

巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



策划编辑 高锐
责任编辑 胡思佳
封面设计 黄燕美

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG CHELIANG GOUZAO

城市轨道交通 车辆构造

职业教育城市轨道交通系列创新教材

城市轨道交通车辆构造

主编 史富强



上海交通大学出版社

职业教育城市轨道交通系列创新教材

城市轨道交通 车辆构造

主编 史富强

免费提供

精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233
www.huatengzy.com



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-17331-7



9 787313 173317

定价: 35.00元



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

职业教育城市轨道交通系列创新教材

城市轨道交通 车辆构造

主 编 史富强

副主编 王建堂



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书分 8 个项目,深入浅出地介绍了城市轨道交通车辆各部分的构造和原理。主要包括城轨交通车辆基础知识、城轨交通车辆车体与车门、城轨交通车辆转向架、城轨交通车辆连接装置、城轨交通车辆制动系统、牵引传动及辅助供电系统、城轨交通车辆空调系统和城轨交通车辆新技术。

本书可作为城市轨道交通类专业的教材,也可作为从事城市轨道交通车辆专业工作的广大科技人员的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆构造/史富强主编. —上海:
上海交通大学出版社,2017(2025 重印)

ISBN 978-7-313-17331-7

I. ①城… II. ①史… III. ①城市铁路—铁路车辆—
车体结构 IV. ①U270.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 144836 号

城市轨道交通车辆构造

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG CHELIANG GOUZAO

主 编:史富强

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

印 制:三河市龙大印装有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

字 数:220 千字

版 次:2017 年 7 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-17331-7

定 价:35.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

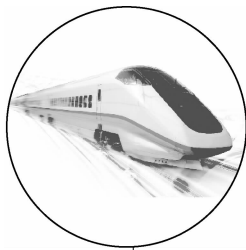
印 张:11.5

印 次:2025 年 5 月第 7 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如您发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0316-3655788



出版说明

近年来,我国经济持续快速发展,城市规模不断扩大,城市人口不断增加,导致城市交通拥堵问题日益严重,地面交通承载能力日显不足。在此形势下,大力发展轨道交通已经成为解决城市交通问题的重要手段。

据统计,截至 2024 年年底,中国内地共 58 个城市开通运营城市轨道交通,运营线路总长度达 12 168.77 km。

我国正在经历着有史以来规模最大的城市轨道交通建设,城市轨道交通的高速发展带来了社会对城市轨道交通专业人才的巨大需求,同时,这样的需求也为职业教育城市轨道交通专业的发展带来了良好的契机。

为了适应和促进我国高等职业教育城市轨道交通专业教学的发展,规范城市轨道交通系列教材体系的建设,结合职业教育“校企合作,工学结合”的教学改革特点,我们特组织一批具有丰富教学经验的一线教师和企业人员编写了这套城市轨道交通系列规划教材。

本系列教材具有如下特色:

第一,严格遵循国家和行业现行标准与规范,同时结合国内各大城市轨道交通建设运营的实际情况组织编写。

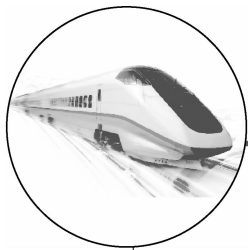
第二,注重职业教育特点,采用项目式教学模式,侧重实际工作岗位操作技能的培养。

第三,注重理论与实践的有机结合,根据需求和实际情况有针对性地设置实训环节,以增强学生的实际操作能力。

为了支持“立体化”教学,我们特别为本系列教材精心策划了精品教学资源包,为广大读者提供丰富的教学资源,以满足网络化及多媒体等现代教学需求,有效提升教学质量。

希望各院校在使用本系列教材的过程中提出宝贵的意见和建议,我们将认真听取,不断完善本系列教材。

编审委员会



前言

本课程面向城市轨道交通(以下简称“城轨交通”)运营及生产企业,根据生产、管理、服务第一线从事城轨交通车辆检修、驾驶、运用与管理工作的需要,以培养学生对城轨交通车辆结构分析能力为重点,在分析学习领域对应的典型工作任务所需知识、技能、素质的基础上,参照行业职业资格标准确定内容。

全书分8个项目,深入浅出地介绍了城轨交通车辆各部分的构造和原理。编写的基本指导思想是,基础理论适度,强化基础及共性的知识,专业针对性强,以培养能力为主,同时反映本学科的现状与发展前景。

本书内容及学时分配如下表所示。

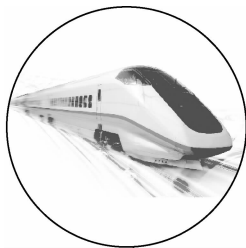
序 号	内 容	学 时
1	城轨交通车辆基础知识	4
2	城轨交通车辆车体与车门	8
3	城轨交通车辆转向架	16
4	城轨交通车辆连接装置	4
5	城轨交通车辆制动系统	6
6	牵引传动及辅助供电系统	2
7	城轨交通车辆空调系统	4
8	城轨交通车辆新技术	2
总计		46

本书案例丰富,图文并茂,在编写时加入了北京、广州、深圳、西安等城市地铁的介绍,并使用了大量形象生动的工作原理图。

本书由陕西交通职业技术学院史富强任主编,陕西交通职业技术学院王建堂任副主编。编写分工如下:史富强编写项目1至项目5,王建堂编写项目6至项目8。全书由史富强统稿。

由于编者水平有限,书中存在的不妥之处,敬请广大读者提出宝贵意见。

编 者



目 录

项目 1	城轨交通车辆基础知识	1
学习目标		1
任务 1.1	城轨交通的类型与发展	1
1.1.1	城轨交通系统的主要类型	2
1.1.2	我国城轨交通的发展历史	5
任务 1.2	城轨交通车辆的类型、结构和特点	6
1.2.1	城轨交通车辆的类型	6
1.2.2	城轨交通车辆的结构组成	7
1.2.3	城轨交通车辆的技术特点	8
任务 1.3	车辆的技术参数、编组、标识及编号	11
1.3.1	车辆的性能参数	11
1.3.2	车辆的主要尺寸	13
1.3.3	车辆的编组	13
1.3.4	车辆车端、车侧标识	14
1.3.5	列车车侧	14
1.3.6	车厢的编号	15
思考与练习		18
项目 2	城轨交通车辆车体与车门	19
学习目标		19
任务 2.1	车体的基础知识	19
2.1.1	车体的作用与种类	19
2.1.2	车体的基本特征、结构形式与要求	20
2.1.3	车体结构的发展	22
任务 2.2	铝合金车体和不锈钢车体	23
2.2.1	铝合金车体	23
2.2.2	不锈钢车体	26
任务 2.3	车体的模块化研究和车体材料应用	29
2.3.1	模块化结构车体	29



