



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLISHING FOUNDATION



科学文化工程
公民科学素养系列

UNVEILING THE MYSTERY OF SPACE WEATHER

THE CHINESE MERIDIAN PROJECT


中国大科学装置出版工程

探索空间天气的 奥秘

东半球空间环境地基综合监测子午链

王赤 主编 陈志青 张晓曦 副主编

 浙江出版联合集团

 浙江教育出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国大科学装置出版工程



UNVEILING THE MYSTERY
OF SPACE WEATHER

THE CHINESE MERIDIAN PROJECT

探索空间天气的
奥秘

东半球空间环境地基综合监测子午链

王赤 主编 陈志青 张晓曦 副主编

 浙江出版联合集团
 浙江教育出版社·杭州

图书在版编目(CIP)数据

探索空间天气的奥秘：东半球空间环境地基综合监测子午链 / 王赤主编. — 杭州：浙江教育出版社，2017.12

中国大科学装置出版工程
ISBN 978-7-5536-6723-2

I. ①探… II. ①王… III. ①航天学—气象学—研究
IV. ①V419

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第305528号

策 划 周 俊 莫晓虹

责任编辑 吴颖华 王杰生

美术编辑 韩 波

责任校对 余晓克

责任印务 陈 沁

中国大科学装置出版工程

探索空间天气的奥秘——东半球空间环境地基综合监测子午链

ZHONGGUO DAKEXUE ZHUANGZHI CHUBAN GONGCHENG
TANSUO KONGJIAN TIANQI DE AOMI—DONGBANQIU KONGJIAN HUANJING DIJI ZONGHE JIANCE ZIWULIAN

王 赤 主 编 陈志青 张晓曦 副主编

出版发行 浙江教育出版社

(杭州市天目山路40号 邮编:310013)

图文制作 杭州兴邦电子印务有限公司

印 刷 杭州富春印务有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 14

插 页 2

字 数 281 300

版 次 2017年12月第1版

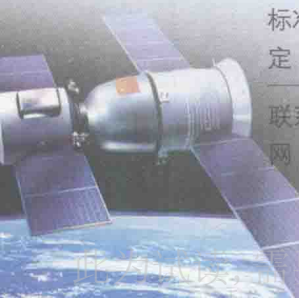
印 次 2017年12月第1次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5536-6723-2

定 价 45.00元

联系电话 0571-85170300-80928

网 址 www.zjeph.com



本书编委会

主 编:王 赤

副主编:陈志青 张晓曦

编 委:(按姓氏笔画排序)

丁 凯	丁宗华	马玉立	刘正宽	李橙媛
肖存英	吴宝元	张 恺	张青梅	陈 昱
陈 晨	陈 博	陈廷娣	宗位国	胡红桥
胡连欢	姜秀杰	秦 婷	袁 韦	郭孝城
黄朝晖	程永宏	薛向辉		

总 序

新一轮科技革命正蓬勃兴起，能否洞察科技发展的未来趋势，能否把握科技创新带来的发展机遇，将直接影响国家的兴衰。21世纪，中国面对重大发展机遇，正处在实施创新驱动发展战略、建设创新型国家、全面建成小康社会的关键时期和攻坚阶段。

科技创新、科学普及是实现国家创新发展的两翼。科学普及关乎大众的科技文化素养和经济社会发展，科学普及对创新驱动发展战略具有重大实践意义。当代科学普及更加重视公众的体验性参与。“公众”包括各方面社会群体，除科研机构 and 部门外，政府和企业中的决策及管理者、媒体工作者、各类创业者、科技成果用户等都在其中。任何一个群体的科学素质相对落后，都将成为创新驱动发展的“短板”。补齐“短板”，对于提升人力资源质量，推动“大众创业、万众创新”，助力创新型国家建设和全面建成小康社会，具有重要的战略意义。

科技工作者是科学技术知识的主要创造者，肩负着科学普及的使命与责任。作为国家战略科技力量，中国科学院始终把科学普及当作自己的重

要使命，将其置于与科技创新同等重要的位置，并作为“率先行动”计划的重要举措。中国科学院拥有丰富的高端科技资源，包括以院士为代表的高水平专家队伍，以大科学工程为代表的高水平科研设施和成果，以国家科研科普基地为代表的高水平科普基地等。依托这些资源，中国科学院组织实施“高端科研资源科普化”计划，通过将科研资源转化为科普设施、科普产品、科普人才，普惠亿万公众。同时，中国科学院启动了“科学与中国”科学教育计划，力图将“高端科研资源科普化”的成果有效地服务于面向公众的科学教育，更有效地促进科教融合。

