



职业教育城市轨道交通专业规划教材

# 城市轨道交通

# 车辆构造

连苏宁 主编



赠电子课件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

职业教育城市轨道交通专业规划教材

# 城市轨道交通车辆构造

主 编 连苏宁  
副主编 韩增盛  
参 编 赵 红 王学忠 李 宁  
主 审 于 海



机械工业出版社

本书是职业教育城市轨道交通专业规划教材。本书共七章，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，简要叙述了城市轨道交通车辆的动力学基本理论，并采用了大量形象生动的工作原理图。其内容主要包括城市轨道交通车辆基础知识及发展概况、车体、转向架、车辆连接装置、制动系统、空调系统及城市轨道交通车辆动力学基础。

本书作为城市轨道交通专业驾驶及检修方向教材，编写指导思想是：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、反映本学科技术科学领域的现状及发展。本书既可作为职业院校城市轨道交通专业的教学用书，同时，还可供从事城市轨道交通车辆专业工作的广大科技人员学习参考。

为方便教学，凡选用本书作为授课教材的教师，均可登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 以教师身份免费注册下载电子课件，或来电咨询：010-88379865。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆构造/连苏宁主编. —北京：机械工业出版社，2010.12  
职业教育城市轨道交通专业规划教材  
ISBN 978-7-111-32296-2

I ①城… II ①连· III. ①城市铁路-铁路车辆-车体结构-职业教育-教材 IV. ①U270.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 204419 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑：曹新宇 责任编辑：曹新宇  
版式设计：霍永明 责任校对：常天培  
封面设计：王伟光 责任印制：杨 曦  
北京蓝海印刷有限公司印刷  
2011 年 3 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm × 260mm · 14 75 印张 · 362 千字  
0001—3000 册  
标准书号· ISBN 978-7-111-32296-2  
定价· 29.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者服务部：(010)68993821

# 职业教育城市轨道交通专业规划教材 编写委员会

**主 任：**李晓村

**编 委：**(按姓氏笔画排序)

王大文	牛红霞	牛凯兰	边国兴	卢桂云	李 力
华 平	阳 东	李建民	刘 峥	李建国	连苏宁
张建国	周淑玉	杨瑞柱	徐 坚	唐春林	秦菊枝
柴鹏飞	贾毓杰	韩增盛	裴瑞江		

## 出版说明

目前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，带来了对城市轨道交通专业人才的巨大需求，巨大的城市轨道交通人才需求为职业教育城市轨道交通专业的发展带来了良好契机。目前，国内开设城市轨道交通专业的院校正逐年增多，但是适合于职业教育的教材却很少，特别是专门为职业教育量身设计的、注重实际操作技能及管理技能的教材几乎没有。机械工业出版社根据教育部大力发展职业教育的要求，为促进职业教育城市轨道交通专业教学的交流与推广，推动职业教育城市轨道交通教材建设，培养符合企业实际需求的应用型、综合性人才，特组织国内开设城市轨道交通专业的优秀教师及院校编写此套教材。

为了做好教材的编写工作，机械工业出版社特别成立了由著名专家组成的教材编写委员会。这些专家对城市轨道交通专业教学作了深入细致的调查研究，对教材编写提出许多建设性意见，并慎重地对每一本教材一审再审，确保教材本身的高质量水平，并对教材的教学思想和方法的先进性、科学性严格把关。这套教材出版后，我们将根据各职业院校的教学计划，举办如何高效使用教材的教师培训，及时地将其推荐给各职业院校选用。希望职业院校师生在使用教材后及时反馈意见和建议，使我们能更好地为教学改革服务。

机械工业出版社

# 前 言

本书是机械工业出版社组织国内在轨道交通行业有较大影响力的学校及有经验的专业教师编写的“职业教育城市轨道交通专业规划教材”之一。全书分七章，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，简要叙述了城市轨道交通车辆的动力学基本理论，并采用了大量形象生动的工作原理图。本书内容包括城市轨道交通车辆基础知识及发展概况、车体、转向架、车辆连接装置、制动系统、空调系统及城市轨道交通车辆动力学基础。

本书作为城市轨道交通专业驾驶、检修方向教材，编写指导思想是：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、反映本学科技术科学领域的现状及发展。本书可作为职业院校城市轨道交通专业的教学用书，同时，还可供从事城市轨道交通车辆专业工作的广大科技人员学习参考。

