

Analysis of Transformer Resistance Grounding Technology in High-Voltage Power Supply and Distribution Systems

Qingnan Dong

China National Petroleum Power Supply Company, Daqing, Heilongjiang, 163000, China

Abstract

The high-voltage power supply and distribution system takes the power transformation, distribution and power receiving links on the user side as the main line, distributing the energy of the upper-level power grid to various loads through main transformers, busbars, switchgear and feeders, and bears the constraints of short-circuit endurance, insulation coordination and grounding safety during operation. In Chinese practice, the design of overvoltage protection and insulation coordination for electrical installations ranging from 6kV to 750kV needs to take into account the selection of grounding methods and the matching of equipment insulation levels. Based on this, this paper discusses the engineering boundaries and key parameters of transformer resistance grounding, summarizes practical design and verification methods, and provides key points for testing and operation.

Keywords

Electricity High-voltage power supply and distribution system Transformer; Resistance grounding technology Analysis

高压供配电系统中变压器电阻接地技术探析

董庆楠

中油电能供电公司, 中国 · 黑龙江 大庆 163000

摘 要

高压供配电系统以变电、配电与用户侧受电环节为主线, 将上级电网的能量经主变、母线、开关设备与馈线分配到各类负荷, 并在运行中承担短路承受、绝缘配合与接地安全等约束。中国实践中, 6kV至750kV电气装置的过电压保护与绝缘配合设计需统筹接地方式选择与设备绝缘水平匹配。基于此, 本文围绕变压器电阻接地的工程边界与关键参数展开讨论, 归纳可落地的设计与校核方法, 并给出试验与投运要点。

关键词

电力; 高压供配电系统; 变压器; 电阻接地技术; 探析

1 引言

进入新时期以来随着经济社会迅猛发展, 供电系统的复杂和承载负担的增加, 实现电力稳定运行和安全的难度越来越高。变压器电阻接地技术对于电力行业的安全生产和传输有着相当重要的意义^[1]。有鉴于此, 文章通过对相关文献查阅以及结合自身实践情况下, 针对高压供配电系统中变压器电阻接地技术展开探析, 以供参考。

2 高压供配电系统概述

高压供配电系统是指在用户侧或区域配电侧, 采用交流标称电压高于 1kV 的电能接入、变换与分配的成套系统, 常见电压等级为 10kV、35kV, 部分地区上接 110kV 电网。系统通常由高压进线(架空或电缆)、开关柜/环网柜、母

线及联络、主变或配变(典型为 10/0.4kV)、无功补偿与滤波、计量与继电保护、接地装置及二次通信等组成。实践中常见受电电压为 35kV 及 110kV, 向下通过主变降至 10kV 或 6kV 形成中压配电, 再由配变供给 0.4kV 末端负荷。一次接线多采用单母线分段、双母线或环网结构, 配合联络开关实现检修转供与故障隔离, 并结合地区雷电活动强度选取避雷与绝缘水平。系统设计需要在短路电流、过电压水平、供电可靠性与检修可达性之间做平衡, 其中系统中性点接地方式直接影响单相接地故障电流、暂态过电压与保护判据, 因此在绝缘配合设计规范框架内应作为基础参数先行确定^[2]。

3 高压供配电系统中变压器电阻接地重要性

在中国 6kV 至 35kV 用户侧与配网侧系统中, 中性点常处于非有效接地工况, 单相接地故障的持续运行与过电压风险一直是现场关注点。变压器中性点经电阻接地能够把接地故障电流限定在设计值附近, 既避免直接接地导致的过大短路热冲击, 又可将零序电流提高到保护装置的可靠动作区

【作者简介】董庆楠(1988-), 男, 中国浙江诸暨人, 本科, 从事发电及供配电研究。

间,使故障线路具备明确的跳闸判据。电阻接地还可压低弧光接地的间歇性重燃幅值,减少暂态过电压对主变中性点绝缘、出线电缆终端与互感器的反复应力,便于按绝缘配合规范进行统一校核。中国不少工矿企业 10kV 配电以电缆线路占比高、对供电连续性要求强为特点,电阻接地能把隐蔽的单相接地由长时间带故障运行转为短时可切除事件,从而降低电缆屏蔽层发热、接地网电位抬升与触电电压波动的不可控因素。对站内选择性而言,合适的接地电阻使接地电流不至于牵动上级相间短路容量,却能支撑分级整定与分段切除,减少全站停电范围,并便于按继电保护技术规程组织零序保护与告警逻辑配置。

