



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电力系统分析

(第二版)

李梅兰 卢文鹏 主编



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

- 电气制图与识图(第二版)
电气制图与识图习题集(第二版)
机械基础
电工学(上、下册)
电路基础
电工仪表与测量
电工材料
电工工艺实习
电工技能训练
高级电工技能训练
维修电工技能训练
电子技术基础(上册)模拟部分
电子技术基础(下册)数字部分
电子技术基础(中职)
电子技能训练
电机学
电机与拖动基础
电机与变压器
电机原理与维修
可编程控制器原理及应用
安全用电
电气安全技术(第二版)
电气测量
电力拖动控制线路与技能训练
▶ **电力系统分析(第二版)**
电力系统继电保护及自动装置(第二版)
电力系统通信与网络技术
电气安装与调试技术
工厂电气控制技术
工厂供配电技术
企业供电系统及运行
电力电缆
电力电子技术
电力法律法规教程(第二版)
电力市场营销基本知识
- 李显民主编
李显民主编
宋云京等合编
王浩主编
程隆贵主编
贺令辉主编
曾荣主编
周卫星等合编
宋美清主编
杨金桃主编
李高明主编
王汉桥主编
王汉桥主编
王秀珍等主编
王锦主编
叶水音主编
刘景峰主编
李元庆编
宋美清主编
谢伟红等合编
郭莉鸿等合编
乔新国编著
程隆贵等合编
程建龙等合编
李梅兰等主编
李火元等编著
钟西炎主编
盛国林主编
李道霖等主编
王宇等编
卢文鹏等主编
郑国强主编
袁燕主编
乔新国主编
乔新国等合编

ISBN 978-7-5083-9886-0



9 787508 398860

定价: 31.60 元



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电力系统分析

(第二版)

主 编 李梅兰 卢文鹏
编 写 武文平 陈金星 方钦艺
主 审 崔宝华 黄丽华



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。本书主要体现职业教育特色，内容全面，适应电类各专业的使用。

本书共分十章，主要内容包括电力系统的基本知识，电力系统的等值电路及潮流计算，电力系统有功功率平衡及频率调整，电力系统无功功率平衡及电压调整，电能损耗计算及降低的措施，电力系统运行的稳定性分析，远距离输电，电网结构和典型事故分析，架空线路机械计算，电力网络设计等。

本教材主要作为高等职业院校电力技术类专业的教材，也可用于职工培训，还可作为发、供电企业和技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统分析/李梅兰, 卢文鹏主编. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2010

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 978-7-5083-9886-0

I. ①电… II. ①李… ②卢… III. ①电力系统-系统分析-成人教育: 高等教育-教材 IV. ①TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 232938 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 8 月第一版

2010 年 2 月第二版 2010 年 2 月北京第七次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.5 印张 483 千字

定价 31.60 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

本书自 2005 年出版第一版以来，得到广大读者的喜欢和大力支持，截至目前已重印六次。

本书第一版 2006 年获得中国电力企业联合会和中国电力教育协会“电力职业技术教育教学成果二等奖”；2007 年被评为中国电力教育协会“电力行业精品教材”。本书编者总结了“电力系统分析”教学经验，将自己几十年的教学研究融入了本教材的建设，使读者更容易学习。本书编者在“电力系统分析”精品课程建设中采用了本教材，2009 年 6 月该课程获得“2009 年度福建省精品课程”。

随着电力系统的发展，中国电力行业的有关规程也发生变化，本书第二版对涉及的相关规程规范、术语也作了相应的改动（如系统稳定的概念等）。本书第二版采用最新的规程，以适应电力系统的发展。同时，针对高职学生的学习特点以及电力系统潮流计算采用计算机计算的现实情况，对开式网潮流计算的例题也做了简化，以利读者的学习。

本书再版前得到了许多老师的意见和建议，在此一并致谢！

由于编者水平有限，书中存在问题和错误难免，敬请读者提出批评指正。

编者

2010.01

第一版前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主要课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，又列入全国电力职业教育规划教材，作为职业教育电力技术类教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位和技术等级要求；具有科学性、先进性和教学适用性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位培训教材。

