

# 配电网模式化故障处理方法研究

刘健<sup>1</sup>, 张志华<sup>2</sup>, 张小庆<sup>1</sup>, 赵树仁<sup>1</sup>, 宋晓林<sup>1</sup>

(1. 陕西电力科学研究院, 陕西省 西安市 710054;

2. 西安科技大学 电气与控制工程学院, 陕西省 西安市 710054)

## Modeled Fault Isolation and Restoration for Distribution Systems

LIU Jian<sup>1</sup>, ZHANG Zhihua<sup>2</sup>, ZHANG Xiaoqing<sup>1</sup>, ZHAO Shuren<sup>1</sup>, SONG Xiaolin<sup>1</sup>

(1. Shaanxi Electric Power Research Institute, Xi'an 710054, Shaanxi Province, China;

2. School of Electrical and Control Engineering, Xi'an University of Sci. & Tech., Xi'an 710054, Shaanxi Province, China)

**ABSTRACT:** To give full play to advantages of modeled connection for distribution network and implement the coordination of fault treatment of distribution network with modeled connection, it is proposed to adopt modeled fault treatment method in distribution networks for fault isolation and restoration, namely using the protection coordination of circuit breakers for out-going line of substations with the circuit breakers for branch feeders to implement the in-situ tripping out of faulty feeder. On this basis, through the analysis on features of typical connection modes for distribution networks, the modeled fault treatment steps for distribution networks with various typical connections, such as radial distribution networks, looped distribution networks, multi-sectioned and multi-linked distribution networks and so on, are recommended when fault occurs in main power supply line or in power source point. It is pointed out that unless the modeled fault treatment is combined with, it is impossible to give full play to advantages of network structure with modeled connection. Based on case studies, the proposed modeled fault treatment procedures are described in detail.

**KEY WORDS:** distribution network; fault isolation; service restoration; modeled connections

**摘要:** 为充分发挥配电网模式化接线的优点并实现配电网故障处理与模式化接线的配合, 提出对配电网采用模式化的故障处理方法, 该方法利用变电站出线开关与分支线开关 2 级保护配合实现分支线或用户故障的就地切除。在此基础上通过对配电网各种典型接线模式特点的分析, 分别建议了各种典型接线配电网在主干线或者电源点发生故障后的模式化故障处理步骤, 包括: 辐射状网、手拉手环状网、多分段多联络网、多供一备网、互为备用网、4×6 接线网、双射网、对射网、双环网。指出只有结合模式化故障处理才能充分发挥模式化接线网架结构的优势。结合一些实例对所建议的模式化故障处理过程进行了详细说明。

**基金项目:** 国家电网公司重大科技项目(基于自愈控制配电网故障处理技术研究)。

**关键词:** 配电网; 故障处理; 供电恢复; 模式化接线

## 0 引言

在配电网规划和改造中, 接线模式的选择是一个十分重要的问题, 直接关系到配电网建设的经济性和可靠性<sup>[1]</sup>。关于配电网接线模式选择的理论研究成果很多<sup>[2-8]</sup>, 并且随着各地配电网改造的深入以及配电网模式化接线的推广, 配电网的网架结构趋于规范化、合理化。

国内外研究表明, 多分段多联络、多供一备、互为备用和 4×6 等模式化接线方式有助于有效提高配电设备利用率; 双射网、对射网和双环网等模式化接线方式有助于进一步缩短恢复供电时间从而提高用户的供电可靠性。这些模式化接线的上述优点都必须在故障处理过程中采取相应的模式化处理步骤才能得到发挥。在这个方面, 设计、运行和管理人员的认识还不够充分, 有关配电网故障处理与模式化接线的配合问题还有必要更深入地加以研究。

配电自动化为配电网故障的快速和科学处理提供了良好的手段, 能够根据需要设计最优恢复方案<sup>[9-14]</sup>, 但是目前仍存在以下问题:

1) 故障处理策略并不区分配电网的接线模式, 不利于发挥各种典型接线模式的优点。

2) 基于故障前时间断面的负荷分布信息生成故障处理优化策略, 不仅随机性大、不固定, 而且负荷一般会随时间变化, 使得得到的故障处理“优化”策略失去实际意义。

另外, 在配电自动化没有覆盖的区域, 还需要人工进行故障隔离和恢复供电, 为了确保操作的安全性和可靠性, 也需要固定的处理方案。

针对各种模式化接线的固定的模式化故障处理步骤是解决上述问题的关键，本文即探讨配电网的模式化故障处理技术。

### 1 分支线模式化故障处理

所谓模式化接线，一般是指其主干线网架按照相应的模式要求接线，因此无论采取哪种模式化接线方式，都有可能存在一些分支线(lateral)。本文所论述的模式化故障处理策略都针对主干线故障，而分支线故障的处理策略一律遵从本章的原则。

为了使分支线故障不影响主干线，建议主干线分段开关采用负荷开关，变电站出线开关采用断路器并配 0.25~0.3 s 延时速断保护，分支线开关采用断路器并配 0 s 延时速断保护，变电站出线开关与分支线开关实现 2 级保护配合，分支线或用户故障时由分支线断路器跳闸切断故障电流而不影响主干线，主干线故障时由变电站出线断路器跳闸切断故障电流，并采取相应的模式化处理步骤进行故障隔离和健全区域恢复。

### 2 单电源辐射状配电网的模式化故障处理

单电源辐射状接线不存在线路故障后的负荷转移，可以不考虑线路的备用容量，每条出线均可满载运行。但该接线模式的缺点也很明显：当线路故障时，故障区段下游部分线路将停电；当电源故障时，整条线路将停电，供电可靠性差。

对于单电源辐射状配电网，主干线故障后由变电站出线断路器跳闸切断故障电流，并由配电自动化系统或根据故障指示器或人工查线确定故障位置，然后跳开故障位置上游相邻开关隔离故障，若故障未处于变电站出线开关的相邻区域，则合变电站出线开关以恢复对故障位置上游健全区域的供电。若是架空线路，还可以配以重合闸机制以区分永久性故障和瞬时性故障。在采用如第 1 节所建议的线路开关配置的条件下，重合闸功能可由变电站出线开关来完成，变电站出线开关在第一次动作后经过 0.5 s 延时重合：若重合成功则判定为瞬时性故障，完成故障处理，若重合失败则判定为永久性故障不再重合，并执行相应的故障区域隔离和恢复健全区域供电操作。

### 3 “手拉手”环状配电网的模式化故障处理

双电源“手拉手”接线的可靠性较单电源辐射状接线模式要高，可以解决故障区段下游线路恢复供电问题，但由于需要留有备用容量，线路的利用

率最高只能达到 50%。

对于双电源“手拉手”配电网，主干线故障后由变电站出线断路器跳闸切断故障电流，并由配电自动化系统或根据故障指示器或人工查线确定故障位置，然后跳开故障位置两侧相邻开关隔离故障，若故障未处于变电站出线开关的相邻区域，则合变电站出线开关以恢复对故障位置上游健全区域的供电，若故障位置下游存在需要恢复的健全区域，则合对侧联络开关以恢复对故障位置下游健全区域的供电。若是架空线路，还可以配以重合闸机制以区分永久性故障和瞬时性故障。

另外，若双电源“手拉手”配电网中的某一个电源点发生故障，则直接跳开该电源所带线路的变电站出线开关将线路隔离，之后合上对侧联络开关恢复对整条线路的供电。

### 4 多分段多联络配电网的模式化故障处理

为了满足  $N-1$  准则，“手拉手”接线模式的一条馈线需要留有足够的备用容量以在对侧馈线任意故障情况下(包括电源故障)转带其全部负荷，因此一般最多只有 50% 的利用率。为了提高配电设备的利用率，可以采用多分段多联络接线模式。

$N$  分段  $N$  联络接线模式的结构特征为：一条馈线分为  $N$  段，各馈线段分别经过联络开关与各不相同的备用电源联络。但仅网架结构具备上述特征还不能发挥出该接线模式高设备利用率的优点，还必须在故障处理的过程中采取模式化的处理步骤：

对于多分段多联络配电网，主干线故障后由变电站出线断路器跳闸切断故障电流，并由配电自动化系统或根据故障指示器或人工查线确定故障位置，然后跳开故障位置两侧相邻开关隔离故障；若故障未处于变电站出线开关的相邻区域，则合变电站出线开关以恢复对故障位置上游健全区域的供电，若故障位置下游存在需要恢复的健全区域，则跳开故障位置下游健全区域的分段开关，将故障位置下游的健全区域分段，然后分别合上各段对应的联络开关，使得每个备用电源仅恢复其中一段线路的供电。若是架空线路，还可以配以重合闸机制以区分永久故障和瞬时性故障。

