

中等专业学校教学用书

# 工业企业供电

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

**工业企业供电**

吉林冶金电气化学校 丁昱 编

\*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

787×1092 1/16 印张26 1/2 字数630千字

1982年6月第一版 1982年6月第一次印刷

印数 00,001~13,500 册

统一书号: 15062·3677 定价2.10元

## 前 言

本书是根据一九七八年冶金部中等专业学校教材工作会议制订的电气化专业教学计划和《工业企业供电》课程教学大纲编写的。

书中内容共分十一章。前三章除简单介绍了发电厂、变电所以及电力系统的基本知识以外，着重对工业企业供电系统、高低压供电线路、变电所结构以及常用的各种电器的结构、工作原理等，作了深入的叙述。四到六章为有关理论计算内容，着重讲述电力负荷计算、短路电流计算以及导线截面和电器选择的原理和具体方法等。在七、八、九三章里集中叙述变电所的二次结线系统，对工业企业供电系统中所用的各种继电保护装置、控制回路、信号以及自动装置等，都作了全面系统的叙述。在最后两章里介绍了功率因数提高、无功功率的补偿以及防雷和保安接地与接零等问题。在各章的最后均附有复习思考题和习题。

书中适当介绍了国内外新成就新技术，如原子能发电厂、金属全封闭型高压成套装置、无功功率的动态补偿以及由晶体管组成适用于企业的各种继电保护装置和自动重合闸装置等。

由于篇幅所限书中部分内容以小字印刷。如果教学时间不足，也可以将此部分内容作为学生课外自学内容，各校可自行取舍。

本书作为中专电气化专业《工业企业供电》课程的教材，也可以供大专有关专业的师生或工厂有关技术人员的参考。

本书曾由鞍山冶金工业学校和吉林冶金电气化学校的部分同志审阅，并提出了许多宝贵意见，特在此致以衷心感谢。

由于编者水平所限，书中内容难免有不妥和错误之处，请读者提出批评和指正。

编 者

1980年3月

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一章 概述                       | 1   |
| 1—1 电力系统的一般概念                | 1   |
| 1—2 工业企业供电系统                 | 8   |
| 1—3 电力网的电压等级                 | 10  |
| 1—4 三相电力系统中性点工作状态            | 12  |
| 第二章 电器                       | 17  |
| 2—1 高压断路器的概述                 | 17  |
| 2—2 多油高压断路器                  | 21  |
| 2—3 少油高压断路器                  | 25  |
| 2—4 六氟化硫户内高压断路器              | 31  |
| 2—5 真空高压断路器                  | 34  |
| 2—6 高压空气断路器和产气式断路器           | 35  |
| 2—7 高压断路器的操作机构               | 37  |
| 2—8 隔离开关                     | 42  |
| 2—9 高压负荷开关                   | 47  |
| 2—10 熔断器                     | 48  |
| 2—11 低压开关设备                  | 57  |
| 2—12 电流互感器                   | 62  |
| 2—13 电压互感器                   | 69  |
| 第三章 工业企业供电系统和变电所             | 75  |
| 3—1 高压架空线路                   | 75  |
| 3—2 高压电力电缆线路                 | 81  |
| 3—3 工业企业厂区供电方式               | 86  |
| 3—4 车间供电方式                   | 88  |
| 3—5 车间低压线路的敷设                | 89  |
| 3—6 变电所的一次结线系统               | 92  |
| 3—7 总降压变电所与高压成套配电装置          | 95  |
| 3—8 车间变电所与低压配电屏              | 106 |
| 第四章 导线截面选择                   | 112 |
| 4—1 负荷计算                     | 112 |
| 4—2 按允许发热条件选择导线和电缆截面         | 125 |
| 4—3 熔断器熔件的额定电流和自动空气开关整定电流的选择 | 129 |
| 4—4 线路电压损失                   | 132 |
| 4—5 按允许电压损失选择导线截面            | 140 |
| 4—6 按经济电流密度选择导线截面            | 144 |
| 第五章 短路电流                     | 149 |
| 5—1 概述                       | 149 |

|      |                            |     |
|------|----------------------------|-----|
| 5—2  | 短路电流的变化过程 .....            | 151 |
| 5—3  | 短路回路的阻抗 .....              | 156 |
| 5—4  | 短路电流计算 .....               | 163 |
| 5—5  | 短路电流电动力效应 .....            | 176 |
| 5—6  | 短路电流热效应 .....              | 179 |
| 第六章  | 电器选择 .....                 | 184 |
| 6—1  | 电器选择的一般条件 .....            | 184 |
| 6—2  | 开关电器的选择 .....              | 185 |
| 6—3  | 电流互感器的选择 .....             | 187 |
| 6—4  | 电压互感器的选择 .....             | 190 |
| 第七章  | 线路继电保护 .....               | 192 |
| 7—1  | 继电保护的基本知识 .....            | 192 |
| 7—2  | 晶体管保护装置的基本环节 .....         | 205 |
| 7—3  | 线路过电流保护装置 .....            | 223 |
| 7—4  | 电流速断保护装置 .....             | 233 |
| 7—5  | 电流方向保护装置 .....             | 238 |
| 7—6  | 接地保护装置 .....               | 242 |
| 第八章  | 变压器与高压电动机的继电保护 .....       | 249 |
| 8—1  | 变压器过流与过负荷保护装置 .....        | 250 |
| 8—2  | 变压器电流速断保护装置 .....          | 255 |
| 8—3  | 变压器差动保护的基本原理 .....         | 258 |
| 8—4  | 晶体管差动保护装置 .....            | 263 |
| 8—5  | 由BCH-2型继电器构成的差动保护装置 .....  | 270 |
| 8—6  | 变压器瓦斯保护 .....              | 277 |
| 8—7  | 变压器保护装置实例图 .....           | 280 |
| 8—8  | 高压电动机过电流保护 .....           | 280 |
| 8—9  | 高压电动机差动保护与单相接地保护 .....     | 284 |
| 8—10 | 高压电动机低电压保护 .....           | 287 |
| 8—11 | 同步电动机的失步保护 .....           | 291 |
| 8—12 | 高压电动机保护实例 .....            | 293 |
| 第九章  | 变电所的控制装置、信号装置及自动装置 .....   | 296 |
| 9—1  | 变电所的自用电与操作电源 .....         | 296 |
| 9—2  | 高压断路器的控制回路 .....           | 309 |
| 9—3  | 变电所的信号装置 .....             | 317 |
| 9—4  | 直流系统的绝缘监察 .....            | 322 |
| 9—5  | 备用电源自动投入装置 .....           | 325 |
| 9—6  | 自动重合闸装置 .....              | 332 |
| 第十章  | 功率因数与无功功率补偿 .....          | 342 |
| 10—1 | 功率因数 .....                 | 342 |
| 10—2 | 无功功率的人工补偿 .....            | 344 |
| 10—3 | 高次谐波对并联补偿电容器的影响及消除措施 ..... | 350 |
| 10—4 | 动态无功功率补偿 .....             | 352 |

