

水电站和变电所的电气部分

陕西机械学院编
湖南大学出版社



水电站和变电所的电气部分

陕西机械学院 编

湖南大学出版社

内 容 提 要

本书较详细地介绍了水电站和变电所电气部分的基本知识和基本理论。全书分12章,主要包括电力系统、电力系统短路及其计算、电气一次设备及其选择、电气主结线、防雷与接地,电气二次接线、继电保护与自动装置、电气设备的布置等。

本书出版前曾以讲义形式在陕西机械学院、武汉水利电力学院等四院校中试用,可作为普通高等院校的教材,大专、职大、夜大、函大的培训教材和自学读物,也可供电气工程技术人员参考。

水 电 站 和 变 电 所 的 电 气 部 分

陕西机械学院 编



湖南大学出版社出版发行

(长沙市岳麓山)

湖南省新华书店经销 陕西机械学院印刷厂印刷



787×1092毫米 16开 18.5印张 450千字

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

印数:0001—4840册

ISBN7-314-00216-9/TM·7

定价:4.85元

前 言

本书是在陕西机械学院主编《水电站电气部分》讲义的基础上结合教学经验编写而成的。原讲义曾在陕西机械学院、武汉水利电力学院等四院校中试用。为了适应更大范围读者的需要，这次编写也涉及到其它类型电厂和变电所的电气部分。

由于这几年我国规程向国际通用标准靠拢，许多方面变化较大。本书的内容反映了这一变化。本书虽然主要介绍目前我国水电站和变电所的常用设备，但也同时指出了相应领域的新理论，新技术和发展方向。

本书由陕西机械学院三位同志合编。其中第一、三、四、五章及第六、七章的习题和思考题由徐智德同志编写；第二、八、九、十、十一、十二章由雷践仁同志编写；第六、七章的正文部分由袁清阁同志编写。

本书由武汉水利电力学院黄守盟同志主审。

在本书编写过程中，西安起重机械厂赵昕同志、陕西机械学院蒙海文同志、袁梅同志、王成旺同志等参加了部分描图和抄稿工作，谨此表示谢意。

由于编者水平有限，书中难免出现错误与缺点，恳请使用本书的院校和读者批评指正。

编 者

1988年2月

目 录

第一章 电力系统	(1)
1—1 电力系统的基本概念.....	(1)
1—2 电力系统的电压等级.....	(5)
1—3 水电站在电力系统中的作用.....	(6)
1—4 水电站与电力系统的连接.....	(7)
1—5 电力系统的中性点运行方式.....	(8)
习题和思考题.....	(12)
第二章 电力系统短路及其计算	(13)
2—1 概述.....	(13)
2—2 突然三相短路电流变化的规律.....	(14)
2—3 短路计算的基本假设.....	(20)
2—4 标么制.....	(20)
2—5 电力系统各元件的电抗.....	(23)
2—6 计算电路、等效网络及其简化.....	(26)
2—7 三相短路电流的实用计算.....	(28)
2—8 两相短路电流的近似计算及 1 K V 以下网络短路电流计算的原则.....	(32)
习题和思考题.....	(33)
第三章 电器和载流导体的发热、电动力及电弧	(34)
3—1 电器和载流导体的发热.....	(34)
3—2 电器和载流导体的发热计算.....	(36)
3—3 电器和母线的电动力.....	(43)
3—4 开关电器中电弧的形成和熄灭.....	(48)
习题和思考题.....	(57)
第四章 发电厂和变电所的主要电气设备及其选择	(58)
4—1 概述.....	(58)
4—2 高压断路器及其选择.....	(61)
4—3 隔离开关及其选择.....	(72)

4—4	熔断器及其选择	(74)
4—5	互感器	(79)
4—6	裸母线及其选择	(90)
4—7	绝缘子及其选择	(95)
4—8	电力电缆及其选择	(98)
4—9	低压电器	(100)
4—10	高压开关柜和低压配电屏	(104)
	习题和思考题	(107)
第五章	电气主接线	(108)
5—1	概述	(108)
5—2	有主母线的接线方式	(109)
5—3	其它类型接线	(112)
5—4	主变压器及其选择	(115)
5—5	水电站和变电所的自用电及其接线	(120)
5—6	电气主接线的设计	(126)
5—7	电气主接线可靠性的计算	(128)
	习题和思考题	(137)
第六章	水电站的防雷和接地	(138)
6—1	雷电现象和大气过电压	(138)
6—2	避雷针和避雷线	(139)
6—3	保护间隙与避雷器	(143)
6—4	发、变电站及旋转电机防雷	(147)
6—5	水电站的接地装置	(152)
	习题和思考题	(156)
第七章	水电站电气设备的布置	(158)
7—1	水电站电气设备的总体布置	(158)
7—2	主厂房电气设备的布置	(161)
7—3	副厂房电气设备的布置	(163)
7—4	屋外配电装置	(168)
	习题和思考题	(173)
第八章	二次接线的基本知识	(174)
8—1	二次接线的功用	(174)
8—2	几种常用的二次元件	(175)
8—3	二次接线图	(187)
	习题和思考题	(193)

