

注塑成型新工艺新技术

与注塑模具创新设计

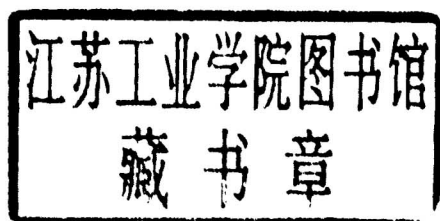
实用手册

世界知识音像出版社

注塑成型新工艺新技术与 注塑模具创新设计实用手册

第三卷

主 编：王天成



世界知识音像出版社

三、多型腔模具的浇注系统流动平衡

对多腔模具的基本要求是应使各个型腔能够同时充满且各个型腔的压力相同，这样才能保证各个型腔所成型出的塑件尺寸、性能一致。有资料介绍，若不同型腔熔体压力相差 6.9MPa ，则收缩率会相差 $0.5\% \sim 0.75\%$ 之多。多型腔模具浇注系统流动平衡的目的就是要达到上述要求，可分为如下两种情况。

1. 各型腔塑件相同

这种情况生产中遇到最多，各个型腔为相同的塑件（形状、大小、厚度完全相同）、用于小塑件的大批量生产。型腔分布和浇注系统平衡有如下两种方式。

(1) 流动支路平衡 这种情况是指相对于主流道按一定布局分布的各个型腔，从主流道到达各个型腔的分流道、浇口，其长度、断面形状和尺寸都完全相同、即到达各型腔的流动支路是完全相同的，如图 4-3-15 所示。只要对各个流动支路加工的误差很小，就能保证各个型腔同时充模，压力相同。

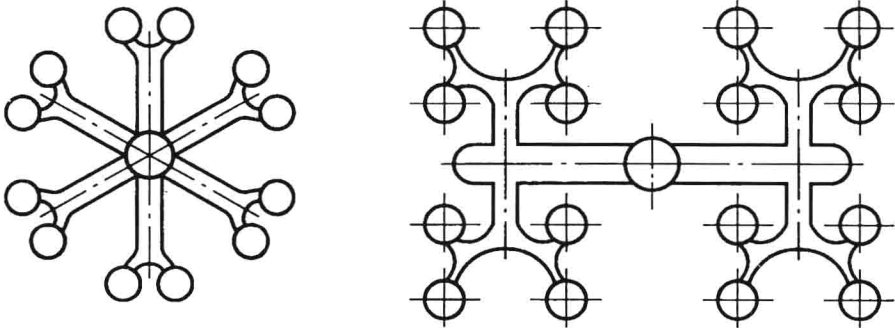


图 4-3-15 多型腔的流动支路平衡

(2) 熔体压降平衡 有时，由于型腔数量太多，或由于模具总体结构所限，难于采用上述各流动支路平衡方法。这时，到达各个型腔的分流道断面形状和断面大小可以相同，但长度不同，进入各个型腔的浇口断面大小也因而不同，如图 4-3-16 所示。对于这种设计方案，只有通过各个型腔浇口断面大小的调节，使熔体从主流道流经不同长度的分流道，并经过断面大小不同的各型腔浇口产生相同的压降，达到使各型腔同时充满。目

前尚无一个准确计算方法确定各型腔浇口断面尺寸，主要是靠试模后修正浇口尺寸。

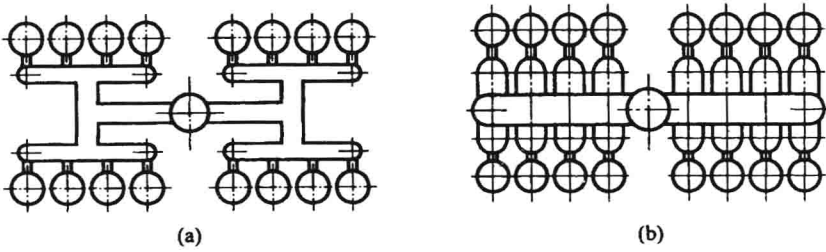


图 4-3-16 多型腔的支路压降平衡

根据实际经验，可能存在如下两种情况：

(1) 型腔愈远，浇口愈大。当分流道比较长，断面尺寸又较小，熔体流至较远型腔会产生较大压降和温降，特别是粘度对压降和温降比较敏感的塑料，型腔愈远，浇口断面积应愈大，才能保证各型腔同时充满。

(2) 型腔愈远，浇口愈小。这似乎不符合一般的规律，但生产实际证明确实存在。一般是当分流道断面尺寸较大时容易出现，因为分流道的流动阻力比浇口小得多，从主流道流向分流道的熔体首先不会越过断面很小的浇口充满较近的型腔，而是首先充满整个分流道待压力升高后，再由远及近地充入各个型腔，这时，型腔愈远，浇口断面反而应该愈小。

