

中等专业学校教材

电力网及电力系统

西安电力学校主编

电力工业出版社

内 容 提 要

本书为电力类中等专业学校教材。

全书共分十一章。主要内容有：电力网电压、结线方式及常用杆型；电力网参数及等值电路；潮流计算；有功功率平衡及频率调整；无功功率平衡及电压调整；电能损耗计算与经济运行；导线截面选择；电力系统的稳定运行；远距离输电等。

本书适用于发电厂及电力系统、电力系统继电保护、输配电等专业。也可供从事电力网及电力系统运行、设计等方面的工作人员参考。

中等专业学校教材
电力网及电力系统
西安电力学校主编

*

电力工业出版社出版
(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 20.4印张 459千字
1980年3月第一版 1980年3月北京第一次印刷
印数 00001—14150册 每册 1.65元
书号 15036·4024

前 言

本书是根据原水利电力部中等专业学校“发电厂及电力系统”、“电力系统继电保护”专业数学计划及教材规划会议通过的本课程教材编写提纲编写的。编写中，我们注意运用唯物辩证的观点，结合我国电力网及电力系统的实际和教学的特点，由浅入深，循序渐进。

本书由西安电力学校王新学同志、南京电力学校王义和同志统稿；西安电力学校周振山同志统图；吉林省水利电力学校赵宝清同志、南京电力学校顾惠珍同志校核例题。其中，第一、二、三章由周振山同志编写；第四、五章由顾惠珍同志编写；第六、七、九章由赵宝清同志编写；第八、十一章由王新学同志编写；第十章由王义和同志编写。

本书由湖北省电力学校主审，沈阳电力学校、哈尔滨电力学校、武汉供电局、武汉电力设计院、上海供电局、长春电力学校、重庆电力学校、昆明电力学校、山西省电力学校等单位参加审稿工作。在此一并致以衷心的感谢。

诚恳希望各校师生和读者对本书存在的缺点和错误提出意见和批评，以便改进。

编 者

1979年6月

目 录

前 言

第一章 电网及电力系统的基本知识	1
第一节 电能生产的特点和基本要求	1
第二节 电网及电力系统的组成	2
第三节 联合电力系统的优越性	4
第四节 电力输送技术的发展	5
第五节 电网的额定电压及各级电压电网的供电范围	6
第六节 电网的接线方式	9
第二章 输电线路的结构	12
第一节 概述	12
第二节 导线和避雷线	14
第三节 导线的排列与换位	17
第四节 杆塔	19
第五节 绝缘子	24
第六节 常用金具	28
第七节 电缆的结构	31
第三章 电网的参数及等值电路	34
第一节 线路的参数	34
第二节 输电线路的等值电路	41
第三节 变压器的等值电路及参数	44
第四章 开式电网的功率分布及电压计算	62
第一节 概述	62
第二节 电网的功率损耗	63
第三节 电网环节的首端和末端功率、电压的平衡关系	65
第四节 开式区域电网的功率分布与电压计算	72
第五节 开式地方电网的功率分布与电压计算	80
第五章 闭式电网的功率分布及电压计算	87
第一节 两端供电网的功率分布	87
第二节 多级电压的闭式电网的功率分布	93
第三节 闭式地方电网的功率分布及电压计算	99
第四节 闭式区域电网的功率分布及电压计算	101
第五节 具有结点的电网的功率分布	107
第六章 电力系统的有功功率平衡及频率调整	123
第一节 概述	123

