

The Enhancement of Short-circuit Capability Contributes to an Overall Improvement in the Quality of Oil-immersed Transformers.

Gang Wei Xiao Han

Beijing Creative Distribution Automation Co., Ltd., Beijing, 101400, China

Abstract

The power transformer is a critical component of the power system, and its operational performance directly impacts the safety and stability of the entire system. The high electromagnetic load borne by the power transformer during operation leads to a significant increase in leakage magnetic field, resulting in various issues for the transformer, with one of the most crucial being its short-circuit capacity. In case of an imperfect design or manufacturing leading to a short-circuit fault during system operation, it can result in power failure and substantial losses. Therefore, GB/T1094.5-2008 and the two major power grid companies have specified requirements for the short-circuit capacity of transformers, mandating that they should be able to withstand such impacts during operation. Through our team's collective expertise and breakthroughs in research on this matter, we have significantly enhanced the overall product quality.

Keywords

transformer; ability to withstand short circuit; quality

油浸式变压器承受短路能力提升带动整体质量提高

魏刚 韩啸

北京科锐配电自动化股份有限公司, 中国·北京 101400

摘要

电力变压器是电力系统的关键设备,其运行质量的好坏直接影响到电力系统的安全稳定运行。电力变压器运行过程中所承受的电磁负荷非常高,致使漏磁场显著增强,由此给变压器带来一系列问题,其中尤为重要的一项是变压器的承受短路能力。若由于设计和制造不完善在系统运行时发生短路故障,会导致停电,造成巨大的损失。因此,GB/T1094.5—2008和两大电网公司均对变压器的承受短路能力做了规定,要求变压器在运行中应能承受住短时短路冲击。我公司在此项工作的研究中,集合团队智慧,取得突破的同时,带动了产品整体质量的提升。

关键词

变压器; 承受短路能力; 质量

1 引言

提高变压器承受短路能力的意义: 国家电网对近些年变压器损坏的统计表明,因短路损坏的变压器占事故总台次的比例明显上升。变压器短路强度不够已成为导致变压器损坏的事故的主要原因之一,已成为电力变压器运行中的突出问题,提高大型电力变压器承受短路能力势在必行。国网公司在对供应商产品质量的抽检方面,加大了对承受短路能力的抽检力度。我公司根据国网物资部关于提升7类电网物资质量的措施中的要求,以硅钢油变为突破口,加大力度对我公司主流容量油变产品抗短路能力提升做了大量卓有成效

的工作,该项目由线圈一致性项目与提升承受短路能力项目的合并后形成的大项目,其充分发挥了团队成员的优势,并且形成优势互补,是一个集合了技术、生产、质量、工艺团队智慧的具有里程碑意义的工作。

2 分析研究

从过往变压器发生短路故障,绕组的受力情况来看,内绕组比外绕组受力的条件更严重。内绕组辐向受力向内压缩,轴向受压力,均存在稳定性问题。外绕组辐向受拉伸力,无稳定性问题,只有受轴向压力存在稳定性问题^[1]。变压器在实际运行过程中发生短路故障造成破坏的具体表现:

①一次绕组线圈(离开铁心)向外胀,二次绕组线圈(趋向铁心)向内缩,如果线圈缠绕得不紧密,发生变压器短路情况时,很容易造成线圈的散开。

【作者简介】魏刚(1976-),男,中国新疆昌吉人,本科,工程师,从事变压器质量管理、高电压试验技术研究。

②如果绝缘垫块质量不过关,很容易造成绝缘垫块损坏,导致线圈变形,上下错位,甚至击碎垫块,导致绕组彻底损坏。

③绝缘垫片脱落,油道松动,影响变压器的散热。

④铁心夹件变形、松动,呈现鼓肚现象,有的甚至断裂损坏。

⑤铁心松动,叠片之间接缝变宽,柱铁和轭铁接缝变宽。

⑥导线接头断裂,各导体焊缝开裂。

3 提高抗短路能力的措施

3.1 提高变压器制造工艺水平

变压器工艺水平低是造成配电变压器抗短路能力低的主要原因。根据短路试验的机理,围绕“紧”,提出“线圈绕紧、器身撑紧、总装配锁紧”的思路,主要从绕组帘式油道制作、线圈生产、内绕组撑紧及总装中的紧固等4个方面确保绕组辐向充分套紧:

①油道撑条表面刷胶均匀,与点胶纸粘贴后,表面压上重物,2小时后,撑条粘紧去除重物。同时高低压线圈绕制过程中,在油道撑条表面均匀刷胶1层。②绕组生产。高、低压线圈绕制时必须绕紧,否则在绕组内层与外层作用的电磁力不等的情况下,难以起均衡作用。为此主要通过铜箔张紧,低压预整形,高压导线扁平(恒张力),达到排线紧实的目的。低压绕组绕制触头要紧固好,避免有回弹现象。具体措施:张力控制,铜箔收卷张力 $0.4\sim 0.6\text{MPa}\rightarrow 0.6\text{MPa}$ 。同时注意设备张力差异。低压整形前短轴尺寸偏差 $4\sim 7\text{mm}$ 。③低压预压。结合设计模具改善,采用低压预压工艺,预压短轴偏差 $\pm 1\text{mm}$ 。④导线扁平。经过反复论证,通过加装扁平器实现“恒张力”。扁化器控制间隙由 $d-0.03\text{mm}\rightarrow d-0.05\text{mm}$ (以S13-M-400/10为例, d 为高压线圈导线外径)。⑤通过上述措施,结合2018年对该型号1500只线圈尺寸数据统计,高压短轴尺寸偏差由 $+12\text{mm}\sim +18\text{mm}\rightarrow \pm 1\text{mm}$ 。同时对工艺流程进行优化,取消了反复拆装模具过程,实现了“低压预压,高压免压”。并减少了模具种类、延长模具寿命。⑥内绕组(低压绕组)撑紧。内绕组在辐向电磁力作用下,产生向内收缩的辐向圆周力,它要通过绝缘撑条作用于铁心柱上。为此,要求装配时将绕组内径侧可靠撑紧。撑紧时首先调整铁心柱的撑条和撑板尺寸,必要时重新配置,以便撑实铁心柱。⑦铁心下铁轭刷固化漆,上铁轭增加紧固压板,改善铁心片变形、离缝大的现象。具体措施:铁心截面,要控制铁心各级叠厚尺寸,具体实施,有赖于自动叠铁设备的计数能力,及修剪设备的按台按级下料,实现了由传统的“各级测厚”叠装到目前“各级定数”。⑧撑紧工艺。过反复自主送检验证,在小间隙套装的前提,制定了相应的工艺文件,撑棒打入根数 $8\sim 12$ 根,间隔 $40\sim 50\text{mm}$ 。

以上工艺推行后,尤其是铁心工艺,有效减少测量累

计偏差、人为干扰对铁心各级厚、总叠厚的影响,对铁心外形一致性、用料一致性、性能一致性提升巨大。同时减少撑棒规格,减少撑棒数量。

总装中的紧固。器身出炉后,应进行一次全面的检查,确认器身上及各缝隙中,没有任何遗留物及其他问题之后,方可开始整理工作。紧固上、下铁轭的所有紧固件,整理垫块,使之上下对齐,达到质量标准中所规定的要求,最后调整同一压圈下的各绕组高度,使之达到每一个绕组都能被可靠地压紧,同时引线也应夹持牢固可靠。夹件锁紧方面要配合设计结构,工艺做了初步的紧固顺序,及紧固力度控制。关键在于实现器身的整体刚性。

3.2 加大产品质量检查力度

加大投入油变抗短路能力提升研发资金,与中国电力科学研究院武汉分院展开合作,截至目前共自主验证22台,合格率91%,较以往有很大提升,通过每次试验后的结果,采取针对性措施加以改善,每次都有不同程度的良好效果。产品的一致性也有了很大提高。经过22台样机自主送检后,以最新测试结果看按照以上关键工艺生产的产品,最大相电抗变化量在2%以内,标准:不大于7.5%。复试工频耐压、感应耐压、雷电冲击、变压器油介损试验及色谱分析、外观等均满足要求,满足抗突短要求^[2]。试品实测情况如表1所示。

3.3 提高生产人员整体素质

良好的人员素质亦是提高配电变压器抗短路能力的关键。加强绕线、器身引线装配及总装人员的专业技术培训,提高生产人员绕线、总装专业知识和实际技能,是提高变压器抗短路能力的重要手段。今年每次送试产品后所采取的改善措施,都与一线操作人员进行了详细讲解,并在生产过程中重点稽查执行情况,提高操作者责任心。

4 工作开展带来的质量管理提升

此项工作自开展以来,不仅表现在我公司油变承受短路能力有明显提升,在其他方面也产生了积极效应:

①压装整形:由高压整形改为低压整形,高压不整形。低压线绕增加压辊后,有望实现该类产品的低高压免整形。整形工序前置,杜绝频繁拆装模:模具寿命延长,线圈一致性提高。

②套装间隙:铁心尺寸由各级测量改为各级定数,减少测量累计偏差、人为干扰对铁心各级厚、总叠厚的影响。减少人为因素对空载数据影响,利于数据采集、设计调整。

③材料用量:漆包线用量,新工艺比设计平均减少1.35kg。

④电气性能数据一致性提高:

外形尺寸:以S13-M-400/10为例,设计允许偏差不大于 $+10\text{mm}$,老工艺 $+6\text{mm}\sim +12\text{mm}$,新工艺 $-3\text{mm}\sim +1\text{mm}$ 。

