

城市轨道交通车辆

课程设计

● 主编 李广军 张兰春



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

02012

城市轨道交通车辆

课程设计

· 主编 王明 副主编 王明

中国铁道出版社

内 容 简 介

本书在介绍城市轨道交通车辆基本结构和工作原理的基础上,重点引出典型的车辆零部件设计方法及其步骤,同时详细地介绍了轨道车辆构架、电源箱及地铁车辆双人座椅等零部件的设计方法,课后辅以相关的课程设计习题供学生加以练习。本书先修课程为城市轨道交通车辆构造、城市轨道交通车辆制动技术、城市轨道交通车辆理论,后续课程为生产实习、毕业设计等。本书主要适用于本科院校城市轨道交通相关专业,是一本实用性很强的专业课教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆课程设计 / 李广军, 张兰春主编
--北京: 北京理工大学出版社, 2022. 11 (2023. 1 重印)

ISBN 978-7-5763-1837-1

I. ①城… II. ①李… ②张… III. ①城市铁路-铁路车辆-高等学校-教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 209118 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68944723(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 11

字 数 / 253 千字

版 次 / 2022 年 11 月第 1 版 2023 年 1 月第 2 次印刷

定 价 / 36.00 元

责任编辑 / 李 薇

文案编辑 / 李 硕

责任校对 / 刘亚男

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

随着城市轨道交通的快速发展，很多高校都开办了城市轨道交通相关专业，以培养急需的人才。目前城市轨道交通车辆工程方面的教材已出版很多，但大多以理论为主，而与城市轨道交通车辆零部件设计相关的本科应用型教材还未见到。本书在介绍城市轨道交通车辆基本结构和工作原理的基础上，重点引出典型的车辆零部件设计方法及其步骤。同时详细地介绍了轨道车辆构架、电源箱以及地铁车辆双人座椅等零部件的设计方法，课后辅以相关的课程设计习题供学生加以练习。本书先修课程为城市轨道交通车辆构造、城市轨道交通车辆制动技术、城市轨道交通车辆理论，后续课程为生产实习、毕业设计等。

通过对本书的学习，学生应掌握城市轨道交通车辆零部件设计与开发的能力，具体要求是：

(1) 掌握城市轨道交通车辆的基本组成和工作原理。

(2) 掌握城市轨道交通车辆零部件的设计步骤和方法；熟练掌握 CATIA 软件操作方法，从而能够对地铁零部件进行三维建模，并利用有限元方法对其进行分析。

(3) 掌握人机工程学在城市轨道交通车辆零部件设计中的应用。

本书由李广军和张兰春任主编，冀雯宇、倪志江、刘永星和王汝佳任副主编。具体编写分工如下：李广军编写第 1 章和第 5 章，张兰春编写第 7 章，冀雯宇编写第 3 章和第 4 章，倪志江编写第 2 章，李广军、刘永星和王汝佳联合编写第 6 章。李广军和张兰春负责全书的组织、统稿和改稿。

本书在编写过程中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、无锡学院轨道交通学院诸多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
2022 年 7 月



目 录

第 1 章 城市轨道交通车辆概述.....	(1)
1.1 城市轨道交通发展概况	(1)
1.2 城市轨道交通车辆基础知识	(5)
1.3 小结	(17)
第 2 章 车体和车门	(18)
2.1 车 体	(18)
2.2 车 门	(23)
2.3 小 结	(29)
第 3 章 转向架	(30)
3.1 转向架的作用与构成	(30)
3.2 构 架	(31)
3.3 轮对与轴箱	(32)
3.4 弹性悬挂装置	(35)
3.5 抗侧滚扭杆	(38)
3.6 减振器	(38)
3.7 牵引连接装置	(39)
3.8 牵引传动装置	(40)
3.9 小 结	(40)
第 4 章 制动系统	(41)
4.1 概 述	(41)
4.2 制动方式的分类	(42)
4.3 我国常用的电空制动机	(47)
4.4 我国城轨车辆制动技术的现状	(50)
4.5 小 结	(51)
第 5 章 城轨车辆设计技术	(52)
5.1 车辆设计概念	(52)
5.2 机车车辆总体设计原则及内容	(54)
5.3 车体结构设计	(56)
5.4 转向架的总体设计原则及设计要求	(57)
5.5 小 结	(59)

