

农村电网规划与设计

主编 陈拥军 姜宪



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

农村电网规划与设计

主 审	程极盛	何勇
主 编	陈拥军	姜宪
副主编	钟新华	王瑾



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是理论与实际相结合的著作，其内容丰富、新颖实用，比较全面系统地介绍了农村电网规划和设计的相关技术和方法。

全书分十三章。第一章介绍了农村电网及其规划与设计现状。第二章至第三章介绍了农村电力需求评价和负荷预测。第四章至第九章介绍了农村电网规划与设计。第十章介绍了农村电网规划与设计评价体系。第十一章至第十三章介绍了一套实用的基于 GIS 的农村电网规划设计系统及其功能扩展。

本书可供供电企业电网规划设计人员和经营管理人员，以及科研机构 and 信息系统开发单位的相关人员参考，也可作为高等学校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目（C I P）数据

农村电网规划与设计 / 陈拥军, 姜宪主编. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2010. 3
ISBN 978-7-5084-7366-6

I. ①农… II. ①陈… ②姜… III. ①农村配电—电力系统规划②农村配电—电力系统—设计 IV. ①TM727. 1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第050332号

书 名	农村电网规划与设计
作 者	主编 陈拥军 姜宪
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 20.25 印张 480 千字
版 次	2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	58.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

农村电网是农村电气化和农业现代化的基础设施，是促进农业生产、农村经济和农村社会发展，提高农村人口物质文化生活水平，加快精神文明建设的基础条件。深入研究农村电力需求发展和变化规律，加强农村电网的科学规划和实际，加大对农村电网的建设改造力度，大力提高农村电气化水平，具有重要的现实意义。

本书是理论与实际相结合的著作，其内容丰富、新颖实用，比较全面系统地介绍了农村电网规划和设计的相关技术和方法。全书分十三章。第一章介绍了农村电网及其规划与设计现状。第二章至第三章介绍了农村电力需求评价和负荷预测。第四章至第九章介绍了农村电网规划与设计。第十章介绍了农村电网规划与设计评价体系。第十一章至第十三章介绍了一套实用的基于 GIS 的农村电网规划设计系统及其功能扩展。

本书由浙江省电力公司副总工程师程极盛高级工程师、浙江大学何勇教授主审，他们对本书写作提出了很多宝贵的修改指导意见，谨在此表示衷心的感谢！在本书写作过程中，浙江省电力公司、金华电业局和建德市供电局等单位许多同志给予了大力支持和帮助，在此一并表示感谢！特别感谢中国水利水电出版社副总编辑王春学，是他的热情鼓励和帮助使本书能够得以顺利出版。

由于作者水平有限，书中难免许多不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2010 年 2 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 引言	1
第二节 农村电网规划概述	2
第三节 农村电网设计概述	12
第四节 地理信息系统在农村电网中的应用	14
第二章 农村电力需求综合评价	17
第一节 概述	17
第二节 基于层次分析法的农村电力需求综合评价	20
第三节 农村电力需求指数设计	32
第三章 农村电力需求预测	37
第一节 基于灰色 GM (1, 1) 模型的用电量预测	37
第二节 基于灰色-马尔柯夫链预测模型的用电量预测	40
第三节 基于组合预测方法的用电量预测	44
第四节 空间负荷预测方法	48
第四章 农村电网发展规划	56
第一节 高压配电网规划	56
第二节 变电站建设规划	58
第三节 中压配电网规划	66
第四节 新农村典型供电模式	69
第五章 农村电网设计	77
第一节 变电站	77
第二节 架空线路	107
第三节 电力电缆	118
第六章 农村电网主要设备选择	129
第一节 电力变压器的选择	129
第二节 高压断路器的选择	135
第三节 10kV 开闭所及其主设备	152
第七章 农村电网电能质量和无功规划	157

第一节	电能质量的国家标准	157
第二节	无功、电压和线损之间的关系	160
第三节	无功负荷与无功电源	162
第四节	无功补偿规划原则	164
第五节	农村电网谐波治理	172
第八章	农村电网自动化规划	176
第一节	农村电网自动化概述	176
第二节	配网自动化规划	177
第三节	配网自动化系统设计	178
第四节	配网自动化通信网规划	187
第五节	农村电网与智能电网	188
第九章	设计应用案例	196
第一节	某 110kV 变电站初步设计	196
第二节	某 10kV 配电站设计	222
第三节	某 10kV 线路初步设计	226
第十章	农村电网评价指标和评价体系	232
第一节	供电可靠性及评价指标	232
第二节	县级供电企业创一流指标体系	234
第三节	新农村电气化建设标准体系	236
第十一章	农村电网建模和数据接口研究	246
第一节	基于 CIM 的农村电网建模	247
第二节	基于 GIS 的农村电网规划系统数据接口研究	251
第十二章	基于 GIS 的农村电网规划系统研究与开发	255
第一节	基于 GIS 的决策支持系统	255
第二节	基于 GIS 的农村电网规划系统的建立	266
第十三章	农村电网规划系统的功能扩展	299
第一节	基于 Web 的地理信息系统	299
第二节	农村电力需求分析	299
第三节	数据提取和计算	300
第四节	功能实现	302
参考文献		313

