

德国磁悬浮列车 Transrapid

刘华清等 编译
孙 翔 主审

编译者(以姓氏笔划为序)
刘华清 李志业 任恩恩
任晓强 孙 彤 潘学志

电子科技大学出版社

• 1995 •

编译者的话

《德国磁悬浮列车 Transrapid》是西南交通大学出版社 1992 年出版的《采用高新技术的德国铁路 ICE 高速列车》一书的姊妹书。它介绍了德国研制磁悬浮列车的发展过程、采用的技术和发展前景,同时也介绍了磁浮列车的悬浮、导向和驱动非接触式、有别于现行轮轨系统的原理,从而体现出无磨损、噪音小、能耗少、速度快的优点。1988 年 Transrapid 在埃姆斯兰试验线段上以 412.6km/h 的行驶速度创客车世界最高纪录。充分反映了德国科技的最新成果和先进水平。可以说磁浮列车是一种理想的交通工具。

《德国磁悬浮列车 Transrapid》也是磁悬浮研究中一部较权威的技术书,由联邦研究技术部长、交通部长、联邦铁路董事会主席等各方人士亲自作序,各技术部分分别由各项目的研究负责人执笔。介绍了不同专业领域的具体情况。为了便于阅读和理解,我们在编译过程中对内容有所增减,对体系序列重新作了安排,使之更加系统、明了。有些地方还保留了原书的单位、地名和术语的原文。

西南交通大学原校长孙翔教授生前在促成本书出版方面做了大量工作。我们愿本书的出版能实现他的愿望,更愿以此书来纪念孙翔教授。

西南交通大学连级三教授,作为研究磁悬浮列车方面的专家,在百忙中通读全稿,提出修改意见,并为本书作序。深信会为本书增色不少,在此深表感谢。

我们还要感谢德国 Hestra 出版社的积极支持。该社社长霍·穆塞特(Holger Musset)先生来函同意我们翻译和出版《磁悬浮列车 Transrapid》一书,并希望本书能“促进科学研究和教学工作”。德国工程师协会报(VDI-Nachrichten)编辑沃·佩斯特(Wolfgang Pester)先生也给了我们许多帮助,使本书得以顺利出版,也要向他表示感谢。我们更愿借此机会衷心地感谢原书的各位作者。此外,任恒良老师也翻译了本书中的一节。

由于编译者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编译者

1995 年 9 月

[川]新登字 016 号

内容提要

本书是磁悬浮研究中一部较权威的技术书,它介绍了德国磁悬浮列车研制过程的方案、研究设计、施工、制造、试验各个环节的技术内容,涉及总体、车辆、悬浮、驱动、线路等各个部分。除方案以外,还介绍了很多技术细节,内容十分丰富,代表了德国目前先进的科技水平,对于我国磁悬浮列车发展的技术决策及具体的技术研究具有重要的参考价值。本书可供交通运输部门有关领导干部、科研单位研究人员及大专院校师生参考使用。

本书译自德文原著《磁悬浮列车 Transrapid——旅行者的新选择》,1989 版权, Hestra 出版社,达姆施达特,德国。

德国磁悬浮列车 Transrapid

刘华清等编译 孙翔主审

电子科技大学出版社出版

(成都建设北路二段四号)邮编 610054

西南冶金印刷厂印刷

四川省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 8.625 字数 199 千字
版次 1995 年 10 月第一版 印次 1995 年 10 月第一次印刷
印数 1—2000 册

ISBN 7-81043-289-3/TH·9

定价:19.80 元

序

磁浮列车依靠电磁吸力或电动斥力将列车悬浮于空中,实现与地面轨道没有机械接触,再用线性电机驱动,因此克服了传统机车车辆必须通过轮轨机械接触实行列车牵引的许多弊端,例如轮轨粘着限制、机械噪声和磨损等,所以是一种人类梦寐以求的陆上交通运输工具。

磁浮列车分为常导型和超导型两大类。前者是利用普通直流电磁铁电磁吸力的原理,悬浮气隙较小,一般为8~10mm;而后者利用超导磁体产生强磁场,运动时与布置在地面上的线圈相互作用,产生电动斥力,悬浮气隙较大,一般为100~210mm。两种磁浮列车各有其优缺点和不同的技术经济指标,究竟哪种型式磁浮列车好,世界各国有不同的看法,至今尚无定论。当今以日本和德国两个发达国家对磁浮列车的研究投入最大。日本对两种型式磁浮列车:常导HSST型和超导MLU型正在进行大规模的试验,估计到1997年以后会作出最后的选择。德国自1977年以后就放弃对超导磁浮列车的开发研究,而集中力量研制TR型常导磁浮列车,经过几代的更新换代,目前TR型磁浮列车已达到可供商业使用的成熟程度。从1995年开始动工修建从柏林-汉堡磁浮列车专线,全长286公里,时速为420km/h,用不到一小时跑完全程,该线路2003年开始试运行。这将是21世纪陆上交通运输的一个新的里程碑。

尽管磁浮列车与传统的轮轨式机车车辆有明显的区别,但它仍然属于陆上有轨交通运输系统,保留了许多传统机车车辆的特点,例如线路的轨道、道岔和弯道;车辆的转向架与悬挂系统;列车的牵引与制动的控制等。所以它与传统机车车辆相关学科有着密切的联系,是传统机车车辆的发展与延续,代表一种从陆上有接触交通运输系统向非接触运输系统科学发展的趋势。

