

高等学校城市轨道交通系列教材

上海市本科教育高地建设资助项目

城市轨道



安全工程概论

- 主 编：刘志钢 谭复兴
- 副主编：何 静 丁小兵 陆定中
- 主 审：杜心言

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校城市轨道交通系列教材
(上海市本科教育高地建设资助项目)

城市轨道交通 安全工程概论

主 编 刘志钢 谭复兴
副主编 何 静 丁小兵 陆定中
主 审 杜心言

中 国 铁 道 出 版 社

2010年·北 京

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通安全工程概论/刘志钢、谭复兴主编. —北京:中国铁道出版社,2010.10

(高等学校城市轨道交通系列教材)

ISBN 978-7-113-11493-0

I. ①城… II. ①刘… ②谭… III. ①城市铁路—交通运输安全—高等学校—教材 IV. ①U298

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 103104 号

书 名: 高等学校城市轨道交通系列教材
城市轨道交通安全工程概论
作 者: 刘志钢 谭复兴等

策划编辑:殷小燕 电话:(010)51873147
责任编辑:殷小燕
封面设计:陈东山
责任校对:张玉华
责任印制:陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京华正印刷有限公司

版 次:2010年10月第1版 2010年10月第1次印刷

开 本:787 mm×960 mm 1/16 印张:16 字数:292 千

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 978-7-113-11493-0

定 价:30.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

电 话:市电(010)51873170 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504 路电(021)73187

序

随着国民经济的持续快速发展、城市化水平的不断提高,我国城市轨道交通正处在大发展、大建设阶段——上海、北京等城市的轨道交通系统已由单线运营迈入了网络化运营时代;其他城市的轨道交通网络化规划与建设也在不断深化和完善。城市轨道交通建设正面临前所未有的发展机遇和挑战。

城市轨道交通列车运行速度高、密度大、设施设备量大且技术复杂,特别是地下车站和区间隧道,环境封闭、人员密集、复杂且流动性大,在突发事故和灾害情况下应急处置难度高,人员疏散限制大。当前国内外防(反)恐形势严峻,城市轨道交通安全不仅具有其特殊性,而且面临着很多新形势、新问题和新要求。城市轨道交通系统建设和运营阶段的首要任务就是“安全”。城市轨道交通安全问题已引起世界各国政府和社会各界的高度重视,并已纳入到国家安全战略研究的范畴。建立安全保障体系、提高轨道交通系统抵抗重大事故和灾害的能力,确保轨道交通的安全已成为城市轨道交通建设和运营的首要问题。

我国城市轨道交通发展历史较短,与其他发达国家相比,对于安全问题的研究,安全保障体系建设等方面还比较落后,存在着规划、设计、建设缺乏经验,标准偏低,安全设施及设备不完善且投入不足,安全监督管理体系、事故预防体系和应急处置机制不健全,应对特大安全事故和突发事件的能力较低,安全监管的法律、法规建设滞后等突出问题。为加强城市轨道交通安全管理工作,建立健全城市轨道交通安全监督管理长效机制,提高城市轨道交通运营安全保障能力和水平,建立适合我国国情的城市轨道交通安全保障体系已迫在眉睫。

本书的撰写正好填补了我国高等院校城市轨道交通专业教材方面的空白。此书内涵丰富,紧贴实践,书中既汇聚了上海城市轨道交通网络化建设和运营的实践经验,也汇集了上海工程技术大学城市轨道交通专业教师们在教学实践中的新理念、新体验;体现了理论与实践有机结合,不仅系统地讲授了轨道交通安全基础理论知识,还引用了相关现场实际资料、案例加以评析。在书中我们可以看到中国城市轨道交通运营安全理论与实践不断探索发展的脉络。

城市轨道交通专业涉及人、机、环境等多学科领域,覆盖的专业技术内容和深度也随着科技进步在不断变化和更新。上海工程技术大学城市轨道交通学院和上海申通地铁集团有限公司的参编人员为本书的编写和出版付出了辛勤的劳

动。他们博采众家之长,面向实际轨道交通运营安全问题及改善需求,从基础理论、安全评价、风险分析、事故防范、反恐、消防安全等多角度深入浅出地阐述了轨道交通安全工程领域的相关理论、方法与案例,力求使读者获得系统性和实用性的知识。这本书的出版让我们有了继续发展和完善城市轨道交通安全系统工程的理论和实践的坚强基石。

