

空间科学与应用

蔡景山 主编

王文烈 郝 亨 副主编

科学出版社

空间科学与应用

姜景山 主编

王文魁 都 亨 副主编

BBG68/03

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书从空间科学与应用的物理和技术原理出发,概述国内外空间科学与应用研究进展情况,特别是努力突出我国在这一前沿领域里的科学创新性工作。内容包括空间资源与应用、空间科学与应用研究及在航天技术发展中的作用。重点论述利用空间高度资源开展空间对地观测研究的原理、各种航天遥感应用技术、微重力材料科学与生物技术的基本原理及其在指导地面生产加工中的作用与空间环境探测等。

本书适合于有关航天技术及应用部门的管理人员、科技人员、相关专业大专院校的大学生、研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

空间科学与应用/姜景山主编. -北京:科学出版社,
2001

ISBN 7-03-009254-6

I. 空… II. 姜… III. 空间科学-研究-进展
IV. V1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 10037 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 7 月第 一 版	开本: 787×1092 1/16
2001 年 7 月第一次印刷	印张: 44 1/4
印数: 1—2200	字数: 1 110 700

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

《空间科学与应用》编著人员

顾 问 陶 平 龚惠兴

名誉主编 闵桂荣

主 编 姜景山

副 主 编 王文魁 都 亨

主要编著人员

(按章节先后为序)

卞国良	高满盈	禹秉熙
李英才	张肇先	荀毓龙
刘和光	周彩根	周建华
刘日平	梅曼彤	叶宗海
宛振富		

(其他参加编写人员名单附在相应各章之后)

文字整理 刘文利

序 言

人类社会是在不断的认识自然、改造自然的过程中发展起来的。自第一颗人造地球卫星发射成功，人类踏上了新的认识空间和利用空间的征途。在航天技术的强力支持下，空间科学及应用研究取得了举世瞩目的成就，在短短的 40 余年里，已经获得了丰厚的回报：通过空间天文、空间物理和空间环境的研究完全刷新了人们对宇宙空间的认识；通过空间特殊环境条件下的流体科学、材料科学、生命科学等基本自然规律的研究，为今后的空间产业奠定了基础；特别是通过卫星遥感、卫星通信、卫星导航定位等技术的应用，极大地提高了人们生活的品质，使全人类都感受到了空间科学及应用带来的新气息。

为了在高技术研究领域做出中华民族自己的贡献，我国于 1986 年启动了国家高技术研究发展计划（简称 863 计划）。在航天高技术领域，我们遵照江泽民主席“探索宇宙奥秘，造福人类社会”的精神致力于空间地球观测、空间环境探测、微重力科学、空间生命科学等空间科学与应用研究工作，10 余年来取得了丰硕的成果。《空间科学与应用》一书系统论述了相关领域学科的科学技术原理及国内外研究工作进展情况，同时涵盖了我国在空间科学与应用高技术研究的各项成果。它是航天领域 863 计划的结晶，凝聚了我国航天应用领域科学家 15 年的心血，记录了我国空间科学与应用研究前进的步伐。

认识是无止境的，《空间科学与应用》所反映的仅仅是前进道路上的一小步，为了祖国的发展，为了人类的明天，我们将继续努力奋斗，迎接新的挑战，攀登新的高峰。

国家高技术航天领域专家委员会

首席科学家： 闵桂荣 院士

2001 年 1 月

前 言

20 世纪人类最伟大的创举之一是开拓了“空间”这一人类活动的新领域，人们不仅摆脱了地球引力场的束缚，冲破了大气层的阻拦，翱翔于广阔的太空之间，徘徊于宁静的月宫之中。而且更为重要的和更具现实意义的是充分利用了它给人们带来的崭新的环境和无尽的资源，成为推动人类社会发展的强大动力。今天的“空间”早已不是遥远的、虚无缥缈的“仙境”，而是渗透到人类生活的方方面面，给日常生活带来了深刻变化的、实实在在的“空间”。在现代生活中，衣、食、住、行、工作、生活、娱乐无不透射出空间时代的特色。在急速发展的认识、开发和利用空间的过程中，与之相适应的“空间科学及应用”也作为一门新兴的交叉学科应运而生、茁壮成长，再一次证明了社会的需要是科学发展强大动力这一颠扑不破的真理。21 世纪必将迎来开发、利用空间的新高潮，空间科学及应用这门学科也将进一步得到不断的充实与提高。

