

挺起交通强国的“动力脊梁”

——写在第十二届世界高速铁路大会召开之际

■本报记者 王昊昊 通讯员 姜扬敏

2023 年 6 月 28 日,福建莆田,湄洲湾跨海大桥。

海风带着咸湿的气息掠过钢铁巨龙,阳光在崭新的铁轨上跳跃,反射出银色的光辉。两列身披流线型银甲的试验列车静驻轨道两端,空气仿佛凝固了,只有远处海浪的低吼预示着即将到来的雷霆万钧。

“试验准备就绪。”
“发车!”

指令如电波般传递。瞬间,低沉的呜呜声由弱变强,旋即化为撕裂空气的咆哮。两列钢铁巨龙如离弦之箭,向着彼此方向加速驶进。

加速、加速,再加速……仪表盘上的数字急剧跳动,视野中的对方列车从一个模糊的光点逐渐变为清晰的车头轮廓。

“双向两列相对交会最高时速 891 公里!”
这一刻,一项崭新的世界铁路交会速度最高纪录,在海天之间,被中国速度悍然铭刻。

风雷激荡的交会瞬间,澎湃的正是那颗由中国中车一级子公司中车株洲电力机车研究所有限公司(以下简称中车株洲所)铸就的“奔腾之心”——永磁牵引系统。

上世纪 80 年代,中车株洲所在国内率先开展交流牵引传动技术研究,历时 7 年,联合主机厂倾力打造中国第一台交流传动原型机车;

从 2004 年开始,参与原铁道部“引进消化吸收再创新”工程,3 年后,助力时速 200 公里动车组投入运营,中国铁路迈入“高速时代”;

2010 年,“和谐号”380A 高速动车组在京沪高铁跑出当时世界最高速,使中国高铁实现从跟跑到并跑的新跨越;

2015 年,借助中国标准动车组项目,时速 350 公里“复兴号”高速动车组全面开通,树立世界铁路运营新标杆;

从直流牵引传动到异步交流传动,再到永磁同步牵引;从追赶到并跑,再到领跑——合辙中国铁路装备的每一次跨越,中车株洲所潜心打造中国名片,挺起交通强国的“动力脊梁”。

7 月 8 日至 11 日,当全球高铁行业从业者的目光聚焦到刚刚启幕的第十二届世界高速铁路大会之时,中国高铁奔驰大江南北,重载机车牵引万吨巨龙,城市地铁推动绘就绿色交通壮阔图景,这正是中车株洲所这颗强劲“奔腾之心”驱动下的生动写照。它不仅是 中国速度的基石,更以澎湃动力,向世界展示着交通强国的坚实脊梁。

孤光初燃

书写前瞻者的远见与拓荒者的坚忍

1959 年,湖南株洲。

繁忙的株洲火车站里,大学刚毕业的柯以诺肩挑扁担,带着简单的行李从人群中走来。夏秋之交的湘东地区依然湿热难耐,擦去额头的汗珠,他打听起单位地址。

此后几年,陆续有傅志寰、丁爱国、廖勤生、周官森、黄济荣、李春阳、严树钢、严云升等新中国第一批电力机车专业大学毕业生,响应国家号召,从五湖四海奔赴株洲,成为我国电力机车领域最早的奠基人。

他们的目的地是原铁道部 1959 年 6 月一纸“部令”成立的中车株洲所。向当地人打听单位地址被告知“没听过”,抵达所里发现缺设备、没实验室,连块门牌都没有,眼前只有一座老旧简陋的两层苏式员工宿舍楼……

即便与想象中的科研院所大相径庭,但这群一心想到祖国和人民最需要的地方发光发热、建功立业的年轻人,仍坚定地留在这里。

1959 年创建的中车株洲所是当时我国唯一的电力牵引系统研究机构。这不禁让人疑惑,为什么要来株洲建这样一个研究所?

