

文章编号: 0253-3782(2006)05-0546-08

# 禁核试核查地震信息系统 设计与相关技术<sup>\*</sup>

郑学锋<sup>1, 2), \*</sup> 沈钧毅<sup>1)</sup> 菁 平<sup>2)</sup> 郑江铃<sup>2)</sup>  
孙 鹏<sup>2)</sup> 张慧民<sup>2)</sup> 王同东<sup>2)</sup>

1) 中国西安 710049 西安交通大学

2) 中国西安 710024 西北核技术研究所

**摘要** 地震核查技术是《全面禁止核试验条约》规定的主要针对地下核爆炸监测的国际监测技术手段。为了提高对低震级事件的检测、定位与识别能力, 开发了禁核试核查地震信息系统。该系统以 ArcGIS 为基础, 充分发挥 GIS 的强大的空间数据分析、拓扑分析和数据可视化处理能力, 为地震数据的分析处理建立灵活方便的图形化研究环境。利用 ArcSDE Geodatabase 数据模型与大型关系数据库管理系统 ORACLE 相结合, 并通过基于 COM 的 ArcObjects 组件开发技术扩展 ORACLE 的管理功能, 真正实现了空间、非空间等多源数据的一体化无缝集成, 并保留了 ORACLE 的海量数据管理、事务处理、记录锁定、并发控制、数据仓库等功能。本文主要论述禁核试核查地震信息系统的总体设计与相关技术。

**关键词** 地震监测 CTBT 数据库 核爆炸监测 地理信息系统

**中图分类号:** TP311, P315.61   **文献标识码:** A

## 引言

地震核查技术是《全面禁止核试验条约》(简称 CTBT)规定的主要针对地下核爆炸监测的国际监测技术手段(全面禁止核试验条约组织筹备委员会, 1998)。20世纪80年代以前, 核爆炸地震监测主要利用震中距3 000 km以上的远震台站来进行。形成这种局面的原因主要有两点: 一是核爆炸在区域台站上的记录数据难以被获取到; 二是远震信号的传播路径比较简单, 均匀性强, 信号容易解释。取得的主要成就包括: ①形成了地震事件识别的远震判据, 包括地震事件的深度、体波震级和面波震级的相对大小, 即平常所说的震级差等; ②注意到走时的系统偏差对地震定位结果的影响, 建立了主事件定位、联合地震定位等相对定位方法; ③注意到不同地质条件对当量震级关系的影响, 初步建立了针对不同试验场的当量震级关系。从20世纪80年代开始, 核爆炸地震监测技术研究逐渐从远震向区域震过渡。90年代以后, 区域性事件识别判据、地震信号的区域特性研究和标定技术的研究成为核爆炸地震监测的研究重点。研究结果表明, 区域性地震台站在小震级地震事件的检测、定位和识别等方面具有很大的潜力。但与远震信号相比, 区域性地震信号的传播路

\* 2005-11-28 收到初稿, 2006-03-26 决定采用修改稿。

† 通讯作者。E-mail: zheng\_xf@126.com

径更加复杂, 不均匀性更强, 使地震信号的走时、幅值以及信号特征等都表现出比较强烈的区域性变化, 这些区域变化直接影响到地震事件的检测、定位、识别和当量估算。因此, 有必要对这些区域性变化加以分析, 找出与这些变化有关的量, 并建立起扣除这些变化的数学和物理模型。然而, 区域校准研究需要大量的、各种类型的数据和资料的支持, 这必将依赖基于地理信息系统和数据库相结合的综合地震数据库系统或知识库系统。

目前, 国外在这方面投入了较多的研究力量, 已有不少服务于 CTBT 核查方面的系统 (Anderson *et al*, 2004; U S Department of Energy, 1998; Chan, Ni, 2000; Seber *et al*, 2000; Bonner *et al*, 2001; Chan *et al*, 2001; National Nuclear Security Administration, 2004; Henson *et al*, 2000)。根据美国能源部核安全局的一份报告, 通过利用 GIS 与大型数据库系统结合的综合地震数据库系统、知识库系统的建立, 已经使得国家核安全局 (NNSA) 地基核爆炸监测研究和工程(GEEM R&E)计划取得了重要进展(O'Boyle *et al*, 2002), 充分显示了地震信息系统在 CTBT 核查技术研究与应用中的重要作用。

