

## 地区中压配电网容载比的研究

李欣然<sup>1</sup>,刘友强<sup>1</sup>,朱湘友<sup>2</sup>,王家红<sup>2</sup>

(1. 湖南大学电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082; 2 湖南省电力公司,湖南 长沙 410007)

**摘要:** 根据现行《城市电力网规划设计导则》中的容载比计算公式,基于典型地区电网的实际情况,考虑影响配电网建设规模的主要因素,深入分析各个参数的构成及意义,提出了确定 10 kV 配电网容载比的方法;提出把整个地区划分为若干个片区,分区计算变电容载比的方法。给出了应用算例,验证了该方法能有效的用于地区中压配电网容载比规划中。

**关键词:** 中压配电网; 容载比; 参数; 影响因素

**中图分类号:** TM714; TM715

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-4897(2006)07-0047-04

### 0 引言

变电容载比是某一电压等级电网的可供变电容量在满足供电可靠性基础上与对应的最高负荷之比值,是核算电网供电能力和电网规划宏观控制变电容量的重要指标。容载比过大,表示可供容量过多,反映建设变配工程过多提前,使电网建设成本过早投入,电网建设早期投资增大;容载比过小,可供容量过小则不足,将使电网适应性变差,发生调度困难,甚至引起限电现象。

《城市电力网规划设计导则》对 35~220 kV 电压等级的变电容载比取值范围作了明确的规定,如 220 kV 的变电容载比可取为 1.6~1.9,110 kV 变电容载比可取为 1.8~2.1;而《导则》对 10 kV 配电网的取值未给出一个参考范围。在当前激烈竞争的电力市场环境下,对广大地区级电网的 10 kV 中压配电网,尤其是城乡结合配电网,规划期的目标容量究竟放在什么水平上,其容载比如何合理确定,到目前还是空白,这乃是地区电网规划中迫切需要解决与研究的课题。

本文基于 10 kV 电压等级配电网配电所数量多、分散性大的特点,考虑到变电容载比与诸多因素有关,通过深入分析容载比计算公式各个参数的构成及意义,将影响地区电网建设规模的主要因素考虑到负荷发展储备系数中,提出了确定 10 kV 配电网变电容载比的方法。同时提出把整个地区划分为若干个片区,从而分区计算变电容载比的方法。通过实际电网验证,该方法能有效的用于确定地区 10 kV 配电网变电容载比当中,以指导地区中压配电网规模的规划,从而提高电网建设运行的综合经济效

益。

### 1 变电容载比的确定

#### 1.1 各个影响因素的确定

某一电压等级的变电容载比直接反映该地区该电压等级电网的建设规模水平。地区电网建设规模的影响因素众多,突出影响因素,淡化次要因素,客观、全面的确定好主要影响因素具有特别重要的意义。根据分析不同地区反映配电网建设规模的有关技术数据和统计资料,考虑地区配电网建设规模和建设资金的因素繁多,有国民经济、社会发展、地理环境、气候条件等等,拟从负荷密度、负荷特性、国民经济与社会发展、区域自然特点及建设环境等关键方面出发,通过实际项目的数据统计和分析,选取用电量、最大用电负荷、城镇化率、GDP 用电构成(包括一产业、二产业、三产业、居民生活用电)、总人口数、人均可支配收入等作为主要影响因素。

#### 1.2 变电容载比的定义

变电容载比是规划设计电网的供电能力的一个重要指标,直接反映电网建设规模水平,在电网规划设计中主要是根据历年统计资料和电网结构形式确定合理的容载比。

变电容载比的定义是区域供电网内同一电压等级变压器总容量(kVA)与对应的供电总负荷(kW)之比。

$$K_C = \frac{\sum S}{\sum P} \quad (1)$$

式中:  $S$  为某电压等级的主变压器总容量,  $P$  为对应电压等级主变压器的供电总负荷。

### 1.3 变电容载比计算公式

现行《城市电力网规划设计导则》中,某电压等级变电容载比的基本计算公式为<sup>[4]</sup>:

$$K_c = k_1 k_4 / k_2 k_3 \quad (2)$$

式中各参数定义如下:

$k_1$ 指变压器最大负荷的分散系数。 $k_1$ 等于一年中同一电压等级中的所有各变压器供应的最大负荷值的和除以电网最高负荷时对应的所有变压器供应负荷值的和。本文通过对近几年的变压器最大负荷运行情况进行统计分析,计算得出一个负荷同时率的平均值,取电网区域内负荷同时率( $k_T$ )的倒数作为负荷分散系数的值。即:

$$k_1 = \frac{1}{k_T} \quad (3)$$

$k_2$ 代表变压器的安全运行率。变压器安全运行率是指在  $N - 1$  时确保其余主变安全运行的最大允许运行率<sup>[6]</sup>。按照定义,变压器的运行率  $k_2 = [$ 变压器的最大负荷(kW)/变压器额定容量(kVA)]  $\times 100\%$ 。根据《导则》规定,为满足  $N - 1$  供电准则要求,当有一台因故障停运时,剩余变压器承担全部负荷而不过载,变压器运行率可按式(4)计算。

$$k_2 = k_{H1} P_H (N - 1) / N P_H \times 100\% = k(N - 1) / N \times 100\% \quad (4)$$

