

项目一

认识工厂供配电系统

项目介绍

本项目主要介绍工厂供配电系统的基本概念和基础知识,是学生学习本课程的预备知识。其主要内容有电能的特点及工厂供配电的基本要求、电力系统的组成与要求、电力系统的电压等级、电力系统中性点的运行方式、低压配电系统的接地形式和工厂供配电系统。学习本项目时,应将重点放在对基本概念的认识和基础知识的理解上。

通过参观工厂供配电系统,学生可对工厂供配电系统有一个初步的认识。

知识目标

- ◇ 掌握电能的特点及工厂供配电的基本要求。
- ◇ 掌握电力系统的组成与要求。
- ◇ 掌握电力系统的电压等级。
- ◇ 理解电力系统中性点的运行方式。
- ◇ 掌握低压配电系统的接地形式。
- ◇ 掌握工厂供配电系统的组成和工厂供配电电压的选择方法。

技能目标

- ◇ 能根据负荷大小、供电距离确定电气设备的供电电压。
- ◇ 会进行消弧线圈的巡查与维护。
- ◇ 能正确处理消弧线圈的异常运行及故障。

任务一 认识电能的特点及工厂供配电的基本要求

电能是现代工业生产和人民生活的主要能源和动力。由于电能具有从发电、供电到使用几乎同时完成的特性,因此任何一个部门或环节,电气设备的结构和装置不完善或作业人员的错误操作,都会导致电气事故的发生,引起严重的后果,轻者伤人或设备损坏,重者人员

死亡和电力系统瘫痪，波及国民经济各部门及人民生活。因此，做好电能的生产和供应就显得特别重要。

一、电能的特点

电能作为二次能源，具有很多优于其他能源的特点，如表 1-1 所示。

表 1-1 电能的特点

序号	特 点	说 明
1	易于能量转换	电能可由煤炭、石油、天然气、水力、核能、太阳能、风能等一次能源转换而来；而电能通过一定的设备或装置又能很方便地转换成机械能、光能、热能等供人们使用
2	易于远距离输送	通过输电、变电及配电设备，电能可以很方便地进行远距离输送。例如，我国规模较大的“西电东送”工程，就是将一次能源比较集中的西部发电厂发出的电能通过输电线路输送到东部发达地区
3	易于调整和控制，利于实现生产自动化	电能通过一定的设备可以很容易地实现电压高低、交直流变换和信号转换，以满足输送、配电的需要和实现生产过程的自动控制功能
4	耗费较低，利于提高经济效益	电能在现代化生产中虽然占有很重要的地位，但电能在产品生产成本中占有的比例却很小（除电化工业外）。在一般机械产品生产中，电费开支仅占产品成本的 5%左右。电能的应用有利于增加产量，提高产品质量，提高劳动生产效率，减轻工人劳动强度，降低生产成本，提高经济效益

二、工厂供配电的基本要求

工厂供配电工作要很好地为工业生产服务，切实保障工厂生产和生活用电的需求，并做好安全用电、节约用电和计划用电工作。工厂供配电的基本要求如表 1-2 所示。

表 1-2 工厂供配电的基本要求

序 号	要 求	说 明
1	保证供电的安全可靠	保证安全、可靠地供电是工厂供配电工作的首要任务。工厂供电一旦中断将导致生产停顿、生活秩序混乱，甚至会发生人身和设备安全事故，造成严重的经济损失和社会影响。 工厂供配电的可靠性应满足电能用户对供电可靠性（连续供电）的要求。可靠性应与负荷的类别和性质相对应，对于不同生产类别和性质的负荷，其供电可靠性要求不同，应根据具体情况和要求，保证必要的供电可靠性要求。对于在供配电工作中的安全性，应确保在工厂供配电工作中不发生任何人身和设备安全事故。 保证供电的安全可靠，除要求供电电源要可靠外，还与工厂供配电系统的设计、电气设备的选择和运行维护等因素有关
2	保证良好的电能质量	衡量工厂供电电能质量的指标是电压和频率。我国规定交流电的频率为 50Hz（工频），允许偏差范围是 $\pm 0.2 \sim \pm 0.5\text{Hz}$ ；各级额定电压允许偏差为 $\pm 5\%U_N$ 。保证良好的电能质量，就是在工厂供配电工作中，保证电能的频率和电压相对比较稳定，偏差范围在国家规定的允许范围之内，保证工厂供配电系统中电气设备的使用寿命，保证工厂供配电系统的运行安全和生产产品的质量

续表

序 号	要 求	说 明
3	保证灵活的运行方式	保证灵活的运行方式，主要是指工厂供配电系统主接线的设计应力求简单，且可根据负荷变化的需要，能灵活、简便、迅速地由一种运行状态切换到另一种运行状态，避免发生误操作。另外，在不停电的情况下，能保证设备的维护、检修工作安全、方便地进行
4	保证具有经济性	保证具有经济性，主要是指在安全、可靠、优质供配电的前提下，使工厂供配电系统的建设和年运行费用最低。由于工厂供配电系统建设和电费指标占企业产品成本的比例较小，因此在工厂供配电系统设计和设备购置上，应充分考虑工厂供配电系统运行的灵活性，保证主要电气设备的质量



阅读材料：我国电力供给能力
实现跨越式快速增长

任务二 认识电力系统的组成与要求

一、电力系统的组成

电能是由发电厂供给的，发电厂一般建在动力资源丰富的地方，往往距离负荷比较集中的大、中城市和企业较远。因此，电能必须通过输配电线路和变电站输送。电能输送到城市和企业后，还需要进一步将电能分配到用户或车间。同时，为了提高供配电的可靠性和实现经济运行，往往将许多发电厂和电网连接在一起运行。由发电厂、电网和用户组成的统一整体称为电力系统。这一系统使得电能的生产、输送、分配和使用过程保持严格的平衡，如图 1-1 所示。

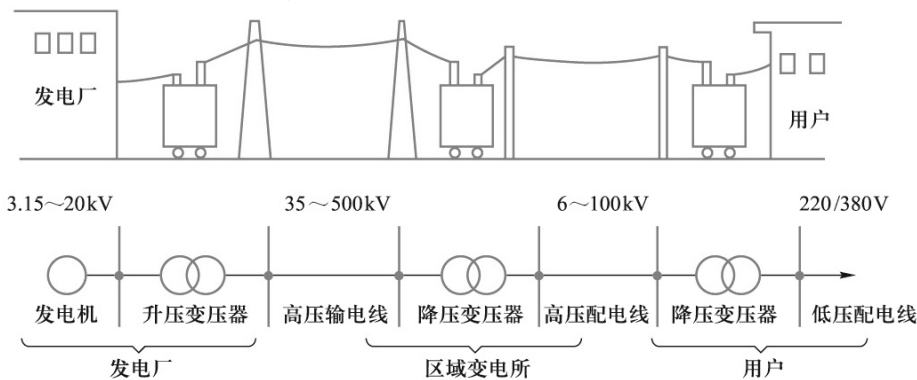


图 1-1 电能的生产、输送和使用全过程示意图

图 1-2 所示为大型电力系统的系统图。它是通过各级电压的电力线路，将发电厂、变配电所和电力用户连接起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体。发电厂和电力用户之间的输电、变电和配电的整体包括所有变配电所和各级电压的线路，称为电网。但习惯上，电网或系统往往是以电压等级来区分的，如 10kV 电网或 10kV 系统。这里所指的电网或系统，实际上是指某一电压等级的相互联系的整个电力线路。

