

求真 · 唯善 · 致美

城市轨道交通工具 设计研究

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG GONGJU
SHEJI YANJIU

姚善良等 著

九州出版社
JIUZHOU PRESS

求真 · 唯善 · 致美

城市轨道交通工具 设计研究

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG GONGJU
SHEJI YANJIU

姚善良等 著



九州出版社
JIUZHOU PRESS

图书在版编目 (C I P) 数据

城市轨道交通工具设计研究 / 姚善良等著. — 北京:
九州出版社, 2017.6

ISBN 978-7-5108-5452-1

I. ①城… II. ①姚… III. ①城市铁路—轨道交通—
交通工具—设计—研究 IV. ① U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 144058 号

城市轨道交通工具设计研究

作 者 姚善良 等著

出版发行 九州出版社

地 址 北京市西城区阜外大街甲 35 号 (100037)

发行电话 (010) 68992190/3/5/6

网 址 www.jiuzhoupress.com

电子邮箱 jiuzhou@jiuzhoupress.com

印 刷 三河市宏顺兴印刷有限公司

开 本 700 毫米 × 1000 毫米 16 开

印 张 12

字 数 187 千字

版 次 2017 年 8 月第 1 版

印 次 2017 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5108-5452-1

定 价 40.00 元

★ 版权所有 侵权必究 ★

前 言

随着我国经济的持续快速发展,交通拥堵、环境污染、生态失衡等问题日益严重。轨道交通作为解决上述问题的手段之一,是人类社会和谐发展的重要方式。目前,我国轨道交通工具的运行密度和利用频率已位居世界前列,其产业已经成为国民经济发展的重要支柱,我国轨道交通工具的设计与制造亦将随之步入一个快速发展的新时期。

轨道交通作为交通工具的一个重要分支,依托科技发展而不断改进,轨道交通工具设计也应总结经验、与时俱进。目前国内关于轨道交通的技术书籍较多,而专门针对轨道交通工具进行设计研究的书籍则较少。设计教育的快速发展,使得高层次设计人才培养的格局不断更新,轨道交通设计亦应跟上设计教育的发展脚步。上述诸因为本书撰写提供了需求。

本书在收集分析大量国内外相关文字和图片资料的基础上,立足于详尽的设计调研,结合有限的设计实践,结合当下产品设计具体理论,从真、善、美三个角度切入研究,提出人机求真、用户唯善和设计致美的观点,分别对应现代地铁车辆工业设计所包含的三个核心内容:驾驶室内设计、车厢内饰设计以及整车外观设计。

全书从总体到局部,首先阐述了轨道交通工具整体形象设计,包括车身外轮廓、车身材料以及车身表面涂装设计等。其次,立足剧本导引设计法和用户研究法,对车厢内饰设计进行论述。最后,结合我国成年人的身体尺寸、相应的标准以及实际案例,对我国轨道交通工具驾驶室的人机工程设计进行了较系统的研究。

本书可作为高等院校工业设计和产品设计专业本科生、研究生相关课程的教材,也可作为轨道交通工具类企业设计人员的参考书,并且对广大设计爱好者的自学也有一定的帮助作用。

CONTENTS | 目录

第一部分 和谐之轨：城市轨道交通工具

第1章 城市轨道交通工具概述.....	1
1.1 城市轨道交通工具类型.....	1
1.2 城市轨道交通工具发展历史.....	2
1.2.1 蒸汽机车时期.....	2
1.2.2 内燃机车时期.....	3
1.2.3 电力驱动列车时期.....	3
1.2.4 高速列车时期.....	4
1.3 城市轨道交通工具发展现状.....	4
1.4 城市轨道交通工具的未来.....	5
第2章 城市地铁车辆及其设计概述.....	7
2.1 现代地铁车辆产生及其特点.....	7
2.2 我国城市地铁发展.....	8
2.3 地铁车辆类型和编组.....	9
2.3.1 地铁车型.....	9

2.3.2 现代地铁车辆编组方式	11
2.4 地铁车辆造型元素分析	11
2.5 现代地铁车辆设计	13

第二部分 设计致美：城市轨道交通工具整体形象设计

第3章 整体造型设计原则	16
3.1 车身外轮廓的比例与尺度	16
3.1.1 比例与尺度	17
3.1.2 比例与尺度在车身外轮廓设计中的应用	17
3.2 现代地铁车辆车身外轮廓的均衡与稳定	19
3.2.1 均衡与稳定	19
3.2.2 均衡与稳定在车身外轮廓设计中的应用	19
3.3 现代地铁车辆车身外轮廓的统一与变化	20
3.3.1 统一与变化	20
3.3.2 统一与变化在车身外轮廓设计中的应用	20
3.4 现代地铁车辆车身外轮廓的过渡与呼应	22
3.4.1 过渡与呼应	22
3.4.2 过渡和呼应在车身外轮廓设计中的应用	22
设计赏析：北京地铁4号线地铁车辆	23

