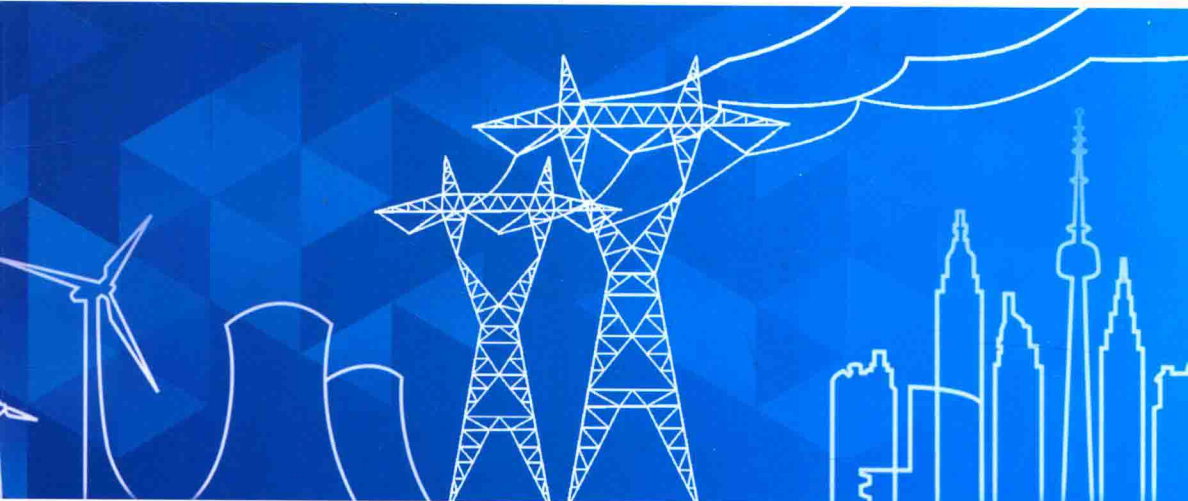


# 电力负荷影响因素研究

DIANLI FUHE YINGXIANG YINSU YANJIU

● 林晶怡 李斌 熊敏 等 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 电力负荷影响因素研究

DIANLI FUHE YINGXIANG YINSU YANJIU

---

● 林晶怡 李斌 熊敏 等 编著

---



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

电力负荷影响因素研究 / 林晶怡等编著. —北京: 中国电力出版社, 2016.3

ISBN 978-7-5123-8686-0

I. ①电… II. ①林… III. ①电负荷—影响因素—研究  
IV. ① TM301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 ( 2015 ) 第 305163 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

\*

2016 年 3 月第一版 2016 年 3 月北京第一次印刷

710 毫米 × 980 毫米 16 开本 16.75 印张 223 千字

定价 49.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

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

## 本书编写人员

林晶怡 李 斌 熊 敏 陈企楚 蔡 亮  
张 文 刘 畅 郭炳庆 闫华光 苗 博  
夏 露 李 昊 胡进永 李 文 郑国太  
孙忠诚 李春红 柏德胜 李 康 孙伟娜  
林海英 秦玉臣 孙琳琳 贾素锦

社会的发展离不开科学技术的推动,科学技术的发展则离不开创新力的驱动。对电力负荷的研究不仅是一项长期而艰巨的科研工作,也是我国电网规划的基础,须始终秉持创新突破的思想,积极探索新技术和新思路,达到“从数据中挖掘价值,在应用中实现价值”的目标。

在电力负荷的研究工作中,负荷预测是一项重要的工作内容。当今世界,电力负荷预测工作的水平已成为衡量一个电力企业的管理是否走向现代化的显著标志之一,尤其在电力事业空前发展的今天,用电管理走向市场化,电力负荷预测问题的解决已经成为我们面临的重要而又艰巨的任务。依据预测的结果可以经济合理地安排电网内部发电机组的启停,保持电网运行的安全稳定,减少不必要的旋转储备容量,合理安排机组检修计划,保证社会的正常生产和生活,有效降低发电成本,提高经济效益和社会效益。电力负荷预测的结果,还有利于决定未来新的发电机组的装机容量地点和时间,决定电网的增容和改建,决定电网的建设和发展。负荷预测技术从 20 世纪 60 年代开始逐步经历了多次革新,发展到现在已经具备了大量的技术和算法模型,然而随着国家电力系统和科学技术的发展,为了适应智能电网发展、分布式能源并网等新形势新要求,负荷预测技术迫切需要创新性的突破与提升,以期适应各类复杂环境下的精确预测需求,为我国电力事业迈向世界先进水平提供强大的支撑。

