

# 模块一 通用供电基础

## 任务一 认识城市轨道交通供电系统

### 内容摘要

城市轨道交通供电系统是为轨道交通运营提供动力能源的一个庞大系统，是国家和城市电网中的用电特大户。它从国家和城市电网接受电源，通过变配电，将合适的电源提供给城市轨道交通各个部门和系统。城市轨道交通供电系统又是国家电力系统中的一部分，它的安全、可靠运行离不开国家电力系统的支撑。电力系统是由发电厂、变电所、输电线、配电系统及负荷组成的，国家电力系统运行稳定与否将最终影响城轨供电的可靠性。

### 学习目标

- (1) 掌握电力系统的概念、组成。
- (2) 掌握电力系统中性点运行方式的类型特点及应用范围。
- (3) 掌握城市轨道交通供电系统的供电方式种类、概念。
- (4) 主变电所的功能、电气主接线结构。
- (5) 降压变电所的功能、电气主接线结构。
- (6) 牵引变电所的功能、电气主接线结构。
- (7) 中压环网的功能、结构。

### 一、电力系统基本知识

随着城市轨道交通的迅猛发展，对电能的需求越来越大。城轨交通的电能取自城市电网，电网的电能由发电厂提供。发电厂是电能的生产单位，发电厂发出的电能是不能储存的，电能的生产（电厂）和消耗（用户）必须随时平衡，也就是说电力的生产、输送、分配和使用的全过程，是由发电厂、变电所和用户紧密联系起来的一个整体在同一瞬间实现的。在这一条链上的每一个环节都必须共同发挥作用，才能使电力生产维持下去。城轨交通的供电系统就是这条链上的重要用户，城市电网中任何一个环节出现问题，都会影响城轨供电的质量和可靠性。同样地，如果城轨供电系统出现故障，也会影响城市电网的电力平衡。

## （一）发电厂

发电厂是把不同形式的能源（例如化学能、水能、原子能等）转换成电能的工厂。根据发电厂所利用的能源不同，可以分为以下几类：

### 1. 火力发电厂

利用煤、石油、天然气等燃料来发电的称火力发电厂，简称火电厂。我国煤炭资源较丰富，火电厂仍是我国发电的主要形式。有很多电厂建在煤矿边上就称为坑口电厂。为了提高燃烧效率，现代的火电厂都把煤块粉碎成煤粉，在炉膛内能够完全燃烧，将锅炉内的水烧成高温、高压的蒸汽（化学能转变成热能），蒸汽冲动汽轮（热能转变成机械能），使其带动与其联轴的发电机旋转，发出电能（机械能转换成电能）。

### 2. 水力发电厂

从水库引水，利用位能冲动水轮机（水能转换成机械能），并使其带动与其联轴的发电机旋转，来产生电能（将机械能转变成电能）的发电厂称为水电发电厂。例如三峡的水力发电，就是在长江中拦江筑坝，提高上游的水位，形成水库，使上、下游形成尽可能大的落差。这样的能源是环保清洁的，是今后能源发展的一个方向。

### 3. 原子能发电厂

原子核在核反应堆中的分裂过程中会产生大量的热能（原子能转换成热能），用此热能把水加热成蒸汽，蒸汽冲动轮机使其带动发电机旋转发电。例如我国的秦山核电站，它的电力生产过程与凝汽式火力发电厂相类似，但它是用核反应堆代替了蒸汽锅炉。

由于原子能发电厂在电力生产过程中将核废料妥善处置后，便不会产生有害烟尘，不污染空气，所以相对来说是比较环保的。原子能发电的一个重要优点是因为它的能量密度远远高于煤炭，可以用少量的原子能燃料代替大量的煤炭，特别是在我国南方少煤地区，建设原子能发电厂具有更重要的经济和科学研究价值。

此外，还有潮汐发电厂、地热发电厂、风力发电厂、太阳能发电厂等。

我国现有的发电厂是以火力发电厂为主，其中凝汽式火力发电厂仍占多数。同时正在大力发展水力和风能发电，例如长江口崇明岛的风能发电。

## （二）电力网

电网是指由输配电线路将相近的电厂、送变电站联络起来，形成地区或全国性网络，以便进行统一管理和运行调度，为电能的输送提供一个庞大的网络。另外，为了把电能输送到较远的用电地区，降低输电线路对电压的损耗，通常发电厂发出的电能都须经升压变压器把电压升高（例如 110 kV、220 kV、500 kV 等），然后通过电网和输电线路送到用电地区，再经变电所的降压变压器把电压逐级降低后分配使用。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。电网的电压一般为 0.4 kV、10 kV、35 kV、110 kV、220 kV 等，而发电机的电压一般为 6.3 kV、10.5 kV、13.8 kV、15.75 kV、18 kV 等，城市轨道交通电源进线电压为 110 kV。发电厂不能直接向用户供电，必须通过电网变配电后供给用户。电力系统原理性电路图如图 1-1 所示。

