

第3篇 锻造

铸造是金属液态成形的一种方法，它能铸造各种尺寸、形状复杂的毛坯或零件，铸造具有适应性广、成本低廉的优点，是机械零件毛坯或零件成品热加工的一种重要工艺方法。本章主要介绍合金的铸造性、常用铸造方法、铸造工艺设计和铸件结构工艺基础知识等。

3.1 概述

制造与零件形状相适应的铸型，将熔融金属浇入铸型中，待其冷却凝固后获得所需毛坯或零件的方法，称为铸造。用铸造方法制造的毛坯或零件称为铸件。铸件生产过程如图 2.1.1 所示。

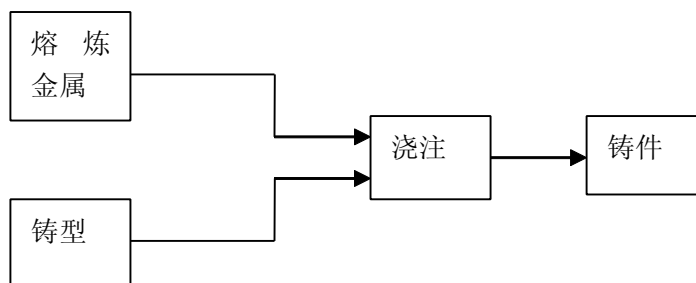


图 2.1.1 铸件生产过程框图

由上可知，铸造的实质就是材料的液态成形，由于液态金属易流动，所以各种金属材料都能用铸造的方法制成具有一定尺寸和形状的铸件，并使其形状和尺寸尽量与零件接近，以节省金属，减少加工余量，降低成本。因此，铸造在机械制造业中占有重要地位，据统计在一般的机械设备中，铸件占机器总重量的 45%~90%，而铸件成本仅占机器总成本的 20%~25%。但是，液态金属在冷却凝固过程中，形成的晶粒较粗大，容易产生气孔、缩孔和裂纹等缺陷。所以铸件的力学性能不如相同材料的锻件好。而且存在生产工序多，铸件质量不稳定，废品率高，工作条件差，劳动强度较高等问题。随着生产技术的不断发展，铸件的性能和质量正在进一步提高，劳动条件正逐步改善。当前铸造技术发展的趋势是，在加强铸造基础理论研究的同时，发展新的铸造工艺，研制新的铸造设备，在稳定提高铸件质量、精度、减小表面粗糙度的前提下发展专业化生产，积极实现铸造生产过程的机械化、自动化，减少公害，节约能源，降低成本，使铸造技术进一步成为可与其它成形工艺相竞争的少余量、无余量成形工艺。

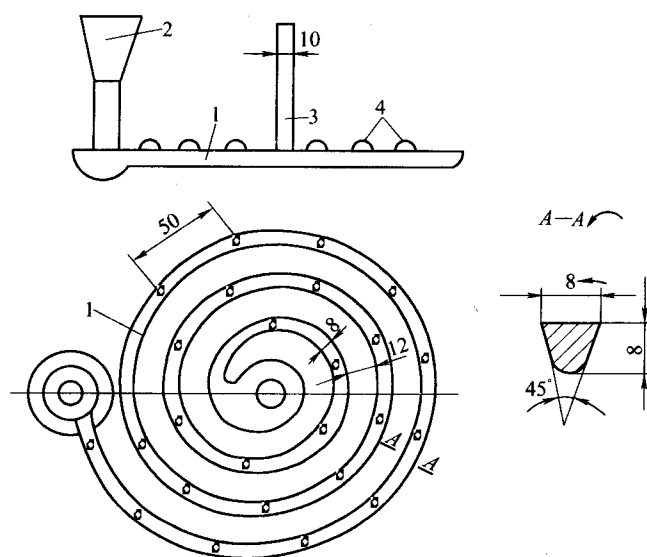
3.2 合金的铸造性能

铸造过程中，铸件的质量与合金的铸造性能密切相关。所谓合金的铸造性能是指在铸造生产过程中，合金铸造成形的难易程度，容易获得正确的外形、内部又健全的铸件，其铸造性能就好，应该指出合金的铸造性能是一个复杂的综合性能，通常用充型能力、收缩性等来衡量。影响铸造性能的因素很多，除合金元素的化学成分外，还有工艺因素等。因此，掌握合金的铸造性能，采取合理的工艺措施，可以防止铸造缺陷，提高铸件质量。

2.2.1 合金的充型能力

熔融金属充满型腔，形成轮廓清晰、形状完整的铸件的能力叫做液态合金的充型能力。影响液态合金的充型能力的因素有两个，一是合金的流动性，二是外界条件。

1. 合金的流动性 铸造合金流动性的好坏，通常以螺旋形流动性试样的长度来衡量。将金属液浇入图 2.2.1 所示的螺旋形试样的铸型中，在相同的铸型及浇注条件下，得到的螺旋形试样越长，表示该合金的流动性越好。不同种类合金的流动性差别较大，如表 2.2.1 所示，铸铁和硅黄铜的流动性最好，铝硅合金次之，铸钢最差；在铸铁中，流动性随碳、硅含量的增加而提高；同类合金的结晶温度范围越小，结晶时固液两相区越窄，对内部液体的流动阻力越小，合金的流动性越好。



1- 试样 2-浇口杯 3-冒口 4-试样凸点

图 2.2.1 螺旋形流动性试样示意图

表 2.2.1 常用合金的流动性比较

合金	造型材料	浇注温度(℃)	螺旋线长度 (mm)
铸铁 ($\omega_{c+Si}=6.2\%$)	砂型	1300	1800
($\omega_{c+Si}=5.9\%$)		1300	1300
($\omega_{c+Si}=5.2\%$)		1300	1000
($\omega_{c+Si}=4.2\%$)		1300	600
铸钢 ($\omega_c=0.4\%$)	砂型	1600	100
		1640	200
铝硅合金	金属型 (300℃)	690~720	100~800
镁合金 (Mg-Al-Zn)	砂型	700	400~600
锡青铜 ($\omega_{Sn}=9\%\sim 11\%$)	砂型	1040	420
($\omega_{Zn}=2\%\sim 4\%$)			
硅黄铜 ($\omega_{Si}=1.5\%\sim 4.5\%$)		1100	1000

流动性好的合金，充型能力强，易得到形状完整、轮廓清晰、尺寸准确、薄而复杂的铸件。反之，铸件容易产生浇不足、冷隔等铸造缺陷。流动性好，还有利于金属液中的气体、非金属夹杂物的上浮与排除，有利于补充铸件凝固过程中的收缩。流动性不好，则铸件容易产生气孔、夹渣以及缩孔、缩松等铸造缺陷。

铸件的凝固方式对合金的流动性也有影响，除纯金属和共晶成分合金外，一般合金在凝固过程中都要经过固相区、凝固(固-液两相)区和液相区这三个区域，根据凝固区宽度的不同，铸件的凝固方式可分为逐层凝固、糊状凝固和中间凝固三种方式。

(1) 逐层凝固 纯金属、共晶类合金及窄结晶温度范围的合金，如灰口铸铁、硅黄铜及低碳钢等，倾向于逐层凝固方式。其特征是，紧靠铸型壁的外层合金，一旦冷却至凝固点或共晶点温度时，即凝固成固态晶体；而处于上述温度以上的里层合金，仍为液态，固-液界面分明、平滑，不存在固液交错，凝固前沿比较平滑，对金属的流动阻力小，因而充型能力强，见图 2.2.2(a)。

(2) 糊状凝固 结晶温度范围大的合金，如锡青铜、球墨铸铁及高碳钢等，倾向于糊状凝固方式。这些合金一旦冷却至液相线温度时，结晶出的第一批晶粒即被周围剩余的液体

合金所包围，温度继续下降，新形成的另一批晶粒又被液体合金包围，枝晶与液体合金互相交错充斥整个断面，固、液交错，这种凝固方式犹如水泥凝固，先呈糊状而后固化，凝固前沿粗糙，对金属流动的阻力大，因而充型能力差，容易产生铸造缺陷，见图 2.2.2 (b)。

(3) 中间凝固 中碳钢、白口铁以及部分特种黄铜等，倾向于中间凝固方式。它介于逐层凝固和糊状凝固之间。

所以，从流动性考虑，宜选用共晶成分或窄结晶温度范围的合金作为铸造合金。除此之外，合金液的粘度、结晶潜热、导热系数等物理性能对合金的流动性都有影响。

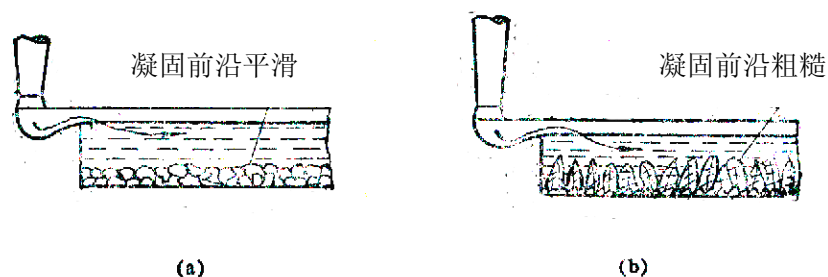


图 2.2.2 凝固方式对流动性的影响

2. 外界条件 影响充型能力的外界因素有铸型条件、浇注条件和铸件结构等。这些因素主要是通过影响金属与铸型之间的热交换条件，从而改变金属液的流动时间，或是影响金属液在铸型中的水动力学条件，从而改变金属液的流动速度来影响合金充型能力的。如果能够使金属液的流动时间延长，或加快流动速度，就可以改善金属液的充型能力。

(1) 铸型条件 铸型的导热速度越大或对金属液流动阻力越大，合金的充型能力越差。例如，液态合金在金属型中的充型能力比在砂型中差。型砂中水分过多，排气不好，浇注时产生大量气体，会增加充型的阻力，使合金的充型能力变差。

(2) 浇注条件 在一定范围内，提高浇注温度，可使液态合金粘度下降，流速加快，还能使铸型温度升高，金属散热速度变慢，从而大大提高金属液的充型能力。但如果浇注温度过高，容易产生粘砂、缩孔、气孔、粗晶等缺陷。因此，在保证金属液具有足够充型能力的前提下应尽量降低浇注温度，例如铸钢的浇注温度范围为 $1520^{\circ}\text{C} \sim 1620^{\circ}\text{C}$ ，铸铁的浇注温度范围为 $1230^{\circ}\text{C} \sim 1450^{\circ}\text{C}$ ，铝合金的浇注温度范围为 $680^{\circ}\text{C} \sim 780^{\circ}\text{C}$ ，薄壁复杂件取上限，厚大件取下限。提高金属液的充型压力和浇注速度可使充型能力增加，如增加直浇口的高度，也可以用人工加压方法（压力铸造、真空吸铸及离心铸造等）。此外，浇注系统结构越复杂，流动阻力越大，充型能力越低。

(3) 铸件结构 当铸件壁厚过小，壁厚急剧变化，结构复杂以及有大的水平面等结构时，都使金属液的流动困难。因此设计铸件时，铸件的壁厚必须大于最小允许壁厚值（见表 2.2.2）。有的铸件还需设计流动通道。

表 8.2.2 不同金属和不同铸造方法铸造的铸件最小壁厚(mm)

	砂型	金属型	熔模	压铸
灰铸铁	3	> 4	0.4~0.8	—
铸钢	4	8~10	0.5~1	—
铝合金	5	3~4	—	0.6~0.8

2.2.2 合金的收缩性

铸件在冷却过程中，其体积和尺寸缩小的现象叫做收缩。合金的收缩量通常用体收缩率和线收缩率来表示。金属从液态到常温的体积改变量称为体收缩，金属在固态由高温到常温的线性尺寸改变量称为线收缩。铸件的收缩与合金成分、温度、收缩系数和相变体积改变等因素有关，除此之外，还与结晶特性、铸件结构以及铸造工艺等有关。

1. 收缩三阶段 铸造合金收缩要经历三个相互联系的收缩阶段，即液态收缩、凝固收缩和固态收缩。见图 2.2.3。

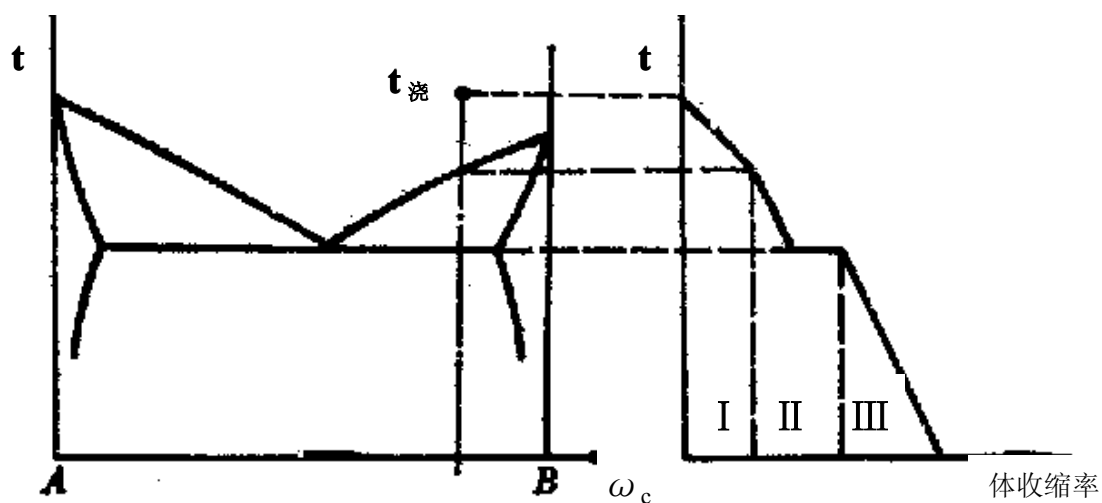
(1) 液态收缩 这是合金从浇注温度 $t_{\text{浇}}$ (A 点) 冷却至开始凝固(液相线)温度 (B 点) 之间的收缩。金属液体的过热度越高，液态收缩越多。

(2) 凝固收缩 这是合金从开始凝固 (B 点) 至凝固结束(固相线) 温度 (C 点) 之间的收缩。结晶温度范围越宽，凝固收缩越大。

液态收缩和凝固收缩，一般表现为铸型空腔内金属液面的下降，是铸件产生缩孔或缩松的基本原因。

(3) 固态收缩 这是合金在固态下，冷却至室温的收缩。它将使铸件形状、尺寸发生变化，是产生铸造应力导致铸件变形，甚至产生裂纹的主要原因。

常用的金属材料中，铸钢收缩最大，有色金属次之，灰口铸铁最小。灰口铸铁收缩小是因析出石墨而引起体积膨胀的结果。



I-液态收缩 II-凝固收缩 III-固态收缩

图 2.2.3 铸造合金的收缩阶段

2. 影响收缩的因素 合金总的收缩为液态收缩、凝固收缩和固态收缩三个阶段收缩之和，它和金属本身的化学成分、温度以及铸型条件和铸件结构等因素有关。

(1) 化学成分 不同成分合金的收缩率不同，如碳素钢随含碳量的增加，凝固收缩率增加，而固态收缩率略减。灰铸铁中，碳、硅含量越高，硫含量越低，收缩率越小。表 2.2.3 列出了几种铁碳合金的收缩率。

(2) 浇注温度 浇注温度主要影响液态收缩。浇注温度升高，使液态收缩率增加，则总收缩量相应增大。为减小合金液态收缩及氧化吸气，并且兼顾流动性，浇注温度一般控制在高于液相线温度 $50^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 铸件结构与铸型条件 铸件的收缩并非自由收缩，而是受阻收缩。其阻力来源于两个方面：一是由于铸件壁厚不均匀，各部分冷速不同，收缩先后不一致，而相互制约，产生阻力；二是铸型和型芯对收缩的机械阻力。铸件收缩时受阻越大，实际收缩率就越小。因此，在设计和制造模样时，应根据合金种类和铸件的受阻情况，采用合适的收缩率。

表 2.2.3 几种铁碳合金的收缩率

合金种类	含碳量 ω_c (%)	浇注温度 / $^{\circ}\text{C}$	液态收缩 率 (%)	凝固收缩 率 (%)	固态收缩 率 (%)	总体收缩 率 (%)
碳素铸钢	0.25	1610	1.6	3.0	7.86	12.46
白口铸铁	3.00	1400	2.4	4.2	5.4~6.3	12~12.9
灰铸铁	3.50	1400	3.5	0.1	3.3~4.2	6.9~7.8

