

一起典型10kV厂用联络开关微机差动保护动作案例分析

刘法斌 杜好慧

新疆心连心能源化工有限公司 新疆 昌吉州 831100

摘要: 本文通过一起典型10kV厂用联络开关微机差动保护动作案例的分析,旨在提升电气运行管理人员和高压配电柜调试维护人员对高压柜二次保护回路安装质量的重视程度,强调高压设备日常运行检查与例行维护的重要性,以便及时发现设备隐患,避免意外停电事故的发生。

关键词: 差动保护; 跳闸; 失压; 松动; 发热

引言: 在大型化工生产系统中,电力是生产装置的核心。一旦供电中断,将导致生产装置紧急停车,甚至引发超温超压爆炸等恶性事故。本文通过分析一起10kV厂用联络开关微机差动保护动作案例,探讨其发生原因,并提出防范建议。

1 发生经过

在一家化工企业的生产现场,所有装置均处于满负荷运行状态。某日的中班时段,动力站负责厂用电的10kV联络段 I 段联络柜发生了微机保护差动保护动作,导致断路器跳闸,进而使得厂用电10kV I 段失去电压,这一连锁反应造成1#厂用变压器、1#烟气脱硫变压器以及1#装置配电变压器等关键负荷停电,最终导致烟气脱硫、净化、氨合成、尿素以及三聚氰胺等核心生产装置紧急停车。

事件回顾如下:

2022年8月17日的中班期间,根据生产计划的调整,要求对已完成轮修的1#锅炉进行启炉准备。锅炉岗位的操作工根据调度的指令,开始对引风机进行试运行,主要目的是检测风机的振动状况。然而,在20点30分,当锅炉操作工尝试启动引风机时,却未能成功启动。与此同时,变电站的电气值班人员听到了微机保护监控系统的报警声,并发现动力站厂用电 I 段联络柜的微机保护出现了差动保护动作,断路器已经跳闸。四方微机保护监控后台的SOE详细报文显示:“厂用电 I 段联络CSC-231 V2.40差动保护已动作,其中A相差动电流为1.477A, B相差动电流为1.453A, C相差动电流为1.461A。”与此同时,生产调度部门也接到通知,称现场净化、氨合成等岗位的部分设备已经失去电力供应。为了尽快恢复生产,工作人员迅速将装置配电和烟气脱硫配电的低压母线进行合闸操作,随后现场的生产设备重新获得电力供应,并陆续启动恢复正常生产状态。

