

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG

CAILUN

城市轨道交通

主编 / 余 振 欧志新

概论



西南交通大学出版社

城市轨道交通概论

主编 余 振 欧志新

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

城市轨道交通概论 / 余振, 欧志新主编. — 成都:
西南交通大学出版社, 2014.8
ISBN 978-7-5643-3345-4

I. ①城… II. ①余… ②欧… III. ①城市铁路—概
论 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 192055 号

城市轨道交通概论

主编 余振 欧志新

责任编辑	周 杨
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都中铁二局永经堂印务有限责任公司
成品尺寸	170 mm × 230 mm
印 张	11.5
字 数	207 千字
版 次	2014 年 8 月第 1 版
印 次	2014 年 8 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3345-4
定 价	28.00 元

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

随着经济不断发展,人口在大城市聚集,交通已经越来越拥挤。人们不约而同把视角都放在城市轨道交通行业,从国内 10 年前只有 4 家轨道企业到现在的运营、在建、规划达接近 50 家企业,可谓是井喷式发展,同时带来大量的轨道行业岗位,全国也面临着轨道行业人才培养难题。

本书在编写过程中力求做到理论和实际相结合,同时考虑学生的接受程度不同,尽可能用浅显的语言阐述城市轨道交通行业的发展和内容,也尽可能提高学生对城轨专业的兴趣,树立他们为轨道行业服务终生的理念。

本书由广州轻工技师学院余振、安徽交通职业技术学院欧志新主编。具体编写分工:绪论由东莞技师学院陈清编写;第一单元和第二单元由无锡汽车工程中等专业学校李永菲、安徽交通职业技术学院欧志新编写;第三单元和第七单元由青岛技师学院杨小莉、赵延军、于琨、王晓鹤、李鲁彦编写;第四单元由福州职业技术学院林昊编写;第五单元由安徽交通职业技术学院欧志新编写;第六单元由齐齐哈尔技师学院迟卓刚编写;第八单位由郑州科技工业学校张发庆、常秀娟编写。

本书不仅是作为大中专院校、职业学校的学习用书,也可作为城市轨道交通行业职工的培训教材。本书部分设备图片由鹏扬轨道设备公司提供,特此感谢!

由于编书时间匆促,若有遗憾错误,敬请各位读者批评指正。

编 者
2014 年 5 月

目 录

绪 论	1
单元 1 城市轨道交通概况	10
1.1 城市轨道交通的发展史	10
1.2 城市轨道交通的特点与类型	13
1.3 城市轨道交通的优势	18
1.4 我国主要城市的轨道交通	19
复习与思考	22
单元 2 城市轨道交通规划与设计	23
2.1 城市轨道交通规划	23
2.2 城市轨道交通线网规划	27
2.3 城市轨道交通线路设计	31
复习与思考	37
单元 3 城市轨道交通线路与车站	38
3.1 城市轨道交通线路	38
3.2 城市轨道交通车站	49
单元 4 城市轨道交通车辆	55
4.1 城市轨道交通车辆的类型和选用要素	55
4.2 城市轨道交通车辆的机械组成部分	58
4.3 城市轨道交通车辆的电气组成部分	73
4.4 城市轨道交通车辆检修基地	78
复习与思考	82
单元 5 城市轨道交通供配电系统	84
5.1 电力系统的基本概念	84
5.2 城市轨道供电系统的结构组成	85

5.3	城市电网对轨道交通的供电方式及负荷等级	99
5.4	城市轨道供电系统的功能和作用	100
5.5	城市轨道供电原理	101
5.6	牵引变电所日常工作场景	102
5.7	接触网日常工作场景	103
5.8	人身安全——高压电击	104
	复习与思考	105
单元 6	城市轨道交通信号与通信系统	107
6.1	城市轨道交通信号系统	107
6.2	城市轨道交通通信系统	137
	复习与思考	145
单元 7	城市轨道交通行车组织与行车调度	146
7.1	行车组织概述	146
7.2	列车运行图	146
7.3	行车调度工作	149
7.4	城市轨道交通的客运组织	153
7.5	城市轨道交通票务管理	157
单元 8	城市轨道交通环境控制与安全管理	165
8.1	城市轨道交通的环境控制系统	165
8.2	城市轨道交通的安全管理	171
	参考文献	178

