

第一章

工厂供配电系统认识

本章提要	<p>本章主要介绍工厂供配电系统的基础知识，是学习本课程的预备知识。其主要内容有电能的特点及对供配电的基本要求、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。学习本章时，应将重点放在对基本概念的认识和理解上。</p> <p>通过参观工厂供配电系统等技能训练，对工厂供配电系统有一个初步的认识。</p>
知识目标	<ul style="list-style-type: none">• 掌握电能的特点及对供配电的基本要求。• 了解工厂供配电系统的基础知识，掌握工厂供配电系统的组成与要求。• 理解电力系统中性点的运行方式及特点，会分析低压配电系统的接地形式。• 了解电力设备额定电压、工厂供配电电压的选择方法。
技能目标	<ul style="list-style-type: none">• 能根据负荷大小、供电距离确定电气设备的供电电压。• 会巡视检查消弧线圈。• 能正确处理消弧线圈的异常运行及故障。

第一节 电能的特点及对供配电的基本要求

电能作为最基本的能源，是现代工业生产和人们生活的主要能源和动力。电能的合理、正确使用，关系到整个国民经济的发展。因此，搞好电能的生产和供应就显得特别重要。

一、电能的特点

电能的特点如表 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	电能属于二次能源，它是由煤炭、石油、天然气、水力等一次能源转换而来的；而电能通过一定的设备或装置又能很方便地转换为其他形式的能，如将电能转换成光能、机械能等
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

续表

序号	特点	说明
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

可见, 电能作为基本能源之一, 具有很多优于其他能源的特点。

二、对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要, 并做好安全用电、节约用电和计划用电工作。因此, 对工厂供配电系统的设计和运行提出了如表1-2所示的基本要求。

表 1-2 对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	<p>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政治影响</p> <p>工厂供配电的可靠性应满足电能用户对供电可靠性即连续供电的要求。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, 其供配电可靠性要求不同, 应根据具体情况和要求, 保证必要的供配电可靠性要求。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</p> <p>保证工厂供配电的安全可靠, 除要求供电电源要可靠外, 还与供配电系统的设计、电气设备的选择和运行维护等因素有关</p>
2	保证良好的电能质量	<p>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</p>
3	保证灵活的运行方式	<p>保证工厂供配电系统灵活的运行方式, 主要是指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</p>
4	保证具有经济性	<p>保证工厂供配电系统具有经济性, 主要是指在安全、可靠、优质供电的前提下, 使工厂供配电系统的建设投资和年运行费用最低。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和保证主要电气设备的质量</p>



第二节 电力系统的组成与要求

一、电力系统的组成

电能是发电厂供给的, 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，为了提高供电的可靠性和实现经济运行，往往将许多发电厂和电力网连接在一起运行。由发电厂、电力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、分配和使用保持严格的平衡。图 1-1 所示是大型电力系统的系统图。

图 1-1 所示的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。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，比如说 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。

