上篇 铁 路

1 世界铁路与中国铁路发展概况

1.1 铁路与钢轨

世界最早的铁路大约产生在 1767 年以前，当时的铁路实际上是以马匹为动力的马车，其车轮行走在木质的轨道上。这种“铁路”大约持续了近 100 年时间，据美国铁路历史记载，在 1825～1835 年前后，在马里兰州的巴尔的摩和俄亥俄出现了以马匹为动力的“火车”。这种以马匹为动力的“火车”，当时的速度仅有 30～40km/h。

1829 年英国人史蒂文森设计的以蒸汽为动力的机车问世，以及在此之前实现的用轧制方法生产钢轨，使得阻碍铁路发展的两大难题获得解决，从而为铁路的发展创造了条件。据有关历史记载，用轧制方法生产钢轨最早出现在 1820 年。最早的公开运营的铁路是 1830 年在英国，从利物浦到曼彻斯特。这时候美国修成了从斯托克城到达林城的铁路。德国在 1835 年开始有铁路。日本则在 1872 年建成了自己的铁路。早在 1887 年美国拥有的铁路总里程就达到 24.1×10^4km，这时候的英国拥有的铁路总里程为 3.1×10^4km，德国拥有的铁路总里程达 3.9×10^4km。到 1887 年，拥有铁路的国家共有 10 个。

我国的第一条铁路建于 1864 年，它是建在北京宣武门外的一条 0.5km长的铁路。

可以这样说，19 世纪铁路的大发展，促进了人类的文明和进步，也刺激了资本主义的发展和向海外的侵略扩张。

1.2 铁路技术发展和现状

从 1830 年铁路的诞生至今已有 170 多年，现在世界上共有铁路总里程约为 140×10^4km 遍布世界 5 大洲。不仅有普通客运、货运，而且有地下铁路、重载铁路和高速铁路。铁路的车速也已从最初以马为动力的 30～40km/h 发展到现在的 120～300km/h。火车的动力也从过去的蒸汽机车更换为内燃机车或电力机车，机车的牵引力发展到 4000kW。世界主要国家的铁路现状如表 1-1 所示

需要全本请访问 www.ertongbook.com

表 1-1　世界主要国家的铁路现状

国　名	面积/km^2	人口/亿人	铁路总长/km	无缝线路/km	高速线路/km
日　本	37.7×10^4	1.25	4.7×10^4	2.1×10^4	建成 1850,在建 4800
法　国	55.1×10^4	0.58	3.5×10^4	1.29×10^4	建成 1240，在建 3200
德　国	35.7×10^4	0.81	4.5×10^4	4.3×10^4	建成 453,在建 2700
意大利	30.1×10^4	0.57	2×10^4	0.67×10^4	建成 848,在建 570
美　国	937.2×10^4	2.63	32×10^4	5.32×10^4	建成 361
俄罗斯	1783×10^4	1.48	16×10^4	5.8×10^4	建成 650
中　国	960×10^4	12	6.86×10^4	2.4×10^4	在建 404
印　度	297×10^4	9.38	7×10^4		
西班牙	30.1×10^4	0.39×10^4	1.3×10^4		建成 347
加拿大	997×10^4	0.29×10^4	9.5×10^4		
韩　国	9.923×10^4	0.4485×10^4	0.6×10^4		在建 409
澳大利亚	768×10^4	0.18×10^4	4×10^4		建成 326

注：本表数据为 2000 年以前的统计数据。

从铁路技术发展历史看，铁路发展经历了 3 个阶段。

初期发展阶段 大约从 1830 年到 1900 年前后。这一阶段以蒸汽机的发明和钢轨生产技术的进步为代表，解决了铁路发展的动力和钢轨等关键问题，促进了铁路的大发展。火车的速度得到了很大提高，从 1830 年的 46km/h 发展到 1900 年的 130km/h，成为运输能力最大、运输速度最快的陆路运输工具。在这一阶段，铁路技术的进步主要是围绕轨距尺寸而展开的。由于最初的火车是行驶在原有以马匹为动力的旧铁路线上，故其仍采用原有的轨距，即为 1422mm。这一数字的确定是通过长期马车运输的检验后，被认为是最合适的车轮间距。现在，人们通过考古发现，早在 3000年前的马车车辙间距是 4 英尺 8 英寸(1422mm)，也正是这一间距。由于火车车轮的宽度比马车车轮宽，故需要把轨道间距增加 12.7mm，这样一来，火车的轨距被定为 1435mm 。与此同时，也出现了宽轨距铁路，其设计轨距为 2140mm。窄轨距铁路和宽轨距铁路之间出现了竞争，铁路设计者们也就这一问题开展辩论，通过运输实践对比，人们发现：宽轨铁路比窄轨铁路要增加铁路建设投资，增加车辆的单重，在曲线处使轮轨的摩擦力增大，并增加轨道的维护费用等。说明窄轨铁路比宽轨铁路更经济。在英国，1846 年 8 月 18 日出台了铁路轨距标准法，规定铁路轨距为 1435mm。这个法律经当时的英国国王批准并在英国实施后，也带动了世界铁路轨距的标准化。

第二阶段 大约从 1900 年到 1950 年前后。在这一阶段中，铁路技术的进步主要是围绕机车技术的进步和钢轨断面的改进两个方面进行的。首先是电力机车的出现，为铁路的发展提供了干净的动力。最早的电力机车出现在 1879 年 5 月 31 日的巴黎工业博览会上。1901年由德国西门子公司研制出的电力机车正式问世，其车速达到 162.5km/h，这一速度突破了蒸汽机车 160km/h 的记录，创造了当时世界铁路速度的最高记录。在 1903 年 10 月 27 日，又创造了车速为 210.2km/h 的世界铁路记录。据查，到 1939 年，意大利的 ETR-200 机车的车速达到了 203km/h。与此同时，蒸汽机车的最高车速也提高到 202.7km/h，这是 1938 年 7月 3 日在英国创造的蒸汽机车的当时世界最高记录。在德国，其飞机和汽车业在

这一时期发展很快,为对抗其对运输市场的占领,德国首先研制成功了内燃机车,在 1931 年 6 月 21 日由内燃机车牵引的火车车速达到 230.2km/h。内燃机车的出现对发展无电地区的铁路提供了机遇。

机车车速和机车牵引力的提高，对钢轨的要求也越来越严格，特别是随着电力机车和内燃机车的出现，机车轴重的大幅度提高，要求使用更大断面的钢轨。原来蒸汽机车所用的单重仅在 18～38kg/m 的断面钢轨，已不足以抵抗大功率机车的磨耗，在这种形势下，1900 年出现了单重为 45.3kg/m 的钢轨，1916 年出现了单重为 58.9kg/m 的钢轨，1930 年出现了单重为 59.3kg/m 的钢轨。但这些钢轨的断面形状却基本保持了 1865 年的 T 形形状。有关钢轨断面的历史演变过程见图 12-2。

第三阶段 从 1950 年开始到现在。这一阶段是高技术铁路的飞跃发展时期，特别是 1964 年 10 月 1 日,世界上第一条高速铁路—— 日本东海道新干线的问世，向世人展示了高技术铁路的发展前景，使古老的铁路又焕发出了新的生机。从 20世纪 60 年代到现在,高技术铁路以其高的速度、高的运输效率、低的运行成本和其特有的安全舒适性，在陆海空运输中独占鳌头。

高技术铁路是以电力牵引技术为基础发展起来的，它综合了近代的通信技术、计算机技术、电子技术、自动化技术和冶金技术等学科的成果。其突出特点是高速、高效、安全。它包括了高速客运铁路、地下铁路、自动化铁路和重载铁路等领域。

