

# 供电企业技能岗位培训教材

GONGDIAN QIYE JINENG GANGWEI  
PEIXUN JIAOCAI

贵州电网公司 组编

## 110kV变电运行



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

中国电力出版社 中国电力出版社

中国电力出版社 中国电力出版社  
中国电力出版社

中国电力出版社 中国电力出版社

# 110kV变电运行



# 供电企业技能岗位培训教材

GONGDIAN QIYE JINENG GANGWEI PEIXUN JIAOCAI

## 110kV变电运行

贵州电网公司 组编



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

为更好地将员工培训与人才评价相结合,提升供电企业员工岗位胜任能力,贵州电网公司人力资源部特组织有关专业技术、技能人员编写了《供电企业技能岗位培训教材》,由若干分册组成。本套教材紧扣生产实际,以中、高级技能人才培养为主,是一线员工的培训、自学用书。

本书是《供电企业技能岗位培训教材 110kV 变电运行》分册。全书由知识部分、技能部分两部分组成。知识部分分专门知识、相关知识两篇,其中专门知识有电力系统分析、电气设备、110kV 继电保护及自动装置、高电压技术、变电站综合自动化与监控系统、防误闭锁系统、数字化变电站七章;相关知识设安全生产风险管理体系一章。技能部分分基本技能、专门技能、相关技能三篇,其中基本技能设电力工程识图一章;专门技能有运行维护、电气操作、异常处理、事故处理四章;相关技能设安全工器具使用一章。

本书是 110kV 变电运行岗位培训、自学用书,也可作为变电运行专业技术人员、技能人员和大专院校相关专业师生的阅读参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

110kV 变电运行 / 贵州电网公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2011.11

供电企业技能岗位培训教材

ISBN 978-7-5123-2317-9

I. ①1… II. ①贵… III. ①变电所—电力系统运行—技术培训—教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 229977 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 359 千字

印数 0001—3000 册 定价 50.00 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 《供电企业技能岗位培训教材 110kV 变电运行》

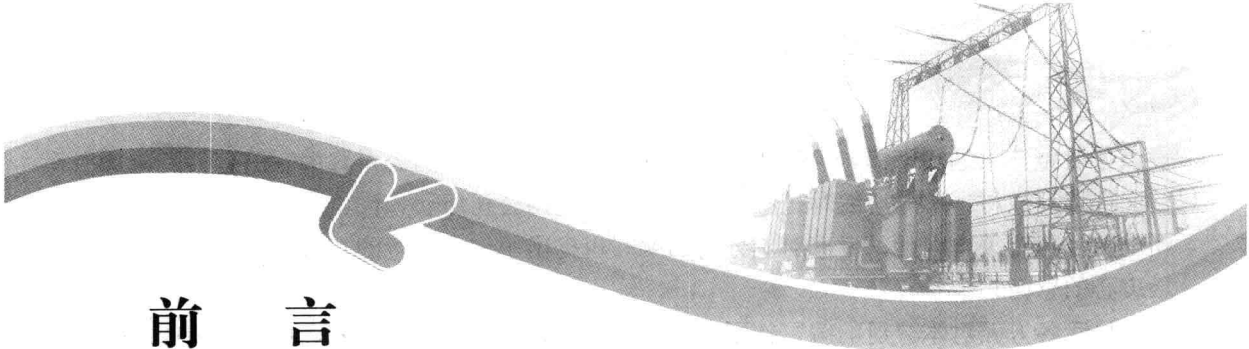
## 主 要 编 审 人 员

(以姓氏笔画为序)

