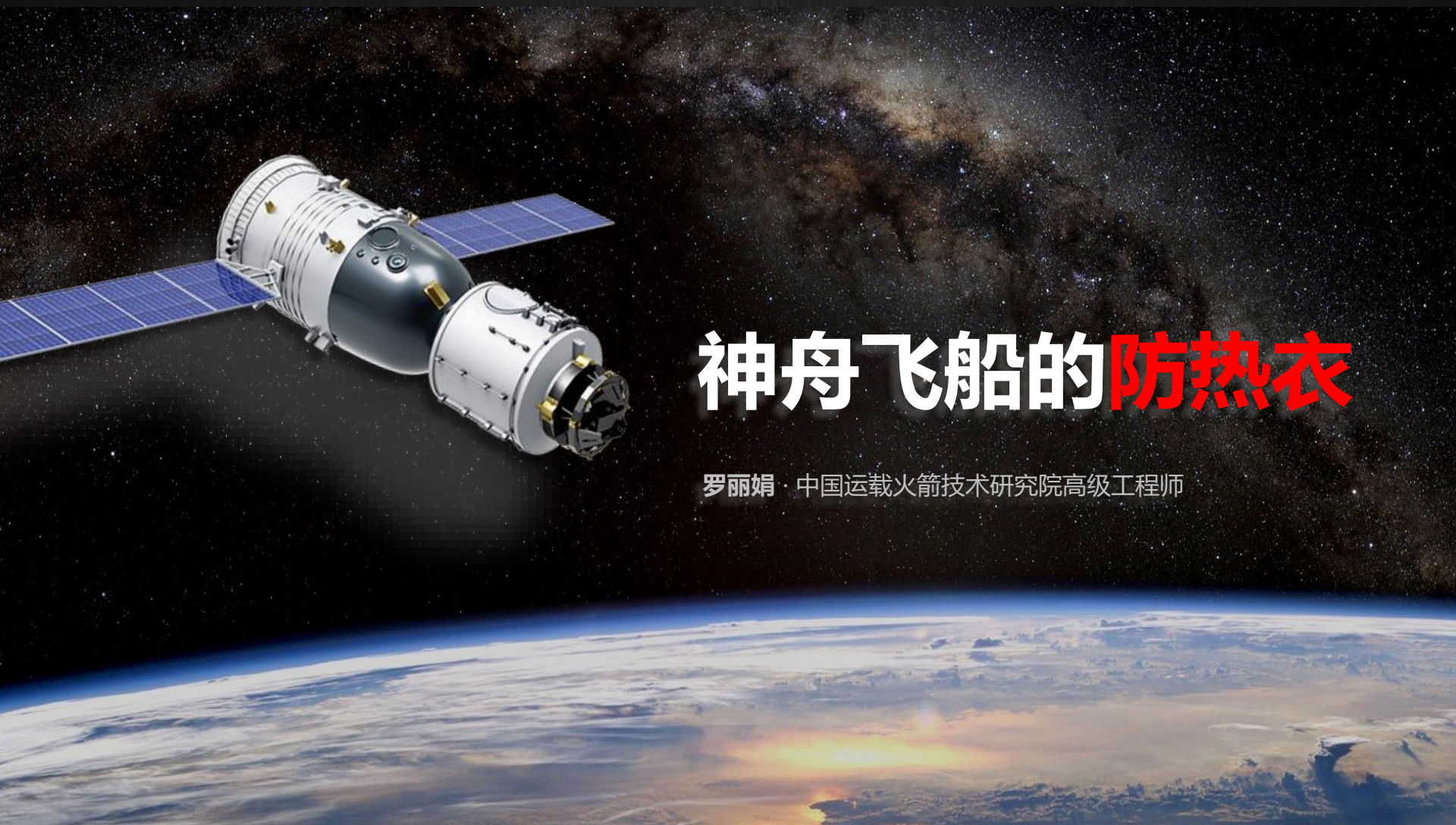




神舟飞船的防热衣

罗丽娟 · 中国运载火箭技术研究院高级工程师



2018/11/16

《暗淡蓝点》
1990年，64亿公里外



Q: 深空探测?

