

科学出版社  
出版  
中国地理学会环境遥感分会  
中国科学院遥感应用研究所  
主办

JOURNAL OF  
REMOTE  
SENSING

遥感学报

2012年 Vol.16 第16卷 增刊

ISSN 1007-4619 CN11-3841/TP CODEN YXAUAB

## “天绘一号” 卫星专刊



多光谱影像



高分辨率影像



融合后的影像

序言 .....	(1)
<b>院士特邀</b>	
“天绘一号”卫星工程建设与应用..... 王任享, 胡莘, 王新义, 杨俊峰	(2)
<b>综述</b>	
无地面控制点条件下卫星摄影测量的发展与现状..... 尹明, 李晓燕	(6)
“天绘一号”传输型摄影测量与遥感卫星..... 李松明, 李岩, 李劲东	(10)
<b>相机技术</b>	
测绘用离轴三反光学系统技术..... 郭疆, 刘金国, 王国良, 朱磊, 龚大鹏, 齐洪宇	(17)
“天绘一号”卫星在轨辐射定标方法..... 黄红莲, 易维宁, 乔延利, 杜丽丽	(22)
多光谱相机基于灰阶靶标的在轨绝对辐射定标..... ..... 陈洪耀, 李胜利, 司孝龙, 李晶, 徐伟伟, 王戟翔, 杨俊峰, 张黎明, 沈政国	(28)
“天绘一号”卫星测绘相机在轨几何定标..... 李晶, 王蓉, 朱雷鸣, 黄海乐	(35)
<b>卫星技术</b>	
“天绘一号”卫星在轨性能评估..... 李岩, 陶志刚, 李松明, 郭志胜, 史简, 高翠东	(40)
测绘卫星的姿态控制技术..... 王新民, 刘洁, 李洽, 张屹峰, 董筠	(48)
GPS高精度校时在卫星控制系统中的应用..... 李洽, 程砾瑜, 曹海宁, 李鹤, 董筠, 李松明	(52)
星传感器在轨测量误差分析..... 霍德聪, 黄琳, 李岩, 陶志刚, 李松明	(57)
“天绘一号”卫星热控设计及飞行验证..... 刘伟, 杨沪宁	(61)
数传通道遥测数据处理方法研究..... 李敬博, 马楠, 任光杰	(66)
“天绘一号”卫星镉镍蓄电池组及其在轨性能介绍..... 李焱, 谢守楹, 乔学荣, 郑智勇, 杨德智	(70)
“天绘一号”卫星星务分系统研究与实现..... 史简, 宋智, 李国军	(74)
<b>地面处理技术</b>	
“天绘一号”卫星地面应用系统设计与实现..... 胡莘, 王新义, 杨俊峰	(78)
“天绘一号”卫星三线阵影像条带式区域网平差..... 张永军, 郑茂腾, 王新义, 黄心蕙	(84)
“天绘一号”卫星星传感器精度分析..... 王兴涛, 李迎春, 李晓燕	(90)
“天绘一号”01星立体影像定位精度检测..... 付勇, 邹松柏, 刘会安	(94)
特征与错位拟合的CCD图像无缝拼接..... 王昱, 胡国军, 龙辉, 张廷涛	(98)
基于GeoSOT网络的“天绘一号”卫星影像数据组织..... 李世忠, 宋树华, 程承旗, 耿忠	(102)
“天绘一号”卫星基于摄影任务的轨道维持策略..... 冯宁, 元朝鹏, 官轶松, 黄显安, 邢坤	(108)
“天绘一号”卫星无地面控制点EFP多功能光束法平差..... 王建荣, 王任享	(112)

# JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Vol.16 Sup 2012)

## CONTENTS

### Academician's note

The construction and application of Mapping Satellite-1 engineering .....  
..... *WANG Renxiang, HU Xin, WANG Xinyi, YANG Junfeng* (5)

### Review

Development and present situation of satellite photogrammetry without control points ..... *YIN Ming, LI Xiaoyan* (9)

Mapping Satellite-1 transmission type photogrammetric and remote sensing satellite ..... *LI Songming, LI Yan, LI Jindong* (16)

### Technology of camera

Technology of off-axis TMA aerospace mapping camera .....  
..... *GUO Jiang, LIU Jinguo, WANG Guoliang, ZHU Lei, GONG Dapeng, QI Hongyu* (21)