第一章 绪 论

第一节 引 言

我国是一个农业大国,全国 80%的人口居住在农村。我国的农村电气化始于 20 世纪 50 年代,经过 50 多年的发展,农电事业取得了巨大的成就。到 2001 年底,我国农村年用电量达到 $3.205 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$, 占全社会总用电量的 22%, 是 1949 年的 16025 倍; 县及县以下总用电量达到了 $6.259 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$, 占全社会总用电量的 43%。其中,农村用电量占县及县以下总用电量的 51.21%; 县城用电量 $3.053 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$, 占县及县以下总用电量的 48.79%; 全国县及县以下每年人均用电量达到了 $547.52 \text{ kW} \cdot \text{h}$; 每年人均生活用电量 $106.55 \text{ kW} \cdot \text{h}$; 农业人口每年人均农村用电量 $351.36 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。全国县及县以下发电设备装机容量 $4.920 \times 10^7 \text{ kW}$, 发电量 $1.671 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$, 县及县以下发电设备的供电量为 $1.33 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$, 占县及县以下总用电量的 21.36%; 大电网供电 $4.922 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$, 占县及县以下总用电量的 78.64%。县及县以下共有 3~110kV 高压线路总长 $3.41 \times 10^5 \text{ km}$, 低压线路总长 $7.75 \times 10^5 \text{ km}$; 110kV 变电站 4461 座, 容量 $2.077 \times 10^8 \text{ kVA}$; 35 (66) kV 变电站 17476 座, 容量 $1.3116 \times 10^8 \text{ kVA}$; 配电变压器 348 万台, 容量 $3.6 \times 10^8 \text{ kVA}$; 县及县以下用电设备 $4.1658 \times 10^8 \text{ kW}$ 。全国乡、村、农户通电率分别为 98.56%、98.53%和 98.40%。

20 世纪 90 年代开始,我国的农村电网建设进入以技术改造和技术进步为特征的新时期。1998 年开始实施的一期、二期农村电网建设改造工程,国家为农村电网发展累计投入资金 4600 多亿元,有力地促进了农电事业的长足发展。中共十六届五中全会提出了建设社会主义新农村的战略思想,这是党在新形势下加强“三农”工作、更好地推进全面建设小康社会进程和现代化建设的重大举措,新农村建设为进一步推进农电事业发展提供了良好的契机。国家电网公司进一步提出了“新农村、新电力、新服务”的农电发展战略,强调要转变发展方式、建设新型农村电网,通过发挥整体优势,统筹城乡电网建设,科技支撑,科学规划,提升装备科技含量,形成结构优化、布局合理、技术适用、供电质量高、电能损耗低的农村电网,为“三农”提供安全、经济、可靠的电力保障,提高农村电气化水平。截至 2008 年底,国家电网公司系统累计建成新农村电气化县 170 个、电气化乡(镇) 2019 个、电气化村 34570 个。

农村电网是电力系统到农村电力用户的最后一环,与用户的联系最紧密,对用户的供电可靠性和供电质量的影响也最直接。电网的安全、可靠、经济运行不仅关系到电力企业的经济效益,而且对提高用户的满意度和树立良好的企业形象有着重要意义。但是,目前我国农村电网的可持续发展仍还面临着困境。我国在电力工业发展的过程中,长期以来存在“重发轻供不管用”的倾向,致使配电系统特别是农村电网网架薄弱。由于投资规模所



限,两期农村电网建设改造覆盖面总体不到 90%,还存在没有改造的农网,其技术装备水平与安全、可靠、优质供电的标准还有很大差距。同时,农村低压电网改造结束几年来,电力设施不断老化,加上农村低压线路及设施运行环境较差,促使老化速度加快,增加了低压电网隐患,同时维护成本不断攀升。特别是近年来,由于经济持续发展和人民生活水平的不断提高使得我国的配电系统尤其是农村电网面临的问题更加严峻。其具体表现为:①配电系统建设明显滞后于经济建设和发输电系统的建设;②网架薄弱,供电不合理,有些地方存在“有电送不出”的现象;③供电质量差,可靠性低,损耗高;④配电自动化程度低;⑤变电站布点和馈线布线比较困难。

随着我国经济的快速增长、新农村建设的不断推进和电力工业的快速发展,长期以来作为国民经济发展的电力“瓶颈”将被突破,电力行业将告别“短缺”,进入“卖方市场”。农村电力事业的进一步发展,将不再是决定于以电源建设为中心的电力供给能力的发展,而是决定于广大电力用户对电力的需求。深入研究农村电力需求发展和变化规律,加强农村电网的科学规划,加大对农村电网的建设改造力度,大力提高农村电气化水平,具有重要的现实意义。

第二节 农村电网规划概述

一、农村电网的主要特点

农村电网指主要为县(含旗、县级市、区)级区域内的城镇、农村、农垦区及林牧区用户供电的 110kV 及以下配电网,也称县级电网,简称农网。图 1-1 典型的农村电网地理接线图。农村电网是农村电气化和农业现代化的基础设施,是促进农业生产、农村经济和农村社会发展,提高农村人口物质文化生活水平、加快精神文明建设的基础条件。农村电网具有以下特点:

(1) 用户数量多,布点分散,负荷密度较小。由于地理条件的限制,往往造成农村电网输配电线路过长,有的甚至几公里的山区线路只带十几千伏安的配电变压器,投资成本和维护费用很大,投资回报率很低。同时,由于低压线路长,高损耗配电变压器比例大,又造成农村电网线损率很高,并导致了电能质量下降,供电成本上升,供电效益很低。

