

基于计算机辅助决策系统的层次化配电网规划

周新娟, 刘永强, 吴捷

(华南理工大学电力学院, 广东 广州 510641)

摘要: 城乡电网是一个结构化的整体。鉴于配电网规划工作的繁杂性,提出了配电网规划的层次化规则,它既考虑了约束限制作用,又对配电网起到了方向性引导的作用。介绍了在本系统中采用的适用于配网的前推回代潮流计算方法和基于最小路径的可靠性计算方法。另外还介绍了本系统中采用的综合模糊评判技术。该系统已被用于我国南方某省的多个地区的配电网规划中,表明了该系统的有效性。

关键词: 配电网; 前推回代算法; 可靠性; 最小路; 模糊多目标

中图分类号: TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)13-0043-05

0 引言

目前正在进行的城乡配电网规划改造工作,是在现有配电网的基础上,对原有的网络进行扩充和改造。城乡配电网是一个有机的整体,网络的中心区域(如城市中心区)与网络的边缘地区(如城市郊区和边远的农村地区),相互牵制和影响。鉴于配电网规划工作的繁杂性,本文提出了一种对配电网分层规划的方法。在网络边缘地区,规划规则少,可选方案少,方案易确定,规划层次低;而在网络中心区,可靠性要求高,规划工作需要细致,规划规则内容丰富,可选方案多,方案的确定困难,需要计算机的辅助计算分析各个方案,给出各个方案的量化指标,规划层次高。为了使研究科学化、系统化,许多研究者做了大量的工作^[1~6]。模糊集、最小路径等现代技术也被广泛用于电网规划中^[4,6]。

本文介绍了利用面向对象的编程语言 Delphi 开发的基于层次化规则的配网规划决策支持系统,主要包括基于指针指向搜索的前推回代潮流计算方法、最小路径的可靠性快速评估法、以及基于模糊集理论的多目标综合评判。这一系统被用于我国南方某省的多个地区的配电网规划中,提高了规划的科学性和效率。

1 系统构成与层次化规则

用于配电网层次规划的计算机辅助决策系统的结构框图如图 1。计算模型有潮流计算模型和可靠性计算模型。

配电网网架越复杂层次越高,由复杂到稀疏,依次分为三个层次:层次 1、城市中心区;层次 2、市郊、城市边缘区;层次 3、农村偏远地区。规划的主要部

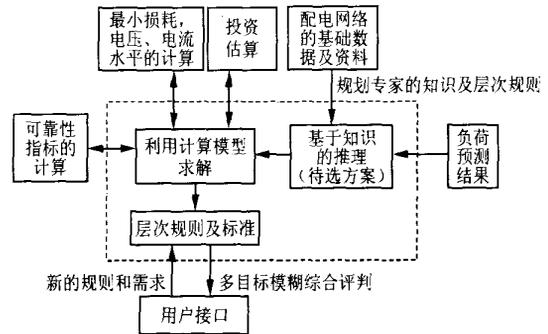


图 1 计算机辅助决策系统的结构
Fig. 1 Structure of a computer expert assistant planning system

分为负荷分配的规划,主要规则包括变电站的限制规则和馈线的约束规则^[1]。

1) 有关变电站的限制规则

规则 1:新建变电站的规则:层次 1~3 依次规定为,假如负荷大于变电站主变容量的 60%、58%、50%,需要建立新站;规则 2:若降压变压器取低负荷率 0.6,即所带负荷不超过容量的 60%;规则 3:每台主变的出线受限制,容量低于 50 MVA,出线不超过 10 回;

2) 有关馈线的约束

规则 4:正常方式下及 N-1 下,每条馈线电流约束;规则 5:馈线上所接配变容量限制,配变负载率约束;规则 6:每个负荷点电压降落及线损率限制;规则 7:馈线供电距离的限制。

对于以上规则,各层次规定各不相同,直接影响规划后的网架结构。对于低层次 3,一般接线简单,可靠性要求不高,只需要保证供电距离的限制,采用放射形接线即可达到要求;而对于供电质量和可靠性要求较高的城市中心区域,则需要研究开关(断路

器)的精确位置。

2 配电网规划的前推回代潮流算法

适用于配电网潮流计算的前推回代法作为本系统的一个辅助计算模型。该辅助软件利用指针技术,具有自动识别网络结构的功能,输入数据简单,可以自动搜索节点间的关系,遍历搜索形成层次结构和节点队列。最后提供计算网络的网损、电压水平、线路潮流和设备负荷水平等重要信息。节点及支路各电气量间的关系详见参考文献[2]。

