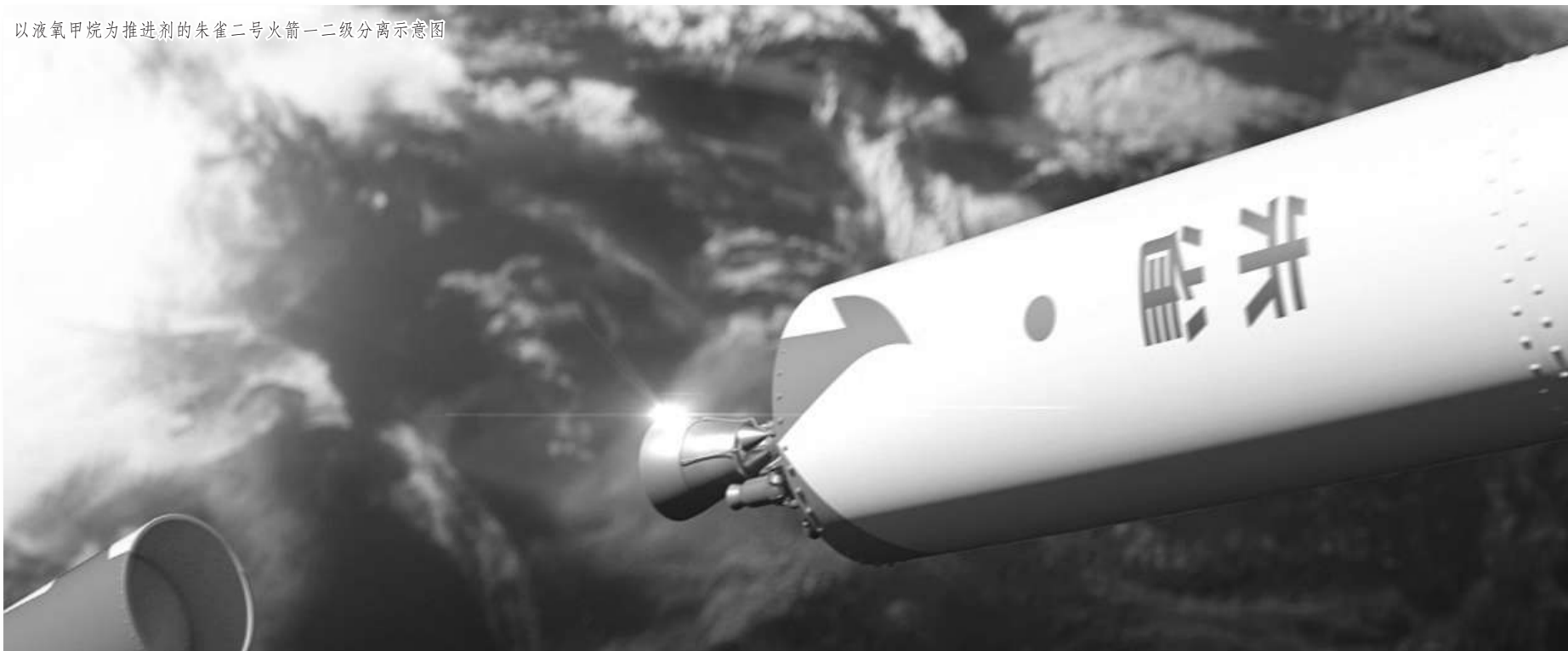


以液氧甲烷为推进剂的朱雀二号火箭一二级分离示意图



80吨发动机短喷管推力室成功点火 5个马赫环背后的“氧烷遭遇战”

本报记者 张佳星

耀眼的5个马赫环！作为发动机力量最毋庸置疑的“官宣”，马赫环总能成功激发起雄性荷尔蒙。日前，在浙江湖州蓝箭航天自主研发的80吨液氧甲烷发动机天鹊(TQ-12)短喷管推力室成功点火20秒的现场，研发人员为其点火时喷出的5个幽蓝色马赫环心动不已。

