

第13章 电弧炼钢炉电气设备的修理

张寿山 高文晶

电弧炼钢炉主要供熔炼高质量合金钢之用。近代电弧炼钢炉均配备了电极自动调节系统,但由于其调节对象的变化规律甚为复杂,从而对系统提出了更高的要求。在电极下面,由于气体电弧的放电作用,使金属迅速而激烈地熔化、蒸发、飞溅,因而电弧长度、电弧电压、电弧电流及功率连续不断地发生变化。当电弧电流小于额定值时,熔化时间延长,电能及电极消耗增大;当电弧电流大于额定值时,线路损耗增大,工作效率降低,电弧长度缩短,在电极与赤热或液态金属接触的情况下,极易造成金属增碳的危险。因此,为电弧炼钢炉配置高性能的电极自动调节系统具有重要意义。

目前,常用电极自动调节系统有KZL(晶闸管-电磁转差离合器)型、HDL10(是对KZL型的改进)型及KSD(晶闸管-交流双电机)型等。它们分别以小惯量的电磁转差离合器及交流双电机作为电极的执行元件,其控制环节均由晶体管、晶闸管等电子器件构成,并根据熔炼的特殊工艺要求设置了若干个校正及保护环节,从而使系统具有动态响应快、稳态精度高、熔化时间短、耗电量少、容易调整、便于维护、安全可靠等良好的技术性能。

自70年代以来,随着我国电子技术的不断发展,电极自动调节系统在中小型电弧炼钢炉自动调节系统中得到了十分广泛的应用。

本章主要介绍HDL10型及KSD型电极自动调节系统的简单原理、调试步骤及常见故障的排除方法。

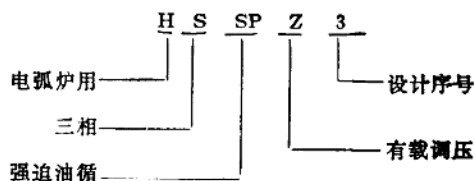
第1节 电炉变压器

(一) 电炉变压器的型号及技术数据

配合HX型电弧炼钢炉使用的电炉变压器有

HS3、HSSP3、HSSPZ3等型号。

型号说明:



环水冷

主要技术数据列于表13-1-1。

(二) 变压器在运行中的监视与维护

1) 变压器在炉料熔化初期,必须投入串联电抗器才可运行,当电弧燃烧稳定后,方可将其切除。

2) 变压器内部绝缘材料在频繁、过大的工作短路电流的冲击下,温度会急剧上升,使绝缘加速老化,同时由短路电流产生的电动力还会使绝缘层严重振动与磨损,因而可能会引起绝缘击穿和匝间短路事故。在冶炼过程中短路电流应限制在3倍额定电流范围内,延续时间一般不超过6s。

3) 应经常检查温度指示、油面指示和保护装置(如气体继电器、冷却器),以保证其动作可靠。经常查看各密封处是否有渗漏现象。

4) 变压器油需每六个月进行一次油样试验,如发现油中水分不断增高或有杂质及沉淀物时,则应及时过滤;如油的绝缘性能降低过甚,必须查明原因,若原因不清,则应吊心检查。

5) 若变压器出现异常声响、油面忽高忽低、安全气道玻璃破碎、储油柜冒油等现象,均表示变压器内部发生了故障,此时应立即停止运行,进行检查和修理。

6) 若变压器连续工作,每年应吊心检查一

表13-1-1 炼钢电炉用变压器的技术数据

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压		损 耗		阻抗电压 (%)	空载电压 (%)	联 结 组	重 量 (kg)			外形尺寸长×宽×高 (mm)	轨距 (mm)
		一次电压 (kV)	二次电压 (V)	空 载 (W)	负 载 (W)				器身	油	油箱附件		
HS3-1000/10	650	10, 6.3	200, 170 115, 98	2200	11000	10~11 24~26	4	D, d0, Y, d11	2130	2100	1680	2540×1650×3033	1070
HS3-1800/10	1250	10, 6.3	210, 180 121, 104	3600	18000	9~10 22~24	3.5	D, d0, Y, d11	3500	2410	2160	2850×1630×4065	1070
HS3-3000/10	2200	10, 6.3	220, 190 127, 110	5800	28000	8~9 18~22	3	D, d0, Y, d11	5280	3551	3653	2900×1630×3407	1070
HSP3-1200/10	3200	10, 6.3	240, 210 138, 121	7800	43000	7~8 16~20	2.5	D, d0, Y, d11	6570	4260	3240	3300×2000×3436	1505
HSP3-7200/10	5500	10, 6.3	260, 240 210, 139	9300	57000	7~8	2.5	D, d0, Y, d11	8980	4850	3800	3800×2000×4310	1505
HSP3-7200/35	5500	35	270~135 15级	10200	62700	7~8	2.5	Y, d11	10510	8090	4440	4340×2150×4000	2000
HSP3-13000/35	9000	35	300~140 15级	20500	132500	9	4	Y, d11	12060	9400	6900	4420×2700×4230	2000
HSP3-20000/35	12500	35	340~150 19级	24000	150000	9	2	Y, d11	18310	12130	10160	5750×4850×4875	2000

次。

7) 经常检查箱、低压出线端与母线之间的连接是否紧密可靠, 尤其是用铝母排, 更应加强检查。

8) 经常监视瓷套管是否清洁, 有无破损、裂纹和放电痕迹, 并检查冷却、通风和外壳接地是否良好。

9) 应经常在空中载和不同负载情况下, 监听并比较变压器的声音, 以便及时发现变压器内部的故障, 例如线圈、铁心、螺栓的松动, 线圈短路或断裂, 引线放电等。

10) 每次操作分接开关后, 必须检查指示信号正确无误, 然后方可将断路器合闸。

(三) 电炉变压器的继电保护

(1) 过载保护装置 用来保护由工作短路(电极与炉料接触)所引起的过载。一般装在电炉变压器的低压侧, 采用具有反时限特性的过电流继电器, 如GL-12型过电流继电器。其动作电流可按下式计算:

$$I_a = C_r C_c \frac{I_2}{C_{rel} n_2} \quad (\text{A}) \quad (13-1-1)$$

式中 C_r ——可靠系数, 用于过载保护时取 1.1~1.25;

C_c ——接线系数, 接于线电流时取 $\sqrt{3}$, 接于相电流时取 1;

C_{rel} ——继电器返回系数, 一般取 0.85;

n_2 ——变压器低压侧电流互感器变流比;

I_2 ——变压器低压侧额定电流 (A)。

保护装置动作时限, 应接变压器过载为 3 倍额定电流时, 继电器的动作时间为 5~10 s 整定。

(2) 短路保护装置 这是用来保护故障短路电流的, 而在工作短路时它不应动作。一般装在电炉变压器的高压侧, 使用真空断路器操动机构内的瞬动过电流脱扣线圈。其动作电流可按下式计算:

$$I_a = C_r C_c \frac{C_{oo} I_1}{n_1} \quad (\text{A}) \quad (13-1-2)$$

式中 C_r ——可靠系数, 用于电流速断保护时取 1.25;

C_{oo} ——过载倍数, 取 3~3.5;

n_1 ——变压器高压侧电流互感器变流比;

I_1 ——变压器高压侧额定电流 (A)。

第2节 电弧炼钢炉常用 电极自动调节系统 的修理与调试

(一) HDL10-0.5~5 电弧炼钢炉电极 自动调节系统的修理与调试

该电极自动调节系统(以下简称调节系统)是 HX 系列电弧炼钢炉电弧功率的自动调节设备。调节系统除对电极自动控制外, 还可以进行手动控制, 以满足生产工艺的特殊要求。

1. 调节系统框图

调节系统的框图如图 13-2-1 所示。系统中各环节的作用如下:

测量比较环节将比例于电弧电流 I_{arc} 和电弧电压 U_{arc} 的信号, 经过整流与滤波, 并于平衡臂上进行比较之后, 输出信号 U_p , 这个信号与电弧电流微分信号 U_{ch} 、速度反馈信号 U_{fn} 及电流反馈信号 U_{fi} 叠加后, 作为信号 ΔU 输入到放大环节。

放大环节将测量比较环节输入的微弱信号进行功率放大, 以满足转差离合器励磁绕组的需要。

离合器电气部分与机械部分的共同作用下, 使放大器的输出信号 U_c 转换成相应的电极移动速度。积分环节的作用是当离合器的励磁电流发生变化时, 则在离合器的机械部分产生相应的电极移动速度 $v = \frac{dL}{dt}$, 从而使电极的位移 L 随时间而增加。

为了提高系统的调速范围及稳态精度, 特此引入了测速反馈环节。微分校正环节(超前器)的引入, 可提高系统的动态性能, 以满足电弧炼钢炉的特殊工艺要求。

2. 电路的组成及单元的作用

(1) 小惯量电磁转差离合器 电磁转差离合器主要由磁极、电枢及励磁绕组组成。磁极由软磁材料制成, 形状如同齿轮, 有齿有槽, 其内孔与电动机轴伸配合, 与电动机一起构成离合器的主动部分, 而电枢与输出轴构成其从动部分。励磁绕组(是一个集中的线圈)固定于机座内。根据绕组与电枢的相对位置不同, 可分为单磁路离合器(1.5、3 t 电弧炉用)、双磁路离合器(3、5 t 电弧炉用)。其工作原理相同, 即励磁绕组通过直流电流时, 沿其闭合磁路就有磁通产生。由于磁极上有齿有槽,

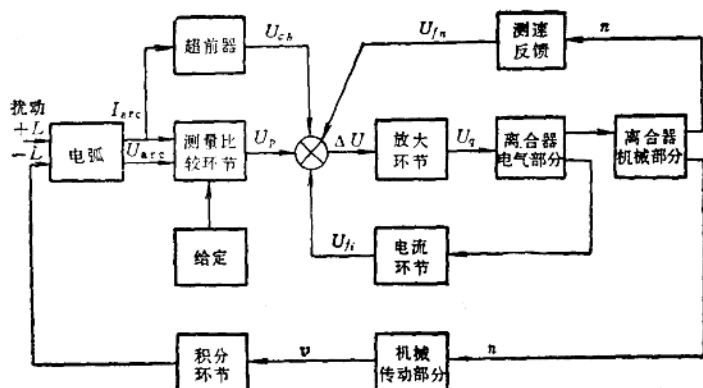


图13-2-1 调节系统框图

因而沿其气隙圆周上建立空间的脉动磁场，当磁极被电动机驱动以恒速旋转时，脉动磁场就成为旋转磁场，它切割电枢，并于电枢上产生涡流。此涡流与气隙合成磁场作用将产生转矩，使电枢跟随磁极旋转，即电枢与磁极之间靠电磁耦合起来了。耦合力矩的大小取决于励磁电流的大小，电流愈大，耦合力矩就愈大，在负载转矩一定的条件下，电枢转速 n_2 就愈接近于磁极转速 n_1 ，转差就愈小；当电流愈小时，与上反之。根据上述基本原理，可推导出下列公式：

$$T = C_0 D^3 L \Delta B^2 (n_1 - n_2) \quad (13-2-1)$$

式中 T ——电磁转矩；

C_0 ——与电枢材料、极长、齿槽宽高等有关的系数；

D ——电枢直径；

L ——电枢有效长度；

Δ ——电枢铁心厚度；

B ——励磁电流与电枢涡流在气隙处共同产生的合成磁通密度。

由上式可知，对于一定的离合器，有一个特定的励磁电流 I_f ，就有一个电磁转矩 $T = f(n_2)$ 与之相对应。离合器的自然机械特性与闭环机械特性曲线分别如图13-2-2及图13-2-3所示。由特性曲线可知，闭环后，离合器的机械特性硬度提高了。这样，在电极提升部分的恒转矩负载下，改变励磁电流，即可达到调节电极速度的目的。

(2) 测量比较环节 测量比较环节原理如图13-2-4所示。电弧电流信号由电流互感器TA1取出后，经电流信号变压器T1输入，再经瓷盘电阻R1分压及VC1整流、电容器C1滤波后，加到平衡臂

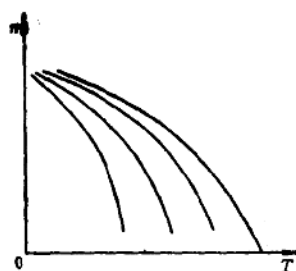


图13-2-2 离合器的自然机械特性

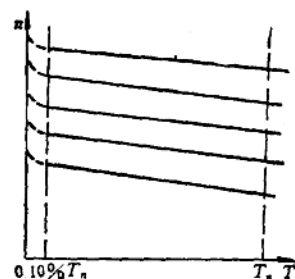


图13-2-3 离合器的闭环机械特性

的电流臂R3上。在额定电弧电流状态下，即电弧电流接近于满载时，R3上的信号电压约为10V。电流信号变压器T1的二次侧有两个绕组，其中一个绕组用于输入电弧电流信号，另一个绕组用于输入微分信号。

电弧电压信号经电压转换继电器触头及电压信号变压器T2输入，再经VC2整流、电容器C2滤波后，加到平衡臂的电压臂R4上。在额定状态下，无论电炉变压器在哪一级电压下工作，在R4上的信号电压均为10V左右（为了满足这一要求，在电压

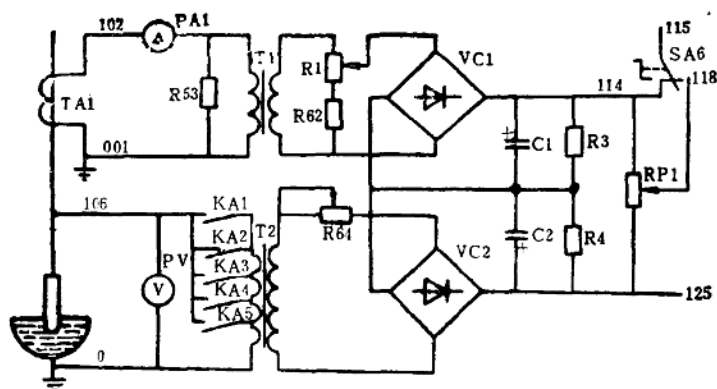


图13-2-4 测量环节原理图

信号变压器的一次侧设有与电弧电压相对应的不同抽头，且通过继电器进行选择与切换。

当平衡臂平衡时，R3与R4上的信号电压数值相等，极性相反，平衡臂的输出电压为零，即：

$$U_p = aI_a - bU_a = 0 \quad (13-2-2)$$

式中 U_p ——平衡臂的输出电压，

a ——电弧电流信号的变换系数，

b ——电弧电压信号的变换系数。

电位器RP1的输出亦为零。

当电弧参数发生扰动时，平衡臂上将有电压输出（平衡臂失去平衡），其极性及其幅值取决于电弧参数（电流、电压）。

瓷盘电阻R1是用来整定电弧电流工作点的。调节R1便可改变所需要的电弧电流值。当电弧炉在某一给定的电弧电流下工作时，若要减小电弧电流，只要将R1的输出加大即可。此时，R1的输出信号增强，使平衡臂的平衡状态遭到破坏，于是伺服系

统使电极上升，一直到平衡臂达到新的平衡为止。反之，若要增大电弧电流，则应使R1的输出减小。

灵敏度微调电位器RP1的输出端接有灵敏度转换开关SA6。在熔化期，使端子115与118接通（即把SA6扳至“低灵敏”位置），以减小电弧信号，从而扩大了不灵敏区。而在精炼期，使端子114与115接通（即把SA6扳至“高灵敏”位置），以减小精炼期的不灵敏区，更好地满足冶炼特殊钢的工艺要求。

