



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

输配电线路运行 和检修

(第三版)

牡丹江电力工业学校 曾昭桂 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
全国电力职业教育规划教材

单片机原理及应用
自动控制原理
数字电子技术基础
模拟电子技术基础
电机检修
电机学
电力市场营销
电力系统分析
电力系统继电保护
电力系统自动装置
电力系统继电保护及自动装置
电能计量
电气安全与电气试验
电气仿真运行
变电站运行仿真培训
电气运行与管理
发电厂变电所电气设备
发电厂变电所电气设备
工业企业供电
供配电一次系统
供用电工程

▶ 输配电线路运行和检修(第三版)

配电线路
输电线路施工(第二版)
电工测量及实验(第二版)
用电营业管理
供用电网络及设备
继电保护及自动装置的检验与调试
用电检查
安全用电
装表接电

彭同明等主编
谢援朝等合编
张 钢等合编
郑晓峰主编
刘景峰主编
赵君有等合编
李海侠主编
李梅兰等主编
李丽娇等主编
唐建辉主编
李火元主编
韩 玉主编
刘 伟主编
姜晓华主编
韩江虹主编
杨志辉主编
刘宝贵主编
卢文鹏等主编
王艳华主编
余建华主编
杜文学主编

曾昭桂编
马振良编
王清葵编著
周南星编
孙晓红主编
李俊等主编
杨利水主编
吴新辉主编
洪雪燕等合编
王 成等合编

ISBN 978-7-5083-5088-2



9 787508 350882 >

定价: 24.80 元



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

输配电线路 运行和检修 (第三版)

牡丹江电力工业学校 曾昭桂 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

本书主要讲述输电线路的运行和检修,并适当介绍有关电气计算和过电压保护等知识。全书共四篇,内容包括:电力网的功率和电能损耗计算,降低线损的措施,功率的分布,电压计算与电压调整方法,导线截面的选择,电力系统中性点接地方式,防雷保护、过电压和绝缘配合等基本知识;输电线路的运行要求,巡视和运行中的测试及事故预防;输电线路的检修和带电作业等。

本书为职业院校电力技术类专业教材,也可作为有关技术工人的培训用书及从事输配电专业的技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

输配电线路运行和检修/曾昭桂编. —3版. —北京:中国电力出版社, 2007

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978-7-5083-5088-2

I. 输... II. 曾... III. ①输配电线路—运行—职业教育—教材
②输配电线路—检修—职业教育—教材 IV. TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 004570 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

1982 年 11 月第一版

2007 年 2 月第三版 2007 年 2 月北京第十四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 400 千字

印数 98361—101360 册 定价 24.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

本版教材是根据输配电线路运行和检修的最新规程规范，并结合电力行业技能鉴定的要求进行修订的，主要讲述输配电线路的运行和检修，并适当介绍有关电气计算和过电压保护等知识。全书共分四篇，内容包括：电力网的功率和电能损耗计算，降低线损的措施，功率的分布，电压计算与电压调整方法，导线截面的选择，电力系统中性点接地，防雷保护，过电压与绝缘配合等基本知识；输配电线路的运行要求，巡视和运行中的测试及事故预防；输配电线路的检修和带电作业等。本书理论联系实际，论述深入浅出，通俗易懂；每章后附有习题，便于读者自学。

本书是在第二版的基础上由牡丹江电力工业学校曾昭桂编写和牡丹江电力工业学校金龙哲参编的。在编写过程中，参阅了有关规程等资料，并得到辽宁电力公司、黑龙江电力公司、上海供电公司、北京供电公司、武汉供电公司、牡丹江电业局、吉林电力配训中心等单位的热情支持，在此，一并致以衷心感谢。

由于水平有限，又缺乏实际经验，书中的缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编者

2007年1月

目 录

前言

第一篇 电力网电气计算

第一章 电力系统和电力网的基本知识	1
第一节 电能生产过程	1
第二节 电力系统和电力网	2
第三节 电力系统的基本要求	4
第四节 电力网的额定电压及选择	7
习题	10
第二章 电力系统中性点接地方式	11
第一节 中性点不接地系统	11
第二节 中性点直接接地系统	13
第三节 中性点经消弧线圈接地系统	14
第四节 中性点各种接地方式的使用范围	16
习题	18
第三章 电力网参数和等值电路	19
第一节 线路的参数和等值电路	19
第二节 变压器的参数和等值电路	25
习题	27
第四章 电力网功率和电能损耗的计算	28
第一节 概述	28
第二节 负荷曲线	29
第三节 线路的功率损耗与电能损耗	31
第四节 变压器的功率损耗与电能损耗	39
第五节 降低线损的措施	42
习题	51
第五章 电力网的功率分布与电压计算	53
第一节 概述	53
第二节 电力网电压损耗计算	54
第三节 开式电力网的功率分布	56
第四节 闭式电力网的功率分布与电压计算	65
第五节 电压调整的方法	69

