

塑料成型加工新技术丛书

挤出 成型新技术

齐贵亮 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

塑料成型加工新技术丛书

挤出成型新技术

主 编 齐贵亮

副主编 贾洪旭 韦 涛

高世国 孙 丽



机械工业出版社

丛 书 序

市场是新技术的孵化器，由于消费市场对塑料制品性能要求的不断提高，促使传统加工技术的革新不止，一些看似“老旧”的工艺融入了高科技含量，已不可同日而语。此外，随着高新技术在塑料工业中应用步伐的加快，塑料材料研究、制品设计、成型技术、工装设备制造技术均得到快速发展，塑料制品的质量和档次也有了明显的提高，市场上种类繁多、形态各异、色彩斑斓的塑料制品不断满足人们的日常生活需要，在工程和高尖端工业领域，塑料制品的用量也不断增大，应用领域逐步拓展。这些都充分展示了作为新材料、新工艺、新设备等高新技术在塑料成型技术中的强劲的发展势头。在这一系统工程中，除了塑料成型设备、材料外，很大程度上都取决于对塑料制品成型工艺的研究。

为了宣传和推广近年来塑料成型技术的研究成果，我们在广泛收集国内外文献的基础上，结合多年来的研究与实践经验，组织编写了《塑料成型加工新技术丛书》，全面介绍塑料成型加工的新技术、新工艺、新材料、新设备。

本套丛书注重先进性、实用性和可操作性，理论叙述从简，实际操作内容从详，用实例和实用数据说明问题，全面反映了塑料成型加工的现代技术水平，并具体介绍了各种成型的工艺技术方法，新颖、实用且内容翔实，数据准确，语言简练，图文并茂，通俗易懂，不仅是塑料成型加工和制品设计人员良好的指导教材，更是塑料及塑料制品企业、皮革企业、薄膜生产企业三石化企业、化工企业、塑料机械厂、材料厂、包装材料厂、塑料研究机构等从业人员的参考书。相信本丛书的出版发行对我国的塑料加工业的发展，将具有积极的指导作用。

丛书编委会

前言

塑料挤出成型是塑料制品成型加工运用最多、最广泛的工艺技术之一。采用挤出成型工艺可制备塑料管材、板(片)材、带材、型材、棒材、单向拉伸制品和塑料的共混改性等。其技术成熟、用途广泛,涉及的塑料品种多样,在国民经济建设、国防建设和人们日常生活中发挥了越来越大的作用。近年来随着高新技术在挤出成型工艺中的应用,挤出成型制品的种类不断出新,挤出成型的新工艺层出不穷,使这一技术得到了高速发展,呈现出光明的发展前景。

为了帮助广大读者比较全面地了解该领域的理论发展与技术进步,我们组织编写了《挤出成型新技术》一书。全书共6章,比较详细地介绍了特殊工艺挤出成型新技术,如共挤出成型、反应挤出成型、气体辅助挤出成型、精密挤出成型、固态挤出成型、挤出膨胀成型、高速挤出成型等;特殊材料挤出成型新技术,如低发泡挤出成型、微孔塑料连续挤出成型、木塑复合材料挤出成型;特殊制品挤出成型新工艺,如特殊管材、特殊板、片材、特殊薄膜、特殊异型材等10余种挤出成型新技术以及挤出混炼新技术。与此同时,还介绍了挤出成型的节能新技术和新设备。对每一种新技术均采用关键技术、参数控制和典型实例的编写格式,语言精炼,通俗易懂,图文并茂。本书全面介绍了近年来国内外挤出成型加工中出现的新技术、新工艺、新设备等内容,是塑料研究、产品设计、制品加工、销售、管理和教学人员必读之书,也是塑料成型加工技术人员的良好教材。

在编写过程中我们力求比较全面地介绍塑料挤出成型的最新技术,同时兼顾通用性和新颖性,努力做到:强调内容的严谨性,在概念、术语以及语言叙述上力求准确、严密、科学;在内容上力求比较全面地反映挤出成型加工领域的最新技术和发展趋势;在表达上尽量做到深入浅出,通俗易懂,突出实用性、先进性和可操作性。尽管如此,有些新技术可能漏编,而有些由于正在研究,还没有形成一定的理论体系,介绍的较为简单,敬请读者谅解。

本书内容参阅了部分近年发表在国内外相关刊物的研究论文和技术资料,同时还参阅了本行业许多资深专家的专著,在此向文献的作者表示衷心感谢!

参加本书编写、校对、录入和资料搜集工作的还有杜厚波、付广慧、梁振河、宋秀敏、孙健。

由于水平所限,不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

丛书序

前言

第1章 概述1

- 1.1 挤出成型技术的发展历程1
- 1.2 挤出成型工艺过程与原理2
- 1.3 挤出成型设备4
- 1.4 常见的挤出成型工艺及挤出成型制品5
- 1.5 挤出成型的主要工艺参数5
- 1.6 挤出成型新工艺7
- 1.7 挤出成型工艺的发展趋势9
- 1.8 挤出成型设备的发展11

