

2019年度中国电机工程学会学术建设
专题技术报告

配电网接地故障保护技术

刘伟生 徐丙垠 曾祥君 薛永端
李天友 王勇 刘远龙 文艳 王安宇 马士聪 等

2019-11-08

- 概述
- 低阻接地系统接地故障保护技术
- 小电流接地系统接地故障保护技术
- 主动干预灭弧与保护技术
- 总结



概述



- 配电网接地故障保护对供电安全性与可靠性有着决定性的影响，但过去并没有得到足够的重视。
- 近年来多起接地故障引发触电、火灾、大面积停电事故，引起了社会极大的关注。



电缆故障大面积停电 供电公司称1.4万户尚未恢复

新京报
发布时间: 18-11-20 07:04 新京报官方微博

新京报快讯 国网西安供电公司官方微博20日凌晨通报称,2018年11月19日晚22点左右,因高新锦业一路与丈八五路十字电缆发生故障,造成丰庆路以南、南三环以北、太白南路两侧区域周边停电,详细故障原因正在分析调查。西安供电公司通过调整运行方式,已迅速恢复部分负荷,目前约有3.4万KW负荷、约1.4万户客户尚未恢复。西安供电公司正在进一步转移负荷,同时正在组织抢修力量进行24小时不间断故障抢修,力争尽快恢复正常供电。

编辑 戴玉玺

作者最新文章

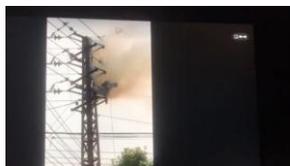
“空铁群”又加一人,利拉德60分 成徒劳

澳优任命刘学聪为特殊营养品事业部总经理,特医产品已申报

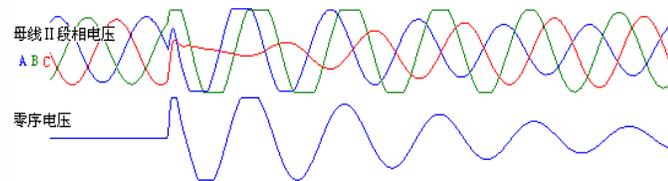
腾格里沙漠再现污染,企业改头换面也得理 环保旧账

配网接地故障特点

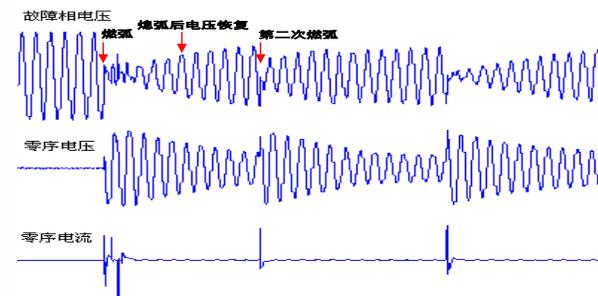
- 接地电流小，瞬时性故障比例高。
- 间歇性接地比例高，接地电流严重畸变。
- 高阻(大于 300Ω)故障多，比例可达20%。
 - ➔ 导线坠地、碰树、人体触电。



