

RESEARCH ON DEVELOPMENT
STRATEGY OF MEDIUM AND LOW
SPEED MAGLEV TRANSPORTATION

中低速磁浮交通 发展战略研究

钱清泉 高仕斌 © 著



西南交通大学出版社

RESEARCH ON DEVELOPMENT
STRATEGY OF MEDIUM AND LOW
SPEED MAGLEV TRANSPORTATION

中低速磁浮交通 发展战略研究

钱清泉 高仕斌 ◎ 著

西南交通大学出版社
• 成都 •

图书在版编目 (C I P) 数据

中低速磁浮交通发展战略研究 / 钱清泉, 高仕斌著

—成都: 西南交通大学出版社, 2019.1

ISBN 978-7-5643-6359-8

I. ①中… II. ①钱… ②高… III. ①磁浮铁路—交
通运输发展—经济发展战略—研究—中国 IV. ①F532

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 190011 号

中低速磁浮交通发展战略研究

钱清泉 高仕斌 著

责任编辑	姜锡伟
助理编辑	梁志敏
封面设计	曹天擎
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川煤田地质制图印刷厂
成品尺寸	170 mm × 230 mm
印 张	21
字 数	244 千
版 次	2019 年 1 月第 1 版
印 次	2019 年 1 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-6359-8
定 价	128.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

FOREWORD

城镇化是人类文明进步和经济社会发展的重要特征之一，是农业化国家向新型工业化国家转变的必由之路。我国自十五届三中全会提出“小城镇、大战略”以来，城镇化进程显著加快。

在建设以“效率、集约、智能、绿色”为核心特征的新型城镇过程中，我国亟待解决城市交通、能源和环境等问题。作为一种高效、便捷、节能、经济、安全、环保、大运量的运输方式，轨道交通是解决城市快速发展进程中交通拥堵、人口与土地资源利用、环境压力等城市化问题的有效手段，也是提高运输效率、提升城镇品质、发展区域经济的重要举措。目前，我国的高速铁路、地铁、轻轨、有轨电车蓬勃发展，取得了显著的成效。同时，由中国工程院7名工程院院士（其中双院士1位）和10名国内磁浮专家组成的课题组对我国发展中低速磁浮交通进行了科研课题研究（2014年），得出了以下明确的结论。

一、我国城镇化战略的实施需要大力发展城市轨道交通

20多年来，我国城镇化进程取得了显著成绩，2014年年底，我国城镇化率达到了53.73%，但与世界发达国家相比还有显著差距，例如，日本城镇化率为93%，英国为82%，美国为81%，法国为



79%，德国为75%。在城镇化进程中，城市发展所带来的问题应引起高度重视，特别是城市交通、城市能源和城市环境等方面的突出问题亟待解决。

中低速磁浮交通相对轮轨交通具有运营更安全、环保性能好、工程造价低、运维成本低、耐气候性强、利于社会和谐等优势，因而研究和实施我国中低速磁浮交通的建设，具有重要的轨道交通建设战略意义。

二、在我国发展中低速磁浮交通的特点与优势

作为一种新型轨道交通，中低速磁浮交通是指最高运行速度不超过120 km/h的磁浮交通。它通过电磁力实现列车在轨道上的悬浮和导向，由直线电机牵引列车沿轨道无接触运行，主要有以下特点：振动噪声低，环保性能好，线路适应性强，选线灵活，工程建设投入低、工期短，运行安全，乘坐舒适，综合运营成本低。这些突出的特点与优势，将使中低速磁浮交通在城市轨道交通发展中发挥重要作用。

三、我国已拥有自主知识产权的中低速磁浮交通系统技术

20世纪80年代，我国开始开展磁浮交通技术的研究。90年代开始，在国家科技专项和相关企业的持续支持下，我国国内团队针对中低速磁浮交通的核心技术、关键技术、试验验证技术和标准体系，开展了自主研发。

1. 核心技术。中低速磁浮交通的核心技术是悬浮导向技术。它通过可控电磁力实现列车非接触支承与导向，使得列车运行从轮轨接触跨越到非接触运行，主要包括悬浮气隙检测技术、悬浮控制技术。