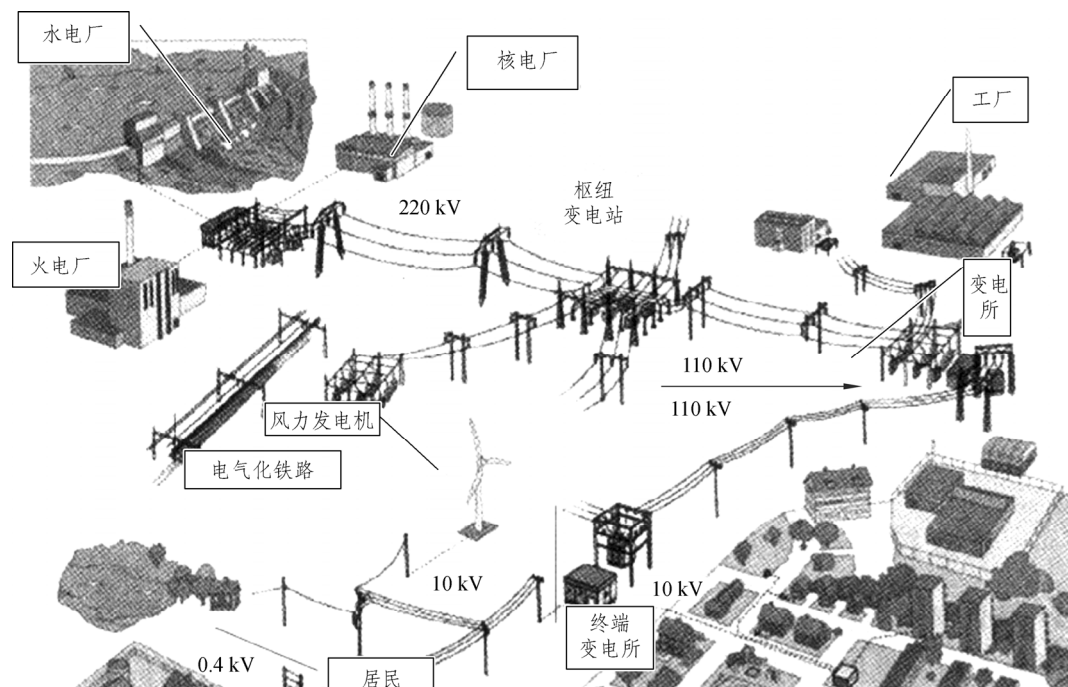


图 1-1 电力系统原理性电路图

### (三) 电力系统及其额定电压

#### 1. 电力系统

电力系统是指电力生产、变配电、输送和用户使用组成的发、供、用的一个整体，通常是两个及以上的发电厂和若干个变配电所及其输电线、配电网和它们的用户组成的一个庞大整体。其中输电线和相连的变电所部分称为电力网。发电厂向电网输送电能，用户从电网接收电能。在这当中，电网起着电能调节、分配和输送的重要作用。如果电能不够，它可以通过增加连接发电厂数量或减少用户连接数量（减负荷），来平衡电能；如果电能富余，它还可以通过减少连接发电厂数量或向其他电网输送电能，来平衡电能。

#### 2. 电力系统的额定电压

额定电压是指电气设备长时间正常工作时的最佳电压，额定电压也称为标称电压。当电气设备的工作电压高于额定电压时容易损坏设备，而低于额定电压时将不能正常工作。

额定电压是电气设备（包括用电、供电设备）长期稳定工作的标准电压。额定电压可以从用电设备和供电设备两方面进行理解，用电设备的额定电压表示设备出厂时设计的最佳输入电压，通常也是比较容易取得的电源供给电压。供电设备的额定电压表示供电系统的最佳输出电压，需要与用电设备的额定电压进行匹配，包括电网额定电压、发电机额定电压和电力变压器的额定电压。

电力系统在特定条件下所出现的超过工作电压的异常电压升高，属于电力系统中的一种电磁扰动现象。电工设备的绝缘长期耐受着工作电压，同时还必须能够承受一定幅度的过电压，这样才能保证电力系统安全可靠地运行。研究各种过电压的起因，预测其幅值，并采取措施加以限制，这是确定电力系统绝缘配合的前提，对于电工设备制造和电力系统运行都具有重要意义。

