

# 基于容量矩原则的配电网分支开关设置

黄群古, 张新勇

(广电集团中山供电分公司, 广东 中山 528400)

**摘要:** 配电网是电力系统中连接高压输电网络和用户的重要组成部分。为了改善配电网的结构,提高配电网的可靠性和经济性,该文提出了基于容量矩原则进行电力系统配电网分支开关设置的方法。通过实例,证明了用该方法进行配电网开关配置,效果显著。该方法对提高电力系统配电网的经济和可靠运行水平,具有重要意义。

**关键词:** 电力系统; 容量矩; 配电网; 分支开关

**中图分类号:** TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)13-0030-04

## 0 引言

在电力系统中,与用户直接关联的是配电网。中低压配电网是电力系统安全、可靠、经济运行的重要组成部分,但是由于多种原因,某些城市的配电网,尤其是 10 kV 中压网络的布局不够合理。例如:某些 10 kV 配电网中,具有联络开关的线路较少;某些 10 kV 线路的负荷分布不均;某些镇区 10 kV 线路过载,从而导致一些地区供电不足;有些 10 kV 线路长期轻载,从而造成设备使用效率低;特别存在一些 10 kV 主干线路的次干线没有设置必要的开关或者开关布置不合理,停电范围大,从而影响配电网的供电可靠性<sup>[1]</sup>。

要提高配电网可靠性水平,主要有以下几个方面:新增或改造 10 kV 线路;改造台区;更换或新增配变变压器;增加或合理布置无功补偿设备;增加或合理配置 10 kV 的线路的分段和分支开关;其它。如提高配网自动化程度,对配电网进行优化设计等。

有关配电网的分段开关的研究的文献较多,如文献[2],取得了一定的成果。本文主要对配电网的分支开关的设计进行研究,给出 10 kV 配电网线路中分支开关合理配置的一般方法。由于该法是基于该线路的容量矩得出的,因而使用该方法进行电力系统 10 kV 配电网分支开关的设置,在某种程度上,既提高了配电网的可靠性,又满足了配电网运行的经济性,是值得推广的一种有效方法。

由于 10 kV 中压配电网在城乡配电网中的地位非常重要,因此如果对 10 kV 网络结构进行了合理的配置,则对解决配电网的其它问题也较为容易。在 10 kV 中压配电网中,其比较重要的设备

就是开关(分段开关、分支开关和联络开关),这些开关的配置是否合理,对提高城乡配电网的可靠性、经济性和安全性,具有一定意义。本文仅对 10 kV 中压配电网的次干线路的分支开关的设置进行研究。

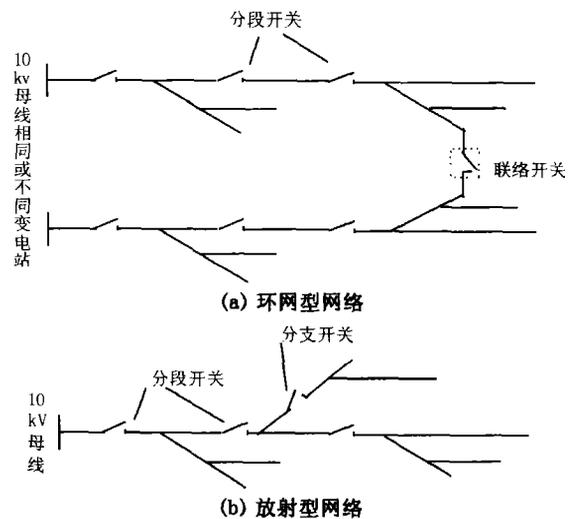


图 1 10 kV 配电网的结构

Fig 1 Framework of 10 kV distribution network

## 1 电力系统配电网的结构

目前,电力系统 10 kV 中压配电网的结构,主要以环型网和放射型网为主<sup>[3]</sup>。放射型网络一般又呈现树枝结构;环型网络也是两条或两条以上的 10 kV 线路,分别在各自的主干或某一个分支线路上,通过联络开关相互连接而形成。如图 1 所示。

