

# 城市轨道交通 车辆构造

主 编 李广军 倪志江  
副主编 王汝佳 王 宇  
王志坚 李玉怡

· 成 都 ·

# 前 言

中国城市轨道交通的快速发展，对专业技术人才的需求越来越大，国内很多非铁路行业的高校都陆续开办了城市轨道交通学院及相关本科专业，培养急需的城市轨道交通专业技术人才。但是关于城市轨道交通车辆构造方面的本科教材相对较少，特别缺乏典型的车辆工程课程设计案例。为了满足上述需求，在江苏理工学院汽车与交通工程学院、常州大学机械与轨道交通学院领导和同事们的支持下，专业教师联合编写了《城市轨道交通车辆构造》一书。

本书主要适用于城市轨道交通相关专业，是一本实用性很强的专业课教材，重点介绍城市轨道交通车辆构造的基本原理和结构、车辆动力学基础以及轨道车辆零部件课程设计过程的典型案例。每章后面都有思考题，在附录中提供了关于轨道不平顺数值模拟仿真程序资料，以便于在教学和学习中参考。

通过本书的学习，学生应具备掌握城市轨道交通车辆基本构造以及能够进行车辆零部件设计的能力，具体要求为

(1) 熟练掌握城市轨道交通车辆的基本组成和构造；熟悉掌握车辆主要部件的工作原理。

(2) 熟悉城市轨道交通车辆零部件机械设计的步骤和方法；熟练掌握车辆零部件的软件绘制过程。

(3) 熟悉城市轨道交通车辆动力学的基础知识；熟悉车辆动力学相关的软件数值仿真方法。

李广军、倪志江负责全书的组织、统稿和修订。李广军编写第1章；倪志江负责编写第3章和第4章；王志坚和倪志江联合编写第2章，李广军和李玉怡联合编写第5章，李广军、王汝佳和王宇联合编写第6章。

江苏理工学院贝绍轶教授对本书大纲及全书进行了审定，并对本书的编写提出了诸多宝贵意见。本书的编写也得到了江苏理工学院汽车与交通工程学院、常州大学机械与轨道交通学院全体同仁的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者  
2020年6月



# 目 录

1	城市轨道交通车辆基础知识	7
1.1	城市轨道交通发展概况	7
1.2	城市轨道交通车辆基础知识	11
1.3	小 结	23
	复习思考题	23
2	车体车门	错误!未定义书签。
2.1	车 体	错误!未定义书签。
2.2	车 门	错误!未定义书签。
2.3	小 结	错误!未定义书签。
	复习思考题	错误!未定义书签。
3	转向架与制动装置	错误!未定义书签。
3.1	概 述	错误!未定义书签。
3.2	构 架	错误!未定义书签。
3.3	轮对轴箱装置	错误!未定义书签。
3.4	弹簧装置及减振器	错误!未定义书签。
3.5	牵引连接装置	错误!未定义书签。
3.6	传动装置	错误!未定义书签。
3.7	基础制动装置	错误!未定义书签。
3.8	地铁及轻轨车辆转向架	错误!未定义书签。
3.9	小 结	错误!未定义书签。
	复习思考题	错误!未定义书签。
4	车辆连接装置	错误!未定义书签。
4.1	车钩缓冲装置简介	错误!未定义书签。
4.2	车 钩	错误!未定义书签。
4.3	缓冲装置	错误!未定义书签。
4.4	附属装置	错误!未定义书签。
4.5	贯通道及渡板	错误!未定义书签。
4.6	小 结	错误!未定义书签。

复习思考题 .....	错误!未定义书签。
5 城轨车辆动力学基础 .....	错误!未定义书签。
5.1 车辆动力学概述 .....	错误!未定义书签。
5.2 城轨车辆的振动形式 .....	错误!未定义书签。
5.3 引起城轨车辆振动的原因 .....	错误!未定义书签。
5.4 车辆运行评定及其评估标准 .....	错误!未定义书签。
5.5 车辆通过曲线时的舒适性和磨耗性能 .....	错误!未定义书签。
5.6 轮对的蛇行运动 .....	错误!未定义书签。
5.7 列车运行时的空气流 .....	错误!未定义书签。
5.8 小 结 .....	错误!未定义书签。
复习思考题 .....	错误!未定义书签。
6 城轨车辆课程设计 .....	错误!未定义书签。
6.1 有限元简介 .....	错误!未定义书签。
6.2 车辆车轴课程设计 .....	错误!未定义书签。
6.3 车辆制动盘课程设计 .....	错误!未定义书签。
6.4 抗侧滚扭杆课程设计 .....	错误!未定义书签。
6.5 车辆转向架构架课程设计 .....	错误!未定义书签。
6.6 小 结 .....	错误!未定义书签。
附录 1 基于频域功率谱的轨道不平顺数值模拟程序 .....	错误!未定义书签。
附录 2 平稳性指标程序 .....	错误!未定义书签。
附录 3 抗侧滚扭杆柔性系数 $S$ 公式中参数含义 .....	220
参考文献 .....	错误!未定义书签。

