

电力生产

# 基本常识

孙嘉平 主编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

电力生产

# 基本常识

孙嘉平 主编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书是为广大读者了解电力生产过程的基本常识而编写的科普读物。全书共分六个部分：第一部分电力生产概述；第二部分火力发电；第三部分水力发电；第四部分核能和新能源发电；第五部分输电和配电；第六部分电力系统。

本书可供具有初中以上文化水平的广大读者阅读，也可供部分电业工作者阅读。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电力生产基本常识/孙嘉平主编. —北京：中国电力出版社，2005

ISBN 7 - 5083 - 3636 - 4

I. 电... II. 孙... III. 电力工业 - 基本知识  
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 114480 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

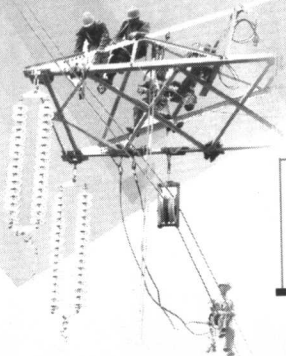
2006 年 1 月第一版 2006 年 1 月北京第一次印刷

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 8.75 印张 226 千字

印数 0001—3000 册 定价 17.00 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

为了普及电力生产常识,帮助电力系统和相关部门的管理干部、工人和非电专业的业务人员在较短时间内了解电力生产的过程和基础的电力知识,特编写此书。

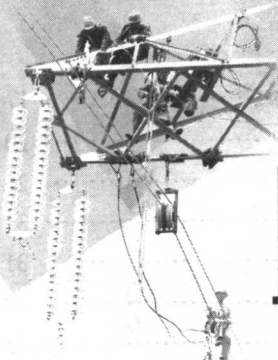
在本书的编写过程中,力求文字简洁、通俗易懂,使广大读者在读完本书之后,对电力工业的整个生产过程有一个清晰的概念。本书的另一特点是在介绍国内电力工业水平的同时,也介绍了国外电力工业的新技术、新材料和新设备,以及国外电力工业的发展趋势。本书的第三个特点是全书均采用我国法定计量单位。

全书共分电力生产概述、火力发电、水力发电、核能和新能源发电、输电与配电、电力系统六个部分,分别由孙嘉平、柳椿生、王长海、王树屏、杜在贵编写。本书由孙嘉平主编。

本书的编写,参考了中国电力出版社 2001 年出版的《中国电力百科全书》(第二版),在此表示衷心感谢。

编者

2005 年 10 月



## 电力生产基本常识

# 目 录

### 前言

## 第一部分 电力生产概述

|               |   |
|---------------|---|
| 一、电力生产的任务及特点  | 1 |
| (一) 电力生产与电力工业 | 1 |
| (二) 电力生产的特点   | 2 |
| 二、电力生产的主要环节   | 3 |
| 三、电力系统的构成     | 5 |

## 第二部分 火力发电

|                |    |
|----------------|----|
| 一、概述           | 7  |
| (一) 火力发电厂的分类   | 7  |
| (二) 火力发电厂的燃料   | 9  |
| 二、火力发电厂的基本生产过程 | 10 |
| (一) 汽水系统       | 10 |
| (二) 燃烧系统       | 11 |
| (三) 电气系统       | 12 |
| (四) 发电效率       | 12 |
| 三、锅炉设备         | 15 |
| (一) 锅炉的容量和设备构成 | 15 |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| (二) 锅炉的汽水部分 .....         | 17        |
| (三) 锅炉的燃烧部分 .....         | 20        |
| (四) 锅炉附件和辅机 .....         | 26        |
| <b>四、汽轮机设备 .....</b>      | <b>31</b> |
| (一) 汽轮机的容量和种类 .....       | 31        |
| (二) 汽轮机的原理和构造 .....       | 32        |
| (三) 调速系统和危急保安器 .....      | 35        |
| (四) 油系统 .....             | 37        |
| (五) 汽轮机的附属设备 .....        | 37        |
| <b>五、汽轮发电机 .....</b>      | <b>40</b> |
| (一) 汽轮发电机的原理和结构 .....     | 40        |
| (二) 汽轮发电机的励磁设备 .....      | 43        |
| (三) 汽轮发电机的损耗和冷却方式 .....   | 43        |
| (四) 发电机母线 .....           | 46        |
| <b>六、辅助生产系统 .....</b>     | <b>47</b> |
| (一) 供水系统 .....            | 47        |
| (二) 输煤系统 .....            | 50        |
| (三) 除灰系统 .....            | 52        |
| (四) 锅炉水处理系统 .....         | 54        |
| (五) 厂用电系统 .....           | 57        |
| <b>七、火力发电厂的运行 .....</b>   | <b>58</b> |
| (一) 机组的启动和停运 .....        | 58        |
| (二) 安全运行 .....            | 58        |
| (三) 经济运行 .....            | 59        |
| <b>八、火力发电厂自动化 .....</b>   | <b>61</b> |
| (一) 自动化发展历程 .....         | 61        |
| (二) 自动化的主要功能及系统 .....     | 62        |
| <b>九、火力发电厂的环境保护 .....</b> | <b>65</b> |
| (一) 火力发电厂对环境的影响 .....     | 65        |
| (二) 火力发电厂污染排放的控制 .....    | 66        |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 十、燃气轮机及其发电厂 .....               | 68 |
| (一) 燃气轮机 .....                  | 68 |
| (二) 燃气轮机发电厂 .....               | 69 |
| 十一、洁净煤发电技术 .....                | 71 |
| (一) 循环流化床燃烧技术 .....             | 71 |
| (二) 增压流化床联合循环 (PFBC - CC) ..... | 74 |
| (三) 整体煤气化联合循环 (IGCC) .....      | 75 |

