

# 晶体管自动控温管式炉

JINGTIGUAN ZIDONG KONGWEN GUANSHILU

**YT-2B**  
**型**



北京市西城区半导体设备一厂

# 毛主席语录

## 工业学大庆

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，  
解放思想。

团结起来，争取更大的胜利。

## 前 言

在伟大领袖毛主席“**抓革命，促生产，促工作，促战备**”的伟大方针指引下，为了进一步适应我国半导体器件生产的需要，我们遵照毛主席“**有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。**”“**工业学大庆**”的伟大教导，自力更生，艰苦奋斗，发动群众，克服了重重困难，在较短时间内试制成功了几种晶体管自动控温管式炉，并成批投入了生产。

本产品比我厂原生产的电子管、晶体管混合电路自动控温扩散炉，在各方面显示了一定的优越性。但是，由于我们对毛主席的著作学的很不够，并且技术水平也有限，在产品中必定还存在不少的缺点和不足，我们衷心希望各兄弟单位在生产实践中发现问题，及时给我们提出宝贵意见，以便我们进一步改进，使本产品更好地为建设社会主义服务。

# 目 录

一、用途	( 1 )
二、技术指标	( 1 )
(一) 总机技术指标	( 1 )
(二) 分机技术指标	( 1 )
三、结构	( 3 )
(一) 控制机体部分	( 3 )
(二) 炉体部分	( 3 )
四、安装	( 3 )
(一) 电源安装	( 3 )
(二) 热偶安装	( 3 )
(三) 炉丝接线	( 7 )
(四) 炉体安装	( 7 )
五、总机工作原理概述	( 8 )
六、PID 控制器原理和调试	( 8 )
(一) 毫伏给定器	( 8 )
(二) PID 调节器	( 13 )
(三) 调整方法	( 14 )
七、可控硅功率放大器	( 15 )
八、使用方法	( 19 )
(一) 升温前准备工作	( 19 )
(二) P. I. D参数调整步骤	( 21 )
九、等温区的调整	( 21 )
十、精度的测量	( 22 )
十一、一般故障原因及排除方法	( 22 )
附录 I、自制变压器参数表	( 25 )
II、温度一毫伏对照表	( 26 )
III、PID 调节器控制系统元件明细表	( 28 )
IV、功率放大器控制系统元件明细表	( 30 )

## 用 途

晶体管自动控制温度扩散炉，烧结炉是晶体管和固体电路等生产中的重要工艺设备之一。适用于半导体器件制造中的各种烧结和扩散工艺，对于其它材料元件特殊处理也适用。是适合连续长时间高精度自动控制温度的设备。

## 技 术 指 标

### (一) 总机技术指标:

1. 规定使用温度范围，900°C至1200°C。
2. 温度控制误差，在电网电压的自然波动±10%和温室波动±10°C下，小于±0.5°C。  
(连续运行4小时。)
3. 等温区长度：大于200毫米（在±1°C以内）。
4. 升温时间：小于2小时（从室温升到1200°C。）
5. 电网电压波动影响：电网电压(220伏)突然波动±10伏，炉温最大偏差小于±1°C，炉温静态偏差小于0.5°C。
6. 温度给定值的重复性≤±2°C。
7. 配用热偶：铂铑—铂。（含铑为10%）
8. 电源：单相交流（50周/秒），电压220伏±10%，最大电流约30安。
9. 炉膛内径φ70毫米。
10. 加热器构成：
  - (1) 冷却方式：水冷。
  - (2) 氧化铝管φ70×80×930m/m一根。
  - (3) 加热元件φ6m/m铁铬铝丝。
  - (4) 其它：保温材料。磁石；氧化铝粉。
11. 允许工作环境温度约为10°C~30°C。
12. 炉丝允许最大电流80安。
13. 炉丝连续使用寿命约2000小时。
14. 整机外形尺寸1100×500×1200毫米。
15. 总重量：约250<sup>(1200)</sup>公斤。
16. 全机外形见图1。

升温功率  
 $220V \times 30A = 6.6kW$

### (二) 分机技术指标:

1. 毫伏给定器技术指标：
  - (1) 最低给定值由3mV开始。
  - (2) 最高给定值13mV。
  - (3) 在电源电压变化±10%时，即在200-240V内变动时，最大输出电压变化<5μV。

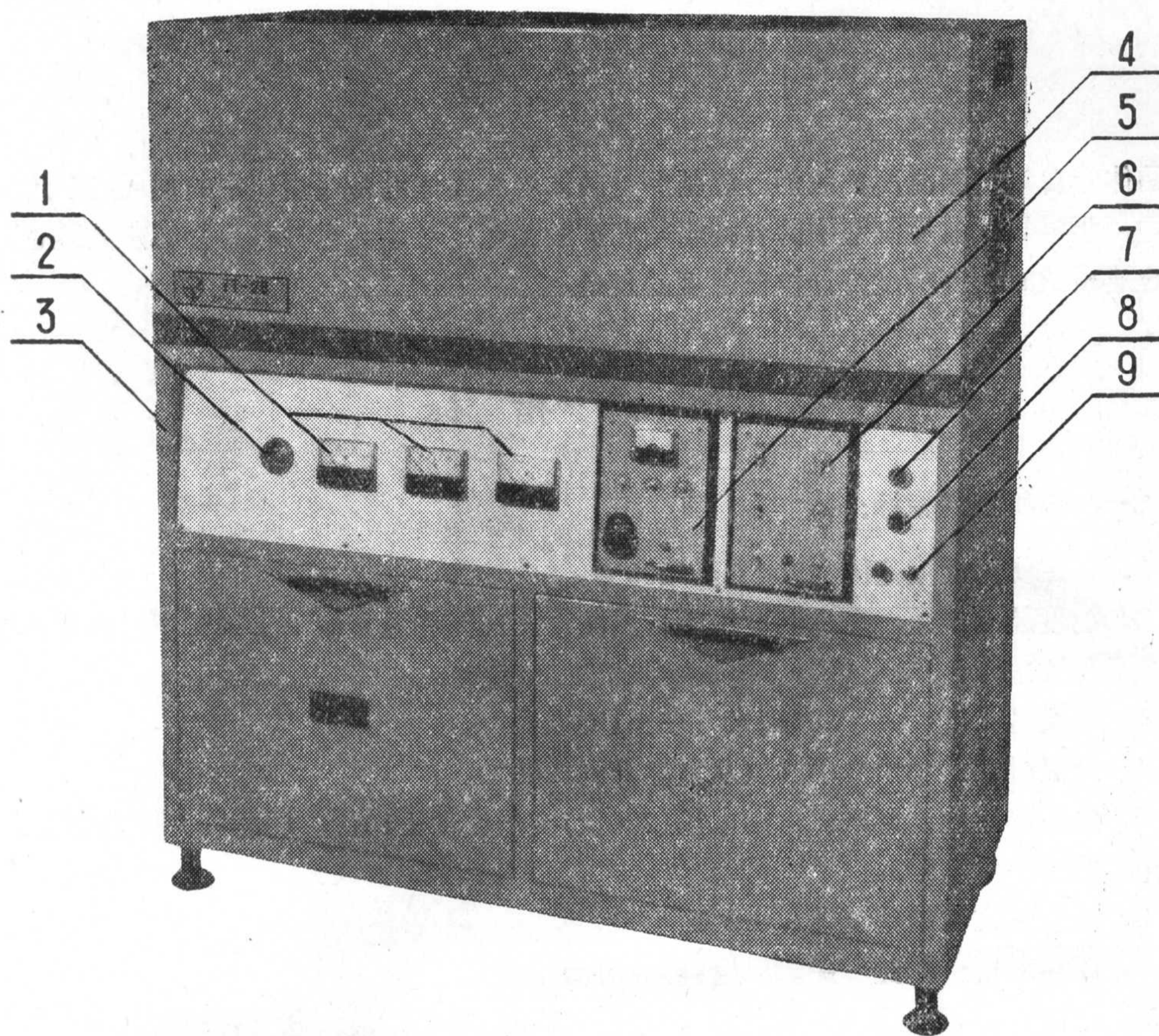


图1. 外形示意图

- |                  |            |            |
|------------------|------------|------------|
| 1. 电压表 (30~50 V) | 2. 音响器     | 3. 控制机体    |
| 4. 炉罩及炉体         | 5. P1D 调节器 | 6. 触发器     |
| 7. 炉丝电源开         | 8. 炉丝电源闭   | 9. 控制器电源开关 |