本书内容编写循序渐进，理论联系实际，重点突出，层次分明。具有易于讲授、便于自学的特点。

本书适应于发电厂及电力系统、电力系统及自动化、电力系统继电保护、输配电、供用电技术等专业。本书内容较全，各院校可根据实际专业情况删减某些章节。本书也适应于电气工程专业人员学习用书。

本书由李梅兰、卢文鹏老师主编。福建电力职业技术学院李梅兰老师编写第五、六章，陈金星老师编写第二、七章，方钦艺老师编写第九章。保定电力职业技术学院卢文鹏老师编写第一、八、十章，武文平老师编写第三、四章。各章编写后由卢文鹏老师进行第一次统稿，全书由李梅兰老师进行第二次统稿。本书由崔宝华、河北农业大学机电工程系黄丽华老师主审。

由于编者水平有限，存在的问题和错误难免，诚请读者提出批评指正。

编者

2005年8月

目 录

前言

第一版前言

第一章 电力系统的基本知识	1
第一节 电力系统的概念.....	1
第二节 电力系统的额定电压.....	4
第三节 电力线路.....	7
第四节 电能质量标准	13
第五节 电力负荷	16
小结	21
习题	21
第二章 电力系统的等值电路及潮流计算	23
第一节 电力线路的参数	23
第二节 电力线路的等值电路	28
第三节 变压器的等值电路及参数	29
第四节 电力系统的等值电路	35
第五节 电力网的电压降落和功率损耗	38
第六节 电力网的潮流计算	41
第七节 电力网的简化	53
第八节 复杂电力系统的潮流计算机算法	59
小结	87
习题	88
第三章 电力系统有功功率平衡及频率调整	91
第一节 电力系统频率偏移及对用户和系统的影响	91
第二节 电力系统综合负荷的频率静态特性曲线	92
第三节 电力系统有功功率平衡及备用	95
第四节 电力系统的频率调整	96
第五节 发电厂有功功率的经济分配	98
小结.....	101
习题.....	101
第四章 电力系统无功功率平衡及电压调整	103
第一节 电力系统综合负荷的电压静态特性.....	103
第二节 电力系统的无功电源及无功功率平衡.....	104

第三节	电力系统的电压和无功管理	108
第四节	电力系统的调压措施	110
小结		121
习题		122
第五章	电能损耗计算及降低的措施	123
第一节	概述	123
第二节	面积法电能损耗计算	124
第三节	均方根电流法电能损耗计算	125
第四节	最大负荷损耗时间法电能损耗计算	130
第五节	等值功率法电能损耗计算	135
第六节	降低网损的技术措施	136
小结		143
习题		143
第六章	电力系统运行的稳定性分析	145
第一节	电力系统的稳定性基本概念	145
第二节	简单电力系统的机电特性	146
第三节	简单电力系统静态稳定性	149
第四节	小扰动法在分析电力系统静态稳定性中的应用	152
第五节	电力系统电压、频率及负荷静态稳定性	156
第六节	提高电力系统静态稳定性的措施	159
第七节	简单电力系统的暂态稳定性分析等值电路	163
第八节	简单电力系统暂态稳定性的定性分析	166
第九节	极限切除角与极限切除时间	169
第十节	提高暂态稳定运行的措施	170
第十一节	电力系统振荡的概念	176
小结		180
习题		181
第七章	远距离输电	183
第一节	交流远距离输电线路的输电方程	183
第二节	交流远距离输电线路的自然功率	189
第三节	交流远距离输电线路的参数补偿	190
第四节	高压直流输电	191
小结		196
习题		196
第八章	电网结构和典型事故分析	198
第一节	电网结构	198
第二节	国内外典型大停电事故分析	202
第三节	对系统大停电事故的总评	208
习题		212

