

第三篇

10kV 以上供配电工程规划

第一章 概 论

第一节 我国供配电网的现状与存在问题

一、我国供配电网现状

20 世纪 80 年代以来,我国电力工业取得了快速的发展,2000 年底全国发电容量达到 3 亿 kW,发电量 13000 亿 kW·h,城乡电网建设也有了较快的发展。

目前我国已形成了东北、华北、华东、华中、西北五大跨省(直辖市、自治区)大电网以及山东、川渝、福建、海南、乌鲁木齐、拉萨等独立省(市)电网。其中的华东、华中等电网的装机容量达到 4000 万 kW。全国共形成 293 个城市(地区)级电网,2395 个县级供电网。大电网覆盖了全部城市和大部分农村。

全国各主要电网,超高压 500kV 和 330kV 网架已逐步形成。华东与华中电网通过 500kV 直流联网运行,南方四省形成 500kV 交流互联电网。我国电力工业的发展已经从大机组、高参数、大电网的阶段,开始进入大区电网互联、形成全国统一联合电网的新阶段。部分中央直辖市、省会城市和沿海大城市先后建立了 500kV(如北京、上海)、330kV(如西安)或 220kV(如武汉)超高压外环网或双环网。一般大、中城市电网都由 220kV 输电网络和 110kV 及以下配电网络构成,担负约 80%的电力的送配任务(含转送电网部分)。

到 1997 年底,全国已建成 35kV 及以上的输配电线路 64 万 km,变电容量 7.7 亿 kVA。国家电力公司系统输配电线路 36 万 km,变电容量 4.8 亿 kVA,分别占全国的 56.2%和 62.3%。其中城市、农村 35~110kV 高压配电网输电线路达 23 万 km,变电容量达到 2.3 亿 kVA,10kV 及以下中低压配电网线路近 300 万 km,比 1990 年有了很大增长。但是由于城市发展迅速,用电负荷需求量大而且有时集中,对供电的质量、供电可靠性

要求也提高了,普遍出现域网不能充分满足各方面要求的现象。特别是随着城市产业结构的调整,第三产业用电负荷增长很快,人民生活用电也呈快速增长趋势。近年来,全国几乎所有大中城市夏季负荷高峰年年增长,城网严重过负荷,使城市电网最薄弱且改造难度最大的中、低压电网面临极大压力。

对于农村电网,总的形势和城市电网相似,一方面随着农村经济的发展,农村用电增长很快,农村电网迅速发展,农村已经形成以 35 ~ 110kV 为主,220kV 及 10kV 电压匹配组合的相当规模的农村电网。到 1995 年末,已有 110kV 变电所 2555 座,变电容量 94.56GVA,35(63)kV 变电所 13682 座,变电容量 85.96GVA,配电变压器 2496 万台,容量 232.4GVA,全国乡镇和行政村的通电率已分别达到 98% 和 96%,农户的通电率达到 93%。到了 1998 年,我国的乡镇和行政村的通电率已分别达到 99.20% 和 98.10%,农户的通电率已分别达到 96.87%。县级以下的用电总量已达到 4400 亿 kW·h,占全社会用电总量的 40.2%,其中农村用电占到全社会用电总量的 20.1%。但农村电网建设滞后、可靠性低、设备陈旧、管理混乱、电价偏高的问题十分严重。

城乡电网建设严重滞后电源建设和负荷的发展,电网有电送不进、供不出、用不上的现象非常严重。这表明现有城乡电网已成为制约用电市场进一步扩大的瓶颈,影响到国民经济的发展,加速城乡电网建设与改造已是当前电力工业的急迫任务。

二、我国供配电网发展中存在的问题

(一) 高压网架脆弱且中低压配电网容量不足

这几年来随着改革开放的深入,第三产业迅速发展,人民生活水平的提高,现代化家用电器(如电视机、电冰箱、冷热空调器等)大量进入家庭,使原来就滞后电源建设的城乡电网不应用用电负荷增长迅猛的要求。1986 ~ 1993 年全国用电负荷平均年增长率为 9.2%,而其中居民生活用电和第三产业平均增长 18%,预计今后相当一段时间用电平均增长率在 15% ~ 20%。城网建设近年虽然有了很大发展,仍然存在不少问题。如有的大城市城网电源不足、电源可靠性不够,高压网架脆弱,没有构成超高压双环网,一个方向电源线路停电会造成城市地区较大范围停电。有的大城市负荷密度高,输电线路短,短路容量高,以至分母线运行,或者高低压电磁环网运行。有许多省会及中等城市城网仍以 220kV 变电站辐射供电,或者一般以 110kV 单回线和单环结构为主网架,达不到“N-1”标准,城区 110kV 变电站临时过渡 T 接较多,从单一 220kV 变电站受电,形式上两路供电的用户常常是单一电源,重要用户的 10kV 外电源多来自同一个 110kV 变电所的不同 10kV 母线,一旦上级变电站或线路发生故障,会造成全部停电。不少大城市发生了大面积停电事故,例如北京 1996 年“1.19”事故,用户造成 220kV 同杆并架双回路跳闸造成西城重要用户停电;西安连年春天大风造成几百条 110kV 线路停电。中低压配电网能力不足,大城市内 220kV 和 110kV 变电站较少,变电容载比偏低,一般

在 1.54 ~ 1.67 ,而《城市电力网规划设计导则》要求 220kV 电网变电容载比 1.6 ~ 1.9 , 110kV 电网变电容载比 1.8 ~ 2.1。配电网主干线导线截面偏小 ,每年度夏迎峰期 ,各地配电网主设备严重过载 ,不得不采取高峰限负荷或者拉路限电措施。

(二) 供电可靠性不高

一般配电网设备陈旧、老化 ,小截面架空裸线、高耗能或薄绝缘变压器、老式柱上油开关、窄型小车开关、裂化老化水泥杆还大量存在。据 1998 年统计 ,全国服役 30 年以上的 35 ~ 110kV 高压变配电容量大约有 1 千万 kVA ,在上海、天津、武汉、南京等用电时间较长的城市电网中有不少送变设备已经运行 40 年以上。上海市中心城市 35kV 电缆 1000 多公里 ,运行 40 年以上的约占 28% ;10kV 电缆约 2000 多公里 ,运行 40 年以上的约占 14% ;10kV 断路器约 3000 台 ,运行 40 年以上的约占 37%。因电网网架脆弱 ,加上配电网设备陈旧 ,使得供电质量差 ,故障发生频繁。配电网自动化程度低 ,切除故障时间慢 ,恢复供电时间长 ,供电可靠性不高 ,大多数城网 10kV 供电可靠率仍在 99.8% 以下 ,据 1997 年统计 ,全国有 255 个城网平均供电可靠率为 99.7% ,且城网供电的可靠性达到过的最好指标为 99.85% ,即每年每户停电时间为 12 多个小时。目前国际上发达国家供电可靠率在 99.99% 以上 ,平均每年每户停电时间仅十几分钟。

(三) 线损率高

据 1998 年统计 ,我国电网线损率“八五”期间一直呈上升的趋势 ,1990 年为 8.06% , 1995 年达到 8.86% ,比 1990 年上升了 0.8% ,这意味着 1998 年的电网线损比 1990 年多损失电量 80 亿 kW·h 相当与损失了 160 万 kW 的发电能力。1998 年回落到 8.13% ,比日本、德国、法国等国家的线损率 5% ~ 6% 高出 2% ~ 3%。全国城市 110kV 及以下配电网线损电量约占总线损电量的 60%。部分城网“八五”期间线损率上升了 1% ~ 2% ,是拉动全国电网线损率上升的重要因素。目前全国还有近 2000 万 kVA 高耗能变压器在运行。一些城网约有 50% 的 64、73 型高耗能配电变压器未能及时改造。20 世纪 80 年代前城网建设改造标准偏低 ,导线细 ,与城市负荷密度快速增长不适应。许多城网无功补偿仍然不足 ,调节手段落后 ,全国缺 6000 万 kvar 容性无功 ,同时感性无功补偿装置也配置不足。

农村低压电网基础差 ,维修、改造没有资金来源 ,电网设备严重老化 ,平均损耗率一般都在 30% 左右 ,有的高达 50% ,使农村电价大大高于城市电价。

(四) 电压质量不高

一批城网电压质量仍然较低 ,综合电压合格率不足 93% ,少数城网 10kV 母线电压合格率停留在 86% ~ 90% ,多数城网仍存在后夜电压偏高问题 ,农网电压质量比城网更差。主要原因是负荷增长过快、无功补偿不足或缺乏无功调节手段、供电线路过长而

导线截面小及配电变压器布点不合理等。另外,烧坏用电设备的事故时有发生。由于谐波污染日趋严重,这也影响了电压波形。

(五)居民住宅供电系统设计标准低

城市电网的主要用户是城市居民住宅,而居民住宅供电系统是 20 世纪 80 年代之前建设的,建设标准很低,按建筑面积 $8 \sim 10 \text{W}/\text{m}^2$ 配线,2.5A 的电表导线细、表计容量小,根本不适应现代家电、冷热空调、电热水器等负荷大量增加的需要。每年夏季空调一开放,烧熔断断器或接户线故障造成居民区停电的现象频频发生,严重制约了居民住宅供电系统的发展。

(六)城建规划考虑城网发展不够,市区电力线走廊紧张,扩建困难

城市高低压电网与城市建设规划不协调,与邮电、有线广播、交通及各种管道等市政设施缺少统一规划,互相争道,互相制约,市区电力线走廊紧张,扩建困难,交叉拥挤,结果供电安全事故增多,同时使得电网的扩建很困难。

(七)农村电网供电管理体制存在问题

我国农村电网除了供、配电系统比城市电网落后外,供电管理体制也存在问题,城市和县城电网,由省、市电力公司或由独立核算的隶属于县级政府的地方电力企业管理,而乡镇以下的农村低压电网,由农民自建自管,由隶属乡镇政府的乡镇电管站管理。

城乡电网管理体制不同,是造成农村电网落后、农村电价高于城市的原因,农村低压电网建设、改造、维修都没有资金来源,发生的电能损耗、运行维护费用和农村电工报酬,都通过电价由农民负担。

为减轻农民负担,降低农村电价,实现城乡电网同网同价,改革农村电网供电管理体制,由国家增加投入,建设并改造农村电网已成为目前电网改造中的重要工作。

形成城乡电网以上这些问题的原因是多方面的。长期以来电网建设投入不足,输电网相对于电源建设比例失调,使电网发展落后于用电增长,也落后于电源发展。城市高压电网建设迟缓,配电网建设技术标准低,变电容载比小,网络导线截面小,通道总配电能力小。我国城市配电网大多数 110kV 及以下的变电站,导线及结构,包括城市居民住宅供电系统都按 70~80 年代标准建设的,有些至今仍在延用。另外,对现代化城市电网和农村电网的建设、改造、管理的认识和理解不足,对城乡电力负荷增长的势头和供电可靠性要求缺乏足够准备等,也是造成上述问题的原因。

第二节 供配电网规划的意义、任务与原则

一、供配电网发展规划的意义和要求

供配电网发展规划,是供电企业远景发展的总体设想,是带有战略性、纲领性、全局性的计划,是所在供电区域国民经济和社会长远规划的重要组成部分。供配电网的发展要保证与供电区域内的经济同步发展,必须按照建立社会主义市场经济体制的要求,充分发挥市场在资源优化配置中的基础作用,使电网的规划布局科学合理,保证所在供电区域国民经济各部门不断增长的用电需要。同时,也要使供电企业发展具有预见性,做到有计划、按比例、经济、合理地发展,为市场提供充足、可靠、合理、廉价的电力。

二、供配电网规划目标

为了保证电力系统能在有益于社会的前提下合理地进行,各国制定了大量的规程、导则和建议。大多数国家的有关安全运行、供电方式以及正确使用电力等方面的规程,是以政府立法的形式存在的。在欧洲,尤其在欧共体国家,正在努力统一各国的规程。最好由企业的决策层或业主,确定设计过程中有关经济优化方面的准则和建议,以及确定满足未来投资需求的适当收入水平。虽然供电企业在其配电区域内有某种程度上的垄断,但企业的经济收支必须平衡,即每千瓦时电的收费水平和利润水平,必须分别使用户和业主满意。虽然地方或国家管理部门通常更容易受政治的影响,但无论企业是私营,还易由市或州政府管理,或是以上不同管理形式的组合,原则上都不会影响这种状况。

工业化国家的规划目标通常主要包括供电质量、收费标准和就业的稳定性。国家与国家之间关于规程的等级是不同的,无论是强制性或道义上的条款,甚至是关于规程的详细程度均有很大的差别。就这点而言,不论法规是由地方当局制定,还是由国家制定,甚或是由企业本身制定,都是一样的。图 3-1-1 给出了配电网的规划与各种因素的关系,这些因素在规划中是必须考虑的。

各个技术规程的详细要求也许对供电质量、供电安全和供电费用等有重大的影响。例如,在低压网络设置单相短路电流与熔断器的熔丝定值比率的允许最低值的规程中,如果单相短路电流允许值较高,则意味着设备费用较高,在农村地区尤其如此。然而这种较高的要求改进了系统和用户的安全性,并减少了电压波动。因此,如果选择一个临界值来作为任何用户都能接受的最低电压,就会导致一些不必要的网络改造工作,并引起一些不必要的投资。

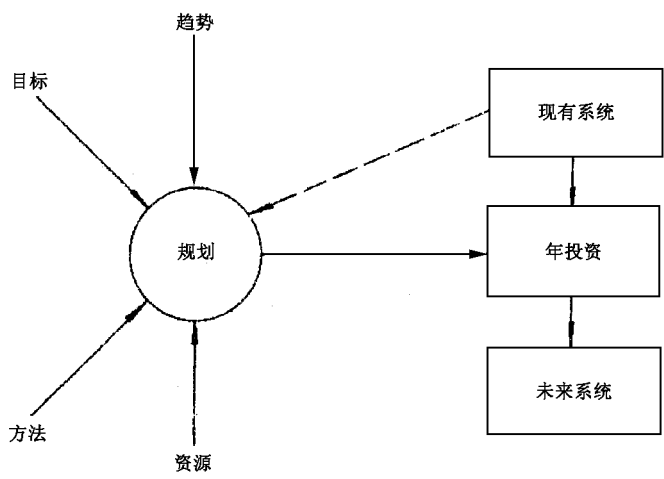


图 3-1-1 配电系统发展过程中规划的位置

国家规程和指导意见 ,以及企业的内部设计政策和工程建议的数量均很庞大。为了保证能跟上技术改进和政策更新的步伐 ,要花费相当多的精力定期更新所有的文件。对于每个企业来说 ,最重要的是保证每个与规划有关的人员均能掌握各种最新的信息和工具 ,并能正确地使用这些信息和工具。

三、供配电网发展规划的任务

供配电网发展规划的任务 研究分析供电区域内电力开发及发展的战略条件 ,为上级规划部门进行电力发展规划编制提供资料和依据 ,提出供电区域网络的发展远期目标和近期规划网络布局 ,为上级规划部门编报工程设计任务书和编制近期计划提供依据。

四、供配电网发展规划的原则

根据上级规划部门编制的电力长远发展规划 ,一个供电企业管辖范围的供配电网的发展规划的原则是从全局着眼、统筹考虑、全面分析、多种计算、合理布局、争取最好、安全可靠、技术进步、节省投资、适应发展。在规划和设计中做到充足性、可靠性、经济性、灵活性的得当配合 ,成为最佳的供配电网。

第三节 供配电网规划思路及内容

一、供配电网规划的基本思路

配电网络的规划和设计可以划分为长期规划、网络规划和施工设计三项内容。长

期规划(决策)用于确定未来的主要投资项目和主网架的结构;网络规划(设计)用于处理近期的各种投资项目,而施工设计用于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。

配电系统的长期规划是供电企业规划活动中的基本环节。为了获得最大的效益,规划的主要目的是:确定最优的网络接线方式、投资水平以及投资的时间安排。在规划的每一个阶段,一般需要对供电质量、安全性和协调性等各种情况进行调整,并尽可能地降低系统寿命周期内的总费用。为了达到这个目标,必须考虑所有的费用因素,不仅要考虑投资额和投资时间安排,还要考虑每年所需的连续消耗的费用,如系统运行的线损费用和维护费用等。

在工业化国家,现有供电系统实际上已覆盖了所有的居住地区。通常这些地区的现有网络对规划系统未来的网络结构提供了一个良好的起点。未来的投资需求主要在于应付负荷的增长,以及更换网络中已到年限的设备等。在技术可行的条件下,如果考虑新线的路径占地费或新变电站的占地费,对现有架空线路和某个厂站进行升级,通常比架设新线路或建新变电站更为经济。是升级原有设备还是增加新设备,还须认真考虑网络发展的长期费用,也许随着时间的推移会修改原有的规划方案。此外,还要考虑由于以下各种因素的变化所造成的影响,如不同区域内的负荷增长率、材料和能源费用以及越来越多地应用新技术等。

根据规划研究的结果,就能列出一系列预期的年度主要投资计划,并能给未来不确定的技术方案留有一定的费用。总的投资需求必须与有关的财政预算进行比较,有关的财政预算是根据一些假设条件编制的,例如,趸购电力的价格、负荷的增长、系统的线损、现有的贷款额、新的借贷需求、工资费用的变化以及安全需求等。在整个资金计划周期内,必须要达到收支平衡,从而在稳定的和可接受的售电价格的条件下,达到技术和资金上的各种目标。

规划内容不仅包括确定网络未来的主要需求,例如,是否增加几个主变电站或对远动方案进行重大更新,而且包括制定规划导则。这些规划内容一般包括较小的和较常见的投资行为,例如更换配电变压器或架空线,以及设计住房的供电方案等。对于这些投资行为,不需要详细地进行单独的经济和技术评估,这样能较容易地完成一般的规划任务。制定规划导则时,除考虑技术因素外,还必须考虑各种方案的不同费用,因此经济因素通常在制定规划导则时起着重要的作用。各供电企业所使用的以文字形式表达的规划导则,已逐步储存于网络信息系统里。

二、供配电网发展规划的基本条件

(一) 负荷预测

电力负荷是国民经济的晴雨表。预测电力负荷实际上就是预测国民经济发展情

况。预测电力负荷的准确性,直接影响供配电网网络发展规划的水平和质量。

(二)电源

电力供应的前提是必须有充足可靠的电源。供电区域电源有两部分组成,一是电力系统供给的电源,二是供电区域内的火电厂、水电厂、用户自备电厂等。

(三)供电设备的要求

随着科学技术的发展,要求供电设备高度自动化、大容量、小体积、低耗能、绝缘化、结构简单、价格便宜、便于安装,而且要求其安全可靠性能高、维护工作量小。

此外,城市供配电网规划还要求地形、走廊、空间等条件。

三、供配电网规划的内容

(一)规划中工程和经济的结合

在长期规划和各个项目的详细设计工作中,需要考虑的主要是技术性能和总体费用。为了对各种系统设计问题进行量化评估,需要开发适当的计算机软件,以便完成以下三个主要任务:

1. 确定技术上可行的解决方案。计算各种方案能否满足相应的规程,如计算最大允许电压降或最小故障电流等。

2. 估算每条线路或每个设备的单项元件费用。进行估算时通常要考虑以下各种费用,如单位长度电缆的费用、电缆沟的挖掘费用以及购买或安装单台线路断路器和单台变压器的费用等。

3. 保证不同类型的费用有实际意义上的可比性。这需要考虑各项方案的费用能以一种可比较的形式来表示。为了达到这个目的,各种年费用和每一笔投资额均应转换为年金或最好转换为相应的现值,从而获得可进行比较的总费用,最好按照协商一致的步骤进行决策。

在不违背法定规程的条件下,有时需要考虑偏离某些工程标准或费用标准,如是否能略微偏离规程中所给定的电压降范围。这种偏离所带来的费用或节省的费用,必须与其他在规程推荐限值内规划方案的费用进行比较,这是投资/收益最优化计算研究的一部分。

企业通常根据他们的资金计划,提前几年对其投资项目进行规划,并根据投资政策决定其第二年或第三年的详细投资计划表。为了从一系列投资方案中选择投资效益最高的,必须进行投资/收益研究。要优先考虑可能涉及的企业和公众人员安全的计划。然后,再依据各种因素,如未来系统线损的费用,由于系统故障所造成的预计少供电量,以及维修费用等,对某些推荐方案进行比较,这样才能确定各项投资方案的优先顺序。

当考察任何单个投资方案时,由于不同的方法都能达到要求,必须在技术和经济两者的基础上对各种方法进行比较。

(二) 供配电网规划全过程分析

1. 基本条件分析

运用调查研究法对用电负荷、电源、设备提供的可能性进行分析。

2. 基本功能分析

供电网的功能(作用)是把电力源源不断地供给用户。线路和变电站各自有不同的功能。线路有主干线路与分支线路之分,有长距离大容量送电线路和联络线路、受电线路之分,变电站有枢纽、终端和环网上一般电站之分。根据对电网各元件基本功能的研究和分析,就能逐步明确电网形态,包括调压、调相等措施,利用屏围法,按电源和负荷情况分区分片划分合理供电范围,明确潮流传送方向和大致数量,观察各元件基本功能。

3. 基本形态分析

明确电网结构形式是环网还是放射网,如何形成主干与分支。电网结构规划得好,不仅投资少、运行可靠,还可以限制短路电流、简化继电保护、提高运行的稳定性;采用点线平衡法,使输入电力和输出电力之间平衡,以求出必需的线路和变压点。

4. 动态分析

动态分析即弹性分析,是指供电网发展规划的伸缩性,当前提条件发生变化时,供电网发展规划方案可能出现各种情况,应力求使方案具有最大的合理性和最大的适应性,以便在逐步执行中进行调整。

5. 限制性条件分析

限制性条件也叫限制性因素,包括线路路径是否可以通过、变电站站址地质地势情况是否可靠、送变电设备供应条件是否可靠。因此,应努力摸清某些在实现方案时不可逾越的障碍,并深入进行分析,求出解决办法和回避办法,确保规划方案顺利实现。

6. 可靠性与经济分析

可靠性是供电网规划的基本要求,其接线方式应使设备在检修或故障时对用户少停电或不停电,并避免发生变电站全部停电的可能性,降低投资和减少运行费用也是供电网规划所应遵循的原则,因此应分别进行可靠性和费用计算,寻求最佳方案。

(三) 现有电力系统对规划的影响

对于各种规划,现有配电系统网络的接线方式是一个自然的起点。如果考虑网络未来的发展趋势,必须考虑各种因素,如各种设备的类型、具体的位置、负荷情况和机械状态等。如果没有研究网络在负荷条件或故障条件下的运行情况,就不可能评估网络的整体技术能力。为了达到这个目的,可以采用基于计算机应用的信息管理系统。如

果没有现成的电流或负荷(kVA)的数据,则可以将用户的单位年用电量(kWh)转换为负荷数据。然而这种方法的精确度取决于现有的信息或所作的假设,如负荷率、分散性及功率因数等。这些信息可描述不同类型用户组的状态,可用于构造总负荷曲线。根据不同类型负荷组形成的总负荷曲线信息,可提供一些现有的可靠的转换因子,根据这些因子就可以得到需要的负荷数据。

由于工业化国家的电力系统已经有 100 年以上的供电历史,虽然各国之间存在差异,但其供电方法都构筑在稳固的基础上。因此,必须有相当的技术和经济方面的效益,才会用新的方法替代旧的方法。这样的变化已经发生,例如从直流到交流的转变、采用较高的电压等级、采用新型的电缆和断路器以及采用分散的控制系统等。

因为每个系统元件的工程寿命不同,所以在各个元件的寿命周期内,难以确定一个时间跨度及这个时间跨度内评价政策方面的主要变化对各种元件所带来的影响。因此,如果通过某些灵敏度分析能够适当地考虑一些未知的因素,在评估一个长期规划内的 1~2 年的投资计划时,就可以只进行简单的投资/效益分析。

(四) 规划的年限与各阶段的要求

城乡电网的规划年限应与国民经济发展规划和城市总体规划的年限一致,一般规定为近期(五年)、中期(十年)、远期(二十年)三个阶段。

近期规划应着重解决当前城乡电网存在的主要问题,逐步满足负荷发展的需要,提高供电质量和可靠性。要依据近期规划编制年度计划,提出逐年改造和新建的项目。

中期规划应与近期规划相衔接,着重将城乡电网结构及设施有步骤地过度到规划网络,并对大型项目进行可行性研究,做好前期工作。

远期规划主要考虑城乡电网的长远发展目标,研究确定电源布局和规划网络,使之满足远期预测负荷水平的需要。

(五) 各种发展趋势对规划的影响

电力系统的各种元件都有很长的寿命,其中部分元件已经运行了 40~50 年。因此,对现有网络进行改造的方案,不仅要满足现有的负荷,而且还必须能够便于进一步的发展与改善,以满足未来的负荷。即使在规划和设计阶段不能精确地预测负荷,也必须尽可能对规划区域内未来负荷的增长作适当的估计。

虽然降低系统损耗可抵消一部分输电网和配电网的过度投资,但各种灵敏度分析表明,规划阶段负荷水平的误差是引起错误投资的主要原因。所以必须要考虑在系统中使用新技术的可能性,架空绝缘导线、新型的断路器、保护设备中的微处理器、当地自动化方案以及远动控制方案等。对于配电网或有关的辅助系统而言,最好能为将来可能推出的更严格的规程作些准备,因为这样会比在以后被迫作某些重大的改动要经济得多。

如果可以预测各种电力元件与容量和电量损耗之间的费用关系,那么在规划的评估阶段,就有必要考虑这些因素。例如,虽然所节约的损耗也许是替换过时的或老化的变压器的因素之一,也不可能只依据所节约的损耗来考虑采用低损耗变压器。再就是考虑采用交联聚乙烯电缆,这种电缆允许较高的导线运行温度,因而允许使用比旧电缆小的截面积。但减小截面将导致电阻的升高,因而会有较高的线损 $I^2 R$ 。因此考虑改造网络时,除了要比较交联聚乙烯电缆与现有电缆的差异,还要考虑总的线损及初期的投资费用。

(六) 规划基础资料的收集与分析

作为国民经济发展主要能源供应的电力工业,它的发展规模和速度与国民经济其他行业的发展规模和速度是密切相关的,因此要做好电力系统规划就必须进行调研和收集资料。不仅要调查收集与电力工业本身有关的资料(如电力系统现状、城市电力网现状、农村电力网现状、动力资源分布、能源供应与运输条件、厂址条件等),而且必须收集国民经济各部门生产和基本建设的发展规划及其电力负荷的增长需要。

城乡电网建设与改造规划所需的基础资料分为三大类,即社会资料、负荷资料和电源及电网资料。

1. 社会资料

(1) 自然地理与社会经济状况 自然地理与社会经济状况主要有:

1) 自然地理基本情况。包括地理位置,总面积,耕地面积,山地面积,河湖面积,森林面积,植物覆盖率,气候情况,气温情况,降雨量,旱涝频率,地面径流,地形地貌,水文地质,雷电活动,风速及冰冻等。

2) 行政区划情况。包括城区,县划数,全市(县)人口,户数,近几年市(县)人口平均增长率。

3) 经济情况。包括全市(县)国民经济总产值(GDP),工农业总产值,其中工业总产值,农业总产值,还有第三产业总产值。第一、二、三产业的产值在国民经济总产值中的百分比数,近几年的平均增长率等。

4) 资源状况,包括全市(县)特产,矿产品种,储量,矿产开发现状及其前景,森林资源,储量及其他具有特色的土地资源,渔牧业资源等资源状况。

(2) 近期与中长期社会经济发展规划

全市县近期与中长期社会经济发展规划是城乡电网规划的重要依据资料。全市近期与中长期社会经济发展规划也随时间推移、情况变化进行多次修正,电力系统的规划也要依据修正的社会经济发展规划做相应的调整。城乡电网的发展变化要适应国民经济的发展变化并满足它们的需要。

2. 负荷资料

(1) 系统现有负荷水平及其特性资料

系统现有负荷水平及其特性资料有：

- 1) 近年来系统供电综合最大负荷。
- 2) 近年来系统用电综合最大负荷。
- 3) 近年来系统全年总供电量。
- 4) 近年来系统全年总用电量。
- 5) 系统年内各季代表的日负荷曲线。
- 6) 系统月最大负荷及年内月平均负荷。
- 7) 系统用电负荷组成情况。
- 8) 系统工农业季节性负荷特性。
- 9) 系统各主要用电行业的典型负荷曲线。

(2) 规划期确定电力负荷发展水平的资料

在确定电力负荷发展水平时,应根据规划阶段确定规划基准年,并且一般与国民经济发展规划阶段和电源建设阶段相适应。

确定电力负荷发展水平应以下列各项资料为依据：

- 1) 规划电网和地域范围内的电力、电量及其增长率的历史资料。
- 2) 规划电网和地域范围内国民经济生产总值及其增长率的历史统计资料。
- 3) 规划电网和地域内各有关国民经济部门的发展计划,包括工农业建设项目、规模、布点、建设进度、用电负荷及其增长率。
- 4) 上级部门对规划区域内国民经济发展的有关指示。
- 5) 当没有上述资料时,应从当地政府有关单位取得规划区域内有关国民经济部门发展的初步设想、区域规划方案资料及自然资源方面的资料。
- 6) 确定电力负荷时,对大用户作为点负荷应当逐户进行计算,对小型用户及公用负荷(如市政用电等)一般只需根据统计资料及其规划计算其综合增长数字。
- 7) 为了进行大用户电力负荷的计算,必须收集下列资料:用户的设计资料,企业以实物产品或产值表示的单位耗电定额(即单耗资料),已设计或已投产的类似用户的用电负荷资料(包括典型日负荷曲线)。
- 8) 对于某些特殊用户,不可能根据上述方法求得电力负荷时,应由这些用户直接提出负荷数字。
- 9) 对于现有的城镇和工业区,应考虑有规模发展和劳动生产率提高以及新技术的采用而引起负荷自然增长。
- 10) 根据以上情况确定的负荷水平。

3. 电源和电网资料

(1) 规划基准年现有水电、火电等电源及电网资料,包括发电厂、变电所增容扩建和输电线路升压改造的意见。

(2) 规划基准年在建水电、火电等电源资料。

(3)掌握规划期间内电源及电网发展的资料。

(七)制定长期规划的要点

高压电网技术的研究,尤其是涉及发电方面的研究是非常复杂的。为了获取架空线路和电缆线路走廊,通常网络设计和施工会涉及一些复杂的谈判事务。这样,落实单个高压方案,从规划阶段到实施完成就需要提前很长的时间,因此可以提前(比如提前8年)相对合理地估计主要的工作量和最终阶段的费用。对于中压网络,通常可在规划的早期把未来的工作计划分成两种,即满足指定项目的计划和满足负荷总增长的计划。综上所述,一般只能较精确地评估规划前半期内所需的工程和资金的来源,对于后半期所需的工程和资金的来源,除了已知的大项目外,还需对未知方案作一些准备。

加强和扩展现有的网络,主要通过各种综合措施,如增大设备的容量或线径、增加新变电站和新线路等。通过投资/效益分析,即对每个项目的各种不同方案进行分析,确定高压和中压投资项目的规模和时间,从而确定在工程和经济两方面都获得最好效益的长期规划。如果扩展计划将占用企业相当部分的财力和人力,那么上述分析就非常重要。

另外,为用户、住房和工业厂家新增或扩容供电的准备时间通常都很短,因此,对低压网络不能进行长时间的详细研究。然而,在对以后几年的负荷进行预测的基础上,为避免电压过低,可以确定增强未来网络可能所需馈线的数量,也可以确定某些由于短路电流过低而不能启动保护设备的馈线。这些研究将能提前几年指出特殊的要求。根据以往的经验,规划项目的后几年总负荷也许会有所增长,因此也必须对低压网络做些一般性的准备工作。

在规划中还必须考虑各种电压等级设备的更新计划,其中包括办公室、车间、车辆及各种工具和计算机。在网络改造或网络不能满足负荷需求时,需要报废系统中多余的设备,虽然有些设备还未达到技术极限或替换标准,其中包括寿命较长的设备,如电缆等。这种情况在有两个电压等级的系统中可能发生,在其中一个电压等级由于电压合理化而被去掉时,多余的电缆将留在地下,但改进后仍能适应未来发展的网络将不会使用这些电缆。出于经济原因,也有可能买便宜的电缆而不考虑其较短的使用寿命。这时必须进行各种经济评估,考虑可能增加的维修费用和损耗,以及由于技术寿命较短而需要较早更新的费用等。

供电企业除了要考虑加强和维护电力系统的费用外,还必须考虑适应未来发展的费用,如提供交通工具的费用,以及进行联合循环电站研究的费用等。因此,企业业务主要部门之间需要进行合作,才能为长期规划制定相应的财政预算。这些规划的年度更新以及规划和设计的政策文件,对于详细设计一个供电企业的电力系统,提供了必要的支持。