2. P. I. D技术指标:

- (1) 灵敏域:  $\leq 5\mu\text{V}$ 。
- (2) 线性放大倍数:  $\geq 1.5 \times 10^5$ 倍。
- (3) 长期漂移:  $\leq 6\mu\text{V}$  (4小时)
- (4) 比例带(P) 0.05—3%。
- (5) 积分时间常数: (I) 0—8 分钟。
- (6) 微分时间常数: (D) 0—2 分钟。
- (7) 相敏输出: 10V。

(8) 各级参数:

三极管代号:

	$V_E$	$V_{ce}$	$V_Z$
D15	10V	1.4V	$\leq 3\text{mV}$
D16	12V	2.1V	$\leq 9\text{mV}$
D17	14V	4.6V	$\leq 300\text{mV}$
D18	14V	7V	$\leq 500\text{mV}$

D 19

18.5 V

8.4 V

$\leq 1 V$

### 3. 触发器技术指标:

(1) 脉冲移相范围 $5^{\circ} \sim 160^{\circ}$

(2) 触发电压 $\leq 5 V$

(3) 触发电流 $\leq 50 mA$ 。

电炉电压自动调节线路的指标: 电网电压波动 $\pm 10\%$ 电炉电压波动(静态)小于 $\pm 3\%$ 。

## 结 构

晶体管自动控制温度扩散炉控制机体和炉体两大部分组成。

### (一) 控制机体部分:

控制机体由P. I. D. 调节器及可控硅触发器组成自动控制系统。“通”、“断”、按钮开关( $K_2$ 、 $K_3$ )安装在机体前面板上, 左边有电压表三块(30 V及50 V), 机体内装有负载变压器( $T_1$ )、硅可控元件及交流接触器, 水压开关, 音响器(註)等即成为完整的控制机。

### (二) 炉体部分:

炉体在控制机体上, 炉体是用于扩散工艺的加热体, 由炉丝, 炉管, 保温管, 保温材料, 炉壳, 循环水套等组成, 其结构见图2所示。

炉丝是用 $\phi 6 mm$ 的铁铬铝丝绕在内径 $\phi 70 mm$ , 外径 $\phi 80 mm$ , 长930 mm氧化铝炉管上, 炉丝圈距, 尺寸, 见图3所示。

炉体后侧中部有一个安装热偶装置, 孔内装有 $\phi 12 mm$ 高温瓷管。在使用时, 可将 $\phi 8 mm$ 四孔管穿进热偶, 通过此管插入到炉丝中心的控制点上。

为了防止炉体表面温度高, 对工作环境温度有影响, 因此, 炉体内部装有冷却套循环水系统来排除表面热量, 保证室内正常温度。

## 安 装

该设备在出厂时, 炉体, 炉罩与控制机体是分开包装运输, 在安装搬运时, 要轻抬轻放以免炉体与控制机体因受震而损坏。

### (一) 电源安装:

1. 控制机体后左下侧, 装有30 A电源插座, 打开后左面板即可接线, 导线截面积应大于 $10 mm^2$ 。

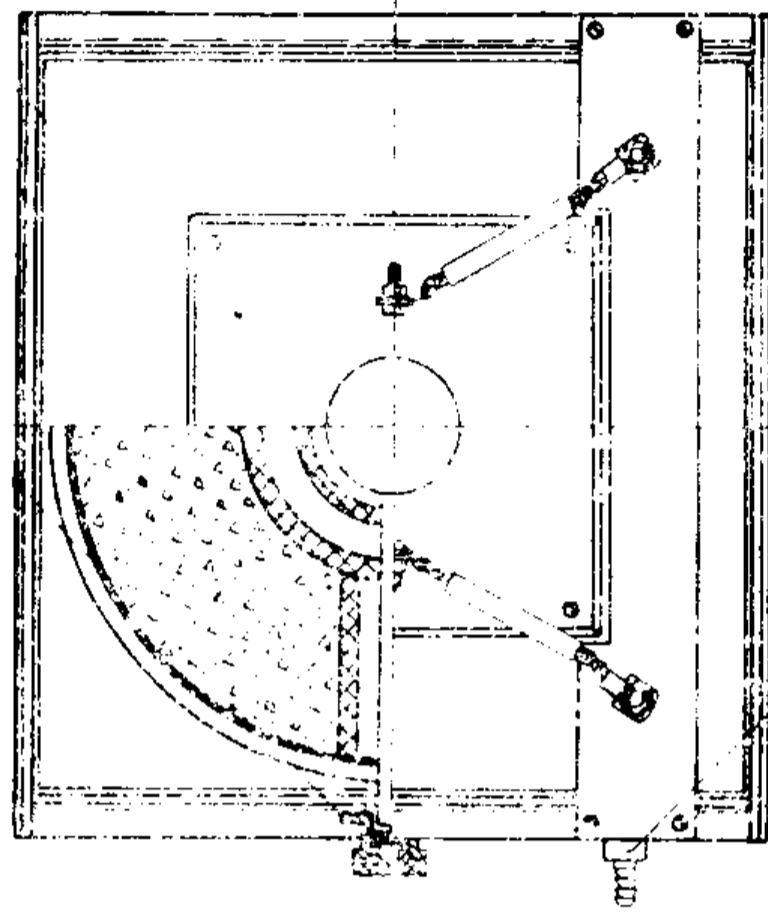
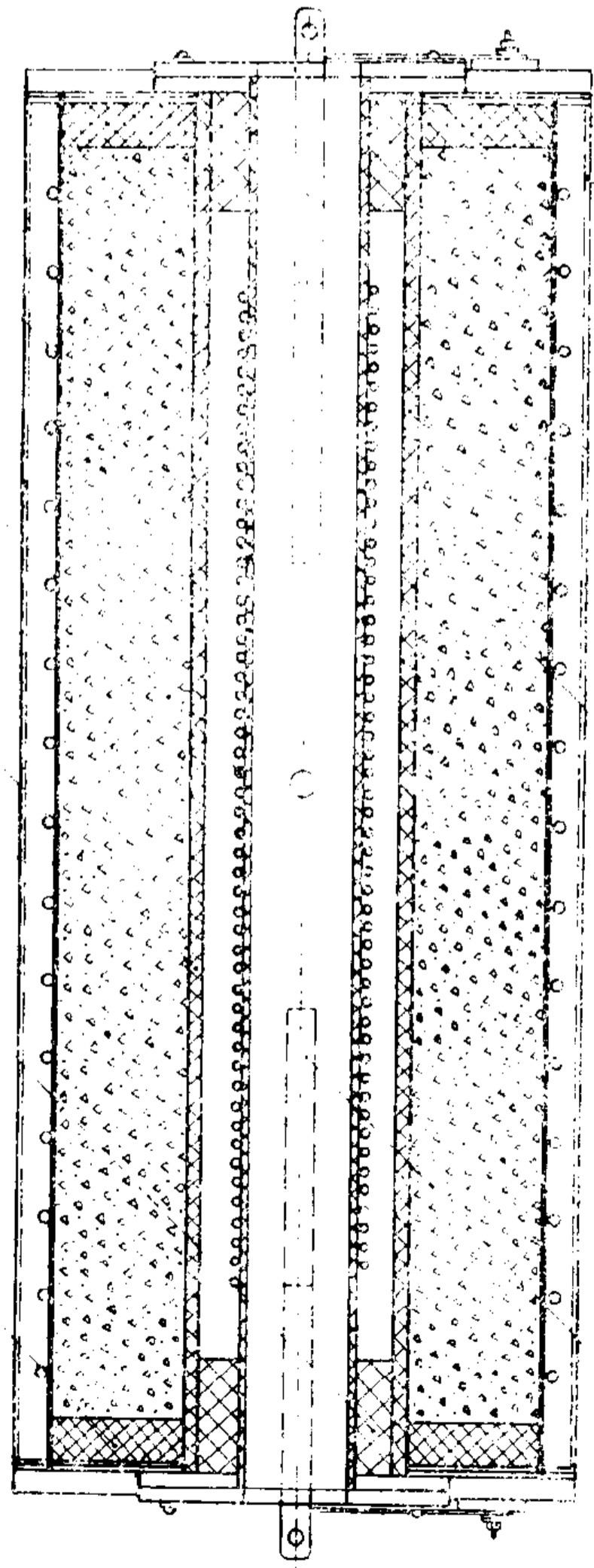
2. 总机电器布线。见图4。

