

# 小容量电弧炉所引起的电压波动及抑制措施研究

李妍,余欣梅,文劲宇,熊信银,吴耀武

(华中科技大学电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 根据某机械厂的电气接线及电弧炉的技术参数,对小型电弧炉所引起的电压波动和闪变进行了估算,结果表明小容量电弧炉在电气接线不合理、并且没有无功补偿设备的情况下所引起的波动与闪变现象不容忽视,如果不进行治疗将影响公共连接点负荷的正常工作。针对小容量电弧炉的运行特点及经济实用的出发点,从工厂供电系统和电炉车间两方面着手,提出了几种可供选用的抑制措施。并对各种抑制措施进行了分析,提出了可行的技术改造方案。

关键词: 电弧炉; 电压波动与闪变; 静止无功补偿装置

中图分类号: TM761 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2003)05-0059-03

## 1 引言

电弧炉是电力系统各类波动性负荷中对电压波动影响最大的负荷。电弧炉运行的一个显著特点是,电极和金属碎料间频繁地发生短路,而当熔化的金属碎料从电极上落下时电弧熄灭,没有电流通过。这种随机性的、从短路到开路的过渡过程会产生剧烈的电流波动。当电弧炉的波动负荷电流流过供电电网时,相应的电压波动就会加在电网公共连接点(PCC)上,而且实测数据表明:电弧炉的波动电压是调幅波,其载频为工频,调幅的频率在2~15Hz,这就导致照明灯的闪烁。

中等容量及以上电弧炉对电网的冲击较大,因此,在电气接线和无功补偿方面往往给予了充分的考虑,但对小容量电弧炉,往往重视不够,如果电弧炉没有任何无功补偿设备,而且供电系统的强度不够时,将会给电网的公共连接点带来较大的电压波动和闪变,严重时将影响公共连接点其他用户的正常用电。

本文以某机械厂电弧炉为算例,对小型电弧炉所引起的电压波动和闪变进行了计算,并提出了可行的抑制措施。

## 2 公共连接点电压波动和闪变的计算

根据文献[1]分析,短路压降法是实际应用最多的一种衡量电弧炉闪变严重程度的方法。根据电弧炉运行的三个典型工况,可以反映它对电网电压波动的主要影响, $U_0$ 、 $U_d$ 和 $U_N$ 分别表示电弧炉在三相开路、短路和额定运行时公共连接点PCC处的电压的有效值。短路压降 $U_d$ 定义为:

$$U_d = \frac{U_0 - U_d}{U_N} \times 100\% \quad (1)$$

参考我国的标准,短路压降的限值:HV(220 kV及以上): $U_d$  1.6%;MV(35~110 kV): $U_d$  2.0%;LV(10kV及以下): $U_d$  2.5%。由以上标准可判断单台电弧炉是否可以接入电力网。

当电弧炉变压器分接头处于使电极电压为最大的档,所对应电弧炉的最大短路容量设为 $S_d$ (MVA),在公共连接点PCC处供电系统全年最小的短路容量设为 $S_k$ (MVA),则可根据下面的近似公式计算电弧炉的短路压降 $U_d$ ,其精度是合理的:

$$U_d = \frac{S_d}{S_k} \times 100\% \quad (2)$$

某机械厂电弧炉仅为1.5T,给电弧炉供电的炼钢线是经开关直接接厂部母线(其系统接线图见图1)。根据现场了解到的情况:电弧炉变压器高压侧的电抗器损坏,电弧炉没有任何无功补偿设备而直接接厂用电母线,为便于对该电弧炉的电压波动和闪变作粗略估算,首先计算出它的供电单线图的电路参数,如图1所示。

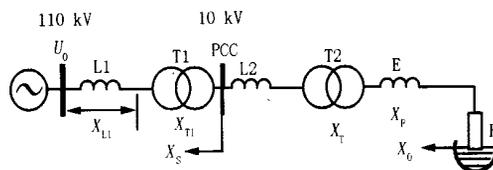


图1 电弧炉供电单线图

Fig. 1 The feeder of the arc furnace

图中: $U_0$ 为无限大电源母线电压;PCC为厂部公共连接点; $T_1$ 为主变压器; $L_1$ 为厂部进线; $L_2$ 为电

弧炉变压器进线;  $T_2$  为电弧炉变压器; E 为短网, 即电弧炉变压器低压侧至电弧炉电极的引线;  $X_F$  为电弧炉短网电抗。

供电系统的短路容量为

$$S_k = 100 S_B / X_S \quad (3)$$

式中:  $X_S$  为 PCC 至无限大电源侧电抗; 计算所取基准容量为  $S_B = 100 \text{ MVA}$ , 基准电压  $U_B = U_{av}$ 。

