

区域电气化

建模技术

6.6



罗高荣 著
浙江大学出版社

内 容 提 要

《区域电气化建模技术》从系统分析的观点出发,解决区域电气化系统规划、设计、管理中的一些问题,从每个特定问题的分析入手,通过适当的数学手段,应用已有数据资料建立模型,达到对问题的定量化分析、调整和控制的目的。对一些属于经济的、社会化的问题,力求从定性分析走向定量化研究并给出优化模型,用以指导区域的电气化建设并使其按照人们预想的目标发展。

全书共分为六章,力求理论联系实际,用一些新的理论和方法研究、解决区域电气化过程中出现的一些新的课题。内容主要包括有区域电气化系统电力、电量预测模型,区域电气化工程布局及参数优选模型,区域电气化供电可靠性计算,区域电气化经济、决策、优化控制模型以及区域电气化建设系统动态仿真等等。可供从事电力建设事业的广大工程技术人员参阅,亦可供从事区域能源模型研究、以及系统理论与实践的工程技术人员、有关大专院校的师生参阅。

前 言

我国是一个农业大国，农村人口有八亿六千多万，占全国总人口的近百分之八十。农村人口不仅数量多，而且居住分散。各地自然条件、经济水平以及文化、习俗等均各不相同，农村用电水平之悬殊、资源分布之不均不言而喻，目前尚有百分之二十左右的农村人口未用上电，包括县级用电在内的区域电气化任务仍然十分繁重。笔者自参加工作以来，曾先后在几个单位服务，所从事之工作概未脱离农电的范畴。尤其是近几年来一直从事电力系统规划及农电方针政策研究方面的工作。由于工作的需要，几乎走遍了全国各省、市、自治区，诸多人事、感慨颇多，印象至深、难以忘怀的是摆在农电工作者面前的任务是如此艰巨以及那些默默无闻，勤勤恳恳为农电事业服务的同行们。他们不顾工作之劳苦、条件之简陋、生活之艰辛，默默地为山区、为农村奉献着光明。为了农电事业，为了农村的发展可以无私奉献，在所不惜。笔者的一位挚友，50年代大学毕业，从江南水乡泽国来到太行山区，从事农电事业至今三十余载，经历了漫长的磨难，付出了巨大的代价。笔者的一位至交和同龄人，大学毕业后放弃了留城市工作的机会，回到家乡从事水电开发事业，十几年勤勤恳恳，在家务负担重、工作条件差的情况下，每天往返几十里，独立完成了两座水电站的机电设计、安装、调试任务，简化了自己诸多业余爱好，至今仍然

奋斗不止、孜孜以求。也许可以认为这是平凡的岗位、平凡的工作，称不上惊天动地的业绩，也没有谁为他们歌功立传。但每每想到我国农电事业所取得的巨大成就，就会想起他们才是农电事业的栋梁和中坚。笔者谨以此《区域电气化建模技术》一书献给那些农电事业的“拓荒者”，以表达对他们的崇敬之意和深深的怀念。任启秀工程师曾经为本书提供了修改意见，并付出了审校的辛勤劳动，谨此致谢。

作 者

1990年5月1日

目 录

第1章 概 论

- 1.1 中国区域电气化事业的发展····· (1)
- 1.2 区域电气化建模技术研究的意义····· (3)
- 1.3 区域电气化系统的范畴····· (5)

第2章 区域电气化电力、电量预测模型

- 2.1 负荷、用电量预测的意义和方法····· (6)
- 2.2 区域电气化负荷预测模型····· (7)
 - 一、借鉴资料法····· (7)
 - 二、负荷叠加法····· (8)
 - 三、电量计算法····· (8)
 - 四、综合需用系数法····· (9)
 - 五、平滑技术预测法····· (12)
 - 六、灰色马氏链模型····· (15)
- 2.3 区域电气化年用电量预测模型····· (31)
 - 一、年用电量回归预测模型····· (31)
 - 二、灰色动态模型····· (39)

第3章 区域电力系统布局及工程参数优选模型

- 3.1 电源工程的参数优选及工程排序模型····· (44)
 - 一、水电梯级开发的动态规划决策模型····· (44)
 - 二、线性规划模型求解电力工程最优排序问题····· (54)
 - 三、水电工程多目标开发的灰色非线性规划模型····· (60)
 - 四、多属性工程评价模型····· (68)
 - 五、多目标工程方案选择的层次分析法模型····· (76)

