

关于我国高速磁悬浮列车发展战略的思考*

严陆光

(中国科学院电工研究所, 北京 100080)

[摘要] 高速磁悬浮列车的发展使得人类地面客运交通运行速度可望在21世纪中前期达到500 km/h的新水平。根据我国高速客运交通发展的需求和国际战略发展的进展情况, 提出了我国发展战略的建议, 简要叙述了我国近年来发展的主要成就及对近期工作的建议与展望。

[关键词] 高速磁悬浮列车; 发展战略; 上海示范线; 长大干线可行性

[中图分类号] U237 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)12-0040-07

1 引言

整个人类客运交通发展的历史是一部速度不断提高的历史。高速磁悬浮列车的发展表明, 21世纪前、中期, 人类地面客运的速度可望达到500 km/h的新水平。

高速磁悬浮列车的主要优点在于它是当今唯一能达到500 km/h运行速度的地面交通工具。图1示出了简单分析得出的旅行距离 l 与列车速度 v 坐标内列车与民航(700与900 km/h)及列车与汽车(80与120 km/h)的等旅行时间曲线。可以看出, 如果列车运行速度停留在100~160 km/h水平, 随着高速公路与民航的发展, 铁路客运将会逐渐被汽车和飞机所取代, 铁路客运在全国客运中的份额将逐渐下降。我国公路客运份额已由20世纪70年代后期的约60%上升至当前的近90%; 80年代末期, 民航客运份额开始急剧上升。这种情况有力地说明了提高铁路客运运行速度的迫切性。在大力发展轮轨高速铁路, 当运行速度达到300 km/h水平时, 可在200~800 km距离范围内, 有效地吸引旅客, 保持铁路客运的一定份额, 超过这个距离, 必将被民航所取代。采用高速磁悬浮列

车, 在时速达到500 km/h时, 其与民航竞争的旅行距离有望进一步扩大。综上所述, 在整个交通系统中, 高速磁悬浮列车主要适用于旅行距离在200~2 000 km之间的大城市间、大客流量的高速客运^[1]。

我国幅员辽阔, 人口众多, 正处于经济腾飞阶段, 对于高速客运交通的需求日益增大。根据预测, 我国铁路在21世纪上半叶仍属于建设高潮时期, 建成目前为零、总长达到8 000 km的高速客运专线网是一项重大任务, 采用高速轮轨技术还是高速磁悬浮技术成为面临的热点问题。经过近年来多方努力, 我国需要发展高速磁悬浮列车已取得了一定程度的共识^[2], 已决定引进德国Transrapid技术, 建设上海浦东试验运营线^[3], 并将“高速磁悬浮列车技术”列入国家“八六三”计划重大专项。

