

配电网线路最优分段数算法研究及应用

王峰,李颖,王春宁
(南京供电公司,江苏南京 210019)

摘要:分析研究了配电网多种典型接线模式在不同负荷密度、不同变电站容量下计及可靠性收益的线路最优分段数。以配电网可靠性和经济性综合最佳为目标,考虑变电站、线路建设和运行等费用,采用“现值转年值”的方法将一次投资费用转化为年费用,确定各典型接线模式在多阶段负荷密度及普适性变电站场景下的最优分段数。最后通过仿真算例验证了本算法的合理性。

关键词:配电网;最优分段数;可靠性;经济性;等年值算法

中图分类号: TM41

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2014)04-0005-03

电力系统的基本功能是向用户输送电能,所有用户都期望以最低的价钱买到具有高度可靠的电能。然而,经济性与可靠性这2个因素总是相互矛盾的。从最优分段数的讨论来看,要提高供电可靠性,使停电损失减小,就必须增加网络建设投资成本。但是从经济性上考虑,线路分段越多,分段开关的投资也越多,并且线路安装的分段开关过多易造成相应的维护工作量和设备事故率的增加,并且在一定条件下,由于分段开关自身具有一定的故障率,当分段开关达到一定数量时,反而给整个配电网的可靠性带来负面效应。因此,通过技术经济分析,确定每条线路的最优分段数具有实际应用意义^[1,2]。

1 最优分段数分析基本思路

所谓最优分段数,就是指能够使选定的接线模式在选定地区的可靠性和经济性综合达到最佳的线路分段数,线路最优分段数的确定直接关系到电网接线模式的供电可靠性和建设经济性^[3]。城市配电网网架由线路组成,它可以分布成为干线和分支线,或者是经线和纬线加分支线。在干线中为了能够适应负荷的发展和线路的分割,减少停电用户的数量和进行必要的相互连接,就提出在电路上进行分段。为了使配电网的运行更加灵活,减少事故时停电的用户数量,也为了使线路检修时受影响用户的数量最小,就需要对各种接线模式的分段情况进行具体的分析。

同一接线模式下,不同的分段情况使得停电时影响的用户数量是不同的。因此对于每一种接线模式,应该先找出在不同边界条件下该模式的最优分段情况。各种接线模式的最优分段数分析基本思路如下:考虑在不同的变电所容量和不同的负荷密度下,首先确定变电所的供电区域;再在这一供电区域内考虑由某种接线模式的不同分段情况的线路所构成的网架

结构;对每一种网络结构计算其年总费用,投资费用和可靠性等指标,最后根据计算指标的大小选择出最优分段数。配电网系统中典型接线模式有单幅射接线、双侧电源多分段单联络接线和两供一备接线、双侧电源双环式接线的多分段等结构,具体示意如图1—4所示^[4]。

