

现代有轨电车系列丛书

# 现代有轨电车 车辆系统

中车唐山机车车辆有限公司 组编  
王贵国 张华 臧晓艳 付稳超 等编著



- ◎ 现代有轨电车项目决策参考
- ◎ 现代有轨电车系统解决方案
- ◎ 现代有轨电车工程建设实施指导



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

现代有轨电车系列丛书

# 现代有轨电车车辆系统

中车唐山机车车辆有限公司 组编

王贵国 张 华 臧晓艳 付稳超 陈彦宏  
付一娜 李 辉 李 霞 刘 博 刘东坡  
刘娟娟 刘 康 刘 宇 裴春兴 王海娜  
许红梅 于文学 张 博 赵红军

编著



机械工业出版社

由于我国在现代有轨电车领域的发展相对滞后,尤其在车辆领域,没有成体系的理论和文件,迫切需要对车辆进行更多的研究,本书作为“现代有轨电车系列丛书”的分册,将充分剖析和阐述现代有轨电车的发展历程、车辆各组成部件的工作原理、车辆检修情况、车辆领域的科技成果,为车辆研发设计人员、高校车辆工程专业、运营管理人员提供学习与借鉴。

本书概略地介绍了现代有轨电车的发展历程以及当前国内外应用现状,充分反映了现代有轨电车车辆领域的最新科技成果,全面系统地介绍了车辆各组成部分的基本概念、结构、性能、工作原理以及车辆检修情况,适合轨道车辆研发、设计、运营管理等人员阅读,也可以作为轨道车辆专业师生的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

现代有轨电车车辆系统/王贵国等编著. —北京:机械工业出版社,2018.1

(现代有轨电车系列丛书)

ISBN 978-7-111-58531-2

I. ①现… II. ①王… III. ①有轨电车-系统工程 IV. ①U482.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第295442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:何月秋 责任编辑:何月秋 王彦青

责任校对:王延 封面设计:马精明

责任印制:孙炜

北京中兴印刷有限公司印刷

2018年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.25印张·362千字

标准书号:ISBN 978-7-111-58531-2

定价:85.00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

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

## “现代有轨电车系列丛书” 编写委员会

---

主 任 吴胜权

副主任 黄振晖 王贵国

委 员 (排名不分先后, 按拼音排序)

曹 源	常胜利	董伟力	付稳超	杲晓锋
赫宏联	黎冬平	李 虎	刘威伟	孙桐林
王冬卫	王艳荣	王兆家	杨雪峰	臧晓艳
张 华	张建华	张天白	赵 云	周福林

## “现代有轨电车系列丛书” 审查委员会

---

主 任 侯志刚

委 员 周军年 尹叶红 陈 亮 黄烈威 周新远

王文平 郭良金 李 娇 叶 彬 王洪奇

杨 光 甄大伟 张晓海



# 序

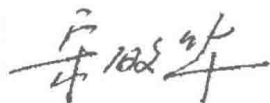
---

当前，我国城镇化进程正在不断推进，随着城市数量和规模的不断扩大，交通拥堵、环境污染、能源短缺等问题也日益突出，大力发展城市轨道交通已成为大多数城市的共识。现代有轨电车作为一种现代化交通方式，已在欧洲成功实现复兴，并逐渐成为当前国内关注的热点，许多城市都开始积极规划和建设有轨电车，天津泰达、上海浦东、沈阳浑南新区和苏州高新区等已相继开通了现代有轨电车系统。

《国务院关于城市优先发展公共交通的指导意见》中明确的总体发展目标是：科学研究确定城市公共交通模式，根据城市实际发展需要合理规划建设以公共汽（电）车为主体的地面公共交通系统，包括快速公共汽车、现代有轨电车等大容量地面公共交通系统，有条件的特大城市、大城市有序推进轨道交通系统建设。有别于传统有轨电车，现代有轨电车在控制、牵引供电和车辆技术上进行了更新，其载客量适中、安全舒适、快速便捷、节能降噪特点更加凸显，是城市轨道交通中低运量的典型制式，适合于大城市轨道交通网络的补充，中小城市和新规划城市的城市公共交通的骨干交通。因此，现代有轨电车将在我国迎来更大的发展。