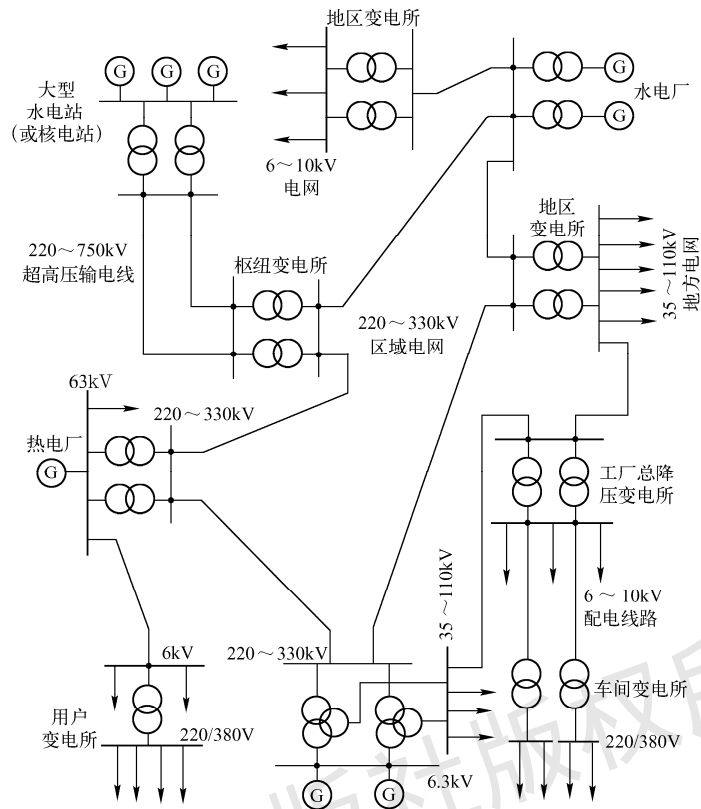


图 1-2 大型电力系统的系统图

电力系统主要环节说明如表 1-3 所示。

表 1-3 电力系统主要环节说明

序 号	环 节	说 明
1	发电厂	发电厂又称发电站，是指将自然界中存在的各种一次能源转换为电能（二次能源）的工厂。发电厂按其所利用能源的不同，分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等多种类型。 水力发电厂简称水电厂（站），它是利用水流的位能来生产电能的；火力发电厂简称火电厂（站），它是利用燃料的化学能来生产电能的；核能发电厂又称为原子能发电厂，通称核电站，它是利用某些核燃料的原子核裂变能来生产电能的；风力发电厂是利用风力的动能来生产电能的；地热发电厂是利用地球内部蕴藏的大量地热能来生产电能的；太阳能发电厂是利用太阳的光能或热能来生产电能的
2	变电所	变电所是接受电能、变换电压和分配电能的场所。在电力系统中，为了满足电能的经济输送和用电设备对不同电压等级的要求，需要对发电厂发出的电能进行多次电压变换。 变电所的主要设备有电力变压器、母线和开关设备等。根据变电所在电力系统中所承担任务的不同，可分为升压变电所和降压变电所。升压变电所主要是为了满足电能的输送需要，将发电机发出的电压变换成高电压，一般建在发电厂内。降压变电所主要将高电压变换为一个合适的电压等级，以满足不同的输电和配电要求。一般降压变电所多建在靠近用电负荷中心的地方，根据其在电力系统中地位和作用的不同，降压变电所又分为枢纽变电所（站）、地区变电所（站）和工业企业变电所等。 为了满足配电的需要，在企业内还建有只用来接受和分配电能而不进行电压变换的配电所，在配电所内只有开关设备，而没有变压器

续表

序 号	环 节	说 明
3	电力线路	电力线路是输送电能的通道。按电力线路在电力系统中所承担任务的不同，可分为输电线路和配电线路。输电线路主要承担高电压远距离电能传输任务，它主要连接发电厂和地区变电所（通常将 35kV 及以上的电力线路称为输电线路）。配电线路主要承担电能的分配任务，它主要连接用户或设备（通常将 10kV 及以下的电力线路称为配电线路）
4	电力负荷	电力负荷一般指耗能的电气设备（电能用户）。电力负荷是电力系统的一部分，也是其主要的服务对象。电气设备按其用途可分为动力设备和照明设备等，它们分别将电能转换为机械能、光能等，以适应不同形式的生产、生活和工作场所需要的能量

二、电力系统的基本要求

1. 保证供电的安全可靠



阅读材料：
我国大型电网基本情况

衡量供电安全可靠性的指标，一般以全部用户平均供电时间占全年时间的百分数表示。电力系统的供电可靠性与发供电设备和电力线路的可靠性、电力系统的结构，以及发电厂与变配电所的主接线形式、备用容量、运行方式及防止事故连锁发展的能力有关。为此，提高供电安全性应采取以下措施。

- (1) 采用高度可靠的发供电设备，做好维护保养工作，防止各种可能的误操作。
- (2) 提高供电线路的可靠性，重要线路可采用双回路或双电源（两个不同的系统电源）供电。
- (3) 选择合理的电力系统结构和主接线，在设计阶段就应保证高度的可靠性，对重要用户应采用双电源供电。
- (4) 保证适当的备用容量，使电力系统在发电设备定期检修、机组发生事故时均不会使用户停电。
- (5) 制定合理的电力系统运行方式，必须满足系统稳定性和可靠性要求。
- (6) 对高压输电线路采用自动重合闸装置，变配电所装设按频率自动减负荷装置等。
- (7) 采用快速继电保护装置和以计算机为核心的自动安全监视和控制系统。

2. 保证良好的电能质量

电压和频率是衡量电能质量的主要指标。按《供电营业规则》规定，在电力系统正常状况下，用户受电端的供电电压允许偏差为：35kV 及以上的供电电压允许偏差不超过额定电压的±10%，10kV 及以下的三相供电电压允许偏差为额定电压的±7%，220V 单相供电电压允许偏差为额定电压的 7%~10%。在电力系统非正常状况下，用户受电端的供电电压最大允许偏差不应超过额定电压的±10%。