(八)供配电网建设规划

1. 供电网建设规划任务

- (1)研究和提出供电区域在规划阶段内主要供电网的结构、参数及规模容量。
- (2)供电网的电压等级、导线截面、线路回数、导线分裂数以及线路补偿度参数的选择。
- (3)在电源点的位置选定后 ,和上级电力规划部门共同确定 ,供电区域内 220kV 及以上线路和变电站如何与电源合理配置。

2. 供电网建设规划原则

全网出发 ,合理布局 ,分层分压 ,主次分明。主干线路必须加强 ,高压主干骨架应尽早形成 ;二次供电网环路布置 ,地区一次配电网(350kV)力求简化 ;无功补偿、就地平衡的可行方案应运用技术经济比较法及优化技术 ,决策最优方案。

3. 供电网建设规划内容

- (1)选择电压等级。尽量采用高一级电压 ,以满足 10 ~ 15 年的需要 ;电压等级要简化 ,配置要合理 ,同一个供电网中 ,相邻电压的级差不宜小于 2。我国现行电网额定电压标准为 6、10、35、60、110、220、330、500kV。
- (2)确定网络结构。按电压等级分层 ,按供电区域供电范围分区 ,简化网络结构 ,降低网损。
- (3)确定线路输电容量。在确定线路输电容量时 ,至少应考虑线路投产后 5 ~ 10 年的发展 ,对线路走廊困难的地区应考虑更远的发展。输电距离、送电容量、电网电压应合理配置 ,表 3 - 1 - 1 示出三者的关系。

表 3 - 1 - 1 输电距离、送电容量与电网电压的关系

输电距离(km)	送电容量(万 kW)	电网电压(kV)	输电距离(km)	送电容量(万 kW)	电网电压(kV)
30 ~ 50	0.5 ~ 1	35	150 ~ 250	5 ~ 30	220
50 ~ 150	1 ~ 5	110	250 ~ 1000	30 ~ 100	500

- (4)选择变电站站址的主要要求。选择变电站站址主要应接近负荷中心 ,尽量少占土地 ,高低压各侧进出线方便 ,地质地势条件适宜、洪水不淹、出洪不冲 ,近期和远期相结合 ,施工条件方便 ,适当考虑职工生活上的方便 ,尽量避免设在空气污秽地区。
- (5)主变压器的选择。主变压器台数不宜少于 2 台 ,最多不宜超过 4 台 ;容量应根据 5 ~ 10 年发展规划进行选择 ,容载比是反映供电能力的重要经济指标之一 ,尤其是城网规划控制变电容量的指标 ,也是安排变电容量的依据。一般城网容载比 220kV 电网为 1.6 ~ 1.9 ,35 ~ 110kV 电网为 1.8 ~ 2.1。

变电站在条件允许的前提下 ,调压形式尽量采用有载自动调压。

(6)继电保护、通信、远动、自动化。

- 1)继电保护 :要求正确、迅速、简化、统一。
- 2)通信 :应采用电力载波、一点多址小微波、高频、音频电缆和光缆 ;并逐步建立微机监控中心 ,实现对全供电网络监控。

3)自动化 :应实现变电站综合自动化、调度自动化、城网自动化、负荷控制自动化。

(7)特种用户的供电技术要求。

1)重要用户 :应进行双电源供电。

2)畸变负荷 :各类工矿企业和运输业等用电部门的非线性负荷 ,引起电网电压、电流的波形畸变 ,注入电网的谐波电流及电压畸变率必须符合《电力系统谐波管理暂行规定》的要求 ;否则 ,加装有源或无源滤波器 ,电力电容器加装串联电抗器等。

3)冲击负荷和波动负荷 :这类负荷引起电网电压波动闪变 ,使电能质量恶化 ,要求用户装置静止无功补偿设备和改善运行工况 ;供电部门根据情况制定可行的供电方案 ,如增加电源短路容量和减少线路阻抗。

4)不对称负荷 :要求各级电网负荷电压与所加电压之比不超下列数值 ,低压电网在 95%的情况下不超 2% ,中压电网不超 1.5% ,高压电网不超 1%。

5)高层建筑用户 :要求高层建筑供电符合 GB50045 - 95《高层民用建筑设计防火规范》的要求。10 层以上住宅建筑应供给备用电源 ;19 层以上办公楼、高级宾馆、50m 以上科研楼 ,除正常和备用电源外 ,还应自备发电机和自动启动装置 ;高层建筑内的配电所 ,必须采用干式变压器和无油开关的配电装备。

第二章 供配电工程规划的电力负荷预测

第一节 概 述

一、负荷与负荷曲线

(一) 负荷及其分类

负荷是指电力系统中所有各种用电设备如电动机、电热器、照明等消耗功率的总称。

按物理性能、电能、性质、重要性有不同的分类。

1. 按物理性能划分

负荷按物理性能划分为有功负荷和无功负荷。有功负荷计算单位为 kW(千瓦),无功负荷计算单位为 kva(千乏)。

2. 按电能划分

负荷按电能的产、供、销生产过程划分为发电负荷、供电负荷和用电负荷。将各工业部门消耗的功率与农业、交通运输业、建筑业、商业、服务业和市政居民生活消耗的功率叠加在一起得出系统合用电负荷,加上网络中损耗的功率称为供电负荷,再加上各发电厂的厂用功率就是发电负荷。用电负荷是电网供电负荷减去网损(线路和变压器中的损耗)后的负荷。

3. 按性质划分

有单相负荷、三相负荷、不平衡负荷、冲击性负荷、畸变性负荷等。照明、家用电器都是单相负荷,接单相负荷要尽量做到三相负荷平衡。冲击性负荷如电焊机、感应电炉等,能引起电压突然下降,电流、电压波形畸变。畸变性负荷如可控硅整流器、感应电

炉、饱和电抗器等。

发电厂供应的是正弦波形的三相平衡电力,电力系统对非正弦波形、非三相平衡的负荷、冲击性负荷及畸变性负荷的使用都有一定限制条件。

4. 按重要性划分

电力负荷根据对供电可靠性的要求及中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响的程度进行分级,分一级负荷、二级负荷和三级负荷。一级负荷是指下列情况之一时:①中断供电将造成人身伤亡;②中断供电在政治、经济上造成重大损失;③中断供电将影响有重大政治、经济意义的用电单位的正常工作。二级负荷是指下列情况之一时:①中断供电在政治、经济上造成较大损失;②中断供电将影响重要用电单位的正常工作。不属一、二级负荷的应为三级负荷。

(二) 负荷曲线

依时序记录变化的负荷,可得到通常的负荷曲线。在时段 T 内,不按时序而按负荷大小及其持续时间排列的负荷曲线称为持续负荷曲线。负荷曲线用横坐标表示时间,纵坐标表示负荷的绝对值,曲线所包含的面积代表一段时间内用户所需的电量。负荷曲线的种类很多,常用的有日负荷曲线、年负荷曲线和年持续负荷曲线,如图 3-2-1 所示。

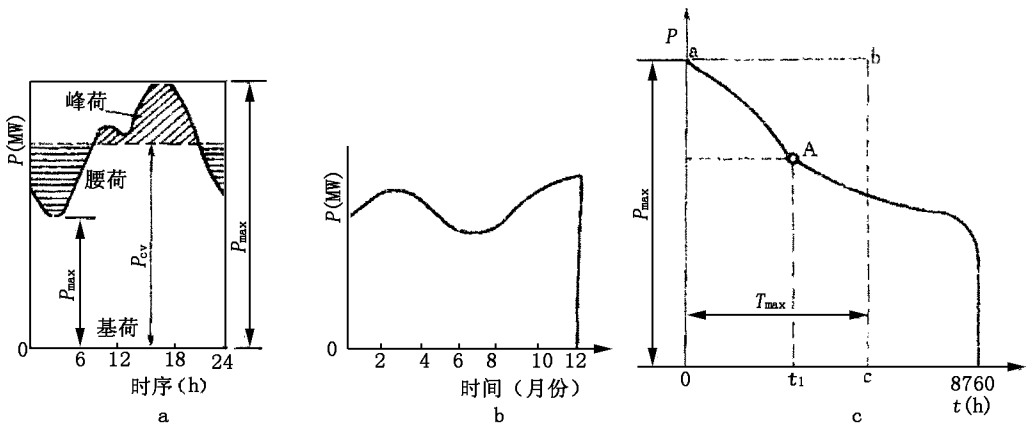


图 3-2-1 电力系统的负荷曲线

a 日负荷曲线 b 年负荷曲线 c 年负荷持续曲线

负荷曲线的主要特性指标有:

1. 负荷率 f 。它是测计时段内负荷曲线中平均功率 P_{pj} 与最大功率 P_{zd} 的比值,即 $f = P_{pj} / P_{zd}$ 。
2. 最小负荷率 a 。它是测计时段内负荷曲线中最小功率 P_{zx} 与最大功率 P_{zd} 的比值,即 $f = P_{zx} / P_{zd}$ 。

3. 最大负荷利用小时 T_{zd} 。假定测计时段内电压和功率因数都保持不变,在时段 T 内,某元件在变化电流下所通过的电能等于在最大电流下持续时间 T_{zd} 所通过的电能,则称 T_{zd} 为最大负荷利用小时。

4. 年最大负荷利用率 δ 。年最大负荷利用率 δ 等于该年最大负荷利用小时除以全年小时数,即 $\delta = T_{zd}/8760$ 。

二、供配电网网络的负荷需求

大多数的网络改造和扩展以及有关的网络设计工作,是由该地区新的电力需求引起的。当前的负荷水平和未来的预计负荷水平,不仅影响各条线路或电缆的截面及其他设备的规模,还将影响整个系统的最优布局,如变电站的密度等。在所有影响网络设计和重点改造项目时间表的因素中,最敏感的是负荷的预测值。因此,为了处理规划中的负荷预测问题,有必要对开发有效、可靠的负荷预测程序给予足够的重视。

满足未来负荷需求的规划通常都建立在各种负荷类型不会发生重大变化的假定之上。从经济意义上讲,制定任何系统的改造规划,必须确保该系统在给定的年限内不再需要进一步改造。然而,在确定系统改造的实行日期时,应该考虑实际的负荷增长率和系统运行方式,同时还应考虑设备的短时过负荷能力。

对于整个供电企业来说,确定网络中线路上特定区段的线损时,最关键的时段是系统的尖峰负荷时段。在该时段内所产生的线损应该以高峰高价的原则购买,因为线损本身也增加了尖峰负荷的费用。通常,所考虑的区段离具体的用户越近,该区段上的尖峰负荷与系统尖峰负荷出现的时间差也可能越大,因此在研究电压降和电压波动时,应该考虑从电压控制母线到最远负荷点间的所有设备同一时刻的负荷情况。

某段配电线路的负荷是指,接在该段线路上的所有单个用户负荷的瞬时值与连接到该段线路下游的各区段线路损耗的瞬时值的和。因为不能精确地确定每个用户的用电需求类型,所以不管是负荷的当前值还是预测值,通常必须在统计的基础上进行系统负荷的计算。

三、监视负荷的措施

由当前网络中采集的负荷数据可用于回路监视、电费计量、供电质量控制以及其它各种研究等。为了简便起见,计算大多数用户的电费时不要求进行负荷量测或负荷曲线量测,所以,为了进行上述研究,必须从其他途径获取负荷数据。因此,有必要建立一个系统,以便能将所有相关的量测数据传送到供电企业的负荷文件上。

遥控变电站提供了收集变压器和馈线负荷数据的理想方式。然而,如果负荷的采样间隔太短,则需要传输大量的数据;如果不采取一定的措施来确保只选用重要的数据,将难以合理地处理和有效地利用这些数据。大的配电所通常配有最大电流表、最大功率指示器(kVA)或电能表。随着配电自动化的进展,这些量测设备通常被连接到供

电网的数据采集系统上,该系统有时还与变电站进行数据交换。为了检查供电的质量,有时还需在指定的低压网上进行负荷和电压量测调查。

实施上述措施的短期目的是为了确认目前的配电系统运行情况,从而可以确定在哪个地方进行馈线重构才能够提高整个系统的性能,以及确定哪些地区未来几年内系统的性能可能需要改善,除此之外,收集负荷曲线信息对于开发负荷预测系统也是非常重要的。无论是长期的还是详细的短期的系统设计,都要用到负荷预测系统。

用户负荷和系统负荷的瞬时值通常认为是呈高斯分布的。为了计算不同类型用户的均值和标准方差,需要大量现有的电量记录。对于每个用户类型,至少需要 100 个用户过去 3 年以上的电量记录。如果用户数量小,则需要测量较长的时间。

在设立一个获取上述数据的量测项目时,必须仔细评估各种获取负荷数据的方法。另外,获取每个量测点和每个量测序列的背景信息有必要的,如用户的类型和量测过程中的环境温度,以便在最后的分析研究中可以考虑这些因素。在一个比较小的低压电网供电区域内,即使无法获得各条低压线路的数据,了解每个变电站的最大需求和用电量也能为统计分析提供足够精确的数据,从而产生有价值的负荷预测。

四、负荷预测的作用与特点

(一) 负荷预测的作用

在充分考虑一些重要的系统运行特性、增容决策、自然条件与社会影响的条件下,研究或利用一套系统地处理过去与未来负荷的数学方法,在满足一定精度要求的意义下,确定未来某特定时刻的负荷数值,称为负荷预测。

电力负荷预测是供电部门的重要工作之一。准确的负荷预测。可以经济合理地安排电网内部发电机组的启停,来满足用户的需求保证供电的可靠性和电网的安全稳定运行,减少不必要的旋转储备容量,合理安排机组检修计划,保证社会的正常生产和生活,有效降低发电成本,提高经济效益和社会效益。为此目的的负荷预测,称为短期负荷预测,时间一般为 24h。

电力负荷预测一般可分为长期、中期、近期、短期四种。近期预测为电网近期规划而做,为中期电网规划而做的负荷预测称中期负荷预测(5~10 年左右),为了远景电网规划而做负荷预测称长期负荷预测(10~20 年或更长时间)。中、长期负荷预测是电力系统建设的依据,每年新装多少容量的发电机组,配多少容量的变电所,增减多少公里的输配电线路以及如何分布等,都必须与该地区的经济、社会发展和人民生活水平的提高相适应,不然就可能产生电力不足而制约该地区的经济文化的发展。但电力建设投资过早,会使过剩的电力设备不能发挥作用,不能产生经济效益,对电力企业来说增加了还贷难度。对于一个尚处于社会主义初期阶段的发展中国家来说应该避免这样的情况出现,编制电力系统规划的目的也就在于此。

(二) 负荷预测的特点

负荷预测是根据电力负荷的过去和现在推测它的未来数值,所以负荷预测工作所研究的对象是不肯定事件。只有不肯定事件、随机事件,才需要人们采用适当的预测技术,推知负荷的发展趋势,这就使负荷预测具有以下明显的特点。

1. 不准确性

因为电力负荷未来的发展受到多种多样复杂因素(如政治、经济、气象、国家政策等)影响,而且各种影响因素也是发展变化的。有些发展变化人们能够预先估计,有些无法估计(如气象的剧烈变化,严重灾害,国家宏观经济不景气,国家政策发生重大变化等)。加上一些预测技术上的问题(数学模型建的不恰当,资料收集不全面等)影响,这些都决定了预测结果的不准确性或不完全准确性。

2. 条件性

各种负荷预测都是在一定条件下做出的,如果预测人员掌握了电力负荷的发展规律,那么预测条件就是必然条件,所做出预测结果往往是比较可靠的。而很多情况下由于负荷发展的不确定性,所以就需要一些假设条件。例如:夏天持续高温的话,家用空调负荷将保持较高的数值等。当然,这些假设根据研究分析综合历年用电情况而得来,该预测结果加以一定的前提条件,更有利于供电部门使用预测结果。

3. 时间性

各种负荷预测都有一定的时间范围,往往需要确切地指明预测的时间。

4. 多方案性

由于预测的不准确性和条件性,所以有时要对负荷在各种情况下可能的发展状况进行预测,就会得到各种条件下不同的负荷预测方案。

五、负荷预测规定

负荷预测是城乡电网规划设计的基础。预测工作应在经常调查分析的基础上,收集城乡建设和各行各业发展的信息,充分研究本地区用电量和负荷的历史数据和发展趋势进行测算。为使预测结果有一定的科学性、准确性,采用多种方法进行预测,并相互补充,同时可适当参考国内外同类型地区的资料进行校核。

负荷预测分近期、中期和远期,近期还应按年分列,中期和远期可只列期末数据。由于影响负荷变化的因素太多,预测数据可用高、低(或高、中、低)两个(或三个)幅值,幅值相差不宜过大。

为使城乡电网结构的规划设计更为合理,应从用电性质、地理区域或功能分区、电压等级分层等方面分别进行负荷预测。

负荷预测的结果应该以 GB/50293—1999《城市电力规划规范》制定的各项规划用电指标作为预测或校核远期规划负荷预测值的控制指标,规范规定的用电指标包括:规

划人均综合用电量指标,规划人均居民生活用电量指标,规划单位建设用地负荷指标;规划单位建筑面积负荷指标等。

(一)用电分类

用电分类是说明国民经济各部门用电情况和变化规律,反映电气化发展水平和趋势的指标,用于分析研究经济增长与电力生产增长与电力消耗量增长的相互关系,是负荷预测和电力分配的依据。

全社会用电在统计上由国民经济产业用电和城乡居民生活用电两部分构成,产业包括一次产业、二次产业、三次产业,城乡居民生活用电按城市居民和乡村居民分别统计。国民经济行业用电可分为七大类:

1. 农、林、牧、渔、水利业用电

该行业用电指乡、村用于农业、林业、畜牧业、渔业、水利业等方面的生产用电。又可细分为:

(1)农业包括种植业、其他农业。

(2)林业包括林业、经营、种植等。

(3)畜牧业包括牲畜、饲养、放牧业、家禽饲养业。

(4)渔业包括海水渔业和淡水渔业。

(5)水利业。

(6)农、林、牧、渔、水利服务业。

2. 工业用电

工业用电指工业企业用于工业生产的用电。如果企业生产跨行业产品时,应按企业主要产品进行归类。工业包括采掘业和制造业。

(1)采掘业

采掘业主要包括:①矿业;②木材及竹材采运业;③自来水生产和供应业。其中矿业包括固体矿藏、液体矿藏和气体矿藏的开采和洗选。主要有煤炭、石油和天然气,黑色金属,有色金属,建材及其他非金属矿的采选业、采盐业和其他矿采选业。

(2)制造业

制造业范围较为广泛,包括 17 类:①食品、饮料和烟草制造业;②纺织业;③造纸业;④电力、蒸汽、热水生产和供应;⑤石油加工业;⑥煤焦、煤气及煤制品业;⑦化学工业中的轻工业;⑧医药工业;⑨化纤工业;⑩橡胶及塑料制品业中的轻工业;⑪建筑材料及其他非金属矿制品业;⑫黑色金属冶炼及压延加工业;⑬有色金属冶炼业;⑭金属制品业;⑮机械工业;⑯交通运输、电气、电子设备制造业;⑰其他工业。

3. 地质普查和勘探业用电。

4. 建筑业用电。

5. 交通运输业、邮电通信业用电。

6. 商业、公共饮食、物质供销和仓储业用电。

7. 其他事业用电。包括：

(1) 房地产管理、公用事业、居民服务和咨询服务业；

(2) 卫生、体育和社会福利事业；

(3) 教育、文化艺术和广播电视事业；

(4) 科学研究和综合技术服务事业；

(5) 国家党政机关和社会团体；

(6) 其他。

(二) 用电地理区域与功能分区

可根据城乡行政区、地理自然条件(如山、河流等)一个或几个变电所的范围划分,也可按城乡规划土地的用途功能或地区用电负荷性质等情况适当划分。分区原则主要是便于编制城乡电网在不同时间的改造和发展规划。分区的面积不必相同,城市中心区宜小些,一般可在 5km^2 左右,市郊区或农村可大些,可根据城乡规模性质具体问题具体分析,没有统一模式。

(三) 用电电压等级分层

用电负荷可根据城乡电网所选用的电压等级来分层,计算某个电压等级的负荷时,应注意从总负荷中减去上一级电网的线损功率和直配供电(发电厂直供的)负荷。

(四) 负荷预测基本程序

怎样做好负荷预测,使它具有科学性,这就要求有一个基本程序,一般程序如下:

1. 确定负荷预测的目的

制定预测计划,负荷预测要明确目的,紧密联系电力系统实际需要(如是近期规划、中期规划、还是远期规划,或短期负荷预测)。只有目的明确,才能相应拟定一个负荷预测工作计划。在预测计划中要考虑的问题主要有:准备预测时期所需要的历史资料(按年、按季、按月、按周或按日);需要多少项资料;资料的来源和搜集资料的方法;预测方法(如短期与中远期预测方法是不同的);预测完成时间;所需经费来源等。

2. 负荷预测需收集的资料

一般应包括以下内容:

(1) 城市总体规划中有关人口、用地、能源、产值、居民收入和消费水平以及各功能分区的布局改造和发展规划(包括各类负荷所计划发展的建筑面积和土地利用比率)等。

(2) 市计划、统计部门以及气象部门等提供的有关历史数据和预测信息。

(3) 电力系统规划中电力、电量的平衡,电源布局等有关资料。

(4) 全市及各分区分块、分电压等级按用电性质分类的历年用电量、高峰用电和负荷典型日负荷曲线及电网潮流图。

(5) 各级电压变电所、大用户变电所及配电所(包括柱上变压器)的负荷记录和典型负荷曲线、功率因数。

(6) 大用户的历年用电量、负荷、装接容量、合同电力需量、主要产品产量和用电单耗。

(7) 大用户及其上级主管部门提供的用电发展规划、计划新增和待建的大用户名单、装接容量、合同电力需量、时间地点。国家及地方经济建设发展中的重点项目及用电发展资料。

(8) 当电源及供电网能力不足造成供不出电时,应根据有关资料估算出潜在负荷的情况。

挑选资料的标准,一要直接有关,二要可靠,三要最新。先把符合这三点的资料挑出来,加以深入研究,在这以后,才能考虑是否还需要再收集其他资料。收集统计资料是不易的,尤其在我国目前情况下,各层次的资料往往不够完整,再加上保密问题尚未解决,就更增加了难度。如果资料收集和选择不好,会直接影响负荷预测质量。

3. 资料整理

对所收集的有关统计资料进行审核和必要的加工整理,是保证预测质量所必须的。预测的质量不会超过所用资料的质量。整理资料的目的是为了保证资料的质量,从而为保证预测质量打下基础。

(1) 衡量统计资料质量高低的标准如下:①资料完整无缺,各期指标齐全;②数字准确无误,反映的都是正确状态下的水平,资料中没有异常的“分离项”;③时间数列各值间有可比性。

(2) 资料的整理。资料整理的主要内容有以下几项:①资料的补缺推算。如果中间某一项的资料空缺,则可利用相邻两边资料取平均值近似代替,如果开头一项资料空缺,则可利用趋势比例计算代替。②对不可靠的资料加以核实调整。对能查明原因的异常值,用适当方法加以订正;对原因不明而又没有可靠修改根据的资料,宁删勿留。③对时间数列中不可比资料,加以调整。时间数列资料的可比性主要包括:各期统计指数的口径范围是否完全一致;各期价值指标所用价格有无变动;各期时间单位长度是否可比;周期性的季节变动资料的各期资料是否可比,是否能如实反映周期性变动规律。用不同方法处理上述各种可比性问题时,务必使资料在时间上有可比性。此外,还要根据研究目的,认真考虑时间数列的起止时间,即应截取哪一段时间的资料使用。

4. 对收集资料的初步分析

对所收集资料进行初步分析,包括以下几方面:①画出动态折线图或散点图,从图形中观察资料变动的轨迹,特别注意离群的数值(异常值)和转折点,研究它是由偶然的还是由其他什么原因造成的;②查明异常值的原因后加以处理;③计算一些统计量,如

自相关系数,以进一步辨明资料轨迹的性质,为建立模型做准备。

5. 建立预测模型

负荷预测模型也就具体为一个数学公式,模型是统计资料轨迹的概括,它反映了资料的内在变化规律的一般特征,与该资料的具体结构并不完全吻合,也就是资料画出动态负荷模型数学公式表达并不完全重合。公式求出的数值,也就是预测值。负荷预测模型是多种多样的(因为负荷变化轨迹是多种多样的),以适用于不同结构的资料。因此,对一个具体资料,就有选择适当预测模型问题。有时负荷变化轨迹呈现多种多样性,在不同阶段,变化规律不同只选择一种模型会造成测差过大,这就需要我们采用几种数学模型进行运算,以便对比选择。所以正确选择预测模型在负荷中是具有关键性一步。

6. 综合分析,确定预测结果

通过选择适当的预测技术,建立负荷预测数学模型,进行算得到预测值,或利用其他方法(如主观经验法)得到了初步预测值,还要参照当前已经出现的各种可能性,对新的趋势和发展(如国民经济发展趋势变化、政策变化和自然气候变化等都会对预测结果准确性产生很大影响)进行综合分析,对比判断推理和评价,最终对初步预测结果进行调整和修正。所以,要对影响预测值新因素进行分析,对预测模型进行适当的修正后确定预测值。

预测值的确定决不是经过某些数学预测运算就能解决。搞好预测需要科学,也需要艺术和良好的综合判断能力,它是个人经验、教训与个人才能综合作用的结果。

7. 编写预测说明

根据预测结果,编写预测说明。因为预测结果是多种预测方法得出,所以说明中要对取得这些结果的预测条件、假说及限制因素等情况详细说明。在说明中有数据资料、报告分析、数学模型、预测结果及必要图表,让使用者一目了然,便于以后规划时应用。由于负荷预测、归类分析工作量大,且需要经常更新数据,宜应用计算机进行。

六、负荷预测模型及短期预测

(一) 负荷预测模型

负荷预测值是网络设计中所需的最重要数据之一。有三种基本的统计方法用于预测未来的电力需求。在实际应用中,这三种方法可以组合使用,但各个方法有其特定的应用范围。

1. 外推法。

在外推法中,未来总的需求预测是根据所研究地区的历史数据在时间上进行推移计算而得出的。该方法适用于1~3年的短期预测,但如果应用于长期预测,那么其推移趋势通常呈现S形曲线形状。在一个供电系统的发展初期,负荷的年增长率比较高,

但负荷增长率将随着用户家用电器的饱和而下降,所研究的地区和整个国家的经济因素以及替代能源的相对费用对负荷增长率也有影响。

外推法没有考虑所研究地区所处的发展阶段,故该方法有可能引起相当大的误差。

2. 仿真法

仿真法的基础是具体的年用电数据,该数据通过调查每个用电类型和每个类型的用户数而获得。当前的用电情况可从公司电费帐单文件中获得。每个用户类的未来发展可从国家信息中作出估计,例如根据市政府或地方政府关于未来工业和住房发展的预测信息,经修改可应用于本地区的未来发展预测。仿真法对于有可能快速发展的地区和预测期大于5年的情况尤为适用。

3. 计量经济模型法

计量经济模型以获取用电量和各种经济变量(如国民生产总值、工业生产指数和通货膨胀率)之间的合理关系为基础,并受电力价格的影响。大规模的计量经济模型并不适用于与各个配电系统有关的小地区的研究。

高压/中压变电站的负荷预测通常根据上面提到的前两种方法进行。可以通过与当地有关规划部门讨论,来获得该地区当前和未来的供电人口及未来可能的住房和工业发展计划。使用电费文件所提供的当前和过去的用电量,可以作为这种负荷预测的起点。

如果考虑了每个用户组的预期发展及该组用电量的增长,对该组的未来预测电量进行合成就得到了该组的负荷预测值。

表3-2-1是基于某国的一项调查结果。第二行为住户数,是所有采用电取暖和不采用电取暖的家庭住户和农场的总和。考虑第一种用户组,即采用电取暖的用户组,根据预测的住户数、这些住户中预计采用电取暖的百分数、每户年用电量的预计增长量,则可以预测这个用户组的总用电量,即从第0年的10900MWh增长到第20年的31600MWh,此处的第0年为统计数据截止的那一年。采用类似的计算方法可得出别墅和农场的预测用电量。工业用户的售电量是根据预测年内具体的工业用户组每个工人的用电量及工人的数目而得出的。如表中所示,将每个用户组的预测用电量相加就是该地区总的预测用电量。

地区的总用电量是各类用户用电量的总和,如表3-2-1所示。这种计算可以通过相应的计算机程序实现,其计算结果可直接用于网络设计程序。对每个用户组应用Velder公式,并计及每个用户组尖峰负荷在时间上的差异,就可以将所获得的电量预测转换成负荷需求预测。

表 3－2－1 分区电量预测举例

年	0	10	20
人口	11700	11900	12200
住户数	4500	4940	5450
电取暖住户所占百分数	14	21	32
电取暖住户数	637	1037	1744
每年电取暖耗电量(MWh/户年)	17.1	17.6	18.1
耗电量(MWh/年)	10900	18300	31600
家庭户数	4135	4540	5080
每年家用耗电量 (MWh/户年)	4.2	4.7	5.2
耗电量(MWh/年)	17400	21300	26400
夏季别墅数目	1030	1240	1600
电气化别墅数目	490	650	930
每年单位耗电量(MWh/别墅年)	1.5	2.5	3.0
耗电量(MWh/年)	740	1630	2790
电取暖别墅数目	200	330	560
每年电取暖耗电量(MWh/别墅年)	4.2	4.6	5.0
耗用量(MWh/年)	840	1500	2800
农场数目	415	400	370
每年单位耗电量(MWh/农场年)	5.6	6.7	8.0
耗电量(MWh/年)	2300	2700	3000
产业工人数目	1350	1400	1475
每年单位耗电量(MWh/人年)	6.1	7.0	8.2
耗电量(MWh/年)	8200	9800	12100
公共和服务行业工人数目	2650	2740	2800
每年单位耗电量(MWh/人年)	5.4	5.9	6.6
耗电量(MWh/年)	14300	16200	19000
总耗电量(MWh/年)	54700	71500	97700

配电所(中压/低压)的负荷预测可以基于上述的中压负荷预测,很多情况下可以从与用户负荷、系统网络数据及与一些现有发展趋势有关的计算机文件中提取信息。在变电站供电区域内的用户设备信息也可能表明该地区的部分负荷可能比平均负荷增长快得多,农村地区的电取暖就是例子之一。因为电取暖是一种广泛使用的取暖措施,当前电取暖用户率比较低的地区具有负荷快速增长的潜力,在规划有关的配电系统时应注意这一点。

城市低压网络的负荷预测可用与上面所述配电所负荷预测相同的方法进行。对农村地区不推荐采用负荷增长平均值的方法,因为此处的负荷增长主要来源于新用户的增加和电取暖的使用,这对一两条局部线路影响很大,但具有这种负荷增长量并不影响区域外部的配电网络。因此,应用平均负荷增长率的原则对大部分线路的负荷预测会过高,而对可能加入的新用户和改用电取暖的用户,则会预测过低。与低压线路不同,

中压线路供电用户成百上千。因此,在中压网络设计中采用平均负荷增长率进行负荷预测是合适的。

当有新的背景信息时,就能相对容量地调整负荷预测的结果,这点非常重要。因此,在负荷预测数据库、用户信息数据库和网络数据库之间建立密切的联系是非常有价值的。相互联系的数据间的交叉索引对优化负荷预测过程是至关重要的,而这一过程正是网络设计过程中的一个重要阶段。比如说,这意味着所有这些系统必须采用同样的位置代码和用户分类方法,而且应与社区规划人员建立良好的沟通渠道。

(二) 短期负荷预测

长期负荷预测与网络规划有关,而短期负荷预测与配电网络运行有关,其典型的提前预测时间范围为 $1\text{h} \sim 1$ 周。

新的自动化设备如遥控隔离开关、基于微处理器的继电器和价格低廉的计算机技术,使得有可能开发出能够支持配电网以更加完善方式运行的计算机系统。这些配电管理系统(DMS)包括网络实时分析功能,并能支持调度员制作运行计划。DMS 通常需要对公司的各个计算机系统进行集成。系统控制和数据采集系统(SCADA)提供了变电站和网络中各种设备的实时数据。仅仅靠 SCADA 获取的数据并不足以实时监视整个配电网的状态,因为并不知道线路和网络元件的细节、中压馈线的负荷分布以及各条分支线的负荷。但所需的网络元件数据可从网络信息系统(AM/FM 系统)中获得。

