

关于规划建设我国高速磁浮客运交通的设想

陆仁达 曹信红

(中国路桥集团第一公路工程局,北京,100024)

摘要 高速磁浮客运交通(Maglev)是一项代表当前高新技术的综合交通运输新方式,中国上海已成功建设了世界上第一条商业运行示范线。作为一种高速、安全、舒适、便捷的交通工具, Maglev 适用于我国省会城市之间,科学规划建设我国的磁悬浮客运交通必将成为经济可持续发展的新增长点。

关键词 高速磁浮交通;规划;建设;新增长点

2002年12月31日,上海在世界上率先建成了浦东轻轨至龙阳路的高速磁浮列车商业运营示范线,经过一年的调试、试运行,2004年1月正式投入交通运营服务,运行速度达430 km/h。全程30 km,运营时间8分钟,每组列车编组5节,其中包括端车2节、3节中节车,每组列车的首车定员为56人、中节车定员110人,尾车定员78人。端车长27.5 m、宽3.7 m、高4.66 m(含天线);中节车长24.5 m、宽3.7 m、高4.16 m,车内净宽3.43 m、净高2.28 m。根据需要,车厢可以设计改装成货车或者邮车等。车辆自重与承载能力如表1。

表1 列车承载能力及自重 (吨)

质量类型	首车或尾车	中节车
空载自重	52.9	50.3
有效载重	9.1	14.2
正常允许总重	62.0	64.5
允许超重	5.0	5.0
最大允许总重	67.0	69.5

高速磁浮客运交通(Maglev)以无机械接触的崭新技术带来一系列工业技术、经济、环境改善等特征,从而导致了一场人民交通工具的技术革命。我国是继德国、日本之后世界上第三个掌握磁浮系统技

术并首先付诸工程建设的国家。目前,磁浮是一种最新的客运交通系统,长距离运行时的平均运行速度达400~450 km/h,可以补充航空与普通铁路、高速公路之间的速度断层,最适应400~1500 km距离的交通,比较适用于我国省会城市之间的交通。人们旅行时间控制在3小时以内,就不会觉得疲劳,也能早晨出发,到达目的地完成商务活动后当天返回,提高工作效率。磁浮交通与其他客运交通工具的适用范围与应用特点比较见表2。

一、高速磁浮交通设备的优点

1. 能耗低

高速运行条件下,空气阻力在列车所受的阻力中占主导地位,空气阻力与速度的平方成正比,因此有必要分析和比较能耗的影响。德国联邦研究与技术部在“新型快速铁路系统应用范围”研究中心对能耗分析的结论如表3。

表面是按定员相近的两种列车为基础进行计算的,测算的主要数据基础是:平原地区、旅行距离600 km, ICE 高速轻轨列车为2动8拖编组,402座;磁浮 TR 列车为5节编组,408座,平均停站距离为120 km,耗电量自变电站算起。

TR 磁浮列车同等速度下平均每坐席公里耗电量低于 ICE 轻轨列车的原因是:

收稿日期:2004年9月

作者简介:陆仁达,教授级高级工程师,研究方向为综合交通运输现代化。

表 2 磁浮交通与其他客运交通的适用范围及应用特点比较

交通方式	速度区间(km/h)	旅行速度(km/h)	适用距离(km)	应用
民运航空	600~900	750	600~1 500 以上	国际客运、国内航空长距离线路
高速磁浮	200~500	420	400~1 500	国内枢纽城市交通,部分地区城市间客运
铁路	80~250	160	120~800	沿线区间中等距离和枢纽城市集疏运
公路	40~120	80	300 以下	沿线站间短途客运、枢纽城市间集疏运
水运		30		

表 3 高速轻轨和磁浮系统的单位电能耗

行车速度 (km/h)	IW·h/(座·km)	
	高速轻轨列车 (ICE)能耗	磁浮列车(TR) 能耗
200	41	33
250	57	37
300	74	45
400		63

① 磁浮列车为无接触运行,机械阻力甚微,相应能耗较少;

② 磁浮列车无轮轨走行部和受电弓,空气阻力小,从而减少能耗;