# 1 城市轨道交通车辆基础知识

近年来，随着我国城市化进程的不断加快，作为城市公共交通重要组成部分的轨道交通系统正逐渐走进人们的生活。根据中国城市轨道交通协会数据，截至 2019 年 12 月 31 日，中国内地已开通城轨交通线路长度共计 6 730.27 km。其中，地铁 5 187.02 km，轻轨 255.40 km，单轨 98.50 km，市域快轨 715.61 km，现代有轨电车 405.64 km，磁浮交通 57.90 km，自动旅客捷运系统（Automated People Mover systems，APM）10.20 km。

在城市轨道交通系统中，车辆是各专业技术成果的综合载体，也是城市轨道交通系统中最关键的机电设备，其选型和技术参数不仅是界定线路技术标准的基础，也是确定系统运营管理模式和维修方式的基本条件，而且还是系统设备选型和确定设备规模的重要依据。本章将介绍城市轨道交通车辆的发展历程，包括世界车辆的发展史与我国城市轨道交通车辆的现状，并阐述按照不同标准划分的车辆、编组、标识、组成、特点、主要技术参数以及车辆限界等概念。

## 1.1 城市轨道交通发展概况

### 1.1.1 城市轨道交通车辆发展简史

随着经济发展和城市现代化进程的加快，世界各国都面临同样的问题：城市人口迅猛增长、地域不断扩大，原有的城市地面交通无法满足市民日益增长的出行需求，而城市轨道交通在 100 多年来成为了这一矛盾的有效解决手段。

1825 年英国开通第一条铁路，立刻获得了世界列强的青睐，竞相修建。1840—1913 年是世界铁路发展的“黄金时代”，由于铁路机车制造已相当完善，轨道结构也不断改进定型，各国修建铁路的热情日益高涨，铁路发展速度明显加快。1840 年，铁路营业里程 8 000 km，到 1913 年已达 110 万 km。如图 1-1 所示为我国采用电力机车牵引的铁路列车。

世界上第一条城市地下铁路诞生于 1863 年的伦敦，蒸汽机车作为动力装置，但很快被内燃机车取代，1890 年世界上出现了电动机车后，地铁才正式步入了它的黄金时代。最初地铁车辆的车厢是木制的，后来改为钢制的，以减少发生火灾造成的危险。1953 年开通的加拿大多伦多的地下铁路，车厢开始改良为铝制，有效地减少了维修成本和重量（质量）。

在国外，城市轨道车辆产业已有 100 多年的发展历史。目前国际上城市轨道交通装备整车供应商主要分布在欧洲、北美和日本，它们分别采用不同设计和制造标准。



图 1-1 铁路列车

欧洲和北美轨道交通装备整车供应商主要有 3 家：西门子公司（德国）、阿尔斯通公司（法国）（见图 1-2）以及庞巴迪公司（加拿大），占据世界轨道交通装备整车市场份额的 90% 以上。近年来日本日立公司也开始陆续进入轨道交通装备整车供应商行列。



图 1-2 阿尔斯通车辆

国际上轨道交通装备零部件供应商主要有法国的法维莱公司（生产屏蔽门、列车空调和制动系统）、德国的克诺尔公司（生产制动系统）和德国的康尼泰克公司（生产空气弹簧）。

根据所采用电气牵引系统的不同，国际上将城市轨道客车的发展划分为 3 个阶段：20 世纪 50 年代以前，采用直流调速牵引系统的凸轮调阻车；20 世纪 50—70 年代，采用直流调速牵引系统的斩波调压车；20 世纪 70 年代至今，采用交流调速牵引系统的调频调压车。



## 1.1.2 我国城市轨道车辆发展史

中国的城市轨道车辆产业是伴随着我国城市轨道交通的建设而逐渐发展起来的，目前在其制造工艺上较国际水平尚有一定的差距。我国的城市轨道车辆目前大部分以地铁和轻轨车辆为主，从最早期的北京地铁发展至今，大致经历了这样几个阶段：北京 DK 型地铁车辆的时期、外资独资的时期、中外合资和自主开发的时期。

### 1. 北京地铁车辆的 DK 型时代

我国现代城市轨道交通是以 20 世纪 60 年代北京地下铁道建设为开端。1967 年由原铁道部长春客车厂试制完成了 1 列 2 辆编组的 DK1 型凸轮变阻调速北京地下铁道电动客车。1969 年长春客车厂在 DK1 型的基础上进行改进，批量生产了 DK2 型北京地下铁道电动客车，同年 10 月 1 日北京站至苹果园站完成了试运营并通车。DK 是长春客车厂生产的客车代号，从 DK1 出厂到 2007 年为北京环线地铁生产的 DKZ16 下线，经历了 40 年的风雨。

