

中国航天伺服纪事

主编 张志贵 沈卫国 王亚军

轨迹



中国文联出版社

轨迹——中国航天伺服纪事

名誉顾问：梁小虹 吴燕生

顾问：曾广商 吴希田 林 田

主 编：张志贵 沈卫国 王亚军

编 委：张志贵 沈卫国 王亚军 余仿春

朱成林 李哲镐 刘洪达 金丽华

沈 波 许 峻 王 虎

编 辑 部

主 任：金丽华

成 员：程 亮 夏君华 乐黎明 孙学中 陈 华

张东涛 张 欣 孙 建 刘亚东 裴 燕

王晋军 吴建青 刘振宏

执行主笔：徐 刚

谨以此书献给中国运载火箭技
术研究院成立五十周年!

序

中国运载火箭技术研究院第十八研究所组织编写的《轨迹——中国航天伺服纪事》，在中国运载火箭技术研究院建院 50 周年的日子里由中国文联出版社正式出版，为这个喜庆节日增添了一束亮色，为读者打开了瞭望鲜为人知的航天伺服领域的一扇窗口。

1957 年 11 月 16 日成立的中国运载火箭技术研究院，是在党和国家几代领导人亲切关怀下成长壮大的，取得了举世瞩目的辉煌成就。邓小平同志曾经指出：“如果 60 年代以来中国没有原子弹、氢弹，没有发射卫星，中国就不能叫有重要影响的大国，就没有现在这样的国际地位。这些东西反映一个民族的能力，也是一个民族、一个国家兴旺发达的标志。”我国航天

科技工业的崛起和腾飞，不仅增强了国防实力和综合国力，推动了国防现代化建设和国民经济的发展，而且在国际上赢得了一席之地，使社会主义新中国屹立于世界民族之林。

十八所是中国运载火箭技术研究院所属的重要成员，主要从事航天伺服控制、遥测、智能机电、工业自动控制产品的设计、开发与生产。在运载火箭研制的巨大系统工程中，担负着控制分系统伺服机构技术的研究、设计和生产任务，成功地参加了各种类型近 100 次的长征系列火箭发射，以其高质量、高可靠的产品性能，为我国航天事业的崛起和腾飞做出了重要贡献。

航天运载火箭是现代最复杂的系统工程之一，要靠成千上万人的大力协同工作才能研制成功。伺服机构系统作为飞行控制执行技术的重要组成部分，是确保成功的关键性技术之一，伴随着火箭技术的更新换代和牵引，伺服助火箭齐飞，单机与系统谐动。近半个世纪以来，伺服技术从无到有、从小到大，经历了打破封锁、自主创业，全面追踪、快速发展，奋力赶超、勇攀高峰三个阶段，其技术状态不断地推进到世界先进水平并具有自己的鲜明特点。

伺服研发体系也经历了几次重大组织变革。从初创时的一个研究组发展到三个研究室，1995 年伺服研究室和 103 所联合成立航天十八所，2000 年航天十八所和国营八一一厂联合重组成立长征航天控制工程公司，然后到今天拥有 1300 余名员工、6 万余平米研制基地、16 亿元总资产的新航天十八所，每一次大规模重组，广大干部员工都为伺服事业的进步做出了巨大的奉献，伺服人最终实现了产、学、研结合，设计、制造一体化优势进一步得到有效发挥，伺服研发能力实现了一次又一次的跨越式发展。

伟大的事业孕育伟大的精神。在长期航天科研生产实践中，十八所广大干部员工秉承航天优良传统，发扬航天精神，形成了特色鲜明的“诚信、坚韧、精细、和谐”的航天伺服精神。

这部《轨迹——中国航天伺服纪事》，以几代航天伺服技术

研制的创业者和建设者的亲身经历，向人们展现出奋斗在这一航天领域里的院士、老专家、中青年科技工作者、技术工人以及管理者胸怀祖国、献身航天、不畏劳苦、开拓创新的壮丽画卷，彰显出航天伺服文化的特有魅力，展望了在新的历史时期航天伺服专业化、产业化、市场化的美好前景。一滴水可见太阳。从航天伺服领域的群体作为，人们将以小见大地了解中国运载火箭研究院乃至整个中国航天创业者和建设者的精神风貌。尽管对于大多数读者来说，伺服专业还是比较陌生的，但这同时也会带来一定的新鲜感，特别是书中跃动着的一桩桩生动感人的故事，一个个平凡高尚的人物，加上以写实的手法所体现出来的知识性、思想性、趣味性，对读者是不无裨益的。

