

实验一 炉温控制与仪表

一、用途

XCT-101 型动圈式温度指示调节仪表和热电偶配合，除用于指示测量温度外，还具有位式调节温度的功能。它的结构简单，价格低廉，适用广泛。

二、主要技术性能

1、安装形式与正常工作环境

安装形式：仪表盘式

工作环境：温度 0~50℃；湿度≤80%没有强磁场；没有强振动；没有腐蚀性气体。

2、刻度弧长与精度等级

刻度弧长：110mm

精度等级：1.0

3、常用热电偶及其测量范围（由表 1-1 给出）

表 1-1 XCT-101 配用热电偶及其测量范围

序号	测量元件	分度号	测量范围 (°C)	外接电阻 (Ω)
1	镍铬-考铜	EA-2	0~300; 0~400; 0~600;	15
2	镍铬-镍硅	EU-2	0~800; 0~1100; 0~1300	
3	铂铑-铂	LB-3	0~1300; 0~1600	

4、调节性能

调节形式：二位调节式

设定范围：全量程的 100%

设定误差：≤全量程的 1%

不灵敏区：≤全量程的 0.5%

越限（即指示针超越给定指针，仍有指示范围）：≤全量程的 5%

输出电接点容量：3A，220V

5、工作电源与仪表重量

电压：交流 220V±10%；消耗功率≤5VA

重量：≤3kg

三、工作原理

本仪器由测量机构、调节机构、断偶保护机构和电源组成，如图 1-1 所示。

1、测量机构

磁电系动圈式仪表实质上是测量微安级电流仪表。仪表的可动线圈的偏转角与流过它的电流成正比。当线圈与热电偶串联使用的时候，如果热电偶回路的总电阻为常数，则线圈偏转角与热电偶回路的热电势成正比。如此，动圈表与规定的热电偶配用，表盘直接以温度示值刻度而成为直读式温度显示仪表。

虽然，作为温度指标仪表，不仅要求仪表与指定分度号的热电偶配合使用，而且要求热电偶回路的总电阻 ΣR 恒为常数。

$$\Sigma R=R_i+R_o \quad (1-1)$$

R_i 表示仪表内电阻，产品设计时保证 R_i 在一定的环境温度范围内是常数。它包括动圈电阻以及仪表测量电路中的量程电阻 R_i 和温度补偿电阻 R_t 和 R_m 。

R_o 表示仪表外电阻，它包括热电偶本身电阻和热电偶连接导线的电阻。为保证 R_o 为常数，产品设计时保证 R_o 为一定值（ 15Ω ，标明在表盘上）。仪表出厂时附加了一个与外电阻等值的锰铜电阻，这个电阻串联在测量电路中。安装仪表的时候，先将热电偶及其连接导线的电阻测量出来，然后拆除这个锰铜电阻中的若干长度的电阻丝，使仪表外电阻（热电偶及其连接导线，以及该锰铜电阻的电阻之总和）等于 15Ω 。

仪表工作时，热电偶冷端温度在一般情况下并不为 0°C ，因此，当热电偶热端温度等于冷端温度时，即热电势等于零，仪表指针应指示冷端温度值，满足这种冷端温度补偿的最简单的方法是调整仪表的机械零点调节器，当动圈表没有信号输入时，其指针至制热电偶冷端温度值。

2、调节机构

参见图 3-1,仪表的调节机构主要由偏差检测器、高频振荡器、检波与直流放大器及继电器组成。

测量指针上附着小铝旗，给定指针上附着两个串联的扁线圈，称为检测线圈。给定指针可通过调节面板上的调节螺钉而使其置于全量程范围内的任意位置上。小铝旗随测量指针动作，可自由进出于这两个线圈的间隙之中，这就是所谓偏差检测器。检测线圈与一个电容器并联构成的检测谐振回路安插在高频振荡器的反馈电路中。当小铝旗完全进入检测线圈的间隙之中，这个检测线圈的固有频率 $f_0=10.6\text{MHz}$ ；当小铝旗离开检测线圈时，检测线圈的电感量增大，检测谐振回路的固有频率 $f\geq 10.6\text{MHz}$ 。

高频振荡器的振荡频率 $f_0=10.6\text{MHz}$ ，这个高频信号经检波与放大器后输出约 20mA 的直流电流，驱使继电器吸合，继电器触点闭合。当指针上的小铝旗完全进入检测线圈的时候，检测谐振回路对 f_0 呈高阻抗，振荡器因振荡条件不得满足而停振，放大器输出电流随之减小，继电器释放，触点断开。当铝旗没有完全进入检测线圈的时候，检测谐振回路对 f_0 呈低阻抗，振荡器正常工作。这是最简单的二位式调节动作。

3、断偶保护机构

仪表使用过程中，有可能产生热电偶回路断线问题，热电偶断线后，动圈中没有电流通过，指示针不偏转，振荡器总是处于振荡状态，接触器触点始终吸合，被控电炉往往造成“跑温”事故，因此设置断偶保护机构，其电路原理如图 3-1 所示。 R_i 是包括动圈在内的仪表内电阻，阻值数百欧姆， R_o 是仪器外电阻，阻值 $15\ \Omega$ ， R_p （约 $10\text{k}\Omega$ ）和 C_p 的阻抗（对 50Hz 交流）很大。当热电偶未断线时，约 12V 的交流电源在动圈表输入端只产生毫伏级的交流电压，从而二极管 D 呈高阻抗。因此，动圈只因热电偶电势产生偏转，而不受毫伏级的交流电压的影响。

当热电偶断线后，由于 R_i 阻值较大，起不到对二极管 D 的短路作用。于是， 12V 交流电压在正半周时主要通过 D 及 R_o 向 C_o 充电（上的电压，左正右负）；在负半周时，汇同 C_o 的放电，在 R_i 上产生上正下负的电压降，这个电压足以驱使动圈偏转直至铝旗进入检测线圈中为止，从而使继电器释放。

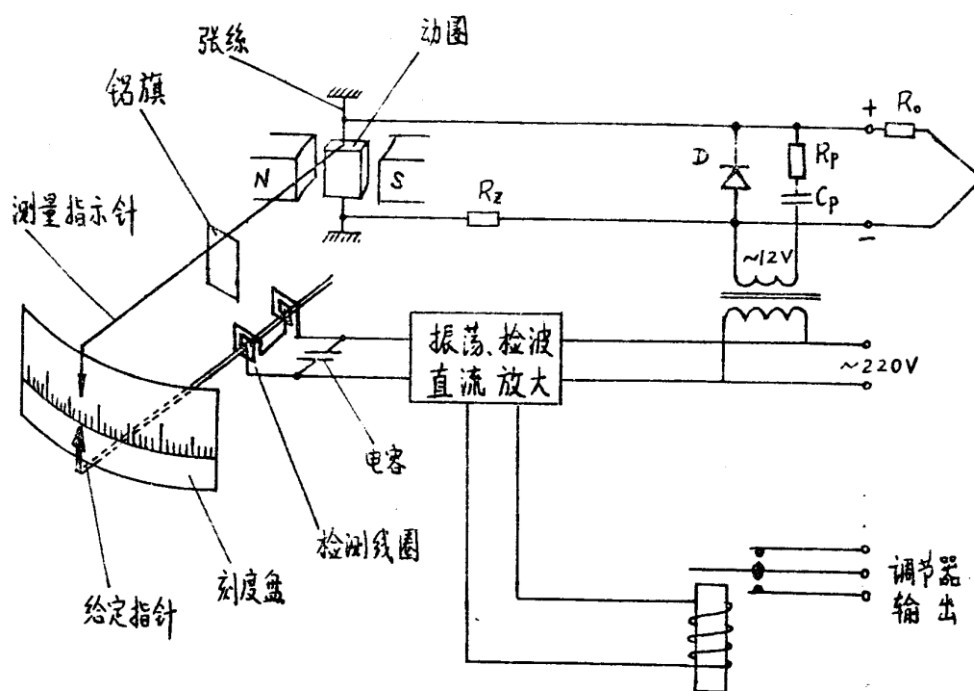


图 1-1 XCT-101 工作原理图

四、仪表安装使用方法

1、一般型检查

- (1) 仪表外观完好，零配件齐全。
- (2) 机械零点调节螺钉是否使指示针在刻度零点附近的小范围内偏转。
- (3) 将仪表放平，读数；再将仪表分别向前、后、左、右四个方向倾斜 5° ，指针示值之变化不应超过仪表的基本误差。
- (4) 轻轻转动一下仪表，使指针偏零点，察看是否指针能恢复指向零点。

2、固定安装

仪表一般固定安装在仪表柜前面板上，用夹板螺钉固定。仪表的安装环境符合要求。

3、接线

测量线、控制线、电源线必须正确地接在仪表后部相应的接线端子上。特别要注意的是测量线必须是与热电偶型号匹配的补偿导线，而且，补偿导线的正负极要与热电偶的正负极以及与接线端子的正负极相对应，不可接错。电源线的中线接在“0”端钮上。仪表的接地端钮必须可靠地接地，不允许与电源线的中线连接。

4、外电阻测量与调整

仪表外电阻是指热电偶电阻、补偿导线电阻以及外线调整电阻之总和。应该指出的是热电偶及其补偿导线电阻是指它在正常工作时的热态电阻。这个电阻的测量可使用万用表。为消除热电势对测量的影响，以及考虑到热电势可能的变化，宜采用“正-反-正”三次测量，第一次和第三次测量的平均值作为正向测量与反向测量的平均值就是外电阻的阻值。因为万用表测量精度较低，最好备用一个 15 欧姆的标准电阻，先行校验万用表的读数。测得热电偶及其补偿导线的电阻后，便可拆除部分外线调整电阻的锰铜丝。拆除部分的锰铜丝电阻应等于上述测量电阻，如此，达到满足仪表外电阻的要求。

5、机械零点调整

动圈仪表信号输入时（热电偶端温度与冷端温度相同时，或热电偶与仪表的联接断开时），调整仪表机械零点位于热电偶冷端温度（通常就是仪表所处的环境温度）。环境温度会因季节变化，故仪表机械零点调整是要经常进行的。

五、仪表的校验

仪表一般都调试合格后出厂，用户只要按照说明安装即可使用。然而，不能完全排除仪表在装运过程中的元件损坏或精度损失，因此仪表在安装后或使用一段时间，应该进行某些必要的性能测试。

XCT-101 型仪表主要检查项目有测量精度、调节精度、以及断偶保护的可靠性。

XCT-101 型仪表与热电偶配合工作。在仪表检查和校验工作中，可用 UJ-36 型电位差计模拟热电偶及其连接导线，用电阻箱模拟外线调整电阻，如图 3-2 所示。