马赫环是火箭发动机、超音速燃烧冲压发动机等在大气层中工作时，尾部喷出的明亮耀眼、钻石型激波。“这次的试车是在60%的工况

(最高推力的60%)下完成的。”蓝箭航天高级工程师袁宇主持推力室的研发工作，他介绍，在100%工况下，火箭的推力将更大，马赫环也将更多。未来基于天鹊发动机的朱雀二号中型液体火箭能够将两辆越野车送入太空。

随着我国民营航天产业的发展，继多枚固体火箭发射成功之后，液体发动机成为自主研发征程中的下一个“要塞”。长期以来，人类的火箭工程师铆足了劲研究基于偏二甲肼/四氧化二氮、煤油液氧和液氢液氧这三类液体火箭推进剂的发动机，直到21世纪，人们逐步认识到甲烷和液氧作为火箭推进剂也有很大的优势。

靠设计，一半靠测试。

据介绍，在此次20秒点火试车之前，蓝箭航天已进行了1.5秒的箱压点火试验、5秒的短程试验和10秒的短程试车。“今天的试验是一次短喷管状态、60%工况的试车，目的是从4个方面验证天鹊发动机推力室。”袁宇解释，这4个方面包括验证喷注器在低工况下的燃烧效率，探索喷注器的节流工作下限；验证推力室低工况下的燃烧稳定性，获得压力波动及相关的震动数据；验证再生冷却与气膜复合冷却方案的热防护性能，获得甲烷超临界换热性能数据；验证喷

注器结构和材料新方案的可靠性。

一台发动机从设计到交付飞行，其累计试车的时长一般要超过2万秒。其间燃烧、传热、流体力学、结构力学等大量数据的获取将帮助设计人员不断改进发动机。

“在液体发动机的首飞之前，会经历模样、初样、试样3个研制阶段，累计进行100次左右不同内容的热试车，直到第10台发动机以后才进行鉴定验收交付飞行。”袁宇说，液体发动机也可以在服役期间不断完善，在发动机的基本型上，通过不断迭代提高推力、比冲等性能。

拥有自己的试车台 保障严苛技术细节得以实现

“美国的马斯克创造了Space X，他和他疯狂的工程师们，把比较激进的技术创新想法在不受限的环境里实现，把我们对于航天和火箭的认识都颠覆了。”袁宇说，我们中国的火箭工程师并不是没有与之相当的疯狂想法和创新意愿，但是要想把想法变成现实，必须要有基础，要在自有配套试验设备和体系上验证、不断完善。

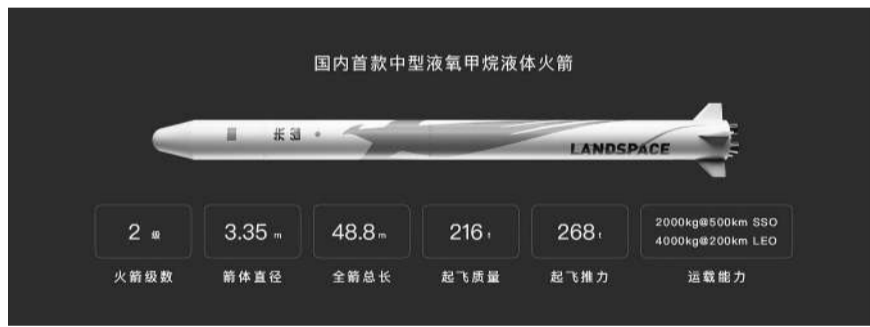
此次短喷管推力室试车在蓝箭航天自建的高压挤压试车台上进行，位于浙江湖州西南30公里左右的深山中。主管试车台的高级测试系统工程师张昉介绍，这是国内目前唯一的民营火箭发动机热试车台，气源压力高达35MPa，贮箱压力最高可达32MPa，单侧贮箱容积4立方米，完全可以满足当前“天鹊”80吨级液氧甲烷发动机推力室低工况试车以及未来燃气发生器额定工况试车的需要。

