

驱动观天之眼 敢采九天之火

——西安电子科技大学电子机械工程学科发展纪实

■本报记者 张行勇 通讯员 郭佳蓓



①段宝岩在39所天线外测场
②叶尚辉执教
③逐日工程启动仪式
④西电机电学院人才培养展板



复杂机电装备被广泛应用于陆海空天等各个重要领域,其设计与制造水平代表着一个国家的制造业水平。以美国、日本、澳大利亚等为代表的国外陆海空天领域电子装备发展远远早于我国,它们对电子机械学科的人才培养十分重视。

如何将“机”与“电”两方面课程有机结合,形成中国自己的电子机械学科人才培养课程体系与教师队伍,这是该学科发展的一个根本性问题,更是一个交叉学科发展的理论与实践难题。特别是新型电子装备的快速发展,对该方面人才知识与能力体系又提出了特殊要求,催生新的人才培养模式。

如今,伴随着我国电子装备所经历的跟踪、仿制、独立研制、创新突破的不同发展阶段,对电子机械学科的学科建设与人才培养提出了越来越高的要求,有关高校对此进行了有价值的探索。西安电子科技大学电子机械工程学科及所在学院的发展就是其中一个典型案例。

上世纪60年代初,该校率先成立了无线电设备结构与工艺专业,针对雷达、射电望远镜、星载天线、高密度组装系统等领域,开展了面向国家需求的人才培养的有益探索与实践。人才培养与国家重大电子装备研制相结合,反过来也有力地促进了人才培养水平的提高。

2018年底,教育部对西电信息感知技术协同创新中心进行了验收评估,在专家组确认的4项标志性成果中,有两项就出自该校机电工程学院电子机械工程学科。如今,这一学科与同属一个学院的控制科学与工程、仪器科学与技术等学科一起,相辅相成、互为支撑,形成了一个机电结合、特色鲜明的学科群。此前,教育部发布了2017年度重点实验室评估结果,属于电子机械学科领域的电子装备结构设计教育部重点实验室,被评为10个优秀类实验室之一。同年,该院执行院长黄进教授带领的“电子装备机电耦合”团队入选陕西省重点科技创新团队。

西安电子科技大学电子机械工程学院学科研究群体是一个立志攀登创新高峰,凝聚“西军电”红色基因传统的研究团队,也是一支蓬勃向上、追求卓越的骨干力量。近年来,他们研究成果辉煌,获得国家科技进步奖二等奖3项,发表SCI论文500余篇,其中入选ESI高被引论文30余篇,数量占全校四成,授权发明专利200余项,成果已成功应用于世界最大的射电望远镜——“中国天眼”FAST,我国最大的地基全可动天线——火星探测S/X双频段、波束波导66米口径天线,以及我国首部大口径星载可展开天线“天通一号”、主力战舰近程反导武器系统等重大工程中。

开辟电子机械研究先河 叶尚辉教授的故事

筚路蓝缕启山林,栉风沐雨砥砺前行。1950年,从清华大学机械工程系毕业的叶尚辉,与吴风高、王德满、曾余庚等青年教师和青年学子一起,被分配到位于张家口的人中国人民解放军通信兵工程学院(西电前身)工作,一个机械与电子两个学科交叉融合的故事,一段教学与科研相互促进发展的传奇,就在叶尚辉的学术生涯中开始了。

1958年,学校整体迁至古都西安,更名为中国人民解放军西安军事电讯工程学院(简称西军电,即后来的西北电讯工程学院、现在的西安电子科技大学)。1960年前后,叶尚辉着手设计了当时我国最大的5米口径抛物面天线。从那时开始,他就对天线结构产生了极大的兴趣和热情。

叶尚辉生前曾说,西电是从1960年开始酝酿建设这一专业的。1963年,时任副校长韩克树正式命令创办这个专业。为此,叶尚辉等人走访工厂、采访机械结构设计人员、考察实际工作需要,探索专业建设、课程开设等问题。1965年,他们甚至到南京14所蹲点,与设计人员同吃同住,用了两个月时间,调查了解实际需要。另外,为了使专业设置能够结合工程实际,他们还走访了712、784、786厂等用人单位。