我国一般交流电力设备的额定频率为 50Hz（简称“工频”）。按《供电营业规则》规定，在电网装机容量为 3000MW 及以上时，供电频率的允许偏差为±0.2Hz。在电网装机容量为 3000MW 以下时，供电频率的允许偏



阅读材料：
现代电力系统的特点

差为±0.5Hz。在电力系统非正常状况下，供电频率的允许偏差不应超过±1Hz。

此外，三相电力系统中三相电压或三相电流是否平衡也是衡量电能质量的一个指标。

任务三 认识电力系统的电压等级

电力系统中的所有设备都是在一定的电压和频率下工作的。电力系统的电压包括电力系统中各种供电设备、用电设备和电力线路的额定电压。按 GB/T 156—2017《标准电压》规定，我国三相交流电网和电力设备的额定电压如表 1-4 所示。表 1-4 中变压器一、二次绕组的额定电压是依据我国电力变压器标准产品规格确定的。

表 1-4 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

电网和用电设备的额定电压/kV	发电机的额定电压/kV	电力变压器的额定电压/kV	
		一次绕组	二次绕组
0.38	0.40	0.38	0.40
0.66	0.69	0.66	0.69
3	3.15	3、3.15 ^①	3.15、3.3 ^②
6	6.3	6、6.3 ^①	6.3、6.6 ^②
10	10.5	10、10.5 ^①	10.5、11 ^②
—	13.8、15.75、18、20、22、24、26	13.8、15.75、18、20、22、24、26	—
35	—	35	38.5
66	—	66	72.5
110	—	110	121
220	—	220	242
330	—	330	363
750	—	750	825

注：① 变压器“一次绕组”栏内 3.15kV、6.3kV、10.5kV 的电压适用于和发电机端直接连接的变压器。

② 变压器“二次绕组”栏内 3.3kV、6.6kV、11kV 的电压适用于阻抗百分比在 7.5%及以上的降压变压器。

一、电网（线路）的额定电压

电网的额定电压（标称电压）等级是国家根据国民经济发展的需要和电力工业发展的水平，经全面的技术经济分析后确定的。它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

二、用电设备的额定电压

用电设备的额定电压一般规定与同级电网的额定电压相同。通常用线路首端电压和末端电压的算术平均值作为用电设备的额定电压，这个电压也是电网的额定电压。由于线路运行时要产生电压降，所以线路上各点的电压都略有不同，如图 1-3 所示。所以，用电设备的额定电压只能取首端电压和末端电压的平均电压。

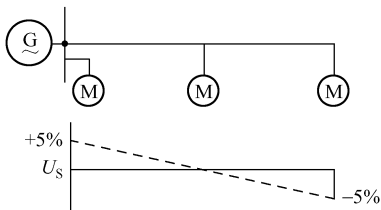


图 1-3 用电设备的额定电压的规定

三、发电机的额定电压

电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 10% 的电压损耗值。为了使线路的平均电压维持在额定值，线路首端（电源端）的电压宜较线路额定电压高 5%，而线路末端的电压则较线路额定电压低 5%，如图 1-3 所示。所以，发电机的额定电压规定高于同级电网额定电压 5%，用于补偿线路上的电压损失。

四、电力变压器的额定电压

电力变压器的一次绕组是接受电能的，相当于用电设备；其二次绕组是送出电能的，相当于发电机。因此，对其一次绕组和二次绕组的额定电压的规定有所不同。

1. 电力变压器一次绕组的额定电压

电力变压器一次绕组的额定电压分两种情况。

- (1) 当电力变压器直接与发电机相连时，如图 1-4 中的电力变压器 T1 所示，其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，都高于同级电网额定电压 5%。
- (2) 当电力变压器不与发电机相连而是连接在线路上时，如图 1-4 中的电力变压器 T2 所示，则其可看作线路的用电设备，因此其一次绕组额定电压应与供电线路额定电压相同。

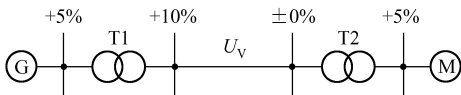


图 1-4 电力变压器一、二次绕组的额定电压说明图

2. 电力变压器二次绕组的额定电压

电力变压器二次绕组的额定电压也分两种情况。

- (1) 电力变压器二次侧供电线路较长时，如图 1-4 中的电力变压器 T1 所示，其二次绕组额定电压应比供电线路额定电压高 10%，其中有 5% 用于补偿电力变压器满载运行时绕组本身约 5% 的电压降，另 5% 用于补偿线路上的电压降。
- (2) 电力变压器二次侧供电线路较短或低压供电时，如图 1-4 中的电力变压器 T2 所示，其二次绕组额定电压只需高于供电线路额定电压 5%，仅考虑补偿电力变压器满载运行时绕组本身约 5% 的电压降。

五、各级电压等级的适用范围

在我国电力系统中,220kV 以上的电压等级主要用于大型电力系统的主干线;110kV 电压既用于中小型电力系统的主干线,也用于大型电力系统的二次网络;35kV 电压多用于中小型城市或大型企业的内部供电网络,也广泛用于农村电网。

一般企业内部多采用 6~10kV 的高压配电电压,且 10kV 电压用得较多。当企业 6kV 设备数量较多时,才会考虑采用 6kV 作为配电电压。220/380V 电压等主要作为企业的低压配电电压。



阅读材料:

中国电力的世界之最

任务四 认识电力系统中性点的运行方式

为保证电力系统安全、经济、可靠地运行,必须正确选择电力系统中性点的运行方式,即中性点的接地方式。能否合理选择电力系统中性点的运行方式,将直接影响电网的绝缘水平、保护的配置、系统供电的可靠性和连续性、对通信线路的干扰,以及发电机和变压器的安全运行等。电力系统中性点,即发电机和变压器的中性点。

电力系统中性点的运行方式有中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点直接接地或经低阻抗接地三种。其中中性点不接地和中性点经消弧线圈接地的电力系统合称为小接地电流系统,也称为中性点非有效接地系统或称为中性点非直接接地系统。中性点直接接地或经低阻抗接地的电力系统称为大接地电流系统,也称为中性点有效接地系统。

我国 3~66kV 系统,特别是 3~10kV 系统,一般采用中性点不接地的运行方式。如果其单相接地电流大于一定数值(3~10kV 系统中接地电流大于 30A,20kV 及以上的系统中接地电流大于 10A),应采用中性点经消弧线圈接地的运行方式,但现在有的 10kV 系统还采用中性点经低阻抗接地的运行方式。我国 110kV 及以上的系统 and 1kV 以下的低压配电系统,都采用中性点直接接地的运行方式。

