



普通高等教育“十二五”规划教材·城市轨道交通系列
全国行业紧缺人才、关键岗位从业人员培训推荐教材
城市轨道交通创新人才培养丛书



城市轨道交通 电动列车维修基础 ——机械分册

丛书总主编 蔡国强

本册主编 蔡国强

本册副主编 于存涛 王亚涛 甄慧 张坤 孙济安



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.com.cn>

普通高等教育“十二五”规划教材·城市轨道交通系列
全国行业紧缺人才、关键岗位从业人员培训推荐教材
城市轨道交通创新人才培养丛书

城市轨道交通电动列车维修基础

——机械分册

丛书总主编 蔡国强

本册主编 蔡国强

本册副主编 于存涛 王亚涛 甄 慧
张 坤 孙济安

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共分为六章,主要包括车辆的基础知识和车体结构、转向架的系统组成和检修重点、客室门系统的结构和典型故障处理、传动控制装置的构成、制动控制系统的工作原理及功能、钳工工具的操作规程及使用方法。本书插入了大量现场的实景图,图文并茂,生动形象,简洁实用,印象深刻。非常适合在校学生和关键岗位在岗人员进行学习和参考。

本书可作为职业院校城市轨道交通专业的教材,也可作为城市轨道交通行业职工培训用教材,同时可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通电动列车维修基础. 机械分册 / 蔡国强主编. —北京:北京交通大学出版社,2014. 8

(城市轨道交通创新人才培养丛书)

ISBN 978-7-5121-2040-2

I. ①城… II. ①蔡… III. ①城市铁路-电力动车-机械-维修 IV. ①U266. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 188545 号

策划编辑:刘 辉

责任编辑:刘 辉

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编:100044

印 刷 者:北京艺堂印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:10 字数:250 千字

版 次:2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-2040-2/U·181

印 数:1~2 000 册 定价:50.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043,51686008;传真:010-62225406;E-mail:press@bjtu.edu.cn。

目 录

绪论	1
0.1 城市轨道交通概述	1
0.2 城市轨道交通的特点	1
0.3 城市轨道交通的类型	2
0.4 城市轨道交通车辆发展介绍	4
第1章 车体	9
1.1 车辆基础知识	9
1.2 整车车体结构	10
1.3 车钩缓冲装置	17
1.4 列车空调系统	26
1.5 贯通道结构	32
1.6 限界	35
第2章 转向架	38
2.1 转向架的基本介绍	38
2.2 转向架的系统组成	41
2.3 机械走行部检修重点	56
2.4 转向架的诊断与维修	56
第3章 客室车门系统	59
3.1 概述	59
3.2 车门结构及工作原理	60
3.3 客室车门的功能	62
3.4 门系统部件结构	65
3.5 可调节项点	67
3.6 车门控制单元(EDCU)	69
3.7 门系统检查重点	70
3.8 门系统典型故障处理	70
3.9 常见故障的诊断方法与解决思路	72

第4章 电气传动控制装置	76
4.1 电力传动系统的基本组成	76
4.2 牵引系统	76
4.3 牵引箱	78
4.4 牵引电机	80
4.5 制动电阻	84
4.6 高压设备	85
第5章 制动控制系统	91
5.1 制动方式的分类	91
5.2 按制动力操控方式分类	95
5.3 制动系统(EP2002)结构、工作原理及功能	97
5.4 制动控制	109
5.5 制动系统主要装置	111
5.6 常见故障及处理	116
5.7 典型故障案例分析	118
第6章 钳工工具及设备的使用	120
6.1 钳工概述	120
6.2 钳工安全操作规程	120
6.3 工件测量	129
6.4 凸轮	136
6.5 机械零件加工余量的确定	142
6.6 螺纹的种类	145
附录A 机械部分缩略语	148
参考文献	151

绪 论

城市轨道交通在很早时候就出现在城市公共交通中。随着城市的扩大和科学技术的发展,轨道交通以其大运量、低排量的优点在现代化大城市中所起的作用越来越大。纵观发达国家城市的交通发展历程,采用城市轨道交通系统,才能从根本上完善城市交通运输体系。

0.1 城市轨道交通概述

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称为城市轨道交通。在我国国家标准《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”。

城市轨道交通是指具有固定线路,铺设固定轨道,配备运输车辆及服务设施等的公共交通设施。“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,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,在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。

