

35 kV 并联干式电抗器故障缺陷分析

陈东明, 王建伟, 商力新, 李旸, 彭凯, 赵佳鑫

(国网冀北电力有限公司超高压分公司, 北京 102488)

摘要:通过诊断试验发现正常运行的 35 kV 并联电抗器存在匝间绝缘缺陷,处于带病运行状态。在现场、厂内分别对该电抗器进行直流电阻、电抗值、工频损耗、匝间绝缘、雷电冲击等试验,透过数据分析匝间绝缘缺陷逐步劣化的过程。并对缺陷电抗器进行解体,发现第 8-3 层存在典型湿污放电痕迹,与试验结论相吻合,分析外观爬电、击穿产生缺陷的原因。现有试验项目对发现匝间绝缘缺陷的灵敏性及原因分析。结合干式电抗器的运行环境、缺陷特征等因素,对其生产工艺、日常维护、检修试验项目选择等提出相关建议,确保能够及时发现干式电抗器潜在缺陷,防止带病运行,保障电网安全稳定运行。

关键词:干式电抗器; 直流电阻; 匝间绝缘; 解体; 击穿

Fault Analysis of 35 kV Shunt Dry-type Reactor

CHEN Dongming, WANG Jianwei, SHANG Lixin, LI Yang, PENG Kai, ZHAO Jiaxin

(Ultra High Voltage Branch of State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Beijing 102488, China)

Abstract: In this paper, it is found through the diagnosis test that the 35 kV shunt reactor in normal operation has inter-turn insulation defect and is in operation state with fault. Such tests as DC resistance, reactance, power frequency loss, inter-turn insulation and lightning impulse are performed on the reactor respectively at site and factory, and the gradual deterioration process of the inter-turn insulation defects is analyzed through data analysis. It is found after the disassembly of the reactor with defect that there are typical wet contamination discharge traces on the 8-3 layer, which is consistent with the test results. The causes of appearance creepage and breakdown are analyzed. The sensitivity and cause analysis of the existing test items to find inter-turn insulation defects is displayed. In combination with such factors as the operating environment and defect characteristics of the dry-type reactor, relevant suggestions for its production process, routine maintenance, maintenance and test item selection are proposed as to ensure that the potential defects of the dry-type reactor can be found in time, prevent the operation with defects, and assure safe and stable operation of the power grid.

Keywords: dry reactor; DC resistance; inter-turn insulation; disintegrate; breakdown

0 引言

随着电力系统容量的不断扩大,超、特高压网架的不断完善,电力输送的距离愈来愈远、能量越来越大,输电线路所需容性无功逐步提升^[1-5]。但夏、冬大负荷期间,昼夜负荷变化明显,当系统处于轻载时,会出现容性无功过剩,导致线路末端电压升高,加之新能源电力的不断接入,无功调节的需求更加频繁^[6-7]。为保障供电质量安全、可靠,系统需投入相应的无功设备,补偿系统过剩容性无功,

限制电压抬升。

目前变电站内常用消耗无功的设备为电抗器、SVG 等设备,其中电抗器分为油浸式、干式空心等结构^[8-11]。由于干式电抗器具有体积小、质量轻、无铁芯饱和、成本低等优点^[12-14],因此在变电站内得到广泛的应用,主要电压等级为 110 kV、66 kV、35 kV。干式空心电抗器通常布置于变电站内户外,运行环境较为恶劣,如暴晒、雨淋、鸟害等,且设备结构较为紧凑,散热通道较为狭窄,运行时本体温升明显^[15-19]。长期处于复杂的电、热、机械应力等作

用下,其表面环氧树脂结构会出现裂纹,导致绝缘受潮,逐步劣化,发生匝间短路故障^[20-24]。

本文结合 500 kV 变电站 35 kV 干式并联电抗器缺陷诊断,阐述试验方法和诊断过程,分析电抗器故障原因,并提出相关建议。

1 试验项目

根据 DL/T 596—2021 电力设备预防试验规程,干式电抗器试验项目包括绕组直流电阻、绕组绝缘电阻、电抗值、匝间绝缘试验等,其中电抗值及匝间绝缘试验为诊断项目。

