



支撑计划项目系列成果
电车技术论丛

有轨电车概论

YOUGUI DIANCHE GAILUN

徐正良 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

技支撑计划项目系列成果
中国有轨电车技术论丛

有轨电车 概论

Yougui Dianche Gailun

徐正良 主编
周 淮 主审



中国铁道出版社
2018年·北京

内 容 简 介

本书为国家科技支撑计划项目系列成果、中国有轨电车技术论丛之一,主要介绍了有轨电车的基本概念、基本知识、技术特点及技术发展趋势,包含有轨电车的发展与演变、线网规划与线路设计、土建工程、车辆及机电设备、运营组织与交通安全、工程投融资等方面的内容。

本书内容丰富、图文并茂,可作为有轨电车规划设计、建设、运营等方面专业技术人员的参考资料或培训教材,也可作为高等院校相关专业的教学参考书籍及面向大众读者的有轨电车科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

有轨电车概论/徐正良主编.—北京:中国铁道出版社,2018.4

(中国有轨电车技术论丛)

ISBN 978-7-113-24413-2

I.①有… II.①徐… III.①有轨电车-概论 IV.①U482.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 062064 号

书 名:有轨电车概论

作 者:徐正良 主编

责任编辑:金 锋

编辑部电话:010-51873125

电子信箱:jinfeng88428@163.com

封面设计:崔丽芳

责任校对:王 杰

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:三河市兴博印务有限公司

版 次:2018年4月第1版 2018年4月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:11.75 字数:200千

书 号:ISBN 978-7-113-24413-2

定 价:53.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

中国有轨电车技术论丛

编 委 会

主 任：周 淮

副主任：徐正良 韩 斌

委 员：邵伟中 宋 博 张 革 陈 平

谢维达 王曰凡 吴 昊 杨利军

孙 章 徐金祥 徐 军

序

PREFACE



有轨电车是一种中运量的城市公共交通系统,具有运量适中、运行舒适、能耗低、投资少、运营灵活等特点,并且体现了路权共享、成本节约、贴近生活的发展理念,在世界各国得以广泛运用,已成为当今城市公共交通系统的重要组成部分。目前世界各个城市运行的有轨电车,无论是车辆的结构形式、技术内涵还是运行系统均与早期的有轨电车相比较都有了相当大的提高和改善,可以说城市有轨电车系统已经进入了一个崭新的发展阶段。

我国的城市化进程有力地推动了有轨电车系统在我国城市中的快速发展。2012年底,国务院发布了《关于城市优先发展公共交通的指导意见》(国发[2012]64号),鼓励发展快速公共汽车、城市有轨电车等中大容量地面公共交通系统。目前中国(统计数据未包括台湾省)已有15个城市开通运营了有轨电车线路,运营里程约282 km;有20多个城市正在建设的有轨电车线路长度合计超过500 km;另据其他省市的不完全统计,约有90多个城市计划建设有轨电车,规划建设里程超过10 000 km。

尽管有轨电车的运用在我国已经有100多年的历史,但将有轨电车作为一种新型的城市轨道交通模式,应该说在我国还处于初始阶段。由于我国有轨电车的发展迅猛,伴随而来的是一些基础性的工作未能同步跟上,如有轨电车的行业标准和国家标准体系尚未建立和完善,有轨电车的线路设计、运行模式、路权优先、车辆结构、供电形式等问题亦需要开展研究和完善。因此,根据我国有轨电车快速发展的形势要求,迫切需要从规划、设计、建设、运营、相关政策、行业标准及技术装备等方面开展基础性研究和普及工作,这也正是编写“中国有轨电车技术论丛”的基本出发点之一。

为了适应我国当前大规模发展有轨电车的新形势,促进有轨电车的健康有序发展,2016年5月上海交通运输行业协会成立了现代有轨电车(中运量交通)专业委员会,指导和协调有轨电车在上海的发展。专业委员会以上海为基地,成员包括有轨电车行业内规划设计、建设施工、设备生产、检验检测、运营管理、科研培训以

