



职业教育教学改革规划教材
楼宇智能化工程技术专业系列教材

智能建筑 供配电与照明

陈小荣 主编

- ◆ 按工作内容进行模块化划分
- ◆ 任务引领，做学教目标明确

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



赠电子教案、课件

职业教育教学改革规划教材

楼宇智能化工程技术专业系列教材

智能建筑供配电与照明

主 编 陈小荣
副主编 李 波
参 编 刘 静 王 蕊
曹 宁 王京京
李 婷
主 审 范同顺



机械工业出版社

本书共分5个模块16个单元。模块1介绍了电力系统的基础知识；模块2结合建筑电气施工图对建筑供配电与照明系统中的主要电气设备、变配电所、线路、保护等作了详细的说明；模块3介绍了建筑供配电与照明系统的设计流程与设计内容，结合例题具体说明了设计中的负荷计算、短路计算、防雷计算、照明计算等典型方法。模块4概要介绍了建筑电气工程施工内容，并以简单室内照明工程为例，说明了室内布线方式的基本要求及其操作方法。模块5主要介绍了建筑供配电与照明系统的运行管理维护制度和工作内容，说明了建筑供配电与照明系统中常见故障的处理方法，并介绍了发生电气触电事故后的处理措施。

本书可作为高职高专院校电气工程及其自动化、楼宇智能化工程技术、建筑电气及相关专业教材，同时也可供一线电气工程技术人员学习参考。本书在任务选择上结合实际，具有可操作性和可实施性，力求达到在教学中好实用的目的。

为方便教学，本书配有电子教案，课件，凡选用本书作为教材的学校、单位，均可登录 www.cmpedu.com，免费注册下载，或来电 010-88379195 索取。免费注册下载流程见本书最后一页。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能建筑供配电与照明/陈小荣主编. —北京：机械工业出版社，2010.12

职业教育教学改革规划教材 楼宇智能化工程技术专业系列教材
ISBN 978-7-111-32525-3

I. ①智… II. ①陈… III. ①智能建筑-房屋建筑设备-供电-职业教育-教材 ②智能建筑-房屋建筑设备-配电系统-职业教育-教材 ③智能建筑-房屋建筑设备-电气照明-职业教育-教材 IV. ①TU852 ②TU113.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 226010 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：张值胜 责任编辑：蔡家伦

版式设计：张世琴 责任校对：肖琳

封面设计：王伟光 责任印制：杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2011年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.75印张·285千字

0 001—3 000册

标准书号：ISBN 978-7-111-32525-3

定价：25.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

销售二部：(010) 88379649

教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者服务部：(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是楼宇智能化工程技术专业系列教材之一，适用于高职高专院校电气工程及自动化、楼宇智能化工程技术、建筑电气及相关专业，使用中可根据各学校条件和教学安排自行取舍内容。

目前建筑供配电与照明方面出版的教材多侧重于系统的设计计算，编者尝试重新规划内容，结合相关专业工作岗位的实际应用，简化了部分理论计算，增加了建筑供配电与照明系统施工和运行维护管理内容。

本书由北京电子科技职业学院陈小荣主编并统稿，重庆科创职业学院刘静编写了模块2的单元5~7，扬州职业大学王蕊与中国石油长庆油田分公司矿区服务事业部李婷共同编写了模块5，北京众拓工程设计有限公司注册电气工程师李波、北京航空工业设计院高级工程师曹宁与陈小荣共同编写模块3，北京城建安装工程有限公司项目经理王京京与陈小荣共同编写模块4，其余内容由陈小荣编写。

全书由北京联合大学范同顺教授主审。在编写过程中，还得到了同方股份有限公司苏力宏、北京海龙高科物业管理公司陈玮等多位行业专家的帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中不妥和错漏难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

模块1 电力系统基础知识	1
单元1 认识电力系统	1
单元2 电力系统的额定电压及中性点运行方式	5
模块2 建筑供配电与照明系统的认识	15
单元3 识读、绘制简单供配电与照明系统图和平面图	15
单元4 建筑供配电与照明系统电气设备	29
单元5 变配电所	49
单元6 低压配电箱和高低压配电线路	71
单元7 建筑供配电系统的防雷与接地	82
单元8 建筑供配电系统的二次回路	97
模块3 建筑供配电与照明系统的设计	102
单元9 建筑供配电与照明系统方案设计	102
单元10 建筑供配电与照明系统初步设计	110
单元11 建筑供配电与照明系统施工图设计	139
模块4 建筑照明配电系统的施工	141
单元12 室内照明工程的安装与调试	141
模块5 建筑供配电与照明系统的运行管理与维护	149
单元13 变配电所的运行管理	149
单元14 建筑供配电与照明系统的巡视检查	159
单元15 建筑供配电与照明系统维护检修与故障处理	164
单元16 建筑供配电与照明系统的电气安全	172
参考文献	179

模块1 电力系统基础知识

单元1 认识电力系统

一、学习目标

1. 掌握电力系统的概念。
2. 理解电力系统各组成部分功能。
3. 理解建筑供配电系统的范围和组成。

二、学习任务

1. 叙述电力系统的组成部分，各部分功能。
2. 写出不同类型发电厂能量转换过程。
3. 写出典型建筑供配电系统组成部分。

三、学习工具

教材和教学参考资源。

四、背景知识

电力系统是指由各种电压等级的电力线路，将各发电厂、变电所和电能用户连在一起构成的发电、输电、变电、配电和用电的统一整体。

图 1-1 是某地区电力系统示意图，在这个系统中，有一个水电厂和一个火电厂。水电厂发出的电经升压变压器升压到 500kV，再用 500kV 超高压输电线路远距离输电至枢纽变电所 (a)；火电厂发出的电经升压变压器升压到 220kV，再用 220kV 高压输电线路输电至中间变电所 (b)，三条 220kV 的电力网构成环形，提高了供电可靠性。

