

# 中压配电网的网架结构优化

王可

(成都电业局,四川成都 610016)

**摘要:**配电网的规划可根据规划内容分为长期规划、网络规划和施工设计三部分。长期规划用于确定未来的主要投资项目和主网架的结构;网络规划用于处理近期的各种投资项目;而施工设计用来考虑各个网络元件的结构设计,以及考虑能否获得各种设备和材料。重点讨论长期规划中网架结构的优化。

**关键词:**配电网;网架结构;结构优化

**Abstract:** Medium-voltage distribution network is an important part of power system and one of the necessary infrastructures for modernization. Substantial practices show that a scientific and efficient optimization project for distribution network structure can save the investment, reduce the power failures and line losses, and improve the quality of power supply, which is currently one of the important tasks of electric power departments. The long-term programming is for deciding the main investments and major network structure in the future; network planning is for dealing with various investments recently; while construction designing is for taking all the structure design of network components and possibly available instruments and materials into consideration. It mainly focuses on the optimization of network structure in the long-term programming as follows.

**Key words:** distribution network; network structure; structure optimization.

**中图分类号:**TM715 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-6954(2008)02-0018-04

电力是经济发展的前提,一个安全经济的供电系统是保障国民经济高速发展的先决条件,而供给用户满意的电能必然要求有一个容量充足的高度可靠的配电网。通常把电力系统中二次降压变电所低压侧直接或降压后向用户供电的网络,称为配电网(distribution network)。它由架空线或电缆配电线路、配电所或柱上降压变压器直接接入用户所构成。而10 kV中压配电网由高压变电所的10 kV配电装置,开闭所、配电所和架空或电缆线路等部分组成,其功能是将电力安全、可靠、经济、合理的分配到用户。

国外配电网发展起步较早,目前已形成了完善的配电网系统,日本与欧美等国家尤为显著。日本配电网的发展由于国情的不同,其供电半径小,供电可靠性要求高,较多采用环网供电方式;欧美国家则由于地域的关系配电线路以放射性为主,电压等级较高,多采用长配电线路。中国长期以来,电力部门重发电、轻用电的现象比较严重,将主要精力放在大电网、大机组上,对配电网用电质量及可靠性重视不够,忽视了配电网的重要性和特殊性,使配电网的技术发展受到严重的制约,造成了配电网供电可靠性差、设备落后、不安全的因素较多的状况。

而中国配电网建设却不能适应城市经济社会发展的需要,其原因是城市经济增长迅速,而城市电网

发展缓慢,表现在设备陈旧、供电容量不足、电网结构不合理、可靠性差、电能质量低等方面。因此,近期国家巨资实施城乡配电网的改造工程以提高配电系统的供电能力和安全经济运行,配电网建设已成为了当今电力建设的重头戏。

与输电网相比,配电网的电压等级较低、供电范围小,但因直接和用户相连,具有用电量、负荷密度高、安全可靠和供电质量要求高等特点。过去由于“重发、轻供、不管用”,致使配电网建设比较落后。更由于配电网建设规划的不尽合理或根本没有规划,导致大部分地区现有网架结构混乱,供电质量不高。这些年全国工业和第三产业的高速发展,使配电网受到严峻考验,因此必须通过制定规划来改变配电网落后的现状,用规划来经济有效地指导配电网建设与改造。

## 1 中压配电网的形成及特点

中国普遍采用10 kV作为中压向各用户供电,这是中国电网多年发展的结果。早期中国的配电网电压等级零乱而复杂,仅中压配电网就曾经同时出现了3.3、5.2、6及10 kV等若干个电压等级,造成电网管理的混乱。后来随着城市负荷密度的提高和大型电

力用户的出现,配电网的电压等级也在不断提高,而许多地区更是采用升压上靠的办法改造变电所和线路,规范简化电压系列。因此逐渐形成了目前的 110、35 kV 高压配电网,10 kV 中压配电网及 380/220 V 的低压配电网。虽然随着经济的发展,有些大中城市要求在配网中引入更高的电压等级 20 kV,并且通过了全国额定电压标委会的论证。但是,限于 20 kV 还只是停留在讨论阶段,且大部分城市仍用 10 kV 作为中压配网的电压等级,而且还未达到 10 kV 电压等级的饱和状态,因此,这里中压配网的电压等级只讨论 10 kV。

