

文章编号:1001-1609(2003)01-0007-01

# 超高压换流变压器和平波电抗器绝缘结构简述

宓传龙

(西安西电变压器有限责任公司, 陕西 西安 710077)

## SUMMARIZATION ON THE INSULATION STRUCTURE OF EHV CONVERTER TRANSFORMER AND SMOOTHING REACTOR

MI Chuan-long

(Xi'an XD Transformer Co., Ltd., Xi'an 710077, China)

**摘要:** 分析了换流变压器和平波电抗器主绝缘的特点, 论述了直流设备与交流设备绝缘结构的主要差别, 以及影响换流变压器和平波电抗器主绝缘安全和可靠性的主要因素。

**关键词:** 超高压直流; 换流变压器; 平波电抗器; 主绝缘  
中图分类号: TM478 文献标识码: B

**Abstract:** This article analyzes the characteristic of major insulation of the converter transformer and smoothing reactor. It expounds the main differences of the insulation structures between DC and AC equipment, and the main factors influencing on the safety and reliability of main insulation of converter transformer and smoothing reactor.

**Key words:** EHVDC; converter transformer; smoothing reactor; major insulation

换流变压器和平波电抗器是直流输电系统中的关键设备, 其产品质量和可靠性对系统的安全运行十分重要。随着直流输电技术的发展, 输送功率和电压等级的提高, 绝缘问题始终是换流变压器和平波电抗器设计成败的关键, 也是设备制造企业不断深入研究的主要课题。

设计换流变压器与设计电力变压器的主要差别在绝缘结构上, 关键技术也在绝缘结构中, 产品在试验和运行中事故率最高的当属绝缘故障。这个差别主要由以下原因造成。

(1) 超高压换流变压器端子上的电位取决于某一任意瞬间导通阀的组合情况, 阀侧线圈对应高压直流电极的全直流电压, 因此, 换流变压器阀侧线圈必须按全绝缘设计, 对铁轭的绝缘距离大于电力变压器。

(2) 超高压换流变压器的一个内线圈如果同样是超高压电压等级时, 端部超高压出线的绝缘结构也是

设计的难点。

(3) 超高压换流变压器的阀侧线圈不仅承受交流电压的作用, 同时还承受着直流电压的作用, 因此, 阀侧线圈对应的主绝缘承受着交、直流复合电场的共同作用。

(4) 较大的端绝缘和主绝缘距离使换流变压器的漏磁较大, 直流偏磁和换流阀工作特性使换流变压器内存在较多的高次谐波。漏磁和高次谐波更容易使换流变压器内部产生局部过热, 影响固体绝缘的绝缘特性。

(5) 在直流电场作用下, 固体绝缘表面产生空间电荷, 在极性反转、电压突变时更容易造成绝缘的损坏而发生事故。

平波电抗器串联在直流线路中, 本身压降很小, 因此, 电感线圈的设计同样按全绝缘考虑。平波电抗器承受直流电场和谐波电场的共同作用, 与换流变压器相比略有不同, 但绝缘结构设计方法和考虑的问题基本相同, 有别于交流电抗器。

换流变压器和平波电抗器在纵绝缘设计上与电力变压器相比没有什么特殊的地方。由于线圈结构考虑了较好的冲击特性, 有更多的绝缘裕度, 因此, 纵绝缘具有较强的电气性能。

在主绝缘设计方面情况就完全不同了。在交流电压作用下, 油纸复合绝缘结构的电场分布取决于介电常数  $\epsilon$ , 呈容性分布; 而在直流电压作用下, 油纸复合绝缘结构的电场分布取决于材料的电阻率  $\rho$ , 呈阻性分布。这是换流变压器和电力变压器电场分布特性的根本区别。电场按容性分布, 不随温度、场强等因素而变化, 此时交流电场的分布呈线性、各向同性; 电场按阻性分布, 材料的电阻率随温度、场强等因素的变化而变化, 其变化幅值可达到 3 个数量级, 直流电场的分布呈非线性、各项 (下转第 15 页)

