

机械与模具

交联聚乙烯料加工设备的选型分析*

陈自卫,周志军

(北京化工大学塑料机械及塑料工程研究所,北京 100029)

摘要:通过多年从事硅烷交联聚乙烯料的实践和研究,就交联料生产的主要影响因素,即加工设备进行了剖析,对使用的几种机型的工作原理、运动方式、混炼效果、接枝反应时间、优缺点等问题进行了较深入的说明和比较,提出了自己的看法。

关键词:硅烷交联聚乙烯料;接枝反应;熔融混炼;双阶挤出机

中图分类号:TQ325.12,TQ320.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9456(2004)05-0077-05

Type Analysis of the Processing Equipment for Cross Linked Polyethylene

CHEN Zi-wei,ZHOU Zhi-jun

(Beijing University of Chemical Technology,Beijing 100029,China)

Abstract:On the base of the study and practical work on cross linked polyethylene for many years. The key factor for the production of cross linked materials——processing equipment was analyzed. The working principle,movement form,mixture effect,grafting reaction time,and the advantages and disadvantages of some kinds of machines were illuminated and compared,as well as some viewpoints of the author.

Key words:silane cross linked polyethylene materials;grafting reaction;melt mix refine;two-stage extrusion machine

1 前言

随着人们生活质量的不断提高,一种新型管材——铝塑复合管已经悄然进入寻常百姓家,成为家居中不可缺少的冷热水用管。其中热水管所用的原材料是硅烷化学交联聚乙烯专用料。生产这种原料所采用的工艺路线如图1所示。

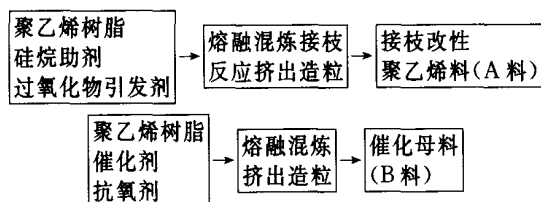


图1 硅烷交联料生产工艺示意图

从这里可以看出,聚乙烯专用料是由A、B两种料组成的,B料的挤出加工仅存在物理反应(熔融、混炼),而A料的挤出加工不仅存在熔融混炼等物理反

应,还存在硅烷化学接枝反应。也就是说,当物料加热后,过氧化物引发剂首先受热分解,使之成为化学活性很高的游离基,这些游离基夺取聚乙烯树脂中的氢原子使聚合物分子主链变为活性游离基,然后再与硅烷交联剂发生化学接枝反应,生成可以交联的聚乙烯接枝改性原料(A料)。在制品厂,操作人员只需将交联A料和B料按配比混合后加入专用成型机,即可生产出铝塑复合管,该管材在与水接触后完成水解缩合化学反应,形成性能稳定而优良的铝塑复合热水管材。

在上述的加工中不难看出,可交联的接枝A料的加工至关重要,其化学反应是否充分将直接影响后续生产的质量。因此,交联A料的生产条件要求比较苛刻,根据经验,在A料加工中,物料在挤出机中的反应时间一般应控制在1~3min之间,这样,物料混炼和化学反应充分,其制品的性能更好,制品的综合技术指标

* 收稿日期:2004-04-16

作者简介:陈自卫(1946-),男,汉,山西省昔阳县人,研究员,现在北京化工大学塑料机械及塑料工程研究所从事科研技术工作。

——交联度符合标准规定。但如果反应时间过长,聚乙烯树脂将由于线性分子结构向空间网状结构的剧烈改变而呈更加粘稠状态,不仅造成后续加工困难,制品也会变得硬脆。反之,反应时间短,聚合物分子中的结构变化过小,其内在性能未发生太大改变,交联度也难以达到标准规定。当然,其反应时间并不是一个固定的值,它与配方组成、加工设备选型、工艺条件、螺杆的组合形式以及对制品的使用要求等都有直接关系。

