

168390

T14727.2
7403

城市电网规划与改造

· 陈章潮 唐德光 编著 ·

中国电力出版社

内 容 提 要

全书共9章,第1章介绍我国城市电网的现状;第2章简要介绍几种常用的负荷预测方法,着重介绍模糊预测和灰色预测法;第3章阐述城市电网规划的主要技术原则;第4章详细讨论城市电网发展规划的有关问题;第5章介绍城市电网设施;第6章详述城市电网的无功电源规划;第7章介绍城市电网中性点的接地方式;第8章扼要介绍城市电网自动化规划的内容;第9章讨论特殊用户的供电问题。

本书是从事城市电网设计、规划、施工和管理等工作的工程师的参考书,也可作为高等院校电力系统及其自动化专业有关师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

城市电网规划与改造/陈章潮,唐德先编著. - 北京:中国电力出版社,1998

ISBN 7-80125-586-0

I. 城… II. ①陈… ②唐… III. ①城市配电-电力系统规划②城市配电-电力系统结构-改造 IV. TM727.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 29609 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 邮政编码 100044)

三河市实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1998年5月第一版 1998年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 12.25印张 269千字

印数 0001—4070册 定价 13.10元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



前 言

加快城市电网建设的重要性是显而易见的，而社会各方面对其重要性达成共识还是在改革开放以后。人们在实施城市发展规划和经济活动中，都遇到缺电给人们带来的烦恼，从而使政府部门和企业家意识到电力是制约城市开发及经济繁荣的重要因素。现在，有的城市已把城市电力建设列入城市基础设施，要求社会各界和市民予以支持。所以，当前正是城市电网建设的有利时期。

城市电网建设不能适应城市经济社会发展的需要，其原因是城市经济增长迅速，城市化建设步伐快，而城市电网发展缓慢，表现在设备陈旧、供电容量不足、电网结构不合理、可靠性差、电能质量低。这里包含资金和技术两方面的问题，以技术而言，没有长远的城网建设规划是城网建设自身存在问题的症结，现在正得到电力部的重视，各城市的电力部门正在着手做城市电网规划的编制工作，要通过制订远景规划来改变城市电网的现状，用规划来指导城网建设，并用新的观念和超前意识制订规划是时代的要求，同时规划要体现以安全为基础、以效益为中心的建网指导思想，不断采用新科技。按长期规划建设城市电网，能科学合理地决策电网投资，从而能保证最有效地使用资金。

如上所述，规划工作十分重要，但到目前为止，仍缺乏能满足上述要求的规划方法，甚至仍在采用很陈旧的方法进行规划，也还没有一本专门介绍城网规划的书，这又反映了理论对实际的滞后现象。本书就是为了弥补这个空缺，急城

网建设之所急，把作者几十年来从事城网建设和管理的经验及对城网规划研究的成果汇集起来，同时书中也引入发达国家在城网建设中的技术、观念和经验，供读者借鉴。全书的基本思路是把城网改造和城网规划结合起来，以优化规划为目标，将现有城网逐渐向优化网架靠拢，逐步解决城网中存在的“卡脖子”现象和薄弱环节，提高电网的可靠性、经济效益和适应能力。提高规划水平和质量也是本书的目的之一，在计算机应用日趋普及的今天，应充分借助于计算机技术来实现城网规划的现代化。

全书共分9章。第1章由唐德光高工撰写，第5章由屠三益高工撰写，第7章由王一字高工撰写，第8章由陈效杰高工撰写，第9章由戚国彬高工撰写，第2、3、4和6章由陈章潮教授撰写，顾洁同志参与第3章3.2~3.3节的撰写工作。全书由陈章潮教授负责统稿。王平洋教授对全书进行了详细而认真的审阅，并提出了许多宝贵意见，深表谢意。徐凤、顾洁同志把全稿输入计算机并打印出来，非常感谢。

