



普通高等学校电力工程类专业教学指导委员会推荐使用教材

高等学校教材

配电网络

湖南大学 杨期余 主编



中国电力出版社

普通高等学校电力工程类专业教学指导委员会推荐使用教材

高 等 学 校 教 材

配 电 网 络

湖南大学 杨期余 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是根据高等学校电力工程类专业教学指导委员会通过的“配电网教材编写大纲”编写的。

全书共六章，第一章为宏观论述配电网有关问题的绪论；第二章介绍了电力负荷的一些传统与最新预测方法；第三章阐明配电网规划设计与运行管理中常用的算法；第四章讨论了配电网规划设计中的几个基本问题以及优化技术和遗传算法在该领域中的应用；第五章叙述了现代配电网安全优质经济运行的主要内容；第六章介绍了适用于配电网且有特色的几种保护和自动化系统。

本书可作为高等学校电力工程类专业的选修课教材，也可供从事配电网工作的工程技术人员和管理干部参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

配电网/杨期余主编. -北京: 中国电力出版社, 1998

高等学校教材

ISBN 7-80125-657-3

I. 配… II. 杨… III. 配电系统-电力系统结构-高等学校-教材 IV. TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 04407 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1998 年 11 月第一版 1998 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.25 印张 184 千字

印数 0001—4300 册 定价 8.70 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

随着国民经济的发展和人民物质文化生活水平的不断提高,现代配电网络,特别是高负荷密度的城市配电网发展迅速。配电网络的任务是把从电源或输电网获得的电能直接分配给不同电压等级的用户,与输电网比较,它的电压等级较低,供电范围小,但因直接和用户相连,用户数量十分庞大,其用电性质又千差万别,对供电可靠性和电能质量的要求越来越高,还要考虑其发展潜力和事故应变能力,这使得现代配电网络遇到的问题日趋复杂。为了解决其规划设计、运行管理和自动控制等问题,国内外已有大量的文献资料论述了概率统计理论、优化技术、可靠性分析、专家系统和计算机科学等在该领域内的应用,现代化大都市配电网络的建设与管理还需要更加复杂的技术。为使这方面的内容在教学中有所反映,高等学校电力工程类专业教学指导委员会电力系统教学组在1996年1月昆明会议上,通过了“配电网络教材编写大纲”,本书就是按此大纲编写的,编者力求教材内容能在一定程度上体现当代配电网络的现状与前景。

本书共分六章。第一、二、四、五章由杨期余编写,第三章由彭建春编写,第六章由周有庆编写,全书由杨期余进行汇总定稿。

上海交通大学陈章潮教授对初稿进行了极为细致的审阅,并提出了许多宝贵意见,我们谨致以衷心的感谢。由于编者的水平有限,不当之处在所难免,恳请批评指正。

编 者

一九九七年十一月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 配电网的含义与分类	1
第二节 配电网的发展概况	2
第三节 配电网规划设计的技术原则和主要内容	4
第四节 配电网运行的特点和基本要求	6
第二章 电力负荷预测	8
第一节 配电网的负荷增长特性及其分类	8
第二节 分行业电量预测的需求叠加法	12
第三节 分区负荷预测的回归分析法	17
第四节 负荷预测的灰色理论模型	21
第五节 专家系统在负荷预测中的应用	24
小结	30
第三章 配电网的计算	31
第一节 配电网分析计算的特点	31
第二节 配电网的潮流计算	32
第三节 配电网无功最优补偿计算	35
第四节 配电网的电能损耗计算	40
第五节 降低电能损耗措施效果的计算	46
第六节 配电网的谐波分布计算	48
第七节 资金的时间效益计算	51
小结	54
第四章 配电网的规划设计	56
第一节 配电网电压等级概述	56
第二节 配电网接线方式选择	59
第三节 配电网的可靠性和经济指标简介	63
第四节 选择变电所容量和个数的优化方法	65
第五节 网架结构优化的遗传算法	70
第六节 配电网接地方式的选择	77
小结	80
第五章 配电网的运行管理	81
第一节 配电网的停电损失	81
第二节 配电网的供电可靠性分析	82
第三节 配电网的电压质量管理	86

第四节	配电网络的谐波危害及其抑制措施	90
第五节	配电网络降损节电措施	93
小结		96
第六章	配电网络的保护与监控系统	97
第一节	概述	97
第二节	低压配电网络的漏电保护	98
第三节	10kV 线路分段保护	100
第四节	110kV 短线路保护	105
第五节	配电网络消弧线圈的自动跟踪补偿装置	110
第六节	配电网络的计算机数据采集与管理系统	114
第七节	配电网络自动化系统	118
附表		124
参考文献		125

