

电力技术

分布式光伏电站 10kV 箱变故障切除时间优化策略与实践研究 ——以金华某光伏电站为例

张成

中广核浙江新能源投资有限公司

【摘要】本研究聚焦于分布式光伏电站10kV箱变三相不平衡故障发生时，监控后台不会主动发出告警且不会主动跳闸切除负荷这一关键问题。金华某光伏电站作为典型的分布式光伏电站，其装机容量为12MW，由5个站点组成，采用就近送出全额上网模式。由于点多面广、设备分散，且现场缺乏远程监控系统，运维依赖远程集控中心监盘，加之光伏发电受光照影响大，远程数据存在延时卡顿，导致故障发现与切除不及时，造成大量发电量损失。针对此问题展开深入研究，通过现状调查，详细统计分析2021-2023年15台10kV箱变的故障数据，明确主要故障类型及平均处理时长。确定关键要因，并依据“5W1H”原则制定对策。通过改造箱变测控保护装置，增加低压侧三相不平衡跳闸保护功能，选用合适的电压保护继电器等措施，成功将故障切除时间从平均11.38小时缩短至1小时，显著提升了电站的运行效率与经济效益。本研究成果为带10kV箱变并网的分布式光伏电站的高效运维提供了有益参考，有望在新能源行业广泛推广应用，助力行业整体提升运维水平，促进新能源产业可持续发展。

【关键词】分布式光伏电站；10kV箱变故障切除时间；优化策略；实践研究

Research on Optimization Strategies and Practical Implementation of Fault Clearance Time for 10kV Box-Transformers in Distributed Photovoltaic Power Stations: A Case Study of a Jinhua PV Plant

Zhang Cheng

China General Nuclear Power Zhejiang New Energy Investment Co., Ltd.

【Abstract】This study focuses on the critical issue where monitoring systems fail to automatically trigger alarms or trip to isolate loads during three-phase imbalance faults in distributed PV power stations' 10kV box-transformers. The Jinhua PV plant, a typical distributed PV system with 12MW installed capacity and five substations operating under a full-grid-connected mode, faces challenges due to its extensive coverage, dispersed equipment, and lack of remote monitoring systems. Owing to reliance on centralized control center monitoring and photovoltaic power generation's sensitivity to sunlight-induced data delays, delayed fault detection and isolation result in significant energy loss. Through comprehensive analysis of 1510kV box-transformers' fault data from 2021-2023, this research identifies primary fault types and average resolution times. Key factors are identified and addressed using the "5W1H" principle (5W1H: Work, Work, Work; 1H: Hierarchy). By retrofitting measurement and protection devices with low-voltage three-phase imbalance trip protection and selecting appropriate voltage protection relays, the average fault clearance time was reduced from 11.38 hours to 1 hour, significantly enhancing operational efficiency and economic benefits. This research provides valuable insights for efficient operation and maintenance of distributed photovoltaic power stations connected to 10kV transformer substations, with broad application potential in the renewable energy sector. It aims to enhance operational management standards across the industry and promote sustainable development of the new energy field.

【Key words】Distributed photovoltaic power station; 10kV transformer substation fault clearance time; Optimization strategies; Practical research

一、引言

随着全球对清洁能源的需求不断增长，分布式光伏电站作为新能源领域的重要组成部分，得到了广泛的发展。然而，在实际运行过程中，分布式光伏电站 10kV 箱变故障问题给电站的稳定运行带来了挑战。特别是三相不平衡故障，由于监控后台的局限性以及现场运维的困难，导致故障发现与切除不及时，造成大量发电量损失。因此，优化分布式光伏电站 10kV 箱变故障切除时间具有重要的现实意义。

二、分布式光伏电站概述

（一）金华某光伏电站简介

金华某光伏电站是典型的分布式光伏电站，装机容量为12MW，由5个站点组成，采用就近送出全额上网模式。但该电站存在点多面广、设备分散的特点，且采用无人值守的运维模式，现场缺乏远程监控系统，运维主要依赖远程集控中心监盘。