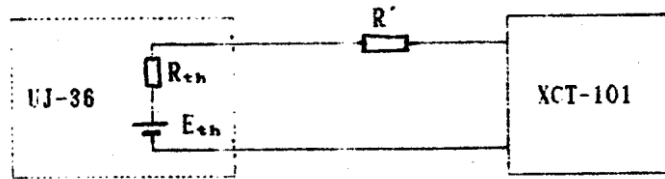


图 1-2 UJ-36 型校验 XCT-101 示意图

在表示 UJ-36 型电位差计的虚线框中， E_{th} 表示等效输出电势， R_{th} 表示等效输出电阻。电位差计经“对标准”后转向输出工作状态，输出的标准电势等于面板测量盘毫伏示值，输出等效电阻可由式 (1-6) 或式 (1-7) 以及参考实验 1-1 或实验 1-2 的结果计算。

R' 为电阻箱阻值，根据仪表对外电阻的要求， $R' + R_{th} = 15\Omega$ 。XCT-101 型仪表的基本误差为 $\pm 1\%$ ，内阻数百欧姆，因此，为满足检验仪表的要求，外阻允许有零点几个欧姆的误差。

实验 3-1 XCT-101 型动圈式温度指示调节仪表的安装与调校

图 3-3 是用 XCT-101 型动圈式温度指示调节仪表安装的可谓最简单的通断式二位式炉温自调系统。热电偶插入被控电炉的炉膛中，热电势导致动圈偏转，当指示针示值低于给定针时，仪表位式调节器触点 K 吸合，导致交流接触器 J 吸合，电炉得电加热。当指示针示值等于或高于给定针示，仪表位式调节器触点 K 释放，导致交流接触器 J 释放，电炉失电，因散热而降温。如此，电炉炉膛温度围绕给定值上下波动，实现炉温的自动调节。

XCT-101 型仪表安装后应给以必要的校验及适当的调整，在仪表检查和校验工作中，可参照图 1-2 所示的方法，用 UJ-36 型电位差计模拟热电偶及其连接导线，用电阻箱模拟外线调整电阻，主要检查项目有示值精度、调节精度、断偶保护，此外，还有外电阻检查以及机械零点的检查。

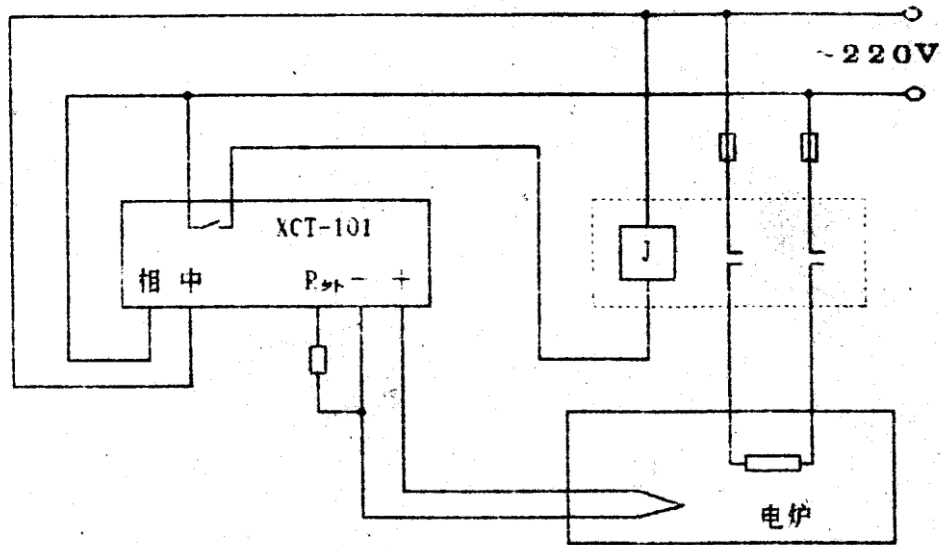


图 1-3 XCT-101 仪表位式炉温自调装置

本实验要求：

- 1、用实验室单相电炉、XCT-101 型动圈式仪表、热电偶、交流接触器组装二位式炉温自调装置。
- 2、用 UJ-36 型电位差计和一台电阻箱校验 XCT-101 型动圈式温度指示调节仪表，主要检查项目有机械零点、示值精度、调节精度、断偶保护。
- 3、检查热电偶回路电阻是否符合动圈仪表的要求。
- 4、通过该实验，学习位式温度调节仪表与接触器组成的自动炉温调节装置的接线及正确使用方法。要求掌握动圈式温度仪表的校验方法。

实验 3-2 二位式炉温自调系统的性能测试

二位式炉温自调系统是一种很常见的温度控制系统,它利用通断将炉温稳定在所需要的温度上,因而必然导致动差。影响动差大小的因素很多,诸如,热电偶丝直径、热电偶保护套管、调节仪表性能、电阻路的输出功率及装炉量等,都对系统调节精度有所影响;因此,使用位式调节装置,应该对这些因素有所了解。

本实验要求:

- 1、检查出 XCT-101 温度调节仪表与交流接触器组成的自动保护炉温调节装置,检查显示仪表的冷端温度是否与实际情况符合,若不符合,给予适当调整。
- 2、电炉通电升温,给定温度 200℃,记录整个升温及保温过程的炉温与时间关系。
- 3、电炉空载,记录通电与断电的时间,计算电炉实际消耗功率,动差多大。
- 4、电炉装件加热,记录通电与断电的时间,计算电炉实际消耗功率;保温初期及保温后期,电炉实际消耗功率的变化,动差多大。
- 5、电炉升至 800℃保温,重复上述实验。
- 6、自动测试其它因素对位式调节性能的影响,从而了解各因素,如热电偶丝直径、热电偶保护套管、电阻炉的输入功率等对系统调节精度的影响。
- 7、对位式调节系统的性能及其影响因素做个小结。

实验二 热电偶校准及误差

一、用途

镍铬-镍硅热电偶是非贵金属热电偶中性能最稳定的一种，热电势较大，且有接近直线的分度曲线，因此使用最广。热电偶遇温度显示仪表配合，主要用于测量气体、蒸汽、液体等介质的温度。常用的有带保护管套的、裸装的和铠装的几种。

二、主要技术性能

1、正常工作环境

中性或氧化性气氛。长时间使用温度 $0\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，短时间使用温度 $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 。

2、分度特性

分度号 EU-2(由表 2-1 给出)

3、基本误差

三等标准热电偶： $\leq \pm 3 (^{\circ}\text{C})$

工业通用热电偶： $\leq \{ \pm 3 \pm 0.0075 (X-400) \} ^{\circ}\text{C}$

三、工作原理

热电偶是根据金属的热电效应设计制作的。两种不同的导体组成一个封闭的回路，便构成了一个热电偶，如果热电偶两端结点温度不同，回路中就会产生热电势，这个热电势的大小只与构成热电偶的导体成分以及与热电偶两端的温度有关。但是，应该注意，如果热电偶本身材料不均匀，那么，由于温度梯度的存在，可能产生附加电势。

镍铬-镍硅热电偶的正极是镍铬合金，成分为镍 89%，铬 10%，铁 1%，负极是镍硅合金，成分为镍 97%，硅 2.5%，锰 0.5%。这两种电极材料的高温抗氧化能力及抗腐蚀能力都很强，热电性能稳定，但镍硅材料在高温下易受还原气氛的有害影响。

四、使用注意事项

1、热电偶裸装，其电极务必避免受到机械损伤，而且只能用在中性或氧化性气氛环境中；在还原性气氛中或在腐蚀介质环境中使用，必须有密封良好的保护套管。

2、热电偶要有足够的插入深度。

3、与二次仪表连接使用铜-康铜补偿导线，其导线绝缘层着色：正极（铜）为红色，负极（康铜）为蓝色。因补偿导线，分度号 Eu-2。

表 2-1 镍铬-镍硅热电偶分度表（自由端温度为 0℃）

工作端温度 (℃)	热电势(mV)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-50	-1.86	-1.82	-1.79	-1.75	-1.72	-1.68	-1.64	-1.60	-1.57	-1.54
-40	-1.50	-1.46	-1.43	-1.40	-1.36	-1.32	-1.28	-1.25	-1.21	-1.18
-30	-1.14	-1.10	-1.07	-1.03	-0.99	-0.96	-0.92	-0.88	-0.84	-0.81
-20	-0.77	-0.74	-0.70	-0.66	-0.62	-0.59	-0.55	-0.51	-0.47	-0.43
-10	-0.39	-0.35	-0.31	-0.27	-0.23	-0.20	-0.16	-0.12	-0.08	-0.04
0	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36
10	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.68	0.73	0.76
20	0.80	0.84	0.88	0.92	0.96	1.00	1.04	1.18	1.12	1.16
30	1.20	1.24	1.28	1.32	1.86	1.41	1.45	1.49	1.53	1.57
40	1.61	1.65	1.69	1.73	1.77	1.82	1.86	1.90	1.94	1.98
50	2.02	2.06	2.10	2.14	2.18	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
60	2.43	2.47	2.51	2.56	2.60	2.64	2.68	2.72	2.77	2.81
70	2.85	2.89	2.93	2.97	3.01	3.06	3.10	3.14	3.18	3.22
80	3.26	3.30	3.34	3.39	3.43	3.47	3.51	3.55	3.60	3.64
90	3.68	3.72	3.76	3.81	3.85	3.89	3.93	3.97	4.02	4.06
100	4.10	4.14	4.18	4.22	4.26	4.31	4.35	4.39	4.43	4.47
110	4.51	4.55	4.59	4.63	4.67	4.72	4.76	4.80	4.84	4.88
120	4.92	4.96	5.00	5.04	5.08	5.13	5.17	5.21	5.25	5.29
130	5.33	5.37	5.40	5.45	5.49	5.53	5.57	5.61	5.65	5.69
140	5.73	5.77	5.81	5.85	5.89	5.98	5.97	6.01	6.05	6.09
150	6.13	6.17	6.21	6.25	6.29	6.33	6.37	6.41	6.45	6.49
160	6.53	6.57	6.61	6.65	6.69	6.73	6.77	6.81	6.85	6.89
170	6.93	6.97	7.01	7.05	7.09	7.13	7.17	7.21	7.25	7.20
180	7.33	7.37	7.41	7.45	7.49	7.53	7.57	7.61	7.65	7.69
190	7.73	7.77	7.81	7.85	7.89	7.93	7.97	8.01	8.05	8.09
200	8.13	8.17	8.21	8.25	8.29	8.33	8.37	8.41	8.45	8.49
210	8.53	8.57	8.61	8.65	8.69	8.73	8.77	8.81	8.85	8.89
220	8.93	8.97	9.01	9.06	9.10	9.14	9.18	9.22	9.26	9.30
230	9.34	9.38	9.42	9.46	9.50	9.54	9.58	9.61	9.66	9.70
240	9.74	9.78	9.82	9.86	9.90	9.95	9.99	10.03	10.07	10.11

