

A Brief Discussion on Grounding Technology of Secondary System for Relay Protection in Substation

Jiaxin Li Xiaoni Hang Yu Wen

State Grid Shaanxi Electric Power Co., Ltd., Yulin Power Supply Company, Yulin, Shaanxi 719000, China

Abstract

Grounding technology for secondary systems in relay protection constitutes a critical component in ensuring substation safety operations. This study investigates grounding solutions for substation relay protection systems, analyzing challenges such as excessive grounding resistance and grounding grid corrosion, while exploring structural design methodologies for grounding networks. Based on an engineering retrofit case at a 110kV substation in North China, the paper details implementation plans for upgrading main grounding grids and constructing secondary equipotential grounding systems. Post-retrofit data analysis revealed a 57.1% reduction in grounding resistance, along with 71.0% decreases in contact voltage and 71.4% reductions in step voltage. These findings demonstrate that rational grounding structure design, use of corrosion-resistant materials, and establishment of comprehensive equipotential grounding systems represent essential technical approaches to enhance relay protection device reliability and substation electromagnetic compatibility performance.

Keywords

substation; relay protection; secondary system; grounding technology; grounding resistance

浅论变电站继电保护二次系统接地技术

李佳鑫 杭晓妮 文玉

国网陕西省电力有限公司榆林供电公司, 中国·陕西 榆林 719000

摘要

继电保护二次系统的接地技术是保障变电站安全运行的关键环节。本文针对变电站继电保护二次系统接地技术进行研究,分析二次接地系统中存在的接地电阻超标、接地网腐蚀等问题,并讨论了接地网结构设计技术。结合华北地区某110kV变电站的工程改造案例,详细介绍了主接地网升级与二次等电位接地网建设的具体方案,根据改造后的数据分析:接地电阻下降57.1%,接触电压与跨步电压分别下降71.0%和71.4%。由此可知,合理设计接地结构、耐用耐腐蚀材料、构建完善的等电位接地系统,是提高继电保护装置运行可靠性与变电站整体电磁兼容的重要技术路径。

关键词

变电站; 继电保护; 二次系统; 接地技术; 接地电阻

1 引言

随着我国电力系统规模的持续扩大以及电网智能化水平的提高,变电站作为电能传输与分配的重要节点,其安全、稳定运行至关重要。继电保护系统作为保障电力设备安全、防止故障持续扩大的第一道防线,继电保护动作的可靠性决定了整个电网的供电安全。变电站实际运行中,一次设备操作、断路故障、雷电侵入和高压声母的电感感应等,均在二次回路中产生干扰电压,若二次系统接地方式不当或接地网性能劣化,这些干扰信号就可能耦合到保护装置,引发误动、拒动甚至设备损坏。因此,系统研究变电站继电保护二次系统的接地技术,剖析接地网劣化的机理,优化等电位接地与

屏柜接地设计,不仅对提高继电保护装置运行可靠性有重要意义,也对提高变电站整体电磁兼容水平、延长接地网使用寿命提供指导。

2 二次系统接地面临的主要问题

2.1 接地电阻超标问题

接地电阻作为衡量接地系统性能最直观的指标,接地电阻超过规定限制时,故障电流或雷电流流入大地的时候会产生较高的地电位上升,威胁设备与操作人员的安全。

2.1.1 接地电阻标准值

我国现行标准对变电站接地电阻的限制根据不同电压等级和接地方式提出了明确规定。根据《交流电器装置的接地设计规范》(GB/T50065-2011)和《电气装置安装工程接地装置施工与验收规范》(GB50169-2016),变电站总接地网接地电阻需要满足下表的要求,见表1。

【作者简介】李佳鑫(1995-),女,中国陕西榆林人,硕士,工程师,从事电力系统继电保护研究。

表1 变电站接地电阻标准限值

电压等级	接地方式	接地电阻要求 (Ω)	依据标准
110kV 及以上	大接地短路电流系统	≤ 0.5	GB/T 50065-2011
35kV 及以下	小接地短路电流系统	≤ 4	GB/T 50065-2011
光伏场站	—	≤ 4	GB50169-2016
二次设备接地	与主网连接	≤ 0.5	DL/T5136-2012

