

城市轨道交通职业教育系列教材——城轨机电技术

# 城市轨道交通低压配电技术

( 智媒体版 )

主 编 文晓娟 李孝普

副主编 石云鹤 万学春

参 编 左春辉 潘顺莉

主 审 魏保立 杨 辉



校企合作



课程思政



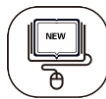
微课



视频



课件



新形态教材

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内容简介

本书根据高职高专“城市轨道交通机电技术”专业职业岗位技能需求进行编写，融入典型城市轨道交通车站应用案例和轨道交通电气设备装调技能等级证书考核知识点，强调知识与工程实际相结合，突出教学内容实用性，重点培养学生解决实际问题的能力。全书共分七个模块，包括基础知识、低压配电常用工具和材料、室内配线、城市轨道交通低压配电系统设备、城市轨道交通低压照明系统、城市轨道交通低压配电设备检修、技能训练等。

本书适合作为高职高专院校城轨机电、城轨供电、城轨运营与管理等专业的教材，也可作为企业在职工的培训教材，还可为相关工程技术人员提供参考。

---

### 图书在版编目（CIP）数据

城市轨道交通低压配电技术：智媒体版 / 文晓娟，  
李孝普主编. —成都：西南交通大学出版社，2021.11  
ISBN 978-7-5643-8333-6

I. ①城… II. ①文… ②李… III. ①城市铁路—轨  
道交通—低电配电—配电线路—高等职业教育—教材  
IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2021）第 207540 号

---

Chengshi Guidaο Jiaotong Diya Peidian Jishu

城市轨道交通低压配电技术

（智媒体版）

主 编 / 文晓娟 李孝普

责任编辑 / 梁志敏

封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

（四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031）

发行部电话：028-87600564 028-87600533

网址：<http://www.xnjdcbs.com>

印刷：四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 14.25 字数 312 千

版次 2021 年 11 月第 1 版 印次 2021 年 11 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-8333-6

定价 39.00 元

课件咨询电话：028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562



# 前 言

## PREFACE

本书根据“城市轨道交通机电技术”专业人才培养目标，结合相应企业岗位标准、“1+X”技能等级认证考核标准和爱国、强国等思政元素，由一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师与行业一线专家共同编写。教材内容根据城轨机电、城轨供电、城轨运营与管理专业毕业生岗位能力需求进行选取，强调理论与实践应用相结合，引入城轨交通车站实际工程案例，融入轨道交通电气设备装调技能等级考核知识，突出先进性和实用性，重点培养学生分析问题、解决问题的能力，以及技能报国、科技兴国的情怀。

本书共分七个模块，包括基础知识、低压配电常用工具和材料、室内配线、城市轨道交通低压配电系统设备、城市轨道交通低压照明系统、城市轨道交通低压配电设备检修、技能训练等内容。各模块由易到难，由浅入深，结合技能训练项目，将知识目标、能力目标与思政目标贯穿于一体。

在教材编写过程中，我们贯彻了以下原则：

一、与行业深度结合。教材编写团队由地铁高级工程技术人员和学校骨干教师组成，共同研究教材开发方案，确定教材编写思路。团队教师多次深入企业调研收集素材，确保教材编写所选设备和技术资料符合企业实际问题的解决，教材内容与实际应用紧密结合，反映了企业相关生产岗位的技术要求，体现了岗位职业技能和素养的要求。

二、落实“1+X”模式下“双证”融通。从职业岗位技能需求分析入手，遵循“以工作任务引领专业知识，以职业资格证书的标准规范课程内容”的原则，参照“轨道交通电气设备装调”职业技能等级标准和企业低压配电工种考核的要求，精选教材内容。

三、“思政引领、岗位导向、学训交融”，将“爱国、敬业、匠心、奉献、安全、劳动”等元素融入教材每个模块，培养爱国爱岗、严谨认真、不断创新、有时代担当的我国轨道交通事业建设者和接班人。

四、按照模块化教学规律和学生认知规律，合理安排内容。采用思维导图总结的形式，以图代文，降低学习难度，提高学生学习兴趣。

五、在正文中以二维码的形式嵌入案例、重点内容以及互联网相关链接，方便读者扫码观看动画和知识点的讲解，满足互联网时代下的学习需求，实现了传统教材向新形态一体化教材的转变。