科学普及既要求传播科学知识、科学方法和科学精神，提高全民科学素养，又要求营造科学文化氛围，让科技创新引领社会持续健康发展。基于此，中国科学院联合浙江教育出版社启动了中国科学院“科学文化工程”——以中国科学院研究成果与专家团队为依托，以全面提升中国公民科学文化素养、服务科教兴国战略为目标的大型科学文化传播工程。按照受众不同，该工程分为“青少年科学教育”与“公民科学素养”两大系列，分别面向青少年群体和广大社会公众。

“青少年科学教育”系列，旨在以前沿科学研究成果为基础，打造代表国家水平、服务我国青少年科学教育的系列出版物，激发青少年学习科学的兴趣，帮助青少年了解基本的科研方法，引导青少年形成理性的科学思维。

“公民科学素养”系列，旨在帮助公民理解基本科学观点、理解科学方法、理解科学的社会意义，鼓励公民积极参与科学事务，从而不断提高公民自觉运用科学指导生产和生活的能力，进而促进效率提升与社会和谐。

未来一段时间内，中国科学院“科学文化工程”各系列图书将陆续面世。希望这些图书能够获得广大读者的接纳和认可，也希望通过中国科学院广大科技工作者的通力协作，使更多钱学森、华罗庚、陈景润、蒋筑英式的“科学偶像”为公众所熟悉，使求真精神、理性思维和科学道德得以充分弘扬，使科技工作者敢于探索、勇于创新的精神薪火永传。

中国科学院院长、党组书记 

2015年12月17日

前言

三个太阳在万有引力的作用下做着变幻莫测的运动，不知道哪一天太阳就不再升起，也不知道哪一天会三日凌空。文明在极寒和极热交替的灾难中一次又一次地毁灭，又一次一次又一次地重生。文明的参与者顽强地探索着三体问题的解，竭尽全力地维系着文明。当得知地球人类所处的太阳系是如此适宜生存时，他们就组建了庞大的宇宙舰队，朝这个世外桃源飞奔而来。这是科幻小说《三体》描述的文明受环境所迫和不同文明之间相互威胁的场景，着实让读者为人类的命运捏了一把汗。

虽然不用担心三日凌空，但人类赖以生存的地球能否永保平安呢？6500万年前的生物大灭绝，在地质变迁的历史长河中，就像发生在昨天一样。地球的磁场和大气避免了人类遭受太阳风的直接吹袭。但有研究表明，地磁场在过去200年间减弱了15%。如果哪天地磁场消失了，人类还能在这里生存吗？如果全球升温持续，海平面上升2米，可供人类居住的地方就不多了。如果来一次行星撞击地球，情况将更糟糕。这样的危险不胜枚举。在茫茫宇宙中，地球只是弹丸之地。我们不能将人类的命运永远维系在这么

小的球体上。

暂且不考虑人类面临的这些威胁。从古至今，探索浩瀚的太空是人类共同的梦想。宇宙究竟有多大？宇宙是如何起源的？人类是如何起源的？有没有外星人？这一连串的问题，吸引着我们“飞”向太空。

俗话说“朝霞不出门，晚霞行千里”。出门远行，要先看看天气如何。在进入太空之前，请先看看空间天气如何。因为太空并不空。那里有强烈的X射线，有可怕的紫外线辐射，有以接近光速运行的高能粒子，有比子弹还厉害万倍的空间碎片，凶险异常。从1957年苏联发射第一颗人造地球卫星开始，人类已经将6000多个航天器送入太空。尽管很多航天器都对空间环境采取了严密的防护措施，但各种异常事件还是频频发生。深层充电、碎片撞击、氧原子剥蚀、单粒子翻转、电弧放电等，是航天器常常遇到的问题。不少卫星因为恶劣的空间天气而损毁。对美国国家航空航天局和美国空军发射的航天器的研究表明，大约有20%—25%的航天器故障与空间天气有关。所以，空间环境和空间天气是航天器设计、运行必须考虑的重要因素。

抛开太空旅行不说，人类的生产生活也受到来自空间天气的影响。人们日常使用的无线电通信、卫星导航往往依赖无线电波在电离层中的传播或者反射。太阳活动导致的电离层扰动必然会影响电波的传播和反射特

性，影响无线电通信信号的稳定性和可使用的频带宽度，影响卫星导航的精度，甚至可能导致通信和导航设施失效。可以想象，在自动驾驶技术普及的将来，交通事故的罪魁祸首或许就是灾害性空间天气。

