

基于经济性分析的城网变电容量载比取值方法研究

张建波¹, 罗滇生², 姚建刚², 李伟伟²

(1. 益阳市电业局, 湖南 益阳 413000; 2. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 在《城市电力网规划设计导则》给出的计算容载比公式基础上, 提出了一个确定变电站容载比的数学模型。变电站扩建需要考虑的主要经济因素包括扩建投资费用、机会成本、运行维护费用以及变压器设备的残值问题。不同的扩建方案其经济性优劣不同, 该模型通过比较满足可靠性的各个不同扩建方案的经济性, 找出最优的扩建方案对应的容量储备年限, 从而确定储备系数及容载比。算例分析结果表明, 该模型能够根据不同单位扩建费用和不同负荷增长率等具体情况确定出合理的容载比。

关键词: 城网规划; 容载比; 储备系数; 单位容量; 机会成本

Research on value of capacity-load ratio in urban power network planning based on the economical analysis

ZHANG Jian-bo¹, LUO Dian-sheng², YAO Jian-gang², LI Wei-wei²

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan Province, China;
2. Hunan HDHL Electric & Information Tech Co., Changsha 410012, China)

Abstract: Based on the formula of capacity-load ratio which is given by 《The Guide of Urban Power Network Planning》, a mathematical model is proposed to ascertain the value of transformer substation capacity-load ratio in this paper. The main economic factor of the transformer substation capacity expanding which need to consider includes the investment of transformer substation capacity expanding, the opportunity cost, the maintenance cost and the transformer equipment remnant value. Different expanding plan has different economic cost. The model compares the economic cost of each plan to satisfy power supply reliability, discovers the capacity reserve time to correspond to the best plan and the reserve coefficient and capacity-load ratio. Case analysis results show that the reasonable capacity-load ratio can be ascertained according to the expense of unit expands and the rate of load increment and other special details.

Key words: urban power network planning; capacity-load ratio; reserve coefficient; unit capacity; opportunity cost

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)13-0039-05

0 引言

容载比是城网变电容量在满足供电可靠性基础上与对应的负荷的比值, 在城区配网规划中, 容载比是确定变电站容量的重要参数。容载比取值是否合理直接影响到电网运行的可靠性以及建设投资的经济性。容载比过大, 变电站容量储备大, 电网建设早期投资增大; 容载比过小, 变电站容量储备不足, 电网适应性差, 影响供电。因此, 在城网规划中选取合理的变电容载比是规划结果满足经济合理要求的必要保证。

文献[1]给出了容载比取值的计算公式, 但除变压器运行率外, 未对其它相关系数的合理取值方法作深入的阐述。有关文献对其中的负荷分散系数、平均功率因数、变压器运行率进行了描述, 但是对

于负荷发展储备系数这个重要的参数却都没有给出一个定量的计算公式。文献[2]对导则提供的计算公式进行了介绍, 主要分析了各个参数的物理意义并给出了取值意见, 对负荷发展储备系数没作具体的研究; 文献[3]提出了通过考虑负荷增长的不确定性和电网建设速度的不确定性来确定负荷发展储备系数, 负荷发展的不确定性系数考虑的是高、中两个负荷预测方案在同一时期年均增长率的比例关系, 而储备系数考虑的是现在要为将来的负荷增长留有容量的余地, 是两个时期的概念, 因此它们之间是否存在关系还需要进一步去考证; 文献[4]指出在地区电网中, 负荷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关, 并考虑各个影响因素发展速度的增长率及其权重来确定储备系数。其中, 社

会经济发展因素是负荷预测确定负荷增长率时已经考虑的,电网发展的要求是电网结构坚强性的问题,是计算变压器运行率时已经考虑的,用它们来考虑储备系数是不合适的,并且各个参数的取值也很难准确给出。

本文研究的重点是在满足变电站可靠供电及变电站建设经济性的基础上定量计算负荷发展储备系数。文献[1]的计算公式是对某地区某一电压等级提出的,在实际的电网规划中,同一个城市里每个变电站的情况和负荷发展都不相同,因此,对应不同的负荷发展情况,变电站的容载比要取相应合理的值。本文主要考虑单个变电站具体负荷情况的容载比。