第2章 特殊工艺挤出成型新技术13

- 2.1 共挤出成型13
 - 2.1.1 共挤出及其特性13
 - 2.1.2 共挤出所用原料及其特性14
 - 2.1.3 复合薄膜共挤出16
 - 2.1.4 流延膜共挤出26
 - 2.1.5 复合管材共挤出32
 - 2.1.6 异型材共挤出43
 - 2.1.7 复合板、片材共挤出55
 - 2.1.8 多层共挤吹塑技术58
 - 2.1.9 电线、电缆、光纤共挤复合技术60
 - 2.1.10 微米层 / 纳米层共挤技术61
 - 2.1.11 气体辅助共挤出成型技术65
 - 2.1.12 共挤出技术的发展趋势66
- 2.2 反应挤出成型67
 - 2.2.1 关键技术67
 - 2.2.2 反应挤出成型的工艺控制73
 - 2.2.3 反应挤出成型技术的应用74
 - 2.2.4 典型实例——反应挤出玻璃纤维增强尼龙 676
- 2.3 固态挤出成型80

- 2.3.1 关键技术81

- 2.3.2 影响固态挤出的因素88

- 2.3.3 典型实例——超高相对分子质量聚乙烯的固态挤出成型90

- 2.4 精密挤出成型94

- 2.4.1 关键技术94

- 2.4.2 影响精密挤出成型的因素103

- 2.4.3 精密挤出成型技术的应用前景109

- 2.5 气体辅助挤出成型110

- 2.5.1 关键技术110

- 2.5.2 气辅挤出的参数控制115

- 2.5.3 气辅挤出成型的技术优势119

- 2.6 挤出膨胀成型121

- 2.6.1 关键技术123

- 2.6.2 挤胀成型过程的影响因素129

- 2.6.3 典型实例130

- 2.7 高速挤出成型131

- 2.7.1 关键技术132

- 2.7.2 参数控制141

- 2.7.3 典型高速挤出成型生产线144

- 2.8 振动技术在挤出成型中的应用144

- 2.8.1 振动挤出中施加振动的方式144

- 2.8.2 振动挤出对塑料制品性能的影响150

- 2.8.3 振动力场对挤出过程作用机理153

- 2.8.4 振动挤出成型技术的应用前景154

第3章 特殊材料挤出成型新技术156

- 3.1 低发泡挤出成型技术156

- 3.1.1 关键技术156

- 3.1.2 参数控制169

- 3.1.3 典型实例173

3.2 微孔塑料连续挤出成型	177	5.1.3 挤出过程	270
3.2.1 关键技术	178	5.1.4 混炼作用	271
3.2.2 影响微孔塑料挤出成型的 因素	189	5.1.5 应用范围	273
3.2.3 应用前景	194	5.2 串联式磨盘螺杆挤出机	274
3.3 木塑复合材料挤出成型	195	5.2.1 结构特点	274
3.3.1 关键技术	196	5.2.2 工作原理	275
3.3.2 参数控制	209	5.2.3 混炼作用	276
3.3.3 典型实例——PVC 木塑复合微孔 发泡材料挤出成型	212	5.2.4 应用范围	278
第4章 特殊制品挤出成型新工艺	217	5.3 三螺杆挤出机	279
4.1 特殊管材挤出成型	217	5.3.1 单、双、三螺杆挤出机产能比 的比较	279
4.1.1 塑料波纹管	217	5.3.2 螺杆“一”字排列的三螺杆挤 出机	280
4.1.2 交联 PE 管	220	5.3.3 螺杆倒“品”字形排列的三螺 杆挤出机	281
4.1.3 热收缩管	223	5.4 电磁动态混炼挤出机	283
4.1.4 HDPE 硅芯管	226	5.5 混炼技术与装置的发展趋势	283
4.1.5 塑料多孔管	228	第6章 挤出成型的节能技术	285
4.2 特殊板、片材挤出成型	231	6.1 塑料原料产业中的节能技术	285
4.2.1 铝塑复合板	232	6.1.1 高熔体流动速率树脂	285
4.2.2 纳米塑料发泡板材	235	6.1.2 增强复合塑料	286
4.2.3 光-生物双降解聚丙烯片材	240	6.2 制品成型的节能技术	288
4.2.4 双向拉伸聚苯乙烯片材	242	6.2.1 多层共挤节能技术	288
4.3 特殊薄膜挤出成型	243	6.2.2 双向拉伸节能技术	288
4.3.1 热收缩薄膜	244	6.2.3 发泡挤出节能技术	289
4.3.2 多孔薄膜	246	6.2.4 介质辅助挤出节能技术	290
4.3.3 HDPE 扭结膜	248	6.2.5 振动成型节能技术	290
4.4 特殊异型材挤出成型	249	6.2.6 反应挤出节能技术	291
4.4.1 环保型塑料异型材	249	6.3 挤出机的节能技术	291
4.4.2 低烟难燃硬质PVC异型材	253	6.3.1 挤出机的能耗分析	291
4.4.3 UPVC 宽幅整体门板	255	6.3.2 开发节能型挤出机的主要技术 途径	292
4.4.4 塑料挤出网	258	6.3.3 节能型挤出机的技术创新	294
4.4.5 塑料挤出发泡网	263	参考文献	298
第5章 挤出混炼新技术	266		
5.1 往复式销钉螺杆混炼挤出机	266		
5.1.1 结构特点	267		
5.1.2 工作原理	269		

