

© 周立新 编著

# 有轨线路系统工程

(第2版)

Rail Line System Engineering ( 2nd Edition )



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

# 有轨线路系统工程

(第2版)

周立新 编著

## 内 容 简 介

本书以有轨交通为主线,全面介绍了国内外有轨交通发展历程和现代各类有轨交通线路的特点,并且将有轨交通的列车牵引计算与线路选线设计的基本理论和方法融合在一起介绍。主要内容包括: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。此外,书中还配有专题讲解和相关知识点视频,扫描相应二维码即可观看。

本书可作为高等院校交通工程、交通运输、物流工程、城市规划等非线路工程专业教材,也可供有关教学人员以及从事相关设计、研究和运营管理工作的人员学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

有轨线路系统工程 / 周立新编著. —2 版. —上海:  
同济大学出版社, 2019. 12

ISBN 978-7-5608-8869-9

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(2019)第 267241 号

---

---

## 有轨线路系统工程(第2版)

周立新 编著

责任编辑 杨宁霞 李杰 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](http://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  
排 版 南京文脉图文设计制作有限公司  
印 刷 常熟市华顺印刷有限公司  
开 本 787 mm×1092 mm 1/16  
印 张 14.5 插页 2  
字 数 362 000  
版 次 2019 年 12 月第 2 版 2019 年 12 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5608-8869-9

---

定 价 45.00 元

---

---

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

## 第 2 版前言

2012年,《有轨交通线路工程》第1版教材面世。7年来,我国铁路和城市轨道交通发展迅猛,高速铁路营业里程以逾世界60%的比例雄居第一。为了适应新型线路设计的需要,近年来,国家铁路局、铁路集团有限公司、住房和城乡建设部等部门于2017年前后在总结我国轨道交通设计与实践经验的基础上,先后颁布了多项有关轨道交通方面的新设计规范,对原先的设计规范的部分技术条件与标准或规定进行了调整。为了适应上述情况的变化,作者再次收集了大量最新的资料,对原编教材进行了较大篇幅的更新与补充。

同济大学浙江学院的“线路工程”课程已列入浙江省“十三五”精品建设课程名录。本教材是该课程的配套教材,也是学校“十三五”规划重点支持教材。与第1版相比,新版的特点如下:

(1) 仍围绕系统概述、列车运行计算和选线设计三大方面展开,但内容上根据新颁布的多部规范或管理规定,对旧版内容进行了调整、补充。

(2) 吸纳了最新的有轨线路规划与设计的科研成果,增补了动车组运行的牵引与制动计算的相关参数与计算示例。

(3) 增加了列车制动限速表内容,并通过示例演绎了表格的使用方法,增加了该教材的实用性。

(4) 根据修改内容,对原有例题和习题也同步进行了调整、丰富与完善,并且增补了部分习题的答案提示,便于学生课后自我练习。

(5) 结合精品课程建设,开发了微课视频。读者可扫描书中的二维码,观看相关专业知识点教学视频,为学生自主学习提供了新途径。

本书第2版的修订工作由同济大学浙江学院周立新教授主持、统稿。其中,宋唯维高级工程师对第一章内容提出了有益的修改建议;中国铁路上海局集团公司金祖德高级工程师修编了第三章第一节内容;同济大学浙江学院的李海锋副教授负责第四章、第十五章、附录的修编;其他章节内容均由周立新修编。

在本书编写过程中,参考了已出版的相关专业教材,如《列车牵引计算》《铁路选线设计》等,还引用了线路工程相关的设计规范、技术标准、专著或论文的部分内容。中铁上海设计院集团有限公司刘晓东工程师和上海隧道工程轨道交通设计研究院余潇源工程师为本书修编提供了轨道交通设计新规范的数种文本。在此向相关作者和资料提供者致以衷心的感谢。

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  
2019年6月

# 第1版前言

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200km/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

