



全国电力高等职业教育规划教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 供用电 网络及设备

李 俊 遇桂琴 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



全国电力高等职业教育规划教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 供用电 网络及设备

主 编 李 俊 遇桂琴  
编 写 齐忠玉 杜京武  
主 审 崔学斌



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书共十一章, 主要内容包括: 供电网络基础、供电网络的计算、供电系统短路电流计算、供电网络的电压调整、低压开关电器、熔断器、高压开关电器、互感器、供电所的主接线及配电装置、电力线路的基本结构、电器设备选择等, 并在书后附有相关电器设备的技术参数及特性。

本书可作为高职高专供电技术专业主干专业课程的教材, 也可作为电气运行及检修专业的辅助教材, 还可作为电力行业及其他有关供电、变电、配电等工程技术人员的培训和参考用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

供电网络及设备/李俊, 遇桂琴主编. —北京: 中国电力出版社, 2005.8

全国电力高等职业教育规划教材

ISBN 7-5083-2069-7

I. 供... II. ①李...②遇... III. ①供电-电力系统-高等学校: 技术学校-教材②电力系统-设备-高等学校: 技术学校-教材 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 082931 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2005 年 8 月第一版 2005 年 8 月北京第一次印刷  
787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 18.25 印张 448 千字  
印数 0001—3000 册 定价 27.60 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)

高职高专教材建设是高职高专教育的重要组成部分，是一项极具重要意义的基础性工作，对高职高专教育培养目标的实现起着举足轻重的作用。

根据《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》（国发〔2002〕16号），要充分发挥行业、企业、社会中介组织和人民团体在发展职业教育中的作用；行业主管部门要对行业职业教育进行协调和业务指导，制定行业职业教育和培训规划，参与相关专业的课程教材建设；积极推进课程和教材改革，开发和编写反映新知识、新技术、新工艺和新方法，具有职业教育特色的课程和教材。

为贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》精神，进一步推动高等职业教育的发展，加强高职高专教材建设，根据教育部关于通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系的精神，中国电力教育协会组织制订了反映电力行业特点、体现高等职业教育特色的全国电力高等职业教育教材规划。同时，为适应电力体制改革和电力高等职业教育发展的需要，中国电力教育协会还组建了全国电力高等职业教育教材建设指导委员会，以便更好地推动全国电力高职高专教材的研究、规划与开发。

高职高专教材建设应紧紧围绕培养高等技术应用性专门人才开展工作。基础课程教材要体现以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为教学重点；专业课程教材要加强针对性和实用性。同时，高职高专教材建设不仅要注重内容和体系的改革，还要注重方法和手段的改革，以满足科技发展和生产实际的需求。此外，高职高专教材建设还要推动高职高专教育人才培养模式改革，促进高职高专教育协调发展。希望通过我们的共同努力，陆续推出一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上和出版质量上有突破的高水平高职高专教材，力争尽快形成一纲多本、优化配套，适用于不同地区、不同学校、特色鲜明的高职高专教育教材体系。

在全国电力高等职业教育教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、劳动和社会保障部、国家电网公司、中国电力企业联合会、中国高等职业技术教育研究会、有关院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

全国电力高等职业教育教材规划工作是一项长期性任务，今后将根据相关专业课程体系改革和教学需要不断补充完善。在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010—63416237）

# 前言

---

随着我国国民经济建设的快速发展,电力科学技术发展十分迅猛,电工类产品的更新速度也在不断加快,新技术、新工艺、新材料、新方法在供用电技术领域不断出现,电力生产运行过程中的技术规程与规范也随之发生了一些变化。前一时期进行的城乡电网改造工程中大量使用了先进的设备装备和技术,其中也包括很多我国自行研制的新产品。为了适应供用电技术领域的发展状况,结合全国部分电力类高职高专供用电技术专业的设置情况、教学计划与教学安排等,本书在编写过程中注意了电力职业技术教育的要求,同时对于目前很少采用或淘汰的技术和装置内容进行了删减,力求概念准确清晰、深入浅出,充分反映供电企业、工矿企业、城镇和农村供用电技术工作的实际。

本教材共十一章。为方便课堂练习和设备选择的需要,在附录中选编了部分设备的技术参数。

本教材由哈尔滨电力职业技术学院李俊、遇桂琴,黑龙江电力职工大学齐忠玉,黑龙江电力科学研究院杜京武共同编写。其中第七、八、九、十、十一章由哈尔滨电力职业技术学院李俊编写,第二、三章由哈尔滨电力职业技术学院遇桂琴编写,第一、四章由黑龙江电力职工大学齐忠玉编写,第五、六章由黑龙江电力科学研究院杜京武编写。全书由李俊、遇桂琴统稿,哈尔滨电力职业技术学院崔学斌担任主审。

本教材在编写过程中得到中国电力科学研究院何凤军高级工程师、黑龙江电力科学研究院刘欣凯高级工程师、哈尔滨电业局张滨高级工程师的大力协助,提出了很多意见和建议,在此一并表示感谢。

