

第一章 铁路与机车车辆的发展历史

人类文明的进步总是伴随着交通运输的发展，可以说交通运输的发展史就是人类文明的发展史。特别是工业革命发生后，科学技术的不断进步使人类的交通运输工具从最初的以人力、畜力、风力、水力等作为动力的落后状况发展成为当今以机械为代表的交通运输工具。公路、铁路、水路、航空和管道运输等方式都得到了长足的发展。不同的交通运输方式有不同的优势和特征，铁路作为其中重要的一种，对国家经济发展、区域平衡、城市格局等方面具有重要的经济和政治意义。

铁路是现代最重要的交通工具之一。铁路的发展是与社会经济的发展紧密相连的，社会生产力发展决定着运输工具的改进与更新。世界铁路的发展，已经走过了近 200 年的历程，在整个人类文明进步史中，留下了光辉灿烂的篇章。世界铁路的发展从无到有，从初级阶段进入高级阶段，各个时期都有许多可歌可泣的壮丽图景，对社会进步和人类文明做出了卓越的贡献。下面就让我们回顾一下铁路与机车车辆的发展历程。

第一节 铁路的发展历程

一、铁路的产生

铁路是社会发展到一定时期的产物。人类社会的发展，由原始社会进入奴隶社会，又由奴隶社会进入封建社会和资本主义社会，如今社会主义社会也在蓬勃发展。在资本主义社会之前，无论是奴隶社会还是封建社会，都是一种小生产和田园式的小经济，使用的运输工具是传统的落后的人力车、马车和木帆船等。19 世纪初，工业革命推动了社会生产力的迅速发展，铁路也就在这个时期应运而生的。

铁路的出现并不是偶然的，随着社会经济发展和科学技术的进步，生产力革命和资本主义生产方式的出现打破了封建主义的田园经济和落后的生产关系，以社会化大生产和商品经济为主要表征的现代工业开始萌生，机器化的工业生产和社会化生产的发展，使商品流通加剧，给社会带来了许多重大的变化：人们交往增多，活动范围大大扩大；市场扩大，商品经济出现；物流加速，运输量空前扩大。大工矿企业的出现，特别是采矿、冶炼、化工等企业，外部运输量不仅大，而且往往运距也很长，要求有强大的运输工具来保证。

以上变化，使原有的交通工具根本无法适应资本主义社会化生产的要求，迫切需要发展新的运输方式，以解决社会大量人员和货物的运输需要，这就是铁路运输出现的社会背景，是客观上的迫切需要。那么，在技术上是否可能呢？18 世纪末发明了蒸汽机，炼铁取得成功，有了修建铁路的基本条件：蒸汽机解决牵引动力问题，炼铁成功，可以制造轨道，用金属作

为轨道供带轮的载运工具行驶，摩擦阻力很小，可以最小的能源消耗使载体快速运动，实现人和物的位移。就这样，经过多次反复试验，铁路终于问世。蒸汽机在运输中作为牵引动力，使传统的运输工具发生了飞跃性的变革。

1825年9月27日，全球第一条铁路在英国开通。这条铁路由史蒂芬孙亲自指挥修建，由斯托克顿(Stockton)到达林顿(Darlington)，长21 km。机车采用的是史蒂芬孙设计的“旅行者号”，列车全长121.9 m，乘客最多时达650名，最高速度达到了24 km/h，如图1-1-1所示。



图 1-1-1 第一条铁路开通时的情景

英国修建的第一条铁路投入运营后，引起当时社会的强烈反响，打破了传统马车、人力车等交通工具的禁锢，开辟了大规模运输货物和乘客的新纪元。不久后，美国、法国、比利时、加拿大、俄国、意大利等欧美各国相继修建了铁路。亚洲各国工业发展较晚，铁路的修建起步也较晚，日本为1853年、印度为1853年、中国为1876年（较英国晚了50多年）。