第1章 概述

挤出成型是聚合物加工中出现较早的一门技术，在塑料加工中占有重要的地位。经过100多年的发展，挤出成型制品已占塑料制品总量的1/3以上。在广泛的生产实践中，挤出成型的理论和技术得到不断的深化和拓展；可加工的聚合物种类、制品结构和制品形式越来越多；挤出工艺得到不断的发展；挤出成型的设备得以不断改进和创新，设备越来越大型化、高效率化、精密化、智能化及专用化；计算机技术在挤出成型加工中的应用使加工质量及控制水平不断提高。

1.1 挤出成型技术的发展历程

挤出成型技术作为聚合物加工技术之一，是伴随聚合物加工工业的发展而发展的。挤出成型的发展历程可以分为3个阶段：

(1) 萌芽时期 1845年，英格兰的Henry Bewley和Richard Brooma最早用挤出成型法生产包覆电线。当时的挤出机为柱塞式，操作由手动逐步过渡到机械式和液压式，生产过程是间歇式的。

(2) 杆式挤出机阶段 19世纪80年代后，开始出现螺杆式挤出机，由德国开始批量制造，并不断地发展和改进螺杆结构。这时期的挤出机螺杆长径比为3~5，难以满足热塑性塑料塑化的要求，只适合于生产橡胶制品。

(3) 现代挤出机时代 1935年德国Paul Troster公司制造出第一台热塑性塑料挤出机，从此挤出机发展到了一个新阶段，即现代挤出机时代。这一阶段的特征是挤出机采用直接电加热、空气冷却、自动温控的装置和无级变速的传动装置，螺杆的长径比开始超过10。

现代挤出机技术的出现和进一步的发展，使可加工的聚合物种类、制品结构、制品形式越来越多，挤出工艺不断改进，成型设备不断出新，研究开发新产品、新工艺的手段不断加强。目前用挤出成型法不仅可以生产出各种各样的制品，而且可以运用挤出加工手段制备改性聚合物材料，并发展了共混增强、增韧技术，辐射改性技术，纳米复合技术，以及其他一些新型改性技术。在设备方面，出现了各种结构与功能的挤出机和生产线，如混炼型螺杆、排气式挤出机，双螺杆、

多螺杆挤出机，反应式挤出机，组合式挤出机，以及适应高分子材料物理与化学特性而建立的成型装置和具备各种制品所需的专门功能、能够实施成型步骤的挤出生产线辅机等，以追求简便、控制精确、节能高效、清洁生产为目标而不断改进的新型设备。

目前，许多产品的挤出成型技术已发展成为包括生产工艺和生产线设备在内的专门化成套技术。制品能够达到高质量，在生产中可获得良好的经济效益。虽然挤出成型新的加工方法和理论快速发展的时期已经过去，现在处于一个较过去水平高得多而在发展上趋于平缓的时期，但在对这些技术的运用中仍可以不断创新，开发新产品，制造新材料，形成新技术。

1.2 挤出成型工艺过程与原理

挤出成型可加工的聚合物种类很多，制品更是多种多样，成型过程也有许多差异，但基本过程大致相同。典型的挤出成型过程是，将固态粉状或粒状聚合物物料通过料斗加入到挤出机中，在自重和螺杆的转动下使物料进入机筒，在机筒内被加热，熔融塑化，通过螺杆加压将熔融的物料经口模挤出，进入冷却定型装置，使物料一面固化，一面保持既定的形状，在牵引力的作用下，经过冷却、定型形成制品的最终形状。最后用切割的方法截断制品，以便储存和运输。

1. 物料的塑化挤出

对于具体的挤出过程来说，存在许多不同之处。而作为挤出理论的研究，则取个性中的共性问题，即根据三个功能区：固体输送区、熔融区、熔体输送区，概括为三个理论：固体输送理论、熔融理论和熔体输送理论。这些区段的存在与否以及在挤出机中的位置，视具体的挤出过程而有所不同，相邻各段也会互相交叠。当聚合物性能或操作条件变化时，各段边界可以改变。

(1) 固体输送 固体输送是全部塑化挤出过程的基础，它的主要作用是将固体物料压实后向熔融段输送，当物料进入挤出机螺杆后，首先以固体状态向前输送。在螺杆的加料段上，形成固体输送区。为提高固体输送率，从挤出机结构来考虑，可采取以下措施：

- 1) 降低螺杆表面粗糙度，降低物料与螺杆之间的摩擦因数。
- 2) 在机筒内表面开设纵向沟槽，增加物料与机筒之间的摩擦因数。
- 3) 在螺杆直径一定的情况下，加大加料段螺槽深度。

