

个头不大力气很大 一趟搭载卫星20颗

“托举新星”长征六号亮点探秘



本报记者 叶薇

在浩瀚太空，长征系列火箭已到访 200 多次，它们“托举”各种各样的卫星，探索空间技术。今天，一名新“客人”再次访问太空。它也来自“长征”家族，但与哥哥姐姐们不一样；它的个头不算大，上天时却一口气搭载了 20 颗卫星。

我国新一代运载火箭首飞箭，是长征六号系列运载火箭的基本型。29 米的长度以及最大 3.35 米的直径，按照模块化、系列化的设计思路，为后续发展奠定基础。为何说长征六号是我国新一代运载火箭，它究竟“新”在哪？记者来到承担抓总研制任务的中国航天科技集团公司上海航天技术研究院，听航天专家讲述长征六号的创新特点。

动力无污染

还能“自我加压”

运载火箭要克服地心引力飞向太空，升空加速比飞机快得多，还得在超高空乃至外太空工作，靠大气中的氧气远远不够。因此，火箭在燃料之外，还要自带氧化剂，火箭大部分的体积、重量都由这两样占据。

长征六号的“心脏”是我国最新研制的大推力、无毒、无污染的高压补燃循环液氧煤油发动机。这种发动机推力大，以液态氧为氧化剂，煤油为燃烧剂（燃料），采用这一方式，可大大减少燃料携带，减少火箭的重量和体积；煤油价格较低，更加经济；煤油与液氧都无毒，燃烧也只会生成水和二氧化碳。

为了获得更大的运载能力，长征六号火箭采用了一系列全新的设计方案，独特的发动机氧箱自生增压技术是其中最大的亮点。

“我们采用了‘自增压’方式，利用发动机燃气发生器的富余氧气为一级氧箱增压，这样就可以为火箭减少 12 个单独的增压气瓶以及一整套冗余增压系统。”长征六号火箭总设计师兼总指挥张卫东介绍说，由于自生增压气体中含有微量杂质气体，可能对阀门和发动机造成影响，而且这在世界上尚无借鉴的成功案例，使得自生增压方案的使用显得困难重重。

面对诸多质疑，研制团队没有动摇，而是迅速组织队伍开展自生增压技术攻关，充分验证了方案的可行性，并通过热试车有效验证了增压系统的工作性能。

张卫东想起 3 年前火箭一子级热试车试验百感交集。“整个过程只有 170 秒，增压输送系统全程增压正常，控制系统按预定程序发出控制指令，伺服机构双向摆角 1.6 度，燃气滚控按预定程序完成 6 次打开关闭，101 试车台 20 年来的首次热试车成功了！”

特制起竖车

开着火箭去发射

在传统概念中，火箭执行发射任务，都需要分段运输至发射场，再



长征六号运载火箭正在起竖

鞠明君 摄



科技人员在火箭总装测试现场讨论 宿东 摄

在塔架上完成各子级的垂直吊装总装和测试。但长征六号针对后续微小卫星发射的需求，在国内运载火箭领域创造性采用了“三平”测发模式，对现役火箭的测发模式进行了一次彻底变革。

所谓“三平”，即“水平整体测试、水平整体星箭对接、水平整体运输起竖发射”。火箭在水平状态在厂房内完成全箭总装和测试，与卫星对接，同时将整发火箭水平放置在专门研制的自行车式整体运输起竖车上，由起竖车将火箭水平运输至发射工位，并完成水平对接、翻转起竖、垂直定位、燃料加注和发射等动作。以往火箭发射准备周期一般为 20 多天，而长征六号只用了 7 天。

独特的“三平”测发，也对火箭发射的测发控地面设备提出了新的要求，如何更好地满足火箭发射准备周期短的要求？

“我们是‘螺蛳壳里做道场’。首次使用方舱作为测发控系统的载体，把庞大的系统进行大幅度优化，将各种测试设备集成安装在五个方舱内，‘架’在一辆平板车上，形成一辆移动的‘体检车’，火箭到哪里，我们的车子就跟随测试到哪里。”负责人徐玮介绍说，把原本要堆几个房间的设备集成在一个方舱内，集成难度非常大。“集成阶段，方舱内没