1 容载比计算公式

根据城市电力网规划导则的计算公式,将负荷分散系数设为 1,即得到单个变电站容载比计算公式:

$$K_s = \frac{K_4}{K_2 K_3} \quad (1)$$

式中: K_s 为变电站容载比; K_2 为功率因数; K_3 为变压器的运行率; K_4 为储备系数。

功率因数是指变电站负荷的功率因数。按照《电力系统电压质量和无功电力管理规定》:变电站应配置足够容量的无功补偿及必要的调压手段,在最大负荷时,一次侧功率因数不低于 0.95,在最小负荷时,相应一次侧功率因数不宜高于 0.95 (110 kV 及以下变电站不高于 0.98)。因此,功率因数取 0.95~0.98 比较合理。另外,也可以通过统计变电站的有功和无功的历史情况来确定。

变压器的运行率是在满足电网可靠供电的情况下变压器的安全运行率。它与变电站的变压器台数和电网结构都有密切的关系。具体的计算公式文献[1]已经给出,它的计算原则是在满足 $N-1$ 的基础上,假定电网结构足够坚强以及自动化程度比较高,能在短时间内转移过载的负荷,保证系统正常供电。文献[1]给出的计算结果是:变电站有 2 台主变时,安全运行率取 65%;有 3 台主变时,取 87%;有 4 台主变时,取 100%。

为了满足负荷增长需要一定的储备容量,它跟负荷的增长率有直接的关系。目前还没有一个定量的计算公式来确定储备系数,相关文献也只对这个系数进行了尝试性的取值。实际上,储备容量就是为了满足负荷增长的需要,对于具体某一个变电站如果负荷增长率(通过负荷预测)确定了,其最佳

储备容量也是确定的,它们之间有一种必然的关系,下面就从经济性的角度对储备系数的取值进行探讨,研究它们之间的这种关系。

2 储备系数的确定

变电站的扩建需要成本,储备系数过大,一次性投入的容量太多,虽然能保证变电站在很长一段时间内可以安全供电,但是会导致资金提前投入,成本增加;储备系数过小,虽然一次投入的资金偏少,但是为了保证变电站的安全供电就必须多次的反复扩建,这样又导致了成本增加。因此,可在保证变电站安全供电的情况下,找出最佳的扩建年份,使电力部门的经济成本最小,这时的变电站容载比及负荷发展储备系数就是最优的。

2.1 变电站扩建容量

2.1.1 临界容量

设变电站容量扩建能满足 N 年的可靠供电,随着负荷的增加,当到第 N 年时,变电站容量还能可靠供电,满足安全运行率,但这时的储备容量为零(储备系数为 1),变电站容量已经达到可靠性供电的临界状态,如果变电站扩建周期为 1 年,变电站必须又要马上开始扩建。这个能满足 N 年可靠供电的变电站容量就称为临界容量。假定规划周期为 M 年,变电站需要扩建的总次数为 $I = \frac{M}{N}$,第 N 年的

临界容量可以由下面的公式确定:

$$S_i = \frac{1}{K_2 K_3} (1+p)^{iN} A_0 \quad (2)$$

式中: S_i 为变电站临界容量,单位: MVA; A_0 为变电站现有(第 0 年)负荷大小,单位: MW; p 为负荷年均增长率; i 为变电站第 i 次扩建, $1 \leq i \leq I$,特别地,当 $i=0$ 时, S_0 表示为现有变电站负荷的临界容量; N 为扩建变电站的安全运行年份(容量储备年限), $N \leq M$ 。

由公式(2)可以看出,在一个规划周期内,变电站供电负荷的年增长率相同时, N 的取值是相同的(即每次扩建的时间间隔是相同的),规划容载比的取值为 $\frac{1}{K_2 K_3} (1+p)^N$,储备系数的取值为 $(1+p)^N$ 。

2.1.2 扩建容量

设现有变电站容量为 S MVA ($S < S_0$),现有容量小于临界容量,不能保证变电站供电的安全性,需要马上扩建,设 M 年内需扩建 I 次,当 $I=1$ 时,

只需进行 1 次扩建, 需要扩建的容量为:

$$\Delta S_1 = \frac{1}{K_2 K_3} A_0 (1+p)^N - S \quad (3)$$

($N = \frac{M}{I} = M$)

当 $I > 1$ 时, 每次需要扩建的容量为:

$$\Delta S_i = \begin{cases} \frac{1}{K_2 K_3} A_0 (1+p)^N - S & i=1 \\ \frac{1}{K_2 K_3} A_0 [(1+p)^{iN} - (1+p)^{(i-1)N}] & 2 \leq i \leq I \end{cases} \quad (4)$$