对于本教材中编写的缺点与错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2005年5月

# 目 录

## 序

## 前言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第一章 供用电网络基础</b> .....      | 1  |
| 第一节 电力工业的发展 .....             | 1  |
| 第二节 电力系统概论 .....              | 3  |
| 第三节 发电厂变电所及电力用户 .....         | 5  |
| 第四节 供用电网络接线 .....             | 9  |
| 第五节 电气设备的额定电压和<br>额定电流 .....  | 14 |
| 第六节 供用电系统中性点运行<br>方式 .....    | 17 |
| 习题 .....                      | 24 |
| <b>第二章 供用电网络的计算</b> .....     | 26 |
| 第一节 供用电网络的等值电路和<br>参数计算 ..... | 26 |
| 第二节 供用电网络的潮流计算 .....          | 31 |
| 第三节 负荷曲线与电力负荷的<br>计算 .....    | 49 |
| 习题 .....                      | 62 |
| <b>第三章 供用电系统短路电流计算</b> .....  | 65 |
| 第一节 概述 .....                  | 65 |
| 第二节 标么制 .....                 | 67 |
| 第三节 供用电网络各元件的电抗 .....         | 69 |
| 第四节 供配电网络短路电流计算<br>的步骤 .....  | 70 |
| 第五节 无限大容量电源供电系统<br>三相短路 ..... | 74 |
| 第六节 发电机供电电路三相短路<br>计算 .....   | 80 |
| 第七节 电动机对短路电流的影响 .....         | 83 |
| 第八节 不对称短路 .....               | 83 |
| 第九节 低压供用电网络短路电流               |    |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 计算 .....                    | 84  |
| 第十节 短路电流的限制 .....           | 87  |
| 习题 .....                    | 88  |
| <b>第四章 供用电网络的电压调整</b> ..... | 91  |
| 第一节 概述 .....                | 91  |
| 第二节 供用电网络中的无功功率<br>平衡 ..... | 92  |
| 第三节 中枢点的电压管理 .....          | 98  |
| 第四节 改变变压器变比实现调压 .....       | 99  |
| 第五节 利用无功补偿实现调压 .....        | 103 |
| 第六节 改善线路参数调压 .....          | 107 |
| 习题 .....                    | 110 |
| <b>第五章 低压电器</b> .....       | 112 |
| 第一节 电弧的产生及熄灭 .....          | 112 |
| 第二节 低压电器概述 .....            | 117 |
| 第三节 闸刀开关及隔离器 .....          | 120 |
| 第四节 接触器 .....               | 121 |
| 第五节 起动器 .....               | 126 |
| 第六节 低压断路器 .....             | 128 |
| 习题 .....                    | 137 |
| <b>第六章 熔断器</b> .....        | 139 |
| 第一节 熔断器概述 .....             | 139 |
| 第二节 低压熔断器 .....             | 142 |
| 第三节 高压熔断器 .....             | 145 |
| 习题 .....                    | 147 |
| <b>第七章 高压开关电器</b> .....     | 148 |
| 第一节 高压断路器 .....             | 148 |
| 第二节 隔离开关 .....              | 164 |
| 第三节 接地开关 .....              | 168 |
| 第四节 负荷开关 .....              | 169 |
| 第五节 重合器与分段器 .....           | 173 |
| 习题 .....                    | 177 |
| <b>第八章 互感器</b> .....        | 179 |
| 第一节 互感器概述 .....             | 179 |
| 第二节 电流互感器 .....             | 180 |
| 第三节 电压互感器 .....             | 187 |
| 第四节 新型互感器 .....             | 192 |
| 习题 .....                    | 195 |

|                             |     |                           |     |
|-----------------------------|-----|---------------------------|-----|
| <b>第九章 变配电所的主接线及配</b>       |     | <b>第二节 电缆线路</b> .....     | 232 |
| <b>电装置</b> .....            | 197 | <b>习题</b> .....           | 234 |
| <b>第一节 变配电所概述</b> .....     | 197 | <b>第十一章 电器设备选择</b> .....  | 236 |
| <b>第二节 变电所的电气主接线</b> .....  | 199 | <b>第一节 短路电流效应</b> .....   | 236 |
| <b>第三节 配电装置概述</b> .....     | 204 | <b>第二节 高压电器设备选择</b> ..... | 239 |
| <b>第四节 户内及户外配电装置</b> .....  | 207 | <b>第三节 低压电器设备选择</b> ..... | 254 |
| <b>第五节 预装式变电所</b> .....     | 219 | <b>习题</b> .....           | 264 |
| <b>习题</b> .....             | 224 | <b>附录 各类型设备的技术参数</b>      |     |
| <b>第十章 供配电线路的基本结构</b> ..... | 226 | <b>及特性</b> .....          | 266 |
| <b>第一节 供配电架空线路</b> .....    | 226 | <b>参考文献</b> .....         | 285 |

## 供用电网络基础

能源是发展社会生产和提高人民生活水平不可缺少的重要物质基础,而电力是现代工农业生产、交通运输及人民生活等各个领域广泛应用的主要能源与动力。离开了电力,要想实现人类社会的物质文明与精神文明是不可能的。没有足够的电力,要实现我国小康社会的目标也是难以达到的。电力之所以能够获得如此广泛的应用,是因为有其自身的特点,在与其他形式能源相比时,电能有着巨大的优越性。首先电能易于生产,现代电力生产技术的发展,可以较容易地将其他形式的能源,如机械能、热能、化学能转变为电能;其次是便于传输,由于能源的产地与消费地区通常相距较远,故传输便是个重要的问题,而电能可以经高压输电线路进行远距离传输。另外电能还有使用方便的特点,如电能很容易转变为机械能、热能、光能与化学能等,而且便于控制和实现自动化,此外还有利用率高和没有污染等优点。

