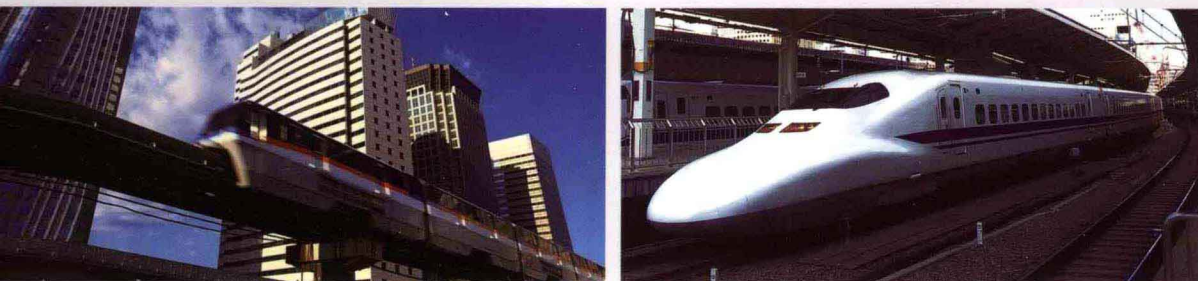


周立新 编著

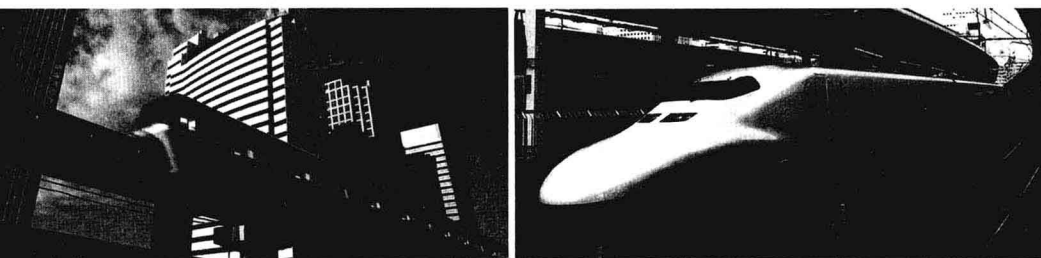
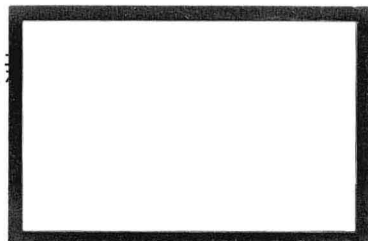


有轨线路系统工程



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

周立



有轨线路系统工程



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书以铁路(包括高速铁路)为主线,全面地介绍了有轨交通线路系统设计的基本理论和方法,突出介绍了城市轨道交通线路特点。主要包括:线路种类,线网的建设程序与规划方法,列车运行计算原理与方法,线路结构及选线原则与设计方案比选方法,线路平面、纵断面、横断面设计等。

本书可作为高等院校的非线路工程专业(如交通运输、物流工程、城市规划专业等)学生的本科教材,也可供有关教学人员及从事相关设计、研究和运营管理工作的人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

有轨线路系统工程/周立新编著. --上海:同济大学出版社,
2012.7

ISBN 978-7-5608-4913-3

I. ①有… II. ①周… III. ①轨道(铁路)—铁路工
程—高等学校—教材 IV. ①U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 137064 号

有轨线路系统工程

编 著 周立新

责任编辑 杨宁霞 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市华顺印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.75

印 数 1—3100

字 数 343 000

版 次 2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-4913-3

定 价 29.00 元

前 言

十年前,作者曾编著过一本《有轨交通线路工程》教材(上海交通大学出版社)。进入 21 世纪,我国铁路和城市轨道交通发展迅猛,出现了城际(高速)铁路、客运专线铁路(包括 200 km/h 快速铁路)、高速铁路等技术特征迥异的有轨交通线路。为了适应新型线路设计的需要,铁道部、建设部等相关部门也先后颁布了相关的设计规范。根据上述情况,作者在收集了大量最新的资料基础上,对原教材进行较大篇幅的改编,改名为《有轨线路系统工程》。

本书已列入同济大学“十二五规划教材”。与前面一本书相比,本书的特点有:

1. 优化了章节结构。重新调整了章节次序,形成三大板块:系统概述、列车运行计算和选线设计,每一板块内容既有区别,也相互呼应。
2. 增添了新的内容。增加了有轨交通系统的线网规划理论与方法和客运专线(铁路)及高速铁路的主要技术特征的介绍;将有轨交通线路工程最新的设计规范内容收纳进来,使本书的内容更加充实与实用。
3. 编写了例题和习题。为了便于自学和教学效果的考核,在本次改编中,主要章节中增加了例题。比如在列车运行计算板块中,设计了连贯系列型习题,涵盖了列车运行受力分析、列车区间运行时分计算、列车牵引能源消耗计算等内容;在选线设计板块中,设计了铁路定线作业,可以使学生得到扎实的工程设计与计算的综合训练。
4. 重视计算机工具在有轨交通线路工程规划与设计中的应用。书内较为简洁地介绍了当前列车运行计算和线路设计的流行软件的原理和主要功能。

本书共三篇十五章,由同济大学周立新教授担纲主编。除叶玉玲(编写第二篇第五章、第六章);李英(编写第三篇第十一章)外,其余内容均为周立新编写。朱明坤研究生参与了本书编写部分资料收集、整理及校对工作。

在本书编写过程中,参考了相关的专业教材(如《列车牵引计算》、《铁路选线设计》等),还参考和引用了线路工程相关的设计规范、技术标准和专著或论文(见本书末的参考文献),在此对相关作者致以衷心的感谢。

由于作者水平所限,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 4 月

目 录

前言

第一篇 有轨交通系统概述

第一章 有轨交通种类	1
第一节 铁路	1
第二节 城市轨道交通建设	6
第三节 其他有轨交通	7
复习思考题 1	12
第二章 线网建设	13
第一节 线路项目建设管理程序	13
第二节 线网规划理论与方法	15
第三节 线路项目可行性研究	22
复习思考题 2	28
第三章 轨道交通线路设计技术标准	30
第一节 普速铁路技术标准	30
第二节 其他铁路技术标准特点	36
第三节 城市轨道交通线路技术标准	41
复习思考题 3	43
第四章 线路基础	44
第一节 路基及桥隧涵建筑物	44
第二节 轨道及钢轨相互位置	49
第三节 轨道与运营参数的关系	57
第四节 无缝线路	60
复习思考题 4	62

第二篇 列车运行计算

第五章 列车受力分析	65
第一节 机车牵引力	65
第二节 列车运行阻力	70

第三节 列车制动力	75
复习思考题 5	81
第六章 列车运动方程及运行时分解算	83
第一节 单位合力曲线图	83
第二节 列车运动方程	85
第三节 列车运行速度与时分计算	87
复习思考题 6	91
第七章 列车运行计算原理应用	93
第一节 列车制动解算	93
第二节 列车牵引重量确定	97
第三节 列车牵引能源消耗计算	100
复习思考题 7	102
第八章 动车组运行计算特点	104
第一节 动车组牵引特性	104
第二节 动车组运行计算	107
复习思考题 8	108
第九章 列车运行计算电算化	109
第一节 概述	109
第二节 列车运行电算程序简介	110

第三篇 有轨交通线路选线设计

第十章 铁路选线	115
第一节 铁路选线概述	115
第二节 铁路定线原则	130
第三节 铁路定线方法	137
第四节 主要自然条件的铁路定线	141
第五节 铁路线路设计方案比选方法	148
复习思考题 10	151
第十一章 城市轨道交通选线	153
第一节 城市轨道交通网络规划	153
第二节 城市轨道交通线路走向选择	155
第三节 车站分布与站位选定	159

复习思考题 11	162
第十二章 线路平面设计	163
第一节 概述	163
第二节 区间线路平面设计	163
第三节 车站正线平面设计	176
第四节 线路设计平面图	177
第五节 城市轨道交通线路平面设计	179
复习思考题 12	181
第十三章 线路纵断面设计	182
第一节 区间纵断面设计	182
第二节 车站正线纵断面设计	192
第三节 线路设计纵断面图	194
第四节 城市轨道交通线路纵断面设计	194
复习思考题 13	196
第十四章 线路横断面设计	198
第一节 线路横断面组成	198
第二节 路基横断面设计	200
复习思考题 14	202
第十五章 线路计算机辅助设计	203
第一节 概述	203
第二节 CARD/1 软件简介	205
参考文献	209
附录 铁路定线作业任务书	210

