高速铁路主要技术经济问题研究

刘 万 明

西南交通大学出版社
·成 都·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 简 介

针对我国高速铁路客运专线规划决策中的主要技术经济问题，在广泛分析国内外有关研究资料的基础上，结合作者承担或参与的国家高技术发展计划（863）课题和铁道部高速铁路研究课题，综合运用工程技术科学、宏观经济学、微观经济学、决策科学、数量经济学和统计学的理论和方法，对高速客运专线的客运需求、速度目标值、建设时机、技术系统选择、国民经济评价方法等问题进行了研究，研究方法均为国内首次采用。

本书可作为我国高速铁路科学化、定量化技术经济决策的辅助参考资料。可供交通运输规划与决策管理部门技术干部、铁路技术经济研究人员、铁路规划设计人员、高等院校铁道工程与运输类专业师生以及关心我国高速铁路建设的其他读者阅读参考。

图书在版编目（CIP）数据

光纤与光缆技术 / 吴平，严映律编. —成都：西南交通大学出版社，2003.5
ISBN 7-81057-712-3

Ⅰ. 光… Ⅱ. ①吴…②严… Ⅲ. ①光学纤维②光缆 Ⅳ. ①TN252②TN818

中国版本图书馆 CIP **数据核字**（2003）**第** 020435 **号**

光纤与光缆技术

吴平　严映律　编

*

责任编辑　王
封面设计　何东琳设计工作室
西南交通大学出版社出版发行
(**成都二环路北一段** 111 **号　邮政编码：**610031　**发行部电话：**87600564)
http: //press.swjtu.edu.cn
E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn
西南冶金地质印刷厂印刷

*

开本：787mm×1092mm　1/16　　**印张：**13.625
字数：327 **千字**
2003 **年** 5 **月第** 1 **版**　　2003 **年** 5 **月第** 1 **次印刷**
ISBN 7-81057-712-3/TN • 305
定价: 20.00 **元**

序

刘万明博士十多年来致力于高速铁路技术经济问题的研究，参加过多项由国家组织的高速铁路前期研究课题，现拟将其部分学术研究成果整理出版。我作为长期从事技术经济理论方法研究的一名学者，对此十分关注和高兴。我认为，对于像高速铁路、大型水电站这样的国民经济大型基础设施，一经建成，就将对国民经济和人民生活产生不可估量的影响，而且这种影响是难以改变的。因此，投资前的技术经济决策极其重要。鉴于此，我乐于为此书的出版写篇短文。

本书选择我国高速铁路决策的主要技术经济问题，如客运需求、速度目标值、经济效益和建设时机等作了较深入的研究。选题具有重要的理论意义和突出的现实性、应用性和针对性，对我国高速客运专线的决策有重要的参考价值。

对于高速铁路的建设必要性和建设时机，作者认为应当首先关注的是经济发展所要求的经济活动效率是否与高速铁路提供的服务相适应，以及交通走廊的客流需求是否达到了高速铁路的合理运输规模水平，并以此为重点开展高速铁路主要技术经济问题的研究。这种研究思路使所得的结论具有科学性和实用价值。

作者以市场经济理论为基础，引入多目标决策理论和计量经济学方法研究高速铁路在客运市场中的占有率，提出了旅行距离和旅客收入水平对旅客选择交通工具意向的影响；分析了速度、行程、票价、时间价值等因素和高速铁路本身的多种技术特征对客运需求的影响，建立了相应的表达式和模型。该方法与目前普遍应用的四阶段法、MD 法有所不同，丰富和完善了铁路客运需求预测理论。

本书的一个重要特点是利用现代数量经济方法对铁路运输的诸多问题进行了系统研究。例如，对社会长期客运需求建立了数学模型，用多目标决策理论分析了各种运输方式客运市场份额的长期变化规律，进行了量化研究；对运输速度目标与客运需求、工程投资、机车车辆购置费和运输成本的量化关系进行了分析。这些定量研究对高速铁路的运量、速度目标值等的研究提供了理论基础。

作者还从交通项目的公益性、效益的社会性和对国民经济的较大影响出发，提出了国民经济评价的新观点，并从市场需求角度和投资效益角度探讨了高速铁路最佳建设时机的确定方法，这些研究成果都可供有关决策部门参考。

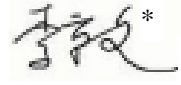
针对当前社会广泛关注的高速磁浮铁路，作者在线路设计理论、通过能力计算、列车荷载特点、线路变形要求等方面进行了系统分析，并研究了影响磁浮交通系统市场需求、投资、成本和环境影响的主要因素。这些研究工作具有开创性，可为今后进一步研究高速客运专线提供重要参考。

该书层次分明、资料较充分、分析较深入、观点明确。理论和方法有多项创新，得出了

很多具有现实意义的重要结论。研究成果对我国高速铁路项目的科学化、定量化决策具有重要参考价值。

毋庸讳言，本书作者不可能进行大规模的社会调查统计和工程设计，研究算例中采用的部分京沪线数据与目前京沪线最新的工程设计数据会有所出入，有些理论分析和观点也不一定很全面，但这并不影响我对该书的肯定性评价。建议作者继续开展该领域的研究工作，为交通建设项目技术经济分析理论的发展和我国高速客运交通体系的建设做出进一步的贡献。

祝愿本书的出版，有助于我国学者在高速铁路技术经济领域的学术交流，有助于我国交通运输体系的健康发展。



2003.5.8

---

* 中国工程院院士、博士生导师、俄罗斯科学院（外籍）院士、国家软科学指导委员会委员、中国社会科学院学术委员会委员、国务院学位委员会应用经济评议组召集人，并曾担任京沪高速铁路前期论证技术经济组组长，现正主持863课题磁浮高速运输技术在长大干线适用性的宏观经济分析。

目　　录

第 1 章　高速铁路发展概况 …… 1

1.1　世界高速铁路发展概况 …… 1
1.2　高速铁路的主要技术特征 …… 7
1.3　发展高速铁路的条件 …… 13
1.4　我国铁路行车速度的发展概况 …… 15
1.5　我国高速铁路建设的主要决策问题 …… 17

