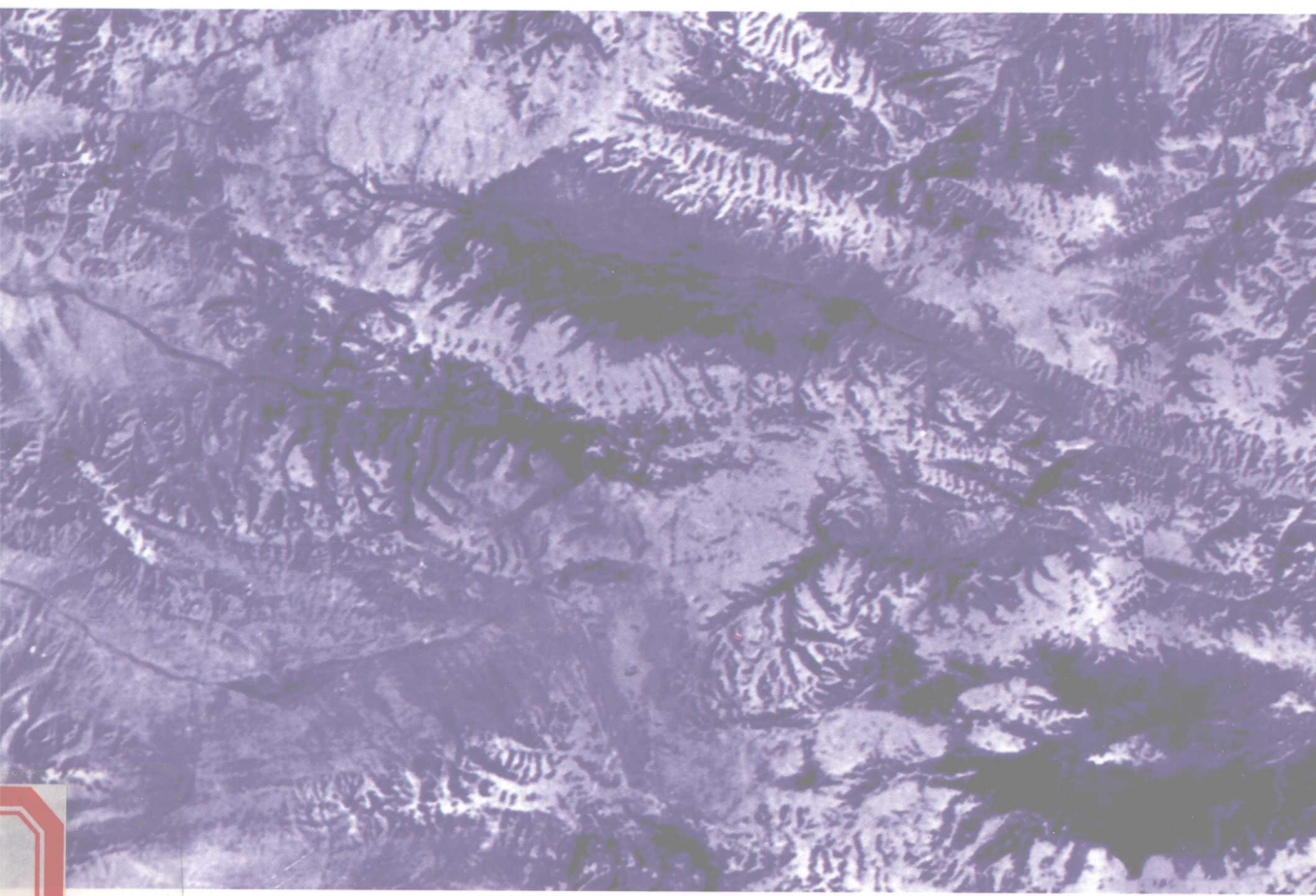


地壳构造与地壳应力文集

中国地震局地壳应力研究所 编



地震出版社



地壳构造与地壳应力文集

(17)

