



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

输配电线路基础

全国电力职业教育教材编审委员会 组编
温智慧 王永生 主编



配套课件



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

输配电线路基础

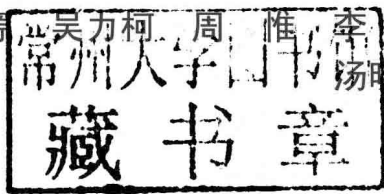
全国电力职业教育教材编审委员会 组 编

温智慧 王永生 主 编

李 宏 袁 帅 韩 磊 黄立新 副主编

徐志伟 汤 昕 刘军志 杨雨薇 周 辉 编 写

温学源 吴为柯 周 惟 李 江 主 审
汤晓青



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十二五”职业教育国家规划教材。全书采用“任务驱动、项目引领”的编写模式,结合电力行业相关作业标准、规范,以输配电线路施工、运行检修生产岗位所需基本技能为主线,以“实用、够用”为原则,科学整合输配电线路专业基础核心知识,取材力求与生产一线“零距离”对接,体现了特征鲜明的“能力本位”教学理念。

全书按生产一线岗位需求分为项目背景和6大项目,共计19个子任务,包括电力系统常识、输配电线路认知、常用工器具及使用、电气识图、施工识图、施工测量基础、电力电缆认知等内容,并设有例题分析、任务演练、任务工单、任务评定表及思考题。

本书可供高职高专院校输配电线路施工运行与维护专业及相关专业选用,也可作为送电线路工、配电线路工、送电线路架设工、高压线路带电检修工的初、中、高级工的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

输配电线路基础/温智慧,王永生主编;全国电力职业教育教材编审委员会组编. —北京:中国电力出版社,2015.8

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-5123-7617-5

I. ①输… II. ①温… ②王… ③全… III. ①输配电线路—职业教育—教材 IV. ①TM726

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第080907号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年8月第一版 2015年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 19.25印张 468千字

定价 39.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

本书为“十二五”职业教育国家规划教材。

本书根据高等职业教育人才培养目标和电力行业人才需求，以岗位分析为基础，按照“能力本位”的原则，依据专业相关国家标准、行业标准和职业规范，制定课程标准；以学生为主体，师生互动的学习模式，科学合理设计项目任务及子任务，体现了“教、学、做”一体化。

全书按生产一线岗位需求分为项目背景和6大项目，共计19个子任务。书中对每个任务都置入了学习情境描述，明确了学习目标、能力目标和态度目标以及考核评价等内容；在课程内容中设计了重要知识、阅读与思考、相关拓展知识、例题、任务演练、技能知识自测等栏目，构建了相对完整的输配电线路基础理论及操作体系，回归了以培养学生技术应用能力为主线的高职高专教育本位，突出强调了学生学习的参与性与主动性。

本书由长沙电力职业技术学院温智慧、保定电力职业技术学院王永生担任主编；由西安电力职业技术学院李宏、三峡电力职业学院袁帅、武汉电力职业技术学院韩磊、长沙电力职业技术学院黄立新担任副主编；参加编写的有长沙电力职业技术学院徐志伟、汤昕、刘军志、杨雨薇；国网湖南电力建设咨询有限责任公司周辉；国网湖南省电力公司检修公司温学源；国网湖南带电作业中心吴力柯、周惟；国网湖南省电力公司望新培训分中心李江。

