

逐梦

十年奋进路

2021年5月15日7时18分,“天问一号”探测器在距离地球3.2亿千米之外,成功着陆在火星乌托邦平原南部预选着陆区。

5月22日10时40分,祝融号火星车驶离着陆平台,开始新的征程……

祝融号!一个新奇的名称举世瞩目。

2020年7月23日,中国首次火星探测工程“天问一号”成功发射。次日,“中国第一辆火星车全球征名”活动开启。“天问一号”点燃了全民的火星热,数以百万计的网民参加投票。进入前10名的有:祝融、弘毅、麒麟、哪吒、赤兔、求索、风火轮、追梦、天行、星火。2021年4月24日,国家航天局正式公布中国第一辆火星车命名:祝融号。

在祝融号之前,贾阳与他的团队,已经为嫦娥三号、嫦娥四号做过两辆月球车;玉兔号和玉兔二号。而今,贾阳是“天问一号”探测器系统副总设计师,分管祝融号火星车。

贾阳做过一期电视节目,观众众多,他最出彩的一句话是:“我们的团队要做一辆漂亮的火星车!”

不是一辆“厉害”的火星车,而是一辆“漂亮”的火星车,这样的表述让人们浮想联翩。他还说,中国第一辆火星车应该有中国元素,让人一看就是中国人造的。

重中之重

在浩瀚的太阳系中,火星与地球距离较近,自然环境与地球最为相似。

对火星的探测与研究,有助于人类进一步认识地球和太阳系的形成和演化,研究地球的未来变化趋势。探寻地外生命信息、探查火星是否曾经存在支持生命活动的环境,成为当今火星探测的科学主题。

对航天科学家来说,仅靠轨道器环绕遥感,对火星进行远距离观察,显然是不够的。于是,他们将目光转向着陆器,携带火星车登陆火星,获得更多的火星细节。

中国首次火星探测任务,火星车成了重中之重!

与我采访过的许多航天人一样,贾阳一身工装,厚嘴唇,发型随意,眼镜也很普通。1992年从国防科技大学考取中国空间技术研究院(简称航天五院)研究生,毕业后,跨进了航天大门。他出任过月球车主管副总师,两只“兔子”在月球上的精彩表演,让国人惊喜不已。

一见面,我就说:“网友们说您是为火星做车的人。”

贾阳立即纠正:“准确说,是我们团队在做火星车。这个团队有几十人、几百人,甚至成千上万人。”

“你们已经做过两辆月球车了,再做火星车是不是驾轻就熟?”

贾阳笑了:“打个比方,你会造自行车,现在让你去造辆汽车,你会觉得很简单吗?”

贾阳说研制火星车面临着诸多的技术挑战:火星距离太阳更远,阳光能量只有月球表面的38%,火星车太阳能电池板的面积要更大,还要努力对着太阳的方向;火星上沙尘频繁,每当风沙肆虐时,火星车接收到的太阳光能量急剧下降;火星车与地面的信号传递,来回需要40分钟,必须为火星车设计“超强大脑”……

我似懂非懂:“看来,做一辆漂亮的火星车绝非轻而易举。”

贾阳笑了:“是难。不过,我们不就是干这种活的师傅吗?再说,航天人都是喜欢做梦的人,有梦就有追求,有梦就能创新!”

火星车既然是“车”,最关键的是要“走”好。要让火星车稳稳地走起来,必须解决车轮陷入沙地、爬坡困难、车轮易破损三大难题,还必须满足极为苛刻的重量要求。

火星车移动分系统主任设计师袁宝峰,担负的是让火星车“走”好的重任。

2003年从哈工大研究生毕业的袁宝峰,正赶上我国第一艘载人飞船神舟五号圆满完成任务,借着这艘“航天热”,他成为一名航天人。

火星探测任务立项之前,国内一些科研院所和高等院校,已经开展火星车前期研究。火星表面既有松软的沙地,又有坚硬的石块,为了提高火星车的通过能力,设计师们在主副摇臂悬架的基础上,创新性地增加了夹角调整机构和离合器,使火星车悬架从被动悬架,变为主动悬架。

记得是2014年一个冬日,袁宝峰与火星车移动团队,开了一场激情澎湃、灵感飞扬的技术研讨会。

“火星车要解决车轮陷入和爬坡困难问题,关键是轮地作用特性,有了主动悬架,能升降车体,具有灵活的移动方式最重要。”潘冬首先从系统功能角度进行了分析。

“对,火星车实现陷入脱困,单靠车轮转动不行,必须有外力的推动才行。”刘雅芳补充道。

林云成说:“沙地里的动物防止陷入靠各妙招:骆驼靠大脚板,蜥蜴靠快速移动,蛇靠身体

好一辆漂亮的火星车

黄传会



滑动。咱们的火星车沉陷下去靠啥能出来?”