原始数据输入结构:

节点结构体:{节点号 节点有功 节点无功};支路结构体:{支路首端节点号 支路末端节点号 支路电阻 支路电抗}。

程序运行步骤:

步骤1:搜索网络节点,形成节点队列,建立树状拓扑结构;

步骤2:利用节点及支路各电气量间关系组成的递归方程,形成2个递归子程序:

子程序1:从树的末梢节点出发,前向遍历树,求出各节点的注入功率;子程序2:从树的根节点出发,对树进行后向遍历,求出各节点电压;重复对递归子程序的不断调用,直至满足收敛条件。

步骤3:计算线路潮流,线路损耗等指标。

潮流计算为计算机辅助计算软件之一,主要实现以下功能:

1) 现状网分析

正常运行方式、正常负荷水平下的技术分析,包括电网电压水平分析计算,确定系统电压水平范围;对系统中变压器、线路等设备的负荷率进行分析计算,并加以评估;

城网的供电能力分析,以目前的电网状况,用规划年度的负荷水平,计算分析系统电压、设备负荷率等,考核系统网架的供电能力。

2) 对各规划改造的方案进行详细的计算分析,提供基态潮流、线损、电压降等指标。

3) 对网络进行“N-1”运行方式下的安全性分析。

3 配电网可靠性评估的最小路评估法

配电系统可靠性评估工作分为两个基本方面:一方面对现有已运行的配电系统及其主要元件进行历史的可靠性统计、分析和评价,即量度系统过去的性能;另一方面是为了设计、规划和建设新的系统,或者在扩大、改造和发展现有系统而进行配电系统

可靠性定量评估,即预测系统未来的行为。

3.1 可靠性评估指标

可靠性指标分为三类:负荷点基本指标,线路的专用指标,系统的可靠性指标。各指标的计算公式详见文献[3]。

负荷点基本指标有平均停运率 λ_s (次/年)、平均年停运时间 u_s (h/年)、平均停运持续时间 r_s (h/次);线路的专用指标有:

年总停电次数(ACI),次/年; 用户总停电持续时间(CID),时户; 总电量不足(ENS),kW。

系统的可靠性指标主要有:

系统平均停电频率指标(SAIFI),[次/(用户·年)]; 系统平均停电持续时间指标(SAIDI),[h/(用户·年)]; 用户平均停电持续时间(CAIDI),[h/(停电用户·年)]; 平均供电可靠率(A-SAI); 平均供电不可靠率(ASUI); 系统平均缺电指标(ASCI)。

3.2 最小路可靠性评估法的程序实现步骤

在实际的工程应用中,由于网络结构及系统配置的不同,系统中各个元件参与计算的方式也不同。最小路评估法是将整个系统的元件分为最小路上元件和非最小路上元件两类^[4]。二者对不同负荷点的可靠性的贡献是不同的。

步骤1:访问全部节点,标记负荷点对应线路上的最小路元件和非最小路元件,形成最小路树和基本最小路^[5];标记树梢有备用电源的树;

步骤2:计算最小路元件对负荷点可靠性的贡献;

步骤3:搜寻所有元件到电源点的通路及通路上的第一个开关的位置。判断各负荷点的每一非最小路元件通路上第一个开关的位置是不是位于负荷最小路上。

步骤4:计算非最小路元件对负荷点可靠性的贡献;

步骤5:依次求得负荷点、线路、系统的可靠性指标。

4 配电网规划的多目标模糊评判策略

影响规划人员做出最后的决策的因素很多,以上介绍的计算机辅助决策软件给出了各确定性的指标。规划过程中有许多不确定因素,如环境,政策等用自然语言表述的因素,属模糊因素^[6]。方案的确定是多种因素共同作用的结果,本文引入多目标模糊综合评判策略来进行方案的评判。

三元组 (U, V, R) 为综合评判空间,其中:

1) 评判因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 为被评判对象的各因素组成的集合;

2) 评判方案集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 为评语组成的集合;