图 1 中显示的结构,仅仅是一个示意图,要进行网络结构和功能的分析,还需要标明主干线路和与之相关的各分支线路上的其它参数,如线路长度、导

线截面、电阻和电抗、配电变压器容量等,如图 2 所示。图 2 显示的是某市某回 10 kV 线路的某一个分支线路的结构,其中  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  等为分段开关,线路末端标明的数值为配电变压器容量,线路旁边的数值为线路杆塔数,杆塔间距为 50 m。

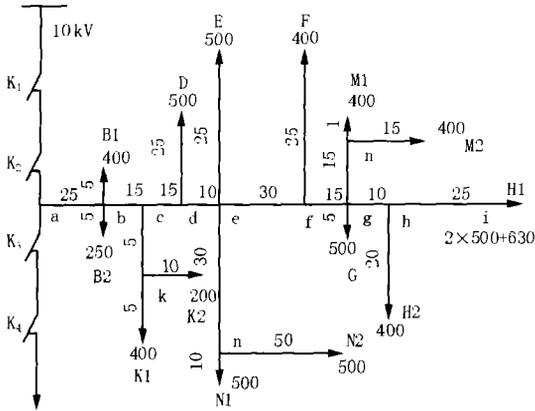


图 2 某市某回 10 kV 线路的某一个分支线路的结构

Fig 2 A town s framework of a certain branch line in a 10 kV distribution system

在图 2 中,10 kV 主干线路上共设置了 4 把分段开关,但在次干线 a - H1 及其次干线上的各支路上没有设置任何开关。显然,这种支路结构是不合理的,一旦次干线 a - H1 及其次干线上的各支路上任何一处出现故障,不仅将造成整个支路停电,而且由于开关  $K_2$  的断开,相继断开了主干线上自开关  $K_2$  以后的各分段上的负荷,造成大面积停电。为了减少次干线上各支路发生故障时的停电范围,必须在次干线上或各支路上设置开关。问题是分支开关应该设置在次干线上或各支路上的什么位置,设置多少开关,就存在一个最优开关配置及其配置原则的问题。

## 2 基于容量矩原则的配电网分支开关设置方法

设某一段线路,其长度为  $l$  km,线路末端所带配电容量为  $g$  kVA,则该线路段的容量矩为  $w$  km · kVA,其中

$$w = l \times g \quad (1)$$

设某一 10 kV 主干线的容量矩为  $w_0$ ,第一次干线的容量矩为  $w_1$  km · kVA,其中  $w_1 = l_1 \times g_1$ ,  $l_1$  为第一次干线的长度,  $g_1$  为第一次干线上所带的负荷;第二次干线的容量矩为  $w_2$  km · kVA,其中  $w_2 = l_2 \times g_2$ ,  $l_2$  为第二次干线的长度,  $g_2$  为第二次干线上所带的负荷;第三次干线的容量矩为  $w_3$  km · kVA,

其中  $w_3 = l_3 \times g_3$ ,  $l_3$  为第三次干线的长度,  $g_3$  为第三次干线上所带的负荷,等等。其中第一、第二、第三次干线均为分支线。在计算主干线的容量矩时,其所有支线上的容量都应折算到该支线所在主干线的节点位置上。在计算次干线的容量矩时,其所有下一级次干线上的容量都应折算到上一级次干线所在主干线的节点位置上。如图 3 所示为某回 10 kV 线路网络图。其中图 3(a)为总网络图、图 3(b)为计算主干线容量矩的网络图、图 3(c)为计算第一次干线容量矩的网络图、图 3(d)为计算第二次干线容量矩的网络图。