第 2 章　我国高速客运专线主要决策问题分析 …… 18

2.1　我国高速客运专线建设主要决策问题的研究情况 …… 18
2.2　国外对高速客运专线主要技术经济问题的研究情况 …… 20
2.3　我国高速客运专线建设决策研究中的关键问题 …… 21
2.4　需要深化研究的问题 …… 27

第 3 章　关于高速铁路客运需求的深化研究 …… 33

3.1　概述 …… 33
3.2　旅客选择交通工具的多目标决策模型 …… 36
3.3　高速铁路技术经济特征对其市场份额的影响 …… 48
3.4　高速铁路客运市场份额的数学模型 …… 52
3.5　高速铁路的诱发运量分析 …… 55
3.6　高速铁路客运量的长期变化规律 …… 61
3.7　京沪高速铁路客运量分析案例 …… 69
3.8　小结 …… 89

第 4 章　高速铁路速度目标值对经济指标的影响 …… 93

4.1　设计最高速度对土建工程投资的影响 …… 93
4.2　设计最高速度对机车车辆投资的影响 …… 99
4.3　行车速度对运输成本的影响 …… 102
4.4　小结 …… 104

第 5 章　高速铁路建设项目的经济评价 …… 106

5.1　经济效益分析的基础数据 …… 106
5.2　京沪高速铁路国民经济费用与效益分析 …… 110
5.3　基本条件下的经济评价结果 …… 114

需要全本请访问 www.ertongbook.com

5.4 铁路建设项目国民经济评价方法的讨论 116
5.5 小结 123

第 6 章 高速铁路最佳运营速度研究 125

6.1 进行高速铁路最佳运营速度分析的意义 125
6.2 高速铁路最佳运营速度的研究方法 125
6.3 高速铁路最佳运营速度的研究算例 129
6.4 高速铁路速度目标值综合分析 130
6.5 小结 131

第 7 章 高速铁路最佳建设时机研究 132

7.1 研究高速铁路建设时机的意义 132
7.2 我国关于高速铁路建设时机的研究情况及分析 132
7.3 从旅客时间价值角度研究高速铁路的建设时机 133
7.4 用费用效益分析方法研究高速铁路的最佳建设时机 136
7.5 高速铁路最佳建设时机的综合分析 144
7.6 小结 145

第 8 章 高速磁浮客运系统技术经济特征分析 147

8.1 高速磁浮客运系统的发展概况 147
8.2 高速磁浮客运系统的基本原理 154
8.3 高速磁浮铁路的线路设计理论 165
8.4 高速磁浮铁路的通过能力和输送能力 179
8.5 高速磁浮铁路的环境影响特征 186
8.6 高速磁浮客运系统的经济特征 191
8.7 小结 198

第 9 章 高速轮轨与高速磁浮系统的技术经济比较 199

9.1 土建工程投资比较 199
9.2 运输成本比较 215
9.3 高速磁浮与高速轮轨铁路对客运市场的适应性比较 220
9.4 小结 226

第 10 章 研究结论 228

10.1 本研究的创新性成果 228
10.2 需要进一步研究的问题 233
10.3 小结 234

参考文献 235

致 谢 237

第 1 章　高速铁路发展概况

高速铁路作为当代科学技术的一项重要成就，在世界铁路发展史上产生了深远的影响。日本东海道新干线在技术、经济上的成功，一举改变了经济发达国家铁路客运“夕阳产业”的形象，给铁路客运注入了新的活力。可以说，高速铁路导致了旅客运输业的一场技术革命，代表着铁路客运的发展方向。

高速铁路是高科技发展的产物，它高度概括了铁路在牵引动力、线路结构、行车控制、运输组织和经营管理等方面的先进技术，涉及力学、机械、电子、信息、能源、材料、建筑、环保等科学技术领域。因此，对一个国家来说，发展高速铁路需要一定的科学技术水平作为前提条件；反过来，通过发展高速铁路可以促进该国的铁路，乃至其他相关的科学技术领域的进步。

高速铁路也是社会经济发展的产物。随着社会经济的发展，人们劳动生产率提高，对出行的效率要求也随之提高。同时，随着人们生活水平的提高，对出行的舒适性要求也随之提高，提高交通工具的旅行速度是提高交通出行效率和舒适性的主要措施。

1.1　世界高速铁路发展概况

1.1.1　高速铁路的定义

各种运输工具从诞生的那一天起，就在不断地追求运输速度的提高。在不同的历史时期和技术条件下，“高速”这个概念代表不同的数值含义。19 世纪英国的“火箭号”火车时速仅 22 km；20 世纪 60 年代日本“光”号列车时速为 220 km 左右；而目前德国的“城间快车”速度则高达 250～300 km/h。另外，同一历史时期不同运输工具的“高速”含义也不同，水运 50～60 km/h 即称高速；高速公路的最高设计速度也就 120 km/h 左右，仅相当于铁路的“常速列车”；而对于航空来说，500 km/h 只能算是低速。

因此，高速铁路的定义不应只从数值上，而应从其技术条件和应用背景来限定。我们所研究的“高速铁路”，是指相对于传统铁路在技术上有重大创新，在旅客运输市场上具有较强竞争力的铁路客运系统。高速铁路不是传统铁路技术基础上的速度提高，而是全新研制的高速运行的技术系统。

世界各国根据各自的运输系统结构、客流状况、旅行距离、社会经济状况等因素制定了各自的高速铁路速度目标值。目前对高速铁路比较一致的定义是：最高行驶速度在 200 km/h 以上，旅行速度超过 150 km/h 的铁路系统。

