

城市轨道交通系列丛书

城市轨道交通车辆

张振淼 主编



中国铁道出版社

城市轨道交通系列丛书

城市轨道交通车辆

张振森 主编

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书论述城市轨道交通车辆的基本特征、结构原理以及设计方法等。主要内容包括：城市轨道交通车辆的基本知识；车体及转向架的组成件以及结构原理；车辆的制动系统；噪声的防护及控制；车辆的电气传动与控制等。

读者对象：该专业的管理人员、工程技术人员及大专院校的学生。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市轨道交通车辆/张振森主编. —北京: 中国铁道出版社, 1998. 8
(城市轨道交通系列丛书/孙章, 何宗华主编)
ISBN 7-113-03102-1

I. 城… I. 张… III. 城市运输: 轨道运输-列车 IV. U
292. 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 23095 号

书 名: 城市轨道交通系列丛书
城市轨道交通车辆

著作责任者: 张振森

出版·发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑: 傅立彦

责任编辑: 傅立彦

封面设计: 薛小卉

印 刷: 北京市燕山联营印刷厂

开 本: 850×1168 1/32 印张: 11.25 插页: 3 字数: 295 千

版 本: 1998 年 9 月第 1 版 1998 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 1—3000 册

书 号: ISBN7-113-03102-1/U·844

定 价: 25.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

城市轨道交通系列丛书

主 编：孙 章

何宗华

Thomas Brodocz

Walter Christ

《城市轨道交通系列丛书》

序

世界上轨道交通很早就作为公共交通在城市中出现。随着科学技术和城市化的发展,大运量的轨道交通在现代大城市中越来越起着重要的作用。经济发达国家城市的交通发展历史告诉我们,只有采用大客运量的地铁和轻轨交通系统,才是从根本上改善城市公共交通状况的有效途径。

我国发展大运量轨道交通的历史也并不短,40年前北京就开始了地铁建设。想建地铁的城市也不少,但一直因造价太贵而却步。至今一些百万人以上的大城市,仍然用传统的公共汽车和无轨电车来维持客运的做法,已越来越不能满足城市居民高频率出行的需要。因而目前很多大城市又在考虑和策划修建轨道交通项目。除北京外,上海和广州都已经在建造现代化的地铁系统。北京、上海、天津、广州四城市虽已有地铁线路在运营,但远远不能较为普遍地满足需要。由于我国城市轨道交通的应用技术和基础理论都还处于开拓阶段,项目实施的大多数情况是要引进技术和设备,国产化率低,成为工程造价昂贵的主要原因。因而提高我国城市轨道交通行业的技术力量,发挥自主建设能力,努力降低工程造价,已是健康发展大运量轨道交通的关键。

为此,我们组织了建设部和铁道部的有关专家,编写了这套《城市轨道交通系列丛书》,同时还与德国西门子股份公司交通技术集团进行合作,吸收了一些实用而先进的技术成果,分别按不同专业内容纳入这套丛书。

这套系列丛书以普及现代城市轨道交通基础理论、知识为目标,较为全面系统地阐述了城市轨道交通的发展历史和先进的技

术成果,同时也论述了不同类型轨道交通的系统特征、通用技术的适应范围、专业技术及其综合效应等。这套丛书可作为管理人员、专业技术人员和大专院校学生的基础理论知识读本,也可作为本行业专家学者在此基础上深化研究和促进技术发展的参考资料。



1998年

* 周千峙 中国科学院院士、工程院院士、建设部顾问、原建设部副部长

前 言

大城市的公共交通直接关连着城市经济发展,是城市活力和投资环境的一个重要标志,也是确保居民正常工作、学习、生活的重要手段。我国是世界上人口最多的国家,人口的城市化进程随着经济的发展和改革开放力度的增大正在迅速加快,据统计,百万人以上的大城市已达 40 多座,还有千万以上的特大城市,如上海、北京等。由于历史形成的多种原因,我国大城市的公共交通长期处于基础设施落后,型式单一,跟不上城市经济发展、人口增长对公共交通的要求,严重制约了经济发展和居民的正常活动,成为困扰各大城市的一个难题。

解决大城市的公共交通,国外已有成功的经验,那就是以发展大容量快速城市轨道交通为骨干,形成多平面的立体的城市公共交通网络,这也是我国城市交通发展的必由之路。车辆是城市轨道交通最重要的也是最关键的设备,它是多专业综合性的产品,涉及机械、电机、电气、控制、材料等领域。

