

中国高速铁路的技术特点

卢春房

中国铁路总公司,北京 100844

摘要 高速铁路是集多种高新技术于一身的复杂巨系统。中国铁路通过大力推进原始创新、集成创新、引进消化吸收再创新,用短短十多年的时间走出了一条具有中国特色的高铁发展之路,成为世界上高铁规模最大、发展速度最快的国家。本文回顾中国高速铁路的发展历程,分析中国高铁在技术、安全、性价比三方面的特点。中国高铁的技术先进主要体现在运营速度高、建设环境复杂、运营场景多样,并能与世界先进铁路技术相兼容等方面;安全可靠主要体现在建立了完备的技术体系、强化工程质量源头管理、加强产品质量准入管理、严格运营过程管理、开展自然灾害风险防控等方面;性价比高主要体现在建设工期、建设成本、节能环保和经济社会效益等方面。展望了中国高铁的未来发展,提出应围绕国家“一带一路”和“走出去”战略要求,研发更先进、更可靠、更经济的高铁技术,确立中国铁路在世界的领先地位。

关键词 中国铁路;高速铁路;铁路技术

中图分类号 U2

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.18.001

Highlights of China high speed railway

LU Chunfang

China Railway Corporation, Beijing 100844, China

Abstract High speed railway (HSR) is an extremely huge and complicated system integrating many edge-cutting technologies. Via original innovation, integrated innovation and innovation by absorbing import technologies, China railway has explored a HSR development path with unique Chinese characteristics and become the world's largest and fastest growing HSR network. By reviewing the development history of HSR in China, this article presents an in-depth analysis on the distinctive characteristics of Chinese high speed railways, i.e., leading technologies, outstanding safety and reliability, and high cost-efficiency. The sophisticated technologies are embodied by the high running speed, complicated construction environment, diversified operation scenarios and compatibility with international technologies. For safety and reliability, a complete HSR technology system and safety assurance system have been established to reinforce control over engineering quality from the source and market access of products, intensify the operation management and enhance disaster prevention & control. The cost-efficiency is demonstrated in terms of construction period, cost, energy consumption, environmental performance and social benefit. Last but not the least, a vision on HSR in China is included, which also proposes that the railway should further concentrate on the national strategies of “one road and one belt” and “going global”, and make more effort to cement the leading position of Chinese HSR in the world.

Keywords railway of China; high speed railway; railway technologies

高速铁路是现代高新技术的集成、铁路现代化的标志,具有安全、快速、正点、舒适、环保等诸多优点。为了发展高速铁路,长期以来中国铁路做了大量的前期研究和论证工作。1992年,中国铁道部在《铁路今后十年和“八五”科技发展纲要》中,首次提出发展高速客运的目标,并于当年启动“京沪高速铁路预可行性研究”,标志着中国高速铁路工程正

式启动。1994年广深线成功实施时速160 km的提速改造,1997年起中国连续6次对既有线进行大面积提速,2002年中国自主设计、施工的时速200 km的秦沈客运专线建成投产,同年“中华之星”动车组创造了321.5 km/h的试验速度,为中国高铁的发展奠定了重要的理论和实践基础。

2004年以来,在党中央、国务院的领导下,在社会各界特

收稿日期:2015-08-04;修回日期:2015-08-26

作者简介:卢春房,中国铁路总公司副总经理,教授级高级工程师,研究方向为铁道科技、铁道建设

引用格式:卢春房.中国高速铁路的技术特点[J].科技导报,2015,33(18):13-19.

别是科技界的大力支持下,中国铁路稳步实施《中长期铁路网规划》,快速推进以“四纵四横”快速客运网为主骨架的高速铁路建设,大力推行原始创新、集成创新、引进消化吸收再创新,加强自主创新力度,仅用短短十多年时间走完了国外高铁50年的发展历程,走出了一条具有中国特色的高速铁路发展之路,形成了在世界上独具优势的显著特点:技术先进、安全可靠、性价比高。

目前,中国是世界上高速铁路规模最大、发展速度最快的国家。据国际铁路联盟(UIC)统计,截至2014年,全世界有15个国家和地区运营高速铁路,总里程约2.78万km^[1]。中国高铁运营里程达1.6万km,约占全世界高铁总里程的60%^[2]。

1 中国高铁技术先进

中国高铁技术的先进性主要体现在运营速度快、建设环境复杂、运营场景多样、与国外高铁技术兼容性强等4个方面。

1.1 运营速度快

2008年以来,中国先后建成了京津、京沪、哈大等一批设计时速350km的高速铁路,开通运营里程超过8000km,而国外高速铁路设计时速达到350km的线路很少。中国铁路通过在高速列车、线路工程、列控系统和牵引供电等领域大力开展技术创新,形成了多项先进技术和装备,为高铁的高速运营提供了有力支撑。