2.3.2	城轨车体材料	31
任务 2.4	车门	34
2.4.1	客室侧门	34
2.4.2	司机室侧门	35
2.4.3	间隔门	36
2.4.4	紧急逃生门	36
2.4.5	车门的工作原理	36
思考与练习		44
项目 3	城轨交通车辆转向架	45
学习目标		45
任务 3.1	转向架基础知识	45
3.1.1	转向架的作用和组成	45
3.1.2	转向架的主要技术要求和设计原则	47
3.1.3	转向架的种类	47
任务 3.2	构架、轮对与轴承轴箱装置	53
3.2.1	构架	53
3.2.2	轮对与轴承轴箱装置	55
任务 3.3	弹簧减振装置	66
3.3.1	弹簧减振装置概述	66
3.3.2	弹簧的特性与分类	67
3.3.3	空气弹簧装置系统	69
3.3.4	减振元件	74
任务 3.4	牵引和驱动装置	77
3.4.1	牵引装置	77
3.4.2	驱动装置	81
3.4.3	牵引电机横向布置-刚性轴悬式驱动装置	82
3.4.4	牵引电机横向布置-架悬式驱动装置	83
3.4.5	两轴-纵向驱动、骑马式传动装置	84
3.4.6	全弹性结构的两轴-纵向传动装置	85
3.4.7	牵引电机对角配置的单独轴-纵向传动装置	86
3.4.8	牵引电机置于车体上的传动装置	86
任务 3.5	典型转向架	88
3.5.1	北京地铁转向架	88
3.5.2	南京地铁转向架	92
思考与练习		100

项目 4 城轨交通车辆连接装置 101

学习目标 101

任务 4.1 车钩 102

4.1.1 车钩的种类 102

4.1.2 自动车钩 103

4.1.3 半自动车钩 107

4.1.4 半永久性牵引杆 108

任务 4.2 缓冲装置和附属装置 109

4.2.1 缓冲装置 109

4.2.2 附属装置 113

思考与练习 115

项目 5 城轨交通车辆制动系统 116

学习目标 116

任务 5.1 制动系统基础知识 116

5.1.1 制动系统的基本概念 116

5.1.2 城轨交通车辆制动系统的要求 117

5.1.3 制动方式 118

5.1.4 制动技术的发展 118

任务 5.2 电制动与空气制动 120

5.2.1 电制动 120

5.2.2 空气制动 123

任务 5.3 典型制动系统介绍 127

5.3.1 EP2002 制动系统 127

5.3.2 KBWB 制动系统 129

思考与练习 132

项目 6 牵引传动及辅助供电系统 133

学习目标 133

任务 6.1 牵引传动系统 133

6.1.1 牵引传动系统概述 133

6.1.2 直流牵引传动系统 134

6.1.3 交流牵引传动系统 136

6.1.4 直线电机牵引传动系统 136

任务 6.2 辅助供电系统 137

6.2.1 辅助供电系统的组成 137

6.2.2 辅助逆变技术的发展 137

6.2.3 辅助逆变电路结构 138



6.2.4 辅助供电模式	140
思考与练习	140
项目7 城轨交通车辆空调系统	141
学习目标	141
任务7.1 热力学基础和空调原理	141
7.1.1 热力学基础	141
7.1.2 空调系统的分类	144
7.1.3 制冷与空调的概念	145
7.1.4 城轨交通车辆空调制冷装置的基本工作原理	147
7.1.5 城轨交通车辆空调工况分析	147
任务7.2 城轨交通车辆空调系统的发展与构成	149
7.2.1 城轨交通车辆空调系统的发展	149
7.2.2 城轨交通车辆空调系统的构成	150
任务7.3 城轨交通车辆空调机组	154
7.3.1 城轨交通车辆空调机组的形式	154
7.3.2 城轨交通车辆空调机组的分类	154
7.3.3 城轨交通车辆空调机组的主要部件	154
思考与练习	159
项目8 城轨交通车辆新技术	160
学习目标	160
任务8.1 直线电机地铁车辆	160
8.1.1 直线电机简介	160
8.1.2 直线电机地铁车辆的主要特点	161
任务8.2 磁浮城轨交通车辆	165
8.2.1 磁浮列车的发展史	165
8.2.2 磁浮列车的分类	166
8.2.3 磁浮列车的原理	167
8.2.4 磁浮技术在我国的发展概况	169
思考与练习	172
参考文献	173



项目

1

城轨车辆基础知识



学习目标

- (1) 掌握城轨交通的类型,了解其发展概况。
- (2) 掌握城轨交通车辆的类型、结构、编组、方位等基础知识与技能。
- (3) 掌握城轨交通车辆的技术参数。

城轨交通系统已经有 150 多年的发展历史,现代化的城轨交通车辆全部使用电力牵引,电动车辆是当代城轨交通车辆发展的主流。

任务 1.1 城轨交通的类型与发展

城轨交通系统(urban rail transit mass system 或 transit system)简称城轨交通,包括地铁、城市轻轨交通、城市独轨交通、城市磁悬浮交通、新交通系统、城市铁路等。城轨交通可定义为:建设在城市内,在固定轨道上运行并主要用于城市客运的交通系统。

城轨交通具有线路固定、编组运行、运量大、速度快、电力牵引、环保、全隔离路权等特点。广义的城轨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,它是主要在城市内进行公共客运服务的一种现代化立体交通系统。城轨交通是近代高科技的产物,其采用性能优良的电动车组,无污染,低噪声,享有“绿色交通”的美称。



1.1.1 城轨交通系统的主要类型

1. 地铁

“地铁”(metro、subway、underground railway)是“地下铁道交通”的简称,它以电力作为牵引,是单向高峰小时客运量在 30 000~70 000 人次的大容量轨道交通系统。其线路通常设在地下隧道,在城市中心以外地区也可从地下转到地面或高架桥上。广义的地铁车辆不仅指在地下隧道内运行的车辆,还包括在地面封闭线路或高架桥上运行的规格类似的电动车辆。经过 150 多年的发展,全球范围内越来越多的国家和地区的大城市相继建成地下铁道,总里程逐步扩大。

地铁列车的主要特点如下:

(1)大部分线路建于地面以下。在市中心区时,车站和区间线路均设于地下;当线路延伸到近郊时,常采用高架或路堤形式,以节约线路建设的投资。

(2)建设费用高,耗时周期长,成本回收慢。新建地铁线路投资一般在每千米 3.5 亿元以上;建造一条新地铁线路约需 5~10 年,成本回收需 20~30 年。

(3)地铁列车的编组一般为 2~8 辆,站台长度一般为 100~200 m,站间距一般为 0.5~1.5 km。地铁列车编组按地铁车辆有无动力可分为动车与拖车,通常采用动车与拖车混合方式编组。

(4)地铁列车的受电制式有直流 750 V 第三轨受电或直流 1 500 V 架空线受电弓受电。现代化的地铁列车一般采用 1 500 V,以减少线路电压降和电能损失,提高列车再生制动的电能回收率。

(5)行车密度大、速度高。线路全隔离全封闭,可以实现行车调度、信号控制的自动化,行车间隔最短达 1.5~2 min,车辆最高时速达 80 km 以上,旅行速度一般不低于 35 km/h。

(6)客运量大。单向每小时最大客运量可达 3 万~8 万人次。

(7)地铁列车对消声、减振和防火有严格的要求,对节能也有一定的要求。

地铁车辆电力牵引、轮轨导向、轴重相对较重,主要通过直流电机、交流电机、直线电机等进行驱动;速度高,最高速度为 90 km/h,旅行速度为 40 km/h 左右;但造价昂贵,制造成本高。

2. 城市轻轨交通

城市轻轨交通(light railway transit, LRT)是在信号自动控制和集中调度配合下,能快速而安全地完成中等运量的客运任务,客运量介于地铁和公共汽车之间的轨道交通形式。城市轻轨交通是在 20 世纪 70 年代有轨电车的基础上发展起来的,主要采用线路隔离、自动化调度系统和高新技术车辆改造措施,轻轨交通的轨道和车辆都是轻型的,

运输系统相对简单,适宜于中等运量的城市客运交通。

德国是轻轨交通发展较早并且使用较普遍的国家,已投入运营的线路有 1 000 km 以上,世界轻轨车辆的生产大户是德国的 Duewag 车辆公司、LHB 车辆公司、法国的 Alsthom 公司等。

城市轻轨交通具有以下特征:

- (1)使用转向架承载,轴重为 10~12 t,使用直流或交流提供牵引动力。
- (2)建设费用低,大约是地铁造价的 $1/2 \sim 1/5$ 。
- (3)小时单向运能 20 000~40 000 人次,介于地铁和公共汽车之间,属于中等运能的公共交通。
- (4)轻轨线路可采用地面、地下和高架混合型,一般与地面道路完全隔离,采用半封闭或全封闭专用车道。在通过交叉路口处,采用立体交叉形式,保证车辆以较高速度运行。
- (5)轻轨交通车辆有单节 4 轴车、双节单铰 6 轴车、3 节双铰 8 轴车等,每组车可以单节运行,也可以连挂编列。车辆能够通过小半径曲线($R=50\text{ m}$)和大坡度($60\text{‰} \sim 70\text{‰}$)地段。
- (6)轻轨交通对环境影响小,尤其对车辆和线路的消声和减振在建设方面有较高的要求。车辆一般采用弹性车轮、空气弹簧、自导向和迫导向径向转向架等措施,以减轻列车运行和通过曲线轨道时的噪声。线路一般采用无缝长钢轨线路、弹性钢轨扣件和路基弹性层、弹簧路基,达到减少噪声和振动传递的目的。
- (7)轻轨交通供电的电压制式以直流 750 V、架空线(或第三轨)供电为主,也有部分采用直流 1 500 V 或直流 600 V 供电的。
- (8)轻轨车站分为地面、高架和地下 3 种形式,与地面道路可以部分混行,也可以完全隔离。

轻轨交通投资少、建设周期短、灵活性强、运行成本低,在市中心区可以采用高架或地下线路,能适应运量大、速度快、安全、准点的要求。近几年,轻轨交通在世界各国得到迅速发展,不同国家和地区的多座城市正在规划或建造轻轨交通。

3. 城市独轨交通

城市独轨交通是在特制轨道梁上运行的中等运量的轨道运输系统,是车辆与其专用轨道组成一体的交通工具。轨道梁不仅承受车辆的质量,同时还是车辆导向轨。城市独轨交通有跨座式和悬挂式两种类型。

(1)城市独轨交通的优点:

- ①能适应城市环境、复杂地形的要求。在大坡道和小曲线半径的区段发挥正常性能,能够实现大坡度(60‰)和小曲线半径(50 m)运行,可绕行城市的建筑物。
- ②占地面积小。独轨交通轨道结构较窄,可架设在道路上方,在市区不需要占用昂



贵的土地,可设在道路中间绿化带上方,通过支柱铺设轨道梁,线路支柱占地宽度仅为 $1\sim 1.5\text{ m}$,可减少建设线路所必需的拆迁。其适宜在大城市的繁华中心区建线,对城市的景观及日照影响极小。

③建设工期短、施工简便、造价低。由于独轨线路构造较简单,因而标准轨道梁可在工厂预制,现场拼装,建造容易;建设费用较低,仅为地铁的 $1/3$ 左右,工期短。

④独轨车辆编组一般为4辆,最高行驶速度为 80 km/h ,旅行速度为 35 km/h (悬挂式的为 25 km/h)。单向每小时的客流量为 $10\,000\sim 30\,000$ 人,属于低、中运量,介于轻轨交通和公共汽车之间。

⑤运行噪声低,独轨车辆的走行装置采用空气弹簧和橡胶轮,以电力驱动,无废气,乘坐舒适。

⑥独轨架于空中,视野宽广,具有交通和旅游观光的双重作用。

⑦运输安全,无脱轨事故。独轨车辆转向架起稳定作用的导向轮作用在特殊结构轨道梁两侧,能保证车辆的运行安全,无脱轨危险。

(2)城市独轨交通的缺点:

①走行装置采用橡胶轮,其与混凝土轨面的滚动摩擦阻力比钢轮与钢轨的大,能耗比一般轨道交通增加 40% ,有轻度的橡胶粉尘污染。

②道岔结构复杂、笨重,转换时间较长,从而延长了列车折返时间。

③列车运行至区间时发生事故,疏散和救援工作比较困难,不能与地铁、轻轨等接轨。

4. 城市磁悬浮交通

磁悬浮列车是一种靠磁悬浮力(吸力或排斥力)来推动的列车。它依靠轨道磁力悬浮在空中,行走时不需接触地面,运行时只有空气的阻力。磁悬浮列车的最高速度可以达到每小时 500 km 以上,比轮轨高速列车的每小时 300 多千米还要快速。磁悬浮技术的研究源于德国,1922年德国工程师赫尔曼·肯佩尔提出电磁悬浮原理,他在1934年申请磁悬浮列车专利。为提高交通运输能力,德国、日本等发达国家相继开始筹划磁悬浮运输系统的开发。

