

电 气 技 术 丛 书

变电所运行与管理

● 唐小波 李天然 钱旭盛 编



化学工业出版社

中国电力出版社

变电所运行与管理

第二版 王德明 王德明 王德明 编

中国电力出版社

电气技术丛书

变电所运行与管理

● 唐小波 李天然 钱旭盛 编

图书在版编目(CIP)数据

变电所运行与管理/唐小波,李天然,钱旭盛编. —北京:化学工业出版社,2008.11

(电气技术丛书)

ISBN 978-7-122-01782-0

I. 变… II. 唐… III. ①变电所—运行 ②变电所—管理 IV. TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第203178号

责任编辑: 刘 霞
文字编辑: 关开亮
责任设计: 王 英

责任编辑: 刘 霞
责任设计: 王 英

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南路13号 邮政编码100011)

印 装: 化学工业出版社
787mm×1092mm 1/16 印张11.5 字数286千字 2008年3月北京第1版第1次印刷

购书热线: 010-64218683 (传真) 010-64218689



化学工业出版社

网 址: <http://www.cip.com.cn> 凡购本书,如有质量问题,本社负责调换。

北京

定价: 36.00元

定价: 36.00元

本书主要介绍了变电所的主接线、电气设备的选择、电气设备的运行维护、电气设备的检修、变电所的倒闸操作、变电所的运行管理、安全运行及触电急救等内容。

本书内容结合运行实践,新颖实用,针对性强,语言通俗易懂,适用于广大的变电运行人员、电气技术管理人员,也可供相关电气运行培训的教师和大中专学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

变电所运行与管理/唐小波,李天然,钱旭盛编. —北京:化学工业出版社,2008.1

(电气技术丛书)

ISBN 978-7-122-01755-0

I. 变… II. ①唐…②李…③钱… III. ①变电所-电力系统运行②变电所-管理 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 203178 号

责任编辑:刘 哲

文字编辑:吴开亮

责任校对:洪雅姝

装帧设计:于 兵

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 11¼ 字数 288 千字 2008 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:26.00 元

版权所有 违者必究

丛 书 前 言

进入 21 世纪,科学技术在许多领域,特别是在信息、先进制造、先进材料、生物、能源技术等高新技术领域的飞速发展,使社会、经济和人民生活发生了巨大的变化。全球范围的竞争主要表现在人才的竞争,国家“十一五”时期推进实施人才强国战略的主要任务之一是实施专业技术人才知识更新工程和战略高技术人才培养工程。

科学是技术的源头,但直接作用于生产实际的是技术。加强工程教育,重视工程技术人才的培养,是一项长期的系统工程。“十一五”规划提出:加快构建终身教育体系,建立继续教育、终身学习的平台,完善终身学习保障机制,着力提高全民科学文化素质,提高公民的学习能力、实践能力和创新能力,加快建立学习型社会。对每一个投身工程领域的人,继续教育、终身学习已成为适应社会发展和科技进步的必需。科学发展和技术进步,体现在生产一线和工程实际中。已走出校门的工程技术人员除应当具有本专业领域比较深厚的理论基础外,相关领域的专业知识和新技术也是关注和涉猎的,这是专业交叉,学科融合的大趋势给我们提出的要求。

电能与其他二次能源相比,具有易于传输、方便控制、利于环保的优点。随着经济的发展和科技的进步,电能的利用越来越广泛,社会对电气工程人才的需求越来越大,要求越来越高。针对电气工程人才的社会需求,以及工程技术人员对电气工程领域的专业知识和新技术的关注,南京师范大学电气与自动化工程学院组织编写了这套电气技术丛书,希望通过这套丛书将电气工程领域的有关技术和发展奉献给读者,以达到联系工科教育、工程技术和生产实际的目的。这套丛书从规划选题开始就确立了以基本原理为基础、以工程应用和新技术为主线的编写思路,内容涵盖了电气工程领域中发电、变电、继电保护、防雷与接地、绝缘技术、电源技术、电气控制技术、电气测量技术、电梯与照明技术以及变频器技术等。在编写上注意以基础理论够用,强调工程应用为原则,反映新技术,注重启发性和实践性。