中国地震局地壳应力研究所 编

地震出版社

2004

图书在版编目 (CIP) 数据

地壳构造与地壳应力文集. 17/中国地震局地壳应力研究所编. —北京:地震出版社, 2004. 11

ISBN 7-5028-2589-4

I. 地… II. 中… III. ①地壳构造-文集②构造地应力-文集 IV. P313.2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 110461 号

地震版 XT200400289

内 容 提 要

本书为中国地震局地壳应力研究所连续性学术论文集的第 17 集, 为配合全国第四届地应力会议的召开, 特刊登了会议的部分论文。全书包括地壳应力环境及其动力过程、地应力测量技术的新进展、地应力测量在工程中的应用、应力-应变观测与地震、地震预报、地震活动性、遥感地质与地质灾害预测等方面的内容。

本书可供地球动力学研究、地应力测量理论及应用、地震监测预报、工程地质等领域的人员及有关大专院校的师生阅读。

地壳构造与地壳应力文集 (17)

中国地震局地壳应力研究所 编

责任编辑: 张晓波

特邀编辑: 张宝红 连小力

责任校对: 孙铁磊

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 86467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版(印)次: 2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 317 千字

印张: 12.375

印数: 001~600

书号: ISBN 7-5028-2589-4/P·1216 (3216)

定价: 20.00 元

版权所有, 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

賀第の由全同地应力子表言証

監測地壳应力数异

實踐地壳力子学院

探索地震事件规律

做好防震减灾服务

李延利
二月廿一日

编 委 会

主 编：唐荣余

副主编：谢富仁 黄忠贤

编 委：（以拼音为序排列）

陈 虹	陈群策	陈学波	付子忠	勾 波
郭启良	黄福明	黄忠贤	江娃利	李方全
李海亮	李 宏	刘光勋	陆远忠	吕悦军
马保起	欧阳祖熙	邱泽华	苏恺之	唐荣余
王恩福	王建军	王文清	王 勇	谢富仁
谢新生	杨树新	于慎鄂	张宝红	张伯崇
张鸿旭	张景发	张周术	赵国光	周振安

全国第四届地应力会议开幕词

(代序)

感谢中国地震局、中国地震学会和中国岩石力学与工程学会的关心与支持,感谢来自国际和国内的专家代表们给予会议的热情支持和贡献,感谢各承办单位的辛勤工作,使第四届全国地应力学术会议顺利召开。我在此谨代表会议发起单位——中国地震局地壳应力研究所向大家表示衷心的感谢。

全国地应力会议已经开过三届,分别于1977年、1983年、1994年在安徽省芜湖市、北京西山、北京香山召开。前三届全国地应力会议代表了我国地应力研究从起步、发展到逐步成熟的发展过程,适时地总结了有关地应力方面的研究理论、方法、技术及其在地震预报、工程建设中应用的经验与成果,明确了地应力研究的目标、方向和任务,有效地推动了地应力学科的发展。本次会议收到论文近30篇,内容涉及到地壳应力环境及其动力过程、地应力测量技术的新进展、应力-应变观测与地震、地应力测量在工程中的应用及其他与地应力相关的研究与应用等多个方面,集中反映了近年来我国地应力理论研究与应用方面的新进展和取得的新成果,代表了我国的现状和水平。

地壳应力研究是地球科学的一个重要部分,世界一些发达国家均开展了此项研究。我国的地应力研究工作始于20世纪60年代,李四光先生从地质力学的角度提出地应力场问题,在他的倡导下将地应力测量方法应用于中国的地震监测预报中。20世纪60年代引进瑞典哈斯特的压磁套芯解除地应力测量方法,而后相继开展了套芯解除、水压致裂、声发射等原地应力测量方法和压容式、压磁式、体积式等应力-应变观测技术,同时发展了震源机制解、地震矩张量、活动断层滑动反演、钻孔崩落等方法研究构造应力场。地壳应力状态的研究和测量,在地震预测、能源开发、交通工程、水电工程、矿业工程、岩土工程稳定性评价,减轻地震和地质灾害等领域得到了应用,取得了社会、经济效益。本世纪初,在受世人瞩目的国家重点工程南水北调、青藏铁路、长江三峡工程、黄河水利水电梯级开发等重大基础建设项目中都用到了地应力研究和测量成果。

在半个多世纪中,地应力测量理论、方法、技术及其应用等方面都得到了迅速发展,然而从科学发展的实际需要来看,目前在地应力研究领域尚存在一些问题,还有待同行们进行更深入的研究。在深化科技体制改革的今天,我们的专业发展亦需要合理组织、加强合作与交流,为此,地壳应力研究所愿意用自己的出版物,为本专业的信息交流提供园地,欢迎大家踊跃投稿、加强联系,共同提高我国在地应力研究领域的总体水平。