1.1.2 世界各国高速铁路的建设情况

列车行驶速度要达到 200 km/h 以上，并投入商业运营，一方面需要研制能按速度目标值高速行驶的列车及相关技术设备，二是需要建设能够运行高速列车的高标准线路。

自 1825 年世界上第一条铁路诞生，一百多年来，世界各国始终在为提高列车的行车速度作不懈的努力。1903 年德国电力机车牵引的试验速度达到 210 km/h，1954 年法国电力机车牵引的试验速度达到 243 km/h，1962 年日本电力机车牵引的试验速度达到 256 km/h，1972 年法国内燃机车牵引的试验速度达到 317 km/h。1981 年 TGV 列车在法国东南部正式投入运行，速度为 260 km/h；1985 年，德国开始进行高速列车试验，速度达到 345 km/h，到 1988 年德国 ICE（lntercity Express，城市快车） 创造了 406.9 km/h 的高速列车试验纪录；1990 年法国以 515.3km/h 的试验速度将世界记录刷新。我国也分别于 1997 年、1998 年用电力机车牵引实现了 212.6 km/h 和 240 km/h 的试验速度，2003 年在新建成的秦（皇岛）沈（阳）客运专线上的试验速度也达到了 321 km/h。这些试验为高速铁路商业运营线的建设奠定了技术基础。日本在充分利用德、法等国家高速列车试验经验的基础上，依靠本国的技术力量，研制了“ 0 系 ”高速列车，应用于 1964 年建成的世界上第一条高速铁路（东海道新干线）。

尽管高速列车的速度试验在 20 世纪初就超过了 200km/h，但在技术上用于商业运行，还需要进行适应商业运行环境的配套设施开发和可靠性试验。真正实现高速商业运行，还需要根据国家社会经济发展对客运速度的要求和建设高速铁路的财力状况，制定相应的发展技术路线并建设高速铁路线路，这是一个相当长的时间过程。而且高速铁路实际最高行车速度除依赖于高速列车技术以外，更取决于运输市场的需要和商业运行的经济效益。因此，高速铁路的建设及其运营速度目标值一般滞后于高速列车的试验速度。

日本于 1956 年开始建设东海道新干线，全长 515.4 km，于 1964 年正式运行。由于该线创造了良好的经济效益，使一度被人们认为是“ 夕阳产业 ”的铁路出现了生机，显示出强大的生命力，因此日本决定加快其高速铁路建设的步伐。1975 年山阳新干线 553.7 km 通车；1982 年上越新干线 269.5 km 通车；1985 年东北新干线 496.5k m 通车；1997 年长野新干线 117.4 km 通车。至此，日本高速铁路里程接近 2 000 km，成为全世界高速铁路里程最多的国家。

在法国，1971 年政府批准修建 TGV 东南线（巴黎至里昂，全长 417 km，其中新建高速铁路线 389 km），1976 年 10 月正式开工，1983 年 9 月全线建成通车。该线通过 10 年的运营创造了预期的经济效益，证明高速铁路也适合欧洲环境，成为具有竞争力的现代交通工具。1982 年，法国、德国、比利时三国运输部长商议修建巴黎—布鲁塞尔—科隆高速铁路。1971 年英法两国就达成了开挖英吉利海峡隧道协议，1986 年 3 月授权欧洲隧道公司开挖英吉利海峡隧道，并于 1994 年 6 月开通运营，新线长 50 km，为高速铁路连接法、英、比、荷四国首都与德国重要城市科隆开辟了捷径。1989 年 9 月和 1990 年 9 月，法国又建成巴黎至勒芒（181 km）与巴黎至图尔（101 km）的大西洋线。1993 年 9 月法国第三条高速铁路北欧线（333 km）通车。1992 年巴黎东南线里昂环线投人运营，1994 年 7 月又完成了延伸到瓦朗斯的新线工程，使东南线长度达到 530 km。特别是 1994 年 5 月，大巴黎区外环线（104 km）的建成，使北线、东南线、大西洋线构成可绕过巴黎相互连接

的高速铁路网系统。目前法国共建成高速铁路线 1 282 km，由于其实行高速车下普通线跨线运行的运输模式，其高速列车的通行总里程达 5 921 km，约占法国铁路网的 18%，覆盖了大半的法国国土。

在德国目前有四条高速铁路：1991 年 6 月建成的曼海姆至斯图加特线长 99 km，1992 年 6 月建成的汉诺威至维尔茨堡线长 327 km，1998 年建成的汉诺威至柏林段 264 km（其中新线 170 km），2002 年建成的科隆至法兰克福线长 204 km。德国虽然高速铁路建设起步较晚，高速铁路投入运营的时间也比法国晚了十年，但对高速铁路技术进行了长期的研究，其高速铁路技术系统 ICE 已成为世界先进的高速铁路技术系统之一，在国际市场上，具有与法国高速铁路技术系统 TGV 同样的竞争能力。

在其他欧洲国家，高速铁路也得到较快的发展。西班牙也是世界上较早修建高速铁路的国家，1992 年投入运营的马德里至塞维利亚高速铁路线长 471 km；意大利修建的罗马至佛罗伦萨线长 236 km；比利时修建了布鲁塞尔至昂图线，新建部分长 71 km。

在亚洲，韩国从 1992 年开始修建汉城至釜山高速铁路，全长 430 km，采用法国 TGV 系统；我国台湾省已于 2000 年开工建设台北至高雄的高速铁路，全长 345 km，预计 2005 年通车。

目前，世界上运行时速在 200 km 以上的新建高速铁路营业里程约 4 600 km，若包括既有线改建用于开行高速列车的线路，总营业里程已超过 15 000 km。

此外，高速磁浮铁路作为一种新的高速地面轨道交通系统，在德国、日本和中国均建设了试验线。目前正在开展相关技术试验，为实现长距离运输作技术准备。

1.1.3 世界各国高速铁路的运营情况

高速铁路对国家的经济发展将产生巨大的推动作用。以日本为例，在新干线通车运营后的十年中，东海道和山阳新干线的旅客周转量增长了 12.7 倍，单向客流量由日均 500 人增加到 67 916 人。相对较低的旅行费用和相当高的旅行速度，使高速铁路吸引和诱发了大量客流，客运量年均递增 30%，而相应交通走廊不同航线的航空运量却年递减 20%～80%（不同旅行距离有不同的客流转移情况）。在铁路扭亏为盈的同时，也为国民经济作出了重大贡献。据分析，在新干线运营五年后的 1970 年，东海道沿线的国民经济总产值与不修新干线相比增加了 2 200 亿日元（7.3 亿美元），工业总产值与不修新干线相比高两倍。同时，新干线的运营对旅游、土地开发、城市经济结构调整等方面均产生了显著的、有利的影响[1]。