### 第三部分 水力发电

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 一、概述 .....            | 77  |
| (一) 水能资源 .....        | 77  |
| (二) 水力发电基本生产过程 .....  | 78  |
| (三) 水力发电的特点 .....     | 78  |
| (四) 水力发电厂的分类 .....    | 79  |
| (五) 流域开发和综合利用 .....   | 84  |
| (六) 装机容量和年发电量 .....   | 85  |
| 二、水工建筑物 .....         | 86  |
| (一) 水工建筑物分类和特点 .....  | 86  |
| (二) 挡水建筑物——坝 .....    | 87  |
| (三) 泄水建筑物 .....       | 91  |
| (四) 发电专用建筑物 .....     | 93  |
| (五) 其他建筑物 .....       | 94  |
| (六) 水工建筑物的观测和维修 ..... | 95  |
| 三、水库及水库调度 .....       | 97  |
| (一) 水库 .....          | 97  |
| (二) 水库调度 .....        | 99  |
| 四、水轮发电机组 .....        | 102 |
| (一) 水轮机 .....         | 102 |
| (二) 水轮发电机 .....       | 110 |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| (三) 水轮发电机组安全运行 .....   | 113        |
| <b>五、水电厂运行管理 .....</b> | <b>114</b> |
| (一) 水电厂经济运行 .....      | 114        |
| (二) 水电厂水库优化调度 .....    | 115        |
| (三) 水电厂大坝安全管理 .....    | 115        |
| <b>六、水电厂自动化 .....</b>  | <b>116</b> |
| (一) 水电厂自动化功能 .....     | 116        |
| (二) 全厂综合自动化 .....      | 117        |
| (三) 计算机监控系统 .....      | 117        |
| (四) 梯级水电厂集中监控 .....    | 119        |
| (五) 水电厂通信 .....        | 119        |
| <b>七、小水电 .....</b>     | <b>120</b> |
| (一) 小水电的分类 .....       | 120        |
| (二) 小水电的特点 .....       | 120        |
| (三) 建站方式 .....         | 120        |
| (四) 水工建筑物的布置方式 .....   | 123        |
| (五) 水轮机和电气设备 .....     | 124        |
| (六) 小水电技术发展方向 .....    | 124        |

## 第四部分 核能和新能源发电

|                     |            |
|---------------------|------------|
| <b>一、核能发电 .....</b> | <b>126</b> |
| (一) 核电厂 .....       | 126        |
| (二) 常用核反应堆型 .....   | 127        |
| (三) 核电厂的运行特点 .....  | 130        |
| (四) 核电厂运行监控 .....   | 131        |
| (五) 辐射防护技术 .....    | 133        |
| (六) 核电厂的环境影响 .....  | 134        |
| (七) 受控核聚变发电 .....   | 135        |
| <b>二、风力发电 .....</b> | <b>135</b> |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| (一) 风力发电系统 .....        | 136 |
| (二) 风力发电机组 .....        | 137 |
| 三、地热发电 .....            | 139 |
| (一) 地热发电类型及其热力系统 .....  | 139 |
| (二) 我国的地热电站 .....       | 144 |
| 四、太阳能发电 .....           | 144 |
| (一) 太阳能光发电 .....        | 144 |
| (二) 太阳能热发电 .....        | 145 |
| 五、生物质发电 .....           | 147 |
| (一) 生物质发电系统 .....       | 147 |
| (二) 各种生物质发电方式 .....     | 148 |
| 六、海洋能发电 .....           | 149 |
| 七、新能源联合发电系统 .....       | 150 |
| 八、燃料电池 .....            | 153 |
| (一) 发电原理 .....          | 153 |
| (二) 燃料电池 (FC) 的类型 ..... | 154 |
| (三) 燃料电池技术发展前景 .....    | 154 |
| 九、分布式发电 .....           | 155 |
| (一) 分布式发电技术 .....       | 155 |
| (二) 重要的绿色电源 .....       | 155 |

