



王士政 芮新花 赵珏斐 编



高等学校“十一五”精品规划教材

发变电站电气工程

王士政 芮新花 赵珏斐 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书涵盖了发电厂和变电站电气部分的基本内容,是将“电力系统分析”、“发电厂电气部分”、“电力系统继电保护”和“高电压技术”等传统课程进行融汇整合而编写的一部崭新教材,内容丰富,浅显易懂。

第一章概要介绍了包括潮流计算等内容的电力系统基本知识;第二章简捷地讲述了电力系统短路电流的基本计算方法;第三章叙述了电力系统的继电保护的基本知识;第四章讲解载流导体的发热与电动力和导体的选择;第五章阐述了发电厂及变电所主要电气设备的结构、原理与选择方法;第六章对电气主接线的基本形式和各类发电厂、变电站电气主接线的特点作了说明;第七章讲述了发电厂厂用电及其接线;第八章讲述了发电厂的过电压保护和接地装置;第九章概述了配电装置及厂、站电气设备的总体布置;第十章论述了电气二次系统,主要介绍了发电厂和变电所的控制与信号。

本书主要作为电气类、能源动力类等专业的本科教材,也可作为高职高专、成人高校相关专业的教材,还可供从事相关领域技术工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

发变电站电气工程/王士政,芮新花,赵珏斐编. —北京:
中国水利水电出版社, 2009
高等学校“十一五”精品规划教材
ISBN 978-7-5084-6745-0

I. 发… II. ①王…②芮…③赵… III. ①发电厂-电气设备-高等学校-教材②变电所-电气设备-高等学校-教材 IV. TM62 TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 146952 号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 发变电站电气工程
作 者	王士政 芮新花 赵珏斐 编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 21.25印张 504千字
版 次	2009年7月第1版 2009年7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，其根本任务是提供充足、可靠和质量合格的电能，以满足国民经济各部门及人民生活用电需求不断增长的需要。电力系统包括发电、变电、送电、配电、用电等许多环节，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。显然，这是一种知识密集、技术“含金量”极高的综合性现代工业系统。

驾驭这个特大系统安全稳定运行不是一件容易的事。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，而且更为重要的是，还取决于电力系统的人员素质及运行管理水平。

近年来，随着国民经济的快速稳定增长，我国电力工业得到了持续迅速发展，发电机装机容量和发电量已跃居世界第二位。随着大机组、超高压电网的不断建设，大量的新设备、新技术、新工艺的广泛应用，对电力系统的规划、设计、运行、管理等方面提出了新的、更高的要求，因此培养更多掌握现代电力系统特点的专门人才和提高现有电力工业人员素质，是电力高等教育工作者所面临的迫切任务。

作为“电气工程类”和“热能动力类”等专业的本科教材，本教材《变电站电气工程》涵盖了发电厂和变电站电气部分的基本内容，是将“电力系统分析”、“发电厂电气部分”、“电力系统继电保护”和“高电压技术”等传统课程进行融汇整合而编写的一部崭新教材。

编者总结多年教学经验，根据当前学生们的实际接受水平，编写时努力做到理论联系实际，内容由浅入深，讲述循序渐进，尽量避免会使学生望而生畏的繁琐公式推导。当然，有些方面就不能够很深入地展开了。

本书也可作为高职高专和成人高校相关专业的教材，还可供其他电气工程技术人員参考使用。

全书由王士政、芮新花、赵珏斐合编。其中，王世政编写了第一、二、六、七章，芮新花编写了第三、四、五、八章，赵珏斐编写了第九、十章和附录。最后全书由王士政统稿、定稿。在编写过程中，得到了许多发电和供

电企业及电气设备制造厂家的大力支持，参考了多种相关书籍（见参考文献），三江大学电气学院领导和同事也给予许多帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于电力工程技术仍在快速发展之中，教材不可能完全跟上技术发展的脚步，某些方面可能未涉及到，或者某一点内容已有些落后，这是难以避免的，请读者见谅。书中错误和不足之处在所难免，恳切希望使用此书的教师、学生和工程技术人员帮助我们发现不足，提出宝贵的批评意见，作者诚表感谢。

