

问天科学

南京航空航天大学科学技术协会 编

庚寅仲秋

群贤聚於钟山

风采溢於砚湖

问天鼎立

以昭航空报国

用天於民之志



科学出版社

问天科学

南京航空航天大学科学技术协会 编

科学出版社

北京

内 容 简 介

“问天科学讲坛”是南京航空航天大学 60 周年校庆之际创办的科学讲坛。该讲坛邀请校内外不同领域的院士，融学术前沿于科学普及，为广大师生传道解惑。旨在将院士大家的前沿的科学知识和信息资源，先进的科学理念传递给学生和社会公众，最大化地传播科学思想和前沿技术，引导广大科研工作者继续深入研究航空航天科学技术，同时引导更多的读者关注我国航空航天事业的发展。

本书首次从百余位院士的报告中汇编了 7 位航空航天领域的院士报告，并结集成书，包括：叶培建院士“有人参与的深空探测突出科技问题研究”；张祖勋院士“信息化时代的摄影测量”；龚惠兴院士“空间红外天文观测技术”；李应红院士“等离子体冲击波流动控制与表面强化”；赵淳生院士“创新创业实现中国梦”；戚发轸院士“航天技术与中国航天”；樊邦奎院士“当无人机遇上人工智能”。

本书适用于航空航天领域的科研工作者以及对航空航天知识感兴趣的读者群体。

图书在版编目(CIP)数据

问天科学/南京航空航天大学科学技术协会编. —北京: 科学出版社, 2017.6
ISBN 978-7-03-053686-0

I. ①问… II. ①南… III. ①航空-文集 IV. ①V1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 138019 号

责任编辑: 惠 雪 / 责任校对: 刘亚琦
责任印制: 张 倩 / 封面设计: 许 瑞

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 7 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2017 年 11 月第二次印刷 印张: 11 彩插: 4

字数: 110 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《问天科学》编委会

主 编：孙建红

副主编：刘双丽 张黄群

编 辑（以姓氏笔画排序）：

刘彦东 孙 静 张 彤 张 蓓

陈 珺 胥橙庭 夏道家

序

黑格尔说过，一个民族有一群仰望天空的人，他们才有希望。中华民族是一个伟大的民族，在其历史长河中，从飞天梦想、万户实践、冯如飞翔，到现代新型飞机、大型客机、东方红卫星、神舟飞船、嫦娥探月、天宫巡天、墨子与悟空探索物质本质，再到火星等深空探测，都取得了辉煌成就。继往开来，空间技术、空间科学和空间应用更需要全面发展。在2016年4月24日首个“中国航天日”，习近平总书记指出：“探索浩瀚宇宙，发展航天事业，建设航天强国，是我们不懈追求的航天梦。”

2010年9月，中国科学院技术科学部和信息技术科学部共同在南京航空航天大学主办了首届“航空航天”技术科学论坛暨第四十三次学术报告会。金秋金陵，大家云集，钟山论道，学府问天，近50位两院院士和专家莅临这次航空航天技术科学盛会。除报告会以外，还举办了院士校园行、院士企业行，以及南航校园“问天鼎”揭幕。砚湖边，院士林，问天鼎，报国志，为大学校园增添了浓厚的学术文化氛围。如此盛会，我

因任务在身，未能前行，实为遗憾。好在 2012 年，南航 60 周年校庆之际，南航科学技术协会以“问天”为题，设立了“问天科学讲坛”，邀请两院院士来校讲学授课。我承诺每年来校一讲，至此有时一年两讲，从未间断。五年来，南航航空报国、用天于民的精神感动了我，南航青年学生和老师的求知热情感动了我，南航科学技术协会孙建红秘书长、刘双丽副秘书长、小刘、小顾等青年人的热忱服务感动了我。每年之行，有如回家之旅。

“问天科学讲坛”一晃五年，时逢 2016 年 100 期之际，南航没有举办纪念活动，没有大肆宣传，而是不忘初心，继续前行，从 100 期院士报告中摘其秋华，以“问天科学”为题，将航空、航天、信息等领域 7 位院士报告整理成文、汇编成集。一则让学校每年的新进学生能汲取营养，二则也为航空航天科学的社会传播拓展渠道，尽社会之责，此为益事。因此我欣然应南航科协孙建红教授之邀，为《问天科学》书序。