让我们并肩探索轨道交通安全科学,共同为保障轨道交通运营安全出力,使轨道交通真正成为安全、快捷、高效、舒适的城市公共交通方式。

邵伟中

2010.8

前 言

城市轨道交通作为城市交通的骨干力量,系统的安全运营直接关系到人民群众和财产的安全。目前,城市轨道交通系统的公共安全问题已被世界各国纳入国家安全战略研究的范畴。城市轨道交通的整个生命周期阶段都蕴含着很多安全隐患,一旦酿成事故,将会带来较大的负面社会影响。本书以此作为切入点,介绍了城市轨道交通运营安全的基本理论和方法,从基本理论、安全评价、风险分析、事故防范、反恐、消防安全等角度阐述城市轨道交通运营安全中设计的问题,深入浅出地进行了分析。

全书分为8章。第1章绪论,涉及安全科学的基础知识,包括安全、危险、安全性、可靠性及其基本关系等基本概念;第2章安全基本理论,主要讲述事故致因理论、可靠性理论两大基础理论,两大理论是研究安全科学的基础;第3章城市轨道交通安全分析与评价方法,分别涉及交通安全分析方法,事故原点分析法,事故原因调查法。交通安全分析方法是安全分析的重点,具体为模糊聚类法、安全检查表法、事故树分析法,根据具体的应用范围选择适当的方法。事故树分析方法无论是在公共安全还是轨道交通安全方面都是很重要的方法,根据事故树的逻辑关系和相关基本事件的发生概率进行顶事件发生概率计算;第4章城市轨道交通风险分析,主要从风险理论引出本章的基础内容,谈到安全就离不开风险和隐患的分析,本书从风险角度提出主要的风险分析和评估方法。第5章城市轨道交通事故及其防范,城市轨道交通事故发生率是轨道交通运营状况的主要参数之一,本书从主要事故的种类出发,逐渐深入讲到事故的预防和控制,无论是初学者还是有一定基础知识的读者都能理解,力争做到安全生产,使轨道交通真正成为城市交通的大动脉;第6、7、8章分别从城市轨道交通安全管理、城市轨道交通事故案例、城市轨道交通防(反)恐怖事件方面作了详细讲述,尤其是第8章,防恐怖事件是目前轨道交通的一个重要方面,本书也是将此作为重点,力求给读者详细全面的知识。

全书的具体分工为:第1章由何静、丁小兵、李伟执笔,第2章由丁小兵执笔,第3章由刘志钢、丁小兵执笔,第4章由刘志钢、陆定中执笔,第5、6章由刘志钢、谭复兴、李健执笔,第7、8章由何静、丁小兵、李伟执笔,在最后校对阶段,胡华完成了文字整理事务,全书由刘志钢、谭复兴负责框架设计,资深轨道交通安全专家杜心言最终审阅定稿。

本书是上海工程技术大学城市轨道交通学院编写的城市轨道交通系列教材之一,并获得上海教育委员会第三期本科教育高地建设项目资助,中国铁道出版社“十二五”重点教材。在教材的编制过程中得到了上海申通地铁有限公司大力支持和帮助,为本书的完成提供了调研基地,并提供了部分实践和研究成果。在本书编著过程中学习参考了不少著作和论文(详见参考文献),在此一并表示衷心感谢!

本书为城市轨道交通运营领域的深入研究奠定了基础,在这个城市轨道交通大发展的时代,随着外界和内在因素的变化,城市轨道交通的运营安全控制系统的补充、发展和完善则需要很长时间和更多的智慧。书中难免出现不妥和错误之处,我们既恳请得到同行和读者批评指正,更希望得到你的理解和支持。

