

★ 岗位技能培训的必读教材 ★ 职业技能鉴定的培训用书 ★ 现场人员充电的理想读物



# 发电厂 电气设备及运行

胡志光 编著

- 一册在手，全面掌握发电厂电气设备知识与技能
- 突出反映新设备、新材料、新技术、新经验
- 注重解决生产过程中的实际问题



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 发电厂电气设备及运行

胡志光 编著



中国电力出版社

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

## 内 容 提 要

本书详尽介绍了发电厂一、二次电气设备的基本原理、结构类型、性能特点、技术参数、接线方式、运行维护、异常处理以及与发电厂运行紧密相关的电力系统专业知识。全书共分八章,内容包括:电力系统的运行;发电厂电气主接线及厂用电;发电厂电气设备的结构原理;同步发电机的运行;电力变压器的运行;厂用电电动机的运行;发电厂电气设备的控制与信号;发电厂的继电保护等。

本书内容全面,突出先进性和实用性,既可以作为发电厂电气运行人员的培训教材,亦可供大专院校师生和从事发电厂相关专业工作的工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

发电厂电气设备及运行/胡志光编著. —北京:中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-6742-2

I. 发… II. 胡… III. 发电厂-电气设备-运行  
IV. TM621.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 017283 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)  
汇鑫印务有限公司印刷  
各地新华书店经售

2008 年 9 月第一版 2008 年 9 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 23.625 印张 570 千字  
印数 0001—3000 册 定价 45.00 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

# 前 言

发电厂电气设备及运行

为适应发电厂生产建设快速发展的需要,进一步提高发电厂技术人员的运行维护水平,以保障发电机组的安全、可靠、高效、经济运行。作者为发电厂电气运行人员编写了本书,本书详尽介绍了发电厂一、二次电气设备的基本原理、结构类型、性能特点、技术参数、接线方式、运行维护、异常处理以及与发电厂运行紧密相关的电力系统专业知识。全书共分八章,内容包括:电力系统的运行;发电厂电气主接线及厂用电;发电厂电气设备的结构原理;同步发电机的运行;电力变压器的运行;厂用电动机的运行;发电厂电气设备的控制与信号;发电厂的继电保护等。本书努力反映发电厂电气部分的新技术、新设备、新工艺、新材料和新经验,突出实用性和先进性。本着理论联系实际的原则,简化电气设备选型、设计和计算内容,重点介绍发电厂电气设备的结构原理、运行特性、运行调整、运行维护和故障处理等内容,力求将发电厂的电气主接线、厂用电接线、一次电气设备、二次电气设备、发电机的运行、变压器的运行、电动机的运行和电力系统的运行融为一体,在理解电气设备工作原理的同时,全面反映发电厂电气设备的运行技术。努力做到术语准确、文字精练、插图简明、内容全面、通俗易懂。本书既可以作为发电厂电气运行人员的培训教材使用,亦可供大专院校师生和从事发电厂相关专业工作的工程技术人员参考。

本书在编写过程中,曾得到中国电力出版社张运东主任和华北电力大学有关老师的大力支持,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免出现漏误之处,恳请读者不吝指正。