法国 TGV 东南线建成通车后，最高运行时速达 270 km，巴黎至里昂间旅行时间由原来的 3 小时 50 分钟缩短到 2 小时。客运量迅速增长，1984 年原计划乘坐飞机的旅客中约有 70%（约 200 万人）转乘了高速列车，约有 100～150 万人次从高速公路上的小汽车和公共汽车转移到高速列车。1991 年东南线客运量达到 1 820 万人，并创造了预期的经济效益，10 年内的盈利还清了新线建设和车辆购置贷款本息（TGV 东南线由法国铁路自行贷款兴建）。随着海峡隧道的建成，“ 欧洲之星 ” 号高速列车于 1994 年 11 月在法、英、比三国首都间正式投入运营。1997 年 12 月连接巴黎、布鲁塞尔、科隆、阿姆斯特丹，以四个城市的首字母命名的 TGV－PBKA 高速列车开始投人运行。巴黎至里尔（226 km）的旅行时间由 2 小时 10 分钟缩短为 1 小时。巴黎至伦敦的行车速度，在法国境内为 300 km/h，在隧道内为 160 km/h，目前的旅行时间为 3 小时，待英国境内从隧道口福克斯敦至伦敦市

中心高速铁路（107 km）建成后，旅行时间可缩短为 2 小时 25 分钟，伦敦至布鲁塞尔的旅行时间可缩短为 2 小时 5 分钟。

客运高速化代表了铁路旅客运输的发展方向，也是一个国家经济发展达到一定水平后对旅客运输的必然要求。许多经济发达国家均制定并实施相应的高速铁路发展计划。日本计划修建总长达 7 000 km 的高速铁路网，并把速度提高到 350 km/h 以上；法国计划扩大到 4 500 km，并结合既有线改建形成 12 000 km 的高速铁路网，最高速度为 300 km/h。铁路技术力量雄厚的德国，虽然目前高速线长度不足 1 000 km，但其在机车车辆设计与制造、线路设计与构造、轮轨关系研究等方面的巨大投入和精湛技术均预示了其高速铁路发展的宏伟前景。

目前世界各国的高速铁路仅占世界铁路总营业里程的 1.5%，但其完成的客运量却远高于 1.5%。如日本现有四条新干线，约占日本铁路（JR）总营业里程的 9%，却承担了铁路旅客周转量的 33%；法国现有三条高速新线和 TGV 列车通行网络分别占法国铁路网总营业里程的 4% 和 18%，却承担了 50% 以上的铁路旅客周转量；德国正在运营的高速线里程只占德国铁路总营业里程的 1%，却担负着 10% 以上的铁路旅客周转量。

1.1.4 世界高速磁浮铁路技术发展概况

在地面交通领域，与高速轮轨铁路的功能和社会影响相近的交通技术系统还有高速磁浮铁路。它是一种新型的轨道交通系统，用磁浮列车运载旅客。

磁浮列车的构想是由德国工程师赫尔曼·肯佩尔于 1922 年首先提出的。磁浮列车包含有两项基本技术，一项是使列车悬浮起来的电磁悬浮和导向技术，另一项是用于推进列车的直线电动机技术。

直线电动机的原理早在 18 世纪末就已经出现，是把圆形旋转电机剖开，并展成直线型的电机结构。它依靠铺在线路上的长定子线圈极性交错变化的电磁场，根据同极相斥、异极相吸的原理进行牵引。磁浮列车按悬浮方式分为常导型和超导型两种。

常导磁浮列车由车上常导电流产生电磁吸引力，吸引轨道下方的导磁体，使列车浮起。常导型产生的电磁吸引力相对较小，列车悬浮高度只有 8～10 mm。这种车以德国的 TR 型磁浮列车为代表。

超导磁浮列车由车上强大的超导电流产生极强的电磁场，可使列车悬浮高度达 100 mm。超导技术相当复杂，并需屏蔽发散的强磁场。这种磁浮列车以日本山梨试验线的 MLX 型为代表。

磁浮列车通过电磁力实现支承、导向和牵引功能。列车运行时和线路之间无机械接触，避免了轮轨铁路中轮轨关系和弓网关系的约束，因而可以比轮轨铁路更经济地达到较高的速度（400～500 km/h），且对环境的影响较小。同等速度下，磁浮列车在环境方面的影响比其他公共交通工具有明显的优势。目前达到或接近应用水平的磁浮铁路系统集中在德国和日本。

德国磁浮铁路应用技术的开发始于 1969 年“高运力快速铁路系统”的研究。德国联邦交通部、联邦铁路和德国工业界参与了这个研究项目，探讨德国发展高速交通系统的技术可能性和经济性。研究涉及传统的高速轮轨铁路技术和全新的高速磁浮铁路技术。为了建造第一段磁浮试验线路，德国工业界组成了磁浮铁路 Transrapid 联合体。在德国西北部的埃姆斯兰（Emsland）地区建设 Transrapid 试验线（简称 TVE）。第一期工程于 1979 开工，包括

21.5 km 试验线路、试验中心和试验车 Transrapid 06（简称 TR06），1984 年完成。1985 年初，磁浮铁路试验和规划委员会（MVP）作为试验设施的所有者与经营者接管了试验设施。考虑到将来的实际应用，需要形成一条闭合的环形试验线，按实际运营要求连续运行，最高速度 400 km/h 以上。因此，德国联邦研究与技术部 1984 年决定在 TVE 扩建南环线，即扩建试验线路的第二线路段。南环线 1984 年开工，1987 年竣工。至此，TVE 的试验线总长达到 31.5 km。1987 年，TR06 磁浮列车在试验线上速度达到 406 km/h。1988 年，试验速度提高到 412.6 km/h。

从 1986 年开始，德国开发面向应用的 Transrapid 07（简称 TR07）磁浮列车，1989 年该车投入试验线运行，1993 年，TR07 在载人试验运行中的速度达到 450 km/h。由于线路条件的限制，磁浮列车不允许再加速。

