



城市轨道交通 接触网技术

● 主 编 李晓红 赵春园

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

城市轨道交通接触网技术

主 编 李晓红 赵春园

副主编 隋秀梅 肖 昆

主 审 周秀民



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书由绪论、接触网基本知识、接触网结构与设备（柔性接触网、刚性接触网、接触轨）、接触网设计、接触网施工、接触网运营管理共六个单元组成。主要介绍了城市轨道交通接触网中柔性接触网、刚性接触网、接触轨的结构与设备及有关接触网设计、施工和运营管理方面的知识。

本书作为轨道交通类高等院校的专业教材，也可供城市轨道交通行业供电设计、施工专业技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

城市轨道交通接触网技术/李晓红, 赵春园主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 7

ISBN 978 - 7 - 5682 - 2672 - 1

I. ①城… II. ①李… ②赵… III. ①城市铁路—接触网 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 173235 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 11

字 数 / 258 千字

版 次 / 2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 38.00 元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 封 雪

责任校对 / 孟祥敬

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

P R E F A C E

为了解决城市拥堵问题，国家提出的建立以城市轨道交通为骨干、以公共交通为主体、多种交通方式相互协调的综合交通系统使得轨道交通进入快速发展阶段。截止到2015年12月，中国已开通地铁、轻轨的城市达28个，运营里程约3 900 km，在中国已经运营轨道交通的城市中，越来越多的居民选择乘坐轨道交通出行。

接触网是轨道交通中主要供电装置之一，它是与电动列车受电弓直接接触将电能传送给电动列车的一种特殊形式的输电线路，是一种无备用又易损耗的户外供电装置，经常受冰、雨、雪、风等恶劣气候条件和周围环境的影响，一旦发生故障将中断牵引供电，影响电动列车的正常运行。为了保证轨道交通运营的安全可靠性，需要大量具备接触网结构知识、设备维护技能、良好应变能力、良好职业道德等高素质接触网人员。本书全面介绍了接触网的结构和设备及有关接触网设计、施工和运营管理方面的知识，是工程技术人员培训和参考可借鉴的资料。

本书在编写过程中，以实例为引导介绍了接触网的结构设备、设计、施工和运营管理等内容。本书理论难度适宜，把基础专业知识作为核心，满足了培养高素质高技能型人才的要求。

本书由李晓红、赵春园任主编，隋秀梅、肖昆任副主编，周秀民教授任主审。为了保证编写的质量，编审人员共同对本书的知识结构进行了磋商。具体编写情况如下：绪论、学习单元一、学习单元二由李晓红、赵春园编写；学习单元三由慧玲、隋秀梅、肖昆编写；学习单元四由王珂、王彦新编写；学习单元五由马桦、夏兰编写。在编写过程中参考了相关的论著和资料（包括网络资源），同时得到了北京理工大学出版社孟丽华的指导和帮助，在此一并表示衷心的感谢！

鉴于编者的水平及能力有限，时间仓促，书中错误和不足在所难免，殷切期望读者批评指正。

编 者

2016年4月

目 录

C O N T E N T S

绪论	001
一、城市轨道交通概况	002
(一) 世界轨道交通发展	002
(二) 中国轨道交通发展	003
二、城市轨道交通供电系统	005
三、接触网的供电制式	007
四、接触网的类型	008
学习单元一 接触网基础知识	011
一、接触网的基本要求	012
二、接触网的供电方式	012
(一) 牵引供电回路	012
(二) 接触网的供电方式	013
三、接触网的组成	014
(一) 支柱与基础	015
(二) 支持装置	015
(三) 定位装置	015
(四) 接触悬挂	015
四、受电弓及弓网系统	016
(一) 受电弓	016
(二) 弓网系统	017
学习单元二 接触网结构与设备	018
一、柔性接触网的结构与设备	018
(一) 支柱与基础	018
(二) 支持装置	026
(三) 定位装置	033