### 2. 外资独资的时期

因为我国城市轨道交通车辆制造业整体水平比较落后，所以上海等城市在地铁筹建初期整体引进国外技术，比如上海地铁一号线 DC01 车辆，采用西门子公司技术。1989 年 5 月，中德双方正式签署了 4.6 亿马克的地铁专项贷款协议书，1990 年 3 月 7 日国务院正式同意，上海地下铁道工程（新龙华站至上海新客站，即今锦江乐园至上海火车站）开工兴建。经过地铁工程建设者不解的努力，1993 年 5 月 28 日，上海地铁第一条线路——1 号线南段（徐家汇—锦江乐园）建成通车。1995 年 4 月 10 日，上海轨道交通 1 号线全线（上海火车站—锦江乐园站）建成通车。这个时期核心技术都是从国外引进，知识产权完全掌握在国外公司手中，给我国车辆制造业的发展造成了极大障碍。同时受车型等客观因素限制，车辆在维修时能够选择的零件种类有限，导致维修费用也十分昂贵。

### 3. 中外合资和自主开发并存的时期

随着对城市轨道交通车辆不断的探索，我国工程师的理解逐步加深。为了克服知识产权等一系列对车辆产业的障碍，我国正在努力自主开发并研制国产车辆。我国城市轨道交通装备制造企业目前主要集中在原南车和北车两大集团公司（现在合并为中车集团公司），车辆制造主要包括中外合资和自主开发两种形式。

#### (1) 中外合资。

城市轨道交通装备中外合作制造的主要方式为国外轨道交通装备企业提供若干核心技术（如牵引控制单元、制动单元、辅助控制单元、空气弹簧二系悬挂等关键核心部件），国内企业进行相关车体、转向架等研发和系统集成。

目前和国外轨道交通装备企业进行合资生产轨道车辆的企业有长春轨道客车股份有限公司，隶属于原北车集团，与庞巴迪公司合作，供天津地铁 1 号线、西安地铁、广州地铁 2、3 号线，上海地铁 9 号线部分车辆等；南京浦镇车辆有限公司，隶属于原南车集团，与阿尔斯通公司合作，提供了上海地铁 3 号线车辆（见图 1-3）、11 号线的 A 型车辆及南京地铁 1 号线车辆等。



图 1-3 上海地铁新型车辆

(2) 自主开发。

中车株洲电力机车有限公司是前中国南车股份有限公司旗下龙头企业，地处南方工业重镇和交通枢纽湖南省株洲市，公司前身为株洲电力机车厂，始建于 1936 年，是中国轨道电力牵引装备主要研制生产基地和城轨交通设备国产化定点企业，享有“中国电力机车之都”的美誉，也是国内唯一的电力机车整车出口企业。近年来，在国内市场上，该公司负责了上海地铁 1 号线的直改交、上海地铁 11 号线、深圳地铁 1 号线(续建)车辆(见图 1-4)等项目；在国际市场上，该公司也正进行向土耳其地铁、马来西亚动车和印度地铁整车出口的生产项目。



图 1-4 深圳地铁 1 号线国产车辆

中车青岛四方机车车辆股份有限公司(四方车辆有限公司)位于中国重要的经济中心

城市和沿海开放城市——青岛，始建于 1900 年，前身是青岛四方机车车辆工厂，是中国南车股份有限公司下属的全资一级子公司，近年来为北京地铁八通线、沈阳地铁、成都地铁 1 号线（见图 1-5）以及广州地铁 1、5、6 号线提供了车辆。



图 1-5 成都地铁 1 号线车辆

目前我国城市轨道交通车辆制造业整体水平比较落后，并且厂家较多且行业缺乏统一标准，因此存在维修工艺复杂、成本高、各子系统之间的接口问题非常复杂等问题。现有地铁城市的轨道车辆基本上都由上述国内外供应商提供，其中以上海地铁的车型为最多（20 余种），几乎覆盖了上述提及的所有供应商。国内建设地铁的城市为响应国家轨道交通装备国产化率达到 70% 以上的中长期发展目标以及出于节约资金、售后服务方便等考虑，目前轨道交通装备采购基本上倾向中外合资及拥有自主开发能力的装备制造企业。

## 1.2 城布轨道交通车辆基础知识

### 1.2.1 城市轨道交通车辆类型

城市轨道交通车辆的供应商较多，导致各个拥有地铁的城市其车辆规格各异。同时，城市轨道交通车辆形式的划分也没有一个十分严格的标准，本书的划分方法主要依据《城市轨道交通工程项目建设标准》（建标 104—2008）及《地铁车辆通用技术条件》（GB7928—2003）。

（1）根据城市轨道交通系统类型对车辆类型进行划分。

根据城市轨道交通的形式，目前车辆大致可以划分为地铁车辆、轻轨车辆、独轨车辆等，分别如图 1-6~图 1-9 所示。这几种车辆的主要技术指标和特征如表 1-1 所示。

表 1-1 各种城市轨道交通车辆的主要技术特征和规格

运能类型	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
------	-----	------	-------	------	-----

