

电力企业岗前培训系列教材

电力工程

主 编 芮新花 赵珏斐
副主编 卢林煌 陈久林
主 审 王士政



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电力企业岗前培训系列教材

电 力 工 程

主 编 芮新花 赵珏斐
副主编 卢林煌 陈久林
主 审 王士政



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为“电力企业岗前培训系列教材”之《电力工程》分册,是国家电网公司岗前培训“六大模块”中的电力工业基础知识模块。

全书共分八章:第一章是电力系统概述;第二章是电气主接线;第三章是电气设备原理与选择;第四章是 RCS—900 系列微机线路保护;第五章是微机母线保护;第六章是微机变压器保护;第七章是变电站综合自动化系统;第八章是配电网自动化技术。本书由浅入深、循序渐进,全面、综合地介绍了一次设备的原理与选择、各种微机保护、远程自动抄表系统、综合自动化系统、培训仿真系统等内容。既有作为岗前培训教材必需的许多知识,也概要介绍了电力工程技术的发展方向和最新动态。

本书内容全面,可作为电力企业岗前培训教材,亦可作为相关岗位人员的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力工程/芮新花,赵珏斐主编. —北京:中国水利水电出版社,2008

(电力企业岗前培训系列教材)

ISBN 978-7-5084-6190-8

I. 电… II. ①芮…②赵… III. 电力工程-技术培训-教材 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 212183 号

书 名	电力企业岗前培训系列教材 电力工程
作 者	主编 芮新花 赵珏斐 副主编 卢林煌 陈久林 主审 王士政
出版发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 20.5 印张 486 千字
版 次	2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	39.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

电力工业是国民经济发展的基础工业。电力系统的根本任务是，为满足国民经济各部门及人民生活不断增长的需要，提供充足、可靠和质量合格的电能。

电力系统是一种分布地域极其辽阔、设备种类繁多而又联系特别紧密的特大型综合工业系统，包括发电、送电、变电、配电、用电等许多环节，以及相应的通信、继电保护和安全自动装置、调度自动化设施等。显然，这样一种综合性系统，属于知识密集、技术“含金量”极高的现代工业技术领域。

管理这样特大工业系统安全稳定运行不是一件容易的事。与其他各种工业生产系统相比，现代电力系统的运行控制更为集中统一，也更为复杂。各种一次和二次设备在同一瞬间，遵循着统一的规律，有条不紊地运行着。各个环节要环环相扣，严密和谐，不能有半点差错。每时每刻控制管理着这个巨大电力系统的，不仅有各级调度人员，还有遍布各地发电厂和变电站的值班运行人员，以及大量的检修人员。无数事实表明，电力系统的可靠、经济运行以及电能的质量，不仅取决于系统中各种设备的性能和质量，更为重要的是，还取决于电力系统的人员素质、运行管理水平及检修技术水平。

大力开展职工岗前技能和职业技能培训，提高职工的岗位工作能力和生产技能，是职工教育的重点，也是提高劳动生产率和工作效率的重要手段。国家电网公司关于新员工培训的要求是：加强新员工能力建设，提高新员工技能水平，促进新员工角色转换，帮助新员工在较短的时间内胜任公司工作上的要求。基于以上要求，编写一套全面的岗前培训教材就势在必行。

这本《电力工程》分册，作为电力企业岗前培训系列教材之一，是国家电网公司岗前培训“六大模块”中的“电力工业基础知识模块”。本书内容涉及面较广，从一次设备到二次设备，从微机保护到综合自动化，还涉及光电式互感器、远程自动抄表、电力培训仿真等较先进的内容，全面地介绍了电力系统多个方面的知识，涵盖了电力企业岗前培训的电力工业基础知识的基本内容。编者编写时总结多年教学经验，经过大量调研，努力做到理论联系实际，讲述由浅入深、循序渐进，尽量避免繁琐的公式推导。当然，限于篇

幅，有些方面不能够很深入地展开。

本书共八章，第一、第二、第三、第七章由南京工程学院芮新花编写，第四、第五、第六章由南京供电公司赵珏斐编写，第八章及附录部分由广东省输变电工程公司卢林煌编写。芮新花、赵珏斐担任主编，江苏省电力试验研究院陈久林担任副主编并负责统稿，卢林煌担任副主编。全书由王士政主审。

本书编写时参考了多种本领域著作，由于编写时间较紧，难免有许多不完善的地方，恳切希望各企业相关人员在使用过程中帮助我们发现不足，并及时提供修改意见。

本书从资料准备到统筹编稿，及最后定稿，得到了河海大学王士政教授的全程指导和协助，在此特别要向王士政教授表示感谢！

由于编写时间仓促，作者水平所限，书中不当和疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2008 年 11 月

