

# 京沪高速轨道交通:让 ETT 平息轮轨与磁悬浮之争

张耀平

(西南交通大学 超导技术研究所,四川 成都 610031)

摘要:关于京沪高速铁路的建设应该采用轮轨技术方案还是磁悬浮方案,目前存在着严重分歧:以铁道部系统专家为代表的轮轨派认为宜采用轮轨技术方案,而以中科院几名院士为代表的磁悬浮派认为宜采用磁悬浮方案。本文认为,ETT 是磁悬浮技术的合理应用方向,所以应该把 ETT 作为京沪高速铁路的比选方案之一进行论证。作者认为 ETT 比轮轨系统和普通磁悬浮有更大的优越性,京沪高速铁路的建设考虑 ETT 方案具有非常重大的意义。

关键词:高速铁路;ETT(真空管道运输);轮轨;磁悬浮

中图分类号:U23

文献标识码:A

文章编号:1002-9753(2003)03-0152-04

Beijing - Shanghai High - speed Railway: ETT, Maglev or Wheel/rail

ZHANG Yao - ping

(Applied Superconductivity Laboratory, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** There is serious difference on which blue - print should be adopted in the construction of the high - speed railway between Beijing - Shanghai, wheel/rail type or magnetic levitation. Some experts in the Ministry of Railway of China support the wheel/rail type, while some experts in Chinese Academy of Sciences uphold the magnetic levitation. This paper believes that ETT (Evacuated Tube Transportation) is a more advanced type of maglev and should be a prospective option for the construction of Beijing - Shanghai high - speed railway. The authors of this paper are of the opinion that ETT has more advantages over both wheel/rail type and magnetic levitation. Because of this ETT should be considered to be taken for the future construction of Beijing - Shanghai high - speed railway.

**Key words:** high - speed railway; ETT (Evacuated Tube Transportation); wheel/rail - typed; magnetic levitation

## 一、背景

20 世纪 80 年代,京沪铁路以其 120km/h 的最高时速成为我国当时运行速度最快的铁路运营线。20 世纪 90 年代初,广州 - 深圳成功开行 160km/h 的“准高速”列车,此后的几年中,随着我国经济的快速稳定发展和建设步伐的加快,铁路提速的步子也紧跟时代的脉搏,分秒必争。自 1998 年 10 月 1 日,京广、京沪、京哈再次提速至今,我国已经有多条铁路的最高时速达到 160km/h。然而,人们对速度的追求永远不会停留在已有的水平,人类文明的进步与社会经济的发展也会对运输速度不断提出新的要求。

北京、上海是我国最大的两个直辖市,两地间客运需求大。京沪沿线途经我国经济最发达、人口最稠密地区,对运输速度和运能的需求日益迫切,再加上两地间地形、地质条件良好,所以京沪线成为我国建设高速铁路的首选地段。建设京沪高速二线客运专线,无论从适应国民经济发展需要、带动地区经济增长的角度来看,还是作为我国高速铁路建设的技术试验场,都具有非常重大的意义。

我国专家很早就提出了建设京沪高速铁路的建议,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)的专家联合组成论证组,历时四年,完成了基于轮轨技术和采用 300 - 350km/h 设计速度的京沪高速铁路可行性研究方案。然而,随着磁悬浮技术的发展和一系列试验取得成功,有些专家提出,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,于 2001 年 3 月在上海开工修建世界第一条磁悬浮商业运营线。关于京沪高速铁路的建设问题,中国工程院于 1998 - 1999 年组织 50 多名院士及有关专家就磁浮列车同轮轨高速铁路进行比较研究。

就目前来看,两种观点相持不下,赞成建设磁悬浮线路和支持轮轨方案者各有其明确的理论依据,两派意见都有其合理性。那么,这场轮轨与磁悬浮之争何时才见分晓?将会以何种结局收场?京沪高速铁路究竟应该考虑什么样的技术方案?本

