

中国需要高速磁悬浮列车

严陆光

(中国科学院电工研究所, 北京 100080)

[摘要] 20世纪, 高速磁悬浮列车的发展令人瞩目, 高速磁悬浮列车技术已成熟到可建造实用运营线的程度, 从而使人类地面客运的速度可望在21世纪中前期达到550 km/h的新水平。文章简要叙述了高速磁悬浮列车的发展、特点与优势, 它主要适用于长距离、大城市间、大流量的客运。从我国的国情与未来需求出发, 指出它最适合于我国高速客运专线网的发展, 就京沪高速铁路而言, 也比高速轮轨列车有着明显的优越性, 发展高速磁悬浮列车体系是当务之急, 并对当前应抓紧试验运营线的建设等工作提出了建议。

[关键词] 磁悬浮列车; 高速客运; 交通运输

1 引言

整个人类客运交通发展的历史是一个速度不断提高的历史。每一种新型交通工具的出现和重大技术的突破都伴随着速度的显著提高, 20世纪在这方面尤为突出。飞机、汽车与火车均在不断地刷新其速度的记录, 高速磁悬浮列车发展尤为令人瞩目。

传统轮轨铁路的运营速度经过一百多年的发展, 达到了300~350 km/h, 速度的进一步提高受到了轮轨支承和受电弓供电的限制。高速磁悬浮列车用电磁力将列车浮起而取消轮轨, 采用长定子同步直线电机将电供至地面线圈, 驱动列车高速行驶, 从而取消了受电弓, 实现了与地面没有接触、不带燃料的地面飞行, 克服了传统轮轨铁路的主要困难。从60年代起, 日本、德国以强大的国家研究发展计划, 投入数十亿美元资金, 经过长期持续努力, 使高速磁悬浮列车技术成熟到可以建造实用运营线的程度, 最高速度已达550 km/h。从而, 人类地面客运的速度可望在21世纪中前期达到550 km/h的新水平, 使高速地面交通的发展继续长足前进。

朱镕基总理在1998年6月中国科学院与中国工程院院士大会上向我国科技界提出为什么京沪高速铁路不采用先进的磁悬浮技术的重大问题, 引起了科技界的广泛重视。在十多年来一直关注与跟踪国际磁悬浮列车技术发展的基础上, 我们积极进行了有关调研、分析、论证与讨论工作, 形成的认识是: 京沪高速线应采用高速磁悬浮方案, 问题是长期以来我们对此认识不足, 准备不够, 从而应该统一认识, 下定决心, 采取有力措施, 不再延误下去。本文简要叙述了在我国发展高速磁悬浮列车体系的一些思考与建议。

2 高速磁悬浮列车的发展、特点与优势^[1]

经过三十多年的持续努力, 在各自投入数十亿美元的强大国家研究发展计划的有力支持下, 日本与德国分别发展成熟了超导电动式(图1)与常导吸引式(图2)两种类型的高速磁悬浮列车技术。前者采用先进的低温超导磁体技术, 悬浮气隙可达10 cm, 适应性较好, 易于达到更高速度; 后者悬浮气隙约1 cm, 与现有工业技术衔接较好, 技术

比较成熟。高速列车的成功是当代磁悬浮、直线驱动、低温超导、电力电子、计算机控制与信息技术等高新技术发展与综合集成的结果，它的实用化必将带动一系列相关高技术产业的形成与发展。

