

冶金工程专业  
开放性实验教材

**The Book of Metallurgical open Experiment**

鲁 路

西安建筑科技大学

# 目 录

实验一	铁矿粉造球与球团矿抗压实验 .....	(1)
实验二	精密火花直读光谱仪应用与实践 .....	(6)
实验三	红外测温仪和红外热像仪应用与实践 .....	(13)
实验四	煤粉爆炸性测定实验 .....	(24)
实验五	煤的着火温度测定 .....	(28)
实验六	氧氮氢分析仪应用与实践 .....	(33)
实验七	同步热分析仪应用与实践 .....	(35)
实验八	岩相显微镜观察与耐火材料荷重软熔点测定实验 .....	(38)

## 实验一 铁矿粉造球与球团矿抗压实验

球团矿是除烧结矿外另一种为高炉提供“精料”的造块方法。球团法是将细磨精矿制成能满足冶炼要求的块状物料的一个加工过程。

### 1. 实验目的

造球是铁矿粉的造块方式之一，铁矿氧化球团试验工艺流程见图 1-1。将细粒粉砂或其他含铁粉状物料用造球设备制取一定粒度(一般为 10~15 mm)的生球团，然后用高温焙烧或冷固结，使球团矿获得能满足钢铁冶炼要求的特性。本实验的主要目的是通过造球实验研究造球过程及其影响因素，包括成球水分、造球时间、造球物料的粒度及粒度组成、添加黏结剂种类与用量等对造球中成球和生球强度的影响；通过抗压实验了解氧化气氛条件下焙烧的焙烧球团的强度。

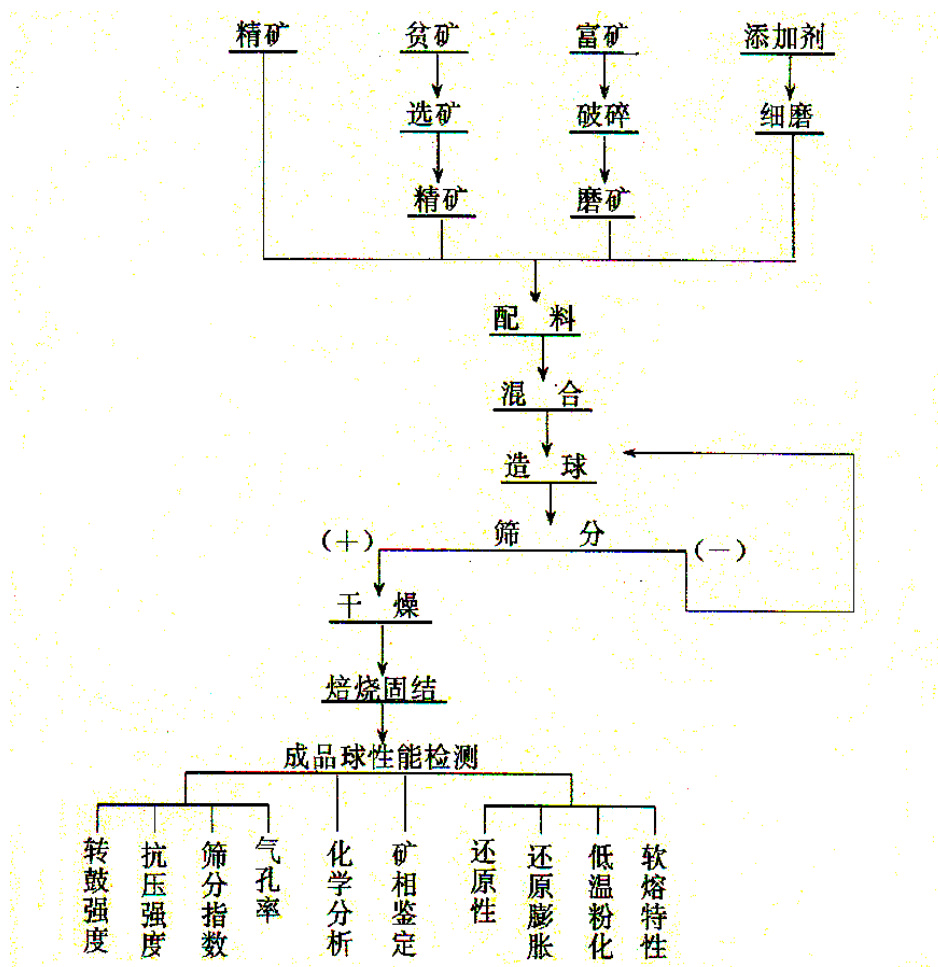


图 1-1 铁矿氧化球团试验工艺流程

### 2. 实验原理与操作步骤

#### 2.1 铁矿粉造球

球团矿是铁矿粉与添加剂混合物滚动成一定直径的球团。实验室用细磨铁精矿粉加黏结剂，在造球机运转下，喷水后多种不同力的相互作用(范德华力、磁力、静电引力、毛细水力和表面张力等)，铁矿粉颗粒彼此连接滚动成球。而造球过程又分为：开始形成的小球称为母球，它在造球盘内滚动，毛细水被挤压到球表面上而产生过湿，然后再滚入新的矿粉逐渐长大成为大球。要成为高炉能用且具有足够机械强度的球团矿，生球必须经过高温焙烧固结；球团矿的焙烧固结在实验室一般采用氧化焙烧，它具有很高的氧化度，从而改善了还原性。

### 2.1.1 造球实验

在现代的钢铁厂普遍采用圆盘造球机生产球团矿，实验室造球装置如图 1-2 所示。它是模拟钢铁企业工厂现场设备而缩小制作的，该圆盘造球机的圆盘直径  $\Phi=1000\text{ mm}$ ，边高  $80\text{ mm}$ ，并可升至最高  $150\text{ mm}$ ，而且它还具有以下特点：圆盘转速可以在  $0\sim 18\text{ r/min}$  范围内连续调节；圆盘倾角可在  $40^\circ\sim 50^\circ$  “范围内连续而精确地调整。

### 2.1.2 实验操作步骤

- (1) 造球料准备：精确称取精矿粉、黏结剂，进行干料充分混匀，取混合料  $1/3$ (或  $1/5$ )加水润湿作母球料，其余作造球时母球长大用；
- (2) 圆盘造球机的启动：将控制柜接通电源，锁开关向右旋至开的位置，红指示灯亮，按下红色按钮，红指示灯熄，绿指示灯亮，表示电动机已通电，旋转转速调节手柄，造球圆盘即开始转动；应注意圆盘内不应装料，待启动后再进行加料。缓慢转动手柄，使圆盘加速，在  $5\text{ S}$  内可加速至  $18\text{ r/min}$ ；
- (3) 母球制造：试验先造母球，将预先润湿混合料以一定料速加入造球机，经数分钟后湿料在造球盘中自由滚动而形成母球；
- (4) 母球长大：母球形成后，将造球盘的转速控制到  $10\sim 15\text{ r/min}$ ，由人工连续均匀给料，给料方式可以从一边也可以两边给入。补加雾状水，流量可由喷雾器控制。每个试验延续  $10\sim 15\text{ min}$ ，使母球长大而达到实验的要求；
- (5) 生球密结：当母球长大的粒度达到实验的要求后，但其强度并未达到要求，因此，必须进行密结，密结的时间为  $3\sim 5\text{ min}$ ，转速为  $10\sim 15\text{ r/min}$ 。
- (6) 生球的粒度组成： $<15\text{ mm}$ 、 $10\sim 15\text{ mm}$ 、 $>15\text{ mm}$

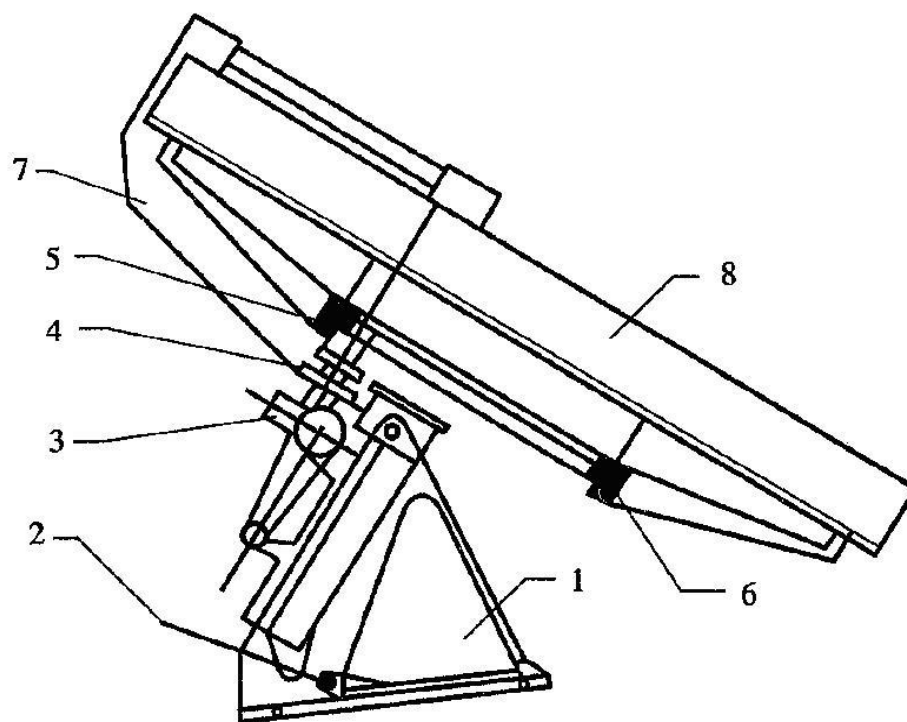


图 1-2 圆盘造球机

1 一机座；2 一调整倾角装置；3 一传动装置；4 一轴；5 一小齿轮；6 一内齿圈；7 一桁架；8 一圆盘

附表： 表 1-1 实验室试验用圆盘与工业用圆盘造球机试验参数比较

项目	球团厂 1 号机	球团厂 2 号机	实验室试验用圆盘
圆盘直径, m	6.0	6.0	1.0
矿物比表面积, $\text{cm}^2/\text{g}$	1500	1500	1500
生球水份, %	9.3	9.3	8.9
生球粒度, mm	12~15	12~15	12~15
生球抗压强度, N/球	7.8	7.6	7.3
落下次数, 次	5.8	5.1	4.6

## 2.2 铁矿球团（熟球）抗压强度测定

铁矿球团抗压强度测定实验是参照国标 GB/T14201-93《铁矿球团抗压强度的测定》而进行的。抗压强度是指一个氧化气氛条件下焙烧的铁矿球团（熟球）完全破裂时所受到的最大压力负荷，其数值为一组试样中所有试样测定值的平均值。其基本原理是：以规定的恒定压板速度把压力负荷施加到单个球团上，直到球团完全破裂为止。实验设备为 LD-YB-2 球团电子压力试验机，加压能力大于 10KN（约 1019.7kgf），压板装置的升降速度在 10~20mm/min，本机设定 15mm/min。

### 3. 实验数据记录与分析

#### 3.1 生球落下强度

将生球从 0.5m 高度自由落至 10mm 厚的钢板上，重复坠落至生球出现明显裂纹或碎裂为止。坠落至碎裂的次数，即为落下强度，以 10 个球的平均落下次数作为落下强度指标，须选取同一直径的生球（10~15mm 按合格球径的平均值  $d_{\text{平均}} \pm 0.5\text{mm}$ ）。

表 1-2 生球落下强度记录表

实验编号 落下次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
记录（次数）										
平均值										

#### 3.2 铁矿球团（熟球）抗压强度

选取 3 个（或 5 个）相同粒径的熟球团在实验设备 LD-YB-2 型球团电子压力试验机上进行铁矿球团抗压强度的测定。

表 1-3 铁矿球团（熟球）抗压强度记录表

实验编号	1#	2#	3#	平均值 (N)
抗压强度 (N)				

### 4. 实验报告

实验名称：

实验日期：

姓名：

班级学号：

指导教师：

同组人：

4.1 实验目的:

4.2 实验原理:

4.3 实验数据记录与分析:

生球落下强度记录表

实验编号 落下次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
记录(次数)										
平均值										

铁矿球团(熟球)抗压强度记录表

实验编号	1#	2#	3#	平均值(N)
抗压强度(N)				

4.4 思考题:

- (1) 生球团成球的机理是什么?
- (2) 在铁矿氧化球团试验工艺流程中, 成品球需要做哪些性能检测?
- (3) 测定铁矿球团(熟球)抗压强度的原理及意义是什么?