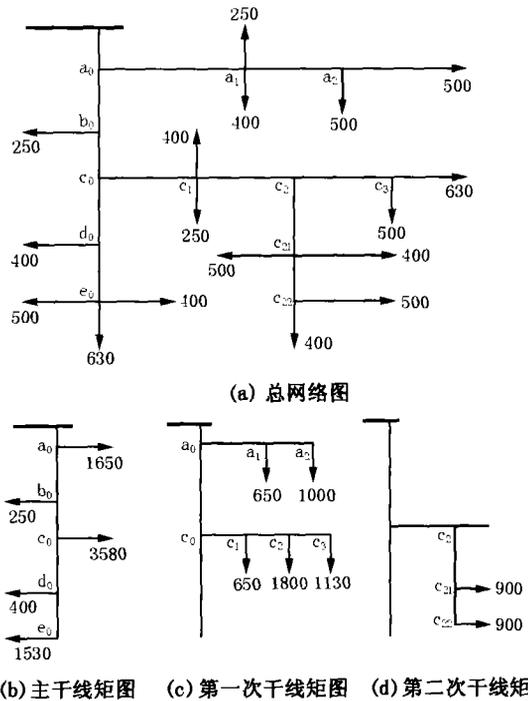


图 3 某回 10 kV 线路各级容量矩计算网络图

Fig 3 A calculation diagram based on every capacity moment for a 10 kV distribution system

为了提高网络的可靠性,需要在主干线和次干线上布置开关。由于开关将线路进行了分段,从而使得线路上的负荷矩得分段计算。同样,如果能按照某种方法分配线路上的负荷矩从而确定线路上开关的个数及其开关的布置位置,使线路因故障时其供电损失达到最少,以提高经济效益和供电可靠性,是非常有实际应用价值的。

设某一分支线路(例如第一次干线)被  $N$  个开关分段,则该线路的负荷矩变为:

$$w_1 = w_{11} + w_{12} + w_{13} + \dots + w_{1N} = l_{11} \times g_{11} + l_{12} \times g_{12} + l_{13} \times g_{13} + \dots + l_{1N} \times g_{1N} \quad (2)$$

设某 10 kV 中压配电网系统,10 kV 线路总长

度为  $L$  km, 10 kV 配变装见容量  $G$  kVA, 该系统平均每年发生故障  $X$  次, 其中瞬时性故障为  $X_1$  次,  $X - X_1$  为永久性故障和计划安排停电检修等次数。一般, 瞬时性故障发生时, 即可在很短的时间  $h_1$  h 内恢复供电, 若有综合自动化功能 (对于城郊网络), 则自动重合闸将在几秒钟内完成; 若无自动化功能 (对于农村网络) 手动投入时间也少于 1 h。但对于永久性故障或计划安排停电, 由于需要检修或计划检修, 其检修时间  $h$  一般为 5 h 左右 (检修时间 4 h, 恢复供电几秒钟至 1 h)。鉴于此, 可以将故障率细分为瞬时故障率  $\lambda_1$  和检修故障率  $\lambda_2$ 。其中

$$\lambda_1 = \frac{X_1}{L} \quad (\text{次/km}) \quad (3)$$

$$\lambda_2 = \frac{X - X_1}{L} \quad (\text{次/km}) \quad (4)$$

设该系统所在地域平均电价为  $v$  元 /kW h, 线路上所配置的开关设备, 其单价为  $c$  元 /只。设银行贷款利率  $i = 10\%$ , 开关设备的有效年限按 20 年计算, 则每年每只 (或每套) 开关的投资额为  $s = cp$ , 其中  $p$  为资本折算 (或回收) 系数:

$$p = \frac{i(1+i)^{20}}{(1+i)^{20} - 1} = 0.11746 \quad (5)$$

根据以上设定, 某一回 10 km 线路的某第一次干线及其相应的所有分支线上任何一处发生故障时, 在没有支路开关的情况下, 其停电损失至少大于下列数值 (当该次干线位于 10 kV 主干线的末端时停电损失等于下列数值, 若该次干线位于离主干线末端的第  $n$  个次干线处, 则停电损失为  $n$  个类似下列数值之和):

$$(\lambda_1 + \lambda_2) \times l \times g_{\Sigma} \times (h - h_1) \times v / r \quad (6)$$

其中:  $r$  为配变容载比,  $l$  为次干线上总长度 (km),  $g_{\Sigma}$  为该次干线上总装见容量 (kVA)。这里, 忽略了瞬时性故障停电损失。当该次干线首端安装有开关时, 则无论该次干线位于主干线上的何处, 在次干线任何地方故障时, 其停电损失均等于上述数值。