习题	72
第六章 电力网导线截面的选择	73
第一节 按经济电流密度选择导线截面	73
第二节 按发热条件校验导线截面	74
第三节 按电压损耗选择导线截面	75
第四节 按机械强度的要求导线最小容许截面	79
第五节 按电晕损耗条件的要求导线最小容许直径	80
第六节 架空线路导线截面选择方法的应用	80
第七节 电缆芯线截面的选择	81
习题	85

第二篇 过电压及保护

第七章 电介质和气体放电	87
第一节 电介质	87
第二节 气体放电	93
习题	98
第八章 电力系统过电压的产生	99
第一节 大气过电压	99
第二节 内部过电压	107
习题	118
第九章 过电压保护设备	120
第一节 避雷针和避雷线	120
第二节 避雷器	125
第三节 接地装置	129
习题	132
第十章 输配电线路过电压保护	133
第一节 架空输电线路过电压保护	133
第二节 配电网过电压保护	142
第三节 绝缘配合	144
习题	148

第三篇 输配电线路的运行

第十一章 线路各元件的运行要求	149
第一节 对输电线路导线和避雷线的要求	149
第二节 对绝缘子和金具的要求	153
第三节 对杆塔的要求	154
第四节 对杆塔基础的要求	154
第五节 对拉线的要求	155
第六节 500kV 输电线路主要元件及运行的要求	155

第七节 对配电线路的要求	158
习题	161
第十二章 输配电线路的事故预防	162
第一节 污秽和防污工作	162
第二节 线路覆冰及其消除措施	165
第三节 线路的防风工作	168
第四节 导线的振动和防振	169
第五节 防暑过夏工作	174
第六节 防止鸟害和外力的破坏	176
习题	177
第十三章 输配电线路的巡视和运行中的测试	178
第一节 架空线路的巡视	178
第二节 架空线路运行中的测试	181
第三节 电力电缆的运行	188
第四节 配电设备运行	194
第五节 线路运行资料的建立和积累	202
习题	204

第四篇 输配电线路的检修和带电作业

第十四章 输配电线路的检修	205
第一节 线路检修工作的分类	205
第二节 检修工作的组织措施	206
第三节 检修工作的安全措施	207
第四节 线路的检修工作	209
第五节 特殊检修实例	216
第六节 电力电缆线路检修	217
第七节 配电变压器检修	220
习题	222
第十五章 带电作业	224
第一节 带电作业的优点	224
第二节 带电作业的原理和方法	224
第三节 带电作业的安全技术	229
第四节 固体绝缘材料和带电作业的主要工具	231
第五节 带电作业工具的保管和试验	239
第六节 带电作业操作举例	242
习题	245
附录	247

第一篇 电力网电气计算

第一章 电力系统和电网的基本知识

第一节 电能生产过程

电能是输送、分配和使用都很方便的能源，因此在国民经济各个部门和人民日常生活中被广泛应用。电能主要来自火力发电厂和水力发电厂，此外，还有核能、风力、太阳能、地热等发电厂。下面将分别叙述火力发电厂和水力发电厂的生产过程。

一、火力发电厂生产过程

火力发电厂主要以煤作为燃料，此外还有以石油、天然气等作燃料的。根据能量转换定律，火力发电厂生产过程可简述为：燃料在锅炉中燃烧时的化学能被转换为热能，使水变成蒸汽，借助于汽轮机将热能变换为机械能，再由汽轮机带动发电机将机械能变换为电能。总之，电能的生产过程为：化学能—热能—机械能—电能。

1. 火力发电厂分类

火力发电厂按照用户的需要可分为凝汽式发电厂和供热式发电厂。

凝汽式发电厂只生产供给用户的电能。由于将电能输送到远距离的用户，要比运输燃料经济、方便。因此，凝汽式发电厂一般应建设在靠近燃料的产地，特别应建设在靠近低质煤的产地，如矿口发电厂。

