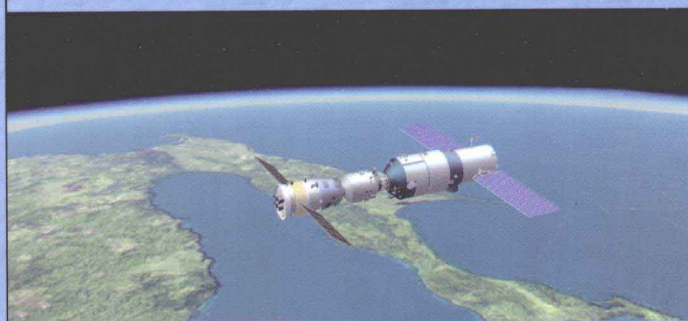




国防科技图书出版基金

载人航天气象保障技术

Meteorological Support Technology
of Manned Spaceflight



◎周率著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

载人航天气象保障技术

Meteorological Support Technology of Manned Spaceflight

周率 著

國防工業出版社

图书在版编目(CIP)数据

载人航天气象保障技术 / 周率著. —北京:国防
工业出版社, 2013. 8

ISBN 978 - 7 - 118 - 09044 - 4

I. ①载... II. ①周... III. ①载人航天飞行 -
气象服务 - 研究 IV. ①V321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 202215 号

书 名	载人航天气象保障技术
著 者	周 率
出版发行	国防工业出版社 国防书店(010)88540777 发行邮购(010)88540776 发行传真(010)88540755 发行业务(010)88540717
地址邮编	北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048
经 售	新华书店
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
开 本	710 × 1000 1/16
印 张	14 $\frac{1}{4}$
字 数	300 千字
印 数	1—2500 册
版 印 次	2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
定 价	78.00 元



作者简介

周率,女,1970年出生,四川人。北京航天飞行控制中心高级工程师,博士,总装“1153”人才工程首批第一层次培养对象,南京信息工程大学兼职教授,全国优秀青年气象科技工作者。长期从事航天气象业务与科研工作,主持和参与了“神舟7号载人航天任务气象保障关键技术研究及应用”、“海南发射场气象系统设计”等多项国家重大工程项目,获军队科技进步二等奖6项、三等奖4项,发表论文30余篇,获国防发明专利多项。

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第七届评审委员会组成人员

主任委员	王峰				
副主任委员	吴有生	蔡镭	杨崇新		
秘书长	杨崇新				
副秘书长	邢海鹰	贺明			
委员	才鸿年	马伟明	王小谟	王群书	
	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	巩水利	
	刘泽金	孙秀冬	陆军	芮筱亭	
	李言荣	李德仁	李德毅	杨伟	
	肖志力	吴宏鑫	张文栋	张信威	
	陈良惠	房建成	赵万生	赵凤起	
	郭云飞	唐志共	陶西平	韩祖南	
	傅惠民	魏炳波			

(按姓氏笔画排序)

序 Preface

载人航天是我国一项重大航天工程,载人航天任务中,气象系统是一个重要的技术支撑系统,气象条件是实施载人航天任务必须考虑的因素之一,气象预报精度直接影响着任务执行的进程。在发射、航天员出舱、返回等重要活动中,雷电、降水、风场条件、辐射环境、大气密度等直接关系到任务的实施进程与效果,甚至影响到航天员的安全。因此气象保障技术受到业内学者的广泛关注。

载人航天任务实施过程中,需要综合气象、水文、空间天气条件来确定发射窗口、航天员出舱时刻、返回时间等重要时机,并安排相关任务进程;而且载人航天气象保障中,对发射场、着陆场、远洋测量船、空间天气的保障都有非常严格和具体的要求。伴随我国载人航天二期工程逐步展开,交会对接已获圆满成功,后续载人航空气空间站计划将逐步实施,对气象保障也提出了更高要求,综合气象、水文、空间天气的气象保障技术,是航天气象发展历程的必然产物。

在我国航天事业蓬勃发展的背景下,针对载人航天工程需求,充分利用气象领域的研究进展,促进空间天气学科的研究与应用,逐步开展气象、水文、空间天气的保障理论与方法研究,为构建载人航天气象保障体系提供理论和技术支撑,已成为一种国家战略需求。