(2) 电网结构复杂,分支级数多。农村电网主干网中,10kV 线路占有绝对比例,但由于用户分散,线路分支级数多,有的甚至达到五六级之多,安装使用自动化装置非常困难,分支线路若发生事故,将造成整条线路停电,查找故障难度很大。

(3) 农业生产的季节性等因素造成了农村电网的用电负荷季节性很强,输配电设备和线路有效利用率很低。值得一提的是,由于近年来我国经济的高速发展,空调等季节性负荷在农村电网中增加也很快,这将进一步提高农村电网用电负荷季节性变动程度。

(4) 自然功率因数低,电压质量低。由于农村电网中用电设备自然功率因数低,加之低压线路长,无功补偿不足,导致电网低功率因数运行,造成线损率提高,电压质量下降。

农村电网的上述特点也给我们提出了加强农村电网规划,改造和完善农村电网整体布



2007 年建德市供电局电网地理接线图

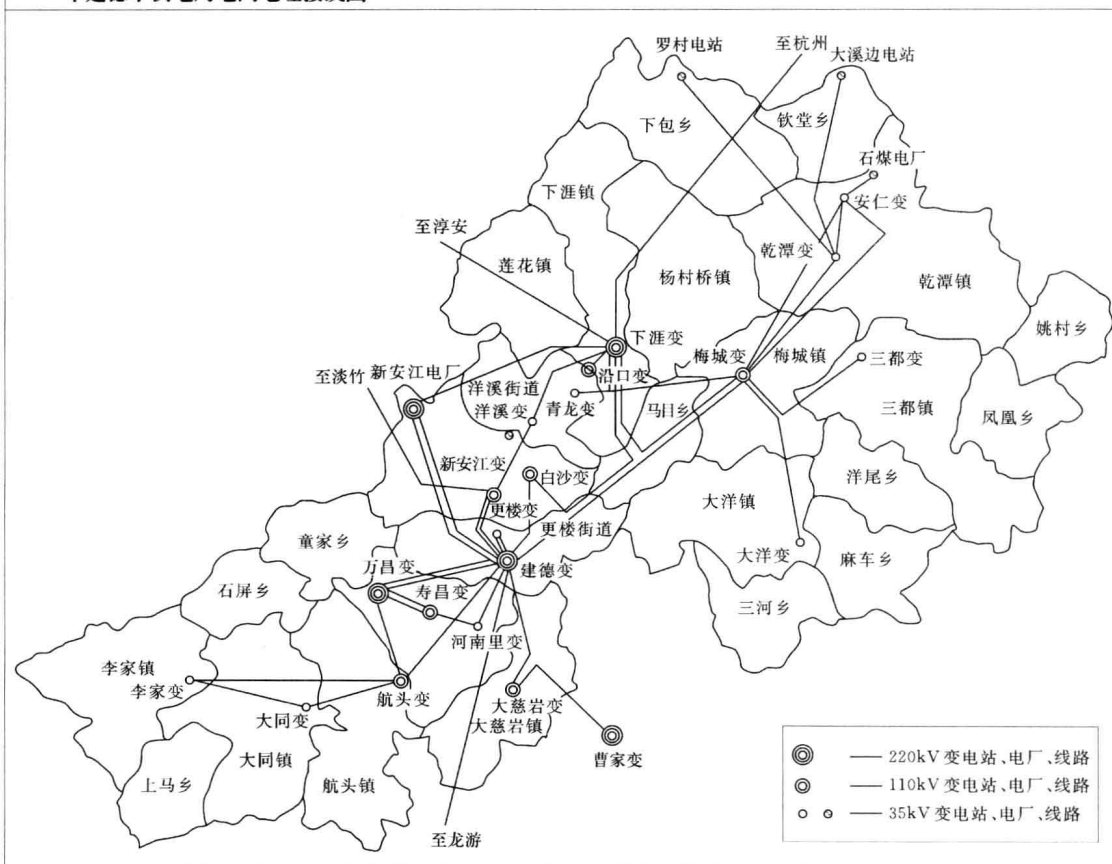


图 1-1 典型的农村电网地理接线图——建德市电网地理接线图

局，更新改造高损耗配电变压器，合理安排负荷，以及综合治理，降损节能，提高供电效益和电能质量的艰巨任务（刘恒赤，1998；董表民，1998）。

二、农村电网规划及其编制原则

农村电网规划是农村电网发展的“龙头”。农村电网规划通过研究农村电网整体，分析农村电网动态，研究农村电力需求变化规律，优化农村电网结构，提高农村电网供电可靠性，使农村电网具有充分的供电能力，以满足农村电力需求增长的需要，使农村电网的容量之间、有功功率和无功功率之间的比例趋于协调，成为供电、用电指标先进的电网，并使其成为设备得到更新、结构完善合理、技术水平先进的电网（丁毓山，2001；杨勇，2001）。

农村电网规划按时间序列通常分为近期规划（5 年）、中期规划（10 年）、远期规划（20 年）三种。

农村电网规划是农村电气化和农业现代化规划的重要组成部分，也是电力发展规划的重要组成部分。农村电网规划应纳入当地发展规划，与县城、村镇各项规划相互紧密配合、协调并同步实施，以适应农业现代化的需要。农村电网规划应与上级电网规