2 挤出设备的选择

为了能在交联料尤其是 A 料的加工中获得充分的混炼效果、恰当的接枝反应时间及符合国标要求的交联度,目前有 4 种挤出机型可供选择,即:单螺杆挤出机、平行同向双螺杆挤出机、双螺杆-单螺杆双阶挤出机和 BUSS(布斯)挤出机。

2.1 单螺杆挤出机

单螺杆挤出机既可以直接成型塑料制品,也可以对塑料进行共混挤出造粒。它结构简单紧凑、耗能少、成本低。但由于它仅有一个螺杆,物料将主要沿着其螺槽进行螺旋运动,运动形式比较单一,因此对物料的翻搅混合能力较差。另外对单螺杆来说,其输送粒料的能力强,但对粉料及液态料的输送能力较弱,缺乏强制输送功能,所以在物料输送过程中容易发生“抱轴”现象。在进行交联料的生产时,由于物料在单螺旋的运动中行程较短,往往在接枝反应的时间上难以满足。为此也想了一些补救办法,比如:选择螺杆直径大、长径比大的挤出机,以延长反应时间;采用分离型螺杆(中部有双螺槽)或销钉型螺杆(中部有若干销钉)以提高其剪切混炼能力;将进料口处机筒内壁加工出沟槽以提高对非粒状物料的输送能力,但混炼效果仍感欠佳。为了满足反应时间而不得降低螺杆的转速,但这样做意味着降低了其剪切速率,削弱了其混炼效果,同时产量也降得很低。由于矛盾难以解决,目前很少有厂家采用单螺杆挤出机加工交联料。

2.2 双螺杆挤出机

平行同向双螺杆挤出机的结构要比单螺杆挤出机复杂,成本也高,但它具有前者不可比拟的优点。比如:它具有强制输送能力,两个相啮合的平行螺杆在运转中将强制粒料、粉料或液体前行,不会产生“抱螺杆”的现象;由于它的螺杆由芯轴和各种螺纹混炼元件组成,其机筒由多段筒体组合而成,所以螺杆和机筒均可以灵活组合,对增大其长径比以延长接枝反应时间来说将具有更大的优越性。现在加工交联 A 料的螺杆

长径比往往在 36~48 之间选取。它的自洁性强,可及时清除滞留在螺杆上的物料,避免因物料结壳变糊而降低质量,缩短生产周期。其产量也比螺杆直径相同的单螺杆挤出机高。双螺杆挤出机的最大优势是混炼效果好,这和物流在机筒中多变的运动方式有很大关系。归纳起来其运动方式有以下几种:

1) 螺旋运动:由于挤出机中的两个平行螺杆的螺纹元件是相啮合的,而为了加工安装的方便和螺杆运行的需要,在两螺杆啮合区及螺杆与机筒之间都留有一定的间隙。有部分物料将沿着螺槽进行“ ∞ ”型螺旋运动。在螺杆上部,当物料从右螺槽开始进入左螺槽时,将被相啮合的左螺棱分成两股(见图 2),只是由于左螺槽前后的空隙大小不同,大部分料流将进入左螺槽的前螺槽,只有少量料流进入后螺槽。当这两股物流运动到螺杆下部中间部位时,物流将从左螺槽再进入右螺槽,它又被相啮合的右螺棱“一分为二”。这样,当物料在螺槽中转过 n 圈后,料流已经被分割成大小不同的 4^n 股,这些料流在不断地分割-融合-分割的过程中达到了充分混炼的作用。

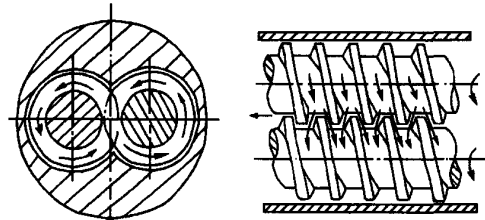


图 2 物流的螺旋运动和轴向运动

2) 轴向运动:物流从右螺槽进入左螺槽需要通过中间的啮合区,由于左螺棱顶面的阻挡及两螺杆转向相同,一部分物流将会在此处形成涡流,再在右螺棱的前推力作用下,部分料流会在两螺杆中间相接部位沿轴向翻滚着向前运动,这种情况在我研究所研发的“50 全程视窗透明双螺杆挤出试验机”(甘肃化工机械厂 1994 年制造)实验中已经观察到。也就是说,有一部分物料在运动中走了捷径,但这并不意味着他们将会通行无阻地一直走到机头。他们不仅会受到物料横向“ ∞ ”字形料流的干扰,更会受到各种啮合块不同强度的阻滞,使它的“队形”不断被打散,不断与其它料流融合,达到了混炼的作用。