（3）触发器 触发器将变化的直流信号转换成有一定幅值及相位移的脉冲信号，以触发晶闸管，为离合器提供可以调节的励磁电流，使离合器的机械部分能以不同的速度进行转动。其电气原理如图13-2-5所示。

U_a 作为给定信号， U_c 作为控制信号（当开关SA4（见图13-2-11）位于“自动”位置时， U_c 作为反

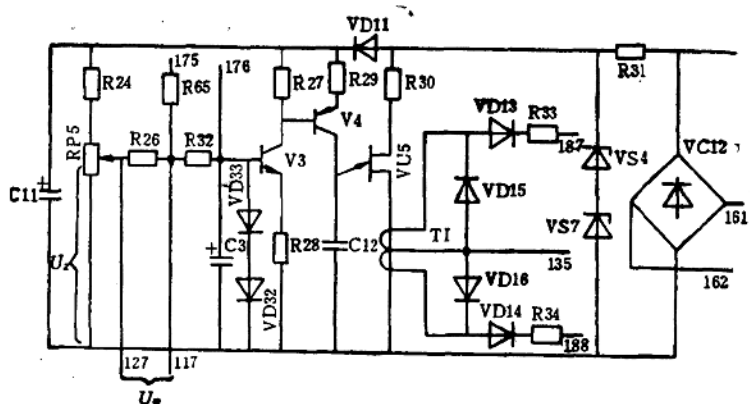


图13-2-5 触发器原理图

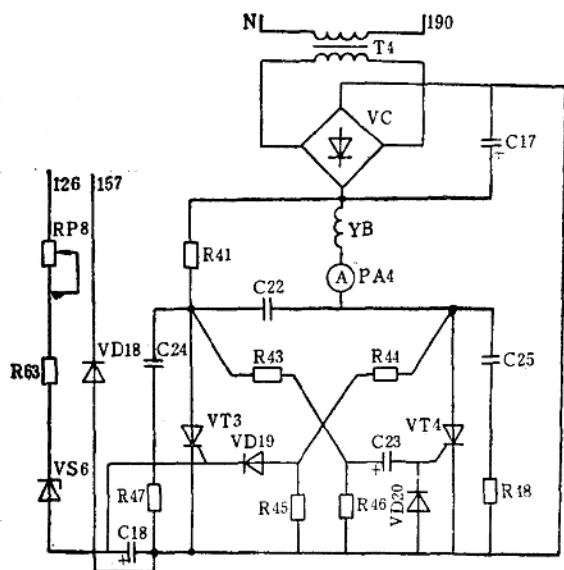


图13-2-8 电磁制动原理图

制动环节采用的是双稳态晶闸管直流开关电路。当电弧炉正常运行时，在接通变压器T4电源的瞬间，电容器C23的充电电流通过晶闸管VT4的门极，使VT4导通，于是电磁制动器线圈YB因得电而被松开。此时电极处于自由状态，可以进行升降运动。同时，直流电源通过限流电阻R41对换相电容器C22进行充电，准备为晶闸管VT4的关断提供反向电压。一旦离合器励磁绕组失电，电极将快速下滑，当下滑速度超过下降的极限速度时，测速发电机的输出电压将稳压管VS6击穿，使晶闸管VT3导通。此时换相电容器C22由于VT3的导通而对VT4施加反向电压，从而使VT4关断，使制动器失电，抱住离合器的输出轴，电极将处于静止状态。VT3的触发功率可由电位器RP8进行调整。

(7) 超前器（微分校正电路）当电弧电流增大而使电极急速上升时，由于电弧被拉长，电弧电流开始减小，但在仍然大

于额定电流值时，微分负反馈就开始进入工作状态，使电弧电流不至于太小而发生断弧现象。当电弧电流不变或增大时，超前器的输出为零。只有在电弧电流减小时，超前器才有输出。超前器原理如图13-2-9所示。

超前器由整流桥VC5，双T形滤波器，微分电路R14、C8、R15及工作在继电器状态下的两级直流放大器组成。电路的输入信号由电弧电流信号变压器T1的一个二次绕组提供，在电弧电流为额定值状态下，交流输入信号电压约为10V，该信号经整流和滤波后，加在负载电阻R14两端，R14上的电流信号在额定电弧电流情况下为7~8V。R14两端的电流信号电压又经R15向C8充电，在稳态下，R14与C8两端的电压值相等。当电弧电流增大时，R14上的电流信号电压亦升高，并通过R15给C8充电，此时R15上的电压极性为上正下负，使V1导通，V2截止，超前器输出（116a~116b）为零。当电弧电流减小时，C8开始放电，R15上的电压极性为上负下正，使V1截止，V2导通，超前器开始进入工作状态。

3. 调节系统的调试

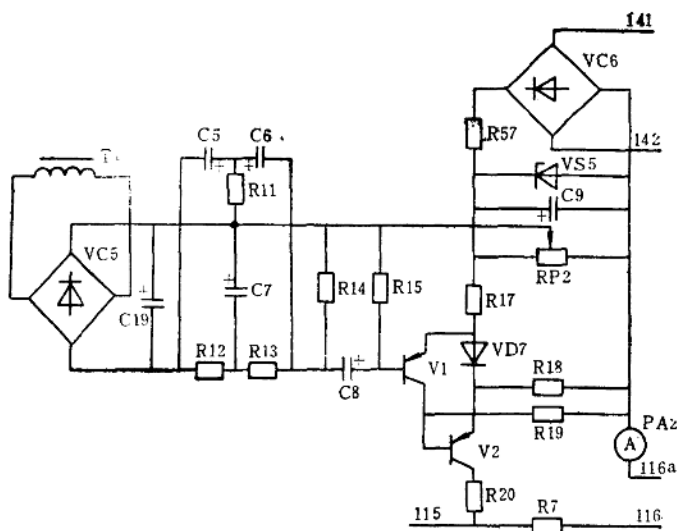


图13-2-9 超前器原理图

调试前，按图13-2-10，并参照单相系统原理图13-2-11（另见袋图十）接好调试线路。所需仪表及设备如下：

- PV1——交流电压表（0~250V）；
- PV2、PV3——直流电压表（0~50V，2块）；
- TA3——单相自耦调压器（0~250V，3kVA）；
- TA4——单相自耦调压器（0~250V，2kVA）；
- QS1、QS2——开启式两极负荷开关（15A，2只）。

（1）电压测量电路的调试 合上开关QS2，用调压器TA4的输出作为电压臂的模拟输入信号，再按表13-2-1调整调压器的输出电压。表中与各电压等级相对应的电压值是加在电极上的实际相电压。无论在哪一级下工作，R4上均应有约10V的电压。R4上信号电压的大小可通过继电器的切换及调节瓷盘电阻R64进行校正。

（2）电流测量电路的调试

- 1）合上开关QS1（在电压臂已经调好的前提下），调节TA3，使电流表PA1指示值对应于电炉变压器的二次额定电流值，具体数据见表13-2-2。在输入电流信号的同时，调节瓷盘电阻R1，直到使电流臂R3上的电压为10V左右为止（与电压臂R4上的电压相等）。
- 2）调节TA3，使输入电流为最大值（即为变压器二次额定电流的125%），同时调节R1，使得在维持电流最大值不变的前提下，保证电流臂R3上的电压为10V左右。
- 3）调节TA3，使输入电流为最小值（即为变压器二次额定电流的30%），同时调节R1，使得在维持电流最小值不变的前提下，保证R3上的电压为10V左右。
- 4）合上开关QS1、QS2，用万用表测量平衡臂两端（114与125）直流电压应为零。此时断开QS1，调节RP1，使其输出电压为2~6V，再断