根据厂方提供的数据,  $X_S = 1.457$

则供电系统的短路容量为:

$$S_k = S_B / X_S = 68.63 \text{ MVA}$$

为计算电弧炉的短路容量, 首先算出  $X_0$  为电弧炉至无限大电源侧电抗;

由图 1 可知:

$$X_0 = X_{L1} + X_{T1} + X_{L2} + X_{T2} + X_F \quad (4)$$

由文献[2], 短网电抗百分数为 8%, 则电弧炉短网电抗的有名值为  $3.2 \times 10^{-3}$ , 标么值为 6.61。

因此:

$$X_0 = 1.457 + 1.426 + 3.927 + 6.61 = 13.42$$

$$S_d = \frac{1}{X_0} S_B = \frac{1}{13.42} \times 100 = 7.452 \text{ MVA}$$

由式(2)可得短路压降  $U_d = 10.86\%$ 。

根据经验关系式<sup>[1]</sup>, 闪变兼容值  $U_{10} = 0.28 U_d$ , 因此, 闪变兼容值  $U_{10} = 3.04\%$ 。而国标推荐的闪变干扰允许值, 对一般性照明负荷仅为 0.6%。

可见该电弧炉在公共连接点所引起的电压波动和闪变已经严重超标, 必需采取抑制措施才能允许其接入厂部母线, 否则势必影响其他厂用负荷的正常工作。根据现场情况: 电弧炉工作在熔化期时, 厂用电的某些负荷不能正常工作, 照明灯的闪烁令人感到无法忍受。目前厂方只好采用在其他厂用负荷不工作时使用电弧炉铸造, 将电弧炉的工作时间调整在夜晚 12:00 ~ 凌晨 5:00, 这不仅影响了车间工作人员的正常生活, 也降低了该铸造车间的生产效益。因此, 迫切需要采取措施减小电弧炉运行时造成的电压波动与闪变, 恢复正常的生产秩序。

### 3 抑制措施研究

电弧炉电压波动是由于电力系统强度与电弧炉容量的相对关系而产生的, 总的来说, 可以从供电系统与电弧炉车间两个方面来采取措施, 对于供电系统主要以减少系统电抗为目的, 对于电弧炉车间则是以减少系统中无功功率波动为目的。下面具体介绍各种抑制电弧炉引起的电压波动和闪变的措施:

#### (1) 在供电系统方面采取措施

在供电系统上, 将电弧炉负荷与其他厂用负荷分开, 对电弧炉车间采用单独的供电线路, 或者以专用降压变压器对电弧炉供电, 提高电弧炉的供电电压等级。采用这种措施后, 供电系统的短路容量增大, 即增大了供电系统强度, 在电弧炉容量不变的情况下, 电网的电压波动会减小。一般在进行电气接线的规划时应考虑是否有必要采用这种措施。

#### (2) 在电炉车间内采取措施

##### 电炉回路中串联电抗器

电炉回路电抗值越大, 则电压波动越小, 同时, 必要的电抗值是保持电弧稳定所必需的, 所以从电压波动, 电弧稳定的角度来看, 希望接入电抗器, 但是, 电抗器的电压降, 必然导致电极电压降低, 从而使炉子效率、功率因数、炉子的有功功率及炉子作业率降低。因此, 应根据具体条件, 将电抗器的电抗值限制在必需的最小值。对于中等容量以下的电弧炉, 短网电抗所占比重不大, 不能把熔化期经常出现的工作短路电流限制在 2.5 ~ 3.5 倍额定电流, 因此必须接入电抗器。

根据该机械厂的电气接线情况, 假设所串联的电抗器电抗值为电炉短网电抗的 2 倍时, 根据理论计算结果, 短路压降比为 5.47%, 如果所串联的电抗器电抗值为电炉短网电抗的 3 倍时, 短路压降比为 4.38%; 所以, 厂方的电抗器应修复使用, 它可以有效地减小厂部母线的电压波动。

##### 采用静电电容器补偿无功功率

静电电容器具有投资省, 运行维护方便, 故障范围小等优点, 它的缺点是只能有级调节而不能随无功功率的变化进行平滑地自动调节, 因此对电弧炉产生的这种快速变化的无功功率, 它的补偿效果并不理想。并且当通风不良, 运行温度过高时, 易发生漏油、鼓肚、爆炸等故障。