第二节	电力系统的有功功率平衡及备用	126
第三节	汽轮机的调速装置	127
第四节	电力系统的频率调整	131
第七章	电力系统的无功功率平衡与电压调整	135
第一节	概述	135
第二节	电力系统的无功电源	138
第三节	用电设备的容许电压偏移及电压中枢点的调压方式	140
第四节	改变发电机励磁调压	142
第五节	利用变压器分接头调压	143
第六节	利用有载调压器调压	146
第七节	改变电力网参数调压	149
第八节	改变电力网无功功率分布调压	152
第九节	各种调压方法的比较和应用	157
第八章	电力系统电能损耗计算及经济运行	162
第一节	概述	162
第二节	负荷曲线	163
第三节	用均方根电流法计算电力网的电能损耗	167
第四节	利用最大功率损耗时间计算电力网的电能损耗	176
第五节	电力网的年运行费及技术经济计算	182
第六节	提高电力网负荷的功率因数降低电能损耗	185
第七节	提高电力网运行的电压水平降低电能损耗	188
第八节	改变电力网的结线及运行方式降低电能损耗	189
第九节	电力系统发电厂间的负荷经济分配原则	192
第九章	电力网导线截面的选择	196
第一节	按机械强度的要求导线最小容许截面	196
第二节	按电晕损耗条件的要求导线最小容许截面或直径	197
第三节	按发热条件的要求导线最小容许截面	197
第四节	按经济电流密度选择导线截面	200
第五节	按容许电压损耗选择导线截面	201
第六节	闭式电力网导线截面的选择	208
第七节	导线截面选择方法综述	213
第八节	户内绝缘导线截面的选择及与低压熔丝的配合	214
第十章	电力系统运行的稳定性	217
第一节	发电机的功角特性	217
第二节	电力系统运行的静态稳定性	223
第三节	电力系统运行的动态稳定性	235
第四节	电力系统振荡	255
第五节	电力系统的不对称运行	258
第十一章	远距离输电	261
第一节	交流远距离输电线路的输电方程	261

第二节	交流远距离输电线路的自然功率	271
第三节	交流远距离输电线路的参数补偿	274
第四节	高压直流输电	279
附 录		291
附录 I	输电线路电感电抗和电容电纳计算公式的推导	291
附录 II	常用参数	297
附录 III	转子运动方程的推导	315
附录 IV	双曲线函数、指数函数及三角函数的关系式	316

第一章 电力网及电力系统的基本知识

第一节 电能生产的特点和基本要求

电能的生产、输送、分配和使用的主要特点是：

1. 电能生产不容间断 目前，电能还不能大量地廉价地贮存（水电站的抽水蓄能仅是很小一部分，其他储能方式还在研究中）。发电、送电和用电的过程是在同一瞬间进行的。也就是说，在任何时刻发电厂所发出的功率和用户所需要的功率（包括厂用电和各种功率损耗在内），始终保持着平衡。为了保证对用户不间断地供电，电力系统各组成部分必须紧密联系，互相协调，可靠地工作。系统中无论哪一部分损坏，都将影响整体。考虑到用户的不断增长和事故发生后仍能保证向用户供电的可能性，以及停电检修的需要等，系统中必须有足够大的发电容量，同时，电力系统中还应配备一定比例的备用容量。

2. 电能生产影响面广 电力工业是先行工业，它与国民经济各部分以及人民生活的关系极其密切。电能供应不足或中断，将直接影响国民经济计划的完成和人民的正常生活，甚至引起产品报废，设备损坏等严重后果。因此，在保证供电可靠性的同时，还必须提高运行的经济性，最大限度地降低电能成本，以利于国民经济各部门生产的发展和人民物质、文化生活的提高。

3. 自动化程度要求高 由于运行情况变化而引起的电磁的和机电的变化过程（称过渡过程或暂态过程）非常迅速。因而，正常情况下或故障时进行的调整和切换等操作，仅依靠手动是达不到满意的效果的，甚至是不可能的，必须采取专用的自动装置才能迅速而准确地完成这些任务。

由于电能生产，输送和使用有着上述的特点，因此，对电力网及电力系统提出了下述四点基本要求：

1. 最大限度地满足用户用电的需要

电力生产部门的任务，是生产电能向用户供电，不断地满足我国社会主义革命和建设事业日益发展的需要，以及人民物质和文化生活的需要。电力工业必须先行。根据国家发展国民经济的总方针，全面地进行电力工业发展的规划和设计，并充分发挥现有设备的潜力，进行技术革新和技术革命，提高设备出力，保证向用户提供足够的电力。

2. 保证供电的可靠性

运行经验表明：电力系统中大的事故，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，首先应保证系统中各个组成部分运行的可靠性，这就要求对每一发电、变电、输电和用电设备都要经常进行监视、维护，并定期进行预防性试验和检修，使设备始终处于完好的运行状态，严格执行规章制度，提高系统的运行水平，杜绝事故的发生。若一旦发生事故，应能妥善处理，防止事故的扩大，为此，还应经常进行反事故演习。

3. 保证良好的电能质量

所谓电能质量，主要是指电力系统中交流电的频率、波形和各点电压，均应保持在一定的允许变动范围之内。频率、波形和电压的偏差，不仅严重地影响电力用户的正常工作，而且对发电厂和电力系统本身的运行也有严重危害（详见第六章及第七章）。