4 高压供配电系统中变压器电阻接地技术探析

4.1 阻值与容量校核

确定电阻接地方案时应以系统对地电容电流、允许触电电压与保护灵敏度为约束开展阻值计算,当主变中性点未引出或需与上级系统隔离时,可采用接地变压器配接地电阻形成独立中性点。第一,阻值计算先建立对地电容电流清单,按母线分段、主变检修、外电源倒送等运行方式分别统计电缆分相长度、并联电容器与其他对地电容,必要时按测试规程组织实测并用实测值修正。随后以 $U_{\phi}=U_N/\sqrt{3}$ 换算相电压,按 $R \approx U_{\phi}/I_g$ 取初选阻值并与阻值档位匹配,例如 10kV、20kV 系统常在 10Ω 或 16Ω 档位内选取。再反算 I_g 与 I_c 关系,保证单相金属性接地时故障电流既能稳定灭弧又能覆盖末端最小故障的保护灵敏度,并对远景电缆化和新增出线按增长系数留裕度^[3]。第二,容量校核以故障持续时间为主线,将主保护、后备保护及检修通流时间分别作为工况,按最大可能 I_g 计算 P_t 并计算吸收能量 $W=I^2Rt$,核对电阻片温升、绝缘耐热等级与柜体散热条件。通流时间应与保护定值表逐项对照,避免试验时长或后备切除延时超出电阻短时热容量。引出导体、端子与连接件按短时热稳定和动稳定选型,转角处用软连接释放热胀冷缩,必要时多片并联分流以降低单片电流密度,并以额定相电压作为工作电压基准统一校核。第三,阻值偏差应把制造公差、温度系数与老化漂移叠加成 R_{min} 、 R_{max} 两端点。用 R_{max} 得到最小 I_g 校核零序保护起动作值与灵敏系数,用 R_{min} 得到最大 I_g 校核接地网地电位升高及站内接触、跨步电位差允许值,接地网电阻宜按 $R \leq 2000/I_g$ 控制,并按 U_t 、 U_s 计算式以 t_s 为等效持续时间进行复核。第四,在母线合环、主变并列和接地变切换时,需明确电阻投入点与并列等效规则,禁止两套电阻长期并联造成等效阻值过低。运行逻辑宜采用先退出后投入并设置机械延时,母联合闸前应具备仅允许一侧中性点接地投入的闭锁条件,必要时将接地投入状态纳入母联合闸闭锁链条。切换过程中控制中性点悬浮时间并保留可见断开点,接地变不宜兼作站用变,投入回路配置断线监视与过温闭锁,便于故障快速退出。

4.2 电阻器与接地回路配置

在电阻接地系统中,电阻器与接地回路的构型决定故障电流通道的可控性与检修隔离的确定性。第一,电阻器宜布置在主变中性点或接地变附近的独立间隔,按短时热量释放、巡检通行和安全距离确定柜体朝向与风道,柜体采用金属封闭结构并设置带联锁的防触及隔板,内部将电阻片分段支撑并预留抽拉检修空间,辅以过温触点、柜内温升指示与元件开路监视端子,使熔断、断线或接触不良能以一次告警方式被及时识别,同时对引出端子采取防松与防振措施以抑制运行热循环导致的接点劣化。第二,中性点至电阻器的连接导体以单相接地电流的 P_t 为主线校核热稳定,并复核冲击电动力的动稳定和支撑绝缘裕度,跨越电缆沟、门洞或桥架处设置绝缘支座与防震夹具限制摆动,转角与设备连接点采用软连接或编织带释放热胀冷缩应力,电阻器前配置专用隔离开关并具有明显断开点,隔离开关与柜门实施机械闭锁,且在一次回路两端设置试验接线柱或试验端子,便于按交接与预试规程完成电阻值、绝缘与回路连续性检查。第三,接地回路并入主接地网时应坚持单独引下线和多点连接的做法,接地干线在不同两点及以上与接地网可靠相连,禁止将多台设备串接在同一接地线中,焊接搭接长度按扁钢宽度的 2 倍或圆钢直径的 6 倍控制并做防腐封涂。电阻器引下线宜短直并避开人行通道与通信电缆集中区,必要时穿金属保护管并设置地表隔离与警示标识,以缩小故障时转移电位、接触电位差与跨步电压的暴露范围。第四,户外电阻器需结合地区污秽与气候等级落实防雨、防盐雾与防凝露措施,通风口设置防虫网并保证风道截面不被缩减,进出线套管按污秽等级选取爬电距离并对金具采取耐蚀处理,柜体底部设置排水与防积水构造,寒冷或湿热地区可配置防凝露加热器并与温湿度控制触点配合,接线端子采用双螺母或弹垫结构防松并定期复紧,同时将运行中温升、异响与端子发热检查纳入巡视项目,确保在高温季节长时投运条件下不出现虚接与局部过热^[4]。

4.3 保护配合与动作判据

在中性点经电阻接地的高压供配电系统内,保护配合需围绕零序量的选择性、灵敏度与级差展开。其一,动作判据宜以零序电流为主并引入零序电压闭锁作为工况判别,馈线侧配置零序过流一段跳闸与二段后备,母线或接地变侧设置零序过流作母线接地后备,上级电源侧保留相应后备段,使单相接地从支路到电源逐级覆盖,各层跳闸出口应校核断路器分闸时间与失灵启动逻辑,失灵时改由上一级扩大切除范围,并对重合闸采取接地故障闭锁或缩短检同期等待,避免故障扩展。第二,定值整定应以设计接地电流 I_g 为基准并按线路末端最小接地电流核算灵敏系数,馈线一段启动值宜按 I_g 的比例取值并留出互感器比差与二次回路压降裕度,同时以最大接地电流校核速断段不越级,二段宜以躲过本线路电容电流和最大不平衡电流为前提,结合相邻线路一段不