第一篇 有轨交通系统概述

第一章 有轨交通种类

有轨交通指以固定轨道为导向的交通系统。有轨交通按不同服务区域或技术特征有不同的称谓。

(1) 按导轨的数量,可分为如下两种。

① 双轨交通,指铺设两条轨道的交通系统,常见的铁路(含高速铁路)都属于此类。

② 单轨(或称独轨)交通,是一种车辆依附于一根轨道运行的交通系统。重庆轨道交通 2 号线即属此类。

(2) 按轮轨关系,可分为如下两种。

① 钢轮钢轨交通,这是最普通的有轨交通,绝大部分铁路和城市轨道交通(包括有轨电车)都属于此类,且一般多为双轨式。

② 磁浮交通,是一种车辆依靠电磁力来悬浮并行走的交通系统,如上海浦东磁浮交通线。

(3) 按有轨交通的服务范围,可分为如下两种。

① 城市对外轨道交通,指连接不同城市的有轨交通,如铁路、客运专线(或称高速铁路)、城际铁路(或称区域铁路)。

② 城市内部轨道交通,指连接城市不同区域、副中心、城乡(区镇)的有轨交通,如城市轨道交通、市郊铁路等。

为了表述方便,本书以第三种划分为基础,兼顾不同有轨交通之间的技术特点来介绍各类有轨交通系统。

第一节 铁 路

一、世界铁路建设与发展

世界铁路建设从经济发达的西方国家开始。1825 年英国达林顿—斯托克顿间诞生了世界第一条 21 km 的铁路后,当时经济比较发达的美国、法国、德国、俄国等,纷纷效仿修建本国铁路,在 19 世纪后半叶至 20 世纪初,由于铁路在与水运的竞争中,在速度与价格方面表现出极大优越性,西方国家(如美国),在政府投资导向的支持下,进入铁路修建的高潮期。1881—1890 年的 10 年里,美国平均每年建成铁路 10 000 km。20 世纪 20 年代后,在公路运输崛起以及铁路盲目建设过快的情况下,铁路发展基本呈停滞状态。特别是第二次世界大战后,欧洲主要经济发达国家在战后重建中,公路和航空运输发展迅猛,铁路与公路、航空竞争更加激烈,铁路客、货运输量锐减,出现无利可图甚至严重亏损的状况,造成美、英、德、法、意等国封闭或拆除铁路。但一些发展中国家却开始重视铁路的建设。

20 世纪 70 年代,在世界石油危机影响下,铁路以其能源消耗少和可采用电能、对环境污

染影响小、运输能力大、用地节省、安全可靠等原因,得到了新的发展机遇。尤其是铁路广泛采用先进技术,改革牵引动力(如发展电力牵引),改进通讯信号系统(如列车速度自动控制系统)、加强轨道结构(如采用重型钢轨和超长无缝线路)、革新运输组织方式(如集装箱和驮背运输)等,大大提高了铁路在现代交通运输系统中的竞争能力,使铁路作为陆上运输的骨干地位被重新确认。

当今铁路发展两大趋势是客运高速和货运重载。1964年日本修建的世界第一条东京—大阪(515.4 km)的高速铁路,最高速度达210 km/h,使人们对铁路有了焕然一新的感觉。由于二战之后世界经济的复苏及重要经济区和大城市间人口流动日益增加,人们对陆上高速化和大容量交通需要的迫切性大为上升,从此揭开了高速铁路发展序幕。法国、意大利、前联邦德国等经济发达、资金雄厚的西方国家纷纷新建或改建高速铁路线(表1-1)。目前法国的V150超高速列车于2007年创造了574.8 km/h轮轨粘着铁路系统最高行车试验速度。中国于2008年借北京举办奥运会之机,建成了首条高速铁路——京津城际铁路,实现了中国高速铁路“零”的突破。

表 1-1

世界各国首条高速铁路线简况

年份	国 家	线 名	类别	最高速度/(km/h)	长度/km
1964	日本	东海道新干线	新建	210	515
1981	法国	TGV 东南线	新建	260	301
1981	意大利	罗马—佛罗伦萨	改造	200	150
1984	俄罗斯	莫斯科—圣彼德堡	改造	200	650
1988	前联邦德国	汉诺威—维乐茨堡	新建	280	90
1989	瑞典	斯德哥尔摩—哥德堡	改造	200	456
1992	西班牙	马德里—塞维利亚	改造	250	471
2008	中国	北京—天津	新建	350	120

