

10kV 配电网中性点接地方式选择与故障特性分析

李铁 巩璐 赵国辉

河南平高通用电气有限公司 河南 平顶山 467000

【摘要】：10kV 配电网的中性点接地方式对电力系统的运行安全具有显著影响，尤其在单相接地故障发生时，不同接地形式导致的电压变化、故障电流通路及暂态过程差异明显。中性点不接地、经消弧线圈接地、经电阻接地等方式在限制故障电流、抑制过电压以及维持系统稳定性方面表现各异。通过围绕故障电流特性、系统电压偏移与暂态响应进行分析，可揭示接地方式对故障扩展速度、绝缘水平压力及继电保护动作可靠性的影响规律，为配电网在运行中保持较高安全裕度提供理论依据。

【关键词】：10kV 配电网；中性点接地方式；单相接地故障；故障特性；电压分布

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.042

引言

10kV 配电网在城市与区域供电结构中占据关键位置，其运行状态受中性点接地方式控制较深。中性点处理方式不仅左右系统在故障初期的电气响应，也改变电压在网络中的分布形态，使故障电流规模与演变轨迹呈现差异化特征。随着配电网结构向环网化、负荷多元化方向延伸，单相接地故障的影响更加突出，电压偏移、弧光重燃与绝缘应力的叠加效应更显复杂。围绕接地方式引起的这些电气行为差异展开讨论，有助于揭示其背后的运行机理，并在理解各类故障特性的基础上加强对系统稳定性的把握，使读者能够从更整体的视角洞察配电网运行中的关键控制点。

1 中性点处理方式引发的关键矛盾

1.1 配电网电压分布的敏感性问题

10kV 配电网在运行过程中对中性点状态具有高度敏感的电压响应特征。中性点一旦处于不同处理方式下，三相电压的均衡关系便会发生变化，使电压分布呈现出较强的不稳定倾向。当单相出现偏移时，其余两相电压往往会产生明显升高，绝缘水平压力随之增加，带来的风险在负荷波动、线路分支复杂化以及电缆电容不断扩大的条件下更为突出^[1]。中性点不接地、经消弧线圈接地或经电阻接地的差异，使系统对电气扰动的承受能力不尽相同，电压偏移的持续时间与幅值也随之改变。敏感性水平的变化不仅影响节点电压的平稳度，也影响电气设备在长期运行中的可靠性，因而在分析配电网特性时，中性点的处理方式成为影响电压分布是否稳定的重要因素。

1.2 单相接地故障带来的不稳定因素

10kV 配电网在遭遇单相接地时会出现一系列扰动，其引发的不稳定因素往往由中性点状态放大。故障相电压骤降后，非故障相电压出现升高，使整个系统处于应力不均的状态；若接地电弧具有重复熄灭与重燃特性，电压波动会呈现周期性增强，使暂态过程更为复杂。消弧线圈补偿不足、电阻选值偏差以及线路电容分布不均等因素，均可能使系统在短时间内产生超出预期的电气负荷。在某些配电网结构中，接地点位置变化

还会引起零序通道的分布变化，使故障信号在网络中传播的路径更具不确定性，从而进一步增加系统判断故障性质的难度。上述现象使单相接地故障成为配电网中最具影响力的扰动类型之一，其稳定性受到多重因素共同驱动。

1.3 接地方式差异导致的故障反应偏移

接地方式的不同使配电网在故障发生时呈现出截然不同的反应轨迹。中性点不接地系统在单相接地条件下故障电流极小，但电压升高显著，容易形成高电压长期存在的状态；经消弧线圈接地的系统可以削减电弧维持力，改善电流波形，却可能在补偿不充分时出现电压振荡；经电阻接地的方式虽能有效限制过电压，但在特定网络拓扑下故障电流可能偏大，对继电保护装置提出更高的动作精度要求。不同接地方式在故障初期的响应时间、故障能量释放方式以及对系统其他元件的影响程度均存在差异，使故障曲线在形态与幅值上产生明显偏移。这种偏移使配电网在监测与分析故障时必须考虑接地方式的干扰，否则难以准确判断系统状态或采取适当的处理措施，因此接地方式的差异成为影响故障特性的重要根源。