工作端温度 (°C)	热电势(mV)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
250	10.15	10.19	10.23	10.27	10.31	10.35	10.40	10.44	10.48	10.52
260	10.56	10.60	10.64	10.68	10.72	10.77	10.81	40.85	10.89	10.93
270	10.97	11.01	11.05	11.09	11.13	11.18	11.22	11.26	11.30	11.34
280	11.38	11.42	11.46	11.51	11.55	11.59	11.63	11.67	11.72	11.76
290	11.80	11.84	11.88	11.92	11.96	12.01	12.05	12.09	12.13	12.17
300	12.21	12.25	12.29	12.33	12.37	12.42	12.46	12.50	12.54	12.58
310	12.62	12.66	12.70	12.75	12.79	12.83	12.87	12.31	12.96	13.00
320	13.04	13.08	13.12	13.16	13.20	13.25	13.29	13.33	13.37	13.41
330	13.45	13.49	13.53	13.58	13.62	13.66	13.70	13.74	13.79	13.83
340	13.87	13.91	13.95	14.00	14.04	14.08	14.16	14.16	14.21	14.25
350	14.30	14.34	14.38	14.43	14.47	14.51	14.59	15.59	14.64	14.68
360	14.72	14.76	14.80	14.85	14.89	14.93	15.01	15.01	15.06	15.10
370	15.14	15.18	15.22	15.27	15.31	15.35	15.43	15.43	15.48	15.52
380	15.56	15.60	15.64	15.69	15.73	15.77	15.85	15.85	15.90	15.94
390	15.98	16.02	16.06	16.11	16.15	16.19	16.27	16.27	16.32	16.36
400	16.40	16.44	16.49	16.53	16.57	16.62	16.70	16.70	16.74	16.79
410	16.83	16.87	16.91	16.96	17.00	17.04	17.12	17.12	17.17	17.21
420	17.25	17.29	17.33	17.38	17.42	17.46	17.54	17.54	17.59	17.63
430	17.67	17.71	17.75	17.79	17.84	17.88	17.96	17.96	18.01	18.05
440	18.09	18.13	18.17	18.22	18.26	18.30	18.38	18.38	18.43	18.47
450	18.51	18.55	18.60	18.64	18.73	18.77	18.81	18.85	18.85	18.90
460	18.94	19.98	19.03	19.07	19.16	19.20	19.24	19.28	19.28	19.33
470	19.37	19.41	19.45	19.50	19.58	19.62	19.66	19.71	19.71	19.75
480	19.79	19.83	19.88	19.92	20.01	20.05	20.09	20.13	20.13	20.18
490	20.22	20.26	20.31	20.35	20.44	20.48	20.52	20.56	20.56	20.61
500	20.65	20.69	20.74	20.78	20.82	20.87	20.91	20.95	20.99	21.04
510	21.08	21.12	21.16	21.21	21.25	21.29	21.33	21.37	21.42	21.46
520	21.50	21.54	21.59	21.63	21.67	21.75	21.76	21.80	21.84	21.89
530	21.93	21.97	22.01	22.06	22.10	22.14	22.18	22.22	22.27	22.31
540	22.35	22.39	22.44	22.48	22.52	22.57	22.61	22.65	22.69	22.74
550	22.78	22.82	22.87	22.91	22.91	23.00	23.04	23.08	23.12	23.17
560	23.21	23.25	23.29	23.34	23.34	23.42	23.45	23.50	23.55	23.59
570	23.63	23.67	23.71	23.75	23.75	23.84	23.88	23.92	23.96	24.01
580	24.05	24.09	24.14	24.18	24.18	24.27	24.31	24.35	24.39	24.44
590	24.48	24.50	24.56	24.61	24.65	24.69	24.73	24.77	24.82	24.86

工作端 温度 (°C)	热电势(mV)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
600	24.90	24.94	24.99	25.03	25.07	25.12	25.15	25.19	25.23	25.27
610	25.32	25.37	25.41	25.46	25.50	25.54	25.58	25.62	25.67	25.71
620	25.75	25.79	25.84	25.8	25.92	25.97	26.01	26.05	26.09	26.14
630	26.18	26.22	26.26	26.31	26.35	26.39	26.43	26.47	26.52	26.56
640	26.60	26.64	26.69	26.73	26.77	26.82	26.86	26.90	26.94	26.99
650	27.03	27.07	27.11	27.16	27.20	27.24	27.28	27.32	27.37	27.41
660	27.45	27.49	27.53	27.57	27.62	27.66	27.70	27.72	27.79	27.83
670	27.87	27.91	27.95	28.00	28.04	28.08	28.12	28.16	28.21	28.25
680	28.29	28.33	28.38	28.42	28.46	28.50	28.54	28.58	28.62	28.67
690	28.71	28.75	28.79	28.84	28.88	28.90	28.96	29.00	29.05	29.09
700	29.13	29.17	29.21	29.26	29.30	29.34	29.38	29.42	29.47	29.51
710	29.55	29.59	29.63	29.69	29.72	29.76	29.80	29.84	29.89	29.93
720	29.97	30.01	30.05	30.10	30.14	30.18	30.22	30.26	30.31	30.35
730	30.39	30.43	30.47	30.2	30.56	30.60	30.64	30.68	30.73	30.77
740	30.81	30.85	30.89	30.93	30.97	31.02	31.06	31.10	31.14	31.18
750	31.22	31.26	31.30	31.35	31.39	31.42	31.47	31.51	31.56	31.60
760	31.64	31.68	31.72	31.77	31.81	31.85	31.88	31.93	31.98	32.02
770	32.06	32.10	32.14	32.18	32.33	32.26	32.30	32.34	32.38	32.42
780	32.46	32.50	32.54	32.59	32.63	32.67	32.71	32.75	32.80	32.84
790	32.87	32.91	32.95	33.00	33.04	33.09	33.13	33.17	33.21	33.25
800	33.29	33.33	3.37	33.41	33.45	33.49	33.53	33.57	33.61	33.65
810	33.69	33.73	33.77	33.81	33.85	33.90	33.94	33.98	34.02	34.06
820	34.10	34.14	34.18	34.22	34.26	34.30	34.34	34.38	34.42	34.46
830	34.51	34.54	34.58	34.62	34.66	34.71	34.75	34.79	34.83	34.87
840	34.91	34.95	34.99	35.03	35.07	35.11	35.16	35.20	35.24	35.28
850	35.32	24025	35.40	35.44	34.48	35.52	35.56	35.60	35.64	35.67
860	35.72	24075	35.80	35.84	35.88	35.93	35.97	36.01	36.05	36.09
870	36.12	36.17	36.21	36.25	36.29	36.33	36.37	36.41	36.45	36.49
880	36.52	36.57	36.61	36.65	36.69	36.73	36.77	36.81	36.85	36.89
890	36.93	36.97	37.01	37.05	37.09	37.13	37.21	37.21	37.25	37.29
900	37.33	37.37	37.41	37.45	37.49	37.53	37.57	37.61	37.65	37.69
910	37.73	37.77	37.81	37.85	37.89	37.93	37.97	38.01	38.05	38.09
920	38.13	38.17	38.21	38.25	38.29	38.33	38.37	38.41	38.45	38.49
930	38.53	38.57	68.61	38.65	38.69	38.73	38.77	38.81	38.86	38.89
940	38.93	38.97	39.01	39.05	39.09	39.13	39.16	39.20	39.24	39.28

工作端 温度 (°C)	热电势(mV)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
950	39.32	39.36	39.40	39.44	39.48	39.52	39.56	39.60	39.64	39.68
960	39.72	39.76	39.80	39.83	38.83	39.91	39.94	39.98	40.02	40.06
970	40.10	40.14	40.18	40.22	40.22	40.30	40.33	40.37	40.41	40.45
980	40.49	40.53	40.57	40.61	40.61	40.69	40.72	40.76	40.80	40.84
990	40.88	40.92	40.96	41.00	41.04	41.08	41.11	41.15	41.19	41.23
1000	41.27	41.31	41.35	41.39	41.43	41.47	41.50	41.54	41.58	41.62
1010	41.66	41.70	41.74	41.77	41.81	41.85	41.89	41.93	41.96	42.00
1020	41.04	42.08	42.12	42.16	42.20	42.24	42.27	42.31	42.35	42.39
1030	42.43	42.47	42.51	42.55	42.59	42.63	42.66	42.70	42.74	42.78
1040	42.83	42.87	42.90	42.93	42.97	43.01	43.05	43.09	43.13	43.17
1050	43.21	43.25	43.29	43.32	43.35	43.39	43.43	43.47	43.51	43.55
1060	43.59	43.63	43.67	43.69	43.73	43.77	43.81	43.85	43.89	43.93
1070	43.97	44.01	44.05	44.08	44.11	44.15	44.19	44.22	44.26	44.30
1080	44.34	44.38	44.42	44.45	44.49	44.53	44.57	44.61	44.64	44.68
1090	44.72	44.76	44.80	44.83	44.87	44.91	44.95	44.99	45.02	45.06
1100	45.10	45.14	45.18	45.21	45.25	45.29	45.33	45.37	45.40	45.44
1110	45.48	45.52	45.55	45.59	45.83	45.67	45.70	45.74	45.78	45.81
1120	45.85	45.89	45.93	45.96	46.00	46.04	46.08	46.12	46.15	46.19
1130	46.23	46.27	46.30	46.34	46.38	46.42	46.45	46.49	46.33	46.56
1140	46.60	46.64	46.67	46.71	46.75	46.79	46.82	46.86	46.90	46.93
1150	46.97	47.01	47.04	47.08	47.12	47.16	47.19	47.23	47.27	47.30
1160	47.34	47.38	47.41	47.45	47.49	47.53	47.56	47.60	47.64	47.67
1170	47.71	47.75	47.78	47.8	47.86	47.90	47.93	47.97	48.01	48.04
1180	48.08	48.12	48.15	48.19	48.22	38.26	48.30	48.33	48.37	48.40
1190	48.44	48.48	48.51	48.55	48.59	48.63	48.66	48.70	48.74	48.77
1200	48.81	48.85	48.88	48.92	48.95	48.99	49.03	49.06	49.10	49.13
1210	49.17	49.21	49.24	49.28	49.31	49.35	49.39	49.42	49.46	49.49
1220	49.53	49.57	49.60	49.64	49.67	49.71	49.75	49.78	49.82	49.8
1230	49.89	49.83	49.96	50.00	50.03	50.07	50.11	50.14	50.18	50.21
1240	50.25	50.29	50.32	50.36	50.39	50.43	50.47	50.50	50.54	50.59
1250	50.61	50.65	50.68	50.72	50.75	50.79	50.83	50.86	50.90	50.93
1260	50.93	51.00	51.03	51.07	51.10	51.14	51.18	51.21	51.25	51.28
1270	51.32	51.35	51.39	51.43	51.46	51.50	51.54	51.57	51.61	51.64
1280	51.67	51.71	51.74	51.78	51.81	51.85	51.88	51.92	51.95	51.99
1290	52.02	52.06	52.09	52.13	52.16	52.20	52.33	52.27	52.30	52.33
1300	52.37									