及投融资分析等各个领域的企业和科研院校。2016年12月在专业委员会组织指导下,依托上海松江有轨电车的工程建设,由上海轨道交通检测技术公司(SRCC)在其承担的国家“十二五”科技支撑项目“城轨列车互操作综合检测与认证一体化平台”的任务框架内组织实施编写了这套“中国有轨电车技术论丛”。

“中国有轨电车技术论丛”系统地介绍了我国有轨电车的发展、有轨电车的技术现状和建设成果,总结了协会各成员单位在我国有轨电车前期实践中得到的经验和体会。丛书内容涵盖有轨电车系统的基本概论、工程规划与设计、路基工程、轨道结构、运行控制系统、车辆系统、牵引供电系统、工程建设与管理、运营组织和安全策略与评价共10个方面内容。

《有轨电车概论》介绍有轨电车在公共交通系统中的功能定位、特点、适用范围、发展历程及有轨电车技术概述;《有轨电车规划与设计》介绍有轨电车的线路选线、线路规划与工程设计方面的内容;《有轨电车路基工程》介绍不同形式有轨电车的路基设计、施工和技术要求;《有轨电车轨道结构》介绍不同轨道结构形式的设计、施工、养护模式等;《有轨电车运行控制系统》介绍有轨电车的运行控制及与常规地面交通的信号联动控制等;《有轨电车车辆》介绍有轨电车车辆的基本组成及不同类型车辆的技术特点;《有轨电车牵引供电系统》介绍有轨电车的牵引供电形式及不同形式的供电技术特点;《有轨电车工程建设与管理》依托上海松江有轨电车的建设实例,介绍有轨电车建设中的工程管理特点、难点和重点;《有轨电车运营组织》介绍目前有轨电车运营组织的形式、特点及具体的组织策略和方法;《有轨电车安全策略与评估》论述了有轨电车运营后的安全保障、控制策略以及运营整体安全情况的评价。期望丛书的出版能够对从事有轨电车系统设计、制造、运营、维护的企业专业技术人员有所借鉴和参考,并且也能对一般读者做一些有轨电车的知识普及。

“中国有轨电车技术论丛”的编写得到了上海市交通运输行业协会现代有轨电车(中运量交通)专业委员会、同济大学、上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司、上海隧道工程轨道交通设计研究院、上海申通地铁集团有限公司、上海松江有轨电车投资运营公司、上海富欣智能交通控制有限公司、上海轨道交通检测技术有限公司、上海轨道交通设备发展有限公司和上海工程技术大学的大力支持,中国铁道出版社为丛书的出版发行给予了积极有效的支持和帮助。在此向上述各单位表示衷心的感谢!在丛书编写、发行的整个过程中,还得到了中国城市轨道交通协会、《城市轨道交通研究》杂志社等单位的大力支持,在此一并表示感谢!

有轨电车是我国大城市轨道交通系统的一个重要组成部分,也有望成为我国广大中小城市的骨干公共交通系统。有轨电车系统的发展前景十分广阔,期望“中国有轨电车技术论丛”能够为有轨电车的发展做一些有益的铺垫。

“中国有轨电车技术论丛”编委会

2017年10月

前言

PREFACE



自 1879 年德国工程师西门子在柏林工业博览会上推出电力驱动的轨道车辆并于 1881 年在柏林建成世界上首条有轨电车线路以来,有轨电车经历了近 140 年的发展历史,期间经历了发展、繁荣、衰落、复兴的过程。有轨电车具有运营灵活、乘坐舒适、造价较低等特点,自其诞生后,受到了世界各国城市的高度重视而迅速风靡了全世界,在 20 世纪二三十年代有轨电车发展达到顶峰,成为当时广泛使用的城市公共交通工具,我国的北京、上海、天津等城市也在 20 世纪初相继建设开通了有轨电车。其后受到汽车工业发展的强烈冲击,有轨电车开始逐渐走向衰落,至 20 世纪 50 年代,美、英、法等发达国家的有轨电车几乎被全部拆除,我国的有轨电车也于同期被先后拆除。随着汽车在城市交通中的大量使用,20 世纪 60 年代末至 80 年代,全球能源危机、环境污染及交通拥堵问题逐渐凸显,迫使世界各国重新转向以公共交通解决城市交通拥堵问题。法国南特市通过对传统有轨电车车辆和路权的革新升级,在 1985 年开通了以采用大容量低地板车辆、专用路权为核心特征的新型有轨电车,与传统有轨电车相比,新型有轨电车具有运能大、安全可靠、舒适快捷、环保、美观等特点,在运营后取得了巨大成功。随后法国巴黎、波尔图等城市及美国、德国、西班牙等国家的一些城市也先后建设开通了这种新型有轨电车,而保留有轨电车的国家也在同期对传统有轨电车进行了升级改造,从而使有轨电车在全球范围内获得了浴火重生,再次快速兴起。

