

·冶金设备·

超高功率电弧炉变压器容量及技术参数的确定

阎立懿 肖玉光

王立志 李延智 刘一心

(东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004)

(长春电炉有限责任公司, 长春 130031)

摘要 除电弧炉容量外,原料、辅助能源、冶炼品种、冶炼工艺和生产流程等生产状况均影响电弧炉变压器额定容量的确定。经分析得出以废钢为原料的超高功率电弧炉变压器额定容量 P_n/kVA 与吨钢电耗 W 、变压器功率利用率 C_2 、总通电时间 t_m 、出钢量 G 之间的关系式为: $P_n = (W \cdot G \cdot 60) / (t_m \cdot \cos\varphi \cdot C_2)$, 同时给出了二次电压的确定方法。结合高阻抗技术,给出超高功率高阻抗电弧炉电抗容量与变压器技术参数的确定方法以及确定石墨电极二次导体截面积的思路。

关键词 超高功率 电弧炉 变压器容量 高阻抗

Determination of Capacity and Technical Parameters of Transformer for Ultra-High Power Electric Arc Furnace

Yan Liyi and Xiao Yuguang

(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004)

Wang Lizhi, Li Yanzhi and Liu Yixin

(Changchun Electric Furnace Co Ltd, Changchun 130031)

Abstract Besides capacity of electric arc furnace, the production conditions such as charging, melting steel grade, steelmaking process and production flow sheet influence the determination of rating capacity of transformer for electric arc furnace. It has been obtained by analysis that for ultra-high power (UHP) electric arc furnace using scrap charging the relation formula between rating capacity of transformer P_n and parameters- electric power consumption W , transformer power utilization ratio C_2 , total power on time t_m and steel tapping tonnage W is $P_n = (W \cdot G \cdot 60) / (t_m \cdot \cos\varphi \cdot C_2)$, and the setting method of transformer's secondary voltage is given. Combined with high-impedance techniques, the methods to determine the reactance capacity and transformer technical parameters of UHP electric arc furnace and the idea to determine the section of graphite electrode are presented in this paper.

Material Index Ultra-High Power, Electric Arc Furnace, Capacity of Transformer, High-Impedance

由于用户生产条件如原料条件、辅助能源、冶炼品种、冶炼工艺及生产流程等不同,使得同容量电弧炉变压器的容量不尽相同。另外,以废钢作原料的电弧炉,尤其是超高功率电弧炉,其变压器必须设恒功率段以满足熔化与快速提温期间不同阶段均能满足大功率供电,即主熔化期或完全埋弧期采用高电压、低电流,又满足快速升温期埋弧不完全或电弧暴露期的低电压、大电流供电。

1 电弧炉变压器额定容量

1.1 影响变压器容量因素

超高功率电弧炉技术要求不仅变压器额定容量要高,实际投入的功率水平要高,而且变压器利用率要高,工艺及工艺流程要优化,电弧炉产生的公害要得到有效的抑制^[1]。根据文献^[1]变压器

利用率的表达式,整理得出变压器额定容量表达式:

$$P_n = \frac{W \cdot G \cdot 60}{t_m \cdot \cos\varphi \cdot C_2}, \text{kVA} \quad (1)$$

式中: t_m -总通电时间/min; $\cos\varphi$ -功率因数,一般为0.80~0.85; C_2 -变压器功率利用率; W -电能单耗/ $kWh \cdot t^{-1}$; G -出钢量/t。

由(1)式看出当电弧炉的出钢量与平均功率因数确定后,变压器额定容量仅受电能单耗与通电时间影响。

1.2 电弧炉的冶炼周期

冶炼周期长短取决于冶炼品种、采取的工艺、装备水平及操作人员素质等。

目前,限于浇铸系统耐火材料质量(软化点

等),热损失导致钢水的温降等,使得单炉钢水合理的浇注时间在 50 ~ 70 min。当需要采用下限时,这不但要求提高变压器功率,而且要求上辅助能源等缩短冶炼周期的措施。