划相互配合、协调。根据县内各阶段电力需求预测和电力平衡状况向上级电网提出电源布点及供电需求,以保证上级电网和农村电网之间合理衔接。农村电网规划应满足以下基本要求:

(1) 有足够的供电能力,能满足供电区域内各类用户负荷增长的需要。

(2) 因地制宜地合理确定电网的电压等级、接线方式和点线配置方案,电网结构优化合理。

(3) 输电、变电、配电容量协调,无功电源配置适当,功率因数达到合理水平(>0.9)。

(4) 供电可靠性不断提高。

(5) 优先采用新技术和性能完备、运行可靠、技术先进的新设备。

(6) 符合环境保护的要求,节约土地,少占农田。

根据 DL/T 5118—2000《农村电力网规划设计导则》、DL/T 5131—2001《农村电网建设与改造技术导则》,农村电网规划的技术原则主要有:

(1) 农村电网应统一规划,注重整体布局,优化网络结构,简化电压等级,提高电网的经济效益。

(2) 电压等级:一般为 110/35/10/0.38kV; 66/10/0.38kV; 110/10/0.38kV; 单相供电电压为 10/0.44 (2×0.22) kV。

(3) 供电半径:变电站、配电变压器应设在负荷中心。110kV 线路长度不超过 120km, 66kV 线路长度不超过 80km, 35kV 线路长度不超过 40km。中低压配电线路:10kV 不超过 15km, 380/220V 不超过 0.5km;在保证电压质量的前提下,负荷或用电量较小的地区,供电半径可适当延长。

(4) 线路的导线截面应按经济电流密度选择,并按电压损耗校验。

(5) 农网建设与改造应综合考虑调度自动化、配电自动化、变电站无人值班的建设,暂不具备条件的,也应在结构优化、网络布局和设备选择等方面统筹考虑。

(6) 线损率应符合下列要求:高中压配电网综合线损率(含配电变压器损耗)不大于 10%;低压配电网线损率不大于 12%。

(7) 功率因数应达到:变电站 10kV 侧不低于 0.95;变压器容量为 100kVA 以上的电力用户不低于 0.9;农村公用变压器不低于 0.85。

(8) 供电电压。电压允许偏差值应符合 GB 12325—1990《电能质量供电电压允许偏差》的要求,即:220V 为 $-7\% \sim +10\%$; 380V 为 $-7\% \sim +7\%$; 10kV 为 $-7\% \sim +7\%$; 35kV 为正负偏差绝对值之和小于 10%; 66kV 为正负偏差绝对值之和小于 10%; 110kV 为正负偏差绝对值之和小于 10%。供电电压合格率符合 DL 407—1991《农村电气化标准》的要求,不应低于 90%。

(9) 容载比宜达到下列要求:35~110kV 变电站取 1.8~2.5;配电变压器取 1.5~2.0。

(10) 供电可靠性。发达地区农村电网中重要的 110kV 变电站或 35kV、66kV 变电站可采用供电安全 $N-1$ 准则,即:变电站应设两台及以上变压器,并由两条回路供电;变电站失去一回进线或一台降压变压器时,应保证向下一级配电网供电。一般的变电站、中



压配电网、低压配电网的配电线路和配电变压器可不采用供电安全 $N-1$ 准则。农村电网满足用户用电的程度应逐步提高，逐步缩短用户停电时间。

(11) 变电站和线路的设计宜采用通用设计或典型设计。

(12) 线路路径和变电站站址应按相关设计规程来确定，并应考虑抗洪、抗灾的能力。

(13) 农村电网的接线方式。110 高压配电网宜采用放射式、多回线式或环式接线。35kV、66kV 高压配电网宜采用放射式、环式接线开环运行等接线，线路和变电站应能满足供应变电站的全部负荷。

三、农村电网规划的特点和难点

电力系统规划的推动力是负荷的增长和变化。用户负荷的增长和变化必然会引起低压和中压配电系统的变化，这就使得输电系统也要作相应的变动。这种变化形式类似于水波的传播，离负荷增长点较远的输电系统受负荷变动的影响比较小，而较近的中低压配电网则需要做经常性的调整。农村电网属于配电网范畴，这一方面说明了农村电网规划是电网公司一项经常性的任务，另一方面说明了负荷预测的重要性。

农村电网规划主要包括几个相互联系的部分：农村电网现状评估与分析、电力需求预测（包括空间负荷预测）、电力电量平衡、高压电网规划、中低压配电网规划、无功优化规划和配电自动化规划。

负荷预测是农村电网规划的基础，错误的负荷预测，不管是负荷量的错误，还是增长位置的错误，都会导致不合理的规划，给电力企业和用户造成损失。农村电网规划要求配电负荷预测不仅能预测负荷的量，而且要预测未来负荷增长的位置。空间负荷预测正是针对这一需求而产生的。

