

第二节 城市轨道交通供电系统

一、城市轨道交通供电系统概况

城市轨道交通供电系统是城市轨道交通的能源补给线，它的安全可靠运行应被放在第一位，它对城市轨道交通的影响是全面的。一旦供电系统出现问题，将会导致城市轨道交通的混乱和瘫痪。因此，建立一个安全可靠的城市轨道交通供电系统是非常重要的。

(一) 电源组成

城市轨道交通供电系统的电能来源于国家电网，而国家电网的电能来源于各种发电厂。

(二) 外部电源系统——城市电网

电力网简称电网，由输电线路、配电线路和变电所组成。输电线路是向用户传输电能的通道，一般来说其电压较高，即采用高压传输，其特点是线路较长，覆盖区域广。配电线路是向用户分配电能的通道，其电压相对较低，也就是通常说的低压配电线路，其特点是线路较短。由此可见，不同的电网，其电压等级也不一样。

我国规定的电网标称电压（或者说额定电压）为 3 kV、6 kV、10 kV、20 kV、35 kV、66 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV、750 kV、1 000 kV。

高压又细分为中压（3 ~ 75 kV）、高压（110 ~ 220 kV）、超高压（330 ~ 750 kV）、特高压（1 000 kV）。

高压电器设备是指输配电系统中用于控制和保护的设备，对电力设备的安全可靠运行至关重要。

城市轨道交通供电系统从城市电网引入高压或中压电源，再将引入的外部电源进行电压转换或直接分配至轨道交通的牵引变电所或降压变电所，由牵引变电所和降压变电所分别为轨道交通运行主体的车辆和辅助用电设备（动力、照明负荷）供电。

轨道交通从外部电源引入的形式上一般分为集中式供电、分散式供电和混合式供电三种模式。国内大部分采用集中式供电，一些城市采用分散式供电，部分线路采用混合式供电。

1. 集中式供电

集中式供电指轨道交通从城市电网引入较高电压等级的电源（如 110 kV、220 kV），经

主变电站进行电压转换，将外部电源降压（如 35 kV 或 10 kV）后，由主变电站集中向牵引变电所和降压变电所供电的外部电源引入模式。该模式引入的电源电压等级高，电源点供电能力较强，引入电源点较少，有利于管理。

2. 分散式供电

分散式供电是相对于集中式供电而言的，是指轨道交通不设主变电站，由沿线城市变电站直接向牵引变电所和降压变电所提供中压（35 kV 或 10 kV）电源的供电模式。

该模式是根据城市轨道交通供电的需要，在地铁沿线直接由城市电网引入多路电源，构成供电系统。

分散式供电要保证每座牵引变电所和降压变电所均获得双路电源，这就要求城市轨道交通沿线有足够的电源引入点及备用容量。分散式供电要求城市电网资源充足，安全运营水平高，供电可靠。

当然，两种方式各有优缺点，轨道交通的外部电源方案应根据城市电网的具体构成情况，采用合适的供电方式。如北京采用分散式供电，上海、广州、南京、武汉、苏州、深圳等地则采用集中式供电。

3. 混合式供电

混合式供电将前两种供电方式结合起来，一般以集中式供电为主，个别地段引入城市电网电源作为集中式供电的补充，使供电系统更加完善和可靠。北京地铁 1 号线和 2 号线、建设中的武汉轨道交通工程、青岛地铁南北线工程等均采用了混合式供电方案。这种模式充分发挥了前两种方式的优点，体现了城市一体化的特点。

（三）城市轨道交通供电系统构成

城市轨道交通供电系统的电源一般取自国家电力系统，即取自于所在城市电网，也就是说城市轨道交通供电系统是嫁接在城市电网上面的一个相对独立的子系统，它是一个特殊的大用电户。城市轨道交通供电系统分为外部电源系统和内部电源系统。内部电源系统是城市轨道交通供电系统的主体，主要由以下部分构成：中压环网供电系统、牵引供电系统和低压变配电系统。城市轨道交通供电系统示意图如图 1-2 所示。