On orbit radiometric calibration for Mapping Satellite-1 sensor .....  
..... *HUANG Honglian, YI Weining, QIAO Yanli, DU Lili* (27)

Multispectral imager vicarious radiometric calibration based on gray-scale tarps ..... *CHEN Hongyao,  
LI Shengli, SI Xiaolong, LI Jing, XU Weiwei, WANG Jixiang, YANG Junfeng, ZHANG Liming, SHEN Zhengguo* (34)

In-flight geometric calibration for Mapping Satellite-1 surveying and mapping camera .....  
..... *LI Jing, WANG Rong, ZHU Leiming, HUANG Haile* (39)

### Technology of satellite

Mapping Satellite-1 in-orbit performance evaluation .....  
..... *LI Yan, TAO Zhigang, LI Songming, GUO Zhisheng, SHI Jian, GAO Cuidong* (47)

Attitude control technology of mapping satellite .....  
..... *WANG Xinmin, LIU Jie, LI Han, ZHANG Yifeng, DONG Jun* (51)

Usage of high accuracy GPS time calibration in satellite onboard control system .....  
..... *LI Han, CHENG Liyu, CAO Haining, LI He, DONG Jun, LI Songming* (56)

An analytical method of star tracker measurement errors .....  
..... *HUO Decong, HUANG Lin, LI Yan, TAO Zhigang, LI Songming* (60)

Mapping Satellite-1 thermal design and flight validation ..... *LIU Wei, YANG Huning* (65)

Processing on telemetry data of data transmission channel ..... *LI Jingbo, MA Nan, REN Guangjie* (69)

The introduction of Ni-Cd battery of Mapping Satellite-1 and its on-orbit performance .....  
..... *LI Yao, XIE Shouyun, QIAO Xuerong, ZHENG Zhiyong, YANG Dezhi* (73)

Implementation of Mapping Satellite-1's house keeping system ..... *SHI Jian, SONG Zhi, LI Guojun* (77)

### Ground processing technology

Design and implementation of ground application system for Mapping Satellite-1 .....  
..... *HU Xin, WANG Xinyi, Yang Junfeng* (83)

Strip-based bundle adjustment of Mapping Satellite-1 three-line array imagery .....  
..... *ZHANG Yongjun, ZHENG Maoteng, WANG Xinyi, HUANG Xinhui* (89)

Mapping Satellite-1 star sensor accuracy analysis ..... *WANG Xingtao, LI Yingchun, LI Xiaoyan* (93)

Evaluation of the location accuracy of the Mapping Satellite-1 stereo image ..... *FU Yong, ZOU Songbai, LIU Hui'an* (97)

CCD image seamless mosaic on characteristic and dislocation fitting .....  
..... *WANG Yu, HU Guojun, LONG Hui, ZHANG Tingtao* (101)

Mapping Satellite-1 remote sensing data organization based on GeoSOT .....  
..... *LI Shizhong, SONG Shuhua, CHENG Chengqi, GENG Zhong* (107)

Strategy of Mapping Satellite-1 orbit maintenance based on photographic mission .....  
..... *FENG Ning, YUAN Zhaopeng, GONG Yisong, HUANG Xian'an, XING Kun* (111)

EFP multi-functional bundle adjustment of Mapping Satellite-1 without ground control points .....  
..... *WANG Jianrong, WANG Renxiang* (115)

# 测绘卫星的姿态控制技术

王新民, 刘洁, 李滢, 张屹峰, 董筠

北京控制工程研究所, 北京 100190

**摘要:** 通过分析测绘卫星的姿态控制要求, 研究了卫星姿态控制所涉及的主要误差源, 提出了相应的解决措施, 针对测绘卫星的需求进行了姿态控制系统方案设计。

**关键词:** 测绘卫星, 姿态, 控制, 方案设计

**中图分类号:** P236      **文献标志码:** A

**引用格式:** 王新民, 刘洁, 李滢, 张屹峰, 董筠. 2012. 测绘卫星的姿态控制技术. 遥感学报, 16(增刊): 48-51

Wang X M, Liu J, Li H, Zhang Y F and Dong J. 2012. Attitude control technology of mapping satellite. Journal of Remote Sensing, 16(增刊): 48-51