为了改善核爆炸地震监测能力, 基于先进的地理信息系统平台 ArcGIS 和大型关系数据库管理系统(RDBMS)ORACLE, 利用先进的 Geodatabase 数据模型和 ArcSDE 空间数据引擎, 我们研制了禁核试核查地震信息系统。该系统的建立需要把各种不同类型的数据、信息以及应用模块集成为一个无缝、有效且便于使用的高质量系统, 涉及到多源数据集成、ArcGIS 的二次开发以及可视化的 Web 服务等相关技术。

## 1 禁核试核查地震信息系统总体设计

应用于核爆炸地震和天然地震特征分析的地震信息系统, 不仅需要为专业研究人员提供用于事件分析处理的各种基础背景资料、区域内历史事件记录与分析结果, 以及特殊事件研究结果等一系列全面而翔实的数据与知识, 还要提供便于应用的灵活的分析处理环境。为此, 该系统主要包括以下 5 个部分: 海量数据库管理子系统、图形化分析处理子系统、远程图形化信息服务子系统、应用函数接口子系统和输入输出子系统(图 1)。

图 2 是禁核试核查地震信息系统体系结构。该体系结构采用 3 层结构模型: 数据服务层、应用逻辑层和表现层。数据服务层包括 ORACLE 数据库和 ArcSDE 应用服务器, 构成一个存贮、访问和管理空间与非空间数据的关系数据库服务器, 主要存储和管理系统所需的数据; 应用逻辑层包括 ArcObjects 以及 ArcIMS 系统平台和 Web 服务器; 表现层为地震信息系统应用软件及 Web 页面。对客户端应用软件(如 ArcInfo 或 ArcIMS)发出的应用请求, ArcSDE(ARC 空间数据库引擎)将空间数据与属性数据请求进行处理并转换为关系数据库管理系统可以识别的信息提交给 RDBMS, 然后将数据库管理系统返回的数据按照客户端请求格式进行处理, 在服务器端缓冲存放, 并整批发回客户端, 提交给客户端应用程序。同时, ArcSDE 采用的是 Client/Server 工作模式, 并采用版本管理机制, 保证了大量用户的并发访问和操作。另外, 基于 JAVA 和 ArcIMS 开发的远程地震信息查询与波形浏览服务, 以 B/S 服务的形式提供给网络用户, 实现了系统网络一体化。

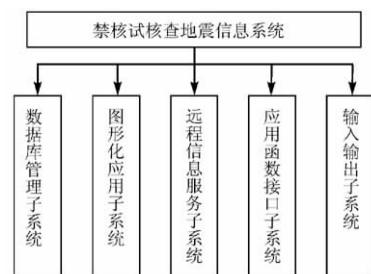


图 1 禁核试核查地震信息系统组成

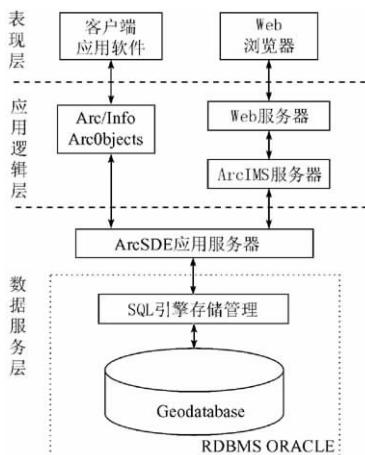


图 2 地震信息系统体系结构

就表征一次地震事件而言，地震本身具有较强的空间特性，而对地震事件特征的描述多使用属性数据。事件产生的背景信息是空间矢量类型的地质背景数据，事件记录波形是大数据且与传播模型数据密切相关，事件的分析结果多为文本表述。将这些数据有机地结合即可全面、准确地表达一个地震事件，这就是多源数据集成表达的问题。系统采用大型关系数据库管理系统 ORACLE 作为海量数据存储的底层数据库，将 ORACLE 数据库、Geodatabase 数据模型与 ESRI 的 ArcSDE (Environmental Systems Research Institute, Inc, 1999a) 空间数据引擎相集成，利用 ArcObjects(AO) 组件开发技术建立统一框架，来实现以上多种数据类型的有效集成。

