

[开关设备]

交流电弧炉对配电网的影响及其治理措施

文/国网宁夏电力公司宁东供电公司 王 虎 吕琨璐

随着交流电弧炉的广泛应用，交流电弧炉对电网的不利影响随之增大。本文的主要内容是，首先阐述了交流电弧炉对配电网的影响，包括电压波动、功率因数、谐波、三相不平衡等影响；其次提出了相应的治理措施。

由于交流电弧炉在技术和经济上的优越性，交流电弧炉被广泛应用于现代炼钢工业，是生产钢铁的重要设备，也是电力系统中三相不平衡负荷的主要代表，它引起的电网谐波、电压闪变和波动、功率因数低等问题比较严重。电弧炉在通电冶炼时，它的三相石墨电极与炉料之间产生高热量的电弧，高热量的电弧把炉料熔化。尤其是在电弧炉冶炼过程中的熔化期，炉料坍塌、滑落导致电弧电流变化的随机性较大、电压波动和闪变严重，无功功率大幅扰动，对电网的冲击很大。图1是简化的交流电弧炉供电系统图， X_0 是等效的总阻抗， R 是等效的电弧电阻。

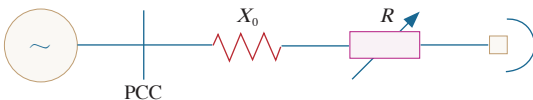


图1 简化的交流电弧炉供电系统

交流电弧炉对配电网的影响

交流电弧炉冶炼过程一般分为三个时期：熔化期、氧化期、还原期。每个时期的作用不同，功率要求也不同，对配电网的影响也随之不同。熔化期，目的是将炉料快速熔化，电功率最大，炉料由固体最终变为液体，电气量的变化十分复杂；氧化期，目的是除去钢液中的杂质和气体，钢液剧烈沸腾，电弧电流随机性变化大；还原期，目的是降低

钢液中硫和氧的含量，调整钢液中各元素的比例，交流电弧炉的运行状态相对稳定。

1. 对电压的影响

在熔化期，电弧电流变化及其不规则，电压闪变、波动剧烈，导致供电母线电压波动频繁；无功功率急剧波动，短路功率最大时是变压器额定容量的2倍，无功功率的波动引起电网电压的波动，电网频率随之波动，一般为1~15 Hz，会影响电力电子设备和一些仪表的正常运行，还会引起灯光或电视机闪烁。电压波动值可以表示为

$$d = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100\% \quad (1)$$

式中， $U_{\max}$ 是电压方均根最大值， $U_{\min}$ 是电压方均根最小值， U_N 是额定电压。交流电弧炉引起的电压波动，主要集中在4~14 Hz频带范围，人类敏感视觉区域正处于这个频带范围。

2. 对功率因数的影响

交流电弧炉运行时的功率因数较低，在熔化期一般只有0.7，冶炼全过程平均值为0.79，在电极短路时大概为0.1~0.2。功率因数低时，感性无功较大，电网电压水平和输送功率降低，设备出力受到影响，使电力系统网损增大。交流电弧炉的功率因数 $\cos \varphi$ 可以表示为

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{X_0^2 + R^2}} \quad (2)$$

由式(2)可以看出,交流电弧炉的功率因数随电弧电阻 R 的变化而变化。

3. 产生高次谐波

交流电弧炉的电弧电流“零休”特点和电弧电阻的非线性会造成电网的谐波问题。交流电弧炉是非线性、时变性负荷,在熔化期,电弧电流急剧变化,其波形是不规则的,根据实测的交流电弧炉电流分析,主要含2~7次谐波电流,其中2次、3次谐波电流最大,其含量的平均值一般为基波的5%~10%,最大可达15%~30%;4~7次平均值为2%~6%,最大可达6%~15%。电网谐波的危害表现主要有:增加线路、变压器、旋转电动机损耗,造成电力测量误差,影响电力电容器正常工作,引起继电保护误动、自动装置工作混乱。

