

文章编号: 1671-1637(2001)02-0010-04

# 京沪高速铁路技术方案的探讨

沈志云

(西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 四川 成都 610031)

**摘要:** 介绍了轮轨高速铁路技术的最新发展及磁浮高速列车国内外的试验研究情况。按不同速度等级将两种铁路高速技术加以对比, 指出只有在需要将地面交通的速度提高到 400 km/h 以上时, 磁浮高速列车才具有优势。着重论述了京沪高速铁路采用轮轨技术的必要性和可能性。呼吁尽早统一认识, 以便能如期在“十五”期间开工修建京沪高速铁路。

**关键词:** 轮轨高速铁路; 磁浮高速列车; 京沪高速铁路

**中图分类号:** U 238 **文献标识码:** A

## On Selection of High-speed Technique for Beijing-Shanghai Railway

SHEN Zhi-yun

(National Traction Power Laboratory, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The new advances of high-speed railway techniques are reviewed. High-speed railways based on wheel/rail contact are innovated day after day since its first initiation in 1964. In the same time, the magnetic levitated trains are also studied continuously in many countries. After a brief introduction of the development of these two kind of high-speed railway technology in and outside China, a question has been raised: which technique to use for the Beijing-Shanghai high-speed railway? A detailed comparison between the wheel/rail and the magnetic levitation high-speed techniques has been made. It is concluded that the later has superiority only in the case of speed higher than 400 km/h. The maglev technique is still in developing, and no single line commercially operated all over the world. Therefore, the wheel/rail-typed high-speed train of 300 ~ 350 km/h is the most feasible and most optimum choice for the Beijing-Shanghai high-speed railway.

**Key words:** wheel/rail-typed high-speed railway; magnetically levitated high-speed railway; Beijing-Shanghai high-speed railway

### 1 建设京沪高速铁路的意义及其可行性研究

中国经济持续高速增长, 社会文明及人民生活水平不断提高, 人民需求越来越向高标准和高质量发展。在这种情况下交通现代化问题非常重要。尤其是北京上海沿线地区, 这一问题更为突出。

京沪沿线地区包括北京、天津、上海、河北、山东、安徽、江苏等 3 市 4 省。土地面积仅占全国 6.4%, 而人口却占 26.5%, 国民生产总值占

33.3%。北京和上海都是人口超千万的世界超级大城市, 京沪沿线地区城市化进展迅速, 因此交通问题, 特别是客运问题日显重要。现有的京沪民航线、京沪铁路、和京沪高速公路, 都不能满足要求。唯有速度高、运量大、安全、舒适的高速铁路才可以形成一条现代化的交通大通道, 从根本上解决这一问题。

修建京沪高速铁路是一项复杂的巨大工程。早在 20 世纪 80 年代末铁道部在国家计委领导下即开始进行可行性研究。1994 年国家计委、国家科委、国家教委、国家体改委和铁道部(四委一部)的专家联

收稿日期: 2001-04-17

作者简介: 沈志云(1929-), 男, 湖南长沙人, 西南交通大学教授, 前苏联副博士, 中国工程院院士, 中国科学院院士, 从事机车车辆动力学研究

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

合组成论证组,对京沪高速铁路的可行性进行了大量调查研究工作,还同日、法、德等国有关机构开展交流讨论,历时四载,以详实的数据和科学的论据,令人信服地论证了采用 300~350 km/h 的轮轨型高速铁路是最佳方案。论证报告曾向国务院汇报,得到首肯。

1998 年有些专家认为轮轨高速铁路是落后的技术,提出京沪高速铁路应采用更为先进的高速磁浮列车方案。国务院领导十分重视这一意见,多次组织各方面专家研究讨论,并引进德国磁浮技术,在上海修建磁浮试验线,以摸索经验。中国工程院于 1998~1999 年组织有 50 多位院士及有关专家参加的咨询组,就磁浮列车同轮轨高速铁路的比较开展调查研究<sup>[1]</sup>。作者有幸主持这项咨询。本文拟根据作者的学习心得,发表一些探讨性意见。

