

特别策划 □

高端装备制造崛起之路

工业和信息化部赛迪智库 | 念沛豪 谢振忠 马力扬



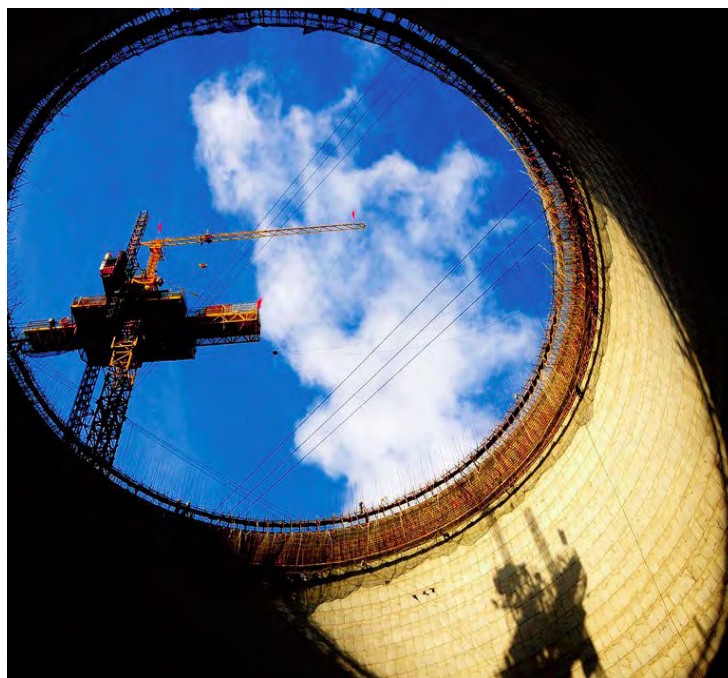
装备制造是制造业发展的基石和产业新体系的脊梁，高端装备制造能力和水平集中体现一个国家的制造业硬实力和综合国力。发展高端装备制造是《中国制造2025》的重要内容，对于推动产业向中高端迈进、保持经济中高速增长、实现制造强国战略目标意义重大。近年来，我国的高端装备制造业加速发展，尤其让人瞩目的是，高铁装备、核电装备等行业在这一过程中迅速崛起，脱颖而出，向我们展现了一条极具特色的制造业高端引领之路。



当今世界制造强国无一不是高端装备制造强国，它们的共同特征是拥有强大的高端制造能力，制造业总体上处于全球产业高端。如，美国是多领域高端装备和技术的掌握者、引领者和控制者，航空发动机、深潜器、机器人、深海钻探船等高端装备制造处于世界顶级水平。德国的制造业抢占国际分工体系高端，在精密机械、汽车制造、磁悬浮列车、高端医疗设备方面拥有大量闻名全球的世界级产品。这些国家的制造业规模雄厚，高端装备制造比重大，实力雄厚的跨国企业多，技术水平世界领先，质量品牌影响力大，占据甚至控制着制造业价值链的高端环节。我国实施制造强国战略，一方面要立足制造业基础，推动钢铁、石化、汽车等传统制造业从加工制造向价值链高端延伸，另一方面必须瞄准全球生产体系高端，掌握产业发展主动权，

大力发展具有较高附加值和技术含量的高端装备制造业。

装备制造业发展的路径总体上有两条：一是从低端向高端顺序演进，二是发展到一定阶段，实施高端引领、重点突破，以点带面推进全产业链升级。高端装备制造处于制造业产业链的核心环节和价值链的高端部分，对整个装备产业有很强的关联性和带动性。高端制造业的重大技术突破对全产业形成强大的辐射作用，带动上游装备产业的技术进步和产品换代升级；高铁、核电等高端装备制造能够创造对一般装备制造的需求，为基础机械制造、一般机械加工、核心零部件制造等相关配套产业开辟广阔市场；高端装备企业对外投资和贸易的扩大，也能够有力带动量大面广的装备制造企业加快“走出去”步伐。同时，高端装备制造的发展壮大过程本身，也为全面振



兴装备制造业提供了一个非常成功的样本。

构建产业新体系是一项关乎发展全局的重大战略任务，要求抓住关键领域、关键环节和核心问题，找准着力点和突破口，采取有力措施加快部署推进。高端装备制造技术知识密集、附加值高、成长性好、关联性强、带动性大，与其他战略性新兴产业一起，代表着技术突破和市场需求的重点发展方向。装备制造尤其是高端装备制造业，为各行业产业升级、技术进步提供重要物质保障，其发展水平客观上决定着国民经济其他产业的科技含量、经济效益、发展速度和产业竞争力。高端装备制造集中体现着力学、冶金、化工、材料、计算机技术等科技和产业领域的进步，能够有效带动基础设施建设、优化产业结构、形成优质化产品，提升劳动力素质。推动

产业迈向中高端水平，必须充分发挥高端装备制造的产业母体和产业引领作用，为产业升级和国民经济发展提供重大技术装备支撑。

经过多年努力，我国的装备工业发展取得了显著成就。装备工业规模从2009年起超过日本、美国，成为全球装备制造第一大国并保持至今，发电设备、船舶、汽车、机床等多数装备产品产量占据全球第一市场份额。载人航天、载人深潜、大型飞机、北斗卫星导航、超级计算机、高铁装备、百万千瓦级发电装备、万米深海石油钻探设备等一批重大技术装备取得突破，自主创新能力显著增强。尤其瞩目的是，高铁装备、核电装备行业在这一过程中迅速崛起，脱颖而出，为我们展现了一条极富特色的制造业高端引领之路。