第一章 绪 论

第一节 配电网的含义与分类

在现代电力系统中，大型的发电厂往往远离负荷中心，发电厂发出的电能，一般要通过高压或超高压输电网络送到负荷中心，然后在负荷中心由电压等级较低的网络把电能分配到不同电压等级的用户。这种在电力网中主要起分配电能作用的网络就称为配电网。

配电网按电压等级来分类，可分为高压配电网（35~110kV）、中压配电网（6~10kV）、低压配电网（220~380V）；按供电区的功能来分类，可分为城市配电网、农村配电网和工厂配电网等，如图 1-1 所示。

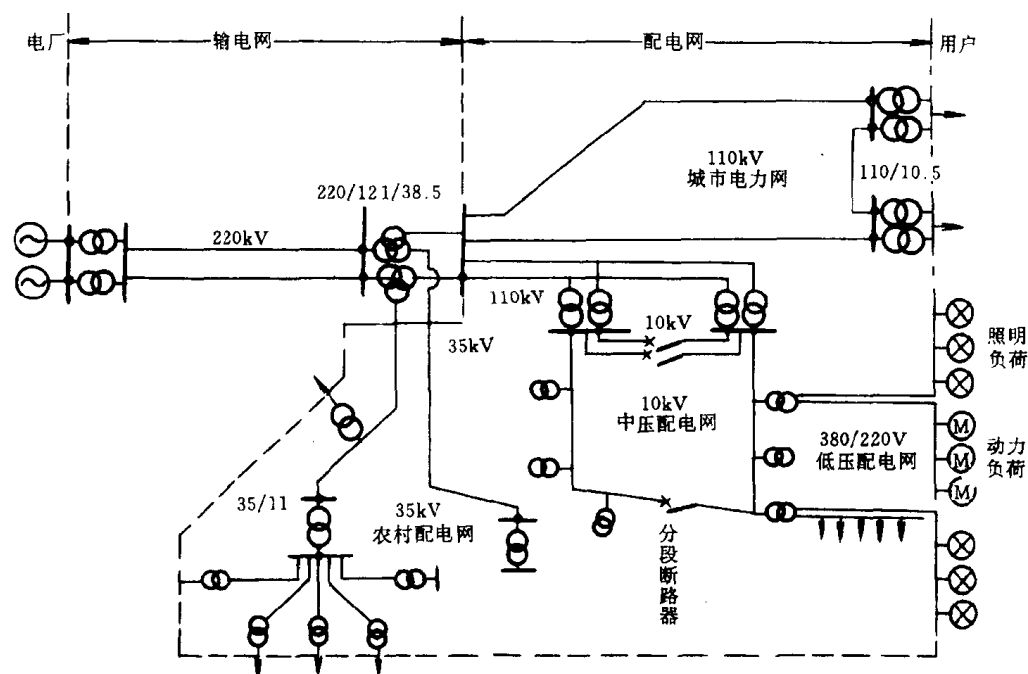


图 1-1 输电网与配电网络图

配电网因主要供给一个地区的用电，因而又称地方电力网。相对于区域电力网来说，它的电压等级和供电范围均要小一些，但它在结构上最大的特点是作为电力网的末端而直接和用户相连，敏锐地反映着用户在安全、优质、经济等方面的要求。

如果将电力工业的投资按表 1-1 所示的发电、输电、配电进行分配，我国与发达国家比较，其比例就显得不够协调。如表 1-1 所示，发达国家都是电网（包括输电与配电）投资大于电源投资，且配电网投资又明显大于输电网投资；我国刚好相反，电网投资不到电源投资的一半，且配电网投资又小于输电网投资。这种投资比例不合理的后果，使 1994 年夏天全国城市配电网普遍出现过载现象，特别是中、低压配电网更为严重。这种情况已引起我

国高层决策部门的高度关注,预计未来我国电力工业的建设将吸收发达国家的成功经验,逐步扭转重电源、轻电网,重输电、轻配电的局面,使配电网络在健康的道路上得到迅速发展。

表 1-1

各国发电、输电、配电投资比例表

国 别	发电投资：输电投资：配电投资	国 别	发电投资：输电投资：配电投资
美 国	1：0.43：0.7	法 国	1：0.67：1.60
英 国	1：0.45：0.78.		
日 本	1：0.47：0.68	中国 (1991~1995 年)	1：0.23：0.2

