

自编实验指导书（2019-2020-2 学期）

2017 级材料成型及控制工程专业

《实 验 指 导 书》

编写人：刘景景、武传宝、李宏、王振玲、张利民、周洪

（排名不分先后）

编 辑：杨 成

钒钛学院实验教学中心

2020 年 9 月

目录

1、TG-DSC 热分析	2
2、XRD 物相测定实验	7
3、分光光度计测定铁矿石中铁的含量	11
4、粉体的形貌观测与成分分析	14
5、激光粒度分析	17
6、金属热锻压后组织观察与性能测试	20
7、板材轧制及前滑值的测量	23
8、板带钢冷轧及质量控制	26
9、冲压模具拆装、间隙调整与试模	28
10、模具的测绘	30
11、注塑模具拆装与试模	32
12、模具线切割加工实验	34
13、试样制备及 SEM 形貌观测与能谱分析	35
14、原子吸收光谱测定污水中 Cu^{2+} 的含量	39
15、凝固过程物理模拟	43
16、型砂混制工艺及其强度透气性分析	47
17、压铸模设计	51
18、铸件缺陷的判别、分析与预防措施制定	58
19、铸件生产实验	60
20、《铸造数值模拟综合实践》指导书	65
21、单元 1 . 某铸件铸造工艺的设计及铸件和浇冒系统三维建模	66
22、单元 2 . 铸造工艺数值模拟	83
23、单元 3 . 铸造工艺数值模拟结果分析	96

TG-DSC 热分析

(4 学时)

预习要求：

1. 课前必须认真预习将要做的实验。
2. 预习内容：认真阅读实验指导教材，了解实验要点（包括实验目的、内容及原理、实验方法、使用仪器、实验步骤、注意事项等）；
3. 必须认真撰写预习报告，预习报告使用学校统一印制的预习报告纸，无预习报告不允许做实验；
4. 严禁抄袭报告，对抄袭报告的同学，除责成该同学写出深刻检查外，必须重新撰写报告。

一、实验目的

- (1) 了解综合热分析仪 (DSC/DTA-TG) 的组成及各部分的功能。要求学生认识综合热分析仪的各部件，掌握各部件的基本功能。
- (2) 了解 DSC/DTA-TG 基本原理，加深理解综合热分析仪的原理和应用。要求学生利用课堂所学的综合热分析仪的基本原理，结合实验仪器有更进一步的了解，并能够应用到实践中去。
- (3) 掌握利用综合热分析仪研究材料热稳定性的方法。掌握综合热分析仪测试材料的步骤以及方法，并能够对测得的曲线进行正确的分析。
- (4) 掌握 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 脱除结晶水温度的测定，并绘制相应曲线。

二、实验内容

使用 STA-449C 综合热分析仪检测 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的差热和热重曲线，观察样品三次脱除结晶水的过程。

三、实验原理

热分析是物理化学分析的基本分析的基本方法之一。综合热分析研究物质在加热过程中发生相变或其他物理化学变化时所伴随的能量、质量和体积等一系列的变化，可以确定其变化的实质。DSC 和 DTA 研究物质在加热过程中内部能量变化所引起的吸热或放热效应，TG 则是测定物质质量变化与温度的关系。

1. 差热分析 (DTA) 原理

(1) 差热分析 (Differential Thermal Analysis 简称 DTA) 是指在程序控制温度下，测量物质和参比物之间的温度差与温度 (或时间) 关系的一种技术。用数学式表达为

$$\Delta T = T_s - T_r (T \text{ 或 } t)$$

式中： T_s 、 T_r ——分别代表试样及参比物温度； T ——程序温度； t ——时间。试样和参比物的温度差主要取决于试样的温度变化。

DTA 仪由以下几部分组成：样品支持器；程序控温的炉子；记录器；检测差热电偶产生的热电势的检

测器和测量系统；气氛控制系统。

若将呈热稳定的已知物质（即参比物）和试样一起放入一个加热系统中，并以线性程序温度对它们加热。在试样没有发生吸热或放热变化，且与程序温度间不存在温度滞后时，试样和参比物的温度与线性程序温度是一致的。即 $T_s - T_r (\Delta T)$ 为零时，两温度线重合，在 ΔT 曲线上则为一条水平基线。若试样发生放热变化，由于热量不可能从试样瞬间导出，于是试样温度偏离线性升温线，且向高温方向移动。而参比物的温度始终与程序温度一致， $\Delta T > 0$ ，在 ΔT 曲线上是一个向上的放热峰。反之，在试样发生吸热变化时，由于试样不可能从环境瞬间吸收足够的热量，从而使试样温度低于程序温度。 $\Delta T < 0$ ，在 ΔT 曲线上是一个向下的吸热峰。只有经历一个传热过程，试样才能回复到与程序温度相同的温度，由于是线性升温，得到的 $\Delta T-t$ (或 T) 图。即是差热曲线或 DTA 曲线，表示试样和参比物之间的温度差随时间或温度变化的关系。DTA 原理如图 1 所示：

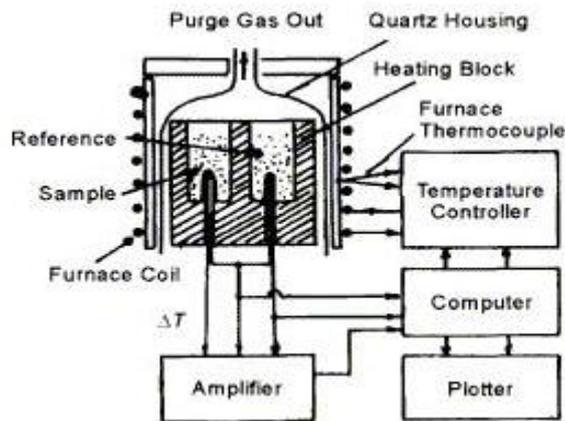


图 1 DTA 原理示意图

(2) 影响 DTA 测定的因素

DTA 曲线的峰形、峰位、峰面积等会受到试样质量、热传导率、比热容、粒度、填充程度，以及周围气氛和升温速率等因素的影响。因此，要获得良好的再现性结果，对上述各点必须十分注意。通常升温速率增大，峰值的温度向高温方向偏移；峰形变得尖锐，但峰的分辨率降低，两个相邻的峰会重叠在一起，从而影响曲线的分析。

(3) DTA 的应用

在热分析中，差热分析是使用最早，应用较广和研究较多的一种分析方法，其主要应用为：①研究结晶转变，二级转变；②追踪熔融，蒸发等相变过程；③用于分解、氧化还原、固相反应等研究。

2. 差示扫描量热分析 (DSC) 原理

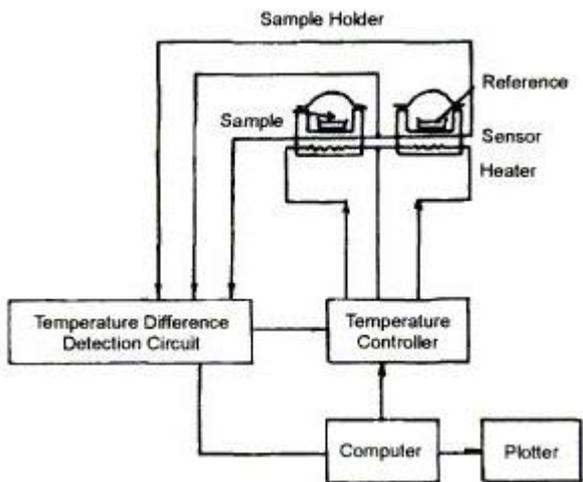
由于 DTA 测量的是样品和基准物的温度差，试样在转变时热传导的变化是未知的，温差与热量变化比例也是未知的，其热量变化的定量性能不好。在 DTA 基础上增加一个补偿加热器而成的另一种技术是差示扫描量热法，简称 DSC (Differential Scanning Calorimetry)。因此 DSC 直接反映试样在转变时的热量变化，便于定量测定。

示差扫描量热分析法 (DSC) 是在程序控制温度下, 测量输入到试样和参比物的功率差与温度之间关系的一种技术, 试样和参比物分别由单独控制的电热丝加热, 根据试样中的热效应, 可连续调节这些电热丝的功率, 用这种方法使试样和参比物处于相同的温度下, 达到这个条件所需的功率差作为纵坐标, 系统的温度参数作为横坐标, 一起由记录仪进行记录。

根据测量方法的不同, 又分为两种类型: 热流型 DSC 和功率补偿型 DSC。DSC 的主要特点是使用的温度范围比较宽, 分辨的能力高和灵敏度高。

(1) 热流型 DSC (heat-flux differential scanning calorimeter), 即一般所指的商业化定量 DTA。在给予样品和参比品相同的功率下, 测定样品和参比样品两端的温差 ΔT , 然后根据热流方程, 将 ΔT (温差) 换算成 ΔQ (热量差) 作为信号的输出。在定量 DTA 中, 在控温条件下, 试样和参比间的温差作为时间或温度的函数测定, 温差与热流 (试样端与热敏板之间) 呈比例关系; 样品支持器的构造有别于经典 DTA 设置, 热电偶位于试样和参比支持器底部, 另外有一套热电偶测量炉子和热敏板的温度。试样的相变引起吸热或放热, 改变流经热敏板的热流; 热流的差异导致热敏板和炉子之间的温差的增量; 热敏板的热容作为温度的函数在制造过程由绝热量热法测定, 藉此由温度增量的波动评价转变的焓变。定量 DTA 的路子设计通常较大, 一些设计操作温度范围常大于 1000K, 铂或氧化铝材料的样品支持器, 操作温度上限约至 1500K。

(2) 功率补偿型 DSC (Power Compensation Differential Scanning Calorimetry), 在样品和参比品始终保持相同温度的条件下, 测定为满足此条件样品和参比两端所需的能量差, 并直接作为信号 ΔQ (热量差) 输出。功率补偿性的构造原理有别于上述的 DTA, 基于动态零位原理——提供功率补偿, 保证 $\Delta T > 0$; 样品支持器组件在一冷媒腔体上面; 试样支持器和参比支持器各自独立配置一个热阻传感器 (resistance sensor) ——以测定支持器底部的温度, 一个加热电阻丝——当由于试样相变而引致试样和参比间的温差大于阈值 (典型为 0.01K), 进行热量补偿, 补偿的功率作为时间或温度的函数记录下来, 补偿功率与试样的热容呈比例关系; 基于样品支持器模型的选择, 功率补偿性操作温度范围为: 110-1000K; 一般性示意图如右。



3. 热重分析 (TG) 原理

热重法是对试样的质量随以恒定速度变化的温度或在等温条件下随时间变化而发生的改变量进行测量的一种动态技术, 在热分析技术中热重法使用最为广泛, 这种研究是在静止的或流动着的活性或惰性气体环境中进行的。

热重法通常有下列两种类型: 等温热重法——在恒温下测定物质质量变化与时间的关系; 非等温热重法——在程序升温下测定物质质量变化与温度的关系, 后一种方法应用较为广泛。

热重法所用仪器称为热重分析仪或热天平, 其基本构造是由精密天平和线性程序控温的加热炉所组成,

热天平是根据天平梁的倾斜与重量变化的关系进行测定的，通常测定重量变化的方法有变位法和零位法两种：

①变位法，主要利用质量变化与天平梁的倾斜成正比关系，当天平处于零位时位移检测器输出的电讯号为零，而当样品发生重量变化时，天平梁产生位移，此时检测器相应的输出电讯号，该讯号可通过放大后输入记录仪进行记录。

②零位法，由重量变化引起天平梁的倾斜，靠电磁作用力使天平梁恢复到原来的平衡位置，所施加的力与重量变化成正比。当样品质量发生变化时，天平梁产生倾斜，此时位移检测器所输出的讯号通过调节器向磁力补偿器中的线圈输入一个相应的电流，从而产生一个正比于质量变化的力，使天平梁复位到零。输入线圈的电流可转换成电压讯号输入记录仪进行记录。

四、实验材料/试样/装置

1、材料

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ （分析纯）、坩埚

2、实验设备及参数条件

(1) 德国耐弛 STA449C 综合热分析仪

①主要技术参数：

带电磁负荷补偿的微量天平，样品质量（含坩埚）5g，分辨率 $0.1\mu\text{g}$ 。

带铈加热器的高温管炉，温度范围：25~1650℃。

加热容量：2000w

温度控制器： $\pm 0.01\text{k}$

升温速率：0~50k/min

气流控制：2路吹扫，1路保护，带流量计，5~190ml/min

②主要功能及应用领域：

研究材料的 DSC、TG、熔融过程、结晶温度、结晶度、固化、相变与相变热、纯度、玻璃化温度、分解过程、氧化、还原过程等。

(2) 氮气，纯度 99.99%；

(3) 专用坩埚；

(4) SX-8-16 高温箱式电阻炉；额定温度 1600℃；

五、实验方法及步骤

1. 实验前准备

(1) 首先应检查仪器连接系统是否正常，样品支架上清洁无任何杂质；

(2) 开机顺序：电源开关——循环水单元——计算机——炉子大电源——仪器测量单元——控制器——实验用气体（如 N_2 ）调压阀——调节转子流量计流量；

(3) 让仪器预热约 30 分钟；

(4) 确定样品在高、低温下无强氧化性、还原性，（如：有单质砷 As，硫 S，硅 Si，碳 C 等挥发物的不

可放入), 选择适用的坩埚, 准备好测试样品 (约 10mg), 在天平上称重并记录下来, 将样品放入坩埚盘, 视测试样品情况, 必要时用坩埚盘盖盖上。

2. 实验开始

(1) 在电脑上打开对应的 STA449C 测量软件, 待自检通过后, 检查仪器设置, 确认支架类型, 坩埚的类型。打开炉盖, 观察支架应在炉体中央不会碰壁时, 将炉子升起, 放入空坩埚, 升降炉子, 观察与支架的相对位置有无异常。按照工艺要求, 新建一个基线文件 (此时不用称重) 编程运行。待程序正常结束、炉子冷却后, 打开炉子取出坩埚 (同样要注意支架的中心位置)。将样品平整放入后 (以不超过 1/3 容积约 10mg 为好) 称重, 然后打开基线文件, 选择基线加样品的测量模式, 编程运行。注意在温度段中仅能更改原程序的结束温度值, 即倒数第二步, 小于或等于原值。若原有的基线文件合用, 可直接将其打开, 选择样品加基线模式编程运行。

(2) 程序正常结束后会自动存储, 可打开分析软件包 (或在测试中运行实时分析) 对结果进行数据处理, 处理完后可保存为另一种类型的文件。

(3) 待样品温度降至 100°C 以下时打开炉盖, 拿出两个坩埚, 将炉子关闭。

3. 实验结束

(1) 不使用仪器时正常关机顺序依次为: 关闭软件、退出操作系统、关电脑主机、显示器、仪器控制器、测量单元;

(2) 关闭恒温水浴面板上的运行开关和上下两个电源开关; 关闭使用气瓶的高压总阀, 低压阀可不必关。

六、实验报告要求

1. 实验报告: 包括实验目的、内容、原理、步骤、实验结果及分析、思考题等。

2. 实验结果及分析: 要求打印出试验结果, 指出 TG、DTG 和 DSC 曲线, 并结合 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的失重过程说明各条曲线代表的意义, 反映了 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 发生了什么样的变化, 总结实验心得体会及收获。

七、实验注意事项及安全操作规程

1. 不能测试强氧化性或还原性材料;
2. 测试温度不能超过仪器规定范围;
3. 熟悉热分析仪的使用方法。

八、思考题

1. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 在加热过程中有哪些变化? 在热分析曲线上如何反映出来? 写出各级反应的方程式。
2. 试对实验中所观察到的异常现象及误差作出合理解释。
3. 简述 DSC、TG 的原理。
4. 同步热分析有何优势?

XRD 物相测定实验

(学时：4 学时)

本实验通过金属粉体、无机非金属粉体样品的 X 射线衍射仪 (XRD) 检测过程, 理解 X 射线衍射仪分析的基本工作原理、仪器组成结构和性能, 理解金属粉体、无机非金属粉体材料的 X 射线衍射定性分析基本原理, 掌握 X 射线衍射分析测定结果的基本解析 (定性分析) 方法。

用 X 射线衍射仪检测金属粉体、无机非金属粉体样品各 1 份, 确定样品的组织结构与成分, 并打印出样品成分表。

一、实验目的

- (1) 了解金属粉体、无机非金属粉体样品简单的制备方法。
- (2) 了解 X 射线衍射分析的基本工作原理、仪器组成结构和性能。
- (3) 理解金属粉体、无机非金属粉体材料的 X 射线衍射基本原理。
- (4) 掌握 X 射线衍射分析测定结果的基本解析 (定性分析) 方法。

二、实验原理

3.1 X 射线衍射仪的工作原理

X 射线是一种很短的电磁波, 具有反射、折射、干涉、衍射、偏振等特征, 属于横波, 波长范围约 0.01 ~ 10nm, 用于衍射分析的 X 射线波长约 0.5 ~ 2.5nm。物质结构中, 原子和分子的距离正好落在 x 射线的波长范围内, 所以物质 (特别是晶体) 对 X 射线的散射和衍射能够传递极为丰富的微观结构信息。

当一束单色 X 射线入射到晶体时, 由于晶体是由原子有规则排列的晶胞所组成, 而这些有规则排列的原子间距离与入射 X 射线波长具有相同数量级, 迫使原子中的电子和原子核成了新的发射源, 向各个方向散发 X 射线, 这是散射。不同原子散射的 X 射线相互干涉叠加, 可在某些特殊的方向上产生强的 X 射线, 衍射线在空间分布的方位和强度, 与晶体结构密切相关。这就是 X 射线衍射的基本原理。

3.2 原子在晶体中的周期性排列

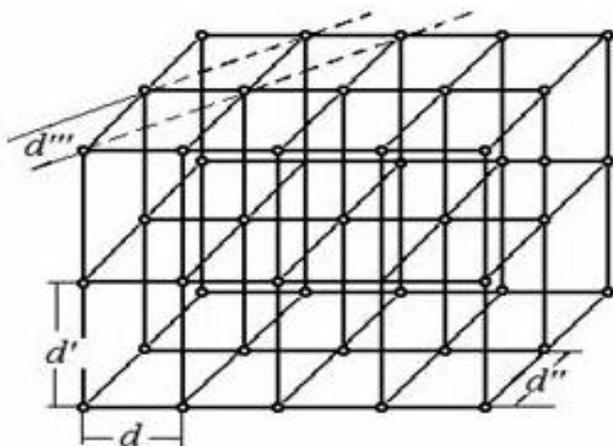


图 1 原子在晶体中的周期性排列

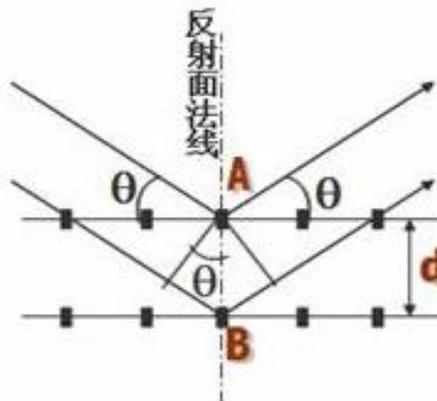


图 2 原子面网对 X 射线的衍射

每一种晶体都有自己特有的化学组成和晶体结构。晶体具有周期性结构，如图 1 所示。一个立体的晶体结构可以看成是一些完全相同的原子平面网按一定的距离 d 平行排列而成，也可看成是另一些原子平面按另一距离 d' 平行排列而成。故一个晶体必存在着一组特定的 d 值（如图 1 中的 d, d', d'', \dots ）。

结构不同的晶体其 d 值都不相同。因此，当 X 射线通过晶体时，每一种晶体都有自己特征的衍射花样，其特征可以用衍射面间距 d 和衍射光的相对强度来表示。面间距 d 与晶胞的大小、形状有关，相对强度则与晶胞中所含原子的种类、数目及其在晶胞中的位置有关。可以用它进行相分析，测定结晶度、结晶取向、结晶粒度、晶胞参数等。

3.3 布拉格方程

假定晶体中某一方向上的原子面网之间的距离为 d ，波长为 λ 的 X 射线以夹角 θ 射入晶体（如图 2 所示）。在同一原子面网上，入射线与散射线所经过的光程相等；在相邻的两个原子面网上散射出来的 X 射线有光程差，只有当光程差等于入射波长的整数倍时，才能产生被加强了衍射线，即：

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

这就是布拉格（Bragg）公式，式中 d 为晶面距离， n 是整数（或称反射级数）， θ 为入射角， λ 为 X 射线的波长，布拉格方程是 X 射线衍射分析的根本依据。此方程不仅能测单晶体，而且也能测多晶体。由于样品采用晶体粉末，所以样品中包含着数目极多的细小单品，由于晶体无规则，存在各种可能的取向，相当于一个晶体在原点保持不动情况下绕各种可能的方位转动，从而形成无数个倒格子点阵。当入射的 X 射线与样品相遇时，对于每一组晶面族，总有许多小晶粒处在适合的反射位置上，从而形成衍射。

X 射线衍射仪的成像原理与聚焦法相同，但记录方式及相应获得的衍射花样不同。衍射仪采用具有一定发射度的入射线，也用“同一圆周上的同弧圆周角相等”的原理聚焦，不同的是其聚焦圆半径随 2θ 的变化而变化。

三、实验仪器设备及材料

(1) 实验材料（试样）：金属粉体和无机非金属粉体材料试样各一份。其中，金属粉体包括 Cu 粉、Zn 粉、Fe 粉、Ti 粉等；无机非金属粉体包括超市购买的食盐（药品 NaCl 也可）、钛白粉（金红石和锐钛矿）、亚硝酸钠、粉笔、石墨、Si 粉等。学生也可自带试样，试样需为无机晶体材料。

(2) 实验仪器：德国 Bruker 公司生产的 X 射线衍射仪（X 光管室、实验区、计算机及其软件系统）、晶体结构模型、研钵、超声波清洗器。

四、实验步骤及方法

(1) 了解仪器基本组成、结构、性能及其主要指标。

(2) 利用晶格结构模型了解晶体结构及衍射原理。

(3) 了解测试分析基本过程，包括一般样品制备过程、参数设定、扫描、结果表示形式、解析、测试分析注意事项等相关内容。

(4) 指导教师演示一个单相未知粉末样品的衍射谱测试全过程，并给出该未知样品的衍射谱图及相关

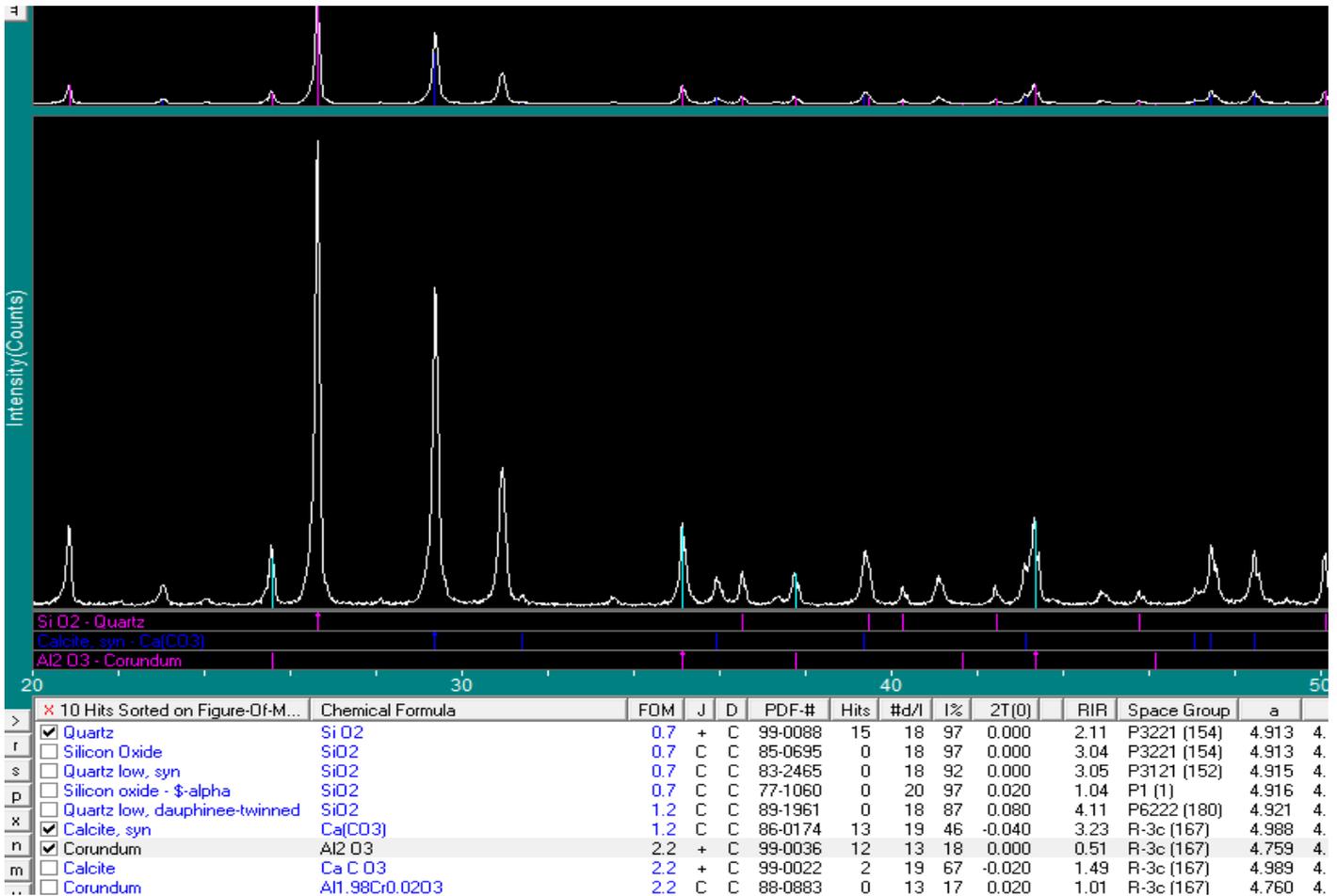
数据 (2θ、d-I 值等)，然后由学生自己进行实验分析。

(5) 利用所学知识，通过 PDF 卡片、衍射谱图及数据相关手册或谱库自行查询鉴定该未知物相，并写出其相关物理化学数据。

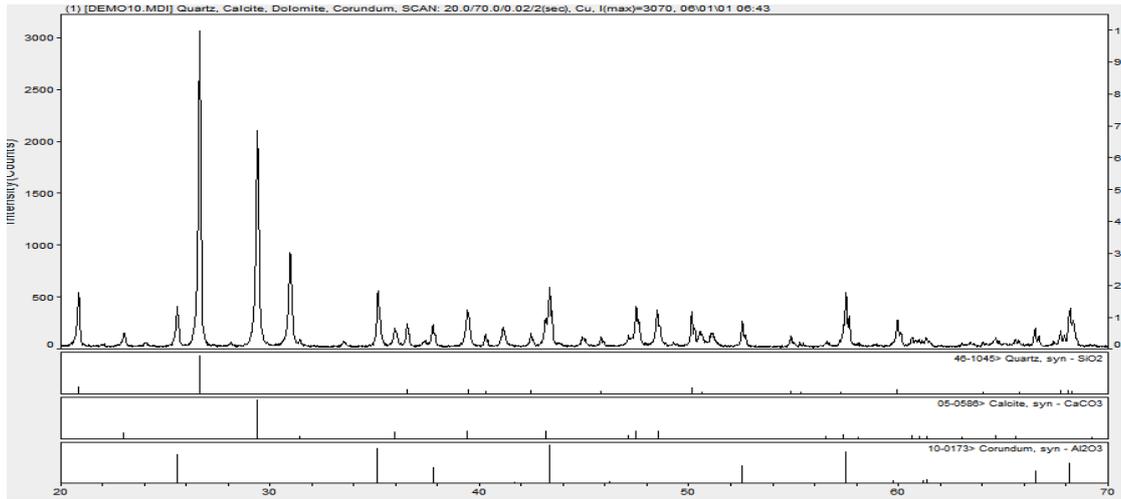
五、实验报告

- (1) 实验名称、学生姓名、班号和实验日期。
- (2) 实验目的和要求。
- (3) 实验仪器、设备与材料。
- (4) 实验原理。
- (5) 实验步骤。
- (6) X 射线衍射仪 (XRD) 对样品的检测图谱。
- (7) 实验结果描述、分析并得出实验结论。
- (8) 完成第六部分思考题并写出本实验课的心得体会与收获。

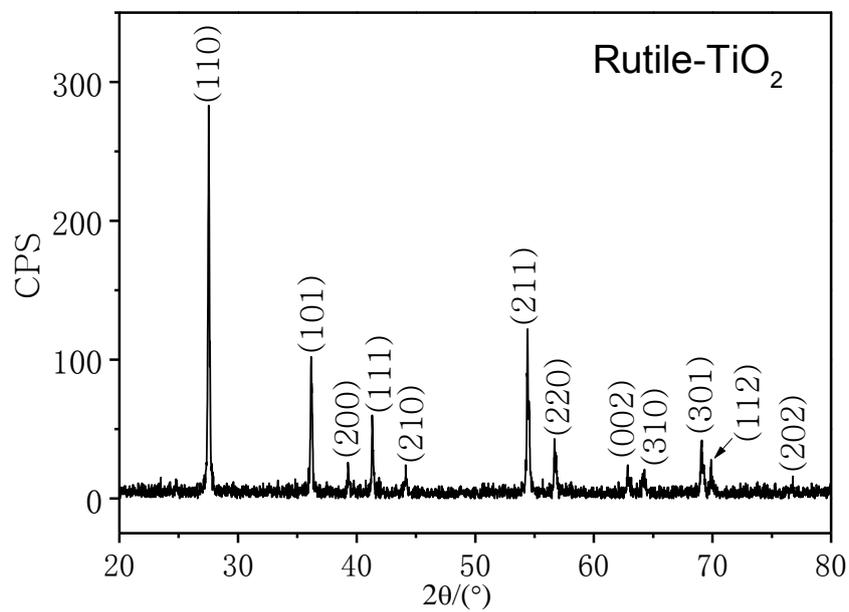
a. 实验原始数据采用打印形式 (电子档也按组的形式发指导老师存档)。每组的数据可以选择成一样 (鼓励采用其他组自己感兴趣的数据——所有测试数据必须标明其物质和测试人员，便于相互讨论学习)，但是结果和结果讨论不能相互抄袭。每组的数据至少应该包含 2 个定性分析黑图 (反映出你选择的依据)、白图 (jade 导出矢量图) 和 origin 矢量图 (常常用于科研论文中)。



黑图需显示物相分析的 FOM 值 (要求 PDF 库必须完整)



以上为 jade 导出的白图



以上为 origin 绘图-已标记衍射指数

b. 实验结果讨论必须清晰阐述结果以及结果的评论，也可以提出适当的建议和部分思考。

六、 思考题

- (1) 说明布拉格方程中各个符号的物理意义。
- (2) X 射线衍射定性物相分析的基本原理。
- (3) X 射线衍射分析的主要应用有哪些？

分光光度计测定铁矿石中铁的含量

(4 学时)

预习要求：

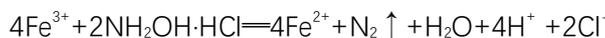
1. 课前必须认真预习将要做的实验。
2. 预习内容：认真阅读实验指导教材，了解实验要点（包括实验目的、内容及原理、实验方法、使用仪器、实验步骤、注意事项等）；
3. 必须认真撰写预习报告，预习报告使用学校统一印制的预习报告纸，无预习报告不允许做实验；
4. 严禁抄袭报告，对抄袭报告的同学，除责成该同学写出深刻检查外，必须重新撰写报告。