全书由温智慧统一整理定稿，四川电力职业技术学院汤晓青主审。

在编写过程中，编者参阅了大量国内相关专业专家学者的研究成果，在此表示衷心感谢！同时一并感谢中国电力出版社、长沙电力职业技术学院、山西电力职业技术学院的大力支持！

由于编写工作量大，书中难免存在疏漏之处，恳请各位专家和读者指正。

编 者

2015年7月

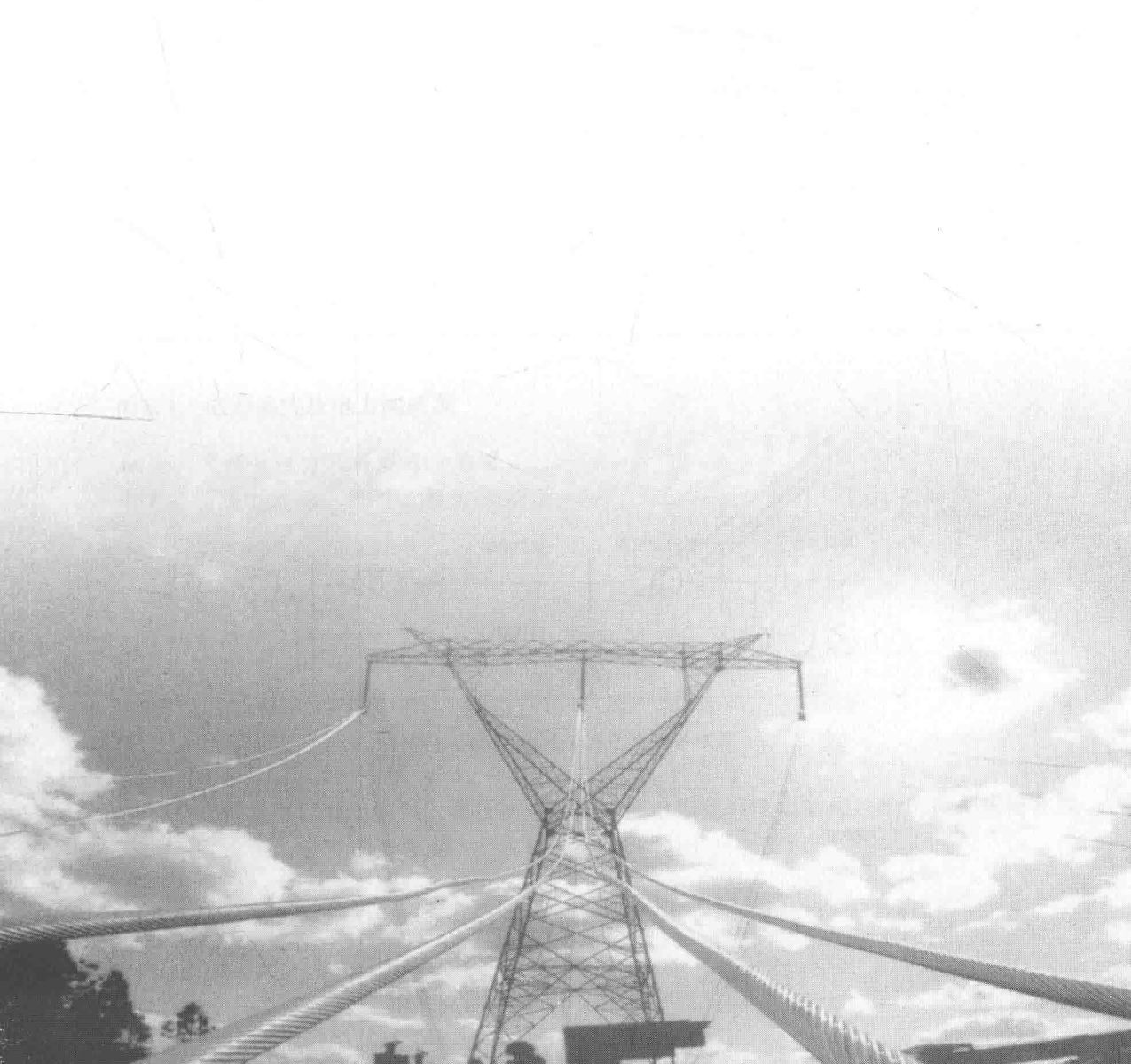
目 录

前言

项目背景 电力系统常识	1
任务 0.1 电力系统及电力网	3
任务 0.2 电网电气简单计算	12
项目一 架空输配电线路认知	31
任务 1.1 输配电线路初识	33
任务 1.2 金具识别及拉线制作	54
任务 1.3 绝缘子绑扎及其应用	69
任务 1.4 导线、地线选用及连接	80
项目二 常用工器具及使用	103
任务 2.1 手动工具的常规操作	105
任务 2.2 登杆操作	116
任务 2.3 起吊重物	125
任务 2.4 安全工器具使用操作	142
任务 2.5 架线工器具的认识	155
项目三 电气识图	167
任务 3.1 电气主接线图识读	169
任务 3.2 低压电气图识读	187
项目四 施工识图	207
任务 4.1 地形路径图识读	209
任务 4.2 杆塔施工图识读	224
项目五 施工测量基础	235
任务 5.1 测量仪器基本操作	237
任务 5.2 基本测量方法	252
项目六 电力电缆认知	261
任务 6.1 电力电缆初识	263
任务 6.2 电力电缆基本操作	283
参考文献	299

项目背景

电力系统常识



任务 0.1 电力系统及电力网

学习情境描述

任务 0.1 电力系统及电力网

建议学时：2 课时

学习目标

知识目标：(1) 了解电力系统的概念

(2) 熟悉电力系统的基本要求

(3) 掌握电力系统中性点接地方式

能力目标：(1) 能表述电力系统电压等级、频率的允许偏差值

(2) 能正确选择不同电压等级中性点接地方式

素质目标：(1) 能主动学习，在完成学习任务过程中发现问题、分析问题和解决问题

(2) 能严格遵守安全规程，与小组成员协商、交流配合完成本学习任务

学习任务	学习内容	场地、设备、工具	考核评价
班级学生自由组合为 6 个学习小组，小组负责人带领各学习小组对电力系统概况做一常规归纳，为后续工作任务的学习打下基础	(1) 电力系统及电力网的组成 (2) 电力系统的基本要求 (3) 电力系统中性点接地方式	多媒体教室，学习网站，教材，视频，课件	(1) 专业能力：对电力系统的初步认识 (2) 方法能力：具备安全意识；记录思路清晰；思考问题缜密 (3) 社会能力：沉稳有序，能与小组成员协商、交流配合完成本学习任务

