



СВОЙСТВА ЛУННОГО ГРУНТА И ПРОБЛЕМЫ ЕГО РАЗРАБОТКИ

月壤特性 与开发技术

俄]B.B.科万科 H.Г.卢斯秋克 A.A.科米斯萨尔丘克 著
曹喜滨 王立杰 译
关英姿 审



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013031124

P184
05

月壤特性与开发技术

[俄] B. B. 科万科 H. Г. 卢斯秋克 著
A. A. 科米斯萨尔丘克
曹喜滨 王立杰 译
关英姿 审



国防工业出版社

· 北京 ·

P184
05



北航

C1639050

著作权合同登记 图字:军-2012-109 号

图书在版编目(CIP)数据

月壤特性与开发技术/(俄罗斯)科万科,(俄罗斯)卢斯秋科,(俄罗斯)科米斯萨尔丘克著;曹喜滨,王立杰译. —北京:国防工业出版社,2013. 1
ISBN 978-7-118-08542-6

I. ①月... II. ①科... ②卢... ③科... ④曹... ⑤王... III. ①月壤-特性-研究 ②月壤-开发-研究 IV. ①P184.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 004015 号

(根据版权贸易合同著录原书版权声明等项目)

Translation from the Russian language edition.

Copyright 1998 EBPOCБIT press.

All Right Reserved.

本书简体中文版由 EBPOCБIT 出版社独家授予国防工业出版社出版发行。
版权所有,侵权必究。

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 5 字数 110 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

月球是自主探测器研究的第一个天体,同时,也是宇宙飞船登陆的第一个天体。

不久以前,全世界开始知道 30 多年前 C. П. 科罗廖夫领导的秘密登月计划的细节。这一宏伟计划被命名为 N1 - L3,遗憾的是,该计划因一系列原因未能完成。但是,至今很少有人知道,该计划中的一个重要环节——登月舱的起落级火箭,是由乌克兰第聂伯彼得罗夫斯克市 M. K. 扬格利“南方”设计局设计,南方机械制造厂制造的。他们成功完成了这项艰巨任务,起落级火箭很快就被制造完成并进行了全面试验,包括地面试验和太空试验。该火箭采用高可靠性的液体火箭发动机装置,该装置由两个独立的发动机组成,当其中一个发生故障时,另一个将进入工作状态,这就保证了登陆月球和离开月球返回地球时宇航员的安全。起落级火箭,又被称为部件 E,它完全是为 N1 - L3 的运载系统准备的。该计划所面临的一个难题是:在什么样的月壤上着陆——是坚硬的、松软的还是流沙般的?但是,当时没有任何关于这方面的资料。在缺少必要信息的情况下,针对何种特性的月壤设计着陆器呢?——面对专家的疑问,C. П. 科罗廖夫凭着勇气和直觉提出了一个著名的方案。他在方案中写道:“应当考虑着陆到相当坚硬的浮石月壤上”,随后他在证明单上签了字。这就意味着,他对方案的一切可能后果承担全部责任。事实证明,他的方案是正确的!

Стрелка
наказу ЛК Вадуг
раскрывать на
досматривать
эту часть не изв.

Верхний слой ≈ 0 ч/к
при $h \approx 1$ м

Базовый слой 7.5
и транзитный слой 7.5
 ≈ 0 ч/к

289х64 Вадуг

N1 - L3 登月计划中, 由 С. П. 科罗廖夫提出的
关于登月舱着陆月壤的原始方案的副本

· 如今, 人们获得了关于月面物理条件和月壤特性的大量资料, 这些资料在探月航天器的设计中得到了实际应用。现在可以说, 在研究月壤和人车月面移动方面已经获得了一些经验。

在此基础上, 研究月球及其表面的第一阶段已完成。接下来, 在不久的将来, 期待利用自主巡视探测器和集科学、应用于一体的载人系统来研究和开发月球。建造载人系统需要开创新的建筑技术, 该技术能在对于人类来说特殊的物理条件下实施。

作者引用一些资料说明月球开发和应用的合理性和效益, 列举了关于月壤起源和结构的一些假说, 以及外部环境对月壤

结构和成分的影响,并从月壤和建筑机械工作机构之间相互作用的角度,判断月壤的基本物理力学特性。最后,整理了国内外大量的月壤研究资料,详细讲述了月壤的某些区域,作者认为这些区域是未来建筑施工作业的潜在场地,这将使读者对本书更加感兴趣。