世界上一些国家第一条铁路通车年份如表1-1-1所示。

表 1-1-1 世界上一些国家第一条铁路通车年份

国家	通车年份	国家	通车年份	国家	通车年份
英国	1825	意大利	1839	挪威	1856
美国	1830	波兰	1846	罗马尼亚	1856
法国	1832	瑞士	1847	瑞典	1856
爱尔兰	1834	丹麦	1847	芬兰	1862
古巴	1834	西班牙	1848	阿尔及利亚	1862
比利时	1835	巴西	1851	新西兰	1863
德国	1835	智利	1851	保加利亚	1866
加拿大	1836	印度	1853	希腊	1869
俄国	1837	澳大利亚	1854	日本	1872
奥地利	1837	埃及	1854	突尼斯	1874
荷兰	1839	葡萄牙	1854	中国	1876

1964年，日本东海道新干线的开通标志着世界铁路开启了高速时代，法国和德国引领了欧洲的高速铁路发展，2007年中国铁路开始的高速化进程将世界铁路的发展引入了新的阶

段，以前所未有的速度开创了世界的高铁发展奇迹。

二、铁路发展的不同阶段

铁路的发展可以分为不同的时期，不同的学者有不同的分类方法和依据，本书将世界铁路的发展分为5个时期，即初创期、高速发展期、停滞期、复苏期和铁路高速化新时期。

1. 初创期（1825—1850）

一般认为1825—1850年为铁路的初创时期，这个时期正值产业革命后期，钢铁工业、机器制造业等已经达到了一定水平，同时工业发展又有原材料和产品的运输问题需要解决，因此促使铁路快速兴起，铁路机器制造水平不断完善。从欧美国家开始铁路建设，到1850年止，世界上共有18个国家建成了铁路并开通营业。

2. 高速发展期（1850—1913）

世界铁路的高速发展期是1850年至第一次世界大战前这60多年的时间，一些工业发达国家，出于本国工业化或国家战略的需要，大量修建铁路。有人说，铁路是发展工业，建立资本主义的支柱，这是有一定道理的。当时的一些主要资本主义国家将大部分投资用于修建铁路，大部分钢产量用于轧制钢轨。美国在1881—1890年的10年间，平均每年建成1.1万千米铁路，1887年一年建成铁路两万千米，创世界建路史的最高纪录。1881—1887年的7年里，美国全国的钢产量70%用于修建铁路，至1913年美国铁路营业里程达40.2万千米。德国1866—1870年全国投资的70%用于修建铁路，1875年在钢产量为37.1万吨的情况下，修建了2443 km铁路。法国1880年钢产量为38.9万吨，建成了3408 km铁路。俄国1861—1873年，全国投资的63%用于修建铁路。

在第一次世界大战前，许多国家建成了铁路网，铁路成了国家工业化的先驱，铁路网的超前建成，奠定了工业化的坚实基础，对社会经济的发展起到了巨大的推动作用。

1913年，世界铁路营业里程达到110万千米，其中80%集中在英、美、德、法、俄5国。当时铁路成了陆上具有垄断地位的交通工具，承担的运输量一般高达80%以上。1916年，美国城市间的旅客周转量铁路承担了98%（2012年仅为0.77%）。直到19世纪后半期，铁路的兴建才由欧洲、美国扩展到殖民地、半殖民地和发展中国家。1870年，亚洲、非洲、澳洲及美洲（美国除外）的铁路只占世界铁路总长的9.4%。19世纪末期，资本主义向帝国主义发展，在殖民地和附属国大量修筑铁路，进行政治控制、军事侵略与经济掠夺，20世纪初是铁路发展的巅峰时期，全球铁路里程达120万千米，完成客货运周转量的60%。