一、实验目的

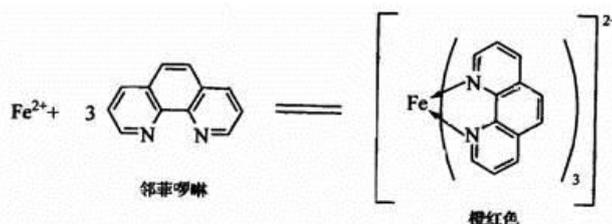
- 1、掌握邻二氮菲分光光度法测定微量铁的原理和方法。
- 3、了解分光光度计的构造及使用。
- 2、学会通过直接比较法测定产品中的微量铁含量。

二、实验原理

在酸性溶液中，用盐酸羟胺将三价铁还原为二价铁：

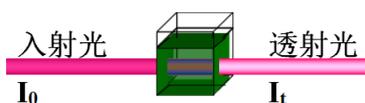


在 pH=2~9 的条件下， Fe^{2+} 与邻菲罗啉生成很稳定的橙红色的络合物，反应式如下：



然后在波长 510nm 处测吸光度。

铁含量在 0.1 ~ 6 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内遵守朗伯 - 比尔定律：Lambert-Beer 定律是说明物质对单色光的吸光度 (A) 与吸光物质的浓度 (c) 和液层厚度 (b) 间的关系的定律，是光吸收的基本定律，是紫外-可见光度法定量的基础。朗伯 - 比尔定律的物理意义：当一束平行单色光垂直照射到均匀、非散射的吸光物质的溶液时，溶液的吸光度与吸光物质的浓度及液层厚度成正比。



$$A = \lg \frac{I_0}{I_t} = Kbc \quad T = \frac{I_t}{I_0} \quad A = \lg \frac{1}{T}$$

三、实验仪器与材料

1、实验仪器

名称	数量	名称	数量
500 mL 烧杯	2 个	电子天平	1 台
可见分光光度计	2 台	1 cm 比色皿	2 对
10 mL 移液管	1 支	100 mL 容量瓶	3 个
擦镜纸	5 本	250 mL 容量瓶	1 个
洗耳球	3 个	电炉	2 台
20 mL 量筒	3 个	1L 空试剂瓶	4 个

2、实验药品

名称	数量	名称	数量
盐酸羟胺	300g	无水乙醇	1000 mL
盐酸	2000 mL	邻菲罗啉	25g
冰乙酸	1000 mL	乙酸钠	1000g
硫酸铁(III)铵	500g		

(1) 盐酸羟胺溶液 (5%) : 50 g 试剂溶于水中并稀释到 1 升 ;

(2) 邻菲罗啉溶液 (0.25%) : 称 2.5g 试剂溶于 300 mL 无水乙醇中, 加 700 mL 水, 混匀 ;

(3) 乙酸-乙酸钠缓冲溶液 (pH5) : 称取三水乙酸钠 50g 溶于水中, 加 6mol/L 冰乙酸 34 mL, 水稀至 500 毫升 ;

(4) 铁标准贮备溶液 : 0.100g/L 铁(硫酸铁铵 $[\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$) ;

(5) 铁标准使用溶液 : 0.010mg/ mL 铁 ;

四、实验方法及步骤

1、测量波长的选择。用移液管吸取铁标准贮备溶液 (0.100g/L 铁) 10.00 mL 于 100 mL 容量瓶中, 加入 10 mL 盐酸羟胺, 摇匀后放置 2 min, 依次加入 20.0 mL HAc~NaAc 缓冲液、5.0 mL 邻菲罗啉溶液, 用蒸馏水稀释至刻度, 摇匀, 静置 8 分钟。用 1cm 比色皿以试剂空白为参比, 在 450~550nm 范围内, 每隔 10nm 测量 1 次吸光值。在峰值附近每间隔 5nm 测量 1 次。以波长为横坐标、吸光度为纵坐标绘制吸收曲线, 确定最大吸收波长。上述溶液即铁标准使用溶液。

2、铁标准溶液的配制及吸光度测定。分别吸取铁标准使用溶液 (0.010mg/ mL 铁) 0.0 μg 、20.0 μg 于 100 mL 容量瓶中, 加入 10 mL 盐酸羟胺溶液, 摇匀后放置 2 min, 加入 20 mL 乙酸-乙酸钠缓冲溶液, 5 mL 邻菲罗啉溶液。用蒸馏水稀释至刻度, 摇匀。放置 8 分钟后, 以试剂空白 (0.0 μg) 为参比, 用 1cm 比色皿于最大吸收波长处测定吸光度。

3、试样处理。称取 2.0000g 试样放置于 250 mL 烧杯中, 加入 (1+1) 的盐酸 20 mL, 低温加热溶解试样, 加水 30 mL, 冷却, 定容 100 mL 容量瓶中, 过滤。

4、试样测定。分取 10.0 mL 滤液于 100 mL 容量瓶中, 放入 10 mL 盐酸羟胺溶液, 摇匀后放置 2 min, 加入 20 mL 乙酸-乙酸钠缓冲溶液, 5 mL 邻菲罗啉溶液。用蒸馏水稀释至刻度, 摇匀。放置 10 分钟后, 以试剂空白为参比, 用 1cm 比色皿于最大吸收波长处测定吸光度。

五、实验注意事项

(1) 试剂的加入必须按顺序进行，定容后必须充分摇匀后进行测量。

(2) 比色皿必须配套，装上待测液后透光面必须擦拭干净，切勿用手接触透光面，每改变一次试液，比色皿都要洗干净方可使用。

(3) 分光光度计必须严格按操作步骤进行，使用前应预热 30 分钟左右。

(4) 实验完成后，应所有器皿（容量瓶、比色池）洗干净，整理实验工作台，打扫好实验室卫生，经老师同意后方可离开。

六、实验数据及处理

1、原始记录

分光光度计型号 _____ 波长 _____ 比色皿厚度 _____

确定 吸收 波长	波长/nm	450	460	470	480	490	495	500	505
	吸光度								
	波长/nm	510	515	520	525	530	540	550	560
	吸光度								

标准溶液铁含量/ ($\mu\text{g/mL}$)	标准溶液 吸光度/A	待测试样 吸光度/A	待测试样铁含量/ ($\mu\text{g/mL}$)

2、数据处理

(1) 绘制吸收曲线，确定最大吸收波长。（图表可打印出来附报告后）

(2) 确定样品试液中铁含量

根据朗伯比尔定律

$$A_{\text{标}} = \epsilon bc_{\text{标}}, \quad A_{\text{样}} = \epsilon bc_{\text{样}},$$

两式的 ϵ 和 b 值相同，得

$$c_{\text{样}} = \frac{A_{\text{样}}}{A_{\text{标}}} c_{\text{标}}$$

(3) 计算试样中铁的含量。

$$\text{Fe}\% = \frac{m_1}{m} \times 100\%$$

式中： m_1 ——直接比较法计算出的铁量（g）

m ——分取的试样量（g）

七、实验报告要求

1. 实验报告包括实验目的、内容、原理、步骤、实验结果及分析、思考题等。

2. 实验结果分析：计算铁的含量，要求根据原始记录数据列出详细的计算过程，总结本次实验的收获及心得体会。

八、思考题 1. 测定时为什么控制溶液酸度在 $\text{pH}=2 \sim 9$ ？2. 比色皿的厚度对吸光度有什么影响？3. 加入盐酸羟胺、乙酸-乙酸钠的作用是什么？

粉体的形貌观测与成分分析

(学时：4 学时)

本实验介绍了利用扫描电镜观察粉体形貌以及对粉体成分分析的全过程，同时介绍了扫描电镜 (SEM) 及能谱仪 (EDS) 的构造、工作原理及操作过程，要求学生能够了解扫描电镜及能谱仪的操作全过程，同时认识它们在材料科学研究上的作用和意义。

一、实验目的

- (1) 了解扫描电镜的基本结构、原理和操作方法。
- (2) 掌握扫描电镜对粉体形貌的观察过程。
- (3) 掌握利用扫描电镜附件能谱仪进行成分分析过程。

二、实验原理

扫描电镜主要用于对材料的表面组成、断面、细微结构、晶体结构以及缺陷的观测，而能谱仪主要用于材料的进行点、线、面的成分分析。

2.1 扫描电镜 (SEM) 的构造及其工作原理

扫描电镜由电子光学系统、扫描系统、信号收集处理显示系统、真空系统、供电控制系统合冷却系统等六部分组成。图 1 为其结构原理示意图。

电子光学系统包括电子枪、三级聚光镜 (末级聚光镜也称物镜) 和样品室等部件。其作用是将来自电子枪的电子束聚焦成亮度高、直径细小入射束照射样品，产生各种物理信号，入射电子束不起成像作用。样品室可以放置不同用途的样品台，如拉伸台、加热台和冷却台等。试样放在样品台上，操作时通过样品移动机构可以使试样沿 x 、 y 、 z 轴三个方向移动，同时还可以使试样绕轴倾斜及旋转。

扫描系统包括扫描发生器、扫描线圈和放大倍率选择器等部件，其作用是将开关电路对积分电容反复充电放电产生的锯齿波同步地送入镜筒中的扫描线圈和显像管的扫描线圈，使二者的电子束作同步扫描，通过改变电子束偏转角度来调节放大倍率。扫描电镜的放大倍数等于显示屏的宽度与电子束在试样上扫描的宽度之比。入射电子束束斑直径是扫描电镜分辨本领的极限。

信号收集处理显示系统包括探测器、放大器和显像管等部件，其作用是检测试样在入射电子束作用下产生的物理信号，调制显像管亮度，显示出反映试样表面特征的电子图像。不同的物理信号要使用不同的探测器。通常用电子探测器 (闪烁计数器) 来探测二次电子，背散射电子和透射电子，此外，还有 X 射线探测器和阴极荧光探测器。显示单元装有两个显像管，一个是长余辉显像管，作观察图像用，另一个是短余辉显像管，作拍摄图像用，可以获得高分辨率照片。显示系统还装有字符显示附件，将自动记录底片编号，加速电压，放大倍率及其标尺。

扫描电镜的成像原理不同于光学显微镜和透射电镜，它无成像透镜，是以类似于电视摄像显像的方式，用细聚焦的电子束在样品表面扫描，激发产生的某些物理信号调制成像。在扫描电镜中，从电子枪射出的电子束经三级聚光镜聚焦，在扫描线圈的作用下，在试样表面作行帧扫描，激发产生各种物理信号，其强度取

决于试样表面的形貌和成分特征。探测器接收这些物理信号，经放大器放大，送至显像管栅极，调制其亮度，显示出由暗亮差别所反映的试样表面特征的扫描电子图像。由于显像管和镜筒中的电子束在同一个扫描线圈作用下作同步扫描，显像管的亮度是由试样激发出的电子信号强度来调制的，因此来自试样表面某一点

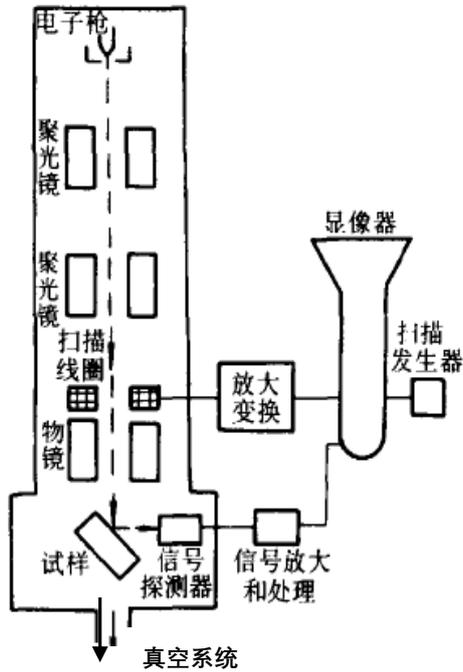


图 1 扫描电镜结构原理示意图

的信号强度与显示屏上相应点的亮度是一一对应的，试样表面状态不同则图像上相应点的亮度也必然不同。

扫描电镜的工作原理是利用聚焦得非常细的高能电子束在试样上扫描时，激发的各种物理信息(如二次电子、背反射电子、X射线等)，通过对这些信息的接受、放大和显示成像，以便对试样表面进行分析。进行表面形貌观察主要是二次电子和背反射电子。

2.1.1 二次电子

二次电子是指入射电子轰击出来的核外电子。由于原子核和外层价电子间的结合能很小，当原子的核外电子从入射电子获得了大于相应的结合能的能量后，可脱离原子成为自由电子。如果这种散射过程发生在比较接近样品的表层,那些

能量大于材料逸出功的自由电子可能从样品表面逸出,变成真空中的自由电子，即二次电子。

二次电子来自表面 5~10nm 的区域，能量小于 50eV 的电子。它对样品表面状态非常敏感，能有效地显示样品表面的微观形貌。由于它发自样品表层，入射电子还没有被多次反射，因此产生二次电子的面积与入射电子的照射面积没有多大区别，所以二次电子的分辨率较高，一般可达到 3~10nm。扫描电镜的分辨率一般就是二次电子分辨率。二次电子产额随原子序数的变化不大，它主要取决于表面形貌。

2.2.2 背反射电子

背反射电子是指被固体样品原子反射回来的一部分入射电子，其中包括弹性背反射电子和非弹性背反射电子。

弹性背反射电子是指被样品中原子和反弹回来的，散射角大于 90°的那些入射电子，其能量基本上没有变化（能量为数千到数万电子伏）。非弹性背反射电子是入射电子和核外电子撞击后产生非弹性散射，不仅能量变化，而且方向也发生变化。非弹性背反射电子的能量范围很宽，从数十电子伏到数千电子伏。

从数量上看，弹性背反射电子远比非弹性背反射电子所占的份额多。背反射电子的产生范围在 100nm~1mm 深度。

背反射电子产额和二次电子产额与原子序数的关系背反射电子束成像分辨率一般为 50~200nm（与电子束斑直径相当）。背反射电子的产额随原子序数的增加而增加，所以，利用背反射电子作为成像信号不仅能分析新貌特征，也可以用来显示原子序数衬度，定性进行成分分析。

2.2 能谱仪(EDS)工作原理

能谱仪的工作原理就是 X 射线的产生过程。X 射线的产生是由于入射电子于样品发生非弹性碰撞的结果。两个主要的过程:特征 X 射线和连续 X 射线或叫韧致辐射。当高能电子与原子作用时,它可能使原子内层电子被激发,原子处于激发状态,内层出现空位。此时,可能有外层电子向内层跃迁,外层和内层电子的能量差就以光子的形式释放出来,它就是元素的特征 X 射线。来自原子特征能量释放有两种形式,一种是特征 X 射线光子的释放——跃迁,另一种释放叫俄歇电子。能谱仪接受的是来自特征 X 射线的光子。X 射线一般在试样的 500nm ~ 5mm 深处发出。

三、实验仪器设备及材料

(1) 实验材料:金属粉体试样,如 Fe 粉、Zn 粉、Cu 粉、Ti 粉、钛白粉(包括金红石和锐钛矿)等,也可为自制无机粉体材料;导电胶;载玻片。

(2) 实验仪器:扫描电子显微镜(含能谱仪)一台。

四、实验步骤及方法

4.1 SEM 观测用粉体样品准备

(1) 裁取 10mm×10mm 导电胶,

(2) 取适量金属粉体样品置于导电胶上,用载玻片将其铺展均匀,待送入扫描电镜内观察。

4.2 扫描电镜及能谱仪操作

(1) 往扫描电镜真空室充入高纯氮气,打开样品室门,安装固定试样,然后抽真空至 $<9.0 \times 10^{-3}$ Pa。

(2) 接通高压至所选择值(0~30kV),让灯丝束流达到所需值。

(3) 放大不同倍数对金属块体试样进行形貌观察。

(4) 将试样放大到某一放大倍数进行能谱成分分析。

(5) 关掉高压,重新充入高纯氮气,取出试样。

(6) 继续抽真空,关闭操作系统。

五、实验报告

实验原始数据记录须经实验指导老师签字认可后在小组各成员间共享,每一位参加实验的学生独立完成一份实验报告并按时交指导老师处。实验报告按学校统一的实验报告格式纸填写,要求写清实验名称、实验目的、实验原理简介,对实验记录内容整理后写入报告,进行实验结果分析(如粉末是否团聚,晶粒尺寸大小;对能谱分析的结果进行判定,并指出产生偏差的可能原因),得出实验结论;完成指导书中的思考题。

思考题

- 1 扫描电子显微镜用于形貌观察时有几种成像方式,所呈现的图形有何不同?
- 2 金属粉末观察试样的一般要求是什么?
- 3 扫描电子显微镜配备的能谱仪进行成分分析的原理是什么?

激光粒度分析

(4 学时)

预习要求：

1. 课前必须认真预习将要做的实验。
2. 预习内容：认真阅读实验指导教材，了解实验要点（包括实验目的、内容及原理、实验方法、使用仪器、实验步骤、注意事项等）；
3. 必须认真撰写预习报告，预习报告使用学校统一印制的预习报告纸，无预习报告不允许做实验；
4. 严禁抄袭报告，对抄袭报告的同学，除责成该同学写出深刻检查外，必须重新撰写报告。

一、实验目的

1. 通过本实验让学生理解粉体粒度的基本概念。
2. 掌握用激光衍射法测量粉体颗粒粒度及粒度分布的基本技能。
3. 了解粒度分布等测量值的物理意义，了解激光粒度分析仪的测量原理。

二、实验内容简述

本实验利用激光粒度分析仪对 20 纳米至 2000 微米的粉体进行检测，利用光散射/衍射原理进行粒度分析，是先进的激光技术和计算机技术有机结合的高新技术结晶。它具有（测试）速度快、精度高、重复性好和操作简单等突出优点。

三、实验原理

根据光学原理可知，在真空或均匀介质中光是沿直线传播的，不会偏离传播方向。但是当介质中参入微小颗粒时，便破坏了介质的均匀性，于是便会产生光散射现象。所谓光散射，就是光线通过介质时，射线偏离或改变原传播方向的现象，它包括光的衍射（光线绕过粒子）、折射和反射等光学现象。散射可以看成是微粒对于入射光的（重复）反射、折射和衍射等综合效应的结果。

当一束可见光照射在混入细小颗粒的均匀介质时，一部分光线可自由通过分散体（透射），一部分光线被吸收（光衰减），另一部分光线则被散射。当颗粒在介质中悬浮分散，即颗粒在介质中呈单颗粒状态时，光线与颗粒的作用以散射为主。散射的类型、程度（光能分布）和介质中的颗粒大小存在着——对应的关系，即颗粒大小一定时，其散射光的空间（光能）分布（规律）也就确定了。这就是激光散射/衍射技术的光学基本原理。

众所周知激光散射/衍射技术的理论基础是夫琅和费衍射理论和米氏（Mie）散射理论，其前提都是以介质中的颗粒为球形这一假设条件为出发点的。因此，对于球形颗粒的测量，激光粒度仪可直接得出体积平均径和体积分布；对于（非球形）颗粒的测量，可得出当量体积分布和当量平均粒径；而对于严重偏离球形的片状（铝膏、铝粉）颗粒，激光粒度仪给出的是（等效）面积分布和投影面积当量径。

理论分析和计算表明，片状（铝粉）颗粒的衍射与颗粒方位有关：当颗粒法向与光轴平行时颗粒衍射等

同于圆孔衍射；当颗粒法向与光轴成某一角度时，颗粒衍射等同于椭圆孔径的衍射，角度越大，椭圆的短轴越小。当细小的片状（铝粉）颗粒在液（流）体中运动，由于其速度很小可以看作在层流区，颗粒的方位是各向同性的。因此一个片状（铝粉）颗粒的衍射光能分布，即不等效于等体积球形颗粒的衍射光能分布，也不等效于其它任一个单一球体的衍射光能分布，而是等效于（一系列）不同大小的椭圆的衍射（光能分布）能谱的集合。因此，用激光粒度仪测得的片状颗粒的粒度分布比其当量球形颗粒的分布要展宽。

四、实验材料/试样

1. 试样：20 纳米至 2000 微米的粉体（TiO₂粉体），分散介质为水或者无水乙醇、丙酮。2. 耗材：擦镜纸，1000mL 烧杯 5 个

五、实验设备/仪器/装置

激光衍射计（英国马尔文公司）。

激光衍射测定粉体粒度分布的装置主要包含以下两个部分：

激光粒度分析仪(主机)：包括光学系统、样品分析系统、信号采集系统。

计算机：完成数据处理并显示打印测试结果。

六、实验方法及步骤

1. 接通仪器电源，预热 10—15min。

2. 在样品池中注入蒸馏水，同时故开排水管以便排出管内气泡，后用卡子卡住排水管，使样品窗中充满蒸馏水，随时注意保持样品池中水位不低于 1 / 3。

3. 打开电脑主机上的 mastersizer 程序，设置好各种参数后，点击加样品按钮。

4. 加入适量被测样品于样品池中，启动搅拌器与超声器，使样品在分散液中充分分散。

5. 超声一段时间后，打开抽水泵机使样品悬浮液进入样品窗。

6. 按下开始检测按钮，机器开始检测。液晶屏显示“稍候……”，随即显示测试结数据表，显示颗粒群的粒度分布图。

7. 样品池的清洗

①样品测试前后必须清洗样品池与样品窗及全部制样系统。

②清洗采用蒸馏水，自样品池注入，至排水管放出，反复多次。

③清洗时，观察能谱高度，能谱降至 0 位，认为清洗完毕。

七、实验注意事项及安全操作规程

1. 常用的液体分散剂有六聚偏磷酸钠、聚磷酸钠、草酸钠、水玻璃或一些非极性的表面活性剂。一些非离子型、尤其是聚醚类表面活性剂，通常大多具有起泡性能，不宜使用。否则会导致测试结果失真。

2. 添加分散剂的目的是提高颗粒的表面的亲水性，稳定颗粒在介质中的悬浮。通常其添加量应占试样的 0.005 ~ 0.05%，介质的pH值应控制在7 ~ 8范围内。

3. 有下列情况之一者应进行仪器校准。

——首次使用前；

——仪器维修后；

——测试 300 个样品后。

八、实验报告要求

1. 实验报告包括实验目的、内容、原理、步骤、实验结果及分析、思考题等。

2. 实验结果分析：打印数据及图表，根据实验所得到的数据及图表分析粒度的分布以及各个参数的含义，总结本次实验的收获及心得体会。

九、思考题

1. 激光粒度仪的基本原理是什么？

2. 什么是等效粒径？

3. D50、D10、D90 的含义分别是什么？

金属热锻压后组织观察与性能测试

计划学时：8 学时

【实验目的】

掌握碳钢的热锻压原理及工艺；了解热锻压设备结构并能正确使用，正确设计和制定碳钢的热锻压工艺；了解热锻压在生产实践中的应用状况；分析热锻压对碳钢的组织 and 力学性能的影响。

通过实验，训练学生在热锻压工艺、金相试样制备，微观组织分析、力学性能测试等方面的基本方法和技能。并通过训练提高学生将理论和实践相结合的能力；培养和提高学生的综合应用及分析问题和解决实际工程问题的能力。

【实验原理】

(1) 碳钢热锻压原理

锻造工艺(Forging Process)是一种利用锻压机械对金属坯料施加压力，使其产生塑性变形以获得具有一定机械性能、一定形状和尺寸锻件的加工方法，是锻压（锻造与冲压）的两大组成部分之一。锻造生产是机械制造业中提供机械零件毛坯的主要加工方法之一。通过锻造，不仅可以得到机械零件的形状，而且能改善金属内部组织，提高金属的机械性能和物理性能。一般对受力大、要求高的重要机械零件，大多采用锻造生产方法制造。如汽轮发电机轴、转子、叶轮、叶片、护环、大型水压机立柱、高压缸、轧钢机轧辊、内燃机曲轴、连杆、齿轮、轴承、以及国防工业方面的火炮等重要零件，均采用锻造生产。

根据坯料的移动方式，锻造可分为自由锻、镦粗、挤压、模锻、闭式模锻、闭式镦锻。钢的开始再结晶温度约为 727°C ，但普遍采用 800°C 作为划分线，高于 800°C 的是热锻压；在 $300 \sim 800^{\circ}\text{C}$ 之间称为温锻或半热锻。

铸造组织经过热锻压后由于金属的变形和再结晶，使原来的粗大枝晶和柱状晶粒变为晶粒较细、大小均匀的等轴再结晶组织，使钢锭内原有的偏析、疏松、气孔、夹渣等压实和焊合，其组织变得更加紧密，提高了金属的塑性和力学性能。

(2) 碳钢热锻工艺制定

① 钢热锻压的加热规范：

碳钢、低合金钢			
材料牌号	10~45#, 15Mn~30Mn,15Cr~30Cr,Y12~Y35		
	Q195~Q460(A、B、C、D),16MnHD,15CrMn		
截面尺寸	最高允许装炉温度	始锻温度	
		保温	随炉升温
150*150	1100		1
200*200	1100		1.5
10~12	1000	2	2
14~16	1000	2	2.5
18~21	1000	2.5	3
22~24	950	2.5	3.5

② 常用碳钢的始、终锻加热温度范围：

组别	钢号	始锻温度(C°)		终锻温度(C°)	
		钢锭	钢坯	终锻	精整
I	Q195~Q255,10-30	1250	1220	750	700
II	35-45,15Mn~35Mn,15Cr-35Cr	1220	1200	750	700

【实验材料/试样】

金相试样 15 个，试样的材料、状态以及制样时用的浸蚀剂列于表 1。

表 1 试样的材料、状态以及制样时用的浸蚀剂

编号	材料	状态	浸蚀剂
1	235 钢	热锻压前后	4%硝酸酒精

【实验设备/仪器/装置】

空气锤设备一台，光学金相显微镜 10 台，洛氏硬度计 2 台。

【实验方法及步骤】

1. 热锻压

将 $\Phi 15 \times 100$ mm 的 Q235 钢棒在热处理炉中加热到 1200C°，保温 2.5h 后，从炉中取出热锻压，锻造比取 3，热锻压结束后空冷到室温。

2. 组织观察

制备热锻压前后 Q235 钢棒的金相试样，磨制抛光后，采用 4%硝酸酒精腐蚀，在金相显微镜上观察组织。

3. 硬度试验

利用无齿锯在热锻压前后 Q235 钢棒上截取硬度试样，在洛氏硬度计上测试硬度值。

4.综合分析与评价，总结存在问题与改进措施。

【实验注意事项及安全操作规程】

1. 操作时，切勿打闹，要谨慎操作，带好手套等防护措施以免烫伤；
2. 按操作规程使用锻压设备。

【实验结果的处理】

将热锻压前后 q235 钢的金相照片打印后贴在实验报告上，分析组织变化及原因；列出热锻压前后样品硬度值，分析变化及原因。

【实验报告要求】

1. 简述实验原理，实验内容，实验材料，所用仪器设备，实验步骤；
2. 对比分析 235 钢热锻压前后的显微组织变化；
3. 对比分析 235 钢热锻压前后硬度的变化。

思考题

1. 怎样确定具体一种钢的热锻压温度范围？
2. 为什么钢热锻压后晶粒细化，力学性能提高？

板材轧制及前滑值的测量

计划学时：8 学时

通过对实验轧机的调整，完成轧制前的准备及轧制工作。明确什么是前滑现象、什么是，为什么要测定前滑值及如何测定前滑值，通过实验操作提高学生的动手能力并能完成轧制及测量工作。

【实验目的】

- 1、学会对轧机进行调整及轧制
- 2、完成轧制及前滑值测量工作

【实验原理】

前滑值的关系式为：

式中 S ——前滑值

$$S = \frac{U_{\text{出}} - U_{\text{周}}}{U_{\text{周}}} \times 100\%$$

$U_{\text{出}}$ ——轧件出辊速度

$U_{\text{周}}$ ——轧辊圆周速度

将式（1）的分子和分母同乘以时间 t

即

$$S = \frac{U_{\text{出}}t - U_{\text{周}}t}{U_{\text{周}}t} \times 100\%$$

根据体积不变定律：

$$S = \frac{l_{\text{出}} - l_{\text{周}}}{l_{\text{周}}} \times 100\%$$

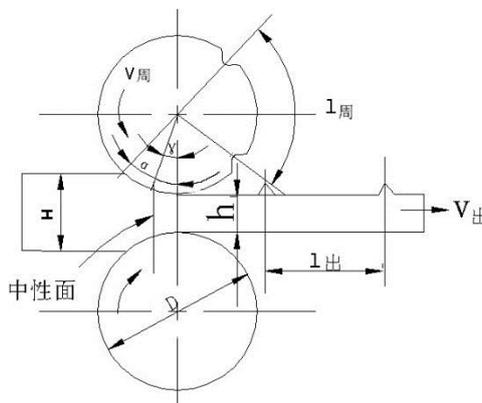
$$HBL=hbI$$

$$HBU \lambda t = hbt U_{出}$$

$U_{出} t$ ——为轧件出辊时的长度。

故可写出：

由于测定轧件出辊速度很困难，所以对前滑值测定可在轧辊表面冲上两个孔，其间长度为 $l_{周}$ ，轧制后轧件表面得到压痕长度 $l_{出}$ ，找出它们的差值（如图所示），便可以从实验方法求出前滑值。



【实验设备/仪器/装置】

四辊可逆式冷轧钢机

【实验方法及步骤】

- 1.认真听取教师对轧钢机调整的讲解,以形成对轧制的初步认识，在老师的带领下运行轧机，观看轧机的工作状况；
- 2.按设定的实验方法对板材进行轧制，并测出每次轧制时的前滑值。
- 3.试样材料——普通钢板
- 4.轧制前必须将轧辊表面擦拭干净，辊面处于干燥状态（干润滑剂）。
- 5.对实验结果进行精细测量，做好记录，取算术平均值，计算出前滑值。

【实验注意事项及安全操作规程】

- 1.实验前听从老师安排，进行操作安全教育；
- 2.严格按照轧钢实验室操作规程进行操作。

【实验结果的处理】

通过讲解及运用操作，并测出每次轧制时的前滑值。利用书本讲述的前滑值理论计算公式进行计算并对二者进行对比分析。

【实验报告要求】

- 1、绘制轧件厚度与前滑值之间的曲线图
- 2、用数学解析法推导前滑公式。

$$S = \frac{\gamma^2}{2} \left(\frac{D^2}{h} - 1 \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$S = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2f} \right) \dots\dots\dots (3)$$

式中： γ ——中性角

D ——轧辊直径

h ——轧后轧件厚度

α ——咬入角

f ——摩擦系数

- 3、用理论公式计算在不同轧件厚度时的前滑值，并在同一图中绘制曲线。
- 4、比较实验前滑值与理论计算前滑值，并进行分析讨论。

思考题

1. 前滑与前滑值怎么理解
2. 计算前滑有何意义

板带钢冷轧及质量控制

计划学时：8 学时

通过对实验轧机的调整，按要求完成轧制后检测轧制后板材的质量并分析，提高学生的动手和分析解决问题的能力。

【实验目的】

- 3、学会对轧机进行调整及轧制
- 4、完成轧制及检测轧制后板材的质量分析

【实验原理】

冷轧板的板形不良，大致可分边部波浪、中间波浪和单侧条形波浪三种。影响冷轧钢板形状的因素有：

1、原板的影响：包括板厚波动，硬度波动、原板形状等。

2、冷轧本身的影响：冷轧本身的影响因素有轧辊凸度(包括热凸度)、轧辊磨损、轧制力、轧制温度、轧制润滑等。

在实际操作中，主要通过调整轧辊凸度来控制由上述各种因素引起的带钢形状的变化。一般地说，轧辊凸度是用凸度值即轧辊中部和端部的直径差表示。轧制中的综合凸度是指初期的机械凸度、热凸度、轧制力和用弯辊机给与轧辊弯曲等综合起来的凸度。