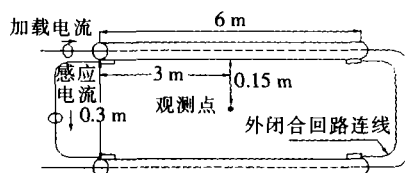


图7 试验布置示意图

表2 屏蔽效果的测量结果和计算结果比较

	加载电流/A	感应电流/A	磁场屏蔽率 $S_E$
数值计算	60.0	41.4	0.725 7
	100.0	69.0	0.725 7
实测 (低阻抗连接)	60.0	40.3	0.725 5
	100.0	66.5	0.739 4
实测 (高阻抗连接)	60.0	29.3	0.872 5
	100.0	48.3	0.890 9

## 5 结论

在单电流从金属管返回的情况下,磁场被限制在金属管内,金属管外的区域得到了很好的屏蔽,但在电气安装实践中,这通常是不允许的。金属管能有效屏蔽来回电流产生的磁场。但在没有形成外部闭合回路的情况下,金属管对单电流产生的磁场没有屏蔽效果。为有效屏蔽这种磁场,金属管的两端必须

经低阻抗导体连接或有效接地,以形成闭合的涡流回路。这种屏蔽的效果取决于金属管的材料、尺寸和闭合回路的阻抗。

## 参考文献:

- [1] Du Y, J Burnett. Magnetic Shielding Principles of Linear Cylindrical Shield [A]. Proceedings of the IEEE International Symposium on EMC[C], 1996.
- [2] J A Tegopoulos, E E Kriezis. Eddy Currents in Linear Conducting Media[M]. Elsevier, 1985.
- [3] R B Schulz, V C Plantz, D R Brush. Shielding Theory and Practice[J]. IEEE Trans. on EMC, 1988, 30(3): 187-201.
- [4] E E Kriezis, T D Tsiboukis, S M Panas, et al. Eddy Currents: Theory and Applications[J]. Proceedings of the IEEE, 1992, 80(10): 1 559-1 589.
- [5] Du Y, J Burnett. Magnetic Shielding Principles of Linear Cylindrical Shield at Power Frequency [A]. Proc. of IEEE International Symposium on EMC[C], Santa Clara, CA, USA. 1996.

作者简介:徐霖(1974-),男,博士研究生,主要从事电磁兼容和高电压试验测量技术方面的研究。

(上接第7页)

异性。由于油的电阻率与绝缘纸板的电阻率相差甚远(1:100),因此在直流电场中,绝缘纸板承担着大部分的电场应力,这是换流变压器主绝缘结构中绝缘纸板的使用量多于电力变压器的主要原因。

在直流电场的作用下,电场大部分集中在固体绝缘中,在没有发生击穿的情况下,局放不会在固体绝缘表面留下电损伤痕迹。而在交流电场的作用下,由于油的介电常数较低,油承担着较大的电场应力,局放易在固体绝缘纤维孔隙的油中发生,造成固体绝缘内部或表面不可恢复的电损伤,随着电场作用时间的延长,这种损伤不断扩大,以致于引起绝缘损坏;如果局放发生在较大的油隙中,由油中的杂质或气泡产生,随着油的流动、杂质的烧融、气泡的消失,油的绝缘特性是可以恢复的,局放量将趋于稳定。在直流电场的作用下,固体绝缘表面积了大量的空间电荷,当电压发生突变时(如发生操作过电压、极性反转),空间电荷在重新分配的过程中,突变电压与空间电荷的电场相叠加,引起电场分布的突变,更易引起固体绝缘纤维孔隙中的油产生放电或击穿。

因此,在直流耐压试验极性反转过程中,对换流变压器和平波电抗器主绝缘的考验较严厉。空间电荷的存在,将吸引油中的杂质,使之聚集在固体绝缘表面,或形成连续或不连续的小桥。尽管经受了直流耐压试验的考验,但在之后的交流耐压试验中,这些杂质的放电将在固体绝缘表面造成放电侵蚀。在多次试验中认识到,换流变压器和平波电抗器的绝缘结构,不仅需要设计优化、需要足够的安全裕度,采用优质清洁的材料、控制作用场地的降尘量和油中颗粒度,对换流变压器和平波电抗器的质量和安全可靠同样十分重要。

换流变压器和平波电抗器绝缘结构的研究远不止这些。随着技术的更新、材料更新、工艺水平的提高,需要研究和探讨的问题还很多,研究人员将在实践中不断地深入下去。

作者简介:宓传龙(1952-),男,研究员级高级工程师,一直从事特种变压器和电力变压器的设计,研究与制造。