第6章 城轨车辆课程设计	(60)
6.1 CATIA 软件简介	(60)
6.2 有限元简介	(65)
6.3 城轨车辆转向架构架课程设计	(65)
6.4 城轨车辆电源箱课程设计	(93)
6.5 小 结	(122)
第7章 城轨车辆客室内饰零部件课程设计	(125)
7.1 设计方案	(125)
7.2 人机工程学原理	(126)
7.3 地铁双人座椅设计与建模	(132)
7.4 座椅舒适度评价	(147)
7.5 座椅模型有限元分析	(155)
7.6 模态分析	(160)
7.7 小 结	(165)
参考文献	(166)



第1章

城市轨道交通车辆概述

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2021年年底,中国内地共有50个城市累计开通城市轨道交通运营线路283条,运营线路总长度9 206.8 km。其中,地铁运营线路7 209.7 km,占比78.3%;其他制式城轨交通运营线路1 997.1 km,占比21.7%。

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,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(简称城轨车辆)的发展历程,包括世界城轨车辆的发展史与我国城轨车辆的现状,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 国际城市轨道交通车辆发展史

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,原有的地面交通无法满足市民日益增长的出行需求,而轨道交通成为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。1840年—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,世界铁路营业里程为8 000 km,到1913年已达110万 km。图1-1所示为我国采用电力机车牵引的铁路列车车头。

1863年,世界上第一条城市地下铁路诞生于英国伦敦,最初地铁以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害。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，有效地减少了车厢的质量和维修成本。



图 1-1 我国采用电力机车牵引的铁路列车车头

在国外，城轨车辆产业已有一百多年的发展历史。目前，国际上的城市轨道交通装备整车供应商主要分布在欧洲、北美洲和日本，它们分别采用不同的设计和制造标准。

欧洲和北美洲轨道交通装备整车供应商主要有 3 家：德国西门子公司、法国阿尔斯通公司（其生产的列车见图 1-2）和加拿大庞巴迪公司，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 阿尔斯通公司生产的列车

国际上的城市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,国际上将城轨车辆的发展划分为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 我国城市轨道交通车辆发展史

我国的城轨车辆产业是伴随着城市轨道交通的建设而逐渐发展起来的,目前在制造工艺上较国际水平尚有一定的差距。我国的城轨车辆目前大部分以地铁和轻轨为主,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并存的时期。

1. 北京DK型地铁车辆的时期

我国现代城市轨道交通以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

因为早期我国城轨车辆产业整体水平不发达,所以上海等城市在地铁筹建初期整体引进国外技术,如上海地铁1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,即今锦江乐园站至上海火车站站)开工兴建。经过地铁工程建设者的不懈努力,1993年5月28日,上海地铁第一条线路——1号线南段(徐家汇站—锦江乐园站)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,给我国城轨车辆产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

随着对城轨车辆的不断探索,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城轨车辆产业的障碍,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(现已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

城市轨道交通装备制造中外合作制造的主要方式为国外轨道交通装备制造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、转向架等研发并系统集成。

目前和国外轨道交通装备制造企业进行合资生产城轨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,提供了天津地铁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 3 号线车辆

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（南车集团）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，该线车辆见图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位于中国重要的经济中心城市和沿海开放城市——山东省青岛市，始建于1900年，前身是青岛四方机车车辆工厂，是中国中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（该线车辆见图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

我国现有城轨车辆基本上由上述国内外供应厂商提供，其中以上海地铁的车型为最多（二十余种），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和出于节约资金、售后服务方便等考虑，目前轨道交通装备采购基本上倾向于中外合资及拥有自主开发能力的装备制造企业。

1.2 城市轨道交通车辆基础知识

1.2.1 城市轨道交通车辆类型

城轨车辆的供应商较多，导致我国各个拥有地铁的城市的车辆规格各异。同时，城轨车辆形式的划分没有一个十分严格的标准，本书的划分方法主要依据建标 104—2008《城市轨道交通工程项目建设标准》及 GB/T 7928—2003《地铁车辆通用技术条件》。

(1) 根据城市轨道交通的形式进行划分。

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。各种城轨车辆的主要技术指标和特征如表 1-1 所示。

表 1-1 各种城轨车辆的主要技术指标和特征

项目	运能类型				
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
系统类型	高运量地铁	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

续表

项目	运能类型				
	I级	II级	III级	IV级	V级
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/人 (站6人/m ²)	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 ⁻¹)	80~100	80~100	80(C型车) 90(Lb型车)	70	45~60
平均运行速度 (km·h ⁻¹)	34~40	32~40	30~40	25~35	15~25
轨距/mm	1435	1435	1435	1435	1435
额定电压/V	DC 1500	DC 750	DC 1500/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 1500 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。