本书由连苏宁任主编，韩增盛任副主编，由苏州轨道交通有限公司高级工程师于海主审。参加编写的还有赵红、王学忠、李宁。具体分工：连苏宁编写第一章、第七章；赵红编写第三章；王学忠编写第二章、第五章；韩增盛编写第四章；李宁编写第六章。本书内容主要参考上海、深圳、南京地铁车辆有关资料。在此表示感谢。由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请广大读者不吝赐教。

编 者

# 目 录

## 出版说明

## 前言

## 第一章 城市轨道交通车辆基础知识及

### 发展概况 ..... 1

#### 第一节 城市轨道交通车辆基础知识 ..... 2

#### 第二节 城市轨道交通车辆发展概况 ..... 10

## 第二章 车体 ..... 21

#### 第一节 概述 ..... 21

#### 第二节 铝合金车体 ..... 24

#### 第三节 不锈钢车体 ..... 29

#### 第四节 车体的模块化结构 ..... 32

#### 第五节 车体材料 ..... 34

#### 第六节 车门 ..... 36

## 第三章 转向架 ..... 45

#### 第一节 概述 ..... 45

#### 第二节 构架 ..... 49

#### 第三节 轮对轴箱装置 ..... 50

#### 第四节 弹簧减振装置 ..... 63

#### 第五节 牵引连接装置 ..... 77

#### 第六节 传动装置 ..... 80

#### 第七节 地铁及轻轨车辆转向架 ..... 84

## 第四章 车辆连接装置 ..... 111

#### 第一节 车钩缓冲装置概述 ..... 111

#### 第二节 车钩 ..... 113

#### 第三节 缓冲装置 ..... 118

#### 第四节 附属装置 ..... 123

#### 第五节 贯通道及渡板 ..... 125

## 第五章 制动系统 ..... 129

#### 第一节 制动系统在城市轨道交通车辆运行中的重要意义 ..... 129

#### 第二节 空气制动系统 ..... 133

#### 第三节 风源系统 ..... 138

#### 第四节 电制动系统 ..... 144

#### 第五节 基础制动装置 ..... 145

#### 第六节 制动控制系统 ..... 151

#### 第七节 KBWB 模拟式电气指令制动系统 ..... 152

#### 第八节 EP2002 制动控制系统 ..... 164

#### 第九节 供气系统的工作模式 ..... 172

## 第六章 空调系统 ..... 176

#### 第一节 热力学理论知识 ..... 176

#### 第二节 制冷与空调的基本原理 ..... 180

#### 第三节 城轨车辆客室内空气参数的确定 ..... 184

#### 第四节 制冷剂与冷冻油 ..... 185

#### 第五节 制冷压缩机 ..... 189

#### 第六节 换热器和辅助设备 ..... 191

#### 第七节 制冷自动化元件 ..... 192

#### 第八节 上海地铁车辆空调制冷系统 ..... 195

#### 第九节 南京地铁车辆空调通风系统简介 ..... 197

## 第七章 城市轨道交通车辆动力学基础 ..... 206

#### 第一节 引起车辆振动的原因 ..... 206

#### 第二节 轮轨接触及滚动理论 ..... 210

#### 第三节 轮对的蛇行运动 ..... 212

#### 第四节 车辆运行品质及其评价标准 ..... 218

#### 第五节 车辆运行安全性及其评估标准 ..... 219

#### 第六节 列车运行时的空气流 ..... 221

## 参考文献 ..... 228

# 第一章 城市轨道交通车辆 基础知识及发展概况

## 【问题导入】

自1863年1月10日英国伦敦建成世界上第一条地下铁道以来，地下铁道已有140余年的发展历史。最初的地下铁道采用蒸汽机车牵引，直到1890年12月18日诞生了世界上第一条真正的电气化地下铁道线路后，地下铁道车辆技术开始了划时代的飞跃，电动地下铁道车辆也进入了不断发展的新时期。本章介绍城市轨道交通车辆基础知识及城市轨道交通车辆的现状与发展。

## 【学习目标】

学员通过本章的学习和操作达到以下目的：

1. 能掌握世界及中国城市轨道交通车辆基本知识。
2. 了解世界不同城市城市轨道交通车辆的特点。
3. 了解城市轨道交通车辆的基本构成。
4. 了解城市轨道交通车辆限界。

## 【教学建议】

本章教学建议：

1. 教学场地：教室、互联网多媒体教室；城市轨道交通车辆模型实训室。课后可实地参观。
2. 设备要求：至少具有能连接互联网的多媒体教室一个，各种城市轨道交通车辆形式仿真模型一套，能放视频投影的设备及课件、视频介绍一套。
3. 课时要求：课堂讲授4课时；实地参观2课时。

