

# 注塑工艺概论

IRVIN I. RUBIN 著

( 内 部 资 料 )

浙江杭州梅林装订厂制

182-7Q320.662

# 前 言

塑料制品的加工至少有25%是利用注塑方法完成的，但至今为止还少见有关注塑的著述，为此翻译了这本书（原作者 IRVIN I. RUBIN 是美国塑料工程师协会会员）；由于内容并不一定切合我国的实际情况，而译者专业知识又差，难免有误解之处，所以本书只供参考，请同志们多提意见为幸。

科技翻译小组

1978年1月

15/00

# 目 录

|       |                |     |
|-------|----------------|-----|
| 第 一 章 | 注塑机 .....      | 1   |
| 第 二 章 | 模具 .....       | 77  |
| 第 三 章 | 注塑的理论和实践 ..... | 145 |
| 第 四 章 | 塑料及其性质 .....   | 260 |
| 第 五 章 | 成型缺陷的纠正 .....  | 346 |
| 第 六 章 | 液压机构及其管路 ..... | 373 |

# 第一章 注塑机

注塑是热塑性塑料成型的一项主要工艺，现在这种工艺也可以用于热固性材料的成型了。当前国外塑料工业所采用的注塑机不外乎往复螺杆式、活塞式和螺杆料室式等几种，其中以往复螺杆式的比重最大。一般地说，小型注塑机的平均使用寿命为6.3年，中型的为5年，大型机则为4.8年。

注塑机由John和Isiah Hyatt在1872年发明，当时他们用来模制由樟脑增塑的硝酸纤维素（雷璐珞），所以注塑机和注塑工艺并不是什么新鲜东西。1878年John Hyatt第一次使用了多巢模。由Leo H. Baekeland发明的苯酚-甲醛树脂，现在也可以利用螺杆注塑机进行模制了。

Wallace H. Carothers的实验和理论工作得出了缩聚反应的通用理论，导致包括尼龙在内的许多聚合物的问世，1930年底新技术开始发展，原料方面得到了很大程度的改进，使注塑工艺变为更有经济价值；现在与注塑有关的机械方面技术也有了相应的进步。

就注塑工艺来说，是既有优点，但也存在缺点。

优点有：

1. 可以高速度地生产制品；
2. 可以大规模生产；
3. 单位劳动工资成本相当低；
4. 可以达到高度自动化；
5. 制品可以不再歪理加工或仅须稍行歪理；
6. 可获得多种不同表面、颜色和造型的制品；
7. 可以很好地施彩；
8. 可以经济地加工出许多种外形；
9. 可以模制很小的制品；