“小时候我们玩的大青虫子,小脚不大,但被沙土埋起来,三下两下就爬出来了。”潘冬受到启发,用手在桌子上抓了起来。

刘雅芳见他那滑稽模样,笑着说:“那叫尺蠖运动,就是后脚使劲让前脚向前伸,前脚使劲,拉着后脚向外拔。”

“我听明白了,大家的意思是,利用车轮和夹角调整机构配合,通过尺蠖运动,把车轮依次推出来。咱们主动悬架的设计方向,以尺蠖运动为主攻方向。”袁宝峰总结道。

火星车移动团队每次集体攻关会,都是一次智慧的融合,都会撞击出创新的火花。

团队创新思考,形成三种方案:大车轮蠕虫悬架、摆臂车轮主动悬架、摇臂式主动悬架。经过几百种复杂地形工况的运动性能仿真对比,最后决定采用主副摇臂式主动悬架移动系统。

有了大思路,还有许多技术难关需要突破。这期间,仅总体设计就完成了十几轮迭代优化,确保悬架移动系统各方面都达到最佳。

长期以来,我国宇航应用的谐波减速器相比进口谐波减速器,在输出力矩和负载能力上相差1倍多。火星车要达到国际先进水平,就必须要有类似国外的高性能谐波减速器。袁宝峰找到国内一家大企业,对方一听火星车使用条件和环境极其苛刻,研制周期又短,风险太大,没敢接活。

犹如雪中送炭,一家小公司主动找上门来,拿出类似国外轻量化大力矩谐波减速器。这家公司不到20人,设备简单,三位骨干技术员都已50多岁,他们渴望在退休之前,为国家的重大任务做点贡献。

为了保点,袁宝峰选择进口产品与那家公司产品一起进行严酷的技术考核,结果发现,进口谐波减速器在低温下的启动力矩更大,这就导致它的移动系统更重。上星部件,“克克计较”,袁宝峰决定选用相对较轻的国产产品。

有人善意地提醒袁宝峰:“用这家小公司的产品上星,真出了问题,你作为设计师将要承担全部责任。”

经过深思熟虑,袁宝峰坚持了自己的选择。但是,他又发现新问题:国产谐波减速器在严酷的载荷与环境条件下,测试寿命只有设计值的一半。

怎么办?火星车移动团队经过深入分析,在深冷处理、装配精度等方面,开展了一系列检验和测试。

探测器系统总设计师孙泽洲闻讯赶来了。他充分肯定团队前期的工作,勉励大家务必攻克难关。孙泽洲说:“无论是‘北斗’‘嫦娥’,还是载人飞船,已经一次次证明,关键技术是要不来、买不来、讨不来的。哪怕面临一些风险,‘天问一号’组部件国产化的路也必须坚定不移地走下去。”

一个月,两个月……团队顶着巨大压力,通过改进润滑方案、优化产品装配精度等措施,产品最终完成了寿命试验考核。火星车终于用上国产的谐波减速器。

车轮是火星车的重要部件,必须满足高效的牵引性能、高强的承载和攀爬性能、独具特色的里程标记功能。

袁宝峰告诉我:“祝融号车轮的创新性设计,在材料、构型、性能等方面都达到一个前所未有的高度。比如,车轮具有‘一指禅’功能,任意一个轮刺,只需要一个‘指尖’接触岩石,就可攀上超过车轮直径的垂直石块;车轮的胎面具有特别的韧性和强度,一个锥刺顶在车轮最薄弱的胎面部位,施加1000牛顿的力,都难以扎破轮胎;还有,车轮选用铝基碳化硅材料整体加工,利用锋利的侧面,车轮边缘压在70°的光滑岩石上也不会下滑。”

“祝融号前进之后,车辙上呈现出一个个‘中’字,这个奇特的点是怎么想出来的?”