灵敏区进行配合,并复核CT饱和、二次负荷变化对零序量的偏移,对接地变零序保护需与馈线定值成梯度,必要时提高其启动值以躲过两回线同相接地时零序叠加引起的误动。第三,电缆出线占比高时零序测量宜优先采用专用零序电流互感器,安装时仅穿过三相导体并将电缆屏蔽层接地引下线置于互感器外侧,防止屏蔽电流被误采样,若采用三相电流合成方式,应统一CT极性并按最不利负荷不平衡校核零序残量,二次电缆应屏蔽并在保护屏内单点接地,端子排处设置试验短接与开路告警触点,降低二次回路开路导致的误动风险。第四,时间配合应以一次分段边界为依据建立级差,馈线一段按就地快速切除原则取最小延时,二段与母线后备及上级后备间留足级差并计入断路器机械分闸与继电器固有分闸时间,变更分段点或投退接地电阻时同步切换定值区并完成压板核对,当接地电阻退出或旁路投入时,应将零序定值、闭锁逻辑及重合闸策略成套切换,防止接地方式变化后仍沿用原定值造成拒动或越级。

4.4 试验投运与状态验证

高压供配电系统中变压器的电阻接地装置从交接到投运的试验与状态验证,应围绕一次回路真实、热稳定可承受与保护动作一致形成闭环。第一,交接阶段依据GB 50150等交接试验要求对主变中性点引出回路、隔离开关、接地变压器及接地电阻器分段核对,绝缘电阻在中性点侧、柜内侧和接地网侧分别取点并结合吸收比判别受潮与污秽,回路电阻在可见断点两侧重复测量以定位触头压降异常,并对隔离开关开距、位置指示及接地刀闸联锁状态进行核对,同时复核接地变压器变比、极性、相序与绕组直流电阻,工频耐压或感应耐压试验前明确短接与接地边界并落实反送电隔离,试验后对引下线、连接排、柜体保护接地做导通复测,并测量接触电位差与跨步电压,排除断股与隐蔽腐蚀。第二,投运前对接地电阻器实施通流或等效热试验,通流电流按设计单相接地电流选取,持续时间覆盖主保护与后备切除时间并留裕度,记录阻值漂移与温升曲线,重点检查电阻片焊点、母排搭接面、端子压接处的温升梯度,出现局部热点先核查紧固力矩与接触面氧化,再检查风道遮挡、滤网堵塞与柜体

百叶开度,随后逐项验证过温告警、断线告警、门禁联锁与机械闭锁的动作次序和复归条件^[5]。第三,保护投运阶段以单相接地模拟配合二次注入核对动作链条,先按相量关系校验零序CT极性与二次单点接地位置,再核验跳闸出口、信号回路、母线侧闭锁条件与分段后备逻辑,模拟电流覆盖最小故障工况以验证灵敏度,各级动作电流与时限逐项核对并校验级差,定值区切换与检修方式切换需形成可追溯记录,必要时附加CT饱和与二次负荷影响校核,防止误闭锁或越级。第四,运行期按DL/T 596等预防性试验规程建立周期复测并按电压等级与环境分级确定间隔,重点复测接地电阻器绝缘、阻值偏差与外观裂纹,对端子、母排与引下线连接处实施红外测温并做趋势对比,发现虚接热斑在停电窗口复紧并复验回路电阻,同时检查瓷套放电痕迹、柜体防腐层破损与进风口积尘,必要时对接地网连接点开挖复核焊口与防腐质量,及时处置异常。

5 结语

综上所述,电阻接地并非简单加装一只电阻器,而是牵动中性点形成方式、接地回路热稳定、保护判据与试验验证的系统工程。工程实施中应以接地电流边界与绝缘配合为主线,把阻值、容量、接线与整定用同一组数据闭环校核,并在交接与预试环节固化关键记录。通过上述技术路径,可将单相接地故障的电气量与动作行为稳定在可预测区间,支撑高压供配电系统安全运行。

参考文献

- [1] 曲文浩,秦海停.经电阻接地系统风电场接地变压器保护的整定[J].电工技术, 2023(2):158-161.
- [2] 张国刚.浅谈高压供配电系统中变压器电阻接地技术[J].中国房地产业, 2020(3):1.
- [3] 郭瑞.系统单相接地故障下接地变压器的运行特性分析[J].大市场, 2020, 000(007):P.108-108,110.
- [4] 罗城辉.电力变压器的接地保护技术研究[J].轻松学电脑, 2021, 000(001):P.1-1.
- [5] 李海成.供配电系统中的防雷与接地技术应用初探[J].建筑设计与研究, 2024(19).