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，在东京一大阪间 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,法国巴黎一里昂间的 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一直一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

需要全本请访问 www.ertongbook.com

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，汉诺威一维尔茨堡、曼海姆一斯图加特全长 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 日建成了马德里一塞维利亚间的 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 Vittesse)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 日法国在里尔一马赛 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和与航空、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(B_1 型)和客货公用线(B_2 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是高运行速度

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	英国	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。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

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
项目参数	BCM-9MC 列车		ICE 列车（1989 年）	TGV-A 列车（1988 年）	200 系列车（1983 年）
	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	轨道整备技术支撑方法	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、无磨耗轴箱弹性定位、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，可采用简化了的系统模型—— 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 ±90～±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,检查空气胶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(东京一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(东京一新潟)。20 世纪 80 年代运行于东京一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),采用交一直一交牵引装置(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（巴黎一勒芒、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一维尔茨堡和曼海姆一斯图加特。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。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前苏联高速列车有两种方案：一种是由电力机车牵引的高速列车（PT200型），另一种是高速电动车组(ЭP200型)。试验过程中，发现PT200型列车制动时前后冲动较大，正式运营时选择了电动车组。ЭP200型电动车组由10辆车组成，2辆无动力的头车和8辆动车(其中4辆带受电弓）。车体由铝合金制成，头车自重48.6 t，动车自重57 t，车长26 m。

高速车辆带有封闭车体和风挡，设空调装置和封闭型厕所。

列车在莫斯科一圣彼得堡的平均运行速度为140 km/h，有两个区间速度达200 km/h。全程运行时间4.6 h 计划减少限速区间和停站，延长运行速度为200 km/h的区段，使列车编组扩大到14辆，并使全程运行时间缩短到4 h以内。

计划修建的高速客运专线是中央一南方高速干线。方案是：白天为座车，行车6～8 h(莫斯科一克里米亚地区)，夜间为卧车，行车10～12 h(莫斯科一高加索地区)。

2.1.7 意大利

意大利是采用了先改车(不改线)、后建新线的方式来实现铁路高速化的。

意大利在20世纪70年代中期投入运用了带摆式车体的ERT401型的客车，最高运行速度为160～180 km/h，20世纪80年代最高速度达到200 km/h。1988年开始在米兰一罗马、威尼斯一罗马之间采用ETR450型摆式列车，最高运行速度250 km/h。车体采用可控倾斜装置(强迫倾摆装置)，由一套传感器、控制器和液压装置组成的自控系统，使车体过弯道时自动倾摆，最大倾摆角为10°。ETR450列车为动力分散式电动车组，由11辆车组成。每台转向架装一套牵引电动机。

新建米兰一那不勒斯高速线（全长820 km)，最高运行速度为275～300 km/h。采用ETR500高速电动车组。该列车由14辆车组成，采用交流异步电动机牵引。未采用可倾摆车体。两头车辆为动车，每辆动车的功率为4 250 kW，长度为20 m，自重为72 t。拖车长度为26 m，自重为40 t。

2.1.8 西班牙

西班牙发展高速铁路采用了多种手段。采用‘先用摆式列车，后建新线’的方法，建新线后仍不放弃摆式列车，这是两种轨距并存条件下采用的方针。

西班牙既有线路的轨距为1 676 mm，如参与国际高速联运，必须在车辆上设自动变距装置，或另修准轨新线。西班牙铁路客车结构从1945年末开始运用TALGO列车。这种客车车体短(13.14 m)、重量轻(车体由铝合金制造)，位于列车中的两客车之间只装一根车轴，实际上一辆车只分担一根轴，这样的‘小车’比较灵活，利于高速运行，利于加装倾摆机构。西班牙铁路长期以来不放弃TALGO列车的方案。1964年设计的TALGOⅢ型客车，在采用ML-3000型内燃机车牵引时试验速度达到了232 km/h。为了过境运输（如通往法国），装了自由轮对的自动换轨距装置，改进了弹簧悬挂装置，

最高运行速度可达230 km/h。

研制的 TALGO-Pendular(即摆式 TALGO)列车,于 1988 年 10～11 月在德国铁路上进行了试验,试验速度达291 km/h。20 世纪 90 年代初投入运用。这种自然倾摆式摆式列车,车体支承点高于车体重心(这在 TALGO 型车上容易实现),过弯道时不像普通客车那样是“上晃”,而是“下摆”(如同钟表摆那样)车体可自然倾摆6°～9°。这种结构比强迫倾摆式列车简单得多。车体结构的重量只有3.25 t。