本文反映了20世纪90年代中期以来, 我们在我国积极推进高速磁浮列车技术的一些研究结果, 供有关部门在制定我国交通系统发展战略时参考。

2 国际战略进展

作为一种完全新型的交通运输高技术, 高速磁

[收稿日期] 2002-08-08; **修回日期** 2002-08-26

[作者简介] 严陆光(1935-), 男, 浙江东阳市人, 中国科学院院士, 中国科学院电工研究所研究员

* 由于篇幅所限, 本刊编辑部对本文做了删节

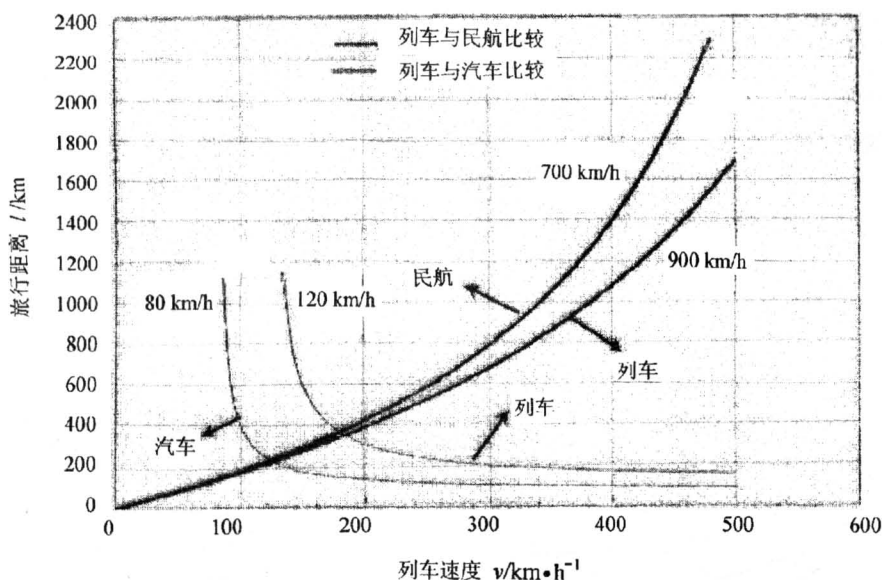


图 1 等旅行时间线

Fig.1 Equal travel time curves

悬浮列车的战略发展大致经历四个阶段：

1) 技术方案的基础性研究，证明方案的可行性与优越性。

2) 选定方案的工程技术研究发展，证实整个系统及全部装备可以安全、可靠、经济地运行。

3) 建造足够长的实用运营线，实现有关装备、工程与运营的产业化。

4) 大规模推广应用，逐步提高其在整个交通运输系统中的地位。

高速磁悬浮列车自身的特点，首先在基础性研究方面。采用磁悬浮直线驱动原理，直线电机的磁体可以是电磁铁、永久磁铁或超导磁体，悬浮可以依赖磁体与铁磁物质间的吸引力，运动磁场与在导体中感应涡流间的电动斥力或超导体反磁性的斥力。直线电机、车辆与线路又可有各种不同的结构，已经形成了十余种技术方案。随着高新技术的发展，一些新方案在不断产生。

第二，要达到 $400 \sim 500 \text{ km/h}$ 的高速，必须先建成 $20 \sim 30 \text{ km}$ 的试验线；客运的安全性又要求车辆须经过数十万公里的长期耐久性的考验，这使得选定方案的工程技术研究成为耗资近 10 亿美元的长期阶段，需要国家给予长期的经费支持。

第三，高速磁悬浮列车主要适用于长距离、大客流量的高速客运，选准合适的足够长的实用运营线对于实用化与产业化至关重要，这方面的主要困

难在于大客流量长线的需求本身有限，需要上百亿美元巨额投资并面临与民航和高速轮轨铁路的激烈竞争，这种项目在任何国家都是备受关注的国家重大工程。

以上特点决定了高速磁悬浮列车发展战略的特殊重要性。

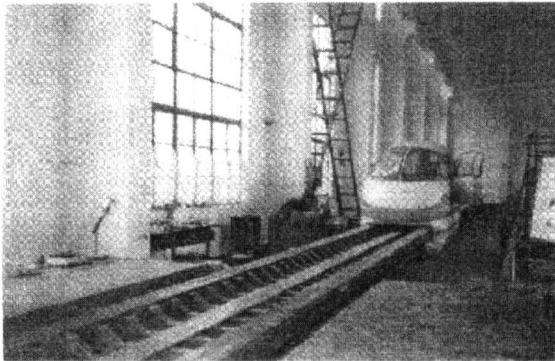
虽然早在 20 世纪 20 年代就已提出了磁悬浮列车的设想，但直至 60 年代才与多种电工新技术的发展紧密结合，开始有关的基础性研究并出现了初始的示范性模型实验车。日本、德国列入了国家研究发展计划，得到持续的支持。日、德大约花了十余年时间研究完善了各自的超导磁悬浮 MLX 与常导磁悬浮 Transrapid 系统方案，70 年代后期至 80 年代建设了试验线，各自投入数十亿美元，进行了卓有成效的工程技术研究工作，使得运营时速 500 km 的高速磁悬浮列车技术趋于成熟，可以进入建造实用运营线的阶段，日本、德国分别选择了东京—大阪与汉堡—柏林线作为实用线，进行了多年的研究设计与建设准备工作，但最终未能落实建造。除日、德外，瑞士、美国等国也开展了多种方案的基础性研究工作^①

