

发变电站一次系统

南方职业技术教育学会 王川波 主编
大连电力工业学校 徐绪椿 主审

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书主要讲述发电厂、变电站的一次系统和过电压及其防护这两大方面的基本知识。全书分为两篇,第一篇为发变电站一次系统,内容包括:发变电站一次系统概述、电力系统中性点的运行方式、电气主接线、发变电站的自用电、配电装置;第二篇为过电压及其防护,内容包括:波动过程、雷电及防雷设备、输电线路防雷、发变电站的防雷保护、内部过电压。

本书可供电力工业学校、中专、技校电气类专业作为教材,也可供其他职业技术学校电气类专业选用,还可作为有关技术工人自学与培训用书,并供从事电气类专业的工程技术人员和教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发变电站一次系统/王川波主编. —北京:中国水利水电出版社, 1997

ISBN 7-80124-188-6

I. 发… I. 王… II. ①发电厂—一次系统 ②变电站—一次系统
IV. TM645.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 06207 号

书 名	发变电站一次系统
作 者	南方职业技术教育学会 王川波 主编
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 242 千字
版 次	1998 年 4 月第一版 1998 年 4 月北京第一次印刷
印 数	0001—7100 册
定 价	16.00 元

前 言

南方职业技术教育学会在全国电力职业技术教育界选聘、组织了一批专家,依据电力工业学校电气类专业教学计划与教学大纲,编审了一套职业技术教材,包括:《发变电站一次系统》、《电工工艺》、《电器检修与试验》、《电机及其运行与检修》(第一册,基础部分)、《电机及其运行与检修》(第二册,运行部分)、《电机及其运行与检修》(第三册,检修部分)、《高压电气绝缘及测试》、《电工测量技术》等,并陆续出版发行。这套教材主要适用于电力工业学校、电力中专、电力技校执行新教学计划的发电厂及变电站电气运行与检修、发电厂及电力系统运行、发电厂及变电站电气设备安装与检修等电气类专业的教学,也适用于发变电站电气运行、检修、试验岗位中、高级在职职工的培训。

《发变电站一次系统》一书是依据全国电力工业学校《发变电站一次系统教学大纲》编审而成。本书针对职业技术学校(含电力工业学校、中专、技校)培养应用型中、高级职业技术人才的要求和电气类专业特点,内容深入浅出,联系现场实际;文字通俗易懂,便于阅读自学;在对理论问题的阐述方面,主要从物理意义上进行定性分析,尽量避开繁杂的数学推证;同时,本书还十分注重引用新的、成熟的科技研究成果。

《发变电站一次系统》由南方职业技术教育学会理事长、云南电力技术学校高级讲师王川波主编,大连电力工业学校高级讲师杨秀娟、高级讲师陈鸿黔参编。其中,王川波编写第六、七、八、九、十章,并负责全书统稿,杨秀娟编写第一、二、四、五章,陈鸿黔编写第三章;由大连电力工业学校高级讲师徐绪椿主审,云南电力技术学校李锡明参审;由云南工业大学发电厂及电力系统专业王嫻校订。

在本书的编审过程中,得到电力部教材建设研究室、全国电气类专业教学研究会、辽宁省电力局、云南省电力局、云南工业大学电力工程学院等单位的热情支持,在此表示衷心的感谢!

尽管各方面对本书的编审作了相当大的努力,仍然难免存在不妥以至错误,恳请读者提出宝贵意见;意见请寄:云南开远市、南方职业技术教育学会收,邮编 661000。

南方职业技术教育学会

1996年11月

目 录

前 言

第一篇 发变电站一次系统

第一章 绪论	1
第一节 发电厂和变电站的类型	1
第二节 发电厂电气接线和配电装置概述	5
第三节 电力系统过电压概述	9
复习思考题	10
第二章 电力系统中性点的运行方式	11
第一节 中性点不接地的三相系统	11
第二节 中性点经消弧线圈接地的三相系统	15
第三节 中性点直接接地的三相系统	20
第四节 三种运行方式的比较	21
复习思考题	23
第三章 电气主接线	24
第一节 概述	24
第二节 单母线接线	27
第三节 双母线接线	31
第四节 无母线的主接线	35
第五节 发电厂电气主接线举例	39
第六节 变电站电气主接线举例	43
复习思考题	47
第四章 发电厂和变电站的自用电	49
第一节 发电厂的厂用电概述	49
第二节 发电厂的厂用电接线	51
第三节 变电站的站用电	62
复习思考题	66
第五章 配电装置	67
第一节 配电装置概述	67
第二节 屋内配电装置	69
第三节 屋外配电装置	76
第四节 成套配电装置	84
复习思考题	89