第九章 水电站的监察、测量、操作和信号系统	(194)
9—1 监察测量系统	(194)
9—2 操作系统概述	(199)
9—3 断路器的控制电路	(200)
9—4 信号系统	(205)
9—5 控制屏	(210)
9—6 弱电选线的概念	(212)
习题和思考题	(213)
第十章 继电保护	(214)
10—1 继电保护的基本知识	(214)
10—2 电网相间短路的电流、电压保护	(217)
10—3 电网相间短路的方向电流保护	(227)
10—4 距离保护基础	(235)
10—5 高频保护的基本原理	(239)
10—6 同步发电机的继电保护	(242)
10—7 变压器的继电保护	(254)
10—8 发电机——变压器组的继电保护	(265)
习题和思考题	(266)
第十一章 自动重合闸和自用电备用电源自动投入装置	(267)
11—1 自动重合闸的一般概念	(267)
11—2 单侧电源送电线路的三相一次自动重合闸	(268)
11—3 双侧电源送电线路自动重合闸简述	(272)
11—4 水电站自用电备用电源自动投入	(275)
习题和思考题	(278)
第十二章 操作电源	(279)
12—1 概述	(279)
12—2 蓄电池组装置及其特性	(280)
12—3 蓄电池组的运行方式	(283)
12—4 直流操作电路接线	(285)
12—5 整流操作电源	(286)
习题和思考题	(288)
参考文献	(289)

第一章 电力系统

§ 1—1 电力系统的基本概念

一、电力系统的组成

在电力工业发展的初期，发电厂都建设在用户附近，规模很小，而且是孤立运行的。随着生产的发展，用户的用电量不继增大。而电能是由其它形态的能量转换而来的，是继续扩大在工业和人口集中区的发电厂，还是在动力资源比较集中的地区建发电厂，将电再送入用户中心区，这从技术和经济方面都有个比较和寻优的问题。水能资源集中的地区远离用户。有些热力资源（如煤等）虽可运输到用电集中的地区发电，但由于多种原因，不如在煤田附近建立电厂，再将电输送到用户中心合算。所以，现代大型发电厂多建于动力资源丰富的地区，然后将电能再送往电力用户的中心区。远距离输电用高压比较经济，而用户多用低压形式用电，所以，在发电厂和用户之间要经过升压、输电、降压、配电等一系列环节。这种由发电厂、升压和降压变电所、输配电线路和用户的电气设备有机组成的整体，称为电力系统。现代电力系统通常连接着多种类型的发电厂，系统的输、配电线路和变电所的数目也不断增加。一个电力系统可能延伸到几个地区、几个省甚至于几个国家。从电力系统的内含和外延还可提出两个概念：

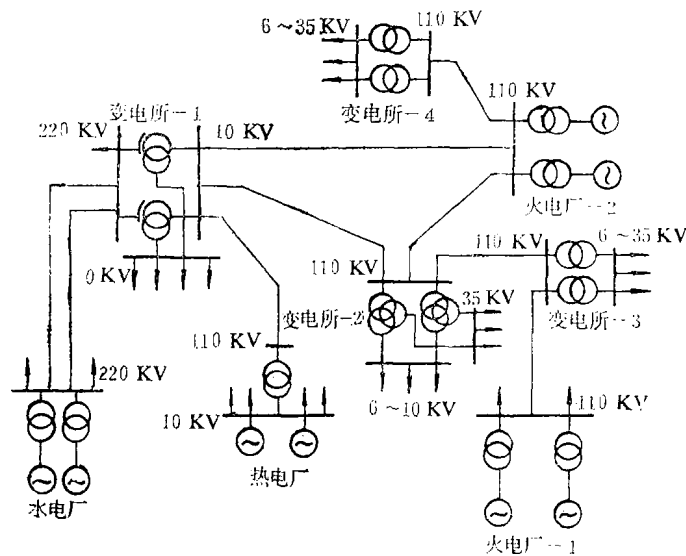
一是电力网。它在电力系统之中，由升压和降压变电所和不同电压等级的输、配电线路组成。

二是动力系统。它包括电力系统在内，还要加上发电的原动机（如汽轮机、水轮机等）原动机的力能部分（如锅炉、水库、原子反应堆）、供热和用热设备等。

图1—1是一个现代高压电力系统的示意图。该系统具有火力发电厂、水力发电厂、热力发电厂。图中并未示出，电力系统中也可能接入原子能发电厂。水力发电厂用压力水管将水输入螺旋形蜗壳推动水轮机的转子旋转，将水能变成机械能，水轮机再带动发电机旋转，将机械能转变成电能。火力发电厂以煤、石油、天然气等为燃料，将燃料的化学能转换成热能，再借助汽轮机等热力机械将热能转换成机械能，并由汽轮机带动发电机将机械能转为电能。迄今为止，世界上绝大多数国家的火力发电厂在系统中所占的比重都是比较大的，我国也不例外。热电厂是火电厂的一种，它装有能兼供热的汽轮发电机组，除了发电，还兼向附近的工厂供热，这样可以提高热能的利用效率。由于要供热，它必须建在城市或工业区的附近。目前我国的许多城市都建有热电厂。原子能发电厂将原子核裂变所产生的原子能变为热能，用热能将水变成蒸汽，然后与火电厂一样，用蒸汽推动汽轮机，再带动发电机发电。