绝缘电阻考量电抗器下部支撑绝缘子绝缘状态。直流电阻及电抗值是在低电压状态下判断绕组线圈是否存在线圈短路、断路等情况。根据变电站内设备检修经验上述试验对电抗器缺陷发现率较低。因此引入匝间绝缘试验,其试验电压明显大于设备运行电压,高电压下设备存在的匝间、层间、股间等绝缘薄弱缺陷可以较早的显现,防止电网事故发生。

2 缺陷介绍

防止老旧电抗器发生起火跳闸等事故,对某 500 kV 变电站内运行年限在 15 年以上的 35 kV 并联干式电抗器进行诊断排查。排查发现 2 只电抗器诊断试验数据异常。

设备信息如下:1)392 并联电抗器,型号为 BKK20000/35,运行年限 19 年;2)311 并联电抗器,型号为 BKK10000/35,运行年限 19 年。由于两只电抗器外观表象、试验结果相似,本文以 392 电抗器展开介绍分析。

2.1 现场诊断

392 并联电抗器外观检查未见异常,通风道内有少许絮状附着物。诊断试验数据见表 1。

三相绝缘电阻、直流电阻、电抗值均符合规程要求。但进行匝间绝缘试验时,A 相电压升至 131 kV (规程要求户外 35 kV 干抗峰值试验电压为 128 kV,由于受仪器电压调节幅度影响,现场实际加压为 128 kV 临近值),耐压进行至 15 s 时,报匝间绝缘故障,全电压频率由 10.7 kHz 跳变至 17.2 kHz,见图 1,同时观察电抗器上部有冒烟情形。B、C 相匝间绝缘试验未见异常。对 A 相外观仔细检查,且直阻、电抗值试验无异常后,再次进行匝间绝缘试验,电压升至 40 kV 时,报匝间绝缘故障。初步判断电抗器内部存在绝缘击穿。

表 1 392 并联电抗器诊断试验
Table 1 Diagnostic test for 392 shunt reactor

试验项目		相序		
		A 相	B 相	C 相
绝缘电阻	实测/MΩ	18 820	25 000	24 000
	初值/MΩ	25 000	25 000	25 000
直流电阻	实测/mΩ (75℃)	51.97	52.02	52.05
	初值/mΩ (75℃)	52.23	52.17	52.12
	变化率/%	-0.5	-0.28	-0.13
电抗值	实测/Ω	19.88	19.90	20.01
	铭牌/Ω	19.98	19.96	20.09
	变化率/%	-0.5	-0.3	-0.4
匝间绝缘	标定电压/kV	31.1	31.3	31.8
	标定频率/kHz	10.7	10.7	10.7
	全电压/kV	131.0	130.6	131.2
	全电压频率/kHz	17.2	10.7	10.7
环境温度:35℃,环境湿度:38%				

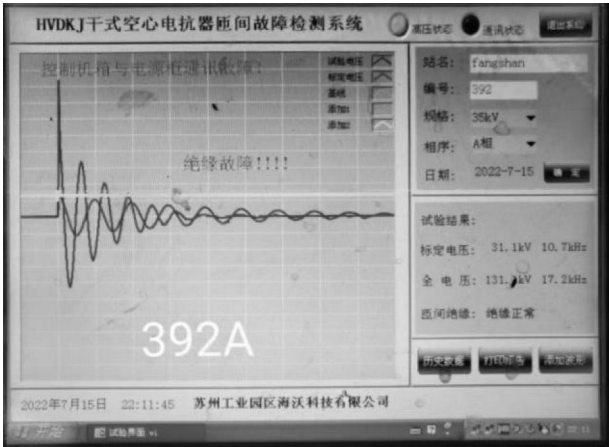


图 1 392A 相并联电抗器匝间绝缘试验
Fig. 1 Inter-turn insulation test of phase A of 392 shunt reactor

2.2 厂内诊断

由于 35 kV 匝间成套装置在判定绝缘故障后无法继续升压,无法对其后续波形进行采集分析,因此将该电抗器拆除后进行厂内试验。厂内匝间系统使用放电球隙代替电子开关,调节球隙间隙控制谐振回路开断,连续升压分析查找故障点。试验步骤顺序如下:

1)厂内第 1 次直阻、电抗、损耗试验,试验数据均合格,见表 2。

表 2 低电压试验项目
Table 2 Low voltage test item

试验项目	直流电阻/mΩ	电抗值/Ω	工频损耗/kW
交接	52.23	19.930 9	67.9
第 1 次实测	52.03	19.941 2	66.8
第 2 次实测	52.08	19.947 0	66.8