3. 停滞期（1913—1964）

这一时期由于资本主义国家铁路已修得很多，部分铁路被拆除，而发展中国家虽在修路，但发展不快，使世界铁路的总里程增加不多，甚至降低，出现了停滞现象。1916—1945年两次世界大战之间的20多年中，主要资本主义国家因铁路之间，铁路与水运、公路之间的竞争，铁路基本停止发展，美、英等国甚至开始封闭与拆除铁路，而殖民地、半殖民地和落后国家的铁路因资本主义国家的经济掠夺而被动发展。到1940年，所有殖民地国家的铁路增加了40%，亚洲、美洲的独立国和半独立国的铁路增加了24%，欧洲只增加了13%，美国铁路减少了几万千米。1940年第二次世界大战前，世界铁路营业里程达135万千米。

第二次世界大战后公路和航空运输发展很快，铁路客货运量减少，铁路亏损严重，美、英、德、法、意等国大量封闭并拆除铁路，不少国家不得不将铁路收归国有。英国交通部门曾提出“英伦三岛铁路改造计划”，要将铁路全部拆除改建为高速公路（未全实施）。第二次世界大战后，苏联和第三世界国家的铁路有所发展，但是1970年世界铁路的营业里程只有128万千米。

在铁路发展的停滞时期，为了应对公路和航空带来的激烈竞争，铁路机车车辆的技术取得了不小的发展，内燃机车和电力机车技术不断完善，为铁路的复兴创造了技术基础。

4. 复苏期（1964—2007）

自1964年以来，世界铁路又出现了复苏的趋势，该时期称为复苏期。世界铁路复苏的原因是：

（1）铁路采用新技术，发展高速、重载，提高了竞争能力。1964年，日本的东海道新干线实现了500 km内和航空竞争的预期目标，高速铁路旅行时间和飞机接近，但票价便宜且乘坐方便舒适。美国、加拿大、澳大利亚、巴西等国的铁路重载运输有效地降低了运输成本，加强了铁路和水运的竞争能力。欧美各国采用铁路轮渡多起来了，主要是用驳船在湖海上摆渡火车车皮以节省两次装卸作业时间，到岸后火车继续开走。另外，火车“驼背”运输也发展起来，即用火车平车装载运货拖车，以实现从仓库到仓库的无装卸运输。还有集装箱运输，以及大量开行运送鲜活货物的快运货物列车，在招揽货主吸引货源上效果显著。铁路运输中大量采用自动化管理和行车的遥控装置，既方便了顾客，也提高了安全性。

（2）铁路节能优于其他运输方式。20世纪70年代世界能源危机，石油大幅度涨价，而铁路的能源消耗最低，在节约能源方面，铁路具有明显的优越性。除美国因传统的内燃牵引不易改造外，世界各资本主义国家都决定采用电力牵引，使铁路获得新的生命力。

（3）从环境保护方面看，铁路具有较大的优势，特别是电力牵引，无污染。汽车多则易于堵塞交通，而且排出的废气污染环境，飞机的噪声危害健康，而火车的噪声较小，采用电力牵引，基本没有污染。

（4）从安全性看，铁路的安全、舒适被社会公认。从安全角度考虑，铁路具有明显的优越性。世界各国的实践都证明，坐火车是最安全的交通方式之一。

（5）铁路运输在解决城市间和市郊运输中的作用加强。大城市、市郊客运量的猛增和大宗货运的增加刺激了铁路的运输需求，铁路的全天候运输和运能巨大的优势得以完美发挥。一些经济发达国家，工业化促进了大城市和城镇群的发展，城市人口日益增多，汽车的大量使用造成城市交通拥挤和堵塞，特别是一些客流密集的地段，而铁路和轨道交通可以解决这个问题。从总的情况看，20世纪70年代以后，世界各国特别是工业发达国家，对铁路的地位和作用做出了重新认识，在与高速公路及航空的竞争中，铁路又充分显示出了它的优势。对于一些发展中国家，包括社会主义国家，随着现代化建设步伐的加速，铁路发展得也比较快。许多国家在自己的能源和交通运输的发展政策中，将铁路列为陆上交通的骨干，决定进一步发展和改善铁路运输，并以电力牵引作为动力的发展方向。