本书作者把写好这本书视作自己应尽的责任和对社会的奉献，但由于条件限制及水平有限，书中难免有错，恳请读者指正。

目 录

前言

1 我国城市电网的现状	(1)
1.1 我国城市电网的发展过程	(1)
1.2 我国城市负荷增长趋势	(4)
1.3 当前城市电网存在的主要问题及所采取 的技术措施	(12)
1.4 城市电网改造典型分析	(17)
2 电力负荷预测	(23)
2.1 概述	(23)
2.2 常用负荷预测方法	(25)
2.3 模糊理论负荷预测方法	(28)
2.4 灰色理论负荷预测方法	(48)
3 城市电网规划的主要技术原则	(54)
3.1 城市电网电压等级	(54)
3.2 供电配电系统的可靠性	(55)
3.3 降压变压器负荷率取值	(58)
3.4 变电所最佳容量及变压器台数	(64)
3.5 城网一次接线方式	(98)
3.6 城网短路容量	(99)
4 城市电网发展规划	(102)
4.1 概述	(102)
4.2 变电所主接线形式	(110)
4.3 城市电网网络接线形式	(146)
4.4 负荷密集型城市电网模式化接线	(174)
4.5 提高城市电网可靠性的措施	(179)

4.6	城市电网规划的数学模型和优化方法	(181)
5	城市电网设施	(215)
5.1	变电所	(215)
5.2	架空线路	(226)
5.3	电缆线路	(231)
6	城市电网的无功规划	(240)
6.1	概述	(240)
6.2	我国城市电网运行电压现状分析	(241)
6.3	无功补偿装置	(244)
6.4	城市电网电压调整及措施	(256)
6.5	无功补偿规划的优化方法	(260)
7	城市电网的中性点接地方式	(281)
7.1	城市电网中性点接地方式分类	(281)
7.2	各种中性点接地方式的特点	(282)
7.3	中性点接地方式的选择	(304)
7.4	我国城市配电网中性点接地方式 的沿革和现状	(311)
7.5	城市电网中性点接地方式的发展	(314)
7.6	城市电网中性点接地方式与电信系统的关系	(317)
7.7	中性点接地方式和内外过电压	(319)
8	城市电网自动化规划	(329)
8.1	概述	(329)
8.2	城市电网自动化的主要功能	(331)
8.3	城市电网自动化的通道	(334)
8.4	城市电网自动化的效益评估	(336)
8.5	城市电网自动化规划	(337)
8.6	城市电网自动化对一次设备的要求	(341)
8.7	国外城市电网自动化发展简况	(342)
8.8	国内一些小区配电网自动化实例	(345)

9 特殊用户的供电问题.....	(351)
9.1 重要负荷和保安备用电源.....	(351)
9.2 畸变负荷.....	(353)
9.3 冲击和波动负荷.....	(357)
9.4 不平衡负荷.....	(362)
9.5 高层建筑和特高负荷密度区的供电.....	(365)
附录 A	(374)
参考文献	(378)



我国城市电网的现状

城市电网是城市范围内为城市供电的各级电压电网的总称，它包括送电网、高压配电网、中压配电网和低压配电网，连同为其提供电源的变电所和网内的发电厂。城市电网是电力系统的重要组成部分，又是其主要负荷中心，具有用电量、负荷密度高、安全可靠和供电质量要求高等特点。城市电网还是城市现代化建设的重要基础设施之一。为此，城市电网的各项建设和改造项目必须与城市发展规划相互配合，同步实施，并且与环境协调。

1.1

我国城市电网的发展过程^[1~3]

我国的城市电网是随着城市的发展而逐步发展起来的。从 1882 年上海首先出现公用事业到 1949 年新中国成立的 67 年间，我国的城市电网发展缓慢，到 1949 年全国发电装机容量仅 185 万 kW，年发电量 43 亿 kWh，用电量 34.6kWh，而且主要集中在东北、华北和华东的一些城市，内地城市电力设施较少。当时全国最高的城市配电电压为 154kV 和 77kV，基本上是以中、低压供电的简单电网，电压等级繁多，供电可靠性差，线损高达 22% 以上。

我国城市电网的发展大致经历了三个阶段：

(1) 建国初期，1950~1952 年为国民经济恢复时期，1953~1957 年第一个五年计划时期，集中全国财力进行以苏联帮助建设的 156 项工程为中心、由 694 个项目组成的工

业项目，开始在全国进行大规模经济建设。城市电网得到相应发展，全国用电量年平均增长率达 21.4%，新建大批发电厂，逐渐出现 220kV、110kV 的高压线路，新建的线路和变电所基本上是和一些重要用电企业同时进行的，电网结构主要是放射型的，对重要用户一般用双回线双电源供电，这期间城市电网的发展促进了经济建设的发展。