（二）面临的问题

光伏发电受光照影响大，远程数据存在延时卡顿，使得在箱变设备三相不平衡故障发生时，监控后台不会主动发出告警且不会主动跳闸切除负荷，集控人员也难以全面、及时地发现箱变设备三相不平衡等隐患，即使发现问题，也无法迅速处理，最终造成了大量的发电量损失，严重影响了电站

的经济效益和运行稳定性。

表1 各站点故障次数及平均处理时长

站点	2021年故障次数	2022年故障次数	2023年故障次数	2023年故障处理时长(小时)
1号站点	1	1	1	10.8
2号站点	2	1	1	9.9
3号站点	1	1	1	9.2
4号站点	2	2	0	11.7
5号站点	2	2	0	9.8
6号站点	2	2	0	16.9

三、现状调查

表2 要因分析确认表

序号	末端因素	确认内容	确认方法	日期
1	巡检不及时、不到位	巡检过程中是否仔细查看后台数据	查看巡检记录、执法记录仪录像	4.1
2	监控系统不稳定后台数据丢失	后台通信是否存在问题	现场确认	4.15
3	箱变老化、绝缘不合格	组件连接4平方线绝缘是否合格	现场测试	4.8
4	巡检方式不对,日常依赖集控盘巡检	巡检方式是否需要改变	数据分析	4.25
5	后台无箱变三相不平衡告警信息	查看后台告警信息	调取后台故障记录	4.15

验证结果如下:

查看巡检记录和执法记录仪视频发现,每周开关站巡检均仔细检查箱变后台数据,发现异常及时记录,“巡检不及时、不到位”为非要因。

现场联系南瑞、箱变测控、华为厂家检查设备通信,发现通信设备运行正常,后台发电量、告警、操作记录等数据齐全,“监控系统不稳定后台数据丢失”为非要因。

查阅每年预试报告,箱变绕组绝缘检测均合格,“箱变

(一)故障数据统计

详细统计分析2021-2023年15台10kV箱变的故障数据(见表一),明确主要故障类型及平均处理时长。结果显示,三相不平衡故障较为突出,且故障平均处理时长较长,达到11.38小时。

(二)数据分析结论

通过对故障数据的深入分析,发现现有系统在故障监测和处理方面存在明显不足,急需采取有效措施优化故障切除时间。

四、关键要因确定

小组制定了详细的要因分析确认表,并安排专人负责逐一验证(见表2):

老化、绝缘不合格”为非要因。

分析得知金华某光伏电站点多面广,开关站巡检每周一次,现已将监控数据接入值班室,每日早晚两次后台设备巡检,巡检方式无问题,“巡检方式不对,日常依赖集控盘巡检”为非要因。

