





**Pulsars Are Lighthouses  
for Space Flight**

**脉冲星 宇宙航行的灯塔**

帅 平 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

脉冲星 宇宙航行的灯塔 / 帅平著. — 北京: 国防工业出版社, 2016. 11

ISBN 978-7-118-11118-7

I. ①脉… II. ①帅… III. ①脉冲星—卫星导航—研究 IV. ①TN967.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 257590 号

※

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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 35 字数 590 千字

2016 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 290.00 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

# 内容简介

本书系统、深入、全面地论述了脉冲星及宇宙航行的基本概念、发展简史、实现途径、理论体系和基础方法。全书共分为六章，主要内容包括：宇宙起源于大爆炸及其正在加速膨胀的事实；恒星的电磁辐射、演化进程和最终归宿；脉冲星的发现认证、物理特征和观测技术；宇宙航行的基本内涵及发展历程；导航系统分类与航天器自主导航问题；以及脉冲星导航的理论体系与卫星导航系统的未来发展构想等。

本书适合于从事脉冲星导航系统相关技术研究的科研人员阅读，也可作为高等院校具有导航制导与控制、飞行器设计、理论物理、天体物理、物理电子学、核技术及应用等相关专业背景知识，并对脉冲星导航系统技术感兴趣的本科生、研究生的通识教材和参考书籍。

# Abstract

The basic concept, brief history, implementing approach, theory system and basic method of the pulsar and space flight, are described comprehensively, systematically and deeply in this book. The whole book is divided into six chapters. Firstly, the universe began with the Big Bang, and according to the observational evidence, the universe is accelerating expansion. Secondly, the electromagnetic wave radiation, evolution process and ultimate fate of the stars are discussed in detail. Thirdly, the discovery and authentication of the pulsars, and their physical characteristics and observing technology, are also described emphatically. Fourthly, the basic concept and brief history of the space flight are introduced comprehensively. Fifthly, the classification of navigation system and the autonomous navigation technology of spacecrafts are systematically researched and analyzed. And finally, the theory system of X-ray pulsar-based navigation system (XPNAV) and the conception of future navigation satellite system are deeply discussed in the book.

The book is suitable for the scientific and technical personnel to read, and particularly they are studying XPNAV and the related technology. Meanwhile, the book can also be used as a general teaching material and reference one for the undergraduate and graduate students in colleges and universities. Certainly, these students should have professional background knowledge, including in guidance, navigation and control, spacecraft design, theoretical physics, astrophysics, physical electronics, and nuclear technology and applications. Furthermore, they are also very interested in XPNAV.

# 序

航天器自主导航具有极其重要的工程应用价值和战略研究意义，一直是世界各航天大国推动航天技术发展的动力和目标。然而，目前航天器仍然依赖地面测控系统来完成导航任务，尚未实现真正意义上的自主导航。脉冲星导航是实现航天器自主导航最有希望取得突破的技术，是当前国际航天前沿技术研究的热点领域。自2004年以来，美国、俄罗斯和欧洲空间局等国家或组织相继提出加速发展脉冲星导航技术的研究计划。美国即将在国际空间站上开展脉冲导航技术演示验证，其最终目标是：建立一个能够提供轨道确定精度10m、时间同步精度1ns和姿态测量精度3 $\mu$ s的脉冲星导航网络，以满足未来航天任务从近地轨道、深空至星际空间飞行的全程高精度自主导航应用需求。

脉冲星导航属于典型的多学科交叉研究领域，技术复杂，实现难度大，创新性强。本书的作者及其研究团队是一群怀揣中国航天强国梦的年轻人，在脉冲星导航领域潜心耕耘10余年，取得丰富的具有自主知识产权的创新研究成果；特别是近几年来，在脉冲星导航关键技术攻关研究中取得突破性进展，研制了多种类型的探测器样机及产品、地面试验系统和专用试验卫星，也即将开展空间飞行试验，使中国在该领域与国际发展齐头并进。

