

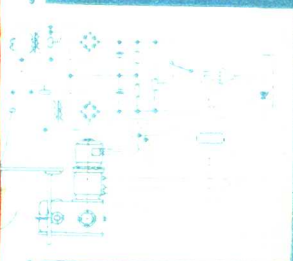
机械工业技术革新技术改造选编

# 可控硅-电磁转差离合器式 电弧炉电极自动调节器

西安电炉研究所 编

一九七九年四月二十日

机械工业出版社



73.281/1035

机械工业技术革新技术改造选编

---

# 可控硅-电磁转差离合器式 电弧炉电极自动调节器

西安电炉研究所 编



机械工业出版社

**内容提要** 可控硅-电磁转差离合器式 电弧炉 电极自动调节器是近年来我国自行研制成功的一种先进的机械电气式调节器,它具有使用可靠、动作灵敏、制造容易、成本低廉、能提高炼钢质量及减少电耗等优点。本书介绍了该种调节器的工作原理、结构、设计、调整及维护,并给出了基本计算公式、运行曲线和数据。

本书可供从事电弧炼钢炉电气设备的设计、制造、调整、使用和维修方面的同志使用,亦可供高等学校电热设备及电冶金专业的学生参考。

## **可控硅-电磁转差离合器式 电弧炉电极自动调节器**

西安电炉研究所 编

\*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{32}$  · 印张 4 · 插页 1 · 字数 86 千字

1979 年 1 月北京第一版·1979 年 1 月北京第一次印刷

印数 00,001—20,000 · 定价 0.36 元

\*

统一书号: 15033 · 4565

## 出版说明

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，机械工业技术革新和技术改造的群众运动蓬勃开展，先进经验层出不穷。为及时总结推广这些先进经验，我们组织编写了“机械工业技术革新技术改造选编”。

“机械工业技术革新技术改造选编”将陆续出版，内容包括：铸、锻、焊、热处理、机械加工、电工、仪器仪表、改善劳动条件、三废处理等方面，每本讲一个专题，内容少而精，便于机械工业的广大工人和技术人员阅读参考。

在组织编写过程中，得到有关领导部门和编写单位的大力支持，对此我们表示感谢。欢迎读者对这些书多提宝贵意见。

## 前 言

“可控硅-电磁转差离合器式电弧炉电极自动调节器”是在毛主席“独立自主、自力更生”的方针指引下，经过反复试验而研制成功的一种新型调节器。现在，已在全国各地得到了推广使用，并且已经国家定型生产。

在该种调节器中，采用了特殊设计的小惯量电磁转差离合器作为执行元件；采用了可控硅、晶体管等静止元件组成了自动调节系统。具有反应灵敏、稳定性好、可靠性高、维修简单、炼钢时间短、耗电量小等优点，因而受到了使用单位的重视和欢迎。

在英明领袖华主席“抓纲治国”的战略决策指引下，我国电炉炼钢机械化自动化水平不断提高，为了及时地总结及交流这方面的经验，更快地推广使用该种新型调节器，我们组织编写了本书。本书由西安电炉研究所花皓、潘彬云、薛建民同志执笔。

书中叙述了该种调节器的工作原理、结构、设计，给出了有关计算公式及关键数据；总结了制造及维修中容易碰到的问题；简述了调试方法。此外，对与调节器有密切关系的电弧炉主电路及其继电保护也做了简要讨论。

本书可供从事电弧炼钢炉电气设备的设计、制造、使用及维修方面的工人和工程技术人员使用，亦可供高等学校电热设备及电冶金学专业的学生参考。

# 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 一、概述                             | 1  |
| 二、调节对象——电弧                       | 5  |
| 三、对电极自动调节器的要求                    | 10 |
| 四、可控硅-电磁转差离合器式电弧炉电极自动<br>调节器结构组成 | 12 |
| 五、测量与比较环节                        | 19 |
| 1. 测量与比较环节的工作原理                  | 19 |
| 2. 关于提高电压测量回路的灵敏度                | 26 |
| 六、单结晶体管式触发回路                     | 31 |
| 七、离合器励磁回路（可控硅整流回路）               | 36 |
| 八、电磁抱闸控制回路                       | 41 |
| 九、小惯量电磁转差离合器                     | 46 |
| 1. 结构型式                          | 47 |
| 2. 工作原理                          | 49 |
| 3. 发热和散热                         | 52 |
| 4. 材料及工艺                         | 53 |
| 5. 安装调试                          | 55 |
| 6. 小结                            | 58 |
| 十、电极升降传动机构                       | 60 |
| 十一、速度负反馈回路                       | 63 |
| 十二、超前器（微分负反馈环节）                  | 67 |
| 1. 单相桥式整流器GZ。                    | 70 |
| 2. 双T形带阻滤波器                      | 71 |
| 3. 微分回路                          | 73 |
| 4. 磁敏触发器                         | 74 |