过电压是指工频下交流电压均方根值升高，超过额定值的 10%，并且持续时间大于 1 min 的长时间电压变动现象。过电压的出现通常是负荷投切的瞬间的结果，正常使用时在感性或容性负载接通或断开情况下发生。例如：切断某一大容量负荷或向电容器组增能（无功补偿过剩导致的过电压）。

### 3. 电网的额定电压

同一电压级别下，各种设备的额定电压并不完全相等，为了使各种相互连接的电气设备都能运行在较有利的电压下，各电气设备的额定电压之间存在相互配合的问题。为此将电力线路的额定电压和系统的额定电压统一，把它称为电网的额定电压。

### 4. 电气设备的额定电压

所谓电气设备额定电压就是电气设备能够长时间工作的最适合的电压。此时电气设备中的元器件都工作在最佳状态，只有工作在最佳状态时，电气设备的性能才能比较稳定地发挥，电气设备的寿命在这样的工作电压下才得以延长。

变压器的额定电压较为复杂，一次绕组与系统的额定电压相同，二次绕组比系统的额定电压高 10%，如果变压器的短路阻抗小于 7% 或直接与用户连接时，则规定比系统的额定电压高 5%。

## (四) 建立统一的电力系统的优点

### 1. 降低最高负荷

因为在同一电网中，当某一地区出现用电高峰时，另一地区可能是用电低谷，电网中总电能需求量的增加或减少是很少的，此时电网是不需额外增加电能供给的。电网越大、容量越大，出现上述情况的可能性越多，越容易调节。因此可以相对减少发电机的装机容量。

### 2. 减少备用容量

只要各电厂错开检修时间，就可以利用系统中的有些发电厂作为备用机组互相支援，不必每个电厂都装备用机组，这样就减少了总的备用容量。

### 3. 提高供电的可靠性和电能质量

由于电网越大，上网供电的发电机组越多，系统容量也越大，个别机组的容量占整个电网容量的比重相对较小，所以故障时对系统的影响较小，因而提高了供电的可靠性和电能的质量（频率、电压）。

### 4. 提高发电设备的经济运行

充分利用水电厂在电力系统中起着调峰的作用，这样可以使高效率的大机组得到充分地利用。

## (五) 电力系统的中性点

我国 110 kV 及以上电网一般采用大电流接地方式，即中性点有效接地方式（在实际运行中，为降低单相接地电流，可使部分变压器采用不接地方式）。这样中性点电位固定为地电位，发生单相接地故障时，非故障相电压升高不会超过 1.4 倍运行相电压，暂态过电压水平也较低，故障电流很大，漏电保护能迅速动作跳闸，切除故障，系统设备承受过电压时间较短。因此，大电流接地系统可使整个系统设备绝缘要求水平降低，从而大幅降低造价。

现行水利电力部制定的《电力设备接地设计技术规程》(SDJ 8) 规定：3 ~ 60 kV 系统，当单相接地电流大于 30 A 时；20 kV 以上电网中，接地电流大于 10 A 时，则采取中性点经消弧线圈接地的运行方式。110 kV 及以上的系统，一般采用中性点直接接地的运行方式。对于 380/220 V 低压配电网，为得到两个不同的电压级也采取中性点直接接地的三相四线制。

对于电网系统的设备来说其中性点的运行方式不同，技术特性和工作条件也不同。这样对整个电网系统运行的可靠性及其设备的绝缘和继电保护不同。这是一个影响到经济和技术并由各方面因素决定的综合性问题。

### 1. 中性点不接地系统

我国 3 ~ 10 kV 系统，大多采用中性点不接地的运行方式。这主要是因为电压等级不高，单相接地时，虽然非故障相电压升高  $\sqrt{3}$  倍，但设备的绝缘是根据系统的线电压设计的，对设备绝缘影响不大。当单相接地时系统可以允许继续运行两小时，这就为查找故障赢得了时间，大大提高了供电的可靠性。系统故障的 70% 以上是接地故障，对线路的损害主要是由接地点的电容电流造成的。

正常运行时，三相系统是对称的，用  $i_{CA}$ 、 $i_{CB}$ 、 $i_{CC}$  表示各相对地电容电流， $i_{C0}$  表示对地总的电容电流，同时不考虑相间电容，如图 1-2 (a) 所示。