5. 实验心得与体会:

## 实验二 精密火花直读光谱仪应用与实践

发射光谱分析是钢铁冶金领域常用的仪器分析法，是对钢铁、合金以及有色金属进行相成分定量分析的重要手段之一。本实验通过了解和掌握对意大利 GNR 公司生产的 METAL-LAB75/80J 型精密火花直读光谱仪的基本结构、工作原理、基本操作方法、试样的制备、维护保养知识等的学习，使学生了解和掌握这一种先进的仪器分析法。

### 1. 发射光谱基本原理

发射光谱分析是根据原子受到热能或电能的激发后所发射的特征光谱线来进行定性及定量分析的一种方法。图 2-1 是发射光谱分析仪器示意图。当组成元素的原子受到外界能量(热能或电能)的作用时，核外电子就跃迁到高能级，处于激发态。激发态电子再迁至基态(稳定态)或较低能态时，把多余的能量以光的形式释放出来。若把辐射光通过棱镜或光栅，就能得到按一定波长顺序排列的光谱。利用摄谱法将试样的光谱照相记录下来，再根据谱片中被测元素的特征谱线及谱线的黑度进行光谱定性和定量分析。或者用光电法测量谱线的强度，进行元素分析。

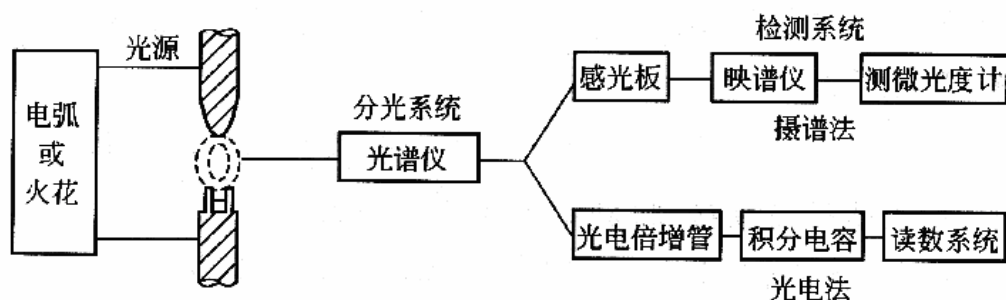


图 2-1 发射光谱分析仪器示意图

### 2. 发射光谱的特点

#### 2.1 发射光谱分析具有的优点：

- (1) 分析速度快。进行定性分析时，样品不需要经过复杂的化学处理过程，如果是金属导体，可把试样直接做电极进行分析。在钢铁分析中，采用计算机控制的光电直读光谱仪，可以在 2~3min 内同时给出钢中 20 多种元素的分析结果。
- (2) 选择性好。对于一些化学性质相似的元素，如铌、钽、锆、钨和稀土等，用一般化学析法难以分别测定，而发射光谱法能够很容易的进行各元素的单独测定。
- (3) 取样量少，灵敏度较高。该法一般仅需几毫克至几十毫克试样。其灵敏度与仪器设备条件、试样组成及被测元素的性质有关。



## 2.2 发射光谱分析法的主要缺点:

- (1) 需要用一套标准样品对照, 往往由于试样组成的变化, 以及标准样品的不易配制, 给光谱定量分析造成困难。
- (2) 准确度较差。发射光谱分析中遇到的影响因素较多, 往往难以控制, 故误差较大, 相对误差一般为 5%—20%。

## 3. 样品的制备

全部待激发样品, 包括分析试样、标准化样品、控样等必须经过制备后并保持洁净, 才能在光谱仪上测量。一般样品制备方式如下:

- (1) 钢样: 在砂轮或磨盘上制备。通常粒度为 36~60 目, 磨料为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 。磨料及粘结剂可能影响分析结果。进行酸溶铝分析时不要用  $\text{Al}_2\text{O}_3$  砂纸。试样面朝上, 禁止手摸。
- (2) 铸铁样: 可以在砂纸或磨盘上制备, 但通常“白口化”【取样时水冷淬, 球墨铸铁不能做应“白口化”】(阻止 C 的石墨化) 以后样品非常硬, 许多人用砂轮制备。
- (3) ※有色金属样: Al、Cu、Pb、Zn、Mg 等最好在高速车床上制备。

当分析小样品时, 长时间激发会使样品很热, 因此应准备一块大样品放在上面以散热。

※ 本机未配备有色金属分析通道

## 4. METAL-LAB75/80J 型精密火花直读光谱仪的操作分析程序

实验仪器为意大利 GNR 公司制造的 METAL-LAB75/80J 型精密火花直读光谱仪, 见图 2-2。



图 2-2 METAL-LAB75/80J 型精密火花直读光谱仪

## 4.1 关机

### 4.1.1 短期关机

- (1) 计算机、显示器、打印机
- (2) 氩气，并在火花台上放一样品防止污染电极。
- (3) 光源开关 (SPARK)。【火花激发】

### 4.1.2 长期关机【按顺序】

- (1) 短期关机三项
- (2) 关断光谱仪开关 (MAINS)。
- (3) 关断光谱仪供电电源。
- (4) 关闭两个真空隔离阀即压下红色按钮。
- (5) 关掉真空泵电源 (PUMP)。
- (6) 关闭稳压器。
- (7) 断开交流接触器 (红色为关，绿色为开)

### 4.1.3 关机说明


- (1) 每天都工作的情况下，不必关闭真空泵和主电源开关 (MAIN)，以保持仪器的稳定性。
- (2) 开机顺序与关机顺序完全相反。
- (3) 若遇停电后开启仪器，一定要先按长期关机的顺序关机，再按长期开机的顺序开机。**切不可直接开启交流接触器给仪器送电！**


## 4.2 分析程序：


### 4.2.1 待仪器稳定后

- (1) 在主菜单屏幕下，点击分析图标 (Analysis) 或按 **F2** 键，进入分析窗口，自动弹出“分析程序” (Analysis Program) 对话框，用鼠标左键选择分析程序，分析程序的转换也可点击屏幕左上方的“程序选择”按钮。
- (2) 激发一样品，通过流量计下方的黑色的旋钮将氩气流量调到 8~10 升【9 升】。
- (3) 空烧样品，激发 4~5 次直至结果稳定。

### 4.2.2 标准化：【RN 碳钢】、【RG 铸铁】、【RH 不锈钢】

- (1) 在分析屏幕中，点击菜单“Standardization (标准化)”在弹出的菜单中点击“Global F8 全局标准化”进入“标准化”屏幕，也可按下 F8 键，或点击“标准化”图标  进入标准化屏幕。
- (2) 激发屏幕上提示所选择的第一个标准化样品，激发 2~3 次结果良好后，点击选择下一个样


品的图标按钮 ，选择下一个样品，并激发该样品。【平均值“黑色”数值多】

标准化样品全部激发完成后，点击屏幕上方左侧第一个图标 。出现“标准化元素选择”对话框。选择“全选”(All the items) 点击对话框中的“Standardize (标准化)” 分析工作曲线校正(标准化)即完成并自动返回分析屏幕。

#### 4.2.3 样品分析：【F3】

(1) 在分析窗口输入分析样品名称，及操作者（小于 20 个字符）。

(2) 激发样品 2~3 次。

(3) 如果需要打印分析结果则点击打印图标 。

(4) 点击屏幕上方左侧第一个图标开始下一个样品分析。此时 出现是否存贮当前分析结果(Do you want save current analysis?) 若存贮点击“YES” 否则点击“NO”。

(5) 输入第二个样品的名称、操作者，以下分析样品依此类推。

#### 4.2.4 分析通道及程序：(表 2-1)

表 2-1

序号 No.	元素 Element	分析通道及程序		
		铸铁 Cast Iron	低合金钢 Carbon & Low Alloy	不锈钢 Stainless Steel
1	C	2.0-4.1	0.004-1.3	0.005-1.0
2	Si	0.3-3.5	0.002-1.7	0.05-1.0
3	Mn	0.02-2.2	0.002-2.0	0.05-2.0
4	P	0.002-0.5	0.0015-0.1	0.002-0.1
5	S	0.001-0.2	0.001-0.1	0.002-0.1
6	Cr 1#	0.002-3.0	0.002-5.0	
7	Cr 2#			5.0-35.0
8	Ni 1#	0.002-2.6	0.002-5.0	
9	Ni 2#			4.0-35.0
10	Mo	0.002-1.2	0.002-2.0	0.002-2.5
11	V	0.001-0.4	0.001-1.0	0.01-0.8
12	Ti	0.001-0.2	0.001-0.4	0.005-0.3
13	Al	0.002-0.1	0.001-1.8	0.005-0.1
14	Cu	0.002-1.5	0.002-1.0	0.01-6.0
15	Mg	0.001-0.1		
16	Ce	0.002-0.1	0.002-0.02	
17	Nb	0.002-0.06	0.002-1.0	0.004-0.5
18	B	0.0005-0.05	0.0002-0.05	0.001-0.1
19	W	0.01-0.1	0.005-0.4	0.01-4.0
20	Fe	REF	REF	REF

## 4.3 日常维护与保养:

(1) 清洗火花台需一天一次, 首先将火花台的样品压头及底座拆卸拧开, 拆卸底座时拧螺丝需用力适度, 以免螺丝脱扣 (见图 2-3)。拆卸后请毛刷清扫上面的粉尘, 如果火花台已经长时期没有清扫, 进行第二步氩气反吹。



图 2-3

(2) 氩气反吹, 首先打开氧气表, 取下氩气过滤器 (见图 2-4), 然后将光谱仪总进气的氩气管拔掉, 用棉花堵住火花台到透镜处的进光口, 以免粉尘被吹入透镜处, 用氩气管口对准氩气过滤器的管口, 进行反吹。这时, 灰尘将从火花台的方向吹出来, 随之将氩气管装回仪器。



图 2-4

(3) 清理氩气过滤器, 10~15 天换一个过滤器芯。

(4) 擦拭透镜。每周需要擦拭一次透镜。先将手动隔离阀 (见图 2-5) 由水平位置扳向垂直方向, 用手上下移动取下透镜, 放入无水乙醇浸泡五分钟, 用进口透镜纸擦干; 若透镜较脏且中心有圆圈状污渍存在, 请用少许牙膏擦洗, 并用清水冲净再用无水乙醇清洗, 用透镜纸擦干, 安装时要凸面朝火花台方向。落下手动隔离阀即可。



图 2-5

(5) 真空泵维护, 更换润滑油, 首先将手动隔离阀 (见图 2-6) 关闭 (由竖直状态搬到水平状态)。

下面有泄油阀, 漏出废油拧紧, 向内注放真空泵油 2/3 即可, 真空泵油应 4 月更换一次。

(6) 真空度保持在 100mT 以下稳定不变。

(7) 电极一年更换一次。



图 2-6

## 5. 注意事项

- (1) 本仪器属于大型精密贵重仪器设备，需专人使用未经指导教师许可严禁学生擅自操作!!!
- (2) 若实验室经常断电，请在无人看管情况下关闭真空泵阀门，拔掉 USB 插头，关断计算机电源。
- (3) 本仪器使用仪器为 99.999% 的高纯氩气，如达不到要求应加装氩气净化机。如果氩气不纯将会影响测量的数据稳定性。
- (4) 本仪器需配备 3KW-5KW 的磁饱和式稳压电源，并加装交流接触器。
- (5) 本仪器正常工作常温度 20-25 摄氏度，湿度小于 70%。
- (6) 加装氮通道仪器所使用的氟化镁透镜，需要每三天用无水乙醇浸泡 30 分钟以上，用透镜纸轻轻擦干，请尽量避免用手触摸。

## 6. 实验报告

实验名称:

实验日期:

姓 名:

班级学号:

指导教师:

同组人:

### 6.1 实验目的:

### 6.2 实验仪器工作原理:

### 6.3 样品分析实例:

#### 6.3.1 样品制备:

选取【低碳钢】、【铸铁】、【不锈钢】三种材料中的其中一个牌号，在光谱制样机（50 目砂盘）上严格按照制样要求打磨试样表面至合格，待用。

## 6.3.2 样品分析:

将打磨好的试样放入 METAL-LAB75/80J 精密火花直读光谱仪进行光谱分析，在样品表面选取 3 个激发点。

序号	元素	分析样品名称: ( )			
		1* 元素含量 (%)	2*元素含量 (%)	3*元素含量 (%)	平均值 (%)
1	C				
2	Si				
3	Mn				
4	P				
5	S				
6	Cr				
7	Mo				
8	Ni				
9	Nb				
10	Al				
11	Cu				
12	B				
13	Ti				
14	V				
15	W				
16	Ce				
17	Fe				

## 6.4 思考题:

- (1) 发射光谱分析的基本原理是什么? 做示意图。
- (2) 发射光谱分析方法的优缺点是什么?
- (3) METAL-LAB75/80J 型精密火花直读光谱仪的开机顺序是什么?
- (4) METAL-LAB75/80J 型精密火花直读光谱仪日常维护与保养的主要内容有哪些?