(四) 接触悬挂	045
(五) 其他设备	076
二、刚性接触网的结构与设备	089
(一) 刚性接触网系统简介	089
(二) 刚性接触网的特点	090
(三) 刚性接触网的结构	092
(四) 刚性接触网的应用和要求	102
三、接触轨的结构与设备	103
(一) 接触轨简介	104
(二) 接触轨的技术特征	105
(三) 接触轨的结构	109
(四) 接触轨与其他接触网形式的比较	118
学习单元三 接触网设计	123
一、接触网设计的影响因素	124
二、接触网设计阶段	125
(一) (预) 可行性研究阶段	125
(二) 初步设计阶段	126
(三) 施工图设计阶段	127
三、接触网设计内容	129
(一) 设计文件	129
(二) 平面布置	129
(三) 安装设计	129
(四) 概预算编制	129
四、接触网设计接口	130
(一) 设计输入	130
(二) 设计输出	131
(三) 接触网与相关方面接口设计	131
五、接触网平面图	132
学习单元四 接触网施工	135
一、施工准备阶段	136
(一) 组织准备	136
(二) 技术准备	137
(三) 物资准备	138
二、工程施工阶段	138
(一) 施工测量	138
(二) 基坑开挖	139
(三) 基础浇制	140

(四) 支柱安装	140
(五) 腕臂、软横跨安装	141
(六) 承力索架设	142
(七) 接触线架设	143
(八) 接触悬挂调整	144
(九) 其他设备安装	145
(十) 接地安装	145
三、竣工验收阶段	146
(一) 冷滑试验	146
(二) 热滑试验	146
学习单元五 接触网运营管理	148
一、接触网维修组织	149
(一) 接触网维修管理机构及职责	149
(二) 接触网专业应配备的设备	149
(三) 接触网技术资料	150
二、接触网作业方式及程序	151
(一) 接触网检修作业方式	151
(二) 接触网检修作业程序	151
三、接触网检修	152
(一) 接触网规程与规章	152
(二) 接触网检修方式	152
附录	156
附录一 柔性接触网部分零部件图示	156
附录二 刚性接触网部分零部件图示	160
附录三 接触网平面图(站场咽喉区部分)	162
附录四 接触网平面图(工程数量、设计说明、图标部分)	163
附录五 接触网停电作业工作票	164
附录六 接触网停电作业命令票	165
附录七 接触网远离作业工作票	166
参考文献	167

绪 论

知识要点	1. 城市轨道交通发展概况（世界和中国）； 2. 城市轨道交通供电系统； 3. 接触网的供电制式及类型
能力要点	1. 描述城市轨道交通的发展历史； 2. 说明城市轨道交通供电系统的组成； 3. 熟悉接触网的供电制式； 4. 熟悉接触网的类型并列举其代表城市
课程导入	1. 国内外不同城市的轨道交通发展概况、供电制式、接触网类型等相关案例资料。 2. 2012年3月15日，新加坡一条地铁线路因地铁两条不锈钢电缆桥架突然断裂，导致电缆失去支撑后悬空、掉落，中断电动列车电力供应。这次电力中断故障造成列车停运将近11小时，影响大约9万人出行。请同学们从此案例中体会供电系统在城市轨道交通运营中的作用及出现问题后可能造成的影响
结构框图	<pre> graph LR subgraph Overview [城市轨道交通概况] direction TB W[世界轨道交通发展] C[中国轨道交通发展] end subgraph PowerSystem [城市轨道交通供电系统] direction TB EP[外部电源] MS[主变电所] TPS[牵引供电系统] DLS[动力照明供电系统] PMS[电力监控系统] end subgraph PowerSystemType [城市轨道交通供电制式] direction TB CS[电流制] VS[电压制] FM[馈电方式] end subgraph ContactNetType [接触网类型] direction TB AS[架空式] CRT[接触轨式] KS[跨座式] end subgraph Final [] direction TB TS[牵引变电所] CN[接触网] end Overview --> W Overview --> C PowerSystem --> EP PowerSystem --> MS PowerSystem --> TPS PowerSystem --> DLS PowerSystem --> PMS PowerSystemType --> CS PowerSystemType --> VS PowerSystemType --> FM ContactNetType --> AS ContactNetType --> CRT ContactNetType --> KS TPS --> TS TS --> CN </pre>