## 2 世界轮轨高速铁路技术的新发展

高速轮轨铁路和高速磁浮列车的研究差不多同时于 20 世纪 50 年代起步。两者都是全新的高技术,不过前者从 1964 年起即已开始商业运营,并在运营中得到不断发展;而后者仍处于全球性的试验阶段,尚未进入工程应用。轮轨高速铁路采用全新设计原理和先进制造技术,大量采用电力电子和现代控制理论,凭借计算机软、硬件的发展,才实现了高速行驶。所以轮轨高速列车是现代高技术的集成,是用高技术改造传统铁路使其本身成为一种高新技术的典范。

20 世纪 90 年代以来,轮轨高速铁路的发展进入新阶段<sup>[2]</sup>。主要特点有:

(1) 采用先进的分散式交-直-交驱动系统,使速度提高到 350 km/h 以上。如德国的 ICE-3,法国的 AGV 都改用动力分散方式,采用 VVVF 变频调速,目标是使运营速度提高到 360 km/h。日本的 500 系、700 系列车,设计速度亦为 350 km/h,只是由于线路条件限制,才降至 300 km/h 或 270 km/h 运行。

(2) 采用有源主动控制技术,大大改善乘坐舒适度。如采用陀螺仪等先进导航技术的车体倾摆装置、可控刚度悬挂系统、磁流变可控阻尼、非线性车体稳定器等,都从根本上提高了高速运行中的平稳性。

(3) 采用最新成果,改善空气动力学性能。在地面稠密大气中以超过 300 km/h 运行面临的主要问题是提高空气动力学性能,包括降阻、减噪、密封等方面的新技术。新一代轮轨高速列车在这方面的进

展已经达到飞机的水平。如日本新干线新型高速列车规定要进行整辆车的实车密封试验,以检验正负外压下的密封性能。

(4) 大量采用新材料、新结构,有效降低自重。如标准车的轴重由一般的 17 t 降至 10 t 甚至 8 t。

在高速桥梁隧道、轨道结构、行车控制等方面的新技术,更是数不胜数。所以,轮轨高速铁路,虽已有 30 多年的历史,但其技术仍处于迅速发展之中,是一项方兴未艾的地面轨道交通新技术。

## 3 磁浮高速列车原理及其现在所处的全球性试验阶段

磁浮列车的基本原理是:在车辆和轨道之间人为制造一个强大的磁场,利用其磁场力(吸力或斥力)将车辆抬起一定高度,并应用线性电机产生的感应牵引列车前进。常导低速磁浮列车由车上供电,相当于定子的轨道侧构造很简单,故称为短定子。这种结构的磁浮列车速度不高,适于城市轨道交通。20 世纪 70 年代许多国家均曾研制成功,但由于造价高,维修复杂,一直未能推广应用。

为了提高速度,加大功率,可将笨重的供、变设备置于轨道侧而使其成为原边,可称为长定子。德国从 1976 年起研究这种磁浮列车,在试验线上成功地实现了 430 km/h 运行,达到可以工程化试验的程度。原拟修建 290 km 的柏林—汉堡磁浮商业运营线,可惜因造价高和预测亏损而中止。中国决定全套引进该试验成果,在上海建浦东机场示范线。预期于 2003 年建成,将成为新的世界首条磁浮运营线。

日本国铁研究所一直从事低温超导磁浮列车的研究,也是采用直线电机的原理,不过在车上的电磁线圈用低温超导线材制造,通过液氮冷却。当速度达到 120 km/h 以后,在超导线圈中感应产生强力磁场而可将车体抬高 80~100 mm,并可使前进速度达到 500~550 km/h。这种磁浮列车在 120 km/h 以下,仍需以滚轮在滑道上滚动前进。日本在 18 km 山梨试验线上实现了 553.5 km/h 的载人运行试验。但在技术和成本方面还有许多问题需要研究解决,计划还需试验 5 年,才能做出是否可以工程化的结论。

低温超导要用液氮冷却,成本较高。近年日本已开始研究使用高温超导材料,仍为电动式。中国 863 计划支持一种全新原理的高温超导磁浮列车研究,利用常规永磁体的磁场在高温超导体中引起的屏蔽电流实现悬浮,导向力由高温超导体钉扎中心对永

磁导轨磁力线的钉扎作用实现。悬浮和导向均为稳定平衡系统,不需要任何控制。西南交通大学承担这一开创性研究。经过3年努力,取得了稳定悬浮500 kg的突破性进展。研制成功的磁浮车,可载5人,悬浮高度在20 mm以上,利用常规线性电机牵引,一次加入液氮70 L即可持续工作6 h。这一试验的成功为研制具有自己特色和知识产权的高速磁浮列车开辟了一个新的途经。