## 实验三 红外测温仪和红外热像仪应用与实践

在冶金高温实验（试验）和工业生产过程中，准确的温度测量是非常重要的。在许多情况下，温度测量的精度决定了整个实验（试验）误差的大小以及冶炼过程中的热工制度等。测量温度的方法分为：（1）接触式（传感元件紧靠被测物体或直接置于温度场中，如热电偶等）；接触式测温的特点是测温元件直接与被测对象相接触，两者之间进行充分的热交换，最后达到热平衡，这时感温元件的某一物理参数的量值就代表了被测对象的温度值。优点：直观可靠；缺点：感温元件影响被测温度场的分布，接触不良等会带来测量误差，另外温度太高和腐蚀性介质对感温元件的性能和寿命会产生不利影响。（2）非接触式（利用被测物体的热辐射或辐射光谱分布随温度变化的规律来测量物体的温度，如红外测温仪、红外热成像仪、光学高温计等）。表 3-1 为常用测温仪器的种类特性及其使用场合。红外测温仪、红外热成像仪与热电偶相比具有感温元件不与被测对象相接触，而是通过辐射进行热交换，故可避免接触测温法的缺点，具有较高的测温上限。此外，非接触测温法热惯性小，可达千分之一秒，故便于测量运动物体的温度（如连铸生产过程中连铸坯表面温度的测量）和快速变化的温度。同时还具有寿命长、性能可靠、腐蚀性介质不能接触的场合等特点。红外测温仪与光导纤维及微处理机配套组成的红外热像仪，成为高温冶金过程研究及过程控制的有利工具。本实验通过了解和掌握 3i-2MSC 型红外测温仪和 VST-H 型便携式工业红外热像仪的基本结构、工作原理、基本操作方法等知识的学习，使学生了解和掌握这一种先进的测温仪器的应用与实践。

表 3-1 常用测温仪器的种类特性及其使用场合

原理	种类	使用温度范围/℃	准确度/℃	线性	响应速度	记录与控制	价格	使用
膨胀	水银温度计	-50 ~ 650	0.1 ~ 2	可	中	不适合	便宜	测冷却水，蒸汽温度，示值直观。箱式炉控温用
	有机液体温度计	-200 ~ 200	1 ~ 4	可	中	不适合		
	双金属温度计	-50 ~ 500	0.5 ~ 5	可	慢	适合		
压力	液体压力温度计	-30 ~ 600	0.5 ~ 5	可	中	适合	便宜	测冷却介质。环境温度 5 ~ 60℃，相对湿度 ≥ 80%
	蒸汽压力温度计	-20 ~ 350	0.5 ~ 5	非	中			
电阻	铂电阻温度计	-260 ~ 1000	0.01 ~ 5	良	中	适合	贵	测冷却介质、砖衬温度作为标准温度计用； 测冷却介质
	热敏电阻温度计	-50 ~ 350	0.3 ~ 5	非	快			

原理	种类		使用温度范围/℃	准确度/℃	线性	响应速度	记录与控制	价格	使用
热电动势	热电测温	R, S <sup>①</sup>	0~1600	0.5~5	可	快	适合	贵	测定熔体及高于1100℃的物料温度, 适用于氧化气氛
		K	-200~1200	2~10	良			中	测炉气、砖衬及物料温度; 热电动势大, 灵敏度高
		E	-200~800	3~5					
		J	-200~800	3~10					
T	-200~350	2~5							
热辐射	光学温度计		700~3000	3~10	非	中	不适合	中	冶金熔体、高炉风口测温
	红外温度计		200~3000	1~10	非	快中快	适合	贵	
	辐射温度计		100~3000	5~20					
	比色温度计		180~3500	5~20					

①为热电偶分度号

## 1. 红外测温基本原理

自然界任何物体都有着热辐射, 例如, 物体在 300℃时就有波长约 5μm 红外光辐射。物体热辐射本领可用普朗克公式和基尔霍夫定律表达式 (3-1)、(3-2) :

$$M_{\lambda T} = \alpha_{\lambda T} M_b(\lambda, T) = \alpha_{\lambda T} \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} \quad (3-1)$$

式中:  $M_{\lambda T}$  — 物体自身发出的辐射, W/m<sup>2</sup>;

$\alpha_{\lambda T}$  — 辐射率;

$M_b(\lambda, T)$  — 黑体辐射, W/m<sup>2</sup>;

$c_1$  — 第一辐射常数, 其值为  $3.74 \times 10^{-16}$  W·m<sup>2</sup>;

$c_2$  — 第二辐射常数, 其值为  $1.44 \times 10^{-2}$  (m·K)

$T$  — 温度, K;

$\lambda$  — 波长, m ;

实际应用中: 测量出的总辐射值  $M_{\lambda T}$  (W/m<sup>2</sup>) 从在一定温度范围内正比于  $\frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$

$$M_{\text{反射}} + M_{\lambda T} = \varepsilon \cdot \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} \quad (3-2)$$

式中:  $\varepsilon$  — 发射率。



确定发射率  $\varepsilon$  是红外测温技术中关键而又复杂细致的一步，它与被测材料的温度、表面状态密切相关。现场条件下，为确定发射率  $\varepsilon$  值，先用热电偶测出目标温度值，然后将红外测温仪对准目标调整  $\varepsilon$  值，让红外测温仪温度值等于热电偶的温度值，此时的  $\varepsilon$  即为所求的发射率。例如：钢坯拉出连铸机时，用热电偶测出铸坯表面温度为  $790^{\circ}\text{C}$ ，调整红外测温仪的读数也为  $790^{\circ}\text{C}$ ，于是可得到铸坯的发射率  $\varepsilon=0.85$ 。确定铸坯的发射率  $\varepsilon$  之后，就可以用红外测温仪测定连铸坯的表面温度了。

红外测温仪由光学系统、红外传感器与微处理机组成，如图 3-1 所示。光学系统可由普通光学透镜、锗透镜甚至光导纤维组成，目的是把热辐射滤波（选择  $\lambda$ ）后聚焦到传感器上，如果要得到热像图的话还会有两组同步旋转的多面镜装在传感器前。红外传感器有许多种，常见的有 HgCdTe 探测器、PbSnTe 探测器、InSb、肖特基势垒探测器、热敏电阻探测器、测辐射热电偶等，目的都是把热辐射（ $M_{\text{反射}} + M_{\lambda T}$ ）转化为电量。最后由微机把电量信号转为温度数值或热像图。

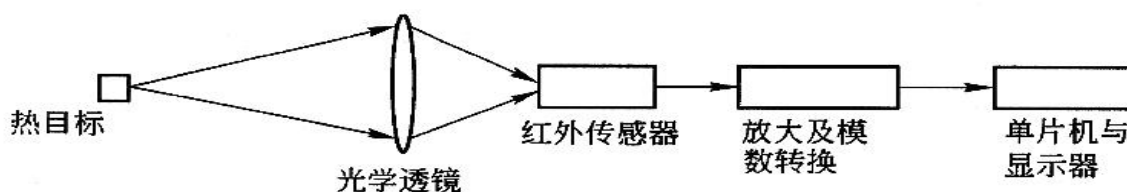


图 3-1 红外测温仪结构示意图

## 2. 3i-2MSC 型红外测温仪和 VST-H 型便携式工业红外热像仪操作应用

红外测温技术不仅广泛的应用在冶金炉设备、铸造设备而且正在冶金机电设备的热故障检测方面发挥着特殊的作用。红外测温技术的主要用途有：

- (1) 耐火材料缺陷诊断。主要应用有高炉、电炉、转炉、精炼炉、热处理炉、钢水包等的绝热情况的检测。
- (2) 钢铁加工过程的温度检测。主要应用有连铸坯测温、热轧板测温等。
- (3) 电器设备的故障检测。应用于感应炉感应圈、变压器、大电机等的局部过热检测。

### 2.1 3i-2MSC 型红外测温仪操作应用

#### 2.1.1 3i-2MSC 型红外测温仪的结构

3i-2MSC 便携式红外测温仪（图 3-2）（美国 Raytek 公司制造）无需接触物体即可测量物体表面的温度。它接收所测目标辐射的红外能量，然后计算出其表面温度。也可计算出测量过程中的平

均温度、最高温度、最低温度和差值，并将其在显示屏上显示出来。其数字/模拟输出可用于数据记录、使用其它仪器设备或工艺控制器，也可实现温度测量值和发射率的远程显示。本机可由电池供电或由交流适配器供电。仪器内的存储电路可存储数据用于以后调用，其存储功能可存 100 个温度测量值、发射率及报警值(便于生成文件和分析)。发射率是指被侧量的物体吸收、透射和发射红外波段能量的能力。其值为 0.0(极光滑的镜面)至 1.0(黑体)之间。参阅表 3-2(部分)金属的发射率值可得到相关材料发射率的信息。

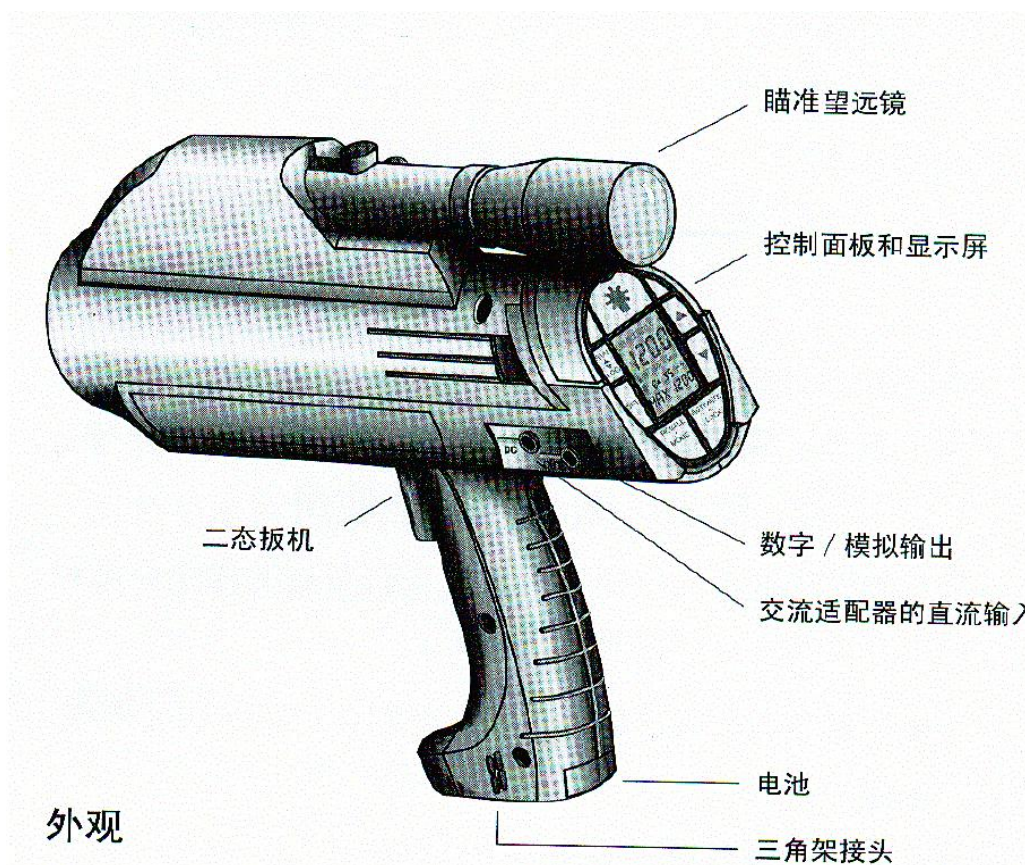


图 3-2 3i-2MSC 便携式红外测温仪

便携式测温仪结构如下:

- 扳机一有两个状态。第一个状态为测温系统。第二个状态只在存储系统时起作用。在存储数据时，需扣住扳机直到听到“嘀”的一声即可(此声音表示测量的温度值已经存储)。松开扳机后机器进入休眠状态。
- 调节面板及显示屏一所有调节(扳机除外)均在调节面板上完成。显示屏上可显示测得的温度值、设定值、模式、状态及操作信息。
- 瞄准系统一每种型号都可以有激光瞄准或者望远镜瞄准。

注:在操作带有激光瞄准的机器之前，请参阅激光警告标签。

- 模拟信号输出 — 可将此输出接到模拟记录仪或打印设备，例如：记录仪或打印机等。
- 数字信号输出 — 本机的 RS232 接口可与计算机连接或直接接到打印机的 RS232 端口上。
- 直流输入 — 与交流适配器相连。
- 背带

表 3-2 金属的发射率值（部分）

材料	发射率		
	1.0 $\mu\text{m}$	1.6 $\mu\text{m}$	8-14 $\mu\text{m}$
铁			
已氧化	0.4-0.8	0.5-0.9	0.5-0.9
未氧化	0.35	0.1-0.3	n.r.
生锈	n.r.	0.6-0.9	0.5-0.7
熔融	0.35	0.4-0.6	n.r.
铸铁			
已氧化	0.7-0.9	0.7-0.9	0.6-0.95
未氧化	0.35	0.3	0.2
熔融	0.35	0.3-0.4	0.2-0.3
锻铁			
毛面	0.9	0.9	0.9
铅			
抛光	0.35	0.05-0.2	n.r.
打毛	0.65	0.6	0.4
已氧化	n.r.	0.3-0.7	0.2-0.6
镁	0.3-0.8	0.05-0.3	n.r.
汞	n.r.	0.05-0.15	n.r.
钨			
已氧化	0.5-0.9	0.4-0.9	0.2-0.6
未氧化	0.25-0.35	0.1-0.35	0.1
蒙乃尔铜-镍合金	0.3	0.2-0.6	0.1-0.14
镍			
已氧化	0.8-0.9	0.4-0.7	0.2-0.5
电解	0.2-0.4	0.1-0.3	n.r.
铂			
发黑	n.r.	0.95	0.9
银	n.r.	0.02	n.r.
钢			
冷轧	0.8-0.9	0.8-0.9	0.7-0.9

## 2.1.2 3i-2MSC 型红外测温仪的操作与应用

### 2.1.2.1 望远镜和激光瞄准

望远镜瞄准 — 望远镜被设计成要远离眼睛使用的，不要将望远镜放到眼前，否则无法看到目标。望远镜瞄准方法见图 3-3。

按以下步骤用望远镜来测量温度：

- (1) 将背带绕过头部挂到颈中。



- (2) 将仪器远离眼睛直到能清晰看到目标。
- (3) 使用望远镜的+字准线来将仪器对准目标。
- (4) 继续进入激光瞄准。

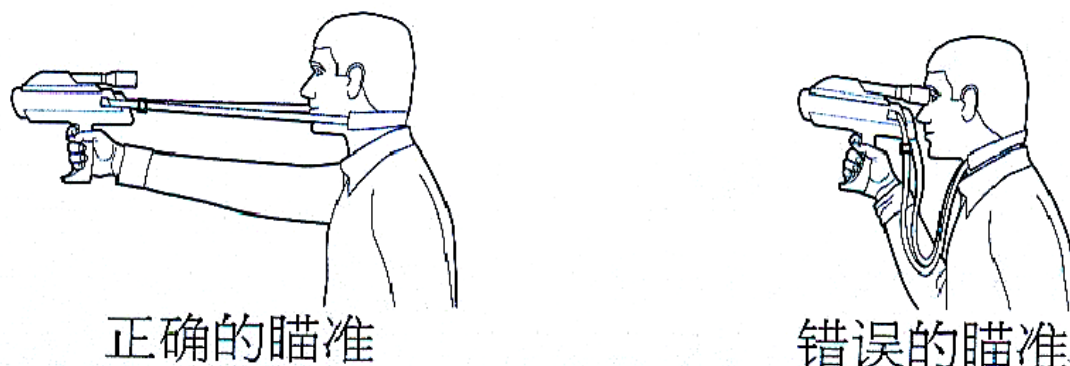


图 3-3 望远镜瞄准方法

### 2.1.2.2 基本操作程序

#### A: 简单操作 (见图 3-4)

- (1) 将仪器对准待测目标(与目标垂直), 扣动扳机。此时的温度值(以 $^{\circ}\text{C}$ 或 $^{\circ}\text{F}$ 表示)、发射率设定值、及测量过的最高温度值皆在显示屏上显示出来。
- (2) 根据所测目标不同, 将发射率设定到相应值。可通过按▲和▼键进行设置。(例如:用响应波长为 8 到 14 微米的仪器测量铸铁, 发射率值应设定为 0.90;如果目标为沥青, 发射率值应采用默认值 0.95;如果用其它光谱范围的仪器测量别的物体, 请参阅表 3-2 (部分) 金属的发射率值。