王 薇 艾琪智 许朝萍 孙福国

陈建昆 宋朝晟 杨 波 周幸平

胡 琳



# 前 言

为了更好地贯彻中国南方电网有限责任公司的培训、评价、使用和待遇一体化机制，贵州电网公司（简称公司）探索出双元驱动提升员工岗位胜任能力的新途径。一方面是加强员工培训，提高培训的针对性和实效性，以员工岗位培训为核心，明确岗位培训标准，制定培训方案，有针对性地开展一线员工的在岗培训、转岗培训和岗前培训。另一方面是抓好人才评价，以岗位胜任能力要求为着力点，制定岗位评价标准，与培训工作有机结合，实现评价标准与培训标准的同步，把人才评价的结果与薪酬待遇有机衔接起来，建立清晰的人才素养要求与培养路径，充分调动员工学习的主观能动性，激发员工学习的内生动力。为给一线员工提供培训、自学用书，公司人力资源部组织有关专业技术、技能人员编写了有关岗位的胜任力模型、培训与评价标准（简称标准），并以此为依据编写了一套贴近生产实际的《供电企业技能岗位培训教材》。本套教材由变电运行（110、220、500kV）、配电线路运行与检修、变电检修、继电保护等三十余个岗位的培训教材以分册形式构成，内容紧扣岗位胜任力模型和标准的要求，目的在于培养适合国家、企业发展需要的中、高级技能人才。本套培训教材内容深入浅出，联系现场实际；文字通俗易懂，便于阅读自学；在对理论问题的阐述方面，主要从物理意义上进行定性分析，尽量避开繁杂的数学推证。

本书是《供电企业技能岗位培训教材 110kV 变电运行》分册。全书由知识部分、技能部分两部分组成。知识部分分专门知识、相关知识两篇共八章。技能部分分基本技能、专门技能和相关技能三篇共六章。每章文后配有练习题，供读者检查自身对该章知识和技能的掌握情况。

本分册由贵州电网公司人力资源部组织编写，其中第一章，第六章，第十四章，第十二章第五节，第十三章第五节、第六节由毕节供电局周幸平编写；第二章第三节、第四节，第四章，第十章第三节、第四节，第十一章第七节、第八节、第九节，第十二章第二节由凯里供电局宋朝晟编写；第二章第一节、第六节，第九章，第十章第一节、第二节、第七节，第十一章第四节、第五节、第六节，第十二章第一节由都均供电局艾琪智编写；第二章第二节，第十章第五节，第十一章第一节、第二节、第三节，第十二章第四节由遵义供电局孙福国编写；第二章第五节、第七节、第八节、第九节、第十节，第十章第六节，第十二章第三节，第十三章第三节、第四节由贵阳供电局杨波编写；第三章第一节、第二节、第三节、第四节、第五节、第七节，第五章，第十一章第十节，第十三章第一节、第二节由兴义供电局陈建昆编写；第三章第六节，第七章，第八章，第十三章第七节由铜仁供电局许朝萍编写。贵州电网公司培训与评价中心王薇、胡琳负

责该分册整体策划和审稿。该分册编写过程中引用了贵州电网公司曾编写的有关变电运行岗位培训教材。本分册编写过程中得到了贵州电网公司所属各供电局的大力支持，贵州电网公司有关内训师、专家对本分册的编写也提出了许多宝贵的建议和意见，在此表示衷心的感谢！

尽管各方面对本分册的编写作了相当大的努力，仍难免存在不妥之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2011 年 8 月



# 目 录

## 前言

## 第一部分 知 识 部 分

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第一篇 专门知识            | 3   |
| 第一章 电力系统分析          | 3   |
| 第一节 电力系统概述          | 3   |
| 第二节 电力系统的故障         | 12  |
| 第三节 潮流与稳定性的概念       | 14  |
| 第二章 电气设备            | 18  |
| 第一节 变压器             | 18  |
| 第二节 互感器             | 30  |
| 第三节 断路器             | 38  |
| 第四节 隔离开关            | 45  |
| 第五节 组合电器            | 51  |
| 第六节 电容器及电抗器         | 54  |
| 第七节 消弧线圈            | 58  |
| 第八节 母线              | 61  |
| 第九节 变电站其他电气设备       | 62  |
| 第十节 站用电系统           | 68  |
| 第三章 110kV 继电保护及自动装置 | 75  |
| 第一节 概述              | 75  |
| 第二节 电力变压器保护的原理及作用   | 78  |
| 第三节 线路保护装置          | 89  |
| 第四节 电容器保护           | 94  |
| 第五节 母线差动保护的原理及作用    | 96  |
| 第六节 自动装置            | 103 |
| 第七节 微机保护            | 111 |
| 第四章 高电压技术           | 125 |
| 第一节 电气设备绝缘预防性试验     | 125 |
| 第二节 外部过电压及防雷保护      | 126 |