这套丛书的编者有从事工科教育的高等学校教师,有生产一线的工程师。大家都怀着为读者奉献高质量图书的良好愿望,但不足之处一定会有,真诚地希望读者及时给予批评和指正。

南京师范大学电气与自动化工程学院

前 言

随着国民经济的飞速发展和人民生活水平的不断提高，电力工业也得到了迅猛的发展。特别是进入新世纪以来，国家加大了城乡电网建设和改造的力度。变电所的安全运行直接关系到电网的安全稳定，影响电网的供电质量，与社会生产和人民生活密切相关。为了适应新时期变电运行人员工作和学习培训的需要，提高电气运行人员技术素质，促进和加强电气运行的技术管理，使得变电运行工作逐步走向正规化、规范化、标准化，我们组织编写了《变电所运行与管理》一书。

本书紧紧围绕变电所的设计、运行、维护和管理工作的系统性地介绍了变电所的主接线、电气设备的选择、电气设备的运行维护和检修安全运行及触电急救等内容，深入浅出地阐述了与变电所倒闸操作密切相关的规范和规程，深入讨论了变电所规范化运行管理的各项规章制度，分析了电气运行操作中的问题及处理方法。全书尽量做到有针对性和实用性，在保证科学性的同时，注重通俗性。

本书在写作过程中，在资料收集和信息交流上，得到了国内的专业学者和同行的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概论	1
第一节 变电所和电力系统	1
第二节 电力系统的额定电压	3
第三节 电力系统中性点运行方式	4
第四节 电力系统负荷和供电可靠性	7
第五节 电能的质量指标	9
第二章 变电所的电气接线	12
第一节 变电所电气接线概述	12
第二节 变电所的主接线	13
第三节 变电所的二次接线	16
第三章 变电所的电气设备及选择	35
第一节 短路电流计算	35
第二节 主变压器的选择	45
第三节 高压电器的选择	47
第四节 低压开关设备的选择	58
第五节 二次回路设备的选择	63
第四章 变电所电气设备的运行	67
第一节 电力变压器的运行	67
第二节 互感器的运行	90
第三节 断路器的运行	96
第四节 隔离开关的运行	104
第五节 防雷装置和接地装置的运行	106
第六节 电力电容器的运行	107
第七节 盘、柜、台、箱及二次回路接线和运行	111
第八节 电力电缆的运行	113
第九节 架空电力线路的运行	115
第十节 中压配电网络设备的运行	117
第五章 变、配电设备的检修	119
第一节 变、配电设备检修概述	119
第二节 变、配电设备检修的内容	120
第三节 检修计划的编制与实施	135
第六章 变电所的倒闸操作	140
第一节 变、配电所的倒闸操作的基本概念	140
第二节 倒闸操作的组织措施和技术措施	140
第三节 倒闸操作的程序	141

第四节	倒闸操作的技术要领	143
第五节	操作票的填写	145
第六节	变电所常见的倒闸操作	148
第七章	变电所的管理	153
第一节	变电所的运行管理	153
第二节	变电所设备管理	160
第三节	变电所技术管理	165
第八章	安全技术	172
第一节	安全工作制度	172
第二节	触电急救	176
参考文献		179

第一章

概论

第一节 变电所和电力系统

在目前各种形式的能源中,电能具有以下特点:

- ① 易于与其他形式的能量相互转化;
- ② 传输和分配简单经济;
- ③ 可以精确控制、调节和测量。

因此,电能工农业生产和人民日常生活中得到广泛应用,生产、传输和分配电能的电力工业在国民经济中占有十分重要的地位。电能是由发电厂生产的,而发电厂多建立在一次能源丰富的地方,距城市和工业企业可能很远,这就需要将电能输送到城市和工业企业,然后再分配到用户或生产车间的各个用电设备。现就电能的生产、输送、分配和使用的有关基本知识介绍如下。

一、电力系统

如图 1-1 所示,一个完整的电力系统 (electrical power system) 由分布各地的各种不同类型的发电厂、变电所、输电线路及电力用户组成,它们分别完成电能的生产、电压变换、电能的传输、分配及使用。

1. 发电厂

发电厂 (generating plant) 按一次能源介质划分为燃煤或燃油的火力发电厂、利用水位能的水力发电站、利用核能发电的核电站等。此外,还有小容量的太阳能发电厂、风力发电厂、地热发电厂和潮汐发电厂等,正在研究的还有磁流体发电和氢能发电等。

