



高速铁路

土木工程

王其昌 主编

西南交通大学出版社

序

展望 21 世纪,铁路的环境和为旅客提供的服务项目将趋于多样化和高质量化,而保护地球环境也被人们视为社会的共同使命。作为公共交通工具的铁路,在社会中的重要性将显得更加明显。因此要求高速铁路运输在确保安全性的前提下,还必须进一步解决好速度、环保、舒适性、信息化、经济性及少维修、易维修等诸多问题,多方面、全方位地加强国际间的合作。在规划高速铁路路网时,还应考虑与城市轨道交通的联系,力求少花钱,多办事。改建既有线,修建快速新线,加快全面提高全国铁路干线的运行速度,形成以铁路为主干的综合运输体系。

当前,正值秦沈客运专线即将开始修建之际,以及京沪高速铁路也将修建的前夜,《高速铁路土木工程》一书的出版可以说是很及时的。它必将对我国铁路既有线提速、兴建新线发展高速起到科教兴路的重大推动作用。

本书是在沈阳铁路局举办的“高速铁路技术讲座”的基础上,加以充实扩展,并在很短的时间内编写出版的。在编写中,特邀了国内长期从事教学和科研工作、又学有专长和作风严谨的资深专家学者参加,共同协力成功地完成了这本目前国内尚不多见的、能综合反映现代高速铁路土木工程的科技专著,这是十分可喜的。相信本书的问世,一定能够为发展我国的铁路现代化和高速化作出跨世纪的有益贡献。

是为序。

铁道部高速办



沈阳铁路局



1999 年 9 月

前 言

快速、可靠、舒适、信息、经济及环境的良好兼容是高速铁路的基本特征。世界上许多国家都在修建新线或改建既有线以发展高速铁路运输。

在我国，修建第一条时速 200 公里以上的秦沈客运专线已迫在眉睫，京沪高速铁路的修建也指日可待。这将揭开我国发展高速铁路的序幕，掀起研讨高速铁路的热潮，追踪世界铁路先进技术，推动科教兴路。

本书的编写正是在这一历史背景下应运而生的。本书集国内外发展高速铁路土木工程的成功经验及现今有关铁路工务工程的最新研究成果，并结合我国即建的秦沈客运专线和拟建的京沪高速铁路的实际情况，着重介绍高速铁路线路、轨道、路基、桥梁和隧道等方面有关工程结构、设计、标准、施工、维护和管理等内容。本书内涵丰富，论述翔实，既有理论探讨，也涉及发展动向，并且具有较强的实践性和参考价值。期望本书能为从事铁道土木工程设计、施工和维护的工程技术人员提供高速铁路的知识基础。

全书共五篇三十章，由西南交通大学王其昌主编。参加编写的有：西南交通大学郑疆（第一篇第一～四章）、铁道部科学研究院曾树谷（第二篇第一章）、西南交通大学王其昌（第二篇第二、六～八章）、西南交通大学陆银根（第二篇第三章）、铁道部科学研究院卢耀荣（第二篇第四章）、铁道建筑研究设计院肖作声（第二篇第五章）、铁道部科学研究院朱开明、张格明（第二篇第七章）、西南交通大学翟婉明（第二篇第二章第五节、第九章）、西南交通大学罗强（第三篇第一～五章）、西南交通大学强士中、李小珍（第四篇第一～六章）、西南交通大学蔡成标（第四篇第五章第五节）、西南交通大学关宝树（第五篇第一～六章）。

本书由于成书时间十分紧迫，又限于编者的水平，缺点和错误在所难免，恳请读者批评和指正。

编 者

1999 年 8 月于四川·成都

目 录

第一篇 高速铁路导论

第一章 世界高速铁路	2
第一节 发展概况	2
第二节 发展前景	5
第三节 高速铁路的技术经济概况	8
第二章 中国需要发展高速铁路	15
第一节 对我国经济发展作用重大	16
第二节 可以形成以铁路为骨干的综合运输体系	16
第三节 铁路本身的方案论证	16
第三章 京沪高速铁路	18
第一节 线路走向	18
第二节 运输模式	19
第三节 速度目标值	20
第四节 机车车辆与牵引模式	21
第五节 线路标准	24
第六节 工程造价	26
第四章 秦沈客运专线	29
第一节 本通道客货运量预测	29
第二节 客运专线的主要技术标准	30
第三节 行车组织	30
第四节 工程概况	30
参考文献	32

第二篇 高速铁路轨道工程

第一章 高速铁路有砟轨道结构	33
第一节 高速铁路有砟轨道结构必备的性能	33
第二节 高速铁路有砟轨道的设计荷载	34
第三节 钢 轨	36
第四节 混凝土轨枕	39
第五节 扣 件	40
第六节 道 床	41

