

配电网接线模式识别算法设计

目前,国内主要针对接线模式的经济性和可靠性进行研究,对接线模式的识别研究较少。以往的识别方法仅局限于对网络元件连接关系的识别,属于配电系统状态估计的一个功能。针对现有条件下配电网接线模式识别中存在的诸多问题,分别提出了架空线路和电缆线路接线模式的识别算法,并详细分析了算法的计算流程,从网架类型、主干线接线和双环网匹配等角度进一步介绍了算法的关键决策变量。通过南方电网某地实际数据,验证了所提出的配电网接线模式识别算法的有效性和准确性,对配电网的规划建设具有指导性的意义。

祁含¹ 邹福强² 陈奇芳² 刘念^{2/1}. 广东电网责任有限公司惠州供电局

2. 华北电力大学

0 引言

根据规划方法的特征以及工作的需求,我国配电网规划基本可以分为四段发展过程:①规划人员手工规划;②手工规划结合潮流和短路等技术校验;③以规划软件为主,并结合专家干预;④规划工作的日常化和精细化。接线模式的分析主要包含于第三阶段当中,它是计算 $N-1$ 和供电能力以及其他相关计算的前提。因此,接线模式的选择对电网全局规划起着举足轻重的作用^[1]。

在配电网层面的规划工作和研究中,国外在城市配电网接线模式方面的分析相对全面,也形成了一些分析工具,开发了一些成熟的应用软件,西欧国家的配电网大部分都采用了放射型、袋型、群型、网孔型和环型等常见的接线模式。相对而言,我国在城市配电网接线模式的研究方面成果还较少,分析也不完善。

在接线模式的经济性和可靠性方面,国内也有了较多的关于接线模式的研究^[2-5],但对接线模式识别方面的研究

还很少。以往的识别方法仅局限于对网络元件连接关系的识别,属于配电系统状态估计的一个功能;根据拓扑结果,结合负荷和设备运算参数等进行传统的潮流计算、短路计算、网损计算和可靠性计算等^[6],忽略了对配电网结构特征的提取和典型接线模式的识别,缺乏对接线模式的进一步研究分析,因此难以发现所研究的配电网接线模式的本质特征。把出线树作为分析的基本单元,基于拓扑分析以及模式识别理论,文献[7]介绍了一种城市中压配电系统接线模式的识别方法。尽管该方法在中压架空网络的接线模式识别效果不错,可以很好地判断架空网络多分段以及多联络的接线模式,但是该方法对高压配电系统以及中压电缆网的接线模式识别并不适用。基于计算机算法的配电网接线模式识别一直是配电网分析评估软件面临的技术难题,尤其是对于开关站型或两个独立单环网型的双环网接线模式识别,现有的配电网统计评估软件都不能正确辨识。

本文针对现有条件下配电网接线模式识别中存在的诸多问题,分别提出了架空线路和电缆线路接线模式的识别算法,并详细分析了算法的计算流程,从网架类型、主干线接线和双环网匹配等角度进一步介绍了算法的关键决策变量。通过算例的计算和分析,进一步对提出的配电网接线模式识别算法的有效性以及准确性进行验证。

1 接线模式分析理论基础

1.1 拓扑理论

配电网拓扑分析主要是应用图论的基本知识对配电网的结构和性质进行研究和



祁含/工程师

关键词/Keywords

配电网·
接线模式·
模式识别·

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)
(2012AA050201),南方电网公司电力规划专题项目资助

分析,从而直观地表示配电网中元件的连接状况以及带点状态,例如线路、结点和负荷等;然后在各元件之间物理连接关系的基础之上,联系每个开关的实时工作状态,进而生成体现网络的基本结构,能被计算机识别和利用的数学模型。拓扑分析仅仅体现了各元件之间的物理连接关系,并没有涉及系统元件的特性以及具体的电气参数。

电力系统网络拓扑分析方法有多种,例如传统网络拓扑分析法^[6]、网络拓扑的快速方法^[8-9]和有色Petri网络模型分析方法^[10]等。文献[8-10]提出的方法适合开关状态经常变化的实时情况,例如电网调度、状态估计等,而城市配电系统的规划没有实时要求,因此本文采用传统的分析方法。