本章主要介绍电力系统的发展过程、电力系统运行的技术要求、电力的生产过程、电气设备的额定参数、供用电网络的接线、供用电系统中性点的运行方式等。

### 第一节 电力工业的发展

#### 一、电力系统发展简史

1831年英国物理学家法拉第发现电磁感应定律,这是电学发展史上光辉的里程碑。这项伟大的发现,为后来发电机等电气设备的发明奠定了理论基础,使人类从此跨入了一个崭新的时代。1856年英国科学家麦克斯韦将当时所发现的全部电磁现象描绘成一个定性的概念,并采用一系列的关系式来表达,即麦克斯韦电磁场方程,这是电学发展史上又一个光辉的里程碑。

在电磁学理论的基础上,很快出现了原始的交流发电机、直流发电机和直流电动机。由于当时发电机发出的电能只用于电化学工业和电弧灯,而电动机所需电能又来自蓄电池,所以电机制造和电力输送技术的发展最初集中于直流电。原始的电力线路使用的就是100~400V低压直流电。由于输电电压低,输送的功率不可能大,输送的距离也不可能远。

第一次高压输电出现于1882年。法国人德普勒将水电厂发出的电输送到57km外的慕尼黑,用以驱动水泵。当时采用的电压是直流1500~2000V,输送功率约2kW。这个输电系统虽很小,却可认为是世界上第一个电力系统,因为它具备了电力系统的所有重要组成部分。

生产的发展对输电功率和输电距离提出了进一步要求,直流输电已不能适应。于是,1885年在制成变压器的基础上实现了单相交流输电。1891年在制成三相异步电动机、三相变压器的基础上又实现了三相交流输电。

1891年在法兰克福举行的国际电工技术展览会上,俄国人多里沃·多勃列沃列斯基展出的输电系统奠定了近代输电技术的基础。这个系统从拉芬镇到法兰克福全长175km。设在拉芬镇的水轮发电机组功率为230kW·A,电压为95V,转速为150 r/min。升压变压器将电压升



高到 15200V, 电功率经直径为 4mm 的铜线输送至法兰克福, 在法兰克福, 用两台降压变压器将电压降低到 112V。其中一台变压器供电给白炽灯, 另一台供电给异步电动机, 电动机又驱动一台功率为 75kW 的水泵。显然这已是近代电力系统的雏形。这个系统的建成标志着电力系统的发展取得了重大突破。

随着电力技术的发展, 三相交流制的优越性很快显示出来。运用三相交流制的发电厂迅速发展, 直流制很快被淘汰。汽轮发电机组不久便代替了以蒸汽机为原动机的发电机组。发电厂之间出现了并列运行。输电功率、输电电压、输电距离日益增大, 最高交流输电电压已达到 1000kV。

目前, 大型的电力系统不断涌现, 数十年间, 在一些国家中甚至出现了全国性和国际性的电力系统, 如前苏联的统一电力系统其装机总容量达 31000 万 kW; 覆盖美国、加拿大和墨西哥一部分的联合电力系统, 由四个同步电网组成, 总装机 8 亿 kW 以上。在交流输电和电力系统大力发展的同时, 从 20 世纪 50 年代开始, 又发展了高压直流输电技术, 奠定了当今高压交直流电力系统的基础。

## 二、我国电力工业的发展

1882 年, 英国人在上海建设的 12kW 发电机组, 是中国电力工业的开端。到 1949 年, 全国没有一个统一的电压标准, 输电电压低, 机组容量小, 全国的发电容量只有 185 万 kW, 年发电量 43 亿 kWh, 分别列世界第 21 位和 25 位。

1952 年苏联援建的辽宁阜新发电厂第一台 2.5 万 kW 汽轮发电机组投产, 1957 年, 我国自行设计、制造、建设的第一座水电站新安江水电站开工建设, 标志着我国电力工业开始进入了崭新的阶段。

我国的电力装机容量在 1987 年跨上了 1 亿 kW 之后, 到 1997 年底, 装机容量达到 2.54 亿 kW, 年发电量超过 1.1 万亿 kWh。从 1997 年起, 在发电量和装机容量方面稳居世界第二位。2003 年装机容量达到 3.8 亿 kW, 发电量达到 1.9 万亿 kWh。预计“十一五”期间每年装机容量平均达到 3300 万 kW。

目前, 我国最大的火力发电厂装机容量 300 万 kW (北仑港电厂,  $5 \times 600\text{MW}$ ); 最大的水力发电厂 330 万 kW (二滩水电站); 最大的核电厂 200 万 kW (岭澳核电厂,  $2 \times 1000\text{MW}$ ); 最大的抽水蓄能电厂 240 万 kW (广东抽水蓄能电厂,  $8 \times 300\text{MW}$ ), 也是世界上最大的抽水蓄能电厂。

华东、华北、东北和华中四大电力系统的容量均超过 4000 万 kW。

举世瞩目的三峡工程已于 1997 年完成大江截流, 2005 年以前实现左岸 14 台机组全部发电, 至 2009 年实现右岸 12 台机组全部发电, 总计 26 台 700MW 机组, 总装机 1820 万 kW, 年发电量 847 亿 kWh。电网建设也取得显著的成就, 2000 年新建 330kV 及以上输电线路 5020km, 变电容量 1248kV·A。已形成东北、华北、华中、华东、西北、川渝等跨省区域性电力系统。葛洲坝到上海的直流 500kV 输电线路于 1989 年投入运行。“西电东送”工程使西北的电力送到京津唐、华北和山东等地, 第一个 750kV 的输变电工程已在西北开工建设, 将在 2005 年投入运行。我国电力发展已开始进入跨省、跨大区联网的新阶段。