供热式电厂（简称热电厂），既供给用户电能又供给热能。国民经济中某些部门（如纺织、化工等）在生产产品时，不仅需要消耗电能，也需要消耗热能；城市公用事业和居民取暖也需要消耗热能，为此这些部门都要自备锅炉设备。为了提高燃料利用的经济性和改善凝汽式火电厂的效率，往往在用户的附近修建热电厂，不仅对用户供给电能，而且还可以实行集中供热。供给用户的两种能量后，可使总效率提高，从而节约燃料。

2. 火力发电厂主要设备及基本生产过程

火力发电厂主要设备是锅炉、汽轮机、发电机、其他设备是为主要设备服务的辅助设备，如风机、水泵等。

图 1-1 为凝汽式电厂的生产过程示意图，其生产过程简述如下。

燃料在锅炉 7 的炉膛中燃烧并放出热量，使炉膛四周的水冷壁管加热，水冷壁管中的水受热蒸发产生蒸汽，蒸汽流经过热器 8 时由于进一步吸收热量而变成具有一定压力和温度的过热蒸汽。过热蒸汽通过主蒸汽管道被送入汽轮机 1，进入汽轮机的蒸汽膨胀做功，使汽轮机转子转动，汽轮机带动发电机 2 旋转而产生了电能。

在汽轮机内作完功的蒸汽将进入凝汽器 3，蒸汽在凝汽器被水冷却为凝结水，凝结水再由凝结水泵 4 打至除氧器 5，经加温除氧后，由给水泵打入锅炉 6 内。

这里需要指出，在凝汽器中，冷却水吸收了蒸汽的热量后排出，从而带走了很大一部分

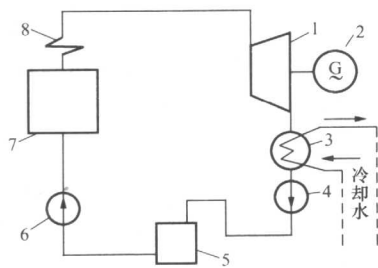


图 1-1 凝汽式火力发电厂生产过程

热量。因此，一般凝汽式发电厂的效率不高，目前比较先进的指标只达到 37%~40%。

热电厂可以提高热效率，减少热能损耗，把作过功的蒸汽所含的热能充分利用起来。热电厂的生产过程与凝汽式发电厂相同，所不同的只是在汽轮机中段抽出部分作过功的蒸汽，再把这些蒸汽引到给水加热器加热，供热力用户的热水。这样，进入凝汽器的蒸汽量大为减少，冷却水带出的热量也就减少了，从而提高了热效率。

二、水力发电厂的生产过程

利用水利资源来发电的电厂称为水力发电厂。水力发电厂容量的大小决定河流上下游的水位差和流量的大小。因此，建设水力发电厂必须根据不同的条件，采用不同方法，将河道上分散的落差集中起来，形成所需要的水头。其基本的生产过程是：从河流高处或水库引水，利用水的流速和压力冲动水轮机旋转，将水的位能变换为机械能，再由水轮机带动发电机旋转，将机械能转变为电能，经变压器升压后由输电线路送入系统。

水力发电厂具有生产过程简单、运行维护人员少、易于实现自动化、发电成本低、启动迅速、不产生污染等优点。随着水力发电厂的兴建，还可以解决发电、防洪、灌溉、航运、水产养殖等多方面的问题，从而可实现河流的综合利用，使国民经济取得更大的效益。因此在发展火力发电的同时，应大力发展水力发电。

第二节 电力系统和电力网

一、电力系统和电力网的组成

在电力工业发展初期，发电厂是建设在工厂或城市等用电地区附近，它们之间没有用电力线路连接起来，多半是孤立运行的电厂。现在大部分国家的动力资源和电力负荷中心往往是不一致的。如水利资源是集中在江河流域水位落差较大的地方，热力资源又集中在煤、石油和其他热源的产地，而大的电力负荷中心则多集中在工业区和大城市。因此发电厂和负荷中心之间，往往相距很远，为了保证供电可靠、经济合理，就必须用输电线路将电能输送到很远的用户，并将孤立运行的发电厂用电力线路连接起来，即首先在一个地区内互相连接，再发展到地区和地区之间互相连接，以组成统一的电力系统。