|     |                     |     |
|-----|---------------------|-----|
| 第三节 | 内部过电压 .....         | 132 |
| 第四节 | 电力系统绝缘配合 .....      | 134 |
| 第五章 | 变电站综合自动化与监控系统 ..... | 136 |
| 第一节 | 变电站综合自动化系统 .....    | 136 |
| 第二节 | 变电站综合自动化的监控系统 ..... | 139 |
| 第六章 | 防误闭锁系统 .....        | 142 |
| 第七章 | 数字化变电站 .....        | 147 |
| 第一节 | 概述 .....            | 147 |
| 第二节 | 数字化变电站主要技术特征 .....  | 147 |
| 第三节 | 数字化变电站的架构体系 .....   | 150 |
| 第四节 | 数字化变电站的运行维护 .....   | 152 |
| 第二篇 | 相关知识 .....          | 159 |
| 第八章 | 安全生产风险管理体系 .....    | 159 |
| 第一节 | 安全生产风险管理体系知识 .....  | 159 |
| 第二节 | 班组如何落实体系建设要求 .....  | 160 |

## 第二部分 技 能 部 分

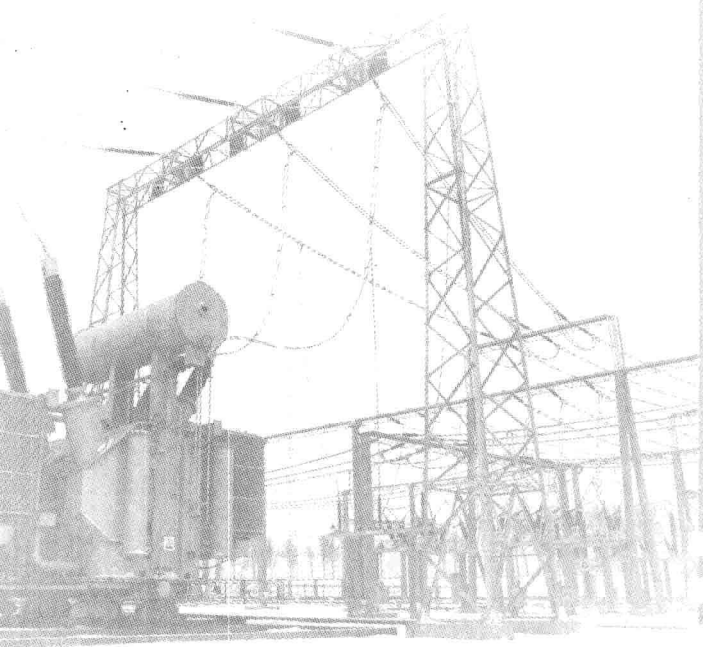
|      |                 |     |
|------|-----------------|-----|
| 第三篇  | 基本技能 .....      | 165 |
| 第九章  | 电力工程识图 .....    | 165 |
| 第一节  | 电气主接线 .....     | 165 |
| 第二节  | 识读二次回路图 .....   | 169 |
| 第四篇  | 专门技能 .....      | 178 |
| 第十章  | 运行维护 .....      | 178 |
| 第一节  | 概述 .....        | 178 |
| 第二节  | 变压器的运行维护 .....  | 180 |
| 第三节  | 断路器的运行维护 .....  | 183 |
| 第四节  | 隔离开关的运行维护 ..... | 186 |
| 第五节  | 互感器的运行维护 .....  | 187 |
| 第六节  | 母线的运行维护 .....   | 190 |
| 第七节  | 电容器的运行维护 .....  | 191 |
| 第十一章 | 电气操作 .....      | 193 |
| 第一节  | 概述 .....        | 193 |
| 第二节  | 电气操作的一般原则 ..... | 195 |
| 第三节  | 操作票填写 .....     | 196 |
| 第四节  | 操作票执行 .....     | 198 |
| 第五节  | 线路操作 .....      | 203 |
| 第六节  | 断路器操作 .....     | 203 |