1.1.1 掌握了高速动车组技术

21世纪初,中国铁路自主研发了“中华之星”、“先锋”等动车组,为高速动车组的自主创新奠定了坚实的人才基础和技术基础。到2004年,经过5次大面积提速,中国铁路客运机车车辆基本上处于160km/h速度级,无法满足人们便利舒适出行的需求。2004年以来,根据国务院“引进先进技术,联合设计生产,打造中国品牌”的指导方针,大力推进原始创新、集成创新、引进消化吸收再创新。攻克了高速转向架、牵引控制系统、高速制动、列车网络、车体制造等九大核心技术难题,受电弓、塞拉门等十大配套技术,成功研制了时速350、250km两种速度等级的高速动车组。2010年12月3日,新一代“和谐号”动车组CRH380AL在京沪高速铁路枣庄至蚌埠间的试验段创造了时速486.1km运营列车试验速度新纪录。截至2014年底,中国动车组总保有量达1700多组,累计运营里程约20亿km。

1) 掌握了动车组系统集成技术。2004年技术引进前,中国动车组在空气动力学应用技术、网络控制技术、舒适性技术方面积累较少,各系统间的接口关系研究和整车系统的集成能力较为薄弱。经过动车组技术引进后大量试验和运营经验总结,中国动车组系统集成能力得到极大提升,掌握了动车组车体、转向架、牵引传动系统、制动系统、列车网络控制系统等元素的合理匹配和优化。

2) 掌握了高速转向架技术。中国铁路从20世纪90年代中期开始研制高速转向架,但在速度等级、减重手段以及可

靠性和安全性方面与国外先进转向架存在明显差距,没有实际运营(特别是250km/h以上)的经验。动车组先进技术引进后,通过科研攻关和技术创新,中国铁路成功掌握了高速转向架的设计、制造技术,并解决了转向架轻量化、悬挂技术、驱动技术、牵引电动机悬挂等关键问题。

3) 掌握了牵引传动控制技术。2004年技术引进前,中国铁路的牵引控制技术比较落后,控制精度和稳定性无法满足动车组长期高速运行的安全性和舒适性要求。通过技术引进和消化吸收,中国铁路掌握了动车组先进的变流器设计理念和控制技术,使得控制效果和稳定性有了极大的提升;对主变流器与辅助变流器进行统筹设计,国产牵引变流器形成模块化、系列化和小型化。

4) 掌握了高速制动技术。高速列车的制动系统是实现在列车高速、安全运行的保障,必须解决列车动能的快速转换和消耗问题,并使高速列车可靠地制停或降速。经过技术引进和消化吸收,中国铁路不仅解决了动车组运用中出现的制动问题,使引进动车组更加适应中国运用环境和运用条件,而且掌握了基础制动、空电复合制动、防滑控制等先进技术。

5) 掌握了车体核心技术。高速列车车体在运行过程中,需要承受各种设备载荷及纵向和横向冲击载荷作用。因此车体须具有足够的强度和刚度,但以中国原有技术、标准和设计经验很难实现。通过技术引进、联合设计,中国铁路掌握了流线形车体结构和轻量化设计技术,突破了铝合金车体焊接和车体、车窗的整体加工等制造技术,完善了车体密封隔音技术和防火安全技术,保证了列车运行安全性和舒适度。

6) 掌握了列车网络控制技术。列车网络控制系统是高速动车组的神经中枢,负责完成列车的运行控制、监视、诊断功能,是高速动车组的核心关键技术之一。中国铁路应用网络系统拓扑设计技术、网关设计制造技术、列车及车辆级通讯协议,实现了对牵引系统、制动系统、辅助供电系统的控制和监视诊断。应用高速列车远程数据传输技术,实现了对高速动车组动态跟踪监控、故障确认、故障应急指挥等功能;远程监测数据为动车组的故障判断和检修提供有力的依据,解决动车组大量开行后面临的运营经验少、检修难度大、磨合期故障多等现实问题。

