



普通高等教育“十二五”规划教材

电力系统结构 与分析计算

主 编 蒋春敏



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

电力系统结构与 分析计算

主 编 蒋春敏



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共三个项目。第一个项目主要是对电力系统结构做相关的介绍,包括电力系统的基本概念、电力系统的组成,并根据电力系统的组成分别介绍发电厂、变电站、电力线路、电力用户等主要知识点;第二个项目主要是对电力系统进行分析计算,这部分对电力系统潮流分布计算、短路计算、电压频率调整及电力系统稳定性都作了全面的介绍;第三个项目为知识考核。

本书可以作为电力系统各工种相关的职业培训教材及高职高专各类电力系统相关专业学生的专业基础课教材。同时也可以作为电力系统新进人员准入考试辅导参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统结构与分析计算 / 蒋春敏主编. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2011. 2
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5084-8414-3

I. ①电… II. ①蒋… III. ①电力系统结构—高等学校—教材②电力系统—分析—高等学校—教材③电力系统—计算—高等学校—教材 IV. ①TM727②TM711③TM744

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第021778号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 电力系统结构与分析计算
作 者	主 编 蒋春敏
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	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 12印张 285千字
版 次	2011年2月第1版 2011年2月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	23.00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

本书主要侧重于对进入电力系统专业学习的高职高专学生进行电力知识入门级引导,以电力系统的构成以及电力系统最基本的分析计算为核心内容,结合当前高职院校最新的“工学结合”的教学改革思路,利用最实用的任务做引导教学,教学思路新颖。

作为教材,本书适用于高压输配电线路施工运行与维护、供用电技术、发电厂变电站相关专业、继电保护相关专业、电力营销相关专业的高职高专、电力培训、成人教育教学使用。本书参考学时为 80 学时左右,针对不同层次学生的学习可做适当增减。

本书按任务驱动方式编写,体例突破传统,全书共分三个项目,分别是认识电力系统、简单电力系统的分析计算和知识考核。前两个项目都有明确的技能目标,项目下又分若干个任务,任务层层递进,每个任务写明更详细的任务目的、任务描述、任务分析及任务完成及考核,并根据任务要求提供一定的支撑知识,供读者参考借鉴,读者可以理论结合实际,发挥主观能动性并结合参考知识进行学习。

针对高职院校学生学习电力计算课程比较困难的实际,本书专门配套编写了每个任务的习题详解和三套模拟试题答案,供普教学生或自学考试的学生课后练习。

本书由四川电力职业技术学院课程相关老师编写,其中任务 1.1 和任务 1.3 由赵镇编写,任务 1.2 由蒋春敏编写,任务 1.4 和任务 2.3 由魏娜编写,任务 2.2 和任务 2.4 由范汝敏编写,任务 2.1 由廖萍编写。全书由蒋春敏统稿,成都电业局郝文斌博士担任主审。

本书由于编写时间仓促,难免有所不足。对于书中出现的疏误,恳请广大读者批评指正,本书会在广大读者的批评指正和日后的教学实践中逐版修订,使之日臻完善成熟。

编者

2010 年 6 月于四川电力职业技术学院

目 录

前言

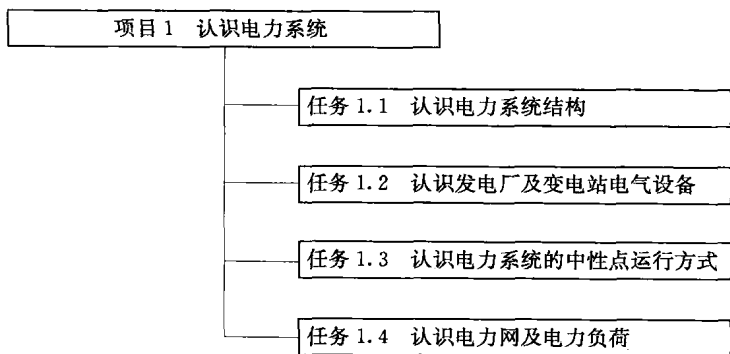
项目 1 认识电力系统	1
任务 1.1 认识电力系统结构	1
任务 1.2 认识发电厂及变电站电气设备	6
任务 1.3 认识电力系统的中性点运行方式	38
任务 1.4 认识电力网及电力负荷	45
项目 2 简单电力系统的分析计算	51
任务 2.1 电力系统潮流计算	51
任务 2.2 简单电力系统短路分析计算	79
任务 2.3 选择简单电力系统调压和调频方法	130
任务 2.4 分析简单电力系统的稳定性	144
项目 3 知识考核	167
任务 3.1 任务 1.1 考核题	167
任务 3.2 任务 1.2 考核题	167
任务 3.3 任务 1.3 考核题	169
任务 3.4 任务 1.4 考核题	169
任务 3.5 任务 2.1 考核题	170
任务 3.6 任务 2.2 考核题	171
任务 3.7 任务 2.3 考核题	173
任务 3.8 任务 2.4 考核题	174
自测题 A 卷	174
自测题 B 卷	177
自测题 C 卷	181
附表	185
参考文献	186