## 第二节 电力系统概述

### 一、电力系统、电力网的概念

电能生产的特点是发电、变电、送电及用电在同一时刻完成。由发电机、各类变电所、输配电线路和电力用户的电气装置连接成的整体，称为电力系统。电力系统加上热力发电厂中的热动力装置、热能用户和水电厂的水动力装置，也就是电力系统加上锅炉、汽轮机、水库、水轮机以及核电厂的反应堆等，统称为动力系统。电力系统中各种电压的变电所及输配电线路组成的统一体，称为电力网。电力网的主要任务是输送与分配电能，并根据需要改变电压。图 1-1 所示为动力系统、电力系统和电力网的示意图，图中用单线表示三相导体。

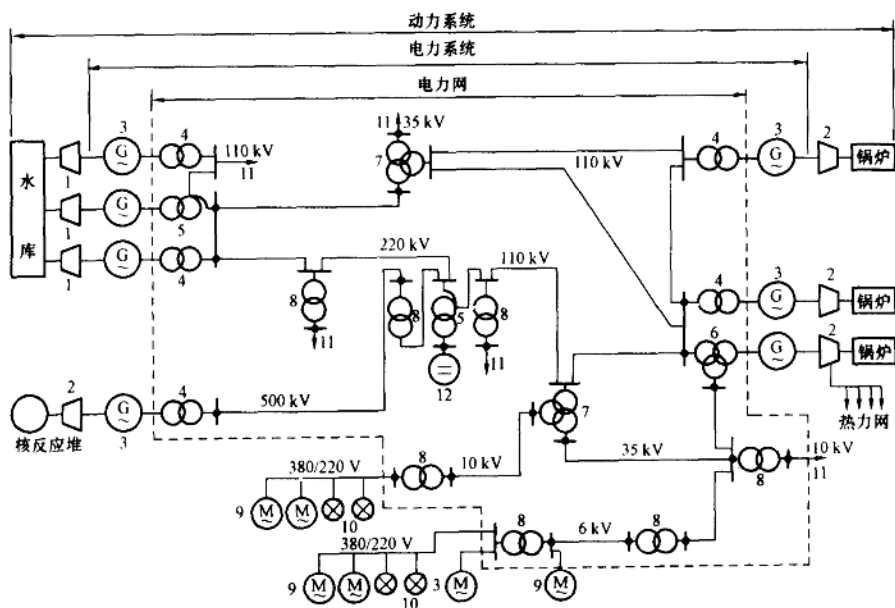


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网的示意图

- 1—水轮机；2—汽轮机；3—发电机；4—升压双绕组变压器；5—升压自耦变压器；  
6—升压三绕组变压器；7—降压三绕组变压器；8—降压双绕组变压器；9—电动机；  
10—电灯；11—负荷；12—调相机或无功补偿装置

从研究与计算方面考虑，可将电力网分为地方网、区域网、远距离输电网三类。电压为 110kV 以下的电力网，电压较低，输送功率小，线路距离短，主要供电给地方负荷，称为地方网；电压在 220kV 及以上的电力网，电压较高，输送功率大，线路距离长，主要供电给大型区域性变电所，称为区域网；输电线路长度超过 300km，电压在 330kV 及以上的电力网，称为远距离输电网。电压为 110kV 的电力网属于地方网还是区域网，主要应从它在电力系统中的作用考虑。

按电压的高低可将电力网分为低压网、中压网、高压网、超高压网及特高压网等类。电压在 1kV 以下的称为低压网；电压为 3 ~ 63kV 的称为中压网；电压为 110 ~ 220kV 的称为高压网；电压在 330 ~ 750kV 的称为超高压网；电压为 1000kV 及以上称为特高压网。按电力网的接线方式区分，可将电力网分为一端电源供电的电力网（又称为开式网）；两端电源供电的电力网及多端电源供电的电力网三类（后两类又称为闭式网）。按电力网在电力系统中的作用可分为系统联络网（又称网架）与供用电网络两类。系统联络网主要为系统运行调度服务，供用电网络主要为用户服务。

## 二、电力系统运行的特点

### （一）电能的生产输送及使用的连续性

目前电能还不能大量地储存，发电、输电、变电、配电及用电是在同一时刻完成的，每时每刻的发电量取决于同一时刻用户的用电量和输送过程的损耗，其中的任一环节出现故障，都会影响电力系统的运行。因此，应该努力提高系统各环节的可靠性，为电力系统安全、经济和连续的运行创造条件，以保证对用户不间断地供电。

### （二）与生产及人们生活的密切相关性

电力与国民经济、人民生活的关系极其密切，电能供应不足或中断，将直接影响国民经济计划的完成和人民的正常生活，对某些用户甚至会造成产品报废、设备损坏以及危及人身安全等严重后果。这就要求不断提高电力工业的发展速度以满足国民经济各部门日益增长的用电需要，并不断提高供电的可靠性与电能质量，将事故及不正常运行降低到最低限度。

### （三）过渡过程的短暂性

电力系统由于运行方式的改变而引起的波过程、电磁暂态过程和机电暂态过程是非常短暂的，因此正常运行和故障情况所进行的调整和切换操作要求非常迅速。所以，电力系统运行必须采用自动化程度高，又能迅速而准确动作的继电保护及自动装置和自动监测控制设备。

## 三、对电力系统的基本要求

### （一）尽量满足用户的用电需要

满足国民经济各部门及人民生活不断增长的用电需求，保障供给是电力部门的重要任务。电力工业的发展速度，应超前于其他部门的发展速度，起到先行的作用，应竭力避免因缺电而使各类企业不能充分发挥其生产能力的情况。