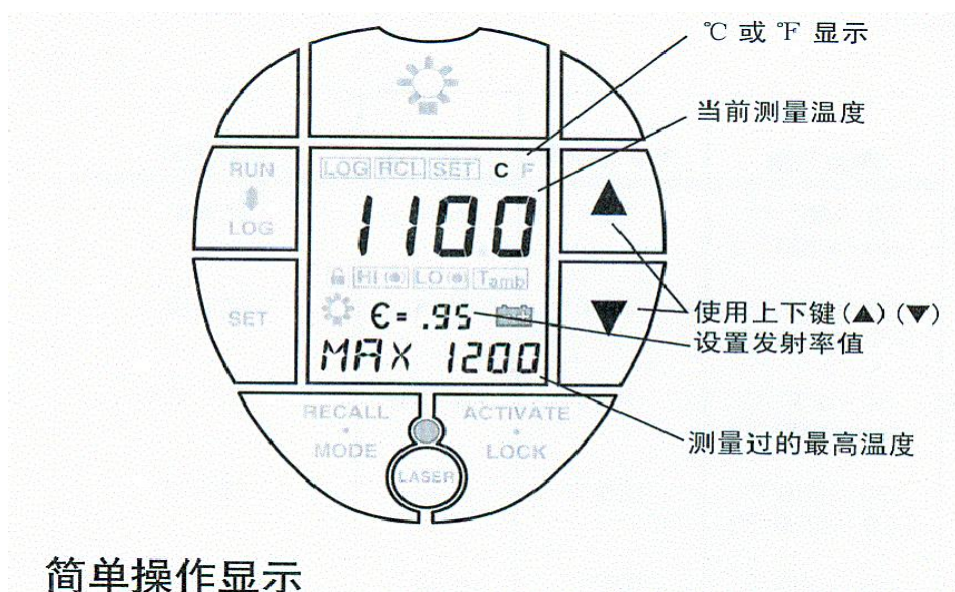


图 3-4 简单操作显示

## B: 激光瞄准

按下列步骤用激光测量温度:

- (1) 扣动扳机, 如有必要按下 RUN/LOG 按键来改变测量系统。
- (2) 按下 Laser 按键启动激光。
- (3) 将仪器对准目标然后用激光或望远镜仔细瞄准。

注: 请确认被测量的目标充满测温仪的视场。

- (4) 按下 Lock 按键将仪器锁定。
- (5) 松开扳机。

如果正在使用 LOG 循环, 请按下上下键▲或▼来选择存储测量结果记录位置号。扣住扳机不放直到听到“嘀”的一声, 这表示测量已被存储。当前温度和测量过程中的最大温度都会被存进去。

注: 扳机有两个状态, 扣动扳机一下就启动第一个状态, 扣住扳机不放则启动第二个状态(仅在 LOG 系统时需要操作)。要防止数据被意外覆盖(如意外扣动扳机), 请按下 RUN/LOG 按键退出 LOG 循环(LOG 标记会消失)。

### 2.2 VST-H 型便携式工业红外热像操作应用

红外热像仪是利用红外探测器、光学成像物镜和光机扫描系统(目前先进的焦平面技术则省去了光机扫描系统)接受被测目标的红外辐射能量分布图形反映到红外探测器的光敏元上, 在光学系统和红外探测器之间, 有一个光机扫描机构(焦平面热像仪无此机构)对被测物体的红外热像进行扫描并聚焦在单元或分光探测器上, 由探测器将红外辐射能转换成电信号, 经放大处理、转换成标准视频信号通过电视屏或监测器显示红外热像图。

这种热像图与物体表面的热分布场相对应; 实质上是被测目标物体各部分红外辐射的热像分布图。由于信号非常弱, 与可见光图像相比, 缺少层次和立体感, 因此, 在实际应用过程中为更有效地判断被测目标的红外热分布场, 常采用一些辅助措施来增加仪器的实用功能, 如图像亮度、对比度的控制, 色标校正, 伪色彩描绘等高线和直方图进行数学运算、打印等。

#### 2.2.1 VST-H 型便携式工业红外热像的结构

VST-H 型便携式工业红外热像(国产)基本结构及各按键的功能见图 3-5。

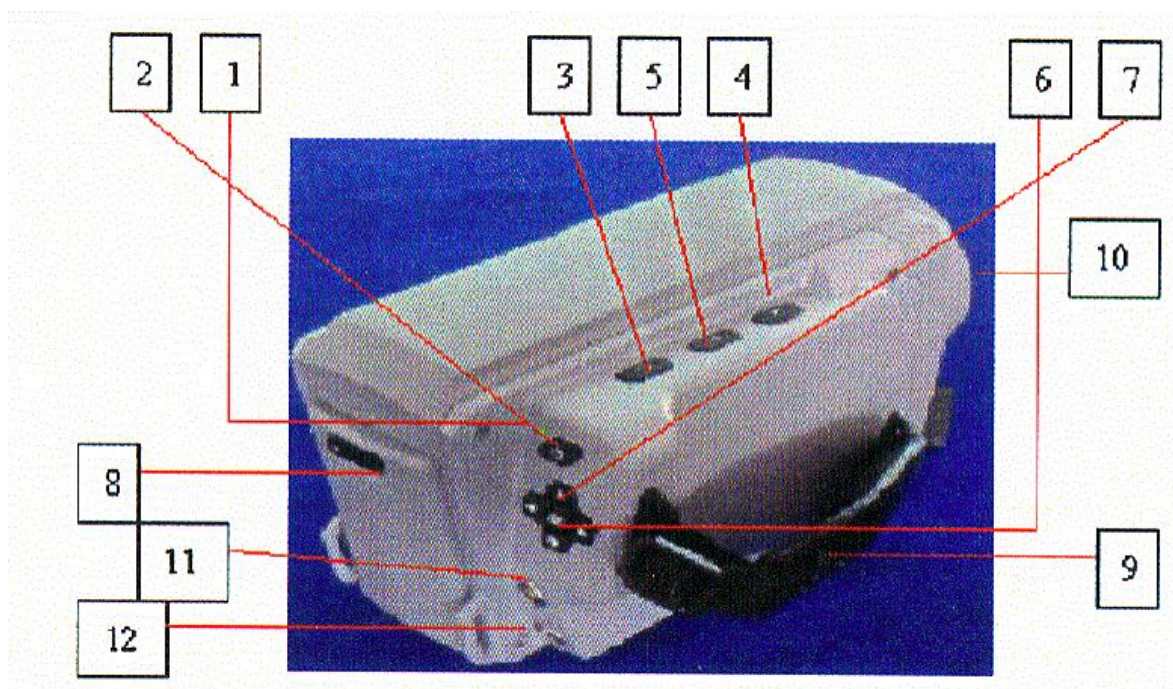


图 3-5 VST-H 型便携式工业红外热像基本结构及各按键的功能

按键介绍：通过按键操作可以方便的操作热像仪的各种功能。

- 电源指示灯[1]

- 电源开关[2]

用于热像仪的开启和关闭。按此键超过三秒，启动/关闭热像仪。

- 定格键[3] (标记 F)

用于定格图象，按压此键，图象会呈静态，再次按压此键，则恢复到正常浏览状态。

- 校正键[4] (标记 C)

用于自动获得热像仪的最佳热像，按压此键的同时，热像仪自动进行自动校正。

- 激光指示键[5] (标记 L)

按压此键，将出现指示方向的红色激光(请勿对着人眼)，再按此键则激光消失。注：任何厂家的激光点都不可能和测温中心点重合，因为，激光发射器和镜头不可能是同轴状态。

- 菜单键[6] (标记 M)

用于使用热像仪的各种功能。

- 方向键[7] (标记 M)

用于调整功能键 M 的各项功能。不同的模式有不同的功能，由 上、下、左、右 4 方向加中间菜单键组成，在热像仪的实时测温状态，上/下/左/右用于移动十字光标进行全屏点测温。在菜单模式下，用于菜单的选择，上下用于同级菜单的操作，左用于返回上级菜单，右用于确认操作。

- 电池仓[8]用于电池的安装



- 手柄带「9」方便使用者手持热像仪
- 镜头盖[10]保护红外热像仪镜头不被异物污秽，并在校正时起到准黑体作用。
- 音频接口[11]用于连接本机配套耳机，进行语音注释和回听。
- 电源接口[12]用于交流适配器供电，长时间使用红外热像仪。

### 2.2.2 VST-H 型便携式工业红外热像的操作与应用

A: 图形接口描述: (图 3-6)

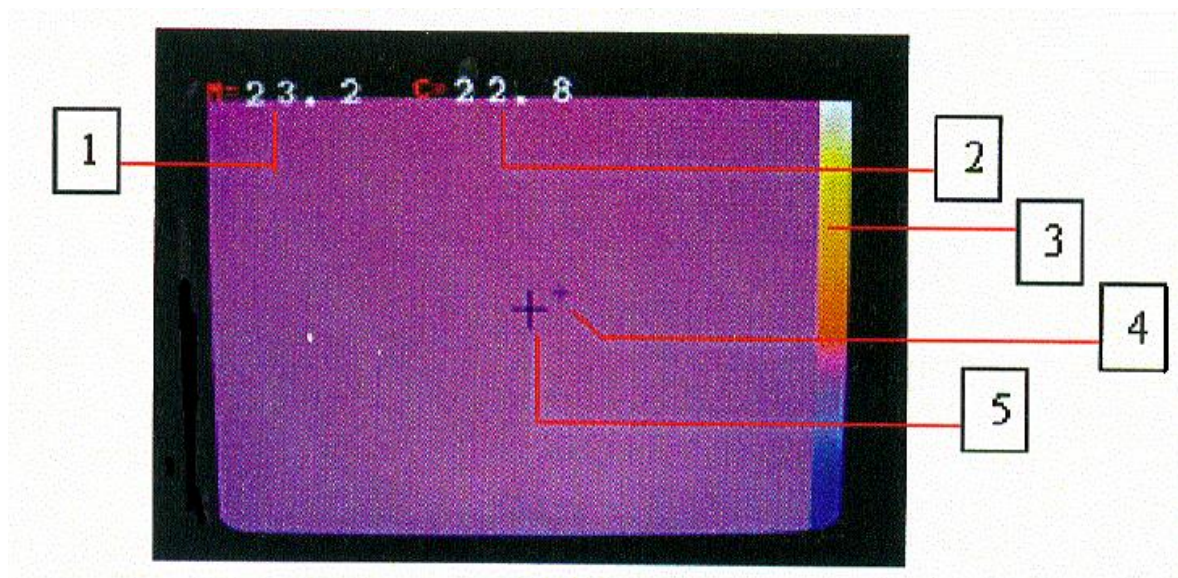


图 3-6

- (1) 最大温度值: 显示图象上最大温度值点的温度值, 单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。(M=23.2)
- (2) 点温度值: 显示图象上大十字光标点的温度值, 单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。(C=22.8)
- (3) 色标: 色标条, 用户可选择相应的色标。
- (4) 小十字光标: 最高温度跟踪标记点, 以下简称 M 点。
- (5) 大十字光标: 任意点测温标记, 以下简称 C 点。

B: 菜单介绍:

本机的菜单形式分为三类:

- (1) 在实时测温状态下的菜单, 见图 3-7;
- (2) 在定格状态下的菜单;
- (3) 在图象回放状态下的菜单。对所有菜单都采取由上键、下键、左键、右键、M 键和部分功能键进行控制的方式, 上、下键用于轮循各同级菜单, 左键返回上级菜单, 右键确认所选中菜单项, M 键退出所有菜单。在对参数进行设置的时候, 上键是增, 下键是减。部分功能键只在色标确认和区域高温范围设置的时候使用。

