

15626

发电厂和变电所 电气设备的运行

第二版

上册

华田生 编著



发电厂和变电所 电气设备的运行

第二版

上册

华田生 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

15626

内 容 提 要

《发电厂和变电所电气设备的运行》分为上、下两册,本书是上册,共分十章。书中主要介绍发电厂电气设备的运行,即火力发电厂的电气主接线、厂用电接线、运行方式及汽轮发电机、变压器、电动机等主要电气设备在运行中的操作、维护和事故处理等;对电气运行方式和倒闸操作等现场运行经验,也作了一定的介绍。

本书可供发电厂和变电所电气运行工人技术培训、教学用,也可供电力中技、中专学校的教学和从事电气制造、设计、检修工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂和变电所电气设备的运行.上册/华田生编著.第2版. -北京:中国电力出版社,2000.5

ISBN 7-5083-0270-2

I. 发… II. 华… III. ①发电厂-电气设备-运行 ②变电所-电气设备-运行 IV. TM6

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第04328号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

三河实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1979年8月第一版

2000年5月第二版 2000年5月北京第十三次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 14.375印张 318千字

印数227611—232610册 定价26.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

第二版前言

本书自1979年8月出版后,深受广大读者的欢迎和好评,一版久印不衰,先后重印十余次,成为全国畅销书;并获得1992年水利部、能源部优秀图书二等奖。

现接受中国电力出版社修订任务,为配合电力系统工人技术培训、教学的需要,提高工人的理论水平和实际操作能力,以适应电力工业的发展,满足广大读者的要求而进行修订的。

全书分上下两册,共二十章。在修订过程中应用了从事电力系统一些长期现场实际工作经验,并在实践中继续得到充实,使之与我国的电力事业的发展紧密结合,服务于电力事业。同时注意到与新技术结合,内容要全面、简明扼要、通俗易懂,并在水平上提高一步。

全书图形符号和文字符号,均采用我国新颁布的GB4728《电气图用图形符号》等国家标准。中文单位名称均改为单位符号,计量单位采用法定计量单位。

按部颁新技术规程内容编写,删掉一些旧的内容,增加了超高压变电所电气主接线、分裂变压器和自耦变压器、切合大型高压电动机的操作故障、新型电力设备六氟化硫断路器、无功静止补偿装置及直流操作电源(镉镍电池)等新内容。

全书由郑州电力学校高级讲师于长顺审稿,由华杰绘图。本书在修订过程中,得到了陈西庚教授级高工、华玉典

高工、吴学培工程师的大力协助，提供了很多有益的资料和经验，在此特致谢意。对华北电力大学（北京）刘春磊教师的帮助表示感谢。

由于本人经验及水平所限，缺点和错误难免，恳切希望读者指正。

编著者

1998年8月于姑苏

目 录

第二版前言

第一章 电力系统和发电厂概述	1
1-1 电力系统的基本概念	1
1-2 电力系统的负荷概述	11
1-3 发电厂生产过程的基本知识	17
第二章 发电厂电气主接线和厂用电接线	24
2-1 概述	24
2-2 发电厂电气主接线	26
2-3 厂用电接线	49
第三章 发电厂电气主接线运行方式	71
3-1 概述	71
3-2 运行方式的编制原则	75
3-3 发电厂电气运行方式的实例分析	81
第四章 电气设备的倒闸操作	93
4-1 概述	93
4-2 拟写和传送操作命令及操作程序	97
4-3 倒闸操作的基本原则和要求	102
4-4 倒闸操作的实例分析	109
第五章 电动机的运行及事故处理	116
5-1 概述	116
5-2 异步电动机的工作原理及其特性	117