0.2 城市轨道交通的特点

城市轨道交通具有运量大、速度快、安全、准时、节省能源、不污染环境、节省城市用地的优点;但也具有建设成本高、建设周期长的缺点。适用于出行距离较长、客运量需求较大的城市中心区域。一般,人口超过百万的大城市就应该考虑修建地铁。

1. 城市轨道交通的优点

城市轨道交通由于在专用行车道上运行,不受其他交通工具干扰,不产生公路堵塞现象。地下铁道列车运行不受气候影响,是全天候的交通工具,列车能按运行图运行,具有可信赖的准时性。

与常规公共交通相比,城市轨道交通由于运行在专用行车道上,不受其他交通工具干扰,车辆有较高的运行速度,列车停站时间短,有较高的起动、制动加速度。即使是地面线路也多数采用高架站形式,站台层与站厅层不在同一平面从而节约占地空间,列车客室门设置的多且宽大,上下车迅速方便,而且可以实现相邻线路之间的换乘,从而可以使乘客较快地到达目的地,缩短了出行时间。城市轨道交通由于高密度运转,列车行车时间间隔短,行车速度快,列车编组辆数多而具有较大的运输能力。一条线路单向高峰每小时的运输能力最大可达到6万~8万人次(市郊铁道);地铁达到3万~6万人次,甚至达到8万人次;轻轨1万~3万人次,有轨电车能达到1万人次,城市轨道交通的运输能力远远超过公共汽车。据文献统计,地下铁道每公里线路年客运量可达100万人次以上,如莫斯科地铁、东京地铁、北京地铁等。城市轨道交通能在短时间内输送较大的客流,据统计,地铁在早高峰时1小时能通过全日客流的17%~20%,3小时能通过全日客流的31%。

与常规公共交通相比,城市轨道交通由于运行在不受其他交通工具干扰的线路上,使其车辆具有较好的运行特性。车辆、车站等装有空调、引导装置、自动售、检票等直接为乘客服务的设备,较好的乘车条件,使城市轨道交通的舒适性优于公共电车、公共汽车。

2. 城市轨道交通能充分利用地下和地上空间

大城市地面拥挤、土地费用昂贵。城市轨道交通由于充分利用了地下和地上空间的开发,不占用地面街道,能有效缓解由于汽车大量增加而造成道路拥挤、堵塞,有利于城市空间合理利用,特别有利于缓解大城市中心区过于拥挤的状态,提高了土地利用价值,并能改善城市景观。

0.3 城市轨道交通的类型

城市轨道交通按不同的分类方法,可以分出不同的结果。

- (1) 按容量(运送能力),可以分为高运量、大运量、中运量和小运量。
- (2) 按线路架设方式,可分为地下、高架和地面。
- (3) 按轨道材料,可分为钢轮钢轨系统和橡胶轮混凝土轨道梁系统。
- (4) 按牵引方式,可分为旋转式直流、交流电机牵引和直线电机牵引。

(5) 按运营方式,可分为传统城市轨道交通和区域快速轨道交通。

(6) 按列车受电方式,可分为列车上部受流的受电弓车和列车下部受流的受流器(受电靴)车。

(7) 按运能范围、车辆类型及主要技术特征可分为有轨电车、地下铁路、轻轨交通、单轨交通、自动导轨交通系统和磁悬浮列车等。

1. 有轨电车 (见图 0-1)

有轨电车是使用电车牵引、轻轨导向、1~3 辆编组运行在城市路面线路上的轨道交通系统;是最早发展的城市轨道交通之一,一般设在城市中心穿街走巷运行,具有上下车方便的特点。旧式的有轨电车已经停止发展,经改造后的现代有轨电车与轻轨车辆接近,但车辆尺寸较小,运营速度接近 20 km/h,运能单向 2 万人次/小时。



图 0-1 低地板有轨电车

2. 地下铁路 (见图 0-2)

地下铁路简称地铁,是由电力牵引、轮轨导向、轴重相对较重、具有一定规模运量、车辆编组在地下隧道内按运行图运行,或根据城市的具体条件,运行在地面或高架线路上的快速轨道交通系统。最高速度可达 120 km/h 以上,旅行速度可达 50 km/h 以上,可 4~10 辆编组,运能单向 3 万人次/小时,最高可达到 6 万~8 万人次/小时,车辆运行最小间隔可低于 90 秒。