## 1 引言

测绘卫星一般指具备平面基准、高程基准和重力基准计算能力, 并具备测图功能、能满足大中比例尺制图精度要求的对地观测卫星, 是航天遥感应用的重要领域(唐新明和丛楠, 2011)。

与资源类卫星不同, 测绘卫星的主要特征是高几何精度, 这样就对卫星的测轨精度、姿态控制精度和稳定度等提出了很高的要求, 而且要求下传卫星的姿态和位置信息以供地面处理, 并且对数据的采样频率和时间精度都有明确要求, 大容量的数据要求姿态控制系统能够进行数传天线对地定向, 如日本的陆地卫星ALOS(IWATA, 2003)。为提高重访周期, 一般要求卫星具有侧摆机动功能。在空间相机摄影时, 相机和地物的相对运动会产生像移, 导致图像模糊、调制传递函数MTF(Modulation Transfer Function)下降, 工作时必须进行补偿, 因此要求卫星具备偏流角控制能力。为保证卫星的地面轨迹和降交点地方时, 要求卫星具备轨道维持能力。

## 2 姿态控制需求分析

### 2.1 高精度的姿态稳定度需求

测绘卫星对姿态稳定度有较高要求。卫星在轨

长期采用动量轮进行三轴稳定PID控制(比例-积分-微分), 根据卫星姿态控制的误差源分析, 影响姿态稳定度的因素主要有在轨姿态确定精度、执行机构控制精度、惯性测量部件的测速精度、设计的控制带宽、帆板柔性耦合以及星上其他转动部件的影响等。测量噪声与执行机构噪声对控制系统姿态精度、稳定度的影响与所选择的闭环系统带宽有关: 频带越宽, 姿态确定误差对指向精度、稳定度的影响越大; 速率反馈引入的陀螺测速噪声对指向精度的影响越小, 对稳定度的影响越大; 而轮子力矩噪声、外扰力矩噪声对指向精度、稳定度的影响越小。设计控制系统方案时要择优分配各部件指标和控制带宽, 设计控制系统带宽时还应考虑到挠性振动的影响与星上计算机的能力(带宽越大, 要求采样周期越小)。

### 2.2 高精度的姿态确定需求

卫星姿态确定精度影响着卫星的指向精度、姿态稳定度以及其他依赖姿态信息的部件指向。卫星姿态一般由姿态敏感器信息和轨道信息确定, 这样卫星往往需要配置高精度的星敏感器、陀螺以及GPS或更高的精密测轨设备, 如多普勒跟踪仪(Doris), 经地面处理后测轨精度可达1—2 cm(Jayles, 2002)。根据误差链路分析, 敏感器的角度测量误差、轨道定位误差以及各敏感器间的时间误差等均影响了姿态确定精度,

同时为了减小安装常值误差的影响, 还需要地面具有标定的手段。要设计合理的姿态滤波算法, 估计陀螺漂移。

由于星敏感器的横轴指向精度低于光轴精度(一般相差7—10倍), 假设单星敏感器的光轴指向精度为 $\sigma$ , 两星敏感器间不同光轴夹角定姿精度的等价单星敏精度见表1, 由表可见光轴交角在一定范围内的双星敏感器定姿精度优于单星敏感定姿精度。为保证在轨精度, 往往需配置3个星敏感器, 安装位置可保证至少2个星敏感器同时有效, 可见安装构型在满足星敏感器遮光性能的情况下应使其光轴间夹角尽量接近 $90^\circ$ 。

表1 两星敏感器间光轴不同夹角的定姿精度

两星敏间光轴夹角( $^\circ$ )	等价单星敏精度 (光轴、横轴)
90	$(1.0, 1.0)\sigma$
60或120	$(1.0, 1.15)\sigma$
45或135	$(1.0, 1.41)\sigma$

同时星敏感器、陀螺以及GPS等数据往往需要遥测下传, 地面处理后做为高精度图像处理的数据源, 这样对于数据的采样频率、时间精度以及测量精度等也要满足地面应用系统的需要。