#### 1) 系统正常运行

系统正常运行时，理想情况下，负荷是对称的。那么三相电压  $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$  是对称的，中性点的电位为零。各相对地电容电流也是对称的（各相对地的电容是相等的），即  $i_{CA} = i_{CB} = i_{CC} = i_{C0} = 0$ 。[图 1-2 (b) 为 A 相电流向量图；图 1-2 (c) 为电容电流向量图]

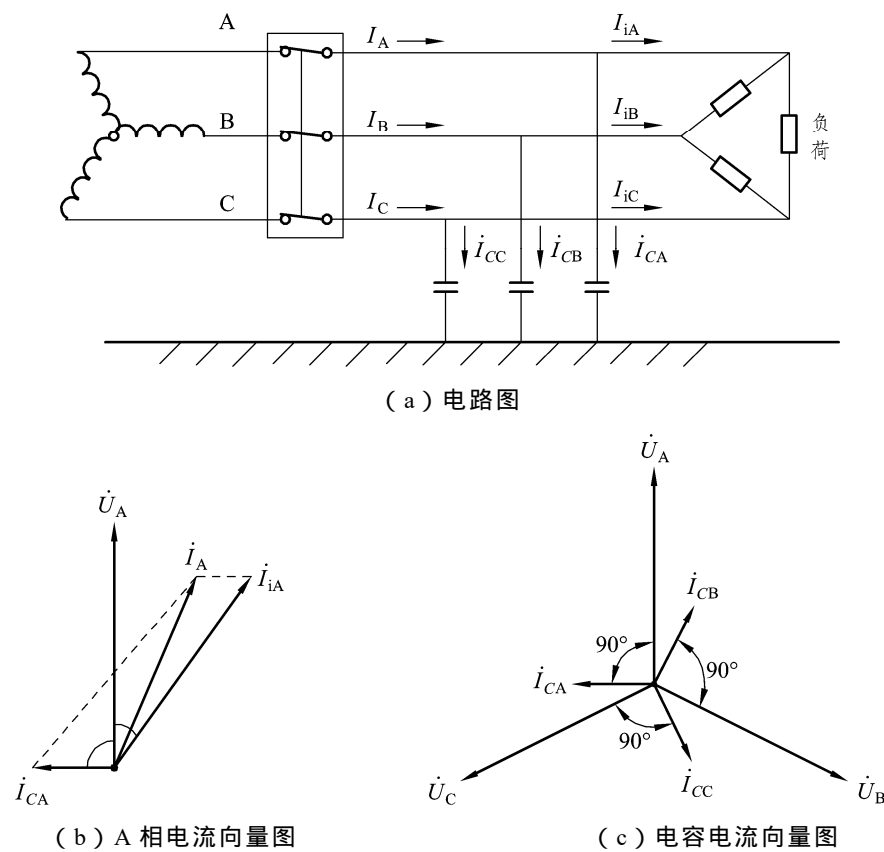


图 1-2 正常运行时，中性点不接地的三相系统图

#### 2) 系统发生单相接地故障

当任何一相（例如 C 相）绝缘受到破坏而接地时的电路图，如图 1-3 (a) 所示。此时，C 相对地的电压变为零，中性点电位偏移，未故障两相对地的电压升高  $\sqrt{3}$  倍，即变为线电压。C 相发生完全接地时的向量图，如图 1-3 (b) 所示。由图可以确定各相对地的电压  $\dot{U}'_A$ 、 $\dot{U}'_B$ 、 $\dot{U}'_C$  的大小和方向：

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_A - \dot{U}_C = \dot{U}_{AC}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}'_B &= \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_B - \dot{U}_C = \dot{U}_{BC} \\ \dot{U}'_C &= \dot{U}_C + (-\dot{U}_C) = 0\end{aligned}$$