(2) 1958~1978 年的 20 年间，全国用电量以年平均增长率 12.9% 的速率递增。然而由于其间电力工业的发展速度较慢，相对低于用电的增长，一度出现低频运行、拉闸限电等情况，不少城市发生严重的“卡脖子”现象，有电送不进、供不出，在一定程度上影响了城市经济建设。当然，20 年间，城市电网也有相当发展，如以各大中城市为中心的外环网逐步形成。值得一提的是多年来未解决的城市非标准电压的升压问题却在 50 年代末解决了。一些城市分别将低压 110V 和中压 3.3、5.2、6kV 以及高压 22、77、139、154kV 等分别升压到标准电压，并且通过升压和简化电压层次进行城网改造，增加了城网供电能力。我国历年用电增长率见表 1.1。

表 1.1 我国历年用电量及其增长率

年 份	全国用电量 (亿 kWh)	年平均增长率 (%)
1949	34.60	
1952	62.27	
1957	164.07	21.4
1965	568.02	16.7
1975	1567.08	10.7
1980	2573.00	10.4

续表

年 份	全国用电量 (亿 kWh)	年平均增长率 (%)
1985	3483.53	6.2
1990	6125.95	11.95
1993	8201.08	10.2
1994	9046.49	10.3

(3) 从 80 年代起我国城市电网的发展进入了一个新的时期。各城市在总结城网改造经验的基础上, 认真研究在城市经济建设快速发展的新形势下, 城市电网如何发展的新问题, 认识到迫切需要编制一个整体改造的远景发展的城市电网规划, 包括用统一技术规范和质量标准来促进建设一个经济合理和安全可靠的现代城市电网。由中国电机工程学会城市供电专业委员会编写, 1993 年由原水电部和建设部颁布的 228 号文《城市电力网规划设计导则》^[1], 对加强城市电网规划工作起了重要的推动作用。90 年代以来, 各地城市正继续以较高的速度发展, 这对城市电网的供电能力和质量安全都有了更高的要求。各城市在编制和贯彻“九五”规划中, 指导思想也有了新的发展, 从分析现有城市电网的状况、根据需要与可能改造和加强现有的电网入手, 着重研究城市电网的整体, 按负荷增长规律, 解决电网中的薄弱环节, 扩大供电能力, 加强电网结构布局和设施的标准化, 提高安全性, 做到远和近、新建和改造结合, 技术和经济上合理。

目前各省会城市和沿海大城市先后建立了 220kV 超高压外环网或双环网, 进一步简化输配电电压等级, 一批城市以 220kV 或 110kV 高压变电所深入市区, 城市电网结构模

式和变、配电所的主接线进一步得到改进。地下电缆增加很快，架空配电线绝缘化，配电装置小型化，采用 GIS、综合自动化等新设备、新技术有很大进展，使城市电网趋向合理，可靠性提高，逐步向着现代化方向发展。

1.2 我国城市负荷增长趋势

城市是电力负荷集中地区，据统计其用电量约占全国总用电量的 70%~80%。随着我国城市经济的不断发展及城市用地面积的扩大，城市用电量增长很快。建国以来，除了 1980~1985 年期间平均年增长率仅 6.2% 以外，各期的年平均增长率都超过 10%，近 10 年来平均增长率约为 11.1%。

表 1.2 为我国工业和生活用电占总用电比重，从用电分类构成看，工业用电仍占我国总用电量的主要部分，历年来占 70%~80%，但近年其占总用电量的百分比正呈下降趋势，而且平均增长率已小于总电量的增长率，这个趋势在一些大城市更为明显，见表 1.3、表 1.4。

表 1.2 工业和生活用电占总用电比重

年 份	1970	1975	1980	1985	1990	1993	1994
工业用电占总用电比重 (%)	82.9	79.5	77.9	73.8	78.6	76.7	75
生活用电占总用电比重 (%)	6.8	4.8	4.2	5.3	7.5	8.9	9.7

表 1.3 工业和生活用电增长率

年 份	1980~1990	1990~1994	1993~1994
工业用电量增长率 (%)	9.4	9.1	8.5
生活用电量增长率 (%)	10.8	17.3	19.9
总用电量增长率 (%)	9.1	10.2	10.3

随着城市产业结构的调整,促进了城市第三产业的发展。以上海和深圳两城市为例,第三产业的产值占全市总产值的比重连年增加,目前约占 40%,到 2000 年预计将达 50%。因此,第三产业用电量的比重亦将有所增加。见表 1.5。