第九章 架空线路机械计算	213
第一节 线路设计采用的气象条件.....	213
第二节 架空线比载的计算.....	214
第三节 架空线的振动和防振.....	218
第四节 架空线的强度许用应力.....	223
第五节 架空线的应力弧垂和线长.....	225
第六节 导线的状态方程及其解法.....	229
第七节 临界档距.....	232
第八节 最大垂直弧垂气象条件的判定.....	233
第九节 架空线机械计算的步骤.....	235
第十节 避雷线最大使用应力的计算.....	238
第十一节 安装曲线与应力弧垂曲线.....	240
第十二节 输电线路的路径和杆位.....	246
小结.....	262
习题.....	263
第十章 电力网络设计	265
第一节 概述.....	265
第二节 电力网的电压等级选择.....	268
第三节 网络结构设计一般方法.....	270
第四节 受端系统与联络线设计.....	274
第五节 电力线路导线截面的选择.....	276
第六节 电力网中性点的接地方式.....	280
习题.....	282
附录 A 电力网的常用参数	283
附录 B 电力电容器技术数据	301
附录 C 导线的允许载流量.....	302
附录 D 气象区.....	303
附录 E 有关的法定计量单位名称与符号.....	305
附录 F 扩径导线及铝合金导线主要技术参数和长期允许载流量	307
参考文献	308

电力系统的基本知识

电力是一种能源，它不仅为工业、农业、现代科学技术和现代国防提供了必不可少的动力，而且与现代社会生活有着日益密切的联系。电能广泛应用到社会的各个领域，电力工业是国民经济的重要部门。从世界各国经济发展的进程看，国民经济每增长1%，就要求电力工业增长1.3%~1.5%，一些发达国家几乎是每7~10年（个别的是5~6年）装机容量增加一倍。所以，没有电力工业的先行作为基础，国民经济的现代化是不可能实现的。

第一节 电力系统的概念

一、电力网及电力系统

电能是经过人们加工而取得的能源。将自然能转变为电能的过程称为发电。所以，自然能称为一次能源，电能称为二次能源。

目前用于发电的一次能源有煤炭、石油、天然气、水力、原子能、风力、太阳能等，利用这些能源发电的电厂分别称为火力发电厂、水力发电厂、核电厂、风力发电场、太阳能发电场等。另外，太阳、地热、潮汐的能源也在被人们逐渐开发利用，以替代日益减少的煤炭、石油等能源。此外，气态、磁流体发电，也在一些国家进入了工业试验阶段。

为了节约燃料运输费用，大型火电厂往往建设在煤炭、石油等能源产地或交通运输比较方便的港口附近；水电厂和风力发电场需要有一定的自然条件，核电厂需远离大城市。使用电能的用户，一般集中在大城市、工业中心等。为了架起发电厂和用户之间的桥梁，就必须建立一个用于传送电能的系统。在线路输送功率不变的情况下，通过提高线路电压输电可以减少电流在导线中的功率损耗、电压损耗。电能输送至负荷中心后必须降压，用户才能使用。用于电能的联络、汇聚、分配以及改变电压的场所，称为变电所（站），发电厂、变电所和电力用户之间是通过电力线路来联系的。电力线路又分为输电线路（一般电压较高、距离较远）和配电线路（电压较低、距离较近）。

这个把发电、变电、输电、配电和用电等的各种电气设备连接在一起的整体，称为电力系统。它包括发电厂的电气部分、升压变压器、降压变压器、输配电线路及各类用电设备。

电力系统加上各种类型发电厂的动力部分（如火力发电厂的热力部分、水力发电厂的水力部分、原子能反应堆部分等）以及热力用户，称为动力系统。

现代电力系统中，由不同电压等级的变电所和输配电线路构成的网络结构称为电力网络，简称电力网或电网。

图 1-1 是用单线图表示的动力系统、电力系统及电力网的示意图。

为了分析计算，电力网可分为地方电力网、区域电力网和远距离输电网。地方电力网电压较低（110kV 以下），输送功率较小，线路较短，计算时可作较多简化。区域网则一般电压较高（110kV 以上），输送功率较大，线路较长，计算时只能作一定简化。远距离输电