图 1-2 为简单的电力系统和电力网示意图。通常将发电厂（动力部分和电气部分）、变电所到用电设备、用热设备之间用电力网和热力网连接起来的整体，叫做动力系统。动力系统电气部分，即发电机、配电装置、升压和降压变电所、电力线路以及用电设备所组成的部分，就叫做电力系统。电力系统中，由送变电设备及各种不同电压等级的电力线路所组成的部分，叫做电力网。

电力线路是电力系统的重要组成部分，它担负着输送和分配电能的任务。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。

为了研究和计算方便，通常将电力网分为地方电力网和区域电力网。一般将电压在 110kV 以上，供电范围较广，输送功率较大的电力网称为区域性电力网；电压在 110kV 及其以下，供电距离较短，输送功率较小的电力网称为地方电力网；对于电压在 10kV 及其以下的电力网，则称为配电网。但这种划分，其间也不存在严格的界限。

按电力网本身的结构方式，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

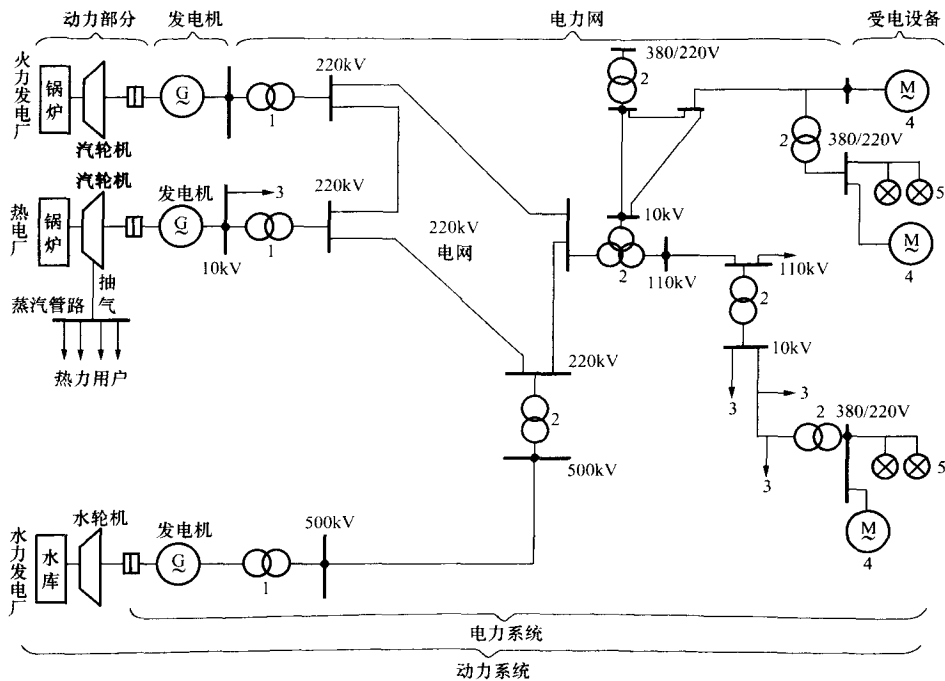


图 1-2 电力系统和电网示意图

1—升压变压器；2—降压变压器；3—负荷；4—电动机；5—电灯

到电能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同时得到电能的电力网就称为闭式电力网。

根据电压等级的高低，一般可将电力网分为低压、高压、超高压和特高压几种。电压在1kV以下的电力网称低压电网；电压在1kV到330kV之间的电力网称高压电网；330kV以上到1000kV之间的电力网称为超高压电网；1000kV及其以上的电力网称为特高压电网。

二、联合电力系统的优越性

一般将发电厂、电力网和用户组成的整体称为电力系统。若将两个或两个以上的小型电力系统并联运行，便组成了地区性的电力系统。进一步把这些地区性的电力系统连接起来，就组成了联合电力系统。组成联合的电力系统在技术上和经济上都有很大的优越性，归纳起来，有如下几个方面。

1. 提高供电的可靠性和电能质量

由孤立发电厂供电时，在电厂内很难建立起足够的备用容量。因此，当有的机组检修、另一机组发生故障时，就会影响对用户的连续供电。但在联合电力系统中，即可建立足够的备用容量，备用机组的台数较多。这样，个别机组发生故障对系统的影响较少，而几台机组同时发生故障的机会也很少，因此提高了供电的可靠性。