本书系统地论述了脉冲星及宇宙航行的基本概念、发展简史、实现途径、理论体系和基础方法；同时，以导航星座应用为示范，通过数值分析试验，定量论证导航星座天基自主运控的可行性，勾画卫星导航系统的未来。本书是一部关于脉冲星导航的高品位科学普及读物，具有“五讲”的基本特征：一是讲概念，讲述宇宙、恒星、脉冲星、宇宙航行和导航的基本概念；二是讲历史，讲述宇宙学、恒星的形成和演化、射电天文观测技术、X射线天文观测技术、现代宇航技术和导航系统的发展历程；三是讲途径，讲述引导运动体航行的技术途径，从古代指南车到现代导航系统以及脉冲星导航系统的基本原理和实现途径；四是讲体系，讲述脉冲星导航的多学科交叉、科学问题、关键技术和导航应用的结构体系；五是讲方法，讲述脉冲星导航的时空基准建立与维持、脉

冲星时间系统构建、大尺度导航和地面试验的基础方法。

本书体裁新颖、内容翔实、结构严谨、说理透彻，具有知识性、逻辑性、趣味性和可读性，充分吸纳了作者10余年来在该领域研究中取得的创新成果，是一部融合多学科交叉研究、理论体系研究和潜在应用研究的学术论著。因此，这部论著的出版发行必将有助于相关科研人员更好地理解 and 掌握脉冲星及宇宙航行的基本概念和方法，搭建一个多学科交叉研究与交流的平台，以培养具有创新潜能的复合型人才，加速发展脉冲星导航系统技术，并推动航天前沿技术跨越发展。

志为民

中国科学院院士

2016年9月6日



# 前 言

脉冲星是大质量恒星演化、坍缩、超新星爆发的遗迹，是一种具有超高温、超高压、超高密度、超强磁场、超强电场和超强引力场等极端物理条件的天体，其典型半径为 10km，而质量却与太阳相当，核心密度达到  $10^{12}\text{kg}/\text{cm}^3$ 。脉冲星是高速旋转的中子星，具有极其稳定的周期性，尤其是毫秒脉冲星的周期稳定度达到  $10^{-19}\sim 10^{-21}\text{s}/\text{s}$ ，被誉为自然界最稳定的天文时钟。以脉冲星辐射的 X 射线信号作为天然信标，航天器能够自主确定位置、速度、时间和姿态等导航参数。因此，X 射线脉冲星能够成为人类在宇宙中航行的灯塔，为近地轨道、深空探测和星际飞行航天器提供长时间高精度自主导航信息服务。

X 射线脉冲星导航具有极其重要的工程应用价值和科学研究意义，备受世界各航天大国关注。2004 年，美国国防部国防预先研究计划局（DARPA）提出“X 射线导航与自主定位验证”（XNAV）计划。2009 年，DARPA 在 XNAV 计划的基础上提出“X 射线计时”（XTIM）计划，研制大面阵准直型探测器，以构建独立、稳定的星地脉冲星时间系统。2011 年，美国国家航空航天局（NASA）戈达德空间飞行中心联合美国大学空间研究协会（USRA）提出“中子星内部结构探测器”（NICER）技术演示增强任务——“空间站 X 射线计时与导航技术试验”（SEXTANT），即将在国际空间站（ISS）上开展 X 射线脉冲星导航技术演示验证。此外，欧洲空间局、俄罗斯、德国、英国、日本、印度和伊朗等国家或组织也相继开展 X 射线脉冲星导航相关技术与地面试验。

自 2005 年以来，作者及团队持续开展脉冲星导航系统理论与方法研究；2009 年，出版第一部关于脉冲星导航的学术论著——《X 射线脉冲星导航系统原理与方法》。2011 年，在中国航天科技集团公司第五研究院（以下简称航天五院）研究发展部的大力支持和推动下，X 射线脉冲星导航技术研究得到了快速发展。目前，X 射线脉冲星导航关键技术攻关研究取得突破性进展，研制了多种类型的 X 射线探测器样机及产品、脉冲星导航地面试验系统和脉冲星导航专用试验卫星，即将开展空间飞行试验，以验证 X 射线探测器性能和脉冲星导航系统体制。



脉冲星导航属于典型的多学科交叉研究领域，涉及 12 个学科大类和 21 个学科专业，技术复杂，实现难度大，创新性强，具有多学科综合性和复合型发展的显著特征。为此，作者于 2013 年就着手撰写一部有关脉冲星和宇宙航行的高端科学普及读物，其读者对象为具有导航制导与控制、飞行器设计、理论物理、天体物理、物理电子学、核技术及应用等相关专业背景知识，并对脉冲星导航系统技术感兴趣的科研人员、大学本科生和研究生。本书的撰写目的在于：尝试搭建一个多学科交叉领域研究与交流的平台，培养具有创新潜能的“图钉型”人才，以更好地普及和推进脉冲星导航技术与系统发展。