3) 变速运动:双螺杆挤出机的螺杆元件由各种不同的螺纹块和啮合块组成,由于各个相接螺纹元件的导程不尽相同,物料前进的速度也在不断改变。各种多片错列的啮合块具有更强烈的剪切能力和阻滞能

力,物料在通过啮合块时将会被反复剪断、阻挡、挤压,运行速度剧烈变化,料流不断错位,达到了充分混炼的目的。

除此以外,物料在高压下还会通过两螺杆之间及螺杆外缘与机筒之间的空隙漏流回原螺槽,再次受到剪切和混炼。正是由于平行同向双螺杆挤出机中同时存在着以上几种物流的运动,所以聚乙烯树脂、硅烷助剂、DCP 引发剂的混合物料会呈现出一种无规律的复

合运动,混合得更加均匀,获得了很好的接枝效果,因此很多厂家还在使用平行同向双螺杆挤出机组加工交联料。

但任何事物都是一分为二的,双螺杆挤出机长度与化学接枝反应时间之间的矛盾并未解决得很好。实验曾先后使用 53、58、68、72 平行同向双螺杆机组进行交联料的加工,技术参数如表 1 所示。

表 1 不同直径的平行同向双螺杆机组的技术参数

平双机类型	螺杆直径/mm	长径比	功率/kW	螺杆设定转速/(r/min)	产量/(kg/h)	交联度/%
53	53	28:1	37	70	25	
58	58	28:1	30	80~120	40	65~75
68	68	38:1	75	100	70~85	
72	72	36:1	75	100	70~85	

通过实践,使用单一的平行同向双螺杆挤出机有几点不足:

1) 如果按照上面的机型,用挤出机最佳的螺杆转速(200~300r/min)运行,则将无法获得满意的接枝反应时间和合格的交联度,为此,只得将转速调整得很低(见表 1),结果螺杆转速仅为额定转速(300r/min)的约 1/4~1/3。而如此低的螺杆转速不仅使混炼效果大打折扣,还将造成电机效率低下,电流增大,电机的碳刷等元件严重磨损,减速机长期处于不利的重载工作状态,机电装置容易损坏。

2) 接枝反应时间欠短。表 1 中,螺杆在调定的低速下,测得物料从入料口到口模挤出一般在 1min20s~1min50s 之间。在这里,由于双螺杆是由 4 区段组成的,即:输送段、混炼段、排气段和均化段。物流通过温度较低的螺杆输送段时,尚未能进行化学接枝反应,因此真正的接枝反应时间也就 1min 多一些,尚感欠短。另外,对化学接枝反应起主要作用的混炼段被夹在输送段和排气段之间,其长度很有限,啮合混炼元件的使用受到很大限制,反应时间也受到很大限制,造成产量低,交联度波动性较大。

3) 如果选用长径比更大的机型(如 48:1),虽然在转速和反应时间上的矛盾得以缓和,但带来功率的消耗加大,生产交联料时螺杆的经常性装拆和清理将变得更加困难,细长的螺杆更容易弯曲变形。

2.3 双螺杆-单螺杆双阶挤出机组

该挤出机也称为“串联式挤出机组”,就是将平行

同向双螺杆挤出机与单螺杆挤出机串接在一起,简称“双阶机组”。为了拆装和清理螺杆方便,两机为垂直布置,单螺杆挤出机的入料口位于双螺杆机机头出料口下方,之间有“中间筒体”连接。如图 3 所示。