在发展铁路高速客运的同时,铁路货物重载运输也在世界各国受到广泛重视。重载运输最大特点是通过增加列车的牵引重量和列车编组长度,提高线路的运输能力或降低铁路运营成本,充分发挥铁路适合运输长距离、大宗货物、全天候,以及速度快、成本低的优势。

按列车运行组织方式划分,重载列车有下面三种形式。

(1) 单元列车。在大宗货物(如煤炭、矿石等)运量集中的方向上,组织从货物装车地到卸车地之间开行的重量在6 000~15 000 t及以上的重载单元列车。其特点是运输品种单一、固定编组,以通过货物集中发送、快速装卸,加快列车周转,降低运输成本,获得更大的运输效益,提高铁路竞争能力为目标。这种列车美国、加拿大、南非、澳大利亚等国较普遍。1992年建成的大秦铁路(653 km)自2004年起,通过技术改造,常规组织开行10 000 t和20 000 t重载单元列车,2010年完成货运量超4亿吨,成为中国西煤东运的主要通道。

(2) 组合列车。是将两列以上的普通列车组合成一超长超重列车(列车重量5 000~10 000 t甚至10 000 t以上),占用一条列车运行线,以不停车通过能力紧张区段方式,解决客货列车混跑繁忙干线上的能力紧张问题。前苏联为这种方式的代表。我国一般将其作为既有

线改造因施工造成的能力紧张区段的临时能力加强措施。

(3) 单列式(整列式)列车。单列式重载列车由单机或双机牵引,使列车重量在原 3 000~4 000 t 的基础上提高到 5 000 t 及其以上,是一种通过提高列车重量达到提高既有线输送能力的重载运输组织形式。它曾经是我国京广铁路(石家庄—江岸西)、京沪铁路(济南西—南翔)、陇海铁路(郑州—徐州北)等繁忙干线为解决客车与货车争能矛盾所采取的重要举措。

高速和重载运输是铁路现代化的重要标志,同时也带动了铁路运输各生产部门设备和管理现代化,当然也对线路设计提出了更高要求。

二、中国铁路的建设与发展

旧中国的铁路建设走过了一段漫长而曲折的道路。上海吴淞铁路(14.5 km)是中国大陆上出现的第一条铁路,比世界铁路的问世整整晚了 51 年。在这以后的 70 余年里,由于帝国主义列强接连发动侵华战争,国内军阀混战,清廷和国民党统治腐败,旧中国铁路建设发展缓慢、数量少,到 1949 年才有 2 万多公里;布局偏,光东北地区铁路占中国铁路总长度的 40% 以上;各线间标准低而不统一,宽轨、准轨、窄轨并存;帝国主义分割经营及战乱造成全路管理混乱。

新中国成立后,中国铁路的发展有了长足的进步,表现在如下方面。

(1) 重点突出,铁路建设高潮迭起。建国初期,在修复遭战争破坏的既有铁路的同时,在西南和西北地区展开了大规模的新线建设,如成渝、天兰铁路;20 世纪 60—70 年代,重点放在西南“三线”铁路建设上,如成昆、川黔、贵昆等铁路相继开工建设;“六五”、“七五”期间铁路建设的重点又根据国家晋煤外运、缓解东南部经济发达地区的铁路能力紧张,展开了“北战大秦,南攻衡广,中取华东”铁路建设新战役,打通了晋煤外运东南方向的三条通道(大秦运煤铁路专线、大同一太焦线—焦柳线—黎湛线煤炭南运通道、月山—新荷线—石臼所煤炭东西走廊),建立了淮南线与鹰厦铁路连接的“华东”第二通道,提高衡广铁路南段卡脖子区段通过能力等;“八五”期间,为适应国民经济的发展速度,铁路又掀起了“强攻京九、兰新,速战侯月、宝中,再取华东、西南、配套完善大秦”的建设新高潮;进入“九五”以来,铁道部根据中央的战略部署,制定了“决战西南,强攻煤运,建设高速,扩展路网,突破七万”的跨世纪规划。截至 2009 年,我国大陆铁路营业里程已长达 86 000 km,位居亚洲第一,世界第四。其中复线里程达 33 000 km,复线率 38.8%;电气化里程 36 000 km,电化率达 41.7%。进入 21 世纪,中国高速铁路吹响了建设的新号角。