配电网络运行系统的高级功能,如通过馈线重构进行系统恢复和降低损耗,需要负荷预测以得到精确的结果。对于这些高级功能,负荷预测的结果必须非常灵活,使之可用于模拟网络结构。因此,配电网络运行系统的短期负荷预测目标是预测配电所($20/0.4\text{kV}$)的负荷。负荷预测方法是将远方负荷量测与用户组负荷模型相结合。配电所的当前负荷是根据所有的用户组负荷模型和主要的气象信息计算出的。比如,这些负荷模型包括 50 个用户组每小时的用电需求及用电需求与温度之间的依赖关系。利用这些配电所的模拟负荷及供电母线量测的电压可进行中压电网的潮流计算,从而可对网络状态作出最初的估计。

然后就可以应用状态估计的原理,采用统计方法处理冗余量测和可疑量测,如运用加权最小二乘法求得所选状态变量的最佳值。在配电网络中,这些状态变量可能是配电所的负荷,而其他变量如网络节点电压可通过状态变量求得。

通常,馈线负荷没有冗余量测。但是,基于电费和负荷曲线信息的配电所的模拟负荷可作为伪量测。在状态估计中,为了得到冗余信息,可将潮流结果(变电站负荷与损耗的和)与中压馈线负荷量测结果和母线电压值相比较,因为在通常情况下,至少能在一次变电站得到母线电压。这样,加权最小二乘法对配电所负荷的估计就更加精确。负荷量测的标准方差和模拟负荷的标准方差可用于设置估计的权重,如式 3-2-1 所示。如果不计损耗,辐射形馈线的总负荷等于所有节点负荷之和,于是得到如下的变电

站负荷公式

$$S_i^* = S_{\text{mod},i} + \frac{\sigma_i}{\sigma_{\text{mea}} + \sum \sigma_i} (S_{\text{mea}} - S_{\text{mod}}) \tag{3-2-1}$$

这里 S_i^* 、 $S_{\text{mod},i}$ 、 S_{mea} 和 S_{mod} 分别是变电站 i 的估计负荷、变电站 i 的模拟负荷、馈线的量测负荷和馈线的模拟负荷,而 σ_{mea} 和 σ_i 分别是变电站 i 的最测负荷和模拟负荷的标准方差。如果在一条馈线上有几个量测点,可用这些点定义新的线路段来进行估计,从而分别处理这些线路段以获得更高的精度。

状态估计的结果可用于建立配电所动态负荷模型。在温度预测值已知时,该模型反过来又用于确定负荷最终预测值。配电所动态模型包括下周即下一个 168h 时段的负荷,是根据不同用户组的静态负荷模型由潮流计算得出的。利用上周同一天(如星期三)的状态估计中计算出的估计负荷与模拟负荷的平均比值和那一天同一小时的负荷,可以对本周同一天的负荷进行调整。另外,对 3h 后每小时的预测需要进行更新,因为当前小时的负荷量测提供了有价值的信息,这些信息可表明负荷在后面的几小时内可能的变化。

正常温度下的月负荷,以及分别计算的每个变电站的负荷与温度的依赖关系都存储在数据库中。用这种方法可以用最新的温度预测值来预测负荷,同样将温度值设置得非常低(或高)就能够很容易地分析最坏的情况。当 DMS 实时地连接到 SCADA 系统时,至少要每小时进行一次状态估计,并刷新变电站动态负荷模型。一星期后同一小时的负荷预测值被不断地修改,因此就总能获得一个星期的滚动负荷预测。

第二节 用电单耗法与产值单耗法预测用电负荷

一、用电单耗法

用电单耗法是根据产品或产值用电单耗和产品数量来推算电量的,其在有单耗指标的工业部门和部分农业部门中预测用电量,是一种较为有效的方法,预测的准确度取决于对产品产量的准确估计和对用电单耗变化趋势的正确掌握,其较适合于近、中期预测。这种方法计算规划年度用电量的公式是

$$A = D \cdot Q + A_f \tag{3-2-2}$$

式中 D ——产品用电单耗;
 Q ——产品产量;
 A_f ——不能计算单耗的用电量。

不能计算单耗的用电量,可按过去的自然增长规律及今后增减趋势估算。使用用电单耗法时,可按整个城市主要产品进行测算,也可按各个用户分别测算后再行业汇总。

二、产值单耗法

产值单耗是指单位产值的耗电量。产值单耗可是综合指标(如 GNP、国民收入等)的每单位产值耗电量,也可是分行业每单位产值耗电量,由此预测供电区域社会需用电量,其计算公式为

$$W = \sum S_i b_i \quad (3-2-3)$$

式中 W ——预测需用电量;

S_i ——预测年度 i 种代表产业产值;

b_i —— i 种产业单位产值综合耗电定额。

综合耗电单耗的求得,应把本地区第一、二、三产业单耗及人均生活用电在前 10 年的变化情况分别进行分析,找出各产业单耗大小与国民生产总值变化的关系及规律,人均生活用电随人民生活改善而增大的趋势;并考虑本地区第一、二、三产业国民生产总值在规划期内的增长速度,求得规划期各产业每年的综合单耗及人均生活用电。

第三节 弹性系数法与模糊法预测用电负荷

一、弹性系数法

利用电力弹性系数进行负荷预测,是编制电力发展规划时常用的一种负荷预测方法。这种方法的优点是计算简单,缺点是预测结果准确度不高,可用作远期规划粗线条的负荷预测。

电力弹性系数 k_{dt} 是指用电量的年平均增长率 k_{zcb} 和国内生产总值(GDP)的年平均增长率 k_{gzch} 的比值。在某一特定的历史发展阶段,电力弹性系数有一个大体比较稳定的数值范围。表 3-2-2 为我国 1980~1991 年电力弹性系数。根据历史上电能消费与经济增长的统计数据,计算出电力弹性系数然后利用此值预测未来年份的电力需求的方法称为电力弹性系数法,电力弹性系数的定义为

表 3-2-2 我国 1980~1991 年电力弹性系数

年份	电力弹性系数	年份	电力弹性系数
1980	1.03	1986	1.28
1981	0.61	1987	1.04
1982	0.73	1988	0.85

续表

年份	电力弹性系数	年份	电力弹性系数
1983	0.73	1989	1.77
1984	0.54	1990	1.22
1985	0.67	1991	1.21

$$k_{dt} = \frac{k_{zch}}{k_{gzch}}$$

假设国内生产总值和需电量均按比例正常增长 则

$$k_{zch} = \sqrt[n]{\frac{A_n}{A_0}} - 1$$

$$k_{gzch} = \sqrt[n]{\frac{G_n}{G_0}} - 1$$

式中 G_n 、 A_n ——第 n 年末的国内生产总值和需电量；

G_0 、 A_0 ——基准年的国内生产总值和发电量。

需电量为

$$A_m = A_0(1 + k_{gzch} k_{dt})^n$$

式中 A_m ——规划期年末需电量；

A_c ——规划期始基准年的需电量；

k_{gzch} ——国内生产总值的年平均增长率；

n ——计算期的年数。

二、模糊法

(一)模糊聚类预测法

将模糊聚类理论运用于负荷预测的模型及其计算步骤大致如下：

1. 确定影响被测量的环境因素及数的收集整理

由于所选中的因素与被测量的关系是否密切将对最后的预测精度产生很大影响，所以大量细致的调查、分析工作对预测精度的提高非常关键。下面以国内生产总值（GDP）、人口、工业生产总值、农业生产总值、人均国民收入、人均电力六个指标构成预测环境。

2. 模糊聚类

设有 T 年历史数据 $X_t = (X_{t1}, X_{t2}, \dots, X_{tm})$ 为第 t 年的环境因素向量， X_{tm} 为第 t 年的电力增长率， $t = 1, 2, \dots, T$ 。

选择适当的算子计算两历史样本 X_i 和 X_j 之间的相关因子。计算方法很多,这里采用绝对值减数法: $t=1, 2, \dots, T$ (历史年份数), $i=1, 2, \dots, n$

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & i=j \\ 1 - c \sum_{k=1}^n |x_{ti} - x_{tk}|, & i \neq j \end{cases}$$

式中, n 是包括待测变量在内的因素总数。 c 的选取应满足 $0 \leq r_{ij} \leq 1$, 这里选 $c = \frac{1}{\max_t \sum_{k=1}^n |X_{ti} - X_{tk}|}$, 得相关矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1T} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{T1} & r_{T2} & \cdots & r_{TT} \end{bmatrix} T \times T$$

当使 R 满足三性,即自反性、对称性和传递性时,就求得了等价矩阵,可用 λ 去截矩阵。

如,有矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.4 & 0.8 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 1 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 0.4 & 1 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.4 & 0.5 & 1 & 0.6 \\ 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 1 \end{bmatrix}$$

使

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & r_{ij} \geq \lambda \\ 0, & r_{ij} < \lambda \end{cases}$$

取 $\lambda = 0.5$, 则 R 的截矩阵为

$$R_{0.5} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

根据截矩阵对因素进行分类,把 $r_{ij} = 1$ 元素归于同一类。如上按 $R_{0.5}$ 进行分类,有 $\{x_1, x_4, x_3, x_5\}$ 及 $\{x_2\}$ 两类。显然,当 λ 取不同值时,分类结果也可能会不同,为此,需要利用 λ 偏差度概念,在限定区间 $[\lambda_1, \lambda_2]$ 里搜索到一个截水平 λ_0 ,称为最佳截水平,用 λ_0 截取得到的分类结果就是最佳聚类。

用 λ_0 截取等价矩阵(又称闭包) $T(R)$ 后得到最佳分类,设有 U_1, U_2, \dots, U_m , 令 $V_i = \{X_t, Z_t \in U_i\}$ 其中 Z_t 表示第 U_i 类历史电量, X_t 为第 U_i 类的历史环境因素值。这

样 V_i 便是 U_i 向因素轴 X 的投影,对应 V_i 建立模糊集 P_i ,以表示第 U_i 类环境特征, $V_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}\}$ 为第 U_i 类包括的 k 个样本。

可用正态模糊集来表示环境因素特征：

对于 $\forall X = (X_1, X_2, \dots, X_{n-1})$

$$p_i(x) = \sum_{j=1}^k W_j \exp\left\{-\frac{1}{90\sigma_{ij}^2}(\bar{x}_j - \bar{x}_{ij})^2\right\} \quad (3-2-3)$$

式中 W_j ——第 j 个环境因素的权重；

$\bar{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{s=1}^k x_{js}$ ——第 U_i 类环境因素的平均值 $\bar{x}_i = (\bar{x}_{i1}, \bar{x}_{i2}, \dots, \bar{x}_{ik})$ ；

\bar{x}_{ij} ——第 U_i 类环境因素的平均值的第 j 个分量；

$\sigma_{ij}^2 = \frac{1}{k} \sum_{s=1}^k (x_{is} - \bar{x}_{ij})^2, j = 1, 2, \dots, k$ ——第 U_i 类第 j 个因素的方差。

与 V_i 环境因素特征 P_i 对应的负荷特征的描述：

令 $Q_i = \{Y_t, Z_t \in U_i\}$, Q_i 是所有属于 U_i 类的历史负荷增长率的集合,对应 Q_i 建立模糊数 $r_i = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$

设 $Q_i = \{Q_{i1}, Q_{i2}, \dots, Q_{ik}\}$, 当 $Q_i \in \{Q_1, Q_2, \dots, Q_m\}$, 计算 $\bar{Y}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m Y_{ij}$, Y_{ij} 为第 ij 个样本的电力负荷。

令

$$\delta_j = \max_{1 \leq j \leq m} |Y_{ij} - \bar{Y}_i| \quad (3-2-4)$$

则有

$$r_i = \exp\left\{-\frac{1}{9\sigma_j^2}(Y - \bar{Y}_i)^2\right\} \quad (3-2-5)$$

这样用式(3-2-3)和式(3-2-5)可求得对应于分类 $\{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ 环境因素和负荷特征的模糊数

$$\begin{bmatrix} p_1 & p_2 & \dots & p_m \\ r_1 & r_2 & \dots & r_m \end{bmatrix} \quad (3-2-6)$$

3. 择近选择

假定对第 S 期($S > T$)的待测量进行预测,从第 S 期的环境因素 $X_s = \{x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{sn-1}\}$ 中选出和最优聚类相对应的因素代入式(3-2-3)求出 $p_i(x_s)$, 并从式(3-2-6)中选出与 $p_i(x_s)$ 最接近的 $p_{i0}(x_s)$ 使

$$p_{i0}(x_s) = \max_{r=1}^m (p_r(x_s)) \quad (3-2-7)$$

则可将对应于 $p_{i0}(x_s)$ 的因素增长率 r_{i0} 作为第 S 期的被测量,即

$$Y_0(I) = r_{i0} \quad (3-2-8)$$

4. 修正量计算

从以上计算过程可看出,被测量的未来增长率(如电力增长率)不超过其历史变化范围时,用此方法是合适的。否则,对于“超历史增长水平”的“超越量”不能在模型中反映出来。为此,对这种情况应作补充,求出其修正量。

(1)求待测年 I 的环境因素增长率与基本聚类时所属类环境因素之差的平方和 $E(I)$

$$E(I) = \sum_{k=1}^K \{ \alpha(k) \times [XR(I, k) - \bar{x}(LZ(I), k)] \}^2 \quad (3-2-9)$$

式中 $\alpha(k)$ ——第 i 类所属 k 个环境因素权重;

$XR(I, k)$ ——第 I 个待测年第 k 个环境因素增长率;

$LZ(I)$ ——第 I 个待测所属聚类号;

$\bar{x}(LZ(I), k)$ ——第 $LZ(I)$ 历史年第 k 个环境因素平均增长率;

K —— λ_0 截 $K(R)$ 所得包括电力的第 U_i 类所属环境因素。

(2)判断是否要修正:

1)当 $GD \geq E(I)$ 时,不修正;

2)当 $GD < E(I)$ 时,则需修正。

GD 是给定的限值。

(3)求修正量

1)求第 i 类所属 k 个因素的任二级环境因素增长率之差的加权平方和,形成类似于 $E(I)$ 的数组 $Q(L)$,即

$$Q(L) = \sum_{k=1}^K \{ \omega^2(k) \times [X(F, k) - X(G, k)] \}^2$$

式中 $X(F, k)$ ——第 F 年第 k 个环境因素的历史增长率;

$X(G, k)$ ——第 G 年第 k 个环境因素历史增长率。

2)求对应于 $Q(L)$ 的电力或电量增长率之差

$$D(L) = \gamma(F, n) - \gamma(G, n)$$

式中 $\gamma(F, n)$ ——第 F 年负荷增长率;

$\gamma(G, n)$ ——第 G 年负荷增长率;

L ——数组号。

3)求修正量 $D_y(I)$ 对于第 I 待测年的 $E(I)$ 与所有历史年的 $Q(L)$ 的差的绝对值为

$$A(I, L) = |E(I) - Q(L)|$$

求得对应于 I 待测年 $A(I, L)$ 为最小时的 L 为 $L = L_0$, 即

$$A(I, L_0) = \min_L A(I, L)$$

则修正量为

$$D_y(I) = D(L_0)$$

最终预测值为

$$Y(I) = Y(I) + D_j(I)$$

式中 $Y(I)$ ——经修正而求出的第 I 年负荷增长率。

(二) 模糊相似优先比预测法

这种预测法和前面介绍的聚类预测法各有特点,建模思路和计算方法都和聚类法不同。

1. 确定影响电力增长的主要环境因素及其数据。

2. 产生相似优先比矩阵。设有 T 个历史时段数据 $Z_t = (X_t, Y_t), t = 1, 2, \dots, T, X_t = (x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{t(n-1)})$ 为第 t 时段的环境因素向量, $Y_t = x_{tm}$ 为电力增长率。选择适当的方法,用每个时段一组因素值和电力增长率求出相似优先比矩阵的元素 r_{ij}

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{d_{kj}}{d_{kj} + d_{ki}}, & i \neq j \\ 1, & i = j \end{cases}$$

式中 $d_{kj} = |X_{tj} - X_{tk}|$ 为第 t 时段第 j 因素对第 n 个因素(电力)的海明距离;同样 $d_{ki} = |X_{ti} - X_{tn}|$ 为第 t 时段第 i 因素对第 n 个因素的海明距离。

T 个时段的相似优先比矩阵为

$$R^{(t)} = (r_{ij}^{(t)} |_{n-1 \times n-1}), t = 1, 2, \dots, T$$

3. 截取 T 个相似优先比矩阵,获得各因素的优势编号。

把各相似优先比矩阵 $R^{(t)}$ 的元素 $r_{ij}^{(t)}$ 分别按从大至小顺序排列,让截水平 λ 依次(由大至小)取元素值并截取每个 $R^{(t)}$,当在 $R_{\lambda}^{(t)}$ 中出现全行元素为“1”[即 $r_{ij} \geq \lambda$ 时,取($r_{ij} \lambda = 1$)时,在原矩阵 $R^{(t)}$ 中划去该行该列的元素,并记 $R^{(t)}$ 中此行编号为“1”。然后,对去掉一行一列的“剩余”矩阵的元素按上述方法重新整理,用降低的 λ 值继续截取,直至又出现全行元素为“1”,记此行编号为“2”,并在整理后矩阵中再划去该行该列。继续进行上述操作,直到所有的行均获得编号。

这样就取得了一个矩阵中各元素的一组编号 $B_1 = (b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1n})$, T 个时段就有 T 组编号。把 T 组编号中相同行的序号相加

$$C_k = \sum_{t=1}^T b_{tk} \quad k = 1, 2, \dots, (n-1) \quad (3-2-10)$$

编号累加值 C_k 小的行对应的因素 k 即为优势因素,它与电力负荷增长的相似程度最接近,其在环境因素向量中的分量号记作 NZX 。

4. 以优势因素为根据,预测 $(S > T)$ 时段的电力增长率 Y_{t0} 。

$$Y_{t0} = C'_1 x_1 + C'_2 x_2 + \dots + C'_{n-1} x_{n-1} \quad (3-2-11)$$

可以仅以优势因素为依据,也可以取 C_k 较小的几个因素为依据进行预测(即将式 3-2-11 中某些权系数置 0 即可)。式 3-2-11 中 C'_1, C'_2 和 C'_{n-1} 是按 C_k 求得的权系数,而 $x_1 \sim x_{n-1}$ 是分别以各因素为依据得出的预测值。

5. 超越最的求取。按上述方法求得的 Y_{t0} 不会超越历史增长,在相当时期内,未来电力增长率将超过历史增长率。所以还需求出“超越量” $\triangle Y_t$ 。其方法在上节模糊聚类预测法中已介绍。

从而,第 t 年的电力总增长率为

$$Y_t = Y_{t0} + \triangle Y_t$$

(三) 最大贴近度预测法

1. 基本思想

上而两种模糊预测法是用同一地区的未来环境和历史的环境因素作横向比较,而最大贴近度法是把被预测地区的环境因素与其他参考地区的环境因素作横向比较。选择若干个参考地区,以某主要因素为依据,按“择近原则”,从中选出一个与被测地区最为接近的地区或城市,把该地区的主要因素(如国内生产总值、人均国民收入等)与被测地区的主要因素作比较,两者接近时对应的电力(量)增长率即为被测地区的预测值。

2. 算法及步骤

选择好经济发展指标与待测地区或城市接近的城市或地区作为参考样本以后,可取其人均电量(或其他代表性参数)为参考量,对待测城市或地区进行预测。

设 A 为某待测地区经济参数集

$$\tilde{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$$

对应的隶属度为

$$C^0 = \{c_1^0, c_2^0, \dots, c_n^0\}$$

又设 B^1, B^2, B^3, B^4 分别为 4 个城市(或地区)与 \tilde{A} 相对应的经济参数集; C^1, C^2, C^3 和 C^4 分别为对应的隶属度集,即

$$\tilde{B}^1 = \{b_1^1, b_2^1, \dots, b_n^1\} \quad C^1 = \{c_1^1, c_2^1, \dots, c_n^1\}$$

$$\tilde{B}^2 = \{b_1^2, b_2^2, \dots, b_n^2\} \quad C^2 = \{c_1^2, c_2^2, \dots, c_n^2\}$$

$$\tilde{B}^3 = \{b_1^3, b_2^3, \dots, b_n^3\} \quad C^3 = \{c_1^3, c_2^3, \dots, c_n^3\}$$

$$\tilde{B}^4 = \{b_1^4, b_2^4, \dots, b_n^4\} \quad C^4 = \{c_1^4, c_2^4, \dots, c_n^4\}$$

分别求出和 $\tilde{B}^1, \tilde{B}^2, \tilde{B}^3, \tilde{B}^4$ 对 \tilde{A} 的最大贴近度模糊子集,即为它们对 \tilde{A} 的相应贴近度。

计算出 \tilde{B}^1 对 \tilde{A} 的内积为

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B}^1 = (C_1^0 \wedge C_1^1) \vee (C_2^0 \wedge C_2^1) \vee (C_3^0 \wedge C_3^1)$$

$$\vee (C_4^0 \wedge C_4^1) = y_1$$

计算出 \tilde{B}^1 对 \tilde{A} 的外积为

$$\begin{aligned} \widetilde{A} \odot \widetilde{B}^1 &= (C_1^0 \vee C_1^1) \vee (C_2^0 \vee C_2^1) \wedge (C_3^0 \vee C_3^1) \\ &\wedge (C_4^0 \vee C_4^1) = y'_1 \end{aligned}$$

则 \widetilde{B}^1 对 \widetilde{A} 的贴近度为

$$(\widetilde{A}, \widetilde{B}^1) = \frac{1}{2} [y_1 + (1 - y'_1)] = z_1$$

同理求出 $(\widetilde{A}, \widetilde{B}^2) = z_2$ $(\widetilde{A}, \widetilde{B}^3) = z_3$ 和 $(\widetilde{A}, \widetilde{B}^4) = z_4$ 。并对 z_1, z_2, z_3, z_4 进行比较,其中最大的称为最大贴近度,表示对应地区的经济发展参数和待测地区的最为接近,则取该地区与待测地区经济指标相应的人均电量(或其他参数)作为待测地区的预测值。

第四节 负荷密度法与因果法预测用电负荷

一、负荷密度法

负荷密度是指每平方公里土地面积上的平均负荷数值。在城乡负荷预测中均有采用。对于城市负荷预测,一般并不直接预测整个城市的负荷密度,而是按城市分区或网点来统计负荷。首先计算现状和历史的分区负荷密度,然后根据地区发展规划对各分区负荷发展的特点,通过推算,求出各分区各目标年的负荷密度预测值。至于分区中的少数集中用电的大用户在预测时可另做点负荷单独计算。总之,要根据需要按城市的具体情况具体处理。分类用地的用电指标在采用负荷密度法编制城乡负荷规划时应用最广,表 3-2-3 为部分建设分类用地用电指标,但大城市与中小城市、城市与乡村的负荷密度差别都很大,而且发展也很快。

由于城市的社会经济和电力负荷常有随同某种因素而不连续(跳跃式)发展的特点,因此应用负荷密度法是一种比较直观的方法。计算公式为

$$P = Sd$$

式中 P ——某地区年综合负荷;
 S ——该地区土地面积;
 d ——平均每平方公里负荷密度。

表 3－2－3 规划单位建设用地负荷指标

城市建设用地电分类	单位建设用地负荷指标(kW/ha)
居民住宅用电	100 ~ 400
公用设施用电	300 ~ 1200
工业建筑用电	200 ~ 800

注 :取自 GB/50293－1999《城市电力规划规范》,超出表中三大类建设用地以外的其他各类建设用地的单位建设用地负荷指标的选取 ,可根据所在城市的具体情况确定。

将负荷密度法用于农村负荷预测时 ,可按每亩地的平均用电量来测算 ,和城市负荷预测类似 ,对农业用地也应进行分类处理。按有关文件规定 ,乡镇企业和农村个体工业中 ,凡符合工业生产条件的 ,要列入有关的工业行业用电 ,不列入农业用电。表 3－2－4 为 1991 年我国部分省、市每亩地的平均用电量。

表 3－2－4 1991 年我国部分省、市每亩地的平均用电量

省、市	1990 年末耕 地面积 (万亩)	农村用电量 (亿 kW·h)	每亩耕地用电量 (kW·h/亩)	省、市	1990 年末耕 地面积 (万亩)	农村用电量 (亿 kW·h)	每亩耕地用电量 (kW·h/亩)
北京	616.8	20.0	324.3	浙江	2572.3	84.0	326.6
天津	647.7	18.1	279.6	山东	10251.1	84.2	82.1
河北	9824.6	65.5	66.7	湖北	5187.7	27.8	53.6
黑龙江	13278.4	20.3	15.6	四川	9421.1	48.0	50.9
江西	3515.6	16.8	47.8	陕西	5281.7	28.6	54.1
河南	10380.3	52.1	50.2	新疆	4673.8	12.0	25.7
湖南	4965.3	25.8	52.0	青海	868.8		
安徽	6530.2	28.0	39.8				

根据《1992 年中国统计年鉴》数据折算。

二、因果法

电力负荷和用电量的变化趋势与许多因素有关。电力工业为国民经济的重要组成部分 ,与国民经济的其他部门存在着多方面的相互依存、相互制约的关系。如电力负荷和用电量与国民经济增长率、工农业产值、人口、人均收入、产品电耗等因素都有一定关系 ,而这种关系总表现为事物的因果关系。这种关系也称为相关关系 ,它和函数关系不一样。数理统计学研究相关关系时 ,可以运用回归分析和相关分析方法。回归分析的主要步骤是：

- 1. 从一组或几组数据出发 ,分析变量间存在什么样的关系 ,建立这些相关变量之

间的数学模型(回归方程) ,并对数学模型的可信度进行统计检验。

- 2. 利用回归方程式 根据一个或几个变量的值 ,预测或控制另一个变量的取值。
- 3. 从影响某一变量的许多变量中 ,判断哪些变量的影响是显著的 ,哪些是不显著的 ,从而建立更实用的回归方程。
- 4. 利用得到的数学模型 ,对生产过程、自然现象进行预测或控制。

回归分析由可分为一元回归、多元回归和逐步回归分析等几种。当只选用一个影响变量因素 ,且预测事物之值与相关变量的关系大致是线性的 ,那就是一元线性回归预测 ,其回归方程为

$$y = a + bx$$

式中 y ——预测事物的值 ;
 x ——影响预测事物的变量因素 ;
 a ,b ——回归系数 ,可利用最小二乘法求得。

$$a = \frac{\sum y_i - b \sum x_i}{n} = \bar{y} - b \bar{x}$$
$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \bar{x}^2}$$
$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$
$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

式中 \bar{x} ——变量 x 的平均值 ;
 \bar{y} ——预测量历史数据 y 的平均值 ;
 n ——期数。

为了考察回归方程的可信度 ,还需用此方程解出 y 的历年数据估算值 i 与历年实际值进行比较 ,以判断其误差值。若误差不大 ,则此方程是可信的。一般可用求相关系数 r 的办法 ,来判断回归方程的可信程度。相关系数 r 值的范围是 $0 \leq |r| \leq 1$,若 $r = 0$ 说明变量 x 与 y 不相关 , x 与 y 不存在线性关系 ,或者存在其他关系。若 $r = 1$,说明 x 与 y 线性相关 , r 值较大 ,表明相关程度密度。 r 值由下式决定

$$r = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum x_i^2 - n \bar{x}^2)(\sum y_i^2 - n \bar{y}^2)}}$$

总之 ,采用数理统计方法进行负荷或用电量的预测 ,需要搜集积累大量的历史数据 ,然后进行数据分析和预测计算。人工计算比较麻烦和困难。电子计算机的应用为预测创造了有利条件。

第五节 人均指标法与外推法预测用电负荷

一、人均用电量指标法

通过分析与本国本地区国民生产总值、产业结构、发展速度、人口、面积等相似的国内外地区情况 ,并对照本国本地区规划期内人口及人均国民生产总值的增长速度 ,预测相应的人均用电水平。采用人均用电量指标法或横向比较的方法 ,以该城市的现状人均居民生活用电量为基础 ,对照表 3 - 2 - 5 ,按不同城市居民生活用电水平预测 2010 年城市居民生活用电量指标。

表 3 - 2 - 5 1991 ~ 2010 年我国城市人均居民生活用电量指标(不含市辖市、县)

序号	城市人均居民生活用电水平	1991 年城市人均居民生活用电量指标 (kWh/人·a)	2010 年城市人均居民生活用电量指标 (kWh/人·a)	1991 ~ 2010 年人均居民生活用电量递增速度 (%)
1	较高生活用电水平	400 ~ 201	2500 ~ 1501	9.60 ~ 10.57
2	中上生活用电水平	200 ~ 101	1500 ~ 801	10.60 ~ 10.91
3	中等生活用电水平	100 ~ 51	800 ~ 401	10.96 ~ 10.86
4	较低生活用电水平	50 ~ 20	400 ~ 200	10.98 ~ 12.20

注 摘自 GB/50293 - 1999《城市电力规划规范》条文说明

二、外推法

根据过去的统计资料进行外堆 ,以预测未来状况的方法称为外堆法。常用的时间序列预测法就是其中的一种。这种方法以时间作为自变量 ,以预测的目标(如用电量)作为因变量 ,建立适应的数学模型。然后将要预测的年份代入模型的方程组中 ,即可求出未来的预测量。使用这种方法预测时 ,一般要用十年或十年以上的历史数据 ,这样建立的相应的数学模型才能比较准确反映事物的变化趋势。

外推法是基于假定未来的增长是过去增长模式的继续。一般按时间序列趋势进行 ,外推预测的数学模型有三种 :①直线型 :即 $y = a + bt$,适用于逐年增减量大致相同 (称一次差分) ;②指数型 :即 $y = ab^t$,适用于每年的增减率(即增减百分数)大致相同 ,这说明每年以接近的发展速度递增(减)变化 ;③抛物线型 :即 $y = a + bt + t^2$,适用于每年增减量之间相差数(称二次差分)大致相同。根据事物的发展趋势进行预测 ,其中以

最小二乘法趋势线配合的方法准确度较高。若有一组历史统计数据 ,画 上坐标纸上 ,如果图上出现的点子其发展轨迹趋势接近于一条直线 ,则数学模型可表达为

$$y = a + bt$$

式中 y ——预测量 ,如用电量 ;
 t ——自变量 ,如年份 ;
 a, b ——常数。

$a、b$ 两个常数可以根据最小二乘法的理论来求得 ,有

$$a = \frac{\sum y_i - b \sum t_i}{n} = \bar{y} - b \bar{t}$$
$$b = \frac{n \sum t_i \bar{y}_i - \sum t_i \sum y_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} = \frac{\sum t_i \bar{y}_i - n \bar{t} \bar{y}}{\sum t_i^2 - n \bar{t}^2}$$

式中 n ——所用历史资料时间的期数 ;
 y_i ——预测量过去在历史资料上历史的各期实际数值 , \bar{y} 为其平均值 ;
 t_i ——历史年代(或期量)的序列量 , \bar{t} 为其平均值。

若用电量每年增(减)率大致相同 ,即有一组历史统计数据 ,画在坐标纸上 ,图上出现的点子发展趋势接近于指数曲线 ,则数学模型为 $y = ab^t$,要求出 $a、b$ 两常数之值 ,可在方程两边配 对数 ,即

$$\lg y = \lg a + t \lg b$$

令 $Y = \lg y$
 $A = \lg a$
 $B = \lg b$

则前式可改写为

$$Y = A + Bt$$

用最小二乘法 ,有

$$A = \frac{\sum Y_i - B \sum t_i}{n}$$
$$B = \frac{n \sum t_i Y_i - \sum t_i \sum Y_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}$$

第六节 回归法与灰色预测法

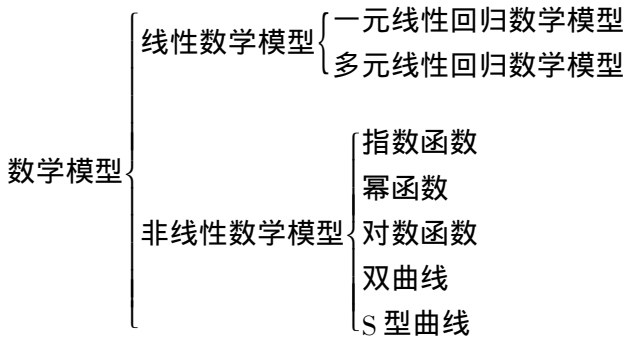
一、回归法

回归分析是一种数理统计的方法。它通过对事物因素关系的分析 ,找出其变化规

律,建立数学模型,然后应用数学模型进行预测分析。所以它比各种单项预测法以及综合预测法中电力弹性系数法、时间序列预测法等具有更高的预见性和可靠性,近几年来在农电预测分析中应用较为广泛。

(一)常用的数学模型

应用回归分析法预测的关键在于建立数学模型。事物之间相关关系呈线性相关时称为线性回归;反之,事物之间相关关系不呈线性相关时,称为非线性回归。农电预测中常用的回归数学模型可分为:



1. 一元线性回归数学模型

一元线性回归通常以电量或负荷 y 为纵标,以时间 x 为横标,建立 $y = a + bx$ 数学模型,其图形描述如图 3-2-2 所示。

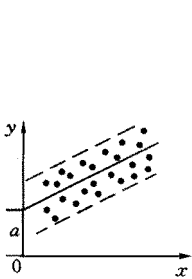


图 3-2-2 线性回归

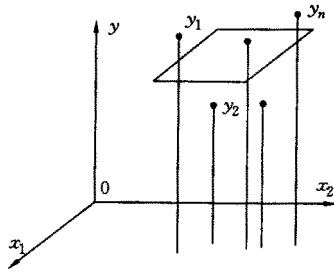


图 3-2-3 三维回归平面

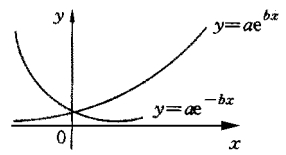


图 3-2-4 指数回归图

2. 多元线性回归数学模型

数学模型 $y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m$

一元线性回归图形为一条直线;二元线性回归图形是一个平面;而对三个及三个以上自变量的线性回归,拟合是一个平面,其所具有的特性和一元回归完全一样,图 3-2-3 是三维空间平面图形。

3. 指数函数

数学模型 $y = ae^{bx}$ ($b > 0$), $y = ae^{-bx}$ ($b < 0$)

其图形如图 3-2-4 所示

对于非线性回归问题,可以用数学手段将非线性问题转化成线性问题处理。对于函数 $y = ae^{bx}$ 和 $y = ae^{-bx}$,可令 $y' = \ln y$, $a' = \ln a$ 。

又因为 $\ln e^{bx} = bx$,则可转化为 $y' = a' + bx$, $y' = a' - bx$ 。

4. 幂函数

数学模型: $y = ax^b$ ($b > 0$), $y = ax^{-b}$ ($b < 0$)

对于函数 $y = ax^b$ 和 $y = ax^{-b}$,可令 $y' = \ln y$, $x' = \ln x$, $a' = \ln a$ 。

则可分别转化为: $y' = a' + bx'$, $y' = a' - bx'$ 。

其图形如图 3-2-5 所示。

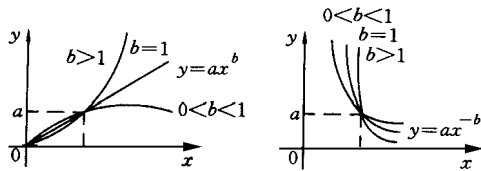


图 3-2-5 幂函数回归图

(二)应用线性回归预测电量

为了建立回归方程,必须有足够数量的统计数据,表 3-2-6 中是 1978~1991 年某县农业用电量得统计数据。将这些数据描绘在以电量 Y_t 纵标,以 t 为横标的直角坐标系中,如图 3-2-6 所示。

表 3-2-6 各年电量表

年份	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
用电量 Y_t (万 kWh)	632.2	863.2	1526.5	1281.5	1296.0	988.0	1608.4	2708.4	3959.7	6776.8	7242.0	10770.0	10292.6	16378.6

实验数据 Y_t 可用下述方程式描述

$$Y_t = a + \beta t + \epsilon$$

式中 Y_t ——第 i 年电量;

t ——时间;

ϵ ——误差,其可正、可负。

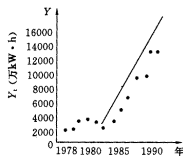


图 3-2-6 线性回归

今若建立一回归方程

$$Y_t = a + bt$$

式中 Y_t ——预测目标；

a 、 b ——回归系数；

t ——时间周期次第数, $t = 1, 2, 3, 4, \dots$ (可为年、月、周)来代替上面的方程, 并使其误差的平方和最小, 即

$$\sum_{i=1}^n \epsilon^2 = \sum_{i=1}^n [Y_t - \hat{Y}_t]^2 = M \quad (3-2-12)$$

最小, 这就是最小二乘法原理。因此, 最小二乘法是用系数 a 、 b 来估计试验方程系数 α 、 β 的方法。用这种方法求出的直线 $Y_t = a + bt$ 是这样一条直线, 这条直线与各试验点 (t, Y_t) 的偏离是一切直线中最小者。

因为

$$M = \sum_{i=1}^n [Y_t - (a + bt)]^2 \quad (3-2-13)$$

1. 回归系数的确定

由上述方程可以看出, 其中 Y_t 、 t 是已知的试验数据, 而 a 、 b 是待求系数, 所以 M 为 a 、 b 的二元函数, 为使 M 达极小值, 只要求 M 对 a 、 b 的偏导数, 并令其为 0, 即

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial a} \sum_{i=1}^n [Y_t - (a + bt)]^2 &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^n [Y_t - (a + bt)]^2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3-2-14)$$

微分后, 得

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial a} &= -2 \sum_{i=1}^n [Y_t - (a + bt)] = 0 \\ \frac{\partial M}{\partial b} &= -2 \sum_{i=1}^n t [Y_t - (a + bt)] = 0 \end{aligned} \right\}$$

由以上方程可得

$$\left. \begin{aligned} na + \left(\sum_{i=1}^n t \right) b &= \sum_{i=1}^n Y_t \\ \left(\sum_{i=1}^n t \right) a + \left(\sum_{i=1}^n t^2 \right) b &= \sum_{i=1}^n Y_t t \end{aligned} \right\}$$

由上面方程的第一方程可以解出

$$a = \bar{Y}_t - b \bar{t} \quad (3-2-15)$$

式中 $\bar{Y}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_t$ ——预测期内各年电量的平均值；

$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t$ ——预测期年份的平均值。

采用行列式法, 易从公式 3-2-15 中求出系数 b 的表达式

$$b = \frac{\left| \begin{array}{c} n \\ \sum_t \end{array} \right| \frac{\sum Y_t}{\sum Y_t t}}{\left| \begin{array}{c} n \\ \sum_t \end{array} \right| \frac{\sum Y_t}{\sum t^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_t \cdot t - \bar{t} \sum_{i=1}^n Y_t}{\sum_{i=1}^n t^2 - \bar{t} \sum_{i=1}^n t} \quad (3-2-16)$$

注意到

$$\sum_{i=1}^n (t - \bar{t})(Y_t - \bar{Y}_t) = \sum_{i=1}^n Y_t \cdot t - \bar{t} \sum_{i=1}^n Y_t$$

$$\sum_{i=1}^n (t - \bar{t})^2 = \left(\sum_{i=1}^n t^2 - \bar{t} \sum_{i=1}^n t \right)$$

于是式 3-2-16 可以写成

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (t - \bar{t})(Y_t - \bar{Y}_t)}{\sum_{i=1}^n (t - \bar{t})^2} \quad (3-2-17)$$

利用上面二式皆可计算回归方程 $y_t = a + bt$ 的系数 b , 然后利用公式 (3-2-15) 计算系数 a 。

根据表 3-2-6 中的数据, 利用公式 3-2-16 求解方法如下

$$\sum_{i=1}^{14} t^2 = 1^2 + 2^2 + \dots + 14^2 = 1015, \text{即为所有时间数据的平方和}$$

$$\sum_{i=1}^{14} Y_t = 632.2 + 863.2 + \dots + 16378.6 = 66323.8, \text{即为各年电量的总和}$$

$$\sum_{i=1}^{14} t = 1 + 2 + \dots + 14 = 105, \text{即为所有时间之和}$$

$$\sum_{i=1}^{14} Y_t \cdot t = 1 \times 632.2 + 2 \times 863.2 + \dots + 14 \times 16378.6 = 732808.8, \text{即为时间与电量乘积}$$

之和公式 3-2-17 中, 因为

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{14} t}{n} = \frac{105}{14} = 7.5$$

$$\bar{Y}_t = \frac{\sum_{i=1}^{14} Y_t}{14} = \frac{66323.8}{14} = 4737.4$$

于是则有

$$\sum_{i=1}^{14} (t - \bar{t})(Y_t - \bar{Y}_t) = (1 - 7.5)(632.2 - 4737.4) + (2 - 7.5)(863.2 - 4737.4) + \dots + (14 - 7.5)(16378.6 - 4737.4) = 235380.3$$

$$\sum_{i=1}^{14} (t - \bar{t})^2 = (1 - 7.5)^2 + (2 - 7.5)^2 + \dots + (14 - 7.5)^2 = 227.5$$

系数 b 为

$$b = \frac{235380.3}{227.5} = 1034.6$$

系数 a 为

$$a = \bar{Y}_t - b\bar{t} = 4737.4 - 1034.6 \times 7.5 = 3022.1$$

所以预测方程式为

$$Y_t = -3022.1 + 1034.6t$$

一般预测模型为

$$Y_t = a + bt$$

但有时为了能直观地看出今后几年的预测值,也可以将预测模型改变为

$$Y_{t+l} = a_T + b_T l, a_T = a + b \cdot T \tag{3-2-18}$$

式中 T ——距当前最近或很近的时间周期,例如 1993 年;

l ——预测周期与周期 T 相隔的周期数;

Y_{t+l} ——第 $T + l$ 周期的预测值;

a_T —— T 周期预测目标的估计值。

b_T ——回归方程的斜率, $b_T = b$

2. 电量的预测

将有关数据代入公式 $a_T = a + b \cdot T$ 中,因 $T = 15$,所以

$$a_T = -3022.1 + 1034.6 \times 15 = 12516.9$$

故所求预测模型改为

$$Y_t = 12516.9 + 1034.6t$$

预测计算:

时间回归的预测计算,不必预测自变量,而只需确定预测周期的次第数,对周期 t 取值法是第一个周期的 $t = 1$,第二个周期的 $t = 2$,以后各周期依次类推。这种取值方法与其他取值法比较有计算工作量小,直观和不易出错的优点。只要将其值代入公式 3-2-15 或 3-2-18 中即可。这里要指出的是公式 3-2-18 中的 t 的数值,是从第 1 个周期算起,如某县年用电量表 3-2-6 所示的 1978 年 $t = 1$,则预测年份 1993 年的 t 以 16 代入,而公式中的 3-2-18 中的 l 的数值,则是以第 T 周期为 0 往后计算的,如取 1992 年为 T ,则预测年份 1993 年为 1,按两个预测模型计算的结果完全相同。

现根据预测模型式 3-2-18,作该县 2005 年前各年用电量预测计算,见表 3-2-7。

表 3-2-7 2005 年以前各年电量

年份	周期 l	预测模型 $Y_{t+l} = a_T + b_T l$			年份	周期 l	预测模型 $Y_{t+l} = a_T + b_T l$		
		a_T	$b_T l$	Y_{t+l}			a_T	$b_T l$	Y_{t+l}
1992	1	12516.9	1034.6	13551.5	1999	8	12516.9	8276.8	20793.7
1993	2	12516.9	2069.2	14586.1	2000	9	12516.9	9314.1	21831.0
1994	3	12516.9	3103.8	15620.7	2001	10	12516.9	10346.0	22862.9
1995	4	12516.9	4138.4	16655.3	2002	11	12516.9	11380.9	23897.5
1996	5	12516.9	5173.6	17689.9	2003	12	12516.9	124156.2	24932.1
1997	6	12516.9	6207.6	18724.5	2004	13	12516.9	13449.8	25932.1
1998	7	12516.9	7242.2	19759.1	2005	14	12516.9	14484.4	27001.3

从表 3-2-7 中可知 Y_{1992} 、 Y_{1993} 和 Y_{1994} 值都小于 Y_{1991} 已知值,故需修正,即将回归线向上平行移动到穿过 Y_{1991} 年点,这表明今后各年该县用电量将以 1991 年用电量为基础,每年递增回归方程斜率的数值 1034.6 万 kWh。

经修正后的预测模型的截距 a' 可由下式算出

$$a' = Y_{1991} - 1034.6t_{1991} = 16378.6 - 1034.6 \times 4 = 1894.2$$

修正

$$a_T = a + bt = 1894.2 + 1034.6 \times 15 = 17413.2$$

修正后的预测模型为

$$Y_t = 17413.2 + 1034.6t$$

预测结果列于表 3-2-8。

表 3-2-8 电量预测结果

年份	周期	预测模型 $Y_{t+1} = a_T + b_T l$			年份	周期	预测模型 $Y_{t+1} = a_T + b_T l$		
	l	a_T	$b_T l$	Y_{t+1}		l	a_T	$b_T l$	Y_{t+1}
1992	1	17413.2	1034.6	18447.8	1999	8	17413.2	8276.8	25690.0
1993	2	17413.2	2069.2	19482.4	2000	9	17413.2	9311.4	26724.6
1994	3	17413.2	3103.8	20517.0	2001	10	17413.2	10346.0	27759.2
1995	4	17413.2	4138.4	21551.6	2002	11	17413.2	11380.6	28793.8
1996	5	17413.2	5173.0	22586.2	2003	12	17413.2	12415.2	29828.4
1997	6	17413.2	6207.6	23620.8	2004	13	17413.2	13449.8	30863.0
1998	7	17413.2	7442.2	24655.4	2005	14	17413.2	14484.4	31897.6

应用时间回归作预测,在求得回归方程之后,仍要做相关系数的检验,但时间回归法的相关检验, t 检验以及置信区间计算方法,都与因果分析线性回归法相同,只需将后者的自变量 X 改为时间周期次第数 t 即可,故此不作赘述。本例相关系数检验得 $R = 0.895$ 。按置信度为 95%。 $N = 14$,查相关系数表得 $R = 0.532$ 。0.895 大于 0.532,相关检验通过,可按预测模型进行预测计算,即回归方程成立。

3. 总结时间回归法的预测步骤

- (1)确定预测目标;
- (2)收集预测目标的统计数据和有关信息;
- (3)画数据的散点图,并处理数据;
- (4)计算回归系数,建立回归方程,画出回归线;
- (5)进行相关检验和 t 检验等;
- (6)计算预测值;
- (7)计算预测值置信区间;

- (8) 对预测值进行综合分析,并确定预测结果;
 (9) 画预测发展线。

二、灰色预测法

灰色理论是我国邓聚龙教授于 20 世纪 80 年代初提出来的。通常把完全已知的称为“白色”,完全未知的称为“黑色”,把介于两者之间的称为“灰色”。灰色系统的存在是绝对的。用灰数建立的微分方程模型称为 GM 模型(Grey Model),GM(1,N)表示 N 个变量的 1 阶灰数微分方程。在负荷预测中常用的是 GM(1,1)模型。

(一) GM(1,1)建模

这是一个单变量的一阶微分方程。设原数据序列为: $X = \{x(t), t = 1, 2, \dots, n\}$ 作一阶累加的生成数为 $Y = \{y(t), t = 1, 2, \dots, n\}$ 其中

$$y(t) = \sum_{k=1}^t x(k)$$

由一阶生成数 Y 建立 GM(1,1)模型,对应的微分方程为

$$\frac{dy(t)}{dt} + ay(t) = u$$

式中系数 a 、 u 由已知数据确定,即

$$\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = [Q^T Q]^{-1} Q^T P$$

其中

$$P = \begin{bmatrix} x(2) \\ x(3) \\ \vdots \\ x(n) \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[y(1) + y(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[y(2) + y(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[y(n-1) + y(n)] & 1 \end{bmatrix}$$

解微分方程得生成数 $Y = \{y(t), t = 1, 2, \dots, n\}$ 的预测值

$$\hat{y}(t) = [x(1) - \frac{u}{a}]e^{-a(t-1)} + \frac{u}{a}, t = 1, 2, \dots, n \quad (3-2-19)$$

经累减还原得序列 $X = \{x(t), t = 1, 2, \dots, n\}$ 的预测值

$$\hat{x}(1) = x(1)$$

$$\hat{x}(t) = [x(1) - \frac{u}{a}(1 - e^{-a})]e^{-a(t-1)}, t = 2, 3, \dots, n$$

式 3-2-19 明显表示,GM(1,1)模型所描述的是一组按指数规律变化的数列。

(二) GM(1,1)预测模型的缺陷及改进

实际电力负荷的变化难得成指数规律,若用 GM(1,1)进行预测,其结果必然不会令人满意,不仅如此,经许多实例预测,精度不高,究其根本原因,在于建模时不是对应于同一点的函数值和导数值去辨识微分方程中的参数所致;在作长期预测时,误差更大,这主要是由于关键的参数 a 没有随着情况的发展而变化。针对以上缺陷,提出了改进方法,即根据社会和经济的远期发展指标,将规划期分成若干时间段,进行分段优化,求出各个时间段对应的 a 值,用不同的 a 值预测不同时间段的电力负荷,结果与实际情况比较接近。

(三) 用改进的 GM(1,1)模型作长期电力需求预测

在用 GM(1,1)模型进行长期预测时会出现两个问题:一是由于实际系统的发展受到各种环境因素的制约,不可能按某一相同速度持续发展,大多数情况是呈“波浪形”,时快时慢。电力负荷的增长也如此。二是对某时段而言,系统即使以较好的指数规律发展,由于 GM(1,1)模型中的 a 值较大,也难得到理想结果。针对上述问题,这里提出 GM(1,1)分段优化建模,对给定的原始数据,按发展趋势分成若干段分别建模。对每一段,为避免因 $|a|$ 值较大而引起大误差,可在由 GM(1,1)模型求得的 a 值基础上,通过对 a 进行一维搜索,得到拟合情况最好的 a 值。寻找分段转折点时,把原始数据通过自然对数变换,不同段的指数变化趋势变成不同斜率的变化趋势,从而提高了预测精度。

对 GM(1,1)模型中的 a 值进行优化计算,从而求得对原始数列拟合最好的预测模型要求多阶段建模,即

$$\begin{cases} x^{(0)}(k_1) = b_1 e^{-a_1(k-1)}, & k_1 = 1, 2, \dots, N_1 \\ x^{(0)}(k_2) = b_2 e^{-a_2(k_2-1)}, & k_2 = N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N_2 \\ x^{(0)}(k_n) = b_n e^{-a_n(k_n-1)}, & k_n = N_{n-1} + 1, N_{n-1} + 2, \dots, N_n \end{cases} \quad (3-2-20)$$

其中

$$b_n = b_{n-1} e^{-a_{n-1}(k_{n-1}-1)}$$

式 3-2-20 这组模型描述的是一组不同增长率线段连接的曲线。为了确定各线段的连接点,把原始数据通过自然对数变化,不同指数变化就表示曲线的斜率变化,从而不难得到精度高的分段曲线模型。

因为电力需求与国民经济发展必须同步,不同时间段经济发展速度也不同,则 GM(1,1)模型

$$x^{(1)}(k) = be^{-a_m(k-1)} \quad (3-2-21)$$

式中的 a_m 是决定于国民经济增长率的参数 ,所以式 3-2-21 描述的是一条折线。

三、最大负荷预测

通过负荷预测求出规划年的需电量 A 后 ,可用年最大负荷利用小时数来预测年最大负荷 ,计算公式为

$$P_{\max} = \frac{A}{T_{\max}}$$

式中 A ——电网年需电量 ,万 $\text{kW}\cdot\text{h}$;
 T_{\max} ——年最大负荷利用小时数 h ;
 P_{\max} ——年最高负荷值 ,万 kW 。

公式中年最大利用小时数 T_{\max} 的取值 ,一种是根据历史统计数字和类似地区的情况加以大致的分析判断确定 ,另一种是以历史统计数据回归分析负荷结构与其关系 ,再由预测的负荷结构计算 ,并加以一定的修正。 T_{\max} 的一般取值可参考表 3-2-9。

表 3-2-9 不同负荷类型的年最大负荷利用小时数

负荷类型	年最大利用小时数 $T_{\max}(\text{h})$
户内照明及生活用电	2000 ~ 3000
一班制企业用电	1500 ~ 2200
二班制企业用电	3000 ~ 4500
三班制企业用电	6000 ~ 7000
农业排灌用电	1000 ~ 1500

第三章 供配电工程规划主要技术原则

第一节 电网电压等级

一、输电与配电的区分

(一) 选择电压等级的因素

选择电压等级应考虑的因素有如下 6 项 :①国家电压标准 ;②本网的电压系列 ;③简化电压等级 ;④全网经济效益 ;⑤设备制造能力 ;⑥电压等级的发展。

(二) 发展更高一级电压等级应考虑的因素

1. 选择更高一级的电压 ,应与现有电网的电压系列相适应 ,相邻两级电压之比不低于 2 倍 ,且第 i 级经济电压为 : $U_i = \sqrt{U_{i-1} \cdot U_{i+1}}$;
2. 当系统的短路容量达到原有断路器最大短路容量时 ,则需寻求更高一级的电压 ;
3. 选择更高一级的电压等级 ,应考虑与邻近电网互联的可能性 ;
4. 要考虑国家对电气设备的研制和供应能力 ;
5. 应以电力系统中、长期规划为依据。

(三) 国内外的电压等级

1. 美国、俄罗斯采用 1150kV、500kV、220kV、110kV、20kV 电压等级 ;
2. 英、法、德采用 800kV、400kV、220kV、110kV、20kV 电压等级 ;
3. 我国华北电网采用 500kV、220kV、110kV、35kV、10kV、0.4kV 电压等级 ;东北采用

500kV、220kV、63kV、10kV、0.4kV 电压等级 西北电网 330/110kV 和 220/110kV 并存。

(四) 输电网

按着输电技术的特点,输电网分为三级:1000kV 及以上,称为特高压输电网;330kV、500kV、750kV 称为超高压输电网,220kV 为高压输电网。

(五) 配电网

配电网也分为三类:35kV ~ 100kV 为高压配电网;10kV 为中压配电网;380/220V 为低压配电网。

因此,农村电力网皆属于配电网范畴,不过,在农网中把 110kV、66kV 线路常称为送电线路,而把 10kV 称为配电线路。

二、城市电网电压等级

目前,我国省会城市和沿海大中城市基本上已建成 220kV 超高压外环网或双网,经过多年的改造,基本上形成了 220/110(66)/10/0.38kV 或 220/35/10/0.38kV 四级输配电电压,一般称 220kV 为送电电压,110、66、35kV 为高压配电电压,10kV 为中压配电电压,380/220V 为低压配电电压。各级电压电网的功能因城市规模不同而异,有的城市 110kV 起送电功能,而在特大城市电网中,220kV 兼有高压配电功能。

电压等级是根据技术经济综合论证确定的,它和国家经济发展,尤其是电气设备制造技术水平密切相关。由于城市经济的迅速发展,电力负荷大幅度上升,有的城市负荷密度已达 $3 \sim 4$ 万 kW/km^2 ,个别小区高达几十万 kW/km^2 。所以,增大配电网容量是目前城网的突出任务,其中提高城网配电电压成为大家关注的问题。在论证选用新电压等级时,必然受到原有电压等级的牵制,对老电网的改造是一项很复杂的工作,必须慎重。

尽量简化城网的变压层次,有利于提高电网运行的经济效益和可靠性。同一电网各级电压要匹配合理,相邻两级电压差不应太小,此外还要考虑变压器容量大小的协调,以免上一级变电所因容量太大而使低压侧出线多而发生困难。

三、农村电网等级

随着广大农村地区电力负荷的不断增长,农村电网也在不断地扩大,500kV 电压等级开始进入地区(或地级市)区域,220kV 电压等级也已逐步进入县(或县级市)区域,而且县(市)建有 220kV 变电所已经成为现实。

(一) 220kV 网络

220kV 变电所大部分建在县城(也是负荷中心)附近。从有利于城市建设和电网经

济运行的角度来考虑 ,变电所离城区边缘 3km 左右为宜。

220kV 变电所的电压等级大多为 220/110/35(10)kV ,110kV 侧担负着向全县(市)供电的任务 ,其低压侧(35kV 或 10kV)就近向城区供电。

220kV 网络应以 500kV 变电所或其他大电源点为中心 ,形成单环网 ,逐步建成双环网。正常时 ,采用闭环运行方式 ,这样可提高供电的可靠性。

(二)110kV 网络

新建 110kV 变电所的布点应综合考虑负荷密度、供电半径等因系 ,所内的二次设备优先采用综合自动化装置 ,为实现无人值班打下良好的基础。对采用常规二次设备的老所 ,可完善其 PTU 的“ 四遥 ”功能和通信通道 ,逐步改造成为无人值班变电所。

110kV 网络以 220kV 变电所为中心 ,形成单环网(正常情况下线路开环运行或母线分段运行)为主 ,双回路和单放射为辅的结构。

(三)35kV 网络

在山区和 110kV 变电所布点较少的地方 ,大力建设小型化 35kV 无人值班变电所。35kV 变电所的布点以 220kV 变电所为中心 ,深入乡镇的负荷中心直至行政村。35kV 变电所供电的线路至少两回 ,这两回线路既可从同一座 110kV 变电所的 35kV 母线的不同段上引进 ,亦可分别从两座 110kV 变电所引进。

在 110kV 变电所布点较密的地方 ,如果当地条件成熟时 ,可逐步采用 110/20kV 降压系统和 20kV 配电网 ,取消 35kV 和 10kV 电压等级。

(四)10kV(或 20kV)网络

城镇的 10kV(或 20kV)网络建设要以“ 小环网 ”为主 ,双回路和两端供电为辅 ,补充少量单放射线路的结构。乡村的 10kV(或 20kV)线路以单放射为主 ,有条件的则建设双回路。

第二节 供配电网可靠性分析

一、城市供配电系统可靠性分析

供、配电可靠性是指对用户连续供电的可靠程度。在城网规划中 ,应从满足电网供电安全准则和满足用户用电要求两方面来考核。

(一)配电网满足“ $N - 1$ ”准则

我国规定城市配电网必须满足“ $N - 1$ ”准则 ,具体是指：

1. 高压变电所中失去任一回进线或一组降压变压器时,必须保证向下一级配电网供电;

2. 高压配电网中一条架空线或一条电缆,变电所中一组降压变压器发生故障停运时,在正常情况下,除故障段外不停电,不得发生电压过低,不允许设备过负荷,在计划停运情况下,又发生故障停运时,允许部分停电,但应在规定时间内恢复供电;

3. 低压电网中当一台变压器或电网发生故障时,允许部分停电,但应尽快将完好的区段在规定时间内切换至邻近电网恢复供电。

(二)对满足用户用电程度的规定

1. 两回路供电的用户,失去一回路后,应不停电;

2. 三回路供电的用户,失去一回路后,应不停电,再失去一回路后,应满足 50% ~ 70% 用电;

3. 一回路和多回路供电的用户电源全停电时,恢复供电的目标时间为一回路故障处理时间;

4. 开环网络中的用户,环网故障时需通过电网操作恢复供电的,其目标时间为操作所需时间。

确定具体目标时间原则是:负荷愈大的用户,目标时间应愈短。可分阶段规定目标时间。

由于考虑到我国各地区电网情况差别较大,以上规定中没有统一的量化指标。实际上,许多城网已按量化指标进行考核评估,如送电网的可靠性评估指标有:

1. LSC_n ——电源及输电设备全部正常时电网供电能力(MW);

2. FTR ——电网储备系数 $FTR = \frac{LSC_n - L_{\max}}{L_{\max}}$, L_{\max} 为电网最大预测负荷;

3. $LOLE$ ——电网缺电时间期望值(天/年);

4. $EENS$ ——电网电量不足期望值(kWh/年);

5. $FLOL$ ——电网缺电频率(次/年)。

(三)配电网的可靠性评估指标

1. 各负荷点、馈线、变电所及系统的缺电时间期望值 $LOLE$ 、电量不足期望值 $EENS$;

2. 与用户有关的系统平均断电频率 $SAIFI$ [次/(户·年)]、系统年均断电时间 $SAIDI$ [小时/(户·年)]、用户平均断电频率 $CAIFI$ [次/(户·年)]、平均供电可用率 $ASAI$ (%) 和平均电量不足 $AENS$ [kWh/(户·年)]。

由于资金短缺、缺乏远景规划等原因,我国城网建设普遍滞后于经济发展,也滞后于电源建设。设备陈旧、供电容量不足、网架结构不合理,导致事故率高,可靠性指标

低。表 3-3-1 是某电力局 1990 年对 6.6~10kV 系统可靠性指标的统计数据 ,许多城市的中、低压配电网的用户可靠率还示达到 99.6% 的部颁标准 ,最好的才到 99.85%。相当于每户停电 11h/年。

表 3-3-1 某电力工业局 1990 年配电系统可靠性指标统计
(系统 6.6-10kV)

序号	可靠性指标	统计数
1	供电可靠率	99.75%
2	用户平均停电时间	22.11h(户·年)
3	用户平均停电次数	3.16 次(户·次)
4	故障平均停电户数	14.36 户/次
5	用户平均停电损失电量	805kWh(户·年)
6	故障平均停电损失电量	20652.1kWh/次
7	架空线停运持续时间	7.18h/次
8	电缆线停运持续时间	16.33h/次
9	配电变压器停运持续时间	7.06h/次
10	断路器停运持续时间	7.97h/次

目前国际上发达国家用户供电可靠性在 4 个“9”以上 ,平均每年每户仅停电十几分钟。法国约 40s ,西欧北美部分国家为 2h ,即 99.977%。法国 EDF 电力公司规定了最低供电质量要求 ,中低压用户一年内停电不能超过以下指标 :6 次长时间停电(1min 以上) ,30 次短时间停电(15~30s) ,70 次极短时间停电(3~10s) ,累计停电时间不得超过半小时。标准还将逐年提高。

相比之下 ,我国和发达国家的差距很大。但我国城市电网用户对电能的要求却越来越高 ,不仅满足于“吃饱” ,而且要求“吃好” 。由于计算机应用的普及、网络通信技术的发展、高层建筑林立以及居民家用电器的增多 ,都要求有更高的供电连续性。电力部门要从各个方面采取措施 ,提高供电质量 ,满足用户要求 ,缩小与先进国家的差距。

做好城网网架结构是提高供电质量的根本性措施。目前我国许多城网不满足“N-1”安全准则 ,应在规划时加以改善。国外有的城网达到“N-2”水平(除母线外) ,国内有的大城市在编制远景规划时也主张提高可靠性标准。通常 ,在确定网架方案时不仅要校核“N-1”准则 ,还应按送、配电网络分别计算其他可靠性指标 ,根据计算结果来修改接线方式和网架结构 ,使规划网架能达到较高的可靠性指标。

二、农村环网供电可靠性评估

如图 3-3-1 所示 ,假如配电网右端 117 号杆处有备用电源 ,线路各分段、分支开

关皆为普通隔离开关 现在来评估这种类型配电网络的供电可靠性。

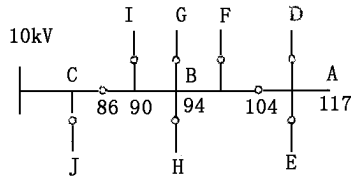


图 3-3-1 带分段、分支开关的配电线路

(一) 变电所全停作业

当线路左侧变电所需全停作业时,可先接通 117 处的开关,使两电源并列,后拉开左侧变电所线路开关,可以不因原变电所全停而发生停电。故受影响的户·时数为 0。

(二) 线路预安排停电

线路预安排停电的户·时数仍为 795.5 户·h/年。

(三) 故障停电

1. 当故障发生在 1~86 的主干线上,变电所开关重合不成功,经 0.3h 拉开 86 处开关,然后送上 117 处开关,由备用电源向 117~86 段送电,117~86 段停电为 0.5h。经 3h 排除故障,由原变电所送电,恢复原系统。其停电户·时数为

$$CID_1 = 0.67 \times 3 \times 5 + 0.67 \times 0.5 \times 32 = 20.77 \text{ (户·h/年)}$$

2. 当故障发生在 86~104 干线上,原变电所开关跳闸,经 0.3h 拉开 86 和 104 处开关,合上原变电所开关,1~86 段停电 0.3h,维修人员合上 117 处开关,117~104 之间停电 0.7h。3h 排除故障,合上 86~104 处开关,恢复原系统。其停电户·时数为

$$\begin{aligned} CID_2 &= 0.67 \times 0.3 \times 5 + 0.67 \times 3 \times 22 + 0.67 \times 0.7 \times 10 \\ &= 49.8 \text{ (户·h/年)} \end{aligned}$$

3. 当故障发生在 104~117 干线上,原变电所开关重合不良,经 0.3h 拉开 104 开关,合上原变电所开关,1~104 段停电 0.3h,3h 排除故障,接通 104 处开关。其停电户·时数为

$$CID_3 = 0.67 \times 0.3 \times 27 + 0.67 \times 3 \times 10 = 25.5 \text{ (户·h/年)}$$