目前,中国铁路总公司正在加快推进时速350、250km中国标准动车组研制工作,实现核心技术自主化和自主知识产权,逐步形成中国标准动车组系列化产品(图1)。



图1 中国标准动车组

Fig. 1 China's standardized EMU

1.1.2 攻克了高铁工程建设技术

为了保证高速列车运行的高速、安全、舒适,高速铁路基础设施应保持高性能、高平顺、高稳定。中国幅员辽阔,地质及气候条件复杂多样,修建高速铁路面临的困难比任何一个国家都要多。而且在建设高速铁路之初,中国铁路还面临着技术储备不足、人才极度匮乏、无高速铁路管理经验等难题。依靠技术创新和管理创新,中国铁路在轨道及空间线形、路基、桥梁、隧道等领域进行了大量的试验和科技攻关,解决了一系列工程建设难题。

1) 攻克了高铁轨道技术。由于直接承受动车组列车的荷载和冲击,轨道结构和几何状态直接影响高速列车运行安全性和旅客乘坐舒适性。高铁轨道工程需要满足高速度、高精度、高平顺、高稳定、少维修等要求,面临材料、结构、施工质量、运营维护等许多问题。为此,中国铁路研发了设计时速350 km高速铁路无砟轨道成套技术,大幅度提高了线路平顺性,保证了列车运行的高速度,减少了线路维修的频次;通过三网合一的精测网实现了轨道的精确铺设,保证了高铁基础设施建设、维修的高精度;自主研发了高速铁路用钢轨、扣件、道岔和钢轨伸缩调节器等系列产品,满足了线路高平顺、高稳定要求。

2) 攻克了高铁空间线形优化技术。中国铁路通过大量科研攻关和建设运营实践,在高速铁路空间线形方面实现了新突破,研究确定了不同速度等级高铁线间距、最小曲线半径、竖曲线半径取值范围、限制坡度、最小隧道断面面积等关键技术参数,满足了不同类型线路的建设运营需求。

3) 攻克了高铁路基工程技术。中国建造高速铁路需要跨越各种复杂地质条件,路基工程将面对区域沉降、结构之间的不均匀沉降、冻胀、防排水等问题,路基的稳定性直接影响列车的高速、安全运行。中国高铁将路基工程由传统的“土石方”理念转变为“结构物”进行设计,形成了地基处理、路基填筑设计施工技术标准;采用桩基、换填、挤密、排水等复合地基处理技术;路基结构采用优质填料分层压实,具有足够的强度和刚度,确保高铁路基长期稳定和平顺。

4) 攻克了高铁桥梁工程技术。为满足高速度的要求,中国铁路进行了高铁桥梁结构设计、结构选型、材料等方面的技术攻关,对桥梁的挠度、扭转等进行严格控制,将梁端转角控制在千分之一以内,确保了高速列车通过时,桥梁具有足够的强度、刚度和稳定性。

5) 攻克了高铁隧道工程技术。由于隧道是一个半封闭空间,在高速运行条件下,列车进入隧道及隧道中列车交会时将面临压力波的巨大变化,影响列车运行稳定性和旅客乘坐舒适性。对此,中国铁路通过采取特殊洞口结构,增加隧道断面,优化断面型式,有效降低了列车进入隧道和会车时的压力波,满足了旅客舒适度的要求^[9]。

1.1.3 研发了高速列车运行控制系统

普速铁路列车主要靠列车司机识别信号和线路状况及周围环境并操纵列车,而当列车运行速度达到350 km/h(每

秒前行近100 m)时,司机无法仅依靠辨认地面信号机保证高速列车的安全驾驶,需要及时掌握列车当前的运行速度、前车的速度、与前车之间的距离等大量信息,否则将危及行车安全。中国铁路研发了分别满足时速250、350 km的CTCS-2和CTCS-3级列控系统。车载信号取代地面信号机,由地面指挥系统向车载设备发布前方路况信息和限速信息,车载计算机接收并处理后自动生成列车运行速度控制曲线,监控列车安全运行,最小追踪间隔3 min。

1.1.4 研制了高铁牵引供电系统

列车高速运行情况下,动车组受电弓如何从接触网安全可靠获取电流是保证动车组高速、安全运行的主要难题之一。通过技术攻关,中国铁路研发建立了25 kN以上大张力接触网系统,研发了电接触性能良好的铜镁合金接触导线、满足动车组重联运行的双弓受流技术;研发了特种接线AT牵引变压器、大载流量气体绝缘开关柜等先进装备,集远程控制、保护、监视、测量为一体的电力和牵引供电综合自动化系统,满足时速350 km动车组可靠受流和实时监控监测。

1.2 建设环境复杂

中国修建高铁面临的自然环境非常复杂,在世界上没有成熟经验可借鉴。如东北冰天雪地,气温变化为-40℃~+40℃;海南地处亚热带,湿热潮湿;西北黄土高原,存在大面积湿陷性黄土;东部河网密布,大量淤泥质软土,需要解决沉降、冻胀、复杂地质隧道施工、深水大跨桥梁施工、风沙和高温胀轨六大特殊技术难题。

