

ABSTRACT

Nowadays, the insufficiency of power supply is becoming the key factor to restrict national economy development. There is a growing extensive attention on how to instruct power investment with ideas of sustainable development, and how to arrange the plan, reconstruction, evaluation of power network. Based on the thoughts of power grid and energy efficiency improving, this paper completes the followed work:

1. To solve the problem of power capacity shortage for regional load rise with the development of social economy, how to propose a reasonable scheme of distribution expansion planning and reconstruction is very crucial to the entire social benefits. As regional load rise, a novel method with the concept of insufficient capacity analysis, capacity-increase benefits and capacity-increase benefits ratio is presented to find the best investment scheme of disconnect switches and tie switches. The method which is feasible in economy and technology also enhances the power network reliability. According to a practical example, the method presented in this paper is proved helpful and feasible in distribution expansion planning and reconstruction.

2. This paper presented the guidance to power network plan and reconstruction with DSM technology, which altered the traditional idea to satisfy the increasing energy need with increasing energy supply purely, and construct a concept of demand side save as a replaceable recourse of supply side. With DSM, a better social benefits and a more economy mode could be reached for the purpose of energy service.

3. To improve the insufficiency of power supply capability evaluation and decision-making ability for distribution reconstruction, a practical distribution comprehensive evaluation system is developed. Based on Three-Tier architecture, the designing idea and concept of the system is also presented. Combined with the theory of B/S, the system is researched deeply and is applied in a real engineering project using ASP program language and large-scale commercial database Oracle. By means of inner data analysis in power utility, the system can carry out guidance significance. The practical case shows that this software is an effective and feasible tool for solving distribution extending planning and reconstruction problems.

KEY WORDS: Distribution planning and reconstruction; insufficient capacity analysis; Capacity-increase benefits; DSM; Three-Tier architecture; Distribution comprehensive evaluate

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得天津大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：张栋 签字日期：2006年1月13日

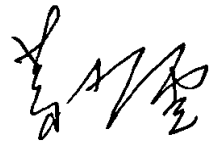
学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(保密的学位论文在解密后适用本授权说明)

学位论文作者签名：张栋

导师签名：



签字日期：2006年1月13日

签字日期：2006年1月13日

第一章 绪论

1.1 课题研究背景及意义

目前,国家在电网建设和改造上的投入数以千亿,其目的是改造电网薄弱环节、强壮电网结构,满足社会对电力的需求,为保障国民经济持续、快速、健康的发展提供强大的能源支持。然而目前我国各地相继出现了不同程度的电荒、油荒、煤荒等等,能源短缺成了全国关注的焦点。这其中电力短缺问题最为严峻,特别是2005年夏天的持续高温使得各地空调用电再创新高,很多城市出现了拉闸限电。

能源紧缺已成困扰中国经济的重大问题。据统计,2004年全国产煤20亿吨,但煤炭供应还是持续紧张;2005年电力紧张得到缓解,但最大供电缺口还有2500万千瓦。石油消耗去年达到近3亿吨,其中自产1.7亿吨,进口1.2亿吨。迅速扩大的能源消耗让经济发展倍感掣肘。

与此同时能源浪费却十分严重,以100美元产品计算,中国企业能耗是一些欧美国家两到三倍,有些甚至是日本的近二十倍,单靠开源无法满足粗放经济模式对能源的需求,节能就成为一个战略性问题。

在电力企业对电网进行评估和扩展规划过程中,发现电力需求增长大于供给容量和装机容量的增长,首先想到的是新的电源建设,应对电荒的主要思路就是新建电厂、变电站、输配电网,提高电力供给水平。在这一思路指导下,2003年中国进入电源建设市场的资金已超过2000亿元,接近2001年和2002年的投资总和。2005年全国发电装机容量已突破5亿千瓦左右,根据规划预测,2010年,装机容量达到接近6.5亿千瓦,要达到这一水平,今后几年投入的资金至少不能低于去年。

虽然新建电厂对缓解电荒是必要的,但由于电力建设涉及到土地、安全、环保、技术、资源等众多方面,一哄而上的结果又会对社会经济产生不良影响。首先,有限的资源得不到合理利用,会在无序竞争中被白白浪费,加剧我国资源短缺局面;其次,电力建设过热会刺激钢铁、制造等行业的进一步升温,埋下经济过热的隐患;第三,集中开工带来的必然是集中投产,会在未来几年内形成新的

电力过剩状况。电力市场的大起大落，最终会损害所有市场主体的利益。特别是当用地紧张、电力走廊紧缺时，通过增加新电源、架设新线路来解决电力需求的方法变得不切合实际。怎样确定在技术和经济上合理的建设改造方案，对于电力企业来说是尤为重要的。

同时，对电力行业而言，怎样恰如其分地对电网进行评估，做出合理的近期改造方案与远景规划方案，不仅对电力企业，而且对整个社会发展都是极为重要的。因此本文针对配电网扩展规划和改造中的一些实际问题进行了研究和论述，比如配电网开关设置研究、利用 DSM 技术进行负荷管理和能效管理、配电网综合系统开发等等。

1.2 本课题的主要研究内容

电力市场化改革和“需求侧管理”思想^[1]的兴起，使得越来越多的电力企业开始注重全社会的最大收益。本文尝试从提高能源合理利用率、社会效益最大化的角度，对电网建设改造进行分析，提出建设性方案，深入研究解决如下问题：

1、目前电网规划与改造过程中的分段开关设置通常是按照可靠性投资与效益理论进行的^[2]。另一方面，目前对于联络开关的研究大多以提高网络可靠性或者网络重构后的网损最小为目标^{[3][4]}，而对增加联络开关带来的线路利用效率提高这方面的研究还鲜有报道。作为电网扩展规划与改造的一个重要课题，这方面的研究有着重大的科研意义和工程实践意义。

本文用缺电损失分析、增容效益和增容效益率来评价整体投资效益，给出了电网扩展规划与改造中的开关设置投资方案。

2、本文还论述了 DSM 理论对配电网规划与改造的指导作用，从根本上改变了单纯依靠增加能源供应来满足能源需求增长的传统思维模式，建立了把需求侧节约的能源作为供应侧一种可替代资源的新概念，使资源配置拓展到更广阔的领域，能够以最经济的方式和最好的社会效益达到同样能源服务的目的。

3、为了更好地了解供电企业电网运行水平，深入认识电网能够达到的供电能力、当前存在的问题，对未来电网规划和改造提供强有力的决策依据，电力企业需要定期对电网进行评估工作。目前在城市配电网评估方面的软件研究较少，且仅限于电网供电能力的评估^[5]，同时存在着诸如模块分散、数据冗余等问题。

针对这些问题，本文介绍了一套基于 Client—Servlet—DBMS 3 层体系结构的配电网综合评估系统，利用该系统可以结合电力企业内部各方面数据，快速、方便、直观的对配电网进行分析和综合评估，使供电企业内不同层次的用户都能够对配电网整体状况有更为清晰的认识，评估结果对电网建设改造具有实际的指导作用。

第二章 配电网规划与改造

2. 1 配电网规划的意义、目前存在问题与规划目标

2. 1. 1 配电网规划的重要意义

配电网通常是指从输电网接受电能，再分配给各用户的电网。配电网与输电网原则上是按照其发展阶段的功能来划分，而具体到一个电力系统中，则是按照其电压等级而确定的。根据部颁《城市电力网规划设计导则》的规定：送（输）电电压为 220kV 及以上；配电网电压等级分为高压配电电压（35、63、110kV）、中压配电电压（10、20kV）、低压配电电压（380/220 V）三类。有的大城市由于负荷和电网发展都很迅速，220kV 也归为配电网电压等级。

配网规划是国民经济和社会发展的重要组成部分，同时也是电力企业自身长远发展规划的重要基础之一。其目标就是能够使电网适应、满足并适度超前于经济发展需求，并能发挥其对于电网建设、运行和供电保障的先导和决定作用。其任务是研究城市负荷增长的规律，改造和加强现有配电网结构，逐步解决薄弱环节，扩大供电能力，实现设施标准化，提高供电质量和安全可靠，建立技术经济合理的配网。

在配网规划中，既要处理好电网近期发展与长远目标供电网络的关系，又要特别重视相对于无限增长需求与有限城市资源的关系。这是由于，首先我国许多城市的发展，正处于一个逐步实现小康社会或者向国际性都市迈进的发展初期的历史阶段，电力需求从规模、数量和电能质量、可靠性等要求上，还有很大的增长需求空间；其二城市能够提供的电力建设资源，包括站址、走廊、电缆通道等都是有限的。因此研究和制订城市配网规划的整体和长期发展目标以及制定目标网架，并在电网建设和改造中，始终围绕目标网架进行，就能最大限度地满足用电需求增长和电网自身发展的需要，从某种程度上也是最大的优化^[33]。

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，普遍出现配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的趋势。近年来，全国几乎所有大中城市夏季负荷高峰年年增长，电网严重过负荷，使最薄弱且改造难度最大的配网面临极大压力。

2. 1. 2 我国配网发展中存在的问题

1、高压配电网网架脆弱且中低压配网容量不足

滞后的配网建设不应用电负荷增上迅猛的要求。配网建设近年来虽然有了很大发展，仍然存在不少问题，如有的大城市高压配电网网架脆弱、电源可靠性不够，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。中低压配电网能力不足，变电站布点不够或不合理，变电容载比偏低。配电网主干线线路过长，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闸限电措施。

2、供电可靠性不高

配电网环网率低，或由于线路输送容量不足，不能满足完全互供的要求。线路分段不够，容易造成大范围停电。设备陈旧、老化，小截面架空裸线、高耗能或薄绝缘变压器、老式柱上油开关还大量存在。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。

3、线损率高

全国范围内还有很多高耗能变压器在运行，城市配网改造建设改造标准偏低，导线细，与城市负荷密度快速增长不适应。许多配网无功补偿仍然不足，调节手段落后，同时感性无功补偿装置也配置不足。

4、城建规划考虑城网规划发展不够，市区电力走廊紧张，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，相互制约，市区电力走廊紧张，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困难。

2. 1. 3 配网规划的目标要求

配网规划的重点，是研究和制订配网的整体和长远发展目标。规划编制应从

调查研究现状网入手,分析市场经济条件下的负荷增长规律,解决电网的薄弱环节,优化电网结构,提高电网的供电能力和适应性;做到近期与远期相衔接、新建和改造相结合以及实现电网接线规范化和设施标准化;在电网运行安全可靠和保证电能质量的前提下,达到电网发展、技术先进、装备优良和经济合理的目标。城市配网规划除网架的规划外,还应该包括提高配电网自动化、信息化水平。

配网规划的目的是力求在规划期末使配电网达到一个比较理想的结构,一个理想的网络结构应该满足以下基本要求^[6]:

- 1) 从输电网接受电能,并逐级分配或就地消费,即将高压电能降低至方便运行又适合用户需要的各种电压,组成多层次的配电网,向各电压等级的用户提供充足、优质、可靠、廉价的电力。
- 2) 高压配网网架容量充裕,在各种运行方式下都能满足将电力安全经济地输送到用户,并有适当的裕度。在电力网络上既没有薄弱环节,造成电源容量不能充分利用的现象,也不存在设备能力闲置、积压资金的现象。
- 3) 不同电压等级的配电网之间通过变压器连接成一个整体配电系统。当系统中任何一个元件因检修或故障停运时,其所供负荷既可由同级电网中的其他元件,也可由上一级或下一级电网供电。
- 4) 保证用户供电的可靠性。对于供电中断将会造成国民经济或人民的生命财产重大损失的一级负荷及重要供电地区,必须设置两个及以上彼此独立的供电电源;对于无重要用户的三级负荷及地区,规划中一般不考虑备用电源;介于上两者之间的二级负荷及地区,是否设置备用电源,应视系统情况权衡停电损失及装备用电源增加的供电费用后确定。
- 5) 系统运行的灵活性。配网结构应能适合各种可能的运行方式,包括正常及事故情况下、高峰及低谷负荷时的运行方式。
- 6) 系统运行的经济性。要求线路损耗小,投资及运行费用低。
- 7) 便于运行,变动运行方式或检修时操作简便、安全,对通讯线路影响小等等。
- 8) 配网自动化和信息化程度不断提高。为了便于多层次的配电网的安全运行和调度,必须配有必要的继电保护和自动控制设备,以及调度自动化软件系统。

综上,确定一个较理想的配网结构方案是涉及多方面因素的复杂问题,应在考虑各种因素下列出若干可行方案,经过充分的系统分析及比较后选定。

2. 2 配电系统可靠性评估

2003年以后,国际上先后出现了北美、伦敦、北欧、意大利等规模不等的大面积停电事故,大面积停电对于城市现代社会带来的影响是灾难性的,由此可见提高系统可靠性是尤为重要的。

可靠性^[9]是对电力系统按可接受的质量标准和所需数量不间断地向电力用户供应电力和电能能力的度量。电力系统可靠性包括充裕度和安全性两个方面。

充裕度(adequacy)是指电力系统维持连续供给用户总的电力需求和总的电能的能力,同时考虑系统元件的计划停运及合理的期望非计划停运。充裕度又称静态可靠性,也就是在静态条件下,电力系统满足用户对电力和电能的能力。