4. 当故障发生在分支上时,正如第四节的计算一样,其停电户·时数为 16.38 户·h/年。四种情况平均停电户·时数为

$$CID = \frac{20.77 + 49.8 + 25.5 + 16.38}{4} = 28.14 \text{ (户·h/年)}$$

(四) 供电可靠度

1. 只计故障停电时有

$$ASAI = (1 - \frac{28.14}{37 \times 8760}) \times 100\% = 99.99\%$$

2. 考虑变电所全停、预安排停电和故障停电三种情况,得

$$ASAI = (1 - \frac{795.5 + 28.14}{37 \times 8760}) \times 100\% = 99.975\%$$

(五) 采用配电开关有备用电源的配电网供电可靠性评估

1. 评估条件。若在图 5-4 中隔离开关处各串以电压型电开关,隔离开关只作为检修时的明显开断点,并于 117 处有备用电源经重合器合闸。正常时,该重合器是断开的,线路其余参数不变。

2. 变电所全停作业的户时数。当左侧变电所欲全停时,可先接通 117 处重合器,使两电源并列,后跳开左侧重合器,全线由右侧电源供电,可不因原变电所全停而发生停电,故受影响的户·时数为 0。

3. 预安排停电的户时数。如同第四节所述,停电户时数为 29.6 户·h/年。

4. 故障停电。情况评估如下:

(1)故障发生在 1~86 干线上。当故障发生在 1~86 号杆的干线上,原变电所重合器跳开,重合不良,86 处开关自动分断,117 备用电源自动投入,由备用电源向 86~117 段送电。经 3h 排除故障,恢复原系统。其停电户·时数为

$$CID_1 = 0.67 \times 3 \times 5 = 10.05 (\text{户} \cdot \text{h/年})$$

(2)当故障发生在 86~104 干线上。原变电所开关跳闸,重合不良,86 处开关甲种闭锁在开断状态,104 处开关乙种闭锁在开断状态,隔离了故障段后,原变电所开关重合成功,向 1~86 段供电。117 处备用电源投入,向 104~117 段供电。3h 后排除故障,恢复原系统。其停电户·时数为

$$CID_2 = 0.67 \times 3 \times (37 - 15) = 44.22 (\text{户} \cdot \text{h/年})$$

(3)当故障发生在 104~117 干线上。原变电所开关重合不良,104 处开关自动分断,1~104 重合成功。3h 排除故障,恢复原系统。其停电户·时数为

$$CID_3 = 0.67 \times 3 \times 10 = 20.1 (\text{户} \cdot \text{h/年})$$

(4)故障发生在支线上,其停电户·时数如同第四节所叙述的一样,为 9.76 户·h/年。考虑四种情况,平均停电户·时数为

$$CID = \frac{10.05 + 44.22 + 20.1 + 9.76}{4} = 21 (\text{户} \cdot \text{h/年})$$

供电可用度为

$$ASAI = (1 - \frac{29.6 + 21}{37 \times 8760}) \times 100\% = 99.98\%$$

第三节 变电所最佳容量

一、城市变电所最佳容量

变电所容量和变压器台数是影响城网结构、可靠性和经济性的又一个重要因素。变电所容量和台数不同,网内变电所总数、变电所的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。在增大电网变电容量时用大容量变压器换小容量变压器、增加变电所内变压器台数和新建变电所时如何确定变电所容量和变压器台数方面,国内没有明确规定,在电网设计时是按各自经验见解或观点来处理这一问题的。过去没有人对它作过详细研究。

变电所容量及变压器台数是城网规划设计中必须决策的问题,为了使决策科学合理,我们作了量化分析,得出的结论可供城网的规划和决策者参考。

1. 在高负荷密度区建设大容量变电所能节省投资,负荷密集密度越大,效果越显著。

2. 选用大容量变压器比选用小容量变压器能提高投资效益。

3. 架空线电网的变电所最佳容量和变压器最佳台数如图 3-3-2 所示。

(1) 220kV 电压变压器台数/110kV 电压变电器台数为 3/3 时,如图 3-3-2a 所示。负荷密度 D 小于 $50\text{MW}/\text{km}^2$ 时,220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 120\text{MVA}$; D 等于 $50\text{MW}/\text{km}^2$ 时,220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 180\text{MVA}$; D 大于 $50\text{MW}/\text{km}^2$ 时,220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 240\text{MVA}$ 。

(2) 变压器台数组合为 3/4 时,如图 3-3-2b 所示。 D 小于等于 $50\text{MW}/\text{km}^2$ 时,220kV 电压变电所最佳容量为 $3 \times 120\text{MVA}$; D 大于 $50\text{MW}/\text{km}^2$ 时,220kV 电压变电所最佳容量为 $3 \times 240\text{MVA}$ 。

(3) 变压器台数组合为 4/3 时,如图 3-3-2c 所示。 D 等于 $20 \sim 60\text{MW}/\text{km}^2$ 时,220kV 电压变电所最佳容量为 $4 \times 120\text{MVA}$ 。

(4) 变压器台数组合为 4/4 时,如图 3-3-2d 所示,220kV 电压变电所最佳容量为 $4 \times 120\text{MVA}$ 。

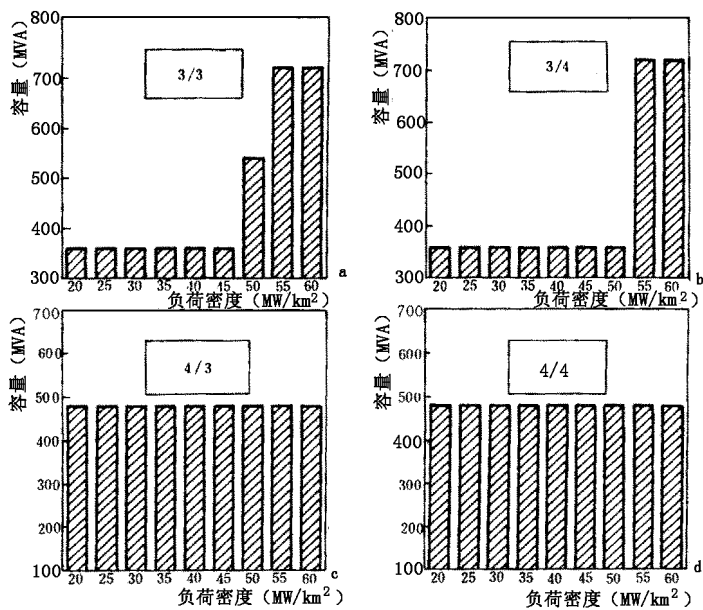


图 3-3-2 220/110kV 架空线电网中 220kV 变电站最优容量

- a 高压侧 3 台变压器/低压侧 3 台变压器；
- b 高压侧 3 台变压器/低压侧 4 台变压器；
- c 高压侧 4 台变压器/低压侧 3 台变压器；
- d 高压侧 4 台变压器/低压侧 4 台变压器

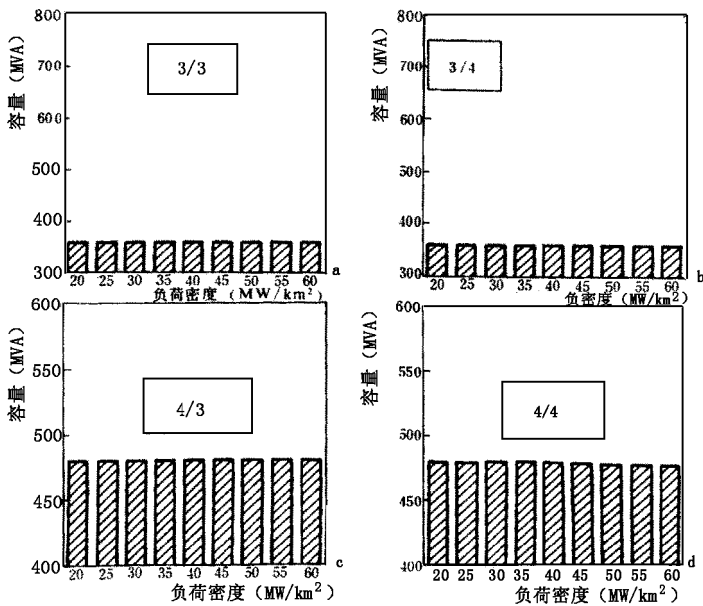


图 3-3-3 220/35kV 架空线电网中 220kV 变电站最优容量

- a 高压侧 3 台变压器/低压侧 3 台变压器；
- b 高压侧 3 台变压器/低压侧 4 台变压器；
- c 高压侧 4 台变压器/低压侧 3 台变压器；
- d 高压侧 4 台变压器/低压侧 4 台变压器

4. 架空线电网,一次电压为 220kV,二次电压为 35kV,变压器台数组合为:

(1) 3/3 时,如图 3-3-3a 所示, D 等于 $20 \sim 60 \text{ MW/km}^2$ 时,220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 120 \text{ MVA}$ 。

(2) 3/4 时,如图 3-3-3b 所示, D 等于 $20 \sim 60 \text{ MW/km}^2$ 时,220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 120 \text{ MVA}$ 。

(3) 4/3 时,如图 3-3-3c 所示, D 等于 $20 \sim 60 \text{ MW/km}^2$ 时,220kV 变电所最佳容量为 $4 \times 120 \text{ MVA}$ 。

(4) 4/4 时,如图 3-3-3d 所示, D 等于 $20 \sim 60 \text{ MW/km}^2$ 时,220kV 变电所最佳容量为 $4 \times 120 \text{ MVA}$ 。

5. 一次电压为 220kV、二次电压为 110kV 的架空线电网,对 4 种变压器台数组合进行比较,从图 3-3-4 可见,以 4/4 最佳,4/3 其次;当二次电压为 35kV 时,情况相同,如图 3-3-5 所示。

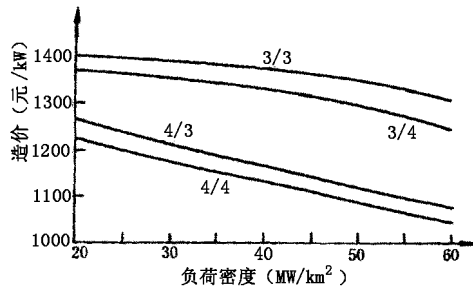


图 3-3-4 架空线电网 220/110kV 各种变压器组合最优方案比较

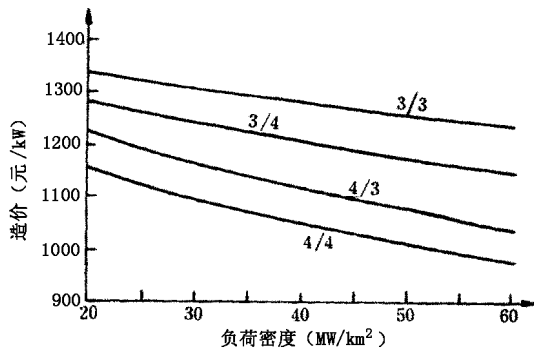


图 3-3-5 架空线电网 220/35kV 各种变压器组合最优方案比较

6. 一次电压为 220kV、二次电压为 110kV 的电缆电网,4 种变压器台数组合的变电所最佳容量为:

(1)由图 3-3-6a 3/3 时 ,得 D 小于等于 $30\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 120\text{MVA}$; D 大于等于 $35\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 240\text{MVA}$ 。

(2)由图 3-3-6b 3/4 时 ,得 D 小于等于 $50\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 120\text{MVA}$; D 大于等于 $55\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 240\text{MVA}$ 。

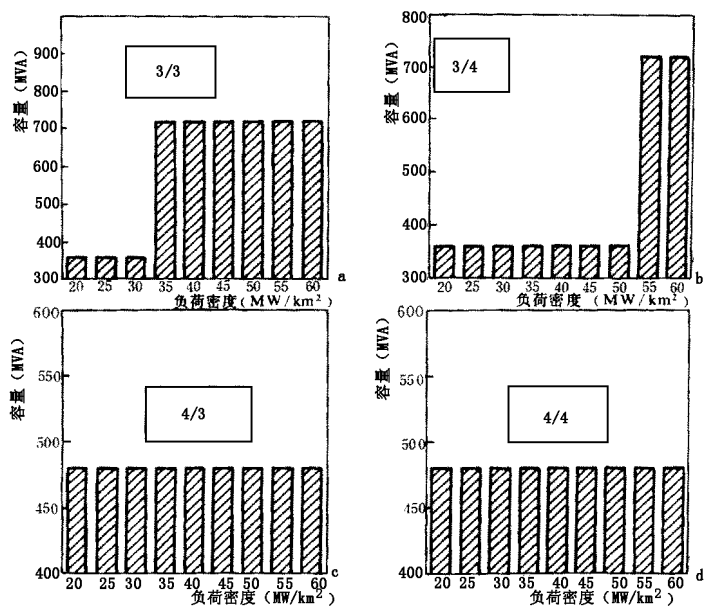


图 3-3-6 220/110kV 架空线电网中 220kV 变电站最优容量

- a 高压侧 3 台变压器/低压侧 3 台变压器 ;
- b 高压侧 3 台变压器/低压侧 4 台变压器 ;
- c 高压侧 4 台变压器/低压侧 3 台变压器 ;
- d 高压侧 4 台变压器/低压侧 4 台变压器

(3)由图 3-3-6c 4/3 时 ,得 D 等于 $20 \sim 60\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $4 \times 120\text{MVA}$ 。

(4)由图 3-3-6d 4/4 时 ,得 D 等于 $20 \sim 60\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $4 \times 120\text{MVA}$ 。

7. 一次电压为 220kV 、二次电压为 35kV 的电缆电网 A 种变压器台数组合的变电所最佳容量为 :

(1)由图 3-3-7a 3/3 时 ,得 D 小于等于 $50\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 120\text{MVA}$; D 大于 $50\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 150\text{MVA}$ 。

(2)由图 3-3-7b 3/4 时 ,得 D 小于等于 $45\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 120\text{MVA}$; D 大于等于 $45\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $3 \times 150\text{MVA}$ 。

(3)由图 3-3-7c 4/3 时 ,得 D 等于 $20 \sim 60\text{MW}/\text{km}^2$ 时 , 220kV 变电所最佳容量为 $4 \times 120\text{MVA}$ 。

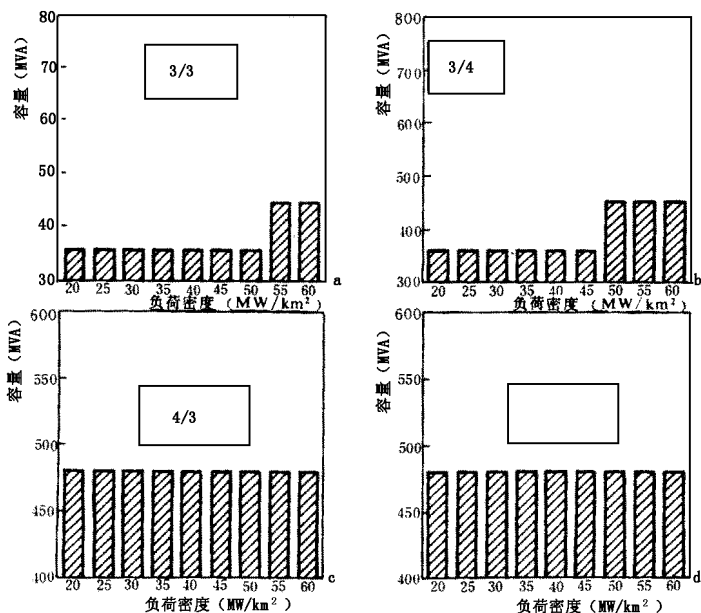


图 3-3-7 220/35kV 架空线电网中 220kV 变电站最优容量

- a 高压侧 3 台变压器/低压侧 3 台变压器；
- b 高压侧 3 台变压器/低压侧 4 台变压器；
- c 高压侧 4 台变压器/低压侧 3 台变压器；
- d 高压侧 4 台变压器/低压侧 4 台变压器

(4)由图 3-3-7d 4/4 时,得 D 等于 20~60MW/km² 时,220kV 变电所最佳容量为 4 × 120MVA。

8. 由图 3-3-8 和图 3-3-9 可以看出,电缆线电网中变压器台数的 4 种组合方式的方案比较结果仍以 4/4 最优,4/3 为其次,优劣排序和图 3-3-8 图 3-3-9 完全相同。

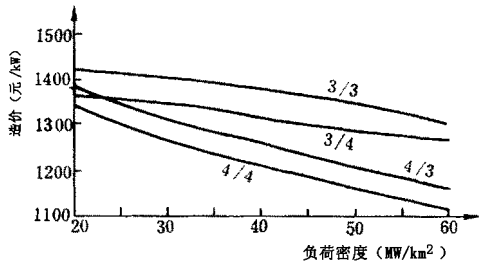


图 3-3-8 电缆线电网 220/110kV 各种变压器组合最优方案比较

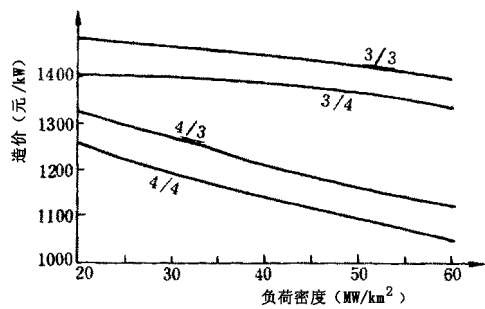


图 3-3-9 电缆线电网 220/25kV 各种
变压器组合最优方案比较

9.220、110 和 35kV 架空线和电缆线电网的变电所最佳容量及变压器台数组合分别见表 3-3-2 和表 3-3-3。

根据以上结论 ,可以认为在负荷高度密集城市 ,建造多台数大容量变电所在经济上是合理的。但这并不意味着所有变电所都装 4 台变压器 ,而应把其作为高负荷密度区变电所建设的目标规模。因为负荷发展和变电所建设都有一个过程 ,变电所容量从小到大 ,变压器台数从少到多 ,可以逐步达到这个最优目标。由于目前大容量变压器的综合造价比单台容量为 120MVA 变压器的造价高 ,故在选用中处于不利地位 ,但随着电力技术的发展和提高 ,负荷密集区选用大容量变压器是必然趋势。

表 3-3-2 架空线电网的变电所最佳容量及变压器台数组合

变压器台数组合		负荷密度 (万 kW/km²)	最佳容量(MVA)		
220/110	220/35		220kV	110kV	35kV
3/3		≤4.5	3 × 120	3 × 40	
		= 5.0	3 × 180	3 × 40	
		> 5.0	3 × 240	3 × 40	
3/4		> 5.0	3 × 120	4 × 3.15	
		> 5.0	3 × 240	4 × 40	
4/3		> 2.0	4 × 120	3 × 40	
4/4		> 2.0	4 × 120	4 × 40	
	3/3	> 2.0	3 × 120		3 × 20
	3/4	> 2.0	3 × 120		4 × 20
	4/3	> 2.0	4 × 120		3 × 20
	4/4	> 2.0	4 × 120		4 × 20

表 3-3-3 电缆线电网的变电所最佳容量及变压器台数组合

变压器台数组合		负荷密度 (万 kW/km ²)	最佳容量(MVA)		
220/110	220/35		220kV	110kV	35kV
3/3		≤3.0	3 × 120	4 × 40	
		> 3.0	3 × 240	4 × 40	
3/4		≤5.0	3 × 120	4 × 31.5	
		> 5.0	3 × 240	4 × 40	
4/3		2.0 ~ 6.0	4 × 120	3 × 40	
4/4		2.0 ~ 6.0	4 × 120	4 × 40	
	3/3	≤5.0	3 × 120		3 × 20
		> 5.0	3 × 150		3 × 20
	3/4	≤4.5	3 × 120		4 × 20
		> 4.5	3 × 150		4 × 20
	4/3	2.0 ~ 6.0	4 × 120		3 × 20
	4/4	2.0 ~ 6.0	4 × 120		4 × 20

二、农村变电所容量和电能损耗

合理选择农村变电所容量与供电范围 ,对设计农村电网有很大的经济意义。在一定的供电范围内 ,增加变电所的数目 ,会使变电所本身和高压输电线路的投资和运行费用增加。但可以使低压输电线路的投资和运行费用减少。相反 ,如果减少变电所的数目 ,亦即增加每个变电所的容量 ,所得的结果也恰恰相反。这里 ,拟从变电所低压干线上的电压损耗一定的条件出发 ,使总计算费用最小为所追求的目标 ,导出变电所最佳容量的计算公式。

为了使讨论结果具有普遍的意义 ,今作下述假设 :

- 1. 在供电区域内 ,面负荷密度相等 ;
- 2. 变电所低压侧每条干线所负担的负荷相等 ;
- 3. 在供电区内低压侧支线的密度是相同的 ;
- 4. 低压侧的供电范围是以一根低压侧干线的长度为半径的圆 ,变电所处在供电面积的中心位置。

变电所的总计算费用可表示如下 :

总投资 { 变电所投资
 高压线路投资
 低压线路投资

总年运行费 { 变压器、高低压线路折旧维修费
 变压器、高低压线路的电能损耗

(一)在不同的供电半径下,变电所低压干线的功率损耗和电能损耗

分摊到变电所单位容量的数值是相同的,与变电所的容量大小无关。

1. 负荷功率因数为 1 时

在每个变电所内,低压侧干线的最大功率损耗为

$$\Delta P = \frac{3I^2 R}{K} m \times 10^{-3} (\text{kW}) \tag{3-3-1}$$

式中 I ——一根干线在最大负荷时的始端电流, A ;

R ——一根干线的电阻 ;

m ——变电所低压侧干线的数目 ;

K ——线路功率损耗的分布系数。

(1)线路功率损耗分布系数的计算

1)如果干线长度为 L ,负荷电流 I 集中于线路的末端,则

$$\Delta P_A = 3I^2 r_0 L$$

式中 r_0 ——每 km 电阻, Ω/km 。

2)负荷沿线均匀分布如图 3-3-10 所示。

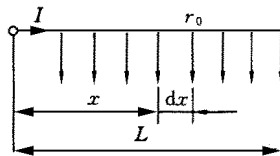


图 3-3-10 沿线负荷均匀分布

在 X 处的电流为 $\frac{L-X}{L}I$ 线路的功率损耗

$$\Delta P_B = \int_0^L \left(\frac{L-X}{L} I \right)^2 r_0 dx = I^2 r_0 L$$

所以 $K_B = \frac{\Delta P_A}{\Delta P_B} = 3$ 。

3)负荷递减分布如图 3-3-11 所示。

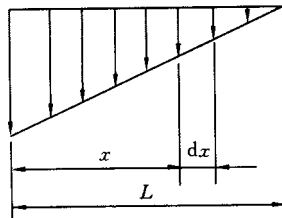


图 3-3-11 沿线负荷递减分布

总电流为 $I = \frac{1}{2} aL$

在 X 处的电流为 $I_x = \frac{1}{2} (L - X) a \frac{L - X}{L}$

线路的功率损耗

$$\Delta P_C = \int_0^L \frac{1}{2} a \frac{(L - X)^2}{L} r_0 dx = \frac{3}{5} I^2 r_0 L$$

所以 $K_C = \frac{\Delta P_A}{\Delta P_C} = 5$ 。

4) 负荷递增分布如图 3-3-12 所示。

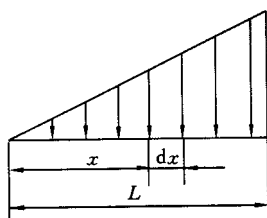


图 3-3-12 沿线负荷递增分布

总电流为 $I = \frac{1}{2} aL$

在 X 处的电流为 $I_x = \frac{1}{2} aL - \frac{1}{2} \frac{ax^2}{L} \cdot X$

线路损耗

$$\Delta P_D = \int_0^L \left[\frac{1}{2} aL - \frac{ax^2}{2L} \right] r_0 dx = \frac{8}{5} I^2 r_0 L$$

所以 $K_D = \frac{\Delta P_A}{\Delta P_D} = \frac{15}{8}$ 。

可见,在特定的负荷分布下,只要支线的布置形式相同,分布系数 K 就是一个定值,其与变电所容量大小无关。

(2) 损耗的功率表达式

对 $\cos \varphi = 1$ 的情况,也可将式 3-3-1 改写成下述形式:

$$\Delta P = \frac{3m}{K} \left(\frac{P_{zd}}{\sqrt{3}U} \right) \frac{\rho L}{S} \times 10^{-3} (\text{kW}) \quad (3-3-2)$$

式中 P_{zd} ——变电所最大功率 kW;

U ——低压侧额定电压 kW;

L ——供电半径 km;

ρ ——电阻系数,为 $31.2 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}$;

S ——导线截面 mm^2 。

当用电压损失来选择导线截面时,其值将为:

$$S = \frac{q \cdot P_{zd} \rho L}{10mU^2 \cdot \Delta U\%} (\text{mm}^2) \quad (3-3-3)$$

式中 q ——电压损耗分布系数。

(3) 电压损耗分布系数的确定

1) 负荷集中于末端时,若 Z_0 为单位公里的阻抗,则

$$\Delta U_A = \sqrt{3} I \cdot Z_0 L$$

2) 负荷沿线均匀分布时

$$\Delta U_B = \int_0^L \sqrt{3} \left(\frac{L-X}{L} I \right) Z_0 dx = \frac{\sqrt{3}}{2} I \cdot Z_0 L$$

$$q_B = \frac{\Delta U_B}{\Delta U_A} = \frac{1}{2}$$

3) 负荷递减分布时

$$\Delta U_C = \int_0^L \sqrt{3} \left[\frac{1}{2} a \left(\frac{L-X}{L} \right)^2 L \right] Z_0 dx = \frac{\sqrt{3}}{3} I \cdot Z_0 L$$

所以 $q_C = \frac{1}{3}$

4) 负荷递增分布时

$$\Delta U_D = \int_0^L \sqrt{3} \left[\frac{1}{2} aL - \frac{ax^2}{2L} \right] Z_0 dx = \frac{2\sqrt{3}}{3} I \cdot Z_0 L$$

$q_D = \frac{2}{3}$

可见,只要支线的布置形式相同, q 为定值与变电所容量大小无关。

(4) ΔP_0 和 ΔA_0 表达式

将式 3-3-3 代入式 3-3-2 中有

$$\Delta P = \frac{P_{zd} \Delta U\%}{K \cdot q} \times 10^{-2} (\text{kW}) \quad (3-3-4)$$

$$\Delta A = \Delta P \cdot \tau \quad (3-3-5)$$

式中 τ ——年最大负荷损耗小时数。

由此可得变压器单位容量的功率损耗 ΔP_0 和电能损耗 ΔA_0 为

$$\Delta P_0 = \frac{\Delta U\%}{K \cdot q} \times 10^{-2} \quad (3-3-6)$$

$$\Delta A_0 = \frac{\Delta U\%}{K \cdot q} \times 10^{-2} \quad (3-3-7)$$

从此可知,在 $\cos\varphi = 1$ 时,变电所低压侧干线上的功率和电能损耗,分摊到单位容量的数值,与变压器容量的大小无关。

2. 负荷功率因数不等于 1 时

当 $\cos\varphi \neq 1$ 时,式 3-3-1 应该写成为

$$\Delta P = \frac{3m}{K} \left(\frac{W_{zd}}{\sqrt{3}U} \right) \frac{\rho L}{S} \times 10^{-3} (\text{kW}) \tag{3-3-8}$$

式中 W_{zd} ——最大视在功率 kVA。

而

$$\Delta U = \frac{W_{zd}L}{U} (R_0 \cos\varphi + X_0 \sin\varphi) = \frac{W_{zd}LR_0}{U\beta} \tag{3-3-9}$$

其中 $\beta = R_0 / (R_0 \cos\varphi + X_0 \sin\varphi)$

有关 10kV 电网 β 的数据列于表 3-3-4 中。

表 3-3-4 10kV 电网的 β 值

导线型号	R_0	X_0	$R_0 / (R_0 \cos\varphi + X_0 \sin\varphi)$	
			$\cos\varphi = 0.75$	$\cos\varphi = 0.8$
LJ-25	1.25	0.35	1.07	1.04
LJ-35	0.92		1.00	0.97
LJ-50	0.64		0.90	0.89
LGJ-25	1.38		1.09	1.05
LGJ-35	0.85		0.98	0.96
LGJ-50	0.65		0.90	0.89

由表 3-3-4 可见,只要把式 3-3-2 与式 3-3-3 中的 P_{zd} 用 W_{zd} 代替, $\Delta U\%$ 的误差不会超过 11%。相应地 ΔP_0 和 ΔA_0 的误差也不会超过 11%。这就是说,当 $\cos\varphi \neq 1$ 时,变电所低压侧干线上的功率损耗和电能损耗基本上不随变电所的容量而变化的。

(二)在不同供电半径下,变压器功率损耗和电能损耗

分摊到变电所单位容量的数值大致相等,与变电所的容量大小无关。

变压器在最大负荷时的功率损耗 ΔP_B 可表示为

$$\Delta P_B = \Delta P_K + \Delta P_D$$

式中 ΔP_K ——变压器空载损耗；

ΔP_D ——变压器短路损耗。

折算到变压器单位容量的功率损耗为

$$\Delta P_{Bo} = \frac{\Delta P_B}{W_{zd}} = \frac{\Delta P_K}{W_{zd}} = \frac{\Delta P_D}{W_{zd}} = \Delta P_{Ko} + \Delta P_{Do} \tag{3-3-10}$$

变压器从容量为 1000kVA 至 4000kVA 的 ΔP_{Ko} 和 ΔP_{Do} 的数值列于表 3-3-5 中。

从表 3-3-5 中的数据可见 ,在容量变化过程中 ΔP_{KO} 从 0.15% 变化至 0.22% ΔP_{DO} 从 0.98% 变化至 1.4% ,由于其变化数值较小 ,可以忽略变压器容量变化对 ΔP_{KO} 和 ΔP_{DO} 的影响。

表 3-3-5 1000kVA ~ 4000kVA 的 ΔP_{KO} 和 ΔP_{DO} 的值

容量 (kVA)	ΔP_{K} (kW)	ΔP_{D} (kW)	ΔP_{KO}	ΔP_{DO}	容量 (kVA)	ΔP_{K} (kW)	ΔP_{D} (kW)	ΔP_{KO}	ΔP_{DO}
1000	2.2	14	0.22	1.4	2500	4.25	27.5	0.17	1.1
1250	2.6	17	0.21	1.36	3150	5.0	33	0.16	1.05
1600	3.05	20	0.19	1.25	4000	5.9	39	0.15	0.98
2000	3.6	24	0.18	1.2					

变压器的年电能损耗为

$$\Delta A_{\text{B}} = \Delta P_{\text{K}} T + \Delta P_{\text{D}} \tau$$

式中 T ——变压器的年利用小时数。

如将其折算到单位容量的年电能损耗有

$$\Delta A_{\text{BO}} = \frac{\Delta A_{\text{B}}}{W_{\text{zd}}} = \Delta P_{\text{KO}} T + \Delta P_{\text{KO}} \tau \tag{3-3-11}$$

可见 ,变压器容量对 ΔA_{BO} 的影响与对 ΔP_{BO} 的影响有相同的性质。

通过上述分析 ,说明了在计算费用的可比部分中 ,只包括电网、变压器投资和折旧维修费。而折旧维修费大致与投资费用成正比 ,因此 ,农村变电所与有关的高、低压电网总投资最小的方案将是变电所的最佳容量方案。

第四章 供配电工程无功规划和自动化规划

第一节 供配电工程无功规划

一、城市电网无功补偿规划

我国电网供电质量、网损等指标与发达国家相比,尚有一定的差距。但是,只要我们贯彻“科技兴网”的方针,把现代最新的科技应用于城网规划、调度、控制和管理等各个领域,那么,在城网规模迅速扩大的同时各项技术指标也会不断提高。其中做好规划是基础,不做好这一步一切都无从谈起,当前电力行业各级领导都很重视这项工作,这充分说明了它的重要性。与有功规划一样,观念和方法是决定无功规划好与差的关键。社会在发展,科技在进步,人们的技术观念和方法也应随着改变。

要实现城网无功——电压实时控制,必须配置一定的无功电源。由于城网负荷逐年增长,目前能满足电网无功——电压控制的无功储备,过几年后,无功电源可能不足,所以有必要作出今后数年,或更长时间的无功电源配置规划。配置规划包括各规划年的无功电源装设地点及容量。

电网无功负荷预测是无功电源规划的依据,必须预测各规划年的无功负荷及分布。优化规划是指一定目标而言的,对于不同的目标,就是以不同的无功配置规划,所以选择合适的目标及数学模型是做好规划的重要一步。

优化目标一般有网损最小、投资最省和综合经济效益最大等几种。

无功电源规划可分水平年静态规划和多阶段动态规划两种。

最优无功配置规划从数学意义上讲,就是在满足约束方程条件下,求出目标函数的极值。由于目标函数及运行变量约束方程都是非线性函数,所以要通过求解非线性方程来求出问题的解。这方面已有很多学者进行过研究,提出了很多求解方法,但非线性