另外，若  $N$  分段  $N$  联络配电网中的某个电源点发生故障，则直接跳开该电源所带线路的变电站出线开关将线路隔离，然后跳开线路上的全部分段开关将线路分为  $N$  段，再合上各馈线段对应的联络开关，分别由每个备用电源恢复其中一段线路的供电。

例如，对于图 1(a)所示的 3 分段 3 联络架空配电网，变电站出线开关  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  采用断路器，分段开关 A、B 及联络开关 C、D、E 采用负荷开关，变电站出线开关配置重合闸功能，根据所建议的模式化故障处理策略，在主干线不同区域发生永久性故障或瞬时性故障后的模式化故障处理过程如下：

1) 当主干线上 B-C 区域发生瞬时性故障后，首先变电站出线开关  $S_1$  跳闸切断故障电流，如图 1(b)所示，经过 0.5 s 后  $S_1$  重合，由于是瞬时性故障，重合成功，整个故障处理过程结束，如图 1(c)所示。

2) 当主干线上 B-C 区域发生永久性故障后， $S_1$  重合到永久性故障后再次跳闸，判定发生的是永久性故障，采用模式化故障处理进行故障隔离和健全区域恢复供电，得到的结果如图 1(d)所示，此时

故障未处于变电站出线开关的相邻区域，完成故障区段的隔离以后，合上  $S_1$  恢复对故障位置上游健全区域的供电，故障位置下游不存在需要恢复的健全区域，联络开关不合闸。

3) 当主干线上  $S_1$ -A 区域发生永久性故障后，经模式化故障处理得到的结果见图 1(e)，此时故障处于变电站出线开关的相邻区域，开关  $S_1$  和 A 分闸隔离故障，开关 B 分闸将故障位置下游的健全区域分为 A-B 和 B-C 2 段，联络开关 C 和 E 合闸，分别由备用电源经  $S_4$  和  $S_2$  恢复对 A-B 段和 B-C 段供电。

4) 当电源点( $S_1$  上游)故障后，经过模式化故障处理得到的结果如图 1(f)所示，开关  $S_1$ 、A 和 B 分闸将健全区域分为  $S_1$ -A、A-B 和 B-C 3 段，联络开关 C、D 和 E 合闸，分别由备用电源经  $S_3$ 、 $S_4$  和  $S_2$  恢复对  $S_1$ -A 段、A-B 段和 B-C 段的供电。

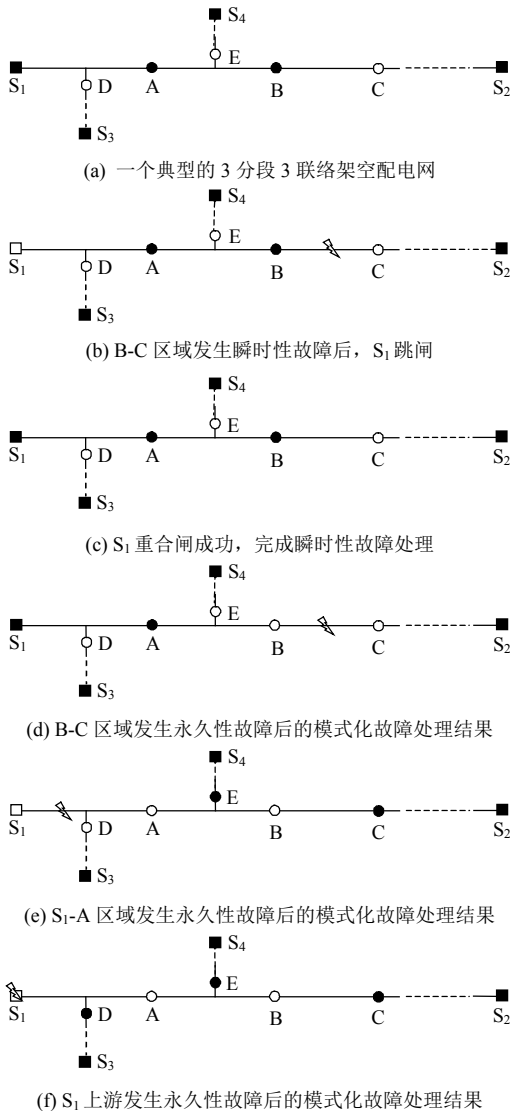
采取上述网架结构和模式化故障处理以后，2 分段 2 联络配电网中的每一条馈线只需要留有对侧线路负荷的 1/2 作为备用容量就可以满足 N-1 准则的要求，因此线路的利用率可以达到 67%；3 分段 3 联络配电网中的每一条馈线只需要留有对侧线路负荷的 1/3 作为备用容量就可以满足 N-1 准则的要求，因此线路的利用率可以达到 75%，从而发挥出了该网架结构高设备利用率的优点。

