



精品课程

# 材料成形装备及自动化

第二章 (2.1-2.2)

华中科技大学材料科学与工程学院

School of Material Science and Technology, HUST



### 2.1 概述

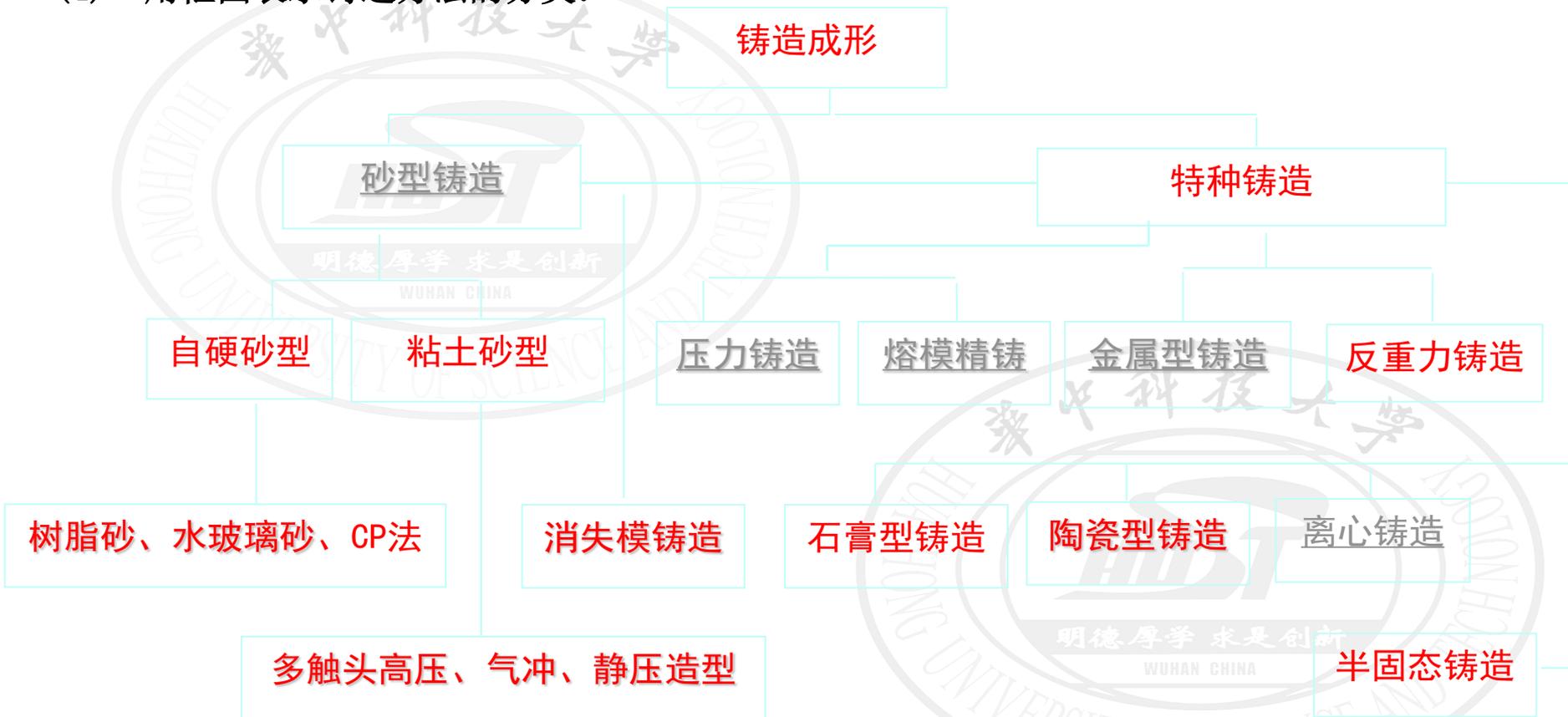
- (1) 液态金属成形俗称“铸造”，它是机械工业的基础
  - (2) 先进的铸造装备是生产高质量铸件的保障
  - (3) 分类：
    - a. 可分为“重力作用下的铸造成形”和“非重力作用下的铸造成形”。
    - b. 也可分为“砂型铸造”（占80~90%）和“特种铸造”。
- 1) **砂型铸造**（根据粘结剂的不同）通常可分为粘土砂型铸造、树脂砂型铸造、水玻璃砂型铸造、覆膜砂型（壳型）铸造等；
  - 2) **特种铸造**通常是指所有的非砂型铸造，包括：压力铸造、离心铸造、低压铸造、金属型铸造、熔模铸造、挤压铸造等等。
  - 3) **消失模铸造**目前通常被归纳为特种铸造，但按其工艺性质和过程特点更应归纳为砂型铸造。





### 2.1 概述

(4) 用框图表示铸造方法的分类:





### 2.1 概述

#### (5) 铸造设备的分类

##### 1) 熔化、浇注装备:

冲天炉熔化装备、电炉熔化装备、浇注设备

##### 2) 砂型铸造装备:

砂处理装备、造型装备、制芯装备、落砂装备、清理装备

##### 3) 特种铸造装备:

压铸机、熔模铸造装备、低压铸造机、离心铸造机等





## 2.1 概述

## 4) 运输定量装备:

铸型输送机、鳞板输送机、振动输送机、气力输送装置、给料设备、定量设备

## 5) 检测与控制装备:

冲天炉熔炼检测与控制设备、炉前快速分析与检验设备、型砂性能试验设备、铸件无损探伤设备

## 6) 环保装备:

除尘设备、噪声防治设备、污水净化设备

## 7) 其它附属装备

材料准备设备、起重运输设备、远红外烘干炉





## 2.1 概述

(6) 本章的主要内容（分4讲）

介绍液态成形工艺过程中的主要装备及其自动化。具体内容包括：

- 1) 熔化、浇注装备及控制
- 2) 砂处理装备及自动检测系统
- 3) 造型设备及自动化生产线
- 4) 铸件落砂与清理装备及自动化
- 5) 压力铸造装备及自动化
- 6) 低压铸造装备及自动化
- 7) 消失模精密铸造装备及生产线
- 8) 半固态成形装备及生产线