综观国际上航天技术的发展，空间科学及应用越来越占有重要的地位，航天应用成果转化成为人们日常生活所必须的产品，转化成产业化，转化成为国家安全服务的技术体系等。中国作为一个发展中的大国，发展航天重在应用及技术进步。自 863 计划实施 15 年以来，航天领域研究中空间应用始终占有最重要的位置。15 年来，根据 863 航天领域研究计划开展了包括空间对地观测、微重力科学试验、空间生命研究、空间环境探测、空间物理、空间天文等科学实验及新技术实验诸多方面的百余项研究，为我国空间应用研究在 21 世纪上一个新的台阶打下了坚实的基础。在这些领域的研究过程中，上述各方面都取得了丰硕的成果，缩短了与先进航天国家的差距，在有些领域已达到国际先进水平，而在一些领域，则完成了具有中国自己知识产权的研究成果，初步形成了有基础理论、有技术实现、有应用体系的一整套空间科学及应用研究体系。在总结和集成这些成果时，把这些问题提高到一定的理论和实践的高度上，写一部能够综合、系统地反映这些成果的书具有重要的意义。《空间科学与应用》一书的宗旨就在于总结 863 计划航天领域的应用成果，一方面达到提高的目的，而更重要的是为在 21 世纪深入开展空间科学及应用研究提供可参考的文献，起到承上启下的作用。

《空间科学与应用》一书的特点是：①以过去 15 年 863 航天领域应用研究成果为基础；②与同类的书不同，大量的素材来自中国自己的研究工作；③空间应用面很广，本书不求全，而有重点地选择素材，主要以已成熟的资料为内容。根据这些特点，有些空间科学及应用领域并未全部包含在书中。我们相信，这样的一部书是有广泛的需求的，而且，随着航天技术的发展，空间科学及应用这门学科的发展将会更加完善和更加成熟。

本书的主要对象是有关航天技术及应用部门的管理人员；从事空间科学及应用研究的科技人员；相关专业和大专院校教职工及高年级大学生、研究生；其他关心和想了解空间科学及应用的社会各阶层人士。

因为，一方面时间有限，另一方面涉及的学科很广，参加编著的人员多，书中难免有不协调的地方，甚至有不准确或错误的地方，诚恳希望广大读者提出意见以指正。

主编

2001.5

致 谢

《空间科学与应用》一书的出版是863计划航天领域首席科学家闵桂荣院士建议的。他作为首席科学家不但领导了空间科学及应用研究的全过程，而且在本届专家委员会工作快要届满时，非常及时地提出要写一部总结过去、推动未来工作的书，以利于空间科学及应用研究能持续发展。在著书的过程中还对章节的设置等方面提出了宝贵的意见，没有他的建议和支持不可能写出这部书，特此，向闵首席表示衷心的感谢。同时，我们十分感谢总装备部新技术局陶平局长、专家委员会委员龚惠兴院士、863计划航天领域办公室主任张振民先生和刘志伟先生。他们十分关心本书的编写工作，并对本书的内容提出许多指导性意见，丰富了本书的内容，没有他们的支持，我们难以完成这部书的出版工作。

此外，在完成书稿过程中我们得到作者所在单位的大力支持，由于他们的支持，作者们能够在很短的时间内完成了写作并保证了质量。特此，向各单位领导及有关工作人员表示深切的谢意。

目 录

第一篇 绪 论

第一章 空间的资源·····	(3)
第一节 高度资源·····	(3)
第二节 微重力资源·····	(4)
第三节 超高真空资源·····	(5)
第四节 能量和物质资源·····	(5)
第二章 空间资源的利用——空间科学及应用研究范围·····	(8)
第一节 观测地球·····	(8)
第二节 认识宇宙·····	(8)
第三节 微重力环境的利用·····	(9)
第四节 空间生命科学研究及其应用·····	(10)
第三章 空间科学及应用研究的特点·····	(12)
第一节 知识创新体系中最活跃的一个领域·····	(12)
第二节 推动经济建设发展的强大动力·····	(12)
第三节 实现国防现代化所必需的基础·····	(12)

