

深部探测综合集成与数据管理

董树文¹⁾, 吴珍汉¹⁾, 陈宣华¹⁾, 郑元¹⁾, 管焯¹⁾, 杨振宇²⁾,
赵越²⁾, 张岳桥²⁾, 张福勤³⁾, 刘志强¹⁾, 刘刚¹⁾, 周琦¹⁾,
张交东¹⁾, 李杰¹⁾, 李冰¹⁾, 徐燕¹⁾

1) 中国地质科学院, 北京 100037;

2) 中国地质科学院地质力学所, 北京 100081;

3) 中国科学院地质地球物理所, 北京 100029

摘要: 深部探测是集多种技术与数据成果的系统工程, 通过深部探测综合集成与数据管理, 综合分析、处理和集成已有深部探测与实验研究所取得的各类地球物理、地质构造和地球化学数据, 结合以往研究积累, 建立中国大陆地壳结构框架; 研究我国大陆和东亚大陆中、新生代构造演化及其地质响应, 初步建立我国大陆岩石圈四维结构概念模型, 重塑主要构造单元的演化过程。建立多源信息数据库, 进行主体库和分布式数据管理, 实现数据采集、存储、计算、共享、集成和三维显示数据流, 以及深部探测地球物理、地球化学、地应力及地质勘查等多源数据的空间服务功能以及目录服务、数据共享服务; 通过技术层面的开发应用, 实现对探测数据资源和信息的传输、管理、更新、虚拟现实展示, 通过门户网站实现探测数据科学管理和社会共享。引进国际先进地球深部探测技术和关键仪器设备, 构建一流的深部探测研究实验室; 实现探测设备、仪器的高效运转与资源共享机制, 提高投资效益比; 建立若干个多技术、多方法、综合探测试验、物理标定和示范基地。完善地壳探测计划实施方案、技术设计和管理系统, 推动地壳探测计划的国家立项。开展专项的日常管理, 组织各项的立项、检查、中期评估、成果评审与验收, 综合集成专项研究成果。

关键词: 综合集成; 大陆岩石圈; 四维结构; 数据管理; SinoProbe

中图分类号: P542.5; P628.4 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2011.s1.09

The Integration and Data Management of Deep Exploration

DONG Shu-wen¹⁾, WU Zhen-han¹⁾, CHEN Xuan-hua¹⁾, ZHENG Yuan¹⁾, GUAN Ye¹⁾,
YANG Zhen-yu²⁾, ZHAO Yue²⁾, ZHANG Yue-qiao²⁾, ZHANG Fu-qin³⁾, LIU Zhi-qiang¹⁾,
LIU Gang¹⁾, ZHOU Qi¹⁾, ZHANG Jiao-dong¹⁾, LI Jie¹⁾, LI Bing¹⁾, XU Yan¹⁾

1) Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081;

3) Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract: Deep exploration is a systematic engineering composed of various kinds of technological and data achievements. Through deep exploration comprehensive integration and data management, the researchers will make synthetic analysis, processing and integration of various available geophysical, geological-structural and geochemical data obtained from deep exploration and experimentation and, in combination with previous research achievements, establish the framework of the crustal structure in China's mainland. The project will study the Mesozoic-Cenozoic tectonic evolution and geological response in China's mainland and East Asia continent so as to tentatively establish the

本文由国家专项“深部探测技术与实验研究”(编号: SinoProbe-08)资助。

收稿日期: 2010-08-20; 改回日期: 2010-12-07。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 董树文, 男, 研究员, 博士生导师。长期从事构造地质学、动力成岩成矿与碰撞造山带研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999606。E-mail: swdong@cags.ac.cn。

four-dimensional structural conceptual model and reshape the evolutionary processes of main tectonic units. Multi-source information database will be established, and the main library and distributive data management will be carried out, so as to realize the implementation of data acquisition, storage, computation, sharing, integration and three-dimensional display of data stream and achieve spatial service function, catalog service and data sharing service of geophysical, geochemical, geo-stress and geological exploration multi-source data obtained from deep exploration. Through technological development and application, the transmission, management, updating and virtual reality display of the exploration data resources and information will be achieved and, through portal network station, scientific management and social sharing of exploration data will be realized. Advanced deep exploration technologies and key instrumental equipment will be introduced from abroad so as to build the first-rate laboratory for deep exploration and study. The mechanism of high-efficient operation of exploration equipment and instruments and resource sharing will be realized, and the investment efficiency will be improved. Several bases will be established for multi-technological and multi-methodological integrated exploration test, physical calibration and demonstration. The implementation plan, technological design and management system of the crustal exploration will be perfected so as to push forward the state ratification of the crustal exploration project. Specific day-to-day management will be carried out so as to organize project ratification, examination, mid-term evaluation, achievements assessment and acceptance, and synthetic integration of research achievements of the specific project.

Key words: synthetic integration; continental lithosphere; four-dimensional structure; data management; SinoProbe

1 研究意义与背景

中国大陆由古亚洲构造域、特提斯构造域和太平洋构造域组成。这3个构造域的形成、发展和相互作用,在东亚大陆形成复杂的大陆构造系统、盆山格局和岩浆活动。限于目前的研究现状,很多认识还没有达成一致结论,因此对深部探测研究结果进行综合集成,对众多研究成果进行甄别是解决中国深部问题有效的方法之一。

1.1 中国西部大陆新生代构造格局与演化

中国西部地区作为一个由多个地块镶嵌拼合而成的复杂构造单元,始新世以来在印度大陆的碰撞和推挤下,表现出相当复杂的变形格局。昆仑地体晚三叠世印支期增生到古亚洲大陆上,羌塘地块在晚三叠世/早侏罗世与昆仑地体拼合,以及拉萨地块与羌塘地块于晚侏罗世/早白垩世的拼合,形成了白垩纪末印度板块碰撞前统一的欧亚大陆南缘。

尽管喜马拉雅地块、拉萨地块、羌塘地块以及昆仑地体初步的古地磁结果可以大致说明这些地块均来自冈瓦纳大陆,在不同时期的裂离和后期的会聚拼合过程等,但详细的数据分析可以发现青藏高原各地块晚古生代以来的古地磁数据仍十分有限,这些数据远远不能满足建立一个较客观的运动学模型,同时也滞后于近几年国内外对特提斯洋构造演化、青藏高原多块体的聚合过程、青藏高原隆升及其动力学的研究,如新一轮中国、美国、德国、加拿大 INDEPTH 合作计划的实施(1992年—)和法国-尼泊尔 IDYLHIM 计划。国家科技部实施的国家重点基础研究发展规划项目(“973”项目)先后对青藏高原的资源 and 构造演化作为重点进行研究。美国

国家自然科学基金会的大陆动力学计划也把青藏高原作为重点的研究区。这些研究项目将对青藏高原的构造演化和环境地球物理特征提供更可靠的资料。然而,由于研究侧重点不同,这些计划一般并未注重青藏高原晚中生代以来各个地块(各自)的运动学特征。显然,对于青藏高原晚中生代以来各个地块(各自)的运动学特征认识的局限,极大地限制了人们对青藏高原多块体拼合过程和特提斯洋构造演化的认识,同时也制约了对印度板块和欧亚大陆早第三纪碰撞以来地壳、岩石圈变形特征的理解。

1.2 中国东北地区中生代大地构造研究现状

根据目前的资料显示(Sengör et al., 1993; Sengör, 1996; Van der Voo, 1999; Chen et al., 2000; 苗来成等, 2003; 石玉若等, 2007; Miao et al., 2008),中国东北在侏罗纪早、中期开始处于“三边挤压”的动力背景,因此,中生代早中期的中国东北可能归属于区域构造内涵存在横向变化的“东北亚高原($J_1-2?$)”的一部分。 J_3-K_1 出现盆-岭式垮塌。其后出现较大区域的塌缩,类似松辽盆地这样的大盆地在此背景下发育。东北地区的中生代构造与前中生代构造,在区域上的构造继承与叠加方面,横向变化特别明显,也是造成该区域构造复杂性的重要原因。

1.3 华北地区中生代大地构造研究现状

中国东部中生代,特别是侏罗纪以来的构造演化、岩石圈减薄、构造转折及其成因机制研究是国内外近期研究的热点问题之一。作为中国东部的组成部分,华北东部是开展这一问题的主要研究地区之一。“燕山运动”作为中国东部中生代构造变形的典型,在东北亚的构造格局以及大陆变形机制

具有重要的意义,几十年来在我国被广泛应用,并在构造运动波及范围、精细过程与定年和动力学起因等方面不断发展和进步。但目前关于“燕山运动”的性质、成因及时限仍存在有明显的分歧(赵越等, 1994, 2004; 崔盛芹等, 1999, 2000; 张宏仁, 2000; 郑亚东等, 2000; Davis et al., 2001; 翟明国等, 2004; 董树文等, 2007; 张岳桥等, 2007)。近些年众多的岩石学研究结果表明,华北克拉通东部在中生代以来发生了明显的岩石圈减薄及破坏,这种深部的岩石圈减薄过程必然伴随有与地壳表层构造变形。但相对岩石学工作而言,构造地质学研究工作仍然相对薄弱。因此需要从多学科角度(构造地质学、岩石学、同位素年代学、地球化学、沉积学及地球物理学等)来对这一问题进行深入研究。