|   |     |
|---|-----|
| 第十一章 防雷与接地                                    | 357 |
| 11—1 过电压                                      | 357 |
| 11—2 防雷设备                                     | 360 |
| 11—3 变电所与电机的防雷保护                              | 365 |
| 11—4 接地的基本知识                                  | 367 |
| 11—5 保护接地与接零                                  | 371 |
| 11—6 接地装置的计算                                  | 375 |
| 附录  | 383 |
| 附表4—1 油浸纸绝缘铅色铠装电力电缆单根敷设于+15°C土壤中长期允许电流(安)     | 383 |
| 附表4—2 油浸纸绝缘铅色电力电缆单根敷设于+25°C空气中长期允许电流(安)       | 384 |
| 附表4—3 500伏橡胶绝缘电缆敷设在空气中和土壤中长期允许电流(安)           | 384 |
| 附表4—4 当周围介质温度不同于+25°C或+15°C时电缆长期允许电流的温度修正系数   | 385 |
| 附表4—5 电缆直接埋入地中不同土壤热阻系数时其允许电流的修正系数             | 385 |
| 附表4—6 並排敷设在地下(包括地中穿管及直埋)的多根电缆允许电流的修正系数        | 385 |
| 附表4—7 塑料绝缘导线芯线最高允许温度为70°C,空气温度为25°C时长期允许电流(安) | 386 |
| 附表4—8 橡胶绝缘导线芯线最高允许温度为65°C时长期允许电流(安)           | 387 |
| 附表4—9 不同环境温度时绝缘导线允许电流的修正系数                    | 388 |
| 附表4—10 导线及电缆的允许电流与熔件额定电流的最小比值                 | 388 |
| 附表4—11 裸铜导线的长期允许电流以及有效电阻和感应电抗值                | 389 |
| 附表4—12 裸铝导线的长期允许电流以及有效电阻和感应电抗值                | 390 |
| 附表5—1 支柱式绝缘瓷瓶和绝缘瓷套管的技术数据                      | 391 |
| 附表5—2 扁铜、扁铝以及扁钢的长期允许电流(安)                     | 392 |
| 附表6—1 企业中常用高压断路器的技术参数                         | 393 |
| 附表6—2 企业中常用高压隔离开关的技术数据                        | 395 |
| 附表6—3 负荷开关的技术数据及其所配用的熔断器和热脱扣器                 | 397 |
| 附表6—4 高压熔断器的技术数据                              | 399 |
| 附表6—5 浇注绝缘高压电流互感器的技术数据                        | 401 |
| 附表6—6 瓷绝缘的高压电流互感器的技术数据                        | 404 |
| 附表6—7 电压互感器的技术数据                              | 406 |
| 附表6—8 常用测量仪表与继电器电流线圈的负荷值                      | 408 |
| 附表6—9 常用测量仪表及继电器的电压线圈消耗容量                     | 409 |
| 附表7—1 DL-10系列电流继电器技术数据                        | 410 |
| 附表7—2 DJ-100系列电压继电器技术数据                       | 410 |
| 附表7—3 DS-100系列时间继电器技术数据                       | 411 |
| 附表7—4 中间继电器技术数据                               | 411 |
| 附表7—5 DX-11型电流、电压信号继电器技术数据                    | 412 |
| 附表7—6 GL-10系列电流继电器技术数据                        | 413 |

# 第一章 概 述

## 1—1 电力系统的一般概念

电力工业在社会主义建设中占有十分重要的地位，这是因为电能可以方便而经济地远距离输送与分配，又可以方便地和其他各种能量互相转换，在使用时也易于操作和控制，并且它和新兴的科学技术有着密切不可分割的联系。因此，在国民经济各部门，一切现代化工农业生产，交通运输和人民生活中，电能得到了日益广泛的和大量的应用。可以说，电气化是生产过程高度机械化和自动化，采用最新科学技术成就和提高劳动生产率的技术基础，也是改善人民生活的一个重要手段。国家的生产水平和人民生活的水平，在很大程度上，依赖于电力工业的发展水平。

电能由发电厂供给。为了经济起见，发电厂多建立在动力资源丰富的地方，这样，离工业企业就可能相距很远，这就产生了电能的输送问题；电能输送到工矿企业区之后由于生产厂房和车间分布很广，因而又产生了电能的分配问题。现仅就电能的生产、输送和分配的有关基本知识介绍于下。

### 一、发电厂

发电厂是把其他形式的能量（燃料的化学能、水能、风能、原子能、太阳能、地热能等）转换成电能的一种特殊工厂。根据所利用能量形式的不同发电厂可有以下几种：（1）火力发电厂；（2）水力发电厂；（3）原子能发电厂；（4）风力发电厂；（5）其他类型的发电厂，如太阳能发电厂和地热发电厂等。发电厂也可以根据用户性质和供电范围分为：区域性发电厂、城市发电厂，工业企业发电厂等等。

下面将火力、水力和原子能发电厂作一简单介绍：

1. 火力发电厂 在火力发电厂中，将燃料的化学能转变成电能。所用燃料有固体（主要为煤）、液体（多为重油）和气体（天然气、煤气或焦炭气）三种。火力发电厂以原动机的不同又可分为：1) 汽轮机发电厂；2) 蒸汽机发电厂；3) 内燃机发电厂；4) 燃气轮机发电厂。当前大容量的发电厂多为汽轮机发电厂，而汽轮机发电厂又可分为凝气式和兼供热式（简称热电厂）。两者的生产过程示意图如图1—1和1—2所示。