## 实时测温状态

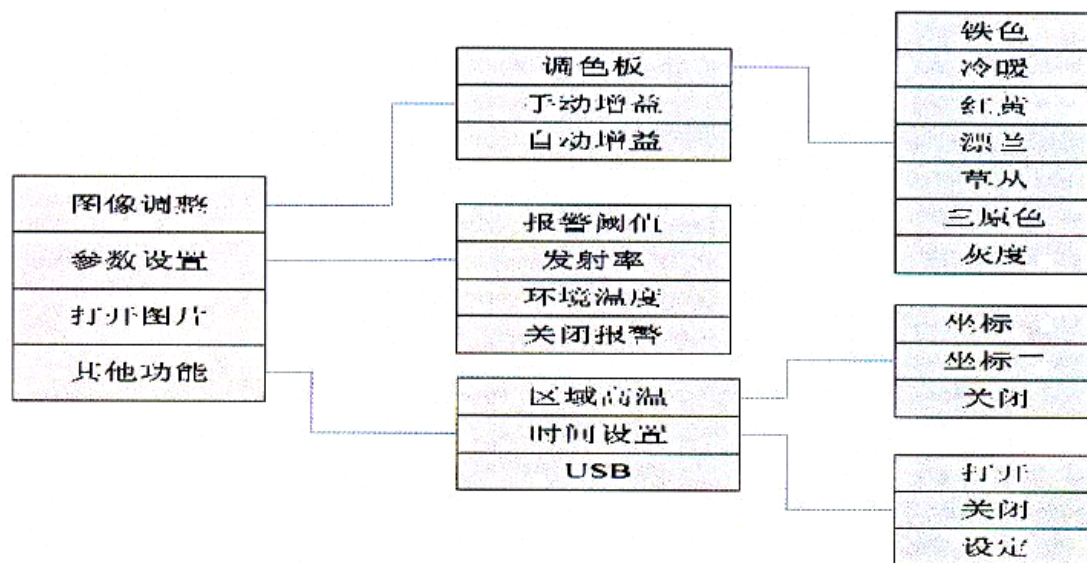


图 3-7 实时测温状态下的菜单

### 2.2.3 注意事项

本热像仪产品为精密贵重光学及温度测量仪器，在使用过程中应注意：

- (1) 勿将热像仪直接对准太阳、激光焊枪等超高温物体进行观察；勿将热像仪直接置于有雨水、长时间露水或雾水的环境中而不加防护。
- (2) 使用 DC 电源时，请取出锂电池；取出锂电池和断开 DC 电源时，请先关闭红外热像仪电源。
- (3) 避免油渍及各种化学物质沾污镜头表面及损伤表面。使用完毕后，请盖上镜头盖。镜头避免磕碰，请使用专门镜头擦拭布清洁。
- (4) 运输与储存期间，温度不允许低于 $-15^{\circ}\text{C}$ ；运输期间必须使用原配包装箱。
- (5) 请勿使设备受潮，设备储存应放置在阴凉干燥，通风无强烈电磁场的环境中。
- (6) 请勿擅自打开机壳，以免触电。

## 3. 实验报告

实验名称：

实验日期：

姓 名：

班级学号：

指导教师：

同组人：

### 3.1 实验目的：



**3.2 红外测温工作原理：****3.3 3i-2MSC 型红外测温仪和 VST-H 型便携式工业红外热像仪测温实例：**

使用 3i-2MSC 型红外测温仪和 VST-H 型便携式工业红外热像仪分别测出盘式电阻炉的实时温度及平均值。

**(1) 3i-2MSC 型红外测温仪：**

第一点 (°C)	第二点 (°C)	第三点 (°C)	平均值 (°C)

**(2) VST-H 型便携式工业红外热像仪：**

最大温度值 M (°C)	点温度值 C (°C)	平均值 (°C)

**3.4 思考题：**

- (1) 在冶金高温实验（试验）和工业生产过程中，常用测温仪器的原理和种类有哪些？
- (2) 3i-2MSC 型红外测温仪的简单操作程序是什么？
- (3) 红外热像仪基本工作原理是什么？
- (4) 使用 VST-H 型便携式工业红外热像仪时，注意事项有哪些？

**3.5 实验心得与体会：**

## 实验四 煤粉爆炸性测定实验

从高炉风口喷吹煤粉等辅助燃料是高炉炼铁过程降低焦比和燃烧比的有效途径之一。煤粉的爆炸性检测是高炉喷吹煤粉前所必须做的一项测试内容（特别是烟煤和褐煤），喷吹煤粉爆炸性的强弱与安全生产有着重要的关联。

### 1. 实验目的

高炉喷出用煤粉的粒度 80%以上都是小于 0.074mm 的细粉，这样细的粉尘悬浮在空气中达到一定浓度或长期堆放在密闭容器内（储煤罐），一旦遇到火源就有着火和爆炸的危险，特别是烟煤粉和褐煤，危险性更大，随着煤质的不同，其爆炸性的强弱也不同。因此，在选煤种前对起爆性进行检测，以便在生产中采取必要的安全措施是极其重要的。

### 2. 实验原理与设备

煤粉的爆炸特征参数很多,并且测试工作都比较繁琐,有的测试方法虽对实验研究很有用处,但不便作为喷吹现场煤粉爆炸性的常规检测方法。我国广泛采用长管式煤粉爆炸性测定仪。主要用于检测煤粉引爆后产生的返回火焰长度,该长度随煤粉爆炸性的强弱而变化。一般被测煤粉引爆形成的返回火焰长度大于 600mm 就可认定煤粉具有强爆炸性,在 400~600mm 之间则煤粉具有中强度爆炸性,小于 400mm 则煤粉具有弱爆炸性。FBY-I 型煤粉爆炸性测试仪。见图 4-1

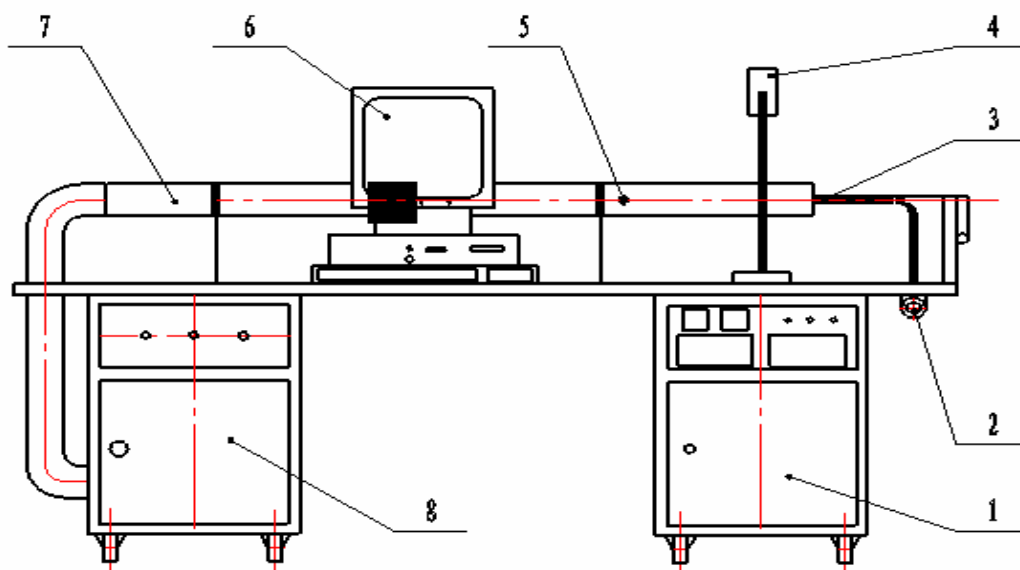


图 4-1 FBY-I 型煤粉爆炸性测试仪

- 1、控温柜 2、喷气筒 3、喷煤枪 4、摄像头 5、引爆火源, 6、计算机  
7、长筒玻璃管 8、内装布袋除尘柜

煤粉的引爆火源温度是 1050℃，温度控制采用《AL808A-智能型数字调节器》与《NZK 可控硅电压调节器》组合调控，程序升温，控温精确。由计算机、录象机、标尺组成煤粉爆炸火焰检测系统，能摄录下煤粉从喷吹口到引爆点所形成的喷吹过程，引爆后产生的返回火焰长度，和火焰消失的全过程。通过录象画面回放来确认煤粉爆炸火焰长度。并可对主要画面进行保存、编辑和打印。测量准确可靠。结构设计紧凑,便于操作和设备维护。

### 3. 实验方法与程序

测试前要对制备好煤样或自现场取出待测的煤样,进行粒度分析和干燥处理（干燥温度,无烟煤为 105℃,烟煤为 80℃,干燥时间为 1h）,干燥后的试样保存在干燥器内,然后根据具体要求配制煤样作为检测试样。该煤样可以是单一粒度(一般小于 0.074mm)的,也可以是混合粒度的或为不同种类的混合煤样。然后按下述操作方式进行测试。

3.1 合上墙壁电源柜右边单相开关，接着合上右边控制柜总电开关，左边控制柜红色指示灯亮。

AL808A-智能型数字调节器与 NZK 可控硅电压调节器通电。调整 AL808A-智能型数字调节器的操作按钮使其在初始状态下开始工作。NZK 可控硅电压调节器在自动（AUT 绿色指示灯亮）条件下工作。

3.2 合上右边控制柜总电开关，AL808A-智能型数字调节器 PV 显示屏及 SV 显示屏出现数字时，RAMP 指示灯亮。按住 PAR 按钮 3 秒钟，SV 显示屏出现 RUN 时，反复按▲按钮 SV 显示屏出现 IDLE，RAMP 指示灯灭掉，PV 显示屏显示室温及 SV 显示屏显示 0，此时上次暂停的程序结束运行。

3.3 接着按住 PAR 按钮 3 秒钟，SV 显示屏出现 IDLE，反复按 ▲按钮，使 SV 显示屏出现 RUN 时,反复按 PAR 按钮，使 SV 及 PV 显示屏均显示数字（PV 显示室温，SV 也在此附近，两者差别不可超过 10℃）RAMP 指示灯亮，使可以打开控温开关。

3.4 在上述条件具备的情况下，合上右边控制柜控温开关，引爆火源的发热体通电。升温按照 AL808A-智能型数字调节器设定的升温程序运行。发热体由Φ0.3mm 铂金丝制成，因此升温速度不能高于 40℃/min。设定的升温速度为 40℃/min，保温时间为 180 分钟。

3.5 将铜喷嘴取下，将打气喷枪的枪栓拉开，扣在扳机上。空喷三次清理喷枪,打开抽风机抽尘 1min 左右。在取下的铜喷嘴中加上 1g 左右的烘干煤粉。注意堵住喷嘴小孔掂几下，使煤全部落至小孔附近，便于一起喷出。

3.6 启动计算机进入摄录像画面，用鼠标双击 AverCap,单击 options 菜单，选中 video Format,选中 1/2 单击 ok。调节摄像头焦距，成像清晰。当引爆火源温度稳定 1050℃时，单击 Capture 菜单，选中 Capture video,单击确定。计算机开始摄录。推上喷枪扳机，煤粉喷出，煤粉分

散喷至引爆火源上，点火引爆。由于煤种不同产生的引爆效果也不同。喷吹刚结束，及时合上抽风开关，左边控制柜绿色指示灯亮。抽走粉尘后关闭抽风开关。

3.7 在 AverCap 框图中，单击鼠标右键，按确定，摄像结束。单击 file 菜单，选择 save captured video as 起文件名，保存文件，文件类型为 avi.

3.8 双击 window media player ,打开文件，查看试验结果。将计算机进入回放画面，用慢动作观看喷吹、引爆的全过程和火焰长度，来认定其爆炸性。如系爆炸性煤则在火源产生火焰。一般在火源处出现稀少的 $<5\text{mm}$  的火星或无火星的属于的属于无爆炸性煤（如无烟煤）；返回火焰长度 $<400\text{mm}$  的为易燃并具有爆炸性的煤；返回火焰长度 $>400\text{mm}$  的为强爆炸性的煤。测定的每种试样测 2 次，结果取平均值。

3.9 关闭控温开关，关闭总电开关，拔下摄像机电源，盖上镜头盖。

## 4. 安全制度

- (1) 做完实验及时切断仪器设备电源；
- (2) 离开本室时，关好门窗、熄灭照明灯；
- (3) 备好消防器材，防止火灾。

## 5. 实验报告

实验名称：

实验日期：

姓 名：

班级学号：

指导教师：

同组人：

### 5.1 实验目的：

### 5.2 实验原理：

**5.3 实验数据记录与分析：**

试样粒度：

试样重量：

试样名称与编号	返回火焰长度 (mm)	平均值 (mm)	爆炸性判定
1			
2			

**5.4 思考题：**

- (1) 高炉喷吹煤粉的爆炸性与煤粉的哪些因素有关？
- (2) 长管式煤粉爆炸性测定仪测定煤粉爆炸性的特征条件是什么？

**5.5 实验心得与体会：**

## 实验五 煤的着火温度测定

煤的着火温度（也称燃点、着火点）是煤的特性之一。测定煤着火温度对高炉喷煤的作用，可提供制备煤粉设备选型、干燥介质温度确定及工艺参数控制等做出设计，例如可作为确定高炉喷吹煤粉的粉煤制备中磨煤机出入口温度和系统温度报警参数的参考。同时高炉喷煤过程中，希望煤粉能快速着火并迅速燃烧。因此，煤粉的着火点低一点好，但低着火点的煤粉仓储时又易着火爆炸，所以设计煤粉喷吹系统时，应充分考虑两方面因素。

### 1. 实验目的

煤的着火温度与煤的变质程度有很明显的关系，变质程度低的煤粉着火点低，反之着火点就高。因此，煤的着火点与挥发份有着重要的关系，即煤的挥发份高的，着火点就低，反之着火点就高。但挥发份相同的褐煤和烟煤，其着火点则是褐煤比烟煤低的多。煤的着火点的另一种特点就是煤氧化以后，煤的着火点就明显降低。因此，人们利用测定原煤着火点和氧化煤着火点降低的数值来推测煤的自然倾向，以便在存储煤和输送系统中采取必要的安全措施。

### 2. 实验原理

煤质颗粒活性炭着火点的测试方法有国家标准 GB/T18511-2001。基本原理是绘制时间-温度曲线，找出温度突升时的点。但绘制的是单曲线，不易克服因测试管温度控制幅度大而对测试带来的影响。煤炭科学研究总院北京煤化学研究所，采用一种绘制双曲线的测试方法有效的解决了这一问题。该方法来自于美国一个活性炭经营公司。原理是两根样品管同时放在一个管式炉中加热，两管分别通空气和氮气，随炉温升高两管内试样温度升高，当达到活性炭的燃点时，两根管的温差值加大，见时间温度曲线，找出温差开始加大时的温度点，即为该活性炭的着火点。