第4章 车头造型设计	25
4.1 显示装置设计	25
4.2 前挡风系统设计	26
4.2.1 司机室前窗	26
4.2.2 司机室侧窗	27
4.3 车身前立柱设计	28
4.4 车头面罩设计	28
4.5 车灯造型分析	29

4.6 司机室车门设计.....	30
4.7 逃生门（紧急疏散门）设计.....	31
设计赏析：新加坡滨海市区线地铁车辆.....	33
第5章 车体造型设计.....	34
5.1 侧墙分析与设计.....	34
5.2 车门分析与设计.....	35
5.3 侧窗分析与设计.....	36
5.4 车顶分析与设计.....	37
设计赏析：Inspiro 地铁车辆——“去地下，我的未来之旅”	38
第6章 材料应用与表面涂装.....	40
6.1 现代地铁车辆材料应用与车身造型.....	40
6.1.1 现代地铁车辆车身材料种类与特性.....	40
6.1.2 现代地铁车辆车身材料的视觉特性.....	42
6.2 现代地铁车辆车身表面涂装设计.....	42
6.2.1 车体色彩设计.....	43
6.2.2 车体选色依据.....	44
6.2.3 车身装饰设计.....	46
设计实践：青岛 M3 号线地铁车辆车身造型设计	48

第三部分 用户唯善：基于剧本的用户研究和车厢内饰设计

第7章 剧本导引设计法	54
7.1 剧本导引法概述.....	55
7.1.1 剧本导引法运用现状与发展.....	55
7.1.2 剧本导引法原理：人、境、物、事.....	55
7.1.3 剧本导引法的作用.....	56
7.1.4 剧本导引法缺点.....	57

7.2 剧本导引设计法的发展程序.....	57
7.3 剧本的表现形式和撰写.....	60
7.3.1 剧本的表现形式.....	60
7.3.2 剧本的撰写.....	61
第8章 剧本主角：用户研究方法 with 特征.....	62
8.1 城市轨道交通工具用户研究方法.....	62
8.1.1 用户观察.....	62
8.1.2 问卷调查.....	63
8.1.3 用户访谈.....	63
8.2 城市轨道交通工具用户特征研究.....	63
8.2.1 乘客的年龄构成.....	64
8.2.2 乘客的性别构成.....	66
8.2.3 乘客携带行李构成.....	69
8.3 用户调研分析.....	71
第9章 剧本载体：车厢内饰.....	73
9.1 地铁空间语境.....	73
9.2 车体内装.....	74
9.3 车内乘坐设备.....	75
9.3.1 侧门设计.....	75
9.3.2 车窗设计.....	76
9.3.3 车厢座椅设计.....	76
9.3.4 吊环和扶杆设计.....	76
9.4 导视设备.....	77
第10章 剧本情景：微观与宏观.....	80
10.1 宏观情境：剧本的 SET 系统分析.....	80
10.1.1 社会因素.....	82

10.1.2 经济因素	83
10.1.3 技术因素	84
10.1.4 设计机会	85
10.2 微观情境：用户的情感体验	89
10.2.1 生理状况对情感体验的影响	90
10.2.2 教育水平对情感体验的影响	91
10.2.3 生活阅历对情感体验的影响	91
10.2.4 其他因素引发的体验	91
第 11 章 剧本演出：演员表与活动地图	93
11.1 城市轨道交通工具的角色判定——“演员表”	93
11.2 城市轨道交通工具的使用情境判定——“活动地图”	94
11.3 议题分析	95
11.3.1 问题剧本	95
11.3.2 关键议题	98
11.4 方案剧本	98
设计实践：广州地铁车厢内饰设计	101

第四部分 人机求真：城市轨道交通工具驾驶室人机设计

第 12 章 城市轨道交通工具驾驶室人机设计概述	103
12.1 国外轨道交通工具人机发展	103
12.2 国内轨道交通工具人机现状	105
12.3 国内轨道交通工具驾驶室人机设计研究	107
第 13 章 驾驶室及其人机工程概述	110
13.1 轨道交通工具驾驶室概述	110
13.2 轨道交通工具驾驶室人机工程概述	110