同时,他们查阅了大量国外资料,查找专业建设的理论内涵,最终确定这个专业是一个机电结合专业,以机为主,以电为辅。课程设置中,机电知识的比例最开始为七比三。“后来逐步增加电子部分,使比例变为六比四,甚至五比五。”中国工程院院士段宝岩强调补充,“同时还把电子组装、电子设备环境防护、散热、减振、电磁兼容技术等作为学科的研究方向。”

这是西电在国内最早建立的以机为主、机电结合的无线电设备结构设计专业。这个专业建立起来后,迅速受到工厂、研究所的大力欢迎。

1974年,中国科学院要研制一台直径15米的毫米波反射面天线。按照表面精度要求的反射面面形精度,即均方根误差要优于0.16毫米,也就是只有一根头发丝粗细。研制过程中,他们遇到的困难不计其数。最终,经过艰难拼搏,他们不仅圆满完成了这项当时国内许多单位都不敢接手的高难度天线设计任务,还研制出了国内第一个计算抛物面天线的通用计算机程序,并锻炼出了一支勇于攻坚克难的科研队伍。

1978年之后,叶尚辉在以往科研、教学实践的基础上,撰写出版了《天线结构设计》专著,该书不仅系统阐述了大型微波天线结构设计理论、方法与实践,并且将当时国内刚刚兴起的大型结构有限元分析技术应用于天线结构分析中,使之处于国际先进水平。该书是我国该领域的第一本专著,至今仍是天线结构设计工作者案头必备的不可替代的参考书。

今天看来,叶尚辉“敢为人先,谋求发展”的科研带动学科发展的故事,一直是这个学科的传家宝。这种从实际工作需要出发、经过大量实地调研,从而设置新专业的做法,是该校始终坚持发扬的优良传统作风。

“中国天眼”创新设计 第二代天线设计人的情怀

“我在电子机械学科方面只是开了个头,奠定了一个基础,后面的发展主要是贾建援、段宝岩他们延续下去的。”叶尚辉生前曾说,电子机械学科从创建到壮大,最关键的节点是1978年开始招收研究生。叶尚辉带出来的第一批硕士、博士研究生,包括早期的施沅立、陈树勋、贾建援、陈建军、段宝岩等,逐渐成为这个学科快速发展的主要力量。

段宝岩在西电念完本科以后,就师从叶尚辉攻读硕士、博士学位。“拿到博士学位以后,1991年,我受英国文化委员会资助,开始赴英国做博士后研究。那时候出国留学需要有公职的人出面担保,我的导师叶尚辉给我做了担保!师恩难忘,同时我对西电的感情确实也很深,1994年年底,我就回到母校继续工作了。”段宝岩说。

1994年11月,段宝岩刚回国不久,就碰到了我国要建造新一代大射电望远镜的重大国际合作项目。这个项目就是2016年9月25日在贵州落成启用、被誉为“中国天眼”的500米口径球面射电望远镜,简称FAST。

1995年,第三届国际大射电望远镜工作会议在贵州召开。段宝岩所作的关于大射电望远镜镜源支撑的光机电一体化创新设计报告,受到了与会国内外专家的高度关注。随后的工作中,他带领团队重点解决了舱索柔性结构的精确力学建模和仿真、舱索柔性结构的控制,以及粗精两级调整系统的动力学耦合与复合运动控制等难题。这一新设计以六索驱动设计方案代替美国阿雷西博观天望远镜的刚性背架支撑结构,以软件代替了硬件,结构形式大大简化,不仅使馈源舱的自重由原先设计的上万吨降到了30吨,降低了工程造价,而且实现了毫米级的动态定位精度。

小学科里做大学问。进入新世纪以来,以段宝岩为代表的第二代电子机械学科天线设计人,开辟了我国电子装备机电耦合研究的新领域。在这个崭新的研究领域,段宝岩带领的团队先后建立了电磁场、位移场与温度场的场耦合理论模型,揭示了机械结构因素对电性能的影响机理,提出了基于场耦合理论模型与影响机理的机电集成设计理论与方法,初步形成

了一种学科体系。其提出的理论方法通过引入数学变换,巧妙地将一个n-工况系耦合且不可微的复杂非线性规划问题转化为了n个常规线性规划问题。最近十年来,伴随着国家发展航天事业、建设航天强国的脚步,段宝岩团队又提出了机电耦合优化设计思想与数学模型,为机电耦合设计的工程应用奠定了理论基础,特别是其提出的大型空间可展开天线的系统设计理论与方法,进一步拓宽了结构与多学科优化的范畴。