### 2.2 金属熔化及浇注装备

熔化是金属液态成形的首要环节，其任务是提供高质量的金属液体。

根据合金材料可选择不同的金属熔化方法：

- 1) 铸铁合金广泛采用冲天炉熔化
- 2) 铸钢常用电弧炉或感应电炉熔炼
- 3) 铝合金常用电阻炉或油气炉熔化等

金属的熔化装备一般应包括三大部分：熔化炉、辅助装备（如配料加料装备等）、浇注装备。

本节的内容：铁合金熔化用冲天炉、感应电炉熔炼装备及其自动化、自动浇注装备及其应用。



## 2.2.1 冲天炉熔化

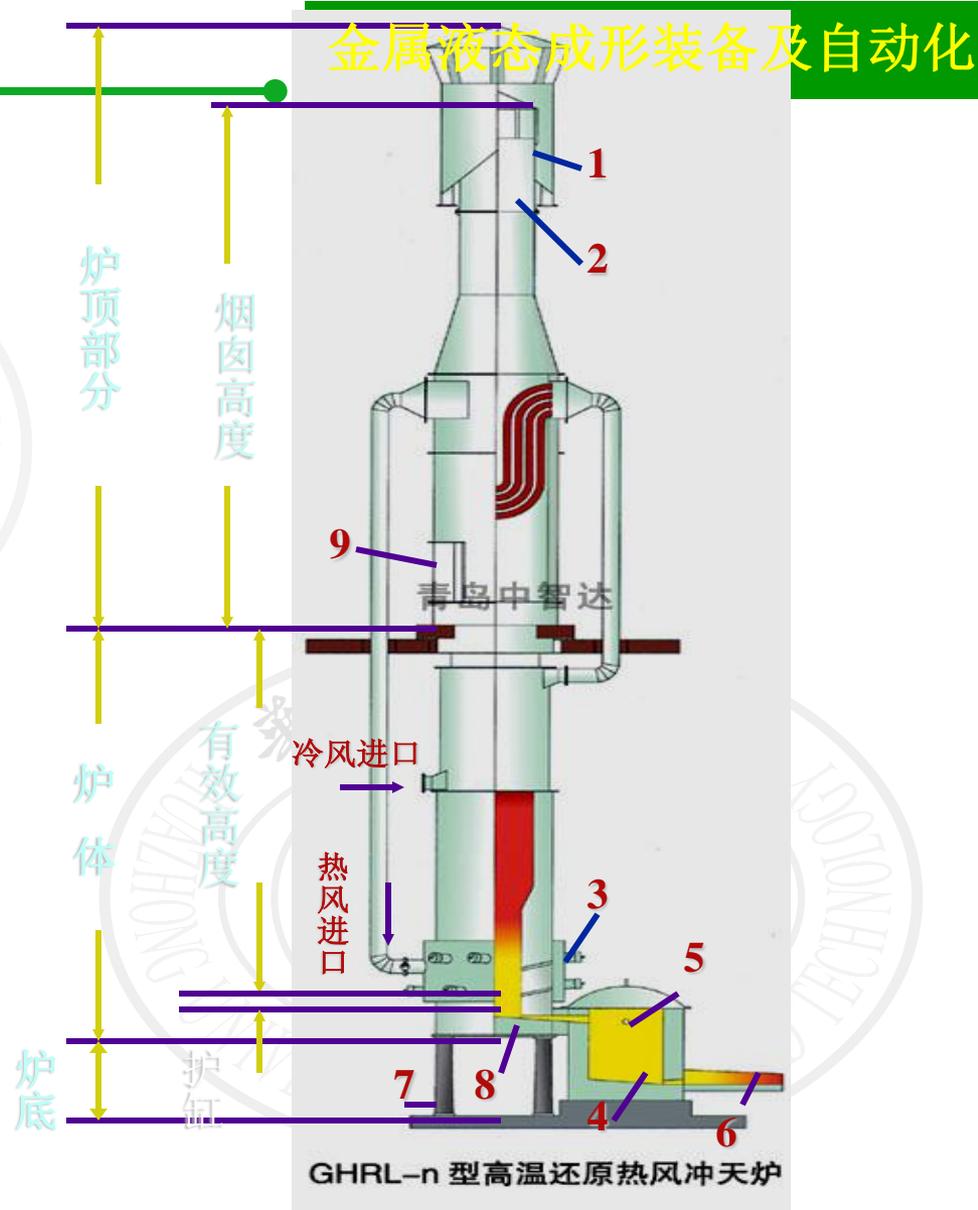
### (1) 冲天炉结构

它由炉底、炉体和炉顶三部分组成。炉底起支撑作用，炉体是冲天炉的主要工作区域，炉顶排出炉气。

1-除尘器 2-烟囱 3-进风通

4-前炉 5-出渣口 6-出铁口

7-支腿 8-炉底板 9-加料口





### 2.2.1 冲天炉熔化

#### 1) 冲天炉的熔化过程

空气经鼓风机升压后送入风箱；

然后由各风口进入炉内，与底焦层中的焦炭发生燃烧反应，生成大量的热量和CO、CO<sub>2</sub>等气体高温炉气向上流动，使底焦面上的第一批金属炉料熔化。

熔化后的液滴在下落过程中被进一步加热，温度上升（达1500℃以上）。

高温液体汇集后由出铁口放出；而炉渣则由出渣口排出。冲天炉常用于铸铁的熔化。



### 2.2.1 冲天炉熔化

#### 2) 热风冲天炉

热风冲天炉：为提高炉内空气的燃烧效率，将空气加热后再送入冲天炉内。其结构图见下页。

原 理：

- 1) 冲天炉炉气被引入到热交换器的燃烧塔4中燃烧，产生高温废气；
- 2) 高温废气由上至下进入热交换器5；
- 3) 由二台主风机11输入的冷空气则从下至上进入交换器，和高温废气发生能量交换，预热后的热空气由进风管送入冲天炉炉内；
- 4) 废气由右侧管道进入冷却塔7冷却；
- 5) 如热空气温度过高，则打开电磁阀6，使高温废气的一部分不经过热交换直接进入冷却塔，从而稳定热空气温度。

特 点：

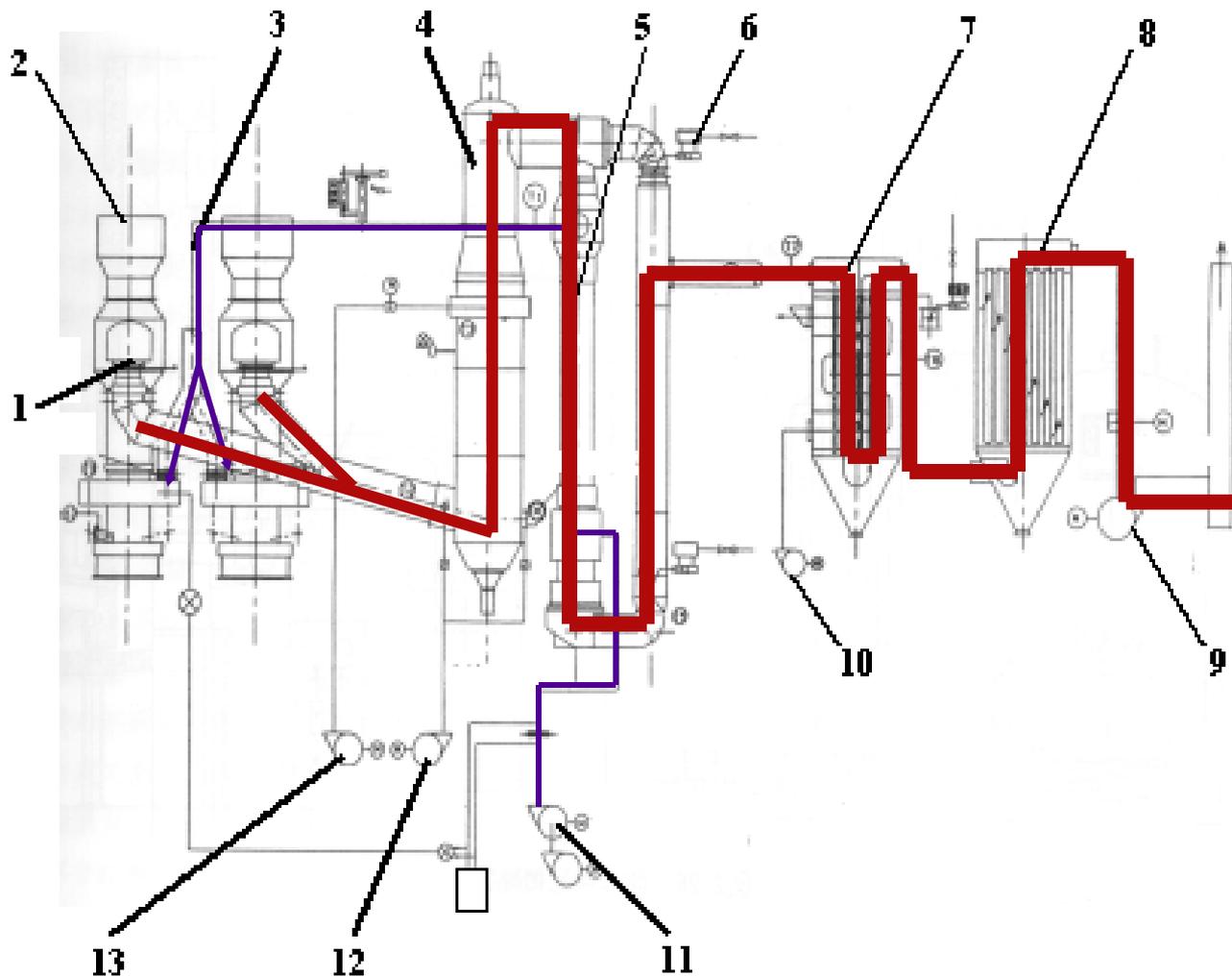
- 1) 一个热风装置配两台冲天炉；
- 2) 设置有金属热交换器，由燃烧塔4和交换器5组成。
- 3) 燃烧塔设有火焰稳定装置和冷却装置。
- 4) 热风温度稳定、波动小。



#### 2.2.1 冲天炉熔化

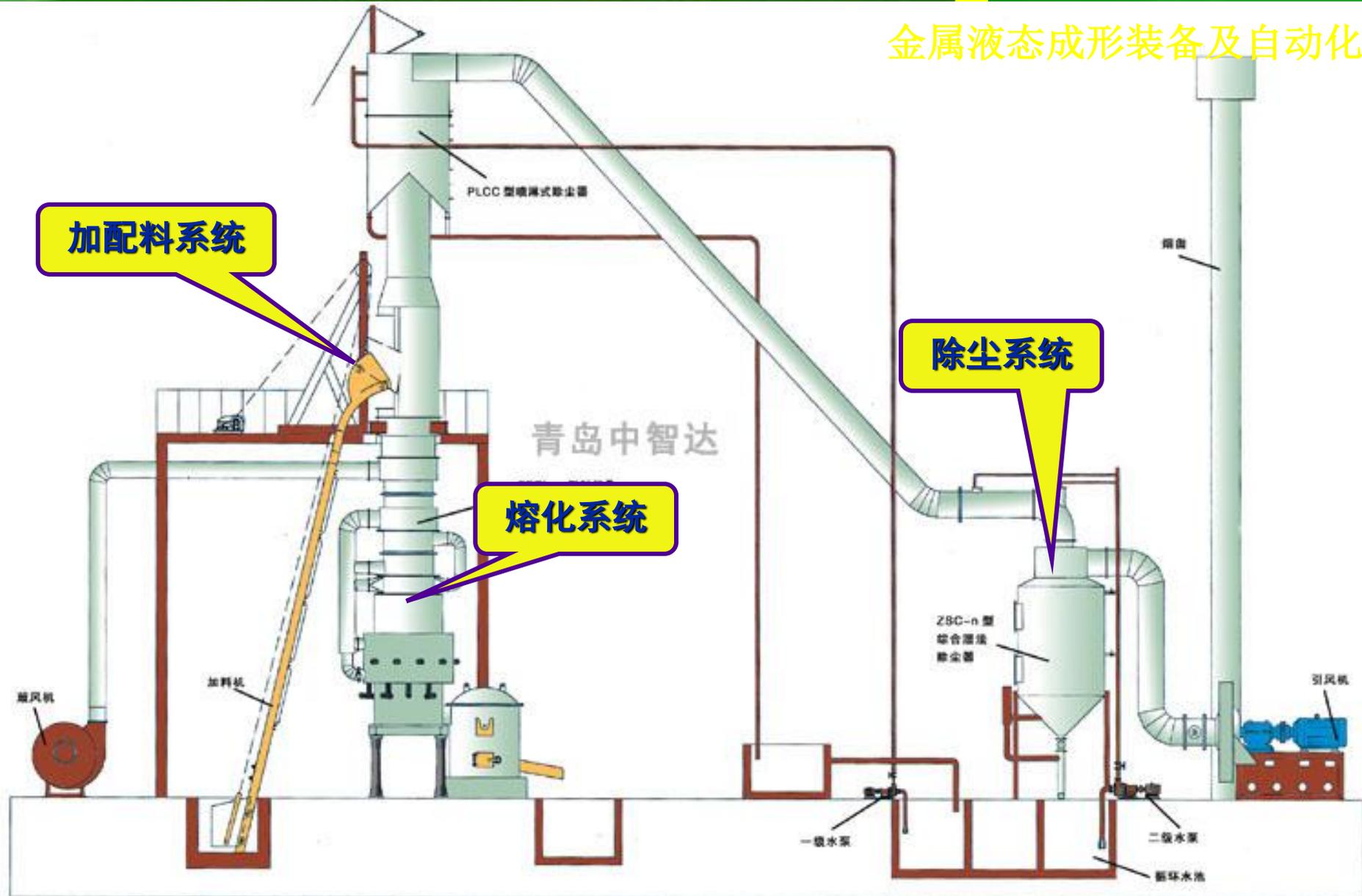
##### 3) 热风冲天炉结构示意图

- 1-排风口,
- 2-冲天炉,
- 3-进风管,
- 4-燃烧塔,
- 5-热交换塔,
- 6-电磁阀,
- 7-冷却塔
- 8-除尘器,
- 9-抽风机,
- 10、13-冷却风机,
- 11-主风机,
- 12-燃烧用风机。