1. 发电厂 (站)

发电厂 (站) 是将自然界蕴藏的天然能源 (即一次能源) 转换为电能 (即二次能源) 的工厂。

按照发电厂所利用的能源不同，可分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、太阳能发电厂、风力发电厂、地热发

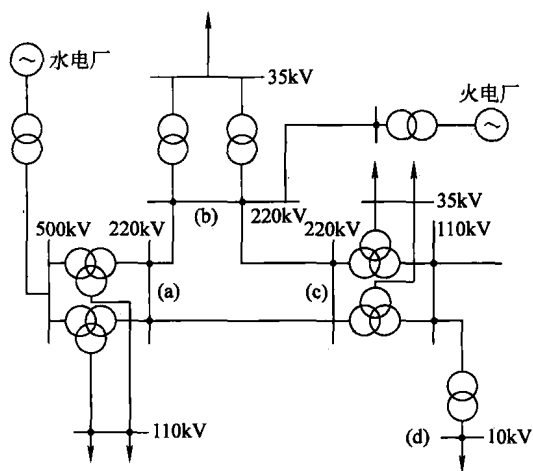


图 1-1 某地区电力系统示意图

电厂及潮汐发电厂等。

(1) 火力发电厂

火力发电厂简称火电厂，是把燃料（如煤、石油、天然气）的化学能转换为电能的工厂。

火力发电按其作用分为单纯发电的和既发电又供热的。按原动机分为汽轮机发电、燃气轮机发电、柴油机发电。按其所用燃料分主要有燃煤发电、燃油发电和燃气发电。

火力发电厂能量转换过程：

燃料的化学能→热能→机械能→电能

火力发电历史悠久，技术成熟，最早的火力发电是1875年在巴黎北火车站的火电厂实现的。目前在我国火力发电占主体地位，但火力发电会消耗大量不可再生的一次能源，并且其排放物会污染环境。

(2) 水力发电厂（站）

水力发电厂（站）简称水电厂（站），是把水的位能转换为电能的工厂（电站）。

水力发电厂（站）能量转换过程：

水的位能→机械能→电能

水电是清洁和可再生能源，应大力发展。建设水电厂（站）除考虑能源因素外，还应考虑航运、渔业、灌溉、防洪、生态等诸多因素，水电受季节、地域影响较大，我国水电资源主要集中在长江、黄河的中上游，雅鲁藏布江的中下游，珠江、澜沧江、怒江和黑龙江上游。1878年法国建成了世界上第一座水电站，1912年我国第一座水电站云南省昆明市郊石龙坝水电站建成。目前我国最著名的水电站是三峡水电站，它安装了32台单机容量为70万千瓦的水电机组，它也是目前世界上规模最大的水电站。

(3) 原子能发电厂

原子能发电厂也称核电厂，是把某些化学元素原子核的核裂变能转换为电能的工厂。

原子能发电厂能量转换过程：

核裂变能→热能→机械能→电能

核电厂生产电能的过程与火电厂基本相同，只是以少量的核燃料代替了大量的煤炭、石油、天然气等燃料，据资料显示，1kg铀-235核裂变所放出的能量相当于燃烧2500kg煤所得到的能量。1954年世界上第一座核电站苏联奥布宁斯克核电站建成。

(4) 其他新型发电厂

根据世界能源权威机构的分析，目前一次能源中石油占年世界能源总消耗量的40.5%；天然气占年世界能源总消耗量的24.1%；煤炭占年世界能源总消耗量的25.2%；铀占年世界能源总消耗量的7.6%。而这些已探明的主要矿物燃料储量和开采量不容乐观。传统的燃料能源正在一天天减少，可再生的新能源（太阳能、风能、地热能、潮汐能）电厂成为替代传统一次性能源的目标。

太阳能发电厂是把太阳辐射的热能和光能转换为电能的工厂。利用太阳辐射的热能进行发电的称为太阳能热发电，是指利用特殊镜面收集太阳热能，通过换热装置提供蒸汽，推动汽轮机转动，带动发电机发电。利用太阳辐射的光能进行发电的称为太阳能光发电。它是指太阳光照射到半导体光电器件时，其内部产生光伏效应，将太阳光能转化成电能。光电转换的基本装置是太阳能电池。

风力发电厂是把风的动能转换为电能的工厂。它是利用风力带动风车叶片旋转，再透过增速机将旋转的速度提升，来促使发电机发电的。

地热发电厂是把地球内部蕴藏的地热能转换为电能的工厂。地热发电和火力发电的原理是相同的。

潮汐发电厂是把海洋的潮汐能转换为电能的工厂。潮汐是指海水的自然涨落现象。潮汐发电与水力发电的原理相似，是利用潮水涨、落产生的水位差所具有的势能来发电的，也就是把海水涨、落潮的能量变为机械能，再把机械能转变为电能（发电）。