0.1.1 电力系统及电力网概况

1. 电力系统及电力网的组成（见图 0-1）

电力系统及电力网单线图如图 0-1 所示。

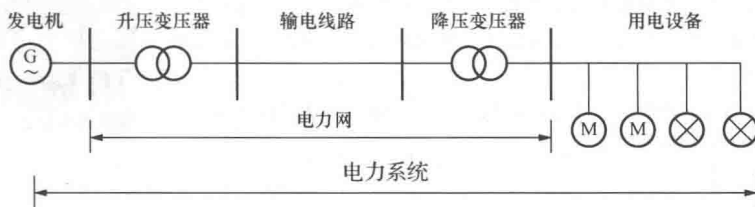


图 0-1 电力系统及电力网单线图

电力系统将发电厂发出的电能通过输电线路、配电线路和变电站配送给用户，从而实现发电厂与用电设备的电气连接形成一个有机的整体，如图 0-2 所示。

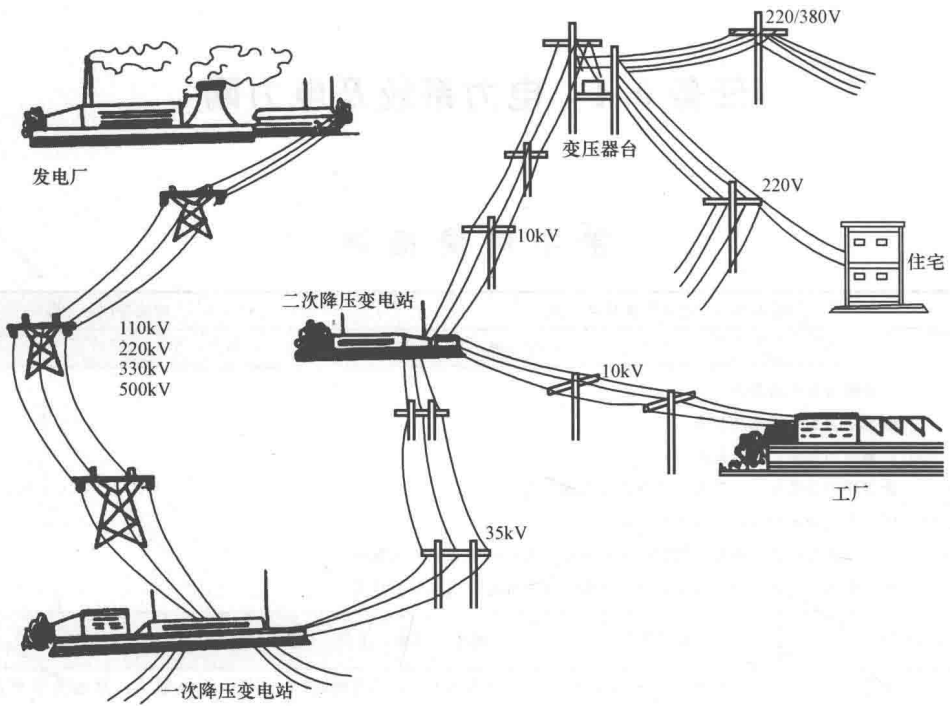

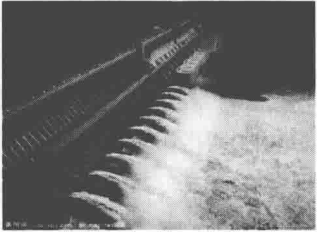


图 0-2 电力系统的组成

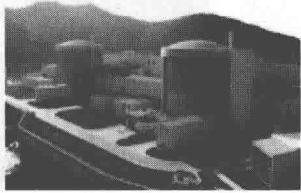
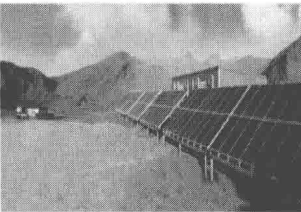
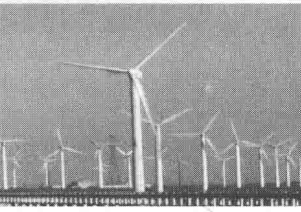

