

高等学校教学用

冶金工业供电

冶金工业出版社

高等学校教学用书

冶金工业供电

耿毅等编

冶金工业出版社

高等学校教学用书
冶金工业供电
耿毅等编

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
山西新华印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张28 1/4 插页1 字数680千字

1979年10月第一版 1979年10月第一次印刷

印数00,001~18,600册

统一书号: 15062·3432 定价2.90元

前 言

本书是根据冶金部矿冶类专业教材规划的要求，由几个院校教师合编的一本《冶金工业供电》教材。教材的部分章节也可以作为专题进行讲授。

在编写过程中，我们在进行现场调查和总结多年教学经验的基础上，结合《冶金工矿企业自动化》专业培养目标的要求，着重对冶金工业供电的基本内容和基本概念详加论述，加强理论分析，同时尽可能地反映冶金工业供电方面的最新技术。在教材中配合重点内容选编了必要的例题，并在各章后面附有部分作业题。限于篇幅，有关电气设备及导线等的技术数据在本书内不作附录，学习时可参考国家出版的供电手册。

本教材第一、九、十、十一章由东北工学院耿毅同志执笔；第二、四章由东北工学院林文铮同志执笔；第三章及第八章的一至六节由西安冶金建筑学院武维善同志执笔；第八章的七至十一节由武汉钢铁学院孔令甫同志执笔；第五、六章由北京钢铁学院白尔清同志执笔；第七章由中南矿冶学院刘家煌同志执笔。全教材由东北工学院耿毅同志负责主编。

在编写过程中曾邀请鞍山钢铁学院、江西冶金学院、昆明工学院、广东矿冶学院、马鞍山钢铁学院、河北矿冶学院和上海机械学院等院校工矿自动化教研室有关同志进行了审查和讨论。并得到北京钢铁设计院、武汉钢铁公司、重庆钢铁设计院以及北京钢铁学院等单位的热情帮助，特在此表示感谢。

参加本教材编写的全体同志限于思想水平和业务水平，在内容中难免有错误和不当之处，希读者提出批评和指正。

编 者

1978年9月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 冶金工业供电的发展概况	(1)
第二节 冶金工业供电系统	(3)
第三节 冶金工业的负荷分级及其对供电的要求	(10)
第四节 冶金工业用电设备的主要特征	(11)
第二章 冶金工业电力负荷计算	(15)
第一节 概 述	(15)
第二节 按需用系数法确定计算负荷的步骤	(24)
第三节 供电系统的功率损耗与电能需要量的计算	(33)
第三章 冶金工业变电所	(41)
第一节 概 述	(41)
第二节 变电所及变压器容量和台数确定	(43)
第三节 变电所主结线分析	(49)
第四节 变电所主要电气设备	(54)
第五节 变电所的控制、信号及测量回路	(62)
第六节 变电所的结构与布置	(70)
第四章 冶金工业供电网路	(80)
第一节 冶金工业供电网的类型及其特点	(80)
第二节 电力网路的结构和敷设方式	(85)
第三节 导线和电缆选择的原则	(91)
第四节 按允许载流量选择导线和电缆的截面	(92)
第五节 按允许电压损失选择导线的截面	(98)
第六节 按经济电流密度选择导线和电缆的截面	(107)
第七节 选择导线和电缆截面的综合分析	(109)
第八节 冶金工业电网电压水平的保持和变压器分接头的选择	(111)
第五章 电网短路电流计算	(118)
第一节 概 述	(118)
第二节 三相交流电网短路的过渡过程	(119)
第三节 供电网路电气元件的参数计算	(127)
第四节 无限大电源供电系统短路电流计算	(138)
第五节 有限容量电源供电系统短路电流计算	(140)
第六节 大型电动机对短路电流的影响	(151)
第七节 1000伏以下电网短路电流的计算	(152)
第八节 短路电流的效应	(156)
第九节 整流装置的短路电流计算	(163)

第十节	限制短路电流的措施	(175)
第十一节	两相短路电流的估算	(179)
第六章	电气设备选择	(183)
第一节	电气设备选择的原则	(183)
第二节	低压开关设备的选择计算	(184)
第三节	高压电气设备的选择	(208)
第七章	冶金工业供电系统的继电保护	(219)
第一节	概 述	(219)
第二节	冶金工业10千伏电网的过电流及电流速断保护	(235)
第三节	冶金工业10千伏电网的单相接地保护	(257)
第四节	高压电动机的继电保护	(263)
第五节	变压器的继电保护装置	(275)
第六节	移相电容器(静电电容器)的保护特点	(294)
第七节	3~10千伏电弧炉变压器的保护特点	(296)
第八章	冶金工业供电系统自动化与远动化	(299)
第一节	概 述	(299)
第二节	单端电源供电网络的自动重合闸装置	(299)
第三节	晶体管式自动重合闸装置	(305)
第四节	备用电源的自动投入装置	(309)
第五节	1千伏以下网络的备用电源自动投入装置接线图	(314)
第六节	自动按频率减负荷装置	(316)
第七节	远动化的基本概念	(318)
第八节	远动化的工作原理	(324)
第九节	BDS-3型幅度编码半导体远动装置的分析	(333)
第十节	数字编码远动装置的概念	(342)
第十一节	远动化中的其它问题	(349)
第九章	大气过电压及其防护	(351)
第一节	大气过电压	(351)
第二节	变电所及建、构筑物对直击雷的防护	(357)
第三节	雷电冲击波沿导线的传播	(367)
第四节	变电所对从线路侵入的雷电冲击波的防护	(378)
第五节	冶金工业高压电动机的防雷保护	(388)
第六节	工矿企业3~10千伏厂区高压配电网路的防雷保护	(394)
第十章	冶金工业用电的无功补偿与谐波抑制	(397)
第一节	电能节约和无功功率补偿	(397)
第二节	可控整流引起的电网高次谐波及抑制措施	(410)
第十一章	安全技术与运行维护	(423)
第一节	接地与接零	(423)
第二节	冶金工业供电系统的运行维护	(442)