由于这种凸度是否合适，能使带钢的形状发生变化，在实际操作中以下列的要领控制形状。1、选定轧辊的最佳机械凸度。

2、控制轧制中的轧辊冷却。轧制时的变形热使轧辊的机械凸度发生很大变化，这种热凸度通过调整轧制油和冷却水进行控制。

3、调整轧辊挠度(凸度控制)。在轧辊凸度的控制中，为提高其灵敏度，对工作辊进行液压强制性弯曲，这种方法叫作轧辊预弯。

4、轧制力的调节。通过控制轧制力来调整轧辊的挠曲量，也是常用的控制形状的方法。轧辊的最佳机械凸度(轧辊原始凸度)常根据经验确定。它主要考虑轧制力产生的挠度(+)、热凸度(-)、轧辊磨损(+)等因素。

标准轧辊原始凸度曲线为抛物线，需专用数控磨床加工。在实际使用中常将辊面磨成梯形。辊身中间圆柱的宽度，根据所轧带钢的宽度的不同有所不同。一般圆柱段的宽度过宽以及带钢宽度之比愈大，轧后的横断面厚度差愈大。而圆柱段太窄时，轧制时轧件不稳定。辊型磨损也增大，因此在实际生产中，轧辊中间的中平段其宽度一般控制在所轧带钢宽度的 $1/4 \sim 1/3$ 左右。随着带钢宽度的增加，中平段的宽度将超过这个范围，即轧制带钢愈宽，中平段宽度愈大。

【实验设备/仪器/装置】

1. 实验材料：普板，尺寸：4.0×80×700mm；

2. 实验设备仪器：

(1) $\phi 250 \times 300$ 四辊可逆实验轧机 (2) 千分尺 (3) 表面粗糙度测量仪器 (4) 电子显微镜

【实验方法及步骤】

1. 认真听取教师对轧钢机调整的讲解,在老师的带领下运行轧机, 观看轧机的工作状况
2. 轧制前必须将轧辊表面擦拭干净, 辊面处于干燥状态 (干润滑剂)
3. 按设定的实验方法对板材进行轧制, 并测出每次轧制时的相关数据
4. 对每次轧制结果进行精细测量, 做好记录, 分析原因并提出修改办法
5. 重复轧制直到轧制完成

【实验注意事项及安全操作规程】

1. 实验前听从老师安排, 进行操作安全教育 ;
2. 严格按照轧钢实验室操作规程进行操作。

【实验结果的处理】

通过多道次的轧制, 测出每次轧制时的轧后数据。对前面轧制数据进行分析, 提出修定的办法后再进行下一个道次的轧制。

【实验报告要求】

- 5、详细记录每道次轧制的数据并分析原因
- 6、提出修定的轧制数据。
- 7、对实验数据比较分析, 在轧制过程中如何控制板材轧制的质量。

思考题

1. 如何控制板材轧制的质量
2. 板材的质量标准有哪些

冲压模具拆装、间隙调整与试模

(学时：6 学时)

一、实验目的

1、冲压模具拆装实训的目的 通过对模具的拆卸和装配，培养学生的动手能力、分析问题和解决问题的能力，使学生能够综合运用已学知识和技能。

2、对模具典型结构及零部件装配有全面的认识，为理论课的学习和模具设计奠定良好的基础。

2、冲压模具拆装实训的要求 掌握典型冷冲压模具的工作原理、结构组成、模具零部件的功用、相互间的配合关系以及模具零件的加工要求。

3、能正确地使用模具装配常用的工具和辅具；能正确地草绘模具结构图、部件图和零件图。

4、掌握模具拆装一般步骤和方法；通过观察模具的结构能分析零件的形状；能正确描述出该模具的动作过程。

二、实验内容及原理

模具拆装是材料成型及控制工程专业的学生在学习模具结构设计知识之时，在教师的指导下，对生产中使用的冷冲压模具进行拆卸和重新组装的实践教学环节。通过对冷冲压模具和塑料模具的拆装实训，进一步了解模具典型结构及工作原理，了解模具的零部件在模具中的作用，零部件相互间的装配关系，掌握模具的装配过程、方法和各装配工具的使用。

针对现有的冲压模具设备进行拆卸，要求在停机状态下，将冲压模具的所有零件从设备上拆卸下来，并了解模具零件之间的位置关系，连接关系，注意凹凸模具之间的刃口尺寸与间隙，并学会调整间隙，组装复原后，针对典型的铝箔产品进行试模，并对产品的成型性能进行评价，缺陷进行分析。

三、实验设备与耗材

1、实验仪器：

冲压模具设备	1 台；	剪刀	1 个；
铝箔片卷带	1 支；	拆装工具箱	1 个。

四、实验步骤

1.拆卸步骤

(1) 用紫铜棒轻轻敲击上下模板，将上下模从导柱和导套处分开，勿使上下模板面发生偏斜。

(2) 拆上模：

① 松开卸料板螺钉，取下卸料板及弹性元件。

② 松开凸模固定板螺钉。

③ 退出销钉，取下凸模固定板。若凸模与固定板是压入式装配，则不必将凸模与固定板卸开。

④ 松开模柄紧固螺钉，卸下模柄。对于压入式模柄，则应先松开防转螺钉，然后敲击模柄上平面，使

模柄从下退出。

(3) 拆下模：

(4) 松开凹模固定板螺钉，自上而下退出销钉，取下凹模固定板及凹模。

2.测量凹凸模具刃口间隙尺寸

3. 装配步骤

① 装配冲裁模与拆卸的次序正好相反，即先拆的零部件后装，后拆的先装，由里至外。

② 装配关系和紧固方法，并按钳工的基本方法操作方法进行，以免损坏模具零件。

4.试模

开动开关，使用铝箔片进行试模，观察产品的质量和缺陷。

五、数据处理

1) 记录模具拆装的顺序，做好刃口间隙尺寸的记录；

2) 画出凹凸模具的零件草图，简述冲压工作原理。

3) 对试模的冲压产品质量或缺陷进行评定，说明产生的理由。

六、注意事项

1、拆卸和装配模时，首先应仔细观察模具，务必搞清楚模具零部件的相互关系。

2、在拆装过程中，切忌损坏模具零件，对老师指出不能拆卸的部位，不能强行拆卸。拆卸过程中对少量损伤的零件应及时修复，严重损坏的零件应更换。

3、注意机器的安全操作。

五、数据处理

- 1) 记录模具拆装的顺序，做好所有零件尺寸记录；
- 2) 绘制所测量模具的装配草图，简述冲压工作原理。

六、注意事项

- 1、拆卸和装配模时，首先应仔细观察模具，务必搞清楚模具零部件的相互关系。
- 2、在拆装过程中，切忌损坏模具零件，对老师指出不能拆卸的部位，不能强行拆卸。拆卸过程中对少量损伤的零件应及时修复，严重损坏的零件应更换。
- 3、注意模具零件伤手或落地伤人。

注塑模具拆装与试模

(学时：6 学时)

一、实验目的

- 1、 注塑模具拆装实训的目的 通过对模具的拆卸和装配，培养学生的动手能力、分析问题和解决问题的能力，使学生能够综合运用已学知识和技能；
- 2、对模具典型结构及零部件装配有全面的认识，为理论课的学习和模具设计奠定良好的基础。
- 3、注塑模具拆装实训的要求 掌握典型注塑模具的工作原理、结构组成、模具零部件的功用、相互间的配合关系以及模具零件的加工要求；能正确地使用模具装配常用的工具和辅具；能正确地草绘模具结构图、部件图和零件图。
- 4、掌握模具拆装一般步骤和方法；通过观察模具的结构能分析零件的形状；能正确描述出该模具的动作过程。

二、实验内容及原理

模具拆装是材料成型及控制工程专业的学生在学习模具结构设计知识之时，在教师的指导下，对生产中使用的冷冲压模具进行拆卸和重新组装的实践教学环节。通过对冷冲压模具和塑料模具的拆装实训，进一步了解模具典型结构及工作原理，了解模具的零部件在模具中的作用，零部件相互间的装配关系，掌握模具的装配过程、方法和各装配工具的使用。

针对现有的冲压模具设备进行拆卸，要求在停机状态下，将冲压模具的所有零件从设备上拆卸下来，并了解模具零件之间的位置关系，连接关系，注意凹凸模具之间的刃口尺寸与间隙，并学会调整间隙，组装复原后，针对典型产品进行试模，并对产品的成型性能进行评价，缺陷进行分析。

三、实验设备与耗材

注塑模具机 1 台；拆装工具箱 1 个；塑料颗粒 1 千克

四、实验步骤

1.拆卸步骤

- (1) 用紫铜棒轻轻敲击上下模板，将上下模从导柱和导套处分开，勿使上下模板面发生偏斜。
- (2) 拆上模：
 - ① 松开卸料板螺钉，取下卸料板及弹性元件。
 - ② 松开凸模固定板螺钉。
 - ③ 退出销钉，取下凸模固定板。若凸模与固定板是压入式装配，则不必将凸模与固定板卸开。
 - ④ 松开模柄紧固螺钉，卸下模柄。对于压入式模柄，则应先松开防转螺钉，然后敲击模柄上平面，使模柄从下退出。

(3) 拆下模：

(4) 松开凹模固定板螺钉，自上而下退出销钉，取下凹模固定板及凹模。

2.测量凹凸模具刃口间隙尺寸

3. 装配步骤

① 装配冲裁模与拆卸的次序正好相反，即先拆的零部件后装，后拆的先装，由里至外。

② 装配关系和紧固方法，并按钳工的基本方法操作方法进行，以免损坏模具零件。

4.试模

开动开关进行试模。

五、数据处理

1) 记录模具拆装的顺序，做好所有零件尺寸记录；

2) 绘制所测量模具的装配草图，简述冲压工作原理。

六、注意事项

1、拆卸和装配模时，首先应仔细观察模具，务必搞清楚模具零部件的相互关系。

2、在拆装过程中，切忌损坏模具零件，对老师指出不能拆卸的部位，不能强行拆卸。拆卸过程中对少量损伤的零件应及时修复，严重损坏的零件应更换。

3、注意机器的安全操作。

模具线切割加工实验

(学时：6 学时)

一、实验目的

- 1.了解数控线切割机床加工的原理、特点和应用以及编程方法和格式。
- 2.了解计算机辅助加工的概念和加工过程。
- 3.熟悉数控线切割机床的操作方法。

二、实验内容及原理

由硬质合金淬火钢材料加工的模具零件、样板、各种形状复杂的细小零件和窄槽等，特别是冲模、挤压模，塑料模和电火花加工型腔模所用电极的加工。例如：形状复杂、常有尖角窄缝的小型凹模的型孔可采用整体结构在淬火后加工，既能保证模具的精度，又可以简化设计与制造。又如中小型冲模，过去采用分开模和曲线磨削的加工方法，现在改用电火花线切割整体加工，使配合精度提高，制造周期缩短，成本降低。

三、实验设备与耗材

Q235 钢板尺寸：200×600×3mm，4 块

线切割机 1 台

四、实验步骤

五、数据处理

- 1) 记录线切割机的操作工序。
- 2) 简述线切割工作原理，优点及应用。

六、注意事项

- 1、随时观察线切割机的工作状态。
- 2、注意机器的安全操作及实验室卫生整洁。

试样制备及 SEM 形貌观测与能谱分析

(学时：4 学时)

本实验介绍了扫描电镜金属块体观察试样的制备全过程，同时介绍了扫描电镜 (SEM) 及能谱仪 (EDS) 的构造、工作原理及操作过程，要求学生能够了解扫描电镜及能谱仪的操作全过程，同时认识它们在材料科学研究上的作用和意义。

一、实验目的

- (1) 了解扫描电镜的基本结构、原理和操作方法。
- (2) 掌握金相观察试样的制备方法。
- (3) 掌握扫描电镜形貌观察及能谱仪成分分析过程。

二、实验原理

扫描电镜主要用于对材料的表面组成、断面、细微结构、晶体结构以及缺陷的观测，而能谱仪主要用于材料的进行点、线、面的成分分析。

2.1 扫描电镜 (SEM) 的构造及其工作原理

扫描电镜由电子光学系统、扫描系统、信号收集处理显示系统、真空系统、供电控制系统合冷却系统等六部分组成。图 1 为其结构原理示意图。

电子光学系统包括电子枪、三级聚光镜 (末级聚光镜也称物镜) 和样品室等部件。其作用是将来自电子枪的电子束聚焦成亮度高、直径细入射束照射样品，产生各种物理信号，入射电子束不起成像作用。样品室可以放置不同用途的样品台，如拉伸台、加热台和冷却台等。试样放在样品台上，操作时通过样品移动机构可以使试样沿 x 、 y 、 z 轴三个方向移动，同时还可以使试样绕轴倾斜及旋转。

扫描系统包括扫描发生器、扫描线圈和放大倍率选择器等部件，其作用是将开关电路对积分电容反复充电放电产生的锯齿波同步地送入镜筒中的扫描线圈和显像管的扫描线圈，使二者的电子束作同步扫描，通过改变电子束偏转角度来调节放大倍率。扫描电镜的放大倍数等于显示屏的宽度与电子束在试样上扫描的宽度之比。入射电子束束斑直径是扫描电镜分辨本领的极限。

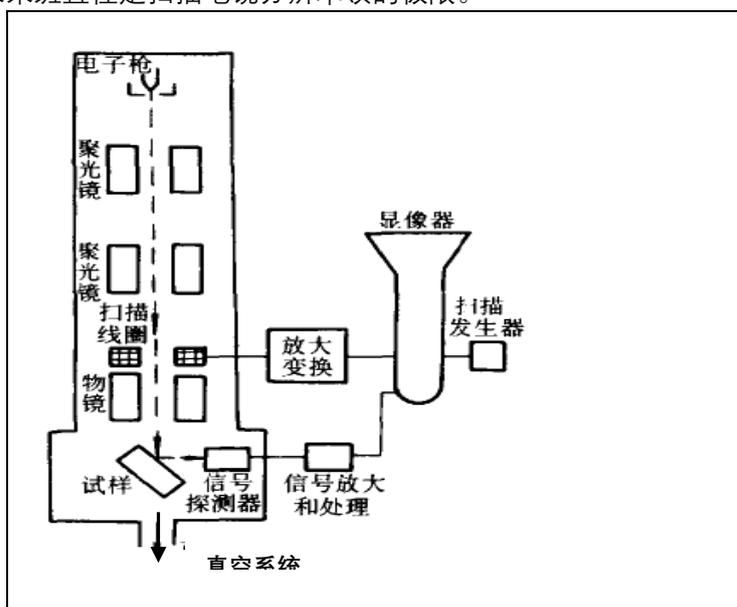


图 1 扫描电镜结构原理示意图

信号收集处理显示系统包括探测器、放大器和显像管等部件，其作用是检测试样在入射电子束作用下产生的物理信号，调制显像管亮度，显示出反映试样表面特征的电子图像。不同的物理信号要使用不同的探测器。通常用电子探测器（闪烁计数器）来探测二次电子，背散射电子和透射电子，此外，还有 X 射线探测器和阴极荧光探测器。显示单元装有两个显像管，一个是长余辉显像管，作观察图像用，另一个是短余辉显像管，作拍摄图像用，可以获得高分辨率照片。显示系统还装有字符显示附件，将自动记录底片编号，加速电压，放大倍率及其标尺。

扫描电镜的成像原理不同于光学显微镜和透射电镜，它无成像透镜，是以类似于电视摄像显像的方式，用细聚焦的电子束在样品表面扫描，激发产生的某些物理信号调制成像。在扫描电镜中，从电子枪射出的电子束经三级聚光镜聚焦，在扫描线圈的作用下，在试样表面作行帧扫描，激发产生各种物理信号，其强度取决于试样表面的形貌和成分特征。探测器接收这些物理信号，经放大器放大，送至显像管栅极，调制其亮度，显示出由暗亮差别所反映的试样表面特征的扫描电子图像。由于显像管和镜筒中的电子束在同一个扫描线圈作用下作同步扫描，显像管的亮度是由试样激发出的电子信号强度来调制的，因此来自试样表面某一点的信号强度与显示屏上相应点的亮度是一一对应的，试样表面状态不同则图像上相应点的亮度也必然不同。

扫描电镜的工作原理是利用聚焦得非常细的高能电子束在试样上扫描时，激发的各种物理信息(如二次电子、背反射电子、X 射线等)，通过对这些信息的接受、放大和显示成像，以便对试样表面进行分析。进行表面形貌观察主要是二次电子和背反射电子。

2.1.1 二次电子

二次电子是指入射电子轰击出来的核外电子。由于原子核和外层价电子间的结合能很小，当原子的核外电子从入射电子获得了大于相应的结合能的能量后，可脱离原子成为自由电子。如果这种散射过程发生在比较接近样品的表层,那些能量大于材料逸出功的自由电子可能从样品表面逸出,变成真空中的自由电子，即二次电子。

二次电子来自表面 5~10nm 的区域，能量小于 50eV 的电子。它对样品表面状态非常敏感，能有效地显示样品表面的微观形貌。由于它发自样品表层，入射电子还没有被多次反射，因此产生二次电子的面积与入射电子的照射面积没有多大区别，所以二次电子的分辨率较高，一般可达到 3~10nm。扫描电镜的分辨率一般就是二次电子分辨率。

二次电子产额随原子序数的变化不大，它主要取决于表面形貌。

2.2.2 背反射电子

背反射电子是指被固体样品原子反射回来的一部分入射电子，其中包括弹性背反射电子和非弹性背反射电子。

弹性背反射电子是指被样品中原子和反弹回来的，散射角大于 90°的那些入射电子，其能量基本上没有变化（能量为数千到数万电子伏）。非弹性背反射电子是入射电子和核外电子撞击后产生非弹性散射，不仅能量变化，而且方向也发生变化。非弹性背反射电子的能量范围很宽，从数十电子伏到数千电子伏。

从数量上看，弹性背反射电子远比非弹性背反射电子所占的份额多。背反射电子的产生范围在100nm~1mm深度。

背反射电子产额和二次电子产额与原子序数的关系背反射电子束成像分辨率一般为50~200nm（与电子束斑直径相当）。背反射电子的产额随原子序数的增加而增加，所以，利用背反射电子作为成像信号不仅能分析新貌特征，也可以用来显示原子序数衬度，定性进行成分分析。

2.2 能谱仪(EDS)工作原理

能谱仪的工作原理就是X射线的产生过程。X射线的产生是由于入射电子于样品发生非弹性碰撞的结果。两个主要的过程:特征X射线和连续X射线或叫韧致辐射。当高能电子与原子作用时，它可能使原子内层电子被激发，原子处于激发状态，内层出现空位。此时,可能有外层电子向内层跃迁，外层和内层电子的能量差就以光子的形式释放出来，它就是元素的特征X射线。来自原子特征能量释放有两种形式，一种是特征X射线光子的释放——跃迁，另一种释放叫俄歇电子。能谱仪接受的是来自特征X射线的光子。X射线一般在试样的500nm~5mm深处发出。

三、实验仪器设备及材料

- (1) 实验材料（试样）：金属块体试样(退火态及淬火态),丙酮（或无水乙醇）。
- (2) 实验仪器：金相制备设备、超声波清洗仪、扫描电子显微镜（含能谱仪）一台。

四、实验步骤及方法

4.1 金属块体样品制备

- (1) 金属块体样品处理成直径为10~15mm（方形大小类似），厚度约为5mm。
- (2) 将金属块体样品制成标准的金相观察试样。
- (3) 将试样放入小烧杯，往小烧杯倒入一定量的丙酮（或无水乙醇），然后一起放入超声波清洗仪内进行清洗，目的是为了除锈、油污等杂质，然后取出用吹风机吹干、备用。
- (4) 用导电胶将金属块体试样粘贴在样品座上，待送入扫描电镜内观察。

4.2 扫描电镜及能谱仪操作

- (1) 往扫描电镜真空室充入高纯氮气，打开样品室门，安装固定试样，然后抽真空至 $<9.0 \times 10^{-3}$ Pa。
- (2) 接通高压至所选择值（0~30kV），让灯丝束流达到所需值。
- (3) 放大不同倍数对金属块体试样进行形貌观察。
- (4) 将试样放大到某一放大倍数进行能谱成分分析。
- (5) 关掉高压，重新充入高纯氮气，取出试样。
- (6) 继续抽真空，关闭操作系统。

五、实验报告

实验原始数据记录须经实验指导老师签字认可后在小组各成员间共享，每一位参加实验的学生独立完成一份实验报告并按时交指导老师处。

实验报告按学校统一的实验报告格式纸填写，要求写清实验名称、实验目的、实验原理简介，对实验记

录内容整理后写入报告，进行实验结果分析（包括根据观察到的金相组织，分析其状态；对能谱分析的结果进行判定，并指出产生偏差的可能原因），得出实验结论；完成指导书中的思考题。

思考题

- 1 通过对扫描电子显微镜结构和原理及能谱仪分析的认识，总结扫描电子显微镜的使用方法及其应用领域。
- 2 金属块体观察试样的一般要求是什么？
- 3 扫描电镜工作原理与光学显微镜工作原理有何不同？

原子吸收光谱测定污水中 Cu^{2+} 的含量

(4 学时)

预习要求：

1. 课前必须认真预习将要做的实验。
2. 预习内容：认真阅读实验指导教材，了解实验要点（包括实验目的、内容及原理、实验方法、使用仪器、实验步骤、注意事项等）；
3. 必须认真撰写预习报告，预习报告使用学校统一印制的预习报告纸，无预习报告不允许做实验；
4. 严禁抄袭报告，对抄袭报告的同学，除责成该同学写出深刻检查外，必须重新撰写报告。

一、实验目的

1. 了解原子吸收分光光度计的工作原理、主要部件及类型，熟悉其性能和功用。
2. 初步掌握原子吸收分光光度定量分析法的标准曲线法。
3. 熟练掌握原子吸收分光光度计测定元素的含量方法。

二、实验内容

了解原子吸收分光光度计的工作原理、主要部件及类型，熟悉其性能和功用。理解原子吸收分光光度法的定量分析方法，学会正确操作原子吸收分光光度计测定元素的含量。使用原子吸收分光光度计测定水中 Cu 离子的含量。

三、实验仪器设备及消耗材料

1. 英国 PerkinElmer 仪器公司的 Aanalyst200 原子吸收分光光度计 1 台，乙炔气体 1 罐，空气压缩机 1 台。

2. 五水硫酸铜 1 瓶 (500g)，浓硫酸 50mL。

待测含铜试样 1 份，含铜 2 mg/L、4 mg/L、8mg/L 标准溶液各 1 份。

铜标准溶液的配制：称取 1.9641g 硫酸铜($M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 249.69\text{g/mol}$, $M(\text{Cu}) = 63.55\text{g/mol}$)溶于少量水中，滴入几滴硫酸(1+1)，移入 500mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。此溶液 1ml 含有 1mg 铜。

3. 1mL 移液管 (2 支)，洗耳球 (2 个)，量筒 10mL (2 个)，250mL 容量瓶 (6 个)，500mL 容量瓶 (2 个)，250mL 洗瓶 (1 个)，盛装去离子水的水桶 (1 个，5L 或 10L)，50mL 滴瓶 (1 个)，称量纸 1 袋，250mL 烧杯 (2 个)，500mL 烧杯 (2 个)，玻璃棒 (3 支)，滴管+胶帽 (10 支)。

四、实验原理和方法

原子吸收光谱法 (atomic absorption spectrometry, AAS)，亦称原子吸收分光光度法 (atomic absorption spectrometry, AAS)，是一种测量气态原子对光辐射吸收的方法。物质分子中的元素在一定条件下被离解成原子，气态原子吸收相应波长的光从基态跃迁到激发态。在原子光谱中，原子只有一种基态，而可有多种激发态。通常把基态原子跃迁至第一激发态时的吸收称为共振吸收，把第一激发态回到基

态时的发射称为共振发射。由于第一激发态的能量在所有激发态中最低，最易激发，因而在发射光谱中共振线是最强的发射线，即最灵敏线。每一种元素的原子不仅可以发射一系列特征谱线，也可以吸收与发射线波长相同的特征谱线。即各种元素的最强吸收线与该元素的最强发射线相对应。原子吸收光谱分析法就是根据物质产生的原子蒸气对特定波长光的吸收作用来进行定量分析的，即利用最强的吸收线进行测定。当光源发射的某一特征波长的光通过原子蒸气时，原子中的外层电子将选择性地吸收其同种元素所发射的特征谱线，使入射光减弱。特征谱线因吸收而减弱的程度称吸光度 A，与被测元素的含量成正比：

$$A = Klc$$

式中，A 为吸光度；K 为吸收系数；L 为原子吸收层的厚度；c 为样品溶液中被测元素的浓度。

在一定浓度范围内，吸光度与样品溶液里的待测元素的浓度呈正比，以此作为定量依据。它是测定痕量和超痕量元素的有效方法，可用于 60 余种金属元素和某些非金属元素的定量测定，应用十分广泛，其特点如下：

1. 灵敏度高：在原子吸收实验条件下，处于基态的原子数目比激发态多得多（玻尔兹曼分布规律），故灵敏度高。其检出限可达 10^{-9} g/ml（某些元素可更高）；
2. 选择性好：谱线简单，因谱线重叠引起的光谱干扰较小，即抗干扰能力强。分析不同元素时，选用不同元素灯，提高分析的选择性；
3. 具有较高的精密度和准确度：因吸收线强度受原子化器温度的影响比发射线小。另试样处理简单。相对标准偏差（RSD）1~2%，相对误差 0.1~0.5%。

缺点：难熔元素、非金属元素测定困难、不能多元素同时分析。

五、仪器主要构件

原子吸收分光光度计由光源、原子化装置、光学系统、检测器和显示系统构成。

1. 光源

作用：提供待测元素的特征谱线——共振线。获得较高的灵敏度和准确度。

主要的光源类型有蒸气放电灯、无极放电灯、空心阴极灯。目前常用的光源是空心阴极灯（Hollow Cathode Lamp）。

2. 原子化装置

作用：将试样中的待测元素转变成气态的基态原子（原子蒸气）。实现原子化的方法，可分为：火焰原子化法和非火焰原子化法。本机只配备了火焰原子化装置。

火焰原子化装置包括：雾化器和燃烧器两部分，是最常用的原子化器。

雾化器作用：将试样雾化

燃烧器作用：使试样原子化

- 火焰种类：**
- (1) 空气 - 乙炔焰 $< 2300^{\circ}$ 适用于熔点较低金属原子化
 - (2) 氧化亚氮（又称笑气） - 乙炔焰 3000°
 - (3) 氧 - 乙炔焰 $> 2900^{\circ}$

火焰种类的选择，应根据所测元素性质决定，使之原子化但不电离。

优点：重现性好，易操作，适应范围广。

缺点：灵敏度低（仅 10%左右的试液被原子化）

非火焰原子化法包括石墨炉原子化法、氢化物原子化法和冷原子化法。目前广泛使用的是电热高温石墨炉原子化法。

3. 光学系统

原子吸收光谱法应用的波长范围，一般在紫外、可见区，即从铯 852.1nm 到砷 193.7nm。

光学系统可分为两部分：外光路系统（或称照明系统）和分光系统（单色器）。

外光路系统（或称照明系统）：作用是 HLP 发出的共振线能正确地通过原子蒸汽，并投射在单色器入射狭缝上。

分光系统（单色器）：是将 HLP 发射的未被待测元素吸收的特征谱线与邻近谱线分开。因谱线比较简单，一把不需要分辨率很高的单色器。

为了便于测定，又要有一定的出射光强度。因此若光源强度一定，就需要选用适当的光栅色散率与狭缝宽度配合，构成适于测定的通带。

通带宽度 (W)：指通过单色器出射狭缝通过的波长范围。当倒色散率 (D) 一定时，可通过选择狭缝宽度 (S) 来确定： $W = D \times S$

4. 检测系统：

主要由检测器、放大器、对数变换器、显示记录装置组成。

检测器：将单色器分出的光信号转变成电信号。如：光电池、光电倍增管、光敏晶体管等。

放大器：将光电倍增管输出的较弱信号，经电子线路进一步放大。

对数变换器：光强度与吸光度之间的转换。

5. 显示系统

显示记录装置：原子吸收计算机工作站

六、实验步骤

1. 打开主机、气罐阀门，选择适当的灯管后，通常需要先让灯管预热 15 分钟。
2. 设定好各检测参数。
3. 各装置运转正常后点火。
4. 吸入标准溶液，测定标准曲线。
5. 吸入样品溶液。
6. 分析完毕存数据并可打印结果。
7. 退出 Windows，关机、关气、关电。

七、实验报告要求

1. 实验报告包括实验目的、内容、原理、步骤、实验结果及分析、思考题等。

2. 实验结果及分析：本次实验所取试样中的 Cu^{2+} 含量为？讨论 Cu 标准溶液中加入硫酸的原因？总结本次实验的收获及心得体会。

八、实验注意事项

1. 按照指导教师的要求进行操作，严禁挪动设备、乙炔气罐、空气压缩机和废水罐，不得更改原子吸收分光光度计各个部件的安装位置。
2. 乙炔气罐和空气压缩机的调节阀点火后注意关好火焰舱门。
3. 严禁将实验室的物品带出，不经指导教师允许，不得随意打开或关闭乙炔气罐和空气压缩机阀门。
4. 遵守课堂纪律，实验操作中有问题和指导老师探讨，确保实验设备的安全使用及人身安全。

九、思考题

1. 如何确定配制标准溶液的浓度？
2. 怎样操作才能提高测试样品含量的准确性？
3. 原子吸收定量测试方法主要有哪些，采用标准曲线法应注意些什么事项？

凝固过程物理模拟

(学时：2 学时)

用 NH_4Cl 的水溶液模拟金属液，让其在定向冷却的条件下凝固。观察、记录结晶过程，绘制凝固过程示意图。

一、实验目的

通过模拟实验了解实际高温钢液凝固过程，观察以下三种现象：

- 1、直接观察自然对流现象，目测其流速，观察宏观组织（ Λ 形偏析）形成的过程及“沟槽”产生的方位。
- 2、观察结晶雨现象导致钢锭底部的负偏析（沉积锥）。
- 3、观察凝固过程中氯化铵形成的基本晶形。

二、实验内容及原理

金属凝固过程是从液态转化为固态的过程，从微观来讲，凝固就是金属原子从无序状态到有序状态的排序过程。也就是液态中无规则原子集团转变为原子按一定规则排列的固态结晶。从宏观来讲，是把液态金属所储藏的热和凝固潜热通过模壁转移到外界，使液态金属转变成成为具有一定形状的固体金属。整个凝固过程将发生一系列的物理化学变化。

凝固过程的收缩，密度的差异以及温度场的变化而产生的自然对流现象对钢坯的质量影响是特别显著的。特别是在模铸生产中，大型镇静钢锭由于成分不均匀性而产生 Λ 形偏析（也就是冶金中常说的倒 V 形偏析，偏析部位表现在钢锭的柱状晶带上），以及钢锭底部的沉积锥偏析等内部缺陷。

1、倒“V”形偏析的形成

含有不同物质的熔体在凝固过程中，由于温度、密度、体积以及温度场的变化，液体中会产生对流现象。这种对流现象使流动的液体在通过柱状晶凝固前沿时不易凝固，随着柱状晶的生长延伸而夹入中间，形成带有一定角度的液体流。在选分结晶过程中，高熔点的物质首先结晶，低熔点的物质向液体中扩散，形成液体流中低熔点的物质富集，我们称为正偏析。在钢锭的表现形式称为“ Λ ”形偏析或称倒“V”形偏析。在钢坯的横断面上通过低倍腐蚀表现得形状又称为“方框形”偏析或称“锭形”偏析。

2、沉积锥偏析

熔体在凝固过程中由于选分结晶，高熔点的物质首先形核结晶成为固体。密度小的物质上浮，密度大的物体自然下落。根据形核机理，在一定温度下会形成大量的晶体，由于其密度大于熔体而下落，在下落过程逐渐长大，此现象称为结晶雨。柱状晶向中心生长阻碍了边缘晶体的下落，在底部形成一个锥体，称为沉积锥。由于高熔点的物质成分富集，所以称为负偏析。