由于联合电力系统容量较大，个别负荷的变动，即使是较大的冲击负荷，也不会造成电压和频率的明显变化，从而保证了电能质量。

2. 可减少系统的装机容量，提高设备利用率

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，所以电力系

统中各个用户的最大负荷出现的时间就不同。因而在联合电力系统中,综合起来的最大负荷,将小于各个用户最大负荷相加的总和。由于系统中最高负荷的降低,相应地就可以减少系统中总的装机容量。

为了保证供电的可靠性,必须在发电厂内建立起必要的备用容量。对于孤立运行的电力系统,必须建立起备用容量,其数值通常等于该系统总容量的 $10\% \sim 15\%$,且不小于一台最大机组的容量。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,可由系统中其他机组支援,这样系统中的总备用容量比各个孤立系统备用容量的总和减少一些。

因此,组成联合电力系统后,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、降低造价

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。一般在100万kW及其以上的电力系统中,最经济的机组容量应为系统容量的 $6\% \sim 10\%$ 左右;1000万kW及其以上的电力系统中,最经济的机组容量为系统容量的 $4\% \sim 6\%$ 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运行和检修的困难。由于联合电力系统容量大,按照比例可装设容量较大的机组,而大型机组每千瓦设备的投资和生产每千瓦时电能的燃料消耗以及维修费用,都比装设小机组便宜,因而可节约基建投资、减少煤耗、降低成本和提高劳动生产率。

4. 充分利用各种动力资源,提高运行的经济性

有很多能源,如风力、潮汐、太阳能和原子能等都可以用于发电,如果这些电站与系统连接,将被充分利用。

水利资源取决于河流的水文情况,受气候条件的影响很大。若水电站孤立运行,使水利资源不能得到充分利用。如果与电力系统相连接,由于电力系统有很多火力发电厂,这样在丰水期可让水电站满发,而减少火力发电厂的负荷;在枯水期则让火力发电厂担负基本负荷,而让水电站担负尖峰负荷。此外,火力发电厂之间还可以经常使高效率 and 运行最经济的发电机组多带负荷;效率很低或燃烧优质煤的机组少带负荷。这样就可以充分利用水利资源,降低火力发电厂的煤耗,从而降低了电能成本,提高运行的经济性。

以上这些情况,说明了建立联合电力系统的必要性。随着我国电力工业的发展,在已建成的交流500kV、 ± 500 kV的网架东北、华北、华东、华中、华南等较大电力系统的基础上,将逐步建成交流750kV和1000kV、 ± 800 kV的网架全国统一电力系统。

第三节 电力系统的基本要求

一、电能在生产技术上的主要特点

(1) 电能的生产、输送、分配和使用是在同一瞬间完成的。电能不能贮存,也不容许间断,发电厂的发电量,决定于用户的需求,发电和用电是平衡的。正因为如此,电力系统每个环节中,任何一部分或任何一点发生故障或运行方式发生变化,都会破坏局部供电,甚至影响整个电力系统电能的生产 and 供应。

(2) 电力系统的电磁过渡过程(例如发生突然短路、稳定运行破坏等过程)非常迅速,因而电能的生产靠人工操作和调整是达不到满意的效果,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电能生产的任务,因而对电力系统自动化的程度要求要高。

(3) 电力工业和国民经济各部门以及人民生活关系极其密切,电能的不足或停止供应,会直接影响国民经济的发展和人民的正常生活,甚至造成生产停顿和生产设备的损坏。

二、电力系统的基本要求

(一) 保证供电的可靠性

为了保证电力系统对用户供电的可靠性,首先必须保证电力系统每个设备和元件运行可靠。因此,要求对电力系统中各个设备均要经常进行监视、维护、定期运行试验和检修,使设备处于完好的运行状态,并应在系统中建立必要的备用容量以备急需。

由于电力工业与国民经济各个部门紧密相联,供电的停顿将会引起生产的停顿和人民生活秩序的破坏,甚至会造成人身和设备的损伤。因此,电力系统应尽可能保证对用户连续不断的供电。

衡量供电可靠性指标,一般以全部用户平均供电时间占全年时间(8760h)的百分数来表示。例如用户每年平均停电(包括事故和检修停电)时间为17.52h,则停电时间占全年的0.2%,即供电可靠率为99.8%。