由图可见，电力网的输、配电电压等级是不同的。按照供电范围的大小和电压等级的高低，电力网可分成三种类型。电压不超过 35KV、输电距离在几十公里以内的电力网，称为

地方电力网。地方电力网是当地工农业生产的配电网络。电压在110~220KV范围的电力网称为区域电力网，这种电力网在我国的各省（区）都有。在图1—1中，已经包含以上两种电力网。330KV以上的电力网称为超高压远距离输电网络。它往往联系几个区域电力网，形成跨省（区）甚至跨国界的电力系统。



电力网中的变电所除了按升压和降压分类以外，还可按其容量大小和在电力系统中的重要性分成三种类型。图1—1中的变电所-1和变电所-2容量较大，处于联系电力系统各部分的中枢位置，称为枢纽变电所。连接发电厂和负荷中心的变电所称为中间变电所，如图1—1的变电所-3所示。变电所-4是一个降压变电所，它不转送功率，只给一个局部地区供电，由于位处电力系

统的终端，故又称为终端变电所。

二、电力系统的特点及对电力系统的要求

将孤立运行的发电厂通过电力网连成并联运行的电力系统，在技术和经济方面都有很多好处。主要有：

1. 减少系统中的总装机容量

电力系统中各电厂独立运行时的最大负荷不同时出现，因而，连成系统后的最大总负荷常常小于各孤立电厂单独供电时的最大负荷之和。所以，连成电力系统可相应地减少系统的总装机容量。

为了可靠地供电，孤立电厂和电力系统都要考虑检修备用和事故备用。连成电力系统后，一个电厂的机组事故或检修时，可由其它机组或其它电厂适当支援。另外，按最大一台机组的容量选择备用，备用容量在系统中占的比例通常比备用容量在独立发电厂占的比例小。因而，连成电力系统可使总备用装机容量减少。

2. 合理利用动力资源，提高系统运行的总效益

前已述及，水电厂的出力是由水能转变的，而来水情况是多变的，很难与电力负荷的需要相适应。库容不大的水电厂孤立运行时，在枯水季节出力可能不足，在丰水季节却可能要弃水。将水电厂并入电力系统后，可以与火电厂互相调剂，合理利用资源。在丰水季节尽量多发电，以减少系统中火电厂的负荷，节约可贮存的燃料，在枯水期让水电厂只担负尖峰负荷，而让火就厂担负固定的基本负荷，以提高火电厂的运行效率。只要合理调度系统中各电厂的负荷，就可能使其电能成本最低，提高运行的经济性。

3. 可安装大容量的机组

连成电力系统后总负荷增大，因而可装设大容量的机组。大容量机组的效率，每千瓦

投资及维护费也都比多台小机组经济得多。但系统中采用最大机组的容量以不超过总装机容量15~20%为宜。

4. 可靠性和电能质量

电力系统中几台机组同时发生故障的机会很少，不同电厂在事故时可以互相支援，因而连成电力系统后供电的可靠性较高。

电能质量通常用电压、频率和波形来衡量。所谓好的电能质量是指波形为正弦波，电压为额定值、频率为50Hz。电力系统的负荷不断变化，但上述指标应保持在一定的允许变动范围内。电力系统的总容量大，个别负荷变动不会引起上述指标的显著变化，因而电能质量较高。

由于电能生产本身固有的特点及连成电力系统后所出现的新问题，决定了电力系统具有许多不同于其它工业部门的特点。主要有：

1. 电能的生产和消费具有同时性

电力系统中电能的生产和消费每时每刻都保持平衡，系统中发电、输送、配电和用电的任何一个环节的电气设备发生故障，都会影响电能的生产和供应。

2. 电磁变化过程十分迅速

电是以光速传播的。在改变系统的运行状态时要求在极短的时间内完成；系统故障失去稳定的过程也非常短暂，因而，正常操作或为限制故障所进行的一系列调整和切换操作仅靠人工不能达到满意的效果，甚至不能达到预期目的，必须用各种自动装置完成这些任务。

3. 电力系统和国民经济各部门之间有着密切的关系

现代工业、农业、交通运输等部门都广泛以电为动力进行生产。随家用电器的增多，人民生活对电的依赖也越来越大。电力系统故障就会使国家蒙受巨大的经济损失，给人民生活造成紊乱，甚至在医院会导致重危抢救病人的死亡。因此，对电力系统要设有足够的备用，并随工农业生产的发展和人民生活水平的提高要相应发展电力系统的容量。

根据上述特点，对电力系统的运行提出下列基本要求：

1. 保证供电的可靠性

如上所述，由于供电中断造成的后果十分严重，所以应尽量保证电力系统运行的可靠性。但应指出，要绝对防止系统发生事故是不可能的，因而必须分析各类用户对供电持续性的不同要求，并据此将用户分成三类：