除了负荷预测技术之外,电力负荷的研究工作也是强化电力需求侧管理,支撑我国深化电力体制改革,创新电力企业服务意识的重要举措。电能不能大量储存的特点使得电力系统必须随时保持供需平衡,并向各类用户尽可能提供经济可靠、合乎标准的电能,以满足他们的需求。自 20 世纪 70 年代能

源危机之后，电力需求侧管理逐渐得到美国等西方工业化国家的重视。电力需求侧管理通过负荷控制、需求响应等技术手段，以及价格激励等经济手段，融合了节能和能源替代、新能源等方面的内容，不仅有利于电力工业的可持续发展，还有利于推动社会资源的优化配置。我国政府非常重视电力需求侧管理，先后出台了一系列相关政策法规，迈出了实质性步伐，然而我国电力需求侧管理还处于加快推进阶段，面临诸多问题，但也蕴含着巨大潜力。在我国现阶段开展的电力需求侧管理工作中，面向用能企业开展用电需求响应业务是平稳负荷波动、平衡供需矛盾的重要手段，然而目前全国各电力企业在需求响应方面均处于尝试阶段，既缺乏合理有效的需求响应管理机制，也缺乏对需求响应计划、执行、评估等阶段的技术支撑。由于需求响应的本质是转移负荷，因此负荷分析技术将是需求响应管理发展所必备的技术基础。通过电力负荷分析技术能够对用户用电模式进行聚类分析，从而制定相应的需求响应策略，并在响应执行后也通过负荷分析量化需求响应执行的效果，从而科学客观地评估需求响应策略的有效性，为持续改进和优化需求响应管理制度提供决策依据。电力需求侧管理的要求为电力负荷分析技术提出了新的要求。电力负荷分析需要向企业用电层面扩展，将企业用电与电网的负荷分析相结合，以预测和优化用电为主线，贯穿电力需求侧的供需双方，支撑需求响应等先进管理措施的发展。

电力负荷分析在电力市场改革不断深化的过程中也需要随之发展进步。随着电力市场改革的深入，作为电力市场主体的各电力公司将面临市场化竞争新形势的挑战，这就要求其一切经济活动必须以经济效益为中心，并把深入研究电力市场的供需形势及其发展作为公司经营活动的基础。在电力市场中，电力负荷分析是深入开展用电服务、准确把握市场脉搏、分析未来电力需求走势的必要工具。因此，在原有的预测和分析技术基础上，需要转变思路，不仅要用于对发电、输电、变电、配电、用电环节的管理，也需要为用电用户提供深入的用电优化服务，从而帮助电力企业提升自身的服务质量和市场

竞争力。电力工业是支撑国民经济和社会发展的基础性产业和公用事业，随着我国国民经济的快速发展和人民生活水平的不断提高，对电力的依赖程度也越来越高。电力需求与国民经济密切相关，体现在各种电力与经济的综合指数上，如反映了用电增长速度与国民经济增长速度的电力弹性系数，结合就业、居民收入和能耗强度三个指标的新克强指数等。随着电力行业监测数据量的增长和实时性的增强，以及经济研究水平的发展，对电力与经济关系的研究已经不仅局限于社会和行业用电量数据，而是扩充到了更能体现短时变化的负荷数据的研究方面。这就使得电力负荷分析在经济领域的价值日益显现，也对电力负荷分析提出了几点新的要求。一方面要研究电力负荷与经济发展的关系，建立更为完善的电力与经济的关联模型，支撑专业化经济分析的需求。另一方面，要突破传统负荷分析技术采用样本方式进行分析的限制，采用大数据分析技术，基于海量的负荷数据，实现对经济指标、经济发展、行业发展等方面更为全面、客观的预测与评价体系。最后，要通过高时效性的电力数据，改变以往经济数据滞后、统计期长的缺点，实现快速、短期的经济预测，从而为政府管理和规划工作提供及时、准确的经济决策依据。