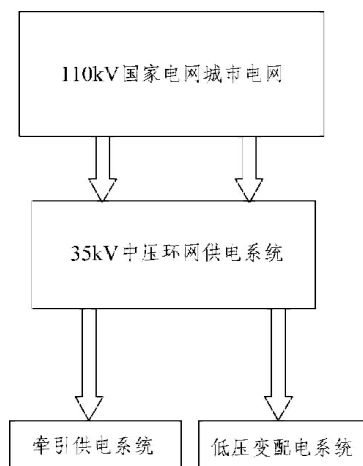


图 1-2 城市轨道交通供电示意图

1. 中压环网供电系统

城市轨道交通电力能量直接取自城市或区域电网。城市电网或区域电网的结构对城市轨

道交通供电系统起着决定性作用。

中压环网是连接城市或区域电网到供配电系统的系统。

该系统主要包括所有的主变电所和 35 kV 系统线路环网。通过中压电缆，纵向地把上级主变电所和下级牵引变电所、降压变电所连接起来，横向地把全线的各个牵引变电所、降压变电所连接起来，便形成了中压环网供电系统。中压环网供电系统不是供电系统中独立的子系统，但它却是供电系统的核心内容。它涉及外部电源方案、主变电所的位置与数量、牵引变电所及降压变电所的位置与数量、牵引变电所与降压变电所的主接线形式等。

2. 牵引供电系统

它是城市轨道交通供电系统的核心，负责向轨道交通车辆提供电能，其主要作用是降压、整流和传输电能。该系统主要包括牵引变电所、馈电线、接触网（或者接触轨）等。

牵引变电所是牵引供电系统的核心，它的主要作用是生产出满足要求的电能；馈电线则负责把合格的电能输送到轨道沿线的接触网上；而接触网则负责把电能不间断地输送到运行的车辆设备上（主要指受电弓、接触轨等）。

3. 低压变配电系统

它负责向信号设备、照明、通风、排水、制冷设备馈送电能，其主要作用是降压、分配和传输电能。该系统主要包括降压变电所、多路馈线等。

城市轨道交通供电属于一级供电负荷，一旦中断，将打乱运输计划和机车车辆运行图，影响城市轨道交通的环控系统、照明系统等正常运行，会造成很大的社会影响。因此，建设一个安全、灵活、经济、可靠的城市轨道交通供电系统，对城市轨道交通有着极为重要的意义。

二、城市轨道交通供电系统结构

（一）根据变电所供电接线方式划分

1. 环网供电

主变电所向沿线的所有牵引变电所和降压变电所供电。为了增加可靠性，采用双回路输电线路。当一个主变电所出现故障时，供电区域内沿线的牵引变电所和降压变电所仍能正常工作。

这种供电方式，既能满足可靠性的要求，也能满足管理和运营的要求。环网供电又分为双环网供电和单环网供电。双环网供电又称为链式网供电，其接线示意图如图 1-3 所示。目前城市轨道交通供电系统多采用这种方式。

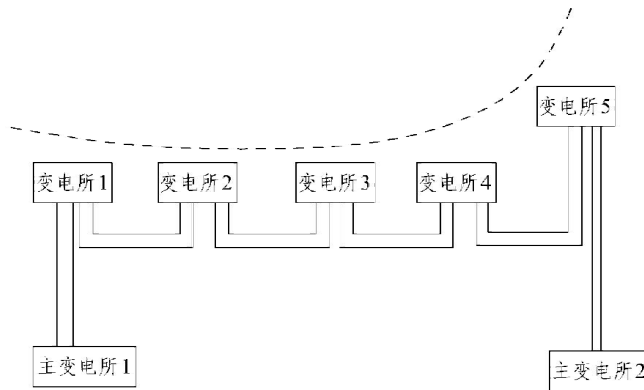


图 1-3 环网供电接线示意图

2. 单边供电

当轨道线路沿线附近只有一侧有电源时，常采用单边供电。为了增加可靠性，也可采用双路输电线路。单边供电的可靠性较差。一旦主变电所出现故障，沿线就必然断电，造成整个线路无法运行。一般在线路的末端或者特殊场所，采用这种供电方式。单边供电接线示意图如图 1-4 所示。

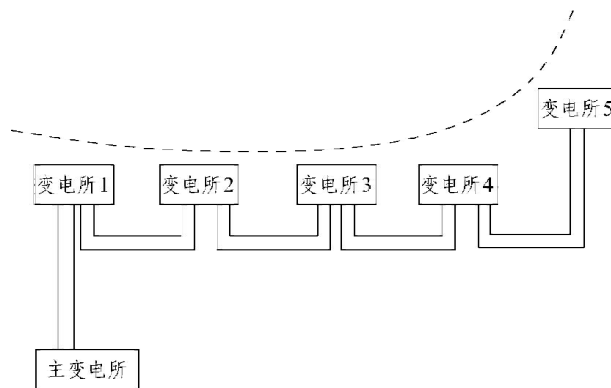


图 1-4 单边供电接线示意图

3. 辐射型供电

辐射型供电接线示意图如图 1-5 所示。当每个牵引变电所和降压变电所到主变电所距离差不多一样时，常采用辐射型供电。

为了增加可靠性，也可采用双路输电线路。但是，主变电所出现故障时，沿线就必然断电，也会造成部分线路无法运行。这种方式现在又称为辐射网供电方式。这种方式又分为单回路辐射网和双回路辐射网。实际应用中，单回路辐射网供电方式几乎不采用。