虽然实际的变压器只有几个典型的容量, 但在这里计算的时候, 可以把容量的取值当作连续的来考虑, 这样不影响容载比的取值。

2.2 经济成本数学模型

在一个规划期内, 对变电站进行扩建需要考虑的经济成本包括扩建投资费用、运行费用、投入资金的机会成本, 此外, 还要考虑变压器的残值问题。

2.2.1 扩建费用

变电站的扩建费用主要包括设备费用、土地费用、施工费用等, 在研究过程中常常采用单位造价来进行分析。通过统计历年的变电站扩建成本, 就可以得出变电站单位扩建投资费用与扩建容量之间的关系曲线图, 进而得到与扩建容量相对应的扩建费用:

$$z_1 = \Delta S \cdot f(\Delta S) \quad (5)$$

式中: z_1 为变电站的扩建费用, 单位: 万元; ΔS 为变电站的扩建容量, 单位: MVA; $f(\Delta S)$ 为扩建容量对应单位扩建投资费用的函数, 单位: 万元/MVA。

2.2.2 机会成本

根据经济学原理, 经济成本包括财务会计成本和机会成本。财务会计成本就是传统意义上的成本, 在变电站扩建中就是扩建费用。与会计成本相对应的是机会成本, 一般来说如果生产要素具有多种使用方式, 则总是把该种生产要素在最佳使用方式中所提供给社会的价值作为它在其它使用方式中的机会成本。一旦这种生产要素已经被最佳地加以利用了, 则把它在“次佳”使用方式中提供的价值作为其机会成本^[5]。

扩建费用作为电力部门的生产要素, 这笔钱很容易投放到其它方面去获取利润, 我们把这部分利润称为机会成本。由于设变电站扩建周期为 1 年, 即这笔资金一次性投入。假设将这笔钱存入银行, 按银行年利率为 j , 采用复利计算^[6], 则机会成本

为:

$$z_2 = z_1 (1+j)^n - z_1 \quad (6)$$

式中: z_2 为扩建费用 z_1 的机会成本, 单位: 万元; n 为扩建投资年份到规划末年的年数。

2.2.3 运行费用

变电站的运行费用主要包括运行维护费用和电能损耗费用。运行维护费用在技术经济学里又叫做维持费用, 它与设备的购买费用有一定的关系, 设年运行维护率为 h , 考虑到资金的机会成本, 换算到规划末年时的运行维护费为:

$$w = a \cdot z_1 \cdot h \cdot (1+j)^n \frac{[1 - (1+j)^{M-n+1}]}{1 - (1+j)} \quad (7)$$

式中: w 为变电站运行维护费, 单位: 万元; a 为设备购买费用占扩建费用的比例, 一般取值 60%~70%; h 为运行维护率, 其值可取 5%; n 为扩建投资年份到规划末年的年数。

另外, 不同容量的变压器它损耗的电能也不相同, 但是它们之间的差值对于整个经济成本来讲比较小, 在这里不再对它进行考虑。

2.2.4 残值

根据技术经济学原理, 当设备的使用年限没超过其物理寿命时, 就留有一部分残值。假设变压器每年的磨损费用是一个平均值, 使用寿命为 H 年, 变压器 N 年后被其它变电站采用, 考虑到资金的机会成本, 换算到规划末年时的残值为:

$$z_3 = a \cdot z_1 \left(1 - \frac{N}{H}\right) (1+j)^n \quad (8)$$

2.2.5 数学模型

假定规划周期为 M 年, 变电站容量需要储备 N 年, 则共需要扩建的次数为 $I = \frac{M}{N}$, 由此确定的总扩建费用 Z_1 、总运行费用 W 、总机会成本 Z_2 和总的残值 Z_3 可以由下面的式子来计算:

$$Z_1 = \sum_{i=1}^I \Delta S_i \cdot f(\Delta S_i) \quad (9)$$

$$Z_2 = \sum_{i=1}^I \Delta S_i \cdot f(\Delta S_i) [(1+j)^{M-(i-1)N} - 1] \quad (10)$$

$$W = \sum_{i=1}^I \Delta S_i \cdot f(\Delta S_i) \cdot a \cdot h \cdot (1+j)^{M-iN} \frac{[1 - (1+j)^{N+1}]}{1 - (1+j)} \quad (11)$$

$$Z_3 = \sum_{i=1}^I \Delta S_i \cdot f(\Delta S_i) \cdot a \left(1 - \frac{N}{H}\right) (1+j)^{M-iN} \quad (12)$$