系统类型	高运量	大运量地铁	中运量轻轨、独轨	次中运量轻轨、独轨	低运量轻轨
适用车辆类型	A 型车	B 型车和 Lb 型车	C-I、C-III 型车和 Lb 型车	C-II 型车	现代有轨电车
最大客运量/ 单向小时人次	4.5 万~7.5 万	3.0 万~5.5 万	1.0 万~3.0 万	0.8 万~2.5 万	0.6 万~1.0 万
线路形态	隧道为主	隧道为主	地面或高架	地面为主	地面
路用情况	专用	专用	专用	隔离或少量混用	混用为主
站台高低	高	高	高	低(高)	低
车辆宽度/m	3.0	2.8	2.6 (C 型车) 2.8 (Lb 型车)	2.6	2.6
车辆定员/ (站 6 人/m <sup>2</sup> )	310	240	217	220	104~202
最大轴重/t	16	14	11 (C 型车) 13 (Lb 型车)	10	9
最大运行速度/ (km/h)	80~100	80~100	80 (C 型车) 90 (Lb 型车)	70	45~60
平均运行速度 (km/h)	34~40	32~40	30~40	25~35	15~25
轨距/mm	1 435	1 435	1 435	1 435	1 435
额定电压/V	DC 1 500	DC 750	DC 1 500/DC 750	DC 750 (600)	DC 750 (600)
受电方式	架空线	第三轨	架空线/第三轨	架空线	架空线

注：① 广州 3 号线 A 型车设计最高时速为 120 km/h，上海 11 号线北段车辆设计最高时速为 108 km/h。

② 广州地铁 4、5 号线直线电机车辆采用 DC 1 500 V 第三轨供电方式。

③ A、B、C 型车为旋转电机车辆系列，Lb 型车为直线电机车辆系列。

## (2) 根据车体宽度进行划分。

轨道交通列车的长度可以通过车辆编组数量来变化，不同车型车辆的高度也基本接近（一般依据人体的站立高度来设计），因此这不是划分不同车型的参考标准。只有车辆的宽度最具有参考性，不同的宽度满足不同的运能需要，而且宽度一旦成型就无法再改变，因此车辆宽度才是区分不同车型的唯一标准，如表 1-1 所示。根据车辆宽度，车辆类型地铁车辆一般可分为 3 种类型，即 A 车、B 车、C 车。所谓 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。所谓 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。所谓 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。



图 1-6 地铁车辆



图 1-7 轻轨车辆



图 1-8 独轨车辆（跨座式）



图 1-9 独轨车辆（悬挂式）

(3) 按车钩形式地铁车辆分类。

车钩一般也有 3 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“※”。

(4) 按车辆的牵引控制系统划分，分为直流、交流变压、变频车辆等。

(5) 按车体材料划分，分为不锈钢车、铝合金车和耐候钢车辆等。

(6) 按受电方式划分，分为受电弓车、第三轨受流器车及受电弓加受流器车辆等。

(7) 按电压等级划分，分为直流 1 500 V 和直流 750 V 两种类型。

## 1.2.2 城市轨道交通车辆编组方法及标识

由于城市轨道交通车辆是运载乘客的工具，应满足乘客对乘车舒适、准时的要求，所以要在综合考虑各项因素后对车辆整体进行科学的编组。而标识是指对车辆及其设备进行标记或编号。为了车辆运用和检修等情况下管理和识别的方便，必须对车辆进行标识。但是，由于城轨车辆仅运行在各城市相对固定的线路上，目前我国没有统一的车辆标识规定，因而用户和制造商一般都参照国外成熟的做法，车辆的标识方法也比较类似。

### 1. 编组方法

按照预期的目的，将各独立的车辆连接起来，成为一个运行体，就称为车辆编组。车辆编组一般应考虑线路坡度、运营密度、站间距离、舒适度、安全可靠、工程投资、客流大小等因素。例如，必须满足单向高峰小时断面客流量的需要；兼顾信号系统设备所能达到的行车密度（或行车间隔），即系统设计能力；既满足高峰时的客流要求，又能提高平时的车辆满载率，实现节能和降低运营成本；考虑编组对初、近、远期客流变化的适应能力；结合运行交路的设计，选择车辆编组，实现经济、合理、高效。

为了编组运营的需要，一般地铁列车由不同类型的车辆通过两个相对的同型号车钩相连而成车组。车为固定搭配，若再与 A 车相连则称为一个单元，比如动、拖混编采用“四动加两拖”或“六动加两拖”的连接方式。例如，上海地铁列车根据客流预测，设计成开通时为六节编组成一列车，其中 B 车和 C 车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※C=B※C=A—”；而八节编组的列车其编组形式为：“—A=B※C=B※C=B※C=A—”。

### 2. 编 号

由于世界城市轨道交通车辆编号的方法各不相同，这里只介绍上海申通地铁集团有限公司制定的车辆编号方法，并不具有代表性和通用性。如图 1-10 所示为上海地铁 1 号线早期 6 节编组车辆的编号方法。“01”代表上海轨道交通 1 号线，“175”是序列号，“1”代表 A 车。除此之外，转向架与轴也有相应的编号。