中压配电网主要是供给一个地区的用电,因此相对于区域电网来说,电压等级和供电范围都要小一些。它在结构上最大的特点是作为电力网的末端直接与用户相连,敏锐地反映着用户在安全、优质、经济等方面的要求。因此它具有其他电力网所没有的特点,主要体现为以下三点:①深入城市中心和居民密集点;②传输功率和距离一般都不大;③供电容量、用户性质、供电质量和可靠性要求千差万别,各不相同。

## 2 网架结构优化问题的提出

在电力市场的影响下,配电网的建设、改造和运行管理,都要适应电力市场的变化,因此中国投入巨额资金来进行城乡电网改造。在这种形势下,选择一种符合中国电力行业的实际情况、既有较好经济性又有较高可靠性的配电方式是摆在大家面前的一项迫切任务。

中压配电网按高压变电所的布局划分成若干相对独立的分区配电网,各分区网有明确的供电范围,习惯做法是不交叉供电。因此,中压配电网应有一定的冗余度,当负荷转移时不致使配电网中的元件过负荷;同时,中压配电网还应有较强的适应性,对于开发区和发展较快的城市而言,这一点尤为重要。为避免浪费投资,新建的主干线、开闭所和配电所的兴建均应按发展规划的规模一次建成,在相当长时间内不需要更换,不再扩建。因此,在建设或改造中压配电网前,对其进行规划就显得极其重要和迫切。

在城市电网中,对于负荷密集区,大多建有配电所(开闭所或开关站),再从配电所直接向用户供电。对配电网进行规划时,通常都是把配电所的布局 and

络接线分开来进行。一般是根据预测的负荷分布进行优化计算,确定供电区内最佳的配电所数及其规模,然后在此基础上进行网络规划计算,确定在给定目标条件下的最佳网络结构,即配电所之间及其与变电所之间如何“连线”的问题。

一般城市的配电网由架空线和电缆线混合组成。过去中国城市中大多以架空电网为主,由于城市中架空线路的安装日益困难,且随着近年来负荷的急剧增长和城市规划、改革开放的需要,电缆也得到了广泛的应用。但是架空线路具有建设费用低、建设周期短、负荷支接方便、易于故障修理等优点,因此首先考虑架空线或绝缘架空线路供电还是最实用的供电方法。10 kV 网络作为中国城市中压配电网,其地位十分重要,而其电网接线模式的选择更是一个重要的问题,不仅牵涉到电网建设的经济性和可靠性,对整个电力工业发展和用户的发展均有重要意义。中压 10 kV 配电网的常用接线模式有:完全放射状、中介点放射状、树状、普通环式、手拉手环式。其结构模型如图 1 所示。

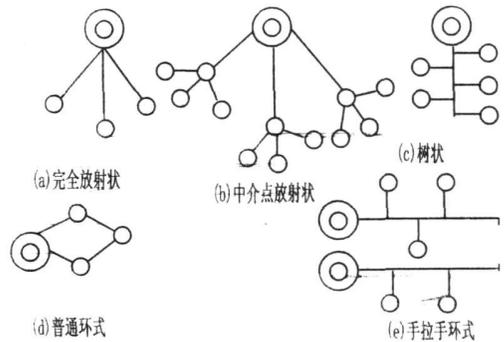


图 1 10 kV 配电网常用接线模式

考虑到配网实现自动化的简便,在正常运行方式下,普通环式接线和手拉手环式接线均以开环方式运行。在不同接线模式下构建的网架,从经济性、可靠性、网损率和网络节点的电压水平各方面比较都有所不同。而实行网架规划时采用何种接线方式主要依赖于本地的实际情况及规划的具体要求。

通过规划可以节约大量投资、降低网损、减少停电范围和时间及提高电能质量等,是配电网规划中至关重要的一个环节。但是由于配电网十分复杂且具有诸多不确定性,采用传统的优化方法不能获得满意的优化结果。而且随着电力市场的深入发展和电力行业的机制改革,竞争越演越烈,传统方法已经

