

用电负荷管理

YONGDIAN FUHE GUANLI

高犁 都亮 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

用电负荷管理

YONGDIAN FUHE GUANLI

编著 高 犁 都 亮 裴雪梅
王 琳 刘义华 陈 杨
主审 李 俭 胡永红



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书介绍了当前电力企业在用电负荷管理领域的最新发展、智能电网技术在用电负荷管理领域中的新成就,以及用电负荷管理应用理论。本书内容涵盖用电负荷预测与分析、电力需求侧管理理论及应用、用电设备安全管理、用电信息采集系统运行维护等知识。

本书可供从事电力营销工作的人员全面掌握用电负荷管理的技术现状使用,也可作为供用电技术、自动化、计算机、工业用电等专业相关师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

用电负荷管理 / 高犁等编著. —北京: 中国电力出版社, 2011.9

ISBN 978-7-5123-2099-4

I. ①用… II. ①高… III. ①电负荷—供电管理 IV. ①TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 182758 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.125 印张 218 千字

印数 0001—3000 册 定价 18.50 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

“十一五”期间我国电力负荷年均增长率 11.0%，最大负荷达到 6.58 亿 kW。国民经济的快速发展要求电力企业一方面为用户提供充足可靠安全的电力供应；另一方面引导用户合理有序用电，以充分提高电力系统利用效率，达到社会效益和经济效益的有机统一。电力企业为了达成以上目标，在用电负荷预测、有序用电管理、电力需求侧管理、用电信息采集系统等方面开展了大量的前沿工作。近年来，国家电网公司提出建设坚强智能电网的战略目标，电力用户能够通过智能化用电系统获得充分的信息，实时与电网互动，根据电网的供给状况对其用电负荷做出合理、经济地调整，达到发输电设备和用电设备利用效率的最大化。

本书尝试探讨当前电力企业对电力用户进行用电负荷管理的最新成就，包括用电负荷预测与误差分析、电力需求侧管理、节能管理与技术、用电设备安全管理及用电信息采集系统等知识。编写人员来自于长期从事电力营销管理的一线专家和丰富科研教学经验的教师。通过深入供用电生产一线，在收集的大量最新技术资料基础上梳理和总结智能电网在用电负荷管理领域中的最新成就和发展趋势，初步探索系统化的用电负荷管理领域的应用理论。

全书由高犁主编，都亮为副主编，由泸州电业局局长李俭高级工程师主审，四川电力职业技术学院胡永红副教授参加审核。全书共六章，第一章由高犁和都亮编写，第二章由都亮编写，第三章由裴雪梅和高犁编写，第四章由陈杨编写，第五章由刘义华编写，第六章由王琳和高犁编写。在编写过程中收集和参阅了各方面的资料，得到不少同志的大力支持和帮助，在此，谨致以衷心的感谢。

本书属于四川省电力公司 2010 年科技项目经费的支持项目。

由于水平有限，时间仓促，书中若有疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2011 年 9 月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 电力负荷及用电负荷	1
第二节 用电负荷的构成和特性	5
第三节 用电负荷的计算	12
第四节 用电负荷管理技术智能化	16
第二章 用电负荷预测与误差分析	20
第一节 负荷预测概念和原理	20
第二节 负荷预测基本程序	27
第三节 负荷预测的方法	30
第四节 负荷预测误差分析	37
第三章 电力需求侧管理	41
第一节 电力需求侧管理机制	41
第二节 电力需求侧管理的实施	48
第三节 合同能源管理	54
第四节 需求响应和智能需求侧管理	57
第四章 节能管理与技术	63
第一节 绿色照明	63
第二节 高效电动机	70
第三节 高效变压器	73
第四节 蓄能技术	76
第五节 电动汽车充、放电技术	84
第六节 智能家居与智能楼宇	89
第五章 用电设备安全管理	95
第一节 用户电气工程的设计审查及竣工检查	95
第二节 配电装置检查	99
第三节 用电检查	106

第六章 用电信息采集系统	114
第一节 用电信息采集系统的历史沿革	114
第二节 电力用户用电信息采集系统架构和要求	116
第三节 电力用户用电信息采集系统的应用	120
第四节 电力用户的负荷管理系统	127
第五节 高级量测体系	130
第六节 智能用电信息采集	132
参考文献	139

概 述

由于电能方便、清洁和容易控制，它已经成为国民经济和人民生活不可缺少的二次能源。根据中国电力企业联合会通报的数据，2010 年我国全社会用电量达到 4.19 万亿 kWh。大到重工业、轻工业、交通运输业、商业和服务业、农业等，小到人民日常生活中的照明和各种家用电器，可以说处处离不开电，没有电的现代社会将不能正常运转。

伴随着人类生产力的高度发展，能源消耗的日益增加，由此带来了地区环境和全球环境的急剧变化，其中，由温室效应引起的全球气候变暖成为国际社会关注的热点。温室气体的排放主要来源于人类大量的迅速增长的矿物能源——煤、石油、天然气等的消耗。各国在发展经济的同时，如何节约和充分利用能源成为首先要考虑的问题。对于高耗能企业，能源成本已经占到企业总成本相当大的比重。如何降低能耗费用，如何开源节流，也已成为各个企业积极探索的问题之一。