□ 离开地球，移民

◆ 不可抗灾难

◆ 核战争、基因工程病毒、全球变暖、人工智能

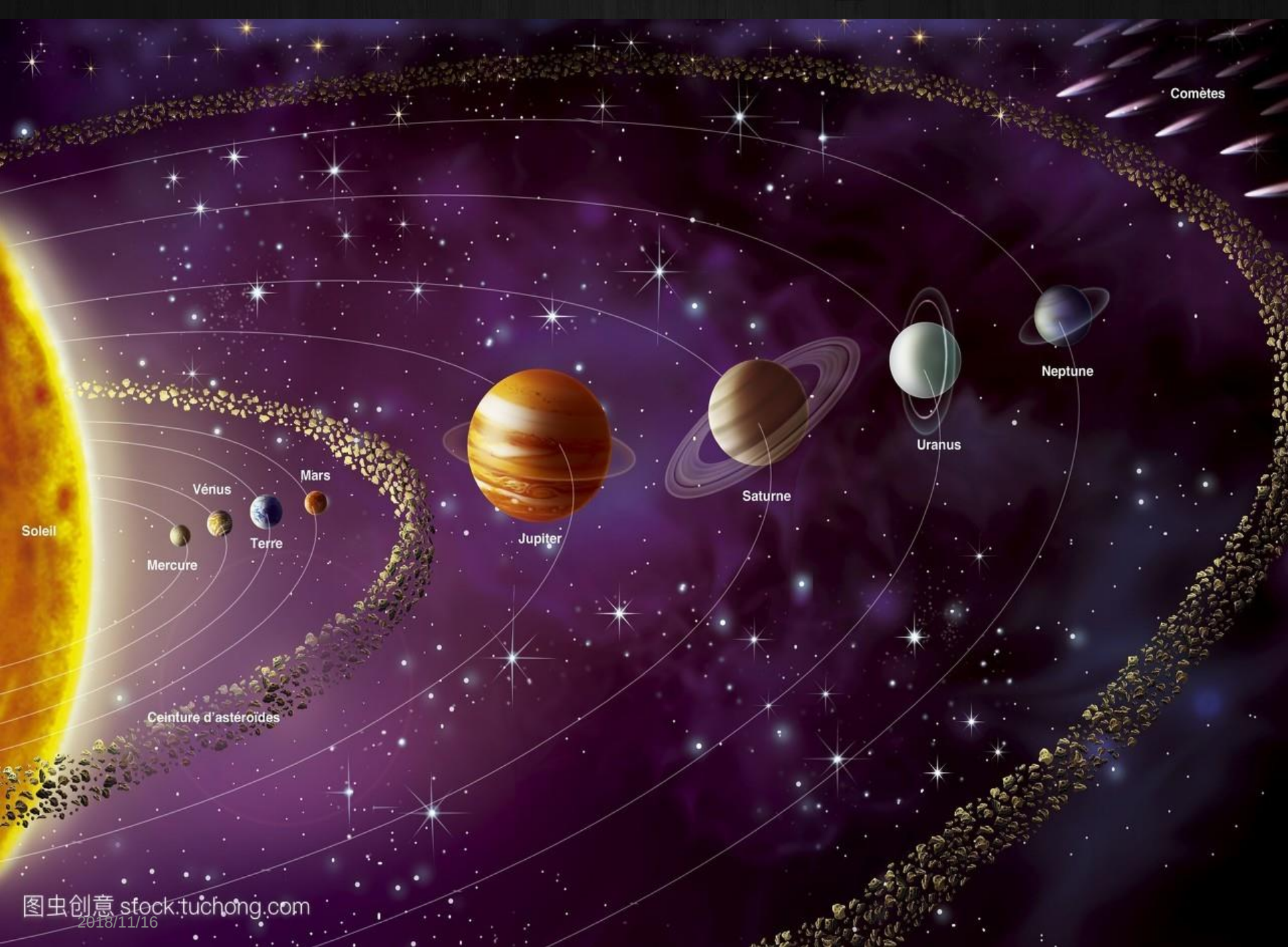
□ 我们是谁？从哪里来？到哪里去？

□ 开发资源

□ 国家安全

□ 科学技术发展的催化剂





Soleil

Mercure

Vénus

Terre

Mars

Ceinture d'astéroïdes

Jupiter

Saturne

Uranus

Neptune

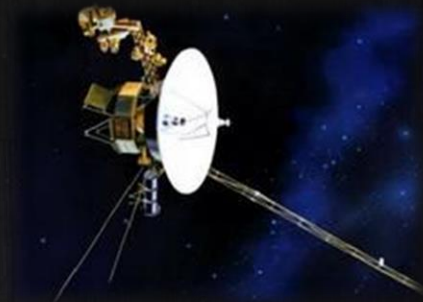
Comètes

□ 深空探测器

- ◆ 飞掠 “旅行者1号”
- ◆ 绕
- ◆ 落 金星、火星、土卫六
- ◆ 取样返回 月球，小行星，彗星

□ 飞船

- ◆ 进入探测器
- ◆ 再入飞船
- ◆ 载人飞船： “阿波罗” 飞船