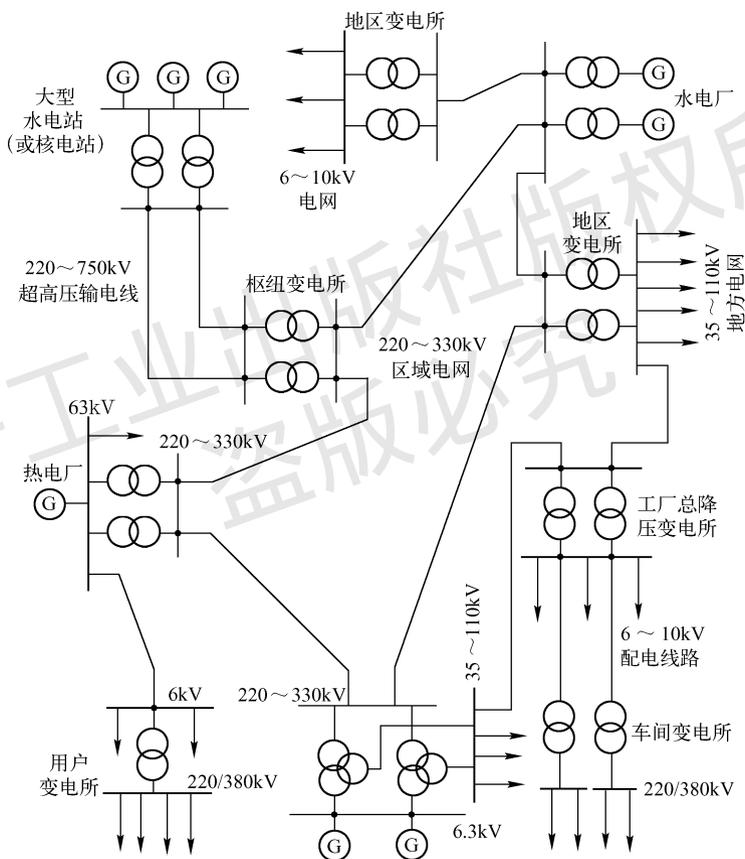


图 1-1 大型电力系统的系统图

由于电能和其他产品相比有着不能储存的特点，因而电能的生产（发电厂）和消耗（用户）是随时平衡的，即供电和用电是在同一瞬间实现的。电能的生产、输送、分配和使用的全过程如图 1-2 所示。

建立大型的电力系统，可以更经济合理地利用动力资源，减少电能损耗，降低发电成本，保证供电质量，并大大提高供电的可靠性，有利于整个国民经济的发展。我国电网按电压高低和供电范围大小分为区域电网和地方电网。区域电网的供电范围较大，电压一般在

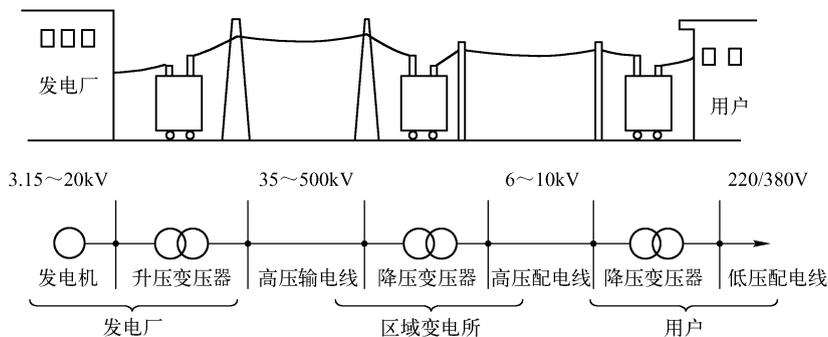


图 1-2 从发电厂到用户的输电过程示意图

220kV 及以上, 如华北电网、东北电网、华东电网、华中电网等。地方电网的供电范围较小, 最高电压一般不超过 110kV, 工厂供配电系统就属于地方电网的一种。

电力系统中发电厂、变电所、电力线路、电力负荷等环节说明如表 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	<p>发电厂又称发电站, 是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。发电厂按其利用的能源不同, 分为水力、火力、核能、风力、地热、太阳能发电厂等多种类型</p> <p>(1) 水力发电厂简称水电厂(站), 它利用水流的位能来生产电能。当控制水流的闸门打开时, 水流就沿着进水管进入水轮机蜗壳室, 冲动水轮机, 带动发电机发电</p> <p>(2) 火力发电厂简称火电厂(站), 它利用燃料的化学能来生产电能。火电厂按其使用的燃料类别, 分为燃煤式、燃油式、燃气式和废热式(工业余热)等多种类型, 但是我国的火电厂仍以燃煤式为主</p> <p>(3) 核能发电厂又称为原子能发电厂, 通称核电站, 它利用某些核燃料的原子核裂变能来生产电能, 其生产过程与火电厂大体相同, 只是以核反应堆代替了燃煤锅炉, 以少量的核燃料代替了大量的煤炭</p> <p>(4) 风力发电厂利用风力的动能来生产电能。它建在风力资源丰富的地方。风能是一种取之不尽、清洁、价廉和可再生的能源</p> <p>(5) 地热发电厂利用地球内部蕴藏的大量热能来生产电能</p> <p>(6) 太阳能发电厂利用太阳的光能或热能来生产电能。太阳能是一种十分安全、经济、无污染且取之不尽的能源</p>
2	变电所	<p>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</p> <p>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的任务不同, 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。降压变电所主要是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的地位和作用不同, 降压变电所又分为枢纽变电所(站)、区域变电所(站)和工业企业变电所等</p> <p>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</p>
3	电力线路	<p>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的任务不同, 可分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区域变电所(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)</p>
4	电力负荷	<p>电力负荷一般指耗能的电气设备(即电能用户)。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、生活和工作场所所需要的能量</p>

