

# 地铁车厢般大小 问天实验舱是如何造出来的？

◎本报记者

7月24日，中国空间站问天实验舱成功发射。

问天实验舱集平台功能与试验载荷功能于一体，舱体总长17.9米、直径4.2米，发射重量23吨，相关指标比天和核心舱还要高，块头和分量跟北京地铁13号线一列车车厢差不多。这个全世界现役在轨最重的单舱主动飞行器，是如何造出来的？

中国航天科技集团五院529厂是我国卫星、飞船的重要研制基地，也是空间站舱段结构的主要研制单位，天和核心舱研制任务就在这里完成。

建造问天实验舱，挑战更多、难度更大，工艺技术人员创新突破了工艺瓶颈，研发了系列关键技术，保证了问天实验舱按节点高质量交付。

## 从单筋到双筋，难度不止翻倍

问天实验舱由工作舱、气闸舱及资源舱3部分组成。其中，气闸舱肩负着长寿命及多种设备安装的使命，对重要承力结构件的要求很高。经过论证，研制人员决定采用承力能力更高的内外双筋壁板结构。

与常规的外置筋壁板不同，内外双筋壁板需要在其内圆柱面上增加内置筋。这一操作的成形实施难度很大，而且成形缺陷、成形精度难以控制，稍有不慎即会出错。

从单筋到双筋，难度不仅仅是翻倍。外筋在外面，看得见、好操作；内筋在圆柱面内部，不仅不好操作，还要浑然一体，要求很高。

模具的设计至关重要：什么样的模具可以有效避让内筋？如何保证双筋壁板内外两侧的成形精度？另外，内置筋的压弯成形轨迹是怎样的？工艺参数怎么设定？这些问题以前从未遇到过。

经过反复分析测试，工艺人员提出这样一种模具设计：先分、再拼，装配时避开内筋位置，再进行产品的压弯成形。最终他们得出了优化的压弯成形轨迹，设定了合理的成形路径和压弯工艺参数。模具搞出来了，工艺参数有了，内外双筋壁板顺利实现了精密成形，满足了设计需求。

## 空间曲线焊缝，焊接难度指数级增加

问天实验舱有一个为航天员出舱使用的舱门，舱门的门框由焊接工艺方式连接，是典型的空间曲线焊缝，要求焊接变形小、质量高。

从平面到空间、从直线变曲线，焊接难度也呈指数级增加。此类空间曲线焊缝的焊接，在以型号研制过程中均采用手工方式完成，而问天实验舱产品焊接厚度增加到了5毫米，研制人员手工焊接时需要一层一层地焊，热量输入大、

产品尺寸不易把握，焊接后结构应力大，无法满足空间站长期在轨运行的可靠性要求。

唯一的办法是攻克空间曲线自动化焊接技术。研制人员经过攻关、测试，设计了可柔性变化的焊接工装，以柔性刚、借力打力，既满足自动化焊接的功能，又保证空间曲线轨迹的可靠连接，顺利完成了密封舱门门框的焊接，各项指标均满足设计要求。

问天实验舱的舱壁加热管路可谓舱体太空防护衣，实验舱结构的增大，意味着加热管路数量要增加，且管路布局的整体走向呈空间三维结构，为此加热管路截面被设计成“Ω形”，类似一个圆形加一个平面，其与舱体内部要高度贴合在一起，以利于温度的灵活控制。为此研制人员创新提出了“柔性分区+整体成形”的技术手段，即以管路三维曲面高精度制造，贴合于实验舱舱体的内表面。

(张霞 樊晓霞 李彩玲 陈袁 王天明 记者付毅飞 史诗)