一、中性点不接地的电力系统

中性点不接地的电力系统在正常运行时的电路图和相量图如图 1-5 所示,其中的三相交流电相序代号统一采用 U、V、W。

1. 系统正常运行时

系统正常运行时,三个相的相电压 $\dot{U}_U$ 、 $\dot{U}_V$ 、 $\dot{U}_W$ 是对称的,三个相的对地电容电流 $\dot{I}_{C0}$ 也是平衡的,如图 1-5 (b) 所示。因此三个相的电容电流的相量和为零,地中没有电流流过。各相的对地电压就是各相的相电压。

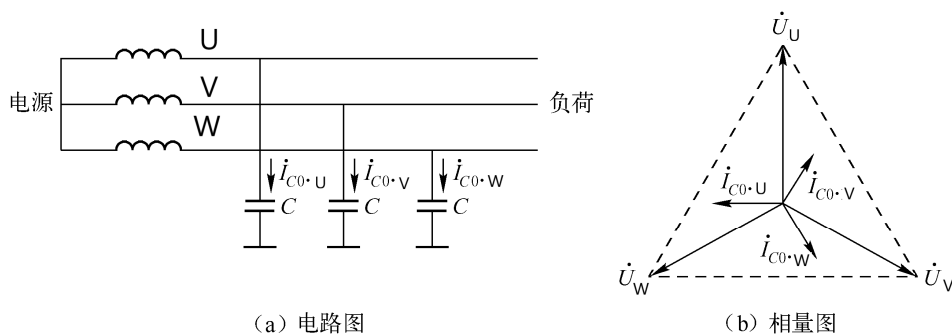


图 1-5 中性点不接地的电力系统在正常运行时的电路图和相量图

2. 系统发生单相接地故障时

假设 W 相发生接地故障，如图 1-6 (a) 所示。这时 W 相对地电压变为零，而完好的 U、V 两相对地电压将由原来的相电压升高到线电压，即升高为原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍，如图 1-6 (b) 所示。

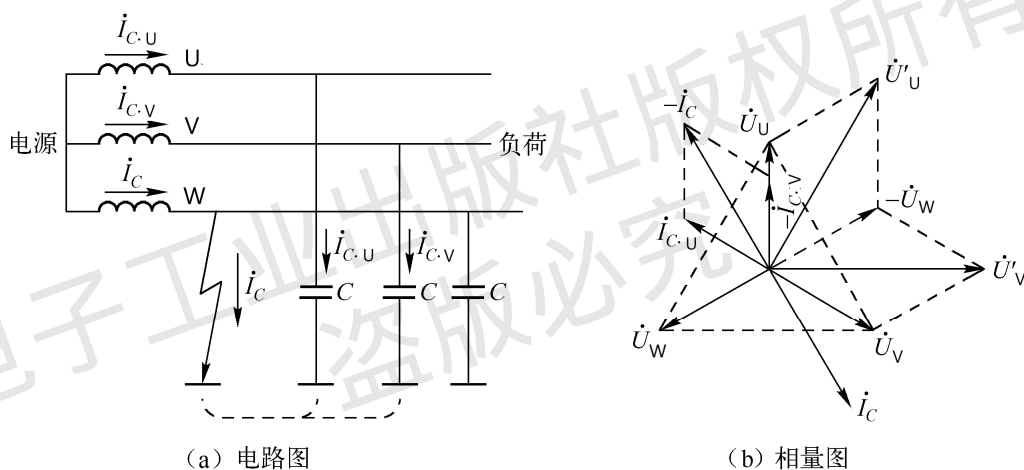


图 1-6 中性点不接地的电力系统在发生单相接地故障时的电路图和相量图

当 W 相发生接地故障时，系统的接地电流（电容电流） $\dot{I}_c$ 应为 U、V 两相对地电容电流的相量和。由图 1-6 (b) 的相量图可知， $\dot{I}_c = 3\dot{I}_{C0}$ ，即一相接地的电容电流为正常运行时每相对地电容电流的 3 倍。

（说明： $\dot{I}_{C0}$ 是正常运行时每相对地电容电流，在图 1-6 中没有。）

3. 系统发生不完全接地（经一定的接触电阻接地）时

当系统发生不完全接地时，故障相对地电压值将大于零而小于相电压，而其他完好的两相的对地电压值则大于相电压而小于线电压，接地电容电流值也比完全接地时略小。

必须指出，当中性点不接地的电力系统发生单相接地故障时，三相用电设备的正常工作并未受到影响，因为线路的线电压无论其相位和量值均未发生变化，因此系统中的三相用电设备仍能正常运行。但是这种线路不允许在单相接地故障情况下长期运行（规定单相接地后带故障运行时间最多不超过 2h），因为如果再有一相发生接地故障，就会形成两相接地短路，这时的短路电流很大，这是绝对不能允许的。因此，在中性点不接地的电力系统中，应装设

专门的单相接地保护或绝缘监视装置。在系统发生单相接地故障时，单相接地保护装置给予报警信号，提醒供电值班人员注意，并及时处理。当单相接地故障危及人身安全或设备安全时，单相接地保护装置应动作于跳闸。

二、中性点经消弧线圈接地的电力系统

当中性点不接地的电力系统发生单相接地故障时，若接地电流较大，则可能形成周期性熄灭和重燃的间歇性电弧，这是非常危险的。因为间歇性电弧可能会引起相对地谐振过电压，其值可以达到 2.5 倍以上相电压。这种过电压会危及与接地点有直接电气连接的整个电网，可能会使某一绝缘较为薄弱的部位引起另一相对地击穿，造成两相短路。为了防止单相接地时接地点出现断续电弧，避免引起过电压，在单相接地电流大于一定值的电力系统中，电源中性点必须采取经消弧线圈接地的运行方式。

目前，我国 35~60kV 的高压电网大多采用中性点经消弧线圈接地的运行方式。若消弧线圈能正常运行，则其是消除因雷击等原因而发生瞬间单相接地故障的有效措施之一。消弧线圈其实就是一个具有可调铁芯的电感线圈，其电阻很小，感抗很大，用于消除单相接地故障点的电弧。图 1-7 所示为消弧线圈实物图。