### 5 多供一备配电网的模式化故障处理

为了提高配电设备的利用率，电缆配电网中还经常采用多供一备接线模式。N 供 1 备接线模式的结构特征为：N 条线路正常工作，与其均相联的另外一条线路平常处于停运状态作为总备用。但是仅仅在网架结构上具备上述特征并不能发挥出该接线模式高设备利用率的优点，还必须在发生故障时采取模式化的故障处理步骤：

对于多供一备电缆配电网，主干线发生故障后由变电站出线断路器跳闸切断故障电流，并由配电自动化系统或根据故障指示器或人工查线确定故障位置，然后跳开故障位置两侧相邻开关隔离故障，若故障未处于变电站出线开关的相邻区域，则合变电站出线开关以恢复对故障位置上游健全区域的供电，若故障位置下游存在需要恢复的健全区域，则一律选择由专用备用电缆恢复。

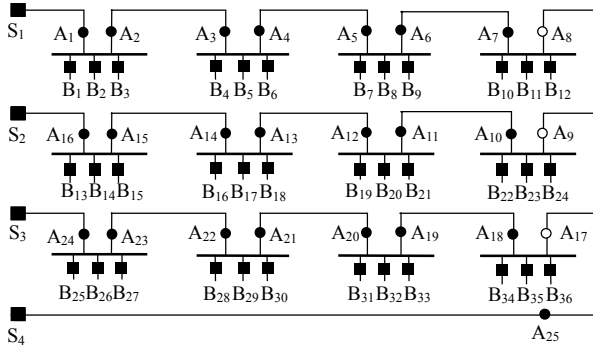
另外，若多供一备电缆配电网中的某一个正常供电的电源发生故障，则直接跳开该电源所带线路的变电站出线开关将线路隔离，之后合上线路末端联络开关，由专用备用电缆恢复对整条线路的供电。



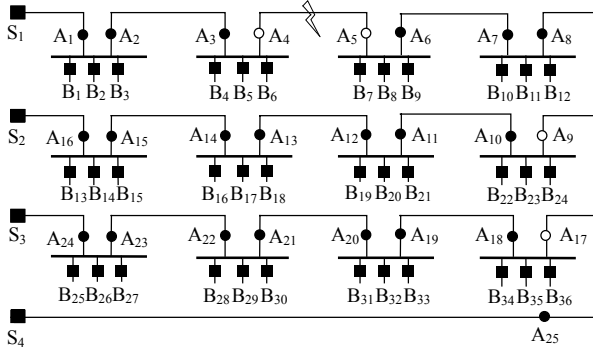
■合闸断路器；□分闸断路器；●合闸负荷开关；○分闸负荷开关。

图 1 3 分段 3 联络架空配电网及其模式化故障处理  
Fig. 1 Modeled isolation and restoration process for a three-sectioned and three-linked grid

例如,对于图 2(a)所示的 3 供 1 备电缆配电网,当主干线上 A<sub>4</sub>-A<sub>5</sub> 区域发生故障后,经过模式化故障处理得到的结果如图 2(b)所示,此时故障未处于变电站出线开关的相邻区域,完成故障区段的隔离以后,合上变电站出线开关 S<sub>1</sub> 恢复对故障位置上游健全区域的供电,同时故障位置下游存在需要恢复的健全区域,于是合上联络开关 A<sub>8</sub>,由专用备用电缆恢复对故障位置下游健全区域的供电。