安全性(security)是指电力系统承受突然发生的扰动,例如突然短路或未预料的短路或丢失系统元件现象的能力。安全性也称动态可靠性,即在动态条件下电力系统经受住突然扰动,并不间断地向用户提供电力和电能的能力。

2. 2. 1 可靠性评估概述

在电力系统的规划、设计、运行的全过程中,坚持系统全面的可靠性定量评估制度,是提高电力系统效能的有效方法。在可靠性评估中,除了对可能出现的故障进行故障分析,采取相应措施,以减少故障造成的影响外,还可对可靠性投资和相应带来的经济效益进行综合分析,以确定合理的可靠性水平,并使电力系统的综合效益达到最佳。为了实现电力系统的可靠性评估,首先要确定可靠性目标,然后应用评估手段,依据可靠性准则确定故障准则并对故障严重性做出估计。

1、目标和任务

评估电力系统可靠性要贯穿于规划、设计和运行各阶段中。为保证电力系统可靠性达到期望的水平,在各阶段都必须实现以下目标:保证电力系统的充裕度;保证电力系统的安全性,采取措施使系统能经受住可能的偶发事件而不必削减负荷或停电,并避免对系统和元件造成严重损坏;保持电力系统的完整性,限制故障扩大,减小大范围停电;保证停电后系统迅速恢复运行。

2、可靠性准则

为在电力系统中达到所需可靠性水平应满足的条件,可靠性评估应以相应的

可靠性准则为基础。可靠性准则分为以下两类：

(1) 概率性指标或变量的准则 规定满足可靠性目标的数值参数，或者不可靠度的上界，例如供电可靠率为 0.999，相应的不可用率为 0.001，即一年中允许停电的上限为 8.76h。这些准则的应用形成了概率可靠性评估的基础。

(2) 确定性行为或性能试验准则 规定电力系统应能承受的发电系统或输电系统计划和计划停运组合的条件。每种故障组合的定义应包括扰动本身以及扰动前的系统运行状况。例如目前中国及许多国家在电力系统中采用的 N-1 准则，就是考虑在 N 个元件（发电机、变压器、线路等）的系统中失去一个元件后，系统必须正常供电。不允许因故障而导致削减用户的电力和电能量的供应。N-1 准则，概念清晰，可操作性好，应用很广。

2. 2. 2 配电系统可靠性评估

可靠性是与供电质量有关的一项基本指标。随着社会发展和人民生活质量的不断提高，迫切要求对城市电网进行合理改造，配电系统可靠性评估就越来越引起人们的重视。目前，配网可靠性评估已经成为配网规划决策中的一项重要工作。

配电系统可靠性（distribution system reliability）是指供电点到用户，包括变电所、高低压线路及接户线在内的整个配电系统及设备按可接受标准及期望数量满足电力及能量需求能力的度量。配电系统可靠性主要评估充裕度，它通过可靠性指标来体现。

1、评估原理

评估原理是指在给定的可靠性准则的条件下定量地评估配电系统可靠性的模型和方法，比较典型的有故障模式影响分析法和可靠度预测分析法。

(1) 故障模式影响分析法

根据选定的可靠性准则，将配电系统划分为完好和故障两种状态，然后根据故障状态计算出相应的可靠性指标的分析方法。通常在配电系统可靠性评估中采用连续性（continuity）作为故障准则，即供电连续性遭破坏（停电）为故障状态，保持连续供电为完好状态。它是用于评估配电系统可靠性的基本方法。具体做法是，建立故障模式影响分析表，查清每一个基本故障事件及其影响，然后加以综合分析，计算出可靠性指标。它适用于放射状网络，而且可扩展并用于有转移设

备的复杂网络的全面分析。在放射状网络中的某一部分发生故障后,可通过操作隔离开关,断开故障部分,使系统恢复供电;通过故障模式影响分析法(failure mode and effect analysis,FMEA)计算出可靠性指标。复杂网络的主要特点是:各馈电线均有负荷点;馈点通过正常断开点彼此相连或与其他电源相连;负荷可以转移;故障将会引起局部或全部断电。扩展后的 FMEA 适用于复杂网络。其特点是,把 FMEA 直接与系统的最小割集相关联,并用最小割集来识别。

(2) 可靠度预测分析法

这是一种以裕度为基础的方法,这种方法主要用于日本。该法中引入联络率 α 和有效运行率 η 的概念。 α 是表示馈电各区段联络程度的指标。当 $\alpha=1$ 时,表示该馈电线可以切换。 α 描述了故障时线路的倒送能力。 η 是表示负荷有效切换的指标。 η 以100%为临界值,是馈线发生故障时所有各区段是否都可切换的判据。当 η 在100%以下时,表示有裕度。

2、配电系统可靠性指标

配电系统可靠性指标是用来定量评估配电系统可靠性的尺度。定义配电系统可靠性指标应考虑如下特点:

(1) 可以根据配电运行设备状态的观察记录,经计算机统计评价获得各类设备的可靠性指标来进行配电系统可靠性评估。

(2) 可以应用电力系统可靠性理论模型进行评估。目前,中国和世界上许多国家都按各自的国情,定义了数目不同的可靠性指标。比较典型的有:

A、用户平均停电频率指标(customer average interruption frequency index, CAIFI):

用户平均每年停电次数;

B、用户平均停电持续时间指标(customer average interruption duration index,

CAIDI): 用户平均每次停电持续时间;

C、系统平均停电频率指标(system average interruption frequency index, SAIFI):

用户停电总次数与用户总数的比值;

D、系统平均停电持续时间指标(system average interruption duration index,

SAIDI): 用户停电持续时间与用户总数的比值;

合理的配电系统可靠性指标总是和经济效益相联系的,要考虑可靠性投资和可靠性效益的协调。

2. 2. 3 提高配网的可靠性的措施

根据可靠性统计分析,在配网建设改造中采用以下措施,可提高配电可靠性:

(1) 改善高压配电网网架结构,提高配网电源系统的可靠性,减少对中低压配电网可靠性的影响。

(2) 把中压配电线路主干线划分为若干段,各分段又分别与相邻的馈电线路加装联络线路或联络开关实现手拉手供电。正常运行时,联络开关打开,事故情况下,通过联络开关转移负荷,缩小停电范围。

(3) 加大导线截面,缩短供电半径,提高系统的充裕度和供电能力,以确保在配电线路故障或检修时能通过切换互带负荷,减少停电时户数。

(4) 城市电网中各级配电变压器的容载比要满足《城市电力网规划设计导则》的要求。容载比过小,电网适应性差,会影响供电可靠性。

(6) 采用先进的设备,如能自动区分故障区段,并自动切除故障的断路器、自动重合器等,提高配电网的安全供电和自动化水平。

(7) 采用绝缘性能好的聚乙烯绝缘导线,使配电线路导线绝缘化,在道路绿化树与架空线之间矛盾严重、负荷密集、人员流动量大、跨越房屋等其他区域更应采用绝缘导线,以避免树枝等物碰线,提高线路抗自然和人为灾害的能力。

2. 3 配网规划改造技术要求与措施

配网规划与改造应根据国家批准的项目进行,着重解决电网网架薄弱、设备陈旧、变电容载比低、线损率偏高、无功补偿不足、缺乏调节及调度管理手段等问题。做好配网规划,并根据批准的城市配网规划设计原则(如电压等级、配电可靠性、变电所最佳容量和台数、变电所供电半径、一次接线方式、电网允许短路容量等),进行城网建设与改造,才能提高有效供电能力,增加供电可靠性,适应国民经济发展和人民生活质量不断提高的需要。

2. 3. 1 高压配电网规划改造要求

高压配电网,是整个电力系统的重要组成部分,应从电力系统的全局出发,依据城市总体发展规划、城市建设规模、规划负荷密度、负荷分布及增长情况以

及各地实际情况进行改造。

网架结构应满足电力系统经济性、可靠性与灵活性的基本要求：

- (1) 大城市的高压配网都是电力系统的受端系统，集中了较大比重的负荷和电源，要强化受端系统建设，变电站布点应合理。
- (2) 能满足城市发展需要，适应城市配网各种运行方式下的潮流变化，潮流流向合理，并具备一定的灵活性。
- (3) 网架结构应当具有较大的抗干扰能力，防止发生灾害性的大面积停电事故。
- (4) 整个电网结构简明、层次清晰，要贯彻“分层分区”的原则。
- (5) 无功功率按配网分区就地平衡。
- (6) 满足供电可靠性要求，城网网架中任一元件无故障断开，应能保持电力网的稳定运行，并不致使其他元件超过事故负荷的规定。
- (7) 配网网架建设的同时，要使调度自动化、通信、安全自动、继电保护等控制系统和网架配套建设协调发展。

2.3.2 中压配电网规划改造要求

中压配电网是指中压配电线路和中压配电所（配电变压器）组成的向低压配电网或用户提供电能的配电网，由 10kV 线路（架空线路、电缆线路）、配电所、开关站、箱式变压器、杆架变压器等组成分布很广的电网。具有供电面广、量大、配电点多等特点。中压配电网的规划改造应满足以下结构要求：

- (1) 按照部颁《城市电力网规划设计导则》的要求，向市区供电的中压配电网，应能在任何一条 10kV 线路检修和事故停运时，通过配电网转移负荷向用户继续供电，不过负荷、不限电。
- (2) 中压配电网应根据高压配电变电所的位置和负荷分布分成若干相对独立的分区。分区配电网应有大致明确的供电范围，一般不交错重叠。
- (3) 变电所之间的中压电网应有联络容量，正常时开环运行，异常时能转移负荷，但要控制专用线和不带负荷的联络线，以节约走廊和提高设备利用率。
- (4) 中压配电网应有较强的适应性，主干线导线截面应按长远规划选型一次建成，在负荷发展不能满足要求时，可增加新的馈入点和插入新的变电所，而其结构基本不变。

2.3.3 降低配网电能损耗的技术措施

要降低线损和配电损失，加强电网建设特别是城乡电网的改造，增加无功补偿率。新建电网，必须使发、输、变、配各个环节合理配套，积极推广节能配电设备，要加强电网无功管理，提高功率因数，推广以线损率分级管理、分压分线（站、区）统计分析，理论计算、小指标考核等线损管理制度。开展电网经济调度，最大限度使用无功补偿容量，减少无功损失，降低电能损耗。

1、进行配网线路改造

线路改造可采取更换截面较大的导线、加装复导线，或架设第二回线路，同时对中压配电线路尽量缩短其供电半径。用这些措施可增加供电能力，提高电压质量，降低电能损耗。导线截面除应按照经济电流密度、电晕、长期允许发热及机械条件等校验外，一个城网应力求统一，每一个电压等级可选用两种规格，一般情况下配电主干线（包括高压配电线路和中压配电线路）可以参考表 2-2 进行选择，增加导线截面后，减小的电能损失为

$$\Delta(\Delta A) = \Delta A(1 - R_1 / R_2)(kW \cdot h)$$

但对于大城市，由于环境保护、城市规划（如对线路走廊的限制）及负荷密度的特别大，采用更大截面导线也是经济合理的。

表 2-2 配电主干线截面选择表

额定电压 (kV)	钢芯铝线截面 (mm ²)				
10	240	185	150	120	95
35	240	185	150	120	95
63	300	240	185	150	
110	300	240	185		
220	400	300	240		

2、采用低损耗变压器

以低损耗变压器，逐步更新老旧变压器，是一项降低线损的主要措施，也是配网采用新技术、新设备进行技术改造的重要内容。现在，高损耗的 S7 系列等老产品已经淘汰，而低损耗的 S9 系列则是推广产品，S11 系列是全国统一设计新产品，它比 SL9 系列损耗更低。新型低损耗变压器是采用新材料、新工艺、

新技术，降低了空载损耗和负载损耗。

同时对中压配电变压器的选择和布点应按照小容量、多布点、供电半径小的原则进行。

3、增设无功功率补偿装置

电力网元件（线路、变压器）中的负载功率损耗为

$$\Delta P = 3 \times I^2 R \times 10^{-3} = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} \times 10^{-3} \quad (\text{式 2-1})$$

从式(2-1)中可见，在负荷功率不变的情况下，提高负荷功率因数和提高电压水平一样，能降低线路、变压器中的负载功率损耗。因为提高负荷的功率因数，意味着减小了负荷的无功功率，因而可以减少发电机送的无功功率和通过线路和变压器中的无功功率，从而降低线路和变压器中的负载功率损耗。

提高负荷的功率因数与降低负载功率损耗 $\delta P\%$ 的关系可以用下式表示

$$\delta P\% = \left[1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2} \right] \times 10^{-3} (\%) \quad (\text{式 2-2})$$

式(2-2)中 $\cos \varphi_1$ ——负荷原来的功率因数；

$\cos \varphi_2$ ——提高后的功率因数。

因为空载损耗与功率因数无关，所以提高功率因数与降低负载功率损耗的影响见表 2-3。

表 2-3 提高功率因数与降低负载功率损耗的影响

$\cos \varphi_1$	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
$\cos \varphi_2$	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
$\delta P\%$	60	53	46	38	29	20	10