当该次干线上安装有  $N$  只开关, 如图 4 所示, 则每只开关的重要程度是不一样的, 尽管每条第二次干线的重要程度是等可能的。

为了清晰起见, 这里将每段装变容量用集中容量表示。

显然, 次干线上的总容量矩 = 各分段容量矩之和, 即

$$w = lg = l_1 g_1 + l_2 g_2 + l_3 g_3 + \dots + l_N g_N = \sum l_i g_i \quad (7)$$

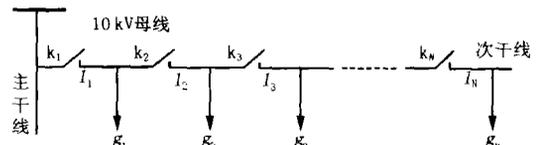


图 4 某 10 kV 线路的某次干线上开关布置图

Fig 4 Switch allocation on a secondary branch line in a certain 10 kV line

这样, 式 (6) 可以简洁表示为

$$c \cdot w = c \cdot \sum l_i g_i \quad (8)$$

式中:  $c \cdot w = (\lambda_1 + \lambda_2) \times (h - h_1) \times v / r$ , 在  $r$  取不变值的情况下,  $c$  为常数。

一般情况下, 在确定若次干线上的开关数量之前, 只知道次干线上的总容量矩  $w$ , 只有确定开关数量之后, 才有式 (7) 和 (8) 的分解表示。

计算  $[c \cdot w / s]$ , 其中  $s = cp$ ,  $[ \cdot ]$  表示其值小于  $\cdot$  的最大整数, 则数值  $[c \cdot w / s]$ , 即为该次干线上的开关数量值。显然, 该值是基于容量矩  $w$  的大小而定的。 $w$  值越大, 则相应可配置的开关数量越多, 在不增加投资的情况下, 该次干线从而整个 10 kV 配电网的可靠性就越高。

更为精确的计算应该用下面的基于容量矩的反推法:

- 1) 开关  $k_N$  由容量矩  $w_N$  确定。
- 2) 依次, 开关  $k_{N-1}$  由容量矩  $w_N + w_{N-1}$  确定。
- 3) 最后, 开关  $k_2$  由容量矩  $w_N + w_{N-1} + \dots + w_2$  确定。

在具体进行上述计算过程中,

- 1) 计算开关  $k_N$  的位置时, 可取  $w_N$  等于  $s / (c + \alpha_1)$ ,  $\alpha_1$  为大于 0 的修正系数。
- 2) 依次, 在确定开关  $k_{N-1}$  的位置时, 可取  $w_N + w_{N-1}$  等于  $2(s / (c + \alpha_1) + \alpha_2)$ ,  $\alpha_2$  为大于 0 的修正系数。
- 3) 最后, 在确定开关  $k_2$  的位置时, 可取  $w_N + w_{N-1} + \dots + w_2$  等于  $(N - 1) \cdot ((\dots (s / (c + \alpha_1) + \alpha_2) \dots) + \alpha_{N-1})$ ,  $\alpha_{N-1}$  为大于 0 的修正系数。

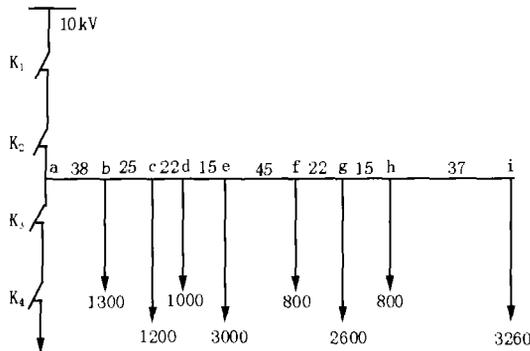
需要指出的是, 上述各  $\alpha_i$  的确定, 应该使得相关的配电变压器的容量等于各标准额定容量之和, 并且对于某个  $i$  当  $\alpha_i$  为负时, 计算停止, 此时的  $k_i$  即为  $k_i$ 。

