

现代有轨电车系列丛书

现代有轨电车

建设施工技术与工程管理

中车唐山机车车辆有限公司 组编

孙桐林 赵云 王冬卫 董伟力 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

现代有轨电车建设施工 技术与工程管理

中车唐山机车车辆有限公司 组编

孙桐林 赵 云 王冬卫 董伟力 林发展
赵 峰 任艳阳 王 菲 王 宏 杨佳奇

编著



机械工业出版社

本书以现代有轨电车的发展为切入点,对现代有轨电车建设施工技术与管理进行了系统介绍,并针对建设施工情况提出了一套建设现代有轨电车工程的理论体系和流程,包括路基工程施工、轨道工程施工、桥梁与隧道工程施工、车站工程施工和车辆段施工等,指出了施工中的主要方法和常用的解决方案。本书覆盖面广、内容翔实,对全面、系统地了解现代有轨电车建设施工工程具有较高的参考价值,可以加快促进国内现代有轨电车理论体系的丰富和完善,为我国制定现代有轨电车的建设标准规范和管理政策提供借鉴。

本书适合工程设计、施工、监理、规划以及城市管理等人员阅读,还可作为现代有轨电车工程设计、现代有轨电车专业技术及市场推广人员,以及轨道交通行业研究爱好者、高校轨道交通专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代有轨电车建设施工技术与工程管理/孙桐林等
编著. —北京:机械工业出版社, 2018. 1

(现代有轨电车系列丛书)

ISBN 978-7-111-58525-1

I. ①现… II. ①孙… III. ①有轨电车-电气化铁
道-铁路工程-工程施工②有轨电车-电气化铁道-
铁路工程-工程管理 IV. ①U227

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第304191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 李含杨

责任校对:潘蕊 封面设计:马精明

责任印制:常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.75印张·353千字

标准书号:ISBN 978-7-111-58525-1

定价:79.00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

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

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

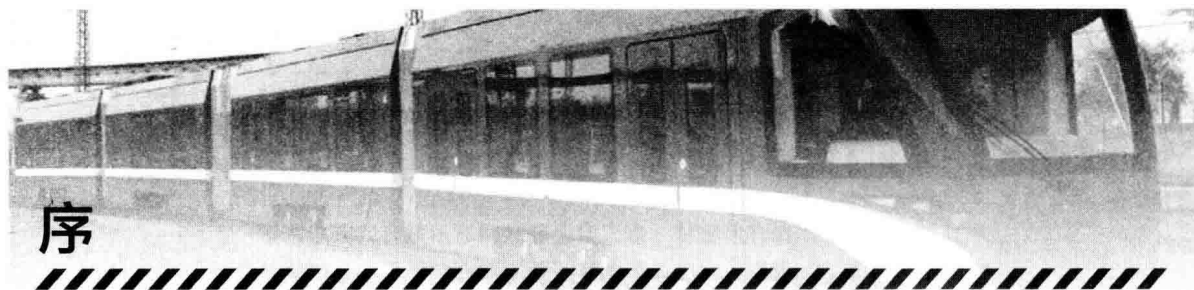
委 员 (排名不分先后, 按拼音排序)

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、环境污染及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。

