

高等学校城市轨道交通规划教材

城市轨道交通 车辆工程

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG
CHELIANG GONGCHENG

杨建伟 张 元 / 编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校城市轨道交通规划教材

城市轨道交通车辆工程

杨建伟 张 元 编

中国铁道出版社

2015年·北京

内 容 简 介

本书主要从城市轨道交通车辆总体概述,城轨车辆牵引计算,转向架,车体结构,连接装置,车辆动力学、垂向动力学、曲线相关理论,跨座式单轨车辆及直线电机车辆,城市轨道交通辅助电源及受流装置,以及城市轨道交通车辆运营与维修等方面介绍了城市轨道交通车辆的基本知识。

本书适用于普通高校城市轨道交通车辆专业作为课堂教学的专业教材,同时也可供从事城市轨道交通车辆相关工作的人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆工程/杨建伟,张元编. —北京:
中国铁道出版社,2015.9
高等学校城市轨道交通规划教材
ISBN 978-7-113-20859-2

I. ①城… II. ①杨…②张… III. ①城市铁路—铁路
车辆—车辆工程—高等学校—教材 IV. ①U27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 191003 号

书 名: 高等学校城市轨道交通规划教材
城市轨道交通车辆工程
作 者: 杨建伟 张 元 编

责任编辑: 黄 璐 编辑部电话: 021-73138 电子信箱: tdpres@126.com
封面设计: 崔 欣
责任校对: 王 杰
责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)
网 址: <http://www.tdpres.com>
印 刷: 虎彩印艺股份有限公司
版 次: 2015年9月第1版 2015年9月第1次印刷
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 18.5 字数: 450 千
书 号: ISBN 978-7-113-20859-2
定 价: 50.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)
打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

《城市轨道交通车辆工程》是城市轨道交通车辆专业方向的一门专业基础课。该课程为车辆工程本科生进行学习、科学研究所必须的基础理论和技术训练的必修课程。通过该课程的学习可使学生了解城市轨道交通系统、车辆总体的发展概况和城轨车辆类型,掌握城市轨道交通车辆的基础知识,包括城轨车辆的牵引计算、城轨车辆转向架的构造和工作原理、城轨车辆车体结构、城轨车辆的车钩缓冲装置、城轨车辆的运行性能及其评估标准、城轨车辆曲线通过性能、跨座式独轨车辆和直线电机车辆、车辆受力分析和强度计算、城市轨道交通车辆的运营维修等,培养学生设计城轨车辆的能力。针对课程的需求特编写本书,以下为本书的编写要点。

(1)本书重点介绍具有代表性的城市轨道交通车辆的基本参数、构造、作用、原理、强度及动力学原理等,每章都有典型案例,做到重点突出、条理清晰、分析透彻,便于教与学,突出工程实践应用特色。

(2)本书增加了设计新理论、新方法和新技术,并突出其应用和实践;由于城市轨道交通车辆类型及其关键系统新技术发展迅速,教材中增加了让学生认识新型城市轨道交通车辆类型及其新型关键系统原理和结构的内容,教材注重将科研和工程实际相结合。

本书适用面广,既可作为大专院校相关工科专业的教学用书,也可作为从事城市轨道交通车辆相关工作人员的学习参考书。

本书由北京建筑大学杨建伟教授、北京市地铁运营有限公司地铁运营技术研发中心张元教授级高工担任主编。参加编写的还有姚德臣、李熙、李欣。研究生王金海、杨明瀚、赵春青、王富民、王贺玺、白永亮、武慧杰、钱盈、王雯雯、王兆华、吕中和、邱星慧等同志参与文字处理和绘图工作。

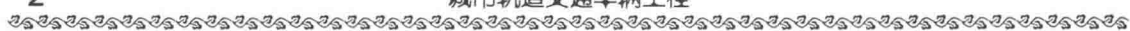
本书承蒙中国铁道科学研究院博士生导师黄强和北京交通大学博士生导师李强教授担任主审,提出了很多宝贵意见和建议,在此编者表示衷心感谢。

编者

2015年7月

目 录

第一章 城市轨道交通车辆总体概述	1
第一节 城市轨道交通及车辆的发展	1
第二节 城市轨道交通车辆的类型和选择	8
第三节 城轨车辆的主要技术参数及基本组成	11
第四节 城市轨道交通列车编组	15
第五节 城市轨道交通车辆限界简介	20
第二章 城轨车辆牵引计算	25
第一节 概 述	25
第二节 牵 引 力	26
第三节 列车阻力	28
第四节 列车运行所需功率及牵引电动机功率估算	30
第三章 城轨车辆转向架	34
第一节 概 述	34
第二节 转向架的作用、组成和分类	34
第三节 转向架构架	38
第四节 弹簧减振装置	40
第五节 轮对轴箱装置	58
第六节 驱动装置	65
第七节 车体与转向架间的牵引连接装置	70
第八节 基础制动装置	72
第九节 几种典型的城轨车辆转向架简介	79
第四章 城轨车辆车体	95
第一节 车体类型及特征	95
第二节 车体结构及模块化	96
第三节 车体结构轻量化	107
第四节 车门结构	110
第五节 车内装饰与设备	134