## VI

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 十三、电弧炉的主电路及过流保护 .....    | 77  |
| 1. 主电路的组成及电气设备 .....     | 77  |
| 2. 短网 .....              | 83  |
| 3. 主电路的等值电路及电气特性 .....   | 86  |
| 4. 电弧炉的过电流保护 .....       | 93  |
| 十四、调节器的调整试验 .....        | 100 |
| 1. 电压测量回路的调试 .....       | 102 |
| 2. 电流测量回路的调试 .....       | 103 |
| 3. 离合器平衡电流的调试 .....      | 104 |
| 4. 调节器非灵敏区的调试 .....      | 105 |
| 5. 速度负反馈回路的调试 .....      | 107 |
| 6. 电极升降最大速度的调试 .....     | 108 |
| 7. 调节器静特性的调试 .....       | 110 |
| 8. 抱闸控制回路的调试 .....       | 111 |
| 9. 超前器（微分负反馈）的调试 .....   | 112 |
| 10. 调节器过渡过程时间的拍摄方法 ..... | 113 |
| 十五、设备故障发生原因及排除方法 .....   | 115 |
| 参考文献 .....               | 121 |

## 一、概 述

电弧炉主要用来熔炼高质量特殊钢和合金。目前，也开始用来熔炼普通碳钢。为了提高所熔炼的金属和合金的质量、减少电能及电极的消耗量、保证准确地维持规定的电气工作条件，使设备获得较高的生产率，所以大多数的电弧炉均配装有电极升降自动调节器。但自动调节器的调节条件及调节任务颇为复杂。在熔化冷料时，长度达数毫米的电弧在不甚大的范围内就需要功率达数千千瓦的电能。此时，电弧的温度达数千度。在这种情况下，金属在电极之下迅速而激烈地熔化、蒸发、飞溅，电弧常常移到附近的金属块上，因而电弧长度、电弧电流及功率迅速不断地发生变化。

当电弧电流小于额定值时，输入炉内之电能减少，熔化时间拖长，耗电量增大；而电流大大增高时，虽仅是数秒钟，亦能使线路内损失增加，减少输入炉内的电能及降低设备的各项指标，此时，弧长过短，特别是电极与赤热或液态金属接触时，实际上会使金属遭受增碳的危险，这种现象在熔炼各种合金时都是不容许的。可见，在电弧炉内维持其最佳的电气工作制度，乃是一项特别艰巨的任务。其所熔炼出金属之成份以及设备利用率之高低，均视此一任务完成好坏而定。此任务通过调节器完成得越好，则设备的生产率、被冶炼金属质量及其他各项技术和经济指标就越高。但是并不是所有的电极自动调节器都能保证电炉的最高工作指标。

在国内，已有的炼钢电弧炉大多数采用电机放大机式电

极自动调节器。该种调节器存在着很多缺陷，主要表现在以下几方面：

(1) 存在着三个经常旋转的部分（特别是高速旋转的电机放大机），不够可靠，需要经常更换电刷，换向器也极易磨损。

(2) 调节器的静特性及非灵敏区不易调节，这在熔炼特殊钢时很难保证质量。

(3) 拖动电极的直流电动机转子惯性比较大，这在很大程度上降低了调节器的快速性。

由于以上原因，就必须研究新的更为完善的电弧炼钢炉电极自动调节器，以满足冶炼工艺对现代化电弧炉电极自动调节器的要求。

近年来，随着半导体技术的飞速发展，可控硅在各个工业领域中得到了普遍的应用。同样，在电炉控制系统中，也开始采用可控硅来控制直流电动机的电极升降调节器，但是这种方案不够理想，因为欲提高电极升降速度，必须缩短过渡过程时间，而影响缩短过渡过程时间的主要因素是系统的转动惯量，即电动机转子和电极支臂等升降机械的惯量，但是电极支臂的惯量折算到电动机轴上之后，仅占电动机惯量的很小一部分。如果在调节过程中，特别是电极始动和停止时，电动机转子不参加过渡过程，则加、减速时间就能缩至最短、电极升降速度就可以大大提高。本调节器就是基于这种设想而研制成功的。由于本调节器中的交流电动机不参加过渡过程，而参加过渡过程的离合器电枢又为低惯性的空心铝杯结构，加上全部晶体管化的无时滞的控制元件，因而具有以下突出优点：