一、城市轨道交通概况

21 世纪以来,具有节能、环保、安全、快捷等特征的城市轨道交通建设越来越受到众多城市的关注,它不仅具有强大的运输能力、较高的服务水平、显著的资源环境效益,而且能够按照设计能力正常运行,与其他交通工具互不干扰,这使之成为促进城市经济发展和解决道路拥挤问题的有力手段。

城市轨道交通系统是指在城市中使用车辆在固定导轨上运行并主要用于城市客运的交通系统。中国国家标准《城市公共交通常用名词术语》将城市轨道交通定义为“通常以电能为动力,采取轮轨运转方式的快速大运量公共交通之总称”。根据城镇建设行业标准《城市公共交通分类标准》(CJJ 114—2007),城市轨道交通分为地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统、自动导向轨道系统、市域快速轨道系统七个类别。

(一) 世界轨道交通发展

世界轨道交通的发展大致经历了萌芽、成长、快速发展三个阶段。目前世界上已有 50 多个国家 200 座城市修建了轨道交通,并且还有很多城市的轨道交通正在筹建当中,线路总里程达数万千米,为客运交通和城市的经济发展做出了重要贡献。

国外城市轨道交通的发展始于伦敦,第一条地铁线路伦敦大都会铁路(Metropolitan Railway)于 1863 年开通运营,当时电力尚未普及,所以即使是地下铁路也只能用蒸汽机车,图 0-1 为伦敦大都会铁路通车时的情景。世界第一条地下铁道的诞生,为人口密集的大都市如何发展公共交通提供了宝贵的经验,1879 年电力驱动机车的研究成功,使地下客运环境和服务条件得到了空前的改善,地铁建设显示出强大的生命力。从此以后,世界上一些著名的大都市如美国纽约和波士顿、匈牙利布达佩斯、奥地利的维也纳、法国巴黎等相继建造地下铁道。

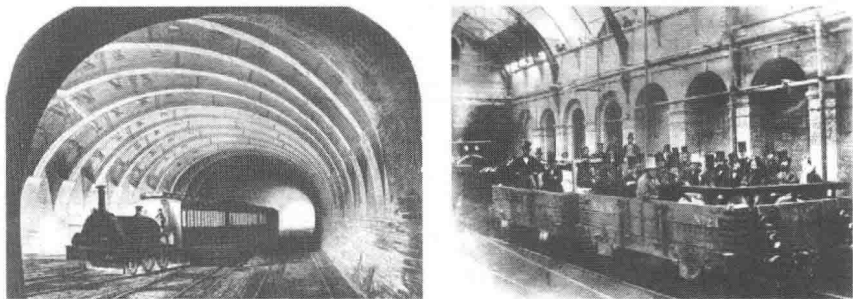


图 0-1 伦敦大都会铁路通车时的情景

在进入 20 世纪的最初 24 年里(1900—1924 年),欧洲和美洲又有 9 座大城市相继修建了地下铁道,如德国的柏林、汉堡,美国的费城以及西班牙的马德里等。1925—1949 年,其间经历了第二次世界大战,各国都更关注自身的安危,地铁建设处于低潮,但仍有日本的东京、大阪,苏联的莫斯科等少数城市在此期间修建了地铁,图 0-2 为世界代表城市修建的地铁。第二次世界大战以后,1950—1974 年,欧洲,特别是亚洲、美洲,有 30 余座城市