第一章 绪 论

《冶金工业供电》是研究和解决冶金工矿企业用电和供电技术问题的教材。本章联系冶金工业的生产特点、冶金工业用电设备的主要特征及其对供电提出的要求，对冶金工业供电的基本情况进行简要介绍，为学习全课程做好准备工作。

第一节 冶金工业供电的发展概况

电能是现代工业企业的主要动力。现代工业企业的生产是在先进的技术基础上不断向前发展的，它要求大力实行生产过程的电气化和自动化，因此，生产过程的各个环节都是以广泛地利用电能为基础的。随着工业电气化自动化技术的发展，现代工业企业的用电量急剧增长，对电能供应的可靠性、质量指标和安全技术的要求也日益提高。从理论上和应用技术上探讨及解决这些问题的《工业企业供电》经过近几十年的发展，已经形成一门有其独自特点的学科。

大家都知道，冶金工业是现代工业的基础工业，近些年来冶金工业发展尤为迅速。目前不论是从其用电设备类型的繁多、数量的庞大及其对电能供应提出了较高的质量指标来看，还是从用电量来看，它已成为现代工业企业中使用电能的主要用户。在冶金工业生产中，拖动各种生产机械的电动机、各种电炉、电解设备、类型繁多的辅助生产设备、照明装置以及生产过程中普遍使用的自动控制、显示和通讯装备等等都处处离不开电能。因此，对冶金工业进行安全可靠及高质量的供电是保证冶金产品质量、推动冶金工业向前发展的重要因素。

冶金工业供电是现代工业企业供电的主要组成部分。这门科学技术的发展是和电力工业、电器制造工业及电子工业的发展不可分割的，同时又是与冶金工业生产的特点、用电设备的特殊要求以及冶金工艺的飞速发展密切相关的。

回溯十九世纪的九十年代，电机、电器制造工业及电力工业已经开始兴起，虽然电能作为工业生产的动力从一开始就显示出了它的优越性，可是由于当时电能的生产能力很低，输送距离不远且其成本较昂贵，所以，包括矿山、钢铁厂等在内的急需改善动力以提高生产效率的工业，一时还难以用电能来取代其它动力，工业生产基本上仍靠蒸汽机、水力机或风力机作为动力基础。

十九世纪末叶，随着电机、电器制造工业的进一步发展，发电能力增长的速度较快，于是矿山和钢铁厂的部分大型生产机械如排水水泵、压气机、提升机、轧机等开始改用电力拖动，生产效率大大提高，冶金工业的生产面貌开始改观。但由于当时三相交流输电理论刚创立不久，一些具体技术课题譬如电能输送过程的能量损失及电压损失过大问题还没有妥善解决，电能尚无法实现远距离输送，所以冶金工业需用的电能只能依靠建立在厂矿内的自备小型发电厂就地产生和供应，或由紧邻的发电厂通过低压配电网供给。这时，电能供应多采取直配式，配电系统简单，供电装置也较简陋，因此电能的质量较差，供电的可靠性不高。

进入二十世纪，电能远距离输送的理论和技术均得到了解决，特别是变压器制造技术

有了很大的突破，于是电力工业开始了大幅度的发展。这时，发电厂的建立不再被限制在工业企业的集中地区，也不再被限制在原料产地的冶金厂矿所在地。大型发电厂开始建立在燃料基地或有水能可资利用的地区，发电厂与用电量较大的矿山、钢铁厂、电解铝厂等的联系可通过高压输电线很容易地实现。从此，冶金工业开始获得了质量较高、充足而价廉的动力，发展的速度加快。

二十世纪三十年代，随着工业的飞速发展，电力工业的发展也十分迅速，大型电力网开始形成；高压输电低压配电的理论和技術被普遍推广采用；变电所经过理论上的分析研究，广泛采取分散布置并尽可能靠近负荷中心，从而使供电可靠性及电能质量大大提高，用于网路导线的有色金属可以大量节省，网路电能损耗显著地减少。至五十年代初期，大型钢铁联合企业、大型铝厂等用电量较大的大型工业企业陆续建立，生产装备朝向大型发展，负荷日益集中，原有的供电方式有的已不适应要求。经过研究和实践总结，具有良好技术经济指标的35~110千伏高压线路深入负荷中心的供电方式，显示了突出的优越性，得到了肯定和推广采用。