第 14 章 驾驶室环境设计	113
14.1 国内轨道交通工具驾驶室光环境设计研究.....	114
14.1.1 驾驶室光环境概述.....	114
14.1.2 驾驶室光环境设计.....	115
14.2 国内轨道交通工具驾驶室热环境设计研究.....	119
14.2.1 驾驶室热环境概述.....	119
14.2.2 驾驶室热环境设计.....	121
14.3 国内轨道交通工具驾驶室噪声环境设计研究.....	122
14.3.1 驾驶室噪声环境概述.....	122
14.3.2 驾驶室噪声环境设计.....	123
14.4 国内轨道交通工具驾驶室振动环境设计研究.....	123
14.4.1 驾驶室振动环境概述.....	123
14.4.2 驾驶室振动环境设计.....	124
第 15 章 座椅与操控台设计	125
15.1 国内轨道交通工具驾驶室座椅设计研究.....	125
15.1.1 座椅舒适性分析.....	125
15.1.2 驾驶室座椅舒适性设计.....	128
15.2 国内轨道交通工具驾驶室操纵台设计研究.....	132
15.2.1 信息显示设计研究.....	133
15.2.2 操纵控制设计研究.....	143
15.2.3 操纵台整体设计.....	146
第 16 章 作业空间设计	148
16.1 轨道交通工具驾驶室作业空间概述.....	148
16.2 轨道交通工具驾驶室作业空间布置设计.....	149
第 17 章 相关交通工具驾驶室人机工程设计类比分析	156
17.1 与汽车驾驶室人机工程设计类比分析.....	156

17.1.1 与汽车驾驶室的环境与作业空间类比分析	156
17.1.2 与汽车驾驶室的座椅与操纵台类比分析	158
17.2 与飞机驾驶室人机工程设计类比分析	160
17.2.1 与飞机驾驶室的环境与作业空间类比分析	160
17.2.2 与飞机驾驶室的座椅与操纵台类比分析	161
17.3 与船舶驾驶室人机工程设计类比分析	163
设计实践: 地铁驾驶室人机设计	166
参考文献	168
后 记	173

第一部分 和谐之轨：城市轨道交通工具

第 1 章 城市轨道交通工具概述

1.1 城市轨道交通工具类型

世界公认的公共交通运输方式有轨道运输、公路运输、水路运输、航空运输、管道运输，它们共同构建了当代综合交通运输体系。轨道运输是包含了运行于轨道上、由多节车辆编组、提供交通出行服务的客车运输系统。轨道交通是公认的高效率、快捷、安全、大容量、低能耗、低污染、价格合理的公共交通系统。^①

所谓“轨道交通”，就是以轨道作为承载支承和导向约束的一种交通运输方式，一般人们俗称为“铁路”。目前，世界上绝大多数的轨道交通都是采用两根钢轨，极少数特殊场合也有采用一个单独的轨道梁（如我国重庆市的独轨交通）。磁悬浮交通车辆静止时支承在轨道梁上，运行时则依靠磁力作用悬浮在轨道梁上，但仍以轨道梁作为运行的导向约束，因此也可视为轨道交通的一种特殊形式。^②

城市轨道交通是一种独立的有轨交通系统，可以按照设计能力正常运行，在节约资源的前提下，提供环境舒适、节能减排以及安全快捷的大容量运输服务，并且与其他交通工具互不干扰，具有运量大、服务水平高以及资源环境效益显著的特点。

① 张峻霞，王新亭. 人机工程学与设计应用 [M]. 北京：国防工业出版社，2010.

② 刘友梅，陈清泉，冯江华等. 中国电气工程大典 [M]. 北京：中国电力出版社，2009.

城市轨道交通有多种类型,常见的轨道交通工具包括动车组、地铁(图 1-1)、轻轨(图 1-2)、有轨电车(图 1-3)、磁悬浮列车等。

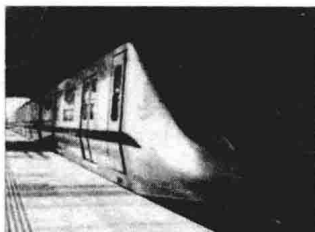


图 1-1 地铁车辆



图 1-2 轻轨车辆



图 1-3 有轨电车

1.2 城市轨道交通发展历史

城市轨道交通发展历史大致可以分为四个时期,即蒸汽机车时期、内燃机车时期、电力驱动列车时期以及高速列车时期。

1.2.1 蒸汽机车时期

促使轨道交通工具发展的是蒸汽机的发明与应用,作为工业革命时期的一大发明,蒸汽机车开辟了近代运输的新纪元。蒸汽铁路发明于 19 世纪。1804 年,英国发明家理查德·特里维西克设计制造了世界上第一台行驶于轨道上的蒸汽机车,取名“新城堡号”(图 1-4)。1830 年,在英国利物浦至曼彻斯特之间开始了第一条城市间铁路服务。伦敦在 1838 年开放了第一条市郊路线以后,在 1840 到 1875 年之间实现了大批市郊线网建设。^①1863 年 1 月 10 日,伦敦最先开通了地铁,达成了将蒸汽列车引入市区中心的梦想。1868 年,查尔斯·T. 哈维(Charles T Harvey)在纽约城的格林尼治(Greenwich)街建造了一条由电缆牵引的高架线,但在经济上这项投资并不成

