

风电场 35kV 箱变两起雷击故障检查处理评估

Inspection and Treatment Evaluation of Two Lightning Strikes in 35kV Box Transformer of Wind Farm

曹学华 朱震峰

Xuehua Cao Zhenfeng Zhu

水电十四局大理聚能投资有限公司 中国·云南 大理 671000

Dali Juneng Investment Co., Ltd. of Sinohydro Bureau 14, Dali, Yunnan, 671000, China

摘要: 风电场易遭受雷击, 论文介绍了两起 35kV 风电箱变遭受雷击后, 避雷器完好箱变损毁和避雷器爆炸箱变完好的案例和故障检查处理, 提出了风电箱变避雷器检查改进措施。

Abstract: Wind farms are vulnerable to lightning strikes. This paper introduces two cases and troubleshooting of intact lightning arrester package transformer damaged and intact lightning arrester explosion package transformer after 35kV package transformer was struck by lightning, and puts forward the inspection and improvement measures for lightning arrester of wind power package transformer.

关键词: 风力发电; 箱变; 雷击

Keywords: wind power generation; package transformer; lightning strike

DOI: 10.12346/etr.v4i12.7424

1 引言

风电作为一种清洁可再生能源, 是构建以高比例新能源为主体新型电力系统的主要电源之一。云南地处低纬度、高海拔区域, 风能资源较为丰富, 截至 2022 年, 风电装机达 900 万 kW, 预计 2025 年增加至 1500 万 kW。云南地区风电场主要沿山脊分布, 具有鲜明的山区环境特征, 风电箱变凝露严重、易受雷击。某风电场短期内 6 号、9 号 35kV 箱变先后遭受雷击, 论文介绍这两起雷击故障及检查处理, 以供参考。

2 箱变基本情况

6 号、10 号 35kV 箱变为户外美式箱变, 型号 ZB(F) A-Z-2350/35, 额定容量 2350kVA, 额定电压 35000/690V, 额定电流 38.8/1966.3A, 额定频率 50Hz, 出厂日期 2015 年 9 月。箱变高压侧采用 MOA 避雷器。

雷击故障前, 箱变均按 DL/T596 规定开展年度预防

性试验工作, 主要项目绝缘电阻吸收比、直流电阻、介损 $\tan \delta$ 和电容量均正常。绝缘油水分、击穿电压合格, 油色谱因受美式箱变高压负荷开关共箱结构油污染影响, 总烃超 $150 \mu\text{L/L}$ 注意值, 呈现色谱异常的特征。

3 6 号箱变雷击故障及处理

3.1 现场检查情况

6 号箱变遭受雷击, 现场检查发现造成箱变低压侧配电柜内部烧毁严重, 部分电气元器件绝缘击穿烧焦 (图 1)。箱变器身轻微变形, 变压器油喷出、碳化成飞溅到箱变柜门内侧、柜内其他设备上 (图 2)。箱变高压侧 MOA 避雷器完好。

SOE 记录 9 月 14 日 3:17:35, 风电场 I 回出线 211CSC211 过流 II 段动作。“过流 II 段”保护定值为: 5A 动作值为: 7.518A, 变比为 600 : 1, 折算到高压侧故障流为 4510.8A。

【作者简介】曹学华 (1978-), 男, 中国河南内乡人, 本科, 高级工程师, 从事新能源发电建设、生产运行、安全运维管理研究。



图 1 箱变低压侧配电柜内部烧毁严重

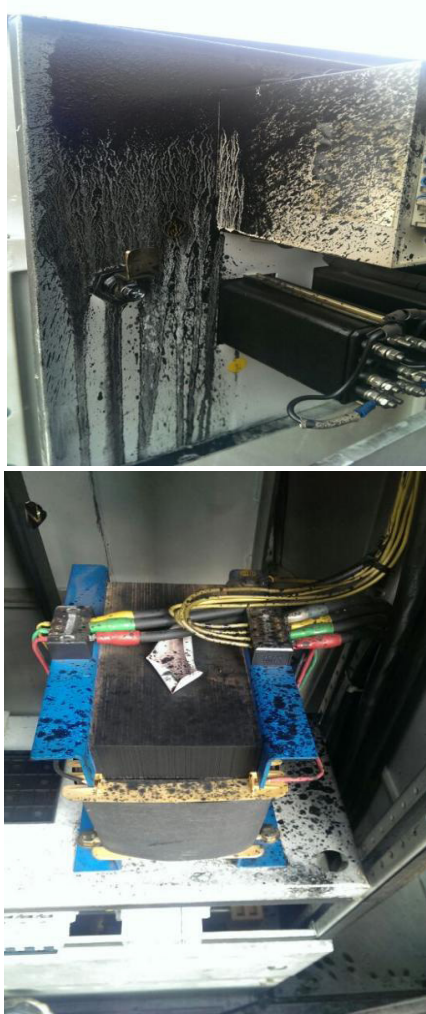


图 2 变压器油喷出、碳化飞溅到箱变柜内及设备

3.2 电气试验及分析

从现场检查直观判断, 6 号箱变低压侧配电柜内、变压器内部发生了严重的绝缘击穿故障, 为进一步评估该箱变遭受雷击后损坏的严重性及可修复性, 对箱变进行了绕组绝缘电阻及吸收比、直流电阻、 $\tan \delta$ 和电容量测试, 对 MOA 避雷器进行了绝缘电阻、泄漏电流测试, 见表 1。