作 者

2010年6月于上海

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 城市轨道交通的发展	1
1.1.1 世界城市轨道交通的发展历程	1
1.1.2 城市轨道交通的优点	3
1.1.3 城市轨道交通的分类	3
1.1.4 我国大陆城市轨道交通的发展概况及前景	7
1.2 安全科学基础理论	8
1.2.1 基本概念	8
1.2.2 相互关系	10
1.2.3 安全问题的基本特性	12
1.3 城市轨道交通的安全	13
1.3.1 城市轨道交通的公共安全	13
1.3.2 城市轨道交通的运营安全	15
第 2 章 安全的基本理论	18
2.1 事故致因理论	18
2.1.1 单因素事故致因理论	18
2.1.2 事故因果连锁理论	19
2.1.3 瑟利人因系统理论方法	21
2.1.4 轨迹交叉理论	23
2.2 可靠性理论	25
2.2.1 可靠性基本概念	25
2.2.2 可靠性特征量(可靠性指标)	26
2.2.3 可靠性技术	28
2.2.4 系统可靠性	30

第 3 章 城市轨道交通安全分析及其评价方法	34
3.1 交通安全分析方法	34
3.1.1 模糊聚类方法	34
3.1.2 安全检查表法	37
3.1.3 事故树分析法	38
3.2 事故原因调查法	55
3.2.1 事故原因模型	56
3.2.2 事故原因调查应注意的事项	56
3.2.3 事故原因调查的步骤	58
3.2.4 针对事故内容的原因分析	62
3.2.5 特别事故的调查项目	64
3.2.6 事故危险的动态模型	71
3.3 事故原点分析法	91
3.3.1 事故原点的概念及事故原点的确定方法	91
3.3.2 事故调查技术	93
3.3.3 事故现场勘查方法和步骤	95
3.3.4 事故的数理分析及事故过程分析	97
第 4 章 城市轨道交通风险分析	104
4.1 风险理论	104
4.1.1 风险概念	104
4.1.2 风险的数学表达	104
4.1.3 风险管理步骤	105
4.2 城市轨道交通风险分析	105
4.2.1 设备因素	106
4.2.2 人员因素	108
4.2.3 环境因素	109
4.2.4 管理因素	109
4.3 城市轨道交通风险的评估	110
4.3.1 风险矩阵	110
4.3.2 轨道交通风险评估中的风险矩阵	110

第 5 章 城市轨道交通事故及其防范控制	113
5.1 城市轨道交通事故	113
5.1.1 城市轨道交通事故的危險源	113
5.1.2 世界轨道交通事故统计	115
5.1.3 行车事故的分类(上海)	117
5.1.4 城市轨道交通事故处理	120
5.2 城市轨道交通安全控制	123
5.2.1 概 述	123
5.2.2 项目设施的检查验收	123
5.2.3 安全运营的“过程控制”	124
5.2.4 安全运营的“事后控制”	126
5.3 城市轨道交通安全防范	127
5.3.1 概 述	127
5.3.2 城市轨道交通公共场所的安全防范	132
5.3.3 建立健全安全防范制度	134
第 6 章 城市轨道交通安全管理	136
6.1 概 述	136
6.1.1 总 述	136
6.1.2 城市轨道交通安全管理系统的运行机理	136
6.2 城市轨道交通人因安全管理	138
6.2.1 基本概念	138
6.2.2 防止人失误	139
6.2.3 城市轨道交通从业人员的安全教育与培训	141
6.3 城市轨道交通法律法规和标准	146
6.3.1 我国城市轨道交通法规的现状	146
6.3.2 我国部分城市轨道交通的法规	146
6.3.3 城市轨道交通安全方面的标准	148
6.3.4 确保城市轨道交通运营的具体措施	148
6.4 城市轨道交通消防安全管理	150
6.4.1 消防基础知识	150
6.4.2 城市轨道交通消防研究	159

第7章 城市轨道交通安全事故案例分析	165
7.1 韩国大邱地铁基本情况	165
7.1.1 运营情况	165
7.1.2 设施情况	166
7.2 事故经过和调查分析	167
7.2.1 事故经过	167
7.2.2 事故调查分析	168
7.3 事故抢救和处置经过	169
7.4 经验教训总结	170
7.5 政府部门的反应	172
第8章 城市轨道交通防(反)恐怖事件	174
8.1 恐怖活动综述	174
8.1.1 恐怖的概念	174
8.1.2 恐怖活动的形式与特点及其对社会的危害	175
8.1.3 国际恐怖活动趋势	178
8.2 城市轨道交通中的恐怖事件	179
8.2.1 国外城市轨道交通中发生的恐怖事件	179
8.2.2 国外城市轨道交通恐怖事件的特点	181
8.2.3 城市轨道交通恐怖事件的危害性	183
8.2.4 城市轨道交通恐怖袭击方式	185
8.2.5 未来我国城市轨道交通恐怖事件发生的原因	186
8.3 城市轨道交通的防(反)恐怖事件措施	187
8.3.1 中国上海地铁	188
8.3.2 中国北京地铁	188
8.3.3 中国南京地铁	189
8.3.4 中国广州地铁	189
8.3.5 中国天津地铁	190
8.3.6 中国香港地铁	190
8.3.7 英国地铁	190
8.3.8 美国地铁	190
8.3.9 新加坡地铁	191