二、电力系统的基本要求

1. 保证供电的安全可靠性

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，提高供电的安全可靠性应采取以下措施。

(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有高度的可靠性，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 及以上供电电压偏差不得超过额定电压的 $\pm 10\%$ ，10kV 及以下三相供电电压允许偏差为 $\pm 7\%$ ，220V 单相供电电压允许偏差为 $+7\% \sim -10\%$ 。在电力系统非正常状况下，用户受电端的电压最大允许偏差不应超过额定电压的 $\pm 10\%$ 。

我国交流电力设备的额定频率为 50Hz（工频）。按《供电营业规则》规定，在电力系统正常状况下，工频的频率偏差一般不允许超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。如果电力系统容量达到 3 000MW 或以上时，频率偏差则不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。在电力系统非正常状况下，频率偏差一般不允许超过 $\pm 1\text{Hz}$ 。

此外，三相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。



第三节 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 156—2003《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 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
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 的电压适用于阻抗值在 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和末端电压的平均电压。

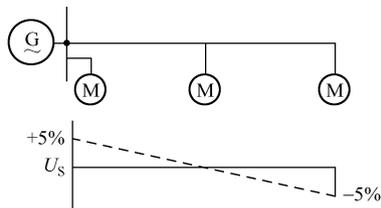


图 1-3 用电设备额定电压的规定

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%。

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) 当变压器直接与发电机相连时,如图 1-4 中的变压器 T1,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 中的变压器 T2,则可看做是线路的用电设备,因此其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

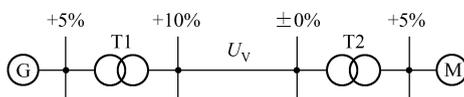


图 1-4 电力变压器一、二次侧额定电压说明图

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) 变压器二次侧供电线路较长时,如图 1-4 中的变压器 T1,其二次绕组额定电压应比相连电网额定电压高 10%,其中有 5% 用于补偿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) 变压器二次侧供电线路不长时,如图 1-4 中的变压器 T2,其二次绕组额定电压只需高于电网额定电压 5%,仅考虑补偿变压器满载运行时绕组本身的 5% 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 多用于中小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。



第四节 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的中性点运行方式,将直接影响到电力网的绝缘水平、保护的配置、系统供电的可靠性和连续性、对通信线路的干扰及发电机和变压器的安全运行等。电力系统的中性点即发电机和变压器的中性点。

电力系统中性点运行方式分为两大类。一类是中性点直接接地或经低阻抗接地的大接地电流系统,也称中性点有效接地系统;另一类是中性点绝缘或经消弧线圈及其他高阻抗接地的小接地电流系统,也称中性点非有效接地系统。从运行的可靠性、安全性和人身与设备安全考虑,目前采用最广泛的有中性点直接接地、中性点经消弧线圈接地和中性点不接地三种

运行方式。

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时（3 ~ 10kV 系统中接地电流大于 30A，20kV 及以上系统中接地电流大于 10A 时），则应采用中性点经消弧线圈接地的运行方式，但现在有的 10kV 系统甚至采用中性点经低阻抗接地的运行方式。我国 110kV 及以上系统和 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