式中: $k_{H1}$ 为变压器短时容许过载率(国产变压器的2小时允许过载率一般为1.3); $N$ 为变电站的变压器台数; $P_H$ 为每台变压器的额定容量。

$k_3$ 指统计变压器的平均功率因数。

$k_4$ 代表负荷发展储备系数。传统计算中只简单地考虑按负荷发展速度增长率,在实际地区电网中,发展储备系数不仅与负荷发展水平有关,还与当地的社会经济发展、负荷特性、电网发展的要求等因素有密切的关系,要根据本地区经济结构、用电结构、发展速度、负荷增长情况,来合理确定其取值。我们拟将各个影响因素考虑到其取值当中,这样变电容载比能与各个影响因素联系起来,更准确的反映实际电网建设规模。

取改进后的负荷发展储备系数为:

$$k_4 = 1 + \sum_{i=1}^n i_i \quad (5)$$

其中: $n$ 为影响因素个数; $i_i$ 为各因素平均发展速度的增长率; $i_i$ 为各因素的重要性权重,主要依据各因素灰关联度来确定。

### 1.4 分区计算变电容载比

对于负荷水平和电网建设发展比较不平衡的大

地区,计算其中压变电容载比,尚可把电网分成若干片区后分别计算出片区电网的容载比,最后根据各个片区供电负荷的重要性程度给出个权重,最后得到总的变电容载比。计算方法如下:

首先把某一地区划分为  $n$  个片区,采用上述方法分别计算出各个片区的变电容载比为

$$K_{c1}, K_{c2}, \dots, K_{cn}$$

经由多个专家对片区打分后,将其综合,得到各个片区重要性程度的最终权( $w_1, \dots, w_j, \dots, w_n$ )<sup>T</sup>。其中, $w_j$ 为第  $j$  个片区重要性程度的综合权重:

$$w_j = \sum_{i=1}^z i w_{ij} / \sum_{i=1}^z i \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

式中: $z$ 为专家人数; $i_i$ 为第  $i$  位专家的权重; $w_{ij}$ 为第  $i$  位专家对第  $j$  个片区重要性程度的权重。

这样,我们就可以得到该区的变电容载比:

$$\begin{cases} K_c = w_1 K_{c1} + \dots + w_j K_{cj} + \dots + w_n K_{cn} \\ w_1 + \dots + w_j + \dots + w_n = 1 \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (7)$$

其中: $K_c$ 为地区变电容载比, $K_{cj}$ 为第  $j$  个片区变电容载比, $w_j$ 为第  $j$  个片区负荷重要性的权重。

### 1.5 平均发展速度增长率

平均发展速度增长率是反映各个影响因素现象在时间上的变化及变化趋势的基本指标。本文采用综合法来研究计算影响电网建设规模因素的平均发展速度增长率,它具有计算简便,准确度高的特点,同时还适合不完全资料计算平均发展速度增长率的独到之处。

首先设一时间数列

$$a_0, \dots, a_i, \dots, a_m \quad (t_0 < t_i < t_n)$$

一般的,称  $a_0$  为基期水平,称  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 为第  $i$  个报告期水平,又设第  $i$  个报告期时期长为  $T_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),有:

$$T_1 < \dots < T_i < \dots < T_n \quad t_{i-1} + T_i = t_i$$

利用水平法,则第  $i$  个报告期的平均发展速度为  $a_{pi}$ :

$$a_{pi} = \sqrt[T_i]{a_i / a_0} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

以报告期期长  $T_i$  为权数,报告期平均发展速度  $a_p$  的加权几何平均数作为平均发展速度  $a_p$ ,即

$$a_p = \sqrt[T_1 + T_2 + \dots + T_n]{a_{p1}^{T_1} a_{p2}^{T_2} \dots a_{pn}^{T_n}} = \sum_{i=1}^n T_i \prod_{i=1}^n a_{pi}^{T_i}$$

当  $t_i = i, T_j = j$  ( $i = 0, 1, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$ ) 时,有

$$a_p = \sqrt[1+2+\dots+n]{a_{p1} a_{p2} \dots a_{pn}}$$

即:

$$a_p = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_n}{N a_0} \sqrt[n]{\frac{a_1}{a_0} \times \frac{a_2}{a_0} \times \dots \times \frac{a_m}{a_0}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{N} \sqrt[n]{\frac{a_i}{a_{i-1}}}$$