第六节 几种城轨车辆车体结构·····	137
第五章 城轨车辆连接装置·····	149
第一节 车钩缓冲装置的用途及分类·····	149
第二节 密接式中央牵引、缓冲连挂装置 ·····	153
第三节 电气连接装置·····	160
第四节 车辆贯通装置·····	161
第六章 城轨车辆动力学基础·····	163
第一节 城轨车辆振动的原因及振动形式·····	163
第二节 车辆运行品质及其评估标准·····	169
第七章 城轨车辆垂向动力学·····	179
第一节 具有一系弹簧的无阻尼车轮荷重系统的固有振动·····	179
第二节 具有一系弹簧的无阻尼车轮荷重系统的受迫振动·····	181
第三节 具有一系弹簧的液压减振器车轮荷重系统的受迫振动·····	184
第四节 液压减振器和摩擦减振器的吸振性能比较·····	188
第五节 具有两系弹簧的无阻尼车轮荷重系统的固有振动·····	191
第六节 具有两系弹簧的有阻尼车轮荷重系统的受迫振动·····	194
第七节 具有两系弹簧的有阻尼车辆系统的受迫振动·····	198
第八章 城轨车辆曲线通过相关理论·····	203
第一节 概 述·····	203
第二节 便于机车车辆几何曲线通过的措施·····	203
第三节 机车车辆几何曲线通过的图示法·····	204
第四节 转向架的转心·····	205
第五节 机车车辆几何曲线通过的解法·····	206
第六节 曲线超高和缓和曲线长度·····	208
第七节 动力曲线通过引起轮轨相互作用力·····	209
第八节 机车车辆在曲线上的速度限制·····	212
第九节 改善机车车辆动力曲线通过的措施·····	214
第九章 车辆受力分析及强度计算·····	216
第一节 作用在车体上的载荷·····	216
第二节 作用在转向架上的载荷·····	219
第三节 车辆强度计算·····	231

第十章 跨座式单轨车辆及直线电机车辆	239
第一节 跨座式单轨交通系统的特点	239
第二节 跨座式单轨车辆	242
第三节 单轨车辆采用的几个特殊装置	246
第四节 直线电机的基本原理	256
第五节 直线电机轨道交通的特点	260
第六节 直线电机车辆	264
第十一章 城市轨道交通车辆的辅助电源及受流装置	273
第一节 辅助电源	273
第二节 受流装置	278
第十二章 运营及维修	280
第一节 城市轨道交通系统运营维修体系的确定	280
第二节 我国城市轨道交通系统运营维修体系及主要构成	282
参考文献	285

第一章 城市轨道交通车辆总体概述

第一节 城市轨道交通及车辆的发展

城市轨道交通很早就作为公共交通在城市中出现,人们也称为轨道交通。城市轨道交通是指具有固定线路、铺设固定轨道、配备运输车辆以及服务设施等的公共交通设施。城市轨道交通系统通常由轨道线路、车辆、通信信号、供变电、车站、维护检修基地、指挥控制中心等组成。它大多采用全封闭道路、立体交叉、自动信号控制调度系统和轻型快速电动车组等高科技产品和手段。城市轨道交通具有行车密度大、旅行速度高、载客能力大等特点,多数采用性能优良、无污染、低噪声的电动车组模式,在现代大城市中起着越来越重要的作用,是从根本上改善城市公共交通状况的有效途径。

一、世界城市轨道交通及车辆的发展

(一)世界城市轨道交通的发展

1. 地铁

城市轨道交通的开端是地铁。世界第一条地铁诞生于 1863 年 1 月 10 日,首先在英国伦敦建成,至今已有 150 余年的历史。地铁全长 6.5 km,设有 9 个车站,采用蒸汽牵引,经过 27 年,1890 年改为电力牵引。

从 1863 年英国伦敦建成第一条地铁开始至 20 世纪末,世界已有 115 个城市建成地铁,运营总里程已超过 7 000 km,运行车辆总数 57 000 余辆。

1863~1899 年的 36 年间世界有 7 个城市修建了地铁,1900~1949 年的 50 年间世界有 13 个城市修建了地铁。1950~1999 年的 50 年间世界有 95 个城市修建了地铁。

到目前为止,世界上已经有 120 多座城市建成了地铁,线路总长度超过了 8 000 km。

2. 有轨电车

有轨电车是城市轨道交通较早发展的,至今已有 100 余年的历史。1881 年在德国柏林工业展览会期间,在 400 m 长的轨道上展示了一列三辆编组的小有轨电车,只能乘坐 6 人。世界上第一个投入商业运营的有轨电车是 1888 年美国弗吉尼亚州的里磁门德市。在 20 世纪 20 年代美国的有轨电车线路总长已达 25 000 km;到了 30 年代,欧洲、亚洲的有轨电车也有了很大的发展。