Ⅰ类用户：如果停止供电将造成危害生命、损坏设备、产生大量废品、生产秩序长期难以恢复，给国民经济带来巨大的损失。

Ⅱ类用户：如停止供电将造成大量减产、工人窝工、城市大量居民生活受到影响。

Ⅲ类用户：不属于Ⅰ类、Ⅱ类的用户。如不连续生产的车间、小城镇用电等。

2. 保证电能质量良好

主要保证系统中的电压和频率在一定的允许变动范围以内。

3. 保证运行的经济性

运行的经济性涉及的内容较广，它是管理水平和技术水平的综合反映。它主要包括设备的折旧率、生产每度电的能源消耗（煤耗率、油耗率、水耗率等）、生产每度电的自用电（自用电率）、供配每度电在电力网中的电能损耗（线损率）、运行人员的工资及为运行而花费的非生产性开支等方面。提高运行的经济性就要设法降低以上诸项指标。

三、电力系统的负荷曲线

电力系统中各用户所取用的功率称之为“负荷”。用户用电的规律不断变化，通常将负荷随时间变化的曲线称为负荷曲线。负荷分无功负荷和有功负荷，时间一年分12个月，一日分24个小时，所以，有各种不同的负荷曲线。

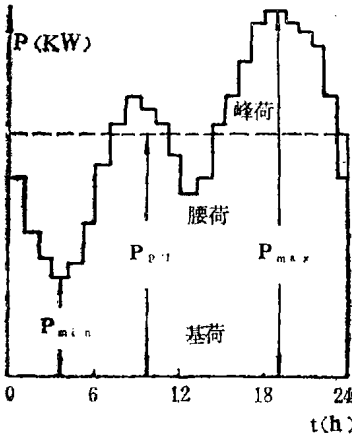


图 1-2 阶梯形日有功负荷曲线

图 1-2 是电力系统的典型日有功负荷曲线的示例。它表示有功负荷在一天24小时内的变化情况。由图可见，晚上24点到次日凌晨6时负荷较低，称之为负荷的低谷，其最小值称日最小负荷 P_{min} ；8~12点，17~22点负荷较高，称之为负荷的尖峰，其最大值称日最大负荷 P_{max} ，负荷的平均值 P_{pj} 也相应称为日平均负荷。

在电力系统的负荷曲线上，平均负荷以上的负荷称为尖峰负荷或峰荷，最小负荷以下的负荷称为基本负荷或基荷，基本负荷与峰荷之间的部分称为腰荷。

利用负荷曲线可计算用户取用电能的大小，在一昼夜内用户所消耗的电能为

$$A = \int_0^{24} P dt \quad (1-1)$$

显然，上式表示日有功负荷曲线下所包围的面积。在式 (1-1) 中，如 P 的单位为“千瓦”，时间单位为“小时”，则电能单位为“千瓦-小时”，后者通常又称为“度”。

在一定的时间（年或日）内，单位时间（小时）平均生产或消耗的电能称为平均负荷 P_i ：

$$P_{pj} = A/T \quad (KW) \quad (1-2)$$

式中 A —— 一定时间（年或日）内所消耗或生产的电能（度）；

T —— 在此时间内的小时数。

平均负荷 P_{pj} 与最大负荷 P_{max} 的比值称为负荷率 K_{fb} ：

$$K_{fb} = P_{pj}/P_{max} \quad (1-3)$$

负荷率表示系统负荷变化的不均匀程度。负荷率愈高，则负荷曲线愈平坦。

全年消耗的电能通常用年持续负荷曲线求得。年持续负荷曲线如图 1-3 所示，它是按照全年负荷的变化，根据各个不同的负荷值在一年中的累计持续时间排列组成的。例如，A 点表示一年内负荷值超过 P_1 的累计持续负荷为 t_1 小时。因此，一年内所消耗的总电能为

$$A = \int_0^{8760} P dt \quad (度) \quad (1-4)$$

用户全年所消耗的电能与一年内最大负荷的比值，称为年最大负荷利用小时数 T_{max} ：

$$T_{max} = A/P_{max} = \int_0^{8760} P dt / P_{max} \quad (1-5)$$

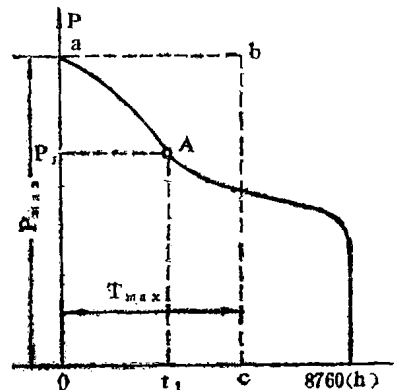


图 1-3 年负荷持续曲线

年最大负荷利用小时数在一定程度上反映了实际负荷在一年内的变化程度。 T_{max} 值愈大,负荷曲线愈平坦。因而,从 T_{max} 值的大小同样可以看出用户用电的特点。 T_{max} 值也是电力工程设计计算中常用的参数之一。

§ 1—2 电力系统的电压等级

电力系统中的电机和电器设备都规定有额定电压。只有在额定电压下工作,它才能安全可靠地运行,并具有最佳的经济效果。为了使电力工业和电工制造业生产标准化、系列化,我国规定了统一的电压标准,其等级如表1—1所示。