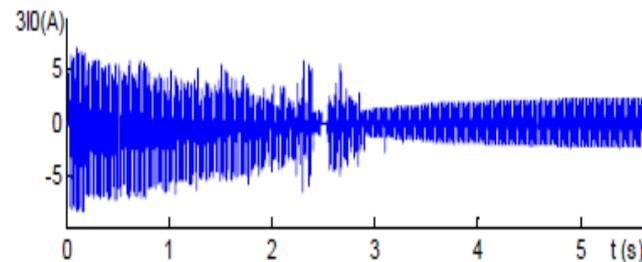
瞬时性小电流接地故障录波，零序电压约4周波后消失



间歇性接地故障录波

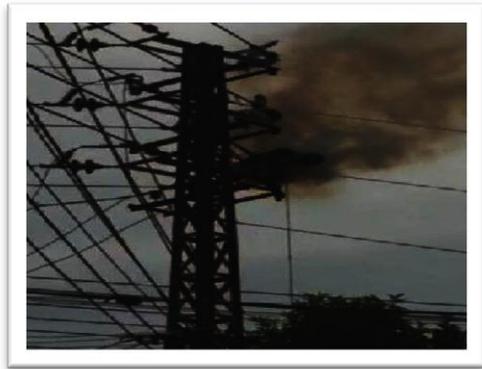


高阻接地故障录波



配网接地故障危害人民生命与财产安全

- 人体触电时不能及时断电，形成持续伤害。
- 导线坠地、树闪故障易引发触电与火灾事故。
- 电气设备接地故障使外壳电位升高，造成接触电压、跨步电压超标。



人体触电后电网仍持续带电运行



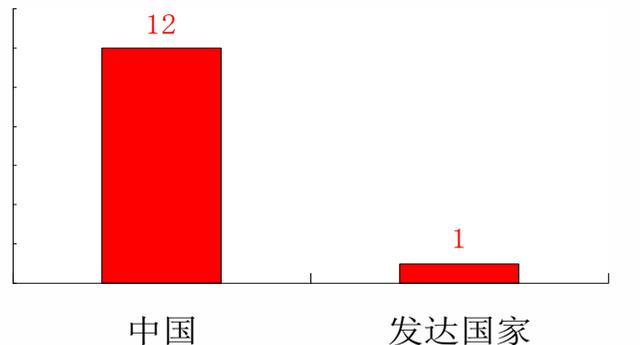
导线坠地引起三人触电死亡



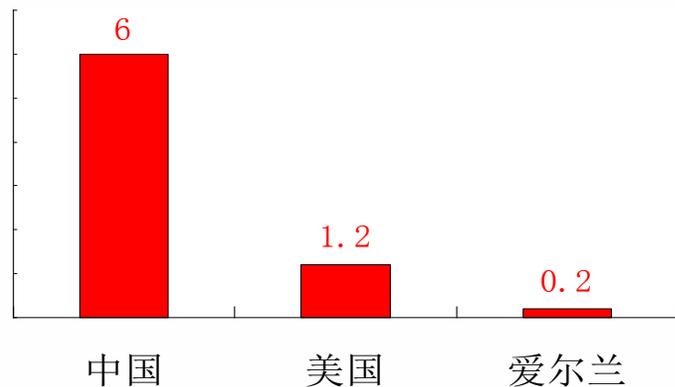
接地电弧引起火灾

减少触电事故迫在眉睫

- 2016年全国触电死亡8000人（国家统计局数据）
 - ➔ 85%多发生在低压配网内。
 - ➔ 估计中压配电网触电死亡人数在10%以上，近千人。
- 美国年平均触电死亡400余人，爱尔兰约1人。
- 对中压配电网触电保护技术缺乏研究。



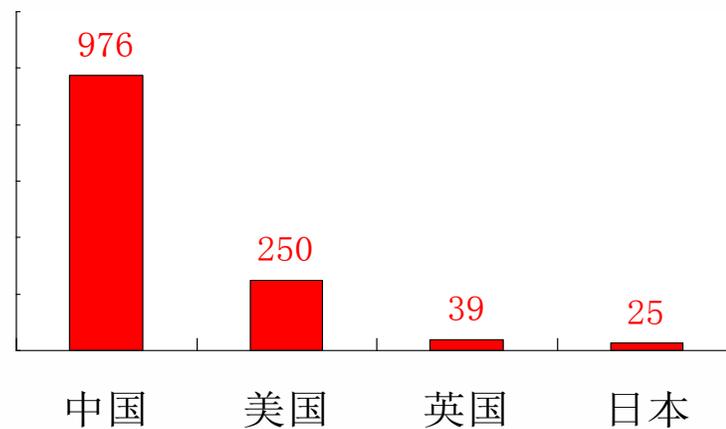
年均百亿kWh电量死亡率



年均百万人口死亡率

配网接地故障影响供电可靠性

- 低阻接地系统接地故障导致用户停电。
- 小电流接地系统接地故障使电缆沟着火，引起大面积停电。
- 40%的短时停电由人工拉路选线造成。
- 我国用户年均停电时间超过16h，国际先进水平小于10min。
- 全国每年停电损失超过1500亿元。



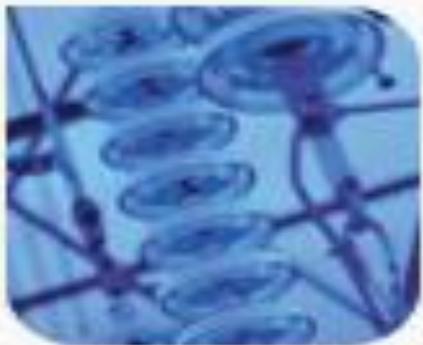
2016年四国用户平均停电时间

配网接地故障保护问题已引起电网公司高度重视

- 国家电网设备部2019年64号文，改变了允许小电流接地系统带接地故障运行的做法，提出了“**瞬时故障安全消弧，永久故障快速隔离**”的配网接地故障处置原则。
 - ➔ 既可保留瞬时性接地电弧自动熄灭的优点，又能消除带接地点运行的触电、大面积停电风险，是**我国配网运行管理方式的重大变革！**
- 南网公司开展小电流接地故障选线装置治理工作，**选线准确率已由不到73%提高到83%。**