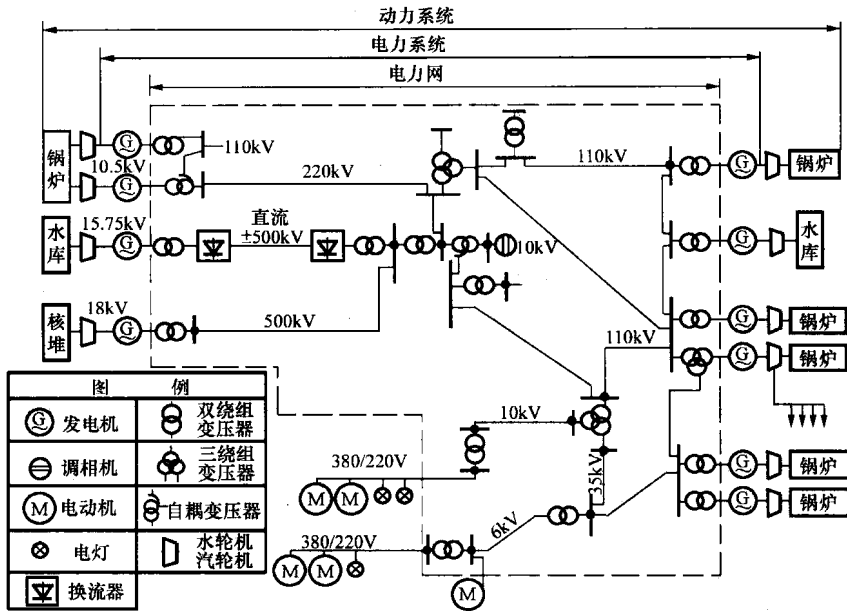


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网示意图

网电压在 330kV 及以上，输电线路长度超过 300km，计算时一般不能简化（详见第七章）。

按电压的高低，电力网又可分为低压网（1kV 以下）、中压网（1~10kV）、高压网（35~220kV）、超高压网（330~750kV）、特高压网（1000kV 及以上）。

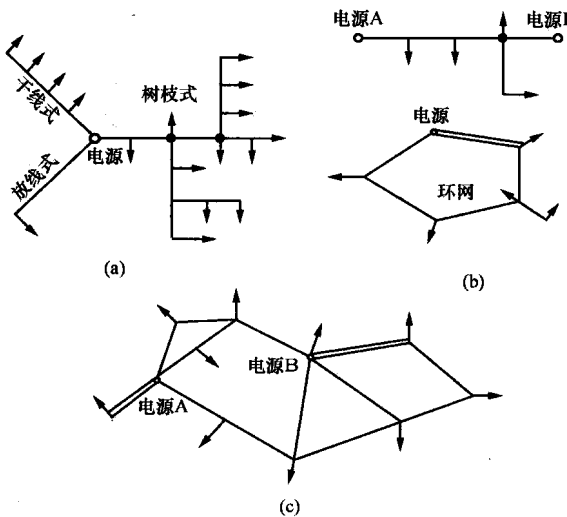


图 1-2 电力网的接线图

(a) 开式网；(b) 两端电源供电网及环网；(c) 复杂网

按接线方式，电力网还可分为一端电源供电网（又称为开式网）、两端电源供电网（包括环网）、多端电源供电网（又称复杂网），如图 1-2 所示。一端电源供电网是指用户只能从一个方向得到电能的电力网。它的特点是接线简单、经济、运行方便，但供电可靠性较差。两端电源供电网是指用户可以从两个方向得到电能的电力网。它的特点是接线较简单、运行灵活、供电可靠性较高。多端电源供电网是指电网中有从三个或三个以上方向得到电能的网。它有接线复杂、投资大、继电保护复杂，但具有供电可靠性高、运行灵活的特点。