目 录

前言

第一章 电力系统概述	1
第一节 电力系统的构成	1
第二节 电力系统联网运行的优越性	5
第三节 电能的质量标准	6
第四节 电力系统的电压等级	7
第五节 电力系统的中性点接地方式	9
第六节 电力系统稳定问题概述	11
第七节 电气运行操作及培训仿真系统	12
第二章 电气主接线	23
第一节 概述	23
第二节 电气主接线的基本形式	24
第三节 电气主接线的特点	35
第四节 主变压器的选择	40
第五节 限制短路电流的方法	43
第六节 电气主接线设计	46
第三章 电气设备原理与选择	54
第一节 电力系统主要电气设备	54
第二节 电气设备选择的一般条件	54
第三节 高压断路器原理与选择	57
第四节 隔离开关原理与选择	72
第五节 电流互感器原理与选择	74
第六节 电压互感器原理与选择	80
第七节 光电式互感器简介	86
第八节 GIS 成套配电装置介绍	91
第四章 RCS—900 系列微机线路保护	93
第一节 保护原理介绍	93
第二节 保护逻辑框图介绍	111
第三节 硬件构成原理说明	127

第四节	装置调试方法介绍	142
第五章	微机母线保护	146
第一节	母线差动保护原理及构成介绍	146
第二节	母联（分段）失灵和死区保护原理	157
第三节	母联（分段）充电保护	160
第四节	断路器失灵保护	161
第五节	装置硬件介绍	164
第六节	装置调试方法介绍	175
第六章	微机变压器保护	181
第一节	变压器的基本知识	181
第二节	变压器保护原理介绍	188
第三节	装置硬件介绍	201
第四节	装置调试方法介绍	210
第七章	变电站综合自动化系统	217
第一节	变电站综合自动化系统概述	217
第二节	RCS—9700 综合自动化系统通信及远动介绍	222
第三节	WorldFIP 现场总线简介	228
第四节	数字化变电站简介	231
第五节	智能化开关柜与智能化供电系统	234
第八章	配电网自动化技术	238
第一节	配电管理系统（DMS）概述	238
第二节	馈线自动化技术	242
第三节	现代电网负荷管理技术	267
第四节	配电图资地理信息系统（AM/FM/GIS）	279
第五节	远程自动抄表系统	283
附录一	常用的电气设备文字符号	289
附录二	常用的物理量下角标的文字符号	292
附录三	电力变压器参数表	295
附录四	部分 10~500kV 断路器的规格和电气参数表	306
附录五	消弧线圈及隔离开关技术参数	311
附录六	部分电流、电压互感器技术数据	313
附录七	支柱绝缘子和穿墙套管技术数据	316
附录八	避雷器、电抗器和熔断器技术数据	318
参考文献		320

第一章 电力系统概述

第一节 电力系统的构成

电能具有输送方便、控制灵活、转换容易、利用率高、清洁经济、便于自动化等诸多优点，是厂矿企业最主要的动力，是社会生活不可缺少的能源。

电能从生产到供给用户使用，一般要经过发电、变电、输电、配电和用电几个环节，如图 1-1 所示。由发电机、输配电线路、变配电所，以及各种用户用电设备连接起来所构成的整体，被称为电力系统。

