

课程教案

授课时间	4 课时（180 min）	授课章节	项目六
授课题目	认识城市轨道交通供电系统、熟悉城市轨道交通电力监控系统		
授课类型	理论（√） 实践（ ）		
教学目的 与要求	技能目标： （1）熟悉城市轨道交通供电系统的组成 （2）能判断出不同的城市轨道交通供电系统的供电方式 （3）熟悉城市轨道交通电力监控系统的作用和组成 （4）了解地下迷流 素质目标： （1）具备爱国情怀 （2）具备立足脚下、举一反三的能力		
教学重点	教学重点： 城市轨道交通供电系统的组成、城市轨道交通电力监控系统的作用		
教学难点	教学难点： 城市轨道交通供电系统的组成、城市轨道交通电力监控系统的组成		
教学方法	问答法、讨论法、讲授法		
教具仪器	电脑、投影仪、多媒体课件、教材		
教学设计	课前任务 → 考勤（4 min） → 互动导入（10 min） → 传授新知（96 min） → 拓展阅读（22 min） → 拓展训练（38 min） → 课堂小结（6 min） → 作业布置（4 min）		

教学过程

	教学备注
<p>一、课前任务</p> <p>【教师】布置课前任务，和学生负责人取得联系，让其提醒同学完成课前任务</p> <p>请大家以 3~5 人为一组，以小组为单位学习城市轨道交通供电系统的相关内容，各组对城市轨道交通供电系统的组成及供电方式进行总结，并制作成 PPT。同时，完成“任务工单——认识城市轨道交通供电系统”（详见教材）里任务准备中的各项任务。</p> <p>【学生】完成课前任务</p>	<p>通过课前任务，让学生对本节课的教学内容有一定的熟悉和理解</p>
<p>二、考勤（4 min）</p> <p>【教师】进行签到</p> <p>【学生】按照老师要求签到</p>	<p>培养学生的组织纪律性，掌握学生的出勤情况</p>
<p>三、互动导入（10 min）</p> <p>【教师】介绍电力调度员的主要工作，并提出问题： 电力调度员是城市轨道交通供电系统的操纵者，他们负责为列车运行和车站运营服务提供不间断的电能，以保障供电系统安全、可靠地运行，守护城市轨道交通能源生命线。</p> <p>请思考：城市轨道交通供电系统包含哪些部分？</p> <p>【学生】聆听、思考、回答</p>	<p>通过提问让学生主动探究城市轨道交通供电系统的组成，导入本节课课题</p>
<p>四、传授新知（96 min）</p> <p>【教师】讲解城市轨道交通供电系统中的高压供电系统、牵引供电系统和动力照明供电系统的相关知识</p> <p>城市轨道交通供电系统是指经过高压输电网传输、变电所降压、整流等环节，向城市轨道交通系统输送电能的系统。从具体组成来看，城市轨道交通供电系统一般包含高压供电系统、牵引供电系统和动力照明供电系统。</p> <p>6.1.1 高压供电系统</p> <p>1. 高压供电系统的组成</p> <p>高压供电系统是城市电网对城市轨道交通系统内部变电所的供电系统，它由发电厂、传输线路和区域变电所组成。</p> <p>1) 发电厂</p> <p>发电厂是将其他形式的能源转换为电能的工厂。</p> <p>【师生互动】教师随机邀请学生回答以下问题： 你见过发电厂吗？发电厂能够通过哪些能源进行发电？</p> <p>【学生】聆听、思考、回答</p>	<p>通过教师讲解、观看微课和师生互动让学生了解城市轨道交通供电系统中的高压供电系统、牵引供电系统和动力照明供电系统等相关内容</p>

【教师】总结学生的回答

根据能源的不同，常见的发电厂有靠火力发电的火电厂、靠水力发电的水电厂、靠太阳能发电的光伏厂，以及靠核燃料发电的核电厂。

2) 传输线路

传输线路的作用是将发电厂的电能传输到其他位置。通过传输线路，相距较远的发电厂与用电单位可以互相连接，这使得电能的开发和使用不受地域的限制。传输线路的特点是电压较高、线路较长。