- 
- 我国总结国内外经验，在配网接地故障保护技术研发与应用上取得了突破性的进展，涌现出不少可行的解决方案：
 - 小电流接地故障暂态选线、定位与多级保护（隔离）技术。
 - 用于电缆网络的灵活接地保护技术。
 - 主动干预灭弧、柔性接地技术。
 - 业界对接地故障的危害、配网接地方式与故障保护方法的选择，还没有形成普遍的共识，还需加强研讨。

低阻接地系统接地保护技术



低阻接地方式特点

■ 优点：

- ▶ 接地故障时非故障相电压不会明显升高。
- ▶ 继电保护配置比较简单。
- ▶ 系统电容电流增大时，不需要对接地装置进行扩容改造。

■ 缺点：

- ▶ 瞬时性故障也会跳闸，影响供电可靠性。
- ▶ 接地点电位升高幅度大，安全性差。
- ▶ 不利于实现高阻故障保护。

- 我国低阻接地系统占比不到5%，适用于瞬时性故障、高阻故障比例低的电缆网络。



低阻接地系统接地故障保护

- 中国低阻接地系统普遍采用定时限零序电流保护
 - 电流定值不小于40A，反映过渡电阻的能力小于150Ω。
 - 调度人员难以及时发现人体触电、导线坠地、树闪等高阻故障。
- 保护正确动作率的统计并没有考虑高阻故障，正确动作率比较高。



导线坠地故障



树闪故障

小电流接地系统接地保护技术



小电流接地方式特点

- 我国配网主要采用小电流接地方式（不接地、消弧线圈接地）。
- 优点：
 - 瞬时性故障电弧自动熄灭，架空网络跳闸率较低阻接地系统减少50%以上。
 - 接地点电位升高幅度小，安全性好。
 - 有利于检测人体触电、导线坠地与碰树等高阻故障。
- 缺点：
 - 非故障相电压升高幅度大。
 - 带接地故障长期运行，坠地导线易引发触电事故，电缆沟着火引发大面积停电事故。

我国还没有完全解决小电流接地保护问题

- 变电站接地故障选线装置正确动作率低，原因：
 - 调度人员在母线零序电压越限时判为发生了接地故障，能够检测到过渡电阻达 $5\text{k}\Omega$ 的故障，而选线保护装置反应过渡电阻能力一般小于 $1\text{k}\Omega$ ，影响统计结果。
 - 传统的利用稳态工频量的接地保护原理有缺陷。
 - 缺少入网测试环节还把关不严，装置质量不过关。
 - 安装管理工作维护跟不上。
 - 选线装置往往处于“无人管”状态。
 - 普遍存在接线错误。