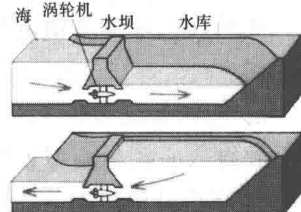
2. 发电厂基本类型 (见表 0-1)

表 0-1

发电厂的基本类型

序号	基本类型	概 述	示 意 图
1	火力发电厂	<p>以煤炭、石油、天然气等为燃料，燃料→化学能→电能</p> <p>(1) 凝汽式火电厂：只生产电能，热效率低，仅为 30%~40%</p> <p>(2) 燃气轮机发电厂：燃气轮机与汽轮机工作原理相似，所不同的是燃气轮机的工质是高温高压的气体而不是蒸汽。这些作为工质的气体可以用清洁煤技术将煤炭转化成的清洁煤气，也可以是天然气等</p> <p>(3) 热力发电厂：既生产电能又生产热能。热电厂的热效率高达 60%~70%</p>	
2	水力发电厂	<p>水电站是将水的位能和动能转换成电能的场所，也称水电站。水电站的类型可以分为：</p> <p>(1) 按集中落差分：堤坝式、引水式、混合式</p> <p>(2) 按厂房结构与位置分：坝后式、坝内式、河床式、地下式</p> <p>(3) 按运行方式分：有调节、无调节（径流式）、抽水蓄能式电站</p>	

续表

序号	基本类型	概 述	示 意 图
3	核能发电厂	<p>核反应堆（利用铀、钚在反应堆核裂变）→热能→（汽轮机）机械能→电能</p> <p>核电厂发电的原理与火电厂相似，将水加热成蒸汽，进而推动汽轮机旋转并带动发电机转动而发出电能。其热源为原子核的裂变能</p>	
4	太阳能发电	<p>属于新能源发电，是将吸收的太阳辐射热能转换成电能的装置</p>	
5	风力发电	<p>属于新能源发电，将风能转换成电能的发电方式称为风力发电。风能属于再生能源，又是一种过程性的能源，无法直接储存，还具有随机性，所以对风能的应用技术比较复杂</p>	
6	地热发电	<p>属于新能源发电，地球本身是个大热库，地热资源遍布世界各地，仅地表 10km 以内就有可供开采的热能。地热能的储量很大，总量大约是煤炭的一亿七千万倍。但是，目前世界上实际能利用的地热资源很少，主要限于蒸汽田和热水田，这两者统称为地热田。地热电站是清洁的能源</p>	
7	潮汐发电	<p>属于新能源发电，利用潮汐的落差推动水轮机发电称之为潮汐发电。即在海湾或河流入海口处筑起堤坝，涨潮时蓄水，高潮时关闭。退潮时形成足以使水轮机工作的落差时才开始放水，将蓄水放出，驱动水轮发电机发电</p>	