3) 区域变电所

**【师生互动】教师随机邀请学生回答以下问题：
你知道区域变电所的作用是什么吗？**

【学生】聆听、思考、回答

【教师】总结学生的回答

区域变电所是对电能的电压和电流进行变换、集中和分配的场所。发电厂输出的电能，如果直接远距离输送，线路电流会很大，这使得传输线路上的电能损耗大、不经济。为了减少传输线路上的电能损耗，可先通过区域变电所将电压升高，以减小线路电流。当电能到达用户附近后，为了满足用户安全用电的需求，再通过区域变电所将电压降低，并分配给用户。

2. 高压供电系统的供电方式

高压供电系统的供电方式有集中式供电、分散式供电和混合式供电三种。具体采用何种方式一般视各城市的情况而定。

1) 集中式供电

集中式供电是指城市电网直接向城市轨道交通专用的主变电所供电，主变电所再向牵引变电所和降压变电所供电的方式。主变电所一般有两路独立的 110 kV 电源，它们可变压为内部供电系统所需的电压级 10 kV 或 35 kV。我国上海、广州及香港地铁采用此种供电方式。

2) 分散式供电

分散式供电是指由城市轨道交通沿线的城市电网直接向附近牵引变电所和降压变电所供电的方式。分散式供电应保证每座牵引变电所和降压变电所皆能获得双路电源，这就需要城市电网在城市轨道交通线路沿线有足够的变电站和备用电源，并能满足牵引供电的安全要求。早期的北京地铁就采用此种供电方式。

3) 混合式供电

混合式供电是集中式和分散式两种供电方式的结合。混合式供电能节约城市电网的资源，但是可靠性不足。这种方式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。目前，北京地铁 1 号线和 2 号线为此种供电方式。

【师生互动】教师随机邀请学生回答以下问题：
这三种不同的高压供电方式各自有哪些优缺点？

【学生】聆听、思考、回答

【教师】总结学生的回答

6.1.2 牵引供电系统

1. 牵引供电系统的组成

牵引供电系统主要由牵引变电所和牵引网两大部分组成。它的主要功能是将高压交流电经降压整流变成直流1500 V或直流750 V的电，并为列车牵引供电。

【多媒体】展示“采用架空式接触网的牵引供电系统示意图”（详见教材），讲解牵引供电系统的工作流程

区域变电所将供电部门送来的三相高压交流电降压为所需电压等级（如35 kV），然后通过三相线路送到牵引变电所，再降压并整流为适用于列车的1500 V或750 V直流电，最后通过列车的受流装置与接触网或接触轨滑动接触，将直流电引入列车，工作后的电流会经车体、轮对、轨道，再经由回流线流回到牵引变电所。

【多媒体】组织学生扫码观看“在轨道中就一定会触电吗？”视频（详见教材），帮助学生进一步了解牵引供电系统

1) 牵引变电所

牵引变电所的任务是将由区域变电所（或主变电所）获取的高压电，经降压与整流后变换为可供列车牵引用的直流电（1500 V或750 V），并以直流电的形式将电能经馈电线送至接触网。

牵引变电所应沿线路布置，每一个牵引变电所都有一定供电范围。供电距离过长，会使末端电压过低及电能损耗过大；供电距离过短，又会使变电所数目太多而不经济。牵引变电所一般应设置在车站和车辆段附近，相邻两所之间距离在2~4 km。