当连铸周期确定之后,电弧炉的冶炼周期可以用下式近似求出:

$$T_{\text{电弧炉}} = T_{\text{连铸}} + T_{\text{准备}}/n \quad (2)$$

式中: $T_{\text{连铸}}$ -单炉连铸周期/min; $T_{\text{准备}}$ -连铸准备时间,一般为 40 ~ 50 min; n -连浇炉数。例如: n 设计成 10 炉, $T_{\text{准备}}$ 为 50 min, $T_{\text{连铸}}$ 为 60 min, 电弧炉的冶炼周期 $T_{\text{电弧炉}}$ 则为 65 min; n 为 20 炉, $T_{\text{准备}}$ 为 40 min, $T_{\text{连铸}}$ 为 60 min, 电弧炉的冶炼周期 $T_{\text{电弧炉}}$ 则为 62 min。实际上常用 LF 调整电弧炉与连铸节奏上的偏差。

1.3 吨钢电耗的确定

对于全废钢、无任何废钢预热的电弧炉,如冶炼周期定为 65 min,必须考虑采用超高功率加强化用氧。经计算,变压器时间利用率 T_u 为 0.8,冶炼周期达到 65 min 的条件是,装料、出钢、维护及调电极等时间控制在 13 min 内,使通电时间为 52 min。

氧化法冶炼低合金钢,采用 100% 废钢铁,配碳量 1.5% 与炉渣 3%,在电弧炉中熔化并加热精炼至出钢温度(1 630 °C)所需要的实际总能耗为 615 kWh(按 68% 的效率计算)。考虑到该炉炉壁烧咀、炉门碳-氧枪强化供氧,总吹氧量为 45 m³,加之石墨电极氧化,合计代替电能为 215 kWh。计算得吨钢实际电耗为 400 kWh。

1.4 变压器额定容量

将(1)式除以出钢量 G ,得到功率水平式:

$$\frac{P_n}{G} = \frac{W \cdot 60}{t_{\text{on}} \cdot \cos\varphi \cdot C_2}, \text{kVA/t} \quad (3)$$

当 C_2 取 0.75,并将其他已知数代入(3)式中,得到功率水平为 724 kVA/t。如公称容量 50 t 超高功率电弧炉,平均出钢量 G 为 55 t,需要变压器额定容量为 40 000 kVA。

由于变压器额定容量较大,为了减少电压闪烁或减少无功动态补偿装置(SVC)的补偿容量,以及降低电耗及电极消耗等,需要考虑采用高阻抗技术。

2 电弧炉变压器二次电压

2.1 变压器最高二次电压

电弧炉变压器最高二次电压与变压器容量成正比,普通阻抗电弧炉变压器最高二次电压确定如下:

$$U_2 = \sqrt{\frac{P_n \cdot X}{\%X}} \cdot 100 \quad (4)$$

式中: U_2 -二次侧线电压/V; P_n -变压器额定容量/kVA; X -电弧炉回路电抗/mΩ; I -电弧电流/kA; $\%X$ -电弧炉回路电抗百分数,对于普通阻抗电弧炉,为了保证三相电弧的稳定连续燃烧, $\%X \approx 45\% \sim 50\%$ 。

对于本例,容量为 40 MVA 变压器,回路电抗取 3.6 mΩ,计算普通阻抗电弧炉变压器的最高二次电压约为 537 ~ 565 V。

另外,还有一估算变压器的最高二次电压的方法:

$$U_2 = K \sqrt[3]{P_n} \quad (5)$$

式中: K -系数, $K = 13 \sim 15$ 或 $15 \sim 17$,为适应埋弧期操作常采用后者,也是近年发展趋势。当 K 取 16 时,最高二次电压约为 547 V。

参考 JB/T9640-1999 标准,40 000 kVA 变压器的最高二次电压为 547 V。

高阻抗电弧炉变压器最高二次电压的确定,应以高阻抗计算来确定最高二次电压。

2.2 二次电压及其档位

最低二次电压的确定主要是满足电弧炉冶炼工艺要求,因现代 UHP 电弧炉冶炼工艺已经取消还原期,为氧化性钢水出钢,故最低二次电压没有必要过低。最低二次电压的大小应以其电弧长度小于氧化末期炉渣厚度为准。如本例炉渣厚约 110 mm,设弧长为 90 mm(弧长 < 渣厚),那么最低电弧电压 130 V,即可以此来确定最低二次电压。另外,适当低的二次电压有利于短路实验(因短路电流与二次电压成正比),以确定短网电参数、研究电气特性。