电源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，其中的三相交流相序代号统一采用 A、B、C。

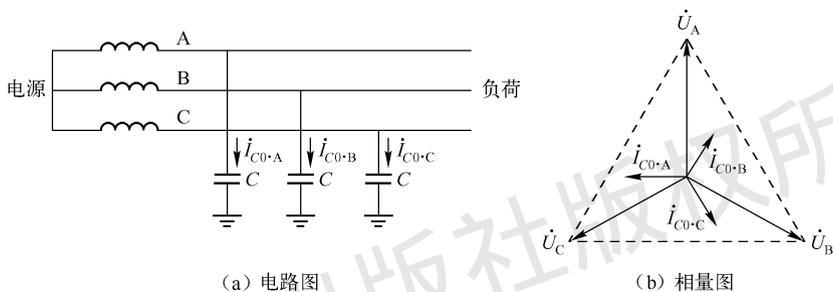


图 1-5 中性点不接地的电力系统正常运行时

1. 系统正常运行时

这时，三个相的相电压 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C 是对称的，三个相的对地电容电流 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。

2. 系统发生单相接地故障时

假设 C 相发生接地，如图 1-6 (a) 所示。这时 C 相对地电压变为零，而完好的 A、B 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。

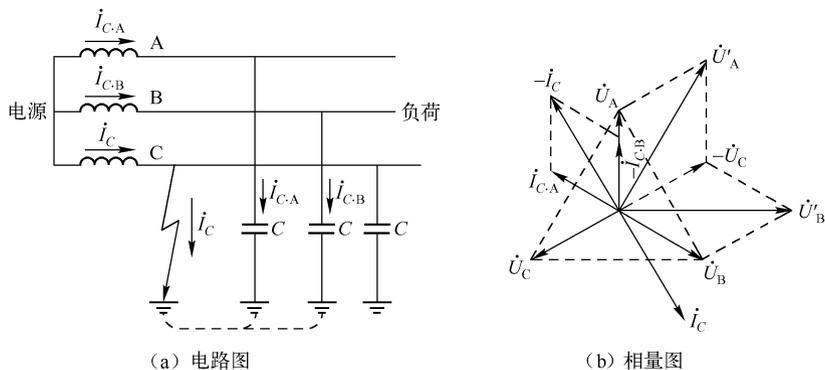


图 1-6 中性点不接地的电力系统单相接地时

当 C 相接地时, 系统的接地电流 (电容电流) i_c 应为 A、B 两相对地电容电流相量之和。由图 1-6 (b) 的相量图可知, $I_c = 3I_{C0}$, 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。

3. 当系统发生不完全接地 (即经一定的接触电阻接地) 时

这时, 故障相对地电压值将大于零而小于相电压, 而其他完好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: 当电源中性点不接地系统发生单相接地时, 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, 给予报警信号, 提醒供电值班员注意, 并及时处理。当单相接地故障危及人身安全或设备安全时, 则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

在上述中性点不接地的电力系统中, 当发生单相接地时, 如果接地电流较大, 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 ~ 3 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, 因此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。如果消弧线圈能正常运行, 则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 为电源中性点经消弧线圈接地的电力系统发生单相接地时的电路图和相量图。

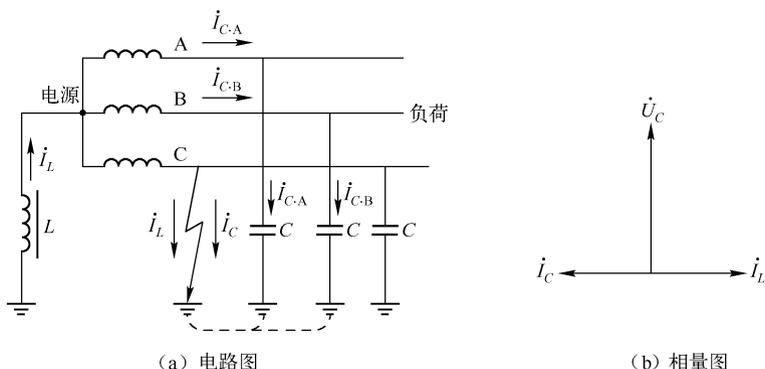


图 1-7 中性点经消弧线圈接地的电力系统发生单相接地时

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了。

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上去。当单相接地故障危及人身和设备的安全时,则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,在单相接地时,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。

三、中性点直接接地或经低阻抗接地的电力系统

电源中性点直接接地的电力系统发生单相接地时的电路图如图1-8所示。这种系统的单相

相接地,即通过接地中性点形成单相短路 $k^{(1)}$ 。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。