反之，当负荷功率因数下降时，电力网元件中的负荷功率损耗将增加，如负荷功率因数从 1 下降到 0.7 时，电力网元件中的负荷功率损耗将增加 104%。所以提高负荷功率因数，是降低电能损耗的重要措施，许多国家（如美、英、日）规定配电线路上基本不送无功功率，输电线路的功率因数在高峰负荷时达 0.95 以上，在低谷时为 1.0 左右，我国部颁的《电力系统电压和无功电力管理条例》规定：220kV 及以下电压等级的变电所，在主变压器最大负荷时，其二次侧的功率因数不小于表 2-4 所列数值。

表 2-4 220kV 及以下变电所功率因数规定值

电压等级 (kV)	220	35~110
功率因数	0.95~1	0.9~1

达不到以上标准的,都要采用分级补偿、就地平衡的原则,按地区、按电压等级、按变电站就地平衡。对于高压供电的工业用户和带有负荷调整电压的电力用户,功率因数为 0.90 以上,其他 100kVA (kW) 及以上电力用户和大、中型电力排灌站,功率因数为 0.85 以上,趸售和农业用电,功率因数为 0.8。达不到以上标准的,用户应尽快采取措施,提高功率因数。

2. 4 配电网发展的主要趋势

综上所述,并结合目前配电网的结构功能和技术特点,我们将配电网未来发展的主要趋势归纳为以下几个方面。

(1) 配电网接线简化和提高可靠性。在具备条件的地方,可采用线路变压器单元,取消高压侧断路器,在线路故障时跳开送端断路器;采用多回路并列运行或多回路闭式环网运行,以提高线路利用率和供电可靠性;开环运行的单环网加装馈线自动化装置 (FA),以减少故障时用户停电时间,我国已有成熟经验,并在逐步推广。

(2) 节省用地和线路走廊。为减少与城市建设的矛盾,减少线路走廊用地和配电装置占地,半地下变电所和地下变电所以及小型成套配电装置,将在配电网中进一步扩大使用。窄基铁塔、钢杆线路、多回路并架线路将继续采用。地下电缆建设日益增加,电缆隧道、电缆沟、预制排管、公共事业管道合用的共同沟与公共隧道等措施将进一步推广。

(3) 简化及优化电压等级。这有利于配电网的管理与经济运行。世界各国都规定了电压等级和标准,并尽可能减少降压层次,将已存在的非标准电压逐步升压改造。电压系列的选择确定受到多种因素的制约,并且与系统发展的历史条件有关^{[7][8]}。

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,尤其是和电气设备制造技术水平密切相关。优化并选定电压等级时,尽量避免重复降压,简化电网的变压层次。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,以免上一级变电所容量太大而低压侧进出线多而发生困难。现在城网供电容量严重不足或老旧设备需要全面进行技术改造时,可采取升压措施。城网升压改造是扩大供电能力的有效措施,但应结合远期规划,认真研究升压改造的技术经济合理性。

(4) 电力设备技术进步。新型配电设备的开发,除适应配电网的技术要求外还必须经济上适当合理。

(5) 架空线路入地。为了城市的景观和安全可靠供电,有些城市早已开始将城市配电网架空线路进行入地的建设与改造。绝缘导线或绝缘电缆的架空配电网也得到广泛应用。

(6) 配电自动化。由于计算机技术的迅速发展,促使自动化技术的应用已由变电所发展到配电线路,并使供电与用电两方面的业务紧密联系,从而使配电网的管理水平进入更高阶段。为了提高供电可靠性,配电网从馈线自动化到配网信息化以及区域性的配网自动化正逐步发展完善。在配电施工、检修中研发和推广用户不停电作业、带电作业以及设备状态检修等先进工艺和技术。

第三章 基于缺电损失和增容效益的配电网开关设置研究

3.1 扩展规划与改造中投资策略研究

目前,国家在电网建设和改造上的投入数以千亿,其目的是改造电网薄弱环节、强壮电网结构,满足社会对电力的需求,为保障国民经济持续、快速、健康的发展提供强大的能源支持。

电网扩展规划与改造的目的是寻找一个满足目标年用户对负荷的要求,并保证正常供电时经济性最好的网络。以往的电网扩展规划一直将经济性作为规划目标,可靠性指标只用来校验给出的经济性方案。电力系统的发展不仅对国民经济各部门产生巨大影响,而且涉及到大量一次能源消耗和巨额投资,成功的电网规划会带来巨大的经济效益和社会效益,否则会造成重大损失。然而实际的电网扩展规划是个极为复杂的工程问题,需要考虑的因素非常多,其中许多因素又难以量化、确定化,具有多目标、不确定性、非线性性、整数性和多阶段性等特点。一般来说,规划专家对于节省投资的规划方案做了深入的研究,即最重视经济性。但是随着经济的发展,社会对电力的需求和可靠性要求不断提高,并且电力行业逐渐走向市场化,人们对可靠性的认识得到了提高。提高电网可靠性虽然增加了电网的资金投入,但是可靠性的提高却可以带来经济效益的提高,例如停电损失减少等。当可靠性投资和可靠性效益得到平衡时,从社会效益的角度,电网扩展规划和改造达到最优,因此在复杂的电网扩展规划中,处理好经济性和可靠性的关系是个艰巨且意义重大的课题。

传统观点认为供电企业增加设备的投资远比可靠性提高带来效益来的大,这种对可靠性效益的认识存在着偏差。假设可靠性从 99.9%提高到 99.99%,虽然增长的电费效益很小,但却隐含着极大的社会效益。“需求侧管理”思想^[1]的兴起使供电企业对可靠性的观念产生了变化,即不再以电力企业节省投资为目的,而开始注重投资带来的社会效益。因为减少投资造成的停电损失将远远超过节省的电网改造投资资金。不同用户对电力服务有不同的要求,有些用户愿意支付较高的电价得到高可靠性电力服务,而有些用户不需要较高的可靠性则愿意较低的电费。合理的电价是由电能可靠性和电能质量决定的,不同的可靠性应

该对应着不同的电价。统计调查研究和已有文献表明，电能可靠性提高带来的社会经济效益是电价的几十倍、几百倍，对高新技术企业来讲甚至更高。如何合理地评价电网缺电损失是电网扩展规划和改造的重要环节，值得深入研究。

电力市场化改革和可靠性观念的形成，使得越来越多的电力企业开始注重全社会的最大收益，因此，用缺电损失、可靠性成本与效益、增容效益和增容效益率的指标来评价投资效益就受到关注。对一个地区来说，当社会经济发展带动当地负荷上升时，怎样确定在技术和经济上合理的建设改造方案，对于电力企业来说也是尤为重要的。所以如何适当地通过考虑增加分段开关、联络开关和联络线，从而提高线路的运行效率和电网可靠性，改造和建设现有电网，是技术的关键环节。

电力系统的投资策略应该是：当可靠性投资与可靠性效益得到平衡时，从社会效益的角度，电网扩展规划达到最优^[2]。因此在电网扩展规划中，协调经济性与可靠性的关系是一项任务艰巨且意义重大的课题。

3. 2 基于缺电损失的电网改造中分段开关设置

3. 2. 1 缺电损失分析

由于电力事故造成系统供电不足的损失有时非常巨大，进行电网规划时必须考虑将来电网供电的可靠性。此外，在当今电力市场逐步形成和发展的形势下，电网规划也不应脱离电力市场这个大环境。用户在购买电力这种商品的同时也购买了电力的一个重要品质属性：一定的供电可靠性。由于供电可靠性问题而给用户造成的经济损失必将成为今后制定电价时要考虑的重要因素。因此，在电力市场机制下不难理解，电网供电总成本不应仅包括电网扩展建设的投资成本、运行成本，还包括由于电网电力供给不足或中断所造成的用户缺电损失，亦即需求侧的缺电成本^{[10][11]}。后者是供电可靠性水平高低的直接经济体现。显然，高可靠性与低投资成本是一对矛盾，协调解决这一问题需要通过可靠性成本——效益分析^[12]来进行电网的可靠性优化，确定在什么样的投资下能获得供电总成本最低的最佳可靠性水平。

1、利用边际成本及边际效益概念进行可靠性成本——效益分析

电网可靠性成本可定义为供电部门为使电网达到一定的供电可靠性水平而需要增加的投资成本（也包括运行成本）；可靠性效益可定义为因电网达到一定供电可靠性水平而使用户获得的效益。由于某一供电可靠性水平下的社会、经济效益较难评估，因此过去对可靠性效益只作间接的定性评估，这样将难以进行可靠性优化。为便于衡量和计算，本文将可靠性效益用电缺电成本，亦即由于电力供给不足或中断引起的用户缺电、停电而造成的经济损失来表示。显然，在单位缺电成本不变的情况下，缺电成本越低，可靠性效益越高。这样，就可以把可靠性成本与可靠性效益统一在电网的经济性上衡量，它将给通过可靠性成本——效益分析进行电网规划带来方便。

可靠性成本——效益分析可用边际成本与边际效益概念来说明。可靠性边际成本定义为增加一个单位可靠性水平而需要增加的投资成本；可靠性边际效益定义为因增加一个单位可靠性水平而获得的效益或因此而减少的缺电成本，故也可称为边际缺电成本。

由于电力负荷增长或事故引起的供电不足可能引起巨大的社会经济损失。统计调查研究和已有文献表明，电能可靠性提高带来的社会效益是电价的几十倍、几百倍，对高新技术企业来讲甚至更高，所以这种由供电可靠性问题而给用户造成的经济损失必将成为电价形成的重要因素。

电力系统的投资策略应该是：当可靠性投资与可靠性效益得到平衡时，从社会效益的角度，电网扩展规划达到最优^[2]。即在电网扩展规划中，用有限投资最大限度地降低缺电损失，协调经济性与可靠性。投资与效益可以用缺电损失分析的方法来衡量，并且基于此进行了分段开关的设置。

3. 2. 2 分段开关设置原理

随着地区经济的发展和人民生活水平的提高，地区负荷会持续增长，原有线路的负载率可能会超出 $N-1$ 的要求。比如原有单环网（手拉手）的线路运行负载率不应超过 50%，当负荷增长超过这个界限时，如果不新建线路，可能使线路原先的分段方式不再合理，对分段效果产生影响，进而提高了缺电损失，降低了可靠性，因此需要电力规划人员及时地做出相应的改造方案。首先是对分段开关的投入和设置，其设置原则^{[13][14]}是：使得分段开关将负荷沿线路尽量均匀的分成

若干段，并且当该开关设置前后的缺电损失之差大于投资年值时，认为该分段开关的投资策略是可取的。

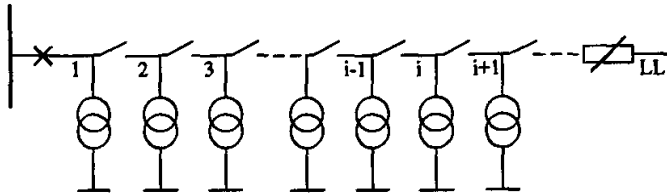


图 3-1 分段开关示意图

Fig. 3-1 Sketch map of disconnect switch

如图 1 所示，文献[13]给出了第 i 段装设分段开关与第 i 段不设分段开关两种状态下的停电损失之差为：

$$\lambda_i P_{i-1} (\gamma_{i-1,r} - \gamma_{i-1,t_1}) + \lambda_{i-1} P_i (\gamma_{i,r} - \gamma_{i,t_2})$$

其中第 i 段主馈线的故障率为 λ_i （单位为次/年）；第 i 个负荷点的负荷为 P_i ；每段主馈线的修复时间同为 r ；分段开关的操作时间为 t_1 ；联络开关的倒闸时间为 t_2 ；且 $r > t_2 > t_1$ 。

$\gamma_{i-1,r}$ 为第 $i-1$ 个负荷在停电时间为 r 时的单位停电损失；

γ_{i-1,t_1} 为第 $i-1$ 个负荷在停电时间为 t_1 时的单位停电损失；

$\gamma_{i,r}$ 为第 i 个负荷在停电时间为 r 时的单位停电损失；

γ_{i,t_2} 为第 i 个负荷在停电时间为 t_2 时的单位停电损失，单位为元/kW。

研究发现当式 (3-1) 成立时，即该分段开关设置前后的停电损失之差大于投资年值（投资含开关成本和运行维护费用等）时，该投资策略可行。

$$\lambda_i P_{i-1} (\gamma_{i-1,r} - \gamma_{i-1,t_1}) + \lambda_{i-1} P_i (\gamma_{i,r} - \gamma_{i,t_2}) > \beta C_t \quad (式 3-1)$$

其中 C_t 为增设分段开关的投资； β 为年承担系数， β 的计算公式为

$$\beta = p(1+p)^{year} / [(1+p)^{year} - 1] \quad (式 3-2)$$

式 (3-2) 中 p 为社会折现系数，假设取 10%； $year$ 为开关的设计寿命，假设取 30 年。这样计算出来的 β 近似等于 0.1。

3.3 基于增容效益的电网改造中联络开关设置

3.3.1 常用接线模式与线路负载率的关系

配电网主馈线接线模式决定了网架结构中联络线的数量和连接方式，从而决定了负荷转供能力与电网可靠性水平。目前，配电网一般要求其网络满足 N-1 可靠性准则。针对一定的主馈线接线模式，调度人员可以灵活地改变线路的运行方式，满足电网可靠经济地运行。

