

京沪高速铁路建设

沈志云, 钱清泉

(西南交通大学牵引动力中心, 成都 610031)

[摘要] 文章针对京沪高速铁路建设问题, 系统阐述了磁浮列车技术及高速轮轨技术, 比较了两种方案的优缺点, 提出了笔者自己的一些观点, 希望对京沪高速铁路建设提供一些参考。

[关键词] 京沪高速铁路; 磁浮技术; 高速轮轨技术

1 前言

随着国民经济的飞速发展, 对铁路运输能力的要求越来越高。提高铁路运输能力, 归根结底是一个铁路“提速”问题。针对中国铁路主要干线之一的京沪铁路, 中共中央、国务院颁布了1998年3号文件, 要求“做好京沪高速铁路的前期技术准备, 力争在2000年开工”。为此, 经中国工程院批准, 中国工程院机械与运载工程学部从1998年8月开始, 对京沪高速铁路技术的优选方案进行了多次论证, 将京沪铁路提速问题归结为京沪铁路采用磁浮列车技术或高速轮轨列车技术两个方面。本文本着实事求是的科学态度, 全面分析比较磁浮高速技术和轮轨高速技术的性能, 提出了笔者自己的一些观点, 希望对京沪高速铁路的建设提供一些参考。

2 磁浮高速列车及其在京沪线上采用的可能性^[1]

2.1 国外磁浮高速列车的发展

运输系统采用磁浮技术从1922年德国人Hermann Kemper提出电磁悬浮原理算起, 已经有76年历史了, 现仍处在试验阶段。

磁浮高速技术分常导和超导两种。前者只能浮

起8~10 mm, 速度较低; 后者能悬浮100~150 mm, 速度较高, 但含超导等高技术, 难度较大。

德国研究磁悬浮列车早于他们对轮轨高速列车的开发。最初同时考虑超导技术, 并于1975年研制成功第一台超导装备。同年采用常导技术的TR05列车也试制成功。经过两年多的分析比较后, 于1977年决定放弃超导, 集中研究常导, 以便早日投入工程应用。1985年建成31.5 km的单线试验线, 1993年TR07列车试验速度达到450 km/h。有20万人次乘坐参观试验列车。1997年德国交通部正式宣布修建柏林—汉堡间292 km的复线磁浮铁路, 最高运营速度定为430 km/h, 总投资98亿马克, 拟于1999年开工, 2005年投入商业运行。由于经济性太差, 德国交通部2000年2月正式宣布撤消该建设项目。

日本从1962年着手高速磁浮技术的研究开发。坚持采用超导技术, 先后建成宫崎(7 km单线)和山梨(一期: 18.4 km复线)两条试验线。1997年12月24日, 新研制的MLX01号磁浮列车, 试验速度达到550 km/h, 创造了地面车辆速度的世界记录。全部试验还要经过5年才能完成, 然后才能决定是否建设东京—大坂磁浮列车中央新干线。

从世界范围来说, 磁浮高速技术尚未成熟, 几十年来未能商业化, 因此褒贬不一。在这种背景

下，我国京沪全线能否采用磁浮高速技术也众说纷纭。比较一致的看法是，至少在15年，即第一条商业化高速磁浮铁路成功运营一段时间以前，无法得出肯定的结论。

2.2 磁浮高速列车的优势

2.2.1 速度高 常导电磁悬浮高速列车速度可达400~500 km/h，超导电动悬浮可达500~600 km/h。轮轨型高速铁路最高运营速度一般认为不宜超过400 km/h。在400~600 km/h这个速度范围内，磁悬浮列车占有优势；在1 000~1 500 km运距内，可与航空相竞争；1 000 km左右的城市间距离，可在3 h左右到达，实现当日往返。

2.2.2 能耗低 采用磁浮技术，没有轮轨接触和机械损耗，能降低能源消耗。据德国资料，同为300 km/h时，磁浮比ICE3轮轨高速列车能耗少28%。按柏林—汉堡线预测，磁浮可比ICE节省能源27%。