第二节 配电网络的发展概况

在最早的配电网里,受电器是在线路中串联着的。这种配电系统缺点很多,切断任一受电器就切断了整个线路,从而引起其他受电器工作停顿;同时配电网络的故障往往引起线路的开路,因而也会造成大批受电器供电中断。正由于此,后来就发展到将受电器并联到配电网上,这样就不会因为某一受电器的切断或接入而中断配电网的工作。因此,这种并联的配电系统作为一种理想的模式得到了迅速发展并一直沿用至今。

早期中国的配电网电压等级零乱而复杂。在 50~60 年代,随着我国配电网的发展,低压和中压网的电压等级逐步统一改造为 380/220V 及 6~10kV。又由于城市负荷密度的提高和大型电力用户的出现,现代配电网的最高电压等级已发展到 35~110kV,有的负荷密度极高的大城市,甚至采用 220kV 电压等级作为配电网电压等级。

到 1995 年底,全国电网建成 35~110kV 的线路 45.1 万 km、变电容量 3.95 亿 kV·A, 10kV 线路约 260 万 km, 380/220V 线路约 660 万 km。全国电网总装机容量 2.17 亿 kW,发电量 10069 亿 kW·h,其中,约 80% 的电量是由城网送到用户或转供给大企业,约 50% 的售电量由配电网直接分送到用户。农村电网已形成了以大电网供电为主,以小水电、小火电、风能、太阳能等多种能源发电互补的农村供电电源结构,农村电网覆盖了 96% 的农村。全国共建成农村电气化县 533 个,其中农村水电初级电气化县 318 个。

随着新理论、新方法、新技术在配电网中的应用,迫使现代配电网向下列趋势发展。

一、配电装备向无油化、免维修、小型化、紧凑型方面发展

新的配电装备的开发主要达到三个目的。第一是为了适应日趋严格的环境约束;第二是为了满足用户对供电可靠性越来越高的需要;第三是为了降低供电成本,包括安装、运行和维修费等。

就线路而言,正在开发和推广应用的有:①高压紧凑架空线路。与传统架空线比较,其高度可减少 40%,线路走廊用地可节约 $\frac{1}{2}$ 。②中、低压架空集束绝缘线路。它与架空裸线比较,年事故率只有原来的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$,线路走廊节约 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$,电压损失可减少 40%,有利于城市绿化,城市环境美化等。它已在国外广泛使用,国内近十多年来,也在城网中推广应用。

对变压器来说，为适应高层建筑、地下商场、地铁、矿井等防火要求高的地区的供电需要，国内外已广泛推广使用 SF₆ 绝缘变压器和树脂浇注干式变压器，这些变压器与传统油浸变压器比较，具有可靠性高、体积小、损耗低、噪声小、难燃等特点。

在开关设备方面，国内外已广泛采用 SF₆ 断路器、真空断路器、固态断路器等，它们与常规电器设备比较，尽管其设备费用高一些，但由于可靠性高、动作灵敏、占地费用减少、安装简便、保护控制用电费用低、维护检修工作量小等，抵偿了很大一部分设备差价，因而在人口和交通密集的城市电网中迅速得到推广应用。

二、配电自动化向多功能纵深方向发展

配电自动化是包括变电站、配电网和用户在内的运行、监控、维修、用户管理的具有自动化功能的综合一体化系统，而配电管理系统是包括配电自动化在内的符合配电系统现代管理要求的综合技术管理系统，需要说明的是，两者是既有联系又有不同分工的管理系统。在研究单纯的技术措施时称作配电自动化的内容，而在研究技术和组织的综合措施时称为配电管理系统的内容，二者实质上是综合在一起的。因此，从某种意义上说，配电管理系统是广义的配电自动化系统。

因受新形势下用户对配电网供电可靠性和供电质量要求越来越高的影响，在国外，配电自动化近十多年来发展较快，由于各国的具体情况不同，开发的功能也差异较大。为了更好地推进此项工作，在 1993 年的 12 届国际供电会议（CIRED）上，成立了专门特设小组，对配电自动化在各国的进展情况进行了调研。该机构起草的工作报告，反映了当前的现状，明确了若干基本概念，提出了全面、完整、内容具体、层次分明、关系明确的数十项配电自动化标准功能，这将推动配电自动化向多功能的纵深方向发展。