|      |                           |     |
|------|---------------------------|-----|
| 第七节  | 母线操作·····                 | 204 |
| 第八节  | 变压器操作·····                | 205 |
| 第九节  | 电压互感器操作·····              | 207 |
| 第十节  | 并联补偿电容器操作·····            | 208 |
| 第十二章 | 异常处理·····                 | 209 |
| 第一节  | 变压器的异常处理·····             | 209 |
| 第二节  | 断路器及隔离开关的异常处理·····        | 214 |
| 第三节  | 母线的异常处理·····              | 218 |
| 第四节  | 互感器的异常处理·····             | 219 |
| 第五节  | 电容器的异常处理·····             | 224 |
| 第十三章 | 事故处理·····                 | 226 |
| 第一节  | 概述·····                   | 226 |
| 第二节  | 事故处理的一般规定·····            | 227 |
| 第三节  | 线路事故处理·····               | 229 |
| 第四节  | 变压器事故处理·····              | 231 |
| 第五节  | 母线事故处理·····               | 236 |
| 第六节  | 电容器事故处理·····              | 239 |
| 第七节  | 站用系统事故处理·····             | 240 |
| 第五篇  | 相关技能·····                 | 244 |
| 第十四章 | 安全工器具使用·····              | 244 |
| 第一节  | 安全工器具·····                | 244 |
| 第二节  | 安全防护用品·····               | 248 |
| 附录   | 110kV 变电运行岗位常用法律法规一览····· | 251 |
| 附图   | 110kV 黄金变电站的主接线图·····     | 252 |
| 参考文献 | ·····                     | 253 |

