

# 太空中，拧颗螺丝钉要费多大劲？

东大“测力神器”搭载天宫二号升空，将测量航天员的各种操作力

在太空中，航天员开舱门、插拔插头、抓操纵杆、用扳手拧个螺丝钉，需要用多少力气？如何设计空间站，才最符合人体工效学，让航天员“量力而行”？这些问题很快就会有答案。中秋夜，随天宫二号空间实验室一起升空的，还有东南大学科研人员研发的“航天员在轨操作力测量系统”。10月中旬，“神舟十一号”载人飞船升空后，该系统将会测量航天员在轨操作时的各种操作力的信息。

现代快报/ZAKER南京记者 金凤



空间作业离不开操作力的测量，图为航天员在神州十号天宫舱内行走 资料图片

## 失重环境中 捡根针都不那么简单

天宫二号空间实验室成功发射之后，“神舟十一号”将搭载两名航天员进入天宫。在太空失重的环境中工作和生活30天，并不是一件轻松的事。

“在日常生活中，我们开门、插拔插头、抓操纵杆、用扳手拧个螺丝钉，需要用多少力，都很清楚，但在太空失重条件下，这些还存在未知因素。”“航天员在轨操作力测量系统”的负责人、东南大学仪器科学与工程学院院长宋爱国举了个例子，在地面上，捡一根针轻而易举，但在失重环境中，上身蹲下的同时，下身由于动量守恒会反向漂浮起来。要完成一个捡东西的动作，并非轻而易举。又例如开舱门时，要打开旋钮，但因为缺乏反作用力，航天员可能使不出在地面上那么大的力气。“在地面上可以使出30公斤的推拉力，在太空中只能使出十几公斤的推拉力。”

在空间生活久了之后，骨骼中的钙会流失，这会直接影响运动能力。宋爱国说，科研团队研发的这款测量系统，主要用于航天员在轨各种操作力的测量，以及人机工效学和生物力学实验，

为航天员今后长期空间在轨生存和空间站的科学合理设计提供基础实验数据和参数。

据宋爱国介绍，这套测量系统被集成在一个手提式仪器箱里，比地面模拟实验的测量设备要缩小许多，包括多种力传感器、数据采集处理系统，以及各种测量附件。开展实验时，航天员将仪器箱打开，取出其中一种测力传感器并将其固定在给定的区域，再将附件与传感器机械连接，就可以测量。

“例如舱门，如果和地面上的舱门设计得同样紧密，那到了太空，就有可能拉不开，就会影响一些空间作业任务的执行。又例如设计一个阀门把手时，将阀门把手安装在哪个位置、什么高度，才最省力，都可以借助测量系统提供的依据。”宋爱国说。

## 实验从水下17米 做到万米高空

为了研发这套小型化、高精度、高可靠的测量设备，东大科研人员历经七年的攻关。实验从水下17米做到了万米高空。宋爱国说，早在2009年，科研人员就启动了模拟环境中的航天员人机工效学和生物力学的测量设备研

究，后来又将实验环境搬到了17米深的水池里，去模拟失重环境下的操作力测量。

“当时先制作了一个2米宽和2米高的架子，再将11组多维力传感器安装在架子的不同部位，然后用吊车吊到水底。用这套系统测量航天员在模拟失重效应的水下作业过程的脚蹬力、开门力、插拔力、推拉力、旋转力等数据。”不过，因为是水下作业，所以所有的测量部件都要做成防水装置，数据采集处理单元与电缆线是防水的，传感器采用不锈钢材料制作，所以体积很大。水池实验一做就是一个多月。

水下实验环境距离真实的空间环境还有一段距离。要创造逼真的空间失重环境，还得在失重飞机上进行试验。科研人员请航天员携带测量设备搭乘飞机进行试验，飞机从1万多米高空以某种曲线方式快速下降时会产生几十秒失重状态，这几十秒的失重状态最近空间站的微重力环境。”

宋爱国说，用于失重飞机试验的测量设备要比水下测量设备小很多，而这次为天宫二号研制的测量设备体积更小、可靠性更高，而且抗震和抗过载的能力更强，要能抗拒“天宫二号”升空时火箭推力带来的强烈震动。

# 3000万年误差1秒！ 首台在轨运行空间冷原子钟使时间精度提高10倍

成功发射的天宫二号搭载了多种高精尖科学装备。其中，由中科院上海光机所研制的“定时神针”——空间冷原子钟，有望实现约3000万年误差1秒的超高精度，这将是国际上首台在轨运行并开展科学实验的空间冷原子钟，也是目前在空间运行的最高精度原子钟。

人类社会发展离不开对时间的精确测量。之前，在太空中运行的原子钟都是热原子钟，精度最高对应300万年误差1秒。此次，由天宫二号搭载的空间冷原子钟将激光冷却技术送入太空，在空