磁浮列车是一项新技术,又是一个庞大的系统工程,它包括线路、磁浮列车、供电系统和通信四大部分,每个部分内包含了大量先进技术的采用,尚有许多工程实际问题有待开发研究。我国一些高校和研究单位从80年初开始研究常导型磁浮列车,至今已取得一定成果,但是还有许多理论和实际问题有待研究解决,尤其是工程上的实际技术问题,需要通过实践摸索解决,由于我国财力有限,大规模的工程试验有一定困难,而借鉴国外资料是十分必要,本书介绍德国常导TR型磁浮列车线路建造过程的许多工程技术问题,相信对从事磁浮列车的有关人员会有帮助,对交通运输部门的有关领导亦可从中得到启发。

连级三

1995.6

目 录

第一章 磁浮铁路 Transrapid	1
第二章 线路	10
第一节 磁浮列车的线路	10
第二节 混凝土线路	13
第三节 钢结构线路	19
第四节 双功能线路	24
第五节 选线与测量	27
第六节 线路设备	32
第七节 高速铁路道岔	38
第三章 车辆	43
第一节 车体	43
第二节 车辆动力学与线路动力学	46
第三节 磁浮列车的车辆技术和运行特性	52
第四章 控制	59
第一节 运行控制	59
第二节 车辆位置测定	66
第三节 数据传输	68
第五章 悬浮与驱动	74
第一节 直线电机及其供电系统	74
第二节 悬浮和导向系统	89
第六章 试验与应用	96
第一节 高速磁浮铁路系统首次应用的规划研究	96
第二节 Transrapid 06 趋于成熟的试验运行	105
第三节 美国在拉斯维加斯和洛杉矶走廊地带的磁浮铁路研究	112
第四节 埃姆斯兰磁浮列车试验设施	118
第五节 磁浮列车走向应用	122

第七章 发展概况.....	124
第一节 磁浮铁路在国外的发展情况.....	124
第二节 磁浮铁路发展年代表.....	129

第一章 磁浮铁路 Transrapid

一、形势和特点

在过去 100 年中，对越来越稠密的铁路网的扩建工作为我们国家的工业化创造了先决条件。一个国家的经济发展水平、富裕程度以及公民的社会保险等都与该国交通工具和交通联系的工作效率有着密切关系，而且这一关系也还将持续不变地延续下去。

一个工业国家要想保持其经济竞争能力，就必须使交通供应和交通系统始终与不断增长的要求相适应。

道路交通依旧显示出强烈增长的趋势；空中交通生产能力的限度也是可以预见的；在过去几年中，铁路技术有了很大进展，它的进一步发展将受到技术而尤其是经济的限制。

基于所有这些原因，联邦交通部于 1969 年提出了“大通过能力高速铁路的研究”——简称 HSB 研究的发展计划。

在这一研究的框架中（不涉及系统），对未来高速——远途交通在技术和经济上的解决办法进行了探索。此外，还可由此得出这样的结论：磁浮高速铁路的发展不仅对交通策略，而且对国民经济都有着十分重大的意义。

由此便开始了对用于中远距离交通的新型高速系统的开发工作。该项工作由联邦研究技术部（BMFT）提供资助。应该设法提高铁路运输所能提供的生产能力，还应该有能力面对其他交通系统，尤其是道路交通的强大竞争，去赢回过去失去的领地。

磁浮铁路（Transrapid）以其非接触的电磁悬浮、导向和驱动系统为铁路交通开辟了新的前景。它在旅行时间、经济性、与环境的兼容性、安全性及舒适性等方面都是很有价值的。

高速磁浮铁路的运行速度被设计为 400~500km/h。因此与其他交通系统相比较，可大大缩短一地到另一地之间的旅行时间。高速磁浮铁路不仅迅速，而且还很安全。由于车辆与轨道相互约束，因此不会出轨。

联邦总统里查德·封·魏茨泽克在一次乘坐快速磁浮列车旅行时，对磁浮铁路的舒适性做了如此评价：“比公路、铁路和飞机更令人愉快”。由于高速磁浮铁路采用了非接触式的行车技术。因此旅客感觉不到纵向冲动和震动。

悬浮和导向系统按照电磁悬浮（EMS）的原理不接触地工作。这是以布置在车辆中并经逐个调整的电磁铁吸引力，安装在行车线路上被称作“定子”的铁磁反作用轨道为基础的。在这种情况下，悬浮磁铁将车辆从下面拉向轨道，保持一定垂向距离。而导向磁铁则使其保持与轨道有一定侧向距离。使用一套高精度的电子调整系统可保证车辆始终不变地悬浮在距离其行车轨道 10mm 处（图 1-1）。