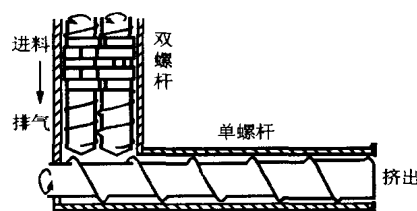


图 3 双螺杆-单螺杆双阶挤出机

在双阶机中,第一阶双螺杆挤出机的直径小,以高速旋转,短时间内物流受较大的剪切应力作用达到增强塑化和混炼的目的,第二阶单螺杆挤出机直径大,螺杆长径比较短,以低速旋转,使物料缓慢地混炼和均化,而在输出端建立高压,实现稳定挤出。他发挥了双螺杆较强的混炼优势和单螺杆的均化好、挤出稳定的优势,又由于两机的螺杆转速可以分别自调,具有了更大的灵活性,操作性更强,而高速的双螺杆和低速的单螺杆又使两机的电功率达到高效率输出。它比前两种机型更容易使物料满足硅烷接枝反应时间的要求(如 2min 左右),获得稳定而合格的交联度要求。

为了保证接枝反应时间,这里的关键是解决好两设备的匹配问题,目前有一些较好的机型匹配方案(见表 2)。

表2 双螺杆-单螺杆双阶挤出机匹配设计方案

螺杆直径/mm	长径比	螺杆最高转速/(r/min)	主电机型式	主电机功率/kW	产量/(kg/h)	备注
双螺杆	57	16	300	直流	30~45	100左右 南京橡塑机厂
单螺杆	100	8	65	Y180L-4	22	
双螺杆	72	28	300	直流	75	南京科亚、 南京诚盟等
单螺杆	150(180)	7	65~85	交流、变频	37(45)	
双螺杆	68(72)	36	300	直流	75	自行改造方案
单螺杆	120	15	60~80	交流、变频	30(37)	

两机的匹配还包括各自转速、工艺温度的调节及螺杆的组合设计。前者可以通过实验获得理想的匹配,对螺杆组合则要复杂一些。在双阶机中,由于物料可以通过双螺杆头部的中间筒体落入单螺杆机筒,并同时排气处理,物料在后续单螺杆中可以继续均化,所以可以将双螺杆机稍做改进,将真空排气口安排在中间筒体上,于是双螺杆变成了3区段组成,即:输送段、混炼段和均化段,并且均化段可以缩短。这样,无形中加长了混炼段的长度,较高的转速和较短的长径比即可满足混炼需求。由此,双阶机中的双螺杆都设计得较短,降低了成本,装拆清理更加方便。对第二阶的单螺杆机来说,它与普通机的不同点在于:普通机不是定量“饥饿喂料”,属料斗“充满喂料”,故所需电机功率高。而双阶机的单螺杆机是由第一阶的双螺杆机定量“饥饿式”喂入熔融料,压力小,负载小,所需电机功率也小。正由于双阶机组综合了前两种机型的优点,更容易满足交联料生产的要求,因此不失为一种更佳的选择。

在这里值得注意得是:混炼段啮合元件的增加和转速的提高无疑对提高混炼作用有明显效果,但对交联料的生产来说,并不等于剪切越强越好,高速带来过强的剪切不仅容易造成熔体破裂,其剪切热还会使交联接枝料降解、变黄变糊并附着在螺杆上,不久这些黑糊料又脱落下来一同挤出,直接影响交联料和后续管材的质量。因此,在螺杆高速高产保证接枝反应时间的情况下,应解决好混炼和剪切的矛盾,这将涉及螺杆组合的设计问题。而另一种新型结构的挤出机组——BUSS(布斯)挤出机组则很好地解决了这个矛盾,在交联料生产上受到了人们的青睐。

