

单相三线圈变压器在铁合金矿热炉上的应用

苏家健 顾阳

(上海第二工业大学 上海 中国 201209)

摘要 介绍了三线圈变压器构造原理,并对单相三线圈变压器运行作了详细的分析,特别是对运行中的效率计算和故障维护方法作了进一步探讨。

关键词 变压器 三线圈 故障 运行 维护

中图分类号 TF332.1 **文献标识码** B **文章编号** 1001-1943(2006)04-0020-06

ANALYSIS ON THE APPLICATION OF SINGLE-PHASED THREE-COIL TRANSFORMER TO SUB-MERGED ARC FURNACE

Su Jiajian Gu Yang

(Shanghai Second Polytechnic University, Shanghai, China 201209)

Abstract It introduces the principle of three-coil transformer structure. It also gives a detail analysis for the operation of single-phased three-coil transformer, especially makes a further discussion for the calculation of efficiency and method of trouble shoot maintenance in the process of operation.

Keywords transformer, three-coil, trouble, operation, maintenance

前言

众所周知,铁合金矿热炉变压器容量大、自然功率因数低,二次侧调压范围小,级差大,因此如何提高功率因数显得较为重要。国外一般采用35 kV高压侧加35 kV电容器,或低压侧加装补偿电容;在中压侧进行电容补偿的原因是:在国内,高压侧35 kV电容器的耐压和绝缘等问题尚未完全过关,一般需要进口;而在低压侧电容器补偿,需加装电容器数量多、占地面积大、有功损耗较多,极不经济。为了解决无功补偿以及冶炼工艺要求的提高二次侧电压级、扩大调压范围等诸多问题,上海申佳铁合金厂与化工机修厂合作,参照国外的三线圈变压器,共同设计、制造了一台HCSPZ-20 MVA的带有分相有载调压开关的三相三线圈变压器,改变了旧式变压器由高压线圈抽头调压的方式,增加了两组10 kV中压串变线圈,作调压及电容补偿。实践证明,三线圈变压器在节能、冶炼等方面有明显的效果。此后,该厂又在此基础上新建了一座由三台HDSMZ-15000/

35单相三线圈变压器组成的8 MVA电炉。笔者对三线圈变压器在应用过程中发生的问题进行一些讨论,仅供参考。

1 三线圈变压器的构造原理及性能

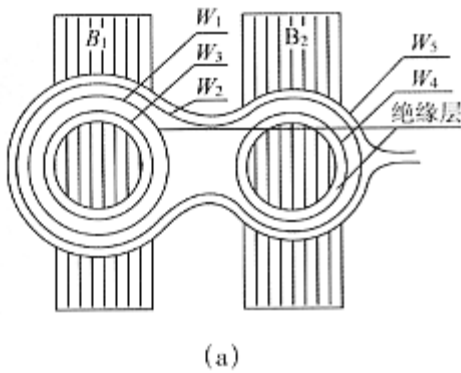
1.1 构造

无论是单相还是三相三线圈变压器,每相都两组铁芯、五组线圈组成。以单相三线圈变压器为(见图1),主铁芯 B_1 上绕有三组线圈: W_1 、 W_2 、 W_3 其中 W_1 是一次高压线圈; W_2 是低压基本线圈;是主变第三线圈,即串变调压一组线圈,亦称中压组。串变铁芯 B_2 上绕有两组线圈 W_4 和 W_5 。其中是串变调压二组线圈或称中压二组线圈, W_5 是串二次低压线圈。 W_3 、 W_4 与有载调压开关相连。 W_2 、 W_5 两组低压线圈是用整块紫铜板变成的两匝“8”型线圈。

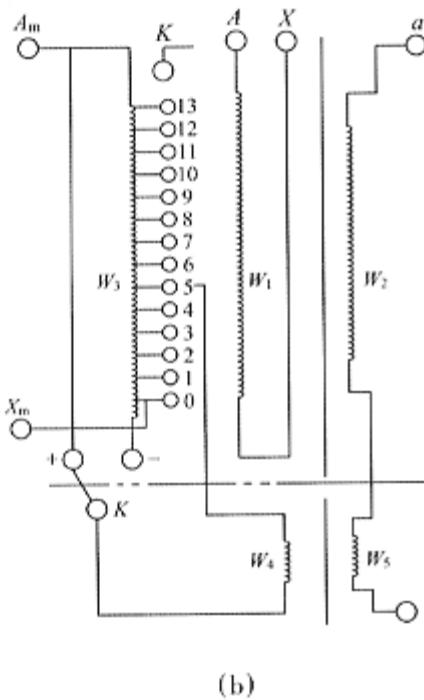
1.2 原理

当 W_1 加上 $U_1=35$ kV电源时,在 W_3 上感应

作者简介 苏家健 男,1948年7月出生,1991年毕业于上海大学电气自动化专业,硕士,副教授,高级工程师。现从事教学工作
收稿日期 2006-05-30



(a)