常规稳态量小电流接地故障保护方法

■ 零序无功功率方向法

- ➔ 不适用于消弧线圈接地系统，需克服接地电流畸变的影响。

■ 零序有功功率方向法

- ➔ 需在中性点投入与消弧线圈并联电阻放大有功电流。

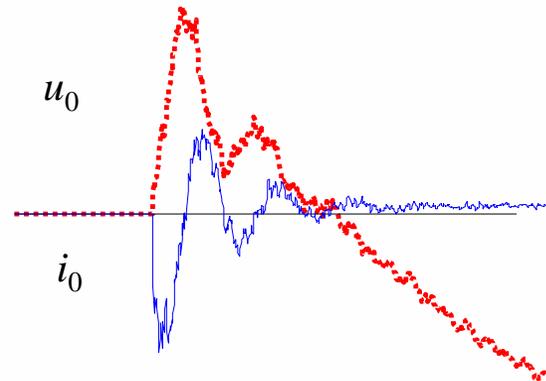
■ 群体电流比较法

- ➔ 不适用于消弧线圈接地系统，需克服接地电流畸变的影响。

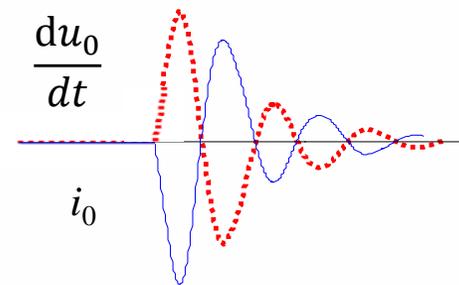


新型暂态量保护法

- 利用故障暂态量的方法能够克服稳态法的缺点。
- 旧暂态法：
 - ➔ 比较暂态电压与电流初始极性实现故障选线，判据成立时间短，可靠性差。
- 新暂态法：
 - ➔ 比较暂态电压导数与电流的极性实现故障选线，判据在整个故障过程中都成立。
 - ➔ 耐过渡电阻能力达到 $2\text{k}\Omega$ ，实际故障选线成功率可达95%
 - ➔ 在我国有较大范围应用，德国、爱尔兰也有应用。



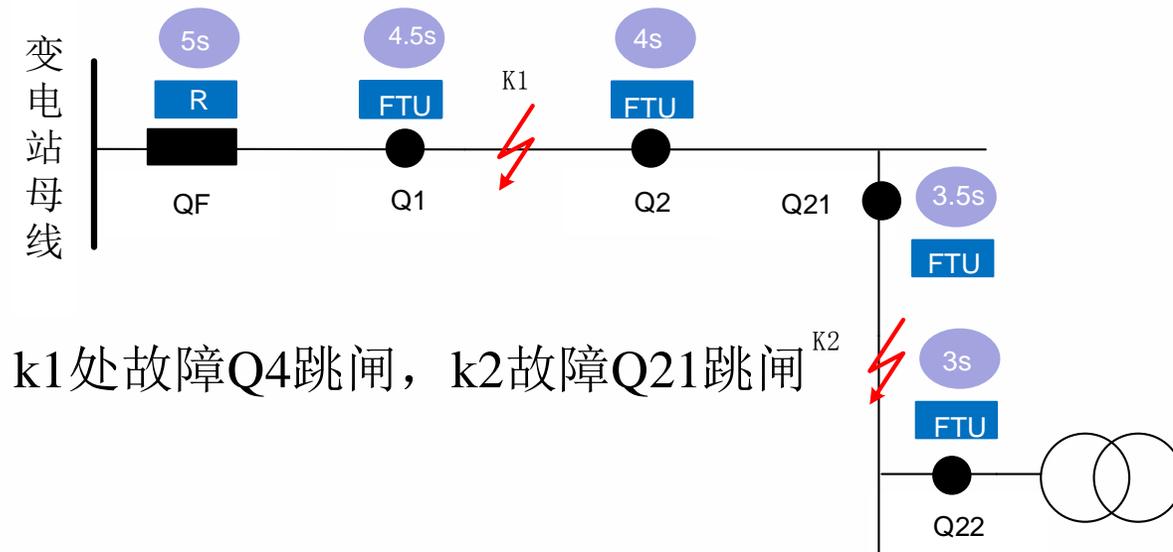
故障线路暂态电压与电流
仅在首半波呈反极性关系



故障线路暂态电压导数与
电流永远呈反极性关系

多级暂态方向保护

- 线路上开关采用满足国网要求的一二次融合开关，其控制终端具备暂态接地方向保护功能，在前方（正向）出现接地故障时启动。
- 变电站选线跳闸装置与线路上开关保护通过阶梯式动作时限配合，有选择性地动作，就近切除永久性接地故障。
- 能够避免支线、线路下游故障造成全线停电。



多级接地方向保护技术应用案例

- 山东泰安建设了多级保护示范工程，覆盖了故障多发的3个变电站的23条10kV配电线路
- 2019年7月10日至10月10日，示范区内线路发生23次故障，除两次因线路开关控制器航插问题保护拒动外，均正确隔离故障。
 - 13次为单相接地故障（两次发展为相间故障），占比56%。
 - 就近隔离18次支线故障，避免了变电站断路器越级跳闸。
 - 6次故障发生在利奇马台风期间。