十八所作为中国运载火箭技术研究院大家庭中的一员，正在与研究院广大干部员工一道，认真贯彻落实科学发展观，高举自主创新、建设和谐社会的旗帜，朝着研究院提出的建设国际一流宇航公司的目标，发扬“顽强、毅力、忍耐、坚定”的院魂，弘扬“永不停步、永攀高峰、永保成功、永创一流”的精神，携手奋进。在中国运载火箭技术研究院建院 50 周年的时候，我相信这本书的面世，对于航天伺服领域见证历史、激励未来、承上启下、再创佳绩，无疑是一件很有意义的事，也是值得欣喜的。



2007 年 11 月

(梁小虹：中国运载火箭技术研究院党委书记)

目 录

序 / 1

谁执彩练当空舞 / 1

太空轨迹 / 26

永远都是新起点 / 92

诚信·和谐·奉献 / 105

斯夫 悠悠逝去的岁月

伺服 绵绵持续的辉煌 / 142

星云漫笔 / 147

附录

中国航天伺服技术的开创者和引领者 ... / 181

航天十八所组织沿革 / 183

航天伺服技术简介 / 184

后 记 / 188



曾广商院士近照

谁执彩练当空舞

——记中国工程院院士曾广商

曾广商院士小传

曾广商，1935年7月6日出生于湖南长沙市一个电信职员家庭。其父为人正直，敬业，精通技术业务。曾广商从小在电报局家属院里长大，耳濡目染电报发送与接收的种种奥秘，对无线电产生了浓厚的兴趣。1954年他以优异的成绩考入北京航空学院（现北京航空航天大学）自动控制系。

1959年9月，曾广商毕业分配到国防部第五研究院一分院（现中国运载火箭技术研究院）第一总体设计部从事航天伺服技术研究工作，历任技术员、工程组长、伺服机构研究室副主任、主任，1990年任航空航天部一院第一总体设计部副主任兼部科技委主任，1995年任航

天工业总公司一院第十八研究所所长。1997 年改任该所科技委主任，一院预先研究副总研究师。他还曾担任过四个重点航天型号的伺服机构主任设计师。现为十八所首席专家，中国运载火箭技术研究院和中国航天科技集团公司科技委顾问。

曾广商 1987 年被航天部一院一部聘任为研究员，1988 年被国家人事部批准为中青年有突出贡献专家，被北京航空航天大学、哈尔滨工业大学聘任为兼职教授，1991 年享受政府特殊津贴，1985 被聘任为中国运载火箭技术研究院学位委员会委员、流体动力与控制学位分委会主席、硕士研究生导师，1999 年被聘任为导航、制导及控制专业博士研究生导师。

曾广商 1980 年任七机部科学技术委员会委员，控制、惯性器件及伺服机构专业组副组长，七机部伺服机构技术交流站站长，1986 年任航天部液压、气动标准委员会主任，1992 年任中国机电一体化协会可编程控制器分会常务理事，1999 年被聘为总装备部精确制导专业组成员。

曾广商参加了我国火箭飞行控制执行技术发展的全过程，他在科学技术上的成就与贡献表现为不断突破科技难关，率领团队接连跨越了本专业十级技术台阶；将火箭动力高技术、控制新技术、微电子测量技术与信息处理技术融为一体，把我国推力矢量技术和高超音速气动操纵面控制技术推进到世界先进水平；打破国外禁运封锁，带领自己的团队独立自主地研制了用于火箭推力矢量控制的 28 种电液伺服机构（系统）、近两百种适宜于集成化、整体化及机电一体化的伺服动力、伺服控制、伺服测量产品，发展了成套专业技术理论体系，填补了国内的空白；培养了一支技术过硬、攻关能力强、肯于吃苦、勇于攀登的航天伺服技术研制队伍。