项目1 认识电力系统

技能目标

- (1) 能认识电力系统，了解电能生产的特点和任务。
- (2) 能认识发电厂、变电站内配电装置，了解配电装置对应的电气主接线类型及特点、组成配电装置的各种高、低压设备。
- (3) 能读典型电气主接线图，能用标准电气符号绘制电气主接线图。
- (4) 掌握简单的倒闸操作顺序。
- (5) 会使用简单配电装置的平面图、断面图和配置图。
- (6) 能分析电力系统采用的中性点运行方式的特点。
- (7) 了解电力系统的运行特点。

项目内容



项目描述

龚灿同学刚从高职院校毕业，进入电力系统工作的第一天，培训老师告诉他在正式上岗之前，他还需要完成多项考核。其中一项考核需要他实地了解电力系统的各个部分，了解电力系统的工作任务、工作特点等。

任务1.1 认识电力系统结构

1.1.1 任务目的

- (1) 掌握电力系统、动力系统、电力网的基本概念。
- (2) 掌握电力系统的运行特点和要求。
- (3) 掌握电力系统各元件额定电压及其配合关系。

1.1.2 任务描述

在电力系统工作的特殊工作性质，要求龚灿要认真对待这次考核，因为严肃对待这次考核，也是对即将面临的工作和自身生命的负责。龚灿要做的第一步是要先整体了解电力

系统的组成、生产特点和对电力系统生产的要求。

1.1.3 任务分析

整体了解电力系统的组成部分和特点,可以从动力系统、电力系统与电力网的定义着手,再深入了解电力系统的运行特点、基本要求以及电力系统各元件的额定电压等。

发电机、升压变电所、降压变电所、送电线路以及用电设备有机连接起来的整体称为电力系统。电力系统加上发电机的原动机(如汽轮机、水轮机),以及原动机的输入动力部分(如热力锅炉、水库、原子能电站的反应堆)、供热和用热设备,则称为动力系统。电力系统中,由升压变电所、降压变电所和各种不同电压等级的送电线路连接在一起的部分,称为电力网。电力网是电力系统的一部分,我国把电力网分成输电网和配电网两大类。

电力系统的运行特点:电能的生产、输送、分配、消费是同时进行的,电力生产是高度集中、统一的,电力系统的过渡过程非常迅速,电力工业与国民经济各部门关系密切。对电力系统的基本要求:尽量满足用户的用电需要,保证安全可靠的供电,保证良好的电能质量,保证电力系统运行的经济性。

为了使电气设备的生产实现标准化、系列化,各种电气设备都规定有额定电压。当电气设备在额定电压下长期工作时,其技术性能与经济性能达到最佳状态。

1.1.4 支撑知识

1.1.4.1 电力系统基本概念

1831年,法拉第发现了电磁感应定律,人类历史上有了原始的交直流发电机及电动机;1891年,世界上建成了第一条三相交流输电线路。我国于1882年在上海建成了第一座火力发电厂;于1912年在昆明石龙坝建成了第一座水力发电厂。随着现代科学技术的发展,人类的各种活动(工农业生产、交通运输、城乡及人们生活)越来越离不开电能。

电能主要是由各种发电厂生产,经过电力网输送和分配到各个用户,用户的用电设备如电机、照明器具、电热设备等消耗电能以满足工业生产和人民的日常生活需要。

随着工农业生产和城市的发展,由于环境和地理条件的限制,热能资源(如煤田)和水能资源丰富的地区建立的大型水力、火力发电厂往往远离用电负荷比较集中的城市和工矿区。另一方面,发电厂发电机出线电压较低,直接送到远离电厂的城镇、工业区很不经济,需经变压器升压后,用交流或直流输电线路将电力送给用户使用。因此需把分散的各种形式的发电厂和用电负荷通过送电线路和变电所联系起来。这种由发电机、升压变电所、降压变电所、送电线路以及用电设备有机连接起来的整体称为电力系统。

电力系统加上发电机的原动机(如汽轮机、水轮机),以及原动机的输入动力部分(如热力锅炉、水库、原子能电站的反应堆)、供热和用热设备,则称为动力系统。

电力系统中,由升压变电所、降压变电所和各种不同电压等级的送电线路连接在一起的部分,称为电力网。电力网是电力系统的一部分。电力网的功能是输送和分配电能。我国把电力网分成输电网和配电网两大类。

动力系统、电力系统和电力网如图1.1所示。

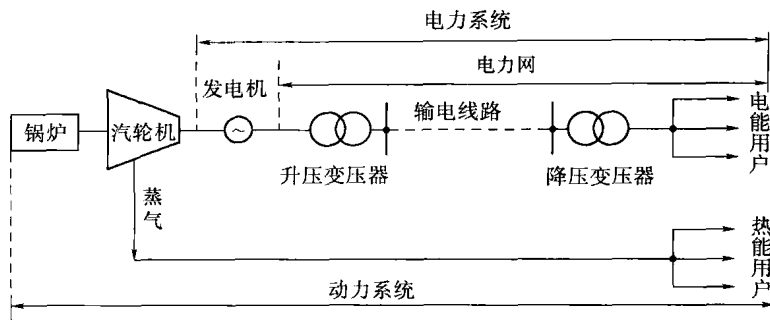


图 1.1 动力系统、电力系统、电力网示意图

1.1.4.2 电力系统运行特点和要求

1. 电力系统的特点

(1) 电能的生产、输送、分配、消费是同时进行的。电能不能大量储存，发电厂任何时刻生产的电能恒等于该时刻用电设备消耗的电能与电网输送、分配中损耗的电能之和。电力系统的有功功率和无功功率总是时刻保持着动态平衡。发、供电随用电瞬时增减而增减，发、供、用三个环节是紧密地联系在一起的。