【小贴士】牵引变电所的容量与设置距离可通过牵引供电计算的结果，并经过经济技术分析比较后确定。

2) 牵引网

牵引网是城市轨道交通供电系统中向列车供电的装置，它主要由接触网、馈电线、电分段、轨道和回流线组成。

接触网：指经过列车的受电器向列车供电的导电网，它在工作过程中没有备用线路，经常暴露于自然环境中，且结构复杂、对技术要求高。

馈电线：指从牵引变电所向接触网输送电能的导线。

电分段：指将接触网从电气连接上相互分开的装置。为便于

检修和缩小事故范围，一般会将接触网分成若干段。

轨道：列车行走时，可利用其作为牵引电流回流的电路。

回流线：指用以供牵引电流返回牵引变电所的导线。

【小贴士】在采用跨坐式单轨列车时，需沿线路专门铺设单独的回流线。

接触网一般可分为架空式接触网和接触轨式接触网。

(1) 架空式接触网。

架空式接触网是架设在走行轨道上部的接触网，列车（车辆）可通过其顶部伸出的受电弓与之接触获得电能。架空式接触网具有敷设难度大、维护成本高、安全系数高和技术含量高的特点。通常，架空式接触网按悬挂方式可分为柔性悬挂接触网和刚性悬挂接触网。

【多媒体】展示“柔性悬挂接触网”与“刚性悬挂接触网”（详见教材），讲解这两种方式的接触网

柔性悬挂接触网：主要由支柱基础、定位装置、支持装置、接触悬挂等组成。柔性悬挂接触网弹性好，可以支持高速度列车的运行，但其需要极大的空间，结构复杂，与刚性接触网相比更易断裂。

刚性悬挂接触网：指在固定的导体受流过程中在受电弓或接触靴的作用下基本不变形的接触网。汇流排是刚性悬挂接触网的关键部件，一般采用铝合金材料制成。

【师生互动】教师随机邀请学生回答以下问题：

与柔性悬挂接触网相比，刚性悬挂接触网具有哪些优点？

【学生】聆听、思考、回答

【教师】总结学生的回答

刚性悬挂接触网所需要的隧道净空小，投资小，而且导电铜线无张力架设，不必设置下锚装置，也不会发生断线事故，零部件少、载流量大、安全可靠且维护量小，可大大降低维护成本，其优越性是柔性悬挂接触网难以比拟的。

(2) 接触轨式接触网。

在接触轨式接触网中，接触轨是沿着走行轨道一侧平行铺设的附加第三轨，所以接触轨式接触网又被称为第三轨式接触网。列车运行时会从侧边伸出接触靴，从接触轨中获取电能。

采用接触轨式接触网的优点是列车的接触靴与第三轨的接触面较大且对其磨损极小，故维护简单。此外，修建地下线可降低净空，减小开挖土方。接触轨式接触网根据接触靴的接触方式可分为上磨式、下磨式和侧磨式三种。

上磨式接触轨：接触轨装在专用绝缘子上，底朝下。上磨式接触轨固定方便，但不易加防护罩。

下磨式接触轨：接触轨底朝上，紧固在绝缘子上，并且由固定在轨枕上的弓形肩架予以支持。下磨式接触轨可

以加防护罩，对工作人员较为安全。但其安装结构较为复杂，费用较高，在经常因冰冻和下雪而造成集电困难的地区普遍使用。

侧磨式接触轨：工作原理与上磨式相似，为高导电率钢制成的特殊断面的钢轨。在其通过的地方要设置工作人员使用的人行道，在其余地点必须考虑设置保护木板或其他合适材料的保护板，以防触电。

【小贴士】在城市轨道交通车站，接触轨总是设在远离站台轨道的一边，以免乘客摔落在轨道上触电。在线路露天地段，沿线要用木板保护起来，以免散落物引起电路故障。

2. 牵引供电系统的供电方式

为了能安全、可靠地供电，通常将两个相邻牵引变电所之间的接触网断开，并将其设置为相互绝缘的两部分，每一部分称为一个供电分区。为了对接触网起到分断和保护作用，供电分区的末端还设置有断路器和隔离开关的分区亭。分区亭内的开关设备不仅能隔断供电分区，还可以将供电分区联结起来，牵引供电系统的供电方式主要按牵引变电所的分布情况、供电臂的长短、线路的供电可靠性而定。通常，牵引供电系统的供电方式根据供电分区的状态可分为单边供电和双边供电。

