



航天科技图书出版基金资助出版

星球车

[俄] А·Л·杰姆尔德日安

В·В·格罗莫夫

И·Ф·卡茹卡罗

М·И·马林科夫

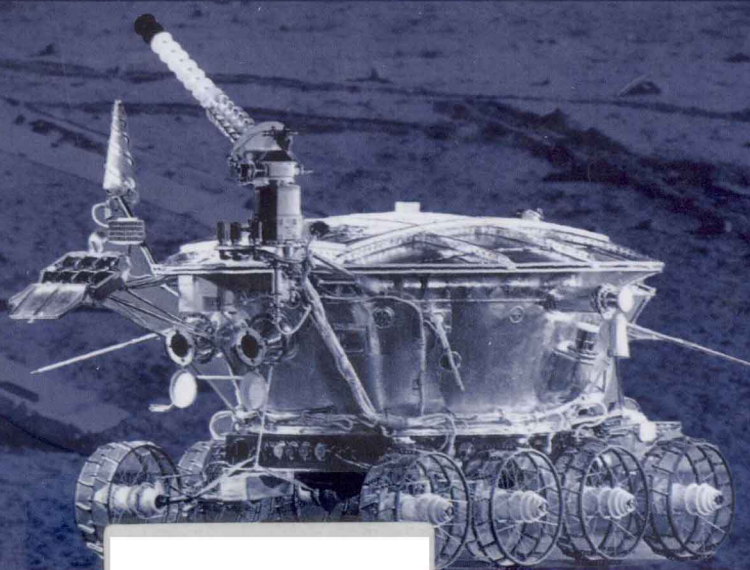
马菊红

冯治

等著

译

校



中国宇航出版社

航天科技图书出版基金资助出版

星球车

[俄] A·Л·杰姆尔德日安
B·B·格罗莫夫
И·Ф·卡茹卡罗 等著
M·И·马林科夫
马菊红 译
冯 治 校



中国宇航出版社

·北京·

ПЛАНЕТОХОДЫ / А. Л. Кемурджиан, В. В. Громов, И. Ф. Кажукало, М. И. Маленков, В. К. Мишкинюк, В. Н. Петрига, И. И. Розенцвейг; под редакцией А. Л. Кемурджиана. - 2-е изд. Перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1993. — 400 с.: ил.

ISBN 5-217-01207-2

© Издательство «Машиностроение», 1982

© А. Л. Кемурджиан, В. В. Громов, И. Ф. Кажукало и др., 1993

本书中文简体字版由著作权人授权中国宇航出版社独家出版发行, 未经出版者书面许可, 任何个人或者组织不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

著作权合同登记号: 图字: 01-2011-4825 号

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

星球车 / (俄罗斯) 杰姆尔德日安等著; 马菊红译. -- 北京: 中国宇航出版社, 2011.8

ISBN 978-7-5159-0032-2

I. ①星… II. ①杰… ②马… III. ①航天探测器—基本知识 IV. ①V476.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第169315号

责任编辑 阎列 责任校对 王妍 封面设计 谭颖

出版 中国宇航出版社

社址 北京市阜成路8号 邮编 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京画中国画印刷有限公司

版次 2011年10月第1版 2011年10月第1次印刷

规格 880×1230 开本 1/32

印张 12 字数 334千字

书号 ISBN 978-7-5159-0032-2

定价 78.00元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

航天科技图书出版基金简介

航天科技图书出版基金是由中国航天科技集团公司于2007年设立的，旨在鼓励航天科技人员著书立说，不断积累和传承航天科技知识，为航天事业提供知识储备和技术支持，繁荣航天科技图书出版工作，促进航天事业又好又快地发展。基金资助项目由航天科技图书出版基金评审委员会审定，由中国宇航出版社出版。

申请出版基金资助的项目包括航天基础理论著作，航天工程技术著作，航天科技工具书，航天型号管理经验与管理思想集萃，世界航天各学科前沿技术发展译著以及有代表性的科研生产、经营管理译著，向社会公众普及航天知识、宣传航天文化的优秀读物等。出版基金每年评审1~2次，资助10~20项。

欢迎广大作者积极申请航天科技图书出版基金。可以登录中国宇航出版社网站，点击“出版基金”专栏查询详情并下载基金申请表；也可以通过电话、信函索取申报指南和基金申请表。

网址：<http://www.caphbook.com>

电话：(010) 68767205, 68768904

译者简介

马菊红，哈尔滨工业大学俄语系副教授，硕士研究生导师。自动控制专业学士，外国语言学与应用语言学硕士。莫斯科理工学院飞行技术专业公派留学生。中国翻译协会专家会员。《数学奥林匹克与数学文化》杂志（第4辑）俄文译审。

