

10kV 母线电压不平衡的原因分析及解决方法

杨霄

云南省玉溪恒立建安工程有限公司, 云南 玉溪 653100

DOI:10.61369/WCEST.2026010007

摘 要 : 10kV 母线电压不平衡是影响配电网安全稳定运行与供电质量的关键问题, 本文分析了该问题对核心电力设备、电力系统运行及用户生产的多维危害, 指出不平衡电流会引发设备过热、保护误动、损耗增加及用户设备损坏等严重后果。从系统侧与负荷侧深入剖析了电压不平衡的根本原因, 重点阐述了上级降压变压器参数或状态不对称以及母线负荷三相分配严重不对称是引发失衡的主要诱因, 并在此基础上提出了系统化的解决方法。

关 键 词 : 10kV 母线; 电压不平衡; 危害分析; 原因分析

Cause Analysis and Solutions for Voltage Imbalance on 10kV Busbars

Yang Xiao

Yunnan Yuxi Hengli Jian'an Engineering Co., Ltd., Yuxi, Yunnan 653100

Abstract : Voltage imbalance on 10kV busbars is a critical issue affecting the safe and stable operation of distribution networks and the quality of power supply. This paper analyzes the multi-dimensional hazards of this issue to core power equipment, power system operation, and user production, pointing out that unbalanced currents can lead to severe consequences such as equipment overheating, protection maloperation, increased losses, and damage to user equipment. The root causes of voltage imbalance are thoroughly examined from both the system and load sides, emphasizing that parameter or state asymmetry in upstream step-down transformers and severe asymmetry in three-phase load distribution on the busbars are the primary triggers for imbalance. Based on this analysis, systematic solutions are proposed.

Keywords : 10kV busbar; voltage imbalance; hazard analysis; cause analysis

引言

10kV 母线作为连接上级电源与下游用户的关键枢纽, 其电压平衡状态对于保障配电网可靠性至关重要。在实际运行过程中, 受网络结构复杂性、用电负荷多样性以及设备运行状态等多种因素影响, 10kV 母线电压不平衡现象时有发生。这种不平衡不仅会增加线路和变压器的损耗, 缩短设备使用寿命, 还可能诱发继电保护装置误动或拒动, 甚至导致敏感工业用户的生产设备损坏。因此, 深入分析 10kV 母线电压不平衡的产生机理, 系统梳理其对电力设备及用户生产的危害, 并从技术手段与管理策略两个维度提出科学有效的解决方案, 对于提升供电质量、确保电网安全稳定运行具有重要的理论意义和工程实用价值。

一、10kV 母线电压不平衡的危害性及策略

(一) 对核心电力设备的危害

电力系统三相电压平衡是电能质量的主要指标之一, 但是中性点不接地系统

经常会出现电压不平衡的情况, 产生电压不平衡现象的原因有很多, 单相接地、电压互感器保险熔断、铁磁谐振、负载不平衡等都可能引起电压不平衡的现象, 如果不能正确判断, 必然会影响设备的稳定运行, 甚至扩大事故^[1]。电压不平衡的核心危害是引发不平衡电流, 电流作用于上级降压变压器、母线侧断路器、互感器等核心电力设备, 诱发连锁故障, 严重威胁电网运行安全与稳定^[2]。

(二) 应对策略

针对降压变压器, 需在高低压侧加装采样频率 $\geq 10\text{kHz}$ 的高精度负序监测模块, 数据秒级上传至调度后台, 当负序电流达到额定值 10% 时同步触发弹窗、APP 推送及声光报警, 运维人员须在 30 分钟内携带专业工具到岗核查并建立台账; 每日需对关键部位进行多点红外测温, 若绕组温度超过 95℃ 或三相温差超 5℃, 应优先间隔 3 分钟以上切换联络开关转移负荷, 严禁长期超温运行, 超温持续 1 小时需降总负荷 30%, 无效则停运非重要负荷; 分接开关每季度执行断电清洁、涂抹导电膏及测试接触电阻 ($\leq 50\mu\Omega$) 等全流程操作, 磨损超 1mm 立即更换; 每年进行绝缘油检测, 指标不合格即刻更换过滤, 每半年测试绕组绝缘, 阻值下降超 30% 需进一步开展介损与泄漏试验, 故障处理后须空载