## 第五部分 输电与配电

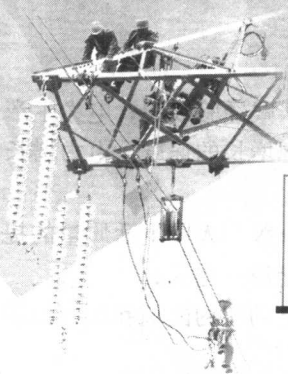
|                     |     |
|---------------------|-----|
| 一、概述 .....          | 156 |
| (一) 输配电基本概念 .....   | 156 |
| (二) 输电方式及功能 .....   | 157 |
| (三) 配电方式及功能 .....   | 158 |
| (四) 输配电电压等级 .....   | 159 |
| 二、变电所 .....         | 161 |
| (一) 变电所的作用和构成 ..... | 161 |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| (二) 电力变压器 .....        | 163        |
| (三) 互感器 .....          | 167        |
| (四) 开关设备 .....         | 169        |
| (五) 母线、屋外构架及防雷设施 ..... | 172        |
| (六) 电气主接线 .....        | 174        |
| (七) 组合电器 .....         | 176        |
| (八) 配电电气设备 .....       | 177        |
| (九) 无功补偿装置 .....       | 180        |
| <b>三、架空电力线路 .....</b>  | <b>183</b> |
| (一) 架空线路的构成 .....      | 184        |
| (二) 紧凑型线路 .....        | 202        |
| (三) 架空线路防雷 .....       | 204        |
| (四) 架空线路运行维护 .....     | 206        |
| <b>四、电力电缆线路 .....</b>  | <b>208</b> |
| (一) 电力电缆线路的构成 .....    | 208        |
| (二) 电力电缆的分类 .....      | 209        |
| (三) 电缆附件及辅助设备 .....    | 211        |
| (四) 配电架空电缆线路 .....     | 212        |
| <b>五、直流输电 .....</b>    | <b>213</b> |
| (一) 直流输电基本原理 .....     | 213        |
| (二) 直流输电的特点及应用 .....   | 215        |
| (三) 换流站 .....          | 216        |
| (四) 直流输电线路 .....       | 217        |
| <b>六、灵活交流输电 .....</b>  | <b>220</b> |
| (一) 灵活交流输电的概念和原理 ..... | 220        |
| (二) 大功率电力电子器件 .....    | 221        |
| (三) 灵活交流输电设备 .....     | 222        |

## 第六部分 电力系统

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 一、概述               | 225 |
| (一) 电力系统的组成和基本特征   | 225 |
| (二) 电力系统的负荷        | 228 |
| (三) 电力系统的优越性       | 229 |
| 二、电力系统运行           | 231 |
| (一) 电力系统运行的基本条件    | 231 |
| (二) 电力系统运行的稳定性     | 231 |
| (三) 电力系统经济运行       | 233 |
| (四) 电力系统运行控制       | 234 |
| 三、电能质量             | 235 |
| (一) 频率质量及低频率运行的危害性 | 236 |
| (二) 电压质量及低电压运行的危害性 | 237 |
| (三) 波形质量及波形畸变的危害性  | 238 |
| (四) 电压和电流不平衡及其影响   | 241 |
| (五) 电压波动和闪变        | 242 |
| 四、电力系统可靠性          | 243 |
| (一) 电力系统事故         | 243 |
| (二) 供电可靠性准则和指标     | 245 |
| (三) 停电损失           | 245 |
| (四) 提高供电可靠性的措施     | 246 |
| 五、电力系统调度           | 247 |
| (一) 调度的任务          | 248 |
| (二) 调度机构           | 248 |
| (三) 电力系统经济调度       | 249 |
| 六、电力系统自动化          | 250 |
| (一) 电力系统调度自动化      | 251 |
| (二) 配电自动化          | 253 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| (三) 变电所自动化 .....    | 253 |
| 七、电力系统通信和远动 .....   | 254 |
| (一) 电力系统通信 .....    | 254 |
| (二) 电力系统远动 .....    | 257 |
| 八、继电保护和安全自动装置 ..... | 258 |
| (一) 继电保护装置 .....    | 258 |
| (二) 安全自动装置 .....    | 261 |
| 九、电气仪表 .....        | 263 |
| (一) 电气仪表的作用 .....   | 263 |
| (二) 电气仪表的类型 .....   | 263 |
| (三) 电气仪表工作原理 .....  | 264 |
| 十、电力信息化 .....       | 266 |
| (一) 电力信息化工程内容 ..... | 267 |
| (二) 电力企业管理信息化 ..... | 268 |