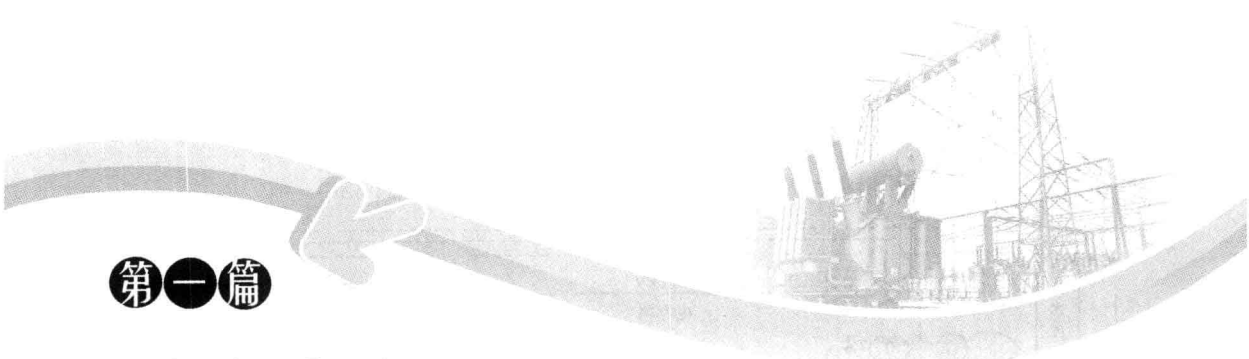


## 第一部分

# 知 识 部 分







## 第一篇

# 专门知识

## 第一章 电力系统分析

### 目的和要求:

1. 了解电力系统的基本概念;
2. 掌握电力系统中性点及其运行方式的基本知识;
3. 掌握电力系统发生短路的类型。

### 第一节 电力系统概述

#### 一、电力系统的基本组成

在电力工业发展的初期,发电厂都建在电能用户的附近,电厂的规模很小,而且是孤立运行的。但是,发电用的动力资源和电能用户往往不在一个地区,水能资源集中在河流水位落差较大的偏远山区,燃料资源则集中在产煤、石油、天然气的矿区。而大城市、大工业和其他用电大户,可能与动力资源地区相距甚远。水电只能通过高压输电线路把电能送到用户地区才能得到充分利用。火力发电厂虽然能通过燃料运输在用电地区建厂,但随着机组容量的增大,远距离大量运输燃料常常不如输电经济。于是就出现了所谓坑口电厂,即把火力发电厂建在矿区,通过升压变电站、高压输电线、降压变电站把电能送到离电厂较远的用户地区。水力发电厂则更要经过远距离输电才能把电能输送到负荷中心。随着高压输电技术的发展,在地理上相隔一定距离的发电厂就逐步联系起来并列运行,其规模越来越大,开始是在一个地区之内,后来发展到地区之间互相联系,形成庞大的系统。

发电厂、变电站、电能用户之间用电力线路连接起来,发电厂与热能用户之间用热力管道联系起来,构成电能和热能的统一生产、输送、分配和使用的总体称为动力系统。作为动力系统的一部分,包括发电厂的发电机、升压及降压变电站、电力线路及用电设备的部分则称为电力系统。而作为电力系统的一部分,包括变电站及不同电压等级的电力线路的部分称为电力网。图 1-1 所示为电力系统基本组成示意图。