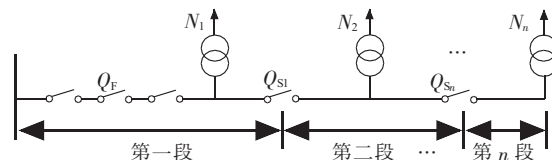


图1 多分段单幅射接线结构图

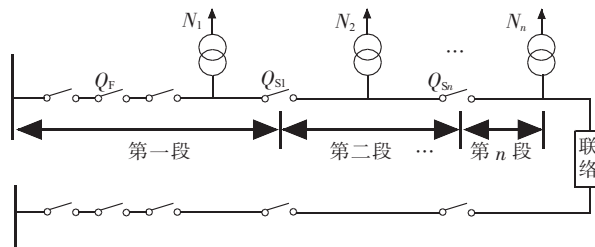


图2 多分段单环网接线结构图

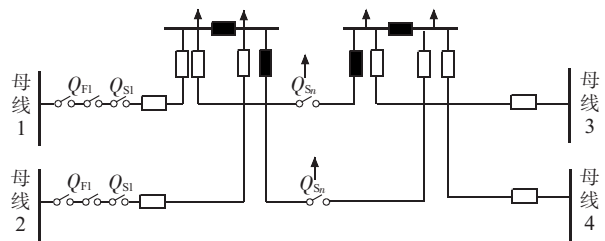


图3 多分段双侧电源双环式接线结构图

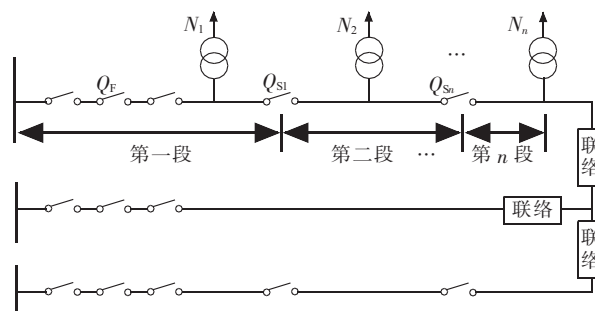


图4 多分段两供一备接线结构图

2 最优分段数计算模型

供电可靠性与总费用之间的曲线关系如图 5 所示。当有 100% 的供电可靠率时,用户的停电损失费用为 0。供电可靠性每增加一个百分点,供电企业为改善供电可靠性而增加的投资费用将增加,所以达到 100% 的供电可靠性在经济上也不一定是合适的,即随着可靠性的进一步提高,供电成本将急剧上升。总费用曲线上的最小值点是社会费用最小时所对应的点,这个点可以用来决定线路的供电可靠性水平。

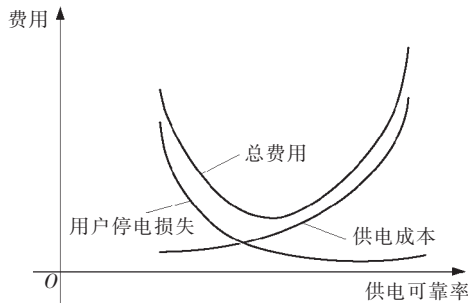


图 5 配电网供电可靠率与总费用之间的平衡曲线

在最优分段数的讨论中,对应一定的供电半径,随着分段数的增加,供电企业成本的增加将是线性的,是增加的分段开关的投资年值。这样依然能够从停电损失和供电成本的叠加曲线中找出最低点,这一点对应的就是总的经济性最优的分段开关数,即线路的最优分段数^[5]。

3 基于等年值算法的最优分段数确定

为不失一般性,假设变电站供电区域为圆形,那么变电站供电半径 R 即为该区域半径^[6]:

$$R = \sqrt{P_{\max} / \pi D} \quad (1)$$

式(1)中: P_{\max} 为变电站最大负荷; D 为供电区域平均负荷密度, MW/km²。

对于完全放射状接线来说,单回主干线长度即为供电半径,而对于大多数接线模式而言,单回主干线长度需要考虑联络线的长度,具体做法是把联络线平均分摊到每一条主干线上。联络开关的处理也一样,平均分摊到所涉及的线路中。

3.1 最优分段数确定

以分段数为变量,分别计算停电损失 S 和配电网费用等年值 N_{FN} , 2 者叠加曲线的最低点即线路的最优分段数。考虑可靠性和经济性的具体分析、计算方法如下所述。

3.2 可靠性计算

为简化计算过程,模型满足条件:(1) 供电区域设为圆形且负荷均匀分布;(2) 同一方案中各个变电所的变压器容量、台数和负载率均相同;(3) 接线模式均

取其最大经济负载率,单电源辐射状接线负载率取为 100%,不同母线出线的环式接线负载率取为 50%;(4) 变电站功率因数统一取为 0.9。

单辐射接线线路负载率最高可达 100%,一旦线路发生故障,负荷不能够转移,就会有相应的用户停电。一般情况下配电变压器的故障率很低,如果母线出现故障,则受影响的用户数为所有连接到该母线的出线所带的用户,平均停电时间为母线的平均修复时间。当线路或者分段开关出现故障时,对不同的分段故障分开进行分析。以多分段单放射状接线计算可靠性收益^[7],如图 1 所示。母线和第一段出现故障时,受影响的用户数为 $N_1+N_2+N_3$,平均停运时间即为线路的平均修复时间;第二段、第三段故障时,受影响的用户分别为 N_2+N_3 和 N_3 ,平均停运时间为线路的平均修复时间;另外,可以容易观察到,分段越多,线路因故障受到影响的户数越少,从而线路的整体可靠性有一定程度的提高。设线路的分段数为 n ,该线路总用户为 N ,负荷均匀分布,每一段用户数为 N/n ,则线路的用户停电持续时间为:

$$\begin{aligned} \sum U_i N_i = & \lambda_L \times \frac{N}{n} \times \frac{R}{n} \left\{ \left(\sum_{i=1}^n i \right) \times t_0 + \left[\left(\sum_{i=1}^n i \right) - n \right] \times t_1 \right\} + \\ & \lambda_b \times \frac{N}{n} \left\{ \left(\sum_{i=1}^n i \right) \times t_2 + \left[\left(\sum_{i=1}^n i \right) - n \right] \times t_1 \right\} + \\ & \lambda_D \times \frac{N}{n} \left\{ \left(\sum_{i=1}^n i \right) \times t_3 + \left[\left(\sum_{i=1}^n i \right) - n \right] \times t_1 \right\} \quad (2) \end{aligned}$$

式(2)中: R 为供电半径, km; λ_L 为线路的平均故障率,次/(km·a); λ_b 为分段开关的故障率,次/年; λ_D 为负荷点自身故障率,次/年; t_0 为线路的平均修复时间, h/次; t_1 为线路的倒闸时间, h/次; t_2 为分段开关的修复时间, h/次; t_3 为负荷点自身的修复时间, h/次。

其他几种接线模式线路的用户停电持续时间可应用类似方法计算。采用产电比算法将停电时间折合成经济效益 S :

$$S = \text{停电持续时间} \times \text{度电产值} \quad (3)$$

3.3 经济性计算

3.3.1 变电站经济性评估

变电站的综合费用包括投资费用和运行费用。变电站的投资费用包括变压器综合投资、配电装置投资以及一些不可预见的附加费用。变电站的运行费用包括一年中变电站的电能损耗以及维护、检修费等。变电站年运行费用 U_s 和等年值费用 N_{Fs} :

$$U_s = \alpha \Delta A_s + U_0 \quad (4)$$

$$N_{Fs} = C_s \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + U_s \quad (5)$$

式(4,5)中: U_0 为变电站的检修、维护费; α 为电价;

ΔA_s 为变压器全年电能损失总值; C_s 为变电站综合投资费用; r 为电力工业年投资回收率(贴现率), 取 10%; n 为变电站经济使用年限, 取 25 年。

3.3.2 线路经济性评估

(1) 线路投资费用。架空线和电缆投资费用:

$$Z_L = N_L \times k' \times L \times C_0 \quad (6)$$

$$C_L = N_L \times [L \times k' \times C_0 + C_d + (n-1) \times C_f + C_c] + M \times C_1 \quad (7)$$

式(7)中: N_L 为变电站出线总回数; k' 为线路曲折系数, 即用理想线路长度估算实际线路长度的比例系数, 对于不互联的接线方案, k' 取 1.1, 对于互联方案, k' 取 1.3; L 为每回主干线长度; C_0 为单位长度线路投资费用; C_d 为线路首端断路器的投资; C_f 为分段开关(即负荷开关)的投资; C_c 为联络开关分摊到每条支路的费用; n 为线路的分段数; M 为开关站个数; C_1 为每座开关站的投资费用。

其中, 单回主干线的长度包括该线路本身的长度以及联络线按均匀原则分担到该线路的长度。

(2) 线路年运行费用。年运行费用包括线路损耗费用和线路检修、维护费用:

$$U_L = \alpha \Delta A + U_1 \quad (8)$$

式(8)中: U_1 为线路的检修、维护费; α 为电价; ΔA 为线路全年电能损失总值。

$$\Delta A = N_L \times (\Delta P + K \Delta Q) \times \mu \times \tau \times \alpha \quad (9)$$