近年来,随着我国经济的快速发展和城市化水平的提高,城市规模越来越大,城市人口大量增加,城市交通问题日益突出,公共交通成为了解决城市交通问题的必然选择。我国北京、上海、广州等城市在建设了大规模的大容量轨道交通线路之后,于 2016 年开始相继开展了有轨电车的建设工作,以期形成多层次合理的公共交通,提高公共交通的整体效益。淮安、珠海等未建设轨道交通的中等规模城市也开展了有轨电车建设,以有轨电车作为城市的骨干公共交通来解决城市的交通问题。历经数年建设发展,目前我国(统计数据未含台湾省)有北京、上海、天津、沈阳、苏州、香港等十多座城市先后开通运营了有轨电车线

路,运营里程超过 280 km。成都、武汉、南京、台州等二十多座城市正在建设的有轨电车线路长度合计超过五百公里。另外,全国二十多个省的九十多座城市计划建设有轨电车,规划建设里程超过一万公里。我国的有轨电车建设将迎来巨大的机遇,具有广阔的发展前景。

由于有轨电车在我国的发展时间较短,规划设计、建设、运营方面的经验还较少,缺少相关的规范标准,再加上对有轨电车的认识尚不统一,各地城市在有轨电车建设中表现出了相当程度的差异,因此,开展有轨电车方面的技术交流十分重要。在这种背景下,本书作者结合对有轨电车的研究和实践,编写本书旨在介绍作者对有轨电车系统的规划设计、建设、运营等方面的认识,以期对从事有轨电车设计、建设、运营等方面的专业技术人员有所裨益。

全书共分十章,包括:概述;有轨电车线网规划及线路设计;车辆;土建工程;机电工程;车辆基地;交通组织及城市综合设计;运营组织与管理;工程投资与融资;国内外有轨电车案例。

本书由上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司工作团队共同编制完成,徐正良任主编。程樱、刘晨编写第 1 章,刘伟杰、黎冬平编写第 2 章,沈继强编写第 3 章,张中杰、王卓瑛、黄爱军、秦晓光、苗彩霞、柴昕一、金冶、丁佳元编写第 4 章,唐贾言、金建飞编写第 5 章,李建新编写第 6 章,蒋应红、梁正、张涛、高翔编写第 7 章,蒋丽华编写第 8 章,杜燕编写第 9 章,徐正良、吕圣华编写第 10 章。全书由上海市交通运输行业协会常务副会长周淮主审,上海轨道交通检测技术有限公司总经理韩斌、上海申通地铁集团技术中心顾问王曰凡参加了审稿工作。

本书编写参考了大量的国内外专业文献及学术期刊,得到了许斯河、孙章、谢维达、何利英等同志的支持与帮助。本书的编写还得到了上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司总经理沈国红、总工程师周良等领导的大力支持。在此一并表示感谢!