2)第1次匝间绝缘试验,厂内匝间成套设备储能容量也为3 000 pF,考虑设备接线、位置等因素与变电站内不同,杂散电容不一致,可认为20 kV时的谐振频率 $f=11.494$ kHz与现场基本一致。电压升至40 kV时,频率升高至17.857 kHz,波形、频率变化与现场相对应,见图2。电压持续升高至128 kV,维持1 min,频率保持在17.857 kHz不变,外观无异常。

3)雷电冲击试验,对该设备上下端子分别进行1次半电压雷电冲击、3次全电压雷电冲击、2次全电压截波试验。雷电冲击波形未见异常,见图3。

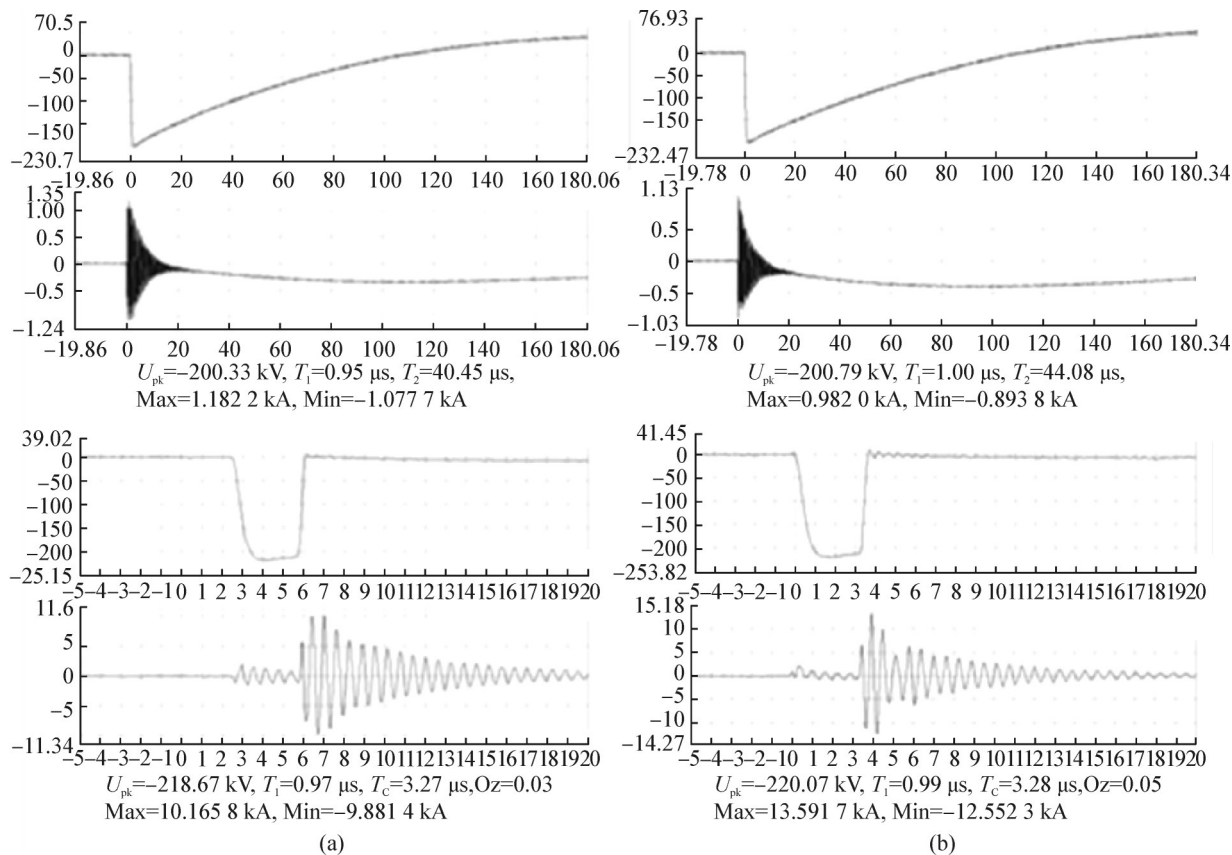


图3 上部端子、下部端子雷电试验
Fig. 3 Lightning test for upper and lower terminal

上部端子:全电压雷电 $U_{pk}=-200$ kV, $T_1=0.95$ μs, $T_2=40.45$ μs;全电压截波 $U_{pk}=-218$ kV, $T_1=0.97$ μs, $T_c=3.27$ μs;下部端子:全电压雷电 $U_{pk}=-200$ kV, $T_1=1.00$ μs, $T_2=44.08$ μs;全电压截波 $U_{pk}=-220$ kV, $T_1=0.99$ μs, $T_c=3.28$ μs。