5-3	电动机的允许运行方式	130
5-4	异步电动机的起动和停止	137
5-5	电动机运行中的监视和维护	152
5-6	电动机的事故处理	155

第六章 变压器的运行及事故处理..... 176

6-1	变压器的工作原理	176
6-2	三绕组变压器特点和自耦变压器的原理 及运行	179
6-3	变压器的允许运行方式	186
6-4	变压器的负荷能力	198
6-5	变压器的冷却方式	209
6-6	变压器的操作和并列运行	215
6-7	变压器运行中的维护和检查	232
6-8	变压器油的运行	235
6-9	变压器的事故处理	256

第七章 同步发电机的运行..... 274

7-1	同步发电机的基本原理	274
7-2	发电机的允许温度和温升	277
7-3	发电机在冷却气体温度变动时的运行	278
7-4	发电机在电压、频率变动时的运行	280
7-5	发电机在功率因数变动时的运行	284
7-6	发电机的不对称运行	286
7-7	发电机的负荷增长速度 and 短时过负荷	292
7-8	发电机绕组绝缘电阻的测量及允许值	299
7-9	发电机轴和轴承中的电流	301
7-10	发电机起动前的准备工作	309

7-11	发电机的起动及转子预热	310
7-12	发电机的升压和并列	314
7-13	发电机接带负荷与调整负荷	321
7-14	发电机运行中的监视	325
7-15	发电机的解列和停机	332
第八章	同步发电机的事故处理	334
8-1	概述	334
8-2	发电机的非同期并列	335
8-3	发电机的断路器自动分闸	336
8-4	发电机的振荡和失步	340
8-5	同步发电机变为电动机运行	346
8-6	同步发电机的无励磁异步运行	350
8-7	同步发电机的励磁方式及励磁系统的故障	359
8-8	发电机定子单相接地故障	371
8-9	发电机着火	372
8-10	大型汽轮发电机定子绕组短路和断线 故障实例	374
第九章	氢冷及双水内冷发电机的运行及事故处理	377
9-1	氢冷发电机的运行	377
9-2	氢冷发电机冷却系统的事故处理	399
9-3	水内冷发电机的运行	403
9-4	水冷系统的事故处理	418
第十章	发电厂及变电所的事故处理	422
10-1	概述	422
10-2	频率异常的事故处理	424
10-3	电压降低的事故处理	429

10-4	发电厂解列和母线电压消失的事故处理	435
10-5	电力系统非同期振荡的事故处理	438
10-6	单相接地故障的寻找及处理	444
10-7	厂用电源中断的事故处理	447
10-8	送电线路分闸的事故处理	448
10-9	变电所母线故障的处理	449
10-10	变电所全部停电的事故处理	450

第一章

电力系统和发电厂概述

1-1 电力系统的基本概念

为了提高供电的可靠性和经济性，都尽量将许多发电厂用电力网连接起来并列运行。

一、电力系统的组成及其作用

电力主要来自火电厂、水电厂及核电厂。为了使工业的布局更加合理，常需要将发电厂建造在水、煤、石油、天然气等能源基地，以便节约燃料的运输费用。但由于用电的分散性，或者受地理及历史条件的限制，电力负荷中心集中在大城市、工业中心、矿山、农业发达地区及交通枢纽等地，则使负荷中心和发电厂之间相隔很远，这就需要将发电厂生产的电能经变压器升高电压后，由各种不同电压等级的输电线送往各电能用户，因此，便有必要在发电厂与用户之间建立升压和降压变电所。此外，为了提高供电的可靠性和经济性，也须将各发电厂用电力网连接起来并列运行。

将发电厂的电能送往各用户，需要用电力线路作为传输电能的通道，这就出现了电力网及电力系统。

由配电线路和配电所组成的统一体，称为配电网。它的作用是将负荷中心的电能分配到各配电变电所后，再将电能送往各用户。

由输电线及连接这些电力线路的变电所组成的统一体，

称为输电网。它的作用是将发电厂的电能送往负荷中心。

电力网是电力系统的一部分，由各种电压等级的变电所及输配电线路组成的统一体，称为电力网。它的作用是将电能从发电厂送出并分配给各用户。

电力系统是动力系统的一部分，它由各类型发电厂中的发电机、各种电压的升压及降压变电所、输配电线路及各用户的用电设备所组成。它的作用是完成电能的生产、交换、输送、分配和消费等任务；并将各发电厂、变电所并列运行，从而提高整个电力系统的可靠性和经济性。