2 保护配置与原因分析

2.1 系统简图与保护配置

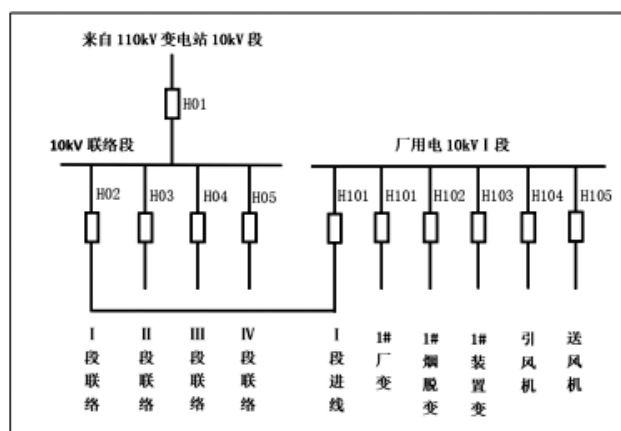


图1：动力站厂用电10kV供电系统简图

在动力站厂用电10kV供电系统中,其结构设计通常包括联络段与各个用电段,以确保电力供应的稳定性和灵活性。如图1所示,该系统简化展示了联络段与厂用电 I 段的连接方式。110kV变电站提供的10kV电源首先接入联络段,然后通过精心配置的开关设备,如 I 段联络开关(H02)和 I 段进线开关(H101),将电力安全地输送至厂用10kV I 段母线。厂用 I 段母线作为系统的关键组成部分,承载着向多种重要负荷供电的任务。这些负荷包括但不限于厂用电变压器、烟气脱硫及装置变压器等核心工艺设备,以及锅炉引风机和送风机等辅助设备。这些设备的稳定运行对于整个生产流程的连续性和效率至关重要。为了确保这一关键供电段的安全性和可靠性,系统中采用了先进的保护装置^[1]。在 I 段联络开关柜上,通常安装有如CSC-231这样的保护装置,它集成了差动保护和两段过流保护功能。差动保护作为其中一种重要的保护方式,其保护范围精确覆盖了从联络柜下侧至进线柜下侧的电缆等一次电器元件。这种保护方式能够迅速响应保护范围内的任何异常电流变化,及时隔离故障,防止故障扩大影响整个系统的稳定运行。同时,在 I 段进线开关柜上也会配备如CSC-211这样的微机线路

保护装置，提供包括三段过流保护和三段零序过流保护在内的全面保护策略。这些保护装置的设置旨在确保母线在充电过程中以及发生故障时都能得到及时有效的保护，从而保障整个供电系统的稳定性和安全性。

2.2 差动保护动作原因

在动力站厂用电10kV供电系统中，差动保护作为一种关键的安全保障措施，其保护范围精确界定在联络柜（H02）下侧至进线柜（H101）下侧的电缆及其连接的一次电器元件之内。这一保护机制的设计初衷是快速响应并隔离该区域内可能发生的任何故障，从而确保整个供电系统的稳定运行。当差动保护发生动作时，其背后的原因可能涉及多个方面：

（1）最直接且常见的原因是保护区内电缆或其他一次设备出现故障。这些故障可能包括电缆的短路、接地或设备内部的异常等，它们会导致差动电流的产生^[2]。一旦这种差动电流达到微机保护装置预设的动作整定值，保护装置就会迅速作出反应，通过跳闸来切断故障电路，防止故障进一步扩大。

（2）差动保护的二次电流回路也可能成为问题所在。这个回路负责将一次电流转换为二次电流，以供微机保护装置进行监测和判断。如果回路中存在接线错误、接触不良、元件老化或损坏等问题，就可能导致电流的不平衡。这种不平衡会被微机保护装置误认为是差动电流，从而触发保护动作。

（3）微机保护装置自身的故障也不容忽视。尽管这些装置在设计和制造过程中都经过了严格的测试和校验，但在长期运行过程中，由于环境、温度、湿度等多种因素的影响，装置的硬件可能老化，软件可能出现漏洞或错误，设置参数也可能因误操作或调整不当而发生变化。这些因素都有可能导致微机保护装置误动作，即在没有实际故障的情况下发出跳闸指令。

3 故障发生具体原因

在动力站厂用电10kV供电系统中，CSC-231保护装置扮演着至关重要的角色，其差动电流回路的设计尤为关键。该回路由进线柜（本侧）与联络柜（对侧）的电流回路共同构成，形成了一个严密的保护网络，其原理图如图2所示。然而，在实际运行过程中，这一保护系统可能会因为各种因素而出现故障。

本次故障的具体原因追溯至联络柜内部，差动保护电流二次回路中的N431端子短接连片螺栓出现了松动。这一细微的松动在长期运行过程中逐渐加剧，导致接触不良，进而使得端子发热（如图3所示）。这种持续的发热最终使得N431电流线在发热的连片处发生了开路，破