(a) 一个典型的 3 供 1 备电缆配电网



(b) A<sub>4</sub>-A<sub>5</sub> 区域发生故障后的模式化故障处理结果

■ 合闸断路器; □ 分闸断路器; ● 合闸负荷开关; ○ 分闸负荷开关。

图 2 3 供 1 备电缆配电网及其模式化故障处理

Fig. 2 Modeled isolation and restoration process for a three-in-service and one back-up grid

采取上述网架结构和模式化故障处理后, N 供 1 备电缆配电网中平常供电的每一条电缆的负荷即使达到其载流极限也能满足 N-1 准则要求,因此 2 供 1 备电缆配电网的平均利用率可以达到 67%, 3 供 1 备电缆配电网的平均利用率可以达到 75%, 从而发挥出了该网架结构高设备利用率的优点。

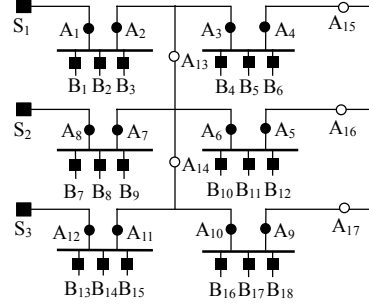
### 6 互为备用配电网的模式化故障处理

互为备用接线也是电缆配电网中较常见的一种接线模式,同样具有提高配电设备利用率的作用,其结构特征为:由 3 条馈线构成,在每一条馈线的中间以及末端装设联络开关互相连接。该接线模式实际上相当于电缆配电网的 2 分段 2 联络接线模式。

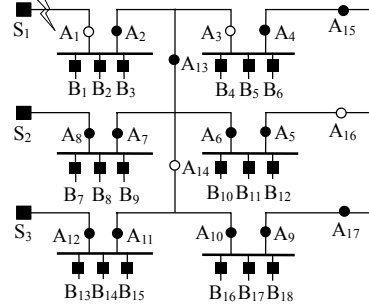
对于互为备用电缆配电网,其在主干线或电源点发生故障后的模式化故障处理步骤与 2 分段 2 联

络电缆配电网基本相同,不再赘述。仅仅以一个例子说明互为备用配电网的模式化故障处理过程。

例如,对于图 3(a)所示的互为备用电缆配电网,当主干线上 S<sub>1</sub>-A<sub>1</sub> 区域发生故障后,经过模式化故障处理得到的结果见图 3(b),此时故障处于变电站出线开关的相邻区域,开关 S<sub>1</sub> 和 A<sub>1</sub> 分闸隔离故障,开关 A<sub>3</sub> 分闸将故障位置下游的健全区域分为 A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub>-A<sub>4</sub> 2 段,合上相应的联络开关,由备用电源经 S<sub>2</sub> 和 S<sub>3</sub> 分别恢复对 A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub> 段和 A<sub>3</sub>-A<sub>4</sub> 段的供电即可。



(a) 一个典型的互为备用电缆配电网



(b) S<sub>1</sub>-A<sub>1</sub> 区域发生故障后的模式化故障处理结果

■ 合闸断路器; □ 分闸断路器; ● 合闸负荷开关; ○ 分闸负荷开关。

图 3 互为备用电缆配电网及其模式化故障处理

Fig. 3 Modeled isolation and restoration process for a mutual-backup grid

采取上述网架结构和模式化故障处理以后,互为备用电缆配电网中的每一条馈线只需要留有相邻线路负荷的 1/2 作为备用容量就可以满足 N-1 准则要求,线路利用率可以达到 67%,从而发挥出了该网架结构高设备利用率的优点。