1999 年 10 月，为柏林—汉堡线研制的 TR08 列车（三节编组）开始在 TVE 上试运行，该车后来也成为中国上海高速磁浮列车示范运营线的基础车型。

日本从 1962 年开始磁浮铁路的研究，1977 年在南部九州建成 7 km 超导磁浮列车试验线，即宫崎试验线。宫崎试验线是单线，没有坡道和隧道，不能完全满足应用试验要求。1992 年在山梨县境内开始建设山梨试验线，1997 年 4 月 3 日，开始在新建成的 试验线（18.4 km）上进行试验运行。山梨线为双线，分别称为南线和北线，线路的 87% 在隧道内，变电站和控制中心设在露天线路旁。在 1997 年 12 月 24 日的不载人试验运行中，最高试验速度达到 550 km/h，创下地面交通速度的世界最高纪录。1999 年 4 月 14 日，载人运行试验速度达到 552 km/h，再次刷新地面交通工具最高试验速度。

从 20 世纪 60 年代开始，日本、德国、英国、前苏联、韩国和中国等先后投入力量研究中低速磁浮列车。

在英国，为了将新建的伯明翰机场终端与国际博览会展区及火车站连接起来，建造了一条 620m 长的磁浮铁路线，该线路于 1984 年投入载客运行。这条线为复线，在 6 m 高的钢结构线路上，来往运行三辆有电磁支承、导向系统和直线电机驱动的小型磁浮列车，速度可达 50 km/h。磁浮列车车辆重约 5 t，具有铝焊接底架和玻璃纤维强化塑料制成的车厢结构。一辆车有 6 个座位和 26 个站位。伯明翰磁浮铁路是第一个用于公共旅客运输的磁浮铁路系统。1996 年，由于故障率高，维护困难，伯明翰磁浮铁路关闭停运。英国的磁浮铁路实际上没有发展为有市场价值的商业应用系统。

日本的 HSST（High Speed Surface Transportation）系统磁浮列车最初由日本航空公司投资成立的 HSST 公司研究开发，希望用于机场到市区的快速轨道交通，后又与其他股东联合开发。1990 年，在名古屋附近的大江，动工兴建 1.5 km 长的试验线，并于 1991 年 5 月开始试运行。试验线正线的最小曲线半径为 100 m，最大坡度为 7%，最高运行速度 110 km/h。1993 年 3 月，以运输省、建设省和其他单位的专家学者组成的可行性研究委员会考察了它的噪声、振动和磁场影响，对试验结果进行了最后论证，结论是：HSST 是舒适的、低污染的交通系统，能够应付紧急情况，长期的运行试验证明它是可靠的，并且由于悬浮的优点，使得它的维修量降低。作为城市交通系统，HSST 已达到实用阶段。到 2002 年底为止，在低速磁浮铁路系统中，只有日本的 HSST 常导低速磁浮铁路系统发展到实用水平，并具有商业应用的可能性。

在 Transrapid 高速磁浮铁路开发过程中，德国联邦铁路和 7 所著名大学的专家组成工作

需要全本请访问 www.ertongbook.com

组，由位于慕尼黑的联邦铁路中心局牵头，对 Transrapid 系统进行了独立、全面的评价和鉴定。1991 年得出该系统在技术上应用成熟的结论。以此为基础，联邦交通部在评价 6 条可能的磁浮铁路应用线后，于 1992 年 7 月将柏林—汉堡线作为磁浮铁路第一条应用线，纳入“92 联邦交通线路计划”。经过近 5 年的论证，1997 年 4 月 25 日，德国联邦交通部长维斯曼（Wissmann）公布了由两个咨询公司对 Transrapid 高速磁浮铁路柏林—汉堡项目的运营经济性评价结果，宣布德国政府决定修建柏林—汉堡磁浮铁路。这条磁浮铁路为全长 292 km 的复线，其中高架线路占 45%，地面低置线路占 55%。包括车辆等运营设备在内，总投资为 98 亿德国马克（1996 年物价，不包括建造期间物价上涨和建设期利息）。原计划 2000 年开工，但由于预测旅客量下降，而建设投资预算增加，造成线路经营的经济风险提高，2000 年 2 月 5 日，德国联邦交通部宣布放弃柏林—汉堡磁浮铁路应用线，政府继续支持磁浮铁路的开发，并在两年内选定另一条新的线路，建设 Transrapid 高速磁浮铁路样板线。经过两年的研究，在 5 个备选项目中，论证了北威州杜塞尔多夫—多特蒙特和巴伐利亚州慕尼黑火车站—机场两条线路在技术和经济上的可行性，于 2002 年 1 月宣布进入筹资方案策划阶段。

1999 年日本决定建一条约 8.9 km 长的低速磁浮铁路商业运行线，连接名古屋一个地铁车站和市郊的一个现代化居住区，2005 年将在这里举办国际博览会，这条线路将在博览会前建成通车。

世界第一条高速磁浮铁路商业运营线于 2001 年 3 月在中国上海开工建设，主线为双线，营业里程 30 km，包括维修基地等附属线路共 33 km，已于 2003 年通车试运行。该线采用德国 TR 系列常导磁浮技术。

1.1.5 我国高速铁路技术研究与发展概况

（1）高速轮轨铁路

1992 年由国家科学技术委员会、国家计划委员会、国家经济委员会、国家体制改革委员会和铁道部组成“京沪高速客运专线重大技术经济问题前期研究”课题总体组，联合全国 15 个研究单位，以京沪线为背景，开展了我国发展高速客运专线重大技术经济问题的研究，成为我国第一次大规模开展的高速客运专线主要技术经济问题研究活动。

1994 年，“高速客运专线关键技术研究”列入国家八·五重点科技项目计划。该项目对线路、机车车辆、通讯信号、牵引供电及运输组织等关键技术开展了研究，1996 年提出了“京沪高速铁路预可行性研究报告”。该项研究是我国对高速客运专线主要技术经济问题投入研究力量和研究费用最多，研究范围最广的研究项目。

1996～1997 年，铁道部根据京沪高速客运专线投资巨大、技术复杂，缺少建设和运营经验的实际情况，考虑到全线一次贯通方案具有一定风险性，开展了分段（分期）建设，分段运营、分段受益，最后全线贯通的建设方案的可行性研究。