1.2 模式识别理论

模式识别是人工智能领域的重要研究方向,主要利用计算机等工具完成人工智能中听觉、触觉和视觉等感官相关工作^[11]。研究出能够自动对接线模式进行分类和描述的机器系统就是研究模式识别的目的。因此从某种程度上讲,模式识别与人工智能的某些分支具有相同的目标,就是利用计算机等工具来代替人类完成某些活动。图1为基本模式识别的整体流程图,包含了预处理、特征或模式基元的抽取和选择及识别三个部分。



图1 模式识别系统流程

对于接线模式的识别的各部分作用简单介绍如下。

(1) 预处理

预处理需要将配电网线路信息、元件信息和地理位置等物理信息抽象为数字或文字描述信息,并将其按需要的规则形成数据库,为特征提取做准备。

(2) 特征选择

首先根据识别方法的不同要求,提取预处理的信息的基本特点,产生识别的依据。通常来说,要求选择出来的特征能够足以代表这个模式;另一方面尽量控制它们的数量,从而能有效地进行分类和描述。由于模式特征的选择对识别的效果有直接的影响,因此模式识别的关键就在于此。

(3) 识别

首先确定要识别的类型,然后根据该类型提取出来的特征量,对数据库中的信息进行一一比对,便能得到网架的拓扑结构信息。

1.3 接线模式基本概念

国内配电网的典型接线方式主要有单射式、单环式、双射式、双环式和N供一备5种类型,下面将阐述它们的特点、适用范围和接线示意图。

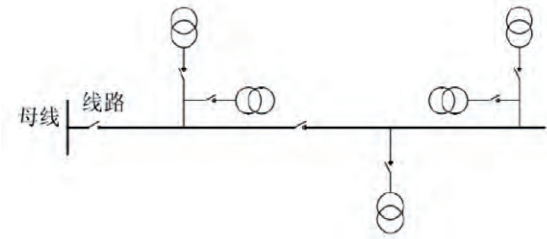


图2 单射式配电网接线

1.3.1 单射式

特点: ①只有一回线路; ②由开关站、变电站的某条中压母线引出; ③配电网中采用单射式接线方式不能满足供电可靠性“N-1”的要求; ④采用单射式接线方式,由于没有辅助线路,运行时主干线的负载率最高可以达到100%。

适用范围: 城区内一般不采用该接线方式,其他区域可根据实际情况采用;但随着网络建设的逐步加强,该接线方式可以逐步发展为单环式接线。

1.3.2 双射式

特点: ①具有双回线路; ②从不同的变电站(或两个开关站)或一个开闭所、一个变电站的任一段母线引出或从开关站、变电站不同的中压母线引出; ③配电网中采用双射式接线方式不能满足供电可靠性“N-1”的要求。

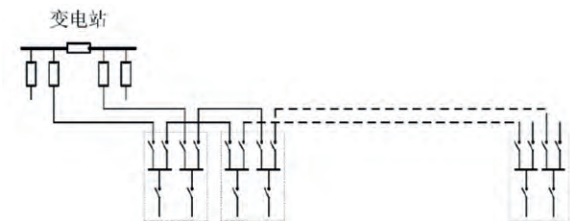


图3 双射式配电网接线

适用范围: 双射式接线方式适用于容量较大,并且不适合以架空线路供电的普通用户,一般采用同一变电站不同母线或不同变电站引出双回电源的方式。

1.3.3 单环网

特点：①具备两条馈线；②馈线分别从不同变电站或相同变电站不同母线上引出，采用闭环设计，开环运行；③闭环设计的联络开关也可采用四单元备用电源切换柜，为“三供一备”做好准备；④发生故障时，通过联络开关可以把负荷转移到相邻的馈线，实现转供操作；⑤配电网采用单环网接线方式，能够满足可靠性“ $N-1$ ”的要求；⑥才用单环网接线方式正常运行时主干线的负载率为50%。

