

文章编号:1671-6833(2005) 04-0096-03

# 基于面向对象技术的配电网可靠性计算

陈根永<sup>1</sup>, 杨 增<sup>1</sup>, 朱士华<sup>2</sup>

( 1. 郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南省项城市电业局, 河南 项城 466200)

**摘 要:** 随着开关设备的大量采用, 城市配电网的结构日趋复杂, 采用面向对象的处理方法对配网进行可靠性等值, 可以简化复杂电网的可靠性计算. 针对配电网辐射状的特点, 采用树型存储结构进行配电网计算并编制计算程序, 用典型算例验证了算法的可行性, 通过对典型算例的 6 种接线方案计算分析, 得出了各种技术措施对配电网可靠性的影响程度的差异, 为提高配电网可靠性提供了依据.

**关键词:** 配电网; 可靠性; 元件; 存储结构

**中图分类号:** TM 727; TM 744 **文献标识码:** A

## 0 引言

目前在城市配电网中有架空线路和电缆线路两种<sup>[1]</sup>, 他们之间有共性也有个性, 网架都是闭环设计, 开环运行, 呈放射状. 架空线呈树状结构, 被分段开关/联络开关分成多个以其为边界的馈线段, 每个馈线段可以看成是一个子树, 馈线段内部都不可控, 只有边界上的开关是可控的, 在开关处装设故障检测器. 架空线的分支较多, 一条馈线可能有多个联络开关. 城市电缆线路多是双电源放射状结构, 呈树状. 由于电缆线路上发生的故障多是永久性故障, 因此需要确定故障的具体位置. 目前多在电缆分段的负荷侧装设故障检测器, 这将使电缆线路上故障检测器的数量及分布较架空线路多且复杂. 采取何种数据结构和有效的搜索策略是配电网可靠性计算软件所需解决的首要问题.

## 1 基于面向对象技术的配网元件表示

### 1.1 面向对象技术

面向对象技术是目前软件工业的主流, 绝大多数的系统、应用程序都采用面向对象技术. 其特点是从现实的事物出发, 将实际问题划分为对象, 通过对象的作用及对象间的功能来解决. 它以对象为中心, 将对象的属性、动态行为、领域知识和处理方法等有关知识“封装”在表达对象的结构中, 能清晰的表达出抽象的概念. 它与以往的结构

化程序设计方法相比具有提高程序的可重用性等优点<sup>[2]</sup>, 因此在电力系统得到广泛应用, 我们将面向对象技术应用用于配电网可靠性计算, 取得了很好的效果<sup>[3]</sup>.

### 1.2 配电网元件表示

电气元件的信息主要有元件参数及标识信息. 根据设备对配电网拓扑形状的影响, 元件可以分为节点类元件和线路类元件. 在本文的可靠性计算中节点类元件主要有开关、变压器、负荷点. 线路类元件指相邻两个节点间的配电馈线(断路器和熔断器). 针对配电网结构和面向对象技术的特点及可靠性计算的要求, 电气元件的表示可以采取如下方案: 首先建立类 CDevice, 为所有元件类的基类, 其他元件类均从其派生.

Class CDevice //元件类, 为所有电气元件类的基类

```
{
protected :
    int ID ; //设备标识号
    long Failure ; //设备故障率
    long rTime ; //设备维修时间
public :
    CDevice (int id long fail =0 long
              rT=0) :ID(id) ,
              Failure(fail) ,
              rTime(rT) { };
```

收稿日期:2005-08-20; 修订日期:2005-09-28

基金项目: 河南省科技攻关项目( 0424220182)

作者简介: 陈根永( 1964- ), 男, 河南禹州人, 郑州大学副教授, 硕士, 主要从事配电网可靠性及电力系统规划方面的研究.

```
CDevice ();
~CDevice ();
};
```

各子类通过类之间的继承关系继承共性, 派生个性. 在各个具体的派生类中均封装了基于物理模型的设备参数. 线路类: 在可靠性计算中线路类需要的个性参数主要有线路的起始节点、终节点、线路长度、线路类型、有无断路器和线路的级别. 线路的级别的划分: 主馈线的线路级别为一级, 与一级线路相连接线路为二级线路, 以此类推. 主馈线是这样定义的: 以来自电源方向的边界为起点, 至联络开关间的路径即为主馈线. 节点类: 在本文的可靠性计算中的节点类主要包括开关、变压器、熔断器、负荷点. 节点类的参数主要有节点类型. 其中开关的个性参数包括: 开关状态、开关类型 (分断开关/联络开关/负荷开关).

```
Class CBranch :public CDevice //线路类
{
protected :
int BegNode ;//线路的起始节点
int EndNode ;//线路的终节点
long Length ;//线路长度
int Connect ;//联络元件 (0 表示无联络元件, 1 表示断路器, 2 表示熔断器, -1 表示熔断器无备用电源)
int Level ;//线路级别
public :
CBranch(int id, long fail = 0, long rT = 0, int beg, int end, long leng, int con = 0, int lv) ;
CBranch() ;
~CBranch() ;
};
```

2 配电网的树型存储结构

树型结构是一类非常重要的非线性数据结构, 是以分支关系定义的层次结构. 配电网的基本结构是树状的辐射型电网, 可认为由主馈线和副馈线构成, 是一种递归结构, 因此可用树型结构来表示配电网, 并用树的递归遍历来实现配电网的等值.

