

# 电磁搅拌在连铸冶金中的应用

李洪凯 刘新建 杨秀超

(江阴兴澄特钢炼钢分厂 江阴, 214400)

**摘要:**介绍了电磁搅拌设备的组成和现场布置情况, 以及电磁搅拌的原理。通过电磁搅拌在连铸冶金中的应用实践, 说明了电磁搅拌在生产中的作用。

**关键词:**连铸机; 电磁搅拌; 磁场强度

**中图分类号:** TG249.7

## 引言

江阴兴澄特钢有限公司于 2000 年从 ABB—JME, 全套引进首末端电磁搅拌设备, 该产品对连铸坯质量的提高起到了关键的作用, 投产至今已取得显著的经济效益。

兴澄公司炼钢厂连铸车间, 连铸机为 R15 m 5 机 5 流设计, 主要生产 180 mm×180 mm 以及 300 mm×300 mm 的连铸坯, 结晶器长 700 cm, 电磁搅拌器为外装式, 首端电磁搅拌器上缘距结晶器上口 480 cm, 搅拌器的高度为 690 cm, 其内腔同时含结晶器的下部以及足辊段, 凝固末端电磁搅拌器分为 180 mm×180 mm 以及 300 mm×300 mm 的连铸坯分别安装于结晶器下口的 9.2 m 和 10.4 m 位置。

## 1 电磁搅拌设备的现场布置

电磁搅拌设备由电源变频器、搅拌器及水泵阀站构成。每流电源变频器由三部分构成, 电源、整流柜, 首末端电磁搅拌柜共 5 流加上公共 PLC 柜共计 16 面电气柜。变频器采用交直交 PWM 脉宽调速变频方式, 主回路采用水冷方式。PLC 使用西门子 S7—315DP, 该系统与连铸主系统采用 PROFIBUS 现场总线进行通讯, 有两种操作方式可供选择(远程和本地), 远程在主控室计算机上操作可启停和设定电流及频率, 并显示集中报警, 现场操作盘采用西门子 OP37 操作面板。

### 1.1 电源变频器

电磁搅拌的电源来自一个独立的专用整流变压器, 容量为 3 000 kVA, 出线电压选用 560 V 的抽头, 每流有一个空气开关(630 A)控制。

电源柜为三相全波整流, 其参数如下:

输入电压: 560 V

输入功率: 225 kW

输出频率: 2~10 Hz(首端)

10~25 Hz(末端)

输出电流: 0~500 A

输出电流: 175 kVA

整流系统主回路采用大功率二极管三相全波整流

$$V_{out} = 1.35 V_{in}$$

直流母线的电压达到 891 V, 直流回路安装平波电抗器, 保证电压的稳定。

凝固末端电磁搅拌器 25 Hz 送电时的电压曲线(见图 1)。

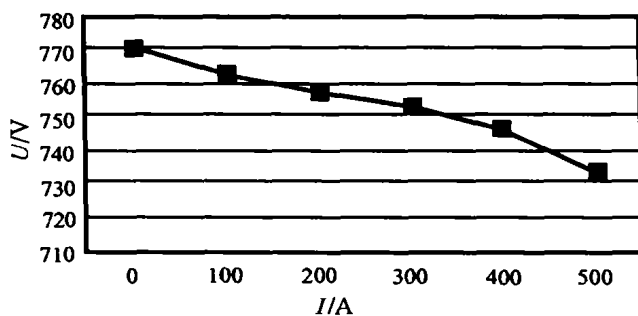


图 1 25 Hz 送电时的电压曲线

收稿日期: 2003-05-11

作者简介: 李洪凯 男, 1973 年生, 工程师。电话: (0510) 6193388—6190

逆变回路采用大功率 IGBT 元件,由六个额定电流为 1 000 A 的组成的 IGBT 构成,采用去离子水冷却方式,为防止系统突然断电保证主回路按照程序可靠关断,及过电流对 IGBT 的冲击,控制回路特别设计安装有一套 UPS 电源。

## 1.2 首端泵站

该部分主要为搅拌器和电磁搅拌柜提供冷却,冷却水使用去离子水,水的要求是电离度 250~500 micromhos/cm,洁净度颗粒 $<1.0$  mg/L,pH7~8。

首端电磁搅拌有一单独的水箱,两台 30 kW 的水泵(一用一备),两台过滤器(一用一备),在阀站装有差压开关以监控过滤器的效果,必要时更换过滤器,每流的回水装有温度传感器以监控水温(回水温度需小于 39℃),每流的回水装有流量开关(流量需大于 350 L/min),保证线圈的安全。

## 1.3 末端阀站

该部分主要为末端搅拌器和电磁搅拌柜提供冷却,其进水取自净水处理厂,故没有安装水泵,其余配置与首端相同。

## 1.4 事故水箱

该水箱只在事故时投用,即当正常生产时泵站突然断电或断水。水箱安装在离线圈 15 m 高的位置,由一个气动电磁阀控制,当水系统出现故障,事故水可维持 15 min,以保证搅拌器的安全。

## 1.5 搅拌器

现场共装有 15 台搅拌器,计首端 5 台,末端 10 台分别装在结晶器下口 9.2 m(180 mm $\times$ 180 mm 方坯)和 10.4 m(300 mm $\times$ 300 mm 方坯)位置。

# 2 电磁搅拌原理

电磁搅拌的理论关键:

- (1) 电磁场在多层介质中的传递规律;
- (2) 电磁场和流动场的耦合问题。

电磁搅拌的原理是钢液在电磁场中受到磁场

力的作用产生旋转来实现工艺要求的。所谓电磁搅拌器就是通过电磁关系来转换能量,磁场是由电流来产生的,表征磁场的物理量是磁感应强度  $B$ 。

电磁搅拌器的内径为 680 cm,结晶器为 300 mm $\times$ 300 mm,所以现场使用的搅拌器的气隙是非常大的,磁场能很大一部分就损耗在这里。

# 3 电磁搅拌的冶金实践

从使用过程中,发现电磁搅拌在生产中的主要作用表现在:

- (1) 减小皮下气孔;
- (2) 增加等轴晶区;
- (3) 减少成分偏析;
- (4) 减少钢水中的夹渣;
- (5) 降低钢水的过热度。

首端布置设计的需要注意的是,搅拌器不能距离结晶器过近,防止生产过程中,过强的磁场在钢液表面形成旋转,造成卷渣拉漏等生产事故。电磁搅拌设计的目的就是利用外力使钢液旋转,产生电磁制动效果使钢水的杂质快速上浮,根据现场测算,无外力仅依靠重力钢液从中间包水口出来的冲击深度为 3 m,这样钢液的杂质上浮比较慢,并且在外缘易结到坯壳上,导致铸坯的质量变差。使用电磁搅拌,利用钢液旋转,改善钢液的冷却速度,可减低对过热度的要求。以前为保证合金钢特别是轴承钢的质量,过热度的要求在 15℃ 以内,这对精炼和连铸的连续生产要求极高,经常造成生产中断,上电磁搅拌以后,过热度要求在 20℃ 以内,保证了连铸生产的稳定高效。电磁搅拌还可使钢液导热性增加,冷却速度加快,防止漏钢。根据对比试验发现其效果是比较明显的,达到了设计的要求。

根据现场的跟踪和实验,在首端结晶器电磁搅拌的铜管内其最佳强度应在 0.045~0.06 T 之间,低于 0.03 T 则效果欠佳,高于 0.07 T 则过强同样对设备的要求过高。首端电磁搅拌的频率在 2 Hz 的情况下是比较科学的,表 1 是在现场对电磁搅拌效果的实测数据,与对应数学模型吻合得很好。

表 1 首端结晶器电磁搅拌不同位置不同电流时的磁场强度和扭矩的测试值

测量参数				磁场强度/mT												扭矩
频率/Hz	电流/A	功率/kW	电压/V	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O/(cm·N)
2	200	39	370	7	13	15	19	26	31	37	42	45	46	45	41	23
2	300	98	460	16	21	27	35	44	55	66	75	81	83	81	74	43
2	400	183	490	13	17	22	28	35	43	51	58	63	64	63	58	68

表 1 中, O 表示结晶器的中心方向, 从距离结晶器中心点 585 mm 位置向下每隔 50 mm 一点, O11 为中心点, 见图 2。

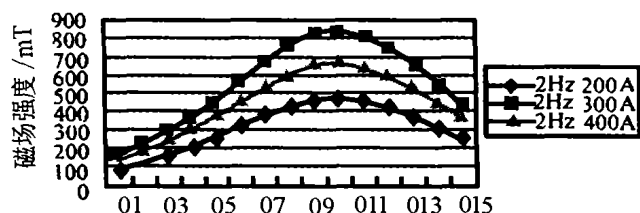


图 2 2 Hz 送电时的磁场强度分布

可见电磁搅拌的强度在搅拌器中心的垂直方向上的中心点最强, 并且向两边逐渐减小, 强度随着电流的增加而增大, 在中心点的上方 555 cm 位置即钢液下 10 cm 的位置几乎为零。结晶器内的磁场强度是由结晶器垂直方向由内向两边逐渐增大的。

凝固末端电磁搅拌器在不同电流不同频率时的扭矩测试值见图 3。可见电磁搅拌的扭矩随着电流和频率的增大而增加, 并且随着电流变化的趋势更加明显。

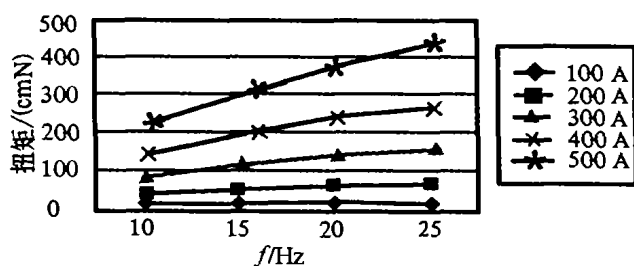


图 3 扭矩测试值

图 4 是电磁搅拌的输出功率和电流以及频率的关系, 可见输出功率在电流为 200 A 的条件下随频率的变化是比较小的。

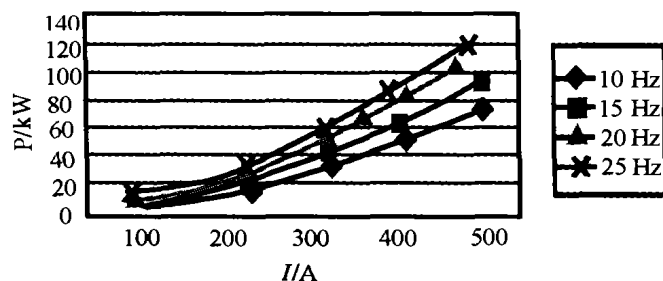


图 4 功率随电流和频率的变化曲线

## 4 结束语

从运行状况来看, 江阴兴澄特钢使用的电磁搅拌设备以及工艺水平基本达到了设计的要求, 并且创造了比较好的经济效益。

### 参考文献

- 1 刘宗富. 电机学. 北京: 冶金工业出版社, 1985
- 2 Mallekos Harper V E. Electric Machine Theory for Power Engineer. 1982