着火点的测定是规范性很强的试验，但是实验室测得的着火点是相对的，并不能绝对的反映日常生活和工业燃烧条件下煤开始燃烧的温度和煤堆放过程中因氧化发热而自然的温度，但它们之间有相应的关系，总趋势是一致的。着火点越低的煤就越容易自然，煤的自然是造成煤粉制备、输送、喷吹过程中煤粉爆炸等事故的主要根源之一，煤在堆放工程中也易发生自然，除发生事故外还会造成大量煤白白烧掉。

由经验公式得：无烟煤的着火温度一般都在 400℃左右，而烟煤的着火温度一般都在 300℃左右。

影响煤的着火点的因素主要有煤质和喷吹条件两个方面。煤质的影响取决于煤粉的可燃基挥发

份和灰分含量。

- (1) 挥发份对着火点的影响。变质程度越高挥发份含量越低，着火点则愈高，否则变质程度较低、挥发份较高的煤种，着火点较低。
- (2) 灰分对着火点的影响。煤粉灰分含量对着火点的影响不像挥发份对着火点的影响存在一定的规律性。但灰分含量会影响到挥发份的行为，从而对煤粉着火点产生影响。过高的灰分会妨碍挥发份的析出，从而造成着火延迟，使煤粉的着火点升高。

### 3. 实验设备

着火点测定仪（图 5-1）主要由三部分组成：

#### 3.1 测定仪本体

测定仪本体包括电炉和支架，电炉加热元件选用直径 0.8mm 的铁铬铝丝，功率 2000W，最高工作温度为 800℃。被测试样放在反应管内的筛板上，将试样放入电炉恒温区。

#### 3.2 仪表箱

电炉采用双向可控硅，调整输出电压，实现电炉功率的变化。电炉控温和试样测温均用 K 型热电偶，利用温度变送器、隔离电源、接口板实现计算机程序控制，具有温度的自动补偿、线性化和多元化控温等功能。

#### 3.3 空压机供气系统

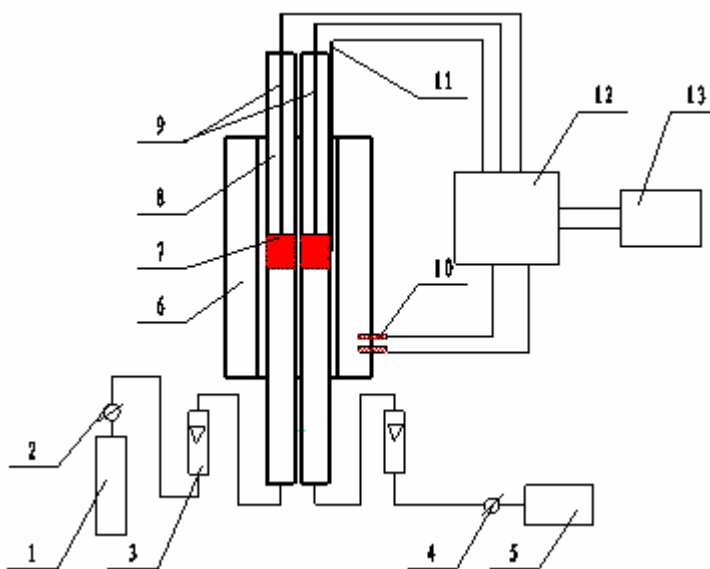


图 5-1 着火点装置示意图

1.—氮气钢瓶；2.—减压器；3.—转子流量计；4.—减压阀；5.—空压机；6.—炉体；7.—活性炭样品；8.—反应管；9.—样温热电偶；10.—接线柱；11.—炉温热电偶；12.—微机控制单元；13.—显示器

## 4. 实验操作程序

活性炭粒度破碎至 3~5mm，样品料层高度 25~30mm。打开空压机及氮气，调整流量为 400ml/min。

4.1 热电偶的端点应放在试样中心，深度为试样厚度的四分之三，即将热电偶先放到反应管的多孔隔板中心，再沿周边倒入样品，然后将热电偶轻轻提起至指定位置。

4.2 接通电源，打开计算机运行本软件，按预定方案控制温度，使试样管的升温速度为 10~20℃/min。

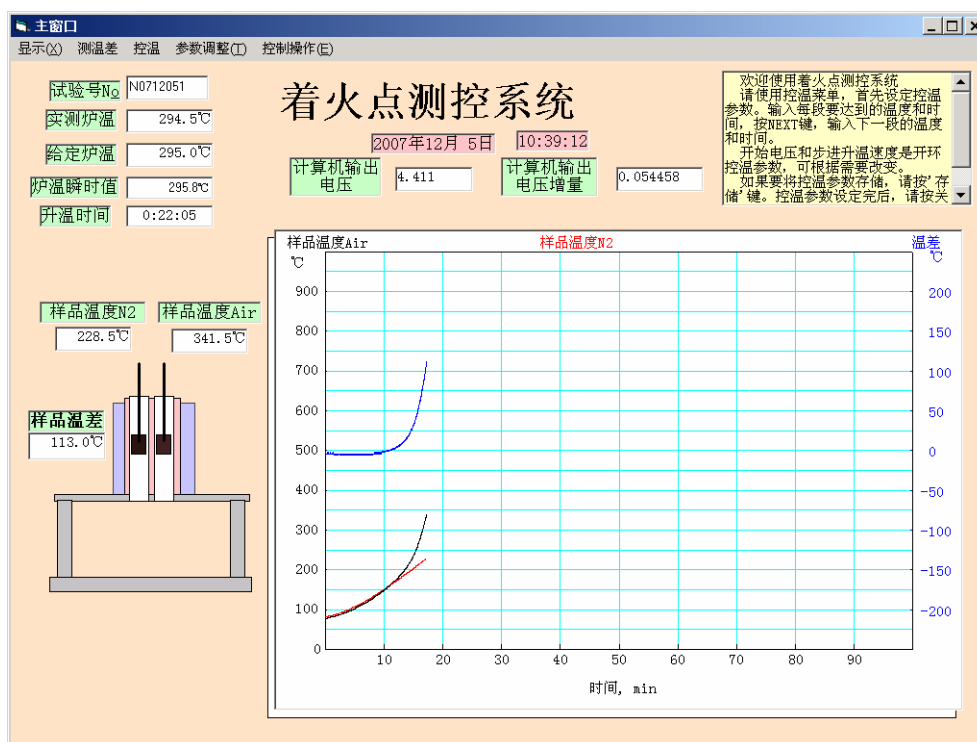
4.3 单击“测温差”菜单的“开始测温差”项，则开始升温。

4.4 当试样温度差值加大时，着火点已测定，通空气的反应管停止送气，或送氮气保护使之不再燃烧。

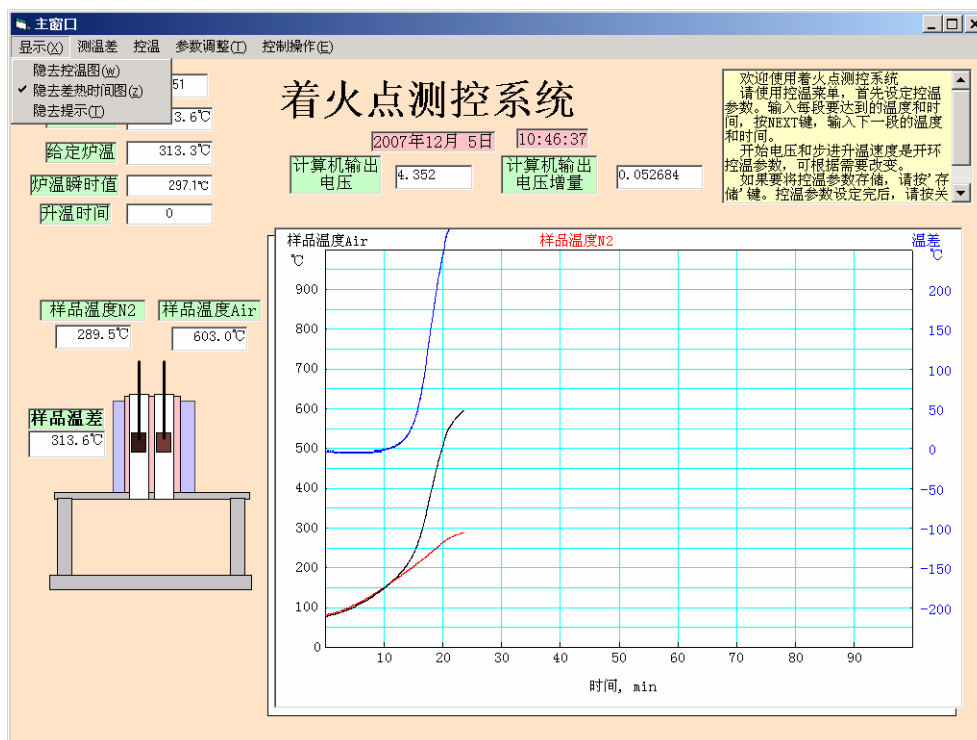
4.5 存储数据，结束测定先存储数据，单击“测温差”菜单的“存温差数据”项，将数据存储。

4.6 结束测定，单击“控制操作”菜单的“结束实验”，断电、停气。

附 1：着火点图例







附 2：各类煤的着火温度范围

煤种	褐煤	长焰煤	不黏煤	弱黏煤	粉煤	焦煤	无烟煤
着火点℃	267~300	257~330	278~315	310~350	340~365	355~365	365~420

## 5. 注意事项

测定一个样品前，一定要确定其试验号，防止文件名重复，导致以前的文件被覆盖，特别是一天进行多个试验测定时。最好是定期将测定数据从“试验数据”文件夹中移动到其它文件夹中。

## 6. 实验报告

实验名称：

实验日期：

姓 名：

班级学号：

指导教师：

同组人：

### 6.1 实验目的：

### 6.2 实验原理：

**6.3 实验数据记录与分析：**

试样粒度： mm

试样料层高度： mm

试样名称与编号	样品温度 (N <sub>2</sub> ) °C	样品温度 (Air) °C	样品温差 (°C)	着火温度 (°C)
1				
2				

**6.4 思考题：**

(1) 影响高炉喷吹煤粉着火点的因素有哪些？

**6.5 实验心得与体会：**

## 实验六 氧氮氢分析仪应用与实践

### 1. 实验目的

了解氧、氮、氢对钢材质量的影响。初步掌握实验室氧、氮、氢分析仪的结构和测定原理。熟悉钢铁试样中氧、氮、氢的测量方法。

### 2. 实验原理

G8 GALILEO 是用于快速、精确测定各种不同的固体材料中氧，氮和氢的含量。将试样置于脉冲电极炉的氦气流中加热熔融，试样中的氧以二氧化碳的形式析出，氮以分子的形式析出。试样气流经稀土氧化铜时，一氧化碳转化为二氧化碳，导入红外检测器，测定出氧含量，然后流入热导池，测定出氮含量。其中氢气也是采用热导检测器测定的，分析操作过程由计算机控制。最终氧和氮的检测结果直接以百分含量显示或打印出来。

### 3. 实验仪器和主要试剂

G8 GALILEO - ON/H 分析仪（德国 BRUKER 公司）；见图 6-1

标准试样、标准坩锅；

化学试剂：高氯酸镁；碱石棉；舒茨试剂；氧化铜

气体：氮气：99.9995%；氦气：99.995%；

计算机和天平等。



图 6-1 G8 GALILEO - ON/H 分析仪

## 4. 实验过程

接通电源，将分析仪开关旋钮拧至 1 位使分析仪处于待机（Standby），打开气罐和冷却水。运行软件 G8 GAlILEO。将仪器旋钮转拧至 2 位，并点击软件上的 end standby（或按 F10 键）结束待机。点击 open furnace，放入空坩锅。加入试样，称量试样，并输入电脑应用（apply）点击 out gas（F4）和 start analysis（F5）运行。（在 start delay 之前加入）。仪器自动进行分析至结束。取出坩锅换上新坩锅，重复实验。实验结束后，关气罐、关冷却水。

## 5. 实验报告

实验名称：

实验日期：

姓 名：

班级学号：

指导教师：

同组人：

### 5.1 实验目的：

### 5.2 实验原理：

### 5.3 实验过程：

### 5.4 思考题：

- （1）简述用 G8 GAlILEO 测定钢样中氧、氮以及氢的原理。
- （2）简述用 G8 GAlILEO 测定钢样中氧和氮的过程。

## 实验七 同步热分析仪应用与实践

### 1. 实验目的

初步掌握同步热分析仪（热重、差示扫描量热联用）的基本结构和工作原理。了解同步热分析仪在冶金上的应用。通过同步热分析仪测定碳酸盐的加热过程，分析其失重和分解过程的热变化。熟悉 TG 和 DSC 曲线的数据处理方法。

### 2. 实验原理

同步热分析是在程序控温下同时测量物质的质量和热量与温度变化的关系。只要物质受热发生物理或化学变化，就可用差示扫描量热法(DSC)来研究，伴随有质量变化就可用热重(TG)来研究。热重(TG)是在程序控制温度下测量物质的质量随温度或时间变化的的一种热分析技术，它是用热天平来实现的，得到的曲线称 TG 曲线。差示扫描量热（DSC）是在一定的温度程序控制下，测定样品和参比物之间的热流差随温度或时间的变化，当样品发生热效应时，在样品端与参比端之间产生了与温差成正比的热流差，通过热电偶连续测定温差并经灵敏度校正转换为热流差，即可获得 DSC 曲线。

### 3. 实验设备

实验室采用的是德国耐驰公司制造的 STA 449 F3。STA 449 F3 Jupiter® 是耐驰公司全新推出的一台同步 TG-DSC 热分析仪见图 7-1，具有坚固、灵活、易于操作等特点。适合同时测试热效应（转变温度、热焓）与质量的变化。通过选择合适的炉体，安装高性能传感器、配以最恰当的附件，采取顶部装样的同步热分析仪可以满足几乎所有的应用。它综合了高性能的热流型 DSC 与高灵敏度级天平，可以提供无与伦比的称重与测量范围。

