

供 配 电 技 术

何首贤 葛廷友 姜秀玲 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

供 配 电 技 术

主 编 何首贤 葛廷友 姜秀玲
副主编 张 晶 邢迎春
参 编 李连举 吴荣高 孙慧灵
 张力群 葛启栋 于海常
 张立国 谭积成 张相成
 于学海
主 审 朴在林 甄贵章



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分四篇二十四章。主要内容有：电力系统的基本概念，架空电力线路，电力网的电气参数及其等值电路，简单电力网络潮流分析计算，电力系统的无功功率和电压调整，电力网中能量损耗的计算及降低的措施，电力网导线截面的选择，发电厂和变电所电气设备，短路电流计算，电气设备的选择，配电装置与接地装置，变电所的二次接线，变电所的自动装置，电力系统继电保护概述，电网的电流保护，电网的距离保护，电网的差动保护，电网的高频保护，自动重合闸，电力变压器的继电保护，电力电容器保护，微型计算机继电保护概述，高电压试验技术与电气设备绝缘预防性试验方法等。本书的附录部分给出了电力网的常用参数，每章后面均附有复习思考题。

本书可作为高职高专院校相关专业教材，也可作为电力部门的电气工程技术人员的考核、培训教材，还可供电气技术爱好者阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

供配电技术/何首贤，葛廷友，姜秀玲主编．—北京：
中国水利水电出版社，2005（2007 重印）
ISBN 978 - 7 - 5084 - 2469 - 9

I. 供… II. ①何…②葛…③姜… III. ①供电—高等学校：技术学校—教材②配电系统—高等学校：技术学校—教材 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 124506 号

书 名	供配电技术
作 者	何首贤 葛廷友 姜秀玲 主编
出版 发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号 100044） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话：(010) 63202266（总机）、68331835（营销中心）
经 售	北京科水图书销售中心（零售） 电话：(010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 27.25 印张 646 千字
版 次	2005 年 2 月第 1 版 2007 年 3 月第 2 次印刷
印 数	5001—8000 册
定 价	47.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书在总结、吸取国内外同类教材经验的基础上,更加注重理论上的系统性和工程上的实用性,并大量地纳入了当前电气工程采用的最新设备和最新知识。本书特点如下:

- (1) 侧重于基本结构和基本原理的阐述,并强调实际应用。
- (2) 内容叙述力求简明扼要,通俗易懂,深入浅出,富于启发性。
- (3) 书中图形、文字符号均采用最新国际标准。

本书共分四篇二十四章。第一篇电力网的内容有:电力系统的基本概念,架空电力线路,电力网的电气参数及其等值电路,简单电力网络潮流分析计算,电力系统的无功功率和电压调整,电力网中能量损耗的计算及降低的措施,电力网导线截面的选择。第二篇发电厂和变电所电气部分的内容有:发电厂和变电所电气设备,短路电流计算,电气设备的选择,配电装置与接地装置,变电所的二次接线,变电所的自动装置。第三篇电力系统继电保护的内容有:电力系统继电保护概述,电网的电流保护,电网的距离保护,电网的差动保护,电网的高频保护,自动重合闸,电力变压器的继电保护,电力电容器保护,微型计算机继电保护概述。第四篇电气设备绝缘试验的内容有:高电压试验技术,电气设备绝缘预防性试验方法等。本书的附录部分给出了电力网的常用参数,每章后面均附有复习思考题。

本书由沈阳农业大学、大连水产学院职业技术学院、大连市瓦房店供电局、盘锦市大洼县农电局、阜新市农电局、阜新市彰武县农电局、抚顺市清源县农电局、沈阳市和平区公园管理处和鞍山市岫岩县农电局等单位参加编写。

本书编写人员:何首贤、葛廷友、姜秀玲、张晶、邢迎春、李连举、吴荣高、孙慧灵、张力群、葛启栋、于海常、张立国、谭积成、张相成、于学海。全书由何首贤负责统稿。

本书承蒙沈阳农业大学朴在林教授、大连水产学院职业技术学院甄贵章副教授的认真审阅，审阅过程中提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心感谢。