用电负荷管理不仅关系到电网的安全、稳定运行，同时关系到电力企业与用户的眼前和长远利益，更关系到社会资源的有效利用和全人类的生存环境，因此，加强用电负荷管理意义重大。

第一节 电力负荷及用电负荷

一、电力负荷

在电力系统中，电气设备所需用的电功率，称为负荷或电力。电力负荷就是电力系统中所有用电设备消耗功率的总和。电力负荷可分为以下几类：

- (1) 用电负荷：用户的用电设备在某一时刻实际消耗的功率的总和。
- (2) 线路损耗负荷：电能从发电厂到用户的输送过程中，不可避免地会发生功率和能量的损耗，与这种损耗相对应的电功率称为线路损耗负荷。
- (3) 供电负荷：发电厂对外供电时所承担的全部负荷，即用电负荷加上同一时刻的线路损耗负荷。
- (4) 厂用电负荷：发电厂在发电过程中自身要有许多厂用电设备运行，如火电厂的风机、给水泵等，这些厂用电设备所耗用的功率，称为厂用电负荷。
- (5) 发电负荷：发电厂对外负担的供电负荷，加上同一时刻发电厂的厂用电负荷，构成电网的全部电能生产负荷，称为发电负荷。

二、用电负荷的分类

用电负荷是一个不断变动的量。对一个地区而言，负荷变化的特性主要取决于用电行业结构、地域、季节变化、经济发展和生活水平。不同的用电单位或部门，以及不同的用电设

备，它们对电力的需要量、用电方式有着明显的差别。

在电力规划中做电力负荷预测时，以及在综合用电统计时，不可能也没有必要对每个用电单位的用电特点及用电需求进行分析预测，而是采用不同的分类方法，将规划区域范围内，例如全国、省、地、县（市）等的电力负荷分成若干类别，然后分门别类地进行分析研究和预测其可能的变化趋势。最后，在分类研究及预测的基础上，采用某些综合技术进行综合研究和预测，便可得到电力规划需要的有关负荷资料。电力负荷分类对电力系统的经济分析、运行和规划都具有重要意义，尤其是随着电力市场的不断发展，以及电力需求侧管理（DSM）技术的广泛应用，负荷分类已经成为电价制订、负荷预测、系统规划、负荷建模等工作的重要基础。

我国电力行业采用过的分类方法有多种，不同的分类方法用于不同的研究目的。主要的分类方法有：按用电的部门属性划分，按使用电力的目的划分，按国民经济分类划分，按用户的重要性划分，按负荷的大小划分，按规划部门用地性质划分，按负荷系统划分等。

（一）按用电的部门属性划分

这是一种电力规划及电力工业统计中常用的分类方法。一般划分为工业用电、农业用电、交通运输用电和市政生活用电四大类，其中每一大类又可划分为若干小类。工业用电可进一步分为重工业用电和轻工业用电，其中，重工业用电又可细分为黑色冶金工业用电、有色冶金工业用电、机械工业用电、能源工业用电、化学工业用电等，轻工业用电也可细分为纺织工业用电、造纸工业用电、日用化工用电、医药工业用电等。农业用电可进一步分为排灌用电、农副加工用电、农村照明用电等。交通运输用电可分为电气化铁路用电、城市电车交通用电等。市政生活用电可分为商业用电、街道照明用电、家庭生活用电及城市公共娱乐场所用电等。划分的详细程度视研究的目的和深度要求而定。

根据国际上用电负荷的通用分类方法，可分为：

（1）农、林、牧、渔、水利业用电：包括农村排灌、农副业、农业、林业、畜牧、渔业、水利业等用电。

（2）工业用电：包括各种采掘业和制造业用电。

（3）地质普查和勘探类用电：此类负荷仅占总用电负荷的 0.07%。

（4）建筑业用电：约占总用电负荷的 0.76%。

（5）交通远运、邮电通信业用电：公路、铁路、车站、码头、机场、管道运输、电气化铁路及邮电通信等用电，约占总用电负荷的 1.7%。

（6）商业、公共饮食、物资供应和仓储业用电：各种商店、饮食业、物资供应单位及仓储用电等，约占总用电负荷的 1.2%。

（7）其他事业单位用电：包括市内交通、路灯照明用电，文体单位、国家党政机关、各种社会团体、福利事业单位、研究单位用电，约占总用电负荷的 3.1%。

（8）城乡居民生活用电：约占总用电负荷的 6.2%。

（二）按使用电力的目的划分

按使用电力的目的划分，一般分为动力用电、照明用电、电热用电、各种电气设备仪器的操作控制用电及通信用电（各类通信设施的用电）。动力用电包括安装于国民经济各部门、用于各种目的以电力作为动力的设备的用电，如加工业炉鼓风机、工厂排风机、电动水泵、电动机床、农业电力排灌设备、各种工业产品和农产品加工设备、城市给排水设备、交通运