第二篇 空间对地观测

第一章 空间对地观测基本原理·····	(17)
第一节 空间对地观测技术概述·····	(17)
第二节 电磁辐射及电磁波谱·····	(20)
第三节 遥感中大气的作用和辐射传递·····	(25)
第四节 空间对地观测的特点及发展·····	(31)
第二章 光学遥感成像·····	(38)
第一节 光学遥感成像基本原理·····	(38)
第二节 光学遥感成像技术的发展概况·····	(57)
第三节 高分辨率成像光谱仪·····	(86)
第四节 立体测绘光学成像·····	(96)
第五节 高分辨率光学成像遥感技术·····	(109)
第六节 光学遥感成像新技术·····	(115)
第七节 大气探测光学遥感技术·····	(123)
第三章 红外遥感探测·····	(136)
第一节 基本原理和应用·····	(136)
第二节 高分辨率红外成像·····	(151)

第三节 中分辨率成像光谱技术	(156)
第四节 高光谱分辨率红外分光技术	(162)
第五节 偏振测量	(170)
第六节 空间红外探测器与致冷	(175)
第四章 激光遥感	(219)
第一节 激光散射雷达	(220)
第二节 激光差分吸收雷达	(226)
第三节 激光荧光雷达	(228)
第四节 激光 Doppler 测速雷达原理	(231)
第五节 激光测距雷达	(233)
第五章 微波遥感	(237)
第一节 微波遥感的基本理论	(244)
第二节 微波辐射计	(250)
第三节 雷达散射计	(264)
第四节 雷达高度计	(279)
第五节 微波遥感技术的新发展	(300)
第六节 微波遥感的应用	(318)
第六章 电子侦察	(329)
第一节 电子侦察卫星发展现状	(330)
第二节 电子侦察基本原理	(337)
第三节 电子侦察定位技术	(340)
第四节 电子侦察接收机	(354)
第五节 电子侦察数据处理	(371)
第三篇 卫星导航定位	
第一章 概述	(381)
第二章 GPS 全球卫星导航定位系统	(384)
第一节 系统组成及工作原理	(384)
第二节 用户接收机	(385)
第三节 GPS 应用	(388)
第三章 GLONASS 全球卫星导航系统	(394)
第一节 系统组成	(394)
第二节 信号结构	(396)
第四章 卫星导航增强系统与广域差分系统	(400)
第一节 广域差分系统	(400)
第二节 卫星导航增强技术	(401)
第三节 国内外典型增强系统	(401)
第四节 卫星导航增强系统基本方案	(404)
第五节 增强系统能力与基本指标	(407)
第五章 地球同步卫星无线电测定系统	(408)

第一节 系统组成及基本工作原理	(408)
第二节 用户定位基本方法与定位精度	(409)
第三节 空间系统特点	(413)
第四节 系统应用	(414)
第六章 卫星导航系统现状与发展	(416)
第一节 GPS 系统关闭 SA	(416)
第二节 GPS 发展趋势	(416)
第三节 区域卫星导航定位系统	(419)
第四篇 微重力科学	
第一章 微重力环境资源及利用	(431)
第一节 流体过程的重力效应	(432)
第二节 空间微重力环境	(434)
第三节 微重力研究的产业化前景	(436)
第二章 微重力流体科学	(444)
第一节 重力和表面张力对流体平衡的影响	(445)
第二节 扩散及质量输运	(448)
第三节 对流	(450)
第四节 多相流过程、分散体悬浮系统	(453)
第五节 临界现象	(455)
第六节 燃烧	(456)
第三章 微重力材料科学	(460)
第一节 实验的基本方法与技术	(460)
第二节 熔体及溶液晶体生长	(472)
第三节 气相生长	(484)
第四节 合金凝固	(511)
第五篇 空间生命	
第一章 导言	(533)
第二章 空间微重力环境(模拟环境)对生物系统的效应	(535)
第一节 对植物系统的效应	(536)
第二节 对动物系统的效应	(543)
第三章 空间辐射环境对生物系统的效应	(551)
第一节 空间的辐射环境	(551)
第二节 空间放射生物学研究的结果	(552)
第三节 地面模拟试验——加速器重离子辐射的生物学效应	(556)
第四节 载人航天飞行中宇航员所受辐射的防护	(561)
第四章 空间特殊环境的应用	(563)
第一节 空间诱变育种及其主要成果	(563)
第二节 微重力生物技术	(566)
第五章 受控生态生命支持系统	(582)