(2) 初步形成了横贯东西、沟通南北、联接亚欧的路网骨架。铁路已覆盖了全国各省、自治区首府和直辖市,目前我国铁路网主要纵向干线为:京沪线,京九线,京广线,同蒲线,太焦、焦柳线,宝成线,成昆线,京哈线等;主要横向干线为:滨洲、滨绥线,京包、包兰线,大秦线,石太、石德、胶济线,侯西、侯月、新菏兖石线,兰新、陇海线,沪汉蓉线,甬温福线,广梅汕、三茂、黎湛、南昆线等。

(3) 依靠科技,提高建设水平。建国 60 余年来,特别是改革开放 30 余年来,铁路建设依靠科技进步,积极采用新技术、新工艺、新设备和新材料,攻克了一道道设计和施工的难题,绘就了铁路建设的美丽的图画。2006 年兰新线上的乌鞘岭双线隧道(20.05 km)是世界上最长的铁路隧道之一;大秦双线单元重载电气化运煤专线开行了 2 万吨级组合重载列车;2010 开通运营沪杭高速铁路,最高试验行车速度达 416.6 km/h。在铁路线路基础、通信信号、牵引供电、调度指挥、旅客服务等方面所取得的一系列重大技术创新成果,都标志着我国铁路建设水

平正向世界前列迈进。

(4) 高速铁路网建设,带动了铁路向现代化迈进。进入 21 世纪,中国铁路拉开了不断提高列车运行速度的大幕。继 6 次大提速,2007 年第一次引进 200~250 km/h 的动车组,形成了以北京、上海为中心,在环渤海、长三角、珠三角,以及以华东、中南、西北、东北地区重点城市间的快速客运通道。截至 2010 年,中国高速铁路营业里程达 7 531 km,单列平均运营时速 350 km/h,成为世界上高铁运营里程最长、运营时速最高的国家。到 2020 年,中国新建高速铁路将超过 16 000 km(图 1-1)。



图 1-1 中国铁路网规划图

第二节 城市轨道交通建设

城市轨道交通指市郊铁路、地铁、轻轨、有轨电车、独轨铁路等轨道客运交通系统。在过去的年代里,随着汽车恶性膨胀带来的交通堵塞、道路行车速度下降、环境质量下降等众多不利影响,世界上经济发达的大城市开始重视城市快速轨道交通系统的建设(表 1-2)。在世界拥有城市轨道交通系统的 320 个城市中,已修建地铁的城市占 1/4,而同时拥有地铁和轻轨的城市超过 11%。

表 1-2 世界部分城市地铁、轻轨情况表

	城市名称	伦敦	芝加哥	巴黎	柏林	纽约	东京	莫斯科	汉城	香港
地铁	起始年份	1863	1892	1900	1902	1904	1927	1935	1974	1979
	线路长度/km	392.0	157.1	199.0	134.5	385.0	153.7	251.8	116.5	38.6
	车站数	248	143	298	159	463	140	148	102	37

续 表

	城市名称	神户	鹿特丹	莫尼黑	墨尔本	南特	马尼拉	温哥华	开罗	香港
轻轨	起始年份	1968	1969	1977	1981	1984	1985	1986	1987	1988
	线路长度/km	18.5	22.5	27.0	17.1	10.6	15.0	22.5	42.5	23.0
	车站	25	23	33	5	22	18	16	34	41

作为城市快速轨道交通最主要的工具,地铁与轻轨各具特色,尤其是 20 世纪 60 年代出现的轻轨,造价低(仅为地铁的 $1/5 \sim 1/3$),建设周期短、见效快,倍受城市交通建设部门的青睐。目前,世界上各大城市都是以繁华地区为地铁、有轨电车,近郊为轻轨,远郊为市郊铁路,竞相发展和完善多层次、立体化、四通八达的轨道交通体系。地铁与轻轨主要技术经济指标比较见表 1-3。

表 1-3 地铁与轻轨主要技术经济指标比较

指标	最高或设计行车速度/(km/h)	旅行速度/(km/h)	最小间隔时间/min	平均车辆客量/(人/车)	一般列车编组/(辆/列)	单向高峰小时能力/(万人/h)	一般每公里造价/亿元
地铁	90~120	30~45	1.5	150~310	8~10	6~8	8.0
轻轨	80~100	25~30	2	190~330	4~6	1~3	1.6~3.2