式(9)中: K 为无功经济当量; μ 为线路负荷分布系数, 取 0.33; τ 为最大负荷损耗小时数; $\Delta P, \Delta Q$ 分别为负荷分段 i 上的有功和无功损耗。

(3) 线路综合费用等年值:

$$N_{FL} = C_L \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + U_L \quad (10)$$

式(10)中: r 为电力工业年投资回收率(贴现率), 取 10%; n 为线路经济使用年限(经济寿命), 架空线路取 30 年, 电缆线路取 40 年。

综合上所述, 配电网费用等年值即为变电站年费用和线路年费用之和:

$$N_{FN} = N_{Fs} + N_{FL} \quad (11)$$

4 算例

以江苏某重点城市为例, 考虑变电站容量为 $2 \times 63 \text{ MV} \cdot \text{A}$, 负荷密度为 $10 \text{ MW}/\text{km}^2$, 分别计算架空线单辐射、双侧电源多分段单联络和二供一备 3 种接线模式的最优分段数。计算结果如表 1 和图 6 所示。

由计算结果可得, 在给定的计算条件下, 架空线单辐射、双侧电源多分段单联络和二供一备 3 种接线模式的最优分段数分别为 4, 3 和 5。随着分段数的增加,

表 1 架空线典型接线单位负荷年费用 $\text{万元} \cdot (\text{MW} \cdot \text{a})^{-1}$

分段数	单辐射	双侧电源多分段单联络	二供一备
1	6.433	6.866	9.388
2	5.626	6.218	8.257
3	5.454	6.110	7.993
4	4.419	6.127	7.919
5	5.436	6.192	7.917
6	5.478	6.281	7.954
7	5.533	6.384	8.009
8	5.597	6.495	8.076
9	5.667	6.612	8.151
10	5.740	6.732	8.232

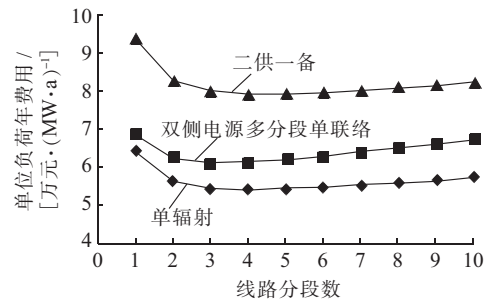


图 6 架空线单位负荷年费用对比图

单位负荷年费用先减小而后又逐渐增大, 导致该趋势的主要原因是随着分段数的增加, 即增加对分段开关的投资, 分段越多, 每段上的用户就越少, 每次由于故障或计划维修造成停电影响的户数就越少, 每段停电造成的损失逐渐减小, 因而负荷年费用逐渐减少; 而过了最优分段点之后, 分段设备等投资占据主导地位导致负荷年费用增加。

5 结束语

本文以配电网可靠性和经济性综合最佳为目标, 采用产电比法将可靠性折合为量化的经济效益, 结合配电设备的投资、运行和维护等费用, 研究分析了配电网各典型接线模式在多阶段负荷密度及普适性变电站场景下的最优分段数, 并得出了相应的计算方法。最后通过仿真算例验证了本算法的合理性。

参考文献:

- [1] 康庆平, 卢锦玲, 杨国旺. 确定城市 10 kV 配电网线路最优分段数的一种方法[J]. 电力系统自动化, 2000(13): 57-59.
- [2] 孙莉. 并列运行配电变压器经济运行软件设计[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(6): 43-46.
- [3] 陈毅勇. 浅析 10 kV 配电网的最优分段设置[J]. 广东科技, 2009(14): 183-185.
- [4] 葛少云, 张国良, 申刚, 等. 中压配电网各种接线模式的最优分段[J]. 电网技术, 2006, 30(4): 87-91.
- [5] 陈冲, 陈小伟, 沈明慷, 等. 含分布式电源的配电网馈线系统保护研究[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(6): 6-10.