(3) 铸件结构与铸型条件 铸件的收缩并非自由收缩，而是受阻收缩。其阻力来源于两个方面：一是由于铸件壁厚不均匀，各部分冷速不同，收缩先后不一致，而相互制约，产生阻力；二是铸型和型芯对收缩的机械阻力。铸件收缩时受阻越大，实际收缩率就越小。

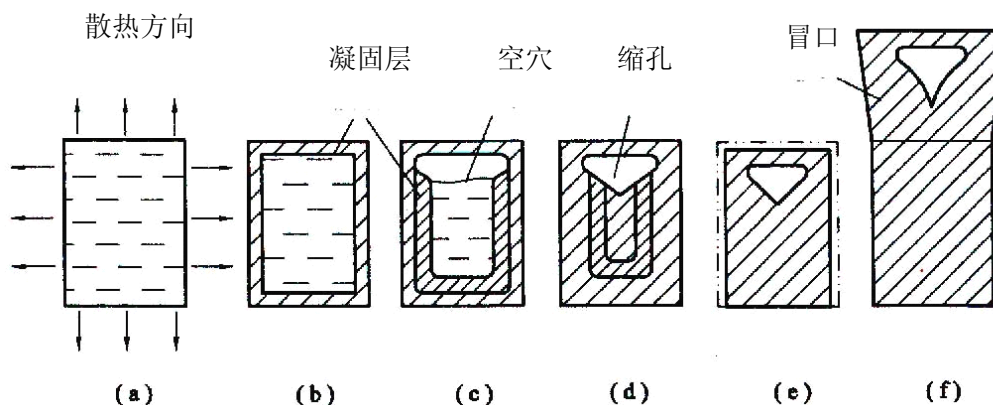


图 2.2.4 缩孔形成过程

因

此，在设计和制造模样时，应根据合金种类和铸件的受阻情况，采用合适的收缩率。

表 2.2.3 几种铁碳合金的收缩率

合金种类	含碳量 ω_c (%)	浇注温度 / $^{\circ}\text{C}$	液态收缩 率 (%)	凝固收缩 率 (%)	固态收缩 率 (%)	总体收缩 率 (%)
碳素铸钢	0.25	1610	1.6	3.0	7.86	12.46
白口铸铁	3.00	1400	2.4	4.2	5.4~6.3	12~12.9
灰铸铁	3.50	1400	3.5	0.1	3.3~4.2	6.9~7.8

3. 收缩对铸件质量的影响

(1) 缩孔与缩松 如果铸件的液态收缩和凝固收缩得不到合金液体的补充，在铸件最后凝固的某些部位会出现孔洞，大而集中的孔洞称为缩孔，细小而分散的孔洞称为缩松。

缩孔产生的基本原因是合金的液态收缩和凝固收缩值远大于固态收缩值。缩孔形成的条件是金属在恒温或很小的温度范围内结晶，如纯金属、共晶成分的合金，铸件壁是以逐层凝固方式进行凝固。图 2.2.4 为缩孔形成过程示意图。液态合金注满铸型型腔后，开始冷却阶段，液态收缩可以从浇注系统得到补偿，见图 2.2.4 (a)；随后，由于型壁的传热，使得与型壁接触的合金液温度降至其凝固点以下，铸件表层凝固成一层细晶薄壳，并将内浇口堵塞，使尚未凝固的合金被封闭在在薄壳内，见图 2.2.4 (b)；温度继续下降，薄壳产生固态收缩，液态合金产生液态收缩和凝固收缩，而且远大于薄壳的固态收缩，致使合金液面下降，并与

硬壳顶面分离，形成真空孔洞，在负压及重力作用下，壳顶向内凹陷，见图 2.2.4 (c)；温度再度下降，上述过程重复进行，凝固的硬壳逐层加厚，孔洞不断加大，直至整个铸件凝固

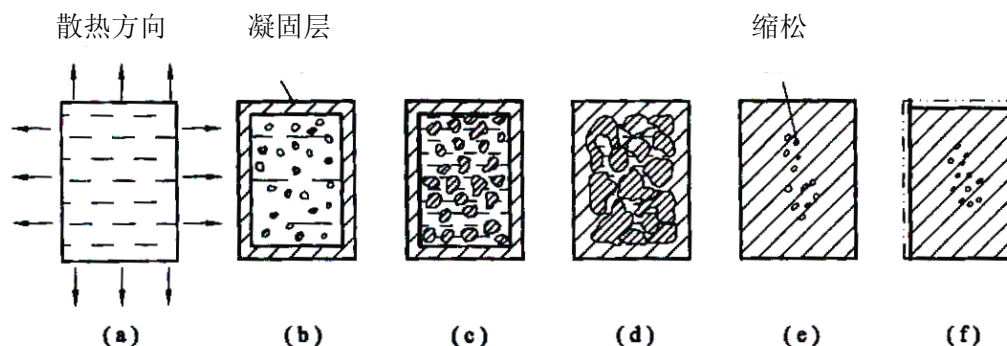


图 2.2.5 缩松形成过程

完

毕，这样在铸件最后凝固的部位形成一个倒锥形的大孔洞，见图 2.2.4 (d)；铸件冷至室温后，由于固态收缩，使缩孔的体积略有减小，见图 2.2.4 (e)。通常缩孔产生的部位一般在铸件最后凝固区域，如壁的上部或中心处，以及铸件两壁相交处，即热节处。若在铸件顶部设置冒口，缩孔将移至冒口，见图 2.2.4 (f)。

缩松形成的基本原因虽然和形成缩孔的原因相同，但是形成的条件却不同，它主要出现在结晶温度范围宽、呈糊状凝固方式的合金中。图 2.2.5 为缩松形成过程示意图。这类合金倾向于糊状凝固或中间凝固方式，凝固区液固交错，枝晶交叉，将尚未凝固的液体合金彼此分隔成许多孤立的封闭液体区域。此时，如同形成缩孔一样，在继续凝固收缩时得不到新的液体合金补充，在枝晶分叉间形成许多小而分散孔洞，这就是缩松，它分布在铸件断面上，一般出现在铸件壁的轴线区域、热节处、冒口根部和内浇口附近，也常分布在集中缩孔的下方。

不论是缩孔还是缩松，都使铸件的力学性能、气密性和物理化学性能大大降低，以致成为废品。所以缩孔和缩松是极其有害的铸造缺陷，必须设法防止。

为了防止铸件产生缩孔、缩松，在铸件结构设计时，应避免局部金属积聚。工艺上，应针对合金的凝固特点制定合理的铸造工艺，常采取“顺序凝固”和“同时凝固”两种措施。

所谓“顺序凝固”就是在铸件可能出现缩孔或最后凝固的部位(多数在铸件厚壁或顶部)，设置“冒口”，使铸件按照远离冒口的部位先凝固，靠近冒口的部位后凝固，最后才是冒口凝固的顺序进行。这样，先凝固的收缩由后凝固部位的液体金属补缩，后凝固部位的收缩由冒口中的金属液补缩，使铸件各部位的收缩均得到金属液补缩，而缩孔则移至冒口，最后将

冒口切除, 如图 2.2.6 所示。也可将冒口与“冷铁”配合使用, 可以调节铸件的凝固顺序, 扩大冒口的有效补缩距离, 如图 2.2.7 所示。顺序凝固适于收缩大的合金铸件, 如铸钢件、可锻铸铁件、铸造黄铜件等, 还适于壁厚悬殊以及对气密性要求高的铸件。顺序凝固使铸件的温差大、热应力大、变形大, 容易引起裂纹, 必须妥善处理。

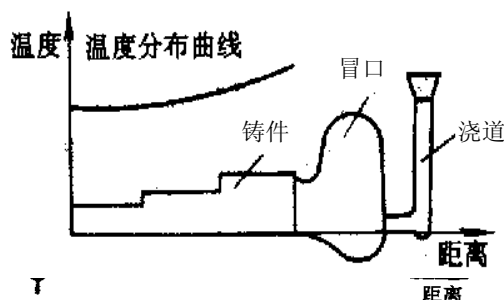


图 2.2.6 顺序凝固

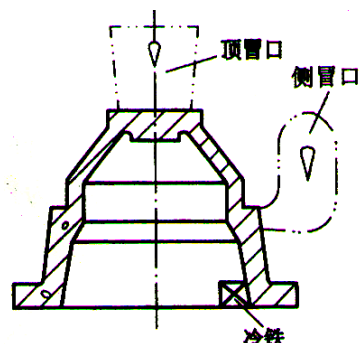


图 2.2.7 冒口与冷铁

所谓“同时凝固”就是使铸件各部位几乎同时冷却凝固, 以防止缩孔产生。例如, 在铸件厚部或紧靠厚部处的铸型上安放冷铁, 如图 2.2.8 所示。同时凝固可减轻铸件热应力, 防止铸件变形和开裂, 但是容易在铸件心部出现缩松。故仅适于收缩小的合金铸件, 例如, 碳、硅含量较高的灰口铸铁件。

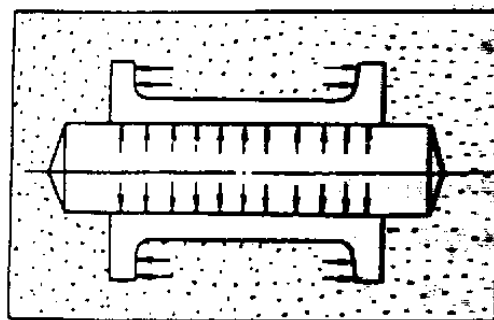


图 2.2.9 机械应力

(2) 铸造应力、变形和裂纹 铸件在冷凝过程中, 由于各部分金属冷却速度不同, 使得各部位的收缩不一致, 再加上铸型和型芯的阻碍作用, 使铸件的固态收缩受到制约而产生铸造应力, 在应力作用下铸件容易产生变形, 甚至开裂。

1) 铸造应力 铸件固态收缩受阻所引起的应力称为铸造内应力。它包括机械应力和热应力等。

机械应力是铸件收缩受到铸型、型芯或浇冒口的阻碍而引起的应力, 见图 2.2.9。落砂后阻碍消除, 应力将自行消失。

热应力是因铸件壁厚不均匀，结构复杂，使各部分冷却收缩不一致，又彼此制约而引起的应力。下面以应力框铸件为例，讨论热应力的形成过程(图 2.2.10)。

图 2.2.10(a)是应力框铸件，它由粗杆 1 和两根细杆 2 以及上、下横梁 3 构成；图 2.2.10(b)是铸件粗杆 1 和细杆 2 的温度变化曲线，横坐标 τ 表示铸件的冷却时间，纵坐标 t 表示铸件的温度；图 2.2.10(c)是铸件在冷却过程中粗杆 1 和细杆 2 的温差变化曲线；图 2.2.10(d)为应力框铸件在冷却过程中粗杆 1 和细杆 2 的应力变化曲线。

由粗杆 1 和细杆 2 的温度变化曲线可见，随着冷却时间的增加，开始阶段杆 2 比杆 1 冷却速度快，后来阶段杆 1 比杆 2 冷却速度快。应力框铸件从浇注温度 t_L 开始冷却，到 τ_0 时，杆 2 已经冷却到合金线收缩开始温度 t_y ，而杆 1 没有冷却到 t_y ，于是杆 1 将随杆 2 的收缩而产生塑性变形，一直到 τ_1 ，杆 1 冷却到 t_y 温度之前，铸件内部没有应力产生；从 τ_1 开始，铸件整体冷却到 t_y 以下，杆 1、杆 2 都将产生线收缩，粗杆 1 冷却速度慢，线收缩小，细杆 2 则相反，细杆 2 的线收缩被粗杆 1 强烈地阻碍，于是产生热应力，杆 2 内部形成拉应力，杆 1 则产生压应力，并且在粗细杆温差达到最大值 $\Delta t_{\max}$ (τ_2 时)前热应力不断增加；从 τ_2 到 τ_3 ，随着粗细杆温差减小，热应力降低，到 τ_3 (温差为 Δt_p) 时，应力下降为零；从 τ_3 进一步冷却，细杆 2 冷却速度变慢，线收缩小，开始阻碍粗杆的线收缩，导致在粗细杆的截面上产生改变符号的热应力，并不断增加；最终粗杆 1 承受拉应力 σ_1 ，细杆 2 承受压应力 σ_2 。由于热应力一经产生就不会自行消除，故又称为残余内应力。

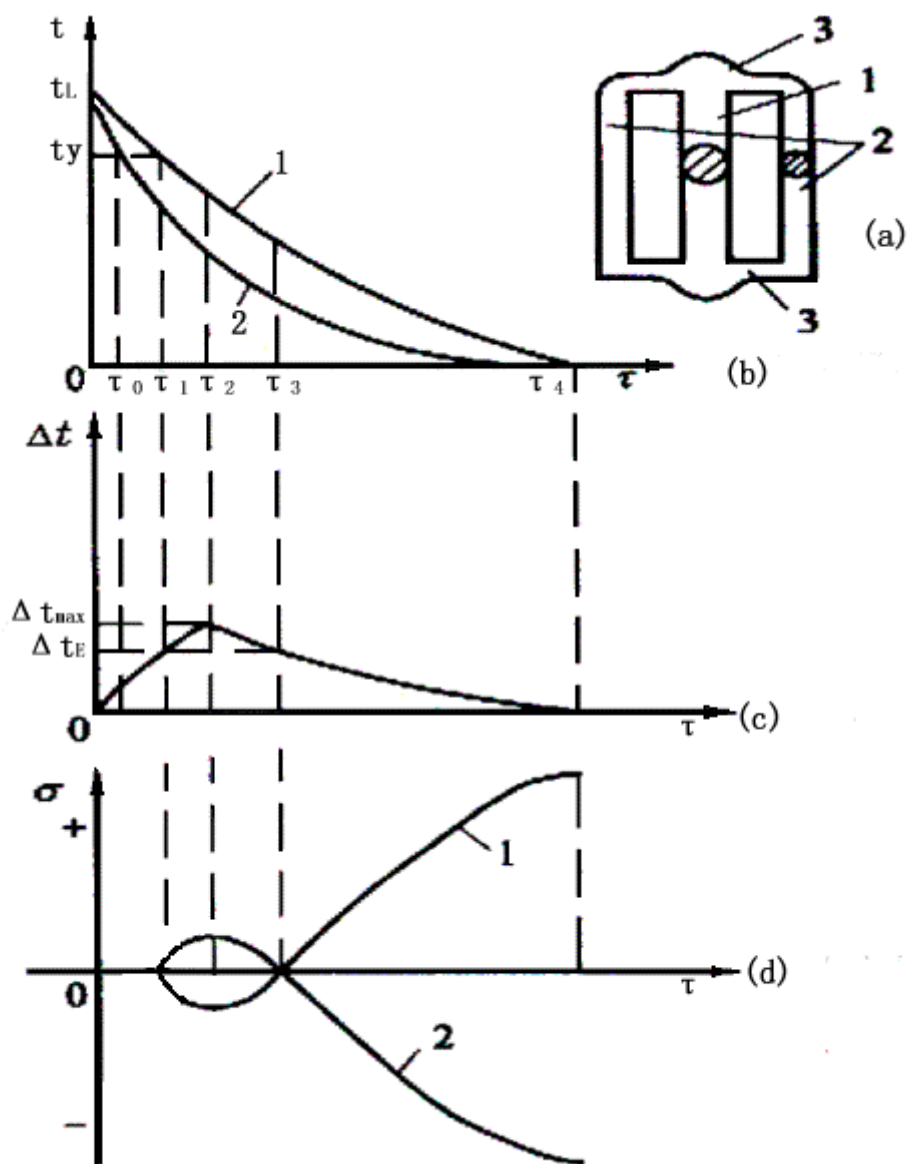


图 2.2.10 壁厚不同的应力框铸件热应力的形成过程

铸造应力使铸件的精度和使用寿命大大降低。在存放、加工甚至使用过程中, 铸件内的残留应力将重新分布, 使铸件发生变形或裂纹。它还降低了铸件的耐腐蚀性, 其中机械应力尽管是暂时的, 但是当它与其它应力相互迭加时, 也会增大铸件产生变形与裂纹的倾向, 因此必须尽量减小或消除之。要减少铸造应力就应设法减少铸件冷却过程中各部位的温差, 使各部位收缩一致, 如将浇口开在薄壁处, 在厚壁处安放冷铁, 即采取同时凝固原则; 此外, 改