一个民族要有一群仰望天空的人，一个民族也要有脚踏实地的人。愿《问天科学》后续不断出版，能为中国航空航天事业发展宣传，为南航科协和南航人的工作鼓劲。

叶培建

2017 年元月于钟山

目 录

序

- 有人参与的深空探测突出科技问题研究 叶培建 (2)
- 信息化时代的摄影测量 张祖勋 (35)
- 空间红外天文观测技术 龚惠兴 (56)
- 等离子体冲击波流动控制与表面强化 李应红 (74)
- 创新创业 实现中国梦 赵淳生 (101)
- 航天技术与中国航天 戚发轫 (122)
- 当无人机遇上人工智能 樊邦奎 (142)
- 后记 (164)
- 问天科学讲坛及院士林 (167)



叶培建（1945.1.29—），江苏泰兴人，中国空间技术研究院研究员，中国科学院院士，瑞士科学博士学位，空间飞行器总体、信息处理专家。

曾任中国第一代传输型侦察卫星系列总设计师兼总指挥，为中国第一代长寿命传

输型对地观测卫星的研制做出了系统的、创造性的贡献；任太阳同步轨道平台首席专家；任“嫦娥一号”卫星总设计师兼总指挥，为首次绕月探测工程的成功研制做出了重大的贡献。现任中国空间技术研究院嫦娥系列各型号及火星探测器总指挥、总设计师顾问，空间科学与深空探测首席科学家；总装备部国防 973 和探索项目顾问专家组成员，清华大学等高校兼职教授。

荣获国家科学技术进步奖特等奖、一等奖等多项奖励和全国“五一”劳动奖章。2014 年作为团队带头人获得国家科学技术进步奖创新团队奖。担任第十一、十二届全国政协委员，第七届中国科学院主席团成员，第十三、十四届中国科学院技术科学部常委、副主任。

有人参与的深空探测 突出科技问题研究

叶培建院士

大家好!今天报告的内容是一个中国科学院技术科学部所做的学科战略发展课题,于今年(2016年)三月份结题,八月份该内容将整理出书。下面我对课题的主要内容对大家进行介绍。《有人参与的深空探测突出科技问题研究》报告包括四个方面问题:第一是有人参与的深空探测概述;第二是梳理目前存在的突出科技问题及解决策略;第三是优先发展的领域和重点学科;最后给出政策建议。

有人参与的深空探测概述

首先讲讲什么是有人参与的深空探测。深空探测是指航天器在飞行过程中,其所处的主引力场是地球以外的天体,或处

根据“问天科学讲坛”2016年5月音频材料整理。

于多体引力平衡点附近的空间探测活动。拿地球和月球来说，有两种定义：一类是月球以远才算深空；一类是地球与月球之间的引力平衡点，地月距离月球六万公里以外就算深空。有人参与的深空探测任务是指以月球、小行星、火星及其卫星为目标的有人类航天员直接参与的地外天体探测任务。航天器的飞行包括去、登陆、驻下来、应用、返回等过程，任务包括短期任务、中期任务和长期任务。目前我国有人和无人的探测任务属于不同的单位管理。以月球为代表，无人的月球探测是国家国防科技工业局在管理，而近地空间站由总装备部管理，所以大家呼吁今后我国要实现载人登月的话一定要将无人探月和载人航天结合起来。我的报告也不能看得很远，我们是定在未来 30 年内有哪些星球可能有人去，我们认为就中国的国力和发展前途来说，考虑的有人参与的深空探测任务可到达目标主要包括月球、小行星和火星三大类。

经常有人会问现在技术那么发达，很多任务可以无人探测，为什么还要考虑有人参与。我想有这么几个原因：①从人类自身角度看，人类探索未知世界的本能及好奇心决定了人类参与深空探测是必然的，没有好奇心就没有探索，人类就没有发展，从人类的历史发展来说，所有的社会发展都是由人类的好奇心引起的。②从人类社会发展的角度看，人类社会生产力的持续发展的前进性与地球资源、空间的有限性之间的矛盾，以及人类拓展生存空间的客观规律，决定了有人参与深空探测

是必然的，没有人参与就走不出去，人类不可能永远生活在地球上，总是要走出去的，开辟新的生存空间。③从人类特性角度看，许多靠人类完成的任务是机器无法实现的，人类区别于机器的生物特性和智慧特性决定了有人参与深空探测任务是必然的。④从国家与民族发展角度看，有人参与深空探测对国家未来抢占深空探测主动权和制高点有着不可估量的战略意义，就像今日的钓鱼岛，我们不去就不能彰显我们的存在，同时也是为了保护我们的太空权益；此外作为国家重大科技工程，有人参与的深空探测工程在引领科学研究和工程技术跨越式发展方面都具有重要的战略意义。根据以上四个原因，尽管我们现在的深空探测任务仍是以无人为主，但是一定要为将来的有人探测做好准备。