与此同时还修了两条轨距为1 435 mm的高速新线。一条是马德里一塞维利亚的471 km新线,另一条是马德里一巴塞罗那。

西班牙还为新线购置了全新的(非摆式的)高速列车。1989 年 3 月西班牙国营铁路与法国阿尔斯通公司签订了供货合同,从法国购买 24 列高速列车。该高速列车是以法国大西洋新干线运用的 TGV-A列车为基础,并考虑到在西班牙线路运用的特殊要求,局部进行修改设计制成的。从法国引进的用于西班牙铁路的高速列车定名为 AVE 列车。该列车由 10 辆车组成,2 辆动车编挂在列车两端,轨距与西班牙既有线路不同,采用了1 435 mm标准轨距。所以这种列车必须在新建的线路上运行。列车设计最高运行速度为300 km/h。

2.1.9 中国高速铁路的发展前景

20 世纪 80 年代末,中国铁路已将高速化提上了议事日程;90 年代初,建成了国内第一条准高速铁路;1997～2000 年三次大规模在既有线实行提速,三大干线(京广、京沪、京哈)最高运行速度达 160 km/h;1999 年 9 月,又对陇海、兰新铁路全线进行了提速,提速后我国境内大陆桥上的运行时间可缩短27.5 h。此外,京秦客运专线正在加紧建造之中,北京一上海高速铁路的研究工作已取得了重大进展。

中国高速铁路的发展目前落后于世界主要发达国家,但近十年来已取得了很大的发展。

(1)首辆速度达200 km/h综合试验车

速度达200 km/h综合试验车,由四方机车车辆厂与四方车辆研究所共同研制开发,填补了国内高速试验车领域的空白。该高速试验车重要的走行部分 SW—200 转向架是一项最新科研成果,转向架在郑武线试验时,显示了优良的技术性能,试验最高速度达240 km/h。高速试验车装有计算机数据采集、处理系统及大屏幕检测显示系统等先进的测试仪器,具有较强的综合试验能力。

(2)铁道部科学研究院环行铁道试验

速度达到200 km/h的列车,在北京东郊的铁道部科学研究院环行铁道试验基地,进行了整车性能的综合试验。列车由头部的动力车、尾部的控制车和中间五节车厢组成,它们来自株洲、南京、青岛、唐山、长春等不同的机车车辆制造厂。机车在 1998 年的试验中达到了 240 km/h的最高时速。新型列车将继续在广州一深圳铁路上进行试验,

并将最终投入这条线的商业运营。

(3)广深线200 km/h试验运行

1998 年开始研制我国第一列采用交一直一交传动新技术的“蓝箭”电动车组，由一辆动力车、六辆拖车（其中一辆为控制拖车）组成，设计最高速度为 230 km/h,由株洲机车厂总体设计，并与株洲电力机车研究所共同研制动力车、长春客车厂制造控制车和拖车。

动力车在株洲电力机车厂出厂后,2000 年 9 月在长春客车厂与拖车和控制车相对接,此后完成了环形道上的试运行,于 11 月初到达广深线，连续三次试验在广深铁路达到235 km/h的最高速度。

(4)动力分散型200 km/h电动车组

2000 年 11 月,首列速度超过200 km/h的高速列车由南京浦镇车辆厂投入生产，将于 2001 年正式投入运行。投入生产的中国首列‘子弹头’简称‘两动一拖”。列车由两个牵引单元组成，每个单元有两辆安装动力转向架的动车和一辆拖车，其中一辆动车带有司机操纵台，可直接操作并牵引整个列车运行。浦镇车辆厂成功研制出试验速度达 240 km/h的 PW—200 型高速转向架。2000 年 8 月 31 日,高度达180 km/h的‘两动九托”双层空调列车也由该厂出厂。

(5)广深线摆式列车试验运营

1994 年 4 月铁道部与瑞典国家铁路咨询公司签署了《高速铁路系统——摆式列车技术在中国既有线铁路运用的可行性研究》的合作项目。 1996 年 11 月 5 日广深铁路股份公司在北京与瑞典 ABB 戴姆勒-奔驰交通公司签署了《X2000 在中国试验及商务运营的合作协议》。根据该项协议,采用租赁的合作方式(2 年)。

摆式列车是由 ABB 戴姆勒-奔驰交通公司(Adtranz)制造的瑞典 X2000 高速列车，遵循对既有线无需大的技术改造、采用车体可倾斜和径向转向架技术以提高旅客列车平均速度的设计原则。