善铸型和砂芯的退让性，减少机械阻碍作用，以及通过热处理等方法也可减少或消除铸造应力。

2) 铸造变形与裂纹 如前所述，当铸件中存在内应力，就会使其处于不稳定状态。如果铸造应力值超过合金的屈服强度，铸件将发生塑性变形；当铸造应力值超过合金的抗拉强度时，铸件将产生冷裂纹。

对于厚薄不均匀、截面不对称、具有细长特点的杆类、板类及轮类等铸件，当残余铸造应力超过铸件材料的屈服强度时，往往会产生翘曲变形。一般来说，薄壁或外层部位冷却速度快，存在压应力，如果铸件刚度不够，应力释放后往往会引起伸长或外凸变形；反之，厚壁或内层部位冷却速度慢，存在拉应力，会导致压缩或内凹变形。例如前述应力框铸件如果连接两杆的横梁刚度不够，结果会出现如图 2.2.11 所示的翘曲变形；图 2.2.12 所示 T 形梁铸钢件，板 I 厚、板 II 薄，若铸钢件刚度不够，将发生图中虚线所示的板 I 内凹、板 II 外凸的变形；反之，如果板 I 薄、板 II 厚时，将发生反向翘曲。图 2.2.13 所示为车床床身，导轨部分厚，侧壁部分薄，铸造后往往发生导轨面下凹变形。

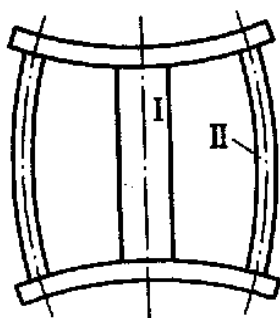


图 2.2.11 应力框铸件变形示意图

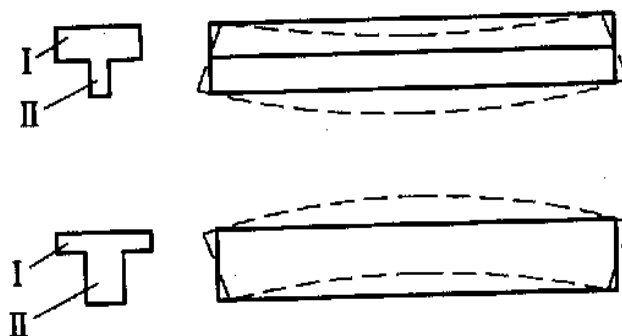


图 2.2.12 T 形梁铸钢件变形示意图

变形会使铸造应力重新分布，残留应力会减小一些，但不会完全消除。铸件产生变形以后，常因加工余量不够或因铸件放不进夹具无法加工而报废，应该采取措施加以防止，防止铸件变形除了前述防止铸造应力的方法外，工艺上还可采取某些措施，如反变形法，即在模样上做出与挠曲量相等，但方向相反的预变形量，来消除床身导轨的变形，见图 2.2.13。

当铸造应力超过材料的强度极限时，铸件会产生裂纹，裂纹有热裂纹和冷裂纹两种。热裂纹是铸件凝固末期在高温下形成的，此时，结晶出来的固体已形成完整的骨架，开始进入固态收缩阶段，但晶粒间还有少量的液体，因此合金的强度很低。如果合金的固态收缩受到铸型或型芯的阻碍，使机械应力超过了在该温度下该合金的强度，就会发生裂纹。热裂纹具有裂纹短，缝隙宽，形状曲折，缝内严重氧化、裂口沿晶界产生和发展等特征。热裂是铸钢

和铝合金铸件常见的缺陷。冷裂纹是在较低温度下形成的裂纹，当铸件中产生的应力的总和，大于该温度下金属的强度时，则产生冷裂。冷裂常出现在铸件受拉伸的部位，其形状细小，呈连续直线状，裂纹断口表面具有金属光泽或轻微氧化色。壁厚差别大、形状复杂的铸件，尤其是大而薄的铸件易于发生冷裂。

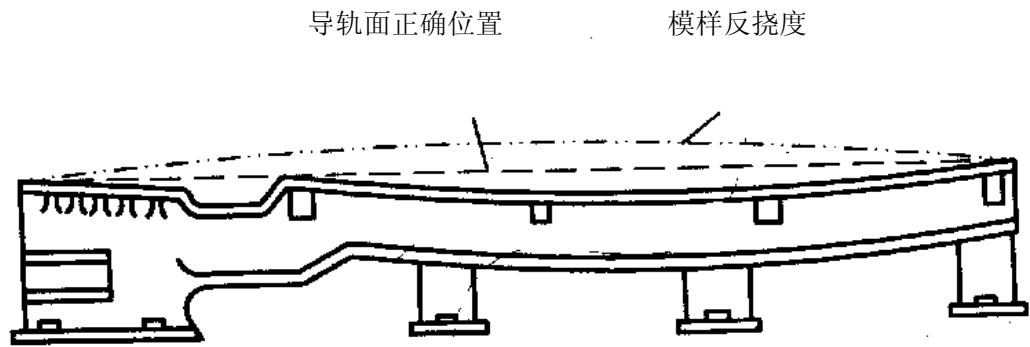


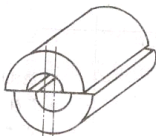
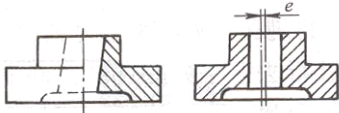
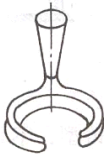
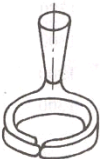
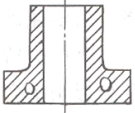
图 2.2.13 床身导轨面的挠曲变形

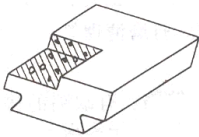
铸件中存在任何形式的裂纹都严重损害其力学性能，使用时会因裂纹扩展使铸件断裂，发生事故。凡是减少、铸造内应力或降低合金脆性的因素，都有利于防止裂纹的产生。

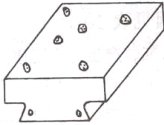
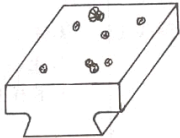
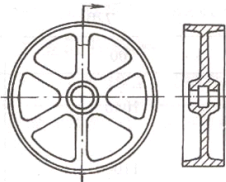
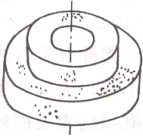
2.2.3 铸造生产常见缺陷

由于铸造生产工序繁多，很容易使铸件产生缺陷。为了减少铸件缺陷，首先应正确判断缺陷类型，找出产生缺陷的主要原因，以便采取相应的预防措施。表 2.2.4 给出了常见铸造缺陷的名称、特征以及产生的主要原因。

表 2.2.4 常见铸造缺陷的名称、特征以及产生的主要原因

类别	名称	图例及特征	主要原因
形状类缺陷	错型	 铸件在分型面处有错移	1.形状合型时上、下砂箱未对准 2.上、下砂箱未夹紧 3.模样上、下半模有错移
	偏型	 铸件上孔偏斜或轴线偏移	1.型芯放置偏斜或变形 2.浇口位置不对, 液态金属冲歪了型芯 3.合型时碰歪了型芯 4.制模样时,型芯头偏心
	变形	 铸件向上、向下或向其他方向弯曲或扭曲	1.铸件结构设计不合理, 壁厚不均匀 2.铸件冷却不当, 冷缩不均匀
	浇不足	 液态金属未充满铸型, 铸件形状不完整	1.铸件壁太薄, 铸型散热太快 2.合金流动性不好或浇注温度太低 3.浇口太小, 排气不畅 4.浇注速度太慢 5.浇包内液态金属不够
	冷隔	 铸件表面似乎融合, 实际未融透, 有浇坑或接缝	1.铸件设计不合理, 铸壁较薄 2.合金流动性差 3.浇注温度太低, 浇注速度太慢 4.浇口太小或布置不当, 浇注曾有中断
孔洞类缺陷	缩孔	 铸件的厚大部分有不规则的粗糙孔形	1.铸件结构设计不合理, 壁厚不均匀, 局部过厚 2. 浇、冒口位置不对, 冒口尺寸太小 3.浇注温度太高

陷	气孔	 析出气孔多而分散, 尺寸较小, 位于铸件各断面上, 侵入气孔数量较少, 尺寸较大, 存在于局部地方	1 熔炼工艺不合理、金属液吸收了较多的气体 2. 铸型中的气体侵入金属液 3. 起模时刷水过多, 型芯未干 4. 铸型透气性差 5. 浇注温度偏低 6. 浇包工具未烘干
---	----	--	---

类别	名称	图例及特征	主要原因
夹杂类缺陷	砂眼	 铸件表面或内部有型砂充填的小凹坑	1 型砂、芯砂强度不够, 紧实较松, 合型时松落或被液态金属冲垮 2. 型腔或浇口内散砂未吹净 3. 铸件结构不合理, 无圆角或圆角太小
	夹渣	 铸件表面上有不规则并含有融渣的孔眼	1. 浇注时挡渣不良 2. 混注温度太低, 熔渣不易上浮 3. 浇注时断流或未充满浇口, 渣和液态金属一起流入型腔
裂纹缺陷	裂纹	 在夹角处或厚薄交接处的表面或内层产生裂纹	1. 铸件厚薄不均, 冷缩不一 2. 浇注温度太高 3. 型砂、芯砂退让性差 4. 合金内含硫、磷较高
表面缺陷	粘砂	 铸件表面粘砂粒	1. 浇注温度太高 2. 型砂选用不当, 耐火度差 3. 未刷涂料或涂料太薄

2.3 铸造方法

根据铸型的方法不同, 铸造方法分为砂型铸造和特种铸造两大类。砂型铸造是目前最常用、最基本的铸造方法。

2.3.1 砂型铸造

砂型铸造的基本工艺过程如图 2.3.1 所示。主要工序有制造模样和芯盒、备制型砂和芯砂、造型、造芯、合箱、浇注、落砂清理和检验等。其中造型(芯) 是砂型铸造最基本的工序，按紧实型砂和起模方法不同，造型方法可分为手工造型和机器造型两种。

1. 手工造型

手工造型操作灵活，工装简单，但劳动强度大，生产率低，常用于单件和小批生产。

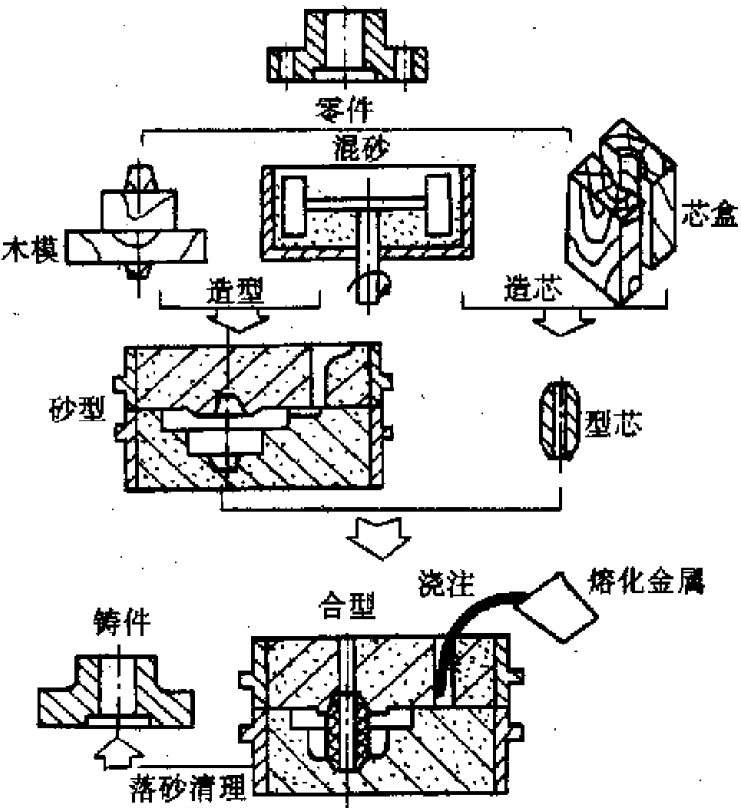


图 8.3.1 砂型铸造的基本工艺过程

手工造型的方法很多，有整模造型、分模造型、挖砂造型、活块造型、刮板造型等，表 2.3.1 为这些常用手工造型方法的特点和应用范围。

表 2.3.1 常用手工造型方法的特点和应用范围

造型方法	特点	应用范围
整模造型	整体模,分型面为平面,铸型型腔全部在一个砂箱内。造型简单,铸件不会产生错箱缺	铸件最大截面在一端,且为平面

	陷	
分模造型	模样沿最大截面分为两半,型腔位于上、下两个砂箱内。造型方便,但制作模样较麻烦	最大截面在中部,一般为对称性铸件
挖砂造型	整体模,造型时需挖去阻碍起模的型砂,故分型面是曲面。造型麻烦,生产率低	单件小批量生产模样薄,分模后易损坏或变形的铸件
假箱造型	利用特制的假箱或型板进行造型,自然形成曲面分型。可免去挖砂操作,造型方便	成批生产需要挖砂的铸件
活块造型	将模样上妨碍起模的部分,做成活动的活块,便于造型起模。造型和制作模样都麻烦	单件小批量生产带有突起部分的铸件
刮板造型	用特制的刮板代替实体模样造型,可显著降低模样成本。但操作复杂,要求工人技术水平高	单件小批量生产等截面或回转体大、中型铸件
三箱造型	铸件两端截面尺寸比中间部分大,采用两箱模时铸型可由三箱组成,关键是选配高度合适的中箱。造型麻烦,容易错箱	单件小批量生产具有二个分型面的铸件
地坑造型	在地面以下的砂坑中造型,一般只用上箱,可减少砂箱投资。但造型劳动量大,要求工人技术较高	生产批量不大的大、中型铸件可节省下箱

2. 机器造型

机器造型（芯）使紧砂和起模两个重要工序实现了机械化,因而,生产率高,铸件质量好。但设备投资大,适用于中、小型铸件的批量生产。

机器造型按紧实的方式不同,分压实造型、震击造型、抛砂造型和射砂造型四种基本方式。

（1）压实造型 压实造型是利用压头的压力将砂箱的型砂紧实,图 2.3.2 为压实造型示意图。先把型砂填入砂箱的辅助框内,然后压头向下将型砂紧实,辅助框是用来补偿紧实过程中型砂被压缩的高度。压实造型生产率高,但型砂沿高度方向的紧实度不够均匀,一般越接近底板,紧实度越差。因此,适用于高度不大的砂箱。

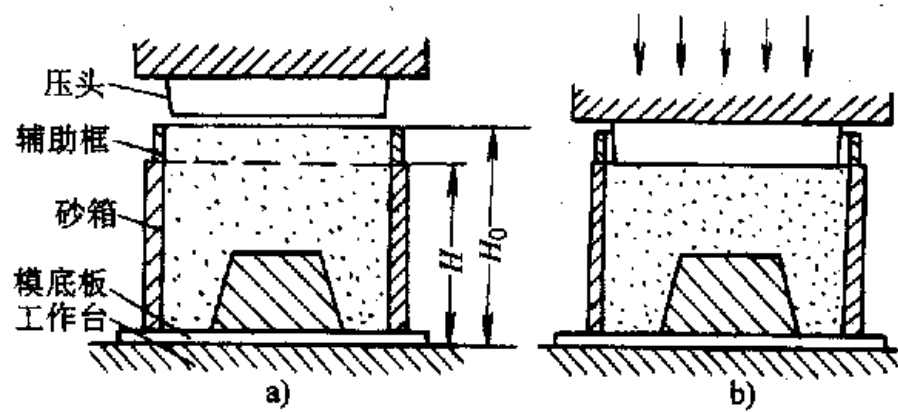


图 2.3.2 为压实造型

(2)