第 2 版前言

第 1 版前言

## 第一篇 有轨交通系统概述

第一章 有轨交通种类 .....	2
第一节 铁路 .....	2
第二节 城市轨道交通 .....	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 .....	29
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 .....	36
第三节 城市轨道交通线路技术标准 .....	39
复习思考题 3 .....	42
第四章 线路基础 .....	43
第一节 轨道 .....	43
第二节 路基及桥梁、隧道、涵洞 .....	53
第三节 轨道几何尺寸与限界 .....	58
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 .....	64
第一节 机车牵引力 .....	64
第二节 列车运行阻力 .....	69
第三节 列车制动力 .....	74
复习思考题 5 .....	82
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 .....	86
第三节 列车运行时分解算 .....	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 列车制动限速表 .....	98
第三节 列车牵引质量确定 .....	104
第四节 列车牵引能源消耗计算 .....	107
复习思考题 7 .....	110
第八章 动车组运行计算特点 .....	111
第一节 动车组牵引特性 .....	111
第二节 动车组运行计算 .....	114
复习思考题 8 .....	117
第九章 列车运行仿真计算 .....	118
第一节 概述 .....	118
第二节 列车运行仿真计算软件简介 .....	119

## 第三篇 有轨交通线路选线设计

第十章 铁路选线 .....	122
第一节 铁路选线概述 .....	122
第二节 铁路定线原则 .....	138
第三节 铁路定线方法 .....	144

---

第四节 主要自然条件的铁路定线 .....	148
第五节 铁路线路设计方案比选方法 .....	154
复习思考题 10 .....	158
<b>第十一章 城市轨道交通选线 .....</b>	<b>160</b>
第一节 城市轨道交通网络规划 .....	160
第二节 城市轨道交通线路走向选择 .....	163
第三节 车站分布与站位选定 .....	167
复习思考题 11 .....	170
<b>第十二章 线路平面设计 .....</b>	<b>171</b>
第一节 概述 .....	171
第二节 区间线路平面设计 .....	171
第三节 车站正线平面设计 .....	185
第四节 线路设计平面图 .....	186
第五节 城市轨道交通线路平面设计 .....	188
复习思考题 12 .....	191
<b>第十三章 线路纵断面设计 .....</b>	<b>192</b>
第一节 区间线路纵断面设计 .....	192
第二节 车站正线纵断面设计 .....	203
第三节 线路设计纵断面图 .....	204
第四节 城市轨道交通线路纵断面设计 .....	206
复习思考题 13 .....	207
<b>第十四章 线路横断面设计 .....</b>	<b>208</b>
第一节 线路横断面组成 .....	208
第二节 路基横断面设计 .....	210
复习思考题 14 .....	214
<b>第十五章 线路计算机辅助设计 .....</b>	<b>215</b>
第一节 概述 .....	215
第二节 CARD/1 软件简介 .....	216
<b>参考文献 .....</b>	<b>218</b>
<b>答案提示 .....</b>	<b>220</b>
<b>附录 铁路选线作业任务书 .....</b>	<b>224</b>

# 第一篇

## 有轨交通系统概述



# 第一章 有轨交通种类

专题1 轨道  
交通种类及其  
发展

有轨交通是以固定轨道为导向运行的交通系统。有轨交通按不同服务区域或技术特征有不同的称谓。

## 1. 按导轨的数量分类

(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)、地铁、轻轨等都属于此类。

(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. 按轮轨和导向关系分类

(1) 钢轮钢轨交通,这是最常见的有轨交通,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悬浮并行走的交通系统,如上海浦东磁浮交通线。

(3) 胶轨钢筋混凝土轨交通,是利用橡胶材质导向轮导向的城市快捷交通系统,如上海浦江线胶轮路轨列车。

## 3. 按有轨交通的服务范围分类

(1) 城市对外轨道交通,指连接不同城市的有轨交通,如(普速)铁路、高速铁路、城际铁路等。

(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、市域或市郊铁路等。

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。自1825年英国达林顿—斯托克顿诞生了世界第一条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,在铁路运输与水运的竞争中,由于铁路运输在速度与价格方面表现出极大的优越性,美国等西方国家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,铁路无利可图甚至出现亏损严重的状况,造成美、英、德、法、意等国封闭和拆除铁路。但一些发展中国家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并可采用电能、对环境污染影响小、运输能力大、用地节省、安全可靠等特点,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)、改进通信信号系统(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重新被确认。