1.4 华南地区中生代大地构造过程研究现状

华南是由多个块体或地体拼合增生而成的大陆板块,主要构造单元包括扬子地块、江南造山带、华夏地块等。华南地块北部边缘为秦岭—大别—苏鲁碰撞造山带,将华南地块与华北地块拼合在一起;其西南边缘通过红河断裂与印支地块相联,东南缘为沿海岩浆—变质构造带。研究表明,早中生代(三叠纪和侏罗纪)是华南乃至整个东亚大陆大地构造发生剧烈变动的时期,也是东亚大地构造发展的重要转折时期。华南大地构造演化历史极其复杂,争议很大,其中争议的焦点之一是关于早中生代大地构造性质和动力过程(张岳桥等, 2008)。

地壳与深部探测利国利民,是人类认识与管理地球、实现和谐社会与可持续发展的基础。进入 21 世纪,地球科学研究更加具有针对性,更加强调广泛采用最新观测、监测、探测、测试、实验、理论、模拟、分析、信息等先进技术和研究手段,认识和理解人类赖以生存的地球。地球科学的前沿研究已开始与高新技术的发展融为一体。一方面,地球科学的研究依靠自然界的信息作为知识的窗口,观测、探测、测试和实验是数据和基础资料的来源,应用现代技术而发展的观测、探测、测试、实验和信息系统技术成为地球科学发展的重要依托;另一方面,高新技术在地球科学研究中的应用,增强了人类了解自然的能力,促进了一系列新概念和新领域的形成。高新技术的发展与应用必将促进地球科学预测能力的提高,与此同时高新技术也将得到进一步的发展。

人类关于地球的知识,无不来源于对地球探测、观测所获得的数据、信息。只有掌握海量的、多时空尺度、多学科的探测、观测数据、信息,科

学家才能有效地研究地球系统的现象、规律与过程,包括全球变化。随着空间对地观测、地面观测、深部地球物理探测、海洋观测等系统的建立和完善,海量的科学数据得以不断积累,为地球科学的研究提供了前所未有的宝贵信息,大大丰富了地球科学的数据资源。这迫切需要建立数据平台和网络体系来满足不同学科研究数据查询、检索和获取的需要,同时基于这些数据平台集成的相关多源数据,可以提高地球科学的时空分析能力,深度挖掘数据所蕴藏的内在规律,进而更好地促进地球科学的发展。

由于地球物理深部探测科学基础数据特点以及地球科学研究发展趋势,世界各国都开展了岩石圈深部探测资料数据信息化的工作,相继建立了相应的数据库或者数据中心。而随着计算机技术的发展,带动了地球科学数据共享与深度挖掘。如,加拿大的“LITHOPROBE”,率先将其获得的深部探测数据实现了网络查询,并实现了项目成果共享。

近几年澳大利亚实施了“透明地球-Glass Earth”计划,利用航空重力和磁力资料,结合相关的专业软件平台进行综合解释,将其研究成果以多种格式(如 PDF、EMF 和 Shape File)的图像数据供研究人员下载,并与本国的地球模拟计算中心等建立了访问接口。美国在 20 世纪 90 年代通过 PASSCAL 组织,建立了地球物理探测仪器以及数据管理为核心的 IRIS 地震学数据管理中心。该中心也是目前世界上建设和运行最为成功的仪器管理与数据共享管理中心。

21 世纪初,美国国家科学基金会、美国地调局和美国国家航空航天局联合发起了一项名为“地球探测计划-EarthScope”(www.earthscope.org)。该计划有 3 个部分组成,即美国地震阵列(USArray)、圣安德斯断裂深部观测站(SAFOD)和板块边界观测站(PBO),是目前世界上规模最大的地球探测计划,旨在研究美国大陆地震、火山形成的深部作用,最终实现地震、火山灾害的预警。该项目所生产的海量地球科学综合数据将用如图 EarthScope 中的 UNAVCO 数据管理模式进行管理,并实行 EarthScope 数据共享机制(图 1、图 2),真正实现了“数据到数据”共享,允许科学家公开利用这些数据进行相关科学基金申请与研究。同时,EarthScope 目前正在试图建设“数据到分析”的应用开发,即让世界各地科学家通过网站提供的相关专业软件和共享获得的数据来进行深度挖掘,从而实现地球科学知识的综合分析认识。

我国是一个地球科学数据资源比较丰富的国家,

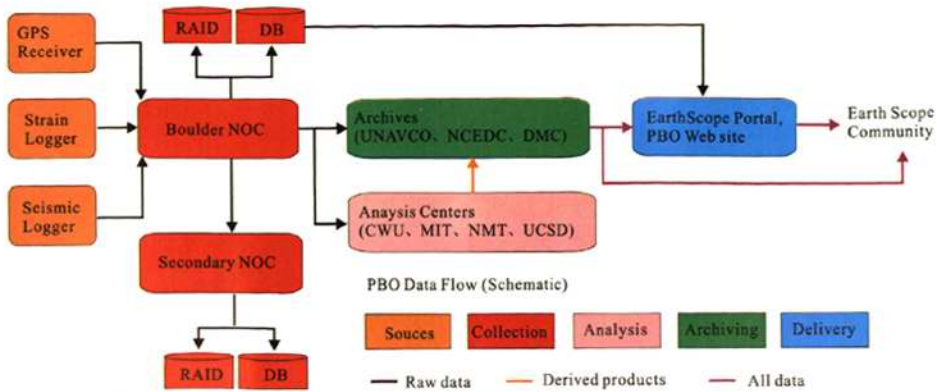


图1 EarthScope 中的 UNAVCO 数据管理模式(据 <http://www.earthscope.org/>)

Fig. 1 EarthScope in the UNAVCO data management(from <http://www.earthscope.org/>)

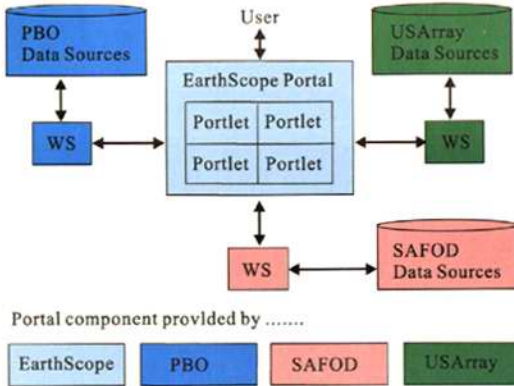


图2 EarthScope 数据共享机制(据 <http://www.earthscope.org/>)

Fig. 2 Data sharing mode of EarthScope (from <http://www.earthscope.org/>)

半个多世纪来,国家根据经济建设和社会发展的多种需求,在地球科学领域组织开展了不同程度、规模不等的观测、探测、调查和试验研究工作,并形成了许多科学数据采集、管理系统及相应的数据平台,在地质调查、地形测绘、土地利用调查、气象观测、水文观测、地震监测、环境监测等,为资源开发利用、重大工程建设、人民生活、生态环境保护等领域积累了重要的基础资料或数据。

以地球物理探测数据资料收集整理为例,在1995年以前,我国的地球物理探测原始数据与相关资料完全分散在科学家或者组织手里。鉴于社会的发展需求,国土资源部在1995—1997年首先启动了国土资源部系统内部的相关数据的抢救收集与初步整理,并以单机版 Access 数据库形式管理。在此基础上,2001—2004年又启动了三维岩石圈结构数据

库项目,重新建立了地球物理探测数据管理平台,实现了数据初步共享,但限于当时技术及经费原因,没能全面进行网络互联共享。2005—2007年科技部实施了科学数据共享平台建设,初步建立了网络共享平台。随着不同专业方法的海量数据不断积累,该平台已经不能更好地满足现实需求。

我国数据平台建设的现状集中表现在以下四点:

1)专门的数据管理机构开始涌现和完善。近20年来国家各有关专业部门相继成立了专门的信息中心。这些信息中心通过建立数据管理和交换平台,负责汇集、整理和管理本部门生产部门采集的各类数据资料,进行建库和产品加工,向用户提供产品和服务以及相应的技术支撑。2)朝着数字化、网络化的方向发展。随着信息技术的发展和推广应用,近十几年来,我国一方面积极地采用数字化手段采集新的科学数据,另一方面加大了原有历史资料的数字化工作力度,相继在一些政府专业部门、科研院所和部分高校建立了一大批科技数据库系统,并开始在网上提供信息服务。3)加强了国际地球科学数据的合作与交流,参与了相应的国际科技数据交换组织。例如,我国于1988年申请加入隶属于国际科联(ICSU)的世界数据中心(World Data Center,简称WDC),并在中国组建了海洋、气象、地震、地质、地球物理、空间、天文、冰川冻土、可再生资源与环境学科中心。这些学科数据中心主要开展地球科学相关领域数据的采集、归档管理和提供数据信息服务。4)启动科学数据共享工程。面对不断增长的科学数据共享需求,中国气象局在科技部的支持下,率先启动了气象数据共享试点,面向社会开展了公益性数据共享服务。随后,科技部又启动8

个共享试点,并在财政部的支持下设立了科技基础条件平台建设专项,科学数据共享工程是其重要组成部分。

目前国内的大部分科学数据共享成果仍滞留在对已有数据的相关信息初步网络发布,还没有真正实现“数据到数据”互联共享需求,充分利用与深度挖掘已有数据信息工作还处于刚刚起步阶段。