该摆式列车是一种集中式电动车组，其编组为 1M+6T,即 1 辆动车、6 辆拖车。拖车中有 1 辆为无动力装置带驾驶室的尾车，其另一端为旅客车厢。

1998年 5月 X2000 列车在北京环行线上完成了动力学等试验后，于7～8 月在广深线进行了安全评估试验,8 月 28 日正式投入商业运行。

2.2 速度目标值的选择

高速铁路的速度目标值是作为高速铁路总体设计时的决定性参数，也是铁路高速技术水平的重要标志。它的选择既要体现技术先进性，又要考虑实施高速铁路所经地区的具体条件的制约，使它能体现技术上的可能、国家的承受能力、经济上的有利以及运输组织上的合理等。

1. 从国际高速铁路的速度水平选择速度目标值的起步点

各种交通工具的激烈竞争，使各个国家认识到提高铁路行车速度的意义，从一定的意义上看，提高列车速度已成为铁路得以生存和发展的主要途径之一。

世界上最早提出修建高速铁路的是日本，1964 年建成的日本东海道新干线列车速度为210 km/h，在世界范围内产生了巨大影响，在高速技术和行车安全上解除了人们的疑虑，从而促进了世界高速铁路的发展。新干线以它的速度高、票价低吸引了大量旅客，迫使东京一名古屋间的飞机航班停运，这是世界铁路发展史上的一个里程碑。此后12 年,法国开始修建称为 TGV 东南线的第一条高速铁路，1983 年 9 月建成,列车最高速度270 km/h全线没有一座隧道,总造价不到日本的 1/5。日本与法国高速铁路的成功带动了世界范围内高速铁路的发展。

国外铁路旅客列车运营速度的先进水平，大体上 20 世纪 60 年代为 210 km/h、80 年代为 250～300 km/h、20 世纪末为 320～350 km/h。因此，高速铁路速度目标值的选择应以此为起步点去考虑。

2. 从高速铁路的工程造价和运营支出选择速度目标值

高速铁路的工程造价主要取决于线路平纵断面参数的选择，最大纵坡、最小曲线半径等参数是影响工程造价的最重要因素。

关于高速铁路的最大纵坡对运行时间和运营支出的影响，前苏联学者曾做过深入细致的研究,根据他们对某线方案的技术经济计算,对 1.2%、1.8%、2.4%、3.0% 四个方案的比较，对工程造价来说各个方案差别仅为 1%～3%。

法国在修建 TGV 东南线时,曾对最大纵坡 3.5% 和 1.5% 两个方案进行比较,结果是采用 1.5% 方案工程造价将增加 30%,而且由于丧失一部分下坡加速的动能,列车运行时间和运营支出也有所增加。

这样就突破了传统观念所认为的列车运行速度越高，线路标准、工程造价和运营支出就相对越高的观点，而是运用系统工程的方法寻求列车和轨道的最佳配合，充分运用动能随速度平方关系增加的原理和高速列车大功率、轻结构、低阻力等特点，放宽了对线路最大纵坡的限制，增加了采用大曲线半径时的选线机动性和自由度，从而取得降低工程造价和运营支出的实效。

3. 按高、中速旅客列车速度的合理匹配选择目标值

计划中的高速铁路要运行跨线中速旅客列车，因而产生高、中速旅客列车速度的合理匹配问题。

从工程设计角度看，在线路最小曲线半径一定的条件下，高、中速列车的速度差与未平衡的加速度成正比关系，速度差越大，未平衡加速度也越大、越不利于线路的养护维修，也降低旅客的舒适度。

从行车组织角度看，高、中速列车的速度差越大，中速列车对高速列车的扣除系数也越大，降低了线路通过能力。

因此，应根据高速铁路建成通车前的中速旅客列车机车、车辆设计标准，即跨线中速列车的主体运营速度来考虑高速列车的速度目标值。

4. 在与航空、高速公路并存条件下选择目标值

在运输方式或交通工具的选择上，主要是对铁路、公路和航空运输的选择。速度目标值的选择是指高速铁路在多长距离、多高速度下在节约总旅行时间上与其他两种运输方式相比处在有利地位，这是选择速度目标值的主要依据。即使在总旅行时间相近时,高速铁路还具有票价低、安全性大、舒适度较好以及节能和环保效益好等优点。