### 金属液态成形装备及自动化



### 2.2.1 冲天炉熔化

#### (2) 称量配料装置

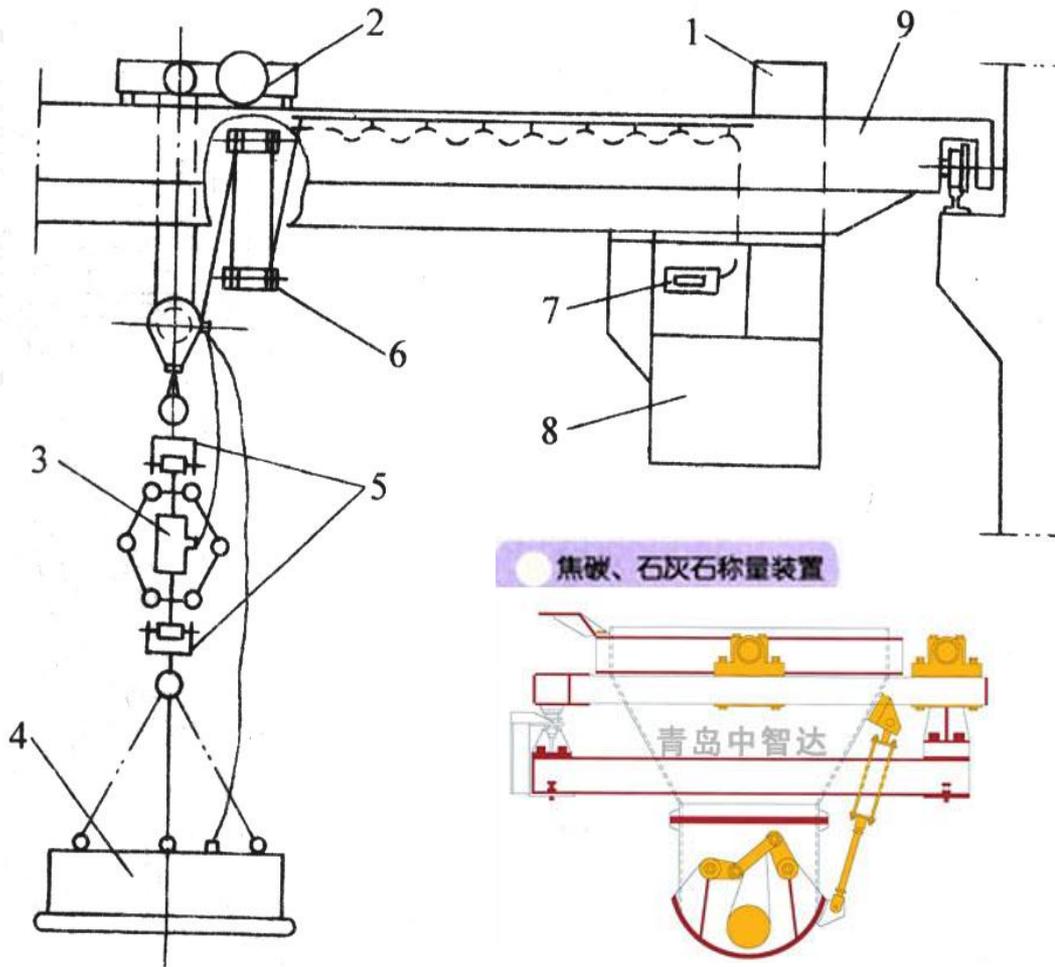
炉料主要包括金属料（生铁、回炉料、废钢等）、焦炭和石灰石等。

焦炭和石灰石等常用电子磅秤直接称量，振动给料机输送；金属料则采用电磁秤配料。

#### 电磁秤的结构原理

主要有电子秤、电磁吸盘及控制部分组成。

- 1-控制屏
- 2-小车卷扬机构
- 3-荷重传感器
- 4-电磁吸盘
- 5-万向挂钩
- 6-滑轮卷电缆装置
- 7-电子秤
- 8-驾驶室
- 9-行车





#### 2.2.1 冲天炉熔化

电磁吸盘：是在铸钢的钟盖内设有电磁线圈，下面用锰钢的非磁性底板盖住。

当线圈内通电时，产生电磁力，吸住铁料，铁料在吸附状态下搬运，断电去磁则卸料。

电磁盘的吸力与线圈的电流、匝数及被吸材料的性质和块度有关。

电子秤的基本原理：是利用荷重传感器因载荷变化而产生的应变信号大小来计算载重量。

控制部分：为计算机控制，可根据前一次的称量误差在下一次称料时预予自动补偿。





### 2.2.1 冲天炉熔化

(3) 加料装置：  
1) 常见的爬式加料机结构简图

配料工序完成后，  
由加料机完成加料工作。

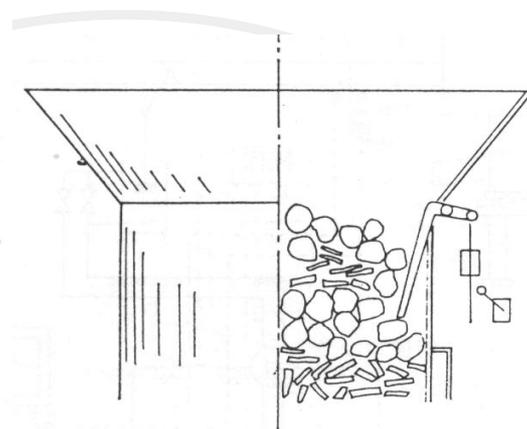
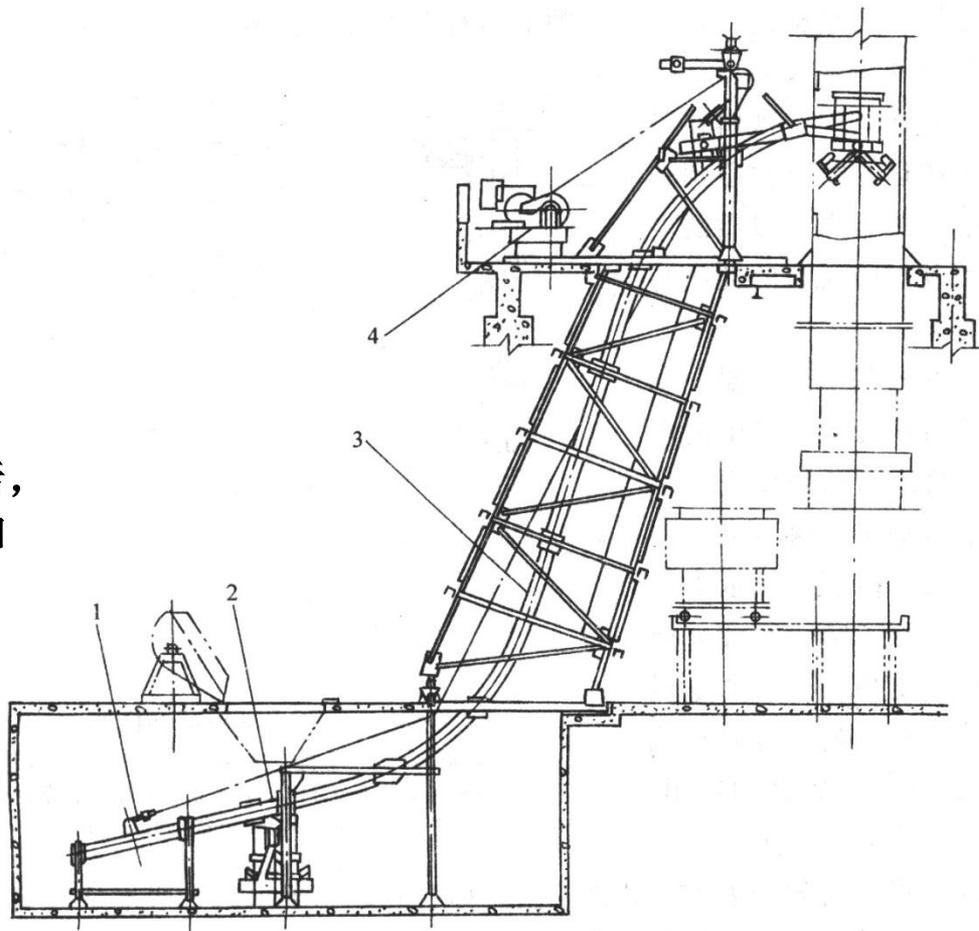


