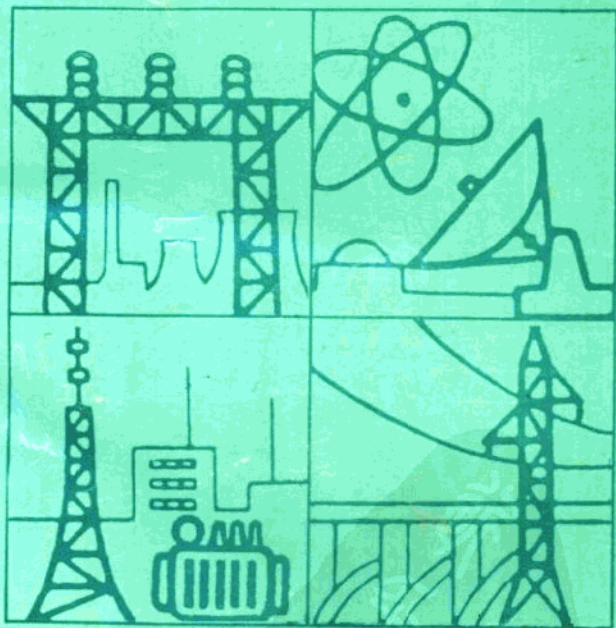


供用电技术

许业清 编



中国科学技术大学出版社

序

电力工业是国民经济的重要部门之一，它既为现代工业、现代农业、现代科学技术和现代国防提供必不可少的动力，又和广大人民群众的日常生活在有着极密切关系。电力是工业的血液和先行。

我国的能源工作方针是“开发与节约并重，近期内把节约放在优先地位”，而目前在电力工作中普遍存在着重开发轻节约或重发电轻供电的现象。据统计，1949~1989年，我国发电设备容量和发电量平均年递增分别为11.15%和13.06%，以这样快的发展速度，在世界先进国家电力发展史上，也是少有的。但是，我国供用电水平与先进国家差距很大，表现在能源经济效益非常低。

从国内来看，各地区电能经济效益差别也很大。据统计，1988年单位电力消费实现的工业总产值最高的地区为5.82元/千瓦·时，最低的地区为0.9元/千瓦·时，全国平均为2.53元/千瓦·时。可见，提高电能经济效益的潜力很大。在今后10年中，若将全国单位电力消费实现的工业总产值提高到当前最高地区的水平，则目前发电量就可以满足产值再次翻番对电力的需要。

我国电能经济效益差的重要原因之一，是对供用电知识的教育、供用电技术的研究及供用电技术成果的推广重视不够。一方面未能根据电能生产的特点为高校读发配电专业的学生讲授用电方面的基本知识，另一方面供用电工作又由

H410/08

读发配电专业的同志来承担。直到近年，才逐步在大中专教育中开设用电专业。因此，目前供电部门和用电单位从事供用电工作的同志，特别是广大年轻职工，对供用电知识和技术较为缺乏。需要进行系统的培训，提高职工队伍的技术、业务水平。

《供用电技术》就是针对上述问题，着重就供电网运行、单侧电源供电网的短路电流计算及电气设备选择、单侧电源供电网的继电保护、负荷计算及供用电设备选择、计划用电、节约用电、安全用电七个方面，介绍其基本知识和应用技术。本书从实用的角度出发，深入浅出，对读者的覆盖面较大。适用于供电、用电和农电专业的工程技术人员、工人和农电工阅读。电力部门和用电单位的广大电气工作人员借此掌握和应用有关知识技术会感到方便，特别是刚从事供用电工作的年轻职工及农电工，有必要进行系统的学习，并在实践中加以应用。大中专教育中学习发配电专业的同志，学点供用电基本知识，亦是很有必要的。

安徽省农电局局长高级工程师 杨咸山

1991年4月27日

前 言

随着我国社会主义四个现代化事业的迅速发展，国民经济各部门、各行业从事供用电工作的技术队伍也迅速发展壮大起来。为全面提高我国供用电技术队伍的水平，提高供用电的可靠性、供用电的质量以及供用电的经济性，迅速缩小我国单位电力消费实现的工业总产值与世界先进国家的巨大差距，必须大力普及供用电的基本知识，积极开展供用电技术研究，迅速推广供用电技术成果。编写本书的目的主要在于希望能为上述目标的早日实现出一份力量。