### 3 应用实例

为了简便起见, 这里的实例虽为某一次干线 (即第一次干线), 但所使用的方法和所得出的结论同样适用于主干线和第二、第三等次干线。

设某市某 110 kV 变电站的某回 10 kV 主干线,其中的一回次干线如图 2 所示。

由于计算的是第一次干线上的开关配置,则要对该次干线进行简化。简化的结果见图 5(a)



(a) 第一次干线路简化图

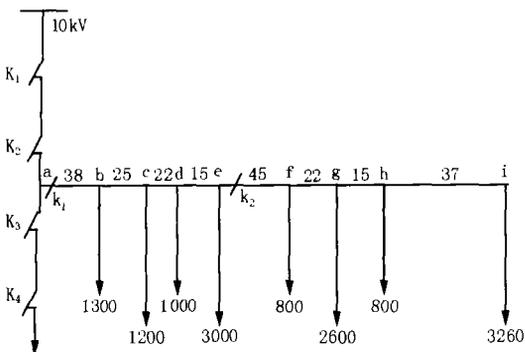


图 5 某回 10 kV 线路的某第一次干线路的开关配置

Fig 5 Switch allocation on first secondary branch line in a certain 10 kV line

设  $p = 0.11746$ , 配变容载比  $r = 3$ , 该市的平均电价  $v$  为  $0.6$  元 /  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ,  $h - h_1 = 4$  h,  $\lambda = 0.10$  次 / 年  $\cdot \text{km}$ , 开关设备的单价  $c \cdot$  的值为  $0.08$  ( $0.4 \times 0.2$ ), 经计算得 10 kV 的  $s = 2353$  元, 常数  $c \cdot = 0.08$ 。

按照上面的步骤,容易得出  $s/c = 29412$ , 同样当计算到 e 点时,第一个满足上述  $s/c$  的负荷矩  $w_N$  为 33187, 则有  $w_{N-1}$  为 3775, 这样得到第一只开关的位置在 e-f 线路段且靠近 e 端, 计为  $k_N$ ; 当计算到 a 点时, 由于到了该次干线的首端, 其 a-e 段的负荷

矩  $w_{N-1}$  为 25500,  $w_2$  取为 3912, 这样得到第二只开关的位置在 a-e 线路段且靠近 a 端, 计为  $k_{N-1}$ , 并得出  $N = 2$ 。

总之,根据负荷矩原则,该次干线路可设 2 只支路开关,其位置见图 5(b)。

## 4 结论

提出的基于容量矩原则进行电力系统配电网分支开关的设置方法,具有比较重要的意义。该方法不仅适合于配电网的各级次干线上的开关设置,同样也适合于主干线上的开关设置。此外,该方法对于改善配电网的结构,提高配电网的可靠性和经济性,而且对提高电力系统配电网的自动化水平,都具有积极意义。

## 参考文献:

- [1] 杨蔚百,熊景宸,孙启宏. 电力系统可靠性分析基础与应用 [M]. 北京:水利电力出版社,1986.  
YANG Shi-bai, X DNG Jing-chen, SUN Qi-hong The Base of Reliability Analysis and Its Application in Power System [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1986
- [2] 万国成,郭晓玉,任震. 配网馈线上分段开关的设置 [J]. 继电器, 2002, 30(11): 10-12  
WAN Guo-cheng, GUO Xiao-yu REN Zhen Study on Layout of Disconnect Switches of Distribute System [J]. Relay, 2002, 30(11): 10-12
- [3] 陈章潮,唐德光. 城市电网规划与改造 [M]. 北京:中国电力出版社,1998  
CHEN Zhang-chao, TANG De-guang Planning and Alteration of Urban Power Network [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998

收稿日期: 2004-10-20; 修回日期: 2004-12-10

作者简介:

黄群古 (1960 - ), 男, 博士, 工程师, 主要从事电力系统规划与管理、电力系统故障信号分析与检测等工作; E-mail: huangqungu@163.com

张新勇 (1971 - ), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统配网自动化、规划和电力系统可靠性等工作。

## Branch switches allocation in distribution system based on the principle of capacity moment

HUANG Qun-gu, ZHANG Xin-yong

(Guang-dian Power Grid Group Co., Ltd, Zhongshan Power Supply Branch, Zhongshan 528400, China)