3.2 电网工程的参数选择模型	(86)
一、变电站位置优选的非线性规划模型	(87)
二、降压变电站容量选择的随机模型	(96)
第4章 区域电力系统供电可靠性模型	
4.1 供电可靠性计算的基本思想	(107)
4.2 水电为主的系统综合供电可靠性计算模型	(108)
4.3 水、火电混合系统供电可靠性计算模型	(116)
4.4 水、火电混合系统综合供电保证率计算模型	(122)
4.5 电厂出力相关时电力系统供电保证率计算	(130)
4.6 保证率约束下的电力系统必须供电出力计算	(141)
第5章 区域电气化系统经济、决策模型	
5.1 电力系统发展动态经济模型	(151)
5.2 区域电气化投资决策模型	(166)
一、投资决策模型研究的意义	(166)
二、建模方法	(167)
5.3 电气化建设的模糊动态规划决策模型	(178)
一、模糊动态规划的数学描述	(180)
二、模型的实际应用	(182)
5.4 电力系统建设的动态分析与最优控制	(189)
5.5 区域电气化规划评价决策矩阵分析法	(200)
一、效益矩阵	(201)
二、制约矩阵	(201)
第6章 区域电气化规划系统仿真	
6.1 系统仿真的意义	(209)
6.2 建立仿真模型的理论与方法	(210)
6.3 建模中需要注意的几个问题	(226)
6.4 系统整体特性的模拟分析	(227)

第1章 概 论

1.1 中国区域电气化事业的发展

我国是一个农业大国，具有地域辽阔、人口众多的特点。人口分布分散而各地区的经济、自然条件又相差较大，根据各地区的特点发展区域电气化事业，是我国能源建设甚至国民经济建设的一项重要内容。为了总结区域电气化事业的经验，我国初步选定一百个小水电资源比较丰富，又具有一定开发规模的县作为区域电气化试点县。经过几年的努力，大部分县已初步达到了初期电气化标准，取得了区域电气化事业的初步成效。

中国的区域电气化事业及其标准大致经历了四个阶段。首先是以照明、农副产品加工负荷为主的极初级阶段。在建国初期，我国的国民经济建设迅速得以恢复和发展，电力市场由城市向广大农村地区扩大，很多地方兴建了小火电站和小水电站作为农村和乡、镇的用电电源。这些电站以孤立运行居多，负荷以照明和农副产品加工为主，小而分散，可靠性及技术水平低下。尽管如此，这一极初级的“电气化”阶段仍然在中国的电气化建设事业中具有重要意义。它使广大农村地区有史以来第一次用上了电，标志着农村的社会主义建设事业进入了一个新的时期。大约在 60 年代末到 70 年代初，是我国区域电气化建设的第二阶段。这一阶段中，农村中发展了一些比较重要的负荷，即一些县办工业和以农机具修理和制造为主的乡镇工业负荷迅速发展。此时负荷本身对电源建设的要求有所提高，电站规模及电压等级也都有所提

高，“电气化”水平以及以电力为主要能源的一些企业的生产方式都进入新的时期，对电力的依赖性日趋严重。从而使广大人民群众日益认识了农业的根本出路在于电气化和机械化以及区域电气化建设对未来经济发展的重要性。在70年代初至80年代初的十多年里，区域电力系统在大部分农村地区已经形成，各个孤立运行的电站联成了网络，县办工业和乡、镇企业象雨后春笋般成长起来，一些条件较好的地方开始形成比较集中的工业区一些地方还初步形成了发、供、用电统一管理的电力企业经济实体。电气化建设带动了地方工业的发展，而地方工业的发展又为电气化建设事业提供了资金来源并对电气化事业提出了新的要求，出现了互相促进的良性发展趋势。大部分地区形成了区域性电网，有的还与国家大电网以一、两点联结，从而提高了区域电网的技术水平和供电质量。区域电气化建设已经成为国民经济建设的一个重要方面。区域电力系统的发展迫切要求国家在方针政策、管理体制以及技术水平等方面给予扶持、进行改革和指导，以解决电气化建设中出现的一些新的问题。为此我国开始了区域电气化试点（以县电网居多）的工作，从政策、体制等方面解决一些存在的问题，同时从资金、技术等方面进行扶持，以便总结经验籍以推广。所以从80年代初，区域电气化建设进入了一个崭新的历史时期。国家对于区域性电气化建设的一系列方针政策的制订和调整为电气化事业的发展创造了有利条件，电气化建设已发展到必须纳入区域国民经济建设的轨道上来，它不但必须逐步适应农业生产对电力日益增长的需要，而且还必须满足人民群众物质生活、文化生活对电力消费日益增长的需要。区域电气化建设不仅给我们提出了一些方针政策、体制方面的新的课题，而且在技术、管