图 0-2 地下铁路电动客车

3. 轻轨交通（LRT）（见图 0-3）

公共交通国际联合会（UITP），提到：轻轨是一种使用电力牵引、介于标准有轨电车和快运交通系统（包括地铁和市郊铁路），用于城市旅客运输的轨道交通系统。在我国《城市轨道交通工程项目建设标准》中，把每小时单向客流量为 0.6 万~3 万人次的轨道交通定义为中运量轨道交通，即轻轨。

轻轨一般采用 3~6 辆编组，铰接式车体，最高时速可达 60 km/h。分为钢轮钢轨系统、线性电机牵引系统和胶轮路轨系统 3 种主要类型。

轻轨交通具有建设周期短、投资少、运能高、灵活等优点，是适合我国大中城市，特别是中心城市的轨道交通运输方式。



图 0-3 轻轨列车

0.4 城市轨道交通车辆发展介绍

1. 城市轨道交通初期的车辆

我国早期的城市轨道交通——北京地铁（如图 0-4 所示）采用的是直流旋转电机车辆，直流旋转电机车分为凸轮变阻控制器车，可控硅控制方式的直流斩波调阻车，可控硅、GTO 控制方式的直流斩波调压车，采用 IGBT 控制的交流旋转电机车。

DK3 型车采用由直流牵引电机提供动力，使用凸轮变阻控制器技术，通过改变牵引电机端电压和主极磁场强度实现电机调速。由于凸轮变阻控制器存在机械卡位问题，不能可靠的平稳运行，在 20 世纪 70 年代后期，北京地下铁道对部分电动客车进行了基于可控硅技术的升级及不再有机进级卡位现象的控制系统改造，将牵引控制方式改为斩波调阻控制方式。斩波调阻改造的同时，长春客车厂也进行了斩波调压方式的技术改进，经过自主研发、自主设计制造，成功试制出了我国第一列斩波调压车；由于斩波调压车没有牵引启动电阻，所以起动列车时更加平稳、节能，制动时又能将列车

的动能转化为电能反馈回电网，实现再生制动。它是地铁车辆牵引控制方式进步的标志。



图 0-4 凸轮变阻控制器电动客车

2. 城市轨道交通现在常用的车辆

20 世纪 80 年代中期，随着大功率门极可关断晶闸管（GTO）控制技术的可靠使用，随即开发出 GTO 自关断型直流斩波装置，以 GTO 斩波调压调速方式取代能耗较大的凸轮变阻调速方式，对北京地铁 18 列凸轮变阻列车进行技术改造，此技术的采用，使地铁车辆电力电子设备的技术性能大大提高，节能效果及运营可靠性显著提高。

1998 年 11 月，第一列 6 辆编组的 VVVF 电动客车运抵北京，定型为 DKZ4 型。它在 1 号线上开始运营服务，标志着地铁正式进入交流调压调频电动客车时代。图 0-5 所示为基于 GTO 控制技术的 DKZ4 型 VVVF 电动列车。



图 0-5 DKZ4 型电动客车

21 世纪初因大功率 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）控制技术的成熟利用，在城市轨道交通列车控制环节已得到广泛使用，因为相对于直流电机而言，交流电机具有体积小、质量轻、结构简单、近乎免维护及更加节能的特点。所以现在我国城轨交通系统列车已采用基于大功率 IGBT 技术的变频调压（VVVF）控制的交流旋转电机驱动的列车。图 0-6 为 DKZ15 型电动车组。



图 0-6 DKZ15 型电动车组

3. 城市轨道交通车辆发展展望

城市轨道交通未来会更多的采用运营成本更为低廉环保的磁悬浮列车、具有爬坡能力强为代表的直线电机列车、跨座式单轨列车，以及占地面积小、安全可靠、环保低噪节能的单轨悬挂式电车。

磁悬浮列车是一种高速行驶时没有轮轨机械磨损的陆上无接触式、节能、低维护量的有轨交通工具。利用常导或超导电磁铁与感应磁场之间产生相互吸引或排斥力，使列车“悬浮”在轨道上面做无摩擦的运行，从而克服了传统列车车轨黏着限制、机械噪声和磨损等问题，并具有启动、停车快和爬坡能力强等优点。但是，磁悬浮列车车厢不能变轨，因此一条轨道只能容纳一列列车往返运行。图 0-7 所示为磁悬浮列车。