由于有轨电车存在运能低、噪声大、挤占道路等弊端,加上西方国家私人小汽车的总量增长,从 20 世纪 50 年代开始,世界各大城市纷纷拆除有轨电车,现存不多。

3. 轻轨及单轨交通

在世界拆除有轨电车的同时,也对旧有轨电车进行扬长避短的改造。逐渐发展成为轻轨交通系统。1978 年 3 月国际公共交通联合会确定了轻轨交通 LRT(Light Rail Transit)。在 20 世纪 80、90 年代,世界掀起了兴建轻轨交通系统的高潮。至今已有 50 余个国家建成了 360 条轻轨线路。

伴随地铁及轻轨交通系统的发展,从 20 世纪 80 年代开始发展单轨交通系统。日本、美国、加拿大、澳大利亚、德国等建成了多条单轨交通线路。

4. AGT 系统(新交通系统)及自动导向车辆

AGT 系统(Automated Guideway Transit),是一种车辆采用橡胶轮胎在专用轨道上运行的中小运量轨道运输系统,其列车装有特定的导向装置,车辆运行和车站管理采用计算机控制,可实现全自动化和无人驾驶技术。AGT 系统也称为“新交通系统”。新交通系统与单轨铁路有许多相同之处,如均采用高架专用通道,适用于大坡道和小曲线半径线路,大都采用橡胶车轮、噪声低、安全性好、建设费用比地铁低等。不同之处是新交通系统比单轨铁路导向机构简单,道岔动作时间短,维修简单方便。新交通系统比地铁和轻轨车辆小,车长大部分在 5~12 m,列车编组较少,一般列车编组 2~6 辆,运能较低,一般运能单向 5 000~10 000 人次/h。

自动导轨系统主要标准及特征见表 1-1。单轨系统与新交通系统对比见表 1-2。

表 1-1 自动导轨系统主要标准及特征

项 目		标准及特征
车辆	车 型	胶轮导向车
	车辆宽度(mm)	2 500
	车辆长度(mm)	8 400
	车辆定员(人)	75
	车辆最大轴重(t)	9
	列车编组(辆)	2~6
	列车长度(m)	16.80~50.4
线路	类型、形式	架空或地下,全封闭型
	最小平面曲线半径	30 m
	最大限坡	60‰
高峰小时单向运量(万人次/h)		0.6~1.5
供电电压及方式		DC 750 V
旅行速度(km/h)		≥25

表 1-2 单轨系统与新交通系统对比表

系 统	分 类	车辆和线路条件	客运能力 N (万人次/h) 运营速度 v(km/h)	备 注
单轨系统	车辆跨座式单轨 CJ231	车长:15 m 车宽:3 m	N:1.0~3.0 v:≥35	中运量: 主要适用于高架
		定员:150~170 人		
		线路半径:≥60 m		
		线路坡度:≤60‰		
	悬挂式单轨车辆	车长:14 m 车宽:2.6 m	N:0.8~1.5 v:≥20	中运量: 主要适用于高架
		定员:80~100 人		
		线路半径:≥60 m		
		线路坡度:≤60‰		

续上表

系 统	分 类	车辆和线路条件	客运能力 N (万人次/h) 运营速度 v (km/h)	备 注
自动导向系统	胶轮导向车辆	车长:8.4 m 车宽: ≤ 2.4 m	$N: 0.6 \sim 1.5$ $v: \geq 25$	低运量: 主要适用于高架
		定员:75 人		
		线路半径: ≥ 30 m		
		线路坡度: $\leq 60\%$		

5. 直线电机车辆

近代新发展了直线电动机,它改变了传统电动机旋转运动方式为直线运动方式,突破了轨道车辆长期以来依靠轮轨黏着作用传递牵引力的传统技术。线性电机车辆采用交流变频变压控制,取消了传统的旋转电机从旋转运动转换成直线运动所必不可少的一系列机械减速传动机构,既减轻了重量又使结构十分简单,特别是转向架变得很简单,可以采用小轮径的径向转向架。另外线性电机车辆还有加减速可靠、磨损少,爬坡能力强等优点。

但是线性电机最大的缺点是效率低,约为旋转电机的效率的 70%,这是由于线圈与感应轨间的工作气隙较大,导致磁损耗大,线性电机比同样功率电机的耗电量大。另外需铺设一条与线路等长的感应轨,工艺要求又高,所以工程投资大,控制技术也复杂,车辆的制造成本高。

