

# 配电网故障恢复的初步研究

李存玉

(中国铁路哈尔滨局集团有限公司既有铁路改造项目管理部)

**[摘要]** 由于配电网所带负荷随机性比较大, 在不同地域、不同时间段的负荷变化很大, 加之其结构相对复杂, 出现故障的概率较大。配电网故障恢复就是通过网络重构技术, 在配电网故障后, 对失电的非故障区域恢复供电, 是配电网自动化的重要组成部分。本文主要介绍了配电网的特点和故障恢复的方法。

**[关键词]** 配电网; 故障恢复

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6261.2019.12.648

## 一、配电网特点

### 1. 配电网定义

电力系统主要由四部分组成: 发电厂、输电网、配电网以及用户; 是一个集生产、输送、分配和消费等多环节配合协调的有机整体。通常把电力系统中二次降压变电所低压侧直接或降压后向用户供电的网络, 称为配电网。它由架空线路或电缆配电线路、配电所或柱上降压变压器直接接入用户所构成。习惯上将配电电压1kV以上的部分称为高压配电网, 其额定电压一般为3kV、6kV、10kV、25kV、35kV; 将配电电压不足1kV的部分称为低压配电网, 其额定电压一般为单相220V和三相380V。

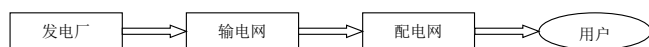


图1-1 电力系统示意图

### 2. 配电网结构

目前, 配电网的拓扑结构主要有三种: 辐射状网、树状网和环状网。在供电可靠性要求不高的农村电网或者中、低压配电网中, 使用无备用的辐射状和树状网。而现代化大、中城市的配电网, 大部分从220kV及以上电网取得电源, 可靠性要求很高, 一般采用有备用的环状网, 从而具有“闭环结构, 开环运行”的特点。在正常情况下, 配电网“开环”运行, 以维持配电网的辐射状网络结构。

#### (1) 辐射状配电网

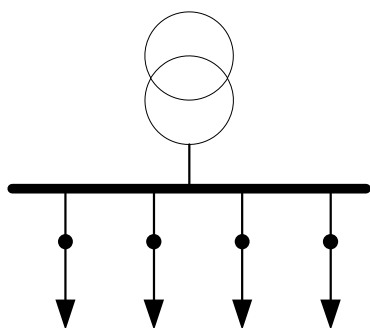


图1-2 辐射状配电网

如图1-2所示为辐射状配电网: 配电网由单一电源供电,

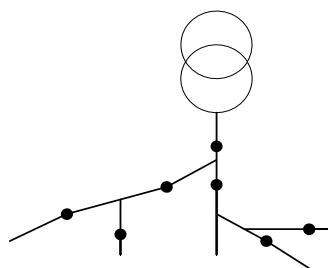


图1-3 树状配电网

所有馈线均接在统一母线上。其优点在: 结构简单; 各条馈线之间相互独立; 当母线正常时, 故障馈线不会影响其他馈线正常运行。缺点在: 若母线故障, 则连接在母线上的馈线均无法供电。

#### (2) 树状配电网

图1-3所示为树状配电网, 其结构特点为: 单一电源供电, 馈线从电源处向外发散。其优点在结构简单, 投资低; 但是当靠近电源位置的支路故障, 则配电网故障支路下游的用户也将受到影响, 供电可靠性差。

#### (3) 环状配电网

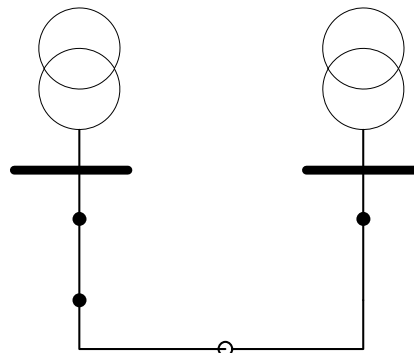


图1-4 环状配电网

图1-4所示为环状配电网, 其结构特点为: 有两个电源供电, 平时通过联络开关隔离, 分别供电。故障时可通过分段开关和联络开关动作重构网络, 恢复故障支路下游的供电。优点在于供电可靠性更高, 能满足高标准用户要求, 而且可以通过网络重构调整负荷平衡, 降低损耗。缺点在网络结构复杂, 维护运营要求更高, 投资较大。