## 第一部分

# 电力生产概述

### 一、电力生产的任务及特点

#### (一) 电力生产与电力工业

电力生产是指把各种一次能源，包括化石燃料（煤炭、石油和天然气等）、可再生能源（水能、风能、太阳能、潮汐能、地热能 and 生物质能等）以及核能转换成电能，并输送和分配到电力用户。

从事电能生产、传输和销售的行业称为电力工业，简称电业。电业是能源工业的重要组成部分，是发展国民经济的基础产业，是现代社会必不可少的公用事业。电力工业的根本任务是向各种电力用户提供充足、可靠、合格、价格合理的电能和优质服务。

电力工业始于 19 世纪 80 年代，至今已有百余年的历史，它的出现是能源工业的一场革命，使人类迎来了“电气化世纪”，发展和深化了继蒸汽机技术革命以来的产业革命。电力工业大大地拓宽了能源利用的领域，在当今社会，电能的使用已遍及国民经济、社会和人民生活的各个领域，成为现代化社会的必需。电能的利用还为 20 世纪的技术进步和新产业的出现提供了物质基础，保证供给充足、可靠和价格合理的电力，已成为一个国家经济发展和社会进步的重要条件。电力工业的发展程度，即电气化的程度是衡量一个国家经济和社会发达程度的重要标志。

世界主要发达国家和发展中国家的实践经验表明，电力生产的增长速度一般总是大于经济和一次能源增长的速度。电力增长速度大于经济发展速度的主要原因如下：

(1) 科学技术的进步，产业结构的升级和人民生活质量的提高，使电力需求的增长高于经济和一次能源的增长；

(2) 以电力替代其他能源，具有明显的节约能源和环境保护效果；

(3) 能源领域重大科技项目，如核能技术、新能源技术、洁净煤技术和环境保护技术等，都是围绕电力生产进行的，电力技术已成为实现可持续发展的桥梁。

在地区的和全球的环境问题越来越对经济和能源发展起更大制约作用的今天，电力在经济、能源与环境三者之间起着越来越重要的平衡作用。更广泛和更有效地使用电能已成为实现经济可持续发展的重要措施。

## (二) 电力生产的特点

电力工业在国民经济和社会发展中之所以起着如此重要的作用，是由于电力生产及其产品—电能具有如下特点：

(1) 电力生产可以把各种一次能源转换为便于输送和分配的电能，没有这种转换，许多一次能源，如水能、核能和风能等，甚至不能直接而广泛地加以利用。

(2) 电能可以方便地转换成机械能、热能、光能和化学能等多种其他形式的能；

(3) 电能是最清洁和可以最精确地定时、定点和定量加以利用的能源。

此外，电力生产还有一个十分重要的特点，即电能的生产、输送、分配直到用户的使用是在同一瞬间完成的。由于目前电能还不能大规模的储存，因此电力生产的各个环节必须随时保持平衡，并与电力的使用（用电）随时保持平衡，形成一个完整的、高度协同动作的电力系统。

## 二、电力生产的主要环节

电力生产过程包括电能的生产、输送和分配，因此严格地讲，电力生产应包括发电、输电和配电三个主要环节。然而，在很多情况下，人们把变电和用电也作为电力生产的主要环节。由于从发电到输电和配电，电力需要经过多次的电压变化，变电就成为了电力生产过程中必不可少的环节，但变电环节是存在于发电、输电和配电三个主要环节之中的。

用电本应是电能使用和消费的过程，但由于电力的特点是产、供、销瞬时完成的，因此用电需求的变化和对用电需求的控制会实时影响着电力生产的过程。

### 1. 发电

电力生产的发电环节是利用电能生产设备将各种一次能源或其他形式的能转换成电能。生产电能的主要方式有：火力发电、水力发电、核能发电、地热发电、风力发电、太阳能发电、潮汐能发电、生物质能发电和燃料电池发电等。