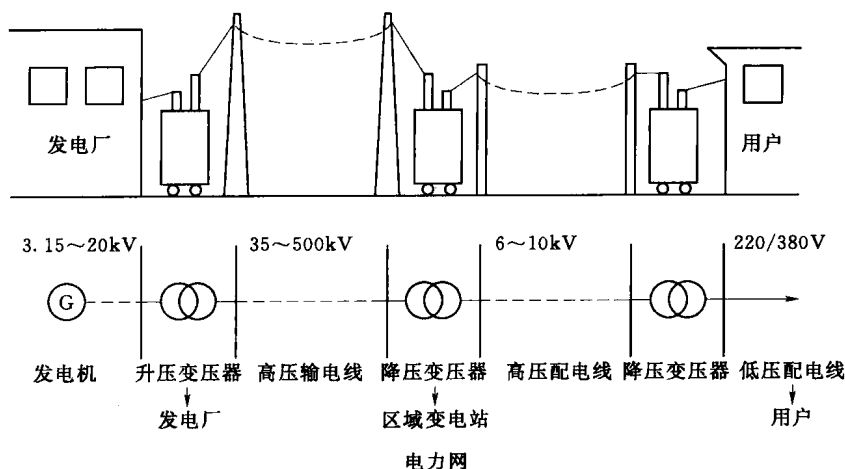


图 1-1 从发电厂到用户的送电过程示意图（单线图）

电力系统再加上发电厂的动力部分（火电厂的锅炉、汽轮机、热力管网等；水电厂的水库、水轮机、压力管道等）又构成了动力系统。

图 1-2 所示为大型电力系统的系统图（单线图）。

在电力系统中，由各种不同电压等级的电力线路和变配电所构成的网络，称为电力网，简称电网。

图 1-3 所示为按地图比例绘制的某大区电力网（主要部分）地理接线图。

一、各种发电厂简介

生产电能的工厂称为发电厂。按使用能源种类的不同，发电厂有许多种。

1. 火力发电厂

火力发电厂以煤或石油为燃料。发电厂的锅炉将水加热成高温高压蒸汽，驱动汽轮机带动发电机高速旋转发出电力。我国目前电力生产大部分是靠火力发电厂。

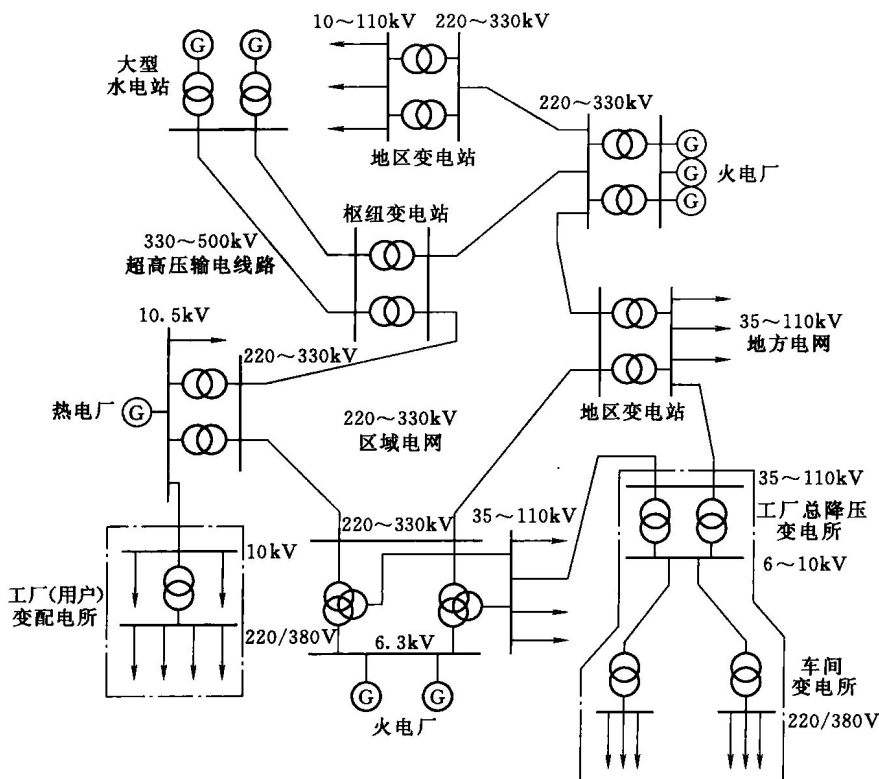


图 1-2 大型电力系统的系统图(单线图)

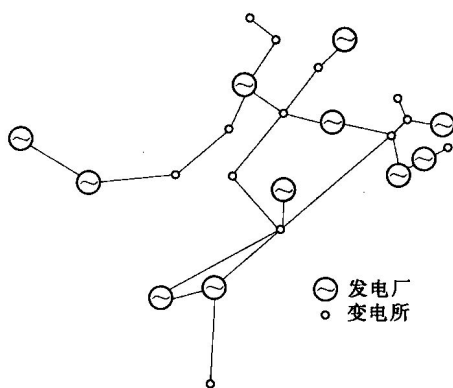


图 1-3 某大区电网(主要部分)
地理接线(单线图)

2. 热电厂

如果在发电的同时,将一部分做过功的蒸汽从汽轮机抽出,用管道输给附近需要热蒸汽的工厂(如纺织厂等)使用,这样的火力发电厂称为热电厂。普通火力发电厂(也称凝汽式火电厂)热能利用率仅为40%左右,而热电厂的热能利用率则可提高到60%~70%或以上。这种热—电联产的综合效益可节约燃料20%~25%,因此应在具备条件的地方优先采用。

