

“神器”前传

本报记者 任珊

有一种神奇的材料，被称为航天隔热“神器”。它的密度可以做到比空气还小，是最轻的固体材料；它的导热系数比静态空气还低，是导热系数最低的固体材料；把十几克的它完全铺展开来，其表面积可以覆盖一个足球场……各种特殊的性能，使这种神奇材料先后荣膺15项吉尼斯世界纪录。它就是二氧化硅气凝胶。

从研究近千种配方到掌握全套工艺参数，从试验到生产，驾驭这一神奇的材料需要“神功”。张昊说：“一切都来自一招一式、踏踏实实”的修炼。”

1 搞科研要干点儿“大事”

2002年张昊从中国科技大学保送到中国科学院化学所进行硕博连读。在第一次班会上，班主任讲了很多，有一句话令张昊印象深刻，“你们现在每个人都正在通往这个国家主流社会的道路上，请你们一定要珍惜。”

科技工作者要如何走向“主流社会”？多年后张昊才明白，这就是大家所说的做科研要“顶天立地”，既做前沿，又做基础；既要对接国家需求，又要“接地气”。在初出茅庐时，张昊对此的理解就是：肯定是要干点儿“大事”。

2003年10月15日，杨利伟乘着我国研制的“神舟五号”飞船进入太空，环绕地球飞行14圈。“这就是大事儿！”看直播的张昊和同学兴奋地讨论。

2007年毕业时，中国航天科工集团三院306所来中科院招博士。虽然招聘信息只是贴在布告板上的一张很不起眼的A4纸，但“航天特种材料及工艺技术研究所”这几个字一下子吸引了张昊，“这看起来就像是干大事的地方。”

就这样，张昊来到丰台区云岗“航天城”，成为一名航天人。

走完热热闹闹的人职流程，现实马上给张昊泼了一盆冷水。

由于学的是工程塑料专业，所里给他安排的科研方向是二氧化硅气凝胶隔热材料。

这个方向很新。新到什么程度呢？气凝胶是材料界的一朵奇葩，其密度可以做到比空气还小，作为“世界上最轻的固体”还被列入了吉尼斯世界纪录。虽然它重量超轻，结构却非常稳定。比如，经过特殊方法合成的二氧化硅气凝胶最高能承受1100摄氏度的高温，在航天产品的热防护领域必不可少。而此时的张昊，只是从资料上查到过它的性能参数，没有样品，更无从了解技术细节。

一边是国家航天发展的迫切需求，一边是现实技术水平上的巨大差距，张昊感受到从未有过的压力。

“困难乃见才，不止将有得”。张昊现买了各种玻璃器皿、天平做实验的基础仪器，很长一段时间里，他就在跟那些瓶瓶罐罐较劲儿。后来，他干脆把午饭搬到了化学实验室，整天泡在实验室里做配方试验，晚上还经常背着笔记本电脑，跑回曾经读书的化学所，查外文献。

当一个航天新人不容易，但起步的艰难没有吓退张昊。“谁都不是《阿拉蕾》里的IQ博士，灵机一动就有奇妙发现。创新就像探索迷宫，绝大多数人都需要把那些死胡同全部走过一遍，才能找到方向。”张昊安慰自己。

科技之星

张昊

中国航天科工集团三院306所副所长，2019年“北京青年五四奖章”获得者。这位“80后”自2007年参加工作起，一直从事先进热防护材料的研究，并取得一系列突出成果。他开发的二氧化硅气凝胶隔热材料成功应用于长征五号运载火箭、天舟一号货运飞船、嫦娥四号探测器，并应用于特种服装、新能源动力电池、工业保温等领域。



2 车间里滚气瓶的博士

为了研究气凝胶材料，张昊前后尝试了近千种配方，各种试验数据记满了厚厚的几个本子。

2008年的一天，张昊在一篇文献中看到某种硅前驱体通过溶胶-凝胶反应可以得到性能优异的产物，便立刻按照文献的路线去验证。初步结果显示，性能果然有所提升。但做了几次试验后，张昊感觉眼睛明显不适，后来发展到剧烈刺痛。无法坚持的他被同事紧急送往医院，诊断结果为眼角膜灼伤。