各类型发电厂中的热力部分、水力部分、核反应堆部分等和电力系统组成的整体，称为动力系统，如图 1-1 所示。

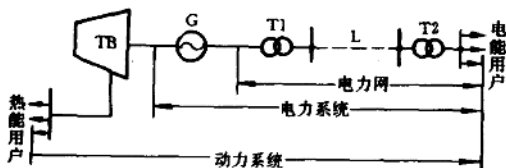


图 1-1 动力系统示意图

TB—汽轮机；G—发电机；T1—升压变压器；

L—输电线路；T2—降压变压器

二、电力系统的额定电压

电气设备如果采用任意电压，势必使得制造厂家不可能进行标准化的大量生产。为了设备制造的标准化、系列化，规定了各种额定电压等级。

用电设备、发电机和变压器等正常运行时，能获得最佳的技术性能和经济效益的电压，称为它们的额定电压。通常指电器设备名牌上标出的线电压。

1956 年我国已规定了统一的电压标准，目前我国电力网

及电气设备的额定电压等级，如表 1-1 所示。

表 1-1 电力网及电气设备的额定电压 (kV)

电力网 (用电设备)	交流发电机	变 压 器	
		原 边	副 边
0.220	0.230	0.220	0.230
0.380	0.400	0.380	0.400
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
35	13.8	35	38.5
110	15.75	110	121
220	18.00	220	242
330	20.00	330	363
500		500	550
750		750	825

注 1. 表中所列数值均为线电压；

2. 有 * 者适用于升压变压器。

用电设备的额定电压等于电力网 (或电力线路) 的额定电压。因为电力线路的额定电压是按照用电设备的额定电压制定的。

如图 1-2 所示，设发电机 G 是在额定电压下运行，给电力网 AB 部分供电。由于线路在运行中有电压损耗，所以当负荷变化时，线路中电压损耗也随着变化，因而线路各点的电压不可能是恒定的，用电设备 1~4 将受到不同电压，欲使接于线路各处的用电设备在额定电压下运行是不可能的，只能力求使用电设备的端电压与额定电压尽可能地接近。一般线

路始端电压 U_1 比末端电压 U_2 要高些。设直线 U_1 、 U_2 代表电压的变化规律。由于生产的标准化，不可能按照上述直线所示的所有电压来制造用电设备。此外，电力网中各点的电压是随着日夜寒暑时的负荷变化而变化。那么究竟用电设备应按 U_1 与 U_2 间的哪一个电压制造才会运行得最好呢？由于所有的用电设备的端电压与额定电压之差愈小时，它们就会运行得愈好，因此，显然应该采取线路始端电压 U_1 与末端电压 U_2 的算术平均值 $U_n = \frac{U_1 + U_2}{2}$ 作为用电设备的额定电压，这个电压就是电力网的额定电压。

电力网中的电压损耗一般约为 10%，用电设备一般允许在额定电压的 $\pm 5\%$ 范围内变化，所以线路始端的电压一般比电力网的额定电压高 5%，而线路末端的电压则比电力网的额定电压低 5%，从而可以保证在线路电压损耗 10% 时，各用电设备得到正常运行。

发电机一般总是接在线路的始端，所以，发电机额定电压比它接入的电力网额定电压要高 5%，即

$$U_{Gn} = 1.05U_n$$

式中 U_{Gn} ——发电机额定电压，kV；

U_n ——线路（电网）额定电压，kV。

才能使线路末端电压不低于额定电压的 5%，这里考虑到网络中电压损耗的影响。例如 10kV 电网中，发电机的额定电压为 10.5kV。

变压器的额定电压系指各绕组的额定电压。对降压变压器而言，如图 1-2 所示，变压器 T2 的原边绕组是接受电能的，相当于用电设备，故其额定电压应等于用电设备额定电压即电网额定电压，副边绕组是输出电能的，其额定电压比电力