3. 变电站基本类型

(1) 按用途分类。变电站分为发电厂的变电站（升压变电站）和电力网的变电站（降压变电站）。

变电站（见图 0-3）起着变换电压和分配电能的作用。从发电厂送出的电能经过升压远距离输送，再经过多次降压后才供给用户使用。电力系统中的变电站的数量多于发电厂，变

变压器的容量约是发电机容量的 7~10 倍。

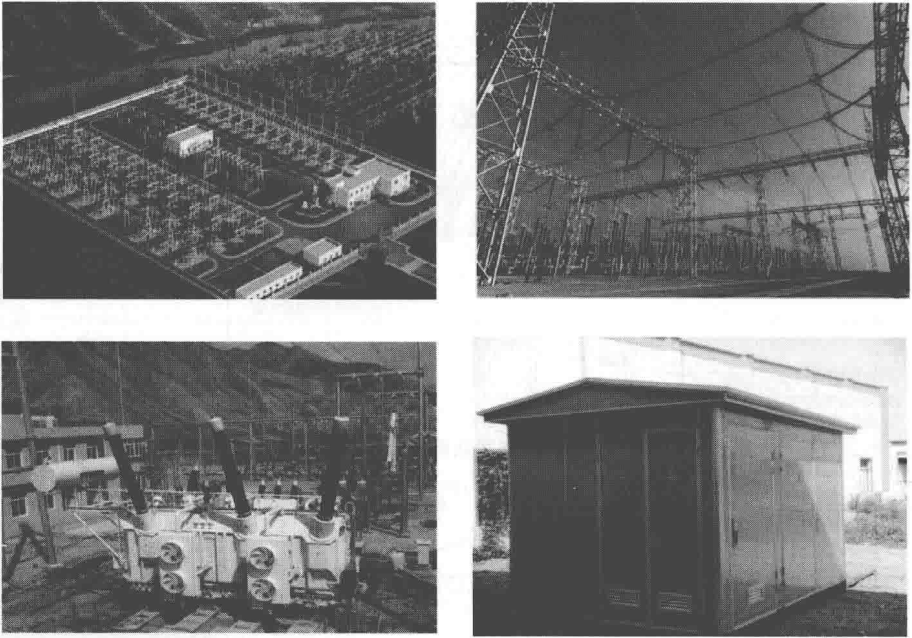


图 0-3 变电站及箱变示意图

(2) 按供电范围和作用分类。

1) 枢纽变电站。

a. 枢纽变电站位于电力系统的枢纽点，汇集着多条输电线路，连接着多个电源点或变电站。

b. 电压等级一般为 330~500kV。

c. 枢纽变电站在系统中的地位非常重要，若发生全站停电事故，将引起系统解列，甚至系统崩溃的灾难局面。

2) 中间变电站。

a. 中间变电站高压侧与枢纽变电站连接，以穿越功率为主，在系统中起交换功率的作用，或使高压长距离输电线路分段；它一般汇集 2~3 个电源，这样的变电站主要起中间环节作用。

b. 电压等级多为 220~330kV，其中压侧一般是 110~220kV，供给所在地的多个地区用电并接入一些中小型电厂。

c. 当全站停电时，将引起区域电网解列，影响面也比较大。

3) 地区变电站。

a. 地区变电站主要任务是给地区的用户供电，它是一个地区或城市的主要变电站。

b. 电压等级一般为 110~220kV。

c. 若发生全站停电事故，只造成本地区或城市停电。

4) 终端变电站。

a. 终端变电站位于输电线路的末端，靠近负荷点。

b. 高压侧电压多为 110kV 或者更低（如 35kV），经过变压器降压为 6~10kV 电压后直接向用户输电。

c. 若发生全站停电事故，只是所供电的用户停电，影响面较小。

0.1.2 电力系统运行特性

1. 电力系统生产特点

(1) 生产、分配、输送、再分配具有同时性。电能不能大量储存，电能的生产、传输、分配和使用必须在同一时间内完成，用户及网络消耗多少电能，电厂就只能生产多少电能。

(2) 正常输电过程和故障过程都非常迅速。电力系统从一种运行状态到另一种运行状态的过渡过程时间非常短暂。

(3) 具有较强的地区性特点。不同地区的能源结构具有一定的差异，如我国西南地区以水力发电为主，北方地区以火力发电为主。

(4) 与社会经济发展关系密切。电能是当前社会经济生产使用的主要能源，电能供应的中断或不足将直接影响社会经济发展。

2. 电力系统供电要求

(1) 保证供电的可靠性。保证供电的安全可靠性是对电力系统运行的基本要求。为此，首先必须保证电力系统每个设备及元件运行可靠。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，使设备处于正常运行状态，并应在系统中建立必要的备用容量以备急需。

应当指出，要绝对防止事故的发生是不可能的，而各种用户对供电可靠性的要求也不一样。因此，应根据电力用户的重要性不同区别对待，以便在事故情况下将给国民经济造成的损失限制到最小。

通常可将电力用户分为三级：

1) 一级负荷，指由于中断供电会造成人身伤亡或重大政治影响，给国家造成重大经济损失及造成公共场所秩序严重混乱的负荷。一级负荷要求有很高的供电可靠性，应采用两个以上独立电源供电。其中每一路电源的容量均应保证在此电源单独供电的情况下就能满足用户的用电要求。确保当任一路电源发生故障或检修时，都不会中断对用户的供电。

独立电源是指若干电源中的任一个在突然发生停止供电时，不会影响其他电源的供电。

2) 二级负荷，指由于中断供电会造成较大政治影响、较大经济损失及公共场所秩序混乱的负荷。应尽量由不同变压器或两段母线供电。二级负荷包括矿井的地面空压机、提运设备、井底车场的整流设备等。

3) 三级负荷，所有不属于一级和二级负荷的电力负荷。对供电无特殊要求，一般采用单一回路供电。



小贴士 0-1

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）的百分数表示。

例如，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%。

(2) 保证电能质量。GB/T 12325—2008《电能质量 供电电压偏差》规定，电力系统电压变动的范围为：

1) 35kV 及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 10%。

注：如供电电压上下偏差同号（均为正或负）时，按较大的偏差绝对值作为衡量依据。

2) 20kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的±7%。

3) 220V 单相供电电压允许偏差为额定电压的+7%、-10%。

供电电压偏差计算式为

$$\text{电压偏差}(\%) = \frac{\text{电压测量值} - \text{系统标称电压}}{\text{系统标称电压}} \times 100\% \quad (0-1)$$