(2) 电力生产是高度集中、统一的。在一个电网里不管有多少个发电厂、供电局，也不管这些厂、局的隶属关系如何，都必须接受电力系统的统一调度，要有统一的质量标准（周期、电压、频率）、统一的管理办法，电网设备的检修、启动、停止、发电量的增减，都需服从电网的统一调度，这是电力生产高度集中统一性的表现。在一个电力网内，必须统一指挥、统一调度、统一管理电力的生产和销售。

(3) 电力系统的过渡过程非常迅速。电力系统中各元件的投入或退出都在一瞬间完成。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，除了有关生产指挥人员必须具有相应的技术、业务水平以外，必须广泛采用特定的自动装置和保护装置，以保证电力系统的正常稳定运行。

(4) 电力工业与国民经济各部门关系密切。由于电能与其他能量之间转换方便，适合于大量生产、集中管理、远距输送、自动控制。人类社会的各行各业都广泛地使用电能，电能供应的中断或减少将直接影响国民经济的各个环节。

2. 对电力系统的基本要求

(1) 尽量满足用户的用电需要。满足国民经济各部门及人民生活不断增长的用电需求，保障供给是电力部门的重要任务。电力工业的发展速度，应超前于其他部门的发展速度，起到先行作用。应竭力避免由于缺电而使工业企业不能充分发挥其生产能力的情况。

(2) 安全可靠地供电。电力生产，安全第一，预防为主。这就要求加强电力系统各元件和设备的管理，经常进行监测、维护，并定期进行预防性试验和检修，定期更新设备，使设备处于完好的运行状态；提高工作人员素质，严格执行各项规章制度，不断提高运行水平，防止事故的发生。一旦发生事故，应能迅速和妥善处理，防止事故扩大，做到迅速恢复供电。

(3) 保证良好的电能质量。良好的电能质量指标是指电力系统中交流电的频率正常

($50 \pm 0.2 \sim \pm 0.5 \text{ Hz}$)、电压正常 [$U_N (\pm 5\% \sim \pm 10\%)$] 和波形正常 (正弦波)。

我国电力系统的额定频率是 50Hz, 对 3000MVA 及以上电力系统的频率容许偏差为 $\pm 0.2 \text{ Hz}$, 不足 3000MVA 的电力系统的频率容许偏差为 $\pm 0.5 \text{ Hz}$ 。系统的频率主要决定于系统内有功功率的平衡情况。

我国规定的各类用户正常运行情况下允许的电压偏移范围为:

- 1) 35kV 及以上电压供电并对电压质量有特殊要求的用户为 $\pm 5\%$ 。
- 2) 10kV 及以下高压供电和低压电力用户为 $\pm 7\%$ 。
- 3) 低压照明用户为 $-10\% \sim +5\%$ 。
- 4) 220kV 及以上枢纽变电站一次侧母线的运行电压偏移为 $-5\% \sim 0$ 。

在事故情况下或事故后, 允许的电压偏移可再增加 5%。

(4) 保证电力系统运行的经济性。电能生产的规模很大, 在其生产、输送和分配过程中, 本身消耗的能源占国民经济能源中的比例相当大, 因此, 在满足用户的用电需要的前提下, 最大限度地降低每生产 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 电能自身所消耗的能源和降低输送分配电能过程的电网损耗, 是电力部门的一项极其重要的任务。

1.1.4.3 电力系统中各元件额定电压

1. 电气设备及电力线路的额定电压

为了使电气设备的生产实现标准化、系列化, 各种电气设备都规定有额定电压。当电气设备在额定电压下长期工作时, 其技术性能与经济性能达到最佳状态。

额定电压等级是国家主管部门根据国民经济的发展需要、技术经济的合理性和工业水平等因素确定的。当要求供给的功率和与供给电能的电源点之间的距离确定后, 输电线路的电压高则电流小, 在线路和变压器中的功率损耗、电能损耗和电压损失也小, 可以采用较小截面的导线以节约有色金属。但是, 随着输电线路电压的升高, 线路的绝缘要求也增高, 导线之间的距离和导线对地的距离增大, 因而线路杆塔的几何尺寸也增大, 出线走廊占地增大, 这样导致杆塔材料消耗多, 线路投资大。同时, 线路两端的升压变电所、降压变电所内的变压器和开关电器等电气设备的投资也大。另一方面, 从设备制造的角度考虑。为了生产产品的系列性和经济性, 又不可能任意确定太多的电压等级。