注:表中造价(人民币)为参照 1995 后国内外轨道交通建设情况的推算值。

由于历史的原因,我国城市快速轨道交通建设起步较晚。1969 年建成通车的北京地铁 1 号线(北京站—苹果园,23.6 km),结束了中国无地铁的历史。随后,在国家城市交通发展政策的支持下,天津、上海、广州也陆续投资进行地铁建设并相继投入运营。截至 2011 年 6 月,北京、上海、广州、天津、重庆、南京、深圳、武汉、长春、大连、沈阳、成都共 12 座城市开通了城市轨道交通运营,总计 49 条线路,运营总里程 1 511.11 km。此外,还有更多省会城市和二线城市在“十二五”规划中提出了建设城市轨道交通的计划,预计届时全国城市轨道交通通车总建设里程将超过 2 500 km。城市轨道交通以其快速、准点、安全、舒适、运量大、能耗少、低污染、节省土地资源等优势,正成为中国大城市公共交通网络发展的重点。

第三节 其他有轨交通

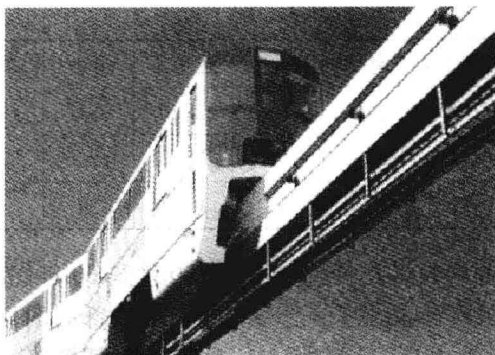
一、单轨交通

1. 概述

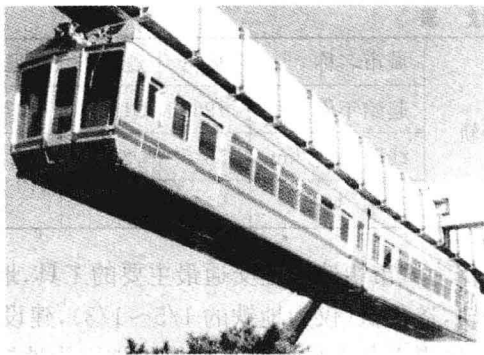
单轨交通是车辆依托于一根轨道运行的轨道交通系统。根据轨道与车辆关系,有跨座式(车辆跨坐在轨道梁上行驶)和悬挂式(车辆悬挂在轨道梁下方行驶)之分(图 1-2)。轨道有钢梁、钢筋混凝土梁等形式。大多数单轨系统采用橡胶轮胎,电气牵引和盘形制动。

2. 单轨交通的特点

(1) 单轨铁路占地少。单轨铁路可利用城市道路中央隔离带设置结构墩柱,高架单轨不需要很大空间,由于采用单一轨梁,相对于城市轻轨轨道所占的空间更小。区间双线跨座式单轨轨道结构宽约为 5 m,悬挂式单轨约为 7 m,结构宽比地铁或轻轨缩减 44%~41%。



(a) 跨座式



(b) 悬挂式

图 1-2 单轨交通

(2) 运能较大。单轨列车一般由 4~6 节车辆组成,运输能力为 0.5 万~2 万人/小时,运送速度一般在 30~40 km/h。

(3) 能适应复杂地形要求。由于使用橡胶轮胎,可以适应复杂地形的要求,适宜在狭窄街道的上空穿行,可减少拆迁,降低造价。线路容许采用的弯道最小半径可小至 30~50 m,最大坡度可达 6%,这是其他轨道交通无法办到的,也是山城重庆轨道交通 2 号线选择单轨交通的主要因素之一。

(4) 建设工期短,造价低。单轨系统作为由高架类型发展而来的快速轨道交通,土方工程量不大,建设成本较低。单轨交通的车辆和轨道容易检查和维修保养,轨道使用寿命长,运营管理费用相对也较低。另外,单轨交通结构比较简单,标准轨道梁可在工厂预制,现场拼装,既保证了精度,又便于施工,从而可缩短建设工期。