限于作者水平,编写时间较为仓促,书中难免存在疏漏与错误之处,有些观点乃作者一孔之见,不当之处恳请广大读者提出宝贵意见,以期再版时修改完善。

编者

2018 年 3 月

目 录

CONTENTS ▶▶▶

1 概 述	001
1.1 有轨电车的由来与发展	001
1.2 有轨电车系统的特点	008
1.3 有轨电车建设运营线路规模	018
1.4 有轨电车的适用性及功能分类	023
2 有轨电车线网规划及线路设计	031
2.1 线网规划	031
2.2 线路设计	037
3 车 辆	044
3.1 概 述	044
3.2 车辆结构形式	046
3.3 车辆关键技术	049
3.4 车辆主要技术参数	057
4 土建工程	058
4.1 轨 道	058
4.2 路 基	065
4.3 桥 梁	070
4.4 给 排 水	073
4.5 车 站	075
5 机电工程	080
5.1 供电系统	080
5.2 通信系统	086
5.3 运行控制系统	092

5.4	交通信号优先控制	098
6	车辆基地	104
6.1	车辆修程和修制	104
6.2	车辆基地的功能	107
6.3	车辆基地总平面布置	108
6.4	车辆运用检修设施	111
6.5	综合维修中心	114
6.6	材料库	114
6.7	救援设备	114
6.8	大型工艺设备	114
7	交通组织与城市综合设计	117
7.1	交通组织	117
7.2	城市综合设计	126
8	运营组织与管理	132
8.1	运营组织	132
8.2	运营管理	136
8.3	交通安全风险及防护措施	140
9	工程投资与融资	147
9.1	工程投资	147
9.2	融 资	151
10	国内外有轨电车案例	154
10.1	墨 尔 本	154
10.2	巴 黎	157
10.3	斯特拉斯堡	159
10.4	波 尔 多	161
10.5	卡尔斯鲁厄	162
10.6	都 柏 林	164
10.7	布达佩斯	165
10.8	香 港	168
10.9	苏 州	169
10.10	淮 安	171
10.11	沈 阳	174
	参考文献	176

1.1 有轨电车的由来与发展

自 1881 年世界上第一条有轨电车线路在柏林开通以来,有轨电车已经走过了 130 多年的发展历程,历经了 19 世纪 40 年代至 80 年代的“兴起”、19 世纪末至 20 世纪 30 年代的“发展”、20 世纪 40 年代至 60 年代的“衰退”及始于 20 世纪 70 年代的“复兴”等四个发展阶段。

1.1.1 有轨电车的由来

最早的有轨电车是在铁道马车的基础上发展而来的。英国人约翰·乌兰特首创了铁道马车。1807 年在英国威尔士南部城市斯旺西诞生了首条利用马匹牵引,用于客运的铁道马车线路拉动车辆,也被称为公共铁道马车。与之前主要“机动化”交通工具的道路马车相比,铁道马车具有更舒适、更快捷、运量更大的特点。从此,铁道马车在世界各地得到了快速发展,尤其在欧美的许多城市盛行,例如美国纽约市在 1832 年建成了连接曼哈顿与哈莱姆的铁道马车线路(如图 1.1 所示),1835 年路易斯安那州新奥尔良也修建了铁道马车线路。铁道马车成为 19 世纪中叶西方都市先进与繁华的标志之一。