## 【理论知识】

城市轨道交通车辆主要是指地铁车辆和轻轨车辆，它是城市轨道交通工程中最重要设备，也是技术含量较高的机电设备。城市轨道交通车辆应具有先进性、可靠性和实用性，应满足容量大、安全、快速、舒适、美观和节能的要求。城市轨道交通车辆有动车和拖车、带驾驶室车和不带驾驶室车等多种形式，动拖比主要由技术及投资两方面因素决定。全动车编组具有诸如粘着利用好、制动性能好、节能、单电动机功率小以及车型少、编组灵活的优点，但是由于牵引电动机数量多，与此相应的控制设备要增加，检修和日常维护工作量也增加。目前世界上，特别是西欧、日本、亚洲，新的地铁线车辆编组选择动拖结合者居多，而且其趋势是在粘着条件允许时，提高拖车的比例，甚至达到1:1。

随着生活水平的提高，人们对乘坐舒适性的要求也越来越高，所以不少地下铁道车辆的车厢内除采用机械式通风换气来改善车内空气品质外，还增设空气调节装置，千方百计提高乘坐舒适性，并改善驾驶员的工作条件。同时，在降低车厢内来自轮轨系统和动力系统的噪声上也采取多种有效的措施。



## 第一节 城市轨道交通车辆基础知识

### 一、城市轨道交通车辆的基本类型与组成

#### 1. 城市轨道交通车辆的基本类型

按照车辆宽度的不同,城市轨道交通车辆可分为车辆宽度为3m的A型车、车辆宽度为2.8m的B型车、车辆宽度为2.6m的C型车,以及结构改进的低地板轻轨车。其中,低地板轻轨车又可分为70%低地板和100%低地板两种。各城市采用什么车型要根据城市自身的客流状况、经济实力等综合因素决定。

(1) 车辆类型 地铁车辆一般可分为三种类型,即A车、B车、C车。

A车,为拖车。自身无动力,依靠有动力的车辆推动或拖动。一端设有驾驶室。

B车,为动力车。其转向架上装有牵引电动机,无驾驶室,车顶上装有受电弓。

C车,为动力车。其转向架上装有牵引电动机,无驾驶室,车底下装有一组空气压缩机组。

(2) 车钩形式 地铁车辆的车钩一般也有三种形式,即全自动车钩、半自动车钩和半永久车钩。

全自动车钩:电气部分和机械部分的连接及分离都为自动的,其表示符号为“—”。

半自动车钩:机械部分的连接及分离都为自动的,而电气部分的连接及分离都为人工的,其表示符号为“=”。

半永久车钩:电气部分和机械部分的连接及分离都为人工的,其表示符号为“※”。

#### 2. 城市轨道交通车辆的组成

一般城市轨道交通车辆可分为以下七部分:

(1) 车体 分有驾驶室车体和无驾驶室车体两种。车体是容纳乘客和驾驶员(对于有驾驶室的车辆)的地方,又是安装与连接其他设备和部件的基础。近代城市轨道交通车辆车体均采用整体承载的钢结构或轻金属结构,以达到在最轻的自重下满足强度的要求。一般均有底架、端墙、侧墙及车顶等。

城市轨道交通车辆的车体与一般铁路客车有许多相同之处,但由于其特殊的用途,又有其特有的特征。如一般电动车组有动车和拖车之分,服务于市内公共交通,在车内布置的座位少,车门多且开度大。

(2) 走行部分(动力转向架和非动力转向架) 走行部分装置于车体与轨道之间,用来牵引和引导车辆沿着轨道行驶并承受和传递来自车体及线路的各种载荷,缓和其动力作用,它是保证车辆运行品质的关键部件。转向架一般由构架、弹簧悬挂装置、轮对轴箱装置和制动装置等组成。对于动力转向架还装有牵引电动机及传动装置。

车体和转向架之间的连接部位在空气簧和纵向牵引杆,并传递垂向载荷和纵向载荷。

(3) 牵引缓冲连接装置 车辆编组成列运行必须借助于连接装置,即所谓车钩。为了改善列车纵向平稳性,一般在车钩的后部装设缓冲装置,以缓和列车冲动。另外还必须连接车辆之间的电气和空气的管路。

(4) 制动装置 制动装置是保证列车安全运行必不可少的装置。不仅在动车上设制动

装置,而且在拖车上也要设制动装置,这样才能使运行中的车辆按需要减速或在规定的距离内停车。城市轨道交通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。