从 1954 年开始，法国首先进行了大量的采用电力机车牵引列车的高速实验，在当年的 2 月 21 日用 CC7121 号电力机车牵引列车,创造了时速 243km 的纪录,在 1955 年 3 月 28 日又创造了时速 331km 的当时世界铁路速度的最高记录。日本在 1963 年 3 月 30 日在新干线的实验段创造了时速 256km 的记录。1974 年 8 月 10 日,美国创造了时速 410km 的世界铁路速度的最高记录。1989 年,法国的 TGV 线创造了时速 482.4km 的世界记录。1990 年 5 月 18 日,法国的 TGV 大西洋线又创造了时速 515.3km 的最新最高世界铁路速度。

从 20世纪 60 年代开始,世界铁路的技术发展趋势是高速、重载,以满足世界人口不断增加和经济快速发展的要求。不少运输和经济学专家认为，高技术铁路在 21 世纪将会有长足的发展。高技术铁路是以高速铁路、重载铁路和自动化铁路为代表的。近 40 年的高技术铁路发展历史说明,高技术铁路是 21 世纪世界铁路发展的主流,它具有航海、航空和汽车运输无法比拟的优势,其主要特点有以下 3 个方面：

(1)运输效率高，运量大，运行的成本低。据国外有关资料介绍，高速铁路的列车密度可达到每间隔 4～5min 发出一列,每天可开行 200～240 列列车。每年可运送旅客 6000-8000 万人。其劳动生产率为公路运输的 15 倍,为航空运输的 50 倍,这是航空和公路运输根本无法相比的。其投资的收益率在 12%以上,一般在 10 年之内就可以还清全部工程贷款。据日本修建新干线以后的统计，从东京到大阪，由于有新干线，每年节约旅行时间达 3 亿 h,按其旅客的时间价值计算,可创造 4000亿日元的价值，这相当于修建新干线的投资，从中可见高速铁路的社会效益的巨大。其无形的社会效益就更大，主要表现在对综合国力的提高。不少经济学家在谈到日本经济在 20 世纪 70 年代能够腾飞的原因时，均认为新于线高速铁路起到了非常巨大的作用。一般认为，高速铁路的效益比普通干线铁路的效益至少提高 20%～35%.

(2) 能耗低,有利于环境保护。据测定,每人每公里的能耗,高速铁路为 569.4kJ ,轿车

为 3299.2kJ ,飞机为 2989.4kJ。从以上数据不难看出，高速铁路比高速公路和飞机更节能。这对于石油储量日见减少的今天和明天，意义是重大的。高技术铁路由于是采用电做能源，它基本上无粉尘、油烟、废气等污染,既不会造成飞机的酸雨,也不会形成轿车的二氧化碳对空气的污染，这无疑对改善生态环境和人民的健康状况是有益的。

(3) 安全、舒适、准时。高技术铁路由于采用了最现代化的科学技术、最好的材料和最现代化的事故预防技术，可以避免出现重大事故。日本的高速铁路从开通到现在，未出现过死亡事故就是最好的证明。而无论是高速公路运输还是航空运输，其事故率至今仍居高不下。仅据日本的统计，汽车事故是铁路事故的 1570倍,飞机事故是铁路事故的 63倍。我们从中不难看出，高技术铁路是当今最安全的运输方式。高速铁路的旅客车厢空间大，可以给旅客的旅行生活提供很大的活动场所，尤其是豪华的车厢，其设施可以和星级宾馆相比，为旅客的旅行创造安静、舒适的环境。这一点也是汽车和飞机运输所无法相比的。高技术铁路是采用全立交、全封闭、计算机在线控制的一种运输系统,列车的运行一般不受天气、地面运输等环境的影响，基本上是全天候运输作业，列车的准点率在 99%以上。而这也是飞机和汽车难以实现的。

1.3 世界各国铁路火车运行的历史记录

世界各国铁路火车运行的历史记录见表 1-2，世界各国磁悬浮实验列车最高速度记录见表 1-3。

表 1-2 世界各国铁路火车运行的历史最高记录

时　间	国　别	动　力	最高速度 /km·h^{-1}	备　注
1829 年 10 月 8 日	英国	蒸汽	46.8	当时世界记录
1893 年 5 月 11 日	美国	蒸汽	181	
1901 年	德国	电力	162.5	
1903 年 10 月 23 日	德国	电力	206.8	
1903 年 10 月 27 日	德国	电力	210.2	
1904 年 5 月 9 日	英国	蒸汽	164.6	
1931 年 6 月 21 日	德国	内燃	230.2	
1932 年 12 月 19 日	德国	内燃	165	内燃动车
1936 年 2 月 17 日	德国	内燃	205	
1936 年 5 月 11 日	德国	蒸汽	200.4	
1938 年 7 月 3 日	英国	蒸汽	202.7	
1939 年 6 月 23 日	德国	内燃	215	
1939 年 7 月 20 日	意大利	电力	203	本国记录
1954 年 2 月 21 日	法国	电力	243	
1955 年 3 月 28 日	法国	电力	331	
1955 年 3 月 29 日	法国	电力	331	世界记录
1963 年 3 月 30 日	日本	电力	256	
1966 年 7 月 23 日	美国		295.8	
1971 年 10 月 19 日	法国		252	

续表 1-2

时　间	国　别	动　力	最高速度 /km·h^{-1}	备　注
1972 年 2 月 24 日	日本	电力	286	本国记录
1972 年 5 月 20 日	西班牙	内燃	222	本国记录
1972 年 12 月 8 日	法国	内燃	318	TGV001
1973 年 6 月 11 日	英国	内燃	230	
1974 年 8 月 14 日	美国		410	世界记录
1975 年 8 月 10 日	英国		245	本国记录
1975 年 10 月 15 日	法国	电力	309	
1978 年 5 月 4 日	西班牙	内燃	230	
1979 年 12 月 7 日	日本	电力	319	新干线
1979 年 12 月 20 日	英国	电力	257	APT-P
1981 年 2 月 26 日	法国	电力	380	TGV-PSE
1981 年	澳大利亚	内燃	183	XPT
1985 年 11 月 26 日	西德	电力	317	ICE
1986 年 11 月 17 日	西德	电力	345	ICE
1986 年 11 月 20 日	日本	电力	271	新干线-200
1988 年 5 月 1 日	西德	电力	406.9	ICE
1988 年 11 月 29 日	西德	电力	291	
1989 年 1 月 10 日	法国	电力	408.9	TGV-PSE
1989 年 9 月 8 日	日本	电力	276	新干线-200
1989 年 9 月 17 日	英国	电力	260	IC225
1989 年 12 月 5 日	法国	电力	482.4	TGV-A
1990 年 2 月 10 日	日本	电力	277.2	新干线-100
1990 年 5 月 18 日	法国	电力	515.3	TGV-A
1991 年 2 月 28 日	日本	电力	325.7	新干线-300
1991 年 3 月 26 日	日本	电力	336	新干线-400
1991 年 9 月 19 日	日本	电力	345	新干线-400
1992 年 1 月 10 日	西班牙	电力	330	AVE
1992 年 4 月	意大利	电力	316	ETR-500
1992 年 8 月 8 日	日本	电力	350.4	新干线-500
1992 年 11 月 1 日	日本	电力	358	新干线 953
1993 年 7 月	瑞典	电力	276	XPT
1993 年 12 月 21 日	日本	电力	425	新干线-953