第一节 基本概念和基本功能	(583)
第二节 构成与工作原理	(586)
第三节 研究的主要内容和方法	(588)
第四节 国内外的研究进展	(590)
第六篇 空间环境科学	
第一章 空间环境科学概述	(599)
第一节 空间环境科学的主要研究内容	(599)
第二节 意义	(602)
第三节 其他学科的关系	(604)
第四节 发展历程	(605)
第五节 我国的空间环境研究	(606)
第二章 空间环境探测	(608)
第一节 主要探测参数和基本原理	(611)
第二节 火箭探测	(623)
第三节 应用卫星上的搭载探测	(624)
第四节 空间探测卫星	(629)
第三章 空间环境分布及其模式	(638)
第一节 高层大气模式	(640)
第二节 空间等离子体模式	(644)
第三节 高能带电粒子模式	(646)
第四节 空间磁场模式	(652)
第五节 空间碎片和流星体模式	(655)
第六节 模式集成	(658)
第四章 空间环境效应研究	(660)
第一节 高层大气与航天器轨道和表面剥蚀效应	(662)
第二节 高能带电粒子与航天器辐射效应	(663)
第三节 空间等离子体与航天器充放电效应	(670)
第四节 空间碎片和微流星体与航天器机械损伤效应	(671)
第五章 空间环境预报	(673)
第一节 预报中心	(676)
第二节 预报方法与预报模式研究	(683)
第三节 预报的评估	(692)
致谢	(697)

A black and white photograph of a traditional Chinese courtyard. In the foreground, there is a large, dark, rectangular object, possibly a table or a large box, with a lighter-colored, possibly tiled, surface. The background shows a traditional Chinese building with a tiled roof and a courtyard area. The overall scene is somewhat dim and has a vintage feel.

第一篇 绪 论

第一章 空间的资源

第一节 高度资源

1957年10月4日,苏联成功地发射了第一颗人造地球卫星,开创了“空间”时代。实现轨道飞行要冲出大气层,脱离地球引力的作用,到达一定的高度才能实现环地球的轨道飞行。也就是说,在“空间”时代,形成了一个高度特殊的空间资源。因此,高度资源是空间资源的首要的、也是基本的资源。正是因为航天平台处在不同的轨道高度上,才产生了微重力资源、高真空资源、特殊的能量和物质资源等人类可利用的丰富的空间资源。

人类进入空间的初期,只是利用了近地的环地球轨道,完成较单一的使命。自第一颗人造地球卫星上天至今近50年,航天技术突飞猛进,推动了十分广阔的应用和研究领域。而为实现这些不同的使命发展了多种多样的飞行轨道,多种多样的飞行平台。以应用卫星为例,大致可分为三种高度的轨道:地球同步轨道(静止轨道)、中轨道和低轨道;以轨道倾角而论可有极地轨道、赤道轨道、斜倾角轨道。低轨道的高度大约在150km到几百km,中轨道的高度在几百到几千km,高轨道的高度为上万km。为了对高度资源有较具体的了解,介绍几种常用的轨道及其含义(陈述彭):①地球同步轨道(又称对地静止轨道)(earth synchronous orbit)是指,在赤道上空以圆形轨道绕地球旋转,其运行周期等于地球自转周期(1恒星日=23h56min4s)的轨道。这种轨道只有一条,其高度大约为36000km。利用这种高度轨道,可以对地球上的一个点或区进行连续观察,用于通讯及气象等业务上;②极轨道(polar orbit)是指绕地球或其他天体的南北极飞行,轨道倾角为 90° 或接近 90° 的轨道。采用这种轨道的卫星能测量包括南北极在内的全部地球表面,因此多数气象卫星采用极轨道,还适用于地球资源观测、照相侦察、电子侦察等卫星。通常采用中低高度;③太阳同步轨道(sun-synchronous orbit)是指卫星轨道的公转方向及其周期与地球公转方向及周期相等的轨道。采用这种轨道,在圆轨道情况下卫星对同纬度地面点就能在大体相同的地方平均太阳时通过相同方向以大致相同的太阳高度角观测地面。遥感卫星利用这种轨道对遥感影像进行时相分析,同时从卫星设计角度来看,这种轨道能保持太阳光与轨道面构成的角度一定,能有效地使用太阳能电池帆板;④回归轨道(tropical orbit)是指卫星一天绕地球若干圈,并不回到原来的轨道,每天逐步接近, n 天之后回到原来轨迹的轨道,即称为回归日数为 n 天的“回归轨道”。这种轨道的特点是能对地球表面特定地区进行重复观测,因此,长期观测地球的卫星,一般都采用这种轨道。如美国的“大鸟”和苏联的“宇宙-652”照相侦察卫星、就是分别采用每天16圈、回归天数5天和每天16圈、回归天数12天的回归轨道。而美国陆地卫星则采用每天14圈、回归天数为18天的轨道。当然,还根据需要选择准同步轨道、准回归轨道、准极地太阳同步轨道、太阳同步回归轨道、太阳同步准回归轨道等。