3) 单因素评判矩阵 $\tilde{R} = F(U \times V)$, 即对单个因素 u_i 的评判, 得到 V 上的模糊集。

若 $\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n) = F(U \times V)$ 是各评判因素的权重分配, 则评判结果为:

$$\tilde{B} = \tilde{A} \circ \tilde{R} = F(V)$$

上一层次评判的单因素评判矩阵由下一层次综合评判的输出 \tilde{B}_i 构成。

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \tilde{B}_1 \\ \tilde{B}_2 \\ \dots \\ \tilde{B}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{A}_1 \circ \tilde{R}_1 \\ \tilde{A}_2 \circ \tilde{R}_2 \\ \dots \\ \tilde{A}_i \circ \tilde{R}_i \end{bmatrix}$$

这里 \tilde{R} 中的元素为 $(0, 1)$ 上的评判等级集。计算出的评判结果是 V 上的模糊集, 可以采用最大隶属度原则、模糊分布法或加权平均法进行处理, 得出最终评判。

评判配电网网架方案的因素有:

方案的投资; 供电可靠性; 网损大小; 潮流合理性; $N-1$ 校验; 运行和维护灵活性; 接线简明, 层次清晰; 继保复杂程度; 对环境的影响; 配网自动化实现方便程度等。

5 算例分析

某 10 kV 配电网中包含农网和城网两大部分, 市郊及农村的圩镇网络有一定的发展空间。在进行规划时, 将这个网络分为三个层次, 层次 1: 城市中心区域; 层次 2: 市郊及农村圩镇; 层次 3: 农村电网。现阶段, 农村电网满足变电站供电半径要求和馈线的供电距离限制, 将中压配电线深入该区域, 即可满足可靠性的要求; 层次 2 一般受不确定因素影响较大, 规则受地域性限制显著; 在完成层次的划分后, 规划重点落在层次 1 上, 这里以层次 1 的一地区为例说明计算机辅助决策规划方法的分析过程。

1) 该区的主要数据、资料

该区有一座 110 kV 变电站 A 作为新城区 10 kV 城市配电网的主要电源, 主变容量为 2×40 MVA。有备用出线 5 回, 2001 年最大负荷(实绩)为 43.74 MW, 到 2005 年最大负荷(预测)为 69.32 MW。

由负荷情况看出, 无需建立新站点, 主变无需扩容, 并有 5 回出线作为备用。

2) 计算机辅助软件在规划中的应用

以问题比较严重的干线 4 为例, 表 1 中列出了当前状况下, 潮流辅助计算软件的各项指标计算结果。

表 1 干线 4 现状网潮流计算结果

Tab. 1 Flow calculation results of present Line 4

线路名	最大电 流/A	有功负 荷/kW	无功负 荷/kVar	有功损 耗/kW	无功损 耗/kVar	线损率 /%	压降百 分比/%	电压合 格率/%
计算 1	362.4	6383.4	2098.146	159.34	441.315	2.4354	5.1193	94.9
计算 2	453	7979.3	2622.68	199.17	551.643	3.044	6.3991	93.6

计算 1: 正常运行方式、当前最大负荷水平下的分析;

计算 2: 配电网供电能力分析(现状网架, 2005 年负荷);

由以上的计算分析, 干线 4 所带配变过大, 随着负荷的增长, 电流严重超标, 电压合格率也很低。需要采取一定的负荷转移措施, 并且需要一定的分流措施计算。

表 2 给出了现状网在当前负荷下的可靠性数据, 可以看出可靠性指标较低, 需要采用一些提高其可靠性的措施。

表 2 干线 4 现状网架现状负荷的

可靠性计算结果

Tab. 2 Reliability of present Line 4

线路名	ACI (次/年)	CID (时/户)	总电量 不足/kVA	SAIFI[次/ (户年)]	SAIDI[h/ (户年)]	CAIDI[h/ (停电户年)]	ASAI	ASCI (kWh/户)
干线 4	327.0	436.4	243713.27	4.41927	5.89769	1.33454	0.9993	3293.42

根据以上得到的定量分析结果, 规划人员提出三种规划改造的方案。对这三个方案分别进行了 2005 年最大负荷水平潮流计算; 规划改造后线路的可靠性计算; 并进行了“ $N-1$ ”的校验, 考察负荷最重的一条线路出口处出现故障, 这是最严重的故障情况。借助计算机辅助决策软件可以获得各项可靠性指标, 给规划专家选择最终的方案提供了有力的依据。