5. 铁路高速化新时期（2007 至今）

2007 年 4 月 18 日，中国动车组大规模应用，开启了世界上最大规模的高速铁路建设和应用的新时期，世界各国纷纷开启高铁的建设和规划。

截至 2017 年年底，中国用 10 年的时间建成了 2.5 万千米高速铁路，占世界高速铁路总里程的 66.3%，而且中国高铁线路的建设标准和运营速度都是世界上最高的。中国后来居上引领了世界高速铁路的发展，不少铁路里程减少的国家如美国、加拿大也开始重新考虑修建新的高速铁路，发展中国家的铁路修建也进一步加速。

第二节 机车车辆的发展

铁路的发展离不开机车车辆的发展，车辆牵引动力的发展是机车车辆发展的重要因素。牵引动力的现代化，是铁路运输科技进步的先导。自 1825 年世界上第一条铁路诞生以来的长达 200 年的时间里，铁路牵引动力经历了从蒸汽机车、内燃机车到电力机车、动车组的变革，发生了翻天覆地的变化。

一、蒸汽机车 —— 最初的牵引动力

蒸汽机车是铁路牵引动力的最初形式，有两个世纪的历史。虽然蒸汽机车经历了多次重大发展与改造，但因其热效率低，牵引性能差，环境特性和劳动条件极坏，无法适应铁路运输增长的需求。世界各国铁路牵引动力以内燃、电力牵引取代蒸汽牵引的工作大致在 20 世纪 70 年代先后完成，如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 一些主要国家蒸汽机车淘汰情况

国 别	美国	德国	日本	法国	苏联	中国
蒸汽机车停产年份	1953	1959	1952	1957	1957	1989
蒸汽机车停用年份	1960	1977	1975	1972	1977	2005