磁悬浮交通一般分为:高速超导型,最高速度为 550 km/h ;中速超导型,最高速度为 250 km/h ;低速超导型,最高速度为 $100\sim 120\text{ km/h}$ 。磁悬浮交通的特点是运行中完全脱离传统的轮轨关系,噪声极低,仅有空气摩擦声、电器产生的噪声等;无黏着限制,可实现最大的启动加速度和制动减速度;可在大坡度线路运行;机械振动小;舒适性和平稳性高;维修费用低。城市磁悬浮交通系统采用电力驱动,牵引、制动采用交流直线电机进行调频调压控制。磁悬浮交通采用电磁铁调压控制,依靠磁力自导向,列车编组与地下铁道相近。其最大的缺点是开展救援工作较困难。

5. 新交通系统

新交通系统是指车辆采用橡胶轮承载、电力牵引,在有特殊导向的专用轨道上运行的系统。新交通系统可在线路上实现车辆无人驾驶,无人管理,完全由中央控制室计算机集中控制自动运行。新交通系统与独轨交通系统有许多相同之处,采用高架线路,列车编组 2~6 辆,每小时单向运能在 10 000 人次左右。新交通系统与独轨交通最大的区别在于除走形轨外,还设有导向轨。另外,新交通系统的自动化程度也比较高。新交通系统的导向系统可分为中央导向方向和侧面导向方向。

新交通系统是适应多样化的交通运输需求,使线路和车辆提供最高的运输效率和良好的服务质量的公共运输系统和设备系统。这种轨道运输系统多数设置在道路和公共建筑物上部,具有中等运量,能实现自动驾驶,也称为导轨式交通系统。

1.1.2 我国城轨交通的发展历史

我国的城轨交通工作自 20 世纪 50 年代开始筹划。1965 年 7 月,北京市开始兴建新中国第一条地下铁道。经过近 50 年,特别是近 10 年的发展,城轨交通项目规模迅速扩大。根据国外城市交通发展的经验以及我国城市经济与社会发展的客观需求,在我国大中城市发展大、中客运量的轨道交通系统已是刻不容缓的举措。我国的城轨交通经历了 50 多年的发展。总结发展过程,其大致经历以下几个阶段:

1. 起步阶段

20 世纪 50 年代,我国开始筹备地铁建设,规划了北京地铁网络。我国在 1965—1976 年建设了北京地铁一期工程,随后建设了天津地铁,上海从 20 世纪 60 年代进行了地铁的研究和试验,并建成一段试验段,后来被迫终止。这一时期修建地铁的主要目的是用于备战,费用完全靠政府补贴。

2. 开始建设阶段

20 世纪 80 年代末至 20 世纪 90 年代初,由于城市规模限制及道路等基础设施比较薄弱,北京、上海、广州等特大城市的交通问题非常突出。以上海轨道交通 1 号线(21 km)、北京地铁 1 号线东段(13.6 km)和地铁一期工程改造、广州地铁 1 号线(18.5 km)等建设项目为标志,我国内地真正以城市交通为目的的地铁项目开始建设。

3. 建设高潮开始阶段

进入 20 世纪 90 年代,随着上海、广州地铁项目的建设,一批城市包括沈阳、南京、重庆、武汉、深圳、成都、青岛等开始规划建设轨道交通项目,并进行了大量的前期工作。



4. 调整阶段

由于各大城市要求建设的地铁项目较多,且建设地铁项目的工程造价较高,1995年12月,国务院发文暂停了地铁项目的审批,并要求做好发展规划和国产化工作;同时,国家计划委员会(现更名为国家发展和改革委员会)开始研究制定城轨交通设备国产化政策。至1997年年底,提出以深圳地铁1号线(19.5 km)、上海轨道交通3号线(24.5 km)和广州地铁2号线(23 km)作为国产化依托项目,并于1998年批复了上述三个项目的立项,从此城轨交通建设项目重新开始启动。

5. 建设高潮阶段

随着实施积极的财政政策以进一步扩大内需,国家于1999年开始陆续批准一批城轨交通项目开工建设。1999年以后,国家先后审批了深圳、上海、广州、重庆、武汉等10个城市的轨道交通项目开工建设,并投入40亿元国债资金予以支持。截至2022年9月30日,中国内地有52个城市投运城市轨道交通运营线路,总里程9 788.64 km。

任务 1.2 城轨交通车辆的类型、结构和特点

1.2.1 城轨交通车辆的类型

如图1-1所示,城轨中的地铁列车采用动力分散的编组形式,即动车M+拖车T。为方便管理和维护,各地铁制造商和运营公司对车辆按自己城市的特点进行分类,如上海地铁车辆1号线、2号线的车辆分为A、B、C三类车。A类车:拖车,车的一端设有驾驶室;B类车:动车,车顶上装有受电弓;C类车:动车,车下装有一套空气压缩机组。

轻轨列车有3种编组方式:4轴动车、6轴单铰接式车和8轴双铰接式车。德国是世界上轻轨交通发展较早、技术较先进的国家,其在20世纪60年代初修建的科隆到法兰克福轻轨,采用U2型6轴单铰双向运行的动车;接着德国又研制出8轴轻轨车,其运行在汉诺威市;在莱茵—西格—鲁尔地区城市采用B100/80型标准轻轨车辆,其属于6轴单铰动车。



图 1-1 典型城轨列车(广州地铁车辆)

城轨车辆的一般分类方法可简述如下:

(1)按车体宽度和驱动方式分为两类六种车型。

①黏着牵引系统:A、B型车,车体宽度分别为3.0 m、2.8 m的四轴系列车型;C、D型车,车体宽度为2.6 m,车地板高度不同的铰接车系列车型;单轨胶轮车,车体宽度为3.0 m的跨座式单轨胶轮系列车型。

②非黏着牵引系统:L形直线电机车辆系列。

(2)按车辆的牵引控制系统分为直流变阻车、直流斩波调压车、交流变压变频车和直线电机变频变压车。

(3)按车体材料分为不锈钢车、铝合金车和耐候钢车。

(4)按受电方式分为受电弓车、受流器车、受电弓和受流器混合车。

(5)按电压等级分为DC1500V、DC750V、DC5600V三种车型。

1.2.2 城轨交通车辆的结构组成

1. 车体

车体分有司机室车体和无司机室车体。车体的主要作用是容纳乘客,为司机提供驾驶空间,安装其他设备、部件。城轨交通车辆车体一般采用整体承载钢结构或铝合金、不锈钢等轻金属结构,以便在满足强度、刚度要求的同时最大限度地减轻自重。