应该指出，熔体对不同距离型腔的填充顺序影响因素是极其复杂的，它不仅仅与分流道断面大小和长度有关，还与塑料熔体的温度、压力、粘度、模温以及粘度对压降和温降的敏感程度有关，无论出现上述那种情况，主要都应经过试模后修正浇口尺寸，达到各个型腔的平衡。

2. 各型腔塑件不同

如果各型腔所成型的塑件不同，例如用同种塑料成型的配套塑件，也需要对各型腔的流动支路压降进行平衡，使各不同的型腔能同时充满。如图 4-3-17 所示，今设有大小不同的型腔 1、2，到达各型腔的分流道和浇口尺寸如图中所示。由于型腔大小不同，今应调节各分流道、浇口的断面尺寸和长度，在保证熔体流动线速度和压降相同的情况下同时充满各个型腔。因此，应使：

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

式中 Q_1, Q_2 ——分别为熔体对型腔 1 和 2 的体积流率 (m^3/s);
 m_1, m_2 ——分别为塑件 1 和 2 的质量 (g)。

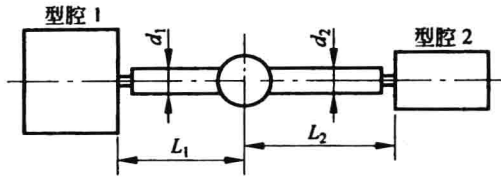


图 4-3-17 型腔不同时的流动平衡

但

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{v \frac{\pi}{4} d_1^2}{v \frac{\pi}{4} d_2^2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (4-3-2)$$

式中 v ——熔体流动线速度 (m/s)。

故

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \Rightarrow d_2 = d_1 \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \quad (4-3-3)$$

如果到达各型腔的流道长度不同，还应对长度进行调节。
 将关系式

$$Q = \frac{\pi R^4}{8L} \frac{1}{\mu_a} \Delta P$$

改写为

$$Q = \frac{\pi d^4}{8 \times 16L \mu_a} \Delta P$$

则

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\frac{\pi d_1^4}{8} 16L_1 \frac{1}{\mu_a} \Delta P}{\frac{\pi d_2^4}{8} 16L_2 \frac{1}{\mu_a} \Delta P} = \frac{d_1^4}{d_2^4} = \frac{L_2}{L_1} \quad (4-3-4)$$