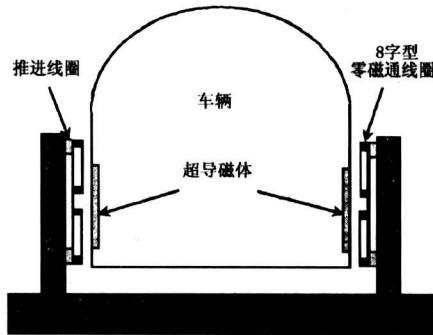


图 1 日本超导磁悬浮列车截面图

Fig.1 Cross section view of the Japanese superconducting maglev train

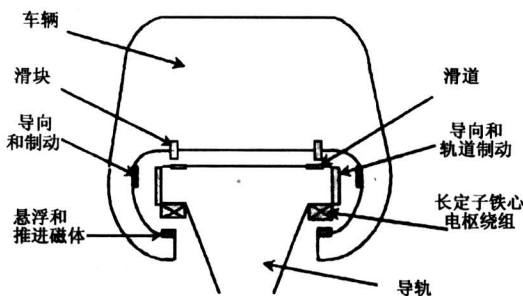


图 2 德国常导磁悬浮列车截面图

Fig.2 Cross section view of the Germany normal-conducting maglev train

德国自 1962 年开始即进行了磁悬浮基础研究，1977 年决定集中发展常导吸引式磁悬浮列车，1987 年建成了总长 31.5 km 的埃姆斯兰特单线试验线，对经长期发展已大体定型的 TR-07 实用车进行了长期运行试验，达到最高 450 km/h 的速度，已有 20 万人次乘坐参观，1997 年乘坐人数达 4.8 万人次。德国政府专门组织了由联邦铁路中心局牵头，联邦铁路和七所著名大学的专家们组成的工作组进行全面的评价、鉴定，1991 年得出了该系统技术上应用成熟的结论。德国交通部曾正式宣布修建全长 292 km 的柏林—汉堡复线磁悬浮铁路，设计最高速度 500 km/h，实际运行速度 430 km/h，进行了积极的工作。

日本一直致力于发展超导电动式磁悬浮列车，认为悬浮气隙 1 cm 的常导吸引式不能用于多地震的日本。1972 年研制成 ML-100 试验车，1977 年建成了长 7 km 的宫崎单线试验线，开始时为倒 T 型轨道，1979 年 ML-500 试验车创造了 517 km/h 当时的高速纪录，1980 年做了重大的方案变化，将试验线改为 U 型轨道，先后进行了 MLU-001、MLU-002 与 MLU-00X1 的试验车试验，1991 年又部分改造为侧壁零磁通悬浮式，进行了 MLU-002N 试验车试验。80 年代后期，日本拟定了建设由东京至大阪、长 500 km、速度 500 km/h 的磁悬浮列车运营线计划。1990 年决定在所选线路中的一段上先建山梨试验线，全长 18.4 km，为复线，隧道占全长的 80 %。1997 年 4 月开始了试验，无人行驶速度已达 550 km/h，有人行驶达 531 km/h，双线对开相对速度达 1003 km/h，进展良好。

总起来说，高速磁悬浮列车技术已成熟到可以进入建造实际运营线的阶段，已经证实的主要特点与优势是：

1) 克服了传统轮轨铁路提高速度的主要障碍，发展前景更加广阔。第一条轮轨铁路出现在 1825 年，经过 140 年努力，其运营速度才突破 200 km/h，从 200 km/h 提高到 300 km/h 又用了近 30 年的时间，虽然技术还在不断完善与发展，但继续提高速度的余地已不大，而困难却很大。还应注意，轮轨铁路提高速度的代价是很高的，300 km/h 高速铁路的造价比 200 km/h 的准高速铁路高近 2 倍，比 120 km/h 的普通铁路高 3~8 倍，继续提高速度，其造价还将急剧上升。第一个磁悬浮列车小型模型，德国出现在 1969 年，日本出现在 1972 年，1979 年就创造了 517 km/h 的速度记录，目前技术已经成熟，可进入 500 km/h 实用运营线的建造阶段。显然，高速磁悬浮列车将是 21 世纪蓬勃发展、前景广阔的新技术。

2) 是当今唯一能达到运营速度 500 km/h 的地面客运交通工具，其优越性不可取代。对于客运交通来说，提高速度的主要目的是缩短乘客的旅行时间，从而，运行速度与旅行距离紧密相关。各种交通工具根据其自身速度、安全、舒适与经济的特点，分别在不同旅行距离中起着骨干作用。图 3 示出已普遍接受的、道理简单的各种运输工具的总旅行时间和旅行距离的分析曲线。它清楚地表明，按