本书由郑州铁路职业技术学院、郑州地铁集团有限公司、广州铁路职业技术学院、绍兴职业技术学院共同合作编写。由郑州铁路职业技术学院文晓娟、郑州地铁集团有限公司李孝善任主编；郑州地铁集团有限公司石云鹤、广州铁路职业技术学院万学春任副主编；郑州地铁集团有限公司左春辉、绍兴职业技术学院潘顺莉参编。文晓娟编写模块 1~3，李孝善编写模块 4 的任务 4.1~任务 4.4，左春辉编写模块 4 的任务 4.5~任务 4.7，潘顺莉编写模块 5，石云鹤编写模块 6 的任务 6.1~任务 6.4，万学春编写模块 6 的任务 6.5、任务 6.6 和模块 7。全书由文晓娟统稿，郑州铁路职业技术学院魏保立、郑州地铁集团有限公司杨辉主审并提出许多宝贵意见，编者在此表示感谢。

本书在编写过程中，参考了一些国内外同行的优秀教材和资料，编者在此向这些资料文献的作者深表感谢。同时，恳切希望广大读者在使用本书的过程中将意见和建议及时反馈给我们，以便修订时加以完善。

编 者

2021 年 7 月

# 数字资源目录

序号	资源名称	资源类型	页码	资源位置
1	微课“电能的来源与传输”	视频	002	模块一 任务一
2	微课“轨道交通供电系统结构”	视频	008	
3	微课“触电的类型及危害”	视频	010	模块一 任务二
4	微课“接地的类型”	视频	014	
5	微课“触电急救措施”	视频	020	
6	微课“低压配电常用工具”	视频	029	模块二 任务一
7	微课“低压配电常用材料”	视频	040	模块二 任务二
8	微课“室内配线概述”	视频	061	模块三 任务一
9	微课“导线的连接与封端”	视频	069	模块三 任务四
10	大国工匠之电工（一）	链接	082	模块三 任务六
11	大国工匠之电工（二）	链接	083	
12	大国工匠之电工（三）	链接	083	
13	大国工匠之电工（四）	链接	083	
14	大国工匠之电工（五）	链接	083	
15	微课“轨道交通车站常见低压配电设备”	视频	086	模块四 任务一
16	微课“车站低压配电系统动力负荷配电方式”	视频	088	模块四 任务二
17	微课“400 V 系统”	视频	090	模块四 任务三
18	微课“智能化断路器的工作原理”	视频	094	
19	微课“环控电控柜”	视频	096	模块四 任务四
20	微课“电机保护器与普通风机控制原理”	视频	104	
21	微课“软启动器与隧道风机控制原理”	视频	107	
22	微课“变频器与组合空调机组变频控制原理”	视频	111	

23	微课“风阀控制原理”	视频	115	模块四 任务四
24	微课“UPS设备”	视频	117	
25	微课“雨水、废水泵控制原理”	视频	123	模块四 任务五
26	微课“EPS应急电源设备”	视频	126	模块四 任务六
27	微课“车站低压照明设备”	视频	141	模块五 任务二
28	微课“智能照明系统”	视频	151	模块五 任务三



# 目 录

## PREFACE

模块 1 基础知识 .....	001
知识结构 .....	001
学习目标 .....	002
任务 1.1 电力系统概述 .....	002
思政拓展：我国电力系统发展概况 .....	007
任务 1.2 安全用电 .....	010
任务 1.3 电气工作人员的基本要求和岗位职责 .....	026
复习思考题 .....	027
模块 2 低压配电常用工具和材料 .....	028
知识结构 .....	028
学习目标 .....	029
任务 2.1 低压配电常用电工工具 .....	029
任务 2.2 低压配电常用绝缘材料 .....	040
任务 2.3 低压配电常用导电材料 .....	043
思政拓展：电线电缆常见国产品牌 .....	049
任务 2.4 电工常用安装材料 .....	049
复习思考题 .....	059
模块 3 室内配线 .....	060
知识结构 .....	060