### （二）安全可靠的供电

电力生产的方针是“安全第一，预防为主”。这就要求加强电力系统各元件和设备的管理，经常进行监测与维护，并定期进行预防性试验和检修，定期更新设备，使设备处于完好的运行状态；提高工作人员素质，严格执行各项规章制度，不断提高运行水平，防止事故的发生。一旦发生事故，应能迅速地妥善处理，防止事故扩大，做到快速恢复供电。因为供电中断将使工农业生产停顿，人们生活秩序混乱，甚至危及人身和设备的安全，造成十分严重的后果。突然停电给国民经济造成的损失远远超过电网本身的损失。因此，首先要确保安全可靠供电。

### （三）保证良好的电能质量

良好的电能质量指标是指电力系统中交流电的频率正常（ $50 \pm 0.1 \sim 50 \pm 0.5\text{Hz}$ ）、电压

不超过额定值的  $\pm 5\% \sim \pm 10\%$  和波形正常（正弦波）。电能质量合格，用电设备能正常工作并具有最佳的技术经济效果；如果变动范围超过允许值，虽然尚未中断供电，但已严重影响到产品质量和数量，甚至会造成人身和设备故障，同时对电力系统本身的运行也有危险。因此，必须通过调频及调压措施来保证频率和电压的稳定。

#### （四）保证电力系统运行的经济性

电能生产的规模很大，在其生产、输送和分配过程中，本身消耗的能源占国民经济能源中的比例相当大。因此，最大限度地降低每生产  $1\text{kW}\cdot\text{h}$  电能所消耗的能源和降低输送、分配电能过程的损耗，是电力部门的一项极其重要的任务。电能成本的降低不仅意味着能源的节省，还将降低各用电部门成本，对整个国民经济带来很大的好处。

现在最广泛的做法是实行电力系统的经济运行。按照最优化原则分配各发电厂、发电机组之间的发电出力及输电和配电路径，充分利用水力资源，尽可能采取节能降耗措施，争取获得电力系统最大的、综合的经济效益。

### 第三节 发电厂变电所及电力用户

#### 一、发电厂的类型

发电厂是把其他形式的能量，如燃料的化学能、水流的位能和动能、核能等转变成电能的场所。目前电力生产中的发电厂类型，按使用能源的不同，其主要类型有火力发电厂、水力发电厂、核电厂、风力发电厂，此外还有太阳能发电厂、潮汐发电厂和地热发电厂等。

##### （一）火力发电厂

火力发电厂简称火电厂，是利用燃料所蕴藏的化学能转变为电能的发电厂。燃料在锅炉中燃烧时释放出热能，将水加热成一定温度和压力的蒸汽，然后利用蒸汽推动汽轮机旋转，带动发电机发电，使一部分热能转换为电能。在汽轮机中作过功的蒸汽，经过凝汽器冷却凝结成水，再送入锅炉。目前我国电力系统中仍以火电厂为主，所占比例约为 70%。

火电厂所用的燃料主要有煤、石油和天然气三种。当前我国火力发电厂的燃料大多数是煤，并且尽量燃用劣质煤。

图 1-2 所示为火电厂生产过程。火电厂又分为凝汽式电厂和热电厂两种。

凝汽式电厂仅向用户提供电能。一般情况下，在煤矿附近建设大容量的凝汽式电厂，用高电压将电能输送给远方用户，比把凝汽式电厂建在城市或用户附近，而从远方运煤要经济合理得多。因此，我国在各煤炭基地或其附近，建设很多千瓦以上的大容量凝汽式电厂，一般称为坑口电厂，也称区域性火电厂。

热电厂不仅向用户供电，同时还向用户供蒸汽或热水。在热电厂中，将汽轮机的中段抽出一部分蒸汽，直接供给用户；或把抽出的蒸汽引到加热器中将水加热，给用户提供热水。这样，可以大大减少进入凝汽器中的蒸汽量，提高热效率。目前 300MW 及以上的大机组的热效率仅为 37%~40%，中小型凝汽式机组的热效率为 25%~30%，而热电机组热效率则高达 60%~70%。由于供热距离有限，所以热电厂多建在城市和用户附近。我国热电厂容量多为数十至数百兆瓦的中小容量电厂。热电机组的发电出力与热力用户的用热情况有关，