“南方”总设计局总设计师和总经理,院士



C. H. 孔纽霍夫

献给编写此书的发起人、该领域工作的鼓励者

——涅切热连科·鲍里斯·瓦西利耶维奇

目 录

绪论	3
第一章 月球研究和开发的合理性与效益	6
第二章 月壤的外部环境特征及基本物理力学特性	17
2.1 月壤起源和结构的假说	17
2.2 月球环境特征及其对洛格里特表层的 结构和成分的影响	18
2.3 月壤基本物理力学特性	23
第三章 月壤特性的研究成果	35
3.1 风暴洋地区	35
3.1.1 “月球”9号自主月球探测器完成的研究	35
3.1.2 “勘察者”1号自主月球探测器完成的研究	36
3.1.3 “月球”13号自主月球探测器完成的研究	41
3.1.4 “勘察者”3号自主月球探测器完成的研究	46
3.1.5 “阿波罗”12号宇宙飞船完成的研究	54
3.2 静海	61
3.2.1 “勘察者”5号自主月球探测器完成的研究	61
3.2.2 “阿波罗”11号宇航员完成的研究	65
3.3 中心湾	74
3.3.1 “勘察者”6号自主月球探测器完成的研究	74
3.4 静撞击坑附近地区	79
3.4.1 “勘察者”7号自主月球探测器完成的研究	79

3.5 丰富海	83
3.5.1 “月球”16号自主月球探测器完成的研究	83
3.6 雨海	106
3.6.1 “月球车”1号巡视探测器完成的研究	106
3.6.2 “阿波罗”15号宇航员完成的研究	115
3.7 弗拉—毛罗撞击坑	118
3.7.1 “阿波罗”14号宇航员完成的研究	118
3.8 丰富海和危海间的大陆区域	122
3.8.1 “月球”20号自主月球探测器完成的研究	122
3.9 笛卡儿撞击坑	126
3.9.1 “阿波罗”16号宇宙飞船宇航员完成的 研究	126
3.10 澄海的东南端和东端	128
3.10.1 “阿波罗”17号宇宙飞船宇航员完成的 研究	128
3.10.2 “月球车”2号巡视探测器完成的研究	129
结论	132
术语解释	136
参考文献	139
后记	147



月球正面图¹

1 译者转自 http://www.home-edu.ru/user/I/00000895/7_9/moon_2.htm

绪 论

航天技术的不断发展已促使人们开始思索一系列以月球为对象的研究和开发问题。

1966年,首批自主月球探测器飞向月球,随后,1969年,首批宇航员登陆月球。

从那时起,我们星球的世界政治版图不断变迁。尽管苏联解体了,但她曾在航天史上留下许多光辉的一页,从第一次发射地球人造卫星,到第一次实现载人航天,再到第一次宇航员太空行走,最后,第一次发射自主空间探测器飞往月球、金星、火星。随着苏联的解体,苏联和美国两个超级大国在空间军备竞赛和宇宙开发(包括月球的研究和开发)方面的对抗也就结束了。

起初,月球计划的开支很大,一个国家是难以承担的,甚至像美国这样的国家也无能为力。例如,“阿波罗”计划中一个人在月球停留一昼夜大约需要花费2000万美元^[36]。但是,按照美国永久月球基地计划AAP-ALSS,这个数字已经能降低到100万美元,而且有进一步降低的趋势。

类似的情况发生在火箭航天技术中^[5,48]。比如,“土星”-5运载火箭可以把140t的载荷发射到轨道上,成本为1000美元/千克。而且,正如美国科学家认为的那样,由于可重复使用航天器的出现,这一成本有望降低到660美元/千克,今后会降低到100美元/千克甚至更低。仅仅在1960年到1975年间,将有效载荷从地球运往月球的可能成本就降低到了原来的千分之一。

上述资料使我们有理由相信,在不久的将来,借助自主科学探测器和载人飞船对月球的研究、开发,不仅会恢复,而且将会不断拓展和深入,这将是 21 世纪头十年的重大课题。因此,美国国家航空航天局(NASA)的一批专家开始拟定新的月球计划,该计划预计在 2004 年实现,有关这方面的报道使人们产生了极大的兴趣。该计划将分几个阶段实现:首先将发射运载火箭、运送设备,然后将宇航员送往月球。