目前我国电力系统中以火力发电厂、水力发电厂和核能发电厂为主。火力发电厂是利用煤、石油、天然气等燃料燃烧时所产生的热量,将锅炉中的水加热成高温高压蒸汽,再用蒸汽推动汽轮发电机组进行发电。我国火力发电厂燃料以煤炭为主,随着西气东输工程的进行,将逐步扩大天然气燃料的比例。水力发电厂与火力发电厂相比,成本低且没有环境污染。另一方面,由于水轮机组开、停比较快,效率高,故很适于担任调频、调峰任务。因此,将水力发电厂与火力发电厂同连于一个电力系统,不仅可以提高系统电能质量,而且可以使火电厂稳定运行在高效率区。核能发电厂的生产过程与火力发电厂有许多相同的地方,所不同的只是用核反应堆和蒸汽发生器代替了锅炉。

2. 变电所

变电所 (substation) 是变换电能电压和接受分配电能的场所,是联系发电厂和电能用户的中间枢纽。如果仅用于接受电能和分配电能,则称为配电站 (distribution station) 或开闭所,而仅用以把交流电能变换成直流电能,则称为变流所。

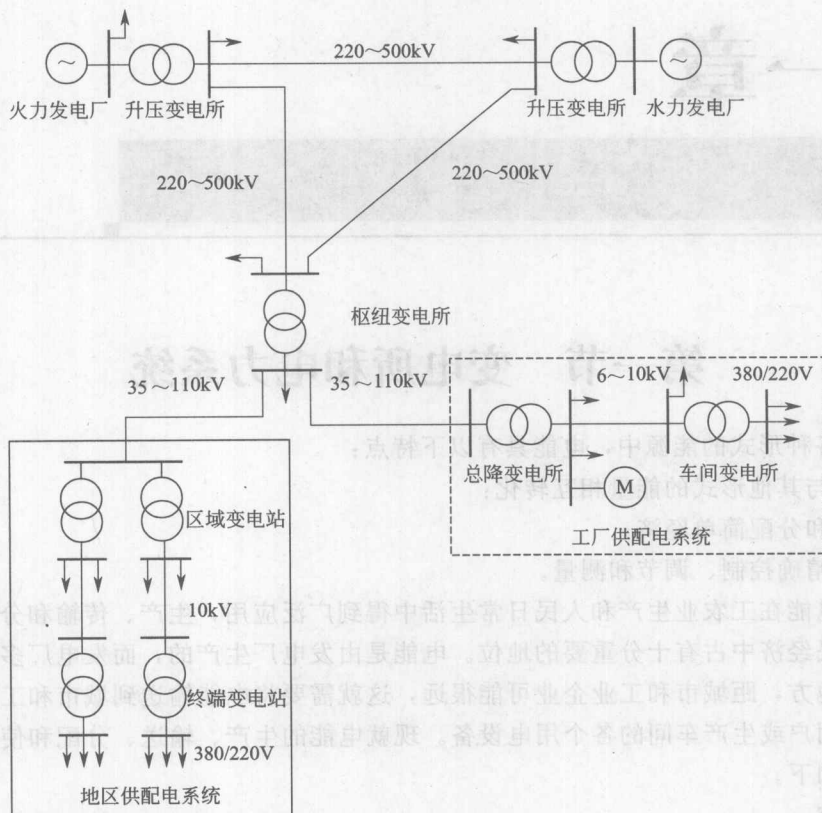


图 1-1 电力系统示意图

变电所有升压和降压之分。升压变电所一般和大型发电厂结合在一起，把电能电压升高后，再进行长距离输送。降压变电所多设在用电区域，将高压适当降低后，对某地区或某用户供电。所以，变电所的主要任务是变换电压，其次还有集中和分配电能、控制电能的流向和调整电压的任务。

3. 电力网

输电线路和配电线路统称为电力网（electrical power network）。电力网是输送电能和分配电能的通道，是联系发电厂、变电所和电能用户的纽带。它由各种不同电压等级和不同结构类型的线路组成。通常将 220kV 及以上的电力线路称为输电线路，110kV 及以下的电力线路称为配电线路。配电线路又分为高压配电线路（110kV）、中压配电线路（6~35kV）和低压配电线路（380/220V），其中 110kV 线路常又称为供电线路。电力网的接线方式可分为开式网、两端供电网和环网。

4. 电能用户

凡取用电能的单位均称为电能用户，如工业用户、农业用户、市政商业用户和居民用户，其中工业企业用电量约占我国全年总发电量的 64%，是最大的电能用户。

二、变电所的分类

变电所在电力系统中的地位和作用是确定变电所属于哪种类型的主要标志。变电所可分为以下六种类型。

1. 枢纽变电所

这是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，所址在系统中的地理位置适中。

2. 开闭所（开关站）

这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性，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。开闭所一般设在长距离干线的中段或 1/3、2/3 处。若开闭所与中间变电所合并，则可节约投资。