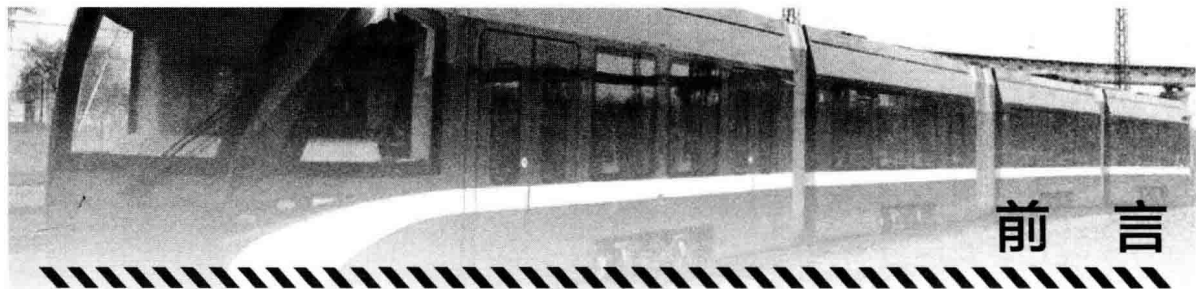
《国务院关于城市优先发展公共交通的指导意见》中明确的总体发展目标是：科学研究确定城市公共交通模式，根据城市实际需要合理规划建设以公共汽（电）车为主体的地面公共交通系统，包括快速公共汽车、现代有轨电车等大容量地面公共交通系统，有条件的特大城市、大城市有序推进轨道交通系统建设。有别于传统有轨电车，现代有轨电车在控制、牵引供电和车辆技术上进行了更新，其载客量适中、安全舒适、快速便捷、节能降噪特点更加凸显，是城市轨道交通中低运量的典型制式，适合于大城市城市轨道交通网络的补充，中小城市和新规划城市的城市公共交通的骨干交通。因此，现代有轨电车将在我国迎来更大的发展。

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的持续健康发展。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。

宋敏华

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



随着人口的增长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 世纪七八十年代以来,现代有轨电车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必要条件,加上国家有序推进轻轨、地铁、现代有轨电车等城市快速交通网络建设,现代有轨电车建设工程尚处于初步阶段:一方面,现代有轨电车建设施工是一个复杂的系统工程,涵盖了规划设计、桥梁、隧道等多个方面;另一方面,现代有轨电车刚刚兴起,目前国内缺少相关建设施工标准,大多数城市跃跃欲试,但存在缺乏大量实际经验数据、标准规范引用不确定等问题,因此急需总结出版一本现代有轨电车建设施工的图书。

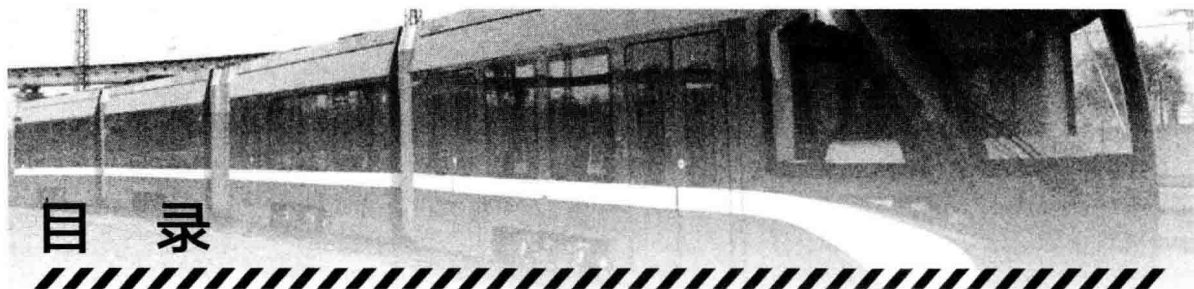
本书以现代有轨电车的发展为切入点,对现代有轨电车建设施工工程进行了系统介绍,并针对其建设施工情况,提出了一套建设现代有轨电车工程的理论体系和流程,包括路基工程施工、轨道工程施工、桥梁与隧道工程施工、车站工程施工和车辆段施工等,适合工程设计、施工、监理、规划以及城市管理等人员阅读,还可作为现代有轨电车工程设计、现代有轨电车专业技术及市场推广人员,以及轨道交通行业研究爱好者、高校轨道交通专业师生的参考书。