# 她按下“点火”按钮 文昌发射场迎来首位女性“金手指”

◎本报记者 金凤  
通讯员 徐斌如 王怀宇

7月24日14时22分，长征五号B遥三运载火箭搭载中国空间站问天实验舱，在海南文昌航天发射场发射升空。

测试发射大厅内，随着01指挥员喊出“点火”口令，发控台负责人刘巾杰旋即按下红色“点火”按钮，发出火箭起飞前最后一道远程指令。

7月24日刚过零点，刘巾杰就披着夜色赶到了测试发射大厅。她是文昌发射场的发控台岗位迎来的第一位女性。该岗位由于要按下“点火”按钮而得名“金手指”。

实际上，发控台涉及的工作远比人们看到的复杂。发控台作为火箭控制系统的神经中枢，要求其岗位负责人具备对整套测发流程的全局性思维。发控台工作面板上的按钮多达上百个，每个按钮都代表一条指令，工作台上四面屏幕显示的近300个参数和状态灯，

则与火箭前端各设备相关联。

本次任务为了满足问天实验舱与空间站组合体交会对接的需求，实现了长征五号B火箭零窗口发射。

这是发射场首次执行大推力低温液体运载火箭零窗口发射，同时值得注意的是，长五B是我国目前射前流程最复杂的一型火箭。因此，本次任务对发控台负责人的能力素质提出了更高要求。

“零窗口发射意味着我要更熟悉相关的应急处置情况，每提前一秒发现异常，就能给发射窗口争取到更多时间去修正它。”刘巾杰说，“在零窗口发射的要求下，相较于其他型火箭自动点火的测发流程，发控台手动点火可以更加灵活地控制火箭射前流程，也更符合发射需要的时间精度。”

根据测发程序，发射前大约14小时，她就要到岗就位。这一夜，她做的第一件事是确认系统仪器状态。尽管这些流程已经演练过无数遍，但在发射日当天正式坐上发控台席位，再次让她感受到“不能辜负这份使命、这

份信任”。

刘巾杰说：“这次任务对我最大的挑战是快速识别异常参数。”在定岗发控台后，她立刻展开了“攻势”。

前期，刘巾杰对着火箭设计图，仔细分析指令发出后会引起的变化，以及动作异常后首先会引起哪些参数异常。她和火箭设计人员共同研究每一条电路，对部分元件的电流、电压等参数值分类，每一个类别做成一张小卡片，吃饭时、工作间隙、睡觉之前都掏出来看看。

刘巾杰坦言，为了“点火”按钮的这轻轻一按，她准备了7年，“每个在控制系统工作的航天人，都有一个‘金手指梦’”。

要成为“金手指”，得跨过很多难关。第一关就是体能素质。为了熟悉系统工作，刘巾杰决定把控制系统内所有岗位都历练一遍，其中相当一部分工作对女性的体力要求更高，但她并不露怯。为了拉动电缆，刘巾杰每天锻炼；为了完成高空摆杆操作，恐高的她去游乐场尝试过山车和海盗船；长期在

十六层高的脐带塔工作则让她患了一段时间膝盖积液，红外理疗仪成了她的日常必备。

在各岗位历练的过程中，刘巾杰还给自己定下了小目标：每经历一个岗位，就解决一个问题。数学理论和编程成绩优异的她希望把科研落到实处。

刘巾杰发现，控制系统在发射区的岗位工作空间狭小，同时观测5个机柜数十个指示灯状态对工作人员的注意力是很大的考验，因此她利用图像识别技术实现指示灯异常一键报警，远在大厅也能及时发现。同时，她在分析系统各测试阶段产生的大量数据后，运用大数据技术研制出数据快速判读系统，实现数据一键生成、异常数据一目了然。