尽管我国在配电网实时数据采集与监控（SCADA）方面取得了一定成绩，但在全面开发配电自动化功能方面还处于探索起步阶段。由于此项工作涉及面广，耗资巨大，各地正在因地制宜，制订分步实施计划，通过投入和效益评估，进行具体功能的开发，力争把我国配电自动化提高到一个新水平。

三、配电网管理向需求侧方向发展

配电网络是电力企业与用户的界面，也是对用户服务、管理的主要阵地。需方管理（Demand Side Management）简称 DSM，它是 80 年代初由美国提出的一种在用户有效参与下，充分利用电力资源的系统工程。DSM 不同于以往的负荷管理。首先，DSM 强调用户的有效参与，借助于各种经济的、技术的和行政的手段，调动用户参与负荷管理的积极性，与用户共同实施用电管理。其次，DSM 拓宽了以往负荷管理的领域，除了移峰填谷等负荷管理的传统内容外，还增加了负荷灵活控制、战略节能和战略负荷开拓等多项更积极的措施。在电网规划中，采用综合规划方法，把需求侧的节电潜力作为一部分电源对待，通过技术经济比较加以开发利用，这一点已逐渐成为现代配电网颇为关注的问题。例如，法国在 90 年代已研制成 2800 套用户通信接口装置，称 ICC，其主要功能不仅引入了实时读表、停电控制和远方管理，而且使用户能了解自己的实时电价（全日变动的实时电价是透明的），从而能优化自己的用电计划，达到支付电费最小。ICC 能供用户使用几条简单的指令控制用电，并和供电人员通信，规划自己的最佳用电计划。

四、人工智能、专家系统在配电网中的应用

配电网结构的节点数多，又与用户直接相连，所面临的问题庞大而复杂，有的无法建立精确的数学模型，或者不允许单纯用数学来描述，有的则无法建立数学模型。人工智能，特别是专家系统的发展，为解决配电网的大量问题提供了新的有力工具。

借助于各有关领域专家的知识和经验以及一些规则，采用推理、判断和决策等方法 and 过程，可以使某些问题得到有效解决。目前在国外，专家系统已在配电网规划、监视、控制、系统分析、教育与仿真等各方面得到应用，几乎渗透到配电网的各个主要方面。但是，大部分应用尚处于构思和试编原型系统阶段，少部分处于程序调试和现场试用阶段，也有一些专家系统已进入实用。我国在这方面的应用情况也大致相同。

第三节 配电网规划设计的技术原则和主要内容

一、技术原则

配电网结构的确定是配电网规划设计的主体，应根据规划区的经济状况和负荷情况合理选择和具体确定电压等级、供电可靠性、接线方式、点线配置等技术原则。

(一) 电压等级

高压配电网一般选用 35~110kV，中压配电网选用 10kV，低压配电网选用 380/220V。

(二) 供电可靠性

配电网规划考虑的可靠性是指电网设备停运时，对用户连续供电的可靠程度，应满足下列两个目标中的具体规定：

- (1) 电网供电安全准则；
- (2) 满足用户用电的程度。

配电网的安全一般采用 $N-1$ 准则，即：

- (1) 高压变电所中失去任何一回进线或一组变压器时，必须保证向下级配电网供电。
- (2) 高压配电网中一条线路或变电所中一组降压变压器发生故障停运时，在正常情况下，除故障段外允许不停电，设备不允许过负荷；在计划停运情况下又发生故障时，允许部分停电，但应在规定时间内恢复供电。

(3) 低压电网中当一台变压器或电网发生故障时，应尽快将完好的区段切换至邻近电网恢复供电。

(三) 容载比

变电容载比是配电网变电容量 ($kV \cdot A$) 在满足供电可靠性基础上与对应的负荷 (kW) 之比值，是宏观控制变电总容量的指标，也是规划设计时布点安排变电容量的依据。

容载比是反映配电网供电能力的主要技术经济指标之一。容载比过大，电网建设早期投资增大；容载比过小，电网适应性差，影响供电。

容载比与变电所的变压器台数、用户的重要性、同时率、功率因数等有关，在电网规划时，应根据所规划区的经济发展情况，合理选择其数值。当缺乏足够资料时，可参考采

用下列数据。

城市电网的容载比一般为：

220kV 电网 1.6~1.9

35~110kV 电网 1.8~2.1

农村电网因可靠性要求低一些，容载比取值可比上述值适当低一些。在变电所投产初期，容载比取值有时大于上述数值，随着负荷发展的不平衡，有些已投产多年的变电所带负荷重，容载比有可能小于上述数值。