2.2.3 乘坐舒适 磁浮列车没有轮轨接触，无来自轮轨的扰动，平稳、安静，是理想的旅行环境。据德国资料，速度为200 km/h时，ICE3的噪声为83~85 dB，磁浮列车只有75 dB；300 km/h时，ICE3为88~90 dB，磁浮列车为83 dB；只有达到400 km/h时，磁浮列车的噪声水平才上升到一个新水平，即92~98 dB。

2.2.4 维修少 磁浮列车无机械传动，磨损少，维修量小。需要维修的主要是电气装备。随着电子工业的发展，器件可靠性将不断提高，发生故障后，更换插件，15 min后即可恢复运行。

以上是磁浮列车的四大主要优势。其他还有爬坡能力强，通过的曲线半径小，加速减速快等优点。

2.3 磁浮列车的劣势

2.3.1 造价高，风险大 以柏林—汉堡磁浮铁路为例，该铁路全长292 km，按三种方案估算的造价见表1。这是平原地区的比较，磁浮铁路造价是轮轨高速铁路的1.25倍。

另据法国铁路设计咨询公司(SYSTRA)对巴黎—布鲁塞尔—科隆线的估算(见表2)，磁浮铁路总投资是轮轨高速铁路投资的1.546倍。

由于工程应用上没有实例可以借鉴，故风险很大。如德国所建Emsland 31.5 km试验线，原计划投资1.5亿马克，后追加到7.8亿马克(包括研究费用)。柏林—汉堡线1997年预算89亿马克，第

二年就追加10%，达到98亿马克。1998年8月澳大利亚悉尼到堪培拉线(270 km)德国磁浮投标价格比法国TGV(轮轨技术)投标价格还低，但出于对风险的考虑，最后选定的还是TGV技术。磁浮列车的这一劣势使其在350 km/h以下难以同轮轨高速铁路竞争，在100 km/h以下难以同城市轻轨竞争。

表1 柏林—汉堡磁浮铁路三种方案估算造价

Table 1 The estimated costs of three schemes for Berlin - Hamburger Maglev

| 建设方案 | 最高速度 /km·h ⁻¹ | 总投资 /亿马克 | 造价 /万马克·km ⁻¹ | 比较(按1997 年造价) |
|---------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|------------------|
| 旧线电气化改造 | 160 | 48(1997) | 1 643.8 | 0.68 |
| 轮轨高速铁路 | 280 | 71(1997) | 2 431.5 | 1.00 |
| 磁浮高速铁路 | 430 | 98(1997为89) | 3 047.9(1997) | 1.25 |

表2 SYSTRA对巴黎—布鲁塞尔—科隆线的估算造价

Table 2 The estimated costs made by SYSTRA for Paris - Brussels - Kelong

| 项目 | 轮轨高速技术 /百万欧元 | 磁浮高速技术 /百万欧元 | 磁浮:轮轨 |
|--------|-----------------|-----------------|-------|
| 固定设施投资 | 2 074 | 3 194 | 1.54 |
| 机车车辆投资 | 377 | 594 | 1.58 |
| 二项共计 | 2 451 | 3 788 | 1.546 |

2.3.2 与既有铁路网不兼容 轮轨高速铁路可与既有铁路联网，高速列车可以下高速线，延长其服务范围。普通列车(中速)可以上高速线，实行高中速混跑，以解决旅客换乘问题。即使在日本高速铁路与既有铁路轨距不同，也可使用共同的站台，以方便换乘。这样可以最大限度地扩大高速铁路的客流，发挥其最大效益。磁浮列车恰好相反，无法与现有铁路联网，只能适用于点到点的直通客流。德国磁浮铁路，选在平原地区的柏林—汉堡，而没有选在最能发挥其优势的山区，即科隆到法兰克福(此区段正在修建轮轨高速铁路)，就是这个原因。

磁浮高速列车还有一些缺点，如运量受限制，不便扩容，难于进入市中心等。但最突出的劣势，就是上面说到的两点。目前由于缺乏实际运营经验的积累，许多技术问题难于判断，不具备工程建设可行性论证的条件。

2.4 在京沪线上采用磁浮高速列车的可能性

如前所述,目前国外没有一条商业运营的高速磁浮铁路可资借鉴,各种看法大相径庭。比较一致的观点是,至少在今后10~15年内,不具备京沪线1300余km线路采用磁浮高速技术可行性的条件。如果要在2000年开工兴建,肯定不可能采用磁浮高速列车。笔者的观点是:磁浮高速列车应当研究,但不一定要以首先在京沪干线上实现为目标。