(5) 受流装置 从接触导线(接触网)或导电轨(第三轨)将电流引入动车的装置称为受流装置或受流器。受流装置按其受流方式可分为以下五种形式:

1) 杆形受流器:外形为两根平行杆,上部有两个受电轨(导线),广泛用于城市无轨电车。

2) 弓形受流器:形状如弓,属上部受流,弓可升可降,其上部有一根接触导线,下面有导轨构成电路,用于城市有轨电车。

3) 侧面受流器:在车顶的侧面受流,又称为“旁弓”,多用在矿山装货物的电力机车上。

4) 轨道式受流器:从底部导电轨受流,又称第三轨受流,空间可得到充分利用,多用于速度较高的隧道列车运行。北京地铁及目前欧美大部分城市地铁均采用这种受流方式。

5) 受电弓受流器:属上部受流,形状如弓,可升可降,适用于列车速度较高的干线电力机车上。上海地铁亦采用这种方式。

在受电制式上,目前世界上地铁发展较早的城市大都采用直流750V,个别有采用600V的。北京地铁为直流750V。上海地铁采用直流1500V,它与直流750V比较有以下优点:可提高牵引电网供电质量,降低电流数值,增加牵引供电距离,从而减少牵引变电所数量;便于地铁线路实现地下、地面和高架的联动。

(6) 车辆内部设备 车辆内部设备包括服务于乘客的车体内的固定附属装置和服务于车辆运行的设备装置。属于前者的有:车电、通风、取暖、空调、座椅、拉手等。服务于车辆运行的设备装置大多吊挂于车底架,如蓄电池箱、继电器箱、主控制箱、电动空气压缩机组、总风缸、电源变压器、各种电气开关和接触器箱等。

(7) 车辆电气系统 车辆电气系统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三个部分。

## 二、城市轨道交通车辆技术参数

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,一般分性能参数和主要尺寸两大类。

### 1. 车辆性能参数

(1) 自重、载重及容积 自重为车辆本身的全部质量;载重为车辆允许的正常最大装载质量,均以t为单位;容积以 $m^3$ 为单位。

(2) 构造速度 指车辆设计时,按安全及结构强度等要求设计的允许车辆最高行驶速度。车辆实际运行速度一般不允许超过构造速度。

(3) 轴重 是指按车轴形式,在某个运行速度范围内该轴允许负担的并包括轮对自身在内的最大总质量。轴重的选择与线路、桥梁及车辆走行部的设计标准有关。

(4) 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,同时又是能否充分利用站线长度、提高运输能力的一个指标,其数值是车辆总质量与车辆全长之比。城市轨道交通车辆中该参数按设计任务书中规定。

(5) 通过最小曲线半径 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与车下其他悬挂物相碰。

(6) 轴配置或轴列数 若是4轴动车,设两台动力转向架,则轴配置记为B—B;若是6轴单铰轻轨车,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。

(7) 最大起动加速度 列车以最大牵引力起动时列车的加速度。

(8) 平均起动加速度 列车以各级牵引力起动时列车的平均加速度。

(9) 最大制动减速度 列车以最大制动力制动时列车的减速度。

(10) 每吨自重功率指标 一般在10kW/t~15kW/t。

(11) 供电电压 一般采用DV1500V或DV750V。

(12) 最大网电流 指最大负荷时网侧电流,由牵引电动机功率决定。

(13) 牵引电机功率 多在180~300kW。

(14) 制动形式 有摩擦制动、再生制动、电阻制动以及磁轨制动等多种形式。

(15) 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55~65座,站立数一般250人,超载时乘客总数按7~9人/m<sup>2</sup>计算。

## 2. 车辆的主要尺寸

车辆的主要尺寸除车辆全长、车辆定距及转向架固定轴距外还有以下几项:

(1) 车辆最大宽度、最大高度 车辆最大宽度指车体最宽部分的尺寸;车辆最大高度指车辆顶部最高点与钢轨水平面之间的距离。这两个尺寸均需符合车辆限界的要求。

(2) 车体长、宽、高 又有车体外部与内部之别,但车体内部的长、宽、高必须满足货物装载或旅客乘坐等要求。

(3) 车钩中心线距轨面高度 简称车钩高。它是指车钩钩舌外侧面的中心线至轨面的高度。列车中机车与各车辆的车钩高基本一致,以保证正常传递牵引力及列车运行时不发生脱钩事故。我国铁路规定新造或修竣后的空车标准车钩高为880mm;其他国家由各自的历史条件决定了其使用的车钩高,如原苏联及欧洲各国的车钩高(或盘形缓冲器的中心线高)定为1060mm。城市轨道交通车辆的车钩高无统一的标准,上海地铁车辆定为720mm,北京地铁车辆为670mm。