本书深入浅出地论述脉冲星及宇宙航行的基本概念、发展简史、实现途径、理论体系和基础方法。全书共六章：第一章、第二章和第三章的层次逻辑是从宇宙大爆炸、恒星形成和演化到脉冲星的观测及物理特征；第四章、第五章和第六章则是从宇宙航行的概念及其发展简史引出导航系统分类与航天器自主导航问题，最后归结为宇宙航行的灯塔——脉冲星导航。具体说来，第一章主要阐述宇宙的基本概念、人类认识宇宙的过程、宇宙的大尺度结构、现代宇宙学的三大基石、暗物质和暗能量与宇宙加速膨胀的关系以及宇宙的未来命运等。第二章首先简要概述恒星的物理特征；然后，详细讲述恒星从孕育时期、少年时期、青壮年时期到逐渐衰老和最终走向死亡的演化过程；最后，论述变星、白矮星、中子星和黑洞的形成及物理机制。第三章主要讲述脉冲星的发现和认证，命名、分类和分布，辐射机制、物理特征和观测特性，以及射电脉冲星和 X 射线脉冲星的观测技术等。第四章是在讲述宇宙航行的基本概念和内涵的基础上，重点论述宇宙航行的发展简史，主要包括早期的宇宙航行思想和技术基础、现代宇航技术领域的开拓者、宇宙航行研究社团的推动作用、宇宙航行时代的来临以及最终飞出太阳系的整个历程。第五章首先阐述和辨识导航的相关术语与概念；其次，简述从古代指南车、司南和灯塔到现代导航系统的发展历程；再次，分别论述天文导航系统、惯性导航系统、无线电导航系统和卫星导航系统的基本原理、技术进展和应用情况等；最后，重点论证航天器的地面导航网络和自主导航技术问题。第六章首先概述脉冲星导航的基本原理、研究进展和体系结构；其次，分别论述在经典牛顿力学框架和广义相对论框架下的时空理论问题；再次，提出脉冲星时间系统构建和大尺度导航的基础方法，并设计和研制地面试验系统，定量分析和论证脉冲星导航系统体制的可行性；最后，阐述卫星导航系统的未来发展方向。

近年来，航天五院在脉冲星导航系统技术研究领域取得突破性进展，主要得益于2011年研究发展部副部长刘群和部长李虎果断实施的脉冲星导航专项创新研发管理。在项目研究和书稿撰写过程中，刘群副部长和李虎部长给予作者全力支持和帮助，在此表示衷心感谢。同时，感谢航天五院研究发展部徐立宏副处长和杨哲主管在推动脉冲星导航技术发展中做了大量管理工作，为作者提供诸多便利和帮助；感谢中国航天科技集团公司科技委主任包为民、研究发展部部长刘强和副部长郭世亮，以及航天五院院长张洪太、副院长李明和总工程师陈泓等领导，对作者及团队开展技术创新研究的支持和鼓励。最后，感谢钱学森空间技术实验室脉冲星导航技术研究中心的全体同事，在工作上给予作者的支持、理解和帮助；他们是系统技术研究组的陈绍龙硕士和蒙静博士，探测器技术研究组的吴耀军博士、陈强硕士、张倩硕士、傅灵忠硕士和张恒彬博士，以及大尺度导航技术研究组的黄良伟博士、林晴晴博士、张新源博士后和贝晓敏博士后。

脉冲星导航技术具有前沿性、创新性和多学科交叉研究特点。本书创作历时3年多时间，倾注了作者大量心血。在书稿撰写过程中，作者力求做到概念明确、史实清楚、途径可行、体系合理和方法正确，具有知识性、逻辑性、趣味性和可读性。但是，限于作者的知识结构和研究水平的不足，书中难免出现疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