现代有轨电车已被证明是一种成熟、安全的技术，但与所有交通制式一样，现代有轨电车自有其适用范围，过度夸大它的作用和放大它的缺点都不是科学的做法，唯有扎实做好基础工作才能保障现代有轨电车持续、健康地发展。但我国现代有轨电车的相关工作还比较薄弱，存在着缺少建设实施标准、缺乏规划建设统筹和功能定位界定不清等问题，迫切需要更多的研究来推动相应产业和技术的发展。

本系列丛书是对2016年出版的《城市现代有轨电车工程基础》的进一步完善，更加深入地介绍了现代有轨电车工程的理论体系，包括前期规划设计、商务合作模式、建设施工、通信信号工程、机电工程、车辆制造和运营管理等内容。书中内容更加翔实，对人们全面系统地了解现代有轨电车系统及其配套工程具有较高的参考价值。



中国城市轨道交通协会副会长兼秘书长  
中国城市轨道交通协会现代有轨电车分会会长



# 前言

随着人口的膨胀和城市化进程的加快，交通拥挤、环境污染等“城市病”已成为制约城市进一步发展的瓶颈。世界各国的经验表明，发展大容量轨道交通是解决城市交通问题的重要方向。20世纪70年代以来，有轨电车新技术取得了突破性进展，现代有轨电车在世界范围内掀起了复兴建设热潮，成为重要的轨道交通制式之一。我国城市轨道交通正处于大规模快速发展时期，这从根本上为现代有轨电车的发展提供了长效需求。国家“十二五”规划《纲要》指出：“科学制定城市轨道交通技术路线，规范建设标准，有序推进轻轨、地铁、有轨电车等城市快速交通网络建设”。国家发展和改革委员会依据其课题研究成果向国务院上报发展政策建议，支持中等城市发展现代有轨电车。目前国内沈阳、苏州、大连、南京、长春、上海、天津、广州、青岛、淮安等多个城市陆续建成现代有轨电车并通车运营，运营总里程超过180km。据初步预测，至2020年，国内现代有轨电车规划里程将超过2000km。可以预见的是，未来二三十年，现代有轨电车在我国将迎来重要的发展机遇期。

我国城市轨道交通正处于大规模快速发展时期，这从根本上为现代有轨电车的发展提供了长效需求。国内从事现代有轨电车研发、生产的企业已有多家，通过引进、吸收、自主创新等途径创造出了显著业绩，总体上看，我国现代有轨电车发展前景辉煌。

由于我国在现代有轨电车领域的发展相对滞后，尤其在车辆领域，没有成体系的理论和文件，迫切需要对车辆进行更多的研究，充分剖析和阐述现代有轨电车的发展历程、车辆各组成部件的工作原理、车辆检修情况、车辆领域的科技成果，为车辆研发设计人员、高校车辆工程专业、运营管理人员提供学习与借鉴。

本书概略地介绍了现代有轨电车的发展历程以及当前国内外应用现状，充分反映了现代有轨电车车辆领域的最新科技成果，全面系统地介绍了车辆各组成部分的基本概念、结构、性能、工作原理以及车辆检修情况，适合轨道车辆研发、设计、运营管理等人员阅读，也可以作为轨道车辆专业师生的参考书。

本书共12章，由王贵国、张华、臧晓艳负责统稿，付稳超、刘康、许红梅、李辉、刘博、裴春兴、赵红军、刘东坡、陈彦宏、李霞、刘娟娟、刘宇、于文学、张博、王海娜、付一娜参加了编写。第1章主要介绍现代有轨电车的基本特征、分类、车辆型式以及发展历程（王贵国编写）；第2章主要介绍现代有轨电车的车体结构、内装组成以及驾驶室、车门、座椅、车窗等设备（刘宇、刘娟娟、李霞、于文学编写）；第3章主要介绍转向架的作用、分类以及其关键部件（陈彦宏、刘东坡编写）；第4章主要介绍铰接装置、车钩、防爬吸能装置和贯通道等车端连接装置（赵红军编写）；第5章主要介绍牵引系统的分类以及受电弓、高速断路器、避雷器、牵引逆变器和牵引电动机等牵引系统（裴春兴、王海娜编写）；第6章主要从制动方式、制动模式、电空制动和液压制动等方面对制动系统进行系统介绍