图 1-7 消弧线圈实物图

图 1-8 所示为中性点经消弧线圈接地的电力系统发生单相接地故障时的电路图和相量图。

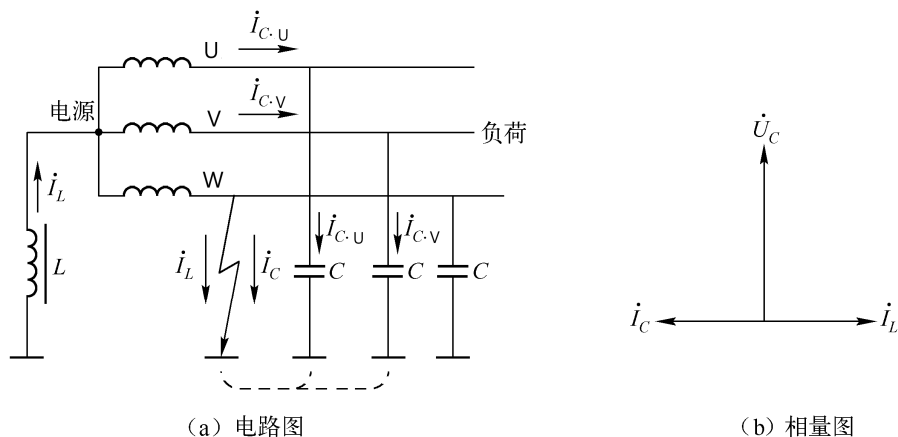


图 1-8 中性点经消弧线圈接地的电力系统发生单相接地故障时的电路图和相量图

当系统发生单相接地故障时，流过接地点的电流是接地电容电流 $\dot{I}_C$ 与流过消弧线圈的电感电流 $\dot{I}_L$ 之和。由于 $\dot{I}_C$ 超前 $\dot{U}_C$ 90° ，而 $\dot{I}_L$ 滞后 $\dot{U}_C$ 90° ，所以 $\dot{I}_L$ 与 $\dot{I}_C$ 在接地点互相补偿。当 $\dot{I}_L$ 与 $\dot{I}_C$ 的量值差小于发生电弧的最小生弧电流时，电弧就不会发生，从而也不会出现谐振过电压。

在中性点经消弧线圈接地的三相系统中，与中性点不接地的系统一样，允许在发生单相接地故障时短时（一般规定为 2h）继续运行，但保护装置应能及时发出单相接地报警信号。运行值班人员应抓紧时间查找和处理故障，在暂时无法消除故障时，应设法将负荷（特别是重要负荷）转移到备用电源线路。当单相接地故障危及人身和设备的安全时，保护装置应动作于跳闸。

中性点经消弧线圈接地的电力系统在发生单相接地故障时，其他两相对地电压也要升高到线电压，即升高为原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍。



阅读材料：
消弧线圈的巡查与维护

三、中性点直接接地或经低阻抗接地的电力系统

中性点直接接地的电力系统发生单相接地故障时的电路图如图 1-9 所示。这种系统的单相接地，即通过接地中性点形成单相短路 $k^{(1)}$ 。单相接地时的单相短路电流 $I_k^{(1)}$ 比线路的负荷电流大得多，因此在系统发生单相短路时，保护装置应动作于跳闸，切除短路故障，使系统的其他部分恢复正常运行。

中性点直接接地的电力系统发生单相接地故障时，由于其他完好的两相的对地电压不会升高，所以凡中性点直接接地的电力系统中的供用电设备的绝缘只需要按相电压考虑，而不需要按线电压考虑。这对 110kV 及以上的超高压系统是很有经济技术价值的。因此，我国 110kV 及以上的超高压系统通常都采取中性点直接接地的运行方式。在低压配电系统中，我国广泛采用的 TN 系统及在国外应用较多的 TT 系统，均为中性点直接接地系统，在发生单相接地故障时，一般能使保护装置迅速动作，切除故障部分。

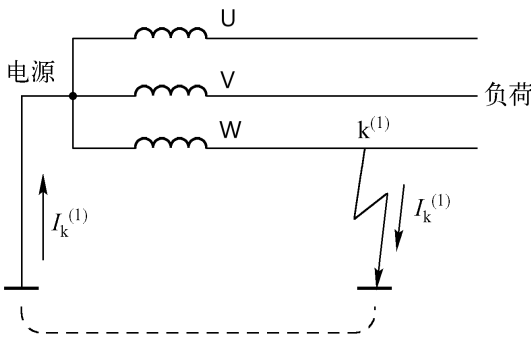


图 1-9 中性点直接接地的电力系统发生单相接地故障时的电路图

中性点经低阻抗接地的运行方式主要用于城市电网的电缆线路。它接近于中性点直接接地的运行方式，但必须装设单相接地保护装置。在系统发生单相接地故障时，保护装置应动作于跳闸，迅速切除故障线路，同时系统的备用电源投入装置动作，投入备用电源，及时恢复对重要负荷的供电。

任务五 认识低压配电系统的接地形式

我国的 220/380V 低压配电系统,广泛采用中性点直接接地的运行方式,而且引出有中性线(N线)、保护线(PE线)或保护中性线(PEN线)。

N线的功能:一是用来连接额定电压为系统相电压的单相用电设备;二是用来传导三相系统中的不平衡电流和单相电流;三是减小负荷中性点的电位偏移。

PE线的功能:它是为保障人身安全、防止发生触电事故而采用的接地线。系统中所有电气设备的外露可导电部分(正常时不带电,但在故障情况下可能带电的易被人身接触的导电部分,如金属外壳、金属构架等)通过PE线接地,可在设备发生接地故障时减少触电危险。

PEN线的功能:它兼有N线和PE线的功能。这种PEN线,我国过去习惯称之为零线。低压配电系统按其保护接地形式分为TN系统、TT系统和IT系统。

一、TN系统

TN系统中的电源中性点直接接地,其中所有设备的外露可导电部分(如金属外壳、金属构架等)均接公共保护接地线(PE线)或公共保护中性线(PEN线)。这种接公共保护接地线(PE线)或接公共保护中性线(PEN线)的方式,统称为接零。TN系统又分为以下三种形式。

1. TN-C系统

TN-C系统中的N线与PE线合为一根PEN线,所有设备的外露可导电部分均接PEN线,如图1-10(a)所示。其PEN线中可有电流通过,因此通过PEN线可能会对某些设备产生电磁干扰。如果PEN线断线,还会使接PEN线的设备的外露可导电部分带电,对人仍有触电危险。因此,该系统不适用于对安全要求和抗电磁干扰要求较高的场所。但由于N线与PE线合一,因而可节约一些有色金属(导线材料)和投资。该系统过去在我国低压系统中应用最为普遍,但目前在安全要求较高的场所(包括住宅建筑、办公大楼等)及要求抗电磁干扰的场所均不允许采用了。

2. TN-S系统

TN-S系统中的N线与PE线完全分开,所有设备的外露可导电部分均接PE线,如图1-10(b)所示。PE线中没有电流通过,因此对接PE线的设备不会产生电磁干扰。若PE线断线,则在正常情况下也不会使接PE线的设备的外露可导电部分带电。但在有设备发生单相接外壳故障时,将使其他接PE线的设备的外露可导电部分带电,对人仍有触电危险。由于N线与PE线分开,与上述TN-C系统相比,在有色金属和投资方面均有增加。该系统现广泛应用在对安全要求和抗电磁干扰要求较高的场所,如重要办公地点、实验场所和居民住宅等处。

3. TN-C-S 系统

TN-C-S 系统的前一部分全为 TN-C 系统，而后面则有一部分为 TN-C 系统，另有一部分为 TN-S 系统，如图 1-10（c）所示。该系统比较灵活，在对安全要求和抗电磁干扰要求较高的场所采用 TN-S 系统配电，而其他场所则采用较经济的 TN-C 系统。