随着地学研究的逐步深入,特别是全球变化、数字地球、地球系统等科学问题的提出,地学研究对象不再是一个简单孤立的系统,地学问题需要跨学科、跨区域的地学数据和知识,需联合众多的地学科学家协同进行解决。

因此,如何共享分布式的地学数据、知识、模型算法、软件工具,构建地学信息化科学研究环境,实现地学分布式计算与协同研究,是现代地学研究的必然要求与发展目标。网络技术、下一代 Internet、信息化科研环境(e-Science)等技术的出现为地学信息化科学环境(e-GeoScience)的发展提供了可能(图 3)。

e-GeoScience 是地球科学数据平台和网络发展的最终目标。地学工作者可以通过 e-GeoScience 随时随地获取所需要的地学数据资源,利用网络上提供的模型、软件工具、计算资源解决科研问题。在

e-GeoScience 环境中开展远程学术讨论、远程实验,与世界各地科学家协同研究。然而, e-GeoScience 建设是一个复杂的巨系统,需要政策法规、基础设施、核心技术等方面的保障和支撑,需要地学、信息技术等领域的科研人员长期共同努力。

目前国际上在地球科学数据管理和应用中的发展趋势是充分发挥计算机和通信网络的功能,在共同遵守的数据共享原则基础上,建立全球性的和区域性的数据网络,集中建立若干数据中心,系统采集、整理、存储数据,使网络数据源不断增加、更新与完善,深度挖掘地球科学数据信息,综合分析解释与理解复杂的地球内部结构,形成知识直接为国家建设服务(图 4)。

为了实现如图 8 所示的数据 to 数据、数据 to 分析、数据 to 解释、数据 to 知识、数据 to 服务和数据 to 决策等发展趋势,需要多种计算机基础技术,如数据库、中间件、WebServices、网络可视化、虚拟现实系统等技术。这些基础技术的发展趋势是面向服务的中间件架构、开放式标准规范,如 SCA(Service Component Architecture)、SDO(Service Data Objects)、DAS(Data Access Service)、GIS、WMS(Web Mapping Service)、WFS(Web Feature Service)等。

地壳与深部探测是一个系统工程,是对地球复

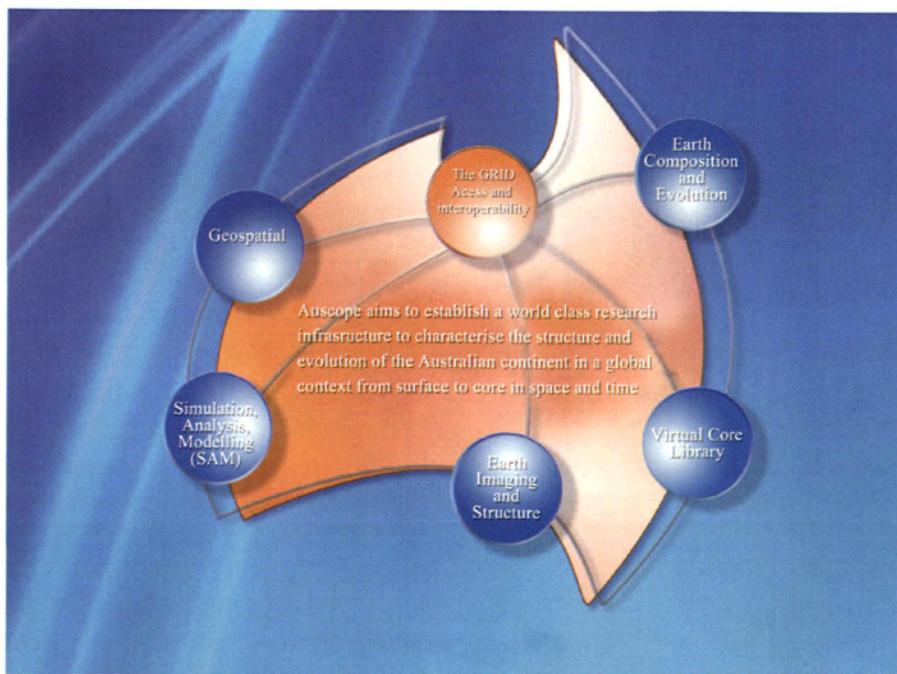


图 3 澳大利亚 AuScope 的计算网格环境(据 <http://www.auscope.org.au/>)

Fig. 3 Australian AuScope computing grid environment(from <http://www.auscope.org.au/>)

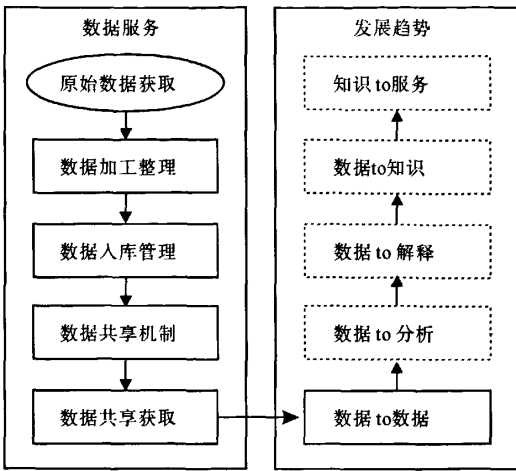


图4 国际地学数据共享趋势框图
 Fig. 4 Trends in international geoscience data-sharing block

杂巨系统的科学探测，催生地球探测系统工程的研究，以实现系统科学的管理。随着地球科学向深空、深海和地球内部纵深的发展，粗放型的地壳和深部探测已不能适应人类认识地球、管理地球的要求，亟需实施针对地壳和地球深部的精细探测，以获取地表以下地壳物质实际组成与精细结构特征。由于地球本身是一个复杂的巨系统，具有半开放、半封闭的特征，层圈结构复杂，层圈相互作用多样，因此，地壳和深部探测也将是一件复杂的系统工程，具有系统工程的特征。

地壳和深部探测系统工程的外围，是多学科、多层次、多兵种的探测技术体系，以及利用这一技术体系所展开的全面、系统的地壳和深部探测技术开发与实验研究；它们同时也构成地球探测系统的一系列子系统，具有开放系统的特征。地球探测系统的内部是一个具有复杂结构和关系(也就是算法)的数据集合体；它们是一些相对封闭、又相互作用的子系统。而这一系统工程的核心，是一个处在决策高度的、具有高度地学智慧和社会责任的领导集体，以及该集体所延伸的管理与办事机构。地球探测系统，同时也是人类构建认识地球与管理地球这一宏伟蓝图的科学体系中的一个非常重要的子系统。数据处理、成像、解译和虚拟现实技术，是联系地球探测系统工程的内部与核心的关键，是实现从“数据”到“信息”，再到“智能”(知识)和“洞察力”(决策)的转变的重要纽带。

我国的地球探测系统工程，同时也是一个发展中的科学技术生长系统，是在许多前期探测的萌芽

和零散成果基础上发展而来的，如今将构成深部探测技术与实验研究专项的系统性研究。那么，如何解决深部探测技术与实验研究专项，以及今后的地壳探测工程计划实施过程中存在的质量监督与安全管理问题，涉及到我国地壳和深部探测是否能够正常开展并发展壮大前提。因此，运用现代化系统科学管理知识、管理手段搞好深部探测技术与实验研究专项的有效管理至关重要。地壳探测系统工程就是在这样的背景下催生的一个系统工程，它是适应人类认识地球、管理地球要求的一个新的科学技术体系和工程技术手段，需要进一步深入的研究。

从系统工程角度看，地球探测系统是一个十分复杂但又关系到国计民生的系统工程。现实要求我们最优地协调地壳和深部探测系统工程内部的各种科学技术实验与研究、社会经济活动及其相互关系，合理配置探测科学与技术资源，实现国家财政资金投入的效益最大化，对纳税人负责。地质学、地球物理、地球化学和现代信息科学是地球探测系统中的几个十分重要的技术支撑体系，而其中，又有一些关键技术和关系(算法)是联系它们的纽带。一方面，地球探测系统受社会经济发展阶段、人类认识地球与管理地球的需求和科学技术发展水平等因素的制约；另一方面，地球探测系统的有效性、经济性、可靠性等又直接或间接地影响整个人类社会对地球的认识水平和管理需求。

深部探测技术与实验研究专项，是地壳探测工程计划的预研究，是一个培育性研究专项。深部探测技术与实验研究专项的启动，地壳和深部探测形成系统工程，说明我国在地球科学研究方面进入了一个新的发展阶段(董树文等, 2009, 2011)。

2 项目目标和研究任务

2.1 项目目标

围绕专项总体目标，综合各层次地壳结构探测与不同尺度物质探测成果，综合深部探测与岩石圈模拟成果，初步建立我国大陆地壳、岩石圈结构中、新生代以来大地构造格局、演化与动力学过程，探讨东亚大陆发展历史。引进先进探测技术、购置关键的深部探测仪器和IT设备，建设一流的深部探测技术与实验研究基地。在此基础上采用面向服务的架构，利用先进的开源码技术开发具有可扩展性、可维护性、安全的、具有应用工具包的数据管理系统，构建世界一流的深部探测数据中心。实现深部探测数据的科学管理，形成数据储存、计算、挖掘融合、发布等流程服务，建立深部探测数据管