由于对我国航天伺服事业的巨大贡献，曾广商 1980 年被授予七机部劳动模范称号，1984、1986 年两次荣获航天部一等奖；1985 年因对项目有重大贡献而荣获“远程火箭”项目国家科学技术进步奖特等奖，1998 年因攻克项目重大关键技术之一又一次荣获“长征三号甲、乙运载火箭”项目国家科学技术进步奖特等奖，2000 年因攻克国家重点项目重大关键技术而再一次荣获国家科学技术进步奖特等奖。一个工程技术专家一辈子能三次荣获国家科学技术进步特等奖这是难能可贵的。

1999 年，曾广商当选为中国工程院院士。

(一) 潜心钻研 吃透技术

曾广商生于国难，父亲是长沙市电报局职员。抗战中，长沙经大火、三次会战。电报局因关系军队通讯，属于留守到最后一批撤退的单位，家属不免几番紧急疏散，颠沛流离。战乱中，曾广商经历了叔叔、祖母相继病逝，特别是哥哥因患阑尾炎未及恰当救治而夭折，这对他的触动很大。1949年，长沙解放，曾广商才回到长沙念中学。高中在长沙市一中就读。湖南的中学教学比较好，老师的水平都比较高，后来在大学发展时，很多中学老师都到大学去任教了，说明老师水平是过硬的。中学鼓励课余爱好，鼓励学生制作这、制作那。曾广商从小的动手能力就比较强，喜欢小制作，爱上了通讯、无线电，这和他长期生活在电报局院内和长时间耳濡目染电话机、电报机这些精巧的机械有密切的关系。中学毕业报考大学，国防院校是提前报名，曾广商要报考国防院校是缘于深藏内心的儿时创痛和由此而生的朦胧梦想，心想一个国家必须要有强大的国防才能不受欺侮。他报考的是北京航空学院（现北京航空航天大学）。当时就想学无线电，航空学院内也有无线电专业。但他被安排在自动控制系火控专业，略有一点距离。学了一阵子后，觉得学自动控制，也很有趣味，就没有申请更换专业。在大学毕业前，1958年，学校搞教育革命，教育要和生产相结合、教育要和科研相结合。自动控制系要搞一个无人驾驶靶机。分配他的任务就是参加靶机自动控制系统方面的工作。这就把学到的东西和靶机控制系统参数设计紧密地结合在了一起，对控制的兴趣也越来越大。当他毕业时，在靶机控制系统已经工作一年多了。

曾广商1954年至1959年在北航自动控制系读书学习时，国家发生了一件大事。1956年10月8日国防部第五研究院成立了，专门负责导弹、航天运载器的研究与制造。不久，1957年11月16日国防部五院一分院成立，专门负责导弹、运载火箭的总体设计、箭体和发动机的研制。1958年8月一分院落户在北京南苑，这是中国航天的发祥地，中国运载火箭的摇篮。1958年4月2日，一分院的运载火箭总体设计部（第一设计部）成立。当时设计部下设五个室，其中三室为控制及弹上设备室，下设七

个组,其中 302 组为舵机组,303 组为舵机试验组。1960 年 6 月,302 舵机组和 303 舵机试验组从三室独立出来成立了舵机室。

1959 年,曾广商以优异的学业成绩和胸怀怀着参加祖国社会主义建设的满腔热忱来到国防部五院一分院(0681 部队)一部,在控制室里搞舵机。能到五院,搞导弹,他是很高兴的。因为他是学航空的、学国防的,导弹是急需,这个曾广商明白。但具体搞什么,他有自己的想法,曾广商找到当时室副主任表达过:“我在航空学院搞过一年多靶机控制系统,希望能到控制组去搞控制”。室副主任说:“你们年青学生接触实际比较少,过去你接触什么就喜欢什么,现在搞舵机是事业的需要,要干一行爱一行,也是可以大有作为的”。当时虽有短暂的一点小波动,但最后还是愉快地服从了需要。这是那个年代政治思想教育“要听从党的召唤,到祖国最需要的地方去”的必然结果。