目前我国电力工业还不能满足国民经济发展的需要,因此必须实行计划用电。为了实行计划用电,根据用户对供电可靠性的要求,将电力负荷分为三类。

I类:突然停电,将造成人身伤亡和重大设备损坏,给国民经济带来重大损失和造成严重政治影响的用户。

II类:突然停电,将引起主要设备损坏,产生大量废品、大量减产的用户。如纺织厂、化工厂等。

III类:所有不属于I、II类负荷的用户。

对于I类负荷,应由两个独立电源供电,以保证供电持续性,其中一个应为备用电源,备用电源可以是柴油发电机、蓄电池组等。对于II类负荷,应尽量由不同变压器或两段母线供电。对于III类负荷则无特殊要求。如果由于某些原因,电力系统稳定运行,与对用户的持续供电发生矛盾时,为了保证电能质量,应根据负荷性质,采取适当措施,有计划地将部分不十分重要的用户或负荷加以切除。

(二) 保证电能质量

电压和频率是衡量电能质量的重要指标。电压和频率的过高或过低将影响工厂企业正常生产,影响电力系统的稳定,下面将讨论电压和频率变化时的危害。

1. 电压变动超出容许范围时的危害性

经验证明,电压在额定电压 $\pm 5\%$ 内变化,不会给电力系统和用户带来不利的影响。若超出额定电压 $\pm 5\%$ 的范围,将给电力系统和用户带来极大的危害。

电压过高将使发电机、变压器以及其他带铁芯的电气设备铁芯中的磁通密度增大,铁芯损耗增加,造成铁芯发热,无功损耗增加;电压过高,使发电机、电动机等电气设备绝缘老化,甚至击穿;电压过高,使白炽灯寿命缩短,若电压升高5%,灯泡寿命缩短一半。

电压过低,使电动机运行情况恶化。因为电动机的电磁转矩正比于电压的平方,当电压下降,转矩降低更为严重。当电压降低至额定电压的30%~40%左右,经1s转矩崩溃,电

动机自动停转；正在启动的电动机，由于电源电压降低可能启动不起来，使电动机定子电流增加，运行中温度升高，甚至将电动机烧毁。

电压过低使照明设备不能正常发光。若电源电压降低 5%，白炽灯的发光效率约降低 18%；电源电压降低 10% 时，发光效率约降低 35%。

电压过低使电力网中的功率损耗和电能损耗增加。当线路输送功率不变时，由于电压降低，使电流增大，网损也相应增大。

电压过低使电力设备容量不能充分利用。若电压降低到额定值的 80% 时，线路和变压器的电能输送的容量只为额定值的 64%。

为此，规程规定电力系统电压变动的范围为：

- (1) 35kV 及其以上的电力网为 $\pm 5\%$ ；
- (2) 10kV 及其以下高压供电和低压电力用户为 $\pm 7\%$ ；
- (3) 低压照明用户为 $+5\%$ 、 -10% 。

2. 频率变动超出允许范围的危害性

频率的变化，不仅严重影响电力用户的正常工作，而且对发电厂和电力系统本身也有严重危害。

频率过高使发电机转速增加，这是因为发电机转子的转速与频率成正比。由于转子的转速增加，使其离心力增加，转子机械强度受到威胁，对安全运行十分不利。

频率过低，发电机的出力就要受到限制，影响电力系统安全运行，这是因为：

(1) 发电机的通风是靠转子端部的风扇来进行的，当频率过低时，转子转速降低，风扇转速随之下降，使发电机的通风量减少，因而造成铁芯和绕组的温度升高，这样只能用减负荷的办法使温度降低。

(2) 发电机的感应电势与频率和磁通成正比。如果频率降低，要保持母线电压不变，就必须增加磁通，也就是增加励磁电流，势必使转子绕组温升增加。为了避免转子过热也只有减负荷。

(3) 汽轮机在低速下运行时，若发电机输出功率不变，汽轮机叶片就要过负荷。当叶片过负荷严重时，机组会产生较大的振动，影响叶片的寿命。特别是当叶片振动频率接近或等于叶片的固有频率时，可能产生共振，至使叶片折断。为了保证叶片安全也只有减负荷。

(4) 当频率降低时，发电厂中水、风、煤系统中的电动机转速都降低，严重影响发电机出力，影响电力系统安全运行。

由于频率降低，用户所有电动机转速降低，因而所带动的机械的生产率降低，这将会影响冶金、化工、机械、纺织等行业的产品质量和产量。

根据有关规定，我国电力系统额定频率为 50Hz，其变化范围：电网容量在 300 万 kW 及其以上的系统中，不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ ；电网容量在不足 300 万 kW 的系统中，不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