开通地铁。1975—2000 年，相继又有 30 余座城市新建地铁开通运营，其中亚洲城市 20 多座。

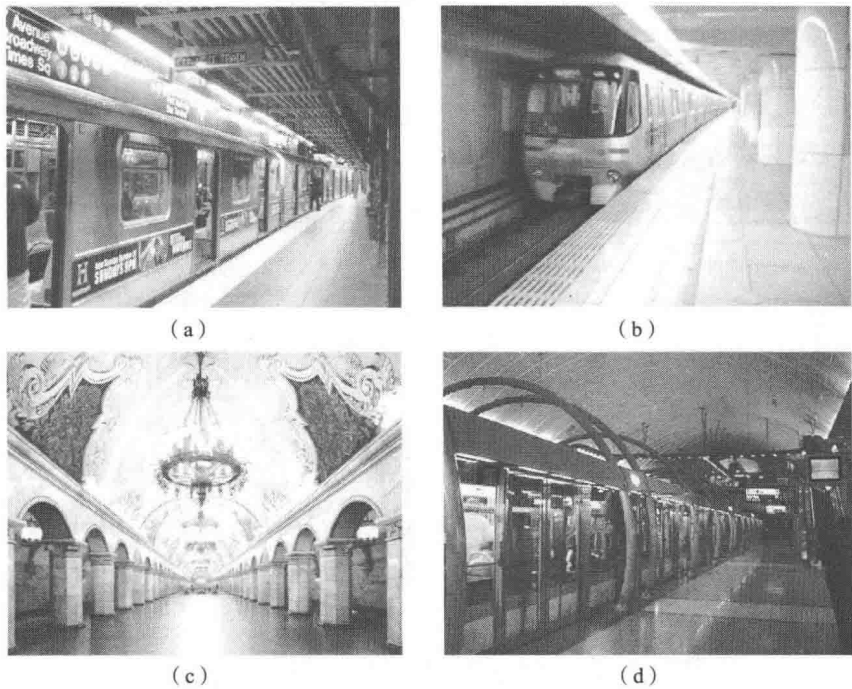


图 0-2 世界代表城市修建的地铁

(a) 纽约地铁；(b) 东京地铁；(c) 莫斯科地铁；(d) 巴黎地铁

(二) 中国轨道交通发展

中国轨道交通的发展经历了起步阶段、平稳发展阶段和快速发展阶段。中国第一条地铁线路在北京，始建于 1965 年 7 月 1 日，1969 年 10 月 1 日建成通车，全长 23.6 km，共设 17 个车站，是中国地铁之先河。1984 年，天津地铁建成通车，全长 7.4 km，沿途共设 8 个车站。1993 年，上海地铁 1 号线南段建成通车。随后，广州、深圳、长春、大连、重庆等城市相继修建了地铁、轻轨、单轨等，图 0-3 为中国代表城市建成的地铁、轻轨、单轨等。

为了解决城市拥堵问题，国家提出的建立以城市轨道交通为骨干、以公共交通为主体、多种交通方式相互协调的综合交通系统使得轨道交通进入快速发展阶段。截止到 2015 年 12 月，中国已开通地铁、轻轨的城市达 28 座，运营里程约 3 891.77 km，表 0-1 为中国已开通轨道交通的城市。在 3 891.77 km 总运营里程中，地铁 3 108.92 km，占总里程的 79.9%；轻轨 259.6 km，占总里程的 6.7%；单轨 87 km，占总里程的 2.2%；有轨电车 179.25 km，占总里程的 4.6%；磁浮交通 30 km，占总里程的 0.8%；市域快轨 227 km，占总里程的 5.8%。

随着经济的不断发展和进步，我国城市轨道交通在未来的一个时期内将呈现依次开通的高峰，进入一个前所未有的蓬勃发展期。在中国已经运营轨道交通的城市中，越来越多的居民选择乘坐轨道交通出行。

