

中国高铁的自主创新

中华人民共和国科学技术部



高寒防风沙动车组

1 前言

至 21 世纪初叶，铁路运能长期严重不足已成为中国社会经济持续高速发展的主要瓶颈，高速铁路因其运能大、安全舒适、环境友好和可持续性等优势，已经成为铁路发展大趋势和中国应对交通运输能力严重不足挑战的必然选择。高速列车是高速铁路技术和装备体系的核心，是复杂的大型机电一体化系统，需要多学科交叉技术和大规模技术集成。为此，中华人民共和国科学技术部（以下简称“科技部”）和铁道部于 2008 年 2 月共同发起实施了《中国高速列车自主创新联合行动计划》（以下简称“行动计划”），其后科技部于 2012 年启动实施了《高速列车科技发展“十二五”重点专项》（以下简称“重点专项”）。通过全球范围整合资源和联合攻关，所设项目圆满完成，并取得重大社会经济效益。

2 中国高速列车集成创新过程

中国高速列车集成创新工程的实施过程主要包括以下特点。

2.1 创新模式，优势集成

从国情出发，在借鉴包括“阿波罗登月工程”“两弹一星”工程和日本 / 欧洲的高速列车研发等重大科技创新工程模式的基础上，集成优化了中国科技创新工程典型模式，即以跨部委合作为特征的横向模式、围绕产业链整合资源的纵向模式，设计采用了纵横复合模式和该模式下的“政产学研用”创新资源深度联合机制。

2.2 科学规划，合理设计

以体系工程方法论指导、组织和实施工程全过程，

将高速列车自主创新过程看成一个有层次、有粒度、有联系的完整体系,形成了目标、任务、资源、里程碑和产业链等系列规划,用不同层次的计划、规范和组织机制管控整个创新过程。

2.3 需求牵引,目标导向

全面完整分析中国以京沪高速铁路为代表的高速铁路网建设运营的需求和欧日等发达国家和地区高速列车的技术现状及发展趋势,确认高速列车“需求缺口”和“技术缺口”;在此基础上,形成以试验时速 420 km、最高运营时速 380 km 和持续运营时速 350 km 的目标速度值为代表的《新一代中国高速列车顶层技术指标》和科技攻关目标。

2.4 顶层设计,有序实施

通过顶层设计,对创新任务进行了层次鲜明、粒度合理的规划,准确辨识和区别对待“战略性”“战术性”“焦点性”任务,确认了高速列车集成、高速转向架、牵引传动、车体、控制网络、牵引供电、运行控制、运行组织关键技术和系统装备研制等创新任务;充分发挥了科技部“战略引领、战略协调、战略坚持和战略纠偏”的作用;通过国家三大主体计划使高速列车自主创新的各层次任务得到有序落实和相互协同支撑;并打造了世界规模最大、配置最完整、产学研用深度融合的完整创新链。

2.5 创新支撑,应用拉动

充分发挥中国高速铁路建设运营过程所形成的试验、运营和市场条件,以渐次开通运营的京津城际、武广和京沪等高速铁路为目标应用环境,将阶段性成果逐步投入运营验证和定型;形成了中国独创的以循环提升的“研发—制造—运营验证—再研发—再制造—再运营”验证环为特征、“研发与运营同步展开、创新与应用持续互动”的中国高速列车创新过程。

3 中国高速列车自主创新技术成就

在系统深入研究轮轨关系、流固耦合关系和弓网关系的基础上,在确保顶层技术指标领先世界的前提下,成功研制了 CRH380 系列高速列车,完全自主化的 CRH380A 型高速列车在京沪高速铁路上创造了运营列车最高试验速度 486.1 km·h⁻¹ 的世界记录,持续保持着百万公里平均故障率只有 1 件的高品质。CRH380 系列高速列

车目前支撑着运营里程已达 1.6×10^4 km、世界规模最大的中国高速铁路网高效运营。

CRH380A 型高速列车承载的并由其在安全性、可用性、能耗、噪声、舒适性等方面的优异指标所体现出来的技术成就可简述如下。

(1) 低阻力流线头型:通过采用空气动力学仿真技术、风洞气动力学和噪声实验以及多目标优化设计技术,研制的列车头型阻力系数小于 0.13,尾车升力系数小于 0.08。