1999～2001 年，铁道部组织第三、第四设计院和其他相关研究单位对京沪高速铁路的客运需求、技术方案和经济效益等问题进行了进一步深化研究，提出了“京沪高速铁路可行性研究报告”，并通过了中国国际工程咨询公司组织的评审。

以我国在高速铁路技术领域的研究为基础，我国 1999 年 8 月开工建设了秦(皇岛)沈(阳)快速客运专线，全长 404.64 km。列车速度 160 km/h 以上，设计速度 200 km/h，基础设施预留提速至 250 km/h。该线已于 2002 年完工，目前试验最高行车速度已达到

321 km/h。

（2）高速磁浮铁路

我国国防科技大学从 1986 年开始磁浮列车的原型研究。1992 年 5 月国家科委正式把“磁浮列车关键技术研究”列入“八五”科技攻关计划。由铁道部具体组织，铁道部科学研究院负责，西南交通大学、国防科技大学、中国科学院电工研究所、长春客车厂等单位参加。至 1995 年，中低速磁浮列车的某些关键技术，如悬浮与导向系统、转向架结构等已经被突破，证明我国有能力自行研制中低速磁浮列车。1994 年，西南交通大学研制的磁浮列车进行了载人试验。从 1996 年开始，西南交通大学等单位组织筹建“青城山磁浮列车工程实验示范线”，国防科技大学等单位组织筹建“北京八达岭磁浮列车旅游线”，它们标志着我国磁浮交通技术取得了重要的进展。与此同时，西南交通大学开展的超导高速磁浮列车技术的研究也进展顺利。2001 年 3 月，在北京举行的国家高技术计划成果展览会上，西南交通大学研制的高温超导磁浮试验车进行了载人演示。

在高速磁浮交通技术方面，我国于 2001 年 3 月开始在上海建设试验运营线，全长 30 km。2002 年 12 月开始试验运行，最高试验速度达到 443 km/h。同时，国家高技术发展计划（863 计划）设立了“高速磁浮交通技术”重大专项，全面开展了高速磁浮交通系统在我国的适用性研究和关键技术国产化研究。

1.2 高速铁路的主要技术特征

高速铁路的生命力体现在其快速、舒适和安全方面，而要实现快速，舒适和安全，则需要平顺且稳定的线路、动力特性优良的机车与车辆以及可靠的行车控制技术，因此对线路设计标准、牵引动力、机车车辆构造、通讯与信号技术、制动技术以及列车运行管理技术等方面提出了不同于传统铁路技术的要求。

1.2.1 高速铁路对线路设计标准的要求

（1）曲线半径

曲线半径对高速列车的速度、舒适和安全均具有重大的影响。反映旅客舒适度的未被平衡离心加速度、反映列车运行安全的脱轨系数及减载率等指标均受曲线半径的影响。在规定的舒适和安全标准下，曲线半径是影响列车运行速度的主要因素。高速铁路的最小曲线半径一般在 3 000 m 以上。由于较大的曲线半径难以适应地形变化，不利于绕避天然障碍和人工建筑物，因而不可避免会导致较大的土石方工程、桥隧工程和拆迁工程，从而导致土建工程费用增加。

在不影响列车正常运行的前提下，在高速列车必停的大站前后，可以根据列车实际可能的运行速度，采用半径小于区间最小半径的曲线。这种结合实际的方法可以有效地降低高速铁路的造价。因为在高速列车必停的大城镇，人工建筑物较密集，拆迁工程量较大，采用较小的曲线半径可以有效地避开障碍，同时也有利于线路顺利地引入车站，从而显著地降低工程造价，改善高速铁路的建设效果。

（2）线间距

为减少会车的时间损失，提高旅行速度，高速铁路一般都考虑修建双线。

高速铁路上列车密度大、速度高，会车时会产生较大的侧向风压，若线间距太小，有可能危及旅客及行车安全。根据国外资料，高速铁路的线间距应保证行驶中车体摆动后列车外廓净间距为 0.7～1.4 m（随运行速度增大而增大）。由于我国高速铁路在一段时期内将采用高、中速列车共线的运输模式，存在高速列车与中速列车的交会，而中速列车外廓尺寸较大，密封性、车窗材质等条件比高速列车差。因此，线间距的确定应根据我国的速度目标值和实际车辆状况，在有试验依据的基础上确定。由于线间距的大小将影响土建工程造价（根据铁四院实际定线资料，线间距每增加 0.2 m，每公里造价增加 100 万元左右），因此，我国高速铁路线间距的确定，应在“改造中速车辆以适应较小线距”和“增大线距以满足现有中速列车运行安全”两个方案中，经技术经济比较后决策。根据京沪高速铁路可行性研究资料，前一方案将导致运营初期即投入大量资金购置全封闭、带空调的中速机车车辆（需要约 55 套车底），涉及到高速铁路运营初期我国机车车辆工业的技术水平、生产能力和项目的资金筹措能力。后一方案要求的线间距可能比远期全部开行高速列车时所要求的线间距大 0.5～0.8 m，造成全线约 1 300 亩土地的长期占用。

（3）缓和曲线

缓和曲线的作用是实现列车在直线运行状态与圆曲线运行状态之间的过渡。为了保证这个过程中列车运行的安全性和旅客的舒适性，缓和曲线的设置应能保证脱轨系数、减载率、未被平衡离心加速度的变化率、超高时变率等列车动力学指标均不超过相应的标准。在高速情况下，列车与线路的动力作用较大，实现直、曲线运动过渡的时间较短，因此高速铁路需要有利于减轻轮轨动力作用的缓和曲线线型（包括平、纵面线型和超高线型）和更长的缓和曲线长度。目前被推荐的线型有半波正弦、七次四项式、三次抛物线改型（将直线型超高顺坡的起、终点圆顺化）等。如何选用，应根据我国高速铁路的速度目标值、高速机车车辆的结构参数进行计算机模拟分析和实车试验后选定。决策时还应考虑便于铺设和养护维修的因素。