进展到目前，冶金工业所在地区如果电力网比较发达，而且如果重要负荷从电力网可获得两个独立电源来保证供电的可靠性已不成问题时，在这种情况下可以不再建立自备发电厂。只有在电力网尚不发达的情况下，或者企业生产确实需用大量蒸汽和热水，且有工业副产品（煤气）或价廉的燃料可资利用时，才建立地区热电厂，为企业提供备用电源。

变电所的结线系统在保证供电可靠的原则下，普遍趋向于简化。三十年代以来广泛采用过的双母线系统方案逐渐被目前的分段单母线系统方案所取代；高压配电装置已由过去的间隔安装式改向组装成套化；由于电器制造技术的迅速发展，高压开关设备日益趋向小型化和动作快速化方面改进。这些发展极其有利于变电所的安装、维护及运行操作。

近二十年来，电子工业的飞跃发展，大大地推动了供电技术的发展；供电系统的继电保护装置已开始实现无触点化，使保护性能有了新的改进；变电所的远控、远测及远信技术有较大的发展，为供电系统的运行全面实现自动化开创了光辉的前景。

以上是包括冶金工业在内的工业企业供电发展过程的大致情况。很明显，它的发展也只是近几十年的事，虽然已经积累了比较丰富的经验，创造了许多新的技术和理论，但是它终究还是一门比较年轻的学科，出现了不少新的课题，尚待从理论上和技术上进行研究加以解决。譬如，冶金工业大功率可控硅拖动装置的普遍应用引起供电系统无效功率增大且急剧变动（无效功冲击）的浮动补偿问题；变流装置产生高次谐波引起供电系统电压波形畸变的彻底改善问题；电网容量如何适应大型冶金工业设备容量的最佳配合比问题；大型钢铁联合企业供电的集中调度、控制和经济运行问题等等。这些问题没有得到合理的解决目前已经影响到冶金工业生产的发展。

冶金工业是现代工业的基础工业，它为我国社会主义建设提供重要原料。冶金工业能否快速发展直接关系到我国能否早日实现四个现代化、能否尽快地在本世纪内把我国建设成为社会主义的现代化强国这个大问题。因此，认真学习和掌握有关冶金工业供电的理论和技術，对保证冶金工业的迅速发展有着极其重要的意义。

第二节 冶金工业供电系统

一、电力系统的基本概念

目前在国民经济各部门和日常生活中广泛地应用电能。电能由发电厂供给。发电厂建立在燃料产地或动力资源所在地比较经济，因此距离城市及工矿企业可能很远，这就产生了电能的输送问题。电能输送到城市或工矿企业之后，由于生产厂房和车间分布很广，因而又存在电能的分配问题。现将电能的生产、输送和分配几个主要环节的基本概念说明如下：

发电厂——是生产电能的工厂，通过发电机把各种形态的能量（如热能、水能、原子能、太阳能等）转变成电能。它是电力系统的核心。目前以火力发电厂（又称热电站）和水力发电厂（又称水电站）为主；

电力网——是输送和分配电能的渠道。它由各种不同电压等级和不同类型的线路组成，其任务是把发电厂生产的电能输送并分配给不同的用户；

变电站——是将一种电压的电能变换成另一种电压的场所（又称变电所）。它主要由电力变压器和开关控制设备等组成。从变压性质的角度来看，它又有升压变电站和降压变电站之分，而降压变电站根据在电力系统内所处的地位不同又可分为地区降压变电站、企业降压变电站及车间变电站等。只有受电及配电开关控制设备和装置而没有变压器的均称为配电站，或称为开闭所。在工业企业内，凡是担负把交流电能转换成直流电能的场所统称为变流所。

由发电厂、电力网、变电站（包括配电站、变流所）及用户组成的系统称为电力系统。它们之间的相互关系如图 1-1 所示。

从发电厂发出的电能，除了供给电厂内部及附近用户直接用电外，一般都是通过升压变电站将发电机发出的低压电能变成高压电能，采用高压把电能输送出去。因为电力网的输电电压愈高，则输送的距离愈远，输送的功率也愈大。也就是说输送同样功率的电能如采用高压时，输电网络上流过的电流