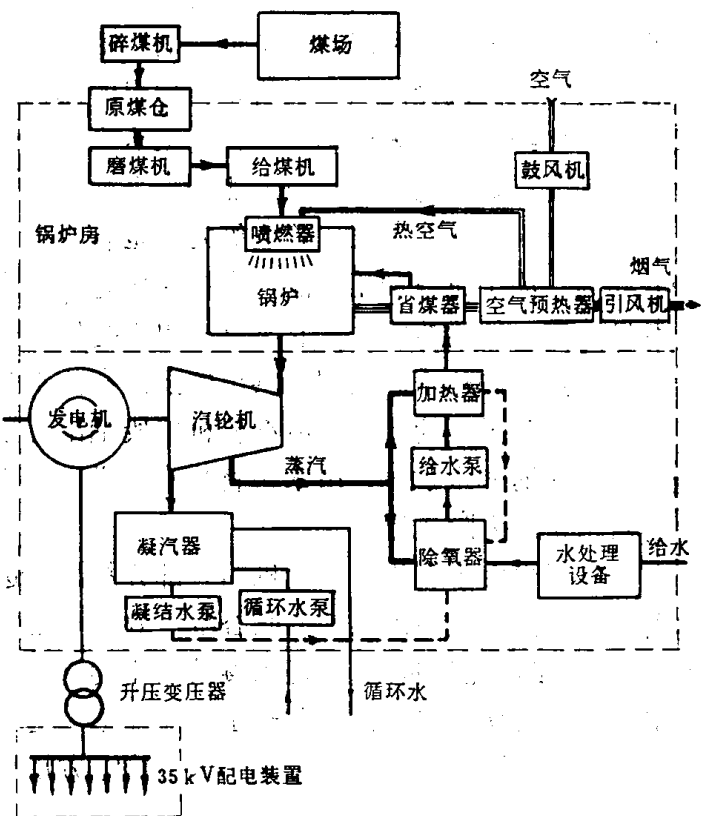


图 1—1 凝汽式汽轮机发电厂生产过程示意图

为了使固体燃料充分燃烧，将煤从煤场送入碎煤机压成碎块后，由运输皮带送入原煤仓，然后由磨煤机磨成煤粉，送入煤粉仓内。煤粉仓中的煤粉由给煤机运出，并由鼓风机供给的热空气经喷燃器吹入炉膛。煤粉在炉膛中以悬浮状态充分燃烧，产生高温。煤粉燃烧时所需要的空气，是由鼓风机从外部吹入，经烟道预热器，被烟气加热后，再进入炉膛。这样既可以减少烟气的热损失，又提高了炉膛的温度。

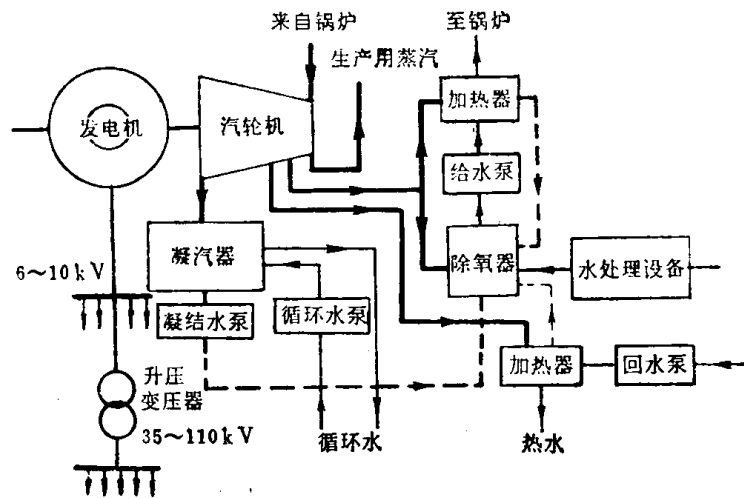


图 1—2 汽轮机兼供热式发电厂生产过程示意图

给水在进入锅炉之前，经加热器（图中仅画出一个，由汽轮机中段抽汽加热）。为了防止对锅炉和管道的腐蚀，给水还须经过除氧器，以便清除水中的气体（特别是氧气）。此外，给水还经过省煤器被烟气加热。这些措施都在于提高给水温度，减少燃料的消耗。在整个生产过程中，蒸汽和水是会有一部分损失掉或被用掉，因此必须有补充水不断补入。这部分水应首先经过化学处理之后再加入除氧器。

水在锅炉中被加热，变成蒸汽，经管道引进汽轮机，推动汽轮机转动而带动发电机。发电机发出的电能，经升压变压器升压后送至母线上，再对远距离的用户供电。

蒸汽在汽轮机中作过功以后排入凝汽器，此时汽温和汽压大大降低。进汽和出汽的蒸汽压力差越大，其热能转变为机械能的效率就越高。为此利用大量的循环水，将不断进入凝汽器的排出汽迅速冷却和凝结。可见发电厂附近必须有足够的水源，以保证供给所需的大量循环水（通常为排汽量的50~80倍）。排出的汽在凝汽器中凝结成水后，由凝结水泵送入给水系统，再经给水泵打入锅炉，这样构成水气的循环系统。

这种凝汽式发电厂，有很多热量尚未被充分利用，大部分热量被循环水白白带走而损失掉了。此外锅炉、汽轮机、管道等元件也有热损失，因此这种发电厂的效率最高也不超过30~40%。为了充分利用热能，发挥其应有的效能，近年来在大的工业区多修建兼供热式汽轮机发电厂，简称热电厂。它不仅向用户提供电能，而且还供给热能，即向某些工业企业和城市供给蒸汽和热水。向用户供出的蒸汽和热水是利用汽轮机中段的抽汽，如图1—2所示。工业企业中所需要的蒸汽，由汽轮机中段抽出直接供出，生产和生活上所需的热水，是利用抽汽经加热器使水加热，由水泵将热水再送入热力网，供给用户。抽汽在加热器中凝结成的水再由水泵送入除氧器。

热电厂中由于利用了汽轮机的一部分抽汽使进入凝结器的排汽量减少，也减少了被循环水所带走的热量，因此热、电联合生产效率可达60~70%或更高。这主要取决于供出蒸汽量的多少，即供出蒸汽量越多，进入凝结器中的排汽量越少，其效率越高。热电厂是建立在热用户附近，因为所供出的蒸汽和热水不能输送太远。这种热电厂生产出来的电能主要是用发电机电压供给附近的用户，同时为了供电给远方用户或与电力系统联接，在厂内也建立了升压变电所。

蒸汽机发电厂和内燃机发电厂多用于向农业、林业、小城镇、地质勘察和土建施工等供



电，容量一般都不大。燃气轮机发电厂是利用重油或煤粉在燃气轮机内直接燃烧的能量的一种新型热力发动机，它带动发电机将热能转换成电能。

2. 水力发电厂 水力发电厂也称为水电站，它是利用河水从上游流到下游时水流的位能转换为电能。发电机的原动机是水轮机，通过水轮机将水能转换为机械能。水轮机再带动发电机，将机械能转换成电能。按工程实用单位，1立方米的水重约为1000公斤，1千瓦 = 102 公斤·米/秒，则水力发电厂总容量可由下式算出：

$$S = \frac{1000QH}{102} \cdot \eta = 9.81QH\eta, \text{ 千瓦}$$

式中  $Q$ ——通过水轮机的水流量，米<sup>3</sup>/秒；

$H$ ——水力发电厂的水头（上下游水的落差），米；

$\eta$ ——水力发电厂的总效率，现代水力发电厂一般为0.85~0.86。

由上式可见，水力发电厂总容量与水的流量及水头的大小成正比。在河水流量一定时，要获得较大的发电容量，必须有较高的水头（落差）。因此必须用人工的方法使上下游形成较大的集中落差。最常用的方法，是在河流上修建拦河坝，形成水库，抬高上游水位，即可形成大的水位差。这种水电厂称为堤坝式水电厂。它又可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后面，它不承受水的压力，因而适于高水头（高于20~30米）大容量水电厂。河床式水电厂的厂房与拦河坝相接，成为坝的一部分，它适于低水头（低于30~35米）的中小容量的水电厂。另一种集中落差的方法是利用引水道。在有相当坡度的弯曲河段上游筑一低坝，挡住河水，然后用引水道将水直接引至河段的末端。因此，这种发电厂称为引水式发电厂。在某些情况下，也可将上述两种方式结合，由坝和引水道分别集中一部分落差。这种电厂则称为混合式水电厂。