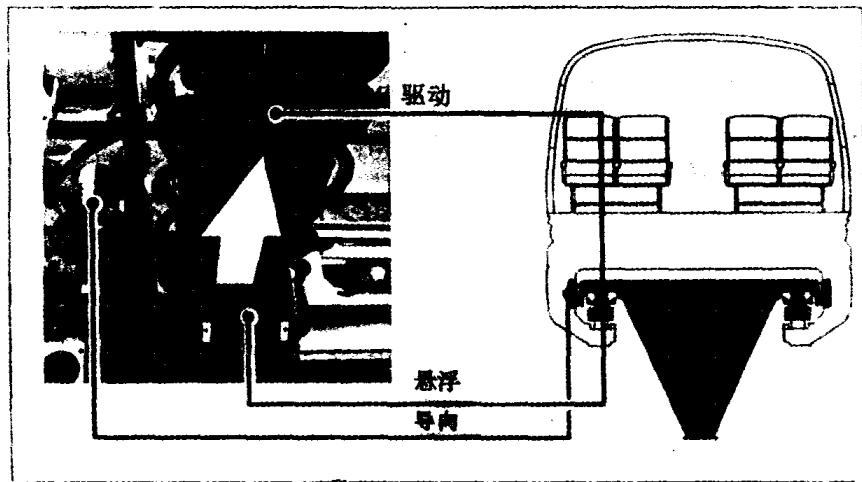


图 1-1 磁浮铁路的性能

有一个同步长定子线性电动机被用作也是不接触的磁浮列车的驱动系统。在传统的有轨交通工具中，驱动电动机安装在机车上，并借助于受电弓向机车供电。与这种常规的驱动原理不同，在高速磁浮铁路中，是将电机定子组安装在线路上，作为主要的驱动部分。车辆因此而变得更轻，技术也更为简单。此外，不用受电弓受电。由悬浮磁铁中的线性发电机及车上蓄电池向悬浮和导向系统以及车上设备供电。

安装在线路上的电动机绕组产生一移动电磁场，车辆通过作为励磁部分的悬浮磁铁与其相互作用，实现牵引。在这种情况下，可通过改变三相交流电流的频率，从静止到达到运行速度的范围内连续调整驱动力。通过控制磁场作用力极性的变化来改变推力的方向，可使磁浮列车由驱动工况转为同样为非接触的制动工况。

为避免能量损失，将线路中的长定子线性驱动装置分成了独立的区段，只在车辆所在区段接通电源。

为避免影响地形，同时也出于对环境保护的考虑，行车轨道通常是架设在净高约 4.5m 的高处。不过，也可以是位于地面上的轨道构造。轨道梁采用钢结构或混凝土结构，跨距为 25~31m。

道岔由一连续钢梁组成，借助于安装在所谓“道岔移动机构”上的液压传动装置，在分叉时可灵活弯曲。

要将高速磁浮铁路与轮轨系统连接起来，例如与现行的城市火车站，不一定非要为磁浮列车修建新线。在铁路和高速磁浮铁路同样可使用的两用线路上，磁浮列车可通过已有的铁路线到达市中心区。

在对高速磁浮铁路系统的投资中，线路约占了 80%~90%。尽管如此，对线路的投资仍未高出对现代化铁路的投资。场地的地形条件越困难，采用高速磁浮铁路就越有利。由于磁浮列车能以 400km/h 的速度在 10% 的大坡道和仅为 4 000m 的较小曲线半径上运行，因此就能特别灵活地进行选线，由此可以在很大程度上放弃费用昂贵的特殊工程结构，如隧道和路堑等。

对磁浮车辆的投资也很有利。其每个座位的花费只有飞机座位的三分之一。还有一点也是十分重要的。即这种车辆具有很高的运行速度。因此使用率高。所以，在相同运输能力的条件下，其所需的车辆数比传统的交通系统要少。

要评价一种交通系统的经济性，仅仅考虑投资额是不够的。另一个同样十分重要的标准是运营费用。由于高速磁浮铁路所需的维修保养费用较低，因此在交通系统中占有优势。高速磁浮铁路的悬浮、导向和驱动系统都是无磨损工作的，因为没有摩擦产生，就不可能发生磨损。此外，轨道又是通过均匀荷载的方式加载，也十分有利。由于投资的主要部分和线路费用都分摊到一个很长的使用期限中，因此资金费用明显降低。

然而今天我们不能再仅以经济的观点来决定应用某种交通系统。基于居民的不断增长的环境意识，实现交通技术与环境的兼容性已显得十分重要。

在磁浮铁路这种交通系统中，经济学和生态学之间不会产生矛盾。相反地，高速磁浮铁路在具有很高经济性的同时，与环境也是兼容的。和现代化铁路一样，磁浮铁路也靠电力运行，其沿线环境不会受到废气和其他物质的污染。与传统的交通系统不同，磁浮高速铁路不会产生滚动和驱动噪声。在 200km/h 以内的速度范围内，列车几乎无声运行；在高速范围内，则会产生空气动力学噪声。不过，磁浮铁路在 400~500km/h 时的噪声级仍低于铁路在 200km/h 速度范围内的噪声级。

每增加 1 公里交通线就会对环境增加一份负担。尽管如此，长期以来我们的眼睛却对这一切已习以为常：碎石路基、混凝土车道和高高的护坡切断了地形，并影响着水分平衡、地区气候、动物区系和植物区系。与此相反，高高架起的磁浮列车线路几乎不需要宝贵的土地，它既不会切断地形，也不会切断竖起的建筑。磁浮轨道下的地面还可以尽可能不受限制地用于交通和农业生产。