从挤出工艺方面考虑，可采取以下措施：

- 1) 提高螺杆转速。
- 2) 在螺杆内部通过水冷却，降低物料与螺杆间的摩擦因数。

(2) 熔融过程 由加料段输送的固体物料，在挤出机熔融段通过机筒外加热

器的加热及螺杆与物料剪切热的共同作用下升温，并逐渐熔化，最后变成熔体。变化过程如下：从加料段开始，在螺杆的推进作用下，固体塑料颗粒从松散状逐渐到未熔融的坚实紧密的固体塞(固体床)状，塑料固体塞到加料段末端，在筒壁热及摩擦热的作用下，螺槽中与筒壁接触部分及螺杆与筒壁之间的部分塑料最先升温，开始形成薄熔膜。随着塑料被向前输送，熔膜厚度逐渐超过螺杆与机筒的间隙，螺棱将熔体刮落至螺槽内推进面一侧。在螺槽中螺纹推进面一侧汇集了由窄到宽的熔体变形(或称熔池)，而另一侧则是由宽到窄的固体床。螺槽中熔池与固体床界面处，是受热软化变形处于高弹态向粘流态转化而粘接的粒子。塑料被继续向前推送，机筒热量和螺杆与筒壁之间塑料内摩擦产生的热量也不断传给未熔固体床，螺槽内熔池宽度不断增加，固体床宽度不断减少，直至固体床最终消失，螺槽内充满了熔融塑料，至此熔融过程全部结束。

熔融速率、固体床分布及熔融区长度是描述物料熔融过程的三个重要参数。熔融区长度是指螺槽内出现的熔池长度，是熔融速率的度量。由熔融理论得出：挤出流速(即挤出量)与熔融区长度成正比。因为只有固体输送率与熔融速率相匹配，才能使挤出量稳定。所以，要增加挤出量，必须相应增加熔融段的长度，否则，产品的质量会降低。确定熔融区长度的目的，一是要保证塑料在熔融段内全部熔融即保证挤出质量，二是要提高熔融速率，即提高挤出产量。

(3) 熔体输送 熔体输送理论又称流体动力学理论(或简称流动理论)，它是研究螺杆的均化段在保证物料完全熔融的基础上进一步的均化，并且定温定压定量地从挤出机机头挤出以获得稳定的产量和高质量的制品。熔体在机头口模的阻力作用下，会产生沿螺杆方向的压力差，考虑到机筒内壁与螺棱之间存在的间隙，熔体将由四种流动形式组成：正流、反流、横流(或称环流)和漏流。其中，横流主要影响塑料的混合效果，而其他三种流动，则影响挤出量。

2. 机头口模成型

机头的基本功能是成型，即保证制品得到所需要的形状与尺寸，而完成这个任务的关键则是口模，整个机头和口模的设计是围绕着正确的成型进行的。

机头的设计及选用原则如下：

- 1) 机头应具有可调性。
- 2) 流道应流畅并有对称性。
- 3) 流道应能形成压力并有足够强度。
- 4) 结构要合理。
- 5) 因材设计或选用。

3. 定型与冷却

挤出物离开口模后仍处于高温熔融状态，还具有很大的塑性变形能力，定型与冷却的目的是使挤出物通过降温将形状及时固定下来。若定型与冷却不及时，

挤出物往往会在自重的作用下发生变形，导致制品界面形状和尺寸的改变。在大多数情况下，定型与冷却是同时进行的，定型只不过是在限制挤出物变形条件下的冷却。

1.3 挤出成型设备

挤出成型加工的主要设备是挤出机，此外，还有机头口模及冷却定型、牵引、切割、卷取等附属设备。

1. 挤出机

挤出机根据螺杆的数量可分为单螺杆挤出机、双螺杆挤出机和多螺杆挤出机。单螺杆挤出机由于设计简单、制造容易、价格便宜而被广泛使用，是用量最多的挤出机。它是由一根阿基米德螺杆在加热机筒中旋转而成，这种挤出机的主要技术参数有螺杆直径、螺杆长径比、螺杆转速、驱动电动机功率、机筒加热功率、生产能力等。螺杆的几何形状对于挤出机的性能有着极为重要的影响，其中螺杆直径标志着挤出机的挤出量；螺杆的长径比表示着挤出机塑化的能力和质量；螺杆的转速直接影响挤出量和熔体物料的流动性。为了克服单螺杆挤出机混炼效果差、不适合粉料加工、生产效率低等缺点，双螺杆挤出机问世并得到广泛使用。双螺杆挤出机的螺杆由两根相互啮合或相切的螺杆组成，根据两根螺杆的位置可以分为啮合型和非啮合型；根据螺杆的旋转方向，可以分为同向和逆向旋转两类；按照两根螺杆轴线的关系可分为平行双螺杆和锥形双螺杆挤出机。双螺杆挤出机主要用于热敏性塑料(如PVC)的挤出成型和特种聚合物加工(如共混、反应挤出)。多螺杆挤出机的应用相对较少，主要有行星螺杆挤出机和四螺杆挤出机。这种挤出机的特点是大幅度增加了螺杆对物料的捏合、挤压、剪切和搅拌次数；物料在机筒内的分散性好、停留时间短、生产效率高。多螺杆挤出机主要用于对热敏性塑料的加工。

2. 辅机

挤出机组辅机的组成根据制品的种类而定，一般来说，辅机由下列几部分组成：①口模，它是制品成型的主要部件，当改变机头口模出料口的截面形状时，便可得到不同的制品；②定型装置，它的作用是对从口模挤出的物料的形状和尺寸进行精整，并将它们固定下来，从而得到具有更为精确的截面形状、表面光亮的制品；③冷却装置，从定型装置出来的制品，在冷却装置中充分地冷却固化，从而得到最后的形状；④牵引装置，用来均匀地引出制品，使挤出过程稳定地进行。牵引速度的快慢，在一定程度上，能调节制品的截面尺寸，对挤出机生产率也有一定的影响；⑤切割装置，它的作用是将连续挤出的制品按照要求截成一定的长度；⑥堆放或卷取装置，用来将切成一定长度的硬制品整齐地堆放，或将软