“贾总一再强调要做一辆漂亮的火星车。”袁宝峰说:“车轮是唯一与火面接触的部件。我们利用车轮减重槽的网格结构,设计出了具有中国特色的‘中’字印记,网友一致称赞很有‘中国范儿’。”

这支年轻得让人惊讶的团队,最初7人平均年龄仅29岁。后来有人参与其他型号研究,又有新人加入。到2020年“天问一号”成功发射,团队成员的平均年龄也只有33岁。几经磨砺,这支队伍快速成长,有一半成员成为型号的主任、副主任设计师,也有人走上了管理岗位。

中国首次火星探测工程总设计师张荣桥

说:“‘天问一号’团队一个鲜明特色是‘年轻’——这些朝气蓬勃、能吃苦、敢创新的年轻人,一次次创造了奇迹。”

“蓝闪蝶”

从南五环到北五环,穿越了大半个北京城。

每天天刚蒙蒙亮,马静雅便全副武装出发。作为一位还在哺乳期的职场妈妈,她背个大背包,里面装着一只迷你保温箱和冰晶,还有取奶器、“下奶”食品,足有五六公斤重。

2014年10月,马静雅休完产假。组长对她说:“现在有个很重要的项目,你先跟进一下。”马静雅加入了火星车研发团队。这是航天工程的一件大活儿,她十分兴奋。

头一次见孙泽洲和贾阳,马静雅感觉两位总师思路清晰,见地独到。他们对火星车太阳翼(太阳能电池板)的标准提出明确的要求:面积要大,构型要美观,能对日调整角度,可以除尘,可靠性要高。

火星表面太阳光照弱,为满足火星车的能源需求,太阳翼的面积将近4平方米。最早的设计方案,只有左右两只“翅膀”,收拢时为屋顶结构。可力学分析表明,发射时两只“翅膀”振动响应很大,必须做得很结实,那要付出许多重量代价。又想到折展方案,但太阳翼向前展开时会遮挡导航相机视线,向后展开,上下坡时又容易触地。又有人提出将电池片粘贴在聚酰亚胺薄膜上,像扇子一样展开。面积大了,重量轻了,但技术不成熟……

一日,思绪活跃的马静雅,经过与赵坚成、柴洪友、杨巧龙等老专家多次探讨,想出一个新方案:它由四块矩形板组成,每两块电池板由铰链连接在一起,发射时折叠收拢在车的顶部;保证电池片朝外,即使太阳翼没展开,白天日照条件下也能产生电流补充能源,保证车落火星后能“活着”。为实现对日定向的需求,还设计了一个只有17克的分布展开机构。

马静雅拿着方案兴冲冲地找到贾阳和火星车总体主任设计师陈百超。

贾阳看完图纸,说:“有新意。不过,火星车从着陆器上下来时,太阳翼伸出车体的长度应该尽量短些。不然,它会与地面发生干涉。”

为了满足行走时包络最小、构型最合理,团队又对太阳翼第二轮方案进行迭代设计:圆形、半圆形、多页扇形……将原先长方形箱体,改成圆形的顶面,但仍未找到最佳形状。

陈百超在吉林大学读博时,博士论文课题是一种高性能月球车的方案设计,还出了原理样机。当月球车“开”进航天五院时,引起了专家们的兴趣。2009年,陈百超博士一毕业,便进入航天五院总体部。

夜里,陈百超辗转反侧,老是想着太阳翼。他索性打开电视机,荧屏上植物园里百花盛开,像是花的海洋。镜头慢慢拉近,几只彩蝶在花朵上翩翩起舞……

陈百超两眼一亮:“就是它了,蝴蝶!”

在办公室电脑里,陈百超将蝴蝶翅膀状的太阳翼展示了出来。这个构型完美地解决了太阳翼展开后行走包络干涉问题,其中左右两片电池板,还能实现对日定向。

太阳能电池板是深蓝色的,展开后像蝴蝶的两对翅膀;两根天线向前伸出,像蝴蝶的触角;车体前方的两台圆柱形设备,好似蝴蝶的复眼;六只车轮替代了蝴蝶的六足。

贾阳赞道:“它真像一只蓝闪蝶。”

马静雅挺好奇:“蓝闪蝶是什么蝴蝶?”

“它是生活在中南美洲蛱蝶科闪蝶属最大的一个物种,长约15厘米,翅膀呈金属光泽。”

“蓝闪蝶”构型有许多优点,但也存在一些风险。太阳翼在收拢状态时,电池板是朝下的,如果落后太阳翼不能及时展开,整车的电源撑不过一天,整个任务将会失败。解决太阳翼展开可靠性问题,变成后续研制的首要任务。然而此时,剩下的时间不到一年。从工厂交付驱动组件,到送至大连邻做力学试验,所有的流程都是按天计算。在最后总装环节,离整星力学试验只剩下一周。马静雅和工厂的工艺师王国星、操作师安长河等,在车间里连续装配和测试4天,在力学试验前一天将产品交付给整车。

马静雅说自己是幸运的,2009年北京理工大学研究生毕业进入航天五院总体部,便参与资源卫星太阳翼建模、出图和展开机构研制。在这个团队里,她感受到了航天人对祖国

的忠诚、对事业的挚爱、对工作的精益求精……

祝融号顺利落火,举世瞩目。

马静雅上小学的儿子问她:“妈妈,老师说祝融号到火星上了。那辆火星车是你造的吗?”