帅 平

2016年8月8日，于北京航天城

# 缩 写 词

AGB	Asymptotic Giant Branch	渐进巨星分支
AGN	Active Galactic Nuclei	活动星系核
AIAA	American Institute of Aeronautics and Astronautics	美国航空与宇航协会
AIS	Automatic Identification System	船舶自动识别系统
ANS	Astronomical Netherlands Satellite	荷兰天文卫星
AOD	Age of Data	数据龄期
APSR	Accretion-powered Pulsar	吸积供能脉冲星
ARGOS	Advanced Research and Global Observation Satellite	先进技术研究与全球观测卫星
ARS	American Rocket Society	美国火箭协会
A-S	Anti-Spoofing	反电子欺骗
ASCA	Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics	宇宙学及天体物理学先进卫星
ATNF	Australia Telescope National Facility	澳大利亚国家射电望远镜设施
AXAF	Advanced X-ray Astronomical Facility	先进 X 射线天文设施
AXP	Anomalous X-ray Pulsar	反常 X 射线脉冲星
BBC	British Broadcasting Corporation	英国广播公司
BCRS	Barycentric Celestial Reference System	太阳系质心天球参考系
BDT	BeiDou Navigation Satellite System Time	北斗卫星导航系统时间
BIH	Bureau International de l' Heure	国际时间局 (法语)
BIPM	Bureau international des poids et mesures	国际计量局 (法语)
C/A	Coarse / Acquisition code	粗捕获码
CCD	Charge Coupled Device	电荷耦合器件
CCRS	Conventional Celestial Reference System	协议天球参考系
CDMA	Code Division Multiple Access	码分多址
CEO	Celestial Ephemeris Origin	天球历书原点
CEP	Celestial Ephemeris Pole	天球历书极
CGCS	China Geodetic Coordinate System	中国大地坐标系
CGRO	Compton Gamma Ray Observatory	康普顿伽马射线天文台
CIO	Conventional International Origin / Celestial Intermediate Origin	协议国际原点/天球中介原点

(续)

CIP	Celestial Intermediate Pole	天球中介极
CMB	Cosmic Microwave Background radiation	宇宙微波背景辐射
CNS	Celestial Navigation System	天文导航系统
COBE	Cosmic Background Explorer	宇宙背景探测者
CP	Cambridge Pulsar	剑桥大学脉冲星
CPU	Central Processing Unit	中央处理器
CS	Commercial Service	商业服务
CTP	Conventional Terrestrial Pole	协议地球极
CTS	Conventional Terrestrial System	协议地球坐标系
CV	Cataclysmic Variable star	激变变星
CXO	Chandra X-ray Observatory	钱德拉 X 射线天文台
DIRBE	Diffuse Infra-Red Background Experiment	弥散红外背景试验设备
DME	Distance Measuring Equipment	距离测量设备
DMR	Differential Microwave Radiometer	差分微波辐射计
DNA	Deoxyribonucleic Acid	脱氧核糖核酸
DORIS	Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite	星载多普勒无线电定轨及定位系统
DSN	Deep Space Network	深空网 (美国)
ECEF	Earth-Center Earth-Fixed	地心固联坐标系
ECI	Earth-Center Inertial	地心惯性坐标系
ERA	Earth Rotational Angle	地球自转角
ESA	European Space Agency	欧洲空间局
ET	Ephemeris Time	历书时
EXOSAT	European X-ray Observatory Satellite	欧洲 X 射线天文台卫星
FDMA	Frequency Division Multiple Access	频分多址
FIRAS	Far-Infra Red Absolute Spectrophotometer	远红外绝对光谱光度仪计
FK5	Fifth Fundamental Catalogue	第五基本星表
FWHM	Full Width at Half Maximum	半高全宽
GAST	Greenwich Apparent Sidereal Time	格林尼治视恒星时
GC	Geo-center	地球质心
GCAS	Ground Control Approach System	地面控制进场系统
GCRS	Geocentric Celestial Reference System	地心天球参考系
GDOP	Geometric Dilution of Precision	几何精度因子
GE	General Electric Company	通用电气公司



(续)