总之，为了增加系统的可靠性，不致用户供电中断，一般采用三种供电方式：一是采用双电源或多电源，双边供电采用的就是这种方式；二是采用双回路输电线路，防止因输电线路故障引起用户的供电中断，双回路线路一般用于一些重要的负荷，但其附近的电源只有一个，为了增加其可靠性，可增加一条输电线路；为减少投资，对于一些不太重要的负荷，一

般采用单回路输电线路；三是在变配电所采用双变压器，这种方式我们将在以后的章节中讲解。

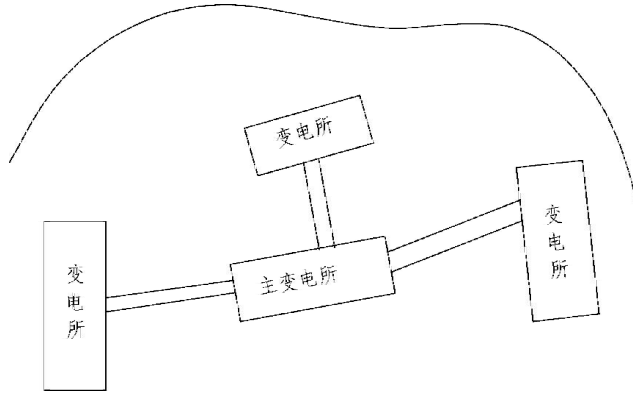


图 1-5 辐射型供电接线示意图

(二) 根据变电所结构形式划分

城市轨道交通供电系统从 110 kV 或者 220 kV 系统获取电能，一般采取供电分区方式向它的下一级负荷供电，中压环网电压等级为交流 35 kV 和 10 kV，有时只有 35 kV 环网。这一系统由于低压变配电系统和牵引供电系统相互关系的不同，又分了许多模式。

1. 独立模式

城市轨道交通供电系统独立模式如图 1-6 所示。在这种模式下，牵引变电所和降压变电所分别设置，并分别向各自的用户供电，两者相对独立，相互影响较小。

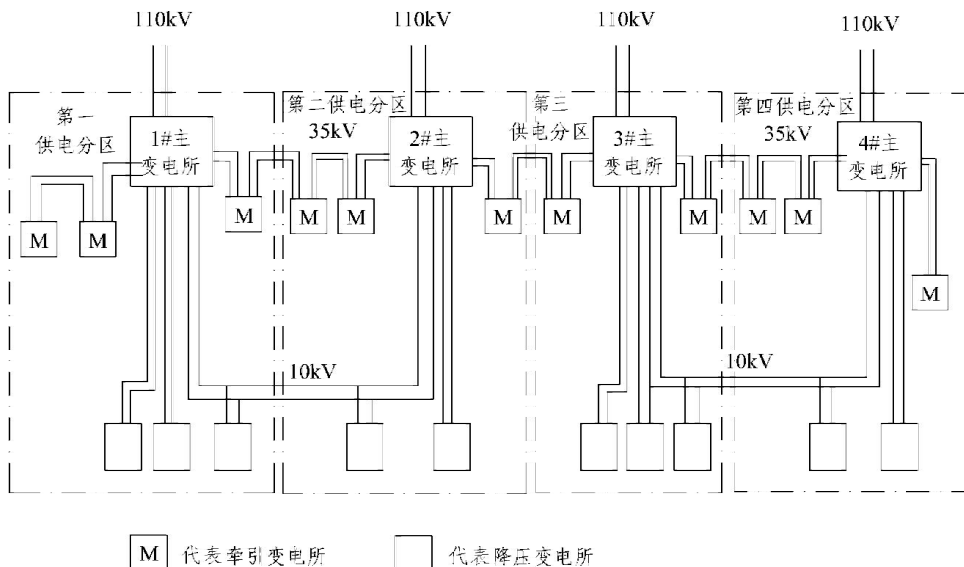


图 1-6 城市轨道交通供电独立模式示意图

从图 1-6 中可以看出,主变电所输出 10 kV 线路向降压变电所供电一般采用双 T 形接线,在供电的末端采用单边供电;主变电所输出 35 kV 线路向牵引变电所供电采用双边或单边方式。