“神舟” 飞船



CCTV 13

新闻
轨-返解锁



神舟十一号正在返回

返回舱第一次姿态调整

经度: 3.985度

纬度: -29.104度

高度: 394.520千米





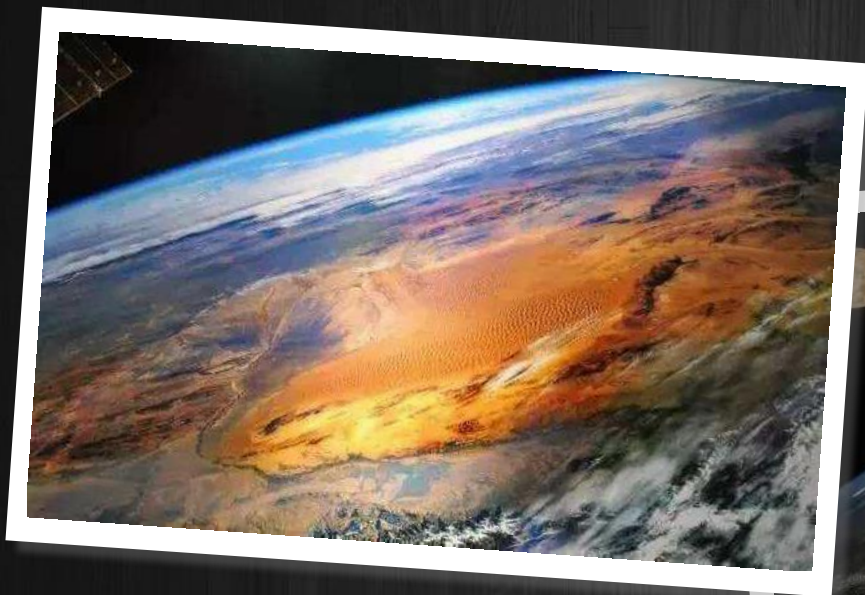


VS





从神舟舷窗看地球的照片







	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	A1	B1	C1	D1					
2	A2	B2	C2	D2					
3	A3	B3	C3	D3					
4	A4	B4	C4	D4					
5									
6									
..... 9									
..... 98									
66 86 99									