第二篇 过电压及其防护

第六章 波动过程	91
第一节 单根无损导线上的波动过程	91
第二节 行波的折射与反射	94
第三节 行波穿过电感和从电容旁经过	97
第四节 变压器绕组中的波过程	100
第五节 旋转电机绕组中的波过程	106
复习思考题	108
第七章 雷电及防雷设备	109
第一节 雷电放电及雷电参数	109
第二节 避雷针与避雷线	113
第三节 避雷器	117
第四节 防雷接地	124
复习思考题	126
第八章 输电线路防雷	127
第一节 线路感应雷过电压	127
第二节 线路直击雷过电压	129
第三节 线路耐雷水平及雷击跳闸率	132
第四节 线路防雷的原则及措施	134
复习思考题	136
第九章 发电厂和变电站的防雷保护	137
第一节 发电厂和变电站的直击雷防护	137
第二节 变电站内阀型避雷器的保护作用	139
第三节 变电站的进线保护段	142
第四节 变压器的防雷保护	145
第五节 旋转电机的防雷保护	148
复习思考题	151
第十章 内部过电压	152
第一节 切除空载长线路过电压	152
第二节 切除空载变压器过电压	154
第三节 电弧接地过电压	156
第四节 铁磁谐振过电压	158
复习思考题	162

第一篇 发变电站一次系统

第一章 绪 论

从 19 世纪末期电力应用于生产以来,到今天已成为当代世界物质生产的基本动力,电气化程度是各国国民经济现代化的重要标志。工农业生产的机械化、电气化和自动化都对电力提出了越来越高的要求,人们日益丰富的物质文化生活也越来越依赖于电力的供应。因此,现代电力工业发展很快,其发展特点主要表现在以下三方面:

- (1) 巨大的水、火、核电联合电力系统的形成;
- (2) 采用 200~1300 MW 大机组和 1000 MW 以上大电厂的大量建设;
- (3) 超高压的广泛应用。

我国的电力工业发展也很快,自 70 年代初,第一台 300 MW 机组投运至 1988 年底投产 600 MW 机组以来,电力工业发展又上了一个新台阶。在建的发电厂容量已达 2700 MW, 330~500 kV 输变电系统正在逐步扩大。到 1991 年底,全国装机总容量已超过 150000 MW,年发电量已达 6774.94 亿 kW·h。

电力工业的迅速发展,提出了许多新的课题,例如:电网的联合和扩大;超高压的应用及线路的输送能力;大机组的采用及发电厂和变电站的分类;系统短路电流和内过电压的限制;提高供电可靠性,保证系统稳定运行等。所有这些问题与正确地选定发电厂、变电站的电气接线和设备配置有着密切的关系,需要我们认真研究解决。

第一节 发电厂和变电站的类型

为了把巨大的电力输送到全国各地,为了提高供电的可靠性和经济性,目前广泛地将许多发电厂用电网连接起来并联工作,形成巨大的联合电力系统。电力系统是指发电、送电、变电和用电组成的“整体”,而通常把发电和用电之间属于输送和变配的中间环节称为电力网。其简单构成原理如图 1-1 所示。

一、电力网的类型

电力网大致可分为:配电电力网、地区(省)电力网、区域电力网、全国电力网和几国互联电力网等五种。

(1) 配电电力网。这是城市、工矿区和农村的配电网,其供电范围一般为几千米至 30 km,电压等级为 6~35 kV。

(2) 地区(省)电力网。地区电力网的供电范围较大,但仍局限于一个地区或一个省,电压等级为 110~220 kV。

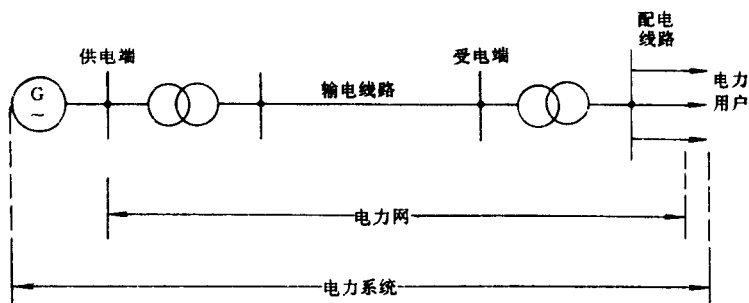


图 1-1 电力系统、电力网构成原理示意图

(3) 区域电力网。几个地区（几个省）电力网联合而成为区域电力网。区域电力网不但供电范围大，而且还担负着把远区大容量水力、火力发电厂的功率输送到负荷中心的任务。我国已建造了西北、华中、东北、华北和华东等区域电力网，电压等级为 330~500 kV。今后 330~500 kV 区域电力网是我国电力系统的主网。