跨接导线搭到避雷器地线上引起放电

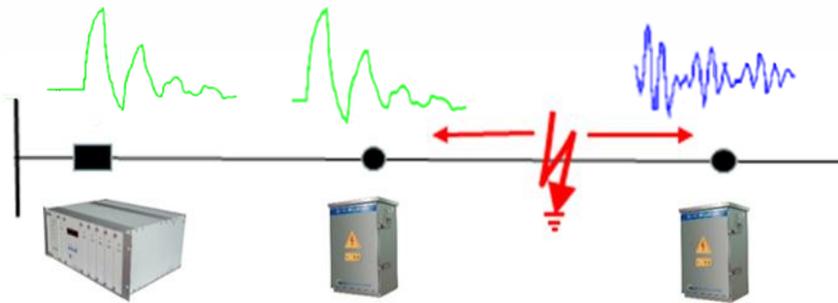


台风刮倒树木砸到导线上



新型暂态故障定位方法

- 配电自动化主站通过纵向比较馈线终端（故障指示器）记录的暂态零序电流波形的相似性实现接地故障定位。
 - 故障点上游电流波形相似，故障点两侧波形有明显差异。
- 解决了传统零序过电流法无法检测、定位小电流接地故障区段的问题。
- 在国内外获得广泛应用。



$$\rho_{mn} = \frac{\int_0^T i_{0m}(t)i_{0n}(t)dt}{\sqrt{\int_0^T i_{0m}^2(t)dt \int_0^T i_{0n}^2(t)dt}}$$

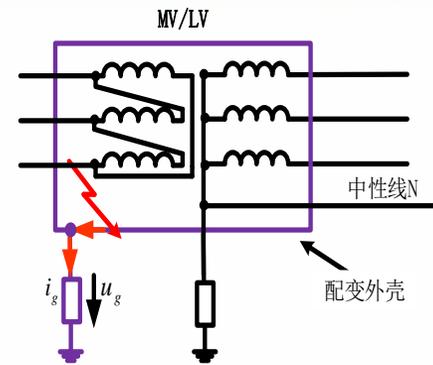
波形相似性系数计算公式

现有小电流接地架空网络不宜改为低阻接地

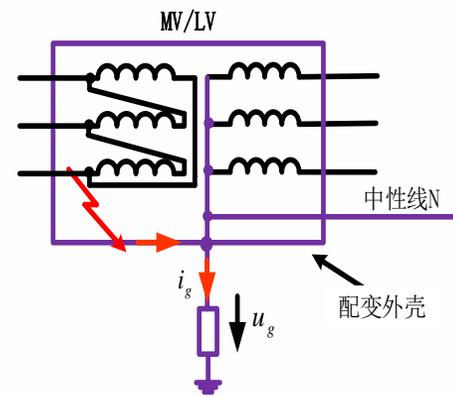
- 改造后跳闸率增加50%以上，短时停电次数增加50%以上，长时间停电次数增加近10%。
- 解决不了导向坠地、碰树与人体触电等高阻接地保护问题，不利于消除安全隐患。
 - ➔ 定时限零序电流保护耐过渡电阻能力不到150Ω。

小电流接地转为低阻接地需改造接地装置

- 低阻接地系统接地故障电流大，接地点电位可升至2kV。
- 配变保护地与低压工作地共用接地装置，高压侧故障时，地电位会传递到低压系统中，形成故障转移电压危害。
- 中国行标要求低阻接地系统中接地装置接地电阻小于 5Ω ，配变保护地与低压工作地应分开设置。
- IEC标准要求接地电阻小于 2Ω 。
- 小电流接地系统接地故障电流小，接地点电位升高幅度小于150V。
- 配变保护地可与低压工作地共用接地装置。

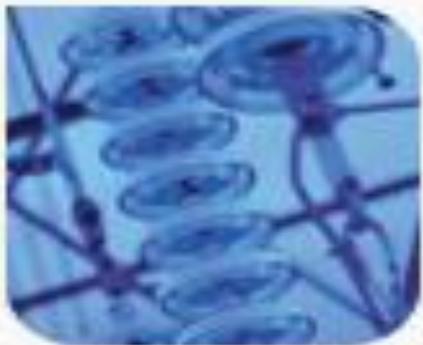


低阻接地系统配变



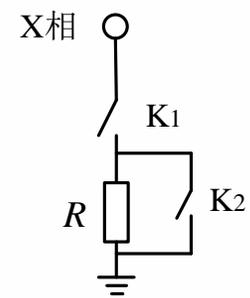
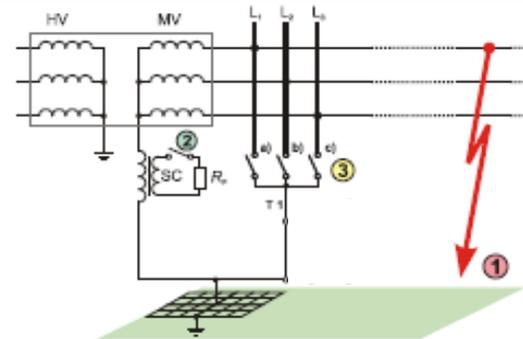
小电流接地系统配变