GEO	Geo-stationary orbit	地球静止轨道
GISS	Goddard Institute for Space Studies	戈达德空间研究所
GSFC	Goddard Space Flight Center	戈达德空间飞行中心
GINS	Gimbaled Inertial Navigation System	平台式惯性导航系统
GIOVE	Galileo In-Orbit Validation Element	伽利略在轨验证卫星
GLONASS	Global Navigation Satellite System	全球卫星导航系统
GLST	Global Navigation Satellite System Time	全球卫星导航系统时间
GMRT	Giant Metre-wave Radio Telescope	巨大米波射电望远镜
GNC	Guidance, Navigation and Control	导航、制导与控制
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
GPST	Global Positioning System Time	全球定位系统时间
GSFC	Goddard Space Flight Center	戈达德空间飞行中心
GST	Galileo Navigation Satellite System Time	伽利略卫星导航系统时间
GT	Gemini and Titan	双子座与泰坦火箭结合体
HEAO	High Energy Astronomy Observatory	高能天文台卫星
HMXB	High-Mass X-ray Binary	大质量 X 射线双星
HST	Hubble Space Telescope	哈勃太空望远镜
HXMT	Hard X-ray Modulation Telescope	硬 X 射线调制望远镜
HZSST	High-Z Supernova Search Team	高红移 (Z) 超新星搜寻团队
IAF	International Astronautical Federation	国际宇航联合会
IAG	International Association of Geodesy	国际大地测量协会
IAU	International Astronomical Union	国际天文联合会
IBM	International Business Machines corporation	国际商用机器公司
ICAO	International Civil Aviation Organization	国际民航组织
ICG	International Committee on Global navigation satellite system	国际全球卫星导航系统委员会
ICRF	International Celestial Reference Frame	国际天球参考框架
ICRS	International Celestial Reference System	国际天球参考系
IERS	International Earth Rotation Service	国际地球自转服务
IGS	International GPS Service for Geodynamics	国际 GPS 地球动力学服务
IGSO	Inclined Geosynchronous Orbit	倾斜地球同步轨道
ILS	Instrument Landing System	仪表着陆系统
IMU	Inertial Measurement Unit	惯性测量器件
INS	Inertial Navigation System	惯性导航系统

(续)

IRNSS	Indian Region Navigation Satellite System	印度区域卫星导航系统
ISS	International Space Station	国际空间站
ITRF	International Terrestrial Reference Frame	国际地球参考框架
ITRS	International Terrestrial Reference System Corporation	国际地球参考系
ITT	International Telephone & Telegraph	国际电话电报公司
ITU	International Telecommunications Union	国际电信联盟
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics	国际大地测量与地球物理联合会
IURS	International Union of Radio Science	国际无线电科学联盟
JD	Julian Days	儒略日
JPL	Jet Propulsion Laboratory	喷气推进实验室
Lambda-CDM	Lambda-Cold Dark Matter	拉姆达-冷暗物质
LGM	Little Green Men	小绿人
LLR	Lunar Laser Ranging	月球激光测距
LMC	Large Magellanic Clouds	大麦哲伦云
LMXB	Low-Mass X-ray Binary	小质量 X 射线双星
LORAN	Long Range Navigation	远程导航系统
LSS	Large-Scale Structure	大尺度结构
MA	Mercury and Atlas	水星飞船与阿特拉斯火箭结合体
MADANS	Multitask Attitude Determination and Autonomous Navigation System	多任务姿态确定与自主导航系统
MANS	Microcosm Autonomous Navigation System	麦氏自主导航系统
MCP	Micro-Channel Plate	微通道板
MEMS	Micro-Electronic and Mechanic System	微机械电子系统
MEO	Medium Earth Orbit	中等高度地球轨道
MJD	Modified Julian Days	约简儒略日
MLS	Micro-wave Landing System	微波着陆系统
MPO	Micro-Pole Optics	微孔光学
MR	Mercury and Redstone	水星飞船与红石火箭结合体
NASA	National Aeronautics and Space Administration	美国国家航空航天局
NAVSTAR	Navigation by Satellite Timing And Ranging	卫星测时测距导航
NCO	Numeral Controlled Oscillator	数控振荡器
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency	美国国家地理空间情报局
NGC	New General Catalogue	星云和星团新总表
NICER	Neutron Star Interior Composition Explorer	中子星内部结构探测器



(续)

