

工程项目设计实例 1

—利用铂热电阻测控电烘箱温度

一、课题要求和主要性能指标：

小型电源变压器真空浸漆的必要性：

什么是真空浸漆：把待浸工件放在一个密闭的容器中抽真空，然后通过压差法把浸渍液注入其中，再施加一定的压力使浸渍液彻底地浸透工件的缝隙。

目的：把绕组间的可能的空气尽量排除，用绝缘漆填满气隙，提高耐压和绝缘电阻，并固定绕组减少磁通变化造成的绕组机械振动和滋滋声。

解释热风循环烘箱

电烘箱使用隔爆型温度传感器，并自动测量、控制电烘箱的温度。

技术指标：

1. 电烘箱电源：三相 380V，额定功率为 10kW。
2. 数字温度表：显示温度范围为 0~199.9℃，准确度优于 1%，

课堂提问：数显表的分辨力为多少？最大绝对误差为多少？分辨力的数值

$$\Delta_m = 199.9^\circ\text{C} \times 1\% \approx 2.0^\circ\text{C}$$

3. 烘干温度 100~130℃。温度传感器的输出信号作 A/D 转换后，送单片机作运算处理；

4. 单片机根据用户设定的温度上限值控制电烘箱的温度。温度控制误差为±3℃。



二、设计方案及步骤

什么是工程设计：

设计是人类的一种重要创造活动，现代设计是把各种技术成果转化为生产力的一种手段和方法。具体地说，设计是针对预定的目标经过一系列的规划、分析和决策，产生相应的文字、数据、图形等信息的过程。如服装设计、建筑设计、机械设计、电气设计等。设计之后的成果通过实践或实施转化为某项工程或产品。

什么是工程设计过程：

工程设计过程是对工程系统提出“如何去做”的研究与设计过程,也可称为系统综合。它包括设计师对硬件、软件和系统接口的设计综合，以及对试验工程和生产制造工程的设计综合。这一过程的目标是保证能够按照工程总要求或研制任务书的要求进行，必须综合设计

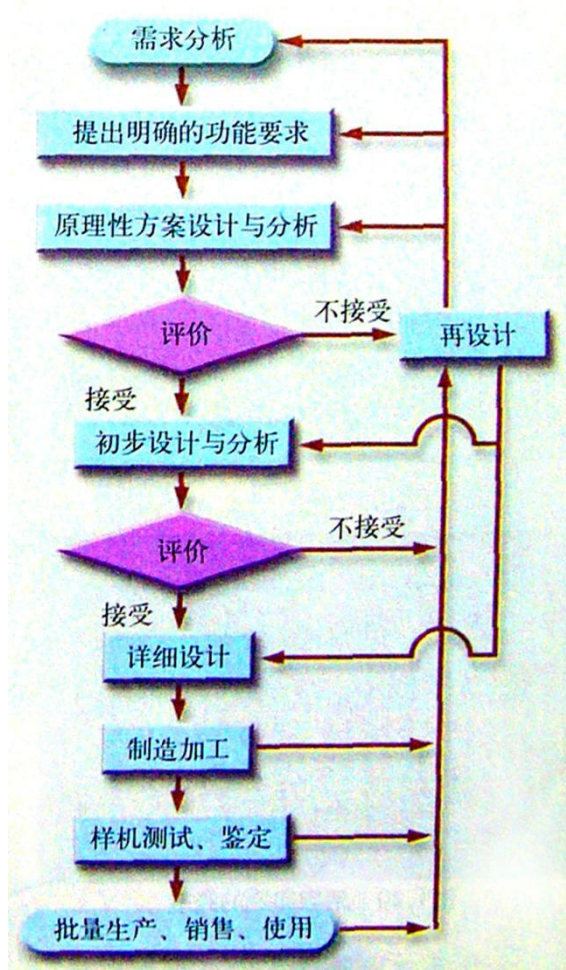
队伍中各门类专业专家的工作成果，使整个系统达到设计指标，并在可靠性、稳定性、抗干扰等方面达到国家标准。

系统工程的综合过程，依靠具有不同知识结构和工程背景的工程系统工程师、传统工程师、系统分析工程师、专门工程专业工程师、结构集成设计师、试验工程师、生产制造工程师、计算机辅助设计工程师和技术支持工程师组成的团队进行益优化，保障合理、均衡的工程设计。

必须更多地依靠熟悉传统工程设计的工程师，如结构、电器、动力、无线电等专业的设计师，以及结构集成设计师，在工程研制阶段后期和生产阶段、生产、试验和综合技术保障工程师成为重要的设计力量。