在数学上，农村电网规划是一个离散非线性的、多阶段多目标的组合优化问题，其目的是：在满足对用户供电和保证各种运行约束的前提下，寻找一组最优的决策变量（变电站位置和容量、馈线路径和型号、开关的位置），使得投资、网损和用户停电损失之和最小。农村电网规划应该体现安全、经济、可靠三个目标，因而是多目标的。在农村电网长期规划中，为了动态地考虑不同时间段的负荷变动情况，常常将规划分成几个阶段进行，称为农村电网多阶段规划。一个阶段可能为 1 年，也可能是几年，这需要根据负荷在整个规划年限内的变化来确定。多阶段规划使得农村电网结构随负荷的变化作动态的调整，以寻求一种动态的设备投入方案来保证规划结果在整个规划年内是最优的。

与输电网规划相比，农村电网规划的难度更大。首先，农村电网的规模更大、结构更复杂、运行方式更灵活、变动更频繁；其次，农村电网配电管理系统 DMS 和配电自动化系统应用范围有限、实用化程度低导致农村电网规划严重缺乏数据，不确定因素增加；最后，空间负荷预测需要的数据量大、数据质量和可信度差，从而导致预测精度不高。

四、农村电网规划的内容和程序

农村电网规划的重点是网架规划，包括变电站布点、网络接线方式及馈线走廊的确定等，涉及到电网的长期目标和电力公司的长期利益。



网架规划按照实用化原则分成：最优变电站布点和最优布线以确定最优规划网络。布点和布线规划采用多阶段规划以综合考虑短期和长期规划的协调，特别是变电站布点规划要避免“建而复拆”，无功补偿和自动化规划一般只考虑短期规划。现有网络和规划网络的评估和比较考虑经济性、可靠性和安全型。其算法和工具包括潮流计算、可靠性计算、网络重构、技术经济评价等。

网架规划的重点是布点和布线，配合规划为变电站预留位置降低电力系统土地征用费，确定馈线走廊以便规划部门统一安排从而降低电力通道费用。网架规划要求比较粗，在算法上要求快速、简单；但模型比较复杂，如在方案评估上要考虑输电系统、配电网和变电站本身投资。

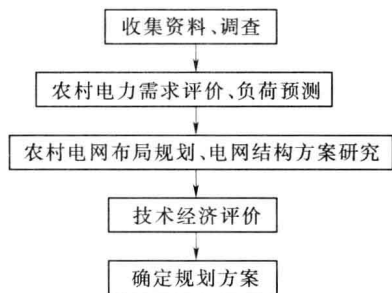


图 1-2 农村电网规划程序

农村电网规划程序如图 1-2 所示，其主要内容包括：

(1) 调查以下各类资料，必要时进行实测和勘察，分析存在的问题，明确规划建设和改造的重点。

1) 综合资料，包括当地国民经济和社会发展规划等综合资料以及影响农村电力需求发展变化的其他资料。

2) 电源和电网现状资料，各类用电、负荷基本资料，线损资料。

3) 资源和动力资源状况。

(2) 进行农村电力需求评价，并根据农村总体规划和电力需求发展变化情况进行负荷预测，分析预测规划年度的用电水平。

(3) 进行农村电网布局规划和电网结构方案研究。包括：

1) 分期对农村电网结构进行整体规划。

2) 确定农村变电站的布局及其最佳位置。

3) 确定输配电线路的接线方式和路径。

4) 确定变电站及其输配电线路的建设分期，分期的工程项目及其建设进度。

5) 分析规划区内无功电源和无功负荷的情况，进行无功平衡，合理地安排无功电源的位置，确定最经济的补偿容量。

6) 确定调度、通信、自动化的规模及其采用继电保护的方式和要求。

7) 估算各规划时期内需要的投资、主要设备、主要材料的需要量以及设备的规范。

8) 分析计算农村电网规划前后的各项指标，如电网供电可靠率、线损率等。

9) 估算规划期末所取得的经济效益和扩大供电能力后取得的社会效益、经济效益。

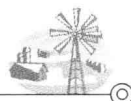
10) 确定规划方案。

(4) 绘制规划期末农村电网地理接线图。

(5) 编制规划报告文本。

五、农村电网规划系统

随着我国一期、二期农村电网建设改造工程和新农村电气化建设的不断推进，农村电



网规划工作越来越得到电力企业和各级政府的重视，从而也进一步推动了农村电网规划水平的提高。农村电网规划工作的发展，一般可以划分为四个阶段。

1. 手工规划编制阶段

特点：完全依赖规划设计人员的知识、经验等，对方案的分析仅限于定性分析，不仅工作量大，而且容易出现错误，该方法一般能提供较简单的规划文本与方案图纸。

结果：通常规划结果质量较低。

2. 手工规划与计算机相结合阶段

特点：主要依赖规划设计人员的知识、经验等，除了定性分析之外，通常能提供规划方案的潮流及短路定量计算分析，该方法工作量较大，也可能出现问题，规划文本的内容较以前有较大的提高。

结果：通常规划结果质量一般。

3. 规划软件与专家干预相结合阶段

特点：主要依赖规划软件的功能，以及规划设计人员的规划经验。这种方法通常可以提供较丰富的定量分析比较手段，能紧密结合城市规划，在目标网架规划、站点位置、线路走廊预留等远景规划内容上具有较高的技术水平与使用价值。规划报告的内容也较丰富，规划文本的质量较以前有较大的提高。