综合考虑上述原因, 根据我国的实际情况, 并参考国外的标准, 确定我国国家标准规定的电气设备额定电压等级见表 1.1 第一列。

表 1.1

各元件的额定电压

单位: kV

电力线路、用电 设备额定电压	发电机额定电压	变压器额定电压	
		一次绕组	二次绕组
3	3.15	3、3.15	3.15、3.3
6	6.3	6、6.3	6.3、6.6
10	10.5	10、10.5	10.5、11
35		35	38.5
110		110	121
220		220	242
330		330	363
500		500	550

规定：电力线路和用电设备的额定电压相同；习惯上也称电力线路的额定电压为电网的额定电压。由于电网的额定电压容许其电压偏移为 $\pm 5\%$ ，而满载时沿线路的电压降落一般为 10% ，故让线路首端电压为额定值的 105% ，则末端电压为额定值的 95% 。可见电力线路的额定电压也就等于电力线路首末端所连接电气设备额定电压的平均值。

电网的额定电压等级配合一般有：330/110/（35）10kV、500/220/63/10kV、500/220/110/35/10kV。

2. 同步发电机的额定电压

同步发电机往往接在线路首端，因此，规定发电机的额定电压比电力线路的额定电压高 5% 。

3. 变压器的额定电压

变压器的额定电压存在一次侧绕组和二次侧绕组的额定电压之分，见表 1.1。由于变压器一次侧绕组接电源，相当于用电设备，因此变压器一次侧额定电压应等于用电设备或电力线路的额定电压；如直接和发电机相连，则变压器一次侧额定电压应等于发电机的额定电压。变压器二次侧向负荷供电，又相当于发电机，因此二次侧绕组额定电压应较线路额定电压高 5% 。按规定二次侧绕组的额定电压是空载时的电压，考虑在满载时变压器内部的电压降落约为 5% ，则一般大中容量变压器二次侧绕组额定电压应较电力线路额定电压高 10% 。只有漏抗较小（ $\leq 7.5\%$ ）的小容量变压器，或者二次侧直接与用电设备相连的变压器，其二次侧绕组的额定电压较电力线路额定电压只高 5% 。

各级电压的线路输送能力（输送容量和输送距离）见表 1.2。供电线路除采用架空线路外，还大量采用电缆线路，电缆线路的额定电压与输送功率大小和输送距离远近的关系，见表 1.3。

表 1.2 各级电压架空线路的合理输送功率及输电距离

额定电压 (kV)	输送功率 (MW)	输电距离 (km)	额定电压 (kV)	输送功率 (MW)	输电距离 (km)
0.38	< 0.1	< 0.25	110	10~50	50~150
3	0.1~1.0	1~3	220	100~500	100~300
6	0.1~1.2	4~15	330	200~800	200~600
10	0.2~2.0	6~20	500	400~1500	150~850
35	2~10	20~50	750	800~2200	500~1200
63	3.5~30	30~100			

表 1.3 电缆线路的合理输送功率及输电距离

额定电压 (kV)	输送功率 (MW)	输电距离 (km)
0.38	< 0.175	< 0.35
6	< 3	< 8
10	< 5	< 10

1.1.5 完成任务

用文字表述我国电力系统、国家电网、四川电网的概况，按小组提交报告。

1.1.6 任务评价

任务评价见表 1.4。

表 1.4

任 务 评 价

序 号	任 务 目 标	评价结果
1	完整表述我国电力系统现状	
2	完整表述我国国家电网情况	
3	完整描述四川电网情况	

任务 1.2 认识发电厂及变电站电气设备

1.2.1 任务目的

- (1) 了解发电厂、变电站的分类及特点。
- (2) 掌握常见电气设备的作用、分类及特点。
- (3) 掌握电气主接线的概念、分类及应满足的基本要求。
- (4) 熟悉各类型电气主接线的优缺点及典型倒闸操作，并能熟练画出各类型电气主接线。
- (5) 掌握配电装置安全净距的概念、配电装置的作用。

1.2.2 任务描述

龚灿同学认识了电力系统的结构以后，他被安排到发电厂、变电站进行实地学习，他需要对电能的生产过程作深入了解，需要认识在发电厂、变电站中的配电装置，以及组成配电装置的高压设备和低压设备，认识配电装置相应的电气主接线。

1.2.3 任务分析

认识发电厂及变电站中的电气设备可以帮助了解电能的传输、分配过程，认识这些电气设备可以先从认识不同作用的电气设备开始，再去了解电气主接线及各电压等级的配电装置。

发电厂按使用的一次能源不同，最常见的发电厂有火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂等。

变电站是联系发电厂和用户的中间环节，起着变换和分配电能的作用。变电站根据在系统中的地位，可分为枢纽变电站、中间变电站、地区变电站、终端变电站、企业变电站五种。变（配）电所是用户接受、转换和分配电能的中心。变电所电压一般不超过 110kV，个别电压可达到 220kV。配电所的作用是不改变电压的大小，只是接受电能和重新分配电能供给不同的用户。

发电厂及变电站中各类设备作用均不同，按照电压等级主要分为高压电器和低压电器两类。

电气主接线分为有母线的和无母线的两种接线形式，它应该满足必要的供电可靠性、

运行灵活性，还要求接线简单清晰、操作方便、经济性好等。

配电装置是根据电气主接线的要求，把各种设备按照一定的技术要求建造而成的特殊电工建筑物。配电装置除了按安装地点分为户内配电装置和户外配电装置以外，常见的分类方法就是按配电装置电压等级分类分成低压、高压、超高压和特高压配电装置和按组装方式分为成套式配电装置和装配式配电装置。