3. 中间变电所

它除起系统功率交换作用，使长距离输电干线分段外，尚要降压供电给当地用电户。一般从超高压主要环状线路或主要干线上破口引入变电所，出线回路数不多，所处地理位置靠近线路破口引入处。

4. 地区变电所

这是一个地区或中等城市的主要变电所，电压等级一般为 220kV，容量最多为 200～300MV·A。

5. 企业变电所

这是工矿企业的专用变电所，其中大型联合企业的总变电所电压多为 220kV，容量为 200～300MV·A。一般企业变电所电压多为 110kV。

6. 终端变电所（包括分支）

接线较简单，所处位置接近负荷点，电压等级多为 110kV。

第二节 电力系统的额定电压

电力系统的额定电压（rated voltage）包括电力系统中各种供、用电设备和电网的额定电压。所谓电气设备的额定电压，就是能使电气设备长期运行时获得最好经济效益的电压，它是根据国民经济发展的需要，考虑经济技术上的合理以及电机、电器制造水平和发展趋势等因素，经全面分析研究而制定的。我国规定的三相交流电网和电气设备的额定电压见表 1-1。

表 1-1 我国交流电网和电气设备的额定电压

分类	电网和用电设备 (额定电压)/kV	发电机 (额定电压)/kV	电力变压器(额定电压)/kV	
			一次绕组	二次绕组
低 压	0.38	0.4	0.38	0.4
	0.66	0.69	0.66	0.69
高 压	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
	—	13.8,15,15.75,18,20, 22,24,26	13.8,15,15.75,18,20, 22,24,26	—
	35	—	35	38.5
	60	—	60	66
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550

一、用电设备

用电设备的额定电压和电网的额定电压一致。实际上,由于电网中有电压损失,致使各点实际电压偏离额定值。为了保证用电设备的良好运行,国家对各级电网电压的偏差均有严格规定。显然,用电设备应具有比电网电压允许偏差更宽的正常电压范围。

二、发电机

发电机的额定电压一般比同级电网的额定电压高出5%,用于补偿线路上的电压损失。

三、变压器

变压器的一次绕组相当于用电设备,其额定电压与电网额定电压相等。但当变压器一次绕组直接与发电机相连时,变压器一次绕组的额定电压与发电机额定电压相等。

变压器的二次绕组对于用电设备而言,相当于供电设备,其额定电压有以下两种情况。

第一种情况比用电设备额定电压高10%。其中5%用于补偿变压器满载供电时一、二次绕组上的电压损失,另外5%用于补偿线路上的电压损失,因此适用于变压器供电距离较长时的情况。

第二种情况比用电设备额定电压高5%。当变压器供电距离较短时,可以不考虑线路上的电压损失,只需要补偿满载时变压器绕组上的电压损失即可。

四、线路的平均额定电压

由于线路上分布阻抗的存在,线路上的各点电压值是不一样的。在计算短路电流时,为了简化计算,习惯上用线路的平均额定电压 U_{av} (average rated voltage) 来表示线路的电压。

线路的平均额定电压指线路始端最大电压(变压器空载电压)和末端用电设备额定电压的平均值。由于线路始端最大电压比电网额定电压高10%,因而线路的平均额定电压比电网额定电压高5%。各级 U_{av} 分别为:0.4kV, 3.15kV, 6.3kV, 10.5kV, 37kV, 63kV, 115kV, 230kV, 346kV, 525kV。

第三节 电力系统中性点运行方式

在电力系统中,当变压器或发电机的三相绕组为星形连接时,其中性点可有三种运行方式:中性点直接接地、中性点不接地和中性点经消弧线圈接地。中性点直接接地系统常称大电流接地系统,中性点不接地系统和中性点经消弧线圈接地系统称小电流接地系统。中性点运行方式的选择主要取决于单相接地时电气设备绝缘及供电可靠性的要求。

我国3~60kV系统,为提高供电可靠性,一般采用中性点不接地运行方式。当3~10kV系统接地电流大于30A,35~60kV系统接地电流大于10A时,应采用中性点经消弧线圈接地的运行方式。110kV及以上系统为降低设备绝缘要求,1kV以下低压系统考虑单相负荷的使用和人身安全,通常采用中性点直接接地运行方式。