在利用高度的资源时,要了解不同高度上的各种参量及特点。这一点特别是在空间环境

的探测和空间物理研究中更为重要。如欧空局发射的 Cluster 空间探测卫星和 SOHO 卫星簇,就采用了特殊空间高度。SOHO 卫星运行在 200 个地球半径(即为 150 万 km)处的拉格朗日点上。在未来,发展空间太阳能发电技术、建立人造月亮、建立天基综合信息网、建立空间的虚拟平台等技术时,对高度资源的正确认识和巧妙应用是十分重要的。

第二节 微重力资源

物体因地心引力的作用,而自由降落,这早已是众所周知的事实,利用自由落体过程产生微重力环境是获得微重力条件最简便的方法。因此,在人类进入太空之前,科学家便已开始利用落塔(井)、落管开展微重力科学试验。但是,由于受设备条件的限制,一般最多只能维持几秒的微重力时间。更长一些的微重力试验手段包括飞机的抛物线飞行,微重力时间为 20 秒左右;火箭飞行试验,微重力时间为数分至 20 分等。但以上所有实验均只能提供短时微重力时间。

长时微重力实验只有靠围绕地球进行轨道飞行,重力与离心力相平衡而产生微重力环境。过去的微重力实验曾先后在飞船、航天飞机、返地卫星、自由平台等设备上进行,而真正意义上的半永久性空间微重力实验环境是空间站,如和平号空间站等。正在建设中的国际空间站将是人类开展微重力研究的最主要的和最好的试验平台,可以达到的微重力水平约为 $10^{-4} \sim 10^{-6}g$,即为地球重力的万分之一至百万分之一。

但是,人们对微重力环境有个长期认识的过程。最初认为物体在空间达到了失重状态,因此,曾把空间环境看做是无重力或零重力环境。随着研究工作的深入和计量仪器的发展,人们逐步认识到所谓零重力或无重力条件是无法实现的,飞行器姿态的调整,仪器设备的运行,任何微细机械扰动都将造成重力加速度的改变,如何控制和改善微重力环境是微重力科学研究的重要内容。人的活动对微重力环境产生比较大的干扰作用,因而无人飞行器的微重力水平较有人飞行器要高一到二个数量级。

人类长期生活在重力环境中,如同人生活在常规大气压、正常变化的温度环境一样,离开地球环境很难设想人类可以正常生活。但是追求极限是人类永恒的科学目标,所以人类在科学活动中一直努力最大限度地突破现有的环境参数,达到一个极限环境的世界。因此,近代出现了所谓极端条件科学,研究极低温、超高压、强磁场以及强激光等极端条件物质的行为。长时微重力环境只有在空间才能达到,从环境条件的角度来看,微重力科学也是一种极端条件科学。