此外，刘巾杰还主动开展火箭系统仿真、风场数据建模等项目研究，利用工作之余撰写论文，在核心期刊发表论文二十余篇。

经此砺炼7年，当刘巾杰真正坐在发控台前的那一刻，她得以自信地说：“我已经准备好了。”“金手指”不是她的终点站，她还将去往更美丽的目的地。

# 远望号运输船：运送长五B火箭的「幕后英雄」

◎倪栋梁 本报记者 张强

7月24日，问天实验舱发射成功，搭载问天实验舱的长征五号B遥三运载火箭，是由中国卫星海上测控部两艘火箭运输船远望21号、22号运送至发射场的。

10年前的5月，火箭运输船队首批船员集结。10年里，船队累计完成了近20次重大海上运输任务，安全航行超过15万海里，创造并保持着运输吊装100%安全的纪录。这次任务是火箭运输船队组建10年的收官之作，也是下一个10年的全新开始！

回忆起刚刚结束的这次任务，37岁的远望21号船队长李进感慨道：“工作在海上，使命在天上。运输火箭不仅要准时，还要稳妥。”

随着祖国航天事业的蓬勃发展，新型大推力火箭直径越来越大，公路盛不下，铁路难满足，隧道过不去，火箭运输应运而生，肩负起海上运输的使命。

一旦火箭发射窗口期定下，船队就要开始倒排工期。

此次任务，两艘火箭运输船从母港驶向天津港，装上火箭再一路南下，一前一后，载着长征五号火箭，沿着海岸线向海南清澜港进发。

“不像在江里走小船，气象看天、江况看水，出去一趟个把小时就能回码头。”李进说，近海夏天有台风、冬天有寒潮，气象海况捉摸不定，一路充满着未知和挑战。

李进还记得，几年前首次执行火箭运输任务，风浪让船体左右摆幅超过10度，他伏在海图室的桌上，脖子上挂着呕吐袋，边吐边规划着第4条备用航线，“要么提前走，要么绕开走，反正不能迟到。”最终，火箭运输船安全、准时抵达任务港口。

货舱是全船最大的房间，上下两层网球场大小的“loft”，占据全船80%的空间。火箭，如同积木一样被拆装进一个个定制集装箱，整整齐齐固定在两层货舱板上。

每次交完班后，李进都习惯性地跟随技术员下到货舱，近距离看一眼。但他也只是远远地欣赏，连一个指头都不敢留下。

随着最后一个火箭产品集装箱安全离开海南清澜港码头前往文昌航天发射场，远望号火箭运输船队才算圆满完成了此次海上运输任务。

根据今年总体计划安排，火箭运输船队在返航途中已经展开了新任务筹备工作。为确保后续任务圆满完成，中国卫星海上测控部将根据任务进程及时调配船舶行动。

确保任务圆满、使命必达，靠的是人。“在建设航天强国的征程中，迫切需要我们锻造一支过硬的火箭吊装和海上运输人才队伍。像李进这样的年轻人已经成为了火箭运输队的中坚力量。”火箭运输队负责人王胜英说。

火箭运输船的排水量大约只有远望号

测量船的1/3，人员只有测量船的1/8，居住空间要小很多。人虽少，但事情可不少。人人都是多面手，担负着一岗多职，很多时候一个人要当三个团队使。

也许正因如此，火箭运输船队才能成为中国卫星海上测控部重要的人才孵化单位——近年来，10余名船员走向中国卫星海上测控部各个岗位，20余名船员登上了远望号测量船奔赴深蓝。火箭运输队教练赵虹，来到了远望3号船担任副船长；远望22号轮机长西小广，在远望7号船担任副轮机长……

“伟大时代孕育伟大事业，火箭运输船从21号开始编号，前后都有很多留白，我们相信，未来会有更多的人奔赴星辰大海。”火箭运输队党委书记王勤说。

# 新冠病毒感染与口腔菌群关联成果通过验收

科技日报哈尔滨7月24日电（记者李丽云 通讯员衣晓峰 李慧）由黑龙江省口腔医学中心主任马晟利教授团队完成的《口鼻咽喉常驻菌群变化与新冠病毒感染定植的相关性研究》，22日通过黑龙江省科技厅组织的项目验收。专家组评价，此项开创性工作基于微生态学原理，建立了口鼻咽喉常驻菌群、代谢产物的检测分析技术平台，揭示了口鼻咽喉常驻菌群和代谢产物变化与新冠病毒感染之间的关联；同时成功研制了国内外首个便携式快速新冠病毒核酸检测仪，为新冠病毒感染的防控战略做出了有益探索。