T 形接线的特点:主变电所供给其他变电所的负荷不会流过本变电所,也就是说本变电所运行不会对其他变电所造成影响。

2. 联合模式

一般来说,牵引系统和动力照明信号供电系统是相互分开的,根据实际情况,也可以把牵引系统和动力照明信号供电系统融合到一个变电所,形成一体化混合结构,即牵引降压混合变电所,如图 1-7 所示。这种模式中,牵引变电所和降压变电所合二为一,牵引系统和动力照明系统相互影响较大。

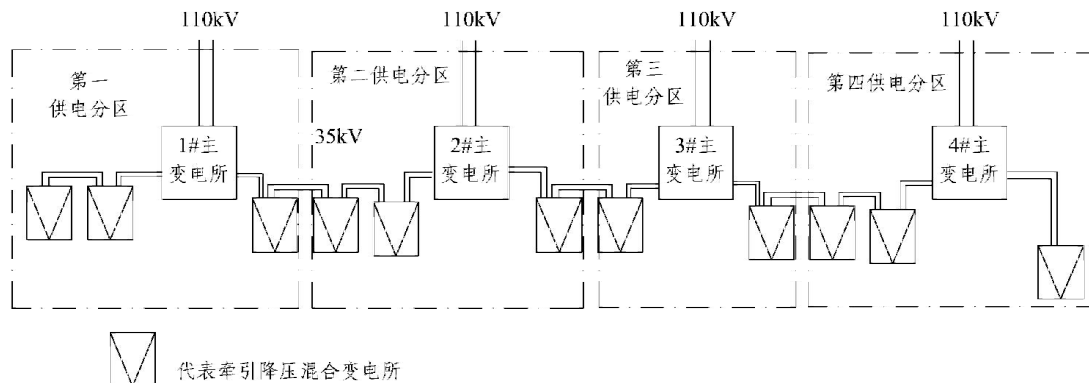


图 1-7 城市轨道交通供电系统联合模式 1

这一模式中,少了 10 kV 系统,直接由牵引降压混合变电所把 35 kV 电压降到 380 V,为车站设备及沿线设备提供电源,目前采用这一模式的较多。实际情况下,一般根据车站之间距离的远近,设置若干降压变电所(满足负荷的要求)。同时,也可以在牵引降压混合变电所的基础上增加跟随所,即在原来的基础上再增加两台动力变器,形成如图 1-8 所示的变通结构。