表 1-3　世界各国磁悬浮实验列车最高速度记录

时　间	国　别	磁悬浮方式	推进方式	车　辆	最高速度 /km·h^{-1}
1975 年 2 月	西德	超导	LIM	EET01	230
1976 年 2 月 19 日	西德	常导吸式			401.3
1977 年 11 月	西德	常导吸式	LIM	TR04	253.2
1978 年 1 月	日本	常导吸式	LIM	HSST-01	220.6
1978 年 2 月 14 日	日本	常导吸式	LIM	HSST-01	307.8
1979 年 12 月 21 日	日本	超导诱导	LSM	ML500	517

需要全本请访问 www.ertongbook.com

续表 1-3

时　间	国　别	磁悬浮方式	推进方式	车　辆	最高速度 /km·h^{-1}
1985 年 12 月 12 日	西德	常导吸式	LSM	TR06	355.3
1987 年 1 月 29 日	日本	超导诱导	LSM	ML001	405.3
1987 年 2 月 4 日	日本	超导诱导	LSM	ML001	400.8
1987 年 12 月 11 日	西德	常导吸式	LSM	TR06	406
1987 年 12 月 14 日	日本	超导诱导	LSM	MLU02	306
1988 年 1 月 22 日	西德	常导	LSM	TR06	412.6
1989 年 2 月 17 日	日本	超导诱导	LSM	MLU01	362.1
1989 年 11 月 9 日	日本	超导诱导	LSM	MLU02	394.3
1989 年 12 月 18 日	西德	常导	LSM	TR07	435
1993 年 6 月 10 日	德国	常导吸式	LSM	TR07	450
1994 年 2 月 24 日	日本	超导诱导	LSM	MLU02	431
1995 年 1 月 26 日	日本	超导诱导	LSM	MLU02	411

2 高速铁路技术发展现状

高速铁路的技术按其工作原理可分为两大类：采用轮轨系统的高速铁路和采用磁悬浮系统的高速铁路。

2.1 轮轨系统的高速铁路

目前已经投入运营的高速铁路设计全部是采用轮轨系统，轮轨系统的高速铁路无论是总体设计，还是车体制造及线路施工维护技术都已成熟，这一系统已在世界各国运行了近40年。40年的运行证明了轮轨系统的高速铁路是成功的，并告诉人们这一系统在高速运行的情况下是可靠的、安全的和高效的，被世界各国的政府和铁路部门所接受。

轮轨系统的高速铁路车速现已达到200～350km/h，全世界已建成的高速铁路总长约5000km。其中，日本有4条，法国有3条，英国有1条，德国有2条，西班牙有2条，波兰有1条。全世界在建或计划建的高速铁路约6000km，分布在13个国家，主要有日本、美国、中国、俄罗斯和韩国等。

采用轮轨系统的高速铁路，大多数是以大功率的电力机车或内燃机车为动力。高速铁路的线路采用小坡度，一般为0.8%～3.5%，线路曲线采用大半径，一般为2500～8000m。通常，人们把时速200km的高速铁路定为第一代高速铁路，把时速300km的高速铁路定为第二代高速铁路，把时速350km的高速铁路定为第三代高速铁路。轮轨系统的高速铁路其实验车速已达到515km/h，到目前为止，世界各国已建成的和规划中的长距离的高速铁路基本上都是采用轮轨系统设计的。

2.1.1 轮轨系统高速铁路的建设条件和主要设计参数

2.1.1.1 建设高速铁路的地域条件

高速铁路应建在人口超过100万的大中城市密集沿线，人口的密度大，客流量在5000万人次／年以上的地域。同时，这一地区应具备发达的经济，国民生产总值应占全国的20以上为好，以便有足够的财力支持高速铁路的巨大建设费用和良好的投资回收能力。

这一地域地形应比较平缓，供电电网条件较好，这两点对高速铁路建设也是很重要的。地形平缓可减少线路的桥梁和隧道数量，节约投资。供电条件好，有利于降低铁路运营成本。

2.1.1.2 车速的选择

车速的选择主要是以满足地域的运输需要为首要参考因素，同时，还要根据所建的高速铁路设计方案进行综合考虑。现在，世界上高速铁路的设计方案大体有如下几种：

(1) 全部建新线，单一客运方案，如日本；

(2)部分新建，部分改造已有线路，单一客运方案，如意大利；

(3)全部建新线，客货共用方案，如法国；

(4) 基本是利用原有线路，采用摆式车体，客货混运方案，如英国。

这 4 种方案中，第(1)方案和第(3）方案投资大，列车的速度可以达到 260～350km/h,甚至更高。第(2)方案投资比第(1)、第(3)方案要省，列车速度可以达到 250～300km/h ,但速度的潜力受已有线路的影响。第 (4)方案投资最少，但受线路和摆式车体制造技术的限制，列车速度仅可达到 160～220km/h。

2.1.1.3 线路最小曲线半径的选择

根据最小曲线半径公式 $R_{min}=11.8v_{max}^{2}/(h_m+h_q)$ ）可以确定线路的最小曲线半径。v_{max}是指列车的最高速度；h_m是指线路的实置超高值；h_q是指线路允许欠超高值。高速铁路的最小曲线半径一般在 2500～8000m

2.1.1.4 超高度的选择

根据公式 $h=11.8v_{平}^{2}/R$ 可计算出超高度。$v_{平}$是指列车通过曲线的平均速度，一般采用 $v_{平}=0.8v_{max}$；R 为曲线半径。高速铁路的超高度一般在 125～200mm。

2.1.1.5 最大坡度

坡度的确定是根据地形和投资等条件来决定的。一般来说当最大坡度大时，可减少工程量，但是列车的速度下降。因此要进行综合考虑来确定最大坡度，通常选择为 0.8%～3.5%.

2.1.1.6 竖曲线半径

竖曲线半径按计算公式 $R=v2/3.62A$ 来确定。其中，v 是列车的速度；A 是竖向的离心加速度。竖曲线半径一般设计为 10000～25000m。

2.1.1.7 轨道断面的选择

高速铁路速度快,安全性能要求高。对安全影响最大的是钢轨断面的刚度、几何尺寸精度、外观平直度、钢质的纯净度和焊接性能。综合这些要求，世界各国的高速铁路均选用 60kg/m 钢轨,其长度多为 25m、36m、50m 或 100m,经工厂焊接成 250m 左右的长轨后,再在线路上焊接成 1000m 以上的更长轨,铺设在线路上,构成无缝线路。

钢轨的钢种多采用强度为 900MPa 的碳素轨或低合金轨。碳素轨的焊接性能一般优于低合金轨的焊接性能。高速铁路对钢轨的化学成分要求严格,不仅对碳、硅、锰、磷、硫含量有严格的限定,而且对钢中的残余元素如铬、镍、铜、锡、锑、钛、铌、钒等的含量均有明确的限定。同时，对钢中的气体含量也有严格规定。为确保钢轨的疲劳性能，对钢轨的钢质纯净度指标,如钢中的硫化物、氧化物、硅酸盐等夹杂物的含量和大小也均有严格限定。

为行车安全和列车的舒适度，用于高速铁路的钢轨的断面尺寸、外观平直度和表面质量,要比普通轨精度提高 1～3 倍。

为确保高速铁路钢轨的质量，世界各国在生产高速轨时均采用“三精”生产工艺，即精炼、精轧和精整。

精炼一般是采用转炉或电炉冶炼，采用 LF 炉精炼,经 VD 真空脱气后，采用大方坯连铸。

精轧一般是采用步进式加热炉加热，高压水除鳞后，在经万能轧机轧制后，在带有反向预弯的冷床上冷却。

精整一般是采用平立联合矫直机矫直后，再用涡流和超声波探伤装置对钢轨的内部和外部质量进行检查。最后，用锯钻联合机床，将轧件加工成具有一定长度的钢轨。同时还要用波浪米尺对钢轨的外观进行检测。

