



国外特高压变压器技术现状及发展趋势

冯庆东¹, 王伟²

(1. 中国电力科学研究院, 北京市 100085; 2. 华北电力大学, 北京市 100031)

摘要: 文章对国外特高压(UHV)输变电技术,特别是UHV变压器技术的现状及发展趋势进行了介绍和分析,希望对我国1 000 kV特高压输变电系统的研究、设计和建设能起到参考和借鉴作用。

关键词: 电力系统;特高压;变压器

中图分类号: TM41;TM72

随着大型水电、火电及核电基地的建设,我国对远距离、大容量超高压及特高压输电的需求日益增加。在现已运行的电网中,我国直流最高电压等级为 ± 500 kV,交流最高电压等级也为500 kV。2005年底交流750 kV电压等级的电网即将投运,目前又在规划、研究、探讨直流 ± 800 kV、交流1 000 kV及以上电压等级特高压电网的建设。文章对国外特高压(UHV)输变电技术,特别是变压器技术的现状及发展趋势作一此深入的介绍和分析,以期对我国1 000 kV特高压输变电系统的研究、设计和建设能起到参考和借鉴作用。

1 乌克兰变压器技术现状及发展趋势

乌克兰是世界上少数已具有开发超高压、特高压输变电技术经验的国家之一。乌克兰扎布罗热变压器研究所是全世界最大的变压器研究所,该研究所的主要工作范围有:开展科研工作、设计工作、软件工作、开发新产品、设计工装设备及研究生产工艺、制造样品和少量产品、电气设备试验、修理复杂的电气设备、研究并提出国家标准、产品认证和咨询服务。其进行过的重要产品开发和试验项目有:DC ± 750 kV,320 MVA变压器、平波电抗器、隔离开关;750 kV并联电抗器;667 MVA,1 150/500 kV自耦变压器模型;1 800/500 kV自耦变压器模型;750~1 800 kV套管;DC 600 kV脉冲装置;220~500 kV中性点套管;干式变压器环境试验容量达到1 600 kVA;750 kV及以下电磁式电流互感器;500 kV及以下电磁式电压互感器;750 kV电容式电压互感器。

2 俄罗斯变压器技术现状及发展趋势

俄罗斯20世纪70年代已做出了单相417 MVA/1 150 kV、三相1 000 MVA/500 kV的变压器,80年代做出单相667 MVA/1 150 kV与三相1 250 MVA/330 kV的变压器。

2.1 根据运行经验对变压器设计和工艺的改进

1955~1990年,工厂生产的电力变压器参数有了大幅度提高,电压等级从220 kV提高到了1 150 kV,三相变压器的容量从240 MVA提高到了1 250 MVA,单相变压

器的容量从250 MVA提高到667 MVA。

通过运行事故的反馈,乌克兰扎布罗热变压器研究所对一系列课题作了深入研究,取得了很好的改进效果,在系统中运行的240台750 kV电力变压器近15年无一台发生事故,可靠性达到了较高的程度。在此基础上,该研究所还系统地开发了变压器的计算机辅助设计程序。

2.2 乌克兰扎布罗热变压器厂

乌克兰扎布罗热变压器厂(ZTR)是世界上最大的变压器厂,它可生产电力和配电变压器、电抗器、分裂电抗器、电压互感器、电流互感器、DC换流变压器、封闭母线(单相或三相)等。ZTR所生产的产品有70%用于出口,已有75个国家进口了该厂的变压器,其中中国从该厂进口了73台500 kV电力变压器。ZTR生产过的主要产品有:①三相1250 MVA/347 kV变压器6台(1980年生产);三相1 000 MVA/500 kV发电机升压变压器21台;三相三绕组300 MVA,500/154/38 kV变压器。②单相417 MVA,750/500 kV变压器67台(1978年生产);单相533 MVA,500/330 kV与单相417 MVA,1 150/500 kV变压器各1台(1981年生产);单相667/180 MVA,1 150/500 kV自耦变压器26台(1979年生产20台,1972年生产6台)。③320 MVA, ± 750 kV换流变压器。④120 Mvar,800 kV和300 Mvar,1 150 kV并联电抗器及其中性点电抗器。⑤OLTC330 kV,2 000 A。⑥单相60 Mvar,500 kV可控电抗器1台(1989年生产)。⑦417/50 MVA变压器143台(1972年生产105台,1973年生产38台)。⑧3相25 Mvar,110 kV可控电抗器1台(1997年生产)。⑨单相500 MVA,765/345 kV $\pm 13\%$ (每级1.3%)自耦变压器出口巴西, $P_0=200$ kW, $P_1=700$ kW。⑩配电变压器及各种特种变压器。⑪35 kV,31.5 kA封闭母线。

ZTR生产的铁心绑扎采用粘带绑扎,铁心柱内填一层薄纸筒纸板,然后绑上粘带,铁心夹件采用钢带拉紧,与西门子、ABB公司所生产的变压器结构相似。绕组电压在500 kV及以上一律采用的是油流不导向结构,所以绕组内径、外径有锁撑,看不见线饼里存在挡油板。变压器附件较为落后,放油阀门采用的是水