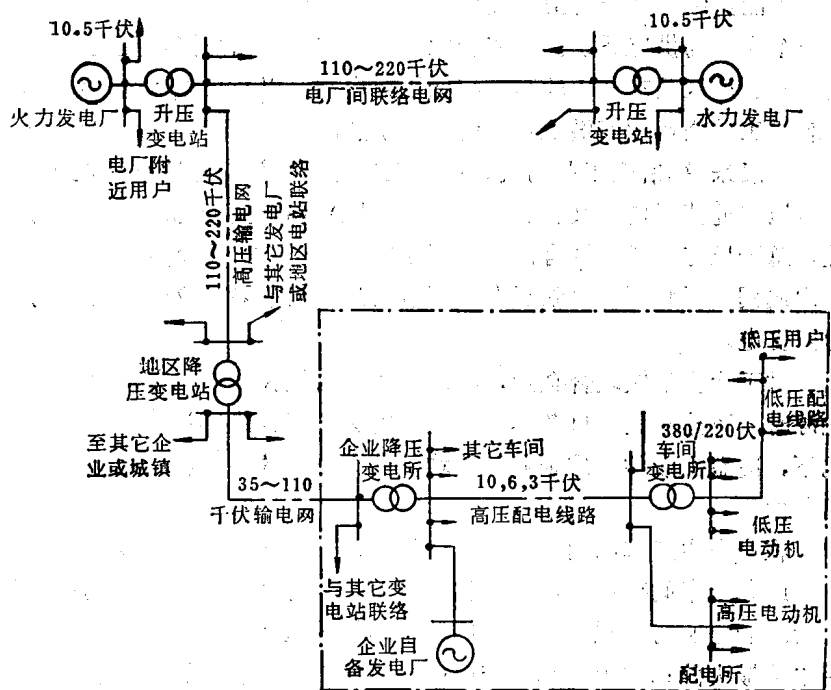


图 1-1 电力系统示意图

就小，因此网路上的电能损失就减小，网路输送电能的效率就愈高。同时导线截面也可以减小，从而可以节省导线所用的有色金属（铝和铜）。同样道理，输送同样功率如采用高压，因电流减小，故网路阻抗引起的电压降落（或电压损失）减小，这对保证用户得到质量良好的电能是极为有利的。

目前，我国发电机的额定电压多为6.3或10.5千伏（少数大容量发电机为15.75千伏），经过升压，高压输电网的电压采用110~330千伏。电能由发电厂通过上述高压输电网送往较远的工业集中地区或城市。在工业地区的中心或城市的近郊区，一般都建立地区降压变电站（又叫做一次变电所），将110~330千伏的电压降为35~110千伏电压，然后再用35~110千伏电压的输电线路将电能送至附近各工业企业内部的企业降压变电站（又叫做企业总降压变电所）或市内的降压变电站（又叫做二次变电所）。在原则上，企业总降压变电所和市内的二次变电所都应选择建立在企业的负荷中心及城市的负荷中心处。大型钢铁联合企业或者大工业城市，从技术经济观点考虑，宜建立多个总降压变电所或二次变电所，这样就更具有使变电站尽量靠近负荷中心的优越性。

对于用电量较大的企业，如大型矿山、大型钢铁厂、大型铝厂及冶炼厂等，我国已开始采用直接以110千伏或220千伏电压深入企业的负荷中心对企业供电，这对于减少网路的电能损耗和电压损失具有十分重大的意义。

二、冶金工业供电系统及其组成

冶金工业的厂区或矿区一般来说都比较大，生产厂房和车间分布很广，厂房和车间内的用电设备既有高压的（3、6、10千伏），又有低压的（220、380、660伏），而企业总降压变电所从电力系统接受的是35~110千伏高压电能。为了把从电力系统接受到的高压电能，经过降压再把电能分配到各用电厂房和车间去，这就需要每个工矿企业内部有一个合理的供电系统。工矿企业内部供电系统由总降压变电所、车间变电所（包括开闭所）、厂区及车间内的高压和低压配电线路以及用电设备所组成。图1—1中的虚框内即表示工矿企业内部供电系统的部分示意图。

一般来说，冶金工业的大、中型工矿企业均设立总降压变电所，把高压降为3~10千伏电压（此范围电压又称为高压配电电压）向车间变电所配电。为了保证供电的可靠性，总降压变电所均设有两台降压变压器，个别大型企业亦有设立两台以上的。而小型矿山或钢铁厂则可以由附近企业间接转送供电或者设立一个简单的降压变电所直接从电力网受电。

对于大型钢铁联合企业，考虑其生产对国民经济的重要性需要有自备电厂提供备用电源时，可建立企业自备热电厂，同时为生产提供蒸汽和热水。在电力网比较发达的情况下，冶金工业的工矿企业一般均从电力系统的两个独立电源接受电能，保证供电的不间断性。

在一个生产车间内，根据生产规模、用电设备的布局及用电量大小等情况，可设立一个或几个车间变电所。几个相邻且用电量都不大的车间，也可以共同设立一个车间变电所。变电所的位置可以选择在几个车间的负荷中心附近，单独建立；也可以建在其中用电量最大的车间内。车间变电所一般设置1~2台（最多不超过3台）容量不超过1000千伏安的变压器，将电压降为380/220伏对低压用电设备供电。对车间内的高压用电设备（如选矿车间的球磨机电动机、烧结车间的主抽风机电动机、轧钢车间主轧机可控硅电力

拖动装置的整流变压器等等),则直接由车间变电所的3、6、10千伏高压母线对其供电。

车间变电所的主要电气设备是电力变压器和受、配电设备及装置。所谓受、配电设备及装置就是用来接受和分配电能的电气装置,其中包括开关设备、保护电器、测量仪表、母线及其它辅助设备(仪用互感器)等。对10千伏以下系统,为了安装和维护简便起见,现在均将受、配电设备及装置由制造厂组装为成套式开关柜。

工矿企业高压配电线路(3~10千伏电压)主要作为厂区或矿区输送分配电能之用,通过它把电能送到各个生产厂房和车间。高压配电线路目前多采用架空线路,因为架空线路建设投资少且便于维护与检修。但在某些冶金企业(如钢铁厂)的厂区内,由于厂房和其它构筑物较密集,架空铺设的各种管道在有些地方纵横交错地占据着空间,电机车牵引电网也较多;或者由于厂区的个别地区扩散于空间的腐蚀性气体较严重等多方面因素的限制,有时在厂区内的部分地段确实不宜于敷设架空线路,此时可考虑在这些地段敷设地下电缆网路。最近十几年来由于电缆制造技术的迅速发展,电缆质量不断提高且成本下降,在工业上应用得日益广泛,同时考虑到简化和美化厂区环境以利于安全生产,现代化企业的厂区高压配电线路已逐渐向电缆化方向发展。