8.3.10	法国地铁	191
8.3.11	日本地铁	191
8.4	城市轨道交通防(反)恐能力评估	192
8.4.1	城市轨道交通防(反)恐能力评估对象	192
8.4.2	既有城市轨道交通线重点评估对象的确定	193
8.4.3	城市轨道交通建筑评估	194
8.4.4	城市轨道交通设备系统评估	198
8.4.5	城市轨道交通运营管理系统评估	205
8.4.6	城市轨道交通的弱点评估	206
8.4.7	反恐背景下的城市轨道交通设计	207
8.4.8	城市轨道交通车站监控能力	224
参考文献		242

第 1 章 绪 论

城市轨道交通作为城市的公共交通工具,系统的安全运营直接关系到高度密集人群的生命安全和公共财产的安全。目前,城市轨道交通系统的公共安全问题已被世界各国纳入国家安全战略研究的范畴。大中型城市的城市轨道交通,每天的工作人员就有数千人,涉及系统安全的人员也高达数百人;每天运送乘客达数十万、甚至数百万人次。乘运环境包含了大量的不安全因素。一旦出事,往往会酿成群死群伤的重大安全事故。因此,城市轨道交通运营的安全问题,已经成为城市社会公共安全极其重要的组成部分,引起了社会各界的广泛关注。

1.1 城市轨道交通的发展

社会经济的发展必然会加快城市化进程,导致城市人口越来越多,使城市的交通问题日益突出。交通堵塞成为城市发展的通病,严重地制约了城市经济的发展,同时也影响了城市居民的生活质量。为此,寻找更科学合理的交通方式来满足城市交通需求是世界上各大中城市共同面临的重要课题。城市轨道交通与传统的城市道路交通相比,具有运能大、速度快、安全、可靠、准时、污染少、节约用地和节约能源等优点。因此,可以说城市轨道交通是一种社会成本最低的运输方式,它作为一种绿色环保的公共交通方式,是缓解大中城市交通拥堵的最有效手段之一,进一步对于降低城市交通污染和提高交通安全具有重要作用。

1.1.1 世界城市轨道交通的发展历程

自 1825 年 9 月 27 日世界上第一条铁路线在英国诞生以后(见图 1.1),铁路得到了飞速的发展,同时也带动了城市轨道交通的发展。世界城市轨道交通的发展大致经历了以下几个阶段:

1. 诞生和初始发展阶段(1863~1924 年)

1863 年 1 月 10 日世界上第一条地铁在英国伦敦建成(开始是采用蒸汽机车牵引,至 1890 年改为电力牵引),在此后的 60 年内地铁得到了初步的发展,世界上有 13 个城市修建了地铁。