2.4 BUSS(布斯)挤出机组

由瑞士BUSS公司发明制造的布斯挤出机组由两台单螺杆挤出机串联组成,属于单螺杆-单螺杆双阶机组。和前述的双阶机组相似,两阶机为垂直布置,第二

阶单螺杆挤出机为普通挤出机,但第一阶单螺杆挤出机却是特殊结构的挤出机,称为布斯挤出机或往复螺杆捏合机,目前国内已有厂家制造销售。

布斯挤出机的工作原理如图4所示。布斯机的单螺杆不仅进行旋转运动,还进行沿轴向的往复运动。为了克服单螺杆剪切、混炼较弱的问题,在该机机筒内壁上安装了一排排的柱形或菱形销钉,为了解决螺杆和销钉在运动中的干涉问题,又将螺杆上的螺纹加工成断开的“螺片”,每圈3或4片。为了销钉和螺杆装拆方便,其机筒做成了可剖分式的。在机头出口处装有中间连接筒体,不仅可使熔融物料顺利落入下部的第二阶挤出机中,而且可以由此处将料中气体抽走。第二阶单螺杆挤出机将使熔融物料进一步混炼、反应、压缩、均化,机头处增压后挤出造粒。

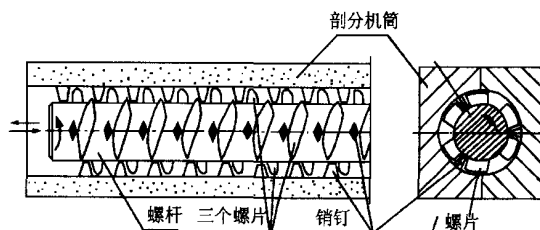


图4 BUSS特种单螺杆挤出机示意图

从图4中不难看出,物料在布斯单螺杆的旋转和轴向往复运动中会受到销钉反复的阻挡、剪切、分割、挤压、搅拌,从而达到很好的混炼塑化效果。

物料在销钉与螺片间隙中受到的剪切速率可表示为:

$$\dot{\gamma} = \frac{D \cdot n}{60 \cdot S} \quad (1)$$

其中: D 为直径(mm), S 为螺片与销钉的间隙(mm), n 为螺杆转速(r/min)。按照该挤出机的设计规范,可将间隙与螺杆直径用一个几何形态系数 C_{geom} 来表示,即: $S = C_{geom} \cdot D$,代入上式,则有:

$$= \frac{\cdot D}{60 \cdot C_{geom} \cdot D} \cdot n = C_{Buss} \cdot n \quad (2)$$

式2说明,物料所受到的剪切速率与螺杆直径和转速成正比,与间隙成反比。由于不同布斯机的 S/D 比值已设计为一个常数 C_{geom} ,则它们的剪切将只受到螺杆转速的影响,转速相同则剪切混炼质量相同,转速越高,剪切混炼效果越强。这在设计不同机型时将变得简单而准确,螺杆直径只需按比例放大则其产量也几乎按相同比例线性增加。

在进行交联接枝料的生产中,布斯挤出机与其他

表3 常用布斯机的技术参数

布斯捏合机型号	阶号	机型	螺杆直径/mm	长径比	最高转速/(r/min)	主电机型式	电机功率/kW	产量/(kg/h)
MKS 100-11	第一阶	特种单螺杆挤出机	100	11	500	直流	180~250	400~600
F140-6	第二阶	普通单螺杆挤出机	140	6	<100	交流变频	20	

2) 由于布斯机为单螺杆,螺杆上的螺片和销钉的棱边比双螺杆的捏合块棱边圆滑,所以其剪切强度弱于双螺杆。但其复杂的“转动+轴向往复运动”将造成物料受到销钉和螺片的反复“揉压”,这更象在“揉面”,其造成的混炼效果不次于双螺杆挤出机。在这反复的“揉压”中进行混炼和接枝反应,这对交联料加工来说更加合适。因为如前所述,剪切过大反而会使物料降解、熔体破裂或发黄变糊而降低交联料的质量。