本书论述城市轨道交通车辆的基本特征、结构原理以及设计方法等,主要内容有:城市轨道车辆的基本知识;车体和转向架的组成件以及结构原理;车辆的制动系统;噪声的防护及控制;车辆的电气传动与控制等。

本书共分十章,由张振淼主编。参加编写的还有胡用生(第五章),吴荫岑(第六章)和张鑫(第九章)。

编 者

1998 年

目 录

第一章 城市轨道交通概要及基本知识	(1)
第一节 城市交通与快速轨道交通系统	(1)
一、地下铁道	(5)
二、城市快速轻轨交通	(6)
三、城市独轨铁路	(10)
第二节 城市轨道交通车辆的组成及主要技术参数 ..	(14)
一、城市轨道车辆的组成	(14)
二、城市轨道车辆的主要技术参数	(17)
第三节 地铁、轻轨车辆限界	(20)
一、车辆限界的概念	(20)
二、地铁限界	(22)
三、轻轨限界	(38)
第二章 动力转向架与非动力转向架	(42)
第一节 转向架的结构原理	(42)
一、转向架的作用与组成	(42)
二、转向架结构的分类	(44)
第二节 轮对轴箱装置及弹簧减振元件	(51)
一、轮 对	(51)
二、滚动轴承轴箱装置	(56)
三、弹簧结构、特性及计算	(57)
四、减振元件	(76)
第三节 动力转向架的传动系统	(80)
一、爪形轴承的传动装置	(80)

二、横向牵引电机—空心轴传动装置	(81)
三、两轴—纵向驱动、骑马式结构	(82)
四、全弹性结构的两轴—纵向驱动	(83)
五、牵引电机对角配置的单独轴—纵向驱动	(83)
六、牵引电机置于车体上的驱动装置	(86)
第四节 城市轨道交通车辆转向架结构	(86)
一、DK 型地铁客车转向架	(86)
二、上海地铁车辆转向架	(92)
三、法国巴黎地铁带橡胶轮的转向架	(98)
四、低地板转向架	(99)
第三章 车钩缓冲装置	(101)
第一节 车钩缓冲装置的用途及分类	(101)
第二节 密接式中央牵引、缓冲连挂装置	(103)
一、我国制造的地铁车辆所采用的密接式车钩 缓冲装置	(103)
二、上海地铁车辆的车钩缓冲器装置	(107)
三、Scharfenberg 型密接式车钩缓冲装置	(113)
四、BSI—COMPACT 密接式车钩	(117)
第四章 车体结构及轻量化途径	(119)
第一节 车体的类型及特征	(119)
第二节 车体轻量化结构	(122)
第三节 车门结构	(127)
第五章 制动系统	(132)
第一节 概 述	(132)
一、制动系统在城市轨道交通车辆运行中的重要 意义	(132)
二、制动方式	(133)

三、制动控制系统分类	(138)
第二节 电气指令式制动控制系统	(148)
一、电气指令式制动控制系统分类	(148)
二、电磁空气制动机	(149)
三、气压控制型电气指令式制动控制系统	(151)
四、电气控制型电气指令式制动控制系统	(156)
第三节 基础制动装置	(160)
一、闸瓦制动装置	(160)
二、盘形制动	(163)
第六章 城市轨道交通车辆动力学	(167)
第一节 引起车辆振动的原因及基本振动型式	(167)
一、激起车辆振动的线路原因	(168)
二、车辆的自激振动	(170)
第二节 车辆运行安全性及平稳性的评定标准	(171)
一、车辆运行平稳性及评定标准	(171)
二、车辆运行安全性及评定指标	(173)
第三节 车轮导轨接触及滚动理论	(175)
一、轮轨接触几何关系(等效斜率、重力刚度 及角刚度)	(176)
二、轮轨接触蠕滑关系	(177)
三、防止起动时空转及制动时滑行的蠕滑 控制	(178)
四、充气轮胎的滚动与振动特性	(179)
第四节 车辆的蛇行运动稳定性	(184)
第五节 车辆运行时的振动分析	(189)
一、车辆的垂直振动	(189)
二、车辆的横向振动	(194)
三、车辆的随机响应	(195)
四、动车组的纵向振动	(197)