远远不能满足现代电力系统的要求。以计算机为工具,采用新技术、新方法对中压配电网进行优化规划已在电力界达成共识,其中遗传算法就是其中应用较为广泛的一种。

### 3 配电网网架规划的主要特点

配电网络的规划可根据规划内容分为长期规划、网络规划和施工设计三部分。长期规划用于确定未来的主要投资项目和主网架的结构;网络规划用于处理近期的各种投资项目;而施工设计用来考虑各个网络元件的结构设计,以及考虑能否获得各种设备和材料。对中压配电网的网架结构进行规划设计时必须做到安全与经济的统一,因此是一个非常复杂的优化问题,主要特点如下:

(1)非线性。电力系统是一个非线性的系统。仅从电网规划方面来看,不仅线路的投资费用并非是非线性的,其他诸如可靠性等指标也不是线性的,而且规划过程中的潮流算法也是非线性的。

(2)整数性。电力线路的建设与投运是0-1性质的,要么没有,要么有,不存在一个过渡状态。正是由于这种不连续性,给分析和处理带来了很大的难度,规划时需采用整数规划。

(3)不确定性。配电网络的规划很大程度上依赖于负荷预测值,而负荷值采用的是当前的预测值,其准确性上有待将来的验证。投资费用也因为物价变化存在不确定性,而在社会和经济的发展过程中还存在其他各种不确定因素,常规的数学规划作电网规划时无法考虑这种不确定因素。

(4)多目标性。进行配电网网架规划不仅要求投资费用少,还要求可靠性高、占地面极少、环境污染小等,这样就存在一个如何综合衡量多个目标的优劣的问题。可以引入模糊数学中的隶属函数来评价整体目标的满意与否。但是隶属函数的确定很灵活,需要引入专家的知识 and 经验。

(5)多阶段性。很多规划工作者在设计网络时,只满足了系统的当前需要,没有考虑当地经济的发展及负荷的增长,没过多久网络就需要改造,造成了许多盲目的损失。因此,进行配网改造时,应避免短期行为和盲目性,从长远的角度综合考虑电网布局,既要求在当前阶段的规划中计及各待架线路对以后各阶段的影响。

进行配电网网架规划是改革形势发展的必然趋势,通过规划来指导配网建设,可以加强配网的改造,使配网结构合理、安全可靠、经济灵活,从而减少停电损失,降低线损,提高供电质量。

### 4 网架结构优化的基本准则

进行网架结构规划时,应满足电力系统经济性、可靠性与灵活性等各方面的基本要求:

(1)具有高经济性。高经济性是进行电网建设的最根本的要求,但在评估经济性时,不能仅把电网建设的初期投资作为唯一考核指标,要以电网发展建设的总体效益来衡量,这点目前已达成共识。同时还应该把用户停电损失也计算在内,即把可靠性作为优化计算的目标之一。

(2)提高配电网整体供电能力。配电网直接联系着广大用户,覆盖面很广,供电面积大,因此应具有充足的供电能力,以满足用户需求不断增长的要求,尤其是经济发展迅速的城市和地区,对电网供电能力要予以特别重视。

(3)提高电能质量及供电可靠性,保证电网安全运行。这是适应电力市场发展的要求,保证在灵活机制下的高竞争力。

(4)要有较大的灵活性和适应性。在电网规划设计中,配电网的灵活性和适应性观念尤为重要,因为经济发展既是一个系统工程又是一个动态工程,包含着许多相互制约的不确定因素。远期发展目标不可能全部预见且在蓝图上全部确定下来,因此要求配电网网架结构具有足够的弹性,包括有足够的设备容量,在各种可能出现的运行方式下的应变能力。在制定各阶段网架方案时要考虑前后阶段之间的相关性、即发展过程中的过渡方案。

### 5 网架优化方法

#### 5.1 启发式网架优化方法

根据所确定的衡量安全性指标的不同,启发式方法分为基于支路性能的启发式方法和基于系统性能指标的启发式方法。基于支路性能指标的启发式分析方法中,线路的选择是根据系统运行时线路功率传输情况来实现的,常选用的有线路是否能满足负荷要求或者线路过负荷程度等指标;而基于系统性能指标