制品卷绕成卷。

1.4 常见的挤出成型工艺及挤出成型制品

通过不同的挤出工艺和不同的成型设备可以成型不同的制品。

1. 挤出造粒

聚合物造粒是制品生产的一个中间过程，挤出造粒是一种最常用的方法。这种方法生产的产品质量稳定、自动化程度高、生产效率高。通过造粒可以对聚合物进行改性，进行不同聚合物的共混，在聚合物中填充填料、添加增强材料或制作色母料，以及回收利用废旧塑料等。

2. 管材挤出

挤出法可以生产多种塑料管材，这些管材被广泛用于各种液体、气体或固体的输送，如建筑给水管、排水管、燃气管、护套管、农业灌溉管及工业用管等。在管材种类上可分为硬管、软管、单层管、双层管、多层管、复合管(如铝塑复合管)、发泡管及波纹管等。

3. 板材、片材和薄膜的挤出成型

挤出法生产的板材和片材可以作为结构材料和包装材料及热成型制品的原材料。挤出法可以生产厚度为0.02~20mm的薄膜、片材和板材。挤出成型板材和片材的原材料主要是热塑性塑料，也可以是填充、共混改性、发泡材料等。在种类上可分为单层或多层复合板，平面或波纹状、异型截面以及发泡板和片材等。另外，通过挤出流延平膜法可以成型各种薄膜，通过平面双向拉伸法可生产PS薄膜、多层共挤膜和平膜等。

4. 异型材挤出

异型材挤出是指用挤出法生产截面不规则的聚合物制品，如建筑业中的门、窗框、装饰条，汽车和其他工业中的一些装饰或密封条等。其突出特点是截面的形状复杂。异型材的种类有异型管材、中空异型材、隔室式异型材、开放式异型材、共挤出异型材、镶嵌式和包覆异型材及发泡异型材等。

1.5 挤出成型的主要工艺参数

挤出制品的质量和生产效率是同原料配方、挤出成型设备及挤出工艺条件等密不可分的，实际生产中需根据原料的挤出成型工艺性和挤出成型设备的结构(主要是螺杆结构、口模结构)特点，合理调整挤出工艺参数。挤出工艺参数主要有机筒各段温度、机头与口模的温度及螺杆转速、牵引速度等。

1. 机筒温度

机筒各加热段的温度要根据挤出机的结构特点、所用塑料的配方体系及固体物料的形狀(粒狀、粉狀)等进行选择。单螺杆挤出机主要用粒狀原料成型,机筒三段(加料段、压缩段、均化段)温度以加料段为最低,以后逐段上升。双螺杆挤出机几乎都是排气式的,即在机身中段处设有排气孔,并配有真空吸出装置,用于吸出物料中包含的挥发物。这就要求双螺杆挤出机排气口前的温度不能太低,以保证物料在机筒内被送至排气孔处为半塑化状态并包覆于螺槽表面,有效防止粉狀物料被真空吸出。双螺杆机筒的温度一般设定为两端高,中间低,有时加料段的温度还高于均化段。

2. 机头温度

机头是机筒与口模之间的过渡部分,其温度控制的合理与否会影响到产品质量和产量。机头温度偏高,可使物料顺利进入模具,但挤出物的形状稳定性差,制品断面收缩率增加,无法保证产品的外形尺寸;机头温度过高,还会引起跑料(溢料),产品出现气泡、发黄,物料分解等弊端,导致挤出生产不能正常进行。机头温度偏低,物料塑化不良,熔体粘度增大,机头压力上升,虽然这样会使制品压得较密实,断面收缩率减小,产品形状稳定性好,但是加工较困难,离模膨胀较严重,产品表面较粗糙,另外还会导致挤出机背压增加,设备负荷加大;机头温度过低,物料不能塑化,不但产品无法成型,还会造成设备损坏。

3. 口模温度

口模是制品横截面的成型部件,口模温度过高或过低所产生的后果与机头相似,所不同的是口模温度直接影响产品的质量。通常,口模处的温度比机头温度稍低一些。口模与芯模温度差不应过大,否则挤出的制品会出现向内或向外翻或扭曲变形。因此,口模温度的设定除需要考虑所用塑料的配方体系外,还应考虑制品截面的几何形状,基本原则如下:

- 1) 断面复杂,截面积大,壁厚及拐角部位温度应较高。
- 2) 断面简单,截面积小,壁薄的部位温度应较低。
- 3) 截面对称,厚薄均匀处口模与芯模温差应较小。

4. 螺杆转速与挤出速率

挤出速率是指单位时间内挤出机从口模中挤出的制品的质量或长度。螺杆转速是控制挤出速率和制品质量的重要工艺参数。转速增加,机筒内物料的压力增加,挤出速率增加,产量提高,并可强化对物料的剪切,提高料温,降低熔体粘度,有利于物料的充分混合与均匀塑化。但螺杆转速过高、挤出速率过快会造成物料在口模内流动不稳定、离模膨胀加大,使制品表面质量下降,并且可能会出现因冷却时间过短造成制品变形、弯曲;转速过低,挤出速率过慢,物料在机筒内受热时间过长,会造成物料降解,使制品的物理力学性能下降。