设计者拿到工程项目后，首先必须仔细研究系统的技术指标。然后进行方案选择。

设计是一个“设计——评价——再设计”的反复迭代、不断优化的过程，如图所示。诸多的问题可能是矛盾的，设计实际上也是一个折中的过程。



1. 温度传感器的选择

(1) 水银温度计；(2) 铂热电阻：有铠装式、装配式、隔爆式等。

隔爆热电阻：在化工厂和其他生产现场，常伴随有各种易燃、易爆等化学气体、蒸气等。在本项目中，绝缘漆蒸气属于可燃性气体，如果使用普通的装配型铂电阻较不安全，有可能引发爆炸。因此，在这些场合必须使用隔爆热电阻。

隔爆式热电阻与装配式热电阻的主要区别：隔爆式产品的接线盒（外壳）在设计上采用防爆特殊结构，用高强度铝合金压铸而成，并具有足够的内部空间、壁厚和机械强度，橡胶密封圈的热稳定性等均符合国家防爆标准。当接线盒内部的爆炸性混合气体发生爆炸时，其内压不会破坏接线盒，由此产生的热能也不能向外扩散（传爆）。



防爆标志：

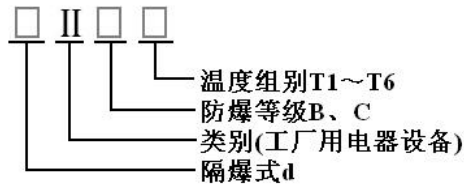


图 2-36 隔爆型热电阻的防爆标志表示方法

电气设备分为两类：I类：煤矿井下用电气设备；II类：工厂用电气设备。隔爆热电阻的防爆等级按其适用于爆炸性气体混合物最大安全间隙分为A、B、C三级。隔爆热电阻的温度组别按其外露部分最高表面温度分为T1~T6六组，对应的温度如表 2-4 所示。

表 2-4 隔爆热电阻的温度组别

温度组别	允许最高表面温度/°C
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

结论：d II BT2 型 Pt100 隔爆型热电阻可作为本项目的测温传感器。

2. 测量桥路设计方案的选择

方案一：二线制电桥测量电路的缺点：

- (1) 引线的电阻将使原来已调好平衡的电桥失去了平衡，需重新调零。
- (2) 在测量过程中，气温升高时，引线电缆受环境温度影响，铜质电缆线的电阻与热电阻一样，阻值也会升高，叠加在 R_t 的变化上，引起测量误差，且无法纠正。

