

# 基于多元约束条件的园区配网 规划方法的优化研究

陈利<sup>1</sup>, 唐文左<sup>2</sup>

(1. 四川电力职业技术学院, 四川 成都 610072; 2. 重庆电力科学试验研究院, 重庆 400015)

**摘要:** 由于园区配电网规划受招商引资的力度、变电站站址、线路廊道或排管、环保等多种约束条件限制, 规划决策者通常要面临一个由相互关联的各个部分构成的复杂系统, 这种复杂系统的决策问题大都属于多因素决策问题, 其解决的关键在于如何在一系列非劣解中确定最优解。通过在多元约束条件下数学优化计算, 同时采用人工干预的方法, 确定其配网规划最优方案, 从而体现出其配网规划先进性、科学性、经济性, 同时具备一定的超前性。

**关键词:** 多元约束条件; 园区配电网规划; 优化方法

**Abstract:** As distribution network planning of zone is limited by the intensity of investment, the substation site, the lines and pipes direction, the environmental and other sanctions, the plan makers often have to face an interrelated composition of the various parts of the complex system. The decision-making problems for this complex system belong to the multiple factor decision-making problems. The key to solve these problems is how to find the optimal solution in a series of non-inferior solution. After introducing the optimization method based on multiple constraints and artificial intervention, the optimal method for distribution network planning is determined. This method can make the distribution network planning advanced, scientific and economic.

**Key words:** multiple constraints; distribution network planning of zone; optimization method

中图分类号: TM715 文献标识码: B 文章编号: 1003-6954(2008)03-0038-04

目前国内外对城市电网规划技术的研究非常重视, 在保证电网安全稳定运行的前提下, 采用了诸如人工智能技术、灰色理论及各种优化算法对电网进行优化规划, 以利提高电网供电的可靠性和经济性, 取得了不少成绩。但该类规划主要侧重在输电网规划和电源规划, 对配电网规划研究不够; 而配电网规划是电网建设的基础工作, 是城市总体发展规划的重要组成部分。传统的采用经验法确定配网的电源点个数、位置、容量大小、供电模式、接线方式、设备配置等已很难满足用户的供电要求。由于配电网的复杂性及在远期规划中存在的许多不确定因素, 本研究考虑在现场各种约束条件下进行数学优化计算, 同时采用人工干预, 灵活运用各种技术和优化算法并结合现场具体技术原则和设计施工原则, 对配电网进行规划, 从而具有较强的适应性和科学性<sup>[1]~[5]</sup>。

## 1 园区配电网规划

园区是指在城镇发展过程中为发展经济、给予经济和投资方面的政策支持和倾斜的集中开发区域。

园区一般远离城市中心, 它的开发进度与强度往往与开发区的招商引资力度以及该区域的基础设施是否完善有关。

园区的负荷预测数值与其开发面积、主要功能(如工业等)定位有关, 且往往会有部分用户的负荷数值较大需要各级变电站的中低压侧直接供电的情况, 因此园区不同性质的用户往往在负荷数值大小以及供电方式上有很大区别, 且该类区域往往还存在着在开发初期需提供临时电源等问题, 这些因素在规划时必须予以考虑。

## 2 负荷预测

在配电网负荷预测工作中, 为了找到使用方便、精度高、计算快的预测方法, 电力系统学者在理论上展开了更实用的研究。目前应用于配电网工程的预测方法主要是电量预测法和负荷密度指标法两类。电量预测法一般可按工业、农业、交通运输、市政生活等负荷分类进行, 首先预测规划区的电量, 进而预测负荷。负荷密度法是将配电网供电范围分成若干功

能区,由各分区现有负荷值计算现有负荷密度值,然后根据地区规划中有关的分区规划,如经济发展水平、估计规划期内分区可能达到的负荷密度预测值。在配网规划中,负荷密度指标法具有更广泛的应用<sup>[6]</sup>。

负荷密度指标法(空间负荷预测),不仅能够进行负荷预测,而且能对未来负荷的地理位置分布进行预测。与一般方法相比,该方法考虑的因素更多,和计量经济模型得到相应的关系式相比,空间负荷预测可以说是一种专家系统的方法,它所选择的相关因素以及电力负荷与它们之间的关系都要通过专家的意见和对负荷预测区域过去负荷发展规律作大量调研来确定,具有较大的可信度。