表1—1 交流额定电压等级(线电压, 单位, 千伏)

用 电 设 备	发 电 机	变 压 器	
		一 次 绕 组	二 次 绕 组
0.22	0.23	0.22	0.23
0.38	0.40	0.38	0.40
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
—	15.75	15.75	—
35	—	35	38.5
(60)	—	(60)	(66)
110	—	110	121
(154)	—	(154)	160
220	—	220	242
330	—	330	363
500	—	500	—

表1—1的规定是为了保证用户的用电质量,使用户处的电压波动不超过额定电压的 $\pm 5\%$ 。事实上,当电网传输电能时,在线路和变压器等元件上都要产生阻抗压降,电网中各点的电压分布随负载在变化,其大致变化情况如图1—4所示。

线路的额定电压是按照用电设备的额定电压制定的。通常规定线路正常运行时的压降不超过10%。因此,为保证线路末端的电压不低于额定电压的95%,需要使发电机的额定电压比用电设备的额定电压高5%。变压器的一次绕组是接受电能的,可以看成用电设备,其额定电压与用电设备的额定电压相等,但直接与发电机相连接的升压变压器的一次电压应与发电机的电压相配合。变压器的二次绕组相当于一个供电电源,因此,要求它的满载出线电压比用电设备的额定电压高5%,但变压器在满载工作时,通常内阻抗降低5%的额定电压,因而,在制造时规定变压器的二次绕组的额定电压(空载

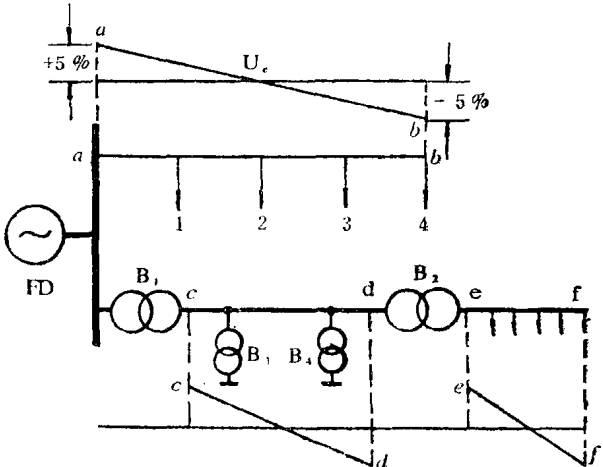


图 1—4 电网额定电压的变化

电压)应比用电设备的额定电压高10%。但对3、6、10千伏电压级的降压变压器,由于配电线路不长,二次绕组的额定电压仅高出用电设备额定电压的5%。

图1—4中变压器B₃和B₄的一次绕组的电压值不同,即使选用同样的变压器,其二次电压也不相同,为保持它们的二次电压为额定值,应相应改变B₃和B₄一次绕组的分接头。

§ 1—3 水电站在电力系统中的作用

电力系统中所有发电厂最基本的作用都是发出电力,向系统或向用户供电,水电站也不例外。但水电站由于自身具有一些特点,它在调峰、调频等方面具有特殊的作用,对于电力系统的安全经济运行很有意义。

电力系统中最重要的是火电厂和水电厂。凝汽式火电厂启动和增减出力的速度较慢,当机组出力波动时,热效率又显著降低,所以最好担负基荷或腰荷。只有在电力系统中其它形式的调峰机组容量不够时,才担负部分峰荷。热电厂的发电出力由热负荷决定,所以,它只能根据供热负荷发电,通常担负系统的基荷或腰荷。水电站的生产过程比较简单,机组启动迅速,负荷增长的速度快,这种特点决定了水电站适于承担峰荷运行。但水电站的运行不仅要考虑电力系统的要求,还要考虑电站的调节能力、考虑水库综合利用(如农业灌溉、航运、城市用水等)的要求,要受水库调度计划的制约。

水库不可调节的水电站可发出的功率取决于河流的径流量,只适于担负基荷或腰荷。

具有调节性的水电站,应根据水情进行调度。在丰水季节,若水中挟带泥沙不大,可以蓄水发电,为充分利用水能,让水电站担负基荷,满载工作;若河流洪水挟带泥沙太多,则可能要放水拉沙,具体运行状况要视河流水质而定。在枯水季节,河流来水量少,可让水电站担负峰荷。

电力系统的峰荷部分所需的装机容量较大,水电站担负峰荷可充分利用水电站的装机容量,在峰荷期间却消耗的水量很有限。这样,可让火电厂只担负基荷或腰荷,以提高机组的热效率。

电力系统在正常运行情况下,若系统各发电厂所发出的总有功功率与各用户所需要的总有功功率相平衡,系统的频率为额定值。系统中的负荷随时都可能发生变化。如果发电厂发出的有功功率不能与负荷相平衡,系统的频率就将发生变化。为了使系统的频率维持在正常范围内($50 \pm 0.2\text{Hz}$),系统中必须有一个或几个电厂的发电机随时应付可能的负荷变化。这些应付负荷波动的电厂就称为调频电厂。