(5) 能保证运输安全。由于车辆与轨道的特殊结构,在轨道梁两侧均有起稳定作用的导向轮,不会发生行车颠覆,能确保运行安全。

(6) 噪声与振动均低,且无排气污染等公害。由于单轨车辆采用了橡胶轮胎和空气弹簧转向架,在运行中振动小、噪声低,而电气牵引则保证了没有污染空气的废气排出。

(7) 对日照及城市景观影响小。由于高架单轨占用空间小,沿线不会投下很大的遮光阴影,并且对城市景观还能起到一定的点缀作用。

但是,单轨交通也存在不足之处,如:列车在空中行驶,一旦在区间发生故障,救援工作比较复杂;单轨交通的道岔系统构造比较复杂。特别是跨座式单轨道岔形体比较笨重,转换一次道岔的时间一般都需 10 s 以上,而且列车减速通过道岔,降低了列车平均运速,需要较长的列车折返时间(一般约 3 min),同时,单轨交通受轮胎承载力的限制,载客量和车辆长度均受到制约,线路运能受到限制;采用橡胶车轮在混凝土梁上行驶的单轨交通,胶轮耐磨性差,使用寿命比钢轨短。

3. 单轨交通适应性

由于其运能有限,且运行速度难以大幅度提高,多用于市区内次要交通干线或作为市区通往机场、码头等大型对外交通枢纽,以及用于娱乐场所的交通工具。如:日本东京的(浜松町站—羽田空港)羽田线 16.9 km、大阪的大阪空港—门真市线 21.2 km。美国佛罗里达迪斯尼乐园也建有 8.0 km 的单轨交通线,为主干道游客往来提供交通服务。

二、磁浮交通

1. 概述

磁浮交通,是依靠电磁力来悬浮车辆并行走的一种交通方式。其基本原理是:在车辆与导轨无接触的情况下,利用电磁系统产生的吸引力或排斥力使车辆悬浮,利用电磁力进行导向和驱动,使车辆不偏离既定轨道运行。

当前磁浮交通分两种技术模式:以德国为代表的常导型(如 TR 系列磁浮车)和以日本为代表的超导型(如 MLU 磁浮车)。

(1) 常导磁吸式。一般采用“T”形导轨,车辆环绕导轨运行(图 1-3)。导轨上的驱动、悬浮绕组安装在导轨侧翼底部,车辆上的驱动、悬浮绕组安装在车辆下翼的上缘,通过电磁作用,将列车向上吸起悬浮于轨道上,使车体与导轨之间保持约 10 mm 的间隙。车辆和轨面之间的间隙与吸引力的大小成反比。轨道绕组中的电流产生一个电磁行波场,作用于车上的悬浮电磁铁,驱动列车前行。改变行波磁场的方向,将使电动机变为发电机,对列车实施无接触再生制动,制动的能量可反馈回电网。

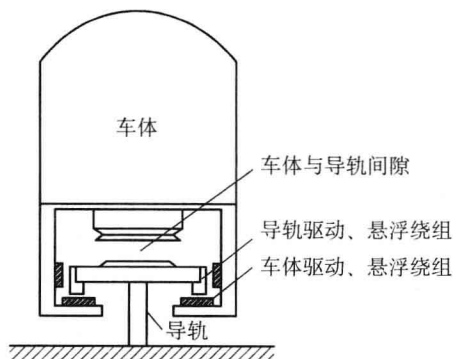


图 1-3 常导吸引式磁浮

(2) 超导型磁浮。所谓超导现象,就是当某种金属处于极低温度(比如 -269°C)的情况下,就会产生电阻为零的现象。给这种金属通电,电流就会毫无损耗地永久流动。当列车运动时,车载磁体(低温超导线圈或永久磁铁)的运动磁场在安装于线路上的悬浮线圈中产生感应电流,两者相互作用,地面绕组产生的磁场与车辆绕组产生的磁场同性相斥,当两个磁场产生的排斥力大于车辆重量时,车辆就浮起来,间隙可达 100 mm 左右(图 1-4)。这个间隙与列车速度高低有关。一般列车速度达到 100 km/h 时车体才能悬浮。因此,超导型磁浮列车必须在车辆上装设机械辅助支承装置,如辅助支持轮及相应的弹簧支承等,以保证列车安全可靠地起动和精确控制停车。