1888 年美国建成了世界第一条电气化的有轨电车,并取得了 30 多年的迅速发展(见图 1.2,世界上第一台有轨电车仅能乘坐 6 人,没有架空线靠两根钢轨传

输电能)。单以 1920 年计,美国有轨电车线路总长已达 2.5 万 km,其客运量占城市客运总量的 88%。

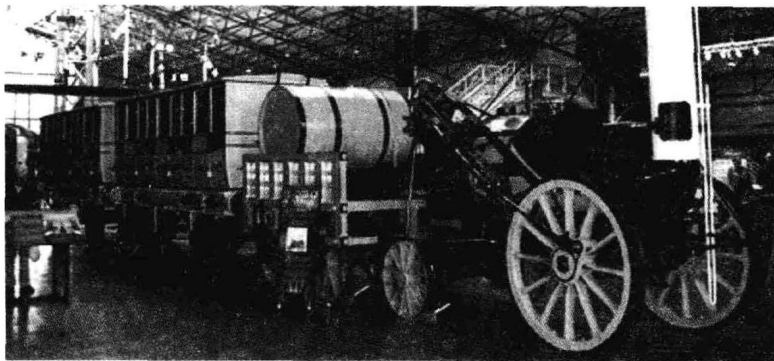


图 1.1 世界上第一台蒸汽机车

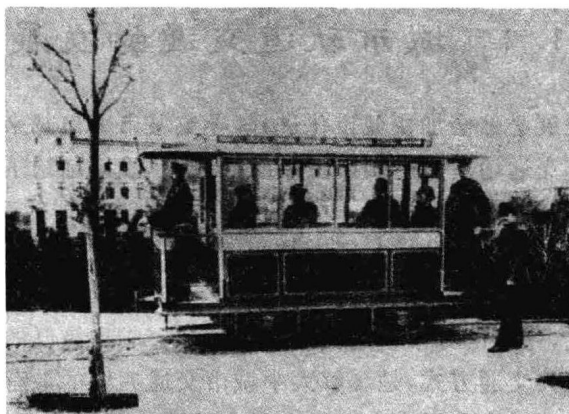


图 1.2 世界第一台有轨电车

2. 停滞萎缩阶段(1924~1949 年)

因战争和汽车工业的迅速发展,促使城市轨道交通处于停滞和萎缩状态,期间世界上仅有 5 个城市新建了地铁,有些有轨电车线路还被拆除。

3. 再发展阶段(1949~1969 年)

因汽车造成城市交通的堵塞和污染,使轨道交通再呈生机。地铁建设从欧美扩展到亚洲,共有 17 个城市新建了地铁。

4. 高速发展阶段(1970 年~至今)

20 世纪 70 年代起,在节能、环境保护和可持续发展战略的指导下,许多国家都确立了发展城市快捷轨道交通的方针。20 世纪 70 年代和 80 年代是世界各国修建地铁的高峰时期。现在世界上有 140 多个城市已修建了城市轨道交通线路,

总长超过 7 000 km。当今世界的许多国际化大都市中,轨道交通已在公共交通系统中处于骨干地位。例如:东京的轨道交通占公共交通的 94%,伦敦占 89%。

1.1.2 城市轨道交通的优点

(1)运能大:如地铁单向高峰运输能力可达 4 万~8 万人次/h,这是其他非轨道交通工具无法比拟的。

(2)速度快:公共电、汽车速度一般为 10~20 km/h;轨道交通平均速度可达 30~40 km/h。

(3)安全、可靠、准时:快速轨道交通一般处于封闭、半封闭状态,不受市内道路交通的干扰。

(4)污染少:城市轨道交通以电力作为动力,对大气无污染;对地面或高架线路可采取消音降噪技术措施。

(5)节约用地:轨道交通每运送 1 名乘客所占面积仅为其他城市交通的百分之几。

(6)节约能源:以每人公里的能耗计,轨道交通、公共汽车、小汽车的能耗比为 1:1.8:5.9。

综上所述,轨道交通是社会成本最低的运输方式,是一种绿色环保的客运交通体系。

1.1.3 城市轨道交通的分类

经过 100 多年的发展,当今世界城市轨道交通的形式多种多样,可谓百花齐放。各种轨道交通各有其优点和适用范围,其分类的方法也有多种,一般可分成以下几类。

1. 地铁

地铁是由电气牵引、轨道导向、车辆编组运行在全封闭的地下隧道或部分运行在地面和高架线路上的大容量快速轨道交通系统,其单方向的输送能力在 3 万人次/h 以上。

地铁的发车间隔可缩短至 1.5 min,列车编组 4~10 辆,单向高峰运能可达 4 万~8 万人次/h;采用右侧行车的双线全封闭线路,系钢轨、钢轮体系,轨距 1 435 mm。地铁是现代大城市轨道交通的主干线,但造价昂贵、工期长。如图 1.3 所示。

2. 有轨电车

有轨电车是一种在地面上与其他交通工具混行的轨道交通。有轨电车在 20 世纪的 20 年代是其最辉煌的年代,在城市交通中起了主导作用。然后,随着汽车

化时代的到来,有轨电车因速度低、噪音大、运量小、舒适性差和技术落后而进入停滞和拆除阶段。20 世纪 60、70 年代有轨电车步入了用新技术加以改造的阶段,由此产生了轻轨交通。如图 1.4 所示。