输动力设备等所需要的动力用电。照明用电指工厂、农村、机关、学校、街道、商店及公共娱乐场所等的照明用电。电热用电包括各种工艺过程中的电热用电、采暖用电、电加热用电、热水用电及电炊用电等。这种分类方法主要用于能源平衡分析。电力规划中的负荷预测一般不采用这种分类法。

（三）按国民经济分类划分

为适应我国经济结构的变化，并与国际惯例接轨，又将电力负荷按国民经济统计分类方法划分为第一产业（主要是农业）用电，第二产业（主要是工业）用电，第三产业（除第一、二产业以外的其他事业，如商业、旅游业、金融业、餐饮业及房地产业等）用电和居民生活用电。特别是在研究全国或地区的电力规划时，目前广泛采用按产业划分电力负荷的分类方法。

（四）按电用户的重要性划分

长期以来，我国根据电用户的重要性程度不同，根据中断供电后对用户所产生后果的严重程度，一般将电网负荷分为三类，即一类负荷、二类负荷和三类负荷。

1. 一类负荷

一类负荷（亦称一级负荷）是关系到国民经济的命脉及人民生命财产安全的用户，或者停电及突然停电对其造成的损失太大的用户。对这类用户供电必须保证高度的供电可靠性。如冶炼厂、医院、重要的党政机关等，中断供电将造成人身伤亡、重大生产设备发生故障，甚至造成环境的严重污染或重大经济损失；有重大政治意义的场所（如党政军首脑机关，主要交通和通信枢纽站、电台、电视台、机场等），突然停电会造成指挥失灵、信息不通、社会秩序混乱；有重要活动举行时的大型体育馆、大会堂、重要展览馆、宾馆等，突然停电会造成场面混乱，甚至失控，导致重大事故发生。

2. 二类负荷

二类负荷（亦称二级负荷），其在国民经济中的地位不如一类负荷重要，中断其供电将影响大量产品的生产，导致交通运输停顿，造成较大经济损失，但还不是无可挽回的。对这类用户的供电，电力系统至少要有中等程度的供电可靠性。在一般情况下，并不限制对这类用户的按计划供电，但在电力不足，或系统出现严重故障时，不得已也可中断对这类用户的供电。一般工业用电均属于二类负荷，如突然停电会造成大量废品、大量减产，损坏生产设备等的用电，人员高度密集的如重要公共场所（如重要的大型影剧院及大型百货大楼等）的用电。

3. 三类负荷

三类负荷（亦称三级负荷），凡不属于一、二类负荷者均为三类负荷。它在国民经济中的地位更低，与人民的生命财产安全关系不大，中断对这类负荷的供电带来的损失最小。当电力系统由于容量不足，或出现事故需要限制用电时，首先拉闸限电的是这类负荷。因此，这类用户的供电可靠性是比较低的。一般将非农忙季节的农业用电、市政生活用电、普通用户用电等列为三类负荷。

上述负荷类别的划分，在不同历史时期有不同的内容和要求。这种分类方法主要用于电力系统的调度管理和用电管理。负荷预测中一般不采用这种分类方法。

（五）按负荷的大小划分

按负荷大小可划分为最大负荷、平均负荷和最小负荷。最大负荷也称最高负荷或尖峰负荷，它与一定的观察时间或统计记录时间相联系，有日最大负荷、月最大负荷和年最大负荷之分。从规划和预测的角度，年最大负荷是个极为重要的参数，它是决定系统装机规模、电

源结构和投资规模的重要依据。负荷预测的重要目的之一，就是要计算预测地区的年最大负荷值。日最大负荷和月最大负荷也是个重要参数，它们是编制电力系统日运行方式和年运行方式的主要依据。最小负荷又称最低负荷或低谷负荷、基荷，可分为日最小负荷、月最小负荷和年最小负荷，它们是编制电力系统运行方式及确定相应的负荷特征的依据。平均负荷是指观察统计时段内出现负荷的平均值，有日平均负荷、月平均负荷和年平均负荷之分。

(六) 按规划部门用地性质划分

规划部门用地包括工业用地、住宅用地、市政用地等。负荷分类应综合考虑历史电量收集的分类和规划部门对规划用地的分类，尽量做到一一对应。分类应该满足：①规划用地背景图上每类图块都能在行业负荷分类中找到定义；②每类行业负荷都能在规划用地背景图上找到对应的图块。那么，对负荷进行分类，是详细一些比较好，还是粗略一些比较好呢？

首先，分类越细，单一类型负荷发展中受随机性因素的影响越大；反之，分类越粗，单一类型负荷发展中受随机性因素的影响越小。例如，把某城市的工业分为机械工业、化学工业、金属工业、纺织工业等很多类。按照发展规律预测纺织工业将按照 8% 的增长率发展，但是由于一个偶然因素，例如国际市场的变化，纺织工业在未来几年不但没有增长，反而倒退，同时化学工业可能有意外的因素取得额外的增长。这样此消彼长，总体上工业的发展保持了相对的稳定。覆盖范围较广的分类可能受偶然因素的影响相对较小。因此，一方面，分类能够更精确地研究负荷发展的规律性；另一方面，分类越细，单一类型负荷发展中受的随机性因素影响越大。