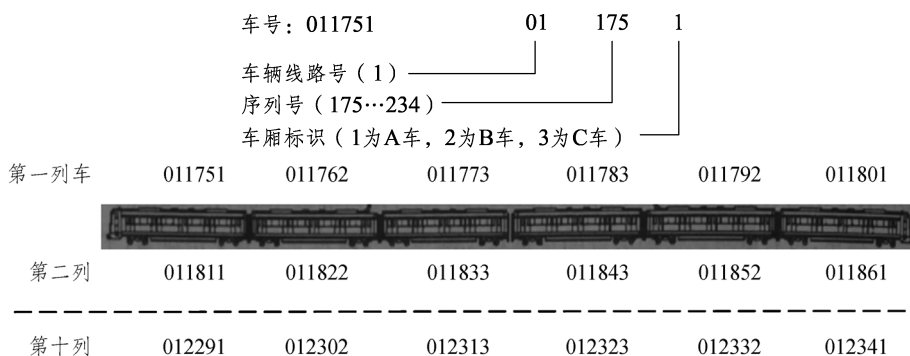


图 1-10 上海地铁 1 号线早期六节编组车辆编号方法

### 3. 标 识

车辆标识定义采用 DIN2500 的德国工业标准，下面以上海地铁某线路车辆为例。

#### (1) 车辆车端的定义。

车端：每节车厢都有 2 个车端，分别定义为 1 位端和 2 位端。每节车厢的 1 位端按如下定义：乘客站在任何一节车厢内，面朝本单元列车的司机室方向，则该乘客的前方车端为该车厢的 1 位端，而另一端就是 2 位端，如图 1-11 (a) 所示。

#### (2) 车辆、列车车侧的定义。

车辆车侧：人立于车辆的 2 位端，面向 1 位端，则人的右侧就称为该车辆的右侧，人的左侧也称为该车辆的左侧，如图 1-11 (b) 所示。

列车的车侧的定义：与车辆的车侧定义是不同，列车的车侧的定义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 1-11 (c) 所示。

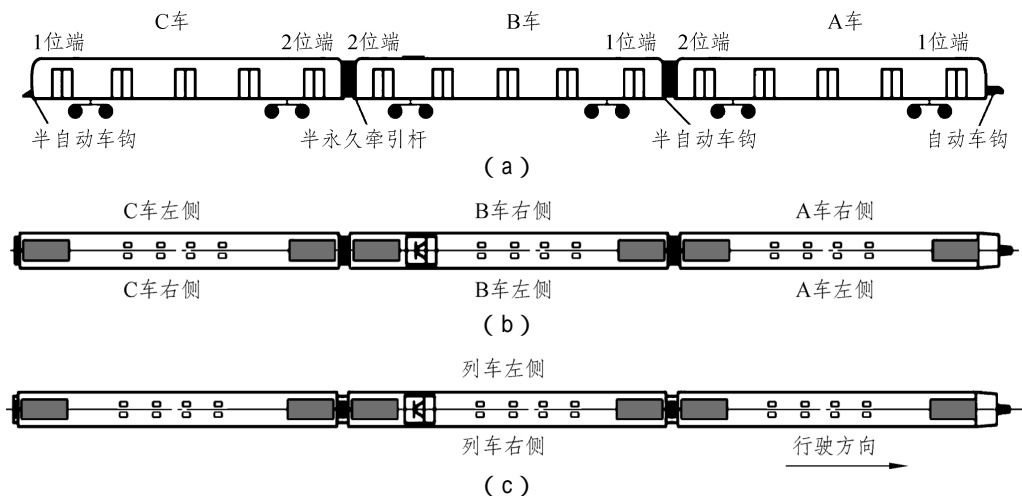


图 1-11 车辆的车端定义

(3) 转向架和轴的编号。每辆车的转向架都分为转向架 1 和转向架 2。转向架 1 在车辆的 1 位端，转向架 2 在车辆的 2 位端。每辆车的 4 根轴从 1 位端开始至 2 位端，依次连续编号轴 1 至轴 4。

#### (4) 车门和门页的编号。

门页的编号：自 1 位端到 2 位端，沿着每辆车的左侧为由小到大的连续奇数，即 1、3、5、7、9、11、...、17、19；右侧为由小到大的连续偶数，即 2、4、6、8、10、12、...、18、20。车门的编号则由该车门页的号码合并：自 1 位端到 2 位端，左侧车门的编号为 1/3、5/7、9/11、...、17/19，而右侧车门的编号为 2/4、6/8、10/12、...、18/20，如图 1-12 所示。

#### (5) 座椅编号。

由于车辆的生产厂家采用不同的技术以及设计方式，且此前没有明确的标准，导致城市轨道交通车辆的座椅分布及编号都不尽相同，例如上海轨道交通 9 号线采用庞巴迪公司生产的车辆，每节车有 8×6 个座椅纵向排列在车辆内部的两侧，每 6 个座椅采用一个编号来进行车辆装配及维修。自 1 位端到 2 位端，这些座椅的编号是按照左侧奇数、右侧偶数的形式 1 号到 8 号进行排列的，如图 1-13 所示。