绪 论

一、发展城市轨道交通的必要性

当今世界经济飞速发展，环境日新月异，城市化进程不断加快，城市基础设施特别是城市交通设施与城市化发展的矛盾逐渐显现。从各国城市化发展的实践来看，城市轨道交通以其运量大、速度快、安全可靠、准点舒适的技术优势，已经在日、美、欧等国家和地区成为主要的城市交通工具，在我国北京、上海、广州、深圳等城市已大规模投入使用城市轨道交通系统，人们对轨道交通的要求也越来越多。因此，重点发展城市轨道交通是城市化进程的必然趋势。

目前，中国城镇化进程较快，2011 年全国的城镇化率为 51.27%，2012 年全国城镇化率为 52.57%，到 2013 年全国城镇化率已达到 53.73%，预测到 2020 年，全国的城镇化率将超过 60%。大量的人口涌入城市，将意味着公共交通需承担起更多的运量。而伴随着城市轨道交通系统的设施建设与投入运营，未来几年内城市轨道交通仍将处于供小于求的局面。预计到 2020 年，全国城市轨道交通客运量将超过 200 亿人次。

由于城市经济区域布局的变化以及大城市的聚集和辐射效应越来越强烈，城市流动人口大量增加，居民出行更为频繁，城市交通需求的矛盾也就越来越突出。同时，随着工业化进程和经济建设步伐的加快，人们的工作节奏也越来越快，时间观念越来越强。以此同时，需要准时、安全、快捷的交通工具与之配套来满足人们的出行需求，但是，目前城市市民的出行基本上还是主要依靠城市公共交通。而现代城市在一天的客运高峰期间，客流量高度集中、流向大致相同的客流现象已显著突显出来，低运量的交通工具已远远不能满足民众出行的需要。以上所述是造成城市交通局面越来越严峻的重要因素，要缓解目前的这种困境，发展城市轨道交通是解决的最好方式。无论私人交通如何发展，公共交通作为主体的地位将不会发生变化，轨道交通往往又占有较大优势，占据公共交通的主导地位。即使私人交通的承载工具数量远远超过公共交通工具，公共交通作为城市客运的主体地位仍不改变，

真正解决城市交通问题的主要还是依靠地铁、有轨电车、市郊快速交通等轨道交通运输系统。确立以轨道交通为重点的城市交通运输发展战略，是我国处于发展中国家得以解决城市交通问题的理性选择。只有加快发展城市轨道交通的进程，才能真正解决城市化带来的一些社会问题，如城市交通的拥堵、环境污染、能源危机等一系列问题。

表 1 是各种交通方式能源消耗与环境污染的比较。从表中可以看出，轨道交通在能源消耗、人均 CO₂ 排放以及人均噪声污染方面均低于其他各种城市交通方式，具有显著的可持续发展优势。

表 1 各种交通方式能源消耗与环境污染的比较

项 目	城郊铁路	航 空	城市道路	轨道交通
能源消耗比	1.0	5.3	4.6	0.8
人均 CO ₂ 排放	1.0	6.3	4.6	1.0
人均噪声污染	1.0	1.5	0.7	0.4

城市环境与城市交通有着极为密切的联系。城市环境恶化的一个重要因素在于交通车辆的尾气排放和城市交通的噪音污染。以汽车为主的城市交通对城市发展有着极为不利的影响，它带来空气污染、噪声污染、交通事故增加等一系列社会问题。轨道交通采用电力传动系统，具有低能耗、低污染、安全准点等特点，它对于改善城市环境、增加城市人口容量有着不可取代的重要作用，对于建立空间相对分离的新型生态城市结构具有重要的意义。