中性点直接接地的系统发生单相接地时,由于其他完好两相的对地电压不会升高,所以凡中性点直接接地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中性点通常都采取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。

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故障保护装置。在系统发生单相接地故障时,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。

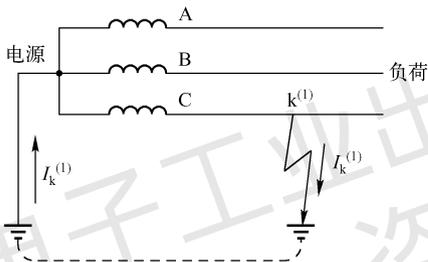


图1-8 中性点直接接地的电力系统发生单相接地时的电路图

第五节 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)。

中性线(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。

保护线(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（指正常时不带电，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。

保护中性线（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 PE 线或 PEN 线的方式，通称为接零。TN 系统又分三种形式。

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 1-9（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，则还会使接 PEN 线的设备外露可导电部分（如外壳）带电，对人仍有触电危险。因此，该系统不适用于对抗电磁干扰要求和安全要求较高的场所。但由于 N 线与 PE 线合一，从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

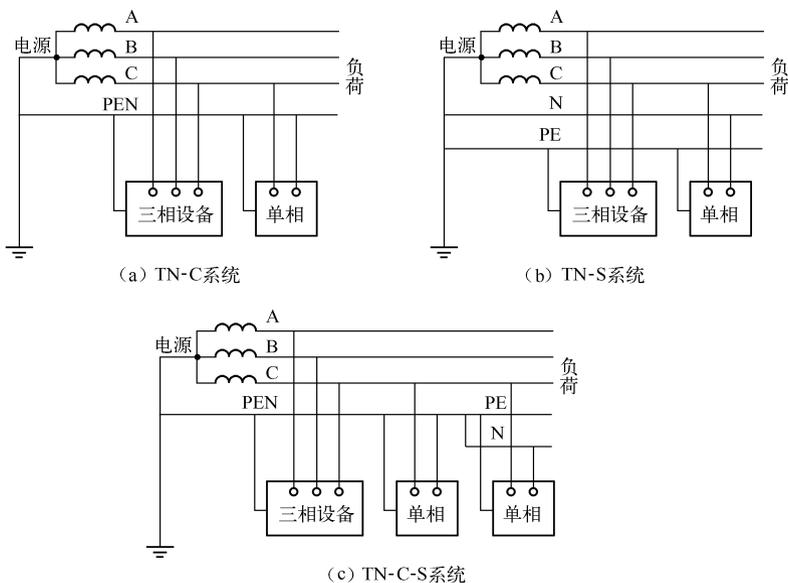


图 1-9 低压配电的 TN 系统

图 1-9 (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。如果 PE 线断线, 则在正常情况下也不会使接 PE 线的设备外露可导电部分带电。但在有设备发生单相接地故障时, 将使其他接 PE 线的设备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及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 该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 1-9 (c) 所示。此系统比较灵活, 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。

二、TT 系统

TT 系统中的电源中性点也直接接地, 与上述 TN 系统不同的是, 该系统的所有设备外露可导电部分均各自经 PE 线单独接地, 如图 1-10 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。此系统适用于对安全要求及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—1999 《住宅设计规范》就规定: 住宅供电系统“应采用 TT、TN-C-S 或 TN-S 接地方式”。

三、IT 系统

IT 系统中的电源中性点不接地或经约 $1\ 000\ \Omega$ 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 1-11 所示。此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, 三相用电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。

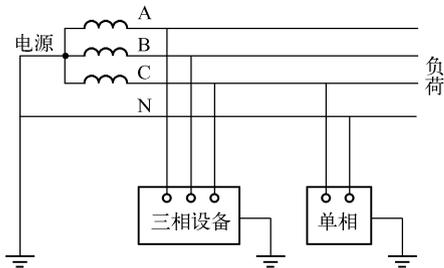


图 1-10 低压配电的 TT 系统

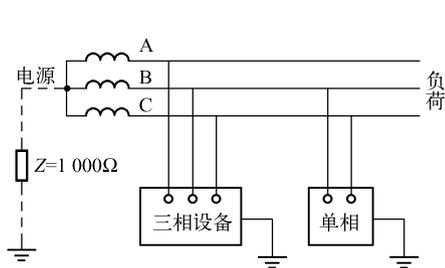


图 1-11 低压配电的 IT 系统

低压配电系统中, 凡是引出有中性线 (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。没有中性线 (N 线) 的三相系统, 如 IT 系统, 则属于三相三线制系统。