5. 牵引速度

牵引速度直接影响产品壁厚、尺寸公差、性能及外观。牵引速度越快，制品壁厚越薄，冷却后的制品在长度方向的断面收缩率也越大；牵引速度越慢，制品壁厚越厚，且容易导致口模与定型模之间积料。牵引速度必须稳定且与制品挤出速率相匹配，一般是牵引速度略大于挤出线速度。正常生产时，牵引速度应比挤出线速率快1%~10%，以克服型坯的离模膨胀。

1.6 挤出成型新工艺

随着聚合物加工的高效率和应用领域的不断扩大和延伸，挤出成型制品的种类不断出新，挤出成型的新工艺层出不穷。为了满足工业和建筑用管材在耐压、耐温、抗开裂方面的更高要求，人们研制了以特种纤维为骨架的复合管，以多孔金属管为骨架的复合管、铝塑复合管、PE-X管、PP-R管及UHMWPE管等。为扩大可成型材料的范围和增加挤出制品的类型，在传统的挤出成型技术基础上不断发展，形成一些新技术，其中主要有共挤出技术、反应挤出技术、固态挤出技术、精密挤出成型技术、气体辅助挤出成型技术、挤出膨胀成型技术和高速挤出技术等。

1. 共挤出技术

共挤出技术可使塑料制品多样化或多功能化，从而提高制品档次。共挤出工艺由两台或两台以上的挤出机完成，可以增大挤出制品的截面积，组成特殊结构和不同颜色、不同材料的复合制品，使制品获得最佳性能。

按照共挤物料的特性，可将共挤出技术分为软硬共挤、芯部发泡共挤、废料共挤、双色共挤等。由三台挤出机共挤出制得PVC发泡管材的生产线，比两台挤出机共挤的方式控制挤出工艺条件更准确，内外层和芯部发泡层的厚度尺寸更精确，可以使管材获得更优异的性能。

为满足农用薄膜、包装薄膜功能发展的需要，共挤出吹塑薄膜趋向于多台挤出机、多层化发展。目前多层共挤出吹塑膜可达9层。多层共挤对各种聚合物的流变性能、相粘合性能、各挤出机之间的相互匹配有很高的要求，机头流道的设计与制造更为关键。

2. 反应挤出技术

反应挤出成型技术是近年来发展的旨在实现高附加值、低成本的新技术，可以使聚合物性能多样化、功能化、生产连续、工艺操作简单和经济实用而引起世界化学和聚合物材料科学与工程界的广泛关注，在工业方面发展很快。该工艺的最大特点是将聚合物的改性、合成与聚合物加工这些传统工艺分开的操作联合起来。与原有的挤出成型技术相比，其明显的优点是：①节约加工中的能耗；②避免了重复加热；③降低了原料成本；④在反应挤出阶段，可在生产线上及时调整单体、原料的物性，保证最终制品的质量。

反应挤出机是反应挤出的主要设备，一般有较大的长径比、多个加料口和特殊的螺杆结构。它的特点是熔融进料预处理容易；混合分散性和分布性优异；温度控制稳定；可控制整个停留时间分布；可连续加工；未反应单体和副产品可以除去；具有对后反应的限制能力；可进行粘流熔融输送；可连续制造异型制品。

3. 固态挤出技术

固态挤出是使聚合物在低于熔点的条件下被挤出口模。固态挤出一般使用单柱塞挤出机，柱塞式挤出机为间歇式操作。柱塞的移动产生正向位移和非常高的压力。挤出时口模内的聚合物发生很大的形变，使得分子严重取向，其效果远大于熔融加工，从而使制品的力学性能大幅度提高。固态挤出有直接固态挤出和静液压挤出两种方法。在直接固态挤出中，预成型的实心圆棒状物料被放入机筒，柱塞直接接触固体物料，推动物料从口模中挤出。在静液压挤出中，挤出所需的压力由柱塞经润滑液传递至料锭，料锭形状与口模相配合以防止润滑液漏失。静液压油减小摩擦，因而降低挤出压力。固态挤出的基本过程不连续，不能用普通的聚合物加工设备成型，而且需要很高的压力才能实现挤出。现在，固态挤出已经逐渐发展成为获取高模量、高强度产品的一种独特工艺。

4. 精密挤出成型技术

现代挤出成型技术发展的方向是多种高新技术的综合应用，以求生产出精密的高利润的产品。精密挤出成型就是要显著提高制品的精度和质量，满足高速涂覆电缆、精密医用软管、双向拉伸薄膜、复合共挤薄膜等高精度产品的使用要求。从另一方面讲，精密挤出成型通过提高制品壁厚的均匀性，保证产品的合格率可以显著减少树脂的浪费，从而降低了生产成本，增加了生产收益。此外，挤出成型的精密化更易于实现产品的自动装配及流水线生产，有利于提高生产的自动化水平，缩短生产周期。精密挤出成型须采用精密挤出成型装备，并完全满足精密挤出工艺的要求。总之，精密挤出成型作为现代挤出成型技术发展中的重要方向，是一种能实现制品高精度连续挤出的成型方法。精密挤出成型既是对传统挤出技术的发展，也是对传统挤出概念的挑战，实现挤出成型的精密化具有极大的经济效益和社会效益。