(4) 地板面高度 地板面距轨面的高度与车钩高一样,均指新造或修竣后空车的数值。它将受到两方面的制约,一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,例如上海地铁车辆地板面高为1.13m,北京地铁车辆为1.053m。

(5) 车辆定距 车辆两相邻转向架中心之间的距离。

## 三、城市轨道交通车辆编组及标识

### 1. 列车编组

列车是不同类型的车辆通过两个相对的同型号车钩相联而组成的车组。其中B车和C车为固定搭配,若再与A车相联则称为一个单元。

如,上海地铁列车根据客流预测,设计成在开通时为六节编组成一列车;而在远期客流

量增加后,则增至八节车编组为一列车。

六节编组的列车其编组形式为

$$-A = B \times C = B \times C = A -$$

八节编组的列车其编组形式为

$$-A = B \times C = B \times C = B \times C = A -$$

## 2. 车端、车侧、车门、座位的标识定义

### (1) 车辆的车端、车侧的定义

1) 车端。在车辆两端的车钩一般都不为同一类型的车钩,我们将车钩自动化程度较高的一端定义为1位端,而自动化程度较低的一端则定义为2位端,如图1-1a所示。

2) 车侧。若某人站立在某车辆的1位端,面向2位端,则该人的右侧就称为该车辆的右侧,该人的左侧则称为该车辆的左侧,如图1-1b所示。

(2) 列车的车侧的定义 列车的车侧的定义与车辆的车侧定义是不同的。它是以驾驶员坐在列车的驾驶端座位上驾驶列车的方位来定义的,此时驾驶员的右侧即为列车的右侧,驾驶员的左侧即为列车的左侧。换句话说,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,如图1-1c所示。

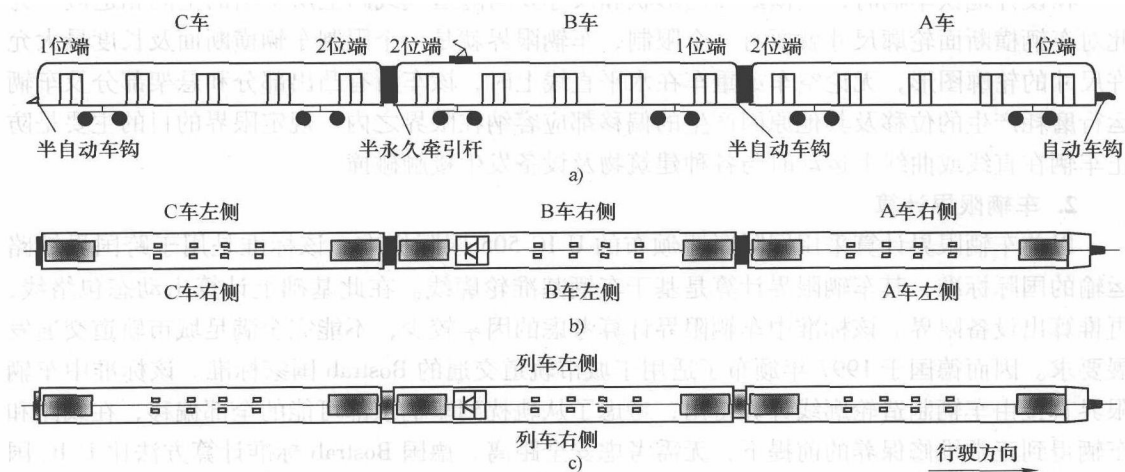


图 1-1 车端、车辆两侧及列车两侧的识别

(3) 车门的编号 上海地铁车辆的客室车门是采用内藏式对开滑动门,车辆每侧设有五扇门,每扇门为两片门叶。为了便于维修,则需给每片门叶编号,根据制造商在设计时定义的编号为:自1位端到2位端,右侧为由小到大的连续奇数,即1/3、5/7、9/11、…、17/19;左侧为由小到大为连续偶数,即2/4、6/8、10/12、…、18/20。