4. 努力提高电力系统运行的经济性

提高运行的经济性，就是使电能在生产、输送和分配过程中，耗费少、效率高，最大限度地降低电能的成本，以促进国民经济各部门的发展。电力系统运行的经济性主要反映在降低发电厂的燃料消耗（煤耗率或油耗率），厂用电率和电力网的电能损耗等指标上。

为保证向用户提供可靠、优质、经济的电能，首先要做到安全生产和安全用电。安全、可靠、优质、经济地发供电，就是多快好省的总路线在电力工业生产上的具体体现。

第二节 电力网及电力系统的组成

在电力工业发展初期，发电厂是建设在用电地区附近的，动力的来源大多靠运输燃料（煤和石油）供给。输电工程的发展打破了这种局面，使距离用电地区很远的动力资源（除煤、石油、天然气外，还有水力、地热和潮汐等），也可以得到充分的利用。

事实上大部分国家的动力资源的分布和电力负荷中心往往是不一致的。如水力资源是集中在江河流域水位落差较大的地方，热力资源集中在燃料和其它热源的产地。而大的电力负荷中心，则多集中在工业原料产地、工农业生产基地、交通枢纽和战略基地以及因历史条件所形成的大城市等地区。因此，发电厂和电力负荷中心之间，往往相距甚远，需要用输电线路作为传输电能的通道。

远距离输电不仅能充分利用偏远地区的动力资源，而且通过经济比较表明，不论距离远近，输送电能都比运输燃料经济，因此，应多建矿口电厂（建在矿源出口附近的电厂），经输电线路向负荷中心供电。

由发电厂向电力用户输送电能的过程中，电流在导线中将产生电压降落，功率损耗和电能损耗。减少电压降落，可以提高电能质量；减少功率损耗，可以提高电力设备的出力；减少电能损耗可以提高供电的经济性。

提高输电电压，既可以减少电压降落，提高电能质量，又可以减少功率损耗和电能损耗，以提高设备出力和运行的经济性。因为输送的电能等于输送的功率乘时间，即，

$$A = Pt = \sqrt{3} UI \cos\varphi \cdot t$$

式中 P —— 输送的功率（千瓦）；

t —— 时间（小时）；

U —— 电压（千伏）；

I —— 电流（安培）；

$\cos\varphi$ —— 功率因数。

电力网的电压降落与导线中通过的电流成正比，功率损耗和电能损耗与电流的平方成正比。在输送功率不变的情况下，提高输电电压，导线中的电流就减少了，于是电力网的

电压降落，功率损耗和电能损耗，也就相应地减小。

因此，输电电压比较高，输送的电能质量和经济性就比较好，在保证一定的技术经济指标的条件下，可以把更多的电力输送到更远的地方去。而且，输电电压比较高，线路的单位输送容量造价也比较低。所以随着电力事业的不断发展，世界各国都在不断提高输电电压，大力发展超高压远距离输电，并向特高压输电迈进。

输电电压的提高，是用变压器来进行的。在输电线路的首端，将发电厂输出的电力，用变压器升高电压，经输电线将高压电能输送到线路末端以后，再用变压器降低电压供给用户。

图1-1表示一个简单的电力系统和电力网示意图。图中电力线路担负着输送电能与分配电能的任务。由电源向电力负荷中心输送电能的线路，称为输电线路（或送电线路）。主要担负分配电能任务的线路称为配电线路。

