



北京地铁亦庄线的顺利开通运营,标志着具有自主知识产权的CBTC系统示范工程取得成功。

“北京地铁亦庄线 2010 年 12 月 30 日顺利开通运营,标志着具有自主知识产权的‘基于通信的列车运行控制系统’(CBTC 系统)示范工程取得成功,使中国成为继德国(西门子公司)、法国(阿尔斯通公司)、加拿大(阿尔卡特公司)后第四个成功掌握该项核心技术并成功应用于实际运营线路的国家。”北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室主任唐涛说,“亦庄线 CBTC 示范工程也是目前世界上一次开通功能最全、性能最高的线路,极大地提升了我国在轨道交通特别是城市轨道交通运行控制系统领域的知名度与影响力。”

唐涛在 1 月 25 日召开的“北京交通大学 CBTC 自主创新及其经验总结新闻发布会”上介绍,该 CBTC 系统在上进性方面,突破了核心技术瓶颈,具有完全自主知识产权,达到了国际领先水平;在高效性方面,可满足 90 秒列车设计行车间隔,实现移动闭塞,满足客流不断增长的需要;在安全性方面,是国内第一个也是唯一获得英国劳氏铁路公司颁发、国际通行的“自主开发 CBTC 系统产品 SIL4 级的独立第三方安全认证证书”的此类系统;在成熟性方面,利用“首台套”与公开招标进行了北京亦庄线和昌平线地铁示范工程,并被列入国家自主创新政府采购目录;在稳定性方面,已开通的亦庄线、昌平线的故障率明显低于引进系统。此外,这个系统的整体投资比引进系统低 20% 左右,全生命周期成本更加经济。

轨道交通运行控制系统国家工程研究中心主任邵春海指出,随着城市轨道交通高密度、高密度的发展要求,如何保障线路上所有列车的安全、可靠、高效、准点、节能、舒适、精确停车运行,并且可以满足轨道交通客流不断增长的发展需求,是一个涉及到轨道交通车辆、轨道、线路、客运、调度等多专业的问题与难题。该校数十年致力于解决这一难题,而 2010 年 12 月 30 日亦庄线信号系统示范工程的完成,表明这一综合指标的复杂协同控制系统确实无愧于“完全自主创新的地铁大脑和中枢神经系统”的美誉。

据介绍,亦庄线路全长约 23 公里,途经丰台、朝阳、大兴、通州和亦庄开发区,共设车站 14 座,一个换乘站,最高运行速度 80km/h,设计间隔 2.5 分钟。将完全自主研发的 CBTC 系统落户亦庄线,并实现全功能开通,成为中国第一条采用完全自主知识产权列车运行控制系统的地铁线路,实现了“自动驾驶”、“无人折返”和“安全运营”三项目标,成为城市轨道交通国产信号控制系统的里程碑。

邵春海认为,亦庄线 CBTC 系统不仅实现了先进性、高效性方面的指标,而且提升了我国包括建设、运营、投资、设计、监理、供应商、施工、安全认证等方面的专业技术与管理能力,探索了一条进行核心技术研发、中试、示范工程与产业化的途径,初步形成了一个“中国创造”的自主创新高新技术产业,将为国内轨道交通提供完全自主、性能先进、安全可靠的列车运行控制系统技术与装备。该系统在技术性能方面的特点主要有:

第一,安全、可靠、高效。为线路上每辆列车配备了“千里眼、顺风耳和安全卫士”。其中“千里眼、顺风耳”指地车双向

北京交通大学自主知识产权 CBTC 系统上线运用

中国首套自主创新列车运行控制系统载客试运营

向的、实时的、冗余的、大容量传输系统,可以让每辆列车实时知道前面列车、线路和车站的准确信息;“安全卫士”指采用“3 取 2”的高安全性自动防护系统(ATP 系统),可保证线路上尽量多的列车安全地高速追踪运行,不管在任何情况下不能超速、追尾,是绝对“全天候”的保证行车安全,遇到突发状况即自动降速或停车,使两辆高速追踪运行的列车停车后的间隔距离可以做到 30 米左右,完全可以实现 90 秒的行车间隔。