2. 电网

电力网简称电网，是电力系统中发电厂和用户之间的中间环节，由各种电压等级的输配电线路和变电所构成，用以变换电压，输送并分配电能。电力系统与电力网关系示意图如图 1-2 所示。

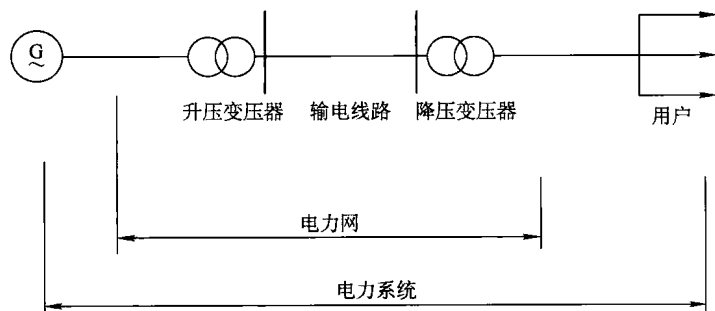


图 1-2 电力系统与电力网关系示意图

(1) 电网分类

按作用可分为输电网（发电厂至变电所的电网和变电所至变电所的电网）和配电网（变电所至用户的电网）。

按电压等级可分为特高压（1000kV 以上）电网、超高压（330 ~ 1000kV）电网、高压（1 ~ 220kV）电网和低压（1kV 以下）电网。

按电网结构可分为开式电网（用户单方向得到电能的电网）和闭式电网（用户从两个及以上方向得到电能的电网）。

按供电范围可分为区域电网（110kV 以上，输送功率大，范围广的电网）和地方电网（110kV 及以下，输送功率小，距离短的电网）。

以上几种分类方式不是绝对的，其划分不存在严格的界限。

(2) 变电所分类

图 1-1 中，变电所（a）汇集多个电源，连接电力系统高压和中压的几个部分，位于电力系统的枢纽点，称为枢纽变电所，它是一个 500kV 的变电所；变电所（b）高压侧以交换潮流为主，使长距离输电线路分段，同时降压供给当地用户，主要起中间环节的作用，使系统在此所交换功率，所以叫中间变电所；变电所（c）低压侧电压一般为 110kV、35kV，以地区用户供电为主，所以叫地区变电所；变电所（d）在输电线路的终端，接近负荷点，高压侧多为 110kV，经降压变压器降压后直接向用户供电，所以叫终端变电所。

3. 电力用户（建筑供配电系统）

电力用户简称用户，是电力系统中应用电能的最终环节。一幢建筑或建筑群即是一个电

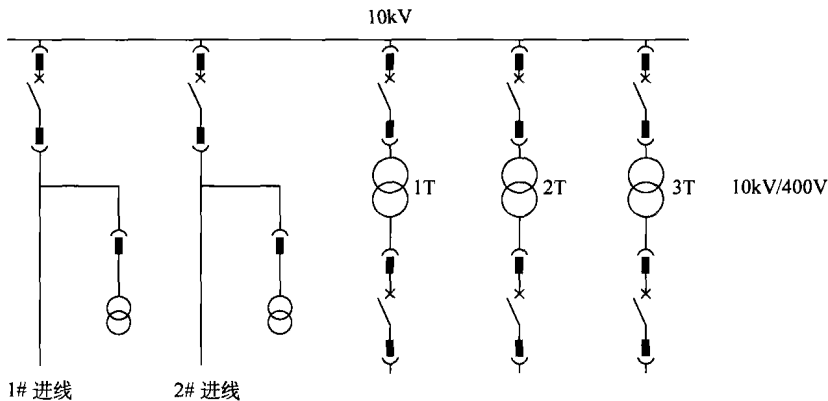
力系统的用户。从供电的角度讲，总供电容量不超过 $1000\text{kV} \cdot \text{A}$ 的为小型用户；超过 $1000\text{kV} \cdot \text{A}$ 而少于 $10000\text{kV} \cdot \text{A}$ 的为中型用户；超过 $10000\text{kV} \cdot \text{A}$ 的为大型用户。

(1) 建筑供配电系统的范围

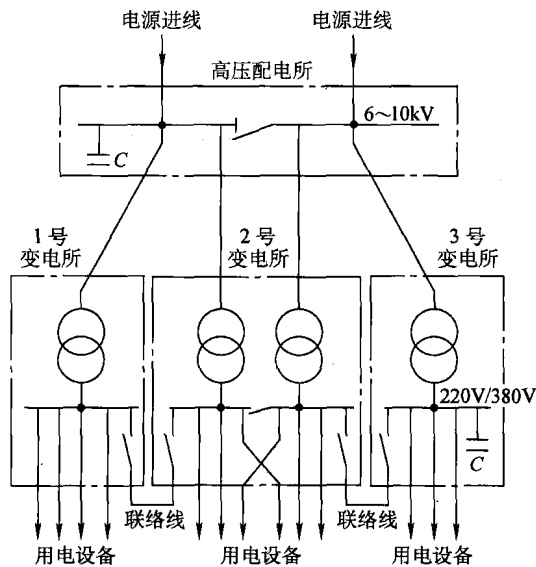
建筑供配电系统是指从电力电源进入建筑物起，到所有用电设备入端止的整个电路。

(2) 建筑供配电系统的组成

典型建筑的供配电系统的电源取自当地供电企业的终端变电所，一般为两路电源进线，电压 10kV ，如图 1-3 所示。这两路电源根据用户的负荷特点，经过技术经济比较，可以采用两路电源一路供电一路备用的母线不分段运行方式，如图 1-3a 所示；也可以采用两路电源同时供电，各带 1 台或 2 台变压器，各带 50% 负荷，进线按 100% 负荷选择，单母线分段联络，正常运行时联络开关断开，互为备用的运行方式，如图 1-3b 所示。



a)



b)