注：停用后个别企业在厂矿内的使用不在此统计之列。

史蒂芬孙的火箭号蒸汽机车如图 1-2-1 所示，G12 型蒸汽机车如图 1-2-2 所示。

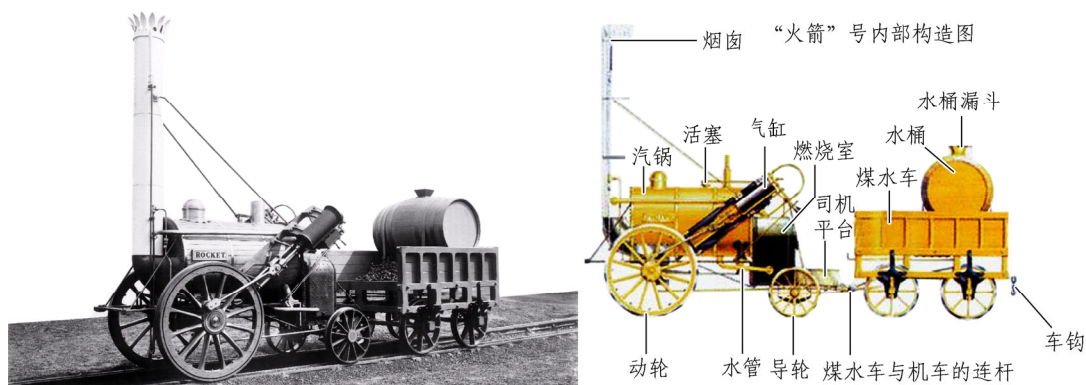


图 1-2-1 史蒂芬孙的火箭号蒸汽机车



图 1-2-2 G12 型蒸汽机车

二、内燃机车 —— 世界主要的牵引动力

内燃机车诞生于 20 世纪 20 年代，内燃机车使用方便、灵活，投资少，目前仍然是许多国家铁路运输的主要牵引动力。

1. 国外内燃机车的发展

世界上各发达国家大多在 20 世纪 20 ~ 30 年代就生产内燃机车，开始铁路内燃化。第二次世界大战以后，内燃机车首先在美国迅速发展。从 20 世纪 50 年代中期开始，英、法、德、苏联等欧洲国家的内燃机车开始得到迅速发展。20 世纪 60 年代以来，世界内燃机车发展经历了 3 个阶段：持续稳定发展阶段（1961—1976）、水平显著提高的发展阶段（1977—1992）、内燃机车交流传动大发展阶段（1993 至今）。内燃机车的发展，主要体现在柴油机技术、传动技术、网络控制及诊断技术和径向转向架等几方面技术的发展。

1) 柴油机技术

从诞生到现在，内燃机车用柴油机的发展主要体现在提高功率、提高可靠性、降低燃油消耗率和改善排放上。出于节约能源、降低成本的目的，各国都在努力降低柴油机的燃油消耗。20 世纪 70 年代以前，内燃机车燃油消耗为 210 g/(kW·h) 以上，到 80 年代，降到 200 g/(kW·h)，英国的 MB275 型柴油机达到了 185 g/(kW·h)。随着重载牵引和高速客运的发展，普遍要求提高列车的牵引功率，美国 GE 公司和德国 Deutz MWM 公司合作研制出 7HDL

型柴油机，功率为 4 632 kW，装在 AC6000CW 型内燃机车上；美国 GM 公司的电气动力部自行研制出 4 冲程 4 632 kW、16V25H 型柴油机，装在 SD90MAC 型机车上。

目前，机车柴油机的发展方向 and 趋势是加大行程缸径比，限制活塞平均速度，提高平均有效压力，提高压缩比、爆发压力，改善工作过程，提高柴油机效率，降低油耗，采用电子喷射、电子调速等电子控制技术。

2) 交-直-交电传动技术

内燃机车刚出现时所采用的是直流传动。20 世纪 30 年代以后出现了液力传动，在 20 世纪 50 年代及 60 年代初一度发展较快，但未能动摇电传动的优势地位。到 20 世纪 60 年代中期，法国首先出现了交直流电传动，它的优势更加明显，很快取代了直流传动，而液力传动则放慢了发展。

1971 年，德国研制出了 DE2500 型交流传动内燃机车，采用的是 KK 管逆变器。由于受半导体元器件性能和质量所限，在较长一段时间内，交流传动技术发展缓慢，难以推广。

20 世纪 80 年代以来，随着大功率电子元器件技术的迅速发展，大功率可关断晶闸管 (GTO) 开始逐渐成熟，交流传动的缺点逐渐得到克服。1987 年，世界上出现了第一台应用 GTO 元件的交流机车——Re4/4，GTO 逆变器在大功率内燃机车上的首次应用是在德国 Mark 公司与 ABB 公司合作生产的 DE1024 型内燃机车上。

1990 年出现了晶体管逆变器 (IGBT)，20 世纪 90 年代初，日本的东芝、日立等公司又开发了一种智能型 IGBT 模块 (日本称为 IPM)，自 1995 年起，开始在中小功率逆变器中推广采用。20 世纪 90 年代以来，GTO 管的应用量开始逐渐下降，而 IGBT 管的应用量却逐年上升。由于大功率 GTO、IGBT 管和数字电路控制技术的发展，使交流传动的逆变和控制技术提高到一个崭新的阶段。20 世纪 90 年代初，世界上最大的两个内燃机车制造公司——美国 GM 公司和 GE 公司研制和投产了 6 轴、径向转向架和微机控制的大功率交流传动内燃机车，使交流传动内燃机车的性能和可靠性有了较大的提高。例如，美国 GE 的 Dash9 型交直流传动机车的持续牵引力为 485 kN，黏着系数为 25%~27%；而相同功率的 GE 公司 AC4400CW 型交流传动机车在速度为 10 km/h 时，持续牵引力已达 645 kN，黏着系数为 35%。