编 者

# 目 录

发电厂电气设备及运行

## 前 言

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第一章 电力系统的运行         | 1  |
| 第一节 电力系统概述          | 1  |
| 一、电力系统的组成及其优越性      | 1  |
| 二、电力系统的特点及对其要求      | 2  |
| 三、电力系统的电压等级         | 4  |
| 四、电力系统的负荷           | 6  |
| 五、电力系统短路的基本概念       | 8  |
| 第二节 电力系统有功功率平衡和频率调整 | 10 |
| 一、频率调整的必要性          | 10 |
| 二、电力系统有功功率的平衡       | 10 |
| 三、系统负荷和电源的频率静态特性    | 12 |
| 四、电力系统的频率调整         | 13 |
| 五、调频电厂分类            | 15 |
| 六、系统频率异常的处理         | 15 |
| 第三节 电力系统无功功率平衡和电压调整 | 17 |
| 一、电压调整的必要性          | 17 |
| 二、电力系统无功功率的平衡       | 18 |
| 三、电压中枢点调压方式         | 20 |
| 四、电力系统的调压措施         | 21 |
| 五、系统电压异常的处理         | 22 |
| 第四节 电力系统运行的稳定性      | 23 |
| 一、电力系统稳定概述          | 23 |
| 二、电力系统的静态稳定         | 24 |
| 三、电力系统的暂态稳定         | 27 |
| 四、提高系统稳定的措施         | 29 |
| 第五节 电力系统中性点的接地方式    | 30 |
| 一、中性点不接地系统          | 30 |
| 二、中性点经消弧线圈接地系统      | 31 |
| 三、中性点经电阻接地系统        | 32 |
| 四、中性点直接接地系统         | 33 |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 五、各种接地方式比较 .....              | 33        |
| 六、中性点接地方式选择 .....             | 35        |
| <b>第二章 发电厂电气主接线及厂用电 .....</b> | <b>37</b> |
| <b>第一节 发电厂的电气主接线 .....</b>    | <b>37</b> |
| 一、对电气主接线的基本要求 .....           | 37        |
| 二、电气主接线的基本接线形式 .....          | 39        |
| 三、大型火电厂主接线的特点 .....           | 43        |
| <b>第二节 发电厂电气设备的倒闸操作 .....</b> | <b>44</b> |
| 一、操作票填写的内容 .....              | 44        |
| 二、倒闸操作的步骤 .....               | 44        |
| 三、倒闸操作的原则 .....               | 45        |
| 四、对倒闸操作的基本要求 .....            | 46        |
| 五、倒闸操作注意事项 .....              | 47        |
| <b>第三节 发电厂的厂用电 .....</b>      | <b>48</b> |
| 一、厂用电和厂用电率 .....              | 48        |
| 二、厂用电压等级 .....                | 48        |
| 三、厂用电源分类 .....                | 49        |
| 四、厂用负荷分类 .....                | 51        |
| 五、厂用电接线基本形式 .....             | 55        |
| 六、厂用电接线实例 .....               | 55        |
| <b>第四节 发电厂的直流电源 .....</b>     | <b>57</b> |
| 一、直流电源系统概述 .....              | 57        |
| 二、蓄电池的结构和工作原理 .....           | 57        |
| 三、整流充电设备的工作原理 .....           | 61        |
| 四、直流系统的接线 .....               | 64        |
| 五、直流系统的运行维护 .....             | 64        |
| 六、直流系统的常见故障处理 .....           | 66        |
| <b>第五节 发电厂的交流不停电电源 .....</b>  | <b>67</b> |
| 一、UPS 的组成和工作原理 .....          | 67        |
| 二、UPS 组件的功能 .....             | 69        |
| 三、UPS 的技术参数 .....             | 69        |
| 四、逆变器的基本原理 .....              | 70        |
| 五、UPS 的运行方式 .....             | 70        |
| 六、UPS 的运行维护 .....             | 71        |
| <b>第六节 发电厂的交流事故保安电源 .....</b> | <b>71</b> |
| 一、交流事故保安电源的接线 .....           | 71        |
| 二、柴油发电机组的功能 .....             | 72        |
| 三、柴油发电机组的技术参数 .....           | 73        |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 四、柴油发电机组的运行维护 .....           | 75        |
| 五、柴油发电机组的常见故障处理 .....         | 76        |
| <b>第三章 发电厂电气设备的结构原理 .....</b> | <b>80</b> |
| 第一节 绝缘子、母线和电缆 .....           | 80        |
| 一、绝缘子 .....                   | 80        |
| 二、母线 .....                    | 84        |
| 三、电力电缆 .....                  | 87        |
| 第二节 高压断路器 .....               | 89        |
| 一、高压断路器的类型 .....              | 89        |