唐荣余

2004年11月

目 录

中国大陆地壳应力环境基础数据库	谢富仁等 (1)
龙首山区域构造应力场初步研究	董治平 (10)
马边-永善地震带及邻区新构造应力场和现代构造应力场的探讨	侯治华 钟南才 赵建荣 (16)
声发射观测技术及资料处理技术综述	宋富喜 (24)
摩擦、滑动准则和原地应力测量	马元春 (31)
单回路水压致裂原地应力测量系统的研制与应用	王海忠 (39)
新疆地区钻孔应变观测及地震前兆研究	蒋靖祥 王在华 唐小勇 王新刚 (45)
RZB-1 型电容式钻孔应变仪四川台网工作概况及地震预报实践	李志君 (57)
溧阳地震台体应变仪震前异常变化初探	黄才中 王皓 陈启林 (66)
荆山洼台地应力观测结果与地震关系探讨	马星俊 闫德桥 赵银刚 (73)
长清地震台两套体应变仪资料分析	郝军丽 (82)
2004 年 3 月 24 日东乌珠穆沁旗 5.9 级地震的中短期预报	易志刚 杨选辉 (91)
塔院地温对 2003 年 4 月 24 日唐山地震的前兆反应及同震效应	姚宝树 (102)
甘肃玉门 M_s 5.9 级地震的中期预测分析	焦 青 范国胜 高忠宁 (107)
深震与中国大陆强震及大陆各区地震活动的相关性分析	刘冬英 薛 艳 (115)
时间-震级可预测模型在中国大陆强震中期预测中的应用	陈 卓 陈 虹 刘冬英 (124)
独山子-安集海断裂现今运动的监测与分析	荆 燕 赵管海 陈葛天 (132)
预应力锚索抗滑桩内力反演计算	陈明金 欧阳祖熙 (139)
地质灾害遥测台网监测三峡库区重庆市巫山县残联滑坡变形分析	韩文心 (146)
PS InSAR 技术及其在地壳形变检测中的应用	龚利霞 张景发 (154)
基于 ETM+ 遥感影像红河断裂带构造解译方法	冯万鹏 张景发 田云峰 (161)
基于 IPV6 的地震监测传感器网络	续春荣 周振安 (167)
昌平地震台震时钻孔应变资料可靠性分析	刘福生 张国红 宋朝忠 (173)
遥感图像在吐-哈盆地活动断裂带研究中的应用	王冬雷 张景发 田云峰 (179)

Contents

Fundamental Database of Crustal Stress Environment in Continental China	
..... Xie Furen Chen Qunce Cui Xiaofeng Li Hong Yang Shuxin	
Guo Qiliang Chen Lianwang Xu Zhonghuai Zhang Yanshan Dou Shuqin	
Zhao Jiantao Zhang ZhouShu Liu Changyi Wang Gangjun	(1)
A Preliminary Study on Geotectonic Stress Field in the Longshoushan Region	
..... Dong Zhiping	(10)
A Study on the Neotectonic and Present Tectonic Stress Field in	
Mabian-Yongshan Earthquake Belt and Adjacent Areas	
..... Hou Zhihua Zhong Nancai Zhao Jianrong	(16)
Technique Summary of Acoustic Emission Measurement and Data Processing	
..... Song Fuxi	(24)
Friction, Sliding Criteria and In-situ Stress Measurement	 Ma Yuanchun (31)
Research and Application of Single Circuit Hydraulic Fracturing	
Crustal Stress Measurement System	 Wang Haizhong (39)
Borehole Strain Observations in Xinjiang Area and Earthquake	
Precursor Research	
..... Jiang Jingxiang Wang Zaihua Tang Xiaoyong Wang Xingang	(45)
Sichuan RZB-1 Capacitive Borehole Strainmeter Network and	
Earthquake Prediction Practice	 Li Zhijun (57)
Comparison Study of the Earthquake Precursory Changes with	
Disturbances	 Huang Caizhong Wang Hao Chen Qilin (66)
Study on the Earthquake Related Stress Observations at Jingshanwa	
Station	 Ma Xingjun Yan Deqiao Zhao Yingang (73)
Analysis of the Data Recorded by Two Dilatometers in Changqing	 Hao Junli (82)
Medium and Short Term Prediction of the $M_s5.9$ East-Wuzhumuqinqi	
Earthquake on March 24, 2004	 Yi Zhigang Yang Xuanhui (91)
Precursory and Co-seismic Response of Ground Temperature at Tayuan	
to the Tangshan Earthquake of April 24, 2003	 Yao Baoshu (102)
Medium-term Prediction of the $M_s5.9$ Earthquake of Yumen, Gansu	
..... Jiao Qing Fan Guosheng Gao Zhongning	(107)
Correlation Analysis of Deep Earthquakes with the Seismicity in the	
Mainland China	 Liu Dongying Xue Yan (115)