当今铁路发展的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高速铁路——东京—大阪(515.4 km),最高速度达210 km/h,使人们对铁路有了焕然一新的感觉。由于第二次世界大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求的迫切性也大为上升,从此揭开了高速铁路发展序幕。法国、意大利、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(表1-1)。目前,法国的V150超高速列车于2007年创造了574.8 km/h轮轨黏着铁路系统最高行车试验速度。中国在2008年北京举办奥运会之际,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

建设年份	国 家	线 名	类别	最高速度/(km·h <sup>-1</sup> )	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—圣彼得堡	改造	200	650
1988	德国	汉诺威—维尔茨堡	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

在发展高速铁路客运的同时,铁路货物重载运输也在世界各国受到广泛重视。重载运输最大的特点是通过增加列车的牵引质量和列车编组长度,提高线路的运输能力或降低铁路运营成本,充分发挥铁路在长距离运输大宗货物方面所具有的全天候、速度快、成本低的优势。

按列车运行组织方式划分,重载列车有以下三种形式。

(1) 单元列车:编组固定、运送货物品种单一、运量大而集中、在装车地和卸车地之间循环往返运行的重载列车。它通过货物集中发送、快速装卸来加快列车周转,降低运输成本,获得更大的运输效益,从而提高铁路竞争能力。这种列车在美国、加拿大、南非、澳大利亚等

国较普遍。我国新建大秦铁路(653 km)自2004年起,常规组织开行1万t和2万t单元列车,最高每天开行100对不同吨位级的重载列车,列车运行间隔时间保持在13~15 min。在装车组织上,大力推进战略装车点建设,形成了较大发运能力的装车体系,日运输能力超过120万t。2010年完成货运量超过4亿t,成为中国西煤东运的主要通道。

(2) 组合列车:由不同装车地组织单元列车、最终集结而成的重载列车。将两列以上的普通货物列车组合成一列超长超重列车(列车质量甚至超过10 000 t),占用一条列车运行线,以不停车方式通过能力紧张区段,可以解决某些繁忙干线的能力不足问题。2014年4月2日,大秦线3万t重载列车运行试验取得圆满成功,创造了我国铁路重载组合列车牵引质量的新纪录。

(3) 单列式(整列式)列车:单列式重载列车由单机或双机牵引,使列车质量在原3 000~4 000 t的基础上提高到5 000 t及以上,是一种通过提高列车牵引质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

中国的铁路建设曾走过一段漫长而曲折的道路。上海吴淞铁路(14.5 km)是中国大陆出现的第一条铁路,比世界铁路的问世整整晚了51年。在这以后的70余年里,中国铁路建设发展缓慢,数量少,到1949年才2万多千米;布局偏,东北地区铁路占中国铁路总长度的40%以上;各线间标准低且不统一,宽轨、准轨、窄轨并存;当时帝国主义列强分割经营及战乱造成全路管理混乱。

中华人民共和国成立后,中国铁路的发展取得了长足的进步,表现在以下四个方面。

(1) 重点突出,铁路建设高潮迭起。建国初期,在修复遭战乱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,根据国家晋煤外运的需要,以及为了缓解东南部经济发达地区的铁路能力紧张的问题,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3条通道(大秦运煤铁路专线、大同—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;“八五”期间,为适应国民经济发展速度的加快,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”期间,铁道部根据中央战略部署,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。到2009年,我国大陆铁路运营里程就达8.6万km,位居亚洲第一、世界第四。其中,复线里程达3.3万km,复线率38.8%;电气化里程36 000 km,电气化率达41.7%。进入21世纪,中国高速铁路建设吹响了新的号角。