3) 网络控制及诊断技术

1973 年日本将微机加装在 DD53 型除雪车上，开始了微机在内燃机车上的应用。20 世纪 80 年代初期，美国生产的 Dash8 和 60 系列机车在控制系统中应用了微机技术，开始了微机在内燃机车上的大批量应用。

近年来，用于交流传动内燃机车上技术先进、可靠性较高的微机控制系统有德国 ABB 公司研制的 MICAS 系统，德国西门子公司研制的 SIBAS-16、SIBAS-32，美国 GM 公司开发的 EM2000 (32 位) 微机控制系统，美国 GE 公司开发的用于 AC4000 和 AC6000 型交流传动内燃机车上的微机控制系统等。随着计算机技术的发展，网络总线系统在新型内燃机车上也得到了广泛应用。

4) 径向转向架开发

美国 GM 公司于 1992 年在 SD60MAC 型大功率交流传动内燃机车上首次采用了新型 HTCR (高牵引力、3 轴) 径向转向架，并推广到该公司生产的各种新型内燃机车上。采用径向转向架是内燃机车技术取得的一项重大技术发展，已被公认为几乎和交流传动技术一样重要，径向转向架成为内燃机车发展的一个重要方向。

交流传动系统、径向转向架、网络控制系统和电子燃油喷射装置，已被并列为新型内燃机车的4大标准设备或4个基本特征，并已成为21世纪初世界内燃机车技术的主要发展趋势。

2. 我国内燃机车的发展

我国内燃机车从1958年开始生产至今，已经历了60余年的发展历程，并取得了巨大的成就。60多年来，我国内燃机车经过了早期试制、定型生产、自主研发、采用先进技术开发新型内燃机车等阶段，累计生产了200多种型号。产品经过了试制产品、第一代产品、第二代产品、第三代产品4个阶段，目前正在开发和生产第四代产品。

1) 内燃机车的早期试制5年(1958—1963)

基本特征：机车或柴油机基本上是仿制国外的产品；直流电力传动匹配二冲程中速柴油机和四冲程高速柴油机；液力传动匹配四冲程高速柴油机；设计技术水平低，可靠性差。

代表产品：建设、巨龙、先行、卫星等。

虽然都是仿制产品，但当时是中国内燃机车的主型机车，为中国铁路以后内燃化的发展及内燃机车的设计制造奠定了坚实的基础。

2) 国产第一代内燃机车设计生产5年(1964—1968)

技术特征：同试制阶段，但是性能有所提高。

代表产品：DF、DF₂、DF₃、DF₂增、DF_增、东方红₁等。

3) 国产第二代内燃机车开发生产20年(1969—1988)

技术特征：机车、柴油机及主要零部件都是我国自主开发的；机车技术性能和可靠性、经济性都大幅度提高；液力传动既配高速柴油机也配中速柴油机。

代表产品：DF_{4A}、DF_{4B}、DF_{4C}、DF₅、DF₇、DF₈、东方红₃、北京等(北京和东方红是液力传动)。

4) 国产第三代内燃机车开发生产10年(1989—1998)

技术特征：干线机车采用与国外合作开发或进一步自主开发的新型16V240ZJD(及其系列)和16V280ZJA型柴油机；干线机车为中速柴油机匹配交直流传动；采用微机控制；准高速机车采用牵引电机架悬式转向架；机车整体水平有了很大提高。

代表产品：DF₆、DF₁₁、DF_{8B}、DF_{4D}、DF_{10F}等。从运行情况看，各项性能指标都很优越。

5) 国产第四代内燃机车的研发生产(1999至今)