由于编写时间紧迫，编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

作 者

2007年3月

目 录

前言

第一篇 电 力 网

第一章 电力系统的基本概念	1
第一节 电力系统概述	1
第二节 负荷曲线与最大负荷利用时间	3
第三节 电力系统的接线方式	7
第四节 电力系统的额定电压	8
第五节 电力系统中性点的接地方式	10
复习思考题	14
第二章 架空电力线路	15
第一节 架空电力线路的分类	15
第二节 架空线路的组成	19
复习思考题	25
第三章 电力网的电气参数及其等值电路	26
第一节 电力线路的参数及其等值电路	26
第二节 变压器的参数及其等值电路	30
第三节 标幺制	35
第四节 电力系统的等值电路	39
复习思考题	43
第四章 简单电力网络潮流分析与计算	44
第一节 网络元件阻抗支路的功率和电压计算	44
第二节 简单开式网络的潮流计算	48
第三节 一端电源供电地方网的潮流计算	59
复习思考题	61
第五章 电力系统的无功功率和电压调整	62
第一节 概述	62
第二节 电力系统的无功电源	65
第三节 电压中枢点的调压方式	67

第四节 改变发电机端电压调压	69
第五节 改变变压器的变比调压	70
第六节 并联补偿无功设备调压	73
复习思考题	77
第六章 电力网中能量损耗的计算及降低电能损耗的措施	79
第一节 电力网的电能损耗及网损率	79
第二节 面积法电能损耗的计算	80
第三节 损失因数法及均方根电流法	83
第四节 最大功率损耗时间法电能损耗的计算	85
第五节 降低电力网电能损耗的技术措施	90
复习思考题	93
第七章 电力网导线截面积的选择	94
第一节 确定导线截面积的基本原则	94
第二节 按经济电流密度选择导线截面积	95
第三节 按允许电压损耗选择导线截面积	97
复习思考题	100

第二篇 发电厂和变电所电气部分

第八章 发电厂和变电所电气设备	103
第一节 熔断器	103
第二节 电力变压器	105
第三节 隔离开关	114
第四节 SF ₆ 断路器	118
第五节 真空断路器	123
第六节 绝缘子与母线和电缆	127
第七节 互感器	131
第八节 数字式电能表	138
第九节 电抗器	139
第十节 避雷器	142
第十一节 电气主接线	145
复习思考题	153
第九章 短路电流的计算	155
第一节 概述	155
第二节 无限大容量系统三相短路电流的计算	156
第三节 发电机供电电路内三相短路	162
第四节 不对称短路电流的计算	166
复习思考题	169

第十章 电气设备的选择	171
第一节 电气设备的电动力及发热计算	171
第二节 导体的发热计算	173
第三节 电气设备选择的一般条件	179
第四节 母线与电缆及绝缘子的选择	180
第五节 高压断路器与隔离开关和熔断器的选择	187
第六节 互感器的选择	189
第七节 限流电抗器的选择	194
第八节 变压器的选择	196
复习思考题	198
第十一章 配电装置与接地装置	199
第一节 配电装置	199
第二节 接地装置	207
复习思考题	211
第十二章 变电所的二次接线	213
第一节 二次接线的图纸	213
第二节 二次接线的安装工艺	217
复习思考题	221
第十三章 变电所的自动装置	222
第一节 备用电源自动投入装置	222
第二节 电力线路的自动重合闸装置	224
复习思考题	227

第三篇 电力系统继电保护

第十四章 电力系统继电保护概述	229
第一节 电力系统继电保护的作用	229
第二节 继电保护的基本原理和保护装置的组成	230
第三节 对继电保护的要求	231
第四节 继电保护技术的发展史	232
复习思考题	233
第十五章 电网的电流保护	234
第一节 单侧电源电网相间短路的电流保护	234
第二节 多侧电源电网相间短路的方向电流保护	249
第三节 中性点直接接地电网中接地短路的零序电流及方向保护	255
第四节 中性点非直接接地电网中单相接地故障的零序电压与电流及方向保护	262
复习思考题	267