10. 边角料损失少，因为浇口料、流边料及废品都可以粉碎后重新使用；

11. 有时候不须更换机口或模具就可以模制不同原料的制品；

12. 可以保持紧尺寸公差；

13. 可以模制带有金属或非金属嵌件的制品；

14. 可以模制塑料与玻璃、石棉、滑石粉及炭黑等填料的复合物制品；

15. 按原料的固有性质可获致许多优点，诸如高的强度重量比，耐腐蚀性、高强度和透明性。

缺点和存在问题有：

1. 强烈的工业化竞争往往会导致利润降低；

2. 经常需要进行三班制工作；

3. 模具代价高昂；

4. 注塑机械及附属设备代价高昂；

5. 加工控制可能不理想；

6. 机械与操作不协调，其控制与最终产品不直接相关；

7. 手工操作不太适宜；

8. 一般较难立刻鉴定质量；

9. 对操作所致的问题还缺乏基本认识；

10. 对原料长期性质可能导致的长期缺陷还缺乏认识。

如果操作人员领会本书所涉的机口操作和塑料处理原理，上述这些问题就有许多可以得到解决。

### 机口操作

注塑机的基本工作为：

1. 使塑料温度升高至能在压力下流动。

2. 使塑料在由机口使之闭合的模具中固化。

3. 开模顶出塑料制品。

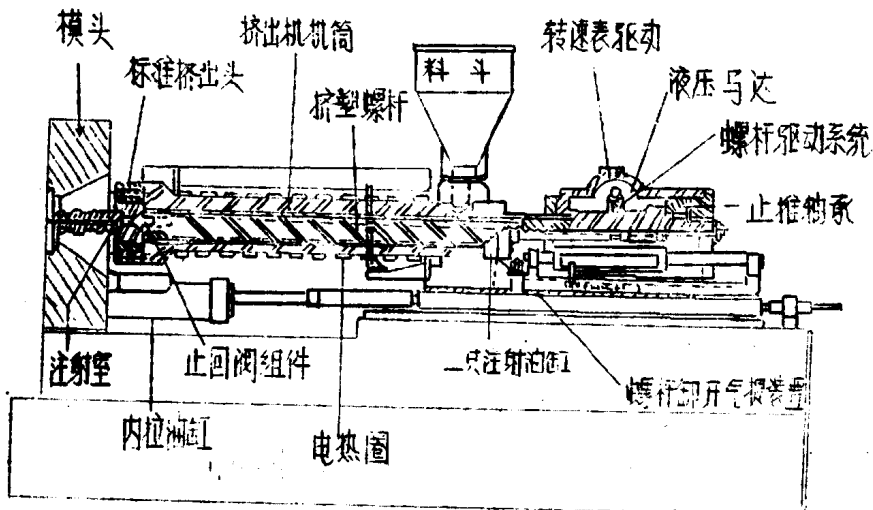
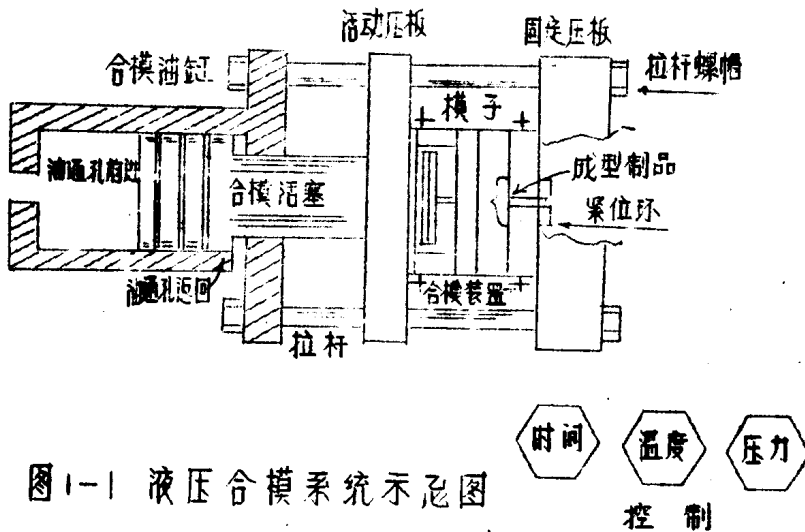
图1-1为液压机合模端的示意图，图1-2所示为同轴式往复

螺杆塑化装置的注射端；模具的注射侧紧压于定模板，而模具的脱模侧则紧压于动模板，模具中只有需成型制品构型的空间，这个空间由熔融的塑料在压力下加以充实。

动模板在四根钢丝绳上滑动，由液压机构产生的合模力推动动模板并张紧这些拉杆。

### 往复螺杆式注塑机的基本原理

具有液压合模装置的往复螺杆式注塑机成型过程的步骤如下（图1-1和1-2）：



1, 塑料放入料斗中(粉状料一般需经造粒)。

2, 合模活塞后面的油推动活动模板, 关闭塑模, 合模活塞后面压力建立, 产生足够的力使在注射循环过程中保持模子紧闭, 如果注射塑料的力大于合模力, 模具就会开启; 这样, 塑料就会通过合模线流至模具表面, 产生飞边, 这类飞边必须加以去除, 甚至需将废品制品报废作再生料处理。

3, 螺杆转动使机械能转化为热能, 使原料初步熔融, 同时也从塑化料筒(挤出料筒)上的电热圈吸取部分热量; 当原料熔融, 就沿着螺线向前移动直至螺杆的前端; 螺杆在材料上产生的压力迫使螺杆、螺杆传动系统和液压马达后退, 在螺杆前端留下一个塑化料的存料阱; 螺杆继续转动直至注射装置的后向运动触及限程开关使旋转停止, 这个限程开关是可调的, 它的位置决定螺杆前端的保料量(注射量)。螺杆的推进力同时也迫使注射油缸(螺杆两侧各有一只)后退, 从油缸来的这种油的回流可以用适当的阀门来加以调节, 这就是所谓“背压”, 可在0磅/吋<sup>2</sup>到400磅/吋<sup>2</sup>之间调节。