其次，负荷分类必须与规划用地相配合。例如，如果负荷分类中有机械工业和化学工业，而规划用地分类只有工业，就很难确定某块用地的负荷应该是机械工业的负荷还是化学工业的负荷。

最后，分类过细还将增加原始资料收集的难度，并且增大负荷预测的工作量。总之，对负荷要进行分类，但负荷分类并不是越细越好。在实际规划工作中，应该结合本地区特点进行分类。有共同特性的行业可以合并。例如，如果某地区的工业分为机械工业、化学工业、金属工业、纺织工业等几类，而且各类所占比重均不大，就可以考虑将这几类合并为工业。但是如果该地区化学工业负荷占了相当比重，而且有明显的发展特点，就可以作为一类负荷单独考虑。

(七) 按负荷系统划分

用电设备主要有异步电动机、同步电动机、电热装置、整流设备和照明设备等。在不同种类的负荷中，上述用电设备所占的比重是不同的，因而负荷变化特征也有所不同。按负荷系统划分有系统综合最大用电负荷、系统供电负荷和系统发电负荷。

1. 系统综合最大用电负荷

系统在一定时段内（如一天、一年）的最大负荷值称为该时段的系统综合最大用电负荷。时段内其余负荷值称为系统综合用电负荷。系统中各电力用户的最大负荷值不可能都出现在同一时刻。因此，系统综合最大用电负荷值一般小于全系统各用户最大负荷值的总和，即

$$P_{\Sigma\max} = K_0 \Sigma P_{i\max} \quad (1-1)$$

式中 $P_{\Sigma\max}$ ——系统综合最大用电负荷；

K_0 ——同时率， $K_0 \leq 1$ ；

$\Sigma P_{i\max}$ ——各用户最大负荷的总和;

i ——第 i 个电力用户。

2. 系统供电负荷

系统综合用电负荷加上对应时刻的网损就是该时刻系统应供电的负荷,称为系统供电负荷,计算公式如下

$$P_s = \frac{1}{1-K_l} P_z \quad (1-2)$$

式中 P_s ——系统供电负荷;

P_z ——系统综合用电负荷;

K_l ——网损率,一般可根据实际统计资料或查设计手册确定。

3. 系统发电负荷

系统发电机发出的功率叫做系统发电负荷,等于系统供电负荷加上发电厂用电量,计算公式为

$$P_g = \frac{1}{1-K_p} P_s \quad (1-3)$$

式中 P_g ——系统发电负荷;

K_p ——厂用电率,一般可根据实际统计资料或查设计手册确定。

第二节 用电负荷的构成和特性

一、用电负荷的构成

用电负荷的构成,是指一定范围内(如一个国家、一个地区、一个行业、一个典型用户等)用电负荷的种类(一般分为农业负荷、工业负荷和居民生活负荷)、比重及其相互关系的总体表述。

用电负荷对一个地区、一个行业、一个用户来说都在不断变化,其变化幅度在一天之内有时是很大的,因此在一段比较短的时间内,用电负荷的构成也会相应变化。但是,一个部门、一个行业的用电量在一个比较长的时间内(如年、季、月)是相对稳定的。

负荷特性分析是电力市场分析的一项基础工作,有利于电力企业的经营、计划、规划和发展,有利于电网安全运行,有利于市场营销和经营决策,有利于提高企业投资效益和经营效益。

分析研究用电负荷的构成可以看出国家或地区在各个时期的经济政策、国民经济状况和人民生活水平。例如:可持续发展战略大大提升了环境保护重要性的地位,促进了环保工业的发展和治理污染用电的增加;农村电气化的发展促使农业用电增加。

二、各主要用户的用电特点

分析掌握各主要用户的用电特点及其变化趋势,有助于进行准确地负荷预测工作。

(一) 工业用电特点

工业用电有两大特点:一是用电量大。在目前我国用电构成中,工业用电量的比重占全社会用电量的 75% 左右;二是工业用电比较稳定。但是,在工业内部的各行业之间,这两

大特点也是不平衡的。冶炼工业用电量大，负荷稳定，负荷率高，而机械制造业和食品加工工业的用电量相对就小些，负荷率较低。工业用电在行业间的差别，主要是生产工艺特点和生产班次不同所造成的。同样的用电设备容量下连续生产企业比三班制企业用电量大，且负荷率高；三班制生产企业又比二班制生产企业的用电量大，负荷率高。但是，无论是重工业还是轻工业，无论是冶炼业还是加工业，电力负荷在月内、季度内的变化是不大的，比较均匀。除少数季节性生产的工厂外，大部分工业的生产用电受季节性变化的影响小。由于工业用电量大，且比较稳定，就为电力负荷的预测提供了方便。只要准确地预测出工业用电量和用电负荷，就能比较准确地预测出系统的总的用电需求量和综合电力负荷。