经过全面的调查和分析,确定后台无箱变三相不平衡告警信息是导致故障切除时间过长的关键要因。

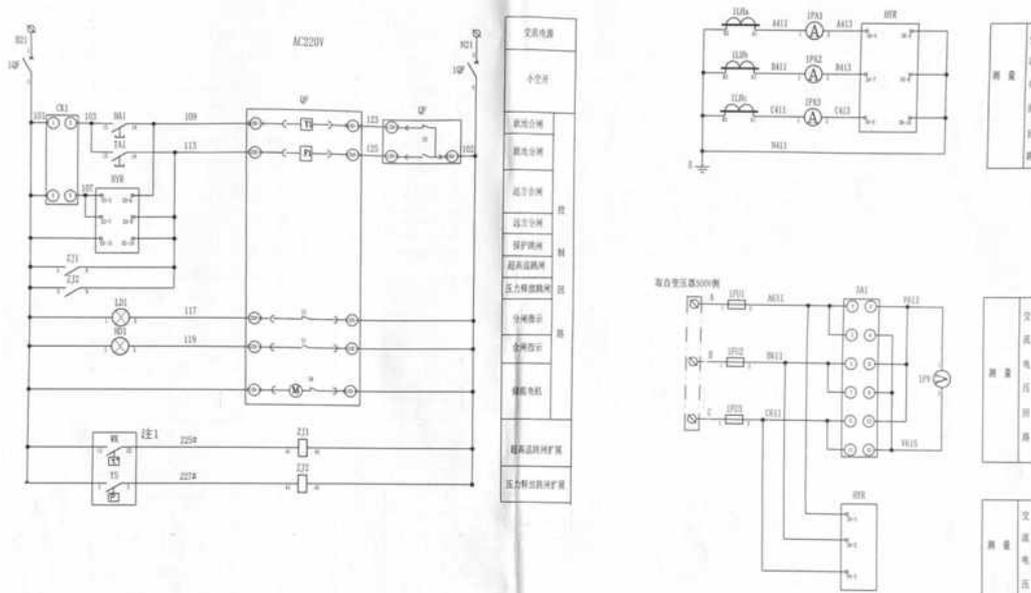


图1 光伏箱变低压1回路二次控制图

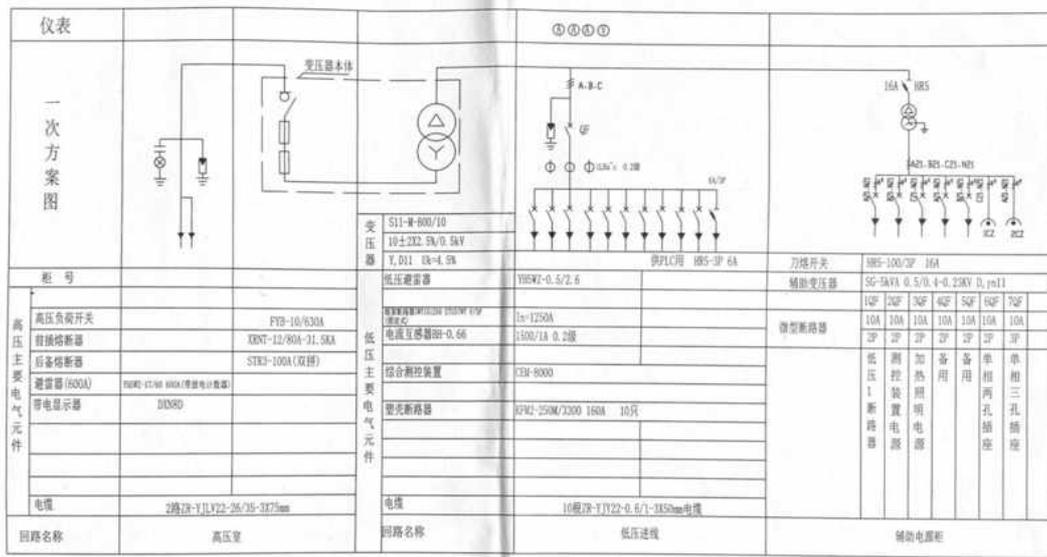


图 2 光伏箱变一次系统图

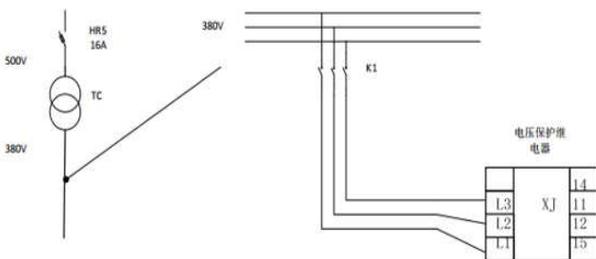
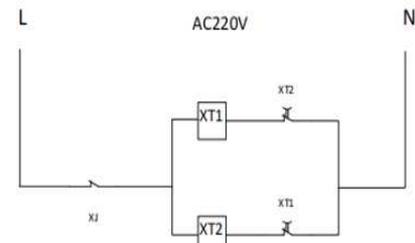
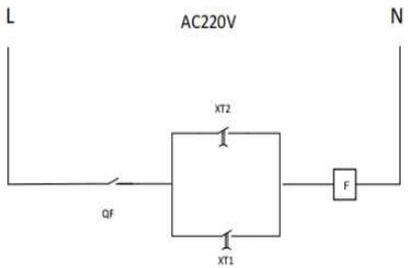