① 严陆光，徐善纲，孙广生，等. 高速磁悬浮列车的战略进展与我国的发展战略，中国科学院电工研究所，2002

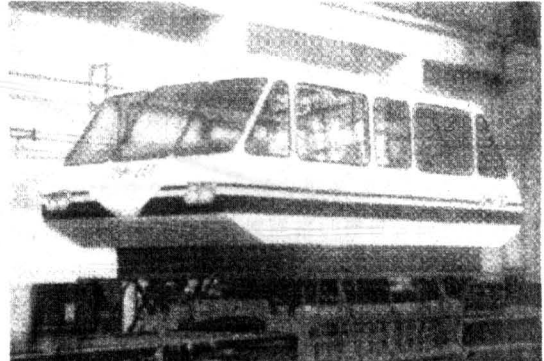
3 我国的工作基础及对发展战略的建议

日、德等国发展磁悬浮列车取得的成就引起我国科技人员的关注，“八五”期间科技部在国家科技攻关计划中安排了“磁悬浮列车重大关键技术研究”项目，组织了铁道科学院、西南交通大学、国

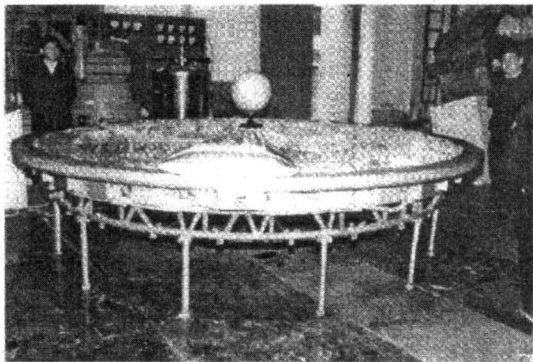
防科技大学和中科院电工所四个小组，开展了常导低速磁悬浮列车的研制工作，先后研制成功多台试验车（图2），并积极推进在成都青城山和北京八达岭建设实用旅游示范线。通过这些工作，初步形成了我国自身的研究发展队伍，为今后的工作打下了一定基础。



a. 西南交通大学低速磁悬浮车



b. 铁科院牵头研制的6t单转向架磁悬浮车



c. 高温超导磁悬浮车小型模型



d. 国防科技大学八达岭旅游线样车

图2 我国研制的磁悬浮试验车

Fig. 2 Some test vehicle developed in China

为了促进高速磁悬浮列车在我国的发展，1994年6月由严陆光、何祚庥、程庆国院士发起组织了第十八次香山科学会议——中国高速铁路技术发展学术座谈会，我国有关的主要专家参加了会议，会议邀请美国阿贡实验室何建良博士做了“世界磁悬浮列车发展的回顾与展望”的报告，会议建议大力加强超高速磁悬浮铁路技术的研究与发展，并列入国家“九五”计划。根据1995年9月邹家华副总理的批示，国家科委于1996年4月组织了国家“九五”重大软课题“磁浮列车重大技术经济问题研究”。此间，还与日方合作进行了沪杭高速

磁浮铁路可行性的初步论证，软课题于1998年11月完成，写出了报告^①，简述了磁悬浮列车的可行性和基本思路。

1998年6月朱镕基总理在两院院士大会上的讲话中提出京沪高速线采用磁悬浮技术的问题，引起了大家的重视。沈志云和钱清泉两位院士组织了“磁悬浮与轮轨高速列车分析比较”的软课题研究，先后于1998年10月、11月、12月召开了三次研