电能质量标准、除电压和频率外，还有电压波形。由于现代用电设备，如轧钢机、电弧炉、电焊机、可控硅控制的电动机、整流装置、电气化铁路、彩电等，都是电网的谐波源，对电网的电能质量影响很大，会造成电网电压的畸变，也就是谐波对电网的污染。根据富里哀变换，非正弦电压可以分解为基波电压（50Hz）和一系列高次谐波电压（频率为基波的整数倍）。当谐波超过规定的极限值时，将对发供电设备、继电保护及自动装置、用户的用

电设备、通信线路都会产生不同程度的危害，严重影响用户的正常生产，并危及电力系统的安全、经济运行。因此，电网电压正弦波形畸变率均不得超过表 1-1 规定的极限值。

表 1-1 电网电压正弦波形畸变率极限值

用户供电电压 (kV)	总电压正弦波形畸变率极限值 (%)	各奇、偶次谐波电压正弦波形畸变率极限值 (%)	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4	2.00
6 或 10	4.0	3	1.75
35 或 63	3.0	2	1.00
110	1.5	1	0.50

3. 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耗费少、效率高、成本低，其主要以如下三个经济指标来衡量。

(1) 标准耗煤量。指每千瓦时电能所消耗的标准煤量（按规定发热量为 29310kJ/kg 的煤为标准煤）。

(2) 厂用电率。指发电厂在电力生产过程中耗用的电量与发电量之百分比。目前我国火电厂的厂用电率在 6%~10% 之间。

(3) 线路损耗率。指电能能在各级电网环节中的损耗量占供电量之百分比。目前我国各级电网的线损率约在 3%~10% 之间。

在运行中应该力争将全电力系统的各项经济指标降低到最小。

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。

第四节 电力网的额定电压及选择

一、电力网的额定电压

能使发电机、变压器以及各种电力设备正常工作的电压叫做这些电力设备的额定电压。各种电气设备在额定电压下运行时，其技术性能和经济效果最好。国家根据国民经济发展的需要，为了使电力设备生产实现标准化和系列化，规定了电力设备的统一额定电压等级。现将输配电线路中常用的交流电力设备的额定电压列入表 1-2 中。

表 1-2 电力设备的额定电压

受电设备额定电压 (V)	额定端电压（线电压）(V)		
	发 电 机	变 压 器	
		初 级 绕 组	次 级 绕 组
220	230	220	230
380	400	380	400
3000	3150	3000 及 3150	3150 及 3300
6000	6300	6000 及 6300	6300 及 6600
10000	10500	10000 及 10500	10500 及 11000
35000		35000	38500

续表

受电设备额定电压 (V)	额定端电压(线电压)(V)		
	发 电 机	变 压 器	
		初 级 绕 组	次 级 绕 组
60000		60000	66000
110000		110000	121000
220000		220000	242000
330000		330000	363000

- 注 1. 变压器初级绕组栏内 3.15、6.3、10.5kV 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. 变压器次级绕组栏内 3.3、6.6 及 11kV 电压适用于短路电压值在 7.5% 以上的降压变压器。

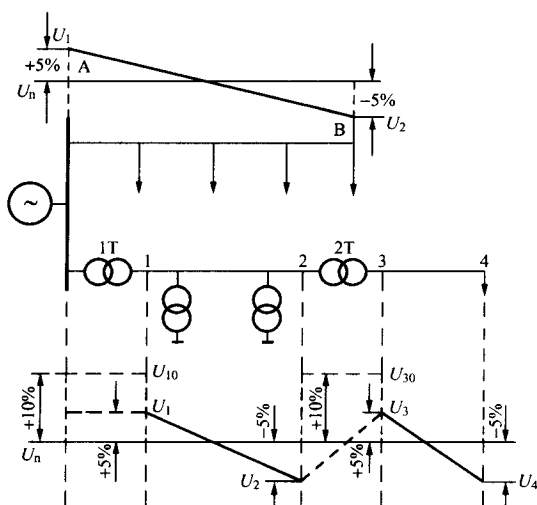


图 1-3 电力网中电压的变化

电力线路的正常工作电压应该与线路直接相连的电力设备的额定电压完全相等。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，沿线路各点的电压也就不相等，如图 1-3 所示。