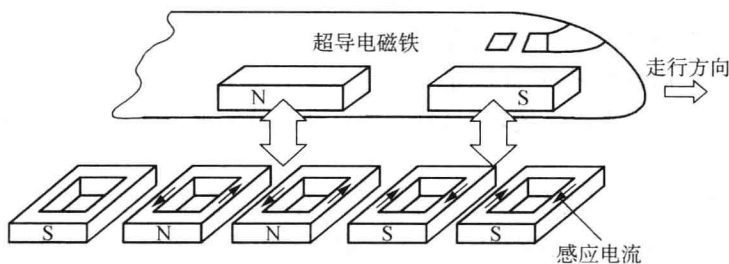


图 1-4 超导磁斥式磁浮

相对于超导磁浮交通,常导磁浮交通系统结构相对简单,不需要设置专用的着地支撑装置和辅助的着地车轮,对控制系统的要求也可以稍低一些。上海浦东磁浮交通线采用的是常导型磁浮。

2. 磁浮交通的特点

(1) 速度高。最高速度可达 400~500 km/h, 而且加速快(5 km 之后, 速度可增至 300 km/h), 中长距离运输优势明显。

(2) 安全性高。磁悬浮列车采用跨座式单轨结构, 不会发生脱轨和颠覆事故。

(3) 噪声源少。由于磁悬浮列车运行取消了机器内部产生的噪声, 没有轮轨接触和受电弓的机械接触产生的噪声, 所以, 除了空气动力原因的噪声外, 并无其他噪声源。

(4) 维修少。由于列车无接触运行, 固定安装的导向轨形位受影响小, 可节省维修工作和维修费用。

(5) 舒适度良好。固定的车道结构, 使全区段长度上的动力影响一致, 从而提高了列车运行的平顺性, 保证了旅客舒适度。

(6) 选线自由度大。已经证明, 磁悬浮列车的爬坡能力可达 4%~10%; 曲线地段最大横坡角可达 12°, 从而可采用较小的曲线半径。

(7) 能耗少。根据比较研究, 磁悬浮列车的能耗量较传统高速铁路列车少约 1/3。

但是, 因采用跨座式单轨形式, 磁浮交通同样存在单轨交通的短处。此外, 磁浮交通完全依赖电磁力实现悬浮、导向和驱动, 一旦失电安全保障难, 如制动问题; 磁浮系统复杂, 特别是超导磁浮, 除线路上部 and 下部结构外, 还需设置庞大的冷却系统, 初期投资昂贵; 因制式的独特性, 存在不能与其他有轨交通线路兼容运行的缺憾。

3. 磁浮交通的适应性

当前磁浮有高速和中低速之分。

(1) 高速磁浮列车作为一种新型高速交通工具, 为当今世界高速交通增添了新成员。按最高速度(500 km/h)计算, 其市场的有利竞争距离在 1 000~1 200 km, 可与航空相媲美。至今建成的上海浦东磁浮线(30 km)仅为一条示范线。

(2) 中低速磁浮列车一般采用短定子/常导型, 其最高速度在 300 km/h 以下。因其速度低、造价降低, 可服务城区中短距离的客运。

日本于 1988 年在琦玉博览会展示了 HSST-05 型磁浮车。在 191 天展览会开放日里, 共运送了 12.6 万人。随后还研发了 HSST 系统产品, 如 HSST-300 城市际列车(最高速度 330 km/h)、HSST-200 市郊列车(最高速度 230 km/h)和 HSST-100 市区列车(最高速度 130 km/h)。但是, 因 HSST 存在直线电机阻力大和效率较低的缺点, 与轮轨交通系统相比, 相对能耗及运营成本较高; 在运输能力方面, 按 HSST-100 车辆的设计, 其平均定员(包括站席)不足 130 人, 编组辆数有限, 不能满足大运量及长途客运的要求。所以日本并不以 HSST 作为一种普遍应用的城市轨道系统, 而只是在博览会等特定地形条件下, 作为一种旅程不长的城市交通补充工具。

2012 年 1 月中国自主研发的第一列可商业运营的中低速磁浮列车(时速 100 km, 载客 600 人)在湖南株洲的中国南车株洲电力机车有限公司正式下线, 标志着我国磁浮交通进入了新的发展阶段。

三、自动轨交通

1. 概述

自动轨交通 AGT (Automated Guideway Transit) 是一种车辆运行具有侧向或中央导