图2-5 杠杆式料位计



## 2.2.1 冲天炉熔化

## 2) 单轨加料机

结构简单，投资少，  
操作方便。

每次加料需要进行多次动作，不易实现自动化，需要加料平台，一般适用于小型冲天炉。

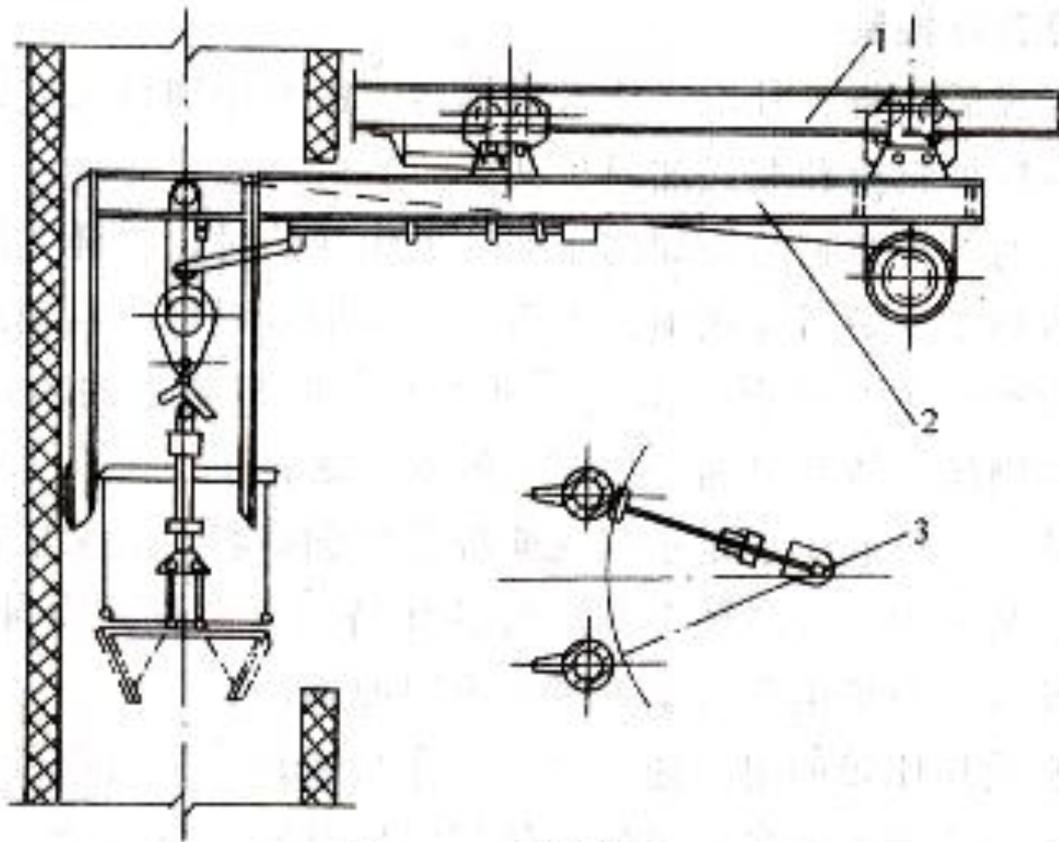


图 5-90 单轨加料机

1—单轨 2—活动横梁 3—立柱

### 金属液态成形装备及自动化





### 2.2.1 冲天炉熔化

#### (4) 冲天炉熔化的自动化系统

##### 1) 影响因素





## 2.2.1 冲天炉熔化

## 2) 冲天炉熔化自动化控制的要求

必须对影响冲天炉熔炼效果的因素及指标实施实时监控，并进行实时调整。

必须是全面达到高温、优质、低消耗三项技术经济指标，即铁水化学成分准确稳定、铁水温度达到要求，同时又要是冲天炉在最佳工作状态下运行，即焦炭燃烧效率高而消耗低，元素烧损少，生产率稳定。

影响熔炼过程的因素很多，包括冶金因素（原材料来源、配比、预处理以及化学成分波动）、炉子结构因素（风口、焦铁比、铁料块度、焦炭质量及鼓风温度等）。

所谓冲天炉熔化过程的控制，是在一定炉子结构，以一定的原材料及其配比条件下，调节各种工艺因素，以达到铁水化学成分及温度的基本要求，并且保证炉子在最佳状态下工作。



### 2.2.1 冲天炉熔化

#### 3) 冲天炉多参数监视和控制系统方案

同时输入9个模拟量

- 炉气成分、
- 炉气温度、
- 热风温度、
- 铁水温度、
- 风量、
- 送风湿度、
- 铁水成分、
- 风压及铁水重量

4路输出控制

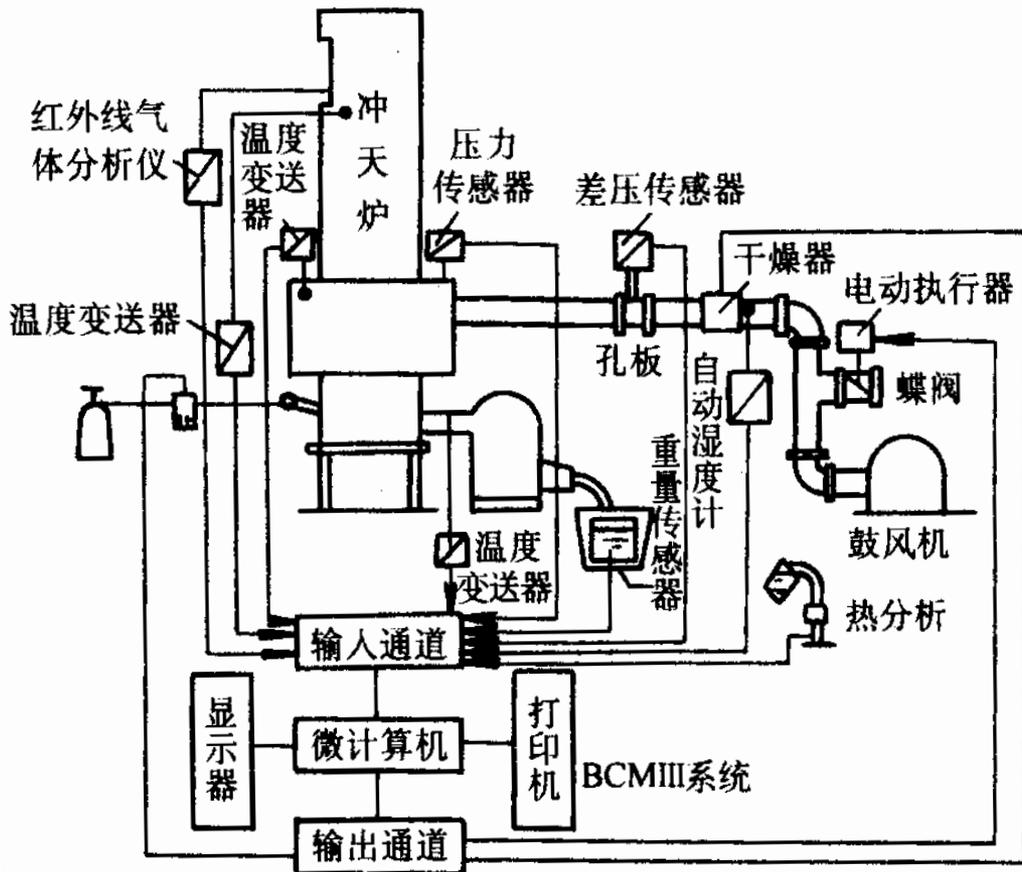


图2-7 冲天炉熔炼过程监控系统方案图

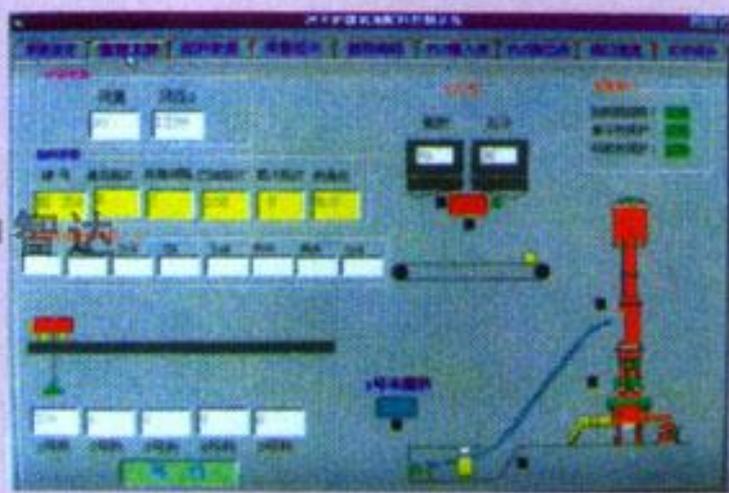
#### 2.2.1 冲天炉熔化

##### 4路输出控制

- 1) 由测定的铁水温度值与给定的铁水温度进行比较，当温度出现偏差时，输出通道输出开关量信号开大供氧气路，以此控制铁水温度；
- 2) 通过测定炉气成分控制送风量；
- 3) 通过测定送风湿度控制干燥器的功率，以此来控制送风湿度；
- 4) 通过热分析法测定铁水的及含量及铁水重量与给定的铁水成分比较，根据比较偏差，按铁水重量计算出炉前应补加的硅铁量。