1.2.1 研究解决基础设施结构沉降问题

高铁建设面临区域地面沉降,当遇到软土、湿陷性黄土、岩溶等复杂地质时,路基、桥梁工程还面临结构沉降、过渡段不均匀沉降等问题。针对区域地面沉降,采取稳定地下水,桥梁、轨道设置调高部件等综合措施,及时调整线路的平顺度。针对软土、岩溶等地质,采用桩板、桩网及堆载预压等新结构、新工艺控制沉降;针对路基、桥梁、隧道下沉规律不同,通过在连接处设置过渡措施控制下沉差异。

2010年2月6日,郑西高铁开通运营,全长523 km,是首条修建在大面积湿陷性黄土地区的高速铁路。2012年12月26日,京广高铁开通运营,是世界上干线最长的高速铁路,全长2298 km,跨越温带、亚热带等多个气候带,穿越了长江、黄河、山区、平原等多种地理环境。

1.2.2 研究解决高寒地区路基冻胀问题

中国东北地区冬季寒冷,水凝结成冰后路基体积会膨胀,冰融化后体积会收缩,强度会降低,而高铁是不允许出现超出厘米级的冻胀的。为控制路基冻胀,采用专门路基建筑材料,提高路基防冻能力,强化路基排水能力,降低地下水并采取封堵措施。

2012年12月1日,哈大高铁开通运营,全长921 km,是世界上第一条新建高寒高速铁路,在北纬42°以北严寒地区修建,冬季最低温度-40℃,温差超过80℃。高铁技术装备既要适应冬季严寒,又要适应夏季高温,在这样温差条件下建设

运营高速铁路世界上是没有的。哈大高铁冬季冻胀值控制在5 mm左右,未对高铁运行造成影响。

1.2.3 研究解决复杂地质条件下的隧道施工问题

中国大陆总体呈北高南低,山脉丘陵众多,地质条件复杂多样,高速铁路隧道工程既面临穿越山岭、城市、水下等情况,也需要面临黄土失陷、岩溶富水、软土、沙土等复杂地质条件,以及列车通过隧道口压力波的巨大变化等问题。通过超前地质预报、钻探等综合手段,获取围岩的准确信息;通过“注浆封堵、加固地层”等方式,解决涌水突泥问题;通过疏排或封堵岩溶水,对溶腔进行加固,以及在隧道内修“隧中桥”等措施解决岩溶问题;通过预释放应力和特殊支护,解决高地应力变形问题。

中国铁路成功建设了大量复杂地质隧道。如太行山隧道(图2),穿越群山峻岭,是中国最长的高铁山岭隧道(全长27.8 km);狮子洋隧道,下穿河流,岩体松软,是中国第一座过江高铁隧道。



图2 石太高铁太行山隧道

Fig. 2 Taihangshan tunnel on Shijiazhuang-Taiyuan HSR

1.2.4 研究解决深水大跨桥梁施工问题

中国江河湖泊众多,建设高铁需要多次穿越长江、黄河等大江大河,也需要跨过公路、铁路甚至高铁等大型交通基础设施,桥梁建设期间还要满足下穿线路的正常通行、通航需求。中国铁路创新了大跨度新结构桥梁技术,研发了900 t提运架设备和大口径钻机、爬坡吊机等设备,成功解决了深水大跨桥梁施工难题。

武汉天兴洲长江大桥是世界上设计时速250 km、主跨跨度最大(504 m)、设计荷载最高的公铁两用斜拉桥(图3),获27届国际桥梁大会乔治·理查德森大奖。



图3 武汉天兴洲长江大桥

Fig. 3 Wuhan Tianxingzhou Yangtze river bridge

南京大胜关长江大桥是六线铁路桥,主跨2×336 m,设计时速300 km,具有“大跨、高速、重载”的特点(图4),获29届国际桥梁大会乔治·理查德森大奖、2015年度国际桥协杰出工程结构奖。在建的沪通公铁两用长江大桥主跨达1092 m,成为中国乃至世界桥梁建造史上新的里程碑^[4]。