（二）农业用电特点

农业用电在全社会电力消耗中的比重不大，目前大约为 4.2%。农业用电有一个突出的特点，就是季节性很强。从负荷特性上看，农业用电在日内的变化相对较小，但在月内，尤其在季度内和年度内，负荷变化很大，呈现出很不均衡的特点。例如排灌用电，冬季负荷很小，负荷率低至 0.1，而夏季负荷很大，负荷率高达 0.9 以上，差别很大。在目前农业用电构成中，排灌用电占 64.7%，而农副业用电只占 34.4%。因此，准确地预测农业排灌负荷有重要意义。

（三）交通运输业用电特点

运输业的用电比重较小，目前只占全社会用电量的 1.5% 左右。其中电气化铁路的负荷比较稳定，日内、月内、季内及年内的变化比较小，负荷率可达 0.7 左右。其他交通运输的用电，日内均不稳定，负荷率一般小于 0.4，但月内及年内用电特性比较稳定。随着电气化高速铁路运输及电动汽车事业的发展，交通运输用电量会有较大的增长，但交通运输用电的比重不会有太大变化。

（四）城乡居民生活用电特点

目前我国的城乡居民用电水平虽有较大提高，但用电比重仍然不大，大约只占全社会用电量的 10%，远小于工业化国家。城乡居民生活用电的特点之一是日变化较大，日负荷率较低，大约为 0.4，但月用电变化不大。城乡居民生活用电的主要组成部分是照明用电和家用电器用电，其中照明用电占有相当重要的地位。照明用电在日内变化较大，但照明负荷间的时差较小，同时率较高。照明负荷的大小与建筑面积、照明标准和采用的照明方式、高度相关。白天照明负荷极小，除少数场所由于采光不好，需采用电力照明外，一般没有照明负荷。照明负荷在夜间和凌晨（特别是冬季的凌晨）出现，形成所谓的灯峰。灯峰的大小，成了制约电力系统装机规模和电力系统运行方式的重要因素。家用电器用电在居民生活用电中的比重增长较快，已经成了居民生活用电的主要组成部分，尤其在城市，家用电器的用电比重已经超过了照明用电，成了居民生活用电的主要部分。家用电器用电改善了居民用电特性，使日负荷率有很大的提高。随着空调的普遍采用，夏季居民生活用电特性将更趋于稳定，负荷率将会进一步提高，总用电比重将会有很大的提高。但冬季由于气温较低，在没有采用电取暖的条件下，日负荷率仍然较低，冬季影响负荷特性的主要因素仍是照明负荷。随着居民生活水平的提高，居住条件的改善，我国的居民生活用电将保持较快的增长势头，其年增长速度要高于其他用电部门的增长速度。

（五）商业负荷用电特点

这类负荷同样具有季节性变动的特性，这种变化主要是由于商业部门越来越广泛地使用空调、电风扇、制冷设备等敏感于气候的电器所致，而且这种变化趋势正在增长。

三、电力负荷变化的影响因素

在实际环境中影响电力负荷的因素很多，影响电力负荷变化（从而也影响负荷曲线的形状）的因素很多，归纳起来有以下几类。

（一）经济因素

电量与经济社会指标电力及各类经济指标，包括各年总用电量、国民生产总值及各产业GDP、居民消费水平、财政收入、全社会固定资产投资总额、外贸出口额、社会消费品零售总额、城市居民人均可支配收入、城市居民人均消费支出、利用外资等经济数据指标。从长期来讲，电力需求受经济的影响最为显著，其中GDP是一个地区的生产总值，是反映一个地区经济发展水平的一个重要的指标。

（二）时间因素

对负荷有重要影响的时间因素有三种：季节变化、周循环、法定假日。常见的季节时间有：日照时间变化、季节需求比率结构的变化、学校学年开始、国家法定假期生产大幅度减少（如新年期间）等。负荷周循环是供电区域人口工作、休息模式作用的结果，对于不同的典型季节周，其相应的典型负荷模式也是不同的。法定及传统节日的影响体现在这些日负荷水平比正常值低，以及假日前后的一些天，由于趋向于一个长“周末”，电力需求模式也要发生明显变化。

1. 作息时间的影 响

一般白天上班时 间负荷较高，晚上和凌晨负荷达到最大值，深夜负荷是每天负荷的最低点，中午休息时间也往往出现负荷降低。

2. 生产工艺的影响

连续性生产（如冶金、化工等）电力负荷非常稳定。三班制机加工业除交接班时负荷较小外，其他时间的负荷也很平稳。一班制工业负荷集中在白天，夜间负荷很小，日负荷很不均匀。

3. 季节影响

不同季节负荷有明显的差别。例如，排灌季节负荷增大，有时致使系统最大负荷出现在夏季排灌期间，或者使电力系统出现两个以上的高峰负荷。此外，季节性用户的存在及负荷在年内的增长等均对电力负荷产生较大的影响。一般季节影响使得负荷在年内呈现规律性的变化。

（三）气候因素

随着我国经济发展水平的上升，人民生活水平的不断提高和产业结构的逐步调整，居民用电和第三产业用电的比重不断上升，这两类用电都是与气象条件有关的负荷。近几年的数据资料表明：气候、气温等自然因素对电网最高负荷的影响越来越大。