微机自动控制配焦石合金



熔炼全过程监控



### 2.2.2 电炉熔化

#### 2.2.2 电炉熔化

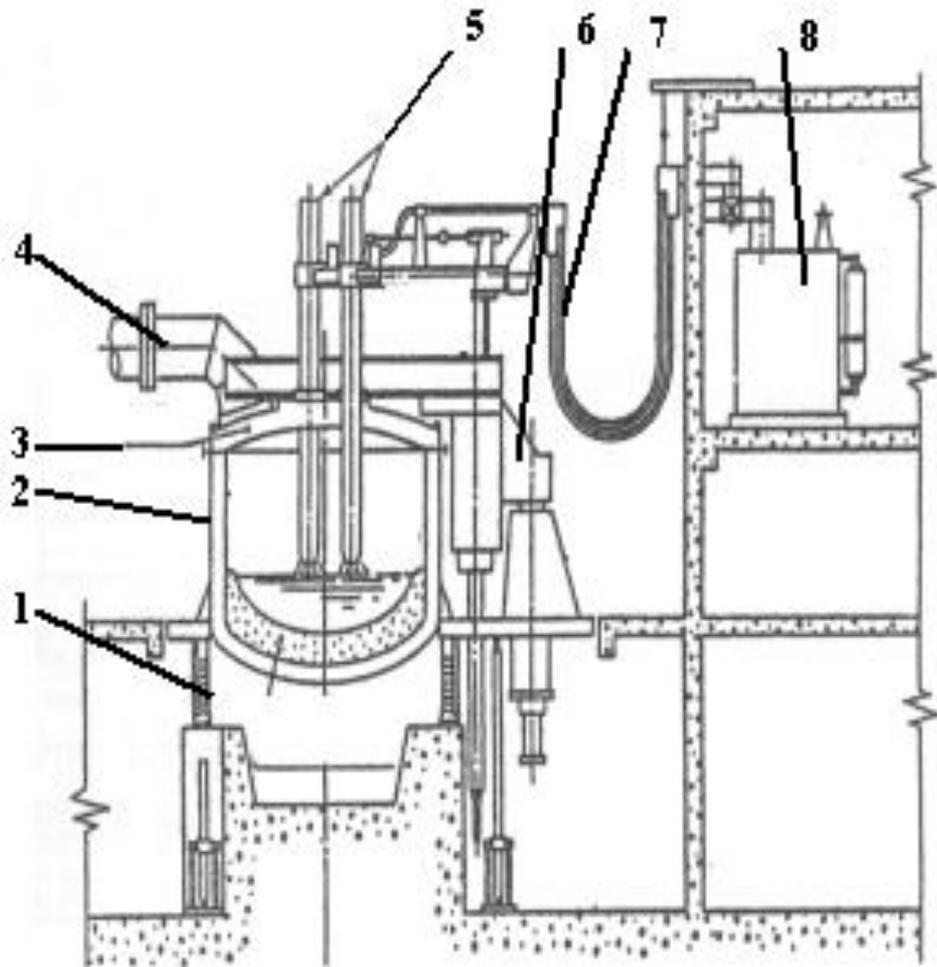
铁合金常用的熔化电炉，有：三相交流电弧炉、感应电炉、电阻炉（不讲）。

##### (1) 三相交流电弧炉

电弧炉结构图：

- 1-支腿； 2-炉体； 3-炉盖；
- 4-除尘；
- 5-电极； 6-炉盖开启旋转机构；
- 7-电缆； 8-变压器

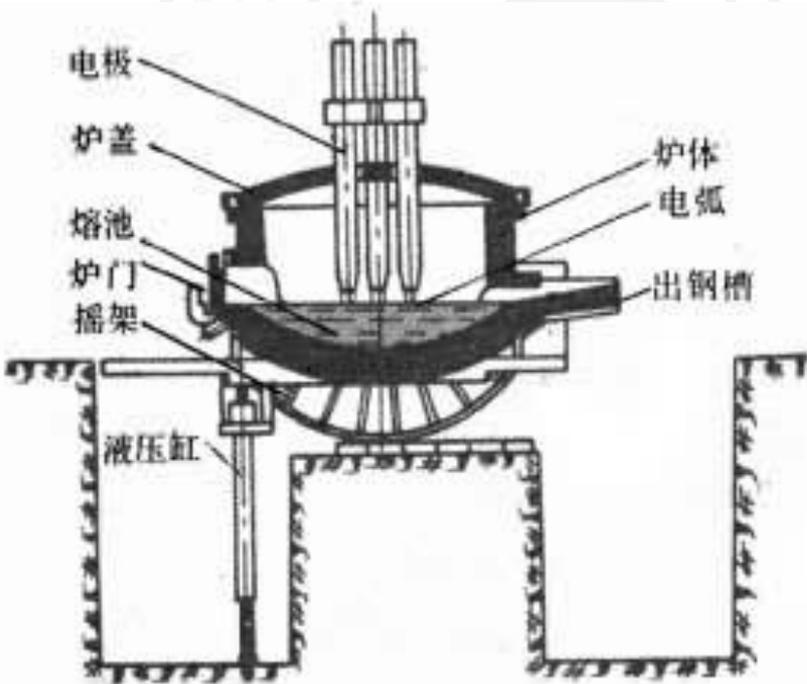
原理：利用电极和炉料之间产生高温电弧使金属料熔化。





#### 2.2.2 电炉熔化

华中科技大学



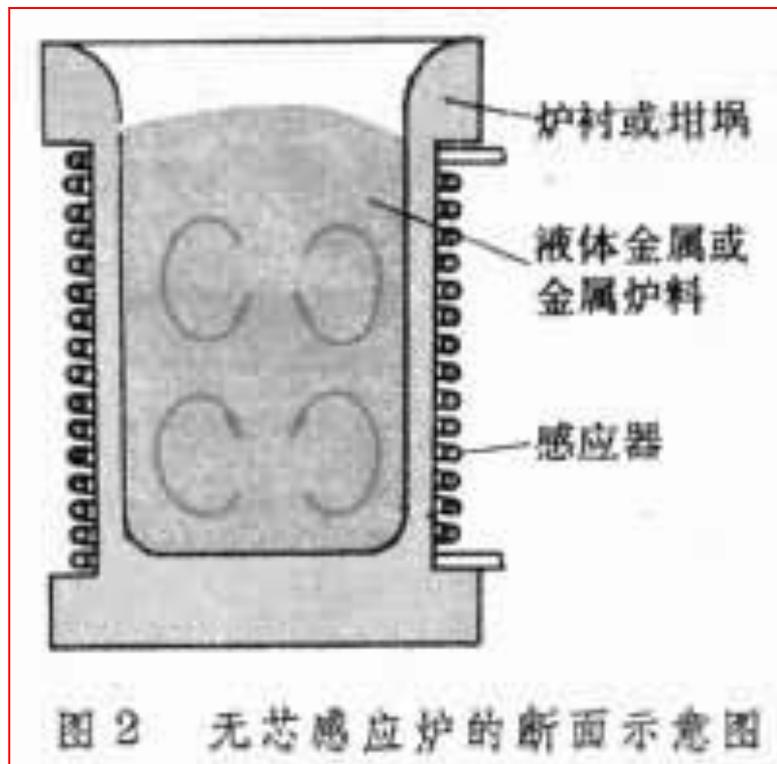
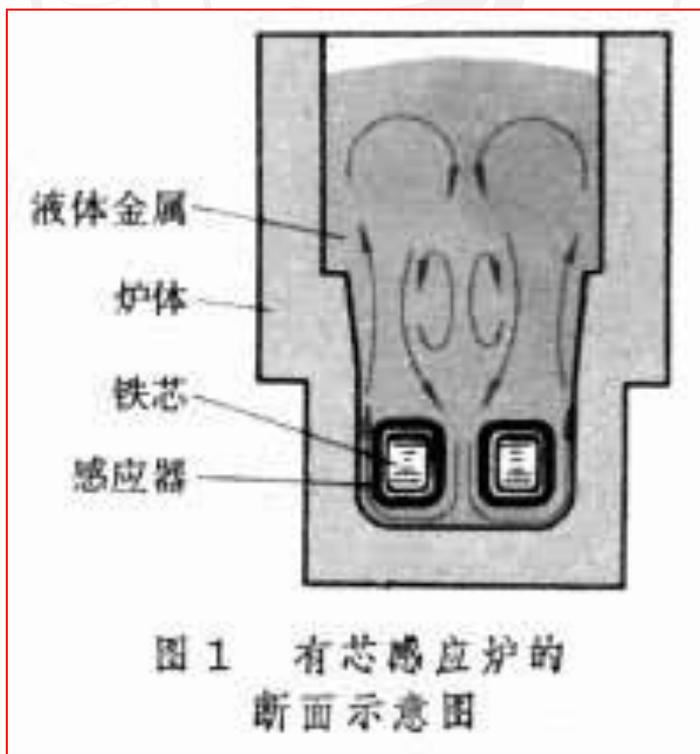
三相电弧炉示意图



## 2.2.2 电炉熔化

## (2) 坩埚感应电炉

利用电磁感应原理熔化金属的工业炉。感应炉采用的交流电源有工频（50或60赫）、中频（60~10000赫）和工频（高于10000赫）3种。感应炉的主要部件有感应器、炉体、电源、电容和控制系统等。



