

# 一种基于石化老旧装置改造消弧系统主动干预技术研究

文/王树国<sup>1</sup> 王超<sup>2</sup> 董超<sup>3</sup> 孙强<sup>3</sup>

1. 中国石化工程建设有限公司；2. 国网辽宁省电力有限公司锦州供电公司；3. 辽宁拓新电力电子有限公司

基于老旧装置消弧系统，随着石化老旧装置改造后电缆线路增多、电容电流增大带来接地电弧不易熄灭、相间短路和电缆“放炮”等问题，提出一种基于故障相经低励磁阻抗变压器的主动干预接地消弧技术。实验证明，该技术新颖、可靠，兼顾供电安全、可靠双重优点，在石化行业具有很好的推广价值。

随着石化行业的不断发展，老旧装置大多为上世纪70—80年代建成并投入运行的，中压系统中性点接地方式通常采用的是消弧线圈接地系统，装置扩能改造后配电线路电缆数量增多，系统电容电流急剧增加。由于系统接地电流增大，接地电弧不易熄灭，电弧的发展可引起相间短路，造成电缆“放炮”，中压开关柜爆破；同时接地电弧产生间歇性弧光过电压，引发次生设备异常，电磁式电压互感器铁心饱和和引起谐振过电压等，造成熔断器烧毁、避雷器、PT的爆破和线路跳闸等事故发生。

常规消弧线圈系统单相接地导致石化老旧装置电气故障线路选线定位准确率低，如果因人身触电而发生单相接地故障时，由于线路不会快速停电，人身将无法得到有效保护，后果是触电时间延长，造成重大伤害事故。

基于以上原因，对于老旧装置改造的消弧系统，提出一种主动干预型消弧系统的技术方法。

## 主动干预性技术原理分析

主动干预消弧系统技术原理是正常运行时不接地，仅在系统发生单相接地时，采用故障相开关快速合闸，使故障相自动经低励磁阻抗变压器接地的方式，降低故障相对地电压、并联分流故障点电

流，实现熄灭单相接地故障电弧；采用将故障相、人体和大地三者强迫等电位的方式，实现人身触电防护；采用稳态接地方式限制间歇性接地过电压；采用转移接地动作前后零序电流的变化特征准确选择接地线路。

### 1. 选相原理分析研究

当中压系统发生金属接地、高阻接地及弧光接地时，采用不同故障相识别技术。对高阻接地，通过采用零序电压幅值角度的对应关系对单相接地故障的相别进行判断，即认为中性点电压始端的轨迹是以接地相的相电压为直径的位于其顺时针一侧的半圆，由单相接地引起的零序电压应在半圆上，且每个零序电压幅值对应相应的相角来进行选相。此外，通过判断包括线电压波动范围以及线电压不平衡度等线电压辅助闭锁关系实现两相接地等系统异常情况下，闭锁装置单相接地保护动作。通过判断三相电压幅值、零序电压和相电压合成值比较等相电压辅助闭锁关系，主要用于TV断线等非单相接地故障情况下闭锁装置单相接地动作保护。对于弧光接地，采用的是间歇性接地选相及相电压斜率选相原理。