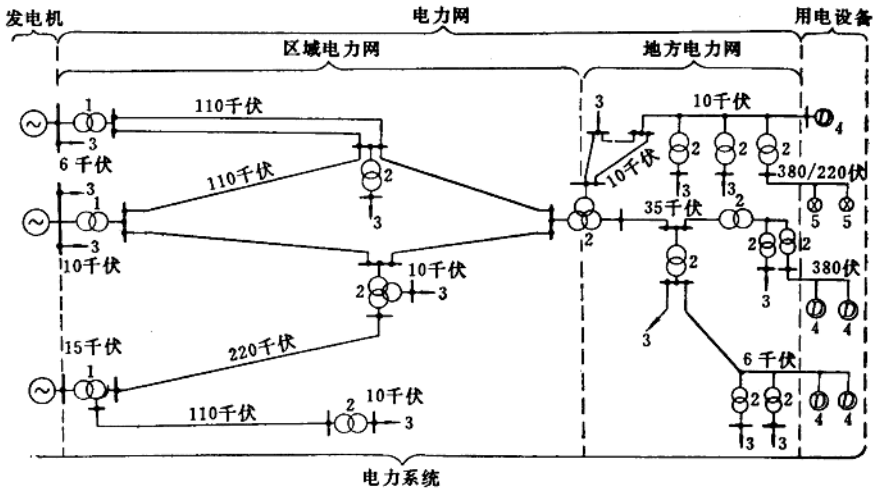


图 1-1 电力系统和电力网示意图

1—升压变压器；2—降压变压器；3—去负荷；4—电动机；5—电灯

电力网（简称电网）是由各种电压的输、配电线路及其两端的变电所组成的。包含输电线路的电网称为输电网；包含配电线路的电网称为配电网。

电力网按其本身结构方式，又可分为开式电力网和闭式电力网。凡用户只能从单方向得到供电的电力网称为开式电力网；凡用户可以从两个及两个以上方向得到供电的电力网称为闭式电力网。环形电网和两端供电的电网，均属于闭式电力网。

电力网根据电压等级的高低，目前大体上分为低压、中压、高压、超高压和特高压五种。电压等级在1千伏以下的电力网称低压电网；1千伏到10千伏之间的称中压电网；高于10千伏而低于330千伏的电力网称为高压电网；330千伏到1000千伏之间的电力网称超高压电网，1000千伏及以上的电力网称特高压电力网。

有时为了研究和计算的方便，又将电力网分为地方网和区域网两大类。电压在110千伏及以上的电力网称为区域性电力网（简称区域网）；电压在110千伏以下的电力网称为

地方性电力网（简称地方网）。

电力系统是发电厂、电力网和用户组成的整体。

把两个或两个以上的小型电力系统，用电网连接起来并联运行，组成地区性的电力系统。进一步把几个地区性电力系统通过输电线连接起来，组成更大的电力系统，称为联合电力系统。

第三节 联合电力系统的优越性

联合电力系统在技术上和经济上都有着很大的优越性，归纳起来有以下几个方面：

1. 提高了供电的可靠性和电能质量

为了保证在个别机组发生故障和检修时，仍能对用户连续供电，电力系统必须建立一定的备用容量（通常为系统总装机容量量的10~15%，并且不应小于一台最大机组容量）。由于联合电力系统容量大，备用机组台数较多，个别机组发生故障对系统的影响较小，而几台机组同时发生故障的机会又很少，因此供电的可靠性较高。联合电力系统容量很大，个别负荷的变动，不会造成电压和频率的显著变化，所以电能质量较好。

2. 可减少系统的装机容量，提高了设备利用率

由于不同地区之间东西有时差，南北有季节差，再加上负荷性质的不同，故联合电力系统的高峰负荷出现的时间就不同。组成联合电力系统后，其综合起来的最大负荷，必然小于各单独系统的最大负荷之和。

在联合电力系统中各电厂的机组可错开时间进行检修。当某些电厂的机组发生故障时，可由系统中其它机组支援，因而可减少总的备用容量。

于是，组成联合电力系统以后，在用电量一定时，可以减少总的装机容量，在总的装机容量一定时，可以提高设备的利用率，增加供电量。

3. 便于安装大型机组

系统中火电机组的经济装机容量与电力系统总容量及负荷增长速度等因素有关。一般认为100万千瓦以上的电力系统中最经济的机组容量为系统容量的6~10%左右，1000万千瓦以上的电力系统中最经济的机组容量为系统容量的4~6%左右；对于容量较小的电力系统，当负荷增长较快时，最经济的机组容量为系统容量的20%左右。机组容量小于这个比例时不经济，超过这个比例会造成系统运行和检修的困难。因此系统联合，容量增大，按照比例可装设容量较大的机组，而大型机组每一千瓦设备的投资和生产每一度电能的燃料消耗以及维护费用，都比装设小机组便宜。因而可节约基建投资，加快建设速度，降低成本和提高劳动生产率。

4. 合理利用动力资源，提高了运行的经济性

很多能源用于发电，如风力电站、潮汐电站、太阳能电站以及原子能电站等，若不和电力系统并列运行，就很难得到充分利用。水力资源决定于河流的水文情况，受气候条件的影响，而河流的天然流量与年降水量有关。一般夏季为丰水期，冬季为枯水期，若水电站孤立运行，则形成冬季出力不足而夏季却要弃水，使水力资源不能得到充分利用。如果