这一切提醒我们准备实施建筑工程——不排除建造月球站或者其他月球研究平台。

建造月球研究综合系统和月球航天港,以及今后研究和开发月球原料资源,需要建立新的、有效的、高生产率的月球工程,这些工程能够在特殊的物理环境下工作。

为了成功解决这个问题,必须要具体了解月壤的物理力学特性。通过发射“月球”系列、“勘察者”系列自主空间站,“月球车”1 号、“月球车”2 号巡视探测器和“阿波罗”号宇宙飞船,使得月壤特性的直接研究成为可能。部分研究成果已经在探月飞行器以及发射到月球上的各种装置的工作机构设计中得到了应用。但是,由于这些研究成果基本上发表在专业性很强的科学和科普文献上,苏联解体后,广大读者更是很少涉猎这些文献。

本书作者整理了大量国内外研究者获得的月球某些区域月壤的资料,根据已知的月壤物理力学特性,提出这些区域是未来建筑施工的潜在场地。月壤物理力学特性与基础科学成果、研究环境的新物理效果、方法,为设计用于月球开发的新机器、工作机构和系统奠定了基础。

通过分析在宇宙(包括月球)中施工的可行性和合理性,作者得出结论:开创月球土壤学的同时,会产生新的科学领域——月球机械制造,其发展的一个分支是月球建筑机械制造。

在编写本书的过程中,作者查阅了国内外大量的文献资料。

该书适用于从事宇宙开发研究的专家、工科大学的本科生和研究生,以及对宇宙自然科学(也包括月球的研究、开发)感兴趣的读者。

感谢科学院院士 C. H. 孔纽霍夫对书中阐述的一系列问题的讨论。感谢乌克兰国立水经济科学院水文学和水文地质学教研室主任、地质学博士 M. Д. 布兹教授和利沃夫国立工业大学大地测量数学处理理论教研室教授、数学物理学博士 A. H. 马尔琴科对本书的审阅。

第一章 月球研究和开发的 合理性与效益

合理使用和保护地球自然资源,研究邻近或者遥远的太空,必须观察它们的变化过程,并进行全球宇宙监测。同时,航天科技的蓬勃发展和太空探索的进步,为航天技术包括航天自动化设备和科研人员的发展提供了前提条件。除了地球自然界之外,我们的宇宙邻居——月球对我们的星球也产生了特殊作用。

根据国内外一些研究学者的意见,在不久的将来,具有诸多特征(表 1.1)^[21,42,48,51,72]的月球会成为以科学应用为目的而被精心研究和利用的第一个天体^[2,3,11,20,35,38,48,50,53,68,75]。因此,利用月球对地球进行研究并建立有效的天气预报系统令很多人向往。

表 1.1 月球及其轨道部分特征数据

序号	月球及其轨道的特征	单位	数 值 大 小
1	距地球的距离:		
	(1) 远地点	m	405×10^6
	(2) 近地点	m	363×10^6
2	月球轨道面和赤道面的夹角	—	6.67°
3	月球轨道偏心率	—	0.0549
4	恒星月	s	2360591.47

(续)

序号	月球及其轨道的特征	单位	数 值 大 小
5	绕地球公转速度	m/s	1020
6	平均半径	m	1738000
7	表面积	m ²	37.96×10^{15}
8	体积	m ³	21.99×10^{18}
9	质量	g	7.35×10^{25}
10	平均密度	g/cm ³	3.34
11	表面平均重力加速度	m/s ²	1.623
12	月球第一宇宙速度	m/s	1680
13	月球第二宇宙速度	m/s	2380
14	月球表面平均日温	K	398.15
15	月球表面平均夜温	K	98.15
16	月球表面大气压	Pa	$1.33 \times 10^{-8} \sim 1.33 \times 10^{-14}$