### 2.3 高精度的姿态控制需求

为获得良好的姿态指向精度以及完成大容量的数据传输所需的数传天线指向, 测绘卫星对姿态控制也有较高的要求。卫星一般采用轮控PID控制技术, 在高精度姿态确定的前提下, 比较容易获得较高的指向精度, 其中的偏流角、太阳帆板或特定部件的指向角均根据实时姿态和轨道信息计算。采用磁力矩器卸载是轮控系统的通用配置。侧摆机动功能则根据任务调度及时启动或停止。

控制系统方案设计时要全面考虑卫星重力梯度力矩、气动阻力力矩、太阳光压辐射力矩和剩磁力矩等外部干扰力矩以及其动量积累情况与对姿控的影响, 此外还应考虑帆板驱动机构、动量轮和数传天线等活动部件对姿态的影响。

### 2.4 其他需求

卫星要具有自主诊断与重构以及地面注入修改星上软件的能力, 并且具备安全模式以保证异常情况下

的应急对日定向。根据轨道漂移情况和轨迹保持要求, 择期进行轨道维持。

## 3 姿态控制方案设计

姿态控制设计常常需要在许多相互矛盾的要求(功能、性能和约束条件等)之间进行折衷和优化, 有时还必须与卫星总体及其他分系统折衷协调以获得一种可行的设计(屠善澄, 2001)。根据测绘卫星任务分析, 测绘卫星的功能要求与以往资源类卫星类似, 因此控制系统方案可以继承在轨卫星成熟技术, 但要针对其特殊需求进行完备的方案设计。

### 3.1 控制系统组成

控制系统的组成主要包括控制器、星敏感器、陀螺、动量轮、磁力矩器、帆板驱动机构和肼推进系统等。

### 3.2 飞行工作模式设计

根据功能和性能要求, 控制系统主要设计如下飞行模式: 粗定向模式、精定向模式、轨控模式和安全模式等, 并且要设计完备的各模式间自主转化逻辑或地面转换手段。粗定向模式是星箭分离后动量轮引入之前的模式, 一般采用喷气控制。精定向模式是卫星在轨长期工作模式, 采用动量轮控制和磁力矩器卸载, 进入该模式时卫星角速度必须与动量轮的容量相匹配, 该模式要建立稳定而精确的对地定向姿态参考基准, 完成在轨侧摆机动、偏流角控制以及太阳帆板或特定部件的指向控制等。轨控模式主要用于变轨。安全模式主要是为避免因异常情况导致的姿态丢失, 进而保证整星能源。

### 3.3 姿态确定方案

精定向模式选用“星敏感器+陀螺”方案作为卫星主要工作模式的定姿方式, 提供高精度的姿态确定, 把单用星敏感器定姿方案作为备份。为了提高控制分系统的定姿精度, 更好的满足测绘卫星的高精度定位需求, 要采取多信息融合策略以提高定姿精度, 为姿态控制创造良好的输入条件, 并将获得的姿态引入控制系统闭环回路中, 使得卫星的姿态指向精度和稳定度进一步提高, 通过设计姿态滤波器估计陀螺漂移, 可以进一步提高卫星三轴惯性姿态角速度的测量

结果, 进而更加有利于测绘卫星成像。

对姿态要求不高的其他模式一般采用由陀螺测量的角速度信息及其积分来确定姿态信息。

### 3.4 姿态控制方案

精定向模式选用整星零动量的PID轮控方式, 提供高精度的姿态控制, 采用磁力矩器卸载。该模式应具有对地零姿态控制、偏流角控制、侧摆姿态机动控制以及活动部件指向控制等功能。短期运行模式一般采用喷气控制, 能获得更好的任务工作效率。

### 3.5 侧摆机动控制方案

侧摆机动控制一般分为滚动侧摆机动、侧摆偏置飞行及侧摆机动回3个子阶段。侧摆机动一般属于短期飞行模式, 从整星安全考虑, 要求根据地面指令启动, 地面指令需同时给定机动角度, 注入数据有效则执行。当卫星侧摆机动到达预定角度后, 进入侧摆偏置飞行; 卫星在偏置飞行时, 可接受地面有效指令, 进行再次侧摆机动。星上应设置保证整星安全的允许最大偏置飞行时间, 以便卫星自动转入侧摆机动回。侧摆采用轮控方式, 姿态机动过程采用时间最优控制律, 稳定过程和侧摆偏置飞行采用PID控制律, 控制律的设计应兼顾帆板挠性影响。滚动侧摆机动及侧摆机动回过程中, 由于滚动机动时间短, 因此采用陀螺预估方法确定卫星姿态与角速度, 侧摆偏置飞行过程可引入星敏感器进行姿态修正。