1936 年,国民政府就在紧邻京广线的株洲田心地区成立蒸汽机车修理厂,在一片稻田上打下株洲轨道交通装备产业的第一根桩基。1952 年,原铁道部成立株洲机车车辆修理工厂,后又改名为铁道部株洲机车车辆工厂。

铁路电气化是铁路现代化的重要标志之一,很多发达国家从 20 世纪四五十年代就已着手铁路牵引动力改革。而当时中国的交通运输业基础薄弱,尤其是铁路运输能力成了新中国经济建设的发展“瓶颈”。

中车株洲所的使命,就是研制和试验电力机车,满足铁路日益发展的需要,促进电力机车的发展和生产技术不断提高。

建所后的“第一课”,是对刚下线的第一台电力机车进行改造。

当时,中国第一台干线电力机车 6Y1 型试制成功,但由于基础薄弱、人才匮乏,加上苏联专家突然中断援建,带着全部图纸与技术资料撤离,这让刚组建的研究队伍一时陷入困境。

没有条件,创造条件也要上。历经 10 年,主机厂和研究所联合攻关,先后解决三大技术难题,韶山 1 型电力机车诞生。从此,从株洲“摇篮”里诞生的电力机车驶向全国,成为上个世纪我国铁路运输的主力军。

时间进入 20 世纪 80 年代,世界高铁已疾驰在 200 公里时速的轨道上,我国列车却大多徘徊于 60 公里。速度的鸿沟,实则是牵引动力的代差。

要打造中国的高速列车,首先要跑得快,拥有强劲动力。1989 年,中车株洲所组织精干研究力量,从“零”开始攻克高速列车所需要的交流传动技术。



◀ 1958 年 12 月 28 日,中国第一台干线电力机车 6Y1 型出厂。

“异步传动牵引技术是当时国际上高速列车采用的主流技术。彼时欧洲已开始用大功率 GTO 器件,很少用 IGBT 器件,我们只能从上代器件快速晶闸管开始攻关。”中国工程院院士、中国中车首席科学家丁荣军是当时的年轻骨干,他对那段攻坚岁月记忆犹新。

“做电压试验时,器件经常烧坏,像‘放炮’一样。一‘放炮’整个实验室浓烟滚滚,我们就拿着灭火器灭火,瞬间的能量释放有时甚至会把供电系统顶翻,烧得我后来手都有点发抖。”丁荣军说,“放炮”最多的一次烧掉 24 个器件,一个 2000 多元,这对当时全年营收不到 1 亿元的中车株洲所来说,是一笔不小的“损失”。

当时中车株洲所只有几百万元的年利润,这无疑是“烧钱”。时任所领导却斩钉截铁地说:“为了技术突破,值得烧!”这种对探索近乎偏执的“纵容”,成了中车株洲所包容文化最深沉的底色——它允许跌倒,只为托举更高的飞翔。

攻坚之路布满荆棘。苦战 7 年,我国第一台交流传动原型电力机车 AC4000 于 1996 年诞生,标志着中国电力机车进入了“交流时代”。相对于国际先进水平,我国落后的时限缩短至不到 20 年,差距越来越小。

在原铁道部“十年转换工程”的引领下,我国电力机车交流传动技术进入“井喷”时代。中车株洲所和国内主机厂开始了一系列首创性电力机车、动车组的研制,如“中原之星”“中华之星”“奥星”等。特别是 2002 年 11 月 27 日,“中华之星”电动车组在中国第一条铁路快速客运专线秦沈客运专线创造了当时“中国铁路第一速”——时速 321.5 公里。

中国铁路装备迎来了“交流传动”的春天!

破壁提速

引进浪潮中淬炼中国动力“心”

进入 21 世纪后,中国铁路进入新的发展阶段。我国经济的快速发展,呼唤更加高效、速度更快的高速列车诞生。

2004 年,我国《中长期铁路网规划》正式公布,开始规划“四纵四横”的现代铁路网络,并确立了技术引进与消化吸收的策略。同年 6 月,原铁道部启动了时速 200 公里动车组的国际招标,标志着高铁技术正式进入引入阶段。

到 2005 年底,全国铁路总营业里程达 7.5 万公里,比“九五”末增加 7000 公里,增长 10%,是改革开放以来铁路新营业里程最多的 5 年。

铁路建好了,车从哪儿来?