(4) 全国电网。我国“九五”期间全国联网已纳入实施计划。

(5) 几国互联电力网。指多个国家的电力系统通过联络线路相互连接，实现电能的交换。

二、发电厂的类型和特点

(一) 根据发电厂能源取得方式的不同分类

1. 火力发电厂

(1) 大容量坑口凝汽式电厂。我国煤炭资源充足，占世界第三位。考虑到石油和天然气都是珍贵燃料和化工原料，因此，火力发电厂基本上都是燃煤电厂，并尽量燃用劣质煤。

在煤矿及其附近建设大型坑口电厂，供煤方便，比电厂建在靠近城市及用电负荷中心，可以减轻铁路运输量。建设大型坑口凝汽式电厂不仅较为经济，而且可以减少城市的环境污染。

(2) 中小容量的热电厂。在发电厂中，利用在汽轮机中作过功的蒸汽（中段抽汽或尾部排汽）的热量供给热用户，可以减少或避免蒸汽在凝汽器中凝结时产生的能源损失，使发电厂的热效率得到提高。这种同时生产电能和热能的生产过程，称为热电联合能量生产。这种形式的发电厂称为热电厂。联合电能生产方式，分为抽汽式汽轮机和背压式汽轮机两种。采用背压式汽轮机既发电又利用其排汽供热，是一种简单的、纯粹的联合能量生产形式。但这种形式的生产存在着电负荷随热负荷的变化而变化的缺点。因此，一般不宜单独采用。目前热电厂多采用的是可调节抽汽式汽轮机或背压式汽轮机加凝汽式汽轮机并列运行的联合能量生产系统。

2. 水力发电厂

水电厂的出力与水的流量和落差的乘积成正比。根据取水方式的不同，有以下几种类型：

(1) 坝式水电站。在河流地位、地质条件合适的地方修建拦河坝，抬高上游水位，同时形成水库，与下游天然水位形成落差发电。如黄河上游的龙羊峡水电站。

(2) 径流式水电站。对天然径流不做任何特殊改变, 没有水库, 电厂只能按天然径流多少来发电。如长江中游的葛洲坝水电站。

(3) 抽水蓄能电厂。利用深夜或其他用电低峰时剩余电力, 使水轮机以水泵方式工作, 将水抽到高水位蓄水池内, 再在需要时用来发电, 作负荷调峰之用。我国规划在缺少水电的华北、华东、东北地区兴建较多的 200~1000 MW 抽水蓄能电厂。

开发水电, 可以得到廉价的电力, 能量可在水库储存, 机组起、停迅速, 在系统中可灵活地担任基本负荷、腰间负荷和担任调峰、调频、调相和备用任务。与火电配合, 可保证电力系统安全稳定运行和灵活经济调度。

3. 核(原子能)发电厂

核电厂与一般火电厂在基本原理上是一致的, 不同的是核电厂中用原子反应堆和蒸发器来代替一般火电厂中的锅炉设备。核电厂中的发电设备仍为普通的汽轮机和发电机。为开辟新能源, 在煤炭或水力资源较少的沿海地区建设核电厂, 如我国第一座核电厂——浙江秦山核电厂, 就是自行研制的 30 MW 压水堆核电装置; 在广东省又建成 2×900 MW 的大亚湾核电厂。

核电厂由于需要装设大量的公用辅助和防护设备, 以及为了取得厂址需要进行大量工作, 这些花费不随单机容量增大而增加, 所以目前核电厂建设的规模均很大。

由于我国煤炭和水力资源丰富, 所以我国电力系统主要是由火电和水电联合组成, 并辅以核电。其中 1000 MW 以上大型火电厂、水电厂和核电厂联入 330~500 kV 超高压系统, 这些电厂是今后我国电力系统的主力。

(二) 根据发电厂在系统中的不同地位和作用的分类

1. 区域性(主力)发电厂、地区(地方性)发电厂和企业自备电厂

主力电厂的作用是担负系统的主要供电任务。

地区电厂和企业自备电厂, 都是中、小型电厂。该类电厂应该是充分利用当地的水力和煤炭等动力资源, 并结合供热来建设。热电厂要尽可能靠近用户。地区电厂和企业自备电厂一般接入 110~220 kV 电网。

2. 基荷电厂、腰荷电厂和峰荷电厂

水力、火力和核电厂按照其各自的特点, 分别承担基荷、腰荷和峰荷, 在尖峰负荷与基本负荷之间的负荷为腰间负荷。承担基荷的发电厂有较高的设备利用率, 年利用小时在 5000 h 以上; 腰荷电厂的设备利用率为 3000~5000 h; 峰荷电厂的设备利用率低, 为 3000 h 以下。各类电厂, 应按照其不同的特点, 合理地分配其担负的负荷(基本、腰间或尖峰负荷), 才能使电力系统产生最大可能的经济效益。

一个电厂、一台发电机组在系统中的地位和作用是会发生变化的。今天的主力电厂, 在电网扩大后, 可能变成地区电厂。一台发电机组今天担负基本负荷, 以后当更大的机组投产后, 它也可能改为担负腰间负荷。我们对每个电厂, 每台发电机组应该从一段较长的时期内进行分析, 比如 15 年左右, 根据这个电厂或这台发电机组在系统中的地位和作用, 以此来确定主接线的设计原则。例如, 主力电厂和地区电厂由于在系统中的重要性不同, 对主接线可靠性要求也随之不同; 又如, 担任尖峰负荷和腰间负荷的电厂, 机组起、停较频繁, 还可能调相运行或作各种备用, 主接线就要有较大的灵活性等。