收稿日期:2002 - 05 - 12

作者简介:张耀平(1969 - )男,甘肃天水人,西南交通大学超导技术研究所博士后。

文认为,ETT 也许能够平息轮轨与磁悬浮之争,当然也可能引起更激烈的新一轮争论。本文就此谈一些个人认识,供大家商榷讨论。

## 二、ETT 概述

ETT 是英文“Evacuated Tube Transportation”(真空管运输)的缩写。由于地面高速运输系统要克服巨大的空气阻力,当速度超过 500km/h 后,空气阻力就非常巨大,所以人们产生了真空管磁浮线路的设想<sup>[1-2]</sup>。

早在 20 世纪 60 年代,美国兰德咨询公司和麻省理工学院的专家通过技术分析,设想了一种高速运输工具——真空管运输系统,而且预计在 21 世纪可能成为现实。该设想的轮廓是:横贯美国东西,由纽约到洛杉矶修建一条长 3950km 的地下隧道,隧道内抽成相当于 1% 个大气压的真空,将磁浮系统安装在隧道内,在这种真空管道中,时速可达 22500km/h,即令采用该理论速度四分之一的速度,即平均速度 6750km/h,由纽约到洛杉矶也只要 36 分 30 秒的旅行时间<sup>[3-4]</sup>。

真空管道运输(ETT)是一种新型的运输系统,最新研究资料表明,所需能耗不到当前运输方式能耗的 2%,而安全性更高、速度更快。凡是有道路存在的地方,就可以有两根管子,供两个方向旅行使用,可以在地上,也可以在地下。管中抽成真空,消除了空气阻力,类似飞行器的旅行舱在钢管中旅行,或者让旅行舱在无磨擦的磁浮状态运行。

ETT 是一种非常有效的运输方式,运营费将相当便宜。另外,ETT 以连续方式运行,所以可以在你所期望的任何时候出发,而不用担心天气条件。ETT 具有环保的优点,建设 ETT 比建设一条公路对环境造成的损害减少 95%,而且对资源的消耗也少得多。就每人公里运输量而言,ETT 对环境的温室效应只有飞机和小汽车的 0-2%。ETT 对湿地、沼泽地的影响也较小,不会破坏自然水体和蓄水层。

跟现有的运输工具(飞机、火车、汽车等)相比,ETT 具有以下优越性:

1. 快速 纽约-洛杉矶 45 分钟;华盛顿-北京 2 小时;本地旅行速度 350km/h,城际间旅行速度 1000km/h,国际间旅行速度大于 4000 km/h。

2. 方便 连续运行,可以在任何时候搭乘、旅行,没有延迟与停止,到任何目的地均为直达。

3. 高效 在一定速度下,只有当前运输能耗的 1%;材料节省达 90%;人力驱动下可达到 300 km/h。

4. 清洁 环境友好;使用可再生能源,可持续性好,无任何对外噪声。

5. 安全 消除了相撞的可能性;不受任何气候条件影响,不会因不良天气而中断。

6. 现实可行 所有建设 ETT 的设备都是现成的,所涉及的各项技术都已投入商业应用<sup>[5]</sup>。

## 三、轮轨系统支持者的主要观点

支持京沪高速铁路采用轮轨系统(以下简称“轮轨派”)的一些专家的观点为:

### (一) 轮轨系统已经过较充分的可行性论证

前面已经提到,基于轮轨技术的京沪高速铁路可行性论证已经历时多年,在目标速度、技术可行性和成本效益方面都达成共识,有了较明确的结论,且经过四部一委组织的历时四年的可行性论证,已经完成较具体的可研报告。可研报告本身得到各阶层的首肯。所以轮轨派认为,轮轨方案已经过较充分的可行性论证,应该让这一已有初步可行性论证方案的项目尽快付诸实施。相比之下,磁悬浮方案提出较晚,远非轮轨方案那样已经过较充分的可行性论证过程。