4, 大多数注塑机会在这一点上使螺杆略有缩回, 以降低对原料的压力, 从而防止注料阻流涎, 这种“回吸”通常利用定时装置进行控制。

5, 两只注射油缸推动螺杆前进, 将原料注入模槽中, 并按预定的时间保持注射压力; 通常在螺杆端面设有一个阀门, 用以防止在注射期间原料流入螺纹中, 螺杆转动时, 此阀门即开启, 让塑料在其流动。

6, 两只注射油缸中油的流速和压力按需要提供充模的足够速度, 并保持足够的压力使模塑的制品避免凹痕、流痕、接缝线等缺陷。

7, 原料冷却时就变得粘稠, 并在保持注射压力不起作用时固化。

8, 通过塑模的钻孔环流冷却介质(通常是水)使模子继续降温, 制品固化并从塑模顶出所需的总时间是预先在合模定时装置上调定的; 到时间后, 动模板即返回原位, 塑模就开启。

9, 脱模机构使成型制品与塑模分离, 接着机口即准备进行后一操作循环。在正常的模塑循环中, 步骤3及4出现于步骤7以后。

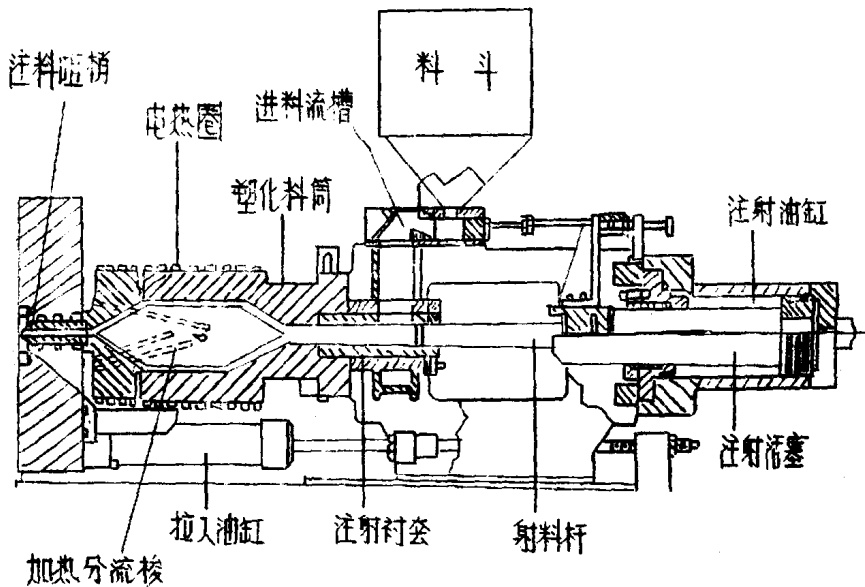


图 1-3 单级活塞式注塑机注射端示意图

### 活塞式注塑机的基本原理

在活塞式机口(图 1-3)中, 原料只由感应和传导加热, 具有大不相同的特性。在活塞式注塑机中, 处于油缸后面的冷颗粒在活塞前进时被压缩, 因而机口开始充填塑模要比往复螺杆式机口好些, 在其中, 活塞是直接作用于已塑化原料的。当模槽充满时模内即迨起压力。