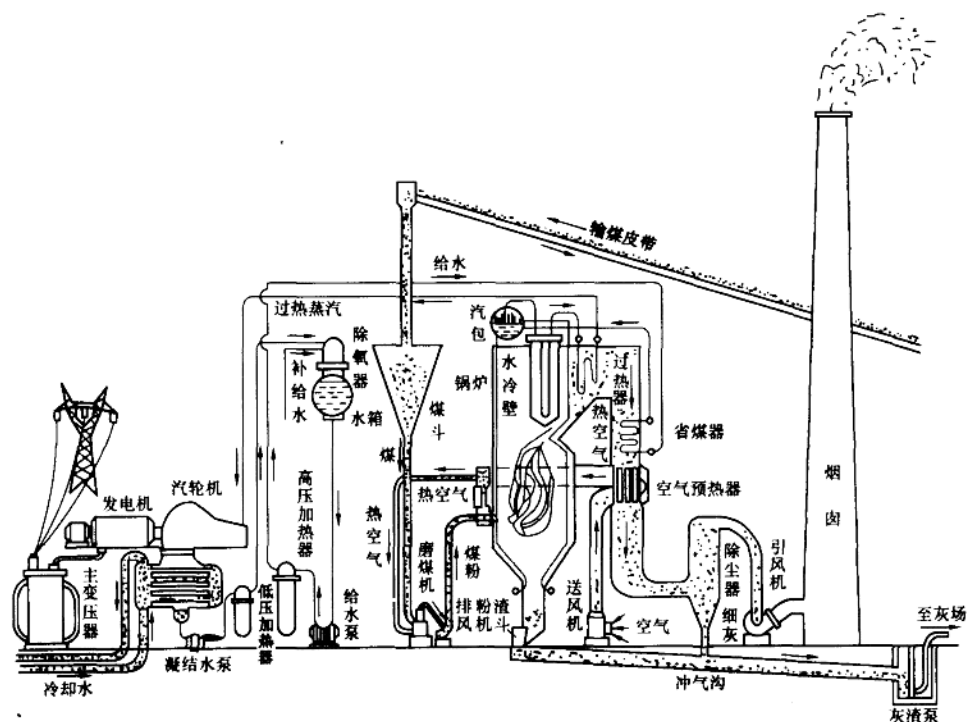


图 1-2 火电厂生产过程示意图

当用热量多时，热电机组必须相应多发电；用热量少时，发电出力也相应减少。因此，热电机组在电力系统中运行时，不如凝汽式机组灵活。

有些火力发电厂的原动机为燃气轮机。燃气轮机发电的生产流程为：将大气中的空气吸入压气机中压缩到不低于  $0.3\text{MPa}$  的压力，温度相应升高到  $100^\circ\text{C}$  以上，然后送入燃烧室，与喷火的燃料（油或天然气）在一定压力下混合燃烧，产生  $600^\circ\text{C}$  以上的高温燃气，流入燃气轮机中膨胀做功，直接带动发电机发电，做功后的燃气最后排入大气。燃气轮机具有体积小、起动快、不需要大量用水、运行维护简便、机动性大、造价和运行费用低的优点，近年来在电力工业中发展较快。

## （二）水力发电厂

水力发电厂简称水电厂，是利用江河的水从上游流到下游时位能的变化，将水能变为电能的发电厂。水电厂中发电机的原动机是水轮机，河水冲动水轮机旋转，带动发电机发电。水电厂的出力，与水的流量和上下游水位落差的乘积成正比。按照取水方式，水电厂可分为坝式水电厂、引水式水电厂、混合式水电厂和抽水蓄能电厂等。

（1）坝式水电厂。在河流上选择地质条件较好的适当位置，修建拦河坝，形成水库，抬高上游水位，使坝的上下游水位形成较大的集中落差，引水发电。坝式水电厂又分为坝后式和河床式两种。坝后式水电厂的厂房建筑在拦河坝的后面，不承受水的压力，适于水头高于  $20\sim 30\text{m}$  的高水头水电厂。河床式水电厂的厂房与拦河坝相接，成为坝的一部分，故适用于水头低于  $30\sim 35\text{m}$  的低水头水电厂。我国水电厂多为坝后式水电厂，如刘家峡水电厂、葛洲

坝水电厂等。

(2) 引水式水电厂。其水头由引水道形成，具有较长的引水道，如天生桥二级水电厂，设计水头 176m，引水隧洞长 9555m。

(3) 混合式水电厂。其水头由坝和引水道共同形成。这类电厂除坝具有一定高度外，其余与引水式水电厂相同。

图 1-3 为水力发电厂的生产过程示意图。

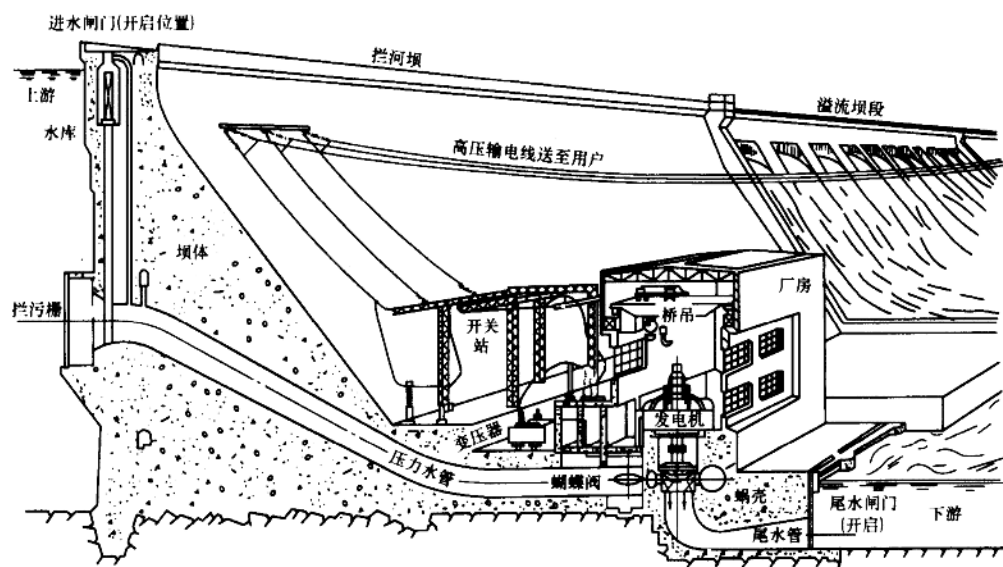


图 1-3 水力发电厂生产过程示意图

### (三) 核电厂

核能的利用是现代科学技术的一项重大成就。从 20 世纪 40 年代原子弹的出现起，原子能就逐渐被人们所掌握并陆续被用于工业和交通等许多部门，从而为人类提供了一种新的巨大的能源。