技术特征：采用交-直-交电传动(直接采用第三代逆变器IGBT)；辅机交流电传动；机车微机控制；柴油机电子喷射；客运机车牵引电动机架悬、货运机车径向转向架。

代表产品：捷力号(日本三菱公司IPM)、DF_{8CJ}、DF_{8DJ}(西门子IGBT功率模块)、DF_{8BJ}(株洲所GTO)、HXN₅(GE)、HXN₃(EMD)、出口澳大利亚内燃机车(SDA1)和4400HP机车等。

三、电力机车——牵引动力的发展方向

在铁路牵引动力中，电力机车具有其他机车无法比拟的优势。1879年，德国SIEMENS公司制造了世界上第1台电力机车，至今已有140年历史。在此期间，世界电力牵引和电力机车得到了飞速发展。

1. 国外电力机车的发展

从供电网电流制来看,电力牵引经历了从直流制(1.5 kV 或 3 kV)到单相低频交流(15 kV, $16\frac{2}{3}$ Hz 和 11 kV, 25 Hz),再到单相工频交流(25 kV, 50 Hz 或 60 Hz,个别 20 kV 和 50 kV) 3 个主要发展阶段,电力机车也随之由直流制机车发展到交流制机车和多流制机车。采用直流制的国家主要有日本、法国、意大利等;采用单相低频交流制的国家主要有德国、瑞典、奥地利、挪威和美国;采用单相工频交流制的国家有法国、日本、印度、英国等。

从机车主电路系统的特点来看,20 世纪 70 年代以前,直流电力机车普遍采用直流牵引电动机和高压侧调压开关调压系统;低频交流电力机车几乎全部采用单相交流整流子牵引电动机和高压侧调压开关系统。工频交流电力机车主要采用水银整流器或硅整流器与脉流牵引电动机和高压侧或低压侧调压开关调压系统。

20 世纪 70 年代开始,随着大功率晶闸管及电力电子技术的发展,直流电力机车逐渐采用斩波调压;单相工频整流器电力机车逐步被晶闸管相控电力机车取代;在采用低频交流制的国家中,以瑞典为代表,包括奥地利,着重发展晶闸管相控电力机车,而德国和瑞士在使用少量相控机车的同时,着力发展三相交流传动电力机车。

20 世纪 80 年代,一方面,直流斩波机车和交流相控机车技术得到进一步完善和发展;另一方面,以 1979 年问世的第一台 E120 型交流传动电力机车(联邦德国 BBC 公司制造)为转机,三相交流传动电力机车在联邦德国等一些国家投入运营并得到迅速发展。

从 20 世纪 80 年代末 90 年代初开始,世界上特别是西欧和日本,随着既有电力机车的更新换代和高速铁路的蓬勃发展,电力机车的研制迅速转向交流传动。

随着现代电力电子技术的迅猛发展,新型电力电子器件不断问世,为交流传动奠定了坚实的技术基础;控制理论(交流传动系统的重要武器)的逐步完善大大提高了交流传动系统的性能;现代信息技术日新月异的发展,为控制系统技术的进步提供了保障;交流电机自身无可争辩的优势和优越性得到了充分的体现。在历经技术准备期(1970—1979)、技术成熟期(1980—1987)、品质提升期(1988 年以后)之后,西方发达国家已将牵引动力转向交流传动。多年来,交流传动电力机车从德国发展到整个欧洲,再扩展到亚洲和非洲,构成了世界电力机车发展的总趋势。

2. 我国电力机车的研制与发展

近几十年来我国电力机车水平不断发展进步,其发展和国际上技术发展路径相类似,即由直流电传动到交直电传动再到交流电传动的发展。

1) 第一阶段(1956—1968)

第一阶段是中国电力机车早期引进仿制阶段。1956 年,中国政府提出要迅速地、有步骤地研制并使用电力机车。1957 年,参照苏联 H60 型单相引燃管整流器电力机车,开始研究设计电力机车;1958 年仿制出第 1 台电力机车,即 6Y1 型干线电力机车,此后经过多次改进,到 1968 年,6Y1 型改名为 SS₁ 型,即第 1 代电力机车,并开始小批量生产。