第六节 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 $6 \sim 10\text{kV}$ 。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 $6 \sim 10\text{kV}$ 的高压降为一般低压用电设备所需的电压，通常是降为 $220/380\text{V}$ 。如果工厂拥有 $6 \sim 10\text{kV}$ 的高压用电设备，则由高压配电所直接以 $6 \sim 10\text{kV}$ 对其供电。

图 1-12 是一个比较典型的中型工厂供配电系统的简图。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。图中母线又称汇流排，其任务是用来汇集和分配电能。

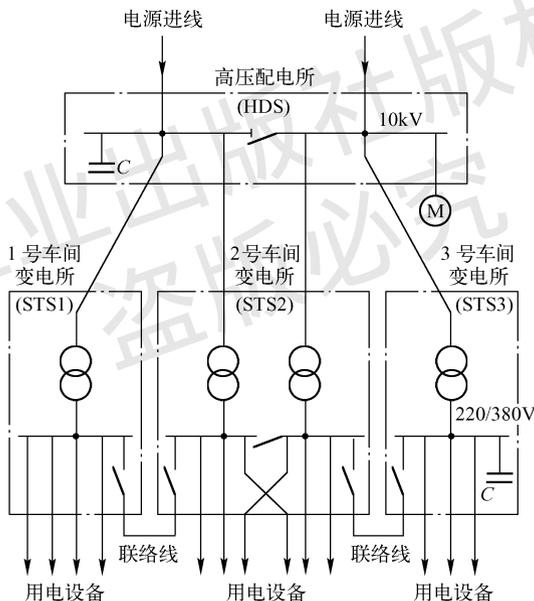


图 1-12 中型工厂供配电系统简图

图 1-12 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有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、提高功率因数用的。

图 1-13 是图 1-12 所示的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、低压变电所、控制屏、配电屏的分布位置及其进线、出线情况。