单边供电：分区亭开关开启，每个供电分区的接触网只从相邻一端的牵引变电所获取电流。

双边供电：分区亭开关闭合，每个供电分区的接触网可同时从相邻的两个牵引变电所获取电流。

【师生互动】教师随机邀请学生回答以下问题：

比较单边供电和双边供电，两者谁更具优势？

【学生】聆听、思考、回答

【教师】总结学生的回答

单边供电时，接触网若发生故障只会影响本供电分区，故障范围较小；双边供电时，虽然可提高供电电压水平，但一旦发生故障，影响范围较大，因此目前较少应用。

除此之外，越区供电也是牵引供电系统的一种供电方式。当某个牵引变电所发生故障或停电检修时，该牵引变电所承担的供电任务会由两侧相邻的牵引变电所负责，此时称为越区供电。在越区供电方式下，供电末端的接触网电压较低，电能损耗较大。因此，越区供电只是在不得已的情况下短时采用的一种运行方式。

6.1.3 动力照明供电系统

动力照明供电系统为车站空调、自动扶梯和通信、信号等设备供电，该系统主要由降压变电所和动力照明配电系统组成。

1. 降压变电所

降压变电所只需要向区间和车站的动力照明系统供电。通常，每个车站应设降压变电所，有时负荷较小的车站可以几个站合设一个。降压变电所可分为车站降压变电所、车辆段和停车场降压变电所、OCC 降压变电所。

2. 动力照明配电系统

1) 动力照明配电系统的组成

(1) 照明配电室。

照明配电室主要负责为车站的照明设备供电，以保证照明设备的正常运行。通常，一个普通车站会配备 4 个照明配电室，分别负责站台、站厅一半的照明负荷，它们通常分布在站台和站厅的两端。

……（详见教材）

(2) 环控控电室。

环控控电室主要负责隧道通风系统、空调大系统、空调小系统、空调水系统等设备的供电。

……（详见教材）

2) 动力照明配电系统的控制范围

动力照明配电系统主要包含车站照明系统和车站低压配电系统两个子系统。

(1) 车站照明系统。

车站照明系统的控制范围大致包括：站台层、站厅层公共区的一般照明、节电照明、事故照明、广告照明，以及设备用房和运营管理用房的一般照明、事故照明；出入口的疏散诱导指示照明、一般照明与事故照明；电缆廊道的一般照明及区间隧道的一般照明、事故照明。

(2) 车站低压配电系统。

车站低压配电系统的控制范围大致包括：环境控制、排水、消防、电梯、自动扶梯、自动售检票及通信、信号等系统动力设备的供电。

【知识拓展】教师讲解车站不同级别的用电负荷

根据用电设备的用途和重要性，车站的用电负荷可分为以下三个等级。在事故或供电不足的情况下，可按照重要性来保证必要的负荷。

(1) 一级负荷：包括通信系统、信号系统、火灾报警系统、气体灭火系统、环境与设备监控系统、屏蔽门系统、消防泵、废水泵、雨水泵、防淹门、车站控制室、事故风机及其风阀等。

(2) 二级负荷：包括非事故风机及其风阀、污水泵、集水泵、自动扶梯、工作人员电梯、轮椅升降机、自动售检票设备、民用通信电源及维修电源等。

(3) 三级负荷：包括冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔风机、电开水器等。

【学生】聆听、思考、理解、记忆

【教师】讲解城市轨道交通电力监控系统的作用、优点与组成，以及地下迷流的相关知识

6.2.1 电力监控系统概述

城市轨道交通电力监控系统（以下简称 SCADA 系统）是综合监控系统的重要子系统，它主要用来对城市轨道交通全线各类变电站、接触网等电力设备的运行情况进行远程实时监视、控制和信息采集，同时处理供电系统的各种异常事件及报警事件，保障供电系统的正常运行。除此之外，它还可以实现对供电系统进行数据归档和统计报表的功能，以便更好地管理供电系统。如图所示为 OCC 的电力调度监控大屏幕。