在编写本书过程中曾得到安徽省电力局陈文贵局长、程光杰副局长、安徽省农电局杨成山局长、刘志太副局长、安徽电力职工大学胡怀年校长、林爱群书记、曹寿鹏副校长的热情鼓励。得到安徽电力职工大学教务处主任副教授李益民及讲师许若齐、广州市供电局副局长潘力、蚌埠市供电局局长李福康，肥东县供电局局长张红宇、庐江县供电局副局长张年富、界首市供电局副局长李华春、全椒县供电局副局长钱万知、泾县供电局副局长田孝森、广东省平远县电力公司经理陈玉宏、台山县供电局副局长吴强盛、合肥化工机械厂厂长蒋仁香、合肥常青棉织厂厂长沈光俊、阜阳地区电业局用电管理所所长秦勇以及张正刚、陈伟、叶茂林、马乐、姚新荣、周梅清等的指导或支持；徐钊、赵旺生、钱志云、张全、疏仁如、芮金山、沙卫东、周美安等为编写做了许多工作；滁州地区电业局副局长工程师胡海林、安庆市供电局工

程师戴志国参加编写。

对上述同志的热情帮助、指导、支持与鼓励，在此一并表示由衷地感谢。

由于本人水平所限，加之经验不足，书中难免有不妥之处，敬希广大读者批评指正。

许业清

1991年7月30日

目 录

序.....	(i)
前言.....	(iii)
第一章 供电网运行技术.....	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 供电线路和变压器的参数计算.....	(3)
一、供电线路的等值电路和参数计算.....	(3)
二、变压器的参数和等值电路.....	(6)
第三节 供电网的电压和功率分布计算.....	(12)
一、供电线路的电压计算和功率损耗.....	(12)
二、变压器的电压计算和功率损耗.....	(17)
三、开式供电网的潮流计算.....	(19)
第四节 供电网运行电压的调整.....	(22)
一、概述.....	(22)
二、电压调整的基本原理.....	(23)
三、改变变压器变比的电压调整方式.....	(24)
四、利用无功功率补偿调压.....	(28)
五、控制供用电电压的组织措施.....	(31)
第五节 供电网技术线损的计算与分析.....	(32)
一、概述.....	(32)
二、损失因数法计算线损.....	(33)
三、最大负荷损耗小时数法计算线损.....	(34)
四、均方根电流法计算线损.....	(37)

五、等值功率法计算线损·····	(38)
六、6~10千伏配电网线损计算·····	(40)
七、0.4千伏低压配电网线损的计算·····	(43)
八、过网电量电能损耗的计算·····	(47)
九、合理调整电网运行电压降损电量的计算·····	(49)
十、利用电压损失率测算线损·····	(50)
十一、无功功率经济当量·····	(53)
十二、无功补偿降损电量的计算·····	(53)
十三、各种技术线损计算方法的评述·····	(55)
第六节 供电网的无功功率补偿·····	(56)
一、无功补偿的基本概念·····	(56)
二、供电网功率因数的计算方法·····	(58)
三、供电网中无功电源的最优分布·····	(63)
四、供电网中无功功率负荷的最优补偿·····	(67)
五、农电网的无功补偿方法·····	(71)
六、10/0.4千伏农电配电变压器的 无功补偿方法·····	(75)
七、低压电动机的无功补偿方法·····	(77)
八、确定供电网无功功率最优分布新方法·····	(79)
九、供电网无功补偿的有关问题·····	(80)
第七节 降低供电网电能损耗的技术措施·····	(82)
一、概述·····	(82)
二、降低供电线路电能损耗的技术措施·····	(83)
三、降低变压器损耗的技术措施·····	(89)
第八节 变压器的并联运行技术·····	(98)
一、常规条件下变压器的并联运行·····	(98)
二、非常规条件下变压器的并联运行·····	(100)