二、我国城市轨道交通的建设情况

近年来，我国国民经济得到了蓬勃发展，经济的发展将会伴随更大的城市化，促进了城市的建立和发展，到 2014 年，城市人口越来越多，城市化进程越来越快。我国政府及城市当局在城市交通方面巨大的资金、物质及人力的投入，为城市轨道交通进入高速发展提供了重要保证。2014 年，在既有和新开工项目双高的形势下，轨道交通投资需求将首次突破 3 000 亿元。预计到 2014 年年底，我国轨道交通运营线路累计将达到 88 条，运营总里程将达到 2 765 km，稳居世界第一位。同期，铁路建设总投资规模预计将达到 6 500 亿 ~ 6 700 亿元。可以看出，城市轨道交通的投资在我国轨道交通建设资金中的比例逐渐增大。

目前，城市轨道交通包括地铁、轻轨、有轨电车、独轨、磁悬浮、自动

导向和市郊快速轨道等各种形式，其中较常见、使用较普遍的是地铁和轻轨交通系统。以下资料和数据显示出我国的城市轨道交通发展极其迅速。

以下是 2014 年全国主要城市轨道交通开建项目情况：

上海：全长约 39.1 km 的上海轨道交通 14 号线将横贯上海东西，由嘉定封浜至浦东金桥。环评报告显示，14 号线将是继 1、2 号线之后又一条 A 型车 8 辆编组的高运量线路，均为地下线路，共设 31 座车站，均为地下车站。途经嘉定、普陀、静安、黄浦、浦东 5 个区，可与 15 条地铁线换乘，预计建设工期 75 个月。上海地铁及其地铁标志如图 1 所示。



图 1 上海地铁及其地铁标志

广州：广州 2014 年共有 11 条地铁全面开建。从广州地铁获悉，2014 年广州市将有 11 条（段）地铁全面开建，计划完成新线建设投资超过 170 亿元，到 2017 年将新建成 260 km 线路，预计全市轨道交通累计开通里程将超过 500 km。广州地铁及其地铁标志如图 2 所示。



图 2 广州地铁及其地铁标志

西安：西安轨道交通 2 号线南段开始设备综合联调。西安轨道交通 2 号线南段浐河停车场管理权正式移交西安地铁运营分公司，2 号线南段已进入设备综合联调阶段，于 2014 年 6 月已经开通运营。西安地铁及其地铁标志如图 3 所示。

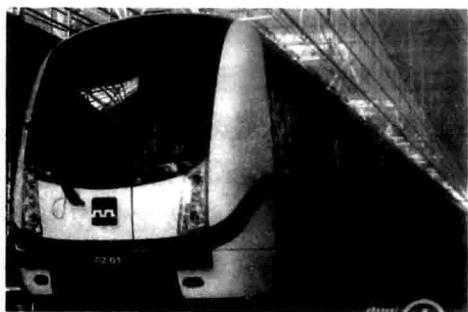


图 3 西安地铁及其地铁标志

南京：2014 年，南京市将有 4 条地铁线建成通车。据悉，4 条新线中地铁 10 号线、宁高城际一期（机场线）分别于 2014 年 2 月下旬和 3 月上旬空载试运行。南京地铁及其地铁标志如图 4 所示。



图 4 南京地铁及其地铁标志

天津：天津地铁 2 号线机场延伸线右线铺轨已于 2013 年 2 月底完工。据悉，天津 2 号线机场延伸线在加紧建设中，目前左线铺轨已经完成，联络通道完成开挖，站内机电设备正在安装过程中。整个工程计划在 2014 年上半年已经完工，将与机场地下交通中心和 T2 航站楼同步投入使用，实现航空、城际高铁、轨道交通、公交、出租、社会车辆等多种交通方式无缝衔接，方便旅客出行。天津地铁及其地铁标志如图 5 所示。