③ 磁浮列车速度快,旅行时间短,坐席密度可适当高于轮轨列车,从而平均每坐席上的耗电量相应较少。

现代社会中,能源的节省和能源资源的保护是交通可持续发展的方向,磁浮交通的优势在于:

① 一次能源消耗中,磁浮交通最少(表 4);

② 所使用的电能是二次能源,可以充分利用再生能源和其他较经济的能源,从而保护国家的非再生资源;

③ 无接触方式大量减少了线路和车辆的有形磨损,而其他运输方式的线路和车辆磨损中的一般金属或橡胶材料,它们在生产规程中需要消耗大量的能源。

表 4 各交通方式一次能源消耗

交通方式	最大速度 (km/h)	IW·h/(座·km)			
		轻轨 铁路	磁浮	客运 汽车	航空
一次能源 消耗	200	103	82		
	250	142	92	279	523
	300	184	112		
	400		157		

2.磁浮列车启动快,爬坡能力强($\leq 10\%$ 纵坡均可),选线比较灵活。转弯半径小, $R \geq 350$ m。

3.环境影响较其他交通方式小

① 噪声

据测试,高速磁浮与高速轮轨比较,噪声值如表 5。测量位置为距线路 25 m 处,测量结果为列车驶过时的瞬时值。

表 5 磁浮与轻轨列车驶过时的噪声水平比较

运行速度(km/h)	高速轮轨列车	磁浮列车(dB)
100	72	
160	79	70
200	83	73
250	88	78
300	91	83
400		91

说明在同样速度条件下,磁浮列车的噪声低于高速轮轨列车。

② 有害物质排放

磁浮列车与轮轨列车都采用电能源,其有害物质排放量取决于电能的取得方式,以火电为例,列出了不同交通方式每坐席公里的有害物质排放量比较,如表 6。表列数据说明磁浮系统和轮轨系统的有害物质排放量低于航空和公路,且磁浮系统是最有利于环境的选择。

③ 磁辐射

磁浮的强磁场存在于车辆的线路界面的间隙处,对人体的影响来自间隙处泄漏的磁通量。由于路/车界面的间隙很小,而且磁力线通过间隙闭合,故磁通量的泄漏量很小。表 7 为不同场合的磁辐射强度。

4.占用土地少

土地是最重要的环境资源,磁浮交通对土地的

表 6 不同交通方式的有害物质排放量

气体名称		mg/(座·km)				
交通方式		CO	NO _x	SO ₂	CH	CO ₂
客运汽车		510	132	12	42	71 000
A320 飞机		225	449	44	17	139 000
轮轨列	V=200 km/h	2.6	10.7	8.9	0.25	14 000
车 ICE	V=300 km/h	4.6	19.2	15.9	0.44	25 000
磁浮 列车	V=200 km/h	2.0	8.5	7.1	0.20	11 000
	V=300 km/h	2.8	11.7	9.7	0.27	15 000
	V=400 km/h	3.9	16.4	13.5	0.37	21 000

表 7 不同场合的磁辐射强度

不同场合	地球磁场	磁浮列车	彩色电视	电磁炉	电吹风
磁辐射	50	100	500	1 000	1 000

占用量远远少于高速公路，同时由于磁浮系统在同等速度下容许的平曲线半径比轮轨高速列车小（在 V=300 km/h 时，轮轨铁路的最小曲线半径 $R_{min}=4\ 000\sim 5\ 000\text{ m}$ ，而磁浮系统最小半径 $R_{min}=1\ 590\text{ m}$ 、纵坡比轮轨铁路大（轮轨铁路最大纵坡 $I_{max}=4\%$ ；磁浮系统最大纵坡 $I_{max}=10\%$ ），线路能够更好地适应地形，减少填挖工程数量，从而使土地被占用的数量更少。表 8 是磁浮系统与轮轨铁路用地和土石方数量比较表。说明一般情况下，磁浮系统占地面积和土石方数量分别只有轮轨铁路的 50% 和 25%。

表 8 磁浮与轮轨铁路用地及土石方数量

指标	磁浮铁路		轮轨铁路	
	平原	重丘陵	平原	重丘陵区
平均占地 (m ² /m)	23.2	24.4	26.2	43.5
平均土石方 (m ³ /m)	11.8	42.0	77.1	184.6

