

# 普定发电公司 10 kV 配电变压器改造

王文

(贵州黔源电力股份有限公司普定发电公司, 贵州 安顺 562100)

**摘要:**介绍了非晶合金铁芯变压器的发展过程及其在国内市场的生产现状,分析了 Yyn0 和 Dyn11 接线的特点以及非晶合金铁芯变压器的优点,对此次改造进行了总结,同时也对我国非晶合金配电变压器的研究、生产和应用进行了展望。

**关键词:**非晶合金铁芯变压器;Yyn0 接线;Dyn11 接线

**中图分类号:**TM 412 **文献标志码:**B **文章编号:**1674 - 1951(2017)07 - 0046 - 02

## 0 引言

普定发电公司位于乌江上游南源贵州省普定县三岔河中游,距贵阳市 125 km。水库正常蓄水位为 1 145 m,总库容为 4.21 亿  $m^3$ ,是不完全年调节水库。普定发电公司原 10 kV 配电变压器为 SC - 1500/10 型干式配电变压器,联结组标号为 Yyn0,改造后的配电变压器为 SCBH15 - 630/10.5 型树脂浇筑非晶合金干式配电变压器,联结组标号为 Dyn11。该工程以发电为主,兼有供水、灌溉、养殖及旅游等综合效益。

## 1 非晶合金铁芯变压器的发展过程及其现状

20 世纪 80 年代初,美国就清楚地认识到非晶合金铁芯变压器空载损耗低的巨大潜能<sup>[1-2]</sup>,开始研发、设计、制造非晶合金铁芯变压器,美国电力委员会还组织了相关电力公司联合对非晶合金铁芯变压器进行实际运行可靠性验证及商业化运作,20 世纪 90 年代初取得成功。时至今日,非晶合金铁芯变压器已经规模化生产 20 年左右,在全世界范围内被许多发达国家和发展中国家广泛推崇<sup>[3-4]</sup>,日本在 2005 年就明确规定日本所有配电变压器必须全部使用非晶合金铁芯变压器,在供配电领域彻底淘汰高耗能的硅钢配电变压器<sup>[5]</sup>。

我国从 1998 年才开始批量生产非晶合金铁芯变压器,至今大约只有不到 10 万台非晶合金铁芯变压器在挂网运行<sup>[6]</sup>,容量从 5 kV · A 到 1 600 kV · A 不等,主要用在高层建筑、商业中心、地铁、机场、车站和电厂等。近几年,我国对节能环保越来越重视,上海、江苏、浙江等地非晶合金铁芯变压器的使用量呈上升趋势,但由于非晶合金铁芯变压器的造价比硅钢变压器高,所以使用量受到一定的限制。近几

年来,由于硅钢和铜的价格不断上涨,而非晶合金的价格基本不变且大规模生产后生产成本降低,使得两者的价格差距越来越小,非晶合金变压器的售价已逐渐被市场接受。我国现有几十家变压器生产厂家能生产非晶合金铁芯变压器,但能大规模批量生产的较少<sup>[7-8]</sup>。

## 2 Dyn11 和 Yyn0 接线方式的优缺点

### 2.1 Dyn11 接线方式

采用 Dyn11 接线方式,单相短路和三相短路相差不多,由于零序电流和三次谐波电流可以在高压绕组三角形接线的闭合回路内流通而不能在星形接线中流通,所以当低压侧三相负载不平衡运行时,总零序电流和三次谐波电流在每个铁芯柱上的总磁势几乎等于零<sup>[9]</sup>,所以低压中性点电位不漂移,各相输出电压合格率高。当高压侧一相熔断器熔断后,另外两相的负载仍然可以正常运行,在低压主开关装设欠压保护装置,能解决非全相运行问题。

### 2.2 Yyn0 接线方式

采用 Yyn0 接线方式,当高压熔断器一相熔断时,将会出现一相电压为零,另两相电压没变化的情况,可使停电范围减少至 1/3。这种情况对低压侧为单相供电的照明负载不会产生影响,但低压侧是三相供电的动力负载,需要配置缺相保护才不会使动力负载因缺相运行而烧毁。容量在 1 600 kV · A 及以下的芯式变压器才允许采用 Yyn0 接线方式,因为三次谐波磁通穿过铁构件时会产生涡流损耗<sup>[10]</sup>。

Yyn0 联结变压器的中性线电流不宜过大,因为 Yyn0 联结变压器高压绕组比 Dyn11 联结变压器高压绕组的绝缘强度要求低,所以将 Yyn0 联结变压器改为 Dyn11 接线方式比较困难。