因此，做好电力负荷特性及其影响因素等基础性研究是十分必要的。该项研究将为开拓电力市场、调整电网结构和跨区联网实现资源优化等科研课题提供决策的依据，对我国电力事业的发展、电力资源及能源的有效利用有着重要意义。

本书共分六章，从负荷特性指标外在影响因素及指标内在关联关系提取方面进行研究，主要选取经济政策因素、气象因素、时序因素作为主要因素，分别分析其对各行业及城乡居民用电负荷的影响，并通过负荷的波动信息，分析负荷特性指标的变动特性，形成负荷特性影响因素、全社会用电负荷曲线及负荷特性指标间的对应关系，能清晰直观地观察各影响因素、各行业及城乡居民用电与负荷特性指标间的对应关系，并结合相应的影响分析，从行政、经济和技术三方面，分别为政府、市场和科研机构指明了综合管控的方向并提出相应的方法，为电力统计决策者提供有力的依据与支撑。

## 前言

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| <b>1 综述</b>         | <b>01</b> |
| 1.1 基本概念            | 02        |
| 1.1.1 电力负荷          | 02        |
| 1.1.2 电力负荷的特性指标     | 07        |
| 1.1.3 电力负荷预测        | 12        |
| 1.1.4 电力需求          | 19        |
| 1.1.5 电力需求侧管理       | 23        |
| 1.2 影响电力负荷的因素       | 27        |
| 1.2.1 经济因素          | 27        |
| 1.2.2 气象因素          | 29        |
| 1.2.3 时序因素          | 30        |
| 1.2.4 随机因素          | 31        |
| 1.2.5 数据样本因素        | 31        |
| 1.3 研究现状及意义         | 32        |
| 1.3.1 国内外研究现状       | 32        |
| 1.3.2 研究意义          | 36        |
| <b>2 经济因素</b>       | <b>39</b> |
| 2.1 概述              | 40        |
| 2.1.1 国外研究现状        | 40        |
| 2.1.2 国内研究现状        | 48        |
| 2.1.3 电力需求周期与经济周期分析 | 54        |



|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 2.2   | 电力负荷与经济总量的关系       | 64  |
| 2.2.1 | 电力负荷与经济总量分析        | 64  |
| 2.2.2 | 电力消费弹性系数分析         | 65  |
| 2.3   | 电力负荷与经济指标的关系       | 70  |
| 2.3.1 | 电力负荷与投资的关系         | 70  |
| 2.3.2 | 电力负荷与产品产量的关系       | 76  |
| 2.3.3 | 电力负荷与产品价格的关系       | 80  |
| 2.4   | 电力负荷与政策的关系         | 82  |
| 2.4.1 | 产业结构调整对电力负荷的影响     | 82  |
| 2.4.2 | 行业迁移对电力负荷的影响       | 88  |
| 2.4.3 | 城镇化进程对电力负荷的影响      | 92  |
| 2.4.4 | 电价政策对电力负荷的影响       | 98  |
| 3     | 气象因素               | 111 |
| 3.1   | 概述                 | 112 |
| 3.2   | 气象因素对电力负荷影响分析的整体介绍 | 114 |
| 3.2.1 | 气象因素影响下电力负荷的特点     | 114 |
| 3.2.2 | 气象因素对需求侧总体影响       | 117 |
| 3.2.3 | 气象因素对不同级别电网的影响     | 119 |
| 3.3   | 单一气象因素对电力负荷的影响     | 120 |
| 3.3.1 | 温度与电力负荷相关性分析       | 123 |
| 3.3.2 | 湿度与电力负荷相关性分析       | 134 |
| 3.3.3 | 风力与电力负荷相关性分析       | 137 |
| 3.4   | 复合气象因素对电力负荷的影响     | 140 |
| 3.4.1 | 人体舒适度指数模型          | 140 |
| 3.4.2 | 复合气象因子汇总           | 145 |
| 3.4.3 | 复合气象因子分析           | 149 |