各类电厂联网的电力系统如图 1-2 所示。

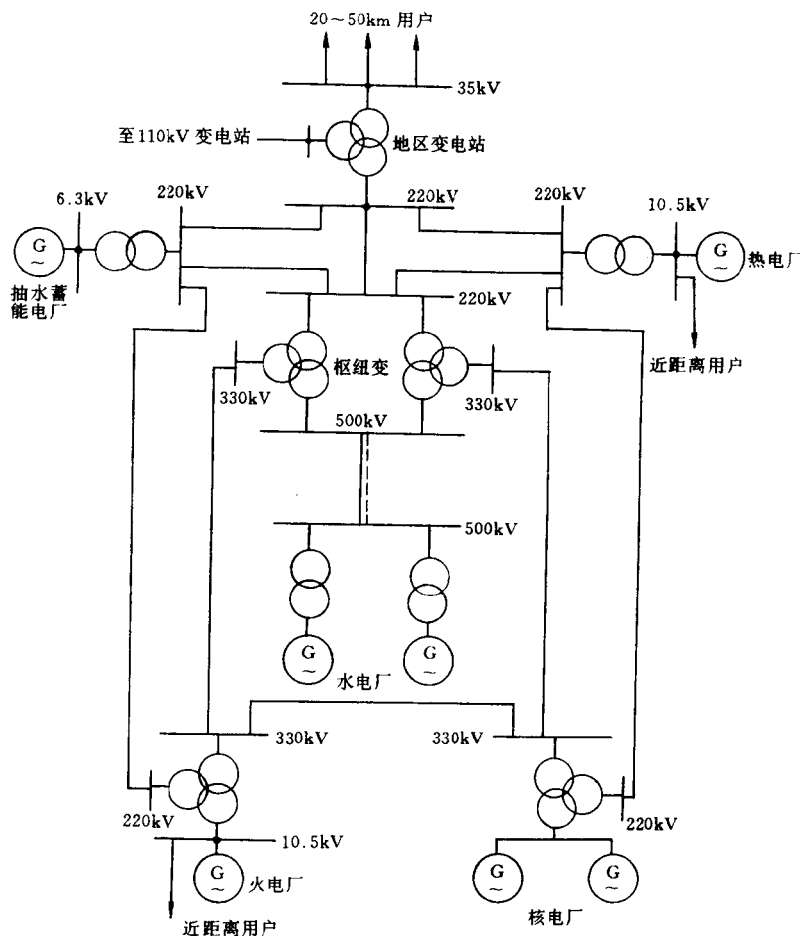


图 1-2 联网电力系统示意图

三、变电站的类型

发电厂生产的电能除直接供厂用电和附近地区负荷外，其余电能须经长距离输电线路送给远方用户（电网），而当输送容量一定时，输电电压越高，输电电流就越小，则线路中的有功功率损耗和无功功率损耗以及线路上的电压损耗就越小，故须经过升压变压器升高电压后送给远方用户（电网），亦即高压输电。而一般用电设备的额定电压较低（10 kV 以下），为此，又须将高压电经过降压变压器降到一定值，有时需要经过几次降压后才能向用户供电。所以变电站是改变电压、调整电压和分配电能的场所。

超高压电网建成后，变电站的分类发生了变化。

（一）按变电站在电力系统中的地位和作用的不同分类

1. 枢纽变电站

枢纽变电站连接系统的高压和中压的几个部分，汇集多个大电源和大容量联络线，在系统中处于枢纽地位；其高压侧交换系统间巨大功率潮流并向中压侧输送大量电能；电压

等级高、变电容量大、出线回路数多；站址在系统中的地理位置适中。我国现今建设的 500 kV 枢纽变电站容量多为 1500 MVA，330 kV 枢纽变电站最大容量为 720 MVA。

2. 开关站（开闭站）

开关站是为系统稳定性要求而设的，其主要作用是将长距离输电线路分段，以降低工频过电压，减少线路故障面和提高系统运行稳定度，并有可能设置串联补偿装置等，以提高供电能力和送电质量。若开关站与中间变电站合并，则可节约投资。

3. 中间变电站

中间变电站除起功率交换作用并使长距离输电干线分段外，还要降压供电给当地地区用户。一般从超高压主要环状线路或主要干线上破口引入变电站，出线回路数不多，站址地理位置靠近线路破口引入处。