交通研究表明，在约 800km 长的中远距离交通中，磁浮铁路的高速度具有由汽车到飞机的换乘效果。由此将减少长途公路干线和短距离飞行的需求，最终也会减轻汽车和飞机对环境的污染。

二、发展

通过磁浮铁路，联邦德国在高速交通领域的技术方面达到了世界尖端水平。

在不到 20 年的时间内，将一种全新的交通系统从最初的实验室模型发展到城镇的应用成果。

在这种情况下，首先要使各种彼此互相竞争的系统协调工作。磁浮高速铁路发展的最初几年以以下这两条发展路线为特征：

- 电磁悬浮技术 (EMS) 以及
- 电动 (力学) 悬浮 (EOS)^①

工业界方面参加电磁悬浮技术开发的最初有 MBB 和克劳斯-马菲 (Krauss-Maffei) 公司 (后来统一成为 Transrapid-E. M. S. 课题组)；电动悬浮系统则是由 AEG、BBC 和西门子 (Siemens) 等公司组成的“磁悬浮铁路”课题组合作开发的。

^① EMS 为一种吸引式电磁悬浮系统。EOS 为一种排斥式超导电动磁悬浮系统。

克劳斯-马菲公司于1969年设计出第一台带短定子线性传动装置的电磁悬浮实验室模型。2年后, MBB公司制造出第一台原理车辆, 该车在700m长的轨道上已达到100km/h的速度。

在进一步的开发工作之列的有克劳斯-马菲公司于1974年研制出的Transrapid 04号, 该车安装的是短定子线性传动装置, 其速度达到200km/h(图1-3), 此外还有MBB公司研制的彗星号, 该车证明了在400km/h速度范围内电磁悬浮的功能。

为对电动磁悬浮系统的部件进行试验, 一辆重17T, 长12m的模型于1974年在一段长880m的短弧形线路上投入运转(图1-4)。该无人驾驶的试验车辆达到的最大速度为160km/h。

采用电磁悬浮技术并在线路上安装了同步长定子线性发动机的第一台载人车HMB₂

于1976年出现在卡塞尔(Kassel)的蒂森·亨舍尔(Thyssen Henschel)试验基地上。该车长5m, 重2.5T, 在仅100m长的线路上达到了36km/h的速度。

在对两种系统进行比较的基础上, 联邦研究部于1977年做出了有利于电磁悬浮系统的决定, 至此, 所有研究和开发工作都已集中在该系统上。此外, 还必须为与实际应用接近的磁悬浮技术的试验验证提出试验方案(图1-5)

仅用了18个月的时间就为“1979汉堡国际交通展览会(IVA'79)”开发和制造出一辆示范车, 作为发展的中间步骤。Transrapid 05行驶在长900m、架高4.7m的钢轨上, 它们将展览会大厅和IVA空地联结起来, 这里一时成了圣地。在展览会期间为期3周的正点持续运行中, 这列长27m带70个座位的两节列车共运输旅客

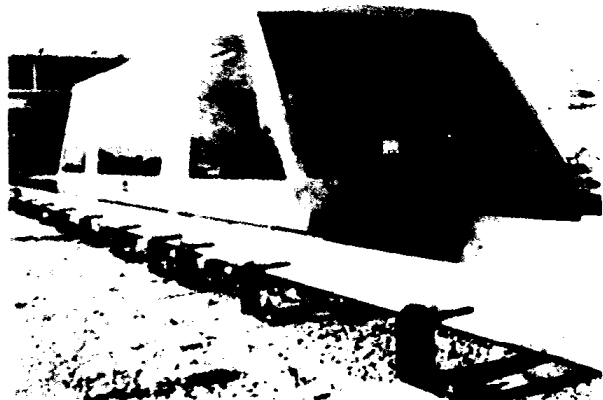


图1-2 MBB公司制造的原理型车辆(1971)



图1-3 克劳斯-马菲公司研制的Transrapid 04(1974)

50 000 多人 驱动系统为长定子同步线性电动机，它的列车速度达到约 100km/h。

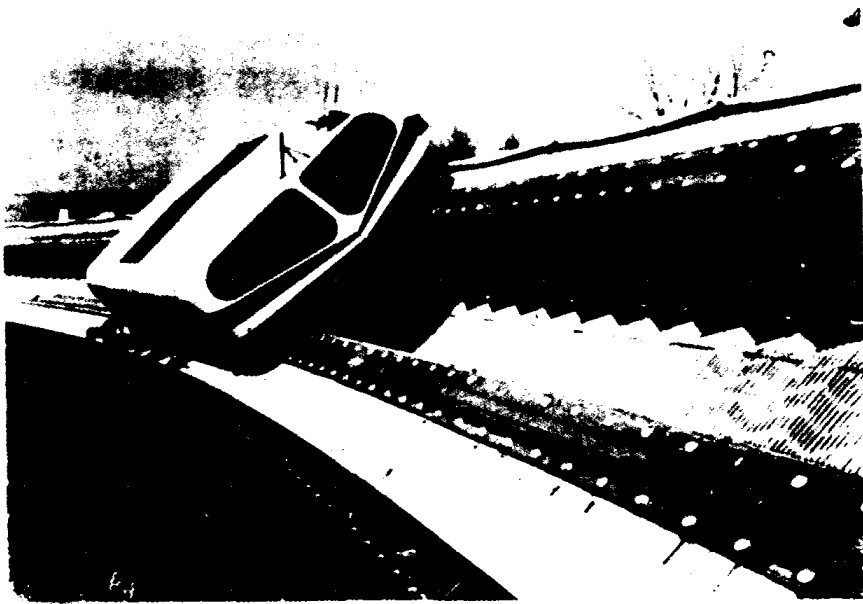


图 1-4 试验车辆 EET (1974)