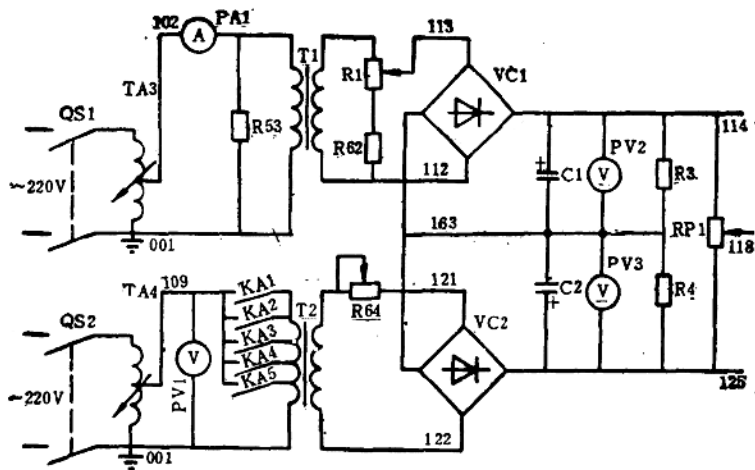


图13-2-10 系统调试原理图

表13-2-1 调压器输出值

电压等级	电炉容量（t）	0.5	1.5	3.0	5.0
1	电压值（V）	104	109	115	127
2		86	92	98	109
3		62	65	68	75
4		52	55	58	65

表13-2-2 电流表指示值

电炉容量 (t)	电炉变压器容量 (kVA)	二次额定电流 (A)	电流互感器变流比	电流表指示值 (A)
0.5	850	1875	3000/5	3.125
1.5	1250	3430	7500/5	2.280
3.0	2200	5770	10000/5	2.885
5.0	3200	7700	15000/5	2.560

开 QS2, 合上 QS1, 此时仍应有 2~6 V 的电压输出 (一般情况下, 对于 0.5~1.5 t 电弧炉, 电位器 RP1 输出的电压为 3 V 左右; 对于 3~5 t 电弧炉, 输出的电压为 5 V 左右)。

(3) 触发电路的调试

1) 合上开关 SA3, 并将开关 SA 扳向“工作”位置 (见图 13-2-11)。

2) 调节电位器 RP5, 使离合器励磁绕组电流表 PA3 的指示值在 0~4.5 A 之间变化 (1.5 t 电炉), 若达不到要求, 可适当调节 R39。

3) 将离合器励磁电流调到维持电流值 (一般情况下为 1.2~2.0 A), 再合上 QS1 (见图 13-2-10), 此时模拟的电弧电流信号输入到调节器中, 则离合器励磁电流将大于维持电流; 合上 QS2 (断开 QS1), 此时模拟的电弧电压信号输入到调节器中, 则离合器的励磁电流将小于维持电流。

(4) 微分负反馈电路的调试

1) 合上开关 SA3 与 SA1 (见图 13-2-11), 调节电位器 RP2, 使毫安表 PA2 的指示值大于或等于 5 mA。然后再逐渐回调 RP2, 使 PA2 的指示突然回零时为止 (应反复调整几次, 选取最佳位置)。

2) 合上 QS1、QS2 (见图 13-2-10), 将平衡臂调成平衡状态, 再调节 TA3, 使电弧电流信号为 5 A 左右, 然后断开 QS1, 此时 PA2 应有 5 mA 以上的摆动。

(5) 电磁制动电路的调试

1) 将 U、V、W 三相熔断器 FU5 断开 (见图 13-2-11)。

2) 在测速发电机输出端并入双向直流电压表 (或数显式万用表)。

3) 接通熔断器 FU5, 合上开关 SA3, 按下起动按钮 SB2, 则制动器因得电而被松开。然后将电极提升到一定高度。

4) 调节电位器 RP8, 使下降速度超过极限值

时, 测速发电机的输出电压 (0.5~1.5 t 炉时为 15~20 V; 3~5 t 炉时为 51~55 V) 能触发晶闸管 VT3, 并关断晶闸管 VT4, 直到制动器满足要求为止。

(6) 测速反馈电路的调试 断开测速反馈接线 (155 与 156), 调节 TA3 (见图 13-2-10), 增大电弧电流的模拟信号, 且整定于某一数值不变, 此时电极将以某一稳定的速度上升。然后迅速接通负反馈电路, 电极速度应减慢, 若速度反而增大, 则应将接线 (155 与 156) 对调。

(7) 电极极限速度的调试

1) 上升极限速度的调试

① 将灵敏度开关 SA6 置于“低灵敏”档 (115 与 118 接通)。再合上开关 QS1、QS2 及 SA3 (分别见图 13-2-11 和图 13-2-10)。

② 按下起动按钮 SB2, 将电极下降到最低位置, 再按下 SB1, 电极停止运行。

③ 调节 TA3, 使 PA1 的指示值为额定电弧电流指示值的 3 倍 (即为电弧短路状态)。再调节 TA4 使 PV1 的指示值为电弧短路时的电压值 (一般为 50 V)。

④ 按下起动按钮 SB2, 电极将以最高的速度向上移动。此时测量电极的移动速度, 即为电极上升时的极限速度。

⑤ 若极限值不能满足要求, 则可调节 RP6 与 R39。

2) 下降极限速度的调试

① 调节 TA4, 使 PV1 的指示值为额定值。

② 调节 TA3, 使 PA1 的指示值为零 (即为断弧状态), 然后按下 SB2, 电极将以最高的速度下降。此时测量电极的移动速度, 即为电极下降时的极限速度。

③ 若极限值不能满足要求, 则可调节 RP7 与 R39。电极极限速度值见表 13-2-3。

表13-2-3 电极极限速度值

电炉容量 (t)	0.5	1.5	3.0	5.0
上升极限速度 (m/min)	2~3	2~3	2.5~3.5	2.5~3.5
下降极限速度 (m/min)	1~2	1~2	1.25~2	1.25~2

(8) 手动控制电路的调试 将开关SA2扳向

“手动”位置，合上电源开关SA3，并将离合器励磁电流调到维持电流值，然后将SA4扳向手动“上升”或手动“下降”位置。上升时，离合器励磁电流大于维持电流；下降时，将小于维持电流。手动上升与下降速度由电位器RP3及RP4进行整定（此速度值可以略高于电极的极限速度）。

4. 调节系统常见故障发生的原因及排除方法

三相电弧炼钢炉在配用了HDL10-0.5~5调节系统之后，其运行的可靠性明显提高。然而，由于设备的长期运行及使用环境较差等原因，不可避免地要出现各种故障，现将常见故障发生的原因及排除方法列于表13-2-4，仅供参考。

表13-2-4 常见故障发生的原因及排除方法

序 号	故障现象	原 因 及 检 查	排 除 方 法
1	当电弧电流小于额定值时，电极不下降或反而上升	(1) 开关SA2或SA-Ⅱ触头没接通。此时HL虽亮，但T2二次绕组无电压。可用万用表测量检查 (2) 电压测量电路发生接地现象。可用万用表测试电压检测电路，找出接地点 (3) 电压测量电路熔断器FU1熔断 (4) 整流桥VC2损坏。测量R4两端电压，当电弧电流近于额定值时，此电压应为8~10V，否则说明VC2损坏 (5) R64或R4损坏。若T2二次无电流，则可能是R64断线；若R4回路无电流，则可能是R4断线 (6) T2绕组开路或短路。测量T2的一次电压，在额定电弧电压下，一、二次电压分别应为50V、8~10V (7) 电容器C2漏电严重，用万用表测量检查	(1) 检查开关触头，并修复或更换 (2) 排除接地点，在未查出故障前，可用手动控制电极升降 (3) 排除故障后，更换熔断器 (4) 排除故障后，更换VC2 (5) 排除故障后，更换R64或R4 (6) 修复或更换T2 (7) 更换电容器C2
2	当电弧电流大于额定值时，电极仍向下移动	(1) 开关SA-I没接通或SA2短路。测量T1一次电压，当电弧电流为额定值时，此电压应为5V左右，若无电压，则可能是开关SA-I没接通或SA2短路 (2) 电流检测电路有接地处。用万用表进行检测，找出接地点 (3) 整流桥VC1损坏。测量R3两端电压，当电弧电流为额定值时，此电压应为10V左右，否则再测量各桥臂电压，若电压不相等，则说明VC1损坏 (4) R1或R3损坏或C1漏电严重。用万用表检测R1、R3及C1，找出故障元件 (5) T1开路或匝间短路。测量T1二次电压，若一次有电压而二次无电压，则可能是二次开路；若绕组发热严重，则可能是匝间短路	(1) 检查各触头，若有故障予以修复或更换 (2) 排除接地点，在未查出故障前，可用手动操作控制电极升降 (3) 更换整流桥VC1 (4) 更换已损坏的元件 (5) 排除故障并修复或更换T1