4. 地区变电站

地区变电站属地区供电，是一个地区或中等城市的主要变电站。电压等级一般为 220 kV，也有 330 kV，容量多为 200~300 MVA。

5. 企业变电站

企业变电站是工矿企业的专用变电站，其中大型联合企业的总变电站，电压多为 220 kV，容量为 200~300 MVA。一般企业变电站，电压多为 110 kV。

6. 终端（包括分支）变电站

终端或分支变电站以 1~2 回线路接入，接线较简单，站址位置接近负荷点，电压等级多为 110 kV。

（二）按照变电站用途的不同分类

按照用途，变电站分为：

- （1）升压变电站。
- （2）降压变电站。
- （3）联络变电站。

随着高一级电网的出现，变电站的地位和作用，也是会发生变化的。例如过去的 220 kV 枢纽变电站，在今天已逐步下降为地区变电站。因此，对一个变电站也应在一较长时间内（如 15 年）看它的地位和作用怎样，而确定主接线的设计原则。

第二节 发电厂电气接线和配电装置概述

为便于学习本书以后各章节，下面对发电厂和变电站的电气设备及电气接线等作一简单介绍。

一、主要电气设备

发电厂和变电站的主要工作是生产、输送和分配电能，因此，在发电厂、变电站中装设有下列主要电气设备。

（一）一次设备

直接生产和输配电能的设备称为一次设备。包括：

- （1）生产和变换电能的设备。如发电机、调相机、变压器、电动机等。

(2) 接通和断开电路的开关设备。如断路器、隔离开关、自动空气开关、接触器、电磁开关、闸刀开关等。

(3) 限制电流或过电压的设备。如电抗器、避雷器等。

(4) 保护电器。如熔断器等。

(5) 供测量仪表和继电器用的辅助设备。如电流互感器、电压互感器等。

此外，还有母线、电力电缆、绝缘子等。

(二) 二次设备

对一次设备的工作进行监察、测量、控制及保护的设备称为二次设备。包括：

(1) 保护电器。如起保护装置作用的继电器等。

(2) 测量和监察设备。如电流表、电压表、功率表、电能表、频率表、绝缘监察装置等。

此外还有控制电缆、自动控制设备及信号设备等。

二、电气接线

在发电厂和变电站中，各种电气设备根据工作的要求和它们的作用，依一定次序用导线连接起来，具有发电、供电、配电、用电及保护控制等综合作用的电路称电气接线。其中一次设备连成的电路称为一次电路（电气主接线）；一次电路中，各设备元件按规定的图形符号表示的电路图称为一次电路图（主接线图）。二次设备连成的电路称为二次电路（二次接线）；其中各元件按规定的图形符号表示的电路图，称为二次接线图。

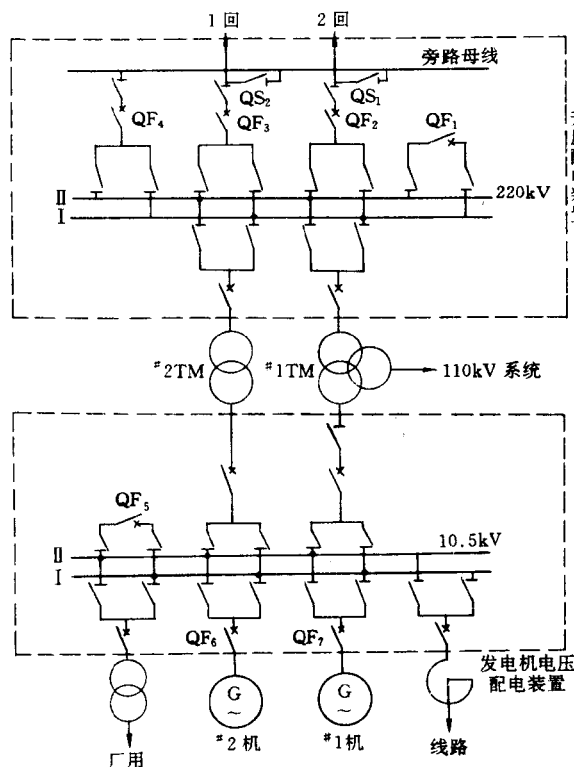


图 1-3 火电厂电气主接线图

主接线图分为三线图和单线图。三线图是用三根线表示三相电路的一次设备连接图。如果电力设备有零线时，也应画在图上。三线图画图繁琐，看图不便，而利用三相电路的对称性，只画出其中一相的为单线图，为便于画图 and 识图，工程上多采用单线图。如果电力设备有零线时，则可将它在图上用虚线表示。如图 1-3 所示为一个火电厂的主接线单线图。由图可见，电能从并列的发电机#1机、#2机先送到 10.5 kV 母线，再由此将一部分电能通过电抗器及电力电缆送到附近用户。另一部分电能通过升压变压器#1 TM、#2TM 送到 220 kV 电压母线上，然后通过高压架空线向远距离用户送电，并与系统连接。母线是汇集、传送和分配电能的装置，每组电压等级的母线都有两组（双母线），正常运行时，一组母线工作，另一组母线备用。当工作母线检修或发生故障时，可