图 5 天津地铁及其地铁标志

成都：成都地铁 1 号线三期工程预计在 2014 年开工。据悉，成都地铁 1 号线三期广都北站至天府新站于 2014 年上半年开工建设，升仙湖站—北三环站（暂命名）也于 2014 年开工建设。根据规划，自升仙湖站至北三环站，线路全长约 13 km，北三环站并不是 1 号线北段最后一站，未来还将继续延伸至大丰。成都地铁及其地铁标志如图 6 所示。

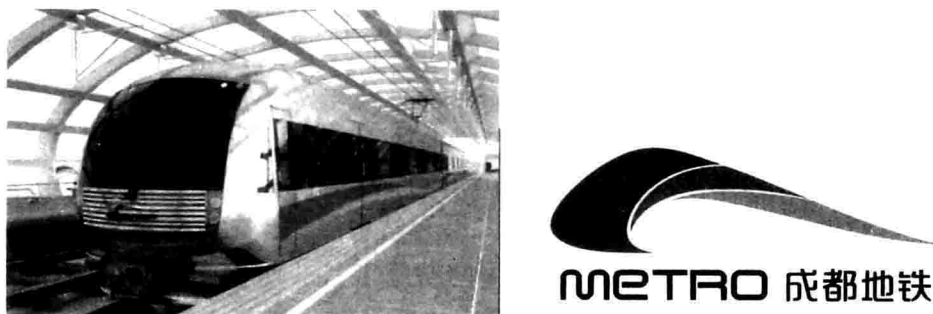


图 6 成都地铁及其地铁标志

北京：北京地铁 6 号线二期（通州段）已于 2014 年年底开通试运营。全线设站由 7 座增至 8 座，均为地下站，其走向与地铁 1 号线平行，将缓解北京市中心城区东西向的交通压力。北京地铁及其地铁标志如图 7 所示。

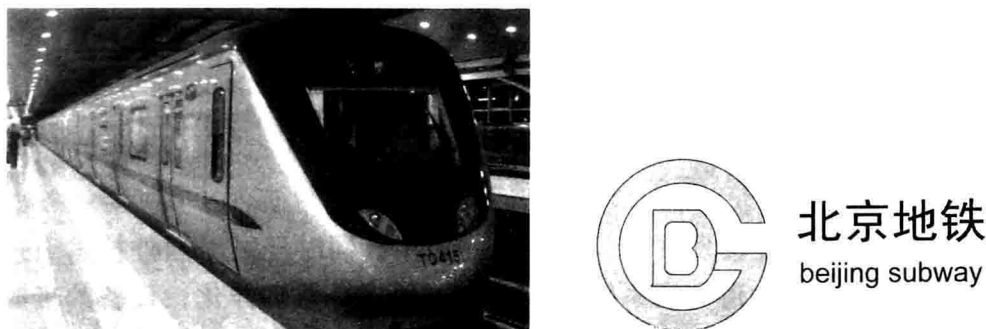


图 7 北京地铁及其地铁标志

无锡：2014 年年中，无锡 1 号线已经竣工通车；年底 2 号线将试运行完成后安全通车。无锡将由此成为全国地级市中首个两条地铁线一年内同时通车的城市。无锡 1 号线正线全长 29.4 km，设车站 24 座，线路穿越了无锡市的惠山区、北塘区、崇安区、南长区、滨湖区等 5 个城区。2 号线线路全长 26.743 km，共设车站 22 座，自滨湖区青龙山南侧环太湖公路的梅园至终点安镇站。无锡地铁及地铁标志如图 8 所示。



图 8 无锡地铁及其地铁标志

石家庄：石家庄地铁解放广场站一期工程于 2013 年 8 月底封顶。解放广场站是地下两层三跨岛式车站，沿中山路方向路中布置，总长 214.9 m，总宽 21.3 m，车站地下一层为站厅层，地下二层为站台层，车站共设 4 个出入口（其中 1 个为预留），2 组风亭。该站点分为两期施工，一期主要是基坑主体结构，二期主要是出入口、风亭等工程。石家庄地铁及其地铁标志如图 9 所示。