第七节 有碴桥上的道床厚度	47
第二章 高速铁路无碴轨道结构	50
第一节 国外铁路无碴轨道结构	50
第二节 我国铁路无碴轨道结构	60
第三节 无碴轨道弹性地基叠合梁算法	71
第四节 板式轨道有限元算法	83
第五节 高速铁路板式轨道结构动力特性	91
第三章 高速铁路道岔	97
第一节 概 述	97
第二节 高速铁路道岔的基本要求和主要条件	97
第三节 高速铁路道岔的分类和发展趋势	99
第四节 高速铁路道岔的基本参数	99
第五节 高速铁路道岔的平面结构特征	101
第六节 高速铁路道岔基本参数的选择及高速道岔总图计算	103
第七节 我国铁路的提速道岔	118
第八节 60 kg/m 钢轨 18°高速道岔	125
第九节 60 kg/m 钢轨 30°高速道岔	126
第十节 75 kg/m 钢轨道岔	127
第十一节 60 kg/m 钢轨 12°提速道岔的铺设与养护	129
第四章 高速铁路无缝线路	134
第一节 无缝线路结构类型	134
第二节 超长无缝线路	135
第三节 道岔焊联	141
第四节 桥上无缝线路	147
第五节 无缝线路一次铺设	151
第五章 高速铁路有碴轨道的施工	156
第一节 高速铁路有碴轨道线路的铺设作业程序	156
第二节 高速铁路有碴轨道道床的铺设方法	160
第三节 高速铁路有碴轨道焊接轨的铺设方法	171
第六章 板式轨道的施工	186
第一节 概 述	186
第二节 施工方法和施工程序	186
第三节 板式轨道的施工	192
第四节 施工机械与器具	240
第七章 高速铁路轨道的维修管理	251
第一节 高速铁路轨道维修管理的基本原理	251
第二节 高速铁路轨道不平顺的影响	256

第三节	高速铁路轨道不平顺的检测	261
第四节	高速铁路轨道不平顺的评定方法	263
第五节	高速铁路轨道维修管理的基本目标及管理标准	266
第八章	板式轨道的维修与管理	271
第一节	概 述	271
第二节	板式轨道的维护标准	271
第三节	板式轨道的检查	273
第四节	板式轨道开通前的检查与维护	274
第五节	板式轨道的补修	275
第六节	板式轨道的整正作业	277
第九章	高速铁路轨道动力学新理论及其应用	280
第一节	车辆—轨道耦合动力学理论的基本思想	280
第二节	车辆—轨道耦合动力学理论模型及仿真	281
第三节	高速铁路轨道结构动力特性	285
第四节	高速铁路轨道结构减振设计	290
参考文献		293

第三篇 高速铁路路基工程

第一章	高速铁路路基工程的特点	297
第二章	路基设计荷载与基床结构	301
第一节	路基设计荷载	301
第二节	基床的动力特性与基床表层厚度的确定	309
第三节	基床结构	312
第三章	路基的变形与控制标准	317
第一节	列车行驶时路基面的弹性变形	317
第二节	运营阶段由行车引起的基床累积下沉	322
第三节	路基填土的压密下沉	324
第四章	路桥过渡段主要技术标准与结构设计	329
第一节	国内外路桥过渡段的处理原则与方法	329
第二节	满足高速行车安全舒适的过渡段不平顺控制标准	334
第三节	路桥过渡段的主要技术条件(标准)与设计	336
第五章	软土地基处理	341
第一节	在软土地基上修筑高速铁路的几个土工问题	341
第二节	适应软土工程特性的地基原位测试技术	343
第三节	软土的结构性及其对路基变形的影响	346
第四节	地基加固方案的合理选择	351

第五节 提高沉降计算可靠性的方法	355
第六节 路堤沉降动态控制技术	359
参考文献	363

第四篇 高速铁路桥梁工程

第一章 绪 论	364
第一节 高速铁路与高速铁路桥梁	364
第二节 高速铁路桥梁的特点	366
第二章 高速铁路桥梁设计参数	369
第一节 设计荷载	369
第二节 冲击系数	376
第三节 纵向力	382
第四节 桥梁刚度	386
第五节 结构变形限值	397
第三章 高速铁路桥梁合理结构型式	398
第一节 概 述	398
第二节 国外高速铁路桥梁结构型式	398
第三节 高速铁路桥梁合理结构型式	408
第四章 高速铁路桥梁设计与施工	420
第一节 高速铁路桥梁的设计	420
第二节 高速铁路桥梁的施工	427
第五章 车桥耦合振动	430
第一节 车桥振动研究历史回顾	430
第二节 车桥振动研究现状	433
第三节 车桥耦合振动理论简介	436
第四节 行车安全性与舒适性评价指标	467
第五节 高架桥上无碴轨道动力学特性	478
第六章 高速铁路桥梁实例	490
第一节 日本的高速铁路桥梁	490
第二节 德国的高速铁路桥梁	501
第三节 法国的高速铁路桥梁	504
第四节 其它国家的高速铁路桥梁	504
参考文献	507