网额定电压高 5%。但是, 由于变压器副边绕组的额定电压是指空载时的电压, 当变压器带负荷运行时, 电流通过绕组就要产生电压损耗, 副边绕组的端电压将比空载时约降低 5%, 再加供电线路的电压损耗 5%, 故副边绕组在带额定负载时实际输出电压视变压器阻抗大小而定。对于阻抗大 (短路电压大于 7.5%) 的变压器, 副边额定电压应比线路额定电压高 10%; 对于阻抗小 (短路电压小于 7.5%) 的变压器, 因变压器内部电压损耗小, 故副边绕组额定电压比线路额定电压高 5%。例如变压器 T2, 原边绕组额定电压为 110kV, 副边绕组接于 35kV 电网上, 则其额定电压为 38.5kV; 因其短路电压大于 7.5%。对升压变压器而言, 如图 1-2 所示, 变压器 T1 原边绕组的额定电压应与发电机的额定电压相等, 以便变压器经常运行于额定电压附近; 副边绕组的额定电压比线路额定电压高 10%。例如升压变压器 T1 的原边绕组与发电机直接连接, 则其额定电压为 10.5kV; T1 副边绕组接于 110kV 电网上, 则其额定电压为 121kV。

综上所述, 发电机额定电压比电网额定电压高 5%; 升压变压器 T1 一次绕组的额定电压与发电机额定电压相等, 二

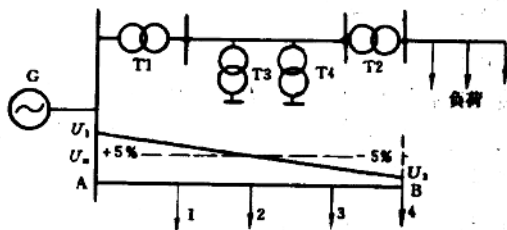


图 1-2 电力网中电压的变化

G—发电机; T1—升压变压器;

T2、T3、T4—降压变压器; 1~4—用电设备

次绕组的额定电压比线路额定电压高 10%；降压变压器 T2 一次绕组额定电压与线路额定电压相等，二次绕组的额定电压比线路额定电压高 5% 或 10%，如图 1-3 所示。

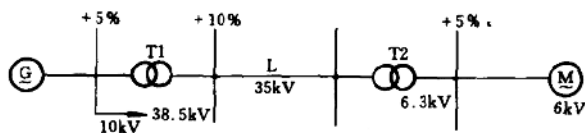


图 1-3 发电机、变压器和线路的额定电压

【例 1-1】 试确定图 1-3 所示电力系统中发电机和所有变压器的额定电压。

解：设电网 $U_n = 10\text{kV}$ ，发电机额定电压比电网额定电压高 5%，所以发电机额定电压应为 $10(1+5\%) = 10.5\text{ (kV)}$ 。T1 一次绕组额定电压与发电机额定电压相等，应为 10.5 kV ，T1 二次绕组额定电压比线路额定电压高 10%，应为 $35(1+10\%) = 38.5\text{ (kV)}$ 。T2 一次绕组额定电压与线路额定电压相等，即为 35 kV ，T2 二次绕组额定电压比线路额定电压高 5%，即为 $6(1+5\%) = 6.3\text{ (kV)}$ 。

三、电力系统接线

电气运行人员必须对本厂的电气接线和本厂所在的电力系统的接线应有清楚的了解，因为任何运行方式的变化都是和电气接线分不开的，而运行方式则是运行人员在正常运行及事故状态下分析和处理各种事故的基本依据。