(4) 座椅编号 座椅编号的方式与车门类同,在这里不再赘述,如图1-2所示。

## 四、城市轨道交通车辆限界

### 1. 概念

城市轨道交通车辆限界规定了轨道交通车辆和隧道的断面形状与净空尺寸以及高架与地面建筑物的净空尺寸,同时也规定了设备安装位置及预留空间,是构成城市轨道交通安运

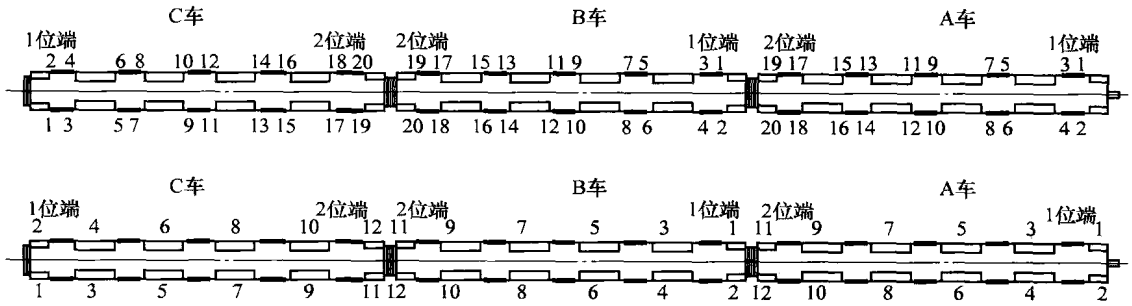


图 1-2 车门、座椅编号

输的基本保证之一，也是城市轨道交通设计的基础。相对于高架与地面上车辆，隧道内车辆在城市地下运行，由于隧道断面直径小、设备安装空间紧凑、轨道曲线半径小、旅客乘坐舒适性高等特点，给城市轨道交通车辆限界和设备限界提出了更高要求。

城市轨道交通车辆限界不仅制约车辆外形尺寸，还关系到诸如隧道等各种建筑物的内部轮廓，对轨道交通系统的建设规模及其投入和产出有重大影响。

在设计地铁车辆时，其横断面的形状和尺寸要与隧道或线路上所留出的空间相适应。为此对车辆横断面轮廓尺寸就要有一个限制，车辆限界就是一个限制车辆横断面及长度最大允许尺寸的轮廓图形，无论空车或重车在水平直线上时，该车所有凸出部分和悬架部分及车辆运行磨损产生的位移及其他原因产生的偏移都应容纳在限界之内。规定限界的目的是防止车辆在直线或曲线上运动时与各种建筑物及设备发生接触碰撞。

## 2. 车辆限界计算

以前车辆限界计算采用国际联盟颁布的 UIC 505 国际标准。该标准是用于跨国界铁路运输的国际标准，其车辆限界计算是基于车辆基准轮廓线。在此基础上计算出动态包络线，再推算出设备限界。该标准中车辆限界计算考虑的因素较少，不能完全满足城市轨道交通发展要求。因而德国于 1997 年颁布了适用于城市轨道交通的 Bostrab 国家标准。该标准中车辆限界直接由车辆制造轮廓线计算得出，考虑了从轨枕到车辆顶部可能的全部偏移，在线路和车辆得到正常维修保养的前提下，无需考虑安全距离。德国 Bostrab 标准计算方法比 UIC 国际标准更适合城市轨道交通，更能适用于城市轨道交通车辆限界的确定。基于以上两种标准，确定了适合我国轨道交通建设和车辆实际运营情况的限界计算方法。