的启发式方法中,线路的选择是根据线路对系统运行时整个系统的一个特定运行性能指标的影响程度来实现的,常选用的指标有系统缺负荷大小指标等对线路的逐步选择。

基于线路指标的启发式网架规划方法分为逐步倒退法和逐步扩展法两种。逐步倒退法是根据目标年数据构成一个虚拟网络,该网络除了已有线路以外,包括所有待选的线路,这样,构成的就是一个冗余度很高但不经济的网络,然后采用潮流模型对该网络进行分析,比较各待选线路在系统中的作用和有效性,逐步去掉有效性低的线路,直到网络没有冗余线路为止。而采用逐步扩展法是根据各待选线路对过负荷线路的过负荷量的消除的有效度,选择适当的线路到现状网络上,直至网络无过负荷为止。为计算各待选线路的有效度,需要进行变结构时的潮流计算。

基于支路性能指标的启发式方法有计算简单灵活等优点,但由于通常是独立地考虑各待选线路的作用,无法直接体现系统充裕的大小等性能指标,而基于系统性能指标的启发式方法则能体现系统性能指标,从而可以从整体上识别薄弱环节并充分考虑各待选线路对系统的整体影响来选择最佳扩建线路。

## 5.2 网架结构的数学优化方法

网络优化的数学化方法可以分为确定性和不确定性两种优化方法。传统上采用的常常是确定的网络优化方法,即将规划问题表达成确定性的优化问题来进行求解。但随着规划的环境以及相关要求日益复杂,且负荷、设备费用、线路路径等因素均具有不确定性,这些不确定性对电网规划有较为显著的影响,因而在规划中考虑不确定性因素是必要的。按照考虑不确定性因素特征的不同,不确定网络优化有分为随机优化法和模糊优化法。随机优化法常用于于事件是否发生以及发生的时刻存在不确定性的情形,而模糊优化法则常常用来处理有关事情表达不清晰的这种不确定性的情况。在通常情况下,在满足对保障负荷电能供应的前提下,可能有多种架线方法和导线截面的选择,要对多个方案进行比较选择,则需要选择目标函数,在电网规划设计中常用到的目标函数有网架建设总投资、电能损失、维修运行费用为目标函数。由于电能的特殊性,需要考虑各种约束条件,如电压范围、线路的长期极限传输容量限制等。因此,网架优化过程实际上是目标函数与约束条件、状态参

数之间的协调处理过程。

网络规划法是针对网络的拓扑特性所提出的一种数学规划方法,也是在线形规划中专门处理网络问题的一种特殊算法。数学上把图看作节点和弧的集合,弧是连接在两个节点之间的有向线段。在电力系统中,节点就是接受电力或者发送功率的发电厂、变电所或者负荷点,弧就是线路。这种优化网架方法在电力系统网络优化中常用的数学模型有最少费用法、最短路径法、费用最小最大流法等方法。

随着成都经济的快速发展和城市规模的不断扩大,负荷增长越来越快,现有线路无法适应新增负荷需求,更不能满足供电质量要求。根据成都电网的实际情况,除了加强在负荷中心新电源点建设的同时,配电网的优化也是配电改造的前提和基础,应该避免“重设备改造,轻网络优化”的倾向,尽可能提高配网建设的资金使用效率。争取通过不断的配电网优化改造,在不远的将来逐步实现配电网中无过载,重载线路,公用线路环网率达到100%,全部实现:“N-1”,重要用户满足“N-2”;电缆化率达到50%;逐步对已有的单电源开关站进行改造,形成双电源;简化网络结构,形成以单环网络、馈线组为主的网络结构。

## 6 结束语

加快城市电力网建设改造是形势发展的需要,是电力工业发展的必然趋势。在配网的改造过程中,一方面要引进先进的设备和技术,另一方面,要充分利用专家人士的宝贵知识和经验,从而提高整个配网的电能质量和经济效益,促进社会经济的高速发展。

### 参考文献

- [1] 刘健等编著. 城乡电网建设与改造指南[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [2] 余贻鑫, 段刚. 城市电网规划的认知性质与方法[J]. 电力系统自动化, 2001.
- [3] 杨捷. 城区电网规划的研究和应用[D]. 西安: 西安交通大学, 2003.
- [4] 范文涛. 考虑网损和可靠性的电网改造经济分析方法[C]. 中国城市供电学术年会暨全国供电联络年会论文集, 2003.

(收稿日期: 2008-02-11)