工矿企业低压配电线路作为向低压电气设备供电之用。在户外敷设的低压配电线路目前多采用架空线路,且尽可能与高压线路同杆架设以节省建设费。在厂房车间内部则应根据具体情况确定,或采用明线配电线路(导线沿3米以上的墙壁或沿顶棚桁架敷设,并用绝缘瓷瓶固定),或采用电缆配电线路(电缆敷设在电缆沟内或电缆隧道内,在某些车间如选矿车间,电缆可沿车间墙壁悬挂敷设)。

在厂房车间内,对电动机供电一律采用电缆或管线(导线穿过埋在地坪下的铁管而接上电动机)。

对矿山企业来说,井下开采供电系统和露天开采供电系统与一般企业供电系统都稍有不同,原因是它们的生产机械用电设备经常随着采掘工作面的推进而移动。井下开采时,电能由地面总降压变电所首先通过高压电缆配电线路沿井筒送到井底车场的井下中央变电所,井底车场附近的所有高压用电设备(如泵房的主排水泵)及低压用电设备均由中央变电所用固定敷设电缆线路供电。因此,井下中央变电所系由高压配电柜、降压变压器及低压开关柜等组成。当井下开采规模较大,采区距井底车场较远时,设立采区变电所并由井下中央变电所通过半固定敷设高压电缆线路对其转送高压电能,经降压后再通过低压开关和胶皮电缆对采掘工作面的用电设备供电。采区变电所随着采掘工作面的推进而定期迁移,其目的是尽可能地缩短低压电缆的长度,以保证工作面用电设备的电能质量。高、低压配电缆沿井筒和巷道壁敷设时,每间隔2~5米必须用固定卡子加以固定。固定式敷设一般用铁卡,半固定式敷设多用木卡。露天开采时,电能由地面总降压变电所首先通过固定式高压架空配电干线送入采场。固定式高压架空配电干线可以横跨梯段架设,也可以顺梯段架设,具体应根据地面总降压变电所在矿区的位置而定。在露天矿采场各梯段上的高、低压配电线路多采用移动式架空线路(移动电杆为带底盘的木杆制成),它随各梯段采场工作面的推进而经常移动。移动式架空线路从固定式高压架空配电干线上接取电能。由移动式架空线路对移动式生产机械(如电铲、牙轮钻机)一律采用胶皮电缆供电。

在工矿企业内,为了减轻电动机起动对照明的影响,电气照明线路和动力线路一般

是分开的。如果动力线路内没有频繁起动的电动机，则两种线路可由同一台配电变压器供电。最好是用专用的照明变压器对照明系统供电，这种办法将增加一些设备投资，但却能大大减轻由于电动机频繁起动引起网路电压波动造成灯光闪烁的现象。对于事故照明，必须有可靠的独立电源来保证供电。

三、电力系统的电压等级

由于电气设备的额定电压已经统一标准化，发电机和用电设备的额定电压分成了若干标准等级，所以电力网的额定电压也与电气设备的额定电压相对应，统一组成了电力系统的标准电压等级。

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、电器的制造技术水平和发展趋势等一系列因素，经全面研究分析并参照国外规定而制定的。我国于1959年正式颁布国家标准（GB—156—59），这个标准适用于固定式发电机、变压器及其它用电设备。

所谓电气设备的额定电压（又叫标称电压），就是能使发电机、变压器和用电设备在正常运行时获得最经济效果的电压。按照国家标准的规定，额定电压分为三类：

(1) 第一类额定电压为100伏以下，如表 1-1 所示。此类电压主要用于安全照明、蓄电池、开关设备及断路装置的直流操作电源。表中三相36伏电压只作为潮湿工地、建筑物内的局部照明及小容量电力负荷之用。

(2) 第二类额定电压为100伏以上而小于1000伏者，如表 1-2 所示。此类电压主要用于动力及照明设备。表中括号内的电压只用于矿井或其它保安条件要求较高的场所。目前矿井已广泛使用的交流三相660伏电压，因国家标准尚未正式纳入，故表中没有列入，但在工程中可以采用。

标准额定电压（100伏以下） 表 1-1

直 流 (伏)	交 流 (伏)	
	三相(线电压)	单 相
6	—	—
12	—	12
24	—	—
—	36	36
48	—	—

标准额定电压（大于100伏，小于1000伏）

表 1-2

用 电 设 备			发 电 机		变 压 器			
直 流 (伏)	三相交流(伏)		直 流 (伏)	三相交流(伏)	交 流 (伏)			
	相 间 电 压	相电压			三 相		单 相	
					一次绕组	二次绕组	一次绕组	二次绕组
110	—	—	115	—	—	—	—	—
—	(127)	—	—	(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	220	127	230	230	220	230	220	230
—	380	220	—	400	380	400	380	—
440	—	—	460	—	—	—	—	—