与式 (4-3-3) 比较可得：

$$\frac{d_1^2}{d_2^2} = \frac{d_1^4 L_2}{d_2^4 L_1}$$

$$L_2 = L_1 = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (3-4-5)$$

对于断面为矩形的流道，可得到类似的流道平衡关系式：

$$h^2 = h^1 \sqrt{\frac{m^2}{m^1}} \quad (3-4-6)$$

和

$$L_2 = L_1 \frac{h_2^2}{h_1^2} \quad (4-3-7)$$

式中 h_1 、 h_2 ——分别为到达型腔 1 和 2 的分流道厚度。

式 (4-3-7) 和式 (4-3-8) 导出过程中，取到达各型腔分流道宽度相同。

各型腔浇口尺寸平衡，可以采用类似的方法。

第四节 冷料井与拉料杆合理匹配

冷料井位于主流道出口一端。对于立、卧式注塑机用模具，冷料井位于主分型面的动模一侧，对于直角式注塑机用模具，冷料井是主流道的自

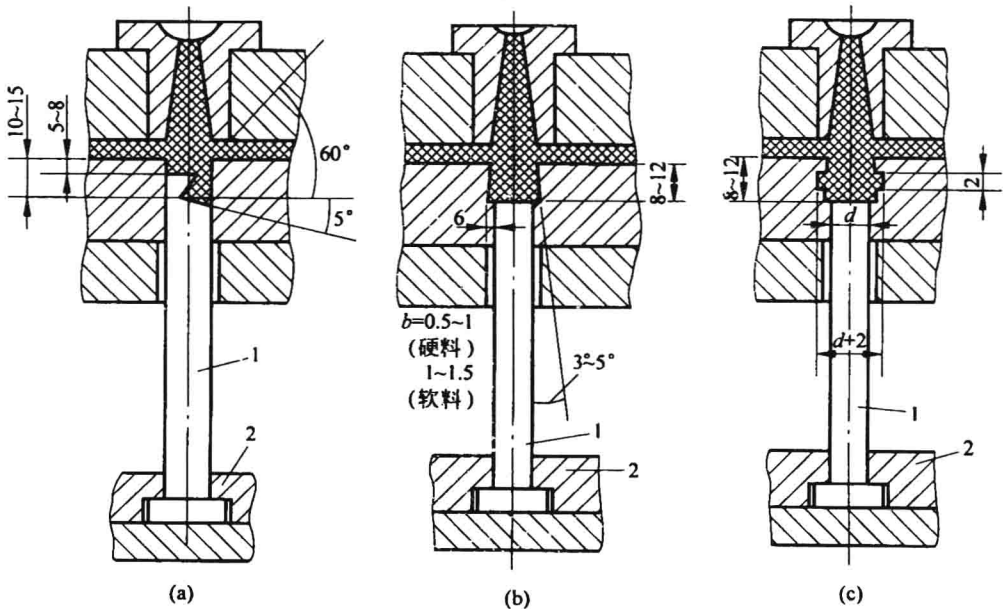


图 4-3-18 适用于顶杆、顶管脱模机构的拉料形式

(a) Z形拉料杆 (b) 锥形冷料井 (c) 圆环槽形冷料井

1—拉料杆 2—顶杆固定板

然延伸。因为立、卧式注塑机用模具的主流道在定模一侧，模具打开时，为了将主流道凝料能够拉向动模一侧，并在顶出行程中将它脱出模外，动模一侧应设有拉料杆。应根据脱模机构的不同，正确选取冷料井与拉料杆的匹配方式。常采用冷料井与拉料杆的如下几种匹配方式。

1. 冷料井与 Z 形拉料杆匹配

冷料井底部装一个头部为 Z 形的圆杆，动、定模打开时，借助头部的 Z 形钩将主流道凝料拉向动模一侧，顶出行程中又可将凝料顶出模外。Z 形拉料杆除了不适用于采用脱件板脱模机构的模具外，是经常采用的一种拉料形式。Z 形拉料杆安装在顶出元件（顶杆或顶管）的固定板上，与顶出元件的运动是同步的，如图 4-3-18 (a) 所示。

Z 形拉料杆适用于所有热塑性塑料，也适于热固性塑料注塑。由于顶出后从 Z 形钩上取下冷料井凝料时需要横向移动，故顶出后无法横向移动的塑件不能采用 Z 形拉料杆，如图 4-3-19 所示。

2. 锥形或圆环槽形冷料井与推料杆匹配图 4-3-18 (b)、(c) 分别表示锥形冷料井和圆环槽形冷料井与推料杆的匹配。将冷料井设计为带有锥度或带一环形槽，动、定模打开时冷料本身可将主流道凝料拉向动模一侧，冷料井之下的圆杆在顶出行程中将凝料推出模外。这两种匹配形式也适用于除脱件板脱模机构以外的模具。

3. 冷料井与带球形头部的拉料杆匹配当模具采用脱件板脱模机构时，不能采用上述几种拉下主流道凝料的形式，应采用端头为球形的拉料杆。球形拉料杆的球头和细颈部分伸到冷料井内，被料井中的凝料包围，如图 4-3-20 (a) 所示。动、定模打开时将主流道凝料拉向动模一侧，顶出行程中，脱件板将塑件从主型芯上脱下的同时也将主流道凝料从球头上脱下，如图 (4-3-20) (b) 所示。这里应该注意，球形拉料杆应安装在型芯固定板上，而不是顶杆固定板上。