^① 国家科学技术部磁浮列车重大技术经济研究课题组. 磁浮列车重大技术经济问题研究报告, 1998

讨会。1998 年 9 月开始，中国国际工程咨询公司组织了京沪高速铁路项目评审组，下设磁悬浮组，12 月进行了沿线现场调研，并组织了多次研讨评审会议；中国国际工程咨询公司董事长屠由瑞 1999 年 9 月亲自主持了“高速轮轨与磁悬浮系统比较研讨会”。通过这些活动，不同意见展开了激烈的争论，使认识得以深化。大家逐渐认识到，要在我国有效地推进高速磁悬浮列车的发展，需要在国际磁悬浮技术发展的基础上，根据我国的实际需求，大致经过五个阶段：

1) 我国发展高速磁悬浮列车必要性的论证。

2) 引进技术，建设试验运营线。

3) 长大干线采用磁悬浮技术的论证，组建研发队伍。

4) 建设长大干线，实现相关装备的产业化和国产化。

5) 在未来的高速客运专线网中，逐步发挥磁悬浮列车的作用。

经过近年来的努力，第一、第二阶段的工作取得了可喜的进展，正在组织第三阶段的工作。

4 发展高速磁悬浮列车的必要性

笔者在文献 [2] 中，已就中国发展高速磁悬浮列车的必要性专门做了论述，本文限于篇幅，不再重复。可喜的是，在发展必要性问题上取得了一定共识。

21 世纪上半叶，我们应逐步从“仿照，跟踪”走向“赶超，创新”，“实现技术跨越跳过传统发展模式，迎头赶上”。

徐冠华院士指出：“以磁悬浮列车为代表的高速轨道交通，占地少，污染低，经济前景效益好，技术条件已基本具备，我国铁路、公路系统还不够发达，这恰恰成为我们在交通领域有望实现技术跨越跳过传统发展模式的便利条件。”何祚庥院士强调：“在技术路线的选择上，既要看到决策的现实性，还必须要预见到决策的超前性。否则到了未来，落后的决策就失去了未来的现实性。”这些意见值得重视。

5 引进技术建造试验运营线

鉴于日本与德国已将 MLX 与 Transrapid 技术发展可建造实际运营线的阶段，我国应在充分引进、消化、吸收国外先进技术的基础上，继续攀

登。引进技术，建设试验运营线应是首要的任务，主要考虑是：

1) 这条线将是我国今后自主研发的试验基地，要能达到 500 km/h 的运行速度。

2) 由于主要技术已在国外试验过，因此这条线路要能载客运营，满足客运需求，积累运营经验，同时解决一定资金来源。

3) 以安全、可靠、经济的运行充分显示其优越性，发挥有效的示范宣传作用。借建设试验运营线项目的带动，可有效地开展国际合作，引进、消化国外先进技术和经验，有力地组织我国自身的研究发展，为尽早建设长距离实用线与实现产业化打下坚实基础。

在我国需要高速磁悬浮列车取得一定共识的基础上，1999 年 11 月科技部高新技术司与德国 Transrapid 国际公司签定了在中国建设试验运营线可行性研究的意向书，科技部组织了前期预可行性研究项目组，积极开展了工作。这项工作得到了上海市和北京市政府领导的支持。2000 年 6 月项目组提出了初步可行性研究报告^①。该报告指出：“高速磁悬浮铁路技术在德国已经成熟，有关装备已获得生产许可，通过国际合作与引进技术，结合国内攻关，在我国建造试验运营线的条件已经具备，技术风险不大。德国方面也有着较高的合作积极性。”“上海市建议的线路为浦东机场与市区客流快速通道，又具有旅游观光价值，需求迫切，较易实施，准备较充分，比较理想，应力争早日立项，及早开始建造工作。”2000 年 6 月 30 日，中德两国政府正式签定合作开展上海高速磁悬浮列车示范线项目可行性研究的协议。8 月，国家计委批准了项目建议书。同月，上海申通集团等 6 家公司联合出资 20 亿元注册成立上海磁悬浮交通发展有限公司。上海市委、市政府批准成立上海市磁悬浮快速列车工程指挥部，使工程项目的启动得到强有力的资金和组织保证。2001 年 1 月 23 日，上海磁悬浮交通发展有限公司与由德国西门子公司、蒂森快速列车系统公司和磁悬浮国际公司组成的联合体签署了“上海磁悬浮列车项目供货和服务合同”，2001 年 3 月 1 日工程正式开工。