阀,油箱加工较为粗糙,油箱顶部斜坡较大,工人操作困难。变压器采用磁屏蔽,硅钢片宽度约为 80 mm,厚度为 15~30 mm,端部用电焊把硅钢片焊在一起。变压器套管结构较落后,套管上部带了一个铁丝均压罩,不设均压球,套管油压靠另外设置的一个小油枕。

3 日本变压器技术现状及发展趋势

为了满足 21 世纪日益增长的电力需求,东京电力公司(TEPCO)开发了日本第一套 1 000 kV 输电系统,并且正在 Shin-Haruna 变电站 1 000 kV 试验场运行以测试 1 000 kV 设备的性能及可靠性。三菱电气开发了多种 1 000 kV 电气设备。东芝公司的 Ako 工厂生产了一款 1 000 kV 用于资格测试的有载调压单相壳式变压器。下面对东芝公司生产的 1 000 kV 变压器的规格、构造、安装和测试情况进行介绍。

3.1 规格

东芝公司 1 000 kV 有载调压单相壳式变压器的基本规格参数见表 1。

表 1 1 000 kV 有载调压单相壳式变压器基本参数

额定容量/MVA	3 000/3
第三绕组容量/MVA	1 200/3
额定高压侧电压/kV	1 050/ $\sqrt{3}$
额定中压侧电压/kV	525/ $\sqrt{3}$
额定低压侧电压/kV	147 kV
调压范围	986.6/ $\sqrt{3}$ ~1 133.6/ $\sqrt{3}$ 范围内 27 档调节
测试电压	
雷击脉冲承受电压	原边侧 1 950 kV,次级侧 1 300 kV
长期工频耐受电压	交流 1.5E 1 h; $\sqrt{3}E$ 5 min;1.5E 1 h
阻抗	18%
冷却方式	强迫油循环,强迫风冷
噪声等级	65 dB

注: $E=1\ 100/\sqrt{3}$ kV

高压和中压侧容量的选择主要是为了满足最大输送容量的要求。第三绕组容量 1 200 MVA(40% 的高压和中压侧容量)的选择主要是为了满足 1 000 kV 输电线路所要求的最大视在容量。低压侧绕组额定电压如果像 500 kV 变压器那样选择 63 kV 的话,将会导致很大的故障电流,选择 147 kV 是为了使得和低压侧绕组相联设备的体积不致增加。阻抗值(短路电压百分比)选择 18% 是考虑到电网的最大稳定性,它是由接地故障电流的抑制和变压器设计的经济性等因素决定的。因为 1 000 kV 变电站将建在山区,所以所有的变压器

配件都必须采用铁路或大型拖车来运送。为了满足运输条件的限制,1 000 kV 变压器的主体部分被拆成了两个单元,每个单元都配备一套自动有载调压装置。长期交流工频耐受电压的选择是由对未来 1 000 kV 输电系统的故障分析所得到的,在试验过程中不得出现局部放电。雷击脉冲承受试验电压是由具有高性能避雷器的 1 000 kV 输电系统的暂态电压分析所得到的。高压侧选择 1 950 kV,中压侧选择 1 300 kV。65 dB 的噪声水平主要是为了使变电站的噪声降至最小,可通过在变压器周围安装钢板屏障来实现。

3.2 构造

1 000 kV 变压器的电压和容量都是 500 kV 变压器的 2 倍,它是日本目前使用的最大的变压器。但是,运输和安装空间的限制要求运输尺寸不能比 500 kV 变压器的大。所以选择把单相变压器分成 2 个单元,每个单元都具有和 1 个 500 kV,1 500/3 MVA 变压器相同的容量。这 2 个单元可以通过一个油—汽衬垫的 T 型套管并联运行。1 000 kV 变压器必须能够承受 500 kV 变压器 2 倍的电压,而应满足运输限制所要求的最小绝缘距离。因此,绕组的排列和绝缘的构造都应尽量减小电场的局部聚集,并且安排了大量的屏障用来把油空间恰当地分隔开;还采用净化处理工艺来减少油中的杂质,这样有助于保证更大的绝缘裕度,如果仅仅用绝缘纸,那么 1 000 kV 导线的绝缘是不可接受的,采用了多层屏障来减小导线到变压器外壳之间的绝缘距离。

4 结语

现在,可以进行长期励磁试验的 1 000 kV 变压器已经生产出来,经过测试这些变压器的经济运行是切实可靠。1 000 kV 变压器的发展、制造、运输和装配技术也可以用来提高 500 kV 及以下电压等级变压器的质量。

收稿日期:2005-03-10

作者简介:

冯庆东(1964-),男,博士,高级工程师,IEEE 会员,主要从事电力系统及自动化方面的研究;

王伟(1979-),男,博士研究生,主要研究领域为电力系统及其自动化。

(责任编辑 罗翠兰)

Present Situation and Development Tendency of UHV Transformer Technology Abroad

FENG Qing-dong¹, WANG Wei²

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China ;2. North China Electric Power University, Beijing 100031, China)

Abstract: This paper introduced and analyzed the present situation and development tendency of UHV power transmission and transformation technology abroad, especially in transformer technology, which can be as reference for the research, design and construction of 1000 kV UHV power transmission and transformation system in China.

Keywords: power system; UHV; transformer