表 1 箱变变压器及避雷器电气测试结果

测试项目		电气测试数据		
		上次 (历史)	本次 (故障后)	
箱变 变压器	绕组绝缘电阻 及吸收比	R_{15s} (G Ω)	17.1	0.116
		R_{60s} (G Ω)	27.5	0.116
		吸收比	1.61	无吸收
	直流电阻 (高压绕组)	AB (Ω)	3.106	3.283
		BC (Ω)	3.121	3.204
		CA (Ω)	3.102	3.288
		ΔR (%)	0.61	2.58
	直流电阻 (低压绕组)	a0 ($\mu\Omega$)	511.6	597.3
		b0 ($\mu\Omega$)	512.1	591.8
		c0 ($\mu\Omega$)	516.6	592.7
		ΔR (%)	0.97	0.93
	绕组 $\tan \delta$ 和电 容量	Cx (nF)	—	6.071
$\tan \delta$ (%)		—	3.158	
箱变 避雷器	绝缘电阻	A 相 (G Ω)	—	54.9
		B 相 (G Ω)	—	57.1
		C 相 (G Ω)	—	64.5
	U_{1mA}	A 相 (kV)	—	80.1
		B 相 (kV)	—	79.6
		C 相 (kV)	—	79.5
	$I_{0.75U_{1mA}}$	A 相 (μA)	—	37.7
		B 相 (μA)	—	20.6
		C 相 (μA)	—	37.0

雷击故障后, 6 号风机箱变绕组对地绝缘电阻 R_{15s} 由 17.1G Ω 变为 0.116G Ω ; R_{60s} 由 27.5G Ω 变为 0.116G Ω ; 吸收比由 1.61 变为无吸收。绕组 $\tan \delta$ 值为 3.158%, 超过 1.5% 标准, 高压绕组直流电阻变化率 ΔR 为 2.58%, 超过 1% 标准, 表明箱变高压绕组已严重损坏。

雷击故障后, 箱变避雷器 U_{1mA} 和 $I_{0.75U_{1mA}}$ 满足标准要求, 表明避雷器完好。

3.3 评估处理

6 号风电箱变雷击故障后, 虽然避雷器完好, 但从外观来看, 箱变低压侧配电柜内部存在绝缘击穿烧毁现象; 箱变变压器存在油喷出、严重碳化、内部存在严重的电弧放电现象。进一步结合电气测试数据, 绕组对地绝缘电阻不合格且无吸收, 表明变压器绕组内绝缘已严重损坏。绕组 $\tan \delta$ 和 ΔR 均超标, 表明绕组存在明显的脱焊、断股现象。综合评估该箱变已无修复价值, 需报废更换合格的箱变。

4 9 号箱变雷击故障及处理

4.1 现场检查情况

9 号风机箱变遭受雷击, 现场检查发现, 造成箱变高压

侧 MOA C 相发生爆炸，阀片全部喷射出有机绝缘外壳，避雷器支架完全变形，A、B 相高压引线扯断，C 相底座的固定钢板折断（图 3）。箱变高压侧 B、C 相导线尖端有放电电弧高温灼烧情况，C 相瓷瓶受到阀片冲击而损坏，变压器油沿破损处流出（图 4）。箱变压力释放阀未动作，油位计指示正常，高压负荷开关完好。



图 3 9 号箱变雷击故障后避雷器发生爆炸损坏



图 4 9 号箱变雷击故障后 C 相瓷瓶破损

4.2 电气试验及分析

从现场检查直观判断，9 号箱变遭雷击后，巨大雷电流使避雷器阀片发热崩溃而爆炸，其他为避雷器爆炸的附带损坏。箱变变压器未喷油、压力释放阀未动作，表明器身内未产气、压力骤然升高的情况，初步判断变压器内未遭受到损坏。为进一步检查确认，对箱变进行了电气试验，见表 2。

表 2 9 号箱变电气试验结果

测试项目		电气测试数据	
		上次 (历史)	本次 (故障后)
绕组绝缘电阻 及吸收比	R_{15s} (G Ω)	16.3	15.8
	R_{60s} (G Ω)	27.2	26.5
	吸收比	1.67	1.68
直流电阻 (高压绕组)	AB (Ω)	3.311	3.383
	BC (Ω)	3.320	3.364
	CA (Ω)	3.302	3.388
	ΔR (%)	0.54	0.71
直流电阻 (低压绕组)	a0 ($\mu\Omega$)	511.2	562.7
	b0 ($\mu\Omega$)	512.8	561.8
	c0 ($\mu\Omega$)	514.5	565.6
	ΔR (%)	0.64	0.67
绕组 $\tan \delta$ 和 电容量	Cx (nF)	7.775	7.611
	$\tan \delta$ (%)	1.562	1.445

雷击故障后，9 号风机箱变绕组对地绝缘电阻、吸收比，绕组直流电阻及变化率，绕组 $\tan \delta$ 和电容量与历史数据相比无明显变化且满足标准要求，表明变压器本身未遭受到雷击的损坏。

4.3 评估及处理

9 号风电箱变雷击故障后，虽然避雷器爆炸，但从外观检查及电气试验来看，箱变变压器本身并未遭受雷击损坏，保持完好，综合评估具有较高修复价值。由于避雷器爆炸、C 相瓷瓶受到阀片冲击破损，在更换避雷器、C 相瓷瓶修复后，箱变可重新投入使用。

5 结论及改进措施

5.1 结论

两起风电箱变遭受雷击，6 号箱变虽避雷器完好但由于未发挥作用，导致箱变绕组损毁严重而报废，需更换合格的新箱变。9 号箱变虽发生了避雷器爆炸但由于发挥了部分功能，箱变未受到雷击损坏，在修复更换爆炸的避雷器和破损瓷瓶后可投入使用。

5.2 改进措施

定期开展避雷器预防性试验，检查避雷器阀片是否存在受潮、劣化状况。测试检查避雷器底座接地引下线与风机接地网的导通情况。避雷器 MOA 加装放电计数器，监测运行电压下的泄漏电流。