(2) 初步形成了横贯东西、沟通南北、连接亚欧的路网骨架。铁路已覆盖了全国各省、自治区首府和直辖市。21世纪初,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 70 年来,特别是改革开放 40 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画卷。2006 年,兰新线上的乌鞘岭双线隧道(20.05 km)是当时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 t 级组合重载列车;2010 年开通运营的沪杭高速铁路最高试验行车速度达 416.6 km/h;2016 年 7 月 15 日,我国自主设计研制的中国标准动车组成功完成了世界首例 420 km/h 的交会试验。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 次大提速后,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、珠三角以及华东、中南、西北、东北地区重点城市间的快速客运通道。截至 2018 年,全国铁路运营里程达到 13.1 万 km,其中高铁里程超过 2.9 万 km,单列平均运营时速 250~350 km/h,成为世界上高铁运营里程最长、运营时速最高的国家。根据 2016 年新的建设规划,远期将形成 4.5 万 km“八纵八横”的高速铁路网(图 1-1)。



图 1-1 中国“八纵八横”快速铁路网规划图

(图片来源:国家铁路局)

## 第二节 城市轨道交通

城市轨道交通指服务于城市内部的轨道交通系统,是城市公共交通系统的重要组成部分。按照技术特征,它有地铁、轻轨、有轨电车、独(单)轨、自动导向系统、市域快速轨道交通系统之分。过去,汽车恶性膨胀带来了交通堵塞、道路行车速度下降、环境质量下降等众多不利影响,西方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座城市中,已修建地铁的城市占1/4,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

地铁	城市名称	伦敦	芝加哥	巴黎	柏林	纽约	东京	莫斯科	首尔	香港
	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
轻轨	城市名称	神户	鹿特丹	慕尼黑	墨尔本	南特	马尼拉	温哥华	开罗	香港
	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
	车站数	25	23	33	5	22	18	16	34	41

作为城市轨道交通主要的工具,地铁与轻轨各具特色,其技术经济指标比较如表1-3所示。20世纪60年代出现的轻轨,其造价低(仅为地铁的1/5~1/3),建设周期短,见效快,备受城市交通建设部门的青睐。目前,世界上各大城市的轨道交通布局都是繁华地区为地铁、有轨电车,近郊为轻轨,远郊为市郊铁路或市域轨道交通,形成多层次、立体化、四通八达的轨道交通体系。

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 <sup>-1</sup> )	旅行速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	最小间隔 时间/min	平均载客量/ (人·车 <sup>-1</sup> )	一般列车 编组/(辆· 列 <sup>-1</sup> )	单向高峰 小时能力/ (万人·h <sup>-1</sup> )	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:表中造价是参照1995年后国内外轨道交通建设情况推算而得。

由于历史原因,我国城市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、广州也陆续进行地铁建设并相继投入运营。截至2018年,全国(不含港澳台地区)共计36座城市开通城市轨道交通并投入运营,运营线路长度达到5758.5 km,其中运营线路长度超过100 km的城市有:北京、上海、深圳、广州、南京、重庆、武汉、天津、大

连、成都等。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

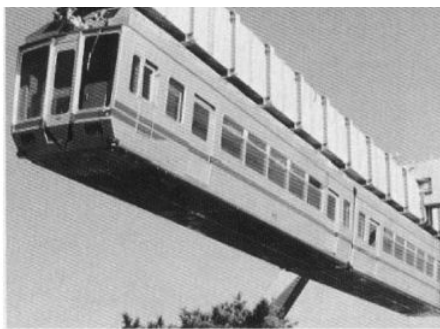
#### 一、单轨交通

##### 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)两种(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、电力牵引和盘形制动。



(a) 跨座式



(b) 悬挂式



跨座式单轨  
列车

图 1-2 单轨交通

##### 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,其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 5 m,悬挂式单轨宽约 7 m,结构宽比地铁或轻轨缩减 41%~44%。

