

# 无级差保护技术原理及在油田配电网中的应用

针对油田企业6/10 kV配电网供电方式落后、故障排查困难以及影响面积大的特点,提出了一种基于光纤通信的无级差网络保护方法,该网络保护模式是油田配电网自动化、智能化发展的基础。经现场试验运行,该方法不仅能快速、准确判断并自动隔离故障区域,还可实现供电自愈,最大程度地减少故障影响范围和时间,大大提高了油田配电网的供电可靠水平和自动化水平。

杜红勇<sup>1</sup> 牟 蕾<sup>2</sup> 李 君<sup>1</sup> 姜俊莉<sup>3</sup> / 1. 中国石化抚顺石油化工研究院  
2. 胜利油田管理局高级人才培训中心 3. 中国石化河南石油勘探局水电厂

## 0 引言

配电线路的保护功能可以检测和判断故障区段,隔离故障区域,恢复非故障区域供电,减少故障损害。在配电网中,常用的继电保护类型有基于断路器的阶段式电流保护、基于就地自动化开关设备的馈线自动化和基于集中监控的馈线自动化。随着经济发展,电力用户对供电可靠性和供电质量的要求越来越高,馈线自动化已成为配电网发展的必然趋势<sup>[1-4]</sup>。

线路故障区段的快速定位和隔离是馈线自动化技术的关键环节。馈线自动化的主要意义之一在于提高供电可靠性,即当配电网发生故障或异常运行时,迅速查出故障区段,并快速隔离故障区段,及时恢复非故障区域用户的供电,缩短停电时间,减小停电面积<sup>[5]</sup>。

油田企业配电网绝大多数采用单电源辐射状供电方式,线路长、分支多。线路故障会导致整条线路停电、油井停

产。故障若不及时排除,还会造成系统电压降低,非故障线路甩负荷。故障发生后,一般采用人工巡线查找,但故障点查找困难,恢复供电时间长,安全隐患多<sup>[6]</sup>。另外,线路检修时必须全线停电,直接影响了油井的开井时率。

传统的速断和阶段式过电流保护方法需要依靠不同电流整定值和时间级差配合来实现保护的选择。油田企业配电网生产负荷主要以抽油机为主,故障时传统的保护方法不能满足油田配电网馈线自动化的需求,主要体现在:①保护配合的时间越长,系统残压越低,导致整条线路停电,甚至相邻线路甩负荷;②保护级数多,整定配合困难;③大量的电动机反馈电流对保护整定影响较大,必须考虑油井负荷特性,整定困难;④线路分段受限(不能超过3段);⑤供电半径较短时,保护的选择性差,容易造成越级误动作。

快速通信技术的发展和普及,推动了继电保护的发展,基于快速通信的配电网网络保护模式已成为馈线自动化的必然趋势。

本文提出了一种基于光纤通信的无级差网络保护方法,并在油田配电网中进行了试验应用,为油田配电网自动化的发展提供了参考。

## 1 无级差网络保护技术

### 1.1 基本条件

油田企业配电网实施无级差网络保



杜红勇/高级工程师

### 关键词/Keywords

油田配电网·  
无级差·  
保护·

中国石化股份公司资助项目(312043)。

护, 其一次系统的网络结构和一次设备需满足以下基本条件:

- 1) 配电网具备环网供电、开环运行的网络结构, 能够实现“手拉手”环网供电。
- 2) 重合器(或称分段开关)分合闸速度快, 并具备长寿命、免维护和当地/远方操作的功能, 有可靠的不间断电源并配置TV与TA等。
- 3) 智能配电终端(FTU)具备长期在户外恶劣环境下运行的能力, 有完善的不间断电源。
- 4) 具备可靠的环网运行光纤通信系统, 满足通信容量和速度的要求。
- 5) 具备可靠的配电网自动化后台支持系统。
- 6) 联络开关和柱上开关的属性可调, 配合方案灵活。