在电力系统中有许多的气候敏感负荷，如电热器、空调及农业灌溉等存在，气候条件对负荷模式变化有着十分显著的影响。例如，阴雨天时白天照明负荷增加，高温天气时空调、电扇负荷上升。而其中最重要的气候因素是温度，它的波动会引起负荷的显著变化。气温对第三产业和居民生活用电的影响主要体现在空调负荷上，这是由于我国居民及第三产业负荷所占比重逐年增加，城市居民生活水平不断提高，空调等电器设备的进一步推广普及引起的负荷特性变化。此外，湿度是另一个重要的气候因素，特别是在高温或湿度大的区域，其形式与温度相似。其他对负荷特性有影响的气候因素还有风速、降雨量、云遮和日照强度等。

因此，研究电力负荷与气象条件变化的关系，并在此基础上寻求在夏季不同年份，负荷随气象变化的规律，提供出较简洁、方便的判断准则，利用气象因子的变化预测电力负荷对气象条件的响应，为计划人员做负荷预测提供依据，确保供电合理调度显得尤为必要。

(四) 随机因素

由于系统负荷是由大量分散的单独需求组合而成，因此系统负荷不断受到随机干扰的影响。除了大量小干扰外，政策、经济等影响，及轧钢厂、同步加速器等大负荷的运行将引起电力负荷的波动，而这些干扰的发生是不可预知的，它们对负荷的影响也是未知的。电力负荷的变化往往是一个随机非平稳过程，但是仍然呈现出比较明显的特征。从时间特性来看，电网负荷具有年间负荷不断增长及年内周期性变化两种特征。另外在高度工业化地区，很多工业负荷由于生产水平有正常周期变化，其年间增长趋势呈现周期性变动的特性。从空间特性来看，随着用户的增多及区域的扩大，电网负荷同时率及负荷增长行为的变化是有规律的。一方面用户数越多，负荷同时率越低；另一方面，随着年度的变化，因用户数的增长及每户平均用电量增长将导致电网负荷增长，但增长曲线的形状是区域分解的函数，供电区域面积越大，曲线越平滑。

四、用电负荷的特性

用电负荷特性可用负荷曲线和负荷系数来表征。

(一) 负荷曲线及其特性系数

负荷曲线是反映负荷随时间变化的曲线，负荷曲线可绘制在直角坐标上，其中，横坐标表示时间，纵坐标表示负荷的绝对值。负荷曲线表示用户在某一时间段内电力、电量的使用情况，反映了用户的特点和功率大小。同类型的工厂的负荷曲线形状大致相同。曲线所包含的面积代表一段时间内用户的用电量。常见的负荷曲线有日负荷曲线、日平均负荷曲线、年负荷曲线等。为了使用方便，负荷曲线多绘制成阶梯形。

1. 日负荷曲线

图 1-1 所示为以点连成的日负荷曲线。负荷曲线通常是用点的连线绘制的。有时为了便于计算可以画成梯形曲线，如图 1-2 所示。作梯形曲线时是认为在某一给定时段中的电能消耗面积不变。

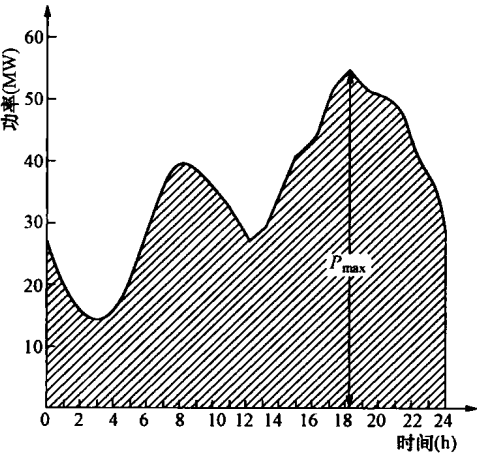


图 1-1 以点连成的日负荷曲线

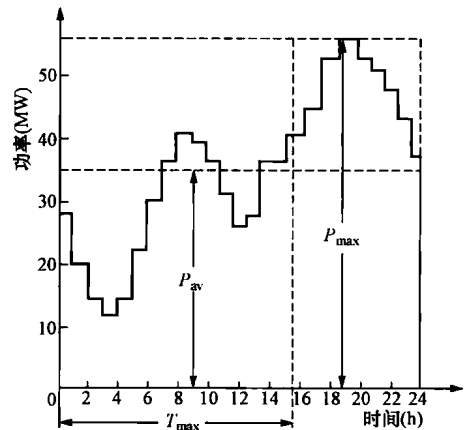


图 1-2 梯形日负荷曲线

在实际应用中，有时对不同性质用户，按工作状况的共性，绘制不同类别的负荷曲线。例如图 1-3 所示为某地区户内照明负荷曲线，图 1-4 所示为路灯的负荷曲线，它们主要取决于白昼和黑夜的长短。图 1-5 所示为城市地铁的负荷曲线，它与地铁运行的性质及地形有关。图 1-6 所示为一班制、二班制和三班制工业企业日负荷曲线。