1989年的“魁北克事件”，太阳活动所导致的感应电流致使变电站被烧毁，600万人被寒冷和黑暗折磨了9小时，造成几千万美元的损失。1859年，发生了一次太阳风暴，是一名叫卡林顿的科学家首先观测到的，故名“卡林顿事件”。这次事件的影响是“北半球的电报系统几乎完全瘫痪”，它的强度是1989年那次太阳风暴的3倍。而最近科学家发现近10000年以来最强的太阳风暴发生在我国唐朝时期，其强度是“卡林顿事件”的2倍，是“魁北克事件”的6倍。可这样一次超强的太阳风暴，仅仅在《旧唐书》里找到了几十个字的记载：“东方月上有白气十余道，如匹帛……三更后方散。”这里说的白气就是极光。在长安城里看到极光当然是破天荒的事，但其影响无非是让人们感受到凶兆以致恐慌。通过三次事件的对比可以看出，随着高技术系统的应用，空间天气对人类活动的影响越来越深远。如果唐朝的那次太阳风暴发生在今天会怎样？那将可能摧毁许多人造卫星，破坏无数个变电站，使我们的社会陷入极度混乱。这样强度的太阳风暴是不是像行星撞击地球那样罕见呢？不见得。2013年7月22日，美国的卫星捕捉到了一次超级太阳风暴。太阳的巨大能量爆发导致日冕物质以大约每

秒3000千米的速度从太阳喷发出来。如果此次爆发的时间提前9天，那么喷发的日冕物质将直接撞击地球，产生的地磁暴强度不亚于“卡林顿事件”。国际空间研究委员会估计，这样一个超级地磁暴造成的损失将高达数万亿美元，社会恢复正常的周期长达4—10年。这一次，地球侥幸躲过了！但如果我们对空间天气不了解，不能很好地规避其影响，人类的文明就只能像三体文明一样在侥幸中喘息。

空间环境监测是了解空间天气的第一步。自从有人类文明以来，立足于地面的地基监测就开始了。近几十年，随着卫星的应用，对空间环境的天基监测也开展得如火如荼。美国、苏联、欧洲、日本等国家和地区发射了大量的卫星，用于空间环境的探测与研究，也部署了复杂的地面观测系统。我国科学家基于我国领土区域特征，结合空间天气现象沿子午线传播发展的特性，创造性地提出了东半球空间环境地基综合监测子午链（简称“子午工程”）：沿东经120°和北纬30°部署地基观测设备，开展对空间环境的连续监测。经过4年多的建设，子午工程于2012年竣工。通过5年多的科学运行，获得了大量的监测数据，为科学研究和空间天气预报业务提供了有力的支撑，取得了可喜的成绩。

子午工程的建成和运行，也使得空间天气的概念越来越为普通民众所熟知，全社会对空间天气的重要性有了更深刻的认识。工程的建设 and 运行

团队抓住一切可能的机会，卓有成效地开展了空间天气科普教育活动。子午工程科学运行中心、数据中心已经成了科普教育的前沿阵地。提出并领导建设子午工程的知名科学家，在一年一度的科普活动周中，面对社会大众开展空间天气专家科普讲座，成效显著。然而，以讲座、参观等形式开展的科普活动参与人数有限，为了激发公众的科学意识，进一步提升公众对空间天气的认知度，我们借浙江教育出版社组织编写“中国大科学装置出版工程”科普丛书的机会，编写了本书。本书对空间天气的基本概念做了简单解释，对子午工程的科学构思、技术实现和运行能力做了较为全面的介绍。空间天气是20世纪90年代提出来的新概念，空间天气学科刚刚起步，还需要一代又一代的科学家去开拓探索。如果本书能吸引一些热爱科研的年轻人加入到我国空间物理、空间天气领域的科研队伍中来，也是一件很有意义的事。

中国科学院国家空间科学中心主任 王赤

2017年12月

第一章 太空并不空	1
1 绝对的老大	3
2 变化多端的太阳	7
3 源于太阳的风	10
4 快步宇宙的粒子	13
5 来自邻居的干扰	17
6 太空中的冰雹	19
7 占据要津的垃圾	21
8 地球的盔甲	23
第二章 不一样的天气	33
1 看得见的表演	35
2 影响就在身边	39
3 遨游太空遇难关	47
第三章 巧妙构建子午链	55
1 空间环境大家问	57
2 子午线上探苍穹	66
3 集中力量办大事	74
4 子午工程建设缘起	80
5 团结一心有力量	82
第四章 坐地探天招数多	87
1 第一招：磁场探测	89