第十六章 电网的距离保护	268
第一节 距离保护概述	268
第二节 阻抗继电器	270
第三节 影响距离保护正确工作的因素及采取的防止措施	274
第四节 距离保护的整定计算	277
复习思考题	280
第十七章 电网的差动保护	282
第一节 电网的纵联差动保护	282
第二节 平行线路横联差动方向保护	285
复习思考题	288
第十八章 电网的高频保护	289
第一节 高频保护的基本概念	289
第二节 高频闭锁方向保护	291
第三节 高频闭锁距离保护	293
第四节 相差高频保护	294
复习思考题	298
第十九章 自动重合闸	299
第一节 自动重合闸的作用及要求	299
第二节 单侧电源线路的三相一次自动重合闸	300
第三节 双侧电源线路的三相一次自动重合闸	302
第四节 自动重合闸与继电保护的配合	304
第五节 重合器与分段器	306
复习思考题	308
第二十章 电力变压器的继电保护	309
第一节 电力变压器的故障类型, 不正常运行状态及其保护措施	309
第二节 变压器的瓦斯保护	309
第三节 变压器的电流速断保护	311
第四节 变压器的纵联差动保护	312
第五节 变压器相间短路的电流和电压保护	319
第六节 变压器的零序电流保护	323
复习思考题	326
第二十一章 电力电容器保护	327
第一节 电力电容器的保护原理	327
第二节 电力电容器的保护整定	331
复习思考题	333
第二十二章 微型计算机继电保护概述	334

第一节 微机保护系统简介	334
第二节 微机保护的硬件框图简介	335
第三节 微机保护的算法	341
第四节 微机变压器差动保护举例	344
第五节 提高微机保护可靠性的措施	349
第六节 变电站微机综合自动化系统简介	352
复习思考题	354

第四篇 电气设备绝缘试验

第二十三章 高电压试验技术	355
第一节 绝缘电阻和吸收比测试	355
第二节 泄漏电流测试	358
第三节 介质损失角正切 ($\tan\delta$) 测试	365
第四节 局部放电测试	368
第五节 工频交流耐压试验	370
第六节 直流耐压试验	375
第七节 绝缘油中溶解气体的色谱分析	378
复习思考题	380

第二十四章 电气设备绝缘预防性试验方法	382
第一节 电力变压器和电抗器试验	382
第二节 互感器试验	389
第三节 断路器试验	395
第四节 电力电缆和电力电容器试验	399
第五节 避雷器试验	402
第六节 发电机试验	407
第七节 绝缘油与绝缘工具的耐压试验	411
第八节 接地电阻及土壤电阻率的测量	413
复习思考题	416

附录 电力网的常用参数	417
附表 1 各种常用架空线的规格 (现型国家标准 GB1179—74)	417
附表 2 各种常用架空线的规格 (JB649—65, 旧型部颁标准)	417
附表 3 LJ、TJ 型架空线路的电阻及感抗 (Ω/km)	418
附表 4 LGJ 型架空线路导线的电阻及感抗 (Ω/km)	418
附表 5 LGJQ 与 LGJJ 型架空线路导线的电阻及感抗 (Ω/km)	419
附表 6 220~750kV 架空线路导线的电阻及感抗 (Ω/km)	419
附表 7 LGJ、LGJJ 及 LGJQ 型架空线路导线的容纳 ($\times 10^{-8}\text{S}/\text{km}$)	419
附表 8 110~750kV 架空线路导线的电容 ($\mu\text{F}/100\text{km}$) 及充电功率 ($\text{MV}\cdot\text{A}/100\text{km}$)	420

附表 9 6~10kV 铝线电力变压器技术数据	420
附表 10 35kV 铝线双绕组电力变压器技术数据	421
附表 11 60kV 铝线电力变压器技术数据	422
附表 12 110kV 级三相双绕组铝线电力变压器技术数据	423
附表 13 110kV 三相三绕组电力变压器技术数据	424
参考文献	426