“企业管理层充分尊重火箭发动机研制规

律，在我来蓝箭航天之前就明确告诉我，一定会建设自己的试车台。”袁宇说，目前其他民营航天企业计划采取租用、借用国有发动机试车台等方式进行发动机研制工作，“但是我们这些火箭发动机工程师都知道，只有拥有自己的试车台，才能在最短的时间，用最少的成本完成上百次发动机试车，保障严苛的技术细节得以实现。”

“蓝箭航天一直致力于建立自主可控液体火箭发动机研发、生产、试验能力。此次短喷管推力室试车是一个双向验证。”蓝箭航天CEO张昌武表示，从产品层面，是对推力室的设计方案的一次有力验证，获得了大量试验数据来指导后续工作；另一方面也是对自主建设的试车台从人员、设备、软件、操作规程等进行全方位的大考。通过考核意味着蓝箭具备了大吨位液体火箭发动机研发、生产、冷试、热试等全方位核心能力。

(本文图片由受访者提供)



液体发动机点火 最惊心动魄的“氧”“烷”初相遇

“3、2、1，启动。”指挥员沉稳的声音从对讲中传过来。

10秒后，蓝箭航天80吨的液氧甲烷发动机推力室点火，从高空望去，发动机点火产生的巨大推力，让30米开外的石山飞沙走石，烟尘高起，20秒时推力室关机，点火完成。

相较于工作时间短比冲(单位推进剂量产生的冲量)低、难以精确控制的固体火箭发动机，液体火箭发动机可多次长时间工作，比冲较高、推力可控，但是结构复杂，要求严苛。“甲烷和液氧的进入与燃烧程序由电脑控制，在指挥员下令启动后，将由人工控制转入电脑自动控制，会有10秒等待时间，这10秒内控制系统将以毫秒为单位开启/关闭10个左右的阀门，并进

行诸多参数的测量记录，实施点火。”袁宇说，目的是让液氧和甲烷在燃烧室里按设计的时间差相遇，整个过程必须做到毫秒不差。

液氧和甲烷，两个都是暴躁脾气，在一起很容易擦枪走火。“如果甲烷先于液氧进入燃烧室，点火会引发爆炸。”袁宇说，“点火后，燃烧室内温度和压强迅速爬升，温度将达到3200℃，而壁外流过的甲烷是零下161℃，两秒内，进入喷嘴的甲烷将经历从纯液态到气液混合态，再到纯气态的过渡，同时流量也在迅速增大，燃烧室内的情况复杂异常。”这两三秒之内如果燃烧效率过低，火箭推力不够就无法起飞，如果出现不稳定燃烧就可能出现发动机损坏，火箭发射功败垂成。

成熟稳定的发动机 一半靠设计一半靠测试

点火成功后15分钟，记者跟随蓝箭团队前往刚才产生了巨大能量和推力的试车台近距离一探究竟。

最先经过的是一个两层楼高的白色液氧储罐，旁边是液氧储罐和甲烷储罐，它们之间的管道用厚实的保温材料包裹着，液氮气化后，用于给整套系统增压，给推进剂“开路”。技术人员介绍，

系统的温度、压强等状态由高精度的传感器感知，相关数据都会传输到控制室，在那里操控和决策。

“大量的试验是发动机研制成功的必要条件。液体火箭发动机集燃烧、传热、流体力学、结构力学、低温技术、测控技术等多学科与技术于一体，仅仅依靠仿真计算无法满足发动机的研制。”袁宇说，一台成熟稳定的发动机，一半

最大载荷 100 千克 最长航时 4 小时 这样的无人机要“加油”

第二看台

本报记者 杨 仑

中国有句老话：身大力不亏。人如是，无人机亦如是。

诞生于辽宁壮龙无人机有限公司(以下简称壮龙)的“大壮”，就是这样一个无人机中的“大力士”，它学名唤作“油动直驱多旋翼无人机”。在运送快递、农药、灭火器材、救援物资时，拥有这样一台“大力士”无人机无疑事半功倍，因为它既能吃苦——最大载荷已达100千克，又很耐穿——最长航时4小时。