图1—3为坝后式水电厂横向剖面图，水由上游水位1沿压力进水管4进入水轮机蜗壳8，水经蜗壳导轮冲动导轮上导片9，带动水轮机的转子转动，然后通过尾水管10流至下游水位。

发电机11装在坝后发电机室内，它的轴与水轮机的轴直接连接。生产出来的电能送入发电机电压的屋内配电装置14中，经它再送至屋外升压变压器15，从变压器经过高压断路器等沿架空线16送至户外配电装置（图中未画出），然后再送入系统，这是因为可用于发电的大型水力资源，一般总是离用户较远。因此，大型水电厂大都是直接升压后送入系统。钢线17是架空避雷线，用以防止架空输电线直接遭到雷击。室内的桥式吊车13用于机组的安装与检修。闸门6用来开闭进入压力进水管的水，检修它时需放下槽5内的检修闸门。

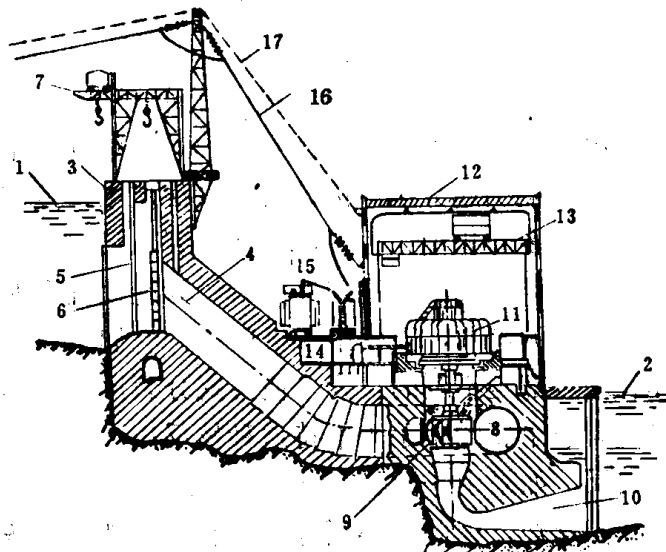


图 1—3 坝后式水电站横向剖面图

1—上游水位；2—下游水位；3—堤坝；4—压力进水管；5—检修用闸门；6—进水闸门；7—闸门升降吊车；8—水轮机蜗壳；9—水轮机；10—尾水管；11—发电机；12—厂房；13—检修吊车；14—室内配电装置；15—升压变压器；16—输电线；17—架空地线

水力发电厂的生产过程比较简单，易于实现全盘自动化，检修工作量也较少，因此工作人员较火力发电厂少得多。水力发电厂不消耗燃料，所需自用电也少，年运行费用较低。但是水力发电厂建设投资大，建设工期较长，运行中受自然水的情况影响较大。

在系统中与其他类型发电厂并联工作的水力发电厂，可以担负正常负荷。由于水轮机能很好地适应负荷变化，因此它也宜于担任系统中的尖峰负荷和用以调整频率。这样可以提高火力发电厂的效率，减少其燃料消耗，使整个系统运行的经济性提高。此外水轮发电机组启动迅速，运行灵活，因此水力发电厂担负系统中的事故备用也很恰当。

我国水力资源极为丰富，地质条件优越，并且大多能收到综合利用的效益，如灌溉、防洪、航运、渔业等。大型水力发电厂功率一般很大，如丰满、新安江水电站都达几十万千瓦。建国三十多年以来，相继建成了许许多多大中型水力发电厂。我国农村中小型水电厂更为普遍。以后还将要建成容量更大的水力发电厂。

水力发电厂的另一种是利用潮汐能发电的潮汐发电厂，它是在海湾入口处修筑堤坝，将海湾与海洋隔开。涨潮时，海洋水位高于海湾，将海洋的水放入海湾发电。落潮时海洋的水位下降，低于海湾的水位，可以将海湾的水放回海洋进行发电。我国海岸线很长，港湾交错，蕴藏着丰富的潮力资源，利用潮汐发电的潜力是很大的。

3. 原子能发电厂 它和一般的火力发电厂的基本原理大致相同，所不同的是利用原子核反应堆和蒸汽发生器代替一般火力发电的锅炉设备，而发电设备仍为普通汽轮机和发电机。反应堆主要由燃料元件、减速剂、反射层、载热剂、堆内支承结构、反应堆外壳、控制棒以及再生区和实验孔道等组成。燃料元件是产生热量的部件，用天然铀、低浓铀或高浓铀等核燃料制成。为了增加传热面积，燃料元件通常做成一根根的圆棒、圆管或薄片，外面再包以铝、锆或不锈钢，然后一根或几根组成一束，按一定的几何形状排列在反应堆的正中。有时核燃料也做成疏松的粉末或糊状液体，构成液体的均匀反应堆。天然铀有三种同位素，即含量占0.712%的铀<sup>235</sup>和含量占99.282%的铀<sup>238</sup>，以及微量的（占0.006%）铀<sup>234</sup>。中子的速度不论如何，只要打中铀<sup>235</sup>的原子核，都可能引起分裂，使中子的数目增加。刚从原子核中分裂出来的中子速度很高，一旦碰到铀<sup>238</sup>时，情况就不一样了，在大多数场合下，中子均被铀<sup>238</sup>所吸收，不能引起分裂。因此必须设法使中子速度变慢（靠减速剂的作用），逃过铀<sup>238</sup>的吸收，以便更多的和铀<sup>235</sup>作用，产生分裂。另一方面，将有很大一部分中子在还没有碰到原子核以前就会穿出铀块，跑到外面去，为此设置反射层使中子重新返回。再者铀块里往往有一些杂质（如硼等），吸收中子极厉害，它们吃掉中子以后，也会使中子减少，这些情况对链式分裂反应都是不利的。为了使链式分裂反应能够继续进行，一个中子引起核分裂以后，起码要有一个新的中子来维持这种核反应，不然，核分裂的数目就会越来越少，反应就会停止。相反，如果中子数目一下子增加过多，核分裂太快，产生的热量过多，又会引起象原子弹那样的爆炸。因此，必须有一种能够控制的设备（控制棒），使反应堆的速度和产生的能量能够按着我们的需要自如地进行调节，让原子能在里面平稳地产生，这种设备就是反应堆。