规划计算时收敛慢,计算时间长,所以在实际应用中受到限制。目前,很多人提出将问题进行线性化,然后用线性规划、整数规划和动态规划等方法进行求解。用线性规划求解的步骤是:首先任意选定电网的初始运行点,在初始运行点处对目标函数及运行约束方程进行线性化,而后用线性规划求出控制变量的解。经过潮流计算求得对应于“解”的电网所有运行点参数,再在此运行点处对目标函数及运行约束地进行线性化,重新用线性规划求解。这样重复进行计算,逐步逼近非线性规划的解。

(一)目标函数

规划水平年城网的网络结构已确定,无功负荷预测值已知,并以投切电容、切换变压器分接头为决策变量。

1. 网损最小

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n U_i U_j G_{ij} \cos \theta_{ij} \quad (3-4-1)$$

式中 n ——电网节点数;

U_i 、 U_j ——分别为节点 i 、 j 的电压;

G_{ij} ——节点 i 、 j 间的导纳;

θ_{ij} ——节点 i 、 j 间的电压相位角。

为了用线性规划求解,要对式 3-4-1 在运行点领域进行线性化,并表达为以无功补偿容量和有载调压变压器分接头为决策变量的函数关系,网损的增量形式为

$$Z = \Delta P_L = \sum_{j=1}^K \frac{\partial P_L}{\partial Q_{Cj}} \Delta Q_{Cj} + \sum_{i=1}^{MK} \frac{\partial P_L}{\partial T_i} \Delta T_i \quad (3-4-2)$$

式中 K ——装设无功电源的变电所数;

MK ——有带负荷调压分接头的变压器台数;

ΔQ_{Cj} ——节点 j 的无功补偿容量增量;

ΔT_i ——第 i 台有载调压变压器的分接头调整量。

2. 补偿装置投资最省

$$\min Z = \sum_{i=1}^K C_i \Delta Q_{Ci} \quad (3-4-3)$$

式中 C_i ——第 i 变电所单位无功补偿容量的综合价格;

ΔQ_{Ci} —— i 节点所需无功补偿容量增量。

3. 综合经济效益最大

$$\begin{aligned} \max Z = & \sum_{i=1}^L (P_{LOi} - P_{Li}) \times \frac{T_i a_i}{100} \times S_a \times \frac{(1+e)^j}{(1+g)^j} \\ & + \sum_{i=1}^L (P_{LOi} - P_{Li}) \times \frac{T_i b_i}{100} \times S_b \times \frac{(1+e)^j}{(1+g)^j} \\ & - \sum_{i=1}^L \frac{r}{(1+g)^j} \sum_{i=1}^K K_{pj} \Delta Q_{ji} \end{aligned} \quad (3-4-4)$$

式中 L ——逐步规划年限；

P_{LOi} ——第 i 年最大负荷时补偿前的网损；

P_{Li} ——第 i 年最大负荷时补偿后的网损；

T_i ——第 i 年最大负荷利用小时数；

a_i ——第 i 年高峰电量占总电量的百分比；

b_i ——第 i 年低谷电量占总电量的百分比；

S_a 、 S_b ——分别为高峰和低谷负荷时电价；

r ——设备折旧率；

e ——能源成本增长率；

g ——银行贷款利率；

K_{pj} ——补偿点 j 补偿点设备单位成本；

ΔQ_{ji} ——第 i 年补偿点 j 的补偿容量增量。

(二) 约束条件

1. 决策变量约束

在城网中可采取多种措施来控制电压或无功潮流, 但一个具体电网会受到各种条件限制, 控制手段可能很多, 补偿容量、补偿地点等也会受到限制, 即

$$Q_{Cj \min} \leq Q_{Cj} \leq Q_{Cj \max} \quad (3-4-5)$$

$$T_{i \min} \leq T_i \leq T_{i \max} \quad (3-4-6)$$

$$\sum_{j=1}^K Q_{Cj} \leq Q_{C\Sigma} \quad (3-4-7)$$

式(3-4-5)为补偿点的补偿容量限制, 式(3-4-7)为有载调压变压器分接头上、下限限制, 式(3-4-7)为城网中无功总容量 $Q_{C\Sigma}$ 的限制。

增量形式为

$$\Delta Q_{Cj \min} \leq \Delta Q_{Cj} \leq \Delta Q_{Cj \max} \quad (3-4-8)$$

$$\Delta T_{i \min} \leq \Delta T_i \leq \Delta T_{i \max} \quad (3-4-9)$$

式(3-4-8)取决于无功补偿容量分组方式, 等量还是非等量, 式(3-4-9)决定于所选用的有载调压变压器的制造参数。

2. 状态变量约束

这里电网运行状态变量是指电网各母线电压、线路及变压器的无功潮流, 也称被控制量。在运行过程中必须使它们在允许范围内偏移, 即

$$U_{i \min} \leq U_i \leq U_{i \max} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3-4-10)$$

$$I_j \leq I_{j \max} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3-4-11)$$

式中 i ——节点号；

j ——线路号；

n, m ——分别为节点和线路(含变压器)总数;
 $U_{i \min}、U_{i \max}$ ——分别为节点 i 允许电压的下限和上限;
 $I_{j \max}$ ——线路 j 允许电流。

也可以写成如下增量形式

$$\Delta U_{i \min} \leq \Delta U_i \leq \Delta U_{i \max} \tag{3-4-12}$$

$$\Delta q_{j \min} \leq \Delta q_j \leq \Delta q_{j \max} \tag{3-4-13}$$

式中 $\Delta U_{i \min}、\Delta U_{i \max}$ ——分别为 i 母线电压允许最小和最大增量;
 $\Delta q_{j \min}、\Delta q_{j \max}$ ——分别为 j 线路(含变压器)无功潮流允许最小和最大增量。

(三)网络拓扑可变的最优无功潮流计算

一般的电网最优无功潮流计算是以固定的网络拓扑为基础的,若要考虑经济运行在轻负荷时切除变压器或开断线路,则必须改变网络拓扑结构。下面介绍适用于这种情况的最优无功潮流计算。

本算法以母线电压、支路无功潮流为被控制状态变量,经带负荷调压变压器分接头、补偿电容器及变电所变压器运行台数为控制变量,求出满足各种安全约束条件并使网损达到最小的无功潮流解。

1. 目标函数

网络节点数为 N 的网损 P_L

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N U_i U_j G_{ij} \cos \theta_{ij} \tag{3-4-14}$$

式中 $U_i、U_j$ ——分别为节点 $i、j$ 的电压;
 G_{ij} ——节点 $i、j$ 之间的电纳;
 θ_{ij} —— U_i 和 U_j 之间的相角。

为了用线性规划求解,把式(3-4-14)在 (U_0, θ_0) 邻域线性化,并将网损表达为控制变量的函数

$$Z = \Delta P_L = \sum_{j=1}^M \frac{\partial P_L}{\partial Q_{Cj}} \Delta Q_{Cj} + \sum_{i=1}^{MK} \frac{\partial P_L}{\partial T_i} \Delta T_i + \sum_{l=1}^{MKD} \frac{\partial P_L}{\partial K_l} \Delta K_l$$

其矢量形式为

$$\Delta P_L = \left[\frac{\partial P_L}{\partial Q_c} \frac{\partial P_L}{\partial T} \frac{\partial P_L}{\partial K} \right] \begin{bmatrix} \Delta Q_c \\ \Delta T \\ \Delta K \end{bmatrix} \tag{3-4-15}$$

式中 M ——电容器补偿节点数;
 MK ——有带负荷调压分接头的变压器台数;
 MKD ——并联变压器组数;
 Q_{Cj} ——节点 j 的补偿电容器输出容量;

T_j ——第 i 号变压器的分接头；

K_l ——第 l 组并联变压器运行台数。

2. 灵敏度矩阵

控制灵敏度矩阵是表达控制变量和被控制变量关系的矩阵,由节点无功平衡公式可得节点无功功率在运行点 (U_0, θ_0) 邻域的增量方程

$$\begin{aligned} \Delta Q_i = & \sum_{j=1}^{N-1} \left(\frac{\partial Q_i}{\partial U_j} \Delta U_j + \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} \Delta \theta_j \right) \Big|_{(U_0, \theta_0)} \\ & + \sum_{k=1}^{MK} \frac{\partial Q_i}{\partial T_k} \Delta T_k \Big|_{(U_0, \theta_0)} \\ & + \sum_{l=1}^{MKD} \frac{\partial Q_i}{\partial K_l} \Delta K_l \Big|_{(U_0, \theta_0)} \end{aligned} \quad (3-4-16)$$

一般情况下 $\frac{\partial Q_i}{\partial U_j} \Delta U_j \gg \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} \Delta \theta_j$, 可不计 $\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} \Delta \theta_j$, 式 3-4-16 可写成矢量形式

$$\Delta Q = T_Q \Delta U + T_T \Delta T + T_K \Delta K \quad (3-4-17)$$

式中 $T_Q \triangleq \left\{ \frac{\partial Q_i}{\partial U_j} \Big|_{(U_0, \theta_0)} \right\}$, $T_T \triangleq \left\{ \frac{\partial Q_i}{\partial T_k} \Big|_{(U_0, \theta_0)} \right\}$, $T_K \triangleq \left\{ \frac{\partial Q_i}{\partial K_l} \Big|_{(U_0, \theta_0)} \right\}$ 。则上式可写成

$$\Delta U = [T_Q^{-1} - T_Q^{-1} T_T - T_Q^{-1} T_K] \begin{bmatrix} \Delta Q \\ \Delta T \\ \Delta K \end{bmatrix} \quad (3-4-18)$$

式 3-4-18 描述了被控制变量 ΔU 和控制变量 ΔQ 、 ΔT 、 ΔK 的关系。

根据支路无功潮流方程,可得支路无功功率在运行点 (U_0, θ_0) 邻域的增量方程为

$$\begin{aligned} \Delta q_i = & \sum_{j=1}^{N-1} \left[\frac{\partial q_i}{\partial U_j} \Delta U_j + \frac{\partial q_i}{\partial \theta_j} \Delta \theta_j \right] \Big|_{(U_0, \theta_0)} \\ & + \sum_{k=1}^{MK} \frac{\partial q_i}{\partial T_k} \Delta T_k \Big|_{U_0, \theta_0} \\ & + \sum_{l=1}^{MKD} \frac{\partial q_i}{\partial K_l} \Delta K_l \Big|_{U_0, \theta_0} \end{aligned} \quad (3-4-19)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, M$ 为电网支路总数。

忽略 $\frac{\partial q_i}{\partial \theta_j} \Delta \theta_j$ 项,并用矢量形式表示,有

$$\Delta q = H_V \Delta U + H_T \Delta T + H_K \Delta K \quad (3-4-20)$$

式中 $H_V \triangleq \left\{ \frac{\partial q_i}{\partial U_j} \Big|_{(U_0, \theta_0)} \right\}$, $H_T \triangleq \left\{ \frac{\partial q_i}{\partial T_k} \Big|_{(U_0, \theta_0)} \right\}$, $H_K \triangleq \left\{ \frac{\partial q_i}{\partial K_l} \Big|_{(U_0, \theta_0)} \right\}$ 。

将式 3-4-18 代入式 3-4-20 中得支路无功潮流方程为

$$\Delta q = [H_V T_Q^{-1} H_T - H_V T_Q^{-1} T_T H_K - H_V T_Q^{-1} T_K] \begin{bmatrix} \Delta Q \\ \Delta T \\ \Delta K \end{bmatrix}$$

(3-4-21)

综合式(3-4-18)和上式,可得无功、电压方程为

$$\begin{bmatrix} \Delta U \\ \Delta q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_Q^{-1} & -T_Q^{-1}T_T & -T_Q^{-1}T_K \\ H_V T_Q^{-1}H_T - H_V T_Q^{-1}T_T H_K - H_V T_Q^{-1}T_K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Q \\ \Delta T \\ \Delta K \end{bmatrix} \quad (3-4-22)$$

令

$$S = \begin{bmatrix} T_Q^{-1} & -T_Q^{-1}T_T & -T_Q^{-1}T_K \\ H_V T_Q^{-1}H_T - H_V T_Q^{-1}T_T H_K - H_V T_Q^{-1}T_K \end{bmatrix} \quad (3-4-23)$$

则上式可写成

$$\Delta X = S \Delta C$$

式中 ΔX ——状态变量 $\Delta X = [\Delta U \quad \Delta q]^T$;

ΔC ——决策变量 $\Delta C = [\Delta Q \quad \Delta T \quad \Delta K]^T$ 。

3. 运行安全约束

电网运行时,各母线电压应保持在容许的上、下限值范围内,即满足

$$U_{i \cdot \min} \leq U_i \leq U_{i \cdot \max} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

各支路电流不应超过其容许值,即

$$I_j \leq I_{j \cdot \max} \quad j = 1, 2, \dots, M$$

式中 U_i 、 I_j ——分别为母线运行电压和支路电流;

$U_{i \cdot \min}$ 、 $U_{i \cdot \max}$ ——分别为母线容许电压的上、下限;

$I_{j \cdot \max}$ ——支路容许的最大电流。

从以上约束可求得状态变量的校正量为

$$\Delta U_i = \begin{cases} U_{i \cdot \min} - U_i & U_i \in (-\infty, U_{i \cdot \min}) \\ 0 & U_i \in (U_{i \cdot \min}, U_{i \cdot \max}) \\ U_{i \cdot \max} - U_i & U_i \in (U_{i \cdot \max}, +\infty) \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$\Delta q_j = \begin{cases} q_{j \cdot \min} - q_j & q_j \in (-\infty, q_{j \cdot \min}) \\ 0 & q_j \in (q_{j \cdot \min}, q_{j \cdot \max}) \\ q_{j \cdot \max} - q_j & q_j \in (q_{j \cdot \max}, +\infty) \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, M$$

矢量形式为

$$\Delta X = \begin{bmatrix} \Delta U \\ \Delta q \end{bmatrix} \quad (3-4-24)$$

4. 决策变量约束

补偿电容器容量输出范围和带负荷调压变压器分接头调节范围的限制为

$$Q_{Cj \cdot \min} \leq Q_{Cj} \leq Q_{Cj \cdot \max}$$

$$T_{K \cdot \min} \leq T_K \leq T_{K \cdot \max} \quad (3-4-25)$$

并联变压器组运行台数对网络影响是通过下式来反映的,即

$$G_M = (G_{M2} - G_{M1})K_l + G_{M1} \quad l = 1, 2, \dots, MKD \quad (3-4-26)$$

式中 G_{M1} 、 G_{M2} ——分别为变压器单独运行和并联运行时 M 支路的导纳值;

K_l ——整数约束变量,取值为

$$K_l = \begin{cases} 0 & 1 \text{ 台变压器运行} \\ 1 & 2 \text{ 台变压器运行} \end{cases}$$

若有多台变压器并联运行,可用类似方法处理。

5. 求解

式(3-4-15)可写成

$$Z = A\Delta C \quad (3-4-27)$$

式中

$$Z = \Delta P_L, A = \left[\frac{\partial P_L}{\partial Q} \frac{\partial P_L}{\partial T} \frac{\partial P_L}{\partial K} \right]$$

$$\Delta C = [\Delta Q_C \quad \Delta T \quad \Delta K]^T$$

所以最优无功潮流可写成

$$\left. \begin{aligned} \min Z &= A\Delta C \\ S\Delta C &\geq \Delta X \\ \Delta C_{\min} &\leq \Delta C \leq \Delta C_{\max} \\ K_l &= (1, 0) \end{aligned} \right\} \quad (3-4-28)$$

这是一个混合整数规划问题,求解过程如图 3-4-1 所示, A 矩阵元素求解可参阅相关电力系统稳态计算书籍。

(四) 城网无功补偿装置最优配置规划

和有功电网网架规划一样,无功补偿装置优化配置分为单阶段的静态优化规划和多阶段的动态规划。无功补偿规划是在网架已确定的基础上进行的,单阶段无功规划是针对某一规划年的网络和负荷水平,多阶段无功优化规划要考虑各个规划年的网络和全网的负荷发展。它们的目标也不同,前者只要求在一个阶段达到最优,而后者要求各个阶段目标之和最优,或称整体最优。下面介绍一种静态无功补偿容量最优配置规划方法。

1. 目标函数

根据具体情况可取式(3-4-1)~式(3-4-4)中的任一种作为无功补偿最优配置的目标函数。

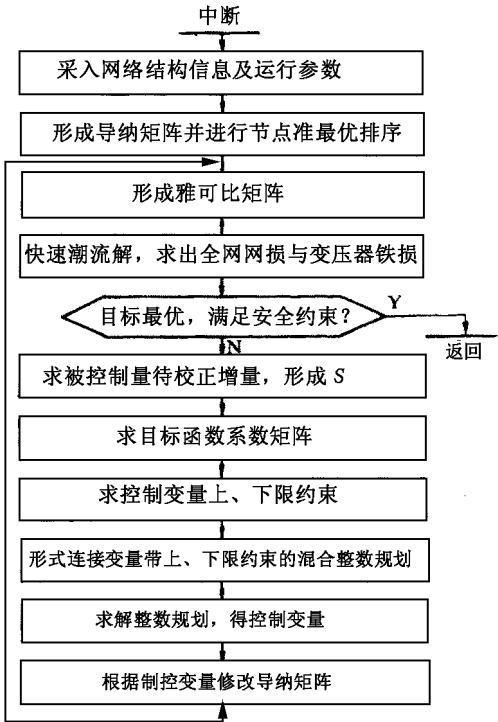


图 3-4-1 无功潮流计算流程图

2. 约束条件

参阅上述(二)中的规定。

3. 灵敏度矩阵

式 3-4-22 和式 3-4-23 用灵敏度矩阵描述了决策(控制)变量和状态(被控制)变量之间的关系。如果不考虑变电所中并联变压器台数的变化, 则灵敏度矩阵可写成

$$\begin{bmatrix} \Delta U \\ \Delta q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_Q^{-1} & -T_Q^{-1}T_T \\ H_VT_Q^{-1}H_T & -H_VT_Q^{-1}T_T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Q \\ \Delta T \end{bmatrix} \tag{3-4-29}$$

下面求出灵敏度矩阵的元素。

(1) 元素 T_Q 的求取。

节点 i 的无功注入方程为

$$Q_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}), i = 1, 2, \dots, n \tag{3-4-30}$$

得

$$T_Q = \frac{\partial Q_i}{\partial U_j} = \begin{cases} \sum_{k=1}^n U_k (G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik}) - 2B_{ij}U_i, & j = i \\ U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}), & j \neq i, i \in j \\ 0, & i \neq j, i \in j \end{cases} \tag{3-4-31}$$

(2) 元素 T_T 的求取。

1 在 i 侧, n 在 j 侧, 即变压器分接头在 j 侧, 如图 3-4-2 所示, 则有

$$T_T = \begin{cases} \frac{\partial Q_i}{\partial n} = \frac{-U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})}{n} \\ \frac{\partial Q_j}{\partial n} = \frac{U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})}{n} - \frac{2}{n^2} B_{ij} U_j^2 \\ \frac{\partial Q_k}{\partial n} = 0, \quad k \neq i, k \neq j \end{cases} \quad (3-4-32)$$

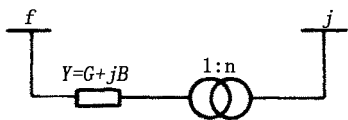


图 3-4-2 带负荷调压变压器等值电路

$$T_T = \begin{cases} \frac{\partial Q_i}{\partial n} = \frac{U_i U_j (-G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij})}{n} - \frac{2}{n^2} B_{ij} U_i^2 \\ \frac{\partial Q_j}{\partial n} = U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) n \\ \frac{\partial Q_k}{\partial n} = 0 \end{cases} \quad (3-4-33)$$

(3) H_V 的求取。

$$H_V = \frac{\partial q_{ij}}{\partial V_k} = \begin{cases} U_i (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij} + 2B_{ij} U_i), & k = i \\ U_i (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}), & k = j \\ 0, & k \neq i, j \end{cases} \quad (3-4-34)$$

(4) H_T 的求取。

若变压器可调分接头在 j 侧, 则有

$$H_T = \begin{cases} \frac{\partial q_{ij}}{\partial n} = \frac{1}{n} U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \\ \frac{\partial q_{ij}}{\partial n} = -\frac{2}{n^2} B_{ij} U_j^2 + \frac{1}{n} U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{cases} \quad (3-4-35)$$

若变压器可调分接头在 i 侧, 则有

$$H_T = \begin{cases} \frac{\partial q_{ij}}{\partial n} = -\frac{2}{n^2} B_{ij} U_j^2 + \frac{1}{n} U_i U_j (-G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \\ \frac{\partial q_{ji}}{\partial n} = +\frac{1}{n} U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{cases}$$

4. 计算流程

图 3 - 4 - 3 为电网无功补偿容量最优配置规划计算流程图

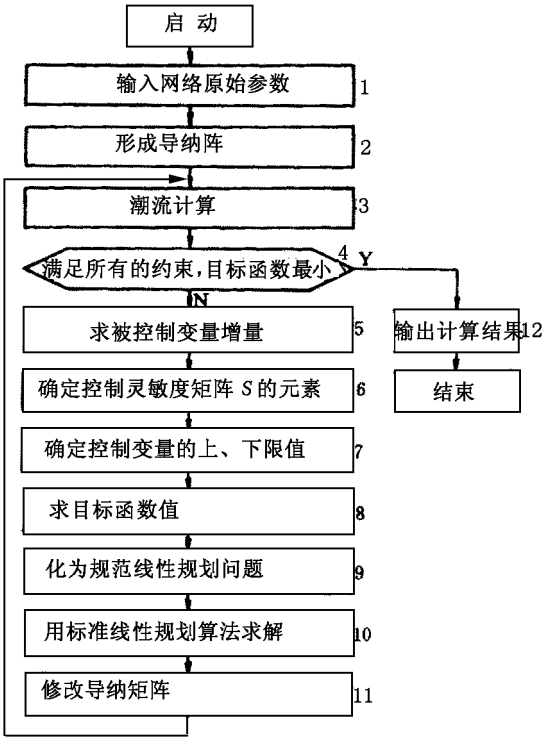


图 3 - 4 - 3 电网无功补偿装置最优配置规划计算流程图

(五) 动态无功补偿装置最优配置规划

1. 动态规划基本原理

设有线性规划问题

$$\max f(x_1, x_2) = 6x_1 + 8x_2 \tag{3 - 4 - 37}$$

约束条件

$$6x_1 + 2x_2 \leq 12 \tag{3 - 4 - 38}$$

$$x_1, x_2 \geq 0 \tag{3 - 4 - 39}$$

这个问题求解极为简单, 这里仅为了说明动态规划求解方法不同于线性规划。

用动态规划法求解时, 把问题的求解过程分成几个阶段, 每个阶段只含一个变量, 各个阶段的单变量和得到解决, 总问题的求解也就完成了。

比如, x_1 作为第一阶段变量, 根据式 3 - 4 - 38 的约束, x_1 的取值范围为 $0 \leq 6x_1 \leq 12$, 若取 $x_1 = \overline{x_1}$, 则它对目标函数的作用为 $6\overline{x_1}$ 。第二阶段变量为 x_2 , 取值范围为 $0 \leq$

$2x_2 \leq 12 - 6\overline{x_1}$ 若取 $x_2 = \overline{x_2}$ 则它对目标函数的作用为 $8\overline{x_2}$ 。现在用回代法来求出 x_1 、 x_2 的具体数值。求解采用倒退法,把最后阶段作为第一步。

第一步 x_2 对目标函数的作用是

$$\max f_1 = 8x_2$$

约束条件为 $2x_2 \leq 12 - 6\overline{x_1}$, $x_2 \geq 0$ 。求得 $x_2^* = 6 - 3\overline{x_1}$,目标函数值 $f_1 = 48 - 24\overline{x_1}$ 。

第二步,目标函数包括 x_1 对目标函数的作用和第一步的目标函数值,即

$$\max f_2 = 6x_1 + f_1^* = 6x_1 + 48 - 24x_1 = 48 - 18x_1$$

约束条件为 $6x_1 \leq 12$, $x_1 \geq 0$ 。显然,当 $x_1 = x_1 = 0$ 时 $f_2 = f_2^* = 48$ 为最大,所以最优解是 $x_1 = 0$; $x_2 = 6$ 。

以上求解过程可以用阶段求解过程图来表达,如图 3-4-4 所示。

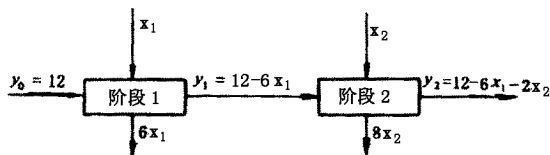


图 3-4-4 两阶段动态过程示意图

图 3-4-4 中的变量 x_1 、 x_2 称为控制变量, $y_0 = 12$ 称为第一阶段的输入状态, $y_1 = y_0 - 6x_1$ 称为第一阶段的输出状态,也是第二阶段的输入状态, $y_2 = y_1 - 2x_2$ 为第二阶段的输出状态。每阶段的输出状态和输入状态与控制变量之间的关系式称为转换方程。第一阶段转换方程为

$$y_1 = t_1(y_0, x_1) = y_0 - 6x_1, x_1, y_1 \geq 0$$

第二阶段转换方程

$$y_2 = t_2(y_1, x_2) = y_1 - 2x_2, x_2, y_2 \geq 0$$

一般式为

$$y_k = t_k(y_{k-1}, x_k) \quad (3-4-40)$$

每阶段对目标函数的作用称阶段效应函数。

第一阶段效应函数为

$$r_1 = r_1(y_0, x_1) = 6x_1$$

第二阶段效应函数为

$$r_2 = r_2(y_1, x_2) = 8x_2$$

一般式为

$$r_k = r_k(y_{k-1}, x_k)$$

动态规划方程为

$$\max f = \sum_{k=1}^N r_k(y_{k-1}, x_k) \quad (3-4-41)$$

其中

$$y_k = t_k(y_{k-1}, x_k)$$

约束为

$$g_i(y_{i-1}, x_i) \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$$

对应于以上阶段的逆推计算法的步骤为

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1) &= \max\{r_1(y_0, x_1)\} \\ f_2(x_2) &= \max\{r_2(y_1, x_2) + f_1\} \\ f_k(x_k) &= \max\{r_k(y_{k-1}, x_k) + f_{k-1}\} \end{aligned} \right\} \quad (3-4-42)$$

式中 y_0 是已知值。

按上式可写出电网无功补偿装置多阶段优化规划形式为

$$f_k(X_k) = \underset{U_k}{\text{opti}}\{r_k(X_k, U_k) + f_{k-1}(X_{k-1})\} \quad (3-4-43)$$

式中 X_k ——第 k 阶段状态矢量,表示各节点电压和支路无功潮流;

U_k ——第 k 阶段决策矢量,这里指补偿电容和变压器分接头;

$f_k(X_k)$ ——第 k 阶段状态矢量 X_k 时的最优值(最大或最小值);

$r_k(X_k, U_k)$ ——状态矢量 X_k 、决策矢量 U_k 时的效应函数,具体形式因所选目标函数不同而异。

以网损最小为目标的效应函数表达式为

$$P_{Lk}(X_k) = \min_{U_k} \{\Delta P_L(X_k, U_k) + P_{L(k-1)}(X_{k-1})\} \quad (3-4-44)$$

或

$$\begin{aligned} \min \Delta P_L &= \min \left\{ \sum_{i=1}^k \frac{\partial P_L}{\partial Q_{Ci}} \Delta Q_{Ci} + \sum_{k=1}^{MK} \frac{\partial P_L}{\partial T_k} \Delta T \right\} \\ &= \min \left[\frac{\partial P_L}{\partial Q_{Ci}} \frac{\partial P_L}{\partial T} \right] \left[\frac{\Delta Q_C}{\Delta T} \right] \end{aligned} \quad (3-4-45)$$

求解式(3-4-44)或式(3-4-45)的约束条件见式(3-4-5)~式(3-4-9)。

对于一个网络来说,满足所给约束条件的可行解往往不只一个,甚至于会有很多,因而计算量很大,对于较大电网就会产生“维数灾”。为了在大量可行解中最快地找出最优解,必须缩小搜索范围,使其限制在最有效的补偿节点范围内,把那些对补偿不起作用的或作用不大的节点排除在外,从而克服“维数灾”困难。这里介绍借助于灵敏度矩阵来搜索范围的方法。基本思想是:为了维持电网中各节点电压在允许范围内波动,只需对那些节点电压起作用的有关节点进行补偿电容或改变变压器分接头,也就是只取对控制电压有显著作用的节点作为可补偿的对象,这种对电压“敏感”的节点在实际电网中不会很多,特别在辐射式网络结构中更是如此。

对图 3-4-5 所示 59 节点电网的多阶段无功电压补偿计算结果见图 3-4-6 和表 3-4-1、表 3-4-2 ,计算过程见图 3-4-7。

表 3-4-1 各节点补偿电容的分布

$\sum Q_c$ 补偿容量	0.06327	0.19286	0.35485	0.48727	0.54051	0.58323	0.64999	0.63419	0.62147	0.6093
节点号	30						0.07550	0.07550	0.07550	0.07550
	40					0.04272	0.04272	0.04272	0.04272	0.04272
	41			0.04828	0.04828	0.04828	0.04828	0.04828	0.04828	0.04828
	42		0.07447	0.07447	0.07447	0.07447	0.07447	0.05867	0.05867	0.05867
	44		0.03763	0.03763	0.03763	0.03763	0.02689	0.02689	0.02689	0.02689
	46	0.06327	0.06327	0.06327	0.06327	0.011651	0.011651	0.011651	0.011651	0.011651
	49		0.07301	0.07301	0.07301	0.07301	0.07301	0.07301	0.06029	0.04812
	51		0.05658	0.05658	0.05658	0.05658	0.05658	0.05658	0.05658	0.05658
	53		0.04989	0.04989	0.04989	0.04989	0.04989	0.04989	0.04989	0.04989
	57			0.08414	0.08414	0.08414	0.08414	0.08414	0.08414	0.08414

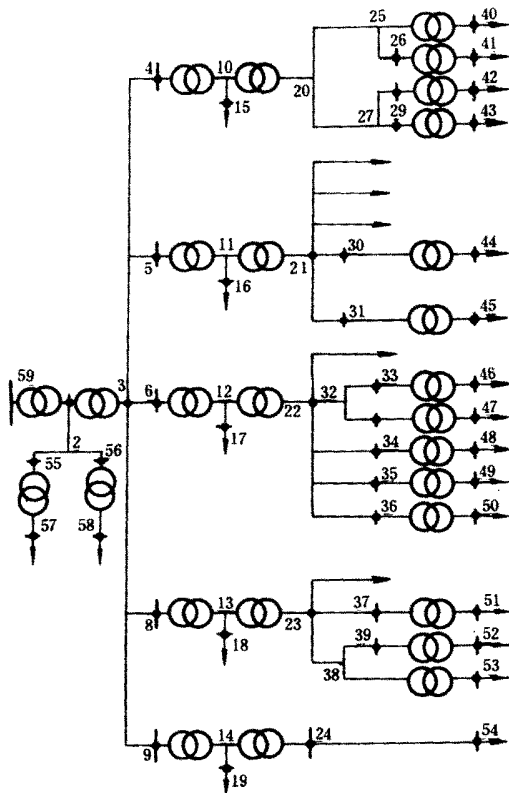


图 3-4-5 计算网络图

表 3-4-2 变压器分接头位置

1	$T38.53 = 0.975$	3	$T29.43 = 1.025$	5	$T38.53 = 1.0$
2	$T33.46 = 1.075$	4	$T26.42 = 1.0$	6	$T28.42 = 1.025$

注 $T_{x,y}$ 表示节点 x 与 y 之间分接头位置。

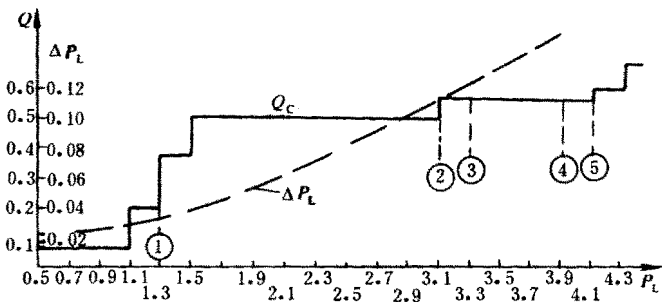


图 3-4-6 网络电容补偿容量曲线

P_L - 系统有功负荷 ; Q_c - 系统补偿电容容量 ;