图 1.3 马来西亚地铁



图 1.4 德国汉诺威有轨电车

3. 轻轨

“轻轨”是指具有中等运量、车辆轴重较轻、有专用轨道导向的城市轨道交通系统。“轻轨”的英文是“Light Rail Transit”。轻轨交通系统源自有轨电车,同时也具有地铁的许多特性。“Light”一词主要用来区分有轨电车系统与一般铁路所使用钢轨重量的不同,但现在两种系统均已采用相同重量的钢轨,因而已无“轻重”之分。现代英文已演变为“Light Rapid Transit”即轻型快速交通(LRT)。如图 1.5 所示。

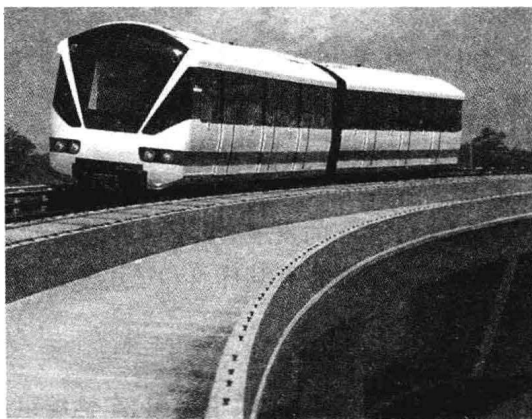


图 1.5 马来西亚轻轨

轻轨有地面、高架和地下三种形式,可以是全封闭、半封闭或采

用混合车道,可用轮轨系统、线性电机系统或橡胶轮系统。其单向高峰客运量为 1 万~3 万人次/h,造价仅为地铁的 $1/2 \sim 1/7$ 。轻轨可作为中等城市人口(50 万~100 万人)轨道交通的主干线和大城市(人口 100 万以上)轨道交通的次干线。(注:国际上对轻轨的内涵和名称并不统一,有一种定义把属中等运量的新型有轨电车、独轨、新交通系统和线性电机牵引轨道即窄地铁都称作轻轨。)

轻轨克服了有轨电车的缺点,且造价比地铁低、见效快,比公共汽车效率高、速度快、节约能源、无污染,所以轻轨交通受到世界各地广泛重视。世界上最早兴建

轻轨的国家是比利时、德国等,目前以德国最为发达,已在 30 个城市建有轻轨,其总长已达 2 200 多 km。

4. 独轨(又称单轨)

独轨是一种跨骑或悬挂在高架的钢或混凝土导轨上行驶的交通系统,属中等运量的交通方式。它的车辆是在一根导轨上运行,分为跨座式和悬挂式两大类。

1893 年德国建成世界上第一条悬挂式独轨线路,1961 年日本建成世界上第一条跨座式独轨线路。独轨线路是一种中、小容量的系统,适合于单向断面客流 0.5 万~2 万人次/h。它具有占地少又不影响地面的绿化、爬坡能力大(可达 10%)、噪声小(用橡胶轮)等优点。独轨起源于欧洲,却在日本得到了很大的发展,自 1957 年 12 月日本的第一条独轨(悬挂式)诞生,现已建成 10 条约总长 90 km,多为跨座式,最短 1.2 km,最长 23.8 km。如图 1.6 所示。



图 1.6 重庆独轨交通

5. 磁浮线

磁悬浮列车是依靠电磁吸力或斥力将列车悬浮于空中并进行导向,再利用线性电机驱动列车运行的一种无轮轨接触的运输方式。

磁悬浮列车分为常导型和超导型两大类。常导型以德国 transrapid 为代表,利用电磁吸力的原理将列车悬起 10 mm 左右,最高速度可达 400~500 km/h;超导型以日本 MAGLEV 为代表,利用超导磁体的强磁场所产生的电动斥力将列车悬起 100 mm 左右,最高速度已达 552 km/h,超导型的技术难度较大。目前世界上唯一正式投入运营的磁浮线是上海磁浮示范运营线,长 30 km,设计最高速度 430 km/h。(英国伯明翰国际机场与毗邻的铁路车站间,于 1984 年底建成一条磁悬浮线并投入运营,速度 32 km/h,属低速磁悬浮线,3 辆编组,定员 234 人,后被