## 1.2 基本原理

根据油田配电网负荷情况, 将主干线进行合理分段并加装重合器及FTU。各FTU以及配电网自动化平台之间通过光纤网络进行通信连接, 系统采用无级差保护, 即同一条配电线路上各分段开关的电流保护整定值相同, 保护整定时间均无延时(时间整定值为0 s), 实现保护无级别差异。

系统结构示意图如图1所示。FTU对所在处的TV、TA电量和开关位置进行采样分析, 信息经由交换机在光纤通信环网上传输, 一方面发送给相关的其他FTU, 一方面发送给配电网调度主站。收到采样信息的配电网自动化系统相关模块, 依据特定算法计算网络上FTU的上下级关系并生成拓扑关系文件, 然后将该文件通过通信网络发送至各FTU终端。

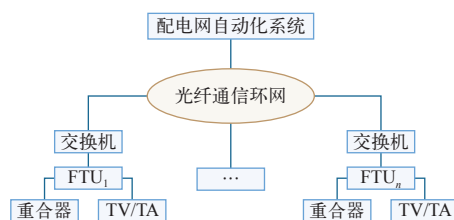


图1 网络保护系统示意图

当配电网线路发生故障、线路电流大于电流速断保护定值时, 故障点后端的FTU无延时向所有

上级FTU发送GOOSE报文, 各FTU根据接收到的信息及上下级逻辑关系进行分析判断, 使故障点前端的FTU发出跳闸指令, 重合器跳闸实现故障的区域隔离。故障点后端的非故障区段可通过另一条配电线路的联络开关恢复供电, 以减少停电范围, 提高供电可靠性。

该系统遵循IEC 61850通信规约, 通过GOOSE快速报文机制实现FTU不经过主站自动判断故障位置, 自动隔离故障区段。

## 1.3 快速永磁重合器

永磁操动机构是一种用于中压真空断路器的永磁保持、电子控制的电磁操作机构, 与断路器使用的传统弹簧机构和电磁机构相比, 将永久磁铁应用于操动机构中, 使真空断路器分合闸位置的保持通过永久磁铁实现, 取代传统的锁扣装置, 工作时主要运动部件极少, 无须机构脱、锁扣装置, 故障源少, 具有较高的可靠性, 是目前6/10 kV配电系统应用最为广泛的开关设备。

通过对工作参数的优化设计与配合, 使该类型重合器的分闸时间由传统弹簧储能开关的30~40 ms缩短到了10 ms左右, 现场实测达9.7 ms, 合闸时间在14 ms以内, 三相不同期小于2 ms, 为故障的快速切除奠定了基础。

另外, 重合器采用了两个PT电源和一个UPS后备电源, 三者可自由切换, 任一电源故障时, 可在6 ms内切换到其他电源, 保证设备的不间断供电, 满足无级差网络保护快速分断的要求。

## 1.4 光纤自愈环网方法

环网冗余技术是解决工业自动化网络冗余性(网络可恢复性)的关键技术。当系统中任一设备或网段发生故障时, 系统能依靠事先设计的自动恢复程序将断开的网络链路重新链接起来, 并将故障进行隔离。同时, 系统会自动定位故障, 使故障得到及时修复。

基于网络设备包括交换设备和网络链接的冗余处理技术已得到大量研究应用。

IEC 62439重点收录了跨网冗余协议(Cross-network Redundancy Protocol, CRP)、分布冗余

协议 (Distributed Redundancy Protocol, DRP)、媒介冗余协议 (Media Redundancy Protocol, MRP)、信标冗余协议 (Beacon Redundancy Protocol, BRP)、并行冗余协议 (Parallel Redundancy Protocol, PRP) 和高可用性无缝冗余协议 (High-availability Seamless Ring, HSR) 等冗余协议。每种方案都有不同的工作特性和功能, 以满足不同的应用要求。