### (二) 我国在轮轨技术方面拥有一定的自主知识产权和大量的试验资料

轮轨派认为,我国在修建京沪高速铁路方面,开展了大量的基于轮轨技术的前期研究工作,不仅完成了可行性研究和勘测设计,初步制定了基于轮轨技术的高速铁路技术规范和设计规范,而且在机车车辆、线路、轨道、行车组织的研究方面达到世界先进水平,在这些技术领域拥有自己的知识产权或者已经具备自主开发建设的条件。目前,我国轮轨高速系统的最高试验速度可达到 450km/h。相比之下,虽然我国磁悬浮技术的研究进展很快,但无论车辆还是线路方面,尚不具备自主开发建设的条件,需要依靠国外技术和设备。

### (三) 轮轨系统的建设与运营成本低

轮轨派认为,磁悬浮线路成本高、能耗大、维修复杂,而且作为城市间的轨道交通,与现有铁路网不兼容,道岔设置困难,建成后运能无法调整。而轮轨系统较之磁悬线路而言,建设成本低、能耗小、维修简单,可以跟现有的车站与路网兼容。建设基于轮轨技术的京沪高速铁路投资小、见效快,可以尽快解决当前京沪线运能不足的现实问题。我国磁悬浮线路的建设最好等经济得到进一步发展和技术上有了成功先例后再考虑。

### (四) 磁悬浮线路在国外尚无可靠借鉴的成熟

## 经验

轮轨派认为,基于轮轨技术的、速度大于 300km/h 的高速列车在国外已经投入商业应用多年,安全性、稳定性良好,其技术可行性和经济效果有目共睹。而磁悬浮列车就全球范围来说,仍然处于试验阶段。并且认为,日本、德国虽然有磁悬浮技术和试验段,但投资建设可商业化运营的磁悬浮线路的计划始终没有得到落实,说明磁悬浮线路投入正式运营的可行性存在问题。所以轮轨派认为我国现阶段建设磁悬浮线路的风险太大,不具备现实可行性,且与国情不符。

### (五) 对速度的认识

当前磁悬浮列车的最高试验速度为 553.5km/h (日本),而轮轨系统的试验速度尚可达到 515.3km/h (法国),所以轮轨派认为,磁悬浮线路比之轮轨系统在速度方面并无明显优势,同时磁悬浮列车的速度又远比不上飞机。不难理解,用高昂的代价去追求一项没有优势可言的技术确实不值得<sup>[6-8]</sup>。

## 四、磁悬浮派的主要观点

主张京沪高速铁路采用磁悬浮方案的专家们(本文简称“磁悬浮派”)认为:

### (一) 磁悬浮技术具有许多优越性

1. 速度高 常导磁悬浮可达 400-500km/h,超导磁悬浮可达 500-600km/h。轮轨高速的最高运营速度一般认为不宜超过 400km/h。磁悬浮的高速度使其在 1000 至 1500km 的距离范围可与航空竞争。

2. 能耗低 据德国资料,在 300km/h 的速度下,磁悬浮比 ICE3 高速轮轨能耗少 28%。

3. 维修少 磁悬浮列车属于无磨损运行,要维修的主要是电气设备。随着电子工业的发展,器件可靠性将不断提高。

4. 无污染 采用电力驱动,无需燃油,无有害气体排放。此外还有噪音小(在速度较低时极明显)、乘坐舒适、爬坡能力强、通过的曲线半径小、加速减速快等优点。

### (二) 京沪高速铁路采用磁悬浮方案具有重大的社会历史意义

磁悬浮派认为,磁悬浮是一种更为先进的技术,京沪高速铁路优先考虑磁悬浮系统,可以使我国在高科技竞争领域尽早缩小与发达国家之间的差距。而且就这一具体技术而言,即将竣工的上海浦东国际机场至上海地铁二号线龙阳路站的