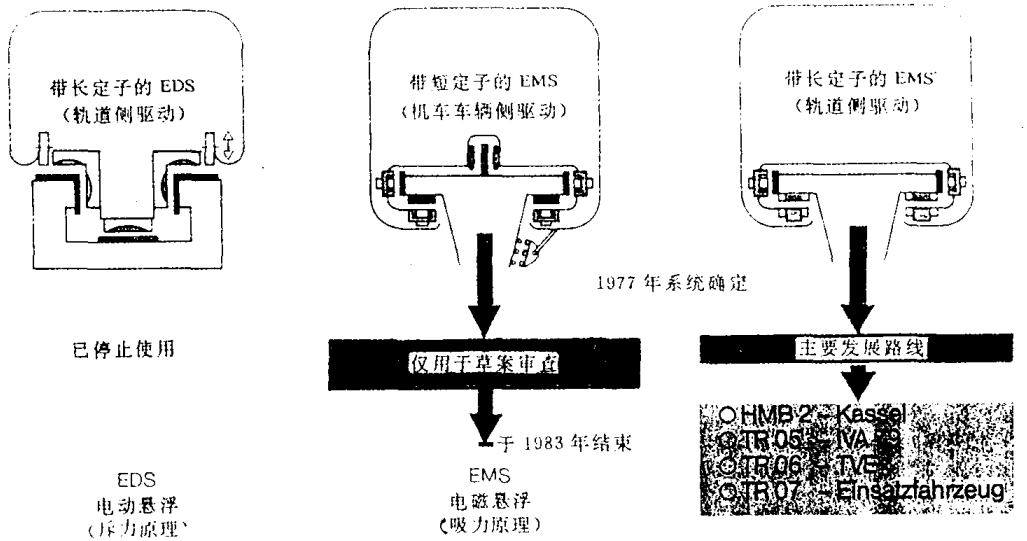


图 1-5 1977 年系统确定

在汉堡，磁浮铁路不仅仅经受住了第一次重大的考验，而且还为它的可接受性提供了证明。磁浮铁路通车以后，线路附近曾抱怀疑态度的居民及环境保护者们都收回了他们曾经对示范车的运行所表示的不满。

参加开发磁浮铁路的企业通过这次全系统的首次日常业务运行，获得了宝贵的经验和知识。在此之前，对系统的部件仅仅能够在较小的试验设备上上进行试验。与此同时，将

1974 年与 HMB₂ (载人试验车) 一道提出的“长定子电磁行车技术”确定为继续遵循的“主要发展路线”(图 1-6)。

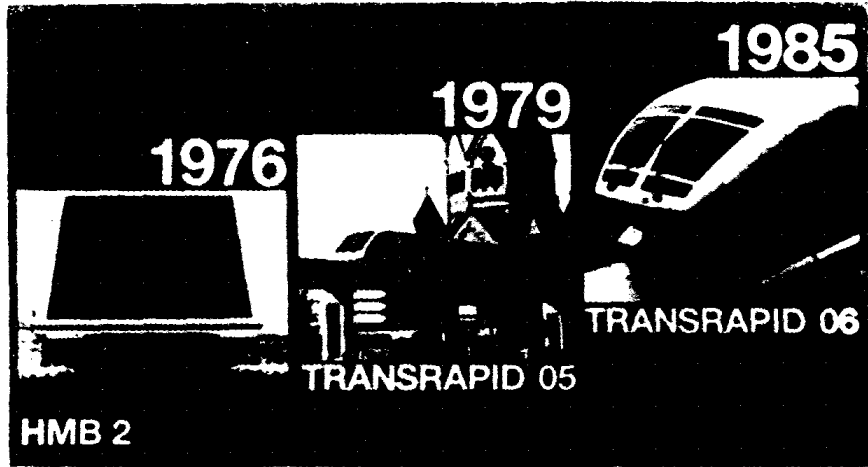


图 1-6 长定子电磁行车技术的发展路线

三、埃姆斯兰高速列车试验设施 (Emsland) (TVE)

还在为 IVA/79 制造示范车之时, 联邦研究技术部就已敦促工业界为修建大型的试验设施进行论证, 以使长定子电磁行车技术能在接近实际应用的条件下持续运行。试验设施的位置选在埃姆斯兰的拉腾 (Lathen) 和多佩恩 (Dörpen) 之间的地带。为实施该工作, 1978 年由 AEG、BBC、狄克霍夫和威德曼 (Dyckerhoff & Widmann)、克劳斯-马菲、MBB、西门子和蒂森·亨舍尔等企业组成了磁浮铁路联合体。这些工业企业可以从多年的高速磁浮铁路的发展中获得经验和实际知识。