2. 关键技术。中低速磁浮交通系统组成与城市轨道交通系统类似，与之不同的关键技术包括：磁浮列车技术——悬浮架结构技术、直线电机驱动技术、总体集成技术；线路工程技术——选线技术、F轨排技术、道岔技术等。

3. 试验验证技术。2007年，国家磁浮交通工程技术研究中心与上海电气集团、西南交通大学等单位合作，在上海建成1.72 km长的工程化试验线；2008年，北京控股磁悬浮技术发展有限公司、国防科技大学、唐山轨道客车公司和铁道第三勘察设计院集团有限公司等单位合作，在唐山建成1.55 km长的工程化试验线；2012年，南车株洲电力机车有限公司、西南交通大学和中国中铁二院工程集团有限责任公司等单位合作，在株洲建成1.57 km长的工程化试验线：为中低速磁浮交通系统技术工程应用提供了试验验证平台。

4. 标准体系。我国建立了中低速磁浮交通工程的基础、通用和专用等三类标准体系，颁布了《中低速磁浮交通车辆通用技术条件》（CJ/T 375）、《中低速磁浮交通轨排通用技术条件》（CJ/T 413）等国家、行业标准5项；《中低速磁浮交通设计规范》等相关行业标准亦将陆续颁布。结合北京S1线和长沙机场线工程，我国制定了相应的设计、施工、制造、验收、维护等系列规范。

5. 知识产权。至2014年，我国拥有授权专利200项，其中发明专利140项，实用新型专利达137项，软件著作权100余项。

四、我国已形成中低速磁浮交通的完整产业链

1. 市场前景。截至2014年12月，我国已在22个城市建有101条城市轨道交通，运营总里程3155 km，居世界第一。在过去的5年中，城市轨道交通的建设投资为年均2500亿元人民币左右。我国人口超



过100万的城市有133个，人口在50万至100万之间的中等城市有103个，城市轨道交通的发展潜力巨大。快速城镇化带来的区域发展不平衡问题决定了我国在新型城镇化的过程中，交通建设发展模式的变化。中低速磁浮交通系统能够扬长避短，充分发挥非接触运行、坡道与弯道能力、噪声振动低的优势，可以用中低速磁浮轨道交通实现若干种制式的轨道交通综合应用才能达到的效果。因此，作为一种战略新兴产业，中低速磁浮交通将具有十分广阔的前景。

2. 产业基础。我国在传统轮轨轨道交通领域所取得的巨大成就，特别是高速、重载铁路的发展，所形成的技术平台、制造平台和人才队伍，可以支撑中低速磁浮交通新兴产业的发展。

中低速磁浮交通的列车、线路、供电系统和运控系统的大部分部件、组件与传统轮轨交通相类似，在产业化方面完全可以利用轮轨交通的制造企业，特别是高速列车、大功率机车制造企业的制造平台和生产装备。我国已经形成了以国防科技大学、西南交通大学、同济大学为技术支撑，以南车株洲电力机车有限公司、北车唐山轨道客车公司、上海建工集团股份有限公司、莱芜钢铁集团有限公司、南车株洲电力机车研究所等为代表的磁浮车辆、线路轨道、牵引与供电、通信信号装备制造的完整产业链。

3. 产业辐射。中低速磁浮交通的技术与产业发展，除推动中低速磁浮交通的产业化、规模化与国际化外，还会带动电磁推进、磁浮轴承、真空管道、高速电梯的技术创新与产业发展。

五、我国已确定中低速磁浮交通发展的指导思想、基本原则与发展目标

1. 指导思想。我国中低速磁浮交通发展的指导思想是：立足市



场需求，发挥政府政策和资源配置的引导作用，通过用、产、学、研一体化的创新组织和需求驱动与用户主导的商业模式，促进我国中低速磁浮交通的规模应用和可持续发展。

2. 基本原则。中低速磁浮交通遵循低成本、低排放、易发展、可复制和可持续等原则。

3. 发展目标。我国中低速磁浮交通的发展目标拟分三个阶段进行：

第一阶段：近期目标（2020年）——加快示范，实现产业化。建好长沙机场线和北京S1线，推动深圳8号线的建设，积极推进中低速磁浮交通的应用，形成产业规模的发展能力和自主品牌，建成5条以上商业运营线路。