负荷曲线包围的面积表示一天 24h 的电能消耗，计算式为

$$W_{\text{day}} = \int_0^{24} P dt \quad (1-4)$$

式中 W_{day} ——一天 24h 消耗电能；
 P ——功率；
 t ——时间。

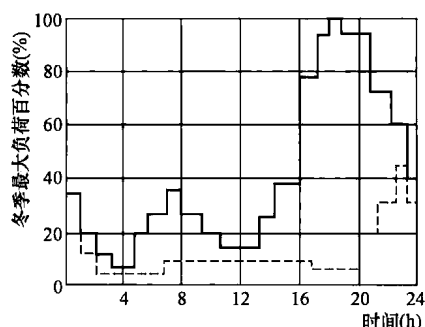


图 1-3 室内照明负荷曲线
 —— 冬日；----- 夏日

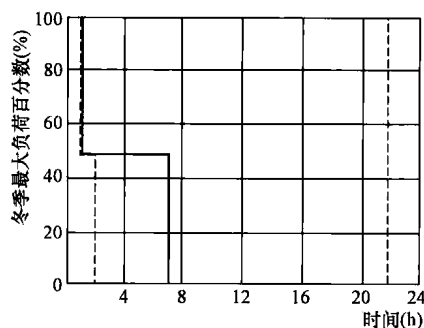


图 1-4 户外照明负荷曲线
 —— 冬日；----- 夏日

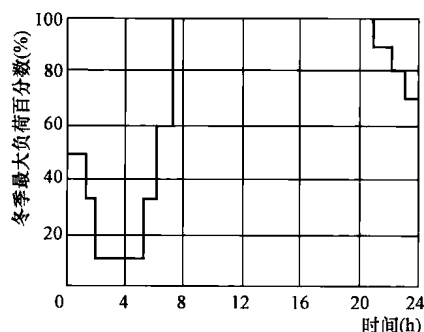


图 1-5 城市地铁日负荷曲线

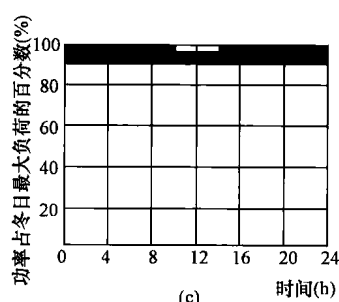
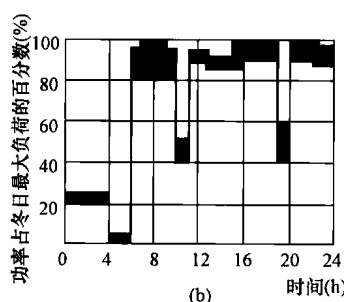
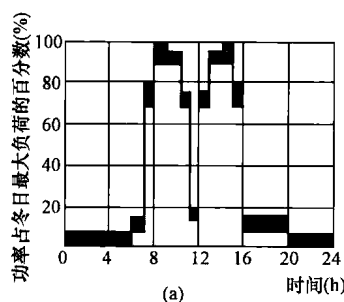


图 1-6 工业企业日负荷曲线（冬季）
 (a) 一班制；(b) 二班制；(c) 三班制

负荷曲线中的平均负荷户 P_{av} ，是在一定时段 t 内消耗电能 W_t 与时间 t 的比值，计算式为

$$P_{\text{av}} = \frac{W_t}{t} \quad (1-5)$$

2. 年负荷曲线

年负荷曲线有两种表示方法：一种是根据每天最大负荷情况，按一年 365 天逐日一点绘制，称为运行年负荷曲线；另一种称为年持续负荷曲线，它是以每年 8760h 为横轴，以有功负荷为纵轴，依次排列组成。选择有代表性的夏季日负荷曲线和冬季日负荷曲线各一条，其中，冬季取 213 天，夏季取 152 天（适用于我国北部地区），从两条负荷曲线的功率最大值开始，按功率的递减顺序依次绘制。如功率 P_1 占全年时间是 $T_1=213(t_1+t'_1)$ 。将 T_1 按比例标在横坐标的 T_1 点上，再将 T_1 与 P_1 在直角坐标系的交点 a 标出。同样，功率 P_2 占全年时间为 $T_2=213(t_2+t'_2)+152t_2$ ，可得出坐标上的 b 点，依次绘制出负荷全年时间的持续负荷曲线，如图 1-7 所示。