这就谈到了发展原则，“以有人参与为目的，先期开展多项无人深空探测任务，将无人与有人深空探测任务融合发展，逐步突破核心关键技术，带动科学技术的跨越式发展”，我们认为这也是人类探索宇宙、走向深空的基本发展原则。

存在的突出科技问题及解决策略

第二个大问题也是报告的核心，即存在哪些需要解决的突出科技问题。要实现有人参与的深空探测有四大方面的技术问题需要解决，即如何“去”“登”“回”？如何解决“驻”的问

题？如何应用？如何保障人员健康？我们现在有三类任务：空间站和神舟飞船是载人近地任务；“嫦娥一号”等是无人深空探测任务；有人参与的深空探测任务。这三类任务之间是有技术支撑和发展关系的。

“去、登、回”的问题

“去、登、回”问题就是保障人员精确可靠到达，着陆地外天体，并安全起飞返回地球。这其中又分成三个问题：天体到达问题、载人 EDL & A(进入、降落、着陆以及上升)的问题、再入返回及回收问题。

下面我们一一来看。首先是“去、登、回”的问题，第一件事情是有人参与的深空探测任务地外天体如何到达。“嫦娥三号”总重 3.8 吨，“阿波罗计划”当年的登月飞行器总重 46 吨，美国人要重返月球搞的“星座计划”登月飞行器总重达到 68 吨。要把这么重的东西送上去，我们看看需要多大的推力。美国“阿波罗计划”用到的“土星五号”火箭最大直径达 10 米，起飞重量 2946 吨，推力达到了 3472 吨，当时美国就有能力把 120 吨的东西送到近地轨道(LEO)。重返月球计划火箭直径达到 17.4 米，近地轨道的运载能力达到 188 吨，而我们今年要发射的“长征五号”火箭运载能力近地轨道只有 25 吨。所以

说第一个问题要提高重型运载火箭的能力，随之制造难度也会大大提高。第二个火箭发动机的推力要大幅提高，发动机的研制难度会大大增加。“长征五号”的芯一级是 2×50 吨，而美国的“战神五号”芯一级为 6×318.6 吨。第三问题是有人参与的深空探测任务飞行器系统规模大，必须提升深空探测飞行器轨控主发动机的总冲。我们可以看到“阿波罗”当时的比冲为 310 秒，“星座计划”是 445 秒，“普罗米修斯”达到了 1000 秒。第四个问题就是推进与能源系统共同发展，推动飞行器系统能力提升，各种电池包括核推进、核电源都要发展。那么这些问题如何解决，我们提出了以下解决措施：①要研制大推力液体火箭发动机技术；②大型箭体制造技术；③先进低温推进技术；④轻质低温绝热材料技术；⑤燃料电池技术；⑥核推进技术；⑦核电源技术。这七项措施加起来才能解决好重型运载火箭的问题。

到达轨道附近之后要进入、要下降、要着陆、要上升，这个过程我们会遇到哪些问题呢？“嫦娥三号”总重 3.8 吨，“星座计划”着陆器 45 吨，“嫦娥三号”着陆精度 5 千米，“星座计划”着陆器在短期任务时精度为 1 千米，而月球基地任务的精度要求为 100 米。那么像这样的 EDL&A 的问题带来哪些挑战？

(1) 载人行星表面着陆与起飞的精度要求比无人探测任务高不小于一个数量级，且载人着陆器规模大，安全起飞控制难度较高。

(2) 进行地外天体着陆过程，需要经历减速、接近、悬停、下降等过程，整个过程都要消耗燃料。载人飞行器质量变化大，减速发动机需要 10:1 的深度变推力能力，“嫦娥三号”上使用的是新研制的 7500 牛顿的发动机而且也是变推力的。

(3) 载人飞行器质量大，比无人探测器大几倍甚至十几倍，导致着陆时的动能大，要求着陆缓冲系统具备更高的能量吸收能力。

国家已经批准火星计划，为完成这次计划我们把所有的看家本领都用上了，降落伞技术、发动机技术、缓冲技术等为保证着陆器安全着陆火星。因此，为解决载人 EDL&A 的问题，应重点开展以下内容的研究。