实验 2-1 热电偶的校验（热电偶静态特性的测试）之一

热电偶通常工作在高温环境中，受气氛影响，长期使用，其热电特性可能发生变化，因而，有必要进行热电偶检查和校验。

热电偶校验之前首先是外观检查，即察看热电偶导线表面是否清洁，色泽均匀，无色斑；接点焊合牢固，表面光滑，无气孔，必要时需清洗或重新焊合。

热电偶的校验是要确定热电的电势与温度的对应关系。热电偶的校验常用比较法即被检热电偶与标准热电偶的热端保持在同一温度，它们的冷端都恒定在冰点。如此，测量标准热电偶的热电势可得到其热端温度的测量值，这个测量值对于被检热电偶来说则是其热端温度下的实际值 T 。同时，由被检热电偶得到其热端温度下的测量值 X 。于是，被检热电偶的修正值 $C=T-X$ 。

对工业用镍铬-镍硅热电偶的校验，标准热电偶通常用三级标准热电偶。检定点温度一般是 400、600、800℃。

电炉在给定温度保温直到标准热电偶的热电势稳定后开始测量，标准热电偶所示温度与检定点的偏差应不大于 5℃。

本实验要求：

- 1、用三级标准镍铬-镍硅热电偶校验普通镍铬-镍硅热电偶，给出检定点（800℃）温度的修正值，并估计被检热电偶的基本误差。
- 2、通过该实验，要求掌握热电偶校验方法，并对热电偶的基本误差有所认识，同时掌握标准热电偶电位差计的使用方法。

实验报告（范例）热电偶的校验

一、实验目的

- 1、校验一支镍铬-镍硅热电偶（检定点温度 800℃）
- 2、掌握标准电位差计的使用及热电偶的校验方法，确定被检热电偶的基本误差。

二、实验原理

热电偶的校验是要确定热电偶的电势与温度的对应关系。热电偶的校验常用比较法，即被检热电偶与标准热电偶的热端保持在同一温度，它们的冷端都恒定在冰点，如此，测量标准热电偶的热电势可得到其热端温度的测量值，这个测量值对于被检热电偶来说则是其热端温度下的实际值 T 。同时，由被检热电偶得到其热端温度下的测量值 X 。于是，被检热电偶的修正值 $C=T-X$ 。

三、实验仪器与装置

1、标准热电偶：三级标准镍铬-镍硅热电偶，分度号 EU-2

修正值： $C_{400} = -0.03\text{Mv} (-0.8^{\circ}\text{C})$

$C_{600} = -0.04\text{Mv} (-1.0^{\circ}\text{C})$

$C_{800} = -0.05\text{Mv} (-1.3^{\circ}\text{C})$

2、被检热电偶：镍铬-镍硅热电偶，分度号 EU-2

基本误差 $\leq \{\pm 3 \pm 0.0075 (X-400)\}^{\circ}\text{C}$

3、标准直流电位差计：UJ-36 型

4、管式炉，炉膛内安放一块不锈钢制的均热筒，管式炉用精密温度控制仪控温。

5、冰瓶，瓶内充满了冰屑与水的混合物。

上述仪器组成热电偶校验装置，如图 2-1 所示，被检热电偶①与标准热电偶④一起放在管式电炉③炉膛中的均热筒②的空腔内，它们的冷端同置于冰瓶⑤内，用铜导线⑧通过转换开关⑦与 UJ-36 型电位差计⑥相连接。

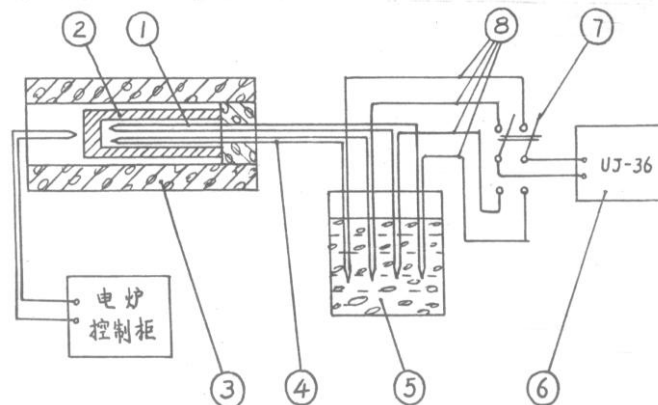


图 2-1 热电偶校验装置

四、实验步骤

1、外观检查

热电偶导线表面清洁，色泽均匀，无色斑；接点焊合牢固，表面光滑，无气孔。

2、检查管式炉实验装置

管式炉自动控温，检查整套装置是否完备；炉膛高温区放置有金属均热筒，其空腔深度直径比大于 10。

3、安放热电偶及按图接线

被检热电偶与标准热电偶都应套上绝缘管，热端并排，且用细电阻丝将他们捆成一束。

把该热电偶束插入管式电炉中的金属均热筒的空腔内，插到底，再退出 2~3 毫米，然后，用耐火纤维将管式炉口堵住，热电偶从耐火纤维中通过。热电偶的冷端与铜导线连接，同样套上绝缘管，且用细电阻丝将它们捆成一束，置于冰瓶内的玻璃管中，插到底，再用棉花将玻璃管口堵住，热电偶从中通过，热电偶的冷端与铜导线连接，铜导线通过转换开关与 UJ-36 型电位差计相连接。察看冰瓶温度是否稳定在 0℃。

4、电路升温

电炉升温至检定温度点 800℃。

5、检定测量

电炉在给定温度保温直到标准热电偶的热电势稳定后开始测量，按标准热电偶，待检热电偶，标准热电偶，……的次序读出它们的热电势，每个热电偶的读数 5 次，作下实验记录。判断这些数据结果没有明显的离散现象以及明显的变值系数，标准热电偶所示温度与检定点的偏差不大于 5℃，认为数据有效。

表 2-2 热电偶校检数据

类别		热电势 (mV)	
		标准热电偶	被检热电偶
测量次序	1	33.21	33.36
	2	33.20	33.34
	3	33.20	33.33
	4	33.19	33.33
	5	33.23	33.37
平均值 (\bar{x})		33.206	33.346
标准差 ($\hat{\sigma}$)		0.0152	0.0182
修正值		-0.05	
结果表示		33.16±0.03	33.35±0.04

五、实验数据与处理

管式炉炉膛控制温度：800℃。实验数据及处理数据填入表 2-2 表中。结果表示的可信值按 P=99% 计。

实验误差分析由表 2-3 表示，误差合成均按方和根法。

上述实验数据的分析结果表明，当热电偶热端实际温度 $T=796.8\pm 3.8^\circ\text{C}$ 时，被检热电偶测量表示是为 $X=801.5\pm 2.3^\circ\text{C}$ ；这就是说，被检热电偶修正值 $C=-4.7\pm 4.4^\circ\text{C}$ 。

一般的工业镍铬-镍硅热电偶在 800℃ 时的基本误差 $\pm 6^\circ\text{C}$ 。可见，这支镍铬-镍硅热电偶若不经修正而使用，是超出其基本误差范围的。

表 2-3 实验误差分析数据

误差内别		标准热电偶	被检热电偶
热电势度数的不确定误差	(mV)	0.03	0.04
UJ-36 仪表基本误差	(mV)	0.08	0.08
冷端温度误差 (设 $\pm 1^{\circ}\text{C}$)	(mV)	0.04	0.04
热电偶基本误差	(mV)	0.12	
误差的综合	(mV)	0.15	0.10
	($^{\circ}\text{C}$)	3.8	2.3

六、实验结果与讨论

1、被检热电偶在 800°C 时的修正值 $C=-4.7^{\circ}\text{C}$ 。该修正值的不确定值为 $\pm 4.4^{\circ}\text{C}$ 。

2、这支镍铬-镍硅热电偶使用时若不经修正，示值是超出其基本误差范围的。但修正后，在校验后的短时期内， 800°C 时的测量误差可以小于其基本误差。

3、误差分析表明，热电偶校验的精度主要取决于标准热电偶的精度，其次是标准电位差计的精度，当然，保持标准热电偶与被检热电偶的热端和冷端温度的一致和稳定是校验设备必须具备的性能。

报告人：

完成日期：

实验 2-2 热电偶的校验

参照实验 2-1，本实验要求用三级标准镍铬-镍硅热电偶校验一支普通镍铬-镍硅热电偶，给出指定检定点温度的修正值，并估计被检热电偶的基本误差。

实验三 金属的无损检测

一、实验目的

- 1、了解磁粉检测、渗透检测和超声波检测的基本原理。
- 2、初步掌握磁粉检测、渗透检测和超声波检测的操作方法。

二、实验原理

无损检测是指在不损坏试件的前提下，以物理或化学方法为手段，借助先进的技术和设备器材，对试件内部及表面的结构、性质、状态进行检查和测试的方法。

无损检测通常包括磁粉检测、渗透检测、射线检测和超声波检测等。

(一) 磁粉检测

1、磁粉检测原理

自然界有些物体具有吸引铁、钴、镍等物质的特性，我们把这些具有磁性的物体称为磁体。使原来不带磁性的物体变得具有磁性叫磁化，能够被磁化的材料称为磁性材料。

铁磁性材料被磁化后，其内部产生很强的磁感应强度，磁力线密度增大几百倍到几千倍，如果材料中存在不连续性（包括缺陷造成的不连续性和结构、形状、材质等原因造成的不连续性），磁力线会发生畸变，部分磁力线有可能逸出材料表面，从空间穿过，形成漏磁场，漏磁场的局部磁极能够吸引铁磁物质。

图 3-1 看出，试件中裂纹造成的不连续性使磁力线畸变，由于裂纹中空气介质的磁导率远远低于试件的磁导率，使磁力线受阻，一部分磁力线挤到缺陷的底部，一部分穿过裂纹，一部分排挤出工件的表面后再进入工件。如果这时在工件上撒上磁粉，漏磁场就会吸附磁粉，形成与缺陷形状相近的磁粉堆积，我们称其为磁痕，从而显示缺陷。

随着缺陷的埋藏深度增加，溢出工件表面的磁力线将迅速减少。缺陷的埋藏深度越大，漏磁场就越小。因此，磁粉探伤只能检测出铁磁性材料制成的工件表面或近表面的裂纹及其它缺陷，不能用于检查内部缺陷。磁粉检测适宜铁磁材料探伤，不能用于非铁磁材料检验。

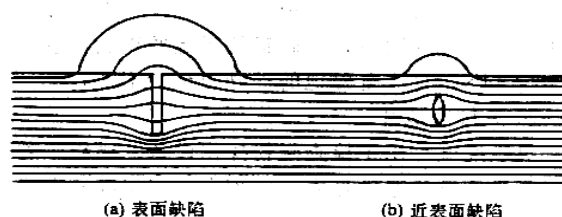


图 3-1 缺陷漏磁场

2、磁粉检测设备器材

2.1 探伤机

常用的磁粉检测设备为便携式探伤机，其特点是体积小、重量轻，适合野外和高空作业，多用于锅炉压力容器焊缝和大型工件局部探伤，最常使用的是电磁轭探伤机。

电磁轭探伤机是一个绕有线圈的 U 型铁芯，当线圈中通过电流、铁芯中便产生大量的磁力线，将轭铁放在工件上，轭铁两极之间的工件局部便被磁化。轭铁两极可做成活动式的，极间距和角度可调。