□ 高铁崛起的背后

由于高铁装备在技术等方面的外溢效应，带动了城市轨道交通、普铁等行业的发展，使我国企业不仅在国内大规模城市轨道交通建设中占据绝对份额，更在国际市场有所斩获，提升了我国轨道交通装备行业的整体水平和竞争力。

目前，我国成为全球高速铁路系统技术最全、集成能力最强、运营里程最长、运行速度最高、在建规模最大的国家。2015年底，我国高铁装备产值达4000亿元左右，高铁总里程达到1.9万公里左右，是世界其他国家高铁运营里程总和的近2倍。在技术研发方面，我国已实现了高铁列车自主设计、制造、调试的完整链条，在线路工程、列控系统、牵引供电等方面的技术水平也已达世界领先。在品牌方面，我国自主研发的产品享誉全球，其中CRH380A型动车组保持着486.1公里

/小时的世界高铁运行试验速度纪录，其脱轨系数、轮轴横向力和轮重减载率等高速列车的三项最重要安全指标，全部优于国际标准，使其成为世界上最安全的高铁列车之一。在人才方面，培养了一批高精尖人才和团队，成为未来二三十年引领我国乃至世界高铁装备发展的核心智力资源。在产业链方面，形成了涉及机械、冶金、电子、化工等多个领域的完整产业链条，如一辆高铁动车组上的4万个零件通过全国22个省、市、自治区的600多家企业供应。在市场方面，世界轨道交



通领域巨头——中国中车已经将国内市场完全占领并逐步向国际市场拓展。在标准方面，2014 年我国颁布了《高速铁路设计规范》、《城际铁路设计规范》等 55 项铁路技术标准，主持了 10 项国际铁路联盟、9 项国际电工委员会铁路国际标准的制定工作，已成为国际高铁行业标准制定的重要参与者。此外，由于高铁装备在技术等方面的外溢效应，带动了城市轨道交通、普铁等行业的发展，使我国企业不仅在国内大规模城市轨道交通建设中占据绝对份额，更在国际市场有所斩获，提升了我国轨道交通装备行业的整体水平和竞争力。

发展历程

自我探索与技术积累阶段（改革开放后 - 2003 年）

上世纪 80 年代，我国就要不要建设高速铁路、如何建设高速铁路、以什么样的标准

建设高速铁路等问题达成了初步共识，并于 1990 年底完成了《京沪高速铁路线路方案构想报告》，开启了建设京沪高铁的预研。此后，我国不仅开展了如广深准高速铁路、第六次铁路大提速以及秦沈客专等三大线路试验与运营实践，也研发制造了“先锋”、“蓝剑”、“中华之星”等国产高速列车。其中最具代表性的即为“中华之星”，其是在京沪高铁“轮轨”与“磁悬浮”路线之争的背景下于 2000 年立项，该型列车最高运营时速为 270 公里，在 2002 年秦沈客运专线的冲刺试验中更是创造了 321.5 公里的速度记录。通过该项目，我国不仅获得了动车组制造的系统集成能力，更是在动力系统、高速制动系统、转向架等方面实现了很大的技术突破。然而，“中华之星”在试验和运行中出现了一些故障，于 2003 年召开的高速动车组专家研讨会认为该型列车与国外先进水平在技术水平、产品成熟度和可靠性方面存在比较明显的差距，其动力集



中式布局的技术路线也与国外分散式布局的主流路线相悖。产品上差距的背后更是我国高铁装备领域技术、材料、工艺等方面的全面落后。

国外技术引进和消化吸收阶段（2004年 - 2007年）

2003年铁道部提出了跨越式发展路线，以较短的时间、较少的环节和较少的代价，实现与发达国家原先走过发展历程相同的目标，明确了整体引进技术，消化吸收，逐步实现国产化，力争达到国际先进水平的技术路线。这标志着我国高铁从持续了十几年的自主发展道路向引进——消化吸收——自主创新的路径上转变。国务院在2004年召开的专题会议上也确定了引进少量原装、国内散件组装和国内生产的项目运作模式。2004年6月，铁道部为第六次大提速进行时速200公里动车组招标，庞巴迪、川崎和阿尔斯通分别与各自的中方合作企业中标，研发出之后的CRH1、CRH2、CRH5三类车型，而西门子因为要价太高并拒绝技术转让而出

局。这次招标共分7个包，每个包20列动车组，其中包括1列原装进口的原型车（派人到外国企业学习）2列散件进口，在国内完成组装（在国外企业的技术指导下实践）；17列为国产化列车，国产化水平逐步提高，最后国产化率要达到70%（逐步采用国产零件替换进口零件，提升国产化率）。铁道部旨在通过这样的规定来保证我国企业对国外技术的掌握并逐步提高国产化水平。通过这一轮制造工艺、制造流程和制造技术的引进，改善了我国企业技术管理平台，通过外方企业打通了材料和部件引进渠道，使得国内企业实现了核心部件和整车在制造上的本地化。由于外方只转让了设计结果即制造技术，并未转让核心技术即包括控制算法、调试运行在内的设计能力，因此很多环节还需要外方协助，并不具备自主研发能力。

2005年，铁道部启动了引进设计时速300公里及以上的动力分散型动车组采购项目。如果说北车集团唐山轨道客车有限责任公司与西门子公司（日后的CRH3型高速动车组），以及庞巴迪在中国的合资企业四方庞巴迪的