小贴士 0-2

GB/T 12325—2008《电能质量 供电电压偏差》规定，电力系统正常运行条件下频率允许偏差限值为±0.2Hz，当系统容量较小时，偏差限值可放宽到±0.5Hz，标准中没有说明系统容量大小的界限。在《全国供用电规则》中规定，供电局供电频率的允许偏差为：电网容量在 300 万 kW 及以上者为±0.2Hz；电网容量在 300 万 kW 以下者为±0.5Hz。实际运行中，全国各大电力系统运行都保持在不大于±0.1Hz 范围内。

GB/T 15543—2008《电能质量 三相电压不平衡》中规定，电力系统公共连接点电压不平衡度限值为：电网正常运行时，负序电压不平衡度不超过 2%，短时不得超过 4%；低压系统零序电压限值暂不做规定，但各相电压必须满足 GB/T 12325—2008 的要求。接于公共连接点的每个用户引起该点负序电压不平衡度的允许值一般为 1.3%，短时不超过 2.6%。

(3) 保证电力系统运行的经济性。电力系统是否经济运行主要由标准耗煤量、厂用电率、线路损耗率三个经济指标来衡量。

目前我国火电厂的厂用电率一般为 6%~10%，线路损耗率一般为 3%~10%。

0.1.3 电力系统运行方式

三相交流电力系统中，作为供电电源的发电机或变压器的中性点常采用不接地、经消弧线圈接地、直接接地三种运行方式。

中性点不接地、经消弧线圈接地系统合称为小接地电流系统，又称为中性点非直接接地系统或中性点非有效接地系统；直接接地系统称为大接地电流系统，又称为中性点有效接地系统。



小贴士 0-3

(1) 我国中性点不接地的电力系统 3~66kV 系统，特别是 3~10kV 系统。

注：若 3~10kV 系统接地电流大于 30A，20kV 及以上系统接地电流大于 10A 时，则采用中性点经消弧线圈接地运行方式。

(2) 我国中性点直接接地的电力系统：110kV 及以上系统、220/380V 低压配电系统。

1. 中性点不接地的电力系统

图 0-4 所示为中性点不接地的电力系统在正常运行时的电路图和相量图。

电力系统中的相与相之间及相与地之间都存在着分布电容。为讨论问题简化起见，设三相系统对称，且只考虑相与地之间的分布电容并用集中电容 C 来表示，如图 0-4 (a) 所示。

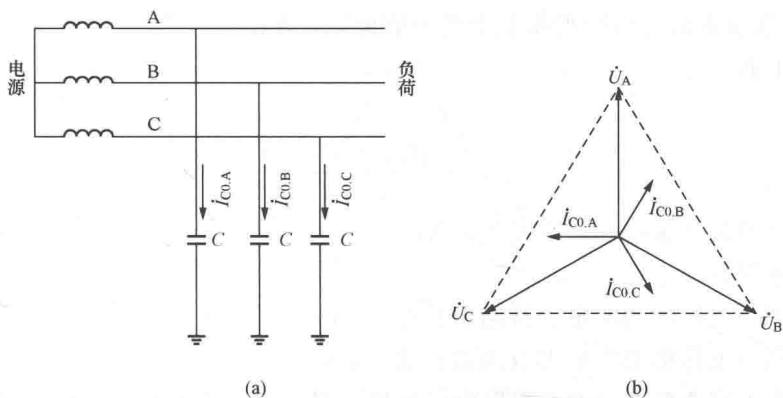


图 0-4 正常运行时中性点不接地的电力系统

(a) 电路图；(b) 相量图

(1) 中性点不接地的电力系统在正常运行时，三相相电压对称且三相的电容电流相量和为零，所以中性点没有电流流过，各相对地电压就是其相电压，如图 0-4 (b) 所示。