学习目标 .....	061
任务 3.1 室内配线概述 .....	061
任务 3.2 槽板配线 .....	064
任务 3.3 暗式配线 .....	068
任务 3.4 导线的连接与封端 .....	069
任务 3.5 配电箱和低压配电柜的安装 .....	077
思政拓展：大国工匠之电工 .....	082
复习思考题 .....	083
<b>模块 4 城市轨道交通低压配电系统设备 .....</b>	<b>084</b>
知识结构 .....	084
学习目标 .....	085
任务 4.1 车站主要低压配电设备及设施 .....	086
任务 4.2 车站低压配电系统动力负荷配电方式 .....	088
任务 4.3 400 V 开关柜设备 .....	090
任务 4.4 环控电控柜设备及控制原理 .....	096
任务 4.5 电源切换箱、配电箱及废水、雨水泵控制 .....	122
任务 4.6 EPS 应急电源设备 .....	126
思政拓展：我国低压电器的发展与现状 .....	134
复习思考题 .....	135
<b>模块 5 城市轨道交通低压照明系统 .....</b>	<b>137</b>
知识结构 .....	137
学习目标 .....	138
任务 5.1 车站低压照明系统概述 .....	138
任务 5.2 车站低压照明系统设备及配电 .....	141
任务 5.3 智能照明系统 .....	151
任务 5.4 车站低压照明的运行模式及控制方式 .....	153
思政拓展：我国照明产业发展历程 .....	155
复习思考题 .....	156

模块 6 城市轨道交通低压配电设备检修 .....	157
知识结构 .....	157
学习目标 .....	158
任务 6.1 低压配电设备巡检流程及方法 .....	158
任务 6.2 环控电控柜设备检修 .....	160
任务 6.3 EPS 应急电源设备维护 .....	168
任务 6.4 动力、照明配电箱设备检修 .....	176
任务 6.5 低压配电设备故障处理 .....	180
思政拓展：标准化作业与“8S”管理 .....	190
复习思考题 .....	191
模块 7 技能训练 .....	193
知识结构 .....	193
学习目标 .....	194
任务 7.1 中级轨道交通电气设备装调职业技能等级评价项目： 万能转换开关的拆装、接线与调试 .....	194
任务 7.2 中级轨道交通电气设备装调职业技能等级评价项目： 常用电气控制电路的设计、安装与调试 .....	198
任务 7.3 室内照明电路安装训练 .....	210
任务 7.4 车站废水泵、雨水泵 PLC 控制 .....	215
参考文献 .....	218



# 模块 1

## 基础知识



知识结构





## 学习目标

### 【知识目标】

- 了解电能的来源与传输过程、电力负荷的分级原则；
- 熟悉人体触电的常见类型，熟悉感知电流、摆脱电流、安全电流、安全电压等基本概念；
- 熟悉地铁车站低压配电负荷的分级；
- 了解工作接地、保护接地的原理与方法；
- 了解触电者脱离电源的方法及措施。

### 【技能目标】

- 初步掌握电气作业的安全措施和触电急救的方法和措施。

### 【思政目标】

- 了解我国电力系统发展的概况，坚定民族自豪感和“四个自信”；
- 培养爱岗敬业、遵章守纪等职业素养，增强安全意识。

## 任务 1.1 电力系统概述

### 1.1.1 电能的来源与传输

#### 1.1.1.1 电 能



电能是指使用电以各种形式做功的能力。电能是由一 微课“电能的来源与传输”次能源转换而得到的二次能源。通常，将自然界蕴藏的自  
然存在的能源称之为一次能源，如煤炭、石油、天然气、核能等。一次能源经过加工转换得到的能源称为二次能源，电能属于二次能源。

电能具有容易转换、效率高、便于远距离输送和分配等特点，是一种经济、实用、清洁且容易控制和转换的能源形态，是电力部门向电力用户提供的一种特殊产品。电能  
在工农业生产和国民经济建设中起着重要的作用。

#### 1.1.1.2 电力系统

电力系统是由电力线路将发电厂、变电站（所）和电力用户连接起来的发电、输电、  
变电、配电和用电的整体。为实现这一功能，电力系统在各个环节和不同层次都具有相  
应的信息与控制系统，对电能的生产过程进行测量、调节、控制、保护、通信和调度，