3. 燃气轮机发电厂

燃气轮机发电厂也属于火力发电厂的一种,但它不是以水蒸气作为推动汽轮发电机组的工质,而是燃料(油或天然气)燃烧所产生的高温气体直接冲动燃气轮机的转子旋转。燃气轮机发电厂建设工期短,开、停机灵活方便,便于电网调度控制,宜于承担高峰负荷而作为电力系统中的调峰电厂。

4. 核电厂

利用原子核裂变产生的高热将水加热为水蒸气驱动汽轮发电机发电的电厂称为核电厂

(或原子能发电厂)。核电厂造价较高,但用于燃料的费用低,每年消耗的核燃料可能仅几吨,而相同容量的燃煤发电厂却要消耗煤几百万吨(1kg 铀 235 约折合 2860t 标准煤)。因此,核电厂特别适于建在工业发达而能源(煤、石油)缺乏的地区。

5. 水力发电厂

利用自然界江河水流的落差,通过筑坝等方法提高水位,使水的位能释放驱动水轮发电机组发电的电厂,称为水力发电厂。水力发电厂一般只能建在远离负荷中心的江河峡谷,其建设周期长,投资也较大。但它不需燃料,发电成本低(仅为火力发电厂的 $1/4 \sim 1/3$),能量转换效率高,又没有污染,开机、停机都十分灵活方便,特别宜于担任系统的调频调峰及事故备用。因此,从环境保护和可持续发展角度,应大力开发水力发电。

6. 其他能源的发电厂

利用风力、地热、太阳能、潮汐和海洋能发电的发电厂也在研究和发展,一般容量都不大,多为试验性质。但新能源的利用是一项重要的战略性课题,在未来的社会发展中会起到重要的作用。

二、电力网

电力网是连接发电厂和用户的中间环节,一般分成输电网和配电网两部分。

输电网一般是由 220kV 及以上电压等级的输电线路和与之相连的变电所组成,是电力系统的主干部分。它的作用是将电能输送到距离较远的各地区配电网或直接送给大型工业企业。目前,我国的几大电网已经初步建成了以 500kV 超高压输电线路为骨干的主网架。

配电网是由 110kV 及以下电压等级的配电线路(110kV 和 35kV 为高压配电,10kV 为中压配电,380/220V 为低压配电)和配电变压器组成,其作用是将电能分配到各类用户。

1. 电力网的接线方式

电力网的接线方式可分为无备用方式和有备用方式两大类。

(1) 无备用方式。仅用一回电源线向用户供电属于无备用方式,如图 1-4 所示。其特点是电网结构简单,运行方便,投资较少;但供电可靠性较低。广泛使用的断路器自动重合闸装置和线路故障带电作业检修,对这种接线供电可靠性较低的缺点有所弥补。无备用方式接线适宜向一般用户供电。

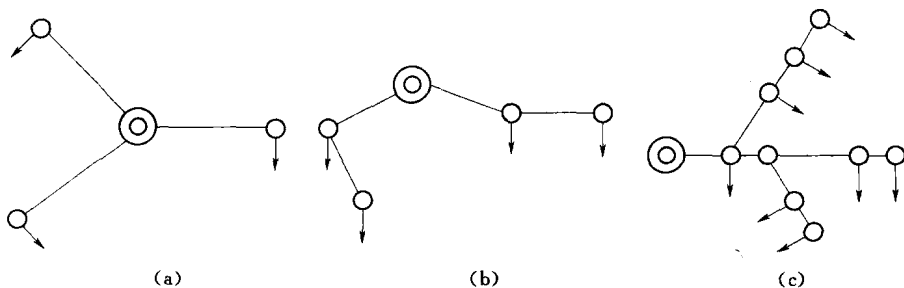


图 1-4 无备用接线方式

(a) 放射式; (b) 干线式; (c) 树枝式



(2) 有备用方式。凡用户能从两回或两回以上线路得到供电的电网属于有备用方式,如图 1-5 所示。这种接线供电可靠性高;但运行控制较复杂。适用于对重要用户的供电。

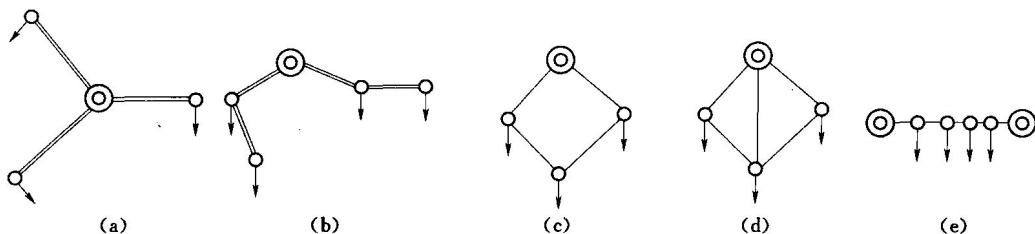


图 1-5 有备用接线方式

(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

2. 变(配)电所的类型和作用

变(配)电所是连接电力系统的中心环节,是汇集电源、升降电压、分配电能的枢纽。变电所通常由主变压器、高/低压配电装置、主控室及其他辅助设施组成。变电所各种类型及作用见表 1-1。