2.1.1.8 轨枕和道床

世界各国的高速铁路大多是采用钢筋混凝土轨枕，钢筋混凝土轨枕具有强度高、耐腐蚀、寿命长、稳定性好等优点。各国采用的轨枕主要有两种：一种是整体轨枕，另一种是双块轨枕。双块轨枕比整体轨枕稳定性好，单重轻。

高速铁路的道床应具备坚固稳定、弹性和渗水性较好等特点，一般是采用双层道床结构。世界各主要高速铁路线路结构见表 2-1。

表 2-1 世界主要高速铁路线路结构

项目	日本	法国	德国	意大利
	东海道	TGV 东南线	汉诺威—维尔茨堡	罗马—佛罗伦萨
轨距/mm	1435	1435	1435	1435
线间距/m	4.2	4.2	4.7	4.0
最小曲线半径/mm	2500	4000	7000	3000
竖曲线半径/mm	10000	25000	25000	20000
最大坡度/%	20	35	12.5	8.5
最大超高/mm	200	180	150	125
钢轨单重/kg·m^{-1}	60	60	60	60
轨枕形式及长度/m	整体轨枕，2.4	双块轨枕，2.6	整体轨枕，2.6	整体轨枕，2.6
道床和道床厚度/mm	碎石，250	碎石，350	碎石，300	碎石，350

2.1.1.9 高速铁路的道岔

铁路容许通过速度的计算公式为：

$$v = 3.6LC_B/C_{B0}$$

式中 v——容许通过速度，km/h；

L——缓和曲线长度，m；

C_B——超高，mm；

C_{B0}——超高的时间变化比例，mm/s。

而容许的超高为：

$$C_B = 11.8v^2/R$$

式中 v——容许通过速度，km/h；

R——曲线半径，m。

在超高的时间变化比例为 57mm/s、缓和曲线按 19m 考虑的情况下，设计出各种型号的道岔。

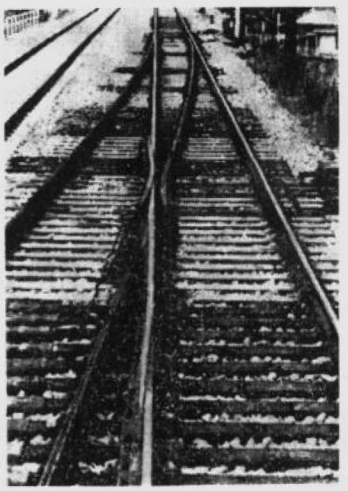


图 2-1 日本新干线用道岔示意图

各种道岔的容许通过速度见表 2-2。

新干线采用的 18 号可动心轨式道岔如图 2-1～图 2-3 所示。

表 2-2 各种道岔的容许通过速度

道岔规格			9 号	10 号	12 号	14 号	16 号	18 号
道岔结构			固定式		可动心轨式			
容许通过速度/km·h^{-1}	考虑超高量		35～40	40～45	60～65	65～75	75～85	85～95
	考虑超高时间比例	单线	40	45	55	60	65	70
		连接线			50	55	65	70

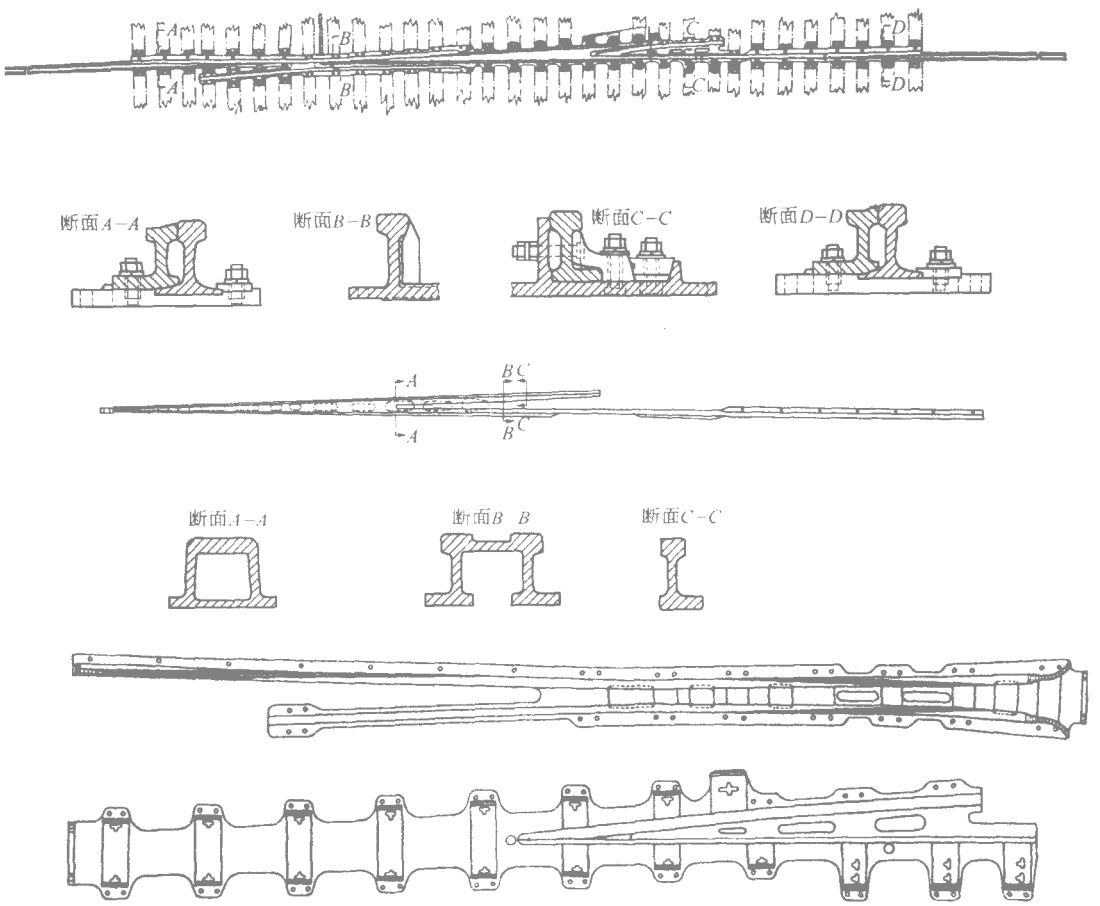


图 2-2　日本新干线用道岔结构示意图

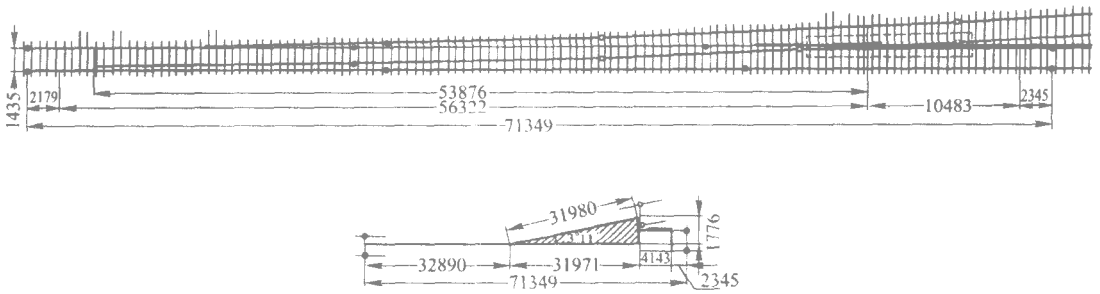
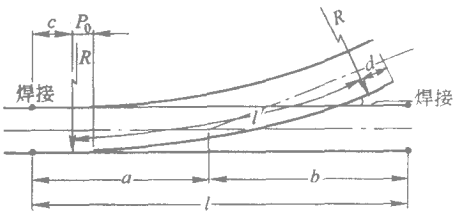