总旅行时间考虑, 300 km/h 的高速轮轨与飞机相比在旅行距离小于 700 km 时才优越。若在该图上

加上 500 km/h 的高速磁悬浮, 则比飞机优越的旅行距离将达 1 500 km 以上。

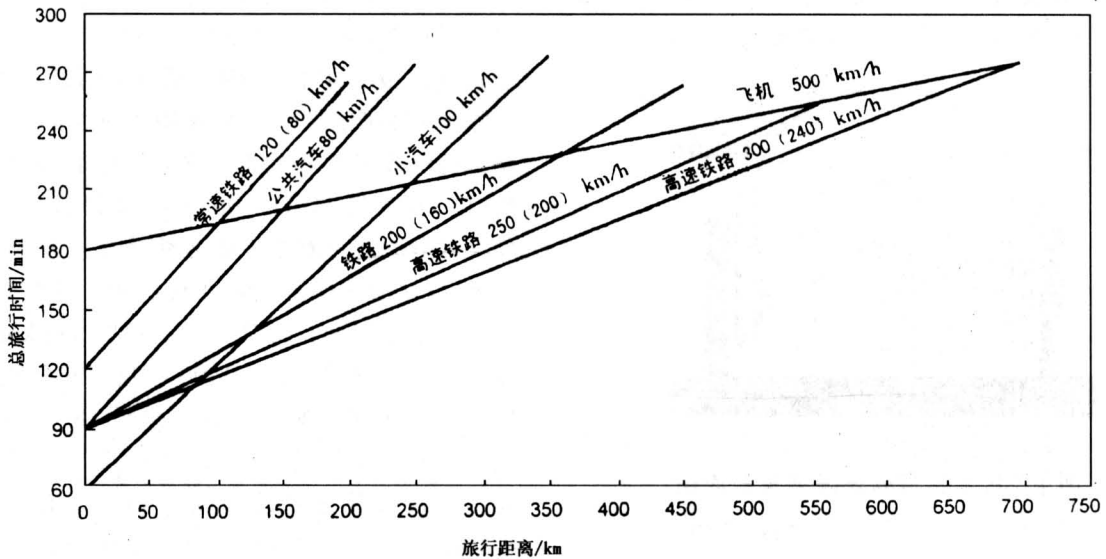


图 3 铁路运输在不同速度下与公路、航空运输在总旅行时间和旅行距离上的分析对比

Fig.3 Comparison of different velocity railway with high-way and aviation (total transportation time in dependence of the total transportation distance)

上述观点已为近年来国际高速轮轨交通的实践所证实。国际上 250~300 km/h 的高速轮轨铁路迄今共有 13 条运营线, 总长 4 369 km。除日本东京—博多线全长 1 069 km 外, 其它均小于 600 km。以东京—博多线为例, 图 4 示出了日本各种交通工具市场占有率与旅行距离间多年的统计曲线。它清晰地表明, 速度 250 km/h 的新干线高速轮轨铁路, 随着旅行距离的增加, 其市场占有率迅速上升, 在旅行距离约 800 km 时达到约 70% 的峰值。旅行距离继续增大, 由于旅客更多地选择了飞机, 其市场占有率急剧下降, 1 200 km 时降至约 30%。

km), 时速可达 200 km/h, 100 s 后, (4.8 km) 达 300 km/h, 150 s 后 (9.6 km) 达 400 km/h; ICE 轮轨高速在 150 s 后 (行程 5 km) 达 200 km/h。已经证明, 磁悬浮列车爬坡能力可达 10%, 而轮轨高速为 4%。在同等速度下, 磁悬浮列车转弯半径小, 因而其选线自由度较大, 这意味着线路可较短、少占地面、节约耕地, 降低总投资。

3) 能耗低 在 500 km/h 速度下磁悬浮列车每座位·公里能耗仅为飞机的 1/3~1/2, 比汽车低 30%; 在 300 km/h 的相同速度下, 德国 TR 磁悬浮列车每座位·公里能耗比 ICE 轮轨高速列车低 33%, 在 400 km/h 时其能耗与 ICE 300 km/h 相当。

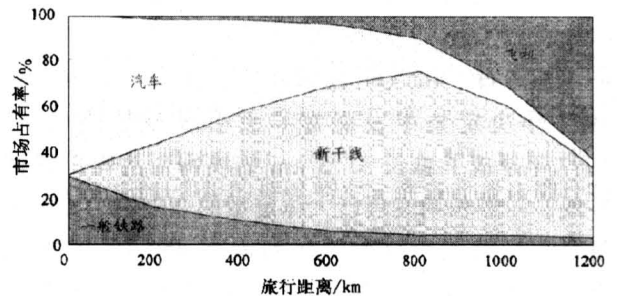


图 4 (日本) 汽车、一般铁路、新干线和飞机的市场占有率与旅行距离间的关系

Fig.4 The market occupation rate of automobile, usual railway, high-speed railway and air-plane in dependence of the total transportation distance (Japan statistic result)

4) 噪音小 实测表明, 列车通过时, 在 25 m 距离处的噪音, 在 300 km/h 时, 德国 TR 列车为 83 dB, ICE 列车为 88~90 dB。