作者

2009年3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	8
第六节 电力系统的潮流计算	11
第七节 电力系统的电压调整	22
第八节 电力系统的频率及其控制	25
第九节 电力系统稳定问题概述	35
思考题与习题	36
第二章 短路电流的计算	37
第一节 概述	37
第二节 发生短路时电网的等值电路	40
第三节 短路计算中的网络化简	45
第四节 三相短路的计算方法	46
第五节 不对称短路的计算方法	58
思考题与习题	70
第三章 电力系统的继电保护	72
第一节 继电保护基础知识	72
第二节 输电线路的继电保护	77
第三节 变压器的继电保护	87
第四节 发电机的继电保护	98
思考题与习题	103
第四章 导体的发热与电动力和导体的选择	104
第一节 概述	104
第二节 导体的长期发热和短时发热	105
第三节 导体的电动力计算	111
第四节 大电流封闭母线的发热和电动力	113
第五节 大电流母线附近钢构的感应发热	115
第六节 母线、绝缘子和绝缘套管的选择	116

第七节 电力电缆的选择	127
思考题与习题	130
第五章 电气设备原理与选择	132
第一节 发电厂的主要电气设备	132
第二节 电气设备选择的一般条件	132
第三节 高压断路器的原理与选择	135
第四节 隔离开关的原理与选择	149
第五节 电流互感器的原理与选择	151
第六节 电压互感器的原理与选择	157
第七节 新型互感器简介	163
第八节 互感器在主接线中的配置原则	168
第九节 限流电抗器的选择	169
第十节 高压熔断器的选择	173
思考题与习题	174
第六章 电气主接线	175
第一节 概述	175
第二节 电气主接线的基本形式	176
第三节 各类发电厂电气主接线的特点	187
第四节 发电厂主变压器的选择	191
第五节 限制短路电流的方法	194
第六节 电气主接线设计	197
思考题与习题	204
第七章 发电厂厂用电及其接线	206
第一节 概述	206
第二节 发电厂厂用电接线	209
第三节 发电厂厂用变压器或电抗器的选择	218
第四节 发电厂厂用电动机自启动校验	223
思考题与习题	227
第八章 发电厂的过电压保护和接地装置	229
第一节 过电压保护概述	229
第二节 避雷针和避雷线	231
第三节 避雷器	234
第四节 发电厂的接地装置	240
思考题与习题	245
第九章 配电装置及厂、站电气设备的总体布置	246
第一节 概述	246

第二节 配电装置的安全净距	247
第三节 屋内配电装置	249
第四节 屋外配电装置	253
第五节 发电厂、变电站电气设备的总体布置	257
思考题与习题	264
第十章 发电厂和变电所的控制与信号	265
第一节 发电厂的控制方式	265
第二节 电气二次回路及二次接线图	266
第三节 断路器的控制回路	269
第四节 中央信号系统	273
第五节 发电厂的弱电选线控制	275
第六节 发电厂和变电所的计算机监控系统	277
第七节 电气运行操作的基本规定	292
思考题与习题	299
附录	301
附录一 常用的电气设备文字符号	301
附录二 发电机短路电流运算曲线	303
附录三 电力变压器参数表	306
附录四 部分发电机技术数据表	316
附录五 部分 10~500kV 断路器的规格和电气参数表	317
附录六 线路参数表	323
附录七 隔离开关技术参数	326
附录八 部分电流、电压互感器技术数据	327
附录九 消弧线圈技术参数	330
附录十 电抗器和熔断器技术数据	330
参考文献	332

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和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）。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。