图 1-3 典型建筑供配电系统图

a) 两路电源一路供电一路备用的母线不分段运行方式 b) 两路电源同时供电互为备用的运行方式

10kV 高压电源引入建筑高压配电所（配电所的任务是接受电能和分配电能）后，由高压配电装置经高压配电线路送给变电所（变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能），经变压器降压变为低压 380V/220V，然后由低压配电装置经低压线路配电给建筑物内各个低压用电设备。低压侧 380V/220V 可通过联络线相互连接，提高系统供电的可靠性和灵活性。

当然，某些高层建筑群的大型用户电源进线电压也有 35kV 及以上的，而一些小型建筑用电负荷小的用户也可直接采用 380V/220V 三相四线制低压进线。

五、作业

1. 通过查找网络或书籍等相关资料，列出至少 4 种不同类型发电厂名称（各一所）。
2. 通过查找网络或书籍等相关资料，列出我国省级以上电网名称。
3. 变电所和配电所的区别是什么？
4. 典型建筑供配电电压是多少？
5. 简述典型建筑常用供配电系统运行方式。

单元 2 电力系统的额定电压及中性点运行方式

一、学习目标

1. 了解电力系统额定电压等级及电能质量。
2. 正确标注电力系统各组成部分的额定电压。
3. 理解电力系统的中性点运行方式。

二、学习任务

1. 熟记我国电力系统常用的 3 个电压等级。
2. 写出给定的供电系统图上设备的额定电压。
3. 简述不同中性点运行方式的特点。
4. 画出民用建筑中常用的低压配电系统图。

三、学习工具

教材和教学参考资源。

四、背景知识

电力系统中的所有电气设备，都规定有一定的工作电压和频率。电气设备在其额定电压和频率条件下工作时，其综合的经济效果最好。因此，电压和频率被认为是衡量电力系统电能质量的两个基本参数。我国电气设备采用的工作频率（简称工频）都为 50Hz，而对不同的电气设备额定电压有不同的规定。

1. 电力系统的额定电压（标称电压）

额定电压是指能使各种电气设备处于最佳运行状态的工作电压，用 U_N 表示。

GB/T 156—2007《标称电压》规定了我国电力系统的额定电压等级，见表1-1。

表 1-1 电力系统的额定电压（标称电压）

分 类	电网和用电设备额定电压/kV	交流发电机额定电压/kV
低压	0.38/0.22	0.40
	0.66/0.38	0.69
	1 (1.14)	—
高压	3	3.15
	6	6.3
	10	10.5
	(20)	13.8, 15.75, 18
	—	20, 22, 24, 26
	35	—
	66	—
	110	—
	220	—
	330	—
500	—	
750	—	

(1) 电网（电力线路）的额定电压

电网的额定电压等级是我国根据国民经济发展的需要及电力工业的水平，经全面的技术经济分析后确定的。它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

(2) 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压应与电力网的额定电压相同。用电设备运行时要在线路上引起电压损耗，因而在线路上各点用电设备的工作电压会稍有不同，如图1-4所示。但是企业成批生产的用电设备的额定电压不可能按使用地点的实际电压来制造，而只能按线路首端与末端的平均电压，即电网的额定电压来制造。所以用电设备的额定电压规定与电网的额定电压相同。

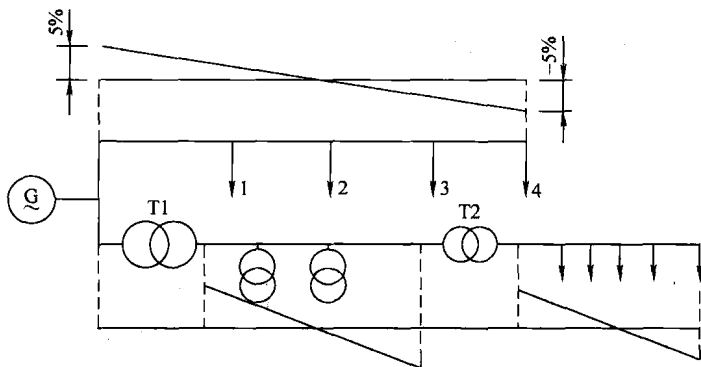


图 1-4 用电设备和发电机额定电压说明简图

(3) 发电机（Generator, G）的额定电压

发电机的额定电压高于线路额定电压5%。这是因为电力线路一般允许的电压偏差是

$\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 10% 的电压损耗，因此为了维持线路首端与末端的平均电压值在额定值，接在线路首端的发电机应较电网额定电压高 5%，如图 1-4 所示。即发电机的额定电压为所供电网额定电压的 105%。

(4) 电力变压器 (Transformer, T) 的额定电压

电力变压器的额定电压规定比较复杂，因为对于发电机 (电源) 来说，电力变压器的一次绕组相当于用电设备；而对于电力用户来说，电力变压器的二次绕组相当于发电机 (电源)。