3、减少偏析生成的措施

- 1) 提高熔体的纯洁度，减少钢中有害元素。
- 2) 改善熔体的凝固条件控制浇注过程的注温、注速。

3) 改善熔体凝固过程的动力学条件。

本实验采用 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ 溶液模拟液态金属凝固过程, $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ 系二元相图如图 1 所示。

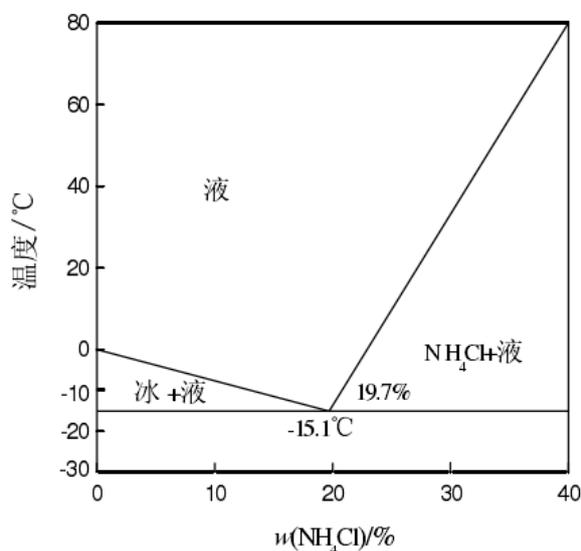


图 1 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ 系二元相图

由于 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ 溶液的透明性和 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ 树枝晶体的半透明性, 因而可以观察晶体及凝固结构形成的过程, 更可形象地观察到晶体的结构。再者氯化铵溶液熔化焓低, 便于模拟实验操作。由图 1 可知, 氯化铵溶液的浓度超过 19.7%以后为过共晶系, 实验中可采用 35%的 NH_4Cl 水溶液。

三、实验材料/试样

NH_4Cl , 分析纯, 1000g; 无水乙醇, 1000mL; 冰, 若干

四、实验设备/仪器/装置

(1) 试验装置。试验装置为长方型有机玻璃制成, 见图 2,A 为铸型, 其尺寸高 180mm、宽 100mm, 厚 12mm, 有机玻璃铸型左右两边接冷却筒。冷却筒内装冰+酒精混合液, 试验可以是左右两边同时冷却, 也可一边冷却, 另一边保持恒温, 用循环恒温水保持。

(2) 量筒, 500mL

(3) 天平

(4) 电炉

(5) 150°C以上温度计

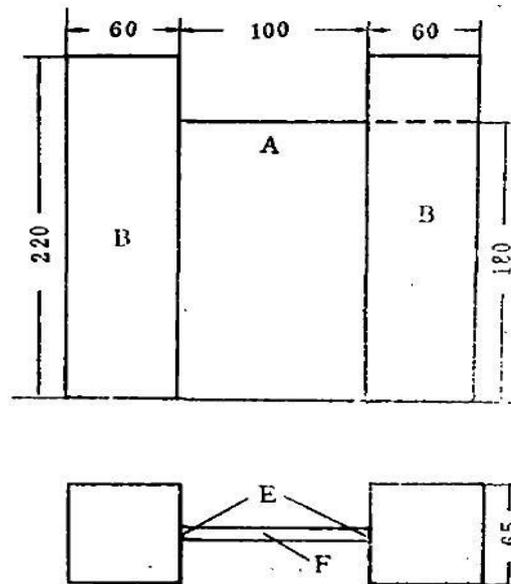


图 2

五、实验方法及步骤

(1) 模拟液的配制

配制 35% 的氯化铵水溶液，用烧杯在电炉上加热使其融化并保持在 80°C 。

(2) 冷却剂。冷却剂采用 600ml 的无水乙醇，加入一定量冰块降温。

(3) 保温剂。保温剂采用 600ml 自来水，放在电炉上加热到 80°C 。

(4) 将三种液体温度调好后，同时倒入实验装置中，并摄像记录凝固过程。在冷却剂侧很快凝固成一层致密的等轴晶（称急冷带），随着导热速率降低，柱状晶开始生长。在柱状晶带会产生带有一定角度的半透明斜线，称为沟槽（实际是还未凝固的熔融体）。在熔体温度逐渐下降的过程，可以观察到结晶雨现象。

六、实验注意事项及安全操作规程

实验中要使用大量乙醇，须远离火种。

七、实验结果的处理

通过凝固过程录像，获取并处理以下数据：

- (1) 绘制凝固前沿随时间的变化曲线，测量凝固前沿推移的速度
- (2) 观测偏析沟槽的出现形成的过程，目测各部位的液流速度及方向。

八、实验报告要求

- (1) 简述实验目的，实验原理；
- (2) 根据实验内容绘制凝固过程中的偏析的产生；
- (3) 描绘 A 形偏析的形成过程；

- (4) 描绘沟槽形成过程；
- (5) 根据实验内容绘制结晶雨形成；
- (6) 根据实验内容绘制凝固组织；
- (7) 简述减少偏析主要采取了哪些措施。

型砂混制工艺及其强度透气性分析

(学时：4 学时)

型砂的质量对砂型铸造产品质量有很大的影响，因此，对型砂质量的控制是砂型铸造必须重视的问题。型砂的质量指标包括紧实率、湿强度、干强度、透气性等，而型砂的质量又与原砂及粘接剂等的质量、型砂的配方、混制工艺等因素有关。

本实验将对所设计的型砂配方采用不同的混制工艺进行混制，并对其进行强度和透气性测量，总结型砂混制工艺对型砂强度及透气性的影响。

一、实验目的

- 1、掌握型砂的配方与混制工艺，并了解不同混制工艺对型砂性能的影响。
- 2、了解型砂制样机的工作原理，掌握制样方法。
- 3、了解各种型砂性能检测仪使用方法，掌握型砂性能测定方法。

二、实验内容及原理

型砂是砂型铸造中制造铸型的材料，型砂的质量直接影响着铸件的质量。型砂质量不好会使铸件产生气孔、砂眼、粘砂和夹砂等缺陷，这些缺陷造成的废品约占铸件总废品的 50%以上。

型砂主要由原砂、粘接剂、水及附加物混和而成。按原砂种类不同，可以将型砂分为石英砂、铬铁矿砂、石灰石砂等多种；按型砂按所用粘结剂不同，可分为粘土砂、水玻璃砂、水泥砂、树脂砂等；按是否烘烤铸型可分为湿型砂、表面干型砂和干型砂；按合金种类可分为铸铁用型砂、铸钢用型砂和有色合金用型砂；按造型时情况又可分为面砂、背砂和单一砂。目前应用量最大的是湿型砂。

湿型砂的优点是不用烘干设备和燃料，生产周期短，便于组织流水作业，落砂容易，灰尘少，劳动条件好，砂箱寿命长。其缺点是型砂强度较低，流动性差，含有水分，铸件容易产生砂眼、气孔、粘砂、夹砂等铸造缺陷。因此，湿型砂必须控制严格，保持较稳定的性能。目前大部分中小型铸铁件多用湿型砂，特别是汽车、拖拉机、内燃机等行业，机械化生产铸铁件以湿型砂为主，有的工厂也用来生产几吨重的铸铁件。

配制湿型砂的原砂多用天然石英砂或石英-长石砂，粒度多为 55 / 100、75 / 150 或 100 / 200，以保证铸件表面较光洁。为了使湿强度较高，减少粘砂，常常将两种粒度的原砂混合使用。

湿型砂大都用膨润土为粘结剂；有的工厂将钙基膨润土活化处理后使用以获得较高湿强度和热湿拉强度，但活化膨润土砂的流动性较差，容易结团，所以在满足强度要求的情况下，也不一定要进行活化处理。

煤粉是湿型砂用于铸铁件常加入的附加物以防粘砂。有的工厂常用煤粉与重油或渣油混合使用，这样除了有更好的防粘砂作用外，还能减少夹砂倾向，改善砂子流动性。

湿型砂的主要组成为砂、膨润土、煤粉和水，少数还有重油、渣油或淀粉等附加物。湿型砂大都回用旧砂。循环使用的旧砂性质要发生变化，如部分粘土、煤粉和活化膨润土用的碳酸钠烧损，砂粒的形状和粒度分布发生改变，水分蒸发等，这就给型砂性能的控制带来一定的困难。

湿型砂的日常检测项目主要有水分、紧实率、透气性和湿强度。实际水分含量多在 4%-6% 的范围内。透气性对于铸铁件多在 30-300 范围内。背砂的透气性应较面砂大。湿强度目前大部分以检测湿压强度为主，一般在 50-80kPa。湿拉及湿裂强度的测定主要用于机械化造型时作为辅助检查项目。

三、实验仪器设备和材料

1、实验材料/试样

原砂、膨润土、煤粉、水等。

2、实验设备/仪器/装置

SHN 碾轮式混砂机、SAC 锤击式制样机、STZ 直读型透气性测定仪、SWY 型液压强度机、天平、台秤等。

3、辅助器材：盛砂盘、量杯、毛刷、钢板尺等。

四、实验步骤及方法

1、型砂混制工艺

粘土湿型砂是由粘土、原砂、附加物和水组成的，通过混制使各组分均匀，并在砂粒表面形成均匀的粘土膜，使型砂具有一定的性能。

本实验选择膨润土加入量分别为 8%、10%、12%，水分别为 4%、5%、6%、7%、8%，混砂工艺为：原砂+水→混 5min → +膨润土再混 5min。

实验中分成 5 组，每组完成一个不同的膨润土加入量的一组实验。

2、型砂紧实率测试

(1) 测定型砂的紧实率

紧实率是反映型砂紧实前后体积变化（减少）的百分数(%)。

实践表明：比较干的型砂在未紧实前，颗粒间堆积比较紧密，即松态密度高，紧实后，体积减小不多，而比较湿的型砂，未紧实前的松态密度小，紧实后，体积减小多。所以可以根据型砂在试样筒内紧实前后的体积变化来检查型砂的干湿状态。

试验过程如图 1 所示。

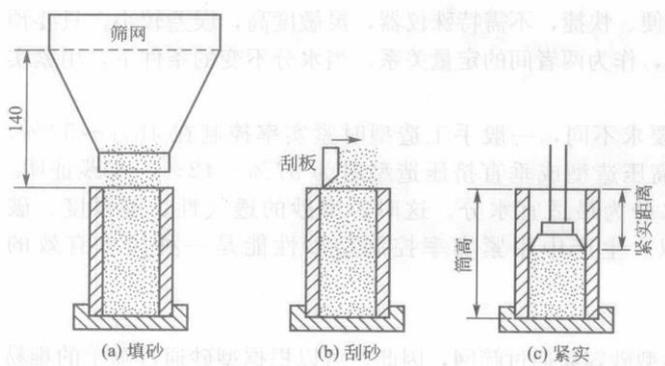


图 1 测定紧实率过程示意图

使型砂通过 3mm 的筛网松散的填入直径 50mm、有效高度 120mm 的试样筒中，将试样筒上端用刮板刮平，然后用压头给型砂施以 1MPa 的压力或用锤击式制样机(如图 2 所示，其主要参数为：重锤重量 6350

±10 克；活动部分总重量 8000±25 克，重锤下落高度 50.8 毫米，型砂试样冲击次数为三次，施于试块上的功为 1 公斤·米。)锤击 3 次，试样体积被压缩的程度作为其紧实率，紧实率可直接从制样机上读出或用紧实高度与试样筒高度之比来表示。



图 2 锤击式制样机

锤击式制样机操作步骤为：

1) 将型砂装入砂样筒中。

2) 左手将杠杆扳手下拉，使冲头举起，右手将砂样筒连同底座放在冲头下，轻轻放下杠杆扳手，使冲头压入筒内。

3) 转动凸轮摇手，转三转，使重锤冲击试样三次。凸轮摇手摇动速度以每转 3 秒为宜。当重锤下落冲击时，摇手要静止片刻，并注意重锤不要冲击在凸轮缘上。此时冲击导杆顶端应在公差刻度线之内，否则试样要重做。

4) 左手拉下杠杆扳手，使冲头举起，右手将试样筒取出。

由于测定型砂的透气率及强度时，须采用标准工艺试样，标准工艺试样为圆柱形，尺寸规格为 $\phi 50 \times 50$ 。因此，在测试型砂紧实率后须计算出每个试样的质量，以便称重制备性能测试用标准砂样。

3、型砂标准试样制取及型砂性能的测定

对不同配方的型砂制样，测定其抗压强度及透气性等型砂性能，分析不同膨润土加入量下的水对型砂性能的影响。

(1) 型砂标准试样的制取

1) 称取适量型砂（具体称重多少根据紧实率实验计算得出），倒入样筒中。

2) 在锤击式冲样器上制作试样。

3) 左手拉下杠杆扳手，使冲头举起，右手将试样筒取出。测湿透气性时，将样筒连同试样拿到透气性测定仪上进行试验；做强度试验时，需将样筒倒转套在顶样柱上，徐徐下压样筒将试样顶出。

(2) 快速法测定透气性

型砂孔隙通过气体的能力称透气性。透气性的大小用透气率表示。它表示单位时间内，在单位压力下通过单位面积和单位长度试样的气体量。即：

$$K = \frac{Q \cdot H}{F \cdot P \cdot t}$$

式中：Q——流过的气体量(厘米³)；

P——试样两端的压力差(克 / 厘米²或厘米水柱)；

H——试样的高度(厘米)；

F——试样的截面积(厘米²)；

t——时间(分)。

透气率的因次为厘米⁴ / 克·分，但一般都不写出，并把透气率作为无因次值。

每种试料的透气率，应取三个试样试验结果的平均值，如果任何一个试验结果与平均值相差超出 10%，试验应重新进行。透气率的计算，其准确度达到整数为止。

(3) 抗压强度测定

型砂的强度以湿态或干态标准试样在不同载荷下——压、剪、拉、弯、裂破坏时的应力数值来表示。

强度试验可以在不同形式的强度试验机上进行。

每种试料的湿强度值，都应由三个试样的强度值平均计算而得(干强度试验是以同一试料测定五个试样，舍去最大值和最小值的二个试样，将剩下三个试样取其平均值，作为干强度值)。如果三个试样中，任何一个试样的强度值与算术平均数相差超出 10%时，试验应重新进行。

4、实验结果的处理

(1) 记录每一种配方型砂的紧实率、透气性、强度值；

(2) 在同一张图中描绘全部配方型砂的紧实率、强度、透气性与水/(水+膨润土)的关系曲线；

(3) 寻找型砂水/(水+膨润土)对紧实率、强度、透气性的影响规律。

五、实验注意事项

(1) 混砂时应严格按混制工艺进行；

(2) 制圆柱形试样时应一人操作，注意安全；

(3) 制样机不许空打；

(4) 操作设备前请认真阅读说明书。

六、实验报告

实验原始数据记录须经实验指导老师签字认可后在小组各成员间共享，每一位参加实验的学生独立完成一份实验报告并按时交指导老师处。

实验报告按学校统一的实验报告格式纸填写，要求写清实验名称、实验目的、实验原理，对实验记录内容整理后写入报告，进行实验结果分析，得出实验结论。

思考题

型砂性能包括哪些方面？

压铸模设计

(学时：8 学时)

压力铸造模具是压铸生产中必需的重要工艺装备，其设计应以铸件压铸工艺设计结果为依据。压铸模具设计是一个非常耗时的过程。本实验中学生将进行某压铸件的压铸模具的拆装，理解各零部件之间的关系；绘制模具装配简图，绘制中对原模具的不足之处加以改进。

一、实验目的

- 1、让学生对压铸模具有一个直观的感受，了解压铸模具的基本结构。
- 2、训练学生机械图纸的表达和绘制能力。

二、实验内容及原理

压铸模具的结构形式因压铸件的结构不同、材质（合金）不同、所用压铸机不同，而有所不同。在工艺上，同一个压铸件可以有不同的分型面方案，选择不同的分型面又会出现完全不同的模具结构。同一个压铸件如果用不同的压铸机生产，其模具的浇注系统结构也有很大的区别。压铸件合金种类不同时，将影响模具的浇注和排溢系统结构。

（一）压铸模的基本结构

压铸模的基本结构形式如图 1 所示。归纳起来，压铸模由以下五个主要部分组成。

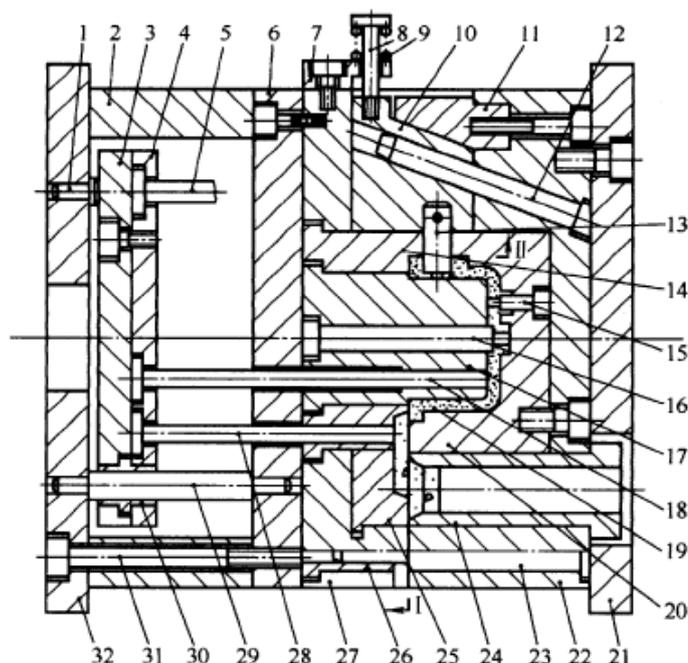


图 1 压铸模的基本结构形式

1-限位钉；2-垫块；3-推板；4-推杆固定板；5-复位杆；6-支承板；7-限位块；
8-拉杆；9-弹簧；10-侧滑块；11-楔紧块；12-斜销；13-侧型芯；14-动模镶块；
15、16 -型芯；17-主型芯；18-推杆；19-型腔；20-型腔镶块；21-定模座板；
22-定模套板；23 -导柱；24-浇口套；25-浇道镶块；26 -导套；27-动模套板；
28-浇道推杆；29-推板导柱；30-推板导套；31-内六角螺钉；32-动模座板

(1) 成型部分

在合模后，由动模镶块 14 和型腔镶块 20 形成一个构成铸件形状的空腔，通常称为型腔 19。构成成型部分的零件即为成型零件。成型零件包括固定的和活动的镶块与型芯，如图中的型腔镶块 20、动模镶块 14、主型芯 17、型芯 15、型芯 16 以及侧型芯 13 等。有时成型零件还构成浇注系统的一部分，如内浇口、横浇道、溢口和排气道等。

(2) 浇注系统

浇注系统是熔融金属由压铸机压室进入压铸模型腔的通道，如图中的浇口套 24、浇道镶块 25 以及横浇道、内浇口、排溢系统等。

由于成型零件和浇注系统的零件均与高温的金属液直接接触，所以它们应选用经过热处理的耐热钢制造。

(3) 模体结构

各种模板、座架等构架零件按一定程序和位置加以组合和固定，将模具的各个结构件组成一个模具整体，并能够安装到压铸机上，如图中的垫块 2、支承板 6、动模套板 27、定模套板 22、定模座板 21 和动模座板 32 等。

导柱 23 和导套 26 是导向零件，又被称为导准零件。它们的作用是引导动模套板与定模套板在开模和合模时能沿导滑方向移动，并准确定位。

(4) 推出机构

将铸件或浇注余料从模具上脱出的机构，包括推出零件和复位零件，如图中的推杆 18、浇道推杆 28、复位杆 5 以及固定它们的推杆固定板 4 和推板 3。同时，为使推出机构在移动时平稳可靠，往往还设置自身的导向零件推板导柱 29 和推板导套 30。为便于清理杂物或防止杂物影响推板的正确复位，还在推板底部设置限位钉 1。

(5) 侧抽芯机构

当铸件侧面有侧凹或侧凸结构时，则需要设置侧抽芯机构，如图中的斜销 12、侧型芯 13、侧滑座 10 以及楔紧块 11、限位块 7、拉杆 8、弹簧 9 等。

(6) 其它

除以上各结构单元外，模具内还有其它用于固定各相关零件的内六角螺栓 31 以及销钉等。

另外，为了保持模具温度的热平衡，以适应压铸工艺的需要，模具内还设有温度调节装置。设置合理良好的模温调节系统，对实现科学地控制压铸工艺参数、确保铸件质量是非常重要的。

(二) 压铸模的基本动作

压铸模在循环工作时，有以下几个基本动作。

(1) 合模。在压铸机合模装置的驱动下，压铸模合模，模具的成型零件形成相对密封的型腔 19。

(2) 压铸填充。熔融的金属液注入压铸机压室，并在压射压力的作用下，压射冲头将金属液经直浇道、横浇道、内浇口，以一定的速度和压力填充型腔。

(3) 在补缩压力作用下夯实金属液，并逐渐冷却固化。

(4) 从主分型面 I 处分型，这时有几个动作同时进行：

1) 压铸件脱离型腔镶块 20；

2) 在斜销 12 的作用下，驱动侧滑块 10 与侧型芯 13 从垂直分型面 11 处分型，并逐渐脱离压铸件；

3) 压铸机压射冲头将直浇道余料推出。

(5) 在压铸机推出装置的驱动下，推板 3 带动推杆 18 及浇道推杆 28，将压铸件和浇注余料脱离模体落下。

(6) 循环合模。清理杂物和涂脱模剂后合模，并在合模力的作用下，复位杆 5 带动推出机构同步复位。

(三) 压铸模具的结构示例

(1) 热室压铸模具基本结构如图 2 所示。这种模具直浇道的浇口套 11 的内部形状为锥形，在动模镶块上设置分流锥 12，其作用是易于直浇道从定模中脱出；但要注意直浇道对分流锥的包紧力较大，设在分流锥旁边必须置推杆 17，才能在推出铸件的同时将直浇道同步推出。浇口套 11 的右端面球窝是与压铸机喷嘴球面相配合的，设计时要注意其半径尺寸。浇口套可以位于模具中心，也可以在一定的范围内偏离中心，但压铸机允许浇口套中心偏离模具中心的最大距离是一定的，设计时要注意在此范围内选择。

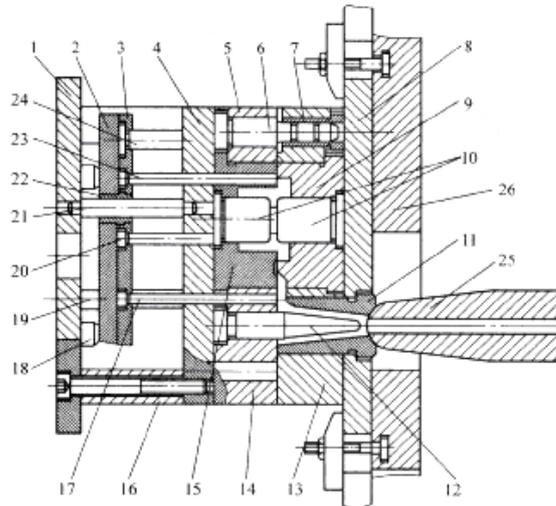


图 2 热室压铸模具基本结构

1-动模座板；2-推板；3-推杆固定板；4-支承板；5-动模套板；6-导柱；7-导套；

8-定模座板；9-定模镶块；10-动、定模型芯；11-浇口套；12-分流锥；13-定模套板；

14-动模套板；15-动模镶块；16--垫块；17、20、23-推杆；18-挡钉；19、21-推板导

柱；

22-推板导套；24-复位杆；25-压射喷嘴；26-定模安装板

(2) 立式冷室压铸模具结构如图 3 所示。这种模具直浇道的浇口套 20 的内部形状也是锥形，根据需要可更换不同直径的浇口套。通常立式冷室压铸机的浇口套是在模具的中心位置，不能变动，所以它适于中心浇口的模具。

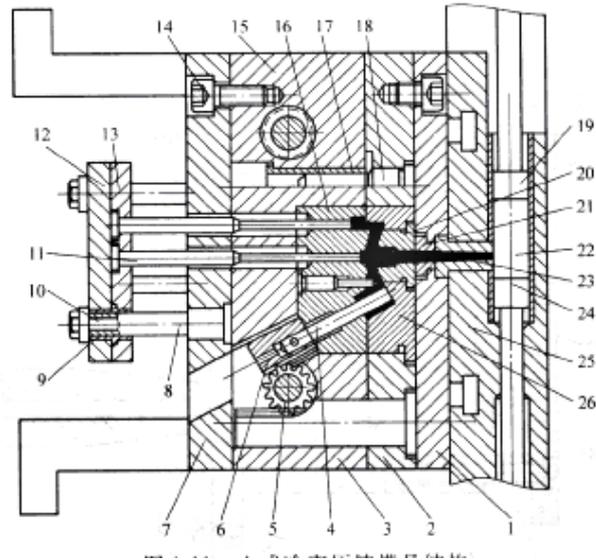


图 3 立式冷室压铸模具结构

1-定模座板；2-定模套板；3-动模套板；4-斜型芯；5-抽芯齿轮；6-齿条
 滑块；7-动模支承板；8-推板导柱；9-推板导套；10-推板限位螺钉；
 11-推杆；12-推板；13-推杆固定板；14-固定螺钉；15-动模套板；16-
 动模镶块；17-导套；18-导柱；19-压射射冲头；20、26-定模镶块；
 21-浇口套；22-压室；23-喷嘴；24-反料冲头；25-定模安装板

(3) 卧式冷室压铸机偏心浇口压铸模具的基本结构如图 4 所示，这是最常用的模具结构形式，直浇道位于型腔的下方，可保证压射之前金属液不会流入型腔。

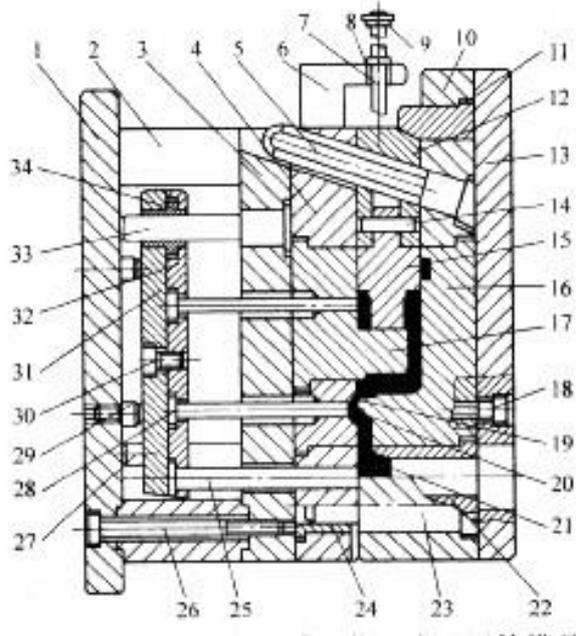


图 4 卧式冷室压铸机偏心浇口压铸模具

- 1-动模座板；2-垫块；3-动模支承板；4-动模套板；5-斜销；6-限位块；
 7-抽芯复位杆；8-抽芯复位弹簧；8-弹簧压紧螺母；10-定模套板；11-滑
 块楔紧块；12-抽芯滑块；13-定模座板；14-抽芯销子；15-侧抽芯子；16-
 定模镶块；17-动模镶块；18-固定螺钉；18-内浇口；20-横浇道；21-直浇
 道；22-浇口套；23-导柱；24-导套；25-复位杆；26-螺钉；27、33-推板
 导柱；28-推杆；28-限位钉；30-推板固定螺钉；31-推板；32-推杆固定
 板；34-推板导套

(4) 卧式冷室压铸机采用中心浇口的压铸模具的基本结构如图 5 所示。

当使用此模具时，中心浇口要设置在压室的上方，以防止金属液自行流入型腔，用图 5 中 2、3 两个零件实现，这又会带来压室中的余料无法取出的问题，为此将定模的套板和镶块作成可沿导向杆 5 滑动的结构，并将浇口套 2 做出内螺纹。开模时，压射冲头随定、动模移动推出余料，在推出的同时，余料被浇口套的内螺纹强制旋转而齐根切断落下。切断后，定模滑动部分被导杆端部挡住，动模继续移动，开模推出铸件。

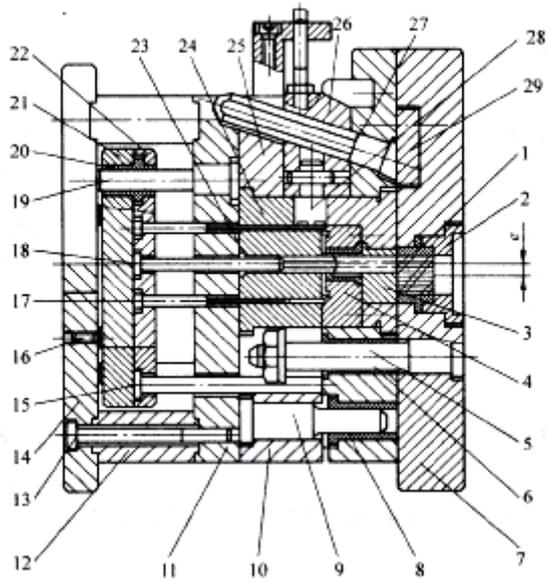


图 5 采用中心浇口的卧式冷室压铸机模具

1-螺旋浇口套；2-固定浇口套；3-直浇道镶块；4-定模镶块；5-定模导向杆；6-导杆套；7-定模座板；8-导套；8-导柱；10-动模套板；11-动模支承板；12-垫块；13-固定螺钉；14-动模座板；15-复位杆；16-限位钉；17-推杆；18-分流锥推杆；18-推板导柱；20-推板导套；21-推板；22-推杆固定板；23-分流锥；24-动模镶块；25-动模套板；26-侧抽芯滑块；27-斜销；28-侧抽芯子；28-斜销压板

(5) 全立式压铸机模具结构如图 6 所示。

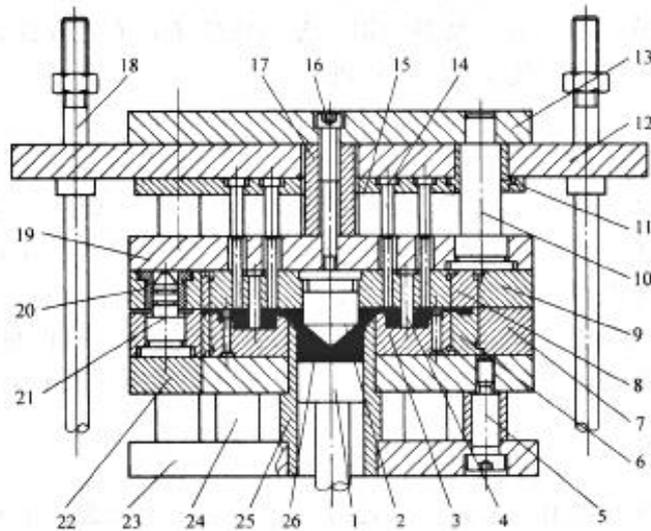


图 6 全立式压铸机模具结构

1-压射冲头；2-分流锥；3、6-定模镶块；4-型芯；5-固定螺钉；7-定模套板；8-动模镶块；8-动模套板；10-推板导柱；11-推板导套；12-推板；13-动模座板；14-推杆；15-推杆固定板；16-固定螺钉；17-动模垫块；18-推板动作杆；18-动模支承板；20-导套；21-导柱；22-定模支承板；23-定模座板；24-定模垫块；25-压室；26-直浇道