理系统、虚拟现实系统和门户网站, 提供专项集成数据资源的共享和管理。引进国际顶尖技术和人才, 培养具有全球视野的新一代地壳探测优秀人才。通过科普宣传实现深部探测成果的社会化推广和公众服务。组织国际会议, 提高探测成果国际显示度。承担专项日常管理与协调工作, 保证专项顺利实施。进行地壳探测系统工程研究, 完善《地壳探测计划》实施方案与设计, 推动国家立项。

2.2 主要任务和研究内容

2.2.1 大陆地壳的结构框架与演化

(1) 综合分析、处理和集成现有的和新获取的深部探测与实验研究所取得的各种地球物理、地质构造和地球化学数据和研究成果, 选择关键造山带、重点含油气盆地、大型矿集区和地震活动带的深部探测数据进行再处理和重新解释, 综合以往研究积累, 建立我国大陆地壳结构框架。

(2) 重点研究我国大陆晚侏罗世以来构造演化与地质响应, 为深部探测数据和成果提供解释依据和制约, 建立时间-深度(deep-time)的岩石圈四维结构概念模型, 以重塑大陆地壳演化与动力学过程, 实现依托深部探测数据的地球科学、大地构造理论的新一轮创新。

2.2.2 探测数据集成与共享, 实现数据 to 数据

(1) 建立我国深部探测数据中心。数据中心是由数据库平台、服务平台、技术支持和管理平台组成的多层综合系统。通过数据层的多源信息数据库建设技术, 进行主体数据库建设和分布式数据管理, 实现数据的集成和存储。在此基础上实现地壳探测所采集的地球物理、地球化学、地应力及地质勘查等多源数据的空间管理、服务功能以及目录服务、数据共享服务。

(2) 通过技术层面的开发应用和虚拟现实系统的构建, 实现对探测数据资源和信息的传输、管理、更新、三维立体显示、实时模拟和空间数据检索服务功能提供保障。

(3) 建设共享网络平台和地壳探测门户网站, 实现探测数据的社会化服务和地壳探测工程的科学普及。

2.2.3 探测技术支撑与实验基地建设

(1) 引进与购置一定数量的国际先进高新技术探测仪器设备, 筹备构建世界一流的深部探测实验室, 形成多学科目标、层次分明、浅深结合、组合合理的深部探测技术方法体系, 为地球科学研究及实施地壳探测工程计划建立数据资源、技术支撑与实验基地。

(2) 建立若干不同地质、地貌景观条件和构造背景的多技术、多方法、综合探测、物理标定与实验示范基地。

2.2.4 地壳探测系统工程研究

(1) 追踪国际地球探测计划发展动态、科学与技术体系、研究进展和最新探测成果, 构建地壳探测系统工程框架, 形成既有地球探测理论基础、技术科学体系和专家系统支撑, 又有一定规模的地球探测实践与应用的地壳探测系统工程体系, 指导我国深部探测技术与实验研究。

(2) 以地壳和深部探测工程计划实施方案为基础, 研究地壳探测工程的系统结构、参数变量、经济社会作用和探测实践之间的定量关系。从系统论的理论基础出发, 研究地壳探测系统工程的整体性、关联性、动态性(生长性)、有序性和预决性。通过系统工程的最优化设计, 完善地壳探测工程系统的功能。

(3) 成立国际咨询专家组, 引进先进技术和优秀人才, 开展国际合作, 培养具有全球视野的地壳探测技术优秀人才, 组织深部探测国际会议, 参与国际竞争, 提升国际显示度。

(4) 综合集成专项研究成果, 提炼科学问题, 编写专项成果报告, 通过科普教育实现深部探测科研成果的社会化推广和公众服务。

(5) 进行专项的日常管理, 组织各项的立项、检查、中期评估、成果评审与验收, 实现我国地壳探测计划系统工程的科学管理。完善《地壳探测计划》实施方案与设计, 推动国家立项。

3 关键科技问题与创新性

3.1 关键科技问题

(1) 建立中国大陆地壳结构框架的关键技术。在新一轮深部探测、实验数据平台上, 综合以往各种地球物理探测数据和资料, 关键技术是甄别、融合和标准化, 其次是综合地质、地球物理、地球化学等学科研究成果, 建立我国大陆地壳、岩石圈的三维结构模型和大陆岩石圈构造体系的框架。

(2) 实现岩石圈三维结构与侏罗纪以来时间深度的结合。由于我国甚至东亚大陆的地形地势、构造地貌景观基本定型于晚侏罗世以来的构造作用, 所以重点研究燕山运动、喜山运动的大陆碰撞、拼合、叠置、伸展的变形过程和东亚汇聚构造体系的形成与演化, 可以更加科学、合理地解释 160 Ma 以来大陆深部结构的构造属性、大陆地貌反转起因、盆地格局与油气资源分布的控制因素、深部作用与

岩浆活动及大规模金属成矿的耦合关系、古气候变化与生物更替等重大地质科学问题;实现岩石圈三维结构与时间深度的结合。

(3) 数据系统架构集成与智能化。攻克多源信息主体数据库建设技术难题,解决深部探测与实验研究过程中所采集的多源数据的融合和建库问题,突破深部探测多源数据融合和集成相关技术;地理空间信息的多元性、多维度和动态管理,将数据库系统、地球动力学模型和 GIS 系统有机地结合起来,通过 GIS 技术应用解决探测数据管理问题,通过可视化等技术开发解决多元数据综合解释建模、3D 动态显示等问题,实现数据系统的智能工具服务。

(4) 数据到数据技术系统。为实现数据到数据体系,更好地提供数据服务,进行探测数据更新维护及门户网站信息发布,需开发具有分布式的地学数据、知识、模型算法、软件工具,构建地学信息化科学研究环境,实现地学分布式计算与协同研究。建立数据管理中心的元数据服务系统,用于解释数据管理中心的数据结构及数据管理状态,将是非常关键的科技问题之一。

(5) 数据的空间管理和虚拟现实系统构建技术。将数据库系统、地球动力学模型和 GIS 系统有机地结合起来,通过 GIS 技术应用解决探测空间数据管理问题,通过可视化技术开发和虚拟现实系统的构建,解决数据综合解释建模、3D 动态显示、数据处理等问题,实现海量数据的自动处理和人机互动解释。

(6) 深部探测实验室的构建问题。制定适合于我国地质景观、构造特征和综合国情国力的深部探测国家实验室构建方案,选取合适的高新探测仪器设备和多学科、多目标、深浅结合、合理组合的地壳探测技术方法体系,实现我国在地壳和深部探测实验研究领域的跨越式发展。

(7) 地壳探测系统工程研究的问题。地壳探测系统工程是一个建立在地壳探测基础理论和技术科学之上的地壳探测实践与应用体系。地球不是一成不变的物质的组合,而是地质过程的集合体,是一个复杂的巨系统。因此,地壳探测系统工程的研究包含两方面的关键科技问题:①从系统科学角度,加深对地球系统的科学认识;②从系统工程角度,分析研究地壳探测系统的基本要素、被控制量和控制变量,从而构建一个经济、高效、实用的地壳探测系统。在此基础上,还需要完善地壳探测计划实施方案和技术设计,建立地壳探测计划的科学管理系统,推进地壳探测计划的国家立项。

3.2 技术难点

(1) 深部探测技术难点是在复杂的地质景观条件下识别出关键的结构和构造,多重探测技术的数据融合,从时间深度关系,根据现今地壳结构和样式演绎出中生代以来的构造过程和地质历史。

(2) 攻克多源信息主体数据库及数据系统架构集成建设的科技难题,解决中国地壳探测工程所采集的地球物理、地球化学、地应力及地质勘查等多源数据的融合和建库问题,突破深部探测多源数据融合和集成相关技术。

(3) 如何构建一个现代化的国际一流的深部探测开放研究实验室,不仅需要一流的探测设备,更需要一流的既懂地球物理、又懂地质构造的全才型人才队伍,而且需要先进的科学管理程序和运行模式,这是对本专项的重大挑战。

3.3 创新性

(1) 中国大陆围限于古亚洲构造域、太平洋构造域和特提斯构造域三大构造域之中,中生代以来经历了多块体拼合、多期构造叠加的复杂过程,形成以世界上最薄的岩石圈、最厚的地壳为特点的深部结构,具有落差最大的地形、西高东低的多级阶地地势的表层景观,以及强烈的岩浆活动与成矿作用、丰富多彩的生态环境等,需要多学科、多领域综合、长期的探测研究,以揭示对应的深部结构,探寻深部与浅部(甚至地表)、三维结构与时间深度(推移到侏罗纪以远)的关联,这是本项目的创新之处。

(2) 采用国际上先进的面向服务架构(SOA)理念,利用现代网络技术、数据仓库技术集成深部探测信息资源,所建立的数据中心将提供科学数据集成与共享、综合分析以及网格计算等服务功能;同时进行地学信息化科学环境(e-GeoScience)的研究尝试。所有探测数据三年后公开,供所有使用者研究和利用,是本项目的创新点之一。

(3) 采用开源编程技术开发数据库管理系统,形成更多自主知识产权的软件应用工具系统;建立深部探测数据库国家标准及元数据服务系统,用于建立与解释数据管理中心的结构与描述,是本项目的创新点之一。