4)厂内第2次直流电阻、电抗值、损耗试验,试验数据未见异常,见表2。

5)第2次匝间绝缘试验,为能够找到电抗器匝间击穿点,将击穿点放大。匝间电压提升至160 kV,维持1 min后对比各电压等级下的振荡波形。20 kV、40 kV、80 kV、160 kV 波形波峰、波谷保持一致,谐振频率约为17.857 kHz。40 kV与20 kV电压波形

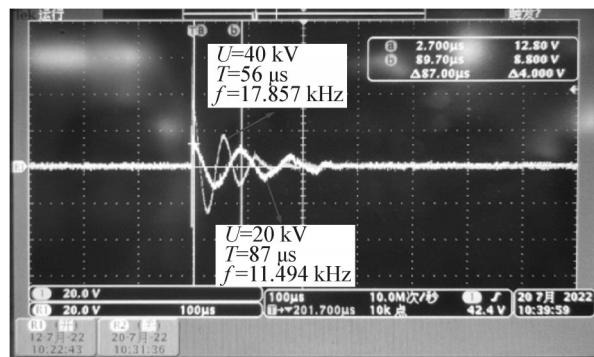


图2 20 kV与40 kV时振荡波形对比
Fig. 2 Comparison of oscillating waveform at 20 kV and 40 kV

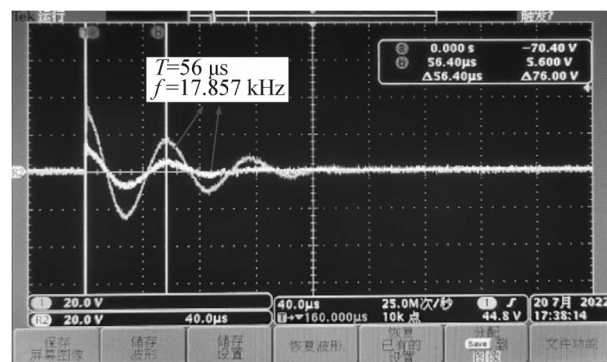


图4 20 kV与40 kV振荡波形对比
Fig. 4 Comparison of oscillation waveform at 20 kV and 40 kV

3 缺陷分析

3.1 解体分析

对 392 A 相电抗器进行逐层解体分析。该电抗器共计 16 包封层,每个包封层含 2-4 小层,其中某包封层横截面结构示意图见图 5。

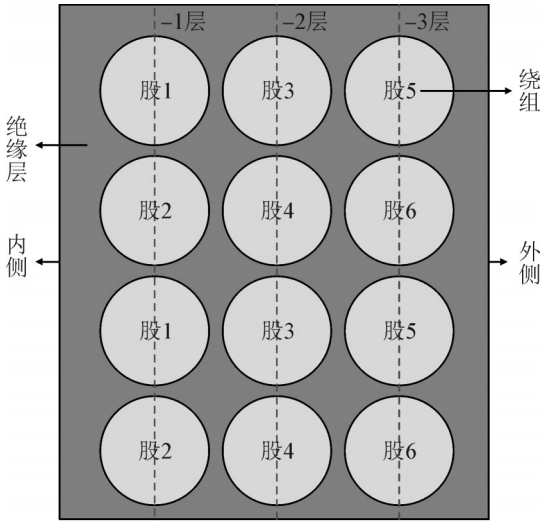


图5 电抗器某包封层横截面结构
Fig. 5 Cross-section structure of a reactor layer

拆开电抗器上下端出线接头,进行如下测量初步定位故障层:1)对各包封层每股绕组进行通断测量,绕组均未出现断股现象;2)测量每个包封层内各绕组层间、股间绝缘电阻,试验发现除第 8 层外,其余 15 个包封层内各绕组层间、股间绝缘无异常。第 8 包封层含有 3 小层,其中:小层间绝缘电阻无异常,1、2 小层内各股间绝缘无异常,3 小层内股 1 与股 2 绕组间绝缘电阻值为 0.04 MΩ。初步判定故障点在第 8 层 3 小层内。