坏了差动电流回路的完整性。当启动引风机时，这一开路现象导致了微机保护装置监测到异常的差动电流。根据比率差动动作方程（如 $I_d > I_{cd}$ 当 $I_r < I_{r0}$ 时，或 $I_d - I_{cd} > K_{cd} \cdot (I_r - I_{r0})$ 当 $I_r \geq I_{r0}$ 时），一旦差动电流超过设定的门槛值，并且满足特定的比率制动关系，比率差动元件就会动作，引发保护跳闸。值得注意的是，尽管CSC-231保护装置具备TA断线闭锁差动保护的功能，但在本次故障中，这一功能并未启动。原因在于N431作为联络柜ABC三相二次保护电流的公共线，其开路导致的是三相电流同时消失，而非单一相或两相无流且存在差流的情况。根据保护装置的判断逻辑，这种三相无流的状态并不满足TA断线的动作条件，因此TA断线闭锁保护功能未能发挥作用。

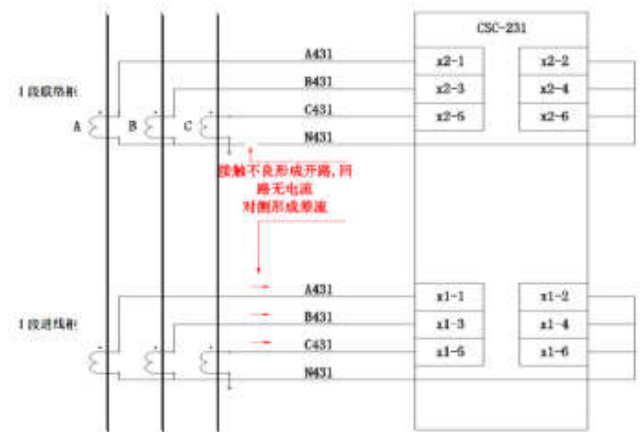


图2：差动保护电流回路原理图

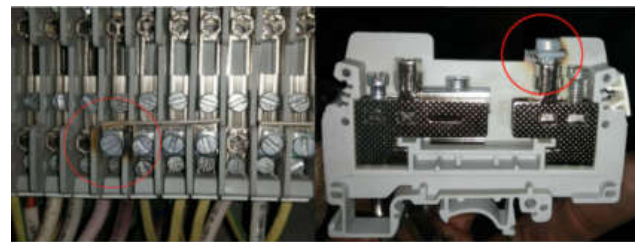


图3：母联柜内差动回路发热电流端子

4 故障总结

差动保护作为电气系统中的重要防线，对于确保线路与设备的稳定运行具有不可替代的作用。然而，本次由接线端子松动引发的局部停车事故，再次为我们敲响了安全警钟。在日常的巡检与维护管理工作中，每一个细微的环节都不容忽视。一个小小的接线端子，看似微不足道，却可能因接触不良、老化或松动等问题，成为引发重大故障的导火索。作为电气维护管理人员，我们应当深刻反思此次事故，从中汲取教训。我们需要加强技术培训，提升团队对电气系统复杂性的认识与应对能力。同时，应积极探索并应用先进的检测手段，如定期

使用红外热像仪检测端子温度、采用智能传感器监测电流回路状态等, 以实现潜在故障的早发现、早处理。通过这些措施, 我们可以有效避免同类事故的再次发生, 确保电气系统的持续稳定运行, 为企业的安全生产保驾护航。

5 防范建议

在深入分析本次由接线端子松动导致的差动保护动作事故后, 我们深刻认识到电气系统维护管理的重要性及其中潜在的细微风险。为了防止类似故障再次发生, 确保电气系统的长期稳定运行, 以下提出一系列详尽的防范建议与措施。

5.1 强化电气值班巡检与记录

电气值班巡检是发现潜在问题、预防故障发生的第一道防线。因此, 我们必须完善现有的巡检内容和记录制度, 特别是针对微机差动保护装置这一关键设备。具体来说: 一是增加巡检频次与细节: 在原有的巡检基础上, 增加对差动保护装置的专项巡检, 包括但不限于检查接线端子的紧固情况、观察有无异常发热或变色现象、确认保护装置指示灯及显示屏状态等^[1]。二是建立差流监控记录: 定期对差动保护的正常运行差流进行监控并记录, 形成历史数据库。通过对比分析, 及时发现差流异常波动, 为故障预判提供数据支持。三是强化汇报与响应机制: 一旦发现异常, 应立即上报并启动应急响应流程, 确保问题得到迅速处理。