图 3 为上海示范线工程示意图。线路西起地铁

^① 科技部高速磁悬浮预可行性研究项目组. 中国高速磁悬浮试验运营线初步可行性研究报告, 2000

2号线龙阳路站,东至浦东国际机场,正线全长约30 km,双线折返运行,由7段曲线构成,最小曲线半径650 m,最大8 000 m,曲线部分占全长约62%。整个工程还包括两个车站,站台长210 m,宽7 m,设计最高时速为430 km/h,加速与减速限制在 1 m/s^2 以内;以430 km/h运行的距离为

10 km,单向运行时间约8 min。第一阶段计划订购3列各5节共15节TR-08车辆,平均定员100人/节。整个工程进展良好,可望按计划于2002年秋完成轨道梁制造、加工、吊装并开始车辆组装,2003年初单线一节三节车试运行,2003年底全线完成考核验收,投入运营。



图3 上海示范线工程示意图

Fig.3 Scheme of the Shanghai demonstration line

上海示范线的建造标志着我国高速磁悬浮列车的发展进入了工程技术研发阶段。上海线的建设和安全、可靠、经济的运营,是我国未来长大高速客运专线,例如京沪高速线,能否采用磁悬浮方案的必备条件。

在促进试验线建设过程中,曾设想引进技术,建造两条30~50 km长的试验线,一条采用德国Transrapid技术,一条采用日本超导MLX技术。由于前者技术更加成熟,与现有产业衔接较好,德国政府、产业部门与科技人员一致支持,很快决策上海线采用Transrapid技术。日本方案虽然有着悬浮高度大(10 cm)等明显优点,也多次推动进行合作,但是由于日本官方认为在技术上尚须进一步试验,除一般交流外,未能取得重要进展。

6 长大干线可行性研究论证与组建自主研发队伍

高速磁悬浮列车主要适用于长距离、大客流量

的高速客运。在技术成熟以后,其实用化与产业化必须有建造实用长大干线任务的牵引,国外的发展在这方面遇到了很大困难。在上海示范线建造任务落实以后,抓紧长大干线可行性的研究论证就提到了议事日程。结合国家“八六三”计划重大专项“高速磁悬浮列车技术”,从2001年夏开始已在积极促进有关工作。

京沪高速铁路是我国实施高速专线客运的首选长大干线,也可能是21世纪前期我国乃至全世界唯一将投入建造的长大干线。我国铁道部已进行了长期的建造京沪高速轮轨铁路的可行性研究,1998年提出了“新建北京至上海高速轮轨铁路项目建议书”,图4示出了所建议选线的地理位置示意图。通过参加该项目建议书的评审工作,我们感到:

1) 京沪高速线全长1 307 km,采用250~300 km/h的轮轨高速,全程旅行时间需要6~7 h,难以与航空竞争,而采用500 km/h的高速磁悬浮能将旅行时间缩短至3~4 h,可在与民航的激烈竞