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 3.5   | 厄尔尼诺气候对电力负荷的影响       | 152 |
| 3.5.1 | 全国用电量分析              | 155 |
| 3.5.2 | 地区用电量分析              | 158 |
| 3.6   | 城市热岛微气象对电力空调负荷的影响    | 159 |
| 3.6.1 | 交互影响模型概述             | 160 |
| 3.6.2 | 热岛效应对电力空调负荷的影响       | 161 |
| 3.6.3 | 累积效应对电力空调负荷的影响       | 163 |
| 3.6.4 | 温湿效应对电力空调负荷的影响       | 165 |
| 3.6.5 | 三种效应的交互影响            | 166 |
| 4     | 时序因素                 | 169 |
| 4.1   | 概述                   | 170 |
| 4.1.1 | 研究现状                 | 170 |
| 4.1.2 | 研究方法                 | 171 |
| 4.2   | 一天中不同时段对电力负荷的影响      | 173 |
| 4.2.1 | 一天中不同时段居民用电对电力负荷的影响  | 174 |
| 4.2.2 | 不同产业用电分布的时间特性及互补关联分析 | 185 |
| 4.2.3 | 不同行业用电分布的时间特性及互补关联分析 | 192 |
| 4.3   | 重大社会活动对电力负荷的影响       | 210 |
| 4.3.1 | 节假日对电力负荷的影响分析        | 210 |
| 4.3.2 | 大型社会活动对电力负荷的影响       | 216 |
| 5     | 电力负荷管理措施             | 221 |
| 5.1   | 行政措施                 | 222 |
| 5.1.1 | 有序用电管理               | 223 |
| 5.1.2 | DSM 目标责任考核           | 226 |
| 5.1.3 | 用电负荷调整               | 226 |
| 5.1.4 | 计划用电管理               | 228 |