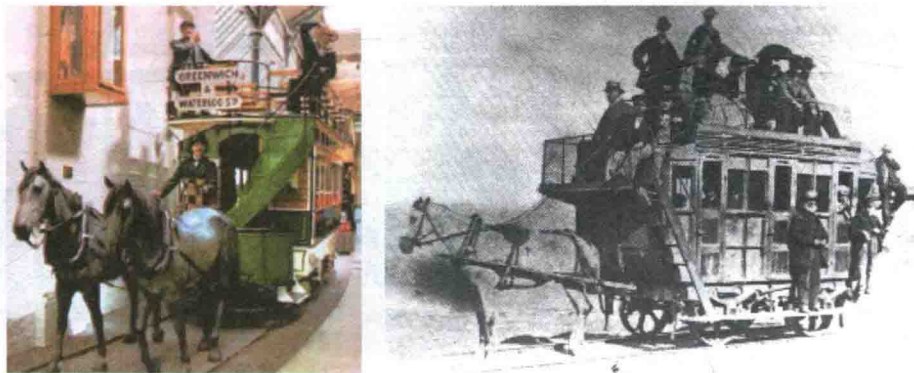


图 1.1 铁道马车

由于铁道马车利用马匹牵引,运量与速度均受到限制,且存在不卫生、易传播疾病等方面的问题,世界各国一直都在寻求探索新的牵引方式。1873年旧金山修建了缆车线路,以钢缆索牵引轨道车辆(如图 1.2 所示);随后,1881年新西兰达尼丁、1885年澳大利亚墨尔本等地也出现了此类钢缆索牵引的轨道车辆。同期,欧美等地还出现了利用蒸汽机车牵引或蒸汽引擎作为动力的有轨车(如图 1.3 所示)。缆索牵引、蒸汽牵引等牵引方式由于存在各自不同的缺陷,其推广应用均受到了限制。

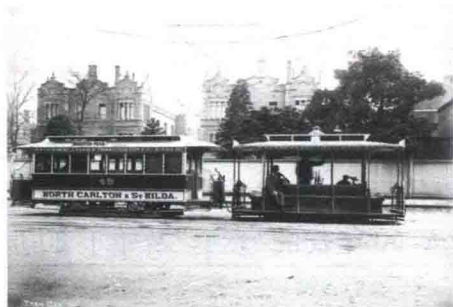


图 1.2 钢缆索牵引轨道车

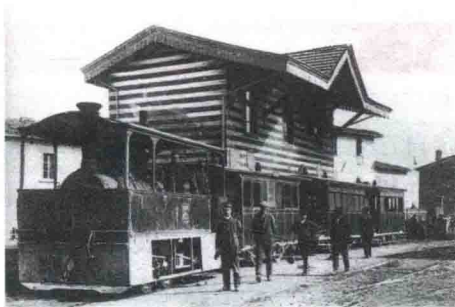


图 1.3 蒸汽机车牵引轨道车

直到 1879 年,德国工程师维尔纳·冯·西门子在柏林工业博览会上首次尝试使用电力驱动轨道车辆,并在其后的 1881 年由西门子-哈尔斯克公司在柏林西南部郊区建成了首条采用电力牵引的格洛斯-希特菲尔德(Gross-Lichterfelde)有轨电车线路,有轨电车正式诞生。

1.1.2 有轨电车的兴起

德国工程师西门子在 1879 年德国柏林市举办的世界贸易博览会展出了使用电力驱动的轨道车辆,该车可以乘坐 6 人。1881 年 5 月 16 日,德国西门子公司在柏林近郊里希特菲尔德修建一条有轨电车线路投入运营,线路长 2.4 km,起始于柏林里希特菲尔德 0 号车站,轨距为 1 m。这标志着有轨电车正式投入公共交通(如图 1.4 所示)。当时,每辆车配备一个直流 180 V 功率 4 kW 的电机,电流靠一条铁轨通电,另一条铁轨作回路。因此,电车运行范围与道路是分开的,并

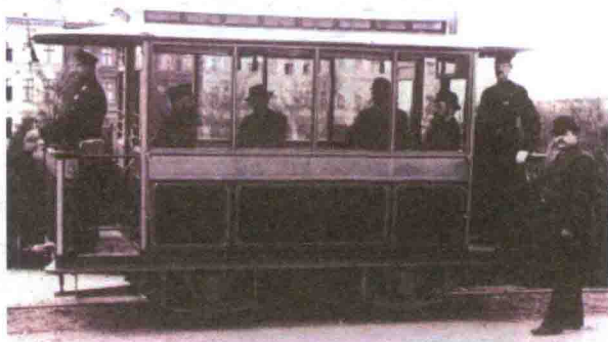


图 1.4 最早的有轨电车

且禁止随意穿越。但是在路口,电车轨道和道路只有在电车来之前做简易的转换,因此电车经常由于行人或马匹引起停运。1891年,线路改为了采用架空电缆进行授电的方式。其间的1880年,费奥多·皮罗斯基在俄国圣彼得堡对利用电力驱动有轨车进行了试验,为有轨电车的技术发展做出了贡献。