段宝岩介绍说,在基于场耦合理论模型与影响机理的电子装备机电集成设计中,要特别注重基础理论方法的深入研究,尤其是在大型微波天线、大射电望远镜,以及大型空间可展开天线的设计过程中。近年来,他带领研究团队突破了一系列理论与技术难题,成果成功应用于多项重大工程中。如位于昆明凤凰山上的探月观测望远镜40米天线,以及位于佳木斯,用于跟踪火星探测器的当时我国最大口径的66米天线。通过承担研发机载平板裂缝天线、机载有源相控阵天线等项目,年轻学术骨干也得到了锻炼提高,形成了以黄进等为代表的新一代研究队伍。

30多年的孜孜以求,面对电子装备机电耦合研究中的各种难题,段宝岩说他总共做了三件事:一是系统建立了大型天线电磁场与结构位移场的场耦合理论模型,提出了反射面型型的系统优化设计方法;二是针对机械结构因素对雷达天线波束指向精度等电性能的影响,提出了结构与控制集成设计的理论与方法;三是建立了平板裂缝天线、有源相控阵天线、高密度机箱机柜等典型电子装备的电磁场、结构位移场与温度场的场耦合理论模型。2011年,他当选为中国工程院信息与电子工程学部院士,2012年获得香港何梁何利科技成就奖,2017年获中科院杰出科技成就奖与中国好设计金奖,2018年被授予亚洲结构与多学科优化终身成就奖。

“九天之火”造福人类 空间太阳能电站的OMEGA方案

“太空探索永无止境。”习近平总书记于2019年2月20日会见探月工程嫦娥四号任务参研参试人员代表时强调,伟大事业都始于梦想,伟大事业都基于创新,伟大事业都成于实干。习近平指出,我国广大科技工作者要为人和类和平利用太空、推动构建人类命运共同体贡献更多中国智慧、中国方案、中国力量。

将时空的镜头切换到2018年12月23日上午,被命名为“逐日工程”的空间太阳能电站系统项目启动仪式在西电隆重举行,陕西省副省长赵刚出席启动仪式并讲话。中国工程院院士、重庆大学教授杨士中,中国工程院院士、西安交通大学教授卢秉恒,中国工程院院士、国防科工局探月中心总设计师吴伟仁,中国工程院院士、西电教授段宝岩,中国空间技术研究院副院长李明,中国工程院二局局长高中琪,西电校长杨宗凯等出席了启动仪式。

在“逐日工程”启动仪式上,杨宗凯与陕西省科技厅副厅长兰新哲共同为西电“空间太阳能电站系统”陕西省重点实验室揭牌,西电副校长李建东与国防科工局吴伟仁院士共同为西电“空间太阳能电站系统”交叉研究中心揭牌,并与西安市经开区管委会主任钱虎威共同签署了关于合作共建“逐日工程”的协议。自此,空间太阳能电站的研制开发将推动翻开太阳能高效转换利用的新篇章!

“上天的卫星展开天线,既要轻,口径也要大,不能小,小了增益不够,所以产生矛盾,要求大口径、高精度、重量轻,高收纳比,高收纳比就是发射的时候要收起来,入轨再自动展开,跟地面上不一样,比地面上难。空间太阳能电站系统的天线要大得多。”机电工程学院执行院长黄进科普式地对记者说道。据了解,在段宝岩带领下,他们做卫星展开天线很多年,已经突破了多项关键技术,像我国首部星载大口径可展开天线“天通一号”、主力战舰近程反导武器系统火控雷达就采用了他们的创新

成果。

面对日渐紧迫的能源危机,以及使用化石能源导致的温室效应、环境污染等问题,世界各国都在积极寻找方便、清洁的新能源。综合考虑安全因素及使用条件,太阳能将是解决能源问题的根本出路之一,而发展空间太阳能电站则是高效利用太阳能的有效途径之一。空间太阳能电站是指将地球静止同步轨道上的太阳能,通过新的工程技术手段进行有效采集,并以微波方式传输到地面转换成电能供使用的系统。从产能效率上看,在地球静止轨道上,每平方米可接收太阳能约1400瓦,除春分和秋分以外,太阳辐射强度基本不受时间和空间限制;而在地面上,由于大气的吸收和散射,以及季节、昼夜等变化,到达地面的太阳辐射量每平方米约为140瓦。再加上位于静止轨道聚光器的高倍聚光,产生能量的倍数会更大。因此,一旦攻克空间太阳能发电技术,就有望逐步解决人类社会面临的能源危机,获得“取之不尽,用之不竭”的清洁可持续能源。