| 二、高压断路器的基本结构 .....            | 89        |
| 三、高压断路器的型号 .....              | 90        |
| 四、高压断路器的技术参数 .....            | 90        |
| 五、SF <sub>6</sub> 断路器 .....   | 92        |
| 六、真空断路器 .....                 | 96        |
| 第三节 隔离开关、熔断器和负荷开关 .....       | 100       |
| 一、隔离开关 .....                  | 100       |
| 二、熔断器 .....                   | 102       |
| 三、负荷开关 .....                  | 105       |
| 第四节 互感器 .....                 | 106       |
| 一、互感器的作用 .....                | 106       |
| 二、电流互感器 .....                 | 107       |
| 三、电压互感器 .....                 | 111       |
| 第五节 过电压保护设备 .....             | 117       |
| 一、过电压的分类及特点 .....             | 117       |
| 二、避雷针的结构及保护范围 .....           | 119       |
| 三、避雷线的结构及保护范围 .....           | 121       |
| 四、避雷器的结构及特点 .....             | 122       |
| 第六节 接地装置 .....                | 124       |
| 一、接地的有关概念 .....               | 124       |
| 二、接地的类型 .....                 | 125       |
| 三、接触电压和跨步电压 .....             | 126       |
| 四、工频接地电阻允许值 .....             | 126       |
| 五、接地装置的敷设 .....               | 127       |
| 六、降低接地电阻的方法 .....             | 128       |
| 七、人体触电的有关概念 .....             | 129       |
| 第七节 低压开关电器 .....              | 131       |
| 一、刀开关 .....                   | 131       |
| 二、接触器 .....                   | 132       |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 三、磁力启动器·····                   | 133        |
| 四、自动空气开关·····                  | 135        |
| <b>第四章 同步发电机的运行·····</b>       | <b>139</b> |
| <b>第一节 同步发电机的基本知识·····</b>     | <b>139</b> |
| 一、同步发电机的工作原理·····              | 139        |
| 二、同步发电机的基本结构·····              | 140        |
| 三、发电机的主要技术参数·····              | 141        |
| 四、发电机的电动势方程、等值电路和相量图·····      | 142        |
| 五、汽轮发电机的氢、油、水系统·····           | 143        |
| <b>第二节 同步发电机的励磁系统·····</b>     | <b>147</b> |
| 一、发电机励磁系统的组成和作用·····           | 147        |
| 二、发电机的励磁方式·····                | 148        |
| 三、发电机静态励磁系统概述·····             | 151        |
| 四、发电机静态励磁系统的技术参数·····          | 153        |
| 五、发电机励磁调节器的构成和功能·····          | 154        |
| <b>第三节 同步发电机的运行特性·····</b>     | <b>157</b> |
| 一、发电机的空载特性·····                | 157        |
| 二、发电机的短路特性·····                | 157        |
| 三、发电机的负载特性·····                | 157        |
| 四、发电机的外特性·····                 | 158        |
| 五、发电机的调整特性·····                | 158        |
| 六、发电机的功角特性·····                | 158        |
| <b>第四节 发电机的启、停操作和运行监视·····</b> | <b>159</b> |
| 一、启动前的准备·····                  | 159        |
| 二、启动·····                      | 159        |
| 三、升压·····                      | 160        |
| 四、并列·····                      | 160        |
| 五、负荷接带·····                    | 161        |
| 六、运行监视·····                    | 161        |
| 七、解列与停机·····                   | 162        |
| <b>第五节 同步发电机的正常运行与调整·····</b>  | <b>163</b> |
| 一、发电机的安全运行极限·····              | 163        |
| 二、发电机的允许运行方式·····              | 164        |
| 三、发电机的有功调整·····                | 166        |
| 四、发电机的励磁电流调整·····              | 167        |
| <b>第六节 同步发电机的进相运行·····</b>     | <b>168</b> |
| 一、发电机进相运行的目的·····              | 168        |
| 二、发电机进相运行时的相量图·····            | 168        |