31.17km 磁悬浮线路,将是世界第一条正式投入商业运营的磁悬浮线路,它将使我国在磁悬浮技术应用方面排在世界最前列。一个国家、一个民族,要想赶超世界,就必须有敢为世界先的勇气,一定要有跨越式发展的思路与战略眼光。否则,亦步亦趋,别人有的技术我才能有,别人实现了的东西我才可以借鉴,以发达国家有无作为我们的标准,结局必然是永远跟在他人之后。从这个意义上讲,京沪高速铁路采用磁悬浮方案也许能使我国在这一领域实现跨越式发展。

### (三) 对轮轨派的批评意见

目前,主张京沪高速铁路采用轮轨系统的轮轨派人员构成也有一个显著特点,那就是以铁道部系统人士为主。所以磁悬浮派认为,我国铁路系统的确拥有轮轨系统方面达到国际水平的技术,如果京沪高速铁路采用轮轨方案,机车车辆和线路方面的大多数技术与设备都可以由我国自主完成,届时当然得由当前的铁路系统来承担这一重要工作。然而,我国铁道部系统在磁悬浮研究方面相对薄弱,已经开工的上海磁悬浮轨道和机车车辆多系采用国外技术与设备。如果近年内在京沪线上上马磁悬浮系统,铁道部方面很可能又落个局外人的角色。因此,现铁路系统从自身利益方面考虑,便极力反对京沪高速铁路采用磁悬浮方案而力推轮轨技术。

### 五、ETT 能否平息轮轨与磁悬浮之争?

今天,ETT 已经不再是一项十分困难的技术,人类既然能够进入太空,那么,实现 ETT 不再是遥远的梦想,而是指日可待。简单来说,ETT 就是把现在的常压磁悬浮列车置于一个抽成具有一定真空度的管道中,使其在无大气阻力的环境中运行。ETT 的基本动力系统仍然采用当前的磁悬浮技术,在一定的真空环境中,常压下列车运行阻力的 90% 以上可以被有效地消除。

列车的基本阻力计算公式(Davis 公式)为: $R = A + BV + CV^2$ ,式中 V 为列车行驶速度,A、B、C 为由实际列车走行试验确定的系数。其中 A + BV 为机械阻力,CV<sup>2</sup> 为空气阻力。即机械阻力与列车速度一次方成正比,空气阻力与列车速度的平方成正比。因此,随着车速的提高,空气阻力在总阻力中占的比重将越来越大。目前国外运营的高速列车,当速度达到 300km/h 时,此时列车基本阻力中空气阻力占了 80%。当速度达到 500km/h 时,列车基本阻力中空气阻力将占 90% 以上<sup>[8]</sup>。

用 90% 的能耗与动力去克服大气阻力的确不

值得。由此看来,ETT 才可能是高速铁路技术的真正出路。至此,问题已经比较清楚,常压磁悬浮与轮轨系统相比,的确没有太多优势可言。然而,ETT 能不能平息轮轨与磁悬浮之争呢?京沪高速铁路可否优先考虑 ETT 方案呢?对此,本文有如下几点思考:

1. ETT 可以使当前的轮轨与常压磁悬浮之争告一段落。就京沪高速铁路建设来说,如果只能在常压磁悬浮和轮轨之间进行选择,无疑轮轨方案该是首选。然而,既然 ETT 设想已经被提出,那么它比常压磁悬浮、轮轨方案有何优越性或不足之处,京沪高速铁路是否可以考虑 ETT 方案,对此我们不应该回避。新一轮争论或比较研究可能会转向轮轨与 ETT 之间。

2. 理论上,在真空管道中磁悬浮列车速度可以达到 22500km/h,不过达到这一速度所需真空度和对技术的要求较高。因此,我们给 ETT 设定一个较低的速度,如 1000km/h,不难想象,利用现有的车辆结构和磁浮轨道系统,在具有一定真空度的 ETT 系统中,将很容易达到这一目标速度。而这一速度的意义非常巨大,完全可以跟飞机相比。实际上,1000km/h 的 ETT 系统,其旅行速度要大大高于飞机。这是因为,ETT 系统可以 24 小时全天候连续运行,乘客可以随到随出发,可以比飞机省去至少半小时的候机时间。由于 ETT 的连续运行特性,极大地减少了候机/候车人数,所以 ETT 终端站占地面积比火车站和机场都小,可以建设在市区方便旅客乘降的地方。所以省去了去机场的路途时间,至少可以再节省半个小时。加上目的地机场到市区的距离,ETT 比飞机至少可以净减少 1.5 小时。也就是说,如果京沪线按 1000km/h 时速的 ETT 方案建设,实际旅行速度将比飞机至少提高一倍。