2006 年起,我国陆续引进加拿大庞巴迪公司、日本川崎公司、法国阿尔斯通公司和德国西门子公司 的 4 种高速动车组。

引进后生产的动车组成为我国高铁不可或缺的组成部分,大大提升旅客服务水平,明显增加了我国铁路干线货运能力,降低了能耗。这也带动我国机车车辆设计手段、加工工艺和生产组织方式的改进,促进了企业技术改造和设备更新。

然而,国外的一些核心技术始终没有转让给我国。“长此以往,我们只能在国际高铁技术领域当一个‘跟跑者’,最多是个‘并行者’,不可能引领技术发展。”中国中车首席科学家、中车株洲所总工程师冯江华说,核心技术是买不来、要不来、讨不来的,必须自主攻关。

中国的铁路网络有着复杂

的高铁运营环境。“引进的一款动车组在兰州—乌鲁木齐运行过程中,速度根本跑不上去,牵引动力还会超温失效,说明它‘水土不服’,技术不完善。”冯江华说。

推进高速列车持续创新,开展核心技术攻关,成了中车株洲所的新使命。

为满足高寒动车组在长大坡道持续高速行驶的需求,冯江华带领团队持续攻关,大胆提出新的控制策略,在团队研制控制器完成验证的基础上,实现在功率提升 20%的同时温升降低 25 开尔文,一举解决了高效牵引的行业难题。

持续的技术突破,让中车株洲所赢来新技术大功率交流机车首次应用。

2008 年 12 月 25 日,中车株洲所 HXD1C 机车牵引传动项目成立,该项目将批量使用其研发的大功率交流传动系统。时任时代电气副总裁、技术总监冯江华担任项目经理,并撂下掷地有声的一句话:“如果项目不成功,我就引咎辞职。”从设计、采购、制造到售后,他们只有 6 个月的时间。

“我们的技术指标和国外同类型机车指标完全一样,包括功率、重量等,技术要求很高。”冯江华回忆,大家拧成一股绳,几乎是连轴转,不断地整备、处理故障,优化控制技术和软件,除了吃饭和短暂的休息都在工作,决心用交流传动领域的拳头产品来证明自己。

2009 年 6 月,首台 HXD1C 型电力机车在株洲落车,同年 6 月正式下线,机车从设计到竣工用了不到 6 个月。这是我国研制的机车变流器、网络控制系统等重要部件在大功率电力机车上首次应用。

牵引和控制是轨道交通车辆的“心脏”和“大脑”,是车辆动力的关键来源。

早在 20 世纪 90 年代,冯江华就牵头组建国内第一个高性能异步电机牵引控制技术研究工程实施团队。通过多年攻关,他们确立了异步牵引控制技术模式,陆续攻克了动力实时控制、分布式系统协同控制等关键技术,搭建了轨道交通交流传动技术平台和产业化平台。

中国在 2004 年引进高速列车技术时,有外方公司负责人曾劝告中方技术人员不要操之过急,先用 8 年时间掌握时速 200 公里的技术,再用 8 年时间掌握时速 350 公里的技术。

但凭借中车株洲所等单位自主创新能力的不断突破,我国在引进消化基础上再创新——2010 年 12 月,和谐号 CRH380A 新一代高速动车组最高时速达到 486.1 公里,刷新了世界铁路运营试验最高时速。