5. 气体辅助挤出成型技术

气体辅助挤出成型技术是由英国的R. H. Liang等在2000年首次提出的。其创新在于通过气体辅助挤出控制系统和气体辅助挤出口模，使聚合物熔体和口模之间形成气垫膜层，使原来的非滑移粘着口模挤出方式转化为气垫完全滑移非粘着口模挤出方式，从而取得明显的口模减粘降阻的效果。其最大的特点是可以降低挤出胀大比，获得精确尺寸的挤出制品，因此在人造血管、光导纤维等精密制品挤出加工中存在广泛的、潜在的应用。到目前为止，气辅挤出成型尚未进行实际工业化生产，是自振动挤出机问世以来挤出成型工业最重要、最有意义的发展。

6. 挤出膨胀成型技术

塑料挤出膨胀成型技术由北京化工大学塑料机械及塑料工程研究所研发成功，主要应用于塑料管材、管件，以及其他一些塑料异形材的生产。其最大的特点是节省能耗，改变了通常采用的塑料加工先熔融再注塑的流程，取而代之的是“二次成型”加工技术，是非常有发展前景的塑料加工新技术。该技术已经获得国家发明专利授权，拥有自主知识产权。但目前该技术仍然停留在理论阶段，并未实际投产。

7. 高速挤出技术

目前高速挤出已经成为塑料异型材行业的发展趋势。所谓高速挤出，即挤出机在确保挤出制品质量的前提下，以尽量高的速度进行生产的过程。

长期以来，作为挤出成型装备主要性能指标的“高速、高产”，一直是挤出成型技术发展的主要方向；高的产出与价格比不仅是企业最为关心的，也是技术人员梦寐以求的目标。高速挤出是扩大生产规模、降低生产成本的重要途径，可大大提高企业的市场竞争能力。但是，由于高速挤出并不是简单地有了大挤出量挤出机或高速模具就一定可以实现的，它不仅涉及挤出机、辅机、模具、定型装置等硬件，还取决于原材料的性能、质量、配方、工艺参数，甚至操作人员的水平等软件。国外在此方面的技术已比较成熟，国内由于起步较晚，其生产加工技术更是处于摸索发展阶段。与国外相比，在高速挤出生产技术及配套体系的保证上还存有一定差距。但是我们相信，通过对引进技术的消化、吸收和创新，结合国内的实际状况，我们一定会实现国产化的高速挤出生产。

在制品方面，随着聚合物加工的高效率和应用领域的不断扩大和延伸，挤出成型制品的种类不断增多，挤出成型的新工艺层出不穷。除传统的PVC管材，包覆电缆，PPS、PP和ABS片材、板材以外，为了满足工业和建筑用管材在耐压、耐高温、抗开裂方面的更高要求，人们研制了以特种纤维为骨架的复合管，以多孔金属管为骨架的复合管、铝塑复合管、PE-X管、PP-R管及UHMWPE管等，这些管材的成型工艺有别于普通管材的挤出成型。为了节省材料，降低成本，获得质量轻、强度高的新型材料，人们开发了各种发泡制品等。

双膜泡法挤出吹塑单层、多层双向拉伸热收缩薄膜是近几年新发展的吹膜工艺，挤出的管膜先经水冷，再加热至适于吹胀的温度，充入压缩空气并调节两对牵引辊间的速度比，形成单层或多层的双向拉伸复合收缩膜。

为了提高生产效率，挤出工艺中采用新的冷却工艺。德国Battenfeld公司采用液氮冷却系统使吹塑膜产量提高41%。在吹塑双向拉伸热收缩膜中也有将管膜的水浴冷却改为定径套中水雾冷却的工艺，双向拉伸时可得到更大的拉伸比。

1.7 挤出成型工艺的发展趋势

制品的大型化、生产的高效率、制品的新结构和新工艺是挤出成型在传统挤

出生产基础上发展的趋势。

1. 挤出制品的大型化

(1) 管材 随着塑料管材应用领域的不断扩大,管材生产正朝着高性能、大口径方向发展。管材高性能依赖于聚合物新品种、聚合物的改性和管材成型设备的改进。目前国内可生产的用作给排水管、市政工程污水管的 UPVC 管材,管径已达 630mm,而国外可达到 1000mm。国外的 HDPE 燃气管的管径最大达到 1600mm,输水管的管径可达 2500mm。

(2) 薄膜 为减少拼幅在铺设中的工作量,人们希望农用棚膜、地膜能加大幅宽。目前国内挤出吹塑棚膜最大幅宽为 14m,而国外可达 25m。国内 BOPP 膜可加工成厚度为 10~18 μ m,膜宽为 9m。德国 Battenfeld 公司的三层共挤膜幅宽可达 6100mm。宽幅膜更广泛地适应各种包装的需要,由于幅宽增大,可减少平膜由于切边形成的边角膜与成品膜之间的比例,增大成品率,降低成本。因此流延膜和双向拉伸膜均向宽幅方向发展。