地铁车辆中直线电机车辆根据其载客量分为直线电机 A 型车辆、直线电机 B 型车辆两类,直线电机 C 型车辆属于轻轨交通车辆。

广州地铁四、五号线已采用直线电机 B 型车辆。车辆在正线运行采用 1 500 V 三轨受电,车辆进入检修基地时采用接触网受电。

(二)世界地铁车辆的技术发展

城市轨道交通车辆的技术也在世界工业技术发展的基础上得到了不断的发展。

1. 车体

车体结构从最初的木制车体,20 世纪初采用钢制车体,1952 年伦敦地铁开始采用铝合金车体,1958 年开始采用不锈钢车体,目前车体已发展为铝合金大型挤压型材或不锈钢整体承载车体轻型结构。

2. 车辆牵引

牵引方式从 1863 年的蒸汽机车牵引、1890 年采用电力机车牵引、1896 年开始采用电动车辆由安装在转向架的直流电机实现牵引,在 20 世纪 60 年代出现斩波调压车辆至 1977 年柏林地铁开始采用交流电机传动并发展了变压变频调速(VVVF)技术。

3. 制动

制动从最早采用车长手制动方式,1875 年采用真空制动机,1890 年开始使用威斯丁豪斯自动制动机,之后逐步发展为电气和空气的联合制动,电气制动继而实现了再生制动,近年来空气制动进一步发展了计算机控制模拟制动机。

4. 车辆走行部

车辆走行部最早采用二轴或四轴轮对,1904 年开始采用转向架,1950 年开始采用螺旋弹簧和液压减振器的联合减振装置,20 世纪 50 年代末出现了由压型钢板焊接成的轻型转向架构架,目前发展构架为焊接结构、二系悬挂采用空气弹簧、无摇枕转向架。

5. 车辆控制及驾驶

随着计算机技术的发展和应用实现了对列车及车辆各个系统的计算机网络自动化控制和故障自我诊断。特别是自动驾驶技术的应用,使列车实现了自动驾驶。法国、新加坡、加拿大有城市轨道交通线路已经实现无人驾驶运营数年。

二、我国城市轨道交通及车辆的发展

轨道交通中采用中等载客量车厢,能适应远期单向最大高峰小时客流量 1.5~3.0 万人次的称为轻轨铁路。若采用大载客量车厢,能适应远期单向高峰小时客流量为 3.0~6.0 万人次的统称为地铁。当然,地铁有建于地下的、地面的、高架的;而轻轨铁路同样有建于地下、地面、高架的。轻轨的概念跟地铁、有轨电车等不同,是一种轨道宽度标准,符合标准的地铁、快轨就可以叫轻轨。有轨电车是采用电力驱动并在轨道上行驶的轻型轨道交通车辆。有轨电车是一种公共交通工具,亦称路面电车或简称电车,属轻轨的一种(以电力推动的列车,亦称为电车)。有轨电车是穿梭于城市内部的,轨道非常浅,运行速度慢,重量小,轨道不影响机动车道,汽车也可以在铁轨上正常行驶。有轨电车轨道是开放的,与公交类似也需要等红绿灯。另外,只在有一条轨道的交通路线上行驶的叫单轨交通,即“跨座式单轨”,在我国重庆,因为其为丘陵地理特点,故选择爬坡能力强、转弯半径小的跨座式单轨交通系统。而轻轨则意义更广一些,包括两条轨道的线路也包括一条轨道的单轨。在之后的章节将会对继续对城市轨道交通车辆进行参数等介绍。

(一)我国城市轨道交通的发展

我国城市轨道交通的发展可以划分为早期有轨电车交通和现代城市轨道交通两个历史时代。早期有轨电车时代是从 20 世纪初至 20 世纪 50 年代。现代城市轨道交通是从 20 世纪 60 年代开始的。

1. 有轨电车交通时代

我国有轨电车起源于 20 世纪初。1908 年上海在我国第一个建成了有轨电车。1909 年大连市也建成了有轨电车。至 20 世纪 50 年代,我国有轨电车交通达到了高峰,北京、上海、天津、大连、长春、武汉、鞍山、哈尔滨等城市均建有有轨电车。有轨电车在我国城市交通中发挥了历史性的作用。

由于有轨电车与城市发展的诸多矛盾,我国有轨电车同国外一样,从 20 世纪 50 年代开始逐步拆除。北京、上海、天津、哈尔滨等城市已全部拆除,其他城市也拆除了部分线路。至今,我国仅有长春、大连等少数城市保存了有轨电车并在运行中。

2. 现代城市轨道交通时代

(1)已有发展

我国城市轨道交通发展已走过 40 多年的历程。第一条地铁是 20 世纪 50 年代开始筹划、1965 年开工建设、1969 年 10 月通车的北京地铁 1 号线一期工程,从北京火车站到苹果园站,长度 23.6 km,随后延伸到四惠站,一号线全长 31 km。