10 kV 配电变压器改造前、后接线形式如图 1 所示,改造前采用 Yyn0 接线方式,改造后采用 Dyn11

接线方式,可防止负荷侧产生的谐波流入电网而影响电能质量。

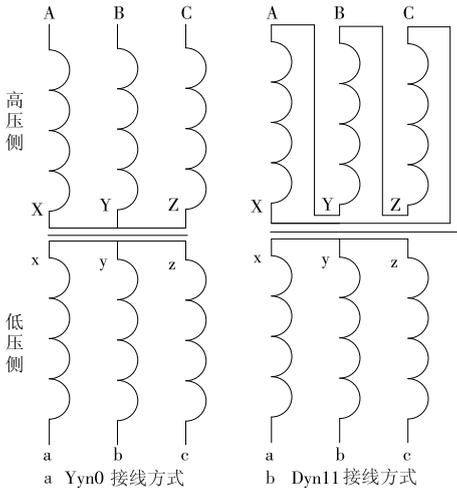


图 1 10 kV 配电变压器改造前、后接线形式

### 3 非晶合金铁芯的特性

非晶合金铁芯是采用超急凝固技术生产的一种导磁性能突出的新型节能环保金属材料,材料的微观结构发生了巨大变化,金属原子在从液态短时凝固成固态的过程中来不及排列成常规的晶体结构就已经变成固体了<sup>[11]</sup>,这种金属原子无序排列的结构被称为金属的非晶态,由此制造而成的金属材料称为非晶合金。如果说硅钢的晶体结构排列是军队式排列,那么非晶合金的晶体结构就是车站行人式的排列,非晶合金铁芯容易被磁化也容易去磁。一般的非晶合金含 80% 的铁,其他成分主要是硼和硅等。非晶合金铁芯片厚度只有 20 ~ 30  $\mu\text{m}$ ,不到常用硅钢片厚度的 1/10,非晶合金铁芯具有高饱和磁感应强度、低损耗、低矫顽力、低激磁电流、良好的温度稳定性等特点。铁芯采用成型的非晶合金材料<sup>[12]</sup>,为两框三柱式结构,如图 2 所示。



图 2 两框三柱式铁芯

### 4 改造后的配电变压器优点

非晶合金加工工艺复杂,材质脆硬不易剪切,因此非晶合金铁芯均采用矩形截面。对 10 kV 型配电

变压器,容量在 100 kV · A 及以下的一般采用四框五柱式,容量为 500 ~ 1 600 kV · A 的采用两框三柱式。每个绕组套在磁路独立、相邻的两个框上,每个框内的磁通除基波外,还有三次谐波磁通,由于每个绕组两个铁芯框内的三次谐波磁通等大反向,因此每个绕组内的三次谐波磁通向量为零;同时,由于变压器高压侧采用 D 联结,零序电流和三次谐波电流在三角形内构成回路按同一个方向流动,因此磁通波形和低压绕组上感应电动势波形都接近正弦波,低压中性点电位不漂移,各相输出电压质量高。非晶合金变压器铁芯采用矩形截面,低压绕组线圈采用铜箔绕制成矩形结构,由于没有螺旋角,因而端部横向漏磁较少,具有较强的抗短路能力,在环境温度低于 40  $^{\circ}\text{C}$  的情况下能确保额定输出,40  $^{\circ}\text{C}$  自然环境下可超载 10% 并长期安全运行。高压绕组线圈采用铜导线绕制成层式结构,纵向电容较大,雷电冲击电压分布比较均匀,并且雷电流可以在高压绕组的三角形接线闭合回路内流通,使得每个铁芯柱上雷电流的总磁势几乎等于零,阻止了正、逆变换过电压的产生,所以防雷电性能好。考虑到非晶合金铁芯变压器绕组高次谐波等原因,三相两框三柱式非晶合金铁芯配电变压器应采用 Dyn11 接线方式,以改善配电变压器高低压绕组电压波形,减少谐波对电网的影响,提高电压合格率和供电可靠性<sup>[13-14]</sup>。

### 5 结论

(1) 三相两框三柱式非晶合金铁芯配电变压器应采用 Dyn11 接线方式,具有输出电压质量好、供电可靠性高、中性点不漂移等特点,有利于低压侧单相接地故障的切除(因为 Dyn11 联结变压器的零序阻抗比 Yyn0 联结变压器小得多),且中性线允许的电流可达到相电流的 75% (改造前中性线电流不允许超过相电流的 25%),但 Dyn11 联结变压器高压绕组的绝缘强度应按照线电压设计。三相四框五柱式非晶合金铁芯配电变压器应采用 Dyn0 接线方式。

(2) 非晶合金变压器低压绕组为箔绕式,由于其局放低、损耗低、散热性能好、防潮能力强、防雷性能好、抗突发短路能力强、过载能力大、结构先进合理、免维护且造型美观,故运行性能非常稳定且空载损耗相对于改造前降低 70% 以上,负载损耗相对于改造前降低 5%。

(3) 非晶合金铁芯变压器损耗低、节能环保,符合我国近年来的节能、环保政策,所以此次改造取得的成功一定程度上促进了我国非晶合金铁芯变压器的生产。  
(下转第 51 页)