载人航天工程发展至今,迫切需要一本详细介绍气象保障技术发展背景、理论基础、体系构成与保障应用的读物,以满足广大专业技术人员和相关领域专家学者对载人航天气象保障知识的需求。《载人航天气象保障技术》一书对载人航天气象保障领域进行了系统探索与有益尝试。

本书作者长期从事航天气象保障和科研工作,在开展航天任务气象保障的同时,针对任务中气象领域的科学问题,不断探索航天气象保障方法与技术,并在任务中试验验证。本书就是对前期载人航天气象保障和研究工作的总结与提炼,它是一本在载人航天气象保障领域具有一定创新价值和参考作用的技术专著,其实用意义重大。希望本书的出版能为我国航天气象保障体系的建设提供有益的帮助。



中国工程院院士

前言 Preface

本书针对载人航天气象保障特点,从理论和实践上对气象保障技术进行了系统分析和深入研究。介绍了国内外研究历史与现状,分析了我国载人航天气象保障技术的现状与需求,阐述了发射场气象保障技术、远洋测量船气象水文保障技术、着陆场气象保障技术以及空间天气保障技术;重点对直接影响任务的高影响天气过程和特殊气象要素进行了深入研究,其中高影响天气包括降水、雷暴、台风、大风、沙尘、低能见度等过程,特殊要素包括浅层风、高空风及风切变、逐时气温、大气电场、海域风浪等;并探讨了载人航天气象保障技术的应用与发展。

本书由国防科技图书出版基金资助出版。同时,本书还得到了国家公益性行业专项(气象)项目“高层大气密度/电离层模式在航天应用中的精度评估及改进方案研究”(GYHY201306063)和空间天气学国家重点实验室开放课题“载人航天轨道高精度大气密度模型研究”(Y22612A33S)的联合资助。

本书由北京航天飞行控制中心周率博士牵头撰写。酒泉卫星发射中心刘汉涛、陈晓静,中国卫星海上测控部史卫、董钢,西安卫星测控中心任敏轩、王永升,国家空间天气监测预警中心薛炳森、杨光林分别参与撰写第2~5章的相关章节;西昌卫星发射中心党建涛撰写了第1、2章部分内容,北京航天飞行控制中心李黎撰写了第5章部分内容。参与本书相关工作的还有李兴东、尹洁、刘

晓佳、裴建刚、马振富、李存梅、杨静俭、周庆、马卫民、李庆、罗玉、褚晓春、朱亚光、李永辉、刘志强、王红军、苑海燕、汪正林、杨本湘、杨道勇、郭建广、毛田、李嘉巍、王建美、余世水、陈定辉、史荟燕、李颀、曹建峰、刘荟萃等，中英文校对工作由温朝阳完成。

特别感谢李泽椿院士的指导，是他一直以来的学术提携、鞭策鼓励，才有本书的出版。本书得到了魏奉思、李崇银、丑纪范、陈联寿、万卫星等院士的指导，王建捷、毕宝贵、马力、姚学祥、魏丽、陈静、于玉斌、高云、王劲松、王赤、张效信、徐寄遥、吕建永、刘四清、陈丽华、胡松杰等专家从不同方面提出了中肯的意见和建议。本书的撰写得到了北京航天飞行控制中心朱民才、陈宏敏两任主任和刘清华书记的大力支持，航天飞行动力学技术重点实验室的同事们给予了积极协助，同时得到了国家气象中心、中科院国家空间科学中心、总参气象水文空间天气总站、北京气象学会等单位专家和同行们的支持和帮助，在此一并表示诚挚的感谢。最后要深深感谢父母及家人，是他们的亲情与关爱，敦促我们在事业上不敢懈怠。

本书是载人航天气象保障领域的技术专著，由于笔者时间、水平和实践经验所限，难免存在不妥之处，恳请广大同行、读者批评指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 气象条件对载人航天具有重大影响	1
1.1.2 载人航天气象保障阶段	2
1.1.3 载人航天气象保障任务	3
1.2 国内外研究历史和现状	4
1.2.1 高影响天气过程专项保障技术	5
1.2.2 特殊气象要素定量预报技术	6
1.2.3 远洋气象水文保障技术	7
1.2.4 空间天气保障技术	7
1.3 载人航天气象保障特点	8
1.3.1 单点气象保障	8
1.3.2 窗口被动保障	8
1.3.3 长时效保障	8
1.3.4 多项目保障	9
1.3.5 高影响天气过程专项保障	10
1.3.6 特殊要素定量预报保障	10
1.4 载人航天气象保障技术现状	11
1.4.1 针对时间节点的逐步逼近保障技术	11
1.4.2 高影响天气过程专项保障技术	11
1.4.3 特殊要素定量预报技术	12
1.4.4 远洋气象水文保障技术	13
1.4.5 空间天气保障技术	13
1.4.6 协同保障技术	14
1.5 载人航天气象保障方法	14
1.5.1 载人航天气象预报方法	14