与球形拉料杆作用相同的还有菌形拉料杆和尖锥形拉料杆，分别如图 4-3-20 (c) 和 (d) 所示。尖锥形拉料杆只是当塑件带有中心孔时才采用。

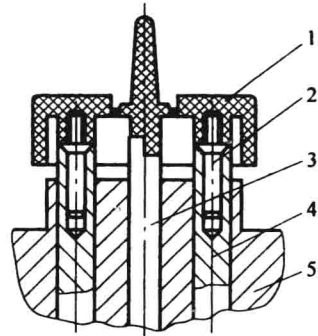


图 4-3-19 不宜采用 Z 形拉料杆的塑件

1—塑件 2—型芯 3—拉料杆
4—顶杆 5—动模

为增加拉下主流道凝料的可靠性，锥尖部分取较小锥度，并将表面加工得粗糙一些。

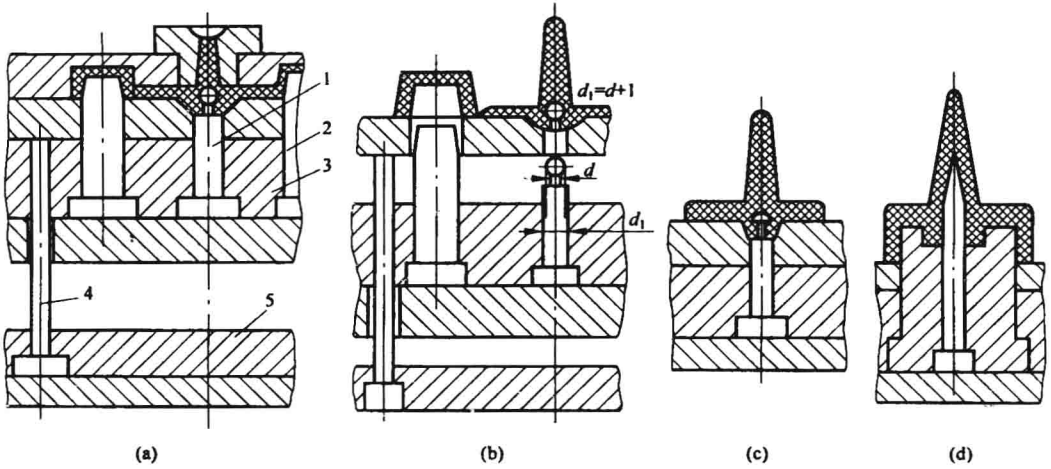


图 4-3-20 适用于脱件板脱模机械的拉料形式
1—拉料杆 2—型芯 3—型芯固定板 4—顶杆 5—顶杆固定板

第五节 流动比与流动面积比较核

在模具设计时，设计人员担心的问题是这个模具能否充满成型。当然，模具完成后，分析一下试模的结果，马上就能判断模具的设计合理与否。不过，最好在设计阶段就能估计它是否合理。目前普遍缺乏系统性的资料，而实验性的资料也只有流动比一种。

成型的首要条件是能否填充，而填充又与流动性有密切的关系，而流动性又与流道长度及厚度有关。所谓流动比就是指流道的长度与厚度之比。如图 4-3-21 所示，我们把各流道的流动比之和称为这个制品的流动比。如果流动比在使用塑料所确定的数值之内，那么塑料大致上能够成型。

对图 (a)，流动比 = $\frac{L_1}{t_1} + \frac{L_2 + L_3}{t_2}$ ；对图 (b)，流动比 = $\frac{L_1}{t_1} + \frac{L_2}{t_2} + \frac{L_3}{t_3} +$

$$\frac{L_4 + L_5}{t_4}$$

总之：
$$\text{流动比} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{t_i} \quad (4-3-8)$$

式中 L_i ——流道的长度 (mm);
 t_i ——对应流道的厚度 (mm)。

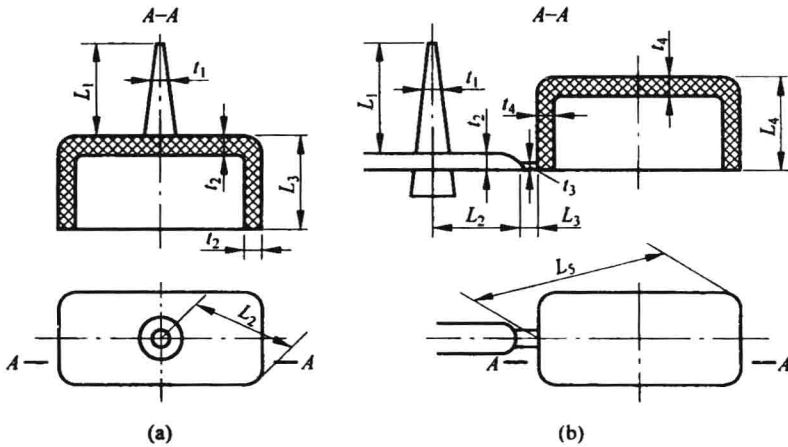


图 4-3-21 L/t 的图解

这种流动比因塑料的配比、塑料的温度、注塑压力、浇口种类及流道长度的不同而有很大差别，所以难以准确确定。表 4-3-3 是标准值范围，供设计模具流道时参考。

表 4-3-3 各种成型塑料的流动比与注塑压力的关系

塑料材料名	注塑压力 /MPa	流动比	塑料材料名	注塑压力 /MPa	流动比
聚乙烯	150	280 ~ 250	硬质聚氯乙烯	130	170 ~ 130
聚乙烯	60	140 ~ 100	硬质聚氯乙烯	90	140 ~ 100
聚丙烯	120	280	硬质聚氯乙烯	70	110 ~ 70
聚丙烯	70	240 ~ 200	软质聚氯乙烯	90	280 ~ 200
聚苯乙烯	90	300 ~ 280	软质聚氯乙烯	70	240 ~ 160
聚酰胺 (尼龙)	90	360 ~ 300	聚碳酸酯	130	180 ~ 120
聚甲醛	100	210 ~ 110	聚碳酸酯	90	130 ~ 90
苯乙烯	90	300 ~ 260			

关于判断表面积大的制品能否成型的大致依据，一般认为有必要将面积比与流动比一并考虑，但由于缺乏确切的系统性资料，还不能被应用。下面仅介绍一下已发表的聚苯乙烯制品的面积比。

$$\text{面积比} = \frac{t}{A} \quad (4-3-9)$$

式中 t ——制品的厚度 (mm);

A ——制品的表面积 (mm^2)。一般认为制品的面积比在 $(1 \sim 3 \times 10^{-4}) \sim (1 \sim 3 \times 10^{-5}) \text{mm}^{-1}$ 之内可以成型。