第五篇 高速铁路隧道工程

第一章 概 述	510
第二章 高速铁路的隧道—列车空气动力学问题	512

第三章 高速列车运行时的舒适度	516
第四章 堵塞比及隧道横断面	517
第一节 堵塞比概念	517
第二节 高速铁路隧道断面的实态	518
第三节 隧道横断面的构成	522
第四节 单洞双线断面和双洞单线断面的比选	523
第五章 减少微压波的技术措施	525
第一节 洞口缓冲段结构	525
第二节 其它降低微压波的措施	530
第六章 高速铁路隧道的维修养护管理	532
参考文献	533

第一篇 高速铁路导论

速度高低是一个具有时间性的相对概念，不同的历史时期具有不同的科技水平和技术装备，形成了该时期速度高低的标准。1825年英国建成世界第一条公用铁路，五年后的1830年，在这条铁路（利物浦至曼彻斯特）上，举行了火车速度比赛，斯蒂文森父子制造的“火箭号”蒸汽机车取得了冠军，“火箭号”形容其速度之高、快如火箭，但仅拉了17 t重的车辆，平均速度虽仅22 km/h，但要比当时马拉车在木轨上行驶快得多。又如1948年我国在沪宁线上也开行过称之为“飞快”的列车，用蒸汽机车牵引8节客车，全程运行5 h，旅行速度达到60 km/h，这在当时已经是中国的了不起的速度了，故名为“飞快”列车。

速度是现代交通运输的命脉。150多年的铁路发展史就是速度不断提高的历史。世界各个国家的铁路总是不断利用其先进技术，在试运行中探索提高速度的可能性，以便为正规运营提高速度积累经验。英法两国在19世纪末就先后用蒸汽机车创造了145 km/h、144 km/h的试验速度，美国1893年在纽约中央铁路创造了181 km/h的试验速度；1903年德国用电力机车创造了210 km/h的试验速度，1931年用内燃动车组在柏林至汉堡作高速试验，最高速度达230 km/h，平均速度达154 km/h；1939年意大利在佛罗伦萨至米兰314.5 km距离内，用电动车组试验，平均速度达到164 km/h的水平。

第二次世界大战后，民用航空和高速公路的发展，更促使铁路努力探索提高速度。1955年3月28日法国用一台电力机车牵引三节客车进行高速试验，最高瞬时速度两次达到331 km/h；1981年法国用TGV-PSE电动车组创造了381 km/h的纪录；1988年德国ICE电动车组又创造了406.9 km/h的纪录；1990年5月法国用TGV-A创造了515.3 km/h的更高纪录。1993年12月日本在上越新干线用STAR21型电动车组曾达到425 km/h的速度。1996年3月日本300X系高速试验列车最高试验运行速度达到443 km/h。这些试验速度纪录虽然要到若干年后才能在正规运营中实现，但也充分说明了世界铁路努力攀登速度高峰的趋向。

高速行车是铁路现代化的重要标志，行车速度指的是正规运营中实现的速度，而不是试验速度。目前世界上比较一致的看法是最高速度达到200 km/h以上、旅行速度超过150 km/h时称为高速；最高速度为140~160 km/h时称为快速；最高速度为120 km/h时称为常速。我国把最高速度达到160 km/h（如广深线）时称为准高速，把最高速度达到140 km/h的称为快速。

第一章 世界高速铁路

第一节 发展概况

一、第一次世界大战前

第一次世界大战（1914～1918年）前，多数资本主义国家的铁路正处于发展阶段，忙于修建新线；路网基本建成的英美两国，铁路公司之间为了提高声誉吸引旅客，已开始用提高速度进行竞争。

英国西海岸与东海岸铁路间，在持续八年的速度竞争中，于1895年8月，西海岸铁路由伦敦至亚伯丁，距离为868 km，用蒸汽机车牵引总重70 t的客车，途中停站三次，运行8小时32分，平均直达速度达101.6 km/h；东海岸铁路由伦敦至亚伯丁，距离为842 km，用蒸汽机车牵引总重105 t的客车，运行8小时40分，平均直达速度97 km/h。1902年美国纽约中央铁路和宾州铁路，在纽约至芝加哥的平行干线上展开竞争，都规定全程运行24 h；前者走行1550 km，平均直达速度为64.5 km/h，后者走行1460 km，平均直达速度为61.0 km/h。