图 0-7 磁悬浮列车

独轨列车也称作单轨列车，是指通过单一轨道梁支撑车厢并提供导引作用而运行的轨道交通系统。按支撑方式可分为跨座式与悬挂式两种。

跨座式单轨列车称胶轮独轨系统，跨座式是车辆跨座在轨道梁上行驶，具体如图 0-8 所示；悬挂式是车辆悬挂在轨道梁下方行驶，具体如图 0-9 所示。



图 0-8 跨座式单轨列车



图 0-9 上部悬挂式独轨列车

跨座式单轨的车辆走行轮采用特制的橡胶车轮，所以振动和噪声大为减少；两侧装有导向轮和稳定轮，控制列车转弯，电气牵引，最高速度可达 80 km/h，旅行速度为 30~35 km/h，单向运送能力为 1 万~2.5 万人次/小时。运行稳定可靠，占地少、造价低、建设工期短、工程建设费用仅为地铁的三分之一。

直线电机车如北京机场线车辆（见图 0-10）有别于其他类型，为直线电机车辆。直线电机车首次采用非黏着方式驱动的直线电机牵引技术，具有牵引时不会发生空转的优点，爬坡能力强。车体为铝合金材料，采用径向引导型转向架，其曲线通过能力较强，有效降低轮轨横向力和轮轨磨损，并降低噪声。编组方式为四辆全动车（+Mc - M - M - Mc+），基础制动系统采用液压制动和磁轨制动等多重制动方式。列车具有全自动无人驾驶运营（DTO）的功能。



图 0-10 爬坡能力更强的 QKZ5 型直线电机车

复习思考题

1. 简述城市轨道交通系统的特点。
2. 城市轨道交通有哪些分类方法?
3. 简要说明城市轨道交通车辆的发展趋势。

第1章 车 体

1.1 车辆基础知识

车辆是地铁系统中最关键、也是最复杂的设备，它是多专业综合性的产品，涉及机械、电气、控制、材料等诸多领域。总之，车辆是通过各个相对独立的子系统有机地构成在一起，共同来实现列车的安全、可靠、高品质运行。

如图 1-1 所示，通常地铁电动列车由两个单元共 6 辆车组成，以南车集团所产的受电弓列车为例：每个单元由 1 辆拖车（Tc 车）加 2 辆动车（Mp、M 车）组成。一单元内的三辆车之间通过半永久车钩进行机械连接。两个单元以半自动车钩连挂。电气连接通过固定在车钩两侧的电气连接箱实现，气动功能则通过用于连接车辆的软管进行传递。

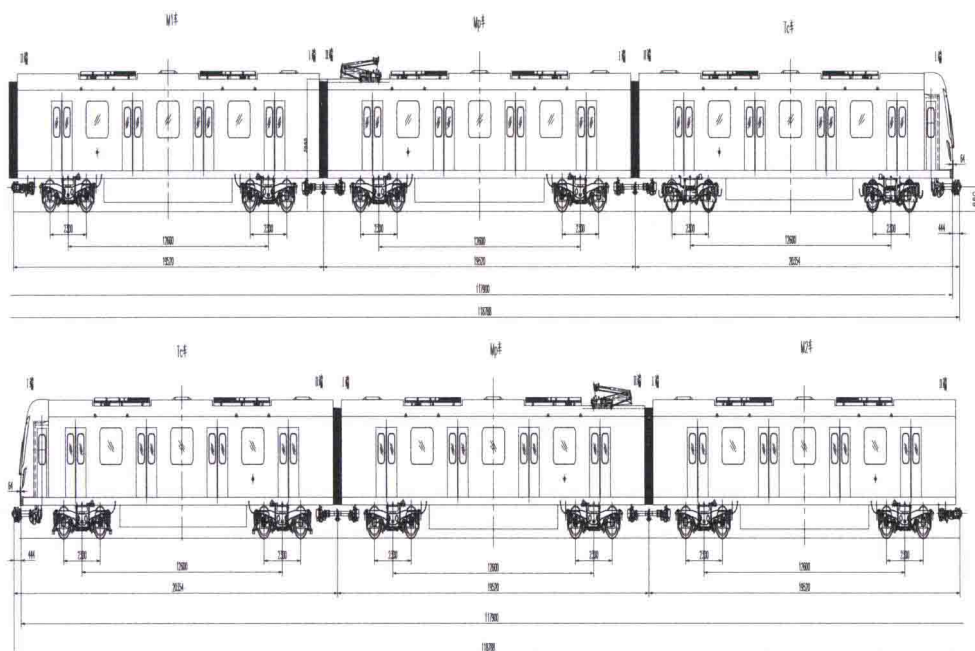


图 1-1 车辆编组

编组方式: + Tc * Mp * M = M * Mp * Tc+

其中: Tc——带司机室拖车;