震击造型 这种造型方法是利用震动和撞击对型砂进行紧实，如图 2.3.3 所示。

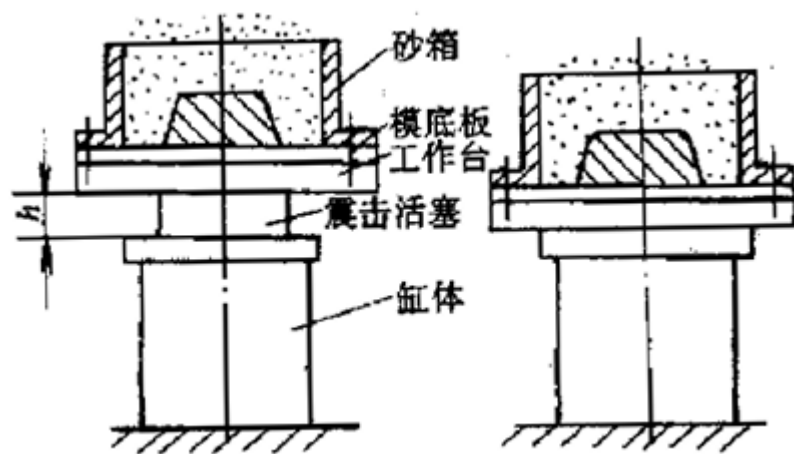
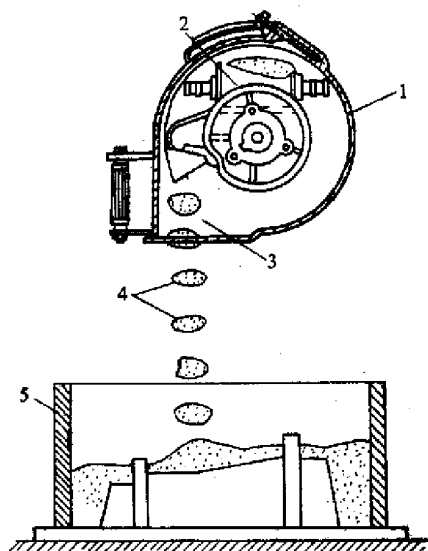


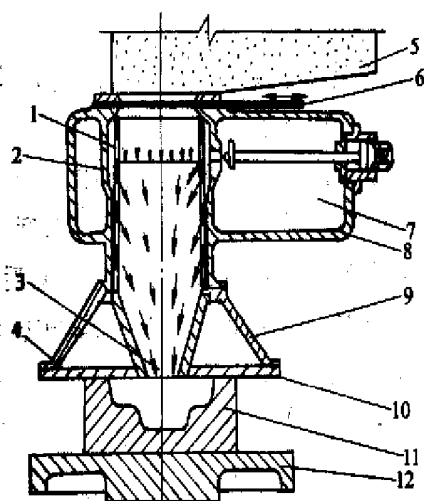
图 2.3.3 震击造型

砂箱填砂后，震击活塞将工作台连同砂箱举起一定高度，然后下落，与缸体撞击，依靠型砂下落时的冲击力产生紧实作用。型砂紧实度分布规律与压实造型相反，越接近模底板型砂紧实度越高。因此可以将震击造型与压实造型联合使用。



1-机头外壳 2-型砂入口 3-砂团出口
4-被紧实的砂团 5-砂箱

图 2.3.4 抛砂造型



1-射砂筒 2-射膛 3-射砂孔 4-排气孔
5-砂斗 6-砂闸板 7-进气阀 8-储气筒
9-射砂头 10-射砂板 11-芯盒 12-工作台

图 2.3.5 射砂造型

(3) 抛砂造型 图 2.3.4 为抛砂机工作原理。抛砂头转子上装有叶片，型砂由皮带输送机连续地送入，高速旋转的叶片接住型砂并分成一个个砂团，当砂团随叶片转到出口处时，由于离心力作用，以高速抛入砂箱，同时完成填砂和紧实。

(4) 射砂造型 射砂紧实的方法除用于造型外多用于造芯。图 2.3.5 为射砂机工作原理。由储气筒中迅速进入到射膛的压缩空气，将型砂由射砂孔射入芯盒的空腔中，而压缩空气经射砂上的排气孔排出，射砂过程是在较短的时间内同时完成填砂和紧实，生产率极高。

2.3.2 特种铸造

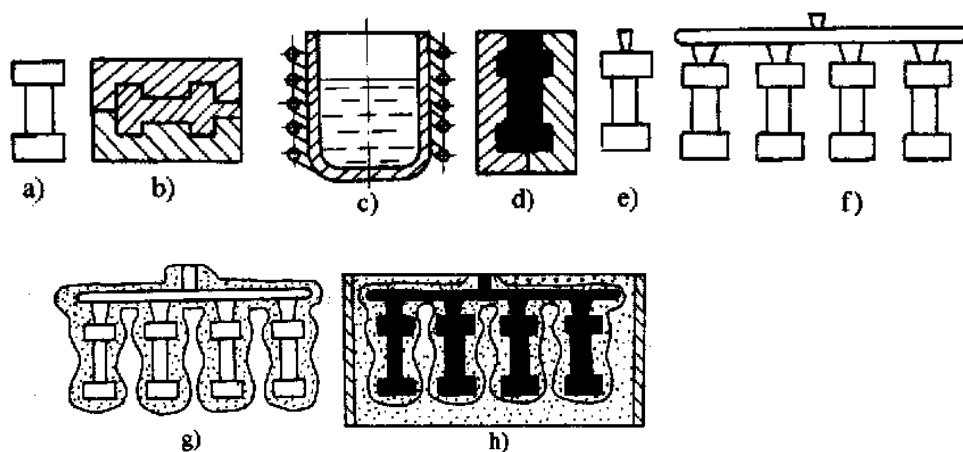
与砂型铸造不同的其他铸造方法统称为特种铸造。各种特种铸造方法均有其突出的特点和一定的局限性，下面简要介绍常用的特种铸造方法。

1. 熔模铸造

用易熔材料制成模样，然后用造型材料将其表面包覆，经过硬化后再将模样熔去，从而制成无分型面的铸型壳，最后经浇注而获得铸件的方法称为熔模铸造。由于熔模广泛采用蜡质材料来制造，所以熔模铸造又称“失蜡铸造”。熔模铸造工艺过程见图 2.3.6。

熔模铸造的特点和应用范围：

- (1) 熔模铸造属于一次成型，又无分型面，所以铸件精度高，表面质量好。
- (2) 可制造形状复杂的铸件，最小壁厚可达 0.7mm，最小孔径可达 1.5mm。
- (3) 适应各种铸造合金，尤其适于生产高熔点和难以加工的合金铸件。
- (4) 铸造工序复杂，生产周期长，铸件成本较高，铸件尺寸和质量受到限制，一般铸件重量不超过 25kg。



a)母模 b)压型 c) 熔蜡 d)制造蜡模 e)蜡模 f)蜡模组 g)结壳、脱蜡 h)填砂、浇注

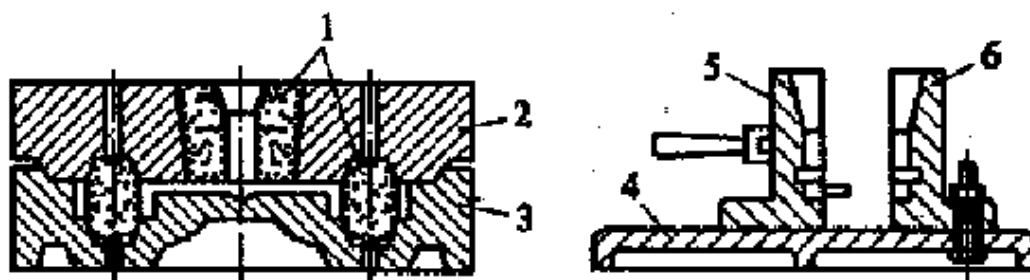
图 2.3.6 熔模铸造工艺过程

主要用于汽轮机、燃气轮机叶片、切削刀具、仪表元件、汽车、拖拉机及机床等零件的生产。

2. 金属型铸造

把液体金属浇入用金属制成的铸型内，而获得铸件的方法称为金属型铸造。一般金属型用铸铁或耐热钢制造，由于金属铸型可重复使用多次，故又称为永久型。

按照分型面的位置，金属型分为整体式、垂直分型式、水平分型式和复合分型式。图 2.3.7 (a) 为水平分型式结构简图，(b) 为垂直分型式结构简图，其中垂直分型式便于布置浇注系统，铸型开合方便，容易实现机械化，应用较广。



(a) 水平分型式

(b) 垂直分型式

1-型芯 2-上型 3-下型 4-模底板 5-动型 6-定型

图 2.3.7 金属型

金属型导热快，无退让性和透气性，铸件容易产生浇不足、冷隔、裂纹、气孔等缺陷。此外，在高温金属液的冲刷下型腔易损坏。为此，需要采取如下工艺措施：浇注前预热，浇注过程中适当冷却，使金属型在一定温度范围内工作；型腔内刷耐火涂料，以起到保护铸型，调节铸件冷却速度，改善铸件表面质量的作用；在分型面上做出通气槽、出气孔等；掌握好开型的时间，以利于取件和防止铸件产生白口。

金属型铸造的特点和应用范围：

- (1) 铸件冷却速度快，组织致密，力学性能好。
- (2) 铸件精度和表面质量较高。
- (3) 实现了"一型多铸"，工序简单，生产率高，劳动条件好。
- (4) 金属型成本高，制造周期长，铸造工艺规程要求严格。

金属型铸造主要适用于大批量生产形状简单的有色金属铸件，如铝活塞、气缸、缸盖、泵体、轴瓦、轴套等。

3. 压力铸造

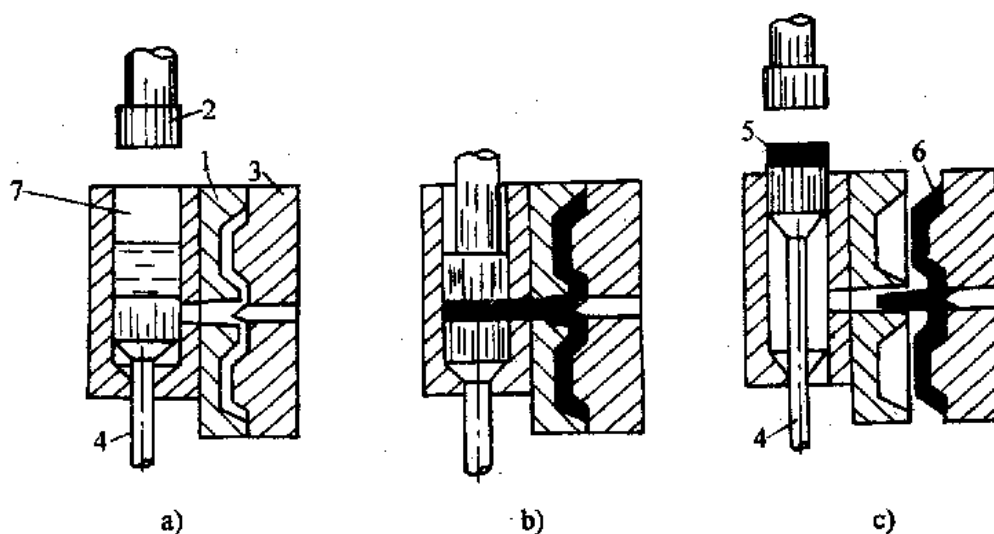
将熔融金属在高压下快速压入压型，并在压力下凝固，而获得铸件的方法称为压力铸造，简称压铸。

压铸是通过压铸机完成的，图 2.3.8 为立式压铸机工作过程示意图。合型后把金属液浇入压室（图 a），压射活塞向下推进，将液态金属压入型腔（图 b），保压冷凝后，压射活塞退回，下活塞上移顶出余料，动型移开，利用顶杆顶出铸件（图 c）。

压力铸造的特点和应用范围

- (1) 压铸件尺寸精度高，表面质量好，一般不需机加工即可直接使用。
- (2) 压力铸造在快速、高压下成型，可压铸出形状复杂、轮廓清晰的薄壁精密铸件，铝合金铸件最小壁厚可达 0.5mm，最小孔径 $\phi 0.7\text{mm}$ 。
- (3) 铸件组织致密，力学性能好，其强度比砂型铸件提高 25%~40%。
- (4) 生产率高，劳动条件好。
- (5) 设备投资大，铸型制造费用高，周期长。

压力铸造主要用于大批量生产低熔点合金的中小型铸件，如铝、锌、铜等合金铸件，在汽车、拖拉机，航空、仪表、电器等部门获得广泛应用。



1-定型 2-压射活塞 3-动型 4-下活塞 5-余料 6-压铸件 7-压室

图 2.3.8 立式压铸机工作过程示意图

4. 离心铸造

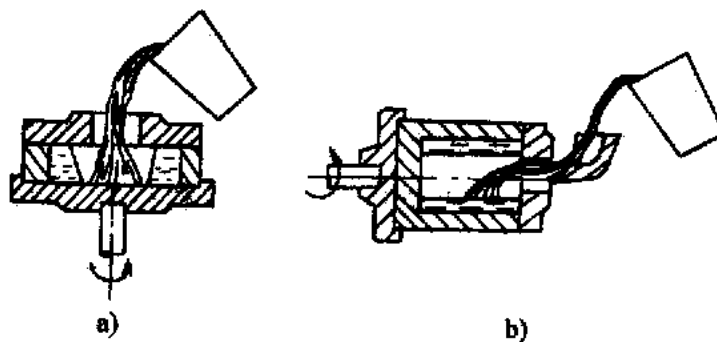
离心铸造是将液体金属浇入高速旋转的铸型中，使其在离心力作用下凝固成形的铸造方法。

根据铸型旋转轴空间位置不同，离心铸造机可分为立式和卧式两大类（图 2.3.9）。立式离心铸造机的铸型绕垂直轴旋转(图 a)，由于离心力和液态金属本身重力的共同作用，使铸件的内表面为一回转抛物面，造成铸件上薄下厚，而且铸件越高，壁厚差越大。因此，它主要用于生产高度小于直径的圆环类铸件。卧式离心铸造机的铸型绕水平轴旋转(图 b)，由于铸件各部分冷却条件相近，故铸件壁厚均匀。适于生产长度较大的管、套类铸件。

离心铸造的特点和应用范围：

- (1) 铸件在离心力作用下结晶，组织致密，无缩孔、缩松、气孔、夹渣等缺陷,力学性能好。
- (2) 铸造圆形中空铸件时，可省去型芯和浇注系统，简化了工艺，节约了金属。
- (3) 便于制造双金属铸件，如钢套镶铸铜衬。
- (4) 离心铸造内表面粗糙，尺寸不易控制，需要加大加工余量来保证铸件质量，且不宜易偏析的合金。

离心铸造是生产管、套类铸件的主要方法。如铸铁管、铜套、汽缸套、双金属轧辊、滚筒等。



2.4 铸造工艺设计

铸造生产要实现优质、高产、低成本、少污染，必须根据铸件结构的特点、技术要求、生产批量，生产条件等进行铸造工艺设计，并绘制铸造工艺图。铸造工艺图就是根据零件图利用各种铸造工艺符号，各种工艺参数，把制造模样和铸型所需的资料，直接绘制在图纸上的图样，图中应表示出铸件的浇注位置，分型面，型芯的形状、数量、尺寸及其固定方式，工艺参数，浇注系统等。这既是生产管理的需要,也是铸件验收和经济核算的依据。

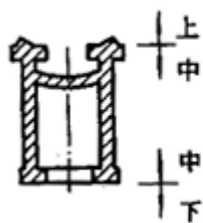
2.4.1 浇注位置和分型面的选择

浇注位置与分型面的选择密切相关，通常分型面取决于浇注位置，选择时既要保证质量又要简化造型工艺。对一些质量要求不高的铸件，为了简化造型工艺，可以先选定分型面。

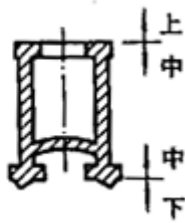
1. 浇注位置的选择

所谓浇注位置是指浇注时铸件在铸型中所处的位置。确定浇注位置应考虑以下原则：

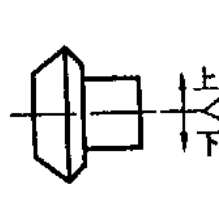
(1) 铸件的重要表面朝下或处于侧面 由于气孔、夹渣等缺陷多出现在铸件上表面，而底部或侧面组织致密，缺陷少，质量好。图 2.4.1 所示床身的导轨面是重要受力面和加工面，浇注时朝下是合理的选择。图 2.4.2 所示伞齿轮的齿面质量要求高，采用立浇方案，则容易保证铸件质量。个别加工表面必须朝上时，可采用增大加工余量的方法来保证质量要求。



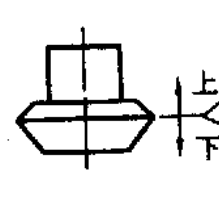
不合理



合理



不合理



合理....