#### 二、电能的生产、传输及变换

煤炭、石油、天然气、水利等随自然界演化生成的动力资源是能量的直接提供者,

称为一次能源。电能是由一次能源转换而成的，称为二次能源。

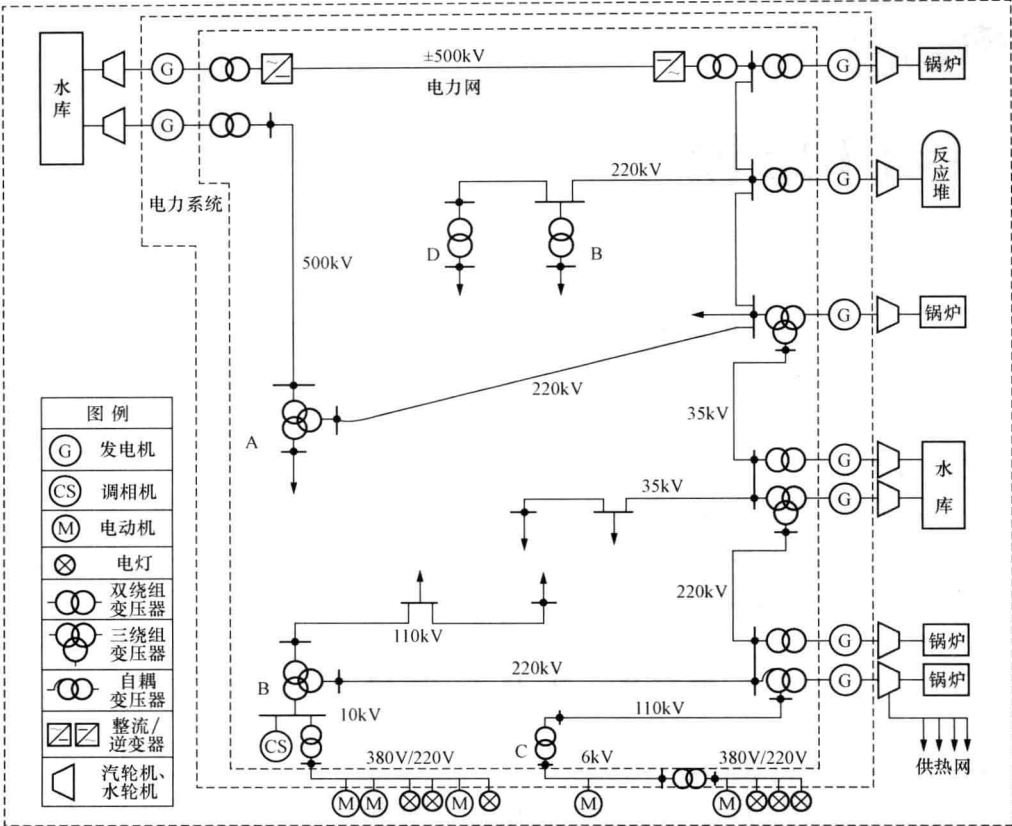


图 1-1 电力系统基本组成示意图

发电厂是生产电能的核心，担负着把不同种类的一次能源转换成电能的任务。依据使用一次能源的不同，发电厂被分成许多类型，如燃烧煤、石油、天然气发电的火力发电厂，利用水能发电的水力发电厂，利用核能发电的核动力电厂等。目前全世界的电源构成中，火力发电设备容量占的比重最大，是主要的发电方式。

火力发电消耗的煤、石油、天然气是几亿年来形成的矿物资源，它们不仅是能量的提供者，而且是很珍贵的化工原料。为了节约这些有多种用途的重要资源，除了积极发展水力发电、核动力发电之外，还正在开发新的能源。例如，潮汐发电、地热发电、太阳能发电、风力发电等方面都取得了有成效的进展。除了传统的发电方式外，为了提高能源资源的利用率，正在开展新型发电方式的研究，比较引人注意的有磁流体发电机、燃料电池等。当然，用新能源发电和新的发电方式在技术上尚不成熟，在经济上花费也太昂贵，因此尚不能与传统的发电方式相媲美。但是，随着技术的不断进步和能源资源构成的不断改变，它们必将逐步被用于生产中。

从发电厂发出的电能，一般都要通过输电线路送到各个用电地方，根据输送电能距离的远近，采用不同的高电压。从我国现在的电力情况看，送电距离为 200~300km 时

采用 220kV 的电压输电；在 100km 左右时采用 110kV；在 50km 左右时采用 35kV；在 15~20km 时采用 10kV，有的则用 6.6kV。输电电压在 110kV 以上的线路，称为超高压输电线路。在远距离送电时，我国还有 500kV 的超高压输电线路。

为什么要采用高压输电？这要从输电线路上的损耗的电功率谈起，当电流通过导线时，就会有一部分电能变为热能而被损耗。我国目前普遍采用的三相三线制交流输电线路上的损耗的电功率为

$$P_{\text{耗}} = 3I^2R$$

式中： $R$  为每一条输电线的电阻； $I$  为输电线路中的电流。

当输电导线截面面积  $S$  一定时，输电电压  $U$  越高，损耗的电功率  $P_{\text{耗}}$  就越小；如果允许损耗的电功率  $P_{\text{耗}}$  一定（一般不得超过输送功率的 10%），则电压越高，输电导线的截面就越小，可大大节省输电导线所用的材料。从减少输电线路的电功率损耗和节省输电导线所用材料两个方面来说，远距离输送电能要采用高电压或超高压。但也不能盲目地提高输电电压，因为输电电压越高，输电架空线的建设对所用各种材料的要求越严格，线路的造价就越高。所以，要从具体的实际情况出发，做到输电线路既能减少功率损耗，又能节约建设投资。

高压输电能减少电功率的损耗，但从发电方面看，发电机不能产生 220kV 的高电压，是因为发电机要产生高的电压，从它的用材、结构及安全运行生产等方面都有几乎无法克服的困难；从用电方面看，绝大多数的用电设备也不能在高电压下运行。这就决定了从发电、输电到用电要用到一系列电力变压器来升高或降低电压。