间微重力环境下，进一步使时间精度提升10倍，意味着这台钟运行3000万年才会有1秒的误差！

如此精准的钟到底有什么作用呢？上海光机所中科院量子光学重点实验室主任刘亮介绍，在太空中，空间冷原子钟可以建立超高精度时间频率基准。有了这个基准，就可以把天上其他原子钟同步起来，让全球卫星导航系统具有更加精确和稳定的运行能力。

此外，冷原子技术的发展还将大幅提高许多实验的精度，让原来不可能进行的实验成为可能。例如，开展深空导航定位。刘

亮说，如果我们在太阳系中不受引力影响的拉格朗日点各放置一台冷原子钟，人类就可以超越近地范围、在太阳系这个更大的范围内实现准确定位，开展大尺度时空研究，包括广义相对论在大尺度情况下是否成立等。

又如，空间冷原子干涉仪可以取代空间激光干涉仪，实现在轨引力波探测。刘亮介绍，探测引力波有多种手段，采用激光干涉仪探测，需要三颗卫星，空间冷原子干涉仪只需要两颗卫星，技术难度和成本都有所降低。

据新华社

## 揭秘F T2运载火箭

### “老火箭”保养有秘诀

9月15日，天宫二号在长征二号F T2运载火箭的托举下飞向太空。事实上，这枚火箭早在2010年就已生产完成。按照一般火箭储存的寿命来看，可谓一枚上了年纪的“老火箭”了。研制队伍有何保养之术？火箭的设计师们接受了记者采访。

#### 换 脆弱产品 换新的

据了解，这枚火箭是发射神舟十号飞船的长征二号F Y10火箭的滚动备份产品。3年前，神舟十号飞船顺利发射，这枚火箭便留下来执行下一发任务。

中国航天科技集团一院长征二号F T2运载火箭总体室设计师郑立伟说：“火箭上的产品生产出来的日期不同，有些已经到了寿命临界点的产品，一定要换新的，例如密封材料就是其中具有代表性的一类。”

不仅如此，火箭分离、点火等用到的爆炸器、起爆器等，因为涉及“脾气”暴躁的火工品，部分产品一律重新投产。

#### 算 老化试验 算出零件寿命

科研人员介绍，火箭为了减重、提高透波性、兼顾性等要求，会用到很多复合材料，包括玻璃钢、碳纤维等。

这些材料由多种非金属材料通过特殊工艺生产出来，它们中的很多

部段，如小铆钉之类的连接件，直接关系到火箭结构稳固性。

而这些材料组成的产品寿命比橡胶等材料长，长征二号F T2运载火箭的发射窗口完全在寿命内，但考虑到材料本身的特殊性，设计人员要给关键材料产品“算命”——就是通过一系列老化试验，计算出它们寿命几何，是否足够“强壮”，以决定是否要更换这部分产品。

#### 查 电子产品 返厂开盖复查

计算机、控制器、传感器这类火箭大脑和神经系统组成部件也有保质期。闲置了这么久之后，它们是否反应灵敏，能不能对指令做出及时有效的执行，这是火箭完成飞行试验任务的前提。

“这部分产品都一律返厂复查。”长征二号F T2运载火箭主任设计师容易说，我们的“复查”可不是看看外观、通电检查下性能这样简单，我们要求生产厂家对这部分产品全部“开盖检查”，涉及到产品的所有参数和设计指标，对产品内部电路等的检查比出厂还要细致。

据新华社

### 逃逸塔技术革新 增加航天员逃生希望

天宫二号正在太空遨游。记者从中国航天科技集团运载火箭技术研究院了解到，正是缘于担负发射任务的长征二号F运载火箭的多项技术革新，才确保了天宫二号的顺利升空。



长征二号F运载火箭副总设计师刘烽告诉记者，这些技术革新大多集中在产品质量上，比如，火箭助推器捆绑接头处一个产品器件在别的型号火箭上出现过问题。为此，设计团队花了近1年时间跑遍了涉及的生产厂家，做了无数次试验，最终决定以保护环境温度的方式确保产品不“掉链子”。

逃逸塔是长征二号F运载火箭设计的一个亮点。因为，逃逸塔直接关系到航天员安全，一旦在发射时火箭检测出故障，航天员可以通过逃逸塔逃生。

刘烽介绍说，逃逸塔启动的其中一个情况是：整流罩分离不成功。而这种情况在实际中发生是相当罕见的，并且在这种情况下，即使启动了逃逸塔，也很难成功实施逃逸。

通过试验和验证，设计团队增加了一种在原先逃逸几乎不可能成功的情况下依然可以实施成功逃逸的设计。刘烽说，虽然出现这种可能性的概率极小，但是既然有这种情况存在的可能性，就要尽一切力量去保证航天员的生命安全。据新华社