(2) 振动模态系统匹配:优化了转向架设计参数和车厢内部结构,有效抑制了列车高速运行时的车体结构性共振;车体结构一阶垂向弯曲自振频率提高近 10%;整备车体一阶垂弯振动频率为 10.8 Hz;实现了车体、转向架与线路模态的良好匹配。

(3) 高强度气密性:采用差压控制模式的全密封加压技术,车厢气密承载能力达到 ± 6000 Pa,车厢内压力从 4000 Pa 下降到 1000 Pa 所需时间实际大于 180 s,气压变化值小于 $200 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(4) 高性能转向架:采用新的抗侧滚、抗蛇形振动机构和提高二系悬挂柔度,研制的高速列车转向架的临界失稳速度达 $550 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$;时速 380 km 范围内,脱轨系数小于 0.13,安全裕量充足;稳定性、减震效果和走行安全性优于既有国际标准。

(5) 噪声控制:大量采用新型噪音吸收和阻隔材料及结构,列车在时速 350 km 时客室噪声保持在 67~69 dB 水平。

(6) 轻量化与节能:大量采用新型材料和结构,使列车轴重不超过 15 t,在保持 $380 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的运行速度时,平均每位旅客的每百千米能量消耗小于 5.2 kWh;采用高性能再生制动技术,能量回馈率达到 90%。

(7) 制动安全:速度为 $350 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时的制动距离为 5908 m,远小于标准值 6500 m;初速度为 $380 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时的紧急制动距离约为 7162 m。

(8) 弓网受流:采用经过大量风动、磨耗、静动态线路试验优化验证的半主动控制受电弓,平均接触压力不超过 200 N,离线火化率低于 6.25 次每千米,满足动车组最高运行速度 $380 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 单弓、双弓运行要求。

(9) 系统可用性:采用基于 RAMS (可靠性、可用性、可维护性、安全性) 的设计、制造、运维一体化技术和完善的车载状态监测网络系统技术,不仅实现了全状态故障导向安全机制,而且持续保持着百万公里平均故障率只有 1 件的高品质。

4 结语

持续中的中国高速列车创新工程，在国家重点基础研究发展计划、高技术研究发展计划和科技支撑计划下陆续启动实施了“智能高速列车系统关键技术研究及样车研制”“高速列车谱系化关键技术及系列车型研制”“高速列车综合节能关键技术与集成应用示范”等项目，以

高速列车智能化、谱系化、绿色化为目标，分别研制成功智能化、高寒型和城际型高速列车。中国高速列车创新工程将以新材料、新结构、新能源应用为重点，以系统安全保障、互操作、综合效能提升和可持续技术为主要战略方向，持续进行体系化技术优化和改进，以实现不断提升的安全、舒适、节能等目标。

三峡工程

Engineering 2015, 1(1): 11–13
DOI 10.15302/J-ENG-2015022

中国国务院三峡工程建设委员会办公室



图 1. 建成后的三峡水利枢纽工程 (2014 年, 黄正平提供)

1 工程概况

三峡工程是世界上规模最大的水利枢纽工程，是治理和开发长江的关键性骨干工程，由枢纽工程、输变电工程和移民工程组成（见图 1）。

三峡枢纽工程坝轴线全长为 2309 m，坝顶高程为 185 m，正常蓄水位为 175 m。通航建筑物包括永久船闸和升船机。永久船闸为双线五级连续梯级船闸，年单向设计通过能力为 50×10^6 t。升船机为单线一级垂直提升式，提升高度为 113 m，船厢总重约为 15 500 t，是世界上提升重量最重、提升高

度最高的垂直升船机。

三峡输变电工程共建设 500 kV 交流输电线路 6519 km，变电容量为 22 750 MVA；±500 kV 直流输电线路全长为 2965 km，直流换流站容量为 18 000 MW。

自 20 世纪 50 年代初起，经过 40 年的规划、勘测、科研、设计和

© The Author(s) 2015. Published by Engineering Sciences Press. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

引用本文：Executive Office of the Three Gorges Project Construction Committee, State Council of the PRC. The Three Gorges Project. *Engineering*, DOI 10.15302/J-ENG-2015022