(3) 第三类额定电压为1000伏以上者，如表1-3所示。此类电压主要用于发电、送

电及高压用电设备。对于三相交流电力设备，其额定电压如不加特别说明，一般均指相间电压（即线电压），以 U_L 表示，而相电压以 U_{\dots} 表示。

标准额定电压（1000伏以上）

表 1-3

用电设备额定电压，三相交流（千伏）	发电机额定电压（千伏）	变压器额定电压，三相交流（千伏）	
		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	363

表中给出的标准额定电压，为什么发电机、变压器（又有一次绕组及二次绕组之分）和用电设备的都不一致呢？原因是考虑到供电线路在输送负载电流时，线路上就产生相应的电压损失，所以规定发电机的额定电压高出电力网和用电设备的额定电压，用其高出的部分去补偿线路上的电压损失以保证用电设备获得额定电压。《标准》规定发电机额定电压高出电力网和用电设备额定电压5%，说明允许线路正常电压损失为5%。譬如电力网和用电设备额定电压为10千伏，则发电机额定电压规定为10.5千伏。

至于变压器二次绕组的额定电压高出电力网和用电设备的额定电压10%，其原因是电力变压器的二次绕组额定电压均指空载时的电压而言。当变压器满载供电时，由于变压器本身的一、二次绕组的阻抗要引起一个电压降落，故变压器满载时二次绕组的端电压较空载时约低5%，但比用电设备额定电压尚高出5%左右以补偿网络上的电压损失。另外，由于变压器均联接在与其一次绕组额定电压对应的电力网的末端，性质上相当于电力网的一个负载，故规定变压器一次绕组额定电压与用电设备相同。当变压器离发电机很近时（例如发电厂的升压变电站使用的升压变压器），线路很短，其电压损失可忽略不计。在这种条件下使用的变压器，规定其一次绕组额定电压与发电机相同。根据同理，当变压器靠近用户，配电距离不远时，可选用二次绕组

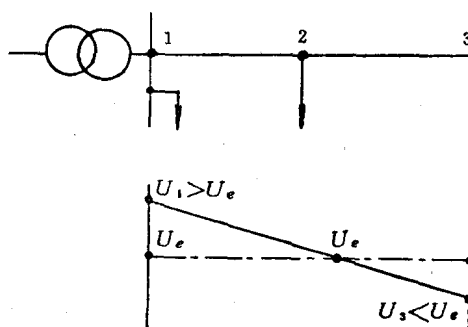


图 1-2 供电线路上的电压变化

额定电压比用电设备额定电压高出5%的变压器即可。

电力网的额定电压虽然规定得和用电设备额定电压一致，但严格地说，电力网由始端到末端处处电压是不一样的，离电源越远处的电压越低，并且随用户负荷的变化而变化，电力网上的电压也不能维持恒定。如图1-2所示，由一台变压器通过配电线路对三个用户供电，由于线路上有电压损失，三个用户处的电压很明显是不相等的。始端的用户1处，其电压高于网路的额定电压 ($U_1 > U_n$)，而末端的用户3处，其电压经常低于网路的额定电压 ($U_3 < U_n$)，只有用户2处的电压接近额定电压 ($U_2 \approx U_n$)。这一条线路处处电压都不相等，那么网路的电压究竟用那一个数值来表示最合理呢？这个问题在第五章进行网路的短路电流计算时就会遇到。在供电设计中为了简化计算且使问题的处理在技术上合理，习惯上用线路的平均额定电压 (U_{av}) 来表示电力网的电压。所谓线路平均额定电压就是指网路始端的最大电压（指变压器的最大空载电压）和末端用电设备的额定电压的平均值，例如额定电压为10千伏的网路的平均额定电压为：

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

在冶金工业生产中，由于生产机械种类繁多，因而所配套的电动机和电器从容量和电压等级来看，也是类型繁多的。电压等级用得越多，必然增加变电、配电和控制设备的类型和投资，这是不符合技术经济原则的。因此，在冶金工矿企业中，企业供电的电源电压和企业内部配电电压的正确选择是冶金工业供电系统设计的主要课题之一，它的合理与否将直接影响到供电系统设计的技术经济的合理性，因为电压的高低影响到电网有色金属消耗量、电能损耗、电压损失、建设投资费以及企业今后的发展等。所以电压等级的选择一般系在拟定几种不同电压等级的设计方案进行技术经济比较后，方能最后确定。进行方案比较时需考虑的技术经济指标主要如下：

(1) 经济指标，主要包括基建投资（指线路、变压器和开关设备等的投资费）；有色金属消耗量；年电能损耗费（包括线路及变压器的年电能损耗费）及年维修费；主要电气设备（开关及变压器等）的使用量等；

(2) 技术指标，主要包括电能质量、供电的可靠性、采用某种电压时在技术上的可能性及配电的合理性、适应将来发展的情况等。

供电电源的电压基本上取决于地区电力网现有的电压。改用另一种电压时将在技术上产生极不方便并可能造成经济上的极不合理。如果供电线路的电压不超过10千伏，则企业内部的配电电压通常就采取等于外部电源供电线路的电压，这样在技术经济上是最合理的。

企业内部的配电电压，按照我国现行电压标准可以采取3、6、10或35千伏，其中以6~10千伏应用最普遍。至于3千伏电压则很少用作配电电压，因为在输送相同功率的情况下，它比其它电压等级要多耗用有色金属，或者增多网路电能损耗和电压损失，在技术经济上是极不合理的。目前只有少数小型工矿企业仍在使这级电压作为厂区配电电压。