### (1) 车辆限界计算原则

1) 限界是确定行车轨道周围构筑物净空的大小，以及管线和设备安装相互位置的依据，是行业间共同遵守的技术规定，应经济、合理、安全可靠。

2) 限界应依据车辆的轮廓尺寸、技术参数、轨道特性、受电方式、施工方法和设备安装等综合因素进行分析计算确定。

3) 车辆限界的计算是以平直线上混凝土整体道床和碎石道床的线路为基本条件，根据隧道内及地面运行环境不同，分为隧道内和高架线（含地面线）车辆限界两种基本类型。

4) 曲线地段不同于上述两种情况，增加的附加因素是在设备限界内考虑加宽与加高。

5) 车辆限界的计算要素（偏移量），按其概率性质统一分为两大类，即随机因素和非

随机因素。对于非随机因素按线性相加合成，而对随机因素按高斯概率分布采取均方值合成。将以上两大类相加形成车辆的动态偏移量。

6) 所有侧倾角度引起的偏移量合成后其大小受限于车辆结构上的竖向止挡。横向位移量和竖向位移量大小受限于车辆结构上的横向止挡及竖向止挡。

7) 对于隧道内平直线、高架线（含地面线）两类车辆限界均采用统一的计算公式。计算操作时应根据不同类别情况合理选用不同的计算参数。

8) 车辆限界偏移量计算分为车体、转向架、受电弓（第三轨受流器）三部分分别计算。

9) 车辆限界一经制定，属限界标准中重要的部分。车辆运行安全与否，必须根据计算结果确定车辆动态包络线是否超越车辆限界。

10) 计算中涉及到的计算车辆轮廓线及计算参数仅供限界制定时使用，并非对车辆规格和参数作强制性规定。实际制造的车辆应以实际参数按基本规定验算是否符合车辆限界。

## (2) 车辆限界的计算要素

- 1) 车辆的制造误差。
- 2) 车辆的维修限度。
- 3) 转向架轮对处于轨道上的最不利运行位置。
- 4) 轮对相对于构架的横向振动量。
- 5) 转向架构架相对于车体的横向位移量。
- 6) 车辆的空车、重车挠度差及垂向位移量。
- 7) 轨道线路的几何偏差（含维修限度）。
- 8) 一系悬挂侧滚位移量。
- 9) 二系悬挂侧滚位移量。
- 10) 因车辆制造中设备安装不对称、乘客分布不对称、轨道水平不平顺等引起的偏斜。

(3) 车辆在曲线上的偏倚 车辆通过曲线时，车体的中心线与线路的中心线不能重合而发生偏离的现象叫做车辆偏倚。

车辆在曲线上运行时，车体的中央部分偏向线路中心线的内方；两端偏向线路中心线的外方，偏倚的多少称为偏倚量。车辆在曲线上的偏倚量与曲线半径的大小和车辆的长度有关，曲线半径越小或车体越长，则偏倚量越大。车辆偏倚量过大时，车体有可能侵入建筑接近限界，并使车钩互相摩擦，或引起车钩自动分离以及不能摘钩等现象。在实际工作中，主要应用在监装超限货物时，需要计算通过曲线时的偏倚量，核查能否保证安全运行。

车辆在曲线上偏倚量的计算方法如下。

### 1) 二轴车辆在曲线上偏倚量的计算：

图 1-3 表示二轴车辆在曲线上的车辆偏倚量计算简图。为简化计算，假定轮对与车体之间没有任何游隙，而车轴与车体成绝对的垂直位置，并且假定这两个轮对的中心与线路的中心线相重合。

设  $CD = \alpha_1$  为车辆中央部分向内偏倚量， $AE = \beta_1$  为车辆端

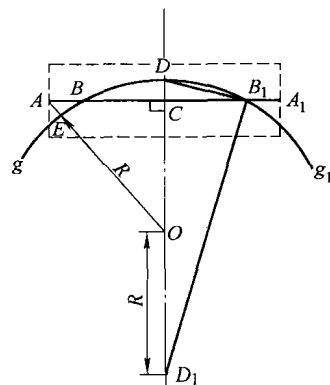


图 1-3 二轴车辆在曲线上的偏倚量计算简图

部向外偏倚量（忽略夹角影响，将  $AE$  视作  $\beta_1$ ）， $AA_1 = L$  为车体长度， $BB_1 = S$  为二轴车辆的固定轴距， $R$  为线路曲线半径， $\widehat{gg_1}$  弧为曲线线路中心线。

由  $\triangle D_1CB_1 \sim \triangle B_1CD$

$$\text{得} \quad \frac{D_1C}{CB_1} = \frac{CB_1}{CD}$$

$$\text{因} \quad D_1C = DD_1 - DC = 2R - \alpha_1$$

$$CB_1 = \frac{BB_1}{2} = \frac{S}{2}$$

$$\text{故} \quad \frac{2R - \alpha_1}{\frac{S}{2}} = \frac{\frac{S}{2}}{\alpha_1}$$

$$\frac{S^2}{4} = 2R\alpha_1 - \alpha_1^2$$

因  $\alpha_1^2$  的数值很小，可略去不计，故得

$$\alpha_1 = \frac{S^2}{8R} \quad (1-1)$$

在  $\triangle AOC$  中

$$AO^2 = AC^2 + CO^2$$

即

$$(R + \beta_1)^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 + (R - \alpha_1)^2$$