理方面亦提出了一些新的课题。如何使区域电气化建设与国民经济协调发展、以最好的经济与社会效果满足区域国民经济建设和人民群众的文化与物质生活水平的需要是摆在我们面前的一大课题。

1.2 区域电气化建模技术研究的意义

区域电气化模型研究的是有关区域电气化规划、设计及运行管理工作中对一些问题的建模、优化、控制方法和步骤,包括电气化建设中单个项目的建模和优化控制以及整个电气化系统的建模、优化和控制等。我国有广阔的地域和众多的人口,发展区域性电气化事业是我国实现四个现代化的重大步骤。一项成功的区域电气化建设决策,不仅可以提高电气化系统本身的经济和社会效益,而且可以促进区域内国民经济建设和人民生活水平的提高,而成功的电气化建设决策来自于对所论问题的深入研究和调查分析,利用系统内部的已有信息,揭示其内在的发展规律,从而决定和调整未来的发展。这种利用系统已有信息、研究其内在联系、掌握其未来发展规律的过程就是本书讨论的内容。例如,研究一个电力系统的经济模型,离不开对该系统各个环节因果逻辑关系的研究,图 1-1 示出了某区域电力系统的网络模型。

该网络模型的意义为: 每年系统内投入建设的投资由时间序列 U 给定, 每年的投资分为两部分, 一部分为电源建设投资 X_4 序列, 另一部分为电网建设投资 X_5 序列, 每年新增发电容量为 X_2 , 而每年扩大负荷容量为 X_3 (X_2 , X_3 为年平均值), 系统的总收益为 X_1 , $\otimes$ 代表一具有上、下确界的灰色数, 它为系统的总收益中每年提出用于“以电养电”的

效益比例数（因这部分资金的比例是无法确切确定的，所以以灰色数的形式给出），而 W_1 , W_2 , W_3 分别代表各个环节输入和输出之间的动态逻辑关系，它们可以通过对系统已有资料的分析和模拟确定出来。

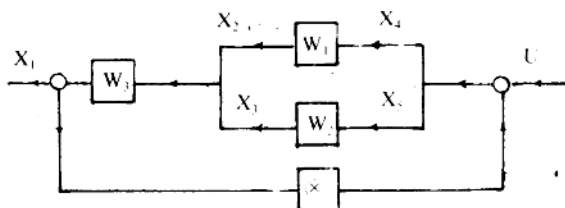


图 1-1

利用系统已有的资料进行分析运算得出该系统的量化模型如图 1-2 所示。

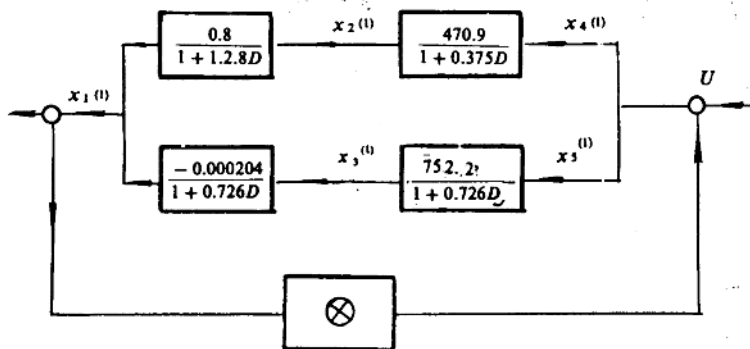


图 1-2

利用该量化模型我们可以实现对系统各特征指标的预测和对系统整体经济动态作出分析和评价，寻求系统最优的控制规律和调节机制。

综上所述，区域电气化系统模型的研究，对于揭示其内在规律、获得最优经济和控制运用效果是十分重要的。研究系统某些问题的特点，建立模型是提高电气化建设经济和社会效益的重要环节。

1.3 区域电气化系统的范畴

区域电力系统是指某个区域内的电力发、供、用组成的统一体。就我国的情况而言，农村电网多为一个县或几个县组成的电力网络，有些区域电网为孤立运行，而大部分区域性电力系统为自成体系，又以一、两回线与国家电网联结、互调余缺，进行电力、电量往来。这里进行的区域电气化模型的研究同样适应于较大电力系统。