序 号	故障现象	原 因 及 检 查	排 除 方 法
3	在电炉变压器断电时, 电极向上或向下爬行	(1) 离合器励磁电流负反馈开路或电网电压太低。检查电流负反馈是否开路 (2) 平衡锤脱落或其他机械方面的原因, 造成电极支臂重量明显改变。检查电极升降机构 (3) 触发器给定电位器RP5或电流检测元件R39的整定位置发生偏移 (4) 超前器在静态时有输出信号, 造成电极爬行现象	(1) 修复反馈电路 (2) 修复升降机构 (3) 重新整定 RP5 及 R39, 使在无电弧信号时, 离合器励磁电流为维持电流 (4) 重新整定 电位器 RP2, 使超前器在静态时输出信号为零
4	触发电路失控	(1) 触发电路中的 C12 开路或击穿。用万用表检查 C12 (2) 稳压管 VS4、VS7 损坏。用示波器观察其波形, 若无梯形波, 则可能是 VS4、VS7 损坏; 若 VS4、VS7 损坏, 还要检查 VC12 及 R31 是否损坏 (3) 脉冲变压器 TI 开路。用示波器观察 TI 的二次波形 (应为脉冲) (4) 单结晶体管损坏	(1) 更换 C12, 并用示波器观察 C12 两端的波形, 当有信号时, 应为锯齿波 (2) 更换 VS4、VS7 及其他已损坏的元器件 (3) 更换 TI, 并注意同名端问题 (4) 更换单结晶体管 VU5, 并用示波器观察 C12 的波形 (应为锯齿波)
5	晶闸管主电路工作不正常	(1) 主电路变压器 T3 无电压。用万用表检查 T3 的一、二次绕组是否有交流电压及晶闸管阴、阳极之间是否有交流电压 (2) 转换开关 SA 的触头 (171 与 172 及 174 与 175) 没接通。用万用表检查有关触头, 找出故障点 (3) 离合器励磁绕组开路或匝间短路。用万用表或电桥检查绕组的电阻值是否为设计值 (4) 晶闸管 VT1、VT2 损坏。将触发器插件取出, 再用万用表检查 VT1、VT2 (5) 主电路熔断器 FU2 或 FU3 熔断	(1) 修复或更换变压器 T3 (2) 修复或更换 SA (3) 修复励磁绕组 (4) 排除故障后, 更换 VT1、VT2 (5) 更换 FU2 及 FU3
6	电极不能进行手动控制	(1) 手动操作的电源有故障。检查端子 131 与 132, 其交流电压应为 12V 左右, VS1 两端应为 7V 左右 (直流电压), 否则应检查其他元器件是否损坏 (2) 开关 SA4 的手动升降触头没接通或接触不良 (3) 电位器 RP3 或 RP4 的给定位置不正确, 导致无手动上升或下降信号	(1) 更换已损坏的元件 (2) 修复触头或更换 SA4 (3) 重新整定 电位器 RP3 及 RP4, 使手动上升或下降满足要求为止

(续)

序 号	故障现象	原 因 及 检 查	排 除 方 法
7	电弧电流大于或小于额定值时, 电极均不能移动	(1) 晶闸管主电路FU2或FU3或电动机电路的FU5熔断 (2) 减速器及电极升降机构发生卡住现象 (3) 电网电压太低或制动控制电路出现故障, 使制动器没有可靠松开 (4) 离合器的机械部分发生故障。虽然离合器的励磁电流可以调节, 但机械部分发生严重摩擦或卡住现象	(1) 排除故障后, 更换已损坏的熔断器 (2) 检查减速器及传动机构 (3) 提高电压至设计值, 更换已损坏的元件 (4) 检查并修复或更换离合器
8	电极下降速度超过极限值	(1) 测速发电机内部进油, 导致碳刷与换向器之间接触不良 (2) 测速反馈电路中的切换开关SA触头接触不良 (3) 测速反馈开环或反馈信号太弱 (4) 制动器失灵原因见序号10、11	(1) 清洗换向器上的油膜 (2) 修复触头或更换开关 (3) 检查测速反馈电路, 并整定RP7, 使下降速度满足要求
9	在熔化期, 电极出现严重的振荡现象	(1) 测速反馈信号太强 (2) 超前器开关SA1状态错误或稳流作用太弱 (3) 灵敏度开关SA6或电位器RP1位置错误	(1) 重新整定电位器RP6、RP7, 直到电弧稳定为止 (2) 改变SA1的状态, 重新整定电位器RP2 (3) 将SA6扳向“熔化”的位置, 并整定RP1, 降低其灵敏度
10	起动机MA断电后, 制动器不松开	(1) 制动器线圈开路 (2) 衔铁间隙太大, 电磁力不足以克服弹簧的反作用力 (3) 制动电路出现故障	(1) 检查线圈回路, 并修复或更换线圈 (2) 重新整定间隙 (3) 检查电路元件并予以更换
11	电动机MA断电后, 制动器抱不紧	(1) 弹簧的弹力太小 (2) 摩擦片内部进油或积尘太多	(1) 更换弹簧 (2) 拆卸并清洗干净

5. 电气元件明细表 (见表13-2-5、表13-2-6)

表13-2-5 插件元件明细表 (参见图13-2-11)

序号	文字符号	旧文字符号	名 称	型 号 规 格	序号	文字符号	旧文字符号	名 称	型 号 规 格
1	VC1	GZ1	整流桥	由2CP21组装而成	8	R4	R4	电阻	RXYC-X-10, 560Ω
2	VC2	GZ2	整流桥	由2CP21组装而成	9	RP1	W1	电位器	WX3-11, 3W, 10kΩ
3	VC4	GZ4	整流桥	由2CP21组装而成	10	RP3	W3	电位器	WX3-11, 3W, 1kΩ
4	C1	C1	电容	CD26, 50V, 100μF	11	RP4	W4	电位器	WX3-11, 3W, 1kΩ
5	C2	C2	电容	CD26, 50V, 100μF	12	VS1	WYG1	稳压二极管	2DW4
6	C4	C4	电容	CD26, 50V, 100μF	13	R10	R10	电阻	RJ-1, 160Ω
7	R3	R3	电阻	RXYC-X-10, 560Ω	14	VD11	GZ11	二极管	2CP21

(续)