蒸汽机车运行五六十公里后，都需要停站给水；英美两国的铁路公司为了减少停站次数，都曾采用水槽给水，机车在行进中放下挡板将轨道中间水槽中的水铲入机车，英国还曾采用两列车同速并行，进行不停车的邮包装卸。可以看出，在当时技术装备落后的条件下，为了提高速度进行竞争，铁路公司的确挖掘了所有潜力。

二、两次世界大战之间

第一次世界大战中，西欧各国的铁路行车速度受战争影响停止发展或有所降低；战后在30年代，由于内燃牵引的采用和铁路公司间的竞争，铁路行车速度又一次大幅度提高。

蒸汽机车牵引的铁路，30年代中期，美国圣太菲铁路公司在南方干线上，曾在325.9 km的距离内达到134.8 km/h的平均速度；1936年德国在柏林汉堡间曾达到200 km/h的最高速度；1928年伦敦东北铁路的苏格兰飞人号曾创造了由伦敦到爱丁堡630 km不停车运行的纪录，直到1958年英国每天还有26趟蒸汽机车牵引的列车利用水槽上水，在360 km～480 km间不停车运行。

内燃机车牵引的铁路，1934年美国中央太平洋铁路由内燃机车牵引五节客车，最高速度达193 km/h，在204 km距离内平均速度达148 km/h；德国的内燃动车组在柏林—汉诺威—哈姆间，最高速度达160 km/h，平均速度为132 km/h～134 km/h。

三、第二次世界大战后

第二次世界大战期间，欧洲各国铁路受到战争破坏，行车速度大幅度降低，直到50年代中期，行车速度才恢复到战前水平。最高速度一般为140 km/h左右，个别达到160 km/h；至于旅行速度，少数电力、内燃牵引的列车，法国、西德、美国达到135 km/h左右，英国、意大利达到120 km/h左右；蒸汽牵引的列车达到110 km/h。

第二次世界大战后，汽车和飞机制造业发展很快，高速公路和民用航空逐渐兴起；铁路运输业客货运量日减，营业亏损，一度被称为“夕阳产业”。“山穷水尽疑无路，柳暗花明又一村”，高速铁路就是为了和高速公路、民用航空竞争，才逐步发展起来的。

日本在美国侵略朝鲜的战争中，成为美军的后方基地，发了战争财；在 50 年代后期筹建高速铁路，1964 年 10 月东京到新大阪，长度为 515 km 的东海道新干线通车。初期最高速度仅 200 km/h，旅行速度为 129 km/h；1965 年 11 月起，光号列车最高速度达 210 km/h，中间停站两次，旅行时间为 3 小时 10 分，旅行速度为 162.8 km/h。由东京到名古屋和大阪，市中心间的旅途时间铁路和航空差不多，而铁路票价较低，发车间隔时间短，大批旅客由航空吸引到铁路上来，航空过去每小时一班，当时曾几乎停运。铁路客运量迅猛增加，新干线盈利逐年加多，运营初期，每天开行 30 对旅客列车、运送 6 万旅客，铁路还有亏损；1970 年客运量达 8 400 万人，利润为 164 亿日元（折合人民币 1.11 亿元）；1975 年每天开行 132 对旅客列车，运送 43 万旅客，年客运量达 1.57 亿人，利润高达 1 818 亿日元（折合人民币 12.35 亿元）。日本东海道新干线的建成运营，为世界铁路摆脱困境，开辟了修建高速铁路的发展道路。世界各国纷纷效尤，高速铁路方兴未艾，发展前景十分广阔。

日本的高速铁路发展很快，1975 年建成了 554 km 由大阪至博多（福岡）的山阳新干线，1982 年建成了 270 km 由大宫至新潟的上越新干线，1985 年建成了 493 km 由上野至盛冈的东北新干线。包括山阳新干线共四条，总长度达 1836 km，四条高速线相互衔接。采用电动车组，最高速度已逐步提高到 220 km/h~275 km/h。1973 年日本曾拟定规划，准备再修建五条高速铁路，总长度达 1 440 km，包括由盛冈到青森东北新干线延伸线 175 km、青森至札幌的北海道新干线 282 km、由高崎经长野至大阪的北陆新干线 594 km 和博多至鹿儿岛 249 km、博多至长崎 140 km 的九州新干线，如图 1.1.1 所示。以后因世界石油危机、物价上涨、控制通货膨胀等原因，建设推迟、计划有所调整。北陆新干线高崎长野段已建成通车。