(1) 反应灵敏。由于驱动用交流电动机以恒速向着电

极提升的方向旋转，故系统中没有电动机起动、制动时间。而且转差离合器的电枢（铝杯式转子）的转动惯量非常小，以及采用了无时滞的半导体控制元件，所以调节系统反应灵敏。从炉子出现扰动到电极达到全速的90%时间仅为0.2~0.3秒。

（2）稳定性好。为了补偿电网电压的波动及温度变化产生的不良影响，在调节器中引入了离合器电流负反馈；为了使熔化期系统稳定而引入了微分负反馈（超前器）；又为了加快起动、制动时间、提高离合器机械特性硬度而引入了速度负反馈。这样一来，就使本调节系统能够准确地反映电弧电流和电弧电压的偏差而工作，在熔化期能够稳定地运行。

（3）电极上升速度快、熔化时间短、耗电量小。由于系统的过渡过程时间短，熔化期电弧稳定，所以电极上升速度快（最大为4米/分），熔化时间同电机扩大机式调节器相比，可缩短20%左右。熔化期电耗小于550千瓦·小时/吨。

（4）可靠性高、容易调整。由于控制部分全部采用静止的半永久性的可控硅和半导体元件，执行环节采用了无电刷、无换向片的小惯量离合器及鼠笼式交流电动机，所以其可靠性大为提高、维修大大简化。另外，由于电极下降是依靠位能作动力，所以在熔化期，若炉料不导电，电极接触炉料之后，即失去位能，则电极自动停止，不易撞断电极，从而提高了运行的可靠性。灵敏度的调节极其方便，操作者可根据冶炼工艺要求，随意调节。本调节器的最高灵敏度（即最小非灵敏区）为10%。

（5）调节装置占地面积小、重量轻、成本低。对电弧炉正常运行所必须的自动控制及调节元件可全部放在操作台



方框图中, 7 为指令元件, 借它来整定电弧电流。8、9、10 为辅助环节, 用来实现各环节之间的反馈, 使系统更加完善, 使调节质量得到提高。

从方框图中可以看出, 系统中每一环节仅作用于在调节作用方向上受其控制的环节。而后一环节对前者的反作用极小, 可略而不计。例如放大环节作用于执行机构 (离合器), 而离合器不能反过来作用于放大环节。执行环节只能影响调节对象 (电弧), 以改变电弧电压和电弧电流的比值, 使之达到规定值。

## 二、调节对象——电弧

对电弧炉电极自动调节器来说, 调节对象就是大功率交流电弧。因此要设计出比较完善的电极自动调节器, 就必须首先了解大功率交流电弧的特性。

电弧是由外施电场加至二电极之间产生的。外施电场作用于每个自由电子和正离子 (失去一个电子的原子) 以同样的力, 但是由于电子的质量为正离子质量的数千分之一, 所以电子和离子的迁移率相差极其悬殊, 即电子的运动速度比正离子快得多, 因此下面讨论的电弧放电所产生的电流主要是由自由电子形成的。

当石墨电极触及被熔炼之金属炉料时, 则产生短路电流。此时, 电极升起, 电极与金属间的气体介质的电阻值非常大, 所以说, 当外施电场比较弱时, 回路中无电流产生, 只有电弧电压在 45~55 伏以上时 (对炭质电极而言), 气体层才能被击穿。气体一旦被击穿之后, 弧隙电阻即开始迅速下降。但是电弧电压和电弧电阻的变化速度在整个伏安特性曲线上是

不一样的, 如图 2-1 所示。

在开始阶段, 随着电弧电流的增加, 电弧电压急剧降低。因为此时, 由于电弧产生热量, 弧柱的电离化迅速增加, 即弧柱的电导率急剧增高。因此, 为了维持电弧所需的电压值也就随着急剧下降。后来, 当电弧电流增至很大时, 弧柱电导率的增长速度就变得非常缓慢了。特性的最后部分几乎平行于横坐标轴, 即电弧电压几乎保持不变, 而电弧电阻和电弧电流成反比例。