### 3.6 偏流角计算与控制方案

精定向模式星上自主根据姿态和轨道数据实时计算偏流角, 地面可通过遥控方式进行偏流角引入控制回路的开关切换。当需要进行偏流角控制时, 地面注入“引入偏流角控制”指令, 星上计算机就自主将偏流角引入偏航控制回路; 当不需要进行偏流角控制时, 地面注入“不引入偏流角控制”指令, 星上计算机就自主不将偏流角引入偏航控制回路, 恢复零姿态对地定向方式。

### 3.7 太阳帆板控制方案

太阳帆板展开后, 利用帆板上的模拟太阳敏感器测量帆板法线与太阳光入射线在垂直于太阳翼板纵轴平面内的投影之间的夹角, 或者根据轨道和帆板转角

信息, 由星上计算机计算并输出帆板驱动机构转速驱动指令, 使帆板相对卫星本体以相应的角速度旋转, 实现太阳方位的捕获和跟踪。精定向模式帆板一般以轨道角速度转动。

### 3.8 轨道控制方案

轨道控制包括升轨、降轨和轨道倾角调整等(杨嘉墀, 2005)。轨道控制设计要根据入轨精度、轨道维持要求预算轨控燃料, 根据轨控精度确定变轨推力器的配置, 根据卫星轨迹允许偏差和轨道衰减速速度确定轨道调整时机。为保证整星安全, 由地面数据指令启动变轨, 启动前需注入变轨时刻、本次变轨推力器工作时间、轨控前姿态机动时刻及其机动角度等。

### 3.9 重要部件安装方案

对于测绘卫星而言, 陀螺和星敏感器非常重要, 尤其要重视其安装构型和位置。星敏感器的安装以保证在轨联合定姿精度为主, 为减小星敏感器之间的相对位置变化, 应将星敏感器安装在同一个基座, 甚至与载荷安装在同一个基座, 以提高载荷数据处理的几何精度。陀螺的安装不仅要考虑定姿精度, 还要考虑整星的长寿命和安全性, 构型设计和在轨使用策略同等重要。

### 3.10 时间管理方案

由于测绘卫星要利用姿态数据和测轨数据来获取高几何精度, 因此对这类数据的时间精度要求较高, 甚至要求时间同步。控制系统应从校时、守时和用时等环节综合考虑, 设计高精度的时间管理技术。

### 3.11 安全性策略

除了保证星上各部件的产品质量、加强地面的检测和系统试验外, 还要设计完备的长寿命和安全性策略, 主要包括:

(1)陀螺构型设计和在轨使用策略: 一般任意3个就可定姿, 并定期轮换。

(2)其他部件冗余设计: 控制器、星敏感器、动量轮等均具有冗余备份。

(3)系统重构控制模式: 部件故障要及时重构, 主要包括姿态确定方式的重构、姿态控制方式的重构以及飞行工作模式的重构。

(4)地面干预能力: 地面可接收比较全面反映部件与系统状况的遥测数据, 可通过遥控指令来实现部件的切换、系统工作模式的切换、重要控制参数的设定与修改, 从而为采取各种故障对策, 为改进系统性能提供灵活而有力的手段。同时要具有灵活的在轨软件修改能力。

(5)故障诊断和健康安全管理策略: 要具有一定的系统及部件的故障检测能力(如陀螺、星敏感器和动量轮等), 并具有自主切换部件及改变系统工作模式的能力, 确保整星的能源安全和燃料安全。

### 3.12 数学仿真

方案设计主要解决控制类型、控制方法和影响姿态控制系统静、动态特性的参数选择匹配问题, 其完成的标志是在经过分析验证的系统数学模型基础上的分析和数学仿真, 并由此获得满足全过程任务功能和性能要求及约束条件的姿态控制设计方案(屠善澄, 2001)。