以保证用户获得安全、优质的电能。随着对供电质量要求的提高,现代电力系统的规模也越来越大,通常把多个城市的所有发电厂都并联起来,形成大型的供电网络,对电力进行统一的调度和分配。这样,不但能显著地提高经济效益,而且能有效提高供电的可靠性。

在电力系统中,电能从生产到供给用户使用之前,通常都要经过发电、变电、输电和配电等环节。电力系统示意图如图 1-1 所示。

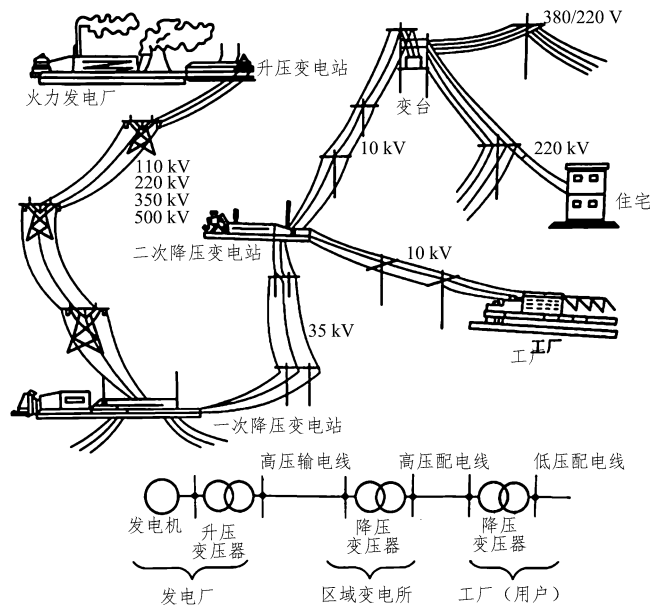


图 1-1 电力系统示意图

### 1.1.1.3 电能生产、输送、分配的主要环节

#### 1. 发电

发电由发电厂完成。发电厂是生产电能的工厂,简称电厂或电站,它是电力系统的中心环节,其作用是把其他形式能源的能量转换成电能。发电厂的种类很多,一般根据所利用能源的不同分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂、风力发电厂、太阳能发电厂等,如图 1-2 所示。

目前我国发电厂输出的交流电压有:10.5 kV、35 kV、60 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV、750 kV、1000 kV。发电机发出的电力一般通过变压器升压后送到电网,这个电压要根据电厂在电网中的位置、电厂的容量及附近电网的电压状况而定,一般中小型电厂的输出电压为 110 ~ 330 kV,大容量发电厂输出电压为 500 ~ 750 kV,个别的大容量电厂可输出电压 1000 kV。