配电网的接线模式与线路的运行负载率之间有着重要的关系。不同的接线模式对应着不同的负荷转供能力和线路运行负载率极限。表 3-1 给出了常用的几种接线模式与线路负载率极限的关系。

表 3-1 接线模式与负载率关系

Tab.3-1 The relation between connection modes and load ratios

接线模式	负载率极限 (%)
单联络	50
双联络	67
三联络	75

3.3.2 基本思路

目前，对于联络开关的研究大多以提高网络可靠性或者网络重构后的网损最小为目标^{[3][4]}，而对增加联络开关带来的线路利用效率提高这方面的研究还鲜有报道。作为电网扩展规划与改造的一个重要课题，这方面的研究有着重大的科研意义和工程实践意义。

在联络线所接电源容量裕度足够大的条件下，对于线路 N-1 校验来说，线路上装有一个或多个联络开关对可靠性影响不大，但对于 N-2 以上的校验，在不考虑联络开关故障率情况下，多联络开关比单联络开关的线路具有较高的可靠性，虽然线路发生多重故障的概率很小。

假设目前主馈线是单联络的，其运行负载率应低于 50%，随着地区负荷密度的上升，重新加设电源出线和线路走廊在经济技术上是不合理的，特别是用地紧

张时。而适当地增加联络开关的个数，比如将线路改造成两联络或者三联络，可以有效地提高线路的运行负载率（其中两联络负载率不超过 67%，三联络不超过 75%），同时也增加了线路可靠性，由此带来的经济运行效益和社会效益是极为可观的。这种社会效益可用增容效益指标来衡量。

3. 3. 3 增容效益与产电比

所谓增容效益是当地区负荷密度增加时，通过改变网络结构，提高线路运行负载率而带来的效益。值得注意的是，这个效益不是片面的代表电力企业售电量增长效益，而是全社会由电力增长带来的社会经济效益总和，也就是新增负荷所创造的价值。

应当指出，当增长的负荷为居民负荷或者公共事业负荷时，其本身虽并不直接创造价值，但是对提高人民生活水平和整个社会和谐发展贡献巨大，应该予以充分考虑，虽然这种效益很难评估。比如政府机关部门，作为公共服务型单位，可以理解其服务带来的价值已经体现到创造价值的企业中，因此就其单独的价值难以衡量。

为了解决这一问题，本文引入了产电比的计算方法。产电比^[15]是指一个地区在某一时期（一般以年计）内创造的以货币形式表示的产值与所消耗的电量的比值（元/千瓦时），这个货币形式的产值通常取为国民生产总值（GDP）。产电比作为对电能货币价值的一种社会度量，有效地描述了该地区在某段时期单位电能所创造的社会经济效益，并且已经把社会经济效益合理均衡到单位电能。

3. 3. 4 增容效益率

增容效益率即为增容效益与项目投资（含设备的运行维护费用）的比值。引入这个概念，可以判断出改造方案是否可行。增容效益率的计算公式如下：

$$\eta = k \sum_{j=1}^n \Delta P_j / \beta \sum_{i=1}^m C_i \quad (\text{式 3-3})$$

式中 η 代表增容效益率， k 代表产电比， ΔP_j 为增加的负荷功率， n 为增加的负荷个数，因此 $k \sum_{j=1}^n \Delta P_j$ 即为增容效益； C_i 为装设联络开关的投资， m 为开

关个数； β 为承担系数。 β 的计算公式见公式 (3-2)。

由式 (3-3) 可知，当 $\eta > 1$ 时，也即提高负载率带来的增容效益大于开关投资（计及开关的运行维护费用）的年值时，则认为该装设联络开关的方案是可行的；当 $\eta < 1$ 时，说明投资没有获得较好的社会经济价值，则认为该方案是不可行的。

联络开关设置位置应遵循尽量使可转移负荷沿线路均匀分布。即 $P_i = P_{\Sigma} / n$ ，其中 P_i 为每段可转移负荷， P_{Σ} 为该线路上的总负荷， n 为联络开关个数。

由增容效益率的计算得出联络开关的设置准则：当线路运行负载率超过 50% 而未达到 67% 时，应增加一个联络开关；当线路运行负载率超过 67% 而未达到 75% 时，应增加两个联络开关。若是由于无法均匀分布各段负荷，虽然线路负载率未超过 67%，也可能要设置为三分段，增加两个联络开关。

3.4 算例应用

下面以某大型城市的实际配电网为例，给出本文介绍的基于缺电损失与增容效益的开关设置算例应用。

如图 3-2 是一条 10kV 中压线路，改造前为单分段、单联络，负荷和开关位置上已标示，其中 L1~L7 为原有负荷，原有线路负载率为 48%；L8、L9 是新增负荷，新增负荷后线路负载率超过了 50%。各段主馈线长度均设为 0.75 公里。该地区设分段开关成本 2.5 万元，联络开关成本 3 万元（均含装设和运行维护费用）。线路的故障率取 0.1 次/公里年，线路修复时间为 4h/次，分段开关操作时间 15min/次，联络开关倒闸时间 1h/次。该城市产电比 $k = 6.652$ 元/kwh。

各负荷点具体的用户负荷数据信息和用户缺电损失信息分别示于表 3-2 与表 3-3。

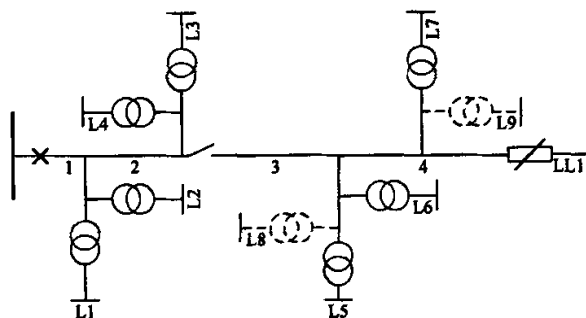


图 3-2 中压线路改造前

Fig. 3-2 mid-voltage line before reconstruction

表 3-2 用户负荷数据

Tab. 3-2 The data of customs

负荷点	用户类型	平均负荷/MW
1、2、9	居民负荷	0.4269
4、6	居民负荷	0.4171
3、5	政府部门	0.6247
7	商业负荷	0.4089
8	工业负荷	0.6508

表 3-3 用户缺电损失表 (元/kW)

Tab. 3-3 Cost of interruption data

持续时间	工业用户	商业用户	居民用户	政府机关
15min	15.0	12.5	0.5	1.5
1h	45.5	42.7	2.4	7.5
4h	125.5	160.6	25.3	32.8

首先进行分段开关设置分析，即通过计算判断主馈线 2 首端和 4 首端是否需要添加分段开关。利用公式 (1) 和以上表格所给数据可知，在主馈线 2 首端设置分段开关前后的缺电损失差为：

$$\lambda_2 [(P_{L1} + P_{L2})(\gamma_{1,r} - \gamma_{1,l})] + \lambda_1 [P_{L3}(\gamma_{3,r} - \gamma_{3,l}) + P_{L4}(\gamma_{4,r} - \gamma_{4,l})]$$

$$= 3488 \text{ 元} > 25000 \times 0.1 = 2500 \text{ 元}$$

在主馈线 4 首端设置分段开关前后的缺电损失差为：

$$\begin{aligned} & \lambda_4 [P_{L8}(\gamma_{8,r} - \gamma_{8,i_1}) + P_{L5}(\gamma_{5,r} - \gamma_{5,i_1}) + P_{L6}(\gamma_{6,r} - \gamma_{6,i_1})] \\ & + \lambda_3 [P_{L9}(\gamma_{9,r} - \gamma_{9,i_2}) + P_{L7}(\gamma_{7,r} - \gamma_{7,i_2})] \\ & = 11985 \text{ 元} > 25000 \times 0.1 = 2500 \text{ 元} \end{aligned}$$

因此，经过缺电损失分析，应在主馈线 2 首端和 4 首端设置分段开关。

在确定好线路分段开关个数和位置后，再判断是否添加联络开关。

线路原先总负荷为 $\sum_{j=1}^7 P_j = 3.346 \text{ MW}$ ，当线路新增负荷以后的总负荷为：

$$\sum_{j=1}^9 P_j = 4.424 < \sum_{j=1}^7 P_j \frac{67\%}{50\%} = 4.480, \text{ 即负载率超过 } 50\% \text{ 而未达到 } 67\%, \text{ 因此应}$$

考虑添加一个联络开关。此时增容效益（元）为

$$k * \Delta P = 6.652 \times (4.480 - 3.346) = 7513.5$$

相应的增容效率率

$$\eta = 7513.5 / (30000 \times 0.1) = 2.505$$

因为 η 大于 1，因此该方案是可行的，所以增加一个联络开关为最终投资方案。开关位置在大约 1/2 线路负荷处，最后的综合改造方案如图 3-3 所示。

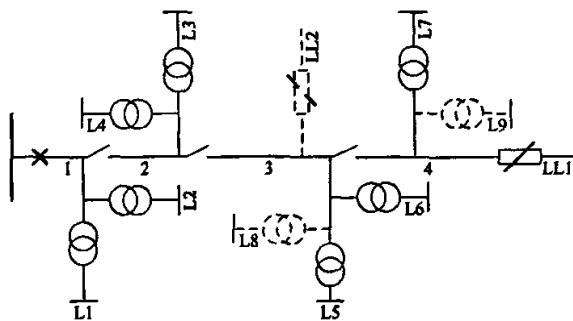


图 3-3 中压线路改造方案

Fig. 3-3 mid-voltage line after reconstruction

3. 5 本章小结

针对社会发展负荷增加而引发的电网容量不足问题，怎样确定在技术和经济上合理的扩展规划和改造方案，对于整体社会效益来说是尤为重要的。用可靠性投资和效益方法适当地增加分段开关，提出增容效益和增容效率率的概念与方法，由此给出最佳的联络开关投资方案，通过该方法，不但可以提高线路的运行

效率,还可以提高电网可靠性,达到了合理配置和利用资源的效果,在经济和技术上是可行的。通过算例表明该方法具有重要的实际工程意义。

第四章 基于 DSM 的配网资源认识

4.1 DSM 的历史与意义概述

DSM 系英文 Demand Side Management 的英文缩写，译成中文即需方管理，或者需求侧管理^[1]。如同发、送、配电设备等供方资源一样，DSM 也是一种可供选择的资源，称为需方资源。DSM 是为鼓励用户注意到其电力需求的时间和大小，修改其电力消耗模式，包含电量和需量两个方面的，一种电力公司工作的计划、执行和监督的管理模式。不言而喻，DSM 由电力公司执行。

DSM 这一概念起源于美国。18 世纪 90 年代，世界上第一座商用发电厂 Thomas Edison 发电厂在纽约建成并投入运营。那时照明是电厂唯一的负荷，用电低谷出现在白天。为了提高利润、达到经济运行的目的，Edison 发电厂雇人去推广电动机等在白天使用的电力设备，依靠鼓励那里的昼夜消耗，Edison 发电厂能过增加发电能力的利用，从而降低其发电成本。

20 世纪中后期，特别是第二次世界能源危机之后，DSM 作为一种重要工具，再度引起美国政府和社会各界的普遍重视。但在对 DSM 的看法上，已经发生了质的变化，即把 DSM 作为与供方资源同等重要的替补资源来看待。经努力发掘，DSM 很快取得实效，并很快风靡于工业发达国家和部分发展中国家。

美国、加拿大、日本和西欧的大多数电力公司，特别是那些供电能力和电源建设上受到限制的电力公司，已经采取了许多措施，以执行 DSM，且已开始收到实惠。发展中国家，如亚洲四小龙、印尼、菲律宾、印度等，对 DSM 也有着强烈的要求。因为他们面对高速增长电力需求，单靠扩大供方能力的基建规模，其财政和金融能力已受到很大压力。这些发展中国家和我国一样，发、送、配电基建规模持续增大，长期处于最高投资项目预选之列。资料表明，自 80 年代以来，这些国家的国外借贷服务中，电力借贷占其公共事业国外借贷总额的 1/4 左右，某些国家甚至高达 40%。同时，政府控制电价，且安排的尽可能低，通常低于供电成本，以求鼓励消耗，刺激经济活动，稳定并改善居民福利。其结果，不少国家电能需求增长迅速。它一方面归因于经济活力增长，一方面归因于人口总数的迅速增加。电力公司借贷负担和电费收入之间的缺口越来越大。如此恶性循

环的结果，已给许多发展中国家的电力公司带来金融危机。这一危机迫使他们的政府和电力公司一起努力寻求那种“不断增加发、供电能力和电价补贴”的替代方案。令他们欣慰的事，工业发达国家的成功经验表明，靠减少电量和需量要求的 DSM 能够帮助电力公司避免或延缓发、供能力建设的资金需求。另一个更主要的方面，增加收入还有待于费率结构的调整 and 改变。还有，搞好负荷管理和监控，以求电网最大限度地实现高负荷率经济运行，即减少生产运行成本。所有上述种种措施，均属 DSM 范畴。