图 2-3　日本新干线用道岔全程结构图

可动心轨式道岔由 3 部分组成，即尖轨、可动心轨部分和道岔本体。考虑到道岔的工作条件主要是耐冲击和耐磨耗，其材质通常采用高锰钢。

可动心轨式道岔的规格和主要设计参数如表 2-3所示

表 2-3　可动心轨式道岔的规格和主要设计参数

示　意　图	可动心轨式道岔规格号数	12	14	16	18
	道岔夹角 θ	4°46′	4°05′	3°34′	3°11′
	引线半径 R/m	516	683	861	1106
	道岔全长 l/m	52.65	59.17	66.28	71.35
	a/m	24.44	27.05	29.33	32.89
	b/m	28.21	32.12	36.96	38.46
	c/m	2.995	2.731	2.482	2.179
	d/m	0.909	1.413	1.819	1.267
	l'/m	42.93	48.67	53.72	61.45
	P_0/m	1.630	1.894	2.143	2.446

2.1.2　轮轨系统高速铁路所用车辆

高速客运铁路所用车辆可分为客车和机车两类。其客车的车体结构基本和普通车速的客车一样，由车体、转向架、车轮和制动装置等部分组成。由于高速列车速度快，列车的安全性相对要求更高，这也对高速列车的性能提出了更高的要求。如在列车通过小半径曲线时为了提高旅客的舒适度，各国研制出了高速铁路用摆式车体。摆式车体是利用其倾摆装置，在列车通过曲线时，让列车向曲线内侧倾斜 2°～8°，以此来克服列车转弯时产生的离心力。采用摆式车体可以使列车在通过曲线时的车速提高 20%左右,车速可以达到 160～200km/h。

为了确保高速列车运行的稳定性和通过曲线时的良好转向，各国研制成功高速转向架。这种高速转向架采用了多种先进技术，可以克服列车运行中出现的蛇行和震动，从而提高了列车运行的稳定性和旅客乘坐的舒适性。用于高速列车的转向架其结构形式是多种多样的，如车体的悬挂，就有带摇动台的和不带摇动台的；有摇枕的和无摇枕的数种。

列车的制动也是高速列车设计中的一个重要问题，列车在 200km/h 以上的速度下行驶时，必须有良好的减速和停车制动装置，以满足列车行驶和处理紧急情况的要求。各国高速客车的制动方式主要有如下几种：踏面制动、盘型制动、磁轨制动、电磁涡流制动和防滑增黏装置。即使使用这些先进的制动装置，列车欲从运行速度达 300km/h 的状态下完全停下来，在制动后还要滑行大约 3500m。由此可以看出，高速列车的巨大惯性和列车制动的难度。

为了旅客长途旅行的舒适，高速列车的座椅设计为靠背式，靠背的角度是可调的，背后设有活动茶桌，以方便旅客用餐和放置东西。通常，国际上高速列车的客车分为一等车和二等车。一等车厢较宽敞，与普通旅客列车的包厢布局类似。高速列车的客车车厢内，还设有可供旅客购物的小卖部、可供旅客在列车上通讯的电话间、可供旅客吃饭的餐厅和可供旅客收看节目的电视等设施，如图 2-4 所示。

高速铁路的旅客客车，车体外形美观，多为流线型。车体具有质量轻、重心低等特点。为了减轻车体质量，高速铁路的旅客列车车体采用铝合金或不锈钢材料制成，这样车体质量可以减轻 30%～40%。由于铝的强度比钢的强度低，为保持车体结构的强度，多采用挤压成形的铝合金型材。为提高车体的耐火性、耐候性并有利于美观，多采用不锈钢板做车体内部天花板和地板。近年来玻璃钢也被应用做车体材料。为了控制车内噪声，必须提高列车的密封性，主要措施是：车窗采用双层真空玻璃，车体采用制震钢板作为车体的地板和侧墙板。为了保持车内空气新鲜，列车上设有高性能的通风换气装置和空调设备。为了防火，高速列车上的装饰材料全部采用具有防火功能的材料。同时，在每一节车厢内设有烟雾报警

需要全本请访问 www.ertongbook.com

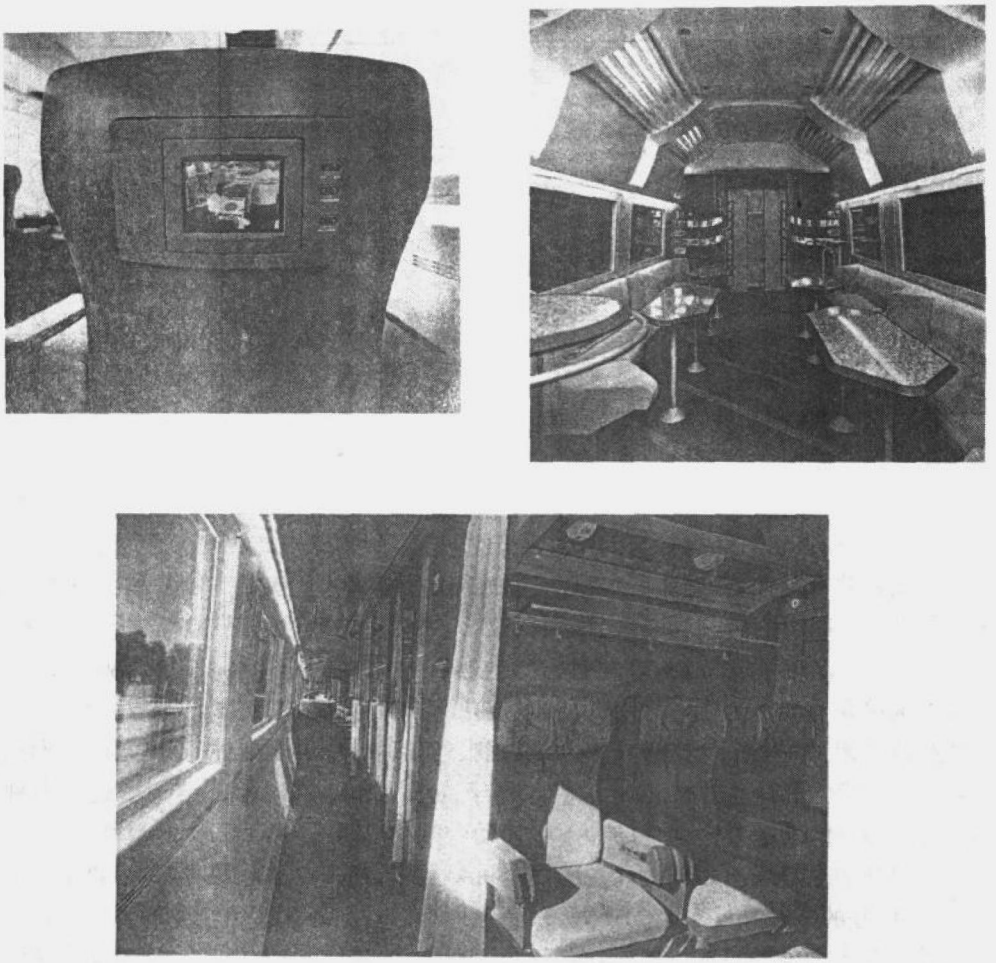


图 2-4　德国 ICE 高速列车车内设施示意图

装置和列车紧急出口

高速铁路的机车采用了许多高新技术，主要包括电力牵引技术、流线形车体外观设计技术、列车的制动技术和列车的转向技术等。高速列车的牵引动力是保证列车高速运行的基本条件之一，它必须具备比普通列车更大的牵引功率。如日本高速系列的每列列车牵引的总功率达 11840kW ,法国 TGV 每列列车的总功率达 14000kW。要达到这样大的功率,列车的牵引方式多采用分散或相对集中的动车组方式。由于电力牵引具有牵引功率大、轴重轻、无污染等优点，世界大多数国家的高速铁路都是采用电力牵引。对于不具备电气化的地区，高速列车也可采用内燃电传动牵引。