### (二) 热偶安装:

1. 所需要的控制热偶为 $\phi 0.5 \times 1000 mm$ 的铂铑-铂(铑为10%)热偶壹对。穿入 $\phi 8$ 四孔管内, 然后插入炉体后侧中部热偶孔内, 直插到中间两圈炉丝之间的炉丝管外壁前约5 mm外四孔管用螺丝顶紧。

2. 热偶冷端分别按“正”、“负”极, 套上红、白塑料套管、通过炉体下侧分别接至P. I. D. 调节器内的热偶接线柱上。(红为正, 黑为负)。由于热电偶可以安装得穿过最里

註: 本机在硅可控采用强迫风冷装置者, 没有安装水压开关音响器。



电极

硅石

净砂套

炉壳

图2. 炉体结构示意图

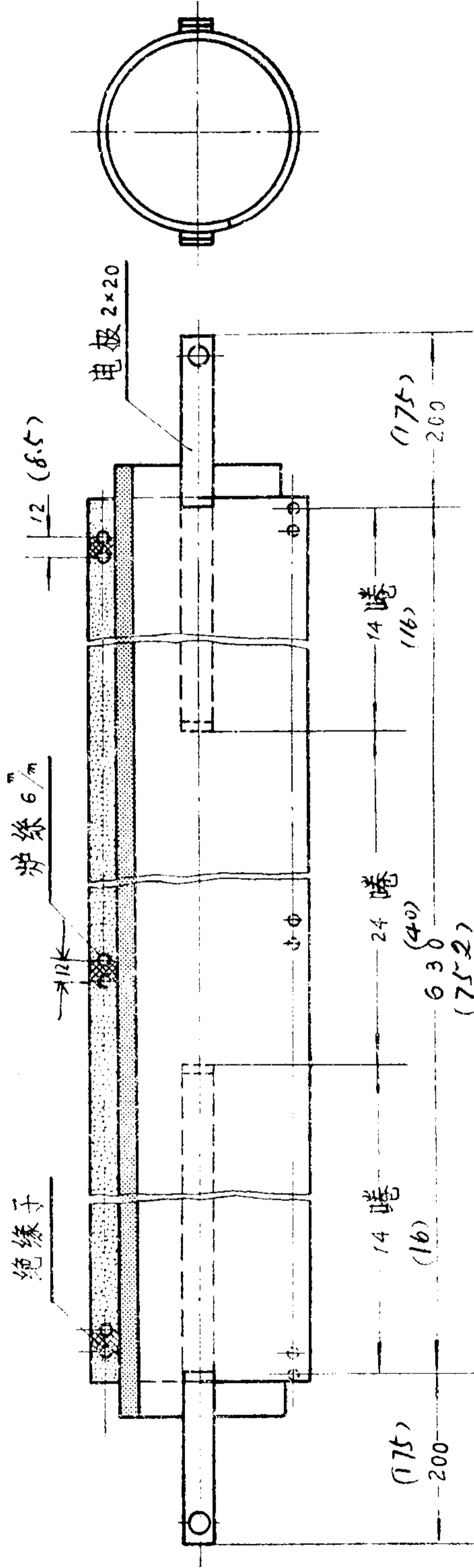


图3. 炉丝绕制图

技术要求: 1. 炉丝之间用氧化铝绝缘子隔开。  
 2. 炉丝之间填抹苏州白土30%加氧化铝粉70%用低湿烘干。  
 3. 炉丝材料: 铁铬铝丝( $\phi 6\text{m/m}$  ocr 25  $\text{Al}_5 + \text{稀土}$ )。



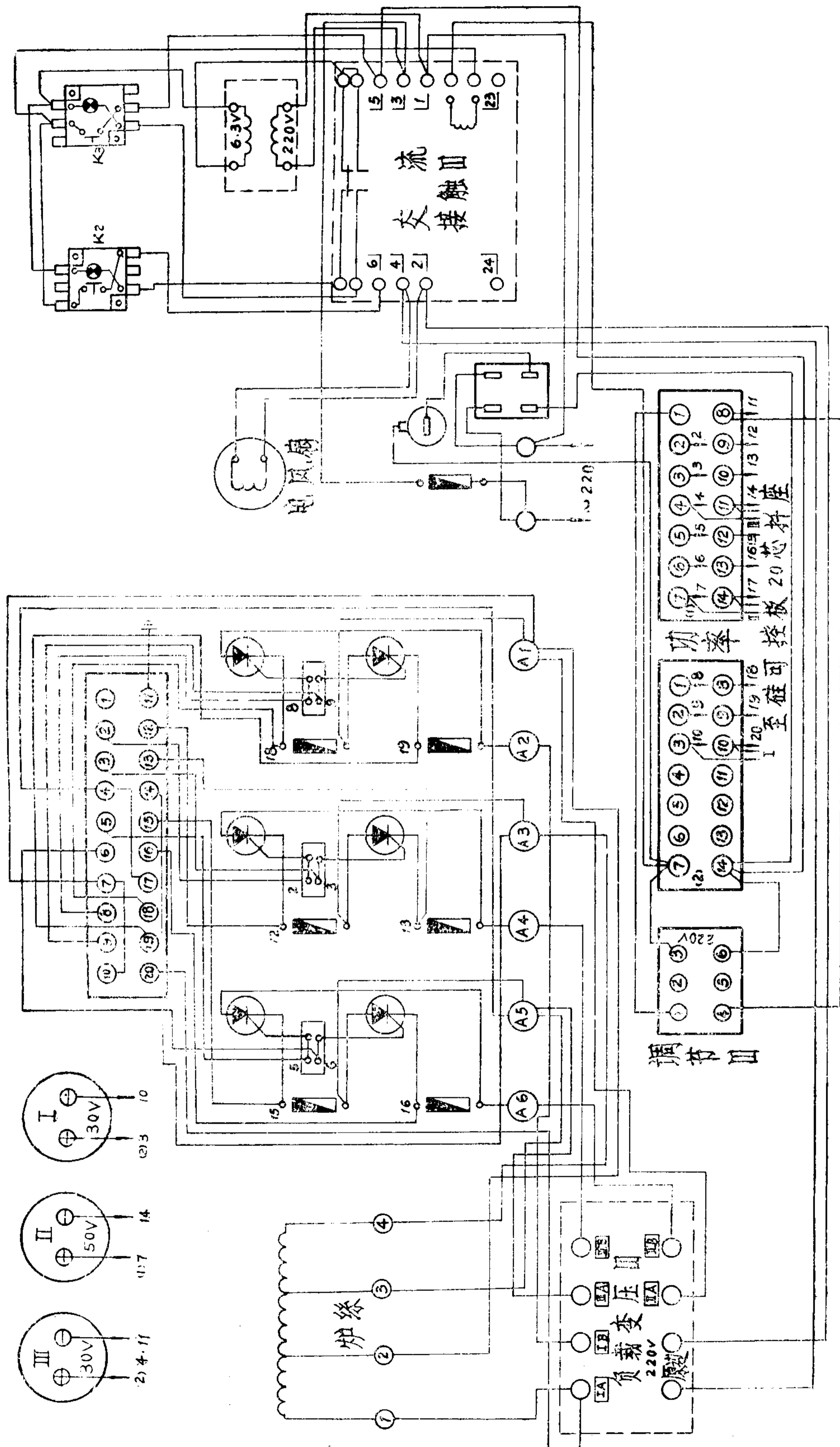


图4. 总机电器布线图  
 註 (可控硅采用铝散热片时)