2.2 磁粉和磁悬液

磁粉是具有高磁导率和低剩磁的四氧化三铁或三氧化二铁粉末。

磁悬液是以水或煤油为分散介质，加入磁粉配成的悬浮液，配制浓度一般为：非荧光磁粉 10 ~ 20g/L，荧光磁粉 1~3g/L。

3、磁粉探伤的一般程序

探伤操作包括以下几个步骤：预处理、磁化和施加磁粉、观察、记录以及后处理（包括退磁）等。

(1) 预处理

把试件表面的油脂、涂料以及铁锈等去掉，以免妨碍磁粉附着在缺陷上。

(2) 磁化

选定适当的磁化方法，然后接通电源，对试件进行磁化操作。

(3) 施加磁粉

磁粉的喷撒时间，有连续法和剩磁法两种施加方式。连续法是在磁化工件的同时喷施磁粉，磁化一直延续到磁粉施加完成为止。而剩磁法则是在磁化工件之后再施加磁粉。

(4) 磁痕的观察与判断

磁痕的观察是在施加磁粉后进行的，在光线明亮的地方，用自然光和灯光进行观察，在磁粉探伤中，肉眼见到的磁粉堆积，简称磁痕。

(5) 后处理

探伤完成后，根据需要，应对工件进行退磁、除去磁粉和防锈处理。

(二) 渗透检测

1、渗透检测原理

如图 3-2 所示，零件表面施涂含有荧光染料或着色染料的渗透液后，在毛细管作用下，经过一定时间，渗透液可以渗进表面开口的缺陷中；经去除零件表面多余的渗透液后；再在零件表面施涂显象剂；同样，在毛细管作用下，显象剂将吸引缺陷中保留的渗透液，渗透液回渗到显象剂中；在一定的光源下（紫外线光或白光），缺陷处的渗透液痕迹被显示（黄绿色荧光或鲜艳红色），从而检测出缺陷的形貌及分布状态。

除了疏松多孔性材料外，任何种类的材料，如钢铁、有色金属、陶瓷和塑料等材料的表面开口缺陷都可以用渗透法进行探伤。此外，渗透检测只能检出表面开口的缺陷，对埋藏缺陷或闭合型的表面缺陷均无法检出。

2、渗透检测操作的基本步骤

(1) 渗透

首先将试件浸渍于渗透液中或者用喷雾器或刷子把渗透液涂在试件表面。如果试件表面有缺陷，渗透液便渗入缺陷中，见图 3-2(a)。

(2) 清洗

待渗透液充分地渗透到缺陷内之后，用水或清洗剂把试件表面的渗透液洗掉，见图 3-2(b) 和 3-2(c)。

(3) 显象

把显象剂喷撒或涂敷在试件表面上，使残留在缺陷中的渗透液吸出，表面上便形成放大的黄绿色荧光或者红色的显示痕迹，见图 3-2(d)。

(4) 观察

荧光渗透液的显示痕迹在紫外线照射下呈黄绿色，着色渗透液的显示痕迹在自然光下呈红色。用肉眼观察就可以发现很细小的缺陷，见图 3-2(e)。

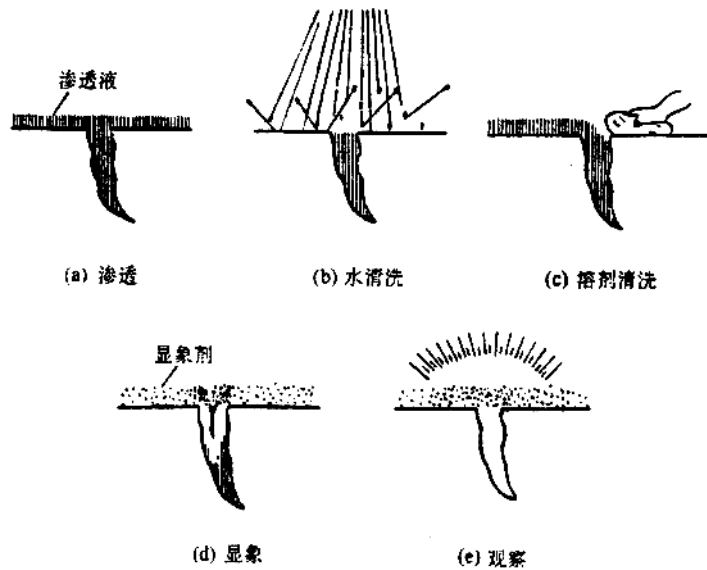


图 3-2 渗透检测的基本操作过程

在渗透探伤中，除上述的基本步骤外，还可能增加另外一些工序，例如，有时为了使渗透容易进行，要进行表面预处理等。渗透探伤的操作步骤如图 3 所示。

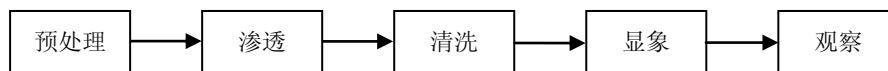


图 3-3 渗透探伤法操作步骤

通常的渗透温度范围为 15~50℃，渗透时间不得少于 10 分钟。另外还应注意，采用溶剂清洗时，只能用蘸有溶剂的布或纸擦拭，且应沿一个方向擦拭，不得往复擦拭，也不得用清洗剂直接冲洗工件表面。

(三) 超声波检测

1、超声波

超声波检测主要用于探测试件的内部缺陷，它的应用十分广泛。所谓超声波是指超过人耳听觉、频率大于 20 千赫兹的声波。用于探伤的超声波，频率为 0.4~25 兆赫兹，其中用得最多的是 1~5 兆赫兹。

2、超声波的发生及其性质

(1) 超声波的发生和接收

声波是一种机械波，超声波是一种高频机械波。超声波探伤用的高频超声波，其声波的发生用的是压电换能器，又叫压电材料，这种材料具有压电效应，可以将电振动转换成机械振动，也能将机械振动转换成电振动。

要使压电材料产生超声波，可把它切成能在一定频率下共振的片子，这种片子叫做晶片，如图 4 所示，将晶片两面都镀上银，作为电极。当高频电压加到这两个电极上时，晶片就在

厚度方向产生伸缩（振动），这样就把电振动转换成机械振动了。这种机械振动发生的超声波，可传播到被检物体中去。

反之，将高频机械振动传到晶片上时，晶片就被振动，在晶片两电极之间就会产生频率与超声波相等、强度与超声波成正比的高频电压，这个高频电压经放大、检波、显示在示波屏上，这就是超声波的接收。

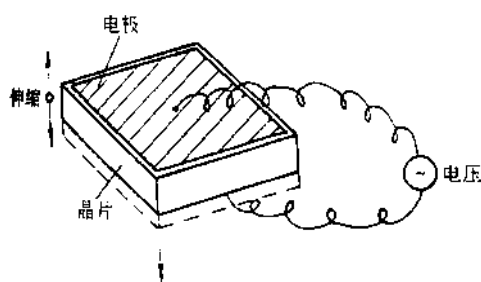


图 3-4 超声波的发生

(2) 超声波的种类

超声波在介质中传播有不同的方式，波型不同，其振动方式不同，传播速度也不同。介质质点振动方向与传播方向一致的波叫做纵波。介质质点振动方向和波传播的方向垂直的波叫横波。

在超声波探伤中，通常用直探头来产生纵波，纵波是向探头接触面相垂直的方向传播的。横波通常是用斜探头来发生的。

(3) 超声场及其特征量

充满超声波的空间叫作超声场，描述超声场的特征量有声压、声强和声阻抗。

超声波探伤根据缺陷返回的超声信号声压和声强的高低来判断缺陷的大小，超声信号的声压越高，示波屏上显示的回波也就越高，据此判断缺陷的“当量”值也就越大。

(4) 分贝

分贝是计量声强和声压的单位。

超声波探伤中，通常是采用比较两个信号的声压值的方法来描述缺陷的大小，分贝值的计算公式为： $\Delta = 20\lg(p_2 / p_1)$ 单位：分贝(dB)

由于超声波信号的示波屏上的波高 H 与声压 P 成正比，所以不同波高的分贝差值的计算公式为： $\Delta = 20\lg(H_2 / H_1)$ 单位：分贝(dB)

3、超声波检测原理

超声波检测目前用得最多的方法是脉冲反射法。脉冲反射法在垂直探伤时用纵波，在斜入射探伤时用横波。把超声波射入被检物的一面，然后在同一面接收从缺陷处反射回来的回波，根据回波情况来判断缺陷。

(1) 垂直探伤法

如图 3-5 所示，当脉冲振荡器产生的电压加到晶片上时，晶片振动，产生超声波脉冲，并以一定的速度在钢工件内传播，超声波碰到缺陷时，一部分从缺陷反射回到晶片，而另一部分未碰到缺陷的超声波继续前进，一直到被检物底面才反射回来。因此，缺陷处反射的超声波先回到晶片，底面反射后回到晶片。回到晶片上的超声波又反过来被转换成高频电压，通过接收、放大，进入示波器，示波器将缺陷回波和底面回波显示在荧光屏上。因此，在示波屏上可以得到图 3-6 的图形，从这个图形上可以看出有没有缺陷、缺陷的位置及其大小。

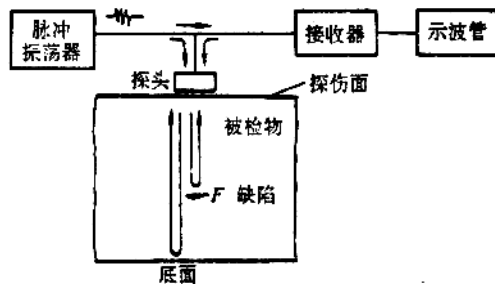


图 3-5 脉冲反射法的原理

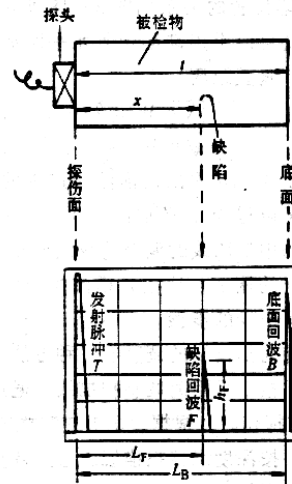


图 3-6 纵波探伤法原理示意图

(2) 斜射探伤法

在斜射法探伤中，由于超声波在被检物中是斜向传播的，超声波斜向射到底面，所以不会有底面回波。因此，不能再用底面回波调节来对缺陷进行定位，要知道缺陷位置，需要用适当的标准试块来把示波屏横坐标调整到适当状态。