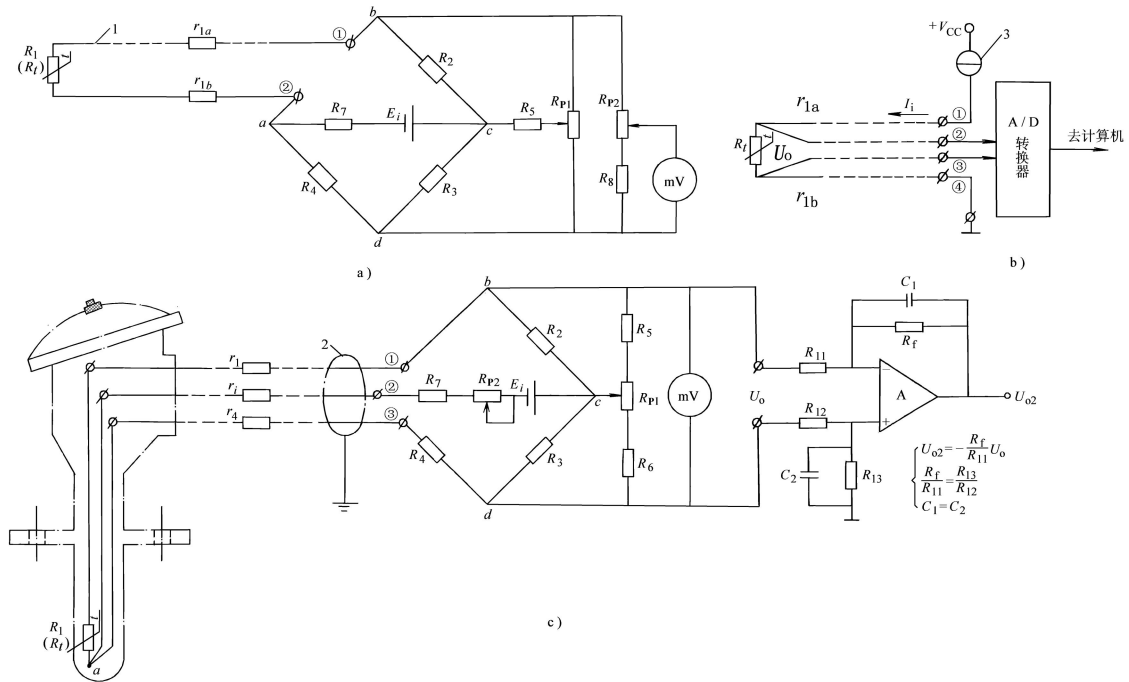


图 2-37 热电阻测量的转换电路

a) 二线制单臂电桥测量电路 b) 四线制恒流源测量电路 c) 三线制单臂电桥测量电路

1—连接电缆 2—屏蔽层 3—恒流源 R_{P1} —调零电位器 R_{P2} —调满度电位器

方案二：四线制恒流测量电路

由于输出电压是直接由 R_t 两端引出的，所以激励电流 I_t 在 r_{1a} 、 r_{1b} 上的压降就不被包括到 U_o 中，因此可以克服引线电阻的影响。

四线制测量电路的缺点是：A/D 转换器得到的电压中，本底电压 U_{o0} 所占比例较大，而反映温度变化的 ΔU_o 相对较小，降低了系统的分辨力。

方案三：三线制电桥测量电路

热电阻 R_t 用三根导线①、②、③引至测温电桥。其中两根引线的内阻 (r_1 、 r_4) 分别串入测量电桥相邻两臂的 R_1 、 R_4 上，引线的长度变化不影响电桥的平衡，所以可以避免因连接导线电阻受环境影响而引起的测量误差。 r_1 与激励源 E_t 串联，不影响电桥的平衡，可通过调节 R_{P2} 来微调电桥的满量程输出电压。

三芯屏蔽线：为了减小环境电、磁场的干扰，最好采用三芯屏蔽线，并将屏蔽线的金属网状屏蔽层接大地。

结论：三线制电桥测量电路的稳定性较好，灵敏度较高，所以我们采用第三个方案。

3. 电桥的调零电路设计

为了尽量减小误差，提高灵敏度，我们取 $R_2=R_3=R_4$ 等于 R_1 的初始值 (100Ω)。由于元件的误差等原因，安装完成的电桥仍存在微小的不平衡，因此必须在电桥中加入一个调零电位器。本案例采用并联调零法。

RP_1 的阻值：应大于桥臂电阻的 50 倍以上 (例如 $10k\Omega$)，以免影响电桥的线性度和灵敏度。

4. 放大电路的设计

减法差动放大电路：只对 b 、 d 两点的输入电压之差 $U_{o1}=U_d-U_b$ 才有放大作用，叠加在 U_d 、 U_b 上的对地共模电压将自动抵消，基本不会在放大器的输出电压 U_{o2} 中反映出来。

放大倍数： $K=R_f/R_{11}$ 。

共模信号：施加到放大器输入端的、大小相等相位相反的干扰信号。

选择低温漂运算放大器 OP-07，它的共模抑制比可达 80dB 以上。

低通滤波电容： C_f 、 C_2 应严格配对

C_f 、 C_2 容量对电路的影响：数值越大，对交流的滤波效果越好，但放大器的响应速度就越慢。

上升时间计算： $t=R_f \times C_f$ 。若 R_f 取 $200k\Omega$ ， C_f $0.1\mu F$ ，则放大器的上升时间约为 200ms，可较好地 50Hz (20ms) 的串模干扰。

5. 放大器四个电阻阻值的计算

$K=R_f/R_{11}$ 。当 $t=100^\circ C$ 时， $U_{o1}=0.45V$ ，希望放大器的输出 $U_{o2}=1.00V$ ，则要求 $K=R_f/R_{11}$ 必须为

R_f 的取值：由于运算放大器的负载电流为毫安级，所以 R_f 的取值一般应大于 $10k\Omega$ 。但考虑到非理想运放的输入失调电流和失调电压以及输入偏置电流均不为零，所以 R_f 也不应超过 $1M\Omega$ 。