### 三、电力系统的电压等级

各种用电设备及发电机、变压器都是按一定的标准电压设计和制造的。因此当它们运行在标准电压下时，其技术经济性能指标都将发挥得最好，此标准电压就称为额定电压。

要满足用电设备对供电电压的要求，电力网应有自己的额定电压，并且规定电力网的额定电压和用电设备的额定电压相一致。

在图 1-2 中，线路  $ab$  有功率通过时，将有电压降存在，因而其首、末端电压不相等，分别为  $U_1$  和  $U_2$ ，接在线路中的用电设备  $LD1 \sim LD5$  所承受的电压也各不相同，为了使用电设备实际承受的电压尽可能接近额定电压值，应取线路的平均电压

$$U_{\text{av}} = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad (1-1)$$

使  $U_{\text{av}}$  等于用电设备的额定电压。

由于用电设备一般允许其实际电压偏离额定电压  $\pm 5\%$ ，而电力线路从首端至末端电压损耗允许为 10%，因此通常使线路首端的电压比额定电压高 5%，而使末端电压比额定电压低 5%，这样无论用电设备接在线路的哪一点，其承受的电压都不超过额定电压值的  $\pm 5\%$ 。

发电机总是接在线路的首端，所以它的额定电压应比所接电网的额定电压高 5%。

变压器具有发电机和用电设备的两重性。变压器的一次侧由电网接受电能，相当于用电设备；二次侧供出电能，又相当于发电机。因此规定：变压器一次侧的额定电压等

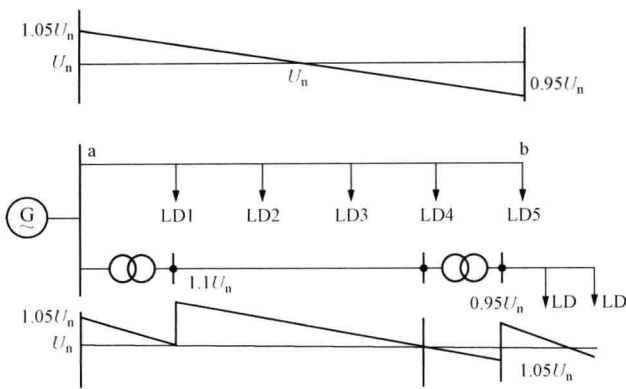


图 1-2 电力网各部分电压分布

电压损耗也比较小，规定这种变压器的二次侧额定电压比用电器额定电压高 5%。

三相交流输电线路传输的有功功率为

$$P=\sqrt{3}UI\cos\varphi \tag{1-2}$$

由式（1-2）可知，当输送的功率一定时，线路的电压越高，线路中的电流就越小，则所用的导线截面就可以减小，用于导线的投资也越小，同时线路中的功率损耗、电能损耗也都相应减少。但是电压越高，要求线路的绝缘水平越高，除去杆塔投资增大、线路走廊加宽外，变压器、断路器等投资也越大。上述表明，电压选得过高或过低都不合理，对应一定的输送功率和输送距离，应有一个合理的电压。当然这个合理的电压也不能是随意的数值，而只能是国家规定的标准电压中的一种。电力工业发展的经验表明：标准电压等级过多或过少都不利，过多使机电设备制造部门的生产复杂化，增大了设备成本，运行部门也因电压层次太多运行管理困难；过少使电力部门合理地选择电压等级有一定困难。综合考虑各种因素的影响，国家制定了适合我国国情的一系列标准电压，其中高于 1kV 的额定电压列于表 1-1 中。

表 1-1 电力系统的标准电压

| 用电设备额定电压<br>(kV) | 交流发电机额定电压<br>(kV) | 变压器额定电压 (kV) |            |
|------------------|-------------------|--------------|------------|
|                  |                   | 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  |
| —                | 15.75             | 15.75        | —          |
| 35               |                   | 35           | 38.5       |
| 60               |                   | 60           | 66         |
| 110              |                   | 110          | 121        |
| 154              |                   | 154          | 169        |
| 220              |                   | 220          | 242        |
| 330              |                   | 330          | 345 及 363  |
| 500              |                   | 500          | 525 及 550  |