在水、火电厂并存的系统中,一般选水电厂作主调频电厂,选机组效率较低的火电厂作辅助调频电厂。在丰水期为了充分利用水能,可让水电厂担负基荷,由火电厂进行调频。

水电站担任主调频电厂,它的调频容量基本上全是旋转备用容量。因为在尖峰负荷以外的其它时间调频电厂的出力很低,所以,调频容量基本上就是事故备用容量。但在尖峰负荷时,调频电厂的出力达到最大,系统在这一段时间内没有事故备用,电网若在此时发生故障,可用按频率自动减负荷装置切除不重要的负荷,以保证对重要用户供电的持续性和频率的质量。

水电站距负荷中心较远,联络阻抗较大,在系统事故时可按自动自同期方式快速投入系统,减少事故对系统和用户的影响。

水电站远离负荷中心，长距离输送无功功率损耗较大，所以，水电站一般不作调相运行。距负荷中心较近的水电厂是否作调相运行，需要进行技术经济比较后确定。

由于水电站起动和带负荷快，在一些水力资源开发殆尽的国家为了调峰调频的需要，还常修建一些抽水蓄能水电站，提高电力系统的运行效益。

抽水蓄能水电站的上下游各有一个调节水库，机组的运行是可逆的。当电力系统处于低谷负荷时，机组按水泵-同步电动机运行，从下游水库向上游水库抽水，电站的装机相当于一个负载，在系统中起到“填谷”作用。当电力系统处于峰荷时，蓄能电站的上游水库放水发电，机组按水轮机-发电机运行，蓄能电站承担了系统的部分峰荷，使电力系统其它机组所担负的负荷不因系统峰荷的出现而有大的变化，这就是蓄能电站的“移峰”作用。抽水蓄能电站的运行情况如图1—5所示。

抽水 and 发电过程中都有能量损失，抽水消耗的电功率总大于放水发电送入系统的功率。但抽水蓄能电站用较小的能量损失改善了负荷曲线的不均匀性，这可大大提高火电厂的运行效率，使系统得到巨大的技术经济效益。

抽水蓄能电站同样有水电站起动快、带负荷迅速的优点，对调峰、调频、调相都能起到良好的作用。因此，在电力系统中水电比重较低、又无适当的水力资源可开发，若有建设抽水蓄能电站所需的地理条件，经过详尽的技术经济比较与论证，确实有利时，可以实施。

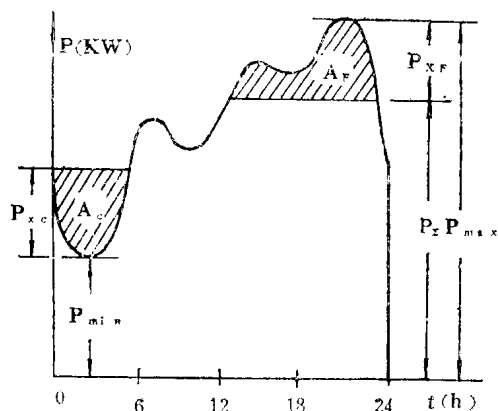


图 1—5 抽水蓄能水电站的运行位置

§ 1—4 水电站与电力系统的连接

前已述及，将孤立的发电厂接入电力系统有许多好处，水电站接入电力系统后不仅可以充分发挥本电站的作用，对提高整个电力系统的供电可靠性和经济性，对改善系统电能质量都很有益。所以，规划水电站必须同时考虑电站与系统的连接方式。

由于水电站建设在山区，远离负荷中心，水电站生产的电能大部分经升压后，通过长距离的高压输电线路送入电力系统。因此，水电站接入电力系统的设计主要包括选择输电线路的电压等级、输电线路的回路数、导线的截面和线路的保护方式等。水电站和系统相连后，应保证在正常情况下，电站将所发出的电能可以可靠、合理、经济地送入电力系统，在事故时电站能作出适当的处置。

对于小型水电站，水电站的电能经升压后，以高压输电线路送入附近的变电所或附近的高压输电线路中，这时水电站输电的电压等级应与附近电网所接处的电压等级一致。

对于大型或在系统中比较重要的中型水电站，其电压等级和接线方案的选择是比较复杂的，涉及的因素很多，需要全面研究、统筹考虑后酌定。通常要考虑电力系统发展的远景规划，如在本电站附近是否还有梯级电站，若有，梯级电站如何相互连接，附近是否还要建中心变电所，附近有无重要供电单位等。可见，水电站和系统如何连接不是电站设计单位一家就能决定下来的，要在了解当地电力部门和重要用户意见的基础上拟定几个可能的方案，然后再进行详细的技术经济比较。

在输送距离和传输容量一定的条件下,如果选用的电压等级愈高,则线路上的电流愈小,相应线路上的功率损耗、电能损耗和电压损耗也就愈小,并可使用较小截面的导线。但电压等级愈高,线路的绝缘愈要加强,线间距离要增大,杆塔的结构尺寸也要随之增大,因而,增加绝缘和建设更高大的杆塔要多投资多用料,同时,线路两端的变压器和电器设备将因电压等级的提高而增大,因而,采用的电压等级过高并不有利。一般地说,传输功率愈大,输送距离愈远,所应选用的电压等级愈高。电力网各级电压输电线路的输送容量和输送距离的大致关系如表1—2所示。此表可供工程设计中拟定方案时作为参考。