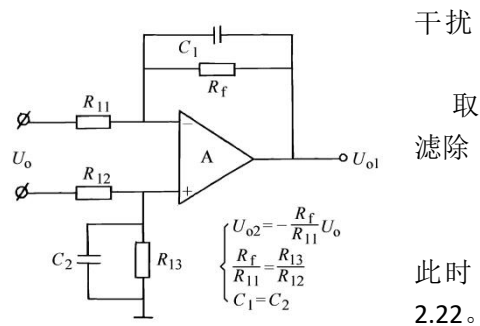
在本设计中，还考虑到必须滤除 50Hz 的干扰，所以有 $R_f \cdot C_f \geq 10T_{50Hz} = 200ms$ 。当 C_f 取 $0.47\mu F$ 时， R_f 和 R_{13} 可取整数值 $510k\Omega$ ，则 R_{11} 和 R_{12} 的理论值为 $230k\Omega$ ，取标称值 $220k\Omega$ 。此时放大器的增益与理论设计值略有偏差，可以依靠改变 RP_2 的阻值 (约 100Ω) 来进行微调。

电阻的标称值：

电阻和电容标称规格及应用

E 数列电阻元件的规格

电阻器、电容器标称值系列通常采用 E 系列。E 系列是一种由几何级数构成的数列。源自 Electricity



的第一个字母，它是以 $6\sqrt{10}=1.5$ 、 $12\sqrt{10}=1.2$ 、 $24\sqrt{10}=1.1$ 为公比的几何级数，分别称为E6系列、E12系列和E24系列。

E6系列适用于允差 $\pm 20\%$ 的电阻和电容器数值；

E12系列适用于允差 $\pm 10\%$ 的电阻和电容器数值；

E24系列适用于允差 $\pm 5\%$ 的电阻和电容器数值。

E6系列、E12系列、E24系列在大于等于1，小于10的范围内：

E6系列则是在相同的范围内，确定了6个值；

E12系列则是在相同的范围内，确定了12个值；

E24系列是按照几何级数，确定了24个值。

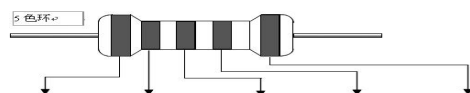
E系列标称值选取示意图

E24 1.0、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.3、3.6、3.9、4.3、4.7、5.1、5.6、6.2、6.8 7.5、8.2、9.1；

E12 1.0、1.2、1.5、1.8、2.2、2.7、3.3、3.9、4.7、5.6、6.8、8.2；

E6 1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8（也是电容器的规格）

电阻色环



颜色	第 1 位数字	第 2 位数字	第 3 位数字	倍率	允许偏差
黑	0	0	0	100	—
棕	1	1	1	101	$\pm 1\%$
红	2	2	2	102	$\pm 2\%$
橙	3	3	3	103	—
黄	4	4	4	104	—
绿	5	5	5	105	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	106	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	7	107	$\pm 0.10\%$
灰	8	8	8	—	—
白	9	9	9	—	—
金	—	—	—	0.1	$\pm 5\%$
银	—	—	—	0.01	$\pm 10\%$

桥路电源取标称电压选择：

电压的标称值：

三端固定正、负输出集成稳压器型号为：

正：7805、06、08、09、12、15、18、24

负：7905、06、08、09、12、15、18、24

后缀为L:100mA；M：500mA；T:1.5A；K:3A

为了减小因激励电流引起的发热和温漂，本项目折中选取：12V。

6. 加热回路的控制电路

控制电路（略）。

三、系统的调试和测试

1. 电桥调零

将铂热电阻置于冰水混合物中，将不共地的 12.00V 电源施加到电桥的电源端子上， RP_2

置于最小值，反复调节“调零电位器” RP_1 ，使放大器的输出 U_{o2} 为零。

2. 测量系统的调满度和校验

将铂热电阻置于 100°C 的沸水中一段时间，在两者达到温度平衡后，调节“调满度电位器” RP_2 ，使 U_{o2} 为 1.00V 。再将铂热电阻置于电烘箱中，从 20°C 开始，缓慢升高温度，每隔 10°C ，用最小分度为 0.1°C 的 200°C 水银温度计校对，直至 199°C 为止。记录放大器的输出测量值及非线性误差，为“铂热电阻软件线性化程序”提供纠偏数据。

3. 工频干扰的测试（未学过共模抑止比的班级：略）

将电桥的 b 、 d 端短路，将有效值为 10V 的 50Hz 交流电压一端接到短路点，另一端接地。用示波器观察运放输出端的 50Hz 交流电压，其峰峰值应小于 $20\sqrt{2}\text{mV}$ 。如果超过该值较多，应检查低通滤波电容 C_1 与 C_2 的配对情况以及 R_f/R_{11} 是否严格等于 R_{13}/R_{12} 。