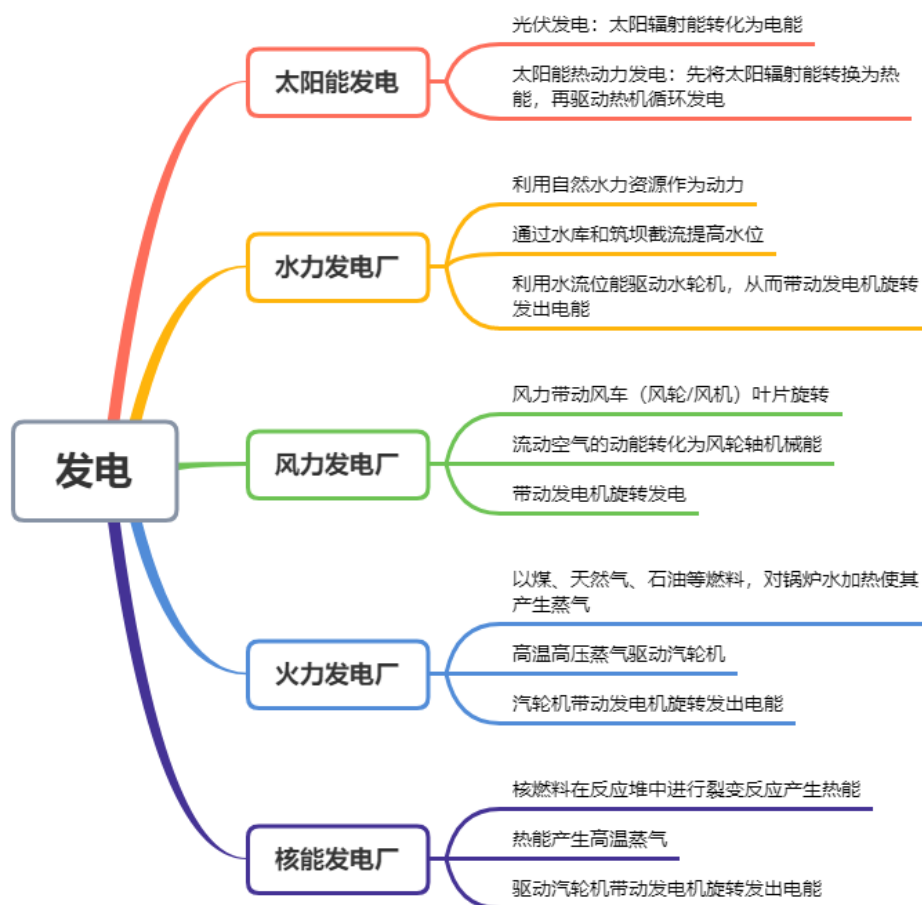


图 1-2 发电厂的几种类型

## 2. 变 电

变电即变换电网的电压等级。要使不同电压等级的线路连成一个网络，需要通过变电设备统一电压等级来进行衔接。变换电压靠变压器来实现。变压器分为一次和二次绕组。对于一次绕组，当变压器接于电网末端时，性质上等同于电网上一个负荷（如工厂降压变压器），故其额定电压与电网一致；当变压器接于发电机引出端时（如发电厂升压变压器），则其额定电压应与发电机额定电压相同。对于二次绕组，额定电压是指空载电压，考虑到变压器承载时自身电压损失（按 5% 计），变压器二次绕组额定电压应比电网额定电压高 5%。当二次侧输电距离较长时，还应考虑到线路电压损失（按 5% 计），此时，二次绕组额定电压应比电网额定电压高 10%。

变电分为输电电压的变换和配电电压的变换，前者通常称为变电站（所）或称为一次变电站，主要是为输电需要而进行的电压变换，后者称为变配电站（所）或称为二次变电站，主要是为配电需要而进行电压变换。变电站包括升压站和降压站，升压站一般



用于发电厂，将低电压变为高电压，送到更高等级的电压输电系统，以实现资源共享；降压站属于配电系统，把高等级的系统电压分级降低，供各种等级的用户使用。变配电示意图如图 1-3 所示。

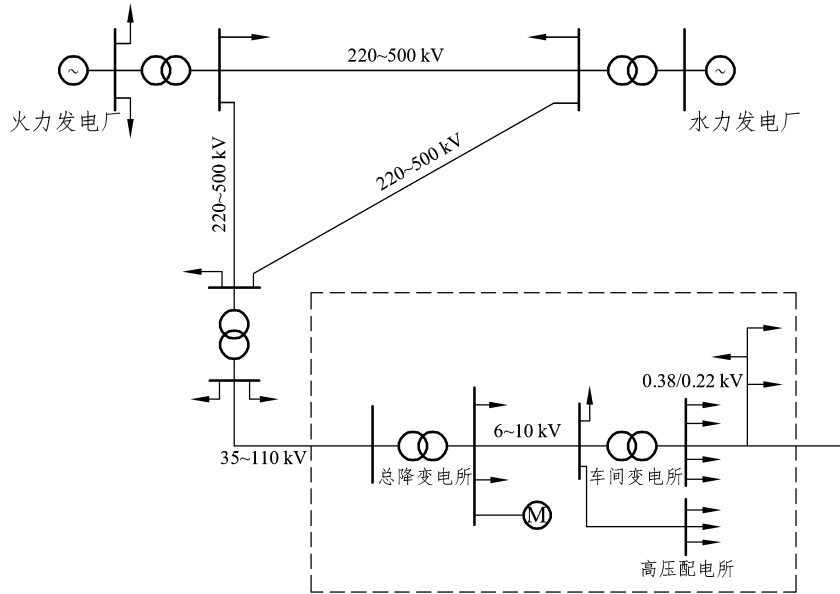


图 1-3 变配电示意图

### 3. 输 电

输电是指电力的输送，即借助电力线路，将电能由发电厂输送给用户。为了减少输电过程中的能量损失，一般输电的距离越长，输送容量越大，要求输电电压升得越高。通常将 35 kV 以上的输电线路称为送电线路。