物质在极端条件下有许多异常的改变,其结构、形态与行为往往都不同于常规条件,这样的例子数不胜数。极端条件下物质的这些改变,多数是由原子间相互作用、电子态等的变化所引起的。重力与电磁力、机械力等不同,是个比较弱的作用力,它不能从根本上改变原子和电子的能态,因此,微重力科学所研究的内容、手段与其他极端环境科学往往有很大的不同。人类利用空间微重力环境资源主要是指由于空间微重力条件下重力引起流体中的浮力对流、静水压和沉降现象大为减弱。所以可以利用空间进行晶体生长、合金凝固、生物分离、三维组织培养等研究,以加深对材料科学、生物科学和流体科学相关规律的认识和理解,发现可适用于指导地面材料、生物加工过程的新工艺、新方法,为形成新的高技术产业提供依据。此外,这些研究还为未来人类征服宇宙在太空进行生产活动,进行技术储备。

开展空间微重力科学研究,离不开人的参与及操作,因而需要发展载人航天高技术。当然,发展载人航天还有其他更重要的理由。但从空间资源利用角度,微重力科学与生命科学研究,是载人航天高技术的一个重要用户,利用载人飞船、航天飞机和空间站,人类可以在科学领域进行广泛的探索。空间实验研究为深入开展微重力材料科学、微重力生物技术和微重力流体科学的发展提供了有利条件。目前正在建造的国际空间站备有美国、欧洲和俄罗斯等实验舱,可以进行多种科学实验。它所提供的重量、功耗及其他条件,基本满足了开展微重力科学研究的需要。由于实验平台采用了减震等措施,减少了重力跳动的干扰,舱内能够达到较好的微重力水平。因此,科学的需求对载人航天的发展起了一定的推动作用。人的参与,使载人航天有许多技术问题需要解决。首先需要降低发射费用,以解决各种补给问题,为此,要进一步提高燃料效率,增加火箭推力等。压力舱的设计需要不断改进,特别是随着载人航天的发展,为最大限度地利用空间,压力舱的超轻量化问题逐步被提到议事日程,为此,需要研究新的展开机构。宇航员的出舱活动是不可避免的,为合理地进行舱外活动而面临的技术问题需要解决。此外,还有抗高能粒子辐射,再生生保等许多技术有待发展与革新。

第三节 超高真空资源

众所周知,随着高度的上升,空气变得越来越稀薄,在宇宙飞船、航天飞机和空间站飞行的高度可以达到 10^{-5} Pa 的真空环境。真空技术在许多科学技术领域都有重要的应用价值,在地面上产生真空受真空室容积、真空泵抽速的限制,因此,在大容积中产生超高真空在技术上是十分困难的事。空间的真空环境可以是无限的,但是,在空间真空环境利用上,它并不像微重力等资源环境那样,具有不可取代性。因为长时微重力环境只能在空间条件下产生,而空间超高真空资源环境一般在地面上可以模拟产生。到目前为止,在材料与生物技术领域如何利用超高真空资源的研究工作尚不多见。美国 NASA 率先开展了空间半导体外延研究,利用专用的平台生长优质半导体外延晶体及器件,期望会产生较大的经济效益。

第四节 能量和物质资源

地球只是浩瀚宇宙中一颗小小的、普通的星球,地球上的能量和物质资源是十分有限的,随着人类社会的发展,在几千年来人类掠夺式的开采下已经亮起了红灯。人们一旦具备了进入空间的能力,必然试图从空间、从邻近的星球去寻找能量和物质资源。

太阳为我们提供了光和热,太阳能对于短暂的人类历史而言可以说是取之不尽、用之不竭的,而且是没有污染的能源。可是,太阳发出的巨大能量只有极小极小的一部分照在地球上,被人们所利用,绝大部分能量消失在茫茫的宇宙之中,如何开发和利用这一宝贵的能源,即成为空间科学及应用的研究课题之一。最简单的方式是“人造月亮”,在空间安置一个硕大的反射镜,将太阳光反射到地面,提供夜间的照明,就可以节省大量用于照明的能源。用途更为广泛的是“空间电站”,在空间直接将太阳能转换为电能,传输到地面上。和地面上的太阳能发电相比,空间的太阳能发电的特点是:没有昼夜,可连续发电。在地球同步轨道上设置的太阳能电站可以始终保持待光照条件下,可以连续不断地提供电能,面在地