2.1.2 电阻超标的成因与危害

首先,电阻超标原因分析:(1)土壤电阻率过高。变电站选址的时候受到客观条件的限制,可能位于砂石、岩石等高电阻地质区域,天然土壤导电性能差。北方寒冷地区冬季冻土层加深,也会导致接地电阻季节性升高。(2)接地体腐蚀。接地体在土壤中受到电化学腐蚀的作用,截面逐渐减少,导电能力下降,是运行中接地电阻逐渐升高的主要原因。(3)施工质量问题。接地体埋设深度不足、回填土未夯实、焊接质量差等施工缺陷,都会导致接地电阻高于设计值。(4)设计裕度不足。部分工程为节约成本,在接地体选型、防腐处理、降阻措施等方面“紧贴下限”,未考虑长期运行中的性能衰减^[1]。

其次,电阻超标的危害。(1)地点位升过高。当发生接地故障或雷击的时候,故障电流经过接地电阻 R 产生地电位上升 $U=I \cdot R$ 。若 R 值超过标准, U 可能超出设备绝缘耐受水平,造成保护装置击穿损坏。(2)二次设备干扰影响。地电位上升会在不同设备之间形成电位差,通过二次电缆屏蔽层、接地线等形成环流,干扰保护装置的采样与逻辑判断,严重时会引起误动与拒动。(3)跨步电压与接触电压超标。接地电阻超标往往伴随接地网电位分布不均匀,在故障瞬间可能产生危险的高跨步电压,威胁运行人员的安全。

2.2 接地网腐蚀问题

2.2.1 腐蚀机理与影响因素

接地网的腐蚀以电化学腐蚀为主,影响机理为:接地体金属材料与周围土壤电解质形成原电池,阳极区金属溶解失去电子,阴极区发生还原反应,导致金属材料逐渐消耗。影响腐蚀速率的因素为:(1)土壤电阻率。一般认为,土壤电阻率越低腐蚀性越强。但在极低电阻率 ($< 10 \Omega \cdot m$) 的强酸性或盐碱土壤中,腐蚀速率显著加快。(2)土壤酸碱度。pH 值在 5.5~8.5 范围内腐蚀较为缓和,超出此范围腐蚀加剧。酸性土壤中氢离子去极化作用加速铁腐蚀;碱性土壤中氧去极化占据主要。(3)土壤含氧量与含水量。含氧量高、湿度适中的土壤腐蚀最强,完全干燥和完全水浸条件下的腐蚀相对减缓。

2.2.2 腐蚀对接性能的影响

接地网腐蚀对二次系统接地性能的影响为:(1)接地电阻升高。腐蚀造成接地体有效截面减小,导电能力下降,引发接地电阻逐渐升高。(2)接地体断裂风险。腐蚀严重区域可能发生局部断裂,引发接地网“孤岛化”,部分设备失去有效接地。(3)热稳定性下降。腐蚀后接地体截面减小,在流过

短路电流时发热加剧,可能因二次效应引发二次损坏^[2]。

3 二次系统接地关键技术分析

3.1 接地网结构设计要点

首先,网格化布置。变电站主接地网采用网格化布置形式,水平接地体构成闭合格网,垂直接地极布置在网络节点和关键位置。根据《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065-2011),网格边长一般控制在 5~10m 内。网格过密虽然能够改善均压性能,还会显著增加材料用量与施工成本;网格过疏则可能导致接触电压和跨步电压超标。

其次,接地体埋设深度。增大埋深可让接地体进入电阻率较低且相对稳定的深层土壤,同时减少季节性冻土和表层土壤干湿变化对电阻的影响。根据相关规程要求,水平接地体埋设深度不小于 0.6m,寒冷地区需要敷设在冻土层之下。

最后,边缘效应处理。接地网的边缘区域电流密度过大,电位梯度较高,是接触电压与跨步电压控制的重点区域。优化设计时需要在边缘采取以下几项措施:(1)接地网边缘加设环形均压带,形成“外环加强”结构。(2)边缘网格尺寸要适当加密,缩小边缘区域的电位梯度。(3)人员活动频繁的区域敷设沥青路面,提高地面的电阻率。

3.2 接地材料选择与防腐处理

首先,从全寿命周期的角度分析,铜质接地网虽然初期投资较高,但耐腐蚀性能较高,在运行周期内无需更换,综合成本低于镀锌钢。近年来,铜覆钢因兼具铜的耐腐蚀性和钢的机械强度,在新建变电站中广泛应用。