从数据模型角度来讲，Geodatabase 可以良好的集成空间和属性数据 (Environmental Systems Research Institute, Inc, 1999b; 周卫, 2001; 曾杉, 邢超, 2003<sup>①</sup>)，实现空间数据和属性数据的全关系存贮和管理，但需要扩充其它类型数据的集成与管理。本系统中，空间数据包括矢量数据 (vector)、栅格数据 (raster)、高程数据 (DEM) 和扫描图片数据。我们将矢量、栅格以及高程数据直接建立坐标系统导入 ArcSDE 的 Geodatabase 数据库，可以达到基于对象单元的管理与访问；而对于表示一定区域的扫描图片型数据，则利用 ArcGIS 软件整体赋予相应的坐标系统，导入 ArcSDE Geodatabase 数据库，可以满足基于整体图片的管理与访问，从而实现了空间数据的四位一体库结构 (图 3)。对一维二维模型数据，分别采用函数模块和二维曲线模块来组织，而对三维格点数据则使用三维应用模块来组织 (图 4)。大数据的管理用 BLOB 和二进制文件系统两种方式混合组织，文本数据则通过对 ORACLE 的 text 管理功能进行扩展来完成，表格型属性数据直接进入 ArcSDE Geodatabase 数据库。

这样的多源数据集成充分利用关系数据库管理系统完善的数据管理与服务，保留了 ORACLE 的原有数据的安全性、一致性、并发控制、数据仓库、备份与恢复等功能。而 ArcSDE 服务器进程作为应用服务器，实现了真正意义上的空间数据和非空间数据的一体化无缝集成与统一管理。

## 2 禁核试核查地震信息系统相关技术

### 2.1 多源数据集成管理

建立禁核试核查地震信息系统的目的是为研究人员深入分析地震事件提供平台。一方面，需要提供所研究地区系统、全面的基础背景资料，以提高地震事件分析的准确性；另一方面，目前全世界有数千个地震台站在进行着天然地震和地下核爆炸的地震监测，成千上万的专业人士在进行地震数据的分析解释及相关的地球物理研究，其中有很大一部分研究本身就是针对如何提高对核爆炸地震监测能力的，但其研究成果分散且数据类型与格式各异。本系统就是要收集、筛选、组织和管理有关的研究成果以利于应用。

<sup>①</sup> 曾杉, 邢超. 2003. Geodatabase 应用教程. 北京: ArcGIS 中国培训中心, 397

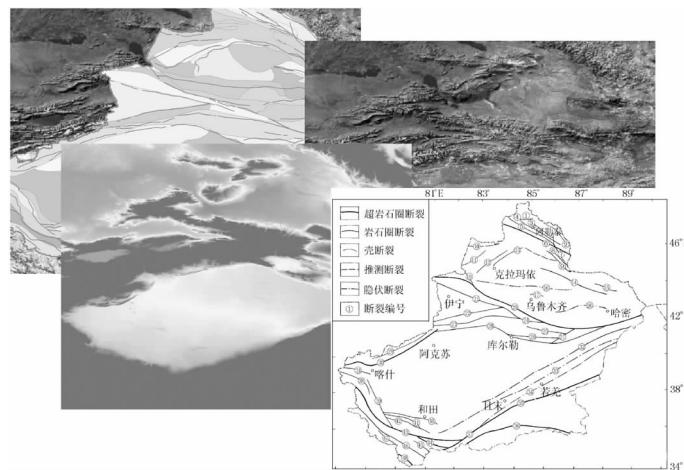


图3 空间数据的四位一体库结构

## 2.2 基于 COM 技术的 ArcObjects 组件开发

禁核试核查地震信息系统图形化分析软件是该系统的重要组成部分之一。其主要实现空间数据的输入输出、特殊地震事件的特征分析、空间图形数据的显示、空间数据和属性数据的查询检索、常规的地理分析(缓冲区分析、拓扑分析、网络分析等等)和其它数据服务功能，并以数据分析与图形化表达相结合的方式呈现给用户。