反应堆的类型较多，当前多利用轻水堆建成发电厂，如图 1—4 所示。轻水堆又可分为沸水堆式（BWR）和压水堆式（PWR）两种。压水堆原子能发电厂在工作时见图（b）原子核燃料发生分裂放出大量的热能，用水作载热剂，即水经过反应堆的活性区得到加热，成为高温高压的热水，热水流经蒸汽发生器，把热量传给第二回路中的水，并使之产生蒸汽

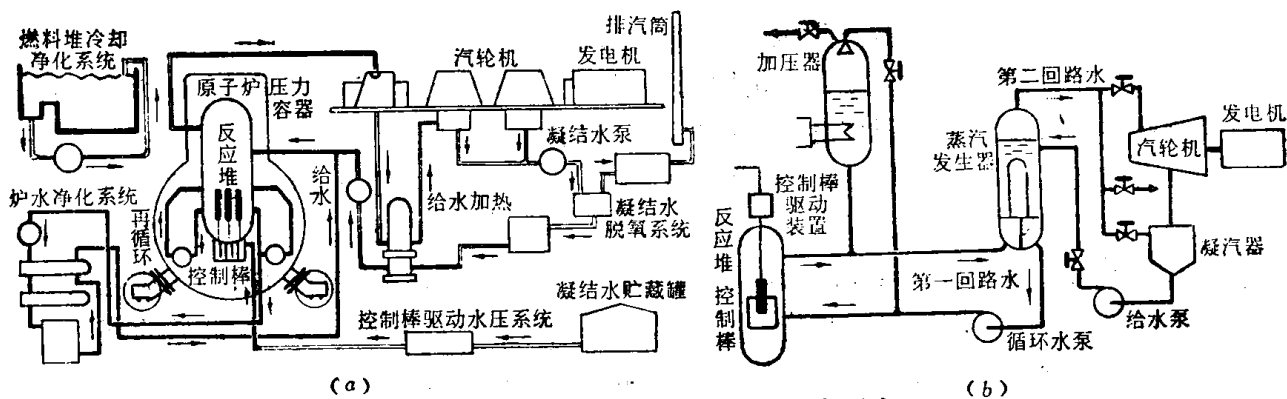


图 1—4 轻水堆原子能发电厂生产过程示意图  
(a) 沸水堆式 (BWR) ; (b) 压水堆式 (PWR)

去推动汽轮机并带动发电机发电。这种方法的主要缺点是水的沸点低，为了得到较高的蒸汽温度，就必须使水在高压下工作，例如要得到40个大气压 $250^{\circ}\text{C}$ 的工作蒸汽，整个反应堆和系统就必须在100个大气压下工作。这给反应堆外壳和整个系统设备制造带来困难。于是人们又设法让水在反应堆内沸腾，使之产生蒸汽直接供给汽轮机使用，这就是沸水堆式的见图1—4 a所示。沸水堆可以在较低的工作压力下产生高压蒸汽，从而提高了热效率。压力壳的厚度也可以大大减薄，同时系统中还可以节省很多动力设备和能量消耗。

原子能发电厂的运行是高度自动化的，它的控制系统根据电站负荷大小，不断的给反应堆进行调节。负荷增加时，控制棒自动提升，让反应堆核分裂加强；负荷减少时，控制棒自动跟着下降；当出现事故时，控制棒能迅速自动地插入反应堆，将核分裂关断。

原子能发电厂所需要的原料极少。例如，一个500千瓦的原子能发电厂在1昼夜内仅消耗30克铀，而其他同容量的凝汽式火力发电厂却要消耗100~110吨煤。原子能发电厂可以建成凝汽式发电厂或兼供热式发电厂。由于原子能发电厂铀的消耗量极小，所以它可以建立在距离水力资源和产煤区较远的用电中心或用热中心。

当前世界各国的电力主要依靠燃烧煤、石油或天然气的火力发电厂，以及利用水力资源的水电站和利用核燃料的原子能发电厂供应。水力发电由于受到水力资源的限制，许多国家已开发得差不多了，而原子能发电站却在逐渐增多。例如据1975年统计，世界原子能发电总装机容量已达13000万千瓦。居世界第一位的美国，已投入运行的有64座原子能发电厂，其装机容量为4519万千瓦，它计划到1980年发展到12000万千瓦，1985年达24000万千瓦。其次是日本有13座，总容量为708.5万千瓦，它计划到1985年达到5000万千瓦。英国有31座原子能发电厂，638万千瓦，居世界第三位。以下是苏联、西德、加拿大、瑞典、法国等。从能源的利用和发展来看，国外逐渐减少矿物燃料发电厂的比重，让水力发电厂发挥尖峰负荷调节作用，加速原子能电站的建设，作为最有前途的大规模发电能源。

## 二、变电所

变电所是接受电能与分配电能并改变电能电压的枢纽，是发电厂到用户之间的重要环节之一，它主要由电力变压器与一些配电设备构成。如果只有配电设备而无电力变压器，仅用以接受电能与分配电能，则称其为配电站或开闭所。在一般情况下，配电站多结合在变电所之中。

就总的来说，变电所有升压和降压之分。升压变电所一般都是和大型发电厂结合在一起，也就是在大型发电厂电气部分中装有升压变压器，把发电厂电压升高，并与高压输电网

路联接起来，将电能通向远方。降压变电所多半设在受电侧，它将高压的电能适当降压后，对某地区或某用户进行供电。就供电范围的不同，变电所可分为区域变电所和地方变电所。在工业企业中又可分为总降压变电所（中央变）和车间变电所。

1. 区域变电所 它是从110千伏以上（如154、220、330千伏）的主要网路受电，将电压降为35~110千伏，供给大区域，如几个工业区、城市和农村用户等。区域变电所中多半装设三绕组降压变压器，将高电压降为35千伏和66~110千伏两种不同的电压，与相应电压级的网路联系起来，供给不同距离的用户。它的供电范围较大，是系统与发电厂联系的枢纽，故有时称之为枢纽变电所，起着强力枢纽作用，如图1—5中变电所B。

2. 地方变电所 这种变电所多由35~110千伏网路从区域变电所受电，有的也由本地发电厂直接受电。它的作用是将35~110千伏电压降为6~10千伏，对某个市区或某个工业区进行供电，其供电范围较小（一般约为数公里），如图1—5中变电所C。

3. 总降压变电所 它是对工业企业输送电能的枢纽中心，故也有称它为中央变电所。它与地方变电所的情况基本相同，也是从区域变电所单独引出的35~110千伏网路直接受电，经过一台或几台电力变压器降为3~10千伏对企业内部供电。一个大型联合钢铁企业，可能建设几个甚至一、

二十个总降压变电所，分别对企业各供电区域（各厂或各车间）进行供电，如图1—5中变电所D。小型企业设置一个或者几个小型企业共设一个总降压变电所。企业中究竟设置多少个总降压变电所，主要视企业的需要容量以及供电范围而定。