另外,有些不属于填充的问题,如制品的成型与锁模压力及注塑压力有关。注塑塑料压力作用于型腔投影面积上的成型压力若超过锁模力,那么将造成装模台板移动及模具分模面开启而产生飞边,以致失去尺寸精度,其结果必然会产生次品。所以在设计结束时,必须同时审核流动比与面积比。

第六节 浇注系统断面尺寸定量计算简易方法

一、方法依据

本节介绍的定量计算方法,有以下两条依据。

1. 对塑料熔体流变行为的试验

对多种热塑性塑料流变行为进行试验表明,在剪切速率 $\dot{\gamma} \approx 10^3 \text{s}^{-1}$ 范围内,塑料熔体的分子量、温度、剪切速率和剪应力对熔体粘度及熔体松弛性质无明显影响。在此剪切速率范围内注塑成型出的塑件,具有最小的内应力和最小的力学性能各向异性。这一剪切速率范围可以满足多种塑料进行注塑成型,且能保证充模过程是等温条件。

2. 对实际注塑模的充模试验

对分别用在不同注塑机上,且生产中使用比较成功的 30 多副模具进行充模试验和计算,得到熔体流经这些注塑模浇注系统各部分寸剪切速率 $\dot{\gamma}$ 分别为:

$$\text{主流道和分流道} \quad \dot{\gamma} = 5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 \text{s}^{-1}$$

$$\text{浇口} \quad \dot{\gamma} = 10^4 \sim 10^5 \text{s}^{-1}$$

且在上述剪切速率范围内,熔体接近等温流动。这一事实说明,上述

剪切速率可作为注塑模浇注系统设计的依据。

塑料熔体在浇注系统中呈现出非牛顿流体流动行为，其剪切速率表达式与理论计算有偏离。实践证明，对于大多数塑料熔体，在剪切速率 $\dot{\gamma} = 5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 范围内，其粘弹性基本恒定。剪切速率可统一采用下述表达式：

$$\dot{\gamma} = 3.3Q/\pi R_n^3 \quad (4-3-10)$$

该式表示出塑料熔体剪切速率 $\dot{\gamma}$ 、体积流率 Q 和浇注道断面尺寸 R_n 三者的关系。

可将式 (4-3-10) 的关系绘成如图 4-3-22 所示的曲线，便于浇注系统断面尺寸的图解定最计算。

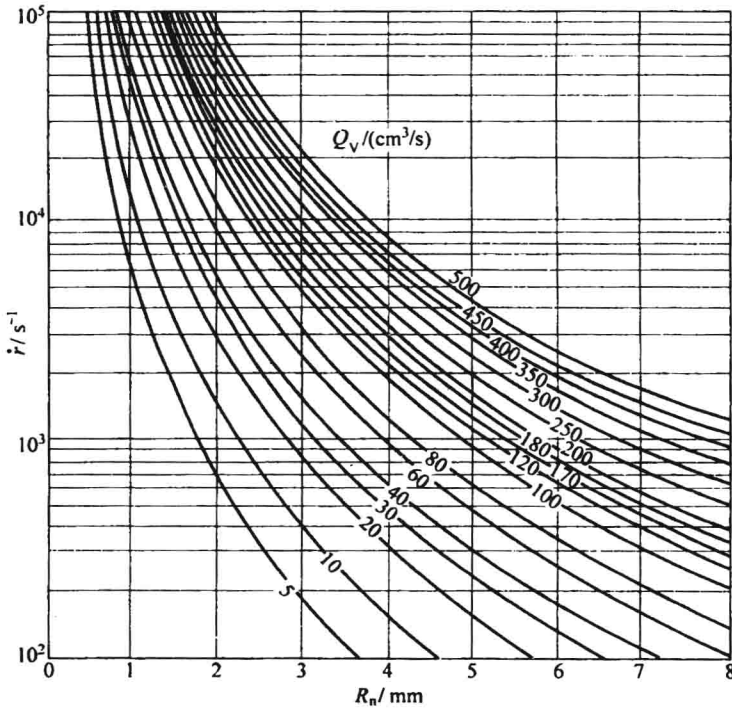


图 4-3-22 浇注系统断面尺寸计算图

二、计算方法

应用式 (3-3-10) 或图 4-3-22 对浇注系统断面尺寸进行计算，可按如下步骤进行。

1. 求充模时的体积流率

按塑件体积选用适当规格的注塑机，一般应使塑件体积为注塑机额定注塑量的 0.5~0.8 倍。根据调定的注塑时间，可求出充模所需的体积流率为：

$$Q = \frac{V_p}{t_i}$$

式中 V_p ——塑件体积 (cm^3)；

t_i ——注塑时间 (s)。

注塑时间调定范围随注塑机规格不同而异，可从表 4-3-4 中查得。

表 4-3-4 注塑机额定注塑量与可调定的注塑时间的关系

Q_n/cm^3	t_i/s	Q_n/cm^3	t_i/s
60	1.0	4000	5.0
125	1.6	6000	5.7
250	2.0	8000	6.4
350	2.2	12000	8.0
500	2.5	16000	9.0
1000	3.2	24000	10.6
2000	4.0	32000	10.6
3000	4.6	64000	12.8