5.2 经济措施..... 229

5.2.1 电价机制措施 ..... 229

5.2.2 直接鼓励措施 ..... 231

5.2.3 需求响应措施 ..... 232

5.3 技术措施..... 238

5.3.1 电力负荷控制技术 ..... 238

5.3.2 电力蓄能技术 ..... 239

5.3.3 终端节电技术 ..... 239

5.3.4 新能源技术 ..... 240

5.3.5 电力系统联网技术 ..... 241

**6 突破与展望.....243**

6.1 大数据技术的融合 ..... 244

6.2 研究成果的多元化应用 ..... 249

6.2.1 助力智慧城市建设 ..... 249

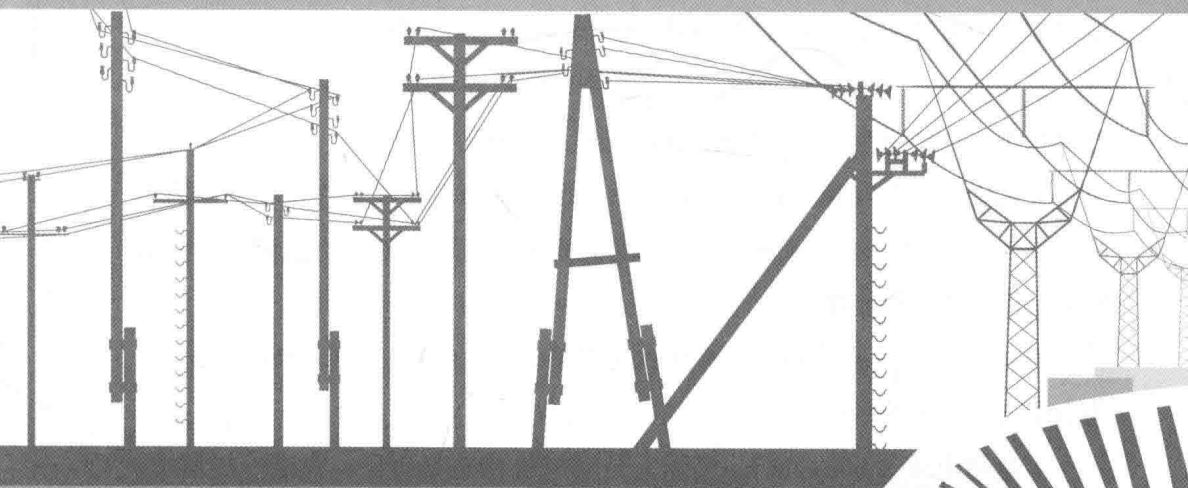
6.2.2 保障新能源发展 ..... 251

6.2.3 推动电力市场改革 ..... 252

参考文献..... 254

# 1

## 综 述





## 1.1 基本概念

### 1.1.1 电力负荷

本书主要研究电力负荷的影响因素，寻求电力负荷与各种相关因素之间的内在联系，下面首先就电力负荷的相关概念进行介绍。

#### 1. 电力负荷的定义

在电力系统中，电气设备所需用的电功率称为电力负荷或电力。其中，电功率是指电流在单位时间内所做的功，是用来表示电能消耗快慢的物理量。电功率分为有功功率、无功功率和视在功率，其定义分别如下。

**有功功率：**在交流电路中，凡是消耗在电阻元件上，功率不可逆转的那部分功率（如转化为热能，光能或机械能），称为有功功率。

**无功功率：**在交流电路中，电感元件建立磁场，电容元件建立电场消耗的功率称为无功功率，这部分功率是随交流电的周期与电源不断地进行能量转换，但并不消耗能量。

**视在功率：**交流电源所能提供的总功率，称为视在功率，其在数值上，为电压与电流值的乘积，表示交流电源的容量。

一般用电流表示的负荷，实际上是对应视在功率而言。在电力规划中，广泛使用的负荷概念是指国民经济整体或部门对电力电量的消耗量的历史情况及未来的变化发展趋势。

#### 2. 电力负荷的分类

在我国电力行业被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。主要的分类方法有以下几种。

（1）按负荷的物理性能分类。按物理性能分类，一般分为有功负荷和无功负荷。有功负荷是指电力系统中用来产生机械能、热能或其他形式能量的负荷，由发电机有功功率来供应；无功负荷是指在电力负载中不做功部分的

负荷，一般由电路中储能元件（电感或电容）引起。在系统规划设计中，需同时满足有功负荷及无功负荷的要求。

（2）按电能的生产、供给和销售过程分类。一般可分为用电负荷、供电负荷和发电负荷。电力系统的发电负荷是指某一时刻电力系统内各发电厂实际发电出力之总和；发电负荷减去各发电厂厂用负荷后，就是系统的供电负荷。供电负荷是指发电厂对外承受的总容量，也是用电负荷加上同一时刻线路中消耗的功率，它代表了由发电厂供给电力网用的电力；供电负荷减去电力网中线路和变压器中的损耗后，就是系统的用电负荷，也就是系统内各个用户在某一时刻所耗电力的总和，反映对电力系统的需求容量。

（3）按负荷在电力系统中的分布分类。一般可分为变电所负荷、分区负荷和全系统负荷。在系统设计中变电所负荷用来进行电力网方案设计和主变压器选择，分区负荷用来确定地区间的功率交换，全系统负荷用来确定全系统所需的装机容量。但是，由于各用户（变电所、地区）的最大负荷不可能在同一时刻出现，因此在求出各供电范围负荷的总和后乘以同时率才是变电所、分区及全系统的综合用电最大负荷。同时率是变电所或分地区或全系统的综合最大负荷与相应各用户最大负荷总和的比值，它的大小与电力用户的多少、各用户的用电特点有关。