表 1-1 变电所的类型和作用

类 型		作 用 和 特 点
按作用分	升压变电所	一般设于发电厂内或电厂附近,发电机电压经升压变压器升高后,由高压输电线路将电能送出,与电力系统相连
	降压变电所	一般位于负荷中心或网络中心,一方面连接电力系统各部分,同时将电压降低,供给地区负荷用电
	开关站(开闭所)	仅连接电力系统中的各部分,可以进行输电线路的断开或接入,而无变压器进行电压变换。一般是为了电力系统的稳定而设置的
按所处地位分	枢纽变电所	位于电力系统中汇集多个大电源和多条重要线路的枢纽点,在电力系统中具有极为重要的地位。高压侧多为 330~500kV,其高压侧各线路之间往往有巨大的交换功率
	地区变电所	是供电给一个地区的主要供电点。一般从 2~3 个输电线路受电,受电电压通常为 110~220kV,供电给中、低压下一级变电所
	工厂企业变电所	专供某工厂企业用电的降压变电所,受电电压可以是 220kV、110kV 或 35kV 及 10kV,因工厂大小而异
	终端变电所	由 1~2 条线路受电,处于电网的终端的降压变电所,终端变电所的接线较简单

三、用户与用电负荷分级

工业、农业、交通运输业,以及国防、科研、商业、市政和人民生活,方方面面都离不开电能,都是电力系统的用户。

电力用户从电力系统中取用的用电功率,称为用户的用电负荷。

用电设备所消耗的功率分为有功功率和无功功率。因此,用户的用电负荷又分为有功负荷(以 kW 计)和无功负荷(以 kvar 计)。

按用户用电负荷的重要程度,一般将负荷分为 3 级。

(1) 一级负荷。如果用户供电突然中断,将会导致人身伤亡或重大设备损坏等严重事

故，以及国民经济的关键企业的大量减产，造成巨大的损失或政治影响，这样的负荷称为一级负荷，如炼钢厂、电解铝工厂及矿井用电等。

(2) 二级负荷。停电后将引起某些生产设备的损坏、部分产品的报废或造成大量减产，以及城市秩序混乱，这类负荷属于二级负荷，如纺织厂、造纸厂等许多企业和城市公用事业用电等。

(3) 三级负荷。凡不属于一级、二级负荷的，都列为三级负荷，如工厂附属车间和居民用电等。

对于一级负荷，应有两个以上独立的电源供电。任一电源发生故障时，都不致中断供电。有时还有备用的柴油发电机组。

对于二级负荷，一般也应尽量由不同的变压器或两个母线段上取得两路电源。

对于三级负荷，则一般以单回路供电。

第二节 电力系统联网运行的优越性

现代的电力系统越来越大，并还在不断地扩大中。到 2007 年年底，我国发电机总装机容量已达 7.126 亿 kW。其中，华东电网为国内最大电网，达 1.3354 亿 kW。以下为：南方电网（广东、广西、云南、贵州）1.2277 亿 kW；华中电网 1.0214 亿 kW；华北电网 8553.82 万 kW；东北电网 8072.42 万 kW；山东电网 4522.5 万 kW；西北电网 4444.12 万 kW；川渝电网 4398.78 万 kW；福建电网 3883.06 万 kW；新疆电网 981.72 万 kW；海南电网 458.26 万 kW；西藏电网 107.44 万 kW。

电力系统联网运行，在技术上和经济上都有十分明显的优越性。

一、提高供电的可靠性

电力系统中大量的设备都是不分昼夜地连续运行，难免发生故障。联网后某个设备的故障一般不会危及整个电力系统的继续运行，这就大大提高了对用户供电的可靠性。一般来说，电网规模越大，这种供电可靠性就越高。当然，电网过大也会带来一些新的技术问题，如系统短路电流增大、容易发生稳定事故等，这需要新的技术手段加以解决。

二、减少系统中总备用容量的比重

为避免系统中因某一发电机故障退出运行而使一些用户停电，一般都使装机容量大于最大用电负荷，即留有备用容量。由于备用容量是可以在整个系统中互相通用的，因此电力系统总容量越大，备用容量的比重就可以减少。