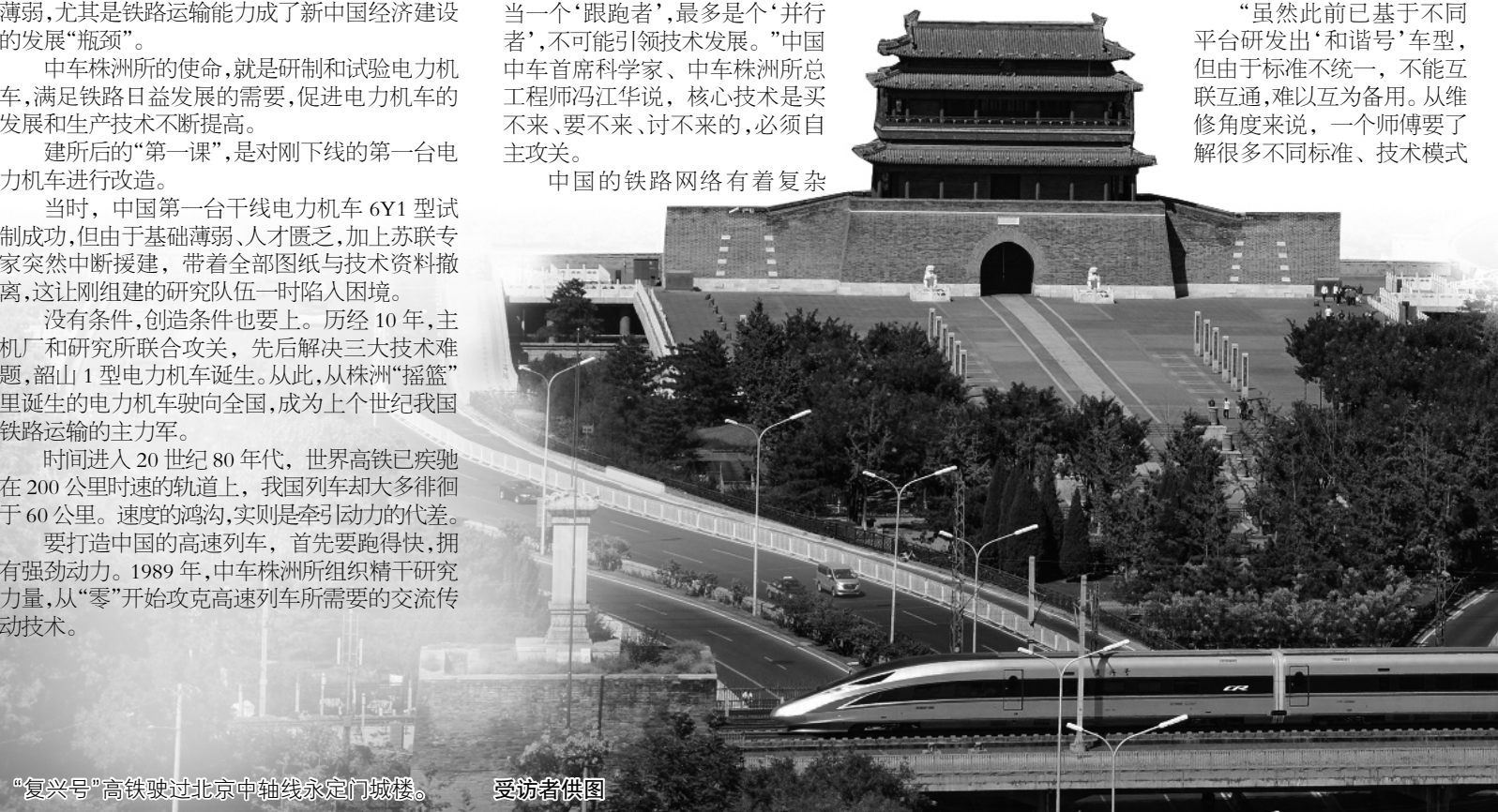
“我们不仅打破了国外高铁巨头的预言,还跑出了世界铁路运营试验最高时速。”冯江华说,数十年的持续探索,让我国具备自主创新能力,实现从直流到交流、从普速到高速、从普载到重载的跨越,为后续发展奠定了坚实基础。