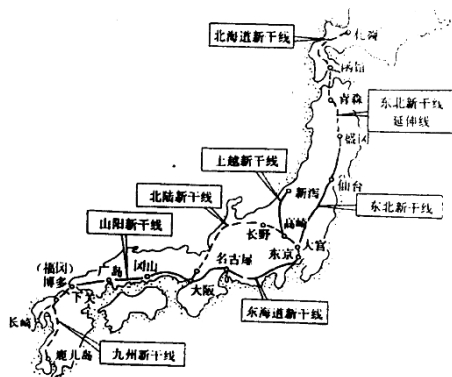


图 1.1.1 日本高速新干线

法国的高速技术比较成熟，力图在最高速度上超过日本，以最高速度 270 km/h 为目标，于 1983 年建成巴黎至里昂 417 km 的东南干线，于 1990 年建成巴黎至勒芒和图尔总长 282 km 的大西洋干线，于 1993 年建成巴黎—里尔—加莱 333 km 的北部干线，1994 年又将东南干线延伸至瓦朗斯，长 121 km，1996 年建成了巴黎环线长 104 km，共建成高速铁路 1257 km。在高速线上开行 TGV 列车，最高速度已达 270 km/h~300 km/h；TGV 列车还延伸运行于普通干线，以方便旅客减少换乘。高速铁路投入运营后，都吸引了大量客流，相同方向上的民用航空和高速公路的客流，都有不同程度的减少；因之财务状况良好，东南干线和大西洋干线的利润率约为 40%、20%。法国的高速铁路如图 1.1.2 所示。

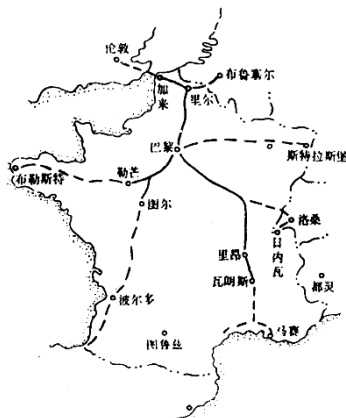


图 1.1.2 法国高速铁路

德国 1991 年已建成汉诺威至维尔茨堡 327 km 和曼海姆至斯图加特 99 km 的两条客货共线的高速铁路；正在建设的还有汉诺威至柏林 264 km 和科隆至法兰克福 216 km 两条高速线。高速铁路上开行 ICE 列车，最高速度达到 250 km/h~280 km/h。

1973 年国际铁路联盟公布了欧洲高速铁路建设指导性计划，提出把各国的高速铁路联接起来。路网总长度为 40 000 km，共包括 22 条干线，有的改建、有的新建。意大利 1992 年已建成罗马至佛罗伦萨 262 km 的高速铁路，并正在修建罗马至那不波利 220 km 的高速铁路，最高速度为 250 km/h、300 km/h。西班牙 1992 年已建成马德里至塞维利亚 471 km 的高速铁路，并正在修建马德里至巴塞罗那 605 km 的高速铁路，最高速度为 300 km/h。英国、比利时、俄罗斯等国都计划兴修时速 250 km 以上的高速铁路。

亚洲韩国正在修建汉城至釜山 409 km，最高速度为 300 km/h 的高速铁路。我国的台湾省也将开工兴修台北至高雄 340 km、设计速度 350 km/h 的高速铁路。一向对高速铁路不太积极的美国铁路客运公司 (Amtrak) 也于 1996 年 3 月郑重宣布，要在华盛顿

一纽约一波士顿的东北走廊干线上，购买高速动车组和电力机车，以实现 240 km/h 的最高速度。

目前世界上已建成的高速铁路约 4 300 km，时速达到 200 km/h 以上的铁路已超过一万公里。高速行车的铁路可概括为三种类型。一为客运专线型，如日本、法国的高速铁路；二为客货共线型，如德国和意大利的高速铁路；三为客货共线摆式列车型，是在既有铁路上开行摆式列车以实现高速，瑞典、意大利、西班牙、英国、日本等国的部分干线采用了这种运行方式。

第二节 发展前景

一、高速铁路的经济速度

经济速度就是高速铁路盈利最高的速度。西欧各国在筹建高速铁路之初，都对其经济速度进行过研究。因为速度提高，一方面可以吸引更多客流，增加运营收入；但另一方面要增加投资，且成本上升，票价也要相应提高，又成为制约客流的不利因素；其中必然有一种速度可使铁路盈利最好，这个速度就称为经济速度。

提高速度可以节省旅途时间，但速度越高，因停车而增加的加减速附加时分就越长，所能节省的旅行时间相对减少，图 1.1.3 是法国东南干线的研究结果， Δt 为最高时速每提高 50 km 所能节省的旅途时分。