1.2.2 高速铁路对路基、轨道、桥梁、隧道和站场设计的要求

在高速条件下，线路受到较高频率的动荷载作用。列车运行速度越高，动力响应越大，对轨道的损伤和路基的变形越大。反过来，轨道的损伤和路基的变形又会导致更大的列车运行不平稳，产生更大的动力响应。如果路基和轨道在列车运行荷载下的空间位置和轨顶表面状况不能保持稳定，必造成恶性循环，最后导致线路结构的彻底失效。

线路结构的失效来自两种可能性：一是钢轨在高频动荷载作用下发生轨头磨耗、空间位置移位以及疲劳折断；二是路基变形过大，传递至轨顶，引起线路位置的空间不平顺，导致高速列车运行时过大的动力响应，造成变形和动力响应的恶性循环。

第一种失效状态是否产生主要取决于钢轨动应力的大小，在列车质量和运行速度一定的情况下，减小钢轨动应力的途径是使轨排具有一定的弹性，从而将车轮动荷载扩散到车轮作用点相邻的数个钢轨扣件范围内，以避免过高的局部钢轨应力。相应技术措施是在钢轨下面放置具有特定弹性性能的垫板，使轨排具有适当的弹性系数。

第二种失效状态是否产生主要取决于路基的变形稳定性。即在列车荷载下不要产生过大的变形，且尽可能减小残余变形。从减小残余变形的角度考虑，要求减小路基的弹性，因为

路基材料是非线性弹性的，路基弹性越大，变形越大，残余变形也越大。由于路基的变形不可避免，故应尽量保证路基变形的均匀性，相应的技术措施是提高路基的施工压实标准。高速铁路的路基压实系数标准在 0.95 以上。

由上可知，高速铁路对线路结构的变形性能具有较高的要求：弹性太小会导致第一种失效状态，弹性太大又可能引起第二种失效状态。而线路结构本身由钢轨、连接件、轨下基础、道碴和路基等组成，各部分具有各自的变形特性，如何对各部分的力学参数进行综合优化设计，使其总体变形性能达到高速铁路对线路结构的变形性能要求，还需要深入研究。

在高速铁路桥梁地段，线路结构则面临更复杂的技术问题。一方面高速运行条件下对线路的变形控制较高，另一方面桥梁会受到高速列车所带来的巨大纵向力（包括正常运行的轮周牵引力、制动力、起动力），气温变化导致的梁内和焊接长钢轨内的约束应力，桥梁风载、基础倾斜、单侧阳光照射等因素造成的横向力和不对称力。这些力对桥梁的纵向连接强度、钢轨应力、支座强度、横向稳定性等产生很大的影响。必须研究这些力在整个桥梁结构中的传播情况，从而采取相应的设计对策，以保证桥梁的纵向强度和横向稳定性。设计对策包括在合适的位置设置钢轨伸缩装置、特殊的梁/墩刚度比、合理的轨道/梁/墩连接、合理的钢轨纵向移动阻力参数、采用特殊构造的支座等。

在高速铁路隧道地段，由于列车速度高，活塞效应更加显著。除列车受到的空气阻力在量上有很大的增加外，空气动力效应还会产生质的变化。在隧道内空气压力波的传递速度会受到影响，如果该速度小于列车运行速度，将可能出现强烈的瞬变压力效应，不仅使旅客耳朵产生明显不适，还会危及洞口环境，对列车的安全构成威胁，并产生噪声污染问题。其中，隧道断面面积、隧道内表面状况以及隧道洞门形式是主要控制因素。我国初步拟定的京沪高速铁路远期速度目标值为 350 km/h，土建工程将按这个速度一次建成，而目前国外尚无实际运营 350 km/h 的经验可供借鉴，因此应加强隧道空气动力学的研究。

对于高速铁路的车站，道岔设施应与列车运行速度相适应，即采用较小的辙叉角、可动心轨或更好的道岔形式。为保证车站工作人员和旅客的安全，站内线间距、线路与站台边缘间距应予以加大，并设置旅客防护栅栏。这些设施的设计参数应通过高速列车运行的轮轨动力学和空气动力学研究来确定。此外，还要求具备与高速服务水平相适应的站内交通和服务系统，如自动扶梯、行李运输、与其他交通工具的方便连接、良好的通讯系统等。

1.2.3 高速铁路对机车车辆系统的要求

（1）动力系统

高速列车需要很大的牵引力来克服与速度的平方成正比的空气阻力。在粘着铁路系统中，由于轮轨粘着条件的限制，牵引力的增加只能靠增大轴重或增加轴数来实现。这两种技术路线在世界高速铁路牵引动力技术发展中分别以动力集中的德国 ICE 和动力分散的日本新干线技术为代表。

集中式动力系统主要是靠增大轴重和尽量提高粘着系数来提高牵引力的。其优点是全列车动力系统相对集中，整列制造成本较低，维修工作量小。同时，因受电弓数量较少而对高速受流较为有利。轮轨粘着系数与轮轨材质和轮轨接触几何状态有关，在一定的技术水平下，轮轨粘着系数的提高是有限的，因此动力集中式高速列车功率的提高在相当大程度上需依靠

增大轴重来实现。德国 ICE 的轴重高达 19.5 t。

增加轴重虽然可以提高粘着功率，从而提高列车速度，但同时也加大了轮轨相互作用的动力响应。随着轴重和行车速度的增加，轮轨间的动力响应急剧增大，对列车运行的安全性、旅客舒适性将产生很大的不利影响，对轨道的破坏作用也急剧增大，导致很高的线路养护维修费用。为了克服上述弊端，需要在轮轨关系研究和车辆结构设计方面深入探索，研制低动力作用的轮轨系统。

以日本新干线为代表的分散式动力系统正是针对集中式动力系统的缺点进行改善而发展起来的。由于动轴较多，在不增大轴重的情况下，可大大提高列车总功率，从而实现更高的列车速度和更小的轮轨动力作用。同时，列车编组辆数也可以扩大，提高线路的输送能力。日本 300 系动车组的轴重可降至 11.3 t，行车速度可达 300 km/h，定员可达 1 323 人。而德国 ICE 轴重高达 19.5 t，但行车速度只有 280 km/h，定员不到 1 000 人。此外，分散式动力系统对轮轨粘着系数的技术要求不很高，相应地在一定程度上降低了粘着技术的复杂性。它的缺点是动车组的制造和维修工作量较大，相应的费用和维修时间比集中式动力系统有所增加。