此外,1883年,英国人德福修建了英国第一条有轨电车线路,长2 km,这条线路至今仍然在运营,是世界上最老的仍在运营的有轨电车线路;1884年美国俄亥俄州克利夫兰市开通第一条有轨电车线路,随后1886年亚拉巴马州蒙哥马利市、1888年弗吉尼亚州里士满均开通了有轨电车线路;1885年,英国黑泽市开通了英国第一条有轨电车线路;同年,南斯拉夫萨拉热窝开通有轨电车;1887年,匈牙利布达佩斯建立了有轨电车线路;1889年澳大利亚的第一条有轨电车线路于墨尔本开通;1894年罗马尼亚布加勒斯特、塞尔维亚贝尔格莱德等城市均纷纷开通了有轨电车线路。

架空线授电技术的出现解决了有轨电车供电的安全问题,极大地缓解了与道路上马车、人力车、行人等其他交通之间的矛盾,使有轨电车开始获得推广使用。从此,有轨电车开始在世界各地纷纷兴起,城市交通首次进入真正的“机动化”——有轨电车时代。

■ 1.1.3 有轨电车的发展

与道路马车和铁道马车的马车交通相比,有轨电车在安全、速度、运量、舒适性、环境卫生等方面都有了很大的改进,增加的投资也在可以接受的范围之内,同时,随着社会工业化和城市化的发展,迫切需要与城市结构、空间布局和人口规模变化适应性的公共交通基础设施,而有轨电车很好地契合了这种需求,因此,自其诞生不久就很快在世界范围内取代马车交通而快速发展起来,城市交通由马车时代进入有轨电车时代。

自19世纪90年代开始,随着车辆、供电技术的发展,有轨电车在世界范围内进入了建设高潮,许多马车铁道被改造为有轨电车线路,有轨电车逐渐成为广泛使用的城市公共交通工具,成了当时城市公共交通的骨干。20世纪初,欧洲、北美、大洋洲、亚洲等地区许多大城市里都拥有有轨电车系统。我国的北京、天津、上海、大连、长春等城市也相继引入了有轨电车。

我国最早的有轨电车出现于1899年,在北京由西门子公司建成了连接马家堡火车站与永定门的有轨电车线路;1902年辽宁抚顺开通了有轨电车,配备26辆车;1904年,香港开通有轨电车,采用双层车厢的形式(如图1.5所示);1906年,天津第一条公交线路白牌环城有轨电车开通运营,配备车辆116辆;1908

年,上海从英租界静安寺外滩开出了第一辆有轨电车,并建成了7条线路,配备车辆216辆;1925年,沈阳开通有轨电车线路,直至1937年共12 km,21辆车;大连有201路和202路两条有轨电车线路(如图1.6所示);长春54路有轨道电车,1941年开通。



图 1.5 香港双层有轨电车



图 1.6 大连 202 路有轨电车

20世纪20~30年代是有轨电车系统发展的鼎盛时期,有轨电车成为欧美等较发达国家各城市的主要公共交通工具,从人口规模几万人的小城市到超过100万人的大城市,都发展运营了有轨电车。有轨电车是当时现代化城市的标志和象征(如图1.7所示)。美国在1923年有轨电车发展达到高峰,运营的线路总长度超过7.5万 km;至1927年,在英国有超过170个城市拥有有轨电车,线路总长度达到4 100 km;法国有轨电车在1930年达到高峰时有70个城市拥有有轨电车线路,总长度达到3 400 km;德国在第二次世界大战前有80个城市拥有有轨电车,线路总长约5 000 km;日本在1932年有轨电车发展高峰时期有67个城市共有超过1 400 km的有轨电车线路。