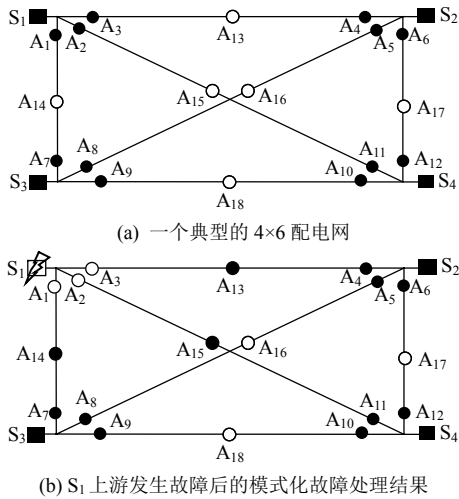
### 7 4×6 配电网的模式化故障处理

4×6 接线模式的结构特征为:由 4 个电源点和 6 条手拉手线路组成,任何 2 个电源点间都存在联络和可转供通道,每个电源点有其它 3 个电源点做备用。该接线模式的意义在于通过对电源点间联络路径的合理规划,使得在某个电源点发生故障后,可以由其它电源点分别转带该电源点负荷的 1/3,而不必由某个备用电源独自承担该电源点的所有负荷,从而可以达到提高电源点负载率的目的。为了达到上述目的需要采取相应的模式化故障处理步骤。

对于 4×6 配电网，主干线发生故障后的模式化故障处理过程和“手拉手”配电网类似，不再赘述。

若 4×6 配电网的某一个电源点发生故障，则直接跳开该电源点所带的 3 条线路的出线开关，将 3 条线路隔离开，再合上各条线路对应的联络开关，由 3 个备用电源各恢复其中一条线路的供电即可。

例如，对于图 4(a)所示的 4×6 配电网(省略了主干线上的分段开关)，当电源点(S<sub>1</sub> 上游)发生故障后，经过模式化故障处理得到的结果如图 4(b)所示，此时直接跳开 S<sub>1</sub> 所带 3 条线路的出线开关 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>，将 3 条线路隔离开，之后合上各条线路对应的联络开关 A<sub>14</sub>、A<sub>15</sub>、A<sub>13</sub>，由备用电源经 S<sub>3</sub>、S<sub>4</sub>、S<sub>2</sub> 分别恢复对 3 条线路的供电。



■合闸断路器；□分闸断路器；●合闸负荷开关；○分闸负荷开关。

图 4 4×6 配电网及其模式化故障处理

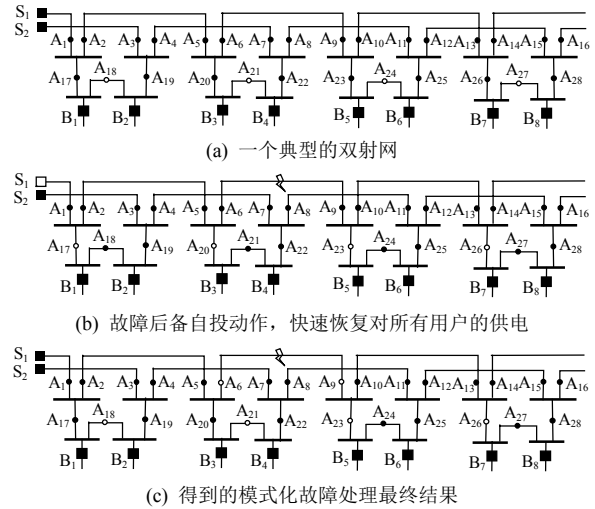
Fig. 4 Modeled isolation and restoration process for a 4×6 grid

采取上述网架结构和模式化故障处理后，4×6 配电网线路的负载率仍为 50%，但由于每个变电站仅需留有对侧变电站负荷的 1/3 作为备用容量即可满足 N-1 准则的要求，变压器的负载率提高到 75%，从而发挥出了该网架结构高设备利用率的优点。

### 8 双射网、对射网以及双环网的模式化故障处理

与多分段多联络、多供一备等接线模式以提高配电设备利用率为目的不同，双射网、对射网以及双环网等接线模式更侧重于缩短用户停电时间，从而提高对用户的供电可靠性。

图 5(a)为一个典型的双射网，其网架特征为：自一座变电站或开关站的不同中压母线引出双回线路，每一个用户均可以获得来自 2 个方向的电源，线路利用率为 50%。



■合闸断路器；□分闸断路器；●合闸负荷开关；○分闸负荷开关。

图 5 双射网及其模式化故障处理

Fig. 5 Modeled isolation and restoration process for a double-radial grid

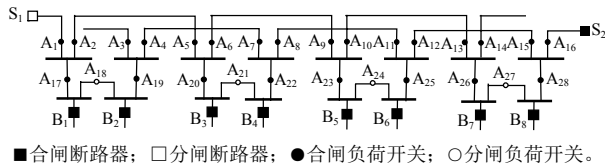
但仅网架结构具备上述特征并不能发挥出该接线模式高供电可靠性的优点，还必须采用备自投装置，在发生故障时通过备自投与配电网其它故障处理方式的协调配合才能达到上述目的。为尽可能缩短用户的停电时间，备自投动作延时时间宜设为 0 s。