把水电站与电力系统联网运行，在夏季丰水期可让水电站满发而减少火电站的负荷；在冬季枯水期则让火电站担负基本负荷，而让水电站担负尖峰负荷。在火电厂之间，可经常让高效率 and 运行指标低的机组多带负荷，而让效率低或燃烧优质燃料的机组少带负荷。这样既充分利用了水力资源，又降低了火电厂的煤耗；既降低了电能成本，又提高了运行的经济性。

原子能电站的特点是基建投资大而运行费用低。原子能发电既不受气候的影响，也不受燃料运输条件的限制，但其容许负荷的波动小。因此，只有在联合电力系统中才有可能使其经常担负基本负荷运行。

以上这些优点，说明了建立联合电力系统的合理性。因此，若干年来世界各国均不断扩大电力系统的规模，相邻国家还通过联络线以交换电力。如一些西欧国家已相互联成西欧的电力系统。

我国解放以后，在中国共产党的领导下，电力工业取得了迅速发展，各省、区的电力系统都相继建成，并建成了东北、京津唐、华东、陕甘宁青以及华中、华南、西南等地区的高压和超高压电力系统。随着我国农业、工业、国防、科学技术四个现代化的迅速发展，我国将逐步建成更高电压的全国统一的电力系统。

第四节 电力输送技术的发展

人类社会的生产活动是一步一步地由低级向高级发展，因此人们的认识，不论对于自然方面，对于社会方面，也都是一步一步由低级向高级发展，即由浅入深，由片面到更多的方面。

人们对于电力的应用和认识及其科学地发展也是这样，电力传输首先是从直流开始的。在十九世纪九十年代以前，发电、输电和用电都是直流。输电电压很低，供电范围很小。后来为了提高输电电压，用直流发电机串联起来组成高压直流电源，受端电动机也是用串联方式运行的。由于大容量直流电机换向有困难，而且串联运行方式复杂，所以直流输电的发展受到限制。

以后，随着生产的发展和用电需要的不断增长，人们逐步掌握了三相交流电、交流发电机、变压器和感应电动机，认识了用交流发电、变压、对电力的输配和使用，都比较方便、经济、安全和可靠。于是，交流就几乎完全代替了直流，三相交流输电取代了直流输电。

正如上节指出的那样，随着生产力的发展，不仅要求输送更大的功率到更远的地方去，而且要求输送得更经济更可靠。于是，一个个原来孤立运行的电厂被联接起来，形成了较大的电力系统和联合电力系统。到了二十世纪五十年代，电力系统的规模发展得更大了，这时，在运行上又产生了一系列复杂的新问题，其中，主要是电力系统的稳定性问题。虽然各国在解决稳定问题方面进行了大量的科学研究工作，也取得了显著的成果，但交流输电的固有困难和局限性，在生产实践中也越来越明显地表现了出来。于是直流输电技术又重新为人们所重视。高压大容量的可控汞弧阀的制成，特别是六十年代可控硅整流

器的出现，为实现高压直流输电创造了条件。

由于超高压直流输电除了不存在稳定性的问题外，还具有很多良好的技术经济特性，所以，现阶段跨海电缆，大功率远距离的架空线路和要求不同步运行的交流系统的联络线，以及其它不宜使用交流输电的场合，均宜采用高压直流输电（详见第十一章）。

第五节 电力网的额定电压及各级电压电网的供电范围

一、电力网的额定电压

为了使电力设备的生产实现标准化和系列化，发电机、变压器及各种电力设备都规定有额定电压。各种电力设备在额定电压下运行时，其技术性能和经济效果最好。

我国规定的各种电力设备的额定电压，按照电压高低分为三类，见表1-1至1-3。

表 1-1 第一类额定电压

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

第一类是 100 伏以下的额定电压（表1-1），主要用于安全照明，蓄电池及开关设备的直流操作电源，而三相36伏电压，只作为潮湿工地和房屋的局部照明及电力负荷之用。

第二类是大于100伏而小于 1000 伏的额定电压（表1-2），主要用于电力及照明设备，表中括号内的电压，只用于矿井下或其它安全条件要求较高之处。

第三类是1000伏以上的额定电压（表1-3）主要用于发电机，变压器及用电设备。

电力线路的额定电压是按照用电设备的额定电压制定的。它应与用电设备的额定电压相等。但由于线路中有电压损耗，所以，线路首端电压高而末端电压低（如图 1-2 所示），且当负荷变化时，电压损耗也随负荷变化而变化，因而，线路各点的电压也不可能是恒定

