

文章编号:1671-5942(2005)02-0052-06

热红外极轨卫星地震监测系统综合技术研究*

马照松¹⁾ 单新建¹⁾ 吴云^{2,3)}

- 1) 中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室, 北京 100029
2) 中国地震局地震研究所, 武汉 430071
3) 地壳运动与地球观测实验室, 武汉 430071

摘要 以2003年架设的NOAA/FY极轨卫星数据地面接收站为基础,针对NOAA系列卫星,采用分布式处理方案,设计并建立了地震热红外卫星监测业务运行系统。系统主要功能包括:卫星数据的接收、处理、归档、查询、发布;自动生成全国夜晚地表亮温图像、全国白天彩色合成图像、全国每旬无云地表亮温图像等专题数据库产品;对任意选定的监测区进行热红外亮温动态跟踪和异常警示;实现了直观的无人值守的准实时自动化处理以及远程管理和数据检索。通过对地震热红外卫星监测业务运行系统的研究和开发,在数据标定、辐射校正、图像预处理、专题产品的生成与管理等方面取得了宝贵的经验,为我国地震卫星地面数据接收、处理系统的建立奠定了基础。

关键词 极轨气象卫星 中国地震卫星 地震热红外 监测业务运行系统 综合技术
中图分类号: TP31, TP7 **文献标识码**: A

INTEGRATED TECHNIQUE FOR NOAA SATELLITE IR DATA PROCESSING SYSTEM APPLIED TO EARTHQUAKE MONITORING

Ma Zhaosong¹⁾, Shan Xinjian¹⁾ and Wu Yun^{2,3)}

- 1) State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, CEA, Beijing 100029
2) Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071
3) Crustal Movement Laboratory, Wuhan 430071

Abstract On the basis of a polar orbit data receiving station settled in 2003, an auto IR data processing-monitoring transactional system with distributed processing scheme aiming at earthquake monitoring has been set up, whose functions include NOAA satellite data receiving, archiving, querying and issuing; auto-generating production of data-base of special topic, such as countrywide nighttime surface brightness temperature image, synthetic color daytime image and cloudless surface brightness temperature image by 10 days; IR-brightness temperature tracing and anomaly warning for any monitored area. Thus the unmanned, quasi-real-time automatically processing, tele-management and data search have been implemented. Through the development of this system, a lot of experiences in calibrating, radiation correcting, imagery preprocessing, producing and management of thematic results have been gained. The research lays a foundation for establishing the system of receiving and processing the earth-surface data from China seismic satellite.

* 收稿日期: 2005-03-10
基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划(90202018); “863”课题: 中国地震科学卫星计划的预研与制定(2003AA134060)
作者简介: 马照松, 男, 1965年生, 汉族, 江苏南京, 在读博士生, 主要研究方向: 地理信息系统和遥感系统的开发; 固体力学方面的数值模拟、优化设计和软件系统开发

Key words : polar-orbiting meteorological satellite , China seismic satellite ,seismologic IR , monitoring system ,integrated technique

1 引言

利用卫星技术观测地震前的信息场变化在国际上越来越受到关注。目前已有多颗热、磁、电等专业卫星发射或准备发射,为研究地震孕育过程中活动构造信息、地球物理场信息变化提供保证。如正在运行中的美国 NOAA 系列气象卫星和新近发射的 EOS 气象/环境遥感卫星、日本静止气象卫星 GMS、中国资源卫星 CBERS-1 和 FY 系列卫星等已构成多光谱分辨率、多空间分辨率、全天候的综合对地观测系统,可以提供大区域的与地震孕育有关的地表亮温信息。2000 年美国制定并实施了全球地震卫星系统 GESS (Global Earthquake Satellite System) 研究计划,并于 2003 年发射了 QuakeSat 电磁小卫星,该计划同时将 InSAR、热红外和地磁监测作为地震监测的有力手段。