一些资源贫乏的发达国家由于受到“能源危机”的冲击，迫使他们不得不走核电的道路，这是促使核电厂迅速发展的主要原因。

由于自然界中煤、石油和天然气等燃料的储量有限，它们又是重要的化工原料，一些国家的水能资源已基本开发殆尽，因此从 20 世纪 50 年代起某些国家就转向研究核能发电。从 1954 年世界上第一个核电厂建成至今，全世界已有几十个国家先后建成总共 200 多个核电厂，总装机容量已超过 1 亿 kW。正在建设或已定货的核电厂的总容量更大。

核电的基本原理是把原子核裂变所产生的原子能转变为热能，将水加热为蒸汽，然后同一般火力发电厂一样，用蒸汽推动汽轮机，再带动发电机发电。核电厂与火力发电厂在构成上的主要区别是：前者用核蒸汽发生系统（反应堆、蒸汽发生器、泵和管道）来代替后者的蒸汽锅炉。

根据原子反应堆型式不同，核电厂可分为几种类型。图 1-4 为目前使用较为广泛的轻水堆型（包括沸水堆和压水堆）核电厂的生产过程示意图。

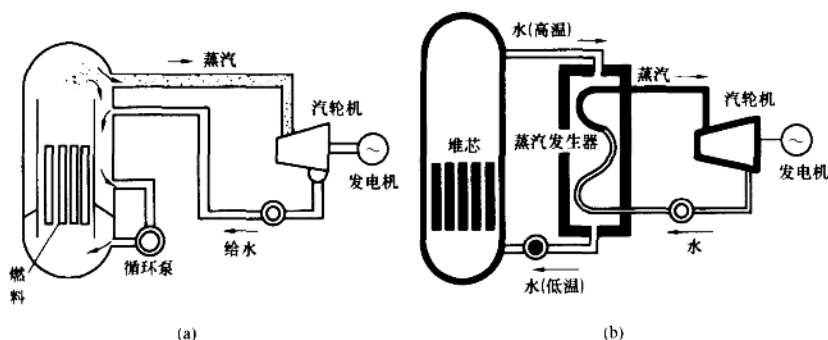


图 1-4 核电厂生产过程示意图  
(a) 沸水堆型反应堆；(b) 压水堆型反应堆

这种反应堆是用水作为载热剂。在沸水堆内，水被直接变成蒸汽，它的系统构成较为简单，但有可能使汽轮机等设备受到放射性污染，使这些设备的运行、维护和检修复杂化。为了避免这个缺点，可采用压水堆型反应堆。这里，增设了一个蒸汽发生器，从反应堆里引出的高温水在蒸汽发生器内将热量传给另一个独立回路的水，将之加热成高温蒸汽以推动汽轮发电机组旋转。由于在蒸汽发生器内两个回路的水是完全隔离的，所以就不会造成对汽轮机等设备的放射性污染。

核电厂的主要优点之一是可以大量节省煤、石油和天然气等燃料。例如，一座装机容量为 500MW 的火力发电厂每年至少要烧掉 150 万 t 煤，而同容量的核电厂每年只消耗 600kg 的铀燃料，可以避免大量的燃料运输。核电厂的另一个特点是燃烧时不需要空气助燃。所以，核电厂可以建设在地下、山洞里、水下或空气稀薄的高原地区。从发电厂的建设和发电成本来看，核电厂所需的固定投资虽较火力发电厂要高，但长年的燃料费和维护费则比火力发电厂要低，它的规模愈大则生产每千瓦时电能的投资费用下降愈多。

核电厂的主要问题是放射性污染。尽管在发电厂建设时已采取了相应的措施，但放射性污染事故仍不断发生，有的还比较严重。例如，美国的西西里核电站事故、前苏联的切尔诺贝利核电站事故。显然，只有更好地解决了污染的防护问题以及放射性废弃物的处理问题，核电厂的建设才可能得到更大的发展。我国在建设核电厂方面也取得了可喜的成果，浙江秦山核电厂、广东大亚湾核电厂均已建成投产，岭澳核电厂正在建设过程中。

目前，尽管世界上对核电厂的建设（主要是其安全性）存在着争论，但是在“能源危机”的冲击下，对一些资源贫乏的发达国家来说，别无其他的选择，唯有继续执行建设核电厂的计划。因此，预计在今后相当一段时间内，对核电的有关技术、措施的研究，仍将继续是人们所关注的中心课题之一。

## 二、变电所的类型

变电所是电力生产与应用中的一个重要的中间环节，它的作用是改变电压，接受和分配电能。根据变电所在电力生产过程中的地位与作用将变电所分为枢纽变电所、中间变电所、地区变电所、企业和终端变电所等。

(1) 枢纽变电所。一般枢纽变电所电压等级为 330 ~ 500kV 或 220kV，是特别重要的变电

所。在系统中,如图 1-1 所示,枢纽变电所在系统中处于枢纽地位,连接系统的高压和中压的几个部分,汇集多个大电源和大容量联络线。其主要特点是电压等级高,变电容量大,出线数目多。如果出现全所停电,将引起系统解列,造成大面积停电。