本书共 6 章,由孙桐林、赵云牵头组织,王冬卫、董伟力、林发展、赵峰、任艳阳、王菲、王宏、杨佳奇协助编著。第 1 章 现代有轨电车概述,对现代有轨电车系统、发展历史以及施工工程进行了概括介绍(孙桐林编写);第 2 章 路基工程施工,从组成、结构、性质特点及施工方法和要求等方面对路基工程进行了详细介绍(林发展编写);第 3 章 轨道工程施工,主要介绍了轨道工程的构成以及有砟轨道、无砟轨道和无缝线路的施工(王冬卫、赵峰编写);第 4 章 桥梁与隧道工程施工,主要介绍了桥梁与隧道工程的施工,并分别对其施工方式、工艺方法进行了详细描述(董伟力、赵云编写);第 5 章 车站工程施工,对车站工程施工进行了介绍,包括地面、高架及地下三种施工(任艳阳、王菲编写);第 6 章 车辆段施工,从建筑、工艺、给排水、动力与照明和通风空调等方面对车辆段施工进行了详细介绍(王宏、杨佳奇编写)。

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,对所有给予本书指导、支持和帮助的朋友们表示感谢!

由于编者水平所限,遗漏、不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者



目 录

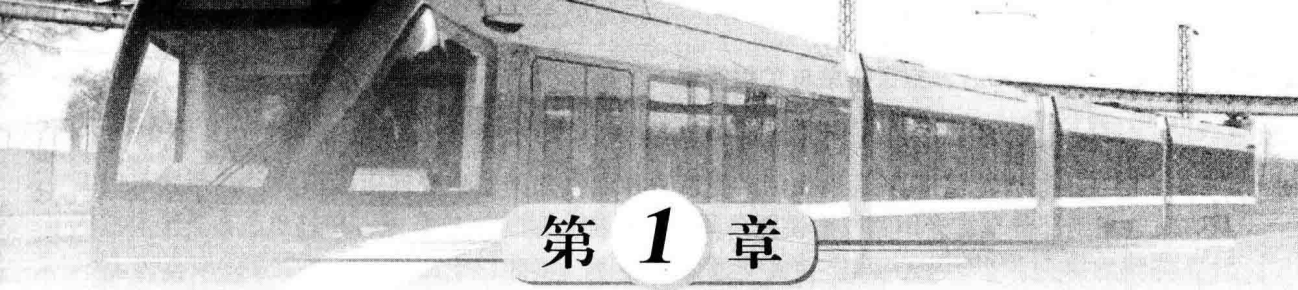
序 前言

第1章 现代有轨电车概述	1
1.1 现代有轨电车系统介绍	1
1.1.1 现代有轨电车概念介绍	1
1.1.2 现代有轨电车的基本特征	2
1.2 现代有轨电车的发展现状	3
1.2.1 国外现代有轨电车的发展现状	5
1.2.2 国内现代有轨电车的发展现状	5
1.3 现代有轨电车施工系统简介	5
第2章 路基工程施工	7
2.1 路基工程介绍	7
2.1.1 路基工程的组成	7
2.1.2 路基工程结构分解	8
2.1.3 路基工程的性质和特点	9
2.1.4 路基的横断面	9
2.1.5 路基的填筑	10
2.1.6 路堑的开挖	11
2.1.7 路基的排水	11
2.1.8 路基的防护	12
2.1.9 路基的支挡结构	13
2.2 路堑施工	14
2.2.1 路堑施工方法	14
2.2.2 路堑施工要求	14
2.3 路堤施工	16
2.3.1 路堤施工方法	16
2.3.2 路堤施工要求	17
2.4 路基地基处理	21
2.4.1 地基处理方法	21
2.4.2 地基处理施工要求	22