法安装空调、照明、排风扇等，在这样一个半密闭空间内，舱内气温高达 40 多℃，设计师就‘窝’在里面做了大量测试，舱内外冰火两重天，很考验。”

承载长征六号的起竖车也经过了特别设计，集火箭运输、起竖、发射脐带塔功能于一体，火箭稳稳地安坐其上，就完成了从测试到加注发射的所有流程，而且车辆可以实现自动无人驾驶，可在发射阵地自主导航驾驶，定位精度误差不超过 5 毫米。

神奇“隔板”

能抗200℃温差

长征六号首次采用了大温差隔热复合材料夹层共底贮箱。“相当于两个贮箱上下拼成一个，一个里面装液氧，一个装煤油，两个箱子中间的一块板是共用的，这块板要承受液氧和煤油两个独立系统的正压、反压载荷，同时还要抵抗液氧和煤油之间近 200℃的温差。”工艺负责人张选明说，在总装环节，重要的工艺技术攻关有 25 项，有的关键技术攻关时间超过一年。

“当时，我们做夹层共底贮箱低温强度试验考核 3 天后，拆除工装后发现，共底上面板发生了皱折现象，所有人的心情都降到冰点。一切

归零，认真分析每一个可能导致产品故障的原因，这一干就是 15 个月。”

试验、改进、研制……16 个月，22 个贮箱，6 次低温加注、强度试验，最终攻克了夹层共底研制难题，并掌握了激光扫描和仿形加工、结构件整体胶接成型等关键制造技术。

研制中的另一道难关，是低温阀门的研制。液氧温度-183℃，作为火箭管路中的关键部件，阀门必须适应从-196℃到 50℃的大温度跨差工况要求，长征六号的低温阀门有 40 多种，90 多件，零件生产的精度有的比常温阀门要精确上十倍。

太空“投递”

动作精确无误

火箭的飞行过程看似简单，但需要经历点火发射、级间分离、俯仰偏航、轨道修正、发动机关机及重新点火、荷载分离等一系列复杂动作，如何确保一系列动作的精准控制，就要仰仗火箭的“神经网络”——控制系统了。

长征六号将控制、测量、供配电组成了全新的电气系统，实现了箭上信息、供配电和地面测发控系统的一体化。

在控制系统中，采用了全新的组合导航技术，综合利用地面测控网、导航星座系统和中继卫星，实现

学、哈工大等单位研制的 20 颗卫星送入了预定的轨道，在国内属于首次。同时，为了满足多星发射的需求，长征六号火箭还在国内首次采用了冯卡门复合材料全透波卫星整流罩。通过对多星发射技术的探索，形成了系列化、标准化的多星发射接口，为今后进一步降低卫星发射成本、提升多星发射能力奠定了技术基础。

天基测控和地面测控相结合。

长征六号采用的天基测量技术，就像为火箭配备了“千里眼”，通过天基中继星向地面技术人员传输火箭飞行过程的实时遥测数据。在火箭飞行过程中对火箭状态实时测量，实现更高的导航精度，确保卫星入轨精度达到百米级，实现了点对点投放。

“运载火箭打上去 20 分钟，地面就无法干预了。”在控制领域的专家周如好看来，电气系统的数字化控制实际上就是网络化的智能控制，就像家里的网络可以通过一个 hub（多端口转发器）全部连接起来，所有实时信号也可以通过网络互相连接传送到测试中心。

长征六号运载火箭出厂前的集成试验中，设计师发现光纤速率陀螺遥测数据出现了一拍突跳。通过对连续数月测试数据的复查，发现该现象在上百条的历史测试数据中仅出现了这一次。“小概率事件不等于不可能事件。”周如好说。团队制定测试方案、搭建试验环境，通过设置第三方监测点、提高通信频率、加强测试强度等多种手段进行故障复现，一次收集了近 2000 万条通信数据；同时编写分析软件，仔细比对数据，终于复现了故障现象，并将问题成功定位，由此彻底排除缺陷。