三、实验仪器设备及材料

- (1) 某铸件压铸模；
- (2) 模具拆装工具；

四、实验步骤及方法

(1) 模具观察

观察模具的总体结构，说出各部分的功能以及组成零件的名称。

(2) 拆卸模具成部件

将模具拆分成几个部分，绘制部件简图。

(3) 拆分部件成零件

不能分析出零件结构或零件间的关系时，将部件拆分为零件观察。

(4) 装配模具

将部件装配成模具，一边装配一边绘制模具装配简图。

五、实验报告

在“实验结果与分析”中按“实验步骤及方法”的顺序逐一详细描述实验的结果，并在适当时候展示绘制的图形。要求图文结合，先文后图。

铸件缺陷的判别、分析与预防措施制定

(学时：4 学时)

准确判断铸件的缺陷的种类是分析缺陷产生原因的前提，全面分析缺陷产生原因是制定铸造缺陷预防措施的基础。掌握铸造缺陷的特征、准确识别缺陷、全面分析缺陷产生原因、提出缺陷预防措施是铸造工程技术人员必须具备的重要技能。

本实验将对不同铸件进行检查，发现缺陷并判断缺陷的种类，运用所学专业知分析缺陷产生的原因并提出预防缺陷的工艺措施。

一、实验目的

- 1、学会运用专业知识判别缺陷的方法。
- 2、掌握铸件缺陷形成原因分析技术。
- 3、理解铸件质量的影响因素。
- 4、掌握铸件缺陷的防止技术。

二、实验内容及原理

铸件缺陷可分为多肉类，孔洞类，裂纹、冷隔类，表面缺陷，残缺类，形状及重量差错类，夹杂类，性能、成分、组织不合格等八类缺陷。

砂型铸造铸件缺陷主要有：裂纹、冷隔、浇不足、气孔、粘砂、夹砂、砂眼、胀砂等。

由于铸造工序繁多，影响铸件质量的因素复杂，因此，铸件缺陷几乎难以完全避免。因此，进行铸件质量控制，降低废品率，是非常重要的。

要进行铸件缺陷分析，一般要注意以下几点：

- 1、了解各种铸件缺陷的术语及其定义，能描述各种缺陷的具体特征并能识别这些特征

比如，知道有飞边（飞翅）、毛刺、抬箱（抬型）、冲砂、掉砂、气孔、缩孔、冷裂、热裂、冷隔、夹砂结疤、粘砂、浇不足（浇不到）、未浇满、跑火、漏箱、错箱等术语，并且能对这些术语进行准确的解释。

- 2、知道铸件的铸造工艺或者能还原其铸造工艺

铸造工艺是铸造缺陷形成的主要原因之一，只有知道了铸件的铸造工艺，才能准确分析出铸件缺陷形成的可能原因，才能制订出有效的消除缺陷的措施。

- 3、掌握缺陷原因分析的基本方法——因果图（鱼刺图）法

因果图是表示质量问题与影响质量的原因的一种图形，其形状象鱼刺一样，鱼刺也叫鱼刺图，如图 1 所示。

鱼刺图应用要遵循以下程序：

- 1) 简明扼要地确定“结果”，即确定要解决的质量问题，如：铸件的夹砂结疤、缩孔等。
- 2) 确定可能的主要原因即“大原因”。一般大原因有信息系统、人员、机器设备、材料、方法、测量、

环境等。

3) 寻找所有下一层次的原因，即构成大原因的“第二层原因”，并继续一层层地展开下去，找“第三层原因”、“第四层原因”。

4) 从最末一层原因中选取和识别少量（一般为 3-5 个）可能对结果有最大影响的原因（简称为重要原因），对它们开展进一步的工作，如：收集数据、论证、试验、制订控制措施等。

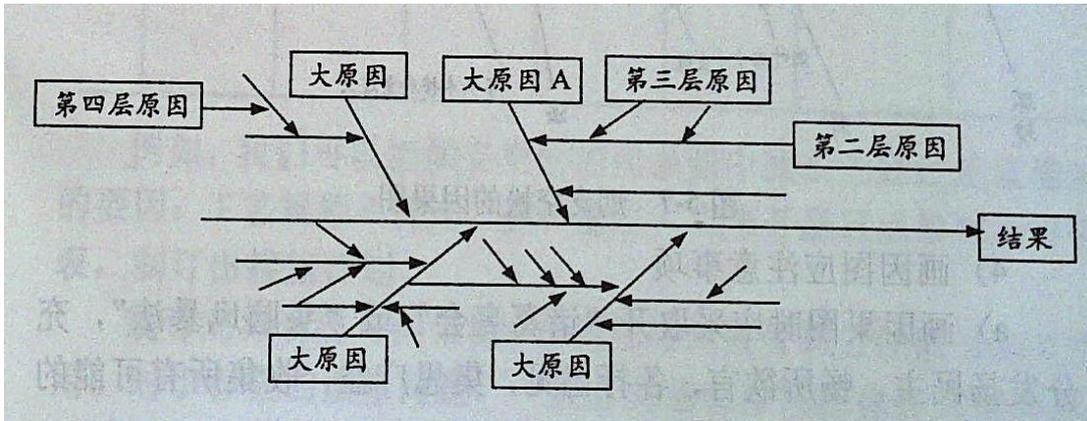


图 1 因果层次展开示意图

4、针对重要原因，制订预防措施

三、实验仪器及药品

各种类型铸件缺陷样品。

四、实验步骤

- 1、记录所观察的样品铸件的名称、绘制铸件示意图；
- 2、还原铸件的铸造工艺图；
- 3、指明缺陷位置和缺陷特征，依据不同缺陷的特征判断缺陷属于哪种缺陷；
- 4、绘制因果图，寻找造成缺陷的可能原因
- 5、确定重要原因，制订预防措施

五、实验注意事项

铸件缺陷有的很锋利，不得用手触摸，以免划伤。

六、实验报告

在实验报告的主体部分，应针对每一个铸件的每一种缺陷按[实验步骤及方法]规定的步骤逐条详细阐述。

铸件生产实验

(学时 6 学时)

根据所给铸件模样，设计铸件的铸造工艺，开展配砂、造型、熔炼、浇注、清理、缺陷分析等铸造过程生产操作。

一、实验目的

熟悉铸造生产过程。

二、实验内容及原理

1、铸造生产的分类

铸造是指将熔化的金属液浇注到与零件形状、尺寸相适应的铸型空腔中，待其冷却、凝固后，形成具有一定形状、尺寸与性能的金属件的生产方法。用铸造得到的金属件称为铸件。

铸造按生产方式不同，可分为砂型铸造和特种铸造两大类。特种铸造又可分为消失模铸造、熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、陶瓷型铸造、连续铸造等 20 余种。

2、铸造生产的特点及其应用

铸造是金属在液态下成型的成型方法，因此可生产形状十分复杂，尤其是具有复杂内腔的各种尺寸规格的毛坯或零件。铸件的大小、重量及生产批量不受限制，比较灵活；生产成本低，节省资源，材料的利用率高，故应用十分广泛，在机床、汽车、拖拉机、动力机械等制造业中，25%—80%的毛坯采用铸造。

3、铸造生产的基本过程

铸造生产可分为三个基本过程，即铸型准备、铸造金属准备和铸件处理。

① 铸型（使液态金属成为固态铸件的容器）准备

铸型按所用材料可分为砂型、金属型、陶瓷型、泥型、石墨型等，按使用次数可分为一次性型、半永久型和永久型，铸型准备的优劣是影响铸件质量的主要因素。

不同的铸造方法有不同的铸型准备内容。以应用最广泛的砂型铸造为例，铸型准备包括造型材料准备和造型造芯两大项工作。砂型铸造中用来造型造芯的各种原材料，如铸造砂、型砂粘结剂和其他辅料，以及由它们配制成的型砂、芯砂、涂料等统称为造型材料。造型材料准备的任务是按照铸件的要求、金属的性质，选择合适的原砂、粘结剂和辅料，然后按一定的比例把它们混合成具有一定性能的型砂和芯砂。

造型造芯是根据铸造工艺要求，在确定好造型方法，准备好造型材料的基础上进行的。铸件的精度和全部生产过程的经济效果，主要取决于这道工序。

② 铸造金属的熔化与浇注

铸造金属是指铸造生产中用于浇注铸件的金属材料，它是以一种金属元素为主要成分，并加入其他金属或非金属元素而组成的合金，习惯上称为铸造合金，主要有铸铁、铸钢和铸造有色合金。

金属熔炼不仅仅是单纯的熔化，还包括冶炼过程，使浇进铸型的金属，在温度、化学成分和纯净度方面都符合预期要求。为此，在熔炼过程中要进行以控制质量为目的的各种检查测试，液态金属在达到各项规定指标后方能允许浇注。有时，为了达到更高要求，金属液在出炉后还要经炉外处理，如脱硫、真空脱气、炉外精炼、孕育或变质处理等。

③ 铸件处理和检验

铸件处理包括清除型芯和铸件表面异物、切除浇冒口、铲磨毛刺和披缝等凸出物以及热处理、整形、防锈处理和粗加工等。

铸件自浇注冷却的铸型中取出后，有浇口、冒口、金属毛刺、披锋和合模线，砂型铸造的铸件还粘附着砂子，因此必须经过清理工序。砂型铸件落砂清理是劳动条件较差的一道工序，所以在选择造型方法时，应尽量考虑到为落砂清理创造方便条件。有些铸件因特殊要求，还要经铸件后处理，如热处理、整形、防锈处理、粗加工等。

三、实验仪器及材料

- 1、造型平台，砂箱及造型用工具；
- 2、原砂、膨润土、水玻璃等
- 3、合金熔炼炉，坩埚，铝粒、工业硅粒、NaCl 等炉料

四、实验步骤及方法

1、型砂混制

粘土湿型砂是由粘土、原砂、附加物和水组成的，通过混制使各组分均匀，并在砂粒表面形成均匀的粘土膜，使型砂具有一定的性能。

本实验选择膨润土加入量分别为 10%，水/(水+膨润土)分别为 22%，混砂工艺为：原砂+水→混 5min → +膨润土再混 5min。

2、铸型制造

图 1 为手工造型的基本过程。

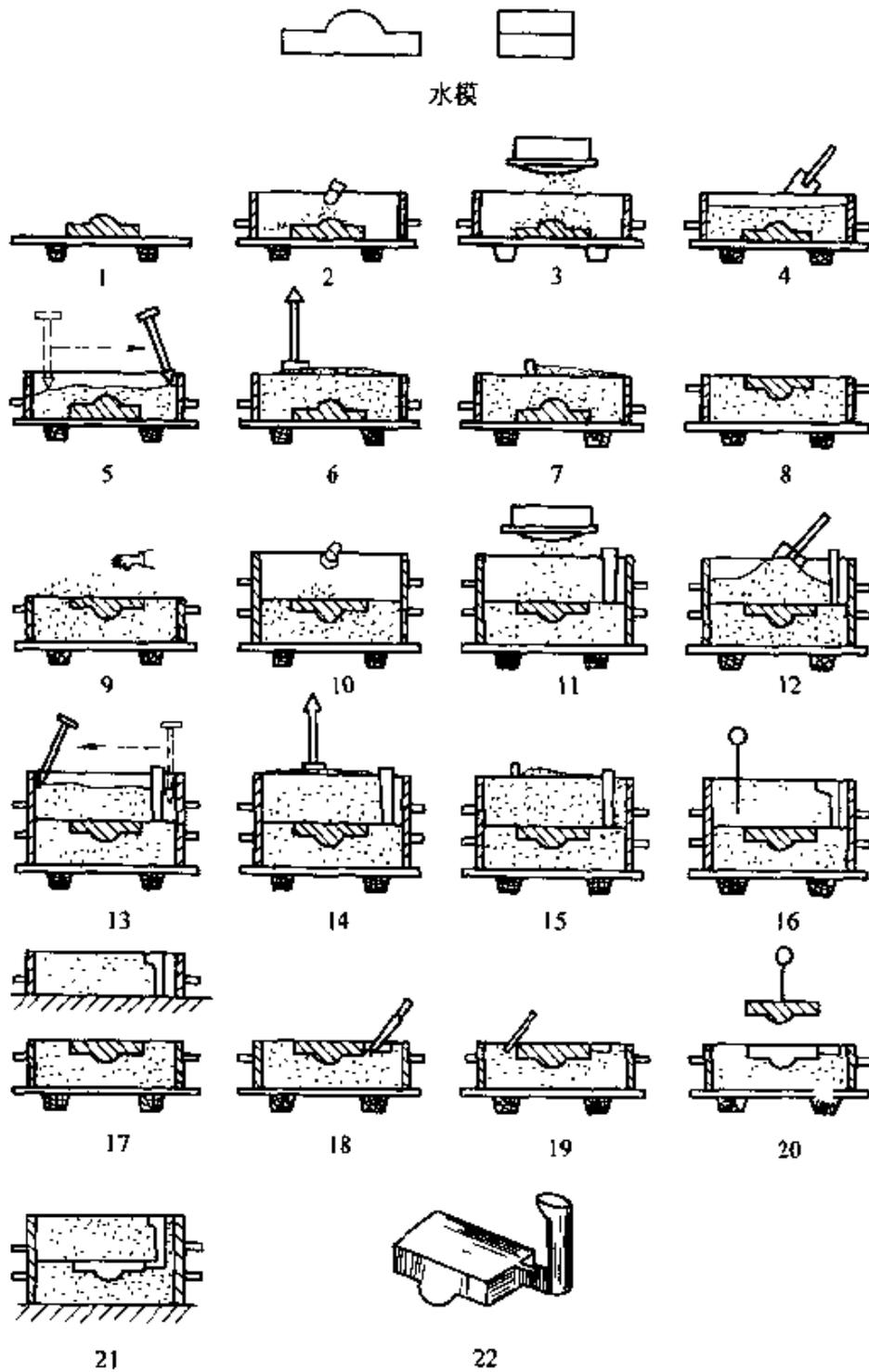


图1 手工造型的基本过程

按序号分述如下：

- (1) 把木模放在平板上。
- (2) 放置下砂箱，并在木模上撒上防粘模材料。
- (3) 在木模上筛上面砂。

- (4) 铲入背砂。
- (5) 春实型砂。
- (6) 用平头砂冲春实最后一层型砂。
- (7) 刮去高出砂箱的型砂。
- (8) 翻转下砂箱。
- (10) 放置上砂箱并撒上防粘模材料。
- (11) 放上浇口棒，在木模上筛上面砂。
- (12) 铲入背砂。
- (13) 春实砂型。
- (14) 春实最后一层型砂。
- (15) 刮去高出砂箱的型砂。
- (16) 扎气眼、取出浇口棒。
- (17) 挖出外浇口。
- (18) 修整分型面，开挖内浇道。
- (19) 用水湿润木模周围的型砂。
- (20) 取出木模。
- (21) 合型，加压铁浇注。
- (22) 铸件。

3、合金熔炼与浇注

本实验以 ZL102 为铸件材料，化学成分：10.0-13.0% Si， Al 余量。

熔炼过程按下面的描述进行：

(1)加料顺序：先把硅块加在已预热发红的坩埚内，再加 Al 总量的 3/4，然后进行快速熔化，待铝基本熔化后，在其表面加上重量为炉料重量 2%的覆盖剂。当铝完全融化，把熔体的温度控制在 780C°左右，对熔炼共晶或近共晶铝硅合金而言，虽然硅的熔点比较高，但硅在铝液中的溶解度比较大，硅是不难溶解的。

(2)熔炼温度及熔炼时间：熔炼温度若超过 780C°，将造成铝液过热，而吸收大量的氢气(在一个大气压 700C°下，100 g 铝液，含氢气 0.15 mL，900C°时含氢气 1.48 mL)。熔炼时间过长，不仅费时，还可能增加熔体的吸气量。所以在保证完成化合的前提下，时间愈短愈好。

(3)熔炼的操作要求：当熔体达到 780C°左右，用充分预热的搅拌棒(最好是石墨的)，把熔体下部的硅块轻轻搅动，使其上浮至坩埚上部，绝不能剧烈搅动，以防将硅块翻弄到铝液面上或夹于覆盖剂内，与铝液隔离无法熔化，而导致熔炼失败。

由于铝在 800C°时的相对密度是 2.36 g/cm³，与硅块的相对密度 2.37 g/cm³相近，加上铝液表面张力的作用，上浮的硅块基本能浸入在铝液里，并在溶解过程中与铝液相互湿润，增加了铝液对硅块的粘附作用，从而加速硅块的熔化过程。

在搅动硅块时，一定不能把硅块弄到熔体面上，因为硅被氧化会生成高熔点(1710 C°)的氧化物。

当硅全部熔化并充分合金化后，加入余下的铝以调整熔体温度，使其在 750 C°左右，并及时进行浇注。

5、脱箱与铸件清理

打箱，并将铸件上的残砂清理干净，去除浇口、冒口和飞边。

6、铸件检查

对铸件的外观完整性进行检查，并观察是否有浇不到、砂眼、孔洞、裂纹等缺陷。

五、实验数据

- 1、型砂配方及混制工艺
- 2、砂型制造过程描述
- 3、合金配方及熔炼工艺
- 4、铸件外观质量描述

六、注意事项

- 1、本实验涉及合金熔炼和浇注，应指定几个同学专门操作，操作中注意防止烫伤。
- 2、实验中禁止嬉戏打闹。
- 3、实验分小组进行，组内同学应分工合作，配合默契，实验数据组内共享。

《铸造数值模拟综合实践》指导书

(独立设课实验课程)

一、课程目标

本课程为实践性环节,通过本课程的学习,使学生能运用铸造数值模拟专用软件对某铸件的铸造工艺进行数值模拟;能准确分析模拟结果;能提出可行的工艺改进建议。

二、实验内容及学时分配

单元 1. 某铸件铸造工艺的设计及铸件和浇冒系统三维建模 (8 学时)

通过实验(某铸件铸造工艺的设计及铸件和浇冒系统三维建模),让学生运用所学铸造工艺设计理论知识设计指定铸件的铸造工艺,熟练运用三维建模软件建立实体三维模型,培养学生铸造工艺设计能力和三维建模能力。

教学内容:设计指定零件的铸造工艺,并用三维建模软件建立铸件、浇注系统、冒口等工艺要素的三维模型

基本要求:能设计铸件的铸造工艺并能用规范的工艺符号绘制铸造工艺图。能运用三维建模软件完成铸件、浇注系统、补缩系统等的三维模型,并转换为 STL 格式文档存储备用。

单元 2. 铸造工艺数值模拟 (8 学时)

通过实验(铸造工艺数值模拟),让学生了解数值模拟的作用、局限,掌握铸造工艺数值模拟的步骤和方法。

教学内容:用指导的数值模拟软件对所设计的铸造工艺进行数值模拟。

基本要求:能完成铸造数值模拟软件的安装;能将三维模型导入软件系统并按铸造工艺要求组装模型;能根据铸件特点划分均匀和非均匀网格;能进行铸造合金、造型材料等热物性参数的设置(含参数修改和用户数据库的建立与使用);能按所设计的铸造工艺进行工艺参数设置;能进行数值模拟参数的设置;能启动软件运行数值模拟。

单元 3. 铸造工艺数值模拟结果分析 (8 学时)

通过实验(铸造工艺数值模拟结果分析),让学生了解数值模拟软件的结果显示、结果分析功能,掌握铸造缺陷显示方法,提高分析缺陷成因制定预防缺陷的措施的能力。

教学内容:对数值模拟结果进行分析,发现模拟生产的铸件存在的缺陷,分析原因、提出改进措施。

基本要求:能动态观察浇注时金属液的流动,并识别金属液的流动状态(流股集中程度、速度大小和方向)及分析金属液对铸型(芯)的冲击和金属液的卷气与憋气;能动态观察金属液的凝固过程及判断缩孔、缩松分布;能根据数值模拟结果提出相关改进方案。

三、考核方式及要求

考核方式:安全及实验过程(20%)+实验考核(40%)+实验报告(40%)

考核形式:考查

单元 1 . 某铸件铸造工艺的设计及铸件和浇冒系统三维建模

(8 学时)

一、教学目的

通过“轮”铸件铸造工艺的设计及铸件和浇冒系统三维建模), 让学生运用所学铸造工艺设计理论设计铸件的铸造工艺, 熟练运用三维建模软件建立实体三维模型, 培养学生铸造工艺设计能力和三维建模能力。

二、基本要求

能设计铸件的铸造工艺并能用规范的工艺符号绘制铸造工艺图。能运用三维建模软件完成铸件、浇注系统、补缩系统等三维模型, 并转换为 STL 格式文档存储备用。

三、轮零件图

本实践项目指定的铸件如图 1-1 所示。

四、教学内容及过程

(一) 设计指定零件“轮”的铸造工艺

基本要求: 能设计轮铸件的铸造工艺并能用规范的工艺符号绘制铸造工艺图。

(二) 三维模型的建立

基本要求: 用三维建模软件分别建立铸件、浇注系统、补缩系统等工艺要素的三维模型, 并转换为 STL 格式文档存储备用。

本课程拟用 CAXA 制造工程师完成铸件、浇注系统、补缩系统的三维模型的建立, 建模方法以特征实体造型为主。

通常的特征包括孔、槽、型腔、凸台、圆柱体、圆锥体、球体、管子等, CAXA 制造工程师可以方便地建立和管理这些特征信息。

可以将特征分成实体和虚体两类。实体模型的生成可以用增料方式, 通过拉伸、旋转、导动、放样或加厚曲面来实现; 虚体模型的生成可以用减料方式, 从实体中减掉实体或用曲面裁剪来实现。还可以用等半径过渡、变半径过渡、倒角、打孔、增加拔模斜度和抽壳等高级特征功能来实现。

1 零件的特征识别

认真识读零件图, 在头脑中建立起零件的三维模型, 将零件拆解为若干个特征实体和特征虚体。

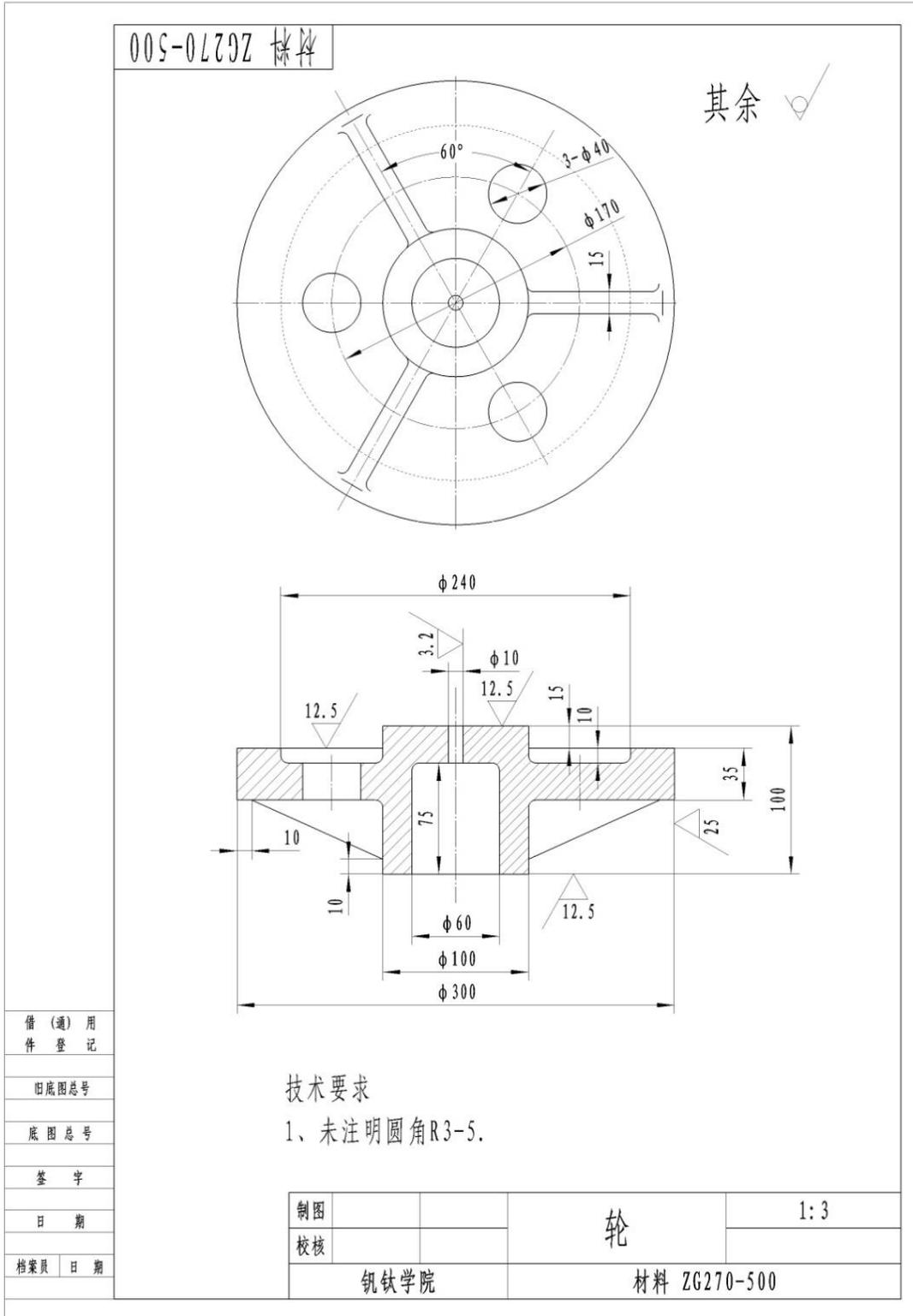


图 1-1 轮零件图

2 依次建立特征，完成零件的三维建模

2.1 草图绘制

特征生成是基于草图来实现的，也就是说，草图绘制是特征生成的关键步骤。

草图，也称为轮廓，是特征生成所依赖的曲线组合。草图是为特征造型准备的一个平面封闭图形。

绘制草图的过程可分为①确定绘制草图的基准平面；②进入草图状态；③图形的绘制；④图形的编辑；⑤草图参数化修改等五步。下面将按绘制草图的过程依次介绍。

2.1.1 选择零件三维模型的基准面

草图（一个平面封闭图形）中曲线必须依赖于一个基准面，开始一个新草图前也就必须选择或创建一个基准面。

基准面可以是特征树中已有的坐标平面（如 XY, XZ, YZ 坐标平面），也可以是实体中生成的某个平面，还可以是构造出的平面。

（1）选择基准平面。实现选择很简单，只要用鼠标点取特征树中平面（包括三个坐标平面和构造的平面）的任何一个，或直接用鼠标点取已生成实体的某个平面就可以了。

（2）创建基准平面。基准平面是草图和实体赖以生存的平面。在 CAXA 制造工程师中一共提供了“等距平面确定基准平面”；“过直线与平面成夹角确定基准平面”；“生成曲面上某点的切平面”；“过点且垂直于曲线确定基准平面”；“过点且平行平面确定基准平面”；“过点和直线确定基准平面”和“三点确定基准平面”等七种构造基准平面的方式，从而大大提高了实体造型的速度。

【操作】

单击“造型”，指向“特征生成”，选择“基准面”命令或单击 按钮，出现“构造基准面”对话框。

2.1.2 进入草图状态

选择一个基准平面后，按下绘制草图 按钮，在特征树中添加了一个草图树枝，表示已经处于草图状态，可以开始绘制一个新草图了。

2.1.3 草图绘制

进入草图状态后，利用曲线生成命令绘制需要的草图即可。草图的绘制可以通过两种方法进行：第一，直接按照标准尺寸精确作图。第二，也可以先绘制出图形的大致形状，然后通过草图参数化功能对图形进行修改，最终得到我们所期望的图形。

2.1.4 编辑草图

在草图状态下绘制的草图一般要进行编辑和修改。在草图状态下进行的编辑操作只与该草图相关，不能编辑其他草图的曲线或（草图曲线之外的）空间曲线。草图只有处于打开状态时，才可以被编辑和修改。

退出草图状态后，如果你还想修改某基准平面上已有的草图，只需在特征树中选取这一草图，按下绘制草图按钮 或将光标移到特征树的草图上，按右键在弹出的立即菜单中选择“编辑草图”，进入草图状态，也就是说这一草图被打开了。

2.1.5 草图参数化修改

在草图环境下，您可以任意绘制曲线，大可不必考虑坐标和尺寸的约束。之后，您对绘制的草图标注尺

寸，接下来只需改变尺寸的数值，二维草图就会随着给定的尺寸值而变化、达到你最终希望的精确形状，这就是草图参数化功能，也就是尺寸驱动功能。制造工程师还可以直接读取非参数化的 EXB、DXF、DWG 等格式的图形文件，在草图中对其进行参数化重建。草图参数化修改适用于图形的几何关系保持不变，只对某一尺寸进行修改。

尺寸驱动操作一般要经历三个步骤：尺寸标注、尺寸编辑和尺寸驱动。

2.1.6 草图环检查

【功能】

只有封闭的草图才能用于创建实体。草图环检查就是用来检查草图环是否封闭的。当草图环封闭时，系统提示“草图不存在开口环”。当草图环不封闭时，系统提示“草图在标记处为开口状态”，并在草图中用红色的点标记出来，如果出现这一情况，就必须对草图进行修改。

【操作】

单击“造型”，单击“草图环检查”，或者直接单击按钮，系统弹出草图是否封闭的提示。

【注意】

草图环检查按钮位于曲线工具条的最下边，位置较隐蔽。

2.1.7 退出草图状态

当草图编辑完成后，单击绘制草图按钮，按钮弹起表示退出草图状态。只有退出草图状态后才可以生成特征。

2.2 轮廓特征生成

特征生成的方法很多，这里只介绍常用的、满足本实践需要的几种方法。

2.2.1 拉伸增料

将一个轮廓曲线（草图）根据指定的方向和距离做拉伸操作，用以生成一个增加材料的特征。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，再指向“增料”，单击“拉伸”，或者直接单击按钮，弹出拉伸加料对话框，如图 1-2。



图 1-2 拉伸增料对话框

(2) 选取拉伸类型，填入深度，拾取草图，单击“确定”完成操作。

【参数】

(1) 拉伸类型包括“固定深度”、“双向拉伸”和“拉伸到面”。

固定深度：是指按照给定的深度（高度）数值进行单向的拉伸。

双向拉伸：是指以草图为中心，向相反的两个方向进行拉伸，深度（高度）值以草图为中心平分。

拉伸到面：是指拉伸位置以某曲面为结束点进行拉伸，需要选择要拉伸的草图和拉伸到的曲面。

(2) 深度：是指拉伸的尺寸值，可以直接输入所需数值，也可以点击按钮来调节。

(3) 拉伸对象：是指需要拉伸的草图。

(4) 反向拉伸：是指与默认方向相反的方向进行拉伸。

(5) 增加拔模斜度：是指使拉伸的实体带有锥度。本老师建议，拉伸时不选斜度，到建模后期再按设计的工艺要求施放适当的拔模斜度。

角度：是指拔模时母线与中心线的夹角。

向外拔模：是指与默认方向相反的方向进行操作。

(6) 拉伸为：实体特征或薄壁特征。

薄壁特征生成：单击并选择“拉伸为”下拉菜单中的“薄壁特征”，系统会自动弹出“薄壁特征”标签。

2.2.2 拉伸除料

将一个轮廓曲线（草图）根据指定的距离做拉伸操作，用以生成一个减去材料的虚体特征。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，再指向“除料”，单击“拉伸”，或者直接单击 按钮，弹出拉伸除料对话框。

(2) 选取拉伸类型，填入深度，拾取草图，单击“确定”完成操作。

2.2.3 旋转增料

通过围绕一条空间直线（是在草图状态之外绘制的一条直线）旋转一个或多个封闭轮廓（草图），增加生成一个特征。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，再指向“增料”，单击“旋转”；或者直接单击 按钮，弹出旋转特征对话框，如图 1-3。