注： Q_n ——注塑机的额定注塑量， t_i ——注塑时间。

2. 计算流道断面尺寸

首先针对浇注系统不同部分，设定适当的剪切速率。例如，根据上述介绍的 30 多副注塑模充模试验结果，可作出如下设定。

主流道 $\dot{\gamma} = 10^3 \sim 5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$

分流道 $\dot{\gamma} = 5 \times 10^2 \sim 10^3 \text{ s}^{-1}$

一般浇口 $\dot{\gamma} = 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$

点浇口 $\dot{\gamma} = 10^5 \text{ s}^{-1}$

用所设定的剪切速率和求出的体积流率 Q ，可按式 (4-3-11) 计算出浇注系统相应部分断面半径 R_n 。用图 4-3-22 查找更方便，方法是根据设定的 $\dot{\gamma}$ ，从纵坐标划水平线，与要求的体积流率 Q 相应的曲线相交，再从交点引垂线与横坐标相交即为所求的 R_n 。

对于非圆形断面的流道尺寸，按上述方法计算时，求得的 R_n 可作为当

量半径，并根据该断面与圆形断面的差异程度，乘以稍大于 1 的系数。

上述浇注系统断面尺寸计算方法，可很方便地用于单腔模和各流动支路平衡的多腔模设计中。

第七节 浇口设计

一、作用和要求

浇口是流道和型腔之间的连接部分，也是注塑模进料系统的最后部分，其基本作用是：

(1) 使从流道来的熔融塑料以最快的速度进入并充满型腔。

(2) 型腔充满后，浇口能迅速冷却封闭，防止型腔内还未冷却的热料回流。

浇口的设计与塑件形状、断面尺寸、模具结构、注塑工艺条件（压力）及塑料性能等因素有关。但是，根据上述两项基本作用来说，浇口的截面要小，长度要短，因为只有这样才能满足增大料流速度，快速冷却封闭，便于与塑件分离，以及浇口残痕最小等要求。

塑件质量上的缺陷，如缺料、缩孔、拼缝线、发脆、分解、浇口白斑、翘曲等，也常常是由于浇口设计不良所造成的。

二、浇口形式

浇口的形式多种多样，但通常用的浇口有如下 11 种。

(1) 宽浇口。断面积较大，主要适用于浇口直接进料的塑件，粘度较高的塑料（如 ABS 塑料、聚甲基丙烯酸甲酯），熔融指数较小的聚烯烃塑料，以及深度不一致或厚度不均匀的大型塑件。宽浇口能形成流线型料流，减小塑件的收缩、气泡和拼缝线等缺陷。盘形浇口、扇形浇口或环形浇口都属于这一类。

(2) 窄浇口。断面积较小，多用于边缘或中心进料的塑件，特别适用于

易流动的，即粘度较小的塑料。其主要优点是：

①浇口冷却封闭迅速，因而缩短了注塑总周期。

②由于浇口快速冷却封闭，就减少了保压的必要，相应降低了浇口区的内应力。

③浇口凝料容易摘除干净，因而改善了塑件后处理，节省了修整工序。点浇口（又叫尖浇口）、侧边浇口、爪式浇口等都属于这一类。

(3) 侧浇口。又叫边缘浇口，开设在塑件的边缘如图 4-3-23 (a) 或边缘顶面如图 4-3-23 (b)。这种浇口不影响塑件外观，有时可避免旋流纹。在侧浇口进入或连接型腔的部位，应成圆角以防劈裂。

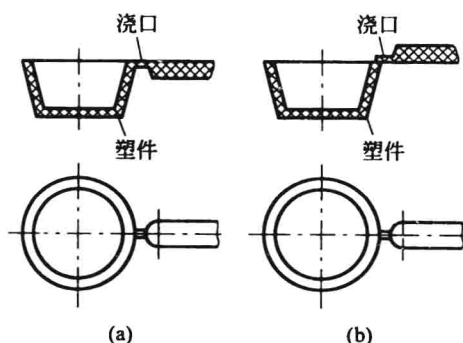


图 4-3-23 侧浇口

(a) 齐边侧浇口 (b) 顶面侧浇口

(4) 环形浇口。如图 4-3-24 所示，适用于长管形塑件。这种浇口能使熔料环绕型芯均匀进入型腔，充模状态较好，排气效果比侧浇口好，能减少拼缝痕迹。当模具中有细长成型芯时（如笔杆）、采用环形浇口比盘形浇口好，因型芯可以两端固定，提高了刚度。但环形浇口的凝料切除比较困难。