第2章 区域电气化电力、电量预测模型

2.1 负荷、用电量预测的意义和方法

预测理论是研究如何对未来事件作出估计的科学。在区域电气化可行性研究阶段，对负荷和用电量进行定量估计是搞好系统电源布局、拟定发展规划、确定建设方案所必不可少的重要环节。正确的电力负荷和用电量预报结果，可以使电气化建设以及系统计划和调度决策建立在正确可靠的基础之上，极大地节约建设资金、减少资金和设备的积压，克服电气化建设中的盲目性。所以搞好电气化建设中的用电量和负荷预测是至关重要的。

区域电气化建设可行性研究阶段对用电负荷和用电量进行预测的方法。其基本概念就是根据历史资料，推知未来的发展，它是一个收集资料、分析各因素间的因果关系，建立预报模型的过程。通过对历史资料的整理、加工和分析，凭借主观的经验或教训，遵循事物演变的逻辑，使用一定的处理手段，寻求事物发展的规律。

目前世界各国各种行业所用的预测方法有很多，据统计有一百五十种之多。按照预测对象划分，有：社会发展预测；技术发展预测；经济预测；市场需求预测以及军事预测等等。电力负荷和用电量预测基本属于技术、经济预测和市场需求预测的范畴。按时间界限划分有：短期预测、近期预测和中、长期预测；按预测性质划分有：定性预测、定量预测和综合预测。为电气化建设规划提供决策信息的预测多为中、长期预测，而为电气化系统运行提供调度依据的预测则

为短期和近期预测。从预测的性质看来，电气化负荷和用电量预测中定性、定量和综合预测都可用到。

因为电气化负荷、用电量预测从其本质上看是一个对资料进行分析、处理、评价的过程，预测是否成功，主要取决于基础资料是否可靠和处理手段是否适当两方面的因素。

掌握较多的基本资料是搞好电力负荷和用电量预测的关键因素之一。因为区域电气化用电领域几乎涉及到整个生产和人民生活领域，所以收集资料的范围十分广泛。在已经供电的区域内进行负荷和用电量预测，收集资料的范围主要是区域幅员、人口分布和经济结构；调查用电负荷和用电量的历史资料；收集当地工业、农业及农副产品加工业、采矿业等生产企业和饮食服务业、旅游业的历史演变和发展规划资料。尤其是对于一些对负荷和用电量影响较大的企业、家用电器的种类和数量、电力提水等资料应详尽收集。各种电力用户的电价、人民生活水平和风俗习惯等亦应作详尽调查，这些因素都对区域电气化用电负荷和用电量预测有较大影响。对于一些新发展的电网，由于历史资料较少，收集资料的重点应为了解现状和将来其可能的发展。比如供电区域内的居民户数、每户平均可能的家用电器装机瓦数；农、副产品加工机械可能的台数和容量，发展工业及服务、旅游业的可能性和可能的负荷。对于某些地区尚有电热负荷（电炊具及电空调）。所有这些方面均需对其可能的负荷设备及设置时间、可能性大小作出估计。

2.2 区域电气化负荷预测模型

一、借鉴资料法

对于新发展的电气化区域，由于没有负荷变化的历史数

据，可以应用借鉴资料进行负荷预测。借鉴资料指的是有某一已运行的电网，其地理、人口、经济条件、负荷构成均与所论区域相似，此时便可直接应用已运行电网的负荷资料按比例折算为所论区域的负荷指标。这种方法虽较为粗略，但在再无其它可供信赖的资料时，尤其是对于一些新发展的，规模较小的电气化区域，具有使用简单、工作量小的优点。

二、负荷叠加法

负荷叠加法是将电气化区域内主要负荷种类单独进行负荷大小和特点的估计，确定出单项负荷图的形状，将各类负荷图叠加即为所论区域的负荷曲线。负荷曲线对时间坐标积分之后即为其用电量，负荷图按其预测时间划分有日负荷图、月负荷图、年负荷图等等。

三、电量算法

电量算法的计算式为：

$$P_m = T_s \sum \frac{S_i \cdot d_i}{T_{mi}} \quad (kW) \quad (2-1)$$

式中： P_m ——计算最大负荷；

T_{mi} ——各用户的年最大负荷利用小时；

S_i ——各用户的产品产量；

d_i ——各用户产品用电单耗；

T_s ——各用户的用电同时系数；

i ——负荷种类序号。

这种预测方法从用电行业的生产能力和单位产品电量消耗指标的调查入手，求得整个供电区域内的负荷指标。表1-1列出了几种企业的单耗指标。

表 2-1

项 目	煤炭开采	电解铝	电解铜	金属矿山	炼铁	钢铁联合企业	照明	电石生产	炼焦	水泥生产
	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(年户)	(t)	(t)	(t)
耗电量 (kW·h)	0~17	17000~ 18000	492~ 520	15~ 50	5~10	240~ 450	70~ 200	3500~ 4500	20~ 25	40~ 120