（四）电网结构

具体配电网结构将在以后的章节中讨论，这里主要说明组成配电网接线要掌握的要点：

- （1）各级电压电网的接线应标准化；
- （2）高压配电网接线力求简化；
- （3）下一级电网应能支持上一级电网。

（五）中性点接地方式

配电网中性点的运行方式一般规定为：

- （1）220kV 直接接地；
- （2）110kV 直接接地（必要时也可经电阻、电抗或消弧线圈接地）；
- （3）35、10kV 不接地或经消弧线圈、电阻或电抗接地；
- （4）380/220V 直接接地。

（六）无功补偿

配电网无功补偿的原则为：

（1）无功补偿应根据就地平衡和便于调整电压的原则进行配置，可采用分散和集中补偿相结合的方式，接近用户端的分散补偿可取得较好的经济效益，集中安装在变电所内有利于控制电压水平；

（2）无功补偿设施应便于投切，装设在变电所和大用户处的电容器应能自动投切。

（七）电压调整

配电网电压调整的综合措施为：

- （1）无功就地平衡；
- （2）充分利用改变发电机的端电压和变压器分接头进行调压；
- （3）在高峰和低谷负荷时，保证线路末端电压偏移在允许范围内。

我国国家标准 GB12325—1990《电能质量——供电电压允许偏差》中规定如下：

- 1) 35kV 及以上供电电压正负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 10%；
- 2) 10kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$ ；
- 3) 220V 单相供电电压允许偏差为 $+7\%$ 与 -10% 。

GB12325 是我国 1990 年颁布的国标，随着高新技术的发展，城市电网电能用户对电压允许偏差的要求越来越高，因此，在城网规划时，电压允许偏差取值往往高于上述要求。农村用电一般相对要求较低，可参照上述最低要求执行。

(八) 短路容量

为了取得合理的经济效益，配电网各级电压的短路容量应通过电网设计、运行方式等方面进行控制，使各级电压断路器的开断电流及设备的动、热稳定电流得到配合，一般控制在表 1-2 允许的值以内。

表 1-2 不同电压等级电网断路器允许的最大短路电流

电网电压等级	220kV	110kV	35kV	10kV
允许短路电流	40kA	20kA	16kA	16kA

随着断路器制造水平的提高，短路电流允许值可选择大于表 1-2 规定的数值。

(九) 通信干扰

在配电网规划设计中应尽量减少对通信设施的危害及干扰影响，并在规划年限内留有适当裕度。这种影响的允许值可参照有关标准。

二、主要内容

配电网规划一般应包括以下主要内容：

- (1) 分析配电网布局与负荷分布的现状；
- (2) 负荷预测（包括电量与功率预测）；
- (3) 确定规划各期的目标及电网结构原则和供电设施的标准化；
- (4) 进行电量和电力（含有功、无功功率）平衡，提出对供电电源点的建设要求；
- (5) 确定变电所的布点和容量；
- (6) 分期对配电网结构进行整体规划，确定分期建设的工程项目；
- (7) 确定无功补偿容量及其布局；
- (8) 确定调度、通信及自动化等方面的规模和要求；
- (9) 估算各规划期需要的投资、主要设备的规范和数量；
- (10) 估算各规划期末将取得的经济效益和扩大供电能力后的社会效益；
- (11) 绘制各规划期末配电网规划地理结线图（包括现状图）；
- (12) 编制规划说明书。

第四节 配电网运行的特点和基本要求

配电网的运行是指配电网所属不同电压等级的线路和变、配电所的运转过程。

配电网相对于输电网来说，其电压等级低，供电范围小，但与用户直接相连，是供电部门对用户服务的窗口，因而决定了配电网运行有如下特点和基本要求。

(1) 10kV 中压配电网在运行中，负荷节点数多，一般无表计实时记录负荷，无法应用现有传统潮流程序进行配电网的计算分析，要求建立新的数学模型和计算方法。

(2) 随着铁路电气化和用户电子设备的大量使用，配电网运行中有大量的谐波源、三相电压不平衡、电压闪变污染等，要求准确测量与计算配电网中的谐波分布，从而采取有效措施抑制配电网运行中的谐波危害。