参考文献:

- [1] 燕京, 陈政. 电网继电保护及故障信息管理系统设计[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(12): 85-89.
- [2] 刘清瑞. 继电保护与故障信息管理系统的结构、功能和实现[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(4): 93-95.
- [3] 倪益民, 丁杰, 赵金荣, 等. 电网继电保护及故障信息管理系统的实现[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(17): 86-88.
- [4] 张颈, 章坚明, 朱炳铨, 等. 220 kV 继电保护故障信息处理系统的设计[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(11): 61-64.
- [5] 刘志超, 黄俊, 承文新. 电网继电保护及故障信息管理系统的实现[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(1): 72-75.
- [6] 刘敏, 苏忠阳, 熊文. 广州电网 EMS/ 继电保护管理信息一体化系统应用分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(2): 79-82.
- [7] 苏忠阳, 赵有铨, 刘之尧. 能量管理系统和继电保护信息系统集成平台研究[J]. 南方电网技术, 2008, 02(6): 71-74.
- [8] 中国南方电网有限责任公司. 中国南方电网继电保护故障信息系统主站—子站通信与接口规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [9] 王家林, 夏立, 吴正国, 等. 电力系统故障诊断研究现状与展望[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 210-216.
- [10] 高振兴, 郭创新, 俞斌, 等. 基于多源信息融合的电网故障诊断方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 17-23.
- [11] 蒋宇, 李明, 张勇, 等. 一种集中监控模式下电网故障诊断算法[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(1): 56-58.

作者简介:

- 祁忠(1977), 男, 江苏张家港人, 高级工程师, 从事保护信息管理系统的研究和开发工作;
- 笃竣(1975), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 从事变电站监控系统研究和开发工作;
- 张海宁(1977), 男, 湖北荆门人, 高级工程师, 从事保护信息管理系统的研究和开发工作;
- 李枫(1981), 男, 江苏南京人, 工程师, 从事保护信息管理系统的研究和开发工作;
- 冯佳男(1985), 男, 江苏盐城人, 工程师, 从事保护信息管理系统的研究和开发工作;
- 刘焕志(1977), 女, 黑龙江双鸭山人, 工程师, 从事保护信息管理系统的研究和开发工作。

Design and Implementation of the New Generation of Relay Protection and Fault Information Management Station

QI Zhong, DU Jun, ZHANG Haining, LI Feng, FENG Jianan, LIU Huanzhi
(NARI-Relays Electric Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: The problems existed in current relay protection and fault information management station (PFIMS) are analyzed. Based the analysis, the principles for designing the new generation of PFIMS are presented. The architectures for software, hardware, database design, and application function of the new generation of PFIMS are designed, and the new generation of PFIMS is based on a uniform application platform. The panoramic models of the grid primary equipment, secondary equipment and its affiliated are realized based on IEC 61970, and the grid failure intelligent analysis is implemented. The designed system can be run independently and interactively with EMS on the uniform platform. Successful application of the designed system has been achieved in several power grids.

Key words: relay protection; management station; fault recorder; grid fault analysis

(上接第 7 页)

- [6] Q/GDW 370—2009, 城市配电网技术导则[S].
- [7] 林韩, 吴文宣, 吴涵, 等. 基于 SLCC 的中压配电网供电模型最优分段研究[J]. 华东电力, 2013(5): 919-923.
- 王峰(1984), 男, 浙江丽水人, 工程师, 研究方向为配电网规划;
- 李颖(1963), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 从事供电企业情报管理及研究工作;
- 王春宁(1966), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 从事供电企业科技开发及管理工作。

作者简介:

Research on Optimal Sectionalizing Number of Distribution Lines

WANG Feng, LI Ying, WANG Chuning
(Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210019, China)

Abstract: The optimal sectionalizing number of transmission line with the consideration of reliability for various typical connection modes with different load density and substation capacity is studied. The optimization uses an economy and reliability combined objective function, and the construction and operation costs of substations and lines are considered. With the optimization, the optimal sectionalizing number of lines for a multi-phase load density and a universal substation scenario is obtained. The simulation results validate the proposed approach.

Key words: distribution network; optimal sections; reliability; economy; average yearly value