Mp——带受电弓的动车;

M——不带受电弓的动车;

+——全自动车钩;

=——半自动车钩;

*——半永久牵引杆。

1.2 整车车体结构

车体是城市轨道交通车辆最重要的组成部件之一,坐落在转向架上。它除了载客之外,几乎所有的机械、电气、电子等设备都安装在车体上,驾驶室也设置在车体中。车体一般由底架、侧墙、车顶、前端、后端等组成。车体最初由普通碳素钢制造。为了减少腐蚀,提高使用寿命,耐候钢制造的车体得到了广泛应用。为实现车体的轻量化,现代城市轨道交通车辆多由不锈钢、铝合金制造。车体的个别部位(如前端等)也可采用有机合成材料制造。车体要有隔声、减振、隔热、防火及在事故状态下尽可能保证乘客安全的逃生门等设施。图 1-2 为车体剖面示意图。

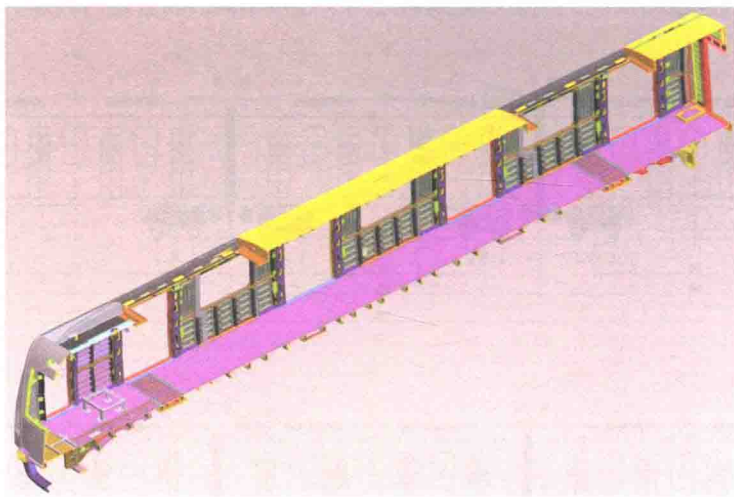


图 1-2 车体剖面示意图

1.2.1 车体断面结构

以 NBML1 车为例，车体断面如图 1-3 所示。

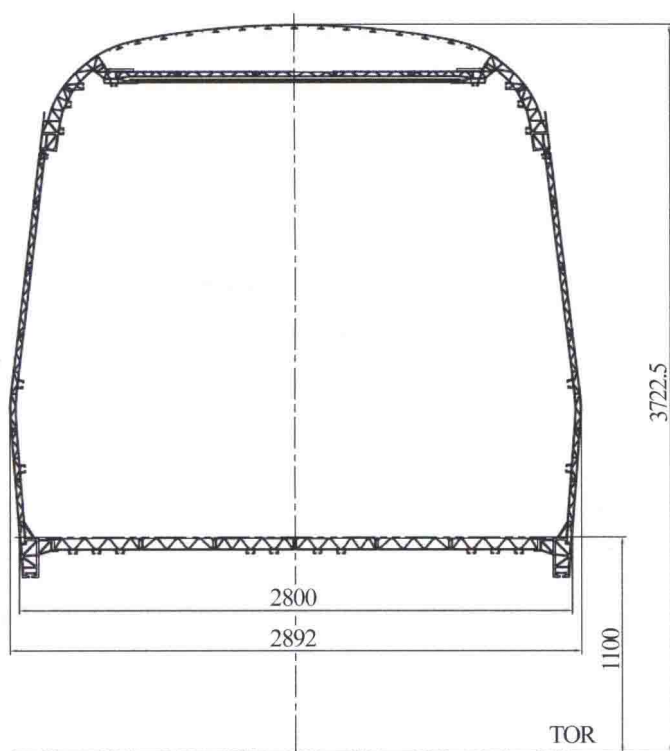


图 1-3 车体断面图

车体底边距轨面 1097 mm，车体最宽处 2892 mm，车顶距轨面 3722.5 mm。

图 1-4 和图 1-5 分别为 NBML1 车的车体组装图和车体结构图。