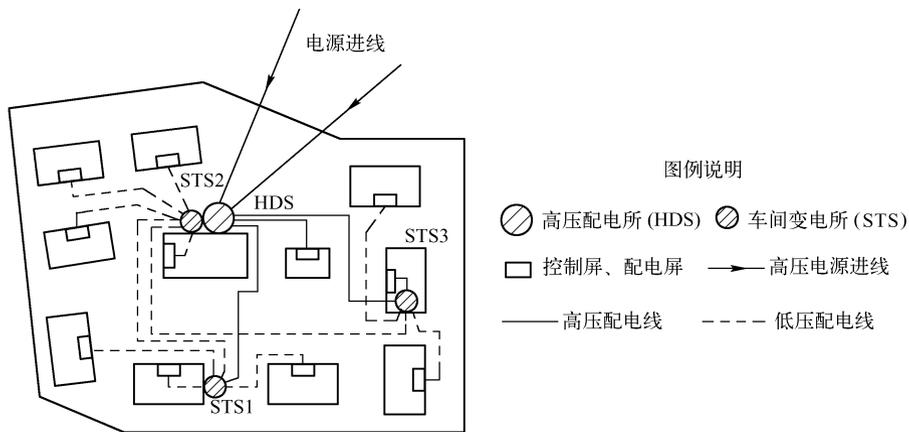


图 1-13 中型工厂供配电系统的平面布线示意图

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。其系统简图如图 1-14 所示。

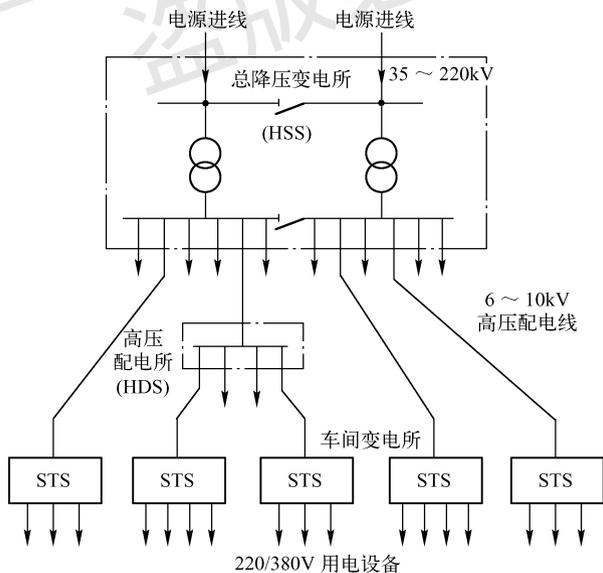


图 1-14 具有总降压变电所的工厂供配电系统简图

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 1 000kVA 或稍多，因此通常只设一个降压

变电所，将 $6 \sim 10\text{kV}$ 电压降为低压用电设备所需的电压，如图 1-15 所示。

如果工厂所需容量不大于 160kVA ，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 1-16 所示。

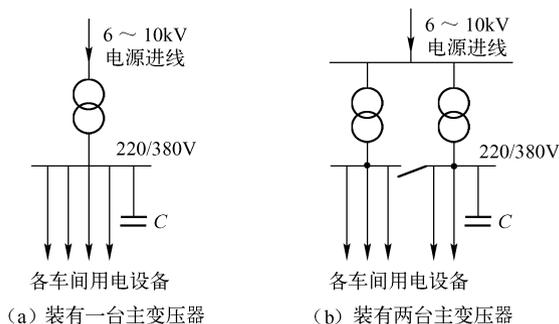


图 1-15 只设一个降压变电所的小型工厂供配电系统简图

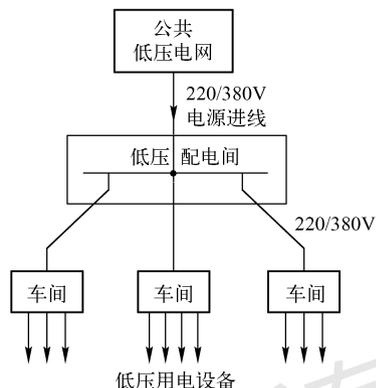


图 1-16 低压进线的小型工厂供配电系统简图

从以上分析可知，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止的整个电路系统，包括工厂的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，同时也要考虑工厂用电设备的电压、容量和供电距离等因素。由于在输送同样的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，因而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 10 、 35 、 66 、 110 、 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。如果用户需要的电压等级不在上列范围，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及其容量、数量等因素。

工厂采用的高压配电电压通常为 10kV 。如果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 电压作为工厂的高压配电电压。如果 6kV 用电

设备数量不多,则应选择 10kV 作为工厂的高压配电电压,而 6kV 高压设备则可通过专用的 10/6.3kV 的变压器单独供电。

如果当地的电源电压为 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

工厂的低压配电电压,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。

技能训练一 参观工厂供配电系统

技能训练是教学过程中的一个重要环节,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和工作程序。

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。

技能训练二 消弧线圈的巡视检查与维护

【训练目标】

- (1) 能巡视检查消弧线圈。
- (2) 能正确处理消弧线圈的异常运行及故障。

【训练内容】

1. 工作前的准备

- (1) 工器具的选择、检查:要求能满足工作需要,质量符合要求。
- (2) 着装、穿戴:工作服、绝缘鞋、安全帽。

2. 工作内容

1) 巡视检查消弧线圈

消弧线圈运行时,应定期巡视检查下列项目。

- (1) 检查油位是否正常,油色是否透明不发黑。
- (2) 检查油箱是否清洁,有无渗、漏油现象。
- (3) 检查套管及隔离开关的绝缘子是否清洁,有无破损、裂纹,防爆门是否完好。
- (4) 检查各引线是否牢固,外壳接地和中性点接地是否良好。
- (5) 检查消弧线圈上层油温是否超过 85°C (极限值为 95°C)。
- (6) 消弧线圈正常运行时应无声音,系统出现接地故障时,消弧线圈会有“嗡嗡”声,但无杂音。
- (7) 检查呼吸器内的吸潮剂是否潮解。
- (8) 检查接地指示灯及信号装置是否正常。