切割拆解各分包层,逐层进行检查,检查结果如下:除第 8 包封层外,其余包封层外观未见故障点。第 8 包封层外侧距上端部 700 mm,长度为 380 mm 的一处明显延面爬电痕迹,其他位置无爬电、放电痕迹。正常包封层与第 8 包封层外观图片对比见图 6。

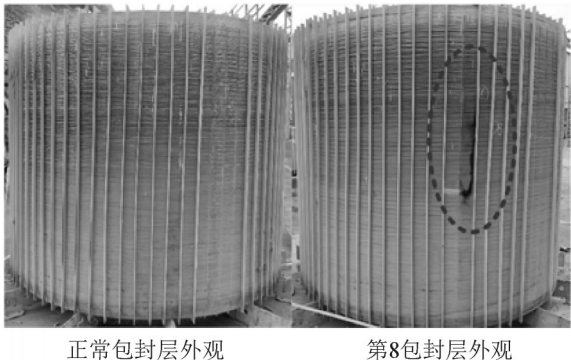


图6 第8包封层与正常层外观对比
Fig. 6 Appearance comparison between the eighth layer and the normal layer

第 8 包封层内部的 3 小层拆解,8-1、8-2 小层无放电痕迹,掀开第 8-3 导线层,发现导线外表面与外包封接触位置存在明显炭黑痕迹,见图 7。

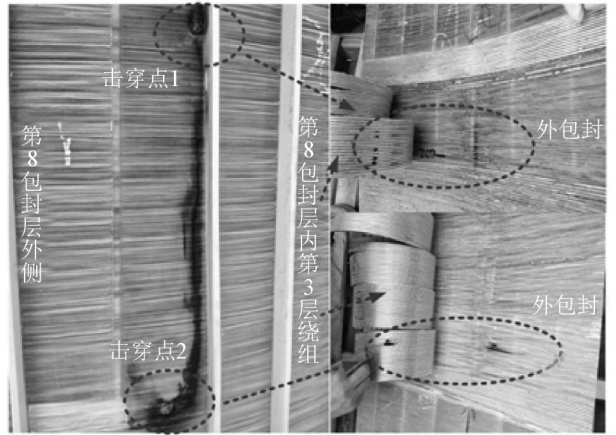


图7 第8-3导线层与外包封击穿点
Fig. 7 Breakdown point between 8-3 wire layer and outer cladding layer

包封层外侧有 2 个击穿点,贯穿外部绝缘直至 8-3 导线层,击穿点导线绝缘见图 8。仅炭黑位置导线绝缘膜局部缺失,导线损伤轻微,同时两个损伤点对应第 8 层外绝缘爬电起始和结束位置损伤点。

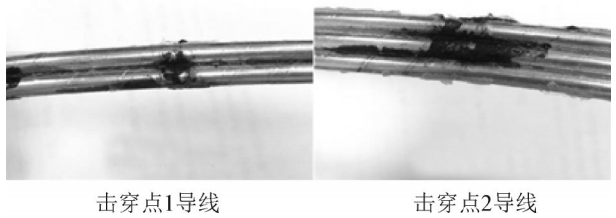


图8 击穿点导线绝缘情况
Fig. 8 Insulation of conductor at the breakdown point

经过对第 8 包封层故障点由内向外的解剖观察,判断包封层受损情况为由外向内发展,延面爬电起始和结束点损伤较重。该缺陷为设备正常运行退出后诊断时发现,可得出:1)在进行现场匝间试验以前,延面爬电起始点和结束点包封外绝缘存在薄弱点,甚至已经有损伤,但未完全伤及内部导线绝缘;2)现场匝间试验 131 kV 持续 1 min 后,两处绝缘损伤点被击穿,并伤及 8-3 内导线层绝缘,40 kV 以上电压时,8-3 导线层缺陷处绝缘完全丧失,电抗值下降,谐振频率上升;3)雷电冲击未能有效发现该处缺陷,厂内第 2 次全电压匝间绝缘试验,使损伤点绝缘被完全击穿。