三、减少总用电负荷的峰值

不同地区的电网互连以后，会有明显的“错峰”效益。即不同地区的用电负荷高峰不在同一时间发生，因为各地存在着时差或气候差。这样，联网后系统的最大负荷将小于联网前各地区最大负荷的总和，因而也就减少了对新装发电机组的需求。

四、可以安装高效率的大容量机组

较小容量的系统不允许安装大容量机组。否则，一旦大机组故障退出运行，将导致大规模停电。而大机组单位千瓦造价低，运行效率高，维护费用少，材料消耗和占用土地也



少,其经济性指标远高于中、小机组,是今后发展电力工业的主要机型。只有互连成大电网,才能为安装大容量机组创造条件。

五、可以水火互济节约能源改善电网调节性能

大容量电力系统中水电厂和火电厂可以联合调度,发挥各自的特点和优势,取得最好的经济效益。在丰水期让水电厂多发电,火电厂少发电,并适当安排检修;在枯水期则让火电厂多发电,水电厂少发电,并可安排检修。这样不仅充分利用了水能资源,减少了煤炭消耗,还因水电厂易于调控而使电力系统的调节性能大为改善。

六、可以提高电能质量

电力系统容量越大,因负荷波动所引起的系统频率和电压的波动就越小,电能质量也就越好。

第三节 电能的质量标准

和一切商品一样,电能也有它的质量标准。电能的质量指标主要是频率、电压和波形3项。

一、频率

我国的技术标准规定电力系统的额定频率是50Hz。对大型电力系统,频率的允许范围为 $50\text{Hz} \pm 0.2\text{Hz}$,对中、小电力系统,频率的允许范围是 $50\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$ 。

频率偏离正常允许范围时,对用户和电力系统本身都会造成很大危害。

当频率高出允许值时,异步电动机转速升高,除使功率损失增加、经济性降低外,还会使某些对转速有严格要求的工业部门产品质量下降,甚至产出废品。同时,还会影响电钟及电子设备的正常工作。

当频率低于允许值时,则异步电动机转速下降,使生产率降低,还影响电动机的寿命。同时,也会使某些部门产出次品甚至废品,影响电钟和电子设备的工作。另外,频率大幅度降低还使发电厂的给水泵、风机等厂用电动机出力大为减少,甚至影响锅炉和汽轮发电机组的出力,导致电力系统有功功率更加不足,频率进一步降低,形成恶性循环,直至发生电力系统“频率崩溃”,这是一种极其严重的系统性大事故,会造成大面积停电的严重后果。

二、电压

所有用电设备都应当按照其设计的额定电压运行,一般仅允许有 $\pm 5\%$ 的变动范围。

电压过高,许多用电设备都会损坏,甚至造成严重事故和巨大损失。

电压过低,许多用电设备都不能正常工作。异步电动机电压过低时,其输出转矩显著降低,转差加大,电流加大,温度升高,甚至会使电动机烧毁。

为使用户用电设备得到合适的电压,我国规定用户处的电压容许变化范围如下:

- (1) 由35kV及以上电压供电的用户: $\pm 5\%$ 。
- (2) 由10kV及以下电压供电的高压用户和低压电力用户: $\pm 7\%$ 。
- (3) 低压照明用户: $-10\% \sim +5\%$ 。

三、波形

电力系统供电电压或电流的标准波形应是正弦波。当电源波形不是标准的正弦波时，就包含有各种谐波成分。这些谐波成分的存在不仅会大大影响电动机的效率和正常运行，还可能使电力系统产生高次谐波共振而危及设备的安全运行。同时还将影响电子设备的正常工作，并对通信产生不良的干扰。

变压器铁芯饱和或没有三角形接法的绕组，负荷中有大功率整流设备等，都是产生高次谐波的原因。应注意防止或采取相应措施消除高次谐波。

第四节 电力系统的电压等级

一、电力系统的额定电压等级

我国国家标准规定的三相交流电网和电力设备的额定电压（线电压，下同），如表 1-2 所示。

表 1-2 我国三相交流电网和电力设备的额定电压 单位：kV

分类	电网和用电设备 额定电压	交流发电机 额定电压	电力变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	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
	—	13.8, 15.75	13.8, 15.75	
	—	18, 20	18, 20	
	35		35	38.5
	110		110	121
	220		220	242
	330		330	363
	500		500	525

1. 电网的额定电压

电网的额定电压也就是电力线路以及与之相连的变电所汇流母线的额定电压。确定一级额定电压要根据国民经济发展的需要和电力工业的水平，关系非常重大。

2. 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。实际运行中，用电设备的电压允许有±5%的变动范围，而供电线路由于流通电流后产生电压降，故线路首端电压高些，末端电压低些，接于不同地点的用电设备所受电压也有所不同，两者刚好是适应的。