5.2 利用红外成像技术检测隐患

红外成像技术是一种非接触式、高效且直观的检测手段, 特别适用于发现电气设备中的接触不良、过载等引起的温度异常。一要定期红外检测: 制定红外成像检测计划, 定期对重要供电回路(特别是电流二次端子)进行红外扫描, 及时发现并定位发热点。二要建立温度档案: 为每个关键端子建立温度档案, 记录其正常状态下的温度范围, 作为后续检测的参考基准。三要跟踪处理隐患: 对于发现的温度异常点, 应立即进行复查确认, 并采取必要的紧固、更换或调整措施, 消除隐患。

5.3 完善高压柜检查作业指导书

高压柜作为电气系统的重要组成部分, 其稳定运行直接关系到整个系统的安全性。(1)明确检查要点: 在作业指导书中详细列出电流端子、接线柱、绝缘件等关键部件的检查标准和方法, 确保每次检查都能全面、准确。(2)强化预防性检修: 结合设备运行周期和历史故障数据, 制定预防性检修计划, 对高压柜进行定期拆解、清洁、紧固和测试。(3)培训提升技能: 定期组织电气维护人员进行专业技能培训, 提升其对高压柜结

构、工作原理及常见故障处理的能力。

5.4 定期校验差动保护回路

差动保护作为电气线路或设备的主保护, 其动作的准确性、快速性、灵敏性和可靠性至关重要。一是全面校验: 定期对差动保护回路进行全面的校验, 包括保护装置的功能测试、定值校验、动作时间测试等。二是模拟故障试验: 通过模拟不同类型的故障情况(如单相接地、相间短路等), 检验差动保护是否能正确、迅速地动作。三是更新保护策略: 根据校验结果和电力系统的发展变化, 适时调整保护策略和保护定值, 确保保护回路始终适应系统需求。

5.5 加强母线备用电源快切装置管理

母线备用电源快切装置是确保电气系统在主电源故障时能够持续供电的关键设备。一要定期校验与试验: 按照规定的周期对快切装置进行校验和切换试验, 验证其自动切换功能是否可靠、切换时间是否满足要求^[4]。二要优化切换逻辑: 根据系统运行情况和实际需求, 优化快切装置的切换逻辑和参数设置, 确保在主电源失电时能够迅速、平稳地切换到备用电源。三是加强维护与管理: 建立快切装置的维护档案, 记录每次校验、试验和维修的情况, 为后续的维护管理提供依据。

5.6 构建综合监控与预警系统

除了上述具体措施外, 还应考虑构建一套综合的电气系统监控与预警系统。该系统应能够实时采集电气设备的运行数据、故障信息、环境温度等关键参数, 并通过数据分析、模型预测等技术手段, 及时发现潜在故障风险并发出预警信号。同时, 系统还应具备远程监控、故障诊断和应急指挥等功能, 以便在故障发生时能够迅速响应、有效处置。

结语: 通过本次案例分析, 我们深刻认识到高压设备日常运行检查与例行维护的重要性。电气运行管理人员和调试维护人员应高度重视高压柜二次保护回路的安装质量, 及时发现并处理设备隐患, 确保电力系统的稳定运行, 避免意外停电事故的发生。

参考文献

- [1]樊洛.一起发电厂主变差动保护动作的案例分析[J].科技展望,2015,25(19):85-86.
- [2]薛钟兵.110 kV母线差动保护动作误跳事故案例分析[J].农村电气化,2018,(10):44-45.
- [3]罗婉琴.一起主变差动保护误动案例的分析与对策[J].电气技术,2014,(09):112-115.
- [4]张亚欧.外电源故障引起的主变差动保护动作案例分析[J].上海铁道科技,2017,(04):164-165.