(许红梅编写);第7章主要介绍辅助逆变器、充电机和蓄电池等辅助供电系统(刘康、付稳超编写);第8章主要介绍照明系统、火灾报警系统和乘客信息系统等辅助电气系统(刘康、张博编写);第9章主要介绍驾驶室和客室空调系统、通风系统和供暖系统(臧晓艳、刘博编写);第10章主要介绍网络通信系统的发展、组成、TCMS功能、HMI结构与设计及信号控制系统(李辉编写);第11章主要介绍车辆检修管理体制、检修制度以及日常维护、定修、架修和厂修(张华、付一娜编写);第12章主要从现代有轨电车的使用趋势和市场前景方面对其关键技术进行展望(王贵国编写)。

在编写本书时参考了国内外发表的部分文章、资料和书籍,编者在此对有关作者表示诚挚的谢意。同时,对所有给予该书的指导、支持和帮助的同志们表示感谢!

编者



# 目 录

序

前言

第 1 章	现代有轨电车概述 .....	1
1.1	现代有轨电车的定义及特征 .....	1
1.1.1	现代有轨电车的定义 .....	1
1.1.2	现代有轨电车的基本特征 .....	2
1.1.3	现代有轨电车与其他公交形式的比较 .....	3
1.2	现代有轨电车的分类及主要车辆型式 .....	3
1.2.1	现代有轨电车的分类 .....	4
1.2.2	现代有轨电车的主要车辆型式 .....	7
1.3	现代有轨电车的发展及应用 .....	9
1.3.1	有轨电车的发展历程 .....	9
1.3.2	国外现代有轨电车的应用现状 .....	11
1.3.3	国内现代有轨电车的应用现状 .....	16
第 2 章	车体及内装设备 .....	22
2.1	车体 .....	22
2.1.1	车体的作用 .....	22
2.1.2	车体的分类 .....	22
2.1.3	车体的特征 .....	22
2.1.4	车体的类型 .....	23
2.1.5	车体的材料 .....	24
2.1.6	车体的结构 .....	25
2.1.7	其他 .....	26
2.2	内装 .....	26
2.2.1	内装的组成及结构 .....	27
2.2.2	地板的组成 .....	28
2.2.3	侧墙板的组成 .....	31
2.2.4	顶板的组成 .....	32
2.2.5	防寒材料的组成 .....	33
2.3	驾驶室 .....	35
2.3.1	外罩及骨架 .....	35



2.3.2	风窗玻璃	37
2.3.3	驾驶室的电气设备	38
2.3.4	刮水器	39
2.3.5	遮阳帘	40
2.3.6	驾驶室座椅	40
2.3.7	其他	40
2.4	车门	41
2.4.1	车门的功能	41
2.4.2	塞拉门的特点及工作原理	43
2.4.3	塞拉门的组成及主要部件	43
2.5	客室座椅	46
2.5.1	座椅的分类	47
2.5.2	座椅的组成	47
2.5.3	乘坐的舒适性	48
2.6	客室车窗	48
2.6.1	车窗的分类	48
2.6.2	车窗的组成	48
<b>第3章</b>	<b>转向架</b>	<b>51</b>
3.1	转向架的作用	51
3.2	转向架的分类及特点	51
3.2.1	常规种类 100%低地板有轨电车转向架的类型及特点	51
3.2.2	特殊种类低地板有轨电车转向架的类型及特点	57
3.3	100%低地板有轨电车转向架的关键部件	61
3.3.1	构架	61
3.3.2	轮对轴箱装置	63
3.3.3	悬架装置	66
3.3.4	驱动装置	68
3.3.5	牵引装置	71
3.3.6	附件装置	71
<b>第4章</b>	<b>车端连接装置</b>	<b>74</b>
4.1	铰接装置	74
4.1.1	铰接装置的功能	74
4.1.2	铰接装置的类型	75
4.2	车钩缓冲装置	77
4.3	防爬吸能装置	79
4.4	贯通道	80
<b>第5章</b>	<b>电力牵引装置</b>	<b>82</b>
5.1	牵引的分类	82
5.1.1	供电的类型	82