图 3 光伏箱变低压侧改造三相不平衡跳闸回路

五、对策制定

电站安全保障: 站点分散且无人值守, 人员往返高压站点处理故障平均时长在 2 小时以上。通过改造实现远程监控和自动跳闸保护功能, 可在故障发生时及时切断电路, 减少设备损坏风险, 保障电站安全运行。

咨询专业机构: 与金华某电网、逆变器厂家、设计单位等相关机构商讨, 确保改造方案符合电网安全要求, 不影响

电网的稳定运行。同时, 借鉴专业机构的经验和技能, 优化改造方案。

内部评审: 站内多次组织研究讨论会议, 向生产部技术人员请教, 对改造方案进行多次评审。从技术可行性、安全性、经济性等方面进行综合评估, 确保方案满足电站实际运行需求。

集控中心监控: 公司在杭州设立集控中心作为核心监控枢纽, 全天候 24 小时对现场设备的运行情况进行实时监控。通过技术升级和系统改造, 集控中心能够获取更加精准、及时的箱变运行数据, 包括电压、电流、温度等关键参数, 确保数据的全面性和可靠性。这不仅提升了集控人员对设备运行状态的掌控能力, 还大幅缩短了故障发现和处理的时间。改造后的系统还支持智能预警功能, 能够自动识别异常情况并发出警报, 帮助集控人员快速定位问题, 采取有效措施, 从而减少设备停机时间, 提高运营效率, 保障整体生产系统的稳定运行。

六、对策实施

(一) 查阅图纸, 分析保护跳闸控制原理

带领团队成员仔细查阅箱变低压侧二次接线图, 深入研究发现低压断路器具备超高温跳闸、压力释放跳闸两个跳闸信号。其自动分合闸控制由合闸线圈、跳闸线圈、欠压线圈 3 个线圈协同完成, 保护跳闸原理是在欠压线圈持续得电的状态下, 借助跳闸线圈通电动作来实现断路器的跳闸操作, 这为后续的改造工作提供了理论基础。

(二) 绘制电压不平衡跳闸控制原理图

基于对二次接线图的分析, 团队确定了创新的改造思路。选用电压保护继电器 XJ 采集辅助变压器 TC 低压侧 400V 三相电压, 当三相电压出现不平衡状况时, XJ 的常开辅助触点迅速吸合, 进而控制时间继电器 XT1、XT2 线圈得电。精心设定 XT1、XT2 的延时时间间隔为 10s, 使得 XT1 率先动作, 切断 XT2 线圈回路, 同时其动合触点吸合, 将动作

信号传递至跳闸回路。经过设定的延时时间，断路器精准跳闸。这一设计不仅赋予电压保护继电器欠压保护和电压不平衡保护双重功能，还利用时间继电器的延时特性实现了保护

跳闸时间的可控性，通过双时间继电器互锁机制，极大地增强了控制回路的可靠性。

表 1 改造设备材料表

序号	代号	元件名称	型号规格	数量	厂家
1	TC	辅助变压器	SG-5kVA 0.5/0.4 yn11	1	盖能电气
2	HR5	刀熔开关	HR5-100/3P 16A	1	金工电器
3	XT2	延时继电器	ISZ6-2 (AC220V)	1	德力西
4	XT1	延时继电器	ISZ6-2 (AC220V)	1	德力西
5	QF	断路器辅助触点		1	西门子
6	F	跳闸线圈		1	西门子
7	K1	单 p 开关	NB1-63 (16A)	3	正泰
8	XJ	电压保护继电器	NJYB2-H (AC400V)	1	正泰

(三) 设备选型确定保护功能

由于箱变低压侧电压为 500V，市面上难以找到适配此电压等级的现成设备。经团队多方查阅资料、咨询专家，并综合考虑性能、可靠性、成本等因素，最终选定正泰 NJYB2 电压保护继电器。该继电器具备强大的功能，在欠压保护方面，当任意一相电压小于欠电压动作值时，达到设定延时时间后，继电器常开触点自动断开；在三相不平衡保护方面，当不平衡电压值大于最大电压值减最小电压值时，不平衡指示灯亮起，延时时间到达后，继电器常开触点同样断开，完全满足项目需求。