三、特殊情况下变压器的并联运行.....	(105)
第二章 单侧电源供电网的短路电流计算和电气设备选择技术	(108)
第一节 概述.....	(108)
第二节 短路回路中各元件阻抗标么值的计算.....	(110)
第三节 无穷容量系统供电的三相短路电流计算.....	(113)
第四节 两相短路电流的近似计算.....	(117)
第五节 1 千伏以下低压供电网中短路电流的计算.....	(119)
第六节 电气设备选择的一般原则.....	(125)
第七节 高压断路器的选择.....	(128)
第八节 隔离开关和负荷开关的选择.....	(130)
第九节 熔断器的选择.....	(131)
一、高压熔断器的选择.....	(131)
二、低压熔断器的选择.....	(132)
第十节 仪用互感器的选择.....	(134)
一、电流互感器的选择.....	(135)
二、电压互感器的选择.....	(138)
第十一节 自动空气开关的选择.....	(140)
一、自动空气开关的型式和主要性能.....	(140)
二、自动空气开关的选择和整定.....	(141)
第三章 单侧电源供电网的继电保护技术	(146)
第一节 继电保护的作用和要求.....	(146)
第二节 单侧电源供电网相间短路的电流保护技术.....	(148)
一、电磁型电流继电器.....	(148)

二、感应式电流继电器	(150)
三、保护相间短路的定时限过电流保护	(153)
四、无时限电流速断保护	(167)
五、限时电流速断保护	(174)
六、三段式电流保护	(176)
第三节 6~35千伏电网的单相接地保护	(179)
一、无选择性绝缘监察装置	(179)
二、有选择性零序电流保护	(180)
第四节 电力变压器的保护	(183)
一、概述	(183)
二、变压器的瓦斯保护	(185)
三、变压器的过电流保护	(188)
四、变压器的电流速断保护	(192)
五、变压器的过负荷保护	(193)
六、变压器的差动保护	(199)
第五节 无功补偿装置的保护	(214)
一、电容器故障形式及保护的装设原则	(215)
二、保护装置的定值计算	(216)
第六节 采用高压熔断器的保护	(217)
第七节 继电保护装置的施工图	(220)
第八节 继电保护装置的运行与试验	(223)
第四章 负荷计算和供用电设备选择技术	(228)
第一节 负荷计算	(228)
一、计算负荷及确定方法	(228)
二、三相用电设备计算负荷的确定	(229)
三、工厂总计算负荷的确定	(235)
四、全厂功率因数的确定	(238)

第二节 供电线路导线截面的选择.....	(238)
一、按经济电流密度选择导线截面.....	(238)
二、按允许载流量校验导线截面.....	(239)
三、按电晕和机械强度校验导线截面.....	(240)
四、按电压损耗选择导线截面.....	(241)
五、按经济运行原则选择低压导线线规.....	(245)
第三节 变电所位置及变压器容量与数量的选择.....	(248)
一、总降压变电所位置的选择原则.....	(248)
二、变压器的过负荷能力.....	(248)
三、总降压变电所变压器数量与容量的选择.....	(250)
四、按经济运行原则选择单台变压器容量.....	(251)
第四节 农电网变电所的合理布局及主变压器容量的选择.....	(253)
一、农电网变电所布局的一般原则.....	(253)
二、10千伏和35千伏线路供电半径的计算.....	(253)
三、变电所布局和变压器容量选择方法.....	(255)
第五章 计划用电技术.....	(258)
第一节 计划用电的环节和基本方法.....	(258)
一、计划用电的主要环节.....	(258)
二、计划用电的基本做法.....	(259)
第二节 负荷预测.....	(260)
一、负荷预测的分类.....	(261)
二、负荷预测的步骤.....	(261)
三、负荷预测的方法.....	(261)
第三节 计划用电的管理手段.....	(268)
一、落实计划用电的行政手段.....	(268)