最高时速增大，因旅行时间缩短所创造的价值可用旅途节省的旅客小时数乘以平均工时价值衡量，同时因旅行时间缩短，可吸引更多旅客乘车，从而增加铁路的收入和盈利。

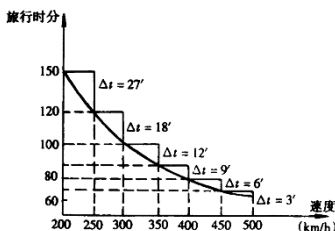


图 1.1.3 最高速度与旅行时分关系曲线

但最高时速增大，则建筑标准要提高，技术装备要改进，这必然使铁路投资增加，同时，在运营中对线路和机辆的维修质量要提高，且大量的能量消耗于空气阻力，这又必然使运营费用增加，运输成本提高。

70 年代前后，西欧各国根据本国的具体情况，研究出基本接近、但有所出入的各自国家的经济速度。英国为 230 km/h，法国为 280 km/h~300 km/h，联邦德国为 270 km/h。国际铁路联盟 (International Union of Railways) 的研究结果则是 300 km/h。经济速度对各个国家拟定其高速铁路的最高时速有指导作用，一般最高速度都要略高于经济速度。

二、粘着铁路的极限速度

借助轮轨间的粘着作用而产生牵引力的铁路，可能实现的最高速度称为极限速度。因牵引力受轮轨粘着条件的限制，牵引力与机车（或动车组）粘着重量的比值不能大于轮轨间的粘着系数，而粘着系数则随速度的提高而降低。70 年代研究，当速度提高到 300 km/h 以上时，粘着系数可能降低到 0.03~0.05。也就是说机车（或动车组）能产生的最大

牵引力, 仅为其本身重量的 3%~5%。同时, 当速度提高时, 空气阻力加大, 其值与速度平方成正比。据西德研究, 当速度达 300 km/h 以上时, 空气阻力要消耗机车功率 95% 左右。所以当速度提高时, 牵引力逐步减小, 而阻力逐步增大, 当两者相等时, 速度就不能再提高了, 此时的速度即称为极限速度, 如图 1.1.4 所示。

国外早期研究, 一般认为粘着铁路的极限速度约为 350 km/h。但是随着机车转向架构造的改善, 并采用交流电机驱动, 以及轨道结构的加强和轮轨材质的提高, 粘着系数可以增大; 随着高速列车流线型程度的提高, 空气阻力也可相应减小; 极限速度也会随着科学技术的进步而有所增大。

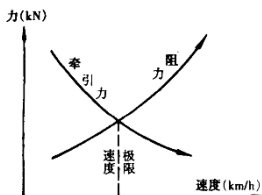


图 1.1.4 极限速度示意图

三、气垫车

地面运输的最高速度要达到 500 km/h 左右, 粘着铁路很难实现, 就需要研制新的运输工具, 本世纪六七十年代, 最早着手研制的就是气垫车。

气垫车一般用燃气轮作动力, 产生高压喷气, 在导轨与车辆间形成气垫使车辆浮起, 并用喷气机驱动车辆前进, 英法两国研制十年, 制成了试验车。法国试验的飞行列车, 车长 26 m, 质量 20 t, 可载客 80 人, 用 530 kW (720 马力) 的燃气轮机产生气垫, 用 2×956 kW (2×1300 马力) 的动力驱动, 在 18 km 长的高架轨道试验线上试运转时, 最高时速达 422 km。1974 年能源危机时, 为了紧缩开支, 且因喷气机污染环境、噪音太大, 取消了研究计划。

前苏联、美国都曾对气垫车进行过研究, 未取得显著成就, 后亦停顿。70 年代起, 世界技术先进国家, 都先后停止了气垫车的进一步探索, 而转为磁浮车的研究。

四、磁浮车

磁浮车有两种类型, 一为常导体吸引式磁浮车, 一为超导体排斥式磁浮车, 两种磁浮技术都渐臻成熟。

(一) 常导体吸引式磁浮车

常导磁浮车的车辆跨座在导轨之上, 车上安装集电设备, 向悬浮电磁铁供电, 轨枕相应部位装有导轨, 与电磁铁形成磁回路, 利用磁场的吸引力将车辆吸起 10 mm 左右, 并利用线性电动机驱动车辆前进。这种磁浮车需要外部供电, 因之速度受到一定制约。

美国 1974 年 8 月曾在普通轨道中心加铺铝感应轨, 用线性电动机驱动, 启动时用喷气机驱动, 最高时速达 410 km。日本 1997 年在 1.3 km 长的试验线上曾实现 150 km 的时速。

英国伯明翰在机场到铁路车站间的 0.4 km 距离内, 曾建成了磁浮高架线路, 并正式投入商业运行。由于距离太短, 最高时速限制为 50 km, 全程需时 1.5 小时。每辆车载客 40 人, 每小时可运送旅客 1500 人。

德国早期采用向磁浮车供电方式，1979 年在汉堡世界交通博览会上，曾进行磁浮车载人运行表演。1983 年后，改用向铺设在轨道上的长定子供电方式，使行车速度不再受供电电流制约，1988 年在试验线上创造出 412.6 km/h 的最高速度。1997 年 5 月决定修建柏林汉堡间 285 km 的磁浮线，计划 1999 年开工，2005 年建成，最高速度为 450 km/h~500 km/h，投资约 57 亿美元。

我国西南交通大学经过多年研究，于 90 年代初试制出载人的磁浮车，1997 年与四川省合作，准备在都江堰市青城山下修建 2.0 km 长的常导磁浮线，采用单线高架结构，最大坡度为 60‰，平均坡度约 30‰，最小曲线半径为 300 m，磁浮车构造速度为 100 km/h，运行最高速度为 60 km/h，远期按三辆车联挂运行。1998 年已进入实施阶段。图 1.1.5 为磁浮车与梁部尺寸，图 1.1.6 为磁浮车外型。

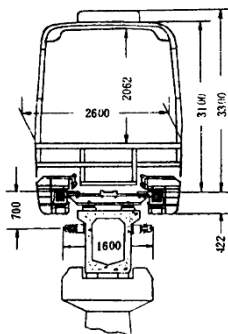


图 1.1.5



图 1.1.6 西南交通大学研制的磁浮车外型

(二) 超导体相斥式磁浮车

超导磁浮车的车辆跨座在轨道上，车上装置超导电磁线圈，超导体线圈一般由铌钛合金制成，浸入 -268.8°C 的氮溶液中，线圈电阻即接近于零，一旦有电流通过，即可保持一直通电，不再需要供电。车下导轨相应部位也安装线圈，当车辆通过时，导轨上的线圈产生感应电流，出现磁场，超导体线圈的磁场与导轨上线圈的磁场产生相斥力，可使车辆浮起 100 mm 左右。适合于高速运行。驱动车辆前进仍采用线性电动机。

日本 1979 年 12 月在宫崎县 7 km 长的试验线上，实现了 517 km 的最高时速，持续时间 5 sec，运行距离 0.7 km，其余 6.3 km 用于加减速。试验车长 13.5 m，宽 3.8 m，高 2.7 m，质量约 10 t，磁浮力为 100 kN，驱动力为 44 kN，每吨车辆具有 4 400 N 之推力。1980 年又对磁浮车的车型和导轨进行改进，1982 年开始在宫崎县试验线上进行载人运行，最高时速达 262 km，1987 年 2 月最高时速达 375 km 和 408 km，日本磁浮车技术已接近实用阶段。

日本计划修建东京大阪间最高时速 500 km 的磁浮干线,估计造价不会高于新干线,而能耗仅为飞机的 60%。于是又计划在山梨县修建 42.8 km 新的试验线^①,1996 年已建成 18.4 km,其中隧道总长 16 km;最小曲线半径为 8 000 m,最大坡度为 40‰,复线线间距为 5.8 m。制造了 MLX-01 号超导磁浮列车,两端头车长 28 m,中间车一辆长 21.6 m,列车宽 2.8 m,高 2.65 m,长度为 77.6 m,重量为 80 t,可载客 146 人。为了减轻重量,车体采用铝合金的筒形结构,具有流线形外形、客车密闭。1997 年 12 月试验,最高试验速度达到 530 km/h。当速度小于 100 km/h 时,用胶轮支承车体运行,速度大于 100 km/h,车体浮起与轨道保持 100 mm 间隙,停车时将胶轮放下,利用盘形制动使列车停止。

五、管道磁浮

地面高速运输要克服巨大的空气阻力,当速度超过 500 km/h 后,空气阻力非常大,所以产生了真空管道磁浮线路的设想。据说将磁浮车系统置于空气稀薄的管道中,时速就几乎可以无限制地提高。美国兰德公司设想一种管道高速运输系统,预计在 21 世纪有可能成为现实。

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 3 950 km 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,悬浮力和驱动力都由超导电磁形成,据说时速可达 22 500 km,这个速度实际受 3 950 km 加速与减速距离限制,3 950 km 的一半用于加速,一半用于减速,中间速度最高为 22 500 km/h。即令采用中速 13 000 km/h,平均速度为 6 750 km/h,由纽约到洛杉矶也只要 36 分 30 秒的旅行时间。

隧道当然不宜转弯,转弯时曲线半径要达到 700 km~800 km。80 年代估算,隧道造价要 1 850 亿美元,包括磁浮系统总投资约需 2 500 亿美元。

第三节 高速铁路的技术经济概况

一、高速铁路的优越性

高速铁路具有运能大、速度快、能耗省、污染小、占地少、安全性高、经济效益好等优点,和高速公路、民用航空对比,特征如下。

(1) 运能大。高速客运专线双向年输送能力可达 1.2 亿人以上:日本东海道新干线 1975 年运送旅客达 1.57 亿人。

(2) 速度快。高速铁路的旅行速度约为高速公路的 2~3 倍。从节省旅途时间角度看,高速铁路的经济距离约在 200 km~1 000 km 之间。国外研究,若高速铁路的最高速度达 250 km/h~300 km/h,各种运输方式的旅途时间包括市内交通所用时间在内,则高速铁路与长途汽车比,优势距离大于 85 km;与小汽车比优势距离大于 200 km,与民用航空比,优势距离小于 1 000 km。

(3) 能耗省。据日本统计,每人公里的能耗量,普通铁路:高速铁路:长途汽车:小汽车:民用航空为 1:1.42:1.45:8.2:7.44;高速铁路:长途汽车:小汽车:民用航空为 1:1.02:5.77:5.23;高速铁路仅为小汽车和民用航空的五、六分之一。

^① 参照李红,李中浩“日本山梨磁浮铁路试验线进展及技术特点”(《中国铁路》1997 年 10 月)一文摘编。

(4) 污染小。交通运输污染环境主要是废气和噪声,高速铁路若采用电力牵引,没有废气污染;噪声污染因仅为一条线,波及范围不大,还可修建隔音墙、减少危害程度。汽车与飞机的噪声波及范围大,高速公路的废气更是社会的一大公害。

(5) 占地少。四车道的高速公路路面宽 26 m,一个立交桥占地 200 亩左右,而高速铁路路基面宽度仅 13.0 m 左右,仅为高速公路的一半。一个大型飞机场,包括跑道、滑行道、停机坪、候机大楼及其他设施,要占地 20 km²左右,面积很大又多为市郊良田。

(6) 安全性高。德国统计,每百万人公里的伤亡人数比例,高速铁路为 1 时,公路为 24,航空为 0.8;日本的新干线安全性高,其事故率仅为公路的 1/1570,为航空的 1/63。同时高速铁路舒适性最好,最为准时,风雨无阻不受天气影响,而民航则受大雾雷雨等天气影响。

(7) 经济效益好。高速铁路的造价低于高速公路,完成相同的旅客周转量,高速铁路的机车车辆购置费远低于小汽车的购置费。

高速铁路的票价,一般仅为飞机的 2/3 左右,比小汽车的费用低得多;因其旅行速度高,票价一般均略高于长途汽车票价。

高速铁路能吸引大量客流,经济效益都比较高,日本东海道新干线和法国东南干线都是运营不到十年,所获盈利就超过了包括借贷资金利息在内的全部投资。

根据国际铁路协会(IRCA)和国际铁路联盟(UIV)研究,就欧洲而言,在既有线客、货能力已经饱和的条件下,双向年客运量达到和超过 1000 万人时,修建高速客运专线是有利的。根据德、法、比利时三国研究,在既有能力饱和的条件下,当双向年客运量大于 500 万人时,修建客货共线的高速铁路是有利的。

至于如何有效地利用铁路运力,发挥最大投资效益,法国的高速列车是按满座率为 70%计算效益的,而德国则认为满座率达到 50%即可赢利。他们是从保证有票可买,从旅客乘车方便的角度考虑问题,而不像我国在运能紧张的前提下,仅从能把旅客运走就算完成运输任务的角度考虑,而不能更多地照顾到旅客的方便和舒适。

二、高速铁路的技术条件

世界几条主要高速铁路的技术条件如表 1.1.1 所列。其中最大坡度、最小曲线半径和线间距离的拟定,需要加以说明。

(一) 最大坡度

法国东南干线通过丘陵地区,采用了 35‰ 的最大坡度 12 处,但长度均较短;全线无隧道,桥梁长度仅占 1.2%,工程量不大,造价是高速铁路中最低的。设计思路是 TGV 列车的总功率较大,可以利用列车在坡脚的动能,配合机车的牵引力,以较高速度冲上坡顶,下坡时又可利用列车动能很快加速,不致过多地增大运行时分,但可取得大量节省工程的效果;经测算,若坡脚速度为 260 km/h,则冲上拔起高度 122 m 的坡顶,即采用 3.5 km 长的 35‰ 坡度,坡顶速度为 220 km/h,运行时间仅比维持 260 km/h 等速运行多用 4 秒钟。这个思路很有启示,如日本东海道新干线设计时,为了不致引起货物列车的机车电机过热,采用了 15‰ 的最大坡度、持续长度不超过 7 km,坡度为 20‰ 时、长度不超过 1 km。以后借鉴法国经验修建的北陆新干线,虽然最大坡度仍按高速旅客列车运行需要定为 15‰,但在一段 20 km 长的距离内,采用了 30‰ 的坡度;九州新干线准备采用 38‰ 的坡度。