试运行24小时方可投运。

母线侧断路器每月重点检测 SF6 气体压力（低于额定值 80% 停运补气）及油断路器油位油色，半年内压力降超 5% 更换密封件；每季度采用红外热成像仪测温，单相超 70℃ 或温差超 10℃ 需停电打磨触头或更换，调整压力至 15~20MPa；每半年检测三相分合闸时间差（分闸 ≤ 20ms、合闸 ≤ 15ms），超标需调整机构或更换部件，清洁润滑并紧固螺栓；每月核对保护定值并测试跳合闸回路，负荷高峰期每 2 小时巡检一次，发生拒动或 SF6 大量泄漏时运维人员须 15 分钟内到达现场，切断电源并做好通风防护，处置后需带电试运行不少于 168 小时。

互感器日常检查需每月对照图纸核对接线端子、导线规格及接线方式，用相序表检测相序一致性，严禁电流互感器二次侧开路与电压互感器二次侧短路，电压互感器二次侧加装熔断器并定期开展外观检查与通断试验。电压互感器二次侧中性点加装消谐器，每月检查外观及两端电压，铁磁谐振时按规范处置；每半年委托第三方进行精度校验，不合格立即更换，每年用 2500V 兆欧表测试铁芯绝缘电阻（≥ 100MΩ），不达标则干燥处理或更换铁芯。电压互感器保险熔断后，需断开一次侧隔离开关更换同型号熔断器，安装后测试二次侧电压，三相电压平衡度 ≤ 2% 方可复运，多次熔断需排查潜在故障；电流互感器二次侧不慎开路时，需先戴绝缘手套用绝缘工具短接，再排查故障原因，严防感应电压伤人。

现场管理需建立“不平衡影响专项台账”实现数据电子化，配置标准化应急工具包并每月检查，实行 24 小时值班制每小时记录母线数据，确保城区故障响应 ≤ 30 分钟、郊区 ≤ 60 分钟；新增单相负荷实行全流程管控，试运行期间三相不平衡度 ≤ 5% 且负序电流 ≤ 8% 方可验收；加强用户私接设备监管与信用评价，定期开展专项排查与宣传教育，形成供电企业与用户协同治理格局。

二、10kV 母线电压不平衡的根本原因分析

（一）上级降压变压器参数 / 状态不对称

上级降压变压器参数或状态不对称是 10kV 母线电压不平衡的核心诱因，其影响源于绕组参数、分接开关状态及铁芯状态不对称，且可通过数据量化。理想状态下，变压器三相绕组参数偏差 ≤ 1%，以一台 1000kVA 的 10kV 配变为例，平衡时三相绕组直流电阻均为 2.0Ω，若 A 相因制造偏差及老化阻抗升至 2.3Ω，偏差达 15%，会直接拉低二次侧 A 相电压，负载波动等因素会加剧此问题。

分接开关需三相相同档位以保证匝数比对称，理想档位一致率 100%。该变压器额定档位 1~5 档，平衡时三相均在 3 档（匝数比 N=10），输出线电压 10.0kV；若某相因机械卡滞、触点烧蚀偏离档位，会导致对应相电压偏差，如 B 相停在 2 档（N=10.5），电压会降至约 9.52kV。铁芯理想三相磁通量偏差 ≤ 1%，平衡时均为 1.5Wb，若 A 相铁芯多点接地，磁通量降至 1.3Wb（偏差 13.3%），感应电压随之降至约 9.67kV。平衡状态下，该变压器三相线电压 10.0~10.1kV，绕组电阻 2.0~2.02Ω，阻抗、磁通量