### 2. 选线原理分析研究

中压系统发生单相接地故障时，零序电流分布如图1所示。非故障相容性电流通过大地流向故障

点，即故障点电流为整个系统电容电流之和。

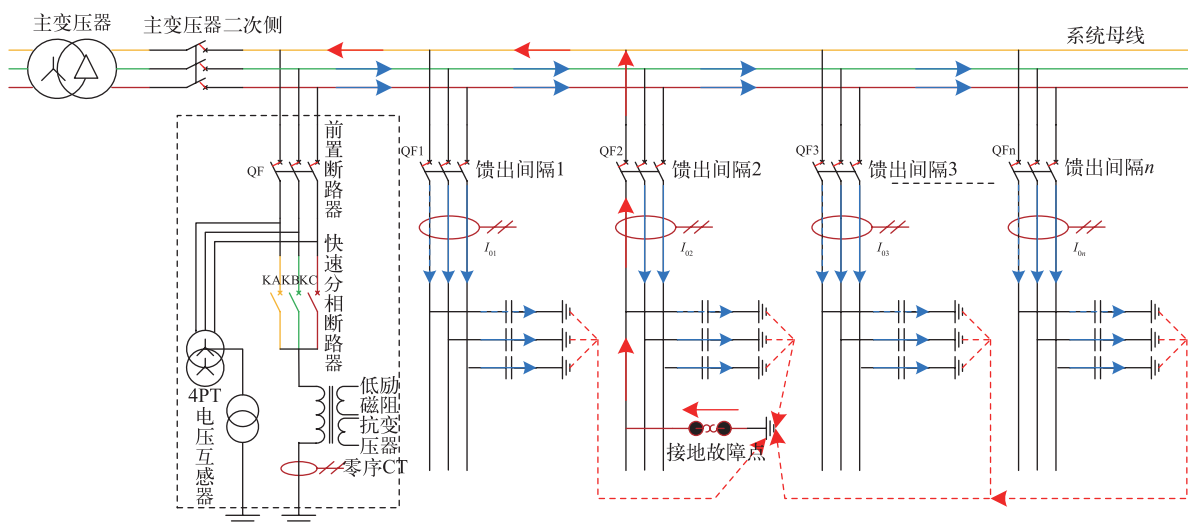


图1 故障发生时零序电流分布

当接地消弧装置投入后，故障电流被转移到接地消弧装置，即故障线路零序电流由系统接地电容

电流减少为该条出线的电容电流，非故障线路零序电流不变，装置投入时零序电流分布如图2所示。

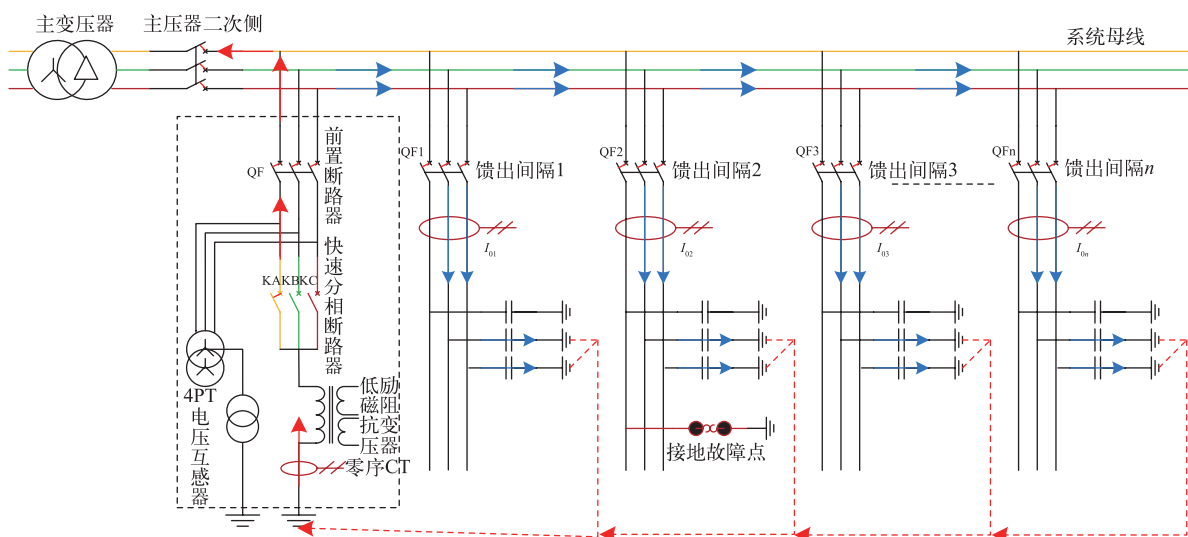


图2 装置投入时零序电流分布

基于上述分析，小接地电流系统单相接地故障，各线路产生的对地电容电流与接地程度成正比的关系。故此提出保护接地前后零序电流差值方程选线法，装置采用多重选线加权综合判断方法选择接地回路，利用装置动作特性的零序电流特征方程（零序电流矢量增量）进行选线。