表 1.4 上海和深圳各产业产值占该市国内生产总值的比例

地区 and 年份 百分比 (%) 产 业	上 海			深 圳		
	1986	1993	2000 *	1991	1993	2000 *
第一产业	4.0	2.3	2	5.1	5.0	4.0
第二产业	68.5	59.8	48	57.7	52	46.0
第三产业	27.5	37.9	50	37.2	43.0	50.0

* 2000 年为预测值。

表 1.5 上海和深圳各产业用电比例

地区 and 年份 百分比 (%) 产 业	上 海			深 圳		
	1986	1994	2000 *	1991	1994	2000 *
第一产业	2.4	2.4	1.7	1.2	1.3	1.0
第二产业	89.0	80.0	73.3	64.1	60.3	51.4
第三产业	5.7	10.6	13.0	25.1	27.7	33.6
居民	2.9	7.0	12.0	9.6	10.7	14.0

* 2000 年为预测值。

从家用电器普及程度来看,早在 60 年代,有些发达国家的生活用电就达到了全社会用电量的 25%,有的甚至达 40%~50%。而我国由于严重缺电,城市电网供电能力不

足，居民生活用电受限制，用电连续性和可靠性得不到保证。从《1995 年中国电力年鉴》统计数字可见，居民生活用电 1994 年全国平均远不到 10%，即使在大城市（如上海、深圳）目前也不过这个水平。生活用电的特点是面广而分散，家用电器数量很大，使用时间比较集中，直接影响到负荷峰值，并且负荷有向中、低电网发展的趋势。据有关部门统计，1989 年我国新增家用电器的用电量约需 60 亿 kWh，而需电力负荷约 600 万 kW，如果全国每年新增加发电容量 1000 万 kW，则家用电器就要占去其大部分容量。由此可见，生活用电的增加加剧了用电短缺的情况。1994 年夏季，各地配电网负荷陡增，较 1993 年增加 16% ~ 25%，给城市电网带来了压力，导致事故频发。

根据以上分析，我国城市电网负荷增长的趋势已逐步呈现现代化城市的特点。工业（第二产业）用电比重已趋下降，第三产业和生活用电比重将进一步上升。电力负荷的增长比电量的增长快，近年来一些城市的夏季高峰陡增，特别是对城市配电网造成矛盾突出。相对于电量而言，电力负荷的增加和分布对城市电网改造规划中有关的网络布局和容量配置等关系更为直接。以下分析我国城市用电的一些指标，用以讨论我国城市电网负荷进一步发展的趋势。

城市用电指标是反映一定历史时期内城市电力消费的水平，也是衡量城市现代化程度的标志之一。由于我国地域辽阔，各地城市的性质规模不同，而且地理位置、经济基础、供电技术状况相差很大，在我国当然还应考虑电力供应能力的制约等因素，因此这些指标都规定有上下限数值，还指出可以适当提高或降低，以便于各城市结合当地实际情况，因地制宜确定。然而，这些指标无论如何可作为远期规划的控

制指标，由此可以理解为我国城市电力负荷的远期增长趋势。

随着城市经济的发展，家庭收入的增加、生活模式的改变，我国居民家庭生活水平有迅速提高的趋势，大致可用表 1.6 来表达。

表 1.6 我国城市家庭用电趋势估计

项 目	年 代	70 年代及以前	80 年代	90 年代到下个世纪
	居 民 生 活 类 型	贫 困 型	温 饱 型	小 康
主要用电器		照明为主	电扇、彩电、 冰箱、洗衣机等 中档电器	空调、电热炊具、 录像机音响等 高档电器和 个人计算机
用电容量级 (W)		十位数	百位数	千位数
用电量级 (kWh)		不足十位级	几十位级	上百位级

我国人均生活用电量目前水平尚不高，即使如上海、深圳等大城市，1994 年人均生活用电量亦仅分别为 198.2kWh（市区 223kWh）和 284kWh，到 2000 年规划预计人均生活用电量分别为 580kWh 和 800kWh^[12~16]。规划的人均生活用电指标可参考表 1.7。

表 1.7 我国城市年人均用电指标估计

城市生活用电水平	人均年用电量 [kWh/(人·年)]
较高水平	1500~2500
中上水平	800~1500
中等水平	400~800
较低水平	200~400