马静雅说:“是妈妈和叔叔阿姨一起造的。”

“听说祝融号比孙悟空还厉害!你们造火星车我怎么不知道?”

马静雅笑了:“妈妈和叔叔阿姨们造火星车的时候,你还很小,我每天还为你背奶呢。”

“妈妈,我只知道喝牛奶,怎么从来没听说过你‘背奶’?”

马静雅抬头凝望着天空,眼眶湿润了……

让每一缕光芒都灿烂

航天飞行器的研制,几乎都要经历这么一条路径:山重水复疑无路,柳暗花明又一村。当然,也有柳不暗花不明,甚至于走进“死胡同”的情况。

火星车热控系统的研制也曾遇到瓶颈,热控分系统主任设计师向艳超急得直上火。

在“天问一号”探测器设计过程中,减重是最棘手的问题之一。探测器分给火星车的重量只有240千克。火星车所有设备,都必须严格“瘦身”。

火星着陆区最高温度不会高于-3℃,最低温度接近-103℃,火星车如何保温,团队想尽办法。能不能借用火星上的风?能不能利用着陆器上没用完的燃料?能不能带只小锅炉上星?一条条路都被堵死了,团队陷入了困境。

2004年,向艳超从航天五院研究生院毕业,正赶上嫦娥工程立项。作为月球车热控分系统的主任设计师,每当项目遇到难题时,他知道只有创新才能破解。向艳超意识到,解决火星车的热能问题也必须创新。他转换思路,光能转换成电能,效率只有30%;如果直接将光能转化成热能,效率会怎样?

忙了一天,向艳超深夜才回家。妻子说:“太阳能热水器坏了。”向艳超回答:“找厂家修呗。”妻子说:“要不你自己弄弄。”“我哪会?”妻子急了:“连自家的热水器都不会修,你还是热控专家?”

向艳超乐了:“夫人息怒,我试试看。”他找出《热水器使用说明书》,一边翻看,一边对照控制面板。片刻,兴奋地喊了起来:“有了,有了!”

热水器说明书介绍了热水器将光能转为热能的原理。忽然,一个灵感在向艳超的脑际闪现:仿照热水器原理,在火星车上安装一个集热装置,将太阳能存储起来,需要时供火星车用。

第二天,向艳超把团队的张旺军、张冰强、陈建新召集在一起。大家看了他新绘的草图,一致称好。

按照新思路,在火星车顶部前后安装两台集热窗设备,像双筒望远镜,用它吸收太阳能,直接转化成热能,让每一缕光芒都灿烂。集热窗要求阳光只进不出,用技术语言表述:集热窗透光口具有太阳光谱高透过率、远红外光谱低透过率的特征。

团队开始寻找材料,首选石英玻璃,性能可以,重量有问题,两个集热窗接近15千克。换成钢化玻璃,还是太重。

有人建议用有机玻璃。向艳超受到启发:如果找到一种透明膜,重量肯定很轻。调研了市场上的各种透明膜,有的可见光透过率弱,有的韧性不够。他获悉辽宁科技大学研究的一种聚酰亚胺材料可以生产聚酰亚胺薄膜。一联系,得知这种原材料是专供出口的,国内不生产成品。

在网上搜到国内一家专门生产各种薄膜和泡沫塑料的民营企业。贾阳和向艳超急忙登门求助。

公司董事长热情地说:“欢迎航天部门来的客人。这几年,咱们国家的航天事业发展得很快,又是‘北斗’,又是‘嫦娥’,还有载人飞船……你们航天人为国争了光,长全国人民的志气啊!”

贾阳紧接他的话头:“航天取得的成就,离不开全国人民的支持。当然,这里面也有你们民营企业的一份功劳。”

董事长说:“我们这种小企业想做贡献,轮不到啊!”

贾阳一听,觉得“有戏”,立即说:“您刚才讲到‘北斗’,讲到‘嫦娥’,讲到载人飞船,还有一个重要项目:‘天问一号’。我们正准备去火星

探测……”

“天问一号”!董事长忽然问:“您刚才说,民营企业为航天工程做过贡献。我们小企业有机会吗?”

向艳超忙说:“我们就是专门跑来求助的。”贾阳介绍了火星车集热窗急需聚酰亚胺薄膜的情况。董事长问:“你们确定国内没有厂家生产这种产品?”