1) 一次绕组额定电压

电网中的变压器一次绕组，可看成线路上的用电设备，因此其一次绕组额定电压应与供电电网额定电压相同，如图 1-5 所示的变压器 T2、T3；如变压器直接与发电机相连，如图 1-5 所示中的变压器 T1，则其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于所供电网额定电压 5%。

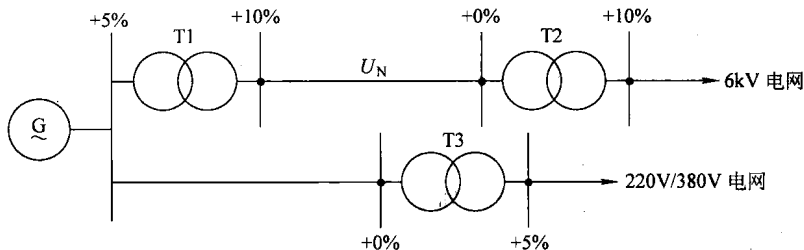


图 1-5 变压器一、二次绕组额定电压说明简图

2) 二次绕组额定电压

电力变压器的二次绕组额定电压是指变压器一次绕组加上额定电压，而二次绕组开路时的电压，即空载电压。而变压器在满载运行时，其绕组内约有 5% 阻抗电压降。因此二次绕组额定电压分两种情况：

如果变压器二次侧供电线路较长 (如为较大容量的高压电网)，则变压器二次绕组额定电压一方面要考虑补偿变压器绕组本身 5% 的阻抗电压降，另一方面要考虑相当于发电机的 5%，所以这种情况的变压器二次绕组额定电压要高于二次侧电网额定电压 10% (见图 1-5 中变压器 T1、T2)。

如果变压器二次侧供电线路不长 (如供电给低压电网或直接供电给高压用电设备的线路)，则变压器二次绕组额定电压，只需考虑补偿变压器内部的阻抗电压降 5% (见图 1-5 中变压器 T3)。

例题 写出图 1-6 所示为供电系统的电力变压器 T1、T2 和 T3 的额定电压。

解： T1: 6.3kV/121kV T2: 110kV/11kV T3: 10kV/0.4kV

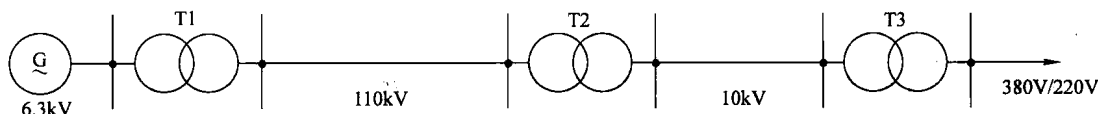


图 1-6 供电系统图

2. 电能质量

电压和频率是衡量电能质量的两个基本参数。GB/T 15945—2008《电能质量 电力系统频率偏差》中规定，电力系统频率偏差允许值为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，当系统容量较小时，偏差值可放宽到 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。标准中并没有说明系统容量大小的界限，而在《全国供用电规则》中规定：“供电局供电频率的允许偏差：电网容量在300万千瓦及以上者为 0.2Hz ；电网容量在300万千瓦以下者为 0.5Hz 。”实际运行中，我国各跨省电力系统频率都保持在 $\pm 0.1\text{Hz}$ 的范围内，这点在电网质量中最有保障。对于电力用户来说，提高电能质量主要是提高电压质量。

(1) 电压偏差

用电设备端子处的电压偏差，以设备端实测电压 U 与其额定电压 U_N 差值的百分值来表示，即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (1-1)$$

电压偏差是由于设备工作在线路不同地点、供配电系统运行方式改变以及负荷缓慢变化等原因而引起的，它是客观存在的。

1) 电压偏差允许值

GB/T 12325—2008《电能质量 供电电压偏差》规定，10kV及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$ 。

GB 50052—2009《供配电系统设计规范》中关于电能质量的规定，正常运行情况下，用电设备端子处电压偏差允许值应符合下列要求：

① 电动机为 $\pm 5\%$ 。

② 照明灯在一般工作场所为 $\pm 5\%$ ；对于远离变电所的小面积一般工作场所，难以满足上述要求时，可为 $+5\%$ 、 -10% ；应急照明、道路照明和警卫照明为 $+5\%$ 、 -10% 。

③ 其他用电设备当无特殊规定时为 $\pm 5\%$ 。

2) 电压调整措施

① 正确选择变压器的电压比和电压分接头。

② 合理减少供配电系统的阻抗。

③ 尽量使三相负荷平衡。

(2) 电压波动

电压波动是指电网电压的短时快速变动。电压波动幅度以设备端电压的最大值与最小值对其额定电压的百分值来表示，即

$$dU\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100\% \quad (1-2)$$

电压波动会影响电动机的正常起动。可使某些电子设备特别是电子计算机无法正常工作；可使照明灯发生明显的闪烁现象等。其中，电压波动对照明的影响最明显。

GB/T 12326—2008《电能质量 电压波动和闪变》规定了不同电压等级下电压变动限值和各级电压下的闪变限值。

(3) 谐波

谐波是指非正弦波按傅里叶级数分解后所得的一系列频率为基波频率整数倍的正弦波，又称高次谐波。谐波次数指谐波频率与基波频率的整数比。基波频率就是系统的标准频率，通常称为工频，工频为 50Hz ，则二次谐波频率为 100Hz ，三次谐波频率为 150Hz ，依此