表1—2 各级电压线路输送容量和输送距离的关系

额定电压 (K V)	输送功率 (K W)	输送距离 (Km)	额定电压 (K V)	输送功率 (K W)	输送距离 (Km)
3	100~1000	1~3	110	10000~50000	50~150
6	100~1200	4~15	220	100000~500000	100~300
10	200~2000	6~20	330	200000~1000000	200~600
35	2000~10000	20~50	500	1000000~2000000	600~1000
60	3500~30000	30~100			

电力系统的规划和计算,国外已有专门公司积累了大量网络方案分析研究所必备的先进程序,国内也有许多单位就电力系统短路电流计算、负荷的潮流计算等专门问题的解决研制了软件,这些程序可以简化某些工作,缩短设计时间。在水电站接入系统方案计算中也可考虑自己编制和引用这类程序。

§ 1—5 电力系统的中性点运行方式

电力系统的中性点运行方式是涉及到供电可靠性、过电压与绝缘的配合、继电保护和自动装置的正确动作、通讯干扰、系统稳定等许多方面的一项综合性技术问题。本节只能就此介绍一些基本概念,为以后深入地学习奠定一个基础。

我国电力系统目前广泛采用的中性点运行方式有中性点不接地(或中性点绝缘)、中性点经消弧线圈接地和中性点直接地等三种。中性点直接接地或经低阻抗接地又称为大接地电流系统;中性点绝缘、或经消弧线圈接地、或经高阻抗接地,又称为小接地电流系统。

一、中性点不接地的系统

电力系统的各相导线间和相对地之间沿导线全长都有分布电容。在电压作用下,通过这些电容将流过附加的电容电流。在作近似计算时,忽略相间电容不计,用集中电容代替相对地分布电容,并假定各相对地电容相等,即 $C_A=C_B=C_C=C$, 则在三相电压作用下各相所流过的附加电容电流大小分别为 $\dot{I}_{Ao}$ 、 $\dot{I}_{Bo}$ 、 $\dot{I}_{Co}$,各电流在相位上分别比对应电压超前 90° ,如图1—6所示。

若三相电压对称,则三相的相对地电容电流也对称。因而,电流的相量和为零,无电容电流流过大地。可见,电力系统的中性点等于相对地电容器组的中性点,也即等于地电位,因而,此时中性点接地与否并无影响。

当任一相接地后,各相对地电压都要改变,对地电容电流也要发生变化,中性点对地的电位不再为零,其对地的电压值视故障点接地的情况而定。

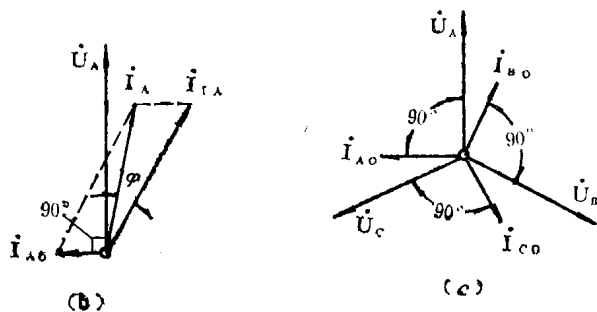
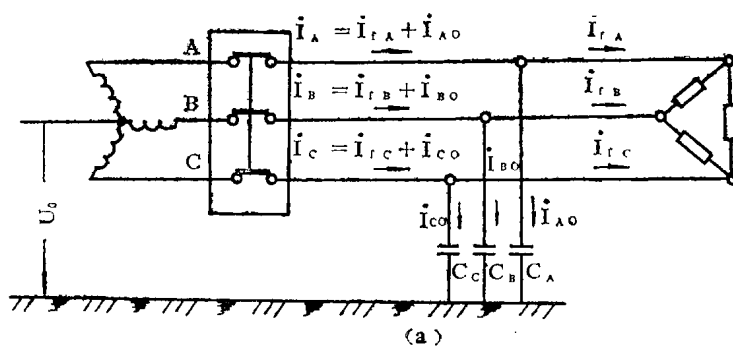


图1-6 三相系统中性点不接地的正常工作状态
(a) 电流分布； (b)、(c) 电流、电压相量关系

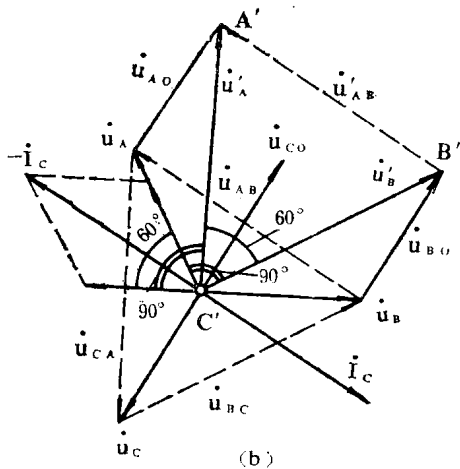
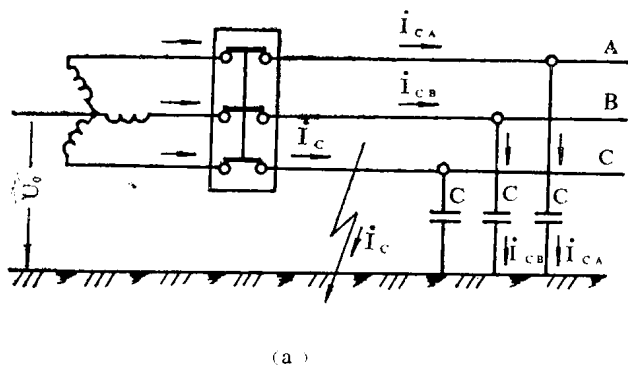