上述三种网络结构中, 无论采取哪种结构, 都要求网络开环运行, 即运行时采用辐射结构。

配电系统采用辐射状网络运行主要有以下三个原因:

- (1) 采用辐射状网络的供电方式较为简单;
- (2) 采用辐射状网络供电可以大大减少配电网中馈线段的总长度, 从而有效地节约了配电网的投资;
- (3) 采用辐射状网络供电有利保护装置的协调。

### 3. 配电网特点

(1) 从网络参数看, 配电网支路参数R/X的比值较大, 而输电网支路参数R/X的比值较小;

(2) 从负荷情况看配电网三相负荷不对称问题比较突出。配电网的各个负荷节点直接向用户供电, 各节点负荷的变化是随机的, 尤其是10千伏以下配网具有很大的随机性, 而输电网三相负荷基本对称。

- (3) 配电网中存在大量的分布式负荷;
- (4) 配电网电压低, 线路充电电容很小;
- (5) 10千伏以下配电网结构比较复杂, 元件数和分支线

都比较多,一般只在配电线路变电站出口端(线路首端)装有负荷表计(电流表和功率表),而分支线和各配变处没有负荷表计。

### 4. 配电网的现状存在的主要问题

近些年来,随着经济社会的发展,我国电力工业发展迅速,电网建设和装机容量及发电量已基本适应国民经济的发展和人民生活水平提高的需求。但仍然存在着发展不平衡的问题,各地把主要精力放在了电源发展和输电网络的建设上,城乡高、中压配电网建设相对滞后,城市电网最薄弱且改造难度最大的中、低压电网面临极大压力。主要表现在:

(1) 城乡电网配电能力严重不足。城市电网110kV和220kV变电站较少,容载比偏低,导线截面小;各地配电网主设备严重过载,某些地区110kV变电站有一半过载,严重制约了城乡经济的发展。

(2) 高压网架脆弱,大量设备陈旧老化,供电可靠性差。目前,还有一些省会城市及中等城市还是以110kV单环为主架网,采用临时过渡T接方案。一批大城市城网中有不少设备已经运行40年以上,每到负荷高峰期,事故频发,供电可靠性较差。

(3) 线损率高,城网电压质量较差。由城乡配电网建设的相对滞后,供电半径大、设备陈旧老化、导线截面小及严重超负荷运行,一些城市电压质量较低,综合合格率不足93%;许多城网无功补偿不足,调节手段落后,少数10kV母线电压合格率停留在86%至90%,普遍存在白天电压低,后夜电压偏高的问题。

## 二、配电网故障恢复

### 1. 配电网故障的影响

通过对配电网上述特点的研究,我们发现配电网的结构复杂多变,配电网发生故障很难避免。电力系统发生故障后,不但故障区域会失电,与之关联的非故障区域也将受到牵连,严重的还将造成整个配电网络乃至相邻配电网的大面积停电事故。

### 2. 配电网故障恢复的模式

配电网故障恢复大致可以划分为3种模式:

#### (1) 早期的故障恢复模式

在自动化水平较低的早期,故障恢复主要依靠装设在配电线路上的故障指示器。故障发生后,工作人员依靠故障指示器找到故障位置,利用柱上开关设备手动隔离故障区,人工恢复非故障区的供电。这种早期模式自动化水平较低,故障处理时间较长。

#### (2) 配电自动化的故障恢复模式

这种模式(简称DA模式)主要依靠装设在配电网中的分段器、重合器及柱上开关等硬件设备,通过开关功能和保护时间配合,实现故障的自动诊断、隔离和恢复。这种恢复模式的特点是依赖配电网的早期规划、配电网结构及配电设备的自动化程度,一般只适用简单接线网络。