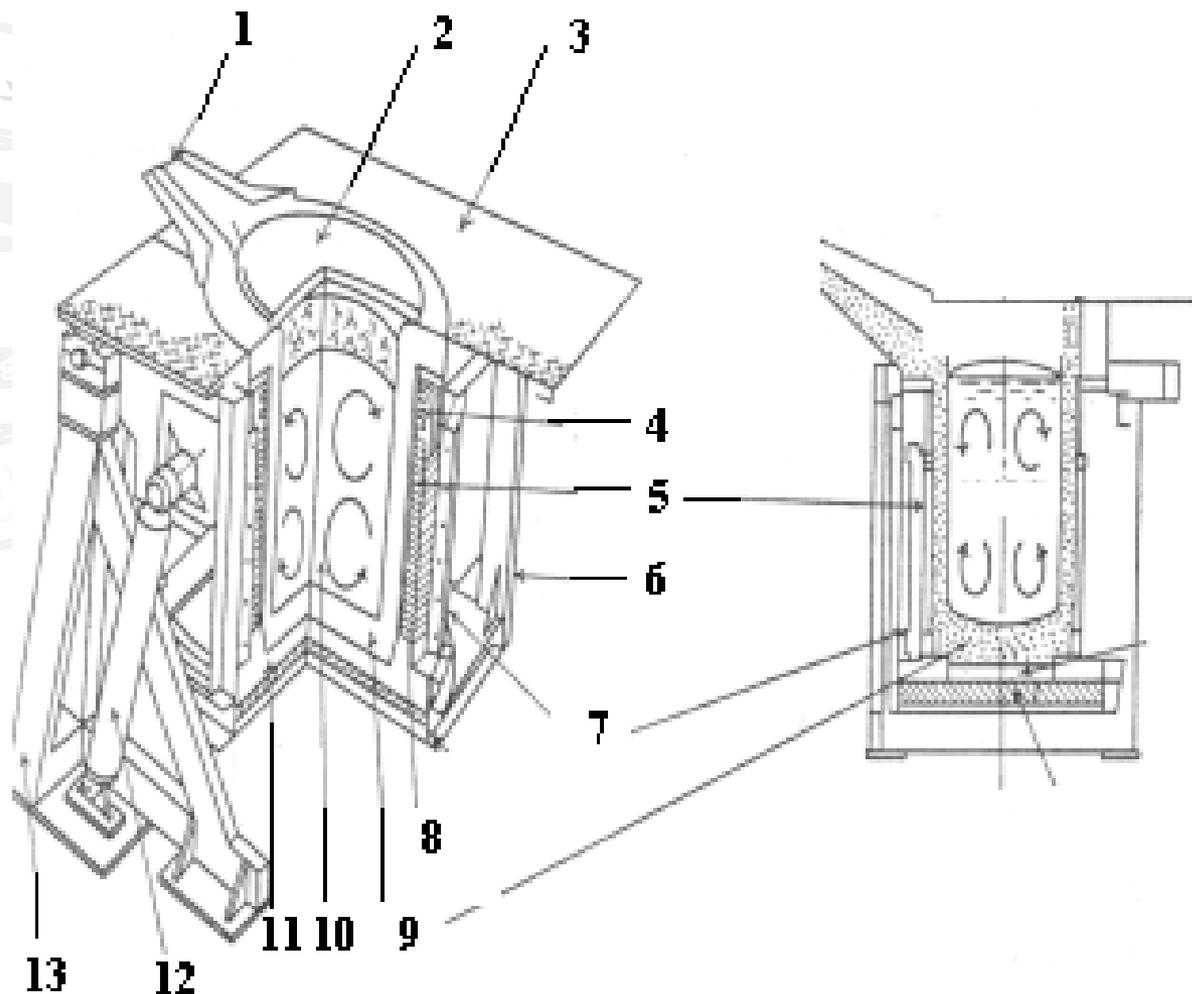


### 2.2.2 电炉熔化

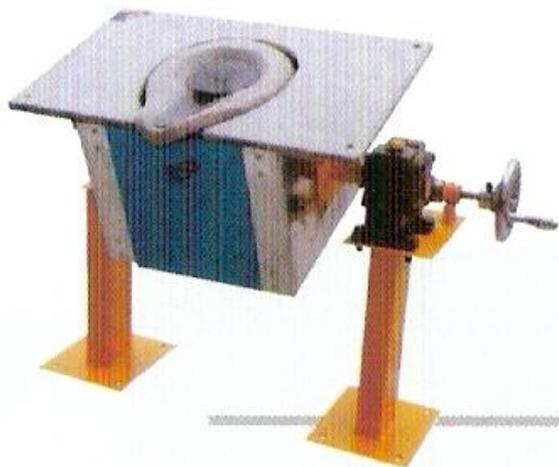
无芯坩埚式感应电炉

感应炉断面结构图：

- 1-出水口；
- 2-炉盖；
- 3-作业面板；
- 4-冷却水；
- 5-感应线圈粘接剂；
- 6-炉体；
- 7-铁芯；
- 8-感应线圈；
- 9-耐火材料；
- 10-金属液；
- 11-耐火砖；
- 12-倾转油缸；
- 13-支架



#### 2.2.2 电炉熔化



10kg~100kg  
材料材质分析  
特种精密铸造



1000kg~12000kg  
液压钢壳熔炉



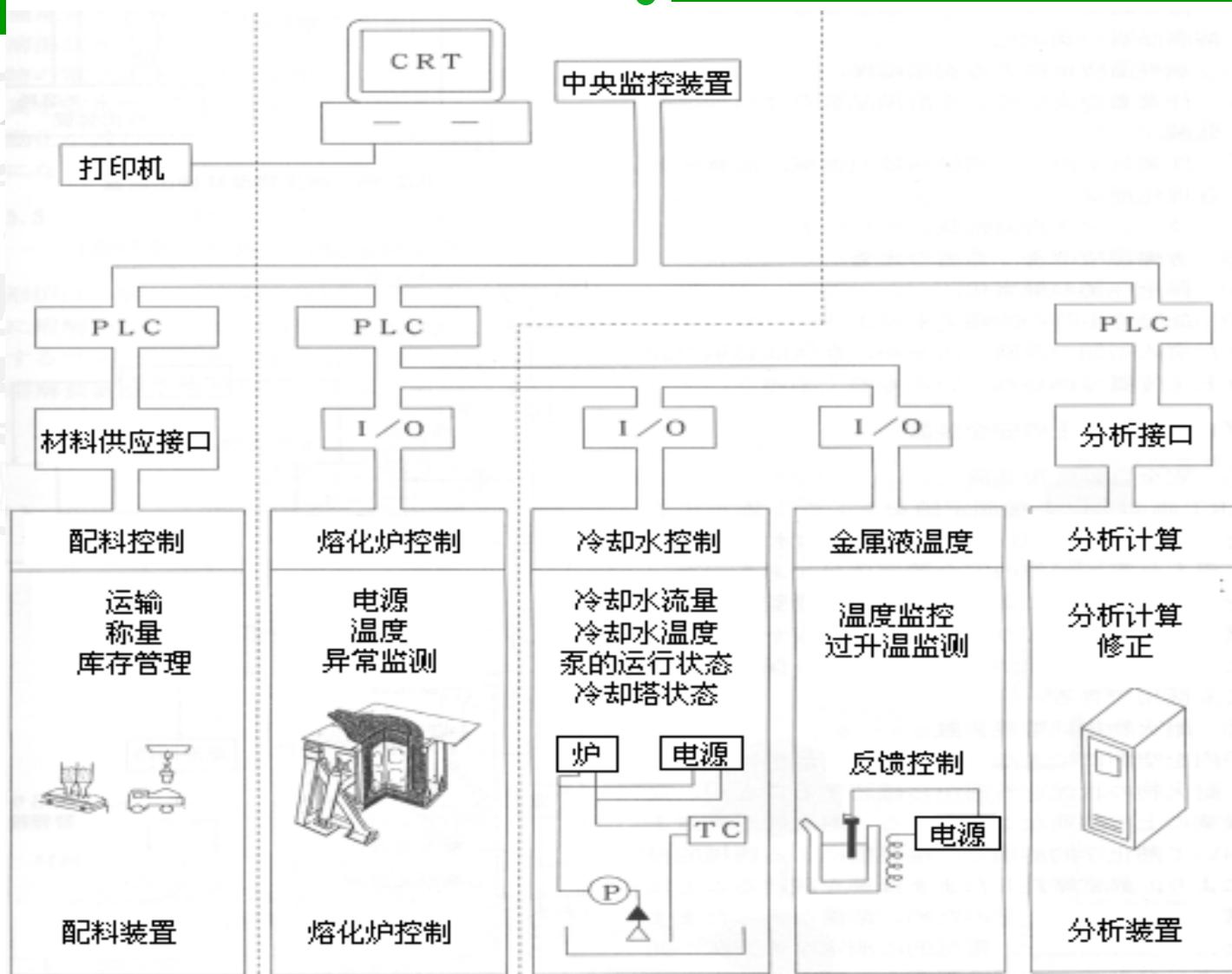
100kg~500kg  
铝壳机械传动熔炉



1000kg~20000kg  
液压钢壳保温炉

### 2.2.2 电炉熔炼

#### (3) 感应炉熔炼的集中控制式自动化系统





#### 2.2.2 电炉熔化

集中控制式自动化系统的优点

- 1) 运行优化，节能省电；
- 2) 熔液出炉温度偏差小，质量稳定；
- 3) 可防止升温过高，安全可靠；
- 4) 自动化程度高，不会因操作者的不同而引起熔液质量的波动
- 5) 熔化效率提高；
- 6) 炉衬的使用寿命长；
- 7) 改善劳动环境。

为确保安全自动运行，本系统还设有安全自动监视装置、耐火砖损耗检测装置及物料搭棚状况检测装置。





#### 2.2.3 自动浇注装备

##### (1) 自动浇注机的类型及特点

基本功能包括：

浇注时的定位与同步、浇注流量控制、浇注速度控制、金属液补充及保温、安全保护等。

国内外常用的自动浇注机主要有：电磁泵式浇注机、气压包式浇注机、倾转式浇注机等。



## 2.2.3 自动浇注装备

## (2) 电磁泵的工作原理及电磁泵式自动浇注机

1) 电磁泵的原理：通入电流的导电流体在磁场中受到洛仑兹力的作用，使其定向移动，如图2-11所示。

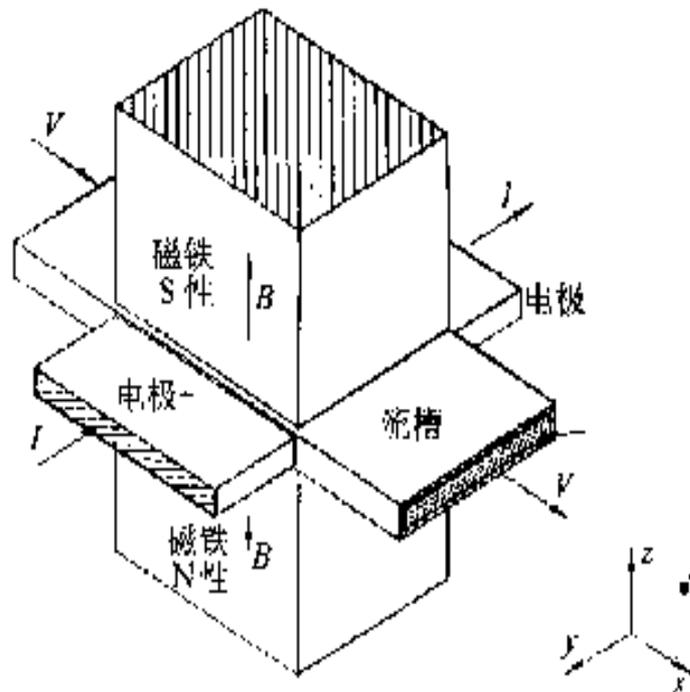
2) 电磁泵的主要技术性能指标—压头( $\Delta P$ )间存在如下关系：