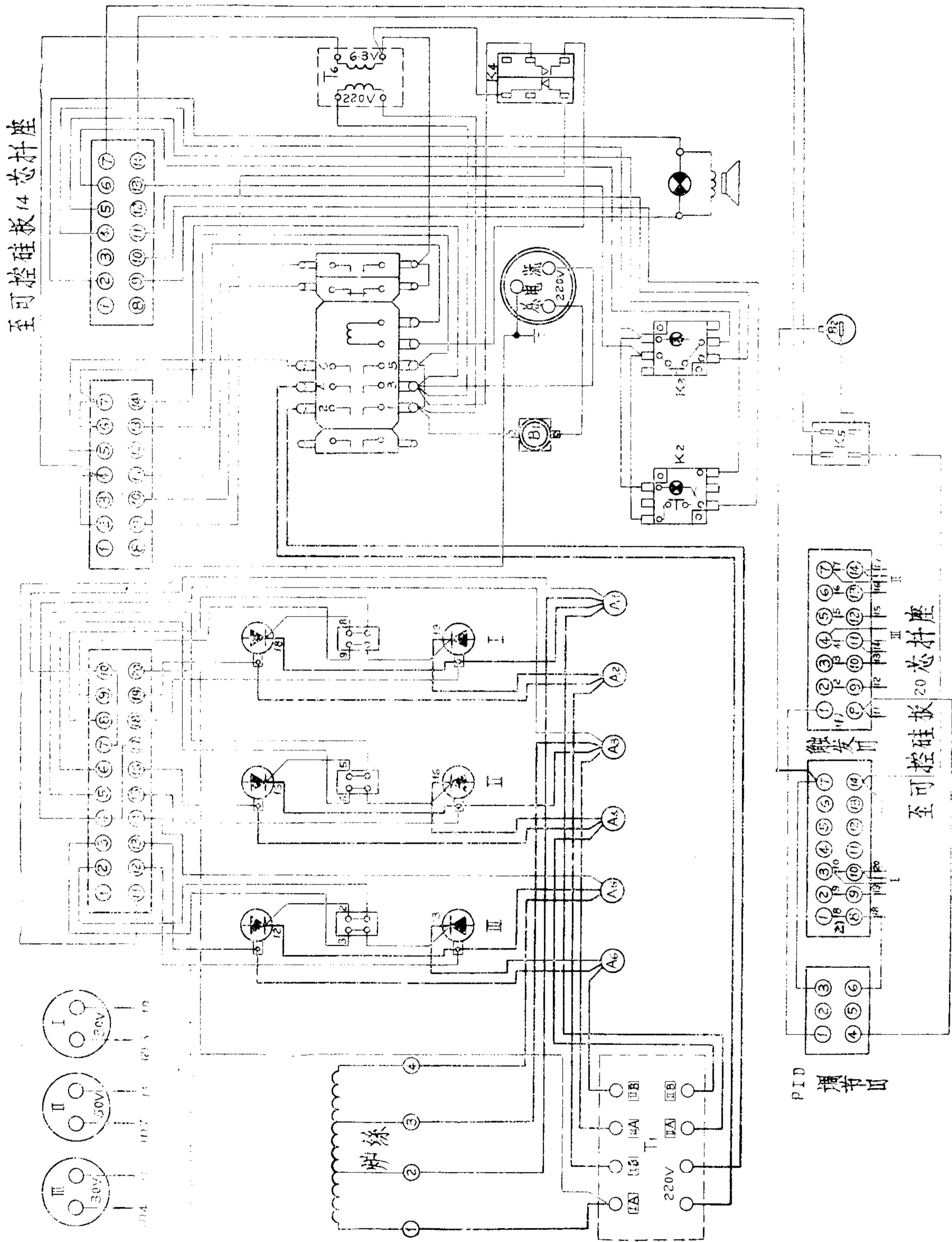


图4. 总机电器布线图  
注: (可控硅采用冷却水时)

面的一层氧化铝管，直接靠近中间的石英管壁，因此能较真实地反映炉膛内等温区的温度，而且对于等温区中推送石英舟或通气气流变化所引起的炉膛温度波动反应灵敏，缺点是对加热电流变化所引起的炉膛温度改变反应较为迟纯（也即增加了量测的延迟时间），给炉温的自动控制带来一定的困难。一般来说，热电偶端部穿过氧化铝管愈靠近石英管，炉温稳定所需的 P.I. 参数就要愈大，工人调整时可能会麻烦些，炉温的调整过程也可能会差些。所以，一般无特殊使用要求时，建议热电偶安装插入位置如图 5 所示。离炉管内壁约 5 毫米左右。在安装热偶时注意不可热偶丝与炉丝接触，否则会引起热偶带电损坏控制器。

因此，在调整时，应选择热电偶的适当位置，使之兼顾上述温度量测中的两个方面，选择好以后就将其位置固定下来，除拆卸炉体外应不再轻易变动其位置，这样才可以保证炉温控制数值的重复性。