每个卫星监测系统均包括数据采集、传输和地面处理系统。其中地面处理系统是卫星对地观测系统中非常重要的一部分。美国、日本、欧盟等发达国家在整个卫星系统设计过程中,把地面数据接收、处理系统、产品开发纳入计划,待卫星发射后,很快取得了社会、科研和经济效益。我国中国科学院、气象卫星中心、海洋卫星中心在地面运行系统的开发方面也取得了较好的经验^[1,2]。中国地震局在“八五”、“九五”和“十五”期间均开展了地震热红外监测和预测研究。“十一五”期间,中国地震局拟发射地震卫星、建立地面数据接收应用系统,并拟将红外遥感卫星作为主要的观测手段之一。因此,开展数据接收、数据存贮、数据处理、产品开发等地面运行系统的前期研究就显得非常重要。在上述背景下,我们结合 2003 年架设的 NOAA/ FY 卫星数据地面接收系统,开始着手地震热红外卫星监测业务系统的预研,由于目前大量的地震相关热红外研究和地震监测广泛采用了 NOAA 系列卫星,因此我们以 NOAA 系列卫星热红外数据为基础,设计完成了试验性地面运行系统。

2 NOAA 系列卫星基本情况

NOAA 极轨气象卫星系统由 TIROS-N (Advanced Television Infrared Observation Satellite) 系列和 KLM 系列太阳同步轨道卫星组成。其中 TIROS-N 系统包括: NOAA-6、NOAA-7、NOAA-8、NOAA-9、NOAA-10、NOAA-11、NOAA-12、NO-

AA-13 和 NOAA-14^[3] 等系列。目前该系统只有 NOAA-14 尚在正常业务运行。NOAA- KLM 系列卫星是美国第五代近极轨气象卫星,共包括 5 颗卫星: NOAA- K (NOAA-15)、NOAA-L (NOAA-16) 和 NOAA-M (NOAA-17) 是其中已运行的 3 颗卫星,而卫星 NOAA-N 和 NOAA-N' 将分别在 2005 年和 2008 年发射^[4]。与第四代极轨气象卫星相比,NOAA- KLM 所搭载的仪器有了重大的改进,新增加了 16 个微波探测通道和 1 个云图探测通道,在提高卫星探测能力的同时,给资料处理带来了许多新的内容^[5]。表 1 是 NOAA- KLM 系列卫星的部分特性参数。

表 1 NOAA- KLM 系列卫星部分特性参数表

Tab. 1 Some features of NOAA- KLM Satelllite series

项目	NOAA- KLM 规格
发射日期	NOAA- K: 1998 年 5 月 13 日 NOAA-L: 2000 年 9 月 21 日 NOAA-M: 2002 年 6 月 24 日 NOAA-N: 待定 NPOESS Preparatory Project (NPP): 2006 年 8 月 31 日 NOAA-N': 2008 (待定)
使命寿命	不少于两年
轨道	太阳同步, 833 ± 19 km / 870 ± 19 km
实时数据传输率	
TIROS 处理器	8.32 kbps
HRPT	665.4 kbps
APT	约 2 kHz 中分辨率图像 (选自 2 个 AVHRR 传感器通道)
存档数据传输率	
GAC	665.4 kbps
LAC	665.4 kbps HRPT
回放	2.66 mbps (通常情况)

NOAA- KLM 卫星适用于热红外监测的数据主要是 AVHRR/3 传感器的 HRPT 数据,其空间分辨率约为星下点 1.1km 每像素,分为 ch1、ch2、ch3A/ch3B、ch4 和 ch5 通道,其中 ch3B、ch4 和 ch5 通道为红外通道^[4]。表 2 为 AVHRR/3 传感器特性一览表。

2003 年 4 月中国地震局地震动力学国家重点实验室建成了极轨卫星接收系统,日常接收 NOAA 系列、风云-1 系列等 7 颗卫星的数据。目前主要采用 NOAA-16 的 ch4、ch5 通道用于地表亮温监测,主要是考虑 NOAA-16 星下点的本地时间为下半