该图形化分析软件的建立基于对 ArcGIS 进行二次开发。ArcGIS 的二次开发有 3 种方法(毛峰等, 2002): 菜单驱动、VBA(microsoft visual basic for application)开发和 COM 编程——ArcGIS 的高级开发。鉴于本系统应用的特殊性和复杂性, 前两种开发方法不能满足应用需求, 故采用 ArcGIS 的高级开发, 即 ArcObjects 组件开发方式, 通过对 ArcObjects 组件库的扩展, 并在 ArcObjects 组件库的基础上独立设计并开发满足用户特殊需求的、具备地理信息系统常规功能的综合应用系统。

COM 组件开发是建立可重用软件组件的二进制的规范或协议。通过这个协议, 软件组件或模块可以互相连接, 使软件组件可以透明地在网络上被重新分配位置。组件对象模型是建立在接口基础之上的, 可以说接口就是组件的一切, 一个组件就是一个接口集, 组件只不过是接口的实现细节, 通过接口, 组件之间可以进行通信。接口封装了组件对象的具体实现, 本质上, 接口集的实现是函数指针数组, 就是图 5 中的虚拟函数表(Rogerson, 1997)。接口的函数指针数组结构使得组件对象的开发和使用与开发语言无关。ArcGIS 的 ArcObjects 库中所包含的组件对象都是 COM 组件对象, 遵循 COM 协议, 可以在不同的

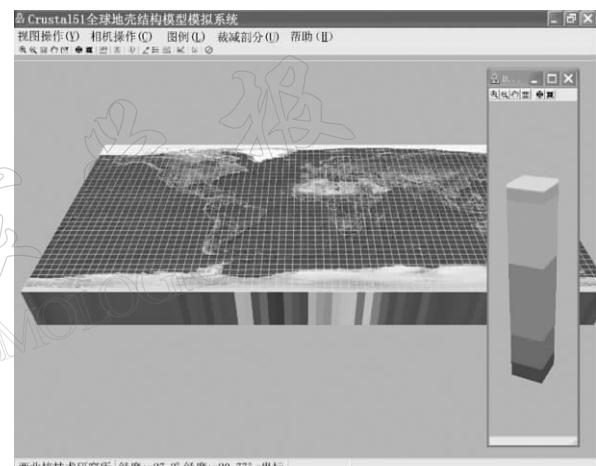


图4 三维模型数据表达

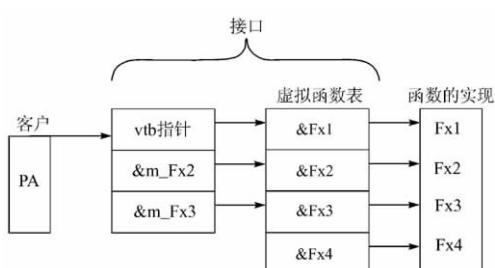


图 5 COM 的接口结构

的方法分解成不同的模块，并按照自下而上的方法进行模块开发。每个模块是一个 COM 并完成特定任务。这些 COM 或者取之于 ArcObjects 库，或者由程序员自主开发，所有 COM 集成于一个统一的框架。通过这个框架，用户可以应用系统所有功能，选择地球任何区域并确定哪些相关数据集可以获得以及针对各自的目的来使用。这就使得研究人员可以在较高的水平开展地震事件分析，以及基于更全面、更翔实的资料来解释可疑事件。图 6 为利用图形化分析软件查阅的 1995 年以来全球 4.5 级以上地震事件和相关信息。

### 2.3 基于 B/S 的远程信息服务技术

基于 ArcGIS 的地震信息系统，是以 ArcObjects 组件技术为核心的，它不能脱离 ArcGIS 软件平台独立运行。但是，ArcGIS 软件的使用是 license 管理的，不可能为每个用户都购买这套软件，而禁核试核查地震信息系统是要为多用户服务的，因此，必须提供某种有效途径来访问该系统。ArcIMS 是 ArcGIS 家族解决网络用户有限服务的模块，我们利用 JAVA 开发平台，集 JSP 和 ArcIMS 技术于一体，建立基于 B/S 服务模式的远程信息服务子系统就是为解决这一矛盾而采取的技术手段，基本可以满足远程网络用户访问和应用本系统需求。