从全球范围来说,高速磁浮列车仍处在试验阶段。迄今为止无论那个国家都没有任何形式的磁浮列车投入商业运营。究其原因乃在于同其他地面交通工具相比,其优势并不突出。

## 4 磁浮高速列车和轮轨高速铁路的比较

关于磁浮高速列车和轮轨高速列车对线路动力作用的比较,作者已有说明<sup>[3]</sup>。现从总体上比较两种列车的优势和劣势。作者认为,这种比较必需首先区分不同的速度级别,才有实际意义。

### 4.1 低速磁浮列车同轮轨城市轨道交通的比较

一般人认为磁浮列车由于没有轮轨机械接触而具有低摩擦、低噪音、低振动等优势。这在低速之下同轮轨城市轨道交通相比较才是正确的。妨碍其在城市轨道交通中推广应用的是这种优势还不足以抵消它的劣势。成本高、能耗大,尤其是维修复杂是这一技术的主要劣势。1984年英国国有铁路部门不计成本在伯明翰建成近1 km的机场磁浮线,取得了世界第一条磁浮商业运营线的桂冠。但是,由于维修成本太高,运用单位不得已忍痛拆除。日本航空公司投资研究常导定子磁浮列车HSST,于1978年试验速度即已达到307.8 km/h,20多年来始终未能找到实际应用的机会,充分说明其不具备竞争力。

### 4.2 中速磁浮列车同轮轨高速铁路的比较

轮轨高速铁路的速度范围在250~350 km/h之间。在这种速度下70%以上的行车阻力和噪声均来自列车所处的稠密大气,轮轨接触所占比例下降到5%以下。因此,在两者对比中是否悬浮已无关紧要。磁浮列车以直线电机牵引,具有起动加速度大和爬坡能力强等优势。但上述成本高、能耗大、维修复杂等劣势依然存在,而且作为城市间轨道交通,还有与现有铁路网不兼容、道岔设置困难和运能无法调整等缺点。因此,在400 km/h以下,磁浮列车相对于轮轨高速铁路没有任何竞争力。没有更高速度要求时,从未有过用磁浮列车代替轮轨高速铁路的考

虑。

### 4.3 高速磁浮列车同轮轨高速铁路的比较

轮轨高速列车靠轮轨间的粘着而获得牵引力。轮轨粘着系数随速度提高而下降,这是轮轨高速列车致命的弱点。尤其严重的是,速度越高,越需要强大的牵引力来克服急剧上升的空气阻力。因此轮轨高速列车的速度一般不应超过400 km/h。

与此相比较,磁浮列车则具有独特的优势。它由线性电机提供牵引力,不受速度的限制。因此,作为地面交通,在400~600 km/h速度领域内,唯一适宜的只有磁浮列车。我们说磁浮列车是一种很有希望的现代交通工具,指的就是这种它能达到的“超高速”。

在“超高速”情况下来谈两种列车,是否悬浮或有否轮轨接触已无意义,其他技术特点也毋须比较。两种列车之争实质上是两种速度之争。即处在地表稠密大气中的地面交通工具,有无必要消耗大量能源去克服巨大的空气阻力,来追求如此高的运行速度?正如高速水运那样,水中阻力太大,要达到50节以上的高速度,只有脱离水介质,在水面飞行。地面交通工具也是这样,要想达到超高速,最好脱离稠密大气层,爬升到万米高空,在稀薄空气中实现1000 km/h以上的速度,这就是今日之干线飞机了。所以作者在文献[3]中得出结论,具有超高速的磁浮列车只能作为一种补充在某些特殊需要下采用。而作为地面高速交通的主体,以速度不超过400 km/h的轮轨高速列车为宜。

## 5 两种铁路高速技术在中国的发展

进入20世纪90年代以来,中国铁路高速技术发展迅速。不仅轮轨高速铁路技术日新月异,而且各种磁浮列车也在积极开展试验研究,取得可喜进展。

在提高列车速度方面,通过大量改造工作已将近万公里既有铁路线的运行速度提高到140~160 km/h。广深线已改造成160~200 km/h的准高速线路。正在修建的秦沈快速客运专线的试验段可开行300 km/h列车。在修建京沪高速铁路方面,开展了大量的前期研究工作,完成了可行性研究和勘测设计,初步制订了高速铁路的技术标准和设计规范。在高速机车车辆研究方面达到了世界先进水平。不仅所有自主研制的各种提速机车和车辆经受了长期运用的成功考验,而且,200 km/h动车组已成为定型产品投入运用。最新出厂的蓝箭号列车,最高设计时速为305 km。270 km/h高速列车也已列入国家高