除太阳能发电的光伏电池技术和燃料电池发电外，绝大部分发电方式的电能生产设备都是由动力部分和发电部分组成。动力部分将各种发电用能源转换成机械能，发电部分则将传递过来的机械能经过电磁感应作用转换为电能。目前世界各国电力工业广泛采用的发电方式是火力发电、水力发电和核能发电，而火力发电则包括燃煤发电、燃油发电和天然气发电。

在上述发电方式中，其发电部分大都采用交流发电机生产频率为 50Hz 或 60Hz 的交流电。在某些特定条件下用直流发电机生产的直流电能，多就地用作控制用电源，紧急备用电源和其他专用电源。

在各种发电方式中，火力发电存在着污染物排放问题，其中粉尘、灰渣、氮氧化物和硫化物都可以通过采取一定的技术措施加以防治，但二氧化碳的排放问题是火力发电无法解决的。二氧

化碳是使全球气候变暖的“温室效应”之根源。相比之下，水力发电和核能发电尽管有其他方面的环保问题，但不存在二氧化碳的排放问题。近年来，随着环保意识的不断增强，清洁发电技术发展迅速，如整体煤气化联合循环（IGCC）发电技术、加压流化床联合循环发电技术，以及风力发电技术等新能源发电技术已开始走向商业化。为了提高能源利用效率，减少对环境的影响，采用微型燃气轮机和燃料电池发电的绿色分布式电源系统越来越受到人们的重视。

## 2. 输电

电力生产的输电环节是把电能从其生产之处传输到其使用和消费处，即从发电厂或发电中心把电能输送到电力用户或电力负荷中心。由于发电厂发出的电力是三相交流电，所以输电大都采用三相交流输电方式。输电采用的电压越高，则可输送的距离就越远，可输送的电功率（容量）就越大。电力工业出现的初期，发电厂建在电力用户附近，以发电机电压直接向用户送电。随着电力生产规模和负荷中心规模的扩大，发电中心，如大型火电基地、水电基地和核电基地，均远离电力负荷中心，并且输电容量也越来越大，致使输电电压不断提高，陆续出现了高压输电（220kV），超高压输电（330，380，500，750kV）和特高压输电（1000kV 及以上）。

## 3. 配电

电力生产的配电环节是从输电环节接受电能，并根据各类用户的不同需求，将电能分配到各行各业的用户，以最少的消耗向用户提供连续可靠、质量合格且价格合理的电能。配电环节应根据用户的重要性和对电力的依赖程度分门别类加以对待。有些用户对电力可靠性要求很高，电力中断即会造成重大经济损失，甚至危及人的生命和国家安全。有些用户则对电能质量要求很高。电能质量包括电压质量、频率质量和波形质量。配电环节提供给用户的电力，其电压和频率、波动应在允许的范围之内，波形的畸变也应符合标准。

配电环节必须要有可靠的配电网络，采用先进的配电自动化技术、电能质量控制技术和现代电能计量技术，以便向用户提供充足可靠、质量合格和价格合理的电能。

#### 4. 变电

变电是电力生产的重要组成部分，它寄于上述电力生产的三个主要环节之中。在发电环节中，发电设备发出的电力具有较低的电压（6.3kV至20kV），需要通过变电部分将其提升到输电电压后送入输电环节，因此发电厂设有升压站或称升压变电所。在输电环节中，不同电压的输电网之间和输电线路的交汇处，变电所则起变换电压，控制电力流向和电压调节的作用。为了将电力送至配电环节，输电环节中的变电部分需把电压降至配电网的电压。在配电环节中，电压需经多次变换才能降至电力用户所采用的用电电压，这里变电不仅起变换电压的作用，同时还起控制电力流向、分配电力和保证电压质量的作用。

### 三、电力系统的构成

电力系统是由电力生产各个环节的设备与电力用户的用电设备（电力消费环节），以及相应的辅助系统，按规定的技术和经济要求构成的，从而完成电能从生产、输送、分配直至使用整个过程的统一系统。电力系统中包括发电、变电、输电和配电、用电设备，它们构成电力系统的一次系统，实现电能的生产和消费全过程。电力系统还包括继电保护和安全自动装置，调度自动化设备和通信设备，以及计算机和电子信息化设备等相应的辅助设备，它们构成了二次系统，以保证整个电力系统的安全可靠运行和经济运营。

电力系统中将一次能源转换成电能（即从事电能生产）的部分称发电厂，根据采用的一次能源不同分别为火力发电厂，水力发电厂和核电厂等。电力系统中从事电能输送、变换和分配的部分称电力网，它包括输电网和配电网。输电网和配电网有不同的