原来，试验中某个成分化学反应的副产物挥发性强，且对眼角膜有伤害，虽然张昊戴了护目镜，但也挡不住无孔不入的有机蒸气。

在家休息的日子里，张昊仍在脑海里整理自己的试验过程，并归纳出前几次试验新路线时能提升性能的几个可能的“组合”。

一周后眼睛稍微恢复，张昊就跑回实验室验证他的想法。果然！采用更加安全的配方和反应环境，同样得到了性能优异的二氧化硅气凝胶。

一山放过一山拦。试验成功的兴奋并没维持多久。

作为制备气凝胶的一个关键环节及核心技术之一，二氧化碳超临界干燥技术的研究也是困难重重。“国内当时并没有能够成熟设计和生产二氧化碳超临界干燥设备的厂商，而国外设备动辄上千万，让我们望而却步。”张昊刚来的时候，所里只有一台20L容积的实验室级设备。要让新型热防护材料获得工程应用，仅有这个设备是

完全不够的。因此，掌握全套工艺参数，并将工艺装备放大到工程量级，是困扰张昊及气凝胶研制团队的最大问题。

到车间去！为了获得最详实的数据，张昊和团队成员决定到车间里做“蓝领”。

车间工作的磨炼，让张昊可以熟练地画出整套装备气路、冷水管路和热水管路的走向，能够画出每一个阀门、压力表、温度传感器的位置，拆阀门、换加热棒、换压力表，他都得得心应手。有一次，装备设计部门的一位设计师来找张昊沟通方案，他在车间里环视了一圈没看到想象中的张昊，问车间师傅：“你看到张博士了吗？”车间师傅抬手示意，“那个滚气瓶的不就是张昊。”看到满头大汗的张昊，设计师连连感叹：“张博士，我还以为你是车间的年轻师傅呢，你一大博士还干这个？”张昊笑了笑：“自己没干过，咋教别人啊！否则您对我们的材料不放心啦。”

通过一点一滴的摸索和积累，车间的实验设备从20L扩大到160L，最终扩大到2008年时国内最大的1500L二氧化碳超临界干燥设备，这为实现气凝胶隔热材料的批量化工程化生产打通了关节。

大型设备一开就是几天，而且是运转在一百多个大气压下的高压设备，既要保证运转安全，又要保证小试和中试的工艺流程和参数控制能成功实现。为此，张昊的手机24小时开机，那时他最怕的就是凌晨电话响起，因为肯定是设备出了异常状况。

3 不经历“归零”不算真正航天人

从试验到生产，2010年气凝胶材料的研究迎来节点性进展。但正如张昊所说，每一个试验成功的背后都能找出十多个失败的尝试。这一次也是一样。

2010年初，张昊和同事们把精心研制的热防护层铺在舱体内表面，满怀期待地把精心准备的试验件送到北京航空航天大学实验室，做一个石英灯加热考核验证试验。

“那时候的心情就像参加完高考等着公布成绩，既期待又很焦急。”张昊说，试验时间才过了一半，他们就听见“砰”的一声巨响，现场的石英灯管碎片洒了一地。张昊的心情跌到谷底，团队遭遇“归零”——必须按照“定位准确、机理清楚、问题复现、措施有效、举一反三”的要求完成整改。单位的老同志听说后安慰他，“别怕，如果没有经历过‘归零’，就算不上真正真正的航天人。”

张昊和同事们对试验件进行了排查和反复试验，很快定位了问题。原来，热防护层中他们采用的一种固-固相变材料的基础试验验证做得不够充分，在极端环境下该材料会产生可燃挥发气体，在当时试验的密闭空间条件下，可燃气体发生了爆炸。

2010年底，张昊和团队带着试验件去了西安，这次的挑战更大，接受测试的是个近6米长、铺设了热防护层的整套新装备。

当时试验条件并不好。厂房是为这次大型地面试验任务新盖的，由于时间紧、任务重，厂房甚至都没有完工，只有柱子和房顶，墙壁只是用纤维布围起来的，四处透风。张昊还记得，那年冬天西安格外的冷，厂房里放着两个用集装箱改造的“房间”，里边装了台空调，实在冻得不行

了大家就轮流去集装箱里取暖。

试验开始，瞬间几米长的装备就被刺眼的白光包围，装备表面温度迅速升到几百摄氏度。张昊紧紧盯着监视器上传回的传感器温度，装备热防护层内部的温度开始缓慢上升。“为了确保试验的真实性，装备里装了一百多公斤的燃油，一旦热防护层失效，燃油遇到高温的金属壳体，会产生不可想象的后果。”张昊回忆，当时试验现场旁边停着消防车以防不测。