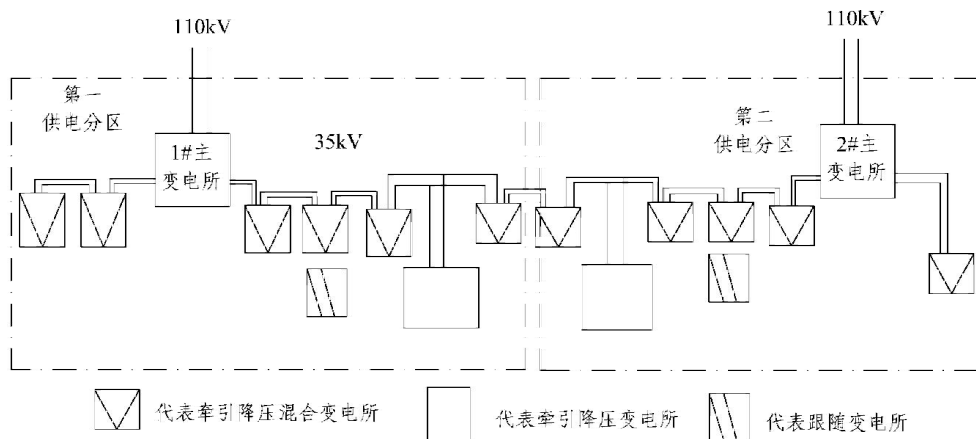


图 1-8 城市轨道交通供电系统联合模式 2

(三) 根据外部电源方式划分

中压环网供电系统的作用是接受城市电网的电能,然后再合理科学地把电能馈送给各变电所。

根据接收电能的方式不同,外部电源系统分为集中式供电、分散式供电和混合式供电。

1. 集中式供电

集中式供电示意图如图 1-9 所示。

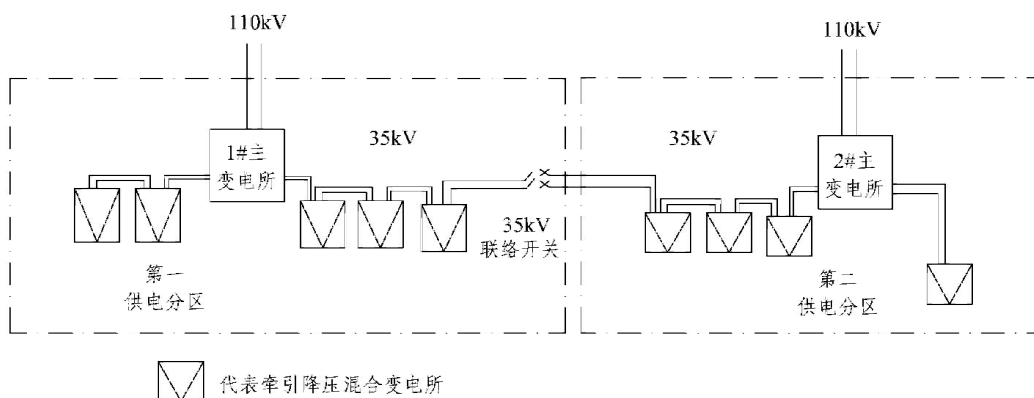


图 1-9 集中式供电示意图

整个城市轨道交通供电系统的电能都是通过 110/35 kV 系统的两个主变电所获得的,比较集中,和城市电源接口较少。它通过联络开关实现电源备用。目前,这种方式在我国采用较多,特别是对于电力电源比较紧缺的城市,为保证城市轨道交通供电系统的可靠供电,这种模式的优越性就比较明显。

2. 分散式供电

由于目前 35 kV 电网趋于淘汰，因此，这一模式主要从 10 kV 供电系统获得电能。随着城市一体化的发展，资源共享已经成为一种趋势。采用分散式供电模式的将会越来越多。

目前北京 1、2、4、5、9、10 号线及长春轻轨、大连快轨都采用这种模式。分散式供电示意图如图 1-10 所示。

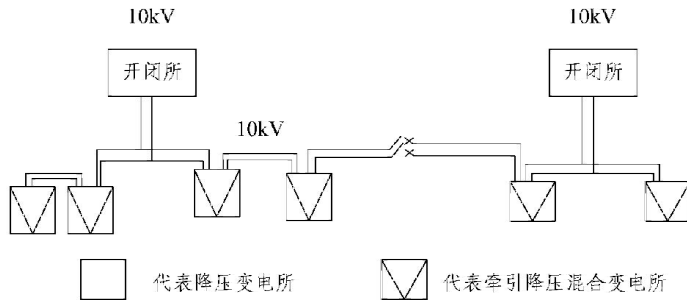


图 1-10 分散式供电示意图

该模式的主要缺点是独立性差，运营管理复杂；与电网接口较多，电压等级较低。

该模式的主要优点是在轨道线路沿线直接接入电源，节省投资；有利于提高经济效益，减少运营成本。

3. 混合式供电

所谓混合式供电就是将集中式供电和分散式供电联合起来为城市轨道交通供电系统供电的一种模式，其示意图如图 1-11 所示。

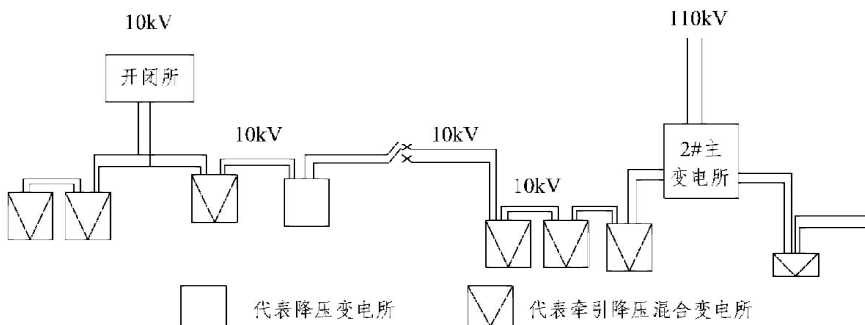


图 1-11 混合式供电示意图

混合式供电既可以发挥分散式供电和集中式供电的优点，又可以避免其缺点。采用这种模式系统更为优化。当沿线资源充足时，可利用现有城市电网，减少投资；当电力资源紧缺时，就采用集中式供电，充分保证可靠供电。它也有两种模式：一是以集中式供电为主，分散式供电为辅；二是以分散式供电为主，集中式供电为辅。究竟选用哪种方式，要结合城市实际和轨道交通实际进行选择。

【复习思考题】

1. 如何理解电力牵引制式？
2. 如何理解馈电方式、牵引制式与受流方式的关系？
3. 城市轨道交通供电系统由哪几部分构成？
4. 城市轨道交通供电系统的结构有哪几种形式？
5. 集中式供电和分散式供电各有何优缺点？