图 2.4.1 床身

图 2.4.2 伞齿轮..

(2) 铸件的宽大平面朝下 对于平板类铸件使其大平面朝下 (图 2.4.3), 既可避免气孔、夹渣, 又可防止型腔上表面经受强烈烘烤而产生夹砂结疤缺陷。

(3) 铸件的薄壁部分朝下 按图 2.4.4 正确位置浇注, 可保证铸件的充型, 防止产生浇不足、冷隔缺陷。这对于流动性差的合金尤为重要。

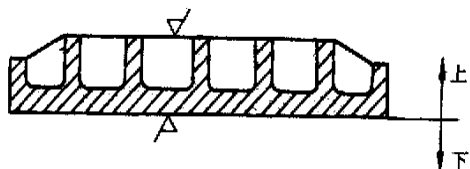


图 2.4.3 大平面铸件正确的浇注位置

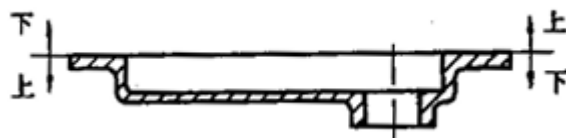
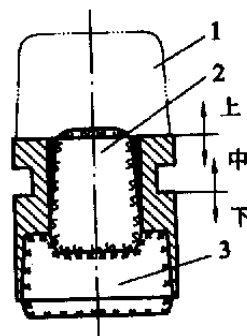


图 2.4.4 曲轴箱的浇注位置

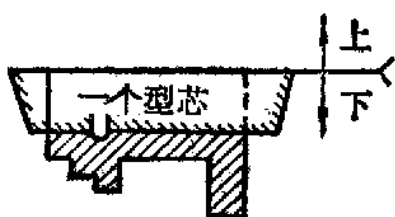
(4) 铸件的厚大部分朝上, 便于补缩 容易形成缩孔的铸件, 厚大部分朝上, 便于安置冒口, 实现自下而上的定向凝固, 防止产生缩孔。如图 2.4.5 的铸钢链轮的厚壁朝上, 并设置冒口。

(5) 浇注位置应利于减少型芯, 便于安装型芯 通常型芯用来获得内孔和内腔, 有时也为了获得局部外形, 采用型芯会使造型工艺复杂, 增加成本, 因此选择浇注位置应有利于减少型芯数目 (图 2.4.6)。

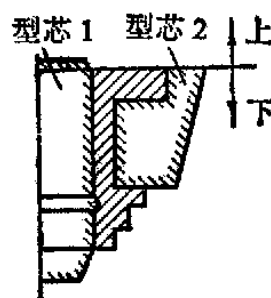


1—冒口 2—型芯 3—型芯

图 2.4.5 铸钢链轮的浇注位置图



一个型芯



二个型芯

图 2.4.6 浇注位置应利于减少型芯

2. 选择分型面的选择

铸型时，砂箱与砂箱之间的结合面我们称之为分型面。就同一铸件而言，可以有几种不同的分型方案，应从中选出一种最佳方案，使得起模方便，造型工艺简化。具体选择原则如下：

- (1) 应尽量使铸件位于同一铸型内 铸件的加工面和加工基准面应尽量位于同一砂箱，避免合型不准产生错型，从而保证铸件尺寸精度。如图 2.4.7 的水管堵头是以顶部方头为基准加工管螺纹的，图 (b) 分型方案易产生错型，无法保证外螺纹加工精度，故方案 (a) 合理。

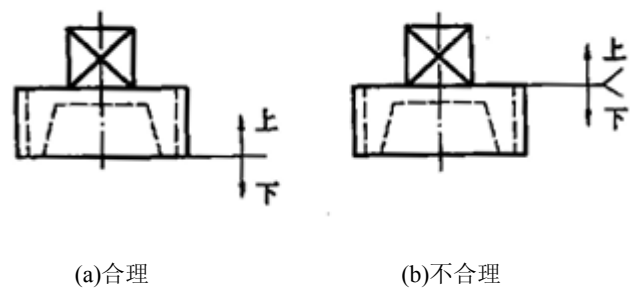
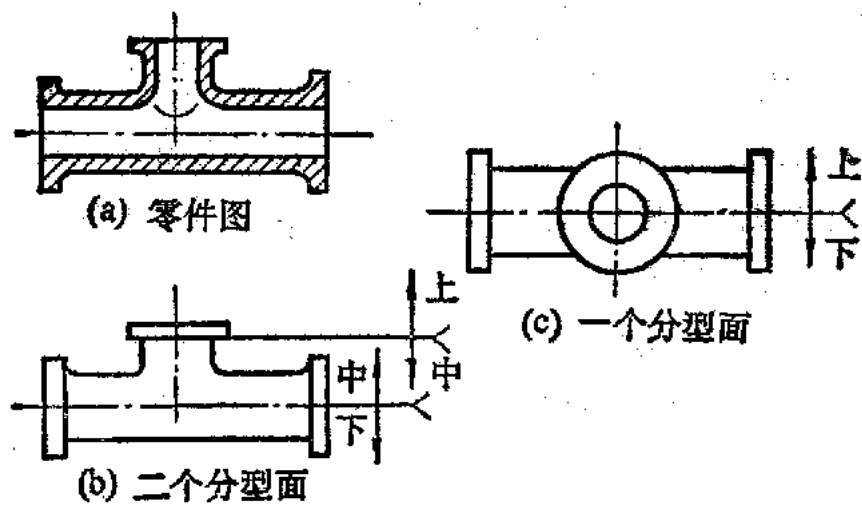


图 2.4.7 管子堵头分型方案



(2)

尽
量

图 2.4.8 三通铸件的分型面选择

减少分型面 分型面数量少，既能保证铸件精度，又能简化造型操作，如图 2.4.8 所示三通铸件的分型面选择。机器造型一般只允许有一个分型面，凡阻碍起模的部位均采用型芯减少分型面，见图 2.4.9 绳轮铸件的分型面确定。

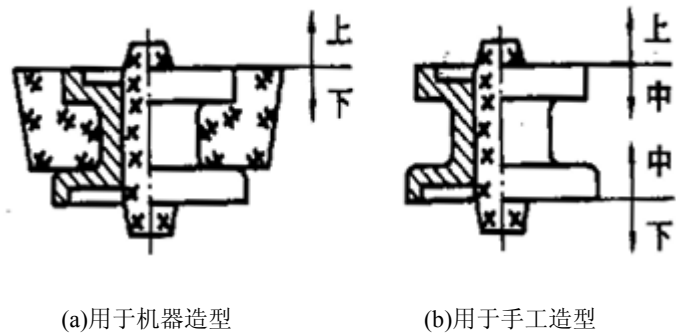


图 2.4.9 绳轮铸件分型面的确定

(3) 尽量使分型面平直 平直的分型面可简化造型工艺和模板制造，容易保证铸件精度，这对于机器造型尤为重要。如图 2.4.10 起重臂分型面的确定。

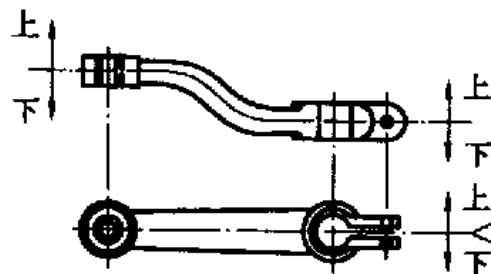


图 2.4.10 起重臂分型面的确定

(4) 尽量使型腔和主要型芯位于下砂箱 图 2.4.11 所示铸件，若按图 (a) 方式铸型，一方面不便于检验铸件壁厚，另一方面合型时还容易碰坏型

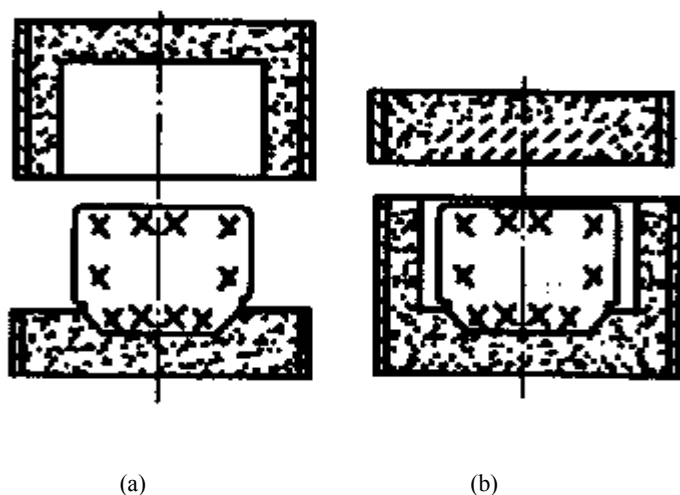


图 2.4.11 型腔和型芯位置分布

芯，而采用图 (b) 的方式铸型既便于造型、下芯、合型，也便于检验铸件壁厚。

生产中，浇注位置和分型面的选择有时是相互矛盾和制约的，这需要根据铸件特点和生产条件综合分析，以确定最佳方案。

2.4.2 确定铸造主要工艺参数

铸造工艺参数是指铸造工艺设计时需要确定的某些数据。主要指加工余量、起模斜度、铸造收缩率、型芯头尺寸、铸造圆角等。这些工艺参数不仅和浇注位置及模样有关，还与造芯、下芯及合型的工艺过程有关。

在铸造过程中为了便于制作模样和简化造型操作，一般在确定工艺参数前要根据零件的形状特征简化铸件结构。例如零件上的小凸台、小凹槽、小孔等可以不铸出，留待以后切削加工。在单件小批量生产条件下铸铁件的孔径小于 30mm，凸台高度和凹槽深度小于 10mm 时，可以不铸出。

1. 加工余量

在铸件工艺设计时预先增加而在机加工中再切去的金属层厚度，称为加工余量。在制作模样时，考虑到铸造收缩率，还要在铸件的加工面上适当增大尺寸。但是加工余量不能随意确定，加工余量过大，浪费金属材料和加工工时，过小则使铸件因残留黑皮而报废。根据 GB/T11350-1989《铸件机械加工余量》的规定，确定加工余量之前，需先确定铸件的尺寸公差等级和加工余量等级。

(1) 铸件的尺寸公差等级 铸件尺寸公差等级代号为 CT，公差等级由高到低分为 16 级，它是设计和检验铸件尺寸的依据。表 2.4.1 列出了小批和单件生产铸件时的尺寸公差等级。表 2.4.2 列出了成批和大量生产铸件时的尺寸公差等级。

表 2.4.1 小批和单件生产铸件的尺寸公差等级（摘自 GB6414-86）

造型材料	公差等级 CT					
	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	轻金属合金
干、湿型砂	13~15	13~15	13~15	13~15	13~15	11~13
自硬砂	12~14	11~13	11~13	11~13	10~12	10~12

表 2.4.2 成批和大量生产铸件的尺寸公差等级（摘自 GB6414-86）

铸造工艺方法	公差等级 CT					
	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	轻金属合金
砂型手工造型	11~13	11~13	11~13	10~12	10~12	9~11
砂型机器造型	8~10	8~10	8~10	8~10	8~10	7~9
金属型		7~9	7~9	7~9	7~9	6~8
压力铸造					6~8	5~7
融模铸造	5~7	5~7	5~7		4~6	4~6

注：表 2.4.1 和表 2.4.2 中的公差等级适用于大于 25mm 的铸件基本尺寸，对小于或等于 25mm 的铸件基本尺寸，通常应采用下述较高的公差等级

- ① 铸件基本尺寸 $\leq 10\text{mm}$ 时，其公差等级提高 3 级。
- ② 铸件基本尺寸 $= 10 \sim 16\text{mm}$ 时，其公差等级提高 2 级。
- ③ 铸件基本尺寸 $= 16 \sim 25\text{mm}$ 时，其公差等级提高 1 级。

(2) 加工余量等级 铸件加工余量等级代号为 MA，其等级由精到粗分为 A、B、C、D、E、F、G、H、J 共 9 个等级。对于小批和单件生产的铸件，加工余量等级按表 2.4.3 选取，成批和大量生产铸件时，加工余量等级按表 2.4.4 选取。

(3) 加工余量的数值 当尺寸公差等级 CT 和加工余量等级 MA 确定后，可根据基本尺寸由表 2.4.5 查得铸件的加工余量的数值。此外，铸件顶面的加工余量等级应比表中降一级选用，孔的加工余量可与顶面同级。

表 2.4.3 用于小批和单件生产铸件的机械加工余量等级（摘自 GB/T11350-89）

造型材料、尺寸 公差、加工余量		加工余量等级					
		铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	轻金属合金
干、湿型 砂	CT	13~15	13~15	13~15	13~15	13~15	11~13
	MA	J	H	H	H	H	H
自硬砂	CT	12~14	11~13	11~13	11~13	10~12	10~12
	MA	J	H	H	H	H	H

表 24.4 成批和大量生产铸件的机械加工余量等级（摘自 GB/T11350-89）

铸造工艺方法、 尺寸公差、加工 余量		加工余量等级					
		铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	轻金属合金
砂型手工 造型	CT	11~13	11~13	11~13	10~12	10~12	9~11
	MA	J	H	H	H	H	H
砂型机器 造型	CT	8~10	8~10	8~10	8~10	8~10	7~9
	MA	H	G	G	G	G	G
金属型	CT		7~9	7~9	7~9	7~9	6~8
	MA		F	F	F	F	F
压力铸造	CT					6~8	5~7
	MA					E	E
融模铸造	CT	5~7	5~7	5~7		4~6	4~6
	MA	E	E	E		E	E

表 2.4.5 与铸件尺寸公差配套使用的铸件加工余量（摘自 GB/T11350-89）

尺寸公差 等级		8		9		10		11		12			13			14		15	
加工余量 等级		G	H	G	H	G	H	G	H	G	H	J	G	H	J	H	J	H	J
基本尺寸		加工余量数值（mm）																	
大于	至																		
-	100	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5	5.0	6.0	6.0	6.5	7.5	7.5	8.5	9.0	10
		2.0	2.5	2.5	3.0	2.5	3.0	3.0	3.5	3.0	3.5	4.5	4.0	4.5	5.5	5.0	6.0	5.5	6.5

100	160	3.0	4.0	3.5	4.5	4.0	5.0	4.5	5.5	5.5	6.5	7.5	7.0	8.0	9.0	9.0	10	11	12
		2.5	3.5	3.0	4.0	3.0	4.0	3.5	4.5	4.0	5.0	6.0	4.5	5.5	6.5	6.0	7.0	7.0	8.0
160	250	4.0	5.0	4.5	5.5	5.0	6.0	6.0	7.0	7.0	8.0	9.5	8.5	9.5	11	11	13	13	15
		3.5	4.5	4.0	5.0	4.0	5.0	4.5	5.5	5.0	6.0	7.5	6.0	7.0	8.5	7.5	9.0	8.5	10
250	400	5.0	6.5	5.5	7.0	6.0	7.5	7.0	8.5	8.0	9.0	11	9.5	11	13	13	15	15	17
		4.5	6.0	4.5	6.0	5.0	6.5	5.5	7.0	6.0	7.5	9.0	6.5	8.0	10	9.0	11	10	12
400	630	5.5	7.5	6.0	7.5	6.5	8.5	7.5	9.5	9.0	11	14	11	13	16	15	18	17	20
		5.0	7.0	5.0	7.0	5.5	7.5	6.0	8.0	6.5	8.5	11	7.5	9.5	12	11	13	12	14
630	1000	6.5	8.5	7.0	9.0	8.0	10	9.0	11	11	13	16	13	15	18	17	20	20	23
		6.0	8.0	6.0	8.0	6.5	8.5	7.0	9.0	8.0	10	13	9	11	14	12	15	14	17