图4 南京大胜关长江大桥

Fig. 4 Nanjing Dashengguan Yangtze river bridge

1.2.5 研究解决沙漠戈壁地区的风沙问题

风沙会对列车高速运行有很大影响。当风力较大时,直接影响高速列车受电弓从接触网正常取电,引起设备故障;当横向风力较大时,将对高速列车车体产生较大的侧向力,严重时会导致高速列车脱轨甚至倾覆;风沙还会在高铁线路堆积,严重时会导致掩埋钢轨。对此,中国铁路采取了多种技术措施,包括:采用防风墙等工程措施降低风沙对列车的影响,针对不同风速对高速列车规定限速运行或停止运行的行车办法,研制防风沙列车等,有效解决了风沙问题。

2014年12月26日,兰新高铁开通运营,全长1776 km,是首条修建在沙漠戈壁地区的高速铁路。

1.2.6 研究解决高温胀轨问题

中国高铁全部采用无缝线路。京沪高铁(1318 km)没有一个轨缝,无缝线路面临强大的温度力。为避免高温胀轨影响行车,研究采用了高强度的钢轨,能承受较大的温度力;采用高标准高速铁路扣件、道岔、无砟轨道等新产品、新技术,通过强大的线路阻力来锁定轨道,限制钢轨的自由伸缩;通过合理确定锁定温度,施工中采取合理工艺,运营过程中开展定期巡检等手段,确保道床和钢轨的受力均匀、不产生突变。

1.3 运营场景多样

中国高铁规模大、动车组运行时间长。如京沪高铁1318 km、运行时间超过4 h;京广高铁2298 km、运行时间8 h;哈尔滨到上海2421 km、运行时间超过12 h。而国外高铁运行时间一般2~3 h。同时,高铁穿越了多个气候带,给高铁运营管理带来诸多挑战。中国铁路通过建立高铁试验考核体系、构建动车组维修保障体系、创新高铁养护维修模式,确保各种设备、设施状态良好,以适应高速列车长距离持续高速运行的要求。

1.3.1 建立高铁试验考核体系

中国高速动车组在正式上道运行前,要经过严格的上道

试验和试用考核,全新型高速动车组要经过60万km和1年的上道运用考核,对动车组关键部件进行重大改进后,还要再增加30万km的运用考核,比国外高速动车组新产品的试验考核更加严格(如德国新ICE列车在正式运行前试验考核25万km)。中国高铁在开通运营前,要经过联调联试和试运行,验证高速运行条件下固定设施、移动装备的安全性、匹配性和适用性,达不到技术、质量要求不开通。

1.3.2 构建动车组维修保障体系

针对动车组复杂运用环境复杂和长距离运输需求,中国铁路按照预防为主的原则,制定了完整的动车组一至五级修程(表1),建立了覆盖全路的4个动车维修基地和40个动车运用所,配置了完善的检修设备设施、工装器具、材料备件和技术人员,构建了完备的动车组维修保障体系,确保了动车组始终保持良好的运行状态。

表1 中国动车组一至五级修程
Table 1 EMU Maintenance Classes

修程级别	维修要求
一级检修	运行4000 km或48 h需进入动车所检修库进行
二级检修	根据动车段检修月计划,对重点系统、零部件进行维护保养
三级检修	运行60万 km或1.5年进行检修
四级检修	运行120万 km或3年进行检修
五级检修	运行240万 km或6年进行检修

1.3.3 创新高铁养护维修模式

中国高铁推行工务、电务、供电设备“三合一”的养修管理检修体制,提升了固定设备养修水平;采用垂直天窗维修管理制度,每天利用高速铁路运营结束后的指定时间段,一般利用夜间4 h安排维修天窗,对线路、接触网等设备进行维护保养;采用夜间维修检查等方式进行基础设施检查和维修作业;在全国建立6个高速铁路综合维修基地,按照预防修、故障修和大修三类组织作业,保证了高速铁路线路始终处于良好状态。

1.4 技术兼容性强

中国铁路具有集成世界铁路先进技术装备的能力和和经验,通过自主创新、集成创新和消化吸收再创新,具备了设计、建造和运营时速350 km及以上高速铁路的强大能力,在工程建设、动车组、列控、牵引供电等主要技术领域与世界先进铁路技术具有较好的兼容性。比如,中国铁路在技术创新时注重与国际标准的兼容性,融合了国际铁路联盟标准(UIC)、国际标准化组织标准(ISO)、国际电工委员会标准(IEC)、欧洲标准(EN)、日本工业标准(JIS)等国际先进标准,为推动中国铁路的“走出去”战略奠定了技术基础。