使用递归算法实现配电网可靠性计算, 首先要将配电网存储为树状存储结构. 采用广度优先搜索的方法搜索配电网, 将配电网存储为左子女-右兄弟的二叉树结构. 广度优先搜索 (BFS, Breadth-First-Search) 是一种分层的搜索过

程<sup>[9]</sup>, 在搜索过程中总是优先搜索当前结点的所有邻接结点, 然后再顺序访问下层结点的所有邻接结点, 直至访问完网络中的所有结点. 为了实现逐层访问, 算法中使用了一个队列, 以记忆正在访问的这一层和上一层的结点, 便于向下一层访问. 由于队列的操作遵循先进先出的原则, 因此在处理过程中, 只有在前一步的所有状态处理完后, 才能处理后面一步的状态. 访问中将线路作为树中的结点数据, 与被访问结点属同一线路级别的结点地址放在结点的右链域; 比被访问结点的线路级别低的结点地址放入结点的左链域.

3 计算实例

3.1 算例介绍

以文献 [5] 提供的输电系统中的母线 2 的配电网为算例, 应用等值法与可靠性递归算法相结合的方法对其进行可靠性评估计算. 该输电系统有 43 条 35kV 线路, 33 个母线节点, 发电机 5 台, 总负荷 220 MW. 取其母线 2 作为本文的算例.

母线 2 有 35kV 变电所一座, 出线 4 条, 36 条馈线, 22 个负荷点, 12 个断路器, 2 个联络开关, 用户 1 908 户, 总平均负荷 12.291MW. 详见图 1. 算例中各元件的可靠性指标详见表 1.

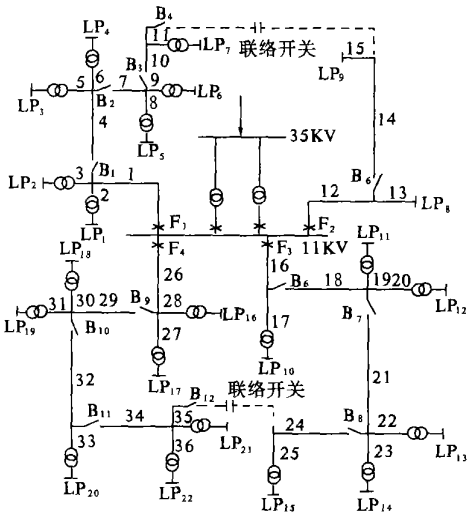


图 1 母线 2 的配电网络图  
Fig. 1 Distribution network for bus 2

表中电缆的故障率  $\lambda$  的单位为次/(公里·年), 其余设备的  $\lambda$  的单位为次/(台·年);  $\lambda'$  为计划检修率;  $r$  为平均故障修复时间;  $r'$  为平均计划检修时间. 假设各种倒闸操作时间均为 1 小时, 分支保护完全可靠; 断路器和隔离开关的故障率是指断路器和隔离开关在需要操作时不能够正确操

作的概率。

表 1 系统元件及可靠性指标

设备名称	$\lambda$ /(次· (台·年) <sup>-1</sup> )	$r$ /(小时· 次 <sup>-1</sup> )	$\lambda'$ /(次· (台·年) <sup>-1</sup> )	$r'$ /(小时· 次 <sup>-1</sup> )
变压器	0.045	200	0.002 5	8.0
断路器	0.07	4	1	72
隔离开关	0.005	8	0.008	4.0
电缆*	0.04	30		

3.2 可靠性指标计算结果分析

对上述配电网络,改变其网络结构,6 种典型接线方式的特征如下:

a·主馈线无隔离开关,无分支线保护,无备用电源,变压器无备用;b·主馈线无隔离开关,有分支线保护,无备用电源,变压器无备用;c·主馈

线有隔离开关,无分支线保护,有备用电源,变压器无备用;d·主馈线有隔离开关,有分支线保护,有备用电源,变压器有备用;e·主馈线有隔离开关,无分支线保护,无备用电源,变压器无备用;f·主馈线有隔离开关,有分支线保护,有备用电源,变压器无备用。

对以上 6 种接线的系统主要可靠性指标进行计算,其中SAIFI 为系统平均断电频率,次/年;SAIDI 为系统平均停电时间,小时/(户·年);CAIDI 为用户平均停电持续时间指标,小时/(户·年);ASAI 为平均供电可用率;EENS 为电量不足期望值,千瓦时/年;AENS 平均电量不足,千瓦时/年。计算结果见表 2。