3) 由于布斯机的剪切比双螺杆“柔和”,产生的剪切热较少,所以在交联料生产时,各区段的工艺温度容易控制,波动小而更加精确,较低的温度设置即可满足工艺要求。

4) 剖分式的结构可使布斯机筒在3min左右即可打开,这对于生产周期较短、螺杆需要经常拆装清理的交联料来说,无疑具有更大的便利性。

由于布斯螺杆的螺片和机筒上的销钉的默契配合,布斯挤出机的自洁性很好,便于清理,也适用于除交联料以外的许多物料配方。由于布斯机更好的综合性能及其结构的复杂性,目前其售价还是比较昂贵的。

5) 前述几种机型的物料输出都是基本稳定的,但由于布斯螺杆具有轴向往复运动,熔融混炼物料的挤出也将随螺杆进退而忽多忽少,也就是说,布斯机的产量是处于不稳定的波动状态,因此它不能单独使用,必须和二阶的单螺杆挤出机配合。而二阶的单螺杆在设计时必须加强均化区段,以便使“非定量饥饿喂料”进入二阶机的熔料流速流量逐渐变得稳定,从而均衡地

机型相比有以下几点不同:

1) 由于布斯螺杆在旋转的同时还有轴向往复运动,造成每个螺片的运动轨迹近似正弦曲线,物料受其影响在旋转的同时还“时进时退”,物料这种“进一步退半步”的走法无形中延长了它熔炼的行程,延长了接枝反应时间,因此布斯螺杆可以比前3种机型的一阶螺杆有更短的长径比,表3所示为一种常用布斯机型的参数。由此可见,它的机筒长度更短,整体尺寸更紧凑,但却完全可达到硅烷接枝反应(约2min)的需求。

由机头挤出。

由于布斯螺杆上并非完整的螺纹,而是断开的螺片,所以物料在断纹处很容易漏流到原来已经过的螺槽中,其漏流现象比前几种螺杆机更加严重,这将会增大功耗并影响其生产率。但由于它继承了前一种双阶机的优点,并克服了其不足之处,所以是目前性能最好的机型。

3 结语

综上所述,在加工交联料时,除配方因素外,加工设备的混炼效果、接枝反应时间的长短等都直接影响着交联料以及后续管材加工的质量,影响着交联度的高低。通过对几种用于交联料加工设备的工作原理和优缺点的剖析可以看出:从混炼效果来说,普通单螺杆挤出机组最差,布斯挤出机(往复螺杆捏合机)组与双阶机组差不多,但后者在高速高产时容易因剪切过强造成过热,使物料降解、变糊而影响质量,所以综合性能不如布斯机组。从满足接枝反应时间上说,单螺杆挤出机组最难调节,其次是双螺杆挤出机,而双阶机组和布斯机组都容易调节。从产量来说,单螺杆机 < 双螺杆机 < 双阶机组 < 布斯机组。从挤出物料的稳定性来说,单独的布斯机不如双螺杆机,双螺杆机不如单螺杆机,所以单螺杆挤出机不论单用还是配用,它的均化稳压效果都强于前者,这个优势使它不仅可以作为造粒机使用,更可以作为塑料制品挤出机使用,因此用双阶形式的机组直接加工塑料制品是可行的。从价格上

(下转 62 页)

3.5.3 阻燃体系的流动性能和加工性能

TPU/CPE/HT-951 阻燃体系的流动性能和加工性能见表 4 和图 4。

表 4 TPU/CPE/HT-951 阻燃体系挤出片材情况

代号	转速 (r/min^{-1})	转矩/(N·m)	挤出状况
CH05	40	23~26	表面光泽,挤出稳定
CH10	40	20~22	表面光泽,挤出稳定
CH15	40	19~20	表面光泽,挤出稳定, 狭缝处有少量析出
CH20	40	18~21	表面光泽,挤出稳定, 狭缝处有少量析出