#### 2.3.1 ArcIMS 技术

ArcIMS(internet map service)是 ArcGIS 体系的一部分，它被用来完成在网络上发布地理信息。ArcIMS 创建并维护空间数据 Web 站点，提供强大的空间数据调阅和分析功能。

ArcIMS 支持多种客户端 Browser，客户端 Browser 通过 Internet 向 Web Server 发出请求。Application Server 负责将 Web Server 传递来的客户端请求分配给相应的虚拟空间服务器执行。Spatial Server 对传递来的客户端请求进行处理，然后将处理结果返回给应用

语言中进行开发和调用。

利用基于 COM 的 AO 组件高级开发技术，我们开发了一个菜单驱动、用户友好的图形化分析软件。它是进入信息系统的一个“窗口”，用来检索集成的应用产品、访问标准的 GIS 数据集、浏览元数据以及启动研究工具模块。它的界面主要包括菜单栏、工具栏、空间数据显示窗口、图层控制栏以及状态栏 5 个部分。系统功能划分按照自上而下

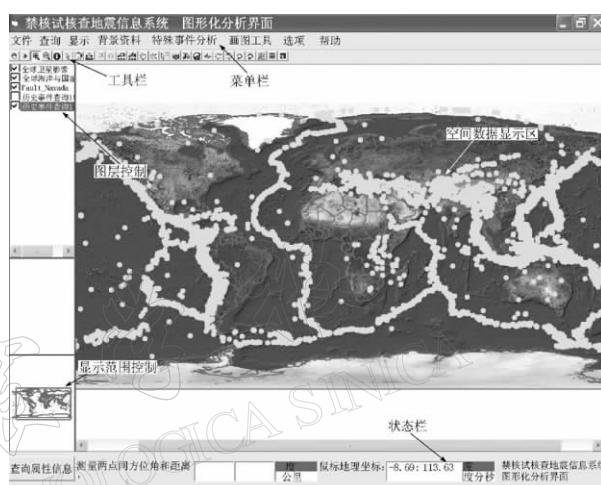


图 6 图形化分析软件用户界面

图示为 1995 年以来全球 4.5 级以上地震事件查询结果

服务器。Application Server 又通过 Web Server 和 Internet, 将处理结果最终返回给客户端浏览器。浏览器将返回结果进行再处理, 以将其显示。

### 2.3.2 基于 ArcIMS 的远程访问模块设计与实现

在基于 ArcIMS 的远程图形化访问功能的实现中, 数据来自于通过 ArcSDE 管理的 ORACLE 数据库中的空间或非空间数据。ArcIMS Service 选择了影像服务, 依据 ESRI 提供的 Web 站点模板选择了可供普通的 Web Browser 浏览的 HTML Viewer, 建立起了远程地理、空间信息访问机制。图 7 是远程用户通过浏览器查阅系统管理的美国已知核爆炸相关信息。