H88
H96



1986



1992.9.21



1999.11.20



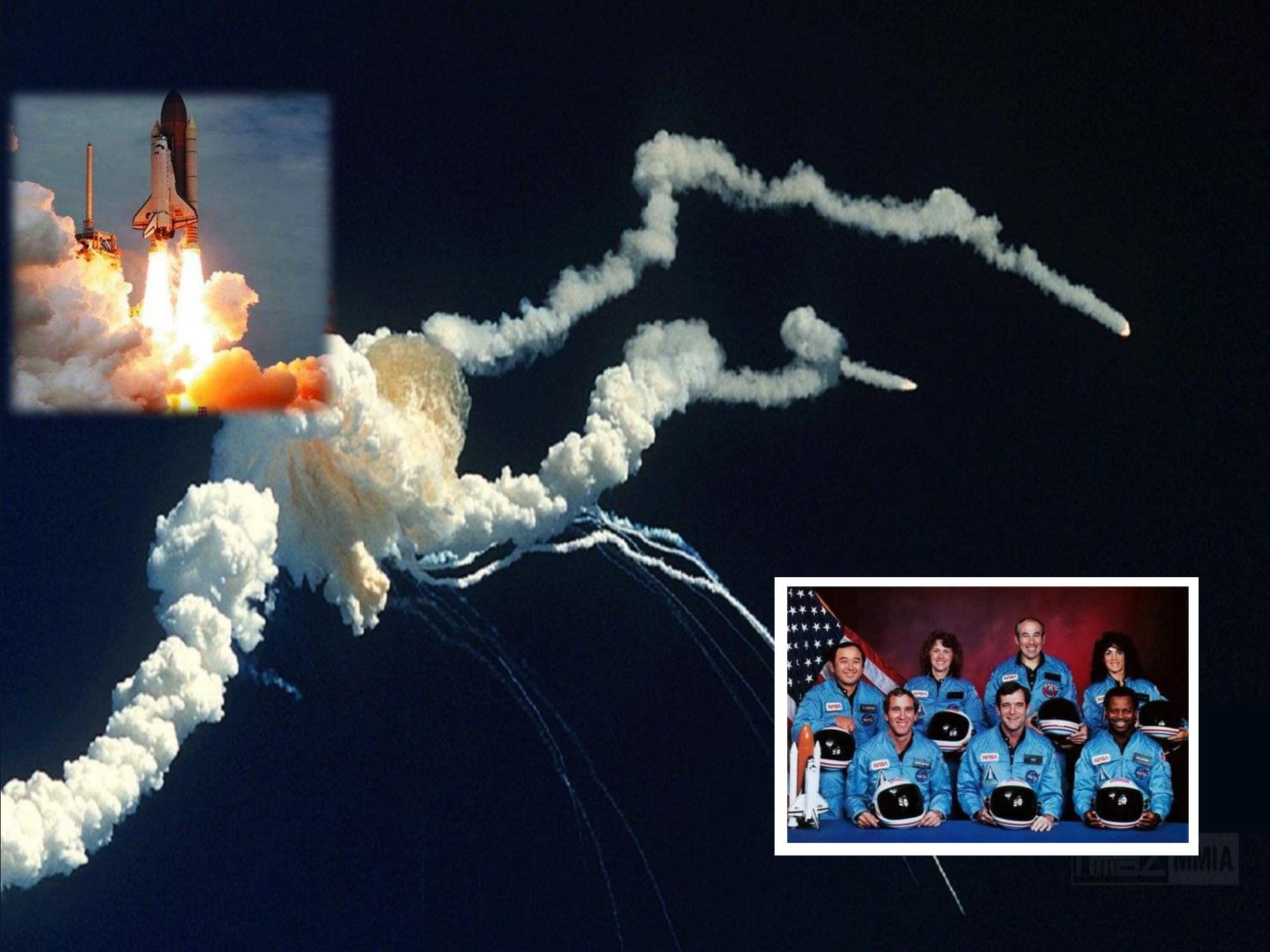
2003.10.15



2011.1



2014.11.1



归

零

问题概述

问题定位

机理分析

问题复现

措施及验证

举一反三







材料，灌注效果较为理想。而边长 6mm 的
芯子由于孔格较小则存在灌注质量不稳定

2. 蜂窩密度

各种不同规格的蜂窩芯子经胶固化后，测
定密度，列表如下。

表 1 不同边长蜂窩芯子密度测量

边长(mm)	格壁厚度(mm)	密度(每 1cm ³)	$\bar{x}$ (g/cm ³)
6	0.1	0.053 0.049 0.046	0.049
		0.051 0.048	
6	0.2	0.089 0.088 0.085	0.088
		0.088 0.089	
8	0.2	0.075 0.077 0.083	0.078
		0.081 0.072	
10	0.2	0.087 0.087	0.088
		0.088 0.088 0.089	