第二,准点、舒适、节能、精确停车。在“安全卫士”ATP 系统的基础上,系统为列车又配备了“最优秀的调度员和司机”(地面调度中心和车载控制设备),即列车自动驾驶系统(ATO 系统)。该系统作为“最优秀的调度员”,可以根据运行时刻表及时调整列车的运行速度和时间,根据线路上的上下坡度灵活、节能地控制列车“油门和刹车”(牵引和制动),保证列车准点运行,将误差控制在 5 秒以内;作为“最优秀的司机”,可以根据调度员的时刻表和节能要求,针对不同的地点、时间和车况给出对应的牵引和制动指令,实现列车的自动启动、自动巡航、自动定点停车,保证旅客“站立乘车不抓扶手”的最大平稳度和舒适度,同时保证几百吨的庞然大物每次在车站停车时精度误差不过 30cm,实现列车车门与站台屏蔽门的同步开关。

北京交通大学科技处处长余俊强强调,基于上述优异的技术性能,自主创新 CBTC 系统可直接提升轨道交通驾驶员和中心调度员的工作效率,使他们从机械、复杂的操作中解放出来,将更多精力放在更高层次的安全运营方面,提升轨道交通的人文关怀和整体可靠性、安全性。

CBTC 项目总工程师、北京交通大学校长宁滨介绍,自主研制 CBTC 系统经历了理论研究、实验室研制、室内仿真、试车线试验、运营线中试以及在亦庄线的成功应用等阶段,是学校几代信号系统团队努力奋斗十多年的成果。而亦庄线 CBTC 系统示范工程的实施,采用了“政、产、学、研、用”的模式,北京市 2004 年就积极响应国家自主创新战略,紧盯国际上刚刚发展的 CBTC 系统技术,集中全国行业单位与专家的优势力量,连续三期支持该项目滚动,并由不同主体单位牵头,同时也得到了国家财政部科技专项以及国家发改委、科技部在平台与项目方面的大力支持,经历了基础理论研究、核心技术攻关、实验室仿真推算、非运营线路试验、运营线路中试、大线中试、示范应用等阶段,终于使各项性能指标均达到国际领先水平。

宁滨针对自主创新 CBTC 系统的产业化推进,提出了“扩大市场”和“走出国门”的目标与设想。他表示,该系统全面进入市场至少还需要 3 年时间,北京交大根据政府要求已经组建了一支 300 人左右的实体化团队,致力于其成果转化、技术完善、运行维护 and 产业发展。目前,这一团队仍在不断扩充之中,相信这一举措将给该校本科、硕士乃至博士研究生提供许多就业机会,将为我国轨道交通信号领域培养一大批达到国际先进水平的优秀技术与管理人员;在为北京和全国轨道交通事业发展作出贡献的同时,创建一个拥有自主知识产权的高新技术企业。(本报记者 孙琛辉)

政产学研用结合 自主创新谱新篇

□本报记者 孙琛辉

“我校自主研发 CBTC 系统并应用于实际工程的突破,也探索出了一条联合自主创新的途径:即政、产、学、研、用相结合,开展基础理论研究、核心技术研发、实验室仿真、现场试验、中试、示范工程、产品化与产业化的途径。”北京交通大学校长、CBTC 项目总负责人宁滨在该校 1 月 25 日召开的“CBTC 自主创新及其经验总结新闻发布会”上说。

近年来,北京乃至全国大力气加快推进轨道交通网络建设,北京近 10 年内有近 800 公里线路需要建设,全国近 10 年将近 6000 公里线路需要建设。但业内人士并不知道,作为轨道交通保障行车安全、提高运输效率的核心技术的信号控制系统,核心技术掌握在德国西门子、法国阿尔斯通、加拿大阿尔卡特等外国公司手中,我国长期以来一直依靠引进,对轨道交通的建设成本、按期开通和运营维护带来巨大影响。

2010 年 12 月 30 日开通运营的北京地铁亦庄线,采用并全功能开通了具有完全自主知识产权的“基于通信的列车运行控制系统”(CBTC 系统)。该系统开发历经十几年研发积累,工程示范近 3 年,突破了技术与装备的瓶颈问题,扭转了国内长期依靠引进的状况,实现了中国几代信号人的梦想。

多年积累攻克核心技术

“这样一项核心技术,投资大、周期长、风险大,三五年时间是不可能完成的。外国人的系统也是长期积累的结果,也是用血的教训换来的。我们的成功,首先要归功于学校几代人的刻苦攻关。”宁滨说,“我们学校有 115 年的历史,特别是在新中国成立以后,这个专业在国内一直是老大。从我本人来讲,1982 年大学毕业后一直从事这个专业的教学与研究,可谓 30 年磨一剑。当然,上世纪 80 年代开始做的是车载安全控制系统,是 CBTC 一个重要的子系统,真正做 CBTC 系统是从 2004 年北京市科委立项开始的。”