“在段宝岩院士的带领下,西安电子科技大学机电科技研究所暨电子装备结构设计教育部重点实验室,近些年来通过对空间太阳能电站设计方案和相关理论技术进行深入而系统的研究,针对国内外提出的多个空间太阳能电站方案,于2014年9月提出了一种高效、稳定、易控的空间太阳能电站创新设计方案——OMEGA(欧米茄)。”黄进介绍道。

国家对此高度关注,专门组织专家予以论证,并列入国家国防科工局“十三五”重点研发计划的支持项目中。西电也予以高度重视,于2014年5月成立了空间太阳能电站项目群,2016年将该项研究列为学校“双一流”建设重点项目,支撑建造我国首个全系统、全能量转换链路的空间太阳能电站地面演示验证系统。

从此,西电电子机械工程学院的发展开始由机电耦合天线结构设计研制,迈向以空间太阳能电站设计研制为主的多个科学问题和关键技术攻关的创新之路,从陆地、海洋到天空、宇宙,驱动观天之眼,敢采九天之火。

OMEGA(欧米茄)空间太阳能电站设计方案是段宝岩团队在认真分析国际上已有的几个典型设计方案基础上提出的。这一方案避免了聚光器系统大惯量、大范围旋转运动,通过线馈源一个自由度的运动代替了美国NASA于2012年提出的ALPHA方案数千组镜面的协同调整,不仅能显著降低系统调整难度,而且能大大降低三明治结构所带来的热控压力。更为重要的是,使功质比(天上系统的单位质量所产生的电)提高约24%。

2017年4月,在美国圣路易召开的“国际空间技术开发与应用大会”上,段宝岩应邀作了报告。2017年10月,在有两弹一星功勋科学家王希李院士,两弹一星功勋科学家暨国家最高科技奖获得者孙家栋院士,张履谦、杨士中、龙乐豪、范本尧、葛昌纯、刘吉臻等十余位两院院士及知名专家出席的第二届空间太阳能电站发展技术研讨会上,作为三个大会特邀报告之一,段宝岩代表研究团队作了题为“空间太阳能电站研究新进展”的特邀报告,深入阐述了三年来研究的新进展。该学院副教授张逸群、副教授郑峰,以及博士李仙丽、张树新也分别作了相关专题报告,并与有关学者进行了深入研讨,受到了与会专家的广泛好评。

薪火相传有来人 ——机电工程学院新一代创新团队

半个多世纪以来,西电的电子机械学科一直是我国电子机械行业的领头羊,这个学科领域不但培养了段宝岩院士、国家滨院士等一批学术精英,而且薪火相传有来人,还成长起了李志武、黄进等中青年专家学者,以及李团结、王从思、张逸群、张树新等一批优秀青年教师。

IEEE Fellow李志武教授提出了制造系统基本信标理论,其团队近十年发表ESI高被引论文(含前3%)多篇,被50多个国家及地区的学者广泛引用,产生了重要的国际学术影响力,其本人连续多年入选爱思唯尔中国高被引

学者和汤森路透ESI高被引科学家。

2018年6月,黄进教授被任命为机电工程学院执行院长,成为学院的负责人,继续带领着这个学科踏上新的征程。“多年来,黄老师全心全意投身科研,默默奉献,正是他的关心、帮助和鼓励,激发了我们的科研热情,黄老师的点拨使我们少走弯路。”已经跟随黄进教授三年的王建军博士感慨万千地说道。这是该学院“驱动观天之眼”团队获得了学校第三届“三好三有”研究生导师团队及最佳人气奖两项荣誉后,学生们的真切表白。

其实,在长期以学生成长为中心的育人准则下,西电机电学院电子机械学科已培养一大批奋战在第一线的优秀博士、硕士毕业生,绝大多数服务于国家重点领域、重要行业。60%成为中国电科、中国兵器、航天科技集团研究所、大型国企的技术骨干,30%进入了中兴、华为等行业知名企业。