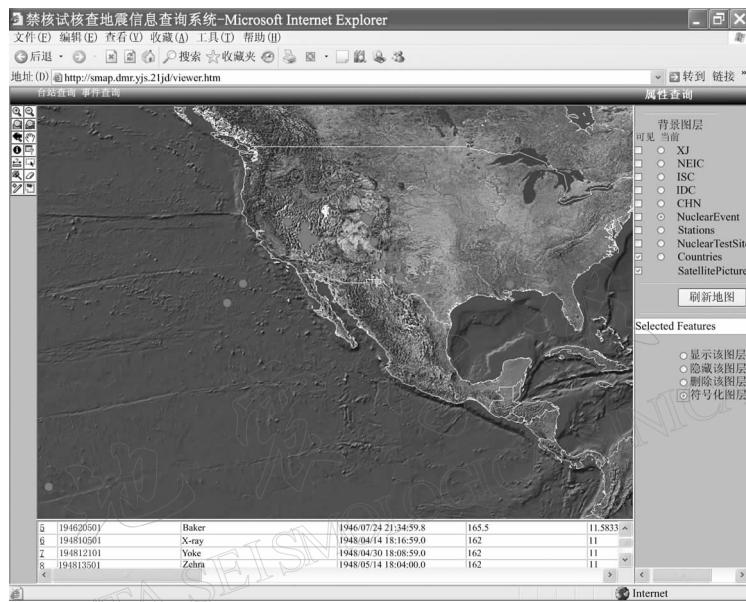


图 7 远程用户通过浏览器查阅系统信息

图示为美国已知核爆炸相关信息, 可以不同比例尺显示

### 2.3.3 基于 B/S 的远程地震波形实时浏览程序设计与实现

禁核试核查地震信息系统组织管理了大量与地震事件、地震分析相关的各种类型数据, 特别是反映地震事件原始特征的各个地震台站记录的波形数据。对于这些数据的使用, 发展趋势是通过网络方式调用。由于每个地震事件经常会有几十个甚至上百个台站记录到事件信号波形, 而且信号质量差异巨大, 或者是出于对某些台站记录波形的关注, 或者是处于某种特定的研究目的, 分析人员往往希望能够方便地从其中挑选出来一些波形进行分析。此时, 需要在网页对事件波形进行实时浏览, 这就要求地震信息系统的网页查询提供动态调阅服务器端数据库系统中的波形数据并即时显示, 而且能够在客户端对波形数据给予一定的编辑功能, 比如波形移动、缩放、滤波等。目前, 多数地震机构提供的地震波形数据浏览基本都是提供展示波形图片的方式服务, 用户不能对波形进行操作。本文作者通过使用远程方法调用 RMI, 进行服务器与客户端之间通信以获取需要的数据, 然后在 JAVA APPLET 中显示数据和对波形进行编辑操作, 从而实现了远程波形实时访问与动态浏览。

### 3 结论

通过利用先进的空间数据模型——ArcSDE Geodatabase 与大型关系数据库管理系统 ORACLE 相结合,于地震信息系统中管理海量的各种类型地震事件与相关数据,真正实现了空间数据与非空间数据一体化的无缝集成,并保留了 ORACLE 的海量数据管理、事务处理、记录锁定、并发控制、数据仓库等功能。使得地震信息系统的数据服务建立在符合工业标准的大型商业 RDBMS 基础之上,为系统稳定、可靠、高效运行提供了保证。

由于 ArcSDE 采用的客户/服务器体系结构,并利用版本方式管理 Geodatabase 的要素,封装了 RDBMS 的并发控制功能,保证了大量用户同时针对同一数据进行操作。

采用基于 ArcGIS 的 AO 组件高级开发技术建立系统应用程序,充分发挥了 ArcGIS 的空间数据支持和强大的图形化分析处理功能,使得禁核试核查地震信息系统的应用与进一步开发处于较高的基点,使专业研究人员能够在较高层次上进行服务于核爆炸监测的地震研究。

利用 JAVA 与 ArcIMS 相结合的方式建立基于 B/S 的 Web 服务子系统,实现了远程用户仅利用 Browser 而对系统的波形动态浏览、信息查询及空间地理和地质背景数据的引用,满足了信息系统网络用户的应用需求。