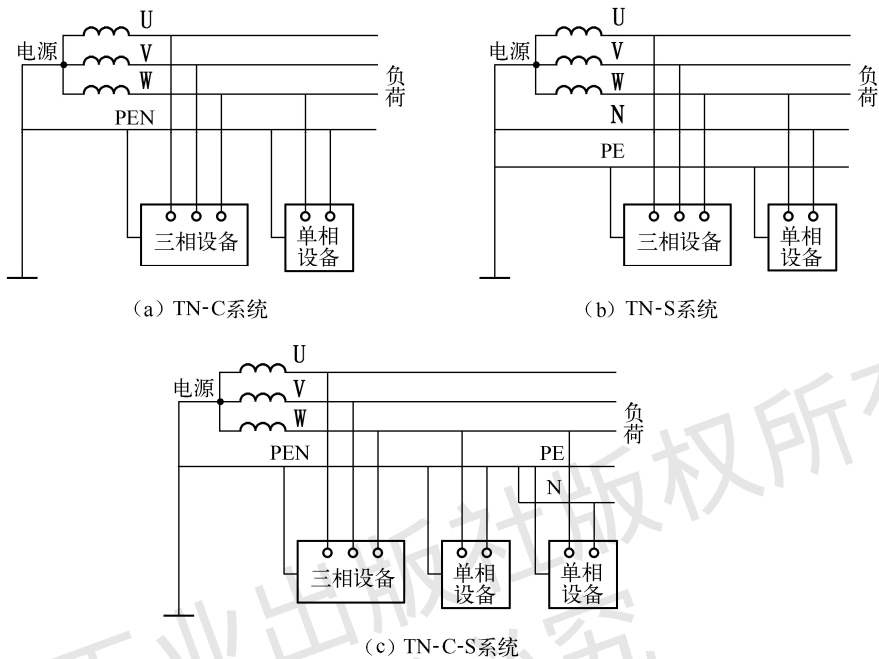


图 1-10 低压配电的 TN 系统

二、TT 系统

TT 系统中的电源中性点也直接接地，与 TN 系统不同的是，该系统所有设备的外露可导电部分均各自经 PE 线单独接地，如图 1-11 所示。由于各设备的 PE 线之间无电气联系，因此相互之间无电磁干扰。该系统适用于对安全要求和抗电磁干扰要求较高的场所。国外这种系统应用比较普遍，现在我国也开始推广应用。GB 50096—2011《住宅设计规范》规定，住宅供电系统“应采用 TT、TN-C-S 或 TN-S 接地方式，并应进行总等电位联结”。

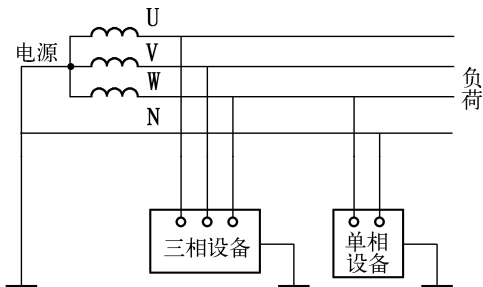


图 1-11 低压配电的 TT 系统

三、IT 系统

IT 系统中的电源中性点不接地或经约 1000Ω 阻抗接地，其中所有设备的外露可导电部分

也都各自经 PE 线单独接地,如图 1-12 所示。该系统中各设备之间也不会发生电磁干扰,且在发生单相接地故障时,三相设备及连接额定电压为线电压的单相设备仍可继续运行,但需装设单相接地保护装置,以便在发生单相接地故障时发出报警信号。该系统主要用于对连续供电要求较高及有易燃易爆危险的场所,如矿山、井下等地。

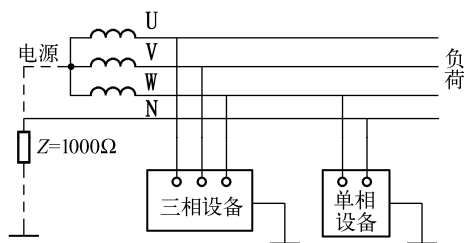


图 1-12 低压配电的 IT 系统

低压配电系统中,凡是引出有 N 线的三相系统,包括 TN 系统(含 TN-C、TN-S 和 TN-C-S 系统)及 TT 系统,都属于三相四线制系统,正常情况下不通过电流的 PE 线不计算在内。没有 N 线的三相系统,如 IT 系统则属于三相三线制系统。

任务六 认识工厂供配电系统

一、工厂供配电系统的组成

1. 工厂供配电系统的概况

一般中型工厂的电源进线电压是 6~10kV。电能先经高压配电所,由高压配电线路将电能分送至各个车间变电所。车间变电所内装有电力变压器,将 6~10kV 的高压降为一般低压用电设备所需的电压,通常降为 220/380V。若工厂拥有 6~10kV 的高压用电设备,则由高压配电所直接以 6~10kV 对其供电。

图 1-13 是一个比较典型的中型工厂供配电系统简图。该简图只用一根线来表示三相线路,即绘成单线图的形式,而且该简图除母线分段开关和低压联络线上装设的开关外,未绘出其他开关电器。图 1-13 中的母线又称汇流排,其任务是汇集和分配电能。

图 1-13 所示的高压配电所有四条高压配电出线,供电给三个车间变电所。其中,1 号车间变电所和 3 号车间变电所各装有一台配电变压器,而 2 号车间变电所装有两台配电变压器,并分别由两段母线供电,其低压侧又采用单母线分段制,因此对重要的低压用电设备可由两段低压母线交叉供电。各车间变电所的低压侧均设有低压联络线相互连接,以提高供电系统运行的可靠性和灵活性。此外,该高压配电所还有一条高压配电线路,直接供电给一组高压电动机,另有一条高压配电线路,直接与一组高压并联电容器相连。3 号车间变电所低压母线上也连接一组低压并联电容器。这些并联电容器都是用来补偿系统的无功功率、提高功率因数的。