二、电力系统发展概述

1831 年法拉第的电磁感应定律，从本质上解释了电与磁之间的关系，为电力系统的形成奠定了理论基础。1882 年法国人德普勒将慕尼黑郊外 57km 水电厂的电力输送到慕尼黑，形成了世界上最早、最简单的电力系统。它是一种直流输电系统，其发展受到了许多限制。直至 1891 年生产出了三相异步电动机、

三相变压器，建立了三相交流输电系统才奠定了近代输电技术的基础。

三相交流电的出现，以及人们对电力需求的日益增加，使电力系统的容量越来越大、输电电压越来越高、输送功率也越来越大。目前，世界上最高线路电压已达 1150kV（前苏联在 20 世纪 80 年代建成世界上第一条 1150kV 特高压乌拉尔—西伯利亚的输电线路）；电力系统容量已超过 100GW。随着输电距离及容量的不断增大，电力系统运行的稳定性问题也日益突出。20 世纪 50 年代开始直流输电又重新被人们所认识和利用。现在，世界上出现了许多超高压交、直流输电的大型电力系统。

在我国，1882 年在上海有了第一座发电厂（容量为 150kW），主要供附近地区的照明负荷用电需要。1949 年到 1979 年全国总装机容量由 185 万 kW 上升到 5270 万 kW。改革开放 30 年来电力系统迅速发展，我国早已形成了多个跨省的电力系统（如华东、华北、华中、东北、华南、西北、西南）。2009 年底全国发电装机容量已达到 8.74 亿 kW，500kV 电压等级线路也已成为这些大系统的骨架。西北电网中跨青海、甘肃两省的全长 130km 的 750kV 输电工程 2004 年开工，2005 年 9 月已正式投运。2009 年 8 月 26 日 1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程通过达标投产。该工程起于山西晋东南（长治）变电所，经河南南阳开关站，止于湖北荆门变电所；全线单回路架设，全长 640km，跨越黄河和汉江；变电容量 600 万 kVA；系统标称电压 1000kV，最高运行电压 1100kV。正在运行的超高压直流 ±500kV 的有葛洲坝—上海、三峡—上海、三峡—广州输电线路，在建的特高压 ±800kV 的向家坝—上海输电线路。

随着三峡水电站的建成，西南大容量水电的开发，以及山西、陕西、内蒙古西部“三西”煤炭基地大容量矿口电厂的建设，全国联网的格局逐步形成。华东、华中、南方电网已先后互联形成一个容量超过 4 亿 kW 的巨型电网。

由中小型电力系统逐渐联络，形成电压高、输电容量大、输送距离远的联合电力系统在技术和经济上有许多明显的优越性。联合电力系统可以更合理地利用能源提高经济效益；可以采用大机组以降低造价和燃料消耗，加快建设速度；可以互相调剂、互相支援，减少系统总备用容量；可以利用地区时差及水火电之间的调节，取得错峰和调峰效益等。

三、对电力系统的基本要求

1. 电力系统运行的特点

电能作为一种特殊的商品，电能的生产具有其特殊性。

(1) 电能的生产、输送、分配和使用同时进行。目前尚不能大量地、廉价地储存电能。发电厂发出的电能还不能做到恰好等于用户所需要的电能和输送分配过程中的电能损耗。所以电能的生产、输送、分配和使用必须同时进行，要求统一调度、协调生产，保证整个系统的连续性。

(2) 电能的生产与国民经济及人民生活关系密切。当今社会电能的使用越来越广泛，各类用户无处不在。如果电能供应不足或中断将直接影响工农业生产，给人民生活带来诸多不便。

(3) 电力系统运行的过渡过程非常短暂。电力系统中各元件的投、切和电能输送过程几乎都在一瞬间进行，即电力系统从一种运行方式过渡到另一种运行方式的过渡过程非常短暂。因此电力系统的运行，要求具有较高的自动化程度，需要继电保护、自动装置的投入，实施实时监控。