5.1.2	直流环节的分类	83
5.1.3	电平数的分类	84
5.1.4	驱动类型的分类	85
5.1.5	牵引电动机的分类	86
5.1.6	控制方式的分类	87
5.2	牵引系统的组成	89
5.2.1	受电弓	90
5.2.2	高速断路器	93
5.2.3	避雷器	95
5.2.4	牵引逆变器	96
5.2.5	牵引电动机	97
<b>第6章</b>	<b>制动系统</b>	<b>99</b>
6.1	制动系统概述	99
6.2	制动方式	100
6.2.1	电制动	100
6.2.2	机械制动	100
6.2.3	磁轨制动	101
6.3	制动模式	102
6.4	计算机控制直通电空制动系统	104
6.4.1	制动的指令发生及传输系统	105
6.4.2	制动的控制系统	105
6.4.3	制动功能	105
6.4.4	电空制动的作用原理	107
6.5	液压制动系统	107
6.5.1	制动电子控制单元 (BECU)	107
6.5.2	液压控制单元 (HCU)	108
6.5.3	蓄能器	110
6.5.4	油泵电动机控制模块	110
6.5.5	基础制动	111
6.5.6	速度传感器	112
6.5.7	辅助缓解装置	112
6.5.8	磁轨制动装置	113
6.5.9	撒砂装置	114
6.5.10	制动系统控制	114
<b>第7章</b>	<b>辅助供电系统</b>	<b>116</b>
7.1	概述	116
7.1.1	系统组成	116
7.1.2	工作原理	118
7.1.3	安装方式	118

7.2	辅助逆变器 .....	119
7.2.1	系统组成 .....	119
7.2.2	工作原理 .....	120
7.2.3	技术要求 .....	121
7.2.4	电路型式 .....	122
7.3	充电机 .....	124
7.3.1	系统组成 .....	124
7.3.2	工作原理 .....	125
7.3.3	设计要求 .....	126
7.3.4	电气参数 .....	126
7.4	蓄电池 .....	127
7.4.1	系统组成 .....	127
7.4.2	工作原理 .....	127
7.4.3	性能指标 .....	128
<b>第8章</b>	<b>辅助电气系统 .....</b>	<b>130</b>
8.1	照明系统 .....	130
8.1.1	外部照明系统 .....	130
8.1.2	内部照明系统 .....	132
8.2	火灾报警系统 .....	135
8.2.1	火灾报警系统的安装 .....	135
8.2.2	火灾报警系统的功能 .....	136
8.2.3	火灾报警系统的工作原理 .....	137
8.3	乘客信息系统 .....	138
8.3.1	乘客信息系统的安装 .....	139
8.3.2	乘客信息系统的组成 .....	140
8.3.3	车载广播系统 .....	140
8.3.4	驾驶员对讲及乘客紧急报警系统 .....	142
8.3.5	车载多媒体信息播放系统 .....	142
8.3.6	车载视频监视系统 .....	144
<b>第9章</b>	<b>空调及供暖系统 .....</b>	<b>145</b>
9.1	空调及供暖系统概述 .....	145
9.1.1	乘客温热舒适度要求 .....	145
9.1.2	空调系统的特点及要求 .....	146
9.1.3	空调系统的组成、原理及类型 .....	147
9.2	空调系统 .....	150
9.2.1	驾驶室空调系统 .....	150
9.2.2	客室空调系统 .....	152
9.3	通风系统 .....	156
9.3.1	通风系统的组成 .....	157