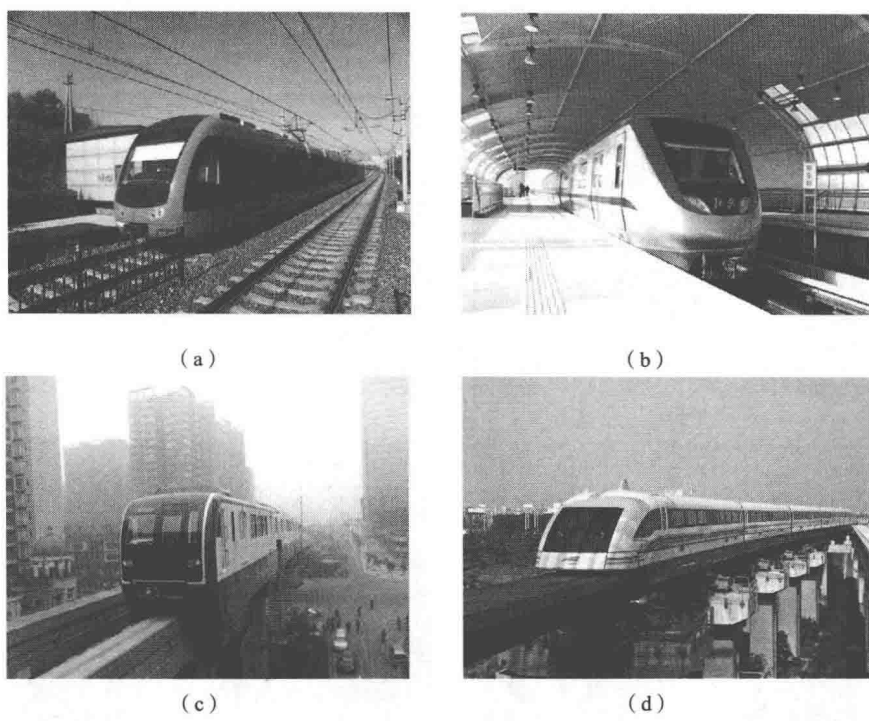


图 0-3 中国代表城市建成的地铁、轻轨、单轨等

(a) 长春轻轨; (b) 北京地铁; (c) 重庆(3 号线)跨座式单轨; (d) 上海磁浮列车

表 0-1 中国已经开通轨道交通的城市

排名	城市	线路数 /条	线路总长 /km	运营线路分类及长度/km					
				地铁	轻轨	单轨	有轨电车	磁浮交通	市域快轨
1	上海	17	683	588			9	30	56
2	北京	19	631	554					77
3	广州	10	258.47	250.67			7.8		
4	南京	7	235.07	227.07			8		
5	香港	10	218.20	182.05	36.15				
6	重庆	4	202	115		87			
7	成都	4	182	88					94
8	深圳	5	179	179					
9	大连	6	171.03	42.20	88.45		40.38		
10	天津	5	147	87	52		8		
11	台北	5	131.10	131.10					
12	武汉	4	126	91	35				
13	沈阳	6	114.96	54.96			60		
14	杭州	3	81.50	81.50					

续表

排名	城市	线路数 /条	线路总长 /km	运营线路分类及长度/km					
				地铁	轻轨	单轨	有轨电车	磁浮交通	市域快轨
15	苏州	3	70.29	52.29			18		
16	昆明	3	60	60					
17	长春	3	56		48		8		
18	无锡	2	56	56					
19	西安	2	52	52					
20	宁波	2	49	49					
21	南昌	1	29	29					
22	长沙	3	26.58	26.58					
23	高雄	1	42.70	42.70					
24	郑州	1	26	26					
25	淮安	1	20.07				20.07		
26	哈尔滨	1	17	17					
27	佛山	1	14.80	14.80					
28	青岛	1	12	12					
总计		130	3 891.77	3 108.92	259.60	87	179.25	30	227

二、城市轨道交通供电系统

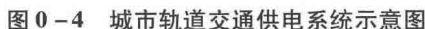
一个完善的城市轨道交通系统是完成旅客输送任务的物质基础,由多种先进的、可靠性高的专业技术设备组成,主要包括线路、车辆、供电、通信、信号等系统。线路是列车运行的基础,车辆是轨道交通牵引和载客工具,信号是轨道交通的指挥系统,供电为轨道交通提供能源和动力。在现代电气化时代,城市轨道交通的任何部门都离不开电力。保证电动列车畅行,安全、可靠、迅捷、舒适地运送乘客,是供电系统的根本目的。

城市轨道交通供电系统主要由外部电源、主变电所、牵引供电系统、动力照明供电系统、电力监控系统组成。其示意图如图 0-4 所示。

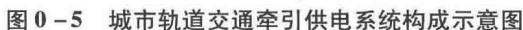
城市轨道交通供电电源一般取自城市电网,通过城市电网一次电力系统和城市轨道交通供电系统实现输送或变换,然后以适当的等级供给城市轨道交通各类设备。