(4) 树立重大科技专项科普义务、面向公众的理念。为社会服务、向公众汇报,所有探测研究在提交结题报告的同时,必须提交科学普及报告;建立虚拟实验室,利用空间信息栅格及虚拟现实技术,构建与开发全国和区域 3D 地质构造虚拟现实系统,在 GIS 环境下进行三维可视化处理与显示,实现基于广域网络的三维可视化操作及模拟,提升成果展

示的水平,并向公众开放,这是本项目一个亮点。

(5) 构建深部探测开放研究实验室,在完成专项的过程中,从科研创新、技术装备、人员结构到管理水平,整体达到国内一流、世界先进水准,推动和提升我国深部探测领域发展和国际地位。

(6) 建立地壳探测系统工程,完善地壳探测计划实施方案和技术设计,推动地壳探测计划的国家立项。

4 技术路线与研究方法

4.1 技术路线

以现代地质科学、系统科学和信息科学为指导,采用现代构造地质学、大陆动力学、地质力学与地球动力学、地球系统科学和地球信息科学的研究方法和技术手段,以时间深度和延伸空间深度,建立四维地壳、岩石圈结构,追踪我国大陆、东亚大陆中、新生代演化轨迹与动力学过程,综合研究我国大陆地壳和岩石圈结构框架及演化过程,构建我国大陆构造的总体框架和演化模型,为深部地壳结构探测提供大地构造背景和关键科学技术问题框架;构建地壳探测科学数据中心和虚拟现实系统,形成深部探测海量数据储存、融合、计算、共享、发布的现代化流程和管理系统;在系统构架设计上以易维护、可扩展、安全、稳定、高可靠和高性能为原则,在现有硬件、网络和系统软件的基础上,以集成和二次开发为手段,分步骤、分阶段地研发实施系统功能和服务;以技术集成和方法综合为重点,通过引进高新探测设备、技术人才和技术方法的示范实验,形成适用于我国地质条件和构造背景的深部探测技术体系,建立国际一流的深部探测开放研究实验室;采用多方法、多兵种攻关技术的方式,多层次、多视角探测目标,以国际合作、全球对比原则和顶层设计、高端综合的集成路线,科学地组织实施专项研究计划,完成专项各项任务和目标,为实施地壳探测工程计划做好技术准备、人才储备和相关基地建设,形成地壳探测系统工程研究的框架体系。

(1) 地壳探测数据中心平台通过面向服务的多层架构模式进行开发建设。数据层主要是数据仓库,用于存储各课题的数据,该数据经标准统一后提交。服务层包括三大部分:基础服务层,提供各子课题提供专业的数据分析等服务;中间业务层,提供各种数据管理、数据查询显示的基础模块;综合服务,对基础服务层的各种服务结合中间业务模块进行集成,实现综合服务管理。门户网站主要是用户

访问的窗口,实现交互,根据身份验证可提供不同级别的服务。数据中心平台的逻辑结构如图 5 所示。

数据中心是 SinoProbe 网格计算环境核心。它的门户网站是所有用户进行有关探测工程数据和成果查询访问的窗口。

地壳探测科学数据中心的建设将以系统科学和信息科学为指导,在系统构架设计上以易维护、可扩展、安全、稳定、高可靠和高性能为原则,在现有硬件、网络和系统软件的基础上,以集成和二次开发为手段,分步骤、分阶段地研发实施系统功能和服务。建设的数据中心系统,将为“中国地壳探测计划”的实施及研究提供科学数据集成与共享,并且是综合分析及模拟的信息技术平台,为未来发展趋势建立共享基础平台。

(2) 科学数据中心将在现代信息技术的支持下,借助于国家信息基础设施,实现的服务功能包括:对分布式数据库和数据集的标准化和规范化进行管理,提供目录服务、数据服务等。数据资源的整合与融合将主要针对地壳探测专项所产生与积累的地球物理各方法、地球化学、地应力及矿产资源勘查等专业数据资源。通过基础网络设施将地壳探测科学数据延伸到散布在各科研院所、高等院校和国际数据组织的相关专业数据资源(图 6)。

(3) 数据中心管理系统将采用先进的面向服务架构(SOA)理念,采用基于最新的服务组件架构软件系统产品二次开发来实现。中心系统框架可设计为:数据仓库、数据源访问服务、数据模拟服务、数据集成服务。服务组件架构标准定义了如何构建服务组件,以及组合不同组件来实现完整应用系统的方法。服务组件可以是复合组件,即服务组件可以组合其他组件来构建。服务组件可以由不同技术和编程语言来实现。这一灵活性对本数据中心意义十分重大。因为它使得数据中心与其他地质、地球物理分析模拟系统集成变得非常简单。

总体构架可详细分为:数据整合及集成平台(ETL)、数据仓库平台、数据访问服务(关系数据和空间数据)、GIS 平台及服务、基础设施服务、安全(身份验证与权限控制)服务、业务服务、业务过程引擎、数据中心服务总线、技术支持及管理服务、表现层服务,可视化虚拟现实(图 7)。

(4) 虚拟现实系统的建立,将通过深部探测技术与实验研究数据的一体化组织集成,形成统一的数据描述、发现、管理、集成分析与分发系统,构建三维可视化虚拟现实系统与三维动态模拟平台,为我国地球深部探测工程的会商、政府规划、决策

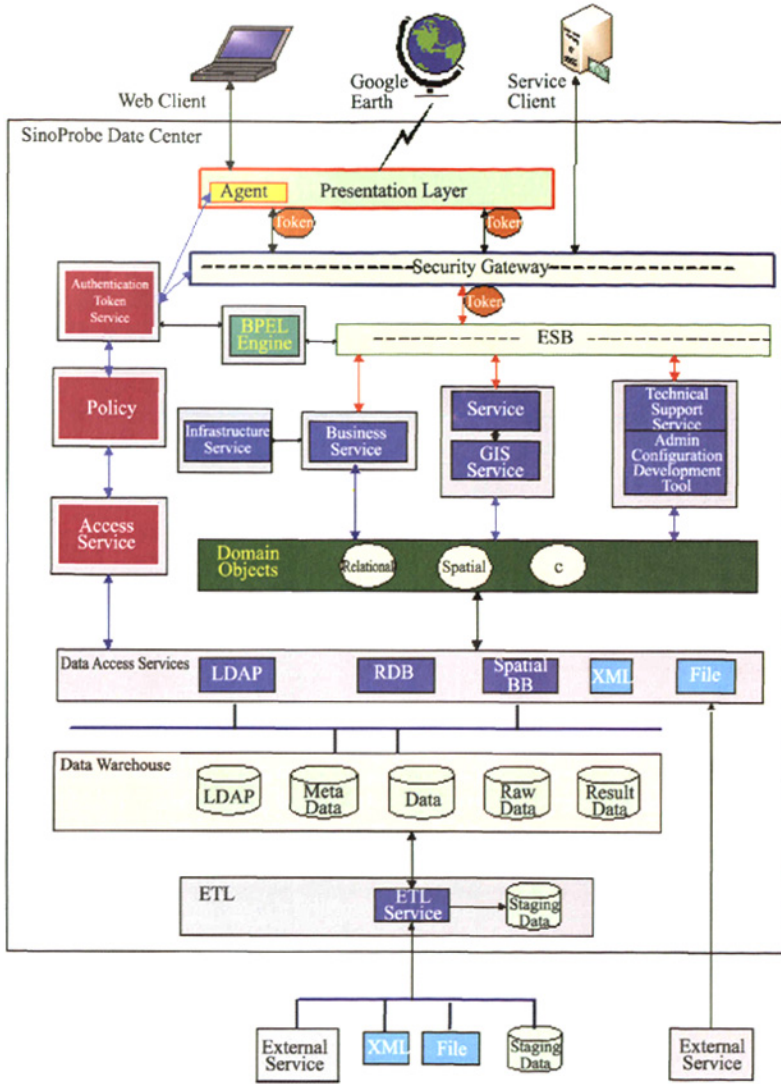


图 5 数据中心系统平台的逻辑结构
 Fig. 5 Logical structure of the data center platform

和社会化服务提供直观可视、可以实时操作的信息系统基础平台服务。

本项目将利用如基于有别于应用于桌面 2D/3D 的可视化系统 TecPlot 的虚拟现实用户界面工具包的 Visualizer 软件的 3D 可视化软件, 构建与开发交互浸透式 3D 智能化可视化虚拟现实环境系统(如 KeckCaves 系统、GEON IDV 或开发其他更强的系统), 利用地学虚拟方法和现实世界的实际测量分析手段, 使用 6-DOF(自由度)输入设备, 在 3D 可视化虚拟环境下(由多面展示墙和 CAVEs 组成)最详细、最真实地展示地球深部探测数据和信息, 进行对地

学数据信息的接触式、交互式操作, 提取地球内部物质与结构信息, 特别是在四维空间中变化的断层活动、位移矢量场等特征信息。GEON IDV(图 8)是 GEON 项目所开发的 3D 和 4D 的可视化工具, 它是显示地表及探索地球内部信息的强有力工具。

系统工程是组织和管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的技术, 是对一切系统都适用的技术, 是组织管理的技术, 是一种软技术, 具有应用的普遍性和广泛性。本项目将采用系统论的观点和方法, 运用系统分析的整体原理、相关原理、有序原理、动态原理和复杂性原理等, 优化地壳探