##### 采用静止无功补偿装置

##### a. 晶闸管控制电容器型(TSC)静止补偿器

固定电容器组在电网电压不变的情况下产生不变的无功功率, 因而它适用于无功消耗近似不变的情况。对于急剧变化的动态无功功率, 则需要把电容器分成若干组, 随着动态无功功率的变化相应地投入或切除一部分电容器组, 从而使无功功率消耗能得到多级阶梯式的补偿。TSC 型静止补偿器正是满足上述需要的器件。

##### b. 自饱和电抗器(SR)型静止补偿器

自饱和电抗器(SR)型静止补偿器主要包括: 一

些电容器组成的滤波器,以提供无功功率,一个或多个并联的磁性铁心电抗器,构成一个自动变化的电感负载,它的工作原理是利用固定容量的电容器将冲击无功功率的峰值全部或大部分补偿掉,而在出现冲击负荷峰值以外的期间,则利用由饱和电抗器构成的人为的感性负载将电容器供给的过剩容性无功功率抵消,从而使功率因数保持在要求的水平上。

当然,除上述各种抑制措施外,其他用于大中容量电弧炉的补偿设备(晶闸管阀相控电抗器型(TCR)静止补偿器、有源滤波器等)也适用于小容量电弧炉,但是,这些设备的投资较大,对小容量电弧炉,这种投资不太经济。

#### 4 结论

根据上述对各种抑制方案的分析,对小容量电弧炉的电气接线上提出以下建议:1)在电炉变高压侧串联电抗器以抑制电弧炉工作时的波动电压。2)在供电系统的强度不够时,应考虑在电弧炉车间装设静止补偿器,以补偿快速变化的无功功率。

综上所述:小容量电弧炉在电气接线不合理、并且没有任何无功补偿设备的情况下所引起的波动与闪变是不容忽视的,如果不进行治疗就会影响公共

连接点负荷的正常工作。因此,使用小容量电弧炉的企业,也应该充分重视这一波动负荷,并采取相应的措施加以治理。

#### 参考文献:

- [1] 孙树勤. 电压波动与闪变[M]. 北京:中国电力出版社, 1998.
- [2] 西安电炉研究所. 电弧炉电极自动调节器[M]. 北京:机械工业出版社, 1979.
- [3] 何仰赞,等. 电力系统分析[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1996.
- [4] 北京钢铁设计院,等. 钢铁企业电力设计参考资料[M]. 北京:冶金工业出版社, 1976.
- [5] 陈崇源,等. 最新实用电工手册[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1995.

收稿日期: 2002-11-01; 修回日期: 2003-02-24

#### 作者简介:

李妍(1971-),女,讲师,博士研究生,研究方向为电能质量,电力系统分析,理论电工等;

余欣梅(1978-),女,博士研究生,研究方向为电力系统规划,谐波分析及其抑制等;

文劲宇(1970-),男,副教授,研究方向为人工智能在电力系统中的应用,电力系统无功补偿等。

### Voltage fluctuation analysis and methods for electric arc furnace fluctuation mitigation

LI Yan, YU Xin-mei, WEN Jir-yu, XIONG Xin-yin, WU Yao-wu

(Dept. of Electrical & Electronics Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** A flicker analysis based on an electric arc furnace of a mechanical factory is given, the computation shows that the voltage fluctuation and flicker caused by the small arc furnaces can not be ignored. According to the characteristics and the economics of the small arc furnaces, some methods for electric arc furnace flicker mitigation are held out in this paper.

**Key words:** electric arc furnace; voltage fluctuation; flicker; static var compensator

## 中国继电保护及自动化设备行业协会 对该行业的所有制造企业提供的免费服务项目

免费赠阅由该行业协会主办的2003年全年的《行业信息》杂志。

在《行业信息》杂志上免费刊登企业简介。

由许昌继电器研究所和行业协会主办的网站“电力王国”(www.powerkingdom.com)与企业做免费友情链接。

对该行业协会所有的会员单位除了提供以上的免费服务外,还提供以下的优惠服务项目

- \* 以最优的价格在国家继电器质量监督检验中心做型式检验
- \* 以最优的价格在《继电器》杂志刊登广告
- \* 以最优的价格购买标准文本

通讯地址: 河南省许昌市许继大道32号许昌继电器研究所《行业信息》编辑部

邮编:461000

电话:0374-3212554

传真:0374-3319473

email:rpae@powerkingdom.com

联系人:易老师