按照同种成型固化工艺制度制作的边长 5
壁厚 0.2mm 的蜂窩芯子，其密度一般在 0.1
cm³ 左右，比较可知，边长 6mm，壁厚 0.2mm
蜂窩芯子密度 0.089g/cm³，仍然较大，今后应

921-3 页同航

蜂窩夹层结构成型工艺研究

一. 前言

宇宙飞船在太空中运行完成使命后，要对翼
同航进行回收，返回舱在再入环境条件下经
流密度，绝热能力和水再入时间。对这种环
境，低密度烧蚀材料是最有优越的耐热材料。与
传统的高密度材料相比，这种材料密度降低了
%，绝热性能系数降低了二个数量级，热效率
高了一个数量级。

目前常用低密度烧蚀材料是由甲基或苯
胺树脂加入酚醛树脂，环氧树脂，琥珀酸
胺，偶联剂等组成的复合树脂体系，其密度
系数较低，在烧蚀过程中，树脂分解，形成
焦炭的不牢固层，在高温气流作用下，表层
呈剥落现象，为克服这一缺点，目前正综合
树脂结构对树脂体系进行改进，将烧蚀材料填
到蜂窩芯子孔格内。在开始形成粉屑发展时
用蜂窩结构的骨架作用使粉屑发展定度过
慢而发展。此外，烧蚀材料本身密度较低，

美国先后发展了“水星”、“双子座”和“阿波罗”三代载人飞船。“水星”飞船采用比较成熟的弹道式再入,返回舱则采用辐射隔热结构,大批采用高密度(1.73g/cm³)玻璃/树脂隔热材料。工艺方法是采用斜切的预成型料手糊成型,因玻璃/树脂隔热材料密度较高,隔热性能差,隔热效果不理想。

“双子座”飞船是美国第二代载人飞船,其外形与“水星”机相似,但为三式作为小升力弹道飞行器,再入时因比“水星”机大,所以对其防热材料的要求提出了新的要求。返回舱使用更复杂耐烧蚀的烧蚀材料,以抵挡较高密度热流大处采用高熔点高模量树脂型酚醛,其它部分采用了一种新的热稳定性材料—低密度烧蚀材料。它是一种在玻璃纤维网内填充DC-325单晶硅玻璃的复合材料,其热导率 λ 为0.85w/m $\cdot$ K,它的成型工艺为首先将成型玻璃网烧穿,然后把烧穿的低密度烧蚀材料填充到烧蚀网到上,用振动的方法把树脂填充到每个网孔内,最后如加温(如“GT-2”炉)在大气压力下烧结。采用低密度烧蚀材料的热控系统可避免。

“阿波罗”飞船是美国第三代载人飞船，不同于前代飞船的地球轨道进入，它是从月球轨道返回地球大气层，因此其环境要复杂得多。整个返回舱采用全玻璃方案，大面积隔热材料也是采用低密度烧蚀材料，它是玻璃纤维与VACCOAT 5028—3的混合物，含有石英纤维和陶瓷纤维的一类材料。材料名称为VACCOAT 5028—3，它的制造工艺方法是采用湿法把经过预热的聚酰胺液注到各个模腔子里，由于材料的特性是：常温生产固化，因此必须在固化前进行X光检测，对有缺陷的模腔子进行补充浇注，最后再生产固化成型。

美国后几代机的发展主要侧重于政治、理论和空战探索方面的原因。进入八十年代以来,由于空战训练和战时紧急需要的存在,机载机动性和平视显示器(HUD)的研制开始,有关公司又对复杂发展的弹道式格斗空空导弹,美国通用和波音公司八十年代初期研制一种“反接收的地球-轨道生产系统”(A Cyclically Harvested Earth-Orbit Production System)工程,而CEOS计划,目的在于提高武器使用成本,提高战斗力,并开发航天系统使用工具,新的概念。它采用先进制造技术,材料为高密度纤维增强塑料(ESM 1004系列),典型部分材料密度为0.997g/cm³,材料弹性模量为0.565GPa,层板材料密度为0.256g/cm³,纤维增强塑料系统的研制,开发了0.45g/cm³的纤维增强塑料的可行性,而将材料性能的提高达到一定量,在两次飞行中