列车牵引动力的配置有两大类：一类是牵引动力集中配置，这一类又可分为两种，即牵引动力集中配置在列车的一端和牵引动力集中配置于列车的两端；另一类是牵引动力分散配置，这一类也可分为全部分散配置和部分分散配置两种。

高速列车的机车外形要考虑减小列车在高速行车时的空气阻力，这有利于节能和提高车速。为此，列车的机车车头基本上是设计成流线形的，从而使空气阻力系数减小到 0.2 的水平或更低。

高速机车的制动系统采用摩擦制动和动力制动两种。摩擦制动又可分为踏面制动、盘型制动和电磁轨道制动 3 种。动力制动又分为电阻制动、再生制动、电磁涡流制动几种。一般高速列车的制动常采用几种制动的组合方式。如日本的 100 系列机车就是采用电阻制动＋盘型制动系统。

高速铁路对机车的行走部分——转向架的可靠性、安全性都提出了比客车更高的要求。为减小在列车运行中垂直方向的动力作用力，在设计上将牵引电动机、齿轮传动和盘型制动装置一起悬挂在车体和转向架之间。在机车上，转向架的牵引力是通过斜拉杆传递给车体的。转向架轴箱的纵向定位是采用拉杆来实现的，横向定位是采用圆弹簧来实现的，这样可以减少所用的定位部件，提高了转向架的可靠性。

高速列车的转向架结构见图 2-5

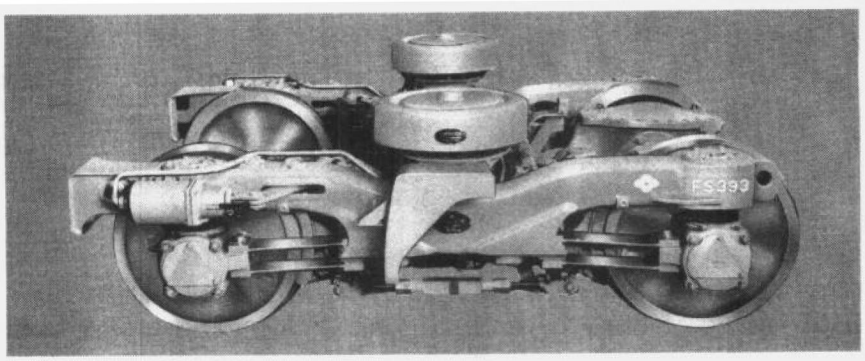


图 2-5　新型转向架结构示意图

英国 IC125 和 IC225 高速铁路机车结构、德国 ICE 高速铁路机车结构如图 2-6、图 2-7 所示。

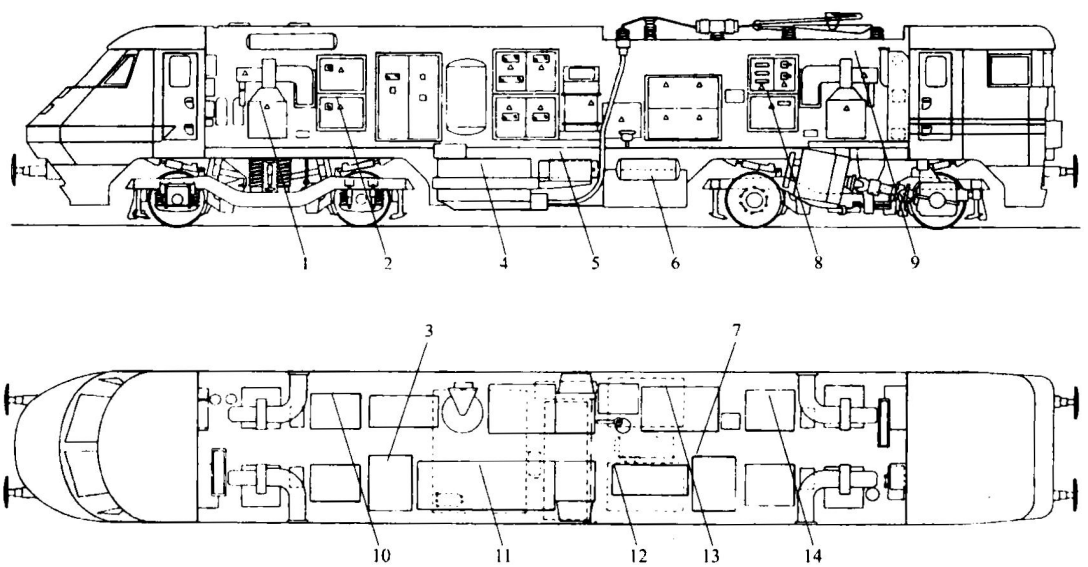


图 2-6　英国 IC125 和 IC225 高速铁路机车结构示意图

1—电机抗流器；2—高压开关；3—变阻器；4—变压器；5—冷却器；6—空压机；7—变阻器；8—高压开关；9—电机风扇；10—仪表柜；11—变流器；12—闸；13—电池组；14—辅助柜

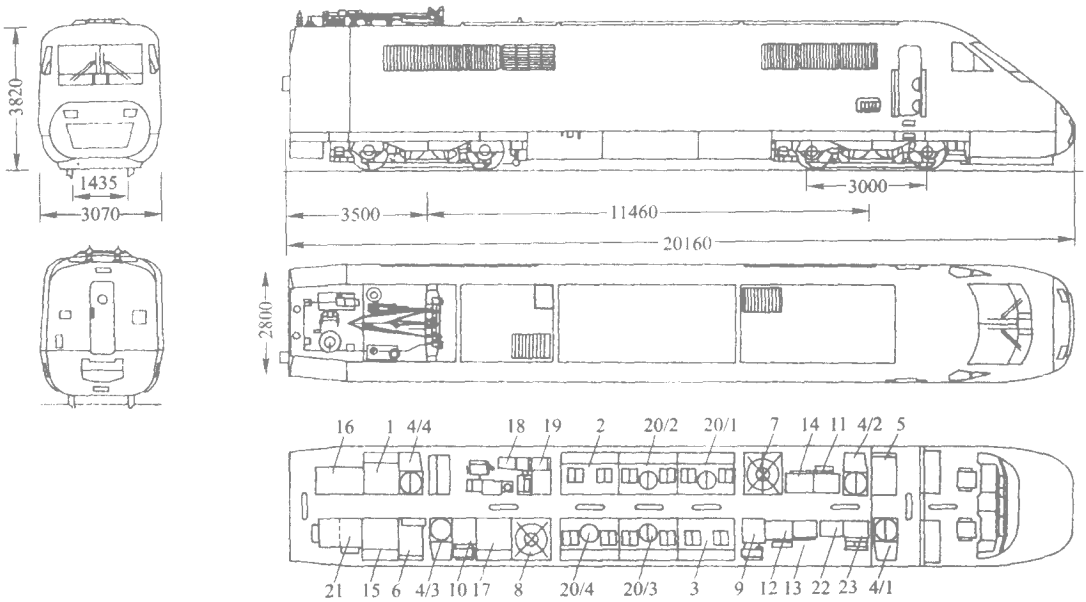


图 2-7　德国 ICE 高速铁路机车结构示意图

1—动力供应；2、3—整流器；4/1～4/4—电机风扇；5、6—过流保护；7、8—油冷系统；9、10—备用整流器；11～14—电子仪表；15、16—电控设备；17—变速箱；18—空压机；19—空调；20/1～20/4—变频器；21—计量和诊断设备；22—LZB；23—涡流供电系统