在测定范围作了适当调整后，探测到缺陷时，从示波屏上显示的探头到缺陷的距离 W 与缺陷位置的关系如图 7 所示。从以下关系式可以求出缺陷位置的水平距离 x 和缺陷深度（垂直距离） d 。

$$X=W\sin\theta$$

$$d=W\cos\theta$$

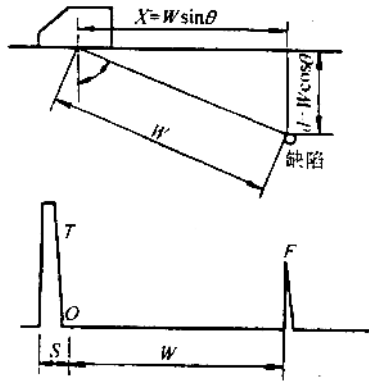


图 3-7 斜射法探伤的几何关系

W —缺陷的声程； X —缺陷的水平距离； d —缺陷的垂直距离； F —缺陷的反射波； T —始波

(3) 试块

在无损检测技术中，通常采用与已知量相比较的方法来确定被检物的状况。

超声波探伤中是以试块作为比较的依据，试块上有各种已知的特征，例如特定的尺寸，规定的人工缺陷某一尺寸的平底孔、横通孔、凹槽等。用试块作为调节仪器、定量缺陷的参考依据，是超声探伤的一个特点。

4、超声波检测基本操作要点

(1) 探伤方法选择。根据工件情况，选定探伤方法，如对焊缝探伤，选择斜探头斜射探伤法，对轴类锻件探伤，选用直探头垂直探伤法。

(2) 探伤面修整。不适于探伤的探伤表面，必须进行适当的修整，以免不平整的探伤面影响探伤灵敏度和探伤结果。

(3) 耦合剂的选择。为使探头发射的超声波传入试件，应使用合适的耦合剂。常用的有机油、水、甘油和化学浆糊。

(4) 确定探伤灵敏度。用适当的标准试块的人工缺陷或试件无缺陷底面调节到一定的波高，以此来确定探伤灵敏度。

(5) 进行粗探伤和精探伤。为了大概了解缺陷的有无和分布状态，以较高的灵敏度进行全面扫查，称为粗探伤。对粗探伤发现的缺陷进行定性、定量、定位，就是精探伤。

三、实验内容

1、对实验室提供的有缺陷的钢板和钢板焊缝，采用磁粉检测法进行检测，确定缺陷位置、尺寸，并进行描绘。

2、对实验室提供的有缺陷的钢板和钢板焊缝，采用渗透检测法进行检测，确定缺陷的位置、尺寸，并进行描绘。

3、对实验室提供的有缺陷的钢板和钢板焊缝，采用超声波检测法进行检测，确定缺陷的位置及尺寸，并对缺陷大小进行评定。

四、实验报告要求

1、写出实验目的，简述实验原理。

2、描绘磁粉检测法的检测结果，并标明缺陷位置及大小。

3、描绘渗透检测法的检测结果，并标明缺陷位置及大小。

4、描绘超声波检测法的检测结果，标明缺陷位置及尺寸，并评定缺陷大小。

实验四 砼的无损检测

一、实验目的

- 1、掌握采用回弹、超声综合方法检测并推断混凝土结构中普通混凝土抗压强度的方法；
- 2、掌握采用超声法判定混凝土中的缺陷情况；
- 3、熟练使用有关仪器（混凝土回弹仪、混凝土超声波检测仪等）；
- 4、熟悉无损检测的有关方法步骤，并对试验测定的数据进行处理，得出混凝土抗压强度以及缺陷情况。

二、试验原理

1、根据实测声速值和回弹值综合推定混凝土强度的方法。采用带波形显示器的低频超声检测仪，并配置频率为 50~100kHz 的换能器，测量混凝土中的超声波声速值，以及采用弹击锤冲击能量为 2.207J 的混凝土回弹仪，测量回弹值。根据混凝土中的声速代表值和回弹仪代表值，通过测强曲线换算或者按全国统一测区混凝土抗压强度换算公式计算得到测区混凝土抗压强度换算值，从而确定混凝土抗压强度推定值。

2、通过采用带波形显示功能的超声波检测仪，测量超声波在混凝土中的传播速度（简称声速）、首波幅度（简称波幅）和接收信号主频率（简称主频）等声学参数，并根据这些参数及其相对变化分析判断混凝土中的缺陷情况。

三、试验仪器

1、混凝土回弹仪

(1) 应符合国家计量检定要求，并通过技术鉴定，必须具有产品合格证和检定证，且应具有中国计量器具制造 CMC 许可标志。

(2) 水平弹击时，在弹击锤脱钩的瞬间，回弹仪弹击锤的冲击能量应为 2.207J。

(3) 弹击锤与弹击杆碰撞的瞬间，弹击拉簧应处于自由状态，检定器上指针滑块刻线应置于“0”处。

(4) 在使用前后，在洛氏硬度 HRC 为 60 ± 2 的钢砧上回弹仪的率定值应为 80 ± 2 。

(5) 使用环境温度为 $-4 \sim 40^\circ\text{C}$ 。

(6) 在新回弹仪启用前、超过检定周期、累计弹击次数超过 6000 次、钢砧率定值不合格以及遭受严重撞击或其他损害的应经过检定单位检定后方可使用并进行常规的保养。

(7) 使用完毕后，应使弹击杆伸出机壳，清除弹击杆、杆前端球面、刻度尺表面和外

壳上的污垢、尘土；不使用时，应将弹击杆压入仪器内，经弹击后用按钮锁住机芯，将回弹仪装入仪器箱，平放在干燥阴凉处。

2、混凝土超声波检测仪

1、应通过技术鉴定，必须具有产品合格证，并在计量检定有效期内使用。

2、具有波形清晰、显示稳定的示波装置，声时最小分度为 $0.1\mu\text{s}$ ，具有最小分度为 1dB 的衰减系统，接收放大器频响范围 $10\sim 500\text{kHz}$ ，总增益不小于 80dB ，接收灵敏度不大于 $50\mu\text{V}$ ，电源电压波动范围在标称值 $\pm 10\%$ 的情况下能正常工作，连续正常工作时间不小于 4h ，使用时环境温度应为 $0\sim 40^\circ\text{C}$ 。

3、钢直尺 $0\sim 500\text{mm}$ ，分度值 1mm 。

4、混凝土构件等

四、试验步骤

(一) 回弹超声综合法检测混凝土强度试验

1、测试前准备工作

应首先了解结构或构件的如混凝土设计强度等级、原材料、浇筑养护情况、成型日期以及检测的原因说明。

测区布置：当按单个构件检测时，应在构件上均匀布置测区，每个构件上测区数量不应少于 10 个；

当对同批构件按批抽样检测时，构件抽样数不应少于同批构件的 30%，且不应少于 10 件；

对某一方向尺寸不大于 4.5m 且另一方向尺寸不大于 0.3m 的构件，其测区数可适当减少，但不应少于 5 个；

测区优先布置在混凝土浇筑方向的侧面，两测区间距不宜大于 2m ，应避开钢筋密集区和预埋件，测区尺寸宜为 $200\text{mm}\times 200\text{mm}$ ，采用平测时宜为 $400\text{mm}\times 400\text{mm}$ ，可用砂轮片清除测试面，使其保持清洁、平整、干燥。

2、进行回弹值的测定

回弹测试时，应始终保持回弹仪的轴线垂直于混凝土测试面，测试有水平方向的侧面、顶面、底面和非水平状态测试等。回弹测定应在构件测区内超声波的发射和接收面个弹击 8 点，每一测点回弹值读至 1 并记录。测点均匀分布，不得布置在气孔或外露石子上，两测点间距不小于 30mm ，距构件边缘或外露钢筋等不小于 50mm ，同一测点只许弹击一次。

3、回弹值的计算

从每个测区的 16 个回弹值中剔除 3 个较大值和 3 个较小值, 取其余 10 个值的算术平均值 R (即测区回弹代表值, 精确至 0.1)。

$$R = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} R_i$$

如果为非水平状态下测得的回弹值, 则应进行修正: $R_a = R + R_{\alpha}$

式中 R_a ——修正后的测区回弹代表值

R_{α} ——测试角度为 α 时的测区回弹修正值

如果为混凝土浇筑的顶面或底面测得的回弹值, 同样进行修正;

如果为非水平状态测定, 且又非混凝土浇筑方向的侧面, 则需先进行角度修正, 再进行顶面或底面的修正。

4、超声测试及声速值的计算

在回弹测试的同一测区内, 每一测区布置 3 个测点, 优先采用对测或角测, 当被测构件不具备对测或角测条件时, 可采用单面平测。

超声测试时, 换能器辐射面应通过耦合剂与混凝土测试面良好耦合。

记录声时, 并测量超声测距。

声时测量应精确至 $0.1\mu s$, 超声测距测量应精确至 1.0mm, 声速计算精确至 0.01km/s。

如果在混凝土浇筑方向的侧面对测时, 测区混凝土中声速代表值应根据测区中 3 个测点的混凝土中声速值按下列公式计算:

$$v = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0}$$

式中 v ——测区混凝土中声速代表值 (km/s)

l_i ——分别为第 i 个测点的超声测距

t_i ——第 i 个测点的声时读数 (μs)

t_0 ——声时初读数 (μs)

如果在混凝土浇筑的顶面或底面测试时, 测区声速代表值应按下列公式修正:

$$v_a = \beta \cdot v$$

式中 v_a ——修正后的测区混凝土中声速代表值 (km/s)

β ——超声测试面的声速修正系数, 其中在混凝土浇筑的顶面和底面对测时取值为 1.034。

如果在混凝土浇筑方向的侧面角测时, 测距 $l_i = \sqrt{l_{1i}^2 + l_{2i}^2}$

5、结构混凝土强度的推定

结构或构件中第 i 个测区的混凝土抗压强度换算值, 可按计算及修正后的测区回弹代表值 R_{ai} 和声速代表值 v_{ai} , 优先采用专用测强曲线或地区测强曲线换算而得; 若无专用和地区测强曲线时, 可通过验证按全国统一测区混凝土抗压强度换算表换算; 也可按下列全国统一测区混凝土抗压强度换算公式计算:

(1) 当粗骨料为卵石时

$$f_{cu,i}^c = 0.0056v_{ai}^{1.439} R_{ai}^{1.769}$$

(2) 当粗骨料为碎石时

$$f_{cu,i}^c = 0.0162v_{ai}^{1.656} R_{ai}^{1.410}$$

式中 $f_{cu,i}^c$ ——结构或构件第 i 个测区混凝土抗压强度换算值 (MPa), 精确至 0.1MPa。

(1) 当结构或构件的测区数不少于 10 个时, 个测区混凝土抗压强度换算值的平均值和标准差按下列公式计算:

$$m_{f_{cu}}^c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c$$
$$s_{f_{cu}}^c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}}^c)^2}{n-1}}$$

式中 $f_{cu,i}^c$ ——结构或构件第 i 个测区混凝土抗压强度换算值 (MPa)