中标不足为奇，那么南车集团青岛四方机车车辆股份有限公司（下文简称“南车四方”）在经历上一轮技术引进消化吸收后的独立中标可以说是一项突破，这次投标主体仅为南车四方，以川崎为首的日本公司仅提供技术支持。这得益于南车四方对原日本动车组平台在消化吸收基础上的挖潜。从第一轮投标生产的 CRH2A 到第二次投标中生产的 CRH2C，虽然没有质的变化，但在很多领域都有改善，如列车牵引电机功率的提升、传动比改进带来总牵引功率提升以及车体结构、降噪、转向架等领域的改进。

至此，中国各企业在铁道部的统筹下，通过两轮大规模引进成功获得了日本、法国、德国的高铁技术，锻炼了设计能力，拥有了来图制造能力，实现了技术积累，追上了世界先进水平。

自主创新阶段（2008 年 - 2010 年）

为筹备已久的京沪高铁能用上我国自主产品，2008 年铁道部与科技部签署了《中国高速列车自主创新联合行动计划》（简称“计划”），提出研制新一代时速 350 公里及以上的高速列车，目标就是形成完全自主的中国高速列车技术、装备、产业化能力和运行服务能力。与技术引进和逆向复制不同，该“计划”的出台标志着我国高铁装备进入自主创新阶段，一方面，本次是先确定顶层速度指标，通过层层分解明确各子系统指标，再确定详细技术方案，是正向设计过程；另一方面，京沪高铁要求最高运营时速 380 公里，持续运营时速 350 公里，例如南车四方对原有引进平台的挖潜已到极限，但仍不能满足要求，只有根据以往的积累进行全新设计。为实现这样的宏伟目标，我国充分发挥了举国体制优势，将企业、高校、科研院所、重点实验室和工程研究中心通过国家科技支撑计划项目组织起来，突破关键技术，生产重点产品和零部件，最终成果就是 CRH380 系列动车组，其至今仍然是我国高铁运营的主力车型。

该系列中自主化程度最高的为南车四方生产的 CRH380A 型动车组，也是近年来李克强

总理出访在推销高铁时所携带的模型车型，其高自主率得益于南车四方对自我创新连续、不间断的追求和努力：第一轮招标时对日系时速 200-250 公里动车组技术扎扎实实的学习和消化吸收；第二轮，承担了巨大风险独立投标时速 300 公里动车组，立足引进技术进行改进和生产，积累了独立研发经验；第三轮，在铁道部、科技部牵头科技计划项目的支持下，对总体设计进行了质的提升。在产品领域也承前而来，从 CRH2A、CRH2C 到 CRH380A，进行了脱胎换骨的转变，拥有了自主知识产权。2010 年，美国戴维斯律师事务所与美国专利商标局对 CRH380A 型高速列车组进行的评估指出该型动车组没有发现任何会发生产权纠纷的情况，为南车四方生产的动车组出口美国提供了法律保障。2012 年，南车四方中标了香港高铁项目，包括原技术引进方川崎在内的其他国际企业也并未提出有关知识产权的异议。这些例子不仅说明了我国自产高速动车组“走出去”完全不受知识产权的约束，更是对我国高铁装备领域自主研发的有力肯定。

在该系列中，北车集团也开发出诸多车型，一是 CRH380BL，其是在 CRH3C 的基础上通过创新发展起来，脱胎于德国技术，但零部件外购比例相对较大；二是 CRH380B，为北车集团长春轨道客车股份有限公司针对东北地区研发的高寒型动车组，能够适应 -40℃ 气温下的运营，是中国高铁装备领域的一项重大突破，它克服了气候条件对高铁运营的制约，拓展了高铁的运行地域，完善了中国高速动车组谱系。随后，在前两款车型基础上又研制了 CRH380C 新型动车组，实现了车头、牵引传统系统两个方面的重大突破，逐步走出了德国技术的影子。

发展低谷阶段（2011 年）

正当蓬勃发展之际，2011 年我国高铁



产业遭遇了重大挫折。这年2月，原铁道部多位领导涉嫌严重违纪，之后高铁建设很快受到影响，银行收紧贷款、投资大幅下降、因高铁建设而形成的庞大债务也为全社会所关注。7月初，我国高铁开始降速，原时速350公里、250公里的线路分别降速至时速300公里、200公里运营。随后发生了震惊中外的“7.23甬温线特别重大铁路交通事故”，造成40人死亡、172人受伤，社会各界对事故口诛笔伐，逐步演变为对中国高铁的质疑。这些事件对我国高铁发展的巨大打击有三个方面：一是降速，不仅高铁运营速度全面下降，而且新建高铁线路标准降低，如大西、兰新等在建高铁线路的线下工程按照时速350公里标准在几乎建设完成的情况下，线上工程降低为时速250公里；二是银行进一步紧缩、限制贷款，高铁建设资金枯竭，大量线路停工，很多拟开工的规划线路也被叫停；三是严重影响了国际市场对中国高铁的信心，造成铁道部与数十个国家达成的数千亿美元意向合作失效。

事物的发展历程并非是一条上升的直线，而可能经历波峰与波谷交错的各种起伏，呈现螺旋式上升的轨迹，我国高铁事业也不例外。这次挫折是我国高铁发展中的一个低谷，也是为跨越式发展付出的代价。一方面，任何科学、

技术都有其自身的发展规律，几年时间我们不可能完全获得国外通过几十年时间研发出技术的所有积累，更是缺少技术研发背后的试错经验；另一方面，高铁发展不仅仅是高速动车组等新装备的应用，更是一个复杂、系统的工程，还需要长时间、稳定、可靠运行经验的支撑，信号、控制等方面管理经验以及面对突发事件的应急处理机制，这些都需要在高铁的长期运营中建立并逐步完善。随后通过各方努力，我国高铁克服了艰难的内外环境继续向前，扭转了广大群众的印象，获得了充分的认可和声誉，在国际上也重新赢回了尊重。