展开后得

$$R^2 + 2R\beta_1 + \beta_1^2 = \frac{L^2}{4} + R^2 - 2R\alpha_1 + \alpha_1^2$$

因  $\alpha_1^2$  及  $\beta_1^2$  的数值很小，可略去不计，故得

$$2R\beta_1 = \frac{L^2}{4} - 2R\alpha_1$$

$$\beta_1 = \frac{L^2 - 8R\alpha_1}{8R}$$

将式 (1-1) 值代入，得

$$\beta_1 = \frac{L^2 - S^2}{8R} \quad (1-2)$$

在车体长度、固定轴距和线路曲线半径已知的条件下，由式 (1-1) 和式 (1-2) 可分别求得二轴车辆在曲线上时，其中央部分的向内偏倚量和两端的向外偏倚量。

为了充分利用限界，在设计车辆时希望  $\alpha_1 = \beta_1$ ，即

$$\frac{S^2}{8R} = \frac{L^2 - S^2}{8R}$$

$$\frac{L}{S} = \sqrt{2} \approx 1.4$$

上式说明车体长度与其定距之比等于 1.4 时，利用限界较为合理。

2) 有转向架的车辆在曲线上偏倚量的计算：

有转向架的车辆在曲线上的偏倚量计算简图如图 1-4 所示。有转向架的车辆在曲线上运行时，由于转向架心盘的中心向线路曲线内方偏倚，带动车体都向曲线中心移动。因此，车





## 第二节 城市轨道交通车辆发展概况

### 一、国外城市轨道交通车辆概况

国外城市轨道交通车辆已投入运营的主要有三种类型：地铁车辆、轻轨车辆和高架独轨车辆。

#### 1. 地铁车辆

国外地铁车辆发展方向有以下几个特点：

1) 提高车辆最高运行速度。如巴黎地铁车辆初期最高运行速度为 80km/h，平均运行速度为 23.7km/h，近年来已将通过地面时地铁车辆的最高速度提高到 100km/h，平均运行速度达到 50km/h。莫斯科地铁车辆最高运行速度由 90km/h 提高到 100km/h，平均运行速度达到 41km/h。纽约地铁车辆最高运行速度由 70km/h 逐步提高到通过地面时的 130km/h。1974 年 R—44 型地铁车辆的最高速度达到 133km/h。日本地铁车辆在地下最高速度为 70~80km/h，到地面行驶的最高速度已达到 120km/h，如东京地铁 3000 系、5000 系车辆最高速度都是 120km/h。

2) 发展交流传动车辆。早期地铁车辆是蒸汽牵引，1890 年改为电力牵引后一直采用直流电动机牵引，由凸轮变阻调速控制，后来发展到斩波器调速控制。20 世纪 90 年代由于电力电子技术和微机控制技术的迅猛发展，大功率自关断元器件（GTO、IGBT、IPM）走向产品化和实用化，变频变压调速控制（VVVF）技术迅速发展，交流传动车辆广泛应用于城市轨道交通。日本东京、大阪、名古屋等城市地铁从 1991 年开始，新造地铁车辆全部采用 IGBT 或 IPM 的 VVVF 交流传动装置。法国巴黎地铁和德国法兰克福地铁新造车辆也开始采用交流传动车辆。英国、俄罗斯、美国、韩国、墨西哥、西班牙等国家城市轨道交通都在订购交流传动车辆。

3) 发展不锈钢车和铝合金车。美国最早由巴德公司生产了不锈钢车，纽约地铁大部分是不锈钢车。20 世纪 60 年代初日本从美国引进不锈钢车体技术，从 1962 年开始生产日本最早的南海电铁 6000 系，京王电铁 3000 系和东急电铁 7000 系地铁车辆，截至 1998 年日本不锈钢车辆约占总车辆的 60% 左右。加拿大、韩国等国家地铁也都使用了不锈钢车。

铝合金车于 20 世纪初开始生产，法国于 1896 年将铝合金用于铁路客车车窗上，1905 年英国铁路电动车的外墙板采用了铝合金，美国在 1923~1932 年间有 700 辆电动车和客车的侧墙和车顶采用铝合金材料。20 世纪 60 年代以来，德国科隆、波恩市郊电动车和慕尼黑地铁车体也采用了铝合金。日本从 20 世纪 80 年代先后在 6000 系、7000 系、8000 系等地铁车辆上采用了铝合金；意大利米兰地铁和奥地利维也纳地铁以及新加坡地铁都应用了铝合金车辆。

4) 发展空调车辆。纽约地铁自 1976 年第一列装有空调的 R—38 型地铁列车投入使用以来，到 1992 年 95% 的地铁列车都安装了空调。到 1997 年，东京地铁车辆中空调车占全部车辆总数的 50% 左右。

5) 车辆的模块化设计和生产。世界上生产地铁车辆和轻轨车辆的主要制造商是西门子公司、阿尔斯通公司、庞巴迪公司以及日本的东急等公司。它们从 20 世纪 90 年代开始进行