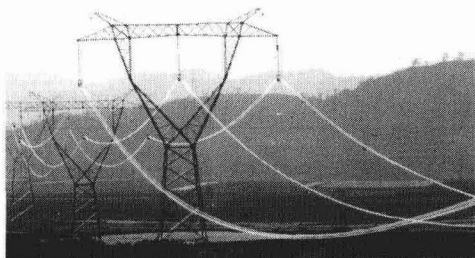
|                   |     |
|-------------------|-----|
| 三、发电机进相运行的特点      | 169 |
| 四、发电机进相运行的限制条件    | 171 |
| 五、发电机进相运行的规定      | 171 |
| 第七节 同步发电机的调相运行    | 172 |
| 一、发电机调相运行的目的      | 172 |
| 二、发电机作调相运行的状态分析   | 173 |
| 三、发电机作调相运行的限制因素   | 175 |
| 四、发电机作调相运行时的启动方式  | 175 |
| 第八节 发电机的异常运行与事故处理 | 176 |
| 一、发电机的过负荷运行       | 176 |
| 二、发电机的失磁异步运行      | 177 |
| 三、发电机的不对称运行       | 179 |
| 四、发电机振荡与失步的事故处理   | 182 |
| 五、发电机出口断路器跳闸的事故处理 | 182 |
| 六、发电机的其他事故处理      | 183 |
| 第五章 电力变压器的运行      | 186 |
| 第一节 电力变压器的基本知识    | 186 |
| 一、变压器的基本工作原理      | 186 |
| 二、变压器的分类和型号       | 187 |
| 三、变压器的主要技术参数      | 188 |
| 四、变压器的连接组别        | 190 |
| 五、变压器的冷却方式        | 192 |
| 第二节 油浸式电力变压器      | 193 |
| 一、铁心              | 193 |
| 二、绕组              | 195 |
| 三、油箱              | 197 |
| 四、变压器油            | 200 |
| 五、套管              | 200 |
| 六、分接开关            | 201 |
| 七、风冷却器            | 203 |
| 八、片式散热器           | 204 |
| 九、储油柜             | 205 |
| 十、气体继电器           | 205 |
| 十一、压力释放阀          | 206 |
| 十二、变压器温度计         | 208 |
| 第三节 分裂变压器和自耦变压器   | 210 |
| 一、分裂变压器           | 210 |
| 二、自耦变压器           | 212 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第四节 树脂浇注干式变压器      | 216 |
| 一、干式变压器的性能特点       | 216 |
| 二、干式变压器的结构特点       | 216 |
| 三、干式变压器的温度计        | 217 |
| 四、干式变压器的使用条件       | 217 |
| 五、干式变压器的运行维护       | 218 |
| 第五节 变压器的运行分析       | 219 |
| 一、单相变压器空载运行分析      | 219 |
| 二、单相变压器负载运行分析      | 221 |
| 三、变压器的运行性能         | 224 |
| 第六节 变压器的运行方式       | 226 |
| 一、允许温度与允许温升        | 226 |
| 二、允许电压变化范围         | 227 |
| 三、允许绕组的绝缘电阻值       | 227 |
| 四、变压器的正常过负荷        | 228 |
| 五、变压器的事事故过负荷       | 230 |
| 六、变压器的并列运行         | 230 |
| 第七节 变压器的运行维护       | 231 |
| 一、变压器投入运行前的检查和交接试验 | 231 |
| 二、变压器运行中的监视与检查     | 233 |
| 三、变压器的运行维护         | 234 |
| 四、变压器冷却装置的运行       | 234 |
| 第八节 变压器事故预防及处理     | 235 |
| 一、变压器事故预防          | 235 |
| 二、变压器的常见故障分析       | 235 |
| 三、变压器的异常判断及事故处理    | 236 |
| 第六章 厂用电电动机的运行      | 239 |
| 第一节 直流电动机的基本知识     | 239 |
| 一、直流电动机的工作原理       | 239 |
| 二、直流电动机的基本结构       | 240 |
| 三、直流电动机的额定参数       | 242 |
| 四、直流电动机的型号和分类      | 243 |
| 五、直流电动机的工作特性       | 243 |
| 六、直流电动机的运行监视       | 244 |
| 七、直流电动机的异常与事故处理    | 245 |
| 第二节 异步电动机的基本知识     | 246 |
| 一、三相异步电动机的工作原理     | 246 |
| 二、三相异步电动机的基本结构     | 247 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 三、三相异步电动机的额定参数·····           | 249        |
| 四、三相异步电动机的型号和分类·····          | 251        |
| 五、三相异步电动机的等值电路和相量图·····       | 251        |
| 六、三相异步电动机的转矩特性·····           | 253        |
| 第三节 异步电动机的启动和自启动·····         | 256        |
| 一、三相异步电动机的启动·····             | 256        |
| 二、三相异步电动机的自启动·····            | 260        |
| 第四节 异步电动机的调速方法·····           | 262        |
| 一、电动机的变极调速·····               | 262        |
| 二、电动机的变频调速·····               | 264        |
| 三、电动机的变转差调速·····              | 265        |
| 四、电磁转差离合器调速·····              | 267        |
| 第五节 异步电动机的控制·····             | 268        |
| 一、电动机的直接启动控制·····             | 268        |
| 二、电动机的降压启动控制·····             | 269        |
| 三、电动机转子绕组串电阻启动控制·····         | 270        |
| 四、电动机的正反转控制·····              | 271        |