第一篇 电力网

第一章 电力系统的基本概念

第一节 电力系统概述

一、电力系统的组成

电力系统是电力工业的基本形态。它是发、送、变、配、用电各个环节电气设备连成的整体。如果把发电厂的动力部分如火电厂的汽轮机、锅炉、供热管道和热用户，水电站的水轮机和水库，核电厂的反应堆和汽轮机等也包括进来，就称为动力系统。电力系统中输送和分配电能的部分叫做电力网，它包括升、降压变压器和各种电压的输电线路。由此可见，电力系统是动力系统的一部分，电力网又是电力系统的一部分。现代交流电力系统都是三相的，但通常为了简单、清晰地表示电力系统，都将其接线图画成单线图。动力系统、电力系统和电力网示意图如图 1-1 所示。

二、电力系统的特点和运行的基本要求

电力系统与别的工业系统相比较，具有如下的特点。

(1) 电能与国民经济各部门及人民生活关系密切。由于自然界的一次能源都可转换成电能，且电能转换成其他形式能量十分方便；电能宜于大量生产、远距离输送和自动控制，所以得到广泛的应用。

(2) 电能不能大量储存。电能的生产、输送、分配和消费实际是同时进行的。各个环节紧密相连，任何一个环节出问题，整个系统都要受到影响。

(3) 电力系统暂态过程非常短暂。正常操作和故障时，从一种运行状态变到另一种运行状态的过渡极为迅速。

根据这些特点，对电力系统运行的基本要求有以下三个方面。

(1) 保证安全可靠地供电。电力系统供电中断将使生产停顿、生活混乱，甚至危及人身和设备安全，给国民经济带来严重的损失。如电解铝厂停电超过 15min，电解槽就要损坏；高炉停电 30min，铁水就要凝固；煤矿停电时间长，空气中瓦斯含量过高，会引起人员窒息，甚至发生爆炸事故等。

电力系统供电中断大多由事故引起。为了防止和减少事故，提高供电可靠性，必须完善电力系统结构，采用高度可靠的发供电设备，做好设备维修工作；必须提高运行人员技术水平，制定合理的运行方式，严密监视设备的运行，防止误操作，迅速正确地处理事