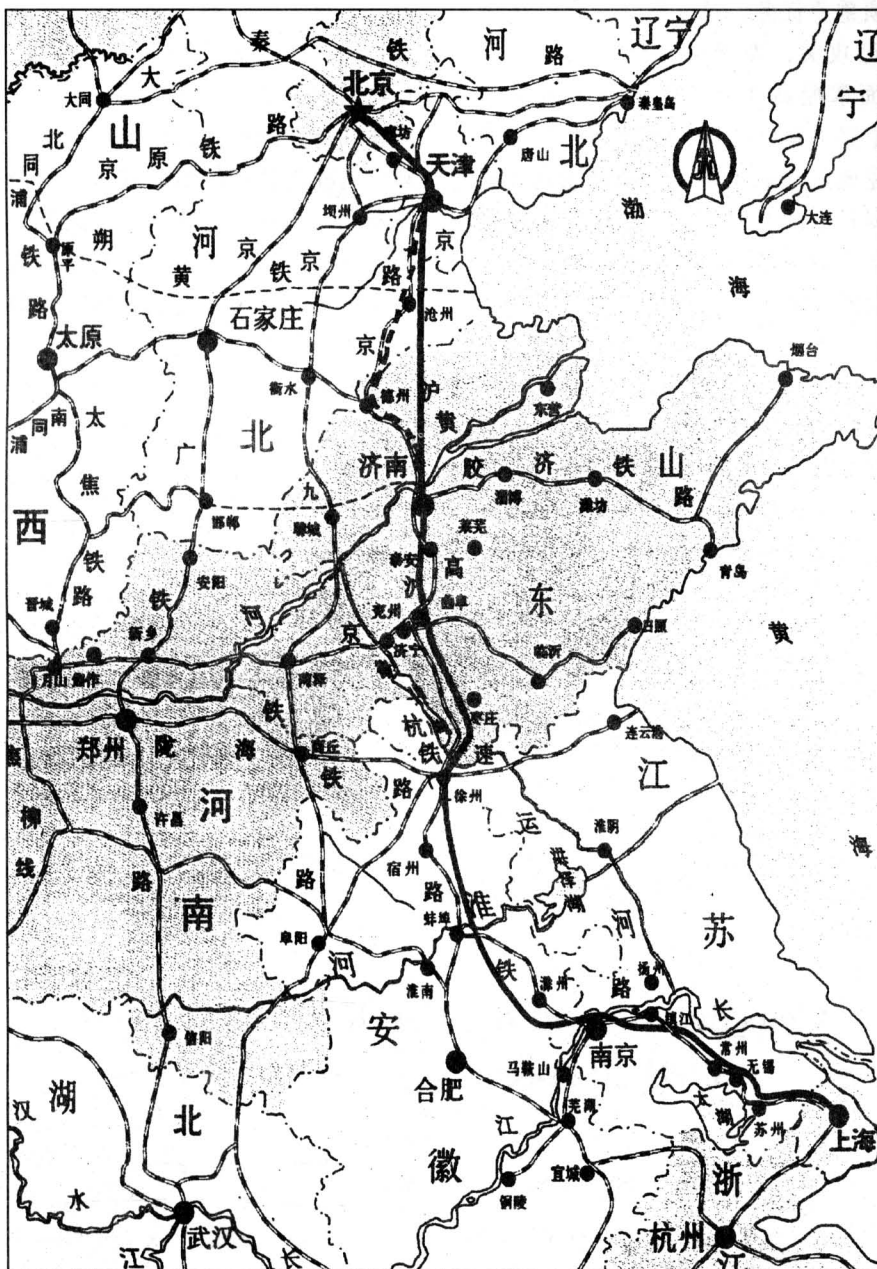


图 4 京沪高速铁路地理位置示意图

Fig. 4 Proposed Beijing-Shanghai high speed railway scheme

争中，保持地面轨道交通客运的骨干地位。

2) 京沪高速轮轨铁路已进行的大量前期工作大体上适用于高速磁悬浮线，也为建设磁悬浮线奠定了一定基础。由于磁悬浮线允许坡度可大至 10 %，沿线站数略少，线路总长还可略有缩短。

3) 京沪高速线采用磁悬浮方案尽管有明显的优越性，上海线的建成与运营将增强建造的信心与决心，但全世界至今尚没有建设与运营长大干线的经验。在近年国内关于采用轮轨或磁悬浮方案的激