5) 启动停车快, 爬坡能力强, 选线自由度较大 德国 TR 07 磁悬浮列车启动 50 s 后 (行程 2

6) 安全、舒适、维护少 磁悬浮列车在结构上保证不易脱轨,推进方式保证不易撞车。磁悬浮列车没有车轮和铁轨的接触以及与受电弓的机械接触,震动小,舒适性好,其工作属于无磨损运行,维修主要集中在电子技术方面,不需大量体力劳动。

7) 采用电力驱动,不燃油 磁悬浮列车的发展不受能源结构,特别是燃油供应的限制,无有害气体排放,环境污染小。

8) 技术还在发展,还要解决建设与运营中的一些实际问题 与国际上已建成总长4 369 km、运营已有三十多年经验的高速轮轨铁路相比,高速磁悬浮列车在技术成熟性和建设运营经验方面有着明显的差距。这是任何一种新技术与传统技术比较时通常遇到的情况。在讨论中,提出了投资、兼容、成网、运量等疑虑。作为一种新型交通工具,高速磁悬浮列车与轮轨铁路只能像汽车、飞机、轮船一样通过换乘来兼容。高速磁悬浮线的道岔要移动地面线圈系统,其成网要比轮轨铁路困难一些。目前,日本高速磁悬浮线的运量目标是单向10 000人/h,以后根据需求还可能增大。当前估计,高速磁悬浮线的投资比高速轮轨铁路高20%~50%,而速度提高了50%~70%,投资增加不多,应是一个优点。随着产业发展与经验的积累,降低投资的可能性与幅度可能远大于高速轮轨。总起来说,这些问题应在发展中予以充分重视,但不是发展的障碍。

3 中国需要高速磁悬浮列车

时速可达500 km的高速磁悬浮列车主要适用于长距离、大城市间、大流量的客运。它在各国客运交通中的地位取决于该国的国情,最主要的是客运发展的需求及已有交通系统的发展状况。各国都应从各自的国情出发,研究确定自己的发展战略。我国第一条铁路建成在1876年,经过七十多年的发展,全国解放时铁路总长2.18万km,承担着全国65%的客运量和约85%的旅客周转量,是主要的客运交通工具。建国以来,我国铁路得到了迅速发展,营业里程迅速增长,达到当前的6.5万km,直到70年代中后期,仍然保持着全国客运中的骨干地位。80年代以来,由于公路与民航的迅速发展,以及经济发展对客运速度提高的需求日益增大,导致了铁路在客运中的地位明显下降。1997年铁路在全国客运量中的份额降至7%,旅客周转

量份额降至35%。人们已经认识到,必须致力于客运提速,才能保持和发展铁路作为重要客运工具的地位。近年来,在既有线提速和建造高速轮轨铁路的准备方面,取得了可喜的成绩。

我国是否需要高速磁悬浮列车与如何预测我国铁路网的需求和发展紧密相关。最近铁道部经济规划研究院路网研究所李宏等同志发表了21世纪上半叶我国铁路网需求与总规模的预测研究结果,并提出了发展设想^[2]。按照他们的研究意见,我国铁路在21世纪上半叶仍属建设高潮时期,约至2050年可基本形成满足需求的铁路网。据预测,2050年全国人口约14.7亿人,城镇人口约占75%;铁路年人均乘车率将由目前的0.8次增至约3次;铁路旅客平均行程将由目前的约360 km增至460~500 km;铁路旅客周转量将达2.0~2.2万亿km。从上述预测需求出发,他们建议:我国铁路网总规模将由目前的6.5万km增至12万km,由三部分组成,即:约0.8万km的高速客运专线网;约2.2万km的客货混跑快速客运网;约9万km的普通铁路网。图5示出了所建议的高速客运专线网示意图,并示出了主要枢纽城市的现有人口和城市间距离。显然,当前问题的关键在于21世纪上半叶我国将建造的、目前为零、全长近8 000 km的高速客运专线网应该采用500 km/h的高速磁悬浮列车还是300 km/h的高速轮轨列车,这是决定我国是否需要高速磁悬浮列车的基础。

我国需要发展高速磁悬浮列车就在于它最适合我国高速客运专线网的发展,这是因为:

1) 我国幅员辽阔,人口众多。目前考虑的主要客运专线(京沪——1 320 km,京广港澳——2 550 km,哈大——940 km,徐州——宝鸡——1 030 km,浙赣——940 km,津沈——703 km,沪杭——194 km),大多在1 000 km以上。500 km/h的磁悬浮列车比300 km/h的高速轮轨列车在旅客选择民航或铁路中具有显著的优越性。高速磁悬浮的投资与运营成本和高速轮轨相差不多,其更高速的优越性必然会使其成为优先选择的方案。