Application of Time-magnitude Predictable Model to Medium-term Prediction of Strong Earthquakes in the Mainland China	Chen Zhuo Chen Hong Liu Dongying (124)
Observation and Analysis of Dushanzi-Anjihai Fault's Nowadays Movement	Jing Yan Zhao Yinghai Chen Getian (132)
Inversion of Internal Forces of Anti-slide Piles with Pre-stressed Cables	Chen Mingjin Ouyang Zuxi (139)
Landslide Deformation Analysis in Wuhsan, Chongqing, in the Three Gorges Area Using a Telemetric Geologic Disaster Monitoring Network	Han Wenxin (146)
Advanced PS InSAR Technology and Its Application in Monitoring Crustal Deformation	Gong Lixia Zhang Jingfa (154)
Tectonic Interpretation Method for the Honghe Fault Zone Based on the ETM+ Image	Feng Wanpeng Zhang Jingfa Tian Yunfeng (161)
Earthquake Monitoring Sensors Network Based on IPV6 Environment	Xu Chunrong Zhou Zhenan (167)
Reliability Analysis of Co-seismic Borehole Strain Data at Changping Seismological Station	Liu Fusheng Zhang Guohong Song Chaozhong (173)
The Application of Remote Sensing Image on the Active Fault Zone Study of Turpan-Hami Basin	Wang Donglei Zhang Jingfa Tian Yuanfeng (179)

中国大陆地壳应力环境基础数据库

谢富仁^① 陈群策^① 崔效锋^① 李 宏^① 杨树新^① 郭启良^① 陈连旺^①
许忠淮^② 张彦山^① 窦淑芹^① 赵建涛^① 张周术^① 刘长义^① 王刚军^①

(^①中国地震局地壳应力研究所 北京 100085)

(^②中国地震局地球物理研究所 北京 100081)

摘要 本文介绍了国际上有关地应力环境研究与数据库建设的相关情况;重点阐述了“中国大陆地壳应力环境基础数据库”的构成,包括基本数据类型、数据来源以及数据覆盖范围等基本情况;阐述了本数据库管理系统的基本设计思想、主要功能及其特色;扼要介绍了以数据库资料为基础开展了中国大陆构造应力分区以及应力场的数值模拟研究成果。

一、前 言

地壳应力环境研究是地球科学的一个十分重要的分支。为此,20世纪80年代开始的国际岩石圈计划开展了世界应力图编制计划。该计划由美国科学院院士 Mary Lou Zoback^[1]领衔,有多国科学家参加,收集并分析整理了全球范围内有关现代构造应力的测量和研究成果,在此基础上建立全球应力数据库,编制的世界应力图全面反映岩石圈应力场的总体和分区特征,并对岩石圈中力的作用情况进行解释。这是近年来地球科学国际合作中的一个重大成果。

建立地壳应力观测数据库,对已有资料进行收集、整理并进行系统的分析,其重要性已为许多国家科学家所共识。早在20世纪60年代,瑞典学者 N. Hast 就对世界各地尤其是芬兰斯堪的亚地区的原地应力测量成果进行了系统地分析和整理,并据此提出了地壳中普遍存在较高水平应力作用的论断^[2]。第一张世界应力图发表于1975年,包含了59个应力解除的结果^[3];1979年 Richardson 等人展示了一张由133个震源机制解和一些应力解除以及地质分析资料构成的世界范围内的应力图件^[4];加拿大学者 Arjing 和 Herget 等从1973年开始在 CANMET 采矿试验室建立了地应力数据库^[5],并对数据库进行随时更新和补充,其主要目的是为采矿设计和矿山稳定性评价提供基础资料;瑞典学者 Stephansson 在系统收集了芬兰、挪威和瑞典应力解除法和水压致裂法地应力实测资料的基础上^[6],建立了芬诺斯坎迪亚地应力数据库;意大利学者 Montone 收集整理了意大利钻孔崩落、震源机制和断层滑动的资料,编制了意大利地应力图和数据库^[7]。这些数据库中,收录的数据不断增加,为全球范围内有关应力测量和构造应力场研究提供了大量的服务。