9.3.2	通风系统的工作原理	159
9.4	供暖系统	160
<b>第 10 章</b>	<b>网络通信系统</b>	<b>162</b>
10.1	网络通信概述	162
10.1.1	网络通信系统的发展	162
10.1.2	网络通信系统的组成	163
10.1.3	TCMS 的功能	165
10.1.4	HMI 的结构与设计	170
10.2	信号控制系统	172
10.2.1	信号控制系统的组成	173
10.2.2	路权信号的控制	177
<b>第 11 章</b>	<b>车辆的检修</b>	<b>178</b>
11.1	车辆的运行、检修管理体制	178
11.1.1	车辆的运行、检修流程及其评估	178
11.1.2	车辆的运行、检修工作管理模式	180
11.1.3	车辆的检修模式	181
11.2	车辆的检修制度	186
11.2.1	现代有轨电车检修指导综述	186
11.2.2	国外车辆检修情况	187
11.2.3	国内车辆检修修程	188
11.3	车辆的日常维护	189
11.3.1	日检工艺过程 and 操作方法	189
11.3.2	周检工艺过程 and 操作方法	194
11.3.3	月检工艺过程 and 操作方法	196
11.3.4	临修	199
11.4	车辆的定修	199
11.4.1	定修的工艺组成	200
11.4.2	定修的工艺特点和作用	203
11.5	车辆的架修和厂修	203
11.5.1	架修和厂修的性质及目标	203
11.5.2	架修和厂修的工艺	204
<b>第 12 章</b>	<b>现代有轨电车发展展望</b>	<b>216</b>
12.1	现代有轨电车的应用发展	216
12.1.1	现代有轨电车的使用趋势	216
12.1.2	现代有轨电车的市场前景	216
12.2	现代有轨电车关键技术展望	217
12.2.1	绿色技术解决方案	217
12.2.2	智能技术解决方案	220
12.2.3	人文技术解决方案	223
<b>参考文献</b>		<b>231</b>



# 第 1 章

## 现代有轨电车概述

### 1.1 现代有轨电车的定义及特征

#### 1.1.1 现代有轨电车的定义

根据 CJJ/T 114—2007《城市公共交通分类标准》，有轨电车属城市轨道交通系统，英国轨道电车导则给出的有轨电车定义为：有轨电车是一种中运量的城市公共交通系统，轨道铺设在城市道路路面上，车辆依靠驾驶员瞭望运行。路权分为混合路权、半封闭路权和独立路权。运量等级通常为 0.6 万~1.2 万人次/h，运营速度为 15~25km/h。

国际公共交通联合会（UITP）没有给出现代有轨电车的明确定义，但在对轻轨的定义中提及了有轨电车。其对轻轨的定义为：一种电气化的轨道交通运输模式，其形式可以从有轨电车到部分享有专用路权的快速公共交通系统。

美国公共交通协会（APTA）在其交通专业术语（Glossary of Transit Terms）中也没有对现代有轨电车进行明确定义，但指出轻轨也可以叫作有轨电车。APTA 对轻轨的定义是：一种相对于重轨而言运能较低的电气化轨道交通模式，可以使用独立的路权或与交通方式共享路权，是用高站台或低站台上、下客，使用多节车皮组成的列车或单个车辆。可见，UITP 和 APTA 都认为有轨电车是轻轨的一种形式而已，甚至 APTA 认为轻轨就可以叫作有轨电车。

欧洲交通运输部长会议（ECMT）在其 1994 年的报告“轻轨公共交通”中讨论了很多按照传统观点来看属于有轨电车的系统，而且其对轻轨的定义实际上也并不将有轨电车从轻轨中排斥出去。然而在工程实践中，有轨电车与轻轨、地铁采用的建设标准又有显著不同，按不同的轨道交通项目处理。

世界著名的公共交通系统专家美国宾夕法尼亚大学教授 Vuchic 认为：有轨电车首先是一种轨道运输模式，包含 1~3 节车厢，大多数情况下在街面与其他交通模式混行，但有时也通过专用路权或优先通行等措施与其他交通方式分离。

我国没有权威机构对现代有轨电车或者轻轨提出明确的定义。曾有学者对有轨电车、轻轨和地铁从断面运量角度进行了比较笼统的划分，将轨道交通系统划分为三类：小运量系统（4000~8000 人/h），即有轨电车系统；中运量系统（10000~30000 人/h），即轻轨系统；大运量系统（30000~60000 人/h），即地铁系统。但从有轨电车的发展严格来看，该学者提及的有轨电车应当是指老式的不拥有分离路权形式的小运量街面有轨电车。因此并不十分契合

现代有轨电车的概念。

从以上叙述不难看出，目前学界对现代有轨电车的定义还存在模糊的边界。因此，综合有轨电车的发展沿革和国际国内的定义两方面来看，本书将现代有轨电车定义为：采用模块化的现代有轨电车车辆，具有多种路权方式，与地面交通方式以平交为主的中低运量的城市轨道交通系统。