作为最小费用电力供应战略的一个组成部分，从整体上讲，DSM 还给国家带来了巨大的经济效益。它不仅减少了电量和需量要求，更直接地，还可以减少昂贵的企业自备电厂建设投入和运营费用，以及企业停电危害和由此带来的直接或间接经济损失。这一点，对于我国的缺电地区，显得尤为突出。此外，环境保护专家的研究、计算指出，全球温室效应气体的 1/2 来源于能源利用（以等价二氧化碳进行折算）和消耗，而其中的绝大部分来自电力行业。同时，煤灰的存放，酸雨的危害，也与电力行业有直接关系。DSM 实施后对上述情况的改善均可视为 DSM 的社会效益，此尚未计入 DSM 直接经济效益之中。正因为如此，DSM 不仅吸引着各国的行政当局，而且吸引着众多的多边、双边金融机构。

4.2 我国电网的需方资源认识

近年来，我国社会经济飞速发展，各地电力也出现了不同程度的短缺。特别是最近两年，电力能源严重不足已成为制约我国经济发展的瓶颈问题。通过钢铁等原材料需求旺盛、银行贷款高速增长等经济信号，我们可以分析出电力短缺有更为重要的宏观经济背景。2005 年的电力缺口为 2500 万千瓦左右。导致电力供应紧张的原因很多，主要可以归纳为三个方面。一是用电需求增长太快，2004 年全社会用电量达到 21735 亿千瓦时，增长了 14.9%，工业用电是需求增长的主要原因，人民生活水平提高、空调耗电增多也起了重要作用；二是装机容量不足，现有电力供给能力不足。近年来，电力建设由超前变为滞后于国民经济发展；三是因为电煤供应紧张，一些地区的电厂因缺煤而停机，使得现有的电力供给能力也没有完全发挥出来。

与此同时能源浪费却十分严重，以 100 美元产品计算，中国企业能耗是一些欧美国家两到三倍，有些甚至是日本的近二十倍，单靠开源无法满足粗放经济模

式对能源的需求,节能就成为一个战略性问题。为把能源节约提高到跟开源同样重要的战略地位,我国政府高度重视,2004 年国家发改委与国家电监会出台了《加强电力需求侧管理工作的指导意见》。2005 年 5 月份发改委启动《节能中长期专项规划》,提出了十大重点节能工程,目标是“十一五”期间将节约 2.4 亿吨标准煤;6 月份发改委联合全球环境基金和联合国开发计划署推出了“中国终端能效项目”,目标是帮助中国在主要耗能行业推动节能和提高能源利用效率。7 月份新华社播发了国务院做好建设节约型社会重点工作通知,这份最高指示第一个工作重点就是大力推进能源节约。通知第二重点就是抓好重点耗能行业和企业节能。钢铁、有色、煤炭、电力、石油石化、化工、建材等重点耗能行业被列为重点节能对象。正因如此,中石油、中石化、大唐电力、中国铝业等 17 家国资委直属企业已签定资源节约承诺书,争取用三到五年的时间在节约方面达到国际同行业先进水平。

在电力企业对电网进行评估和扩展规划过程中,发现电力需求增长大于供给容量和装机容量的增长,首先想到的是新的电源建设,应对电荒的主要思路就是新建电厂、变电站、输配电网,提高电力供给水平。在这一思路指导下,2003 年中国进入电源建设市场的资金已超过 2000 亿元,接近 2001 年和 2002 年的投资总和。2005 年全国发电装机容量已突破 5 亿千瓦左右,根据规划预测,2010 年,装机容量达到接近 6.5 亿千瓦,要达到这一水平,今后几年投入的资金至少不能低于去年。

诚然,新建电厂对缓解电荒是必要的,但由于电厂建设涉及到土地、安全、环保、技术、资源等众多方面,一哄而上的结果又会对社会经济产生不良影响。首先,有限的资源得不到合理利用,会在无序竞争中被白白浪费,加剧我国资源短缺局面;其次,电力建设过热会刺激钢铁、制造等行业的进一步升温,埋下经济过热的隐患;第三,集中开工带来的必然是集中投产,会在未来几年内形成新的电力过剩状况。电力市场的大起大落,最终会损害所有市场主体的利益。

针对日益严峻的能源问题,国家发改委在北京给出了答案:节约能源。年中发改委在北京组织了全民节约共同行动大会,包括国务院副总理曾培炎、建设部、水利部、环保总局等相关部委领导悉数在座,规格之高显示了中央政府用节约来解决能源问题的决心。这表明我国政府充分认识到 DSM 实施的重要性,这种从

传统的多发电售电促进经济增长到降低能耗提高效率的可持续发展的思想观念转变，以及将 DSM 作为需方资源的深刻认识，对整体的社会效益提高来说是至关重要的。

4.3 我国 DSM 实施的初步论证

有鉴于此，我们还可以采取实施 DSM 项目的方法，而不仅仅是依赖多建电源和电网，来解决电力短缺问题，目前国家发改委已明确提出了一些实施方案。

其一，压缩高耗能产业的行业规模和企业数量，提高准入门槛。从上述电力短缺原因的分析中可以看出，高耗能产业是造成电荒的罪魁祸首。有业内人士计算：普通百姓家用电器加起来功率不过 5—6 个千瓦，一家大型的高科技工厂用电功率也不过 2000 千瓦，而一台电石硅铁冶炼炉动辄就是 1 万千瓦，一个大型电石、硅铁厂用电容量甚至达到 40 万千瓦。这样来看，一家高耗能企业就会吞噬掉一个大型发电厂的全部发电量。即使国家建再多的电厂，也赶不上这些高耗能企业的“吃电”速度。因为像电石、硅铁厂之类的企业，生产工艺极其简单，产品的主要成本就是“电力”，电力消耗占其生产成本的 70% 左右。况且这些高耗能企业还一直享受着地方政府制定的“优惠电价”。因此，在这种情况下缺电现象是必然的。

其二，实行最严格的资源保护制度，制定“资源节约法”，用严格的法律来培养人们的节电意识。电力供应短缺很大程度上不是由于供应不足，而是电力利用的粗放和浪费造成的。我国即使在发电企业，其自身浪费的电能也很惊人：调查显示，火力发电厂有 10% 的电力是被内部消耗的。若以单位 GDP 产出能耗来计算能源利用效率，日本为 1，意大利为 1.33，法德为 1.5，英国为 2.17，美国为 2.67，加拿大为 3.5，而我国高达 11.5。所以，当务之急是制定一部以保护资源为目的的“资源节约法”，其中规定，任何新企业的单位效益产出能耗必须在达到一定水平才可以开工，老企业能耗也不得低于某个水平，否则即予关闭。

其三，加强用电需求管理，实现有序用电。根据社会经济增长的实际情况，正确预测当年用电最高负荷和电力供需缺口，制定电力错峰方案，实现有序用电。组织跨区跨省电力电量交易，加强电网间互相调剂余缺的能力，实现大范围内的资源优化配置。

国外实施 DSM 所采取的技术措施，可以归纳为两大类，一类是负荷管理，另一类是节电技术措施。对于负荷管理，国外所凭借的是经济手段，即分时费率（TOU）和可间断费率与可减小费率 I&C。这对用户规范自身电力负荷使用的时间和该时间负荷的大小，无疑起着积极的推动作用。我国负荷管理的现行政策主要依靠的还是强制性的行政干预，即计划用电。计划用电，在一定的历史阶段对解决电力供求之间的矛盾，确实产生过积极作用，为促进我国国民经济的发展做出了贡献。但是，在市场经济新形势下，显然计划用电有些不适应了。当然，国外在实施 DSM 项目时，也确实采用强制性负荷管理措施，如直接负荷控制。但是这类直接负荷控制的对象是蓄能负荷，如空调、电供热系统。它所凭借的手段，不是行政手段，而是技术限电，即依靠各类负荷管理（监控）系统的“组控”、“统控”、“轮控”功能，在保证达到用户蓄能设备基本使用的条件下，实现平抑电网高峰负荷的目的。在工业照明、商业公众服务行业照明、居民照明中使用节电照明器具，并更新传统照明器具如白炽灯等，其节电潜力大，见效快，这也是平抑高峰负荷的一项主要技术手段。

节电工作，我国起步并不比国外晚，并且积累了某些节电成功的经验，开发出了不少节电新产品，有些已经达到了国际先进水平。不同的是，我们并没有把这些节电技术措施当成和供方资源同等重要的电力资源来看待。在做法上，根本没有把它当成电力公司的份内工作来干，事实上是将它推给了政府，推给了社会，因而其实施难度较大。各级用电管理部门、三电机构的节电工作，事实上只是下达目标和任务，统计汇总数据，指导、监督而已。更没有把高素质的专门技术人才，配置到各级节电的负责岗位上来。更谈不上像抓供方资源建设项目那样，将之作为同等重要的需方资源项目，置于电力公司的直接管理之下，作为电力公司重要的份内工作，组织力量，抓项目（节电）的全过程。

同属发展中国家的印度尼西亚也发展了 DSM。其经济发展和居民用电需求和商业、服务行业用电需求的规模，和我国一个中等规模的省电力公司不相上下。同我国一样，进入 80 年代后，印尼电力需求增长很快。印尼电力公司（PLN）售电量从 1978 年的 43 亿 kWh，增至 1990 年的 277 亿 kWh，发电能力从 230 万 kW 增至 930 万 kW，用户数从 180 万户增至 1100 万户。按照这样的幅度增加供方能力，势必给印尼带来新的金融和环境压力。为保持与需求同步，这样的增长

率势必大大地受制于供方能力。

因此，电力成了制约印尼国民经济发展和人民生活水平提高的“瓶颈”。由于售电收入和大范围增加发、供、配电能力，导致银行借贷之间的缺口拉大，PLN 将面对越来越大的财政困难和缺电危机。相应地，将迫使用户自发电升级，这将对全印尼经济产生负面影响。同时，为了满足需求，增加电力生产，加速了自然资源的使用，这些必将加重当地和全球的环境危害。因此印尼政府委托美国电力研究院（EPRI）帮助 PLN 完成了印尼 DSM 战略规划。该战略规划的作用和发达国家的有所不同。但是，DSM 战略程式的基本内容，在发展中国家仍是可用的。工业发达国家的经验提供了很多有用的基本原则，根据这些基本原则，制定并推动发展中国家，包括我国的 DSM 资源开发，是有价值的。

该 EPRI 研究报告指出，DSM 能实施需方战略，帮助 PLN 满足日益增长的电力服务要求，它是为电力公司设计，为满足部分电力需求而进行的全部工作活动的计划、实施和监督。鼓励用户根据电网形势，注意到电力需求的大小和时间，修订其电力消耗模式，并与电力公司共同努力，力争做到供方资源的高效、合理利用。因而，DSM 是一项庞大的、涉及电力公司、居民用户和工业、商业用户的系统工程。

概括地说，推动 DSM 的事实，大体分三个阶段，周期一般是 10 年（或 6 年、8 年）；有的是 15 年或 20 年规划。一般来讲，2~3 年完成一个阶段过程^{[16][17]}。

第一个阶段为宣传、鼓动及 DSM 主计划的制定阶段。第二阶段为实施示范工程阶段。其目的是为了减少所建议的 DSM 全面实施的风险。第三阶段为 DSM 全面实施阶段。

我国的有关专家在对国外 DSM 实施经验、风险、费用和效益进行分析论证后，得出适于我国 DSM 主要技术措施如下：

供方侧：电力负荷监控系统，减少厂用电，减少配网线损，配电变压器经济运行。

需求侧：

- 1) 工业项目：电动机改造，即用高效电机去更新高耗能、低效电机；
- 2) 商业、公共服务行业项目：高效照明、改造空调；特别是改造中央空调；新建建筑结构；蓄热制冷项目；改造耗能水箱；推动高效家用电器的选用。

以上需方侧措施项目，许多适用于供电方，例如，电厂厂用机电设备技术改造和照明节电技术改造以及变压器经济运行等。

对于任何 DSM 规划，电价都是关键因素^{[18][19]}。例如，分时费率 TOU 和可间断、可减小费率 I&C 是推动吸引用户积极参加 DSM，多用谷电的刺激手段。同时，DSM 的投资回收，也将通过电价调节程序，从而可通过批准后的电价调整，予以回收。

DSM 有很多手段鼓励用户调整他们的电力消耗模式^{[20][21]}。费率设计能够给用户带来好处。以金融、刺激的手段，鼓励用户转移高峰负荷。

技术限电，即直接负荷控制，能根据电网形势和用户电力消耗特点，适时而灵活地转移负荷到所需要的时段。而终端用电设备效率的提高，能减少需量和电量两个方面的需求。对于用户来说，既保证了电力需求，又降低了自身的开支。执行这些 DSM 措施的优先考虑是，DSM 实施的资金投入，应比增加同样数额的供方能力所需建设费用及运行费用之和要少，以符合最小费用资源利用的原则。

下面给出某地区在实施 DSM 项目前后的某个典型日负荷曲线，其中图 4-1 为未执行 DSM 这种需方资源时的负荷曲线；在采取 DSM 相关的负荷管理和各种节电措施之后，地区负荷特性会发生相应的变化，对应的负荷曲线较为平滑，如图 4-2 所示。