表 2 AVHRR/3 传感器特性表
Tab. 2 Features of sensor AVHRR/3

参数	Ch1	Ch2	Ch3A	Ch3B	Ch4	Ch5
光谱范围(μm)	0.58~0.68	0.725~1.0	1.58~1.64	3.55~3.93	10.3~11.3	11.5~12.5
传感元件	Si	Si	InGaAs	InSb	HgCdTe	HgCdTe
分辨率(km)	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
信噪比(0.5%反照率时)	9:1	9:1	20:1	-	-	-
温度误差(300K时)	-	-	-	0.12K	0.12K	0.12K
温度范围(K)	-	-	-	180~335	180~335	180~335

夜,地表亮温受昼间日照影响相对较小,该卫星的数据质量也较为稳定。

3 存储方案及系统功能设计

数据存储是在极轨卫星接收系统建设的基础上,构建数据库服务器、文件服务器、磁盘阵列等一系列硬件系统,采用数据仓库概念,存储原始卫星数据文件、次生产品数据、生成的编目数据等,此外还包括下列数据库:全国夜晚地表亮温数据库、全国白天彩色合成图像数据库、全国每旬无云地表亮温数据库、重点监测地区温变库、卫星影像综合信息检索库。

数据访问方式为分布式文件系统与 WEB 检索发布相结合。

数据处理主要包括以下几个方面:

- 1) 基本处理:卫星数据的解码;定标计算;数据的分类和存档;数据编目。
- 2) 地理信息融合:地理编码和投影;地理信息图层的自动配准和叠加;按照地理信息进行数据的裁切和抽取。
- 3) 图像处理:坏线、噪点的检测和消除;太阳高度角校正;辐射校正;灰度变换和伪彩色合成;图像的编码和输出;快视图库的生成。
- 4) 数据综合:云层剔除;图像拼接。
- 5) 数据分析:生成亮温温变曲线;温变跟踪和分析计算。
- 6) 信息发布及共享:数据库管理;基于客户端的数据检索和远程访问;基于浏览器的数据检索和远程共享。

最为重要的是,由于每天源源不断地大量接收数据,加上繁杂的各种处理必须由系统自动完成,所以要实现长期、不间断的无人值守和准实时动态更新。

4 系统结构设计及实现

自行设计开发的数据处理软件系统采用分布式

事务处理方案,其主要内容是构建后台应用控制服务的卫星数据处理-服务管理子系统,形成接收-处理-发布综合应用软件平台;实现无人值守的卫星接收数据全自动后处理机制。同时,建立数据库管理模块、数据库实时自动更新模块和数据库检索系统以及数据的远程共享系统。

整个系统平台的主框架是卫星数据处理管理服务子系统,其本质上是后台应用控制服务,按系统服务方式后台运行。同时,监视卫星数据接收部分,获取卫星数据接收的状态和进程信息,并根据需要启动和控制卫星数据后处理子系统、卫星数据存档管理子系统、数据库更新以及数据异常分析和警示系统的运行。系统模块中还包括轨道参数自动更新和自动校时功能,以弥补卫星接收系统需要时常进行人工校时和更新轨道参数的不足。图 1 是卫星数据处理软件系统总体框图。

尽管数据后处理子系统更多地实现了专业领域的处理功能并发展了一些新的或改进的算法,但管理服务系统是整个业务系统的主控进程(Master Controlling Process),因此管理-服务系统仍然是流程设计中的重点部分和最为复杂的部分(图 2)。

管理服务系统实质上提供了服务部分和管理-管理接口两条并行的线索。前者提供了直观的和自动响应的准实时后台服务,根据卫星接收的事件以及存储量、处理时间、卫星数据包含的空间信息等条件,控制各个应用模块的运行;后者提供了接受本地/远程管理的网络端口,通过端口监听、连接、数据编码和传输,实现客户端对服务的参数设置和状态监视。管理服务系统被设计成易于扩展的灵活机制。通过挂接模块可以方便地实现系统功能的扩展。可接受的挂接模块类型包括可执行文件和动态连接库文件。管理服务系统对挂接模块实行进程管理,在出现问题的情况下及时处理死进程并生成日志。