因设计关系, 在活塞式机口中, 油缸里有一个较大的压力损失, 因此, 活塞端的压力比注料咀压力要高得多, 而在螺杆式机口中, 活塞压力与注料咀压力几乎是相等的。

### 注射循环

图 1-4 为活塞式机和螺杆型机的一次循环示意图; 活塞式机



中。原料是用来自加热料筒壁的传导热；加热的螺杆式机则由旋转螺杆的剪切作用来使原料塑化。

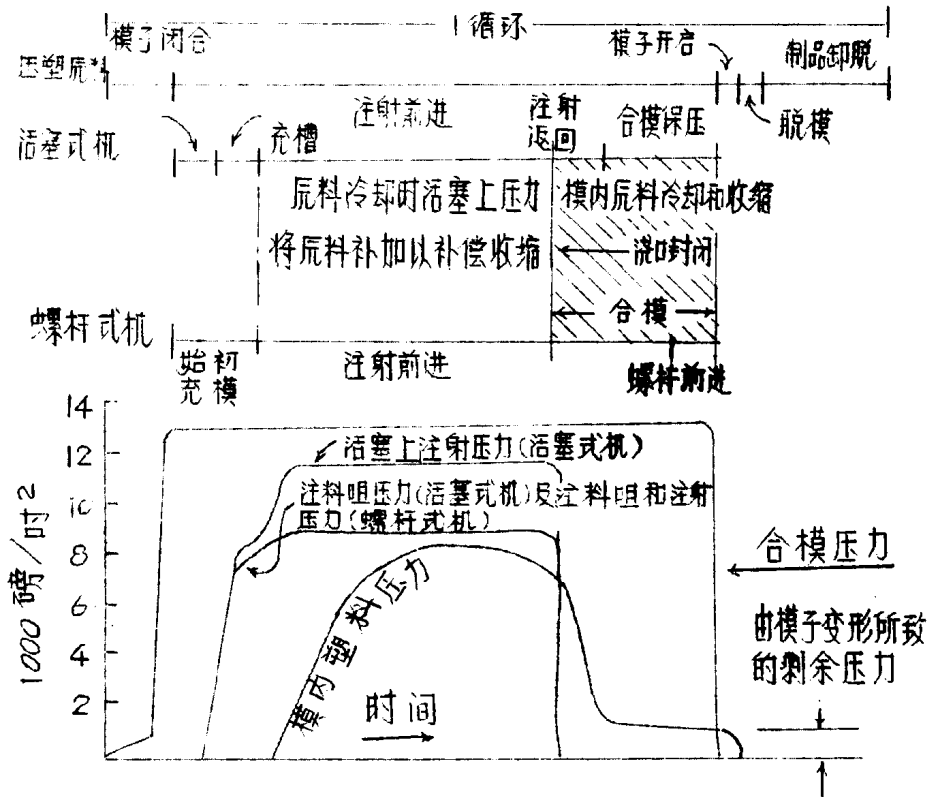


图 1-4 活塞式和往复螺杆式注塑机的循环时间示意图

压力对流动是有阻力的，因此，当合模活塞紧闭时，对液压油的流动只有极小的阻力，所以保持的压力非常低；一旦模子锁紧阻力迅速建立，合模压力就迅速上升，并保持恒定水平直至释放，然后压力降至零，模子开启。

在初步充模后，由注射压力向塑模追加补充原料以补偿原料冷却时的收缩量；补充料太多会导致“过充模”，结果制品有很高的应力，还可能引起脱模上的问题；充料不够则会导致打不足、表面粗糙、凹痕、合缝线或其它缺陷。除非是浇口未被固化料封住，否则只要有注射压力存在，原料就会继续不断地流入塑模。当浇口封住或注射压力停止时，就再没有原料进入塑模，冷却原

料的收缩使模内压力下降。

在任何已知成型操作中都有一个残余模槽压力上限，超过这个上限就会造成制品脱模不顺利；操作人员必须妥善调节时间、温度和压力等控制装置以获得低于这个最大极限的残余压力。

### 循环期间的估算

成型加工厂家要对制品进行产量估算，例如30秒循环，亦即每小时120模；这要根据制品设计、使用的原料、公差要求、所用的注塑机、塑模条件来判断，有时甚至还要考虑到操作工的因素，这里对螺杆式注塑机举假设例如下：

制品重量 = 210克，通用型聚苯乙烯

\* 注射量 = 12 吋<sup>3</sup>/秒

(对聚苯乙烯而言，12 吋<sup>3</sup>/秒 × 17.4 克/吋<sup>3</sup> = 210 克/秒)

\* 螺杆回复速度 (聚苯乙烯) = 40 克/秒

\* 合模 = 20 吋/秒

\* 开模 = 26 吋/秒

\* 机口规格

计算：

合模 (10 吋) = 0.5 秒

塑模缓速 = 0.5 秒

充模时间 = 重量 份 / 注射量 =  $\frac{210 \text{ 克/秒}}{210 \text{ 克/秒}} = 1 \text{ 秒}$

注射保压定时 = 5 秒

合模定时 = 1.6 秒

(螺杆回复速度 = 40 克/秒 = 5.2 秒，小于合模保压时间，因此不会限制循环)