这样,曾广商就在舵机组安下心来,努力工作。那时,导弹刚创业,航天刚起步,队伍来自祖国四面八方,尤其是新来的同志受到老同志很好的照顾和关心。当时五院正全力以赴、一心一意地进行苏联 P-2 近程导弹的仿制。

苏联 P-2 近程导弹是采用电动液压舵机驱动燃气舵作为控制系统的执行机构,舵机接受控制系统的电气指令,转换成液压动力,带动传动轴驱动燃气舵偏转、改变推力方向。在仿制过程中,领导号召技术人员深入仿制生产一线,认真钻研技术,向苏联专家学习。这个时候,国防事业需要年青人,有很多工作等待去做。

当时我国没有航天工业体系,很多产品靠协作生产,舵机是在航空部 114 厂生产的,在该厂设一个工段,来仿制生产。曾广商报到不久,就被派到 114 厂去。在厂里有几位苏联专家,其中有舵机专家、舵机部件电器专家和舵机工艺专家。曾广商就跟着苏联专家,向他们学习技术,学习处理问题的思路和经验。后来又安排曾广商劳动锻炼,深入到舵机生产工段跟班劳动。曾广商自己从小就养成一点好琢磨问题,好研究一些小革新,好学习一点新东西的习惯。所以在工段里他如鱼得水,暗下决心,一定要搞懂、搞通舵机。当时苏联援助的舵机资料虽是配套的,有设计资料、工艺资料、非标准设备资料,但都比较简单,碰到很多问题,还是解释不清楚。当时领导鼓励大家要进行反设计,要求大家不仅能把舵机仿制出来,而且要求自己设计出来。曾

广商在厂里一边向苏联专家学习，一边记心得笔记。在工段里，一边工作，一边学习，一边深入研究资料。他和工人们互帮互学，也给工人们讲课当老师。为当好老师，就得更加好好地学习，总结出一点东西。那时他脑子里经常思考舵机应该是怎么设计、怎么调整，有什么困难，具体在什么地方，怎样做能使舵机调整得快一点，非标准设备怎么改进一下能效率高一点，测试精度能高一点。由于他的突出表现，曾广商在工厂被评为车间红旗手、厂技术革新标兵，回北京后也立功受奖。当时对年轻人是十分鼓励和关心的。

仿制的舵机做出来了，但由于国产材料和工艺的差距，问题还比较多。当时一共生产了 17 台舵机，其中有 6 台有故障，只有 11 台是好的。要打三发仿制弹，需要 12 台舵机，最后只好补了 1 台苏制的舵机，留下了历史性的遗憾。

因有问题，曾广商就又下工厂去排除故障，想办法解决问题。排除故障时，苏联专家已经撤走了。他是 1959 年来的年青人，去 114 厂时是新同志。1960 年 10 月回北京时变成了老同志，因为当时来了一大批更年轻的新同志。1961 年去西安排除故障时，曾广商已是故障排除小组的领头人了。

在舵机试制时，曾广商十分积极，后来舵机试制成功了，舵机的故障分析也有个结果了。他又对舵机进行了比较系统的研究。在舵机这一方面，曾广商有了一定的影响力，当时领导上认为，在舵机的研制中，在理论与实践的结合上冒出来了一个有作为年青人，那时他被一部评为十大技术学习标兵之一。

在国产化 DJ1-2A 舵机的研制工作中，曾广商和他的工程组对舵机倾注了很大精力，进行了一次数量多达 38 个舵机的全面静、动态性能试验，对性能进行了全面深入地统计及总结，建立了舵机静态性能表达式，动态性能的数学模型，绘制了多参数影响图线，给出二维可调整区，提出了一整套的舵机静态性能、动态性能的计算方法、分析方法，对舵机有了较深刻透彻的了解。他们有重点地对舵机的薄弱环节下了很大的功夫，攻克了调节机构及整机的耐振性、电机炭刷的耐磨性和防尘性、密封件的耐油性和高温密封性能，使 DJ1-2A 舵机成为真正的国产化的产品，而且通过大量延寿实验证明国产舵机的使用寿命已从原苏式舵机限定的 5.5 年提高到了 10 年，而且还有增寿的余地。