新一代技术研发与“走出去”阶段（2012年-2015年）

我国要始终处于国际先进水平，实现高铁领域的完全自主化，必须要在关键领域、技术、产品上努力追赶，对最新一代技术趋势进行探索和研发。例如，对下一代电力牵引领域——永磁同步牵引系统的研究，我国企业虽起步稍晚但奋力追赶，2012年科技部出台的《高速列车科技十二五专项规划》中也明确提出了要发展“机遇永磁电机的新兴牵引传动技术、标准和装备体系”以及“适应并引领世界高速列车牵引传动模式的技术和装备战略转型”，通过

国家、企业等各方努力，目前在该领域已经逐渐赶上了国外先进水平。此外，在国家层面也开展前瞻性、技术性、理论性研究，为具有战略意义的高铁装备产业未来的发展做好技术储备。基于此，我国设立了“时速 500 公里条件下的高速列车基础力学问题研究”国家“973 计划”项目，研发出 cit500 更高速度试验列车，通过该项目和该型车的试验，旨在对轨道交通的轮轨、流固、弓网等三大基础关系，对关键系统可靠性，以及对新材料新技术进行研究。

新一代自主研发阶段的成果就是 2015 年 6 月下线的中国标准动车组，不仅实现了对动力、变流、网络控制等关键系统部件的自主化，完全摆脱了 CRH380 系列中日系和德系技术的影子，更有标志性意义的是建立了中国标准。该车型采用的中国国家标准、行业标准以及技术标准，涵盖了动车组基础通用、车体、走行装置、司机室布置及设备、牵引电气、制动及供风、列车网络标准、运用维修等全部 13 个大方面。该型动车组在未来顺利通过 60 万公里的项目试验考核后，将驰骋在神州大地。

我国高铁装备产业在满足国内需求的同时，大力实施“走出去”战略，李克强总理也多次向出访国推销高铁，在国际市场的角逐中取得了一系列成绩：2014 年 7 月，中国铁建总承包的土耳其安伊高铁二期正式通车；2015 年 4 月，我国与印尼签署价值 60 亿美元的雅加达至泗水高铁项目；2015 年 11 月，我国出口到马其顿的动车组在当地测试，这是我国动车组出口到欧洲的第一单。

高铁发展迈入新征程（2015 年以后）

我国具有全球最大的高铁市场，中车集团是全球最大轨道交通装备供应商，CRH380 系列动车组成为我国高铁线路上的主力车型，在一些先进技术领域处于国际一流水平，技术先进、安全可靠、成本具有竞争优势等评价是对我国高铁装备最贴切的褒奖。然而也应注意到，我国高铁装备产业发展还存在一些问题，“走出去”形势并不乐观，一方面，我国高铁是在较短时间发展起来的，技术成熟度还有待进一步验证，缺少长时

间的安全运行经验积累；另一方面，国际环境风云变化，国际竞争日趋激烈，国外企业在技术、运营经验、安全性等方面在客户印象中更具优势。

技术的发展、产品的更新、市场的变化日新月异，在日、德、法、加等国的各大企业积极抢占高铁领域制高点的同时，我们不能对以往的成绩沾沾自喜，不能对未来的发展掉以轻心，更不能停下技术研发和市场开拓的脚步。要保持战略的定性、稳定的心态和冷静的头脑，充分认识我国高铁领域存在的不足和问题，加大投入，不断创新、弥补短板、打造品牌，在未来引领全球高铁装备行业发展。

主要做法

铁道部在招标和考核等环节制定了很多有利规则

铁道部作为我国高铁行业唯一的设备采购主体，在设定招标条件、指定技术接收平台等规则制定方面具有绝对的话语权，采取了很多有利于低成本实现技术引进、保证国内企业掌握国外技术、有利于我国自主创新的举措。例如，铁道部在《时速 200 公里铁路动车组项目投标邀请书》的公告中明确说明：“在中华人民共和国境内合法注册的，具备铁路动车组制造能力，并获得拥有成熟的时速 200 公里铁路动车组设计和制造技术的国外合作方技术支持的中国制造企业（含中外合资企业）。”这一规定一方面限定投标企业必须是中国企业，将原本想直接参与投标的西门子、庞巴迪、阿尔斯通、川崎等国外企业都拒之门外，只能找中国合作伙伴参与投标；另一方面，中国企业也必须拥有国外企业的成熟技术支持，将国内自主研发的高速列车排除在外。招标还明确了三个原则，一是关键技术必须转让，二是价格必须低，三是必须使用中国品牌。这样的招标内容既达到了技术引进的目的，又通过较小代价提升了国内高铁装备领域的技术和制造水平。此外，铁道部只指定了南车和北车两家企业进行技术接收，而国外企业共有西门子、庞巴迪、



阿尔斯通、川崎四家，这让两家中国企业处于了绝对的战略优势，具备了同国外企业谈判的资本，加大了对方的技术转让力度。值得一提的是，除要求外商与国内企业签订完善的技术转让合同外，铁道部还设置了对中国投标企业“技术转让实施评价”的考核环节，只有国内企业通过了铁道部成立的动车组联合办公室在该环节的验收，铁道部才向国外合作企业付款，这确保了我国企业对引进技术和制造工艺的充分掌握。

