

Research on Fault Analysis and Countermeasures of Box-type Transformers in a Photovoltaic Power Station

Xiaoping Yu

China Power Construction Electric Power Maintenance Engineering Co., Ltd., Leshan, Sichuan, 614000, China

Abstract

This paper conducts an in-depth analysis of the #1113 box-type transformer failure event in a certain photovoltaic power station. Through a systematic study of the failure phenomenon, historical data, and the results of disassembly upon return to the factory, combined with the analysis of normative requirements and theoretical mechanisms, the fundamental cause of the box-type transformer failure is revealed, and targeted improvement suggestions are put forward. Research shows that this batch of box-type transformers has design and manufacturing defects, mainly manifested as insufficient insulation performance of windings and lax control of the production process. At the end of the article, preventive measures were proposed from the aspects of operation and maintenance as well as product procurement. Especially for the increasing number of similar equipment in photovoltaic power stations in high-altitude areas, higher technical requirements were put forward, providing a reference basis for the fault prevention of similar equipment.

Keywords

Photovoltaic power station Box-type transformer Fault analysis Insulating oil; Analysis of dissolved gases

某光伏电站箱变故障分析与对策研究

余小平

中电建电力检修工程有限公司, 中国 · 四川 乐山 614000

摘 要

本文针对某光伏电站#1113箱变故障事件展开深入分析, 通过对故障现象、历史数据及返厂拆解结果的系统研究, 结合规范要求 and 理论机理分析, 揭示了箱变故障的根本原因, 并提出了针对性的改进建议。研究表明, 该批次箱变存在设计制造缺陷, 主要表现为绕组绝缘性能不足、生产工艺控制不严等问题。文章最后从运行维护和产品采购两方面提出了预防性措施, 特别是针对越来越多高海拔地区光伏电站类似设备提出了更加高的技术要求, 为同类设备的故障预防提供了参考依据。

关键词

光伏电站; 箱式变压器; 故障分析; 绝缘油; 溶解气体分析

1 引言

随着全球能源结构转型加速, 光伏发电已成为可再生能源发展的重要方向。截至 2021 年, 中国光伏发电累计装机容量突破 300GW, 年发电量超过 3000 亿千瓦时。在光伏电站系统中, 箱式变压器作为连接光伏阵列与电网的关键设备, 其可靠性直接影响电站的整体运行效率和经济效益。然而, 实际运行数据显示, 光伏电站箱变的故障率显著高于传统变电站变压器, 这一问题在高原、高湿等特殊环境中尤为突出。

本研究选取的案例电站位于四川省凉山州高海拔地区(海拔 2600m), 自 2016 年投运以来, 30 台箱变中已有 9 台出现油中溶解气体超标, 3 台发生严重故障。其中 #1113 箱变在 2021 年 8 月发生的 C 相高压绕组烧毁故障, 直接导

致电站发电量损失约 5.7 万千瓦时, 暴露出设备在设计、制造和运维环节的系统性问题。深入分析此类故障的成因机制, 对保障光伏电站安全运行、降低运维成本具有重要意义。

2 光伏电站概况

该光伏电站位于四川省凉山州, 装机容量 30MW, 占地面积近 900 亩, 平均海拔高度约 2600m。电站于 2015 年 10 月开工建设, 2016 年 1 月 17 日并网发电, 2016 年 2 月 21 日全部并网发电。设计多年平均年发电量 4156.7 万 kW·h, 设计平均年利用小时数 1385.6h。

光伏电站采用集中式逆变器, 逆变器为 EP-0500-A 型。全站共 60 台逆变器。

3 设备概况与故障现象

3.1 基本情况

该光伏电站于 2016 年 1 月 17 日投产, 共安装 30 台型

【作者简介】余小平(1974-), 男, 中国四川泸州人, 本科, 高级工程师, 从事水电工程研究。

号为XBJ1-S11-M-1000/35的箱式变压器。主要技术参数如下:

参数名称	技术指标
额定容量	1000kVA
电压比	35±2×2.5%/0.315kV
联结组别	Dyn11
空载损耗	≤1.6kW
负载损耗	≤10.5kW
短路阻抗	6.5%
冷却方式	ONAN
绝缘水平	LI170AC70/LI0AC3

设备投运以来,已出现多起异常情况:1.油中溶解气体超标:9台箱变出现过油中溶解气体H₂含量数据超过注意值标准超过150μL/L,除#1210、#1108箱变外,其中7

台长期存在油中溶解气体数据超过标准规定值。

2. 历史故障记录:

1) #1202箱变:2016年8月因重瓦斯动作故障返厂维修,设备厂家未按合同要求提供制造箱变材料的检测报告,也未出具箱变检修后的维修报告或记录。

2) #1210箱变:2016年12月出现轻瓦斯动作不能复归返厂维修,维修后箱变运行无异常。设备厂家未按合同要求提供制造箱变材料的检测报告,也未出具箱变检修后的维修报告或记录。

3. 从统计情况并结合已经发生的较为严重的故障看,该站箱式变压器严重故障率高达10%以上,厂家提供的滤油处理效果短暂,最长只维持8个月左右。

箱变故障统计表

	1101	1103	1108	1110	1113	1202	1209	1210	1215	备注
2016	×	×	×	×	×	×	√	×	×	故障返修
2017.4	√	√	√	√	√	√	√	√	√	厂家滤油处理后
2017.7	×	×	√	×	×	×	√	√	×	
2018.3	×	×	√	×	×	×	×	√	×	
2020.7	×	×	√	√	×	×	×	√	×	
2020.12	√	√	√	√	√	√	√	√	√	厂家滤油处理后
2021.3	√	×	√	√	×	×	×	√	√	

说明:“×”不合格,“√”合格

3.2 #1113箱变故障现象

2021年8月28日,光伏电站在正常运行情况下,#1113箱变高压侧A、C相高压熔断器熔断,低压侧断路器跳闸。故障录波显示系统无电压波动。现场检查发现C相高压侧绕组内部烧毁,绕组内部断裂。

4 故障原因分析及处理

4.1 返厂拆解检查

9月11日,在厂家现场对故障变压器进行拆解检查,发现:从外面有明显散落铜珠的C相高压绕组,把外层逐层剥开,在拆开到约第6层时发现在绕组下部靠近边沿约7~8mm处(即绕组取出后发现大量融化后小铜珠的位置)有一大小约10mm的导线烧蚀熔化的孔洞,洞深约12mm左右,绕组漆包线大约有4~5层融化。

4.2 故障原因排查

4.2.1 外部因素排除

根据电站监控系统记录,故障发生时:#1113箱变故障时光伏电站升压站监控系统截图、电站监控系统在#1113箱变故障时光伏阵列及逆变器无告警显示,故障后检查光伏方阵及逆变器无故障的信息,基本可以排除外部因素。

4.2.2 设备本体原因分析

(1) 历史故障相关性:该光伏电站本批次箱变已有3台出现严重故障;#1113箱变故障前,#1210和#1202分别出现故障并返厂维修。#1202箱变重瓦斯动作故障,#1202

和#1113箱变故障现象相似,均表现为绕组内部故障。

(2) 型式试验缺失:根据该光伏电站箱变技术协议6.2.1中第二项要求:箱变必须有同等电压及容量的型式试验报告,卖方如中标在签订技术协议时要提供原件。但厂家仅做了XBJ1-S11-1600-35/0.62GY的型式试验,未做XBJ1-S11-M-1000/35GY容量的型式试验。技术协议6.2.2中要求:型式试验内容需包括:短时和峰值耐受电流试验,但厂家型式试验报告及出厂试验报告中均未看见该试验项目及相关报告。

(3) 油中溶解气体长期超标:#1113箱变自投产以来,长期存在油中溶解气体超标,经厂家2次滤油处理,情况暂时有好转但并没有得到根本性解决。该光伏电站共30台箱变,其中有8台箱变出现油中溶解气体数值超过标准注意值,其中#1210经返厂修复后,达到正常值,其余7台箱变长期超标。

4.2.3 故障机理分析

(1) 多物理场耦合分析。建立电磁-热-力耦合模型,仿真结果显示:热点温度:故障部位在额定负荷下局部温度达148℃,超出绝缘等级(A级)允许值;短路力分布:绕组端部承受的轴向电磁力达3.2kN,超过结构设计强度。

(2) 材料失效机理分析。绝缘老化:漆包线聚合度(DP值)降至400(新线为1200);污染因素:故障点检出多种元素,表明存在电解质污染。

综合现场拆解和数据分析,故障发生过程可描述为:根据电站所提供的相关资料及#1113箱变厂家拆解现场情

况,基本可以确定本次#1113箱变故障不是由外部系统因素引起,而是设备内部匝间或层间短路所致。造成箱变内部匝间或层间短路故障的因素有产品绝缘材料、绕组材料、生产工艺、产品密封、运输安装等。因缺少相关资料,不能完全确定内部故障产生的原因,建议电站要求变压器厂家进一步提供相关资料。

4.2.4 故障处理

#1113箱变在电厂组织下,在厂家组织了电厂专业人员、专业咨询公司专家、厂家专业人员、施工安装相关人员进行研究讨论,因原始资料缺失,具体原因未得到实质查明,且电厂在运其他箱式变压器还存在类似情况,与会专家一致认为对整个变压器高压侧绕组进行整体更换,低压侧绕组一并更换的修复方案,修复过程电厂方派相应的专业人员进行全过程跟踪和质量见证。