偏差分别 ≤ 1%、0.7%，负序电流 5A（占额定电流 8.7%），电压不平衡度约 0.99%，均满足 GB/T 12325-2022 规范（不平衡度 ≤ 2%）。不对称状态下，三相线电压 9.5~10.2kV，A 相绕组电阻 2.3Ω（偏差 15%），分接开关、磁通量存在明显偏差，负序电流升至 10.4A（占比 18%，超 15% 阈值），电压不平衡度 7.05%，远超允许值。

（二）母线负荷三相分配严重不对称

10kV 母线是电力分配核心，其运行状态关乎供电质量与可靠性，负荷三相分配严重失衡是无电场景下母线电压不平衡的核心诱因，可从负荷特性、运行操作及设备故障传导三方面剖析^[10]。负荷特性层面，下游单相负荷（照明、空调、家电等）分散多样，缺乏三相均衡规划，易集中连接某一相或两相，导致三相负荷电流差异显著；依据基尔霍夫定律，不平衡电流流经母线阻抗产生不平衡电压降，引发三相电压偏差，且偏差随不平衡程度加剧而增大，严重时超标准。运行操作层面，下游单相负荷投切无序，具随机性与突发性，多负荷集中某相投切会导致该相负荷短时剧烈突变，电压降急剧变化，而另两相负荷稳定、电压降平缓，这种三相电压降变化不同步，引发瞬时性强、冲击性大的电压不平衡，威胁母线稳定。设备故障传导层面，用户端三相生产设备（非系统侧电机，如压缩机、泵类）出现单相运行、负载不均等故障时，会产生三相不平衡负荷，通过供电线路逆向传递至 10kV 母线，打破原有负荷均衡，引发电压失衡；此类不平衡隐蔽性强、持续时间长，易对母线及下游用电造成长期影响。

三、10kV 母线电压不平衡的解决方法与治理措施

（一）针对“变压器参数 / 状态不对称”的解决方案

以校正设备不对称 + 适配负荷运行为核心，构建设备管控 + 负荷调节 + 制度兜底全链条治理体系，从根源化解变压器参数 / 状态偏差引发的电压不平衡问题。依托监控与自动化系统，实时采集变压器绕组电阻、分接开关档位、铁芯磁通量等核心参数建立动态台账，定期开展精准维护，分接开关每季度断电清洁、涂抹导电膏并测试接触电阻（≤ 50μΩ），磨损超 1mm 立即更换，每年检测绝缘油指标、每半年测试绕组绝缘，阻值下降超 30% 需进一步开展介损与泄漏试验，故障处理后须空载试运行 24 小时方可投运，确保三相绕组参数、磁通量偏差均控制在 1% 以内的理想范围，夯实设备对称运行基础。通过自动化系统提取各类负荷数据并结合历史趋势建立动态台账，精准识别单相负荷集中及过载情况，经调整线路接线、转移单相负荷等手段将三相负荷电流不平衡度严控在 15% 以内，同时建立新增负荷三相平衡审核机制，用户提交负荷清单经系统模拟核验达标后方可接入，降低负荷不对称对设备的影响。在 10kV 母线侧配置 SVG 等平衡装置，与供电局监控系统实时互通获取核心数据，当参数偏差叠加负荷突变导致电压失衡时，装置毫秒级精准补偿不平衡电流或转移过载相负荷，动态抑制电压波动，弥补静态负荷分配局限性。完善运行管控规范，设定负荷投切阈值与错峰调度策略，对大型单相负荷自动错峰投切并强制加装软启动装置，严控启动电流冲击值，通过

监控系统实时监测用户侧三相设备状态,发现单相运行、负载不均等故障特征时自动触发预警并推送运维班组,快速处置以阻断不平衡负荷逆向传导至母线,以制度规范保障治理长效性。