据介绍,自主创新 CBTC 系统作为一项集控制、通信、网络、材料工艺、运输组织与管理等多学科的复杂协同综合系统技术,早在十几年前就根据发达国家安全苛求控制系统的发展进程,开始按照全生命周期的要求组织开展相关研究与开发工作。1995 年,北京交通大学得到国务院、铁道部批示,组织开展轨道交通移动闭塞相关的基础研究与论证,随后得到国家、北京市及学校各项基础研究基金项目支持,进行了基于通信的移动闭塞基础理论技术问题的研究,并开展相关核心技术仿真研究与实验,培养了一批研究人才。

2004 年,北京市科委在国内首次立项,系统进行“基于通信的城轨 CBTC 系统研究”。项目核心技术主体由北京交通大学牵头,负责开展制约我国信号系统发展的 ATP/ATO 系统研究;北京市地铁运营公司作为现场试验负责单位,负责车辆厂试车线的试验;北京和哞时公司参加开展相关系统的研发和配合试验。

到 2007 年底,北京市科委第一期立项课题圆满完成,攻克了 CBTC 系统的关键技术,完成了 CBTC 系统的系统集成测试,在北京地铁运营公司 1.3 公里的试车线上进行了功能和性能测试。

“自主创新 CBTC 信号系统是政、产、学、研、用的成功典型,是一个需要也值得用终身去负责的专业领域。”轨道交通运行控制系统国家工程研究中心主任邵春海表示,北京交通大学通过 CBTC 信号系统的基础理论研究、核心技术研发直到示范工程建设,培养了一批高端信号专业技术与管理人才,凝结了信号前辈的经验与教训,掌握了一套研制安全控制系统的途径,提升了国家轨道交通控制系统的整体技术水平。

邵春海介绍,北京交通大学 CBTC 信号系统成果的取得,经历了三代人几十年的探索和积累:早在 20 世纪 60 年代,汪希时教授就在国际上首次提出列车移动闭塞运行控制制观点,并开始相关理论研究;90 年代 CBTC 团队进入第二代研究,研究人员着手相关单设备的理论研究和开发;2004 年开始至今,北京市科委和科技部连续立项支持 CBTC 核心技术与共性技术攻关,研发团队第三代人正在坚持不懈地完善着 CBTC 系统的研发及产业化。

20 年磨一剑 厚积而薄发

北京交通大学运输自动化科学技术研究所成立于 1991 年 3 月 28 日,经过近 20 年的艰苦努力,已由组建之初仅 12 人的行车教研室,发展到近 50 人的规模,作为 CBTC 系统第二代研究成长起来的团队,先后组建了 3 个省部级平台和 2 个国家级平台。

该团队技术与学科带头人、轨道交通控制与安全国家重点实验室主任唐涛总结 20 年团队建设,概括为 20 个字:“紧扣需求、创新技术、开放交流、执着追求、团结协作。”

唐涛说,该研究所始终以提高中国铁路和轨道交通列车运行安全与效率为己任,结合中国轨道交通当前及未来建设和

运营,并通过专家验收,各项功能和性能技术指标达到国际先进水平,打破了国外在该领域的技术垄断。

2006 年,建设部将“自主开发的 CBTC 系统研究与开发”纳入由建设部牵头的国家科技支撑项目“城市轨道交通关键技术研究”,通过该支撑项目,由北京交通大学牵头开展了核心技术的二次设计,完成工程化的样机研制过程,并在实验室的综合测试验证平台上得到了进一步验证,同时由北京地铁、广州地铁、上海地铁、城建设计院等联合开展了 CBTC 技术规范的编制。

2007 年 12 月,北京市科委在完成 CBTC 系统核心技术研发成功的基础上,组织专家论证,一致认为轨道交通信号系统是一个特殊的安全控制系统,必须通过现场实际运营线路的试验和测试,立项由北京地铁运营公司牵头,北京交通大学、中铁电化局电铁设计院、上海大学等单位参加的方式进行现场试验,重点是开展 CBTC 系统地车通信三种传输方式(无线自由波、漏泄波导与漏泄电缆)的专项试验与考核。