2020年1月，黑龙江省科技厅紧急启动新冠肺炎疫情应急防治诊疗技术科研攻关，包括马晟利教授团队申报在内的6项课题成功中标并启动。

人体口鼻咽喉是病毒入侵主要方式。口腔黏膜在失衡状态下，其防御系统极易被攻破，人体各部分都将受侵袭。目前国内外关于病毒感染与人体微生态平衡的研

究报道较少，同时对新冠筛查快速检测手段尚需持续改进。

疫情暴发早期，马晟利团队在新冠定点医院收集新冠病毒人咽拭子样本，于黑龙江省医院收集普通流感患者及健康人咽拭子样本作为对照组。通过口咽部微生态宏基因组检测，该团队找到了新冠病毒感染与微生态之间的内在联系，确定了新冠病毒感染相关特征性菌群、基因和代谢物。去年5月，相关研究成果以“宏基因组学分析揭示新冠肺炎患者口咽微生物群改变”为题，在线发表于《自然》杂志子刊《信号转导和靶向治疗》。

马晟利团队还与哈尔滨工业大学开展医工交叉合作，研制出国内外首个便携式快速新冠病毒核酸检测仪。目前，马晟利团队已研制样机系统1套，同时申请国家专利8项，并在北京市科委等组织的“未来之星”生物医药创新成果转化项目大赛中入围决赛。

(上接第一版)

空间站轨建造完成后，天和核心舱的一个太阳帆板将转移到问天实验舱资源舱尾部。届时，天和核心舱将专注于空间站管理工作，而问天实验舱将成为名副其实的“主发电站”。

## 气闸舱外方内圆有乾坤

在问天实验舱中，气闸舱的视觉效果十分独特，是空间站系统唯一一个看上去是方形的舱体。其实它外方内圆，里面的圆柱状空间，是航天员开展出舱活动时的“更衣间”——出舱气闸。未来这里将成为整个空间站系统的主要出舱通道。

出舱气闸还有一个直径达1米的大门，航天员从这里进出不仅更方便，还能携带大个头的设备，让舱外工作能力大大提升。

出舱气闸外面的方形外壳，是舱外暴露实验平台，上面配置了22个标准载荷接口，其中一部分还配备了流体回路温度控

制。未来10年，在空间站搭载的科学实验载荷可以通过机械臂精准“投送”到己对应的标准载荷接口位置，无需航天员出舱进行人工操作。

## 支持更精细的舱外操作

问天实验舱是空间站系统中舱外活动部件最多的舱体，大量舱外设施设备能更好保障出舱活动，为更精细的舱外操作提供支持。

该舱还携带了一套5米长、7自由度的小机械臂，其小巧、精度高，方便抓中小型设备，完成精细操作。小臂还可以与核心舱大臂形成15米长的组合臂。未来，组合臂能够在天和、问天、梦天三舱组合体之间“爬行”，开展更多舱外操作。

问天实验舱舱外还设置了2台云台灯、4台高清摄像机，能够一边打光追光，一边拍摄录制。通过它们，地面测控人员可以更清楚地关注航天员出舱活动。它们还能拍摄更多太空大片。

右图 空间站问天实验舱。  
下图 问天实验舱模拟图。  
中国航天科技集团五院供图



# 瞄准国际一流 芙蓉实验室(精准医学)揭牌成立

◎本报记者 俞慧友

着力打造国内顶尖世界一流的精准医学理论研究、精准医疗关键技术创新、精准医药产业技术支撑的芙蓉实验室(精准医学)，7月24日在长沙揭牌成立。湖南省副省长陈飞、中南大学党委书记易红共同为实验室揭牌。