1. SCADA 系统的作用

【多媒体】组织学生扫码观看“强大的 SCADA”视频（详见教材），引导学生熟悉 SCADA 系统

SCADA 系统的主要作用是利用遥控、遥信、遥测、摇调等功能监控供电系统设备的运行情况。

【师生互动】教师随机邀请学生回答以下问题：
你知道上述这几种功能的作用分别是什么吗？

【学生】聆听、思考、回答

【教师】总结学生的回答

1) 遥控

遥控是指调度员从 OCC 发出命令以实现远方操作和切换，其控制内容包括以下几点：

(1) 主变电所、开闭所、降压变电所、牵引变电所内 10 kV 及以上电压等级的断路器、负荷开关及系统用电动隔离开关。

(2) 牵引变电所的直流快速断路器、直流电源总隔离开关，降压变电所的低压进线断路器、低压母联断路器、三级负荷低压总开关。

(3) 接触网电源隔离开关。

(4) 有载调压变压器的调压开关。

2) 遥信

遥信是指将被控站设备的状态传输给 OCC，其内容包括以下几点。

(1) 遥信对象的位置信号。

(2) 高中压断路器、直流快速断路器的各种故障跳闸信号。

(3) 变压器、整流器的故障信号。

(4) 交直流电源系统故障信号。

(5) 降压变电所低压进线断路器、母联断路器的故障跳闸信号。

(6) 钢轨电位限制装置的动作信号。

(7) 预告信号。

- (8) 断路器手车位置信号。
- (9) 无人值班变电所的大门开启信号。

3) 遥测

遥测是指将被控站的运行参数（如功率、电压、电流、电度和温度等）传输给 OCC。

4) 遥调

遥调是指 OCC 直接对被控站某些设备工作状态和参数的调控，如调节变电所的母线电压值。

2. SCADA 系统的优点

(1) SCADA 系统可提高供电系统运行的安全可靠和经济性。正常情况下，SCADA 系统可为供电系统提供合理的运行方式；事故情况下，SCADA 系统可及时显示和记录事故发生的时间和内容，这有利于加快事故处理。

(2) SCADA 系统有利于使变电所实现无人化值班，这可以节省变电所基建和运行费用。

6.2.2 SCADA 系统的组成

SCADA 系统主要由电力调度中心主站系统、变电所综合自动化系统、通信信道和供电复示系统等组成。

1. 电力调度中心主站系统

电力调度中心主站系统作为全线电力监控系统的中心，是个十分复杂的分布式软件系统。

【师生互动】教师随机邀请学生回答以下问题：

作为全线电力监控系统的中心，电力调度中心主站系统在工作时应注意哪些方面？

【学生】聆听、思考、回答

【教师】总结学生的回答

它除了要满足安全、可靠的运行外，还需根据城市轨道交通建设的特点，充分考虑未来的扩展问题。它可将全线各变电所的自动化信息实时汇集，支持对各电力操作站的监管功能，并具有历史数据的处理与存储功能。

2. 变电所综合自动化系统

变电所综合自动化系统不仅能满足传统的通信功能，还能实现对变电所各种设备的监控功能，包括各个设备的电流、电压、功率、电度等信息的采集，以及电气设备的控制、监视、联动、联锁、锁闭功能等。

3. 通信信道

通信信道一般由城市轨道交通通信系统统一组建，SCADA 系统向通信系统提出通道要求。当通信系统难以为 SCADA 系统提供通信通道时，SCADA 系统需要建设独立的通信信道。

4. 供电复示系统

供电复示系统通过电力调度中心主站系统采集全线供电系统的各类信息，用于供电系统维护人员监视、统计各

类设备的运行数据。

6.2.3 地下迷流

1. 地下迷流的概念

地下迷流又称杂散电流。在理想状况下，直流牵引供电系统中，牵引电流全部由牵引变电所的正极出发，经由接触网、列车和回流线返回牵引变电所的负极。实际上，由于钢轨与隧道或道床等结构钢之间不能完全绝缘，所以会导致少量的牵引电流不能流回牵引变电所，而泄漏到隧道或道床等结构钢上，最后迷失在大地中，形成杂散电流。这部分泄漏到隧道或道床等结构钢上的电流便是地下迷流。

2. 地下迷流的影响

【师生互动】教师随机邀请学生回答以下问题：

地下迷流作为一种有害的电流，会产生哪些不利影响？

【学生】聆听、思考、回答

【教师】总结学生的回答

城市轨道交通系统中的地下迷流是一种有害的电流，会对城市轨道交通系统中的电气设备设施的正常运行造成不同程度的影响，也会对隧道、道床的结构钢和附近的金属管线造成危害。