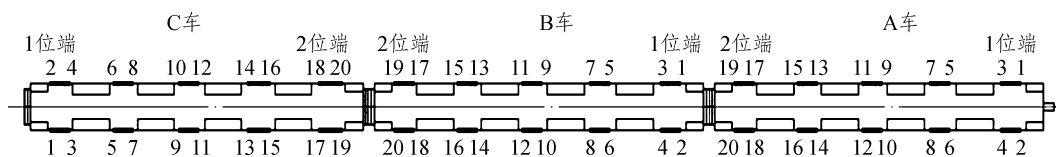


图 1-12 车门编号

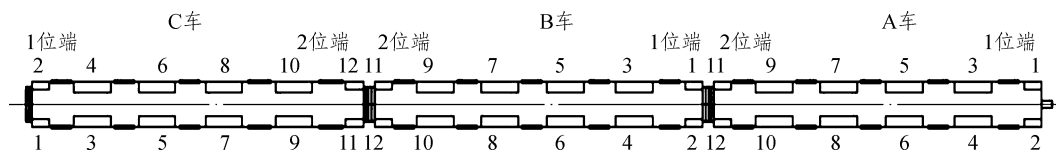


图 1-13 座位编号

#### (6) 空调单元编号。

每辆车的车顶安装有两个空调单元。位于 1 位端的空调单元称作空调单元 I，位于 2 位端的空调单元称作空调单元 II。

#### (7) 其他编号与标记。

车窗、扶手、立柱、吊环、照明灯、指示灯、扬声器等设备也采用同样的编号方法。而车辆的重量（质量）、顶车位置、应急设备位置等必须用相关符号或文字在规定位置做出明确的标记。

### 1.2.3 城市轨道交通车辆特点及组成

#### (1) 城市轨道交通车辆特点。

城市轨道交通车辆是技术含量较高的机电设备，也是城市轨道交通工程中最关键的设备。其技术参数不仅是界定线路技术标准的基础，同时也是确定系统运营管理模式和维修方式的基本条件，而且还是系统设备选型和确定设备规模的重要依据。各城市的城市轨道交通车辆结构和性能不尽相同，但是它们都尽可能地结合城市各自的特点，以满足城市交通容量大、安全、快速、舒适、美观、节能和环保的要求，并具有先进性、可靠性和实用性。

#### (2) 城市轨道交通车辆组成。

城市轨道交通车辆基本由车体、车门、车辆连接装置、车辆走行装置、制动系统、牵引系



统、辅助设备（包括辅助电源、通风和空调设备、照明设备）和列车控制系统等组成。

## 1.2.4 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，一般可分为性能参数与主要尺寸两大类。

### 1. 车辆性能参数

#### (1) 自重、载重。

车辆自重是指车辆本身的全部质量；车辆载重是指车辆允许的正常最大装载质量。

#### (2) 构造速度。

构造速度是指车辆基于按照安全及结构强度的考虑，设计时所允许的车辆最高行驶速度。车辆的实际运行速度一般不允许超过构造速度。

#### (3) 轴重。

轴重是每根车轴允许负担的最大总质量，它包括轮对自身的质量。

#### (4) 最小曲线半径。

最小曲线半径是指车辆在站场或厂、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。车辆通过曲线最小半径的大小与车辆的运行速度有关。

#### (5) 速度。

速度参数包括最大启动速度、平均启动加速度和最大制动减速度。

#### (6) 冲击率。

冲击率由于工况改变引起的列车中各车辆所受到的纵向冲击。在城轨车辆中，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，用加速度变化率来衡量。

#### (7) 列车平稳性指标。

车辆平稳性是评定旅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，通常以平稳性指标表示。

#### (8) 座椅数及每平方米地板面积站立人数。

此参数与列车大小尺寸相关，也与设计的服务水平相关。

#### (9) 每延米轨道载重。

它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。城市轨道交通车辆该参数按设计任务书规定。

### 2. 车辆的主要尺寸

#### (1) 车体的长、宽和高。

车体的长、宽和高又有车体外部和内部的区别。车体内部的长、宽和高必须满足乘客舒适乘坐的要求，而车体外部的长、宽和高应符合车辆限界的要求。车体外部（内部）长度是指车体两端墙板外（内）表面间的水平距离；车体外部（内部）宽度是指车体两侧墙板外（内）表面的水平距离；车体外部（内部）高度是指由地板下（上）平面至车顶中央

部位外（内）表面间的垂直距离。

(2) 车辆的长、宽和高。

车辆的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；车辆的宽度是指车辆两侧的最突出部之间的水平距离；车辆的高度是指空车时，车体上外表面至轨面的垂直距离。

(3) 车辆最大宽度。

车体横断面上最宽部分的尺寸。

(4) 车辆最大高度。

最大高度指车辆顶部最高点与钢轨顶面之间的距离。通常需说明与最高点相关的结构，如有无空调、受电弓的状态等。

(5) 车辆定距（又称转向架中心距）。

同一车辆的两转向架回转中心之间的距离。

(6) 固定轴距。

同一转向架的两车轴中心线之间的距离，如图 1-14 所示为车辆几个主要尺寸的关系示意图。

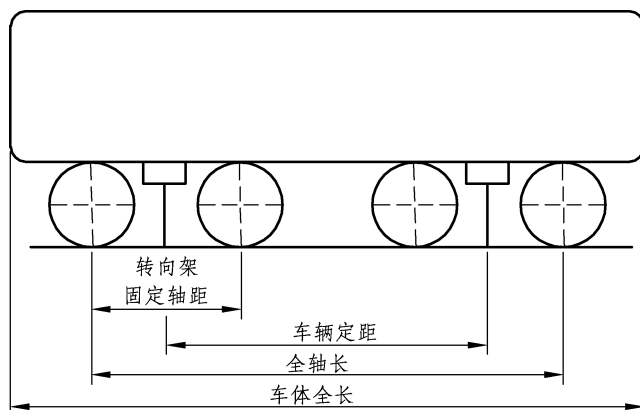


图 1-14 车辆主要尺寸关系示意图

(7) 车钩高。

车钩高是指车钩连接面中点至轨面的高度，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以及不会发生脱钩事故所必备因素，不同车型车钩高有所差异。