1300秒！张昊从没觉得20多分钟这么漫长，后边有几分钟他已经不敢去看缓缓上升的温度数据了，直到指挥员在大喇叭里喊“试验停止”的口令，他才赶紧去看数据。一切正常，热防护效果完全满足设计要求！这时，一个设计师过来给了张昊一个大大的拥抱，但是他并没有注意到，张昊的眼里已满是泪水。

这次试验说明，材料过关了，为这类热防护材料的广泛应用奠定了重要基础。



4 航天产品的质量没有99分

在张昊和团队成员的努力下，成功的试验后来越来越多，他们的产品得以服务于国家多个重大工程和重点装备，实现了“可上九天揽月，可下五洋捉鳖”。2016年完成“首秀”的长征五号运载火箭就离不开张昊团队提供的热防护材料的支持。

长征五号使用的发动机是大推力液体发动机，虽然力气大，但也让燃气管路饱受高温的考验。张昊说，如果发动机工作时燃气管路中产生的大量余热无法加以控制，将有可能直接危及电子设备，造成不可逆转的损坏。为此，他和团队成员先后开展了材料隔热试验研究、成型工艺研究和工艺试验研究，最终研制出满足设计要求的高性能纳米气凝胶构件，并顺利通过多次地面发动机试车验证。这个被称作“隔热神器”的家伙，将管路多余的热量限制在了管路内部，成功化解掉这一因工作温度影响火箭发动机的潜在危机。

这次成功给了张昊和团队成员莫大的鼓舞。2017年4月20日，天舟一号货运飞船随长征七号运载火箭在文昌航天发射场发射升空。消息传来，张昊团队纷纷在朋友圈里转发这一喜讯：“咱家材料又立功啦！”这一次，306所研制的气凝胶隔热材料随天舟一号再次踏上太空之旅，其大显身手的地方从长征五号的燃气管路变成了天舟一号的低温锁柜。

“低温锁柜被用于物资保存，对于隔热保温材料性能有着极其严苛的指标要求，既要绝热，又要轻薄，这是传统隔热材料不能实现的。”接到研制任务后，张昊团队首先想到了现有比较成熟的气凝胶隔热材料，但经过测算，导热系数离性能指标还有很大差距，远不能满足应用要求。

张昊决定将现有的气凝胶材料“真空化”。经过多轮试验和验证，基于气凝胶材料的“真空绝热板”诞生了。它能有效避免空气对流引起的热传递，使其导热系数较原有的气凝胶材料大幅降低，隔热性能提高近一倍，同时又具备很好的隔气性和耐穿刺性。就这样，气凝胶产品被制成天舟一号低温锁柜的保护“外衣”，随着天舟一号飞船遨游天际。

十几年的试验积累和艰苦攻关，使得系列气凝胶材料产品的使用温度覆盖零下至零上上千摄氏度，还能服务于近空、深空、水下。张昊和团队陆续获得了国家科技进步二等奖、国防科技进步一等奖、中国专利金奖等荣誉。对于这些，张昊只是淡然一笑，把成功归结于“运气”，“我只是刚好赶上了国家重大装备迅猛发展的机遇期，一些最新成果才能够迅速获得应用。”

和张昊共事了9年的李文静却觉得，这些成就除了机遇造就，还因为航天人的执着，“航天产品的质量没有99分，不是100分，就是0分。张昊跟我们这么说，也是带着我们这样做的。”

近两年，张昊和团队正在努力将气凝胶这种新材料新技术从航空航天领域逐步拓展到建筑、石油、消防、服装、电子等民用领域。“比如，新能源动力电池在极冷环境下的寿命是个问题，而且冬天一开暖气就耗电大，用热防护材料进行车体保温就很必要。”张昊说，他们正在与一些高校、企业谈合作，利用气凝胶材料的优异性能，并在保持好的性能情况下降低成本，让用户能够接受。

业余时间张昊喜欢看金庸小说，众多武侠人物中他最喜欢郭靖。“因为他不是靠奇遇成就了一身武艺，而是靠一招一式慢慢练出来的。做科研也是一样，需要耐得住寂寞，一招一式地修炼，才能有些许建树。”张昊说。