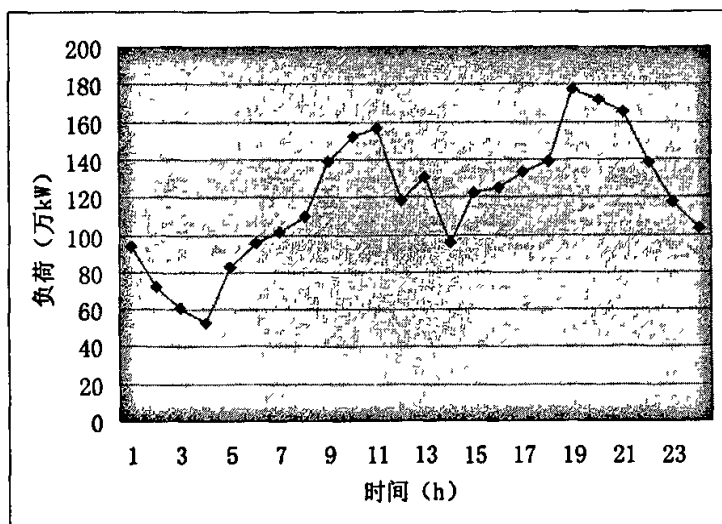


图 4-1 DSM 实施前典型日负荷曲线

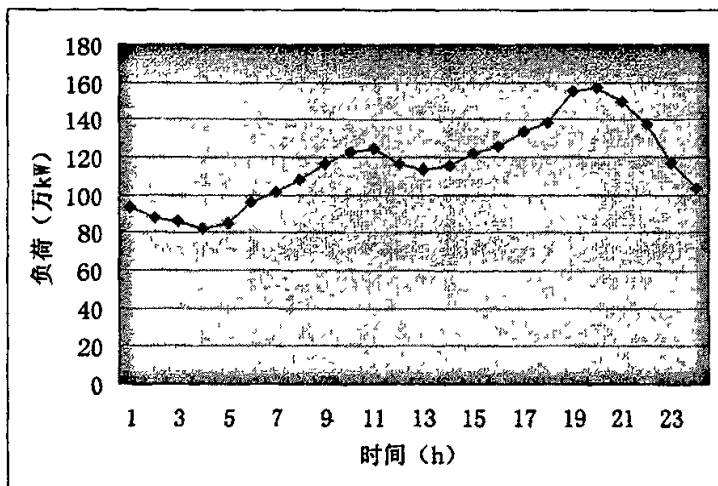


图 4-2 DSM 实施后典型日负荷曲线

由两图的分析比较，可明显地看到实施 DSM 对高峰负荷和低谷负荷的控制效果，起到削峰填谷的作用，降低了负荷的波动，保障了电网的安全与经济运行。

由上所述，DSM 是一种可以有电力公司计划、度量和使用的资源。如果经过分析和论证，它能够满足最小费用资源规划 (IRP) 所要求的条件。经实施，可以最小费用地满足用户对电力的需求。为此，欲发掘 DSM 潜力的电力公司，就水资源条件和环境限制来说，也不允许再建设更多的发电厂来满足电力需求。为此，他们必须在观念上有一个根本的转变。他们必须从传统的、单一商品生产者转变为满足用户需求的服务者。并且就自身利润获取来说，也已不仅是多生产 1kWh 电能，多销售 1kWh 电能这种方式。因而，那种认为实施 DSM 是试图减少电量销售，进而危及电力公司获取利润的观点是应该改正的。事实证明，对于在最小费用条件下，提供日益增长的电力需求服务来说，DSM 是一种重要的战略资源。这是因为对于满足同等大小的电力需求增长来说，发掘 DSM 潜力比新建发、送、配电能力，显然经济的多。如果电力公司通过 IRP 筛选，选择适当的供方资源和需方资源的配合比，将减少需求作为其发展战略的一部分，则既能延缓需巨额投资的新建设能力，又能为系统的安全、可靠运行提供保证。这对电力公司的整体效益显然是极有益的。不仅在发达国家，就是在许多发展中国家的行政当局，已经或正在认识到提高电能的利用率带来的经济效益是巨大的。并且制定了一系列鼓励电力公司实施 DSM 的行政、经济措施。在某些发展中国家，为了社会的安定，采取靠政府补贴，来维持电力公司长期的平均电价低于发电微增

成本的运行模式。这一点在一定程度上,同我国的管理模式相似。因而,某些发展中国家,例如印度尼西亚关于实施 DSM 的经验,可供我国借鉴。

DSM 理论及其相关措施在我国已备受关注,部分地区已经成功应用。以下简要介绍一下华北电网的需求侧管理应用。

针对 2004 年电力供应严重短缺的局面,华北电网有限公司落实电力需求侧管理的各项措施,有效地缓解了电力供需矛盾。根据电网供需矛盾和负荷预测,按需求侧管理的理念,下达了京津唐电网 2004 年迎峰度夏最大供电预案,实施了按指标有序用电的措施,同时下达了错峰、避峰和负荷控制指标。充分利用负荷管理系统,采用技术手段监控重点地区,为转移用电高峰负荷,引导企业科学用电和有序供电提供依据。目前,京津唐电网安装无线电负荷管理系统终端 5594 台,最大可监控负荷 606 万千瓦,最大可控负荷能力 80 万千瓦。

大力推广用电蓄能技术,努力开拓低谷电力市场。在京津唐地区、河北省北部等负荷高峰区推广电蓄热采暖及电蓄冰制冷等蓄能技术,转移峰荷近 30 万千瓦,相当于减少发电投资 24 亿元。

鉴于华北电网和京津唐电网高峰电力短缺的情况,按照国家政策,在维持电力价格总水平不变的前提下,对条件成熟的地区,出台了季节性峰谷电价,利用价格杠杆有效地引导用户调整电力需求。目前除国家规定的居民、行政机关、学校、部队等用户外,全部实行峰谷电价,占全部用电量的 61%。其中,大工业用户的尖峰电价为目录电价的 1.6 倍,低谷时段的用电价格为目录电价的 0.4 倍。

公司依靠各级政府通过各种渠道宣传国家政策、法规,推广节约用电、科学用电、合理用电等技术,采取措施引导用户合理错峰、避峰,节约用电,取得了良好的社会效益。

4.4 基于 DSM 的电网扩展规划

DSM 的应用可以扩展到电网规划的过程中,通过筹划 DSM 技术措施的应用,可控性地改变规划地区的负荷特性,从而确定最终合理经济的电网扩展规划方案。DSM 这种对电网规划的辅助影响,很大程度上避免或削减了持续增长的负荷对电源增加限制的依赖,相当于减少了规划模型中的约束范围。

以某城市电网扩展规划为例,在计划采取 DSM 相关的负荷管理和各种节电措施前后的负荷预测曲线如图 4-2 所示。

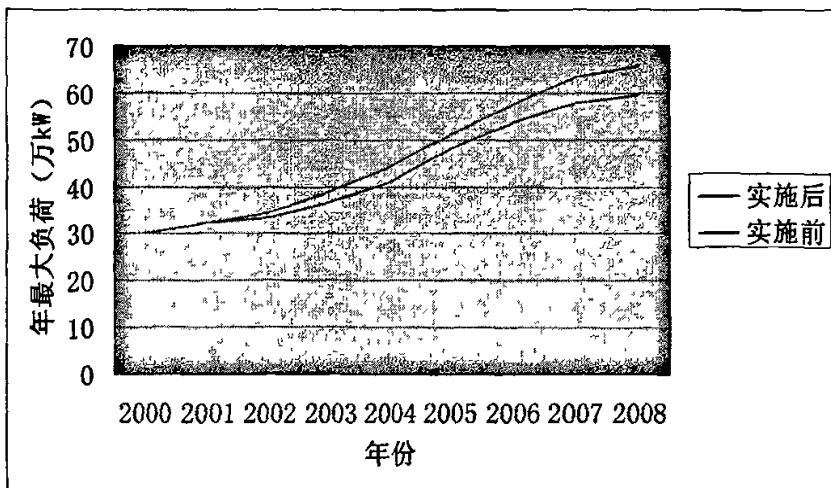


图 4-3 计划采取 DSM 项目前后负荷预测曲线

由图可以清晰看出，DSM 相关措施采取前，规划年最大负荷比较高，图形表现即曲线上升趋势较陡，每点斜率较大；在 DSM 实施以后，有效地控制了负荷增加，曲线上升较原来平缓，每点的斜率比原来也有所降低。在一定的电量使用条件下，通过降低最大负荷，来提高最大负荷利用小时数，如最大负荷利用小时数从 5000 左右提高到 6000 左右，从而缓解了电力发展滞后于负荷增加的矛盾。

因此可以说，DSM 从根本上改变了单纯依靠增加能源供应来满足能源需求增长的传统思维模式，建立了把需求侧节约的能源作为供应侧一种可替代资源的新概念，使资源配置拓展到更广阔的领域，能够以最经济的方式和最好的社会效益达到同样能源服务的目的。

4.5 本章小结

区别于传统节能管理，DSM 项目提高了用电效率、节约了电能，而不是抑制用电需求。DSM 是立足于长效和长远社会可持续发展的目标，特别是对规划的影响，可控性地改变了规划地区的负荷特性，从更高的层次考虑了规划因素，削弱了负荷需求增长对电能供给的依赖，减轻了规划投资的压力。要高度重视能效管理体制和节电运作机制的建设以及制订支持可操作的法规政策，适度地干预能效市场，确实把节能落实到终端，转化为节电资源；采取约束机制和激励机制相结合、以鼓励为主的节能节电政策引导用户参与 DSM 计划。

第五章 配电网综合评估系统的设计与开发

5.1 系统开发意义

为了更好地了解供电企业电网运行水平、内部设备总体状况，深入认识电网能够达到的供电能力、当前存在的问题以及发展前景，对未来电网规划和改造提供强有力的决策依据，电力企业需要定期对电网进行评估工作。要实现评估数据的自动获得、统计计算以及评估结果的网络发布，使电网评估成为电力企业一项日常化、常规化的工作，电网评估工作需要软件支持。

目前在城市配电网评估方面的软件研究主要是三年城网改造后评估，对现状网的评估研究却鲜有报道。传统评估仅是使用了一些供电企业内部常用的评价指标和判断来反映配电网在某些方面的特性^[5]，如变压器负载率、线损率、容载比、变电站出线间隔利用率等等，通过这些结果分析，指导或辅助供电企业下一步工作，提出扩展规划与改造的方案。但是，该类软件还存在着诸多问题，例如：缺乏统一的规划，本应同属配电网评估系统的功能分散于诸多软件模块中，决策分散，功能重复；数据冗余，不易共享，很难保证数据的一致性；系统开发周期长，且投入运行后很难对系统功能进行扩充和升级；评估结果发布困难，针对所有关心结果的用户，只能通过安装不同的客户端软件来实现等。最重要的是目前该类软件都不能自动地对现状进行分析研究。

针对这些工程上需要迫切解决的问题，本文介绍了一套基于 Client—Servlet—DBMS 3 层体系结构的配电网综合评估系统，利用该系统可以结合电力企业内部各方面数据，快速、方便、直观地对配电网自动地进行分析和综合评估，对配电网整体状况有更为清晰的认识，评估结果能进一步引导电力企业对电网建设改造资源进行合理配置，具有实际的指导作用。

5.2 系统整体框架设计特点和功能特点

5.2.1 系统整体框架设计特点

在供电企业配网综合评估系统的设计过程中，要求在收集现有的配电网大量数据的基础上，对现状网络自动进行评估，并进行深入的分析研究。通过科学计

算,合理地完成对现状网的评估和分析,由此找到在电能质量、供电能力和供电可靠性方面不满足用户电力需求的供电瓶颈,为进一步改造建设提供科学依据。

系统的设计过程中还要充分考虑软硬件方面的可维护性及可扩充性,采取全局设计、分割处理的方式进行集成,基本按照“模块化、角色化、流程化、规范化、简单化”^[24]的思路来进行设计,必须遵从以下原则:

- (1) 保护已有投资;
- (2) 降低应用系统的风险;
- (3) 满足当前的需要;
- (4) 考虑未来的发展规划。

配电网综合评估系统的规划建设是一个整合改造和拓展建设相结合的过程。在整体框架设计时,一方面要尽可能保护供电企业已有的投资,集成或继承现有的业务支撑应用系统;另一方面要以数据共享、功能互补为前提,设置新的功能系统,并处理好与其他运营支撑系统的关系。系统规划建设的过程,也是供电企业对其经营体制、管理体制重新规划和调整的过程。

由于配电网综合评估系统涉及了生产、运行、维护等等的诸多环节,要求根据强内聚、弱耦合的设计原则,把系统划分为彼此相互独立的子模块。按照配网评估的需求分析,要求系统各个模块解决以下问题,自动进行现状评估:

- (1) 能正确导入外部数据,完成数据校验和修复,给出数据存在问题;
- (2) 能实现评估主管部门对评估结果的浏览审查以及对评估标准的下达;
- (3) 能完成评估所需结果的计算和统计,保证结果正确、精度合乎要求;
- (4) 能全程支持评估工程师完成评估工作,生成评估文本所需的图表;
- (5) 能实现电力企业数据的分年度管理,支持电力企业滚动评估规划;
- (6) 能实现网上发布,评估结果能通过网络浏览。

5.2.2 系统功能特点

根据上述系统整体框架设计思想,在详细的需求分析基础上所设计的配电网综合评估系统功能框架如图 5-2 所示。将系统划分为 3 层,即数据库层、功能逻辑层和用户界面层,通过对每一层相应功能模块的集成,可以达到自动进行现状评估的目的,高效方便地指导配网建设改造,对资源、资金的合理配置提供了科学具体的依据。

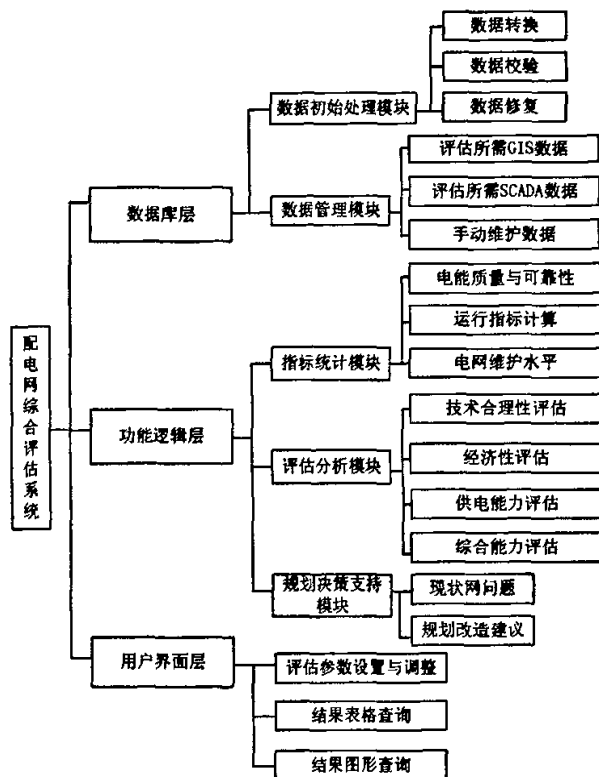


图 5-2 系统功能框架

1. 数据库层

数据库层主要完成评估数据的初始处理功能和业务数据管理功能。

(1) 数据初始处理模块主要负责对初始数据进行转换、校验、修复。其中：

A、转换是将不同的数据结构处理成为统一的结构正确导入；

B、校验是在网络拓扑图的基础上考察检验数据，通过拓扑找到外部 GIS 数据的错误和不完善性，为下一步的修复做好准备；

C、修复是对问题数据进行处理，针对外部 GIS 数据的错误和不完善性，将 GIS 数据修复为较符合电网实际的合格数据，最终形成可供评估使用的数据。具体包括，拓扑计算，根据分片信息，进行每条线路的拓扑计算，形成拓扑编号；环网计算，根据拓扑计算的环网点，计算环网上包含的设备；打开大环线路，重新拓扑相关线路；连接孤立设备，自动处理载体类孤立设备的开关闭合，修改分片信息，重新拓扑单条线路；连接图形显示类的孤立设备。

(2) 数据管理模块，对评估所需部分外部 GIS 图形数据、SCADA 数据和手动维护数据进行管理。数据层使用的 Oracle 数据库靠自带数据库备份和恢复功能及

用户访问权限设定功能，实现面向评估功能的网络资源的管理和分配使用，使其具有完善的数据安全保证。

2、功能逻辑层

功能逻辑层（中间层）是整个配网能力评估系统的核心，也是上下两层的纽带。它负责建立实际的数据库连接，根据客户的请求，执行相应的存储过程查询数据库进行指标统计，并把统计结果返回给客户端，有着强大的信息处理功能。这一层将业务处理从客户端程序中分离出来，形成了独立的中间层^[27]。包含指标统计、评估分析、规划决策支持三大部分，而每一部分再按照各自功能细分成更加细致的层次和模块。

（1）统计指标模块：其中

A、电能质量与可靠性考核功能，为供电企业提供了电能质量与供电可靠性的综合计算平台；

B、运行指标功能提供了全面的电网运行安全性计算功能，比如容载比、电网转供能力、线路分段情况等；

C、电网维护水平功能统计设备完好情况、标准化与老旧情况、故障情况等。

（2）评估分析模块：其中

A、电网技术合理性评估，通过对供电企业中相应的生产环节汇总分析，指导供电企业加强、改进电网结构，产生短期改造方案；

B、经济性评估功能是累计分期投资，校核评估结论，给出投资回报率及内部收益率；供电能力评估从 N-1 条件下变电站、线路容量的角度衡量网架合理性；

C、综合能力评估根据文献[28][29]的原理，应用了层次分析法（AHP）对整个网架进行综合评估。

（3）规划决策支持模块：其中

A、现状网分析功能对现有网架结构进行总结分析，找到薄弱环节，为下一步改造提供依据；

B、规划改造功能辅助工程师提出近期电网规划与改造方案，并进行校核。

中间层中的功能完全是通过商用数据库 Oracle 的存储过程来实现的，具有软件开发周期短，代码量小的特点^[30]。每一个存储过程将按一定的标准查询数据库进行统计，并且把统计指标参数做成通用接口与用户界面层进行交互，这种实

现方式既灵活多变又安全可靠。

3、 用户界面层

用户界面层作为客户端，主要完成评估结果的查询和统计，并将评估结果进行网页发布，可实现报表化和图形化的结果输出。这一层还提供了评估参数设置与修改功能，客户可以根据本企业情况和实际需要，设置不同的评估指标参数，比如线路主干截面配合不合理系数、配变负载率过大参数、开关型号非标准原则等等，这些指标在中间层的统计程序中都做成了通用接口，这就避免了由于客户需求的变化而大量修改中间层程序的缺陷。用户界面层用 HTML 和 ASP 技术开发，有很高的运行效率。

正由于 B/S 模式中的 Browser 完成的是面向大量用户的数据查询和统计功能，而不是信息数据的处理，所以做到了客户端的免维护，开发人员只需要在服务器上维护其网页脚本等即可。

5. 3 系统开发设计方法与应用技术

5. 3. 1 传统 C/S 结构特点与缺陷

首先我们来了解一下传统的 C/S 模式。在传统的数据库应用体系中，客户端与数据库完全分开，在客户端上运行了大部分服务如数据访问规则、业务规则、合法性校验等等。每一个客户端都存在数据引擎，并且每个客户端与数据库服务器建立独立的数据库连接（DB Connection）。基于该种体系的数据库应用系统的优势：开发周期较短，能够适应大部分中小型数据库应用系统的要求（当客户端数量少于 50 时）。

但是，随着数据库应用的日渐发展、数据容量的不断增加、客户端数量的不断增加，该种体系结构显示出了诸多缺陷，主要体现在以下几个方面：

1、可扩充性：对于数据库服务器端，每当建立一个数据连接，就会占用大量的系统资源，当数据连接达到一定数量（如 20 个）时，数据库服务器的响应速度与处理速度将大打折扣。

2、可维护性：基于传统 C/S 的数据库应用系统，业务规则通常置于客户端应用程序中。如果业务规则一旦发生变化时，我们就必须修改客户端应用程序，并且将每个客户端进行相应的升级工作。

3、可重用性：采用传统 C/S 的设计模式时，数据库访问、业务规则等都固化在客户端应用程序中。如果客户另外提出了 B/S 的应用需求，则需要 WEB 服务器中重新进行数据库访问、业务规则、合法性校验等编码（例如将数据库访问写入 ASP 代码），而所做的工作与客户端应用程序中的功能完全重复，从而加大了工作量。

正因为以上的诸多缺陷，使得三层（多层）体系结构成为目前数据库应用开发的首选，甚至客户有时也会提出该种技术需求。

5.3.2 采用 3 层架构及其设计方法

正因为传统的 C/S 模式在可扩充性、可维护性、可重用性等方面存在着缺陷^[22]，而基于 B/S 模式的 3 层架构对此进行了改善。软件体系架构是构造系统的元素以及之间的交互和准则等的结合体^[23]。通过规范化软件元素及其交互关系，指导复杂软件的设计开发，从更抽象的角度实现了系统框架级的重用^[25]，而 3 层架构正是基于这种思想发展起来的。3 层架构概念产生于 20 世纪 90 年代初，已经在通信、企业管理、电子商务等领域应用并取得了很好的效果，但是用于电力系统软件开发中的实例却不多见^[24]，这种架构设计思想在这方面有着较好的发展前景。

所谓的 3 层架构就是将软件实现划分为 3 层(可以有更多层，但 3 层最常见)：用户界面层，功能逻辑层（中间层），数据库层。如图 5-1 所示：

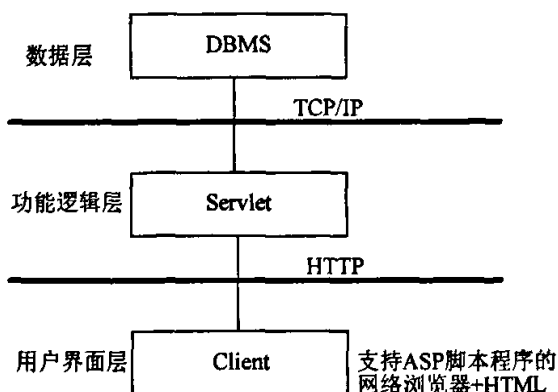


图 5-1 3 层架构总体结构框图

其中数据库层 DBMS 负责业务数据的存储和维护，实现对数据源的管理；功能逻辑层 Servlet（中间层）进行实质的操作，对数据进行处理加工；用户界面

层 Client 直接面向用户，不直接访问数据库，而是通过中间层来获取信息。

这里所说的 3 层体系，不是指物理上的 3 层，不是简单地放置 3 台机器就是 3 层体系结构，也不仅仅有 B/S 应用才是 3 层体系结构，3 层是指逻辑上的 3 层，即使这 3 个层放置到 1 台机器上。

体系结构中最核心的，是在客户端与数据库之间加入了一个“中间层”。3 层体系的应用程序将业务规则、数据访问、合法性校验等工作放到了该层进行处理。通常情况下，客户端不直接与数据库进行交互，而是通过通讯与中间层建立连接，再经由中间层与数据库进行交互。也就是说，中间层的应用部件向客户端提供端口，为客户端的调用提供不同的业务服务^[26]。

这样的好处显而易见：

1、由于数据访问是通过中间层进行的，因此客户端不再与数据库直接建立数据连接。也就是说，建立在数据库服务器上的连接数量将大大减少。例如一个 500 个客户端的应用系统，500 个客户端分别与中间层服务器建立连接，而通讯所占用的系统资源极为有限，并且是动态建立与释放连接，因此客户端数量将不再受到限制。同时，中间层与数据库服务器之间的数据连接通过“连接池”进行连接数量的控制，动态分配与释放数据连接，因此数据连接的数量将远远小于客户端数量。

2、可维护性得以提高。因为业务规则、合法性校验存在于中间层，因此当业务规则发生改变时，只需更改中间层服务器上的某个组件（如某个 DLL 文件），而客户端应用程序不需做任何处理，有些时候，甚至不必修改中间层组件，只需要修改数据库中的某个存储过程就可以了。

3、良好的可重用性。同样，如果需要开发 B/S 应用，则不必要重新进行数据访问、业务规则等的开发，可以直接在 WEB 服务器端调用现有的中间层（可以采用基于 IIS 的 WebClass 开发，或直接编写 ASP 代码）。

4、事务处理更加灵活，可以在数据库端、组件层、MTS（或 COM+）管理器中进行事务处理。

采用这样的结构来构建软件整体实现方案，具备以下几个方面的优点：

- A、HTML 显示速度快，代码简单，可以获得对硬件要求很低的高效“瘦客户端”。
- B、HTML 和 Servlet 采用 Http 协议通信，降低了对网络通信协议和硬件的要求，

且很容易将 client 从局域网延伸到 Internet, 无需很多附加的工作。

C、HTML 和 Servlet 均能方便地实现跨平台。

D、Servlet 可以在服务器端进行业务逻辑处理, 并且和 HTML 通信以及访问数据库, 能够完成基本功能。

开发出的三层 B/S 应用系统必须是: 功能丰富且具有高可用性; 功能要能跨应用系统; 系统要能跨平台运行。

每个 B/S 环境, 从最小的 LAN 环境到超级网络环境, 都使用某种形式的中间件。实际上, 无论客户机何时给服务器发送请求, 也无论它何时应用存取数据库文件, 都有某种形式的中间件传递 B/S 链路, 用以消除通信协议、数据库查询语言、应用逻辑与操作系统之间潜在的不兼容问题。

中间件是三层 B/S 环境中最重要的部件, 是用 API 定义的软件层, 也是具有强大通信能力和良好可扩展性的分布式软件管理框架。它的功能是在客户机和服务器或者服务器和服务器之间传送高级通信, 有机地将客户机群和服务器群“连接”起来。其工作流程是: 在客户机里的应用程序需要驻留网络上某个服务器的数据或服务时, 搜索此数据的 B/S 应用程序需访问中间件系统, 该系统将查找数据源或服务, 并在发送应用程序请求后重新打包响应, 将其传回应用程序。