2008 年,北京交大向国家财政部申请了“基于通信的 CBTC 研发中试与平台建设”专项,在大连快轨 3 号线上建成了首条国产、自主知识产权的 CBTC 的中试线,试验线路长达 8.9 公里,实现并验证了多列车的移动闭塞 ATP/ATO 功能。为进行现场测试与验证,课题组还在实验室建成了一套 CBTC 系统设计、核

心技术研发、集成测试、系统验证各类平台。试验表明,CBTC 系统各项技术指标达到中试预期的目标和要求,达到国际先进水平,为示范工程的成功实施奠定了坚实基础。

精心组织成功示范应用

2008 年,北京市为落实中共中央政治局委员、北京市委书记刘淇同志“狠抓科技创新和自主创新,努力攻克地铁高端和核心技术”的指示,进一步扩大自主研究成果,决定将“北京轨道交通核心技术研发及示范工程”列为北京市重大专项。

亦庄线 CBTC 系统示范工程大胆实施创新性管理方式,探索了一条“政产学研用”结合的核心技术工程化途径。时任北京市副市长赵凤桐同志亲自主持市长办公会专题研究该专项工作,并决定专项在北京市科研一期、二期研究成果基础上,北京市与国家科技部、财政部、建设部从项目和平台建设方面进一步大力支持,工程项目由市交通委负责,整个亦庄线示范工程由建设单位北京市轨道交通建设管理有限公司牵头,核心技术支撑单位北京交通大学、直接用户北京市地铁运营公司、投资主体北京市基础设施投资公司、产品化与供应商北京交控科技股份有限公司等参加,联合组成一个目标一致、职责分明、任务明确的集体。同时,该项目在实施过程中始终得到了国家发



北京交通大学校长、CBTC 项目总负责人宁滨(中)与工作人员在亦庄线测试现场张先睿/摄

北京交大 CBTC 研发团队发展之路

□王心怡

“80 后”成为研发主力军

2009 年 12 月 4 日,北京交大依托该校轨道交通运行与控制国家重点实验室和国家工程研究中心的相关核心技术人员成立了北京交控科技有限公司,由邵春海兼任总裁,致力于轨道交通信号系统及相关产品的研发、集成、生产、销售、咨询、培训和技术服务以及相关软、硬件产品的开发与推广。如今,交控科技有限公司也已组建起规模 300 多人,平均年龄仅 30 多岁的团队,其中 50 人负责技术研究和核心技术研究,260 人负责产业化及后期维护工作。

“80 后”、“90 后”的年轻人,只要给他们舞台与机会,就能发挥出最大的激情与热情,就会创造出辉煌。”邵春海说,“核心技术的攻克需要精英人才与团队的有机统一,这些年轻人在进入团队时,对于科研与工程项目无从不手,有经验的老师傅无保留地贡献自己所有的经验与教训,并将这些经验与教训按照国际安全苛求系统的流程与规范进行固化,指引他们按照这些规范开展相关的设计、研发与测试工作,依靠了团队精神,让每个人都成为项目的主人公,让每个人都具备成为精英的可能。”

记者采访了这支精英团队中的一位“80 后”的科研助理小夏,他在北京交大研究生毕业后即来到交控公司 CBTC 项目组,参与了核心软件的设计、编码、测试、现场调试等工作。他切身感受到做产品与做实验的要求不同,会遇到很多更现实和棘手的问题——在安全保障上,如果系统出现任何问题都可能威胁到人的生命和财产安全。令小夏印象深刻的是,为应对突发情况,这些刚毕业的学生和老师一起彻夜不眠地调试系统,验证其可靠性和安全

北京交大 CBTC 研发团队发展之路

技术,保证产品发布到现场时是安全的。6 年的在校学习和 1 年多的工作实践,让小夏经历了从“产、学、研”到最终用户的完整体验。他说:“这种培养模式对我个人的成长是非常有利的,我从大学、研究生阶段实验室学习,再到参与实验室相关的产业化研发,感觉到归属感、事业感和成就感。这个行业与我所学专业是一脉相承的,并且这个行业又是我们国家欠缺和需要发展的。”