论证阶段在 1978 年结束之后, 联邦政府决定在埃姆斯兰建造大型试验设施。

埃姆斯兰磁浮列车试验设施的任务是要在与实际应用相接近的条件下, 通过持续运行来提供有关系统的功能、运用良好性及经济性的证明, 以便为系统的实际应用做好充分的准备。

TVE 由两个施工段组成。第一段长 20.5km, 由磁浮铁路联合体于 1979~1984 年建造完成。

第二个施工段是 10.7km 长的南环线, 由蒂森·亨舍尔公司出资兴建。南环线于 1987 年底投入使用, 它证明了由于磁浮行车技术发展而取得的进展。在此不仅对结构进行了改进, 而且还首次在钢和混凝土的线路上引入了经济的自动化的成套加工和装配方法。

早在 1985 年 12 月 12 日, 试验列车 Transrapid 06 就已在 TVE 的第一个施工段上达到了 355km/h 的速度。1988 年 1 月 22 日, 它又在包括南环线在内、长 31.5km 的现有封闭线路上达到了 400km/h 的设计速度, 准确地说, 是 412.6km/h。由此 Transrapid 06 创造了载人磁悬浮列车的世界纪录。

四、进一步的发展

自 1985 年开始的试验和示范运行是受联邦研究部的委托,由磁浮铁路系统试验与规划委员会 (MVP) 负责贯彻执行的,与此同时,工业界仍坚持再进一步发展高速磁浮铁路。

通过采用新的生产和装配方法,可大大改善并更新重要的部件和子系统,从而使经济效果明显提高。为此要为电磁悬浮技术开发新的部件,如可靠的励磁电流调节器、缝隙传感器和调节器等,并为在悬浮和导向磁铁中采用新的线圈加工方法开发出更完善的草案。

安装在 TVE 南环线上的钢轨梁采用全自动机械手焊接工艺加工而成,该工艺方法能保证全焊接梁的高精密度。钢或混凝土轨道梁的装配借助于计算辅助程序实现,轨道部件的位置直接由选线参数定出。采用该方法,不仅可实现部件位置的高稳定精确度,而且由于该方法的合理化程度很高且不受大气作用影响,所以同时也具有很高的经济价值。

由蒂森·亨舍尔公司为 500km/h 的速度而开发的应用原型车 Transrapid 07 (图 1-7) 于 1989 年初投入 TVE 运行,该车除拥有极可靠的悬浮和导向系统外,还使用了经过重大改进的安全技术。Transrapid 07 的车厢由克劳斯-马菲公司使用特别经济的型材夹层轻型结构制造。它放在由 MBB 公司所研制的二级弹簧悬挂系统上方,该系统又放在悬浮底架上。

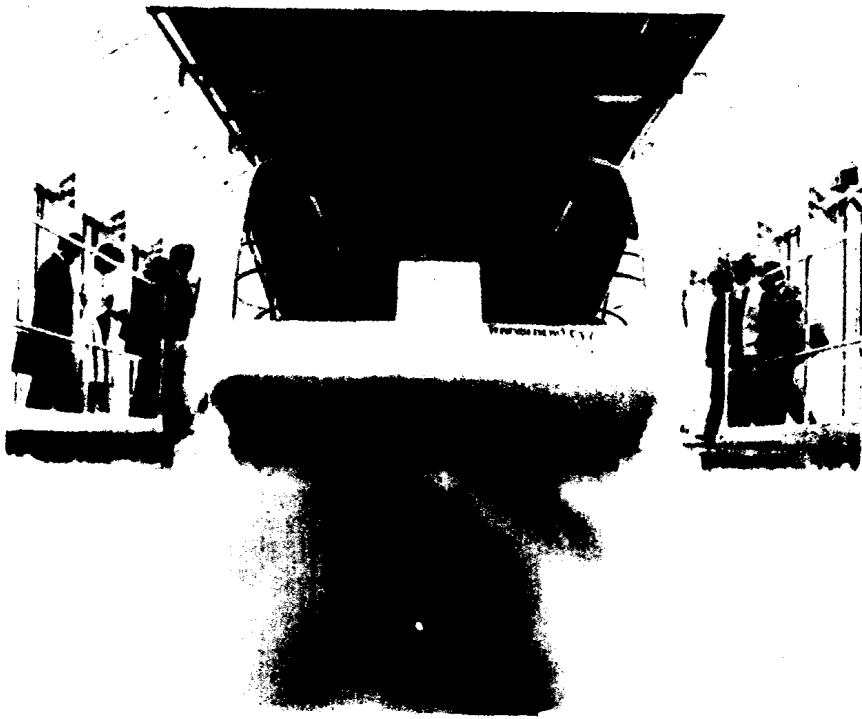


图 1-7 应用车辆 Transrapid 07

和每一种高技术一样,由于有了磁浮行车技术,与之有关的各方面发展已远远超出

其自身的界限。高速磁浮铁路的发展对于在大功率电子技术、钢筋混凝土结构及处理加工技术等领域的创新都有着很大的推动作用。

试验运行为进一步发展以应用为目的的磁浮行车技术提供了宝贵的知识。从目前为止已掌握的试验结果中可以得出以下结论：在联邦研究技术部、MVP 及工业界规定的期限内，即到 1989 年止，高速磁浮铁路将对其应用成果提供证明。在试运行中，所有的系统、子系统和部件均被证明是功能良好，它们不仅达到了要求的基本数据，而且还有部分大大超过了这些数据。高速磁浮铁路经过发展已能正常运转，从经济上考虑也能够投入使用。到 1988 年底为止，试验列车 Transrapid 06 已在 1 500 多次试验中运行了 60 000km。