企业配电电压的选择与高压用电设备的容量、数量及其电压等级有密切的关系。工矿企业的高压用电设备主要是电动机、变压器（包括车间配电变压器及整流变压器）、开关设备及电缆等。

电动机的功率、效率及价格与电压等级有关。电压愈高的电动机，制造时用于加强绝缘的费用愈多，因而价格稍贵。譬如功率相同的电动机，6千伏的比3千伏的约贵20%~30%，而电动机的效率是低电压的较高。譬如相同功率的电动机，3千伏电压的比6千伏电压的效率约高1%。如只从价格和效率出发，选用低电压等级的电动机似乎合理些。但是目前我国生产的电动机的功率大小又是与电压等级有关的，如把功率很大的电动机制成低电压等级时，则绕组耗用的有色金属增多，电机体积大而笨重，这样做显然是不合理的。所以目前生产的电动机是：380伏电压级的电动机功率一般做到300千瓦以下，而大量生产的是100千瓦以下；3千伏电压级的电动机虽然生产范围是75~1500千瓦，但大量生产的是150~800千瓦；功率为200千瓦以上到2000千瓦者，从技术经济上考虑最好制成6千伏电压级，至于功率在2000千瓦以上时，则制成10千伏电压级电动机。确定企业配电电压等级时必须考虑到企业生产所用电动机的功率范围。

对变压器来说，同容量的变压器，当额定电压为3、6或10千伏时，其价格和效率相差不大。开关设备在同样的断流容量下，电压为3、6、10千伏时，其价格也相差不大。因此，企业选用那一级配电电压，与变压器、开关设备关系不太大。

额定电压为3~10千伏的电缆或架空线路，其价格随电压的增高而略有增加，虽然相差有限，但从送电能力而言，它几乎与电压的高低成正比，因此提高配电网路的电压却可大量节省有色金属及减少线路上的电能损耗。从这一点出发，企业内部配电电压选用高压（如10千伏级）是比较合理的。

根据以上的简单分析可知，如果企业外部供电电源的电压在10千伏以上，而且企业内部没有大容量电动机或其它用电设备时，应该采用10千伏作为企业的配电电压，低压设备均用变比为10/0.4千伏的降压变压器供电。这样可大大节省配电网路的有色金属耗用量和减少其电能损耗，而其它供电元件如开关设备、车间变压器等的投资增加并不多。若企业内有少数较大型电动机时，配电电压仍可采用10千伏。此时这些电动机可选用3千伏电压级的，并通过变比为10/3千伏的变压器对其供电。采取这种方案在大多数情况下可能是合理的，当然这还需要进行技术经济比较来决定。在这种情况下，3千伏电压不是作为厂区配电电压，而只是作为车间内对高压电动机的供电电压。

如果企业内有相当数量的6千伏高压用电设备，此时采用6千伏电压作为厂区配电电压是合适的，因为这时如采用10千伏电压，就需额外增添容量相当大的变比为10/6千伏的变压器对它们供电，从而增加了额外投资和这些变压器中的电能损耗。这时从供电系统其它部分所收到的经济效果不一定能抵偿上述这些额外的能量损耗和投资。经验证明，在有总降压变电所的工矿企业里，若其6千伏用电设备的负荷占企业总负荷的30~40%及以上时，则企业内部配电电压采用6千伏要比10千伏更为适宜。

在同一企业内不应采用两种配电电压，因为电压等级越多，不但增加配电装置，而且增加故障的可能性及继电保护的时限等级，不利于运行维护，备品备件的种类规格也增多，极易造成积压浪费。

至于35千伏电压，由于近些年来冶金企业大型生产机械日益增多，用电量很大，所以已广泛采取35千伏（甚至110千伏）高压深入负荷中心（例如安装有大型生产机械的厂房或车间）的供电方式，因此从发展趋势来看，这一级电压今后将成为大型钢铁联合企业的主要配电电压。

第三节 冶金工业的负荷分级及其对供电的要求

为使冶金工业供电做到技术经济合理，既能保证供电的可靠性，又使用于供电的投资费最少，必须研究冶金工业不同性质的负荷对供电的不同要求。在冶金工矿企业中，各类负荷的运行特点和重要性不一样，因此，它们对供电的可靠性和电能质量的要求程度则不相同。有的要求很高，有的要求较低；必须根据不同的要求来考虑供电方案。为了合理地选择供电电源及设计供电系统，以适应不同的要求，有必要将冶金工业企业的电力负荷按其用电设备对供电可靠性的要求划分为三个等级：

一、一级负荷

这类负荷如突然中断供电将造成人身伤亡的危险，或造成重大设备损坏且难以修复，或给国民经济带来极大损失者。在冶金工矿企业，一级负荷较多，例如高炉炉体的冷却水泵、泥炮机、热风炉助燃风机；平炉的倾动装置、平炉装料机；转炉的吹氧管升降机构及烟罩升降机构；铸锭吊车；大型连轧机；加热炉助燃风机；均热炉钳式吊车；有淹没危险的矿井主排水泵；有爆炸、发生火灾危险或对人身有危害性气体的生产厂房以及矿井的主通风机等等。一级负荷要求应由两个独立电源供电。对特殊重要的一级负荷（如高炉炉体的冷却水泵等）应由两个独立电源点供电。

