

橡胶挤出设备与工艺的发展趋势

赵光贤

(上海市胶鞋研究所, 上海 200051)

摘要: 综述了30年来橡胶挤出设备与工艺的发展趋势, 包括设计上的重大改进及挤出工艺上的相应变化。讨论了挤出工艺条件对挤出能力的影响, 并对热喂料、冷喂料、抽真空冷喂料三代挤出机从技术经济角度进行了综合比较。

关键词: 挤出机; 冷喂料; 抽真空; 长径比; 销钉式; 供料辊; 压缩比

中图分类号: TQ330.4⁺4 文献标识码: B 文章编号: 1000-890X(2002)07-0434-04

从19世纪70年代起, 挤出工艺就开始在橡胶工业中应用, 但最初的80年(1870~1950年)其构造以及与之相适应的工艺均无重大变化^[1~3], 基本模式是以长径比不超过6:1的短机筒、单螺纹螺杆的机台为主体, 热炼机为它配套供料。从20世纪50年代起, 橡胶挤出机的构造出现一系列变化。与此同时, 螺杆设计及挤出与后续工序(如硫化)间的联动化也成了变化的主流。

橡胶挤出机总的发展趋势是由热喂料向冷喂料发展。对于通过挤出成型并直接进入硫化的场合, 则倾向于采用抽真空冷喂料机台。

1 热喂料挤出机的发展

热喂料挤出机是传统的橡胶挤出设备, 喂入的胶条需经过热炼, 料温保持在50~70℃。其工作原理和输送高粘度流体相同, 要求供料均匀、稳定、等速。热喂料挤出机的螺杆短, 螺纹沟深, 均化效果不理想。从20世纪70年代起, 一度出现长径比变小的现象, 例如螺杆直径在125 mm以下的, L/D 取5~6; 125 mm以上的取3~5。但到了80年代, L/D 又恢复到5~8。

鉴于喂入热喂料挤出机的胶条均经过热炼, 不要求机筒供热和配置温控单元。螺杆的作用仅是压缩和输送, 因此缺点是控温能力差, 挤出物的尺寸易受胶料粘度和温度变化的影响而波动。

热喂料挤出的喂料诀窍在于既要装填机筒而

又不堵塞。20世纪50年代起开始在热喂料挤出机上配置2个加(供)料辊, 各由小型电动机驱动, 确保胶料正常装填及均匀受压, 并确保挤出物不出现“脉冲”现象。

随着冷喂料挤出机的出现和广泛应用, 热喂料挤出机的应用范围正逐步缩小。

2 冷喂料挤出机的发展

从20世纪80年代起, 冷喂料橡胶挤出机已成为发展主流。追溯历史可知, 冷喂料首先被用于电线、电缆胶料的挤出, 这是因为电线、电缆胶料具有较好的塑性, 且采用连续硫化。由于电线、电缆流水线的线速度有限, 因此不受冷喂料挤出机挤出量低的不利影响。冷喂料挤出的主要特点是把胶料预热(在热喂料中通过热炼机来实现)和挤出的双重功能综合在同一台设备上, 这样就可减少附属设备, 节约50%的场地, 减少设备维修费用, 挤出物的致密度也有所提高。

2.1 冷喂料挤出机的特点

从设备结构来看, 冷喂料挤出机与热喂料挤出机相比, 一般有较长的机身, L/D 达8~20, 螺纹沟较浅, 仅为螺杆直径 D 的16.6%。由于机身长、功能多, 进料温度低, 其功率比热喂料挤出机大得多, 约相当于同规格热喂料挤出机的2~4倍。例如德国贝尔斯托夫公司生产的直径为250 mm的冷喂料挤出机的功率为500 kW, 而同规格热喂料挤出机仅105 kW, 但生产能力却比热喂料挤出机低。

冷喂料挤出机加工时, 各工艺参数的调控较

作者简介: 赵光贤(1939-)男, 上海人, 上海市胶鞋研究所高级工程师, 主要从事高分子材料加工方面的研究和开发工作。

容易。由于螺杆长,当物料到达机头时能保证压力稳定,这有助于克服或减轻热喂料挤出常见的脉冲现象,即挤出物外形尺寸波动。冷喂料挤出机的生热大,且机温又有允许限度,故应在运转中排出部分热量,以确保机筒和螺杆冷却。因此设计要点应包括提高热交换因数和降低生热。但由于橡胶的导热性差,要做到这点有一定难度,主要采取降低螺杆转速的途径。