四、综合需用系数法

以上几种负荷预测方法涉及到单位产品所耗电量和负荷的定额，调查工作量大。尤其是年最大负荷利用小时数等指标，需用大量的资料进行统计分析，而且各地情况不同，使用起来很不方便。为了能够尽可能准确而且简便地测算出区域电气化系统负荷指标，可选用综合需用系数法。其公式为

$$P_m = K_{zx} \cdot \sum P_z \quad (kW) \quad (2-2)$$

式中： P_m —— 区域电气化最大负荷 (kW)；

$\sum P_z$ —— 供电区域内用电设备装机容量总和(kW)；

K_{zx} —— 综合需用系数。

对于各种用电设备总容量指标，无论是新发展的电气化区域，还是已经供电的区域，是不难收集到的，通过选择合适的综合需用系数，可以确定出系统实际负荷，并且利用最大负荷利用小时数确定出年用电量。

对于以上公式中有关系数的确定，对全国范围内不同地区近百个县的区域电气化用电设备总装机容量、工业用电设备所占比重、年总用电量、最大负荷和最大负荷利用小时等各类数据进行了统计、比较和分析，其结果见图 2-1 所

示。

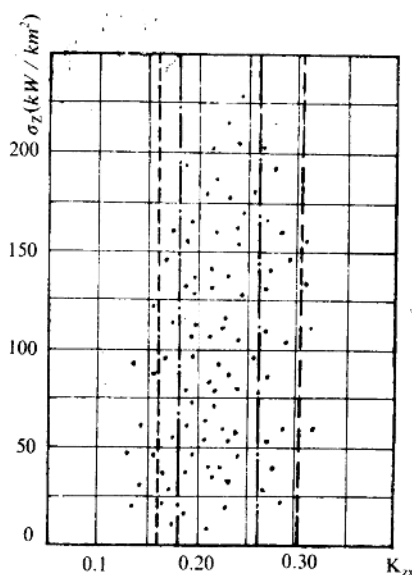


图 2-1

从图 2-1 可见，绝大多数地区最大负荷 P_m 与用电设备总装机容量 $\sum P_z$ 之比约在 0.16~0.30 这一范围内，这一比例即为综合需用系数 K_{zx} ，它包括了需用系数和同时率两方面的概念。从分析结果知， K_{zx} 与区域负荷密度 σ_z 、工业用电设备占总用电设备容量的比重 G_B 等因素无关，这一统计结论可应用于新发展的电气化区域负荷的估算，也可应用于已经供电的区域电气化负荷的估算。

同样根据上述统计方法，确定出工业用电设备所占比重 G_B 与年最大负荷利用小时 T_m 的关系见图 2-2 所示。

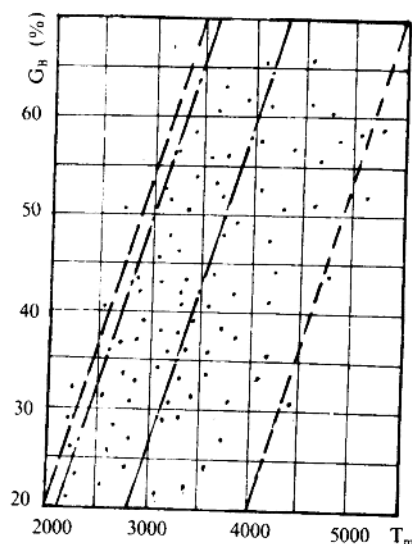


图 2-2

利用该法进行负荷和用电量预测的步骤为:

首先在规划供电的区域内, 结合发展, 根据所需装设的用电设备确定出总的负荷装机容量 $\sum P_2$, 再利用式 (2-2) 求出该区域的最大负荷 P_m 。

当求得 P_m 之后, 再根据系统中工业用电设备装机占总负荷用电设备装机的容量比, 确定和选取年最大负荷利用小时数 T_m 。年总用电量 A 估计为:

$$A = P_m \cdot T_m \quad (kW \cdot h) \quad (2-3)$$

现将我国有关机构推荐使用的数据列于表 2-2。