由于磁浮铁路中悬浮和导向系统工作中的非接触从而无摩擦，悬浮和导向实际上与运行速度无关。因此在停车状态下可进入悬浮工况。通过 Transrapid 06 在 TVE 上的试运行，提出了一些基本要求，并以此作为车辆电气和电子部件在某些状态下进行相应持续试验的根据。在 TVE 上进行线路试验时，运转达到了 2 500 小时以上，相当于约“走行公里”500 000。

五、应用

高速磁浮铁路以其 400km/h 的运行速度填补了存在于汽车/铁路和空中运输两方面之间的旅行时间和旅行速度的空档。由此可实现一种优化的概念，即每一种交通工具都可以承担起与其特定的能力相适应的任务。在短途区间交通中，汽车是不能被其他交通工具所替代的。现代铁路将来也还将在某一领域中服务，其技术和经济指标在货运中尤为占先。飞机的优势则明显在于长途和洲际路线。

人口密集地区及大城市之间 800km 以内的中远距离运输对汽车和铁路来说太长，对飞机来说却又显得太短，因此很不经济。然而，这一距离对磁浮铁路来说却是很理想的。在运能和经济上都很有意义的是，磁浮铁路将由此成为现有交通系统的补充，从而使几乎所有工业国家都存在的高速长途运输问题得以解决。

正是由于这一原因，磁浮铁路已引起了世界各国的关注。

由克劳斯·马菲、MBB 和蒂森·亨舍尔等公司联合组成的磁浮铁路协会(慕尼黑)分析了磁浮高速铁路投入使用的可能性。此外他们还研究了澳大利亚、日本、加拿大、韩国和美国等国的报告。在美国，拉斯维加斯城原则上已决定在该城与洛杉矶之间的交通线上使用德国的磁浮高速列车。

针对磁浮列车在联邦德国境内的应用也展开了大规模的调查。莱茵走廊/美茵-莱茵/鲁尔以及北德和南德地区均属考虑之列。

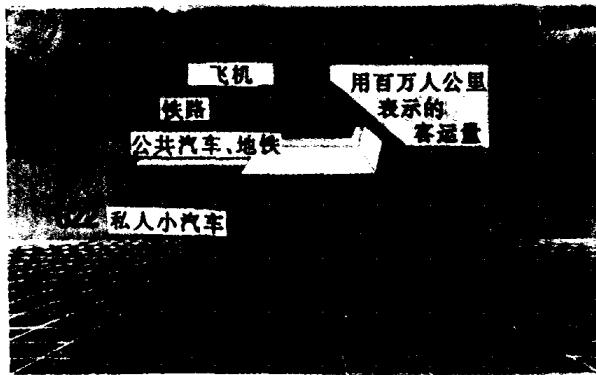


图 1-8 联邦德国 1987 年的运输量

廊/美茵-莱茵/鲁尔以及北德和南德地区均属考虑之列。

由于利用了磁浮高速铁路这一交通系统，使得轨道交通得以重新赢回过去曾经失去的吸引力。

联邦德国的旅客周转量分布表明了磁浮铁路是多么的重要。据 Ifo 研究所估计，1987 年铁路承担了运量的仅约 6.4%。近 82% 的客运量都是由私人小汽车承担的（图 1-8）。