2.5 路基防排水	26
2.5.1 路基防排水方式	27
2.5.2 路基防排水施工要求	27
第3章 轨道工程施工	28
3.1 轨道工程的构成	28
3.1.1 城市轨道交通的概念及构成	28
3.1.2 钢轨	29
3.1.3 轨枕	33
3.1.4 扣件	35
3.1.5 道床	39
3.1.6 道岔	43
3.1.7 轨道结构其他附属设备	48
3.1.8 独轨铁路轨道结构	50
3.2 有砟轨道施工	51
3.2.1 人工铺轨方法	51
3.2.2 机械铺轨方法	53
3.2.3 道岔铺设方法	56
3.2.4 有砟轨道上砟整道养护方法	57
3.2.5 营业线轨道铺设方法	58
3.3 无砟轨道施工	60
3.3.1 无砟轨道概述	60
3.3.2 板式无砟轨道的构造	62
3.3.3 双块式无砟轨道的构造	64
3.3.4 长枕埋入式无砟轨道	65
3.3.5 无砟轨道基本施工工序	66
3.3.6 无砟轨道基础施工	66
3.3.7 CA 砂浆的配制与灌注	68
3.3.8 道床板混凝土施工	70
3.3.9 道岔区无砟轨道施工	71
3.3.10 过渡段施工	72
3.3.11 长轨排的组装及架设	73
3.3.12 无砟轨道工程质量的检验标准	73
3.4 无缝线路施工	73
3.4.1 无缝线路概述	74
3.4.2 无缝线路长钢轨的焊接	76
3.4.3 无缝线路的铺设	79
3.4.4 无缝线路的应力放散与调整	81
3.4.5 特殊地段无缝线路	87

第4章 桥梁与隧道工程施工	90
4.1 桥梁基础施工	93
4.1.1 明挖基础施工	93
4.1.2 钻孔灌注桩基础施工	102
4.1.3 沉井基础施工	106
4.2 桥梁墩、台及盖梁施工	113
4.2.1 墩、台身施工	113
4.2.2 盖梁施工	116
4.3 预制混凝土简支梁桥施工	120
4.3.1 预制混凝土简支梁桥的施工特点	120
4.3.2 预制钢筋混凝土简支梁的制作工艺	120
4.3.3 先张法预应力混凝土简支梁的制作工艺	121
4.3.4 后张法预应力混凝土简支梁的制作工艺	124
4.3.5 装配式简支梁的运输与安装	127
4.4 连续梁桥施工	130
4.4.1 逐孔施工法	130
4.4.2 悬臂施工法	134
4.4.3 顶推施工法	139
4.5 隧道工程介绍	143
4.6 明（盖）挖法施工	145
4.6.1 明（盖）挖法的特点与施工工序	146
4.6.2 基坑种类及其对土质的适应性	148
4.6.3 地下连续墙围护结构	150
4.6.4 基坑土钉墙围护结构	154
4.6.5 排桩围护结构	158
4.7 浅埋暗挖法施工	163
4.7.1 浅埋暗挖法概述	164
4.7.2 浅埋暗挖法具体施工方法	165
4.7.3 浅埋暗挖法的初期支护	174
4.7.4 浅埋暗挖的二次支护	176
4.7.5 隧道施工的超前支护	178
4.7.6 监控量测	179
第5章 车站工程施工	182
5.1 车站工程介绍	182
5.2 地面车站施工	186
5.3 高架车站施工	197
5.4 地下车站施工	199
5.4.1 地下车站工程建设的特点	199

5.4.2	明挖地下站施工	199
5.4.3	盖挖法地下车站施工	200
第 6 章	车辆段施工	202
6.1	车辆段建筑	202
6.2	车辆段工艺	207
6.3	车辆段给水排水	212
6.4	车辆段动力与照明	215
6.5	车辆段通风空调	222
参考文献		225



第 1 章

现代有轨电车概述

1.1 现代有轨电车系统介绍

1.1.1 现代有轨电车概念介绍

从 1860 年起,英国的许多大城市先后采用了这种由马牵引的电车。1861 年,伦敦建立了首条电车轨道。

1879 年,德国工程师维尔纳·冯·西门子在柏林的博览会上首先尝试使用电力带动轨道车辆。此后,在俄罗斯的圣彼得堡、加拿大的多伦多等地都进行过开通有轨电车的商业尝试。1887 年,匈牙利的布达佩斯创立了首个电动电车系统;1888 年,美国弗吉尼亚州的里士满也开通了有轨电车。