DJ1-2A 国产舵机，结构简单，使用方便，可靠性高，变成一个“不老松”，今天还在使用，有着顽强的生命力。

舵机在航天事业中有它应有的历史功勋，舵机为下列航天重大飞行试验的成功做出了重要的贡献。

1960 年 11 月 15 日，我国仿制的地地近程导弹首飞成功，标志着中国开始有独立自主的国防尖端武器研制力量。

1966 年 10 月 27 日，我国第一次成功地进行了导弹和原子弹结合实验，标志着我国具备了战略核能力和核打击能力。

1970 年 4 月 24 日“长征一号”运载火箭第一次成功发射我国自行研制的“东方红一号”人造地球卫星，标志着我国具备了进入太空的能力，宣告我国开始进入航天时代。

燃气舵操纵方式有舵机功率较小的优点，但它的操纵力也小。火箭必须安装较大的尾翼，才能维持大气层内飞行的足够稳定性。而且，发动机喷流冲击舵面的较大阻力会明显损失发动机的推力，同时也需要为燃气舵设置较强较重的支持结构。要发展我国的远程导弹和大型运载火箭，支撑关键之一是必须在飞行控制执行技术上取得新的突破。这就促使曾广商和他的团队把眼光转向其他先进的控制执行方案和现代电液伺服技术。

（二）积极进取 勇于创新

在探索中，他们看到了一个大的方向，要发展大型运载火箭，光依靠燃气舵技术、舵机技术是不行的，必须把技术推进到摆动发动机这样一个推力矢量控制技术方面上去，应该争取尽早地获得一些新的技术成果，以使我们国家在运载火箭技术发展时，伺服技术、飞行控制执行技术能满足总体的需求。1960 年代初期，著名科学家钱学森已是航天系统的领导，他对年青人期望非常之殷切，他当时号召“年青人应趁自己年青的时候增长自己的才干，鼓励大家要在技术上爬坡”。祖国国防尖端事业亲切召唤，科学先辈殷切的期望，掀起了一个大的学习运动。当时搞伺服的、搞飞行控制执行技术的已有 50-60 人的规模，已经成立了一个研究室，大家如饥似渴地努力学习。到晚上，大楼灯

火通明，大家在积极地自学、自修，他们同时还积极地到社会上、到各大学去听讲座、进修。

在1963年至1964年，“东风二号”导弹已经研制，虽有些挫折，但最后难题均攻克了。“东风三号”号处在单项技术预先研究阶段，为型号上马做准备。1963年8月在“东风三号”召开的型号配套预先研究课题会议上，很多人希望在“东风三号”上采用摇摆发动机推力矢量控制技术。当时曾广商也是积极分子，为会议作文件准备，还编写了《摆动发动机液压系统试验模型方案建议》，表达了要上新技术的强烈愿望。曾广商是很认真的，下了很大的功夫，文中有详细的手工绘制的原理图。当时，人们确实对摇摆发动机知道得很少，不知道发动机摆动时，所说的常平座是什么东西？搞总体的人说常平座是不是一个球头，于是做了一个球头和一个球窝的发动机样机，用单喷嘴伺服阀构建的伺服机构样机来摆动试验。但没有摆几次，球头因摆动而烧结在一起了，于是人们纷纷说，这个东西还是挺难的，这个技术一时行不通。

当曾广商和他的团队为在“东风三号”用上摇摆发动机推力矢量控制技术，尽了最大的努力，利用已掌握的小功率两级电液伺服阀试制了一个三级阀，来提高阀的流量以控制大的伺服作动器；采用航空分立元件：油泵、油滤、溢流阀、安全阀、蓄压器等装在一个紧凑的框架内构成一个液压能源；进行了成功的演示和多项研究试验。