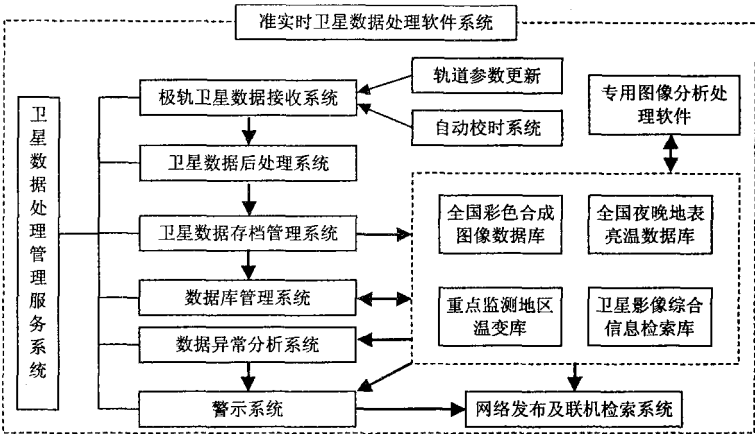


图 1 系统的软件构成

Fig. 1 Software architecture of the system

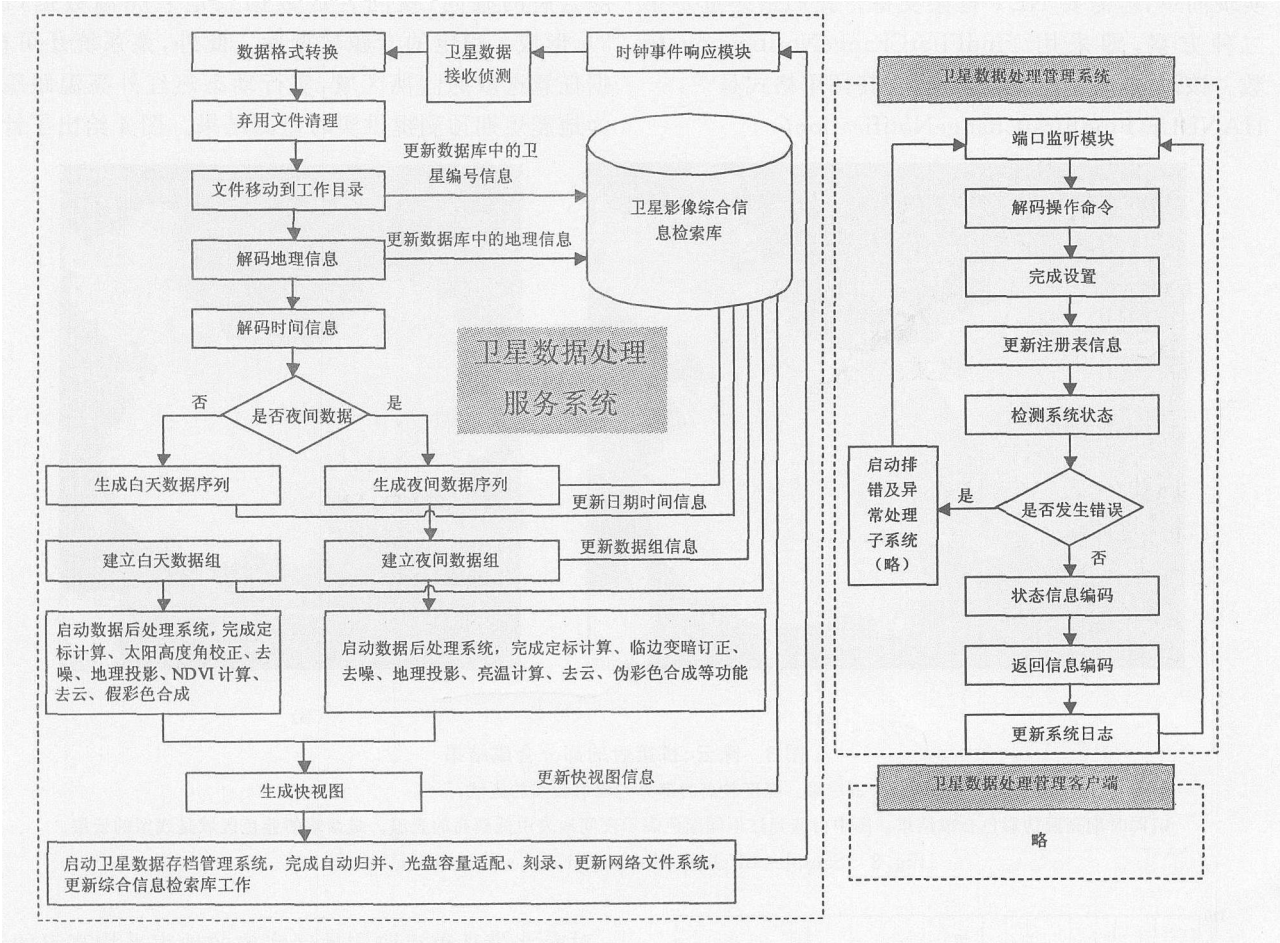


图 2 管理-服务子系统流程图

Fig. 2 Flow chart of the service-administration subsystem

5 无人值守自动处理机制的技术路线

卫星接收系统目前接收 NOAA-12、NOAA-14、NOAA-15、NOAA-16、NOAA-17、风云-1C、风云-1D 等 7 颗卫星的数据。每天接收的数据量约 4G,为实现数据的自动处理和无人值守的动态更新,管理-服务系统采用 NT Service 构架来建立,其特点是:

- 1) 服务在后台静默运行,与普通登录的用户互不干扰。
 - 2) 只要计算机启动,服务就可以自动运行。
- 服务构架的关键在于监听/触发机制。除了用于管理和运行状态监视的网络端口监听以外,还针对自动处理的功能需求建立了文件系统事件监视接口和时间触发接口。当满足触发条件(卫星接收系统收到

新的数据、系统时间达到预设的触发点)时,运行于服务器上的管理-服务系统开始执行一系列操作。例如,收到新的数据后,进行数据解码、转换等处理;每 15 分钟一次校对时间;每 12 小时一次检查清理接收到的数据(通过网络访问),清除无用数据,保留有用数据,编录,完成各种后处理,压缩,入库,生成刻录映像(图 2);每 10 天一次处理各种旬值。

文件系统事件监视有多种方式:

- 1)采用系统钩子 IFSHook;
- 2)采用创建监视线程,并在其中调用 FindFirstChangeNotification 函数;
- 3)采用事件响应函数 FileSystemEvent Handler。

第一种方法对监视远程文件不适用;第三种方法实现简单,但需要 NET 框架支持。我们最终选定第二种方案,即采用 FindFirstChangeNotification 函数。该函数是 Win32 系统函数,其调用格式是^[9]:
HANDLE FindFirstChangeNotification(

```
LPCTSTR lpPathName ,  
    // pointer to name of directory to watch  
BOOL bWatchSubtree ,  
    // flag for monitoring directory or  
    // directory tree  
DWORD dwNotifyFilter  
    // filter conditions to watch for  
);  
    满足条件时,按照设计流程执行特定任务;不满足条件时,将控制权返回系统。
```

6 运行结果及应用

通过地震热红外卫星监测业务运行系统,实现了除云后的昼间、夜间合成数据及地表亮温数据(图 3),形成了稳定的专题数据库。此外,该系统还可根据任意选取的监视区域,实行动态热红外亮温跟踪,为地震短期预测提供实时监测结果。图 4 给出了针