二、落实计划用电的经济手段·····	(270)
三、落实计划用电的技术手段·····	(272)
第四节 调整负荷·····	(276)
一、调整负荷的意义·····	(276)
二、调整负荷的方法·····	(278)
第五节 用电分析·····	(281)
一、用电分析的目的和内容·····	(281)
二、用电分析的基本方法·····	(282)
第六章 节约用电技术·····	(286)
第一节 概述·····	(286)
一、节约用电的意义·····	(286)
二、节约用电的潜力·····	(287)
三、节约用电的方法和途径·····	(288)
第二节 常用供用电设备的电能利用率与电能平衡测试计算·····	(291)
一、电能平衡的基本知识·····	(291)
二、变压器电能平衡测试与计算·····	(297)
三、异步电动机负载率的测算方法·····	(299)
四、异步电动机电能平衡测试与计算·····	(303)
五、同步电动机电能平衡测试与计算·····	(307)
六、直流电动机损耗及效率测算·····	(309)
七、风机电能平衡测试与计算·····	(312)
八、水泵电能平衡测试与计算·····	(314)
九、往复式压缩机电能平衡测试与计算·····	(315)
十、企业配电网电能平衡测试与计算·····	(317)
十一、电阻炉电能利用率的测试与计算·····	(319)
十二、整流设备电能平衡测试与计算·····	(324)

十三、金属切削机床电能利用率的测算·····	(325)
十四、通用机械设备电能平衡测算·····	(327)
十五、球磨机电能利用率的测算·····	(328)
第三节 电动机节约用电技术·····	(329)
一、电动机节约用电的途径·····	(329)
二、三相异步电动机的 Δ -Y 改接方法·····	(331)
三、电动机的全压启动与节电·····	(332)
四、调整电动机运行电压节约用电·····	(333)
五、电动机节电器的应用·····	(335)
六、电动机节电风扇的应用·····	(336)
七、按经济运行要求选择电动机·····	(337)
八、同步电动机经济运行·····	(338)
九、电动机经济运行管理办法·····	(340)
十、改变电动机绕组接线的节电措施·····	(341)
十一、电动机磁槽节电·····	(344)
十二、电动机各种节约用电方法的评述·····	(347)
第四节 工厂电力线路经济运行方法·····	(348)
一、降低无功功率引起线损的方法·····	(348)
二、减少负荷波动增加线损的方法·····	(349)
三、减少负荷不对称增加线损的方法·····	(350)
四、优选线规和导线敷设方式等降低线损的方法·····	(351)
第五节 电加热设备的节约用电·····	(352)
一、电阻炉的节约用电·····	(352)
二、电弧炉的节约用电·····	(353)
第六节 泵与风机的节约用电·····	(356)
第七节 电气照明的节约用电·····	(359)

一、白炽灯的节约用电方法.....	(360)
二、日光灯的节约用电方法.....	(360)
第八节 空调系统的节约用电.....	(364)
第九节 工厂节约用电.....	(363)
一、工厂节电的主要途径.....	(363)
二、提高工厂功率因数的方法.....	(365)
三、提高工厂负荷率的方法.....	(368)
四、工厂经济运行电压的确定方法.....	(369)
五、工厂供电系统经济运行管理方法.....	(371)
第十节 农村节约用电.....	(372)
一、电力排灌节电方法.....	(372)
二、农副业加工管理节电方法.....	(375)
第十一节 产品电耗定额的制定与应用.....	(376)
一、单位产品电耗定额的意义.....	(376)
二、单位产品电耗定额的制定.....	(378)
三、单位产品电耗定额的应用.....	(383)
第七章 安全用电技术.....	(385)
第一节 接地和接零技术.....	(385)
一、概述.....	(385)
二、工作接地的作用.....	(386)
三、保护接地的作用.....	(386)
四、保护接零的作用.....	(389)
五、重复接地的作用.....	(391)
六、接地和接零的适用范围.....	(393)
七、降低接地电阻值的一般方法.....	(394)
八、接地电阻值的计算.....	(395)
九、接地电阻的测量.....	(397)

第二节 供电系统的防雷保护技术.....	(399)
一、雷电的基本知识.....	(399)
二、变电所防雷保护.....	(400)
三、防止反击的措施.....	(405)
四、变电所的进线段保护.....	(406)
五、小容量变电所的简化保护.....	(408)
六、小电机防雷保护.....	(409)
七、配电设备防雷保护.....	(412)
第三节 电气设备的预防性试验技术.....	(415)
一、变压器预防性试验.....	(415)
二、断路器的预防性试验.....	(423)
三、互感器绝缘预防性试验.....	(428)
四、电力电容器的预防性试验.....	(429)
五、电缆线路绝缘试验.....	(432)
第四节 电气设备的运行检查.....	(434)
一、变压器的运行检查.....	(434)
二、断路器的运行检查.....	(437)
三、互感器的运行检查.....	(439)
四、电容器组的巡视检查.....	(441)
五、三相异步电动机的运行检查.....	(442)
六、交流接触器运行检查.....	(442)
七、熔断器运行检查.....	(443)
参考文献.....	(444)