1964年7月至8月，“东风三号”上马，在讨论总体方案时，有很多问题争论是比较大的，当然也包括提供控制力的执行机构方案。究竟用什么，是用伺服机构摇摆发动机，还是用舵机带动燃气舵，各抒己见，众说纷纭。当时的技术民主还是很充分的，曾广商编写了《摆动发动机液压伺服系统研制方案建议》表达了可以上的信心。但是会议最后还是认为：摆动发动机方案虽是国际上一项新技术，在性能上比较优越，但对我国来说，一些研究和试验条件刚在筹备，缺乏预研的技术基础，立即上型号还不够成熟，决定“东风三号”仍采用燃气舵方案。这个机会就这样擦肩而过了。这时一院屠守锷副院长（兼一部主任）来室里做工作，鼓励大家：这次上不了，推力矢量技术终是要上的，肯定是要上的。院里也下了决心，拿一组A-1发动机，专门和伺服配合，用来做摇摆发动机试验。你们的工作要做下去，一直要

做到摇摆发动机技术掌握为止。你们的任务是眼睛不要只盯在‘东风三号’上，你们现在的任务是要像一个裁缝一样学会裁衣，你们只要掌握裁衣的本领，你给谁做都可以。不要只盯着“东风三号”不可。“东风三号”以后还有其它型号，你们要打起精神来，掌握好这门技术，把本领学到手。屠总的一席话在曾广商的脑海里印象一直很深，他觉得屠总讲得很对，他们虽然有一点失落感，但是最后还是振作起来，下定决心，要掌握摇摆发动机技术，而且心里还有所思，在某些方面应有所跨越。推力矢量控制技术作为院里重点预研课题，在奋力前进。这一阶段，基本功得到了加强，积极进取精神得到了充分的体现，他们在不断成长，在不断进步。1966年9月A-1试验发动机单向摇摆热试车获得圆满成功，12月A-1试验发动机双向摇摆热试车又获得圆满成功。摇摆热试车的成功标志着推力矢量控制技术他们已全面掌握，不仅有伺服机构，而且有能摆动的发动机，摇摆发动机推力矢量控制可以实现了。

（三）打破封锁 自主创业

第一代远程液体火箭，由于它采用了很多新技术，也把我国火箭技术水平提高到一个新的高度。

这个火箭的研制受到中央的高度关注及部院领导的重视。由于原理性伺服机构与A-1试验发动机单向摇摆、双向摇摆联合热试车都圆满成功，在“远程火箭”上采用摇摆发动机推力矢量控制技术已经再也没有人心存疑虑了。

搞“远程火箭”，只盯着舵机技术是不行的，因为舵机偏转燃气舵其推力损失大，而且控制力也太小，不够用，最好是能把发动机摆动一下，发动机提供的前进动力的推力是很大的，你摆一个很小的角度，就可以产生很大的改变姿态的控制力和控制力矩。既然可以产生很大的控制力矩，火箭就可以不要尾翼，或者使尾翼小一点。尾翼是为了使导弹在天上飞行时能够平稳。远程火箭有尾翼不仅是一个重量的损失，而且在地下井发射时或在筒内发射时，尾翼已是一种障碍。要搞“远程火箭”，要发展大型运载火箭，推力矢量控制是里程碑式的新技

术。如果没有摇摆发动机推力矢量控制技术，就只能停留在中程和中远程水平上。

中国航天除了早期从苏联得到 P-2 导弹等实物和资料外，以后很少得到国外的技术。美国人搞了一个 MTCR 导弹技术控制制度。这个制度是讲导弹技术不许扩散。这个制度是分类的，有 I 类、II 类、III 类。推力矢量控制是等级最高的 I 类，绝不许扩散。因为这个技术是导弹上非常关键的技术。推力矢量控制技术包括两个方面，发动机和伺服机构。这样的技术是买不到的，引进不来的。甚至想买一个在伺服控制里用得普遍、很广泛，只是精度比较高、流量比较大的伺服阀，人家都不卖给你。所以这就必须要自力更生。