4. 车间变电所 车间变电所主要从总降压变电所引出的3~10千伏厂区高压配电线路受电，将电压降为低压380/220伏对各用电设备直接供电，如图1—5中变电所E。车间变电所并不一定对整个车间供电。在当前钢铁联合企业大型车间内，可能设置几个甚至十几个车间变电所，这也要视车间容量与其供电范围而定。

除车间变电所外，其他大型变电所通常多建成屋外部分与屋内部分。在一般情况下，35千伏及其以上的电气设备（电力变压器以及开关设备等）多建于户外，所用的电气设备都需采用户外型的；10千伏及其以下的电气设备则宜于设置在户内。但在沿海或有腐蚀性尘埃的企业中，即使电压为35~110千伏也有建于户内的，以防腐蚀设备，影响供电可靠性。可见变电所的占地面积一般来说是比较多的，如1976年某地建成66千伏/10千伏具有两台16000千伏安的变压器某总降压变电所，占地总面积为5250平方米，屋内设备建筑面积为483平方米。从中可以看出，绝大部分占地面积为户外设备占用。这对厂地有限的企业来说是很不利的，并且由于户外设备布置分散，敞露于露天，不仅受天气影响，容易发生故障，而且维护运行

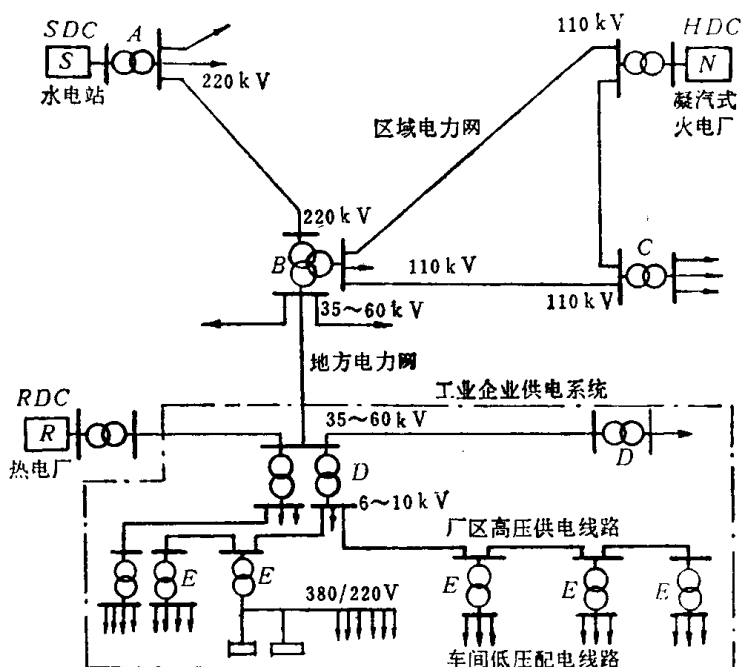


图1—5 电力系统示意图（虚线范围内表示一部分工业企业供电系统）

也很不便。因此，近年来在国内外，把35~550千伏的电气设备(除电力变压器以外)，有的制成成套设备并且密封在金属外壳之中(称其为金属全封闭型成套电气设备)。它的金属外壳与其中的带电设备之间有非常良好的绝缘。根据需要可以将金属全封闭型成套电气设备三相组合构成复杂的大型变电所。这样一来它的占地面积可以大大减少，而且除电力变压器以外，所有其他电气设备都可以安装在户内，既便于维护实现自动化，又提高了供电可靠程度。如我国引进的某企业总降压变电所，它有三条110千伏的电缆进线，三台70000千伏安的变压器，将110千伏降为10千伏，总占地面积还不超过600米<sup>2</sup>。

### 三、电力网

电力网是传送并分配电能的装置，由各种不同电压级、不同类型的线路和变电所构成，但习惯上也有把各种不同电压级的电气线路统称为电力网。它的具体任务是将发电厂生产的电能输送并分配到用户。电力网按其特点、用途、电压的高低和供电范围可以分为许多类型，例如直流和交流电力网，城市、农村、工厂电力网，以及区域电力网和地方电力网等。

1. 地方电力网 它的电压一般不超过110千伏，供电距离不超过50公里。可以认为区域变电所二次出线以后的网路为地方电力网，例如一般工业企业、城市和农村电力网等。

2. 区域电力网 电压在110千伏以上，供电距离在几十公里甚至几百公里以上的电力网，称为区域电网。通常可以认为从发电机出口到区域变电所为区域电力网。例如我国著名的刘天兰输电线，西起甘肃永靖县内刘家峡，经天水宝鸡地区，横跨14个县到达陕西眉县，以330千伏输出42万千瓦，长达534公里。

三十年来我国电力事业取得辉煌的成就，但和国外相比尚有很大的差距，如国外自1952年瑞典实现38万伏超高压输电以后，1959年苏联实现40万伏输电(以后升为50万伏)，1965年加拿大实现73.5万伏。到1978年国外采用38万伏输电的有30个国家，50万伏的有6个国家，75万伏的有4个国家，美、苏、瑞典正在研究100~150万伏超高压输电。在提高输电电压等级的同时，必然需要解决与此有关的一系列理论和科学技术问题，并且需要制造出相应的电气设备。不仅如此，国外对直流输电、地下输电、低温和超导输电、微波输电等新的输电方式也作了很多的研究工作。我们必须认真学习，认真对待，奋起直追，赶上和超过世界先进水平。

为了提高供电可靠性和经济性，目前广泛地将许多发电厂用电力网连接起来，并联运行。这种由许多发电厂联成的给用户供电和供热的整体，称为动力系统。动力系统中的一部分，即由发电机、配电装置、升压和降压变电所、电力线路以及电能用户或用电设备组成的部分，称为电力系统。换句话说，动力系统中除去原动机的热力和水力部分外就是电力系统。图1—5为电力系统原理性电路图。随着电力事业的发展，越来越多的地区都把各个孤立的发电厂用电力网连接起来，构成庞大的联合电力系统。世界各国都在努力建立这样大型电力系统，把全国所有发电厂和用户连接在一起，甚至西欧一些国家，除本国建成一个统一的电力系统外，还互相连接。这样作具有许多优点，对国民经济的意义很大。首先可以充分利用动力资源和充分发挥各类发电厂的作用。只有这样动力系统里的发电厂才能实现最佳的经济运行方式。如一般夏季丰水期，水力发电厂可以多发电，但此时用户用电较少；相反冬季枯水期，发电量少，而用户用电较多。如果水电厂不与系统连接，就使水力资源的利用受到限制。在统一动力系统中，水、火电厂便可以互相配合，互相调剂，夏季让水力发电厂担任系统的主要负荷，冬季则让水力发电厂担任系统的尖峰负荷。这便减少了火力发电厂的耗煤量，提高了系统运行的经济性。