### 1.1.2 现代有轨电车的基本特征

与传统有轨电车不同，现代有轨电车具有节能环保、形象美观、高效灵活、中等运量等特征，已成为一种新型的公交方式。其基本特征如下：

1) 节能环保。现代有轨电车为电力驱动，人均平均能耗约为公交车的 1/4，噪声比汽车低 5~10dB (A)，相对于公共汽车，具有明显的节能环保优势。

2) 形象美观。现代有轨电车流线型车身、可定制的车头、绿化的铺装等，都使其成为城市交通中靓丽的风景线，成为当地的城市名片。

3) 高效灵活。现代有轨电车设计车速为 70km/h，钢轮钢轨车辆最小转弯半径可达 19m，总体上实现速度较高，并在道路上敷设，布线灵活的特点。

4) 中等运量。现代有轨电车标准 4 模块（约 37m）的车辆定员约为 315 人，运能 6000~15000 人次/h，属于中等运量的公交系统。

5) 弹性灵活。现代有轨电车主流厂家都具有较强的设计能力，能够提供订单化服务，车头、车尾、车体尺寸及车体结构的定制灵活性较大，可以满足不同客户的需求。例如中车唐山机车车辆有限公司（简称中车唐山公司）可以定制长度为 19~74m（2~8 个车厢模块）的有轨电车车辆。此外，由于现代有轨电车主流产品都采取了模块化设计，不仅车辆维修保养容易，而且能够较快增加列车车厢、延长列车长度，客运能力具有较大弹性空间，考虑到运能的运用效率及国外实际运营客流情况，现代有轨电车单向可满足 0.6 万~1.5 万人次/h 的客流需求。

6) 多种供电制式。现代有轨电车除了采用传统架空线供电外，在部分景观、空间限制区段，可以采用超级电容或蓄电池供电（仅限局部困难路段）或地面第三轨供电（目前仅限钢轮钢轨），供电电压在 500~900V 波动。

现代有轨电车如图 1-1 所示。

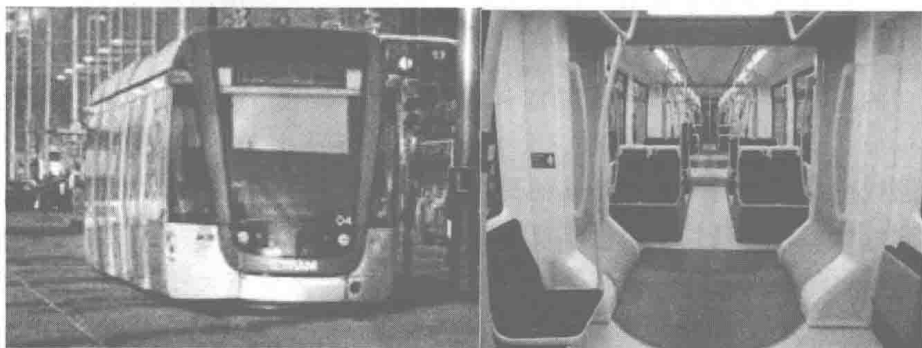


图 1-1 现代有轨电车

### 1.1.3 现代有轨电车与其他公交形式的比较

对比现代有轨电车与地铁、轻轨、快速公交、常规公交等公交方式之间技术特征的区别，主要技术经济特性指标见表 1-1。

表 1-1 现代有轨电车与其他公共交通工具的比较

指标	常规公交	快速公交	现代有轨电车	轻轨	地铁
运营速度/(km/h)	12~15	20~30	20~35	25~40	25~40
运能/(万人/h)	<0.5	0.8~1.2	0.6~1.5	1~3	3~6
造价/(亿元/km)	<0.5	0.5~1.0	0.8~2	3.0~5.0	5.0~8.0
相对建设周期	短	较短	较短	较长	长
车辆折旧率	高	较高	低	低	低
能耗	高	较高	较低	低	低
环境污染	高	较高	低	低	低
路权	共享	部分或专有路权	部分或专有路权	专有路权	专有路权

(1) 与公交系统比较 服务水平达到地铁标准，运力更大，速度更快，使用寿命更长，更低碳环保，乘坐更舒适，准点率更有保证；一次性投资较大，但以 30 年为一个周期，同等条件下，总体投资与公交相近。