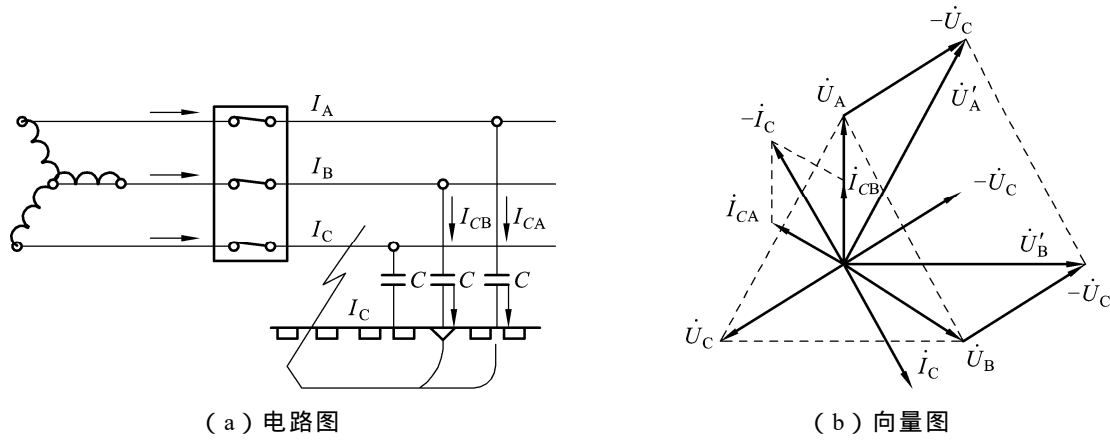


图 1-3 C 相发生接地时，中性点不接地的三相系统图

从图 1-3 (b) 可以确定， $|\dot{U}'_A| = |\dot{U}'_B| = \sqrt{3}|\dot{U}_A|$ ， $\dot{U}'_A$  和  $\dot{U}'_B$  之间的夹角为  $60^\circ$ ，A、B 两相对地电压值升高  $\sqrt{3}$  倍，这样其对地电容上所加的电压也升高  $\sqrt{3}$  倍。所以，对地电容电流也较正常时的电容电流  $i_{C0}$  升高  $\sqrt{3}$  倍。根据图中可确定非故障相对地的电容电流，而 C 相对地的电容电流为零，因为 C 相对地的电容被短路了。

设电流的正方向是由电源到电网，则可得通过 C 相接地点的电流（简称接地电流） $i_C = -(i'_{CA} + i'_{CB})$ ， $i'_{CA} = i'_{CB} = \sqrt{3}i_{CA} = \sqrt{3}i_{CB} = \sqrt{3}i_{C0}$ ，由于  $i'_{CA}$  和  $i'_{CB}$  是电容电流，故分别超前  $\dot{U}'_A$  和  $\dot{U}'_B$   $90^\circ$ ，因而  $i'_{CA}$ 、 $i'_{CB}$  两电流之间的夹角也是  $60^\circ$ ，将它们相加即得  $-i_C$ 。C 相接地电流  $i_C$  为电容电流，故  $i_C$  超前电压  $\dot{U}_C$   $90^\circ$ 。由向量图可得

$$\begin{aligned}I_C &= \sqrt{3}I'_{CA} = \sqrt{3}I'_{CB} \\ I'_{CA} &= I'_{CB} = \sqrt{3}I_{C0}\end{aligned}$$

所以 
$$i_C = 3i_{C0} \quad (1-1)$$

由 (1-1) 式可知，单相接地电流等于正常时一相对地电容电流的 3 倍。

若已知每相的对地电容  $C$ ，则可得到

因为 
$$X_C = \frac{1}{\omega C} \times 10^{-3}$$

所以 
$$I_C = 3I_{C0} = 3U_\phi \omega C \quad (1-2)$$

式中  $U_\phi$  —— 正常运行时的相电压，kV；

$\omega$  —— 角频率，rad/s；

$C$  —— 相对地的电容，F；

$X_C$  —— 对地电容的容抗，k $\Omega$ ；

因此，接地电流  $i_C$  的值与网络的电压、频率和每相对地的电容有关，而每相对地的电容与电网的结构（电缆、架空线）和线路的长度有关。在实用中，接地电流可近似地用下式计算：

架空线路 
$$I_C = \frac{Ul}{350} \quad (1-3)$$

电缆线路 
$$I_C = \frac{Ul}{10} \quad (1-4)$$

式中  $U$  —— 电网的线电压，kV；

$l$ ——线路长度，km；

$I_c$ ——接地电流，A。

非金属接地模块分为：烧制型非金属接地模块与压制型非金属接地模块。非金属接地模块是一种以导电非金属材料为主的接地体，是用于降低接地电阻的专用产品，适用于各种类型的土壤环境，在高土壤电阻率地区应用更具有显著的优越性。与传统接地体相比，具有降阻效率高、接地电阻稳定、减少地电位反击、使用寿命长、抗腐蚀、无毒环保、施工安装方便等优点，广泛适用于防雷接地、安全保护接地、交流工作接地、直流工作接地、防静电接地、屏蔽接地及其他特殊接地。压制型接地模块缺点：运输施工时容易碎，在地下容易受天气变化影响，模块与扁钢连接不好造成电阻升高。烧制型模块具有不变形、不会碎、无污染、长寿命、性能稳定等特点，是理想接地材料，唯一的不足是成本高。