冷端的热电偶线中间一般不应用普通导线联接。可用铜—铜镍（铜 99.4% + 镍 0.6%）合金作补偿导线联接。否则会影响控制精度。

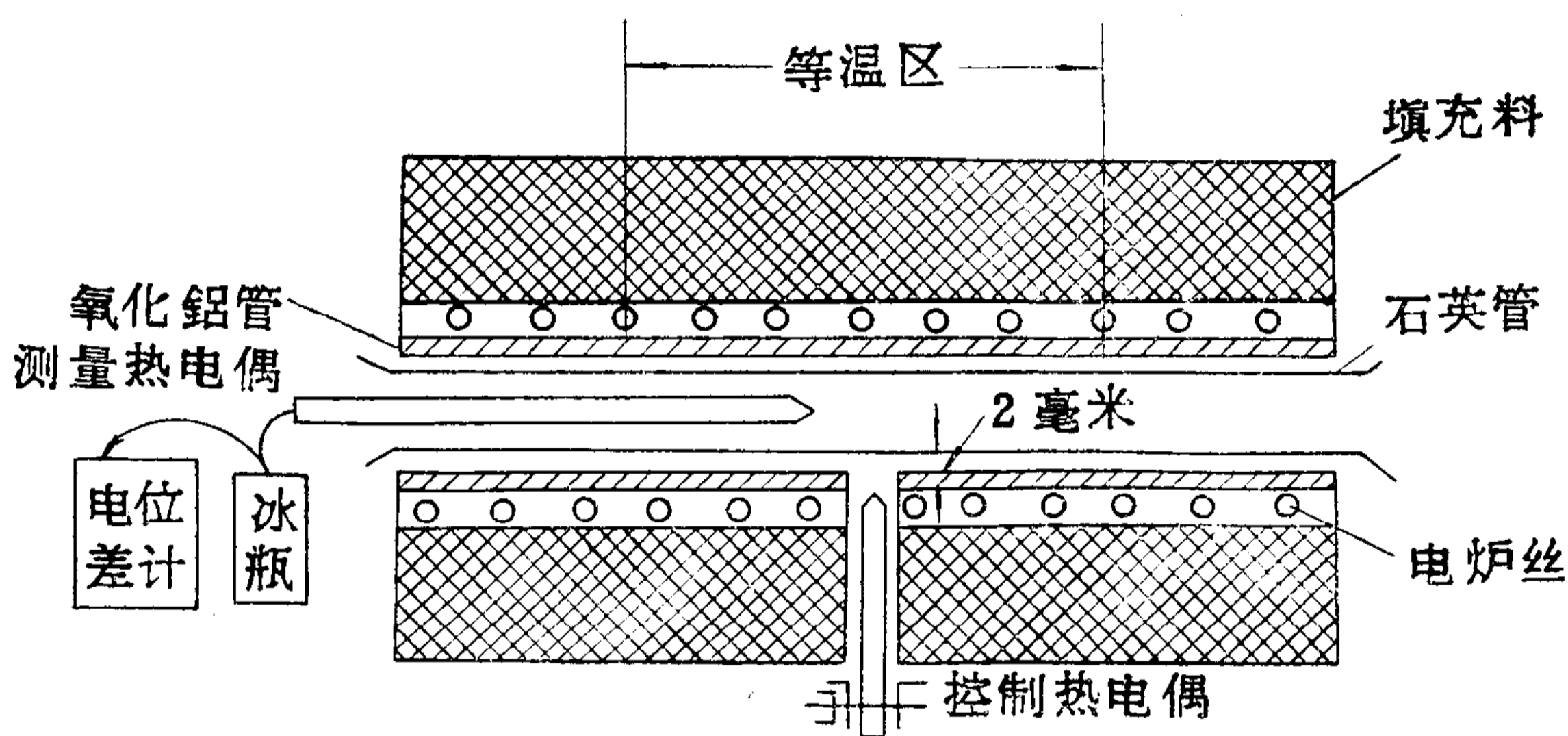


图5. 热电偶安装示意图

### (三) 炉丝接线:

炉体左右两侧炉丝引线（1、2、3、4）分别按号码对应接至控制机体内左右两侧的炉丝，导线（1、2、3、4）上，见图16并将螺母紧固，然后将两侧面板装上。

### (四) 炉体安装:

炉体加热器在长期高温使用下，炉丝可能烧断，或者长期使用炉丝减细，电阻加大到一定范围，需拆开炉体进行检修重新安装。

1. 更换炉丝时，将炉体两端石棉板拆开，拿出套砖、将炉丝引线接头螺丝拆下，抽出坏炉丝，将新炉丝装上，然后顺序恢复原位。

2. 若检修冷却套时，照上例办法拆除外，还要将水阻卡板，上盖、及后立板拆下，然后可将冷却套抽出。

3. 若更换冷却套内填料时，将冷却套立起，下端放好端盖，中间放好保温管，注意中心及插热偶孔位（可用圆棒先插入定位），并放入中心孔保温砖固定其位置保温材料填实

后，用端盖封好，两端抹上混合土，不能讓保温材料外溢。若检修时，保温材料砾石不够时，外圈可加石棉渣，或加硅燥土等均可。

## 总机工作原理概述

我厂生产的高精度晶体管自动控制温度扩散炉采用了比例，积分，微分 (P. I. D.) 式控制器。功率放大器部分，采用硅可控 (SCR) 做为执行元件，接在负载变压器付边进行控制。其方框原理图如图 6 所示。

由控制机和扩散炉构成的温度自动控制扩散炉，是一个负反馈闭环控制系统，\*为了加长等温区，扩散炉采用三段炉丝加热，每一段炉丝都有一套功率部件向其单独供电，三套功率部件都接受一个控制机信号控制。

炉膛中央的温度采用铂铑—铂热电偶测量，炉膛温度由定值器的输出电压设定，如果热电偶电势与设定电压有偏差，就表示炉温偏离设定数值，这个偏差电压经过控制机的一组电子放大器放大之后，通过由硅可控整流器构成的功率部件去改变扩散炉各段的加热电流、从而达到自动控制炉膛温度的目的。

由于要求在长时间运行中，炉温的波动要小于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，又因为 $0.5^{\circ}\text{C}$ 的温度变化大约相当于高温热电偶电势改变 5 微伏，再加上大功率扩散炉在受控制时有很大的热惰性（惰性时间常数约为 2 小时，延迟时间约为十余秒），使控制作用受到滞延，所有这些特点都对控制机提出十分严格的要求。

为此，除采用高精度的定值器，高灵敏度低零点漂移的直流微伏放大器，适应范围宽广的 P. I. D. 校正装置之外，还在功率部件中引入炉丝加热电压的负反馈，对扩散炉的炉丝加热电压实行自动调节（即总机实行串级自动调节），使电网电压波动对炉温的扰动大大削弱，从而提高了控制精度。

## P. I. D. 控制器原理和调试

P. I. D. 控制器是扩散炉自动控制系统的中心环节，扩散炉温度控制的精度和稳定性主要由控制器的性能所决定，因此对控制器各部分必须严格进行调试。

控制器由毫伏给定器，P. I. D. 调节器和电源变压器等组成，其原理详见图 (7)。布线见 (7—1)，元件布置图见 (7—2, 7—3, 7—4)。

### (一) 毫伏给定器:

毫伏给定器是一个高精度，高稳定度的直流毫伏电源，它的输出电压作为自动控制扩散炉的炉温设定值。（见图 8）

图中， $D_1 D_2$  组成全波整流电路  $C_3$  是滤波电容， $D_3-D_4$  (2CW1) 和  $D_5$  (2DW7B) 是硅稳压管，组成两级稳压线路，由于稳压管 2DW7B 的电压温度系数小于  $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，即环境温度变化  $10^{\circ}\text{C}$ ，稳压管  $D_5$  两端电压的变化小于 0.03%，已经满足相应的指标，不必再附加温度补偿线路。

铜线电阻（自绕） $R_3$  用来对热电偶进行冷端温度补偿。当环境温度升高，热电偶冷端温度也相应升高，如果此时炉温不变，则热电偶输出电势将减小，引起控制误差，可是铜线