则平均发展速度增长率为:

$$a = a_p - 1 = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{N} \sqrt[n]{\frac{a_i}{a_{i-1}}} - 1 \quad (8)$$

### 1.6 灰关联系数和灰关联度

灰关联度是表征两个灰色系统之间相似性的一种指标。设有两个序列  $\{x_{p(i)}\}$ ,  $\{x_{q(i)}\}$ , ( $t=1, \dots, m$ ) 在时刻  $t=k$  点, 其间的灰关联度定义为<sup>[2]</sup>:

$$r(x_p, x_q) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m e(x_{p(k)}, x_{q(k)}) \quad (9)$$

其中:  $e(x_{p(k)}, x_{q(k)})$  为  $t=k$  点的灰关联系数, 可用下式计算:

$$e(x_{p(k)}, x_{q(k)}) = \frac{\min_{pq(k)} + \max_{\max}}{pq(k) + \max} \quad (10)$$

表示  $k$  点两个数列的绝对差, 即:

$$pq(k) = |x_{p(k)} - x_{q(k)}|$$

$\max$ 、 $\min$  分别为各个时刻的绝对差中的最大值

与最小值; 为分辨系数,  $0 < \rho < 1$ , 的取值可以参见文献 [2]。

## 2 算例分析

考虑到地区电网实际情况, 对于 10 kV 系统, 配变所的变压器以 2 台居多, 变压器数量大且分散, 为方便计算, 本文作以下基本的假设条件:

1) 110/10 kV 变电站的供电区域为圆形, 变电站置于圆心, 中压配电网为辐射网络结构;

2) 近似认为整个中压配电网覆盖面上的电力负荷密度均匀;

3) 所有 10 kV 变电所均使用同一型号的 2 台变压器。

选取湖南某地区 1998 ~ 2004 年的影响因素统计资料为原始数据。如表 1 所示, 给出了某地区影响因素的基本状况, 通过综合法得到各个影响因素的平均发展速度增长率, 同时对各个影响因素进行灰色关联度分析, 能获得各因素对电网建设规模的重要性权重, 其结果如表 2 所表。

表 1 影响因素的初始值

Tab 1 Original values of affecting factors

年份	总人口 / 万人	城镇化率 / %	人均支配收入 / 元	GDP / 亿元	用电量 / 亿 kWh	最大负荷 / MW	一产用电 / %	二产用电 / %	三产用电 / %	居民用电 / %
1998	277.3	30.6	5209	185.6	27.0	453	3.03	77.13	9.22	10.62
1999	278.5	31.1	5714	195.4	29.6	493	2.37	77.53	9.2	10.9
2000	279.6	35.0	6049	213.7	33.5	543	2.68	72.62	13.61	11.09
2001	280.5	37.0	6661	236.6	35.4	583	3.11	72.60	13.8	10.49
2002	281.2	38.1	7117	262.3	35.7	648	3.22	75.26	10.62	10.9
2003	282.0	40.0	7663	267.7	37.2	645	4.46	75.42	9.59	10.53
2004	282.8	40.9	8222	332.8	44.4	733	4.52	75.59	9.65	10.24

表 2 影响因素的权重

Tab 2 Weights of affecting factors

因素名称	总人口 / 万人	城镇化率 / %	人均支配收入 / 元	GDP / 亿元	用电量 / 亿 kWh	最大负荷 / MW	一产用电 / %	二产用电 / %	三产用电 / %	居民用电 / %
增长率 (%)	0.36	5.47	8.14	8.59	8.31	8.49	2.43	-0.87	4.96	0.18
关联度	0.63	0.65	0.64	0.73	0.64	0.67	0.64	0.61	0.73	0.68
权重	0.095	0.098	0.097	0.110	0.097	0.101	0.097	0.092	0.110	0.103

综上所述, 根据目前该地区 10 kV 配电网实际情况, 取负荷同时率  $k_T = 0.6$ , 负荷平均功率因数  $k_3 = 0.85$ , 由公式 (2)、(3) 和 (4) 计算得  $k_1 = 1.67$ ,  $k_2 = 0.65$ ,  $k_4 = 1.047$ , 带入公式 (1) 可以得到出 10 kV 变电容载比  $K_c = 3.158$ 。该结果与有关专家做出的实际配电网容载比评估结论是一致的。

采用分区计算该地区 10 kV 配电网变电容载比时, 把该地区按县级区域划分为 5 个片区, 采用上述方法分别计算出各个片区的变电容载比为:

$(K_{c1}, K_{c2}, K_{c3}, K_{c4}, K_{c5}) = (3.121, 3.143, 3.261, 3.086, 3.154)$ , 结合专家给出的各片区负荷重要性的综合权重  $(w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = (0.2, 0.1, 0.3, 0.1, 0.3)$ , 最终的平均容载比结果为 3.172。

## 3 结论

本文综合考虑各种影响电网建设规模的主要因素, 利用客观历史数据, 首次从配电网的变电容载比定义着手, 将负荷发展储备系数与实际电网发展情

况联系起来,同时探讨了分区计算容载比的方法,为合理规划地区 10 kV 配电网变电容载比工作提出了一种崭新的方法,该方法可操作性强,具有很强的实用性,对不同地区具有普遍适用性和可比性。

文中的方法同样可以推广到城市配电网和农村配电网的规划中,对于合理确定各规划期的变电容载比取值,提高电网建设运行的综合经济效益,具有重要的参考价值和实际意义。

#### 参考文献:

- [1] 林峰,葛新权. 经济统计分析方法 [M]. 北京:社会科学文献出版社, 2003.  
L N Feng, GE Xin-quan. Economic Statistics Analysis Method [M]. Beijing: Social Sciences Literature Publishing House, 2003.
- [2] 刘思峰,郭天榜,党耀国,等. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京:社会科学文献出版社, 2000.  
L U Si-feng, GUO Tian-bang, DANG Yao-guo, et al. The Pessimistic System Theory and Its Application [M]. Beijing: Social Sciences Literature Publishing House, 2000.
- [3] 杨期余. 配电网 [M]. 北京:中国电力出版社, 1998.  
YANG Qi-yu. Distribution Networks [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.

- [4] 能源电 [1993]228号. 城市电力网规划设计导则 [M]. 北京:中国电力出版社, 1999.  
Energy and Electric [1993] No. 228. The Planning and Designing Rule of Urban Power Network [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.
- [5] 陈金玉,金文龙. 城网规划中关于变电容载比的取值问题 [J]. 供用电, 2004, 21(5): 18-20.  
CHEN Jin-yu, JIN Wen-long. Discussion on Choosing Numerical Value of Transformation Capacity-load Ratio in Urban Network Planning [J]. Distribution & Utilization, 2004, 21(5): 18-20.
- [6] 唐巍,郭喜庆,徐燕生,等. 农村电网建设与改造技术评估研究 [J]. 中国电力, 2004, 37(11): 31-33.  
TANG Wei, GUO Xi-qing, XU Yan-sheng, et al. Research on Technological Evaluation of Construction and Rebuilding of Rural Electric Network [J]. Electric Power, 2004, 37(11): 31-33.

收稿日期: 2005-08-16; 修回日期: 2005-10-08

#### 作者简介:

李欣然 (1957 - ),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统分析与控制,电力系统辨识与建模等方面的研究工作;

刘友强 (1981 - ),男,硕士研究生,主要从事电力系统运行分析和电网规划研究。

### Research on capacity-load ratio in district MV distribution networks

L I X in-ran<sup>1</sup>, L U You-qiang<sup>1</sup>, ZHU Xiang-you<sup>2</sup>, WANG J ia-hong<sup>2</sup>

(1. College of Electrical and Information Engineering, Changsha 410082, China;

2. Hunan Electrical Power Company, Changsha 410007, China)

**Abstract:** According to calculating formulas of capacity-load ratio in the current "Planning and Designing Rule of Urban Power Network", based on the actual conditions of the regional power grid, this paper considers the main factors that affect the construction scale of distribution networks and analyzes the composition and meaning of each parameter deeply. The improving method of ascertaining the capacity-load ratio of 10kV distribution networks is proposed. It divides the region into several parts, and evenly calculates the varying capacity-load ratio by parts. This paper provides calculating example as well, which demonstrates that the method is effective to plan the capacity-load ratio of MV distribution networks.

**Key words:** MV distribution networks; capacity-load ratio; parameter; influence factor

(上接第 46 页 continued from page 46)

### Improved genetic algorithm of mid-voltage distribution network optimal planning

WANG Lei, GU Jie

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** The paper presents an improved Genetic Algorithm based on Prüfer coding for mid-voltage distribution network optimal planning. According to real distribution network that is usually a spanning tree, and a Prüfer number can only express a tree, the algorithm codes chromosome making use of Prüfer. Furthermore, three main improvements are adopted in the algorithm. Firstly, initial generation is created to assure that individuals are all valid. Secondly, the operators of selection, crossover and mutation are improved, and self-adaptive operators are introduced to enhance control in evolution. Thirdly, the chromosomes are repaired after genetic operation to avoid unfeasible chromosomes, effectively accelerating its computing efficiency and convergence speed. The simulation results show that the algorithm is very effective and practical.

**Key words:** genetic algorithm; distribution network; optimal planning; spanning tree; coding