由于电力设备的生产必须标准化，不可能按照图中斜线 AB 上各点的电压值来制造设备，还由于电力线路中各点的电压是随着负荷变化而变化的，所以要使所有受电设备运行正常，只能力求使所有电力设备的端电压与电网额定电压尽可能地接近。显然，若取线路首端 A 的电压 U_1 和末端 B 的电压 U_2 的平均值 U_p [即 $U_p = (U_1 + U_2)/2$] 作为受电设备的额定电压，就能满足上述要求。因此，电压 U_p 就是电力线

路的额定电压 U_n ，或称电力网的额定电压。

一般同一电压等级电力网的电压损失应不大于 10%。由于发电机处于线路首端，因此，发电机额定电压比电力网额定电压高 5%。例如，额定电压为 10kV 的电力网中，发电机的额定电压为 10.5kV。如果线路首端电压比电力网的额定电压高 5%，则末端电压比电力网额定电压低 5%，这样就保证了电力设备的端电压不超出额定电压 $\pm 5\%$ 的允许变化范围。

变压器的初级绕组接受电能相当于受电设备，它的额定电压应等于受电设备的额定电压（即等于电力网的额定电压 U_n ）。但是有些直接与发电机连接的变压器，它的初级绕组的额定电压与发电机相同，即比电力网额定电压高 5%；变压器的次级绕组，是处于下一级送电线路的首端，相当于发电机，它的额定电压 U_1 、 U_3 比电力网的额定电压高出 5%。由于变压器次级绕组的额定电压是指空载情况的电压值，故当变压器有载运行时，其次级绕组将产生 5% 的电压损耗。为了使次级绕组的实际输出电压比电网额定电压高出 5%，因而对短路电压较大的变压器（包括高压侧电压为 35kV 以上的变压器和 35kV 以下而其短路电压为 7.5% 以上的变压器），其次级绕组的额定电压 U_{10} 、 U_{30} 应比电力网额定电压 U_n 高出 10%。这样，即可保证线路首端 1、3 的电压比电力网额定电压高 5%，末端电压 U_2 、 U_4 比电力网额定电压低 5%，以满足电能质量的要求。

此外,在变压器的高压绕组上具有改变变压比的分接头,可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。

二、电压选择的基本原则

在进行电力网电气计算时,首先应确定电力网的额定电压。已知,三相交流电的线电流 I 、功率 P 和线电压 U 的关系是

$$P = \sqrt{3}UI\cos\varphi$$

所以

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi}$$

上式表明,当输送容量一定时,线路电压越高,电流就越小。电压高不仅可以使使用较小的导线截面,而且可以降低线路的功率损耗和电能损耗。这样看来,似乎线路的电压越高就越节省,实际不然,若电压过高,线路的绝缘就越要加强,用于绝缘方面的投资也就越大。

因此,电力网电压的选择是一个涉及面很广的综合性问题,除考虑输送容量、输送距离、运行方式等各种因素外,还应根据一次能源的分布,电源及工业布局等远景发展情况,进行全面的经济技术比较,其选择基本原则是:

(1) 选定的电压等级应符合国家电压标准,我国目前现行的电力网额定电压标准为:

3、6、10、35、60、110、220、330、500 (kV)

(2) 电压等级的选择应满足近期过渡的可能性,同时也能适应远景规划发展的需要。故在选择电压等级时,应了解一次能源的分布和工业布局,考虑电力负荷的增长和新建的电厂容量。

(3) 同一地区,同一电力网内,电压等级应少,以减少重复容量;各级电压间的级差不宜太小,按国内外的经验,电压等级差一般为 2~3 倍。例如,110kV 及其以上的电力网电压等级为 110/220/500kV 或 110/330/750kV;110kV 及其以下的电力网电压等级为 10/35/110kV。

(4) 在选择电力网电压等级时应考虑到与主系统及地区系统联网的可能性。在选择大容量发电厂向系统送电电压时,应考虑是采用单回线还是采用多回线送电。若采用单回线送电时,应选择高一级电压;采用多回线送电时,可采用低一级电压。

(5) 在实际应用中,照明电力网及容量为 50~100kW 的动力设备,其电压采用 380/220V;对于厂矿企业大型动力设备,如 200kW 及其以上的电动机可由 6~10kV 电网供电;大城市及矿区电力网采用的电压为 35~110kV。

三、输送容量和输送距离的关系

在表 1-3 中,列出由实际经验所得到的各级电压送电线路的输送容量和距离。

表 1-3

各级电压线路的输送容量和距离

线路电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)	线路电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)
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