$$\Delta P = \int_0^L j_x B_y dx$$

$\Delta P$  是压头；

$j_x$  是垂直于磁感应强度和金属液体流动方向上的电流密度；

$B_y$  是垂直于电流和金属液体流动方向上的磁感应强度， $L$  是处于磁隙间的金属液体长度。



明德厚学 求是创新  
WUHAN CHINA



## 2.2.3 自动浇注装备

## 3) 电磁泵自动浇注机的结构

由电磁泵和浇注流槽组成。

电磁泵的效率通常很低，如何提高电磁泵的效率，对于电磁泵的推广应用是一个十分重要的课题。电磁泵的效率受诸多因素的影响，泵体流槽结构、直流电极是关键结构因素。

优点是：容易调节浇注速度和浇注量；容易实现自动化；此外电磁力对熔渣不起作用，因此流动时只有金属液向浇注口方向运动，可保证浇注的金属液质量。

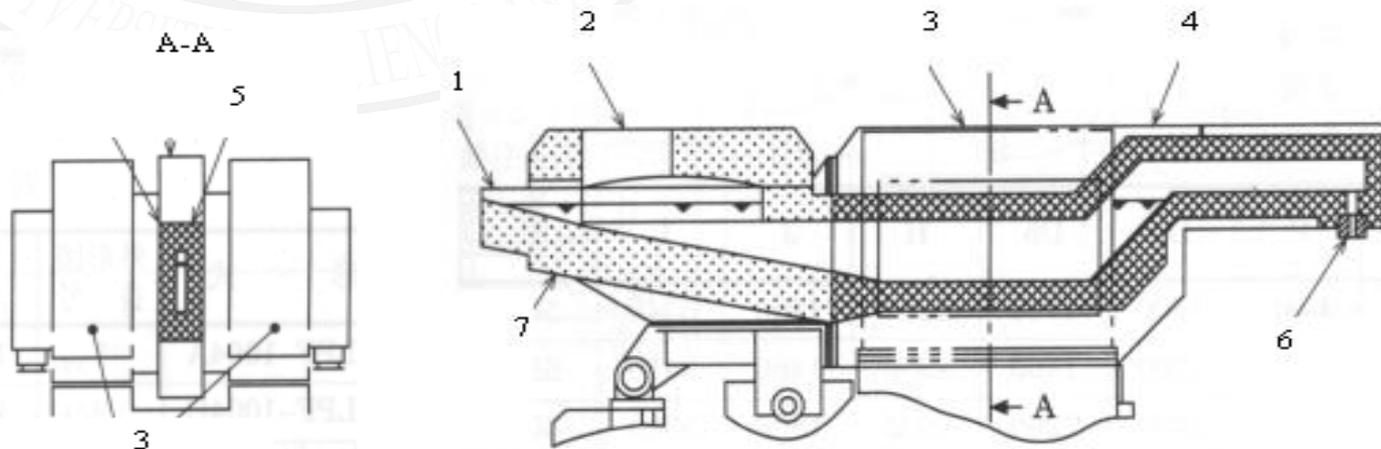


图2-12 电磁泵自动浇注机的结构简图

1-排液口 2-加料口 3-电磁泵 4-流槽 5-耐火材料 6-浇嘴 7-贮液槽

## 2.2.3 自动浇注装备

## (3) 气压式自动浇注机

## 1) 工作原理

在密封浇包的金属液面上施加一压力，金属液在压力的作用下沿浇注槽上升，金属液到达浇注口后便自然下落，浇入到铸型。浇注完毕，金属液面上的气体卸压，金属液回落。为保证浇注平稳，浇注前金属液面上应施加一个预压力（备浇压力），使金属液到达浇注槽的预定位置。

每浇注一次，浇包内的金属液面下降，该预压力应随着液面的下降而自动补偿。

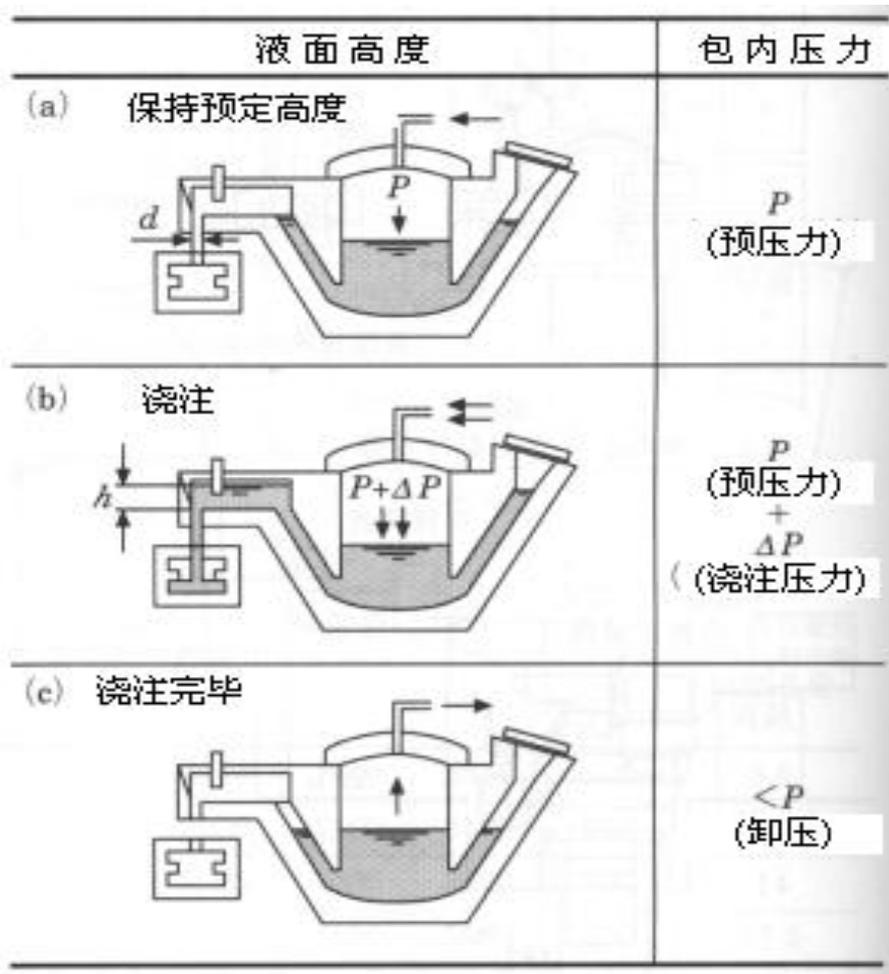


图2-13 气压式自动浇注机的工作原理

## 2.2.3 自动浇注装备

## 2) 带荷重传感器的气压式自动浇注机

采用荷重传感器与预压力联合控制，可大大提高浇注定量的精度和浇注过程的稳定性，它使称量、保持备浇状态、浇注、卸压等各个动作均自动连续进行。

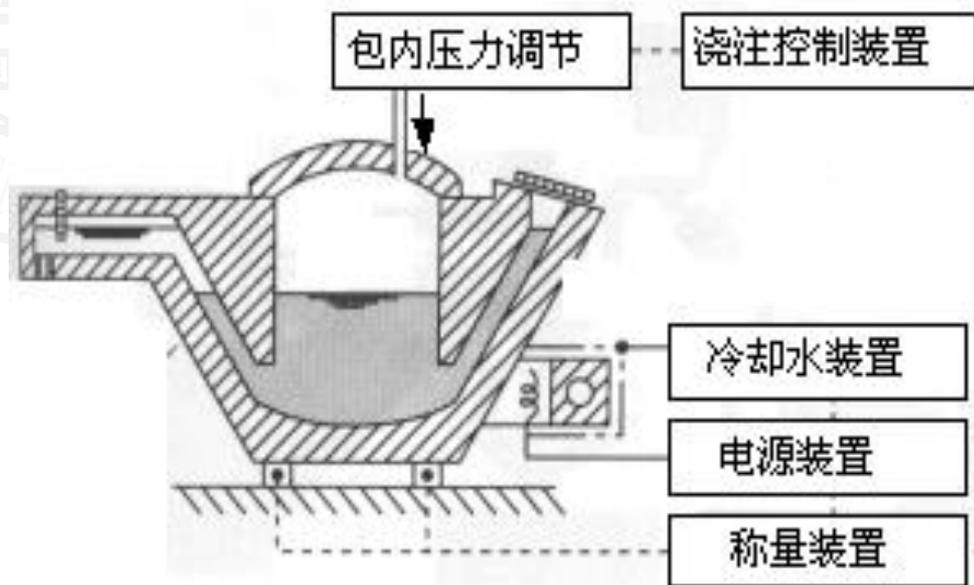


图2-14 带荷重传感器的气压式自动浇铸机

## 2.2.3 自动浇注装备

## 3) 摄像头检测液面的自动浇注机控制原理图

将摄取的浇口杯中的液面图像数据传输到计算机中，与计算机中预存的浇口杯充填状态图进行比较处理，并以此得到相应的控制信号，然后驱动伺服油缸/电机动作，带动塞杆升降得到不同的开启程度。