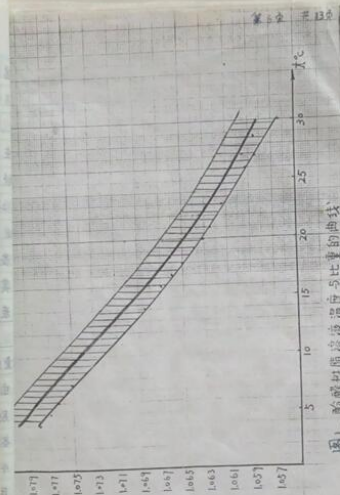


图1 酚醛树脂溶液温度与比重的曲线

结构碰撞不幸，通过财富加强，提高了他的
：烧注材料也归为烧注过程。

院所設主要工作係進行車、板、棒、管及異構成型工藝。棒管及異構鋼材性能研究。定溫爐的棒管尺寸控制。卷尾、卸盤等工序性能。確定定溫棒管回火要求與製程制。研究改善燒結棒材性能的加工方法進行研

二、蜂窩芯子成型工藝和性能

当各种非金属材料的配方确定后,就要考虑玻璃熔窑炉内衬造问题。目前南园玻璃厂 500 吨的熔窑炉子,是在硅质熔窑炉内衬法,采用耐火砖、硅质耐火材料、玻璃渣等来砌筑内衬。这样,窑内温度有较热问题。最初,是 1000、1200 达玻璃窑炉之炉温,因 1200 达玻璃窑炉子,炉温虽比 1000 达炉好些,温度有 70%,这样大大地提高了玻璃熔窑炉的产量,并有助于提高和确定产量。

制定标准亦不使用江基处果被揭仿做厂主

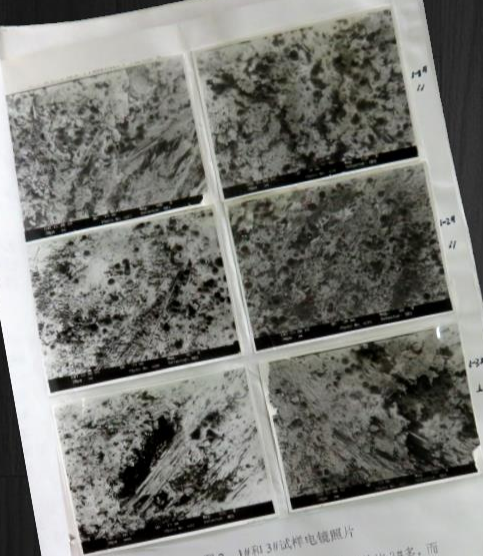


图2 1#和3#试样电镜照片

从照片中可看出,1#纤维//方向取向的比3#多,而上方向取向的比3#少,这可能是因为1#比3#力学性能低的一个原因。(注:本报告所列性能数据皆为上方料取样测得)。

10.2 受热以后,MD2制品加工表面出现微裂纹;非加工面(即原模压表面)无微裂纹。
为了弄清室温存放条件下微裂纹的发生、扩展情况以及受热后的微裂纹现象,从而找到解决的办法,进行了如下试验。

4.2 室温试验

取一MD2试样,尺寸 $450 \times 100 \times 20 \text{mm}^3$,表面有加工和模压非加工两种状态,室温放置,如图3。不同时间出现微裂纹情况样见表9。