目前,动力集中和动力分散式高速列车技术在世界高速铁路发展中均发挥了巨大的作用，德、法、意、英等国采用了集中式动力系统，日本则采用分散式动力系统，两种动力系统都积累了丰富的技术经验。根据有关部门组织的我国高速铁路前期研究，通过技术、经济、对外关系等方面的综合论证，已基本确定我国高速列车将采用集中式动力系统。为了克服该系统轴重大，动力响应大的缺点，需要开展大轴功率和大轴重条件下，低动力作用的高速列车/线路系统的研究。

（2）弓网关系

高速列车一般采用电力牵引，高速受流问题，即弓网关系，也是开发高速列车需要解决的问题之一。高速列车运行中需要由地面供电系统通过接触网经受电弓获得电能，牵引列车运行。这种受流方式只能依靠受电弓在接触网导线上滑动获得电流，因此，保持受电弓与接触网导线的良好接触，使列车能够持续稳定地获得电流是非常重要的。由于接触网的不平顺或受电弓的振动，会使受电弓与接触网导线瞬时分离，导致“离线”。一般用离线率（即受电弓离线时间与整个运行时间的比）来表示受流的质量。受电弓与接触网导线离线不仅恶化受流质量，还会使受电弓与接触网导线间产生电弧、增加噪声、电蚀接触网导线和受电弓滑板，从而降低接触网导线使用寿命。在振动中仍能保持良好的接触是高速列车受流所应该解决的问题。为保证受流质量，接触网导线的波动速度至少要大于 1.4 倍的列车速度。由于接触网导线是柔性悬链线，在受电弓抬升力的作用下，导线发生变形而出现波动，这种波动会沿接触网导线方向传递。提高接触网导线的波动速度，可用增加导线的张力和降低其线密度来实现。因此，高速铁路接触网导线必须具有高强度和低重量，并具有较好的平顺性。对高速列车来说，性能优良的受电弓是非常必要的。目前可用计算机数值模拟技术，对受电弓与接触网的振动进行模拟分析，优化选择受电弓与接触网的各种参数。

（3）转向架

高速列车走行性能极为重要，要求列车在有一定不平顺的线路上运行时，列车本身的振动和线路激扰的振动都要被衰减到一定水平以内，为满足这一要求，必须有性能优良的转向

架。为此，必须对转向架各悬挂参数进行优化设计。目前，利用计算机仿真技术，在计算机上对列车的运动进行模拟分析，通过改变转向架的悬挂参数得到不同的动力学指标，从而可以选取最佳的参数，并对其进行合理匹配，再在试验台上进行滚动试验，在线路上进行运行试验，以进一步验证。为使列车能高速平稳运行，对转向架的制造和组装精度要求非常严格。国外高速列车要求同一轮对左右滚动圆直径之差小于 0.2 mm，这种精度比一般列车高很多，所以必须要具有高水平的制造技术。目前，一些技术比较先进的国家已经能够制造出时速 300 km 以上，具有良好走行性能的高速转向架。

（4）车体

为抵消高速运行所产生的动力作用，降低高速列车的轴重（列车轻量化）非常必要。降低轴重对减轻地基的振动，减少线路的破坏和维修工作量等非常有效。同时，降低轴重还可以起到减少能耗的效果。降低轴重除可进行结构优化设计外，采用轻型材料也是非常有效的方法。目前高速列车车体采用的材料有耐候钢、不锈钢、铝合金等。在轻量化上不锈钢优于耐候钢，铝合金又优于不锈钢。在车体内装饰上，广泛采用玻璃纤维加强塑料（FRP）、聚胺脂等高分子复合材料，这些新材料的采用，大大降低了列车内装饰的重量。由于列车的高速运行，空气动力学问题在高速铁路中占有很重要的地位。因为空气阻力与运行速度的平方成正比，当列车以时速 300 km 运行时，其空气阻力约占列车全部阻力的 80%，所以高速列车头必须进行流线型设计，并考虑车体表面平滑化等减阻措施。同时，高速列车也必须考虑气密性与气密强度。高速列车的空调通风系统，要把车外新鲜空气提供给车内，当车外空气压力变化时，还要保持车内压力基本不变。列车在进人隧道后，车外压力变化很大并且很突然，给高速列车换气系统的设计制造带来了困难。目前国外高速列车在通过隧道时，采取关闭换气口，设置板簧压力保护装置和有源压力保护装置等措施，在高速运行条件下既能换气通风又能保持压力。为满足舒适度要求，不使乘客耳膜有不适感，高速列车对车厢内空气压力的变化幅度和变化率都有严格规定（一般要求压力变化率小于 300 Pa/s，最大变化幅值小于 1 000 Pa）。目前用空气动力学数值模拟与风洞试验相结合的方法，进行高速列车空气动力性能的研究和外型设计，并形成了一套较完整的高速列车空气动力学技术。

从应用的角度，高速列车的车体设计应满足下列要求：

• 为减少空气阻力，高速机车车辆的外壳流线型要求较高，车体底部应平整光滑，地板以下各种设备应完全隐蔽；车门台阶采用折叠式，列车运行时自动收叠，使车门与车体平齐，最大限度地减小空气阻力。

• 由于高速运行时车体受到较大的空气压力，故整个车体应该封闭。车门、车窗及车体等各部件均应经过压力试验。

• 为了保证高速列车旅行的舒适性，车厢的内部结构应从人机工程的角度研究合理的空间规划和人机环境。座椅的设计应能满足旅客不同坐姿时生理上的需要，如进餐、书写时要前倾，休息时能以不同角度后倾。为便于旅客与外部的联系，在列车上设置列车无线电话。在高级别车厢，要考虑旅客的商务工作条件，配置电源、网络设施等。

• 为使列车运行时的动力学指标能满足舒适性要求，必须对车体和转向架的结构参数进行精心优化设计，使车体与转向架、转向架与轮对间的悬挂参数得到最佳匹配，以获得平稳、舒适的动力学走行指标。

需要全本请访问 www.ertongbook.com