“找遍了,没有。”

董事长顿时严肃了起来,说:“生产这种产品,公司必须把其他产品停下来,清洁生产线,而你们又只要很少的量。既然是航天急需的产品,也就是国家急需的。能为航天事业做贡献,也就是为国家做贡献。虽然这是一笔赔本的买卖,我们干,即便赔钱也干!”

公司果断停产其他产品,经过几次调试,终于生产出了全尺寸高透明的聚酰亚胺薄膜。

有了聚酰亚胺薄膜,还得有合适的安装框材料。团队最先看上镁铝合金,两个安装框4.4千克,太重!改用3D打印,重量减少了2.6千克,但火星高温差将会导致聚酰亚胺薄膜热胀冷缩与金属框变形不匹配,膜容易绷不紧或是被拉破。

副主任设计师张旺军建议,安装框用聚酰亚胺材料,变形相同,重量更轻。他们赶紧去寻找直径不小于650毫米的聚酰亚胺板材,但国内没有这种产品。正在着急时,合作伙伴中上海一个研究所伸出援手,经过3个月奋战,终于拿出聚酰亚胺板材。

集热窗由安装框和膜支撑结构两部分组成;前者用于固定膜,并维持膜的形状;后者保证在各种工况下,膜保持上凸状态。聚酰亚胺薄膜厚度仅有50微米,要扩张成直径550毫米的透明窗户,还得经受发射时内外近1000帕压强的压差作用和进入火星大气层时的大气压力作用,又是一道难题!

向艳超对张旺军说:“该施展你机械设计的专长了。”

张旺军不知用了什么“魔法”,仅用两根十字交叉的钢丝,便稳稳地撑起了那轻薄透明的膜,透过薄膜能清晰看到璀璨的星空。

最终,两个集热窗的重量从开始的14.8千克,减少到了1千克。

带“火”字的车标

中国第一辆火星车诞生了!

这个小精灵长得有些像神话传说中的哪吒:虎头虎脑,两只眼睛滴溜溜转,一副翅膀呼呼扇扇的,脚下还蹬着六只“风火轮”呢!

大家围在四周,指指点点,说不够,乐不够。贾阳笑了:“行,还真像一辆火星车!”

孙泽洲幽默了一默:“不像火星车,你想让它像高铁上的售货车?”

张荣桥感慨道:“这是中国人自己做的第一辆火星车!”

在火星车的桅杆顶部,有一个醒目的红色方框图形车标。仔细一看,是个篆文“火”字。这个充满中国元素的“火”字,寄托着中华民族长期以来对火星的憧憬,也与后来出炉的“祝融”名字完美契合。

这枚车标还有一段故事:

火星车研制出来了,它的桅杆上面有三台相机,还安装了气象测量、磁场测量等设备。为保证相机在寒冷的火星夜晚不被冻坏,设计师为它包裹了隔热罩和镀铝膜;为了不遮挡相机的视场,罩子的正面开了三个圆孔。远远望去,火星车最显眼的地方,是桅杆顶端一块A4纸大小的白色平面,上面有三个相机的光孔。

陈百超一看,自言自语:“桅杆的头部有些空,不够漂亮。”

贾阳仔细地端详着:“大家看能不能再美化一下。”

有人提议在桅杆顶端画上一个中国结,既喜庆,又有中国元素。马上有人提出异议,把中国结放在火星车“额头”上,不太协调。

“挂盏红灯笼呢?”

“人家会以为咱们的火星车娶媳妇呢!”

比较一致的意见是,用中国传统书法“火”字,既有装饰性,又有中国文化特征。

专业的事情应该让专业人士去做。贾阳马给自己的一位沙画家朋友发了条信息,说他们研制的火星车需要装饰一下,想请他用毛笔写个“火”字,把火星车打扮得更漂亮一些。

那位沙画家觉得能给火星车做点事情,机会难得。他找来古往今来用金文、篆、隶、草、楷书写的“火”字,一一比照,发现一枚古代官印“桓术火仓之记”中“火”字的造型,别有韵味。他将书法与篆刻的表现手法结合起来,刻了一枚具有浓郁中国文化特征的印章,获得专家们一致认可。

中国第一辆火星车,一飞冲天,穿云破雾,奔赴火星……

1921.5米——从2021年5月22日踏上火星,至2022年5月18日进入冬季休眠模式,祝融号在火星前行的这段距离,是中国在火星上大踏步前进的1921.5米。

这1921.5米何止是距离,它展现的是中国人的逐梦之路、信念之旅!

题为祝融号火星车(左)与着陆平台。

国家航天局供图

蔡华伟制图

大地