对于双射网，主干线发生故障后，由变电站出线断路器跳闸切断故障电流，之后由沿线备自投装置快速动作恢复对故障线路上所有用户的供电，然后再由配电自动化系统或根据故障指示器或人工查线确定故障位置，隔离故障并恢复健全区域供电，健全区域内各备自投装置检测到原供电电源恢复，再次动作，返回正常状态，完成整个故障处理过程。

例如，对于图 5(a)所示的双射网，当主干线上 A<sub>6</sub>-A<sub>9</sub> 区域发生故障后，首先变电站出线断路器 S<sub>1</sub> 跳闸切断故障电流，整条线路失电，沿线备自投动作，快速恢复故障线路上所有用户的供电，如图 5(b)所示，之后或由配电自动化系统或根据故障指示器或人工查线判断出故障发生在 A<sub>6</sub>-A<sub>9</sub> 区域，跳开故障区域两侧开关 A<sub>6</sub>、A<sub>9</sub>，隔离故障，并合上 S<sub>1</sub> 恢复对 S<sub>1</sub>-A<sub>5</sub> 区域的供电，该区域内的备自投装置检测到原供电电源恢复，再次动作，切换到原供电电源，得到如图 5(c)所示的模式化故障处理最终结果。

对射网和双射网的区别仅仅在于对射网的电源点来自不同方向的 2 个变电站，图 6 为一个典型的对射网，由于电源点来自不同的变电站，对射网的供电可靠性较双射网要高。对射网的模式化故障处理步骤与双射网相同，不再赘述。

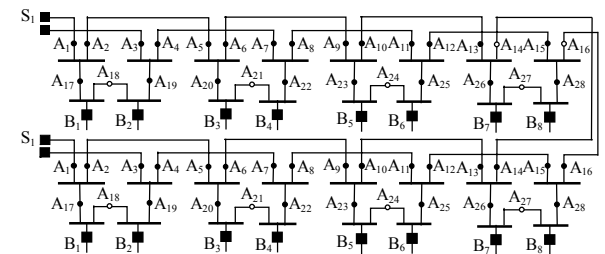
双环网的供电可靠性较双射网、对射网都要高，图 7 为一个典型的电缆双环网，其网架特征为：



■合闸断路器; □分闸断路器; ●合闸负荷开关; ○分闸负荷开关。

图6 典型的对射网接线模式

Fig. 6 A typical opposite-radial grid



■合闸断路器; □分闸断路器; ●合闸负荷开关; ○分闸负荷开关。

图7 典型的双环网接线模式

Fig. 7 A typical double-looped grid

自2座变电站或开关站的不同中压母线引出4回线路,构成相互联络的2个双射网,网架结构满足 $N-2$ 准则,线路利用率为50%。双环网的模式化故障处理步骤与双射网类似,不再赘述。

## 9 结论

1) 通过变电站出线开关与用户分支开关两级保护配合,可以实现用户或分支故障的就地切除而不会影响到主干线。在主干线或电源点故障后宜采用模式化故障处理步骤。

2) 对于多分段多联络配电网、多供一备配电网、互为备用配电网以及 $4 \times 6$ 配电网,采用所提出的模式化故障处理步骤,可以达到提高设备利用率的目的。对于双射网、对射网以及双环网,采用所提出的模式化故障处理步骤,可以缩短用户停电时间,提高对用户的供电可靠性。

## 参考文献

- [1] 陈庭记,程浩忠,何明,等. 城市中压配电网接线模式研究[J]. 电网技术, 2000, 24(9): 35-38.  
Chen Tingji, Cheng Haozhong, He Ming, et al. Research on connection modes of urban middle voltage distribution networks [J]. Power System Technology, 2000, 24(9): 35-38(in Chinese).
- [2] 王成山,王赛一,葛少云,等. 中压配电网不同接线模式经济性和可靠性分析[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(24): 34-39.  
Wang Chengshan, Wang Saiyi, Ge Shaoyun, et al. Economy and reliability analysis of different connection modes in MV distribution networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(24): 34-39(in Chinese).
- [3] 王伟,麻秀范,钟晖,等. 系列化中压配电网接线模式研究[J]. 华北电力技术, 2005(5): 46-49.  
Wang Wei, Ma Xiufan, Zhong Hui, et al. Research on connection mode series in MV distribution systems[J]. North China Electric Power, 2005(5): 46-49(in Chinese).
- [4] 黄琪伟,刘健. 配电网模式化接线优化规划[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(7): 73-77.  
Huang Qiwei, Liu Jian. Optimal planning of distribution network

modeled connection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(7): 73-77(in Chinese).