2 各类接地方式的电气行为差异

2.1 中性点不接地方式的特征表现

中性点不接地方式在 10kV 配电网中具有独特的电气特征，其最大特点是单相接地时故障电流极小，但电压变化却极为明显。故障相电压接近零值后，非故障两相的电压会因电容耦合作用而显著升高，形成远高于正常运行的电压水平，加大绝缘受压程度。由于故障电流不足以促使保护装置及时动作，接地持续时间可能被延长，使系统在较长的时间内承受不平衡电压带来的影响^[2]。电弧型接地故障在这种方式下容易出现周期性重燃，使电压振荡呈现复杂的暂态特征，甚至在特定条件下引发过电压累积效应。尽管此方式能够维持线路继续运行，但对绝缘配合和设备耐压提出更严苛要求，电气行为呈现出电流小、过电压风险高、故障持续性强等核心特征。

2.2 经消弧线圈接地方式的电气响应

经消弧线圈接地方式通过电感补偿线路电容电流，使单相

接地故障中的电弧能量显著降低,从而减少重燃现象并改善系统稳定度。在线圈调节充分的条件下,故障电流可被削减到极低水平,使电压恢复过程相对平稳;但若补偿偏离最佳点,系统会出现过补偿或欠补偿,使暂态电压呈现振荡状态并产生新的不稳定因素。线圈在故障期间形成独立的能量交换路径,使零序电压与零序电流之间出现明显的相位关系变化,这一特性对保护与选线技术提出额外挑战。由于故障能量被部分吸收,系统的恢复速度与动态变化呈现柔化趋势,但仍需关注线路结构变化、电缆电容增加等因素对补偿效果的影响。整体来看,消弧线圈方式的电气响应具有抑制电弧、削减故障电流和稳定电压的特征,但其性能依赖网络参数匹配程度。

2.3 经电阻接地方式的故障变化轨迹

经电阻接地方式通过引入适当阻值,使单相接地故障电流处于可控范围,从而避免电流过小导致的故障难判断问题,也防止过电压持续升高造成绝缘压力过大。故障发生后,电阻分担部分零序电压,使系统的电压偏移幅度明显减弱,故障相恢复过程较为清晰。由于电阻接入形成稳定的泄放通道,故障电流波形更易识别,为继电保护提供准确依据。然而该方式下电流相较于其他方式更大,若选值不当,可能对设备形成热冲击,甚至触发不必要的保护动作。在复杂网架中,电阻的影响还可能改变零序通道的分布,使故障传播速度与能量释放节奏呈现差异化表现。整体轨迹呈现电流适中、过电压受控、故障信号清晰的特征,使其在电缆线路占比较高的配电环境中具有独特优势。

3 故障特性在接地方式选择中的制衡因素

3.1 故障电流规模变化的影响路径

故障电流的规模在不同接地方式下呈现多样化的变化路径,其大小直接影响配电网的动态行为。电流偏小会使故障难以被迅速识别,延长故障存在时间;电流偏大则可能在短时间内对设备造成热应力冲击,引发额外损伤。中性点不接地方式中电流依赖电容耦合而呈弱值,电弧持续性较强;经消弧线圈接地时补偿效果决定电流大小,若匹配度不足,电流可能出现周期性摆动;经电阻接地方式则通过阻值调节形成稳定的通路,使电流可控且易于监测^[3]。电流规模的变化不仅反映故障本身的严重程度,也决定后续的保护动作节奏、电压恢复速度以及系统能量释放方式,因此在接地方式选择中构成不可忽视的制衡因素。