研究方向：翻译理论与实践（科技俄语）、教学法（科技俄语）、社会语言学。



译者参加了“从独联体国家引进空间碎片及原子氧设备”、“从俄罗斯引进空间环境与材料交互作用的试验方法”等国防科工委对俄合作项目的俄文翻译工作（2002年～2005年），主持完成黑龙江省新世纪高等教育教学改革工程项目“复合型科技俄语人才培养研究”（2007年12月～2009年12月）；主持完成黑龙江省教育厅人文社会科学研究项目“中俄科技交流基础技术平台建设研究”（2008年1月～2010年12月）；主持完成哈尔滨工业大学教务处学科建设项目“俄汉翻译技巧”（2004年6月～2006年7月）。曾在《中国科技翻译》、《中国俄语教学》、《中国科技术语》上发表了“浅谈汉俄科技翻译”（2002年3月）、“俄汉科技翻译的几个疑难问题”（2006年1月）、“《汉俄语言接触研究》评介”（2009年2月）、“俄文术语汉译的几个常见问题”（2009年1月）等学术论文。翻译出版《Лебединый город Харбин》（合译）（五洲传播出版社，2002年），《发展空间想象力》（合译）（哈尔滨工业大学出版社，2009年）等著作。

中译本序

我们向中国读者推荐机器制造出版社（莫斯科）1993 年俄文版本《星球车》第 2 版的中译本，该俄文版本是在美国“星球协会”资助支持下出版的。书的作者都是参与神奇的月球车—1 研制的科研人员。像记住第 1 艘轮船、第 1 辆汽车、第 1 架飞机、第 1 颗人造地球卫星一样，人们会记住月球车—1，因为在 1970 年 11 月 17 日，它成为世界上第 1 个可移动的月球实验室。

本书所有作者都曾是全苏运输机械制造研究所股份集团（ОАО “ВНИИТРАНСМАШ”，圣彼得堡，俄罗斯，）（www.vniitransmash.ru。）的工作人员，而第 1 作者亚历山大·杰姆尔德日安是月球车—1 的总设计师。因此，在本书中主要研究的是运动系统设计问题。

是亚历山大·杰姆尔德日安提出了创作本书的思想，他是本书创作的主要负责人，其他作者有：В·В·格罗莫夫（第 1 章，第 7 章，第 3.4 节，第 9.1 节）、И·Ф·卡茹卡罗（第 3.2 节，第 3.3 节）、М·И·马林科夫（第 4 章，第 9.2 节）、В·К·米什金牛珂（第 2 章，第 5 章，第 8 章，第 3.1 节，第 7.2 节）、В·Н·别特里咖（第 7 章，第 8 章，第 9.1 节）、И·И·罗森茨维格（第 6 章）。

本书还对设计用于极端条件下工作的地面自动运输装置有参考价值。例如，书中对在切尔诺贝利核电站事故后消除屋顶放射性污染所采用的自动装置进行了描述。

当然，在本书出版后的 18 年里情况发生了很多变化。美国的火星车在火星表面已经工作了 6 年。中国、日本、印度及欧洲一些国家的科学家也先后加入了对月球的研究。这些年来，俄罗斯创造了新的星球车行走模型，制造了一批新型星球车。但是，在本书以及其他以前出版的月球车和火星车著作中所阐述的基本原理和方法仍

具有现实意义和参考价值。

中国对空间科学研究的各个方面都给予了高度重视。今天，中国借助于飞船在载人航天和空间科学研究中所取得的卓越成就举世瞩目。2010年嫦娥2号卫星的发射及其在月球轨道的研究，预示着中国航天领域专家队伍将日益壮大。

上述思想和实践在哈尔滨工业大学这所培养航天人才的重点高校得到了良好的贯彻和实施。因此，也正是在哈尔滨工业大学完成了对俄文版本《星球车》的翻译。我们代表本书的作者和哈尔滨工业大学的领导对马菊红副教授表示感谢，感谢她为本书所做的工作。

我们还要向哈尔滨工业大学的高海波教授和刘荣强教授表示感谢，感谢他们对本书的了解并向中国宇航出版社推荐本书出版。

我们还应该感谢出版社及其工作人员曹晓勇和阎列，是他们确保本书的高质量出版。

米哈伊尔·马林科夫教授
圣彼得堡国立工业大学

邓宗全教授
哈尔滨工业大学副校长

ПРЕДИСЛОВИЕ

к китайскому изданию

Мы представляем китайским читателям перевод второго издания книги “Планетоходы”, опубликованной в Москве в 1993 году издательством “Машиностроение” при спонсорской поддержке американского “Планетного общества”. Авторами книги являются участники создания легендарного космического аппарата “Луноход—1”, который 17.11.1970 года стал первой в мире передвижной автоматической лунной лабораторией. Люди будут помнить его, как помнят первый пароход, первый автомобиль, первый самолет, первый искусственный спутник Земли.