2. 对电力系统的基本要求

电力系统的根本任务是：最大限度地为用户提供安全、可靠、优质、价廉的电能。根据

电能生产的特点和电力系统的任务,对电力系统有以下基本要求。

(1) 最大限度地满足用户的需求。电力生产要满足现在各个行业及人民生活不断增长的用电需求,并且电力的发展制约国民经济的发展。所以,保障供电是电力部门的首要任务,并要求电力的发展超前其他行业的发展,最大限度地满足人们对电的需求。

(2) 安全可靠地供电。电力生产必须执行“安全第一、预防为主”的方针,没有安全,就没有生产。可靠的供电就是满足电能生产的连续性,因为中断供电将使生产停顿、生活混乱,甚至危及人身和设备的安全,造成十分严重的后果。

(3) 提供优质的电能。电能的优劣可用电能质量(详见本章第四节)来衡量。对一般用户主要考虑交流电的频率和电压。系统正常运行时的频率和电压必须在一定的允许变化范围内,如果超过范围,无论对用户,还是对电力系统本身都会产生不良后果。随着计算机技术、高新技术设备在电力系统中的广泛应用,电能的波形、电压波动和闪变、三相电压不平衡度等也应予以考虑,否则将影响这些设备的正常工作。

(4) 系统运行的经济性。任何产品的生产都讲究其经济性,都要最大限度地降低生产成本。电力系统的经济性应考虑合理分配各发电厂间的负荷、降低发电厂燃料消耗率和厂用电率、降低电力网的电能损耗和管理成本等。

电力系统既要同时满足以上要求,又要兼顾他们之间的矛盾。比如,最大限度满足用电,就可能影响电力系统的安全和供电的可靠;要满足供电的可靠,提高优质电能,就要投入更多的电力设备,必然影响经济性等。

第二节 电力系统的额定电压

额定电压,是国家有关部门根据国情、技术条件综合比较确定的标准电压,用 U_N 表示。电力系统中的发电机、变压器、线路、用电设备等都规定有额定电压,它们在额定电压下运行时,其技术性与经济性能为最佳。为了标准化、系列化制造电力设备,且便于设备的运行、维护、管理,额定电压等级不宜过多,电压级差不宜过小。一般认为,在一个电力系统中,相邻两级电压之比取 $1.7\sim 3.0$ 是比较合适的。GB 156《额定电压》中规定的电力系统电压有220V、380V、3kV、6kV、10kV、35kV、60kV、110kV、220kV、330kV、500kV等,其中220V为单相交流电,其余均为三相交流电。60kV电压等级只在东北电力系统采用,并不再使用110kV和35kV电压等级;330kV和750kV电压等级只在西北电力系统采用。750kV电压等级输电线路于2004年开始投建,2005年9月投运。2009年8月特高压1000kV输电线路已投入运行。

一、额定电压的分类

目前,国家根据电压的高低,把多种电力设备的额定电压分为三类。

(1) 第一类额定电压是指100V以下的额定电压,见表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等。其中,交流36V只作为潮湿环境的局部照明及其他特殊电力负荷使用。

表 1-1 第一类额定电压 (V)

直 流	交 流	
	三 相	单 相
6		6
12		12
24		24
	36	36
48		

(2) 第二类额定电压是 100~1000V 之间的额定电压, 见表 1-2。这类电压应用最广、数量最多, 如低压电动机、工业、民用、照明、普通电器、动力及控制设备等都采用此类电压, 表 1-2 中括号内的电压, 只用于矿井下或其他安全条件要求较高的地方。

表 1-2 第二类额定电压 (V)

受电设备			发电机		变压器			
直流	三相交流		直流	三相交流	单相		三相	
	线电压	相电压			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	400	380		380	400
440								

(3) 第三类额定电压是 1000V 及以上的电压等级, 见表 1-3。电力系统的发、供、输、配、用电都采用该电压等级。

表 1-3 第三类额定电压 (kV)