2) 第二阶段(1968—1985)

第二阶段是中国电力机车艰难的成长阶段。这期间我国电力机车发展走上了自我发展的道路。产品 SS₁ 型成批生产,同时自主研制成功 SS₂ 型。1979 年,株洲电力机车工厂设计试

制成功 SS₃ 型机车, SS₃ 是在吸收了 SS₁ 和 SS₂ 的成熟经验, 并在 SS₁ 基础上改进设计的, SS₃ 机车综合性能优于 SS₁, 1989 年开始大批量生产, 是中国第 2 代干线主型机车。此期间, 1985 年 9 月在株洲电力机车工厂试制成功我国第 1 台相控电力机车 SS₄ 货运电力机车, SS₄ 是中国第 3 代电力机车。

3) 第三阶段 (1985—2003)

第三阶段是中国电力机车迅速发展阶段。此阶段, 我国第 3 代电力机车发展形成多机型系列, 基本形成了较为完整的 4、6、8 轴货运、客运系列。

1986 年, 我国铁路牵引动力政策改为“大力发展电力牵引, 合理发展内燃牵引”以及发展“重载高速”机车。此期间株洲电力机车工厂等制造单位和株洲电力机车研究所等科研单位得以大规模改造电力机车, 新增了很多先进专用设备和试验检测设备, 引进了大量先进技术。1985 年和 1986 年, 在进口 8K 和 6K 机车的同时, 引进了大量先进技术, 经过消化吸收, 结合我国电力机车实际和优秀的传统结构, 先后自主研发成功第 3 代电力机车 11 种, 有 SS₄、SS₅、SS₆、SS₇、SS₈ 以及派生型 SS_{4B}、SS_{4C}、SS_{6B}、SS_{7B}、SS_{7C} 等。

1996 年, 第 4 代 AC4000 交流传动电力机车研制成功, 这是我国电力机车事业发展上的一个重要里程碑, 是我国铁路电传动领域的一次重大革命, 标志着我国电传动机车开始步入交流传动机车的发展时期。2001 年, 我国研制出第 1 台有自主知识产权的交流传动客运电力机车 DJ2, 标志着我国交流传动机车技术跨上了一个新台阶。

4) 第四阶段 (2004 至今)

随着我国铁路的跨越式发展, 我国急需技术和质量水平更高的高性能机车, 因此, 我国相继引进国外先进技术, 生产了“和谐号”HXD1、HXD2、HXD3 系列机车, 并在此基础上进行了自主研发和升级。

2009 年, 最大功率 6 轴 9 600 kW 交流传动电力机车在南车株洲电力机车有限公司成功下线, 成为我国重大技术装备自主创新的又一里程碑, 标志着我国在大功率机车的研制上已经达到了世界先进水平。

四、动车组的发展

1. 国外动车组的发展

1964 年, 日本首先将城市动车组应用于干线, 以解决城市间的交通问题, 并成功把动车组的速度提高到了 200 km/h 以上。日本新干线的环保效果、经济效果极大地刺激了欧洲。20 世纪 80 年代, 法国、德国、意大利相继开发出 TGV、ICE 和 ETR450 高速动车组, 随后欧洲形成了多条跨国高速铁路客运线。日本动车组一直走的都是动力分散模式, 德国和法国最初采用的是动力集中模式, 近十几年来都在发展动力分散型的动车组, 如 ICE3 和 AGV。意大利、西班牙、瑞典的摆式动车组也得到了较快的发展。

2. 我国动车组的发展

1) 内燃动车组

1998 年 5 月, 唐山机车车辆厂研制成功了双层内燃动车组, 并于当年 6 月在南昌铁路局的南昌—九江间投入正式运营。该动车组为动力集中型, 2 动 2 拖固定编组, 最高试验速度