(2) 与地铁交通系统比较 工程投资省，建设周期短，公交化运营，运行效率高，费用低，维修方便，审批流程简单；一条地铁的投资就可使有轨电车建成网，建设周期只有地铁的 1/3 左右，且施工工艺简单；运营速度、能耗、环保等方面与地铁相近。

因此，从与其他公交方式的对比可以看出，现代有轨电车相比快速公交具有运能大、节能环保、舒适性强等特征；相对比地铁和轻轨，具有造价低、建设周期短的优势。在现代有轨电车发展中，需要充分发挥这些优势。

## 1.2 现代有轨电车的分类及主要车辆型式

现代有轨电车车辆在传统的有轨电车基础上进行了彻底的技术革新：走行部方面不仅继承了传统有轨电车钢轮钢轨的制式，而且引入了橡胶轮与导向轨的技术，增加了胶轮+导向轨的制式，非动力转向架采用独立旋转车轮，降低了车辆入口处的地板面，整个车辆内部可以达到 70%低地板和 100%低地板，改善了乘客的上下车条件；动力性能方面电气传动系统采用 VVVF（变频调速）控制技术，制动系统采用再生、液压、磁轨等多种制动方式，车辆牵引、制动性能有了大幅度提升；供电方式上发展了第三轨、电磁感应、超级电容、蓄电池、燃料电池等多种供电方式，能够很好地实现与周边环境的协调；载客能力方面实现了模块化组装，不仅可以根据客流需求增减车辆模块，必要时还可以两列车连挂运行，提高了系统的运输能力。此外现代有轨电车车辆无论从外形还是涂装上都进行了改善，车辆可以根据城市的特征对车辆外观造型进行专门设计。

### 1.2.1 现代有轨电车的分类

现代有轨电车具有多种类型，根据不同的技术特征和分类标准，有轨电车可以分为多种类型，如图 1-2 所示。

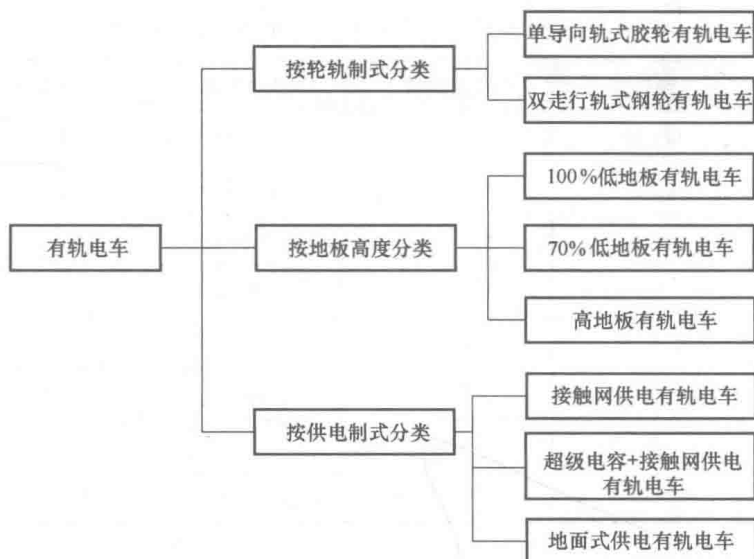


图 1-2 有轨电车的分类

#### 1. 按轮轨制式的分类

从世界范围的应用来看，新型有轨电车按走行轨制式分为单导向轨式胶轮有轨电车、双走行轨式钢轮有轨电车。

(1) 单导向轨式胶轮有轨电车 单导向轨胶轮有轨电车系统由类似道路的行车道和一条引导车辆运行的特殊导轨组成，车辆走行系统与汽车一样为橡胶轮胎，导向轮在导轨的限制下引导车辆运行。导向系统由导向轨、导向单元（V形导轮）等组成。导向轨采用特殊断面形状钢轨固定在混凝土道床内。导向单元由两个倾斜的导轮组成，与导轨成  $45^\circ$  角接触。由于导轮的倾斜和导轮轮缘的特殊形状，能够保证车辆在行驶过程中不会脱轨。单导向轨式胶轮有轨电车为以法国 Translohr 公司独有技术，第一条线路于 2006 年在法国投入运营，目前已有法国克莱蒙费朗、圣德尼·撒塞雷，意大利帕多瓦、威尼斯·美斯特、拉蒂纳，我国天津、上海等数个城市投入使用。胶轮导轨现代有轨电车如图 1-3 所示。