### 2.1 空间负荷预测的主要优点

1)对于新开发地区,没有历史数据,不能用趋势法来预测,而就可用法。

2)由于电网中经常出现的负荷转移的问题也会对常规负荷预测方法的结果产生很大影响,该法可以不受它的影响。

3)该法得到的结果不但有将来的负荷值,还有这些负荷在地理上的分布值,对电网规划有具体的指导作用。

### 2.2 空间负荷预测的一般过程

1)将需要进行负荷预测的区域划分为一个个小区,一般划分为整齐的一个个小区,这样可以对大多数情况的处理采取一致的方法,当然也可以按功能块划分。由于负荷预测工作是为了进一步变电站选址定容,因此分块的大小要和负荷预测的电压等级一致,才可得到较为实用的结果。

2)通过向政府规划部门收集各预测小区未来的土地规划方案,可以得到各预测小区负荷的分布情况和相应面积。

3)在用地类型的预测基础上,进一步进行负荷的预测,分析用地类型的典型负荷特性,从而得到负荷预测。这里也要考虑相邻小区之间相互作用的影响,比如相邻小区之间的功率转移的影响等。

4)将各种负荷类型相加求得最终预测结果,可以是乘以同时率,也可以通过负荷的典型日负荷曲线相加获得。

## 3 变电站的选址定容

变电站是电网中变换电压、汇集、分配电能的设施,在负荷预测的基础上,进行变电站的选址定容是配电网规划的重要内容。变电站选址定容时须考虑:变电站电压等级、单台主变容量、变电站最终规模台数、负载率、各侧电压等级出线回数、站址要求、进出线条件等方面,均应遵循相关技术规定。

### 3.1 变电站容量及台数选择

变电站容量和变压器台数是影响配电网结构、可靠性和经济性的一个重要因素。变电站容量和台数不同,网内变电站总数、变电站主接线形式和系统的接线方式也就不同,也必然对电网的经济性和可靠性产生不同影响。因此变电站容量及变电站台数是配电网规划设计中必须决策的问题。

主变台数一般选用2~3台。主变容量选择应根据“N-1”原则,最高负载率应不超过规定数值,主变的负载率有两种方法可以确定,第一种方法为按主变不过载情况来确定主变的平均最高负载率(指全年负荷最高的25天的日最高负荷平均值),第二种方法是考虑主变过载1.3倍情况来确定主变的负载率。

变电容量的选择最终是为保证配电网具有一定的供电能力。在变电容量选择时还需考虑同一电压等级的总变电容量满足一定的容载比要求。容载比是城网内同一电压等级的主变压器总容量(kVA)与对应的供电总负荷(kW)之比(计算时应将用户专用变电站的变电容量及其所供负荷分别扣除)。《城市电力网规划设计导则》中各电压等级变电容量的容载比为<sup>[1]~[2]</sup>:220 kV 电网是1.6~1.9;110 kV 和35 kV 电网是1.8~2.1。

容载比过大将使电网建设投资增大,容载比过小将使电网适应性差,甚至发生“卡脖子”现象。因此容载比是电网规划的重要技术经济指标。

### 3.2 变电站优化选址

变电站站址的优选可以从等负荷原则、负荷矩最小原则、初投资最小原则、以及网络运行费最小原则等几个方面予以考虑,并建立相关模型的算法应用智能电网规划软件,以求得配网中一定负荷水平下的最佳变电站站址。

多源连续选址方式:在一个规划区中同时确定几

个变电站的站址。设所研究的问题有  $m$  个变电站，向  $h$  个负荷点供电，则基于等负荷原则、初投资最小原则、负荷矩最小原则以及网络运行费最小原则的多源连续选址目标函数分别为：

$$\min C = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^h [(u_j - x_i)^2 + (v_j - y_i)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\min C = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^h \delta_{ji} S_i [(u_j - x_i)^2 + (v_j - y_i)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\min C = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^h \delta_{ji} P_i [(u_j - x_i)^2 + (v_j - y_i)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\min C = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^h \delta_{ji} \beta_i P_i [(u_j - x_i)^2 + (v_j - y_i)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m \delta_{ji} = 1 \quad (i=1, 2, 3, \dots, h) \quad (5)$$