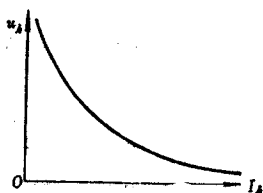


图2-1 伏安特性

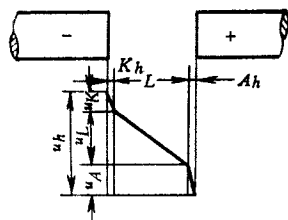


图2-2 电弧各区电压降分布

$A_h$ —阳极区  $K_h$ —阴极区  $L$ —等离子区

电弧按其长度可分为三区: 即阳极区  $A_h$ 、阴极区  $K_h$  及弧体 (或称等离子区)。阳极区及阴极区的合成长度很短, 不超过 1 毫米。

当电弧电流超过 100 安培时, 电弧电压降可由下式确定:

$$u_a = u_A + u_K + u_L \quad (2-1)$$

式中  $u_a$ ——电弧电压 (V);  
 $u_A$ ——阳极区电压降 (V);  
 $u_K$ ——阴极区电压降 (V);  
 $u_L$ ——等离子区电压降 (V)。

电弧电压  $u_a$  在各区段上的分布见图 2-2。其中 阳极和

阴极区电压降难于分开确定，二者之和  $u_a + u_k$  与电流大小无关，只取决于两电极材料、介质气体种类和气体压力。通常用  $\alpha$  表示阳极和阴极区电压降之和。在电弧炉中，对于不同电极材料的  $\alpha$  值列于表 2-1。

表 2-1

| 电 极 材 料    | $\alpha$ (V) |
|------------|--------------|
| 炭(石墨)-钢    | 22           |
| 炭(石墨)-碱性炉渣 | 9            |
| 炭(石墨)-酸性炉渣 | 30           |

表 2-2

| 冶 炼 期 | $\beta$ (V/mm) |
|-------|----------------|
| 熔 化 期 | 10~12          |
| 氧 化 期 | 3.5~4          |
| 还 原 期 | 1.1~1.2        |

此外，如果用  $\beta$  表示 1 毫米弧体上的电压降时，则在一定电极材料和一定气体压力下，电弧本体的电压降为  $u_c = \beta L$ 。式中， $L$  为弧长，即当电流很大时，电弧本体的电压降与弧长成正比，而与电流大小无关。所以，电弧电压  $u_h$  又可写成如下形式：

$$u_h = \alpha + \beta L \quad (2-2)$$

式中  $\alpha$  ——阳极区和阴极区电压降之和 (V)；

$\beta$  ——弧柱电压梯度 (V/mm)。

$\beta$  值在不同的冶炼时期是不同的，而且相差很悬殊，表 2-2 列出不同冶炼期的  $\beta$  值。

不同冶炼期的电弧静特性见图 2-3。

上面叙述的电弧放电现象及电弧静特性均与电弧电流的种类无关。

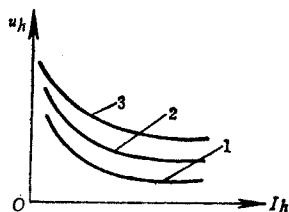


图2-3 不同冶炼期的  
电弧静特性

1—短弧 2—中弧 3—长弧

下面讨论一下对调节器工作质量有密切联系的两个电弧参数：电弧长度  $L_h$  及电弧（炉子）放大系数  $K_h$ 。

首先讨论电弧长度。根据公式 2-2 可写：

$$L_h = \frac{u_h - \alpha}{\beta} \quad (2-2')$$

现以新系列 3 吨电弧炉为例：电炉变压器二次线电压  $u_l = 220 \text{ V}$ ；二次相电压  $u_{ph} = 127 \text{ V}$ ，电弧电压  $u_h = 115 \text{ V}$ ，熔化期： $\beta = 12 \text{ V/mm}$ 。将上列数据代入式 2-2' 中，可得出熔化期电弧长度

$$L_h = \frac{u_h - \alpha}{\beta} = \frac{115 - 22}{12} = 7.7 \text{ mm}$$

从计算结果可以看出，熔化期弧长很短。之所以发生这种现象是因为在熔化期，炉膛、电极及被熔炼金属的温度都很低，因此要求加至每毫米长度电弧上的电压（弧柱梯度  $\beta$ ）就大。从能量的观点看，就是在熔化期，每单位长度电弧上所需之功率大的缘故。

由此可见，在熔化期，特别是熔化初期，欲使电弧连续地、稳定地燃烧，必须具备以下两点：要采用灵敏度高、惯性小的快速电极自动调节器，适当提高熔化期电炉变压器二次电压，以增加电弧长度。