第一章 供电网运行技术

第一节 概 述

1. 供电网：供电网由供电线路、变压器和负荷组成。

2. 对供电网运行的基本要求：对供电网运行的基本要求是：（1）保证安全可靠的供电；（2）要有合乎要求的电能质量；（3）要有良好的经济性。

3. 供电网的额定电压等级：对电气设备具有最好的技术性能和经济效益的电压称为额定电压。我国1000伏以上供电网的部分额定电压如表1.1。

表 1.1 1000伏以上的额定电压

用电设备额定线电压 (千伏)	交流发电机额定线电压 (千伏)	变压器额定线电压 (千伏)	
		一次绕组	二次绕组
3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
35	—	35	38.5
110	—	110	121

供电网的额定电压或称电力线路的额定电压与用电设备的额定电压相等。

发电机的额定电压比供电网的额定电压高 5 %。

变压器接受功率一侧的绕组称为一次绕组，输出功率一

侧的绕组为二次绕组。一次绕组接受电能，相当于用电设备，其额定电压与供电网的额定电压相等，但当变压器直接与发电机相连接时，其额定电压应与发电机的额定电压相等。二次绕组的作用相当于电源设备，其额定电压规定比供电网的额定电压高10%，如果变压器的阻抗电压小于7%或直接（包括经过短距离线路）与用户连接时，则规定比供电网的额定电压高5%。

4. 供电负荷：供电网的综合用电负荷加上网损功率称为供电网的供电负荷。

(1) 负荷曲线：供电负荷随时间的变化曲线称为负荷曲线。可分为有功负荷曲线、无功负荷曲线或日负荷曲线、年负荷曲线等。

为了说明负荷曲线的起伏特性，常引用负荷率 f 和最小负荷系数 α 两个概念

$$f = \frac{P_{av}}{P_{max}} \quad (1.1)$$

$$\alpha = \frac{P_{min}}{P_{max}} \quad (1.2)$$

式中 P_{min} 、 P_{av} 、 P_{max} 分别为最小、平均、最大有功负荷。

在我国的电力系统中，为了缓和电力供不应求的矛盾，普遍地进行了“调荷节电”，有计划安排各类用户的用电时间，使负荷曲线变得比较平坦，因而使系数 f 和 α 都接近于1。这样做的好处是：使设备得到充分利用；为电力系统的调频和调压创造有利条件；降低电力网的损耗，提高电力系统运行的经济性等。

(2) 负荷特性：负荷取用的功率随系统的运行参数（主要是电压和频率）的变化而变化的曲线称为负荷特性。

当频率维持额定值不变时，负荷功率与电压的关系称为负荷的电压静态特性。当负荷的端电压维持额定值不变时，负荷功率与频率的关系称为负荷的频率静态特性。“静态”是指这些关系在系统处于稳态条件下确定的。各类用户的负荷特性依其用电设备的组成情况而不同，一般通过实测确定。图1.1表示由6千伏电压供电的中小工业负荷的静态特性。

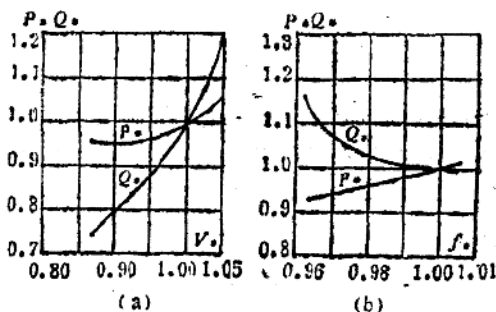


图 1.1 6千伏综合性中小工业负荷的负荷特性

(a)电压静态特性 (b)频率静态特性

由图1.1可见，无功负荷对电压较敏感，有功负荷对频率较敏感。

第二节 供电线路和变压器的参数计算

一、供电线路的等值电路和参数计算

1. 35千伏以下架空供电线路的等值电路和参数计算：

35千伏以下架空供电线路的等值电路如图1.2。