1.2.4 支撑知识

1.2.4.1 发电厂的类型及特点

发电厂是把其他形式的一次能源转换成二次能源——电能的一种特殊工厂。按使用的一次能源不同，最常见的发电厂有火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂。此外，使用其他各种形式的一次能源发电的工厂也逐渐多起来，比如风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂、垃圾能发电厂和沼气发电厂等。

1. 火力发电厂

火力发电厂是利用煤、石油、天然气或油页岩等燃料的化学能生产电能的工厂。电厂中的原动机可以是凝汽式汽轮机、燃气轮机或内燃机。火力发电厂的生产过程是：首先通过燃烧将燃料的化学能转变为热能，加热锅炉中的水使之变成高温高压蒸汽，过热蒸汽经过主蒸汽管进入汽轮机，推动汽轮机的转子旋转，将热能转换为机械能，汽轮机带动联轴的发电机旋转发电，将机械能转换为电能。在汽轮机内做完功的蒸汽经过凝汽器放出汽化热而凝结成水后，再送回锅炉，如此重复，循环使用。为了减少循环水带走的热量以提高火力发电厂的热效率，可将部分做过功的蒸汽从汽轮机中段抽出直接供给热用户，这种既发电又供热的火力发电厂称为热电厂。

2. 水力发电厂

水力发电厂是利用水能生产电能的工厂。它的基本生产过程是：从河流较高处或水库内引水，利用水的压力或流速冲动水轮机旋转，将水能转变为机械能，然后水轮机带动发电机旋转，将机械能转变为电能。

3. 核电厂

核电厂是利用核能发电的工厂，其发电过程与火力发电过程相似，不同的是以核反应堆和蒸汽发生器代替了锅炉设备。在核反应堆中，铀在慢中子的撞击下产生链式反应，使原子核分裂，释放出巨大的能量，核能转变为热能后将水变成高温高压蒸汽，进入蒸汽发生器内推动汽轮发电机组发电。核电厂所需原料与火力发电厂相比较要少得多，预计今后将会有越来越多的核电厂涌现。

按照规模和供电范围划分，发电厂还可以分为区域性发电厂、地方性发电厂和自备专用发电厂等。

1.2.4.2 变电站、变（配）电所的类型及特点

1. 变电站的类型及特点

变电站是联系发电厂和用户的中间环节，起着变换和分配电能的作用。变电站有多种分类方法，可以根据电压等级、升压或降压及在电力系统中的地位分类。根据变电站在系统中的地位，可分为以下几类。各类变电站的示意图，如图 1.2 所示。