序号	文字符号	旧文字符号	名称	型号规格	序号	文字符号	旧文字符号	名称	型号规格
15	VC12	GZ12	整流桥	由2CP21组装而成	58	V1	BG1	三极管	3AX3
16	VD13	GZ13	二极管	2CP21	59	V2	BG2	三极管	3AX3
17	VD14	GZ14	二极管	2CP21	60	C5	C5	电容	CD11, 50V, 10 μ F
18	VD15	GZ15	二极管	2CP21	61	C6	C6	电容	CD11, 50V, 10 μ F
19	VD16	GZ16	二极管	2CP21	62	R11	R11	电阻	RJ-0.25, 75 Ω
20	VD32	GZ32	二极管	2CP21	63	C7	C7	电容	CD10, 50V, 22 μ F
21	VD33	GZ33	二极管	2CP21	64	C19	C19	电容	CD10, 50V, 4.7 μ F
22	VS4	WYG4	稳压二极管	2DW5	65	R57	R57	电阻	RJ-2, 200 Ω
23	VS7	WYG7	稳压二极管	2DW5	66	C8	C8	电容	CD10, 63V, 10 μ F
24	VU5	BG5	单结晶体管	BT33E	67	VC21	GZ21	整流桥	由2CP21组装而成
25	V4	BG4	三极管	3AX31C	68	C17	C17	电容	CD-3-CO, 100V, 100 μ F
26	V3	BG3	三极管	3DG6D	69	R47	R47	电阻	RJ-1, 33 Ω
27	C11	C11	电容	CD26, 50V, 220 μ F	70	R48	R48	电阻	RJ-1, 33 Ω
28	C12	C12	电容	CZJX, 160V, 0.22 μ F	71	C24	C24	电容	CZJX, 160V, 0.1 μ F
29	R P 5	W5	电位器	WX3-11, 3W, 2.2k Ω	72	C25	C25	电容	CZJX, 160V, 0.1 μ F
30	R31	R31	电阻	RX1-5, 750 Ω	73	R41	R41	电阻	RX1-10, 470 Ω
31	R33	R33	电阻	RJ-0.5, 27 Ω	74	VT3	KKG3	晶闸管	3CT, 200V, 1A
32	R34	R34	电阻	RJ-0.5, 27 Ω	75	VT4	KKG4	晶闸管	3CT, 200V, 5A
33	R32	R32	电阻	RJ-0.5, 2k Ω	76	R43	R43	电阻	RJ-2, 330 Ω
34	R26	R26	电阻	RJ-0.5, 2.7k Ω	77	R44	R44	电阻	RJ-0.5, 1M Ω
35	R24	R24	电阻	RJ-0.5, 5.1k Ω	78	VD18	GZ18	二极管	2CP15
36	R27	R27	电阻	RJ-0.25, 10k Ω	79	VD19	GZ19	二极管	2CP15
37	R28	R28	电阻	RJ-0.25, 2k Ω	80	VD20	GZ20	二极管	2CP15
38	R29	R29	电阻	RJ-0.25, 1k Ω	81	R45	R45	电阻	RJ-0.5, 3.3k Ω
39	R30	R30	电阻	RJ-0.25, 470 Ω	82	R46	R46	电阻	RJ-1, 20k Ω
	T I	B7	脉冲变压器	100/150 $\times$ 2	83	C23	C23	电容	CD10, 50V, 3.3 μ F
41	C3	C3	电容	TF, 16V, 5 μ F	84	C18	C18	电容	CDX-1-C1, 25V, 100 μ F
42	R65	R65	电阻	RJ-0.5, 7.5k Ω	85	RP8	W8	电位器	WX3-11, 3W, 2.2k Ω
43	VC5	GZ5	整流桥	由2CP21组装而成	86	VS6	WYG6	稳压二极管	2CW21L(3~5t)
44	VC6	GZ6	整流桥	由2CP21组装而成	87	VS6	WYG6	稳压二极管	2CW21B(0.5~1.5t)
45	VD7	GZ7	二极管	2CP21	88	R63	R63	电阻	RJ-2(3~5t), 1.2k Ω
46	VS5	WYG5	稳压二极管	2DW4	89	R63	R63	电阻	RJ-2(0.5~1.5t), 330 Ω
47	C9	C9	电容	CD26, 50V, 470 μ F	90	C22	C22	电容	CZJD-1, 400V, 4 μ F
48	RP2	W2	电位器	WX3-11, 3W, 2.2k Ω	91	VD	GZ	二极管	2CZ, 100V, 1A
49	R17	R17	电阻	RJ-0.5, 75 Ω	92	VD8	GZ8	二极管	2CP1, 100V, 400mA
50	R18	R18	电阻	RJ-0.25, 2.7k Ω	93	VD23	GZ23	二极管	2CP1, 100V, 400mA
51	R19	R19	电阻	RJ-0.25, 10k Ω	94	VD24	GZ24	二极管	2CP1, 100V, 400mA
52	R20	R20	电阻	RJ-0.5, 470 Ω	95	VD25	GZ25	二极管	2CP1, 100V, 400mA
53	R7	R7	电阻	RJ-1, 1k Ω	96	R8	R8	电阻	RJ-1, 1k Ω
54	R14	R14	电阻	RJ-0.25, 5.1k Ω	97	R23	R23	电阻	RX1-3, 27 Ω
55	R15	R15	电阻	RJ-0.25, 5.1k Ω	98	VD31	GZ31	二极管	2CP21
56	R12	R12	电阻	RJ-0.25, 150 Ω	99	RP6	W6	电位器	WX3-11, 3W, 2.7k Ω
57	R13	R13	电阻	RJ-0.25, 150 Ω	100	RP7	W7	电位器	WX3-11, 3W, 2.7k Ω

表13-2-6 元件明细表 (参见图13-2-11)

序号	文字符号	旧文字符号	名称	型号规格	序号	文字符号	旧文字符号	名称	型号规格
1	TA1	1LH	电流互感器	LYM-0.5	33	HL1	1LD	信号灯	见SB2
2	TA2	2LH	电流互感器	LYM-0.5	34	HL2	4HD	信号灯	见SB1
3	TA3	3LH	电流互感器	LYM-0.5	35	R1	R1	电阻	BC1-150, 300Ω
4	KOC	GLJ	电流继电器	GL-11/10	36	R62	R62	电阻	RXY-50, 33Ω
5	PA1	A1	电流表	44L1-A, 0~10A	37	R53	R53	电阻	RXY-150, 5.1Ω
6	PA2	A2	电流表	44C2-mA, 0~30mA	38	FU1	RD1	熔断器	RL1-15/2
7	RP01	W01	电位器	WX3-11, 3W, 2.2kΩ	39	FU2	RD2	熔断器	RL1-15/5
8	PA3	A3	电流表	44C2-A, 0~10A	40	FU3	RD3	熔断器	RL1-15/5
9	PV	V	电压表	44L1-V, 0~250V	41	FU4	RD4	熔断器	RL1-15/5
10	TG	CF	测速发电机	他励式, 励磁电压110V	42	FU5	RD5	熔断器	RL1-15/10
11	WS	CEQ	励磁绕组	励磁电压110V	43	SA2	HK	组合开关	HZ10, 10P/2
12	YB	BQ	电磁制动器	线圈电阻24Ω	44	SA6	KF	波段开关	KCT-2WBD22
13	YC	DLQ	电磁离合器		45	SA1	K1	钮子开关	KN3-A, 1Z2D
14	MA	JD	异步电动机	J02-32-4, 380V, 3kW	46	SA3	K3	钮子开关	KN3-A, 1Z2D
15	T1	B1	变压器	150VA, 5/10, 25V	47	HL	XD1	信号灯	XD-2, ~220V
16	T2	B2	变压器	50VA	48	VT1	KG1	晶闸管	3CT5, 300V, 5A
17	T3	B3	变压器	225VA, 220V/50V×2	49	VT2	KG2	晶闸管	3CT5, 300V, 5A
18	T4	B4	变压器	30VA, 220/30, 34V	50	C13	C13	电容	CZJX, 400V, 0.22μF
19	T5	B5	变压器	120VA, 220/110, 15, 6.3V	51	C14	C14	电容	CZJX, 400V, 0.22μF
20	T6	B6	变压器	10VA, 220/10, 15, 60V	52	R35	R35	电阻	RXYC-7.5, 30Ω
21	KA1	1ZJ	继电器	JZ7-44, ~220V	53	R36	R36	电阻	RXYC-7.5, 30Ω
22	KA2	2ZJ	继电器	JZ7-44, ~220V	54	R39	R39	电阻	BC1-100, 5Ω
23	KA3	3ZJ	继电器	JZ7-44, ~220V	55	R38	R38	电阻	RXY-20, 200Ω
24	KA4	4ZJ	继电器	JZ7-44, ~220V	56	VD17	GZ17	二极管	2CZ14B,
25	KA5	5ZJ	继电器	JZ7-44, ~220V	57	C15	C15	电容	CZJD, 400V, 0.47μF
26	SA	GBK	转换开关	LW5-15D3462/12	58	C16	C16	电容	CD13, 50V, 2200μF
27	SA4	WHK	转换开关	LW5-15D0724/3	59	VC10	GZ10	整流桥	由2CZ12D组装而成
28	SA5	5WHK	转换开关	LW5-15E1132/4	60	C10	C10	电容	CD13, 300V, 100μF
29	KM	CQ	接触器	CJ10-10, ~220V	61	QS	GK	隔离开关	GN0-10/400A
30	FR	RJ	热继电器	JR15-10/2, 4.5~7.2A	62	QF	ZK	真空断路器	ZN3-10/600A
31	SB1	TA	按钮	LA19-11D, 6.3V, 红色	63	TF	B	电炉变压器	
32	SB2	QA	按钮	LA19-11D, 6.3V, 绿色	64	PA4	A4	电流表	44C2-A, 0~3A
					65	R64	R64	电阻	BC1-25, 100Ω