$m_{f_{cu}}^c$ ——结构或构件测区混凝土抗压强度换算值的平均值 (MPa), 精确至 0.1 MPa

$s_{f_{cu}}^c$ ——结构或构件测区混凝土抗压强度换算值的标准差 (MPa), 精确至 0.01 MPa

n ——测区数。

(2) 结构或构件混凝土抗压强度推定值 $f_{cu,e}$ 按下列规定确定:

a、当结构或构件的测区抗压强度换算值中出现小于 10.0MPa 的值时, 该构件的混凝土抗压强度推定值 $f_{cu,e}$ 取小于 10MPa。

b、当结构或构件中测区少于 10 个时:

$$f_{cu,e} = f_{cu,\min}^c$$

式中 $f_{cu,\min}^c$ ——结构或构件最小的测区混凝土抗压强度换算值 (MPa), 精确至 0.1MPa

c、当结构或构件中测区数不少于 10 个或按批量检测时:

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - 1.645s_{f_{cu}^c}$$

d、对于按批量检测的构件, 当一批构件的测区混凝土抗压强度标准差出现下列情况之一时, 该批构件应全部按单个构件进行强度推定:

- Ⓐ 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}^c} < 25.0\text{MPa}$, 标准差 $S_{f_{cu}^c} > 4.50\text{MPa}$;
- Ⓑ 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}^c} = 25.0 \sim 50.0\text{MPa}$, 标准差 $S_{f_{cu}^c} > 5.50\text{MPa}$;
- Ⓒ 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}^c} > 50.0\text{MPa}$, 标准差 $S_{f_{cu}^c} > 6.50\text{MPa}$ 。

(二) 超声法检测混凝土裂缝深度试验

1、测量方法分类: 通常有单面平测法、双面斜测法、钻孔对测法等, 本次试验只介绍单面平测法。

2、单面平测法测定裂缝深度

当结构的裂缝部位只有一个可测表面, 估计裂缝深度又不大于 500mm 时, 采用单面平测法。在裂缝的被测部位, 以不同的测距按跨缝和不跨缝布置测点进行测定。

3、检测前, 根据测距大小和混凝土外观质量情况, 将仪器的发射电压、采样频率等参数设置在某一挡并保持不变, 换能器与混凝土测试表面应始终保持良好的耦合状态。

4、声学参数自动测读: 停止采样后, 即可自动读取声时、波幅、主频值。

①、不跨缝的声时测量 将 T 和 R 换能器置于裂缝附近同侧, 以两个换能器内边缘间距 l' 等于 100、150、200、250 …… 分别读取声时值 t_i , 绘制“时—距”坐标图, 或用回归分析的方法求出声时与测距之间的回归直线方程:

$$l_i = a + bt_i$$

每测点超声波实际传播距离 l_i 为: $l_i = l' + |a|$

式中 l_i ——第 i 点的超声波实际传播距离(mm)

l' ——第 i 点 R、T 换能器内边缘间距(mm)

a ——“时—距”图中 l_i 轴的截距或回归直线方程的常数项 (mm)。

不跨缝平测的混凝土声速值为： $v = (l'_n - l'_1) / (t_n - t_1)$ (km/s) 或 $v = b$ (km/s)

式中 l'_n 、 l'_1 ——第 n 点和第 1 点的测距；

t_n 、 t_1 ——第 n 点和第 1 点读取的声时值 (μ s)。

b ——回归系数

② 跨缝的声时测量 将 T 和 R 换能器分别置于以裂缝为对称的两侧， l' 等于 100、150、200、250 …… 分别读取声时值 t_i^0 。

③ 平测法测定裂缝深度按下式计算：

$$h_{ci} = l_i / 2 \cdot \sqrt{(t_i^0 v / l_i)^2 - 1}$$
$$m_{hc} = 1 / n \cdot \sum_{i=1}^n h_{ci}$$

式中 h_{ci} ——第 i 点计算的跨缝深度值 (mm)；

t_i^0 ——第 i 点跨缝平测的声时值 (μ s)；

m_{hc} ——各测点计算裂缝深度的平均值 (mm)；

n ——测点数。

5、裂缝深度的确定方法：

(1) 跨缝测量中，当在某测距发现首波反相时，可用该测距及两个相邻测距的测量值计算 h_{ci} 值，取此三点 h_{ci} 的平均值作为该裂缝的深度值 (h_c)；

(2) 跨缝测量中如难于发现首波反相，则以不同的测距分别计算 h_{ci} 和 m_{hc} 。将各测距 l' 与 m_{hc} 相比较，凡测距 l' 小于 m_{hc} 和大于 $3 m_{hc}$ ，应剔除该组数据，然后取余下 h_{ci} 的平均值，作为该裂缝的深度值。

五、试验报告要求

- 1、试验报告应独立完成，书写工整、清晰；
- 2、试验报告应明确试验目的，原理；
- 3、应有具体的试验步骤和完整的计算过程以及数据的结果处理；
- 4、注明试验日期和试验人姓名及学号。

六、参考资料

- 1、中国工程建设标准化协会标准. 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程.CECS02: 2005 北京：中国计划出版社，2005.
- 2、中国工程建设标准化协会标准. 超声法检测混凝土缺陷技术规程 CECS21：2000 北京

附表 4-1 超声回弹综合法检测记录表

工程名称 _____ 构件名称 _____

设 备：回弹仪 _____；率定值 _____；超声仪 _____；

换能器 _____ kHz； t_0 _____；环境温度 _____ °C；

回弹测试面 _____；测试角度 _____；

超声测试方式：对测（侧、顶、底）；平测（侧、顶、底）；角测 _____

构件 编号	测 区	测点回弹值 R_i								测区回弹 代表值 R	测点测距 l_i /声时 t_i			测区声速代 表值 v (km/s)
		1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	
	1													
	2													
	3													
	4													
	5													
6														
7														
8														
9														
10														

复核： _____ 计算： _____ 记录： _____ 测试日期： _____ 年 _____ 月 _____ 日

附表 4-2 结构混凝土抗压强度计算表

计算项目		测 区									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
回弹值	测区代表值										
	角度修正值										
	角度修正后										
	浇筑面修正值										
	浇筑面修正后										
声速值 (km/s)	测区代表值										
	修正系数 β										
	修正后的值										
强度修正系数 η											
测区强度换算值 (MPa)											
强度推定值 (MPa) n=											
使用的测区强度换算表		规程, 地区, 专用									

复核:

计算:

计算日期:

年

月

日

附表 4-3 裂缝深度记录计算表

计算项目		两个换能器内边缘间距 l' (mm)							
		100	150	200	250	300	350	400	450
不跨缝的声时测量	声时值 t_i								
	绘制“时—距”坐标图或回归直线方程系数	a =				b = v =			
	第 i 点的超声波实际传播距离 l_i (mm)								
跨缝的声时测量	声时值 t_i^0								
	第 i 点计算的裂缝深度值 h_{ci} (mm)								
	各测点计算裂缝深度的平均值 m_{hc} (mm)								
裂缝深度值									

复核:

计算:

计算日期:

年

月

日

实验五 材料的弹性模量和泊松比

一、试验目的与原理

1、采用电阻应变法测试水泥、砂浆、混凝土等材料的抗压弹性模量和泊松比，学习电阻应变仪的操作方法和材料变形性能的测试方法。

2、材料的弹性模量和泊松比

材料在弹性范围内受力时其应力与应变的比值称为弹性模量，弹性模量是材料的重要力学性能，用 E 表示，即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

材料在受拉伸或压缩时，不仅沿纵向发生纵向变形，在横向也会同时发生缩短或增大的横向变形。由材料力学知，在弹性变形范围内，横向应变 ε_x 和纵向应变 ε_y 成正比关系，这一比值称为材料的泊松比，一般以 μ 表示，即

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \right|$$

试验时，如同时测出纵向应变和横向应变，则可由上式计算出泊松比 μ 。

二、主要仪器设备及辅助材料

- 1、YJ-35 型静态电阻应变仪；
- 2、WEW31000 微机屏显万能试验机；
- 3、TYA-2000 型电液式压力试验机；
- 4、QJ24A 型便携式直流单臂电桥；
- 5、电阻应变片、502 胶水、防潮涂层等。

三、试验步骤

1、试验准备

1.1 试件制备 按标准方法制作砂浆试件（40*40*160mm）或混凝土试件（100*100*300mm），每组 6 块，养护 28d。

1.2 试件表面处理 按半桥接线测试砧和泊松比，每组 5 片，用直流电桥测试应变片的电阻值，要求各片相差不大于 0.5Ω 。

(1) 表面清理：用锉刀、砂纸除去贴片处试件表面和孔眼表层的浮浆和污物，再用刷子刷去碎屑和粉尘，用丙酮或酒精揩洗，除去油污，烘干表面。

(2) 表面填补：试件表面如有较大的凹坑和孔眼，则应用环氧树脂砂浆或较高标号的水

泥砂浆填补平整。

(3) 表面磨平：待填补材料凝结硬化后，用铁砂布将试件表面研磨平整，再用丙酮或酒精揩洗干净。

(4) 涂刷防水底层：清洗后表面先吹干或烘干，在试件体两侧画纵横中心线，找出中心点，再涂刷防水底层，一般用环氧树脂或 AB 胶，厚度为 0.1~0.2mm。

1.3 应变片的选择

选择合宜的应变片标距，砂浆、石子最大粒径小于 2cm 的混凝土可用 4~5cm 标距的应变片，对于石子最大粒径为 2~4cm 的混凝土，可选用标距为最大粒径为 2 倍以上的应变片。按半桥接线测试混凝土的弹性模量和泊松比每组 5 片，用直流电桥测试应变片的电阻值，要求各片的相差不超过 0.5Ω。

2、贴片与接线

2.1 贴片

在应变片背面滴上 502 胶水，将其刮匀稍等，然后放下尾部，使应变片中心线准确地落在测点试件中心线上（应变片粘结位置见图 5-1），盖上玻璃纸或者聚乙烯薄膜，用手指从一端往另一端依次按压，不得平移，挤出多余的胶水和气泡，使其紧贴试件，揭下玻璃纸。