(8) 地板面高度。

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，指新造或修竣后空车的数值。它受到两方面的制约，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，规定车辆地板面应与站台高度相协调。不同车型地板面高度有所差异。

## 1.2.5 城市轨道交通车辆限界

车辆限界是指一个限制车辆横断面最大允许尺寸的轮廓图形，无论空车还是重车停在

水平直线时，该车所有一切突出部分和悬挂部分，都应容纳在限界轮廓之内；而规定该限界的目的在于防止车辆在直线和曲线运行时，与各种建筑物及设备发生接触。这里重点介绍地铁限界和轻轨限界。

基准坐标系是与轨道线路的纵向中心线垂直的平面内的二维直角坐标，该坐标的第一坐标轴与两钢轨在名义位置且无磨损时的顶面相切，第二坐标轴垂直于前者，并与左右两钢轨的名义位置等距离。如图 1-15 所示为地铁限界的示意图，从基准坐标系的原点开始，地铁限界由内而外主要包括车辆限界、设备限界、建筑限界以及间隙 1 和间隙 2 个部分。每种限界和间隙均在城市轨道交通系统中起着重要的作用。

地铁车辆限界是基准坐标系中的一个轮廓线，是车辆在正常运行状态下形成的最大动态包络线。在具有最不利公差及摩擦时（包括两次维修期间所发生的尺寸偏差）车辆在运动中处于最不利位置，涉及由各要素引起的车辆各部位的统计最大偏移均应容纳在轮廓内。地铁设备限界是基准坐标系中位于车辆限界外的一个轮廓线，是用以限制设备安装的控制线。除另有规定外，建筑物及地面固定设备的任一部分，即使涉及它们的刚性和柔性运动，均不得向内侵入此限界，接触轨限界属于设备限界的辅助限界。地铁建筑限界是基准坐标系中最外侧的一个轮廓线，是在设备限界基础上，考虑了设备和管线安装尺寸之后的最小有效断面。它规定了地下铁道隧道的形状、尺寸、位置，地下车站及站台位置及地面建筑物（包括接触网支柱、声屏障和站台屏障门等）的位置，涉及施工误差、测量误差及结构永久变形在内，任何永久性建筑物均不得向内侵入此限界。间隙 1 主要作为未计及因素的安全留量，按照界限制定时的某些规定偏移量也计入此间隙。间隙 2 应能安排各种固定设备如电缆线、消防水管等。

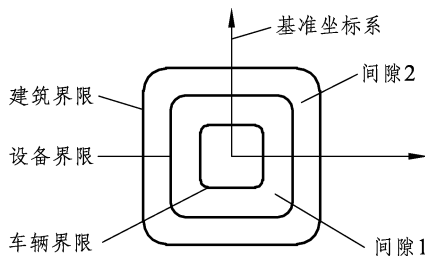


图 1-15 地铁限界示意图

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，无须考虑安全距离。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按车体、转向架、受电弓（第三轨受流器）3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) 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. 车辆在曲线上偏倚量的计算

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作车辆偏倚。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。

如图 1-16 所示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间隙，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，弧  $gg_1$  为曲线线路中心线。

由  $\triangle D_1CB_1 \square \triangle B_1CD$ ，得

$$D_1C / CB_1 = CB_1 / CD$$

因  $D_1C = DD_1 - DC = 2R - \alpha_1$ ，而且  $CB_1 = BB_1 / 2 = S / 2$ ，故得

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

$$\frac{S^2}{4} = 2R\alpha_1 - \alpha_1^2 \quad (1-2)$$

因  $\alpha_1$  数值很小，可略去不计，故得

$$\alpha_1 = \frac{S^2}{8R} \quad (1-3)$$

在  $\triangle AOC$  中，由  $AO^2 = AC^2 + CO^2$ ，即

$$(R + \beta_1)^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 + (R - \alpha_1)^2 \quad (1-4)$$

展开后，可得

$$R^2 + 2R\beta_1 + \beta_1^2 = \frac{L^2}{4} + R^2 - 2R\alpha_1 + \alpha_1^2 \quad (1-5)$$