由表 4 可知:随着阻燃合金 HT-951 含量的增加,阻燃体系平衡转矩逐渐减小,加工性能提高。

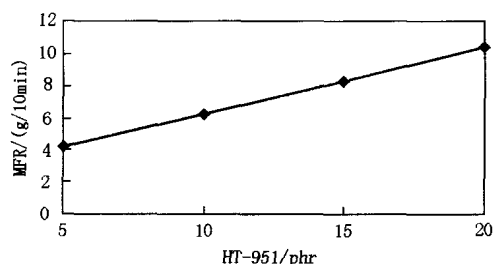


图 4 TPU/CPE/HT-951 阻燃体系的熔体流动速率

由图 4 可知:随着阻燃合金 HT-951 含量的增加,阻燃体系的 MFR 持续上升,流动性提高。

4 结论

TPU/CPE/HT-951 阻燃体系可达到 FV-0 级

(HT-951 = 10phr), 具有很好的阻燃性能;同时拉伸强度保持了纯 TPU 的 71%, 断裂伸长率保持了纯 TPU 断裂伸长率的 87%, 具有较好的力学性能;加工性能也随着阻燃剂份数的增加有一定的改善。

随着 TPU 应用市场的扩大,对其阻燃性能提出了迫切要求。实验结果表明:TPU/CPE(70/30) 阻燃体系能够适应材料阻燃性能的要求,但由于微胶囊红磷的加入,使材料具有了较深的红色,因此应用范围受到了一定的限制,不过如果对材料的颜色要求不高,则这个阻燃体系是比较优良的选择。

参考文献:

- [1] 王克智,王爱莲. 赤磷阻燃剂及其应用[J]. 现代塑料加工应用,1993,5(4):26-30.
- [2] 徐晓鸣. 红磷用作高分子材料阻燃剂的若干基本问题[J]. 阻燃材料与技术,1990,(2):27-29.
- [3] Granzow A. Flame retardation by phosphorus compounds[J]. Acc Chem Res,1978,11:177.
- [4] 陈根荣. 无机阻燃剂红磷的微胶囊化[J]. 中国塑料,1991,5(2):12-17.
- [5] 沈友良. 微胶囊红磷阻燃母料的研制[J]. 塑料开发,1993,20(2):74-77.
- [6] 肖鹏,滕人瑞,杨庚成,等. 无卤阻燃原理及无卤阻燃技术的发展方向[J]. 阻燃材料与技术,1997,(1):1-3.
- [7] 姜郁英,吴云章,陈燕,等. 无卤阻燃红磷 HIPS 的研究[J]. 阻燃材料与技术,1997,(4):1-4.
- [8] 王秀芬,陈大军,周正懋,等. 无卤抗冲阻燃材料研究[J]. 工程塑料应用,1997,(4):7-10.
- [9] 李剑秋,葛世成. 白度化微胶囊化红磷阻燃剂的制备及其在塑料中的应用[J]. 塑料,1994,23(5):33-36.

(本文编辑 SXQ)

(上接 81 页)

说,显然是:单螺杆挤出机组 < 双螺杆挤出机组 < 双阶挤出机组 < 布斯挤出机组。因此,在加工硅烷交联接枝料或其它具有化学反应的物料时,可参考上述分析进行选用,以便生产出高质量的产品来。

参考文献:

- [1] 刘廷华. 双螺杆挤出可视化实验研究与非充满固体输送及熔融理论研究[D]. 北京:北京化工大学博士学位论文,1995.
- [2] 马里诺·赞索斯(美). 反应挤出理论与实践[M]. 北京:化学工业出版社,1999:218-259.

- [3] 朱林杰,耿孝正,李鹏. 捏合同向双螺杆挤出过程聚合物

粒料熔融机理研究(二)——正向捏合块组合中熔融机理研究[J]. 中国塑料,1999,13(7):76-82.

- [4] 柳和生,吕柏源. 啮合型双螺杆输送机混合性能评价[J]. 化工装备技术,1995,16(1):21-26.
- [5] 黄丽容,陈自卫,周志军. 不同螺杆组合对聚乙烯交联反应挤出的影响[J]. 塑料,2003,32(3):34-38.
- [6] 江南,席世亮,朱常委. 往复螺杆捏合机的结构及其多功能性[J]. 塑料,2003,32(3):39-41.

(本文编辑 SXQ)