水泵入口最小流量定值,压力-流量函数关系见表 1,然后再通过 PID 自动调节给水泵再循环阀开度。

在流量阀位函数控制部分,通过给水泵的最小流量安全运行区域,确定给水泵转速对应的再循环阀指令,转速-开度函数关系见表 2。

表 1 压力-流量函数关系

|                                   |     |     |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| 给水泵出口压力/MPa                       | 0   | 5.6 | 10.0 | 11.0 | 15.0 | 18.6 | 25.0 | 30.0 |
| 给水泵入口最小流量设定值/(t·h <sup>-1</sup> ) | 210 | 210 | 300  | 310  | 370  | 410  | 480  | 520  |

表 2 转速-开度函数关系

|                              |     |     |     |     |     |     |     |      |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 给水泵入口流量/(t·h <sup>-1</sup> ) | 210 | 250 | 280 | 320 | 350 | 370 | 400 | 2000 |
| 给水泵再循环阀开度/%                  | 100 | 80  | 40  | 25  | 15  | 0   | 0   | 0    |

## 4 结束语

针对两台超临界机组在低负荷变工况运行中,由于给水泵再循环阀开启,造成机组给水流量低,触发 MFT 信号的非停事件,提出了阶梯式 PID 控制给水泵再循环阀的解决方案,经过控制系统的改进优化,取得了良好的效果。

## 参考文献:

- [1]侯悦. 300 MW 机组汽动给水泵出口流量低的原因分析及处理[J]. 机电信息,2012(9):41,43.  
 [2]岳建华,谢建民,朱延海,等. 火力发电厂给水泵再循环

(上接第 47 页)

(4)随着我国电网建设和城乡电网改造的深入,为满足广大电力用户对节能型配电变压器的需求,用非晶合金变压器取代那些低效、高耗、性能落后、安全性差的配电变压器已势在必行。根据我国非晶合金铁芯变压器生产制造和使用的现状,在各方共同努力下,非晶合金铁芯变压器的研究制造会更上一层楼,不久的将来,其在供配电领域内的应用一定会大面积展开。

## 参考文献:

- [1]徐泽玮. 非晶合金铁心变压器开发现状和应用前景[J]. 电气应用,1992(4):15-17,20.  
 [2]陈新周,林知音. 浅谈非晶合金铁芯变压器的发展与应用[J]. 机电工程技术,2011,40(8):178-181,206.  
 [3]陈鹏. 非晶合金变压器市场现状及分析[J]. 电力设备,2008,9(10):112-115.  
 [4]宋天林. 非晶合金变压器发展前景探析[J]. 电器工业,2008(6):30-33.  
 [5]冯玉良,刘德坤. 非晶合金干式变压器的应用[J]. 华北电力技术,2008(8):25-28.

## 3.3 运行效果

按照阶梯式 PID 控制策略对两台机组进行优化,机组低负荷运行时,给水泵再循环阀可以平稳开启、关闭,大大降低了再循环阀对给水流量的影响,同时也降低了给水泵的电耗,提高了给水泵的经济性和机组的安全性。

- 控制系统优化研究[J]. 中国电力,2014,47(9):11-17.  
 [3]毕明波,李国浦,闵兆俭. 600 MW 超临界机组电动给水泵控制逻辑优化[J]. 内蒙古电力技术,2015,33(2):75-79.  
 [4]李波,张谦,殷建华,等. 350 MW 汽轮发电机组给水泵再循环阀控制策略优化[J]. 内蒙古电力技术,2016,34(1):45-48.

(本文责编:刘芳)

## 作者简介:

袁世通(1985—),男,河北武邑人,工程师,工学博士,从事发电厂复杂系统建模与控制方面的工作(E-mail:yyst.19@163.com)。

- [6]黄海燕. 非晶合金变压器的节能效果及应用[J]. 华中电力,2008,21(4):69-72.  
 [7]王金丽,盛万兴,向驰. 非晶合金配电变压器的应用及其节能分析[J]. 电网技术,2008,32(18):25-29.  
 [8]郑国华. Dyn11 联结组别配电变压器的应用分析[J]. 应用能源技术,2008(11):27-29.  
 [9]《变压器》杂志社. 美国非晶合金铁心变压器研制动态[J]. 变压器,1992(5):10.  
 [10]谢树章. 非晶合金变压器对节能和环保作用[J]. 中国勘察设计,2010(9):64-68.  
 [11]刘焕. 浅谈非晶合金铁心变压器[J]. 变压器,2007,44(4):15-17.  
 [12]长征. 非晶变压器的节能效果[J]. 金属功能材料,2002,9(3):43.  
 [13]屈卫民. 非晶合金铁芯配电变压器浅析[J]. 山西电力,2007(1):63-65.  
 [14]韩能霞. 非晶合金铁心变压器的特点分析[J]. 江苏电器,2008(9):50-52.

(本文责编:刘芳)

## 作者简介:

王文(1990—),男,贵州安顺人,助理工程师,从事电力生产技术工作(E-mail:1365495486@qq.com)。