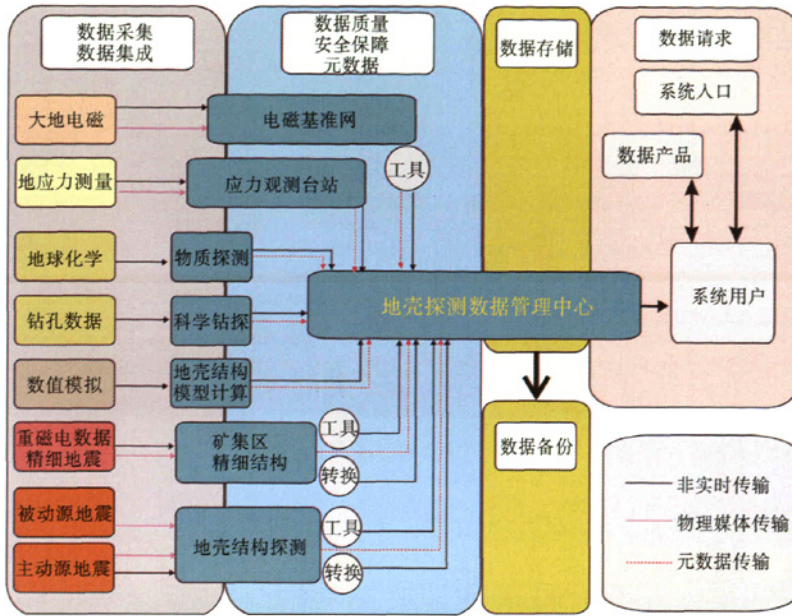


图 6 地壳探测数据流结构框架图

Fig. 6 Structural framework of the crustal exploration data stream

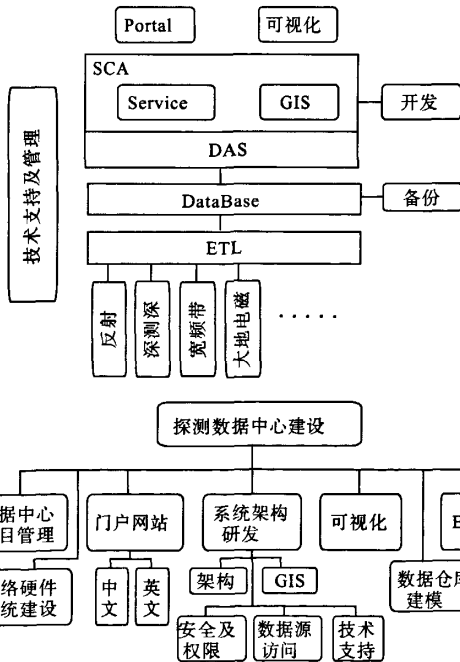


图 7 技术方法框图

Fig. 7 Diagram of technical methods

测工程计划实施方案, 探讨创建地壳探测系统工程的理论、方法和实践。

(5) 地壳探测系统工程的构建, 遵循着构建系

万方数据

统工程的一般技术路线: 从科学性(地壳探测的理论基础)出发, 通过高新探测技术的应用, 归结为地壳探测系统工程的高效率、高质量和高效益(经济和社会效益); 它必需一个专项领导小组(最好是有德高望重的权威科学家)来集中组织领导和顶层设计, 再加上专家系统(专家委员会)的技术支撑和咨询作用, 有适应科学目标的技术方法体系, 有多学科、多兵种的攻尖队伍精诚合作, 再有国家财政与物质的支持, 拧成一股劲, 那么, 这项复杂而又艰巨的地壳探测系统工程科学壮举, 就有可能大放异彩。

4.2 研究方法

(1) 以现代地质科学、系统科学和信息科学为指导, 采用现代构造地质学、大陆动力学、地质力学与地球动力学、地球系统科学、地球信息科学和虚拟现实的研究方法和技术手段, 依靠专家, 并结合现代信息技术和网络技术, 利用从定性到定量的综合集成法, 通过综合研究不同技术方法和探测手段得到的数据资料与研究成果, 探讨中国大陆地壳的结构框架与演化历史, 初步建立起我国大陆地壳和重要区段的精细构造框架和演化过程。

(2) 采用引进、消化、再创新的技术方法, 建立深部探测数据管理中心。研发深部探测数据管理相关技术, 构建深部探测海量数据储存、计算、共享、发布现代化流程和管理系统; 应用多源信息主体数

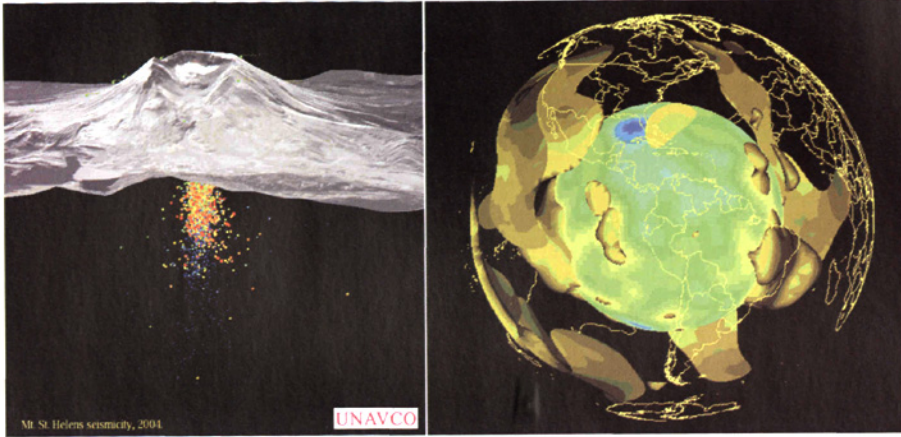


图8 GEON IDV可视化工具功能显示
Fig. 8 Function display of GEON IDV visualized tools

数据库建设技术,解决地壳探测过程中所采集的地球物理、地球化学、地应力及地质勘查等多源数据的融合和建库问题;应用GIS技术,解决探测数据空间管理问题,建立必要的数据管理中心;开发可视化技术,实现数据3D立体动态显示;进行探测数据更新维护及门户网站信息发布;通过磁盘阵列和网络数据传输技术,解决海量探测数据存储和共享问题,最终实现探测数据集成和管理。

数据中心系统建设过程中将结合众多已有数据中心建设的实践经验,遵循并使用国际上成熟的、通用的开放技术标准、规范和协议。设计上要保持统一的标准和规范。技术体系、产品选用等方面要求先进性和成熟性的统一。实施过程中要正确处理发展与安全的关系。使用开放的系统架构和组件化的设计思想,使系统能够兼容已有系统,同时兼顾将来的系统建设,强调可扩展性。采用组件化的设计思想,减少系统耦合性,提高系统的复用性。同时还要注重系统开发中的健壮性、可靠性、可用性、承载能力和经济性等。

(3) 虚拟现实系统技术。虚拟现实系统是高新会议系统的重要组成部分,是一种技术,也是一种研讨厅或高层会议的全新模式。在虚拟现实系统中,专家的参与非常重要,可以“集大成得智慧”,是数据开发和综合利用过程中处在从知识到智慧过渡阶段的较高层次技术,通过从定性到定量、人机结合,可以形成更民主、更科学的决策。虚拟现实系统将是信息时代人类认识地球、管理地球并实现国土资源科学决策的重要信息技术手段。

(4) 系统工程方法。运用系统分析与运筹的系统工程方法,通过决策部门与研究部门相结合,设

计并优化地壳和深部探测技术与实验研究系统,实现地壳深部探测工程的社会和经济效益的最大化。

(5) 通过示范与实验,形成适用于我国地质条件和背景的深部探测技术方法体系,建立地壳探测工程的数据中心、技术支撑与实验体系,培育地壳探测工程的野外实验基地,实现地壳探测技术装备的集中管理、综合配置和资源共享。

(6) 开展全球对比、国际合作与学术交流,参加和举办国际会议,在国际会议上展示我国地球深部探测的成就,提高我国在地球深部探测领域的国际社会显示度。成立国外专家组,引进国际顶尖技术和人才,培养具有全球视野和全新理念的地壳探测技术人才。采用顶层设计、高端综合的集成路线,科学地组织实施专项研究计划,进行地壳探测系统工程研究,对地壳探测工程计划的培育性专项进行进度与质量管理,完成专项各项任务和目标,完善地壳探测工程,形成地壳探测系统工程的综合管理科学体系,为实施地壳探测计划做好技术准备、人才储备和相关基地建设。

(7) 利用现代平面设计与影视传媒技术,制作深部探测宣传手册和公益广告短片,编制科普材料,进行社会公众推广和科普教育活动,大力宣传我国地壳深部探测工程计划的进展和成就,将地球科学深刻融入社会和日常生活。