随着炉内温度不断升高， $\beta$  值不断下降。特别是当炉料上面覆有一层碱性炉渣时， $\beta$  值剧烈降低。 $\beta$  值在还原期竟降为 1.2 伏/毫米。那末，还原期之弧长则为：

$$L_h = \frac{u_h - \alpha}{\beta} = \frac{115 - 22}{1.2} = 77 \text{ mm}$$

通常，在精炼期为了降低输入炉内的功率及提高炉墙寿命，往往将电炉变压器换至低档电压，比如  $u_l = 127 \text{ V}$ ， $u_{ph} = 73 \text{ V}$ ，则电弧电压  $u_h \approx 67 \text{ V}$ ，此时电弧长度

$$L_h = \frac{u_h - \alpha}{\beta} = \frac{67 - 22}{1.2} = 37.5 \text{ mm}$$

可见弧长还是很长。如果在钢液表面覆有一层碱性炉渣时，则  $\alpha$  降为 9 伏，此时弧长为：

$$L_h = \frac{u_h - \alpha}{\beta} = \frac{67 - 9}{1.2} = 48 \text{ mm}$$

由以上计算结果可见，还原期的特点是电弧较长，不易被拉断，燃弧稳定，此时电炉变压器二次电压不宜过高。

综上所述：电弧长度  $L_h$  在不同的冶炼期是不相同的，它随着  $\beta$  值减小而增加，并稍受  $\alpha$  值之影响。

下面再讨论一下不同冶炼期的炉子（电弧）放大系数  $K_{rv}$ 。

作为调节对象的电弧，对应一个输入量，就有二个输出量。就是说，把电极位移视为输入量，在弧长改变时，电弧电流和电弧电压同时向二个不同方向变化。因此在研究调节对象（电弧）时，必须引出炉子放大系数这一概念，即当弧长改变 1 毫米时，电弧电流  $I_h$  和电弧电压  $u_h$  的变化量分别称为电弧电流放大系数  $K_r$  和电弧电压放大系数  $K_v$ 。二者之和称为炉子放大系数  $K_{rv}$ 。根据定义，省去推导过程，则电弧电流放大系数  $K_r$  可写成：

$$K_r = - \frac{dI_h}{dL_h} = \beta \frac{r + \rho}{X^2 + r^2 + r\rho} \quad (\text{A/mm}) \quad (2-3)$$

式中  $\rho = \frac{u_h}{I_h}$  ——在额定状态下电弧等效电阻 ( $\Omega$ )；

$r$  ——大电流回路电阻 ( $\Omega$ )；

$X$  ——大电流回路电抗 ( $\Omega$ )。

电弧电压放大系数  $K_v$  可写成：

$$K_v = \frac{du_h}{dL_h} = \beta \quad (\text{V/mm}) \quad (2-4)$$

对某一台电炉而言，公式(2-3)中只有 $\beta$ 为变量，其他各量均为常量，又 $K_v = \beta$ 。因此可以说，炉子（电弧）放大系数 $K_{rv}$ 同 $\beta$ 成正比例。在熔化期 $\beta = 12\text{V/mm}$ ，而还原期 $\beta = 1.2\text{V/mm}$ ，即熔化期的炉子放大系数比还原期大10倍。

由上述推论来看，可得出如下二点结论：

(1) 在熔化期，调节对象（电弧）放大系数过大，根据调节理论得知，系统放大系数过大会引起系统不稳定。对电弧炉设备而言，会发生电极串动现象，以致经常产生断弧和短路，这是我们所不希望的。为此在熔化期，必须适当减小调节器的放大系数，从而使熔化期保持稳定运行。

(2) 在精炼期（还原期），炉子（电弧）放大系数又过小，同样，根据调节理论可知，放大系数过小会导致系统精度过低，对电弧炉设备而言，就是灵敏度过低；或者说，非灵敏区过大，这在精炼期是不允许的，特别是在炼低碳钢或超低碳钢时，非灵敏区过大会导致金属增碳，不能保证质量。为此，在精炼期必须提高调节器的放大系数（设计成可改变放大系数的调节器），以便提高调节器的灵敏度，使一套调节器能够同时满足不同冶炼时期的不同要求。

### 三、对电极自动调节器的要求

根据调节器的调节条件和调节任务，对电弧炉自动调节器的基本要求如下：

(1) 调节器的灵敏度用非灵敏区表示。非灵敏区即被调节量变化时，而电极仍保持静止的极大限度，也称不感区。通常用不感系数代表调节器不感区的大小。执行机构在开始向两个方向动作时的被调节量之差与其算术平均值之比的百