烈争论中，还提出了一些重大的技术、经济、运营、装备国产化和科技队伍等方面的问题，需要经过认真的研究论证，以供国家决策时参考。当然，其他的长大干线也应在视野范围之内。

鉴于我国目前从事磁悬浮列车研究发展工作的力量十分薄弱，国外近期还没有实用的长大干线建设项目，因此，与上海线的建造、运营任务紧密结合，在国家“八六三”计划支持下，组织培养一支高质量的、精干的、稳定的研发、工程与管理骨干

队伍是当前的一项重要任务。这支队伍要有在中国坚定不移地“自己攻关,发展磁悬浮高速铁路体系”的决心,全面掌握高速磁悬浮的各种有关技术,有能力作为中坚力量在我国实现产业化,建成长大干线。能否建成这支队伍是今后能否顺利发展前进的关键。根据日本的经验,这支队伍要由多种专业的专家和经营管理人员组成,有持续稳定的支持,其规模大致保持在100人左右,其中十多人是核心骨干,他们熟悉全面情况,负责总体与指挥,下设土木工程、电气工程与车辆三大部份,各约30人。除积极参与上海线建设,引进、消化德国技术外,为使整个队伍更快成长和进入国际前列,建议在近期内研制出我国第一台车辆,用全部国产设备建设一条调试线,并安排一些前沿性的研究工作。

进行长大干线可行性的研究论证,培养组织好自主的研发队伍,积极走向国际前列,应是国家“八六三”计划重大专项“高速磁悬浮列车技术”近期的主要工作内容。

7 展望

经过前一阶段的努力,我国需要高速磁悬浮列

车已取得了一定程度的共识。引进技术,建造上海试验运营线已在实施,“高速磁悬浮技术”已作为专项列入国家“十五”高技术研究发展计划,长大干线可行性的研究论证已经开始,正在积极培养研发、工程与管理队伍。在不久的将来,上海示范线将安全、可靠、经济地投入运营;经过认真细致的研究、论证与比较,京沪高速线有望采用高速磁悬浮方案;我们的研发、工程、管理的骨干队伍成长到有能力承担京沪线的建设与运营任务,我国将在世界上率先进入高速磁悬浮列车的实用化与产业化阶段。在建造京沪线的同时,应根据我国发展的实际需求,拟定我国高速磁悬浮线的发展规划,逐步使磁悬浮列车在我国未来的高速客运专线网中发挥骨干作用。

参考文献

- [1] 严陆光. 高速磁悬浮列车技术及其在我国客运交通中的战略地位[J]. 科技导报, 1999, (8): 34~37
- [2] 严陆光. 中国需要高速磁悬浮列车[J]. 中国工程科学, 2000, 2(5): 8~13
- [3] Yan Luguang. Progress of high-speed maglev in China [J]. IEEE Trans on Applied Superconductivity, 2002, 12(1): 944~947

Consideration on the Development Strategy of High-speed Maglev in China

Yan Luguang

(Institute of Electrical Engineering, Academia Sinica, Beijing 100080, China)

[Abstract] High-speed maglev with 500 km/h operational velocity can be used for practical passenger transport in the first part of 21st century. It has obvious advantages for long distance, high capacity passenger transport between large cities. From the practical development needs and real situation of the passenger transport in China, based on the detailed analysis of the international progress, after quite serious discussion, since 1998 a suggestion for the development strategy of high-speed maglev in China has been formed. The strategy is suggested to have five steps, i. e. : a. Study on the strategic position of high-speed maglev in China's passenger transportation system. b. Construction of a short test and operational demonstration line based on the imported technology. c. Feasibility study for long distance operational line and organization of the internal R&D and engineering work. d. Construction of a long distance operational line and commercialization of the equipments and engineering. e. Gradual realization of the high-speed maglev network in the country. Some quite encouraging progress has been achieved, and reported in present paper. Suggestion and prospect of near future work are also outlined.

[Key words] high-speed maglev; development strategy; Shanghai demonstration line; long distance line feasibility