受电设备	线路平均额定电压	交流发电机	变压器	
			一次绕组	二次绕组
3	3.15	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
		13.8	13.8	
		15.75	15.75	
		18	18	
35	37		35	38.5
(60)	(63)		(60)	(66)
110	115		110	121
220	230		220	242
(330)	(345)		(330)	(363)
500	525		500	550
750	787		750	825

- 注 1. 表中所列均为线电压。
 2. 括号内的电压仅用于特殊地区。
 3. 水轮发电机允许用非标准额定电压。

二、主要设备的额定电压

由表 1-3 可见, 同一电压等级的受电设备中发电机、变压器的额定电压并不完全相等。这是因为功率传输过程中线路中要产生电压损耗, 沿线路各点的电压是不同的, 一般是首端电压高于末端电压。线路的额定电压规定与受电设备的额定电压相同, 这样所有接在线路上的用电设备都可以在额定电压附近运行。

1. 线路的额定电压

由于一般线路首端电压高于末端电压, 所以线路运行时各处的电压不同。一般情况下, 受电设备的允许电压偏移为 $\pm 5\%$, 沿线路的电压损耗为 10% 。如果线路首端电压为额定电压的 1.05 倍, 末端电压就不会低于额定电压的 0.95 倍, 各受电设备就能在允许电压范围内运行。所以线路的额定电压, 一般就是受电设备的额定电压。

在一些计算中一般采用表 1-3 中的线路的平均额定电压。这是为了使线路末端受电设备得到额定电压,可将线路首端电压提高 10%,这样线路的平均额定电压就是受电设备电压的 1.05 倍。

2. 发电机的额定电压

发电机是接在线路的首端,额定电压要比线路的高。发电机出口一般接母线,线路较短,因此,发电机的额定电压比线路额定电压高 5%,即

$$U_{GN} = 1.05U_N$$

式中 U_{GN} ——发电机的额定电压;

U_N ——线路的额定电压。

对于没有直配负荷的大容量发电机,其额定电压按技术经济条件来确定,不受线路额定电压的限制,例如国产 125MW、200MW、300MW、600MW 的汽轮发电机,其额定电压分别为 13.8kV、15.75kV、18kV、20kV。

3. 变压器的额定电压

变压器每个绕组都有其额定电压。一次绕组相当于受电设备,其额定电压等于所连线路的额定电压(直接和发电机相连时,等于发电机额定电压)。

二次绕组输出电能,相当于发电机。因变压器二次侧额定电压规定为:空载变压器一次侧加额定电压时的二次侧电压,而带负荷时变压器内部有一定的电压降,为使正常运行时变压器二次绕组的实际输出电压比线路额定电压高 5%左右,变压器二次侧额定电压应比线路额定电压高 5%~10%。一般变压器二次侧额定电压比线路额定电压高 10%;只有漏抗较小的变压器(高压侧电压不大于 35kV 且短路电压百分值不大于 7.5%)或二次绕组所连线路较短时,二次侧额定电压才比线路额定电压高 5%。现在新建的工程有时不论漏抗大小,二次侧额定电压都比线路额定电压高 5%。