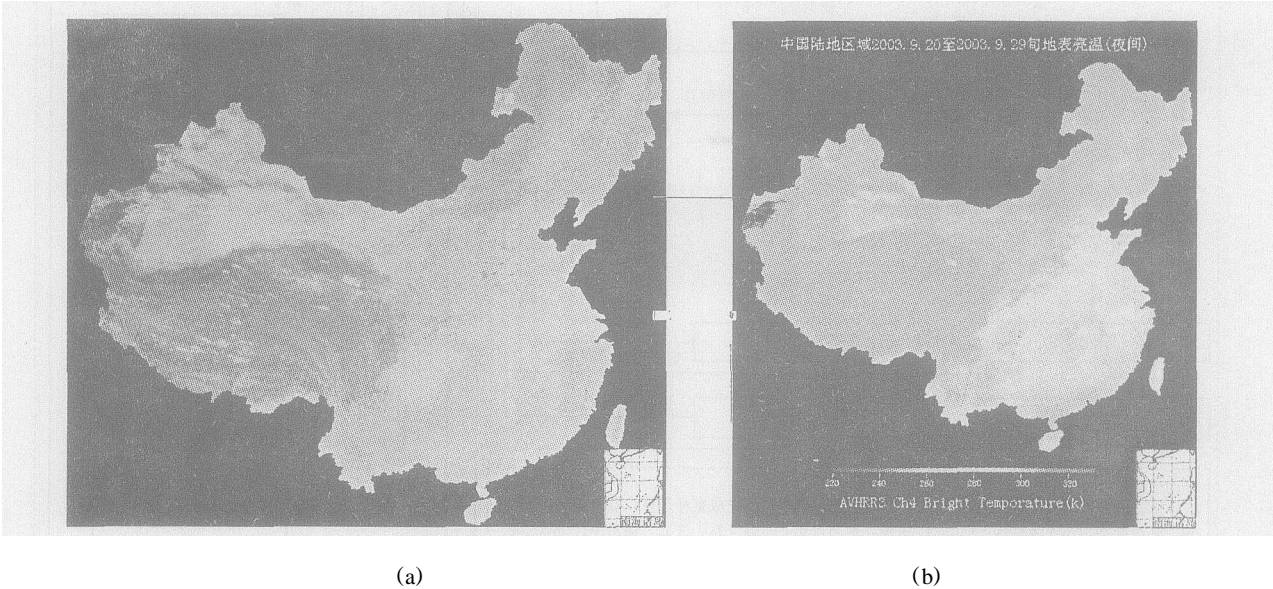


图 3 除云、拼接后的部分合成结果

- a、夜间红外通道(ch4, ch5, ch6)合成结果。亮度较高的部分为辐射较强的区域;
- b、同时期亮温伪彩色合成结果。图中由蓝到红不同颜色表示夜间地表由低到高的亮温。最西端的蓝色区域是残留的云层。

Fig. 3 Samples of cloud-eliminated and synthesizing results

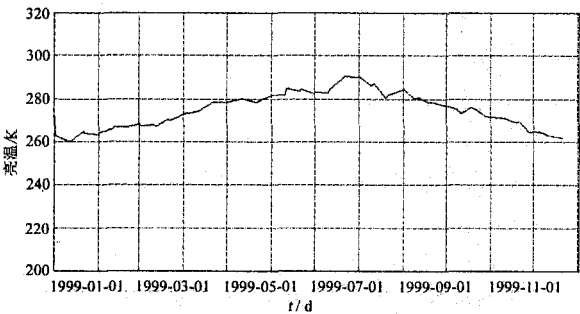


图 4 西北某重点监视区地表热红外动态跟踪结果图

Fig. 4 Sample plot of surface IR dynamic-tracing in a key monitored region in northwestern China