表 2 不同接线方式下的系统可靠性数据

接线 方式	SAIFI / (次·年 <sup>-1</sup> )	SAIDI / (小时·(户·年) <sup>-1</sup> )	CAIDI / (小时·(户·年) <sup>-1</sup> )	ASAI	EENS / (千瓦时·年 <sup>-1</sup> )	AENS / (千瓦时·年 <sup>-1</sup> )
a	0.409	29.26	71.52	0.996 66	305 626	160.20
b	0.159	7.30	46.07	0.999 17	79 905	41.88
c	0.409	9.04	22.09	0.998 97	92 999	48.74
d	0.159	2.17	13.69	0.999 75	25 753	13.50
e	0.409	13.10	32.03	0.998 50	198 790	104.20
f	0.159	5.02	31.68	0.999 43	54 744	28.69

表中接线方式a 的可靠性最差,因为它没有任何提高可靠性的技术措施。

接线方式e 与a 相比增加了主馈线隔离开关,使得电源点与隔离开关之间的负荷仅经过开关的开断时间即可恢复供电,因此系统停电时间SAIDI 大大减少。

接线方式c 在式e 的基础上增加了备用电源,当隔离开关后面发生故障时,隔离开关跳开,隔离前后两段线路,并投入备用电源。此时仅连接在故障段的负荷经历的停电时间为线路故障修复时间,其它负荷点的停电时间仅为倒闸操作时间。因此系统的可用率提高了 0.066 2 个百分点。

接线方式b、d 与前面提到的c 中接线方式相比增加了分支线保护,使得一个分支线上的故障不至影响到其它分支线上的负荷点,大大降低了系统的断电频率。接线方式d 与接线方式f 比较增加了备用变压器,系统停电时间大大降低。主要原因是变压器的维修时间长,因此变压器的备用将系统的可用率提高了 0.325 个百分点。

从表中可以看出:对同一网络,采用不同的接线方式,其系统可靠性指标有很大差别。对可靠性较差的网络,可以采取一定的增强措施,如加装主

馈线隔离开关、加分支线保护、增加备用电源等方式来增加其运行灵活性,从而提高其可靠性指标。

4 结论

采用面向对象技术将配电网等值的方法可使计算过程得到简化,合理的存储结构使计算过程得到优化,通过对算例中各种接线方式进行可靠性比较,证明算法可行,计算结果对电网规划运行具有指导意义。

参考文献:

[ 1 ] 兰洁,李长海,张建华·基于面向对象技术的配电网拓扑算法[J]·现代电力,2003,20( 1 ):49~52.  
[ 2 ] 王燕·面向对象的理论与C++实践[M]·北京:清华大学出版社,2000.  
[ 3 ] 杨丽徙,王金凤,陈根永·基于GIS 和Tabu 搜索的配电网优化规划[J]·郑州大学学报(工学版),2002,23( 3 ):75~77.  
[ 4 ] 殷人昆·数据结构[M]·北京:清华大学出版社,2001.  
[ 5 ] ALLAN R N,BILLINTON R A·Reliability test system for educational purposes basic system data and results[J]·IEEE Trans on Power Systems 1991,( 2 ):813~821.

( 下转第 106 页)

[ 8 ] 杨守志,唐远炎,程正兴.a 尺度紧支撑正交多小波的构造[J].计算数学,2002,24( 4) :451~460.

Construction of Compactly Supported Orthogonal Multiple Vector  $m$ -valued Wavelets

CHEN Qing-jiang<sup>1</sup>, FENG Jin-shun<sup>2</sup>, CHENG Zheng-xing<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>.School of Science ,Xi'an Jiaotong University ,Xi'an 710049,China ;<sup>2</sup>.School of Elementary Education ,Nanyang College of Technology ,Nanyang 464000,China)

**Abstract :** In this paper , vector  $m$ -valued multiresolution analysis and orthogonal multiple vector  $m$ -valued wavelets are introduced .A necessary and sufficient condition for the existence of orthogonal multiple vector  $m$ -valued wavelets is derived by means of paraunitary vector filter bank theory and the Fourier transform .A class of orthogonal multiple vector  $m$ -valued wavelets are constructed from some given compactly supported vector  $m$ -valued scaling functions satisfying certain conditions by using the multiresolution analysis approach and matrix theory . An algorithm for constructing a class of compactly supported orthogonal multiple vector  $m$ -valued wavelets is presented .An example for constructing them is given .

**Key words :** multiple vector value ; multi  $m$ -resolution analysis ; scaling function ; wavelets ; refinement equation ; hermitian matrix

( 上接第 98 页)

Reliability Calculation of Distribution Network Based on the Object-oriented Technology

CHEN Gen-yong<sup>1</sup>, YANG Zeng<sup>1</sup>, ZHU Shi-hua<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>.School of Electrical Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002,China ;<sup>2</sup>.Xiangcheng Power Bureau ,Zhoukou 466200,China)

**Abstract :** City distribution network is getting more complex as a result of the use of a great many new switchgears .Using object-oriented technology ( OOT) , a complex network can be simplified a simple reliability calculation equivalent network . Based on the radiation characteristic of distribution network , tree data storage structure is put forward in this paper .A reliability calculation program is developed .The algorithm is verified through applying it to a typical sample .Six connecting modes are compared .The difference between some normal measures of raising reliability are mentioned .

**Key words :** distribution network ; reliability ; element ; data storage structure