车体由车顶、底架、端墙、侧墙、车窗、车门等组成。城轨车辆的车体服务于市内公共交通,因此车内座位少,提供站立的空间相对大一些。

2. 转向架

转向架是城轨交通车辆的走行装置,安装在车体与轨道之间,用来牵引和引导车辆



沿轨道行驶,承受、传递车体与轨道之间的各种载荷并缓和其动力作用,是保证车辆运行品质的关键部件。转向架一般由构架、轮对轴箱装置、弹簧悬挂装置、制动装置等组成。城轨交通车辆转向架有动力转向架和非动力(拖车)转向架之分,动力转向架装包括牵引电机及传动装置。

3. 牵引缓冲连接装置

城轨列车的编组必须依靠车钩缓冲和贯通道装置,其中车钩是连接车辆、传递纵向力的装置。车钩上安装有缓冲器,可缓和纵向冲击力,并连接车辆之间的电路和空气管路;贯通道是列车车队中车辆与车辆之间客室的连接通道。城轨列车一般采用密接式车钩和宽体式贯通道。

4. 制动装置

制动装置是保证列车运行安全所必不可少的装置。不管是动车还是拖车都设有制动装置,它可以保证运行中的列车按需要减速或在规定的距离内停车。城轨车辆制动装置除常规的空气制动装置外,还有再生制动、电阻制动和磁轨制动等先进的装置。

5. 车辆设备

车辆设备包括服务于乘客的设备和服务于车辆运行的设备。主要服务于乘客的设备有车内照明、广播、通风、取暖、空调、座椅、吊环、扶手等设备。服务于车辆运行的设备一般不占车内空间,吊挂于车底的有蓄电池箱、斩波器、逆变器、继电器箱、主控制箱、接触器箱、空气压缩机组、储风缸等,安装于车顶的有空调单元、受电弓等。车辆电气包括车辆上的各种电气设备及其控制电路。按其作用和功能可分为主电路系统、辅助电路系统和电子与控制电路系统。

1.2.3 城轨交通车辆的技术特点

城轨车辆的技术特点如下:

(1)城轨属于绿色环保的新型轨道交通系统,对车辆运行时的噪声、振动、防火等有严格的要求。

(2)城轨系统采用全封闭线路,双向单线运行,行车密度大,对车辆运行的可靠性有很高的要求,重要的系统部件如低压直流控制电源、空气压缩机组、蓄电池、列车控制单元都有冗余设置。

(3)城轨列车车辆在运营过程中如果发生故障,要能使列车凭自身动力到就近存车线以及时疏通线路。如果列车确实无法启动,一般安排就近的列车进行救援。对地铁车辆,必须保证断电情况下的事故照明、广播和通风。车辆上必须安装乘客紧急疏散通道。

(4)城轨列车的车辆发展方向是轻量化,一般采用大断面铝合金型材或不锈钢焊接车体的整体承载结构,以最大限度地减少车辆自重。

(5)车辆上电气系统的设备开关除一些必须安装在司机室和客室的电气设备柜内外,其他设备均分散安装在车底,空调机组装在车顶,不占用客室空间。

(6)车辆间采用封闭式全贯通通道,便于乘客走动及均匀分布,采用密接式车钩进行机械、电气和气路的贯通连接。

(7)为了在列车停站时能使大量的上下车客流交换在尽可能短的时间内完成,车门数量也较多,每节车厢的单侧门数量有 3~5 个。

(8)调频调压交流传动,采用电气和空气的混合制动,节省能耗。列车控制和主要子系统的运行控制实现计算机化和网络化,信息传播实现多样化、实时化和分层集中化。

(9)车辆系统部件的设计、材料的选用都以列车运行和乘客安全为首要原则,设备正常功能失效时,其响应以安全为导向目标。

(10)列车行车实现信号控制和控制自动化,在车辆正常运行的情况下,采用自动列车控制、列车自动驾驶和自动列车保护,车辆上也配备了相应的车载设备,一些先进列车可实现无人驾驶。

典型案例

1. 地铁列车的编组和车辆的特点

图 1-2 为某地铁列车的编组形式,由图可知该地铁列车采用 6 辆 B 型车,3 动 3 拖,两端头车为带司机室拖车 T_c ,编组在中间的拖车 T 不带司机室,动车分为带受电弓动车 M_p 和不带受电弓动车 M。

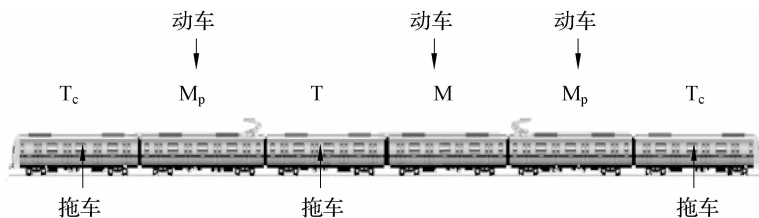


图 1-2 某地铁列车的编组形式

图 1-3 是某地铁车辆的客室内装图,这种地铁线列车采用 VVVF(variable voltage and variable frequency,可变电电压、可变频率,也就是变频调速系统)交流牵引系统;DC1500V 供电;车体采用高强度不锈钢材料、模块化设计,结构轻。由图 1-3 可知,这种地铁列车车辆的客室车厢内有空气调节系统、乘客信息系统等先进服务设施。



图 1-3 某地铁车辆的客室内装

2. 某地铁车辆的结构组成

(1) 车体结构。图 1-4 为某地铁不锈钢车体钢结构, 由图可知其侧方有 4 扇车门、5 扇车窗。车体采用不锈钢材料制造, 板与梁柱、部件与部件之间采用点焊连接。客室侧门采用双扇电控电动内藏门。