表 1-2 第 二 类 额 定 电 压

受 电 设 备			发 电 机		变 压 器			
直 流 (伏)	三 相 交 流 (伏)		直 流 (伏)	交 流 三 相 线 电 压 (伏)	交 流 (伏)			
	线 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	—	—	—	—	—

表 1-3

第 三 类 额 定 电 压

受 电 设 备 (千伏)	交 流 发 电 机 线 电 压 (千伏)	变 压 器 线 电 压 (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11.0
—	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. 变压器的一次绕组栏内 3.15, 6.3, 10.5及15.75 千伏电压适用于和发电机端直接连接的升压变压器及降压变压器;
2. 变压器二次绕组栏内3.3, 6.6及11千伏电压适用于短路电压值在7.5%及以上的降压变压器;
3. 为证明在技术上和经济上有特殊优点时, 水轮发电机的额定电压容许用非标准电压。

不变的。所以, 要使所有用电设备都保持在额定电压下运行是不可能的, 只能力求使所有用电设备的端电压与额定电压尽可能地接近。显然, 取线路的平均电压 $\frac{1}{2}(U_1 + U_2)$ 等于用电设备的额定电压时, 能满足上述要求。

线路的首端和末端均可能接有用电设备, 用电设备的端电压一般允许在额定电压上下 5% 以内变化, 而线路的电压损耗, 一般不应大于 10%, 所以, 线路首端电压最好只比额定电压高 5%, 线路末端电压才不低于额定电压的 5%, 也就是保证电力设备的端电压不超过它的额定电压 5%。

若发电机做为直接配电的电源时, 发电机总是接在线路的首端, 所以它的额定电压要比电力线路的额定电压高 5% (见表 1-2、表 1-3)。即

$$U_{Fe} = 1.05U_e$$

例如线路的额定电压为 10 千伏时, 接在这种线路上的发电机的额定电压为 10.5 千伏, 对于不做直配电源的大型发电机, 其额定电压不按线路额定电压确定。

变压器的额定电压可用图 1-3 来说明。分析图 1-3 的接线图可看出, 变压器的一次绕组是接受电能的, 相当于用电设备, 而变压器的二次绕组是送出电能的, 相当于发电机。因此变压器一次绕组的额定电压, 应等于用电设备的额定电压 (即等于电力线路的额定电压)。但是, 有些变压器直接与发电机连接 (如图 1-3 中的 B_1 、 B_4), 对于这些变压器, 其一次侧的额定电压, 就应与发电机的额定电压相等 (参看表 1-3), 以便它经常运行于额定电压附近。对于变压器的二次绕组, 从它相当于发电机这一角度来看, 其额定电压比

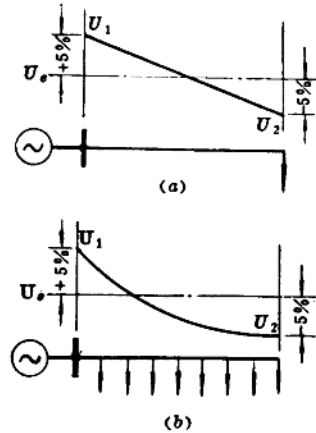


图 1-2 电压沿线长度的分布
(a) 带集中负荷的线路; (b) 带均匀负荷的线路

线路的额定电压高5%，但是，由于变压器二次绕组的额定电压是指空载情况下的电压数值，当变压器带负荷运行时，电流流过变压器绕组，将产生电压损耗，因此，为了使二次绕组的实际输出电压比电力线路的额定电压高5%，对于阻抗大的变压器（包括高压侧电压为35千伏以上的变压器和35千伏及其以下而其短路电压在7.5%以上的变压器），其二次绕组的额定电压比线路额定电压高10%，对于阻抗小的变压器（指高压侧电压为35千伏及其以下，其短路电压在7.5%及其以下的变压器）由于其内部电压损耗不大，二次绕组的额定电压可只比线路额定电压高5%（参看表1-3）。此外，对于二次侧所供线路较短的变压器（如图1-3中的 B_3 ）和三绕组变压器专向同步调相机供电的一侧绕组（如图1-3中的 B_2 ），其额定电压也只需比线路额定电压高5%。