图 1-3 旋转增料对话框

(2) 选取旋转类型，填入角度，拾取草图和轴线，单击“确定”完成操作。

【注意】 轴线是空间曲线，需要退出草图状态后绘制。

2.2.4 旋转除料

通过围绕一条空间直线旋转一个或多个封闭轮廓，移除生成一个（虚体）特征。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，再指向“除料”，单击“旋转”；或者直接单击 按钮，弹出旋转除料对话框。

(2) 选取旋转类型，填入角度，拾取草图和轴线，单击“确定”完成操作。

【注意】 轴线是空间曲线，需要退出草图状态后绘制。

2.2.5 放样增料

根据多个截面线轮廓生成一个实体。截面线应为草图轮廓。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，再指向“增料”，单击“放样”，或者直接单击 按钮，弹出放样对话框，如图 1-4。

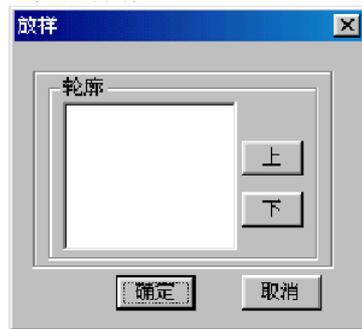


图 1-4 放样增料对话框

(2) 选取轮廓线，单击“确定”完成操作。

【参数】

轮廓：是指对需要放样的草图。

上和下：是指调节拾取草图的顺序。

【注意】

(1) 轮廓按照操作中的拾取顺序排列。

(2) 拾取轮廓时，要注意状态栏指示，拾取不同的边，不同的位置，会产生不同的结果，如图 1-5。

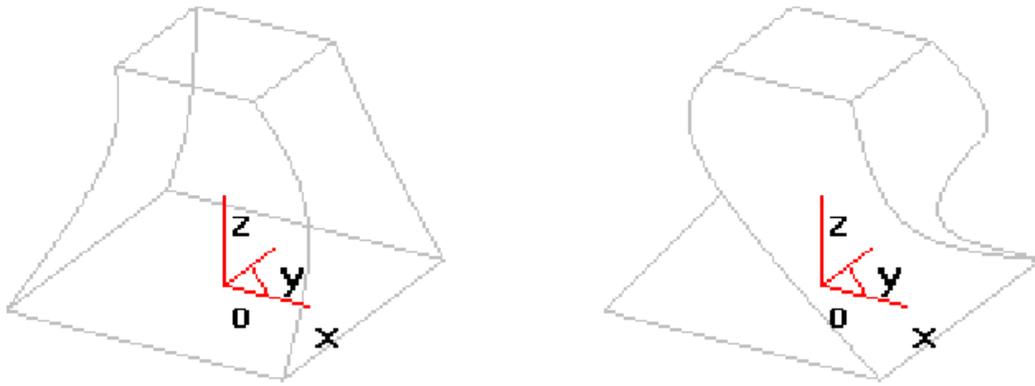


图 1-5 放样增料示意图

2.2.6 放样除料

根据多个截面线轮廓移出一个实体。截面线应为草图轮廓。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，再指向“除料”，单击“放样”；或者直接单击按钮，弹出放样除料对话框。

(2) 选取轮廓线，单击“确定”完成操作。

【参数】

轮廓：是指对需要放样的草图。

上和下：是指调节拾取草图的顺序。

【注意】

(1) 轮廓按照操作中拾取顺序排列。

(2) 拾取轮廓时，要注意指示，拾取不同的边，不同的位置，会产生不同的结果，如图 1-6。

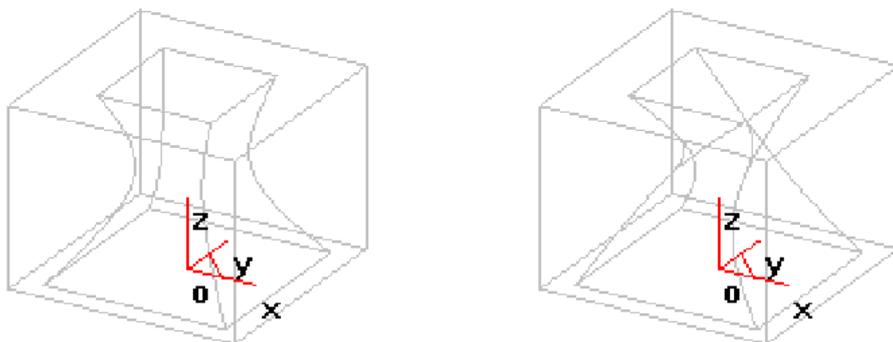


图 1-6 拾取不同边的不同位置对结果有影响

2.2.7 导动增料

将某一截面曲线或轮廓线沿着另外一条轨迹线运动生成一个特征实体。截面线应为封闭的草图轮廓，截面线的运动形成了导动曲面。

(1) 绘制完截面草图和导动曲线后，单击“造型”下拉菜单，指向“特征生成”，再指向“增料”，单击“导动”，或者直接单击“导动增料”按钮。系统会弹出相应的“导动”对话框。如下图 1-7

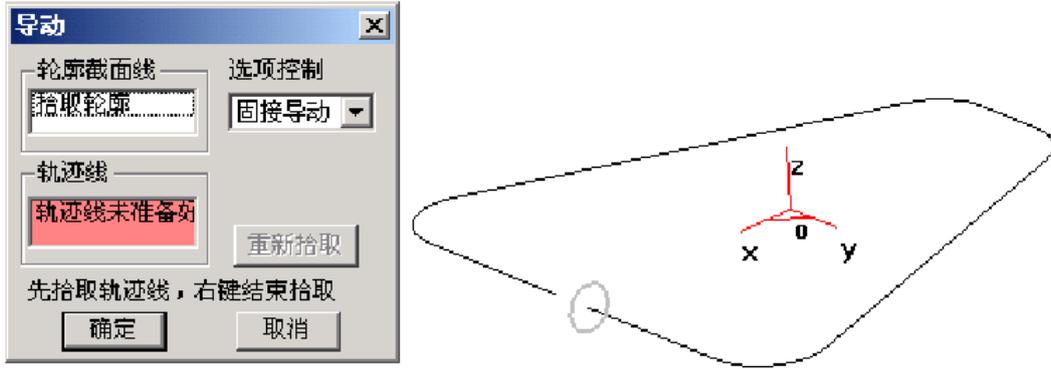


图 1-7 导动对话框

(2) 按照对话框中的提示“先拾取轨迹线，右键结束拾取”，先用鼠标左键点取导动线的起始线段，根据状态栏提示“确定链搜索方向”，单击鼠标左键确认拾取完成。

(3) 选取截面相应的草图，在“选项控制”中选择适当的导动方式。

(4) 单击“确定”完成实体造型。

【参数】

(1) 轮廓截面线：是指需要导动的草图，截面线应为封闭的草图轮廓。

(2) 轨迹线：是指草图导动所沿的路径。

(3) 选项控制中包括“平行导动”和“固接到动”两种方式。

平行导动：是指截面线沿导动线趋势始终平行它自身地移动而生成的特征实体，如图 1-8。

固接导动：是指在导动过程中，截面线和导动线保持固接关系，即让截面线平面与导动线的切矢方向保持相对角度不变，而且截面线在自身相对坐标架中的位置关系保持不变，截面线沿导动线变化的趋势导动生成特征实体，如图 1-9。

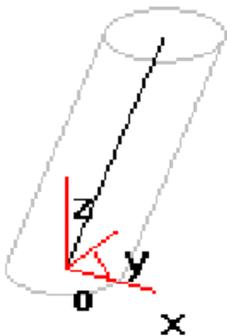


图 1-8 平行导动

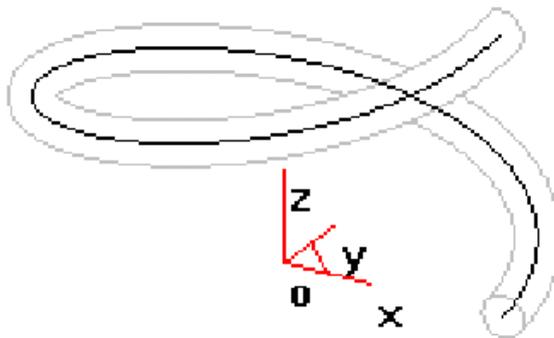


图 1-9 固接导动

【注意】

(1) 导动方向和导动线链搜索方向选择要正确。

(2) 导动的起始点必须在截面草图平面上。

(3) 导动线（应是空间曲线）可以是多段曲线组成，但是曲线间必须是光滑过渡。

2.2.8 导动除料

将某一截面曲线或轮廓线沿着另外一外轨迹线运动移出一个特征实体。截面线应为封闭的草图轮廓，截面线的运动形成了导动曲面。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，再指向“除料”，单击“导动”；或者直接单击按钮，弹出导动对话框。

(2) 选取轮廓截面线和轨迹线，具体方法与“导动增料”一致，这里就不再复述了，单击“确定”完成操作。

2.2.9 曲面加厚增料

对指定的曲面按照给定的厚度和方向生成实体。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，再指向“增料”，单击“曲面加厚”；或者直接单击按钮，弹出曲面加厚对话框，如图 1-10。

(2) 填入厚度，确定加厚方向，拾取曲面，单击“确定”完成操作。

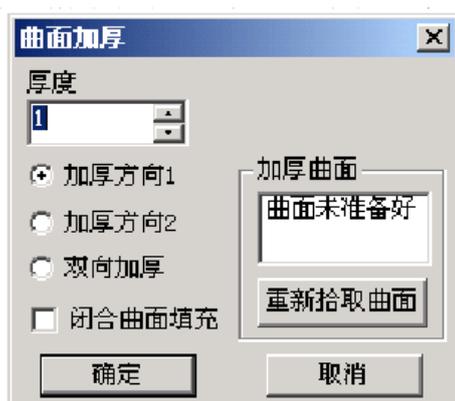


图 1-10 曲面加厚增料对话框

【参数】

厚度：是指对曲面加厚的尺寸，可以直接输入所需数值，也可以点击按钮来调节。

加厚方向 1：是指曲面的法线方向。

加厚方向 2：是指与曲面法线相反的方向。

双向加厚：是指从两个方向对曲面进行加厚。

加厚曲面：是指需要加厚的曲面。

闭合曲面填充：将封闭的曲面生成实体。

“闭合曲面填充” 能实现以下几种功能：闭合曲面填充、闭合曲面填充增料、曲面融合、闭合曲面填充减料。

1. 闭合曲面填充

1) 绘制完封闭的曲面后, 单击“造型”下拉菜单, 指向“特征生成”, 再指向“增料”, 单击“曲面加厚”, 或者直接单击“曲面加厚增料”按钮。系统弹出“曲面加厚”对话框, 勾选“闭合曲面填充”选项。

2) 在对话框中选择适当的精度, 按照系统提示, 拾取所有曲面, 单击“确定”完成。

2. 闭合曲面填充增料

1) “闭合曲面填充增料”就是在原来实体零件的基础上, 根据闭合曲面, 增加一个实体, 和原来的实体构成一个新的实体零件。闭合曲面区域和原实体必须相接触的部分, 此外该曲面也必须时闭合的。

2) 方法和命令路径与闭合曲面填充的方法一致。如图 1-11。

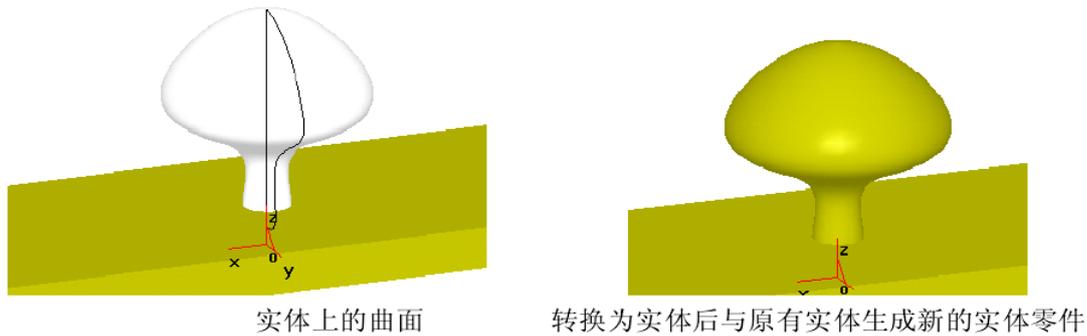


图 1-11

3. 曲面融合

曲面融合就是在实体上用曲面与当前实体围成一个区域, 把该区域填充成实体。方法和命令路径与闭合曲面填充的方法一致。如图 1-12。

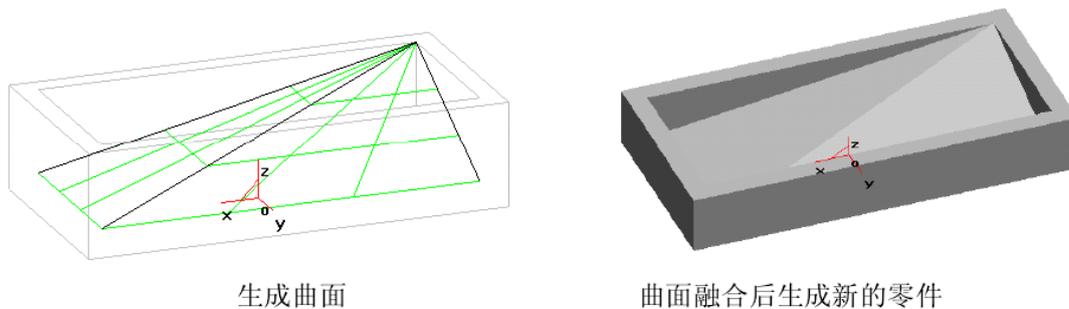


图 1-12

2.2.10 曲面加厚除料

对指定的曲面按照给定的厚度和方向进行移除的特征修改。

(1) 单击“造型”, 指向“特征生成”, 再指向“除料”, 单击“曲面加厚”; 或者直接单击按钮, 弹出曲面加厚对话框。

(2) 填入厚度, 确定加厚方向, 拾取曲面, 单击“确定”完成操作。

【注意】

(1) 加厚方向选择要正确。

(2) 应用曲面加厚除料时, 实体应至少有一部分大于曲面。若曲面完全大于实体, 系统会提示特征操

作失败。

(3) 曲面填充减料中曲面必须使用封闭的曲面。

2.2.11 曲面裁剪

用生成的曲面对实体进行修剪，去掉不需要的部分。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，再指向“除料”，单击“曲面裁剪”；或者直接单击按钮。弹出曲面裁剪对话框，如图 1-13。

(2) 拾取曲面，确定是否进行除料方向选择，单击“确定”完成操作。

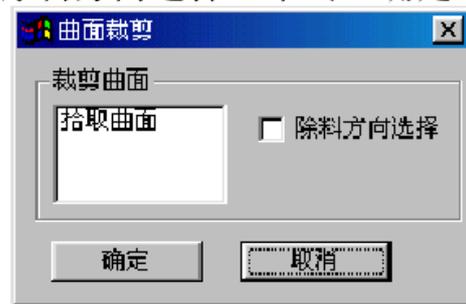


图 1-13 曲面裁剪对话框

【参数】

裁剪曲面：是指对实体进行裁剪的曲面，参与裁剪的曲面可以是多张边界相连的曲面。

除料方向选择：是指除去哪一部分实体的选择，分别按照不同方向生成实体。

【注意】

在特征树中，右键单击“曲面裁剪”，后“修改特征”，弹出对话框，其中增加了“重新拾取曲面”的按钮，可以以此来重新选择裁剪所用的曲面。

2.3 处理特征

2.3.1 过渡

过渡是指以给定半径或半径规律在实体间作光滑过渡。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，单击“过渡”；或者直接单击按钮，弹出过渡对话框，如图 1-14。



图 1-14 过渡对话框

(2) 填入半径，确定过渡方式和结束方式，选择变化方式，拾取需要过渡的元素，单击“确定”完成操作。

2.3.2 倒角

倒角是指对实体的棱边进行光滑过渡。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，单击“倒角”；或者直接单击 按钮，弹出倒角对话框，如图 1-15。

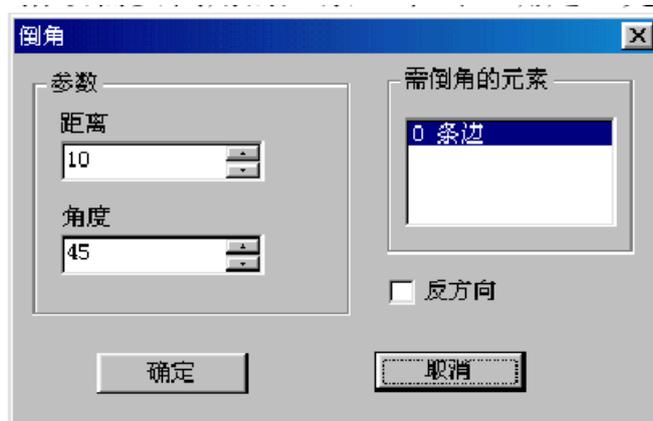


图 1-15 倒角对话框

(2) 填入距离和角度，拾取需要倒角的元素，单击“确定”完成操作。

2.3.3 孔

是指在平面上直接去除材料生成各种类型的孔。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，单击“孔”；或者直接单击 按钮，弹出孔对话框。

(2) 拾取打孔平面，选择孔的类型，指定孔的定位点，点击“下一步”。

(3) 填入孔的参数，单击“确定”完成操作。

【参数】

主要是不同的孔的直径、深度，沉孔和钻头的参数等。

通孔：是指将整个实体贯穿。

【注意】

- (1) 通孔时，深度不可用。
- (2) 指定孔的定位点时，点击平面后按回车，可以输入打孔位置的坐标值。

2.3.4 拔模

拔模是指保持中性面与拔模面的交轴不变（即以此交轴为旋转轴），对拔模面进行相应拔模角度的旋转操作。

此功能用来对几何面的倾斜角进行修改。如图 1-16 的某直孔，用户可通过拔模操作把其修改成带一定拔模角的斜孔。

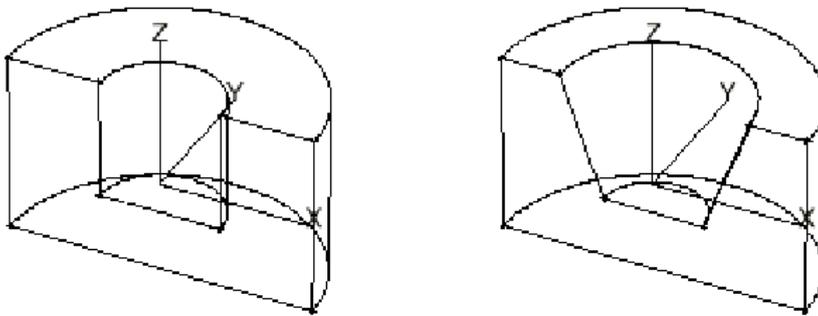


图 1-16 拔模示例图

- (1) 单击“造型”，指向“特征生成”，单击“拔模”；或者直接单击按钮，弹出拔模对话框。
- (2) 填入拔模角度，选取中立面和拔模面，单击“确定”完成操作。

【参数】

拔模角度：是指拔模面法线与中立面所夹的锐角。

中立面：是指拔模起始的位置。

拔模面：需要进行拔模的实体表面。

向里：是指与默认方向相反，分别按照两个方向生成实体，如图 1-17。

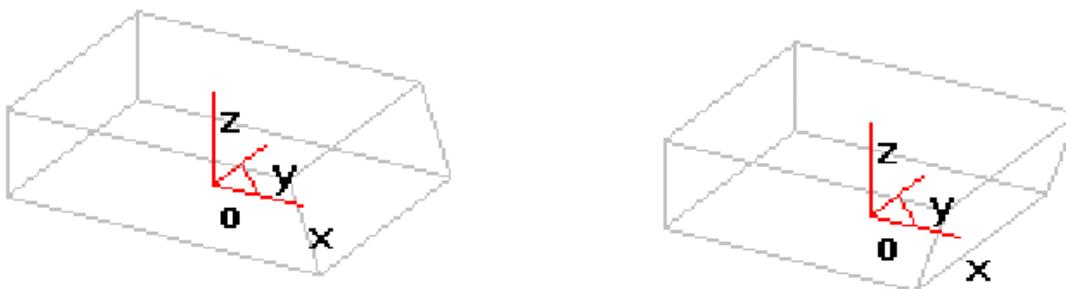


图 1-17

【注意】 拔模角度不要超过合理值。

2.3.5 抽壳

根据指定壳体的厚度将实心物体抽成内空的薄壳体。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，单击“抽壳”；或者直接单击 按钮，弹出抽壳对话框，如图 1-18。

(2) 填入抽壳厚度，选取需抽去的面，单击“确定”完成操作。

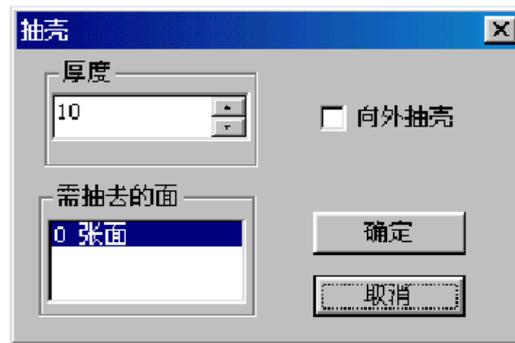


图 1-18 抽壳对话框

【参数】

厚度：是指抽壳后实体的壁厚。

需抽去的面：是指要拾取，去除材料的实体表面。

向外抽壳：是指与默认抽壳方向相反，在同一个实体上分别按照两个方向生成实体，结果是尺寸不同。

2.3.6 筋板

在指定位置增加加强筋。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，单击“筋板”；或者直接单击 按钮，弹出筋板对话框，如图 1-19。

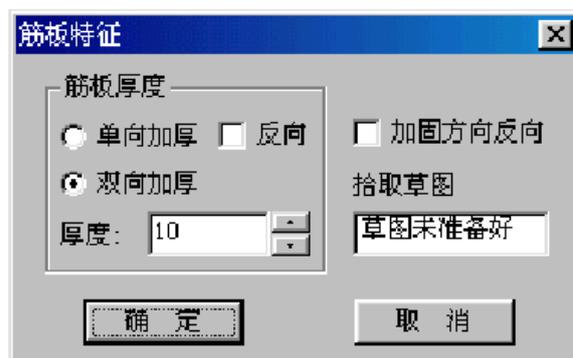


图 1-19 筋板对话框

(2) 选取筋板加厚方式，填入厚度，拾取草图，单击“确定”完成操作。

【参数】

单向加厚：是指按照固定的方向和厚度生成实体，如图 1-20。

反向：与默认给定的单项加厚方向相反，如图 1-21。

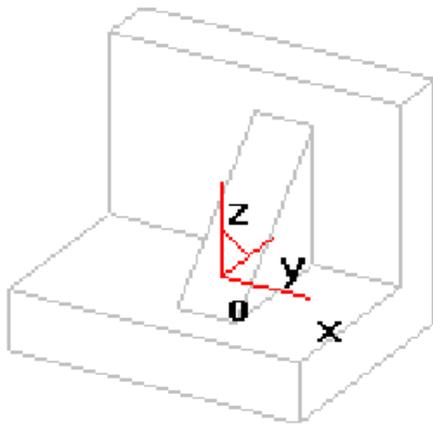


图 1-20 单向加厚

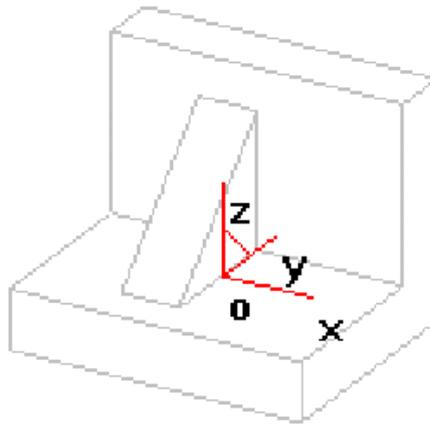


图 1-21 反向

双向加厚：是指按照相反的方向生成给定厚度的实体，厚度以草图平分。

加固方向反向：是指与默认加固方向相反。

【注意】

- (1) 加固方向应指向实体，否则操作失败。
- (2) 草图形状可以不封闭。一般画出筋板外轮廓特征线即可，但该特征线应与零件主体相交。

2.4 阵列特征

2.4.1 线性阵列

通过线性阵列可以沿一个方向或多个方向快速进行特征的复制。

- (1) 单击“造型”，指向“特征生成”，单击“线性阵列”；或者直接单击 按钮，弹出线性阵列对话框，如图 1-22。

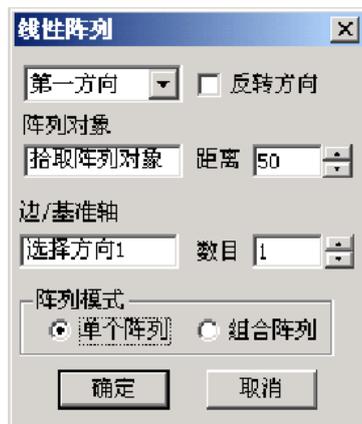


图 1-22 线性阵列对话框

- (2) 分别在第一和第二阵列方向，拾取阵列对象和边/基准轴，填入距离和数目，单击“确定”完成操作。

【参数】

方向：是指阵列的第一方向和第二方向。

阵列对象：是指要进行阵列的特征。

边/基准轴：阵列所沿的指示方向的边或者基准轴。

距离：是指阵列对象相距的尺寸值，可以直接输入所需数值，也可以单击按钮来调节。

数目：是指阵列对象的个数，可以直接输入所需数值，也可以单击按钮来调节。

反转方向：是指与默认方向相反的方向进行阵列

阵列模式：可解决多曲线环体及修改型特征（如带过渡特征）的阵列。具体使用方法详见“环形阵列”

【注意】

- (1) 如果特征 A 附着（依赖）于特征 B，当阵列特征 B 时，特征 A 不会被阵列。
- (2) 两个阵列方向都要选取。

2.4.2 环形阵列

绕某基准轴旋转将特征阵列为多个特征构成环形阵列。基准轴为空间直线。

(1) 单击“造型”，指向“特征生成”，单击“环性阵列”；或者直接单击 按钮，弹出环形阵列对话框，如图 1-23。

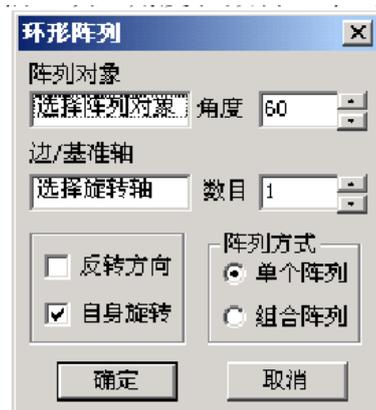


图 1-23 环形阵列对话框

- (2) 拾取阵列对象和边/基准轴，填入角度和数目，单击“确定”完成操作。

【参数】

阵列对象：是指要进行阵列的特征。

边/基准轴：阵列所沿的指示方向的边或者基准轴。

角度：是指阵列对象所夹的角度值，可以直接输入所需数值，也可以点击按钮来调节。

数目：是指阵列对象的个数，可以直接输入所需数值，也可以点击按钮来调节。

反转方向：是指与默认方向相反的方向进行阵列。

自身旋转：是指在阵列过程中，这列对象在绕阵列中心选旋转的过程中，绕自身的中心旋转，否则，将

互相平行。

阵列模式：可解决多曲线环体及修改型特征（如带过渡特征）的阵列。

组合阵列模式

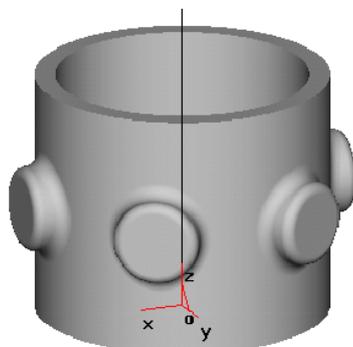
1) 图中的圆形凸起需要作环形阵列，由于该特征还存在两个修改型特征（过渡特征），因此在阵列时，应该使用环形阵列方式中的“组合阵列”。

2) 单击“造型”下拉菜单，指向“特征生成”，选择“环形阵列”，或者直接单击“环形阵列”按钮。系统会弹出“环形阵列”对话框，阵列方式选择“组合阵列”，在特征树中选取相应的阵列对象，填写所需的角数值和阵列数目，最后拾取旋转轴，如图 1-24。



图 1-24

3) 单击“确定”完成阵列。如图 1-25



生成后的实体

图 1-25

五、实验报告要求

- 1、展示指定零件的铸造工艺设计结果（设计过程可以简略）。
- 2、按零件、浇冒系统的三维模型建模步骤截图打印，粘贴在实验报告纸上，并简述操作步骤及方法。
- 3、遵循“先文后图、图文结合”的规则。注意图的编号与图名称要全，文字描述中要提及图，文字中没有述及的图不应存在。

单元 2 . 铸造工艺数值模拟

(8 学时)

一、教学目的

通过实验（铸造工艺数值模拟），让学生了解数值模拟的作用、局限，掌握铸造工艺数值模拟的步骤和方法。

二、基本要求

能完成铸造数值模拟软件的安装；能将三维模型导入软件系统并按铸造工艺要求组装模型；能根据铸件特点划分均匀和非均匀网格；能进行铸造合金、造型材料等热物性参数的设置(含参数修改和用户数据库的建立与使用)；能按所设计的铸造工艺进行工艺参数设置；能进行数值模拟参数的设置；能启动软件运行数值模拟。

三、数值模拟对象

单元 1 所示铸件的铸造工艺。

四、教学内容及过程

（一）数值模拟软件安装

AnyCasting 是韩国 AnyCasting 公司自主研发的新一代基于 Windows 操作平台的高级铸造模拟软件系统。是专门针对各种铸造工艺过程开发的仿真系统，可以进行铸造的充型、热传导、凝固过程和应力场的模拟分析。

1 功能介绍

1.1 AnyPRE

作为 AnyCasting 的前处理程序，anyPRE 可以实现 CAD 模型的导入，前处理模块有限差分网格的划分，模拟条件的设置，并调用 AnySOLVER 进行求解。使用 anyPRE，您可以通过多种设置包括工艺流程和材料的选择来模拟铸造成型过程，设置边界、热传导和浇口条件，也能通过特殊功能模块来设置一些设备和模型。另外，你还可以通过 anyPRE 提供的 CAD 功能来查看、移动/旋转实体坐标系统。

1.2 AnySolver

作为 AnyCasting 的求解器，anySOLVER 能够根据你的设定计算流场和温度场。铸造成型模拟包括计算熔体充型过程的流动分析和熔体凝固过程的传热/凝固分析。只有在两个分析都准确的前提下才能正确预测可能造成缺陷的区域。

1.3 AnyPost

作为 AnyCasting 的后处理器，anyPOST 通过读取 anySOLVER 中生成的网格数据和结果文件在屏幕上输出图形结果。使用 anyPOST，你可以用二维和三维观察充型时间，凝固时间，等高线（温度，压力，速率）和速度向量，也可以用传感器的计算结果来创建曲线图。这个程序具备动画功能使用户把计算结果编辑成播放文件，通过卓越的结果合并功能来观察各种二维或三维的凝固缺陷。

1.4 AnyMesh

anyMESH 能编辑由 anyPRE 生成的网格文件。您可以轻松地修改网格信息而不改变几何模型。

1.5 AnyDbase

作为一个能包括铸造成型中熔体，铸型和其他材料性能的数据库管理程序，anyDBASE 主要分为常规数据库和用户数据库。常规数据库提供了具有国际标准的常用材料性能，而用户数据库使用户能保存和管理修改或附加的数据。用户能简单的选择感兴趣的材料而不需要输入几百种不同的材料性能。另外，它还提供每种材料的传热系数，提高了程序的方便性。