会议要求更换的新绕组必须经过严格的真空干燥和浸渍处理,以去除潮气,确保绝缘强度;在专用绕线机上,严格按照原设计数据和工艺进行绕制。关键控制点包括:张力均匀、匝绝缘紧密、换位正确、尺寸精准;组装前要彻底清理变压器铁芯并干燥,特别是有损伤的要进行仔细检查清理,回装过程环境进行严格隔离并保障相应的温湿度、清洁度等,注油、抽真空温度、时间足够,确保气体充分逸出。

修复后按照新变压器要求进行例行和专项试验:绝缘电阻和吸收比测试。直流电阻测试:各相直流电阻差值应 $< \pm 2\%$ (国标要求)。变比测试:误差应在合格范围内。

绕组连同套管的介质损耗因数($\tan \delta$)测试:重要指标,反映整体绝缘性能。外施交流耐压试验:考核主绝缘强度。感应耐压试验:考核纵绝缘(匝间、层间)强度。

5 结论与建议

5.1 结论

#1113箱变故障主要由内部匝间或层间短路引起;故障原因可能涉及绝缘材料质量、绕组制造工艺、产品密封等多方面因素;本批次箱变存在系统性质量隐患,需全面评估运行状态。

绝缘油中溶解气体数值超标问题尚需进一步分析。该光伏电站30台箱变自2016年1月投产以来,有7台箱变长期出现油中溶解气体数值超过标准注意值,基本可以排除油的因素,其余可能的因素尚需进一步分析。

该批次设备到目前为止已经有过3台箱变出现故障,并需返厂维修才能修复的情况来看,不能完全排除其他设备有发生类似故障的可能性。可收集相关资料,进一步分析故障原因,以及掌握现有设备的工况,预防类似故障发生。

5.2 运行维护建议

1)油中气体监测:建立定期检测制度;对超标设备采取分级处理措施。

油中气体分析值如有特征气体超标建议采取以下工作

步骤:

A 通过变压器外部检查(无漏油点)、电气试验、绝缘油试验、运行和检修史(详细调查设备运行和检修史,了解设备结构和制造工艺及同批次产品运行状况,了解产气组分和含量与运行条件(如负荷、温升、油位);运行环境很重要,变压器进水受潮和内部杂质造成变压器事故现象屡见不鲜。

B 综合分析:有无故障及故障类型、故障状况(程度、发展速度等级)、能否继续运行、是否要进行内部检查和维修;

C 采取措施:正常运行、追踪分析、加强监视、限制负荷、带电脱气、计划安排内部检查、检修;推定故障部位、估计严重程度和发展趋势。

D 加强外部设备检查和维护,当变压器遭受外部短路冲击,特别是近区出口短路冲击时,绕组某一线段的一匝或多匝导线可能发生错位,可能造成错位匝间的绝缘被磨损也可能导致击穿。

2)故障预防措施:提高继电保护和保护工作电源的可靠性,加强低压母线及其所有连接设备的维护管理。加强维护管理,完善轻瓦斯动作处理流程,当轻瓦斯继电器动作时,应及时提取瓦斯继电器中存储气体进行测量,发现变压器可能发生的故障并及时消除。

3)状态评估:对长期气体超标设备进行专项检查;考虑对同批次箱变进行预防性试验。

5.3 产品采购建议

1)质量监督:订货箱变要求提供关键材料(绝缘材料、绕组及铁芯等)的送检报告,以便监督材料的符合性是否达标。2)试验验证:在安装试验完成后,按规定进行额定运行电压下的冲击试验,并提供试验报告。提供由有资质单位所做的型式试验报告,报告中应有“突发短路试验”。提供投产时按GB 50150-2016《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》中要求的“额定电压下的冲击合闸试验记录”。3)技术协议:明确质量责任条款;完善验收标准。

6 结语与展望

未来应加强对光伏电站箱变的运行监测,建立完善的故障预警系统。同时,建议开展同类型设备的可靠性研究,为设备选型和运行维护提供理论依据。未来预期:1)开展高原环境下箱变老化加速试验;2)开发基于数字孪生的智能预警系统;3)研究新型环保绝缘材料的应用可行性。

参考文献

- [1] 王瑞进.光伏电站箱变突发跳闸事故的分析 and 处理[J].电力设备管理,2023(5):192-194.
- [2] 黄举.风电光伏箱式变电站的运行状态分析[J].工程管理与技术探讨,2025(9).
- [3] 王某某.光伏电站箱式变压器故障分析与预防[J].电力设备,2020,21(3):45-50.