经过近年来的快速发展和技术创新,中国高铁技术已实现引进技术→中国制造→中国创造的跨越,形成自主知识产

权,高铁“走出去”时与其他高铁国家不存在知识产权纠纷。中国高铁技术覆盖面广,可以适用于世界绝大部分地区。

2 中国高铁安全可靠

为保证高速铁路安全可靠运行,中国铁路通过建立高铁技术体系、强化工程和产品质量管理,严格高铁运营管理,开展自然灾害风险防控等手段,建立健全了全方位安全保障机制。

2.1 建立高铁技术体系,从技术体系上保安全

中国铁路充分发挥技术对安全的保障作用,结合大量的运营实践,构建了涵盖工务(线路)工程、高速动车、列车控制、牵引供电、运营管理、风险防控6个方面、完备的高铁技术体系(图5)。在此基础上,系统构建高铁产品技术标准、工程建设标准、运营维修技术规章体系,适应各种气候、地质条件和运营条件,在世界上独树一帜,为保证产品和工程质量、强化运营维护提供了依据。

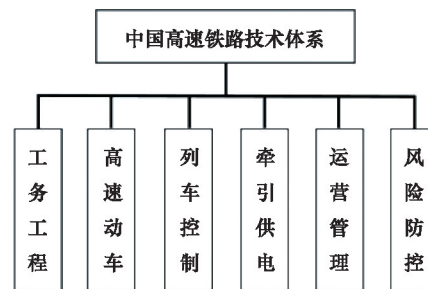


图5 中国高速铁路技术体系

Fig. 5 Technology system for China HSR

2.2 强化工程质量管理,从源头上保安全

中国铁路在勘察设计中,充分运用遥感地质、大地电磁深层物探等先进技术,重点针对地质复杂地段开展专项地质勘察,判识、绕避滑坡、崩塌及活动性断裂等不良地质区,尽量绕避岩溶和采空区。采用结构仿真计算分析等先进、成熟、可靠的技术手段,避免出现差错漏碰,消除勘察设计方面的安全隐患。建立高铁建设技术、管理、作业三大标准,施工过程做到“事事有标准,事事有流程,事事有责任人”。建立涵盖目标体系、责任体系、制度体系、方法体系和控制体系的高铁质量管理体系,创新以联调联试和运行试验为核心的高铁动态验收方法,确保了高铁工程质量。

2.3 强化产品质量管理,以设备保安全

中国铁路对动车组整车及部件生产企业实行生产资质管理和设计型号合格证管理,建立质量控制体系,对动车组制造实行验收制度;对高铁设备、产品实行产品认证、上道质量检验等准入制度,对生产企业的质量保证能力和产品质量进行抽查,杜绝质量不合格的产品进入高铁领域。

2.4 严格高铁运营管理,在高铁运行过程中保安全

1) 建立高铁运营调度指挥体系。中国铁路是世界上规

模最大的运输系统,每天运行列车2.3万列,不同速度的列车需要在同一条线路上交错运行,如何保证高速列车的行车秩序、正点运营是中国铁路调度指挥面临的主要问题。针对高铁列车运行数量多、不同速度等级并存、跨线运行等复杂情况,中国铁路构建了以中国铁路总公司为全路指挥中心、以铁路局为地区调度中心、以车站为执行中心的调度指挥体系,能够对管辖范围内的列车进行直接指挥和管理,具备列车运行计划编制、列车运行管理、车辆管理、供电管理、客运服务以及综合维修等功能。高峰期每天指挥运行动车组达3000列以上,实现了高速列车有序正点运行。

2) 实施固定设施和移动装备动态检测监测。针对固定设施,中国铁路建立了由高速综合检测车、沿线检测传感装置等组成的线路设备检测体系,对高铁线路状况进行定期和实时检测;在沿线重点区段布设传感设备,对线路的静态状况进行实时监测。每天开行正式载客的高速动车组前,都要开行两列双向对开的确认车,对线路安全状态进行确认。

针对移动装备,中国铁路在动车组上设置监测与诊断系统,实现了对列车走行部、牵引系统、制动系统、辅助系统、空调系统等的实时监测。例如,CRH380B型动车组设置了1100多个传感器,列车网络系统的监测点多达1800多项。

3) 建立高铁人员管理和培训教育体系。高素质的人员是保证高铁运营安全的关键。为此,中国铁路针对高铁岗位人员建立了一整套岗位管理制度和培训教育体系。对高速铁路调度员、动车组司机、动车组机械师及高速铁路线路、通信信号、供电设备维护人员等主要工种作业人员,实行严格的准入管理和考核。以高速铁路主要行车工种人员和专业技术人员为重点,加强高速铁路专业知识和实操培训。推行标准化作业,使习惯符合标准,标准成为习惯。