技术产业化项目。这些高速列车和生产工厂的技术装备都已达到国际先进水平。高速列车的试验设备也是国际一流的,最高试验速度可达  $450\text{ km/h}$ 。近10年来围绕京沪高速铁路所开展的科研项目达到270余项,参与研究的科研人员超过2700人,取得显著成绩。可以说在跟踪国外高速铁路这项高新技术上,从规模和深度来说,都是走在前列的,已经具备自主发展的条件。

在磁浮列车的试验研究方面,进展也是举世瞩目的。 $80\text{ km/h}$  常导短定子磁浮列车已由西南交通大学研制成功,即将修建青城山试验线。 $430\text{ km/h}$  常导长定子磁浮列车,已引进德国技术,开始在上海浦东机场修建运营示范线,它将成为新的世界第一条磁浮商业运营线。尤为可喜的是高温超导磁浮列车的研究,如前所述,取得了世界领先的成果。

## 6 “十五”期间开工修建京沪高速铁路的最佳方案是轮轨高速列车

九届全国人大四次会议通过的“十五”规划提纲中规定,“十五”期间要开工修建京沪高速铁路。头两年重点进行方案比选,即采用轮轨高速列车,还是采用磁浮高速列车?如能圆满解决,则有望于2003年开工。否则,争论不休,难以决策,势必贻误战机,坐失中国发展高速铁路技术的大好机遇。

正如工程院咨询报告<sup>[1]</sup>所得到的一致结论,由于高速磁浮列车目前尚处于全球性试验阶段,没有一条实际运营线路可资参考,故其工程化尚需时日,至少10年之内难以实现。

我们寄希望于上海浦东高速磁浮示范线。高价引进德国技术的目的,不只是为了解决上海市内交通,而且要为解决长距离城市间交通取得经验。如造价、安全、维修、效益、环保等问题,都不是仅凭理论上的估算可以解决的。2003年世界第一条高速磁浮运营线在上海建成后,还要经过几年实际运营,才能

取得一些有益的结论。

然而,京沪高速铁路的建设完全是另一种性质的问题。他是全长超过1300 km的大型城市间高速通道,是一项特大型高技术工程。作为城市轨道交通的上海浦东线,远不足以论证京沪线的可行性。例如,如何与既有铁路联网的问题,如何解决大量过境旅客问题,如何利用现有枢纽站问题,如何实现国产化问题等等,都是上海线接触不到的。上海线建成并成功运营后,首先要在短距离的城市间交通线上取得经验,才能推广到中长距离,而且最适合于山区铁路。磁浮高速铁路很难在地处平原的京沪线上发挥优势。

计划中的京沪轮轨型高速铁路<sup>[4]</sup>,全长约1300 km,按  $350\text{ km/h}$  设计,运营速度为  $300\text{ km/h}$ ,跨线中速车以  $160\sim 200\text{ km/h}$  运行,北京、天津、济南、徐州、南京、上海均利用既有客站,并与相邻既有干线接通。技术装备达到国际先进水平,以我为主,引进技术与科研攻关相结合,实现自主开发。后期运营速度可提高到  $350\text{ km/h}$ 。旅行速度按0.8折算,从北京到上海5 h可以到达。车内宽敞舒适,安全迅速,不失为21世纪的现代化交通大通道。

所以,作为“十五”期间将要开工修建的京沪高速铁路,采用轮轨高速列车是最可行的方案,是最佳的选择。

## 参考文献:

- [1] 中国工程院咨询报告 磁浮高速列车和轮轨高速列车的比较和分析[R]. 北京:中国工程院,1999.
- [2] 沈志云 高速铁路发展的新阶段[N]. 人民日报,1998-06-05.
- [3] 沈志云 高速磁浮列车对轨道的动力作用及其与轮轨高速铁路的比较[J]. 交通运输工程学报,2001,1(1): 1—5.
- [4] 沈之介 中国未来的京沪高速铁路[J]. 中国铁路,1998,(10).