### 参 考 文 献

- 毛峰,沈小华,艾丽双,等. 2002. ArcGIS8 开发与实践[M]. 北京:科学出版社, 25~69
- 全面禁止核试验条约组织筹备委员会. 1998. 全面禁止核试验条约[M]. 奥地利: V. 98-50818-March 1998-570, 151
- 周卫. 2001. Arc/Info 的新型数据模型 Geodatabase 及其操作[J]. 计算机与地图, (3): 21~23
- Rogerson D(著). 1997. 杨秀章(译). 1999. COM 技术内幕——微软组件对象模型[M]. 北京: 清华大学出版社, 11~26
- Anderson D N, Willemann R J, Miley H S, et al. 2004. Trends in nuclear explosion monitoring[A]. NNSA eds. *The 26th Seismic Research Review-Trends in Nuclear Explosion Monitoring*[C]. <http://www.nemre.nnsa.doe.gov/cgi-bin/prod/researchreview/index.cgi>, 3~13
- Bonner J L, Britton J M, Lewkowicz J F, et al. 2001. Development of calibration datasets for southern Asia[A]. DOE eds. *The 23rd Seismic Research Review: Worldwide Monitoring of Nuclear Explosions*[C]. <http://www.nemre.nn.doe.gov/review>, 3~11
- Chan W W, Ni X X. 2000. A groundtruth database for central China[A]. *The 22nd Annual DoD/DOE Seismic Research Symposium: Planning for Verification of and Compliance with the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty(CTBT)*[C]. <http://www.nemre.nn.doe.gov/review>, 03-02
- Chan W, Jiao W, Wagner R, et al. 2001. Regional seismic database for southwest China[A]. DOE eds. *The 23rd Seismic Research Review: Worldwide Monitoring of Nuclear Explosions*[C]. <http://www.nemre.nn.doe.gov/review>, 21~29
- Environmental Systems Research Institute, Inc. 1999a. *Understanding the ArcSDE*[M]. Redlands, CA, USA: ESRI, 56
- Environmental Systems Research Institute, Inc. 1999b. *Modeling Our World*[M]. Redlands, CA, USA: ESRI, 202
- Henson I, Gupta I, Wagner R, et al. 2000. Formation of groundtruth database and other studies for regional seismic research[A]. DOE eds. *The 22nd Annual DoD/DOE Seismic Research Symposium: Planning for Verification of and Compliance with the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty(CTBT)*[C]. <http://www.nemre.nn.doe.gov/review>, 08-05

- National Nuclear Security Administration. 2004. *Nuclear Explosion Monitoring Research and Engineering Program Strategic Plan*[R]. DOE/NNSA/NA-22-NEMRE-2004. <http://www.nemre.nnsa.doe.gov>, 8~12
- O'Boyle J, Ruppert S, Hauk T, et al. 2002. Meddle east, North Africa and western Eurasia seismic research database [A]. NNSA eds. *24th Seismic Research Review-Nuclear Explosion Monitoring : Innovation and Integration*[C]. <http://www.nemre.nnsa.doe.gov/cgi-bin/prod/researchreview/index.cgi>, 29~33
- Seber D, Sandvol E, Sandvol C, et al. 2000. Global and regional GIS database development in support of CTBT monitoring[A]. DOE eds. *The 22nd Annual DoD/DOE Seismic Research Symposium : Planning for Verification of and Compliance with the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT)*[C]. <http://www.nemre.nn.doe.gov/review>, 10-03
- U S Department of Energy. 1998. *CTBT Research and Development Plans and Accomplishments*[R]. DOE/NN-98001802. <http://www.ctbt.rnd.doe.gov>, 18~27

## ARCHITECTURE AND CRITICAL TECHNIQUES OF SEISMIC INFORMATION SYSTEM IN CTBT VERIFICATION

Zheng Xuefeng<sup>1, 2)</sup> Shen Junyi<sup>1)</sup> Jin Ping<sup>2)</sup> Zheng Jiangling<sup>2)</sup>  
Sun Peng<sup>2)</sup> Zhang Huimin<sup>2)</sup> Wang Tongdong<sup>2)</sup>

1) Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

2) Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China

**Abstract:** Seismic monitoring is one of the most important approaches for ground-based nuclear explosion monitoring. In order to improve the monitoring capability for low magnitude seismic events, a seismic information system was developed by using the technologies of geographic information system and database. This paper describes the designing and critical technologies of the Seismic Information System in CTBT Verification developed based on ArcGIS and ORACLE platforms. It is a combination of the database storage framework, application programming interface and graphic application software for users to meet their monitoring objectives. Combining the ArcSDE Geodatabase, RDBMS ORACLE and ArcObjects developing technique on COM, not only the multi-sources data has been seamlessly integrated, but also the most functions of ORACLE, for example: consistency, concurrent access, security mechanism, etc, have been reserved. For easy access to the information system we develop two different mechanisms. The first is a menu-driven internal system that is run on NT platforms. The second access mechanism is based on LAN and easily accessible by any web browsers.

**Key words:** seismic monitoring; CTBT; databases; nuclear explosion monitoring; GIS