20 世纪 70 年代,天津修建了 7.4 km 地铁。

20 世纪 80 年代,随着社会经济的发展,城市化进程加快,机动车急剧增长,为了解决特大城市中心区日益严重的交通拥堵问题,上海、广州分别开始建设地铁,北京地铁复八线(又称北京地铁 1 号线东段,西起复兴门站,东至四惠东站)等多项工程陆续开工,标志着我国城市轨道

交通建设进入一个新的发展时期。

20 世纪 90 年代,深圳、南京、重庆、武汉、大连、长春等多个城市开始建设城市轨道交通。上海地铁 1 号线于 1995 年 4 月通车运营 16.4 km,广州地铁 1 号线于 1999 年 6 月通车运营 18.5 km,北京地铁复八线于 1999 年 9 月通车运营 13.5 km。到 90 年代末,经过近 10 年的建设,城市轨道交通共增加 54 km,运营里程达 97 km。

当前,全国已有 29 个城市获得轨道交通的建设批复,至 2020 年线路规划总里程将达 6 100 公里,所需车辆将超过 3 万辆。

为了有效、合理降低城市轨道交通的建造成本,促进城市轨道交通可持续发展,1998 年,我国启动了城市轨道交通车辆及机电设备国产化政策,并确定深圳地铁一期工程、广州地铁 2 号线和上海明珠线等项目作为国产化依托项目批复立项,此后又陆续批准了 10 个城市的 20 多个轨道交通项目开工建设。我国城市轨道交通步入有序、健康、快速发展时期。

目前世界上已经成功运行或成熟的技术都被陆续采用,如长春的轻轨、重庆的跨座式单轨、广州和北京机场线的直线电机线路、大连的快轨和低地板车,而大多数城市一般采用地铁型线路,速度等级一般为 80 km/h,最高达 120 km/h。

地铁每千米造价由 20 世纪 90 年代初的 7 亿元人民币下降到 5 亿元人民币;轻轨每公里造价由 4 亿元人民币下降到 2.5 亿元人民币;同等技术水平的 A 型车价格由最初的 1 769 万元人民币/辆,下降到现在的 900 多万元人民币/辆,下降约 44%;B 型车价格也由 1 000 多万元人民币/辆,下降到现在的 650 多万元人民币/辆。

(2) 我国城市轨道交通运营情况

城市轨道交通建设水平的高低主要体现在能否满足实际运营需要,能否经受住强大客流的考验。截至 2012 年底,以运营里程计算,北京地铁是世界上规模最大的城市地铁系统。以客运量计算,北京地铁亦是中国内地最繁忙的城市轨道交通系统。目前北京地铁工作日的日均客运量在 800 万人次以上,并且在 2013 年 7 月 16 日创下最高值,达到 1 105.52 万人次。截至 2013 年 5 月,北京地铁共有 17 条运营线路。它包含 16 条地铁线路、1 条机场轨道,组成覆盖北京市 11 个市辖区,拥有 270 座运营车站、总长 456 km 运营线路的轨道交通系统。

2010 年世博会期间,上海重点依托 4、6、7、8、9 号线和世博专用线等 6 条涉博线路、15 座涉博车站,全网承担了约 40% 世博参观客流,共运送乘客超过 10.5 亿人次,日均 578 万人次,最高单日客流达 754.8 万人次。截止到 2013 年 1 月,上海地铁现时有 12 条线路,运营总长约 439 km,有 290 座车站。

香港的港铁公司。目前运营线路全长 168.1 km,由 9 条市区线共 80 个车站组成,港铁周日平均载客量平均 340 万人次。

截至 2012 年,天津轨道交通线网已开通运营 4 条线、82 座车站;其中,1、2、3 号线服务中心城区及环城四区,9 号线连通中心城区和滨海新区目前,天津轨道交通的总里程为 131 km,

2010 年亚运会期间,广州地铁进行免费乘车活动,经受了日客流量 784 万人次的超常规客流检验。深圳市城市轨道交通经历了 2011 年世界大学生运动会强大客流的严峻考验。

自 2009 年开始,参照国际地铁协会(COMET)组织的做法和实际需要,我国筹备建立“城市轨道交通运营绩效评估体系(MOPES)”,共设立 65 项统计指标,并从 2010 年开始,正式编印统计专册,在已开通运营的城市间交流。

(3)我国部分城市轨道交通规划

目前,北京地铁正在进行大规模建设。预计到2016年底,北京地铁运营总里程将达到660 km以上。在远景规划中,到2020年时,运营总里程将超过1 000 km。

规划中之上海地铁共有22条线路。其中14、15、17~20号线为2020年以前的近期规划。至2020年,上海将形成22(或23,因5号线北延伸可能会另选番号)条轨道交通线路877 km的网络规模。