将与工作母线相连的电路全部切换至备用母线上工作，也就是所谓的倒母线操作。220 kV 电压母线除双母线外，还有一旁路母线，旁路母线的作用是保证双母线配电装置在停电检修时，不中断对用户的供电。我们把发电厂或变电站电气主接线中的所有开关电器、载流导体、保护电器、测量仪器和其他辅助设备，按照一定要求建造而成的用来接受和分配电能的电工建筑物，称为配电装置，如图 1-3 中虚线框所示。发电机电压配电装置放在户内，故称户内配电装置；升压配电装置放在户外露天布置，故称户外配电装置。

配电装置中为了正常运行以及发生故障时进行操作，装有断路器和隔离开关。断路器是在正常运行时接通和断开负荷电路，在发生故障时与继电保护配合自动断开故障电路的装置；隔离开关因为没有特殊的灭弧装置，因而不能用来接通和断开有负荷的电路，它的作用是可靠隔离电源，以保证工作人员的安全。因此，电路接通或断开时，只有在断开断路器之后，才可接通和断开隔离开关。

电气运行人员对所有电气设备的监视和控制，则有专门的主控制室，主控制室内装有测量、监察、保护、信号和控制等二次设备。

三、额定电压

发电机、变压器和用电设备的额定电压，是按长期工作时有最大经济效益所规定的电压。国家根据国民经济发展的需要、技术经济的合理性以及电机、电器制造工业的水平等因素，规定了电力设备的统一额定电压等级。现将额定电压列表 1-1。

我国对非标准电压已限制其发展，并于条件具备时，逐步进行升压改造。这样电压等级得以简化。例如东北电网的 154、44、22 kV 非标准电压，已进行了升压改造。现在我国电力系统的电压等级，经过简化后，规定的电压有 6、10、35、60、110、220、330、500 kV 和 750 kV 等 9 个等级。

(一) 电力网及用电设备的额定电压

如图 1-4 所示，当发电机在额定状态下运行，发电机电压为额定电压，供电给电力网 ab 部分。由于线路有电压损耗，负荷 1~5 点接受到不同的电压，线路首端电压 U_a 大于末端电压 U_b 。如果负荷沿线分布均匀，则线路上的电压变化大致如图 1-4 中斜线所示。设备生产必须标准化，用电设备的额定电压不可能按上述斜线变化的电压来制造，而且电力网中各点电压也不可能是恒定不变的，只能力求接近于实际工作点的工作电压。

通常，用电设备的工作电压允许在额定电压的 $\pm 5\%$ 范围内变动；线路的电压损耗从始端至末端不超过 10%。所以只要使线路始端电压 $U_a \leq 1.05 U_N$ ，而线路末端电压 $U_b \geq 0.95 U_N$ 就可以使各用电设备都能满足工作电压的要求。因此，可取线路始末端电压的平均值 U_{av} 作为

表 1-1 额定电压 (kV)

用电设备与 系统额定电压	发 电 机 额定电压	变压器额定电压	
		一次绕组	二次绕组
0.22	0.23	0.22	(0.23)
0.38	0.40	0.38	0.40
3	3.15	3, 3.15*	3.15, 3.3
6	6.3	6, 6.3*	6.2, 6.6
10	10.5	10, 10.5	10.5, 11
	13.8	13.8*	
	15.75	15.75	
	18		
35		35	38.5
60		60	66
110		110	121
220		220	242
330		330	363
500			
750			