类推。

电力系统中三相交流发电机发出的电压，可认为其波形是正弦波。但电力系统中存在着各种非线性元件，如开关电源、电子镇流器及交流电动机、电焊机、变压器和感应电炉等，这些设备的使用造成系统中和用户线路中产生了谐波，即电压波形畸变。特别是随着大型变流设备和电弧炉等的广泛应用，使谐波的干扰成了当前系统中影响电能质量的一大“公害”。

谐波的危害是多方面的，如在电动机中产生脉动转矩，使电动机产生跳动和步进现象，严重影响机械加工的产品质量；缩短变压器使用寿命；使电容器过负荷而烧坏；使电力线路的电能损耗增加；使计算电费的感应式电度表的计量不准确；还可能使系统发生电压谐振，从而在线路上引起过电压，有可能击穿线路设备的绝缘。高次谐波的存在，还可能使系统的继电保护和自动装置误动或拒动，并可对附近的通信设备和线路产生信号干扰等。

GB/T 14549—1993《电能质量 公用电网谐波》规定了不同电压等级的公用电网谐波电压限值 and 用户注入公共连接点的谐波电流允许值。

(4) 三相电压不平衡度

三相不平衡电压按对称分量法可分解为正序分量、负序分量、零序分量三个对称分量。三相电压不平衡度是指三相系统中三相电压的不平衡程度，用电压或电流负序分量与正序分量的方均根比值的百分比表示，即

$$\varepsilon_U = \frac{U_2}{U_1} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 ε_U ——电压不平衡度；

U_1 ——三相电压的正序分量方均根值 (V)；

U_2 ——三相电压的负序分量方均根值 (V)。

如果将式中 U_1 、 U_2 换为 I_1 、 I_2 ，则为相应的电流不平衡度 ε_I 的表达式。

三相电压不平衡（即存在负序分量）会引起继电保护误动、电动机附加振动力矩和发热。运行在额定转矩的电动机，如长期在负序分量 4% 的状态下运行，由于发热，电动机绝缘的寿命将会降低一半，若某相电压高于额定电压，其运行寿命的下降速度将更快。

我国目前执行的 GB/T 15543—2008《电能质量 三相电压不平衡》规定了电力系统公共连接点正常电压不平衡度允许值为 2%，同时规定了不平衡度短时不得超过 4%，其短时允许值的概念是指任何时刻均不能超过的限制值，以保证继电保护和自动装置正确动作。对接入公共连接点的每个用户引起该点正常电压不平衡度允许值一般为 1.3%。

3. 电力系统中性点运行方式

电力系统的中性点是指电源（发电机或变压器）的中性点。它有以下两种运行方式：一种是中性点小电流接地电力系统，包括中性点不接地和中性点经消弧线圈接地；另外一种是中性点大电流接地电力系统，包括中性点直接接地和中性点经低电阻接地。这里重点讲述中性点不接地和中性点直接接地的电力系统。

电力系统中电源中性点的不同运行方式，对电力系统的运行，特别是在发生单相接地故障时，有明显的影 响，而且影响到电力系统二次侧的保护装置及监察装置的选择与运行。

我国 3~63kV 的电力系统，大多数采取中性点不接地运行方式；当系统单相接地故障电容电流大于一定数值时，采取中性点经消弧线圈（大感抗的铁心线圈）接地。110kV 及以上的电力系统和低压 380V/220V 配电系统，一般采取中性点直接接地的运行方式；某些

大城市 10kV 配电网采用中性点经低电阻接地。

(1) 中性点不接地的电力系统

中性点不接地是指系统中电源的中性点对地绝缘，如图 1-7 所示。这种系统在正常运行时，三相交流系统是对称的，即三相相电压、线电压、相对地电容电流都是对称的，相量和为零。没有电流在地中流过。每相对地的电压，就是其相电压。

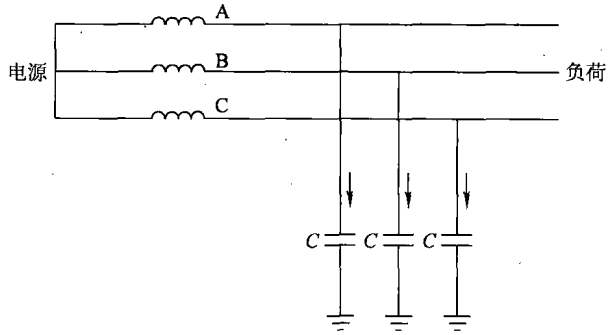


图 1-7 中性点不接地的电力系统

当系统发生单相完全接地故障时，该相对地电压为零，其余两相非故障相线相对地电压都升高到线电压，即升高为原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍。故障相接地点有接地故障电流流过，大小为正常运行时对地电容电流的 3 倍。但系统的三个线电压无论相位和量值均不会发生变化，因此系统中的所有工作在线电压下的设备仍然会继续运行。但是如果此时另一相又发生接地故障时，则形成两相接地短路，将产生很大的短路电流，损坏线路及线路上的用电设备，这是不允许的。因此，我国有关规程中规定，中性点不接地的电力系统发生单相接地故障时，可允许暂时继续运行 2h。但必须通过系统中装设的单相接地保护或绝缘监察装置发出报警信号或指示，以提醒值班人员注意，要求运行维修人员立即采取措施，查找并消除单相接地故障或将故障线路的负荷转移到备用线路上去。