【例 1-1】 如图 1-3 所示电力系统,线路额定电压已知,试求发电机、变压器的额定电压。

解: (1) 发电机的额定电压为 10.5kV。

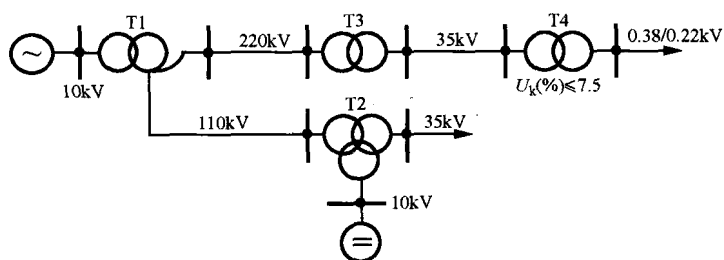


图 1-3 [例 1-1] 图

(2) 升压变压器一次侧与发电机直接相连,二次侧分别与 110kV、220kV 线路相连,则 T1 的各侧额定电压为 242/121/10.5kV。

(3) 降压变压器 T2 一次侧与 110kV 线路相连,二次侧分别与 35kV 线路和 10kV 调相机相连,则 T2 的各侧额定

电压为 110/38.5/10.5kV。

(4) 降压变压器 T3 一次侧与 220kV 线路相连,二次侧与 35kV 线路相连,则 T3 的各侧额定电压为 220/38.5kV。

(5) 降压变压器 T4 一次侧与 35kV 线路相连,二次侧与 0.38kV 线路相连,又因 T4 的 $U_k(\%) \leq 7.5$,则它的各侧额定电压为 35/0.4kV。

三、各级电压电力网的适应范围

电力系统中,因三相功率 S 和线电压 U 、线电流 I 之间的关系为 $S = \sqrt{3}UI$,所以输送功

率一定时，输电电压愈高，电流愈小，可采用较小截面的导线。但电压愈高对绝缘的要求愈高，电气设备的绝缘投资就愈大。因此对应一定的输电距离和输送功率，必然有一个在技术上、经济上均较合理的电压。

各级电压电力网的经济输送容量、输送距离与适用地区可参照表 1-4。

表 1-4 电力网的经济输送容量、输送距离与适用地区

额定电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)	适用地区
0.38	0.1 以下	0.6 以下	低压动力与三相照明
3	0.1~1.0	1~3	高压电动机
6	0.1~1.2	4~15	发电机电压、高压电动机
10	0.2~2.0	6~20	配电线路、高压电动机
35	2.0~10	20~50	县级输电网、用户配电网
110	10~50	30~150	地区级输电网、用户配电网
220	100~200	100~300	省、区级输电网
330	200~500	200~600	省、区级输电网，联合系统输电网
500	400~1000	150~850	省、区级输电网，联合系统输电网

第三节 电力线路

电力线路是用来传送电能的，按结构不同可分为架空线路和电缆线路两大类。架空线路是由导线、避雷线、杆塔、绝缘子和金具等元件组成。电缆线路则主要由电缆本体、电缆接头、电缆终端等组成。

架空线路有投资省，施工、维护和检修方便等优点，所以电力网中绝大多数的线路都采用架空线路。但架空线路同时有易受有害气体腐蚀，不能跨越大江海域，影响城市美化等缺点，所以在一些特殊地区采用电缆线路。

一、架空线路

在架空线路的各元件中，导线用来传导电流，输送电能；避雷线用来将雷电流引入大地，使电力线路免遭雷电波的侵袭；杆塔用来支持导线和避雷线；绝缘子用来使导线与杆塔之间保持绝缘；金具是用来固定、悬挂、连接和保护架空线路的主要元件。

1. 导线和避雷线

架空线路的导线和避雷线都架设在空气中，要受到自重、风压、覆冰和温度变化等的作用，以及空气中有害物质的侵蚀。所以，导线和避雷线应具有较高的机械强度和抗化学腐蚀的能力，同时导线要有良好的导电性能。

导线主要由铜、铝、钢、铝合金等材料制成，避雷线则一般可用钢绞线。近几年 OPGW 光纤复合架空地线广泛应用于避雷线。铜、铝、钢、铝合金材料的物理特性见表 1-5。

表 1-5 导线材料的物理性能

材料	20℃时的电阻率 [($\Omega \cdot \text{mm}^2$)/m]	密度 (g/cm^3)	抗拉强度 (kg/mm^2)	其他特性
铜	0.018 2	8.9	39	抗腐蚀能力强，价格高
铝	0.029	2.7	16	抗一般化学腐蚀，易受酸、碱、盐的腐蚀，价格低
钢	0.103	7.85	120	易生锈，镀锌后不易生锈
铝合金	0.339	2.7	30	抗腐蚀性能好，受振动易损坏