曾广商他们虽然引进不到实物，但在技术杂志上还是可以看到美国人在做什么，尤其是在土星运载火箭上是怎么做的，进展到什么程度。当时也有一些宇航国际会议，人虽走不出国门去参加会议，但会议的资料文集可以看到，美国人公开宣传他们的成就，虽然这些资料都是宣传性质的东西，但还是有一定的启示。

搞伺服机构，要求比功率要高。什么是比功率？比功率就是输出一千瓦功率，要占用多少公斤重量，它的倒数就是比功率。火箭上的重量是斤斤计较的。

技术封锁和垄断，他们不怕，反倒激励他们的斗志，挑战他们的决心。我国第一代远程液体火箭终于决定采用以精密电液伺服机构与摇摆发动机来提供推力矢量控制。这对航天伺服人具有无比重要的意义。对曾广商来讲这是一个战斗的舞台，就是要把几年来的预研成果推进、演化成为能摆动发动机的真实产品，真正上天的伺服机构。

该火箭所用的液体发动机是我国当时所有发动机中推力最大的一种，对伺服机构来讲，就是负载大，要求输出的功率大，困难多，难度大。功率大带来一系列的挑战。大流量油泵，大流量伺服阀，当时没有现成的。他们自己研发了适合的液压油泵和伺服阀。有了这两样器件就如同晶体管电路有了电源和三级管，可以搭建电路了。

航天伺服机构是极其复杂的产品。曾广商所构想的原理图、方案图、结构草图需要他的团队中许多人大量艰苦细致的工作，才能变为最终可以使用的工程图和技术文件。他审核了每一张图纸，核对了图纸上每一个重要的配合尺寸，每一个重要的技术要求，觉得准确无误后，才

在批准栏上签上名字。这些工程图在他的脑海中立体地勾画出伺服产品，一个能动作的伺服产品，太令人兴奋了。

伺服是从舵机走过来的，舵机是在西安由航空部 114 厂承制生产的。在伺服起步时，在北京地区，仍然没有对口的协作生产厂，没有固定的合作伙伴，也没有配套的试验室。当时只有一部的试制车间能承担一些小零件的机械加工。

一个以精密机械为主的复杂产品，需要一个固定的生产厂，需要一个固定的合作伙伴，要在长期的生产实践中，积累行之有效的工艺流程，培养造就一批熟悉伺服特点的加工能手，锻炼一批能认真把关的质量检验人员，没有合适的生产厂，一切就无从谈起。

他们的图纸出来后第一个大问题，就是到全国各地找生产点，找试制厂。一开始是在山西省长治市 519 厂生产试制。伺服机构的研制是在文化大革命中进行，它受到干扰及阻碍是必然的。不久，山西省长治市相继发生了武斗，519 厂停产了，生产进行不下去了。曾广商当时急得不得了，团队的其他同志也急得不行，怎么办，又要重新找生产点。后来，在上海找到了一个生产点，这就需要把在长治加工好的半成品托运到上海继续加工。曾广商委派室助理员及设计人员去完成这项任务。当时室助理员把费用缝在一根腰带里，“腰缠万贯，深入虎穴”，到长治工厂去了。他们不负使命，把加工好的半成品装箱打包，亲自押运到上海，继续伺服的研制。在动乱的年代，曾广商和伺服团队东奔西跑，马不停蹄，目的只有一个，就是想早日把新研制的伺服机构拿出来，体现“抓革命，促生产”这样一股劲。

由于在上海，也难以按时按量地拿到所需的配套伺服产品。七机部及一院在 1970 年初终于下决心在北京给伺服找一个生产点，这就是国营 811 厂。这个后来和伺服设计室及研究所长期合作达 35 年之久的伺服产品生产厂，最终在 2000 年 5 月 28 日和伺服研究所联合重组完成了伺服产品的设计、生产制造一体化，为伺服产业的发展开辟了更加光明的道路，这是后话。

从 1966 年图纸问世后，经过了 3 年的艰难曲折，到 1970 年 2 月，终于开始走上了正轨。

一个伺服研究设计单位，没有整机试验室，没有负载台，伺服机构和所摆动的发动机不能在一起做联合性能试验，这是难以想象的，但