适用范围：单环网接线方式主要适用于城市的一般区域、中小容量的单路用户集中区域、工业开发区以及暂时不具备“三供一备”条件的普通用户区域。

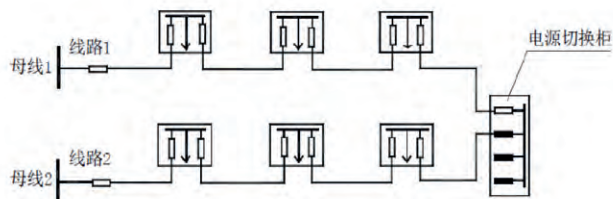


图4 单环网配电网接线

1.3.4 双环网

特点：①采用双回线路供电；②从两个变电站或两个开关站的不同供电段母线引出，或同一变电站的不同段母线引出；③在环网单元采用双母线不设分段开关的前提下，双环网本质上是两个独立的单环网；④采用双环网设计，能够满足可靠性“ $N-1$ ”的要求；⑤采用双环网供电，主干线正常运行条件下的负载率仅为百分之五十；⑥双环网的优势是可以从两个方向的电源给用户供电。

适用范围：双环网接线方式适用于城市负荷较多的市区；重要级别较高的用户供电以及负荷密度较高并且可靠性要求也较高的区域；开发比较成熟的区域，如高层住宅区、多电源用户集中区的配电网。

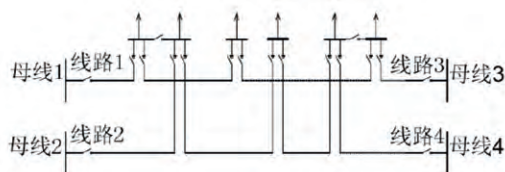


图5 双环网配电网接线

1.3.5 N供一备

特点：①配电网由多条电缆线路形成环网运行，此外，具备公共的备用线路；②非备用的线路可以满载运行；③非备用线路供电故障时，可以将备用线路投入运行，因此备用线路的利用率为 $N/(N+1)$ ；④在实际的应用条件下，为了提高可靠性，备用线路与供电线路应采用不同的电源供电。

适用范围：主要在用户集中、负荷密度高和可靠性要求较高的区域采用N供一备的接线方式。其中“三供一备”接线方式非常适合城市核心区、繁华地区和住宅小区。

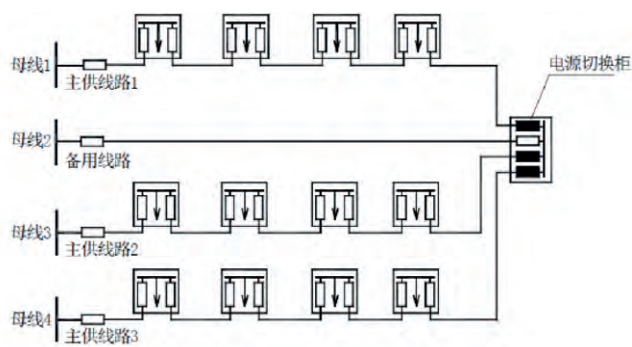


图6 N供一备配电网接线

2 配电网接线模式识别算法

基于计算机算法的配电网接线模式识别一直是配电网统计评估软件面临的技术难题，尤其是对于开关站型或两个独立单环网型的双环网接线模式识别，已有配电网统计评估软件都未能正确辨识。由于配电网接线模式识别流程庞大，此处仅对识别架空线的主要流程进行说明，电缆线接线模式识别流程图以附录形式给出。

2.1 架空线接线模式识别

1) 主干接线判断。以馈线出口为起始点，搜索联络开关或平均线径最粗的供电支路作为该条馈线的主干线。

2) 网架类型判断。分别统计线路主干中架空线与电缆线的段数，段数较多的线路类型作为网架类型；若二者段数相同，则归入非典型接线。

3) 电源个数计算。统计与主干线相连的联络开关个数，再加上本回线路自身电源，求得该回路所连接的电源个数。

4) 单辐射接线判别。若电源个数为1，则该回馈线被判定为单辐射接线。

5) N分段n联络接线判别。统计该回主干线上

所连接的联络开关个数 N 与分段开关个数 n ，若 $N \leq 6$ 且 $n \leq 3$ 则该回线路的接线模式为 N 分段 n 联络；若不满足上述条件则为非典型接线。