天津市新的城市轨道线网远期规划为9条线路,其中地铁8条,轻轨1条。总长度227 km。远期规划则达到1 380 km。

重庆市政府曾审议通过《主城区轨道交通线网控制性详细规划》,即“九线一环”。“九线一环”中,2014年前建成1、2、3、6号线,2020年前建成“九线一环”。

2013年2月27日,广州地铁运营事业总部重组并按照新体制运行,成立了4个运营中心及6个车务部,运营管理改为“1+3”模式,广州市希望在2017年左右建成500 km左右的轨道交通网络。

根据《深圳市城市轨道交通近期建设规划(2011-2016年)》,2016年底,深圳地三期工程建成后,深圳市轨道交通线路将达到10条,通车里程约348 km。

3. 发展趋势

通过对城市轨道车辆和城市轨道交通的发展情况可以看出,我国城市轨道交通的发展呈现出以下的趋势。

(1)城市轨道交通的网络化

城市轨道交通建设实践表明,在具备条件的城市,轨道交通线路只有逐步向网络化方向发展才能真正发挥其交通功能,达到疏解市区交通堵塞的目的。北京、上海、广州和深圳经过近10年的建设,目前已基本建成网络化城市轨道交通系统,形成纵横交错、相互沟通连接的网络交通体系,不仅大大方便了城市居民的出行和换乘,一定程度上还展示了城市轨道交通线路引导城市发展的功能。

(2)城市轨道交通类型的多元化

我国已不再是单一地铁形式城市轨道交通。北京建成了市郊快速城市铁道交通,武汉、天津建成了地面快速轻轨交通,长春、大连建成了轻轨交通,重庆建设了跨座式单轨交通,上海也开通了高速磁悬浮交通,城轨车辆不仅有第三轨供电形式,而且有架空线接触网供电形式,从而开始形成城市轨道交通类型的多元化。

(3)城市轨道交通的现代化

如今,车体的材料也由以往的耐候钢制造而采用铝合金型材、不锈钢材质制造。转向架、制动机也在采用世界先进水平的技术。微电子技术、计算机甚至卫星定位技术也在车辆上得到应用。城市轨道交通车辆技术已接近或达到世界先进水平。今后,现代化的轨道交通时代即将到来。

(4)设计制造技术的现代化

随着二维、三维计算机的进行,城市轨道交通车辆开发周期大大缩短。碳钢、耐候钢车体沿用了几十年,而在不到10年的时间内,不锈钢、铝合金材料在车体上得到广泛应用。变阻调速的开发改进延续了近30年,斩波调压技术也研究了十余年,而今,在不到10年内开发研究并批量生产了采用VVVF调压调频技术的车辆。无论是产品技术和类型、设计开发手段,都逐步实现现代化。

在焊接方面,不锈钢、铝合金焊接技术及自动焊、机械手焊接得以应用,数控机床、加工中心广泛应用于机械加工。这些技术及装备的应用加速了我国城市轨道交通车辆现代化的进程。

(5)城市轨道交通发展的国际化

现在,城市轨道交通车辆的研究开发已不再是国内一个或几个单位封闭进行的方式,而是融入了国际经济技术的大环境中。在国内、工厂、院校、科研单位发挥各自优势,结合更加紧密。在与国外合作中采用了引进关键技术,进口关键设备,兴办合资企业等多种形式。在与国外合作的同时,始终不渝地坚持了国产化的方向。

(二)我国地铁车辆的技术发展

我国从 1962 年开始研制,1967 年试制成功第一列地铁车辆,1969 年批量生产的 DK2 型地铁车辆,于 1969 年 10 月 1 日开始运行在北京地铁,标志着我国现代城市轨道交通的开始。以后又对地铁车辆进行了大量自主科技研究、技术开发和车辆的改进工作,从 20 世纪 80 年代开展了多种形式的国际技术合作,进行了技术引进、合作生产和大量的国产化工作,使我国的城市轨道交通车辆的生产水平得到迅速提高。

1. 车辆牵引技术

我国车辆的牵引技术走过了从直流牵引到交流牵引技术的历程,直流牵引控制技术又经过了凸轮变阻控制、斩波调阻控制和斩波调压控制阶段,目前“VVVF”控制的交流牵引技术已在我国城市轨道交通车辆使用中得到普遍应用。

20 世纪 60 年代,我国地铁车辆采用直流牵引技术,牵引控制系统主要采用凸轮变阻方式,从开始批量生产的 DK2 型车辆到 1994 年开发的北京 DK20 型车辆,虽经过大量技术改进,但基本采用的都是直流牵引、凸轮变阻控制方式。1987 年我国在进口日本斩波调压地铁车辆的同时,引进了车辆斩波调压系统设备的制造技术,在 1987 年设计、生产了 DKZ1 型地铁车辆并在北京地铁投入运行。20 世纪 90 年代初上海地铁一号线进口的地铁车辆采用了 GTO 元件,由计算机控制的直流斩波调速牵引系统。