非金属性接地（包括经过一定电阻或消弧线圈接地）时，接地相对地的电压大于零而小于相电压，非接地相对地的电压则大于相电压而小于线电压。

由前面分析可知，在中性点不接地的系统中发生单相接地时，网络非故障相线电压的大小和相位差仍维持不变，在这种系统中相对地的绝缘水平是根据线电压设计的，虽然未故障相的相电压会升高 $\sqrt{3}$ 倍，但对设备的绝缘没有多大影响。因而中性点不接地系统在发生单相接地时，可以继续运行。但是，不允许长期运行，因为长期运行时可能引起未故障相绝缘薄弱的地方损坏而造成相间短路。为此，在这种系统中，一般都装设专门的绝缘监察装置，以监视有无接地故障发生。中性点不接地系统中发生单相接地时，按规定一般允许暂时继续运行不超过两小时。

## 2. 变压器中性点不接地系统的优、缺点

工业生产用电是三相 380 V 的，其中有一条中性线是从发电机的中性点引出来，此中性点接到地上，称为“零线”。常用的电力系统分为两种，一种是中性点接地，一种是中性点不接地。至于中性点要不要接地，这取决于技术上和安全上的要求，它们各有不同的特点。

中性点直接接地的系统属于较大电流接地系统，一般通过接地点的电流较大，可能会烧坏电气设备。发生故障后，继电保护会立即动作，使开关跳闸，消除故障。目前我国 110 kV 以上系统大部分采用中性点直接接地。对于不同等级的电力系统中性点接地方式也不一样，一般按下述原则选择：220 kV 以上电力网，采用中性点直接接地方式；110 kV 接地网，大部分采用中性点直接接地方式，少部分采用消弧线圈接地方式；20~60 kV 的电力网，从供电可靠性出发，采用经消弧线圈接地或不接地的方式，但当单相接地电流大于 10 A 时，可采用经消弧线圈接地的方式；3~10 kV 电力网，供电可靠性与故障后果是其最主要的考虑因素，多采用中性点不接地方式。

中性点有电源中性点与负载中性点之分，它是在三相电源或负载按 Y 形连接时才出现。对电源而言，凡三相线圈的首端或尾端连接在一起的共同连接点，称电源中性点，简称中点；而由电源中性点引出的导线便称中性线，简称中线，常用 N 表示。三相四线制中性点不接地系统和三相四线制中性点接地系统在一般情况下，当中性点接地时，则称为零线；若不接地时，则称为中线。配电系统中，为防止电网遭受过电压的危害，通常将变压器的中性点，变压器的外壳，以及避雷器的接地引下线共同于一个接地装置相连接，又称三点共同接地。这样可以保障变压器的安全运行。当遭受雷击时，避雷器动作，变压器外壳上只剩下避雷器的残压。

(1) 优点：采用变压器中性点不接地系统，由于限制了单相接地电流，对通信的干扰较小；另外单相接地可以运行一段时间，提高了供电的可靠性。

(2) 缺点：采用变压器中性点不接地系统，当一相接地时，另两相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍，易产生间隙性电弧，使绝缘薄弱地方击穿，从而造成两相接地短路。

### 3. 中性点直接接地系统

将系统的中性点直接接地也是防止单相接地时产生间歇电弧过电压的一种方法,如图 1-4 所示。由于单相短路电流很大,因而零序保护灵敏,继电保护装置能可靠动作,将接地的线路切除,使系统的其他部分恢复正常运行。这样在发生单相接地时,就不会产生间歇电弧。同时,因中性点电位为接地体所固定,非故障相对地的电压不升高,因而各相对地的绝缘水平只需按相电压考虑,这就降低了设备对绝缘的要求。设备的绝缘要求降低,实际就降低了高压电气设备的造价。所以 110 kV 以上的超高压系统,一般采用中性点直接接地的方式。

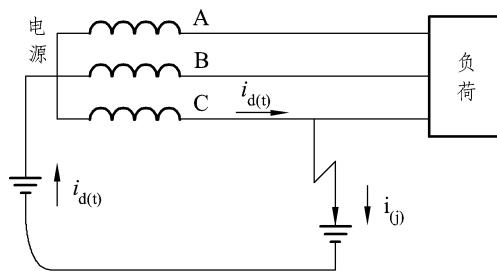


图 1-4 中性点直接接地系统图

中性点直接接地系统的缺点:

(1) 单相接地时,短路电流值很大,故障被切除前将引起电压降低,会影响系统的稳定。另外,由于强大的短路电流的导体周围形成较强的单相磁场,使邻近的电子设备受到干扰。例如城轨交通的信号和通信设备。因此,在大容量的电力系统中,为了减小单相短路电流,也有采用中性点经电抗器接地的(这样可限制单相短路电流值,不过却损失了部分零序保护的灵敏度)。