注：表中每栏有两个加工余量数值，上面的数值为以一侧为基准，进行单侧加工的加工余量值；下面的数值是进行双侧加工时，每侧的加工余量值。

2 起模斜度

为便于起模，在平行于模样或芯盒起模方向的侧壁上的斜度,称为起模斜度。

起模斜度的形式有三种，如图 2.4.12 所示，当不加工的侧面壁厚 $<8\text{mm}$ 时，可采用增加壁厚法；当壁厚为 $8\sim 16\text{mm}$ 时，可采用加减壁厚法；当壁厚 $>16\text{mm}$ 时，可采用减小壁厚法。

当铸件侧面需要加工时必须采用增加壁厚法，而且加工表面上的起模斜度，应在加工余量的基础上再给出斜度数值。图中 a 的取值见表 2.4.6。

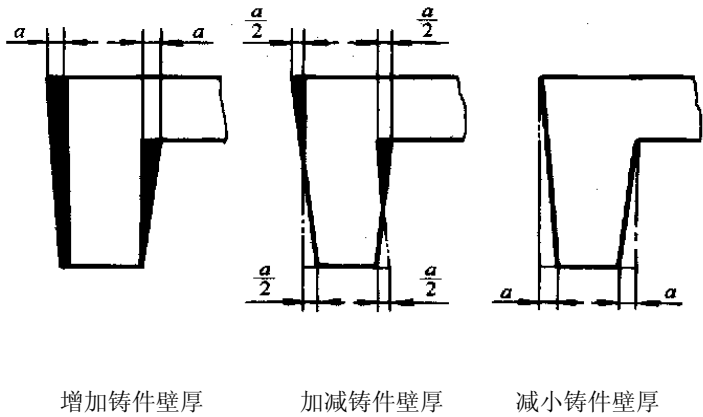


图 2.4.12 起模斜度

表 2.4.6 起模斜度 a 的数值

测量面高度	金属模	木模
≤ 20	0.5~1.0	0.5~1.0
$> 20\sim 50$	0.5~1.2	1.0~1.5
$> 50\sim 100$	1.0~1.5	1.5~2.0
$> 100\sim 200$	1.5~2.0	2.0~2.5
$> 200\sim 300$	2.0~3.0	2.5~3.5

>300~500	2.5~4.0	3.5~4.5
----------	---------	---------

起模斜度的大小取决于模样的起模高度、造型方法、模样材料等因素。中小型木模通常取 $0^{\circ} 30' \sim 3^{\circ}$ ，金属模比木模斜度小；立壁越高，斜度越小；机器造型比手工造型斜度小；铸孔内壁的起模斜度应比外壁大常取 $3^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。

3. 收缩率

因铸件收缩的影响，铸件冷却后其尺寸要比模样的尺寸小，为了保证铸件要求的尺寸，必须加大模样的尺寸。铸件尺寸收缩的大小一般用铸件线收缩率 K 表示：

$$K = \frac{L_M - L_J}{L_M} \times 100\%$$

式中, L_M 为模样(芯盒)尺寸, L_J 为铸件尺寸。灰铸铁和碳钢的线收缩率见表 2.4.7。

表 2.4.7 铸造收缩率

铸件种类	收缩率%	
	有阻碍收缩	自由收缩
灰铸铁：小型铸件 中型铸件 大型铸件	0.9	1.0
	0.8	0.9
	0.7	0.8
碳钢铸件	1.3~1.7	1.6~2.0

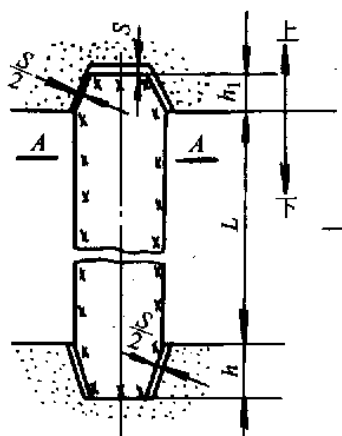
4. 芯头设计

型芯在铸型中的位置一般是用型芯头来固定的，芯头主要有垂直芯头和水平芯头，见图 2.4.13。芯头设计主要是确定芯头长度、斜度和间隙。

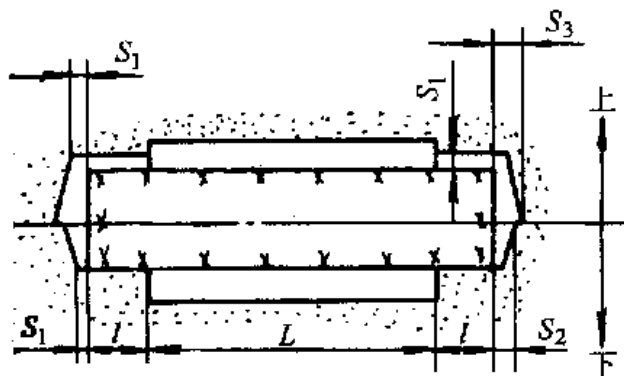
(1) 芯头长度 为了保证型芯的稳固，芯头必须有一定的长度 l ，垂直芯头的长度通常称为芯头高度 h 。芯头长度取决于型芯的直径和长度，其具体尺寸可查手册。

(2) 芯头斜度 垂直型芯的上、下芯头都留有斜度。为增加型芯的稳定性，下芯头斜度小，高度大；为便于合型，上芯头斜度大，高度小。垂直芯头的斜度可查手册。水平芯头一般不留斜度，而是在芯座上形成一定的间隙。

(3) 芯头间隙 为便于下芯，芯头与芯座之间应留有间隙 s 。间隙大小取决于造型方法、铸型种类及型芯大小，水平芯头和垂直芯头的间隙可查手册。



垂直芯头



水平芯头

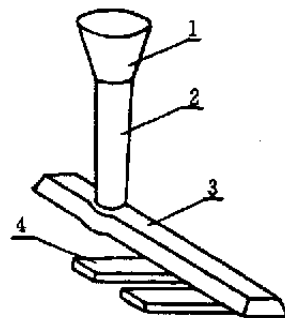
图 2.4.13 芯头

5. 铸造圆角

制造模样时，壁的连接和转角处要做成圆弧过度，即铸造圆角。它既可使转角处不产生脆弱面，又可减少应力集中，还可避免产生冲砂、缩孔和裂纹。一般小型铸件，外圆角半径取 2~8mm，内圆角半径取 4~16mm。

2.4.3 确定浇注系统

浇注系统是金属液流入铸型型腔的通道。通常由浇口杯、直浇道、横浇道和内浇道所组成，图 2.4.14。它应使金属液均匀、平稳地充满型腔，能防止熔渣和气体卷入。铸铁件浇注系统设计主要是选择浇注系统类型、确定内浇道开设位置、各组元截面积、形状和尺寸等。按照内浇道在铸件上开设的位置不同，浇注系统类型可分为顶注式、底注式、中间注入式和分段注入式。如图 2.4.15 所示。



1-浇口杯 2-直浇道 3-横浇道 4-内浇道

图 2.4.14 浇注系统

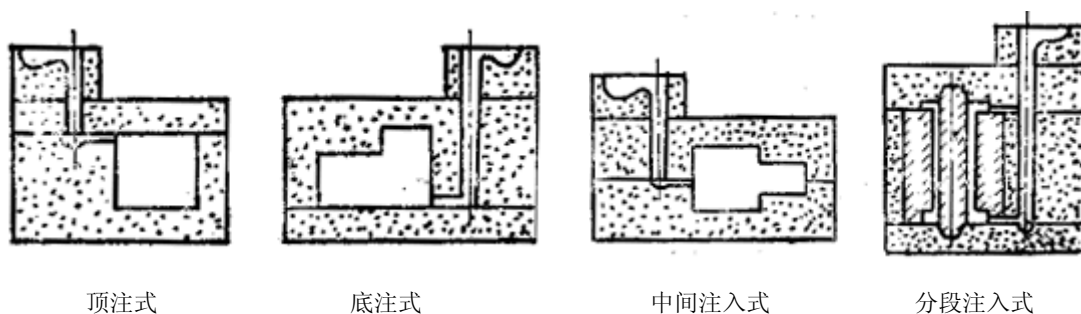


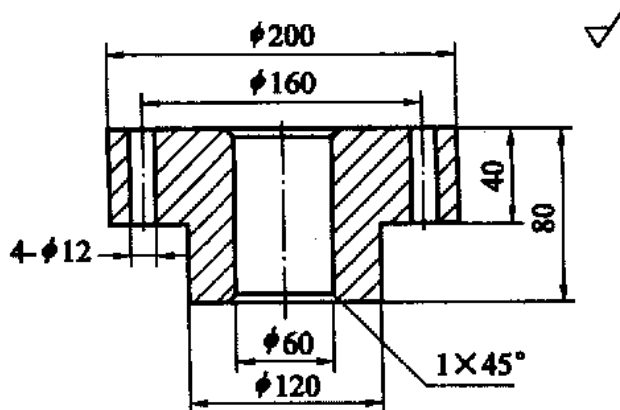
图 2.4.15 浇注系统类型

2.4.4 绘制铸造工艺图

在铸造工艺设计时，为了表示设计意图和要求，需要绘制铸造工艺图。铸造工艺图是在零件图上用规定的工艺符号表示出铸造工艺内容的图形，它决定了铸件的形状、尺寸、生产方法和工艺过程。是制造模样、芯盒、造型、造芯和检验铸件的依据。在蓝图上绘制的铸造工艺图，采用红、蓝铅笔将各种工艺符号直接标注在零件图样上。铸造工艺图常用符号及表示方法可参阅表 2.4.8。

现以联轴器零件为例，说明铸造工艺设计的步骤。

已知：图 2.4.16 为联轴器的零件图，选择材料为 HT200，小批量生产，采用砂型手工造型。



要求：对零件进行工艺分析

该零件为一般连接件， $\phi 60$ 孔和两端面质量要求较高，不允许有铸造缺陷。 $\phi 60$ 孔较大，用型芯铸出，四个 $\phi 12\text{mm}$ 小孔则不予铸出。

图 2.4.16 联轴器零件图

表 2.4.8 铸造工艺符号和表示方法 (JB2435-78)

名称	工艺符号和表示方法	名称	工艺符号和表示方法
分型线	用红线表示, 并用红色写出“上、中、下”字样 两箱造型 三箱造型 示例	分模线	用红线表示, 在任一端面画“<”符号 示例
分型分模线	用红线表示	机加工余量	用红线表示在加工符号附近注明加工余量数值
不铸出孔和槽	不铸出的孔和槽用红色线打叉	浇注系统位置与尺寸	用红色线或表示红色双线表示, 并注明各部分尺寸
芯头斜度与芯头间隙	用兰色表示, 并注明斜度和间隔数值, 有两个以上的型芯时, 用“1#”、“2#”等标注		

(1) .选择浇注位置和分型面

该铸件的浇注位置有两个方案，一是零件轴线呈垂直位置，二是零件轴线呈水平位置。若采用后者，需分模造型，容易错型，而且质量要求高的 $\phi 60$ 孔和两端面质量无法保证；浇注采用垂直位置，并沿大端端面分型，造型操作方便，可采用整模造型，避免了错型，质量要求高的端面和孔处于下面或侧面，铸件质量好。直立型芯的高度不大，稳定性尚可。综合分析选择前者方案。

(2) .确定加工余量

该铸件为回转体，基本尺寸取 $\phi 200\text{mm}$ ，查表 2.4.2 取尺寸公差等级为 CT13。再查表 2.4.4 得加工余量等级为 MA-H 级。 $\phi 200\text{mm}$ 大端面是顶面，应降为 MA-J 级。查表 2.4.5 得加工余量 8.5mm。 $\phi 200\text{mm}$ 与 $\phi 120\text{mm}$ 之间的台阶面可视为底面，查表 2.4.5 按加工余量 MA-H 级得此面加工余量 7mm。 $\phi 200\text{mm}$ 外圆是侧面，按基本尺寸 200mm 查表 2.4.5 得加工余量 7mm， $\phi 120\text{mm}$ 端面是底面，按 MA-H 级查表 2.4.5 得加工余量 5.5mm，同法查得 $\phi 120\text{mm}$ 外圆加工余量 5.5mm。 $\phi 60\text{mm}$ 孔径小于高度 80mm，故基本尺寸取 80mm，孔的加工余量等级同顶面，查表 2.4.5 得加工余量 5.5mm。

(3) .确定起模斜度

因铸件全部加工，两处侧壁高度均为 40mm，查表 2.4.6 木模的起模斜度上增加值 a 为 1，图 2.4.16 中 "8/7" 和 "6.5/5.5" 表示侧壁分别增加 8mm 和 6.5mm，上端比下端大 1mm 构成起模斜度。

(4) .确定线收缩率

对于灰铸铁、小型铸件，查表 2.4.7，线收缩率取 1%。

(5) .芯头尺寸

垂直芯头查手册得到图 2.4.16 芯头尺寸。

(6) .铸造圆角

对于小型铸件，外圆角半径取 2mm，内圆角半径取 4mm。

(7) .绘制铸造工艺图

图 2.4.17 是按上述铸造工艺设计步骤，并根据表 2.4.8 规定绘制的铸造工艺图。

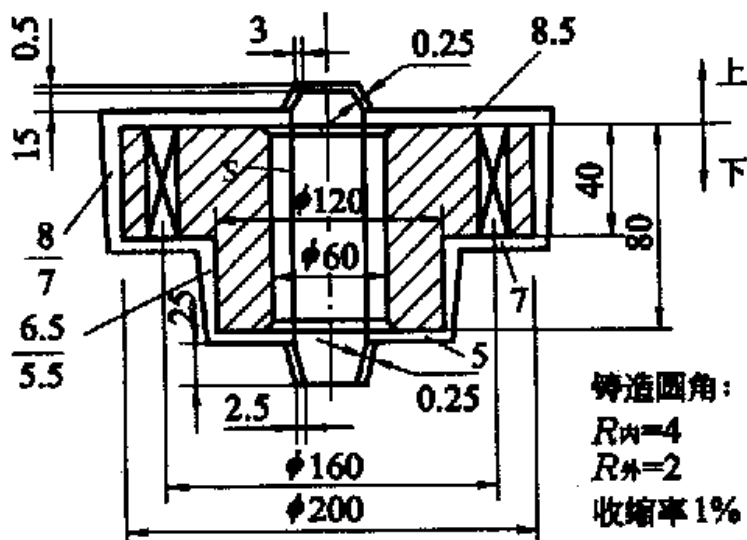


图 2.4.17 铸造工艺图

2.5 铸件结构工艺性

铸件结构工艺性是指铸件的结构应在满足使用要求的前提下，还要满足铸造性能和铸造工艺对铸件结构要求的一种特性。它是衡量铸件设计质量的一个重要方面。合理的铸件结构不仅能保证铸件质量，满足使用要求，而且工艺简单、生产率高、成本低。

2.5.1 铸造性能对铸件结构的要求

1. 铸件壁厚要合理

在一定的工艺条件下，由于受铸造合金流动性的限制，能铸出的铸件壁厚有一个最小值。若实际壁厚小于它，就会产生浇不到、冷隔等缺陷。表 2.5.1 列出了在砂型铸造条件下常用铸造合金所允许的最小壁厚值。但是，铸件壁厚过大，铸件壁的中心冷却较慢，会使晶粒粗大，还容易引起缩孔、缩松缺陷，使铸件强度随壁厚增加而显著下降，因此，不能单纯用增加壁厚的方法提高铸件强度。通常采用加强肋(图 2.5.1)或合理的截面结构(丁字形、工字形、槽形)满足薄壁铸件的强度要求。铸件的最大临界壁厚约为最小壁厚的三倍,见表 2.5.1。

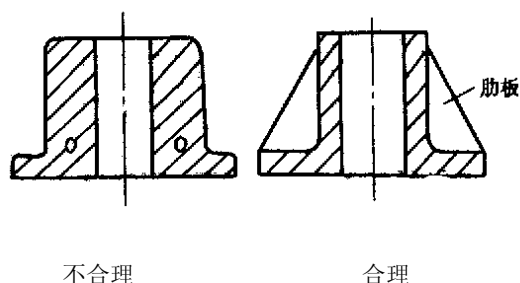


图 2.5.1 采用加强肋减小壁厚

表 2.5.1 在砂型铸造条件下铸件的最小壁厚值 (mm)