在需要有一种快速且具有吸引力的交通系统的形势下，运输量重新又越来越猛地从公路转移到与环境兼容的轨道交通上来。因此现在正是应用磁浮铁路的时机。

第二章 线 路

第一节 磁浮列车的线路

一、第一代行车线路

1971年，对采用线性电动机驱动的磁悬浮系统一般功能验证已经在短距离的试验区

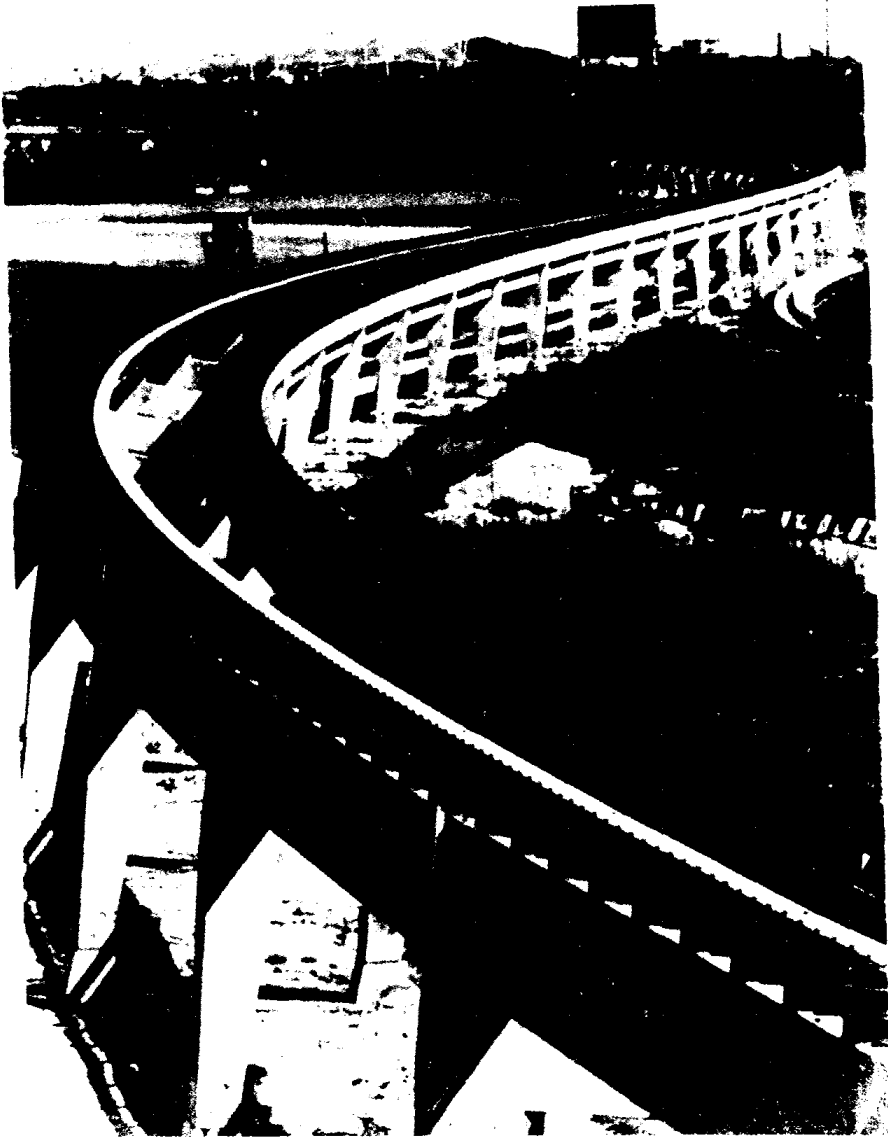


图 2-1 TR-04 试验线段上的混凝土线路

段上进行了。在随后的几年中，在较大的试验装置上进行了部分试验，即TR-04在慕尼黑试验段上，在Maching高速直线试验区（LHP）上和卡塞尔的长定子式运行技术的装置（HMB₂）上的试验。在上述试验段上运用了符合当时设计和试验目的的线路结构，它在悬浮结构的布置和各功能部件的安排上有明显的区别。

TR-04 试验区段除了高架混凝土行车线路以外(图 2-1)还有一段用于 LHP 和 HMB₂ 的钢结构线路。

二、线路在 70 年代的进一步发展

在首批磁悬浮列车试验中就已经充分注意到，线路与列车间平行的调整和校准的必要性。对应用系统经济上的分析，说明了线路和线路设备的投资对磁浮铁路系统实用性和可行性有决定性影响（图 2-2）。

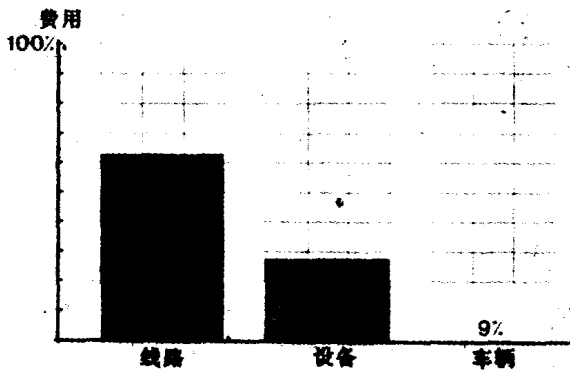


图 2-2 磁浮铁路投资费用比例

为此成立了由钢结构建筑公司和混凝土建筑企业组成的专门小组。该小组在 BMFT 的促进下，在技术和经济方面检验了可能采用的线路系统，并与车辆的发展密切配合。内容丰富的试验结果可以将磁轨系统高速运输线路用以下几方面的特征来描述。

- 钢或混凝土建筑方式的单梁线路；
- 单线和双线线路；
- 高架建筑；
- 跨度约 25m。

通过在悬浮支架内外布置支承磁铁，并进一步合理布置调节及供电装置，以此来继续改善悬浮和导向电磁铁对线路的作用，从而对线路的要求趋于缓和，并且使经济地铺设线路成为可能。

在此基础上进行了选线研究，以便了解在实用区段磁浮线路的投资情况。进行的研究表明，磁浮线路系统具有较强的经济性和竞争能力，因为与常规的轮轨技术比较，磁浮线路能够使曲线上横向坡度达到 12°，并达到更大的纵向坡度。

三、1979 年国际交通展览会的示范装置

在汉堡国际交通展览会（IVA'79）建造一个电磁磁悬浮技术示范装置的决定使首次在约 1km 长的地段上实现高架单线线路成为可能，这一线路由跨度在 24m~49m 之间的钢梁组成。同时所有的钢梁具有 1.8m 高的等高度梁支承。通过上下翼缘截面的分级布置以适合于不同的跨度。