(2) 在发生单相接地时,由于必须断开故障线路,用户供电不得不中断。为了克服这一缺点、提高供电的可靠性,在中性点直接接地系统中,普遍地装设了自动重合闸装置(ZCH)。当发生单相接地故障时,在继电保护的作用下断路器自动断开,经一定延时后再自动重合,若故障消除,用户供电即可得到恢复。如果单相接地为永久性的,则继电保护将再次断开断路器,这样供电设备还要遭受二次故障电流的损害。对于重要的一类负荷,为保证不间断供电,则应另装设备用电源。

### 4. 变压器中性点接地系统的优缺点

(1) 优点:对电源中性点接地系统,若发生某单相接地,另两相电压不升高,这样可使整个系统绝缘水平降低;另外,单相接地会产生较大的短路电流,从而使保护装置(继电器、熔断器等)迅速准确地动作,提高了保护的可靠性。

(2) 缺点:对电源中性点接地系统,由于单相短路电流很大,开关及电气设备等要选择较大容量,并且还能造成系统不稳定和干扰通信线路等。

### 5. 各种电压等级供电线路的接地方式

(1) 在 110 kV 及以上的高压或超高压系统中,一般采用中性点直接接地系统,其目的是为了降低电气设备绝缘水平,提高继电保护的灵敏性,免除由于单相接地后继续运行而形成的不对称性。

(2) 工厂供电系统采用电压在 1~35 kV,一般为中性点不接地系统,因工厂供电距离短,对地电容小,单相接地电流小,这样允许运行一段时间,提高了系统的稳定性和供电可靠性,对通信干扰小。

(3) 1 kV 以下的供电系统(380/220 V),除某些特殊情况下(井下、游泳池),绝大部分是中性点接地系统,主要是为了防止绝缘损坏而遭受触电的危险。



## 二、66 kV 供电系统

66 kV 供电系统采用主变电所 66 kV 进线电源。

地铁线路通常设有两座以上的主变电所，它们的 66 kV 电源取自市网的不同变电所，是不同源的。通常情况下，一座主变电所由同一个市网变电站取两路 66 kV 电源，或取自不同地区变电所的各一段母线。

### （一）一次接线及要求

变电所的电气主接线，是由特定符号表示的各种电气设备及其连线和母线所组成的输送和分配电能的电路，主接线图通常也称为一次接线图。

主接线的确定对变电所电气设备的选择、继电保护装置的配置以及运行的可靠性和经济性有着重要的影响。

#### 1. 对主接线的基本要求

- （1）根据上级电网结构和用户的要求，应保证供电的可靠性和电能质量。
- （2）接线应力求精简、明晰，方便调度和操作。无多余的设备，尽可能减少操作次数，避免发生误操作。
- （3）倒闸操作方便，能保障工作人员及设备的安全。
- （4）检修维护方便，能保障检修工作的安全进行。
- （5）应使接线的投资和运行的费用最经济，具备扩建的可能性。

#### 2. 一次接线图标画法

主接线图和其他电路图不同，图中以单根连线代表交流电的三相导线，根据实际工作需要，在主接线图上可注明设备的型号、规格或不注型号、规格。如果仅画出主要一次设备，可作为倒闸操作作用的模拟图。主接线的基本环节是变压器、引出线、断路器、闸刀和母线。

### （二）主变一次接线

城轨主变电站 66 kV 一次接线通常有三种接线方式：

- （1）内桥接线方式。此种接线方式供电灵活性较好，两路电源互为备用。当一路电源故障退出运行时，可以通过桥断路器，实现另一路电源同时供两台变压器。
- （2）线路变压器组接线方式。此种接线方式供电灵活性比内桥接线方式稍差。当一路电源故障退出运行时，另一路电源则能继续供给主变电站原供电区域中的负荷。
- （3）环进环出线路变压器组接线方式。此种接线方式兼顾了地区高压配电作用，有利于城市电网电源与电源之间的联络，提高了地区电网可靠性，但增加了主变电站工程的投资。如图 1-5 所示。

如果上级变电所的馈线继电保护范围延伸至本线路及降压变压器低压侧时，允许在变压器的高压侧只装隔离开关。如果变电所中短路电流不超过高压熔断器的遮断容量时，允许采用高压熔断器来保护主变压器。但是当变压器故障或检修时，整个线路必须停止工作，而环进环出线路变压器组接线方式就可避免这样的情况，只需断开变压器开关即可。环进环出线路变压器组也可以满足电力系统有穿越性功率经过环进环出开关。这些是环进环出线路变压器组接线方式的优越性。