(2) 中性点经消弧线圈接地的电力系统

在上述中性点不接地的电力系统中，如果接地电容电流较大，将在接地点产生断续电弧，这可能引起线路发生电压谐振。由于线路存在电阻、电感和电容，因此发生一相弧光接地时，会形成一个 RLC 的串联谐振电路，从而使线路上出现危险的过电压，有可能使线路上绝缘薄弱环节造成对地击穿，进而发展成为相间短路事故。为了消除一相接地时，接地点出现的断续电弧，需按规定在单相接地故障电容电流大于一定值（3~10kV，大于 30A 时；20kV 以上，大于 10A）时，系统中性点采取经消弧线圈接地的运行方式。

(2) 中性点经消弧线圈接地的电力系统

在上述中性点不接地的电力系统中，如果接地电容电流较大，将在接地点产生断续电弧，这可能引起线路发生电压谐振。由于线路存在电阻、电感和电容，因此发生一相弧光接地时，会形成一个 RLC 的串联谐振电路，从而使线路上出现危险的过电压，有可能使线路上绝缘薄弱环节造成对地击穿，进而发展成为相间短路事故。为了消除一相接地时，接地点出现的断续电弧，需按规定在单相接地故障电容电流大于一定值（3~10kV，大于 30A 时；20kV 以上，大于 10A）时，系统中性点采取经消弧线圈接地的运行方式。

在中性点经消弧线圈接地的系统中，发生单相接地故障时的特点与中性点不接地的系统相同。

(3) 中性点直接接地的电力系统

中性点直接接地是指系统中电源的中性点经一无阻抗（金属性）接地线直接与大地连接，如图 1-8 所示。这种系统中性点电压为地电位，正常运行时中性点没有电流通过。

当系统发生单相接地故障时，就构成单相短路，其单相短路电流很大，通常会使得线路上的断路器自动跳闸或者熔断器熔断，切

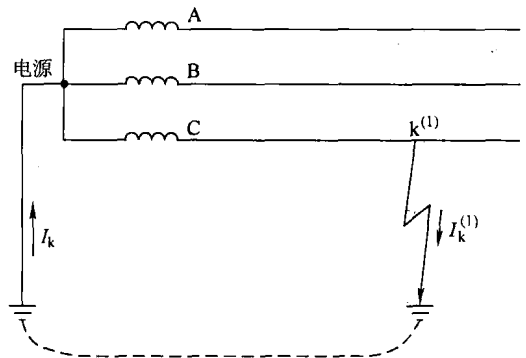


图 1-8 中性点直接接地的电力系统

除短路故障。为提高供电可靠性，可采用环网供电方式或配合综合自动化装置。

中性点直接接地的系统 in 发生单相接地故障时，构成短路，使被保护装置动作，切除故障，其他两相对地电压不会升高，因此这种系统中的供用电设备的绝缘只需按相电压来考虑，而不必按线电压来考虑。这对 110kV 及以上的超高压系统，是很有经济价值和技术价值的，因为高压电器特别是超高压电器的绝缘问题，是影响设计和制造的关键问题。绝缘要求的降低，实际上降低了高压电器的造价，同时改善了高压电器的性能，所以我国对 110kV 及以上的超高压系统的中性点均采取直接接地的运行方式。

另外，我国广泛应用的低压 380V/220V 供配电 TN 系统及国外应用比较广泛的 TT 系统，均采取中性点直接接地的方法，而且引出有中性线或保护中性线，这除了便于接单相负荷外，还考虑到了安全保护的要求，可减少人身触电事故。

当然，中性点直接接地的系统 in 发生单相接地故障时由于接地电流大，地电位上升较高，会增加电力设备的损伤，加大信息系统干扰等。

(4) 中性点经低电阻接地的电力系统

中性点经电阻接地方式，即中性点与大地之间接入一定阻值的电阻。电阻值的选取必须根据电网的具体情况，综合考虑限制过电压倍数、继电保护的灵敏度、对通信的影响、人身安全等因素。根据接地故障电流大小的不同，可以分为高电阻、中电阻、低电阻三种系统。低电阻接地系统接地故障电流控制在 100 ~ 1000A，一般选择为 300 ~ 800A。10kV 系统经低电阻接地方式接地电阻根据不同地区常选择为 10Ω 或 16Ω。

中性点经低电阻接地系统具有中性点不接地系统、消弧线圈接地系统或直接接地系统不具备的优点，也存在这些接地方式的一些缺点。由于电阻是耗能元件，也是电容电荷释放元件和谐振的阻压元件，对防止谐振过电压和间歇性电弧接地过电压，有一定优越性。由于这种系统的接地电流比直接接地系统的小，故地电位升高及对信息系统的干扰都将减弱。中性点经小电阻接地后，对单相故障而言，故障电流增大，并有零序电流产生，因而保护配置应增加零序保护。可以通过选择电阻值大小，控制流过接地点的电流大小，以起动零序保护动作，切除故障线路。

我国某些大城市 10kV 配电网，架空裸导线线路正逐渐被电缆和架空绝缘线所替代，限制配电网过电压问题成为当前供用电的工作重点，因此中性点经低电阻接地的运行方式较多见。