(四) 现场改造测试

2024 年 9 月 21 日，在 1 号站点全站停电预试的宝贵窗口期，团队对 1 号站点 2 号箱变展开改造工作。将电压保护继电器三相不平衡信号精确接入低压断路器跳闸回路，并设置定值不平衡度 ASM 为 5%。随后进行严格的测试，模拟单相失压场景，当达到不平衡条件时，装置准确动作，成功实现跳闸。此次改造单套箱变的成本为 426 元。改造后的设备在缩减故障发现时间、提升设备使用寿命、减少电量损失等方面展现出积极效果，现场持续观察运行情况并进行详细的数据统计。

七、效果检查

(一) 效果功能

智能监测与优化发电：改造后的系统利用电压保护继电器和监控系统，实现了对箱变三相电压的实时智能监测。一旦检测到三相不平衡故障，能迅速做出响应，精准定位故障点，及时采取跳闸保护措施，避免故障扩大，保障了发电设备的稳定运行，减少了因故障导致的发电量损失，提升了发电效率。

集中管理与高效运维：通过远程监控和集中管理平台，实现了对分散电站的统一监控和管理。运维人员可实时掌握各箱变的运行状态，当出现三相不平衡故障时，能迅速获取故障信息，及时安排维修人员前往处理，提高了故障处理效率，减少了设备停机时间。

降低工作量与精准处理：实时监控箱变后台数据，集控人员无需再花费大量时间进行人工巡检和数据收集，降低了

工作强度。同时，当故障发生时，系统能准确提供故障类型和位置等详细信息，便于运维人员快速更换故障设备，恢复正常供电，保障了电站的持续稳定发电。

(二) 效果检查

经过一段时间的后台统计观察，逆变器无线远程监控改造完成后，现场分布式光伏电站 10kV 箱变三相不平衡故障切除时间大幅缩短至 1 小时，远远优于设定的 2 小时目标，目标达成！

产生的经济效益如下：

节约人工成本=人均工资/天×人数×故障次数=400×4×3=4800 元/年

发电量损失=电量单价×平均故障时长×单次故障平均功率×故障次数=0.98×11.38×5800×3=194051 元/年

年节约成本=备件更换损失+年节约人工成本+发电量损失-材料费用=4800+194051-426=198425 元/年

改造成本=材料费用=426 元

八、巩固措施

(一) 编写作业指导书和巡视作业卡

小组精心编写了《作业指导书》，对改造后的设备操作流程、维护要点、故障处理方法等进行详细阐述，确保运维人员能够准确、规范地进行操作。同时制定《巡视作业卡》，明确巡视内容、巡视周期、巡视标准等，将其纳入变电站日常管理体系，使设备巡视工作标准化、规范化。

(二) 定期记录电压保护继电器运行状态

在电站开关站每周的巡检工作中，安排专人负责定期记录电压保护继电器的运行状态，包括电压值、工作电流、触点动作情况等关键参数。通过对这些数据的持续监测和分析，及时发现潜在问题，确保设备长期稳定运行。自 QC 活动结束后，持续巩固成果，至今箱变故障切除时间始终保持在 1 小时以内。

九、研究总结

本研究通过对分布式光伏电站 10kV 箱变三相不平衡故

障切除时间的优化,成功解决了长期以来困扰电站运行的难题。小组运用科学的方法,从现状调查、原因分析到制定对策、实施改造,每个环节都进行了深入研究和实践。通过增加三相不平衡跳闸保护功能,优化监控系统等措施,显著缩短了故障切除时间,提高了电站的发电效率和经济效益。同时,小组成员在项目实施过程中,提升了专业技能和团队协作能力,为今后解决类似问题积累了宝贵经验。

十、不足之处

(一) 设备选型问题

箱变(测控保护装置)远程监控设备选型时,未充分考虑价格、技术、售后质保服务等多方面因素,未对多个设备厂家进行全面比较。在设备选型过程中,过于侧重技术性能,对价格因素的权衡不够充分,导致部分设备采购成本偏高。同时,对厂家的售后质保服务能力调研不足,可能影响后期设备维护的及时性和质量。