铸件尺寸	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铝合金	铜合金
$<200 \times 200$	6~8	5~6	6	5	3	3~5
$200 \times 200 \sim 500 \times 500$	10~12	6~10	12	8	4	6~8
$>500 \times 500$	15	15	-	-	5~7	-

2. 铸件壁厚要均匀

铸件薄厚不均，必然在壁厚交接处形成金属聚集的热节而产生缩孔、缩松，并且由于冷

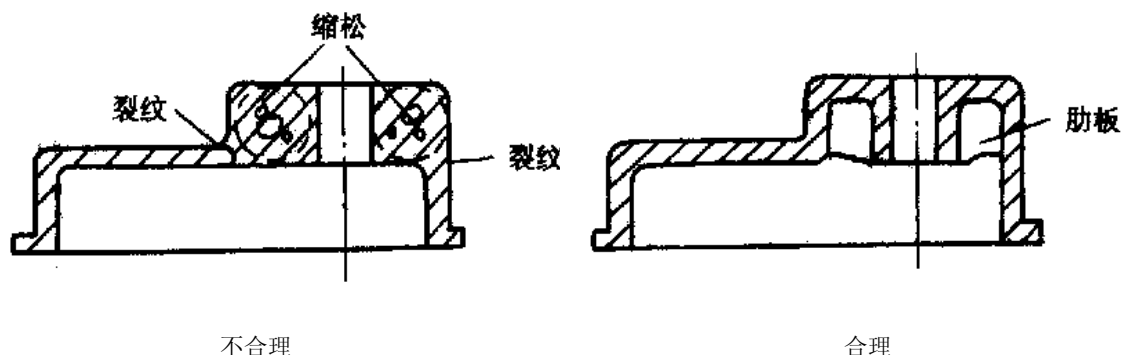


图 2.5.2 采用加强肋减小壁厚

却速度不同而形成热应力和裂纹(图 2.5.2)。确定铸件壁厚，应将加工余量考虑在内，有时加工余量会使壁厚增加而形成热节。

3. 铸件内壁应薄于外壁

铸件内壁和肋，散热条件较差，内壁薄于外壁，可使内、外壁均匀冷却，减小内应力，防止裂纹。内、外壁厚相差值约为 10%~30%。

4. 铸件壁连接要合理

为减少热节，防止缩孔，减少应力，防止裂纹，壁间连接应有铸造圆角（图 2.5.3）。不同壁厚的连接应逐步过渡（图 2.5.4），以防接头处热量聚集和应力集中。铸件上的肋或壁的连接应避免十字交叉和锐角连接(图 2.5.5)。

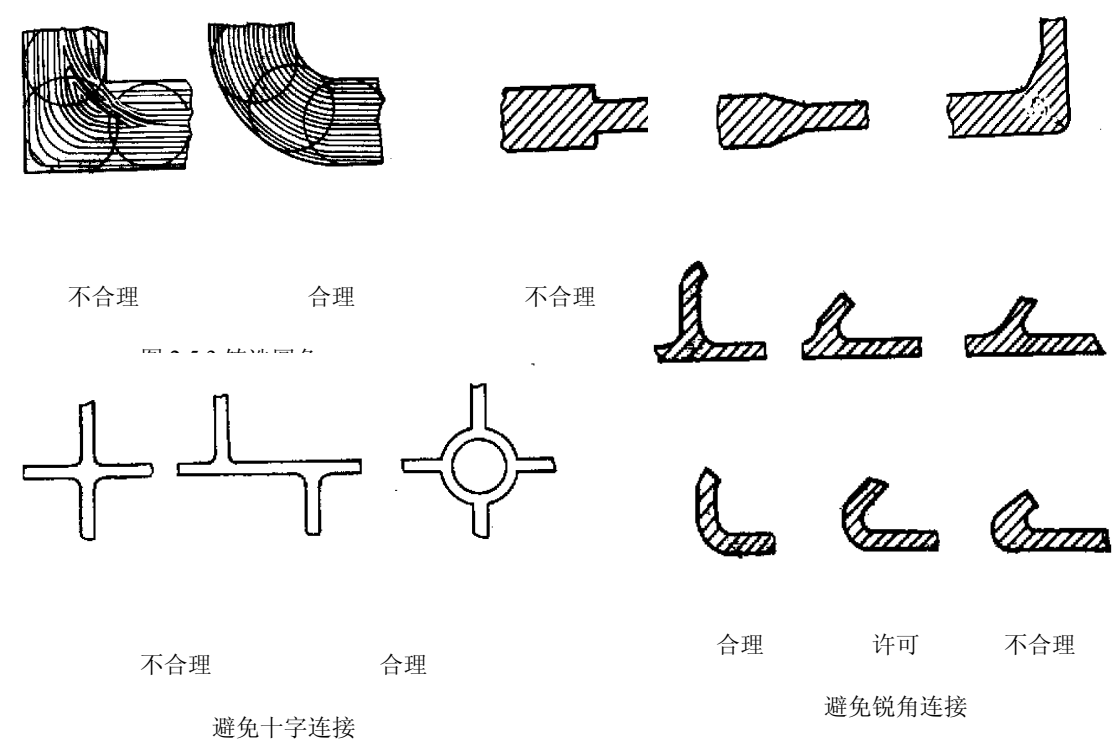


图 2.5.5 铸件接头结构

5. 避免铸件收缩受阻

当铸件收缩受到阻碍，产生的内应力超过材料的抗拉强度时将产生裂纹。如图 2.5.6 所示手轮铸件，图(a)为直条形偶数轮辐，在合金线收缩时手轮轮辐中产生的收缩力相互抗衡，容

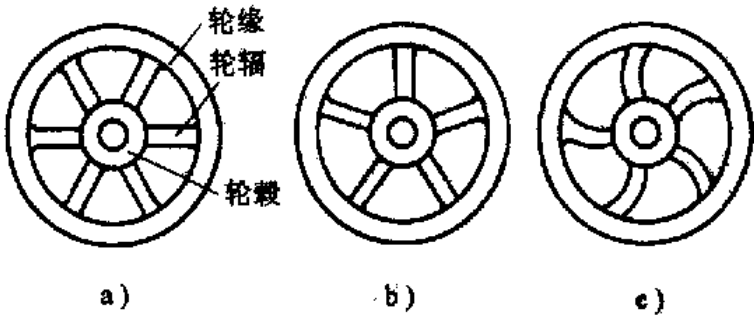


图 2.5.6 手轮轮辐的设计

易出现裂纹。可改用奇数轮辐 (图 b)或弯曲轮辐 (图 c)，这样可借助轮缘、轮毂和弯曲轮辐的微量变形自行减缓内应力，防止开裂。

6.防止铸件翘曲变形

细长形或平板类铸件在收缩时易产生翘曲变形。如图 2.5.7 所示，改不对称结构为对称结构或采用加强肋，提高其刚度，均可有效地防止铸件变形。

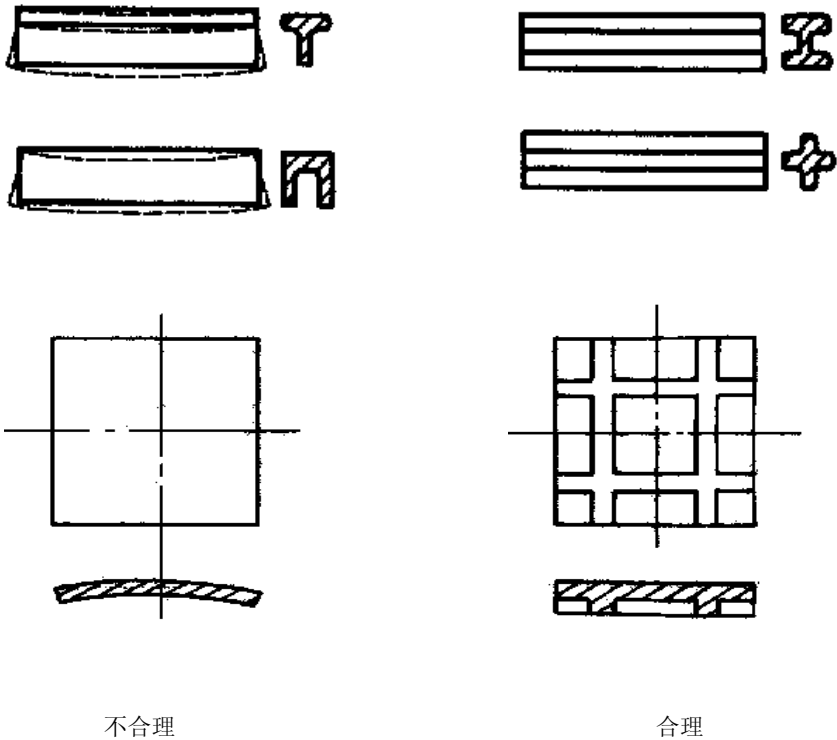


图 2.5.7 防止铸件变形的结构

2.5.2. 铸造工艺对铸件结构的要求

从工艺上考虑，铸件的结构设计，应有利于简化铸造工艺；有利于避免产生铸造缺陷；便于后续加工。注意以下几个方面：

1. 铸件外形力求简单

在满足铸件使用要求的前提下，应尽量简化外形，减少分型面，以便造型。图 2.5.8 (a) 所示端盖存在侧凹，需三箱造型或增加环状型芯。若改为图 (b) 结构，可采用简单的两箱造型，造型过程大为简化。

图 2.5.9 (a) 所示凸台通常采用活块（或外型芯）才能起模，若改为图 (b) 结构，可以避免活块或型芯，造型简单。图 2.5.10 (a) 铸件上的肋条使起模受阻，改为 (b) 结构后可顺利地取出模样。

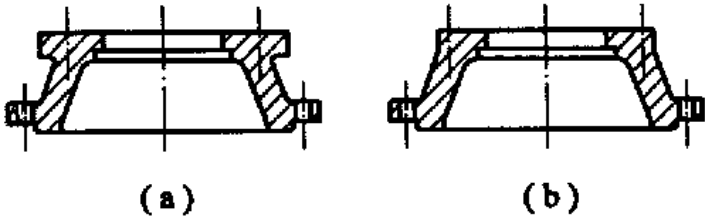


图 2.5.2 端盖铸件

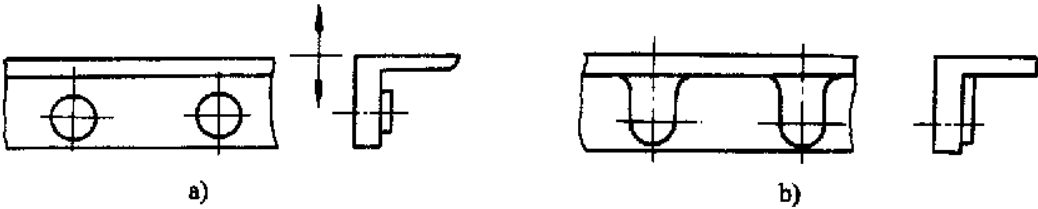


图 2.5.9 凸台设计

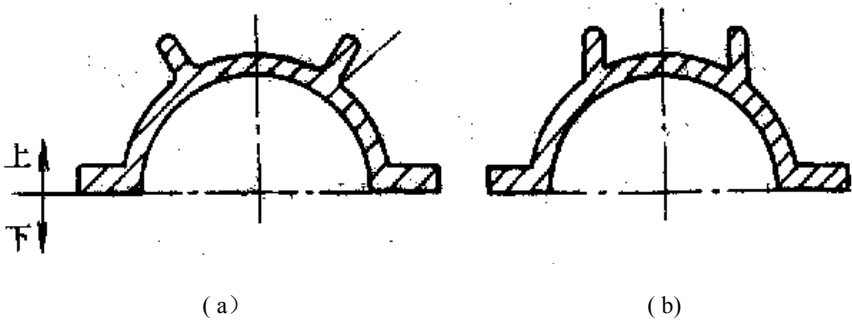


图 2.5.10 结构斜度的设计

2. 铸件内腔设计

铸件内腔结构采用型芯来形成，使用型芯会增加材料消耗，且工艺复杂，成本提高，因此，设计铸件内腔时应尽量少用或不用型芯。图 2.5.11 (a) 所示铸件，其内腔只能用型芯成形，若改为图 (b) 结构，可用自带型芯成形。图 2.5.12 所示支架，用图 (b) 的开式结构代替图 (a) 的封闭结构，可省去型芯。在必须采用型芯的情况下，应尽量做到便于下芯、安装、固定以及排气和清理。如图 2.5.13 (a) 所示的轴承架铸件，图 (a) 的结构需要两个型芯，其中大的型芯呈悬臂状态，需用芯撑支撑，若按图 (b) 改为整体芯，其稳定性大大提高，排气通畅，清砂方便。

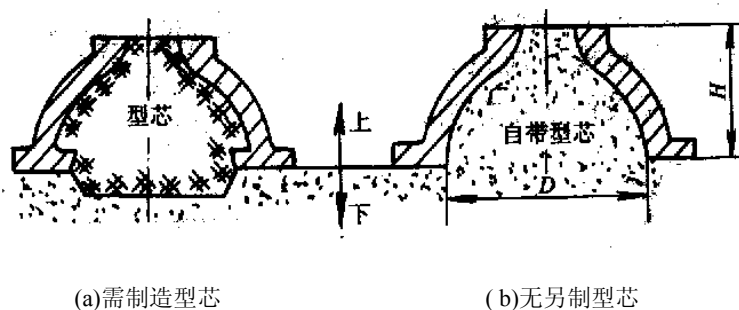


图 2.5.11 铸件内腔设计

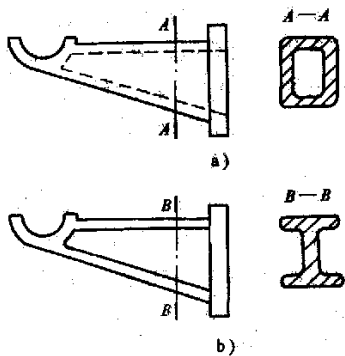


图 2.5.13 轴承架

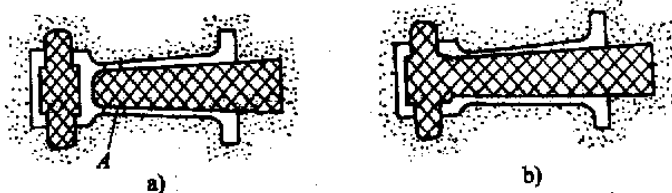


图 2.5.12 支架

3. 铸件的结构斜度

为了便于起模，垂直于分型面的非加工表面应设计结构斜度，图 2.5.14 中 a、b、c、d 不带结构斜度不便起模，改为 e、f、g、h 较合理。

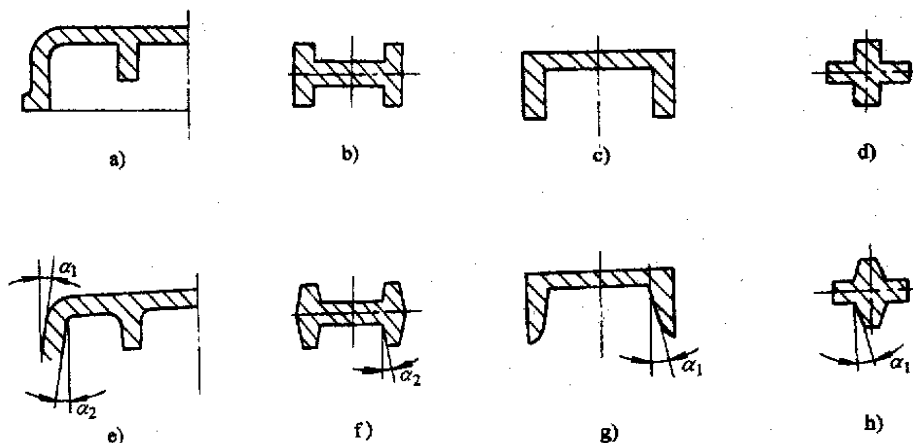


图 2.5.14 结构斜度的设计

2.6 常用铸造合金的生产

用于铸造的金属统称铸造合金，常用的铸造合金有铸铁、铸钢和铸造有色金属。由上述分析可知，铸造合金的铸造性能及工艺特点对获得优质、高产的铸件十分重要。它与铸型的制作相辅相成，缺一不可。