开模 + 脱模缓速 = 2 秒

制品卸脱 = 5 秒

总计 = 120 模 / 小时  $\cong$  30 秒

机口规格方面假定液压系统情况是良好的，由内口漏洩所致的泵出油损耗会严重降低机口速度；估计的注射保压定时口和合模定时口（控制冷却时间用）几乎总是根据经验按类似原料和制品调定的，对这些进行数学方法计算至今还没有获得成果。

### 进料控制

在直通活塞式注塑机中（图1-3）进料可以按体积控制，注射柱塞每往复一次，可调室中就充满冷料，这对改变松密度的不同粒度不能补偿，所以不能用不同重量的原料充填此室，补救的方法是用秤称取预定充填粉料通过一只漏斗倒入下料口中，由简单的控制系统对不准确进料进行自动调整。

### 原料干燥

在注射端装有一只容纳成型用塑料的料斗；有些原料如：尼龙、聚碳酸酯、有机玻璃、丙烯腈及醋酸纤维等都具有吸湿性，都需要在成型前进行干燥；通常这些原料都利用为塑料专门设计的烘箱来干燥，烘箱中装有许多只盘，使塑料可以摊成薄层，大约 $\frac{3}{4}$ 到1吋厚；由鼓风机强使热空气通过塑料，少量的暖空气被引出烘箱以避免潮气的积聚，提高烘箱中空气温度可加速塑料中水分的扩散，同时也提高空气容纳水分的能力；例如，在70°F每磅干空气容纳0.0158磅水，而在175°F时为0.53磅水；空气于100°F和90%相对湿度时进入时只含有每磅干燥空气0.038磅水分，对大多数原料而言，水平衡级是足够高的，因此不必要对引入空气进行去湿处理。但对尼龙和聚碳酸酯来说，上面这个说法就不恰当了，尼龙的含湿量一般不能超过0.28%，如果高于这个水平，水分就会在塑化过程中与尼龙发生化学反应，从而降低其分子量，也就降低其物理性质。此外，对于其它原料，过量水分会导致制品中出现裂纹，还可能出现因蒸汽所致的内在气泡。于90°F和70%相对湿度时引入空气于175°F干燥尼龙，可达到0.42%的水分平衡。试图在这样的条件下干燥尼龙料，其结果会使尼龙

的含湿量升高至简直不能进行成型。应该利用机械冷冻或由加热再生的化学干燥剂使空气脱水。通常要使用两组，一组在烘箱中，另一组在再生过程中。干燥时间的长短取决于原料种类及其含湿度、设备环流条件和处理空气的湿度和温度；正常情况下尼龙料在烘箱中经过3至4个小时可以干燥。

过滤热空气系统可以附装于料斗，以便把加热的去湿空气吹经颗粒塑料，这种系统被称为料斗干燥器，必要时引入空气应过滤和去湿。

从原料生产厂来的装在密封容器里的吸湿性原料可不经干燥就使用，但不能在料斗中放过多的料。有些注塑机装有红外线加热装置使原料保温；在使用这些原料进行成型加工时，料斗干燥器始终是有价值的。

要在挤出过程中去除包括水分在内的挥发物时，可以利用在机筒内前后纵列表置两根螺杆的办法来达到目的，在两根螺杆之间表置一只与大气相接的通气阀，第一段从料斗取料并送至熔融原料的压缩段，在通气阀下面原料被降至常压，让挥发物逸出。接着又重新压缩，螺杆的对称其作用与单螺杆一样，这样做可以省掉干燥步骤。

#### 去除料斗中的杂质

由于操作上的疏忽，可能会让螺丝起子、螺母、螺栓、铁屑或其它金属物质进入塑料料筒中，这些东西会严重地损伤螺杆和料筒，可在料斗喉口放置一块磁铁以吸取铁质的东西，因为铁是最常见的金属，紫铜及黄铜通常较软，不至于损坏机口。