第六节	车辆的曲线通过·····	(197)
一、	自由轮对的线性蠕滑力导向理论·····	(198)
二、	带转向架车辆的曲线通过·····	(199)
三、	径向转向架技术·····	(200)
第七章	车辆受力分析及强度计算·····	(202)
第一节	作用在车体上的载荷·····	(203)
一、	垂直载荷·····	(203)
二、	垂直动载荷·····	(204)
三、	纵向力·····	(204)
四、	侧向力·····	(207)
五、	扭转载荷·····	(208)
第二节	作用在转向架上的载荷·····	(209)
一、	垂直静载荷·····	(209)
二、	垂直动载荷·····	(210)
三、	纵向力引起的附加垂直载荷·····	(211)
四、	牵引力·····	(212)
五、	侧向力引起的附加垂直载荷·····	(215)
六、	侧向力及轮轨间作用力所引起的水平载荷·····	(217)
七、	垂直斜对称载荷·····	(224)
八、	制动时的载荷·····	(225)
第三节	车辆强度计算·····	(227)
第八章	城市轨道交通车辆的噪声及其防护·····	(236)
第一节	城市轨道交通噪声的形成与分类·····	(236)
一、	轮轨噪声·····	(236)
二、	车辆非动力噪声·····	(238)
三、	牵引动力系统噪声·····	(238)
四、	高架轨道噪声·····	(238)
五、	地下铁道的地面承载噪声·····	(240)

第二节	城市轨道交通噪声的评价与标准·····	(241)
一、	评价方法·····	(241)
二、	评价标准与指标·····	(243)
第三节	控制和降低列车辐射噪声的可能性与 措施·····	(244)
一、	线路环境噪声的组成及列车辐射噪声的 特征·····	(244)
二、	曲线运行轮轨摩擦噪声的形成原因及 影响因素·····	(246)
三、	几种降低轮轨噪声的措施·····	(249)
四、	制动噪声的形成与影响因素·····	(253)
五、	转向架结构元件的声辐射和传递特性以及 辅助隔音措施·····	(254)
六、	列车辐射噪声防护措施与声屏障·····	(254)
第四节	自导向和迫导向的径向转向架·····	(256)
第九章	车辆的电力传动与控制 ·····	(263)
第一节	概 述·····	(263)
第二节	直流串励电动机的基本工作原理·····	(264)
一、	直流电机的基本构造及励磁方式·····	(264)
二、	直流电动机的基本工作原理·····	(265)
第三节	三相异步电动机·····	(279)
一、	异步电动机的构造·····	(279)
二、	鼠笼式异步电动机的工作原理·····	(282)
三、	鼠笼式异步电动机的机械特性及调速·····	(284)
四、	三相异步电动机的制动工况·····	(289)
第四节	城市轨道交通车辆电力传动主电路及其控制·····	(291)
一、	我国地铁电动车组的发展·····	(291)
二、	BJ-4 型及 BJ-6 型地铁车辆的传动及 控制·····	(292)

三、上海地铁一号线电动车组的传动及控制	(300)
四、采用三相异步电动机驱动的城市轨道 交通车辆的传动与控制	(304)
第十章 城市轨道交通的新发展	(312)
第一节 独轨交通.....	(312)
一、独轨铁路在城市交通中的地位和作用	(312)
二、独轨铁路的产生和发展	(314)
三、独轨铁路的类型和特点	(315)
四、独轨铁路线路的基本技术条件	(318)
五、独轨铁路的轨道结构	(320)
六、车 站	(322)
七、独轨铁路车辆	(323)
第二节 新交通系统.....	(331)
第三节 线性电机车辆.....	(337)
第四节 磁悬浮列车.....	(339)
参考文献	(346)

第一章 城市轨道交通概要及基本知识

第一节 城市交通与快速轨道交通系统

近百年来随着世界经济的迅速发展，城市的规模、人口在不断地膨胀扩大，从本世纪初城市人口约占总人口的 20% 到今天已达 50% 左右，许多发达国家城市人口的比例达 80%，据统计全世界人口超过 1 000 万的大城市已有 18 个，人口在 500 万~1 000 万的城市有 22 个。我国自改革开放以来，人口城市化的进程也在加快，据统计 1978 年城市人口约占总人口 12.5%，到了 1994 年上升至 26%，预计 2000 年城市人口将占总人口 45%，百万以上人口的大城市已达 40 余座，还有像上海、北京、重庆千万人口以上的特大城市。