一、中性点直接接地方式

如图1-2所示,中性点直接接地系统发生一相对地绝缘破坏时,即构成单相短路,继电保护装置动作,供电中断,可靠性降低。但是,该方式下非故障相对地电压不变,电气设备绝缘水平可按相电压考虑。

二、中性点不接地方式

中性点不接地系统在正常运行时,各相对地分布电容相同,三相对地电容电流对称且其

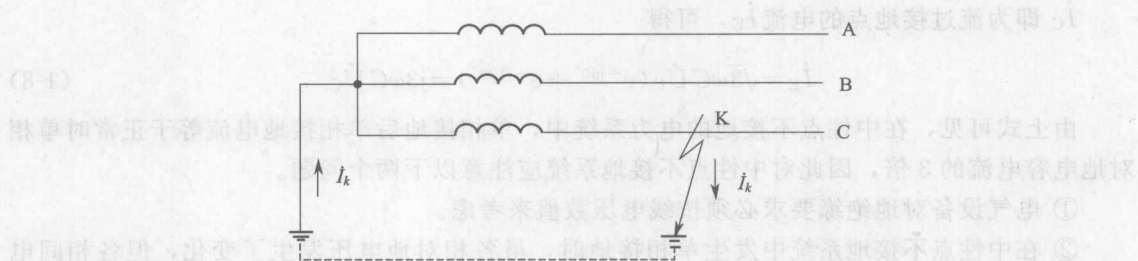


图 1-2 发生单相接地时的中性点直接接地电力系统

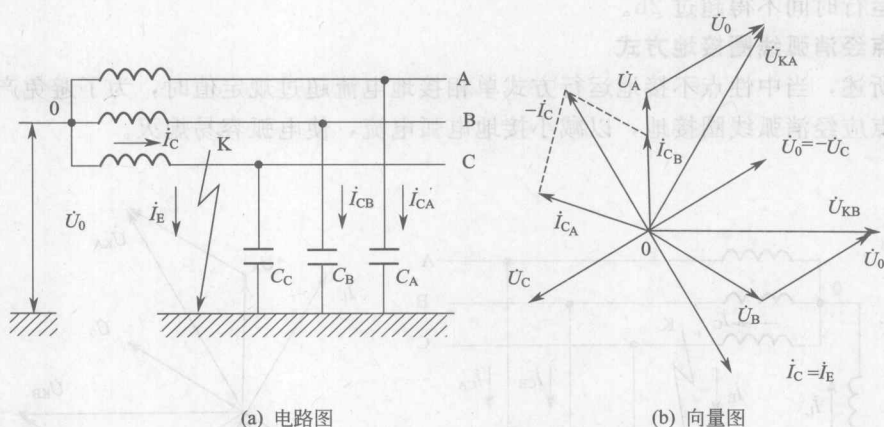


图 1-3 中性点不接地系统的单相接地

和为零，各相对地分布电压为相电压。

图 1-3 所示为发生单相接地故障时（C 相在 K 点发生金属性接地）的情况。

故障相对地电压、中性点对地电压、非故障相对地电压分别为

$$\dot{U}_{KC} = 0 \quad (1-1)$$

$$\dot{U}_0 = -\dot{U}_C \quad (1-2)$$

$$\dot{U}_{KA} = \dot{U}_A + \dot{U}_0 = \dot{U}_A - \dot{U}_C = \sqrt{3}\dot{U}_C e^{-j150^\circ} \quad (1-3)$$

$$\dot{U}_{KB} = \dot{U}_B + \dot{U}_0 = \dot{U}_B - \dot{U}_C = \sqrt{3}\dot{U}_C e^{+j150^\circ} \quad (1-4)$$

以上分析表明，中性点不接地系统发生单相接地故障时，线电压不变，而非故障相对地电压升高到原来相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。

故障发生后，由于非故障相对地电压升高了，其对地电容电流也随之相应地增大，而故障相对地电容被短接，其对地电容电流为零。即

$$\dot{I}_{CA} + \dot{I}_{CB} + \dot{I}_{CC} = \dot{I}_{CA} + \dot{I}_{CB} = -\dot{I}_C \quad (1-5)$$