如浇口杯中完全充满液体，且液面不再变化时，即认为浇注完毕，塞杆下降关闭浇嘴。

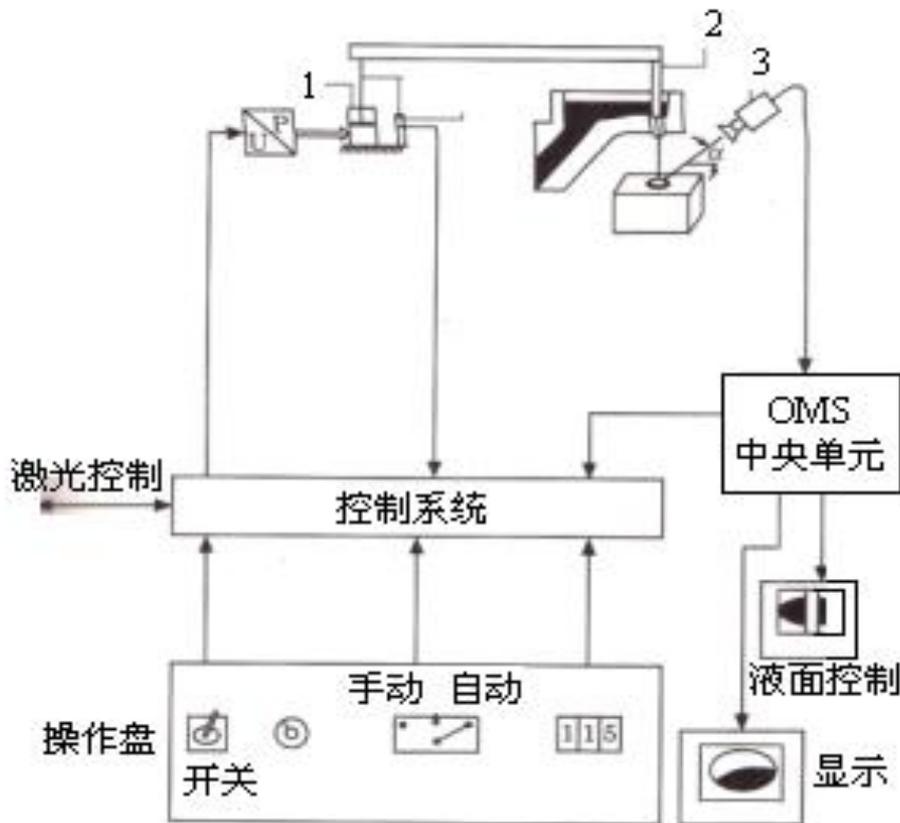


图2-15 摄像头检测液面的自动浇注机控制原理图

1—伺服油缸 2—塞杆 3—摄像头

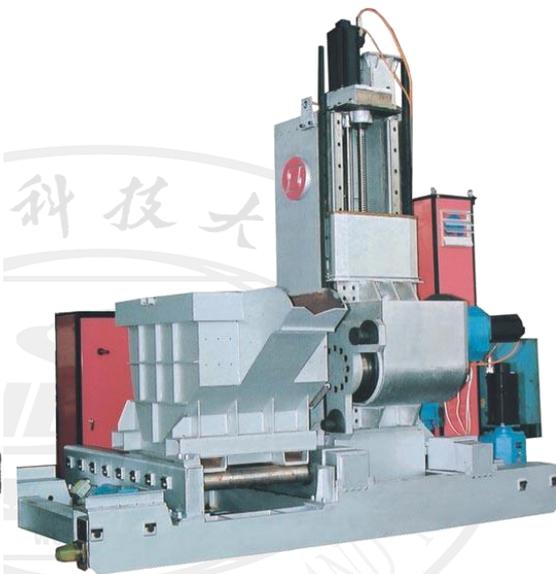
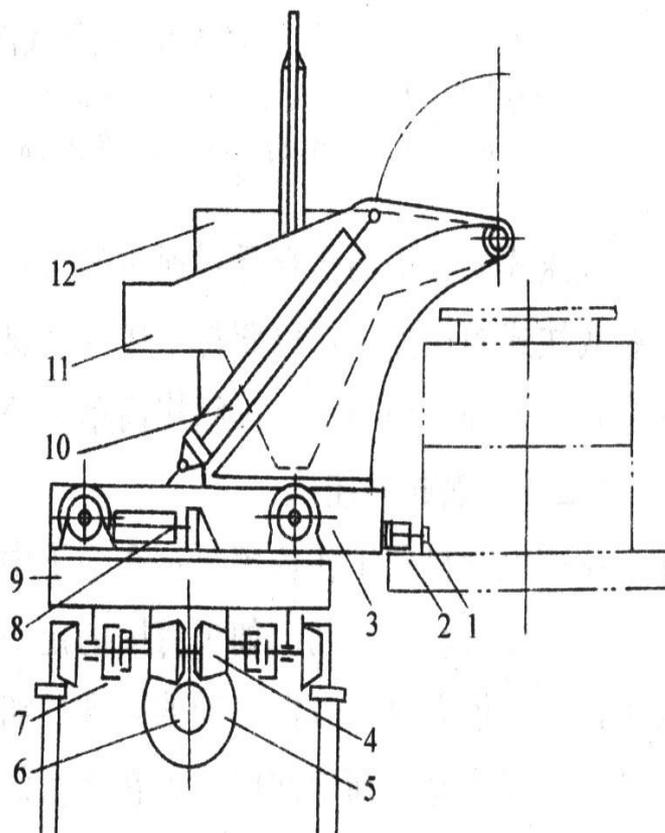
## 2.2.3 自动浇注装备

## (4) 倾转式自动浇注机

倾转式浇注机是目前使用最广泛的浇注装备。其特点是结构简单，容易操作，适应性强，能满足不同用户的需求。

图2-16 倾转式自动浇注机

- 1-同步挡块
- 2, 4-薄膜气缸
- 3-横向移动车架
- 5-电机
- 6-减速器
- 7-摩擦轮
- 8-横向移动液压缸
- 9-纵向移动液压缸
- 10-倾转油缸
- 11-倾转架
- 12-浇包



### 2.2.3 自动浇注装备

全自动倾转式浇注机控制原理

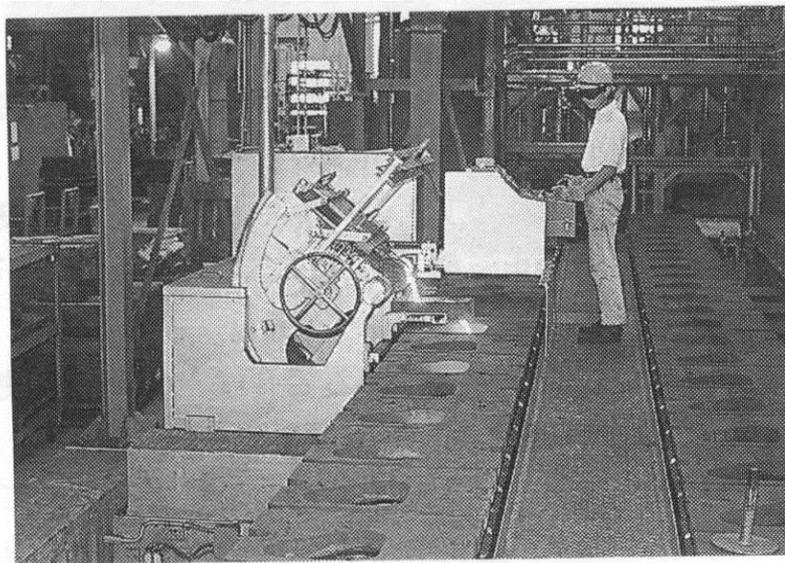


图2-17 倾转式自动浇注机的现场浇注

全自动倾转式浇注机，采用了多传感器检测浇注时温度、流量、浇口杯液面等以适时控制浇注机，实现浇注过程的全自动化。

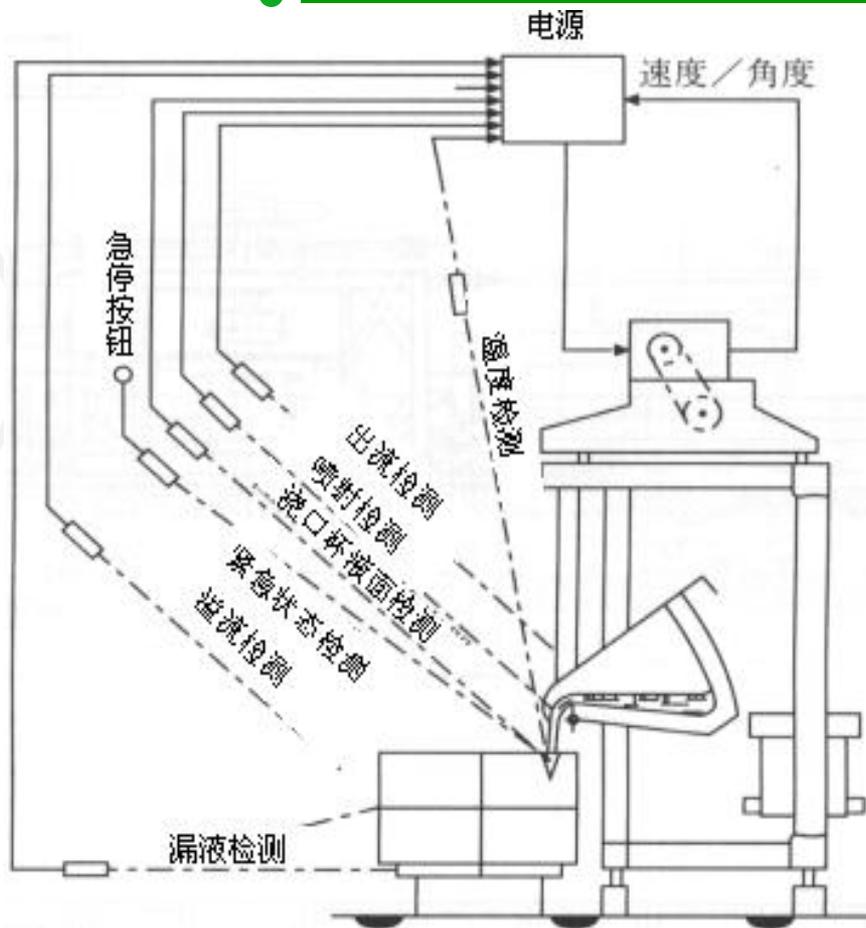


图2-18 全自动倾转式浇注机控制原理



#### 本讲思考题：

- 1、简述金属熔化的主要设备及适应范围，举例说明金属熔化设备的结构。
- 2、简述自动浇注设备的基本功能，常用的自动浇注设备有哪些，简述其基本原理
- 3、简述全自动倾转式浇注机控制原理。
- 4、简述电磁式浇注的原理及特点，为何它主要用于铝、镁、铜等非铁合金的浇注？





谢谢!