注 (1) 括号中电压用于保安条件较高场所；
(2) 标 * 号电压用于发电机电压的变压器。

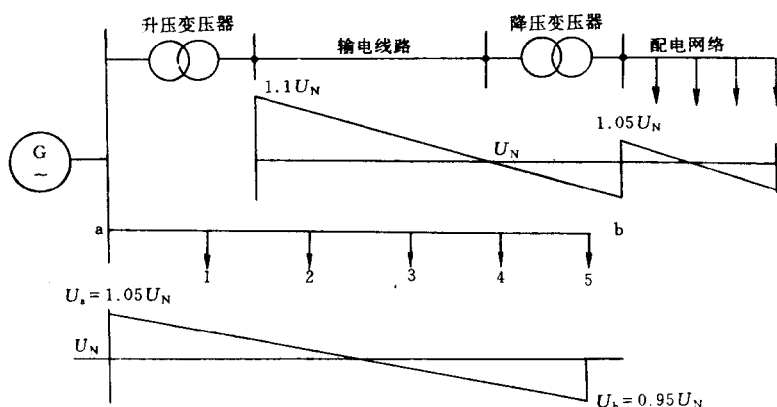


图 1-4 电力网中的电压分布

电力网的额定电压，即

$$U_{av} = \frac{U_a + U_b}{2} = U_N$$

故用电设备额定电压等于电力网的额定电压。

根据经验，110 kV 及以下的电压级差一般都应超过三倍，如 110、35、10 kV；110 kV 以上的电压级差则以两倍左右为宜，如 110、220 kV。其他各级电压等级的使用范围，除 3 kV 只限于工业企业内部采用外，大体是：500、330、220 kV 多半用于大电力系统的主干线；110 kV 既用于中小电力系统的主干线，也用于大电力系统的二次网络；35 kV 既用于大城市或大工业企业内部网络，也广泛用于农村网络；10 kV 则是最常用的较低一级配电电压；只有负荷中高压电动机的比重很大时，才考虑以 6 kV 配电的方案。显然，这种划分不是绝对的，也不是一成不变的。随着容量的增大，大电力系统主干线电压级进一步提高后，330、220 kV 就可能退而为二次网络电压。

（二）发电机额定电压

发电机是电源，处在线路的始端。因此，发电机额定电压 U_{GN} 应比线路额定电压高 5%（即 $U_{GN} = 1.05U_N$ ），这是因为考虑一般电力网的电压损耗为 10%，如果始端的电压比电力网额定电压高 5%，则末端电压比电力网额定电压低 5%，从而满足电力网允许电压损耗为 10%，保证用电设备的工作电压偏移不会超出允许范围 $\pm 5\%$ 的要求。

目前，1 kV 以下的电压等级仅用于小容量发电机，3.15 kV 用于 6 MW 及以下容量的发电机；6.3 kV 广泛用于 0.75~50 MW 各种容量的发电机；10.5 kV 用于 12~100 MW 的发电机；13.8 kV 用于 72.5~100 MW 的水轮发电机及 125 MW 的汽轮发电机；15.75 kV 用于 110~225 MW 的水轮发电机及 200 MW 的汽轮发电机；18 kV 用于 300 MW 的水轮及汽轮发电机。

（三）变压器额定电压

按变压器的工作原理，一台变压器既可作升压运行，又可作降压运行，我们称接电源的一侧为一次绕组，接负荷的一侧为二次绕组。接负载的二次绕组对负载而言，相当于电

源,则二次绕组满载时的电压一般应比线路额定电压高5%。国产变压器二次侧额定电压是指当一次侧加额定电压且处于空载时的电压值,若变压器接上负载后,除了作为电源应比线路额定电压高5%外,变压器阻抗上流过的电流同样要产生阻抗压降,所以在电力系统实际应用中,从满足用户电压要求来看,运行中的额定电压比铭牌上的额定电压应高一些。

1. 升压变压器

一次侧接电源,则一次侧额定电压应等于发电机额定电压,同样比所接电网额定电压高5%;二次侧额定电压考虑到变压器阻抗上及线路上的电压损耗,所以应比电力网的额定电压高10%,即 $U_{1N}=1.05U'_N$, $U_{2N}=1.1U''_N$, U'_N 和 U''_N 分别指发电机母线上所接电力网和变压器二次侧所接电力网的额定电压。常见的如:6.3/38.5、10.5/121、6.3/38.5/121、13.8/121/242 kV等。若线路较短,则变压器二次侧额定电压可制成比线路额定电压只高5%,如18/231 kV。

2. 降压变压器

降压变压器一次侧接电力网,故一次侧额定电压等于电力网额定电压,即 $U_{1N}=U_N$ 。二次侧额定电压比电网额定电压高10%,即 $U_{2N}=1.1U_N$ 。常见的如:35/11、35/6.6、110/11、110/38.5/11、330/242/11 kV等。当线路很短时,则二次额定电压可比线路额定电压高5%,如220/121/10.5(表示10 kV的线路短),10/0.4 kV(表示变压器的低压侧线路短)。可见,若将升压变压器当作降压变压器用时,显然,其低压侧电压比要求值偏低。同样,若将降压变压器当作升压变压器使用时,其高压侧电压要比要求值偏低。

四、额定电流及额定容量

发电机、变压器、电动机和其他电器的额定电流,是指在一定的周围介质计算温度和绝缘材料允许温度下,允许长期通过的最大电流值。

发电机、变压器、电动机和其他电器的额定容量,其规定条件和额定电流相同。发电机的额定容量用有功功率(kW)或视在功率(kVA)和功率因数表示。变压器额定容量规定为视在功率(kVA)。电动机额定容量为有功功率(kW)。

第三节 电力系统过电压概述

有关电力系统过电压及其防护问题的详细讨论将在本书第二篇中进行,本节仅对电力系统过电压问题作概略性叙述。

电力系统在正常运行状态下,电气设备的绝缘只承受额定电压的作用。但是,由于雷电、操作、故障以及系统各参数配合不当等原因,电力系统中某些部分的电压可能升高,有时会大大超过正常状态下的数值。这种超过正常运行电压并可能使电气设备绝缘或保护设备损坏的电压升高称为过电压。在电力系统的绝缘事故中,有相当多的一部分是由于过电压引起的。所以过电压及其防护问题的研究,对保证电力系统的安全运行具有重要的意义。