1.5.2	常规气象要素预报技术	32
1.5.3	雷电监测预警技术	45
	参考文献	47
第2章	发射场气象保障技术	49
2.1	发射场气象保障技术背景	49
2.1.1	气象要素与航天发射	49
2.1.2	发射场气象保障技术难点	51
2.2	特殊要素定量预报技术	52
2.2.1	浅层风	53
2.2.2	逐时气温	69
2.2.3	高空风与风切变	78
2.2.4	大气电场	93
2.3	高影响天气过程专项保障技术	96
2.3.1	降水、大风过程预报	96
2.3.2	雷电过程预报	97
2.3.3	沙尘预报	99
	参考文献	102
第3章	远洋气象水文保障技术	104
3.1	远洋航天测控气象水文保障	104
3.1.1	远洋气象水文保障特点	104
3.1.2	远洋航天测控气象水文保障特点	105
3.1.3	远洋航天测控气象水文保障难点	106
3.2	远洋气象水文保障基础	107
3.2.1	资料基础和研究方法	107
3.2.2	远洋航天测控气象水文保障重点	109
3.2.3	综合应用数据库系统	122
3.2.4	高影响天气数据库系统	127
3.2.5	远程天气会商系统	128
3.3	风浪要素定量预报技术	131
3.3.1	风浪定量预报方法	131
3.3.2	风浪定量预报系统设计	133
3.3.3	系统模块功能	133

3.4	台风专项保障技术	135
3.4.1	台风保障系统	135
3.4.2	台风保障技术	136
	参考文献	140
第4章	着陆场气象保障技术	141
4.1	着陆场气象保障概况	141
4.1.1	气象保障的主要任务	141
4.1.2	气象保障重点	142
4.1.3	气象保障难点	142
4.2	着陆场气象资料获取	143
4.2.1	常规资料的选取	143
4.2.2	特殊要素资料处理	143
4.2.3	气候查询统计方法	147
4.3	特殊要素定量预报技术	150
4.3.1	低空风	150
4.3.2	高空风及风切变	156
4.4	天气过程专项保障技术	160
4.4.1	天气过程长期预报技术	160
4.4.2	降水定量预报技术	163
4.5	副着陆场气象保障技术	168
4.5.1	与主着陆场的异同	168
4.5.2	气象保障关键技术	169
	参考文献	169
第5章	空间天气保障技术	171
5.1	空间天气	172
5.1.1	空间天气与空间环境	172
5.1.2	空间天气与传统天气	172
5.1.3	航天空间天气保障	173
5.2	空间天气对载人航天的影响	174
5.2.1	对航天员出舱活动的影响	174
5.2.2	对航天器的影响	175
5.2.3	对测控通信和导航定位的影响	175

5.2.4	对航天器轨道和寿命的影响	176
5.3	影响载人航天的空间天气要素	176
5.3.1	中高层大气风与风切变	177
5.3.2	高层大气密度	179
5.3.3	电离层	180
5.3.4	空间辐射	183
5.3.5	空间碎片	186
5.4	载人航天空间天气保障关键技术	188
5.4.1	载人航天空间天气保障内容	188
5.4.2	载人航天空间天气预报关键技术	189
5.5	载人航天空间天气专项预报技术	194
5.5.1	辐射环境及航天员出舱窗口预报	194
5.5.2	高层大气密度及轨道预报	196
5.5.3	电离层及电离层延迟预报	198
5.5.4	空间碎片预警	200
5.5.5	空间天气参数中期定量预报	201
5.6	载人航天气象保障发展探讨	202
5.6.1	空间天气保障是发展重点	202
5.6.2	风暴过程是保障难点	203
	参考文献	203