我国自20世纪60年代开始,相继开展了套芯解除、水压致裂、声发射等原地应力测

量技术工作^[8~9],同时发展了震源机制解、地震矩张量、活动断层滑动反演资料、钻孔崩落等构造应力场研究方法^[10~12],还进行了压容式、压磁式、体积式等应力应变观测,积累了大量基础资料和研究成果,并在地球科学研究、防震减灾和经济建设中发挥了重要作用。据不完全统计,全国现有各类地壳应力数据,包括水压致裂、套芯解除、震源机制解、断层滑动反演、钻孔崩落、火山锥链等资料近4千条。

由中国科学技术部基础性工作专项资助的“中国大陆地壳应力环境基础数据库”通过收集我国大陆及邻区6类主要地壳应力数据,参照国际上相应的通用标准格式建立资料齐全、数据准确、易于维护和更新的“中国大陆地壳应力环境基础数据库”。数据库包括各类地应力基础数据资料、地应力环境综合研究成果、地理和活动构造信息等。其基本数据可随时补充和更新;同时也是面向社会、界面友好、查询方便,实现了目录网上检索、数据资料网络传输、地壳应力数据为全社会共享的目的。

二、数据库基础资料

“中国大陆地壳应力环境基础数据库”的地应力基础资料共分6大类,分别为:水压致裂原地应力测量数据、应力解除原地应力测量数据、震源机制解资料、钻孔崩落资料、断层滑动反演资料和连续应力应变观测资料。各类数据在数据库中所占比例如图1所示。

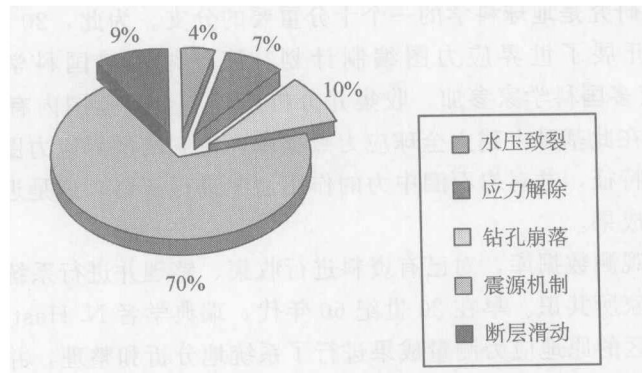


图1 数据库中各类数据所占比例示意图

连续应力应变观测资料以观测台站为单位进入数据库,目前共录入23个台站的观测数据,未表示在图中。其余5类数据量的单位为条

1. 水压致裂应力测量数据

水压致裂主数据录入192条数据,分测段数据表已录入1014条数据。其中,常规平面应力测量方法(HF)为166条数据,约占总数的86%;多个交汇钻孔三维地应力测量方法为15(HFM)条,约占总数的8.3%;只给出应力梯度信息而无具体测段数值的数据(HFG)为11条,约占总数的5.7%。而对预存破裂的水压致裂应力测量方法(HTPF)目前还无数据录入。主数据表中的一条数据记录一般对应着一个钻孔的测试数据,而该钻孔中不同测段的测试结果则录入分测段数据表中;对多个交汇钻孔三维地应力测量方法来

说,一条数据记录一般对应一个测点的三维应力综合测试结果,单孔的具体测试结果不再录入分测段数据表。

水压致裂应力测量数据覆盖了除内蒙、吉林、江西三省外的中国大陆境内的所有其他省区。数据来源以中国地震局地壳应力研究所的科研和工程应力测量资料为主,还有少量来自其他部门已发表在公开刊物上的测试资料^[13~14]。此外,为便于开展对中国大陆边缘的动力学分析,本数据库还收录了中国大陆周边地区,如香港地区的水压致裂应力测量资料^[15]。