- | | | |
|---|------------|-----|
| 2 | 第二招：电场探测 | 99 |
| 3 | 第三招：无线电波探测 | 105 |
| 4 | 第四招：光学探测 | 120 |
| 5 | 第五招：宇宙线探测 | 132 |
| 6 | 第六招：火箭探测 | 140 |

第五章 科学探索的多面手 149

- | | | |
|---|-----------|-----|
| 1 | 不仅仅是地磁场 | 151 |
| 2 | 带电的波浪 | 158 |
| 3 | 相隔百里的“呼应” | 163 |
| 4 | 汶川地震空中有震感 | 166 |
| 5 | 高空的“飓风” | 168 |
| 6 | 难以摆脱的束缚 | 170 |

第六章 预报保障的生力军 173

- | | | |
|---|-----------|-----|
| 1 | 太空的“天气预报” | 175 |
| 2 | 子午工程在行动 | 181 |

第七章 万里长征刚起步 191

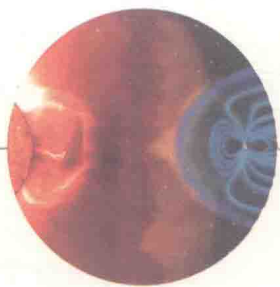
- | | | |
|---|------------|-----|
| 1 | 离我们越来越近的太空 | 193 |
| 2 | 刚刚起跑的卫星探测 | 198 |
| 3 | 地基探测的新蓝图 | 202 |

子午工程大事记 208





仰望夜空，浩渺寂寥的宇宙除了闪闪星光似乎空无一物。其实太空中充满了等离子体、宇宙线、电磁场等物质，以及各种复杂的物理现象。太空并不空。太空也称为“空间”，是指地球低层大气以外的宇宙空间。当然，人类最关心的是空间的特定区域——日地空间。在这里，太阳主宰着一切。



日地空间是人类生存的第四环境

1 绝对的老大

太阳是太阳系的中心天体。其质量约占太阳系总质量的99.86%；直径大约是139万千米，相当于地球直径的109倍；体积大约是地球的130万倍。地球之于太阳，就像大鲸鱼身边的小虾米。太阳的任何一个小动作，都可能在地球上掀起一场风暴。

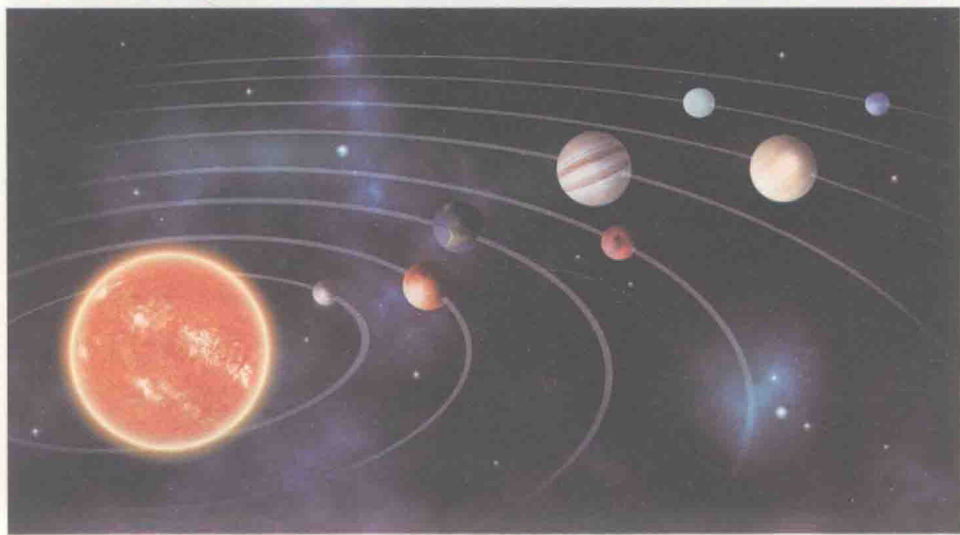


图1-1 太阳系示意图（非真实比例）

从化学组成来看，太阳质量的大约四分之三是氢，剩下的几乎都是氦，氧、碳、氮、铁和其他的重元素质量少于2%。实际上，整个宇宙大部分物质都以氢和氦的形式存在。如果人们能在太空中呼吸，吸入胸腔的几乎全是氢。

太阳到地球的距离达1.5亿千米之遥，观测它的表面尚且有困难，要弄清它的内部结构就更难了。目前，人们所获得的关于太