式中： $\delta_{ji}$ —标志参量；

$\delta_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{电源 } j \text{ 向负荷点 } i \text{ 供电} \\ 0 & \text{电源 } j \text{ 不向负荷点 } i \text{ 供电} \end{cases}$

$(u_j, v_j)$ ：第  $j$  个变电站的新站址；

$(x_i, y_i)$ ：第  $i$  个负荷点的坐标；

$n$ ：该变电站所供负荷点的个数；

$S_i$ ：的配电线路的截面；

$P_i$ ：各负荷点功率(kW)；

$h$ ：负荷点的总个数；

$m$ ：变电站个数；

$\beta_i$ ：单位距离、单位负荷的费用系数。

约束条件(1~5)是保证任何一个负荷点的负荷，一般都不由一个以上的电源供电。这是因为城市配电网一般是闭式设计开式运行网络，各负荷点同时只能由一个电源来供电<sup>[7]</sup>。

## 4 园区配电网供电模式与接线方式的确定

10 kV 配电网是由 10 kV 架空线路、电缆、街坊配电站、箱式配电站、开关站、杆架变压器、环网柜、电缆分支箱等组成分布面广的公用电网，其网络结构是配电网规划设计的主体。根据负荷预测结果和规划区 110(35)kV 变电站规划情况，结合园区发展定位和总体规划实际情况，进行 10kV 配电网的规划，将电能安全、可靠、经济、优质的分配到用户，是负荷预测后的一项重要工作<sup>[8]—[10]</sup>。

### 4.1 10 kV 配电网接线模式

通过对不同接线模式进行分析，提出典型接线模式。

#### 4.1.1 不同母线出线的环式接线模式

不同母线的出线的环式接线模式如图 1 所示。该接线模式中的两路进线取自同一个变电站的不同母线。在正常运行情况下，采用开环方式运行(联络开关打开)，当一路电源线路有故障时，联络开关合上，由另一条线电源线路供电，所以要求每回电源线路正常时负载率不超过 50%。

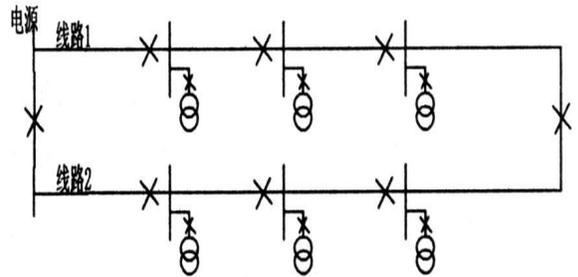


图 1 不同母线出线的环式接线模式

#### 4.1.2 不同变电站出线的手拉手环式接线模式

对两个变电站之间的区域可采用地块与地块之间手拉手环式接线模式，如图 2 所示。这种模式中两路进线取自不同的变电站，正常运行时联络开关是打开的，地块一由线路 1 供电，地块二由线路 2 供电，供电范围明确，便于调度管理。当变电站有故障时，联络开关合上，从而实现负荷的转移，提高了供电的可靠性。此模式的线路负载情况与前述相同。

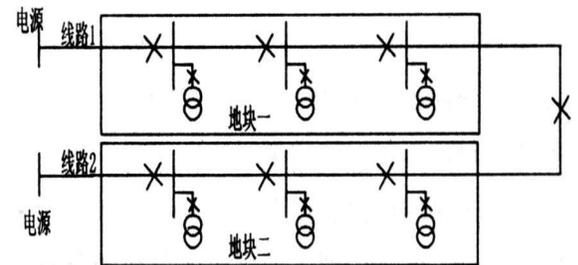


图 2 不同变电站出线的手拉手环式接线模式

#### 4.1.3 不同母线出线连接的开关站接线

如图 3 所示，这种接线模式实际上就是从同一变电站的不同母线或不同变电站引出主干线至开关站，再从开关站引出电缆线路带负荷。在这里每个开关站具有两回进线，对于居住区，开关站出线采用辐射状接线方式供电，对于工业区，开关站出线间也可以形成小环网，为了满足  $N-1$  准则，当开关站两回进线中的一回出线出现故障时，另一回进线应能带起全