3.2 电压偏移与暂态过程的关键环节

单相接地引起的电压偏移与暂态过程,在不同接地方式下呈现显著差异,而这些差异往往决定系统能否在短时间内恢复稳态。电压偏移的幅度取决于零序网络特性与接地通道阻抗,偏移过大会使非故障相承受额外应力,引发绝缘薄弱处的击穿风险。暂态振荡则源于电容与电感的能量交换过程,在补偿不

足或阻尼偏弱的条件下振荡会持续存在,使系统表现出不规则的电压摆动。电压变化的快慢、振荡幅度的大小以及恢复曲线的平稳度均与接地方式的特性紧密相关。若偏移与暂态过程控制得当,配电网能够以较小影响度维持运行;若控制不佳,则可能引发级联性电压扰动。因此电压行为的关键环节对接地方式的选取具有明显约束。

3.3 继电保护动作可靠性的关联点

继电保护能否准确动作取决于系统在故障期间呈现的电气特征,而接地方式改变了这些特征的形态,使保护判断面临不同程度的挑战。电流不足可能导致保护装置无法形成有效判据,电流过大又可能使保护在短时间内误判。电压升高、零序电流变化以及弧光重燃带来的非周期成分,都可能干扰保护设备的识别能力。消弧线圈补偿后的相位特性变化、电阻接地带来的明确电流波形、不接地方式下的弱电流信号,都会使保护系统依赖特定算法与整定方式才能保持稳定动作。继电保护与接地方式之间形成一种紧密关联的机制,若匹配度不足,保护会出现拒动或误动风险,进而影响故障处理速度。因此在接地方式选择中必须考虑保护动作的可靠性要求,使两者在特性上保持协调。

4 中性点处理方式的适配性分析

4.1 不同网架结构下的特性匹配

配电网的网架结构对中性点处理方式的适配性具有重要影响,架空线路、电缆线路以及混合型网络在电容分布、线路长度和支路数量方面差异明显,使接地方式在实际应用中的表现并不一致。架空线路系统的对地电容较小,更适合采用能维持运行连续性的方式,而电缆比例升高的系统电容增大,易出现过电压叠加现象,使经电阻接地或经消弧线圈接地的方式更具优势^[4]。在环网与辐射状结构中,各节点间的零序通道分布不同,使故障信号传播速度与能量集中程度呈现差异,这也对接地方式的匹配度提出额外要求。若接地方式与网架特性不协调,故障期间的电压与电流变化会偏离预期轨迹,使系统难以保持稳定运行。因此,网架结构成为接地方式适配性的关键基础。

4.2 绝缘水平压力的综合判断

配电网在中性点处理方式的选择过程中需要充分考虑绝缘水平的承受能力,因为电压分布的变化会直接影响设备的长期稳定。单相接地时,非故障相的电压上升是绝缘压力增加的主要原因,而各类接地方式对这一升高幅度的抑制效果并不相同。不接地方式使电压抬升更为明显,对老旧线路、潮湿环境或绝缘受损设备构成风险;消弧线圈能够降低电压波动,但补偿偏差可能形成振荡,使压力呈周期性变化;电阻接地方式在抑制电压峰值方面表现较为稳定,适用于对绝缘要求较高的区域。绝缘水平的判断不仅依赖额定参数,还与设备老化速度、

环境条件以及负荷变化相关,因此接地方式的选择必须依据综合评估结果,使电压行为与绝缘能力保持一致的安全边界。

4.3 故障扩展速度的控制需求

故障扩展速度决定了配电网在扰动出现后能否将影响限制在最小范围内,而接地方式对扩展路径和扩展速度具有显著调节作用。当故障电流较大时,能量在网络中传递迅速,支路上的薄弱环节可能被激发,引发连锁性的电气异常;当故障电流较小时,故障虽不一定立即扩大,却可能因长期存在而加深局部损伤,使扩展在较迟的阶段以更隐蔽方式出现。消弧线圈能在一定程度上减缓弧光作用,使扩展速度受到抑制,而电阻接地则通过稳定电流路径使扩展方向更易预测。不接地系统因电流极弱,扩展更多依赖电压应力而非能量传递,使判断难度增加。故障扩展速度的控制需求强调接地方式必须具备可调性和可预测性,使系统面对异常时能保持稳定的阻断能力。

5 接地方式选择的综合归纳

5.1 围绕安全裕度的对比取舍

不同接地方式在安全裕度上的表现差异,使系统在选择路径时必须依据多项指标进行对比取舍。安全裕度不仅体现在承受故障电流的能力上,也体现在对电压波动的容忍范围、绝缘强度的动态变化以及故障持续时间的影响上。不接地方式在维持供电连续性方面具有一定优势,却使电压偏移幅度增大;经消弧线圈接地方式能够削弱电弧重燃,但补偿误差可能引入新的振荡;经电阻接地方式在限制过电压与保持故障电流可识别性方面较为均衡,但对设备热稳定性提出更高要求^[5]。当这些因素被放入统一框架中进行比较时,各接地方式在安全裕度上的侧重点清晰显现,使不同运行场景呈现不同的取舍倾向。围绕安全裕度进行判断,有助于确定系统在长期运行中能够保持的稳定边界。

5.2 结合运行环境的协调判断

配电网所处的运行环境在接地方式选择中占据重要地位,

不同地域、气候、负荷特性以及设备老化程度都会造成系统表现的明显差异。潮湿环境下绝缘衰减速度加快,可能会放大电压偏移带来的压力;高电缆占比区域电容电流显著增大,需要更有效的电压与电流协调机制;山区或分布式电源接入密集区域中,网架结构更具多样性,使接地方式之间的适配关系更加复杂。运行环境变化还会影响保护整定策略、故障传播路径以及恢复速度,这些因素要求接地方式必须具备良好的环境兼容能力。当多项环境变量叠加时,协调判断能够帮助系统找到稳定运行的条件,使接地方式与外部因素形成匹配关系,为整体运行状态提供可靠支撑。

5.3 基于故障特性形成的整体结论

故障特性表现为电压变化、故障电流规模、暂态过程形态以及扩展路径,这些特性在不同接地方式下呈现出明确差异,使最终判断必须以故障行为为核心依据。单相接地的持续性、不对称电压的影响范围、弧光重燃的频度以及保护装置的响应一致性,都会改变接地方式在系统中的适配度。若某方式能够使故障波形清晰、扩展受控、恢复路径稳定,则其在目标网络中的价值更为突出;若故障信号模糊、波动激烈或恢复缓慢,则会削弱其可用性。通过深入观察故障特性,可以将电气行为、保护机制、绝缘压力、多节点联动等因素整合到同一判断体系中,使接地方式的优劣在整体框架下呈现清晰轮廓。由此形成的判断不仅体现系统技术需求,也体现网络特性的综合导向。

6 结语

在不同接地方式引发的电气变化中,可以看到配电网在故障情形下呈现的多层次响应特征。电压偏移、故障电流规模以及暂态行为共同构成判断系统稳定性的关键线索。将网架结构、运行环境与故障特性纳入同一框架进行审视,有助于明确各接地方式的适用边界,使电气安全与运行可靠性得以兼顾。合理的选择能够使配电网保持稳健状态,为复杂供电环境提供持续支撑。

参考文献:

- [1] 肖祥辉.10kV 配电网运维检修中的智能监测技术应用[J].电力设备管理,2026,(02):11-13.
- [2] 朱明.配电网中性点接地方式对线路保护性能影响研究[J].智能建筑与智慧城市,2025,(S2):423-425.
- [3] 赵帅,王琪.10kV 配电网智能管理系统设计关键技术研究[J].电力设备管理,2025,(21):160-162.
- [4] 高明海,耿斌,钟晓敏,等.10kV 配电网母线电压异常成因及解决对策研究[J].电力设备管理,2025,(13):16-18.
- [5] 公鑫,张敏.10kV 配电网架空线路电缆敷设安装施工技术研究[J].电气技术与经济,2025,(05):81-83.