20 世纪初,路面电车在欧洲、美洲、大洋洲和亚洲的一些城市风靡一时,直至 20 世纪 70 年代以后,以汽车为主导的交通模式所带来的问题日显严重,能源危机、环境污染、土地紧缺及交通拥堵等问题,迫使欧洲发达国家重新将大容量的轨道电车作为发展城市公共交通的重点。由于中小城市无法负担地铁的巨额投资,于是现代有轨电车在欧洲的中小城市中应运而生。1978~2005 年,欧洲有数十座城市发展了现代有轨电车。

现代有轨电车具有运行可靠、舒适、节能及环保等特点,且其技术特性已与轻轨基本无异,许多国家和地区在各大、中城市也开始改建或新增现代有轨电车线路,如法国的斯特拉斯堡、瑞士的日内瓦、西班牙的巴塞罗那以及我国的大连、天津、上海、长春、成都等城市。长春市的 54 路、55 路现代有轨电车作为城市新兴的一种先进的公交方式,已完成了从传统到现代化的转变。2012~2020 年,我国现代有轨电车规划已超过 2600km,工程总投资预计达 3000 亿元,车辆市场规模达 600 亿元,年均需求 75 亿元。现代有轨电车应用以来,以其便捷性、舒适性及美观性得到许多国家和地区政府、市民的青睐与肯定。

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、半封闭路权和路外。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）在其交通术语汇编（Glossary of Transit Terms）中也没有给出现代有轨电车的明确定义，但指出轻轨也可以称为有轨电车。APTA 对轻轨的定义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，使用高站台或低站台上下乘客，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 认为轻轨就可以称为有轨电车。

欧洲交通运输部长会议（ECMT）在其 1994 年出版的《轻轨公共交通》报告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没有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明显不同，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）为有轨电车系统；中运量系统（10000~30000 人/h）为轻轨系统；大运量系统（30000~60000 人/h）为地铁系统。但从有轨电车的发展来看，该学者提及的有轨电车应当是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。

由此不难看出，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、高效灵活、安全舒适、形象美观和中等运量等特征，成为一种新型的公交方式（见图 1-1）。其基本特征如下：



图 1-1 现代有轨电车实景图

（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，噪音比汽车低 5~10dB（A）；相对于公共汽车，具有明显的节能环保优势。

(2) 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为25m, 总体上具有速度较高, 轨道并在道路上铺设、布线灵活的特点。

(3) 安全舒适 由于轨道的束缚, 因驾驶员操作失误导致严重事故的概率比没轨道的车低得多, 即使与其他车辆发生碰撞, 乘客受伤的概率也较低。乘车环境有专门的通道, 不是挤得上去就行, 而是让乘客舒适、体面地出行, 让大部分人有座位。现代有轨电车对运行速度和载员数的限制, 以及现代有轨电车整个运营网络和服务水平的不断提升, 适中的载客量及车内装饰、乘车环境的提升, 也大大地增加了乘坐的舒适性。

(4) 形象美观 现代有轨电车流线型的车身、可定制的车头及绿化的铺装等, 都使其成为城市交通中一条靓丽的风景线, 进而成为当地的城市名片。

(5) 中等运量 现代有轨电车标准5模块(32m)的车辆定员约为300人, 运能在5000~15000人次/h, 属于中等运量的公交系统。

(6) 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, 法国阿尔斯通公司的某个系列, 可以定制长度为22~44m(3~7个车厢模块)、宽度为2.3~2.65m的车辆; 法国劳尔公司的另一个系列也能提供多种长度车辆的选择。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、养护容易, 而且能够较快地增加列车车厢、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0.3万~1.2万人次/h的客流需求。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。