Contents

Chapter 1	Introduction	1
1.1	Research background	1
1.1.1	Meteorological conditions have significant impact on manned spaceflight	1
1.1.2	Meteorological supported period of manned spaceflight	2
1.1.3	Meteorological supported task of manned spaceflight	3
1.2	Recent domestic and international research	4
1.2.1	Quantitative prediction technology of special meteorological factors	5
1.2.2	Special support technology of high impact weather	6
1.2.3	Ocean-going meteorological and hydrological support technology	7
1.2.4	Space weather support technology	7
1.3	Weather support characteristics of manned spaceflight	8
1.3.1	Single point for weather support	8
1.3.2	Passive windows support	8
1.3.3	Long aging support	8
1.3.4	Multi-project support	9
1.3.5	Special support for high impact weather	10
1.3.6	Quantitative forecast support for special factors	10
1.4	Weather support actuality of manned spaceflight	11
1.4.1	Approaching support technology for special time point	11
1.4.2	Special support technology for high impact weather	11
1.4.3	Quantitative support technology for special factors	12
1.4.4	Ocean-going meteorological and hydrological support technology	13
1.4.5	Space weather support technology	13
1.4.6	Cooperative support technology	14
1.5	Meteorological support methods of manned spaceflight	14
1.5.1	Meteorological forecast methods of manned spaceflight	14

1. 5. 2	Forecast methods for conventional factors	32
1. 5. 3	Monitoring and alert technology for thunder and lightning	45
Reference		47
Chapter 2	Meteorological support technology for Launch site	49
2. 1	Technical background of launch site meteorological support	49
2. 1. 1	Meteorological factors and spacecrafts launch	49
2. 1. 2	Technical difficulties of launch site meteorological support	51
2. 2	Special factor quantitative prediction technology	52
2. 2. 1	Shallow wind	53
2. 2. 2	The hourly temperature	69
2. 2. 3	Wind and wind shear	78
2. 2. 4	Atmospheric electric field	93
2. 3	Special support technology for high impact weather	96
2. 3. 1	Precipitation gale forecast	96
2. 3. 2	Thunder and lightning forecast	97
2. 3. 3	Dust forecast	99
Reference		102
Chapter 3	Ocean-going meteorological and hydrological support technology	104
3. 1	Ocean-going meteorological and hydrological support	104
3. 1. 1	Ocean-going aerospace meteorological and hydrological support characteristics	104
3. 1. 2	Ocean-going aerospace TT meteorological and hydrological support characteristics	105
3. 1. 3	Ocean-going aerospace TT meteorological and hydrological support difficulties	106
3. 2	Ocean-going aerospace TT meteorological and hydrological support foundation	107
3. 2. 1	Data base and research methods	107
3. 2. 2	Key of ocean-going aerospace TT meteorological and hydrological support	109
3. 2. 3	Design and implementation of the integrated	

database application system	122
3.2.4 Design and implementation of high impact weather database	127
3.2.5 Design and implementation of remote weather consulting system	128
3.3 Wave elements quantitative prediction technology	131
3.3.1 The quantitative prediction method	131
3.3.2 The quantitative prediction system design	133
3.3.3 The system modules function	133
3.4 Typhoon special support technology	135
3.4.1 Typhoon support system	135
3.4.2 Typhoon support technology	136
Reference	140
Chapter 4 Landing site meteorological support technology	141
4.1 Landing site meteorological support profiles	141
4.1.1 Main task of the meteorological support	141
4.1.2 Key of the meteorological support	142
4.1.3 Difficulties of the meteorological support	142
4.2 Landing site meteorological data collection	143
4.2.1 Conventional data selection	143
4.2.2 Special element data processing method	143
4.2.3 Climate statistics method	147
4.3 Quantitative prediction technology for special meteorological factors	150
4.3.1 Quantitative forecast for low level wind	150
4.3.2 Quantitative forecast for high altitude wind and shear	156
4.4 Special support technology for weather processes	160
4.4.1 Weather processes long-term prediction technology	160
4.4.2 Quantitative precipitation forecast technology	163
4.5 Auxiliary landing site meteorological support technology	168
4.5.1 Differences with the main landing site	168
4.5.2 Key of meteorological support technology	169
Reference	169
Chapter 5 Space weather support technology	171
5.1 Space weather	172