城市中分类用地的用电指标，在采用负荷密度法编制新建地区规划时应用最广。建筑用地的分类按标准应包括：住宅、公共设施、工业、仓储、交通、道路广场、市政公用设施、绿化和特殊用地等九大类。但由于调查研究和收集资料困难，且已建成规划区的经验数据也少，本书只提出前三类（约占总用电量的 90% 以上）的用地负荷指标，见表 1.8。

表 1.8 分类用地用电指标 (kW/hm^2)

用地分类	建设用地负荷密度
住宅用地	100~400
公共设施用地	300~1500
工业用地	200~1000

应该指出的是老城市或旧城区范围内用地现状复杂、功能混杂、电网建设改造问题多、条件参差不齐，很难统一规定。而且，即使在同一城市也需按不同情况权衡确定。如住宅区，以别墅或高级住宅为主的，其用电负荷密度可取上限，而以普通多层为主的住宅区，则可结合当地实际取值，但不宜低于 $70\text{kW}/\text{hm}^2$ 。至于公共设施用地，在大城市的高负荷中心商业区（CBD）等，其指标可适当提高，但不宜大于 $2500\text{kW}/\text{hm}^2$ ，而小城市或一般商贸办公文娱地区用地的用电负荷可适当降低，但不宜低于下限。工业用地中如以石油、化工、冶金为主的新建区，宜采用指标的上限值，以轻工、电子、机电加工等为主的综合工业区，可根据开发建设项目的实际取值，因地制宜确定，但一般不宜低于 $200\text{kW}/\text{hm}^2$ 。

城市建筑类别很多，近年来各地城市建设发展很快，不少城市高层建筑成群出现。各类建筑在不同城市、地区需要

的用电设施的水平、标准和数量也大有差别。我国的一些城市都曾对某些建筑类别先后作过一些规定，但一般都有较大的数字范围。以下是上海浦东、广州、深圳当前的一些规定，见表 1.9。

表 1.9 我国部分城市和地区用电标准

类 别	上 海 浦 东	广 州	深 圳
住 宅	普通 20~40 (W/m ²) 高级 50~80 (W/m ²) 中级 30~50 (W/m ²) 低级 15~30 (W/m ²)	普通 2~4 (kW/户) 高级 6 (kW/户) 别墅 10 (kW/户)	普通高层 4~6 (kW/户) 高级高层 6~8 (kW/户)
公共建筑 (W/m ²)	宾馆大厦 高级 80~100 中级 50~80 低级 30~50 商场 电供热 100~125 汽供热 60~80 文娱 60~80	行政办公 80~100 宾馆饭店 100 商场展览 100~120 科研教育 40~60 卫生文体 30~50	办公写字楼 70~90 商场 中小型 60~120 大中型 120~160 宾馆 小型 50~80 高级 100~140
工业建筑 (W/m ²)	标准厂房 100~120 高科技 50~90 机电 40~60 仓库 5~10	高科技电子 60~80 轻纺加工 40~60 机械塑料 60~100 仓储 一般 10~15 冷库 80~100	

近年来有关部门又提出类似规定。见表 1.10。

表 1.10 我国规定的城市电力规划标准

建 筑 类 别	单位建筑面积负荷密度 (W/m^2)
居宅建筑	10~35
公共建筑	30~100
工业建筑	30~80

通过以上对用电量统计数据和规划指标数据的分析,可以看出我国城市中各类电力负荷发展的趋势。现再就占总用电量约 90% 以上的居民生活、公共设施、工业三大类负荷分别综述如下。

(一) 居民生活用电

随着城市经济的发展,居民生活必将进一步提高。随着生活模式的改变,居民家庭生活用电量有迅速增加的趋势。我国绝大多数城市从现在起到下世纪初,居民生活用电量的增长率和占总用电量的比重都将逐年上升,更由于居民生活用电负荷的分布特点,将造成中、低压城市配电网的高峰负荷有很大的增加。但是,此类负荷主要受城市所处地理位置、经济发展水平、电力供应条件、居民生活水平、习惯和气候条件等因素影响。在一些经济比较发达的城市,居民生活水平高,晚间业余及社交活动较多,家用电器拥有量比较大,生活用电就比较多。而一些经济发展比较慢,居民生活水平相对较低,甚至较贫困的山区城市,居民家用电器的购买力和需求量就差些,因此家庭生活用电就较少。虽然两者水平相差较大,但是,迅速增长的趋势是不容低估的。

(二) 公共设施用电