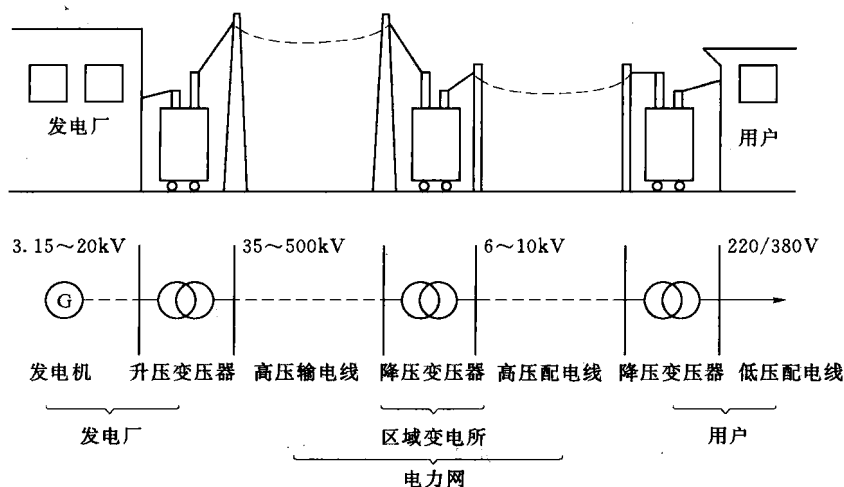


图 1-1 从发电厂到用户的送电过程示意图（单线图）

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系统（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

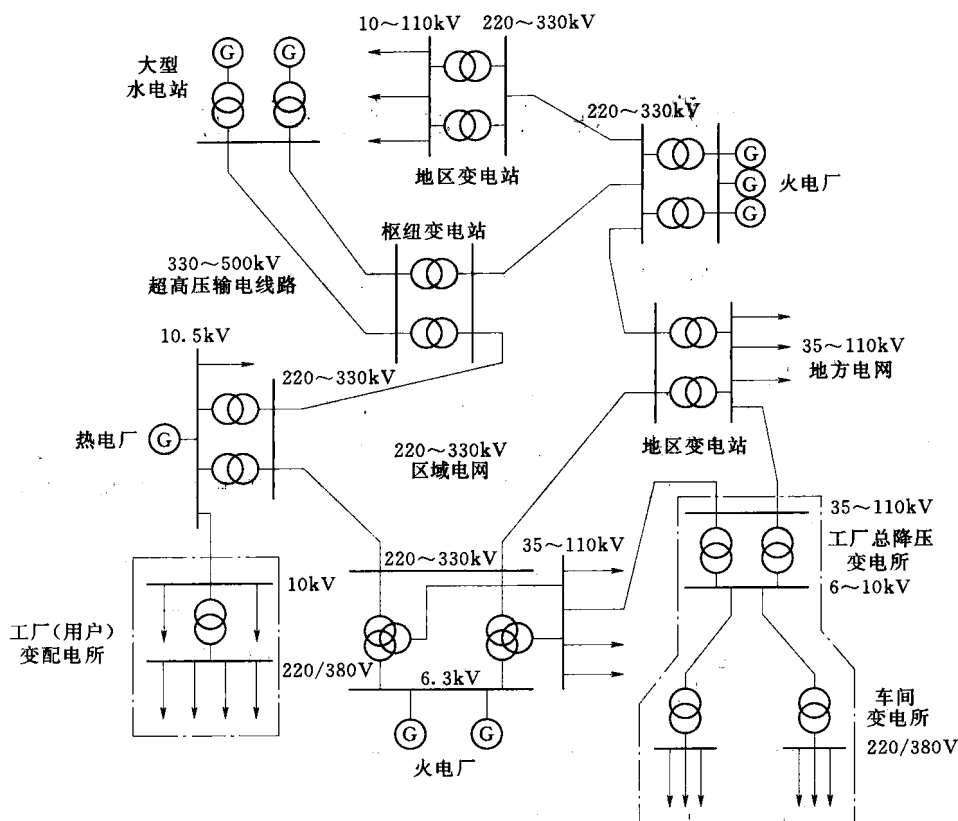


图 1-2 大型电力系统的系统图（单线图）

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。

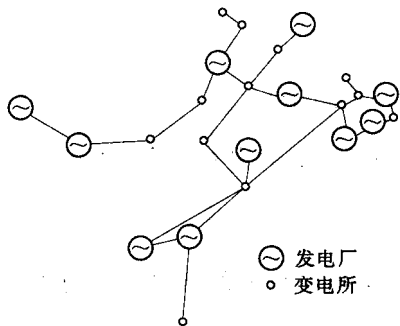
2. 热电厂

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%。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。

图 1-3 某大区电网（主要部分）
地理接线图（单线图）

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。近来，风力和太阳能发电已受到国家的格外重视和鼓励。

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。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。无备用接线适宜向一般用户供电（如图 1-4 所示）。