5 工作部署与进度安排

5.1 工作部署

本项目围绕专项总体目标,制定项目目标和任务,进行专项研究工作的整体部署和规划(图9),综合集成各层次地壳和深部结构探测与不同尺度物质

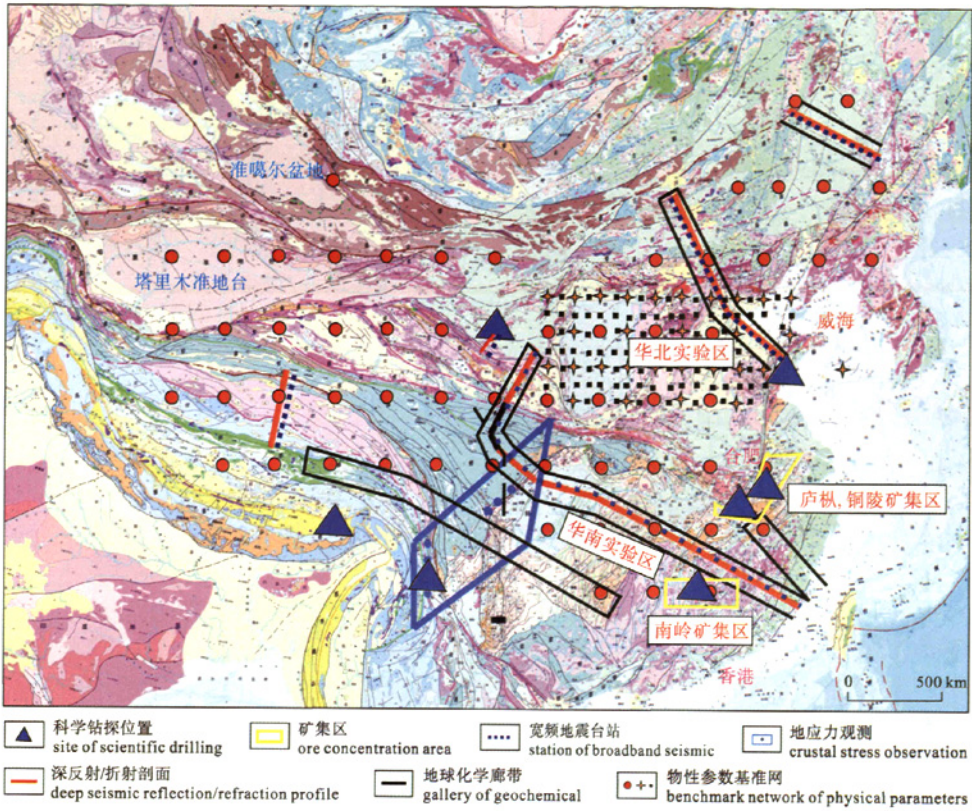


图 9 深部探测技术与实验研究专项探测工程的初步规划(据董树文等, 2009)

Fig. 9 Preliminary plan of exploration technology for special deep exploration and experimental study (modified after Dong et al., 2009)

探测、岩石圈动力学模拟的成果, 初步建立我国大陆地壳、岩石圈结构, 中、新生代以来大地构造格局、演化与动力学过程, 探讨东亚大陆发展历史。引进先进探测技术和仪器设备, 构建世界一流的深部探测科学数据中心, 建设一流的深部探测技术与实验研究基地和实验室。开展系统工程研究, 实现深部探测数据和专项工作的科学管理。完善《地壳探测工程》计划实施方案设计, 推动国家立项。

5.2 课题设置与任务分解

5.2.1 大陆地壳的结构框架与演化探讨 (SinoProbe-08-01)

(1) 目标任务: 综合分析、处理和集成已有深部探测与实验研究所取得的各类地球物理、地质构造和地球化学数据, 结合以往研究积累, 建立中国大陆地壳结构框架; 研究我国大陆、东亚大陆中、新生代构造演化及其地质响应, 初步建立我国大陆岩石圈四维结构概念模型, 以重塑主要构造单元的演化过程。

(2) 研究内容: ①综合分析、处理和集成现有的和新获取的深部探测与实验研究所取得的各类地球物理、地质构造和地球化学数据和研究成果, 选择关键造山带、重点含油气盆地、大型矿集区和地震活动带的深部探测数据进行再处理、重新解释, 综合以往研究积累, 建立我国大陆地壳结构框架。拟再处理中国南北板块三叠纪碰撞造山带地壳结构剖面, 其中包括古亚洲造山带、中央造山带等陆内造山带反射地震剖面(500 km)。②综合集成深部探测技术与实验研究专项成果, 分别对东北、华北和华南中生代构造演化与动力学过程、西部新生代块体拼贴过程的恢复等开展专题研究, 重点研究我国大陆晚侏罗世以来构造演化与地质响应, 为深部探测数据和成果提供解释依据和制约, 建立时间深度(deep-time)的岩石圈四维结构概念模型, 以重塑大陆地壳演化与动力学过程, 实现依托深部探测数据的地球科学、大地构造理论的新一轮创新。主要内容包括: 侏罗纪陆内造山与变形、东亚晚侏罗世板

块汇聚及其资源环境响应、侏罗纪以来中国大陆构造演化与动力学过程。

5.2.2 深部探测数据综合集成与共享管理 (Sinoprobe-08-02)

(1) 目标任务: 建立深部探测数据中心和多源信息数据库, 进行主体库和分布式数据管理, 实现数据采集、存储、计算、共享、集成和三维显示数据流。实现深部探测地球物理、地球化学、地应力及地质勘查等多源数据的空间服务功能以及目录服务、数据共享服务; 通过技术层面的开发应用, 构建深部探测虚拟现实系统, 实现对探测数据资源和信息的传输、管理、更新和三维立体展示, 通过门户网站实现探测数据科学管理和社会共享。

(2) 研究内容: ①建立我国深部探测数据中心。数据中心是由数据库平台、服务平台、技术支持和管理平台组成的多层综合系统。通过数据层的多源信息数据库建设技术, 进行主体数据库建设和分布式数据管理, 实现数据的集成和存储。在此基础上实现地壳探测所采集的地球物理、地球化学、地应力及地质勘查等多源数据的空间管理、服务功能以及目录服务、数据共享服务。②通过技术层面的开发应用和虚拟现实系统的构建, 实现对探测数据资源和信息的传输、管理、更新和空间数据检索服务功能提供保障。开发可视化技术, 实现数据 3D 立体动态显示; 建设共享网络平台和地壳探测门户网站, 进行探测数据更新维护及门户网站信息发布, 实现探测数据的社会化服务和地壳探测工程的科学普及。③吸收与采纳现有国际上最先进开放的系统与组件, 进行系统的集成与开发, 来完成本课题的研究任务。在整体网路系统架构上将应用以 IBM、SAP、Oracle、SUN 为主代表开放 SOA 组织 SCA (Service Component Architecture) 系统的具体实施软件, 来完成数据中心的整体系统服务架构的实现。以国际上上百家政府、科研及 GIS 信息产业组织所制定的 GIS 空间规范协议来实现应用业务逻辑功能, 通过 GeoServer、GEON 来优化实现数据中心的 GIS 服务功能。

5.2.3 探测技术支撑与实验基地建设 (Sinoprobe-08-03)

(1) 目标任务: 引进国际先进的地球深部探测技术和关键仪器设备, 构建国际一流的深部探测开放研究实验室; 实现探测设备、仪器的高效运转与资源共享机制, 提高投资效益比; 建立若干个多技术、多方法、综合探测试验、物理标定和示范基地。

(2) 研究内容: ①引进与购置一定数量的国际

先进高新技术探测仪器设备, 筹备构建世界一流的深部探测实验室, 形成多学科目标、层次分明、浅深结合、组合合理的地壳探测技术方法体系, 为地球科学研究及实施地壳探测工程计划建立数据资源、技术支撑与实验基地。②建立若干不同地质景观和构造条件的多技术、多方法、综合探测、物理标定、实验示范基地, 包括造山带及其前陆、矿集区、盆地和地震活动带等, 如大华北综合探测实验基地、华南综合探测实验基地、西秦岭中央造山带、青藏高原腹地、三江活动带、松辽油气盆地和金川铜镍矿集区、罗布莎铬铁矿集区、腾冲火山机构、大巴山前陆盆地等综合探测实验基地。

5.2.4 地壳探测系统工程研究 (Sinoprobe-08-04)

(1) 目标任务: 追踪调研国际地球探测计划和工程技术发展、研究进展和最新成果, 指导我国深部探测技术走向; 引进国际顶尖技术和人才, 开展国际合作, 培养具有全球视野的地壳探测技术人才, 建设我国深部探测技术与实验研究国家队; 运用系统分析与运筹的系统工程方法, 通过决策部门与研究部门相结合, 设计并优化地壳和深部探测技术与实验研究系统, 实现地壳深部探测工程的社会和经济效益的最大化; 开展专项的日常管理, 组织各项目的立项、检查、中期评估、成果评审与验收, 综合集成专项研究成果; 完善地壳探测计划实施方案、技术设计和管理系统, 推动地壳探测计划的国家立项。

(2) 研究内容: ①追踪国际地球探测计划发展动态、科学与技术体系、研究进展和最新探测成果, 构建地壳探测系统工程框架, 形成既有地球探测理论基础、技术科学体系和专家系统支撑, 又有一定规模的地球探测实践与应用的地壳探测系统工程体系, 指导我国深部探测技术与实验研究。②以地壳和深部探测工程计划实施方案为基础, 研究地壳探测工程的系统结构、参数变量、经济社会作用和探测实践之间的定量关系。从系统论的理论基础出发, 研究地壳探测系统工程的整体性、关联性、动态性(生长性)、有序性和预决性。通过系统工程的最优化设计, 完善地壳探测工程系统的功能。③开展专项专利部局与知识产权保护, 整理编辑专项有关知识产权指南材料, 提出合理建议。④成立国际咨询专家组, 引进先进技术和优秀人才, 开展国际合作, 培养具有全球视野的地壳探测技术优秀人才, 组织深部探测国际会议, 参与国际竞争, 提升国际显示度。⑤综合集成专项研究成果, 提炼科学问题, 编写专项成果报告, 通过科普教育实现深部探测科研成