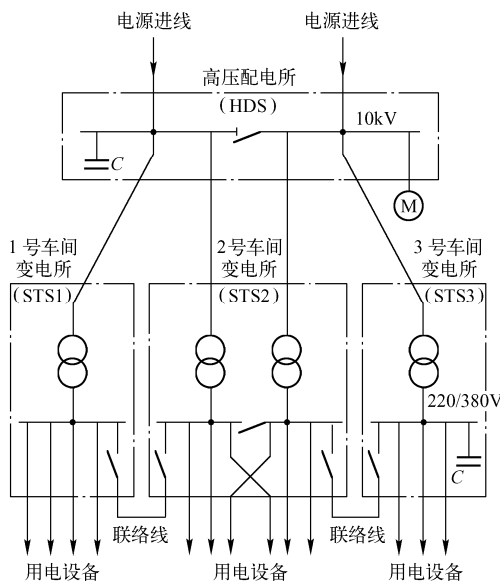


图 1-13 中型工厂供配电系统简图

图 1-14 所示为中型工厂供配电系统的平面布线示意图。从平面布线示意图上可以看出，高压配电所、车间变电所、控制屏、配电屏的分布位置及其进线、出线情况。

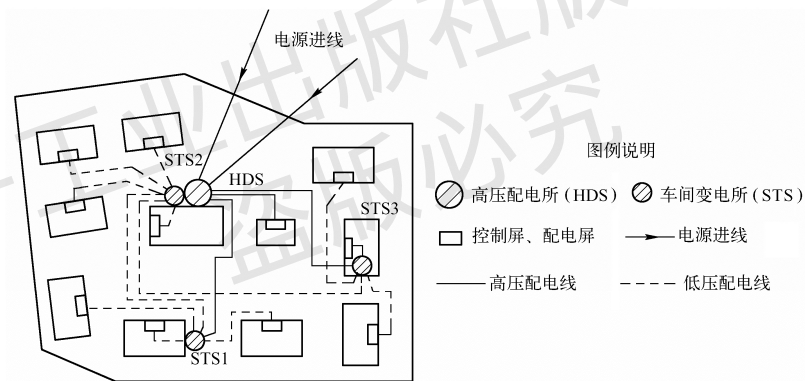


图 1-14 中型工厂供配电系统的平面布线示意图

2. 35kV 及以上进线的大中型工厂供配电系统

对于大型工厂及某些电源进线电压为 35kV 及以上的中型工厂，通常需要经过两次降压，也就是电源进厂以后，先经总降压变电所的较大容量电力变压器，将 35kV 及以上的电源电压降为 6~10kV 的配电电压，然后通过 6~10kV 的高压配电线将电能送到各车间变电所，也有的经过高压配电所再送到车间变电所，车间变电所装有配电变压器，再将 6~10kV 电压降为一般低压用电设备所需的电压 220/380V。具有总降压变电所的工厂供配电系统简图如图 1-15 所示。

3. 小型工厂供配电系统

对于小型工厂，由于其所需容量一般不大于 1000kV·A 或稍多，因此通常只设一个降压变电所，将 6~10kV 电压降为低压用电设备所需的电压，如图 1-16 所示。

若工厂所需容量不大于 160kV·A，则可采用低压电源进线，因此工厂只需要设一个低压

配电间, 如图 1-17 所示。

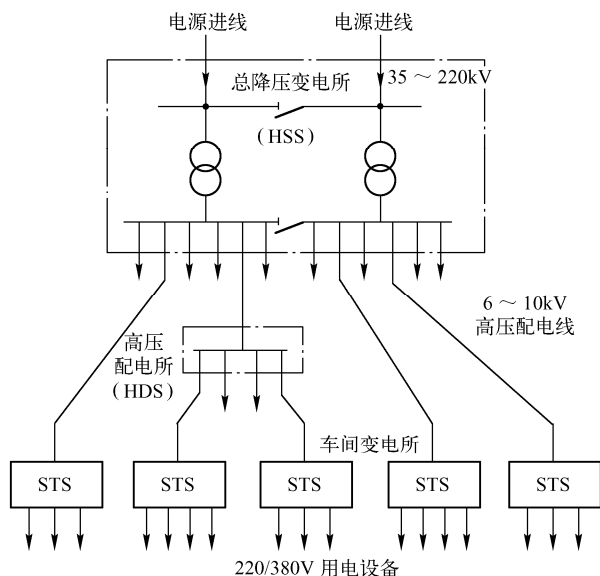


图 1-15 具有总降压变电所的工厂供配电系统简图

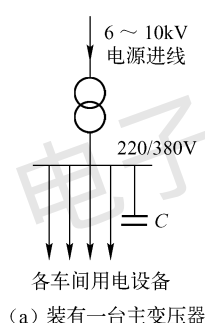


图 1-16 只设一个降压变电所的小型工厂供配电系统简图

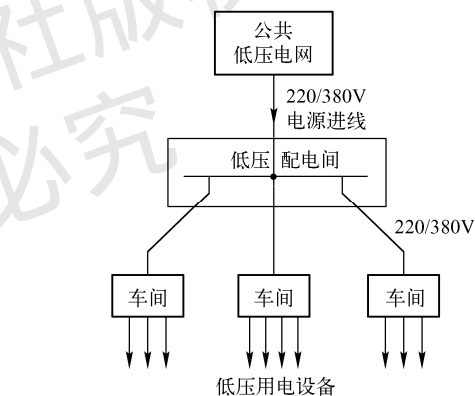
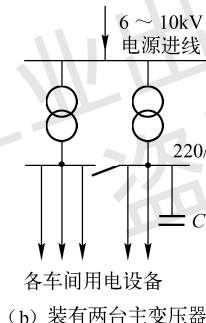


图 1-17 低压进线的小型工厂供配电系统简图

由以上分析可知, 工厂供电中配电所的主要任务是接受和分配电能, 不改变电压; 而变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能。因此, 工厂供配电系统是指从电源线路进厂到用电设备进线端的整个电路系统, 包括工厂变配电所和所有的高低电压供配电线路。

二、工厂供配电电压的选择

1. 工厂供电电压的选择

工厂供电电压的选择主要取决于当地电网的供电电压等级, 同时要考虑工厂用电设备的电压、容量和供电距离等因素。由于在相同的输送功率和相同的输送距离条件下, 线路电压越高, 线路电流就越小, 因此线路采用的导线或电缆截面可越小, 从而可减少线路的初期投资和有色金属消耗量, 且可降低线路的电能损耗和电压损耗。

我国的《供电营业规则》规定, 供电企业(电网)供电的额定电压, 低压有单相 220V、

三相 380V，高压有 10kV、35kV、66kV、110kV、220kV，并规定除发电厂直配电压可采用 3kV 或 6kV 外，其他等级的电压都要过渡到上述额定电压。若用户需要的电压等级不在上述范围，则应自行采用变压措施解决。用户需要的电压等级在 110kV 及以上时，其受电装置应作为终端变电所设计，其方案需要经省电网经营企业审批。

2. 工厂高压配电电压的选择

工厂高压配电电压的选择主要取决于工厂高压用电设备的电压、容量、数量等因素。

工厂采用的高压配电电压通常为 10kV。若工厂拥有相当数量的 6kV 用电设备，或者供电电源电压就是 6kV，则可考虑采用 6kV 作为工厂高压配电电压。若 6kV 用电设备数量不多，则应选择 10kV 作为工厂高压配电电压，而 6kV 高压设备则可通过专用的 10/6.3kV 的变压器单独供电。