过电压分为大气过电压和内部过电压两大类。大气过电压是在雷云放电时产生的,所以又叫外部过电压或雷过电压。雷云放电的电压高达几千到上万千伏甚至更高,对电力系统的绝缘威胁很大,必须设法进行防护。内部过电压又分为两类,一类是由于开关操作或系统故障所引起的,称为操作过电压,例如切除或者合闸空载长线路过电压,切除空载变

压器过电压，电弧接地过电压等；另一类是由于电力系统中电感与电容参数在特定配合下发生谐振而引起的，称为谐振过电压，例如线性谐振过电压，非线性（铁磁）谐振过电压，参数谐振过电压等。内部过电压是在电力系统额定电压的基础上发展的，其幅值大体上随电力系统额定电压的数值按比例增大，可用电力系统最高运行相电压幅值的倍数来表示，通常可达最高运行相电压的 2.5~4 倍。内部过电压对电力系统的危害也很大，如果没有适当的防护措施，可能引起设备绝缘事故，损失是很严重的。

电力系统中各种绝缘的耐电强度，应当和受限制后的过电压值协调起来，即应有合理的绝缘配合，对过电压研究越彻底，绝缘配合就越有依据，这就有助于在经济的基础上保证电力系统可靠地运行。应该特别指出的是，随着国民经济的发展，我国新的大量的超高压电网正在加速建立，为此，进一步地研究过电压及其防护问题，就显得格外重要。

复 习 思 考 题

- 1—1 电力网、电力系统各包括哪些内容？
- 1—2 发电厂和变电站是如何分类的？
- 1—3 何谓电气接线和配电装置？各包括哪些内容？
- 1—4 参见图 1-4 电力网中的电压分布，假定输电线路、配电网络及 ab 网络的额定电压分别为 $U_{N\text{输}}$ 、 $U_{N\text{配}}$ 、 $U_{N\text{ab}}$ ，试说明各设备的额定电压。
- 1—5 什么叫过电压？怎样对过电压进行分类？

第二章 电力系统中性点的运行方式

电力系统的中性点是指三相电力系统中作星形连接的变压器或发电机的中性点。三相电力系统中性点的运行方式有：中性点不接地方式（绝缘）、经电阻接地方式、经电抗接地方式、经消弧线圈接地方式和直接接地方式等。我国电力系统目前采用的中性点运行方式主要有三种：中性点不接地、经消弧线圈接地和直接接地。前两种又称小接地电流系统，后一种又称为大接地电流系统（有效接地系统）。

如何选择发电机或变压器中性点的运行方式 是一个比较复杂的综合性的技术经济问题，不论采用哪一种运行方式，都涉及到供电可靠性、过电压与绝缘配合、继电保护和自动装置的正确动作、系统的布置、电讯及无线电干扰、接近故障点时对生命的危险以及系统稳定等一系列问题，下面我们仅对电力系统中性点的三种常见运行方式分别加以讨论。

第一节 中性点不接地的三相系统

在电力发展史上，初期由于电力系统输送容量不大，输电电压较低，输送距离不长，所以采用中性点不接地的运行方式作为主要方式，就能够满足可靠地为用户供电的要求。但是，随着电力工业的迅猛发展，电力系统的容量日益增大，输电电压越来越高，输电距离越来越长，线路对地电容电流也随之增大，这样，当系统中发生单相接地故障时，在接地处就有较大的电容电流通过，并产生强烈的不能自行熄灭的电弧，从而引起事故的进一步扩大。下面对中性点不接地系统在各种工作状态下的有关情况加以分析。

一、正常运行

图 2-1 为中性点不接地的三相系统的正常工作状态示意图。电力系统的三相导线之间及各相导线对地之间，沿导线全长都分布有电容，如三相导线换位良好，各相对地的电容是相等的，可用集中于线路中央的电容 C 来代替，即 $C_A = C_B = C_C = C$ ；因为在发生单相接地时，线电压不变（经过下面的分析可得此结论），相间电容电流也不会改变，故相间电容可不予考虑。

中性点不接地的三相系统正常运行时，可认为三个相电压 U_A 、 U_B 、 U_C 是对称的，电源各相提供的电流 I_A 、 I_B 、 I_C 分别等于各相的负荷电流 I_{IA} 、 I_{IB} 、 I_{IC} 和各相对地电容电流 I_{AO} 、 I_{BO} 、 I_{CO} 的相量和，如图 2-1 (b) 所示。那么在三相对称电压作用下各相对地电容电流大小相等，其数值为

$$I_{AO} = I_{BO} = I_{CO} = \frac{U_\varphi}{X_C} = \omega C U_\varphi$$

式中 U_φ ——电源相电压 (V)；

C ——一相对地电容 (F)；

ω ——角频率 (rad/s)。