| 五、电动机的变极调速控制·····             | 272        |
| 六、电动机的制动控制·····               | 274        |
| 第六节 异步电动机的运行维护·····           | 276        |
| 一、电动机的允许运行条件·····             | 276        |
| 二、电动机的运行维护·····               | 278        |
| 三、电动机的事故预防与事故处理·····          | 280        |
| <b>第七章 发电厂电气设备的控制与信号·····</b> | <b>282</b> |
| 第一节 发电厂的二次接线图·····            | 282        |
| 一、二次接线图的内容·····               | 282        |
| 二、二次接线图的表示方法及图形、文字符号·····     | 282        |
| 三、原理接线图·····                  | 285        |
| 四、安装图·····                    | 286        |
| 第二节 断路器的远方控制·····             | 293        |
| 一、控制开关·····                   | 293        |
| 二、对控制回路的基本要求及分类·····          | 295        |
| 三、灯光监视的断路器控制和信号回路·····        | 295        |
| 四、音响监视的断路器控制和信号回路·····        | 298        |
| 第三节 隔离开关的防误闭锁·····            | 301        |
| 一、机械闭锁·····                   | 301        |
| 二、电气闭锁·····                   | 301        |
| 三、微机防误闭锁装置·····               | 305        |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第四节 信号装置            | 306 |
| 一、信号的作用和分类          | 306 |
| 二、事故信号              | 307 |
| 三、预告信号              | 309 |
| 第五节 监察装置和闪光装置       | 311 |
| 一、直流绝缘监察装置          | 311 |
| 二、直流电压监察装置          | 313 |
| 三、闪光装置              | 313 |
| 四、交流绝缘监察装置          | 314 |
| 第六节 厂用电源快切装置        | 314 |
| 一、厂用电源切换方式分类        | 314 |
| 二、快速切换、同期捕捉切换、残压切换  | 315 |
| 三、厂用电源快切装置的组成       | 318 |
| 四、厂用电源快切装置的特点       | 319 |
| 五、厂用电源快切装置的技术参数     | 320 |
| 六、快切装置的功能选择与参数设置    | 321 |
| 七、厂用电源快切装置的运行维护     | 322 |
| 第七节 自动准同期装置         | 323 |
| 一、发电机的并列方式          | 323 |
| 二、准同期并列的条件          | 323 |
| 三、自动准同期装置的组成        | 325 |
| 四、实现自动准同期的方法        | 325 |
| 五、微机准同期控制器的硬件组成     | 326 |
| 六、微机准同期控制器的功能       | 328 |
| 第八章 发电厂的继电保护        | 330 |
| 第一节 继电保护的基本知识       | 330 |
| 一、继电保护的作用           | 330 |
| 二、继电保护的基本组成         | 330 |
| 三、继电保护的基本原理         | 331 |
| 四、对继电保护的基本要求        | 331 |
| 五、继电器分类             | 332 |
| 六、继电保护分类            | 333 |
| 七、大型发电机组继电保护的总体配置   | 334 |
| 第二节 发电机的继电保护        | 338 |
| 一、发电机的故障和异常类型及其保护方式 | 338 |
| 二、发电机的纵差动保护         | 338 |
| 三、发电机的匝间短路保护        | 339 |
| 四、发电机定子绕组单相接地保护     | 340 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 五、发电机励磁回路的接地保护·····      | 343 |
| 六、发电机的失磁保护·····          | 344 |
| 第三节 变压器的继电保护·····        | 344 |
| 一、变压器的故障和异常类型及其保护方式····· | 344 |
| 二、变压器的瓦斯保护·····          | 345 |
| 三、变压器的纵差动保护·····         | 347 |
| 四、变压器的过电流保护·····         | 347 |
| 五、变压器的零序保护·····          | 349 |
| 六、变压器的过励磁保护·····         | 351 |
| 第四节 电动机的继电保护·····        | 352 |
| 一、电动机的故障和异常类型及其保护方式····· | 352 |
| 二、电动机的电流速断保护·····        | 352 |
| 三、电动机的纵差动保护·····         | 353 |
| 四、电动机的零序电流保护·····        | 353 |
| 五、电动机的过负荷保护·····         | 354 |
| 第五节 输电线路的高频保护·····       | 355 |
| 一、高频保护的作用及分类·····        | 355 |
| 二、高频通道的构成·····           | 355 |
| 三、相差动高频保护·····           | 356 |
| 四、高频闭锁方向保护·····          | 358 |
| 第六节 微机保护装置简介·····        | 359 |
| 一、微机保护装置的特点·····         | 360 |
| 二、微机保护装置的硬件构成·····       | 361 |
| 三、微机保护装置的软件构成·····       | 361 |
| 四、微机保护装置的发展趋势·····       | 362 |
| 参考文献·····                | 364 |