为了实现油田配电网故障快速诊断与隔离的需要, 引用了基于环网拓扑的MRP。相关智能设备通过双绞线与交换机相连接, 交换机负责采集传输相关智能设备的数据信息, 交换机之间组成环形网络, 在这种模式之下, 各个智能设备在整个网络中扮演着同一种角色。交换机组网形成冗余网络, 若不对其进行抑制, 则会在整个环形网络中形成风暴, 最终影响到交换机下游的相关智能设备, 交换机下游的相关智能设备亦不能正常与通信子站之间进行信息交互。通过环网拓扑结构优化, 使双端口网络终端和两个独立的网络可以实现网络切换时间小于6 ms, 达到无缝切换, 保证系统任意一点的网络故障都不会影响整个环网的正常通信。

### 1.5 故障切除与供电恢复逻辑判断方法

具有环网运行功能的典型油田配电网如图2所示。环网中有5个分段开关和1个联络开关, 其中联络开关 $S_5$ 常开, 每个开关上装有FTU, 环网被分成7段, 变电站出线记为出线1和出线2, 相应的断路器记为断路器 $QF_1$ 和断路器 $QF_9$ 。在正常情况下,  $S_5$ 处于断开状态。线路 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 和 $L_4$ 由出线1供电, 线路 $L_5$ 、 $L_6$ 、 $L_7$ 和 $L_8$ 由出线2供电。

典型的线路故障切除与自动恢复供电逻辑判

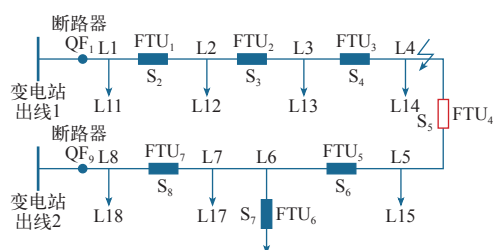


图2 具有环网运行功能的典型配电网

断方法如下:

1) 线路末端故障时 (如故障发生在 $L_4$ 段), 40 ms内 (判断时间+开关动作时间)  $S_4$ 跳闸; 若为瞬时故障,  $S_4$ 重合闸后会继续供电, 其他开关不动作; 若为永久故障,  $S_4$ 重合闸不成功,  $S_4$ 断开切除故障, 其他开关不动作, 系统不重构。

2) 非线路末端故障时 (如故障发生在 $L_3$ 段), 60 ms后 (判断时间+开关动作时间+下级闭锁时间)  $S_3$ 跳闸; 若为瞬时故障,  $S_3$ 重合闸后会继续供电, 其他开关不动作; 若为永久故障,  $S_3$ 重合不成功,  $S_3$ 、 $S_4$ 断开,  $S_5$ 闭合, 系统进行网络重构,  $L_4$ 由出线2供电。

## 2 现场应用情况

2014年在河南油田下二门变电站、五里岗变电站和双河变电站等三个变电站的九条6 kV油井配电线路上综合应用了以上各项设备和技术, 共覆盖油井530余口。通过优化改造组建了两个油田智能配电试验网, 形成“手拉手”环网供电线路五条, 线路全长82.15 km, 敷设光纤29.5 km, 安装重合器、FTU各18套, 线路分段数23段。

现场应用后, 配电线路共发生跳闸事故四起, FTU与线路重合器均准确动作, 最快37 ms故障即被切除, 线路电压下降5%以内, 减少停电范围60%以上, 未对其他非故障区段或线路造成任何影响。另外项目实施后, 双东-五三环网线路通过网络结构优化、线路负荷重新分配等措施使配电线路损耗降低了6.9%。除此之外, 该技术给线路检修也提供了极大的便利, 实现了分段检修, 改变了以往全线停电检修的模式, 提高了油井的开井时率。

经现场应用后, 无级差网络保护技术与常规保护对比如下表所示, 无级差保护技术配合灵活、优点明显。

## 3 结束语

随着计算机技术、通信技术和网络技术的发展, 各种保护通过网络可实现相应的功能。本文

(下转第57页)