输电分为交流输电和直流输电，如图 1-4 所示。

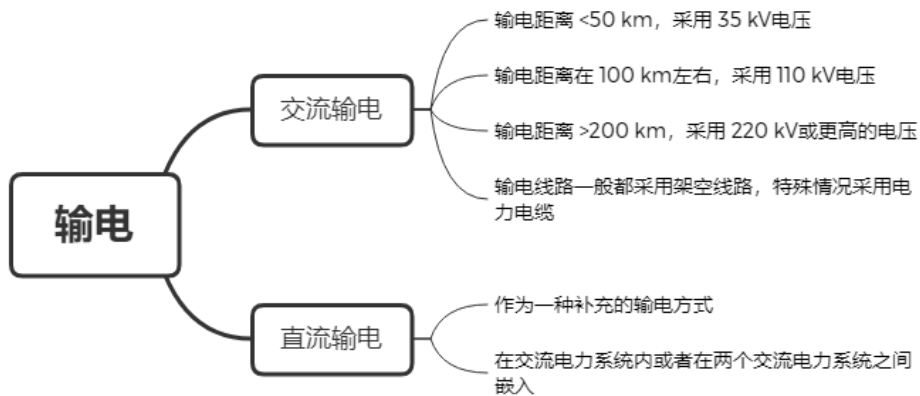


图 1-4 输电的两种类型

#### 4. 配 电

配电是指电力的分配，简称配电。目前，通常把 10 kV 及以下的电力线路称为配电线路，其中把 1 kV 以下的线路称为低压配电线路，1 ~ 10 kV 的线路称为高压配电线路。

配电包括电力系统对用户的电力分配和用户内部对用电设备的电力分配两种。其中，电力系统的配电是对电力供应的统一规划和分配，所以又称其为供电。为此设立的职能部门有国家电网、电力局、供电公司等。在图 1-3 所示变配电示意图中，虚框线内为配电站示意图。

#### 5. 用 电

电力系统的用电负荷是指系统中所有用电设备消耗功率的总和，也称电力系统综合用电负荷。其中包含了工业负荷、农业负荷、交通运输业负荷、市政及生活用电负荷等。用电负荷等级划分根据其供电可靠性的要求及中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响的程度分为三级。

##### 1) 一级负荷

国家标准中对一级负荷的要求如下：

(1) 中断供电将造成人身伤亡时。

(2) 中断供电将在政治、经济上造成重大损失时。例如：重大设备损坏、重大产品报废、用重要原料生产的产品大量报废、国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱需要长时间才能恢复等。

(3) 中断供电将影响有重大政治、经济意义的用电单位的正常工作。例如：重要交通枢纽、重要通信枢纽、重要宾馆、大型体育场馆、经常用于国际活动的大量人员集中的公共场所等用电单位中的重要电力负荷。在一级负荷中，当中断供电将发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷，以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷，应视为特别重要的负荷。例如：大型医院、炼钢厂、石油提炼厂或矿井等。

(4) 对一级负荷，要求供电系统当线路发生故障停电时，仍保证其连续供电，即需要对一级负荷提供双回路供电。

一级负荷应由两个电源供电，对于这两个电源的要求：① 两个电源间无联系；② 如果两个电源间有联系，那必须符合的要求是：发生任何一种故障时，两个电源的任何部分应不致同时受到损坏；发生任何一种故障且保护装置正常时，有一个电源不中断供电，并且在发生任何一种故障且主保护装置失灵以致两电源均中断供电后，应能在有人值班的处所完成各种必要操作，迅速恢复一个电源供电。

根据《供配电系统设计规范》(GB 50052—95)第 2.0.2 条、3.0.1 条等相关条文的规定：一级负荷应由两个电源供电；一级负荷中特别重要的负荷，除由两个电源供电外，尚应增设应急电源。也就是说特别重要负荷需要三个电源供电，一般的做法是在已有两

路高压市电的情况下，再设自备电源。自备电源一般是采用柴油发电机组或应急电源装置（简称 EPS）电源等。目前的实际做法往往是根据供电部门的要求，在已有两路高压市电的情况下，再设置柴油发电机组，原因是认为两路高压市电并非两个“独立”（不能同时损坏）电源，这就提高了一级负荷用户电源的可靠性。