(2) 当系统发生单相接地故障时，如 C 相接地，如图 0-5 (a) 所示，三相电压分布则发生变化。

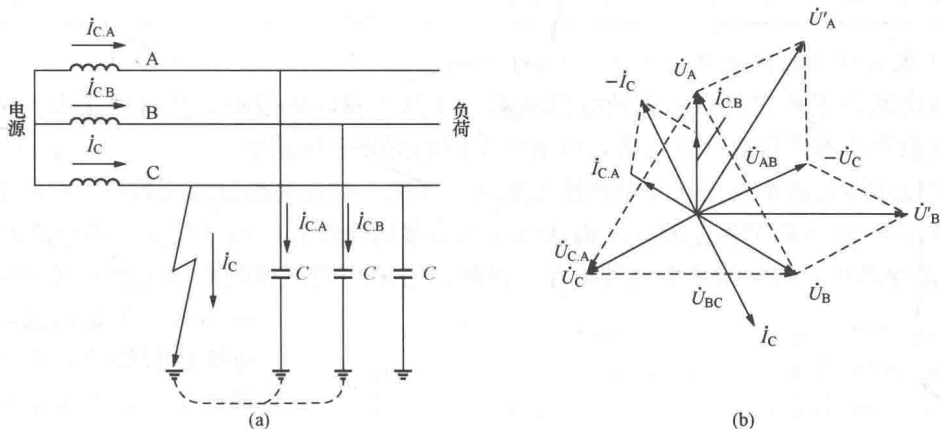


图 0-5 一相 (C 相) 接地时中性点不接地电力系统

(a) 电路图；(b) 相量图

$$C \text{ 相对地电压: } \dot{U}'_C = 0$$

$$A \text{ 相对地电压: } \dot{U}'_A = \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{AC}$$

$$B \text{ 相对地电压: } \dot{U}'_B = \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{BC}$$

即 A、B 相对地电压升高了 $\sqrt{3}$ 倍，其值等于 AC、BC 线电压。三相电流则为

$$\dot{I}_C = -(\dot{I}_{CA} + \dot{I}_{CB})$$

由相量图可知, \dot{I}_C 在相位上正好超前 $\dot{U}_C 90^\circ$, 而

$$\dot{I}_C = \sqrt{3} \dot{I}_{CA}, \quad \dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}'_A}{X_C} = \frac{\sqrt{3} \dot{U}_A}{X_C} = \sqrt{3} \dot{I}_{CO}$$

且 $\dot{I}_C = \sqrt{3} \dot{I}_{C \cdot A} = \sqrt{3} \times \sqrt{3} \dot{I}_{CO}$, 则 $\dot{I}_C = 3 \dot{I}_{CO}$

式中 I_{CO} ——系统正常运行时的单相对地电容电流, A。

因此量值上有

$$I_C = 3I_{CO} \quad (0-2)$$

$$I_C = \frac{U_N (L_{oh} + 35L_{cab})}{350} \quad (0-3)$$

式中 I_C ——系统的单相接地电容电流, A;

U_N ——系统额定电压, V;

L_{oh} ——同一电压的架空电力线路总长度, km;

L_{cab} ——同一电压的架空电力电缆总长度, km。

当系统发生不完全接地(即经接触电阻接地)时,故障相对地电压将大于零且小于原相电压值,非故障相则对地电压将大于原相电压且小于线电压值;接地电容值也会较式(0-3)计算值略小。



小贴士 0-4

由于非故障相的线电压的相位和量值均未发生变化,则允许用电设备短时间继续运行。但若再有一相接地故障时就会形成两相接地短路,短路电流很大,这是不允许的。当危及到人身和设备安全时,单相接地保护应动作跳闸。

2. 中性点经消弧线圈接地的电力系统

消弧线圈 L 是一个具有铁芯的电感线圈,线圈本身电阻很小,感抗却很大。可通过调节铁芯气隙和线圈匝数改变感抗值,以适应不同系统的运行需要。

在中性点不接地系统中,当单相接地电流(容性)较大且超过规定数值,将产生断续电弧,形成一 RLC 串联谐振电路,从而在线路上引起危险的过电压(其值为相电压的 2.5~3 倍),可能导致线路的绝缘薄弱点被击穿。因此,需采用经消弧线圈(感性)接地的措施来

减小这一接地电流,使故障电弧自行熄灭,避免过电压的产生。这种接地方式称为中性点经消弧线圈接地方式,如图 0-6 所示。

在正常情况下,三相系统是对称的,中性点电流为零,消弧线圈中没有电流通过。当系统发生单相接地时,流过接地点的电流为 $\dot{I}_C + \dot{I}_L$,而在相位上 \dot{I}_C 超前

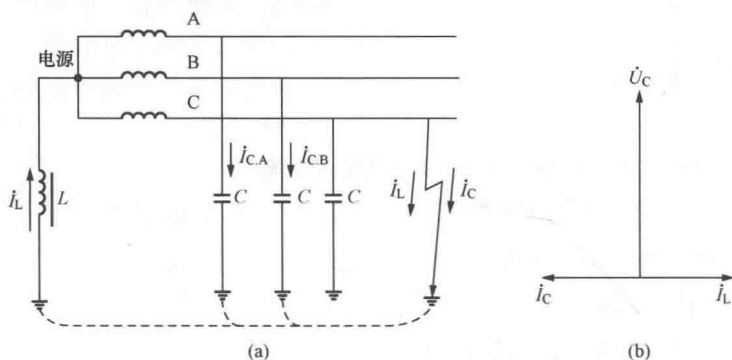


图 0-6 中性点经消弧线圈接地系统单相接地

(a) 电路图; (b) 相量图

$\dot{U}_C 90^\circ$, \dot{I}_L 滞后 $\dot{U}_C 90^\circ$, 当 \dot{I}_C 、 \dot{I}_L 互相补偿结果小于发生电弧的最小值 (最小生弧电流) 时, 电弧就不会发生, 也就不会出现谐振过电压现象。