集成各方资源搭建国家层面科研平台，探索合作机制调动地方积极性

《中长期铁路网规划》等国家层面规划的制定和实施保证了我国高铁发展的持续性和强制性。为实现高铁装备领域突破，国家也投入了大量资金、人力和物力等资源进行技术研发。例如，2008年科技部与铁道部共同签署了《中国高速列车自主创新联合行动计划》，设立了“十一五”国家科技支撑计划“中国高速铁路关键技术及装备研制”项目，共投入30亿元，国家拨款10亿元并带动参与研发的企事业单位自筹资金20亿元。参与此次行动计划的包括南车、北车等企业，中

科院力学所、中科院软件所、铁科院等11家科研院所，北京交通大学、清华大学等25家重点高校以及51家国家重点实验室和工程中心，参与的科研人员共计68名院士、500多名教授，万余名其他工程科研人员。仅CRH380A高速动车组在头型方案20选10的初选中，就有1位院士、8位博士生导师、25位博士研究生和多位南车四方的设计骨干采用2836个核的计算机集群在四个月内进行了超过300个工况的空气动力学仿真分析。除此之外，铁道部也调动各方资源参与高铁建设，如推动建立了“省部合作”机制，共与31个省区市签订了加快铁路建设的战略协议并组建了合资铁路公司，在协议中，地方政府不仅承担了征地拆迁的主体责任，而且对铁路建设的权益性投资更高达4000多亿元，这不但加快了高铁建设进程，更是彻底改变了以往铁路建设仅靠中央政府及企业投资的局面，从根本上扭转了高铁建设资金不足的难题。

庞大的国内市场带来巨大需求并提供广阔试验场

我国拥有世界上最宏伟的高铁发展蓝图和最长的高铁线路，不但为高铁装备行业带来

了巨量的市场需求，为本土技术的发展创造了条件，也为高铁产品的试验、运营提供了广阔的天地。铁道部通过标准逐步提高的多次招标采购，锻炼了国内企业的研发设计和生产制造能力，做强做大了骨干企业，培养了零部件配套企业，形成了高铁装备行业全产业链，推动了全行业的蓬勃发展。不断建设的高铁线路也为技术的研发、试验、验证以及运行提供了广阔的试验场。大规模的实践所积累的数据不但反馈到技术和产品的创新与改进中，促进了新技术、新产品的迅速应用，也增长了安全运营经验，促使全行业加快成熟和逐步完善。

对引进技术充分消化和吸收，培养自主创新能力

对国外的技术引进只是途径，让我国在最短时间内缩小与国外先进水平的差距，最终目的还是在消化吸收的基础上，培养自主创新的决心和能力，走上了“引进 - - 消化吸收 - - 改进创新 - - 自主创新”之路。为实现这个目标，首先就是扎扎实实的消化吸收国外技术。以南车四方生产的 CRH2 型动车组为例，在具体操作中循序渐进，逐步吃透和掌握国外技术：一是严格按照外方提供的图纸制造，不求创新只求复制；二是巩固制造工艺和流程，在制造水平和产品质量等方面与外方看齐，掌握了 CRH2A 动车组的制造和监测技术；三是对工作进行全面掌握后，提出优化建议，进行小幅改进，开发出长编组车型 CRH2B 和卧铺动车组 CRH2E。通过这三个阶段，带来了我国企业在生产工艺、生产能力、流程设置、质量控制等方面质的提升。通过技术引进，只能得到制造工艺、制造过程和产品，整体上还属于逆向复制过程，但我国企业并不满足于此，而是着力吃透引进技术，不仅对技术、控制算法等方面进行了充分探索，明确了“怎么干”，更研究了“为什么这么干”，逐步培养自我创新能力，实现了从“逆向工程”到“正向设计”的转变，掌握了从研发设计、制造到测试的全流程，培养了国内设备供应商，完善了高铁装备全产业链，摆脱了对国外调试以及材料、部

件的依赖。

骨干企业对行业发展的使命感和对研发创新的高投入

南车、北车作为我国轨道交通装备领域的两大巨头企业，怀着振兴民族高铁装备产业的使命和情怀，不仅为行业发展做了巨大贡献，更在世界上提升了中国制造的牌子。从研发创新的角度，南车、北车集团都进行了高投入，科技经费每年倍增，特别是从 2008 年铁道部第三次招标以及自主车型设计研发开始，科研经费呈指数增长，科技经费投入强度也从原来不到 2% 上升至 4% 以上，为技术创新、产品试验提供了资金保障。从专利的角度展示了两家企业的创新成果，在进行技术引进前的 2001 - 2003 年，各类专利申请数量少、增速缓，从 2004 年开始技术引进时，两大企业的各项专利指标开始快速增长，经过对 2004 年、2005 年两轮技术引进的消化吸收，2006 年各项专利指标都有了井喷式增长。

自我探索和发展期对技术的储备和人才的培养

在 2004 年大规模技术引进之前，我国在高铁行业进行了一系列卓有成效的探索和实践，在高铁装备、线路运营的设计、研发和实践中储备了技术、培养了人才、锻炼了企业，这都成为后来对引进成果充分消化吸收并实现再创新的关键因素。例如，1999 年铁道部就展开了对高速轮轨技术的研究与储备，到 2003 年共完成高速铁路科研项目 353 项，为后来我国高铁建设发挥了重要作用。2003 年 1 月开通的秦沈客运专线，很多突破性技术和尝试为之后的高铁建设沿用，特别是为建设时速 300 - 350 公里高速铁路提供了重要平台。参加京沪高铁建设的技术骨干有 90% 的人都参加过秦沈客专的建设。负责 CRH2 型动车组技术引进消化吸收的南车四方负责人也是当年“中原之星”研发的总负责人。