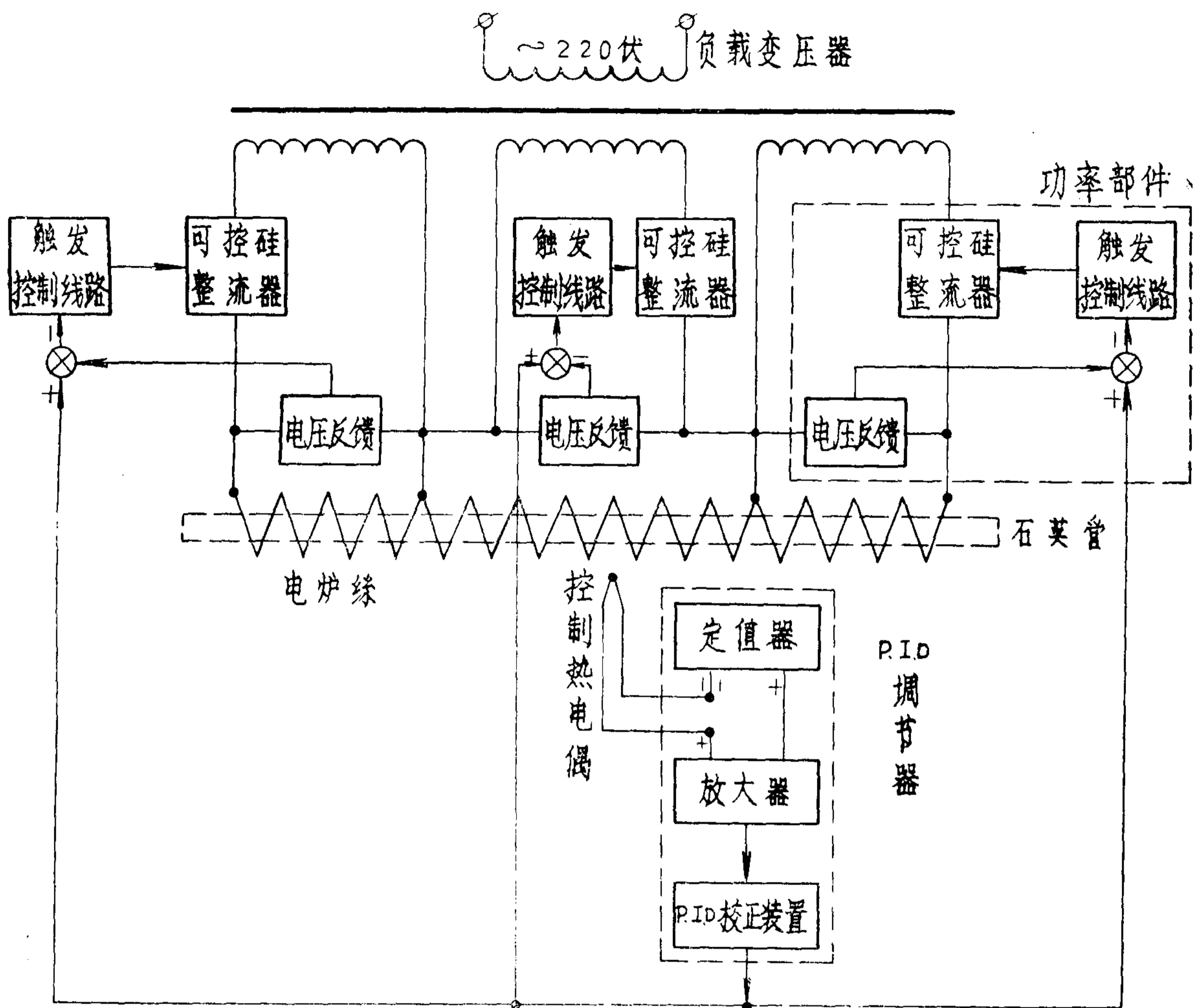


图6 温度自动控制系统方框原理图

电阻  $R_3$  的阻值也将随温度升高而增加，从而使定值器输出电压减小，如果通过  $R_3$  的电流数值选择的合适，就可以自动补偿由于热电偶冷端温度变化所引起的测量误差。电位器  $R_{42}$  ( $1K\Omega$ ) 就用来调整通过铜线电阻  $R_3$  的电流。

图中， $R_{45}$  ( $330\Omega$ ) 是带有精密刻度的十圈电位器，用来改变定值器的输出电压，电位器  $R_{43}$  ( $150\Omega$ ) 则是用来调整通过  $R_{45}$  的工作电流，使定值器的最大输出电压正好为13毫伏。电位器  $R_{44}$  ( $27\Omega$ ) 用来平衡锰铜线电阻  $R_6$  上的电压降使  $R_{45}$  为0时输出电压为3mV。

注意：电位器  $R_{42}$ 、 $R_{43}$ 、 $R_{44}$  都在出厂前调整好，并打上封漆，用户不得擅自改变其位置，否则将破坏其精度。

(1) 各工作点调整参考数值如下表

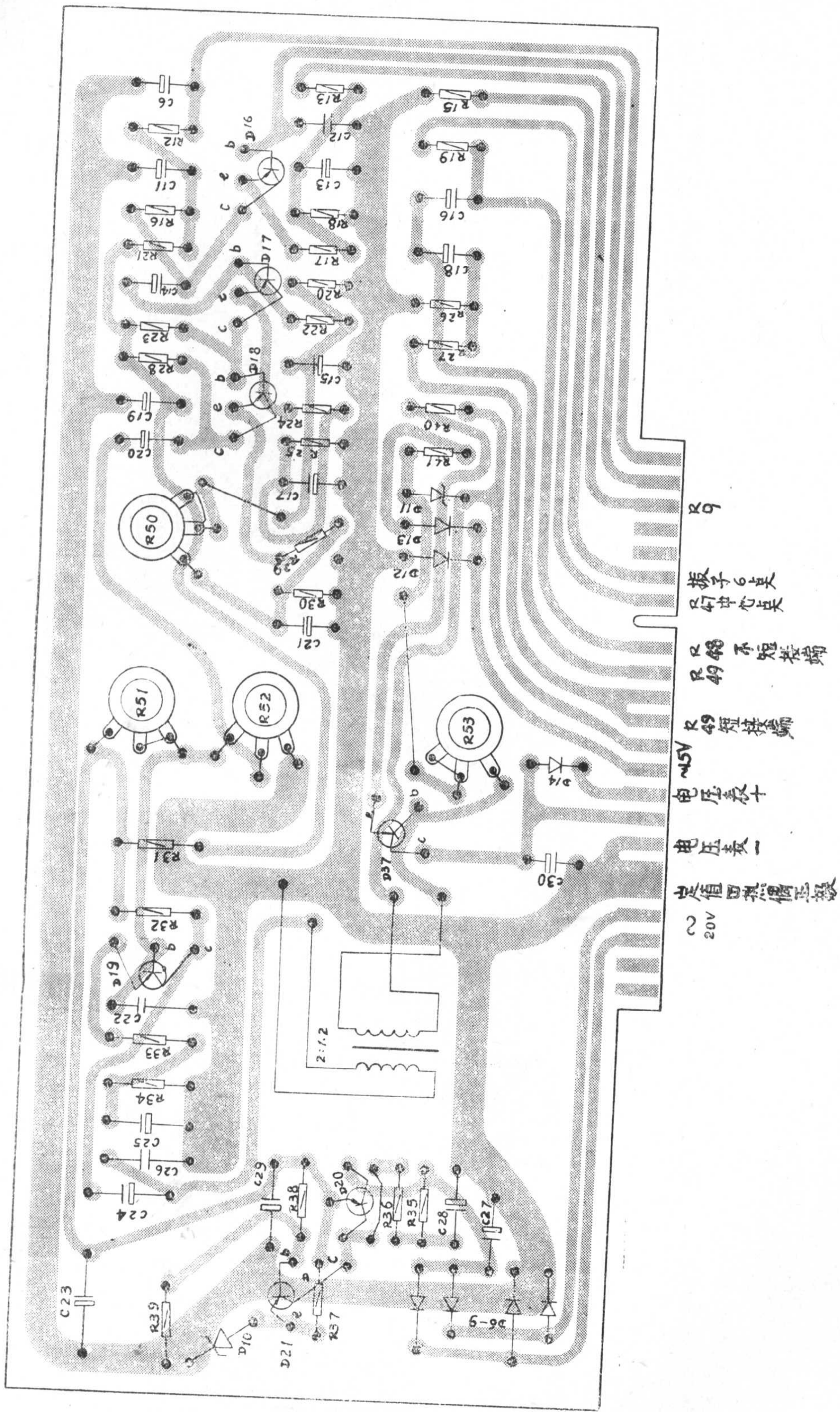
(2) 技术指标：

①最低给定值3mV

②最高给定值13mV

③电源电压在200V—240V范围内波动时最大输出电压变化 $<5\mu V$ 。

原书缺页



- R 9
- 振子 6 支
- R 4 中心点
- R 48 不短接端
- R 49 短接端
- R 49 短接端
- 电压表十
- 电压表一
- 定值电阻偶正接
- C 20V