2. 应力解除资料

应力解除资料录入 340 条。资料主要来自于中国地震局地壳应力研究所、国土资源部地质力学研究所、中国四川省地震局、中国科学院以及北京科技大学等科研机构的测试报告和公开发表刊物^[15~17]。按测试方法分类,录入数据可分为三维应力测量和平面应力测量。其中三维测量包括多个交汇钻孔测量方法和单个钻孔的全应力测量方法。后一种测量方法主要来自地壳应力研究所利用单孔压磁全应力计测试资料。按测量所用的应力计或应变片技术分类,还可分为压磁法、空心包体法、孔壁和孔底应变计法等类型。为便于数据库的管理和查询,不同方法的数据结构和类型只分为二维和三维测量方法两种,对于具体的测试技术分类只在注释属性中标明,以便于用户的进一步详细分析。

3. 钻孔崩落资料

钻孔崩落资料录入 454 条数据。资料主要取自黑龙江大庆油田、辽宁辽河油田、天津大港油田、新疆克拉玛依油田和库尔勒油田、河南南阳油田、山东东营油田、南海油田、四川油田等油田钻井观测资料。取样深度一般大于 1000m,最大深度达到 5000 多米。钻孔崩落数据在深度上填补了原地应力测量(水压致裂和应力解除测试数据)与震源机制解数据之间的深度上的空白地段,是在较大空间尺度上研究地壳应力分布规律的重要资料。

4. 震源机制解资料

截止 2004 年 1 月,“中国大陆地壳应力环境基础数据库”共收录中国及周边国家和地区 2599 个地震的震源机制解 3320 条(其中包括一震多解数据资料),分布范围为东经 $65^{\circ}\sim 140^{\circ}$,北纬 $10^{\circ}\sim 55^{\circ}$,这些地震的发震时间由 1920 年到 2001 年。数据主要来自国内外众多公开发表文献,其中收录较为集中的一类震源机制解是美国哈佛大学发布的 1976~2001 年中、强地震(主要是 5 级以上地震,包括少量 4~5 级地震)的矩张量解(CMT),同时包括少量未公开发表的震源机制解。所有数据资料的来源都在参考文献属性字段中给出。

有些震级较大的地震,可能有 2 个以上的震源机制解,少数强烈地震的震源机制解甚至多达 6~7 个以上(如 1966 年的邢台地震,1976 年的唐山地震、松潘地震等),并且有时相差较大,甚至震源机制解的类型和力轴的空间取向完全相反,我们将这些一个地震的多个震源机制解全部收录在“中国大陆地壳应力环境基础数据库”中,为方便研究者的查询使用,选取其中一个震源机制解作为该地震的基本解。基本解选取的原则是:①对于 1976 年以后的地震,若有哈佛大学的矩张量解,即选取矩张量解作为基本解;②对于没有哈佛大学的矩张量解的地震,根据课题“我国大陆应力场特征和强震关系的分区研究”的研究成果,选取经过该课题筛选的震源机制解为基本解^[18~19]。

5. 断层滑动反演资料

断层滑动反演资料录入 457 条, 包括利用第四纪活动断层滑动资料反演的构造应力张量 212 条; 依据历史地震地表形变带上的构造组合确定的构造主应力方向共 53 条; 利用地震断层滑动确定的古地震震源机制解 65 条。依据跨断层测量资料确定的驱动断层滑动的构造主应力方向资料 127 条。数据主要来自我国地学工作者近些年的研究成果, 也包括法国学者和台湾学者在我国西藏地区和台湾的一些研究成果^[18~24], 覆盖我国大部分地区, 尤其以中国大陆活动构造区最为集中, 如青藏高原及其周边地区、鄂尔多斯周缘、华北平原地区、云贵高原、东南沿海和台湾地区。利用断层滑动资料反演的构造应力张量包括三个主应力的方向和反映主应力之间比值的应力形因子; 利用地震断层滑动资料确定的古地震震源机制解包括三个主应力的方向; 依据地震地表形变带上的构造组合分析和跨断层测量资料确定的资料则主要给出构造应力的主方向。

6. 连续应力应变测量资料

钻孔连续应力应变测量数据, 已完成 23 个台站的资料整理和分析工作, 占全国台站总数的 53%。其中体积式钻孔应变测量台站 15 个, 压容式应变测量台站 8 个。总体来看, 已收录的台站的观测数据稳定、可靠、连续, 而且其测量的灵敏度均高于 10^{-8} 。都能记录到清晰的钻孔应变固体潮。另外, 压容式钻孔应变测量仪是一种多分量的应变测量仪器, 能测量和记录钻孔径向多个方向的应变, 从而提供更为丰富的地应力、应变信息。