城市发展的一般规律是从市中心向四郊扩展延伸，城市的规模渐趋扩大，这种模式由于人口增长过分迅速必然带来住房紧张，交通拥挤，环境污染等弊病。所以，近代在世界许多国家的大城市周围发展众多的卫星城镇，形成以大城市中心区为核心的包括外围广大卫星城镇有机组合而成的区域性大都市（图 1—1）。例如大东京区、大纽约区、大巴黎区等，在以东京为中心的 50km 距离范围内聚集着 2 000 多万人口。

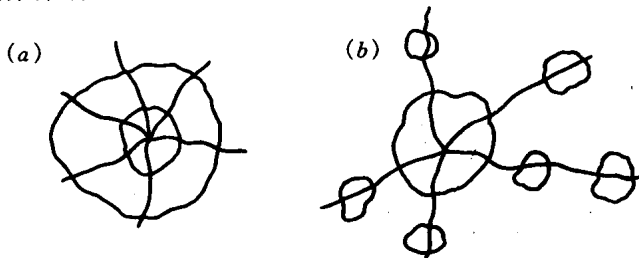


图 1—1 城市发展的二种模式

(a) 市中心区扩展型；(b) 以市中心区为核心的卫星城镇化。

城市规模的扩大和发展模式的变化，不仅使城市公共交通发生数量上的变化，而且也提出了新的质量上的更高的要求。如果两者不相适应，必然抑制了城市的活力和各方面的发展。城市的交通是确保城市活力的重要因素，也是城市经济高速发展的前提。

城市的扩大，特别是现代大都市卫星城镇化，大批居民居住区远离工作或学习场所，必将构成一支数量庞大、在时间上也相对集中的频繁使用公共交通工具的所谓“通勤乘客”队伍。这样，

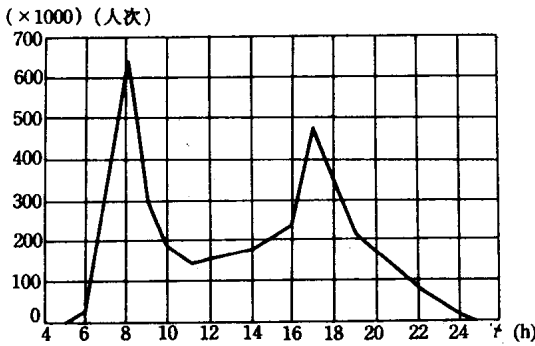


图 1—2 一昼夜内城市交通客流的波动

就增加了以人次计的客运量和以人公里计的客运周转量，势必要求从数量上相应地扩大交通设施的规模。同时城市的公共交通设施还应与以下两方面的特征相适应：第一，一昼夜内客流随时间的波动性，一般有如图 1—2

所示的早、晚两个上下班高峰期，交通设施必须有与其良好的适应性；第二，乘客要求在平均的通勤里程内有可接受的旅途时间。

对于后一问题，美国匹茨堡大学曾对某城 1934 年和 1958 年居民上下班所耗费旅途时间作了统计，取得“通勤乘客”累计百分比数随旅途时间的变化规律，如图 1—3 所示。

从图可见，虽然两次统计相隔时间长达 20 多年，但统计变化规律并无太大的差异，约 95% 的“通勤乘客”的旅途时间（单程）都在 1h 以内，半数乘客则在 25min 以内。

国外文献在解释“通勤范围”一词时，认为对地方性城市而言，大约是指在 1h 可以达到的范围（指单程），对大都市而言，可稍超过这一值。

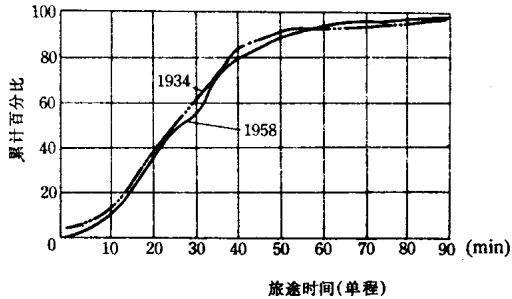


图 1-3 美国某城通勤乘客旅途时间的统计规律

若以旅途时间（单程）1h 作为通勤乘客一般能够接受的上限来估算通勤范围。假定扣除步行、候车和换乘等的需要后，纯乘车时间为 40min。略去步行的里程不计，则当公共汽车和无轨电车等几种市内公共交通工具，以 10km/h~15km/h 的旅行速度在上下班高峰时刻行驶于市区时，它们所能提供的通勤范围仅为 5.7km~10km。显然，常规的公共交通工具适应不了大都市通勤区扩大的需要。一般 500 万~1 000 万人口的大都市通勤区都在 40km~55km，与之相对应地城市公共交通工具应能提供 40km/h~50km/h 左右的旅行速度，方能适应乘客的要求。