# 第一章

## 电力系统的运行

### 第一节 电力系统概述

#### 一、电力系统的组成及其优越性

##### 1. 电力系统的组成

发电机将机械能转化为电能，通过变压器、电力线路把电能输送、分配给电动机、电炉、电灯等用电设备，这些用电设备将电能转化为机械能、热能、光能等。这些生产、输送、分配、消耗电能的发电机、变压器、电力线路、各种用电设备联系在一起组成的统一整体就叫做电力系统，如图 1-1 所示。

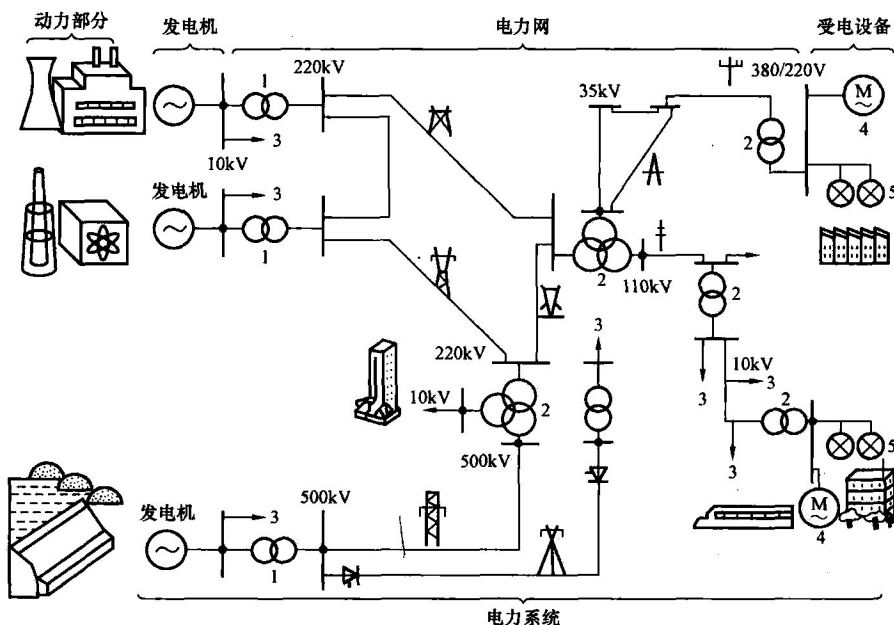


图 1-1 电力系统和电力网络示意图

1—升压变压器；2—降压变压器；3—负荷；4—电动机；5—电灯

与电力系统相关联的还有动力系统和电力网络。由电力系统和动力部分组成的整体叫做动力系统。动力部分包括火力发电厂的锅炉、汽轮机、热力网和用热设备，水力发电厂的水库、水轮机以及核电厂的核反应堆等。由升降压变压器和各种不同电压等级的电力线路所组成的网络叫做电力网络，也称电力网或电网。电力网是电力系统的重要组成部分。主要承担输送电能任务的电网称为输电网。输电网的电压较高，110~220kV 的输电网称为高压输电网，330~750kV 的输电网称为超高压输电网，1000kV 及以上的输电网称为特高压输电网。

主要承担分配电能任务的电网称为配电网。配电网的电压较低，3~35kV 的配电网称为高压配电网，380/220V 的配电网称为低压配电网。

将两个或两个以上的小型电力系统用电网连接起来并列运行，即可组成地区性电力系统。将若干个地区性电力系统用电网连接起来，即可组成区域性电力系统。将若干个区域性电力系统用电网连接起来，就可形成跨省（区）甚至跨国界的电力系统。

## 2. 大电力系统的优越性

(1) 提高供电可靠性和电能质量。因为大电力系统中备用发电机组较多，容量也比较大，个别机组发生故障对系统影响较小，从而提高了供电可靠性。此外，当电力系统容量较大时，个别负荷变动，即使是较大的冲击负荷，也不会造成系统电压和频率的明显变化，故可增强抵抗事故能力，提高电网安全水平，改善电能质量。

(2) 可减少系统的装机容量，提高设备利用率。大电力系统往往占有很大的地域，因为存在时差和季差，各小系统中最大负荷出现的时间就不同，综合起来的最大负荷，也将小于各小系统最大负荷相加的总和。因此，大电力系统中总的装机容量可以减少。同时，备用容量也可以减少。如果装机容量一定，则可提高设备的利用率，增加供电量。

(3) 便于安装大机组，降低造价。在 100~1000 万 kW 电力系统中，最经济的单机容量为系统总容量的 6%~10%。可见，系统容量越大，越便于安装大机组。而大机组每千瓦设备的投资、生产每千瓦时电能的燃料消耗厂用电率和维修费用都比小机组的小。从而可节约投资，降低煤耗，降低运行费用，提高劳动生产率，加快电力建设速度。

(4) 合理利用各种资源，提高运行的经济性。水电厂发电易受季节影响，在夏秋丰水期水量过剩，在冬春枯水期水量短缺，水电厂容量占的比例较大的系统，将造成枯水期缺电，丰水期弃水的后果。将水电比例较大的系统与火电比例较大的系统连接起来并列运行，丰水期水电厂多发电，火电厂少发电并适当安排检修；枯水期火电厂多发电，水电厂少发电并安排检修。这样既能充分利用水利资源，又能减少燃料消耗，从而降低电能成本，提高运行的经济性。