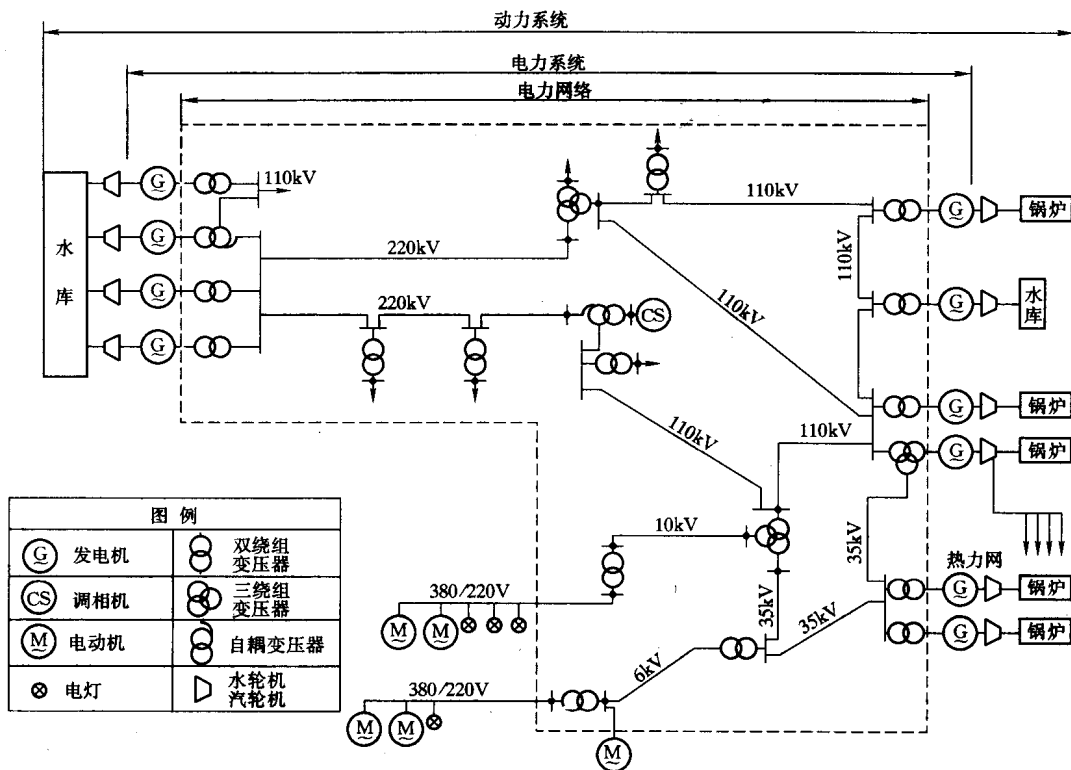


图 1-1 动力系统、电力系统及电力网示意图

故；必须有足够的有功电源和无功电源；必须采用先进的自动装置、快速继电保护装置和以电子计算机为中心的自动安全监视和控制系统等。

电力系统事故是不可能完全避免的，所有负荷也并非绝对不能停电。根据对供电可靠性的要求，一般将负荷分为以下三级。

第一级负荷。对这一级负荷中断供电造成人身事故、设备损坏、大量废品，导致生产秩序长期不能恢复，市政生活混乱。

第二级负荷。对这一级负荷中断供电将造成大量减产，影响人民生活。

第三级负荷。不属于第一、二级，停电影响不大的其他负荷。

在电力系统运行中功率如有缺额，应先中断对第三级负荷的供电，力争对第二级负荷供电，确保第一级负荷供电。在电力网络设计时，一般第一级负荷应由两个或两个以上独立电源供电；第二级负荷是否需要备用电源，应根据其对国民经济的重要程度，通过技术经济比较确定；第三级负荷可由单回线供电。

(2) 保证良好的电能质量。电能质量的指标是频率、电压和交流电的波形。

1) 频率。我国额定频率是 50Hz。规定 3000MW 以下的系统，频率偏差不大于 $\pm 0.5\text{Hz}$ ；3000MW 及以上的系统，频率偏差不大于 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。

频率偏差大，将影响用户的产品产量和质量，影响电子设备工作的准确性；将影响发电厂的出力，增大变压器和异步电动机励磁无功损耗，甚至造成汽轮机叶片损伤或断落

事故。

保证频率质量的关键，在于电力系统有足够的有功备用，能够在各种运行情况下，在允许频率偏差范围内实现有功功率平衡。

2) 电压。各类用户对其额定电压的偏移，一般要求变动幅度不超过 10%。电压降低，电灯亮度迅速减少电动机转矩下降、电流增大，甚至烧坏电动机；同时电力系统网损增加，发电厂出力和送变电传输能力降低。电压太高，电灯寿命缩短，危及电气设备的绝缘，在某种情况下，由于变压器铁心饱和还可能引发高频谐振。

保证电压质量的关键，在于电力系统有足够的无功功率和必要的电压调整手段。

3) 波形。供电电压非正弦波形畸变主要是由冶金、化工、矿山、电气化铁路等换流设备及电弧炉、高频炉、电力变压器、家用电器和其他非线性用电设备造成的。波形畸变产生高次谐波，使电气设备过热、振动，使电子设备和继电保护、自动装置误动作；还可能引起对通信设备的干扰；同时增加了附加损耗，降低了电气设备的效率和利用率，大大增加了电网谐振引发事故的危险性。《电力系统谐波管理暂行规定》给出了各级供电电压波形畸变率的极限值：0.38kV 不大于 5%，6、10kV 不大于 4%，35、60kV 不大于 3%，110kV 不大于 2%。达到波形要求的关键，是加强谐波监控和谐波管理，采取增加换流器相数、加装滤波装置等技术措施，以限制谐波源注入电网的谐波电流，使其不超过规定的允许值。

