

先进制造技术助推“长征”火箭腾飞

——首都航天机械公司运载火箭制造技术发展

航天制造技术作为现代工程制造技术的重要组成部分，对国民经济的发展以及国防实力的增强具有极为重要的作用。首都航天机械公司作为我国最大的运载火箭总装集成制造企业，经过 50 多年的发展，其火箭制造技术取得了重大成就，仅 1984 年至今，公司就获得部级以上科技进步奖 111 项，有力地促进了多种型号运载火箭产品生产任务的完成。

一、运载火箭制造技术的发展及成就

首都航天机械公司是一家拥有百年悠久历史的企业，制造技术随企业发展经历了不同的阶段，每个阶段都取得了骄人的成绩。1958 年开始仿制时，制造技术以铆接装配为主。为确保仿制工作的顺利完成，公司工程技术人员群策群力，着力发展了焊接、钣金成形等技术。实现了铸铁冷焊技术的突破，取得了显著的经济效益与社会效益。在仿制发动机过程中，先后解决了推力室冲压成形、冷却小孔加工、涡轮泵大型铸件等近百项技术关键。通过仿制工作，公司的制造技术实现了第一次跨越，为我国运载火箭的自主研发奠定了基础。

1960 年至 70 年代末，公司结合型号研制任务，先后自主研发了我国第一台大型高温钎焊炉、第一台大型真空高温辐射炉等关键装备，突破了铝合金贮箱箱底拼焊、推力室身部及喷管延伸段钎焊、不锈钢材料化学铣切等关键技术，有力地保障了以某型号氢氧发动机、长征一号运载火箭为代表的各型号研制生产任务的顺利完成。我国因此成为世界上第三个掌握氢氧火箭技术的国家。

二十世纪八九十年代，伴随着长征二号系列、长征三号系列运载火箭的研制，公司加快了制造技术的发展速度。在此期间，公司规范了技术管理，成立了工艺研究所，初步形成了火箭制造技术体系，突破了铝合金箱底整体旋压、钛合金气瓶研制等关键技术，有力地促进了航天制造技术的发展，保障了型号研制的顺利进行。

进入二十一世纪，公司结合型号研制需求，广泛开展工艺研究工作，促进了火箭制造技术的快速发展，公司已经发展成为我国最大的运载火箭等航天产

品制造基地和国内唯一生产氢氧火箭发动机的制造企业，拥有 80 多个专业、130 多个工种、1500 多名工程技术人员和数千台套各类加工设备，具备了以锻铸造、焊接、钣金、数控加工、特种加工、总装测试等为代表的综合制造能力，形成了完整的制造技术体系，运载火箭总装集成技术、大型铝合金贮箱集成制造技术、氢氧发动机制造技术已经达到国内同行业领先水平。

1. 运载火箭总装集成技术

公司拥有现代化的总装测试厂房、先进的总装测试工艺设备和一流的总装测试队伍，总装协调、质量特性测量与配平等全国独有或处于领先地位的技术，使公司在中国运载火箭研制总装领域独占鳌头。截至目前，研制总装了“长征”系列 10 种型号运载火箭，在长征系列运载火箭完成的一百二十多次发射中，公司总装完成的占 76%。其中，仅用了 18 个月时间就完成了我国第一枚大型捆绑式运载火箭的研制，创造了世界火箭研制史上的奇迹。目前，公司正全力研制的新一代运载火箭长征五号，将会为我国探索更广阔的太空提供保证。

2. 大型贮箱集成制造技术

铝合金大型贮箱具有结构尺寸大、重量轻、刚性弱、可靠性高等突出特点，并且工作环境恶劣，有密封、承压要求，其制造是焊接、钣金、表面处理、机械加工等多专业集成制造能力的体现。经过多年技术研发，公司具备了运载火箭常、低温贮箱自动化焊接等一整套制造手段，其贮箱焊接综合实力处于全国领先地位。公司是国防科技工业焊接自动化技术研究应用中心的应用依托单位，低温贮箱自动化焊接、贮箱纵缝搅拌摩擦焊等技术在国内外具有领先优势。在国内率先实现了 2.25m、3m、3.35m 三种规格贮箱箱底自动化焊接；完成了国内首件 5m 叉形环的数控加工、首件 5m 贮箱箱底的自动化焊接。2009 年，随着长征三号丙运载火箭成功发射，公司采用搅拌摩擦焊制造的燃料贮箱在运载火箭上首次实现了飞行。