1.2 现代有轨电车的发展现状

有轨电车的发展总体上经历了兴起→衰退→复兴的过程。早在1881年, 在柏林就开通了有轨电车, 之后风靡世界; 但是随着汽车工业的发展, 有轨电车的运能和速度都不具有竞争力, 反而受固定轨道的约束, 从而被逐步淘汰。随着车辆和轨道等技术的发展和更新, 有轨电车在运能、速度、舒适性及外观等方面均有了极大的提升。为与传统有轨电车相区别, 从而称之为现代有轨电车。

在欧洲、北美、大洋洲, 已有100多个城市建成运营现代有轨电车系统, 我国的天津和上海也分别建成有一条胶轮导轨现代有轨电车系统。现代有轨电车已成为公共交通中的重要组成部分。

在人类交通发展过程中, 有轨电车技术的发展大致可分为以下三个阶段。

第一阶段: 19世纪80年代到20世纪30年代, 为快速发展阶段。

自从1881年第一辆城市有轨电车在德国诞生以来, 这种以轨道作为车辆导向的大运量的客运交通工具迅速得到发展。在20世纪20年代, 仅美国的有轨电车线总长达25000km。1908年, 我国第一条有轨电车在上海建成通车, 是我国城市公共交通的一个里程碑; 1909年以后, 在大连、北京、天津、沈阳、哈尔滨和长春等城市都相继修建了有轨电车。到了20世纪30年代, 欧洲、日本、印度和我国的有轨电车有了很大的发展, 成为当时城市公共

交通的主要交通工具。

第二阶段：20 世纪 40 年代到 20 世纪 60 年代，为衰落阶段。

随着汽车工业的迅速发展，有轨电车也发生了变化。西方国家中私人小汽车的数量急剧增长，大量的汽车拥上街头，机动性更好的公交汽车越来越普遍。由于受当时的技术条件限制，旧式有轨电车行驶在道路中间，与其他车辆混合运行，又受路口红绿灯控制，运行速度很慢，正点率低，而且噪声大，加、减速性能较差，有轨电车逐渐被无轨公交车辆所替代。从 20 世纪 50 年代开始，世界各国大城市都纷纷拆除有轨电车线路。到 20 世纪 60 年代末，我国各大城市的有轨电车线路基本拆除完毕，仅剩大连、长春个别线路没有拆除，并一直保留至今。

第三阶段：20 世纪 70 年代至今，为重新定位、恢复发展阶段。

20 世纪 70 年代，由于汽车数量的过度增加，使城市交通又出现了新问题，交通堵塞，行车速度下降，空气和噪声污染严重，已成为现代城市发展中面临的主要问题。为解决以上问题，世界各大城市开始大力发展地下铁道。但是由于地下铁道投资昂贵，建设周期长，给城市公共交通发展带来了新的问题。西方一些经济发达国家，在人口密集的城市，为满足城市公共交通客运量日益增长的需要，结合城市不同区域运量的差异，除考虑修建地下铁道外，又重新把注意力转移到地面轨道交通方式上。他们认为，城市轨道交通的发展应根据城市的特征和运量需求，采取具有不同运能、不同成本的轨道交通模式。着手在改造旧式有轨电车的基础上，利用现代技术，改造和发展有轨电车系统，开发出具有低噪声、低振动、省能源并能高速运行的高性能有轨电车，并考虑与城市的整体环境相协调。于是出现了现代有轨电车系统。