图7-2 P.I.D. 调节器印刷板元件布置图

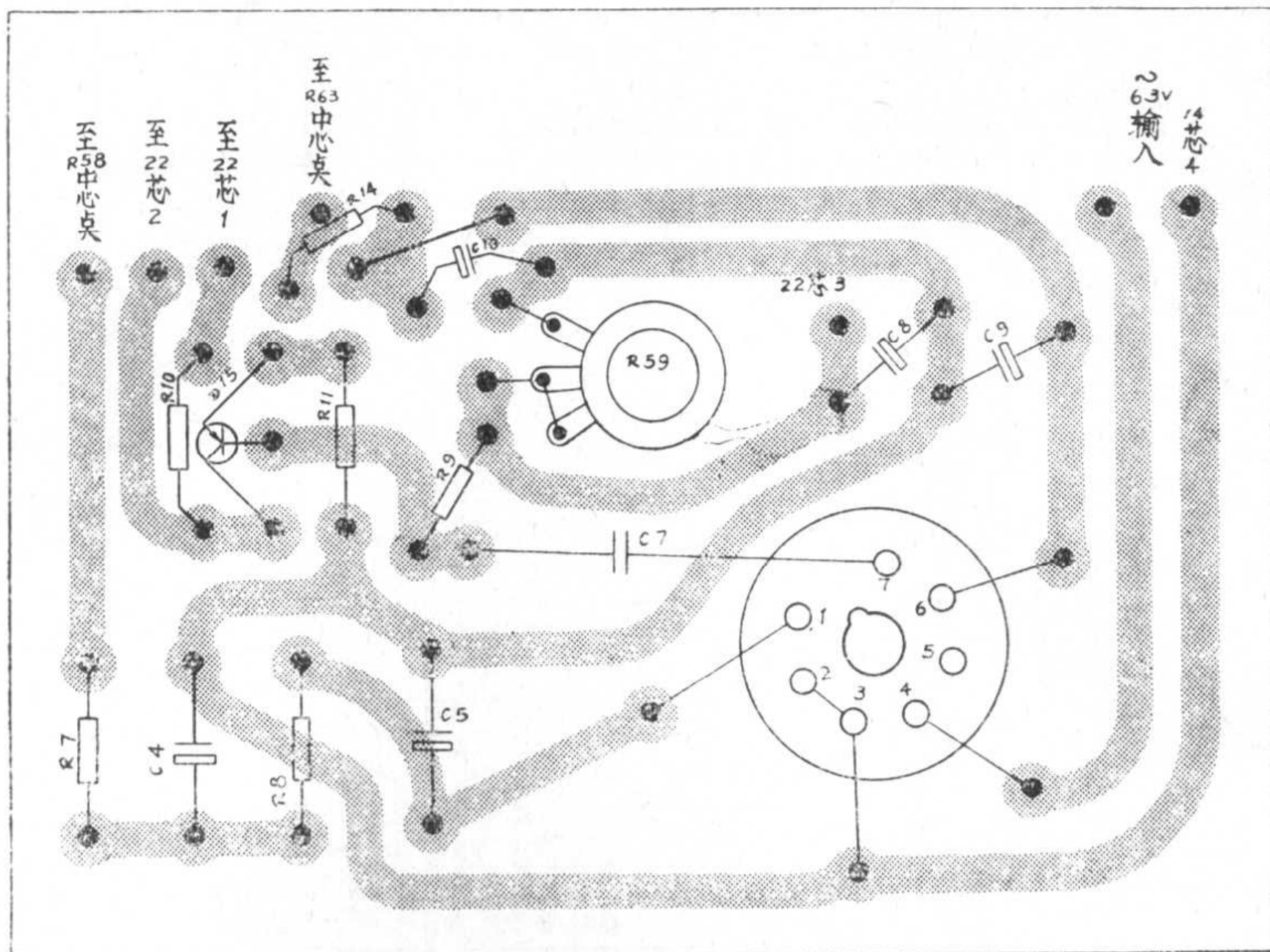


图7-3 D. I. P. 调节器前级印刷板元件布置图

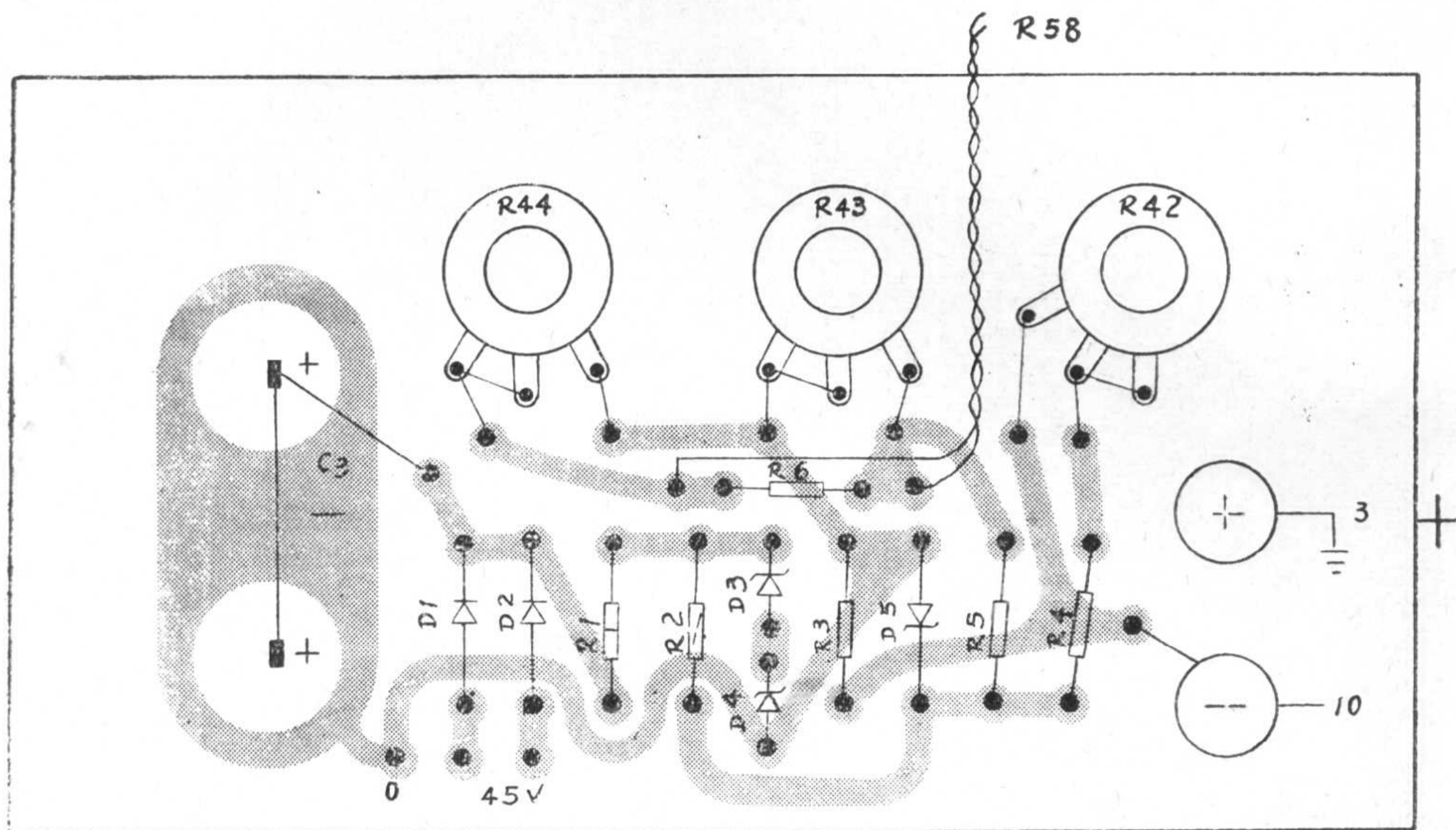


图7-4 毫伏给定器印刷板元件布置图

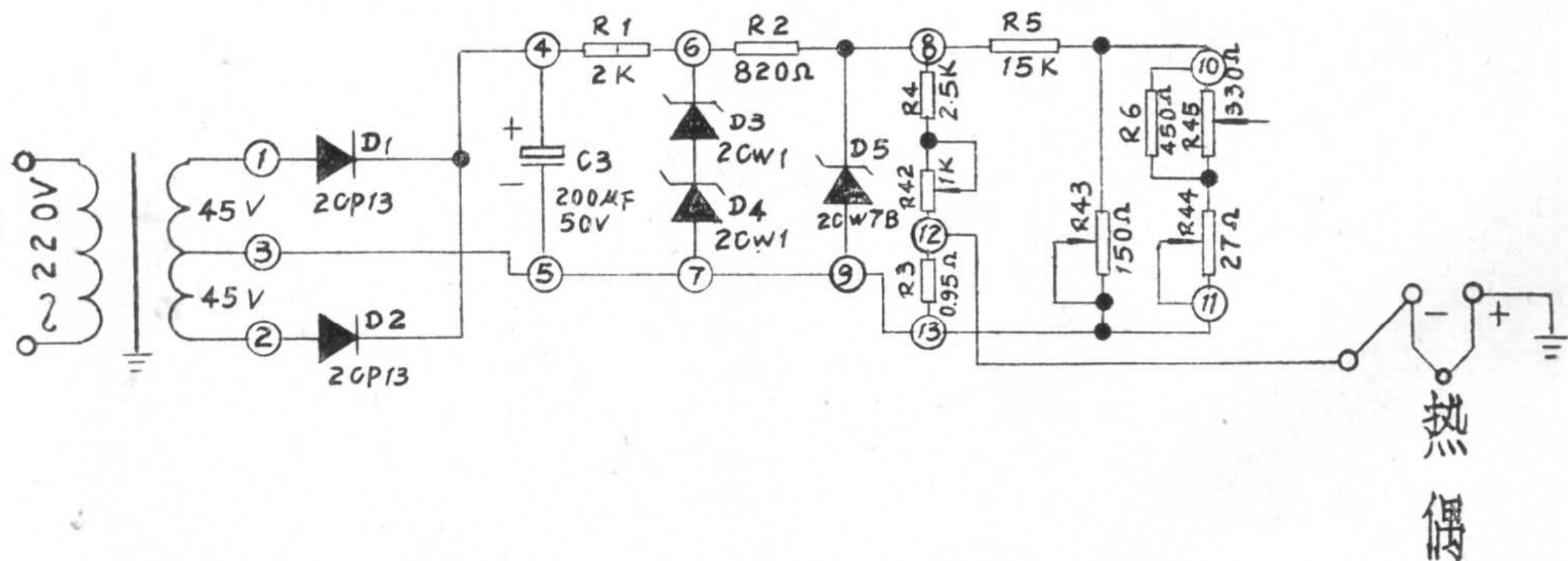


图8 毫伏给定器线路原理图



位 置	电 压	备 注
(1)(3)	~45 V	
(2)(3)	~45 V	
(4)(5)	62.5 V	
(6)(7)	14 V	
(8)(9)	6 V	
(10)(11)	>13mV	R 43旋至最下端
(12)(13)	1.7—2.7mV	調动 R 42該电势可变

④給定重复性誤差（包括电位器  $R_{45}$  的刻度誤差）； $<5\mu\text{V}$ 。

⑤热偶冷端补偿誤差； $<0.5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