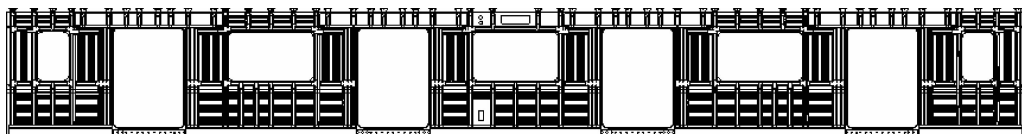


图 1-4 某地铁不锈钢车体钢结构

(2) 转向架系统。图 1-5 为某地铁车辆的动车转向架和拖车转向架的结构。

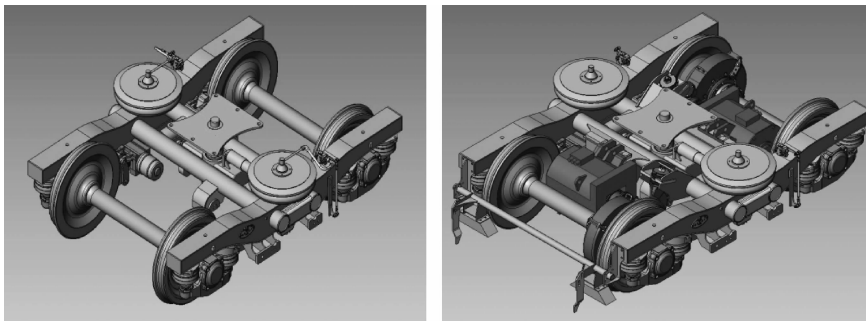


图 1-5 某地铁车辆的动车转向架和拖车转向架的结构

(3) 车钩缓冲装置。图 1-6 为某地铁车辆的车钩缓冲装置的半自动车辆的结构。

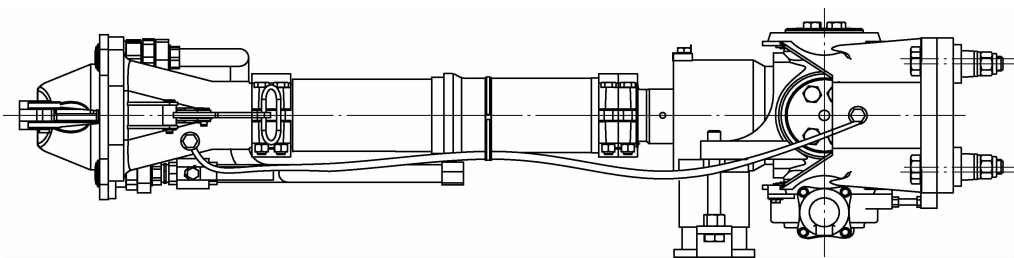


图 1-6 车钩缓冲装置的半自动车辆的结构

任务 1.3 车辆的技术参数、编组、标识及编号

车辆技术参数是概括地介绍车辆技术规格的某些指标,是从总体上表征车辆性能及结构的一些参数,一般可分为性能参数与主要尺寸。城轨车辆需进行编组、标识及编号,并在行车组织部门的指挥下有序运行。

1.3.1 车辆的性能参数

1. 自重、载重及容积

- (1)自重。自重是指车辆整备(空车)状态下的车辆本身结构及设备组成的全部质量。
- (2)载重。载重是指正常情况下车辆允许的最大装载质量,以 t 为单位。
- (3)容积。容积是指车辆内部的有效立体空间,以 m^3 为单位。

2. 速度

车辆的速度参数包括最高试验速度、运行速度、启动平均加速度和制动平均减速度。

(1)最高试验速度。最高试验速度是指车辆设计时按照安全、结构强度等条件所决定的车辆最高行驶速度。

(2)运行速度。运行速度是指车辆设计时按照安全、结构强度等条件所决定的车辆行驶速度,并要求连续以该速度运行时车辆具有足够良好的运行性能。

(3)启动平均加速度。启动平均加速度是指在平直线路上,列车载荷为额定定员,自牵引电动机取得电流开始,至启动过程结束时该速度值被全过程经历的时间所除得到的商(单位: m/s^2)。

(4)制动平均减速度。制动平均减速度是指在平直线路上,列车载荷为额定定员,自制动指令发出至列车完全停止的全过程,相应的制动初始速度被全过程经历的时间所除得到的商(单位: m/s^2)。



3. 轴重

轴重是指按车轴类型及在某个运行速度范围内,车轴允许负担(包括轮对自身的质量)的最大质量。轴重的选择与线路、桥梁及车辆走行部的设计有关。

4. 轴配置或轴列式

用数字或字母表示车辆走行部结构特点的方式,称为轴配置或轴列式。例如,4 轴动车有两台动力转向架,则轴配置记为 B-B;6 轴单铰轻轨车辆的两端为动力转向架,中间为非动力铰接转向架,其轴配置记为 B-2-B。

5. 每延米轨道载重

每延米轨道载重是车辆设计中与桥梁、线路强度密切相关的一个指标,同时又是能充分利用站线长度提高运输能力的一个指标,其值是车辆总质量与车辆全长之比。

6. 通过最小曲线半径

通过最小曲线半径是指配用某种形式转向架的车辆在站场或厂、段内调车时所能安全通过的最小曲线半径。当车辆在此曲线区段上行驶时不得出现脱轨、倾覆等危及行车安全的事故,也不允许转向架与车体底架或车下其他悬挂物相碰撞。

7. 制动形式

制动形式是指车辆获得制动力的方式,有摩擦制动、再生制动、电阻制动、磁轨制动等形式。

8. 座席数及每平方米地板面积站立人数

地铁车辆由于其短途高流动性的运载特点,座席数较少,一般为 55~56 座,站立人数一般为 250 人,超载时乘客总数按 7~9 人/ m^2 计算。

9. 冲击率

冲击率是指由于工况改变引起的列车中各车辆所受到的纵向冲击,用加速度变化率来衡量,以 m/s^3 为单位。在城轨车辆中,其主要用于说明车辆本身电气及制动控制系统所应达到的冲动限制。如地铁车辆正常运行(包括启动加速和电制动,紧急制动情况除外)时,纵向冲击率不得超过 1 m/s^3 。

10. 列车平稳性指标

列车平稳性是评定乘客舒适程度的主要依据,反映了车辆振动对人体感受的影响。因此

评定列车平稳性的方法主要以人的感觉疲劳程度为依据,通常以列车平稳性指标表示。

1.3.2 车辆的主要尺寸

车辆的主要尺寸如下:

(1)车辆长度。车辆长度是指车辆处于自由状态,车钩呈锁闭状态时,两端车钩连接面之间的距离。它区别于车体长度的概念,车体长度是指不包含牵引缓冲装置或折棚的车体结构的长度。

(2)车辆最大宽度。车辆最大宽度是指车体横断面上最宽部分的尺寸。

(3)车辆最大高度。车辆最大高度是指车辆顶部最高点与钢轨顶面之间的距离。通常须说明与最高点相关的结构,如有无空调、受电弓的状态等。

(4)车辆定距。车辆定距是指同一车辆的两转向架回转中心之间的距离。

(5)固定轴距。固定轴距是指同一转向架的两车轴中心线之间的距离。

(6)车钩中心线距离钢轨面的高度。车钩中心线距离钢轨面的高度简称车钩高,是指车钩连接面中点(对铁路车钩来说,是指钩舌外侧面的中心线)至轨面的高度,取新造或修竣后空车的数值。列车中各车辆的车钩高基本一致,是保证车辆正确连挂、列车运行中正常传递牵引力及不会发生脱钩事故所必需的。广州地铁车辆、上海地铁车辆的车钩高为 720 mm,天津滨海轻轨车辆、北京地铁车辆的车钩高为 660 mm。