其天平系统漂移小、范围广等特点。并可在全量程范围内实现高灵敏度，称重解析度 0.1  $\mu\text{g}$ 。该系统的温度范围可达 1550 $^{\circ}\text{C}$ 。通过真空系统和流量控制系统，可以进行任意气氛控制下的测试。真空度 10-2 mbar。通过 2 路吹扫气和 1 路保护气的电磁阀来实现。

STA 449 F3 Jupiter® 的测量与分析软件是基于 MicroSoft Windows® 系统的 Proteus® 软件包，它包含了所有必要的测量功能和数据分析功能。



图 7-1 STA449F3 同步热分析仪

#### 4. 实验过程

- (1) 打开同步热分析仪电源开关，启动计算机，运行 STA 449 F3 测定程序。
- (2) 通入保护性气体，设定流量。保护性气体可用氮气、空气等。
- (3) 准备好样品及坩埚，打开测试炉，放入坩埚，测样品质量。
- (4) 启动控温程序开始升温，测试炉自动运行。
- (5) 在仪器控制视窗中，实验曲线在线显示。
- (6) 实验终止仪器恢复到测试前状态，已完成的测试曲线被自动贮存到数据库中。
- (7) 打开数据处理视窗，对数据和曲线进行分析和处理，贮存处理结果。

#### 5. 实验报告

实验名称:

实验日期:

姓名:

班级学号:

指导教师:

同组人:

##### 5.1 实验目的:

##### 5.2 实验原理:

### 5.3 仪器和主要试剂:

### 5.4 实验过程:

### 5.5 思考题:

- (1) 简述同步热分析仪的基本原理。
- (2) 简述测定的 TG 和 DSC 曲线的作用。

## 实验八 岩相显微镜观察与耐火材料荷重软熔点测定实验

### § 8.1 岩相显微镜观察实验

在冶金工业中，原材料是一切的基础，原料的优劣关系到产品的质量和成本。对原料进行观察分析，是冶金研究中的重要一环，随着技术发展手段逐渐多样。透反两用显微镜作为观察矿物原料的重要工具，其性能在近几十年里迅速提升，成为了冶金实验中的一个重要工具。利用它可以观察矿石、炉渣的显微结构，从而判断物体的性质。所以透反两用显微镜的使用需要我们着重掌握。

#### 1. 实验目的

本实验综合了几种分析鉴定岩相的方法，通过本实验的学习目的如下：

- (1) 掌握岩相显微镜的调节和使用方法；
- (2) 掌握在偏光显微镜下系统观察矿物物理性质的条件和方法；
- (3) 掌握在反光显微镜下系统观察矿物物理性质的条件和方法；
- (4) 初步掌握矿相和岩相的鉴定方法。

#### 2. 实验设备和实验原理

##### 2.1 透反两用显微镜结构

透反两用显微镜可以用来观察透明、半透明的岩石和不透明的矿物，操作简便、用途广泛。其基本构造如图 8-1。



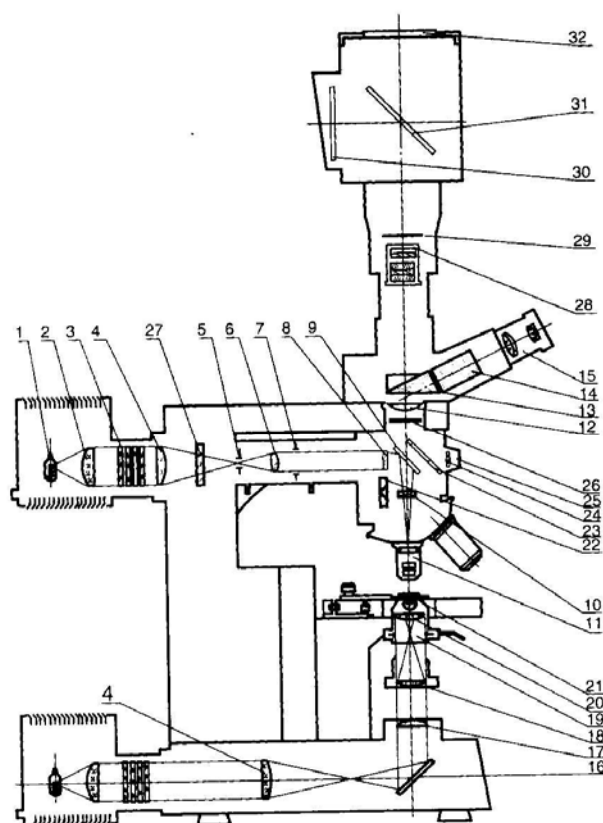


图 8-1 透反两用显微镜系统光路图

1. 光源；2. 聚光镜；3. 滤光片；4. 聚光镜；5 孔镜光栏；6. 第一透镜；7. 视场光栏；8. 第二透镜；9. 半透半反射镜；10. 第三透镜；11. 物镜；12. 补偿透镜；13. 转向棱镜；14. 双目棱镜；15. 目镜；16. 反射镜；17. 第四透镜；18. 第五透镜；19 孔径光栏；20. 聚光镜组；21. 试样或标本切片；22. 暗场锥形反射镜；23. 暗场反射镜；24. 小透镜；25. 玻璃屏；26. 检偏镜；27. 起偏镜；28. 摄影门镜；29. 快门；30. 投影屏；31. 反射镜；32. 暗盒

### 2.1.1 机械部分

- (1) 镜座。镜座支持显微镜的全部重量，其外形为楔形方盘。
- (2) 镜臂。其下端与镜座相连，呈直角弓形，作为仪器主干，无法移动。
- (3) 载物台。载物台是一个可以水平移动的圆形平台。其边缘有刻度和游标尺，可以读出旋转角度。在圆台外缘有固定螺丝，用来固定物台。物台中央有圆孔，是光线通道，作为反光镜使用时圆孔可关闭。圆孔旁还有一对弹簧夹，用来固定薄片。

### 2.1.2 光学部分

光学部分主要由反光镜、透光镜、光栏、聚光镜、镜筒、目镜等组成。

- (1) 反光镜。反光镜是一个平、凹两面小圆镜，可以自由转动以便对准光源，把光反射到显微镜的光学系统中去。使用时应尽量取所需的亮度。在弱光源或锥光鉴定时，一般使用凹透镜。

- (2) 光栏。光栏固定在光源旁边，可以自由开合，用来控制光的透过量。
- (3) 聚光镜。聚光镜在光栏后面，有一组透镜组成。它可以把从滤光片过来的偏光聚集成锥形偏光。不使用时，可以将其推在侧面或使其下降。有的聚光镜上刻有数值口径 (N.A)。
- (4) 镜筒。镜筒为长的圆筒，连接在镜臂上。转动镜臂上的粗动螺旋或微动螺旋，可使其上升或者下降，用以调节焦距。微动螺旋上设有刻度，可以读出微动螺旋的升降距离（一格等于 0.01 或 0.02）。镜筒上段插有目镜，下端装有物镜，中间设有试板孔（可封闭）、半透半反镜、透镜。
- (5) 物镜。物镜分为干燥物镜和油浸物镜，分别对应物镜与观察物体间的介质为空气和油两种情况。物镜分为镜头和物镜框，镜头是由一组透镜组成，放大倍数取决于光学镜筒长度和物镜的焦距的商。
- (6) 目镜。用于放大物镜所形成的形象，放大倍数的表示方法与物镜相同。目镜根据其光学性能的不同分为惠更斯目镜、补偿目镜和无畸变目镜。

## 2.2 偏光显微镜的原理

透反两用显微镜可以作为偏光显微镜使用。在透射光下测定透明矿物的物理光学性质，是鉴定和研究渣样、矿样物相的一种方法。它经常和 X 射线衍射分析配合，以确定物相的结构式。可用石膏试板、云母试板和石英楔子作为补偿器，在正交偏光下测定矿物干涉色和晶体延性符号。利用显微镜插上不同部件，可构成单偏光、正交偏光和锥光三种光路视场。

### (1) 单偏光

观察在光路中仅插入起偏镜，在偏光下观察物相的形状、大小、数量、分布、透明度、颜色、多色性及解理。单偏光下常用油浸法测定矿物的折光率。将矿物浸没在已知折光率的介质中。若两者折光率相差很大，矿物的边缘、糙面、突起和贝克线（由于相邻两介质的折光率不同，而产生沿矿物边部的细亮带）等现象很明显，矿物轮廓很清楚。提升镜筒时，贝克线向折光率高的方向移动；下降镜筒时，贝克线向折光率较小介质方向移动。根据贝克线移动方向就可知道矿物的折光率是大于还是小于浸油。不断更换浸油，直到浸油和矿物折光率相近或相等时，矿物的边缘、糙面、突起变得不明显甚至消失，此时浸油的折光率即为矿物的折光率值。

### (2) 正交偏光

观察在单偏光光路的基础上，加入检偏镜，即构成正交偏光光路，可对矿相的消光性、干涉色级序等光学性质进行测定。偏光通过均质体矿物后，振动方向不发生变化，所以光不能通过上偏光镜，视场呈黑暗消光现象，转动物台出现全消光。非均质体矿物因光学性质各向异性，光射入矿物发生双折射，产生振动方向互相垂直的两条偏光。当其振动方向和上下偏光镜的振动方向一致时，从下偏光镜出来的偏光，经过矿物时不改变其振动方向，因而通不过上偏光镜，故出现消光现象。在正交偏光下观察到有四次消光现象的矿物，一定是非均质矿物。

非均质矿物在不发生消光的位置上发生另一种光学现象——干涉现象。因双折射产生振动方向

和折光率都不相同的两条偏光，必然在矿物中具有不同的传播速度，因而透过矿物后，它们之间必有光程差，因此就会发生干涉现象。由于光程差与波长有关，所以以白光为光源时，白光中有些波长因双折射产生的两束光，通过上偏光镜后因相互干涉而加强。另一些波长的光通过检偏镜后因相干涉而抵消。所有未消失的各色光混合起来便构成了与该光程差相应的特殊混合色，它是由白光干涉而成，称为干涉色。

根据光程差的大小，出现五个级序的干涉色，第一级序里没有鲜蓝和绿色，由黑、灰、白、黄、橙、紫红色构成。其它级序依次出现蓝、绿、黄、橙、红等干涉色，级序越高、颜色越浅越不纯。灰白色是第一级序的特征，每个级序之末均为紫红色。五级以上由于近于白色，又称高级白。

### (3) 锥光

观察在正交偏光的基础上再加上聚光镜，换用高倍物镜（如 63 倍），转入勃氏镜于光路中，便构成锥光系统见图 8-2，以便测定矿物的干涉图、轴性、光性正负等光学性质。其中聚光镜是由一组透镜组成，是把下偏光镜上来的平行偏光变成偏锥光。勃氏镜是一个凸透镜，与目镜一起放大锥光干涉图。

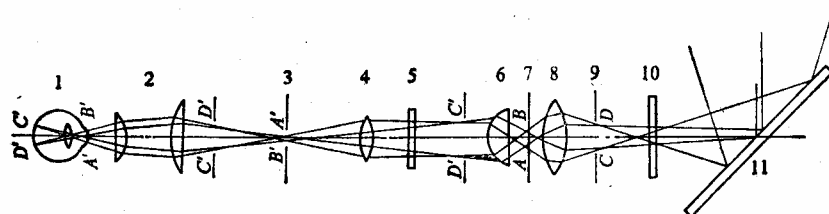


图 8-2 锥光光学系统光路图

1-眼睛；2-目镜；3-视场光阑；4-勃氏镜；5-上偏光镜；6-物镜，7-物平面；8-聚光镜；9-孔径光阑；10-下偏光镜；11-反光镜

在偏锥光中除中央一条光线是垂直射入矿物外，其余均倾斜入射，越靠外倾角越大，产生的光程差一般也越大。非均质矿物光学性质是各向异性的，因此当许多不同方向入射光同时进入矿物后，到上偏光镜时所发生的消光和干涉现象也不同。所以在锥光镜下所观察到的应是偏锥光中各个入射光至上偏光镜所产生的消光和干涉现象的总和，结果产生了各式各样特殊的干涉图形。锥光下正是根据干涉图及其变化来确定非均质矿物的轴性（一轴晶或二轴晶）和光性正负等性质。均质矿物在正交偏光下呈全消光，因此锥光下不产生干涉图。

光轴是指矿物不发生双折射的特殊方向。一轴晶有一个光轴，二轴晶有两个光轴的晶体。光射入一轴晶矿物，由双折射产生的两条偏光，其一振动方向永远和光轴垂直，各方向折光率相等，称为常光折光率 $N_o$ ；另一偏光振动方向包含在光波传播方向及光轴所构成的平面上，其折光率随

方向而异，称为非常光折光率 $N_e$ ，即一轴晶有两个主折光率 $N_e$ 和 $N_o$ ，所以单偏光下有两个主要颜色。如果 $N_e > N_o$ ，称正光性晶体；若 $N_e < N_o$ ，称负光性晶体。对于二轮晶有三个主折光率 $N_g$ 、 $N_m$ 和 $N_p$ ，所以单偏光下矿物应该有三个主要颜色。其中 $N_g$ 为最大折光率， $N_p$ 为最小折光率， $N_m$ 为中间折光率。当 $N_g - N_m > N_m - N_p$ 时，称为正光性晶体；当 $N_g - N_m < N_m - N_p$ 时，称为负光性晶体。