图 9 石家庄地铁及其地铁标志

在我国，随着社会发展和科学技术的进步，同时经过对国外技术引进吸收再创新，在城市轨道交通系统的选择上，形式日益多样化，设备的来源也日益国产化。在城市轨道交通系统建设过程中，为多方位、多形式、多方案的比选提供了可能性。因此，对于一座城市的轨道交通系统的建立，要根据城市的总体规划、发展趋势、经济形式、城市人口分布状况、人员流向和流量，在客观的调查研究、分析判断的基础上，合理选择适合于本城市特点的城市轨道交通系统，只有这样，所选择的系统才能更好服务于城市的可持续发展目标。

三、城市轨道交通所涉及的专业门类

城市轨道交通系统是一个多专业多工种配合工作、围绕安全行车这一中

心而组成的有序联动、时效性极强的系统，从运营组织到功能实现及安全保障等方面都有一套极为严格的操作流程，如运营组织中的调度、统一指挥、按运行图组织行车等都极其重要；在功能实现方面，各有关专业如隧道、线路、供电、车辆、通信、信号、车站机电设备及消防系统均应保证状态良好，运行正常；而在安全保障方面，主要依靠行车组织和设备正常运行来保证必要的行车间隔和正确的行车运行图设计。

为了保证列车运行安全、正点，在集中调度、统一指挥的原则下，行车组织、设备、车辆检修、设备运行管理、安全保证等均由一系列规章制度来规范。列车安全运营是需要跨专业、多工种共同配合才能完成的工作，并时刻围绕安全行车这一中心任务，构成了有序联动、时效性强的庞大系统。

在轨道交通系统中，采用了以电子计算机处理技术为核心的各种自动化设备，从而代替人工的、机械的、电气的行车组织、设备运行和安全保障系统。如 ATC（列车自动控制）系统可以实现列车正常运营与指挥的高度自动化，最大限度地保证了列车的行车安全，降低人为主观因素的影响，提高了运输效率；SCADA（供电系统管理自动化）系统可以实现主变电所、牵引变电所、降压变电所设备系统的遥控、遥信、遥测和遥调；BAS（环境监控系统）和 FAS（火灾报警系统）可以实现车站环境控制的自动化和消防、报警系统的自动化；AFC（自动售检票系统）可以实现自动售票、检票、分类等功能。这些系统全线各自形成网络，均在 OCC（控制中心）设中心计算机，实现统一指挥，分级控制。

城市轨道交通建设是一个庞大的系统工程，一般而言，它主要包括城市轨道交通车辆、城市轨道交通信号与通信、城市轨道交通供电、城市轨道交通运营等几大主要专业。

1. 城市轨道交通车辆

城市轨道交通车辆是城市轨道交通系统的重要组成部分，也是技术含量较高的机电设备，是整个城市轨道交通系统中最为关键的基础设备。城市轨道交通车辆应具有先进性、可靠性和实用性，应满足安全、容量大、快速、美观、节能以及环保等技术要求。城市轨道交通车辆有动车（M，Motor）和拖车（T，Trailer）之分，其中动车本身带有动力牵引传动装置，又分为带受电弓的动车与不带受电弓的动车；拖车本身无动力牵引传动装置，可分为带驾驶室和不带驾驶室两种情况。

城市轨道交通车辆在运营时一般采用动拖结合、固定编组，形成电动列车组，比如四动两拖六节编组方式，六动两拖八节编组方式。由于动车车辆

上带有动力牵引传动装置，兼有牵引和载客两大功能、因此和铁路列车不同，不需要单独连挂单独的机车。一般城市轨道交通车辆主要由车体、车门、转向架、车钩缓冲装置、制动装置、车辆辅助设备等几部分组成。

2. 城市轨道交通信号与通信

信号设备的主要作用是保证行车的安全和提高线路的通过能力，包括信号装置、联锁装置、闭塞装置等。信号装置是指示列车运行条件的信号及附属设备；联锁装置是保证在车站范围内，行车和调车安全及提高通过能力的设备；闭塞装置是保证在区间内行车安全及提高通过能力的设备。