2.6.1 铸铁件的生产

铸铁是含碳量大于 2.11% 的铁碳合金，工业用铸铁是以铁、碳、硅为主的多元合金。铸铁具有许多优良性能，且制造简单，成本低廉，是最常用的金属材料。

(1) 灰铸铁的铸造性能 灰铸铁的碳硅当量接近共晶成分，熔点低，结晶温度范围小，呈逐层凝固方式凝固，流动性好。另外凝固时石墨析出，使总收缩较小，因此，灰铸铁的熔铸工艺容易，铸件缺陷少。

(2) 灰铸铁的铸造工艺特点 灰铸铁熔点低，对型砂耐火性要求低，适合于湿型铸造；浇注温度可适当降低。流动性好，可浇注形状复杂的薄壁铸件。收缩小，铸件不易产生缩孔、裂纹等缺陷，一般可不用或少用冒口和冷铁；

1. 球墨铸铁

(1) 球墨铸铁的铸造性能 球墨铸铁流动性与灰铸铁相近；它的结晶区间宽，属糊状凝固，补缩困难，而且球墨铸铁凝固后期的石墨化膨胀又远大于灰铸铁，会引起铸型胀大，造成铸件内部金属液不足，很容易产生缩孔、缩松和皮下气孔。

(2) 球墨铸铁的铸造工艺特点 球墨铸铁碳的质量分数高，球化处理使铁水得到净化，流动性应比灰铸铁好，但经过球化处理和孕育处理，铁水温度大幅度降低，且易于氧化，因

此, 实际生产中应注意适当提高球墨铸铁的浇注温度。同时要加大内浇道截面, 采用快速浇注等措施, 以防止产生浇不足、冷隔等缺陷。球墨铸铁件表面完全凝固的时间较长, 收缩大, 而且外壁与中心几乎同时凝固, 造成凝固后期外壳不坚实, 此时因析出石墨的膨胀所产生的压力会使铸型型腔扩大, 容易产生缩孔、缩松等缺陷。常采用顺序凝固原则, 并增设冒口以加强补缩。同时应提高铸型的紧实度, 增强其刚度, 使型腔不胀大或尽快在铸件表层形成硬壳, 使石墨膨胀能补偿铸铁收缩。此外, 球墨铸铁凝固时有较大内应力, 产生变形、裂纹的倾向大, 所以要注意消除内应力。由于铁水中 MgS 与型砂中水分作用, 生成 H_2S 气体, 易使铸件产生皮下气孔。所以应严格控制型砂中水分和铁水中硫的含量。球墨铸铁还易产生石墨飘浮及球化不良等缺陷, 所以必须严格控制碳、硅的质量分数和尽量缩短球化处理后铁水停留时间。一般不超过 15~20min。球化处理后常含有 MgO 、 MgS 等夹渣, 故应考虑排渣措施, 一般常采用封闭式浇注系统。

2. 蠕墨铸铁

蠕墨铸铁碳当量接近共晶点, 蠕化剂又使铁水得以净化, 因此具有良好的流动性。蠕墨铸铁的收缩与蠕化率有关, 蠕化率越低越接近球墨铸铁, 反之接近于灰铸铁。因而, 要获得无缩孔、缩松的致密铸件比球墨铸铁容易, 但比灰铸铁稍困难些。

3. 可锻铸铁

可锻铸铁主要用来制造一些形状复杂, 又受振动的薄壁小型铸件。近年来, 由于球墨铸铁的发展, 许多可锻铸铁铸件已被球墨铸铁所取代。但可锻铸铁生产历史悠久, 工艺成熟, 质量比较稳定, 对原材料要求不高, 退火时间正在缩短, 所以仍有不少工厂生产可锻铸铁。

2.6.2 铸钢件的生产

铸钢比铸铁强度高, 尤其是韧性好, 故适于制造承受重载荷及冲击载荷的重要零件, 如大型轧钢机立柱、火车挂钩及车轮等。但由于铸钢铸造性能差, 生产成本低, 其应用不如铸铁广泛。

铸钢按化学成分分为碳素铸钢和合金铸钢两大类。碳素铸钢占铸钢总产量的 80% 以上, 用于制造零件的铸钢主要是中碳钢。

铸钢的铸造性能和工艺特点如下:

铸钢的熔点高、流动性差、收缩率高, 而且在熔炼过程中氧化、吸气严重。容易产生浇不足、冷隔、缩孔、缩松、变形、裂纹、夹渣、粘砂和气孔等缺陷。因此其铸造性能差, 在铸造工艺上应采取相应措施, 如合理设计铸件的结构; 合理设计冒口、冷铁等, 以确保铸件质量。

铸钢的浇注温度高,为了防止变形、裂纹,所用的型(芯)砂的透气性、耐火性、强度和退让性都要好。为防止粘砂,铸型表面要涂以耐火度高的石英粉或铅砂粉涂料。为了减少气体的来源,提高合金的流动性和铸型强度,大件多用干型或快干型来铸造。

中小型铸钢件的浇注系统开设在分型面上或开设在铸件的上面(顶注),大型铸钢件开设在下面(底注)。为使金属液迅速充满铸型,减少流动阻力,其浇注系统的形状应简单,内浇道横截面面积应是灰铸铁的 1.5~2 倍,一般采用开放式。铸钢件大多需要设置一定数量的冒口,采用顺序凝固原则,以防缩孔、缩松等缺陷。冒口所耗钢水常占浇入金属重量的 25~50%。为控制凝固顺序,在热节处需设置冷铁。对少数壁厚均匀的薄件,因其产生缩孔的可能性小,可采用同时凝固原则,并常开设多道内浇道,以使钢水均匀、迅速地充满铸型。

2.6.3 有色合金铸件的生产

常用的铸造有色合金有铜合金、铝合金、镁合金及轴承合金。在机械制造中应用最多的是铸造铝合金和铸造铜合金。

1. 铸造铝合金

铸造铝合金按成份可分为铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金和铝锌合金等。其中铝硅合金具有良好的铸造性能,如流动性好、收缩率较小,不易产生裂纹、致密性好。应用较广,约占铸造铝合金总产量的 50%以上。含硅 10~13%的铝硅合金是最典型的铝硅合金,是共晶类型的合金。

铸造铝合金的熔点低,流动性好,对型砂耐火性要求不高,可用细砂造型,以减小铸件表面粗糙度值,还可浇注薄壁复杂铸件;为防止铝液在浇注过程中的氧化和吸气,通常采用开放式浇注系统,并多开内浇道,使铝液迅速而平稳地充满铸型,不产生飞溅,涡流和冲击;为去除铝液中的夹渣和氧化物,浇注系统的挡渣能力要强;另外,铸型应能造成合理的温度分布,使铸件进行顺序凝固,并在最后凝固部位设置冒口进行补缩,以利于消除缩孔和缩松等缺陷。

2. 铸造铜合金

铸造铜合金分为铸造黄铜和铸造青铜两大类。

铸造黄铜是铜锌合金,黄铜强度高,成本低,铸造性能好,产量大。黄铜的铸造性能和工艺特点是熔点低,结晶温度范围较窄,流动性好,对型砂耐火性要求不高,可用较细的型砂造型,以减小铸件表面粗糙度值,减少加工余量,并可浇注薄壁复杂铸件。但是铸造黄铜容易产生集中缩孔,铸造时应配置较大的冒口,进行充分补缩。

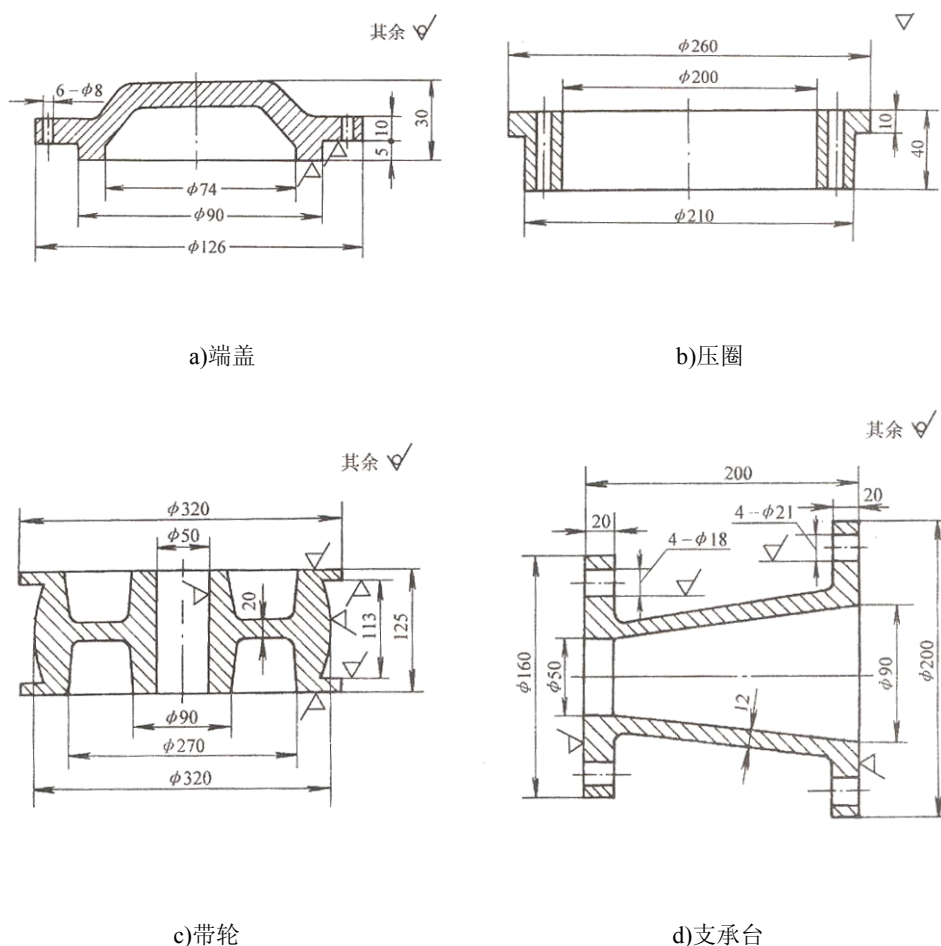
锡青铜合金的结晶温度范围较宽,流动性差,但凝固收缩及线收缩率均小,不易产生缩孔,却易产生枝晶偏析与缩松,降低了铸件致密度。然而这种缩松便于存储润滑油,故适于制造滑动轴承。壁厚不大的锡青铜铸件,常用同时凝固的方法。锡青铜宜采用金属型铸造,

因冷速大而易于补缩，使铸件结晶细密。锡青铜在液态下易氧化，在开设浇口时，应使金属金属液流动平稳，防止飞溅，故常用底注式浇注系统。锡青铜的耐磨性、耐蚀性优于黄铜，适于制造形状复杂，致密性要求不高的耐磨、耐蚀零件，如轴承、轴套水泵壳体等。

铝青铜的结晶温度范围窄，流动性好，易获得致密铸件。但其收缩大，易产生集中缩孔，需安置冒口、冷铁，使之顺序凝固。又因铝青铜易吸气和氧化，所以浇注系统宜采用底注式，并在浇注系统中安放过滤网以除去浮渣。

复习与思考题

- 2-1 试述铸造生产的特点，并举例说明其应用情况。
- 2-2 什么是合金的铸造性能？试比较铸铁和铸钢的铸造性能。
- 2-3 什么是合金的流动性？合金流动性对铸造生产有何影响？
- 2-4 铸件为什么会产生缩孔、缩松？如何防止或减少它们的危害？
- 2-5 什么是铸造应力？铸造应力对铸件质量有何影响？如何减小和防止这种应力？
- 2-6 熔模铸造、金属型铸造、压力铸造和离心铸造各有何特点？应用范围如何？
- 2-7 砂型铸造时铸型中为何要有分型面？举例说明选择分型面应遵循的原则。
- 2-8 典型浇注系统由哪几部分组成？各部分有何作用？
- 2-9 零件、铸件、模样之间有何联系？又有何差异？
- 2-10 试确定下图各灰铸铁零件的浇注位置和分型面，(批量生产、手工造型，浇、冒口设计略)。



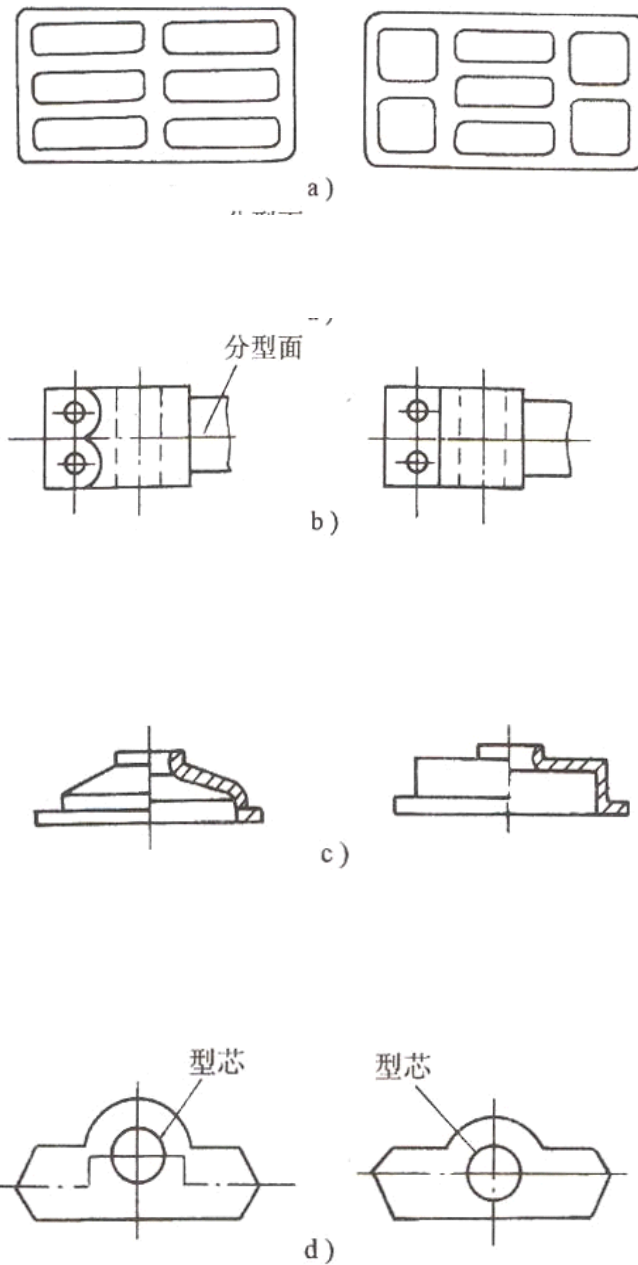
题 2-11 图

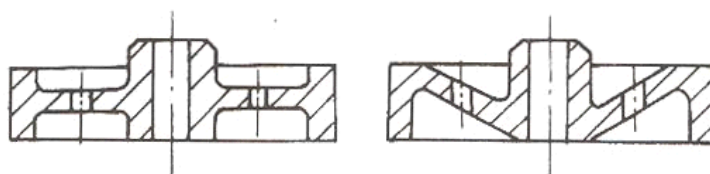
2-11 为什么要规定铸件的最壁厚?灰铸铁件的壁过薄或过厚会出现哪些问题?

2-12 为什么铸件壁的连接要采用圆角和逐步过渡的结构?

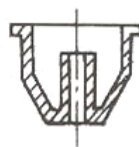
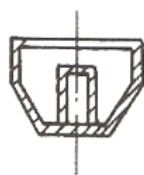
2-13 试述铸造工艺对铸件结构的要求。

2-14 下图所示铸件各有两种结构,哪一种比较合理?为什么?

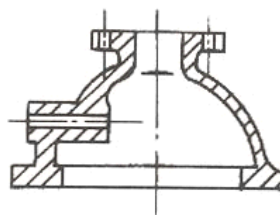
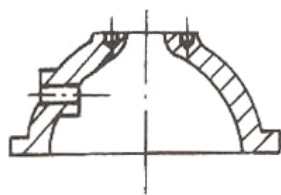




e)



f)



g)

题 2-14 图