① ~ ⑤ - 变压器分接头调节处 ; ΔP_L - 网损

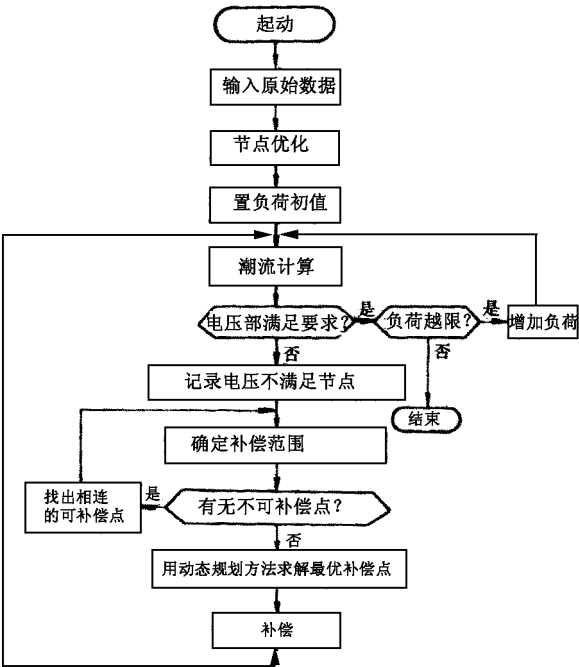


图 3-4-7 多阶段无功补偿动态规划优化计算框图

二、农村电网无功规划

在农村电气化县和现代电力企业的建设中,功率因数是配电网的重要考核指标。为了达到考核指标,必须结合本地区的具体情况,制定无功补偿的规划。该规划的任务,是确定欲达到的补偿目标、计算补偿容量,以及制定适合本地区特点的补偿方案。

(一) 购电点功率因数的测算

测量工作是规划工作的第一步,必须认真、切实地做好这项工作,才能使规划工作建立在可靠的基础之上。

1. 60kV 的购电点

60kV 购电点,根据电能表的装设位置可分如下三种情况。

- (1) 一次变电所出口计量,如图 3-4-8 中的计量点 a 所示。
- (2) 二次变电所的 π 接出口计量,如图 3-4-8 中的计量点 b 所示。
- (3) 供电部门 60kV 线路 T 接计量点,如图 3-4-8 中的计量点 c 所示。

2. 10kV 的购电点

10kV 的购电点的计量位置分下述两种情况。

- (1) 供电部门二次变电所出口计量,如图 3-4-8 中的计量点 d 所示。
- (2) 10kV 线路上装计量箱计量,如图 3-4-8 中的计量点 e 所示。

3. 功率因数的测定

(1) 10kV 购电点功率因数的测定。10kV 购电点,由于没装无功电能表,故常用有功电能表安·秒值法测定,其计算公式如下

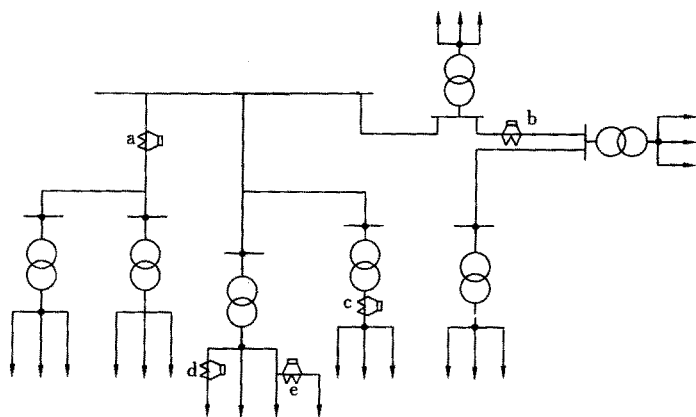


图 3-4-8 变电所接线图

$$P = \frac{3600n}{N \cdot t} k_T k_V \quad (3-4-46)$$

式中 P ——测定的有功功率 kW；

n ——有功电能表的转数；
 N ——有功电能表常数；
 t ——测定时间 s ；
 k_T ——电流互感器变比；
 k_V ——电压互感器变化。

用测定出的有功功率 P 通过下式算出 $\cos\varphi$ 即

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3} UI}$$

式中 U ——母线线电压 kV ；
 I ——测定电流 A 。

(2) 60kV 购电点 $\cos\varphi$ 的测定。60kV 二次计量变电所，一般二次皆装有有功和无功电能表，其计算方法是：若在测定的时间 t 内，测得的有功电量为 A_P ，无功电量为 A_Q ，再计算出主变的有功损耗为 ΔA_P ，无功损耗为 ΔA_Q ，则功率因数可计算如下。

$$\cos\varphi = \frac{A_P + \Delta A_P}{\sqrt{(A_P + \Delta A_P)^2 + (A_Q + \Delta A_Q)^2}} \tag{3-4-47}$$

主变的有功损耗电量为

$$\Delta A_P = W_0 t + \frac{k W_K A_P^2}{S_e^2 \cos^2 \varphi_2 t} \tag{3-4-48}$$

主变的无功损耗电量为

$$\Delta A_Q = I_0 \% S_e t + \frac{k U_K \% A_P^2}{S_e \cos^2 \varphi_2 t} \tag{3-4-49}$$

式中 W_0 ——变压器空载有功损耗 kW ；
 W_K ——变压器短路有功损耗 kW ；
 $I_0\%$ ——变压器空载电流百分值 $\%$ ；
 $U_K\%$ ——变压器短路电压百分值 $\%$ ；
 S_e ——额定容量 kVA ；
 t ——测定时间 h ；
 A_P ——二次有功电量 $kW \cdot h$ ；
 $\cos\varphi_2$ ——二次功率因数；
 k ——可变损失系数，其与负荷曲线有关，一班生产取 3.6，二班生产取 1.8，三班生产取 1.2。

4. 充电功的测算

在计算首端出口功率因数时，应将 60kV 充电功率考虑在内，充电功率的大小与运行电压的平方和线路的长度成正比，即

$$Q_{CD} = 2\pi f C_0 U^2 L \quad (3-4-50)$$

式中 Q_{CD} ——线路的充电功率 kvar ;

f ——电网频率 Hz ;

U ——运行线压 kV ;

L ——线路长度 百 km ;

C_0 ——线路的充电电容 F/百 km 。

线路的充电电容以下式计算

$$C_0 = \frac{0.024 \times 10^{-6}}{\lg \frac{D_{jP}}{d}} \quad (\text{F/km}) \quad (3-4-51)$$

式中 D_{jP} ——导线的几何均距 ,与导线的排列方式有关。

对三角排列

$$D_{jP} = \sqrt[3]{d_{ab} d_{bc} d_{ca}}$$

对水平排列

$$D_{jP} = \sqrt[3]{d_1 d_1 \times 2d_1} = 1.26 d_1$$

式中 d_{ab} 、 d_{bc} 、 d_{ca} 、 d_1 ——导线线间距离 ;

d ——导线直径。

为简化计算 , C_0 可按经验数据确定 ,一般取 0.00097F/百 km 。

本来 ,在分析电力系统无功平衡时 ,只需计算 110kV 以上输电线路的无功功率 ,而 60kV 线路的充电功率很小 ,通常不予考虑。但是 ,在规划中应从实际情况出发 ,农网的线路长 ,且负荷轻 ,相对说来充电功率的比重有所增加 ,往往不容忽视。

(二) 补偿容量的确定

在掌握了全区所有购电点的无功电源和无功负荷的基础上 ,作好无功的就地平衡 ,制定无功补偿方案 ,尽力作到各级电网的无功负荷能得到就地补偿 ,使无功潮流的分布更趋合理 ,在确定无功补偿容量的时候要满足下列要求。

1. 要满足负荷增长的需要(按年负荷增长率 ,负荷增长系数为 K_Z)
2. 要有足够的备用容量(备用系数 K_b)
3. 要考虑到投运率($\sum\%$)

本书中的年平均负荷 P_{pj} 是取全年用电时间 $8760h$ 计算的 ,实际上 ,全年用电时间不可能是 $8760h$,再考虑到无功补偿的负荷应按全年最大负荷月的平均负荷计算 ,所以 ,这里的 P_{pj} 就显得小了一点。为了弥补这方面的不足 ,负荷增长和备用系数取得略大一些 ,而投运率则略小一些。

K_Z 按 1.05 (按年负荷增长率 5% 计算) , K_b 取 1.20 , $\sum\%$ 取 80% 。需要补偿的无功功率 Q_{bx} 按下式计算

$$Q_{bx} = \frac{K_Z P_{Pj} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) K_b}{\sum \%} = \frac{K_Z K_b}{\sum \%} P_{Pj} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (3-4-52)$$

令 $K = \frac{K_Z K_b}{\sum \%}$ 则有

$$Q_{bx} = K P_{Pj} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (3-4-53)$$

式中 $\varphi_1、\varphi_2$ ——补偿前后的功率因数角。

若 P_{Pj} 取最大月平均负荷值 ,且 $\sum \% > 95\%$ 则 K 以不超过 1.1 为宜。

补偿后 ,应使一次计量点和二次计量点的功率因数满足要求。

(三) 补偿方式的选择

补偿方式多种多样 ,但总的原则应该是以移相电容器为主 ,全面规划、合理布局、分散补偿、就地平衡、自动控制、集中调节。

集中调节和分散补偿相结合 ,以分散补偿为主。

调节补偿与固定补偿相结合 ,以固定补偿为主。

高压补偿与低压补偿相结合 ,以低压补偿为主。

实现提高力率与降损并重的目的。

在补偿过程中 ,既要满足全地区农村电网总的无功电力平衡 ,又要满足各变电所 ,以及每个变电所的每条配电线路的无功电力平衡。

第二节 供配电工程自动化规划

一、城市电网自动化规划

(一) 规划依据

城市配电网自动化规划是密切服从于城市配电网的发展并为其服务的 ,因此自动化规划必须与城市配电网规划相配套而且是配电网规划中的一个部分。

制定城市配电网自动化规划应收集下列文件和资料 ,作为依据 :

- 1. 城市配电网规划 ;
- 2. 城市配电网技术原则 ;
- 3. 监控系统(SCADA)情况 ;
- 4. 电力系统现有通信网状况(包括变配电所租用市话线状况)及发展规划 ;
- 5. 现有管理信息系统(MIS)情况 ;

6. 现已投运的单项自动化项目情况；
7. 研究统一的通信规约；
8. 国内外已有商品供应的自动化装置资料；
9. 现有一次及二次设备具备自动化要求的情况。

(二) 制定城市配电网自动化技术原则

在制定自动化规划之前,作为第一步,首先要根据城市电网总的技术原则,制定好城市电网自动化技术原则(某种意义上也可称实施细则)。自动化规划将在城市配电网规划基础上根据自动化技术原则订出具体内容。城市配电网自动化技术原则主要包括以下内容:

1. 配电网自动化实施后对城市配电网的一些主要指标的效益,或者说,实施配电网自动化的目的。
2. 配电网自动化的主要内容及分期实施目标。
3. 配电网自动化各具体项目实施的技术原则:
 - (1) 配电网自动化各具体项目采用的技术方案;
 - (2) 各具体项目对相关的一、二次设备的要求;
 - (3) 各具体项目自动化信息传输的通道要求和选择。
4. 配电网自动化的通信规约。
5. 配电网自动化信息的可靠性和效益评估。

(三) 确定各具体项目的布点与城网设备的配合

在自动化的技术原则确定后,应根据城网规划确定各具体项目的布点,认定何处必须设置某项功能,并核对该点的城网设备是否具备与自动化要求相匹配的功能。例如,为监控城网的电压质量,需要在变电所的主变压器母线上设置电压监视点,并对主变压器的分接开关进行监控,而该主变压器分接开关仅能接受遥控翻档,却无分接开关位置的反馈信息,故虽有电压监视信息可反馈,但缺分接开关位置信息,这时就需要更换为有开关位置信息反馈的可遥控开关位置的装置。

具体项目的布点应标明在相应城网规划的图纸上,最理想的是标明在地理信息的配电网图上。

(四) 确定各具体项目的信息通道方案

有了各具体项目的布点位置,就应根据各具体项目的特点选用适当通道。对于集中在一处或一线沿线的多种项目的通道,可以考虑选用综合信息通道。例如,分布在各处的失电信息监视点,最经济的是利用设置点市话通道,但装于线路沿线用于监视各分段失电情况的信息,往往又可利用与线路合杆架设的光纤通道,或其他信息合用等。这时,也

必须作经济性、可靠性和运行灵活性的综合比较,以求得既合理可靠又经济的方案。

(五)编制远期的规划方案和近期分阶段的规划

在完成了上述各具体项目及通道的方案后,可以汇总列出规划的远期目标的总方案,包括各项目的工程量、通道的工程量和投资估算。并根据城网规划的各时期进度及发展配网自动化技术原则,列出近期分阶段的工程项目、工程量和投资估算。

在编制规划中,必须坚持有长远的(例如 10 年或更长时间)整体规划,然后在整体规划的基础上编制分阶段(例如目前 1、2、年或 5 年)的实施计划。避免零打碎敲、缺乏统一的打算或不必要的功能重复,而造成浪费及混乱。

(六)对编制的规划进行效益评估和必要的修正

编制好的规划应进行效益的综合评估。评估的内容有些是有形的、可以定量表示的,有些却是无形的,但可以从用户的满意程度,企业形象的好坏,对社会的完全的影响度和市民对政府的信任等角度来评估。因此,既要微观上作投入产出的比较,认真选择最合理的方案和时间;又要从宏观上衡量对社会、对企业形象的政治上、经济上的效益。对一些项目,必要时调整其实施方案或时间、规模等。

(七)整理编制成正式规划文件

配电自动化规划是城市电网总体规划的一个组成部分,但又是一个独立的规划章节,因此正式的规划文件应能反映配电自动化规划内容及其与城网规划的各阶段的关系。一般规划的正式文件应包括以下主要内容:

1. 分析城网布局与配电自动化的现状,反映城网规划的发展对配电自动化的要求。
2. 结合城网实际和发展要求,确定配电自动化发展技术原则。
3. 确定规划各期发展配电自动化的功能项目和实施程度。
4. 确定分期建设的项目(包括实现某一功能的软、硬件与通道等)和工程内容。
5. 分期对各自动化实施项目进行协调。
6. 估算各规划期需要的投资、设备规范和数量以及工程费用。
7. 对工程效益的评估。
8. 绘制与城网规划相匹配的自动化布局图。
9. 其他需要补充的技术资料或说明。

二、农村无人值班变电所规划

(一)无人值班变电所的发展

国外许多国家早在 20 世纪 50 年代就开始从事无人值班变电所的建设或将有人值

班变电所改造成成为无人值班变电所的工作。现在,世界上一些发达国家,诸如美、德、意、法等国,90%以上的变电所实现了无人值班,其中包括20~154kV电压等级的配电与供电变电所,也包括那些电压等级较高的220kV、330kV、500kV的变电所,甚至包括电压等级更高的枢纽变电所和穿越变电所。我国从20世纪60年代开始对无人值班变电所进行试点工作,20世纪80年代开始推广,现在城网和农网中已有相当数量不同电压等级的变电所实现了无人值班。

建设无人值班变电所的目的,是要节约变电所的占地面积以及常规变电所建设中的配套设备、辅助设施方面的大量投资和高额的运行维护费用,增加企业的经济效益。另一方面,无人值班变电所是在现代技术支持下工作的,现在农网的生产方式,虽有调度统一指挥,但基本上是依靠运行人员的经验,而命令执行的适时性、准确性都是无法控制和保证的,实际上是一种粗放式的经营方式。变电所实行无人值班后,实行自动化管理,具有工况优化软件和专家系统支持其运行业务,是集约化、智能化的管理方式,必将使电网运行的可靠性和经济性有显著地提高。

随着电网的迅速发展和运行管理需求的增强,调度自动化设备的技术水平和运行稳定性的不断提高,我国各省、市,诸如郑州、深圳、大连、广州、烟台、天津、石家庄等地的电业局、农电局,已经投运了一批无人值班变电所。鉴于电网当前的发展形式,今后无人值班变电所还要成批地出现。

建立无人值班变电所,是一项耗资巨大的系统工程。为了使这项工作健康地发展,原电力部安生司、科技司、国调中心、电规院联合于1995年2月28日至3月2日在烟台举行了“变电站无人值班研讨会”,并发布了会议《纪要》。《纪要》中明确指出:做好规划是顺利实现无人值班变电所的基础,要对实施变电所无人值班的规模、现实与发展的关系有总体设想,将变电所无人值班的规划与电网规划、电网改造规划、调度、通信、自动化等有关规划结合起来。

(二)建设无人值班变电所的总体方针

1. 实施变电所无人值班的基本要求

(1)实施变电所无人值班,应进行可行性分析,要有技术和组织上的可靠保证,要有经济效益,能提高变电所安全运行和提高供电可靠性,能有效地减少运行人员。

(2)必须制定规划、统一组织、逐步实施、讲求实效。

(3)根据电网所在地区的经济发展水平和变电所在电网中所处位置,对变电所无人值班宜有不同的要求。

(4)首先适宜于辐射状运行的变电所,也包括220kV终端变电所。

规划无人值班变电所的总体方针应该遵照这些基本要求,采取积极与稳妥相结合的方针,进行统筹规划。

首先,必须建立符合要求的、稳定可靠的调度自动化系统和通信系统,这是实现变

电所无人值班的先决条件。

对新建无人值班变电所,要经过经济技术比较和可行性论证,来确定功能规范和设备类型。对旧变电所应分期、分批逐步进行改造,在技术改造中,可采用“一步走”和“两步走”相结合的方针。所谓“一步走”,就是四遥功能一次到位;所谓“两步走”,即是实行保留就地监视仪表和信号,既可现场操作又可实行远动操作,经运行考核后,再实现无人值班。

2. 统筹考虑的几个问题

根据国外经验,无人值班变电所的建设与调度自动化系统的建设和改造皆实行统筹规划。我们应因地制宜地借鉴国外的经验,统筹地考虑下述问题。

(1)把无人值班变电所的规划,与全局的配电管理系统(DMS)和全局的管理信息系统(MIS)规划统筹地加以考虑。

(2)把无人值班变电所的规划与微机保护和微机自动装置的规划进行统筹考虑。

(3)把无人值班变电所的规划与负荷控制系统、远程抄表系统的规划进行统筹考虑。

(4)把无人值班变电所的规划与一、二次设备的改造和完善进行统筹考虑。

(三)无人值班变电所的规划的任务

无人值班变电所规划的主要任务有:

1. 确定变电所的管理模式

确定无人值班变电所的管理模式,是规划无人值班变电所的第一步。因为它影响到变电所的控制方式、功能规范、通道建设等问题。目前其管理模式有如下三种。

(1)集中控制管理模式。这种管理模式是由地区调度中心直接对变电所进行监测、控制与操作,其功能规范是调度中心直接对变电所实行“三遥”,它适用于变电所数量不多的小型地区电网。

(2)分级管理模式。当地区电网包含变电所的个数较多时,地区调度中心只对无人值班变电所进行负荷分配、潮流、电压、无功、运行方式等方面的控制,而不参与变电所的直接控制,对变电所的直接控制和操作,由调度中心所属的下级调度来完成。这种管理模式要求上、下级调度之间有转发通道。

(3)集控站管理模式。集控站可以单独设置,也可以放在某一变电所中,负责对变电所的控制和操作。在未设区调的中型电网,适于采用这种模式

2. 确定规模和建设改造次序

(1)确定主变压器容量、台数;

(2)确定进、出线回数 and 接线方式;

(3)确定建设和改造次序;

(4)确定自动化系统的功能及其所需装备;

(5) 确定变电所的通信方式及信息传输的要求。

我国各网调、省调、地调的传输通道主要采用数字微波、光纤等通信方式。这些通信方式稳定可靠、传输率高,已为众人所知。但对县级电力企业而言,因分布十分广泛,建设如比高价的通道,其资金需求量将难以承受。因此,目前多数县局皆采用无线通信、电力载波、高频电缆通信、一点多址小微波通信等方式。但是,这些通信方式的共同缺点是传输速率低、稳定性差、抗干扰能力薄弱。

鉴于上述原因,有人建议在县级调度自动化系统中采用扩展频谱通信,简称扩频通信。这种通信方式的实质是将原始信号的频带扩展 100~1000 倍,其优点是:①抗干扰力强,误码率低;②保密性强;③抗衰落能力强,信息传输可靠率高;④可与传统的调制方式共用同种频段;⑤成本低,安装维护方便。因此,被认为是县调信道的一种理想的选择。

目前,市售产品有两类:一为扩频无线收发器;二为扩频无线调制器。县调应用后一种,该种产品将收/发信部分集中在一个 MODEM 箱内,外接全向和定向天线,传输距离可达 50km,可同时传输话音、数据、图像、高速文件等。

信道建设是综合自动化系统的基本建设,而且信道是综合自动化系统走向实用化方向的关键,因而对信道建设的质量和造价是值得慎重考虑的。

(四) 无人值班变电所自动化设备的配置原则

无人值班变电所的自动化设备配置有如下几种方式。

1. 变电站综合自动化方式

这种系统是集保护、控制、临测、远动为一体的自动化系统。对于新建的无人值班变电所应考虑采用这种系统,其综合造价高。

2. 微机监控系统

这种系统即通常所称的 SCADA 系统即利用计算机完成监测和远动功能。其投资、占地较少,适用于新建或改造的变电所。

3. 常规二次设备加计算机远动装置

该种系统采用常规继电保护、测量和控制、信号装置,加上计算机管理的 YX、YC、YK 装置。适用于老式变电所的改造,造价较低。

(五) 110kV 无人值班变电所规划方案

1. 远动监控和保护分离式系统

WKT 系列 110kV 变电所厂、站端综合自动化系统的硬件总体布局现将简要说明如下。

(1) 远动、监控和保护分离式的配置。所谓远动、监控和保护分离式,即是每一间隔层采用二对一的原则配置,每一间隔层由两套单片机 80C196 或 8098 单元构成,一套执行远动、监控任务,另一套执行保护任务。同时这两套微机单元又分别与后台机通信,保持相对独立。在重要的大、中型变电所中适于采用这种方式。

(2)采用分层、分布结构。分层结构是将系统分为变电所层和间隔层。每一间隔均由两套单片机来分别完成监控远动和保护功能。

在间隔层中将各种监控、保护、信号的功能进行分布处理,将 110kV 线路保护,变压器差动保护,变压器高、低压过流保护,110kV 线路监控,变压器 110kV 侧监控,变压器 10kV 侧监控,以及 10kV 各个断路器的监控、保护任务皆由各自的单片机来完成。每 10 台单片机设置一台 486 型或档次更高的管理机。

变电所层设置有远动工作站,其任务则是汇集各间隔层送来的各种信息,完成各种监控任务,做各种事故和运行记录,对各种信息进行编辑加工,远传至上级调度所和远方工程师站,并将上级调度所下达的遥控命令和远方工程师站修改的运行参数,送往间隔层中的执行机构。

2.站内计算机网络。站内通信采用的是 NoVell 网和 RS485 讯网相结合的混合网络。

(1)间隔层中 486 型的保护、监控管理机,经 NE-2000 网卡各自与 NoVell 相连。

(2)间隔层中的每台 486 管理机,皆由 485 串行接口接至 RS485 总线,而执行各种监控、保护任务的 80C196 或 8098 单片机皆接在 RS485 总线上。

(3)1 号和 2 号远动工作站,以及站内的工程师工作站的 486 型计算机,也经网卡 NE-2000 接至 NoVell 网。远动站 486 主机经 RS-232C 串行接口,调制解调器 MODEM 上,通信设备,以载波、微波、音频等通信方式与调度端相联系。而工程师站的 486 计算机,也经 RS-232C 串行接口电路和 MODEM 与远方工程师站相联系。

(4)间隔层有一台计算机经 PC 总线与温度测量、故障信号的开关量输入、开关量输出板相连。

3. 远动、监控和保护合一式系统

远动、监控和保护合一式的综合自动化装置的系统控制特点如下:

(1)110kV 线路和变压器 110kV 侧的监控和保护仍采用二对一的原则配置。

(2)而 35kV 或 10kV 间隔层采用一对一的原则配置,即监控和保护由一套微机来完成。采用这种构成的理由是:①在 110kV 变电所中 35kV 或 10kV 回路的间隔层数较多,合成一套装置可节省大量的二次电缆;②10kV 或 35kV 回路的可靠性要求与 110kV 相比要低,将监控和保护合成一个单元,技术上可行,节省投资显著。

4.35kV 变电所综合自动化装置

35kV 变电所综合自动化装置如图 3-4-9 所示,其构成特点如下:

(1)远动、监控单元与保护单元合并为一个组合单元,其完成一台断路器的 YX、YC、YK 的就地监控和保护功能。

(2)10 个组合单元,通过 RS485 总线与 486 管理机相连,取消 NoVell 网,使硬件结构大为简化,造价显著降低。

这种方案适于农村变电所。

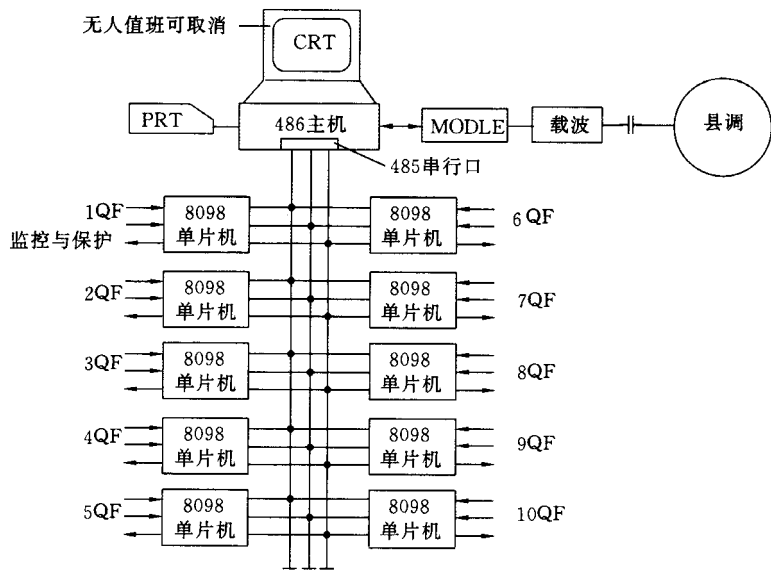


图 3-4-9 35kV 变电所综合自动化系统配置图

5.110kV 线路的远功和保护装置

110kV 线路的远动和保护的系统配置图如图 3-4-10 所示。

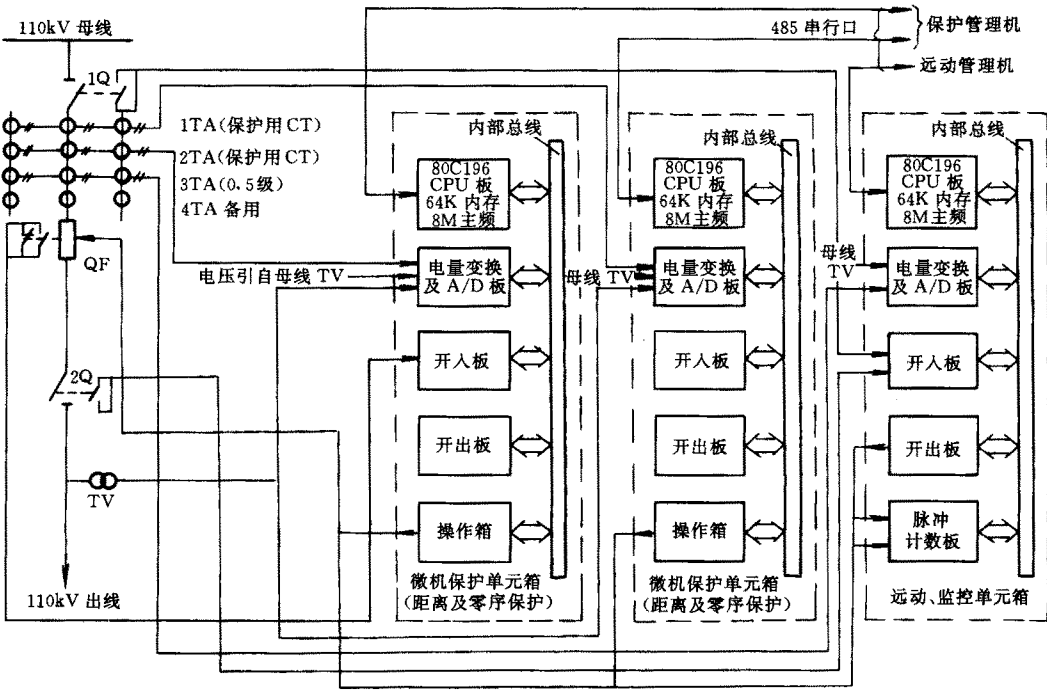


图 3-4-10 110kV 线路的远动和保护系统配置图

该系统对 WKT 系列产品而言 ,采用屏式结构 ,每块屏可装设两回 110kV 线路的微机保护装置。系统的配置特点是 :

(1)每一回 110kV 出线有三个单元箱 ,箱内装有 80C196 单片机 CPU ,其内存为 64KB、主振频率为 8MHz。此外尚装有 A/D 转换 ,开关量输入、输出 ,以及电量变送器板。每个单元箱就是一个完整的单片机系统 ,可完成 110kV 线路距离保护和方向零序保护任务。

(2)每回 110kV 线路有两个保护单元 ,即 110kV 线路保护按二对一原则配置 ,两套保护并联运行 ,以提高保护的可靠性。如此说来 ,对每回 110kV 线路 ,由三套微机构成 ,其中两套完成保护任务 ,一套完成运动和监控任务 ,即按三对一的原则配置。

(3)电流互感器 1TA 和 2TA 作为保护用 ,其分别送入两个保护单元箱的电量变换和 A/D 转换板中 ,电量变换和 A/D 转换板的电压 ,引自电压互感器 TV。

(4)断路器 QF 的辅助触点 ,送入保护单元箱的开关量输入板 ,而隔离开关的辅助接点 则送入远动监控单元箱的开关量输入板。

(5)保护单元操作箱和远动监控单元开关量输出板的信息将送至断路器 QF 的操作机构。

(6)各模拟量和开关量与 80C196 单片机的信息交换 经内部总线来实现。

(7)各 80C196 单片机与保护管理机和远动管理机 486 的信息交换 ,由 RS485 总线和 485 串行口来完成。

6.35kV 线路保护和监控系统配置

35kV 线路保护和远动监控系统配置图如图 3-4-11 所示。

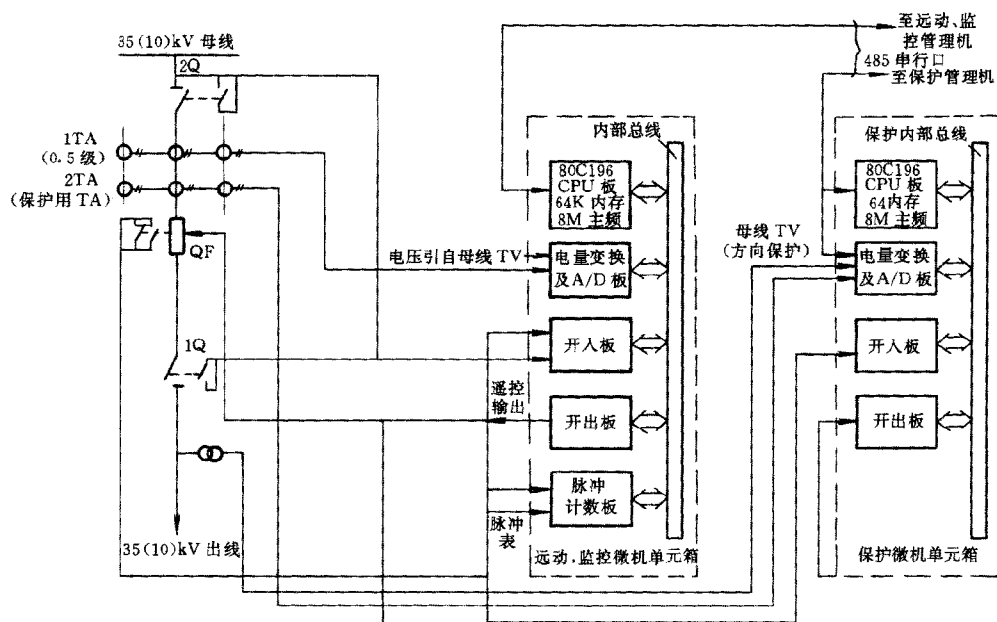


图 3-4-11 35kV 线路保护和远动监控系统配置图

35kV 线路通常设有定时限电流速断保护(可带方向),过电流保护,低压闭锁过电流保护等保护装置,以及三相一次重合闸装置。为完成保护和监控功能,采用二对一配置方案,有关信息的走向在前面已经介绍,这里不再重复。

7. 主变压器微机远动监控和保护系统

图 3-4-12 为 35/10kV 变电所主变微机远动监控和保护系统配置图。该图采用 4:1 原则配置。变压器的主保护采用一套保护单元,变压器的主保护为差动保护和差动速断保护。变压器的后备保护采用一套保护单元。高压侧监控采用一套单元,低压侧监控采用一套单元。每套单元的 CPU,开关量输入,输出板,A/D 转换板皆装于相应的保护和监控单元箱中。