国内专家赞许“大壮”达到了国际领先水平，其大载重、长航时的特点，也打开了无人机应用领域的神奇大门。

打破传统油动无人机桎梏

在不久前结束的第七届中国创新创业大赛辽宁赛区暨第六届辽宁创新创业大赛总决赛上，壮龙的无人机项目被评为一等奖。

壮龙的科研团队脱胎于沈阳航空航天大学，

回想当年选择油动直驱多旋翼无人机这条路，壮龙总经理张黎表示：“我们开始也做过电动无人机，但后来发现，要实现大载重长航时，还是需要燃油作为动力。”

无人机烧油比用电力气大，但要想练就大力气，难度却不小。这是因为油动发动机存在着响应时间长、非线性程度高、振动幅值大、多台发动机性能一致性差等问题。

“油动直驱技术的核心在于调速控制，简单地说，就是如何让多个旋翼之间动力、转速保持一致。”壮龙无人机工程师吕卉告诉科技日报记者，好比电动汽车可以直接均匀地输出动力，传统汽车则需要变速箱控制转速，再将动力分配到轮胎上。

如果使用传统的变速器控制模式，6个旋翼就需要6个变速器，不但成本大幅上升，起飞重量也会下降，无法充分发挥油动的潜力。

历经多年科研攻关，壮龙的团队巧妙地解决了这个问题。他们把燃油活塞式发动机应用于多旋翼无人机，重新设计了一套具有自主知识产权的燃油喷射和点火器控制系统，编写了专门针对油动发动机的飞行控制软件。另外，在发动机的设计上，科研人员也进行了倾斜结构方面的调

整。通过控制系统与倾斜结构调整相结合的办法，克服了油动发动机起飞重量下降、多旋翼需多变速器的桎梏，大幅提高了油动发动机的响应速度和多台发动机之间的一致性。

技术进步构建多面手

多旋翼飞行器是非自稳结构，需要经常、快速调整各个螺旋桨之间的转速来保持平衡，如何让油机的精准控制接近电机的标准，科研人员也经历了无数次失败。

除了技术，过去油动直驱无人机商业化的难点还有维修、保养。受规模限制，商用无人机的销售、维修网点不可能像4S店一样遍布各个城市，如果结构复杂、维修成本高、耗时长，显然产品也不可能被客户接受。

“我们自主创新设计的零件，充分考虑到商用无人机的维修、保养成本，采用了模块化设计，零部件更换快捷、简便，客户反馈，维护保养自己就可以完成。”张黎说。

不同于电动无人机载重小、航时短，“吃苦耐劳”的油动无人机则在众多领域大显身手。在广西桂林，主要经济作物沙糖桔的死对头

是红蜘蛛。红蜘蛛的爆发期仅有7天，若不及时根治，将直接导致柑橘减产。过去依赖人工，每人每天最多作业5亩柑桔地，而大壮一天可以作业400—1000亩，防治效果可达70%—90%，效率和安全性上都领先许多。

“无人机采用燃油驱动，旋翼下方的风场较大，不但可以将农药喷洒在表面，还可以将农药直接打到农作物的根部，让叶子正反面着药均匀，一方面避免了机械打药时碾带带来的损失，另一方面也提升了喷洒农药的效率。”张黎说。

100公斤的最大载重，让油动无人机很快吸引了物流界的注意。用无人机送货，一直是物流行业期盼的未来场景。如今，数台大壮无人机已经在某物流巨头企业得到了应用，尝试在山区、边远地区进行物流配送。

城市高楼消防一直是世界难题，困扰着多个城市的消防部门。而油动无人机给出了一个解决方案。就在今年1月20日，经过特殊改装的大壮无人机在沈阳完成了高楼消防的测试，在150米以上的高度，它依靠自己油动驱动动力大于电动驱动的优势，实现了水炮水平喷射、灭火弹垂直直射、空中照明与广播、救援物资投放等多种任务。