(5) 扇形浇口。图 4-3-25 适用于长条或扁平而薄的塑件，例如托盘、标尺、盖板等。由于熔融塑料横向分散进入型腔，所以减少了流纹和定向效应。对于着色料来说，可以减少用点浇口所产生的流纹。扇形浇口的凝料摘除不但困难，浇口残痕比较明显。

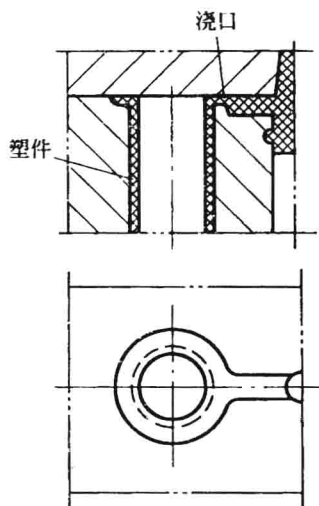


图 4-3-24 环形浇口

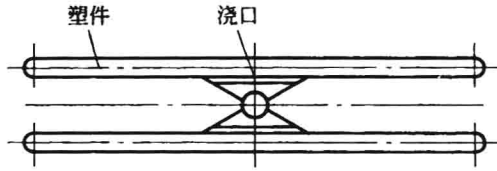


图 4-3-25 扇形浇口

(6) 盘形浇口。图 4-3-26 适用于管状或扁平的和浅的环形塑件。这种浇口具有进料点对称、充模均匀、能消除拼缝线、排气便利等优点。浇口凝料常用冲切法切除，所以，选择其位置时应考虑冲切工艺上的要求。

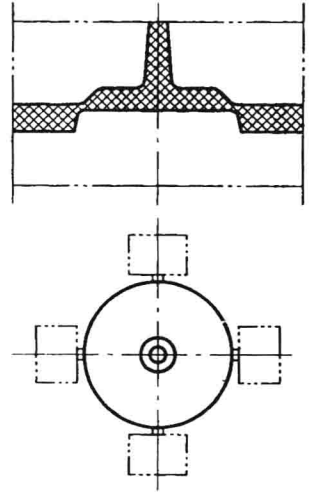


图 4-3-26 盘形浇口

(7) 轮辐式浇口。图 4-3-27 适用于管状或扁平的和浅环形塑件，熔融塑料从注口经过与轮辐式流道相连的浇口进入型腔。这种浇口切除凝料比较方便，但容易产生拼缝痕。

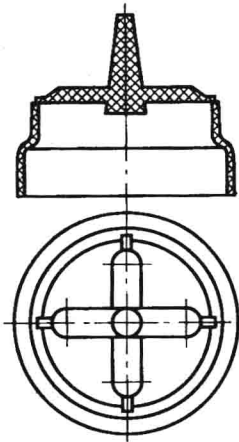


图 4-3-27 轮辐式浇口

(8) 中心浇口。如图 4-3-28 所示，直接和注口连接，所以又叫直接浇口，适用于单腔模具和大型塑件。这种浇口的优点是物料流程较短，压力损失小，但浇口凝料留在塑件上，需进行修正。