数学仿真要首先建立敏感器、控制器和执行机构

的数学模型, 以及卫星本体动力学和干扰力矩的数学模型, 再根据卫星在轨飞行任务, 考虑各影响因素和边界条件进行系统性能仿真以及稳定性分析。

## 4 结 论

测绘卫星的姿态控制要求与其他资源类卫星相比, 大部分功能要求相同, 但是还有少数特殊需求。本文分析了测绘卫星的姿态控制需求, 并进行了完备的姿态控制方案设计。

### 参考文献(References)

- 唐新明, 丛楠. 2011. 我国测绘卫星现状与发展思考. 地理信息世界, 9:4
- IWATA. 2003. Precision attitude and orbit control system for the Advanced Land Observing Satellite. AIAA 2003-5783
- Jayles. 2002. Real-Time on-board Orbit Determination in Space. IAC-03-U.2.b.07
- 屠善澄. 2001. 卫星姿态动力学与控制. 北京: 宇航出版社
- 杨嘉墀. 2005. 航天器轨道动力学与控制(下). 北京: 宇航出版社

## Attitude control technology of mapping satellite

WANG Xinmin, LIU Jie, LI Han, ZHANG Yifeng, DONG Jun

Beijing Institute of Control Engineering, Beijing 100190, China

**Abstract:** The attitude control requirements of mapping satellite is analysed. Aiming at the main error source effect on attitude control accuracy, investigates relevant solving measures. Based on the requirements of mapping satellite, the schemes of attitude control is proposed.

**Key words:** mapping satellite, attitude, control, schemes design



## 封面说明

About the Cover

“天绘一号”卫星获取的吉林省长春市影像数据

The image acquired by Mapping Satellite-1 for the city of Changchun, Jilin

“天绘一号”卫星是中国第一颗传输型立体测绘卫星。封面图片为“天绘一号”卫星获取的吉林省长春市影像数据，左图为红、绿、蓝、近红外4个波段的10 m分辨率多光谱影像，中间为2 m分辨率全色影像，右图为生成的融合影像。“天绘一号”卫星既能进行高精度地形地貌立体测绘，又能进行地物判绘、资源调查和遥感定量分析，可广泛应用于国土测绘、城市规划、农林普查、土地利用详查、水利电力、交通运输、灾害监测和矿产资源分析等领域。

The Mapping Satellite-1 is the first stereo mapping satellite of China. The cover shows the data captured by this Satellite for the city of Changchun, Jilin province, northern China. The left side is a multispectral image that consists of red, green, blue, and near infrared bands at 10 m resolution. The middle is panchromatic image with 2 m resolution, and the right shows the fusion image. These data are important for three dimensional topography and landform surveying and high precision mapping, object interpretation and editing, resources investigation and remote sensing quantitative analysis. They are also expected to play a significant role in national land surveying and mapping, city planning, agriculture and forests survey, land usage investigation, water reservation and electric power, transportation, disaster forecast and mineral resources analysis.

# 遥感学报

## JOURNAL OF REMOTE SENSING

YAOGAN XUEBAO (双月刊 1997年创刊)

第16卷 增刊 2012年12月26日

(Bimonthly, Started in 1997)

Vol.16 Sup December 26, 2012

主 管 中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办 中国科学院遥感应用研究所 中国地理学会环境遥感分会	Sponsored	by	Institute of Remote Sensing Applications, CAS. The Associate on Environment Remote Sensing of China
主 编 顾行发	Editor-in-Chief		GU Xing-fa
编 辑 《遥感学报》编委会 北京市安外大屯路中国科学院遥感应用研究所 邮编：100101 电话：86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail:jrs@irsa.ac.cn	Edited	by	Editorial Board of Journal of Remote Sensing Add: P.O.Box 9718, Beijing 100101, China Tel: 86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail: jrs@irsa.ac.cn
出 版 科 学 出 版 社	Published	by	Science Press
印刷装订 北京科信印刷有限公司	Printed	by	Beijing Kexin Printing Co. Ltd.
总 发 行 科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码：100717 电话：86-10-64017032 E-mail:sales_journal@mail.sciencep.com	Distributed	by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: 86-10-64017032 E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com
国外发行 中国国际图书贸易总公司 北京 399 信箱 邮政编码：100044	Overseas distributed	by	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399, Beijing 100044, China

中国标准连续出版物号：ISSN 1007-4619  
CN 11-3841/TP  
CODEN YXAUAB

国内邮发代号：82-324

国外发行代号：BM 1002

定价：70.00元

ISSN 1007-4619

国内外公开发行