国之重器

在复兴征途上镌刻中国标准

随着创新成果的涌现,我国高铁发展实现从无到有,迅速成为高铁大国,但还不是高铁强国。

“虽然此前已基于不同平台研发出‘和谐号’车型,但由于标准不统一,不能互联互通,难以互为备用。从维修角度来说,一个师傅要了解很多不同标准、技术模式



冯江华(右五)与团队在科研现场。

的产品才能胜任运营、维修工作,无形中增加运营和维修成本。”冯江华说,当时我国急需完全自主、性能优越的具有中国标准的高速动车组。

2012 年,我国正式启动新一代标准动车组“复兴号”的早期研制工作。

“复兴号”高速列车的研制面临前所未有的挑战,除提高速度、安全性和舒适性等外,要实现完全自主知识产权,构建中国的高速列车标准体系。

如何更高速?摆在研究者面前的第一个问题是采用哪一种动力配置方案。中车株洲所凭借多年的技术积累“作答”。

“是采用更多的动力配置,还是采用同样的动力配置,增加每个动力的牵引能力?从稳妥的角度来说,增加几个动力配置要容易得多。但我们恰恰选择了一个最困难的技术路线,即增加每一个单元的动力功率而不增加动力配置数量。”冯江华表示。

高速列车的牵引动力从哪里来?其原理是电网送电到列车里,列车将电转化后驱动电机,电机产生机械的电机转矩,转矩最后成为直线的牵引力。这个转矩其实就是轮子和轨道之间的摩擦产生的。

钢轮钢轨都比较硬且光滑,轮子要擦得锃亮,这是因为钢轮钢轨摩擦力小、阻力小了,其自身的能耗就小。但这又是一把“双刃剑”,摩擦力小,靠摩擦产生的牵引能力也会降低。随着高速列车的速度越来越快,轮子和轨道之间产生的力会更大,这意味着轮轨容易打滑。

如何解决这个问题?“有时候我们在实验室模拟试验效果很好,但到了现场又很不理想,唯有不断调整、反复优化。”冯江华介绍,中车株洲所突破传统思路,攻克了状态敏锐感知、轮轨态势准确识别和动力快速优化调控等技术,最终设计出高实时、高能效的传动控制系统,解决轮轨打滑等问题,不仅大大提高安全性,更能降低能耗。京沪高铁实测结果显示,在 350 公里时速下“复兴号”与“和谐号 380”相比,总能耗下降了 10%。以京沪高铁为例,“复兴号”往返一趟能省 5000 多千瓦时的电。

2017 年 2 月 25 日,G65 次列车驶出北京西站,运行于京广高铁,标志着中国自行设计研制的、拥有完全自主知识产权的中国标准动车组样车正式上线运营;同年 6 月,该动车组被命名为“复兴号”并投入运行;9 月,“复兴号”动车组在京沪高铁率先恢复最高 350 公里时速运营,中国再次成为世界上高铁商业运营速度最快的国家。

“‘复兴号’不仅成为我国非常重要的科技名片,奔驰在祖国广袤的大地上,也在国际上形成了更加领先的技术平台,成功‘走出去’,成为雅万高铁、中老高铁等‘一带一路’沿线重要的标志

性项目,贡献铁路发展的中国智慧和中国方案。”冯江华表示。

剑指巅峰

在极限竞速中定义未来

铁轨之上,风驰电掣。2024 年 12 月 29 日,北京,CR450 动车组样车发布。作为中国高铁的最新力作,CR450 动车组以时速 400 公里的雄姿,不仅标记了中国铁路发展的新高度,更以其卓越性能和创新技术,向世界展示了中国高速列车技术的硬核实力。

而这场时速革命的背后,冯江华领衔的研发创新团队发挥了重要作用。他们以数十年砥砺的坚韧与执着,深入研究列车的“心脏”和“大脑”,从 CR450 动车组铸就“强劲心脏”到构建“智慧大脑”,他们将实验室里的每个假设、图纸上的每条曲线,淬炼成中国高铁挺立世界的科技脊梁。