第二阶段：中期目标（2025年）——全面推广，实现规模化。规划和建设基于中低速磁浮交通的城际客运线、城市轨道交通线、旅游风景区交通线和市郊线，形成规模效益。

第三阶段：远期目标（2030年）——持续发展，实现国际化。进一步推动中低速磁浮交通成为未来城市轨道交通的重要方式之一，同时在国外市场推广应用，走向世界。

六、发展中低速磁浮交通的政策建议

1. 明确中低速磁浮交通为国家战略新兴产业。给予中低速磁浮交通系统关键技术和设备的工程化应用与产业发展的政策扶持。

2. 扩大推广应用规模。在长沙机场线和北京S1线建设的同时，推进在城市繁华区、旅游风景区和城际客运线的示范线规划和建设。

3. 采用多元融资模式发展中低速磁浮交通。鼓励采用市场化



手段发展中低速磁浮交通，引进社会多元投资，实现可持续发展的商业模式。

磁浮交通技术是世界上先进的交通技术，中低速磁浮交通是世界上少数国家在研究和实施的交通方式。本书从中国的国情和磁浮交通技术研究的情况出发，全面探讨了在中国实施中低速磁浮交通的价值和前景，内容包括：中低速磁浮交通和国家交通、能源、环境与城镇化发展协同研究；中低速磁浮交通技术发展战略研究；中低速磁浮交通新兴产业发展战略研究；中低速磁浮交通产业化发展和商业模式研究。

本书由中国工程院院士钱清泉和西南交通大学高仕斌教授撰写，同时感谢西南交通大学张昆仑教授、张卫华教授、罗世辉教授，同济大学林国斌教授，深圳大学曹广忠教授，中铁第六勘察设计院集团有限公司张佩竹高工对本书出版所做的贡献。由于本书以中低速磁浮交通课题组2014年结题研究成果为基础，而目前高速磁悬浮交通的研究课题已经开始，为了反映历史研究原貌，本书的资料及历史事实以当时为准，也为后续研究成果写作留出了时间段和空间段。鉴于本书因各种原因推迟了出版时间，可能书中的即将进行时工作已经成为过去式，因而某些需要说明的地方加了备注，但遵从当时的阐述；同时，书中的不足之处，希望读者见谅。

作者

2018年3月



目 录

CONTENTS

1 中低速磁浮交通概况

1.1 中低速磁浮交通的产生背景	003
1.1.1 交通问题	004
1.1.2 能源问题	008
1.1.3 环境问题	009
1.1.4 结构问题	011
1.2 中低速磁浮交通的比较优势	014
1.2.1 中低速磁浮交通的特点	014
1. 振动噪声低, 环保性能好	014
2. 线路适应性强, 选线灵活	016
3. 工程建设投入低, 工期短	016
4. 运行安全, 乘坐舒适	017
5. 综合运营成本低	017
6. 转弯半径小	017
7. 爬坡能力强	019
8. 环境污染小	020
9. 电磁辐射小	020



1.2.2	中低速磁浮交通与其他轨道交通的综合比较	024
1.	磁浮与市域铁路的比较	026
2.	磁浮与地铁制式的比较	027
3.	磁浮与轻轨制式的比较	027
4.	磁浮与有轨电车的比较	027
1.3	国内外中低速磁浮交通的发展概况	029
1.3.1	国外中低速磁浮的发展概况	029
1.	日本	029
2.	韩国	030
3.	德国	031
4.	美国	033
1.3.2	国外中低速磁浮交通实例	036
1.	日本HSST磁浮列车系统	036
2.	韩国UTM磁浮列车系统	045
1.3.3	我国中低速磁浮的发展概况	046
1.	我国中低速磁浮交通发展历程	046
2.	我国中低速磁浮交通体系	050
1.3.4	我国中低速磁浮交通试验线	053
1.	上海中低速磁浮列车试验线	053
2.	唐山中低速磁浮列车试验线	060
3.	株洲中低速磁浮列车试验线	066
1.3.5	我国中低速磁浮交通发展实例	073
1.	北京S1磁浮工程线	073
2.	长沙机场磁浮工程线	077
3.	深圳地铁8号磁浮工程线	081