(7)地板面高度。地板面高度是指车辆地板面与钢轨顶面之间的距离。地板面高度与车钩高一样,是指新造或修竣后空车的数值。它将受到两方面的制约:一方面是车辆本身某些结构高度的限制,如车钩高及转向架下心盘面的高度;另一方面又与站台高度的标准有关,规定车辆地板面高度应与站台高度相协调,如上海地铁车辆地板面高度为 1.13 m,北京地铁车辆地板面高度为 1.053 m。

1.3.3 车辆的编组

城轨交通车辆中,动车 M 和拖车 T 通过车钩连接而成的一个相对固定的编组称为一个(动力)单元,一列列车可以由一个或几个(动力)单元编组而成。目前,我国城轨交通车辆列车编组比较普遍的是 6 辆编组或 4 辆编组,还有一些城市的大运量地铁的车辆采用 8 辆编组。6 辆编组的主要有“3 动 3 拖”和“4 动 2 拖”,4 辆编组的主要有“2 动 2 拖”。下面举例说明城轨交通列车的编组情况。

(1)西安地铁 1 号线、2 号线列车均采用“3 动 3 拖”的编组形式,编组表达式为

$$=T_c * M_p * M * T * M_p * T_c =$$

而西安地铁 3 号线为增加动力,则采用“4 动 2 拖”的编组形式,编组的表达式为

$$=T_c * M_p * M * M * M_p * T_c =$$

式中, T_c 表示有司机室的拖车; M_p 表示带受电弓的动车,空气压缩机组装在 M_p 车; M



表示不带受电弓的动车;T 表示不带司机室的拖车,空气压缩机组装在 M_p 车。

注意:编组表达式中,“—”表示全自动车钩,“=”表示半自动车钩,“*”表示半永久车钩。

(2)广州地铁 1 号线列车采用“4 动 2 拖”的形式,编组表达式为

$$-A * B * C = C * B * A -$$

式中,A 表示拖车,一端设有驾驶室,车顶上装有受电弓,车下装有一套空气压缩机组;B 车和 C 车均为动车,两者结构基本相同。

广州地铁 2 号线与 1 号线基本一样,只是受电弓装于 B 车车顶,而空气压缩机组装于 C 车车底。

(3)上海地铁 1 号线、2 号线列车在开通初期为 6 辆编组,采用“4 动 2 拖”的编组形式,即

$$-A = B * C = C * B = A -$$

而远期为 8 辆编组,采用“6 动 2 拖”的编组形式,即

$$-A * B * C = B * C = B * C = A -$$

式中,A 表示拖车,一端设有驾驶室;B 表示动车,车顶上装有受电弓;C 表示动车,车下装有一套空气压缩机组。

(4)天津滨海轻轨车辆在开通初期为 4 辆编组,采用“2 动 2 拖”的编组形式,编组的表达式为

$$=M_{cp} * T = T * M_{cp} =$$

而远期为 6 辆编组,采用“3 动 3 拖”的形式,编组的表达式为

$$=M_{cp} * T = T * M = T * M_{cp} =$$

式中, M_{cp} 表示带司机室、受电弓的动车;M 表示动车;T 表示拖车。

1.3.4 车辆车端、车侧标识

下面以参考德国工业标准 DIN 25006 的广州地铁 2 号线车辆标识方法为例进行说明。

(1)车端。如图 1-7(a)所示,每辆车的 1 位端定义如下:A 车 1 位端是带有全自动车钩的一端,B 车 1 位端是与 A 车连接的一端,C 车 1 位端是连接半永久牵引杆的一端,另一端就是 2 位端。

(2)车侧。当车辆检修人员位于车辆的 2 位端、面向 1 位端时,则其右侧就称为该车辆的右侧,左侧即该车辆的左侧。

1.3.5 列车车侧

如图 1-7(b)所示,列车车侧的定义与车辆车侧的定义是不同的。它是以司机为主

体,司机坐于列车驾驶端座位上,司机的右侧即列车的右侧,左侧即列车的左侧。换句话说,列车车侧是按列车的行驶的方向来定义的,这与公路上汽车按行驶方向定义左右侧是相同的。

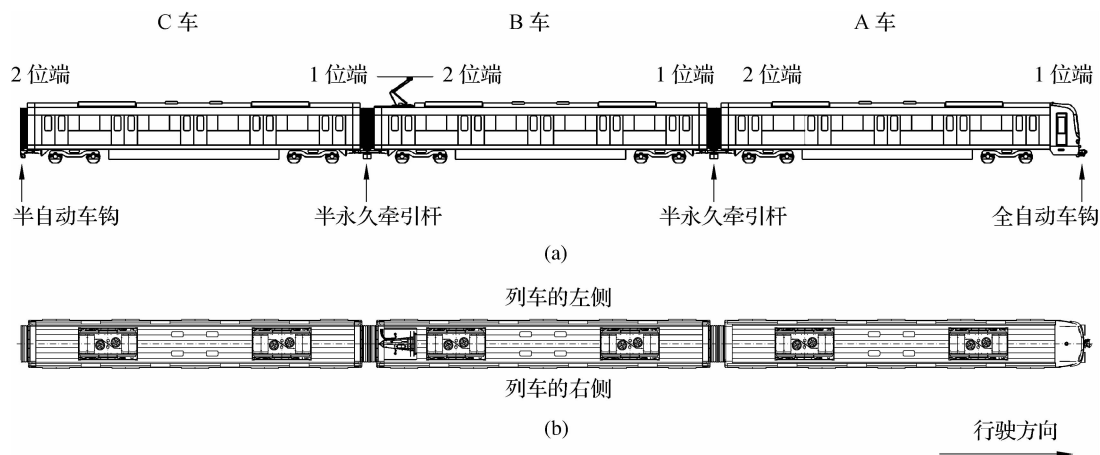


图 1-7 车辆车端和车侧的标识及列车车侧定义

1.3.6 车厢的编号

城轨车辆的每一节车厢均有固定的编号,编号在使用期间不会发生任何改变,直至此车报废,城轨车辆的制造商、运营商不同,编号方式也有一定的差别,但大同小异。

下面以上海地铁的车厢编号为例介绍。上海地铁车辆车厢先按线路对车辆进行车型编号,2004年前后的编号方式有一定的区别。

1. 车型编号

DC01 型电动客车——1 号线西门子直流车;AC01 型电动客车——1 号线西门子交流车;AC02 型电动客车——2 号线西门子交流车;AC03 型电动客车——3 号线阿尔斯通交流车;AC04 型电动客车——1 号线旁巴迪交流车;AC05 型电动客车——4 号线西门子交流车;AC06 型电动客车——1 号线的新的八辆编组的阿尔斯通交流车。