经济性原则就是要满足总的经济成本最小,即:

$$F = \min(Z_1 + Z_2 + W - Z_3) = \min \left\{ \sum_{i=1}^I \Delta S_i \cdot f(\Delta S_i) (1+j)^{M-iN} \times \left[(1+j)^N + a \cdot h \cdot \frac{[1-(1+j)^{N+1}]}{1-(1+j)} - a \left(1 - \frac{N}{H}\right) \right] \right\} \quad (13)$$

由此确定最佳扩建次数 I 、容量储备年限

$$N = \frac{M}{I}, \text{ 计算得到的容载比取值 } \frac{1}{K_2 K_3} (1+p)^{\frac{M}{I}}$$

以及储备系数 $(1+p)^{\frac{M}{I}}$ 就是要求的最优解。

3 算例及结果分析

假设某 110 kV 变电站负荷的年均增长率为 p , 规划周期 $M=10$ 年, 变电站主变一直保持 2 台, 现有负荷 20 MW, 变电站容量 30 MVA, 功率因数取 0.96。

表 1 不同增长率对应的容载比值

Tab.1 Capacity-load ratio corresponds to the different rate of load increment

负荷年均增长率	扩建次数	N 值	成本/万元	F 值	储备系数	容载比
$P=5\%$	$i=1$	10	606.5	-	-	-
	$i=2$	5	522.4	-	-	-
	$i=3$	3.3	480.3	-	-	-
	$i=4$	2.5	474.9	474.9	1.130	1.81
	$i=5$	2	499.2	-	-	-
$P=10\%$	$i=1$	10	713.8	-	-	-
	$i=2$	5	680.6	-	-	-
	$i=3$	3.3	633.1	633.1	1.370	2.19
	$i=4$	2.5	639.4	-	-	-
	$i=5$	2	653.2	-	-	-
$P=15\%$	$i=1$	10	786.0	-	-	-
	$i=2$	5	775.2	-	-	-
	$i=3$	3.3	733.5	733.5	1.586	2.54
	$i=4$	2.5	750.9	-	-	-
	$i=5$	2	777.9	-	-	-

由表 1 可以看出负荷年均增长率在 5%~10% 之间时, 变电站容量的储备系数为 1.130~1.370, 容载比为 1.81~2.19。这个取值范围是比较符合 93 年版的《城市电力网规划设计导则》中关于城网 110 kV 级变电站容载比取值 1.8~2.1 这个范围的, 因

变压器可使用年限 $H=20$ 年, 银行年利率取当前值 $j=2.52\%$ 。通过统计该地区历史的变电站扩建费用, 得出单位扩建费用与扩建容量的关系曲线如图 1 所示。

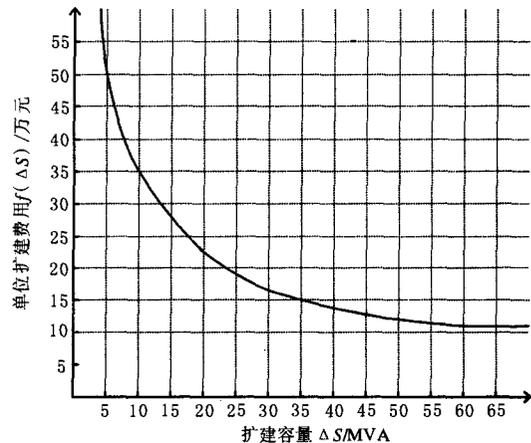


图 1 单位扩建费用与扩建容量的关系曲线

Fig.1 The relational curve of the expense of unit expands and extension capacity

计算得到不同负荷增长率情况下容载比的取值见表 1。

为它是根据历史情况而给出的全国适用的推荐值, 可以说是一个全国的平均值, 而且负荷增长率 5%~10% 是比较符合 1993 年以前全国的电力负荷增长情况的, 由此可以看出该方法得出的结果是比较准确的。