#### 按注射口件（或称注射端）区分的注塑机类型

注塑机基本上具有两个部分：包括模具在内的合模部分和进行塑料供料、熔融及计量的注射端。

目前使用的注射端有四种主要类型：

1. 单级活塞型（图1-3、1-7），使用一个活塞迫使原料通过

一只分流梭（或称鱼雷头），由电阻加热圈供热，原料由泵送和传导加热。

2. 双级活塞-活塞（双级柱塞或活塞在料室中）型机口使用一只单级活塞来塑化原料，并将原料推入第二只料筒（图1-5），这第二只料筒再把原料注入塑模中。

3. 双级活塞-螺杆型（螺杆-料室）基本上与活塞-活塞型机相似，不同的是使用一根固定螺杆代替活塞进行塑化（图1-6）。

4. 往复螺杆型（同轴式螺杆型），使用一根旋转螺杆来塑化原料（图1-2），当螺杆转动时，已塑化原料被压至螺杆前面并把螺杆推回，螺杆推进注出原料，这里螺杆的作用与活塞一样。往复螺杆式注塑机目前最为普遍。

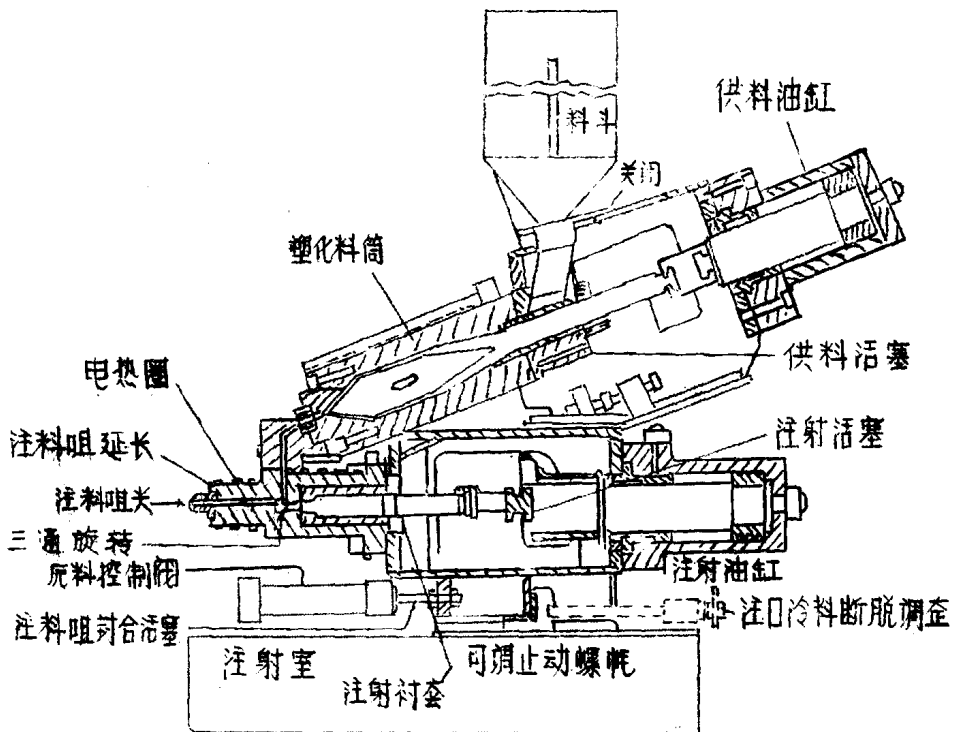


图1-5 双级活塞式注塑机注塑端示意图

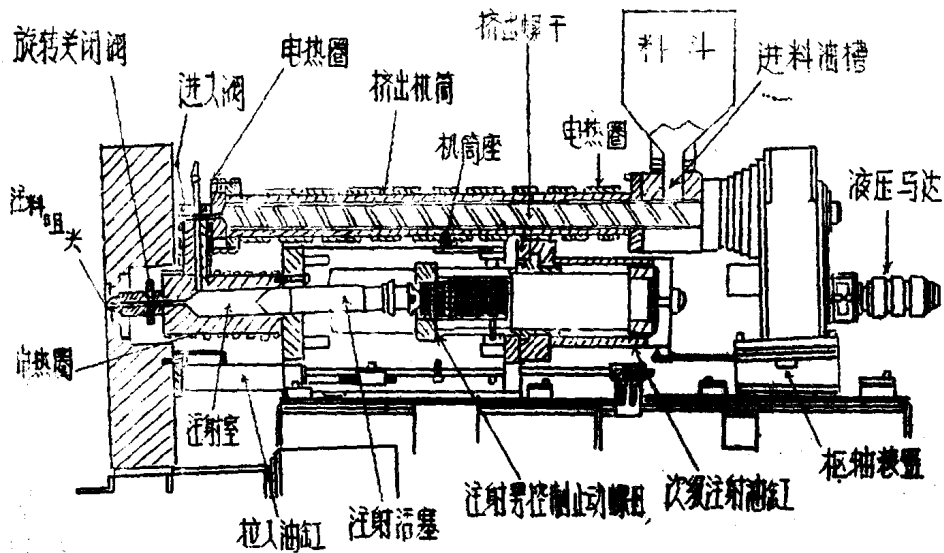


图 1-6 双级螺杆活塞式机注射端示意图