上海地铁 5 号线属于现代轨道,没有类似编号。

2. 车厢车体编号

车厢的号码有两种:一种是车厢号,其位于车厢内部两端,一般位于贯通道路上方;另一种是车厢编号,其位于车厢外侧,具体位置随车型的不同而不同。

2004 年是上海地铁车辆编号的时间节点,2004 年以前上海地铁的 1、2、3 号线的 DC01/AC01/AC02/AC03 与 5 号线电客列车的车厢编号为 5 位数,采用 YYCCT 形式。其中,YY 为车辆出厂的年份,CC 为出厂时这一年的同类型车辆的生产顺序号,T 为车



辆类型代号。T 为 1 时代表 A 车,表示带司机室的拖车(T_c),T 为 2 时代表 B 车,表示带受电弓的动车(M_p),T 为 3 时代表 C 车,表示不带受电弓的动车(M)。如图 1-8 所示,00342 表示 2000 年出厂的第 34 辆,最后的 2 表示 B 车,即车顶带受电弓的动车。



图 1-8 2004 年以前上海地铁车厢编号

例如,上海地铁 1 号线车辆标识 92082 的确切含义是:92 表示 1992 年出厂的车,08 表示第 8 辆车,2 表示其车辆类型为 B 车,即车顶带受电弓的动车。

2004 年以后,上海地铁所有的车辆标识均改为 6 位数字,前两位数表示车辆的所属线路,中间三位数表示该车厢在该线路的车厢总编数,最后一位只能是 1、2 或 3,1 表示带司机室的拖车(T_c),2 表示带受电弓的动车(M_p),3 表示不带受电弓的动车(M)。在图 1-9 所示的 040011 中,04 表示该车属于 4 号线,001 表示 4 号线中的第 1 辆车,最后一位 1 则表示该车为带司机室的拖车。



图 1-9 2004 年以后上海地铁车辆的编号

另外,在紧急情况下为方便乘客在逃生时找到逃生通道,上海地铁在每节车厢的端墙上部编制了应急车厢号,可方便乘客准确掌握自己在车厢里的位置。编号由 4 位数组成。其中对于 1~9 号线来说,第 1 位表示所属线路情况(10 号线往后线路情况用第 1、2 两位数字表示),第 2、3 位表示的是该车为该线路的列车编号,最后一位为 1~6,表示车辆的编组数,以后如果编组加长,会出现 1~8 或 1~10,顺序是从列车的 1 位端往 2 位端数。如图 1-10 所示,车厢号 4186 的具体含义如下:4 表示 4 号线,18 则表示第 18 列列车,6 表示第 18 列列车中的第 6 节车厢(从 1 位端向 2 位端数)。



图 1-10 上海地铁车辆车厢内的编号

典型案例

1. 某地铁 2 号线车辆的主要技术指标

从主要性能参数和车辆主要尺寸说明。

(1)主要性能参数。

①速度。最高运行速度为 80 km/h。

②列车平稳性指标。初步运行时,不大于 2.5;运行 150 000 km 后,列车平稳性指标应为 2.5~2.75。

③列车牵引功率。 $2\times6\times180=2\ 160\text{ kW}$ 。

④轴重。轴重不大于 14 t。

(2)车辆主要尺寸。某地铁 2 号线车辆主要尺寸如表 1-1 所示。

表 1-1 某地铁 2 号线车辆主要尺寸 单位:mm

项 目	尺 寸	项 目	尺 寸
T _c 车长度	19 500	车钩中心线距轨面高度	660+10
M _p 、M、T 车长度	19 000	新轮直径	840
车辆最大宽度	2 800	半磨耗轮直径	805
车辆高度	3 800	磨耗轮直径	770
车辆内中心高度	2 120	客室侧门净开宽度	1 300
转向架中心距	12 600	司机室侧门净开宽度	725
转向架固定轴距	2 200		

2. 某地铁 2 号线的编组

图 1-11 是某地铁的编组情况,该地铁 2 号线列车车辆均采用 6 辆编组形式,即“=T_c×M_p×M×T×M_p×T_c=”。

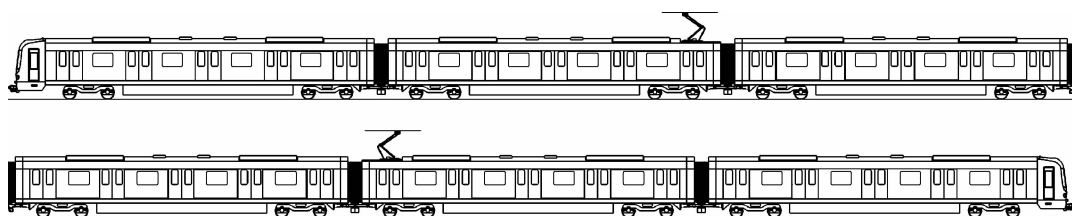


图 1-11 某地铁 2 号线车辆编组

3. 某地铁的车辆编号

某地铁的车辆编号为 5 位数。第 1、2 位表示线号(如 01 表示 1 号线,02 表示 2 号线,03 表示 3 号线,以此类推)。第 3、4 位表示车列号(如 01 表示第一列车,02 表示第二列车,以此类推)。第 5 位表示车辆号,用数字 1、2、3、4、5、6 分别表示车辆 1~6 位的编组,分别表示 T_c 、 M_p 、 M 、 T 、 M_p 、 T_c 车。

4. 某地铁 2 号线的车辆方位

某地铁 2 号线车辆以两头 T_c 车为基准,以前三节车为一组,后三节为一组,在每一组中,靠近司机室的一端为 1 位端,远离司机室的一端为 2 位端。

思考与练习

- (1)城轨车辆有哪些基本种类? 试述其基本结构。
- (2)什么是车辆的技术参数? 主要有哪些参数? 举例说明重要参数的作用。
- (3)城轨车辆是如何编组的? 请举例说明某种编组方式的优、缺点。
- (4)为什么要对车辆进行标识? 如何对车辆进行标识?