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

$$2R\beta_1 = \frac{L^2}{4} - 2R\alpha_1 \quad (1-6)$$

$$\beta_1 = \frac{L^2 - 8R\alpha_1}{8R} \quad (1-7)$$

将式 (1-3) 值代入，得

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

在车体长度、固定轴距和线路半径已知的情况下，由式 (1-3) 和式 (1-8) 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

$$\frac{S^2}{8R} = \frac{L^2 - S^2}{8R} \quad (1-9)$$

$$\frac{L}{S} = \sqrt{2} \approx 1.4 \quad (1-10)$$

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。

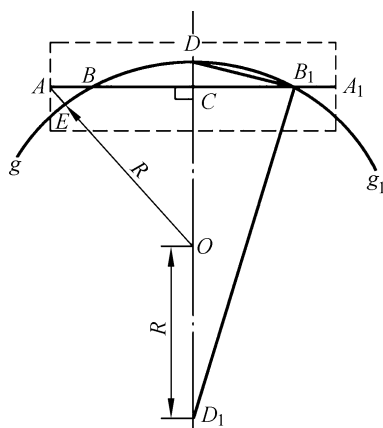


图 1-16 二轴车辆在曲线上的偏倚量计算简图

(2) 有转向架的车辆在曲线上的偏倚量的计算。

有转向架的车辆在曲线上的偏倚量计算简图如图 1-17 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，车辆中部的偏倚量增加，两端的偏倚量减少。从图中可见，转向架下心盘中心向线路曲线中心内方偏倚量  $\alpha_2$  可根据式 (1-2) 和 (1-3) 求得

$$\alpha_1 = \frac{S_1^2}{8R} \quad (1-11)$$

式中， $S_1$  为转向架固定轴距。因为曲线半径很大，故  $\alpha_2$  可视为整个车辆向曲线中心的移动量。于是，具有转向架的车辆中央部分的内偏倚量为

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{S^2}{8R} + \frac{S_1^2}{8R} = \frac{S^2 + S_1^2}{8R} \quad (1-12)$$

式中， $S$  为有转向架车辆两心盘中心线间的水平距离（即车辆定距）。有转向架的车辆端部的外偏倚量为

$$\beta = \beta_1 - \alpha_2 = \frac{L^2 - S^2}{8R} - \frac{S_1^2}{8R} = \frac{L^2 - S^2 - S_1^2}{8R} \quad (1-13)$$

式中， $L$  为车体长度。

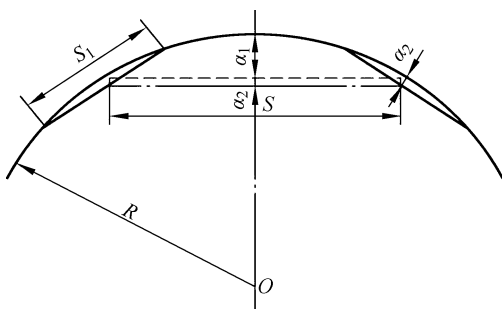


图 1-17 有转向架的车辆在曲线上的偏倚量计算简图

#### 4. 轻轨限界

轻轨限界的划分要比地铁限界简单，同样从基准坐标系原点开始，由内向外依次为车辆轮廓限界、车辆接近限界和设备接近限界，如图 1-18 所示。车辆轮廓限界应根据车体横断面和车辆下部设备外轮廓各点所规定的纵横坐标值。车辆接近限界是以车辆样车的构造和有关的参数为依据，例如，考虑车辆弹簧挠度和各项间隙、误差、磨损等技术参数的影响，对车辆在运行中可能出现的各种工况所产生的横向偏移量和垂直偏移量进行分析计算，得出各点  $X$ 、 $Y$  坐标值。车辆接近限界：车辆在具有最不利的公差和磨损情况下，并计及车辆在运行中最不利位置所引起的最大偏差，均应容纳在该轮廓之内。设备接近限界：计及轨道的轨距等出现最大允许误差时引起车辆的附加偏移量，以及在设计、施工、运营中尚未预计到的因素在内的安全留量，建筑物及地面固定设备的任一部分，均不得向内侵入此限界。

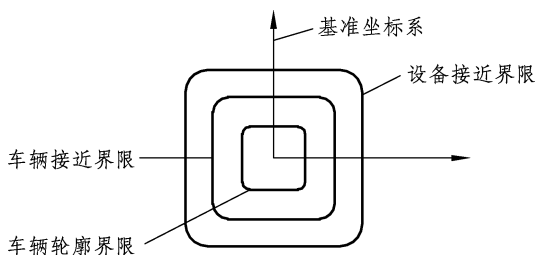


图 1-18 轻轨限界示意图

### 1.3 小结

本章对城市轨道交通车辆类型、编组方法、标识、特点、组成、技术参数及车辆限界这些概念进行了介绍，并阐述了城市轨道交通车辆的编组方法及标识，最后给出车辆在曲线上偏移量的计算方法。

#### 复习思考题

- (1) 世界轨道交通装备中整车供应商都有哪些厂家？
- (2) 我国城市轨道交通车辆的设计和制造标准主要是从哪里引进的？

- (3) 城市轨道交通车辆的性能参数和主要尺寸有哪些？
- (4) 描述城市轨道交通车辆的类型和组成。
- (5) 城市轨道交通车辆限界是如何确定的？
- (6) 车辆在曲线上偏倚量是如何计算的？