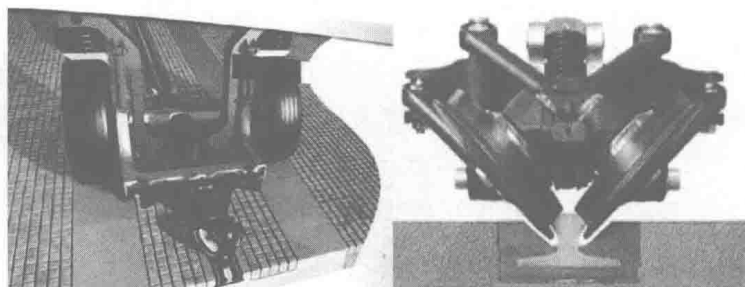


图 1-3 胶轮导轨现代有轨电车



(2) 双走行轨式钢轮有轨电车 双走行轨式钢轮有轨电车采用独立旋转车轮转向架作为走行部分, 导向靠走形钢轨导向, 类似地铁。双走行轨式钢轮有轨电车在世界范围内广泛应用。钢轮钢轨有轨电车如图 1-4 所示。

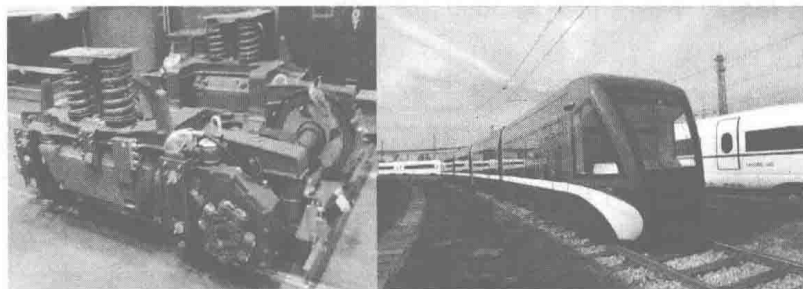


图 1-4 钢轮钢轨有轨电车

(3) 制式比选 目前, 两种制式有轨电车均在国内外得到了较为广泛的应用, 两种制式的主要指标分析详见表 1-2。

表 1-2 两种制式有轨电车的相关指标对比分析

主要指标		双走行轨式 (以 Citadis 系列为例)	单导向轨式 (以 Translohr 系列为例)
运行方式		钢轨上	路面上
供电制式		架空接触网	架空接触网
导向方式		轮轨	中央地下导向
尺寸 /m	车辆长度	22~50	25~46
	车辆宽度	2.3~2.65	2.2
载客量(站位按 4 人/m <sup>2</sup> 算)/人		170~527	178~345
技术 性能	最大速度/(km/h)	70	70
	最大坡度(%)	6	13
	额定供电电压/V	750	750
	最小转弯半径/m	20	11
	最大加速度/(m/s <sup>2</sup> )	1.1	1.3
噪声/ dB(A)	车辆停靠时车位处	62	62
	40km/h 运行时, 车内	71	69
	40km/h 运行时, 车位 7.5m 处	76	78

通过比较两种制式有轨电车, 可知双走行轨式钢轮有轨电车车内空间、载客量比单导向轨式胶轮有轨电车大, 双走行轨式钢轮有轨电车受转向架、钢轮与钢轨间摩擦性能的限制, 在爬坡、转弯、加速、减速方面的性能不如单导向轨式胶轮有轨电车, 两种制式有轨电车内、外噪声比较接近。

对于单导向轨式胶轮有轨电车, 胶轮承担整个车辆的重力, 中间导轨为车辆运行时提供导向, 其对运行道路的路面厚度仅要求 30cm。对于双走行轨式钢轮有轨电车需铺设两条重轨, 其道床厚度一般为 70~100cm。由于单导向轨式胶轮有轨电车对道路路面厚度要求较低, 若利用城市道路改建有轨电车线路时, 采用单导向轨式胶轮有轨电车对城市地下管线的