十年来,西电机电院的相关团队紧密依托国家“2011协同创新中心(探测感知技术)”、国家“111创新引智基地(电子装备机电耦合理论与关键技术)”、教育部重点实验室(电子装备结构设计)等一批高水平科研和学术交流平台,通过开放、流动、联合、竞争,围绕观天之眼的核心科学技术问题,在国家“973”计划、“863”计划和基金重大项目的支持下,开展了系统深入的创新研究,取得了一系列原创性成果。

继往开来话传承 西电传统与精神弦歌不辍

2002年至2012年间,段宝岩曾担任过西电校长。近两年来,他在一些学科研究发展高端论坛作“面向未来的电子机械学科建设与人才培养”的报告时多次谈道:如何实现交叉融合呢?这需要在人才培养时特别注意通识教育和专才教育的有机结合。但由于既要保证通识教育的完整性又要强调专才教育的精深性,也带来课程多、知识多的问题,伴随而来的是电子机械工程专业人才培养“四个不适应”。

为解决“四个不适应”问题,西安电子科技大学电子机械学科进行了四方面的探索实践:第一,优化课程内容,强化数理基础与专业基础,压缩不必要和过时的学时;第二,整合相关课程,挤出学时;第三,课程必/选修相结合,选课灵活,适应学生;第四,课内课外学习相结合,提高非常宝贵的黄金课时的利用率。

“除课程设置推陈出新外,另一方面就是实践体系的构建。”段宝岩作了补充阐述。据了解,学院在校内建立了“金工电装等基础性工程训练”→“校内综合性工程训练”→“校企联合创新实训”→“校外基地实习实践”等多级实验平台体系的同时,也建立了“国家级综合性工程训练示范中心”“省级机械电子工程实验示范中心”“电子装备先进制造虚拟仿真中心”“机器人俱乐部”等示范中心,还与华为、三星电子、AI公司等建立了联合实验室。

“我们学院就是这样一路走过来的。”学院党委书记梁玮回答记者。

西安电子科技大学一直秉承“全心全意为人民服务”的办学宗旨,坚持“立足西部、育人育才、强军拓民、服务引领、团结实干”的发展思路,发扬优良传统、传承红色基因,艰苦奋斗、自强不息,走出了一条以电子信息为鲜明特色、多学科协调发展的路子。“自强不息、艰苦奋斗、培育英才、奉献国家,是西电的光荣传统,历届校领导都紧抓不放并不断发扬光大。”段宝岩语气坚定地说道。

从叶尚辉到段宝岩、贾建援为代表的第二代人,再到李志武、黄进为代表的第三代人的教学、科研历程表明:科研和教学是相辅相成的,只有教师深入科研,在学术上不断前进,才能提高教学质量,才能激发学生奋发向上,勇于去开辟新路,开拓创新。要创新,就要艰苦奋斗、自强不息,求真务实、爱国为民。

肩负历史使命,博采众家之长,勇于创新实践,开创学院学科发展新局面。关于电子机械学科人才培养发展趋势,段宝岩提到了两个应引起关注的问题。

第一,面对国家发展中解决现实问题的需求和科技的快速发展,下一代电子装备的发展会有三个趋势。一是极小极大,即电子装备整体尺寸越来越大,而其中的功能尺寸反而越来越小。二是极高极低,即未来电子装备的工作频率越来越高,如毫微波、亚毫米波乃至太赫兹,而有的装备工作频率又很低,比如低频声呐工作在200赫兹左右。三是极端环境,随着应用领域的拓展,对装备的环境适应性要求越来越高,从常规工作环境向南北极、临近空间、外太空、深海等极端环境发展。这些趋势对电子装备的设计与制造提出了更加苛刻的要求,相应地对人才培养也提出了前所未有的挑战。

第二,学院要积极适应社会对人才的需求。一方面是要满足中国电子科技集团、航天科技集团等国字号研究所对人才的需求,另一方面也要考虑到华为、中兴这类企业,它们对人才需求的侧重点会有不同。

为适应新形势的需要,人才培养过程中的两个基础只能加强、不能削弱,一是数学物理基础,二是专业基础,这对像西电这样的高水平理工科大学尤为重要。