## 1—2 工业企业供电系统

工业企业是电能的主要用户。工业企业为了接受从电力系统送来的电能，经过降压再将电能分配到各用电车间或用电设备，就需要有工业企业内部的供电系统。工业企业供电系统由高压及低压电力线路、变电所（包括开闭所）和用电设备所组成。图1—5中虚线框内所表示的系统即为工业企业电力系统，它的任务是按工业企业所需要的数量和规格把电能从电源输送并分配到用电设备。在一般情况下，工业企业供电系统都是联合电力系统的一部分，也就是说，它主要由联合电力系统供电。对大型联合企业考虑到其生产对国民经济的重要性，需要自建电厂作备用电源；或者有的企业为了满足供热、用电量，以及不准停电的要求，有时一个企业或几个企业单独或联合建立发电厂，满足供热与供电的需要。上述发电厂的建立，必须经过技术上和经济上综合分析，证明确实具有显著的优越性时，方可建立适当容量的自备电厂。对要求供电不能中断的工业企业，一般可以采取从电力系统两个独立电源对其供电。所谓两个独立电源是互不联系，而没有影响的，或联系很少影响很小的两个电源。获得两个独立电源的方法，除上述自建发电厂外，尚可以采用两条进线，分别由不同的上级变电所或由上级变电所中不同的两台变压器、两段不同的母线进行供电。按着各钢铁设计院的经验，对年产量100万吨以上的钢铁企业应当由两个以上的独立电源供电。年产量40万吨以上的钢铁企业，一般应由两个独立电源点供电；当地区供电条件有困难时，允许由一个电源点的两个独立电源供电。

近年来，由于某些大型企业用电量很大，供电要求可靠程度也高，例如大型矿山、冶金联合企业、电弧炉冶炼以及大型铝厂等，可以将超高电压110~220千伏电压直接引进总降压变电所，且由几路主要电力网供电，如图1—5中变电所C。它是由110千伏环形电网直接供电。又如某铝厂用154千伏四条进线，某热轧厂用110千伏三条电缆线路直接供电给总降压变电所。这对减少网路上的电能损失和电压损失，以及节省导线材料都有十分重大的意义。

如前所述，一个大型工业企业内均设有总降压变电所，把高压降为3~10千伏向各车间变电所或高压电动机供电。总降压变电所的数量取决于企业内供电范围和供电容量。有的大型联合钢铁企业内有多达二十几个总降压变电所，分别担负各区域供电。为了提高供电可靠性，在各总降压变电所之间可进行互相联系。总降压变电所中通常设置两台甚至多台电力变压器，由两条或多条进线供电，每台变压器的容量可达几千甚至几万千伏安。其二次侧出口分别接在二次母线的各段上，由它再引出许多3~6~10千伏线路供电给各用电区的车间变电所，其供电范围一般在几公里以内，如图1—5所示。

在中小型冶金企业中一般只建立一个总降压变电所，其进线数可视具体情况而定，条件允许时也可以采取两条进线。对小型工业企业可以不建总降压变电所，而由相邻企业供电或者几个小型企业联合建立一个共用的总降压变电所，一般仅由电力系统的一个电源供电。

总降压变电所的二次出口电压，一般为了减少电能损失以及节省导体的有色金属起见，常采取10千伏引出线对各供电区供电。如果各供电区内高压电动机较多时，则宜于采取3~6千伏引出线供各高压用电设备，因为当前高压电动机多制成3~6千伏的。这一点要根据经济技术指标来决定。

在一个生产车间内,根据生产规模,用电设备的多少、布局和用电量的大小等情况,可设立一个或多个车间变电所。在车间变电所中,设置一台或多台容量一般不超过1000千伏安的电力变压器,而且尽量采取分列运行,这是从限制短路电流出发而采取的一些相应措施,但近年由于新型开关设备切断容量的提高,有的已不受上述限制。如某企业引进项目中,其车间变电所变压器的容量多采用2000千伏安或更多。由车间变电所把3~10千伏的电压降为380/220伏,(相电压为220伏,线电压为380伏),再通过车间低压线路,给车间用电设备供电,这样的低电压其供电范围一般在几百米以内。对生产车间内的高压用电设备(如轧钢车间主轧机由三相桥式可控硅供电的整流变压器、烧结厂主抽风机电动机、高炉的水泵、以及选矿车间的球磨、粉碎机用高压电动机等),则直接由车间变电所的高压3~10千伏母线对其供电。

变电所中的主要设备是电力变压器与配电设备。所谓配电设备就是用来接受和分配电能的电气装置,其中包括开关设备、母线、电力电缆等直接传送电能的设备,通常称其为一次设备,由它们组成的线路则叫做一次结线或主电路。配电设备中尚包含着辅助设备,如保护电器、测量仪表、信号装置等,称其为二次设备,它们之间组成的结线称为二次结线或副电路。对10千伏以下配电设备,为了安装和维护方便起见,通常就一定的一次结线系统由制造厂组装成成套开关柜。

工业企业厂区高压配电线路主要作为厂区内输送电能之用,电压为3~10千伏的高压配电线路尽可能采用水泥杆架空线路,因为架空线路投资少,施工简单且便于维护。但厂区内厂房建筑物密集,架空敷设的各种管道纵横交错,电机车牵引用电网以及铁路运输网较多,或者由于厂区内腐蚀性气体较多等等限制,某些地段不便于敷设架空线路时,可以敷设地下电缆线路,但电缆线路的造价常常超过架空线路5~6倍。

车间低压配电线路主要作为向低压用电设备供应电能之用,在户外敷设的低压配电线路尽可能采用架空线路。在车间内一般情况下也尽量采用明线敷设的线路,即导线利用瓷瓶或瓷夹作绝缘,沿墙或沿顶棚桁架敷设;只有在车间内具有易燃或易爆气体或粉沫时,才于车间外沿墙明敷设或于车间内采用电缆、导线穿管敷设。穿管敷设的线路通常可以沿墙沿棚敷设明管,也可以预先将管路埋入墙棚之内。对低压电缆线路可以沿墙或沿棚悬挂敷设也可以置于电缆暗沟内敷设。对车间内电动机的供电支线,一般多采用穿管配线。

对矿山来说,井筒及井巷内的高低电压配电线路均应采用电缆线路,沿井筒壁及巷道壁敷设,每隔2~5米用固定卡加以固定。在露天矿采场内多采用移动式架空线路,但对高低压移动式用电设备(如电铲、凿孔机等)应一律采用橡胶绝缘的电缆进行配电。

车间内电气照明线路与动力线路通常是分开的,尽量由一台配电用变压器分别供电,例如采用380/220伏三相四线制,动力设备由380伏三线供电,而照明由220伏相线和零线供电,但各相所供应的照明负荷(容量)应尽量一致。事故照明必须由可靠的独立电源进行供电。