部负荷,这样正常运行时,每回进线应有50%的备用容量。开关站的容量可按一回进线的安全允许容量来选择。

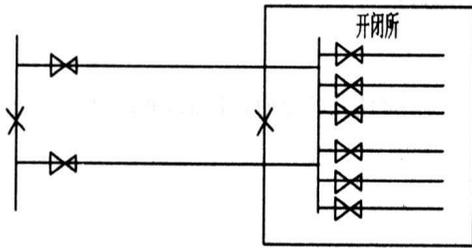


图3 不同母线出线连接的开关站接线模式

#### 4.2 架空线与电缆的选择

园区电网规划中,导线的选取非常重要,它的选择决定着整个配电系统能否安全、经济、可靠的运行。目前园区电网规划中10 kV 架空绝缘导线干线主要选用240 mm<sup>2</sup>,也可选用120 mm<sup>2</sup>,分支线路主要选用95 mm<sup>2</sup>,具体选型要根据具体城镇负荷情况而定。一般沿道路的西侧、北侧或绿化带架设,以便为远期改用电缆预留通道。

有些园区为达到较高的可靠性,尽量减少外界环境对电网的影响,在经济条件许可的园区电网也可采用电缆。园区电网规划中10 kV 电缆的选择主要考虑它的最大负荷能力以及满足N~1 校验的要求。具体规划实践中,可按照电缆实际允许负荷和园区规划中的负荷情况,进行电缆的选择,选型力求设备规格统一化。

#### 4.3 电缆排管规划

根据园区电网的具体规划方案,提出了相应的电力排管建议性规划方案。地下电缆线路敷设方式主要有:直埋敷设、沟槽敷设、排管敷设、隧道敷设等。其中直埋敷设是较经济、简便的敷设方式,适用于易于开挖的人行道下和建筑物的边沿地带。排管的敷设方式,适用于敷设电缆条数较多,且有机动车等重载的地段。

园区配电网规划中10 kV 电缆一般主要采用排管敷设方式和直埋敷设方式。由于排管建设的一次性和配电网建设的分步实施性,因此对电缆排管的规划要求具有很强的适应性,在电缆排管建成后的若干年内,能够满足配电网建设方案不断调整的要求。根据配电网远、近期规划方案,同时兼顾规划区周边地区电网发展需要,并根据当地电力行业有关技术规定

进行电缆排管规划。

### 5 其他规划内容

以上内容为园区配电网规划的主要部分。此外,还应对多个配网方案从潮流分布、供电可靠性、短路电流、经济性等约束条件进行综合对比分析,从而推荐最优方案,最后对推荐方案进行自动化、无功、环保等其他专项规划。

### 6 结束语

园区配电网规划应与园区近、远景规划相适应,与配电网现状相适应,与规划区负荷发展变化相适应,与效益管理、节约环保相适应。力争体现出设计的先进性、科学性、经济性,同时具备一定的超前性,为园区的电网规划管理提供技术依据,使园区开发建设更加科学、合理,从而更好的指导园区配电网的开发建设,为园区的健康、快速、经济发展提供电力保障。

#### 参考文献

- [1] 《城市电力规划规范》[S]. 国家建设部颁发的建表(1999)149号.
- [2] 《城市电力网规划设计导则》[S]. 能源部、建设部联合颁发的能源电(1993)228号文.
- [3] 《城市配电网优化的指导意见》[S]. 中电联供电分会技术管理专委会,2003年3月.
- [4] 《城市中低压配电网改造技术导则》[S]. 中华人民共和国电力工业部发布电力行业标准,DL/T599-1996.
- [5] 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.
- [6] 牛东晓.《电力负荷预测技术及其应用》[M]. 北京:中国电力出版社,1998年10月等编著.
- [7] 张玉珩.《变电所所址选择与总布置》[M]. 北京:水利电力出版社,1986年.
- [8] 方向晖.中低压配电网规划与设计基础[M]. 北京:中国水利水电出版社,1998.
- [9] E. Lakervi E. J. Holmes 著,范明天,张祖平,岳宋斌译.配电网规划与设计[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
- [10] G J Salis, A S Safigianni. Optimum long-term planning of a radial primary distribution network. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 20, No. 1, 1998, p. 35-41, 0142-0615.

(收稿日期:2008-02-10)