#### (3) 配电管理系统的故障恢复重构模式

这种模式(简称DMS模式)主要应用配置在配电控制中心的故障恢复软件实现故障检测、隔离和供电恢复。这种恢复模式的特点是适用任意结构的配电网络,可以处理一些特殊情况(如多重故障),可以考虑实际负荷水平和网络约束,但与设备可靠性和软件功能等有着密切的关系。

### 3. 配电网故障恢复常用方法

供电恢复是一个大规模、多目标、非线性的组合优化问题。综合来看,迄今为止国内外文献提出的算法总共有两类:一类是传统优化的方法;另一类是人工智能的方法。

#### (1) 传统优化的方法

传统优化的方法是采用各种优化方法来获得配电网故障后的最优化供电恢复方案。该类方法的优点是:能够将恢复供电的问题精确地表示成目标函数和约束条件的形式;其缺点在:由供电恢复问题是一个复杂的问题,各目标之间相互矛盾,实际运行中常常具有经验性的知识在里边,因而很难描述出目标函数,而且采用优化的方法求解供电恢复的问题往往非常耗时。

#### (2) 人工智能方法

人工智能的方法是学习人的学习思维方式,将专业知识和积累经验转化为相应处理规则,缩小了搜索范围,能更快得到供电恢复方案。主要的方法有专家系统、人工神经网络、模糊理论、启发式方法等。

##### ① 专家系统

专家系统是一种基知识的智能系统,在某一特定领域内,运用专家丰富的知识进行推理求解,把保护、断路器的动作逻辑以及运行人员的诊断经验用规则表示出来,形成故障诊断专家系统的知识库,进而根据报警信息对知识库进行推理,获得故障诊断的结论。擅长解决那些难以建立数学模型而需要依赖专家经验知识解决的复杂问题。专家系统具有启发性、透明性、高性能以及灵活性等特征。但是在实际中存在知识库获取和维护困难、不具备自学习能力和容错性差等缺陷,尤其在故障后保护装置或断路器出现拒动或误动时,专家系统缺乏有效识别错误的方法,容易造成诊断错误。

##### ② 人工神经网络

人工神经网络是模拟人类神经系统传输、处理信息过程的一种人工智能技术。与专家系统相比,人工神经网络最大的特点是采用神经元及它们之间的有向权重连接来隐含处理问题的知识,具有很强的学习和自我学习能力、泛化能力和容错能力。

##### ③ 模糊理论

模糊理论是将经典集合理论模糊化,并引入语言变量和近似推理的模糊逻辑,具有完整的推理体系的智能技术,擅长解决不确定性问题。随着模糊理论的发展及完善,模糊理论的一些优点逐步被重视,如模糊理论可适应不确定性问题;用语言变量表述的专家经验更接近人的表达习惯;能够得到问题的多个可能的解决方案,并可以根据这些方案的模糊度的高低进行优先程度排序等等。

##### ④ 启发式方法

使用领域知识指导搜索的策略寻找供电恢复方案。该方法采用二叉决定树,并按照深度优先的搜索策略扩展可行解,使得配电网负荷最平衡,但当系统规模较大时,由于可行方案较多,降低了推理搜索的效率。

## 参考文献

- [1]徐青山.电力系统故障诊断及故障恢复[M].中国电力出版社,2007.
- [2]林宇锋,钟金等.智能电网技术体系探讨[J].电网技术,2009,33(12):8-14.
- [3]罗毅等.配电网自动化实用技术[M].北京:中国电力出版社,1999.
- [4]王明俊,尔铿等.配电系统自动化及其发展[M].中国电力出版社,1998.
- [5]余贻鑫,栾文鹏.智能电网[J].电网与清洁能源,2009,1(4):167-381.
- [6]马其燕,秦立军.智能配电网关键技术[M].华北电力大学现代电力研究院,2010.