙烯单体供给严重不足, 从而限制了 PTFE 的产量。

报告显示, 2010 年, PTFE 全球产能约 15 万 t, 需求量约 10 万 t, 但产量仅 9 万 t。今年 3 月的日本大地震也导致 PTFE 全球有效产能削减 1.5 万 ~2.5 万 t。

据了解, 四氟乙烯主要来源于二氟一氯甲烷 (R22) 的热分解。2010 年下半年开始, 受国外制冷剂 R22 产能淘汰、装置关停因素影响, 四氟乙烯无新增原料 R22 供应。四氟乙烯的另一主要用途是生产五氟乙烷 (R125), R125 的需求量增加也拉动了对于四氟乙烯的需求。

此外, 四氟乙烯在生产过程中风险很大, 安全隐患也很大, 几乎每年都发生四氟乙烯在聚合或精馏过程中的事故, 四氟乙烯装置的不断检修也加剧了 PTFE 供给的紧张态势。

业内人士指出, PTFE 景气有望维持 1 ~2 年。PTFE 供给紧张的态势将逐步发生改变。

据不完全统计, 今年四氟乙烯将新增 30% ~40% 的产能, 产能若完全释放, 势必会对 PTFE 的上行走势产生一定冲击。

(工程塑料网)

陶氏化学 Unipol 技术授权中国两家聚丙烯厂使用

陶氏化学宣布, 最近签署了一项协议, 将其 UNIPOL 聚丙烯 (PP) 工艺技术授权给中国煤炭工业集团旗下的陕西省榆林市两家煤制烯烃工厂使用。

这两家 PP 厂产能分别为 30 万 t/a 和 45 万 t/a, 将生产均聚, 无规共聚和抗冲共聚 PP 树脂产品, 据协议, 这两家厂都将使用陶氏催化剂。

(中国化工报)