(b)

图 1 原理图

Fig. 1 Circuit truth diagram

$U_3 = 9\ 891\ \text{V}$ 电压,而在 W_2 上感应出 $U_2 = 169\ \text{V}$ 电压, U_2 是变压器低压侧的基本电压,不可调。 U_3 电压值和瞬间电压方向是可以变化的,其数值随着 W_4 通过有载分接开关在 W_3 上取得的电压等级不同而不同。中压一组线圈 W_3 上的 13 档抽头,主要作用是产生不同电压分级,通过分接开关,供给 W_4 作电源用。当调节分接开关,使 W_4 上取得满电压 $9\ 891\ \text{V}$ 时, W_3 上就感应出 $U_3 = 39\ \text{V}$ 电压。每变换一级电压,在低压侧就感应出 $3\ \text{V}$ 级差,其电压方向是随着 W_4 通过有载分接开关的换向触头 K 所联接的方向不同而不同。它可以使 W_2 与 W_3 电压方向一致,亦可以相反,所以 W_3 在低压侧回路中起调压线圈作用。当电压方向一致,则电压值相加;反之,电压值相

减。可以用下列式子表示:

$$U' = U_2 \pm n \times 3\ \text{V} = 208\ \text{V}$$

式中, n 是电压抽头数 0—13 级。例如:

$$\text{最高级: } U' = 169\ \text{V} + 13 \times 3\ \text{V} = 208\ \text{V}$$

$$\text{最低级: } U' = 169\ \text{V} - 13 \times 3\ \text{V} = 130\ \text{V}$$

中压一组线圈(图中 W_3)和二组线圈(W_4)联接后引出,用于加装 $10\ \text{kV}$ 电容补偿器。

1.3 性能

(1) 调压范围广;(2) 可以分相有载调压;(3) 解决了功率因数补偿问题,提高了电炉的功率因数。

2 三相三线圈变压器的运行情况

2.1 解决了电容器补偿问题

三相三线圈变压器投入运行后解决了电容器补偿问题。由于在三相三线圈变压器中压侧加装了 6000 千乏电容器,使功率因数由 0.8 提高到 0.9 以上。

2.2 扩大了调压范围

提高了低压侧的电压级,扩大了低压调压范围。由于三相三线圈变压器中压有多档抽头,级差仅 $3\ \text{V}$,所以扩大了低压调压范围,不仅有利于冶炼工人选择最佳冶炼电压,而且还适应冶炼各种品种的铁合金,以适应市场的需要。

2.3 可以分相调压

冶炼时可以根据冶炼情况,分相调节 A、B、C 三相电压,以保持电流平衡。

2.4 对低压侧短路的承受能力大

由于三线圈变压器的低压线圈是用整块紫铜板弯制成的,所以其承受电磁力的强度极大,过载能力大,而又结构简单,散热好,不存在绝缘问题。三相三线圈变压器在运行十余年中,低压短网处曾发生过大小十余次短路故障,严重时造成数块 $400 \times 12\ \text{mm}$ 的硬铜排在瞬时切断,而吊芯检查低压线圈毫无损伤。

2.5 存在的问题

在运行中还发现一些问题,主要是:

(1) 中压调压线圈抽头处及有载调压开关易发生故障。发生低压短路时,变压器低压侧虽然没有出现损坏,但感应电流使中压二次线圈中产生磁场应力,使中压一次线圈抽头脱落,造成事故。

(2) 三相三线圈变压器由于 A、B、C 三相在一只变压器中,所以仍旧没有解决变压器低压侧 a、b、c 三相短网不平衡的情况,即低压阻抗不平衡,容易造成熔池中电流分布不均,影响冶炼生产。笔者曾对