（4）按国民经济统计分类划分。20 世纪 80 年代中期，为了更便于用户负荷的分类研究和管理，对用户负荷的分类方法做了较大的调整，在电业统计报表中采用了新的分类统计法。新的分类法将电力负荷划分为八大类：农林牧渔水利用电，包括农村排灌、农副业、农业、林业、畜牧、渔业、水利业等用电，约占总用电负荷的 7%；工业用电，包括各种采掘业和制造业用电，约占总用电负荷的 80%；地质普查勘探业用电，仅占总用电负荷的 0.07%；建筑业用电，约占总用电负荷的 0.76%；交通运输邮电业用电，包括公路、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%；商业、饮食业、物资供销和仓储业用



电,包括各种商店、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%;城市上下水道及其他事业用电,约占总用电负荷的 3.1%;居民生活用电,包括城市和乡村居民生活用电,约占总用电负荷的 6.2%。到了 90 年代初期,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、餐饮业以及房地产业等)用电和居民生活用电。

(5) 按使用电力的目的划分。一般可分为动力用电、照明用电、电热用电及通信用电。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。

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,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。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。通信用电是指各类通信设施的用电。

(6) 按用电用户的重要性划分。长期以来,我国根据用电用户的重要性程度不同,将用电用户划分为三类,即一类负荷、二类负荷和三类负荷。

一类负荷(亦称一级负荷)是指中断供电时将造成人身伤亡,或经济、政治、军事上的重大损失的负荷,包括涉及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损失太大的用户,如冶炼、医院、重要的军政机关等。针对可能发生的设备重大损坏,产品出现大量废品,引起生产混乱、重要交通枢纽、干线受阻、广播通信中断或城市水源中断、环境严重污染等问题,必须采取措施以保证高度的供电可靠性。二类负荷(亦称二级负荷)是指中断供电将影响重要用电单位的正常工作,或将在政治经

济上有较大损失的负荷，即中断供电时将造成严重减产、停工，局部地区交通阻塞，大部分城市居民的正常生活秩序被打乱，其在国民经济中的地位不如一类负荷重要，对其停电造成的经济损失虽然也不小，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。三类负荷（亦称三级负荷）不属于以上一级和二级的负荷，这类负荷短时停电造成的损失不大，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少。当电力系统由于容量不足，或出现事故需要限制用电时，首先被拉闸的是这类负荷。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，市政生活用电等列为第三类用户。

上述三类负荷的划分，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类分类方法。

（7）按负荷的大小划分。可分为最大负荷、平均负荷和最小负荷。最大负荷亦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或基荷，它可分为日最小负荷、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的负荷的平均值，有日平均负荷、月平均负荷和年平均负荷之分。





(8) 按负荷预测期的时间长短划分。通常是对相应预测期的年最大负荷而言, 一般有近期负荷、中期负荷和长期负荷之分。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及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个别的用电单位的用电特点以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, 便可得到电力规划中所需要的有关负荷资料。

为了便于对不同的负荷进行分析, 从而对负荷特性进行研究, 目前, 在研究全国、电力系统或地区的电力规划时, 广泛采用按国民经济统计分类划分电力负荷的分类方法, 本书也采用此类方法, 对电力负荷影响因素进行分析研究。

### 3. 典型电力负荷的构成与特点

电力负荷一般可分为行业用电负荷和城乡居民生活用电负荷两大类。行业用电负荷包括第一产业(农业)、第二产业(工业)、第三产业(除第一、第二产业以外的其他事业, 如商业等)所有用电负荷的总和, 城乡居民生活用电负荷包括城镇居民负荷和农村居民的生活用电负荷, 不同类型的负荷具有不同的特点和规律。

城乡居民生活用电负荷主要是居民的家用负荷, 具有明显的季节性波动特点, 还与居民的日常生活和工作规律紧密相关。城镇居民负荷, 主要是城市居民的家用电器, 它具有年年增长的趋势及明显的季节性波动特点, 而且居民负荷的特点还与居民的日常生活和工作的规律紧密相关。农村居民的生活用电负荷, 则是指农村居民用电和农业生产用电。此类负荷与工业负荷相比, 受气候、季节等自然条件的影响很大, 这是由农业生产的特点所决定的。农业生产用电负荷也受农作物种类、耕作习惯的影响, 但就电网而言, 由于