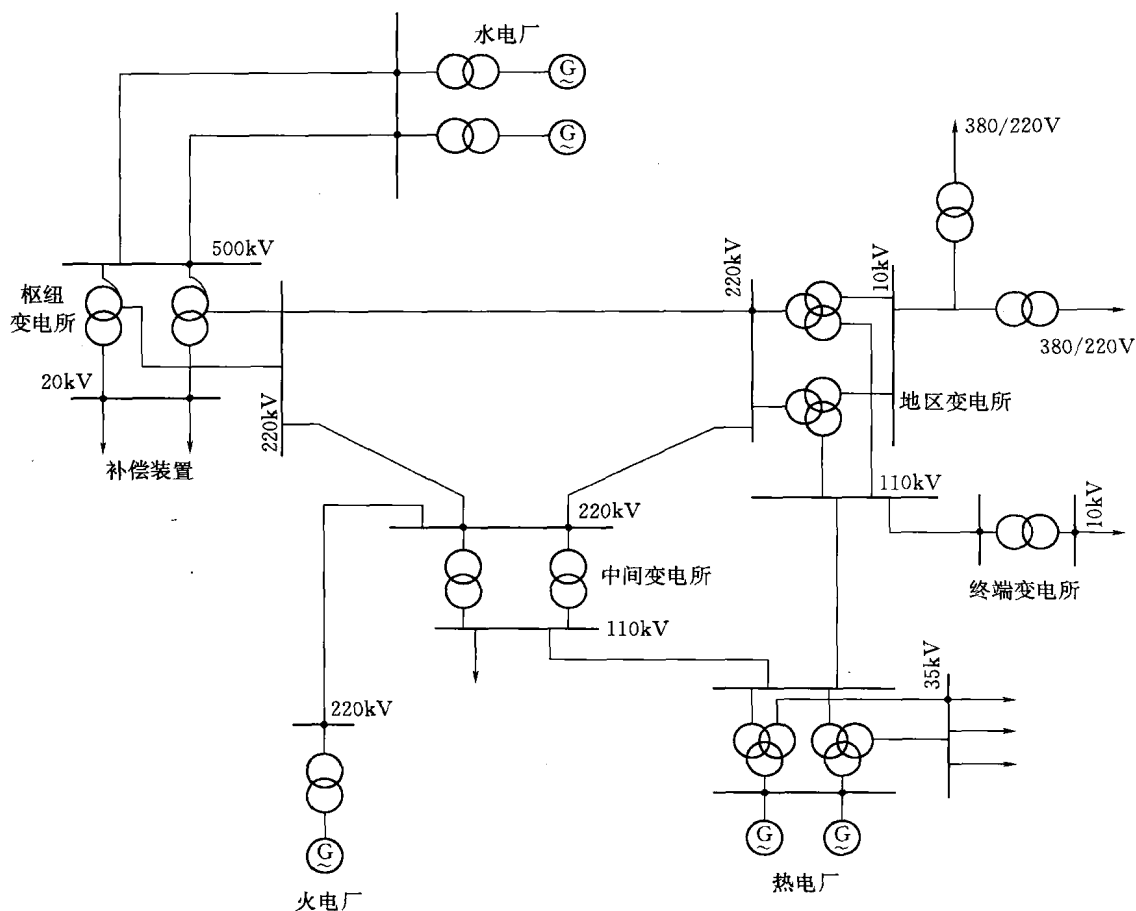


图 1.2 各类变电站示意图

(1) 枢纽变电站。枢纽变电站位于电力系统的枢纽点，连接电力系统高压、中压的几个部分，汇集有多个电源和多回大容量联络线，变电容量大，电压（指其高压侧，下同）等级为 330~500kV。全站停电时，将引起系统解列，甚至瘫痪。

(2) 中间变电站。中间变电站一般位于系统的主要环路线路中或系统主要干线的接口处，汇集有 2~3 个电源，高压侧以交换潮流为主，同时又降压供给当地用户，主要起中间环节作用，电压等级为 220~330kV。全站停电时，将引起区域电网解列。

(3) 地区变电站。地区变电站以对地区用户供电为主，是一个地区或城市的主要变电站，电压等级一般为 110~220kV。全站停电时，仅使该地区中断供电。

(4) 终端变电站。终端变电站位于输电线路终端，接近负荷点，经降压后直接向用户供电，不承担功率转送任务，电压等级为 110kV 及以下。全站停电时，仅使其站供的用户中断供电。

(5) 企业变电站。企业变电站是供大、中型企业专用的终端变电站，电压等级一般为 35~110kV，进线为 1~2 回。

2. 变（配）电所的类型及特点

变（配）电所是用户接受、转换和分配电能的中心，由变压器（或其他电能转换装置）、配电装置、控制及信号装置、继电保护及自动装置及所需要的建筑物和构筑物等组成，其作用是把电力系统高压输电线路输送的电能，经过变电所的变压器降压，变为各种用电设备所需要的电压，然后经过各级电压的配电装置和供电线路将电能送到用电设备。变电所电压一般不超过 110kV，有个别的电压可达到 220kV。

配电所的作用是不改变电压的大小，只是经过配电母线重新分配电能，供给不同的用户。

变电所一般为独立建筑物，根据它服务的对象可分为工厂企业变电所、矿山（井下）变电所、（铁道）牵引变电所、农村变电所、一般单位变电所等。

变电所都是降压变电所，按安装特点可分为户外式变电所、户内式变电所、地下式变电所、箱式变电所等。

1.2.4.3 发电厂及变电站电气设备

发电厂及变电站除了发电机、变压器以外，还有各式各样的电气设备。

电气设备是一种控制电能的器具。具体地说，为了方便可靠地使用电能，电路中必须装有能够输送、调节、分配、控制和保护电的或非电的（如对时间、压力、流量的控制）设备，这些设备统称为电气设备，又称电器。

通常电气设备有以下三种分类方法：

（1）电气设备按电压等级可分为高压电器和低压电器。电压在 1000V 以上的电气设备为高压电器，电压在 1000V 及以下的电气设备为低压电器。

（2）电气设备按在电能生产、输送、分配、使用过程中所起的作用可分为一次设备和二次设备。一次设备是指直接生产、输送、分配和使用电能的设备，包括发电机、变压器、电动机、各种开关设备、熔断器、避雷装置、电抗器、电容器、静止无功补偿装置、互感器、母线、电缆、绝缘子、接地装置等。二次设备是对一次设备和系统的运行状况进行测量、控制、保护和监察的设备，包括测量表计、继电保护装置及自动装置、操作电器、直流电源设备等。

（3）电气设备按照安装地点不同可分为户内设备和户外设备两种。

下面将具体介绍发电厂、变电站中各种各样的电气设备。首先介绍发电厂、变电站中的高压电器，再介绍低压电器。

1.2.4.3.1 发电厂及变电站中的高压电器

发电厂及变电站常见的高压电器根据其在系统中起的作用不同，主要分为高压开关电器、保护电器、测量电器、补偿电器、限流电器以及高压母线、电缆、绝缘子等。

高压开关电器包括高压断路器、高压负荷开关和高压隔离开关等。它们的共同特点就是都能够开断和关合电流，而是否能够开断和关合电流取决于能否断开高压电路中的电弧。电弧是一种气体导电现象，各种形式的气体导电现象统称为气体放电。气体放电就是气体中由于各种形式的游离而产生了足够多的导电质点，即正离子和自由电子，在电场中产生了定向运动。开关电器触头间只要有电弧，电路就没有被开断。高压开关电器灭弧主要采取吹弧、采用新介质、采用多断口熄弧等方法，低压开关电器中则常利用短弧原理和