(二) KSD型晶闸管-交流双电机式电弧炉电极自动调节系统的修理与调试

1. 调节系统框图

本调节系统的框图如图 13-2-12 所示。图中各环节的作用如下:

电弧电流 $I_{a.c.}$ 和电弧电压 $U_{a.c.}$ 信号经整流和滤波后在平衡桥上进行比较。由于本调节系统电压测量回路构成了一个简单的稳压电路, 所以平衡桥输出信号 U_p 与弧流信号电动势成正比关系, 其偏差信号(U_p)被加到放大环节的输入端, 与测速反馈信号进行叠加。

为了提高电路的增益, 便于综合平衡桥主信号及测速负反馈信号, 本调节系统增加了运算放大器环节。这样信号的比例容易调整, 电路简单, 性能稳定。经比例放大环节、触发器及三相半控晶闸管交流调压电路的放大, 将微小的偏差信号变换成为交流双电机所需要的功率, 以满足电弧炼钢炉电极自动调节工艺的要求。

2. 电路的组成单元及其调试

单元调试所需器具如下:

高内阻万用表	2 块
兆欧表	500V 1 块
示波器	1 台

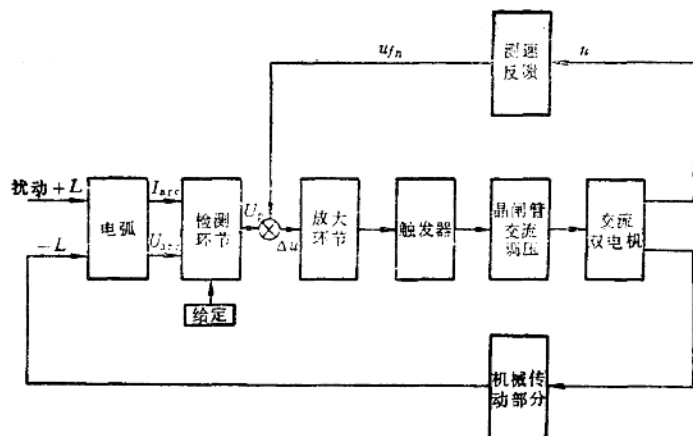


图13-2-12 调节系统框图

自耦调压器 (1 kVA, 220 V)	1 台
转速表 (0~1500 r/min)	1 块
板型电阻 (ZB2-8)	3 片
单相刀开关 (10 A)	1 个
钮子开关 (kVX1)	1 个

(1) 交流双电机简介 由于电极自动调节系统的工作条件特殊，电极仅在行程 1~3 m 范围内上下往复移动，其起动-制动-反向过程十分迅速，普通的笼型电机是不能胜任的。调节系统要求原动

机具有以下特殊性能：

- 1) 能进行无级调速；
- 2) 能正、反向旋转；
- 3) 能适应频繁地起动、制动和反向；

4) 全封闭式结构，防尘性能好。

交流双电机如图 13-2-13 所示，在结构上，像两台普通异步电动机的组合，两个定子铁心的外面是水套，钢质转子共用。转子钢筒既导磁又导电，当定子三相绕组通过交流电流而产生旋转磁场时，在转子中产生感应电流——涡流，

涡流与主磁场相互作用，产生电磁转矩，驱动转子转动。双电机和普通笼型电机的转矩-转差率特性 $T = f(s)$ 如图 13-2-14 所示。现将这两种电机的特性对比如下：

1) 一般异步电机的转矩大约随外施电压的平方成正比，即 $T \approx KU^2$ ，双电机也大致如此。改变双电机定子电压，就改变了电机转矩，在一定负载转矩的情况下，转速便发生变化，从而实现调速。

2) 由曲线 1 可知，双电机在转差率 $s = 0 \sim$

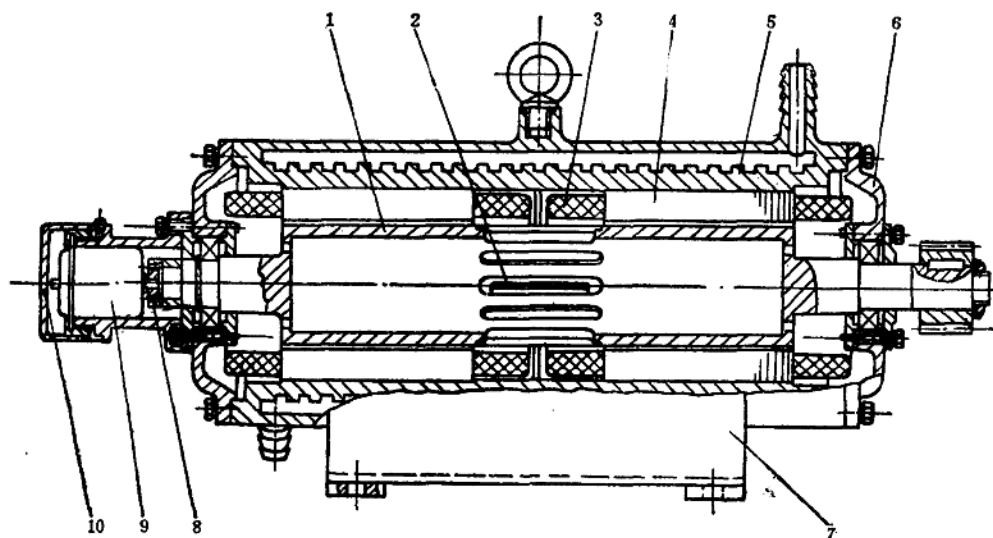
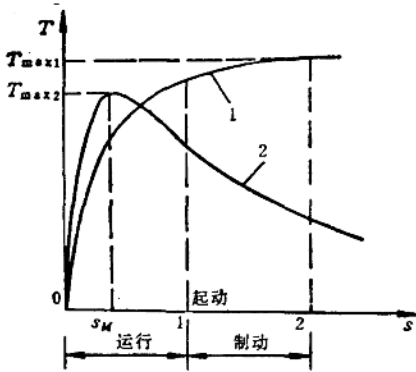


图13-2-13 交流双电机结构图

1—转子 2—风叶 3—绕组 4—定子铁心 5—水套 6—端盖 7—底座 8—齿轮接手 9—测速电机 10—护罩

图13-2-14 转矩-转差率特性 $T=f(s)$

1—双电机 2—普通笼型电机

1 的范围内, 斜率 $dT/ds > 0$, 任意一点都可稳定运行, 从而可实现无级调速; 而笼型电机仅在 $s = 0 \sim s_M$ (s_M 一般小于 0.5) 的范围内 $dT/ds > 0$, 可以调速, 在 $s = s_M \sim 1$ 的范围内, 因 $dT/ds < 0$, 没有稳定运行的工作点(恒定阻力情况下), 故不能从静止到最高速范围内无级调速。