- [5] 王伟,张粒子,麻秀范. 基于结构元理论的中压配电网接线模式[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(11): 46-49.  
Wang Wei, Zhang Lizi, Ma Xiufan. Connection models in medium-voltage distribution systems based on configuration unit theory [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(11): 46-49(in Chinese).
- [6] 张弛,程浩忠,奚珣,等. 基于层次分析和模糊综合评价法的配电网供电模型选型[J]. 电网技术, 2006, 30(22): 67-71.  
Zhang Chi, Cheng Haozhong, Xi Xun, et al. A study of distribution network feeding modes selection based on analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation[J]. Power System Technology, 2006, 30(22): 67-71(in Chinese).
- [7] 谢晓文,刘洪. 中压配电网接线模式综合比较[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(4): 94-99.  
Xie Xiaowen, Liu Hong. Integrated contrast on connection modes of mid-voltage distribution networks[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2009, 21(4): 94-99(in Chinese).
- [8] 潘锋,张宇俊,周敏. 一种基于接线模式的中压配电网综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(19): 19-21.  
Pan Feng, Zhang Yujun, Zhou Min. A comprehensive evaluation hierarchy for mv distribution network based on connection modes[J]. Power Systems Protection and Control, 2009, 37(19): 19-21(in Chinese).
- [9] 陈堂,赵祖康,陈星莺,等. 配电系统及其自动化技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002: 28-48.
- [10] 盛四清,王峥. 基于树型结构的配电网故障处理新算法[J]. 电网技术, 2008, 32(8): 42-46.  
Sheng Siqing, Wang Zheng. A new tree structure based fault processing algorithm for distribution network[J]. Power System Technology, 2008, 32(8): 42-46(in Chinese).
- [11] 葛朝强,唐国庆,王磊. 综合智能式的故障恢复专家系统: 与故障恢复算法集相结合的自学习模糊专家系统[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(2): 17-21.  
Ge Zhaoqiang, Tang Guoqing, Wang Lei. Integrated intelligent service restoration system for distribution network: an auto-learning fuzzy expert system combined with service restoration algorithm set[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(2): 17-21(in Chinese).
- [12] 刘海涛,沐连顺,苏剑. 馈线自动化系统的集中智能控制模式[J]. 电网技术, 2007, 31(23): 17-21.  
Liu Haitao, Mu Lianshun, Su Jian. Centralized and intelligent control mode of feeder automation[J]. Power System Technology, 2007, 31(23): 17-21(in Chinese).
- [13] 乐秀璠,杨成峰,徐青山. 配电网故障恢复及负荷平衡的重构算法研究[J]. 电网技术, 2002, 26(7): 34-37.  
Le Xiufan, Yang Chengfeng, Xu Qingshan. A distribution network reconfiguration algorithm for service restoration after faults and load balance[J]. Power System Technology, 2002, 26(7): 34-37(in Chinese).
- [14] 赵冬梅,郑朝明,高曙. 配电网的供电优化恢复策略[J]. 电网技术, 2003, 27(5): 67-71.  
Zhao Dongmei, Zheng Chaoming, Gao Shu. Optimal service restoration strategy of distribution network[J]. Power System Technology, 2003, 27(5): 67-71(in Chinese).

收稿日期: 2011-04-15。

作者简介:

刘健(1967),男,博士,教授,博士生导师,总工程师,研究方向主要为配电网及其自动化技术,  
E-mail: edlin@bylink.com.cn;

张志华(1987),男,硕士研究生,研究方向为配电网及其自动化技术;

张小庆(1971),男,硕士,高级工程师,研究方向为电力系统自动化。

(责任编辑 李兰欣)



刘健