6) 有效的分段开关。在统计主干线上分段开关个数时，只统计开关两侧的网架分段都接有负荷的开关。分段开关统计个数 n 为有效分段开关个数加变电站母线出口分段开关。

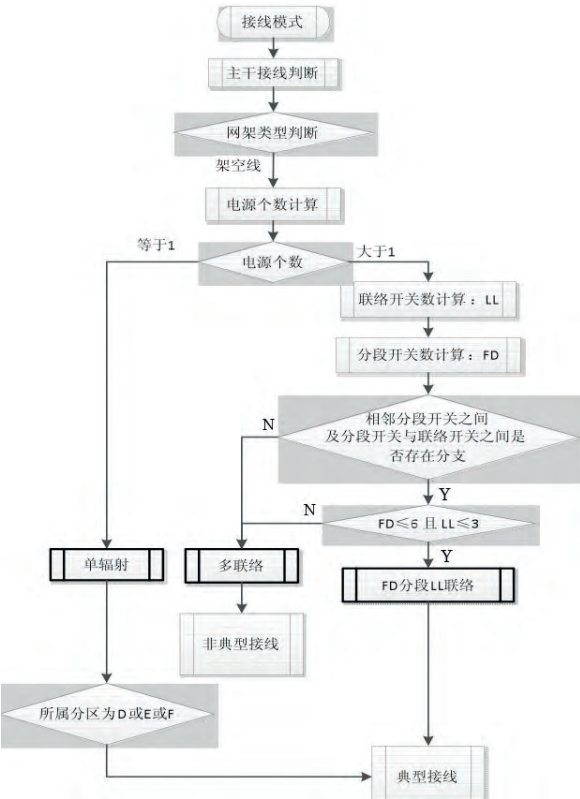


图7 架空线接线模式识别流程图

2.2 电缆接线模式识别

1) 单辐射型接线。若电源个数为1，则该回线路被判定为单辐射接线。

2) “2-1”单环网接线。若某条主干线直接相连的电源个数为2个，则该回线路将暂时被判定为“2-1”单环网接线。

3) 进出搜索。一种针对环网柜与分接箱的拓扑搜索方式。当搜索某线路通过开关时，只允许进入和走出共两次搜索经过统一环网柜/分接箱。

4) 进出开关队列。记录对主干线路实施进出搜索时经过的开关信息，并按照经过的先后顺序形成的记录队列。

5) 双环网匹配。当单环网搜索完毕后，对所有的单环网实施进出搜索，形成进出开关队列，按

顺序记录通过开关所在的环网柜或分接箱。若进出开关队列中存在信息内容完全相同且顺序完全相同或相反的两个队列，则认为这两回线路按相同的顺序经过了相同的几个环网柜或分接箱，即这两回“2-1”单环网形成了双环网。若某条线路不与其他任何单环网相匹配，则该回线路确定为“2-1”单环网。若存在超过两条线路同时匹配，则认为这几回线路组形成了非典型接线模式。

6) 备用接线判定。若某条线路从电源节点到直接相连的联络开关之间没有分支出线，则该回线路为备用接线。

7) 二供一备。若某回线路直接相连的电源个数为3个，且所有主干线路中存在一回线路为备用接线，与这3个电源相连的三条线路组成二供一备接线；否则为非典型接线。

8) 三供一备。若某回线路直接相连的电源个数为4个，且所有主干线路中存在一回线路为备用接线，与这4个电源相连的4条线路组成三供一备接线；否则进行二次判定，继续识别其接线模式。

9) 二次判定。若某回4电源线路未被判定为三供一备，则任选其中一个电源进行进出搜索。若进出搜索能找到的电源为4个，则判定这4个电源所带回路为“3-1”单环网接线。若进出搜索能找到的电源个数为2个，则从另外两个电源节点中任选一个，实施进出搜索，对于两次进出搜索所得的进出开关队列，进行双环网匹配，若队列匹配个数为2，则两匹配队列形成双环网；其他情况则判定为非典型接线。若进出搜索能找到的电源个数不为2个或4个，则认为这4个电源对应的线路组成非典型接线。

10) 其他接线模式。在电源个数计算时，若电源个数不为1~4个中的一种，则直接判定这几个电源对应的线路为非典型接线。

3 算例分析

本章节将应用“配电网模式识别算法”对南方电网某城市的中压配电网进行模式识别，并将该识别算法的结果与当地规划报告对现状电网网络结构评估的结果进行对比，分析该算法的有效性和准确性。