1.4	发展中低速磁浮交通的意义	083
1.4.1	中低速磁浮交通有利于节能	083
1.4.2	发展中低速磁浮交通有利于促进新城镇化的健康发展	084
1.4.3	中低速磁浮交通为解决大城市公共交通提供了途径	085
1.4.4	中低速磁浮交通提升方便乘客出行的网络化接驳水平	085
1.4.5	中低速磁浮交通支撑新城镇化发展水平	086

2

中低速磁浮交通的发展协同性研究

2.1	中低速磁浮交通发展协同的需求分析	088
2.1.1	中低速磁浮交通发展协同的政策分析	088
	1. 机会	088
	2. 挑战	089
2.1.2	中低速磁浮交通协同发展的经济分析	090
	1. 机会	090
	2. 挑战	092
2.1.3	中低速磁浮交通协同发展的社会分析	095
	1. 机会	095
	2. 挑战	097
2.1.4	中低速磁浮交通协同发展的技术分析	098
2.1.5	协同的机会与挑战	098
	1. 信息化技术成就磁浮交通	098
	2. 中低速磁浮交通高安全性	099
2.2	中低速磁浮交通与国家交通发展的协同关系	103
2.2.1	国家交通的现状与发展趋势	103



2.2.2	国家交通与社会、经济发展的关系	104
2.2.3	中低速磁浮交通和国家交通发展的协同关系内涵	105
2.3	中低速磁浮交通与国家能源发展的协同关系	106
2.3.1	国家能源的现状与发展趋势	106
2.3.2	国家能源与社会、经济发展的关系	110
	1. 经济社会发展推动能源需求增长	110
	2. 能源在社会发展、经济增长中的作用	111
2.3.3	中低速磁浮交通和国家能源协同关系的内涵	112
	1. 中低速磁浮交通技术创新发展和国家能源发展协同	112
	2. 中低速磁浮交通产业发展和国家能源战略相互促进、共同 发展	113
2.4	中低速磁浮交通与国家环境发展的协同关系	114
2.4.1	国家环境的现状与发展趋势	114
2.4.2	国家环境与社会、经济发展的关系	116
	1. 环境污染已是中国社会发展和经济发展面临的重大问题	117
	2. 保护环境、环境的改善有助于社会的发展、经济的增长	118
	3. 实现环境、社会和经济的和谐发展	119
2.4.3	中低速磁浮交通与国家环境协同关系的内涵	120
	1. 中低速磁浮交通的运营将对我国的环境具有推动作用	120
	2. 保护城市环境是发展中低速磁浮交通的前提	122
	3. 减少污水的排放, 有利于城市生态环境	122
2.5	中低速磁浮交通与国家城镇化发展的协同关系	123
2.5.1	国家城镇化的现状与发展趋势	123



2.5.2	国家城镇化与社会、经济发展的关系	124
2.5.3	中低速磁浮交通与国家城镇化协同关系的内涵	124
2.6	发展协同的战略制定及选择	129
2.6.1	指导思想	129
2.6.2	基本原则	129
	1. 低成本原则	130
	2. 低排放原则	130
	3. 易发展原则	130
	4. 可复制原则	131
	5. 可持续原则	131
2.6.3	战略目标	131
2.6.4	战略制定	132
2.6.5	战略选择	134
2.6.6	发展协同的战略实施	134
	1. 将中低速磁浮交通作为国家战略新兴产业	135
	2. 扩大示范线建设规模	136
	3. 采用BOT（建设—经营—转让）模式发展中低速磁浮 交通	136
	4. 加强宣传，形成共识	136
	5. 加大基础研究，建设创新平台	137