研究证明,当高速铁路运营速度为200 km/h、小汽车速度为120 km/h时,在130 km的距离内节约总旅行时间不如小汽车。高速铁路运营速度越高，小汽车的适应范围越短。高速铁路运营速度为300 km/h时，小汽车的适应距离只有80 km。同样,当高速铁路运营速度为200 km/h、飞机航速为500 km/h时，高速铁路的适应距离为350 km以内，运营速度为300 km/h时,相对于航空运输的适应距离为700 km。

因而,从对高速铁路所作直接和间接效益进行的综合评价,以“更高的速度、更多的乘客、更大的效益”的原理，分析某个速度目标值对各种运输方式之间运量分配和再分配的情况，从而达到拓宽营业服务范围的目的。

5. 从提高高速列车速度指标的技术可行性选择目标值

高速铁路的技术可行性，关键是机车车辆。在高速铁路上，铁路的牵引动力要应用航空航天技术、电力电子技术、微电子技术等高新技术。在实现铁路高速化的同时，也带动和促进了一大批相关工业,如电机电器、电力电子、金属材料、合成材料等工业的发展。

因此,采用技术引进一消化吸收一国产化的方案,应技贸结合、博采众长,根据金融条件和技术、价格等因素综合确定。

除此以外，速度目标值的选择还应考虑节省能源、降低成本的经济因素和改善生态环境、减轻噪声和大气污染、减少高次谐波感应干扰和电波干扰等环境因素。

2.3 高速铁路的固定设备

2.3.1 软道与道岔

1. 轨道

轮轨间的动荷载,主要是由于轨道不平顺、轨道弹性不均匀、轨道几何偏差、轨缝及轮轨接触面不平顺等引起车辆某一部分的振动和冲击所产生。随着轨头病害的扩展和轨头各部件的失效，道碴粉碎和轨道几何变形，造成环境振动和噪音等不良影响。高速轨道结构应具有足够的强度、稳定性等。

高速铁路的轨道结构主要有两类，即以日本为代表的板式轨道结构和以法国TGV为代表的传统的有碴轨道结构。

传统的有碴轨道结构，在运营后会出现道床板结、路基翻浆冒泥，养护维修工作繁重。有碴轨道的优点是结构简单，维修方便，造价较低。与板式轨道相比弹性较好，对延长机车车辆及轨道零部件的寿命更为有利。缺点是轨道维修工作量大，道床和路基的施工工艺严格。

板式轨道结构取消传统的轨道轨枕和道床，是作为“省维修”轨道研制开发出来的。基本结构是在路基混凝土基础上铺设轨道板。优点是基础稳固，在列车荷载作用下累积变形缓慢，养护维修工作量减少，有较高的横向抗力，有利于线路的稳定。缺点是造价昂贵,弹性差,基础一旦出现变形就难以处理。

2. 道岔

道岔是高速轨道的关键，国外多采用大号码的道岔，有固定式辙叉和可动心轨两种。

大号码的道岔，能保证其直向通过不限速，使直向过岔速度能达到与区间相同的最高速度 同时,导曲线半径大、尖轨较长,可以提高侧向通过的允许速度。

可动心轨道岔的尖轨和心轨都可以移动,消除了“有害空间”,取消了护轨,由于列车通过辙叉时直向通过速度可不受限制，侧向通过时允许速度也可提高。

2.3.2 路　基

高速铁路的路基工程在填料规格、填筑工艺、加固标准和沉落量等方面均有严格的规定和要求。采用高架桥方案代替路基可能更为合理。

日本采取对各类填料的填土高度加以限制的办法，以保证运营后不致出现降低行车速度的情况，在后建的新干线中，路基所占有长度的比重已明显减小。

2.3.3 桥　　梁

高速铁路普遍采用道岔桥面钢筋混凝土梁和预应力混凝土梁，新建高速铁路与公路和其他铁路采用立体交叉。

采用填筑路基还是修建高架桥梁，应根据线路高度和用地单价的经济比较确定。某些情况下，受社会因素的制约，并不一定是经济因素起主要作用。既有线改为高速铁路,列车速度超过 200 km/h时,不允许有平交道存在,列车速度为 140～160 km/h时,亦应首先考虑改建为立交。如地形困难或投资过大，可暂时保留部分平交道，但须有现代化的防护措施，以确保道口安全。还应对既有桥梁进行必要的验算，确定是否需要加固和改建。

2.3.4 隧　　道

列车在隧道中行驶，列车头部推开的空气被迫在隧道内高速运动，使大量空气推向前方，少量空气通过列车及隧道壁间的空隙流向后方，形成了空气压力波，在列车头部

需要全本请访问 www.ertongbook.com