(3) 由于环保条件日趋严格的制约，对配电网运行要求能制订不影响城市绿化、防火、防爆、防噪声的技术和组织措施，以便减少配电网运行对环境的污染。

(4) 随着用户对供电可靠性和电压质量指标要求的提高，仍靠人工操作已无法适应，要求现代配电网运行不断提高自动化、智能化水平。

(5) 由于“电能”作为商品将进入市场竞争，要求各电力公司能降低配电网运行的线损和年运行费用，提高运行的经济性，从而降低配电成本，同时，积极协助用户优化用电计划、节约用电，推行战略节电和战略负荷开拓等积极措施，进一步提高对用户的服务质量。

第二章 电力负荷预测

第一节 配电网的负荷增长特性及其分类

配电网的负荷预测是配电网规划设计的基础工作。在讨论负荷预测之前,本节先简要介绍一下与负荷预测内容有密切关系的负荷特性及其分类。

一、负荷增长特性指标

(一) 电量需求特性指标

电量需求的特性指标主要有年平均增长率、电力弹性系数、用电单耗等。

(1) 年平均增长率。若起始年和终止年的电量分别为 W_0 、 W_n , 在 n 年内的电量年平均增长率 β_w 为

$$\beta_w = \sqrt[n]{W_n/W_0} - 1 \quad (2-1)$$

(2) 电力弹性系数。为了反映电量增长与国民生产总值增长的关系, 国内外常用电力弹性系数 K_w 来描述, 即

$$K_w = \beta_w / \beta_A \quad (2-2)$$

式中 β_A ——国民生产总值的年平均增长率。

类似 (2-1) 式, 有

$$\beta_A = \sqrt[n]{A_n/A_0} - 1 \quad (2-3)$$

式中 A_0 、 A_n ——计算期始、末的国民生产总值。

(3) 用电单耗。第 i 行业的用电单耗 C_i 反应该行业生产效率, 它用下式求出

$$C_i = W_i / A_i \quad (2-4)$$

式中 W_i 、 A_i ——分别表示 i 行业的用电量和产值 (产量)。

(二) 功率特性指标

常用的功率特性指标有日负荷率、日最小负荷率、月负荷率、季负荷率、年负荷率、年最大负荷利用小时、负荷同时率、功率因数和需用系数等。

(1) 日负荷曲线特性指标。日负荷率 γ 与日最小负荷率 β 是反映日负荷曲线特性的指标, 即由下式求出

$$\left. \begin{aligned} \gamma_j &= P_{arj} / P_{maxj} \\ \beta_j &= P_{minj} / P_{maxj} \end{aligned} \right\} j = 1, 2, \dots, 12 \quad (2-5)$$

式中 P_{maxj} 、 P_{arj} 、 P_{minj} ——分别为 j 月最大负荷日的最大负荷、平均负荷、最小负荷。

而年平均日负荷率 γ_{ar} 可按下式计算

$$\gamma_{ar} = \sum_{j=1}^{12} P_{arj} / \sum_{j=1}^{12} P_{maxj} \quad (2-6)$$

γ 、 β 表示一天中负荷随时间变化的波动特性，其数值远小于 1，当远离 1 时，表明负荷曲线波动很大；当其数值接近 1 时，表示负荷曲线平稳，可减轻电力系统调频调压的负担。 γ 、 β 的大小，也说明用电负荷的结构组成，它们的数值大，表明负荷主要是工业用电，特别是多班制连续生产的工业用电比重大；它们的数值小，表明负荷主要由市政生活用电和中、小型非连续生产的工农业用电组成。

(2) 年负荷曲线特性指标。月负荷率 σ 、季负荷率 ρ 、年负荷率 δ 、年最大负荷利用小时数 $T_{\max}$ 是描述年负荷曲线的特性指标，它们可根据下列各式求出。

月负荷率 σ 的定义为

$$\sigma = P_{\text{yarj}} / P_{\text{arj}} \quad (2-7)$$

式中 P_{yarj} ——月平均负荷，它是一个月电量被一个月小时数所除而得的值。

由于一年中 12 月的 σ 值不同，常用其平均值 σ_{ar} 表示如下

$$\sigma_{\text{ar}} = \sum_{j=1}^{12} P_{\text{yarj}} / \sum_{j=1}^{12} P_{\text{arj}} \quad (2-8)$$

季负荷率 ρ 由下式求得，即

$$\rho = \sum_{j=1}^{12} P_{\text{maxj}} / 12 P_{\text{max}} \quad (2-9)$$

式中 P_{max} ——年最大负荷。

ρ 表示一年中月最大负荷变化的不均衡性。

年负荷率 δ 的定义为

$$\delta = P_{\text{ar}} / P_{\text{max}} = \gamma_{\text{ar}} \sigma_{\text{ar}} \rho \quad (2-10)$$