注：测算的线路长度为 200km。

5. 安全、舒适

磁浮列车的运行安全可靠。在磁浮列车开发过程中，确定一条设计原则，即磁浮列车上任意单个电子或电气部件失效，都不会妨碍整车的正常运行，通过模块化的、独立的、冗余零部件实行所有必不可少的功能。当任意零部件出现故障时，列车可继续按时刻表运行。例如，按分散独立的原则，实现电网的安全性与可靠性。每节列车上装有 4 个 440 V 直流电网，相互间是隔离绝缘的，所有耗电设备分别有 4 个电网供电，耗电量和空间分布是平衡的。每个电网由 8 个升压斩波器供电，当同一个电网的 3 个升压斩波器失效，这个网仍然能够工作。即使一个电网完全

失效，导致与这个网相连的所有用电设备失效，包括四分之一的悬浮导向磁铁失电，磁浮列车仍能保持悬浮，并安全制动到就近停车站点。这些可靠、安全性设计，在我国上海示范线的调试阶段都得到了实践证实。

二、我国磁浮交通技术的科研成果

1980 年代国防科技大学、西南交通大学和铁道科学研究院对磁浮交通试验列车、试验路段进行测试并取得阶段成果。

1990 年代科技部组织了“九五”国家重点课题“磁浮列车重大技术经济问题研究”；对“八五”低速磁浮列车攻关情况进行论证观察、成果鉴定；对日本、德国磁浮列车作了专题分析研究；发布了“磁浮列车重大技术经济问题研究报告”、“沪杭高速磁浮线可行性研究报告”及一系列的专题技术报告。

从 1990 年代起，我国以大学、科研机构为主组织了联合攻关。包括电气工程、土建工程和机械车辆工程的联合研究中心在四川省青城山建成了 425 m 长的试验路段。中国科学院电工研究所常导、超导磁浮列车进行了模型试验。

为了验证高速磁浮交通的可用性、安全性、经济性，上海市用 22 个月时间建造了 30 km 的商业运营示范线。磁浮交通的四个部位（线路、车辆、牵引供电、控制系统）的设备和调试由 3 家德国公司组织的联合体负责。在德方转让线路技术的基础上，中国上海磁悬浮交通发展有限公司率先进行了创新开发，获得了包括线路技术、专用可调支座等 8 项专利。根据合同规定，中方独立承担开发并使用了“磁浮商业运行维护管理系统软件”。同时进行的国家“十五”计划重大专项研究，即将提出适合我国国情的系统规划方案，并对设备国产化进行了初步探讨，为规划建设我国磁浮交通创造了较好的基础条件。

三、规划建设我国磁浮高速客运交通的设想

1. 磁浮高速客运交通适合在中国发展

(1) 高速客运的交通量需求正在迅速增长

建设磁浮高速客运交通适应了高速客运迅速增长的需求，由多种交通方式构成发达的交通运输综合体系，促进城市群经济一体化发展。

(2) 磁浮交通基础设施建设成本有较大的降低空间

上海市浦东—龙阳磁浮交通示范线总投资折合 3 亿元/km，即 3 600 万美元/km。这是一条从无到

有,引进德国先进技术,汇总了开发、设计、施工、研究的全部费用,包括列车车辆、牵引供电、线路和道岔设备、运行控制系统及维修保养基底,都计算在30 km长的线路成本中。当磁浮系统用于中、长干线基础设施项目时,其建造成本会有较大的下降空间。

据无锡—上海—杭州磁浮线路预可行性研究,项目总投资的预测算,线路总长311 km,其中干线276 km,支线35 km,拟在2010年中国上海世博会前建成,线路和车辆静态投资折合1.79亿人民币/km,即折合2 080万美元/km。由于设备的报价尚有较大的降价空间,国产化的许多设备可以通过招标比选,线路土建工程造价占5%~7%,进一步优化设计,每公里的造价还会有降低可能。