由于目前尚缺乏磁浮高速商业运营线的经验,达到工程实用尚需相当时日,而京沪线客货分线和修建客运专线的任务迫在眉睫。因此不要把磁浮高速列车和轮轨高速列车在京沪线上对立起来。京沪上轮轨高速,并不影响将来磁浮技术成熟时在别的线路上上磁浮高速列车。我国必须重视磁浮高速技术的研究开发,但不能把在京沪线立刻上磁浮铁路作为目标。欲速则不达。我国研究开发这项技术,即使是在引进技术(目前尚无成熟技术可资引进)基础上研究开发,达到工程和商业运营至少要在15年甚至25年以后。所以,在此期间,京沪上轮轨高速技术的可行性论证也应不受将来是否上磁浮技术的影响。比较现实的选择是,尽快修建轮轨高速铁路与积极开展磁浮高速技术研究相结合,一面尽早修建京沪轮轨高速铁路,一面着手建立磁浮高速技术的研究基地,修建高速磁浮试验线,研究试制我国自己的磁浮列车,达到工程应用的程度以后,再来选择修建磁浮高速铁路的区间。我国地大人多,这种区间很多,绝不是只有京沪一线。

3 京沪线采用摆式列车的可行性

《科技导报》1998年第8期载文,主张京沪线进行电气化改造后开行摆式列车提速,另外分段修建货运专线,以实现必不可少的客货分流。

3.1 关于摆式列车^[1]

车体具有可控倾摆功能的列车叫做摆式列车。其主要特点是能将列车通过曲线的限制速度提高20%~35%。线路最小半径的曲线,常是限制列车最高速度的瓶颈。按实际倾摆6.5°计算,摆式列车与普通列车通过曲线的限制速度列于表3。

我国铁路制定的提速目标是:平原干线除个别区段达到160km/h外,普遍提高到140km/h,山区干线提高到100km/h,准高速线路(广州—深圳线)提高到200km/h。如不采用摆式列车,则

通过小半径曲线时,必须减速缓行(见表3),这对提高旅行速度不利。为将160km/h的广深准高速线路提高到200km/h,租用了瑞典X-2000摆式列车。由于缓和曲线不够长,实际仍只能以180km/h通过曲线,达不到200km/h的要求。日本东海道新干线设计速度为210km/h,故最小曲线半径定为2500m。后提速到230km/h,还要向270km/h前进,采用的也是降速缓行通过最小曲线。如要保证全程270km/h,也必须采用摆式列车。法国TGV东南线和大西洋线,最小曲线半径只有4000m,要想提速到350km/h,也必须采用摆式列车。德国、法国的一些既有铁路线,英国铁路改造后的既有线,和美国东部走廊铁路大通道,线路状况较好,最小曲线半径大都在1400m以上,故可采用摆式列车,提速到200km/h以上。

表3 列车通过曲线的限制速度

Table 3 The speed limit in curve section of railway

| 限制速度/km·h ⁻¹ | 最小曲线半径/m | | | | | |
|-------------------------|----------|----------|-----------|------|------|------|
| | 山区 铁路 | 平原 铁路 | 准高速 铁路 | 高速铁路 | | |
| | 300 | 600 | 1400 | 2500 | 4000 | 7000 |
| 无倾摆功能的普通列车 | 75 | 106 | 162 | 216 | 274 | 362 |
| 倾摆6.5°的摆式列车 | 100 | 141 | 215 | 288 | 364 | 482 |

车体倾摆是一种旨在提高曲线限速的技术,任何速度级别的列车均可采用。山区铁路即使采用摆式列车,也只能提速到100km/h。平原普通铁路采用摆式列车,可在全线以140km/h速度运行。要想全线达到160km/h,甚至200km/h,首先就要将线路改造为准高速铁路。这从表3可以十分清楚地看出来。

3.2 京沪铁路现状^[1]