在车站上，铺设有许多条线路，线路之间用道岔连接。列车在车站内运行的路径，叫做进路。进路由道岔位置决定。进路要有信号机防护，道岔位置不对，或者进路上有车，防护此条进路的信号机就不能开放，从而保证列车的运行安全。道岔、进路和信号三者之间相互制约、相互依存的关系称为联锁，实现联锁的设备叫作联锁设备。把许多道岔、进路和信号机用电气方法集中控制和监督，并实现它们联锁的设备，叫作电气集中设备。由车站向区间发车时必须确定区间内无车，还要防止两个车站在同一线路上向同区间发车。这种按照一定的方法组织列车在区间内的运行，一般称为行车闭塞，用来联络的设备称为闭塞设备。常用的闭塞设备有自动闭塞、半自动闭塞及电气路签闭塞等。地铁采用自动闭塞设备。

3. 城市轨道交通供电

根据功能的不同，地铁供电系统一般划分为以下几部分：外部电源；主变电所；牵引供电系统；动力照明系统；杂散电流腐蚀防护系统；电力监控系统。地铁的供电系统是为地铁运营提供电能的。地铁列车是电力牵引的电动列车，其动力是电能。此外，地铁中的辅助设施包括照明、通风、空调、排水、通信、信号、防灾报警、自动扶梯等，也都依赖电能。

地铁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地铁供电系统实现输送或变换，然后以适当的电压等级供给地铁各类设备。

根据用电性质的不同，地铁供电系统可分为两部分：由牵引变电所为主组成的牵引供电系统和以降压变电所为主组成的动力照明供电系统。

4. 城市轨道交通运营

城市轨道交通主要包括安全防护管理、客运组织管理和行车调度等几大主要部分。

城市轨道交通需建立完善安全的规章制度，做到“安全第一、预防为主”，这是我国城市轨道交通系统的安全管理方针。需设立防灾中心，制定突发灾害的应急预案，对系统消防设施进行定期检查与维护管理，做到“安全第一、预防为主”的中心思想。

城市轨道交通主要是通过合理的客运组织来完成其大容量的客运任务，这是城市轨道交通高密度运营的关键环节，需进行系统的、专业的组织设计。客运组织的内容主要包括车站检票机的数量配置和位置设置、车站导向系统的内容选择与位置设置、车站广播系统的导向设置、车站自动扶梯的设置以及车站工作和服务人员的配备、突发状况的应急预案制定等。

城市轨道交通运输调度是轨道交通得以安全、有序运营的指挥中枢，是城市轨道交通系统的大脑，担负着安全组织行车、提高运营服务质量，是完成乘客运输计划和实现列车运行图的重要保障环节。它对城市轨道交通正常运营的开展起着决定性的作用。

单元 1 城市轨道交通概况

1.1 城市轨道交通的发展史

“城市轨道交通”是一个包含范围较大的概念,在国际上没有统一的定义。一般而言,城市中车辆在固定导轨上运行并主要用于城市客运的交通系统称为城市轨道交通。在中国国家标准《城市公共交通常用名词术语》中,将城市轨道交通定义为“通常以电能为动力,采取轮轨运输方式的快速大运量公共交通的总称”。

广义的城市轨道交通是指以轨道运输方式为主要技术特征,是城市公共客运交通系统中具有中等以上运量的轨道交通系统(有别于道路交通),主要为城市内(有别于城际铁路,但可涵盖郊区及城市圈范围)公共客运服务,是一种在城市公共客运交通中起骨干作用的现代化立体交通系统。

狭义的城市轨道交通是指地铁、轻轨和单轨。

在城市发展的过程中,随着国民经济的持续快速发展,城市化进程不断加快,城市基础设施特别是城市交通设施与城市化发展的矛盾逐渐显现,而城市轨道交通不仅能改善和缓解城市人口出行的交通压力,还能减少城市资源的浪费,保护环境,引领城市规划。一百多年来的实践证明,在繁荣的大城市,修建地铁是发展市区交通的最佳选择,修建城市轨道交通系统已成为世界各国大城市公共交通的主要发展方向。