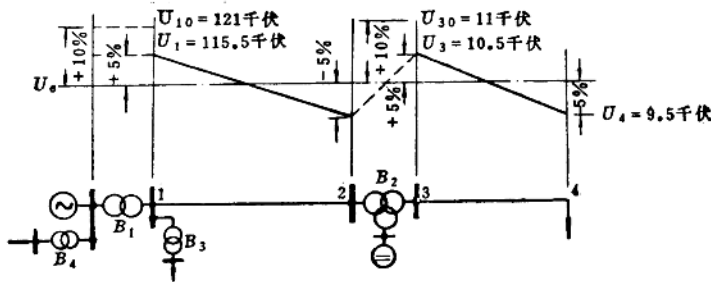


图 1-3 电力网中的电压变化

必须指出，在变压器的高压绕组上（三绕组变压器的高压、中压绕组上），都设有一定数量的分接头（或称抽头），以便根据电力网电压损耗的大小及变电站对实际电压的要求，进行电压调整。电压调整的计算方法见第七章。

二、各级电压电网的供电范围

在输电距离和输送功率一定的条件下，电力网所用的额定电压愈高，则电流愈小，在线路和变压器上产生的功率损耗，电能损耗和电压损耗也就愈小，并且可以采用较小截面的导线，以节约有色金属。但是在另一方面，电压等级愈高，线路的绝缘强度就要求愈高，杆塔的几何尺寸也要随线间距离和导线对地距离的增大而增大，这样杆塔的材料消耗和线路投资就要增加。同时，线路两端的升、降压变电所的变压器，断路器等电气设备的投资，也随着电压的升高而增加。对于220千伏及以上的交流线路，当送电距离较长时，送电能力还将受到系统运行稳定性的限制。因此，电力网的额定电压等级应根据输电距离和输送功率经过全面的技术经济比较来选定。

电力网的输、配电电压等级应符合国家规定的标准电压等级（表1-3）。同一地区，同一电力网内，应简化电压等级。各级电压间的级差不宜太小。国内外经验表明，110千伏及其以下（或称电网配电电压等级），电压级差一般在3倍以上，110千伏以上（或称电网输电电压等级），电压级差一般在2倍左右。

选择电力网的输配电电压，应根据电网内输、配电线路输送容量和输送距离，拟定几

个方案进行比较。如两个方案的技术经济指标相近，或较低电压的方案的优点不大时，则应采用较高电压的方案，以利电网的发展。

各级电压的线路其输送能力（输送容量和输送距离）如表1-4所示。

表 1-4 各级电压合理输送容量及输电距离

额定电压 (千伏)	输送容量 (兆瓦)	输送距离 (公里)	额定电压 (千伏)	输送容量 (兆瓦)	输送距离 (公里)
0.38	0.1以下	0.6以下	35	2.0~10	20~50
3	0.1~1.0	1~3	110	10~50	50~150
6	0.1~1.2	4~15	220	100~500	100~300
10	0.2~2.0	6~20	330	200~1000	200~600

对于220千伏及以上电压级的输电线路，当输电距离较长时，应按照系统静稳定条件确定输电能力。在一般情况下，线路按静态条件确定的输送能力如表1-5所示。

表 1-5 按静稳定条件确定的线路的输电能力

电 压 (千伏)	输送能力(兆瓦-100公里)	电 压 (千伏)	输送能力(兆瓦-100公里)
220	400~600	500	3800~4000
330	1400~1600	750	7200~7400

第六节 电力网的结线方式

电力网的结线，对电力系统的设计和运行关系十分密切。为了满足电力系统运行的基本要求，在选择电力网结线图时，应考虑以下几方面的问题：

1. 必须保证用户供电的可靠性。当电力网中某一部分发生故障时，应由继电保护装置将故障部分迅速切除，以保证系统中其它部分持续运行。对于不容许间断供电的重要用户，应备有双电源供电或多电源供电。

2. 必须能灵活地适应各种可能的运行方式。电力系统在一年的各个季节中，随着用户负荷的变化和发电厂输出功率的变化而有不同的运行方式。在发电厂、变电所或线路检修（定期检修或事故检修）时，运行方式也要变化。电力网结线应能适应这些运行方式的变化，而不降低供电可靠性和电能质量。