其零序电流与系统的电压和电容有关。在系统电压不变的情况下，可以通过人为地在每相对地之间加电容来整定零序电流的大小，以实现漏电保护器在电伴热回路发生漏电和单相接地故障时动作。海洋石油平台电伴热供电系统小，系统对地电容也很小，因此计算每相所加对地电容的大小时，可忽略系统对地电容。另外，计算所得结果比实际所需值要大，提高了漏电保护器的灵敏度。海洋石油平台电伴热变压器二次线电压为230 V，配电盘上电伴热回路开关漏电保护设定值为30 mA，计算可得每相对地所加电容为0.24  $\mu$ F。

该值是设定值30 mA漏电保护器动作的临界值，另外在计算时忽略了漏电处的接地电阻。在选择所加电容值时，如果过小可能造成漏电保护器拒动作，过大可能造成漏电保护器误动作。实验和应用实际证明每相对地之间所加电容值选0.5  $\mu$ F时，各电伴热回路的设定值为30 mA，漏电保护器可靠动作。

3 结束语

目前该技术方案已应用在我司多个海洋石油

平台上（如锦州25-1S、恩平18-1等）。实践证明，通过采用专用变压器和人为中性点方法，较好地解决了规范与工程实际之间对海上石油工程电伴热系统配电和漏电保护要求存在差异的问题，降低了在海洋石油平台生产过程中电伴热系统的漏电风险。

参考文献

[1] 中国船级社. 浅海固定平台建造与检验规范 [S]. 2004.

[2] 挪威船级社. 近海结构物的设计、建造和检验规范 [S]. 1980.

[3] 中国船级社. 钢制海船入级和建造规范 [S]. 2004.

[4] 中国船级社. 海上固定平台入级和建造规范 [S]. 1992.

[5] 中国船级社. 海上移动平台入级和建造规范 [S]. 2005.

[6] 张成宝. 配电技术手册：低压部分 [M]. 北京：中国电力出版社，2000.

(收稿日期：2015-12-15) EA

(上接第53页)

表 无级差网络保护与常规保护对比

| 无级差网络保护配网特点        | 常规配网保护特点             |
|--------------------|----------------------|
| 无级差网络保护，<br>统一整定值  | 依靠电流大小、<br>时间级差配合    |
| 故障切除快<br>(40 ms以内) | 故障切除较慢<br>(最快80 ms)  |
| 光纤环网通信             | 非环网通信                |
| 不依赖主站的故障切除方案       | 依靠主站下达指令             |
| 联络开关和柱上开关<br>灵活配合  | 固定的联络开关和柱上开关<br>配合方案 |

提出的无级差网络保护方案解决了传统的阶段式保护技术分段受限、保护配合整定困难、选择性差以及易越级误动作的问题。实现了油田配电网的故障自动隔离和供电自愈，大大提高了油田配电自动化水平和系统安全水平，符合现代油田智能电网及供配电自动化建设的要求，在油气田企业或其他行业都有较好的借鉴作用。

参考文献

[1] 程汉蓬，王明杰. 配电网继电保护的现状与展望 [J]. 科技广场，2009 (5)：250-251.

[2] 刘健，张志华，张小庆，等. 继电保护与配电自动化配合的配电网故障处理 [J]. 电力系统保护与控制，2011，39 (16)：53-57.

[3] 刘健，刘超，张小庆，等. 配电网多级继电保护配合的关键技术研究 [J]. 电力系统保护与控制，2015，43 (9)：35-41.

[4] 焦振有，焦邵华，刘万顺. 配电网馈线系统保护原理及分析 [J]. 电网技术，2002，26 (12)：75-78.

[5] 胡诚，周芳. 配电网保护的现状与发展 [J]. 湖北电力，2007，31 (1)：14-15.

[6] 赵智，任桂山，鲍兵，等. 利用自动化技术提高油田配电网供电可靠性探讨 [J]. 供配电，2009，28 (14)：22-25.

(收稿日期：2015-11-06) EA