□ 核电装备的跨越

现在,我国基于第三代核电技术研发设计的装备已经达到了国际一流水平,在国际市场上具备相当的竞争力。

我国现有的核电装备制造技术是围绕国内自主研发的两种第三代核电技术设计的,分别是脱胎于法国技术、由中核集团与中广核集团合作开发的“华龙一号”和脱胎于美国技术、由国家核电技术公司下属的上海核工院设计研发的CAP1400。两种技术所需的关键装备包括压力容器、蒸汽发生器、堆内构件、反应堆冷却主泵、控制棒驱动机构和常规岛汽轮发电机组。目前,除了CAP1400的反应堆冷却主泵尚未实现完全国产化以外,其余所有关键设备都已经可以由国内供货商自主设计生产。

在国际市场上,我国的核电装备制造企业与国外企业之间既有竞争关系,也有合作关系。一方面,核电装备制造企业在“走出去”的过程中需要面对美国西屋公司、通用电气、韩国斗山重工、法国阿海珐和日本日立集团等行业巨头的竞争;另一方面,国内核电装备制造企业与包括美国西屋公司、EMD内燃机车公司、斯必克公司(SPX)、韩国斗山重工、意大利安萨尔多公司在内的国外企业合作,吸收引进了一大批国外先进技术,为自主研发生产核电装备奠定了技术基础。

发展历程

民用核电技术起步(上世纪70年代-1993年)

我国的核电装备产业与国家核电战略同期起步。上世纪70年代,中国核动力研究设计院设计建设了我国第一代核潜艇陆上模式堆,并在军用技术的基础上向民用核技术研究进行了探索,为我国核电产业的发展拉开了序幕。随后成立的上海核工程设计研究院将民用核技术作为主要研究目标,在国内已有研究的基础

上做了大量的工作,完成了秦山一期核电站的设计蓝图。上世纪80年代,中核集团着手全面设计建设秦山一期核电站,所使用的核电装备全部都是我国自己研发制造的。然而,完全自主设计的秦山一期反应堆与国际主流技术不接轨,为了日后吸收学习国外更先进的设计思路,这条技术路线最终被主动放弃,核电装备的来源也从国家自主制造变为与技术一起从国外引进。

引进和消化第二、三代核电技术(1994年-2012年)

1994年5月建成投产的大亚湾核电站采用了法国的M310技术,设备几乎全部靠进口,是我国首座百万千瓦级商用核电站,随后也促成了中广核集团的成立。在大亚湾之后,中核集团与中广核集团分别与法方合作,继续吸收学习第二代核电技术,逐步具备了自主设计能力,开始在国内展开批量化建设。

这一时期,中核集团的秦山二期核电站和中广核集团的岭澳二期核电站是我国应用法国第二代核电技术的标志性项目。通过技术合作与项目建设,两大核电集团完全吸收了二代核电技术的设计思想,为日后继续吸收引进第三代核电技术做好了准备。特别是中广核集团,在法国核电技术的基础上推出了自己的核电技术品牌CRP1000。虽然按照中方与法方的技术引进合同规定,CRP1000不能独立应用于国外核电建设项目,但作为国内首个自有第二代核电技术品牌,其影响意义十分重大。

从2006年开始,中核集团与中广核集团开始引进吸收法国第三代核电技术。依托



“十一五”期间获批开工的核电项目，两大核电集团进行了大量的尝试，将自主设计水平提升到了“二代+”的技术水准。国内的核电装备供应商也借助这些项目上马的时机快速发展。

2006年，国家发改委牵头召开了辽宁红沿河核电项目设备国产化工作会议，开始通过国家层面推进核电设备国产化。截止“十一五”末，国内大部分核岛相关设备都是国产的，核电站装备国产化率能够达到75%，设备商的制造能力得到了很大提升。由于国产设备制造成本低廉，而且国内核电市场前景广阔，国外的核电装备巨头纷纷抓住时机，在“十二五”期间与我国核电装备制造企业合作，转让了一批核电设备设计与制造技术，进一步促进了核电装备制造产业的发展，为“十二五”期间第三代核电技术的成果奠定了基础。

2011年日本福岛核电事故延缓了国内核电产业的发展。出于对安全的考虑，国家停止审批新的核电项目，并要求以后新建的核

电机组必须符合第三代核电技术的安全标准。于是，中核与中广核推出了各自的第三代核电技术：ACP1000与ACPR1000+。这两种技术都是基于法国的第三代技术设计的。

与此同时，国内的核电装备制造水平进一步提升，采用“二代+”和三代技术的核电站装备国产化率可以达到85%，蒸汽发生器、冷却主泵、堆内构件、主管道、反应堆压力容器、控制棒驱动机构、汽轮机等核岛与常规岛的核心设备全部实现了国产化制造，设备成本也大幅降低。90年代初，进口核电压力容器的成本在2.3亿元到2.4亿元之间，而国产化之后，设备价格下降到了1.2亿元左右。

设计和完善第三代核电技术（2013年-2014年）

2013年4月，国家能源局为了避免国内第三代核电技术过度分散，主导了中核与中广核两大集团各自第三代核电技术的融合谈

判。到2014年8月,最终的融合方案被通过,国内第一个完全自主知识产权的第三代核电技术——“华龙一号”由此诞生。2015年5月8日,首个采用“华龙一号”的项目——福清5号核电机组开工。中核集团的ACP1000与中广核集团的ACPR1000+都脱胎于法国技术,因此融合而成的“华龙一号”也因循了法国第三代核电技术路线。2003年,时任总理温家宝批示,要求加大吸收引进世界先进核电技术的力度。于是,在中核与中广核加紧吸收法方技术的同时,国家开始了一轮引进新技术的招标谈判。经过三年的努力,美国西屋公司的AP1000技术成功中标,新的核电央企——国家核电技术公司随之成立,负责全面引进和消化吸收美国的第三代核电技术。最早开展秦山一号核电站设计的上海核工程设计研究院也被划给了国家核电技术公司。