主变电所将来自城市电网的高压交流电经过降压转变成轨道交通系统中压交流电。主变电所进线电压一般为 110 kV,经降压后变成 35 kV 或 10 kV,供给牵引变电站和降压变电站。主变电所有两路独立的进线电源,如果一路发生故障,另一路还可以继续工作,以维持供电系统的正常运行。

牵引供电系统由牵引变电所和接触网组成。牵引变电所将中压交流电(35 kV)整流、降压为轨道交通系统规定的直流电能(DC 1 500 V 或 DC 750 V)供到接触网上。图 0-5 为



城市轨道交通牵引供电系统构成示意图。牵引变电所将三相高压交流电变成适合电动列车应用的低压直流电。馈电线再将牵引变电所的直流电送到接触网上，电动列车通过受电弓与接触网的直接接触获得电能。通常我们认为牵引变电所、接触网和电动列车是城市轨道交通电气化系统的三大组成部分。



动力照明供电系统提供车站和区间各类照明,扶梯、风机、水泵等动力机械设备电源和通信、信号、自动化等设备电源,由降压变电所和动力照明配电线路提供。降压变电所的两台电力变压器分列运行,同时供电。当一台发生故障时,自动切除负荷,另一台变压器承担该供电范围内的全部负荷,以保证城市轨道交通的正常运行。动力照明配电线路采用 380/220 V 三相五线制系统配电。

电力监控系统简称 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 系统, 利用计算机控制、网络、数据库、现代通信等技术保证控制中心对主变电所、牵引变电所、降压变电所等供电设备运行状态进行监视、控制和数据采集。图 0-6 为电力监控系统示意图。

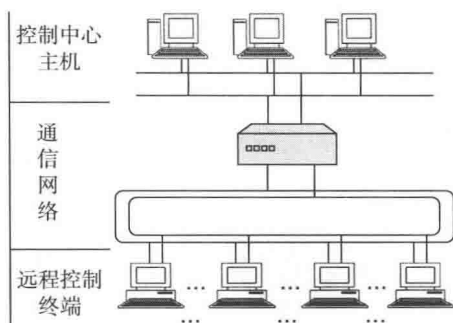


图 0-6 电力监控系统示意图

城市轨道交通供电系统为了保证城市轨道交通运行所需的一切电能，要求其中的各种变电所均应有两个电源，每个进线电源的容量应满足变电所全部一、二级负荷的要求。这两个电源可以来自不同变电所，也可来自同一变电所的不同母线。牵引供电系统属于一级用电负荷，除了双电源供电外，还应增设应急电源，以保证列车的安全用电。

三、接触网的供电制式

接触网系统是指从牵引变电所出来的电能通过电动列车受电弓传送给车辆的整个送电系统，是牵引供电系统中唯一无备用设备的系统。接触网的供电制式主要包括电流制、电压等级和馈电方式。

铁路上采用交流供电制式，供电电压为 27.5 kV，而城市轨道交通基本都采用直流供电制式，原因有三：其一是城市轨道交通的列车功率并不是很大，其供电半径（范围）也不大，因此供电电压不需要太高；其二是没有电抗压降，在同样电压等级下直流制比交流制的电压损失小；其三是城市内的轨道交通，供电线路都处在城市建筑群之间，供电电压不宜太高，以确保安全。基于以上原因，世界各国城市轨道交通的供电电压都为直流 550 ~ 1 500 V，但其档级很多，这是受各种不同交通形式、不同发展历史时期影响而形成的。现在国际电工委员会（IEC）拟定的电压标准为 600 V、750 V 和 1 500 V 三种。我国国标《城市轨道交通直流牵引供电系统》规定的供电制式为直流 750 V（DC 750 V）和直流 1 500 V（DC 1 500 V）。表 0-2 为直流牵引供电系统电压值。