过程能力对比如表2所示。

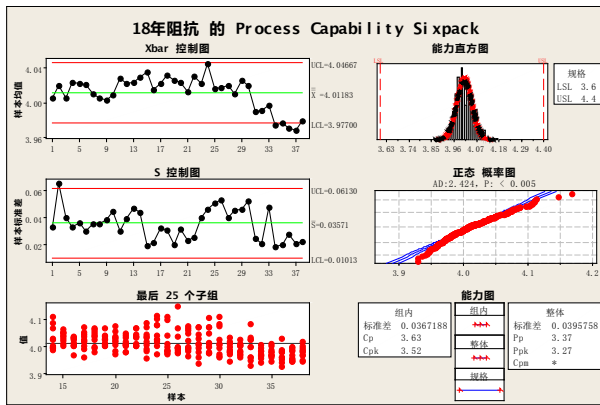
表 1 试品实测情况

试品型号		SB13-M-400/10			产品代号		6320.041R		出厂序号		B400D201903		试验机构		中国电力科学研究院武汉分院	
次数	分接位置	测量电感 (mH)			计算相电抗 (Ω)			相电抗变化率 %			电流峰值 (A)	实测峰值 (A)			峰值电流偏差 %	
		AB	BC	CA	A	B	C	A	B	C		A	B	C		
试验前	1	65.05	66.21	65.14	30.47	31.56	30.53	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	3	57.85	58.85	57.89	27.06	28.03	27.12									
	5	50.43	51.25	50.47	23.62	24.41	23.68									
1	1	65.70	66.73	65.59	30.79	31.76	30.70	+1.05	+0.63	+0.56	626.9	627.7	532.6	505.8	+0.13	
2		65.92	66.85	65.70	30.93	31.81	30.72	+1.51	+0.79	+0.62		629.1	530	503.9	+0.35	
3		66.05	66.90	65.80	31.03	31.85	30.79	+1.84	+0.92	+0.85		629.3	528	503.5	+0.38	
4	3	58.81	59.70	58.58	27.62	28.47	27.38	+2.07	+1.57	+0.96	662	529.7	651.6	558.6	-1.57	
5		58.90	59.87	58.70	27.60	28.54	27.42	+2	+1.82	+1.11		550	670.2	572.3	+1.24	
6		58.94	59.97	58.76	27.65	28.62	27.47	+2.18	+2.1	+1.29		545.7	667.1	571.6	+0.77	
7	5	51.50	52.30	51.46	24.15	24.91	24.12	+2.24	+2.05	+1.86	706.4	601.7	570	701.3	-0.72	
8		51.53	52.36	51.56	24.15	24.94	24.18	+2.24	+2.17	+2.11		601.1	565.1	697.1	-1.32	
9		51.56	52.39	51.61	24.14	24.93	24.17	+2.2	+2.13	+2.07		599.2	565.9	698.1	-1.17	
试验后		51.35	52.22	51.41	24.02	24.87	24.08	+1.69	+1.88	+1.69	/	/	/	/	/	

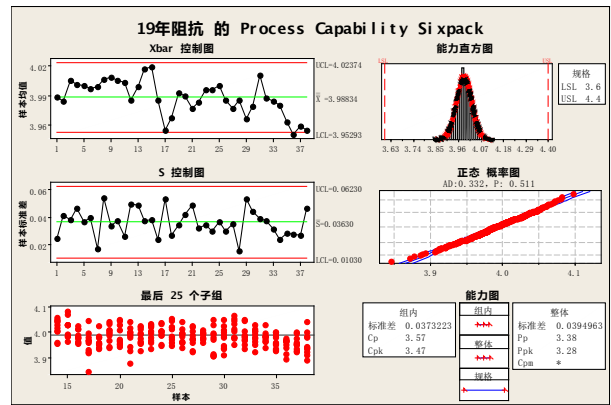
表 2 过程能力对比

抽取 2018 年与 2019 年各 380 台成品试验数据进行分析, 比对。

2018 年硅钢 400 短路阻抗



2019 年硅钢 400 短路阻抗



结论: 从图形上看, 2019 年数据正态性优于 2018 年数据 (2018 年数据为非正态)。

结果上看, 线圈紧实度 2019 年优于 2018 年 (2018 年阻抗均值 4.01、2019 年阻抗均值 3.98)。长期过程能力 2019 年优于 2018 年。2018 年与 2019 年阻抗短期过程能力与长期过程能力均为特优^[3]。

5 结语

上述工作的开展, 给我们带来了一系列的“蝴蝶效应”, 材料成本有所降低、产品一致性大幅提升, 器身整体美观、刚性提高、一线操作者和检验人员的整体素养都产生了积极变化等, 这些都对后期我公司变压器产品质量工作长期有效开展产生了深远的意义。

参考文献

- [1] 保定天威保变电气股份有限公司. 变压器试验技术[M]. 1版. 北京:机械工业出版社, 2001.
- [2] GB/T1094.5—2008 电力变压器 第5部分 承受短路的能力[M]. 北京:标准化出版社, 2009.
- [3] 中国质量协会. 六西格玛黄带手册[M]. 北京:中国出版社, 2018.