2009年,上海核工院在AP1000基础上初步设计完成了CAP1400技术,非能动大型压水堆净功率达到了128万千瓦。但为了获得完全知识产权并对第三国出口,上海核工院整合了设计思路,重新设计了蒸汽发生器、安全壳、主管道、主泵等关键设备,最终于2013年将堆芯功率提升到了4040MW,净功率预期可达到140万千瓦。2014年CAP1400陆续通过了能源局初步设计审查和核安全局的审评,成为了国内第二个完全自主知识产权的第三代核电技术。

国内的核电装备生产企业也紧跟技术升级进展,同期开始了满足“华龙一号”与CAP1400技术要求的装备研发制造。从2013年开始,中国一重、东方电气、上海电气与美国西屋公司展开全面合作,就设备设计与制造技术的转让问题进行谈判。到2014年年底,这几家大型装备制造企业的锻造技术与设备探伤技术已经可以满足制造第三代核电装备的需求,国内在建的第三代核电站的国产化设备率也逐步提升。目前,采用“华龙一号”技术的机组设备国产化比例能够达

到86.5%,采用CAP1400技术的机组设备国产化比例达到了72%。

三代技术全面应用与“走出去”(2015年至今)

随着福岛核事故的影响逐步淡化,国内重新开始了核电项目的审批。2015年,国内审批通过了2个新建核电项目,同时有三台机组开工建设。这样的审批速度恢复到了2011年之前的水平。而国产设备日趋成熟也降低了新建项目的成本,为我国核电技术与核电装备的应用提供了广阔的空间。

从2015年开始,李克强总理多次向海外推销中国核电技术。2015年10月,中广核与法国电力集团签订了英国新建核电项目的投资协议,成功迈出了核电“走出去”的第一步。国内核电装备制造企业也积极“走出去”,开始承接国外订单。上海电气在这方面成效显著。

2015年3月,法国阿海珐通过来料加工的方式,向上海电气分包了6台蒸汽发生器的制造,用于南非库贝赫核电站的更换项目。这是国产核电主设备首次实现出口。

2015年美国通用电气收购了法国阿尔斯通公司电力和电网业务。为安抚监管机构对于业务垄断的担忧,通用电气承诺拆分阿尔斯通的燃气轮机业务,将这一业务的核心部分转售给意大利安萨尔多能源公司。这使得上海电气间接受益。2014年,上海电气收购了安萨尔多公司40%的股份,未来可以从意大利方面获得完整的燃机技术,进一步提升核电装备的制造水平。

主要做法

学习引进国外技术,逐步实现装备制造自主化

我民用核电技术起步于军方的研究成果。从70年代的核潜艇反应堆设计到80年代后期建设秦山一期核电站,这些都是我国研究

人员利用有限资源自主研发的成果。但是,民用核电技术不同于军用技术,对于技术开发速度和商业应用效率都有较高的要求。考虑到未来对外承接核电项目的需要,我国的核电技术必须对接国际主流设计思想。因此,从80年代中期开始,国家先后引进了法国、加拿大、俄罗斯和美国的核电技术,与美国、法国、意大利、韩国等多国装备制造建立合作,在各项技术指标中有针对性地选择最优方案,抓紧吸收融合国际同行的先进设计理念,在保证运营效率和安全性的前提下不断努力降低项目成本,终于形成了有自主知识产权的两种第三代核电技术,并逐步实现核电技术装备国产化,用不到30年的时间追上了国际先进水平,为核电技术走出去打下了坚实的基础。

融合设计思路,合作突破技术瓶颈

我国核电装备生产企业的客户只有中核集团、中广核集团与国家核电技术公司这三大国有核工业集团。在技术发展初期,国有集团在市场上的分头垄断局面分散了装备设计制造的研发力量,阻碍了技术的突破。三大集团互不共享技术、不开放市场,导致国产第三代核电技术的研发进展一度较为缓慢,直到2013年国家能源局介入,要求中核集团与中广核集团融合发展各自脱胎于法国技术的第三代核电技术,才促成了“华龙一号”技术的诞生。中核集团的ACP1000与中广核集团的ACPR1000+都因循了法国技术路线,具备共同的技术基础。双方研究人员在合作开始后,互相取长补短,迅速突破了堆芯组件设计、安全系统布置等关键障碍。类似核电装备制造这样的重大装备专项对于技术与资金的要求是一般企业无法独自承担的。面对技术瓶颈,只有企业依托市场合力研究,才能尽快突破技术限制,占领市场先机。

加大初期投资力度,抢抓市场机遇

中国一重集团是少数几家同时为两种国产第三代核电技术生产装备的企业之一。在装

备开发初期,企业生产的试制产品良品率不高,也不稳定,需要对改造探伤检测设备和热处理设备的开发追加投资。由于此类设备的改造成本非常大,这种情况增加了企业背负的经营压力。为了尽快解决问题,确立中国一重在国内外同领域的绝对领先地位,企业果断增加了项目预算,最终投入了40多亿元,经过技术人员的细致检测与严密分析,逐项解决了试制产品中存在的问题,最终使中国一重的锻件良品率稳定在90%以上,成为“华龙一号”和CAP1400两种技术压力容器的供货方。装备的工艺提升与技术升级需要大量时间和资本投入。面对转瞬即逝的市场机遇,企业必须下大力度做好初期投资,保障技术研究和装备试造的需求。