## 2) 二级负荷

国家标准中对二级负荷的要求如下：

(1) 中断供电将在政治、经济上造成较大损失时。例如：主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复、重点企业大量减产等。

(2) 中断供电将影响重要用电单位的正常工作。例如：交通枢纽、通信枢纽等用电单位中的重要电力负荷，以及中断供电将造成大型影剧院、大型商场等较多人员集中的重要的公共场所秩序混乱。

《供配电系统设计规范》（GB 50052—95）第 2.0.6 条的条文解释中指出：“对二级负荷，由于其停电造成的损失较大，其包括的范围也比一级负荷广”。工程设计时，应根据供电系统的停电概率、停电带来的损失、电源条件、供电系统各方案所需投资等诸多因素综合考虑。二级负荷设备的供电有多种可选择的方案，工程设计者应尽量选择安全可靠、经济合理的方案；有条件时采用双电源供电，双电源应来自两个二次变电站（至少来自一个二次变电站的两台变压器）。同时，电力的馈送必须采用双回路供电。

## 3) 三级负荷

三级负荷为不属于上述一、二级负荷的其他电力负荷，如附属企业、附属车间和某些非生产性场所中不重要的电力负荷等。

三级负荷虽然对供电的可靠性要求不高，只需一路电源供电。但在工程设计时，也要尽量使供电系统简单、配电级数少、易管理维护。对三级负荷提供的电力，在供电发生矛盾时，为保证供电质量应采取适当措施，将部分不太重要的用户或负荷切除。

### 思政拓展：我国电力系统发展概况

我国电力工业始于 1882 年，当时容量仅 11.76 kW。1949 年，发电装机容量为 185 万 kW，居世界第 21 位。1949 年后，我国开始大力发展电力事业，先后在新安江等地建立水力和火力发电厂，从 1978 年到 2000 年，我国发电装机容量和发电量先后超越了法国、英国、加拿大、德国、俄罗斯和日本，居世界第 2 位。到 2005 年，我国发电装机容量已超过了 5 亿千瓦，年发电量已达 24 747 亿千瓦时。2010—2019 年，我国发电装机累计容量从 9.66 亿千瓦增长到 20.11 亿千瓦，连续九年稳居全球第一。