其次,腐蚀处理措施。针对接地网腐蚀的问题,可采取以下防腐措施:(1)涂层保护。在接地体表面涂覆导电防腐涂料,形成隔离层,阻止金属与土壤直接接触。该措施适用于新建接地网,但要注意涂层破损后的局部腐蚀风险^[3]。(2)阴极保护。已经建成的接地网,采用外加电流阴极保护和牺牲阳极保护技术,通过接地网施加负电位,使其成为电化学腐蚀的阴极,抑制金属溶解。牺牲阳极常采用镁合金或锌合金,适用于小规模接地网的局部保护。

4 工程改造案例与效果分析

4.1 工程概况

以华北地区的 110kV 变电站举例,作为该地区重要的枢纽变电站,站内主要设备配置为:2 台主变压器,容量 $2 \times 50MVA$,电压等级 110/35/10kV。110kV 配电装置为户外

AIS 设备，双母线接线，出线 4 回；35kV 配电装置，户外开关柜，单母线分段接线，出线 6 回；10kV 配电装置，户外开关柜，单母线分段接线，出线 12 回。该变电站接地网设计参与为：主接地网采用镀锌扁钢 60mm×6mm 作为水平接地体；垂直接地极为镀锌角钢 50mm×5mm×2500mm，布置在网格节点；接地网网格尺寸为 8m×8m，覆盖面积约 8000m²；设计接地电阻值≤0.5Ω，投运初期实测值为 0.45Ω，符合要求。

4.2 改造方案设计与实施

4.2.1 主接地网改造方案

(1) 接地材料升级。将原镀锌扁钢接地体全部更换为铜覆钢材料，选用的铜覆钢接地体规格为：①水平接地体。铜覆钢圆钢，直径 φ14mm，铜层厚度≥0.25mm。②垂直接地极，铜覆钢接地棒，直径 φ18mm，长度 3m，铜层厚度>0.25mm。铜覆钢材料兼具铜的耐腐蚀性和钢的机械强度，在全寿命周期内综合成本低于镀锌钢，适用于腐蚀性土壤环境。

(2) 接地网结构优化。埋深深度由原来的 0.6m 增加到 0.8m，进入较为稳定的深层土壤；网格尺寸由原来的 8m×8m 调整为边缘 5m×5m、内部 8m×8m 的不等间距布置，加强边缘区域的均压效果。

(3) 降阻措施。针对站区部分区域土壤电阻率偏高的问题，采取以下降阻手段：①接地网边缘区域和接地引下线集中区域，采用换土技术，更换为电阻率<500Ω·m 的改良黏土。②垂直接地极周围填充膨润土降阻剂，均匀包裹接地极，改善接地体与土壤的接触性能。

4.2.2 二次等电位接地网建设

主控室保护屏柜后方，沿屏柜布置方向敷设一条

40mm×4mm 铜排作为等电位接地干线。该铜排贯穿整个保护室，并且与各屏柜接地排可靠连接。(2) 开关场等电位接地网。沿着开关场电缆沟道敷设一条 50mm×6mm 铜排作为开关场等电位接地干线，与各就地端子箱、汇控柜的接地排连接。

4.3 改造结果分析

改造工程完成后，对全站接地系统进行测试，结果见表 2。

表 2

检测项目	改造前	改造后	标准要求	改善幅度
总接地电阻	1.05	0.42	≤0.5	下降 57.1%
最大接触电压	145	42	≤65	下降 71.0%
最大跨步电压	98	28	≤65	下降 71.4%
保护屏柜电位差	0.23	0.018	≤0.1	下降 92.2%

5 结语

本文结合工程改造案例，验证了优化接地结构、升级接地材料等措施的有效性，改造后的接地指标均有明显改善，保护装置运行环境也得到提升。随着电网智能化水平的提高，二次系统接地技术要结合在线监测、智能运维的手段，为实现变电站全寿命周期内的安全稳定运行提供支持。

参考文献

- [1] 林高林,季灿,王涛. 变电站继电保护二次系统中接地技术的应用[J].光源与照明,2025,(01):180-182.
- [2] 刘建. 变电站继电保护二次系统中接地技术的应用研究[J].应用能源技术,2025,(09):13-15.
- [3] 柴树先. 变电站继电保护二次系统接地技术研究[J].中国设备工程,2025,(12):227-229.