3. 应力求节约设备和材料，减少设备费用和运行费用，使电网的建设和运行比较经济。

4. 应保证各种运行方式下运行人员能够安全操作。

按照上述要求，电力网结线大体可分为两种类型：

一、无备用结线

所谓无备用结线，就是指用户只能从一个方向取得电源的结线方式。这类结线方式分

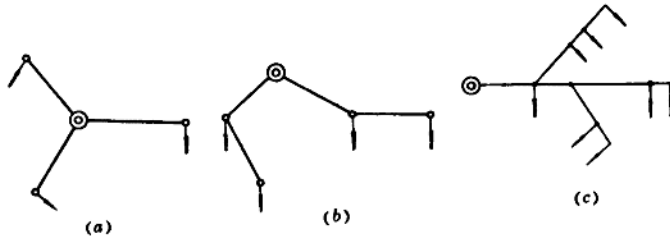


图 1-4 无备用结线
(a)放射式; (b)干线式; (c)树枝式

无备用放射式、无备用干线式和无备用树枝式等，如图1-4所示。

无备用结线的特点是：简单、经济、运行方便，但供电可靠性较差。为了提高这类电网的供电可靠性，除加强检查与维护外，通常是在适当的地点装设保护装置（有继电保护控制的开关或熔断器），以便使故障线路的切断，保证有一定的选择性，从而尽可能地缩小停电的范围。

二、有备用结线

有备用结线是指用户可以从两个或两个以上方向取得电源的结线方式。如双回路、环形网、两端或多端供电网以及由它们组合的电网。有备用结线常分为有备用放射式，有备用干线式和闭式（闭式分单环、双环、两端供电和多端供电等）三种类型，如图1-5所示。

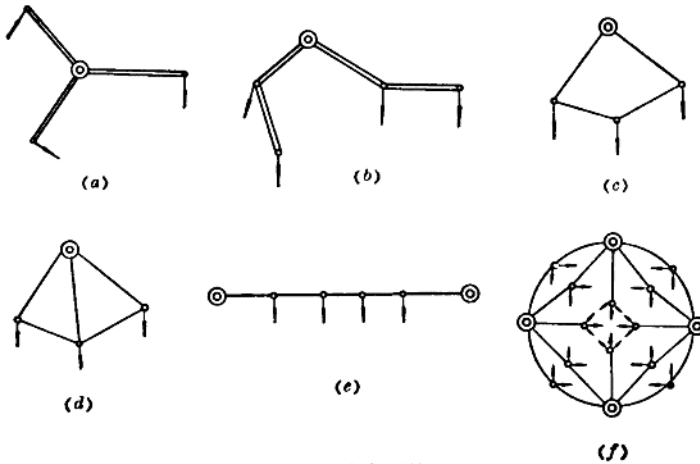


图 1-5 有备用结线
(a)双回路放射式; (b)双回路干线式; (c)单环式; (d)双环式; (e)两端供电式; (f)多端供电式

有备用结线的优点是供电可靠，缺点是运行操作和继电保护复杂，经济性较差。

有备用结线又分为完全备用和不完全备用两类，不完全备用是指当网络故障时，只能保障重要用户不停电，完全备用则可保证电网故障时，全部用户不停电。

多端供电的结线方式，多用于大城市的供电网。

究竟采用何种结线，必须根据具体情况进行全面的技术经济分析比较来确定。

习 题

- 1-1 为什么要采用高压输电低压配电？为什么输电电压越来越高，电力系统越来越大？
- 1-2 为什么电力输送技术的发展过程是直流—交流—交、直流并用？
- 1-3 为什么要规定标准电压等级？电力线路、发电机和变压器的额定电压之间是怎样的关系？试标出图 1-6 中发电机和变压器的额定电压（图中所示电压指电力线路的额定电压）。

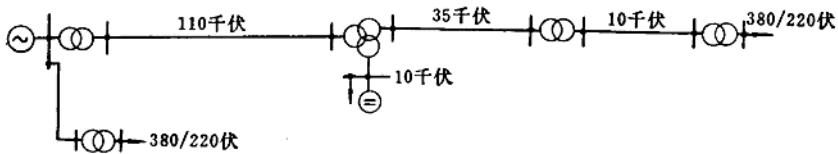


图 1-6 习题1-3附图

- 1-4 试选择图1-1所示的电力系统中的110~220千伏各变压器的额定变比。
- 1-5 试确定图1-1中各种输、配电线路的输送容量（千瓦）及输送距离（公里）的最大限值。
- 1-6 输配电线路电压等级的选择，主要考虑哪些方面的问题？一般的级差多大？
- 1-7 选择电力网结线时，应从哪些方面考虑？试根据对电力系统的四点基本要求，比较无备用结线和有备用结线的优缺点。