(下转第 43 页 continued on page 43)

- Short-term Forecasting Using Artificial Neural Networks [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14 (3): 851-857.
- [3] GAO Feng, GUAN Xiao-hong, CAO Xi-ren, et al Forecasting Power Market Clearing Price and Quantity Using a Neural Network Method [A]. Proceedings of the IEEE Conference on Power Engineering Society Summer Meeting Washington (USA): 2000. 2183-2188.
- [4] 杨莉, 邱家驹, 江道灼. 基于 BP 网络的下一交易日无约束市场清算电价预测模型 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (19): 11-14.
- YANG Li, QIU Jia-ju, JIANG Dao-zhuo. BP Based Day-ahead Unconstrained Market Clearing Price Forecasting Model [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (19): 11-14.
- [5] 黄日星, 康重庆, 夏清. 电力市场中边际电价预测 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (22): 9-12.
- HUANG Ri-xing, KANG Chong-qing, XIA Qing. Marginal Price Forecasting in Electricity Market [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (22): 9-12.
- [6] 刘正国, 付祥明, 高伏英, 等. 基于神经网络的浙江发电市场清算电价预测方法 [J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (9): 49-52.
- LIU Zheng-guo, FU Xiang-ming, GAO Fu-ying, et al Forecasting Market Clearing Price in Zhejiang Generation Market Using Neural Network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (9): 49-52.
- [7] KM Chyang-il, YU In-keun, Song Y H. Prediction of System Marginal Price of Electricity Using Wavelet Transform Analysis [J]. Energy Conversion and Management, 2002, 43 (14): 1839-1851.
- [8] 魏平, 李均利, 陈刚. MCP 预测技术在浙江电力市场中的应用 [J]. 继电器, 2004, 32 (11): 58-61.
- WEI Ping, LI Jun-li, CHEN Gang. Application of MCP Forecasting Method in Zhejiang Electricity Market [J]. Relay, 2004, 32 (11): 58-61.
- [9] Kohonen T. The Self-organizing Map [J]. Proceedings of the IEEE, 1990, 78 (9): 1464-1480.

收稿日期: 2004-10-21; 修回日期: 2005-03-02

作者简介:

曾次玲 (1976 - ), 女, 博士研究生, 主要从事电力系统分析和电力市场方面的研究; Email: ling-yuan@263.net

张步涵 (1950 - ), 男, 教授, 主要从事电力系统分析和电力市场方面的研究;

谢培元 (1975 - ), 男, 硕士, 主要从事电力系统调度运行和电力市场方面的研究。

### Forecasting market clearing price using self-organizing map neural network

ZENG Ci-ling<sup>1</sup>, ZHANG Bu-han<sup>1</sup>, XIE Pei-yuan<sup>2</sup>

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Hunan Electric Power Dispatch & Communication Center, Changsha 410007, China)

**Abstract:** Forecasting the market-clearing price (MCP) is the most essential task for any decision-making in electricity market. Artificial neural network (ANN) is a preferable forecasting method. However, there still exist some theoretic shortcomings in ANN method, such as the time-consuming sample training and convergence problem. Especially when the characteristic of sample is hard to capture, those phenomena will be more explicit. To solve the problem, based on the characteristic of self-organizing and clustering of self-organizing map (SOM), this paper proposes a method to deal with the sample dataset of the BP model, which can perform a data analysis, and then form a new training dataset. By using the BP network on the new dataset analyzed by SOM for the prediction, the efficiency is advanced remarkably and the prediction is satisfactory.

**Key words:** power market; price forecasting; BP network; self-organizing map

(上接第 33 页 continued from page 33)

**Abstract:** The distribution systems are important components owe to connecting high voltage power transmission systems to consumers in electric power system. To improve the framework of distribution systems and the reliability and economic value, this paper presents the allocating method of branch switches in distribution system based on the principle of capacity moment. In addition, experimental results show that the method is effective. It is important for constructing of solid distribution systems and the enhancing of the level of reliable and economic operation in whole power systems.

**Key words:** power system; capacity moment; distribution system; branch switch