2020 年，全国发电装机容量 220 058 万千瓦，比上年末增长 9.5%。火力、水力、核能、风力、太阳能发电量的占比如图 1-5 所示。

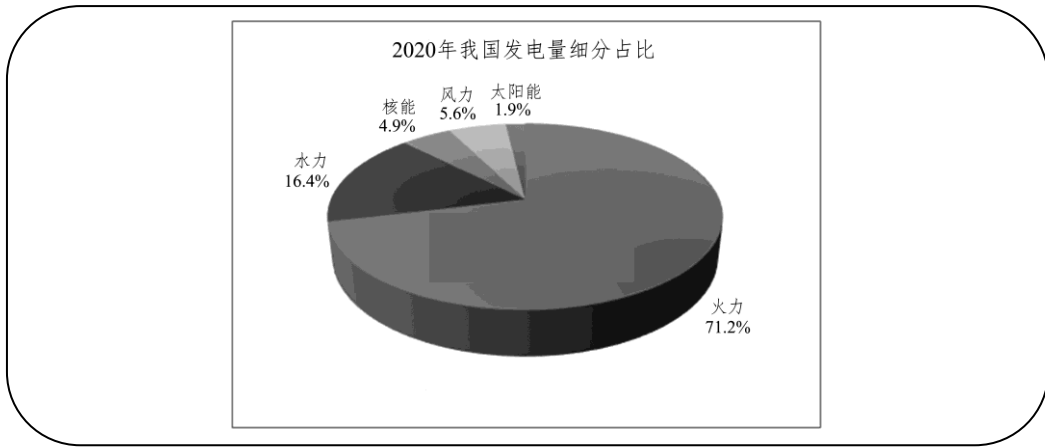


图 1-5 2020 年我国发电累计装机容量结构分析

### 1.1.2 轨道交通供电系统结构

为了保证用电的安全性和连续性，防止发生大面积停电事故，通常由多个发电厂同时向负荷进行供电。以图 1-6 为例，电能由城市电网发电厂产生，经由发电厂升压变压器转化为 220 kV。城市电网区域变电站将 220 kV 电能转化为 110 kV，通过输电线路将电能输送至地铁电网主变电站。地铁电网主变电站变压器将 110 kV 电能转换为 35 kV 和 10 kV，通过输电线路将电能分别传输至地铁牵引变电站和地铁降压变电站。地铁牵引变电站通过变配电设备将 35 kV 电能转换为直流 1 500 V，经由接触网系统和钢轨给地铁车辆提供电能。地铁降压变电站设备将 10 kV 电能转换为 380 V，为车站低压配电系统设备提供电能。



微课“轨道交通供电系统结构”

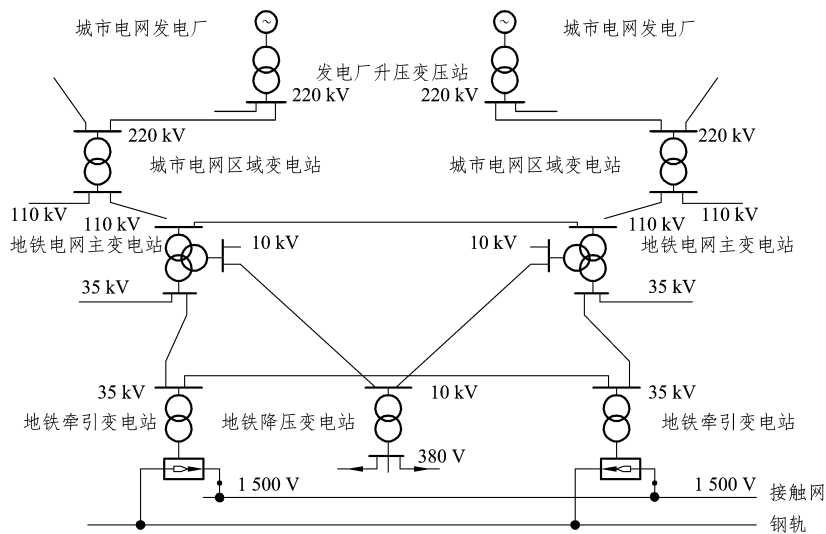


图 1-6 地铁供电系统结构图

### 1.1.3 轨道交通常见供配电设备

#### 1. 接触网与受电弓

接触网是在电气化铁道中，沿钢轨上空“之”字形架设的，供受电弓取电的高压输电线。它是铁路电气化工程的主构架，是沿铁路线上空架设的向电力机车供电的特殊形式的输电线路。我国高速铁路接触网的额定电压一般为交流 25 kV/50 Hz。

受电弓是电力牵引机车从接触网取得电能的电气设备，安装在机车或动车车顶上。接触网与受电弓如图 1-7 所示。



图 1-7 接触网与受电弓

#### 2. 接触轨与集电靴

接触轨是沿着走行轨布置并供给列车电能的特殊输电系统，是接触网的一种形式，又叫第三轨。其功能与架空接触网一样，通过它将电能输送给电动车组。不同点在于，接触轨是敷设在铁路旁的钢轨，电动车组伸出的集电靴（又称为受电靴）与之接触而获取电能。接触轨与集电靴如图 1-8 和图 1-9 所示。



图 1-8 接触轨



图 1-9 集电靴

接触轨系统的电压等级可采用直流 750 V 或 1 500 V。目前我国除了广州地铁和青岛地铁采用直流 1 500 V 的电压等级外，其他城市地铁车站大都采用直流 750 V 电压等级。部分城市如郑州地铁车站采用直流 1 500 V 接触网系统对电动车组进行供电。

### 3. 地铁车站常见低压供配电设备

地铁车站常见低压供配电设备分布在低压配电室、环控电控室、EPS 应急电源与照明配电室或动力用电设备附近，如低压配电箱、环控电控柜、抽屉式组件、EPS 应急照明设备等，通过低压电气元件组建具有一定功能的电路，从而给通风空调以及给排水设备、自动售检票机设备、电梯电扶梯设备、火灾报警及消防系统设备、站台门系统设备等供电，保证城市轨道交通车站的正常运营。