式中

$$\dot{I}_{CA} = j\sqrt{3}\omega C_A \dot{U}_C e^{-j150^\circ} = \sqrt{3}\omega C \dot{U}_C e^{-j60^\circ} \quad (1-6)$$

$$\dot{I}_{CB} = j\sqrt{3}\omega C_B \dot{U}_B e^{+j150^\circ} = \sqrt{3}\omega C \dot{U}_C e^{-j120^\circ} \quad (1-7)$$

$\dot{I}_C$ 即为流过接地点的电流 $\dot{I}_E$, 可得

$$\dot{I}_E = \sqrt{3}\omega C \dot{U}_C (e^{-j60^\circ} + e^{-j120^\circ}) = j3\omega C \dot{U}_C \quad (1-8)$$

由上式可见, 在中性点不接地的电力系统中, 单相接地后单相接地电流等于正常时单相对地电容电流的 3 倍, 因此对中性点不接地系统应注意以下两个问题。

① 电气设备对地绝缘要求必须按线电压数值来考虑。

② 在中性点不接地系统中发生单相接地时, 虽各相对地电压发生了变化, 但各相间电压并未改变, 其三相线电压仍然是三相对称的, 因此, 中性点不接地系统单相接地时仍可继续工作, 但为了防止非故障相中再有一相发生接地, 造成两相短路, 供电规程规定, 单相接地后继续运行时间不得超过 2h。

三、中性点经消弧线圈接地方式

如前所述, 当中性点不接地运行方式单相接地电流超过规定值时, 为了避免产生断续电弧, 中性点应经消弧线圈接地, 以减小接地电弧电流, 使电弧容易熄灭。

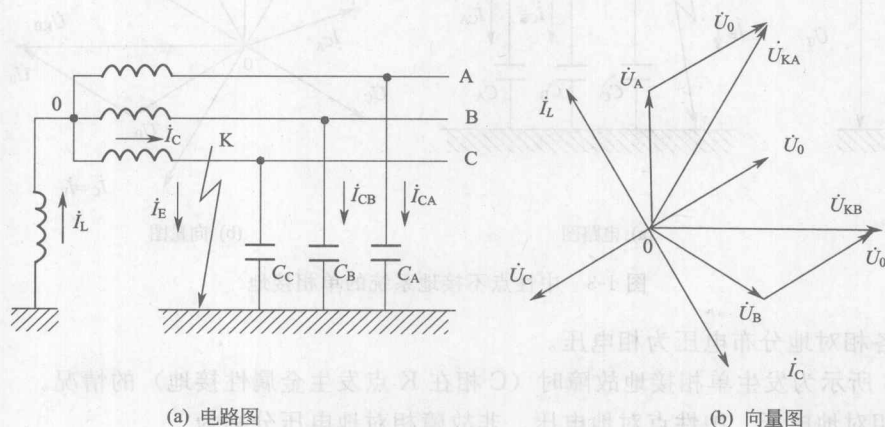


图 1-4 中性点经消弧线圈接地电力系统的单相接地

从图 1-4 中可以看出, 当中性点经消弧线圈接地系统发生单相接地时, 消弧线圈所产生的电感电流恰好与接地电容电流方向相反, 适当调节这个电流可使其与接地点的电容电流互相补偿, 使得总的接地电流变得很小或近于零, 从而有利于消除接地点的电弧以及由此引起的其他危害, 消弧线圈也因此得名。

消弧线圈对电容电流的补偿可以有三种方式: 全补偿, $\dot{I}_L = \dot{I}_C$; 欠补偿 $\dot{I}_L < \dot{I}_C$; 过补偿 $\dot{I}_L > \dot{I}_C$ 。在电力系统中一般不采用完全补偿的方式, 而采用过补偿运行方式。如果采用完全补偿, 此时容抗与感抗相等, 正满足电磁谐振条件, 一旦中性点对地出现电压, 就会产生很大的电流, 使消弧线圈上产生很大电压降, 这个电压同时加在设备对地绝缘上, 可能造成设备绝缘损坏。采用欠补偿时, 一旦部分线路停止运行, 有可能出现完全补偿形式。因此, 在实际运行中都采用过补偿, 正常时因中性点对地电压为零, 没有电流流过, 单相接地时有很小的感性电流流过, 既保证电弧容易熄灭, 又不会过渡到全补偿。