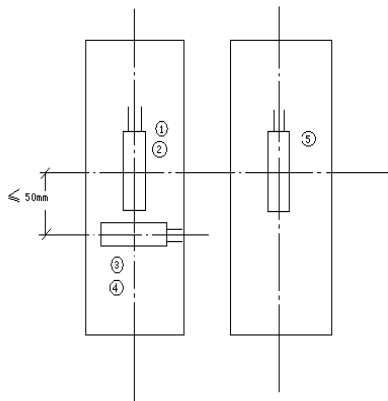


图 5-1 试件贴片位置

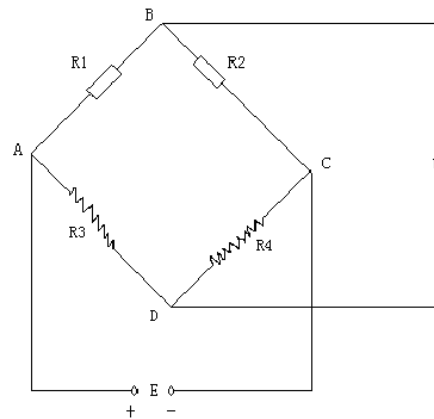


图 5-2 半桥接线图

①、②为纵向测量片；③、④为横向测量片；⑤为温度补偿片；

2.2 绝缘性检查

用万用表测量试件与应变片引出丝间的绝缘电阻，室内一般应变测量的绝缘电阻应大于 20MΩ。

2.3 焊接导线

绝缘性检查满足要求后，粘贴接线柱，将应变片引线缠绕并焊接在接线柱上；焊接导线，导线应采用磁屏蔽线。导线两端编好号，检查导线是否相通。然后将导线多股铜线扭成一股，焊接于已粘贴在应变片引线处的接线柱上。接线柱不宜过长，以免短路，焊接点无假焊，不形成疙瘩状，焊接完毕，再用万能表检查一遍通路。

2.4 静态电阻应变仪的使用

采用 YJ-35 型静态电阻应变仪，采用半桥电路图如图 5-2，R1、R2 为应变片，R3、R4 为应变仪中固定电阻，R1 为受力片，R2 为温度补偿片。将应变片按图 5-2 接好。

3、YJ-35 电阻应变仪调试操作步骤：

3.1 先将 10 个测量点 ABCD 用导线串好，并用半桥接上标准电阻，

3.2 接通电源

3.3 设定操作

n1—灵敏系数 为 1.000~9.999 之间的任意值，默认值为 2.000

n2—起始通道指的是需要自动测量的起始通道，默认值为 00

n3—终止通道需要自动测量的终止通道，默认值为 99 通道

n4—显示亮度 LED 上显示的亮度，0~9 之间的任意值

n5—桥路方式 电桥工作方式 有 (2) 1/4 桥 (1) 半桥 (0) 全桥

n6—通讯方式 指仪器与上机位之间是否允许通讯 (0) 不允许 (1) 允许

F8—密码，是为了标定值的安全而设的

F9—标定系数

3.4 调零 按调零键，仪器自动调零

3.5 测量 测量方式分为手动测量、自动测量、联机测量三种，本试验采用手动测量。

4、砂浆或者混凝土抗压弹性模量泊松比的测试

4.1 测试三个试件的轴心抗压荷载 P_a ，取其平均值。如有一个测试值与中间值之差超过中间值的 15%，则取中间值作为平均值。确定控制荷载 P ，如为砂浆则取 $P=0.4 P_a$ ；如为混凝土则取 $P=1/3 P_a$ 。

4.2 另三个试件测量弹性模量，测试时以与抗压强度相同的加荷速度均匀加压至 P ，然后以同样的速度卸荷至零，反复三次进行加荷和卸荷，在预压过程中观察仪器工作是否正

常，调整试件位置，使其对中，直至试件两侧变形相近（变形差不超过 20%）。

4.3 第三次加荷至初始荷载 P_0 0.3MPa（砂浆）或者 0.5MPa（混凝土）时，保持 90s，在后 30s 读左右两侧初始应变（ ε_{01} ε_{02} ），加荷至 P ，持荷 90s，在后 30s 同样读取荷载两侧的应变（ ε_{n1} ε_{n2} ）。同样反复卸荷加荷直至两侧应变之不大于 $20 \mu\varepsilon$ 时，取最终的 ε_{01} ε_{02} ε_{n1} ε_{n2} 。4.4 用上述同样的方法测试砂浆或混凝土的横向应变 ε'_0 、 ε'_n 。

四、试验结果计算

1、弹性模量计算

$$E = \left(\frac{P - P_0}{A} \right) / (\varepsilon_n - \varepsilon_0)$$

式中 P —控制荷载 N （如为砂浆则取 $P=0.4 P_a$ ；如为混凝土则取 $P=1/3 P_a$ ）；

P_0 —初始荷载 N （0.3MPa（砂浆）或者 0.5MPa（混凝土）时的荷载）；

A —受荷面积 mm^2 ；

ε_n —最后一次控制荷载 P 下的应变读数，取两侧纵向应变读数的平均值， 10^{-6} ；

ε_0 —最后一次初始荷载 P_0 下的应变读数，取两侧纵向应变读数的平均值， 10^{-6}

2、计算泊松比

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'_n - \varepsilon'_0}{\varepsilon_n - \varepsilon_0} \right|$$

ε'_n —最后一次控制荷载 P 下的应变读数，取两侧横向应变读数的平均值， 10^{-6}

ε'_0 —最后一次初始荷载 P_0 下的应变读数，取两侧横向应变读数的平均值， 10^{-6}

弹性模量与泊松比的试验报告实验

成绩： _____

1、试验目的：

2、试验记录及结果：

(1) 仪器设备名称

(2) 棱柱体轴心抗压强度测试记录

试件编号	受荷面积 (mm ²)	破坏荷载 (kN)	棱柱体轴心抗压强度 (MPa)	
			测试值	平均值

(3) 弹性模量和泊松比测试原始记录

试件编号	受荷面积 (mm ²)	初始荷载 P ₀ (kN)	控制荷载 P (kN)	P-P ₀	应变片编号	应变 (μ ϵ)		
						ϵ_0	ϵ_n	$\epsilon_n - \epsilon_0$
1					①			
					②			
					③			
					④			
2					①			
					②			
					③			
					④			
3					①			
					②			
					③			
					④			

(4) 抗压弹性模量与泊松比试验结果

试件编号	加荷应力 (MPa)	横向应变 ($\mu\varepsilon$)	纵向应变 ($\mu\varepsilon$)	弹性模量 (GPa)	泊松比 μ

3、结论与分析

试 验 者：_____

指导老师：_____

日 期：_____

实验六 材料的粒度分析

一、实验目的

- 1、使用激光粒度分析仪测量颗粒群的散射谱，经计算机进行数据处理来分析颗粒粒度分布。
- 2、了解对材料颗粒粒度分布的测试和分析方法。

二、仪器设备

Winner2000 型激光粒度分析仪

三、工作原理

激光粒度分析法

通过测量颗粒群的散射谱，来分析其粒度分布。可对水泥、石油化工、陶瓷粉末、染料、煤粉、研磨料、金属粉、泥沙、矿石粉等进行粒度分析。

Winner 型激光粒度分析仪由主机和计算机两部分组成：主机内含有光学系统、样品分散及循环系统、信号采集处理系统；计算机完成数据处理并显示、打印测试结果。

主机与计算机由标准串行通讯口连接。来自 He-Ne 激光器的激光束经扩束、滤波、汇聚后照射到测量区，测量区中的待测颗粒群在激光的照射下产生散射谱。散射谱的强度及其空间分布与被测颗粒群的粒径大小及分布有关，并被位于傅立叶透镜后焦面上的光电探测器阵列所接收，转换成电信号后经放大和 A/D 转换经通讯口送入计算机，进行反演运算和数据处理后，即可给出被测颗粒群的大小、分布等参数，经屏幕显示或打印机打印输出。

四、试验内容

(一)、激光粒度分析试验

1、准备工作

- (1) 开启激光粒度分析仪，预热 10~15 分钟。
- (2) 清洗样品制备系统。用与被测样品相匹配的分散介质代替蒸馏水充满样品池，按压粒度仪操作面板上的“循环”按钮，启动循环泵，循环冲洗 10~15 秒后，按压“排水”按钮，将液体从排水管放出，反复多次。
- (3) 启动计算机，并运行专家系统激光粒度分析专家系统。
- (4) 单击“查看”菜单中的“系统选项”。

- (5) 在打开的“系统选项”对话框中单击“通讯”选项卡，选择正确的机型（Winner2000）及端口（COM1），然后单击“确定”关闭对话框。
- (6) 单击“测试”菜单中“数据模板”。
- (7) 在打开的“数据模板”对话框中单击“测试信息”选项卡，选择正确的量程并填写其它与测试信息。
- (8) 单击“样品信息”选项卡，填写被测样品的相关信息。
- (9) 单击“确定”按钮，关闭“数据模板”对话框。
- (10) 单击“文件”菜单中的“新建”，创建一个新文件夹；或者单击“文件”菜单中的“打开”，系统将弹出“打开”对话框，输入或选择一个扩展名为“.jld”的文件，然后单击“打开”按钮，从而打开一个已存在的文件。

2、测试工作

- (1) 单击“测试”菜单中的“连接”，使系统进入联机状态。
 - (2) 将分散介质充满样品制备系统，反复开关循环泵以排出气泡。
 - (3) 单击“测试”菜单中的“背景测量”。
 - (4) 系统将显示“背景视图”。（若背景中第一级为零，可关掉粒度仪，再重新打开即可）
 - (5) 背景测量累计 10 次后，单击“测试”菜单中的“联机测试”，系统将显示“测试视图”。
 - (6) 在样品池中加入适量被测样品，擦净样品池边积液，放下搅拌器，搅拌器将自动工作，这时可使用粒度仪操作面板上的“搅拌速度”旋钮调节搅拌速度，并使用“超声时间”旋钮选择合适的超声时间，然后按压“超声开”按钮启动超声器，使样品在分散介质中充分分散。
 - (7) 超声结束后，按下粒度仪操作面板上的“循环”按钮。
 - (8) 测试结果将动态的反映到“测试视图”中，观察视图中的能谱曲线与浓度计，如果浓度过低可向样品池中增加适量的样品，或者放弃本次测试，并重新制作样品溶液以重新进行测试。
 - (9) 当能谱稳定后，可按照以下两种方法保存测试结果：
 - a) 单击“测试”菜单中的“存储”或者直接按 F8 键，将把当前测试结果存入当前记录列表中。
 - b) 单击“测试”菜单中“自动存储”或直接按 F7 键。
- 系统将弹出对话框询问间隔时间，输入以秒为单位的时间间隔后（一般在 2~60 秒之间），单击“确定”关闭对话框。设置完毕，系统将按以设置的时间间隔自动保存测试结果。如果再次单击“测试”中“自动存储”或按 F7 键该功能将被取消。

(10) 测试工作结束后，请单击“查看”菜单中的“关闭视图”。

(11) 单击“测试”菜单中的“断开”，与粒度仪脱机。

3、数据处理

(1) 浏览记录列表中的记录，将不符合要求的记录删除。

(2) 生成一个平均结果：选中参加平均的记录，单击“分析”菜单中的“平均”，系统将弹出对话框询问是否生成一条新纪录，选“是”。

(3) 打印“粒度分析报告”：

选中要打印的一条记录。单击“分析”菜单中的“分析当前记录”或者双击该记录，系统将显示“分析视图”。单击“文件”菜单中的“打印”，对弹出的“打印设置”进行设置后单击“确定”打印（必须使用 A4 纸）。

(4) 单击“文件”菜单中的“保存”或“另存为”将当前记录列表保存至文件。

(5) 关闭 Winner2000 激光粒度分析仪专家系统（试验结束）。