小贴士 0-5

中性点经消弧线圈接地系统与中性点不接地系统相同, 当发生单相接地故障时, 接地端电压为零, 其他两相电压将升高 $\sqrt{3}$ 倍, 因此, 其发生单相接地故障时的运行时间也允许超过 2h。

3. 中性点直接接地系统

如图 0-7 所示, 中性点直接接地系统发生单相接地故障, 此时线路保护装置应动作跳闸, 切除故障, 使系统其他部分恢复正常运行。

中性点直接接地系统发生单相接地故障时, 其他正常相对地仍保持相电压, 所以对设备的绝缘要求相对较低, 因此我国 110kV 及以上系统电源中性点都采用中性点直接接地运行方式。

220/380V 低压系统一般采用中性点直接接地方式, 这是因为发生接地故障时, 短路电流能使漏电保护器及时跳闸切断电源, 以免未接地相电压升高, 影响到人身和设备安全。

【例 0-1】 10kV 配电系统为何一般不采用中性点直接接地方式?

答 经济价值不大。虽然 10kV 线路绝缘较弱, 单相接地事故不少, 但接地电流较小, 瞬间接地故障能可靠地自动消除。只有当接地短路电流大于 30A、接地产生的电弧不易熄灭时, 才考虑经消弧线圈接地或直接接地方式。

【例 0-2】 35kV 系统中性点应采用何种接地方式?

答 若采用中性点直接接地方式, 绝缘水平按相电压匹配, 虽然可以降低设备费用, 但相对减少的成本不显著。此外, 会增加系统运行停电次数。

所以 35kV 当接地电流小于 10A 时可采用中性点不接地方式, 减少停电次数。当接地电流大于 10A 时可采用中性点经消弧线圈接地方式, 可减小故障点电流, 便于消弧。

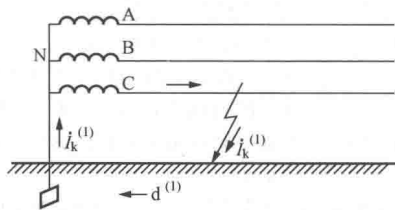


图 0-7 中性点直接接地故障

任务 0.2 电网电气简单计算

学习情境描述

任务 0.2 电网电气简单计算

建议学时：12 课时

学习目标

知识目标：(1) 了解电网电气简单计算

(2) 熟悉架空输电线路的等值电路的绘制和识读

(3) 掌握线路电损耗与功率损耗的分析计算

能力目标：(1) 能正确分析和解决线路的线损问题

(2) 会电力系统电压调整方法

态度目标：(1) 能主动学习，在完成学习任务过程中发现问题，分析问题和解决问题

(2) 在严格遵守安全规程的前提下，能与小组成员协商、交流配合完成本学习任务

学习任务	学习内容	场地、设备、工具	考核评价
设定线路运行场景，采集参数进行简单电气计算	(1) 架空输电线路的等值电路 (2) 变压器参数和等值电路 (3) 线路电损耗与功率损耗 (4) 电力系统电压调整方法	多媒体教室，学习网站，教材，视频，课件	(1) 专业能力：对电网简单电气计算的熟练度 (2) 方法能力：具备安全意识；记录思路清晰；思考问题缜密度 (3) 社会能力：沉稳有序，能与小组成员协商、交流配合完成本学习任务

0.2.1 电力网参数及等值电路

1. 线路的参数（见图 0-8）

线路的参数分布如图 0-8 所示。

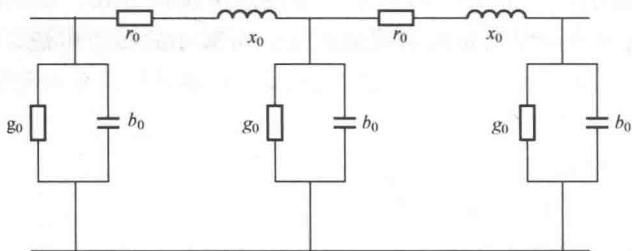


图 0-8 线路的参数分布

线路的参数有电阻 (r_0)、电抗 (x_0)、电导 (g_0)、电纳 (b_0)。这些参数均沿线路长度均匀分布，故称为分布参数。对于频率为 50Hz、长度在 300km 内的架空线路和 50~100km 的电缆电路，用集中参数代替均匀分布参数，所引起的误差很小；对于超过 300km 的架空线路和大于 100km 的电缆电路，仍用集中参数表示，但需要乘以修正系数。