京沪铁路由京津、津浦、沪宁三段组成,都是我国最早修建的铁路,具有百余年的历史。原标准较低,解放以来多次改造,包括最近更换提速道岔,路况有了很大的改善。但是,曲线和缓和曲线设置,正如路基一样,则是很难改变的,这给提速带来了一定限制。

京沪全长1462km,上行、下行共有曲线1382个,曲线延长554.39km,最小曲线半径上行400m,下行300m。曲线半径分布情况列于表4。

表 4 京沪线曲线设置表

Table 4 The setting of curve sections in Beijing - Shanghai Railway

| 项目 | 曲线个数 | 曲线长度/km | 曲线半径分布/m | | | | | | | |
|----|-------|---------|----------|--------|-------------|--------|-------------|-------|---------|--------|
| | | | < 1 000 | | 1 000~1 200 | | 1 200~1 400 | | > 1 400 | |
| | | | 个数 | 长度/km | 个数 | 长度/km | 个数 | 长度/km | 个数 | 长度/km |
| 上行 | 702 | 276.13 | 106 | 53.80 | 78 | 49.85 | 68 | 38.10 | 450 | 134.37 |
| 下行 | 680 | 278.26 | 112 | 54.21 | 90 | 60 | 79 | 44.38 | 399 | 128.67 |
| 合计 | 1 382 | 554.39 | 218 | 108.02 | 168 | 100.85 | 147 | 82.48 | 849 | 263.04 |

半径 1 400 m 以下的曲线共有 533 个，总长度 291.343 km，占曲线总长度的 52.6 %，占线路上、下行全长的 10.1 %。

曲线两端的缓和曲线长度一般均在 150 m 以下。而 X-2000 摆式列车在 200 km/h 行车时所要求的缓和曲线长度为 250 m。加长缓和曲线和加大曲线半径一样，都牵涉到改变线路走向，对桥梁、路基等构造影响较大。

3.3 京沪既有线采用摆式列车提速到 200 km/h 的可行性分析^[1]

如上所述，要将既有京沪线改造为开行 200 km/h 摆式列车的专线，需要创造以下条件：

- 1) 修建货运专线，把货运任务分流出去；
- 2) 完成电气化改造；
- 3) 改造 533 个小曲线，使其半径大于 1 400 m。确有困难的，则应考虑限速通过；
- 4) 加长 533 个曲线两端的缓和曲线，使之超过 250 m，还需改造长度不够的夹直线；
- 5) 全线封闭，全线立交；
- 6) 为保证行车安全，京沪全线线间距要由 4.0 m 增加到 4.2 m。此项几乎无法实现。

这些改造工作量同广深线相比，除全部都是必需的以外，还要加上延长缓和曲线和修建货运专线

的费用。新修货运专线在无法利用现有货运设施的情况下，还应修建新的设施，如编组站，装卸站场等。全部改造费用不会比新修客运高速专线低。

综上所述，新修货运专线，利用既有线电气化后开 200 km/h 摆式列车的方案，无论在投资上，或是在运营上都没有优越性，因而是不可行的。

4 京沪线采用轮轨高速列车的可行性^[1]

4.1 轮轨型高速列车技术是仍在蓬勃发展的新技术

进入 90 年代以来，在世界范围内掀起了一个轮轨高速铁路建设新高潮，其特点集中表现在高速度、高舒适度、高安全度和高效率。目前全世界新建成的轮轨高速铁路已达 4 000 多 km，正在建设的有 3 000 多 km，高速列车营业服务范围超过 10 000 km。本文着重讨论轮轨高速列车在技术上的发展，以说明其仍处于蓬勃发展的态势。

4.1.1 日本高速列车的新发展 日本是最早开发铁路高速技术的国家。1964 年开通东京一大阪线，经过 20 年成功运营经验的积累，从 80 年代后期开始改进，90 年代以来进行大量试验，某些方面的技术水平已经超过法国和德国。详见表 5。