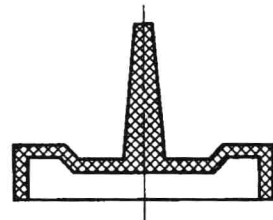


图 4-3-28 中心浇口

(9) 点浇口又称针状浇口。如图 4-3-29 所示，是一种较小的小浇口，通常用于流动性大的塑料，如聚苯乙烯等。浇口的长度很短，不超过其直

径，所以脱模后塑件上的浇口痕迹不明显，不需要再修正浇口痕迹。这种浇口被广泛采用，但采用这种浇口时，常常要在模具上增加一分型面，以便浇口凝料脱模。

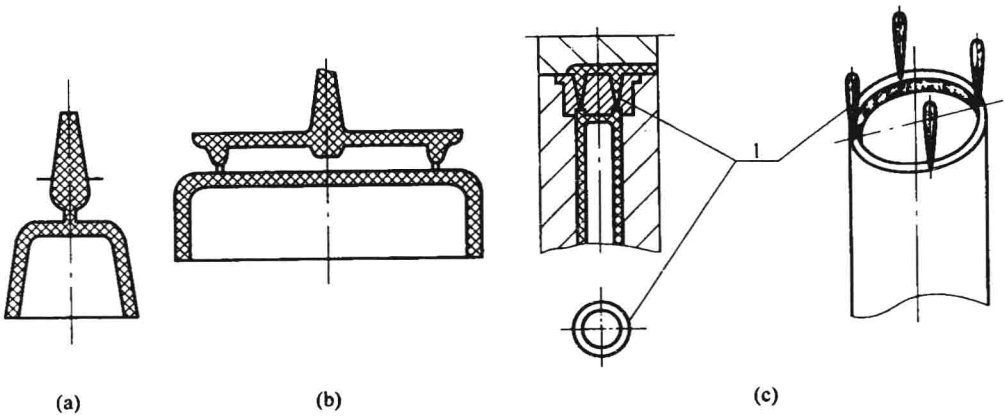


图 4-3-29 点浇口

(a) 单点浇口 (b) 双点浇口 (c) 四点浇口

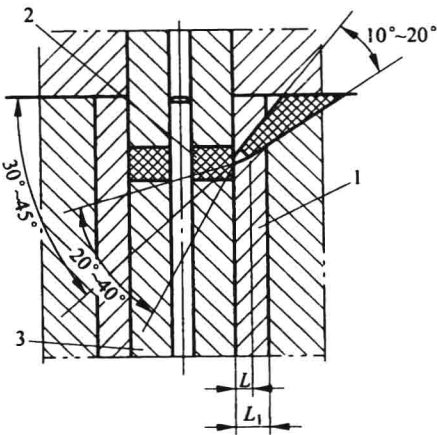


图 4-3-30 潜伏式浇口

1—镶件 2—塑件 3—顶杆器

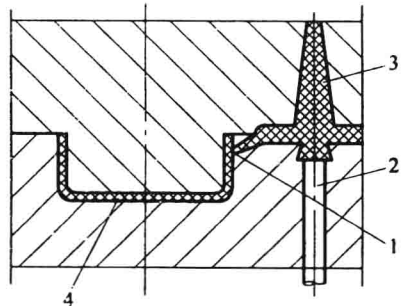


图 4-3-31 潜伏式浇口

1—浇口 2—顶杆 3—主流道 4—塑件

对于厚壁塑件来说，由于浇口快速冷却封闭，阻碍了补偿收缩的保压压力的传递。在注塑压力过大的情况下，会造成熔融塑料的旋流和浇口附近部位的塑料定向。对于薄壁塑件来说，当排气不良时，也容易造成浇口部位塑料的烧焦，产生黑色条斑或黑点。

(10) 潜伏式浇口。又叫隧道式浇口，如图 4-3-30 图 4-3-34 所示，

适用于要求自动切除浇口凝料的注塑模。这种浇口和流道成一定角度与型腔连接，因而形成能切断浇口尾料的刀口。图 4-3-30 中 L 为 1.8mm 左右， L_1 为 3mm 左右。

如果浇口开在定模上，开模时，刀口切断浇口尾料而使塑件脱模。这时，流道和浇口料被浇口附近的带料杆拉住而留在定模上。塑件脱模后，再靠定模上的顶出机构顶出凝料。

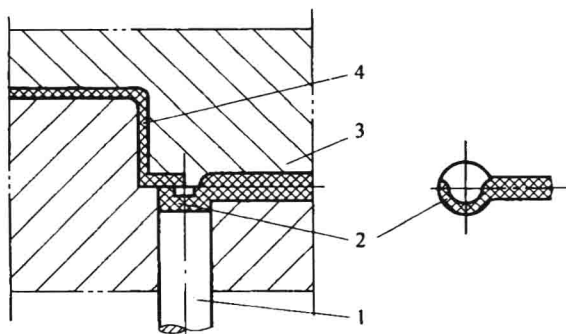


图 4-3-32 潜伏式浇口

1—顶杆 2—浇口 3—流道 4—塑件

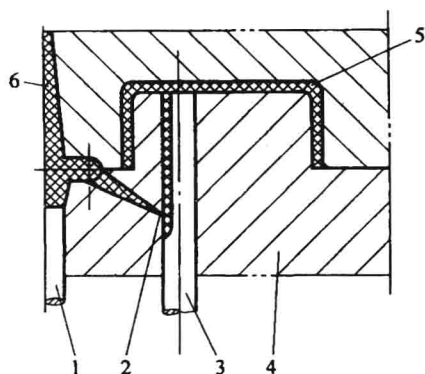


图 4-3-33 潜伏式浇口

1—顶杆 2—浇口 3—顶料杆
4—动模 5—塑件 6—主流道

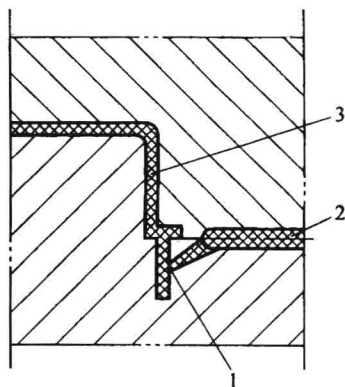


图 4-3-34 潜伏式浇口

1—浇口 2—流道 3—塑件

(11) 护耳形浇口。如图 4-3-35 ~ 图 4-3-37 所示，专用于透明度高和要求无内应力的塑件，如聚甲基丙烯酸甲脂制品。从流道来的熔融塑料，通过一窄浇口进入耳槽，然后由耳槽再进入型腔，物料经过窄浇口能使其温度升高，有利于塑料的流动。