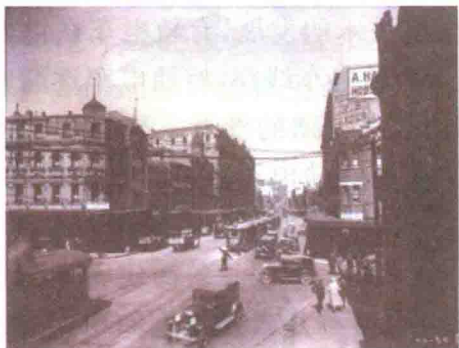


图 1.7 国外早期有轨电车

1.1.4 有轨电车的衰落

20世纪30年代,汽车车辆技术得到了很大提高,汽车工业获得快速发展,汽车以其方便、灵活、舒适的优点迅速成为城市居民的宠儿,开始逐渐普及,美国、英国等工业发达国家开始大规模的道路建设,为汽车发展创造条件,私人汽车数量急剧增加,加上当时世界上石油供应充足、价格低廉,汽车逐渐成为人们出行的主要交通方式。

1924年仅美国的汽车年产量就突破了1 000万辆,约一半的家庭拥有了汽车。

随着汽车的大量增加,城市道路交通日益拥挤,阻碍了有轨电车的正常运行,与汽车混行的有轨电车运行速度、准点率严重下降,安全事故大量增加,客流量开始下降,特别是公共汽车、无轨电车等道路公共交通的快速发展给有轨电车的运行造成了雪上加霜的危机。

同时,第二次世界大战期间,许多电车轨道、电车站台都遭到轰炸,破坏相当严重。出于成本考虑,许多城市不再重修以前的轨道,而是选择把轨道清理干净改为汽车道路。有轨电车作为“落后”的交通工具开始走向衰落。

为了挽救有轨电车的运营危机,1935年,美国开发了称作PCC《电气铁路总统会议委员会》车辆的新型有轨电车。这种车型在车体、转向架、制动和控制系统方面做了一些改进,其动力性能、舒适性和平稳性都有较大提高,且在外观和成本上也有所改进。1952年,PPC车辆最多的时候美国和加拿大有6 000多辆,有轨电车出现了一段短暂的黄金期。但PCC车辆由于并没有根本改变有轨电车的运行特征,与汽车交通竞争中依然处于明显劣势,PCC车辆并未能阻止有轨电车的衰落趋势,美国后来停止了有轨电车的生产,仅在欧洲的一些城市还继续生产PPC车辆。有轨电车继续进一步衰落。

到了20世纪六七十年代,为了给小汽车让路,不少国家开始拆除有轨电车线路,电车网络在北美、法国、英国、西班牙等地几乎完全消失。在美国,到1939年时有轨电车线路长度仅剩约4 300 km,到1955年时接近90%的有轨电车线路被拆除,到1977年仅有8个城市保留了有轨电车。在英国,有轨电车在20世纪30年代开始衰落,第二次世界大战后仅剩余38条线路,到1962年基本全部拆除。在法国,至1971年仅有里尔、马赛、圣埃蒂安三个城市保留了有轨电车,且运营范围大幅减少。在日本,1950年至1988年,共有37个城市总长约1 100 km的有轨电车线路被拆除。在中国,北京、上海、天津等城市也在同期相继拆除了有轨电车线路,至今只有长春和大连还保留有传统的有轨电车线路。

除受汽车产业、汽车交通快速发展的冲击外,有轨电车自身存在的劣势也是导致其衰落的重要因素。

随着汽车工业的发展,私人汽车、公共汽车等路面交通工具数量急剧增长,尤其是汽车流水线生产模式的出现,大大提高了生产效率,降低了生产成本,汽车进入了快速发展的阶段。由于在驾驶方面的灵活性,汽车受到了社会的广泛认可,有轨电车作为城市公共交通方式的重要性下降;另一方面随着大量汽车涌上街头,城市道路面积严重不足,有轨电车由于占用道路面积较大,反而成为城市交通发展的障碍。

传统有轨电车车辆车体、转向架、机电设备、控制系统、车内设施等相对落后,导致运行时噪声过大、运能有限,同时旧式有轨电车与道路上的汽车、行人等其他交通混行,由于不同车辆动力和制动性能的差异,易造成交通事故导致交通拥堵加剧,有轨电车的运行速度、安全性、准点率、平稳性、舒适性等方面均已不能适应现代化城市发展的要求。