3.1 规划报告结果

表1为南方电网某城市的实际接线模式信息。

由表1可以看出该地区的线路接线模式以“2-1”单环网、“3-1”单环网为主,采用这两类接线模式的线路占总数的62%。10 kV公用线路环网化率达到98.04%,站间联络率为55.12%,但是仍存在9回10 kV公用线路为单辐射接线,其中D类供电区4回,E类供电区5回。

表1 线路接线模式情况

供电区 分类	线路 回数 (回)	各类接线模式线路回数 / 回					其他非 典型接 线
		“2-1” 单环网	“3-1” 单环网	单联络	两联络	辐射型	
B	181	82	55	2	2	0	40
C	210	84	58	29	13	0	26
D	34	6	1	20	2	4	1
E	30	0	0	18	6	5	1
F	4	0	0	3	1	0	0
小计	459	172	114	72	24	9	68

3.2 识别算法结果

表2为本文提出的接线模式识别算法对实际线路的识别结果。由表2可以看出,采用本文提出的接线模式识别算法对B类地区“2-1”单环网的识别误差为:92.68%;对“3-1”单环网识别误差为94.55%;对非典型接线的识别率为:87.5%;对单联络、两联络和辐射型线路的识别率为100%。该算法对C、D、E和F地区的接线模式也达到了较高的识别率。实际线路施工的不规范、线路的改动和数据录入错误导致了原始数据丢失或失效,是引起预测误差的主要原因。

表2 线路接线模式情况

供电区 分类	线路 回数 (回)	各类接线模式线路回数 (回)					其他非 典型接 线
		“2-1” 单环网	“3-1” 单环网	单联络	两联络	辐射型	
B	183	76	58	2	2	0	45
C	235	99	61	25	13	0	37
D	41	13	1	16	6	4	1
E	36	2	0	18	11	4	1
F	4	0	0	3	1	0	0
小计	499	190	120	64	33	8	84

4 结束语

本文设计了配电网接线模式识别算法,分别提出了架空线路和电缆线路接线模式的识别算法,并详细分析了算法的计算流程,从网架类型、主干线接线和双环网匹配等角度进一步介绍了算法的关键

决策变量。通过对算例的计算和分析,验证了本文所提出的配电网接线模式识别算法的有效性和准确性。目前,该算法已经在南方电网公司部分城市投入使用,实际使用结果表明,该算法能很好地解决现有配电网接线模式识别中的问题,对配电网的规划建设具有指导性的意义。

参考文献

- [1] 葛少云,郭明星,王成山,等.城市高压配电网接线模式比较研究[J].电力自动化设备,2004(2):33-37.
- [2] 陈庭记,何明.城市中压配电网接线模式研究[J].电网技术,2000(9):35-38.
- [3] 李鑫成,张焰.高压配电网接线模式的可靠性评估[J].华东电力,2002(3):21-23.
- [4] 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(24):34-39.
- [5] 李毅山,张焰.城市高压配电网接线模式的可靠性[J].上海交通大学学报,1999(12):1552-1557.
- [6] 王珍意.电力系统状态估计[D].华中科技大学,2005. DOI: 10.7666/d.d009126.
- [7] 肖峻,王跃强,王成山.城市中压配电网接线模式识别[J].电网技术,2003(10):92-95.
- [8] 朱文东,刘广一.电力网络局部拓扑的快速算法[J].电网技术,1996(3):30-33.
- [9] 肖峻,吉晓丽.配电网信息管理分析系统的研究与实现[J].电力系统自动化,1998(2):46-48.
- [10] 赖晓平,周鸿兴.电力系统网络拓扑分析的有色Petri网模型[J].电网技术,2000(12):5-10.
- [11] 杨光正,吴岷,张晓莉.模式识别[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2001.
- [12] Sohn S Y. Meta analysis of classification algorithms for pattern recognition [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1999, 21(11): 1137-1144.
- [13] 苏义荣,淘西,邱家驹.配电网拓扑分析方法的研究[J].浙江电力,2001(3):9-13.

(收稿日期:2015-05-26) EA

作者简介

祁含(1979-),男,工程师,主要研究方向:电网规划。