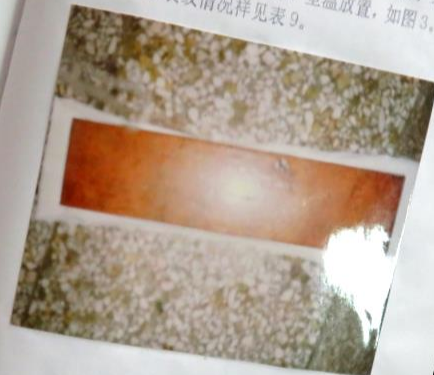
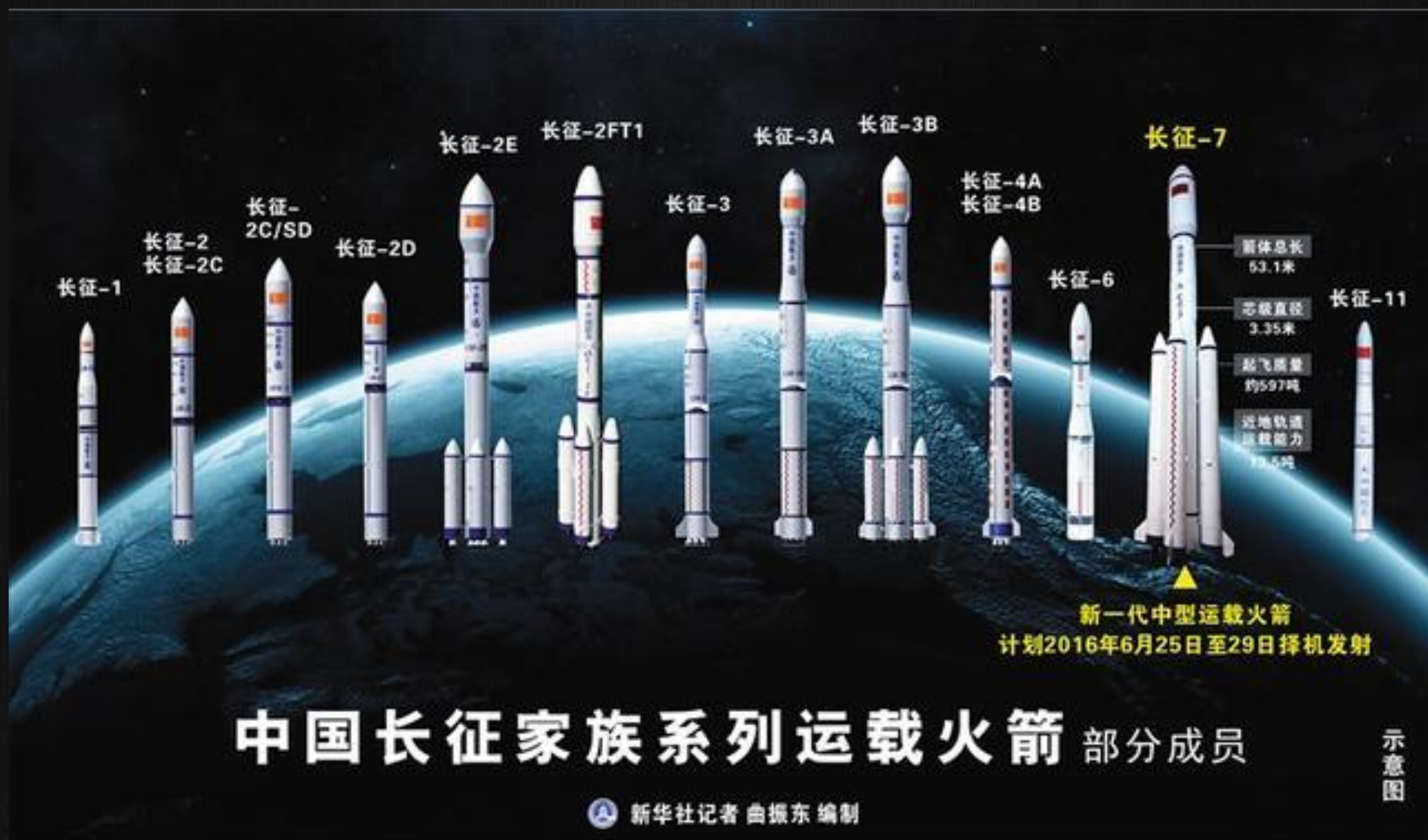


图3 室温试验试样







苍穹划破，光耀九州寰宇；
风华燃尽，守护神舟归来！

小结

- 航天技术、深空探测的意义
- 飞船是做什么用的
- 飞船为什么要防热
- 材料的研制
- 背后故事

科学

你掌握
的知识

已知的事物是有限的，未知的事物是无穷的；我们站立在茫茫无边神秘莫测的汪洋中的一个小岛上。继续开拓是我们每一代人的职责。