(3) 保证电力系统运行的经济性。电能生产和其他行业一样，要讲究经济效益。电能又是工农业生产的主要动力，消耗的能源在国民经济总能源消耗中占有很大的比重，因而提高电能生产的经济性，更具有重要意义。表征电力系统经济性的具体指标有煤耗、网损率和厂用电率。

1) 煤耗——发电厂生产 1kWh 电能所消耗的标准煤量，单位为 g/(kWh)。

2) 网损率——电力网中损耗的电量占向电力网供电量的百分比。

3) 厂用电率——发电厂自用电量占发电量的百分比。

要提高电力系统运行的经济性，必须做好规划设计，选择经济合理的电源方案和网络方案，采用高效率的发电设备；必须提高运行管理水平，按经济原则合理分配各发电厂有功负荷，合理配置各发电厂、变电站的无功电源。

电力系统运行三个方面的基本要求是密切相关的，也是互相制约的。安全可靠地供电是首要的要求。没有安全，优质和经济就无从谈起，电能质量不能保证，也不可能安全和经济。为此，对待三个基本要求必须有全面的观点，考虑其一，要兼顾其他。

第二节 负荷曲线与最大负荷利用时间

由于用户用电的随机性，电力系统的负荷是时刻在变化着的，相应的电力系统的功率分布、母线电压、功率损耗以及电能损耗等也在变化。因此，在分析和计算电力系统的上述运行参数时，首先必须了解负荷随时间的变化规律。

用户、变电所、发电厂及电力系统的负荷随时间变化的规律，通常以负荷曲线来表示。一般用直角坐标系的横坐标表示时间，以小时、日、月等单位；纵坐标表示有功功

率、无功功率、视在功率或电流。负荷曲线按纵横坐标表示的物理量的不同，可以分为：有功功率日负荷曲线、无功功率日负荷曲线、有功功率年负荷曲线等类型。现就一般常用的负荷曲线进行分析。

一、用户日负荷曲线

图 1-2 表示某用户或地区的日负荷曲线。它可以由运行记录日志或记录式仪表的有关数据画出。日负荷曲线表明电力负荷在一天 (24h) 的变化情况。由于用户取用有功功率的同时也取用无功功率，因此图中分别画出了有功日负荷曲线与无功日负荷曲线 (虚线)。无功日负荷曲线与有功日负荷曲线开头基本相似。当有功负荷降低时，由于变压器、电动机取用的励磁无功功率，只与电力网电压有关而与负荷无关，所以，无功负荷并不成比例地下降。在最小负荷时，无功负荷减少的程度比有功负荷要慢些。由于照明负荷取用的无功功率甚少，有功负荷因照明而出现峰值时，无功负荷比有功负荷增加的程度要低些，因此无功负荷曲线比有功负荷曲线平坦。