Все авторы — бывшие сотрудники открытого акционерного общества “Всероссийский научно — исследовательский институт транспортного машиностроения” (ОАО “ВНИИТРАНСМАШ”, Санкт — Петербург, Россия), представленного на сайте www.vniitransmash.ru, а профессор **Александр Кемурджиан** являлся главным конструктором самоходного автоматического шасси “Лунохода—1”. Поэтому в книге рассматриваются главным образом вопросы проектирования систем передвижения планетоходов.

Идея создания этой книги также принадлежит Александру Кемурджиану, возглавившему авторский коллектив, в который вошли: **В. В. Громов** (главы 1, 7, разделы 3.4 и 9.1); **А. Ф. Кажукало** (разделы 3.2 и 3.3); **М. И. Маленков** (глава 4 и раздел 9.2); **В. К. Мишкинчук** (главы 2, 5, 8 и разделы 3.1 и 7.2); **В. Н. Петрига** (главы 7, 8 и раздел 9.1); **И. И. Розенцвейг** (глава 6).

Материалы книги будут полезны также для проектирования наземных транспортных роботов, предназначенных для работы в экстремальных условиях. Здесь описываются, например, роботы, которые применялись для дезактивации кровель Чернобыльской атомной станции после аварии.

Конечно за 18 лет, прошедшие со времени издания книги, многое изменилось. На поверхности Марса уже более 6 лет работают марсоходы США. К исследованиям Луны подключились ученые КНР, Японии, Европейских стран, Индии. И в России за эти годы были созданы новые ходовые макеты и демонстраторы планетоходов. Но общие подходы и методы, изложенные в книге “Планетоходы” и других трудах пионеров лунных и марсианских вездеходов, не потеряли актуальности.

В КНР уделяется огромное внимание развитию всех направлений космических исследований. Сегодня весь мир знает о выдающихся достижениях КНР в пилотируемой космонавтике и исследовании космоса с помощью автоматических космических аппаратов. В 2010 году один из таких аппаратов — “Чаньэ — 2”, приступил к исследованиям на орбите спутника Луны. Потребность КНР в специалистах космического профиля будет возрастать с каждым годом.

Это хорошо понимают в Харбинском политехническом университете — одном из ведущих центров подготовки этих специалистов. Поэтому именно здесь был сделан перевод книги. От имени российских авторов и руководства института мы благодарим переводчицу, доцента **Ма Цзюйхун** за выполненную очень большую работу.

Мы выражаем также благодарность профессорам ХПУ **Гао Хайбо** и **Лю Жунцян**, ознакомившимся с переводом и давшим рекомендации для издания книги в Китайском издательстве “Космос”.

Считаем своим приятным долгом поблагодарить это издательство и его сотрудников **Цао Саюнь** и **Ян Ле**, которые обеспечили хороший профессиональный уровень издания.

Профессор Санкт—Петербургского
государственного политехнического
университета
Mikhail Malenkov

Проректор Харбинского
технологического
университета, профессор
Deng Zongquan

PREFACE

We present the translation of the second edition of the book Planetokhody (Planetary rovers) to Chinese readers. The book was published in Moscow by the publishing house "Mashinostroenie" with the sponsor supporting from the American Planetary Society in 1993. The authors are the participators of creation of the legendary space apparatus Lunokhod 1, which on November 17, 1970 became the first mobile automatic lunar laboratory in the world. People will keep in mind it as they remember the steamer, the first motor car, the first aeroplane, the first artificial Earth satellite.

All authors are former employees of the J. -St. Co. "All-Russian Scientific-research Institute of Transport Engineering" (J. -St. Co. "VNIITRANSMASH") (www.vniitransmash.ru) and professor Alexander Kemurdjian was the Chief Designer of the self-propelled automatic Lunokhod 1's chassis. Therefore the book considers mainly problems of development of planetary rover mobility systems.