20 世纪 90 年代初,“VVVF”交流牵引技术被广泛应用,采用三相交流异步电动机作为牵引电机,牵引控制采用交流调频调压控制技术。20 世纪 90 年代广州地铁一号线、上海地铁二号线引进的车辆的都是“VVVF”交流调频调压技术,我国目前生产的城市轨道交通车辆基本也都采用了“VVVF”交流调频调压调速技术。我国也对“VVVF”交流调频调压调速技术进行研究、开发,已经具有完全自主知识产权的技术并投入使用。

2. 车体制造技术

我国地铁车辆开始生产时主要采用碳素钢作为车体材料,造价低,但车体自重大、易腐蚀、维修成本高。20 世纪 80 年代耐腐蚀性能较好的耐候钢在国内地铁车辆得到广泛应用,同时车体制造工艺不断提高、完善,与采用碳素钢相比车体的自重逐步降低,寿命得到很大提高。随着大型铝合金型材及其焊接技术和不锈钢以点焊为主要生产工艺的成熟,铝合金及不锈钢轻型车体结构被大量应用,上海、广州 20 世纪 90 年代引进的车辆均采用了铝合金车体。我国目前生产的城市轨道交通车辆,如武汉城轨车辆、重庆单轨车辆、天津地铁车辆都已采用了铝合金车体,我国在引进不锈钢车体生产技术的基础上由长春客车厂和北京地铁建设公司联合研制,自行设计、生产的 DKZ6 无涂装不锈钢地铁车辆采用高强度不锈钢材料和轻量化结构设计,已在北京城轨成功运行。这些都为我国高速发展的城市轨道交通创造了有利条件。

3. 车辆制动技术

车辆制动系统是保证车辆运行安全的重要保证,我国地铁车辆最初采用 DK 型电空制动机,空气制动和电气控制作用同时产生,在电气空走失效时空气制动还能发生作用。之后研制、开发了 SD 数字时直通电空制动机,该制动系统缩短了空走时间和制动距离,改善了车辆制动的一致性。1989 年北京地铁在引进、吸收、消化国外模拟制动技术和装备基础上,成功研制电气控制模拟直通电空制动系统,有制 F 动力空-重车调整功能,可与 ATC 装置配合,但没有采用微机控制技术。20 世纪 90 年代上海地铁一号线、二号线、广州地铁一号线,引进的车辆以及目前国内生产的城市轨道交通车辆都是采用的 KNORR 和 NOBCO 公司的微机控制的模拟直通电空制动系统。对这个系统国内也进行了研究开发,铁道部科学研究院的研究成果已进入实用化阶段,在天津地铁进入了试运行。

4. 车辆整体制造技术

在转向架、车钩缓冲装置、通风空调、内装饰和乘客服务设施等方面多年来都得到不断改进和完善,也在采用世界先进水平的技术。

我国在生产制造钢轮、钢轨车辆以外,还生产制造了单轨车辆、直线电机车辆,首辆自主知识产权的 CFC-01 型中低速磁浮列车也已经过实地运行测试成功。

第二节 城市轨道交通车辆的类型和选择

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轨道交通系统,形成一个由地面、地下和空中(高架轻轨和单轨铁路等)组合而成的立体的城市快速便捷的公共交通网。

一、城市轨道交通系统及车辆的类型

城市轨道交通发展至今,由于地区的不同、国家的不同、城市的不同、服务对象的不同等已发展成为多种类型。不同的分类方法,可以分出不同的结果。

(一)城市轨道交通系统分类

城市轨道交通系统一般采用以下几种分类方法进行分类:

1. 以运输容量(能力)来分

可分为高容量、大容量、中容量和小容量。

所谓容量,是指运送能力,也就是指每小时单方向断面的乘客通过量(或输送量)。高容量系统是指容量在 5 万人/h 以上的交通系统(A 型车地铁交通);大容量系统是指容量在 3~5 万人/h 之间的交通系统,如地铁交通;中容量系统是指容量在 1~3 万人/h 之间的交通系统,如轻轨、单轨和 ACT 交通;小容量系统是指容量在 1 万人/h 以下的交通系统,如有轨电车交通。

2. 以敷设方式来分

可分为隧道(地下或水下)、高架和地面。

高容量和大容量系统均采用高架和隧道;小容量系统般采用地面直接铺设;中容量系统通常兼有地面、隧道和高架。

3. 以路权来分

可分为独有路权、半独立路权和共有路权等 3 种系统。

独有路权:完全隔离、不受平交道、人车的干扰——地铁(高运量、大运量);半独立路权:有专用隧道或高架,在地面采用路堑、路堤、隔离栅等方式,但在交叉口仍与横向道路的人车平交混行,受信号灯控制(中运量);共有路权:有轨电车。