科技汇

高支模无线监测系统 实时保障中国屏厂房建造安全

由中建一局建造的全球世代线最高、尺寸最大、工艺难度最大的生产“中国屏”的超级厂房——武汉10.5代线液晶显示器件项目主厂房预计10月底封顶。项目投产后将生产65英寸和75英寸的大尺寸“中国屏”液晶显示面板。至此，中国拥有全部4条最高世代线10.5代线厂房。

记者了解到，项目首次引进“智能化高支模无线监测系统”应用于高大板浇筑。该厂房项目经理华东旗表示，高大板是支撑厂房结构的核心部分。厚重的高大板浇筑，需要严格精密的施工技术，否则容易因为架体承重不足发生坍塌危险。“高支模无线监测系统是将检测设备固定在高大板下方的高支模盘扣架体上，通过监测点的若干个传感器实时测量架体沉降和位移，科学精准监测架体倾斜角度和承重力度。一旦超出预警值系统会自动预警，项目疏散员工暂停施工，及时整改保障安全。”

除此之外，全生命周期BIM管理、VR数字技术、质量安全APP管理等“智慧建造”元素也融入项目建设全过程。

(实习记者唐芳)

扛风耐腐蚀 新压型金属板用于高铁站

近日，我国目前唯一在建的乡级高架高铁站“杭黄高铁三阳站”已完成主体工程。其站舍工程建设中，在国内首次使用了新型耐蚀压型金属屋面面板，该材料具有高强度、耐腐蚀、高抗风揭等特点，相较于传统彩瓦、压型钢板组合屋面材料，耐久性更长，工期节约一倍以上。

“高铁站屋面主要是站台雨棚，过去大多采用穿透式打钉金属彩钢瓦屋面，或钢筋混凝土压型钢板组合屋面等，但各有缺陷。”三阳站项目施工方、中铁八局四公司总工程师邓利平说，前者的主要缺点是螺栓穿透屋面面板处易渗漏，螺栓在拧紧过程中表面防锈层易损坏，最终在锈蚀作用下会导致螺栓性能逐渐减弱，影响屋面稳定性；后者在钢筋混凝土施工过程中，工序多、交叉作业多、施工周期长。“几乎每道工序的优劣，都会影响压型钢板通过支座与檩条的扣牢吻合，导致性能减弱。”邓利平说。

而此次在三阳站屋面施工中首次使用的新型耐蚀压型金属屋面，则具有安装快速、耐腐蚀能力强、抗风揭能力强、高强度等特点。“它是在传统镀锌钢板基础上，增加改性沥青及铝箔保护等几道工序压制而成。安装采用对拉螺栓提高稳固性，其力学性能可靠，化学性能稳定、防腐性能优良、施工迅速便捷。”邓利平说，这种新型材料还特别适用于沿海、海滨地区及空气污染严重的工业区的铁路站舍等，或人员密集、耐久年限要求高的建筑。

作为我国唯一的徽派建筑高铁站，除采取新型雨棚之外，三阳站屋面瓦及墙体施工还在保证传统风格的同时，引入强度高且更轻巧的新型氟树脂瓦代替传统水泥黑瓦，实现了建筑质量与传统文化的融合。

(林春 记者盛利)

情报所

同时满足 250 人工作需要 多功能海工平台出口阿联酋

青岛海西重机有限责任公司(以下简称青岛海西重机)自主研发制造的海上修井、采油多功能自升式海工平台近日驶离青岛西海岸新区发往阿联酋。

该平台可用于海上修井、采油、风电安装、起重等辅助作业。船长82米，型宽44米，作业水深80米，可变荷载达2000吨，承重8700吨，能同时满足250人的工作生活需要。

据了解，青岛海西重机已成功交付8台自升式海工平台，成为国内交付同类型海工平台最多的厂家。

(记者王建国)



青岛海西重机自主研发的多功能自升式海工平台

张进刚摄

扫一扫 欢迎关注 核心技术 微信公众号