4. 造成三相不平衡

交流电弧炉三相负荷不对称,导致其供电系统三相不平衡。一方面,交流电弧炉三相几何对称性总有或多或少的偏差,导致三相电感支路的感抗不相等,相应地电弧炉变压器二次侧三相不对称;另一方面,在熔化期,交流电弧炉三相电极不规则调整,三相电弧频繁地、无规则变化,导致三相电弧电流不对称。三相负荷不对称会产生负序分量,负序基波电流会造成发电机、电动机转子局部过热,引起振动和噪声,导致继电保护和自动装置误判断而误动,负序电流还增大了电力系统的损耗。因此,交流电弧炉的三相不平衡问题十分受业界人士关注。

交流电弧炉对配电网影响的治理措施

1. 优化电弧炉系统的设计

优化电弧炉系统,能够较有效地降低在炼钢时电弧炉对电网的冲击,减少电压波动和闪变,能够降低补偿容量。主要优化的方面有:

- 1) 选用高灵敏度、高速度的电极调节系统,提高响应速度。
- 2) 尽量消除或减小电极系统的共振性,缩小机械共振对电弧的干扰,进而提高电弧的稳定性。
- 3) 提高电弧炉变压器二次短网的功率因数。
- 4) 选择合理的三相电极的极心圆直径,增强电弧的稳定性。

2. 合理选用供电电源

- 1) 采用专用配电线路给电弧炉供电,在电弧炉附近给电弧炉配置专用降压变压器。
- 2) 增大电网公共连接点的短路容量。电弧炉

的容量受到电网短路容量的制约,在最小运行方式,供电系统的短路容量大于交流电弧炉变压器额定容量的80倍时,若不采用补偿措施,熔化期的电压波动值可小于16%,闪变值可小于0.4%;供电系统短路容量与电弧炉变压器额定容量的比值在80和56之间时,在采取一定的补偿措施后才可使电压波动和闪变保持在允许范围内;供电系统短路容量与电弧炉变压器额定容量的比值在56以下时,采取补偿措施后电压波动和闪变也无法达到允许范围。

改进电弧炉供电设备

1) 对电抗器的投入进行有效的管理。电抗器的作用是抑制短路电流,使电弧燃烧更加稳定,但是电抗器的接入会增大电路中的感抗,从而降低功率因数,所以电抗器的接入和切除的时间应控制在合理的范围内。

2) 加装整流器,采用直流电弧炉。和交流电弧炉相比,直流电弧炉降低了对电网谐波、闪变、无功冲击等不利影响,且电弧稳定、石墨电极损耗降低、耗能低、噪声小、冶炼时间短。

3) 采用无功补偿装置,容易实现,且效果良好,对于交流电弧炉引起的大部分问题可以有效地就地消除,已逐渐被交流电弧炉的供用电单位采用。SVC(快速静止无功补偿装置)可以提高功率因数,抑制交流电弧炉引起的电压波动及闪变,减少或消除高次谐波,快速补偿无功功率,实现无功三相平衡。SVC装置应用于电弧炉系统中,不但能够提高电弧炉的冶炼功率,而且可以提高附近电网的电能质量。

结束语

作为典型的非线性负荷,交流电弧炉引起的电压波动和闪变是随机的,且产生高次谐波、功率因数低、三相不平衡等问题,对电网的影响十分复杂。电弧电压曲线严重畸变,炉料、弧长、电极控制等主要因素会导致电弧炉供电系统的三相不平衡;冶炼过程中的各个时期,各次谐波的变化规律很难归纳,且含量也不尽相同。要更好地解决交流电弧炉对配电网的不利影响,供电企业和用户应积极沟通协商,完善技术措施,健全相关制度;对于新项目或扩建已有工程,双方应根据设备参数建立较为详细的系统模型,在设计审核时,共同研究、预测,共同行动保证电网和设备的安全稳定运行。EA

(收稿日期:2015.07.31)

(编辑:白文亭)