2 AnyCasting 安装（以 2.4 版为例）

(1) 点击 setup.exe 运行安装；

(2) 然后将“Crack\anyCASTING.2.4_crk”下的 license.dat、license.dll 文件复制到安装目录的 Common 文件夹下；

(3) 将“AnyCasting V2.4 中文版补丁”下的文件及文件夹复制到安装目录覆盖原有文件；

(4) 运行 AnyCasting_ChS.reg 注册程序。

(5) 初次运行时，当需要指定许可证时正确选择 license.dat 文件的路径。

(二) Anycating 的运用

Anycating 前处理主要完成下述工作

网格剖分——将研究对象（铸件、浇注系统、补缩系统等）的 STL 格式的文档导入并将连续的实体模型进行离散化，形成节点和单元。

物性赋值——将研究对象的相关物理参数（铸件材质的热力学参数等）输入计算机中。

施加载荷——定义边界条件（指物体表面与周围介质能量交换的情况）、初始条件（指研究对象场变量的初始分布）。

确定计算控制条件——对求解过程（仅充型过程、仅凝固过程等）和计算方法（如有限差分的显式方法、隐式方法，离散方程求解的 SOR 法、Jacobi 法、PCGM 法、CG 类方法等）进行选择。

1 网格划分

1.1 三维模型的导入

anyPRE 界面如图 2-1 所示。

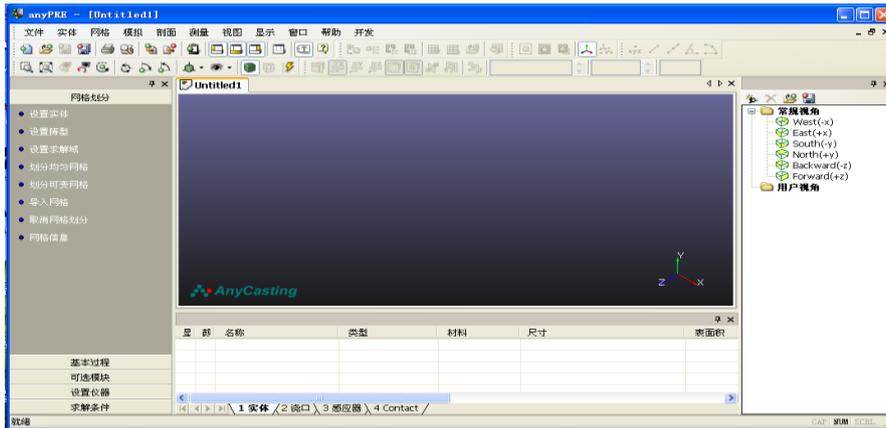


图 2-1 anyPRE 界面

1.1.1 几何模型的导入与组装

将预先准备好的铸件铸造工艺相关的各种几何模型导入绘图区，如图 2-2 和图 2-3 所示。

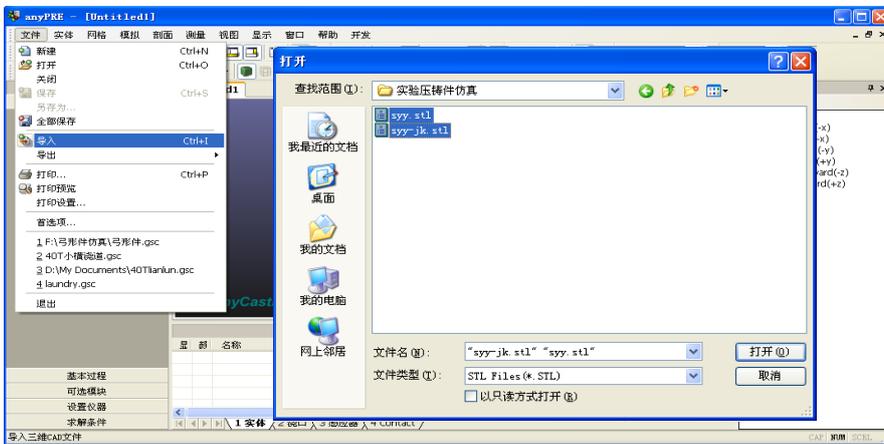


图 2-2 选择导入文件

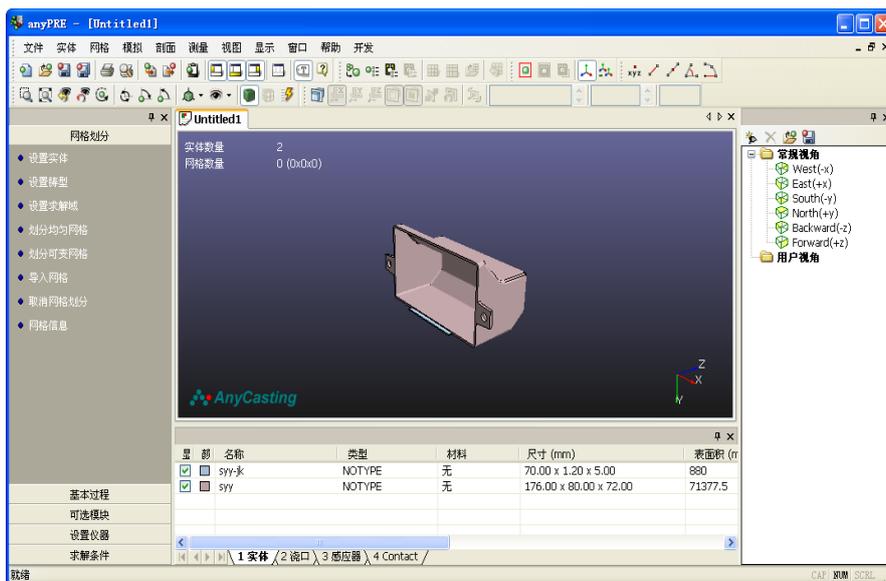


图 2-3 模型导入结果

1.1.2 几何模型的组装

通过右击某几何模型，在弹出的快捷菜单中的“变换”中进行移动、旋转等操作完成各几何模型的组装。

1.2 设置实体类型

设置每一个导入的模型的类型（如图 2-4 所示），如 CAST-铸件、浇铸系统，MOULD-铸型，INSERTED-型芯，ATTACHED-附属件，CHANNEL-管道

当模型类型为 CAST 时，还须选择模型的子类型：CAVITY-型腔，INGATE-内浇口，RUNNER-横浇道，SLEEVE-压室，POURING_BASIN-浇口盆，OVERFLOW-溢流槽，STOPPER-开关，STALK-升液管，GATE-浇注系统，FILTER-过滤器。

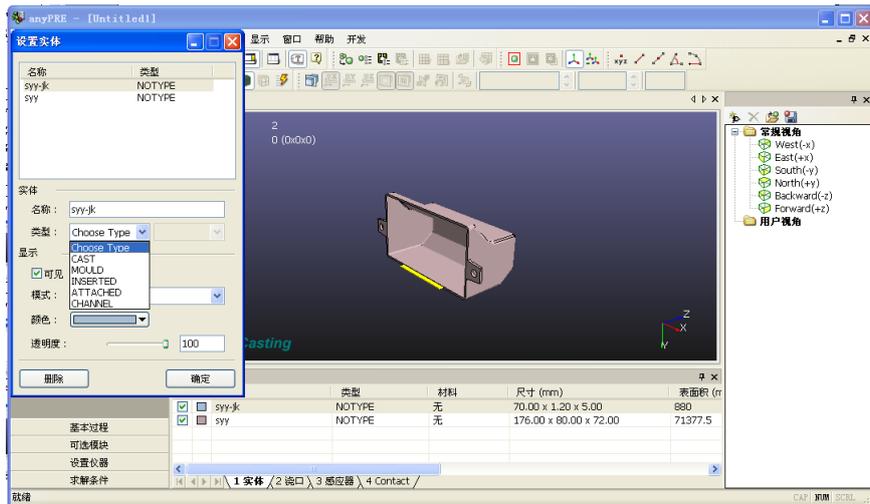


图 2-4 设置实体的类型

也可以右击某几何模型，在弹出的快捷菜单中选择“类型”中进行设置。

注意，如果浇注系统设计为一个几何模型，在选择“类型”时应设置为“浇口”（GATE）。

1.3 设置铸型吃砂量及浇口面

设置铸型的类型和尺寸（如图 2-5）。铸型类型可以是立方体铸型或型壳，也可以是用户建立的几何模型。

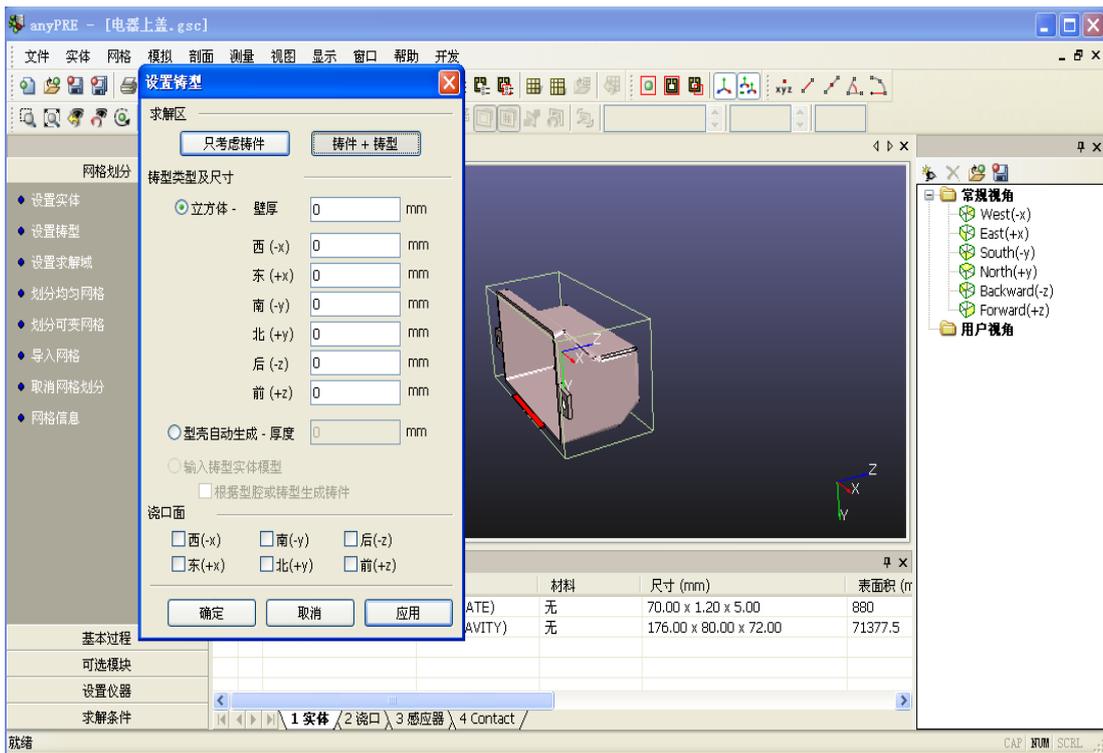


图 2-5 设置铸型

根据所设计的工艺勾选浇口面（即金属液进入浇注系统的那个面，也就是直浇道或浇口盆的顶面），选择的浇口面轮廓线会变白加粗。

1.4 设置求解域

求解域是仿真计算时必须考查的区域，系统默认为设置的铸型范围，无需更改。

1.5 划分网格类型

网格是仿真计算的最小几何单元，其中心思想在于将空间区域划分成足够多的计算区域（即足够小的计算区域），然后在每一个计算区域上进行求解控制方程，最终获得整体计算区域上的物理量分布。

1.5.1 均匀网格

均匀网格的划分如图 2-6。

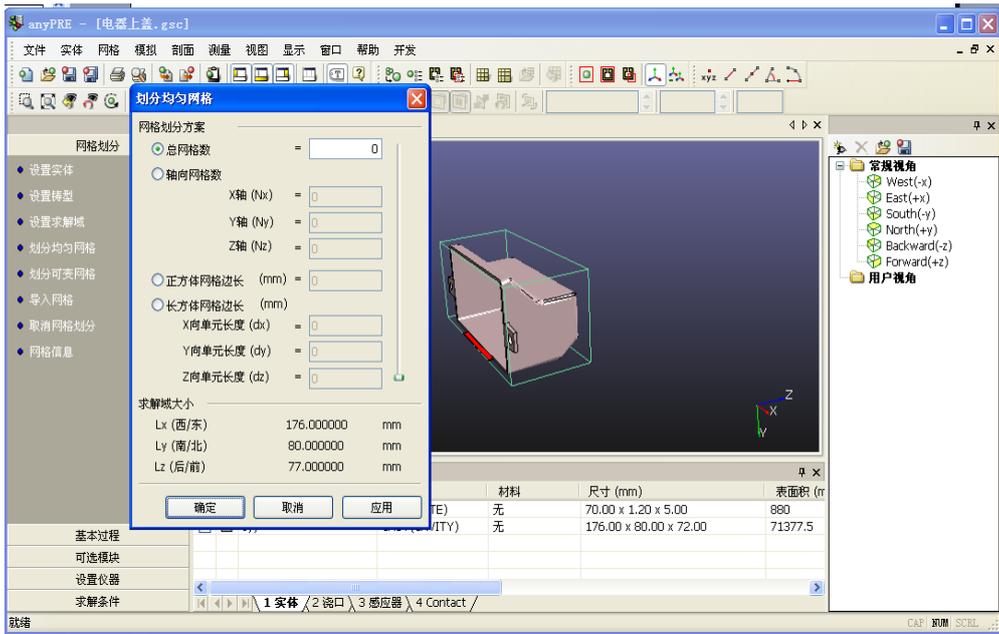


图 2-6 划分均匀网格

1.5.2 可变网格（非均匀网格）

AnyCasting 可对求解域的某个局部的网格进行重新划分（加密或稀疏处理），如图 2-7 所示。一般说来，铸件壁薄的部分可能需要加密网格，但只要薄壁局部在某一坐标方向上的网格数量不少于 4 层就可以不用加密。

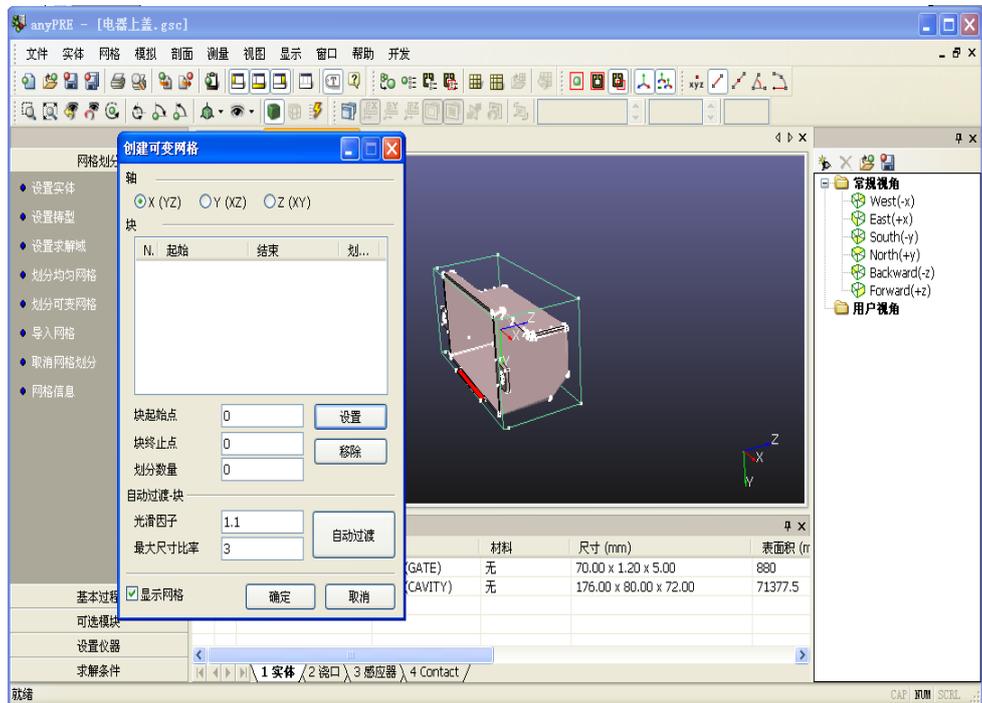


图 2-7 划分非均匀网格

2 基本过程

2.1 任务设定

根据所设计的铸造工艺选择铸造工艺组别（非金属型、金属型、压力型、特殊类）和相应的铸造方法。然后选择需要仿真计算的类型。如图 2-8 所示。

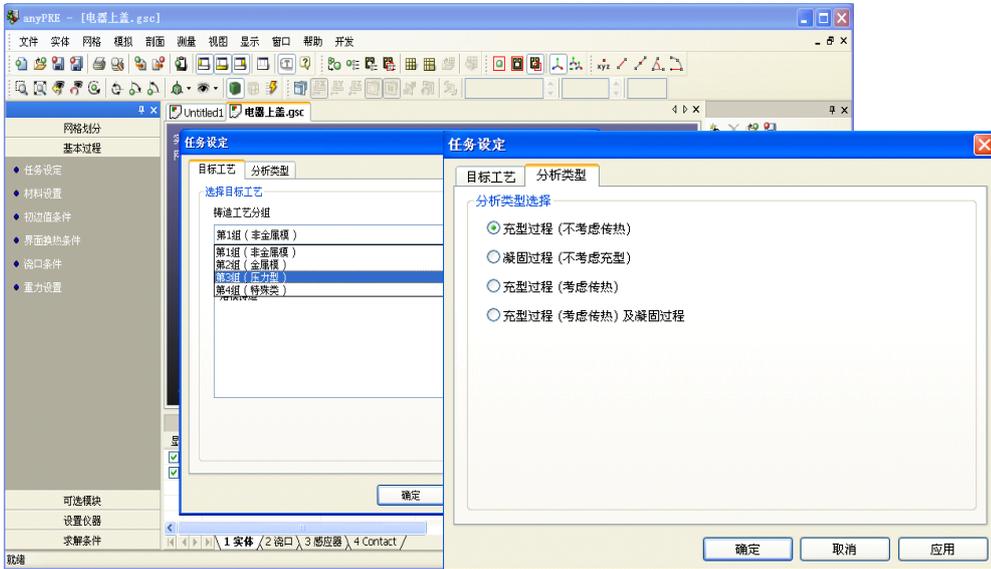


图 2-8 仿真任务设定

2.2 材料设置

选择铸件材质和铸型材质。选中需要设置材料的对象（相同材质的对象可以同时选定）后点击“数据库”按钮，再选择适当的材料，点击“确定”按钮完成材料的设置。如图 2-9 所示。

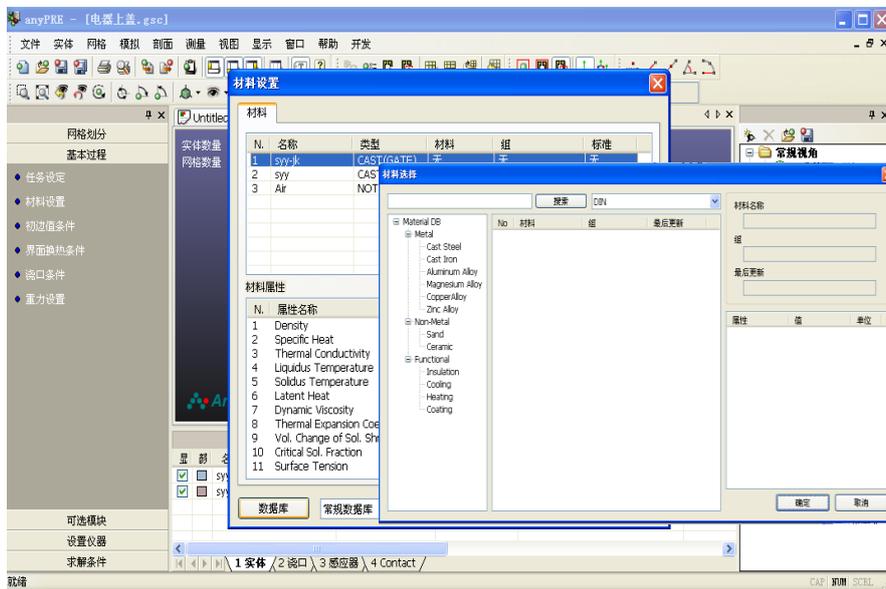


图 2-9 材料设置

2.3 初始条件和边界条件的设置

在“初始条件”中设置计算对象的初始温度。在“求解域边界条件”中设置求解域边界的导热、温度、热流量等条件。一般按默认的“正常”即可。如图 2-10。

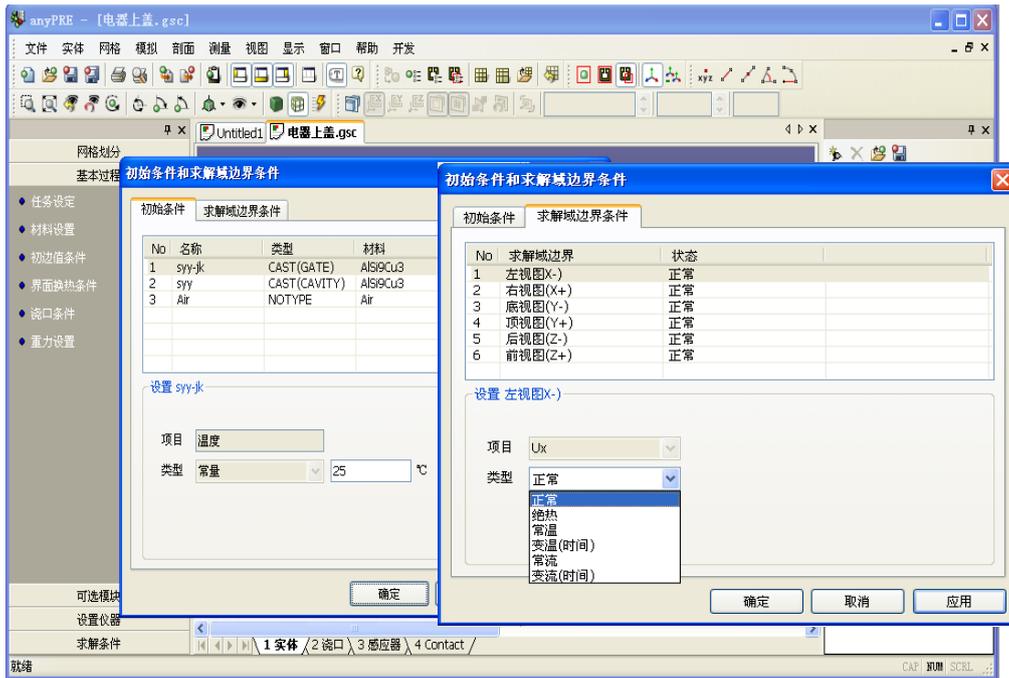


图 2-10 初始条件和边界条件设置

2.4 界面换热条件设置

设置计算对象间界面的换热系数，以及涂料层的厚度和热导率。如图 2-11。

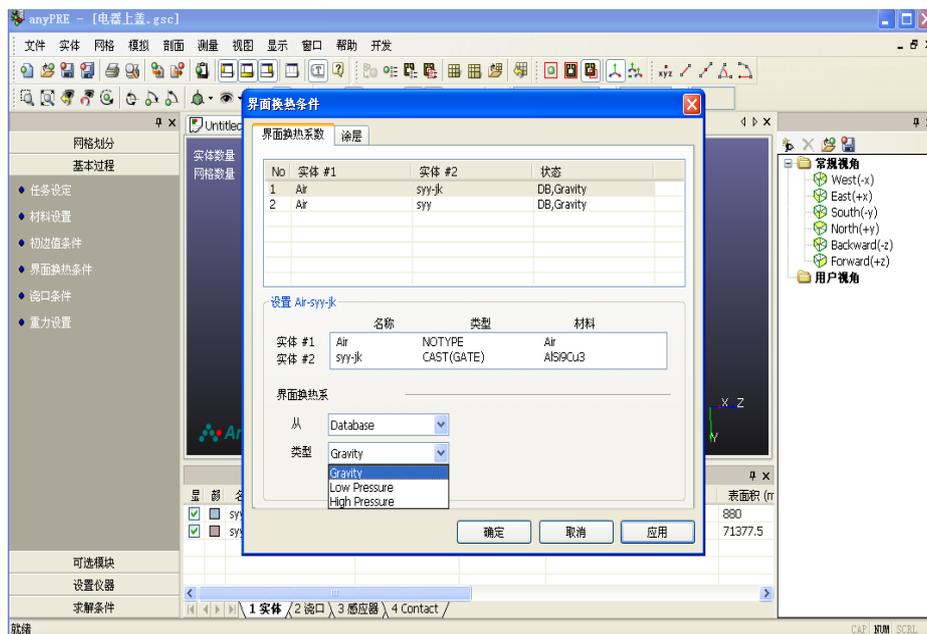


图 2-11 界面换热条件设置

2.5 浇口条件

2.5.1 倒流条件

根据情况选择是否勾选“激活倒流”。

2.5.2 概要

“流动方向”指内浇口入流方向，系统已根据浇注系统的空间位置进行了设置，无需更改。

2.5.3 充型中

“传热条件”中设置的“温度”为浇注温度，如果浇注过程中金属液温度变化不可忽略，可以在此设置金属液温度变化规律。

“充型条件”中设置的“速度”、“压力”、“高度”分别为浇注时内浇口处的金属液充型线速度速度、充型压力和金属液静压头，如果这些参数在浇注过程中有不可忽略的变化，可在此设置。如图 2-12 所示。

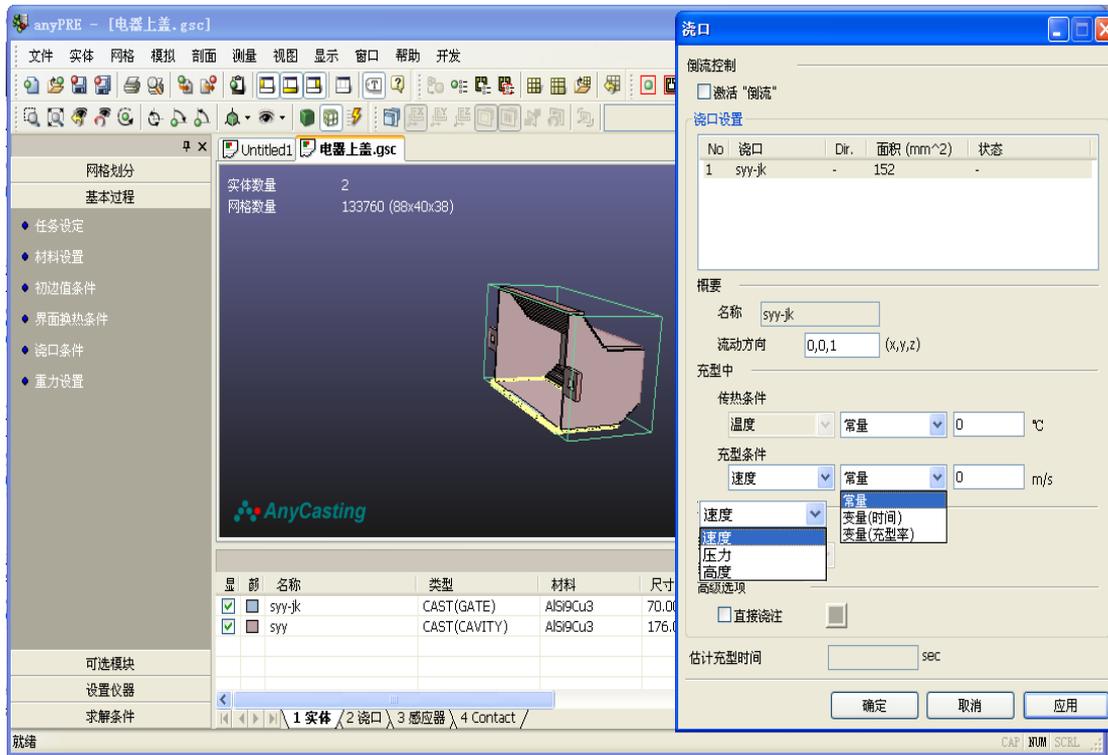


图 2-12 浇口条件设置

2.6 重力设置

通过设置重力加速度的方向完成浇注位置的设定。如图 2-13.