结果：通常规划结果质量较好。

4. 基于 GIS 的农村电网规划系统阶段

特点：通过建设基于 GIS 的农村电网规划系统（见图 1-3），使规划以及辅助设计软件已经成为规划设计人员日常工作的重要工具。农村电网规划系统与电力企业现有的信息系统结合密切，能及时反映电网的建设及改造情况，通过不断地滚动规划设计与评估，形成信息的及时反馈，达到规划工作的良性循环。这种方法重点解决了近期电网规划与电网建设改造计划的问题，能显著提高计划的科学性，充分发挥近期电网建设资金的效率。所得成果符合当地实际电网情况，规划结论可行性较高，规划报告的内容更具有针对性。同时由于具有完善的数据接口，人工工作量大大减少，使滚动规划可以及时进行。

结果：通常规划结果质量好。

目前，国内大部分的规划编制方法都处在第二或第三个阶段，大多采用手工规划编制与部分校验工具相结合。

规划节约是最大的节约。在电力系统迅速发展的背景下，电网规划对于提高供电质量、经济性和安全性显得越来越重要，电网规划应该体现安全、经济、可靠三个目标。农

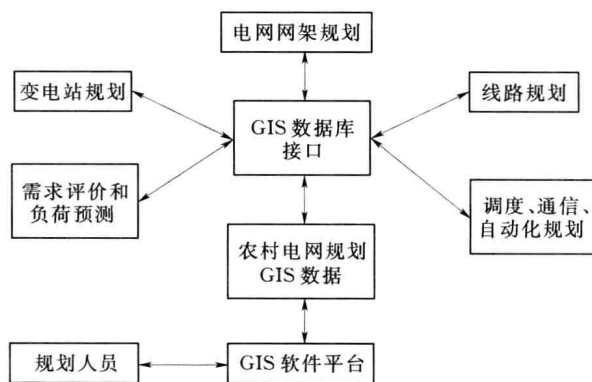


图 1-3 基于 GIS 的农村电网规划系统技术体系



村电网规划主要包括负荷预测、变电站规划、配电网架设计、无功补偿和开关优化配置等多种优化计算。在数学上,电网规划是一个离散非线性的、多阶段多目标的组合优化问题,其目的是:在满足对用户供电和保证各种运行约束的前提下,寻找一组最优的决策变量(变电站位置和容量、馈线路径和型号、开关的位置),使得投资、网损和用户停电损失之和最小。为了提高农村电网规划工作的科学性、规范性和工作效率,农村电网规划工作的信息化成为了该领域的发展方向,其主要内容就是要建设基于 GIS 的农村电网规划系统。就提高农村电网的经济性和可靠性来说,在某种程度上,对电网规划系统的研究比规划方法本身更为重要。目前,国外电力工业先进的国家已经开始广泛应用电网规划智能软件产品,并取得了突出的效果,如葡萄牙电力公司(EDP)于 1998 年开始应用电网规划优化软件(DPlan)。国内外电网规划的研究和实践表明,采用优化算法的配电网规划系统能够比专家规划节省 6% 的投资和运行费用,比不规划或非专家规划节省 20% 以上。电网规划系统在提高电网的经济性和可靠性上具有很高的投资回报,电网规划系统在我国正面临着前所未有的机遇和挑战。在国内,目前不少单位(如中国电力科学院、清华大学、天津大学、重庆大学等)都在开发研究基于 GIS 的电网规划系统,但由于电网建模复杂、信息化数据共享性差、算法技术落后、人机界面不够直观、多方案技术比较人工干预量大、实用性差等问题,大多尚处于研发阶段,至今还没有一套科学、完善的实用软件(王天华,2005)。

建设电网规划系统需要大量电网参数数据和其他相关数据的支持,这些数据一般分散于电网自动化、能量管理、负荷监控、用电营业管理、地理信息系统等其他系统,比较难以收集,数据的准确性、完整性和兼容性对电网规划有着重要意义。农村电网规划系统的发展方向是集成化和智能化。集成化是指系统能够实现异构多数据源的数据无缝集成,实现覆盖设计工程规划设计、优化计算等子系统的横向功能集成,能够实现与自动化数据采集与监视控制系统(SCADA)、能量管理系统(EMS)、负荷监控等子系统的纵向功能集成,从而实现数据资源一体化和功能一体化。智能化是指系统能够采用最新优化规划算法,采用先进的统计和人工智能技术,全面完整地状态数据和其他相关数据进行智能分析计算,为电网规划提供科学、规范和可靠的决策支持,提高电网规划工作的效率(王天华,2005)。

目前在电力系统中广泛应用的 SCADA、EMS、AM/FM、负荷监控、远程抄表等各种自动化系统、信息系统大多来自不同厂商,由于缺乏统一的开发技术规范和接口标准,加之不同厂商对电力系统的理解不同,致使不同系统之间存在着突出的系统平台、系统开发工具、数据格式和数据模型等不一致情况,形成了“信息孤岛”,严重阻碍了电力系统在更高层次上进行数据共享和数据再利用的努力。因此,解决异构环境下不同数据源的数据集成,以及统一不同系统对电力系统公共数据模型的理解,就成为了电力系统进行深度信息化的必经之路。近年来,电力系统借鉴化工、石油、制造和保险等行业广泛应用基于 XML(Extensible Markup Language)格式的通用数据模型 CIM(Common Information Model)模型标准取得的成功经验,对 CIM 标准开展了大量的研究,并取得了一系列的成果。美国电力科学研究院于 1998 年提出了建立统一的电力企业通用信息模型 CIM 的设计,并在 2003 年首次由 IEC 国际组织纳入国际标准,已经通过的有 IEC 61970 和 IEC