4. 车辆和轮轨形式类型来分

可分为钢轮钢轨、橡胶轮单轨和磁浮系统等 3 种类型。

钢轮钢轨:地铁、轻轨、有轨电车。

橡胶轮单轨:橡胶轮地铁、单轨、无人驾驶的自动导向系统。

磁浮系统(中间状态:线形电机车辆)。

5. 以导向方式来分

可分为轮轨导向和导向轮导向。一般钢轮钢轨系统(如地铁、轻轨和有轨电车)是轮轨导向,单轨和新交通系统(AGT)等胶轮车辆是导向轮导向。

6. 以技术特征来分

可分为有轨交通、地铁、轻轨、单轨、线形电机系统、新交通系统和磁悬浮系统等,下面介绍其主要技术特性。

(二)车辆的特点

城市轨道交通车辆是城市轨道交通系统中完成乘客运输任务的直接工具。结合城市轨道交通需求,与其他交通车辆相比,它具有以下特点:

(1)种类多。满足不同类型城市轨道交通。

(2)载客能力强。大型地铁车辆额定可达 310 人/辆。

(3)动力性能好。速度快、加速能力强、制动效果好。

(4)安全可靠性强。设备先进,故障率低,稳定性和可靠性强,突发情况下适应性强。

(5)外观和环境条件好。对车辆的外观造型和色彩、照明、空调、座椅、扶手等都有美化。

(6)灵活的牵引特征。根据不同的线路特征,可采用不同的牵引方式,即动力集中牵引和动力分散牵引。

(7)节能环保。车辆牵引动力常用电力牵引,也成绿色交通车辆。

下面本节将对城市轨道交通车辆分类进行介绍。

1. 按车辆牵引动力配置分

(1)动车(Motor,用“M”表示):车辆自身具有动力装置(动轴上装有牵引电机),具有牵引与载客双重功能。动车又可分为带有受电弓的动车 IVIP 和不带受电弓的动车(M)。

(2)拖车(Train,用“T”表示):车辆不装备动力装置,需动车牵引拖带的车辆,仅有载客功能。拖车可设置司机室(首位车辆,用“Tc”表示),也可带受电弓(用“Tp”表示)。

2. 按车辆规格分

为有利于我国城轨车辆制造、运营、维修的良性发展,车辆类型的规范化及主要技术规格的统一是十分必要的。建设部颁布的《城市快速轨道交通工程项目建设标准》根据我国各城市对城轨车辆选型的不同要求和城轨车辆的发展现状提出了 A、B、C 型车的概念,它主要是按车体宽度的不同进行分类。《地铁车辆通用技术条件》中对用于地铁运营车辆的技术规格也作出了相应的具体规定。主要技术规格见表 1-3。

表 1-3 各类车型主要技术规格

序号	项目名称		A 型车	B 型车	C 型车		
			四轴车	四轴车	四轴车	六轴车	八轴车
1	车辆基本长度(m)		22	19	18.9	22.3	29.5
2	车辆基本宽度(m)		3	2.8	2.6		
3	车辆高度(m)	受流器车(加空调/无空调)	3.8/3.6	3.8/3.6	3.7/3.25		
		受电弓车(落弓高度)	3.8	3.8	3.7		
		受电弓工作高度	3.9~5.6				
4	车内净高度(m)		2.10~2.15				
5	地板高度(m)		1.1		0.95		
6	车辆定距(m)		15.7	12.6	11		7.2
7	固定轴距(m)		2.2~2.5	2.1~2.2	1.8~1.9		
8	车轮直径(mm)		φ840		φ760		
9	车门数(每侧)(个)		5	4	4	4	5
10	车门宽度(m)		≥1.3				
11	车门高度(m)		≥1.8				
12	定员人数(人)	单司机室车	295	230	200	240	315
		无司机室车	310	245	210	250	325
13	车辆轴重(t)		≤16	≤14	≤11		
14	站立人员标准	定员(人/m²)	6				
		超员(人/m²)	9				
15	最高运行速度(km/h)		≥80		≥70		
16	启动平均加速度(m/s²)		≥0.9		≥0.85		
17	常用制动减速度(m/s²)		1.0		1.1		
18	紧急制动减速度(m/s²)		1.2		1.3		
19	噪声[dB(A)]	司机室内	≤80		≤70		
		客室内	≤83		≤75		
		车外	80~85(站台)		≤82		

3. 按车辆的牵引方式分

车辆分为直流旋转电机牵引车、交流旋转电机牵引车和直线电机牵引车 3 种。直流旋转电机牵引车和交流旋转电机牵引车是黏着牵引系统车型，直线电机牵引车是非黏着牵引系统车型。

按车体宽度与驱动方式：可分为 A(3 m)、B(2.8 m)、C(2.6 m)、D、L 以及单轨 6 种车型。A、B、C 为不同车体宽度的钢轮钢轨系列车型；D 为低地板车型；单轨型为胶轮系列车型。以上三种均为黏着牵引系统车型。L 型为直线电机系列，是非黏着牵引系统车型。

4. 按车体制作材料分

按车体制作材料可分为：耐候钢车、不锈钢车和铝合金车三种。