凡用电力系统元件的规定符号并按实际接线顺序把它们连接起来的线路图，称为电力系统原理电路图，如图 1-4 所示。在这种电力系统原理电路图中，只画出电路的基本部分，不画出电路的辅助设备，并将三相系统用单线表示，以使电

路图简化。

四、电力系统接线分析

1. 发电厂

发电厂是将各种形式的能量转换为电能的特殊工厂，图 1-4 中所示有六个发电厂并联运行。

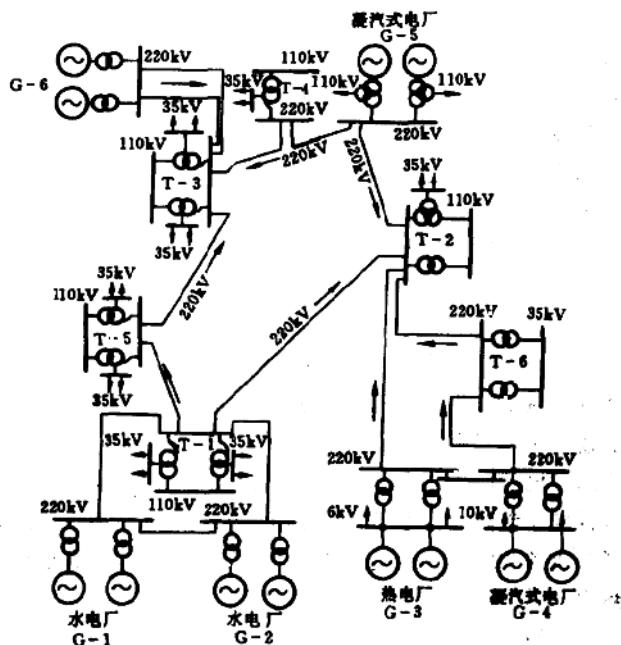


图 1-4 电力系统原理电路图

(1) G-1 及 G-2 为大型水电厂。它在系统中与其他电厂并联运行，由于水轮机的特殊性能，它能适应负荷的变化，因此很适宜担任系统的尖峰负荷和调整频率的工作。此外，由于水轮发电机组起动迅速，运转灵活，故水电厂还可担任系

统的事故备用。G-1 及 G-2 水电厂不设发电机电压母线，发电机直接与升压变压器连接，把电能输入 220kV 电网，供远距离用户用电。

(2) G-5 及 G-6 为区域发电厂。大容量凝汽式电厂宜于建设在靠近燃料产区的地方，因为电能输送到远距离用户处比由经铁道将燃料运到发电厂，在经济上较为合算。这样的凝汽式火电厂，称为区域发电厂（坑口发电厂），一般容量在 200MW 以上，效率较高，宜担任基本负荷。另外它是系统中的主力电厂，可以在日负荷曲线的任何位置上工作，故也可以担任尖峰负荷、事故备用、负载备用（调节频率）及检修备用。

它没有发电机电压母线，发电机直接与升压变压器连接，通过升压变压器升压到 220kV 后与主电网直接相连。

(3) G-3 为供热式发电厂。某些部门如化工、纺织、造纸等，在生产产品时，不仅需要消耗电能，而且也要消耗热能。此外，城市公用事业和居民取暖，也需要消耗热能，所以需要建立供热式电厂。供热式电厂一般建立在用户中心，它主要用发电机电压 6~10kV 供给附近的电能用户，因而设有发电机电压母线。为了送电给远方电能用户，它通过升压变压器升压到 220kV 与主电网相连，另外它通过蒸汽管道对附近热用户供热。

(4) G-4 为凝汽式发电厂。它设有发电机电压母线，用发电机端电压对附近电能用户供电，同时通过升压变压器升压到 220kV 与主电网相连。

2. 变电所

变电所是电力系统中接受电能、变换电能和分配电能的场所。为了实现电能的经济输送和满足用电设备对供电质量