图 1-7 中性点不接地的三相系统C相接地的情况
(a) 电流分布； (b) 相量关系

如图1-7所示，设C相金属性接地，则C相对地电压 $\dot{U}_c'$ 等于零，即 $\dot{U}_c' = \dot{U}_c + \dot{U}_o = 0$ ，故

$$\dot{U}_o = -\dot{U}_c \quad (1-6)$$

因而，A、B相的相对地电压 $\dot{U}_A'$ 和 $\dot{U}_B'$ 分别为

$$\dot{U}_A' = \dot{U}_A + \dot{U}_o = \dot{U}_A - \dot{U}_c \quad (1-7)$$

$$\dot{U}_B' = \dot{U}_B + \dot{U}_o = \dot{U}_B - \dot{U}_c \quad (1-8)$$

可见, A、B两相对地电压 $\dot{U}_A'$ 和 $\dot{U}_B'$ 均升高为线电压, 所以, 其对地电容电流 $\dot{I}'_A = \dot{I}'_B = \sqrt{3} \dot{I}_{C0}$ 。由于C相接地, 该相对地电容被短接, 所以, C相对地的电容电流变为零。于是经过C相接地点流进地中的接地电流为

$$\dot{I}_c = -(\dot{I}'_A + \dot{I}'_B) \quad (1-9)$$

由相量图可得 $I_c = \sqrt{3} I'_A$, 故

$$I_c = \sqrt{3} I'_A = \sqrt{3} (\sqrt{3} I_{C0}) = 3 I_{C0} = 3 \omega C U_c \quad (1-10)$$

可见, 单相接地时的接地电流等于未接地时一相对地电容电流的三倍, 并且接地电流与电网电压(U_c)、频率(ω)和电容(C)的大小有关, 而电容 C 的大小却与电力网的结构(电缆或架空线)、布置方式和长度等都有关系, 故接地电流可近似按下式计算:

$$\text{架空线: } I_c = (2.7 \sim 3.3) U_L \times 10^{-3} \quad (\text{A}) \quad (1-11)$$

$$\text{电 缆: } I_c = 0.1 U_L \quad (\text{A}) \quad (1-12)$$

式中 U ——电网的线电压(KV);

L ——有直接电气连接的这一电压级输电线的长度(km);

2.7~3.3——无架空地线取2.7, 有架空地线取3.3。

若一相发生不完全接地(即经过一定的过渡电阻接地), 则故障相对地的电压将大于零而小于相电压, 非故障相对地的电压则大于相电压而小于线电压, 其接地电流将比金属性接地时较小。

单相接地时所产生的接地电流将在故障处形成电弧, 这种电弧可能是可自行熄灭的, 也可能是不可自行熄灭的, 后者又可能是稳定的或间歇性的, 稳定的电弧使该相持续接地, 强烈的电弧将会损坏设备, 并导致两相甚至三相短路。随间歇性电弧的产生, 将会出现一种电弧过电压, 其幅值可达 $(2.5 \sim 3) U_0$, 足以危及整个电网的绝缘。所以, 必须限制接地电流, 防止这两种不能自行熄灭的电弧的产生。

从图1—7可见, 中性点不接地系统发生单相接地时, 线电压仍保持不变。当线路不长, 单相接地电流较小, 不致于形成稳定的接地电弧或间歇电弧时, 一般均能迅速自动熄灭电弧而无需跳闸。所以, 允许以这种状态短时间(2~3小时)继续运行, 以提高供电的可靠性。但若这样带故障运行时再有一相破坏, 就会引起两相短路, 产生巨大的短路电流, 从而严重地损坏电气设备。所以, 在中性点不接地的电力系统中, 仍要设专门的信号和保护装置, 让运行人员及时发现一相接地故障, 从而适时处理电网中的一相接地。如若线路过长, 接地电容电流超过了一定的数值, 则不允许单相接地运行。

中性点绝缘的系统单相接地运行时, 非故障相的相对地电压要升至线电压, 所以, 这种电网的相对地绝缘应按线电压考虑。

我国对中性点不接地系统规定了一定的适用范围:

1. 电压小于500V的装置(380/220V照明除外)。
2. 3~10KV发电机电网, 一相接地电流不允许大于5A; 3~10KV的其它电网, 一相接地电流不允许大于30A,
3. 35~60KV, 单相接地电流小于10A。

如若电力系统不满足上述条件, 可采用下述中性点运行方式。