2.2 冷喂料挤出机的设计要点

(1) 螺杆转速

螺杆转速一般取 $15 \sim 60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 计算公式为:

$$n = \frac{1}{\sqrt{D}} C$$

式中, n 为转速, D 为螺杆直径, C 为常数(热喂料挤出机取 820, 冷喂料挤出机通常取 550)。

(2) 长径比 L/D

长径比 L/D 取 $8 \sim 15$, 最大 20。

(3) 功率 N

$$N = \frac{M_s n}{975 \eta}$$

式中 M_s ——螺杆转矩;

n ——转速;

η ——机械传动效率,一般取 $0.7 \sim 0.9$ 。

(4) 加料口

设计原则是确保胶料流动畅通无阻以及挤出物尺寸和质量保持稳定,设置加料旁辊是有效措施,可起到强制送料的作用。旁辊与螺杆以定速比相对转动,且与速比齿轮保持刚性啮合,但缺点是存在脉冲现象。最新趋势是附设自动调速功能。当胶料加入过多时,便自动停止加料;不足时则加速喂加。应该指出:冷喂料挤出中的脉冲比热喂料更为严重,这是因为热喂料的温度高。最新的发展是使用力矩加压器,相当于在螺杆旁侧增设一台炼胶机,其两辊各由液压电动机驱动,可自动控速。当机筒内充满胶料时,建立起背压,产生摩擦力。当该摩擦力矩超过给定值时,便开始打滑。而当胶料逐步向前移送后,则背压下降,供料便自动加速,从而始终保证胶流平稳,防止脉冲出现。加料口的尺寸应与螺杆匹配。

(5) 机筒表面结构

总的要求是胶料与机筒的摩擦因数大于胶料与螺杆的摩擦因数。因此,机筒内壁需刻浅槽,这样做可使螺杆输料能力提高 30%。

(6) 机筒/螺杆间隙

胶料在冷喂料挤出机中所受的研磨高于热喂料挤出机,为了不让研磨过剧,可以采取下述措施:

①适当后移加料口的切口位置;

②适当放大加料段的间隙,而其它区段的间隙可小些。

(7) 螺杆结构

主要设计原则是加大长径比和压缩比,以强化对胶料的塑化和混合。但 L/D 的加大意味着螺杆加长,造成胶料在机筒内的滞留时间延长,进而导致截面中央部位形成混合程度较差的核心。此核心与周围部分的塑化程度和导热能力都不同,最终导致层流。为了消除此核心部分,较多采用主副螺纹。即在螺槽中增开一条升角大于主螺纹的副螺纹,其螺棱高度小于主螺纹。这样当胶料通过时受到强烈的剪切作用。

(8) 螺纹升角

螺纹升角与摩擦因数 μ 有关。从理论上说,假设 μ 为零,则最佳升角应当是 45° ,输送能力最大。但随着 μ 的增大,升角减小。若 μ 为 $0.25 \sim 0.35$ (一般胶料为此值),则最佳升角在 $17 \sim 22^\circ$ 。对于导程等于螺杆直径的螺纹而言,最佳升角取 17.7° 。

3 抽真空冷喂料挤出机

随着挤出与硫化联动化(在电缆及异形挤出品中为常见),由于实现连续硫化之需,有的挤出机进一步向抽真空冷喂料挤出机演变,简称冷喂料排气挤出机。其螺杆由 3 个区段组成,即加料段、抽真空段及计量段。

加料段为主副螺纹结构,螺槽较浅。抽真空段的螺杆直径突然收小,螺槽加深,造成压力骤降,从而令胶料中所夹的空气、水分膨胀释放,在真空排气装置的负压吸力下沿排气口逸出。排气口呈矩形,位于抽真空段的中央。胶料最后经计量段挤往机头。