3. 发电机的额定电压

发电机的额定电压规定比同级电网额定电压高 5%。这是考虑到电力线路允许有 10% 的电压损耗, 线路末端允许比电网额定电压低 5%, 两者刚好适应。

4. 电力变压器的额定电压

(1) 电力变压器一次绕组的额定电压。当变压器直接与发电机相连时, 变压器一次绕组的额定电压应当与发电机额定电压相同; 当变压器不是与发电机直接相连, 而是接于某一电力线路的末端时, 则变压器一次绕组的额定电压应当与该线路额定电压相同。

(2) 电力变压器二次绕组的额定电压。当变压器二次绕组供电给较长的高压输电线路时, 其额定电压应比相应线路额定电压高 10%; 而当供电给较短的输电线路时, 其额定电压可以只比相应线路额定电压高 5%。

二、电压等级的选择

在输电距离和输电容量一定的条件下, 一方面, 选用较高的电压等级, 能使线路上电流小, 线路功率损耗和电能损耗低, 电压损失也小。同时也可选用较小的导线截面。另一方面, 线路电压越高, 线路的绝缘越要加强, 导线相间距离和对地距离都要相应增加, 使线路杆塔尺寸及造价上升; 同时, 变压器和开关设备的投资也相应增大。综合以上两个方面的因素, 在选择电压等级时, 应当进行细致的技术经济比较。

根据电力系统设计和运行的经验, 粗略选择输、配电线路电压等级时, 可参考表 1-3 所示的数值。

表 1-3 线路电压等级的选择

线路额定电压 (kV)	线路输电距离 (km)	线路输电功率 (kW)	线路额定电压 (kV)	线路输电距离 (km)	线路输电功率 (kW)
0.38 (架空线)	40.25	≤ 100	10 (电缆线)	≤ 10	≤ 5000
0.38 (电缆线)	40.35	≤ 175	35 (架空线)	20~50	2000~10000
6 (架空线)	3~10	100~1200	110 (架空线)	50~150	10000~50000
6 (电缆线)	48	≤ 2000	220 (架空线)	100~300	100000~500000
10 (架空线)	5~15	200~2000	500 (架空线)	200~850	1000000~1500000

工矿企业的供电电压视用电容量和地区电网情况而定。大型联合企业用电量很大, 往往以 110kV 甚至 220kV 供电, 中型企业多以 35kV 供电, 一般工厂可用 10kV 供电, 小型工厂则可用低压 0.38kV 供电。

工矿企业内部配电线路电压, 分为高压配电电压和低压配电电压两种。

工厂内部高压配电多为 10kV。如果工厂拥有较多的 6kV 高压用电设备, 则可考虑用 6kV 作为工厂高压配电电压; 如果仅有个别 6kV 用电设备, 则可通过专用的 10/6.3kV 变压器单独供电。大型企业厂区范围很大, 也有采用 35kV 作为厂区高压配电电压深入车间, 直接降为 0.38kV 供给低压用电设备, 从而省去了 10kV 这一中间变压环节, 优点很多。

工厂内部低压配电一般为 380/220V。少数采矿、石油和化工企业采用 660V, 可有效

地减少线路的电压损失，提高用电设备处电压水平，减少线路电能损耗，节约有色金属及线路投资，增加供电半径，减少变电点，简化工厂内部配电系统，是节电的有效手段之一，有显著的经济效益。由于涉及电机电气制造行业的大量产品，目前我国尚不能大量推广采用 660V 电压配电。

第五节 电力系统的中性点接地方式

电力系统中，发电机三相绕组通常是接成星形的，变压器高压绕组多数也是接成星形的。这些发电机和变压器星形绕组的中点统称为电力系统的中性点。

电力系统中性点的接地方式分为 3 种：直接接地方式、不接地方式和经消弧线圈接地方式。

电力系统中性点接地方式，要综合考虑电力系统的过电压与绝缘配合，继电保护与自动装置的配置，短路电流的大小，供电的可靠性，电力系统的运行稳定性以及对通信线路的干扰等多方面因素，是一项综合性的技术问题。

中性点直接接地方式下，系统发生单相接地故障时短路电流很大（所以又称为大接地电流系统）。同时，非故障相的相电压不会升高，这在电压等级高时对绝缘很有利。

中性点不接地方式和中性点经消弧线圈接地方式下，系统发生单相接地故障时接地故障电流很小（所以又称这两种接地方式为小接地电流系统）。同时，非故障相的相电压会升高为原来的 $\sqrt{3}$ 倍。