主动干预灭弧与接地保护技术



短接故障相消弧

- 在接地故障后将故障相在母线处与大地短接，以减小实际故障点电流并使接地电弧熄灭。
- 根据操作前后线路零序电流的变化实现故障选线。
- 已开发出“软开关”触点消弧装置，减少短接母线冲击电流以及误选相引起的两相短路电流。
- 法国、意大利在上世纪80年代曾采用该技术处理接地故障。
- 爱尔兰ESB电力公司在允许带接地点长期运行的线路上采用该技术灭弧。



软开关

对短接故障相消弧技术的评价

■ 优点：

- 灭弧效果好。
- 能够避免间歇性电弧引起的过电压。
- 适用于不同规模的不接地与谐振接地系统。

■ 存在的主要问题：

- 母线短接装置出现误操作或绝缘击穿故障时，会造成母线短路。
- 发生高阻接地、弧光接地故障时会出现选相错误，导致短接非故障相母线。
- 雷雨季节接地故障频发，变电站母线频繁短接，存在安全隐患。

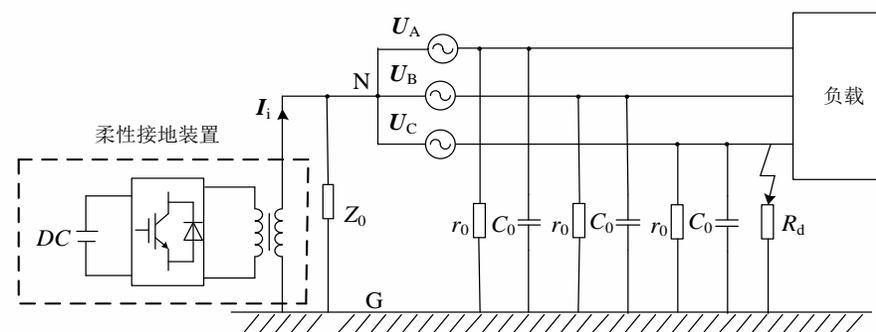
■ 适用于允许带接地点运行的线路。



柔性接地技术

■ 全电流补偿技术

- ▶ 采用电力电子设备注入零序电流，实现接地电流全电气量（无功、有功和谐波分量）补偿，最大限度地减少故障点残余电流使电弧更容易自行熄灭。
- ▶ 在瑞典、澳大利亚等国有较多应用，在中国有试点应用。



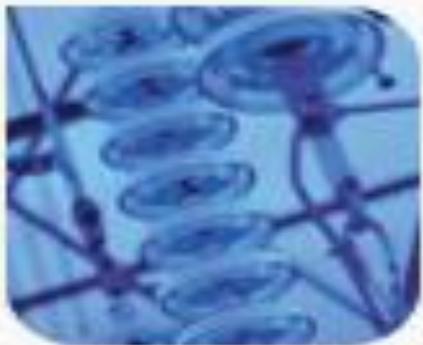
■ 主动降压消弧技术

- ▶ 灵活调控零序电压，使故障点电压低于故障电弧重燃电压，强迫故障电弧自行熄灭。
- ▶ 更易于实施。
- ▶ 已在中国试点应用。

对柔性接地技术的评价

- 优点：
 - ➔ 灭弧效果好。
 - ➔ 抑制接地过电压与接地点电位升高，消除触电、火灾效果好。
- 主要问题：
 - ➔ 控制方法较复杂，投资较大。
 - ➔ 电力电子设备的可靠性有待于进一步的考验。
- 适用于允许带接地点运行的线路。

总结



- 
- 国网与南网公司高度重视配网接地故障保护，长期困扰电网运行人员的技术难题有望不久得到解决。
 - 国网《配电网技术导则》要求
 - ➔ 电容电流小于10A采用不接地方式，10~100A之间时采用消弧线圈接地，大于100A的纯电缆网络采用低阻接地。
 - 低阻接地方式适用于电缆网络，采用小电流接地方式的架空网络不宜改为低阻接地。
 - 采用多级保护技术，变电站选线保护装置与线路上开关配合，就近切除永久性接地故障，是配网接地故障处置技术的发展方向！

谢谢!

Thank you!