核心技术研究需脚踏实地

“国家立项支持核心技术研究,以及我们的科研人员均需要避免浮躁的心态。”邵春海认为,自主创新是一个艰苦历程,全生命周期的参与与人员均要有坚持、再坚持的志气与决心,真正意义上的核心技术掌握绝对不是用一两年能够完成的。CBTC 团队在人才培养上开创了“人才链”的模式。邵春海告诉记者:“目前参与 CBTC 项目的学生毕业后,可在国内相关进行轨道交通列车运行控制系统的企业和研究单位找到合适的岗位,真正将学到的知识运用到企业的实际研发中。”北京交控科技有限公司就是一个接受这种人才模式的企业,它创造了适合这类学生的岗位,让学生们找到自己的位置。

目前,大学中真正独立研究与核心技术开发团队并不多。邵春海认为自主创新模式非常关键,“只要每个团队、每个方向都能够攻克相应的核心技术,就会创造出一定数量的高端就业岗位,而高校培养的高端人才自然会流入到这些高端岗位。所以中国需要自主创新,需要我们整个国家每个行业培养出自己的高端岗位,才能让国家培养出的高端人才才有出口和去向。”

针对团队人才培养与管理模式,邵春海提出了自己的观点:“要做成事,人人做对事,人人有事做,事事有流程,人人做对事。”

改委、财政部、科技部和教育部领导的关怀和支持。

2009 年,科技部配套支持“北京轨道交通核心技术研发及示范工程”专项,将该项目纳入国家科技支撑项目,通过该支撑项目,由北京市轨道交通建设管理有限公司牵头,联合北京及其示范工程相关单位在亦庄线上实施具有完全自主知识产权的 CBTC 系统。在示范工程的实施中,北京市轨道交通建设管理有限公司总经理丁树奎先生倾注了大量的心血,他亲自主持召开多次设计联络会,深入现场指导。资深专家施中衡院士、杨家齐先生、牛英明女士始终支持、指导着项目的进行,无论是在大连的中试线,还是在亦庄示范工程线,都多次留下了他们的身影。

亦庄线示范工程从系统设计、测试验证与安全认证三个方面重点突破与把关,采取国产化线集中办公的策略来落实这三项难点。通过系统设计来满足用户的需求,通过测试来验证系统是否满足需求,通过安全认证来保证工程的里程碑投入进度、质量与安全。

从 2007 年底开始,由英国劳氏公司对亦庄示范工程相关列车控制系统产品进行“一般产品”安全认证,于 2010 年 5 月底该公司颁发的安全证书写明:该系统安全功能满足 SIL4 最高安全等级要求。从 2009 年 8 月开始,专项又通过招投标方式,选择劳氏公司作为亦庄线、昌平线、房山线三线的信号工程安全评估独立第三方。随后一年多内,劳氏公司组织了系统的专业培训、审计与抽测,提出了许多有建设性和针对性的问题与建议。宁滨介绍:“进行安全认证基于两个目的,一是保证我们这个产品的安全,二是培养我们自己的一支安全认证队伍。将来对类似的系统我们可以进行认证。”他同时表示,这套具有自主知识产权的、通过国际第三方认证的系统,具备了“走出去”的可能。

至此,CBTC 专项以企业兼用户为牵头单位,真正实现在科技创新平台下,利用国家“首台套政策”,集中北京乃至全国的强势人才和相关单位,加强专项和示范工程管理,“精心设计、积极稳妥”,依托一条示范线和一个实际工程,实现了 CBTC 系统核心技术落户亦庄线并成功开通的目标。

据初步计算,北交大自主创新的 CBTC 技术的成功应用带来了巨大的经济与社会效益。国家投入该项目的研究、中试及平台建设经费不到 3 亿元,但其研究与应用使得引进系统的价格降低 15% 左右,按照每年 600 公里线路建设投资 60 亿元计算,每年可节约外汇 10 多亿美元;项目在亦庄和昌平线的示范应用,也比引进系统节约资金 10% 以上。

“展望未来,仅以国内 10 年 6000 公里的市场计算,该技术将会带来近 300 亿元的市场份额。”宁滨表示,“信号系统作为一个轨道交通的特殊专业,要形成一个产业,还需要一段时间以及更多企业的参与,需要国家继续在技术体系标准化、市场化、安全设计、测试、仿真验证、人才引进与培养等方面投入与支持,真正使其具有原始创新、集成创新的 CBTC 系统设计、制造、运用和维护成为国内一个高附加值的高新技术产业。”