4. 低压配电系统的接地型式

低压配电系统按照接地型式不同，分为 TN、TT 和 IT 三种不同的系统。

国际电工委员会 (International Electrotechnical Commission, IEC) 对系统接地文字符号的意义规定：第一个字母表示电源侧中性点接地状态，T 表示电源侧中性点直接接地；I 表示中性点不接地或经高阻抗接地。第二个字母表示负荷侧电气设备的外露可导电部分（正常时不带电，故障时可带电且容易触及）的接地状态，N 表示直接与配电系统接地点引出的保护线 PE 线（或保护中性线 PEN 线）电气连接；T 表示通过自身独立接地体与大地直接连接（这部分内容在后续接地保护装置中还会遇到）。

(1) TN 系统

TN 系统是指电源侧中性点直接接地，电气设备的外露导电部分通过 PE 线或 PEN 线与该接地点连接的系统，如图 1-9 所示。

建筑中的低压供电系统一般采用的是 TN 系统。采用该系统后，当某一相绝缘损坏使相线碰壳，外壳带电时，该相线和零线构成短路回路，短路电流很大，使线路上的保护装置立即动作（如熔断器熔断、自动开关跳闸），将漏电设备与电源迅速断开，从而消除了触电危险。

TN 系统按照中性线和保护线的组合情况又分为 TN-S、TN-C 和 TN-C-S 三种形式。C 表示在同一供电系统内的中性线（N 线，俗称工作零线）和保护线（PE 线，俗称地线）合二为一的三相四线制系统；S 表示在同一供电系统中工作零线和保护零线从中性点接地开始就完全分开的系统，C-S 表示在同一供电系统中工作零线和保护零线一部分合并，一部分分开的系统。PE 线和 N 线分开以后，不能再合并，且 N 线应对地绝缘。为防止混淆 PE 线和 N 线，在低压配线时，应分别给 PE 和 PEN 线涂以黄绿相间的色标，给 N 线涂以浅蓝色色标。

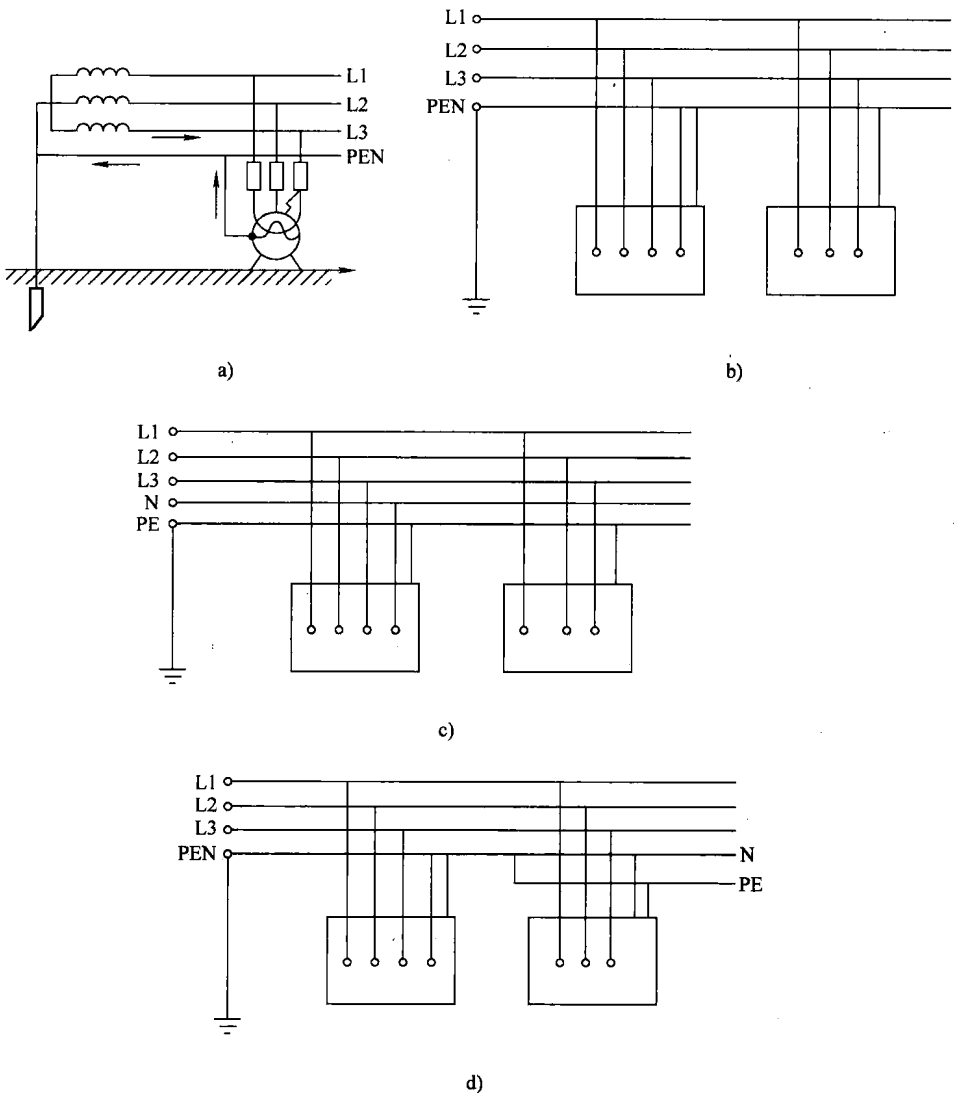


图 1-9 低压配电的 TN 系统

a) TN 系统原理图 b) TN-C 系统 c) TN-S 系统 d) TN-C-S 系统