(3) 板材、片材 广泛用作工业衬垫、绝缘、建筑材料和广告制作的板材,以及用作食品包装、医药、工业包装的片材,也正根据市场的需要向特殊性能和宽幅面发展。目前中国生产的板材宽度可达 2500mm,板厚为 55mm;共挤出 PVC 发泡板宽度为 2000mm,其中发泡层的厚度为 20mm。

2. 挤出成型的高效率

自挤出成型方法用于生产以来,人们对于高质量和高效率的追求就从未停止。人们不断地改进工艺和设备,以高质量为前提,提高生产率。

世界上比较先进的挤出造粒设备有,直径为 $\phi 700$ mm 的单螺杆挤出机,产量达 36t/h;直径为 $\phi 600$ mm 的双螺杆挤出机,产量达 45t/h。中国目前造粒生产线产量不足 1t/h,需向大型化、高速化发展。

产量占挤出制品份额很大的几种产品挤出速率不断提高。德国某公司的直径为 $\phi 130$ mm 平行双螺杆挤出硬 PVC 管材生产线,产量达 1200kg/h;美国某公司的直径为 $\phi 169$ mm 平行双螺杆挤出硬 PVC 管材生产线,产量达 2000kg/h;奥地利某公司的 92 型锥形双螺杆挤出机,产量达 1100kg/h。

吹塑薄膜的牵引线速度由原来的 100m/min,提高到 300~350m/min。挤出复合的多层热收缩膜,幅宽 2300mm,挤出线速度达 90m/min,挤出产量 200kg/h。

在北美和欧洲,2000 年前流延膜典型的生产线速度为 210~270m/min,如今达到 450~610m/min;三层共挤,幅宽 6.1m 的薄膜,产量达 450kg/h;幅宽 3.2m 的复合流延拉伸膜生产线速度达 550m/min。

BOPP 薄膜的挤出线速度目前可达 350~400m/min。

挤出结构发泡 PVC 板材的产量最大可达 600kg/h。挤出发泡片材的双阶单螺杆挤出机的螺杆直径分别为 $\phi 114$ mm 和 $\phi 150$ mm,长径比为 30,生产发泡聚苯乙烯

片时产量达 545kg/h；生产发泡聚乙烯片时产量可达 455kg/h。大型双阶发泡片材挤出生产线的螺杆直径分别为 $\phi 120\text{mm}$ 和 $\phi 160\text{mm}$ ，产量可达 815kg/h。

建筑用门、窗框 PVC 型材的挤出成型，普遍的挤出线速度为 0.8~1.2m/min，产量为 80~120kg/h；国外通过挤出机和定型冷却装置的改进，挤出线速度可达 6m/min，产量高达 500kg/h。

1.8 挤出成型设备的发展

近年来，高速挤出已经带来了生产效率的大幅度提高。高速、高效、智能化一直是挤出成型设备的发展方向。平行双螺杆挤出机的总转矩大幅度提高，广泛用于高填充混合、聚合物共混、反应挤出等工艺。螺杆转速趋向于高转速，国外螺杆转速可达 600~1200r/min。增大长径比是双螺杆挤出机发展的另一个特点。以往的双螺杆长径比为 30 左右，在新型、高效的混合和反应挤出中，将带有加成聚合反应、接枝共聚反应、控制聚合物相对分子质量及相对分子质量分布的过程，聚合物改性、聚合物合金的制备，以及成型在内的多道工序集中在挤出机中完成的情况下，螺杆的长径比已高达 40 以上，美国 welding Engineers 公司的双螺杆挤出机的长径比为 48~72。影响挤出生产线经济性能的重要因素是产量。以 PVC 异型材的生产为例，20 世纪 70~80 年代，用平行双螺杆挤出机生产 PVC 异型材的线速度为 1~2m/min，但到了 20 世纪 90 年代中期，产量急速增长，由于口模和定型技术的发展，线速度从 2m/min 增加到 4m/min，挤出机的螺杆直径约为 110mm，长径比为 20~23，产量为 150~350kg/h。到 1995 年挤出机的螺杆直径发展为 130mm，产量为 450~500kg/h。为继续满足市场的需求，德国 Krauss-Maffei 公司开发了螺杆直径为 160mm，长径比为 26 的新一代平行双螺杆挤出机，产量增加到 1000kg/h。

根据共混合反应挤出物料多种组分中加料顺序的要求，挤出机除主料斗外，按所加入物料的形态不同，设有多个加料口，沿螺杆轴向，顺次加入化学反应所需的辅料和有利于熔融混合、均匀分散的各组分。与多点加料相对应，在机筒上设置多个排气口，满足在不同位置、不同状态进行排气、脱水、脱挥的需要。

随着挤出制品尺寸精度的提高，越来越多的挤出生产设备采用熔体泵。国外已将熔体泵用于尼龙、聚烯烃、氟树脂、聚氨酯弹性体等聚合物的加工，如薄膜、片材、发泡制品、单丝、电缆、医用软管、复合挤出成型等，大大拓展了以前只在熔融纺丝和双向拉伸薄膜等少数挤出生产场合的应用，使挤出产品达到高粘度成为可能。

在设备革新方面，除了增大螺杆直径和长径比之外，为提高产量，还采取加大装机转矩、提高螺杆转速和增加比驱动能等措施。同时为提高制品的质量和生