(2) 中间变电所。中间变电所一般设在高压和超高压主要环形线路或系统主要干线的接口处,高压侧有系统功率穿越通过,也可降压给附近地区供电,但出线数目一般不多。

(3) 地区变电所。地区变电所主要给所属地区供电,是一个地区或中等城市的主要变电所。

(4) 企业变电所。企业变电所是工矿企业专用变电所。大中型企业的总变电所电压多为 220kV;一般企业变电所,电压多为 110kV。

(5) 终端变电所。终端变电所大多数为 1~2 回线路接入,接线简单,位于负荷中心,电压一般为 110kV。

### 三、电力用户

使用电能的单位称为电力用户。用电的类型很多,主要分为工业用电、农业用电与生活用电等。工业用电集中、用电量大、设备利用率高,对供电可靠性要求高;农业用电分散、用电量小,与气候及季节有关,平时对供电可靠性要求较低,灾害天气时对供电可靠性要求高;人民生活用电面广,形式多样,随着生产的发展和人民生活水平的提高,用电量愈来愈大,对供电可靠性要求也愈来愈高。

电力用户的负荷按其供电可靠性的要求可分为三级。

(1) 一级负荷。如果对这类负荷中断供电,将会造成恶劣的政治和社会影响,将会带来人身危险及设备损坏,除生产大量废品外,还将使生产秩序长期不能恢复,人民生活发生混乱,给国民经济带来巨大的损失。如医院的手术室、大量人员集中的公共场所、重要的通信枢纽、生产中的事故照明等负荷。

(2) 二级负荷。如果对这类负荷中断供电,将会造成大量减产,城市公用事业和人民生活受到影响。如交通枢纽、大型体育场、纺织厂等负荷。

(3) 三级负荷。不属于一、二级负荷的其他用户,短时中断供电不会带来严重后果。如工矿企业的附属车间和居民的用电等负荷。

## 第四节 供用电网络接线

### 一、供用电网络的基本接线

供用电网络的接线形式随用户的要求而异,其基本接线形式按照有无备用分为两类。

#### (一) 无备用接线形式

对于无备用接线,用户只能从一个方向取得电源。这类接线分为单回路放射式、干线式、链式和树枝式,如图 1-5 所示。

#### (二) 有备用接线形式

有备用接线形式分为双回路放射式、双回路干线式、环式、两端供电式和多端供电式等,如图 1-6 所示。



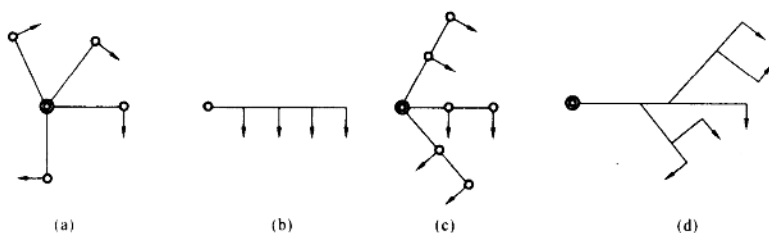


图 1-5 无备用接线形式

(a) 放射式; (b) 干线式; (c) 链式; (d) 树枝式

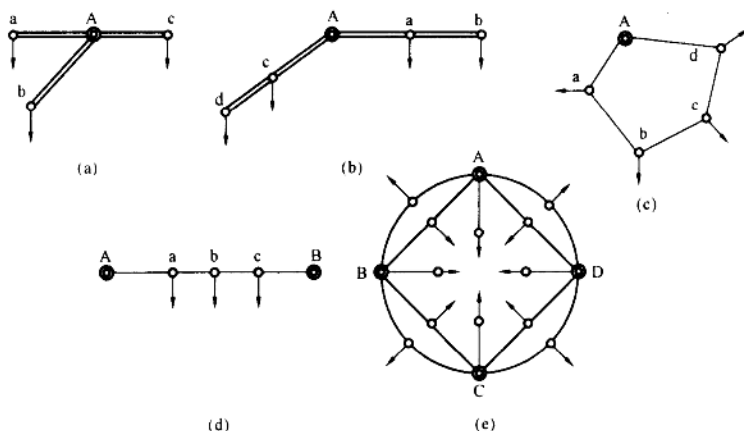


图 1-6 有备用接线形式

(a) 双回路放射式; (b) 双回路干线式; (c) 环式; (d) 两端供电式; (e) 多端供电式

## 二、高压配电网的接线方式

高压配电网是指采用 10、35、63kV 或 110kV 电压作为配电电压的网络，其网络接线应根据负荷的分布和负荷的类别来确定。

### (一) 放射式网络

如图 1-7 所示，线路终端不装设高压断路器，只装设带接地刀闸的隔离开关，为提高供电的可靠性，可装设能自动重合的开关装置，如自动重合闸或重合器等。

放射式网络的优点是：供电可靠性较高，故障发生后影响范围小；保护装置简单易于整定；便于实现自动化；运行简单，切换操作方便。

放射式网络的缺点是：一旦线路或开关设备发生故障，由该线路供电的负荷将断电并且难以恢复；配电线路和高压开关柜数量多，投资大。

单回路放射式网络适于对分布在变电所周围的三级负荷供电，可以节省投资。对于一、二级负荷供电，可采用双回路放射式网络。

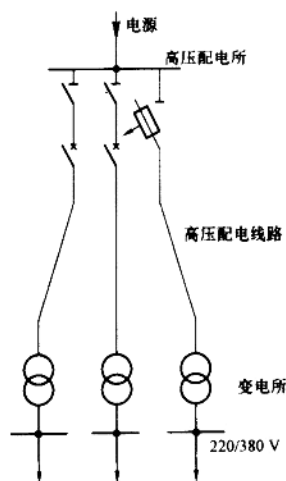


图 1-7 放射式网络