若当地的电源电压为 35kV，而厂区环境条件又允许采用 35kV 架空线路和较经济的 35kV 设备，则可考虑采用 35kV 作为高压配电电压深入工厂各车间负荷中心，并经车间变电所直接降低为低压用电设备所需的电压。但是必须考虑厂区要有满足 35kV 架空线路深入负荷中心的“安全走廊”，以确保电气安全。

3. 工厂低压配电电压的选择

工厂低压配电电压一般采用 220/380V。其中，线电压 380V 接三相动力设备和 380V 的单相设备，相电压 220V 接一般照明灯具和其他 220V 的单相设备。但是，某些场合宜采用 660V 甚至更高的 1140V 作为低压配电电压。

任务操作一 参观工厂供配电系统

任务操作是教学过程中进行技能训练的一个重要环节，现场参观就是一项很好的技能训练实践活动。通过现场参观，可对工厂供配电系统有初步的了解，能认识和熟悉各种高低压电气设备和各种规章制度，提高安全用电的意识。根据具体条件，可完成下列训练任务。

1. 参观工厂变配电所及高低压架空输电线路

1) 参观内容

参观内容为工厂变配电所及高低压架空输电线路。

2) 参观目的

(1) 了解和熟悉工厂变配电所的基本概况，认识各种高压电气设备及高低压架空输电线路的架设方式和要求。

(2) 了解工厂变配电所的位置、结构，以及高压配电室、变压器室、低压配电室和电容器室等的布置。

(3) 了解各开关柜的作用，能辨认工厂变配电所电气设备的外形和名称。

(4) 熟悉工厂变配电所安全操作常识，了解 10kV 配电线路的运行管理及有关规章制度。

- (5) 熟悉高低压架空输电线路的结构、形式。
- (6) 初步尝试看工厂变配电所图纸等资料。
- (7) 了解工厂变配电所常用操作工具、检修工具与仪表。
- (8) 了解工厂变配电所运行值班人员的工作职责、工作程序、职业守则和规章制度等。

3) 参观方式

首先听取工厂变配电所运行值班负责人或电气工程师介绍工厂变配电所的基本概况,以及工厂变配电所运行管理的规章制度和操作规程,特别是倒闸操作的基本要求和操作程序;然后由运行值班负责人或电气工程师带领参观高压配电室、低压配电室、变压器室等。

4) 参观注意事项

参观时一定要服从指挥,注意安全,未经许可不得进入禁区,决不允许摸、动任何开关按钮,严防发生意外。参观时必须穿工作服和绝缘鞋,戴安全帽,做好相应的安全措施。

2. 参观工厂低压配电系统

1) 参观内容

参观内容为工厂低压配电系统。

2) 参观目的

(1) 了解和熟悉工厂低压配电系统的基本概况,认识各种低压电气设备,以及车间动力、照明线路的架设方式和要求。

(2) 能正确分析工厂低压配电系统的接地形式。

3) 参观方式

首先听取工厂变配电所运行值班负责人或电气工程师介绍工厂低压配电系统的基本概况,以及相关的规章制度和操作规程,特别是安全注意事项;然后由运行值班负责人或电气工程师带领参观工厂低压配电系统。

4) 参观注意事项

参观时一定要服从指挥,注意安全,未经许可不得进入禁区,决不允许摸、动任何开关按钮,严防发生意外。参观时必须穿工作服和绝缘鞋,戴安全帽,做好相应的安全措施。

对于有条件的学校,还可带领学生参观大型室外变电所(站),或让学生到变配电所跟班实习3~4天,以利于学生对工厂供配电系统有比较全面深入的了解。

项目总结

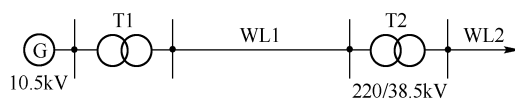
本项目主要介绍了电能的特点及工厂供配电的基本要求、电力系统的组成与要求、电力系统的电压等级、电力系统中性点的运行方式、低压配电系统的接地形式和工厂供配电系统。这些内容是学习本课程的预备知识。

1. 工厂供配电的基本要求是保证供电的安全可靠、保证良好的电能质量、保证灵活的运行方式、保证具有经济性。
2. 电力系统是通过各级电压的电力线路，将发电厂、变配电所和电力用户连接起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体。
3. 电力系统的电压包括电力系统中各种供电设备、用电设备和电力线路的额定电压。
4. 电力系统中性点的运行方式有中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点直接接地或经低阻抗接地。
5. 低压配电系统按其保护接地形式分为 TN 系统（TN-C、TN-S、TN-C-S 系统）、TT 系统和 IT 系统。
6. 工厂供配电系统主要由外部电源系统和工厂内部变配电系统组成。一般中型工厂的电源进线电压是 6~10kV。电能先经高压配电所，由高压配电线路将电能分送至各个车间变电所，再由车间变电所将电压降为一般低压用电设备所需的电压。工厂供配电电压应按《供电营业规则》规定执行。

思考与练习题

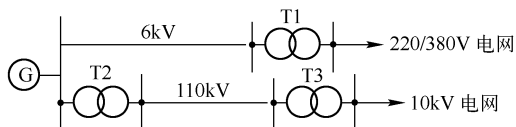
1. 电能的特点有哪些？工厂供配电有哪些基本要求？
2. 电力系统由哪几个部分组成？
3. 衡量供电电能质量的指标有哪些？各有什么要求？
4. 我国电网的额定电压等级有哪些？为什么用电设备的额定电压一般规定与同级电网额定电压相同？
5. 为什么发电机的额定电压应高于同级电网额定电压 5%？为什么电力变压器一次绕组的额定电压有的高于同级电网额定电压 5%，有的等于供电线路额定电压？为什么电力变压器二次绕组的额定电压有的高于供电线路额定电压 5%，有的高于供电线路额定电压 10%？
6. 三相交流电力系统的电源中性点有哪些运行方式？中性点直接接地与中性点不直接接地在电力系统发生单相接地故障时各有哪些特点？中性点经消弧线圈接地与中性点不接地在电力系统发生单相接地故障时有哪些异同？
7. 低压配电系统中的中性线（N 线）、保护线（PE 线）和保护中性线（PEN 线）各有哪些功能？
8. 低压配电的 TN-C 系统、TN-S 系统、TN-C-S 系统、TT 系统及 IT 系统各有哪些特点？
9. 说明工厂供配电系统的任务、主要组成和供配电电压选择的方法。

10. 确定如题图 1-1 所示的供电系统中电力变压器 T1 和线路 WL1、WL2 的额定电压。



题图 1-1

11. 试确定如题图 1-2 所示的供电系统中发电机和所有电力变压器的额定电压。



题图 1-2

12. 消弧线圈运行时，有哪些巡查与维护项目？

电子工业出版社版权所有
盗版必究