NIST	National Institute of Standard and Technology	美国国家标准与技术研究所
NNSS	Navy Navigation Satellite System	海军卫星导航系统
NRL	Naval Research Laboratory	美国海军研究实验室
NS	Neutron Star	中子星
NTS	Navigation Technology Satellite	导航技术卫星
NTSC	National Time Service Center	中国国家授时中心
OAQ	Orbiting Astronomical Observatory	轨道天文台卫星
OCX	Next Generation GPS Operation Control System	下一代 GPS 操作控制系统
OS	Open Service	开放服务
OSIRIS-REX	Origins Spectral Interpretation Resource Identification Security Regolith Explorer	源光谱释义资源识别安全风化层探测器
OSO	Orbiting Solar Observatory	太阳轨道天文台
PRARE	Precise Range And Range Rate Equipment	精密测量距离及其变化率设备
PRS	Public Regulated Service	公共管理服务
PSR	Pulsating Source of Radio / Pulsar	脉冲射电源/脉冲星
PT	Pulsar Time	脉冲星时
PTA	Pulsar Time Array	脉冲星时阵列
PZ	Parametry Zelmy	地球参数
QZSS	Quasi Zenith Satellite System	准天顶卫星系统
ROSAT	Röntgen Satellite	伦琴卫星
RPSR	Rotation-Powered Pulsar	旋转供能脉冲星
RXTE	Rossi X-ray Timing Explorer	罗西 X 射线计时探测器
SA	Selective Availability	选择可用性
SAR	Search And Rescue	搜救服务
SC	Spacecraft	航天器
SCD	Swept Charge Device	扫描电荷器件
SCP	Supernova Cosmology Project	超新星宇宙学项目
SDD	Silicon Drift Detector	硅漂移探测器
SDSS	Sloan Digital Sky Survey	斯隆数字巡天
SEXTANT	Station Experiment for X-ray Timing and Navigation Technology	空间站 X 射线计时与导航技术试验
SGR	Soft Gamma Repeater	软 $\gamma$ 射线辐射源
SI	International System of unit	国际单位制
SINEX	Solution (software / technique) Independent Exchange format	结果 (软件/技术) 独立交换格式

(续)

SINS	Strap-down Inertial Navigation System	捷联式惯性导航系统
SLR	Satellite Laser Ranging	卫星激光测距
SMC	Small Magellanic Clouds	小麦哲伦云
SN	Supernova	超新星
SoL	Service of Life	生命安全服务
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre	地球观测卫星 (法语)
SS/ANARS	Space Sextant-Autonomous Navigation and Attitude Reference System	空间六分仪自主导航与姿态基准系统
SSB	Solar System Barycentre	太阳系质心
2SOPS	Second Space Operation Squadron	美国空军第二空间操作中队
SST	Spitzer Space Telescope	斯皮策太空望远镜
SU	Soviet Union	苏联
TACAN	Tactical Air Navigation	战术空中导航系统
TAI	Temps Atomique International	国际原子时 (法语)
TCB	Barycentric Coordinate Time	太阳系质心坐标时
TCG	Geocentric Coordinate Time	地球质心坐标时
TDB	Barycentric Dynamic Time	太阳系质心力学时
TDT	Terrestrial Dynamic Time	地球力学时
TDMA	Time Division Multiple Access	时分多址
TDRS	Track and Data Relay Satellite	跟踪与数据中继卫星
TEO	Terrestrial Ephemeris Origin	地球历书原点
TIO	Terrestrial Intermediate Origin	地球中介原点
TOA	Time Of Arrival	到达时间
TRW	Thompson-Ramo-Wooldridge	汤普森—拉莫—伍尔德里奇公司
TT	Terrestrial Time	地球时
TT&C	Telemetry, Tracking and Control	跟踪遥测与控制
TWSTFT	Two-Way Satellite Time and Frequency Transformation	卫星双向时间和频率传递
UHF	Ultra-High Frequency	超高频段
URE	User Ranging Error	用户测距误差
USA	Unconventional Stellar Aspect experiment	非常规恒星特征试验
USNO	United States Naval Observatory	美国海军天文台
USRA	Universities Space Research Association	大学空间研究联合会 (美国)
UTC	Universal Time Coordinated	协调世界时
VLA	Very Large Array	甚大阵列

(续)

VLBA	Very Long Baseline Array	甚长基线阵列
VLBI	Very Long Baseline Interferometer	甚长基线干涉仪
VOR	Very high frequency Omni-directional Range	甚高频全方位导航系统
WGRF	Work Group of Reference Frame	参考框架工作组
WGS	World Geodetic System	世界大地坐标系
WMAP	Wilkinson Microwave Anisotropy Probe	威尔金森微波各向异性探测器
WIMP	Weakly Interacting Massive Particles	弱相互作用的重粒子
XMM	X-ray Multi-Mirror Mission	X 射线多镜面任务
XNAV	X-ray Navigation and Autonomous Positioning Verification	X 射线导航与自主定位验证
XPNAV	X-ray Pulsar-based Navigation system	X 射线脉冲星导航系统
XTIM	X-ray Timing	X 射线计时