表 5 日本高速列车的发展

Table 5 The development of Japanese HST

| 年份 | 列车 | 最高运营速度 /km·h ⁻¹ | 最高试验速度 /km·h ⁻¹ | 驱动电机 | 轴重/t | 其他 |
|------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|------|--------|
| 1964 | 0 系 | 210 | 256 | 185 kW 直流 | 16 | |
| 1985 | 100 系 | 230 | 275 | 230 kW 直流 | 16 | |
| 1991 | 300 系 | 270 | 325.7 | 300 kW 交流异步机 | 11.3 | 铝合金车体 |
| 1992 | 500 系(试验) | 300 | 386 | 300 kW 交流异步机 | 11.3 | 主动悬挂 |
| 1995 | 300X(试验) | 350 | 443 | 300 kW 交流异步机 | 11.3 | |
| 1993 | STAR21(21 世纪之星) | 350 | 425 | 330 kW 交流异步机 | 8 | 轻量化的顶峰 |

表6 法国TGV高速列车的发展

Table 6 The development of Franch TGV

| 代 | 年份 | 列车 | 最高运营速度 /km·h ⁻¹ | 最高试验速度 /km·h ⁻¹ | 驱动电机 | 其他 |
|-----|------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------|
| 第一代 | 1983 | TGV-PSE | 270 | | 536 kW 直流电机 | |
| 第二代 | 1989 | TGV-A | 300 | 515.3 | 1 000 kW 同步机 | 空气弹簧 |
| | 1993 | EURO-STAR 欧洲之星 | 300 | | 1 000 kW 同步机 | TVM430 轨道数据传输网 |
| 第三代 | 1995 | TGV-NT | 350 | | 1 000 kW 异步机 | 铝合金结构 |
| 第四代 | 1998 | TGV-NG (研制中) | 350 | | 1 000 kW 异步机 | 主动控制车体的倾摆机构 |

4.1.2 法国高速列车的发展 法国高速列车自 80 年代起步,后来居上,其 TGV 列车占领了几乎全部国外市场。进入 90 年代以后,发展势头迅猛,见表 6。

4.1.3 当前世界轮轨高速技术新发展的特点 轮轨高速技术实现 200~250 km/h 高速是第一阶段,用了 20 多年。90 年代以来,采用更多高技术,进入技术加速发展的第二阶段,目标是要将速度提高到 350~400 km/h。与此同时还要确保安全、提高舒适度和讲究经济效益。为此目的,要采用迄今所取得的许多高技术成就。

1) 电子信息技术。日本铁路提出的目标,首先是开发智能高速列车。行车自动化首当其冲。高速下的操纵基本要达到无人驾驶的程度,司机只起监控作用,故 GPS 定位、调度集中、信息处理、列车自动控制、2 冗余甚至 3 冗余的高可靠度设计等,都必须在超高速列车的牵引、粘着、制动、防空转等环节中应用。

其次是信息化的旅客服务系统。从自动售票到旅客旅行中的电视、电话服务等均需考虑。要把高速行进中的列车变成一个流动的现代化办公室,便携式微机、电子邮件、移动电话等设备都可在高速列车中使用。要将乘坐高速列车的旅行时间转变成柔性办公时间,以此来发挥高速列车的最大优势。

第三是基于信息技术的维修系统。在第二代和第三代 ICE 列车上,设置有 100 多通道的技术状态监测,故障诊断,及信息采集、储存和传输系统。全时监控,实时诊断,及时通报维修基地。列车一入库,即可有目的地检修故障,达到在最短时间内恢复运行。目前正在研制的新型列车,还要采用多冗余、自诊断、自适应等智能化维修系统,使高速列车达到像飞机一样的高可靠度水平。

第四是主动控制技术。德国第三代 ICE 列车采用 SGP400 转向架,应用了一系悬挂刚度,二系横向刚度和二系摇头角刚度等三项主动控制技术,是目前高速转向架达到的主动控制最高水平。利用主动控制技术实现车体的倾摆,已经在不少摆式列车上使用。这项技术也要应用到高速列车上来,既可以在既有高速线上进一步提高速度,又可以下高速线,实现在既有线上的 200 km/h 以上行车。受电弓的主动控制则是速度 300 km/h 以上的受电弓都必须采用的技术,用来实现高速下的平稳受流。

2) 材料新技术。减轻列车质量是实现超高速行驶的主要要求之一。为此必须采用新结构材料。日本采用蜂窝状铝合金结构材料,成功地将轴的质量由 16 t 降到 8 t,而车辆长度仍为 25 m。这项技术的成功使日本成为轻量化的世界领先国家。