## 二、电力系统的特点及对其要求

### 1. 电力系统的特点

(1) 电能的生产和消费具有同时性。电力系统中电能的生产和消费每时每刻都保持着平衡关系，即发电厂任何时刻生产的电能都等于该时刻所有用电设备消耗电能之和。在电力系统中发电、输电、变电、配电和用电的任何一个环节的电气设备发生故障，都会影响电能的生产和供应。因此，必须通过优化和调整等手段，使这种平衡关系维持在正常范围之内。

(2) 电磁变化过程十分迅速。电是以光速传播的。改变系统的运行状态是在极短的时间内完成的，系统故障失去稳定的过程也非常短暂。因此，正常运行或故障处理所进行的一系列操作和调整仅靠人工不能达到满意的效果，甚至不能达到预期的目的，必须利用各种自动装置来完成这些任务。

(3) 电力系统和国民经济各部门之间有密切的关系。现代工业、农业、交通运输等部门都以电为动力进行生产。电能以其便于输送、便于集中管理、便于转换、便于自动控制、使用方便和利用率高为显著优点而得到广泛应用。电能国民经济的发展和人民生活水平方面发挥着越来越重要的作用。因此，电力系统也应不断发展壮大，并留有足够的备用容量

满足社会发展的需要。

(4) 电力系统的地区性特点较强。由于电力系统的电源结构与资源分布情况和特点有关,而负荷结构却与工业布局、城市规划、电气化水平有关。至于输电线路的电压等级、线路配置等则与电源与负荷间的距离、负荷的集中程度等有关。因此,各个电力系统的组成情况不尽相同。应根据本地区的特点规划、建设和发展电力系统。

## 2. 对电力系统的要求

(1) 最大限度地满足用户的用电需要,为国民经济各个部门提供充足的电力。为此,首先应按照电力先行的原则,做好电力系统的发展规划,确保电力工业的建设优先于其他工业部门。其次,还要加强现有电力设备的运行维护,以充分发挥潜力,防止事故发生。

(2) 保证供电的可靠性。运行经验证明,电力系统中的大事故,往往是由小事故引起的;整体性事故往往是由局部性事故发展扩大而造成的。因此,要保证对用户供电的可靠性,就要对每一个发电、输电、变电、配电和用电设备都经常进行监视、维护,并进行定期的预防性试验和检修,使设备处于完好的运行状态。严格执行规章制度,不断提高运行人员的运行维护水平,采用技术先进、性能可靠和自动化程度高的电气设备,扩大系统容量和改善环境条件等都是提高供电可靠性的重要手段。

随着科学技术的发展,供电可靠性正在不断提高,但是保证对所有用户绝对可靠供电是困难的。考虑到不同用户的重要性及因停电造成的损失大小,按其供电可靠性的不同要求,将负荷分为三级。

一级负荷:中断供电将造成人身伤亡或造成重大经济损失,以及中断供电将造成重大政治影响或市政秩序严重混乱者。

二级负荷:中断供电将造成较大经济损失或较大政治影响者,以及中断供电将造成公共场所秩序混乱者。

三级负荷:凡不属于一、二级负荷者均为三级负荷,该级负荷无特殊供电要求。

电力系统的运行人员应认真分析各负荷的重要程度,以便必要时根据具体情况,区别对待。

(3) 保证良好的电能质量。所谓电能质量,是指电压、频率、波形三个技术指标,尤其前两个最重要。用电设备是按额定电压设计的,实际供电电压过高或过低都会使设备的运行技术经济指标下降,甚至不能工作。我国规定的电气设备允许电压偏移一般不超过额定电压的 $\pm 5\%$ 。频率的变化同样影响电气设备的正常工作,并且对电力系统本身也有严重危害。我国规定电力系统的标准频率是 50Hz,对于 300 万 kW 以上的系统,允许偏差不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ ;300 万 kW 及以下的系统,允许偏差不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。另外,电能质量标准中还要求电压波形为正弦波。由于某些用电设备,如热轧机、电弧炉、电焊机,晶闸管控制的电动机、电解整流装置等,向电网输出高次谐波电流,影响电源电压波形,使正弦波发生畸变,严重时会使继电保护装置、自动控制装置和计算机监控系统等发生误动作。因此,要求任一高次谐波的瞬时值不得超过同相基波电压瞬时值的 5%。