根据诊断试验及解体分析,可以判定第 8 层外绝缘存在延面爬电,属于典型的延面污湿放电。外绝缘存在的污秽物或本身绝缘存在薄弱点,在高

温、高湿、电力等作用下外部绝缘不断被侵蚀,沿横向向内部发展,在电抗器投切、运行过程中匝间承受高电压使该处纵向绝缘也同样受到损伤,损伤处能承受运行电压并未出现跳闸故障,但最终在匝间试验高电压放大作用下该处缺陷被及时显现出来。

3.2 试验灵敏性分析

根据诊断试验数据,绝缘点被击穿前后直流电阻、电抗值均满足试验标准,未能有效反应电抗器实际状态,若仅通过此两项试验判断其状态,容易导致故障电抗器带病运行。以 392 电抗器为例,共计 16 包封层,测量各包封层直流电阻,其数值见表 3。

表3 各包封层直流电阻
Table 3 DC resistance of each envelope layer

层数	直流电阻/ Ω (75 $^{\circ}\text{C}$)	层数	直流电阻/ Ω (75 $^{\circ}\text{C}$)
1	1.70	9	0.67
2	1.78	10	0.63
3	1.49	11	0.60
4	1.19	12	0.87
5	1.06	13	0.88
6	0.91	14	0.90
7	0.78	15	0.93
8	0.72	16	0.64

分析直阻试验对缺陷故障的灵敏性,其中电抗器整体直阻为各分包层直阻并联值。为简化分析,假定一层直阻发生变化时,其余各绕组保持不变,根据相对关系绘制对应曲线图,见图 9。

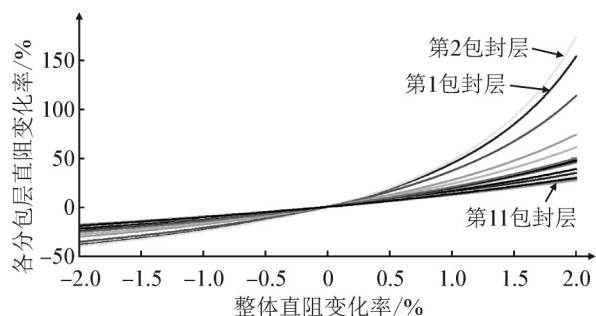


图9 各包封层直阻变化率与整体直阻变化率对比图
Fig. 9 Comparison diagram of DC resistance variation rate of each envelope layer and overall DC resistance variation rate

明显看出各层直阻变化率对整体直阻变化率并不敏感,如:整体直阻变化率为 2%时单层最大、最小的变化率分别为第 2 圈 172.98%,第 11 圈 27.16%;整体直阻变化率为-2%时单层最大、最小的变化率分别为第 2 圈-39.74%,第 11 圈-18.18%。DLT 596—2021 规定:同一温度下直流电阻不超

过 $\pm 2\%$ 。

由于结构形式,保证电抗器各圈层温升均匀,各圈电抗值不尽相同,与直流电阻分布相似。整体电抗值由各圈电抗值并联组成,同属阻抗,因此其关系与图 9 所示相近。

通过分析表明若使整体直流电阻值超出规程要求,则至少使其中一层变化率超过-18.18%或 27.16%。若某层出现上述变化率则该层绕组已出现断线或大范围匝间绝缘缺失现象,运行时电抗器会先跳闸、甚至烧毁,因此该类试验项目只能反应非常明显的故障缺陷,对隐患的排查作用较小。

4 结语

对老旧干式电抗器进行诊断排查能够有效发现设备存在的缺陷隐患。但低电压试验项目在电抗器绝缘故障前、后试验数据未见明显变化,无法及时发现相应缺陷。匝间绝缘试验对电抗器内部存在的股间、匝间、层间等绝缘薄弱缺陷等情况能够灵敏反应。建议:1)加强干式电抗器股间、匝间、层间绝缘强度,提高出厂电压考核标准;2)加强干式电抗器日常维护及时清扫风道,保证散热良好;3)加强老旧设备停电诊断试验排查;4)针对直流电阻、电抗值试验对缺陷不敏感问题,可以采取对电抗器进行分层测量,降低整体测量时层间并联时的影响,提升低电压试验的灵敏度。