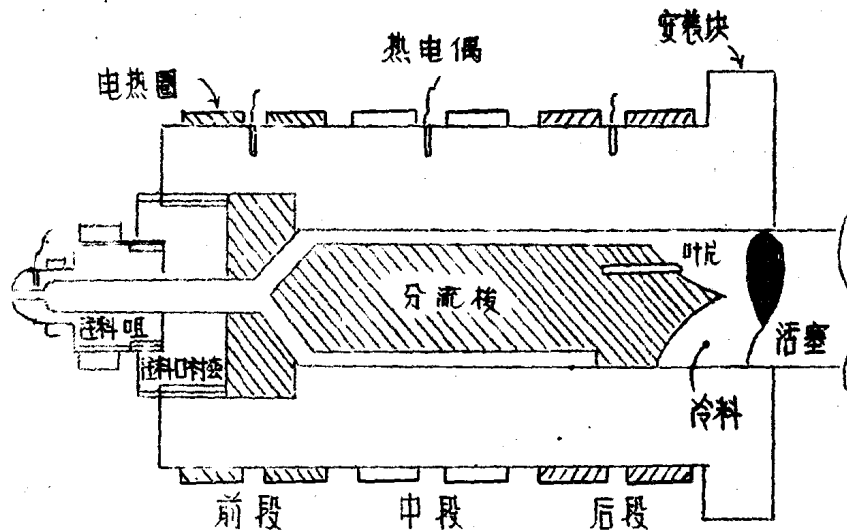


图 1-7 直通活塞式料筒

### 单级活塞型

单级活塞注塑机(图1-3)使用一只活塞将原料压向分流梭或鱼雷头,由电阻加热圈供热,原料开始由感应和热传导熔融,料筒内料流基本上呈层状,在所有的塑化系统中,这类机型的熔融料最不均匀。

射料杆驱动油缸同时也将压力自射料杆传递至注射咀端的成

型材料，如前所述，压力损失相当可观，在流动状态下近似成型压力降可达80%。

压力损失的大小决定于注射压力、机筒温度，也较小程度地与分流梭型片端的设计有关；最大的压力损失出现于冷颗粒区。

图1-7所示是一个典型直通料筒的截面，热量由分成三段的电阻加热带供应，每段都有其本身的热电偶控制，注塑咀接头和注塑咀也各有独立控制的加热带。颗粒状冷料被活塞压紧并受料筒壁加热，废料围绕分流梭散布，分流梭是由一块盖板牢固地支持在注料咀端的，在这块板上钻有孔眼使塑化料筒与注料咀区连接起来；分流梭后由几片与加热料筒孔相接触的型片支持，分流梭通过凸缘和型片区感应加热，这凸缘和型片都与加热的筒壁相接触，旋出接口触及分流梭的型片端就可以方便地清理这个料筒；这种设计的缺点是分流梭型片端的相对冷度。