61968。IEC 61970 系列标准是国际电工委员会(IEC)第 57 分会(电力系统控制与相关通信)第 13 工作组制定的一套国际标准,即能量管理系统应用程序接口(EMS-API)标准。该标准的定义使电力系统各种应用以及 EMS 能够不依赖信息的内部表示存取公共数据和交换信息。IEC 61968 主要对配电网通用数据模型 CIM 进行定义,目前正式颁布的 IEC 61968 标准只包含了整体系统规范和部分组件规范的定义,完善的模型定义正在研究当中。上述两标准都采用 OMG UML 2.0 统一过程对象建模语言对所涉及的数据实体及其相互关系,以及总体数据体系结构进行了细致的描述。国内对电力系统通用数据模型的研究自 2001 年以后开始展开,目前主要有中国电力科学院、清华大学、南京自动化研究院、重庆大学、东方电子股份有限公司、浙江大学等企业和科研机构对此进行深入研究。2004 年 4 月,中华人民共和国科学技术部通过了“基于国际标准 CCAPI 的 EMS 系统接口平台”科研项目的验收,该项目主要利用 IEC 16970 展开对能量管理系统接口的研究,这标志着我国对电力系统 CIM 的研究开始进入快速发展时期。可以预言,电力 CIM 模型将成为今后阶段电力系统信息化系统建设中的通用标准。根据上述标准,电力系统 CIM 模型可以采用关系数据库或者 XML 进行实现,在异构环境下对多数据源进行数据集成的手段主要有数据适配器方式和数据总线方式(王康元,2003;吴琴,2003;陈拥军 2003;王天华,2005)。

六、农村电力需求评价和负荷预测

农村电力需求是指供电区域范围内有支付能力的用户对电力的需求量。农村电力需求评价和负荷预测结果是农村电网规划的依据,因此应充分掌握本地区历年用电量和负荷变化情况,研究农村电力需求变化规律,合理选择预测方法,使预测值的准确度满足相应规划的要求。

从时间上看,对农村电力需求变化规律的研究主要有两类:一类是从保障电力系统安全稳定经济运行的角度,主要研究农村电力短期需求变化规律;另一类则是从保障电力系统长期可靠供电能力,减少投资的角度,主要研究对中长期电力需求变化规律。本书主要研究农村电力需求中长期规律。

负荷预测的内容,包括规划期目标的用电量、最大有功负荷和无功负荷及其分布,此外,对于电源节点与主干线路的年、季、日负荷曲线的主要特征,也应做出估计。

农村电力需求评价和负荷预测可分区、分行业、分电压层次进行。按电压层次预测或预测全区总负荷,应计入本级及以下各级电网的网损。

农村电力需求评价和负荷预测需要收集的资料与采用的分析预测方法有关,包括:

- (1) 本地区总体规划中的有关指标和新增重大项目的用电规划。
- (2) 本地区用电负荷历史资料 and 与用电有关的其他统计(如经济、人口、气象、水文资料等)。
- (3) 电力系统规划中与本地区电网有关部分的资料。
- (4) 本地区电力大用户负荷预测的参考资料。

电力需求受到政治、社会、经济、自然、科技等诸多不同因素的影响,这些因素彼此关系复杂,对电力需求的影响程度也不相同。事实上,迄今为止,国内外对电力需求评价

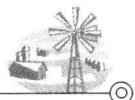


的研究主要也集中在探讨影响电力需求的因素和受影响的程度上。一般认为影响电力需求的因素为电价和相关商品价格、国民经济运行状况和经济结构、国家政策和法律环境、电网结构和管理水平、电力用户的收入状况以及人口和家庭规模、天气气候等自然因素等,其中 GDP、电价、气温对电力需求影响最大。

从国际上来看,电力系统需求评价预测的理论研究开始于 20 世纪中叶。在此之前,由于电力系统本身的规模限制及许多其他因素的影响,需求评价预测的研究一直没有成形(林伯强, 2003; Zhang Chun, 1987)。1978 年美国学者 Kraft J 和 Kraft A 首先开始研究电力和经济增长关系,随后在其他国家也相继展开(黄超, 2005; 达庆利, 2005; 李翔, 2005; 吴景龙, 2005; 梁亚丽, 2005; 杨淑霞, 2005)。20 世纪 80 年代以后,对于中长期电力需求评价预测的理论研究开始兴起,尤其是在发达国家,一系列预测方法,如自回归法、移动平均法、指数平滑法等被提出并相继得到应用(林伯强, 2003; Zhang Chun, 1987)。

在我国,20 世纪 90 年代以来,电力需求评价和负荷预测工作也越来越受到电力企业、科研机构和电力主管部门的重视,并在这方面开展了大量工作,1993 年以来我国每年编辑出版《中国电力供需形势分析》(现为《中国电力市场分析与研究》)。我国还实施了一些中外合作研究项目,如 1989 年,华东电管局与法国电力公司(EDF)合作开展华东电网负荷预测研究,引进了电量预测和负荷曲线预测软件包(PVDEC 和 PCCCS);1994 年,中日合作开发中国电力需求模型,提出利用计量经济模型开展电力需求评价和预测(曹四光, 1997; 慈义, 1997);1996 年,国家电力规划设计总院与加拿大 Monenco AGRA 公司合作开展《南方四省(区)能源战略规划》研究,提出考虑需求侧管理,用综合资源规划分析法对电力市场进行研究,利用终端用户法进行电力市场预测(郝淑平, 1997; 康义, 1997; 唐平雅, 1999; 王新民, 1999),等等。