参考文献

- [1] 咸日常,鲁尧,陈蕾,等. 干式空心串联电抗器匝间短路故障特征研究[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(18): 10-16.
XIAN Richang, LU Yao, CHEN Lei, et al. Fault characteristics of an inter-turn short circuit of a dry-type air core series reactor[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(18): 10-16.
- [2] 朱恩泽,陈习文,王相锋,等. 1 000 kV 特高压并联电抗器色谱异常原因分析与处理[J]. 变压器, 2023, 60(1): 59-63.
ZHU Enze, CHEN Xiwen, WANG Xiangfeng, et al. Analysis and treatment of oil chromatography abnormal in 1 000 kV UHV shunt reactor[J]. Transformer, 2023, 60(1): 59-63.
- [3] 李童,吴标,储后广,等. 高压电抗器短路故障防爆性能仿真分析[J]. 变压器, 2023, 60(8): 25-29.
LI Tong, WU Biao, CHU Houguang, et al. Simulation analysis on explosion-proof performance of high voltage reactor under short circuit fault[J]. Transformer, 2023, 60(8): 25-29.

- [4] 朱恩泽,陈习文,王相锋,等.一起35 kV干式空心并联电抗器绝缘击穿事故原因分析及解决方案[J]. 变压器, 2023,60(8):59-64.
ZHU Enze, CHEN Xiwen, WANG Xiangfeng, et al. Analysis and solution of a insulation breakdown of 35 kV dry-type air-core shunt reactor[J]. Transformer, 2023, 60(8):59-64.
- [5] 冯伦,王培人,苏海博,等.耦合分裂电抗器型限流器容量试验等效方法设计与实施[J]. 高压电器, 2022, 58(10):204-210.
FENG Lun, WANG Peiren, SU Haibo, et al. Design and implementation of equivalent method for power test of coupling-split-reactor type current limiter[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(10):204-210.
- [6] 赵吉祥,李丹,廖攀峰,等.基于无功超调率指标的变电站无功优化配置[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(1):45-51.
ZHAO Jixiang, LI Dan, LIAO Panfeng, et al. Substation reactive power optimization configuration based on reactive overshoot rate index[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(1):45-51.
- [7] 赵清松,王世成,张冠峰,等.大型光伏电站并网系统的无功优化配置方案分析[J]. 东北电力技术, 2021, 42(10):5-10.
ZHAO Qingsong, WANG Shicheng, ZHANG Guanfeng, et al. Analysis of reactive power optimal allocation for grid-connected system in large-scale photovoltaic power station[J]. Northeast Electric Power Technology, 2021, 42(10):5-10.
- [8] 徐基泰.电抗器品种及其发展[J]. 变压器, 2000, 37(1):17-21.
XU Jitai. Variety and development of reactor[J]. Transformer, 2000, 37(1):17-21.
- [9] 高国磊.干式空心电抗器运行状态和绝缘寿命评估研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2018.
- [10] 罗晓东.变电站无功补偿技术现状分析与SVG技术应用[D]. 北京:华北电力大学, 2017.
- [11] YANG Jichao, ZHAO Yanzhen, MA Xikui. An online detection system for inter-turn short circuit faults in dry-type air-core reactor based on LabVIEW[C]//2011 International Conference on Electrical Machines and Systems. [S.l.]: IEEE, 2011:1-5.
- [12] GAO Ziwei, ZHU Xuecheng, SONG Xiping, et al. Characteristics of PD for reactor inter-turn insulation under pulse oscillating voltage[C]//IEEE International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials, Sydney, Australia, 2015:728-731.
- [13] 毛颖科,张天枫,朱正一,等.±500 kV直流换流阀用饱和电抗器温度场与电场仿真研究[J]. 高压电器, 2023, 60(1):128-135.
MAO Yingke, ZHANG Tianfeng, ZHU Zhengyi, et al. Simulation study on thermal and electric field of saturable reactor for ±500 kV converter valve [J]. High Voltage Apparatus, 2023, 60(1):128-135.
- [14] 祝令瑜,杜一鸣,高璐,等.不同频率激励下干式空心电抗器匝间绝缘缺陷振动分布特性[J]. 高电压技术, 2022, 48(8):3201-3209.
ZHU Lingyu, DU Yiming, GAO Lu, et al. Vibration distribution characteristics of dry-type air-core reactor with turn-to-turn insulation defects excited by different frequencies[J]. High Voltage Engineering, 2022, 48(8):3201-3209.
- [15] 李光茂,李晓,杜钢,等.湿热老化对电抗器匝间过电压耐受特性的影响[J]. 高压电器, 2022, 58(6):98-103.
LI Guangmao, LI Xiao, DU Gang, et al. Influence of damp heat aging on withstand characteristics of inter-turn overvoltage of reactor[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(6):98-103.
- [16] 陈硕,田杰,梁兆杰,等.干式空心电抗器噪声测量的干扰研究[J]. 高压电器, 2023, 59(2):147-152.
CHEN Shuo, TIAN Jie, LIANG Zhaojie, et al. Study on interference of noise measurement of dry-type air-core reactor[J]. High Voltage Apparatus, 2023, 59(2):147-152.
- [17] 杨建立,徐政勋,聂京凯,等.干式空心电抗器温升仿真技术研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2019, 40(6):68-72.
YANG Jianli, XU Zhengxun, NIE Jingkai, et al. Study on temperature rise simulation technology of dry-type air core reactor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2019, 40(6):68-72.
- [18] 安利强,王璋奇,唐贵基.干式电抗器三维温度场有限元分析与温升试验[J]. 华北电力大学学报, 2002, 29(3):75-78.
AN Liqiang, WANG Zhangqi, TANG Guiji. 3D-temperature field prediction by FEM and temperature-rise test for dry-type reactor[J]. Journal of North China Electric Power University, 2002, 29(3):75-78.
- [19] 马元社,董妍波,娄彦涛,等.一种方形壳体式新型饱和电抗器研制与工程应用[J]. 高压电器, 2023, 59(3):8-13.
MA Yuanshe, DONG Yanbo, LOU Yantao, et al. Development and engineering application of a new square shell type saturated reactor[J]. High Voltage Apparatus, 2023, 59(3):8-13.
- [20] 魏新劳,王永红,聂洪岩,等.干式空心电力电抗器现场匝间过电压试验技术研究[J]. 黑龙江大学工程学报, 2019, 10(2):56-62.
WEI Xinlao, WANG Yonghong, NIE Hongyan, et al. Turn-to-turn overvoltage field test technology for dry-type air-core power reactor[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic

- Engineering College, 2019, 10(2): 56-62.
- [21] 骆小龙, 张良, 王永红, 等. 干式空心电力电抗器匝间绝缘试验方法有效性分析[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2014, 19(1): 74-78.
- LUO Xiaolong, ZHANG Liang, WANG Yonghong, et al. Analysis of the effectiveness of turn-to-turn insulation test methods of dry-type air-core power reactor[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2014, 19(1): 74-78.
- [22] 关永刚, 唐琦雯, 刘卫东, 等. 40.5 kV 真空断路器开断并联电抗器时过电压的产生机制[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(33): 124-132.
- GUAN Yonggang, TANG Qiwen, LIU Weidong, et al. Over-voltage mechanism of switching off shunt reactors for 40.5 kV vacuum circuit breakers[J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2012, 32(33): 124-132.
- [23] 李爽. 干式空心并联电抗器磁场与电动力研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2015.
- [24] 姜志鹏, 周辉, 宋俊燕, 等. 干式空心电抗器温度场计算与试验分析[J]. 电工技术学报, 2017, 32(3): 218-224.
- JIANG Zhipeng, ZHOU Hui, SONG Junyan, et al. Temperature field calculation and experimental analysis of dry-type air-core reactor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2017, 32(3): 218-224.
- 作者简介:**
- 陈东明(1990—), 男, 工程师, 主要从事超/特高压变电一次设备检修、故障诊断分析工作。E-mail: 310035856@qq.com。
- 王建伟(1975—), 男, 高级工程师, 主要从事超/特高压变电一次设备检修、绝缘诊断、高电压技术等管理工作。
- 商力新(1984—), 男, 本科, 主要从事超/特高压变电一次设备检修、故障诊断分析工作。
- 李旻(1986—), 男, 高级工程师, 主要从事超/特高压变电一次设备检修、故障诊断分析工作。
- 彭凯(1994—), 男, 工程师, 主要从事超/特高压变电一次设备检修、故障诊断分析工作。
- 赵佳鑫(1995—), 男, 工程师, 主要从事超/特高压变电一次设备检修、故障诊断分析工作。