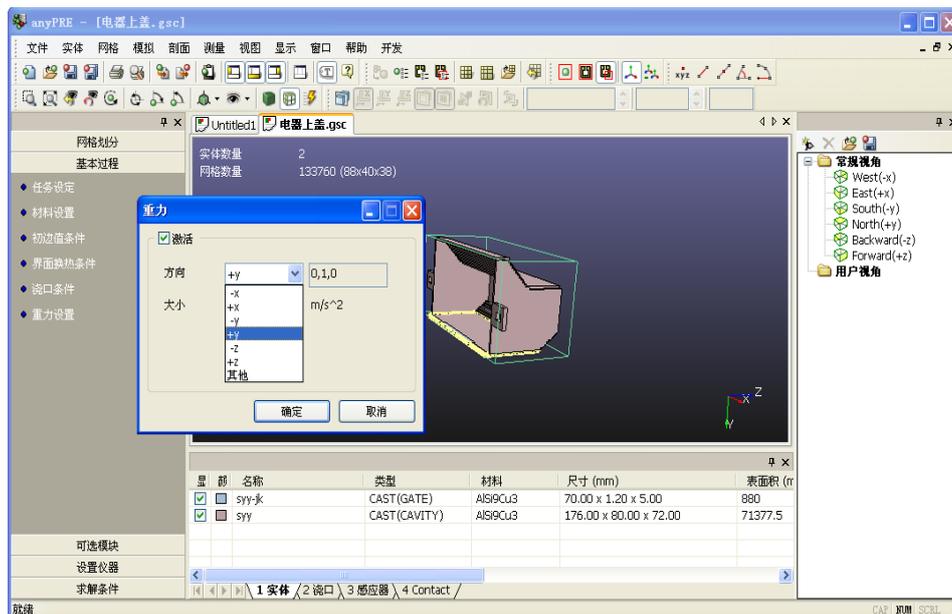


图 2-13 浇注位置设置

3 可选模块

3.1 收缩模型

激活金属液液态和凝固收缩，设置收缩率等参数。这些参数已包含在金属材料的性能中，系统在此处显示出相关参数值，如果需要修改，可直接选“用户自定义”后修改。也可返回“材料设置”中直接修改相应的参数。如图 2-14 所示。

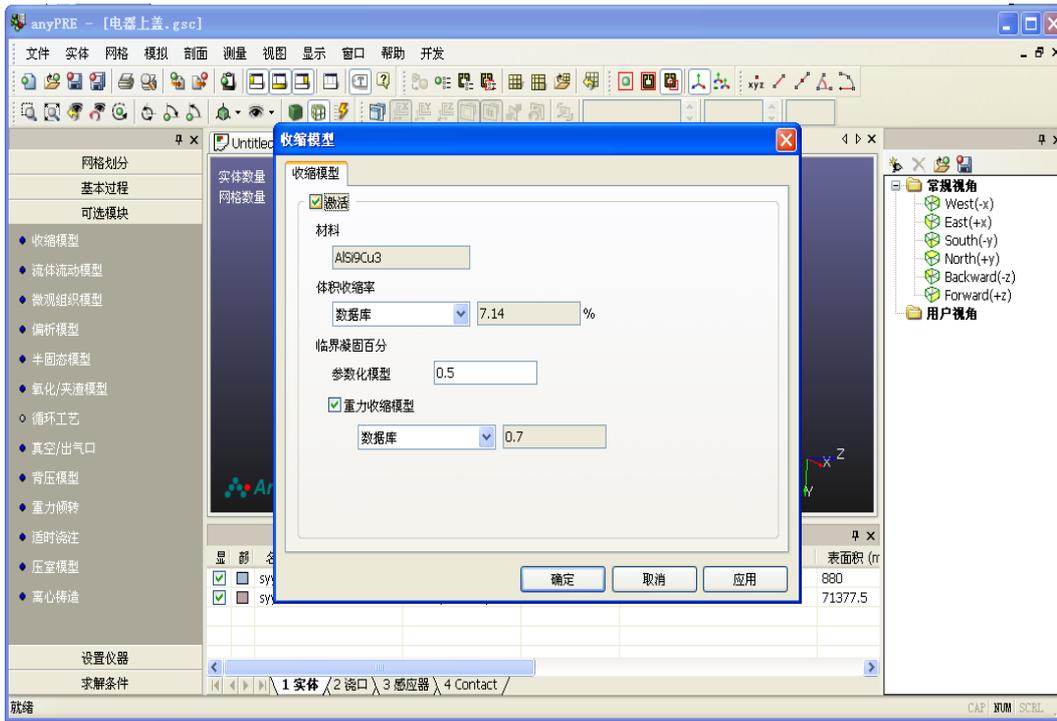


图 2-14 收缩模型设置

3.2 流体流动模型

流体流动模型设置如图 2-15 所示。

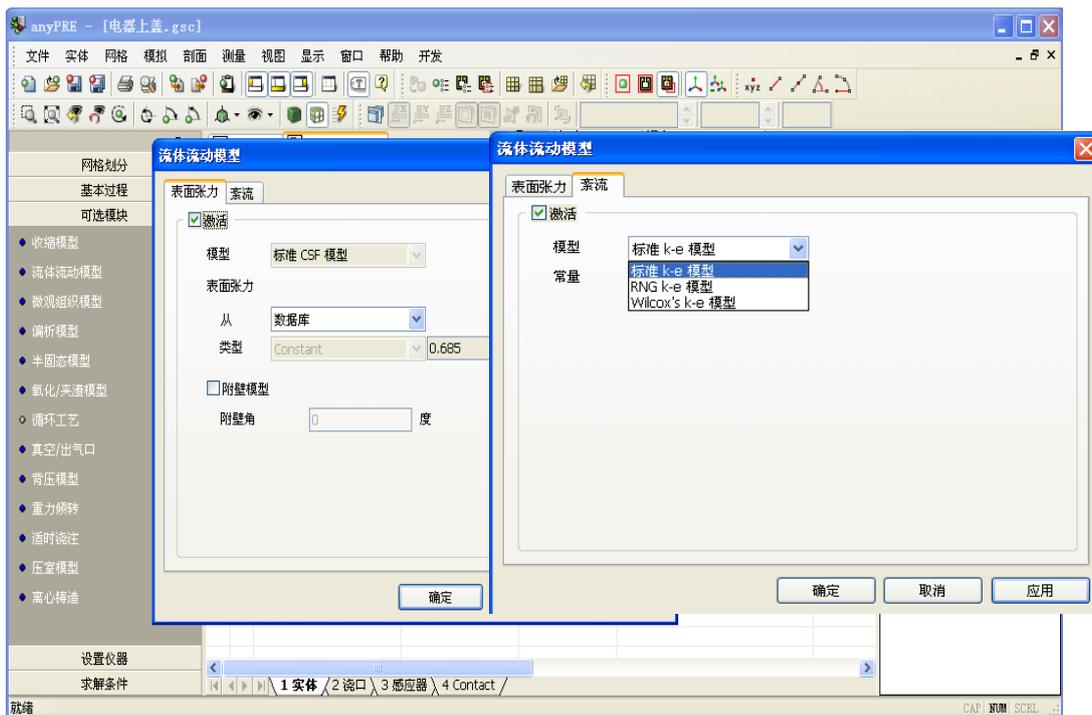


图 2-15 流体流动模型设置

3.3 微观组织模型

设置金属液的形核动力学和晶体生长动力学模型及参数值。

3.4 偏析模型

设置偏析元素的初始浓度、分区系数、固相扩散率、液相扩散率等参数。

3.5 氧化/夹渣模型

激活模型，并设置氧化/夹渣产生的临界值。

4 设置仪器

设置传感器、管道、浇口杯、浇口塞、升液管修改参数。

5 求解条件

5.1 求解方法设置

设置充型过程及热/凝固过程的求解方法相关参数。如图 2-16。

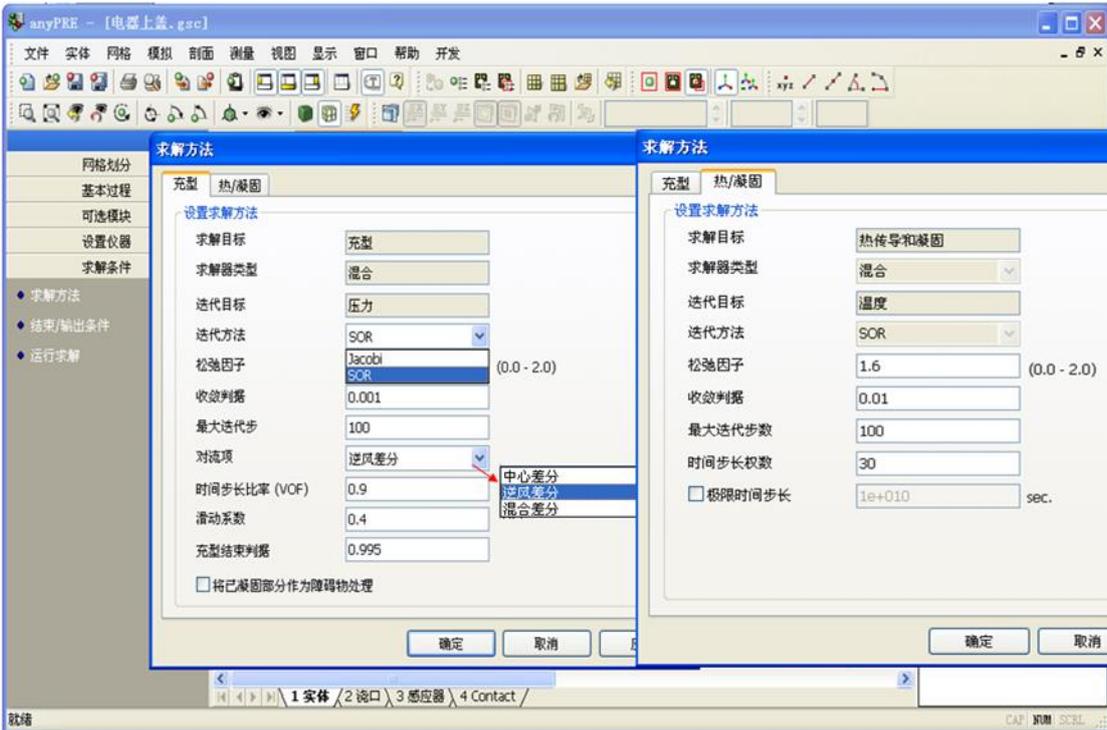


图 2-16 设置充型过程及热/凝固过程的求解方法相关参数

5.2 结束和输出条件设置

根据仿真需要设置仿真计算条件，根据输出数据的多少设置在什么条件下输出数据。如图 2-17 所示。

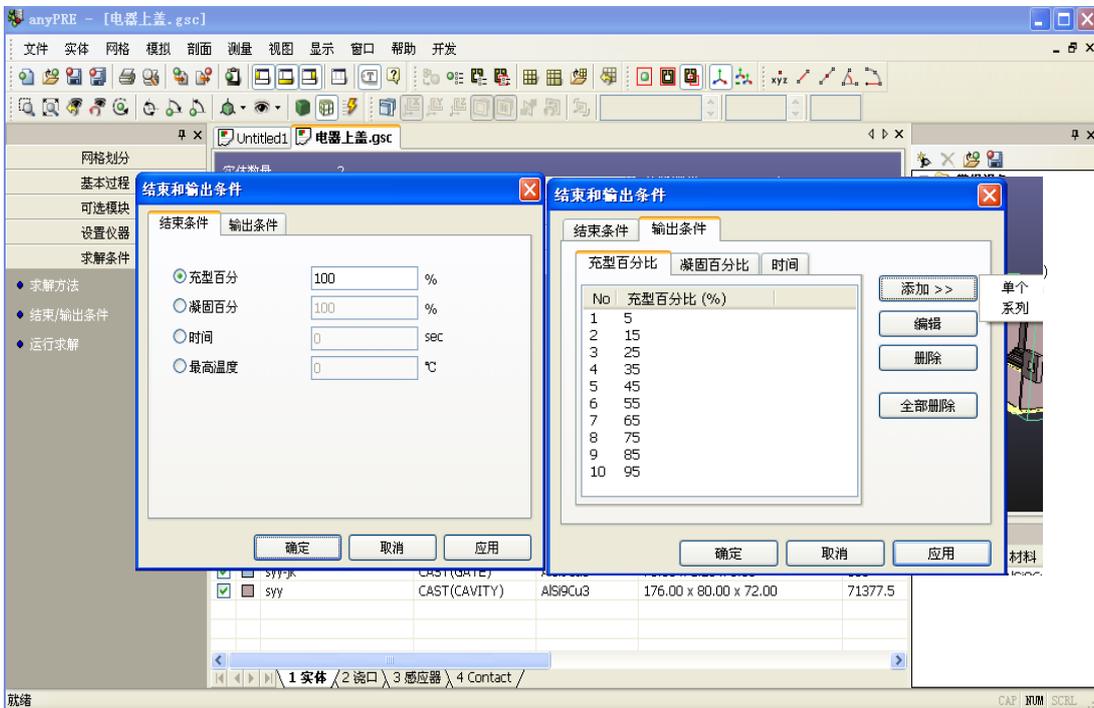


图 2-17 结束条件和输出条件设置

5.3 运行求解

启动仿真计算程序 anySOLVER，开始求解计算。如图 2-18 所示。

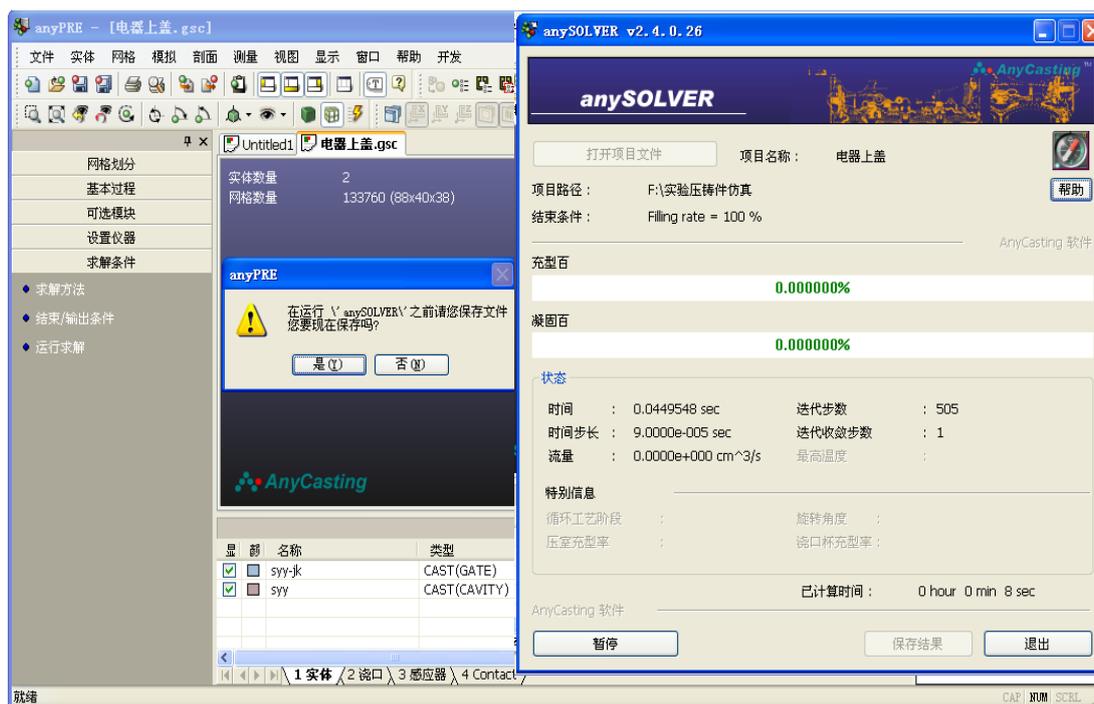


图 2-18 启动仿真计算界面

在仿真计算过程中我们可以通过充型、凝固进度条查看仿真进度。

五、实验报告要求

1、截图展示你的模型导入、网格划分、材料设置、边界条件和初始条件设置、换热设置、结束条件设置、启动仿真等过程，并用文字描述这些过程。

2、做到图文并茂，遵循“先文后图”原则。注意图的编号与图名称要全，文字描述中要提及图，文字中没有提及的图不应存在。

单元 3 . 铸造工艺数值模拟结果分析

(8 学时)

一、教学目的

通过实验（铸造工艺数值模拟结果分析），让学生了解数值模拟软件的结果显示、结果分析功能，掌握铸造缺陷显示方法，提高分析缺陷成因制定预防缺陷的措施的能力。

二、基本要求

能动态观察浇注时金属液的流动，并识别金属液的流动状态（金属液流股是否集中、液面上升是否平稳、是否有液流对撞、流股是否以较快速度冲击型壁和砂芯、冷铁等）及分析金属液对铸型（芯）的冲击和金属液的卷气与憋气；能动态观察金属液的凝固过程及判断缩孔、缩松分布；能根据数值模拟结果提出相关改进方案。

三、分析对象

单元 2 铸造工艺数值模拟结果。

四、教学内容及过程

（一）分析工具

仿真结果分析工具为 AnyCasting 软件的 anyPOST 模块。

（二）分析过程及方法

1 仿真结果文件的导入

双击 anyPOST 图标，打开模块，点击“文件/打开项目文件”，在弹出的“打开”对话框中选择需要分析的仿真结果文件，点击“打开”按钮，如图 3-1 所示。

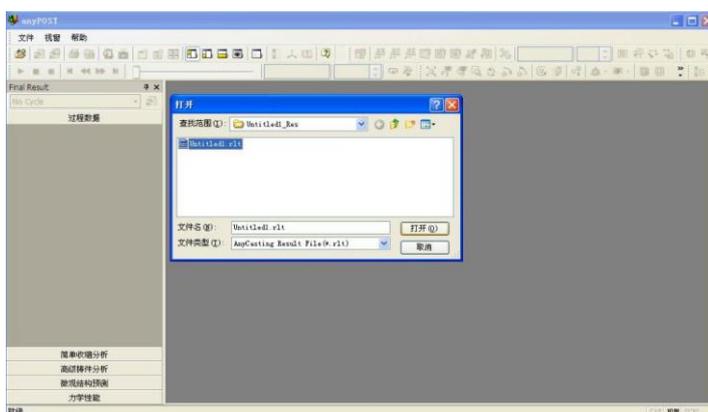


图 3-1 选择导入仿真结果文件

系统将仿真模型及其仿真计算结果载入，如图 3-2 所示。从窗口左侧的小视窗中可以看到仿真结果包含的可以分析的项目，这些项目是在预处理时设置的，我们只需要点击要分析类别及个类别下的项目就可以进行分析了。

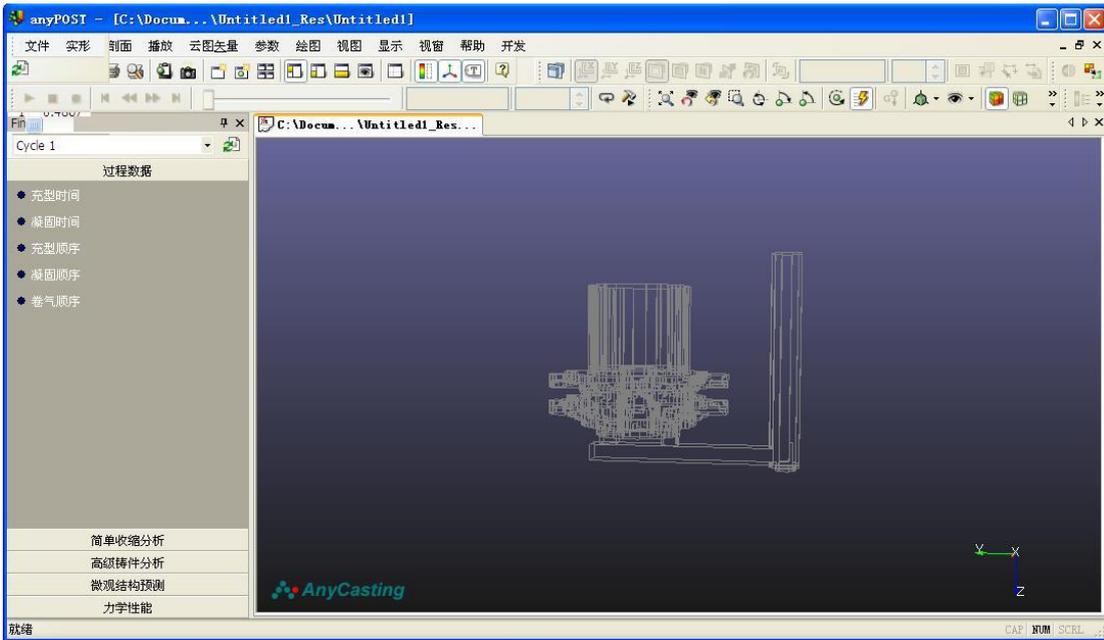


图 3-2 仿真结果实例

2 充型分析

充型分析是通过“过程数据”下的“充型时间”来进行的，如图 3-3 所示。

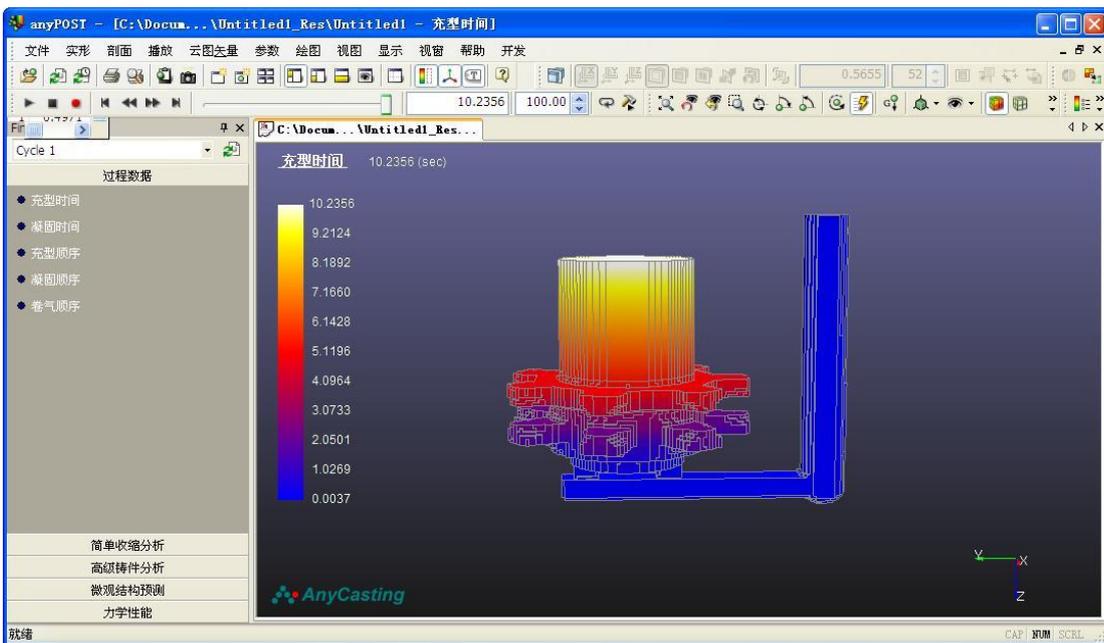


图 3-3 充型分析界面

2.1 充型时间分析

从图 3-3 中可以看到充满铸型的充型时间，例中为 10.2s。根据仿真充型时间与工艺设计的充型时间的对比可以判断内浇口充型速度的设置是否正确以及浇注系统设计的合理程度。适当调整内浇口充型速度或更改浇注系统设计可以改变充型时间，直至满意为止。从而可以计算出浇包单位时间浇出的金属液量。

2.2 充型流态分析

充型流态分析是通过观看充型过程的视频完成的。将视频进度条拉到初始位置，点击播放按钮，整个充型过程就会动态地呈现出来。通过观察金属液流股金属液流股是否集中、液面上升是否平稳、是否有液流对撞、流股是否以较快速度冲击型壁和砂芯冷铁等充型形态来判断内浇口位置、内浇口形状尺寸、入流方向、内浇口充型速度等设计是否合理，从而为工艺改进提供依据。

必要时，可以用“剖面”工具将模型剖开，以便动态/静态观察重点部位的情况。

3 凝固分析

凝固分析通过“过程数据”下的“凝固时间”来完成，如图 3-4 所示。

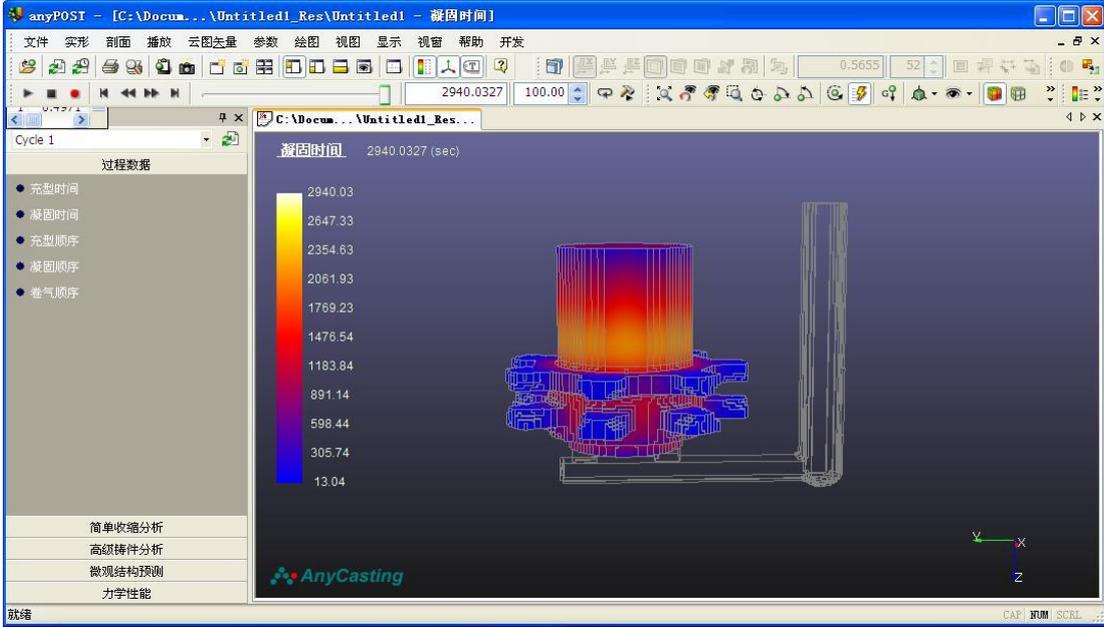


图 3-4 凝固分析界面

从上图 3-4 可以看出，铸件（含冒口）最后凝固时间 2940s，对照凝固时间色标可以看到铸件各部位的具体凝固时间，通过“剖面”切割可以观察到铸件内部的凝固先后情况，从而分析铸件中出现缩孔缺陷的可能性。

4 卷气顺序

铸件内部卷气分析通过“过程数据”下“卷气顺序”来进行，如图 3-5 所示。

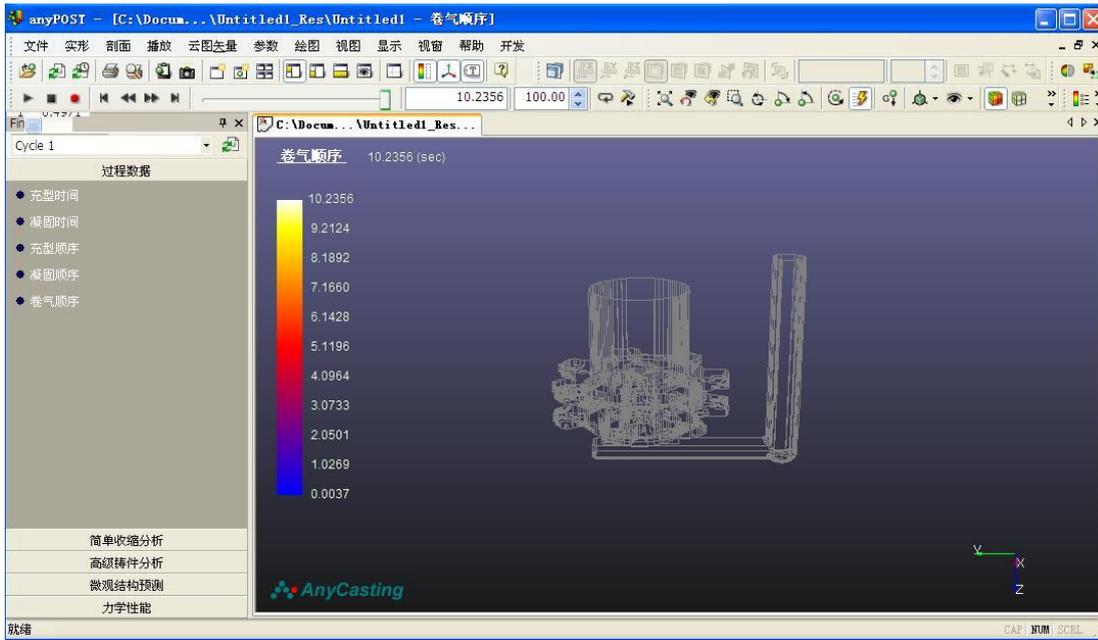


图 3-5 卷气分析界面

如果存在卷气的可能，则在铸件可能出现卷气的部位有彩色显示，上面实例图中没有看到彩色的部位，说明浇注过程中型腔中气体逸出顺畅，出现卷气的可能性非常小。

五、实验报告要求

- 1、截图展示你的仿真结果（充型、凝固、卷气等），并用文字描述结果。
- 2、对不理想的仿真结果进行原因分析，并提出工艺改进建议。

3、做到图文并茂，遵循“先文后图”原则。注意图的编号与图名称要全，文字描述中要提及图，文字中没有述及的图不应存在。

AnyCasting 仿真注意事项 – 周洪

AnyCASTing 2.4 版是较稳定的版本，在仿真链轮充型+凝固时，网格数 500 万时，充型到 60%左右开始出现连续的大面积快速凝固，致使充型不能继续；当网格数降低到 200 万左右时，充型可至 100%。

AnyCASTing 6.0、6.3 在导入的模型的处理方面还有不足，常提示“实体存在体积不匹配问题”，目前不知道是什么原因造成。

一、预处理部分

1、系统中至少应有 2 个模型，一个是 CAST (CAVITY)，另一个是浇注系统（需要研究浇注系统中金属液流动时浇注系统可以有多个模型），但要保证需要金属液填充的空间及包嘴等金属液连通的模型互相交接，否则在网格划分时会提示系统“被分成了多个部分”，仿真计算不能进行。

2、系统中模型必须有一个且只能有一个模型是浇口杯或浇口（系统默认为浇包浇入金属液的地方），并做相应的设置（浇口液流速度的设置要注意，系统将按浇口在重力方向的投影面积作为出流面积计算每秒浇注的金属液重量）。系统默认“浇口杯”和“浇口”是瞬间充满的，其他模型通过计算充填。

3、浇注系统设置可以是“浇口杯/浇口+n×流道+内浇口”

4、在“基本过程”的“初边值条件”中，CAST (CAVITY) 和 CAST(GATE) 必须设置为相同的温度（即初始铸型温度）。

5、“基本过程”的“浇口条件”中“流动方向(6.0 版为浇注方向)”向量，表达的是浇口 (GATE) 出口处金属液射出的方向，系统会默认设置好；默认的向量与心目中的方向不同时，可以自行设置，设置后应保存项目，最好关闭 anyPRE 后再打开，查看修改成功与否；同时在此设置浇注温度和浇注速度。

如果在设置过浇口“流动方向”并保存后，又将“浇口”修改为“浇口杯”，同时按“6、”设置了浇口杯参数，仿真结果中“流动方向”还会沿用之前“浇口条件”中设置的方向，分析认为，在预处理文件中还保存有之前的设置信息，这要引起高度重视（可以用另存为一个新的项目加以解决<消除原来设置的液流方向>）。

6、“基本过程”的界面换热条件设置，可以通过“涂层”设置保温冒口等改变传热性能。型砂在 1000-1600 度之间，传热系数为 0.5；在 1000-500 度之间，传热系数从 0.5 逐步升高到 0.6；在 500-0 度之间，传热系数从 0.6 升高到 0.9。如果要设置保温冒口，在“涂层”中设置保温冒口的传热系数和保温冒口的厚度。

7、在“仪器设置”中设置“浇口杯”中金属液温度。

8、传感器可以获取流体体积、温度、压力、速度等随时间、充填百分率等变化的数据，数据输出格式为.csv 格式，可以用 EXCEL 打开。添加传感器的方法：(1) 将剖面移到关注的截面，(2) 启动传感器设置，(3) 左键点击传感器放置位置，(4) 按空格键转换鼠标为选点模式（鼠标呈“十”字），(5) 左键点击感兴趣的点，可见传感器列表中增加了一个传感器。

9、用户数据库的使用：先在 anyDBASE 中建立，再在 anyPRE 中“文件\首选项”中设置好数据库的

路径，就可以在“材料设置”中使用了。用户数据库建立方法：(1) 先建材料结构树，(2) 左键点击结构树中材料名称（选中），(3) 复制系统数据库相应材料，(4) 鼠标移动至材料窗口，右键“粘贴”，(5) 修改参数并“更新”。

二、仿真部分

1、若发现存在问题需要重新仿真时，应先删除原来的“**_Res”文件夹，否则已仿真的有问题的仿真结果会残留，影响新结果的分析。

2、仿真计算过程中，有时会出现充型还远未充满、而凝固百分率快速增加的现象，这可能是下述原因造成：

(1) 浇注温度设置太低了。

(2) 在浇注过程中，如果直浇道中金属液上升较慢（如果浇包出流量仅略大于阻流段过流量时、直浇道又比较粗时可能发生），随着浇注的进行流过阻流段的金属液流量会逐渐减少，如果阻流段薄而长，则阻流段很容易开始凝固，凝固的金属不断堆积而将阻流截面堵死，导致金属液远未充满而凝固百分率快速增大的现象。

(3) 网格数量太多，软件计算中有数据丢失，造成温度计算错误。

1) AnyCASTing2.4，“充型+凝固”仿真时，网格数太多（500万）仿真计算中容易出现凝固过程中突然大面积快速凝固（可能是温度数据出了问题），网格数200万左右时仿真计算正常。仅“充型”也许网格数可以大一些。

2) 如果“充型”和“凝固”分别计算，“充型”的数据还不能被“凝固”过程使用。

3) 当浇口杯充满后，设置的浇口流速再增大实际的充型流量不会再增大。也就是说，设置浇口条件的充型速度的大值时可以适当大一些。

三、仿真结果分析部分

1、“最终结果”可查看哪些网格区域是什么时间充型的/凝固的；

2、“阶段结果”中可看到不同时刻的温度、压力、速度、氧化/夹渣等情况。

3、传感器获取的流体体积、温度、压力、速度等随时间、充填百分率等变化的数据，在“绘图”菜单下打开查看，如果需要输出数据，宜选择数据输出格式为“.csv”格式，可以用EXCEL打开。

4、充型数据主要用于分析金属液充型中的流动情况：金属液流股是否集中、液面是否平稳、是否有液流对撞、流股是否以较快速度冲击型壁和砂芯冷铁等。

5、凝固分析主要以“阶段结果”数据为基础，看不同的温度区域分布，以判断缩孔的存在可能性。