湖南有丰富的医疗资源，建设有我国首批国家医学中心和中医药综合改革示范区

区，拥有3个国家临床医学研究中心、67个国家临床重点专科。截至目前，该省集聚了17万余名生命健康及医工交叉领域科研人员，搭建26个国家级科技创新平台、290个省级科技创新平台，建设了以生物医药产业为主导的园区20余个，有生物医药类国家高新技术企业1711家。

此次揭牌的芙蓉实验室，为该省全力打造的4家省实验室之一。实验室主要聚焦精准医学领域，以保障人民生命健康为目标，是

以重大临床问题为导向，以精准医学前沿基础研究为核心，以精准诊疗技术创新为抓手的新型实验室。

实验室按“总部+基地”布局，总部核心区设在中南大学湘雅医学院。总部由7个功能研究部、9个公共创新平台和18个重大疾病研究中心组成，着力发展为精准医学领域原始创新技术策源地和高水平生命健康创新人才集聚区。

实验室研究分精准检测与诊断、精准

# 35天100%“绿电”供应 青海再创世界纪录

◎本报记者 张蕴  
实习生 李文琴

“绿电”，是指以零二氧化碳排放生产过程得到的电力。

依托青海特殊的资源、战略、区位优势，6月25日至7月29日期间，青海全域连续35天开展“绿电5周”系列活动。这意味着，清洁能源大省青海再添“绿电”世界纪录。

今年“绿电”期间，青海省预计清洁能源发电量99.75亿千瓦时，占全省用电量的110%，相当于减少燃煤453.4万吨，减排二氧化碳816.1万吨。

7月24日，在“青绿之约”绿电成果发布暨绿电市场启动仪式上，国网青海省电力公司总经理钱庆林介绍，2017年以来，青海省已连续5年成功实施绿电创新实践，绿电活动已成为青海能源转型发展的“金色名片”。数据显示，5年“绿电”活动，青海省累计清洁发电251.56亿千瓦时，相当于减少燃煤1143万吨，减排二氧化碳2058万吨，新能源发电量占比从19.4%提升到31.8%。

截至目前，青海电网总装机4325万千瓦，其中清洁能源装机3933万千瓦，占比90.9%；新能源装机2674万千瓦，占比61.8%。青海电网已成为全国清洁能源、新能源装机占比最高的省域电网。

钱庆林表示，今年“绿电5周”活动，国网青海省电力公司通过智能科技广泛应用，使“绿电”技术更加先进。创新构建的全省规模以上企业专属一碳模型，为企业节能减排提供碳服务。企业无需加装碳排放采集设备即可快速建立企业专属“电碳账户”，为青海省114家规模以上企业节约一次性投资超过1.5亿元。

而交易品种的创新，则令“绿电”范围更加广阔。据悉，今年“绿电5周”期间，青海省建立“青绿之约”绿色电力交易机制。通过“证电合一”的交易模式，实现绿色电力交易品种优先组织、优先执行、优先结算，满足用户主动购买绿电的需求。清洁能源直接交易。组织

全省大中型水电、新能源发电企业与市场化用户开展电力直接交易，通过缩短交易周期，增加交易频次为市场主体提供合同偏差调整手段，进一步提升新能源发电利用率，保障电力供应和价格稳定。企业无需加装碳排放采集设备即可快速建立企业专属“电碳账户”，为青海省114家规模以上企业节约一次性投资超过1.5亿元。

国网青海省电力公司董事长、党委书记杨勇表示，“绿电”是青海产业发展的最大优势和竞争力所在，构建新型电力系统，建设清洁能源产业高地，必须建设相应的新型电力市场体系和数字化支撑能力，开展“绿电”交易、实现“绿电”溯源认证，是发挥青海“绿电”优势的必由之路，是助力“双碳”目标的重要举措。