3. ETT 的速度优势非常明显,京沪高速二线甚至将来的京广高速二线是否采用 ETT 方案,关键要看其建设成本与运能跟轮轨高速系统的比较结果。关于 ETT 的建设成本与运能,可以分成大管径 ETT 和小管径 ETT 两类来考察。大管径 ETT 可以采用跟轮轨高速列车相当的运能,考虑到旅行时间较短,所以车辆及管道断面可以略小于现有高速列车断面,以降低成本。如果这种大管径 ETT 的建设成本不大于轮轨高速系统的两倍,可以认为目前建设 ETT 则是可行的。因为 ETT 的速度比飞机快,又比飞机安全,于是票价可高于飞机机票,或者高于普通高速列车票价的两倍,这种票价

下 ETT 的市场竞争力将高于飞机。至于小管径的 ETT 系统(1.5-2.0m),其占地更省,工程量更小,初步估计这种小管径 ETT 系统的每 km 建设成本不会高于轮轨高速铁路。可以认为,只要运能达到轮轨高速铁路的 50%,目前建设这种小管径 ETT 系统就是可行的。

4. 如此看来,ETT 完全可以解决京沪(或京广)两地的旅客运输需求与当前运能不足的矛盾,同时会给民航带来巨大的竞争压力。人们不禁会问:有了 ETT,飞机将何去何从呢?到那时,ETT 将使全球运输格局发生一场深刻的变革,ETT 将成为最快的运输工具而称雄运输市场。而飞机将以其灵活性特征去开辟专机、包机和个人飞行的广阔市场,这也正是我们目前所期待的目标。

## 六、结论

总之,ETT 比之轮轨高速铁路、常压磁悬浮线路以及飞机都有很大的优越性,无疑它是一个技术上更先进、更具广阔发展前景的领域,中国在高速运输领域的跨越式发展应该以 ETT 为目标。因为 ETT 研究在国外也还处于起步阶段,所以我们应该视此为机遇,而不应该以国外是否建成 ETT 或国外有没有关于 ETT 的试验作为我们该不该开展 ETT 研究与试验的判据。

本文最后提出如下两点建议:(1)把 ETT 纳入到跟磁悬浮或纳米技术相当的重要地位上,深刻认识 ETT 将会给世界运输带来的革命性变化,并且尽快在中国科学院、铁道部或相关院校成立 ETT 研究机构;(2)在京沪高速铁路备选技术方案中加入 ETT 方案,对 ETT 和轮轨方案进行比较研究。

参考文献:

- [1] 张耀平,梅绍祖,曾学贵. ETT——引领 21 世纪的高速运输[J]. 世界科技研究与发展,2002,(4).
- [2] <http://www.et3.com>.
- [3] 郝瀛. 中国铁路建设[M]. 成都:西南交通大学出版社,1988.
- [4] 比尔工作室. 科技新启蒙[M]. 北京:中国劳动与社会保障出版社,1999.
- [5] 沈之介. 关于京沪高速铁路是否宜采用磁悬浮技术的几点看法[J]. 中国铁路,1999,(9).
- [6] 范钦海. 磁悬浮技术应用于轨道交通面临很多难题[EB/OL]. 中国铁道学会网站 <http://www.crs.org.cn/>.
- [7] 沈志云. 京沪高速铁路技术方案的探讨[J]. 交通运输工程学报,2001,(6).
- [8] 陈南翼,张健. 高速列车空气阻力的研究[J]. 中国铁路,1998,(2).