式中 P_{ar} ——年平均负荷，它是电量除以 8760h 所得的值。

年最大负荷利用小时 $T_{\max}$ 可由下式求出，即

$$T_{\max} = W / P_{\text{max}} = 8760 \delta = 8760 \gamma_{\text{ar}} \sigma_{\text{ar}} \rho \quad (2-11)$$

式中 W ——年用电量。

(3) 负荷的同时率。由于各用户或各地区的最大负荷 P_{maxi} 一般不在同一时刻出现，它们之间有时差效应或错峰效应，为表示此特点，常用负荷的同时率 K_t 表示，即

$$K_t = P_{\text{max}} / \sum_{i=1}^m P_{\text{maxi}} \quad (2-12)$$

式中 P_{maxi} —— i 用户（地区）的最大负荷；

P_{max} ——配电网总的最大负荷。

(4) 负荷的功率因数。负荷的功率因数 λ 是指负荷的有功功率 P 与视在功率 S 的比值，即

$$\lambda = P / S = P / \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2-13)$$

在配电网运行与规划中，人们关注的往往是最大负荷 P_{max} 出现时刻的功率因数 λ ，这种 λ 在 35~110kV 变电所高压进出线由有功 P 和无功 Q 的表计读数通过 (2-13) 式求得。但大量的 6~10kV 中压配电网出线只有电流表和有功、无功电能表读数，一般只能根据一个月或一年的有功、无功电能读数 W 、 W_r 求出其平均功率因数 λ_{ar} ，即

$$\lambda_{\text{ar}} = W / (W^2 + W_r^2)^{1/2} \quad (2-14)$$

我国配电网大量的统计资料表明,平均功率因数 λ_{ar} 一般低于瞬时功率因数 λ ,而且对农村配电网来说,这种差别更大,城市配电网的差别小一些,其主要原因是因为农村配电网配电变压器的负荷率昼夜之间相差很大,后半晚轻负荷率的配电变压器已成为无功用户,从而使 λ_{ar} 显著降低。

(5)负荷的需用系数。需用系数是用户的实际最大负荷功率 P_{max} 与用户的用电设备额定容量 P_N 之比,即

$$K_X = P_{max}/P_N \quad (2-15)$$

二、电力负荷的分类

随着负荷类型的不同,前面讨论的负荷特性指标差别很大,增长的规律也不同,为更好地进行负荷预测,有必要进一步讨论负荷分类。我国电力部门现行负荷的统计分类,是将全社会总用电量分成下列8大类型:

- (1) 农、林、牧、渔、水利用电;
- (2) 工业用电;
- (3) 地质普查和勘探业用电;
- (4) 建筑业用电;
- (5) 交通运输、邮电通信业用电;
- (6) 商业、公共饮食业、物资供销和仓储业用电;
- (7) 其他事业用电;
- (8) 城乡居民生活用电。

实际在目前统计时,还进一步将上述8大类负荷分成63个子项目,如表2-1所示,表中列出了我国1995年用电设备容量和用电量分类的详细情况。

表 2-1 1995 年我国用电设备容量和用电量分类表

项 目	用电设备容量 (MW)	用电量 (TW·h)	项 目	用电设备容量 (MW)	用电量 (TW·h)
全社会总计	490474.3	988.63555	重工业	209381.3	591.00406
国民经济各行业合计	428278.7	88.07759	其中:乡镇工业	35714.4	68.86802
一、农、林、牧、渔、水利业	67337.5	61.49973	(一) 采掘业	36678.6	97.51435
其中:排灌	31079.8	26.95855	1. 煤炭采选业	13992.3	38.17875
农副业	16441.9	14.31123	2. 石油及天然气开采业	7606.4	22.47458
1. 农业	47545.2	41.65329	3. 黑色金属矿选采选业	2726.4	7.93271
2. 林业	109.2	1.16129	4. 有色金属矿选采选业	3502.5	9.12940
3. 畜牧业	104.3	1.36218	5. 建材及非金属矿选采选业	2950.8	5.14623
4. 渔业	108.9	1.39164	6. 采盐业	525.9	1.04075
5. 水利业	9816.5	8.54652	7. 其他矿选采选业	174.2	0.36332
6. 其他	6751.8	7.38481	8. 木材及竹材采运业	493.5	1.256387
二、工业	287167.6	739.73882	9. 自来水生产和供应业	4706.5	11.98484
其中:轻工业	77786.2	148.73476			