到 20 世纪 80 年代，国际上一些大城市已相继建成了现代化技术很高的现代有轨电车系统。例如：法国的南特市，城市人口约 45 万人，1984 年建成一条自东向西穿过市区的现代有轨电车线路，这也是法国首次建成的第一条现代有轨电车系统，平均旅行速度可达 24km/h；美国的萨克拉门托市，市区人口约 92 万人，1987 年 3 月建成一条穿越市中心的现代有轨电车线路，全长 29.4km；我国香港地区为了配合新界西部的发展，修建了屯门至元朗的现代有轨电车线路，于 1988 年 9 月正式投入运营，线路全长 23km，平均旅行速度可达 25km/h。现代有轨电车的特点是具有高速性能，制动及加、减速性好，低噪声、低振动，对周围环境影响也少；同时，由于车辆技术的改善，舒适度得到了加强；不论是从既有的有轨电车发展而来还是新建，与建设地下铁道相比，其造价都低得多。所以，近年来许多城市又纷纷把注意力集中到现代有轨电车系统的研发上，他们利用现代高科技开发出了新一代噪声低、速度快、走行部转弯灵活、乘客上下方便，甚至照顾到老人和残疾人的低地板新型有轨电车；在线路结构上，也进行了创新：采用了降噪技术措施；在速度要求较快的线路上采用专用车道，与繁忙道路交叉处进入半地下或高架，互不影响；对速度要求不高的线路，轨道与道路平齐，与汽车混合运行。

随着近年来环境和能源问题的日益突出，在西方发达国家城市兴起了恢复和建设现代有轨电车的高潮，目前仅法国就有 10 多个城市拥有现代有轨电车，有 20 多个城市的线路正在建设之中，建设里程和规模已远远超过地铁，而且发展势头也丝毫不减。在欧洲的大、中城市中，现代有轨电车已成为了城市中非常普及的公共交通工具。

1.2.1 国外现代有轨电车的发展现状

目前,据不完全统计,全球已有60多个国家的300多个城市都在建设运营现代有轨电车,伦敦、巴黎、雅典、日内瓦、苏黎世、伯尔尼、巴塞尔和洛桑等城市的现代有轨电车纷纷重新运营。截至2012年底,全球前20个国家,城市轨道交通总里程为23394km。其中,地铁的运营里程为8739km,占比为37%。轻轨与现代有轨电车的运营里程为14655km,占比为63%。

很多国家,特别是西方一些较发达的国家,因为现代有轨电车有着成熟的交通运输模式,并且造价相对较低,又节能环保,因而将其作为公共交通的主要运输模式。在伦敦和巴黎等地铁系统发达的大城市,有轨线路主要承接郊区与市中心之间的地面交通,一般不进入市中心;在法兰克福、苏黎世、墨尔本、波特兰等城市,有轨电车线路多穿过城市的中心区。西方国家的公共交通概念从有轨电车开始,经历了漫长的发展,其现代有轨电车的车辆技术日趋成熟,线路设置日益完整合理,它将伴随城市化进程的不断发展和逐步完善。

目前,国外钢轮钢轨式现代有轨电车制造厂商主要有法国的阿尔斯通、德国的西门子、加拿大的庞巴迪等公司;胶轮导轨式现代有轨电车主要生产厂商是法国的劳尔公司,加拿大的庞巴迪公司也曾设计、生产胶轮导轨式现代有轨电车。从两种制式的现代有轨电车在市场上的表现来看,钢轮钢轨式现代有轨电车因其推出更早、性能更稳定等原因,目前占据了主要市场,但两种制式的现代有轨电车均发展较快。

1.2.2 国内现代有轨电车的发展现状

我国远期规划现代有轨电车线路长度已累计超过4700km,2020年前需要建设的规划线路长度已超过2600km,还有很多省市正在进行现代有轨电车的线网规划。目前,我国的大连、长春、天津、上海和沈阳开通运营(或改造运营)了现代有轨电车线路,合计8条线路,总里程96.62km;北京、广州、苏州、南京、珠海、淮安等城市陆续建成并投入运营;上海、武汉、深圳、合肥、泉州、南平、佛山等20座城市在开展低地板现代有轨电车的规划和建设筹备工作。

目前,国内现代有轨电车制造厂家主要有中国中车集团下属的中车唐山机车车辆有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、中车大连机车车辆有限公司、中车南京浦镇车辆有限公司和中车株洲电力机车有限公司。各厂商主要生产钢轮钢轨式现代有轨电车,近年发展较快。