所谓独立电源是指若干个电源中，任一电源因故障而停止供电时，不影响其它电源继续供电。凡同时具备下列两个条件的发电厂、变电站的不同母线段均属独立电源：

(1) 每段母线的电源来自不同的发电机；

(2) 母线段之间无联系，或虽有联系但当其中一段母线发生故障时，能自动断开联系，不影响其余母线段继续供电。

而独立电源点是指若干个独立电源来自不同的地点，任一独立电源点因故障而停止供电时，不影响其它电源点继续供电。例如两个发电厂，一个发电厂和一个地区电力网，或者一个电力系统中的两个地区变电站都属于两个独立电源点。

如果工矿企业只建立一个企业总降压变电站，尽管电能取自电力系统的两个独立电源点，但对企业内的一级负荷来说只能算是具有一个独立电源。只有当企业建立两个或两个以上总降压变电站时；或虽有一个总降压变电站，但企业内尚有自备发电厂时，对企业内的一级负荷才能保证有两个独立电源点供电。

特殊重要的一级负荷通常又叫做保安负荷。对保安负荷必须考虑当企业的工作电源突然中断时，为保证企业安全停产，专供保安负荷应急使用的可靠电源。这种为安全停产而应急使用的电源称为保安电源。譬如炼铁厂突然断电，保证高炉安全停产的炉体冷却水泵，正常运行就必须不间断地由保安电源供电。保安电源取自企业自备发电厂或其它总降压变电站，它实质上也是一个独立电源点。保安负荷的大小和企业的规模、工艺设备的类型以及车间电力装备的组成和性质等有关。对大、中型钢铁联合企业来说，保安负荷约占企业最大计算负荷的10%左右。设计时必须考虑保安电源的取得方案和措施。

二、二级负荷

这类负荷如果突然断电，将造成大量废品，产量锐减，生产流程紊乱且不易恢复，企业内运输停顿等，因而在经济上造成较大损失者。对此级负荷允许短时停电几分钟。

这类负荷数量很大，例如矿井提升机、选矿车间、烧结机、高炉装料系统、转炉上料装置、连铸机传动装置、各型轧机的主传动及辅助传动以及生产照明等等。

二级负荷应由两回线路供电，该两回线路应尽可能引自不同的变压器或母线段。当取得两回线路确有困难时，允许由一回专用架空线路供电。

三、三级负荷

所有不属于一级和二级负荷的电力用户均属于三级负荷。如冶金工矿企业内的辅助性生产车间（机修、电修、计器修理、机车车辆修理车间等）、仓库、料场、采暖锅炉房、办公楼及非生产照明等。三级负荷对供电无特殊要求，允许较长时间停电，可用单回线路供电。

冶金工业是我国社会主义建设中的重要工业部门，是电能的主要用户，一、二级负荷占比很大，即使短时停电造成的经济损失一般都很可观。掌握了冶金工业的负荷分级及其对供电的要求后，在设计新建企业的供电系统时可以按照实际情况进行方案的拟定和分析比较，使确定的供电方案在技术经济上最合理。

第四节 冶金工业用电设备的主要特征

冶金工业的电力负荷按其用电设备对供电可靠性的要求不同而划分为三个等级，而在每级负荷中，用电设备的类型繁多且容量相差悬殊，其运行特性又是各种各样。用电设备的这些不同特征关系到供电技术措施的确定问题。为此，本节对冶金工业用电设备的主要特征作一些简要介绍，供学习有关部分和今后确定供电措施时参考。

冶金工矿企业广泛使用的空压机、通风机、水泵、破碎机、球磨机、分级机、浮选机、搅拌机、制氧机以及润滑油泵等等机械的拖动电动机，不论其功率大小（从不足1千瓦到几千千瓦）及电压高低（从380伏到10千伏），一律配用三相交流电动机，它们均属于恒速持续运行工作制的用电设备。正常运行时，其负荷基本上均匀稳定且三相对称，仅在起动时或偶尔出现异常情况（例如初破碎机发生卡大块）时才引起供电系统的负荷波动。具有这种特征的用电设备从供电系统取用电能时，它们的需用系数[●]都较高（0.65~0.85），且功率因数也很稳定，一般可达0.8~0.85。大型空压机、通风机、水泵和球磨机等如有条件时选用同步电动机拖动，则对整个企业用电更能起改善功率因数的作用。这类用电设备属于供电系统的稳定用户。对这类设备可直接根据其额定功率进行负荷计算来选择供电设备，如变压器、网路导线及开关设备等，这些供电设备的使用效率也较高。

有一些生产机械，如烧结机、连续铸管机、回转窑等等，它们的拖动电机也属于持续运行工作制，其负荷性质基本上也是稳定的。但与上面所介绍的恒速运行机械不同之处，是这些机械在运转过程中要求调速，因而目前均采用易调速的直流电动机拖动系统，直流电源靠增设的变流机组或可控硅整流装置供给。于是要多用一套变流装置，且供电设备应根据变流机组的原动机功率或整流变压器的容量来计算选用。这些用电设备由于增加了变流环节以及调速的原因，所以从供电系统取用电能的需用系数和功率因数均稍降低一些。

[●]见第二章公式（2-1）。