### 2.3 反光显微镜的原理

当透反两用显微镜作为反光镜使用时，增加了光源和垂直照明器。垂直照明器的运作结构如图 8-3 所示。在反光显微镜下观察矿石光片时，同一强度的入射光照射到矿石光片后，不同矿物反射出来的光强度是不同的。因此，把矿物对垂直照射于某光面上的光线的反射能力称为反射力，表示反射力大小的数值称为反射率，通常以百分数来表示。如果以 $R$ 表示为反射率、 $I_i$ 表示入射光强度、 $I_r$ 表示反射光强度，则（公式 8-1）：

$$R = \frac{I_r}{I_i} \times 100\% \quad (8-1)$$

反射色是指不透明矿物的光片在光波垂直照射下所能看到的颜色，是单向垂直反射光的颜色。某些不透明的矿物，当光线照到其光片上时，有部分光线透入矿物内部，碰到矿物内部的解理面、裂隙、空洞、晶粒界面等再反射出来，显出投射光的颜色，这种现象称为内反射，它的颜色称为内反射颜色。

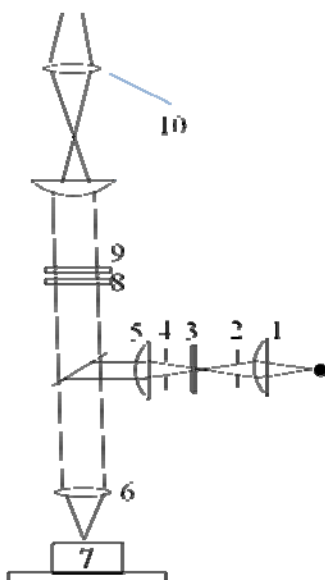


图 8-3 垂直照明器的示意光路图

1-聚光透镜；2-口径光圈；3-前偏光镜；4-视野光圈；5-校正透镜；6-物镜透镜；7-矿石光片；8-云母补偿器；9-上偏光镜；10-目镜透镜

不透明的非均质矿物可有不同的反射力，一轴晶矿物有两个主反射率 $R_o$ 和 $R_e$ ，二轴晶矿物有

三个主反射率 $R_g$ 、 $R_m$ 、 $R_p$ 。矿物反射力随方向不同而改变的性质称为双反射。双反射率的大小等于最大反射率( $R_1$ )与最小反射率( $R_2$ )之差,可用 $\Delta R$ 表示,单位为%,即: $\Delta R = R_1 - R_2$ 。

### 3. 实验步骤

A: 偏光显微镜下的矿物鉴定

- (1) 观察矿物的形态,包括单体形态和聚合形态;
- (2) 观察矿物的颜色、条痕、光泽和透明度;
- (3) 观测矿物的解理及其夹角;
- (4) 了解矿物的硬度和多色性;
- (5) 观察几种主要矿物的边缘、贝克线、糙面与突起特征。

B: 反光显微镜下观察矿物的反射率和反射色

- (1) 在单偏镜下采用自然光且不转动载物台,将待测矿物与标准矿物进行比较;
- (2) 一边转动载物台,一边观察矿物的亮度及颜色变化;
- (3) 在正交偏光镜下转动载物台 360 度,观察矿物表面有无明暗变化及在最亮时候的颜色;
- (4) 用斜照光在正交偏光镜下和用油浸镜头配合正交偏光镜头在正交偏光下,观察矿物的内反射色;
- (5) 在自然光或单偏光下,寻找待比较的两种矿物的界线,置于视域中心,利用微调螺旋提升或下降镜筒,观察两种矿物界线处亮度的移动方向。

### 4. 实验注意事项

- (1) 操作时严格遵守操作规程,调焦时不要弄坏镜头。
- (2) 轻拿轻放,保护目镜和物镜。
- (3) 不要直接用手去触摸矿物的观察面,不要丢失。
- (4) 保持实验室整洁,实验完毕之后将移动过的物品归位。

### 5. 实验报告

实验名称:

实验日期:

姓名:

班级学号:

指导教师:

同组人:

#### 5.1 实验目的:

#### 5.2 反光显微镜的工作原理:

#### 5.3 思考题

- (1) 透反两用显微镜有哪几个部件组成？各部位的作用是什么？
- (2) 透反两用显微作为单偏光镜和反射镜使用时需要进行什么操作？
- (3) 分析可能影响实验结果的因素？

## § 8.2 耐火材料荷重软熔点测定实验

钢铁冶金过程都是在高温下进行的，因此了解高温技术的特点是非常必要的。高温技术的存在基于两个方面：一是加热技术，二是保温技术。前者涉及能源的转化，后者涉及耐火材料的选择和制备。本次实验即包括这两方面内容，集中体现这两方面技术的高温炉和测试耐火材料性能的高温荷重软化仪。

通过对加热技术种类来分，高温炉分为电炉和燃烧炉，电炉是以电为能源，燃烧炉则是以化学燃料作为能源。其中，电炉又分为电阻炉、感应炉、电弧炉、电子轰击炉、等离子炉等。电加热炉的特点是温度容易控制、操作简单可靠、带来的杂质污染程度低，而这些特点也正是实验室所要求的。与其他种类电热炉相比，电阻炉设备简单、易于制作、温度和气氛容易控制，所以广泛应用与实验室。

高温荷重软化仪是基于加热技术之上，对耐火材料高温荷重软化点进行测量的仪器。耐火材料的高温荷重软化点是耐火材料使用性能的一项重要质量指标。

## 1. 实验目的

- (1) 了解高温炉及高温荷重软化仪的基本结构和操作方法；
- (2) 了解不同材质的发热材料和耐火材料；
- (3) 掌握高温荷重软化温度的测定原理及测定方法。
- (4) 综合运用所学知识或有关文献，结合所测得的数据判断耐火材料的性能。

## 2. 实验原理及实验装置

电阻炉是将电能转化为热能的装置，当调节控制仪表输出的电流或电压，使电热体产生的热量与炉体散热量达到平衡时，炉内即可实现恒温。其结构如图 8-4 所示。

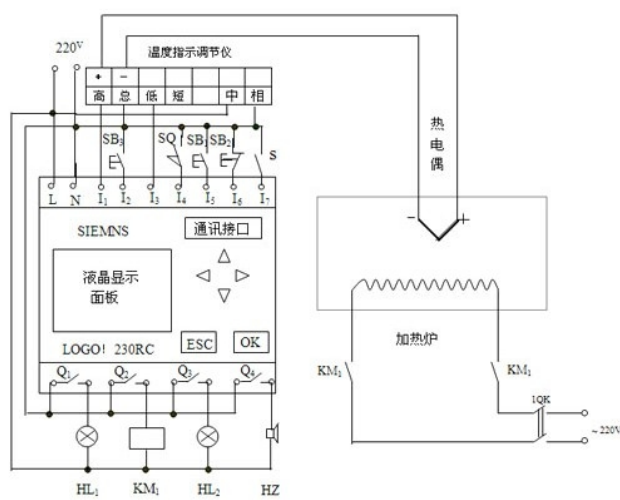


图 8-4 电阻炉的结构示意图

根据用途不同，电阻炉分为竖式管状炉、卧式管状电阻炉、箱式电阻炉、坩埚炉等，它们的

用途不同但机构确实大同小异。电阻炉主要由以下 6 部分组成：

- (1) 电热体。根据温度要求不同，采用不同的电热体作为加热元件。金属型加热体包括镍铬合金、铁铬合金、钼、铂、铂铑合金、钨、钽、铌等，非金属型有硅碳系、硅钼系、碳系等。选择加热体要注意加热元件的最高使用温度。
- (2) 炉膛。常用的炉膛有刚玉、高铝、碳化硅等。可以将加热体缠绕在炉膛上，也可以将其置于加热体里面。炉膛用于绝缘或放置试样，可其密封作用。
- (3) 炉衬。主要作用是保证炉膛温度的稳定，尽可能减少热量损失。
- (4) 炉壳。一般用钢板焊接而成，根据需求和用途的不同而形状不同。
- (5) 电源引线。作用是保证电热体与电源之间的安全连接，一般采用铜制导线，截面积需足够大，否则会因发热而毁损。电源引线与炉壳绝缘。
- (6) 支架。支撑炉体重量。

高温荷重软化仪可用来测试耐火材料在恒定荷重下，对高温和荷重同时起作用的抵抗能力。通过测试耐火材料明显塑性变形的软化温度范围，表征其高温机械性能。其结构如图 8-5 所示。

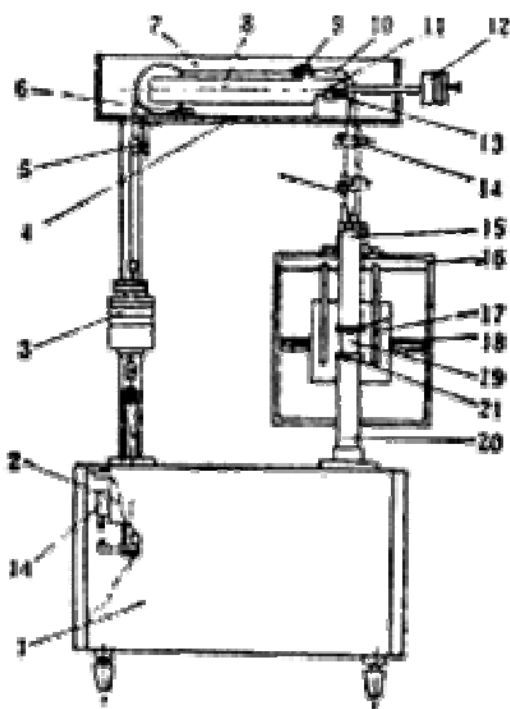


图 8-5 高温荷重软化仪主题部分结构示意图

本机由主机、加热炉和控温测量系统三部分组成：

- (1) 主机。包括加荷杠杆系统、炉体升降传动系统、上下箱体、主柱等部分。
- (2) 加热炉。由加热元件、炉衬、上压棒下压棒、平衡块及炉壳等组成。
- (3) 控温测量系统。包括温度自动控制部分和温度和试样变形自动记录部分。



加热炉可采用碳阻电炉、二硅化钼电炉、SiC 电炉等，均须具备以下条件：1、竖式圆形炉膛的内径应不小于 100 毫米，均温带的高度不得小于 75 毫米，温差不得大于 20℃；2、加热炉应能在非氧化气氛下按照规定的速度均匀升温至检验温度；c、在测试过程中能直接观测试样高度中心的温度。

荷重系统：试样荷重用的机械装置须具备下列条件：a、保证垂直均匀地加压，其压力不小于 2kg/cm<sup>2</sup>；b、机械摩擦力及惯性不得超过 400 克；c、试样加压棒和试样垫片可采用石墨制品。用该加压棒材质的圆柱体代替试样进行空白试验时，加热到测试温度后不得有压缩变形，同时整个变形测量系统每 100℃的膨胀量不大于 0.2 毫米。

变形测量装置：百分表或自动记录器，其示值误差均不大于 0.03 毫米。

测温装置：为测定炉内均温带的温度，在炉内均温带的中间部分横装一支水平测温管（内径 10~12 毫米），此管除测温时必须开启外，要经常堵严密。

### 3. 实验步骤

#### A: 高温炉的了解和操作

- (1) 观察炉子电热体的形状和炉膛内部结构、认识电热体和炉衬材质。
- (2) 根据炉子设定温度，放入预先选择的样品，给电启动并观察升温过程。
- (3) 开炉取出样品，观察加热情况。

#### B: 高温荷重软化仪的了解和操作

- (1) 对照示意图认识荷重软化仪的结构，尤其是其荷重系统和变形测量装置。
- (2) 将准备好的标准样装入加热炉内，并在试样上下各加一块垫片，找好水平。
- (3) 测试前需从砝码盘上卸去对试样应加荷重的砝码。
- (4) 把测温热电偶通过测温孔插入炉内，使其热端与试样接触。
- (5) 调整差动变压器，使其零位稳定，接通 K2 开关，使差动变压器通电，调整差动变压器的触点位置，使电位差计第二笔输出为 0，即做好了测试准备。
- (6) 合上电源开关，打开仪表柜的总电源开关 K1（电锁），K3 的红色指示灯亮，按 K4 绿色启动开关，负载与电网接通，绿色指示灯亮，K3 的红色指示灯灭。打开各仪表开关（TCA-100 程序给定仪开关不开），整个仪表系统处于可以工作状态。
- (7) 开机后，首先手动控温，待炉温达到一定温度，将程序滚筒转至相应温度上，将 TCA-100 滚筒开关打开“开”，然后 ZK-100 投入自动位置，一般即能正常控温，如出现异常现象则停机检查。
- (8) 停机

### 4. 注意事项

- (1) 由于炉温不均匀而未能沿试样高度均匀加热,致使试样的变形呈不正常现象(如麻菇状)者测试结果应予作废。
- (2) 试样被压缩成桶形后,上底面与下底面错开 4 毫米以上,或者试样周围的高度相差 2 毫米以上都应予重作。
- (3) 试样的一边熔化或有其他加热不均匀现象,或因测温口进入空气后受到显著的氧化作用,例如试样上呈淡色圆斑等则测试结果应予重作。
- (4) 从试样被压缩 0.6%到压缩 4% (破坏温度) 的温度范围称为高温负荷软化温度范围。
- (5) 注意安全,不要随意触碰加热之后的样品,不要触碰运行状态下仪器的电源和加热体。

## 5. 实验报告

实验名称:

实验日期:

姓 名:

班级学号:

指导教师:

同组人:

### 5.1 实验目的:

### 5.2 实验操作步骤:

### 5.3 思考题

- (1) 相对于高温炉,荷重软化仪在结构上增加了什么部件?
- (2) 荷重软化仪的标准试样在制作时需要注意什么?
- (3) 高温炉加热的速度决定因素有那些?
- (4) 归纳荷重软化仪测试后的合格样品应该有什么特点?