3) 双电机 $T=f(s)$ 特性较软, 在低转差率(高速运行)场合, 转矩小于笼型电机, 故不宜连续重载运行。但是在 $s = 1 \sim 2$ 的范围, 即反接制动状态, 其转矩远大于笼型电机。所以双电机的制动能力比普通笼型电机强, 这一特性在电机调节过程中防止电极短路和断弧具有特殊的重要性。

4) 双电机有完全独立的两个绕组, 一个通电, 电机正转, 另一个通电, 电机反转。即使两个绕组同时通电, 仅仅是转子内部产生扭曲应力, 并不会损坏电机, 从而使换向较普通笼型电机大为方便。

5) 双电机钢转子的强度高, 允许温度高, 经久耐用, 这是其他任何电机所不及的。

6) 双电机起动电流小, 全电压起动时, 双电机的起动电流只占相当容量的笼型电机的 30%~40%。导线的发热功率为 I^2R , 因此, 双电机定子绕组发热只占笼型电机的 9%~16%。所以双电机定子绕组能适应频繁起动。

从对比中可见, 双电机起动转矩大, 起动电流小, 起动发热小, 转动惯量小, 全封闭水冷结构, 而且调速、制动、换向均比较方便, 完全满足了新调节系统对执行电机的要求。

交流双电机的一般性检查与普通笼型电机相

同, 只需要检查绝缘和进行空载试验。

1) 电机绝缘检查 用 500 V 兆欧表测量各绕组对外壳的绝缘电阻不小于 $1 M\Omega$ 。

2) 电机空载试验 电源电压 380 V, 空载电流应与铭牌大致相同, 如果试验电压高于 380 V, 空载电流会明显增大, 三相不平衡值不大于 10%, 测量转速为 1450 r/min 左右(注意: 长期空载试验应该通水)。

交流双电机的主要技术数据见表 13-2-7。

表 13-2-7 三相交流双电机主要技术参数

双电机型号	SD1	SD2	SD3
额定电压(V)	380		
空载电流(A)	≤6	≤9	≤16
最大起动制动电流(堵转电流)(A)	≤14	≤20	≤40
转速调节范围(r/min)	0~1430		0~960
最大起动制动转矩(N·m)	29.4	39.2	147
转动惯量(kg·m ²)	0.048	0.06	约 0.5
绝缘等级	E 级		
运行定额	炼钢连续调节		
冷却水量(L/min)	7	10	20
进水温度(°C)	≤30		
结构型式	全封闭式安装		
电机总重(kg)	100	110	225

(2) 信号检测环节(信号插件) 众所周知, 改变电弧长度, 电流就会相应变化, 电极自动调节系统的任务就是不断地调整电极位置, 以维持电弧电流不变。信号检测环节主要由平衡电路构成。

平衡桥简化电路如图 13-2-15 a 所示。电弧电流经互感器 TA1 变换为 5 A 左右的二次电流, 然后再经弧流变压器 T1 变换为毫安级的信号电流, 经 VC1 整流、C1 滤波后, 加到负载电阻 R3 上, R_3 为等效负载电阻。

电压信号直接取自电炉变压器低压侧铜排。R2、VS1、T2 构成交流稳压限幅电路, 中小电炉最低档对地电压约为 $100/\sqrt{3} = 57 V$, 最高档对地电压不超过 $340/\sqrt{3} = 196 V$, 因此稳压范围为 50~220 V。

在正常工作时, T2 一次电压波形接近于方波

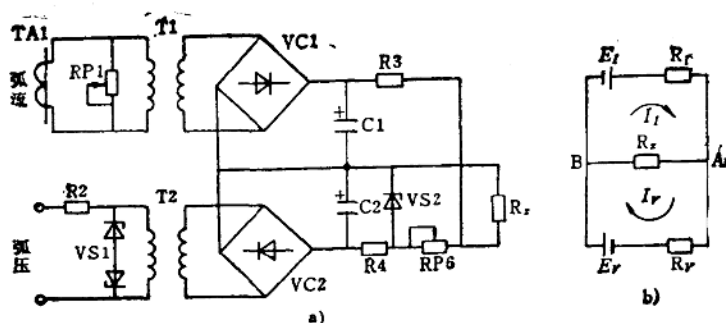


图13-2-15 平衡桥简化电路

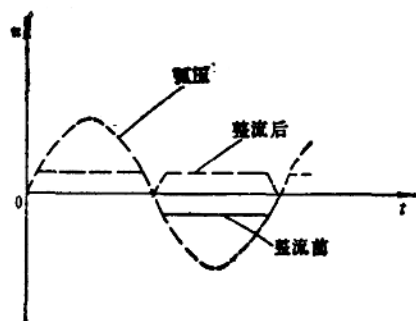


图13-2-16 T2一次电压波形

(见图13-2-16), T2磁场不饱和, 各谐波都能由一次侧耦合到二次侧, 所以输入VC2的交流电压波形与VS1上波形相似。这样的方波经过整流后的波形接近于直流, 其纹波系数小, 电容C2只要很小的容量即能得到良好的滤波效果。因此电压信号回路的时间常数非常小, 保证了单相电极触及炉料(接地)以后, 电压信号迅速消失, 电极立即制动停止。

图13-2-15b所示为平衡桥的等效电路, 图中 E_I 为电流信号的等效电动势, R_I 为电流臂的等效电阻。 E_V 为弧压信号等效电动势(实际是稳压管VS2的稳定电压), R_V 为电压臂等效电阻。根据叠加原理, 电动势 E_I 和 E_V 分别在等效负载 R_s 上产生的电流和电压为:

$$I_I = \frac{E_I}{R_I + \frac{R_V R_s}{R_V + R_s}} \cdot \frac{R_V}{R_V + R_s} \quad (13-2-3)$$

$$U_I = I_I R_s = \frac{R_V R_s}{R_I R_V + R_s R_I + R_V R_s} E_I \quad (13-2-4)$$

$$I_V = \frac{E_V}{R_V + \frac{R_I R_s}{R_I + R_s}} \cdot \frac{R_I}{R_I + R_s} \quad (13-2-5)$$

$$U_V = I_V R_s = \frac{R_s R_I}{R_I R_V + R_s R_I + R_V R_s} E_V \quad (13-2-6)$$

$$U_s = U_I - U_V = \frac{R_s}{R_I R_V + R_s R_I + R_V R_s} \times (R_V E_I - R_I E_V) \quad (13-2-7)$$

由式(13-2-7)可见, 当电压信号 E_V 为恒定值时, 平衡桥输出信号 U_s 与弧流信号电动势 E_I (或电弧电压)成线性关系。令式(13-2-7)中 $U_s = 0$, 则有:

$$R_V E_I - R_I E_V = 0$$

$$\text{或} \quad \frac{E_I}{R_I} = \frac{E_V}{R_V} \quad \frac{E_I}{E_V} = \frac{R_I}{R_V} \quad (13-2-8)$$

式(13-2-8)表明, 当电阻的比值等于电动势的比值时, 则达到平衡。

若使 R_I 和 E_V 不变, 则改变 R_V (R_s), 即可改变 E_I , 也就是调整了冶炼电流。如果 R_V 未变, 冶炼过程中电流因某种原因发生了偏移, E_I 随之变化, 平衡条件也被破坏, 其输出信号将驱使电极移动, 改变电流以恢复平衡。

由图13-2-15b可以看出, 当加大电流时, 输出信号A端为正, B端为负; 当减小电流时, 输出信号A端为负, B端为正。这就给双电机正向和反向旋转提供了信息。

(3) 运算放大电路(放大插件) 放大电路如图13-2-17所示, 主信号由电位器RP21输入, 速度反馈信号由RP23输入。由负反馈电阻R28确定放大电路的放大倍数, 一般约为10倍。放大器的电源取自同步变压器T3的一组45V绕组, 经过二极管