3) 多目标模糊综合评判技术的运用

综合电力生产各部门专家意见, 确定评判中所采用的十个高层因素的权重分配 $\tilde{A} = (0.15, 0.2, 0.15, 0.05, 0.05, 0.05, 0.1, 0.075, 0.075, 0.1)$, 低层因素的权重分配 $\tilde{B}_1 = (0.4, 0.3, 0.3)$, $\tilde{B}_2 = (0.3, 0.4, 0.3)$ 。分别计算出投资, 可靠性各项指标, 网损, 最大电流, 线损, 压降百分比和自然语言型隶属度函数, 形成综合评判矩阵, 图 2~图 4 表示了最大电流, ASAI, 及用模糊评价描述的自然语言型隶属函数。采用以上函数将数值和模糊评价转化成对于“好”的评价的隶属度。

由此得到隶属度矩阵和三个方案的评判表(见表3)。

表3 不同规划方案评判表

Tab.3 Evaluations of various planning projects

高层因素集	低层因素集	方案一	方案二	方案三
投资(万元)		23.4	28	36
供电可靠性	ASAI	0.99969	0.99963	0.99957
	SAIFI[次/(户年)]	0.111	0.125	0.169
网损(kW)	SAIDI[h/(户年)]	0.073	0.198	0.323
		13.038	26.254	33.613
潮流合理性	1. 最大电流/A	241.363	277.44	291.584
	2. 线损率/(%)	0.32	0.83	1.89
	3. 压降百分比/(%)	1.93	2.44	1.74
N-1校验		较好	较好	一般
运行和维护灵活性		较好	一般	较好
层次分明结构清晰		好	一般	较好
继保复杂性		好	较好	一般
对环境的影响程度		一般	较好	一般
配网自动化实现方便程度		较好	好	一般

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.5 & 0.2 \\ 0.9 & 0.66 & 0.37 \\ 0.9 & 0.5 & 0.2 \\ 0.9 & 0.63 & 0.58 \\ 0.8 & 0.8 & 0.6 \\ 0.8 & 0.6 & 0.8 \\ 1 & 0.6 & 0.8 \\ 1 & 0.8 & 0.6 \\ 0.6 & 0.8 & 0.6 \\ 0.8 & 1 & 0.6 \end{bmatrix}$$

根据最大隶属度原则,评判结果是优先采用方案一,其次为方案二,最后为方案三。

6 结论

本文介绍的人机结合的计算机辅助决策的配电网层次规划的方法,是基于现阶段配电网发展的特点提出的。既用先进的技术将规划工作更趋科学化和先进性,又与实际情况相结合,充分发挥规划人员的能动作用,是科学技术与实际经验相结合的过程。该系统已被用于我国南方某省多个地区的配电网规划中,取得了很好的效果,表明了该方法的有效性。随着配电网的进一步发展,统计工作的不断完善,各个层次规划要求不断提高,则会要求规划工作更加科学、细致、有效。

参考文献:

- [1] Chen Jianr-liang, Hsu Yuar-yih. An Expert System for Load Allocation in Distribution Expansion Planning[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1998, 4(3): 1910-1918.
- [2] 刘莉,姚玉斌,陈学允(LIU Li, YAO Yur-bin, CHEN Xue-yun). 10 kV 配电网拓扑结构的识别及实用潮流计算(Topology Structure Identification and Flow Calculation of 10 kV Distribution Network)[J]. 继电器(Relay), 2000, 28(2): 17-19.
- [3] 陈文高(CHEN Wen-gao). 配电系统可靠性实用基础(第一版)(Basis of Distribution System Reliability, First Edition)[M]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press), 1988.
- [4] 戴雯霞,吴捷(DAI Wen-xia, WU Jie). 基于最小路的配电网可靠性快速评估法(Fast Evaluation for Distribution Network Reliability Based on Minimal Path)[J]. 电力系统自动化设备(Electric Power Automation Equipment), 2002, 22(7): 29-31.
- [5] Jasmon G B, Kai O S. A New Technique in Minimal Path and Cutest Evaluation[J]. IEEE Trans on Reliability, 1985, 34(2): 136-143.