归纳起来,磁浮系统如果比高速轮轨铁路交通有价格上的竞争力,那么发展我国的磁浮高速交通具备了技术经济的竞争力,势在必行。

2. 规划高速磁浮客运交通的设想

(1) 初步建立磁浮高速客运的网络——城市群内的快速交通

随着我国城市群地区经济发展水平的不断提升,珠江三角洲、长江三角洲及环渤海经济圈将是我国城市集中、经济繁荣的地区。如能将区域内旅行时间缩短到0.5~2小时,则各城市的自然资源、机场等基础设施,以及金融、贸易、旅游、文化资源等将实现共享,促进该地区的经济一体化发展。

磁浮列车是有着巨大潜能优点的客运交通方式,完全符合城市的规划要求,支线进城实现换乘经济、方便。

构想:①建设南京—镇江—常州—无锡—苏州—上海—嘉兴、杭州的磁浮高速交通线;

②建设北京—廊坊—天津—塘沽磁浮交通线;

③建设广州—佛山—番禺—东莞—深圳—香港磁浮线。

(2) 建立国家综合运输体系中的高速磁浮交通专线网

据铁道部研究规划,中国未来要建成12万 km的铁路网,其中有8 000 km为高速客运专线,联系间距为300~400 km的大中城市,高速铁路的建设规划、最佳选择是集快速、安全、环保、经济优势的磁浮高速客运交通。

3. 建立我国磁浮交通工业体系的构想

目前,上海浦东—龙阳30 km的磁浮系统集聚了一系列的磁浮工业技术体系,与德国合作积累了我国自己的经验,但是毋庸置疑,高速磁浮系统是一

个高新技术项目,车辆的悬浮、导向及控制,轨道长定子和换轨道岔是专有技术。其他的车辆制造、牵引供电、运行控制等技术都是从高速轮轨技术转移过来的,与高速轮轨基本上是兼容的。因此,根据我国已掌握的磁悬浮四大系统技术和经验,结合我国已有的工业基础,规划建设我国的磁浮工业体系是可行的,有较大的发展前景。

(1) 车辆 从国产化程度来分析,车辆结构件、电机、车载电气和电子设备、监控系统和软件四大部分,我国有多家铝业公司和飞机制造公司,青岛四方车辆研究所及株洲时代橡塑公司等,通过应用项目,实现车辆制造的大部分国产化。至于车厢内的一般设备,如空调、座椅、广播、照明、装饰等可全部国产化。

(2) 牵引供电系统 除高寿命人高压真空接触器及运行控制系统是专门开发软件外,其他都是通用电气产品,实现国产化的程度指日可待。按照上海示范线上的设备配制种类,立足于国内目前的研究和生产设备条件,其主要电气设备的国产化率达到70%以上是完全可以做到的。

(3) 运行控制系统 磁浮交通的运行控制系统的技术与高速轮轨铁路运行控制技术基本相同,其软件设备过程控制计算机、安全计算机基本都是进口。该运行控制系统约占总造价的10%左右。

(4) 线路及道岔设备 轨道梁的设计、制造,在上海示范线已实现了完全国产化,线路上长定子铁芯、变频电缆国内多家电缆制造厂都能生产。至于道岔,都是钢结构和机械传动装置常规技术,国内已有五座标数控铣床就可完成机械加工。

总之,经过认真分析、调研,通过合资、合作,建立有系统的、有自主知识产权的磁浮交通工业体系,凭借其后发优势走向世界是可行的。充分利用现有企业的基础,尤其是铁道部门等研制高速轮轨列车已取得成果,高速磁浮系统的硬件设备,取得70%的国产化率是可能的。比较困难的是软件开发和系统集成技术,可以通过合理购买。当然,一些核心技术,还是要组织力量资助开发,以免受制于人。

磁浮高速客运交通代表着一项高新技术,目前世界仅有德国和日本有过深入研究,而我国已成功地建设了世界上第一条商业运行示范线,并在一些领域形成了拥有完全自主知识产权的专利技术,在国际磁浮系统产业分工中具独特地位。

参 考 文 献

- 1 综合运输,2004,(6)
- 2 吴详明主编,磁浮列车,上海:上海科技出版社,2003