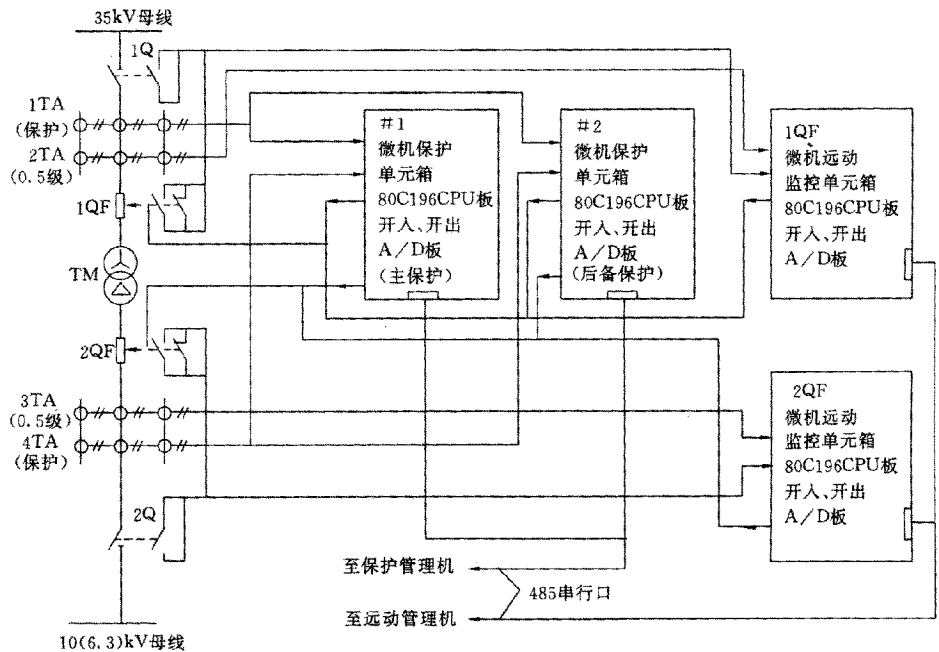


图 3-4-12 35/10kV 变电所主变压器微机远动监控和保护系统配置图

第五章 计算机辅助规划及规划中的合作

第一节 计算机辅助规划

一、计算机辅助规划的作用及过程

配电网络的设计需要大量有关的信息,如现有网络、设计目标、费用参数,以及各种可能的改造方案等。在某些情况下,为了优化网络结构,必须进行一些复杂的计算。使用计算机可以进行复杂的网络设计计算,其目的就是要改进整个设计过程的质量。

计算机辅助网络设计的一般任务是获得网络状态的量化信息,决定网络未来的最佳结构以及最优线路负载能力。计算机程序可以作为网络长期规划的有效工具,也可以用来研究网络中更复杂的问题,如网络的可靠性等。

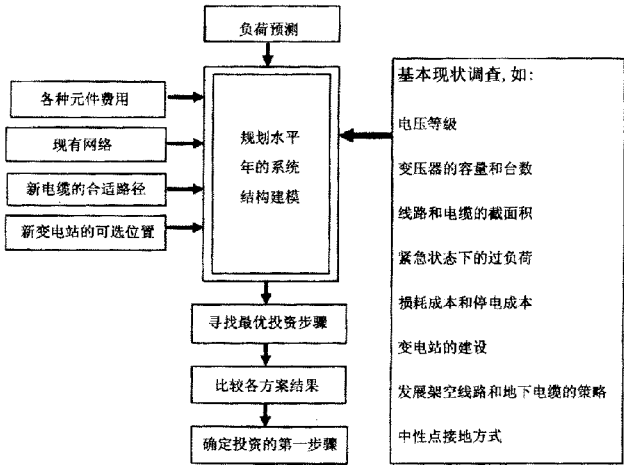


图 3-5-1 规划过程

在实际网络设计中,计算机是设计人员使用的工具。如图 3-5-1,必须预先确定许多决策方针,如电压等级和设备容量的选取等。同时必须清楚地定义所需要的各种数据的需求(如现有网络结构及其各种元件的参数)以及有关可行方案的表达方式。图中划双线的流程块为“规划水平年的系统结构建模”,它包括计算机的硬件和软件,以及规划人员的工作内容。

一般也用计算机进行图 3-5-1 右端列出的基本事项调查,但这些调查与建模研究是分开进行的。网络设计程序最好能与供电企业的其他功能有机地结合,因此,希望能形成一个通用的数据库,该数据库包括供电企业所需的绝大部分信息,并且保证可提供给供电企业的所有部门使用。

二、城市电网优化规划的 CNP 系统

城市电网优化规划的计算机辅助决策系统(CNP)可为城市电网优化规划提供便利、准确的数据。

(一) 负荷预测子系统

负荷预测子系统可为城网规划提供城市分类负荷、分类电量、总负荷、总电量、负荷密度和负荷曲线的预测。它采用分类综合指标等方法,进行先电量后负荷的预测,具有基础(历史)数据易于获得、能适应城市规划方案变化的优点。

电力负荷密度预测系统的组成示于图 3-5-2。

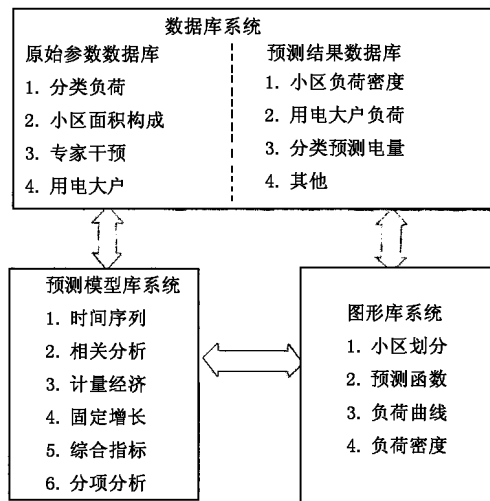


图 3-5-2 电力负荷密度预测系统的组成

2. 变电站站址和站容优化子系统

变电站站址和站容优化子系统,可在城市负荷分布不均匀和没有待选站址的前提

下 通过大范围搜索 找出满足负荷需求和供电可靠的最优站址、站容及其供电范围。在目标年(水平年)规划优化的目标函数中 ,除计及变电站投资和年运行费外 ,还近似计及了配电网的投资和网损。为解决这一复杂的优化问题 ,把子系统分解成组合和定点问题 ,分别采用试探组合优化技术和平面多中位选址技术实现问题的求解。

3. 供电网规划优化子系统

供电网规划优化子系统是采用离散时间非线性动态整数规划模型进行多阶段网络规划的。它以可行的路径上增加供电线路的阻抗为控制变量 ,以系统中各线路的阻抗为状态变量 ,将规划期内各规划年的网络扩展问题表示为一个离散时间的确定型最优控制问题。目标函数取为整个规划期内总的城网投资和年运行费用贴现值之和。使用这个模型可以求得在整个规划期上最优的网络扩展方案。

(二)电力系统负荷预测软件包

1. 软件包结构与功能

该软件包(以下简称软件)为国内开发 ,其整体结构如图 3 - 5 - 3 所示。

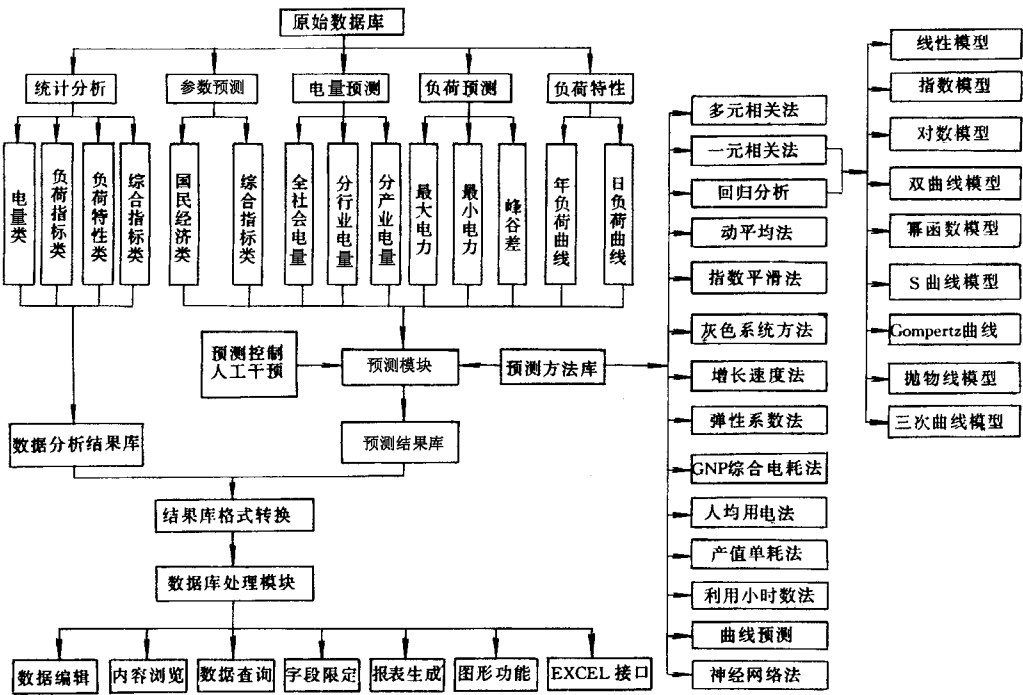


图 3 - 5 - 3 负荷预测软件整体结构图

由图 3 - 5 - 3 可见 ,以原始数据统计分析为基础 ,软件可以完成以下预测功能 :

- (1) 国民经济发展预测 CNP 及产业、产值、人口。
- (2) 综合指标预测 : 电力弹性系数、产值单耗、人均用电量、人均生活用电量、年最大

负荷利用小时数。

(3) 电量预测 :全社会电量、八大行业电量、三产业电量、各小行业电量。

(4) 电力预测 最大电力、最小电力、年代表峰谷差、年代表负荷率、年代表最小负荷率等。

(5) 年负荷曲线预测。

(6) 典型日负荷特性预测 ,各月典型工作日、休息日、典型节假日(元旦、春节)的日负荷曲线。

2. 负荷曲线的预测

将负荷曲线的预测过程分解为两步 :第一步 ,基于用电结构分析进行特征参数预测。第二步 ,以特征参数为依据 ,预测负荷曲线。在建立数学模型时 ,引进了灰色系统的基本思想 ,首先对原始数据作和差数处理 ,弱化原始数据的随机性 ,并为建模提供中间信息。针对预测数学模型的特点 ,提出了简捷有效的处理方法 ,最后对求解结果作逆生成处理 ,从而实现负荷曲线的预测。

3. 灰色系统预测的参数估计与不良数据辨识

该软件讨论了空穴数据作出更好的拟合。在灰色系统中 ,通过直观判断或检验级比等手段简单识别异常值 ,通过局部生成替代再建模型 ,有效地改善了灰色建模的精度 ,并对异常值提出可靠的估计。

4. 预测方法库的使用

预测人员既然可以进行方法选择、年份控制、区向控制、相关元控制 ,也可在各种方法得到预测结果后再进行分析比较 ,并从国家能源政策、产业结构调整方面考虑 ,进行取舍和综合 ,得到最终预测效果。

5. 在评价需求侧管理措施时的应用

对于某一电力系统 ,首先应用电量预测功能分析未来该地区的工业、商业、居民等各类别用户用电量的发展趋势 ,相应应用电力预测功能及负荷特性预测功能分析未来各类别用户时序的用电特性 ,并对某种具体需求侧管理措施的节能潜力作出预计。应用上述结果 ,可以评价某种需求侧管理措施对未来负荷曲线的削峰填谷效果 ,并进一步分析该需求侧管理措施对系统的经济性、可靠性指标的改善程序。对各种需求侧管理措施作上述分析 ,可以作为对这些措施筛选的依据。

第二节 供配电工程规划作中的合作

可靠的电力供应是保证现代生活方式的先决条件。配电网络需要大量的投资 ,并在提供电力方面起着重要的作用。建设或改造配电网络时 ,总会遇到很多问题 ,还会涉及到各种机构。例如在新住宅区的建设阶段 ,必须进行配电网络的规划 ,以使配电网络

能够扩展到新住宅区。居住区和工业区向农村扩展,就有可能需要敷设地下电缆,某条小路的变动,可能需要重新布置电杆和杆上设备;而主要道路如机动车道的建设,必然会涉及到将相当多的线路改道或转入地下的工作,尤其会涉及到中压和低压线路,而且偶尔也会涉及到高压线路。

虽然电力供应与社区的生活方式密切相关,但供电企业通常与涉及城市或农村的规划机构联系得不够紧密。无论是国有的、市属的还是私营的供电企业,均会出现这种情况。既然电力工程师一般具有专家的水准,那么最重要的是工程师们要与企业外各种机构建立联系,因为扩建或改造电力系统的决策与这些机构的工作有关。与这些机构建立良好的关系,并得到它们的协作,无论是对现有系统还是对各种规划的项目都是非常重要的。

一、与政府机构的合作

每个国家都由各种官方机构来进行各种预测和制订内容广泛的发展规划,包括居住人口数、人口的流动状况、各类工业的雇员数、各类工业的产值,以及对公共和个人交通、学校、医院和娱乐设施等的需求。这些问题的研究对制订公共投资的长期规划方案,以及方案的具体操作和资金筹措都是非常重要的。这些官方机构有许多级别和不同的组织方式。供电规划也有类似的级别,这些级别在组织模式方面有很大的差别。为简便起见,这里只介绍三个规划级别。

国家级的各种预测和计划方案都有助于供电企业制定发电和输电规划。通过研究这些预测与计划,各个供电企业可获得某些国家关于关键性的发展趋势信息,例如工业的增长、消费的支出以及各种燃料的相对价格等。然而,这些必要的国家级预测范围太广,通常很难评估它对当地未来的影响,并据此为配电网络的设计方针提供指导性的意见。

供电企业更经常使用地方或省一级规划方案的数据。这些数据可为供电企业确定发电计划、高压系统规划和制订电费方案提供帮助。如果这些规划方案中包括新的、大的、具有自备发电设备的工业发展计划,则可能会影响到为大宗购电用户提供备用电源的决策。为了对网络的检修和维护工作以及系统的运行进行优化,对分布在供电企业供电区域内的各种发展前景进行的预测,可能会影响供电企业在当地的分支机构的长期计划方案。根据这些预测将决定是否有必要开始为电厂、主要变电站和高压线路的用地需求进行谈判。

市级前景规划的时间要短得多,但是为了适应已经立项的项目的需要,通常能以相当精确的程度修改中压系统。当处理小区域的发展规划时,如各个村庄的规划,主要考虑的是适当扩建当地的中压/低压网络。在这一级通常需要市政部门和供电企业之间经常进行协商对话,以便保证能及时提供变电站的站址和线路走廊,从而保证供电企业在适当的时间和地点向用户提供所需的电力。这些规划通常包括对规划区域内各种发

展前景的预测,从而可为未来的负荷水平提供基本数据。

市政规划通常包括详细的地图、逐渐积累的数据库,以表明街道、各幢建筑、娱乐场所等的具体位置。有时还包括其他各种信息,如各个企业的设备所在地、设备在地上或地下等,但实际情况往往变化很大。而且,为了满足各方面的需求,也需要协调各方面的信息,这将在下节中进一步讨论。

供电企业与三个官方规划层次保持良好的联系非常重要,同时也应与各个私人企业和承包商保持良好的联系,以便定时更新有关配电系统未来发展必要的背景信息。实践中,定期召开会议是非常有益的作法,各方可以相互了解其他部门的问题。如此建立的良好关系是无价的,可保证供电企业在需要时为某一区域提供最经济的电力,而无论该区域是位于大都市的中心还是在农村的小社区。所有的规划层次有必要经常在一起工作,并拟定正式的协议。但前面所提及的非正式接触可以减轻市政部门、私营企业、开发公司,甚至供电企业本身的工作负担。以上所述的各规划层次和它们之间的相互关系如图 3-5-4 所示。

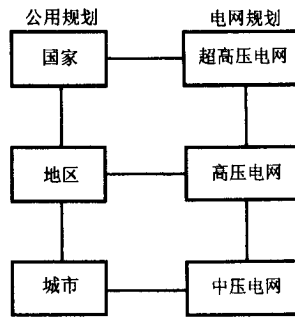


图 3-5-4 各规划层次和它们之间的相互关系

二、与其他组织的合作

为了社区高质量的生活,必须提供一系列的公共服务,如自来水、下水道、天然气、蒸汽或热水、电话和电力。前四种公共服务设施不可避免地要位于地下。而在房屋密集区,由于环境的要求,所有公共服务设施均需要位于地下。假如每幢建筑的全部或大部分公共服务设施需要接入地下管道,那么大多数道路和人行道的下面就有许多不同的公共服务设施,特别是主要服务设施与当地服务设施均通过的地方。

在房屋密集区,尤其是在城市中心区,无论以什么理由,无论在什么地点进行挖掘,都会给大量的服务设施带来各种潜在的问题。这需要各个服务企业之间通力合作,在维护自己的设备时做好协调工作,以避免毁坏其他行业的服务设施。一些城市建有大型的隧道,这样在检修和维护时可以较容易地查找到各种管道和电缆。

目前已建立了各种机制来做好协调工作,公共服务机构可以利用这些机制交换地下管线的敷设信息。美国的‘一次呼叫’系统正是为了这个目的,该系统给大家提供一

个电话号码,当需要进行挖掘时,承包商、当地政府、开发商和公众可以通过打电话,从有关的企业获得建议、信息和帮助。现在许多国家都采用这样的方法。

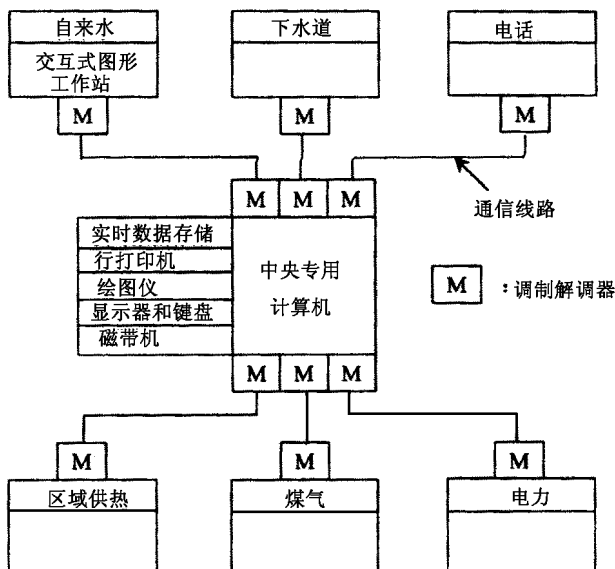


图 3-5-5 公共服务企业间的合作
(计算机与数据库的互联)

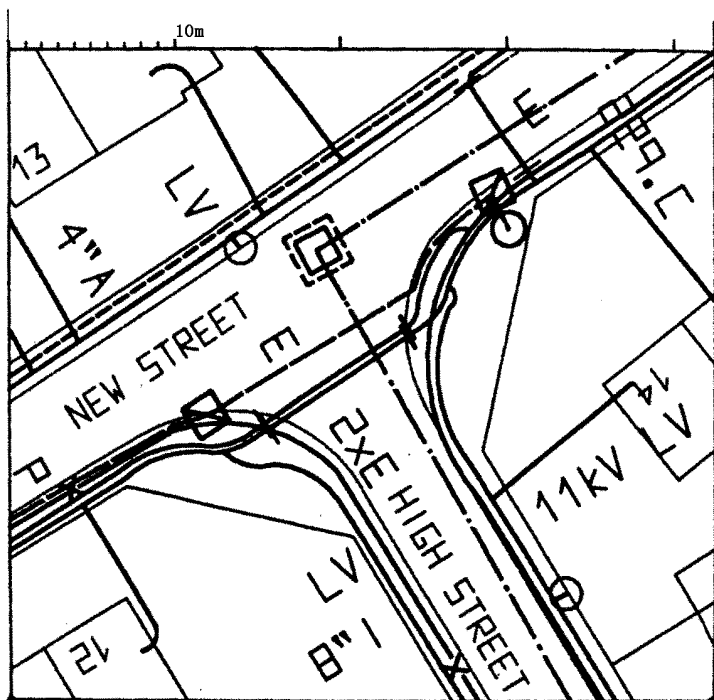


图 3-5-6 数字化地图信息示例(国家联合企业集团提供)

在国家地图已经实现数字化的地方,为公共服务企业把数据输入公共数据库提供了一个起点。把六种企业联在一个中心数据库的互联方法如图 3-5-5 所示。可以用不同比例尺的地图来表示这些公共服务企业的任何组合。对于某一工作区域,为了避免干扰或损坏该地区的其他服务设施,可以在 A4 大小的图纸上形成大比例尺的地图,以供在该区域进行挖掘的工人使用。从这种地图抽取的部分地图如图 3-5-6 所示。

相邻供电企业之间的合作,可以保证馈线的经济接线方式和各供电企业的网络在边界区域的互联,从而达到供电企业间的互利。此外,在故障条件下,按照约定的跨界电费价格,从相邻供电企业接受备用供电的方式会比加强供电企业本身网络的末端会更经济。联合使用高压/中压变压器和特殊的检修设备或车辆等,可以避免闲置设备占用资金。联合使用训练中心致性,从而使这些政策易于被其他机构所接受。使用公共研究中心、设备测试中心,以及工作组的形式来解决同一问题,可以避免重复工作,并能进一步减少费用。有的供电企业偶尔使用共同的控制中心也能带来一些好处。

较小的供电企业也许会发现,涉及高压的问题时,有必要利用大电力集团在网络规划、设计、施工和检修方面的技术力量和资源。这些供电企业与天然气、石油和当地供暖企业的合作,就有可能在区域内达成某个或某些供电企业比其他供电企业有较高优先级的协议,以避免重复建设一些配电网络所造成的浪费。

资金是企业稳定的一个重要因素,与银行和金融机构的良好关系可以奠定良好的融资基础。在资金投放量异常大的期间,如果可能,最好延迟还贷的日期,直到获得收益为止。通常可由银行处理一些收费工作,这样可减少供电企业职员的部分工作量。

最后,表 3-5-1 简要总结了各种群体对供电企业的贡献和要求。

表 3-5-1 各种群体对于一个供电企业的贡献和要求

群体名称	贡 献	要 求
所有者	拥有资金,商业成功的基础	连续地返回资金,对社会的影响,良好的企业形象
用 户	购买电量,支付服务费用,评价和接受供电	合理的价格,高质量的供电,高水平的服务
社 会	法律保护,组织的稳定性	稳定的电力供应,税收,环境危险程度低,安全,就业
金融家	企业外的资金	利率,投资的安全
管理者	管理技能	工资,职位,管理权限的自由
职 员	工作能力(包括技能、技术、知识),合作	工资,职位,安全,雇用的连续性,工作条件
制造商和承包商	提供满意的设备和服务,良好的合作	交换信息
其他供电企业	合作,专家知识,开发工作,咨询和信息交换	资源,开发项目中的共同利益,信誉,交换信息
试验机构和研究中心	质量控制,研究成果	提供资料,资金援助
大学和其他学校	教育和发表研究成果	训练人员,资金援助,交换信息

三、与环境协调的问题

很早以前,配电企业就试图减少系统发展时架空线路和变电站对周围环境的影响,曾采用了各种方法来改善观瞻,如通过缩小架空线路支撑物的尺寸等。其中较有前途的方法是使用环氧树脂横担和有绝缘层的导体。一般而言,中压和低压架空线路的外形和线路尺寸比高压线的要小得多,因此对农村地区的环境不会有太大的影响。

在农村地区,根据地形条件,灵活地选择路径,可降低线路对观感的影响。在图 3-5-7a 中,架空线路架设在山脊上很难看,而在图 3-5-7b 中,充分利用山谷来尽可能地隐藏线路。在图 3-5-7c 中,将电杆尽可能地隐藏在树林中,线路和道路垂直交叉可使线路露出的长度最小。通常,采用一些简单而便宜的方式就能使观感得到相当大的改进。

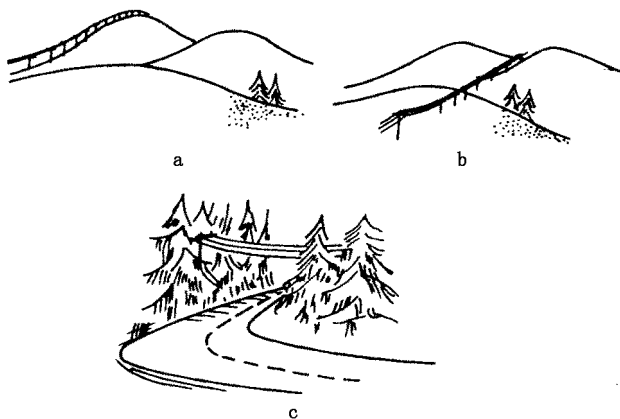


图 3-5-7 电力线的位置

由于官方的决策,企业有时必须面对费用大量增加的现实,例如国家或地方各级政府越来越倾向于将当地建成国家公园或环境优美的自然保护区,因此导致对架空线路走廊的进一步限制。某国供电企业被限制的这种趋势可以从图 3-5-8 看出,图中表示出了国家或地方当局法规保护下的土地范围,其中包括大城市和自然保护区周围的绿化带。

在被限制的地区,有时规划部门批准架设供电线路的方式只有一种,即进行地下敷设,即使是高压线路也必须如此,尽管这样会显著增加费用。在已经有中压和低压架空线路的区域内,如果规划部门要求新的高压线路必须在地下,有可能达成这样一种协议:为了给新高压线路腾出合适的走廊,让中压和低压线路均下地,这样比高压线路下地便宜得多。

出于经济原因,即使在房屋密集区,中压/低压配电所也尽可能采用户外型的箱式变电站。土地使用费越高,就越要开发体积较小的箱式变电站。加上市政规划部门的

压力,就使得房屋密集区的配电所必须安装在用合适材料制成的预制箱体内,以与环境相适应。这样做的优点之一是设备在箱内,不受气候条件或故意破坏的影响。为避免变压器油泄漏到配电所处造成环境污染,必须采取适当的安装方式。有时为了减少费用,可利用废弃的建筑来设配电所,如教堂或仓库等。也可采用植树或半埋来隐蔽一些大型的户外配电所。

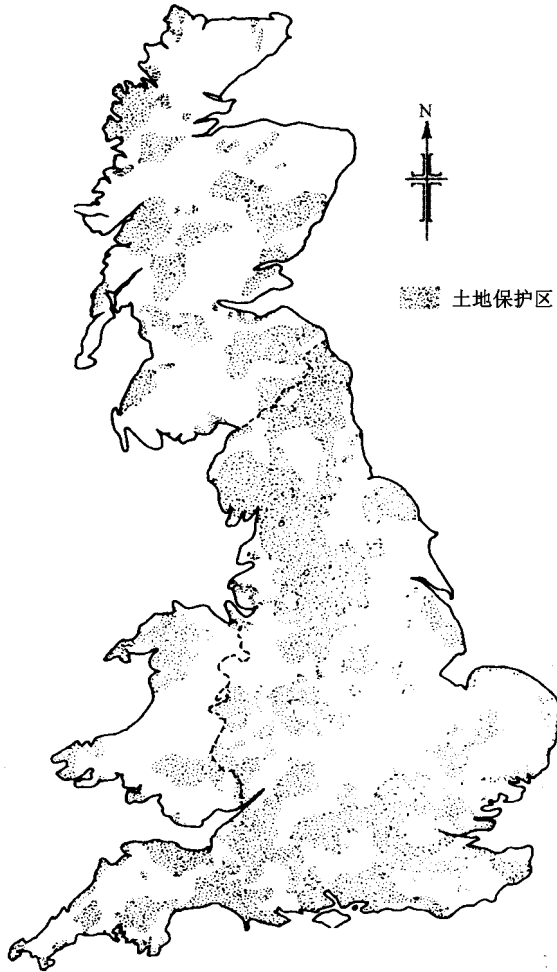


图 3-5-8 某国的土地保护区

变压器通过 50 ~ 60Hz 的电流时,铁心中的磁动势会引起机械振动,使变压器发出 100Hz 或 120Hz 的噪声。大多数情形下这种小噪声不会引起什么问题,然而有时在安静的居民区及农村,特别是安装在地下,可能会引起周围居民的抱怨。解决这种问题的方法有时是改为小噪声的变压器,或安装振动阻尼器。在现场植树能减少一点噪声,但对于大型变压器,可能要采用砖墙或混凝土墙才能挡住噪声。当高压/中压变压器距离房屋太近时,无疑需要在变压器箱体周围装设降低噪声的围墙。围墙的尺寸、围墙与变压

器箱体的距离以及围墙内层与外层之间的距离,对有效降低噪声都很关键。噪声还可能通过大地传输,这与当地的地质条件有关。

关于 50 ~ 60Hz 的电磁场对健康可能造成的影响,已经有相当多的讨论与研究。由于配电系统的电压水平较低,因此中压网络的电场较弱。由于三相系统一般能够平衡三相导体的磁场,因此中压网络的磁场也较弱。此外,线路和人员之间的正常安全净距能够削弱电磁场对人员的影响,因而能减少危险。虽然危险的机率似乎很低,但仍然建议防止连续承受超过 $0.25 \sim 1\mu\text{T}$ 的电磁场。在公共配电网中,与该问题最密切相关的是地下配电所的低压母线。通常从最近的居住房屋到变压器低压端之间有 4m 的距离就可以了。缩短母线或用电缆代替母线也是降低磁场的替代办法。

几乎在所有电压等级中,都有许多被房屋、工业的发展以及过去架设的线路包围的需要检修的线路。检修导线和杆塔时,如何靠近它们就成了很大的问题。类似的问题是,也必须预先考虑如何进入变电站而不会受当地居民的妨碍,例如当地居民停放的汽车可能会妨碍进入变电站。在市区,通过使用气体绝缘开关,大大减少了变电站所占的空间。

所有这些环境协调问题均给企业增加了大量的额外支出。如果是政府、县或市政当局的强制要求,则可能给予补偿。但是,如果为了当地的工业和房地产开发,而需要中压线路入地时,通常开发公司则必须支付所有或部分的有关费用。

四、制造商与咨询顾问的作用

对于设备,配电企业通常有自己的标准、规范及制造要求,可能等于或严于国家或国际规范。为了生产出合适的设备,重要的是制造商应充分了解供电企业在规划、设计和运行方面的实际要求,与他们坦诚地讨论并争取他们允许在电网中安装新设备的样机,以促进自己的发展。当决定设计标准或工程推荐标准时,供电企业必须牢记,要利用有众多制造商的机会,来获得有竞争力的价格和连续供应未来设备的承诺。

制造商自然也会对他们自身的产品和系统提供建议。独立的咨询顾问的建议,一般对建立新系统、采用新方法或引进国外新技术都是非常有用的,供电企业的人员也许不熟悉这些新方法。在任何供电企业的起步阶段,利用咨询顾问来获得各方面的一般建议是常用的作法。在发达国家,小型供电企业在引进新的 SF_6 开关设备或购买远动系统时倾向于听取咨询顾问的意见。同理,大型供电企业可能会在某一段时间内接受咨询公司的服务。这样就能够解决短时间内规划和设计人员遇到的工作量极大的问题。此外,对系统整体发展的意见,外部咨询顾问可能会给供电企业将要讨论的问题带来新的观点,并指出其现有规划实践中的错误。

五、大学和研究中心的作用

许多国家为了讨论有关的问题而邀请大学人员出席“头脑风暴”会议的惯用作法,对企业有一定的帮助。当前,除了基础科研,大学通常有能力以合同方式为企业完成一

些研究项目。这些项目包括网络自动化的新设想、开发适用于网络规划和设计的 CAD 软件包,以及设计电动机或逆变器/整流器安装的分析模型。较大型项目通常由国家基金联合投资,有些情况是政府行为。适用于工程师的研究生课程或职业培训课程可提高工程师的教育水平,或提高他们的技术技能水平。企业人员的参与扩展了他们自身的能力,也为大学的教师的学生提供了现有配电网络的实际工程经验及所面临问题的一些信息。

与研究中心及商业咨询机构不同,大学没有固定的工作人员来完成政府资助的合同。然而,这些承担合同的大学与企业有良好的关系,可以为承担研究项目的研究小组提供人员。也能提供和安排合理的课程,大学毕业生通过合作也可在企业找到合适的工作。

一些研究中心有独立的工作人员和专业设备,从而可以对企业打算购买的设备进行测试。除了按通用验收标准测试外,他们还能进行用户指定的试验,并获得测试设备特殊性能的信息。在开放的市场条件下,对供电企业试图延长其设备的有效寿命来说,这一点显得越来越重要。