利用固体介质的狭缝灭弧。灭弧能力直接决定了高压开关电器的电流开断能力。不同的高压开关电器，灭弧能力不同，所以它们的开断电流的能力也不同。

1. 高压断路器

高压断路器是高压电器中用量最多，也最重要的一种电器。在电网中它具有两方面的作用，即控制和保护作用。在正常运行时，接通或断开电路的空载电流和负荷电流，这时起控制作用；当电网发生故障时，高压断路器与继电保护装置和自动装置配合，迅速、自动地切断故障电流，将故障部分从电网中断开，保证电网无故障部分的安全运行，以减少停电范围，防止事故扩大，这时起保护作用。

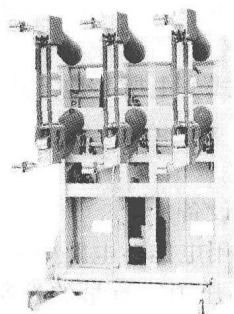


图 1.3 ZN23—40.5 型户内手车式真空断路器

高压断路器具有完备的灭弧装置，因此可以切断电力系统中的故障电流。常见的高压断路器按照灭弧介质来分主要有油断路器、真空断路器、SF₆断路器、压缩空气断路器等，目前油断路器基本被淘汰，真空断路器和 SF₆ 断路器较常见，图 1.3 为 ZN23—40.5 型户内手车式真空断路器。

真空中的电弧是由触头电极蒸发出来的金属蒸气形成的，具有极强的扩散能力，真空断路器灭弧室中的触头为磁吹对接式触头，可以增强电弧在真空中的扩散能力，因而使电弧电流过零后触头间隙的介质强度能很快恢复，使电弧迅速熄灭，灭弧性能很好。就电压等级来说，真空断路器目前大多在 60kV 及其以下电压等级的配电装置及线路中作用。

SF₆ 断路器的性能特点与它使用的灭弧介质的特点息息相关。采用 SF₆ 气体作为灭弧介质是因为 SF₆ 气体具有很好的物理特性、化学特性及良好的绝缘特性和灭弧特性。具体表现为：

(1) 理化特点。SF₆ 气体是一种无色、无味、无毒、不燃，化学性能十分稳定的气态物质。500℃ 以下一般不会自行分解，但水分较多时，200℃ 以上有可能产生水解。



在高温电弧作用下，SF₆ 气体会分解出一些不完全氟化物，会对金属、陶瓷等物起腐蚀作用，也会对人体有危害，引起眼睛刺痛，呼吸困难，造成皮肤灼痛。

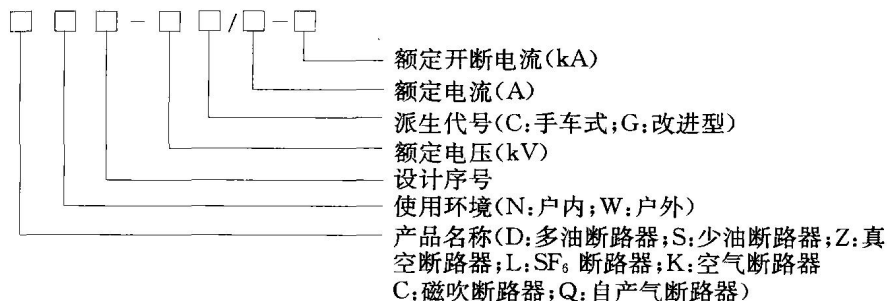
(2) 绝缘特性。SF₆ 气体分子直径比水分子直径大，分子量为 146，约是空气分子量 28.8 的 5.1 倍，比空气重得多。SF₆ 气体分子具有很强的电负性，具有较大的分子直径和较大的分子量，这决定了 SF₆ 气体是一种绝缘强度很高的气体介质。影响其主要因素是电场的均匀性、SF₆ 气体压力、水分和杂质等。

(3) 灭弧特性。SF₆ 气体热传导性能比空气差，对流散热能力却比空气好。在电流过零后，SF₆ 气体热恢复阶段的恢复速度大约比空气快 1 倍。SF₆ 气体具有良好的电弧热特性和在电流过零后很高的介质恢复速度以及强烈的电负性，使得其具有优越的灭弧性能。

目前，随着油断路器的逐渐淘汰，60kV 以上电压等级的断路器基本以 SF₆ 断路器为主，500kV 电网几乎全部采用 SF₆ 断路器。在 35kV 及以下的配电装置中，SF₆ 断路器应用没有真空断路器广泛，但也有使用，户内用 SF₆ 断路器的总体结构常做成手车式，外