续表

项 目	用电设备容量 (MW)	用电量 (TW·h)	项 目	用电设备容量 (MW)	用电量 (TW·h)
(二) 制造业	250488.9	642.22447	16. 交通运输、电气设备制造业	13781.0	18.98460
1. 食品饮料和烟草制造业	15867.8	23.43757	其中: 轻工业	3087.7	4.59182
2. 纺织业	13810.6	32.08771	17. 其他工业	23502.6	34.74732
3. 造纸及纸制品业	6347.6	17.20864	其中: 轻工业	12297.2	15.92763
4. 电力蒸汽热水生产和供应业	29852.4	149.20864	三、地质普查和勘探业	474.3	0.77957
其中: 发电企业(厂用电)	11896.7	71.33700	四、建筑业	10911.4	10.91544
供电企业(线损)	13908.6	74.45170	五、交通运输、邮电通信业	14953.3	18.22975
5. 石油加工业	2944.1	10.37027	1. 交通运输业	13067.7	15.04433
6. 炼焦煤气及煤制品业	1914.7	3.11211	其中: 管道运输业	720.8	1.79295
其中: 煤制品业	510.1	0.60979	电气化铁路	6830.2	7.14280
7. 化学工业	28338.1	101.45880	2. 邮电通讯业	1885.6	3.18542
其中: 轻工业	2719.8	5.95036	六、商业饮食物资供销仓储业	14687.0	19.05473
8. 医药工业	2875.0	7.22854	七、其他各类事业	32747.5	37.85955
9. 化学纤维工业	2875.0	9.63880	1. 房管公共服务和咨询业	9343.6	10.65012
10. 橡胶塑料制品业	8031.1	13.78278	其中: 市内公共交通业	1058.1	0.94111
其中: 轻工业	3298.9	6.14570	路灯业	993.5	1.42682
11. 建材及非金属制造业	25577.2	57.38183	2. 卫生体育和社会福利事业	3352.5	4.10814
其中: 轻工业	2159.4	4.34163	3. 教育文艺和广播电视业	5714.9	6.74401
12. 黑色金属冶炼压延加工业	28218.61	80.01137	4. 科研和综合技术服务业	3202.5	2.92597
13. 有色金属冶炼压延加工业	12737.2	41.58633	5. 国家党政机关和社会团体	5425.0	6.59028
14. 金属制品业	11836.3	15.72524	6. 其他事业	5708.8	6.84103
其中: 轻工业	3277.2	4.73326	八、城乡居民生活	62195.6	43.09250
15. 机械工业	21990.0	26.25631	1. 乡村居民生活	23611.1	57.46546
其中: 轻工业	2987.8	3.80772	2. 城市居民生活	38584.5	

注 1TW·h=10亿kW·h。

从表 2-1 可以看出, 目前我国的用电结构还是以工业用电为主, 占总用电量的 74.8%, 说明耗能型的制造业占用电的比重太大, 与发达国家比较, 这种用电结构并不太合理。

从负荷特性来看, 工业用电负荷曲线波动小, $T_{\max}$ 大, 功率因数高, 预测这类负荷较容易; 农业用电与生活用电受气候影响大, 季节性变动大, $T_{\max}$ 小, 功率因数也较低, 预测这类负荷的难度也较大。

近十多年来, 我国各大、中城市许多高层建筑拔地而起, 已成为城市电力网中的用电大户, 进一步讨论此种用电的分类, 对配电网运行管理和规划设计是有益的。

各类用电设备在高层建筑中完成不同的功能, 共同给人们提供一个正常、安全、舒适的生活环境。根据高层建筑内各种负荷的运行特点及在人们生活中各自起到的不同作用, 可将它们分成保障型、保安型和舒适型负荷 3 大类, 分别叙述如下。

(1) 保障型负荷。它是维持人们正常生活的不能缺少的用电负荷。如高层建筑内的电气照明中的客户照明、办公室照明、餐厅照明、厨房照明、楼梯走道照明、商店照明、庭园照明、节日照明、各种机房及工作间的照明, 电梯中的客梯、货梯、自动扶梯, 水泵中的生活水泵、排污泵和排水系统, 锅炉房中的生活锅炉, 洗衣房内的各种用电设备, 厨房内的各种用电设备, 客户中的各种电力设备, 电话站、广播站、各种控制室内的用电设备