(1) 若地下迷流流入电气接地装置，将引起过高的接地电位，使某些设备无法正常工作。

(2) 若钢轨局部或整体对地的绝缘变差，则会导致地下迷流增大，这时有可能会引起牵引变电所的框架保护动作。而框架保护动作会导致整个牵引变电所的开关跳闸，全所失电，还会联跳相邻所对应的馈线开关，造成较大范围的停电事故，影响城市轨道交通系统的正常运营。

(3) 地下迷流的存在可对其周围的埋地金属管道、通讯电缆外皮，以及车站和区间隧道主体结构中的钢筋产生电化学腐蚀，这种电化学腐蚀不但能缩短金属管线的使用寿命，而且还会降低钢筋混凝土主体结构的强度和耐久性，甚至酿成灾难性事故。

3. 地下迷流的防护

【师生互动】教师随机邀请学生回答以下问题：

你认为通过哪些措施可以有效对地下迷流进行防护？

【学生】聆听、思考、回答

【教师】总结学生的回答

- (1) 选择比较高的牵引供电额定电压。
- (2) 采用地下迷流较少的双边供电电压。
- (3) 尽量减小钢轨间的接触电阻，增设附加回流线。
- (4) 提高钢轨与地面间的绝缘程度。
- (5) 尽可能远离或避免与回流钢轨平行设置地下金属

管道、电缆等，且采用适当的防腐措施。

(6) 定期检查轨道绝缘、钢轨接触电阻，并随时进行地下迷流的监测。

【学生】 聆听、思考、理解、记忆

五、拓展阅读 (22 min)

【教师】 组织学生阅读“林云志：选择了电气化局就选择了成功”(详见教材)，并随机邀请学生回答以下问题：

(1) 林云志为国家城市轨道交通技术进步做出了哪些重要贡献？

(2) 我们应该如何向林云志学习？

【学生】 阅读、体会、思考、回答问题

【教师】 总结学生的发言

六、拓展训练 (38 min)

【教师】 组织学生参加知识竞赛活动

活动步骤：

(1) 学生每 3~5 人一组，以小组为单位学习城市轨道交通电力监控系统的相关知识。

(2) 以小组为单位参加指导教师组织的关于城市轨道交通电力监控系统的知识竞赛。竞赛过程中，各小组随机抢答，答对得分，答错不扣分，并由其他小组继续抢答。

(3) 知识竞赛结束后，各组成员将竞赛过程中答错或不会的题目及其正确答案、学习体会及收获与组内其他成员进行讨论和分享。

(4) 教师根据各组的得分情况评选出前三名。

(5) 各组成员配合指导教师完成考核评价表，如表 6-10 所示（详见教材）。

【学生】 分组学习、参赛答题、讨论分享、配合教师完成考核评价

【教师】 为各组打分、评选、进行考核评价

七、课堂小结 (6 min)

【教师】 简要总结本节课的要点

本节课学习了城市轨道交通电力监控系统及地下迷流的相关知识，希望大家在课下多加复习，熟练掌握所学知识，并将其运用到实践中。

【学生】 总结回顾知识点

八、作业布置 (4 min)

【教师】 布置课后作业
完成学习综合效果评价。

【学生】 完成课后任务

通过阅读文章，让学生了解榜样楷模，增强其职业素养

通过知识竞赛活动，帮助学生掌握城市轨道交通电力监控系统的作用、优点、组成等知识点

总结知识点，加深学生对城市轨道交通电力监控系统与地下迷流相关知识的印象

复习知识面，巩固知识点

教学后记

本节课在教学中遇到一些意想不到的问题，学生不能按计划时间回答问题。在我们设计教学方案时，我们应该想想：“学生已有哪些生活经验和知识储备”，“怎样依据有关理论和学生实际设计易于为学生理解的教学方案”，“学生在接受新知识时会出现哪些情况”等。要在备课时，预备好各种不同的学习方案。