3 中低速磁浮交通技术可行性研究

3.1	磁浮技术与磁浮交通概述	139
3.1.1	磁浮技术概述	139



1. 吸力悬浮	139
2. 斥力悬浮	142
3. 钉扎悬浮	146
3.1.2 磁浮交通分类	147
1. 按运行速度分类	147
2. 按悬浮原理分类	148
3. 按驱动方式分类	149
3.2 中低速磁浮交通系统技术特征	151
3.2.1 中低速磁浮列车车辆系统	151
1. 车辆概述	151
2. 线路结构	178
3. 供电系统	183
4. 运行控制	185
5. 安全运行	189
3.2.2 中低速磁浮交通系统关键技术	195
1. 悬浮电磁铁结构	195
2. 悬浮气隙检测	196
3. 悬浮控制策略	198
4. 直线异步电机设计	200
5. 牵引控制策略	201
6. 液压制动系统	202
7. 悬浮轨制造与安装	206
8. 正负轨供电网	208
9. 车载设备轻量化	209
3.2.3 现有中低速磁浮交通系统技术的优化	211



1. 降低车载设备噪声	211
2. 提高车辆承载能力	215
3. 提高直线电机效率	222
4. 提高车辆悬浮功能冗余度	239
3.2.4 现有高速磁浮交通系统低速应用可行性	233
1. 现有高速磁浮交通系统概述	233
2. 高速磁浮交通系统技术特征	233
3. 高速磁浮低速应用可能性	236
4. 高速磁浮列车低速运行的附加条件	239
3.2.5 中低速磁浮技术的独有特点与不足	240
1. 中低速磁浮交通的独有特点	240
2. 中低速磁浮交通的不足	242
3. 我国突破中低速磁浮关键技术的对策	243
4. 我国中低速磁浮交通的相关标准	244
3.3 新型中低速磁浮列车系统技术方案的发展研究	248
3.3.1 直线同步电机驱动的被动导向磁浮列车方案	248
3.3.2 准连续直线异步电机驱动的磁浮列车方案	249
3.3.3 永磁混合悬浮集中绕组同步驱动磁浮列车方案	251
3.3.4 永磁混合悬浮异步直线电机驱动磁浮列车方案	253
3.3.5 中低速永磁电动悬浮与同步驱动磁浮列车方案	255
3.3.6 小结	256

4

低速磁浮交通产业发展战略研究

4.1 中低速磁浮交通的战略意义和市场需求	261
-----------------------------	-----



4.1.1	中低速磁浮交通是技术创新的载体	261
4.1.2	中低速磁浮交通适应我国新型城镇化需求	262
4.1.3	发展中低速磁浮交通产业有利于产业升级	263
4.1.4	我国城市轨道交通发展现状与未来需求	264
4.1.5	六大制式城市轨道交通系统的特点	266
4.1.6	我国磁浮交通产业的战略地位	269
4.1.7	中低速磁浮轨道交通的特点与市场定位问题	272
4.1.8	发展中低速磁浮交通产业的战略意义	274
4.2	中低速磁浮交通的产业概况及产业基础	275
4.2.1	国际轨道交通装备制造业的基本情况	275
4.2.2	我国轨道交通领域制造业发展现状	276
	1. 高铁领域的产业基础	277
	2. 城市轨道交通领域的产业基础	279
	3. 轨道交通产业规模	283
	4. 轨道交通制造业创新能力	283
4.2.3	我国轨道交通装备制造业的优势与制约因素	284
4.2.4	中低速磁浮交通的产业基础	286
	1. 车辆	286
	2. 线路	287
4.3	中低速磁浮交通技术和产业的前景和规模	290
4.4	中低速磁浮交通的战略规划	292
4.4.1	产业发展战略目标	292
4.4.2	既有资源、技术的整合和集成	293
4.4.3	商业模式创新带动产业起步	294