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）

(2) 根据车体宽度进行划分。

城轨车辆的长度可以通过编组数量来变化,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,城轨车辆一般可分为 3 种类型,即 A 型车、B 型车、C 型车。

(3) 按车钩形式分类。

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分类,分为直流或交流变压、变频车辆等。

(5) 按车体材料分类,分为不锈钢车辆、铝合金车辆和碳素钢车辆等。

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

(7) 按电压等级分类,分为 DC 1 500 V 和 DC 750 V 两种类型。

1.2.2 城市轨道交通车辆编组方法及标识

由于城轨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,因此要在综合考虑各项因素后对车辆整体进行科学的编组。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,因此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,使其成为一个运行体,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,一般城市轨道交通车辆分为动车、拖车等多种形式。有电动机和传动装置的车辆称为动车,而没有电动机和传动装置的车辆称为拖车。动车又分为无司机室(用 M 表示)、有司机室(用 Mc 表示)及有受电弓(Mp)几种情况;拖车又可分为无司机室(用 T 表示)和有司机室(用 Tc 表示)两种情况。地铁车辆编组,都采用动、拖车混编的方式,一般采用“四动加两拖”或“六动加两拖”的连接形式。例如,6 节编组: Tc-Mp-M-M-Mp-Tc; 8 节编组: Tc-Mp-M-Mp-M-M-Mp-Tc 或者 Tc-Mp-M-Mp-M-Mp-M-Tc。

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

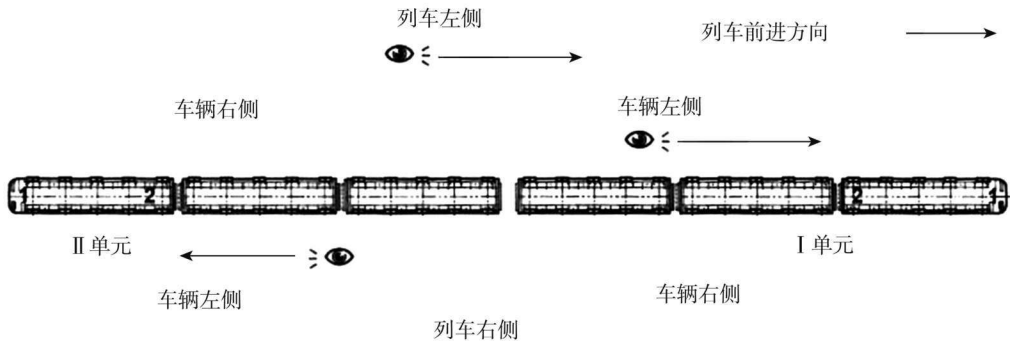


图 1-12 车辆、列车车侧的定义

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，如图 1-13 所示。

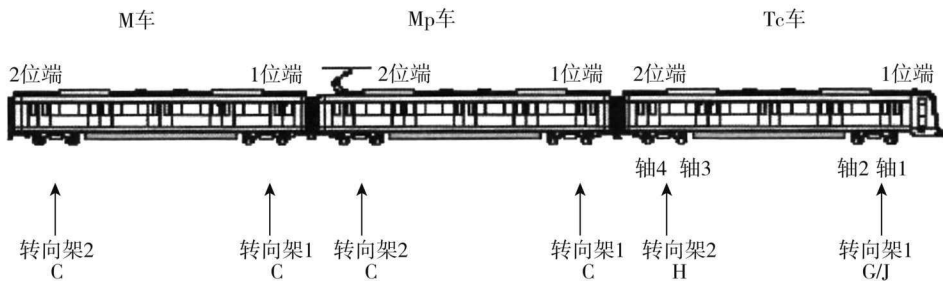


图 1-13 转向架和轴的编号

4) 门页和车门的编号

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。

5) 座椅的编号

由于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，因此城轨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、右侧偶数的形式由 1 号到 8 号进行排列的。

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

城轨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，还是系统设备选型和确定设备规模的重要依据。各城市的城轨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

城轨车辆基本由车体、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城轨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. 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，二者均以 t（吨）为单位。

2) 构造速度

构造速度是指车辆基于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，以 t（吨）为单位。

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

速度参数包括最大起动速度、平均起动加速度和最大制动减速度。

6) 牵引纵向冲击率

牵引纵向冲击率是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

座椅数及每平方米地板面积站立人数与列车大小尺寸相关，也与设计的服务水平相关。