以我国自行设计的 $\Phi 75 \text{ mm}$ 冷喂料排气挤

出机为例,其结构特点有:

(1)螺杆前后共分 3 段;

(2)直流电机驱动,可控硅控速,无级变速范围为 $0 \sim 75 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 噪声与振动小;

(3)加料段旁侧有旁压辊,以实现强制加料,增强输送能力;

(4)为防范排出气体污染环境,设有过滤装置。

该机真空段的容积为加料段容积的 2.5~4 倍。胶料在加料段内因螺槽浅,受强烈的剪切、混合作用,温度与压力剧升。当胶料进入抽真空段时正呈粘流态,加料时裹入的空气与挥发分气化,再借助于真空泵的抽吸(真空度为 $0.67 \sim 0.93 \text{ MPa}$)进行排气,最后进入计量段进一步混合均化。

4 三代橡胶挤出机的比较

将热喂料、冷喂料和抽真空冷喂料三代挤出机的能力及技术经济效果作全面对比,见表 1。

表 1 热喂料、冷喂料和抽真空冷喂料三代挤出机的综合比较

项 目	热喂料	冷喂料	抽真空
L/D	6	12	16
成本			
挤出机	低	高	高
总体系	高	中	中
挤出胶料控制(尺寸/温度/粘度)	差	好	极佳
相对产量	100	80	50
生热	高	低	低
驱动功率	低	高	高
操作成本	高	中	中

5 螺杆设计的发展

以上是挤出机整机的发展简介,由于螺杆设计是其中变化最大的领域,因此也最受瞩目。螺杆设计的重点为降低温度、提高挤出能力及减少层流等几方面。设计合理的螺杆可以在较低的温度下提供较高的产量以及高度均匀性。还要求有自洁功能及能适应各种粘度的胶料。传统的螺杆要同时达到上述各方面要求是有困难的,新的开发方向是高剪切型螺杆。下面所列的几种新型结

构具有代表性。

5.1 Maillefer 螺杆

螺杆在胶料的混合(补充加工)方面起两种作用:

(1)分散混合。其作用是将胶料中的助剂(如炭黑等)的积聚尺寸降低到最低水平。

(2)分布混合。其作用是提高各类助剂在橡胶基质中的无规分布程度,这种分布与上述分散混合属于不同的概念。

Maillefer 螺杆是一种特殊的双螺纹螺杆,能同时发挥分散混合和分布混合两种作用。当一个螺纹的间隙由最大降到零时,另一个相邻螺纹的间隙则由零增加到最大。这种交替螺纹可在混合递增的情况下不让温度上升,从而改善了总的热传导。

5.2 高强度混炼螺杆(HIM)

高强度混炼螺杆能以最低的剪切作用形成一个“掺混区”,在生热不大的前提下获得高挤出量。

5.3 传递混炼螺杆

这类螺杆除了具备传统的挤出功能外,还兼有强烈的混炼作用,因此可以用作连续混炼。机筒内腔表面刻有深浅变化的与螺杆表面凹凸相匹配的沟槽。螺杆的构造也与传统螺杆迥异。

当螺杆在某一区段的凸棱由深变浅乃至消失的同时,刻于筒壁与其对应的沟槽却逐步加深。胶料到了下一区段,机筒沟槽由深变浅,而螺杆凸棱则由浅到深,于是胶料再由机筒反馈给螺杆,直到充分混炼均匀为止。胶料在机筒中流过沟槽的速度不同,而且各区段螺杆凸棱和筒壁之间的摩擦比不一致,这种差异可获得有效的分布混合。

5.4 EVK 螺杆

EVK 螺杆沿整个螺杆的纵向排列着许多剪切障碍,这种结构可提供强烈的剪切效果、极佳的分布混合及均匀的温度分布。

5.5 销钉式螺杆

销钉式螺杆结构已成为当今橡胶挤出机螺杆结构的发展主流。其实这种结构早在 1901 年已在切肉机中被采用,但在橡胶挤出机中的应用到 1972 年才申请专利^[4]。其理论基础是通过销钉的分流促进胶料的混合。其工艺特点为:料温较低,导热较快,挤出能力较高及能耗较小。此外挤