黄超等人通过定量分析的办法,利用 Granger (格兰杰)因果关系和 ECM (误差纠正模型)来解析我国电力发展和经济增长的关系,认为电力生产是经济增长的单向格兰杰原因,经济增长对电力生产的推动不是绝对因素,而电力短缺将对经济发展产生极大影响(黄超, 2005; 达庆利, 2005)。李翔等人利用状态空间模型对电力需求与国内生产总值(GDP)增长率时间序列分别进行周期项和趋势项的分解,发现电力需求与 GDP 增长率分解的周期项之间存在很强的相关关系,并进一步得出了与黄超等人相同的结论,即电力发展和经济增长的影响关系基本是单向的,经济增长对电力生产的推动力远小于电力短缺对经济发展的制约力(李翔, 2005; 吴景龙, 2005; 梁亚丽, 2005; 杨淑霞, 2005)。林伯强认为国内生产总值、电价、人口增长、经济结构变化、效益改进等五个因素对中国长期电力需求具有重要影响,他利用宏观经济和计量经济学的方法建立了一个长期电力需求模型评价和预测中国电力需求(林伯强, 2003)。1994 年,中日合作开发了中国电力需求模型,提出利用计量经济模型开展电力需求评价和预测(曹四光, 1997; 慈义, 1997)。1995 年,中华人民共和国电力部开展电力监测预警系统研究,对影响电力需求的指标进行定性和必要的定量分析,开展短期预测,并提出用扩散指数 DI 和综合指数 CI 预测电力需求的周期变化(刘贵元, 1995)。沈志斌等人认为影响电力需求的因素主要有经济增长、工业化、产业升级、体制变革、城市化、社会发展、人民生活质



量等因素（沈志斌，2005；李苑，2005；朱泌生，2005；刘解龙 2005）。万载扬对电力需求增长与经济增长进行了比较研究（万载扬，2004）。史玉波等人在研究国内生产总值（GDP）与用电量关系的基础上，进一步研究了电力发展与经济发展的关系，认为近年来电力需求快速增长的主要原因是重工业用电量增长提速（史玉波，2004；顾峻源，2004；黄学农，2004；刘亚芳，2004；夏清，2004）。刘顺达通过国际比较研究认为，随着经济的发展，今后一个时期，我国的居民生活用电量特别是空调电量将迅速增长，消费比重持续上升（刘顺达，2005）。李晓梅等人认为气温是影响夏季电力需求的主要因素（李晓梅，2004；周晖，2004；李冬梅，2004；李继红，2005；张锋，2005）。张福伟等人研究了社会发展对电力需求的影响，并分别分析了构成社会系统用电量的城镇公共设施用电量和居民生活用电量与主要影响因素的关系，提出了城镇公共设施用电量与城市化率紧密相关，影响人均居民生活用电量的主要因素是电价、人均可支配收入（张福伟，2005；谭忠富，2005）。

影响农村电力需求的因素有很多，预测农村电力需求又有许多不确定性。我国目前应用于电力需求总量预测的方法比较多，经常使用的有十余种，这些方法大体可归于两大类：定性预测方法和定量预测方法。定性预测方法是指人们凭借经验、专业知识和判断能力，在对预测问题进行充分深入的了解和分析的基础上，通过对有关资料的分析判断，对未来发展趋势作出性质上和程度上的判别、估计和测算。定性预测方法主要包括专家会议法、头脑风暴法、德尔菲法等。定量预测方法是指依据历史和现实的数据资料，利用统计和数学模型近似地提示出预测对象的数量变动关系，并据此对预测对象作出定量测量的方法。定量预测方法主要包括移动平均法、指数平滑法、趋势外推法、非线性回归预测法、人工神经网络法、弹性系数法、负荷密度法、产业产值单耗法等。表 1-1 概括了部分常用农村电力需求预测方法的特点。

表 1-1 常用农村电力需求预测方法的特点

方 法	特 点	要 求
定性预测法	适合对缺乏历史统计资料或趋势面临转折的事件进行预测	需做大量的调查研究工作
线性回归预测法	假设自变量与因变量之间存在线性关系	为变量收集历史数据，此项工作是此预测中最费时的
非线性回归预测法	假设因变量与一个自变量或多个其他自变量之间存在某种非线性关系	需要收集历史数据，并用几个非线性模型试验
趋势外推法	适用于趋势型态的性质随时间而变化	需要收集对象的历史资料
移动平均法	适合不带季节变动的反复预测	需要因变量的历史资料，但初次选择权数时很费时间
指数平滑法	适合具有或不具有季节变动的反复预测	只需要因变量的历史资料
人工神经网络法	因变量与一个或多个自变量之间存在某种非线性关系	需要大量历史数据进行模型训练
弹性系数法	主要考虑经济增长和电力增长的关系	需要收集弹性系数的历史资料
产业产值单耗法	考虑各产业部门具有不同的变化趋势	需要收集产业产值、单耗的历史资料