2021 年,我国启动 CR450 科技创新工程,提出 8 个“更”的顶层要求:更高速、更安全、更环保、更节能、更智能、更自主、更可持续、系统更优,并要求在以时速 400 公里运行时,牵引能耗与 CR400 时速 350 公里持平。

这些硬指标,决定了 CR450 动车组必须拥有一颗更强劲的“心脏”。



永磁同步牵引系统作为轨道交通下一代牵引系统的主流产品,与传统异步电机牵引系统相比,具有更加小型化、轻量化和节能的突出优势。

实际上,中车株洲所早在 2003 年就已开始布局,并由冯江华牵头组建国内第一支永磁牵引系统研发团队,率先探索永磁牵引技术。

彼时,永磁牵引技术属于前瞻性核心技术,当时在全球尚处于起步阶段,完全没有标杆可寻。团队成员不但没有接触过,就连研究的对象也仅是一个概念。

从“零”开始,挑战未知。缺乏参考资料,团队拿着为数不多的资料反复钻研;没有验证平台,团队“白手起家”搭建起永磁试验平台。“为了让系统更平稳、可靠,我们甚至主动求败。”冯江华说,团队经常在做试验的时候,故意设计一些试验场景去经历失败。

经过近十年的努力攻关,2011 年底,永磁同步牵引系统在沈阳地铁二号线列车成功装车,实现了国内轨道交通领域的首次应用。装车应用 5 个月,列车完成了 7000 公里系统零故障正线试验运行。2013 年,团队开发的 230 千瓦地铁车辆永磁同步电机成功应用于长沙地铁,同等安装空间下相比异步电机,功率提升 20%。

然而,“永磁高铁”才是冯江华心中的制高点。2021 年,尽管团队前期积淀了丰富的应用经验,但得知要为 CR450 装上永磁“心脏”,团队成员兴奋之余又有些担忧。

如何破局?立项以来,冯江华带领团队持续开展 CR450 永磁牵引系统故障诊断研究与验证,探索出永磁电机匝短、匝短等极端故障精确诊断与主动安全保护策略,设计了完善的永磁牵引控制逻辑、保护措施、应急处置分层分级策略,确保 CR450 动车组永磁牵引系统安全可靠。

2023 年 6 月 28 日,福建湄洲湾跨海大桥上,两列搭载永磁动力的综合检测试验列车风驰电掣般交会而过,创造了双向正线交会试验时速 891 公里世界纪录,时速 400 公里永磁牵引技术再一次得到验证。

不只是牵引系统。过去几年里,中车中车株洲所充分发挥其技术优势 and 创新能力,还主持了 CR450 的牵引变流器、传动控制单元、网络控制系统等关键部件的重要设计研发和试验任务,有力助推 CR450 领跑世界。

如今的中车株洲所,拥有近万名研发人员,包括 1 名中国工程院院士,300 余名博士,5000 余名硕士;构建了轨道交通、清洁能源、汽车与工业三大产业集群;连续三年获评国务院国资委“双百企业”标杆企业;2024 年营业收入超 600 亿元,利税贡献超 70 亿元,创造了显著的社会经济效益。

今年,CR450 动车组样车将经历整车试验验证和试用的“大考”。冯江华表示,如果说换装试跑是最后一次“模拟考试”,今年的样车试跑和试验考核将是真正的“高考”。“团队将全力以赴,做好各项保障筹备,争取拿到最优成绩。”

与高铁同行,与时代共振。“我国对高速列车及其关键技术进行了 30 余年长期探索和创新,我有幸见证中国高铁自主创新全过程,亲历了我 国高速列车核心技术实现从无到有、从追赶到领跑的跨越,贡献了自己的力量和创新成果。”谈及未来,冯江华表示,将带领团队朝着“更高速”“更绿色”“更智能”的方向开展持续攻关,助推我国高端制造向更加智能化、安全化的方向发展。