## 消弧线圈主动干预系统组成

系统组成如图3所示。

系统由一次接地转移柜、二次控制屏两大部分

组成。

一次接地转移柜包括：单相接地断路器、低励磁阻抗变压器、零序电流互感器、信号发生器、电压互感器、开关柜体（或箱变）及相关附属配件。

控制屏包括：单相接地选相控制单元、接地选线单元和跳闸单元等。

### 1. 单相接地断路器

单相接地断路器如图4所示。主动干预型消弧系统要求单相接地断路器具有单相操作、快速动作和短路开断能力。

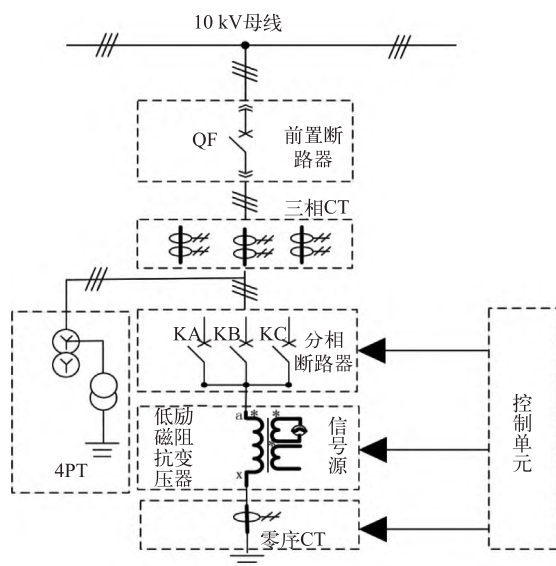


图3 消弧线圈主动干预系统组成



图4 单相接地断路器实物图

## 2. 低励磁阻抗变压器

低励磁阻抗变压器如图5所示，低励磁阻抗变压器为单相三绕组铁心变压器：一次线圈工频阻抗应不大于 $1\Omega$ ；二次线圈作为信号注入端，三次线圈为测量线圈。



图5 低励磁阻抗变压器实物图

## 3. 电压互感器

本系统中电压互感器的作用，是将交流电压按比例降到可以用仪表直接测量的数值，便于仪表直接测量，同时为继保护和自动装置提供电

源。同时电压互感器还可用来隔离高电压系统，以保证人身和设备的安全。选相控制单元通过电压互感器采集母线电压与零序电压，当有单相接地故障发生时，保证单相接地开关合闸的正确性。

## 系统功能分析

### (1) 故障相快速合闸消弧、消弧彻底

当发生单相接地故障时，对应故障相上的单相断路器快速（小于 $50\text{ ms}$ ）合闸，经低励磁阻抗变压器（小于 $1\Omega$ ）接地，转移故障点电容电流，实现故障点消弧、防止火灾，保护人身、抑制过电压。

### (2) 兼顾供电安全性、可靠性

通过快速合闸实现瞬时故障消弧，不停电，防止人身触电和火灾事故的发生，利用独有的特征准确选线，永久故障跳闸，实现了“瞬时故障安全消弧、永久故障快速隔离”，做到了兼顾供电安全性和供电可靠性。

### (3) 对高电阻接地有较好的灵敏度

主动干预型消弧技术针对不接地系统的零序电压、相电压、线电压和零序电流检测并综合判断，利用独有算法，识别出故障相。灵敏度系数 $R_g/X_c$ 可达到9。

### (4) 选线的准确性有原理性的优势

利用系统独有的特征：转移前后各个回路自身零序电流差值的最大值法选择故障回路，非故障回路矢量差值趋近于零，故障回路矢量差值最大，选线更准确。

### (5) 可以与其他处理方式配合应用

与一次、二次融合设备配合应用，对提高供电可靠性和安全性具有独有优势；并为选线、隔离提供放大的稳态“转移特征量”判据。

### (6) 不受系统电容容量限制

其本质是采用转移电流方式，对电容电流适应性较强，不需要在电气设备上随电容电流增大而扩容。

## 主动干预型消弧系统应用案例

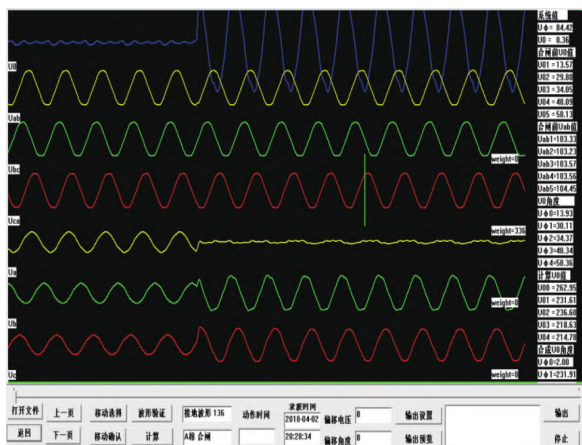
### 1. 应用概况

某大型石化企业采用主动干预型消弧系统应用

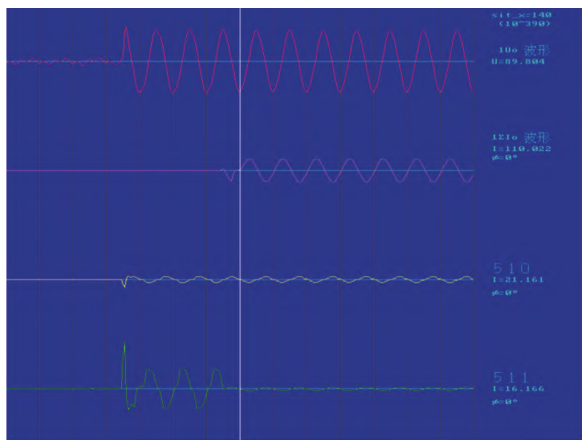
效果良好,统计到的装置动作准确率100%,选线准确率99.8%,有效地解决了由单相接地故障带来的问题。在现场应用环境下,防山火试验、导线落地燃弧试验和动物触电试验装置均正确动作、准确选线,得到了有效验证。装置投入运行以来,经历了瞬时性、永久性单相接地、异相接地和线路相间短路等工况,涉及电缆设备故障、外破、配电设备故障、异物缠绕、树线放电和人身触电等多种情形均正确动作,装置消弧、选线性能优秀,人身触电防护、防止火灾和抑制过电压效果良好。