二次电压级差国外大多采用恒压差,恒压差有利于计算分析与操作显示等,其范围为 15 ~ 30 V,一般对于 < 50 t/35 MVA, 15 ~ 20V; ≥ 50 t/35 MVA, 25 ~ 30 V。

恒功率段与恒电流段电压范围应根据冶炼工艺要求、操作水平加以确定。

(1) 恒功率段是满足熔化与快速提温期间不同阶段均能满足大功率供电,即主熔化期或完全埋弧期采用高电压、低电流,又满足快速升温期埋弧不完全或电弧暴露期的低电压、大电流供电。

(2) 恒电流段是满足精炼期的调温、保温的需要,即满足低电压、小电流供电。

(3) 段间电压,即恒电流段的最高电压,其确定主要考虑两点:①为满足非泡沫渣时的供电,不能太高;②限制设备的最大载流量,而不能太低。

高阻抗电弧炉设计准则为低于或等于普通阻抗电弧炉最高二次电压值,最好低1个档位。

3 高阻抗电弧炉

3.1 电抗器容量

以普通阻抗电弧炉的阻抗为基础,进行高阻抗计算^[2],确定该50 t高阻抗电弧炉电抗器容量及抽头参数,见表1。

表1 高阻抗电弧炉电抗器容量及抽头参数

Table 1 Capacity and tap parameters of reactor for high-impedance electric furnace

电抗器容量	抽头				
	1*	2*	3*	4*	5*
8 300kVar	8 300	7 000	5 500	4 000	0

该电抗器为一外附电抗器,串联在变压器一次侧,为无载调节,具有连续过载20%的能力,应装有隔离开关与接地开关。

对于本例,增加电抗后电弧功率不变,阻抗提高,电压上升、电流下降,使得电耗降低、电极消耗降低,电流波动减小了45%,可降低电压闪烁20%以上,降低对电网的要求,减少无功动态补偿的容量。

3.2 变压器主要参数

根据高阻抗计算,并考虑增加一富裕电压700 V,确定的变压器主要技术性能参数如表2。

4 石墨电极等二次导体导电截面

由表2的二次额定电流,并参考样本及标准可以确定石墨电极等二次导体导电截面。

(1) 石墨电极。变压器二次额定电流为43.99 kA,最大工作电流52.79 kA,参考国产电极

表2 高阻抗电弧炉变压器的主要技术性能参数要求
Table 2 Main technical parameters of transformer for high-impedance electric arc furnace

变压器型号	HSSPZ-40000/35
额定容量	40 MVA(长期+20%)
二次电压	恒功率段:700~550 V 恒电流段:550~350 V
阻抗压降	~7.5%
冷却方式	OFWF
调压方式	15级有载调压
二次额定电流	43.99 kA
频率	50 Hz
联结组标号	y _{d11}
相数	3

产品样本,选择直径500 mm超高功率石墨电极。

(2) 水冷电缆。根据变压器二次最大工作电流为52.79 kA,参考行业标准JB/T10358-2002,电流密度按4.5 A/mm²计算,选择每相两根截面为6 000 mm²的水冷电缆。

(3) 其他二次导体。其截面按最大工作电流52.79 kA进行设计、制造。

5 结束语

本文给出以废钢作原料、氧化性钢水出钢的超高功率电弧炉变压器容量及其二次电压确定方法。该方法适合高阻抗电弧炉变压器主要技术参数的确定。

对于还原性钢水出钢的电弧炉变压器容量确定该方法仍然适用,此时需要将变压器容量计算式中的用电单耗、通电时间分别改成熔化电耗与熔化通电时间。

当考虑到电弧炉炼钢兑铁水30%~50%时,所介绍的电弧炉变压器容量确定方法也适用。但因铁水热装对电耗影响因素很多,如:热装比例、铁水温度、吹氧量及辅助能源情况等,对冶炼周期影响因素有:热装比例、铁水温度、供氧强度与吹氧量以及辅助能源情况等。这使得确定吨钢电耗与通电时间比较麻烦,作者将另择文专门介绍。

参考文献

- 1 阎立懿.现代超高功率电弧炉技术特征.特殊钢,2001,22(5):1
- 2 阎立懿,刘一心,李延智,等.高阻抗电弧炉的设计.特殊钢,2002,23(6):40

阎立懿,男,51岁,副教授。主要从事电弧炉炼钢流程工艺及装备的研究。