(9) 检查气体继电器, 应无空气, 有空气应放尽。

2) 消弧线圈的异常运行处理

消弧线圈运行中, 发生下列缺陷之一时为消弧线圈发生异常。

(1) 油位异常。油标管内的油面过低或看不见油位。造成油面过低的原因有: 渗、漏油, 检修人员放油后没有补油, 天气突然变冷, 且原来油枕中油量不足等。

(2) 接地线折断或接触不良。其原因有: 接地线腐蚀或机械损伤造成断线, 接地线螺钉松动造成接触不良等。

(3) 分接开关接触不良。其原因有: 消弧线圈多次调整匝数及检修安装不良, 造成分接开关松动, 压力不够, 使其接触不良。

(4) 消弧线圈的隔离开关严重接触不良或根本不接触。其原因有: 隔离开关本身存在多方面的缺陷, 使触头接触不良或根本不接触。

处理上述缺陷时, 应确认补偿网络运行正常, 无接地故障, 在得到调度同意后, 拉开消弧线圈的隔离开关, 再处理上述缺陷。

3) 消弧线圈的事故处理

消弧线圈运行中, 发生下述故障之一则为消弧线圈发生事故。

(1) 消弧线圈防爆门破裂, 向外喷油。

(2) 消弧线圈动作(带负荷运行)后, 上层油温超过 95°C , 且超过允许运行时间。

(3) 消弧线圈本体内有剧烈不均匀的噪声或放电声。

(4) 消弧线圈冒烟或着火。

(5) 消弧线圈套管放电或接地。

处理上述故障时, 应先向调度汇报, 在得到调度同意后, 拉开有接地故障的线路, 再停用与故障消弧线圈相连接的变压器, 最后拉开消弧线圈的隔离开关。严禁在系统发生故障或消弧线圈本身有故障的情况下, 直接拉开隔离开关进行处理。

3. 工作记录

按要求进行巡视检查、维护记录(在相应的记录簿上记录时间、人员姓名及设备状况等), 记录表如表 1-5 所示。

表 1-5 设备巡视检查、维护记录表

正常或缺陷、障碍、异常情况记录表				
检查开始日期 年 月 日			检查结束日期 年 月 日	
检查顺序	检查项目	正常或缺陷、障碍、异常运行情况	原因及分析	处理对策
评价				
检查人: (填写人)			审核人: (监护人)	



本章小结

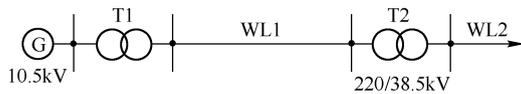
本章主要介绍了电能的特点及对供配电的基本要求、电力系统的组成与要求、电力系统的电压等级、电力系统中性点的运行方式、低压配电系统的接地形式和工厂供配电系统等问题。这些内容是学习本课程的预备知识。

1. 对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）、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。



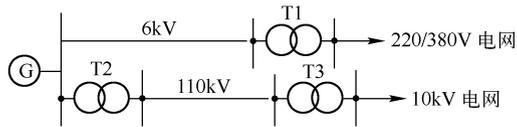
复习思考题

1. 电能的特点有哪些？对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的额定电压相同？
5. 为什么发电机的额定电压高于同级电网额定电压 5%？为什么电力变压器一次侧额定电压有的高于电网额定电压 5%，有的等于电网额定电压？又为什么电力变压器二次侧额定电压有的高于电网额定电压 5%，有的高于电网额定电压 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. 确定题图 1-1 所示供电系统中变压器 T1 和线路 WL1、WL2 的额定电压。



题图 1-1

11. 试确定题图 1-2 所示供电系统中发电机和所有变压器的额定电压。



题图 1-2

12. 消弧线圈运行时，有哪些巡视检查项目？

电子工业出版社版权所有
盗版必究