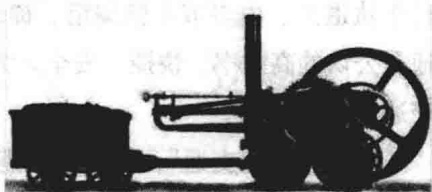


图 1-4 新城堡号



图 1-5 东风型内燃机

^① 毛保华,城市轨道交通[M].北京:科学出版社,2001.



功。1871年,新管理者将它改造为由一台小的、被称为“傻瓜”的蒸汽机车牵引。1892年,芝加哥开放第一条高架线,此时列车仍由蒸汽机车牵引,但该线路不久就被拆除,主要是因为该设计不令人满意,排气和噪声都非常大。美国在1870年由阿尔福莱德·阿里·比奇(Alfred Ely Beach,“科学美国”的创始者)在纽约建设开放了第一条地铁线路,该线由气压驱动,运营四年,蒸汽机车的速度最大可以达到110 km/h。



图1-6 东方红型内燃机车

蒸汽机车具有结构简单、造价便宜、使用成本低廉、维修保养以及驾驶都较易掌握的优点。缺点是其热效率低、燃料消耗需要大量的供煤给水设备、机车乘务人员的劳动强度大、条件差并在运输途中会对环境造成明显的污染。因此随着车速的提高以及铁路运量的增大,蒸汽机车慢慢就不能适应现代铁路的运输要求了。

1.2.2 内燃机车时期

德国人奥托于1866年设计了“内燃机”,随着内燃机的快速发展,铁路机车设计者开始将内燃机应用于铁路。1894年,德国制造出了世界上第一台内燃机车,该车以柴油作为燃料,是一种没有大锅炉的新型机车。20世纪20年代,内燃机开始投入运用,主要是从事调车作业。到了30年代后期,内燃机车开始运用于干线客运。1958年,中国开始制造内燃机车,第一批是东风型(图1-5)和东方红型内燃机车(图1-6)。

内燃机车的优点是启动迅速、加速快,不仅马力大,而且能较好地利用燃料的热能,因此节省燃料;缺点是其构造复杂、环境污染大,此外其制造、维修以及运营费用都比较大。

1.2.3 电力驱动列车时期

1890年,伦敦最先开通了第一条由第三轨电力驱动的地铁,开启了电力驱动列车时代。1895年5月6日,芝加哥最先运营世界上首条电力高架线,该线路用一台带有电机的机车,牵引一到两台无动力的拖车。格拉斯哥于1896年12月开通了一条由电缆驱动的长为10.6 km的地下环线。1897年9月1日,Tremont街上的电车路线投入运营。华盛顿营建了美国第二条由电力

驱动的地下铁路,其隧道一直到1987年才被取代。波士顿1904年修建了连接东波士顿的隧道,穿过查尔斯河、连接剑桥的一条新线也在1912年投入运营,它就是现在的红(Red)线。

1.2.4 高速列车时期

高速列车时期的到来源自于动车组的出现。芝加哥南部政府在1897年时,做出了将高架铁路电气化的决议,工程技术专家斯卜拉格签订合同,并独创了每辆车均配有电机,但全部都只由第一辆车的驾驶员操纵的多单元动车系统。1897年7月,他示范了由6辆车编组的列车,并通过让自己10岁的儿子驾驶列车证明了列车操作的容易性。动车组由此诞生,并在欧美等国家迅速发展。

截至目前,几乎世界上所有的地铁车辆都采用该驱动系统。动车组的出现对于铁路的发展具有非凡的意义,由于每辆车都有动力,因此在列车牵引力并不减少的情况下便可以增大列车编组,增加列车的平均速度,减少运营费用。2004年,我国国务院制定了“引进先进技术,联合设计生产,打造中国品牌”的战略决策,我国轨道交通开始迅猛发展。