（二）针对“负荷三相分配不对称”的解决方案

以负荷均衡分配+动态调控+全流程监管为核心,构建基础管理+技术赋能+运行规范的协同治理体系,从负荷侧彻底解决电压不平衡问题。开展全面精准的负荷普查,梳理各类用户负荷特性、容量参数及连接相位信息,建立覆盖全用户的动态负荷台账,针对现有负荷针对性调整单相负荷连接相位,实现三相负荷均匀分配,同时针对新增用户或负荷建立严格的三相平衡规划审核机制,从接入源头遏制不平衡问题新增,确保试运行期间三相不平衡度 $\leq 5\%$ 且负序电流 $\leq 8\%$ 方可验收,通过扎实的负荷基础管理,筑牢均衡分配前提。在此基础上,依托技术装备赋能动态化解负荷失衡,在10kV母线侧配置具备实时监测、快速响应与精准调节能力的三相负荷平衡装置,动态识别负荷不平衡状态与电压波动,通过直接补偿负荷产生的不平衡电流、智能转移过载相负荷至轻载相两种方式实现动态抑制,快速响应下游单相负荷投切的随机性与突发性,弥补静态负荷分配应对动态变化的不足。同时强化运行规范管控以保障长效稳定运行,制定完善的负荷投切管理制度,明确用户责任,严禁单相负荷集中投切,对大型或

批量单相负荷推行错峰投切制度,强制安装软启动装置以减小电流冲击,加强下游用户三相生产设备运维监管,建立定期巡检机制,督促用户开展设备维护保养,及时排查处理单相运行、负载不均等故障,从用户侧阻断不平衡负荷的产生与传导,全面保障10kV母线电压稳定。

四、结束语

10kV母线电压不平衡是影响配电网安全稳定运行与供电质量的关键问题,其危害贯穿于电力设备、系统运行和用户生产等多个层面。本文通过对该问题的系统性分析,揭示了其危害的广泛性和严重性,并深入剖析了“上级变压器不对称”与“负荷分配不对称”两大根本原因。解决这一问题需要采取“防治结合、软硬兼施”的综合策略。一方面,要加强对系统侧设备(如变压器)的监测与维护,从源头上保障供电的对称性基础;另一方面,也是更为关键的,是针对负荷侧的不对称问题,构建一套集“负荷普查与静态平衡、动态补偿与快速响应、规范管理与长效监督”于一体的综合治理体系。通过科学规划负荷接入、应用SVG等先进技术手段进行动态调节、并建立严格的运行管理制度,才能从根本上抑制电压不平衡的产生与恶化。

参考文献

- [1]郭晓艳.一起10kV母线电压不平衡的原因分析[J].经营者,2016,30(18):90. DOI:10.3969/j.issn.1672-2507.2016.18.084.
- [2]李涛,黄宗彬,魏春明,等.10kV母线电压不平衡分析[J].广西电力,2016,39(3):60-62. DOI:10.3969/j.issn.1671-8380.2016.03.016.
- [3]蒋国钧,龚秀兰,张笑秋.10kV母线电压不平衡治理方法研究[J].科技视界,2019(32):135,132. DOI:10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2019.32.061.
- [4]崔亚柯,刘存龙.塔北变10kV母线电压不平衡的故障处理[J].电工技术,2021(2):94-95,99. DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2021.02.040.
- [5]陈艳萍.变电站10KV母线电压不平衡现象原因浅析[J].北京电力高等专科学校学报(自然科学版),2010,27(6):52-52.
- [6]陈艳萍.变电站10KV母线电压不平衡现象原因浅析[J].北京电力高等专科学校学报(自然科学版),2010,27(3):52-52.
- [7]宫丽艳.分析变电站10kV母线电压不平衡的几种原因及防范[J].通讯世界,2016(5):145-146. DOI:10.3969/j.issn.1006-4222.2016.05.108.
- [8]王莹,朱新刚,张鹏.变电站10kV母线电压不平衡问题及解决措施研究[J].大科技,2018(27):50-51.
- [9]韦龙祥.10kV母线三相电压不平衡原因分析[J].贵州电力技术,2010(11):43-44.
- [10]焦海艳.浅谈10kV三相电压不平衡的原因及处置方法[J].低碳世界,2017(33):163-164. DOI:10.3969/j.issn.2095-2066.2017.33.104.