中性点经消弧线圈接地系统, 在单相接地时各相对地电压的变化与不接地系统基本相同, 不再赘述。

第四节 电力系统负荷和供电可靠性

一、负荷分类

1. 按能量消耗分类

(1) 用电负荷 用电负荷是指用户的用电设备在某一时刻实际取用的功率总和。

(2) 线路损失负荷 电能从发电厂到用户的输送过程中,不可避免地会发生功率和电能量的损失,与这种损失所对应的功率,叫线路损失负荷。

(3) 供电负荷 用电负荷加上同一时刻的线路损失负荷,是发电厂对外供电时所承担的全部负荷,称为供电负荷。但有些大电网在计算供电负荷时,减去了属于电网调管的高压一次网损,称为电网的供电负荷,有的电网把属于地区调管的公用发电厂厂用电负荷也作为地区供电负荷。

(4) 厂用电负荷 电厂在发电过程中要消耗一部分功率和电能,称为厂用电负荷。

(5) 发电负荷 电网对外担负的供电负荷,加上同一时刻各发电厂的厂用电负荷,构成电网的全部生产负荷,称为电网发电负荷。

2. 按电力系统中负荷发生的时间分类

(1) 高峰负荷 又称最大负荷,指电网或用户在一天时间内所发生的最大负荷值。为了分析的方便,常以小时用电量作为负荷。高峰负荷又分为日高峰负荷和晚高峰负荷,在分析某单位的负荷率时,选一天 24h 中最高的一个小时的平均负荷作为高峰负荷。

(2) 低谷负荷 又称最小负荷,是指电网在一天 24h 中发生的用电量最少的一个小时的平均电量。为了合理用电,应尽量减少发生低谷负荷的时间,对于电力系统来说,峰、谷负荷差越小,用电则越趋近于合理。

(3) 平均负荷 是指电网中或某用户在某一确定时间阶段的平均小时用电量。为了分析负荷率,常用日平均负荷,即一天的用电量被一天的用电小时来除。

为了安排用电量,做好用电计划,往往也用月平均负荷和年平均负荷。

3. 用电负荷分类

根据用户在国民经济中所在部分分为四类:工业用电负荷、农业用电负荷、交通运输用电负荷、照明及市政生活用电负荷。

根据突然中断供电所引起的损失程度分为三类。一类负荷,也称一级负荷,是指突然中断供电将会造成人身伤亡或会引起对周围环境严重污染的;会造成经济上的巨大损失,如重要的大型设备损坏、重要产品或用重要原料生产的产品大量报废、连续生产过程被打乱且需长时间才能恢复生产的;会造成社会秩序严重混乱或产生政治上的严重影响的,如重要的交通与通信枢纽、国际社交场所等的用电负荷。二类负荷,也称二级负荷,是指突然中断供电会造成较大经济的损失,如生产主要设备损坏、产品大量报废或减产、连续生产过程需较长时间才能恢复;会造成社会秩序混乱或在政治上产生较大影响,如交通与通信枢纽、城市主要水源、广播电视、商贸中心等的用电负荷。三类负荷,也称三级负荷,是指不同于上述一类和二类的其他负荷,对这类负荷,突然中断供电所造成的损失不大或不会造成直接损失。

用电负荷的这种分类方法,其主要目的是为确定供电工程设计和建设的标准,保证使建成投入运行的供电工程的供电可靠性能满足生产安全、社会安定的需要。如对于一级负荷的用电设备,应有两个或两个以上的独立电源供电,并辅之以其他必要的非电保安措施。

根据国民经济各个时期的政策和季节的要求分为三类：优先保证供电的重点负荷；一般性供电的重点负荷；可以暂时限制或停止供电的负荷。

二、供电可靠性

电力系统（包括电厂、变电所和用户）的各种电气设备、输配电线路以及这些设备、线路的保护和自动装置，都有可能发生不同类型的故障，从而影响电力系统的正常运行和对用户的正常供电。设备故障是事故停电的主要原因，应当由继电保护和自动装置来控制故障区段，或者由运行人员协助处理，以防止造成大面积停电事故。

1. 电力系统事故的主要形式

① 电力系统的稳定性破坏（各发电机之间不能维持正常运行，系统的电流、电压和功率发生大幅度波动，这种现象叫做电力系统的稳定性破坏），使系统解裂成几个部分，造成几座电厂全部停电，并失去大量负荷。