1.3 城市轨道交通工具发展现状

20世纪70年代以来,随着道路交通污染的不断加剧,人们对环境污染危机感的不断加强,越来越多的国家和地区意识到发展大中运量轨道交通系统的重要性,与此同时,技术与经济的增长促使轨道交通在世界各地迅速发展。根据Bushell、Knowles和Fairweather等的调查资料,世界各国拥有地铁系统的城市共计90个,拥有轻轨系统的城市共计105个。

我国在20世纪70年代时仅北京、天津两个城市拥有地下铁道,长度分别是39.7 km和7.4 km。80年代中期,有少量大城市开始筹划发展轨道交通,广州第一条地铁线于1993年年底开工,全长18.48 km。上海经过30年的规划准备,于1990年开始建设第一条地铁线(16.1 km长),并于1995年建成投入运营。而截至2012年,已有北京、上海、深圳、武汉、广州等12个城市建成了地铁线路,开通运营的总线路长达770 km。以长春、杭州等为代表的11个省会城市和以宁波等为代表的5个二、三线城市的地铁也都处在建设中。太原、石家庄、兰州等5个省会城市也已上报了地铁修建计划。北京等10个已有地铁的城市也已提出了扩建计划。按照预计,2015年,北京市将形成总长



660 km 的轨道交通网络,每天的运力将达到 1000 万至 1200 万人次,而全国地铁运营的总里程将达到 3000 km。预计到 2020 年时,我国的 40 个城市将拥有地铁,运营里程将达到目前总里程的 4.33 倍。地铁在中国各城市的迅速发展已成为毋庸置疑的事实。

在高速列车领域,我国通过多年对既有铁路的高速化改造以及高铁线路建设,目前已经拥有了世界最大规模和最高运营速度的高速铁路网。资料显示,到 2010 年年底,我国运营时速在 200 km 以上的铁路,其运营里程已经达到了 7421 km。

此外,科学技术的发展使得轨道交通达到新的水平,例如无人驾驶的自动化导向交通等,使轨道交通不断出现新的系统。

1.4 城市轨道交通工具的未来

交通系统是保持城市活力最主要的基础设施,是城市生活的大动脉,制约着经济的发展。轨道交通产业由于其关联度既广又高的特点,大力推动我国国民经济的发展,同时,其建设投资带动了诸如原材料、金融、建筑等产业的发展,推进了我国居民出行、消费增长,对于扩大内需、拉动就业、满足社会需求有重要作用,直接或间接地带动了我国国内生产总值的增长。有关资料显示,轨道交通项目中,每投资一亿元,在可以带动 GDP 增长 2.63 亿元的同时还可以增加八千多个就业岗位。^①由此可见其推动经济发展的作用不容小觑。

目前,我国轨道交通的里程和路网密度都在不断增加,线路换乘也越来越方便,导致选择轨道交通工具出行的乘客急剧增多。在 2011 年的第一季度,北京市轨道交通日均客运量占其公交运输总量的比例达到了 30.7%,而 2010 年时这一数据仅为 26.5%。轨道交通在不断发展,但是其运力和运量的矛盾也开始凸显。仍然以北京市轨道交通为例,截至 2011 年,其累计运量已经突破了 10 亿人次,高峰期的单日运量已超过了 600 万人次,而该记录随着节假日旅游的火爆和新线路的开通更是被屡次刷新。由此可见,我国现有的轨道交通规模仍不能满足我国人民的需求。另据相关资料统计,到 2015 年,北京市五环内的轨道交通线网密度已达到 0.59 km/km^2 ,上海已达 0.57 km/km^2 。但这些

^① 邵莉. 浅谈城市轨道交通现状及未来发展策略 [J]. 北方交通, 2012: 96-98.

数字与纽约曼哈顿的 $2.5 \text{ km}/\text{km}^2$ 、巴黎核心区 $2.2 \text{ km}/\text{km}^2$ 相比, 仍相差很远, 远远低于世界城市的水平。由此可见, 轨道交通在我国仍有很大的市场需求量以及发展空间。

自 20 世纪 70 年代以来, 以信息技术为突破口的新技术革命冲击着人们生活的方方面面, 信息化的浪潮给人类社会带来了深远的影响。社会生活的联系更多地借助通信手段, 无疑, 未来的城市将变成智能城市, 即高度信息化和全面网络化的城市。借助于互联网技术, 人们在足不出户的情况下便可以进行娱乐、工作、购物等。届时, 以观光、旅游和享受大自然为目的的出行比例将会显著提高。因此, 与现代化生活相适应的现代化交通体系势必出现, 发展以多种运量、多种形式相结合的轨道交通将是我国城市实现多层次、立体化、智能化交通体系的重要措施。因此, 发展以轨道交通为骨干的公共交通网络是我国未来交通发展的必然趋势。