The idea to publish this book belonged to Alexander Kemurdjian, who was at the head of the authors' collective: V. V. Gromov (chapters 1 and 7, parts 3. 4. and 9. 1), I. F. Kazhukalo (parts 3. 2 and 3. 3), M. I. Malenkov (chapter 4 and part 9. 2), V. K. Mishkinjuk (chapters 2, 5 and 8, parts 3. 1 and 7. 2), V. N. Petriga (chapters 7 and 8, part 9. 1), I. I. Rozentsveig (chapter 6).

Materials of this book will be useful also when designing Earth-based transport robots intended for operation under extreme conditions. As an example, robots which were used for radioactive decontamination of the Chernobyl atomic station roofs after the accident are described here.

Certainly, a great deal has been changed for the last eighteen years passed since the publication of the book. The American Mars rovers have been operating on the Martian surface for a more than six years. Scientists of China, Japan, European countries, India joined to the Moon explorations. During these years Russia created new running mock-ups and demonstrators of the planetary rovers. At that common approaches and methods stated in the book “Planetokhody” and other published works of pioneers of the Moon and Mars cross-country vehicles did not lose of actuality.

China gives enormous attention to progress of all directions of space explorations. Nowadays whole world knows about outstanding achievements of China in piloted cosmonautics and space exploration by means of automatic space apparatus. In 2010 one of such apparatus Chang’e 2 started to explorations in circumlunar orbit. Necessity of specialists of space profile in China will be growing every year.

The Harbin Institute of Technology is one of the leading centres of training such specialists. Therefore translation of this book was done namely there. On behalf of the Russian authors and HIT’s direction we thank translator Master Ma Juhong for the great work.

We also tender thanks to HIT’s professors Gao Haibo and Liu Rongqiang for the acquaintance with the translation of the book and recommendations for its publication at the China Astronautic Publishing Co. , Ltd.

We consider it our pleasant duty to thank this publishers and its employees Cao Xiaoyong and Yan Lie for high-quality professional level of the edition.

Professor of the Saint Petersburg
State Polytechnic University
Mikhail Malenkov

Vice-president of the Harbin
Institute of Technology , professor
Deng Zongquan

目 录

第 1 章 星球车的工作条件	1
1.1 关于某些行星及其卫星的概述	1
1.2 行星及其卫星表面的气候条件	2
1.3 行星及其卫星土壤表层的结构、地貌及其机械物理特性	4
1.3.1 对行星及其卫星表面的研究方法	4
1.3.2 月球	6
1.3.3 火星	12
1.3.4 金星	16
1.3.5 水星	19
1.3.6 木星的卫星	20
1.3.7 符合星球车运动条件的一般情况	21
第 2 章 星球车的用途	23
2.1 特点	23
2.2 分类和要求	25
2.3 工作时间和工作寿命	32
2.4 星球车的标准化	34
第 3 章 星球车的主要移动方法及其行进装置	37
3.1 轮式和履带式行进装置	38
3.1.1 星球车支撑牵引通过能力和断面通过能力的估算参数	42

3.1.2 灵活性、机动性和可控性	45
3.1.3 改变星球车运动方向系统	47
3.1.4 提高轮式行进装置和履带式行进装置效率的 途径	51
3.2 运输机械行进装置的步进原理	54
3.2.1 运输机械实现步进移动方式的一些方法	54
3.2.2 步进运动的动力学	56
3.2.3 步进机的通过能力	61
3.2.4 能量消耗	65
3.3 轮一步进式行进装置	72
3.3.1 基本的前提条件	72
3.3.2 轮一步进运动的特点	75
3.3.3 轮一步进式行进装置的运动学	76
3.3.4 合成连续运动的轮一步进行进机构的一些方法	80
3.3.5 对断续运动轮一步进行进装置的某些综合方法	89
3.4 在超低重力作用下移动的特点	94
第4章 星球车系统及部件的结构特点	100
4.1 承载结构系统的特点	100
4.2 行进装置	102
4.2.1 轮式行进装置	102
4.2.2 履带式行进装置	113
4.3 悬挂装置	119
4.4 传动机构	124
4.4.1 机电传动机构的原理	125
4.4.2 牵引电驱动机构	130
4.4.3 传动部件的设计	137
4.4.4 轮一步进行进装置独立驱动机构的结构特点	146
4.5 制动系统	150