2.5 全面开展自然灾害风险防控,全方位保安全

针对危及高铁运行安全的自然灾害和突发事件,中国铁路建立了高铁防灾安全监控系统,对风、雨、雪、异物侵限等灾害实时预警和监控。通过与中国地震局、国家电网等合作,建立了高铁地震监控预警系统、牵引供电和通信信号雷电防护体系,保证在自然灾害情况下高铁的安全。同时,积极依靠地方政府,通过开展警民合作和安全知识普及工作、开展护路联防、高铁线路全封闭管理、构建综合视频监控系统等措施,加强治安防范,防止人为破坏。

3 中国高铁性价比高

3.1 建设工期合理

中国铁路通过创新高铁施工组织动态管理模式,保证合理的建设工期。以工厂化、机械化、专业化、信息化为支撑,实现施工方案、资源配置与控制目标的最佳匹配,大大提高了施工效率,确保了高铁建设的合理工期和工程质量。例如,京沪高铁全长1318 km,建设工期3.5年,既保证了工程质量,降低了建设成本,又确保了新建线路及早投入运营,尽快发挥作用。相比之下,国外高铁建设工期要长得多,有的甚

至长达10余年(图6)。例如,英国伦敦—福克斯高铁,全长109 km,建设工期11年,投资回收期相应延长。

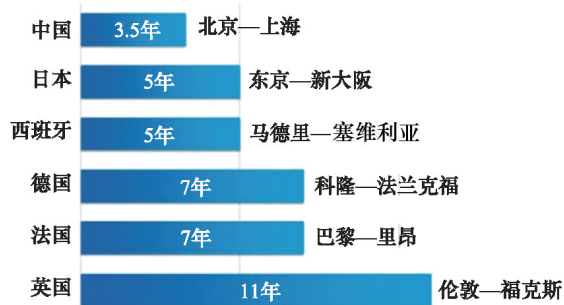


图6 世界各国典型高速铁路建设工期对比

Fig. 6 Construction periods of typical high speed railways in the world

3.2 单位建设成本低

中国高铁建设精打细算,不搞过高标准,不贪大求洋,加之中国劳动力、原材料、设备等成本较低,建设规模大,因而投资相对较少。根据世界银行2014年7月发布的研究报告,中国高铁建设成本远低于发达国家。中国高铁每公里建设成本(包括土地、土建工程、轨道工程、车站和四电工程)大约是发达国家的2/3^[1]。

3.3 节能环保

1) 节能节地。高速铁路与飞机、小汽车相比,是较为节能的交通方式。为了降低高铁的能耗,中国高速列车通过优化牵引结构,全部实现以电代油;采用再生制动技术,利用制动回收电能;实现人均百公里耗电不到8度(即0.08 kW·h/km)。有关资料显示,完成相同运输工作量,公路消耗的能量是高铁的数倍。

高铁车站广泛采用太阳能光伏发电、地源热泵等新能源,实行节能运行管理,进一步提高了高铁的节能效益。北京南站采用了热电冷三联供和污水源热泵技术,能满足站房49%的用电负荷。上海虹桥站在雨棚屋面铺设太阳能电池板,实现年均发电630万kW·h,年减排CO₂超过6600 t。

大量采用“以桥代路”方式,节约了宝贵的土地资源。与路基相比,每公里能节约土地3/5,例如京津城际铁路的桥梁长度占线路总长87%,京沪高铁的桥梁长度占线路总长80%以上,节地效果明显。

2) 保护环境。中国高铁线路选线时尽量绕避和保护重要生态敏感区;在路基边坡防护工程中,按照“宜林则林、宜草则草、宜荒则荒”的原则,将防护工程与绿化环保结合起来;修建过程中采取临时占地表土剥离、场地排水引流、施工结束后土地整理、覆土复耕复植等水土保持措施,不但稳固了工后覆土,还给高铁沿线带来别样风景。

为了将动车组产生的噪声振动对乘客和沿线居民的影响降到最低,高速铁路沿线设置了声屏障,在学校、居民楼等噪声敏感建筑物上积极研发和采用新的降噪、减振技术,如

安装隔声窗,有效降低高铁运行噪声对周围环境的影响,环保效果明显。

3.4 经济社会效益显著

1) 促进城镇化发展。高铁有效缩短了时空距离,使沿线中心城市经济集聚功能和对周边城镇的辐射能力大幅增强,促进了城镇化发展。例如,京津城际高铁开通后,北京至天津半小时可到达;沪宁、沪杭城际高铁开通后,上海至南京、上海至杭州最快可1 h到达;北京到广州2298 km,高铁开通后旅行时间从20 h 31 min缩短到不到8 h;北京到上海1318 km,从11 h 41 min缩短到4h 48 min。高速铁路的开通,使区域内城市互相融合,如从北京乘坐高铁半日可达54个城市,推动了中国东北、华北、华中、长三角、珠三角等地区相继形成1 h经济圈,“同城效应”日益显现。