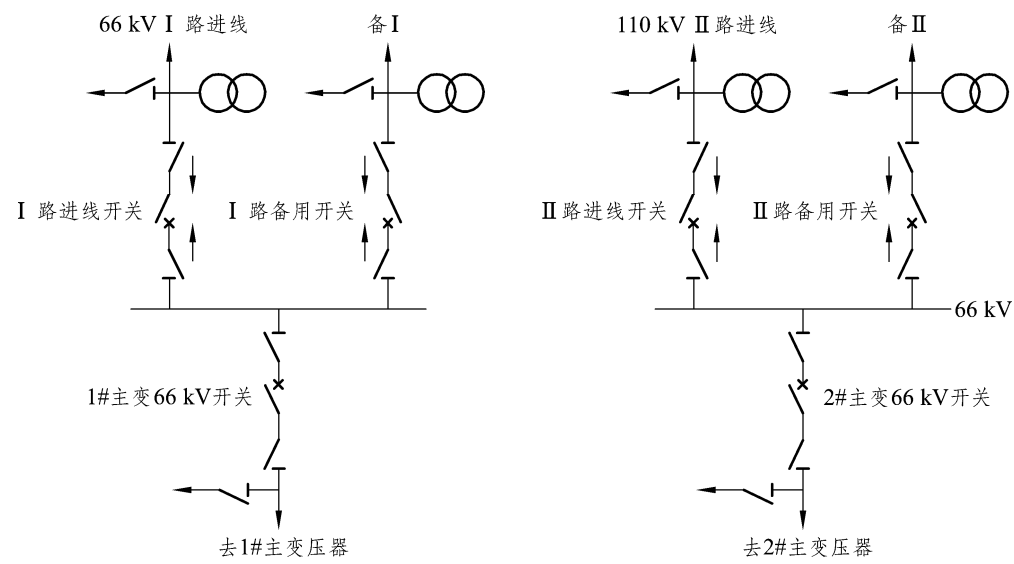


图 1-5 环进环出线路接线

环进环出线路变压器组接线：因为进线和联络开关相当于市电网在本站的延伸，于是变压器开关相当于直接和市电网线路连接，故称这种接线方式为环进环出线路变压器组接线方式，实际上是线路变压器组接线方式的一种。这种接线方式高压侧和线路变压器组接线方式相比多了环进环出开关，虽然用的电气设备较多，但留出了发展的空间。

### 三、35 kV 供电系统

35 kV 供电系统指连接主变电站和各城轨牵引、降压变电站的 35 kV 环网，由城轨牵引和降压变电站，以及 35 kV 断路器和变压器等构成。系统中性点采用接地变绕组经电阻接地的小电流接地形式，接线方式有两种形式：一种是接地变压器（以下简称“接地变”）接在主变压器（以下简称“主变”）35 kV 母线上的，另一种是接在 35 kV 出线侧，最后经接地电阻接地。

#### 1. 城轨主变电站 35 kV 一次接线

图 1-6 所示为 4#线主变 66 kV 和 35 kV 接线图，其中 66 kV 段和 段、35 kV 段和 段分别为单母线接线，35 kV 段和 段为单母线分段接线，在大多数城轨主变中 35 kV 接线方式一般都为单母线分段接线。

图中 4#线主变通过 35 kV / 段向 6#线站供电，而该主变所辖 4#线负荷通过 35 kV / 段母线馈出，正常运行时， / 段母线 35 kV 分段开关处于分闸状态，自切装置投入。当 I/II 段母线故障时，主变压器 35 kV 开关跳闸，35 kV / 段母联开关跳闸，35 kV / 段分段开关自切。此时 6#线开关站负荷自动被切除，保证 4#线负荷供电。当 / 段母线故障时，35 kV / 段母联开关跳闸，35 kV / 段分段开关不自切，此时 6#线馈线开关仍能保证供电。由此可以看出这样的接线方式使得 4#号线和 6#号线的供电运行相互之间干扰最少。

#### 2. 中心变电站 35 kV 接线

中心变电站 35 kV 为线路变压器组接线，是从主变电站的 35 kV / 段母线上各引入一路电源构成线路变压器组接线方式，35 kV / 路电源经动力变压器降压至 10 kV，供给 10 kV / 段母线，并和各个降压变电站 10 kV 侧构成 10 kV 环网供电系统，如图 1-7 所示。