4.6 动力装置	151
第5章 对星球车运动的控制	155
5.1 星球车(作为控制对象)的特点以及对控制系统的要求	158
5.2 星球车工作效率的评定标准	165
5.3 建立星球车运动控制系统的原则, 解决控制运动问题的方法	170
5.3.1 对星球车运动的控制和控制系统的结构	170
5.3.2 星球车控制系统中的等级安排	174
5.4 决策的系统	176
5.4.1 决策系统的任务和结构	176
5.4.2 形成外部环境模型的方法	177
5.4.3 形成通过能力概念的装置	179
5.4.4 规划轨迹和制定命令信息的装置	185
5.5 星球车信息系统综合装置	192
5.5.1 对信息系统综合装置的要求及其结构	192
5.5.2 预报外形通过能力的方法	194
5.5.3 预测支撑通过能力的方法	200
5.5.4 测定空间位置角	202
5.5.5 计算运动路线	204
5.5.6 测定构件力矩负载系统和触觉敏化系统	208
5.6 控制运动系统的实例	209
第6章 确保摩擦部件的工作能力及摩擦部件的试验	213
6.1 在宇宙中以及在行星上使用摩擦部件的特点	213
6.2 确保摩擦部件工作能力的方法	215
6.3 摩擦部件的润滑剂和材料	217
6.4 星球车部件及材料的热真空试验	233

第 7 章 确定星球车行进装置黏着牵引特性及进行行走试验的方法	251
7.1 轮式行进装置在月球引力条件下的黏着牵引特性的试验研究	252
7.2 确定行进装置在土壤中下沉的计算方法	255
7.3 星球车的行走试验	260
7.3.1 行走试验方法的基础	260
7.3.2 行走试验的方法	262
7.3.3 实验平台的选择	270
7.3.4 用于进行行走试验的设备	281
第 8 章 星球车结构实例及一些使用结果	293
8.1 月球车—1 和月球车—2	293
8.2 月球车—1 和月球车—2 的使用结果	300
8.2.1 月球车的运动路线	300
8.2.2 自动车架的黏着牵引特性	302
8.2.3 使用技术参数	303
8.3 LRV 月球车	305
第 9 章 运用星球车研究火星及解决“地球”问题的前景	310
9.1 借助于可移动设备研究火星表面的原理及其结构特点	310
9.2 切尔诺贝利核电站事故后使用的自动运输机	320
9.2.1 CTP—1 在切尔诺贝利核电站的使用条件	323
9.2.2 CTP—1 自动车架的结构	326
9.2.3 CTP—1 的试验操作和使用	333
后 记	338
参考文献	341
附录 A 俄文版原书相关信息	362

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1	Условия работы планетоходов	1
1. 1	Общие сведения о некоторых планетах и их спутниках	1
1. 2	Климатические условия на поверхности планет и их спутников	2
1. 3	Строении, рельеф и физико— механические свойства поверхностного слоя грунта планет и их спутников	4
Глава 2	Назначение планетоходов	23
2. 1	Характерные особенности	23
2. 2	Классификация и требования	25
2. 3	Программа работы, время активного существования	32
2. 4	Проблемы унификации	34
Глава 3	Основные способы передвижения и движители планетоходов	
3. 1	Колесный и гусеничный движители	37
3. 2	Принцип шагания в движителях транспортных машин	54
3. 3	Колесно— шагающий движитель	72
3. 4	Особенности передвижения при сверхнизкой силе тяжести	94
Глава 4	Особенности конструирования узлов и систем планетоходов	100
4. 1	Особенности схем несущей конструкции	100

4. 2	Двигатель	102
4. 3	Подвеска	119
4. 4	Трансмиссия	124
4. 5	Тормозная система	150
4. 6	Энергетические установки	151
Глава 5	Управление движением планетохода	155
5. 1	Особенности планетоходов как объектов управления и требования к системам управления.	158
5. 2	Критерии эффективности работы планетоходов	165
5. 3	Принципы построения систем управления движением планетоходов. Методы решения задач управления движением	170
5. 4	Системы принятия решений	176
5. 5	Комплекс информационных систем планетохода ...	192
5. 6	Примеры систем управления движением	209
Глава 6	Обеспечение работоспособности и испытания узлов трения	213
6. 1	Особенности эксплуатации узлов трения в космосе и на планетах	213
6. 2	Методы обеспечения работоспособности узлов трения	215
6. 3	Смазки материалы для узлов трения.	217
6. 4	Термовакuumные испытания материалов и узлов планетоходов	233
Глава 7	Методы определения тягово— сцепных свойств двигателей планетоходов и проведения ходовых испытаний	251
7. 1	Экспериментальные исследования тягово-сцепных свойств колесного двигателя в условиях лунной силы тяжести.	252
7. 2	Расчетный метод определения осадки двигателя в грунт	255
7. 3	Ходовые испытания планетоходов	260
Глава 8	Описание конструкций и некоторые результаты	