表 0-2 直流牵引供电系统电压值

标称值	最高值	最低值
750	900	500
1 500	1 800	1 000

接触网的馈电方式有架空式和接触轨式（也称第三轨）两种方式。接触轨式主要用于地铁、轻轨；架空式除用于地铁外，还用于铁路干线、工矿、城市地面等。电压等级与馈电方式是接触网供电制式中的关键点，两者密切相关。对于一个具体的城市来说，电压等级与馈电方式的选择，应该结合起来，统一考虑。比如我国北京和天津地铁采用 DC 750 V 第三轨馈电方式，而上海、广州等地采用 DC 1 500 V 架空式馈电方式。

四、接触网的类型

城市轨道交通接触网按安装位置和接触导线的不同分为架空式、接触轨式和跨座式三大类型。图 0-7 为不同类型的接触网。

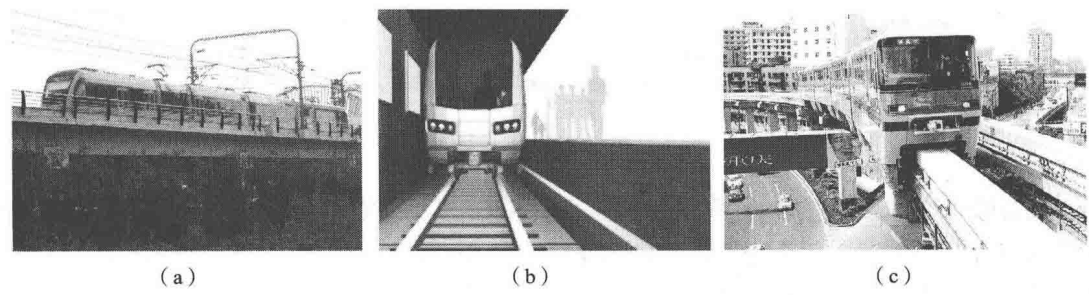


图 0-7 不同类型的接触网
(a) 架空式；(b) 接触轨式；(c) 跨座式

架空式接触网沿轨道线路上方架设，通过与电动列车受电弓可靠地直接滑行接触，将电能持续不断地传送给电动列车，再经走行轨道回到牵引变电所。架空式接触网根据接触悬挂的不同分为刚性架空接触网和柔性架空接触网两类，如图 0-8 所示。刚性接触网将接触线夹装在回流排中，依靠回流排自身的刚性保持接触线的固定位置，使接触线不因重力而产生弛度。刚性接触网具有占用净空小、结构简单、无外加张力、维护量小等优点，适用于隧道段。柔性接触网采用柔性线索作为导体，具有较好的弹性，跨距大，用于铁路和城市轨道交通已有多年的历史，运行经验丰富，人们习惯上将其简称为“接触网”。

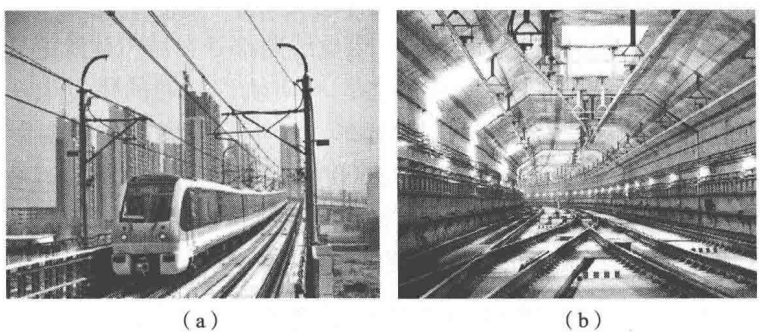


图 0-8 架空式接触网种类
(a) 刚性接触网；(b) 柔性接触网

接触轨式接触网通过在走行轨道旁设置连续刚性导电“轨道”给电动列车供电。电动列车通过安装在车辆转向架两侧的集电靴和接触轨的滑动接触取得电能，如图 0-7 (b) 所示。接触轨式的主要结构形式有第三轨、第四轨（第三轨供电、第四轨回流）两种。

第三轨指在原有走行轨一侧新增一条轨道供电，车辆则利用集电靴获得电力，电流经车轮和走行轨形成回流。第三轨形式比较常见，比如北京地铁 1 号线工程、北京地铁 2 号线（环线）工程、天津地铁 1 号线中段、武汉轨道交通 1 号线一期工程等都采用了 DC 750 V 第