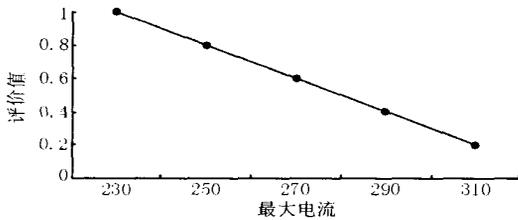


图2 最大电流的隶属函数

Fig. 2 Membership function of maximal current

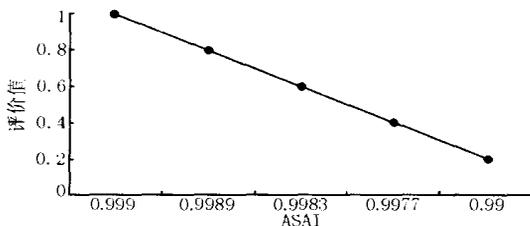


图3 可靠性指标 ASAI 的隶属函数

Fig. 3 Membership function of ASAI

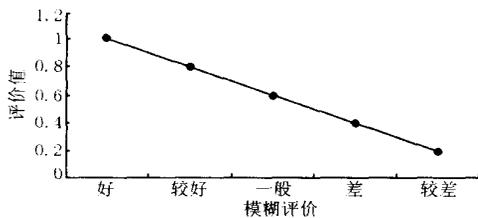


图4 自然语言型隶属函数

Fig. 4 Membership function of natural language type

为了兼权重分配和单因素评价的隶属度,采用(⊕-)型综合评判模型,得到综合评判结果为:

$$\tilde{B} = \tilde{A} \tilde{R} = (0.861, 0.664, 0.463)$$

- [6] 伍力,吴捷,周乐荣(WU Li, WU Jie, ZHOU Le-rong). 输变电工程项目的模糊多目标综合评判决策(Fuzzy Multi-objective Comprehensive Decision on Transmission Project) [J]. 电网技术(Power System Technology), 1999, 23(3): 19-22.

周新娟(1977-),女,硕士研究生,从事电力系统规划及电力系统稳定性方面的研究;

E-mail: greenxinjuan@163.com

刘永强(1961-),男,博士,副教授,从事非线性动力系统理论、电力系统分析与控制及电力电子变流技术方面研究;

吴捷(1937-),男,教授,博士生导师,从事自组织,自适应控制;电力系统运行和控制方面的研究工作。

收稿日期: 2003-10-13; 修回日期: 2004-01-04
作者简介:

Structural distribution planning based on computer assistant decision-making system

ZHOU Xin-juan, LIU Yong-qiang, WU Jie

(Department of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: An urban and rural power grid is a structural one. The paper presents some rules for different levels of network with some guidance and restraints. The back/forward sweep algorithm which fits for distribution power flow calculation and an approach to distribution network reliability calculation based on minimal path adopted in the decision-making system are introduced in this paper. The paper also puts forward a fuzzy comprehensive evaluation, which is employed in the proposed system. The structural distribution planning based on computer assistant decision-making system has been used to real distribution planning of many regions in some southern province of China, which shows the validity and efficiency of the system.

Key words: distribution network; back/forward sweep algorithm; reliability; minimal path; fuzzy multi-objective

(上接第 42 页 continued from page 42)

5 结论

线路两套纵联保护的通道宜采用不同的通道传送。同杆双回线路为了有选择性切除跨线故障,宜设置一套分相电流差动保护,另配置一套分相传送信号的距离纵联保护,两套保护的通道应为不同路由。随着光纤通信在电网中的应用,有条件时优先采用光纤通道:专用光纤+PCM 复用通道。如果双回线路共 4 套纵联保护只有 1 个光缆路由,宜采用专用光纤+载波复用通道方案。

参考文献:

- [1] 朱声石(ZHU Sheng-shi). 高压电网继电保护原理与技

术(Principle and Technology of Relay Protection in HV Network) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1995.

收稿日期: 2003-10-09

作者简介:

张延(1970-),女,高级工程师,从事电力系统及自动化规划设计工作; E-mail: zhangy @hepdi.com

雷雨田(1963-),高级工程师,从事电力系统通信规划设计工作;

吴云(1969-),高级工程师,从事电力系统自动化、电力系统通信规划设计工作。

Relay protection for double-circuit lines on the same tower

ZHANG Yan, LEI Yu-tian, WU Yun

(Hunan Electric Power Design Institute, Changsha 410007, China)

Abstract: The relay protection solutions of cross line fault over double-circuit lines on the same tower are discussed, the protection signal transmission modes and technique characteristics of longitudinal differential protection are introduced. For a practical project, ideas of scheming the relay protection for double-circuit lines on the same tower and choosing the telecommunication channel are analysed. An interface circuit between power line carrier and relay protection device is presented to implement 3 + 1 command mode.

Key words: double-circuit lines on the same tower; longitudinal differential protection; optical fiber