为减小列车的噪声和保证运行的平稳，对高速铁路的车轮有严格的要求，主要是反映在如下几个方面：

(1) 车轮的材质要纯净，要有良好的耐磨耗、耐冲击性能；

(2) 车轮内在质量和表面质量要良好；

(3) 车轮的几何尺寸精度要高；

(4) 车轮的质量要均匀；

(5) 车轮的动力学性能要均衡。

日本新干线高速列车上所用的车轮和车轴如图 2-8 所示。

2.2　磁悬浮系统的高速铁路

该类高速铁路系统是采用磁悬浮原理设计的。目前，这类高速铁路系统仍处于实验阶段。

2.2.1　磁悬浮运输系统的原理和特点

磁悬浮列车(见照片 1)是利用电磁原理和超导原理研制的一种高速列车。在电磁场产生的吸力或斥力作用下，列车被托起悬浮在线路上，靠线路上和车辆上的线性电机所产生的推力前进。图 2-9 为德国磁悬浮列车原理示意图。与轮轨系统的高速列车相比，磁悬浮列车的车速可以更快，运行更平稳，又不产生污染，是一种理想的交通工具。但其技术难度大，目前尚在实验研究中。另外，磁悬浮高速铁路的投资比轮轨高速铁路的投资要高出 20%

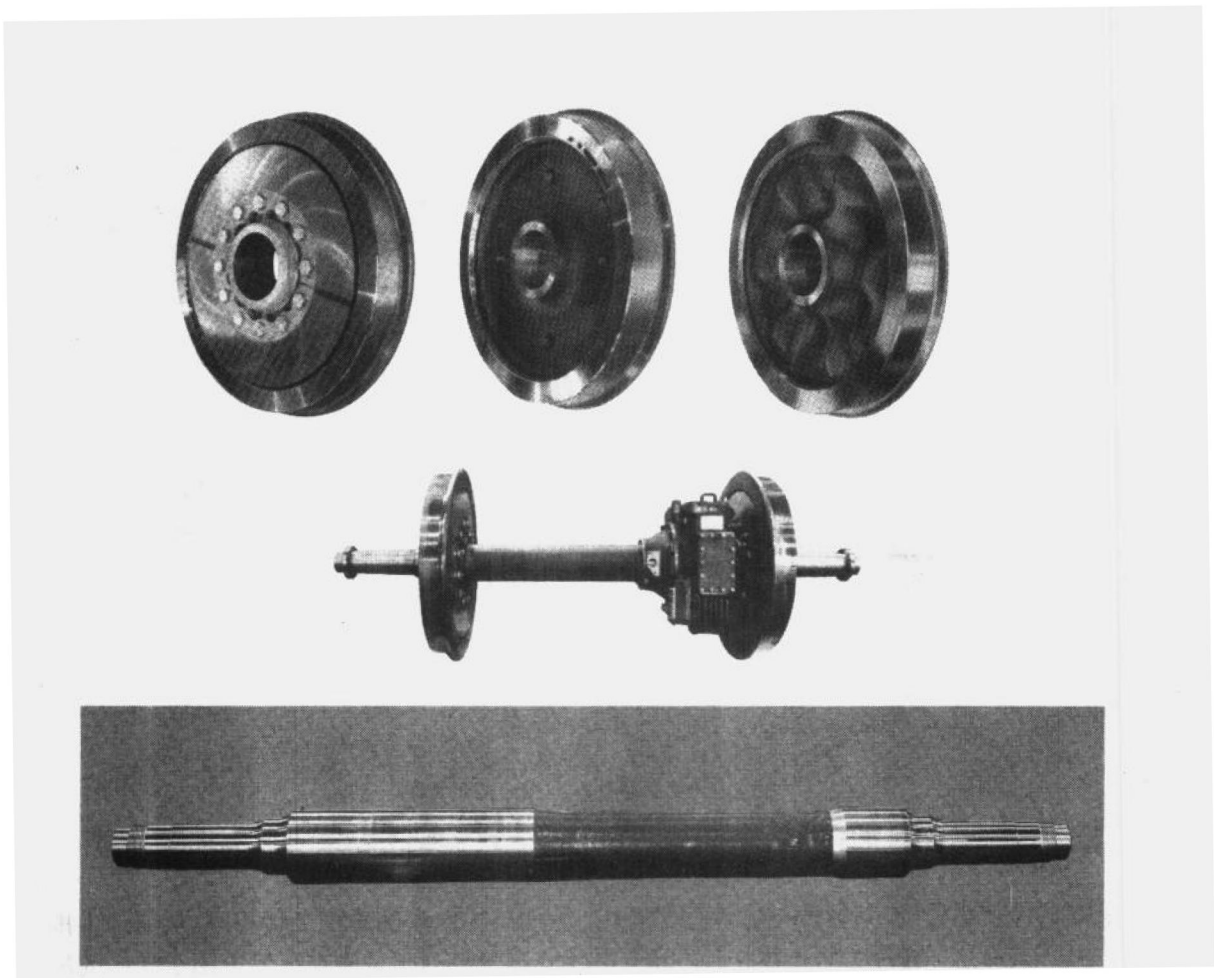


图 2-8　日本新干线高速列车上所用的车轮和车轴

40%以上。

2.2.2　磁悬浮运输系统的种类

列车所需的电磁力是利用常导或超导原理产生的。根据悬浮原理的不同，又可将磁悬浮列车分为常导磁吸式磁悬浮列车 EMS(Electro Magnetic Suspension　)和超导磁斥式磁悬浮列车 EDS(Electro Dynamic Suspension）。两种磁悬浮列车的工作原理简介如下：

(1) 常导磁吸式磁悬浮列车的工作原理。列车的悬浮是利用安装在车体上的常导电磁铁与安装在线路导向轨上的磁铁间相互作用而实现的。设计上分别让这两个磁铁具有不同的磁极,一个作为 N 极,另一个作为 S 极，这样在车辆和线路导轨之间就产生了可以使列车浮起的吸引力。通过安装在车辆两侧面的导向线圈产生的磁力与线路导向轨的磁场所产生的相互排斥作用，来控制列车的运行方向。列车是采用直线电机的原理来牵引车辆前进，相当于电机转子的线圈安装在车辆的底部，而电机定子的线圈安装在线路的轨道上，这样，在定子线圈接通电源后产生磁场，转子线圈因切割磁场而感生电流，从而使带有转子的车辆与带有定子的线路之间产生相对直线运动，使列车前进。常导磁悬浮列车采用直线异步电机，这种结构简单,造价低,其功率也低,多用于短程低中速的铁路运输。