另一种熟知的设计将分流梭经由高凸缘装在型片口附近，凸缘处钻有孔眼供塑料流动，这样使型片端保持温暖；其缺点是难于拆卸和清理。

### 活塞式机的效率计算

还没有妥善方法对活塞式机的热值加以评定，机口生产厂往往按最好工作条件来为其产品估定价格，所以当某一规格事关重要时，最好听听已在使用该机的单位的意见。

曾对注料杆驱动油缸（包括温度和压力测量、温度变化反对加热装置性能的设计因素的效应）进行过严格的分析，在分析过程中，所考虑的塑料制品为管子，料筒直径为管子外径，分流梭直径为管子内径；一块无限厚板的传热方程可给出足够精确的近似值。

废料在温度 $T_0$ 时进入塑化料筒，它能达到注料咀端的最高温度是筒壁温度 $T_w$ ，实际上熔融温度 $T_m$ 将低得多，塑化料筒的效率可以表示为这两个温度差之比。

$$E = \frac{T_w - T_o}{T_m - T_o} \quad (1-1)$$

式中：E = 热效率

$T_o$  = 进料温度

$T_w$  = 筒壁温度

$T_m$  = 出料温度

热效率不能与机口效率相混淆，后者是塑料获得总热量与由电热口供给总热量之比。

在进行过利用感应加热作为能源来注塑热塑性塑料的尝试后，全厂热塑性塑料用料筒都采用电加热；注塑热固性塑料用的料筒通常由机筒上的水加热，但注料咀用电加热；料筒加热元件的瓦数应能达到使机口电气连接的目的，假定对料筒而言是足够的，显然有相当一部分热量因辐射而损失掉，要使塑料保持400°F（相当于6500 Btu/时的热值），一只无护套的料筒需要消耗热量20800 Btu/时，其中包括损失14300 Btu/时，使用石棉衬里铝护套可使损失降低至6900 Btu/时，这对生产成本来说极为重要；另一方面，加热料筒的完全绝缘并不理想，因为这样难以对温度进行有效的控制。

影响射料杆驱动油缸效率和热值的一些因素如下：

1. 热扩散系数。这是物体某一点的温度变化转移至另一点的比率，可用导热系数除以密度与比热的积来阐明：

$$\alpha = \frac{K}{\rho c} \quad (1-2)$$

这里 K = 导热系数

$\rho$  = 密度

$c$  = 比热

由于塑料是优良的绝缘体，要使一只装有塑料的4吋直径料筒的平均温度提高到壁温的80%大约需要四个半小时。



2. 塑料存在料筒内的时间。这是贮存于筒内原料的可供注射次数乘以一次注射号的积。

3. 料筒加热截面的表面积与塑料体积之比。显然表面积越大，就能塑化越多的原料；可以在分流梭上刻槽以扩大这个表面积；但是这个增益会被塑料的额外厚度所抵销。

4. 塑料厚度。塑料越薄，传热就越快，如果分流梭是内口加热的话，无限板的有效厚度是减半；假若只通过金属由外壁加热，那末板的有效厚度在双面加热与单面加热之间。效率( $\epsilon$ )为0.8的带有内加热分流梭的料筒每小时塑化原料73磅，当分流梭热号移去时，速度即下降至每小时39磅。在型片附近具有宽广接触面的非加热分流梭的产量最高，因为分流梭内传热情况较好。

5. 流径。通过料筒的流径应该很少有挂料痕迹，如果全部原料不以一个合适的匀速通过，部分原料就会滞留较久，从而促成很大幅度的温度变化；这样会使原料具有几种不同的密度，导致模塑制品有大应力，同时还可能使原料降解，测试表明，经过型片区（速度降低）的原料温度高于料筒内的其余原料温度。

经发现，在无润滑的20000磅/时<sup>2</sup>活塞压力时，压力降为16600磅/时<sup>2</sup>，添加200 PPM润滑剂后，压力损失降至7800磅/时<sup>2</sup>。任何能缩小颗粒体积的因素，例如分流梭热号及料筒的预保压，都能降低压力损失。

#### 普通活塞式机的其它方式

曾试行过一系列其它方法，但都没有在工业上实施。这些方法包括使用装有型片的旋转分流梭，目的在于进行拌和及消散层流；另一个方法是使用一只熔融料抽出口，在其中原料通过滤网装置塑化并送入注射料筒；第三个方法是使用一只通风的逆流料筒，原料分三次通过槽纹沟中的料筒，在第二次经过后气体被排回至冷料。