1.3 现代有轨电车施工系统简介

随着人口数量的增加和城市化进程的加快,交通拥挤、环境污染等“城市病”成为制约城市进一步发展的瓶颈。世界各国经验表明,发展大容量轨道交通是解决城市交通问题的重要方向。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。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。

我国现代有轨电车建设工程尚处于初步阶段：一方面，现代有轨电车建设施工是一个复杂的系统工程，涵盖了规划设计、桥梁及隧道等多个方面；另一方面，现代有轨电车刚刚兴起，目前还缺少相关建设施工标准，大多数城市跃跃欲试，但存在大量实际经验不足、标准规范不确定等问题。

现代有轨电车能够安全运行，前期建设工作是关键。现代有轨电车工程的建设施工，涵盖了路基工程、轨道工程、桥梁与隧道工程、车站工程及车辆段工程等。

第 2 章

路基工程施工

2.1 路基工程介绍

2.1.1 路基工程的组成

路基是线路的重要组成部分。路基工程施工范围主要涉及以下几个部分：地基处理、路基本体、路基支挡结构、路基排水系统及附属工程。路基横断面如图 2-1 所示。

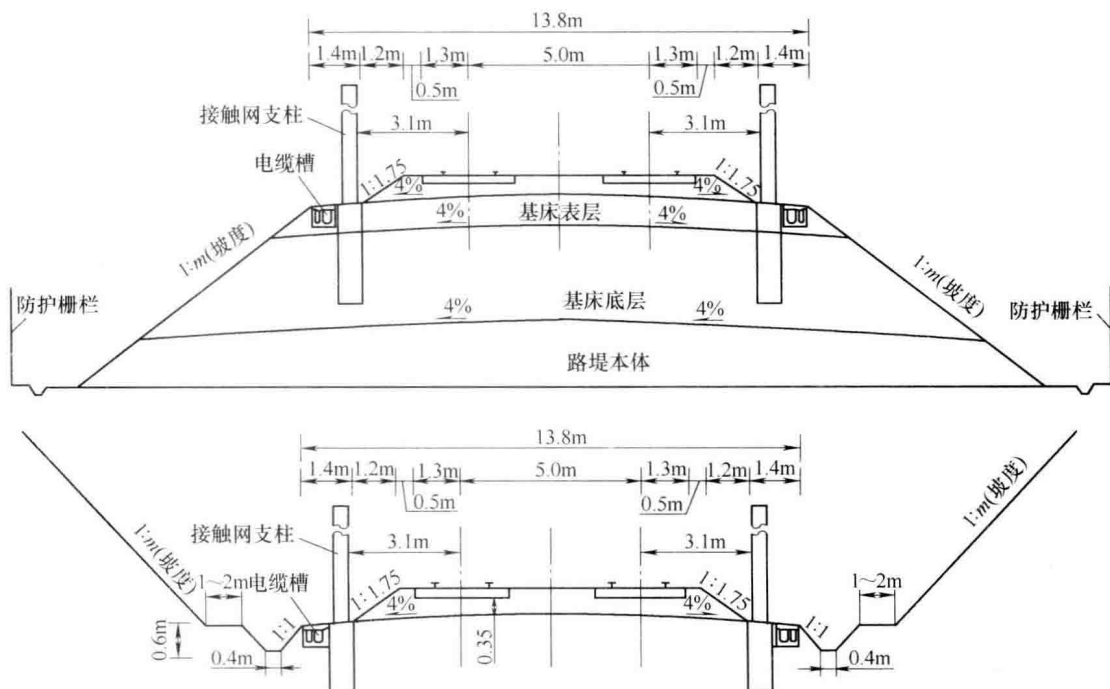


图 2-1 路基横断面

1. 地基处理

地基处理有换填、抛石挤淤、填筑排水砂垫层、铺设土工合成材料加肋垫层、套管法（沉管法）施工砂桩、袋装砂井、塑料排水板、挤密砂桩、碎石桩、粉体喷射搅拌桩、浆体