果的社会化推广和服务于公众。⑥进行专项的日常管理,组织各项的立项、检查、中期评估、成果评审与验收,实现我国地壳探测计划系统工程的科学管理。完善《地壳探测计划》实施方案与设计,推动国家立项。

6 预期成果及效益分析

(1) 通过对深部探测技术进行综合集成和试验研究,建立有效、可行的深部探测技术体系,构建深部探测开放研究实验室,为地壳探测和对地观测提供技术准备,推动我国深部探测和超深钻探发展,促进地球科学观测技术进步和地球科学理论发展。

(2) 在基础研究、资源开发、灾害环境背景与预测等探测技术方面取得重大进展,为资源勘查、灾害减轻提供新的深部背景依据,也能够带动深部探测中的资源开发,促进环境经济以及人类和谐发展提供例证。

(3) 实验获取的技术成果将及时推广转化到实验剖面探测之中,部分探测技术能够产生显著效益。如应力应变监测技术对工程设计、灾害防治、地震监测预报具有良好应用前景;高精度立体探测技术能够为深部隐伏矿产资源评价和深部矿体勘探提供重要技术方法,对解决危机矿山找矿技术难题、缓解我国矿产资源紧张局面将发挥重要作用。科学钻探直接揭示深部结构与组分,获取重大科学发现。

参考文献:

- 崔盛芹, 李锦蓉, 孙家树, 王建平, 吴珍汉, 朱大岗. 2000. 华北陆块北缘构造运动序列及区域构造格局[J]. 北京: 地质出版社: 1-326.
- 崔盛芹. 1999. 论全球中-新生代陆内造山作用与造山带[J]. 地学前缘, 6(4): 283-293.
- 董树文, 李廷栋, SinoProbe 团队. 2011. 深部探测技术与实验研究(SinoProbe)[J]. 地球学报, 32(S1): 3-23.
- 董树文, 李廷栋, 高锐, 吕庆田, 吴珍汉, 陈宣华, 周琦, 刘刚, 刘志强, 梅琳. 2010. 地球深部探测国际发展与我国现状综述[J]. 地质学报, 84(6): 743-770.
- 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 杨振宇, 季强, 王涛, 胡建民, 陈宣华. 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释[J]. 地质学报, 81(11): 1449-1461.
- 董树文, 李廷栋. 2009. SinoProbe ——中国深部探测实验[J]. 地质学报, 83(7): 895-909.
- 苗来成, 范蔚茗, 张福勤, 刘敦一, 简平, 施光海, 陶华, 石玉若. 2003. 小兴安岭西北部新开岭-科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义[J]. 科学通报, 48(22): 2315-2323.

- 石玉若, 刘敦一, 张旗, 简平, 张福勤, 苗来成, 张履桥. 2007. 内蒙古中部苏尼特左旗地区三叠纪 A 型花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其区域构造意义[J]. 地质通报, 26(2): 183-189.
- 翟明国, 孟庆任, 刘建明, 侯泉林, 胡圣标, 李忠, 张宏福, 刘伟, 邵济安, 朱日祥. 2004. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨[J]. 地学前缘, 11(3): 285-297.
- 张宏仁. 2000. 燕山事件[J]. 地质学报, 72(2): 103-111.
- 张岳桥, 董树文. 2008. 郯庐断裂带中生代构造演化史: 进展与新认识[J]. 地质通报, 27(9): 1371-1390.
- 张岳桥, 董树文, 赵越, 张田. 2007. 华北侏罗纪大地构造: 综评与新认识[J]. 地质学报, 81(11): 1462-1480.
- 赵越, 徐刚, 张拴宏, 杨振宇, 张岳桥, 胡健民. 2004. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 11(3): 319-328.
- 赵越, 杨振宇, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展中的重要转折[J]. 地质科学, 29(2): 105-128.
- 郑亚东, DAVIS G A, 王琮, DARBY B J, 张长厚. 2000. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题[J]. 地质学报, 74(4): 289-302.

References:

- CHEN Bin, JAHN B M, WILDE S, XU Bei. 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications[J]. Tectonophysics, 328: 157-182.
- CUI Sheng-qin, LI Jin-rong, SUN Jia-shu, WANG Jian-ping, WU Zhen-han, ZHU Da-gang. 2000. Sequences of tectonic movement and regional tectonic framework of north margin of the North China plate[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-326(in Chinese).
- CUI Sheng-qin. 1999. On global Meso-Cenozoic intracontinental orogenesis and orogenic belts[J]. Earth Science Frontiers, 6(4): 283-293(in Chinese with English abstract).
- DAVIS G A, ZHENG Ya-dong, WANG Cong, DARBY B J, ZHANG Chang-hou, GEHRELS G. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China[C]. //HENDRIX M S, DAVIS G A. Paleozoic and Mesozoic evolution of central Asia: From continental assembly to intracontinental deformation. Boulder, Colorado: Geological Society of American Memoir, 194: 171-197.
- DONG Shu-wen, LI Ting-dong, GAO Rui, LÜ Qing-tian, WU Zhen-han, CHEN Xuan-hua, ZHOU Qi, LIU Gang, LIU Zhi-qiang, MEI Lin. 2010. International progress in probing the Earth's lithosphere and deep interior: A Review[J]. Acta Geologica Sinica, 84(6): 743-770(in Chinese with English abstract).
- DONG Shu-wen, LI Ting-dong, SinoProbe Group. 2011. Deep

- Exploration Technology and Experimentation (SinoProbe)[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 32(S1): 3-23.
- DONG Shu-wen, LI Ting-dong. 2009. SinoProbe: The exploration of the deep interior beneath the Chinese continent[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(7): 895-909(in Chinese with English abstract).
- DONG Shu-wen, ZHANG Yue-qiao, LONG Chang-xing, YANG Zhen-yu, JI Qiang, WANG Tao, HU Jian-min, CHEN Xuan-hua. 2007. Jurassic tectonic revolution in China and new interpretation of the Yanshan movement[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(11): 1449-1460(in Chinese with English abstract).
- MIAO Lai-cheng, FAN Wei-ming, LIU Dun-yi, ZHANG Fu-qin, JIAN Ping, GUO Feng. 2008. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling orogenic belt, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 348-370.
- MIAO Lai-cheng, FAN Wei-ming, ZHANG Fu-qin, LIU Dun-yi, JIAN Ping, SHI Guang-hai, TAO Hua, SHI Yu-ruo. 2003. Zircon SHRIMP geochronology of the Xinkailing-Kele complex in the northwestern Lesser Xing'an Range, and its geological implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(22): 2315-2323(in Chinese with English abstract).
- SENGÖR A M C, NATAL'IN B A. 1996. Paleotectonics of Asia: Fragments of a synthesis[C].//YIN An, HARRISON T M. (ed.). *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge: Cambridge University. Press: 486-640.
- SENGÖR A M C, NATAL'IN B A, BURTMAN V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 364: 299-307.
- SHI Yu-ruo, LIU Dun-yi, ZHANG Qi, JIAN Ping, ZHANG Fu-qin, MIAO Lai-cheng, ZHANG Lü-qiao. 2007. SHRIMP U-Pb zircon dating of Triassic A-type granites in Sonid Zuoqi, central Inner Mongolia, China, and its tectonic implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(2): 183-189(in Chinese with English abstract).
- English abstract).
- VAN DER VOO R, SPAKMAN W, BIJWAARD H. 1999. Mesozoic subducted slabs under Siberia[J]. *Nature*, 397: 246-249.
- ZHAI Ming-guo, MENG Qing-ren, LIU Jian-ming, HOU Quan-lin, HU Sheng-biao, LI Zhong, ZHANG Hong-fu, LIU Wei, SHAO Ji-an, ZHU Ri-xiang. 2004. Geological features of Mesozoic tectonic regime inversion in Eastern North China and implication for geodynamics[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 285-297(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Hong-ren. 1998. Yanshan event[J]. *Acta Geologica Sinica*, 72(2): 103-111(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yue-qiao, DONG Shu-wen, ZHAO Yue, ZHANG Tian. 2007. Jurassic tectonics of North China: A synthetic view[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(11): 1462-1480(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yue-qiao, DONG Shu-wen. 2008. Mesozoic tectonic evolution history of the Tan-Lu fault zone, China: Advances and new understanding[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(9): 1371-1390(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Yue, XU Gang, ZHANG Shuan-hong, YANG Zhen-yu, ZHANG Yue-qiao, HU Jian-min. 2004. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 319-328(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Ya-dong, DAVIS G A, WANG CONG, DARBY B J, ZHANG Chang-hou. 2000. Major Mesozoic tectonic events in the Yanshan belt and the plate tectonic setting[J]. *Acta Geologica Sinica*, 74(4): 289-302(in Chinese with English abstract).
- AuScope. 2009. Home[EB/OL]. [2009-10-10]. <http://www.auscope.org.au/>.
- EarthScope. 2009. EarthScope Facility operation and Maintenance [EB/OL]. [2009-10-10]. http://www.earthscope.org/es_doc/oandm/OandM_Volume_I.pdf.