传统的城市地面交通（公共汽车、无轨和有轨电车、小汽车等）由于各种机动车辆、自行车、非机动车混杂，道路平面交叉，公共交通工具的“旅行速度”在城市交通高峰时往往仅 10km/h~15km/h，有时甚至更慢，而且随时有发生交通堵塞的危险。特别是市中心区，人均道路占有率低，单靠道路公共交通工具无法疏通庞大的客流。解决大城市的公共交通问题，除传统的地面道路交通外，许多工业发达国家都大力发展较为完善的城市快速轨道交通系统，形成一个由地面、地下和空中（高架轻轨和独轨铁路等）组合而成的立体的城市快速便捷的公共交通网。

现以日本的京都、大阪、神户为三极的“京一阪一神”地区为例，在被称为大都市交通圈的这个区域中（指与市中心相距约

在 50 公里以内), 汇集着 2 400 万人口, 其中市区 800 万。每天利用各种公共交通工具的乘客超过 3 000 万人次, 而其中单由地面铁道和地下铁道输送的乘客即超过 2 600 万人次。所以以城市快速轨道交通为主体配合其它交通工具, 形成一个综合的交通网络, 是解决大城市交通的唯一途径。

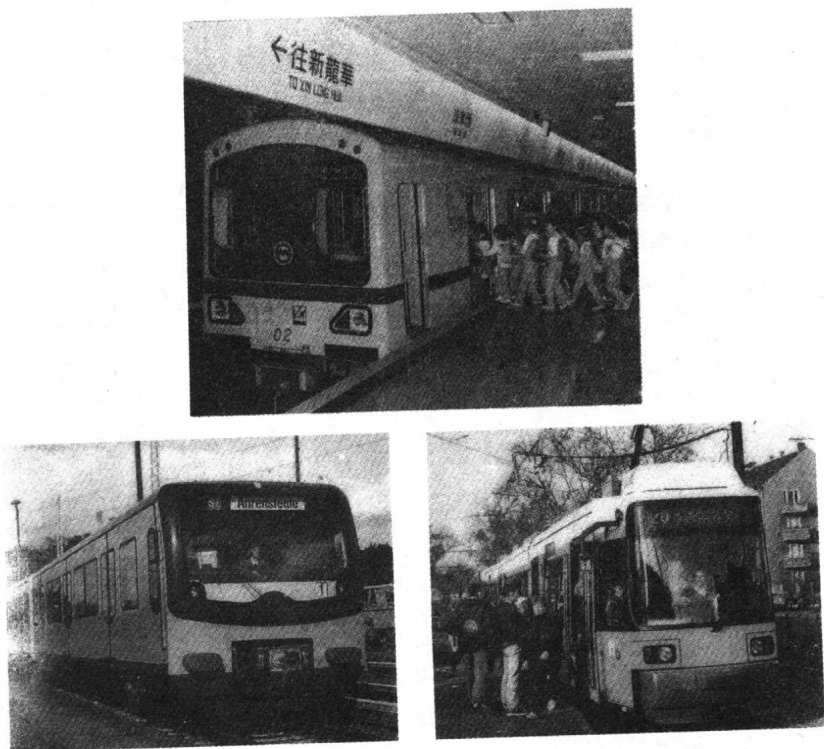


图 1—4 地铁与轻轨交通车辆

城市快速轨道交通系统是近代高科技的产物, 采用全封闭道路, 立体交叉, 自动信号控制调度系统和轻型快速电力驱动车组。行车密度可达 1.5min~2.0min, 平均旅行速度可达 40km/h, 最高车速 90km/h, 单向载客能力最大可达 6 万人次/h~8 万人次/h, 其疏通城市客流的功能比之传统的道路公共交通工具, 具有无与