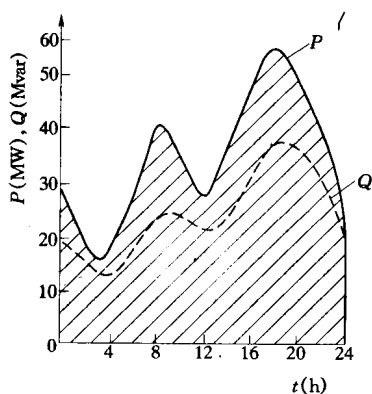


图 1-2 有功及无功日负荷曲线

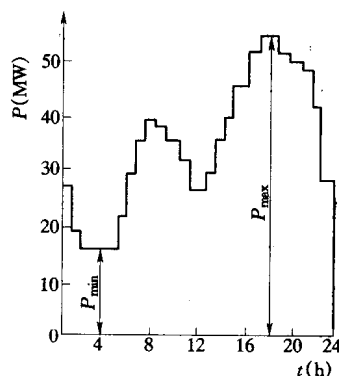


图 1-3 阶梯形有功日负荷曲线

为了简化计算和便于在运行中绘制负荷曲线，常把连续变化的负荷看成在测量的那一小段时间内不变，因此，负荷曲线常被绘成阶梯形，如图 1-3 所示。

一天之内的最大负荷，称为日最大负荷，记作 $P_{\max}$ ；一天之内的最小负荷，称为日最小负荷，记作 $P_{\min}$ 。一天之内的平均负荷，是把一日内各小时的负荷加起来取平均值，其值等于图 1-3 曲线下的面积除以 24h，平均负荷记作 P_{dav} ，即

$$P_{\text{dav}} = \frac{W_d}{24} = \frac{1}{24} \int_0^{24} P(t) dt \quad (1-1)$$

表示负荷曲线特性的系数有：

最小负荷系数

$$\beta = \frac{P_{\min}}{P_{\max}}$$

负荷系数

$$\delta = \frac{P_{\text{av}}}{P_{\max}}$$

负荷曲线的变化规律取决于负荷的性质、厂矿企业生产的发展情况及作息制度，用电

地区的地理位置，当地气候变化情况和群众生活习惯等。例如，照明的最大负荷出现在天黑以后，白天却比较小；而单班制生产的工厂则负荷主要在白天；不同班值工厂的日负荷曲线有很大差别，单班制的日负荷曲线在一天中变化比较剧烈，而三班制的则比较平稳。另外，同一用户的负荷曲线每天也是不完全相同的。例如，一般工作日与节假日负荷差别很大；农业负荷在排灌期间与非排灌期间差别也很大。

负荷曲线除了表现负荷随时间变化的情况外，还可以表现出用户消耗电能的大小。由于在某一时间 dt 内，用户所消耗的电能 dW 为该时间用户的有功功率 P 与 dt 的乘积，因此在一天内用户所消耗的电能 W_d 将为

$$W_d = \int_0^{24} P dt \quad (1-2)$$

很明显，这就是有功日负荷曲线下面所包围的面积，如图 1-2 中画斜线部分。在式 (1-2) 中，如果有功功率 P 的单位为 kW，时间的单位为 h，则电能 W_d 的单位为 kWh。

知道了整个电力系统的日负荷曲线，电力系统的调度管理部门就可以据此制定日发电量计划。

二、系统年最大负荷曲线

在电力系统的运行和设计中，不仅要知道一天之内负荷的变化规律，而且还要知道一年之内负荷的变化规律。最常用的是系统年最大负荷曲线，如图 1-4 所示，它反映了从年初元月一日起至年终系统逐日（或逐月）综合最大负荷的变化规律。从图中可以看到，夏季的最大负荷比较小些，这是由于夏季日长夜短，气候炎热，照明负荷及其他热负荷普遍减小的缘故。如果季节性负荷如农业排灌，防暑降温措施，露天煤矿开掘等负荷比重较大时，也可能使夏季负荷值反而增大。至于年末负荷较年初为大，则是由于厂矿企业技术革新和电气化程度不断的提高，以及新建、扩建厂矿投入生产的结果。

年最大负荷曲线可以用来决定整个系统的装机容量，以便有计划地扩建发电机组或新建发电厂；同时可以用来安排发电机组的检修计划。如图 1-4 中带斜线小方块的面积，该面积的高度表示系统计划检修机组和其他附属设备的容量，横坐标表示该设备计划检修的时间。显然这些退出运行而检修的设备，应安排在年最大负荷曲线低谷的地方，不能超过系统装机容量。

三、年持续负荷曲线

在电力系统的分析计算中，还常常用到年持续负荷曲线，如图 1-5 所示。它是根据全年的负荷变化，按照各个不同的负荷值，在一年中（8760h）的累计持续时间排列组成的。年持续负荷曲线，可由代表日负荷曲线制作。