功能材料的采用,使轮轨高速列车走出不少禁区。日本采用陶瓷喷粉增粘剂,可使轮轨粘着系数在高速下也降低不多,提供了轮轨高速列车进入 400 km/h 及其以上禁区的可能性。

其他如碳合金,自动报温智能材料等,都可在新型高速转向架、高速受电弓上找到最佳应用,为轮轨超高速列车开阔道路。

3) 能源新技术。高速列车所需功率随速度三次方而上升。第二阶段高速列车驱动都转向交流异步电机,实行大功率的电子控制,如 VVVF 控制,新型大功率电力电子元器件 GTO、IGBT 等。轮轨高速列车的这项新技术在水平及成熟程度上,都超过德国常导高速磁浮列车。

4) 环境保护技术。贴地运行的车辆,达到一定速度,如 300 km/h,环保问题就变得十分突出,甚至成为提高速度的限制因素。一方面是空气阻力,另一方面是气动噪声。国际组织规定,距列车

25 m、离地面 1.5 m 处测得的列车噪声不得高于 75 dB。为了满足这一要求,需要将空气动力学的最新研究成果应用到列车设计上,使阻力降低,使噪声水平达标。尤其在两列高速列车会车和进出隧道时造成的负压效应,是一个很难解决的问题。各国在气动外形设计、降低气动噪声和空气阻力系数、提高气动密封性等方面,都在进行大量研究。许多问题甚至比磁浮高速技术所遇到的还要复杂。

由此可以得出结论,轮轨高速技术当前正是方兴未艾,蓬勃发展,技术发展空间很大,速度将由 300 km/h 提高到 350~400 km/h,在舒适、安全、高效等方面还要上一个新台阶。正如磁浮原理虽然出现在 76 年以前,第一列磁浮列车出现也已 20 余年,而当前仍处在技术高速发展状态一样,轮轨高速列车虽然出现在 30 年以前,目前仍是其鼎盛发展时期,是国际范围内的一个技术创新热点。

4.2 京沪线采用轮轨高速列车的可行性

1) 轮轨高速列车是一项既已成熟又在蓬勃发展的新技术。轮轨高速列车具有宽广的国际市场,我国应尽早开发,在引进消化的基础上,求得创新发展,占领这一新技术的高地,提高竞争能力,为进入这一广阔的国际高速铁路市场准备条件。

2) 通过高中速混跑,能与现有铁路连网,发

挥京沪高速铁路的最大效益。有关高中速混跑方面的技术难题,如最佳运行图编制、跨线中速车研制、高速线路维修等方面,可根据我国情况,借鉴国外经验,组织技术攻关,创造有我国特色的轮轨高速技术。

3) 带动全网提速。轮轨高速列车采用高新技术的经验,具有在一般线路上推广使用的可能性,能够促进全国铁路列车提速,加快铁路现代化进程。

4) 与城市轨道交通构成交通网。轮轨高速铁路可与沿线城市内的轨道交通构成方便的交通网;所采用的新技术可以带动相关产业并推动国民经济的发展。

综上所述,针对京沪高速铁路的建设,笔者认为,采用磁浮列车至少在近期(10~15年)是不可能的;采用摆式列车提速反而会降低现有铁路的运能,而且无法保证安全。因此,京沪高速铁路当前技术上最有可能的选择是轮轨高速列车。

参考文献

- [1] 中国工程院咨询专家组. 磁悬浮高速列车和轮轨高速列车的技术比较和分析[A]. 中国工程院咨询工作委员会. 工程科技与发展战略咨询报告集[R]. 北京:中国工程院,2000

The Construction of Beijing - Shanghai High Speed Railway

Shen Zhiyun, Qian Qingquan

(Traction Power Lab., Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

[Abstract] This paper introduces the Maglev technology and High Speed Wheel-rail technology systematically with respect to the establishment of Beijing - Shanghai High Speed Railway, compares the advantages and disadvantages of this two technologies and proposes some viewpoints about this problem. The purpose of this paper is to present some valuable references to the construction of Beijing - Shanghai High Speed Railway.

[Key words] construction of Beijing - Shanghai high speed railway; maglev technology; high speed wheel-rail technology