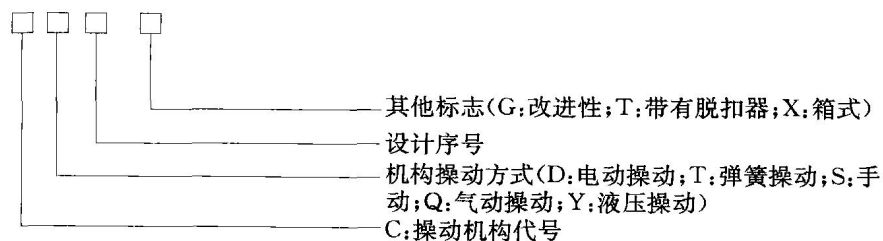
形与少油和真空手车式断路器相似。

高压断路器的型号含义如下：



所有的断路器必须安装操动机构才能被开断和关合，常用的断路器操动机构按照是否需要预先储能被分为两大类：一类是直动操动机构，它包括手动操动机构和电磁操动机构；另一类是储能操动机构，它包括弹簧操动机构、液压操动机构和气动操动机构。

高压断路器操动机构的型号含义如下：



2. 高压隔离开关

高压隔离开关因为没有专门的灭弧装置，所以只能在开断前或关合过程中电路无电流或接近无电流的情况下开断和关合电路。图 1.4 为 GW4—35D/630 型隔离开关。隔离开关主要的作用有三方面：

(1) 隔离作用。所谓隔离是指将需要检修的电力设备与带电的电网隔离，以保证检修人员的安全。因此，隔离开关在结构上要求有明显可见的隔离间隙。

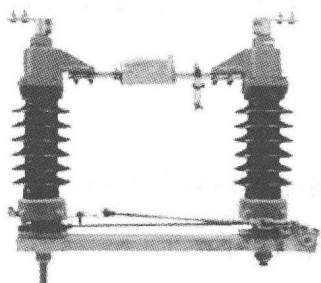


图 1.4 GW4—35D/630

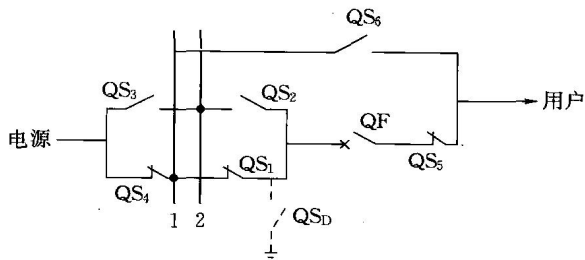


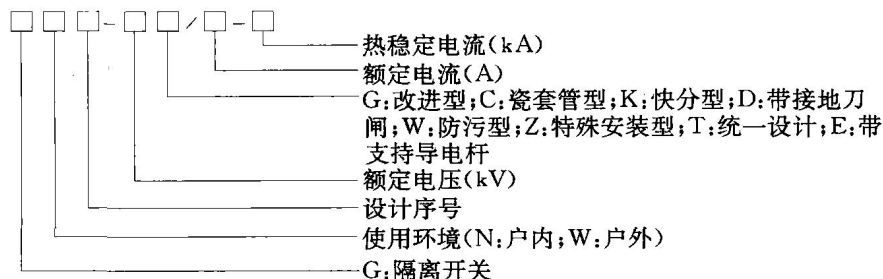
图 1.5 隔离开关的连接线路

(2) 换接作用。所谓换接作用主要指换接线路或母线。如图 1.5 所示，当需要将负荷

由母线1转移到母线2上时,可不用开断断路器QF,只需先将隔离开关 QS_2 和 QS_3 闭合,再将隔离开关 QS_1 和 QS_4 分开即可。必须注意的是,隔离开关的换接操作必须在等电位情况下方能进行,采取先合后拉的顺序操作。

(3) 关合与开断作用。由于隔离开关没有专门的灭弧装置,它仅依靠拉长电弧来熄灭电弧,所以只能用它关合和开断空载电力设备、电压互感器、避雷器等小电流回路的电流。

隔离开关型号含义如下:



3. 高压负荷开关

负荷开关有能力开断正常过负荷电流和关合短路电流,它是带有简单灭弧装置的一种开关电器。常见的负荷开关电压等级基本是60kV及以下电压等级。负荷开关按其灭弧介质可分为油负荷开关、压气式负荷开关、产气式负荷开关、SF₆负荷开关和真空负荷开关5种,其中,油负荷开关基本被淘汰。图1.6为产气式负荷开关外形图。

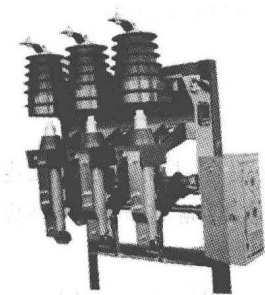


图1.6 压气式负荷开关
FN12—10D/630—50

高压负荷开关主要有以下两方面的作用:

(1) 开断和关合作用。由于它有一定的灭弧能力,因此可以用来开断和关合负荷电流和小于一定倍数(通常为3~4倍)的过负荷电流;也可以用来开断和关合比隔离开关允许容量更大的空载变压器,更长的空载线路,有时也用来开断和关合大容量的电容器组。

(2) 替代作用。负荷开关与限流熔断器串联组合可以在电压不高、容量不大、不太重要的场合代替断路器和隔离开关使用,即由负荷开关承担开断小于一定倍数的过载电流、关合短路电流,而由限流熔断器承担开断较大的过载电流和短路电流。

高压负荷开关的型号含义如下:

