

GAOSU
TIELU YU
BAISHI
LIECHE

高速铁路与摆式列车

季 令 叶玉玲 主编

中国铁道出版社

高速铁路与摆式列车

季 令 叶玉玲 主编
夏寅荪 主审

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 1 年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书在介绍国外高速铁路发展的基础上,通过对日、法、德等国家高速铁路的技术比较,概要介绍了高速铁路对固定设备的要求,日、法、德高速动车组和磁悬浮列车的情况,重点介绍了摆式列车车体的原理、结构、种类以及意大利、瑞典、西班牙、德国、英国的摆式车体实际应用情况及主要参数,并对摆式车体作了技术可靠性和经济效益分析,同时提出摆式车体发展的战略以及我国开行摆式列车的策略。

本书可供从事交通运输专业的工程设计、运输规划管理等人员参考,并可作为高等院校交通运输专业研究生、本科生的教学及参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路与摆式列车/季令,叶玉玲主编. -北京:中国铁道出版社,2001.2
ISBN 7-113-04013-6

I. 高… II. ①季…②叶… III. ①高速铁路②摆式车体-列车 IV. U292.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 81408 号

书 名:高速铁路与摆式列车

作 者:季 令 叶玉玲

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑:金 锋

封面设计:李艳阳

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×960 1/16 印张:7 字数:136 千

版 本:2001 年 2 月第 1 版 2001 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN-7-113-04013-6/U·1101

定 价:14.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

序


当今世界的铁路,提高列车运行速度是一项共同追求的课题。就具体措施而言,有对既有线进行适当维护和改造,选用相匹配的机车、车辆(或动车组)使列车速度在原有基础上提高的;有修建新的高速铁路,而使列车速度跨入一个新的水平的;也有在既有线上开行摆式列车,使速度有一定幅度提高的。实际上在漫长的历史进程中,每个国家、各条线路都在根据各自的条件,在不断攀登列车速度的新高峰。

在我国发展高速铁路和在既有线上采用摆式车体,是近来人们通常议论的话题。本书参考了许多国内外学者的研究成果,并通过计算机网络收集到的资料,进行了整理编写,可供交通运输科技、教育工作者参阅,也可供有关领导决策参考。

本书以高速铁路发展简论为开端,介绍了高速铁路的定义,速度目标值以及许多人关心的若干高速问题,并以相当大的篇幅,详细介绍了各国关于采用各种摆式列车提高旅客列车速度的情况。

目前,已有十几个国家在既有线成功地开行了摆式列车,提高了旅客列车的运行速度,他们的成功范例为其他地区提供了一个借鉴。我们要学习国外交通领域的高科技成果,并用它来造福于社会,让人民受益。

20世纪90年代,我国铁路3次大提速受到了社会的普遍欢迎,广大旅客期望铁路进一步提速和早日建设高速铁路,本书就为读者全面了解世界高速铁路发展情况和技术内涵,如何进一步在我国既有线提速提供了机会。我期望读者对高速铁路和摆式列车有一个客观和全面的认识,相信通过大家共同努力,我国铁路必将更快地缩短与世界水平的差距,走向新的辉煌。



2001.1.9

目 录

1	高速铁路发展简论	1
1.1	概 述	1
1.2	高速铁路定义	4
1.3	高速铁路动力	5
1.4	高速铁路技术比较	7
2	高速铁路的速度目标值与速度极限	9
2.1	高速铁路的发展	9
2.2	速度目标值的选择	14
2.3	高速铁路的固定设备	16
2.4	轮轨系统的高速运行极限	18
3	国外铁路高速列车	20
3.1	日本 300 系、400 系高速电动车组	20
3.2	法国 TGV 高速电动车组	23
3.3	德国 ICE 高速电动车组	28
3.4	前苏联 PT200、ЭР200 型高速列车	37
4	磁浮高速铁路	42
4.1	德国磁浮高速铁路	42
4.2	日本磁浮高速铁路	50
4.3	磁浮铁路的实用化	52
5	摆式车体技术开发背景	56
5.1	摆式车体的原理及分类	56
5.2	摆式车体的倾摆装置	61
5.3	成功运行的摆式列车	62
5.4	摆式车体的技术比较	63
6	国外摆式车体动车开发	66
6.1	意大利摆式车体	67
6.2	瑞典摆式车体	73
6.3	西班牙摆式车体	77
6.4	德国摆式车体	80

6.5	瑞士摆式车体	81
6.6	英国摆式车体	82
6.7	日本摆式车体	83
6.8	加拿大摆式车体	86
6.9	澳大利亚摆式车体	87
6.10	欧洲其他国家的摆式车体	87
6.11	新型车体倾斜装置	88
7	摆式车体技术经济分析	90
7.1	技术可靠性分析	90
7.2	经济效益分析	90
7.3	摆式车体评价	93
8	摆式车体发展战略	96
8.1	发展摆式列车的可行性	96
8.2	与摆式车体列车相关的措施	96
9	中国开行摆式车体策略	99
9.1	曲线外轨超高值与曲线通过速度	99
9.2	大曲线半径的既有线开行摆式列车的可行性	101
9.3	多曲线的既有线、支线开行摆式列车的可行性	102
	参考文献	104
	后 记	105

1 高速铁路发展简论

1.1 概 述

近半个世纪以来,世界各国都努力进行铁路的技术装备和现代化管理的研究,都努力推进铁路运输技术的进步,在很多方面取得了突破性的进展。与此同时,随着世界各国经济的发展和人民生活水平的提高,人们对于旅行环境、出行条件的要求越来越高。高速铁路的出现,无疑对铁路复兴产生了积极影响。

铁路高速技术在 20 世纪 60 年代开始进入实用阶段。1964 年 10 月,日本率先建成世界上第一条高速铁路——东海道新干线,在东京—大阪间 515.4 km 铁路线上,高速列车运行时速达到 210 km/h,年运送旅客 1.3 亿人,相当于 10 条高速公路的运量。东海道新干线运营的成功,产生了轰动效应,也为铁路的复兴带来了积极的影响。1983 年 9 月,法国巴黎—里昂间的 TGV 东南高速线(全长 398 km)通车运营,列车速度进一步提高到 270 km/h。在短短的一二年内铁路高速运输的发展已经遍及欧、亚、北美许多国家,在世界范围内引发了一场深刻的“交通革命”。

高速铁路之所以得到快速发展并受到世人的青睐,主要优点在于能够满足旅客对缩短旅行时间、舒适方便且节省票价等的需求。与航空和高速公路相比,它还具有节约能源和减少环境污染的优势,有利于改善生态环境和可持续性发展。日本和法国自高速铁路运营以来,从没有发生过因高速技术本身造成的行车事故,因而增强了旅客乘车旅行的安全感。

高速铁路的兴起和发展是社会经济发展的必然结果,也是不断采用现代科技成果并从低水平逐渐向高级阶段发展的必然产物。世界各国经过第二次世界大战结束后的十年经济复苏,从 50 年代中期开始进入发展期。由于经济和科技发展较快,对交通运输提出了高效、快运的要求。这时,铁路开始引入现代科技新成果,以改变列车运行速度较低的被动局面。首先将航空工业的新技术新材料移植到机车车辆的结构之中,使车辆的自重大幅度减轻;电气化铁路的崛起,为高速运行提供了牵引动力的保证;电子和计算技术的发展,又为列车牵引采用先进的交—直—交传动装置和实现列车自动化控制开辟了广阔的前景。

最早致力于铁路高速运行的国家是法国,在 20 世纪 60 年代初,其客车最高运行速度已达到 160 km/h。但是,善于引用别国技术为己所用的日本,在交通运输极端紧张压力的推动下,经过较短时间的努力,于 1964 年 10 月开出了世界第一列运行速度超过

200 km/h的高速列车。这给一些铁路发达国家很大的启示。从那以后许多国家迅速展开了铁路高速化的研究工作。除日、法、德、英起步较早外,先后又有美、苏、意、西班牙、瑞典、比利时等国投入了人、财、物力改善本国的铁路,以提高运行速度。到目前为止,已有十几个国家的铁路旅客列车的最高运行速度达200 km/h以上,其中有些国家修建了高速客运专用线,列车最高运行速度已超过250 km/h。在高速铁路运营的30多年中,已经显示出它具有强大的生命力,获得了巨大的经济效益和社会效益。目前,不仅发达国家继续扩大高速铁路,而且一些铁路不甚发达的国家和地区也迫不及待地邀请日、法、德专家共谋高速铁路和机车车辆的发展规划。

高速铁路所以获得成功,是因为与其他交通工具比较具有独特的优点。其一是运量大,一列车可载运近千人;二是能耗低,运送每位旅客消耗的能源,飞机比铁路多4~5倍,汽车比铁路多1倍以上;三是安全,日本东海道新干线运用30多年未发生重大行车事故;四是乘坐舒适;五是节省时间。对于中等运程(600~700 km)的旅客,乘坐高速列车与乘坐飞机所花费的时间相当(因乘飞机需乘车到远离市中心的机场)。

世界已进入高科技发展时代,社会生活节奏进一步加快。高速铁路运输将继续发展,在世界范围内形成若干个高速铁路网。不仅会出现时速300 km以上的超高速列车(包括磁浮列车),而且普通特快列车的运行速度会普遍达到200 km/h。

世界各国发展高速铁路大致有两种途径:一是新建高速客运专线(如日本、法国等)或客货混运的高速线(如德国、意大利等);二是对既有线路和运输设备进行现代化改造,以适应高速列车运行的要求(如英国、北欧一些国家)。

高速铁路是铁路科技进步的重要标志之一。铁路高速技术包括了新型列车牵引方式、轻型高速车辆、运行控制指挥自动化以及高性能的线路结构等先进技术。列车整体呈流线型,可最大限度地减少高速运行时的阻力。高速列车的动力,采用电动车组或电力机车牵引。电动车组具有重心低、结构轻、轮轨间作用力小和舒适性好等特点。

高速线路多为全线封闭、立体交叉,铺设经过优化设计并适应高速行车要求的轨道、路基、道床、桥隧,提高了高速铁路的技术可靠性和经济性。高速列车的驾驶均由电子计算机控制,能及时、准确地进行运行调整和操纵。

从人的需求出发对铁路运输应实现的最高速度的分析,在相同距离的情况下,在时间节省方面,如果铁路的平均速度低于100 km/h即竞争不过公路,在500~600 km/h距离内,铁路的平均速度若不超过250 km/h则竞争不过航空。

欧洲国家和日本均认为,实用的最高速度在高速新线上应以250~300 km/h为宜,在改造的既有线上则以200 km/h为宜。

法国高速铁路以速度高、结构简便实用、造价低等特点闻名于世,东南线10年内即偿还了工程贷款本息。大西洋线13年可收回全部投资,它的单方向输送能力是航空运输的10倍、高速公路的5倍;而能耗仅为公路的1/3、航空的1/5;单位运量占地仅为高速公路的5%。

德国 20 世纪 70 年代后期才将大量投资转向铁路,在改造后的既有线上开行 ICE 高速列车。1991 年 6 月,汉诺威—维尔茨堡、曼海姆—斯图加特全长 426 km 的高速铁路建成通车,采用客货混用方式,最高速度 250 km/h。

意大利在 1987 年 10 月,建成了罗马—佛罗伦萨间的 262 km 客货混用高速线路,最高速度 250 km/h。

西班牙于 1992 年 4 月 21 日建成了马德里—塞维利亚间的 471 km 客货混用高速铁路,最高速度 250 km/h。

旅客列车速度达到 200 km/h 以上的高速技术已日臻成熟。近年来,英国、美国、瑞典、俄罗斯、澳大利亚、芬兰、比利时、荷兰等国开行了高速列车,而且运行速度的纪录不断刷新。1990 年 5 月 18 日,法国新一代 TGV(Trains a Grande Vitesse)高速列车在运行试验中创造的 515.3 km/h 的速度是世界铁路最高试验速度纪录,改变了人们对轮轨系统工况下牵引工具最高速度限界的传统概念。除了客运以外,快捷的货运也正在发展起来。1987 年 5 月 31 日法国在里尔—马赛 1 100 km 线路上开行了速度 160 km/h 的世界上第一列特快货车。德国从 2000 年 1 月开行了行包、邮件专列,夜间定点开行,速度达 160 km/h。日、法、德等国高速铁路在安全、运能、效益、节能、环境、舒适等方面显示出的优越性与与航空、公路运输竞争的实力,促进了各国高速铁路的发展。

世界已建成投入运营的高速铁路总长度为 4 901 km。预计到 21 世纪初,高速新线有可能增加到 1.8 万~2 万 km。可以认为,世界各国铁路正在步入新的兴盛时期,必将会出现一个历史性的大发展。应该强调的是在大交通的环境中,交通运输结构可能还会发生一些调整变化,但铁路的骨干作用将会得到进一步的加强和巩固。

国外已建成高速铁路主要参数,见表 1-1。

表 1-1 世界已建成高速铁路主要参数

名称 参数	日本东海道 新干线	日本山阳 新干线	法国 TGV (东南线)	法国 TGV (大西洋线)	德国 ICE 城际特别 快车线	意大利高速 铁路线	西班牙高速 铁路线
区 间	东京— 新大阪	大宫—新潟	巴黎—里昂	巴黎—勒 芒、图尔	汉诺威— 维尔茨堡 曼海姆— 斯图加特	罗马— 佛罗伦萨	马德里— 塞维利亚
长度(km)	515.5	269.5	426(其中 新线 398)	280	426	262(其中 新线 231)	471
修建起止 时间(年)	1959~1964	1971~1982	1976~1983	1985~1990	1983~1991	1970~1987	1987~1992
最小曲线 半径(m)	2 500	4 000	4 000(部 分 3 200)	6 000(部 分 4 000)	7 000(部 分 5 100)	3 000	4 000
线间距(m)	4.2	4.3	4.2	4.2	4.7	4.0	4.3

续上表

名称 参数	日本东海道 新干线	日本山阳 新干线	法国 TGV (东南线)	法国 TGV (大西洋线)	德国 ICE 城际特别 快车线	意大利高速 铁路线	西班牙高速 铁路线
编组	16 M, 12 M4 T, 10 M6 T	12 M	2M8T	2M10T	2M14T	2M10T	2M8T
轴重(t)	16 以下, 15 以下, 14	17 以下	16.3	17	19.6	18	17.2
用途	高速列车 专用线	高速列车 专用线	TGV 列车 专用线	TGV 专用高速 列车和电力 机车牵引的 列车共用线	高速列车、 电力机车牵 引的旅客列 车和高速货 物列车共用线	高速列车、电 力机车牵引 的旅客列 车和高速货物 列车共用线	客货共用线
最高速度 (km/h)	210, 220, 270	240, 275	270	300	250	250	300
造价	3 800 亿 日元	17 000 亿 日元	210 000 法郎/km	310 000 法郎/km	380 000 马克/km	38.5 亿 里拉/km	3 170 亿比 赛塔(土建)

注:M—动车,T—拖车。

1.2 高速铁路定义

高速铁路技术集中反映了当今世界铁路机车车辆、通信信号、工务工程、运输管理等方面的技术进步,它涉及机械、电子、信息、航空航天、材料、能源、环境保护等多种学科和技术领域,它体现了国家科学技术和工业发展的水平,也是衡量铁路技术水平的重要标志之一。

自 1825 年世界上修建第一条铁路开始,不断提高列车运行速度,缩短旅客和货物的在途时间,一直是铁路人研究铁路技术、改进运输生产的一个神圣使命。

高速铁路具有国际性和时代性的涵义,随时代的发展而更新。目前普遍认为最高运行速度达到或超过 200 km/h 的铁路即为高速铁路。1985 年 5 月 31 日联合国欧洲经济委员会(ECE)在日内瓦签署了欧洲国际铁路干线协议(AGC),对高速铁路制定了共同的国际定义。规定国际重要铁路新线的最高运行速度或额定最低速度(两者同义,英文分别为 Maximum service speed 和 Nominal minimum speed),在专用客运线(B₁型)和客货公用线(B₂型)上分别为 300 km/h 和 250 km/h。

应予以指出的是根据国外经验,额定的最低速度比额定速度要低 10%,也就是说,规定的最高运行速度按可以实现的最高运行速度保留 10% 的富余量。例如法国巴黎

东南线可以实现的最高速度为295 km/h,实际规定的最高运行速度只允许270 km/h;法国大西洋高速铁路可以实现的最高速度为330 km/h,而实际规定只允许300 km/h。日本几条新干线也是同样的情况。最高试验速度较可以实现的最高运行速度更高。各国高速铁路规定的最高运行速度列于表 1-2。

表 1-2 各国高速铁路实际的最高运行速度

时 间 (年)	国 别	线路名称、起终点	线路长度 (km)	实际最高运行 速度(km/h)
1964	日本	东海道新干线(东京—新大阪)	515	210
1975	日本	山阳新干线(新大阪—博多)	554	240
1976	美国	伦敦—不里斯托尔	189	200
1982	日本	东北新干线(东京—盛冈)	493	240
1982	日本	上越新干线(东京—新潟)	270	240
1983	法国	巴黎东南线(TGV—PSE);巴黎—里昂	427	270
1984	前苏联	莫斯科—彼德堡	650	200
1986	德国	汉诺威—维尔茨堡	327	250
1987	意大利	罗马—佛罗伦萨	259	250
1990	法国	大西洋线(TGV—A);巴黎—勒芒、图尔	280	300
1991	德国	曼海姆—斯图加特	107	250

1.3 高速铁路动力

实现高速运行的关键问题之一是高速铁路的动力问题,它包含牵引动力的形式和具体实现方法。从国外经验来看,牵引动力形式可分为动力分散式和动力集中式两大类。事实上这两种牵引动力形式很难比较出绝对的优势,他们都经过了长期的试验和运营考验,技术上都取得了很大的成功。

1. 动力分散式

动力分散式是将列车的动力分散置于各节车辆或大部分车辆上,由若干动车和拖车组成一个单元,再由若干单元组成列车。牵引动力分散在各动车上,不再配有专司牵引的机车。动力分散式的特点是动轴数量多而轴重轻。

其优点是:

- (1)牵引粘着重量大,易于发挥牵引力以适应高速需要。
- (2)动力车组易于加长或缩短,运用较灵活。
- (3)每台转向架的牵引装置功率小,体积重量较小,有利于实现转向架轻量化和低轴重。

其缺点是:

- (1) 每辆动车都装有全套牵引用电器和电机,增加了动车组的制造成本和维修费用。
- (2) 必须采用多组受电弓受电,不利于接触网的运用、维修,已成为限制车速提高的一个因素。

2. 动力集中式

动力集中就是将列车的动力集中在列车两端的动力车上,动力车之间为数量不等的拖车,也就是无动力的客车,形成推挽式牵引。

其优点是:

- (1) 牵引动力集中在两台动车上,牵引电机和电器数量少,列车制造和维护费用低。
- (2) 受电弓数量少,全列车最多只需 2 组受电弓(每动车 1 组受电弓),甚至可仅用 1 台动车上的 1 组受电弓受电,高压电缆贯穿列车顶部将两动车相连,有利于列车高速行驶,并减轻接触网导线的磨损。
- (3) 容易变更动车车型以适应不同路况的需要。

其缺点是:

- (1) 列车编组调整较困难,不易适应运量变化,运用灵活性较差。
- (2) 粘着利用等指标不如动力分散式。

动力分散式电动车组以日本为代表,动力集中式以法国和德国为代表。国外电动车组的牵引动力相关指标,参见表 1-3。

表 1-3 国外高速列车牵引动力相关指标

国别 车型	俄罗斯		德国	法国	日本
	BCM-9MC 列车		ICE 列车 (1989 年)	TGV-A 列车 (1988 年)	200 系列车 (1983 年)
项目参数	100% 动轴	75% 动轴			
构造速度(km/h)	350	350	250(计划 300)	300	260
列车长度(m)	319.40	319.40	332.38	240.00	300
车辆宽度(m)	3.43	3.48	3.02	2.904	3.38
列车自重(t)	667.13	673	789.6	500	756
列车坐席数	1 118	1 118	600	485	885
牵引总功率(kW)	15 630	13 680	9 600	8 800	11 040
列车总重(t)	789	803.5	849.6	584.5	816
轴重(kN)	170	168	动车 200 拖车 120	动车 170 拖车 93	170

1.4 高速铁路技术比较

旅客最关心的是缩短旅行时间,而并不是最高速度。因此,提高铁路的能力、解决旅客所关心的速达问题通常应涉及硬件和软件能力两个部分。硬件能力包括最高速度、曲线通过速度、加减速度、道岔通过速度等机车车辆、地上设备性能水平;软件能力包括停车站的设定、联运、列车的速度差、待避、列车出入库等营业政策、运转设备能力。表 1-4 是高速铁路的主要技术比较。

表 1-4 高速铁路主要技术比较

技术指标	德国 ICE	法国 TGV	日本新干线
轨道	轨道强度、路基强度	轨道整备技术支持方法	相应的轨道管理方法 容许超高冲击力影响
机车车辆	减小空气阻力 制动 感应电动机 转向架 弹性车轮	减小阻力 机车车辆支承于转向架的方式 增大功率 减轻牵引电机重量	轻型化 断面小型化 减小阻力 增大功率 制动
运行稳定性与安全	运行稳定性 机车车辆与轨道相互作用	转向架走行稳定性 车轮踏面形状	运行稳定性 振动控制
信号保安	运转控制系统 设备安全性	高密度运转系统	图案控制
受流	供电方式 受电弓特征	接触网结构 受电弓 离线	震动和离线 耐磨性 空气动力学特征
空气噪声震动	噪声 头车及中间车形状	隧道问题	微气压波 车内压力变化

从表中可见,日、法、德三国对高速技术的认识大致相同,法国偏重于隧道问题、高密度运转用信号系统。德国则重视转向架和弹性车轮的研究。

1.4.1 高速动力车转向架设计原则

由于各国铁路发展历史和背景的不同以及技术条件上的差异,致使各国研制的高速转向架结构类型也相差较多。然而在设计原则上的共识和实践经验却导致高速转向架形式上的众多相同之处,如采用空气弹簧悬挂系统、无磨损轴箱弹性定位、盘形制动为主的复合制动系统等。

根据国外高速转向架的设计经验,建议采用以下原则:

(1)采用高柔性的弹簧悬挂系统,以获得良好的振动性能。这种高柔性空气弹簧在

速度300 km/h以下能表现出其优越性。

- (2)采用高强度、轻量化的转向架,以降低轮轨间动力作用。
- (3)采用能有效地抑制转向架蛇行运动,提高转向架蛇行运动临界速度的各种措施。
- (4)采用复合制动系统。

1.4.2 空气弹簧悬挂系统

空气弹簧悬挂系统的振动特性分析以及参数选择的计算表明,转向架的悬挂参数和运行速度对车辆各部分的振动响应,证实了采用空气弹簧作为悬挂系统的优越性。

(1)单轴车模型。为了从本质上了解转向架悬挂参数对振动响应的影响,可采用简化的系统模型——单轴车模型加以研究,研究表明高速列车运行时为了保持良好的平稳性,必须要求提高线路等级,尤其应尽力降低车辆自振频率,这就是为什么在高速转向架的设计中,要采用空气弹簧以获得低自振频率的主要原因。

(2)精确模型。精确模型是综合考虑空气弹簧工作室、附加空气室和节流孔的计算模型,将它与钢弹簧计算模型相比较。在相同的刚度和阻尼的条件下,车辆模型研究结果表明:

- ①垂向运行性能,空气弹簧在高频率范围内隔振性能优于钢弹簧。
- ②横向运行性能,空气弹簧模型加速度响应与钢弹簧模型较接近。
- ③空气弹簧具有良好的柔软的弹性特性,这是钢弹簧难以达到的,所以,空气弹簧是高速动力车转向架可选择的理想悬挂系统。

1.4.3 高速动车转向架用空气弹簧悬挂系统的技术参数

早期的TGV驱动转向架,采用橡胶堆与空气弹簧相串联的形式,成功的达到了最大运行速度300 km/h,对线路没有过大的破坏作用。

空气弹簧技术参数及其要求是:

- (1)刚度要求。垂向刚度 $K_z = 1.63 \times 10^6$ N/m, 横向刚度 $K_y = 3.5 \times 10^5$ N/m, 纵向刚度 $K_x = 3.5 \times 10^5$ N/m, 附加气室60 L。
- (2)变位要求。最大横向变位 $\pm 90 \sim \pm 110$ mm, 最大垂向变位 ± 50 mm左右, 紧急垂向变位 ± 30 mm, 最大纵向变位可与最大横向变位不同。
- (3)气密性能。在标准高度下充入0.5 MPa压力空气24 h后压强降低不超过0.01 MPa。
- (4)爆破压力大于2.0 MPa。
- (5)耐疲劳性能。在频率1 Hz、振幅 ± 15 mm、内压500 kPa下,垂向大于10万次,水平方向大于20万次,检查空气气囊及橡胶堆均无局部突起及其他异状。
- (6)使用寿命不少于15年。

2 高速铁路的速度目标值与速度极限

2.1 高速铁路的发展

在国外高速铁路的发展过程中,由于各国原有铁路的技术装备和线路状态的不同,各国所采用的技术措施也不尽相同。从高速线形成过程来看,有的修建新线,有的改造旧线,还有的既改造旧线又修建新线。在高速线的利用上,有的客货混跑,有的只运行高速客运列车。从牵引模式上看,大都采用电力牵引,但发展的最初阶段采用过内燃牵引。在牵引动力上,根据线路状态和停站多少,有的采用动力分散式,有的采用动力集中式。

2.1.1 日 本

1964年10月日本先于其他国家开通了世界第一条高速铁路——东海道新干线(东京—新大阪的高速客运专线),采用0系电动车组,最高试验速度为256 km/h,最高运行速度为210 km/h。日本修建的这条标准较高的客运专线是由于日本工业生产迅速增长且绝大部分工业集中在东海岸地区。20世纪50年代末已有34%的工业集中在东海岸地区,可见,高速铁路首先在日本出现决非偶然。

1973年将新干线铁路从新大阪延长到冈山,1975年由冈山延长到博多,形成山阳新干线(新大阪—博多)。1982年6月和1982年11月又分别开通了东北新干线(东京—盛冈)和上越新干线(东京—新潟)。20世纪80年代运行于东京—博多线路上的列车由0系换成100系电动车组。100系电动车组由12辆动车和4辆拖车(其中双层客车两辆)组成,拖车加装了旋转式涡流制动机。头车形状也有所改变。

100系电动车组的最高速度为230 km/h,100系车组(双层)最高速度为270 km/h。在东北和上越新干线上使用的200系电动车组由12辆动车组成。300系电动车组,其构造速度为300 km/h(运行速度为250~270 km/h),采用交—直—交牵引装置(三相交流传动装置),车辆高度从4 000 mm降低到3 800 mm,采用铝合金制密封式车体,头车形状又有所改进,采用了再生制动。

1992年开始开发超高速电动车组,取名为STAR21型电动车组,创意为21世纪用的时速350 km高级豪华列车。

由于日本铁路的既有线路弯道较多,且轨距大都为1 067 mm,所以铁路高速化的途径是新建准轨客运专线,而不利用既有线路进行改造。

2.1.2 法 国

法国高速线上采用的电动车组在牵引动力上的布置与日本不同。日本是动力分散式,而法国是动力集中式。

法国是目前创造铁路列车试验速度最高的国家。法国第一条高速铁路线(巴黎东南新干线)于1972年动工,1983年投入运用。运用TGV-PSE电动车组,最高运行速度为270 km/h。

法国在修建客运专线之前就已经在既有线上推行高速计划。20世纪60年代中期,旅客列车的最高运行速度普遍提高到160 km/h。1975年特快列车的最高速度达200 km/h。1969年11月其燃气轮动车组试验速度达248 km/h,20世纪70年代末又创318 km/h的记录,1983年9月巴黎东南新干线使用的TGV-A试验列车试验速度达到515.3 km/h,创造了轮轨粘着式交通工具的最高速度纪录。

在巴黎东南新干线通车后,法国继续扩大高速铁路线,1990年大西洋新干线(巴黎—勒芒、图尔)正式通车,采用TGV-A电动车组,最高运行速度为300 km/h。为了扩大高速铁路网和开通国际联运高速线,法国又修建第三条新干线——北方新干线,以便使高速列车与比利时和通过英吉利海峡隧道与英国实现联运业务。

法国还为北方新干线研制了双层高速列车,最高运行速度可达300~350 km/h。

法国实现铁路高速化时,基本上不利用既有线路,采用建造新客运专线的方法,与日本同属一个类型。目前,全法国已有超过百列的TGV按300 km/h速度在运行。

2.1.3 德 国

德国发展高速铁路未采用修新线的方式,仅对原技术状态较好的线路进行改造和加固,必要时才修几段新线,使其形成几条高速运行线。其中最长的两条是:汉诺威—维尔茨堡和曼海姆—斯图加特。与日本、法国两国新修专用线的做法具有明显不同,属于改造旧线实现高速的模式。

德国是铁路客运速度提高较快的国家之一。1962年德国研制的“莱茵金子”号客车的构造速度达160 km/h,1974年ET403型电动车组的最高运行速度为160 km/h,1977年提高到200 km/h。1985年制造出ICE型高速列车,1988年试验速度达406.9 km/h。

由5辆车组成的ICE列车于1985年交付试验。头车和尾车为动车,各长20.8 m,自重78.2 t,采用三相交流牵引装置,每辆动车的功率为4 200 kW(持续功率为3 640 kW),电网供电为交流15 kV、16.67 Hz。中间3辆拖车的长度均为24.34 m。

1989年开始正式制造ICE高速列车,并于1990年投入运用。ICE列车由16辆车组成,属动力集中式电动车组,两端为动车,中间为14辆拖车(根据需要可调节拖车编挂辆数)。

2.1.4 英 国

英国铁路目前采用改造既有线路的方法来提高列车运行速度,与德国同属一个模式。

英国铁路几乎与法国同时开始规划铁路高速化,但走了弯路,现落后于法国。英国是利用旧线开行的高速列车。为解决列车过弯道产生的离心力作用,在车辆上加装车体倾斜装置。把带有这种装置的客车组成的列车称为 APT(Advanced Passenger Train)列车。由于这套装置技术复杂,且耗资过大,20 世纪 80 年代初决定放弃 APT 列车的研制。

在研制 APT 列车的同时,英国开行了准高速列车(HST 列车),运行速度 160~180 km/h。在伦敦周围的几条线路以及西海岸线上,用内燃机车牵引的客车通过半径为 1 800 m 以上的曲线。

英国在放弃 APT 列车计划后,于 1984 年进行了东海岸干线的改造,实现了电气化,改造了小半径曲线。为这条线路研制了由电力机车牵引的 IC225(Inter City 225)型列车,构造速度为 225 km/h,试验速度曾达到 260 km/h。IC 列车于 1989 年 10 月正式投入运用。

英国铁路目前正在进行西海岸电气化改造,计划使用电动车组的牵引方式,采用 IC250 型列车,最高运行速度 250 km/h。

2.1.5 美 国

美国客运量主要集中在航空和公路运输方面,1975 年铁路客运量仅为航空的 1/17。美国铁路开展高速运行起步稍晚。从 1974 年以来,美国“东北走廊”线路客流有显著增长。为了节约能源,美国政府于 1976 年批准改造这条线路(全长 735 km)。“东北走廊”是美国人口最稠密区,全国近 20% 的人口居住在“走廊”沿线的大中小城市。

20 世纪 80 年代开始陆续在“东北走廊”线上开行时速为 200 km 的列车,行驶在巴尔的摩—乌依顿和纽约—华盛顿的线路上。

2.1.6 前苏联

前苏联铁路高速化过程的特点是,先改造一条线作为高速试验线,在列车速度逐步提高并取得经验后再建新线。

前苏联采用在既有线上逐步提高旅客列车速度,使线路的改造和机车车辆的更新同步进行的方法。从莫斯科到圣彼得堡之间的 650 km 铁路基本上都是直线,是一条客货混跑线,客货运量均较大,以它作为高速列车试验线。20 世纪 60 年代开始客运列车运行速度由 160 km/h 提高到 180 km/h,1975 年非运营的试验速度已达 200 km/h。1984 年 3 月高速列车正式投入运用。