三轨形式。第四轨指在原有走行轨道外，另外增设两条轨道各供应直流电正负两极，第三条轨用于供电，第四条轨用于回流。第四轨这种方式比较少见，只在伦敦地铁和意大利米兰市的地铁 A 线中使用。

接触轨安装高度低，载流能力强，结构简单，施工方便，造价较低，使用寿命长，有利于城市景观。但是，由于接触轨处于人员比较容易接触到的位置，存在安全隐患，一般限制系统电压等级不能高于 1 500 V。目前，接触轨多用于城市轨道交通，在铁路中没有采用。

跨座式就是通过单根轨道梁来支承、稳定和导向，车体骑跨在轨道梁上运行。它能有效利用城市道路空间，爬坡和曲线通过能力强，噪声和景观影响小，是一种独特的中等运量城市轨道交通系统。跨座式单轨通常为高架，高架单轨具有成本低、工期短，且占地少、污染小、能有效利用道路中央隔离带，适于建筑物密度大的狭窄街区的优点。此外，单轨列车和轨道容易检查与维修养护。因而单轨不失为大城市客流中等的交通线路和中等城市主要交通线路的较好选择，特别是在地形条件复杂、利用其他交通工具比较困难的情况下，能体现其优越性。单轨铁路按照走行模式和结构，主要分成悬挂式单轨和跨座式单轨两类。悬挂式单轨铁路（也称空中轨道列车）的列车悬挂在轨道之下，比如德国的 H-Bahn 空轨，图 0-9（a）所示；跨座式单轨铁路的列车跨坐在路轨之上，两旁盖过路轨，比如重庆的轻轨 2 号线和 3 号线，如图 0-9（b）所示。

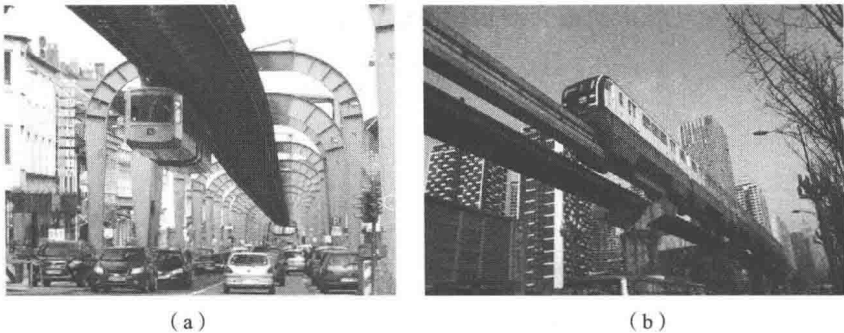


图 0-9 单轨种类
(a) 悬挂式单轨；(b) 跨座式单轨

不同类型接触网的特点及使用情况见表 0-3。

表 0-3 不同类型接触网的特点及使用情况

类型		主要优点	主要缺点	应用	使用城市
架空式	柔性接触网	弹性大，安全性好，运行经验丰富等	影响市容	地下线、地面线、高架线	上海（1、2 号线等）
	刚性接触网	净空小，维护量小等	安装精度高，运行经验少	地下线	上海（8 号线）、广州（2 号线等）

续表

类型		主要优点	主要缺点	应用	使用城市
接触轨式	第三轨	安装高度低，施工方便，寿命长等	人身安全问题，电压偏低	地下线、地面线、高架线	北京、武汉等
	第四轨	较高的可靠性、降低信号系统的复杂性等			伦敦、米兰
跨座式	悬挂式单轨	建设成本最低，工程建设最快，占地面积最小，环保低噪节能等	承载量有限、突发状况无法快速处理等	高架线	德国、日本
	跨座式单轨	适应性强、噪声低、转弯半径小、爬坡能力非常强	道岔结构复杂，能耗较大	高架线	重庆（轻轨2、3号线）

思考习题

1. 什么是接触网系统？
2. 描述城市轨道交通供电系统的主要组成部分。
3. 试述接触网的结构形式，并任选两种结构形式简述其不同之处。
4. 试述铁路接触网与城市轨道交通接触网的区别。