对南北带某重点监测地区实施的地表平均亮温的动态跟踪监测结果,图中曲线为 1999 年全年的亮温变化曲线,可以看出在正常情况下地表亮温的年变相当规律。

7 结论

地震热红外卫星监测业务运行系统对 1999 年、2003 年和 2004 年迄今的 7 颗极轨卫星数据的处理实践表明,由于自动化的处理机制的实现,节省了大量的人力,获得了热红外研究所需的实时资料,保证

了相关研究项目的实施^[10]。与此同时,该项研究成果为中国地震卫星地面数据接收、处理业务系统的建立,提供了前期经验。

References

- 1 强祖基,徐秀登,侯常恭.卫星热红外异常——临震前兆[J].科学通报,1990,35(17):1324~1327.
- 1 Qiang Zuji,Xu Xiudeng and Lin Changgong. Thermal IR-anomaly by satellite - impending precursor[J]. Chinese Science Bulletin,1990,35(17):1324 - 1327. (in Chinese)
- 2 马瑾,单新建.利用遥感技术研究断层现今活动的探索[J].地震地质,2000,22(3):210~215.
- 2 Ma Jin and Shan Xinjian. An attempt to study fault activity using remote sensing technology[J]. Seismology and Geology,2000,22(3):212 - 215. (in Chinese)
- 3 Katherine B,Kidwell. NOAA polar orbiter data user's Guide [EB / OL]. <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/podug>, November 1998.
- 4 Geoffrey Goodrum, Katherine B, Kidwell and Wayne winston. NOAA-KLM user's guide [EB / OL]. <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm>, April 5, 2004.
- 5 陆④,孙龙祥,马金钢,史贺江.极轨气象卫星 NOAA-KLM 资料定标处理[J],解放军理工大学学报(自然科学版),2002,3(6):85~88.
- 5 Lu Cheng,Sun Longxiang,Ma Jingang,et al. Calibration of Noaa-KLM data of polar-orbit meteorological satellite [J].Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition),2002,3(6):85 - 88. (in Chinese)
- 6 Saunder R W and Kriebel K T. An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data[J]. Int. J. Remote Sens., 1988, 9: 123 - 150.
- 7 Norman J M, Divakarla M and Goel N S. Algorithms for extracting information from remote thermal-IR observations of the earth's surface[J]. Remote Sens. Environ., 1995, 51: 157 - 168.
- 8 NOAA Satellite Information Team. NOAA satellite information system for NOAA meteorological / weather satellites [EB / OL]. <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml>.
- 9 Microsoft Corporation. Microsoft developer network library [EB / OL]. <http://msdn.microsoft.com/>.
- 10 屈春燕,马瑾,单新建.利用卫星热红外观测地球排气现象的一次尝试[J].地震地质,2004,26(3):539~547.
- 10 Qu Chunyan,Ma Jin and Shan Xinjian. An attempt to observe gas releasing phenomena of the earth by using satellite themal infrared technique [J]. Seismology and Geology,2004,26(3):539 - 548. (in Chinese)

意大利达·努齐奥大学保罗博士应邀访问中国地震局地震研究所

应中国地震局地震研究所所长姚运生研究员的邀请,意大利达·努齐奥大学(University“G. D'Annunzio”)教授保罗(Paolo Boncio)博士,于2004年7月8日至11日来我所进行访问。访问期间,保罗博士作了题为《临汾盆地地震断层与地震灾害预测模型》的专题报告,详细介绍了2002年9至10月间与中国地震局地震研究所饶扬誉博士在临汾盆地调查的合作研究成果,并对1695年5月18日临汾8级大地震的发震断层提出了新的见解。

中国地震局地震研究所科技处外事办 刘汉刚

上网可查本刊来稿处理结果

本刊网站已开通,网址为 dkxb.chinajournal.net.cn。从即日起,各位投稿者可在本网站查询投稿的处理结果。由于网页存贮量有限,3个月前来稿的信息将不断被删除。

《大地测量与地球动力学》编辑部