一、中性点直接接地系统

我国 110kV 及以上电网广泛采用中性点直接接地方式。这样对线路的绝缘水平要求较低，能显著地降低线路投资。在运行中，110kV 及以上电网的中性点并非全部同时接地，而是只有一部分接地（合上中性点接地刀闸），而其余的则不接地（拉开其中性点接地刀闸）。这由系统调度决定，目的是使系统单相接地时短路电流有一个合适的范围，既能满足继电保护动作灵敏度的需要，又不致太大。一般是希望单相短路电流不大于同一地点的三相短路电流。

这种系统在正常运行时，系统中性点并没有入地电流（或者说只有极小的三相不平衡电流）。

当系统发生单相接地时，短路电流会足够大，从而使继电保护装置动作，迅速将故障线路切除。系统非故障部分仍可正常运行，只是接于故障线路的用户被停电，但可在线路上加装自动重合闸装置，如发生的为瞬时性接地故障（约为总数的 70%），重合闸大都能重合成功，用户停电仅为 0.5s 左右，没有什么影响，供电可靠性也能得到保障。

单相接地短路电流较大，对邻近的通信线路有较强的电磁干扰，是这种接地方式的一个缺点。

我国低压 380/220V 三相四线系统，中性点也直接接地，但这是为了取得 220V 单相电压。

二、中性点不接地系统

因中性点未接地，当发生单相接地时，只能通过线路对地电容（一种非人为的空间分



布电容)构成单相接地回路,故障点流过很小的容性电流(电弧),大多能自行熄灭。

在中性点不接地系统中发生单相接地时,系统3个线电压的对称性没有变化,用电设备仍能正常工作,供电可靠性较高,这是采用中性点不接地方式的主要原因。至于非故障相电压升高 $\sqrt{3}$ 倍这一缺点,对较低电压等级并无大的危害。

规程规定,中性点不接地系统发生单相接地故障时允许继续运行2h,应在这段时间内找到接地点并予以消除,以免再有另外一相也发生单相接地而变成两相接地短路。

我国3kV、6kV、10kV、35kV系统,当单相接地时的电容电流不大时,都采用中性点不接地(绝缘)方式。具体的规定如下:

3~6kV电网单相接地电容电流不大于30A。

10kV电网单相接地电容电流不大于20A。

35kV电网单相接地电容电流不大于10A。

单相接地时电容电流可近似按下式计算:

$$\text{对架空线} \quad I_c = \frac{U L_{\Sigma}}{350} \quad (\text{A}) \quad (1-1)$$

$$\text{对电缆} \quad I_c = \frac{U L_{\Sigma}}{10} \quad (\text{A}) \quad (1-2)$$

式中 U ——线路额定电压, kV;

L_{Σ} ——同一电压且互相连通的所有线路总长度, km。

除线路外,发电机、变压器、母线也有单相接地的电容电流数值,在计算某一电压级的系统单相接地电容电流时,也应考虑进去,并应考虑系统5~10年的发展。具体计算方法可查阅有关手册。

三、中性点经消弧线圈接地系统

我国3~35kV系统,当单相接地时电容电流大于前述规定值时,应采用中性点经消弧线圈接地方式(见图1-6)。因为这种情况下接地电容电流较大,会产生断续电弧,可能使电路中发生危险的电压谐振现象,出现高达相电压2.5~3倍的过电压,导致线路上绝缘薄弱处被击穿。

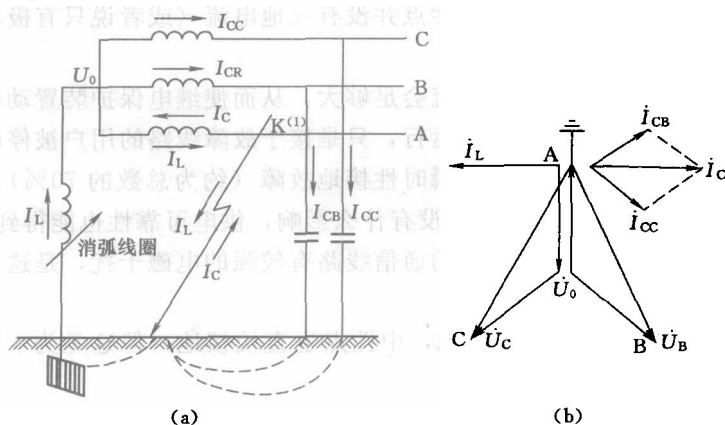


图 1-6 中性点经消弧线圈接地时的单相接地

(a) 接线; (b) 相量图