注 1. 变压器一次绕组栏内的 3.15、6.3、10.5、15.75kV 电压适用于与发电机直接连接的变压器。

2. 变压器二次绕组栏内的 3.3、6.6、11kV 电压适用于阻抗在 7.5%以上的降压变压器。



四、电力系统负荷与负荷曲线

电力系统中接有为数众多、千差万别的用电设备，它们大致可分为异步电动机、同步电动机、各类电炉、整流设备、电子仪器、电灯等。它们分属于不同的工厂、企业、机关、居民区等，统称为电力系统的用户。用户是电力系统服务的对象，电力系统运行的好坏，归根结底要看对用户供电的质量如何而定。

用电设备从电力系统中取用的功率（有功与无功）称为负荷，因为用户用电设备的投入或停运对电力系统而言完全是随机的，所以用电负荷的大小是随时间而变化的。对于一大批用电设备，其负荷的变化虽仍有随机性，但却能显示出某种程度的规律性，这一规律性通过负荷曲线的描述可以看得比较清楚。所谓负荷曲线就是指在某一段时间内用电负荷大小随时间变化的曲线图。

用电设备的负荷包括有功负荷及无功负荷，因而负荷曲线也分成有功负荷曲线及无功负荷曲线。每类负荷曲线按时间段划分的不同还可分为日负荷曲线、年负荷曲线；按描述的负荷范围不同还可分为用户的负荷曲线、地区电网的负荷曲线及电力系统的负荷曲线。实际的负荷曲线是一条不间断的连续曲线，但在实际绘制时由于只能得到离散时间的实测（或估计）值，因此一般用折线法或阶梯法描绘。图 1-3 及图 1-4 所示为用这两种方法绘成的日有功负荷曲线。横坐标以小时为单位，长度为 24h，表示一天之内有功负荷的变化情况。日有功负荷曲线应用最广，故简称为负荷曲线。负荷曲线的最高点和最低点分别代表日最大负荷和日最小负荷，是电力系统运行中必须掌握的重要数据。日负荷曲线随时间延伸到 8760h，就构成了年有功负荷曲线。

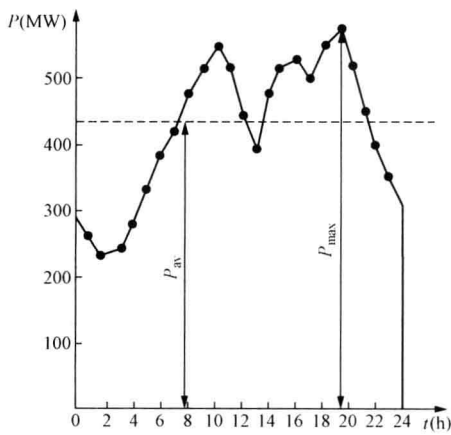


图 1-3 日有功负荷曲线（折线法）

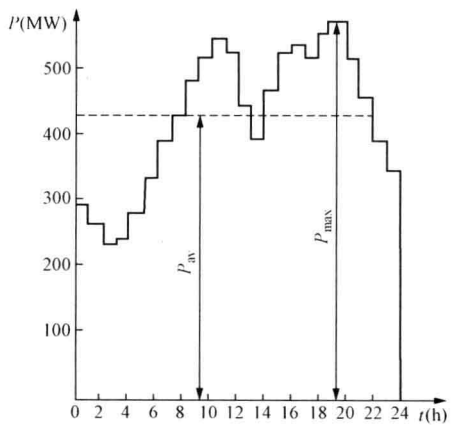


图 1-4 日有功负荷曲线（阶梯法）

和有功负荷相似，无功负荷也在一天中不断变化，但变化较平缓，因为像电动机和变压器这类设备，其励磁所需的无功功率仅与电压有关，并不随有功功率变化。

根据负荷曲线，可以计算出系统中用户的日用电量为

$$W = \int_0^{24} P dt \tag{1-3}$$

进而可以求出日平均负荷，即