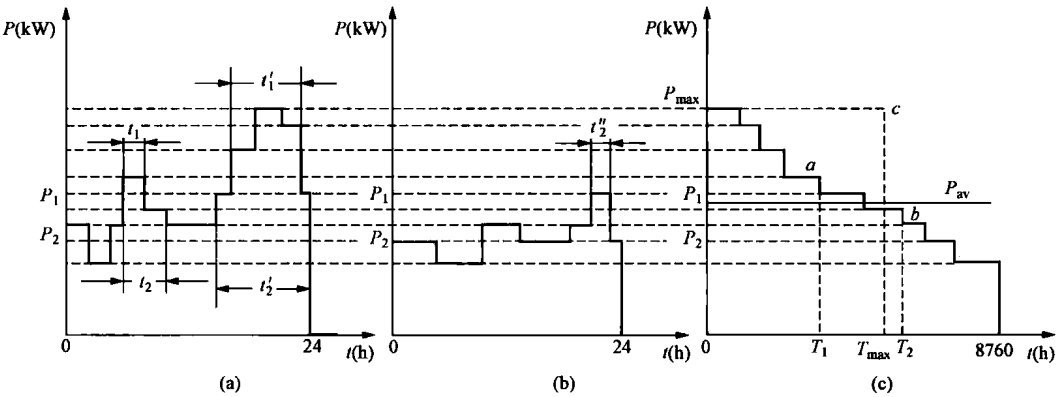


图 1-7 全年时间负荷曲线的作法

(a) 冬季代表性日负荷曲线；(b) 夏季代表性日负荷曲线；(c) 全年时间负荷曲线

年持续负荷曲线反映了全年负荷变动与负荷持续时间的关系，曲线所含面积为一年内消耗的电能，计算式如下

$$W_a = \int_0^{8760} P dt \tag{1-6}$$

式中 W_a ——一年消耗的电能。

若在时间坐标轴上取 T_{max} ，并使 $W_a = P_{max} T_{max}$ ，则有

$$T_{max} = \frac{W_a}{P_{max}} \tag{1-7}$$

式中 T_{max} ——最大负荷年利用小时数，反映了设备利用程度和用户负荷平稳程度。

对于同类型的用户，尽管 P_{max} 可能差别很大，但 T_{max} 却很接近；对于不同工作性质和工作班制的用户， T_{max} 则相差很大。典型用户的 T_{max} 可见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 常见电力用户的 T_{max} h

用户类型	T_{max}	用户类型	T_{max}
屋内照明及生活用电	1500~3000	两班制工业企业	3000~5000
一班制工业企业	1500~2500	三班制工业企业	5000~7000

表 1-2

常见工业企业的 $T_{\max}$

h

工厂类型	$T_{\max}$		工厂类型	$T_{\max}$	
	有功负荷	无功负荷		有功负荷	无功负荷
化工厂	6200	7000	农机机械制造厂	5330	4220
苯胺颜料厂	7100	—	仪器制造厂	3080	3180
石油提炼厂	7100	—	汽车修理厂	4370	3200
重型机械制造厂	3770	840	车辆修理厂	3560	3660
机床厂	345	4750	电器制造厂	4280	6420
工具厂	4140	4960	氮肥厂	7000~8000	—
滚球轴承厂	5300	6130	各种金属加工厂	4355	5880
起重运输设备厂	3300	3880	漂染工厂	5710	6650
汽车拖拉机厂	4960	5240	农业排灌	1000~1500	—
户内照明	1500~2500	—	路灯	2500~3000	—

(二) 负荷系数

通常用负荷系数来衡量规定时间内负荷变动情况,以及考核电气设备的利用程度。负荷系数也称负荷率或负荷曲线填充系数,是指在规定时间内(日、月、年)内的平均负荷 P_{av} 与最大负荷 $P_{\max}$ 之比的百分数,即 $K_L = P_{av} / P_{\max}$ 。负荷系数越接近于 1,负荷曲线越平坦,负荷变动的程度越小,电气设备的利用程度越高。对于工业企业而言,应尽量提高负荷系数,以充分发挥供电设备的供电能力,提高供电效率。

(三) 几种用电负荷特性

1. 工业用电负荷特性

在我国国民经济中,除个别地区外,工业用电负荷在整个用电负荷中所占的比重最大。工业用电负荷不仅与工业用户的工作方式(工厂设备利用情况、每一设备负荷情况、企业工作班制、工作日的小时数、上下班时间、交班间隔时间等)有关,而且在不同的工业行业中存在很大差别。

(1) 年负荷变化。除部分建材、榨糖等季节性生产的工业用电负荷外,一般是比较稳定的。但不同地区、不同行业也有一些显著差别。如北方集中采暖地区,冬季用电比夏季高;南方酷热地区由于通风降温的影响,夏季负荷比冬季高。

(2) 季负荷变化。一般季初较低,季末较高。

(3) 月负荷变化。一般是上旬较低,中旬较高,特别是有节假日的月份(如 5 月、10 月等)更是如此。在生产任务饱满的企业,常常是下旬负荷高于中旬负荷;生产任务不足的企业,有时中旬负荷较多,月底下降。

(4) 日负荷变化。一般会出现早高峰(早晨上班后 0.5~1h)、午高峰(午休后一上班)和晚高峰(晚上照明用电上来后)三个高峰,中午和午夜后两个低谷。

2. 农业用电负荷特性

农业用电负荷受季节、气候的影响较大。如农业排灌用电在春季和夏季较多,在秋季和冬季较少;在天气大旱时较多,在风调雨顺时较少。农副产品加工用电季节性影响同样明显,在春节前的一段时间较多。