## (二) P. I. D. 调节器

P. I. D. 調节器是整个自动控制系统最重要的組成部分，它具有控制精度高、P. I. D. 参数可調范围寬广等特点。其原理見图 9。

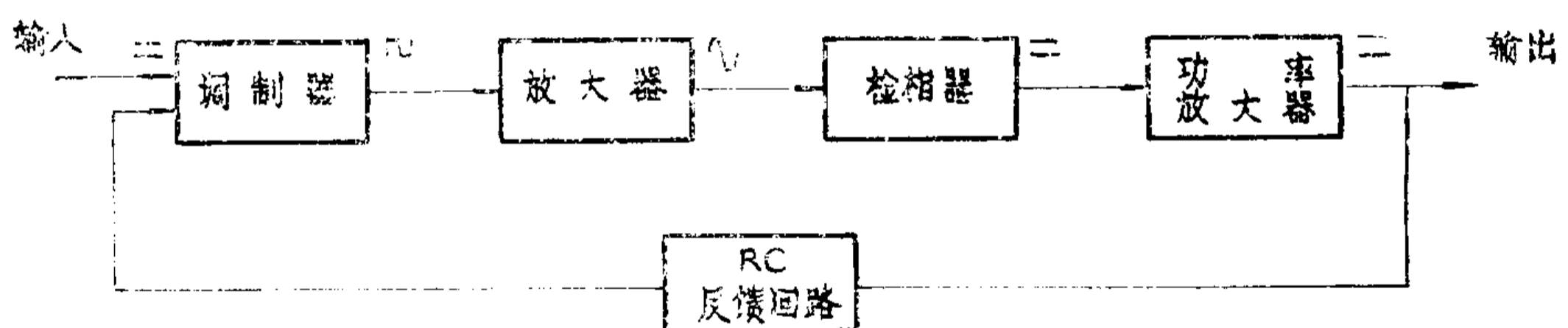


图 9 P. I. D. 调节器方框原理图

P. I. D. 調节器实质上是一个放大倍数可以自动調节的特殊放大器，由八只晶体管，电阻电容組成的P. I. D. 反饋网路，仅在炉温偏离給定值需要調节时起作用。这时，由于积分和比例环节的存在，相当于加进一个很大的負反饋，减小系統的放大倍数，使自动調节的过渡过程稳定，同时也减慢。随着偏差逐渐减小，放大倍数又逐渐增大。当炉温达到給定值，系統轉入靜态，积分电容相当于开路不再有負反饋，系統仍維持很高的放大倍数，这样就保证了足够的控制精度。

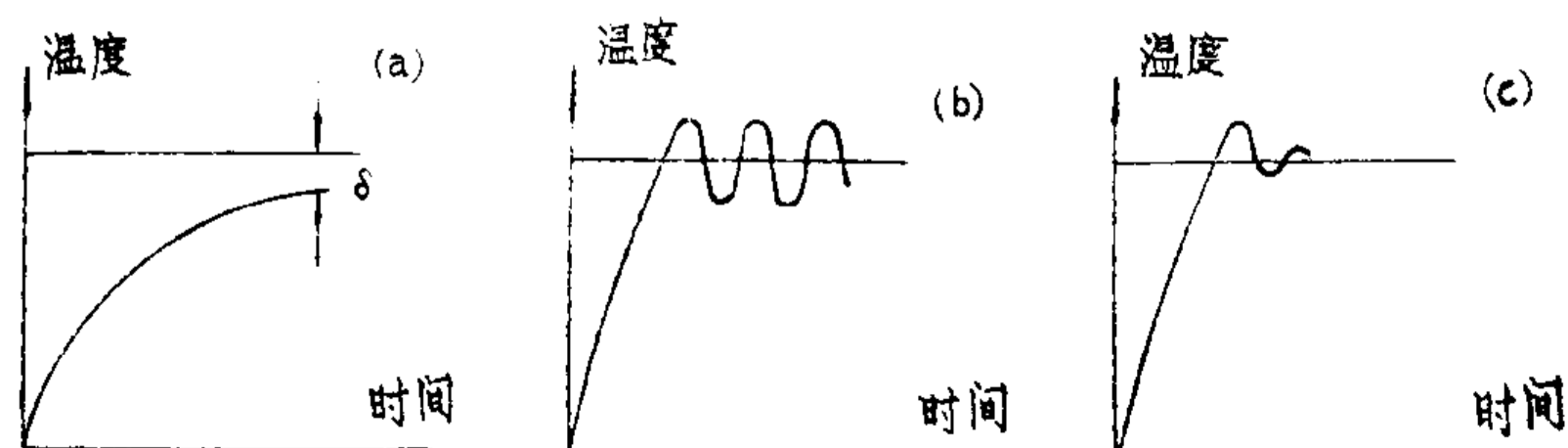


图10 P. I. D. 在自动控制系统中的作用