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

(3) 能适应复杂地形。由于单轨列车使用橡胶轮胎,可以适应复杂地形,适宜在狭窄街道的上空穿行,可减少拆迁,降低造价。线路允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,运营管理费用也相对较低。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[图 1-2(a)],不会发生行车颠覆,能确保运行安全。

(6) 噪声小、振动小,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,在运行时振动小、噪声小,而电力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。

然而,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要 10 s 以上,而且列车减速通过道岔,降低了列车平均运速,导致列车折返时间较长(一般约 3 min);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;使用寿命比钢轨短。

### 3. 单轨交通的适应性

由于单轨交通运能有限,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—羽田空港的羽田线(16.9 km),大阪的大阪空港—门真市线(21.2 km);美国佛罗里达迪士尼乐园也建有 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使其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。

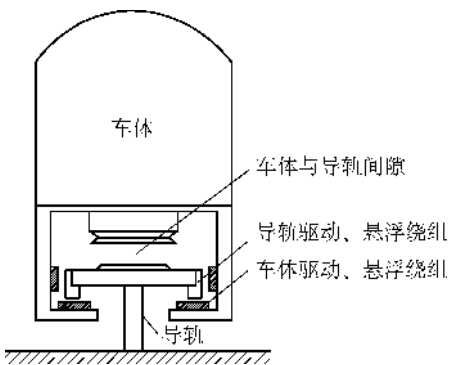


图 1-3 常导吸引式磁浮

当前磁浮交通有两种技术模式: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) 常导吸引式磁浮。一般采用“T”形导轨,车辆环抱导轨运行(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。



磁浮列车

(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  $-269^{\circ}\text{C}$ )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,二者相互作用,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,车辆就会浮起来,间隙可达 100 mm 左右(图 1-4)。这个间隙与列车运行速度高低有关。一般列车运行速度

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,以保证精确控制列车安全可靠地起动或停车。

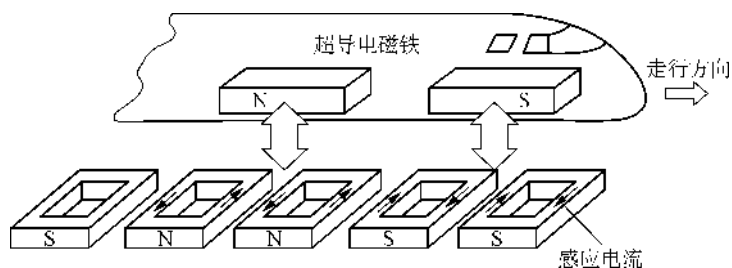


图 1-4 超导磁斥式磁浮

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稍低一些。上海浦东磁浮交通线采用的就是常导型磁浮。

### 2. 磁浮交通的特点

(1) 速度快。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。由于磁浮列车运行没有机器内部产生的噪声,也没有轮轨接触和受电弓的机械接触产生的噪声,所以,除了空气动力原因造成的噪声外,并无其他噪声源。

(4) 维修少。由于列车是无接触运行,因此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。实践证明,磁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) 能耗小。根据比较研究,磁浮列车的能耗较传统高速铁路列车约低 1/3。

然而,磁浮交通因采用跨座式单轨形式,其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,若一时失电,安全保障难,如制动问题的解决;磁浮系统复杂,特别是超导磁浮,除线路上部和下部结构外,还需设置庞大的冷却系统,初期投资大;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

当前磁浮交通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系统增添了新成员。按最高速度(500 km/h)计算,其市场有利竞争距离在 1 000~1 200 km,可与航空运输相媲美。已建成的上海浦东磁浮线(30 km)仅为一条示范线。2019 年 5 月 23 日,我国时速 600 km 的高速磁浮试验样车在青岛下线,这标志着我国在高速磁浮技术领域实现了重大突破。

(2) 中低速磁浮列车一般采用短定子/常导型,最高速度在 300 km/h 以下。其速度低,