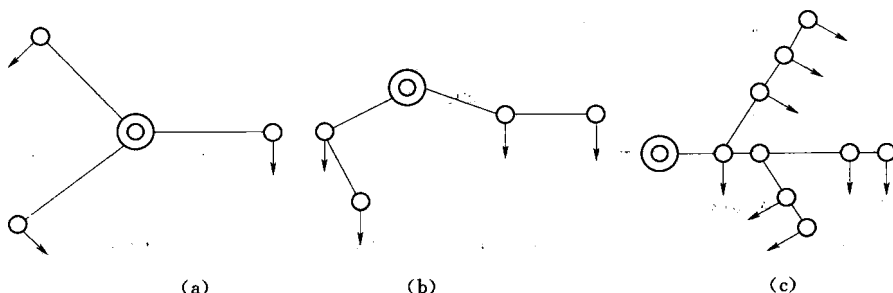


图 1-4 无备用接线

(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。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(如图 1-5 所示)。

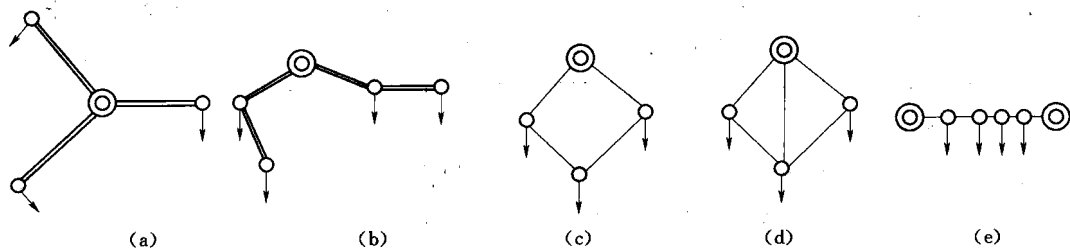


图 1-5 有备用接线

(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、交通、农牧业、国防、科研、商业和人民生活,都离不开电能,都是电力系统用户。

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（以千瓦计）和无功负荷（以千乏计）。

按用户用电负荷的重要程度，一般将负荷分为三级：

(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。例如炼钢厂、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、部分产品报废或大量减产、城市秩序混乱的，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、二级负荷的，都列为三级负荷。如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。截至 2007 年底统计，我国发电总装机容量已达 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（广东、广西、云南、贵州）1.2277 亿 kW；华中 1.0214 亿 kW；华北 8553.82 万 kW；东北 8072.42 万 kW；山东 4522.5 万 kW；西北 4444.12 万 kW；川渝 4398.78 万 kW；福建 3883.06 万 kW；新疆 981.72 万 kW；海南 458.26 万 kW；西藏 107.44 万 kW。2008 年全国新增 9051 万 kW，总装机容量达 7.925 亿 kW（关停小火电 1669 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，例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。只有互联成大电网,才为安装大容量机组创造了条件。

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,亦可安排检修。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,负荷波动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,电能也有其质量标准。电能的质量指标主要是频率、电压和波形三项。

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。对异步电动机而言,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。

为使用户用电设备能得到合适的电压,我国规定用户处的电压容许变化范围为:

- (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。应注意防止或采取相应措施消除高次谐波。

负荷中有大功率整流设备，变压器铁芯饱和等，都是产生高次谐波的原因。

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），见表 1-2。

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	550
	750		750	825

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, 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。但另一方面,

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, 粗略选择线路电压等级时, 可参考表 1-3 的数值。

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

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 (MW)
0.22 (架空线)	≤ 40.25	≤ 0.1
0.38 (电缆线)	≤ 40.35	≤ 0.175
6 (架空线)	4~15	0.1~1.2
6 (电缆线)	≤ 8	≤ 2.0
10 (架空线)	6~20	0.2~2.0
10 (电缆线)	≤ 10	≤ 5.0
35 (架空线)	20~50	2.0~10
110 (架空线)	50~150	10~50
220 (架空线)	100~300	10~500
500 (架空线)	250~850	1000~1500

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, 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。由于涉及到电机电器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 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电流很小（所以又称小接地电流系统）。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。

在正常运行时，这种系统中性点并没有入地电流（或者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，是这种接地方式的缺点。

我国低压 380/220V 三相四线系统中性点也直接接地，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。具体的规定为：

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：