三相三线圈变压器 a、b、c 三相短网各点的压降作过测试,在短网上的有功损耗为 $W = 432 \text{ kW}$ 。

3 单相三线圈变压器的运行情况

3.1 电能转换率高,达到设计要求

三只单相三线圈变压器组成的电炉除具有三相三线圈变压器的优点外,还有一个特点是:低压 a、b、c 三相短网可以分布合理、均匀,短网的路径最短。详见图 2、图 3。

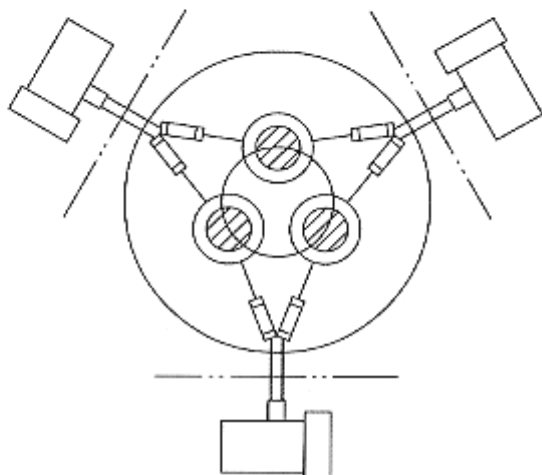


图 2 单相三线圈短网布置图

Fig. 2 Disposal of single-phased three-coil transformer secondary

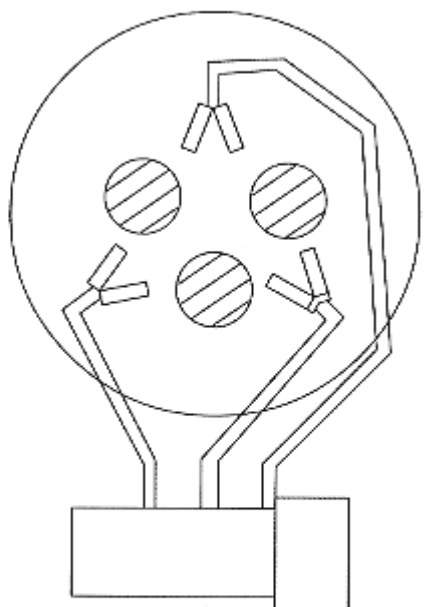


图 3 三相三线圈短网布置图

Fig. 3 disposal of three-phased three-coil transformer secondary

三相三线圈变压器的短网是采用硬铜排→软母线→导流管→铜瓦→电极,在电极上接成三角形。单

相三线圈变压器短网是采用水冷导流铜管→软铜线导流管→集电环→铜瓦,亦在电极上接成三角形。我们曾对单相三线圈变压器总体电能转换效率、变压器两次侧至电极短网的有功损耗、无功损耗,短网各连接点之间的压降进行了测试。

我们主要依据电磁感应原理来测取电极上电流的波形,同时测取电极间电压波形,以计算出低压侧的功率因数,具体测试数据见表 1、表 2。

表 1 单相三线圈变压器一次侧参数

Tab. 1 Primary coil parameter of single-phased three-coil transformer

被测参数	表计值	变比	换算后值
U_{ab}/V	103.7	350	36 295
U_{bc}/V	103.4	350	36 190
U_{ca}/V	103.1	350	36 085
I_a/A	2.99	120	358.8
I_b/A	2.99	120	358.8
I_c/A	3.0	120	360.0
P_{Σ}/kW	0.36	42 000	15 120
$\cos \Psi$	0.68		0.68

以 a 相为例,二次侧相量见图 4。

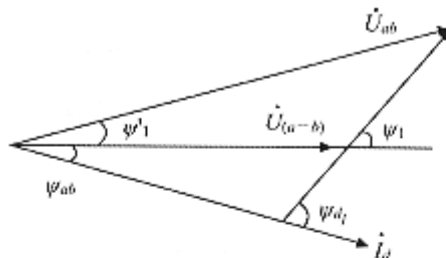


图 4 二次侧相量图

Fig. 4 Phasor diagram of transformer secondary

$$\Psi_{a1} = \Psi_1 + \Psi_{ab}$$

$$\Psi_{ab} = \Psi_a + 60^\circ$$

单相三线圈变压器主回路接线见图 5。

1[#]变压器电流、电压的波形见图 6。

2[#]、3[#]变压器电流、电压波形图略,2[#]、3[#]变压器二次侧向量图略。

根据上述数据可以算出:

(1) 输入功率

$$P_{\Sigma} = 15\ 120 \text{ kW}$$

$$S_{\Sigma} = 15\ 120 \div 0.68 = 22\ 235.3 \text{ kW}$$

$$Q_{\Sigma} = S_{\Sigma} \cdot \sin \Psi = 16\ 303.2 \text{ kvar}$$

(2) 输出功率