## 2. 典型动作波形

某大型石化企业高压馈线线路金属性接地典型动作波形如图6所示。



(a) 波形图1



(b) 波形图2

图6 某大型石化企业高压馈线线路金属接地典型动作波形图

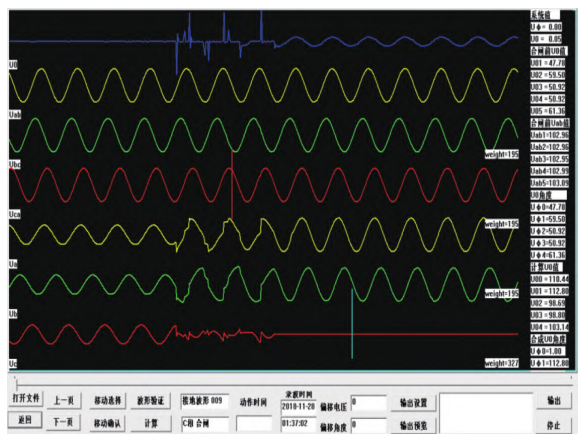
故障地点:某大型石化企业35 kV变电所。

故障简介:2018年4月2日20:28:34,I段511线路A相金属性永久接地。

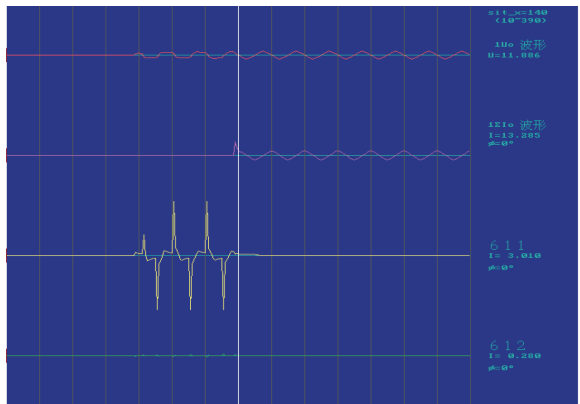
装置动作分析:2018年4月2日20:28:34,故障出现后56 ms装置准确选出故障相别A相,并完成合闸保护,同时准确选出选线结果511线路;该次故障共持续了19 min40 s,在调度人员拉开511线路后,在20:48:14装置自动复归。

## 3. 弧光接地动作波形

某大型石化企业高压弧光接地动作波形图如图7所示。



(a) 波形图1



(b) 波形图2

图7 某大型石化企业高压弧光接地动作波形图

故障地点:某化工装置110/35/10 kV变电所。

故障简介:2018年11月28日01:37:02,I段611线路C相永久性接地。

装置动作情况:2018年11月28日01:37:02,故障出现后50 ms装置准确选出故障相别B相,并完成合闸保护,同时准确选出选线结果611线路;连续保护动作5次,故障持续了41 min33 s,在调度人员拉开611线路后,装置自动复归,接地故障消失。

## 研究总结

主动干预型消弧系统（低励磁阻抗变压器接地转移装置）是集单相接地故障消弧、抑制过电压、人身触电保护、避免火灾、选线和跳闸等功能于一体的综合成套系统。系统可解决小接地电流系统的单相接地故障，满足“瞬时故障安全消弧，永久故障快速隔离”的单相接地故障处理原则，做到兼顾安全性和供电可靠性，具有很好的推广价值。EA

## 参考文献

[1] 配电网低励磁阻抗变压器接地保护装置技术规

范：Q/GDW 11222—2014[S].

[2] 主动干预型消弧装置技术规范：Q/GDW 11924—2018[S].

[3] 主动干预型消弧装置验收运维规范：DL/T 2609—2023[S].

[4] 主动干预型转移消弧装置选用导则：DL/T 2698—2023[S].

[5] 防止电力生产事故的二十五项重点要求及编制释义（2023年版）[S].

广告|AD

机工传媒 China Machine Media  
电气时代杂志社 Electric Magazine Agency

## 持续关注 能源电力及数智化

视频投稿: video@eage.com.cn



精彩视频，扫码关注！



以电气 & 自动化领域的精英人物、创新企业、新技术和新产品为视点，全面反映电气 & 自动化产业链的新技术、新产品、主流应用和产业动向。

关注

私信

添加微信

行业资讯

时代访谈

精观电气

电气讲堂

线上直播