相对于道路汽车交通,有轨电车系统建设成本较高、建设周期较长,后期运营维护成本较高。

1.1.5 有轨电车的复兴

20世纪下半叶,随着汽车数量的迅速增加,城市的道路资源日益紧张,以个体汽车为主导的交通模式导致了城市的快速大规模扩张,交通拥堵、交通安全、停车难、公共交通运行速度及交通运行效率下降、环境污染等问题集中爆发,日趋严重。1971年中东战争以后,石油价格大幅度上涨,资本主义世界开始出现了能源危机。同时,在这一时期世界经济发展很快,城市人口增长迅速,城市区域不断扩大,城市内部交通需求急剧上升,人们对公共交通的重要性有了重新认识。1968年法兰克福和汉诺威等城市为了解决城市交通问题,计划修建地铁系统,由于工程规模大、实施时间长、资金迟迟不能到位,因此提出了将有轨电车线路及车辆进行技术升级改造与新建部分地铁线路结合起来的建设方案。

在美国、英国、法国、西班牙、日本等国家大量拆除有轨电车线路时,原联邦德国、瑞士、奥地利、意大利、比利时、荷兰、澳大利亚、前苏联、波兰、匈牙利、捷克斯洛伐克等东欧国家则采取了保留有轨电车、逐步进行升级改造使之适应现代城市交通需要的策略,这些国家中的墨尔本、圣彼得堡、科隆、柏林等城市拥有当前规模最大的有轨电车线路。

有轨电车的现代化升级改造主要体现在车辆和路权两个方面,有些线路采用车辆、路权同步升级,有些线路则保持原有的混合路权形式而主要对车辆进行升

级,如图 1.8 所示。20 世纪 70 年代,出现了大容量铰接式有轨电车,80 年代中期又出现了更具现代化气息的低地板车型,依靠模块化、独立轮对转向架、弹性轮等技术的应用及车辆动力和制动系统的改进,车辆的载客能力大幅增加,车辆运行速度、安全性及乘客进出车辆的方便性等有了根本性的改善,车辆运行引起的噪声则有了明显降低,适应了现代化城市对公共交通的要求及环境要求。路权方面,根据道路交通的实际情况及城市环境条件,尽量采用专用路权,在城市中心区和繁华地段也可新建地下或高架线路与地面道路分离的封闭线路,同时采取信号优先的措施实现平交路口有轨电车的优先通行,保障有轨电车运行的安全性、准点性、快速性及运行效率。



图 1.8 现代化升级改造后的有轨电车

20 世纪 60 年代末、70 年代初,加拿大的埃德蒙顿、美国的圣地亚哥、法国的格勒诺布尔等城市率先提出了重建有轨电车的计划。加拿大埃德蒙顿市于 1978 年开通了轻轨(LRT)线路,该线路类似于我国的地铁系统,采用封闭式线路,列车运营采用信号控制。美国圣地亚哥市有轨电车(Trolley)和加拿大加尔格里市有轨电车于 1981 年建成运营,这两条线路以专用路权为主,路口以平交形式为主。法国在 1978 年制定了有轨电车标准,南特市有轨电车 1 号线于 1985 年开通运营,该线路采用大容量低地板车辆,按公共交通优先的理念重新平衡分配道路资源来保证有轨电车的专用路权,并为有轨电车提供交叉口优先通行权,同时结合有轨电车的建设更新沿线的城市环境景观,线路在运营后取得了巨大成功,是有轨电车开始复兴的重要标志,有轨电车不断被拆除的衰落趋势开始扭转。为区别于传统的有轨电车,这种以采用专用路权、低地板车辆为核心特征的有轨电车系统被称为现代有轨电车(Modern tramway)或当代有轨电车(Contemporary tramway),美国、欧洲一些国家也把这种有轨电车称为轻轨(Light rail)或街面轨道(Street rail)。之后法国的格勒诺布尔、巴黎、波尔图、里昂、蒙彼里埃、斯特拉斯堡、马赛等多个城市先后