5.3.3 采用 3 层架构的技术优势

应用 3 层架构技术开发的系统也表现出了很强的技术优势:

(1) 克服了功能重复、决策分散的弊端, 大大缩短了系统开发周期, 并且增大了投入运行后对系统功能的可扩充性和升级性。

(2) 中间层提供了良好的通用接口, 使客户可以根据实际需要, 设置不同的评估指标参数, 避免了由于客户需求的变化而大量修改程序的缺陷。

(3) 用户界面友好, 人机交互性能优越, 使用方便, 实现了基于 Web 的评估结果发布。

(4) 数据共享性能优越。供电企业内部用户通过局域网直接访问应用程序服务器, 外部用户可通过 Internet 先访问 Web 服务器, 再通过应用程序服务器访问数据库服务器。

5.4 系统应用实例

结合上述体系架构思想所开发的软件系统,在北京市电力公司2个下属分公司的电网综合评估中投入使用,并于2004年12月通过了验收。应用该评估软件能够自动生成评估结果,表5-1为供电能力统计;表5-2为应用层次分析法对线路技术合理性的综合评估。

表 5-1 某供电公司供电能力统计

	35kV 及以上变电站	235	98.08	130.556	2004
10kV 线路	只考虑出口主干截面	218.027	82.333	146.731	2009
	还考虑线径配合	169.825	82.333	121.948	2009

表 5-2 某供电公司 10kV 电网技术合理性综合评价线路部分

10kV 电 网技术 合理性	主干线路(0.3) 88.05	主干长度偏长(0.8)	数量/条	3	89
			比例/%	13.64	
	最长路径(0.2) 92.73	城网最长路径偏长 (1.0)	数量/条	2	93
			比例/%	9.09	
	截面配合(0.3) 74.40	出口电缆与主干截面配合不合理(0.4)	数量/条	1	96
			比例/%	5	
	运行年限过长(0.2)	主干截面配合不合理(0.6)	条数/条	11	60
			比例/%	50	
			数量/条	0	

本系统应用了许多能够反映配网特点的指标,对配电网架结构作出全面、合理的分析。评估结果能够生成 Excel 表格输出,并通过 Web 进行发布。图 5-3 为评估结果网页发布的一个界面。

图 5-3 评估结果的网页发布实例

开关 设备类型	运行统计		停运统计	
	合闸开关 (台)	分闸开关 (台)	故障 (台)	计划 (台)
真空断路器	308	235	0	6
断路器	82	202	4	184
熔断器	0	0	0	0
合计	418	467	4	198

图 5-3 评估结果的网页发布实例

该系统的成功应用，为电力企业在生产管理运行上提供了坚实的技术基础和良好的环境，对提高企业的生产管理水平和效率发挥了重要的作用。其对配电网进行综合评估的实际应用表明，对于基于大型数据库并且拥有众多客户端的电力系统软件，应用 3 层架构体系具有比较理想的效果，尤其是其 B/S 模式的高效性，更显示了其适于电力系统应用的优越性。

5.5 本章小结

配电网综合评估系统能够全面地对配电网进行定量评价，自动进行现状分析，发现存在问题的严重程度与具体位置，帮助企业科学地做出下一步电网建设改造的决策。该系统的开发，对配网安全、可靠、经济的供电，提高企业的经济效益和社会效益具有巨大的现实意义，同时对优化网络结构，进一步合理安排改造建设投资，适应电力市场的要求，搞好企业的安全供电，规范数据和管理模式等等具有重要的意义。

第六章 结论

随着我国经济建设的飞速发展,电力工业作为能源支持的重要地位已经日趋明显。然而目前电力能源紧缺已成困扰我国经济的重大问题,与此同时能源浪费却十分严重。怎样以可持续发展的观念去指导电力投资,安排好对电网的评估、扩展划与改造已经成为备受重视的课题。

本文以提高电网运行效率和能源利用效率为目标,结合城市电网规划与改造的具体特征,运用缺电损失、增容效益、DSM技术及三层架构体系等理论,提出了对配电网规划改造与评估进行分析的基本思路和具体解决方案。

本文的主要研究成果可以概括如下:

1、针对社会发展带动地区负荷上升而引发的电网容量不足问题,特别是电力走廊紧张时,用缺电损失、可靠性投资和效益方法适当地增加分段开关;提出增容效益和增容效益率的概念与方法,由此给出联络开关投资方案,不但能提高线路的运行效率,而且能提高电网可靠性,在经济和技术上是合理的、可行的。

2、本文介绍了 DSM 技术对电网规划和改造的指导作用,突出了从根本上改变单纯依靠增加能源供应来满足能源需求增长的传统思维模式,建立了把需求侧节约的能源作为供应侧一种可替代资源的新概念,使资源配置拓展到更广阔的领域,能够以最经济的方式和最好的社会效益达到同样能源服务的目的。

3、针对目前在城市配电网评估方面的软件研究较少,且存在着诸如模块分散、数据冗余等问题,本文介绍了一套基于 Client—Servlet—DBMS 3 层体系结构的配电网综合评估系统,该系统结合电力企业内部各方面数据,快速、方便、直观地对配电网做出全面的定量评价,自动进行现状分析,发现存在问题的严重程度与具体位置,帮助企业科学地做出下一步电网建设改造的决策。

以上所概括的主要研究成果可以看出,本文在配电网扩展规划与改造分析方面做了大量具有创新性的工作,对电力企业制定更为合理、更具针对性的规划改造策略具有重要的指导意义。当然,将增容效益等概念运用于电力网络规划改造的研究尚处于初步的探索阶段,还面临着诸如缺电损失数据缺乏、分析模型尚待完善等一系列的问题,因此还需要进一步的研究,以便能够对配电网扩展规划与改造发挥更为实用的辅助决策效果。

参考文献

- [1]朱成章,徐任武.需求侧管理(DSM)[M].北京:中国电力出版社,1999.
- [2]牛辉,程浩忠,张焰,等.电网扩展规划的可靠性和经济性研究综述[J].电力系统自动化,2000,24(1):51-56.
- [3]王守相,王成山.配电系统联络开关的优化配置[J].继电器,2002,30(12):24-27.
- [4]史燕琨,王东,孙辉,等.基于综合费用最低的配电网开关优化配置研究[J].中国电机工程学报,2004,24(9):136-141.
- [5]黄伟,张建华,文俊,等.配电网供电能力评估系统与方案设计[J].现代电力,2001,18(4):64-68.
- [6]刘健,董榕等.城乡电网建设与改造指南.北京:中国水利水电出版社,2001
- [7]萧国泉,徐绳均.电力规划.北京:水利电力出版社,1993
- [8]陈章潮,唐德光.城市电网规划与改造.北京:中国电力出版社,1998
- [9]郭永基.电力系统可靠性分析.北京:清华大学出版社,2003 12
- [10]Dalton J G, Garrison D L, Fallon C M. Value-Based Reliability Transmission Planning. IEEE Tran on PWRs, 1996 11(3)
- [11]David L, Willian M, Billinton R, et al. Cost-Benefit Analysis of Power System Reliability: Two Utility Case Studies. IEEE Trans on PWRs, 1995 ,10(3)
- [12]张焰.电网规划中的可靠性成本—效益分析研究[J].电力系统自动化,1999,23(15):33-36.
- [13]万国成,任震,荆勇,等.主馈线分段开关的设置研究[J].中国电机工程学报,2003,23(4):124-127.
- [14]杨文字,刘健,余健明,董海鹏.配电网分段和联络开关的优化规划[J].中国电力,2004,37(2):50-54.
- [15]郭永基,鲁宗相,毕见广.东北地区产电比的统计分析[J].电网技术,1999,23(10):56-58.
- [16]杨志荣,劳德容.需求方管理(DSM)及其应用.北京:中国电力出版社,1999.
- [17]曾鸣.电力需求侧管理的激励机制及其应用.北京:中国电力出版社,2002.
- [18]李扬,王治华,卢毅等.峰谷分时电价的实施及大用户的响应.电力系统自动化,2001,25(8):45-48.
- [19]丁宁,吴军基,邹云.基于DSM的峰谷时段划分方法和分时电价研究.电力系统自动化,2001,25(8):45-48.

- [20] 杨志荣. DSM 演进的历史评析. 中国能源, 2003 (4): 22-26.
- [21] 徐建军编译. DSM 的发展趋势. 电力需求侧管理, 2000 (3): 41-44.
- [22] 张勇, 程建翼, 罗宾, 等. 基于三架构的网络版用户供电可靠性系统的实现[J]. 湖北电力, 2004, 28(2): 54-56.
- [24] 李进松, 李承军. 基于 3 层架构供电局输配电管理信息系统的设计与实现[J]. 工业控制计算机, 2003, 16(8): 1-2.
- [23] Shaw M, Garlan D. Software architecture[M]. Prentice Hall, 1996.
- [25] 唐陇军, 邱家驹. 基于 3 维地理信息系统的输电线路管理系统[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 43-47.
- [26] 徐其迎, 李日隆, 陈树挺. 一种基于 VB 编程的配电网可靠性评估算法[J]. 电网技术, 2004, 28(3): 48-50, 54.
- [27] 陈兵, 王立松. 基于 3 层架构的网络拓扑结构发现[J]. 计算机应用, 2002, 22(6): 23-25.
- [28] 肖峻, 王成山, 周敏. 基于区间层次分析法的城市电网规划综合评判决策[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(4): 50-57.
- [29] 肖峻, 罗凤章, 王成山, 等. 电网规划综合评判决策系统的设计与应用[J]. 电网技术, 2005, 29(2): 9-13.
- [30] Kevin Loney Marlene Theriault. Oracle9i DBA 手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [31] 万官泉, 任震, 郭小龙 等. 考虑馈线自动化的用户停电损失计算[J]. 电网技术, 2005, 29(1): 24-29.
- [32] 葛少云, 张栋, 肖峻 等. 基于 3 层架构体系的配电网综合评估系统设计与实现[J]. 中国电力, 2005, 38 (11): 79-82.
- [33] 蓝毓俊. 现代城市电网规划设计与建设改造[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

发表论文和参加科研情况

[1]发表论文:

葛少云, 张栋, 肖峻 等. 基于3层架构体系的配电网综合评估系统设计与实现[J]. 中国电力, 2005, 38 (11): 79-82.

[2]科研项目:

- 1、独立完成短路计算核心程序的算法研究与分析;
- 2、独立完成配电网调度运行信息管理系统(即方式板系统)潮流线损计算与查询功能;
- 3、结合配电监测系统与方式板系统, 独立完成中压配电网线路的精确潮流计算;
- 4、华北电力集团公司北京电力公司北京电网综合评估系统软件开发;
- 5、浙江省台州市电力营销数据管理与决策支持系统;
- 6、参与完成福建省莆田市的中压电网规划; 参与完成浙江省三门市电网规划高压部分; 参与完成浙江省绍兴市电网远景规划;
- 7、独立完成华中电力集团公司河南省开封商丘远景规划电网的短路电流计算项目。

致 谢 表

北洋求学已六载有半，值毕业之际，感慨良多，抒心中感激之情。吾师葛少云先生，学识渊博，慈仁德厚，乃良师之表率也。三年前，承蒙先生不弃，收于帐下予以督导，授业解惑，教吾学术及为人之道，学生亦不敢懈怠，只因不才资质驽钝，未得建树，有感愧对先生栽培。师母路志英先生亦关怀备至，恩重如山。每想两先生之谆谆教诲，不尽感激涕零。

亦要万分感谢余贻鑫先生自本科以来对学生之督导与教诲，大师德高望重，学富五车，可谓当今中华电力领域之泰山北斗，为人朴实谦逊，和蔼儒雅，大师于学生之教导至今仍铭记于心。另有王成山先生、贾宏杰先生、肖峻先生亦对不才之学业操心劳神，常指点迷津，学生受益匪浅。

念我七载北洋生涯，实事求是校训无不感染生活之点点滴滴，七载寒暑亦记录下深深北洋情怀。遥想意气风发之当年，与诸位同窗并肩奋斗之场景，仍历历在目，好不痛快。吾决心必将此发扬光大，以耀我巍巍北洋。

实验室刘自发、王澍、赵杰辉、刘洪、董静媛、巫卿、张振宇、张国良等众位师兄及同门提供诸多帮助，不胜感激。于天大求实之一年又半，所学亦受益良多。此间，酸甜苦辣、艰苦拼搏、兢兢业业，非常人所能悟，不才自当此为生命历程之财富，细细玩味其中奥妙。求实研发之王辛、徐英虎、张群华、刘宇、金世强、吴献立诸兄弟，段宁、薛丽、童明娟诸姊妹，亦授于我学业生活上众多帮助，在此一并致上衷心感谢。

于文章末尾，感激父母亲人于吾廿载有五之培养，吾孪生胞弟张樑之鼎立帮助，诸多同窗朋友之悉心关怀，在此不一一列举，献上诚挚祝福。他日定当勤学自勉，奋发图强，报效国家。

乙酉年 岁末

于 北洋园