我国城市轨道交通的发展大致经历了三个阶段。

1. 有轨电车阶段(1906—1959 年)

中国最早的有轨电车出现于清朝时期的北京,时间是 1899 年,由德国西门子公司修建,连接郊区的马家堡火车站与永定门。1904 年香港开通有轨电车,此后设有租界或成为通商口岸的各个中国城市相继开通有轨电车,天津、上海先后于 1906 年、1908 年开通。日本和俄国相继在大连、哈尔滨、长春、沈阳、开通有轨电车线路。1924 年 12 月 19 日,北京前门至西直门的有轨电

车线路开通（见图 1.1）。随后，大连、鞍山、沈阳、长春、哈尔滨和香港等城市也相继修建了有轨电车线路。到 1959 年，上海的有轨电车多达 360 辆，线路总长度为 72.4 km。

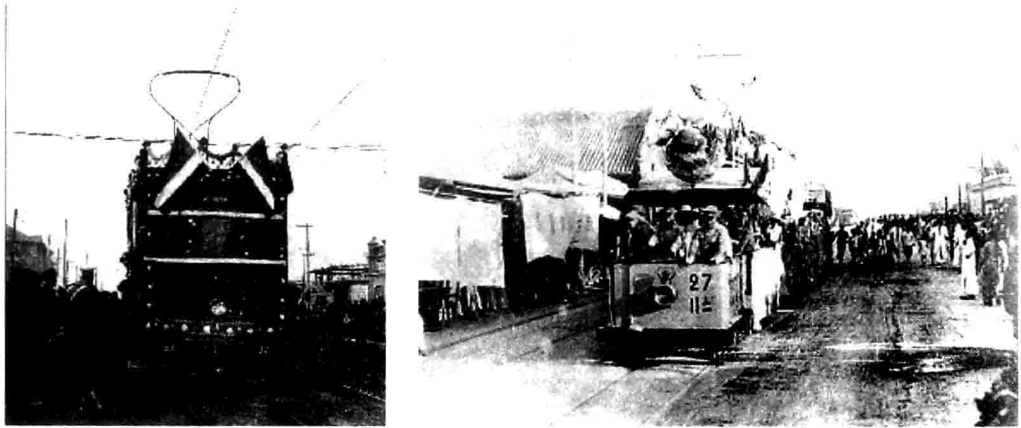


图 1.1 天津第一条有轨电车与北京前门有轨电车

2. 起步发展阶段（1960—20 世纪 80 年代末）

旧式有轨电车行驶在道路中间，与其他车辆混合运行，运行速度不高；汽车工业的迅速发展，汽车数量急骤增长，城市道路面积明显地不够用。从 20 世纪 50 年代开始，世界各国大城市都纷纷拆除有轨电车线路。这股风也波及中国，大部分城市的老式有轨电车线路被相继拆除。至今，我国内地只剩下大连、长春等少数城市保留着有轨电车。

北京从 20 世纪 60 年代末开始建设我国第一条地铁线路，并于 1969 年 10 月 1 日投入运营，开创了我国地铁建设的先河。这一阶段地铁建设处于起步阶段，战备为主、兼顾交通，建设以人防设施为主的地铁。天津于 1970 年 4 月 7 日建设地铁，1976 年 1 月 10 日通车运营，全长 7.4 km。1971 年 7 月，北京地铁 2 号线开工建设，于 1984 年 9 月 20 日通车运营。1979 年 10 月，香港第一条地铁线路开始运营。这时的地铁在一定程度上缓解了城市道路交通的拥堵，但尚未形成城市轨道交通网络。

3. 快速发展阶段（20 世纪 90 年代—至今）

改革开放以来，我国经济保持持续快速增长，城市化进程明显加快，城市的规模和人口数量都在不断扩大，对城市交通需求剧增，导致道路交通供给能力严重不足，交通堵塞已成为城市社会经济发展的一个制约因素。