2) 带动旅游业发展。由于线路平顺、动车气密性好等原因,在相同运行速度下,中国高铁旅客乘坐舒适度在世界上是最好的。加之高速铁路站车服务设施先进,乘车环境舒适,使人们出行的时间大幅缩短,因而很多人把乘坐高铁作为旅游出行的首选,催生出大量旅游需求和旅游消费,促进了高铁沿线城市旅游业的迅猛发展。2009年武广高铁开通后,到武汉、长沙等沿线城市旅游的人数大幅增加。2008—2014年,武汉每年接待游客数量从4666万人次增加到1.9亿人次,年均增幅26.4%;长沙每年接待游客数量从3297万人次增加到1亿人次以上,年均增幅20.3%^[4,5]。

3) 推动产业升级。高铁发展对先进技术装备的大量需求,推动了中国高铁装备制造业的转型升级。以动车组制造为例,中国已经形成了以主机厂为龙头、以一批国内骨干企业为支撑的动车组制造体系,一级配套企业有140多家,二级配套企业500多家,打造了涵盖冶金、机械、材料、电子、电气、化工等行业的产业链,优化了产业结构,增加了就业机会。

4) 企业经营效益向好。从世界范围看,高速铁路建设投资规模大、运营维护成本高,实现盈亏平衡需较长时间。目前,中国部分高铁(如京沪高铁、沪宁高铁、沪杭高铁)在开通相对较短的时间内已实现了盈利;还有一部分高铁,需要积极加大对沿线土地、车站、广告营销等综合开发力度,以及推动地方政府购买服务等方式,提高经济效益,实现盈利和可持续发展。长远来看,中国高铁企业的经营效益正在向好发展。京沪高铁于2011年开通,2012—2014年全年日均发送量从17.8万人次增长到29万人次,年均增幅27.6%;客票收入从173.8亿元增长到约300亿元,年均增幅31.4%;2014年京沪高铁盈利约22亿元。

4 展望

根据《中长期铁路网规划》和《铁路“十二五”规划》,中国高速铁路建设规模还将持续在高位运行。2015年,中国铁路将继续保持8000亿元以上的投资规模,计划新开工60条新线,运营中的高铁预计将达1.8万 km;2020年,以高速铁路、

城际铁路为主体的快速铁路客运营业里程将达5万 km,覆盖80%的50万以上人口的中国城市(图7)。



图7 中国高速铁路规划

Fig. 7 China HSR network planning

围绕国家“一带一路”和“走出去”战略实施,中国正在加大境外铁路项目工作力度,推进与周边国家铁路互联互通建设。加快发展国际联运业务,构建中国铁路跨国物流平台,努力把中欧、中亚班列打造成为国际物流业知名品牌。

下一步,中国铁路将研制运行水平更高、安全性和舒适性更好的高速动车组;研制基于LTE通信的列控系统;研究基于Wi-Fi及移动互联的旅客服务技术;研制不设分相、远程控制的牵引供电系统;研制与全国地震监测台网接入的地震监控预警系统;研究基于大数据的固定和移动设备智能监测和安全预警技术等,以实现中国高铁技术更先进、更可靠、更经济,确立在世界高铁的领先地位。

参考文献(References)

- [1] UIC. High speed lines in the World[EB/OL]. 2014-09. <http://uic.org>.
- [2] Gerald Ollivier, Jitendra Sondhi, Nanyan Zhou. High-speed railways in China: A look at construction costs[EB/OL]. 2014-07-01. <http://documents.worldbank.org/curated/en/2014/12/23031378/high-speed-railways-china-look-traffic>.
- [3] 何华武. 中国高速铁路创新与发展[J]. 中国铁路, 2010(12): 5-8.
He Huawu. Innovation and development of China high speed railway[J]. China Railway, 2010(12): 5-8.
- [4] 武汉市统计局, 国家统计局武汉调查队. 2009—2014年武汉统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
Wuhan Statistics Bureau, Wuhan Investigation Team of National Statistics Bureau. 2009-2014 Wuhan statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2014.
- [5] 长沙市统计局, 国家统计局长沙调查队. 2009—2014年长沙统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
Changsha Statistics Bureau, Changsha Investigation Team of National Statistics Bureau. 2009-2014 Changsha statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2014.

(责任编辑 陈广仁)