(二) 运维人员技术不足

现场运维人员在通信、物联网相关专业技术方面存在不足,过于依赖厂家售后服务,自主解决设备故障的能力有待提高。运维人员对通信协议、物联网架构等知识掌握不够深入,在设备出现故障时,难以快速准确地判断故障原因,大多依靠厂家技术支持,增加了运维成本和故障处理时间。

(三) 缺乏标准化流程

箱变(测控保护装置)远程监控系统改造缺乏标准化工作流程,对后续设备运行管理的记录不够完善。改造过程中,工作流程不够规范,导致部分环节出现重复劳动或操作不规范的情况。在设备运行管理方面,记录内容不够全面、详细,不利于对设备运行状况进行长期跟踪和分析。

十一、改进措施

(一) 做好设备选型

从多个维度综合考虑设备选型,加强与厂家及供应商的合作与沟通,建立供应商台账,拓宽采购渠道,避免因厂家售后服务不及时影响设备维护。同时,积极与兄弟场站交流,借鉴优秀经验和实践方法。在后续设备选型时,制定详细的选型标准,综合评估设备的技术性能、价格、售后质保服务

等因素。建立完善的供应商评价体系,定期对供应商进行评估和管理。加强与兄弟场站的交流合作,分享设备选型经验,共同提高设备采购质量。

(二) 加强学习, 补足短板

针对性地加强通信、物联网相关专业技术学习,提升运维人员的知识技能储备,增强自主解决设备故障的能力。组织运维人员参加专业培训课程、技术讲座,邀请行业专家进行现场指导。鼓励运维人员自主学习,通过在线课程、技术书籍等途径提升专业知识水平。建立内部技术交流平台,促进运维人员之间的经验分享和技术交流。

(三) 加强标准化工作学习

重视现场标准化工作,制定完善的作业指导书和设备管理台账,确保设备巡检、检修记录完整。制定涵盖设备选型、安装调试、运行维护、故障处理等全流程的标准化工作规范。完善作业指导书和设备管理台账的内容和格式,明确记录要求和责任人。定期对标准化工作执行情况进行检查和评估,持续改进标准化工作流程

十二、下一步打算

在国家大力推动新能源行业发展的背景下,多并网点的分布式电站将会越来越多。希望本次QC成果有机会推广至整个新能源行业,为其他光伏电站提供借鉴和参考,共同提升行业的运维水平。后续将继续研究《光伏电站能效提升》课题,从优化设备性能、改进运维策略、提高能源利用效率等方面入手,进一步挖掘光伏电站的潜力,为新能源产业的可持续发展贡献力量

十三、结论

本研究针对分布式光伏电站10kV箱变故障切除时间问题进行了全面深入的探讨和实践。通过优化策略的实施,取得了显著的效果,不仅缩短了故障切除时间,提高了电站的运行效率和经济效益,还在无形效果方面有所提升。同时,对研究过程中存在的不足提出了切实可行的改进措施,并对未来研究方向进行了展望。相信这些研究成果将为分布式光伏电站的发展提供有力的支持,推动新能源产业不断向前发展。

参考文献

- [1]肖健伦.基于云平台的分布式光伏电站远程监控系统研究与设计[D].广西大学, 2022.
- [2]王婧骅, 张娟, 赵婉茹等.基于时间序列的分布式光伏电站发电数据采集方法[J].电网与清洁能源, 2022, 38(06): 137-142.
- [3]祝良, 李定青.南方某分布式光伏电站系统效率异常分析[J].上海节能, 2023, (08): 1199-1203.
- [4]肖翔, 刘旭, 贺子尧.影响分布式光伏电站运行的因素及对策[J].农村电工, 2019, 27(12): 34-35.
- [5]中国国家标准化管理委员会.电力变压器 第1部分: 总则(GB 1094.1-2013)[S].北京: 中国标准出版社, 2013.
- [6]中国国家标准化管理委员会.油浸式电力变压器技术参数和要求(GB/T 6451-2015)[S].北京: 中国标准出版社, 2015.