(4) 保证电力系统运行的经济性。提高电力系统运行的经济性,就是使电力系统在运行中做到最大限度地降低燃料消耗,降低厂用电率和网损率。电能的生产规模很大,消耗的能源在国民经济能源总消耗中占的比重很大。因此,采取合理利用能源、降低发电成本、使负荷在各发电厂之间合理分配、使发电机组实现优化组合等措施,均会产生极大的经济效益。



三、电力系统的电压等级

图 1-2 为电力系统电压分层结构示意图。超高压 500kV 主要用于大功率、远距离输送和跨省联络线，并正在逐步形成跨省互联的网络；高压 220kV 主要形成大电网主干网架；110kV 用于中、小系统的主干线，也用于大电力系统的二次网络；城市配电网目前主要采用 10kV 和 35kV 电压等级。随着城市电力需求的增长，配电网的电压升高，将形成 110kV 配电网。这种划分不是绝对的，要根据具体情况，经过论证分析后决定。

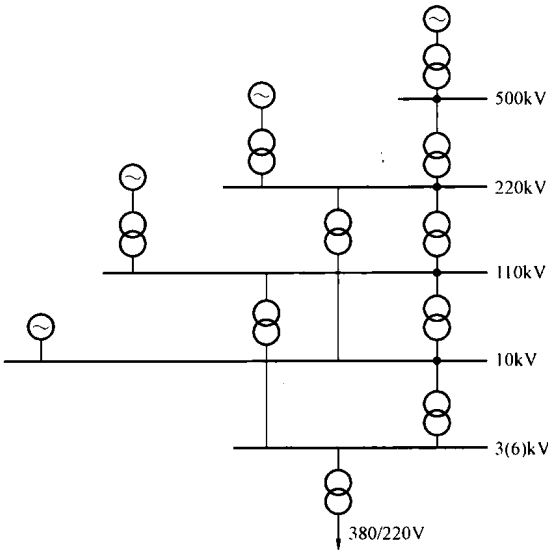


图 1-2 电力系统电压分层结构示意图

电力系统基本结构形态的接线大致可以分为无备用和有备用两种类型。无备用接线的用户只有一个电源，主要优点是简单、经济、运行方便，其缺点是供电可靠性差，所以它一般不能用于对第一、二类负荷的供电。有备用接线的用户有两个和

两个以上的电源对其供电，其优点是供电可靠，能保证对第一、二类负荷的供电，但其缺点是运行操作和继电保护复杂，投资费用也较大。

图 1-3 为电力网各部分电压分布示意图。三相输送功率  $S$  和线电压  $U$ 、线电流  $I$  之间的关系为  $S = \sqrt{3}UI$ 。输送功率一定说，输电电压愈高，电流愈小，导线截面愈小，投资愈小。但电压愈高，杆塔、变压器、断路器等绝缘的投资也愈大。综合考虑这些因素，对应一定的输送功率和输送距离，有一个合理的线路电压。但从设备制造角度考虑，为保证生产的系列性，又不任任意确定线路电压。考虑上述原因根据我国实际情况，并参考国外的标准，确定了我国电力系统的标称电压等级。新制定的国家标准电压（即 GB 156—1993《标准电压》）规定，3kV 及以上的交流三相系统的标称电压值及电气设备的最高电压值见表 1-1。

从表 1-1 可知，新的标准电压中将以前的电力系统（电力网）额定电压改称电力系统标称电压，并且将 20kV 列入国家标准，同时规定了电气设备的最高电压值，即电气设备正常

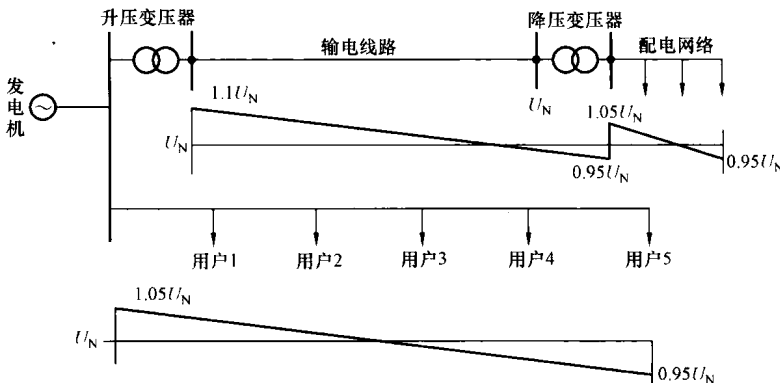


图 1-3 电力网各部分电压分布示意图