随着科学技术的进步,人与残酷的自然现象间的依赖程度极大地降低了,但是自然现象的影响仍然是我们国家乃至全人类面临的最迫切的问题之一。很难想象,每年因飓风、台风、龙卷风导致的损失是多么惨重。例如,1881年海防(越南城市)遭遇台风,夺去了30万人的生命。1923年日本地震导致14万多人丧生,仅东京遭受的物质损失就达30亿美元。1965年,密西西比三角洲遭遇的飓风“贝齐”造成物质损失达26亿美元。苏联每年国民经济损失达(30~70)亿卢布,而美国超过了110亿美元^[6,30,43,54,57,58,59,60]。

据科学家统计^[33,41,64],飓风和旋风出现频率减小10%,其登陆时的强度会减轻15%,所造成的损失能够降低40%~50%。利用可靠的水情预报,在不扩大播种面积的情况下,产量可提高

20% ~ 50% ;在不安装额外的发电机的情况下,水力发电站功率可提高 25% ~ 40% 。

目前,航天系统越来越具有实际应用性^[36,37,39,41,58,59,64]。苏联仅用一颗“流星号”卫星进行水文气象台预报,每年就节省了(50 ~ 70)亿卢布^[36]。根据美国总统经济专家委员会的估算,使用气象卫星,对未来至少 5 天的天气状况作出可靠预报,就可以增加下列产业的年经济效益^[36] :

农业——250 亿美元;

林业——4500 万美元;

水利经济——300 亿美元;

运输业——10 亿美元。

而根据格伦·西博格^[36,64]的估算,地球气象卫星的应用可以保证每年 60 亿美元的经济效益。依照苏联科学院通讯院士 K. Я. 孔德拉季耶夫领导的学术小组的意见,在月球建立气象天文台将会有更大的收益^[50]。

月球是天文和天文物理观测的理想场所,在月球表面建立常设科研综合系统的合理性也通过这一点得到确定。月球无大气层,低重力和慢自转为天文学家和天文物理学家研究太阳、行星、星系和星群创造了很大的机会。

将天文仪器放置到月面上,极大地提高了观测技术的潜能,而在地球物理环境下该技术的作用却被大气层和地球自身限制。众所周知,大气层过滤掉宇宙不同区域射向地球的大部分电磁波光谱。在不同的高空,大气层吸收紫外线、X 射线、 γ 射线和某些部分微波段的光谱,(因此)产生了不同的天文观测方法^[81]。例如,红外线和 γ 射线可以通过飞机、直升机和探空气球上的天文望远镜观测。对于探测 X 射线和紫外线,天文望远镜就必须安装在轨道空间站和火箭上。波长超过 30m 的长波辐

射,只有将仪器送到超过 10000km 的高度才可能被发现,这远远超出了人造地球卫星的通常高度。

但是,大气层的选择吸收不是约束天文观测的唯一原因。大气湍流地限制了观测设备的性能。将天文望远镜送到月球表面,可以使望远镜对太阳系行星细节和太阳米粒组织的分辨力提高 5~10 倍的,还可以提高天文望远镜观测的最大星数。分辨力的提高也对宇宙辐射波段的观测有极重要的作用。建立无线电干扰仪系统,将其中一个天文望远镜安装在月球表面,在无线电波段将能够获得比可见光波段更高的分辨力^[81]。

使用月上反射棱镜进行激光观测的前景也很诱人,该应用能够确定月球轨道的新元素,研究地月转动的不规则性及它们的重力场。

在月球正面和背面建立双月球天文台,也引起了科学家们的极大兴趣。对此必须强调指出,依据美国航天学和地球物理学领域的著名专家弗兰克·J·马林纳^[50]的看法,月球背面是太阳系中安装射电天文学仪器的最佳地点之一。

在月球上可以解决地球物理环境下难以完成或无法完成的物理学、化学、生物学、生理学和许多其他科学难题。可以预计,在月球的特殊环境下固体物理学将得到进一步的发展,而随着月球能源方面潜力的增长,人类解决“掌控核反应能量”这一当代迫切问题的可能性将会提高^[48]。

在解决应用航天学问题中,人们对月球研究中心也寄予了厚望。一些航天系统及其单元的试验和调试,在月球物理环境下比地球更加合理,并且有时只有在月球上唯一可行^[48]。此外,还可以利用月球作为航天发射场。

对此,A. A. 布拉贡拉沃夫院士写道^[48]:“……对于特殊的航天研究任务,应当考虑月球作为辅助航天生产基地和能源基