2) 我国至今尚无客运专线,高速客运网的形成大约需半个世纪的持续努力,这恰恰是我国在交通领域实现技术跨越发展、发挥后发优势、后来居上的重要机遇。虽然高速磁悬浮技术不如高速轮轨成熟,但只要我们统一认识,下定决心,认真抓紧工作,实现高速磁悬浮是完全可能的。

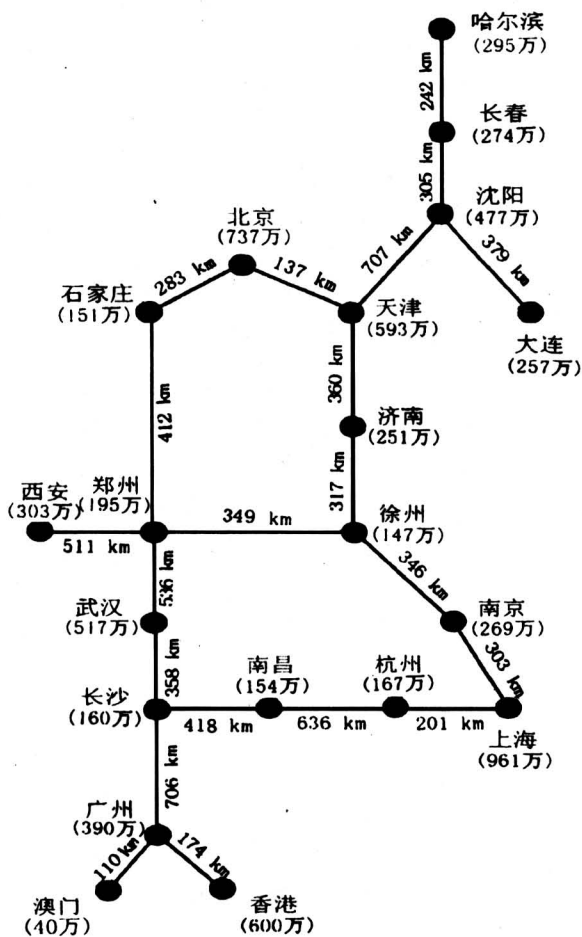


图 5 我国高速客运专线网示意图

Fig.5 Scheme of the proposed high-speed passenger transportation railway network in China

3) 高速磁悬浮体系的发展将带动当前众多高新技术前沿的发展, 这些高新技术本身又将为新兴产业的形成和经济发展起着重要的作用。我国及时抓住高速磁悬浮体系的发展, 将为我国在 21 世纪相关产业发展中处于前列奠定良好基础。

4 关于京沪高速线建设

京沪高速线建设是当前全国关注的、继三峡工程之后的又一重大工程。京沪线全长 1 307 km, 采用 500 km/h 的高速磁悬浮比 300 km/h 的高速轮轨能更好地保证其长距离客运的骨干地位, 有着明显的优越性, 且可为今后逐步建设全国客运高速专线网奠定良好的基础, 因此, 应采用高速磁悬浮方案。

当前的主要问题在于建设的迫切性。如确如一

些同志所建议的那样, 建设已迫在眉睫, 越早越好, 则由于准备不足, 采用高速磁悬浮方案缺乏现实可行性, 只能采用高速轮轨。但从各种讨论中, 感到对建设迫切性问题尚有不少疑虑, 还需深入地论证分析。

在各种讨论中, 确有一些意见值得重视, 主要是:

1) 近年来, 我国铁路客、货运量有所下降, 显著低于原预测值, 近期走向不清晰, 长期走向也缺乏准确估计, 立即建造京沪高速铁路可能出现长期亏损局面。

2) 建设投资的估计有较多争议, 需认真审核, 避免出现开工后严重超支。

3) 对客流情况应有更深入的分析, 进而明确对速度目标值的需求论证, 因为, 即使要建新线, 200 km/h 的准高速比 300 km/h 的高速便宜不少, 且可更多依赖我国现有的技术基础。

4) 解决近期运输紧张问题有多种扩能方案, 论证尚不够深透。

5) 据闻在秦沈线上已安排时速 300 km 的试验段, 将在 2003 年后取得我国自己的数据, 届时很多争议将能得到澄清。

如国家近期内尚不决策立即建造, 则应大力组织进行采用磁悬浮的可行性研究, 当需要决策时, 再进行细致比较。

5 对我国开展高速磁悬浮列车工作的建议

鉴于高速磁悬浮列车对我国未来客运交通的重大意义, 而我国自身研究发展工作的基础与力量相当薄弱, 建议当前应抓紧进行下列三方面的工作:

1) 建设一条试验运营线 以建设试验运营线的重大工程项目带动, 可有效地开展国际合作, 引进与消化国际先进技术与经验, 逐步实现国产化与创新, 掌握与积累设计、工程建设与运营经验, 为我国尽早建设长距离实用线打下坚实基础。建设试验线是当前应采取的最重要的措施。

在国际已有经验基础上, 该线应建成试验运营线。它一方面是我国今后自主研究发展的试验基地, 能达到 500~600 km/h 的运行速度, 从而其长度应不小于 30~50 km。另一方面, 它应进行实际载客运, 向广大民众进行有效的示范宣传, 解决有关部门运营问题, 积累经验, 同时解决一定资

金问题。

在技术路线方面，德国的常导与日本的超导方案都是可行的，各有其优缺点，两国都有与我国合作的积极性，宜与两国分别合作，进行选线与可行性研究，然后根据技术经济比较，以及国家间的政治关系，进行选定。

在试验线的选线方面，提出两种方案：一种是作为城市间的联接线，如北京至天津（~130 km）、上海至杭州（~160 km）、广州至香港（~170 km）；另一种是30~50 km的短线，如北京机场进城、浦东机场进城及广州附近。估计投资约需1.2~1.5亿元/km，短线约需50~60亿元，城市间约需200亿元。需要进行多方案的论证。

整个建设时间，约需6~7年，其中1~2年用于选线、可行性研究及设计，3年左右用于建设，1~2年用于调试试验，达到可以安全可靠运营。

2) 有效地组织我国自身的研究发展队伍 发展高速磁悬浮列车体系牵涉到一系列重要高新技术的发展与新兴产业的形成。从建造试验运营线到成长距离实用线，以及最终形成客运专线骨干网是一个较长期的过程，需要几代人的持续努力，需要有效组织我国自身的研究发展、工程化与产业化队伍。鉴于我国有关工作力量十分薄弱，又处于代际转移的重要时期，由国家计划给予持续稳定支持来有效地组织队伍尤为重要。当前，全国正在制定“十五”计划，应与试验线建设任务紧密结合，将“高速磁悬浮列车技术”作为重大项目列入第二阶段国家高技术研究发展计划（S-863计划），将全国从事研究发展与产业化工作的骨干力量统一组织起来，给予有力的加强和稳定的支持，组成我国自身发展的队伍。有关部门，如铁道部、中国科学院、教育部等也应将高速磁悬浮列车技术的发展列

入各自的科技发展计划，实现大力协同。

3) 拟定发展规划，进行实用线的可行性研究

从我国未来高速客运交通发展的需求出发，根据高速磁悬浮列车高速度、长距离与大客流量的特点，考虑各种交通工具合理协调的发展，认真研究拟定我国21世纪高速磁悬浮列车的发展规划。

6 结束语

20世纪下半叶，我国科技与工业发展总体上是仿造、引进、跟踪、赶超，这是几个世纪来我国经济与科技落后所决定的。21世纪上半叶，我国将基本实现现代化，建成富强民主文明的社会主义国家，进入世界中等发达国家行列。在科技方面，应逐步从“仿造、跟踪”走向“赶超、创新”，从而“实现技术跨越跳过传统发展模式，迎头赶上”应当成为科技发展的一个重大战略原则与措施。这方面，中央已形成了明确的指导意见。

我国在21世纪有着建设高速客运专线网的需求，采用高速磁悬浮方案有着明显的优越性，而高速客运专线建设尚未开始，相应新兴产业尚未形成，正为我们实施“技术跨越，迎头赶上”战略提供了良好机遇。抓住机遇，统一认识，积极推进国际合作，大力组织自主攻关队伍，发展高速磁悬浮列车体系，是当务之急。

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] 李宏. 我国铁路快速客运网的发展构想 [J], 铁道工程学报, 1999年增刊. 跨世纪铁路建设对策研讨会文集. 1999, 5

China Needs High-speed Magnetically Levitated Train

Yan Luguang

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

[Abstract] The development, main features and advantages of the high-speed magnetically levitated train are shortly described. It is particularly suitable for the development of the future high-speed passenger transportation network in China. Some suggestions to develop high-speed magnetically levitated train technology in China are presented.

[Key words] magnetically levitated train; high-speed passenger transportation; communications and transportation