(1) 高精度、高安全要求的 EDL&A 阶段 GNC(制导、导航及控制)技术。高精度、高安全的 GNC 技术重要的研究方向有：基于目标识别的自主导航技术、控制对象的高精度建模与特性参数实时辨别技术、多阶段快速切换制导与鲁棒控制技术。

(2) 深度变推力发动机技术。深度变推力发动机是地外天

体下降着陆发动机的唯一选择，其重要研究方向有：深度变推力发动机系统调节技术、深度节流高性能针栓喷注器技术、大范围高精度流量调节技术、可重复使用发动机技术。

(3) 大承载高效着陆缓冲吸能材料及结构技术。研究大承载高效着陆缓冲吸能材料以及着陆缓冲材料的作用机理、科学规律和材料制备。主要研究方向包括：TWIP(孪晶诱导塑性)钢凝固特性和凝固组织形成规律，塑性变形与组织结构的相关性，变形过程中的交互作用规律及其在材料力学的影响行为。

再谈谈再入返回及回收问题。

(1) 有人参与的深空探测正常和应急情况下，再入过程应考虑航天员执行长时间任务后体质下降，过载峰值和持续试验不应超过航天员耐受水平。在谈第四个问题时会谈及航天员会遇到哪些问题。

(2) 载人飞行器规模大，总加热量是无人飞行器的十几倍乃至几十倍，热防护难度更大。同时载人飞行器受限于总重的限制，对防热结构提出轻质的要求。今年刚庆祝完第一个航天日——4月24日，为什么？因为中国的第一颗卫星是1970年4月24日上天的。由于种种原因，日本人抢在我们前面，成为世界上第四个，中国是第五个，但是我可以这样说，除了1957年10月24日苏联的第一颗人造卫星和1958年1月31日美国的人造卫星比较成功之外，法国人和日本人虽抢在中国的前面，

法国人的卫星在天上没几天就“冻死”了，日本人的卫星没几天就“热死”了，都是热没有搞好，而我们的卫星设计寿命是20天，实际活了28天，热设计得很好，所以热很重要。印度的第一个月球探测器也是热死的。

(3) 以第二宇宙速度再入的航天飞船由于其速度高、质量大，若采用传统单降落伞需要面积达几百平方米或几千平方米，降落伞质量大，研制困难。有下面这些解决措施。

① 高速再入返回气动设计及试验技术。解决高速再入返回气动设计及试验技术重要研究方向有：再入飞行器气动外形设计技术、风洞试验验证技术。

② 新型轻质热防护材料及结构技术。针对高速再入过程的热防护问题，以超轻质、低热导率、耐高温的特种材料为研究对象，主要研究内容：碳纤维网络骨架体系设计和材料优化，纳米孔酚醛树脂复合短切碳纤维骨架材料的合成和机理，纤维增强纳米孔酚醛树脂复合组织结构和材料性能控制，纤维增强纳米孔酚醛树脂复合材料的烧蚀行为和机理。

③ 大承载群伞技术。对于大载荷的回收，一般采用群伞系统，群伞关键技术主要研究方向是群伞充气同步性技术。

④ 气囊设计与制造技术。缓冲气囊为高价值重型坠落物的软着陆或回收提供了一种有效的缓冲技术，主要研究方向：新型气囊织布材料以及气囊制造技术、排气控制技术、气囊着

陆后抗反弹和抗倾倒技术。

⑤ 可控翼伞技术。可控翼伞是根据飞机翼型产生升力的原理制作的一种降落伞，具备优良的滑翔能力、良好的稳定性和操纵性，并能像传统的降落伞一样方便地折叠包装，重要研究方向：开伞收口控制技术、可控翼伞的制导、导航与控制技术、雀降操纵力的计算方法。

“驻”的问题

去了就要驻得下，“驻”的问题需要解决保障人员在地外天体驻留居住期间方方面面的生活问题。所以第二个大问题就是保障人员在地外天体驻留任务时的居住生活问题。

行星表面基地结构及构建问题

(1) 居住结构和构建必须高可靠、少维护，且具备污染防治能力。

(2) 行星表面基地应具有可扩展性和可维护性。

(3) 行星基地要求确保基地人员的安全，保证居住人员的健康和舒适。

对这些问题的解决措施有：① 行星表面基地设计技术。行星表面基地构造技术主要的研究内容包括行星表面基地构型评估技术、行星表面基地构建规划技术、行星表面基地安全性设计技术、行星表面基地宜居性设计技术。② 行星表面基