当负荷年均增长率在10%~15%之间时,变电站容量的储备年限 $N=3.3$, 储备系数在1.370~1.586之间,容载比的取值范围是2.19~2.54,由于这个负荷增长率范围明显高于历史的全国平均值,因此容载比也高于导则给出的推荐值。所以我们在实际的电网规划中,应该根据具体的负荷增长率来确定变电站的容载比。

如果变电站的主变采用3台进行计算,那么 ΔS_i 就会相应的减小, N 值也要减小,相应的储备系数和容载比都要减小,在这里不再作具体的计算。

4 结论

城网规划中,变电站容量的确定要满足经济合理性,因此必须找到合理准确的容载比取值。影响变电站容载比取值的因素有很多,对于单个变电站来讲,影响的因素主要有负荷增长率、主变台数、电网坚强度等。本文通过考虑负荷增长率及主变台数、考虑变电站扩建的经济性及运行的可靠性,提出了一个合理计算负荷发展储备系数及容载比的数学模型。利用该模型可以真正做到“具体问题具体对待”。

参考文献

- [1] 中华人民共和国能源部、建设部.城市电力网规划设计导则[M].北京:水利电力出版社,1993.
- [2] 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 Choosein Numerical Value of Transformation Capacity-load Ratio in Urban Network Planning[J].Distribution &Utilization, 2004,21(5):18-20.
- [3] 樊亚亮,廖立基,罗真海,等.广州电网容载比合理取值的研究[J].广东电力,2005,18(7):7-10.
FAN Ya-liang, LIAO Li-ji, LUO Zhen-hai, et al.Research

on Reasonable Value of Capacity-load Ratio in Guangzhou Power Grid[J].Guangdong Electric Power, 2005,18(7):7-10.

- [4] 李欣然,刘友强,朱湘友,等.地区中压配电网容载比的研究[J].继电器,2006,34(7):37-50.
LI Xin-ran, LIU You-qiang, ZHU Xiang-you, et al.Research on Capacity-load Ratio in District MV Distribution Networks[J].Relay,2006,34(7):37-50.
- [5] 金镛.经济学[M].大连:大连理工大学出版社,1998.
- [6] 武春友,张米尔.技术经济学[M].大连:大连理工大学出版社,1998.
- [7] 姚建刚,章建.电力市场分析[M].北京:高等教育出版社,1999.
- [8] 王建兴,刘静萍,尹琼.城网110kV变电所个数及变电容量、台数的优化选择[J].电力自动化设备,2001,21(8):31-33.
WANG Jian-xing, LIU Jing-ping, YIN Qiong. The Optimization of 110kV-Substation Number, Capacity and Unit Number in Urban Netwoek[J]. Electric Power Automation Equipment,2001,21(8):31-33.
- [9] 李胜洪,王家斌,张巧霞.湖北电网容载比问题的初步探讨[J].湖北电力,2000,24(3):42-44.
LI Shen-hong, WANG Jia-bin, ZHANG Qiao-xia. Preliminary Discussion on Capacity to Load Ratio Problems in Hubei Network[J].Hubei Electric Power, 2000,24(3):42-44.

收稿日期:2006-11-23

作者简介:

张建波(1982-),男,硕士研究生,研究方向为电网规划、电力市场及其相关软件的开发;E-mail:zjbgg@163.com
罗滇生(1971-),男,副教授,主要从事电力系统在线监测、电网规划、电力市场理论及相关软件的开发和研究;
姚建刚(1952-),男,教授,博士生导师,从事电力市场、新型输电方式和配电系统自动化方面的教学和研究。

许继集团中标世界首个特高压直流工程

日前,在广州举行的世界首个特高压直流输电工程——云广±800kV直流输电工程换流站主设备合同签订仪式上,许继集团公司与南方电网公司签订了价值10.56亿元的50%换流阀和全套直流控制保护设备的合同。这是该公司实施省重大科技专项“特高压输变电装备关键技术”以来,坚持自主创新、大力推进直流技术装备国产化所取得的又一显著成效。

云广特高压直流工程是许继集团公司继先后中标贵广二回直流工程、高岭直流工程等国家多项联网工程项目关键设备后的又一重大项目,签约金额再创新高,标志着许继集团在重大装备自主化研发生产方面迈进了一大步,在国内外同行业中占领了一席之地。

云广特高压直流工程是世界输变电技术创新和我国电网发展方式转变的标志性工程,在我国和世界的电力发展史上都具有里程碑意义。