车间低压线路虽然不远,但用电设备多,低压配电线路也多,功率虽然不大,电压也低,但电流却较大,因此导线的有色金属消耗量往往超过高压供电线路。所以,正确解决车间供电系统的问题是很复杂而又重要的工作。

电能在工业企业生产过程中是最主要的动力,因此保证电能的供应是非常重要的。因为当供电中断时,有可能破坏企业的正常生产,造成重大损失。某些设备(如高炉供水、矿井瓦斯排出、炼钢浇铸吊车等)即使短时间的断电,都会造成巨大损失,甚至损坏设备发生人

身伤亡等事故，使国民经济遭受极大的损害。可见保证工业企业正常供电是极为重要的。因此当前对企业供电系统，必须采取各种可靠的保护装置和自动装置，及时发现故障和自动切除故障，保证可靠的供电。此外对工业企业供电装置、供电系统正确的设计、安装、维护运行也是极为重要的。按我国电力事业部门的统计，全国电厂所生产的电能，约有70%供给工业企业部门应用，可见工业企业供电在大规模生产中所起的重要作用。

### 1—3 电力网的电压等级

为使电气设备生产标准化，便于大量成批生产，使用中又易于互换，所以对发电、输电以及用电等所有设备的额定电压就必须统一规定，且应分成若干标准等级；电力网的额定电压必须与电气设备的额定电压相对应，也应分成若干电压等级。

标准电压等级是根据国民经济发展的需要，考虑技术经济上的合理性以及电机、电器的制造水平等因素，经全面分析研究而制定的。我国国家标准所规定的工频交流单相和三相标准电压等级列于表1—1中。

表 1—1

标准 额 定 电 压

| 用电设备及线路                 | 发 电 机   | 变 压 器   |         |         |          |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
|                         |         | 单 相     |         | 三 相     |          |
|                         |         | 一 次 绕 组 | 二 次 绕 组 | 一 次 绕 组 | 二 次 绕 组  |
| 三 相 交 流                 | 三 相 交 流 |         |         |         |          |
| 100伏以上1000伏以下的标准额定电压（伏） |         |         |         |         |          |
| 127                     | (133)   | (127)   | (133)   | (127)   | (133)    |
| 220                     | 230     | 220     | 230     | 220     | 230      |
| 380                     | 400     | 380     | —       | 380     | 400      |
| 1000伏以上的标准额定电压（千伏）      |         |         |         |         |          |
| 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     | 363      |

注：1. 括弧中电压只用于矿井和其他保安条件要求较高的地方。

2. 表中电压值均指线间电压而言。

表中给出的标准额定电压，为什么发电机、变压器一次绕组与二次绕组和用电设备的都不一致呢？这是因为用电设备接在电力线路上，所以电力线路与用电设备的额定电压应当是一致的。但电力线路在传送电能时有负载电流流过，线路上便产生电压损失。为保证加于用电设备的实际电压等于或近于额定电压，必须使网路首端电压高于网路的额定电压，用以补



偿网路上的电压损失，因此发电机额定电压必须比相应电力网和用电设备额定电压高出5%。例如用电设备的额定电压为10千伏，则发电机的额定电压为10.5千伏。至于变压器二次绕组的额定电压高出用电设备额定电压10%，这是因为电力变压器二次额定电压均指空载时的电压而言。当变压器满载供电时，变压器本身的一、二次线圈也引起一定的电压损失，故变压器满载时二次的端电压较空载时约低5%，但比用电设备或电力网的额定电压尚高出5%左右，用以补偿网路上的电压损失。另外，由于变压器均连接在与其一次绕组额定电压相应的电力网末端，性质上属于电力网的一个负载，故变压器一次绕组额定电压与用电设备相同。从表1—1中也可看出，变压器一二次绕组额定电压比用电设备却只高出5%，如3.15，6.3，10.5千伏等。一次绕组为这种电压的变压器是专为直接接在发电机电压母线上而制造的，多为升压变压器。二次绕组仅高出用电设备额定电压5%的变压器，是考虑到变压器副边的供电线路很短或变压器的短路电压值较小时，采用的一种变压器。

电力网的额定电压虽然规定得和用电设备额定电压相一致，但严格地说，电力网从始端到末端由于电压损失的影响，处处电压是不一样的，并且受用户负荷变化的影响，电力网上的电压也不能维持恒定。例如由一台变压器通过配电线路对三个负荷供电，三个负荷的位置分别在线路始端、末端和其中点处。由于线路上有电压损失，三个负荷处的端电压很明显是不相等的，始端的负荷端电压高于网路的额定电压，末端负荷的端电压常常低于网路的额定电压，只有中点处的负荷端电压有可能接近网路的额定电压。那么这个路线的电压在网路计算中究竟取什么值最合理呢？这个问题在第五章短路电流计算时就会碰到。为了简化起见在计算中常用线路的平均额定电压等级。所谓平均额定电压就是电力网始端的最大电压（指变压器的空载电压）和末端用电设备额定电压的平均值。例如额定电压为10千伏的电力网平均额定电压为：

$$U_{pi} = \frac{11 + 10}{2} = 10.5 \text{ 千伏}$$

在工业企业中，由于生产机械类型繁多，因而所配用的电机和电器不论从容量和电压等级那方面来看，类型也是繁多的。电压等级用的越多，变电所和配电设备的投资也越多，这是不经济的。因此，在工业企业中如何确定电压等级和选用那几个等级较合理，是个比较复杂的问题。它关系到企业在国民经济中所占的重要性，以及供电可靠性，配电的合理性、电能和有色金属耗用量、设备投资、运行维护、今后发展情况等一系列问题。对一个新建的企业作供电设计时是要从经济技术方面全面考虑，必要时应进行技术比较，选定最合理的方案。下面简要地谈谈确定工业企业供电电压时应考虑的几个基本问题：

(1) 对改建或扩建工程，首先应充分利用企业内电力网现有的变配电设备的电压等级，这样可以发挥已有设备的作用。不应轻易改换电压等级，且采用电压等级也不宜过多，否则既不利于运行维护，又使备品品种过多，造成积压浪费。如果经过技术经济比较改变原来电压等级确有显著优越性而必须改变时，应有过渡措施，尽量不影响生产。

(2) 电动机是工业企业的主要负载，用量很大，电动机的投资和额定容量、电压等级有密切关系：电动机的额定电压越高，制造时就要加强绝缘，价格越昂贵。一般来说，同容量的电动机，6千伏的比3千伏的约贵20~30%，3千伏的比380伏的约贵30%~40%；电动机的效率而是额定电压低的较高，例如同容量的电动机3千伏的比6千伏的效率约高1%，若从价格和效率出发，采用低电压的电动机有利，但低电压电动机的容量又受电压等级限