出质量也好于普通螺杆冷喂料挤出机。

5.5.1 螺杆机筒构造

沿螺杆轴向排列着一系列穿透机筒的固定销钉, 它们与螺杆呈径向相交, 可导致良好的均化作用, 防止升温过剧, 同时起到胶料的分流及搅拌作用, 具有补充加工的意义^[5]。

5.5.2 喂料装置

(1) 构造

喂料装置由喂料段螺杆、机筒及喂料辊三者组成, 以增强供料功能, 并采取三面封挡, 解决漏胶问题。喂料辊与螺杆相对回转, 实现强制进料^[6]。

(2) 温控

温控对挤出过程的正常与否起决定性作用。采取多元独立控制, 包括对喂料辊及机筒各段均进行温控。

(3) 传动系统

传动系统采用直流电机驱动, 以适应无级变速及调速需要。

5.5.3 使用问题

目前销钉式挤出机已较多地在我国橡胶工业中应用, 涉及轮胎胎面、子午线轮胎胎侧、胎圈胶、各种胶管及内衬胶片。所用机台进口、国产都有, 螺杆直径为 85 ~ 250 mm, 长径比为 12 ~ 16。现就应用中的几个问题归纳如下^[7]。

(1) 销钉排数与个数

销钉的排列数以及每排个数是可变的, 一般依据螺杆直径及胶料性质而定。一般粘度高的胶料, 所配置的销钉排数与每排个数可多些。螺杆对应于销钉部位开有环形槽, 即在螺棱开缺口。

这样当螺杆旋转时, 销钉不致妨碍旋转。

(2) 销钉材质和热处理

销钉在工作中所遇到胶料的流动阻力很大, 需有足够的强度与硬度, 表面要耐磨。由于工作时可能因受力而弯曲变形, 因此最好呈锥形, 便于弯曲后取出。螺杆表面需经过氮化处理, 氮化深度为 0.7 ~ 0.8 mm。

(3) 加工条件

料温不宜过低, 以 14 ~ 18 °C 为好, 以防电机过载。

6 结语

橡胶挤出机总的发展趋势是由热喂料向冷喂料发展。目前, 冷喂料销钉式挤出机已成为发展主流。

参考文献:

- [1] Johnson P S. Recent progress in rubber extruding[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1983, 56(3): 575.
- [2] Meger P. The development potential concepts of rubber extruder[J]. Rubber World 1984, 190(4): 36.
- [3] Hindmarch R S. How to double rubber extruder output[J]. Rubber World 1985, 191(5): 24.
- [4] 井上公雄. 挤出成型的新动向[J]. 李小雪 孟小玲译. 橡胶工业, 1998, 45(10): 616.
- [5] 林振炎. 销钉式冷喂料橡胶挤出机的开发[J]. 橡胶工业, 1992, 39(3): 21.
- [6] 尹清珍, 孙 勇, 吕柏源. 对冷喂料挤出机卸荷旁压辊的初步研究[J]. 橡胶工业, 1990, 37(10): 598.
- [7] 白仲元. 冷喂料销钉机筒挤出机的使用问题[J]. 橡胶工业, 1991, 38(2): 468.

收稿日期: 2002-02-05

“第十二届全国轮胎技术研讨会”诚邀轮胎原材料、设备生产厂商参会

中国化工学会橡胶专业委员会、全国橡胶工业信息总站轮胎分站和《橡胶工业》《轮胎工业》编辑部将于 2002 年 9 月在杭州举办第十二届全国轮胎技术研讨会。

历届全国轮胎技术研讨会均以规格高、参加人数多、论文学术和技术水平高、会上交流讨论气氛热烈而著称。它为轮胎行业提供了交流先进技术的场所, 也为轮胎行业上游原材料、设备和仪器生产、销售厂商推销产品、会见老朋友、结交新朋友提供了机会。

参加会议的国内外轮胎原材料、设备生产、销售厂商可在会议上发言介绍公司(厂)及产品, 也可在会议论文集上刊登彩色广告。

有意参加此次会议和在论文集上刊登广告的厂商请速向编辑部索取会议通知。

《橡胶工业》《轮胎工业》编辑部