(2) 超导磁斥式磁悬浮列车的工作原理。在车辆底部安装有超导体，超导体接通电流

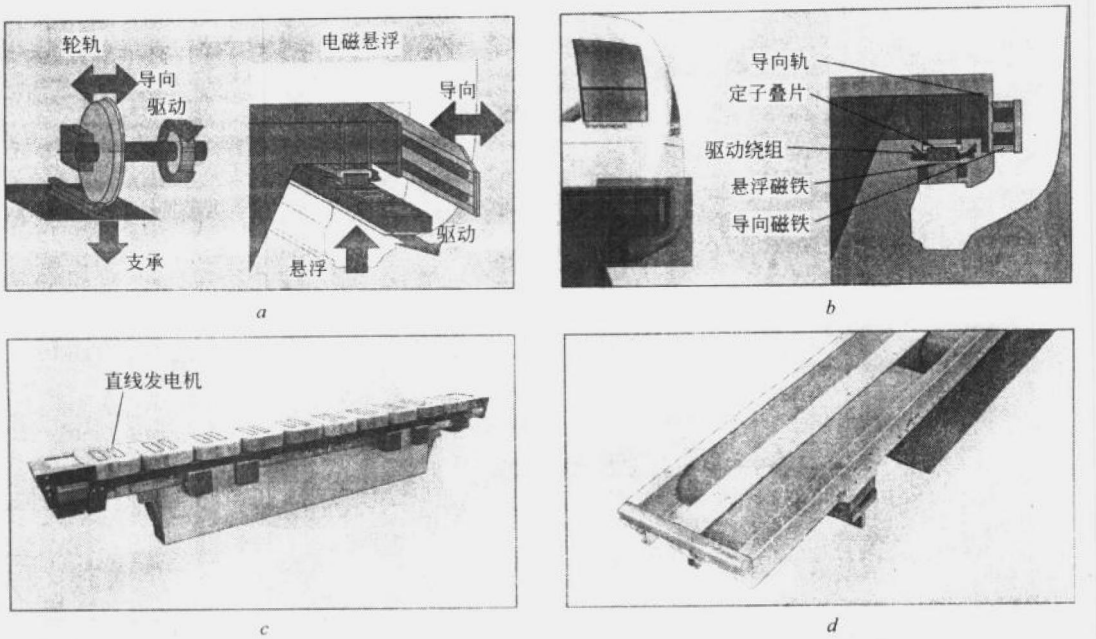


图 2-9　德国磁悬浮列车原理示意图

a—运捷列车系统的无接触电磁悬浮和驱动取代了车轮和铁轨的功能；*b*—悬浮系统依靠列车电磁铁和铁磁反应轨之间的吸力工作；*c*—悬浮磁铁把列车从下方吸向路轨；*d*—导向磁铁保证侧向运行轨迹

后，超导体产生磁场，其极性与线路上线圈中产生的感生电流的磁场极性相同，从而产生排斥力，正是靠这一排斥力将车体托起。超导磁斥式磁悬浮列车是靠在车辆上用于导向的超导磁体与线路上的线圈所产生的斥力来控制列车的运行方向的。超导磁斥式磁悬浮列车的前进原理与常导磁吸式磁悬浮列车的前进原理一样，都是靠直线电机推动的。所不同的是，超导磁斥式磁悬浮列车采用的是直线同步电机。直线同步电机的性能优于直线异步电机，其功率因数高，质量轻，但技术复杂，造价高，适用于高速铁路。

从有关国家的实验研究成果看：常导磁吸式磁悬浮列车（EMS）因不采用超导技术，仅采用直线异步电机，整个工程的造价低，技术可靠，比较适合用于中低速的铁路运输系统。而超导磁斥式磁悬浮列车(EDS)具有技术难度大、造价高、设备质量轻、功率大、速度快等特点，它更适合于长途高速铁路运输系统。

磁悬浮列车与传统的铁路不同，由于列车是悬浮在线路上，它消除了传统轮轨列车轮轨之间的摩擦力，这样一来，既节能又有利于列车高速平稳运行。同时，因其无震动、低噪声和污染小，而有利于环境保护。

世界上不少国家都开展了磁悬浮列车的研究，其中有日本、德国、加拿大、美国、法国、澳大利亚和中国等。准备采用超导磁悬浮列车的高速铁路路线有：

（1）从法国的巴黎到德国的法兰克福，长 515km。

（2）加拿大的蒙特利尔到渥太华，长 193km。

（3）美国的芝加哥到密尔沃基，长 120km。

（4）德国的汉堡到汉诺威，长 153km。

(5) 日本的东京到甲府,长 50km。

2.2.3 磁悬浮运输系统的研究历史及现状

采用磁悬浮列车的构想，早在　　年就有人提出了　　年 8 月 14 日德国人 Hermann Kemper 发明的“无轮悬浮式铁路”(Suspension railway with wheel less vehicles)取得了专利(专利号 DRPNO643316)。一年后，他拿出了无轮悬浮式铁路的设计模型车，这台车承载能力可以达到 210kg。但关于技术工艺的许多问题由于受到材料的限制而未能得到解决，研究工作一直被搁置下来。直到 20 世纪 60 年代,随着日本高速铁路——新干线的成功运营，人们又重新开始了对磁悬浮列车的研究。现在，世界上许多国家都在研究磁悬浮列车，成果显著的是德国和日本。

2.2.3.1 德国关于磁悬浮列车的研究成果

1969 年，当时西德的运输部长指示研制一种新型的高速铁路系统，以解决旅客运量日益增长的需要。由 KM(Krauss Maffer) 公司首先开始研究悬浮列车，当年设计出了常导磁吸式磁悬浮列车的 TR01 型模型车，这是全自动运行、采用磁悬浮原理制造的第一辆列车。

MBB(Messerschmitt Bokow Blohn) 公司设计的可载人的 TR02 型实验车，采用的是 EMS技术。车重 10.7t ,设有 8 个座位。1971 年 10 月 6 日,在一条长 930m 的实验线路上实验,车速曾达到了 164km/h。通过对高速铁路的研究发现，其车速可达 400km/h ,这将会给一个国家的国民经济带来巨大效益。

1975 年蒂森与 Henschel 公司联合开发修建了 HMB 实验铁路，这是第一条采用长定子的磁悬浮铁路。1976 年又修建了第二条 HMB 实验线路，这是第一条可载人的采用长定子的磁悬浮铁路。

1977 年 11 月,TR04 型(重 18.5t ,设有 20 个座位)实验车车速达到了 253.2km/h。

1979 年 TR05 型实验车在汉堡的国际运输博览会上亮相，它可以以 75km/h 的速度运行 908m ,在 6 个月的展出期间先后有 5000 名参观者乘坐。为了进一步改进其性能,将在爱母司兰德地区 (Emsland) 建设一条新的实验线路 TVE，用以了解磁悬浮列车的运行情况。

1980 年又推出了 TR06 型实验车，同时开始了在爱母司兰德地区的实验线路的建设。

1981 年成立了 MVP 磁悬浮实验与发展公司。

1983 年 TR06 型车问世，开始在 TVE 实验线路上运行。这列车由两节车体组成，长 54.2m, 宽 3.7m ,高 4.2m ,最快速度为 412km/h ,总重 125t ,有 60 个座位。

1988 年,一条长 31.5km 的灯泡型实验线路在爱母斯兰德地区全部建成后，整个实验工作进入了第二阶段。1988 年设计出了时速达 450km/h 的 TR07 型实验车,车长 54m ,宽 3.7m ,高 4.2m ,车重 113t，设有座位 48 个。1993 年在正常运行情况下,TR07 型实验车创造了 450km/h 的世界记录。

1999 年又设计出 TR08 型实验车,它由 3 节车厢组成,车长 79m, 宽 3.7m, 高 4.2m ,总重 200t,设有坐席 190 个。其最高速度为 406km/h。TR08 型车在 TVE 线路上的成功运行，表明磁悬浮铁路已进入实际运营的实验阶段。

1992 年德国计划在柏林到汉堡之间建设一条长 283km 的磁悬浮铁路,投资 80 亿～90 亿德国马克，设计车速为 400km/h,列车全程运行时间为 53min ,一年可运送旅客 1450 万人次。每趟列车间隙 10min ,共设 19 趟列车,每列车载客 332 人,每列车设有 4 辆客车。这条磁悬浮铁路计划从 1995 年开始建设,预计 2002 年投入使用。但因投资过大，超过政府原

需要全本请访问 www.ertongbook.com