通过项目积累经验,提高装备制造水平

我国的核电装备产业在“十一五”期间飞速发展的关键因素,在于国内核电市场的蓬勃发展。国内新建的一批核电站使核电装备制造企业得以在生产与交易过程中得到锻炼,让实用技术更好地应用到产品当中去。“十一五”期间,国内平均每年有5-8个核电项目上马建设,各大装备供货商不仅通过项目取得了丰厚利润,而且在设备制造过程中能够不断发现设计中存在的问题,积累了大量经验,逐项予以克服。与之形成鲜明对比的,是“十五”期间,由于国内没有新开工的核电站,导致核电装备产业无法得到连续发展的机会,研发投入也很有限,产业发展的停滞直接影响了装备技术升级的速度。能源短缺问题是国家发展的严重瓶颈,而核能资源是解决这一问题的重要途径。随着我国不断深化改革加快发展,核电市场必将复苏,甚至更进一步地扩大需求。同时,新技术带来的市场竞争力也为核电装备企业在国际市场上赢来了发展契机。只有通过不断历练,核电装备产业才能持续发展,稳步升级。

高端崛起启示录



高端装备制造历来是世界各国竞相发展的重点，是国民经济社会发展 and 国防现代化建设急需必需的战略性新兴产业。高端装备制造体现多学科和多领域的高精尖技术集成，研发制造过程需要巨额的财力和物力投入，在很多国家都是政府大力支持的产业或者是政府主导型本产业。由于高端装备制造的战略性，一些重大核心技术和关键装备为国外所垄断；由于产业技术复杂性和高投入性，靠市场自发力量也难以突破。我国有集中力量办大事的制度优势，发展高端装备制造必须把这个制度优势同市场经济的优势结合起来，集中人财物力和创新资源，有效提高执行力，通过实施高端装备创新工程等取得重点领域的集中突破。如，高铁、核电装备制造集中于少数几家国有企业，紧紧攥成一个拳头，有效形成创新合力，避免了被国外企业各个击破。同时，我国幅员辽阔，资源能源富集，人口众多，是世界上少有的超大规模

市场，对于发展高铁、核电等产业具有天然的空间优势、能源优势和消费市场优势，全国性的大市场也为行业技术积累和产品迭代完善提供广阔的腾挪空间。如，高铁装备的发展是与我国南北 5500 公里、东西 5000 公里的超长地理距离和 13 亿人口的庞大出行需求离不开的；核电装备发展也是我国广阔地域空间范围内能源消耗不平衡的必然要求。

我国一些行业的发展经验和教训证明，世界制造强国对战略性技术的垄断始终不会放松，一些关键核心技术靠花钱是买不来的，靠市场也是换不来的，有时反而会失去市场，必须立足自主创新、掌握自主技术、打造自主品牌。我国高铁装备制造成功的重要原因就是牢牢抓住关键核心技术不放，坚持以独资企业而非合资企业引进国外技术，立足于创新积累和自主研发，辅以引进消化吸收和系统集成创新。如：高铁装备产业明确提出“引进先进技术、联合



设计生产、打造中国品牌”，在项目运作上实行引进少量原装、国内散件组装、整车国内生产。在技术发展上，对国内没有基础的核心技术，在订单签约时与转让关键技术进行捆绑；对其它核心技术，在引进产品的基础上反复进行模拟调试、自主研发。事实证明，通过技术引进可以达到国际一流水平，但要引领行业发展，必须摆脱国外对核心技术和零部件的制约，通过自主研发形成有国内自主知识产权的产品品牌。

全面振兴我国装备制造业，要坚持“创新驱动、高端引领、基础支撑、绿色发展”的方针，分步骤分阶段实施。近年来，高铁、核电装备等领域核心技术取得了重要突破，这些高端技术和专利成果逐步向一般装备制造业领域扩散，整体提升了装备制造业技术能力和工业基础，带动了冶金石化、工程机械、航天应用、建材装备、轻工纺织等装备制造产业的整体发展。如：高端机床被称为装备制造工作母机中的“战斗机”，为工程机械、轻工纺织、航空装备、轨道交通等装备制造业提供高科技生产设备，是装备制造业发展的利器。同时，高端装备制造大企业如南车、北车、中核、中广核等，也发挥了行业引领作用，带动整机和零部件配套企业的

发展，初步形成了功能互补、相互支撑、共生发展的集群化企业生态体系。现阶段，从高端环节入手，集中力量突破一些关键核心领域，再以高带低、以点带面、分步实施、整体推进，应当是一条被实践证明了的装备制造业发展路径。

“世界性”是经济全球化条件下所有制造强国的核心特征，体现为一国制造对世界范围内制造业的影响力、引领力、控制力，以至顶尖技术和产品的市场垄断。中国制造只有以自身之强为支撑，走出国门、走向世界、影响全球，才能成为世界之强。发展高端装备制造业，要率先“走出去”充分利用两种资源、两个市场。一是在全球范围内扩大市场空间，打造“中国制造”名片，改善“中国制造”的世界形象，提高制造业国际竞争力；二是通过基础设施互联互通，推动建材、钢铁、工程机械等相关行业企业走出去，带动优势和富余产能跨出国门；三是为制造业整体“走出去”提供模式借鉴，亚投行的金融合作机制探索、国际合作共建园区的实践、规避投资地政治经济风险的举措等，都是在这方面做出的积极努力。从近年来我国政府不遗余力地向“一带一路”沿线、中东欧、非洲等地区推介高铁、核电等高端装备取得的成果来看，已经起到了这样的作用。