3. 氢氧发动机制造技术

公司研制总装了我国第一台氢氧发动机。经过几

十年的研发,公司具备了发动机喷管自动化焊接、涡轮转子特种加工、低温阀门制造等国内领先的制造技术。发动机喷管延伸段由数百根空间螺旋薄壁方管焊接而成,产品焊接曲线复杂,单管尺寸小、管壁薄,焊接难度大。经过多年攻关,公司在国内首次实现了喷管延伸段机器人自动化焊接,达到了国际同期先进水平,填补了我国大型薄壁复杂空间曲线自动化焊接技术的空白。整体式涡轮盘是航天发动机的核心部件,产品精度高,普通加工方法无法加工。公司采用电解加工、电火花加工等国内领先的特种加工技术,实现了带叶冠整体涡轮盘、喷嘴叶栅环等零件的高精度加工,填补了多项国家空白,获得了多项部级以上科技进步奖。目前,正在研制的新一代运载火箭大推力氢氧发动机,将使我国的氢氧发动机技术跨上一个更高的台阶。

4. 大型非标设备设计制造技术

随着新一代运载火箭长征五号的立项研制,公司从 3.35m 制造能力平台向 5m 平台逐步延伸,在大型非标设备研制领域,形成了一系列具有自主知识产权的核心技术,独立设计完成了 5m 贮箱环缝焊接系统、5m 贮箱箱底焊接系统、整流罩铆接型架等国内首台套大型非标设备。5m 贮箱总装环缝焊接系统,在功能、规模上均属国内首创。

经过航天几十年的技术积淀,公司形成了强大的集成制造能力,为我国未来航天事业的发展奠定了坚实的基础。舱外航天服,是对公司系统集成制造能力的集中展示。一年半时间内,公司先后攻克了多项关键技术,完成了 11 件舱外航天服躯干结构的交付,获得 15 项国防专利申请号,填补了国内舱外航天服制造的多项空白。

二、运载火箭制造技术的未来发展

从国内外发展来看,运载火箭总体发展趋势是朝着大型化、提高运载能力和小型化、具备快速机动发射能力两大方向发展,同时提出了“安全、可靠、环保、廉价”等技术要求。运载火箭的发展趋势对其制造技术的需求主要体现在以下几个方面。

大型化结构制造与装配:未来重型运载火箭芯级直径达到 9m。低温贮箱、铆接部段、框环等超大型箭体结构件的制造是影响其研制的技术关键。200t 级氢氧发动机是未来重型运载火箭芯级的主发动机,综合国内外发动机发展情况,目前国内在推力室制造、喷管延伸段制造、涡轮泵及阀门制造等方面存在差距。另外,重型运载火箭的总装测试以及大型工艺装

备的设计制造也是必须突破的技术关键。

数字化快速制造:从新一代运载火箭研制可以看出,未来运载火箭的制造需要全面实现数字化,工艺管理要实现信息化。目前运载火箭尚处于由二维研制向三维研制的过渡阶段,还未全面打通产品的三维制造链路,需要沿着信息化机械化复合发展的道路不断向前发展。

绿色环保的火箭制造技术:从国外火箭发展以及国家政策发展来看,绿色环保越来越受关注,未来火箭明确提出了绿色环保及低成本的需求,需要逐步淘汰落后工艺,发展绿色环保火箭制造技术。

高安全、高可靠火箭制造:未来火箭发射将大量承担载人发射任务,对其可靠性、安全性提出了更高要求,其制造技术首先要满足高可靠性要求,必须深入开展工艺研究,引进先进技术,提升检测能力,加强过程控制,全面提高工艺可靠性。

三、火箭制造技术对企业发展的启示

1. 火箭制造技术的发展,是推动企业快速发展的重要力量

运载火箭制造技术迅猛发展,为公司带来了显著的经济和社会效益。伴随着运载火箭的研制,公司的制造技术与能力实现了一次又一次跨越,促使公司制造能力实现了 2.25m 向 3.35m 平台的跨越,目前又促使公司从 3.35m 向 5m 制造能力平台跨越,未来重型运载的研制必将推动公司制造技术的又一次跨越,成为公司快速发展的巨大推动力。

2. 自主研发、大力投入,促进制造技术的快速发展

首都航天机械公司运载火箭制造技术始终坚持自主研发为主,外部引进为辅,这是几十年航天事业发展取得的宝贵经验,面对未来发展,公司必须一如既往坚持自主研发,多渠道、多方位地争取经费,加大研发投入,提升航天产品制造能力,促进公司火箭制造技术的快速发展。

3. 交流合作,才能保证火箭制造技术的先进性、前瞻性

虽然过去几十年,火箭制造技术取得了辉煌成就,但技术水平与国外航天强国相比还存在不小差距,必须开展针对性较强的技术交流合作,了解国内外先进技术发展情况,并结合自身需求充分利用外部技术资源,开展合作,才能保证火箭制造技术的先进性和前瞻性。

(敖洪峰 供稿)