② 大电源（发电机、变压器、输电线路）突然断开，使全系统或受电地区的电力出现严重不足的现象，频率、电压大幅度下降。

2. 停电对用户的影响

停电是指对用户的供电中断。停电按性质可分为两类：计划停电和故障停电。

计划停电是指有计划安排的停电，可以事先通知用户。如因设备检修或系统施工等引起的停电就属此类。因为计划停电是有准备的停电，所以给用户造成的损失较小。

故障停电是指由于系统设备发生故障造成的用户供电的突然中断。因为事先无法预告，因而给用户造成的损失比计划停电大得多。停电对用户的影响视该用户的用电目的、生活水平、社会环境等不同而不同。

停电给用户造成的损失分为直接损失和间接损失。直接损失如设备损坏、生产停滞、计算机服务或数据遭到破坏等；间接损失如被迫修改计划造成的损失、人员加班的额外开支、税收损失等。

造成事故的原因是多方面的。统计资料表明，电力系统稳定性破坏的直接原因中，设备质量差占 32%，自然灾害占 16.6%，继电保护误动作占 13.2%，人员过失占 17%，运行管理水平低占 21.2%。因此，要降低停电事故就必须从下面几方面做出努力。

① 尽量提高设备自身的可靠性，及时认真地检修，防患于未然。

② 改进电力系统结构，尽量减少对用户的停电。

③ 通过设置自动装置等措施，尽量防止事故扩大和尽快恢复供电。

④ 加强培训，提高运行人员的技术水平。

⑤ 加强运行管理。

3. 供电可靠性指标

可靠性是指一个元件、设备或系统在预定时间内，在规定条件下完成规定功能的能力。电力系统的功能是向用户尽可能可靠地、经济地供给合格的电能。因此，电力系统可靠性定义为向用户提供质量合格的、连续的电能的能力。

（1）电力系统常用的可靠性指标

① 平均运行可用率指标：指一年中对用户有效供电小时数与总的要求的用电小时数之比。

② 用户平均停电频率指标：指每个受停电影响的用户在一年里经受的平均停电次数。

③ 用户平均停电持续时间指标：指一年中被停电的用户经受的平均停电持续时间。

④ 系统平均停电频率指标：指系统中运行的用户在一年中经受的平均停电次数。

⑤ 系统平均停电持续时间指标：指系统中运行的用户在一年中经受的平均停电持续时间。

⑥ 电力不足时间概率：指在假定日尖峰负荷持续一整天的条件下，系统负荷需要超过可用发电容量的时间概率的总和。

⑦ 电力不足时期期望值：指在被研究的一段时间内，负荷需要超过可用发电容量的时期期望值。

⑧ 电力不足期望值：指在被研究的一段时间内，由于负荷需要超过可用发电容量而引起用户停电的平均值。

⑨ 电力不足概率：指在被研究的一段时间内，由于供电不足而使用户停电的电量损失的期望值与该时间内用户所需全部电量的比值。

⑩ 电量不足期望值：指在被研究的时间段内，由于电力不足，引起用户停电而损失的电量的平均值。

(2) 电力系统供电可靠性评价

由于构成电力系统的各种设备的可靠性特点不同，在进行电力系统可靠性评价时，常把整个系统分为三部分，分别进行评价。

① 电源部分：电源可靠性。

② 送变电部分：送变电可靠性。

③ 配电部分：配电可靠性。

4. 提高供电可靠性的措施

电力系统的供电可靠性，与发、供电设备和线路的可靠性、电力系统的结构和接线（包括发电厂和变电所的电气主接线）、备用容量、运行方式以及防止事故连锁发展的能力有关。因此，在电力系统规划设计和运行阶段，都应注意提高供电的可靠性，其措施有如下几项。

① 提高发、供电设备的可靠性。采用可靠的发、供电设备，做好发、供电设备的维护工作，并防止各种可能的误操作。

② 提高送电线路的可靠性。电力系统的重要线路采用双回路。

③ 选择合理的电力系统结构和接线。对重要用户采用双电源供电。

④ 保持适当的备用容量，使系统的装机容量比最高负荷大 15%~20%。

⑤ 制定合理的运行方式。在制定运行方式时，除必须考虑输电线路本身的输电能力外，还要考虑当某些线路或设备突然切除时，不致影响输电网络及其他线路和设备的正常运行。

⑥ 采用可靠的继电保护和安全自动装置。

⑦ 采用快速继电保护装置。

⑧ 采用以电子计算机为中心的自动安全监视和控制系统。

第五节 电能的质量指标

衡量电能质量的主要指标是电压质量、频率质量以及电压波形。

一、电压

为了保证用电设备的正常工作，要求系统电压始终保持在额定电压，电压偏差和电压波动都不得超过允许值。