年持续负荷曲线下的面积，表示用户一年中消耗电能的大小，用计算式表示为

$$W_Y = \int_0^{8760} P dt = \sum_{i=1}^n P_i \Delta t_i \quad (1-3)$$

利用年持续负荷曲线，可计算出电网一年中电能损耗的大小，这将在第六章中讨论。

四、最大负荷利用时间

将用户全年所取用的电能与一年内的最大负荷相比，所得的时间称为用户年最大负荷

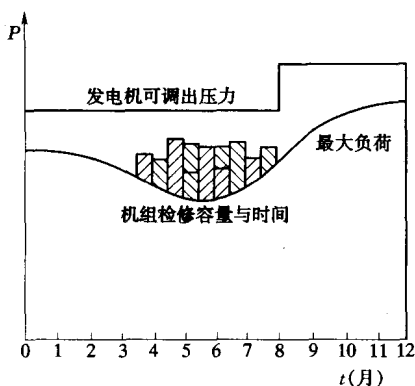


图 1-4 系统年最大负荷曲线

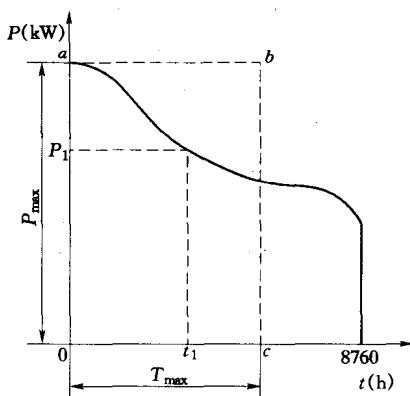


图 1-5 年持续负荷曲线

利用时间，记作 $T_{\max}$ ，用数学式表示为

$$T_{\max} = \frac{W_Y}{P_{\max}} = \frac{\int_0^{8760} P dt}{P_{\max}} \quad (1-4)$$

$T_{\max}$ 的几何意义如图 1-5 所示，负荷所消耗的电能系曲线是 0~8760h 所围成的面积。如果把这一面积用一相等的矩形面积表示，矩形的高代表最大负荷 $P_{\max}$ ，则矩形的底 $T_{\max}$ 就是最大负荷利用小时。 $T_{\max}$ 的物理意：如果用户始终以最大负荷 $P_{\max}$ 运行，则经过 $T_{\max}$ 小时后，它所消耗的电能恰好等于全年按实际负荷曲线运行所消耗的电能。

表 1-1 各类负荷的最大负荷
利用小时 ($T_{\max}$)

负荷类型	年最大负荷利用小时 (h)
户内照明及生活用电	2000~3000
单班制企业用电	1500~2200
两班制企业用电	3000~4500
三班制企业用电	6000~7000
农业用电	2500~3000

年最大负荷利用小时数的大小，在一定程度上反映了实际负荷在一年内变化的程度，如果负荷曲线比较平坦，即负荷随时间的变化比较小，则 $T_{\max}$ 的值较大；如果负荷变化剧烈，则 $T_{\max}$ 的值较小。根据电力系统长期运行和实测所积累的经验表明，对于各种不同类型的负荷，其年最大负荷利用小时大体在一定的范围之内，见表 1-1。

掌握了各类用户的年最大负荷利用小时数后，在电力网设计与运行中，就可以利用式 (1-4) 估算用户的全年用电量。

五、负荷的复功率表示法

在电力系统的工程计算中，因负荷原始数据常以功率形式给出，如用负荷电流计算，不但增加计算步骤，而且由于开始计算时电压未知而有困难。因此，负荷大多以复功率表示。复功率有两种表示方法，本书采用国际电工委员会推荐的约定，即取 $\tilde{S} = \dot{I} \dot{U}$

对于图 1-6 所示的感性负荷有

$$\tilde{S} = \dot{I} \dot{U} = UI \angle \varphi_u - \varphi_i = UI \angle \varphi = S(\cos \varphi + j \sin \varphi) = P + jQ$$