面上的太阳能电站平均每天能提供电能的时间不超过 12h。在空间没有大气的吸收,发电效率高。没有雨雪云层的干扰,可以全天候发电。空间还是十分洁净的环境,不需要擦拭和维护。但是最为困难的是如何把电能传输回来,讨论最多的方式是用无线电波传输,考虑到空间存在的等离子体和电离层,大气层中的水汽等因素对无线电波传播的影响,以及电能的转换效率,微波是比较可用的波长,但是聚集巨大能量的微波束将具有极大的破坏力,如何安全地将电能传输到地面是实现的关键。

月球是距离地球最近的天体,是地球以外惟一的已经留下人类足迹的星球,也是最有可能开发其资源的星球。在“重返月球”的呼声中开始的第二次月球探测的高潮,瞄准的目标就是在月球建立永久性的基地,开发月球的资源。

1. 月球可作为对地监测和星空探测与研究的平台

月球表面没有大气层的吸收、反射、散射与湍流等的干扰,高真空、无磁场的环境特征,加之月球地质构造稳定,是建造高精度的望远镜,进行全波段观测的理想之地。月球上的天文观测站不仅可以对太阳系、银河系直至宇宙边缘的天体和星际空间进行观测研究,是进行天体物理学、重力波物理学、中微子物理学观测和实验最有吸引力的场所;同时可以对地面的气候变化、生态演化、环境污染、各种自然灾害的影响和人类的各种经济、军事与社会活动进行监测、预报、评估与研究,有重大的军事、经济和科学意义。

2. 月球可成为深空探测的前哨站与转运站,是人类航天活动的基地

月球是地球人类惟一的、庞大而稳固的“天然空间站”,月球表面的重力只有地球表面重力的六分之一,从月球起飞没有大气的阻挡,所需要的能量要比从地球起飞少得多,是人类征服太阳系、开展深空探测理想的前哨阵地和转运站。月球将愈来愈显示其在空间观测和探索中的不可替代的重大作用。

3. 月球能源的开发与利用

月球表面能获得极其丰富而稳定的太阳能。月球没有大气,太阳辐射能够无阻挡地到达月球表面,加之月球的自转与公转周期相等,白天和黑夜都相当于 14.5 个地球日,在月面建立全球性并联式的太阳能发电厂,能长期获得丰富而稳定的太阳能。月球太阳能电站除供应月球基地的能源外,通过微波传输等方式还有可能为地球提供新的能源。

月球表面还储存着极其丰富的核聚变燃料——氦-3,而它在地球上的含量微乎其微,理论储量仅约 15t。在月球表面上覆盖着一层岩石碎屑、粉末、角砾、撞击熔融玻璃组成的结构松散的混合物——月壤。月海区月壤的厚度通常为 5~10m,月球高地由于曝露的时间较长,堆积物的厚度可达 10~20m。月壤物质长期受到太阳风、太阳质子和银河宇宙线的强烈辐射,使月壤中含有大量稀有气体,月壤中氦-3 的含量为 $(0.4 \sim 15) \times 10^{-9}$,80% 以上的氦-3 富集在粒度小于 $50\mu\text{m}$ 的颗粒,在月球表面上覆盖着一层粒表面,含量随深度的分布较稳定。初步估算,月壤中氦-3 的资源总量为 $100 \sim 500 \times 10^4\text{t}$ 。由子氘-氦 ($\text{D}-^3\text{He}$) 聚变反应释放出中子,穿透能力低,因此反应时所需要的防护设施、材料和环保条件较氘-氚 ($\text{D}-\text{T}$) 反应简便与廉价得多,因为它释放的是中子,穿透能力极强,使防护工作极为困难。建设一个 500MW 的氘-氦 ($\text{D}-^3\text{He}$) 核聚变发电站,每年消耗氦-3 仅 50kg。1987 年美国的发电总量若用氘-氦 ($\text{D}-^3\text{He}$) 核聚变反应发电,每年消耗 25t 的氦-3;1992 我国每年耗电约相当于 8t 氦-3。因此,开发利用月壤中的氦-3,将是人类可长期使用的、清洁、安全和高效率的核聚变发电的燃料。