三、数据库系统

在综合国内外最新数据库的设计经验的基础上, 以先进的设计理念和完备的服务功能, 完成了“中国大陆地壳应力环境基础数据库”及其管理系统的设计和建设。

1. 数据库基本设计思想

(1) 充分利用计算机网络信息传播技术, 使社会更多的用户群以不同方式方便、快捷、准确地获取中国大陆地壳应力环境基础数据信息。

(2) 数据库系统在提供完备的数据管理、条件查询等基本功能的基础上, 根据地应力数据的特点, 实现可视化查询, 及其与条件查询有机地结合。并能够提供简单有效的地应力数据分析功能。

(3) 数据库管理系统的技术支持平台在社会上应被广泛使用, 并且简单有效。以降低数据库的开发成本, 减少用户在使用数据库过程中不必要的技术障碍。

“中国大陆地壳应力环境基础数据库”管理系统包括“数据库查询分析系统”和“数据库网络发布系统”两个系统。

“数据库网络发布系统”以通过国际互联网快速准确地发布中国大陆地壳应力环境基础数据信息为主要目的。全部采用 Java 技术和网页发布技术, 实现网络环境下地应力数据库可视化查询。

“数据库查询分析系统”以实现对“中国大陆地壳应力环境基础数据库”的管理、多功能详尽查询分析为主要目的。选用 MapInfo 地理信息系统作为技术支持平台, 利用 Mi-

Microsoft Visual Basic 和 MapInfo 强大的开发能力, 在实现“中国大陆地壳应力环境基础数据库”管理系统全部基本功能的同时, 增加了数据的网络传输(局域网或 Internet), 使授权用户更加全面有效地使用“中国大陆地壳应力环境基础数据库”。

2. 数据库结构及特点

除了核心库——地应力数据资料库外, 还设计了研究成果资料库和用户管理数据库作为系统的辅助数据库, 并与地应力数据资料库一起向社会公众开放, 在极大地丰富了数据库内容和功能的同时, 也提高了数据库使用的效能和以后运行的安全性。

按照地应力数据资料的特点和 Microsoft Access 数据库的结构, 我们设计了有 9 个数据表构成的地应力数据资料库, 它们是震源机制解表、震源机制解附表、水压致裂基本数据表、水压致裂分测段表、钻孔崩落数据表、应力解除数据表、断层滑动数据表、连续应力应变观测数据表、其他应力数据表(火山链、声发射等)。震源机制解和水压致裂分别由 2 个数据表构成一完整的数据子库, 体现了地应力数据资料库设计的科学性和合理性。

四、综合研究成果

以数据库现有 6 大类地应力基础资料为基本依据, 以中国大陆的地质构造格局以及构造演化为背景, 开展中国大陆地壳应力环境与分区研究, 编制了“中国现代构造应力场图”, 划分了构造应力分区; 以上述数据中的原地应力测量资料、钻孔崩落资料以及震源机制解资料为主要约束数据, 参照中国大陆构造演化的相关研究成果, 建立中国大陆以及华北地区的有限元计算模型, 分别开展了平面及三维地应力场的数值模拟分析。

1. 中国现代构造应力场图

以数据库资料为基础编制的中国现代构造应力场图是一幅以资料性为主, 兼有一定学术意义的图件, 它汇集了我国各有关部门 30 多年来所积累的各种实测资料, 包括震源机制解、原地应力测量、钻孔崩落、断层擦痕反演和构造分析。提供了一幅建立在实测资料基础上反映我国现代构造应力场基本轮廓和变化特征的基础图件(图 2)。它将为我国地震环境研究、资源开发, 工程建设和减轻地质灾害服务。编图指导思想是以实测资料为基础, 以活动构造和板块运动构架为背景, 通过应力分区和各类应力状态特征去揭示中国大陆第四纪以来构造运动特征, 分析强震孕育的动力学环境。

中国现代构造应力场的基本特征和所处的动力学环境特点: 现代构造应力场作用在一定地域和地质时期是持续稳定的; 现代构造应力场作用以水平作用为主; 现代构造应力场存在着明显的分区特征; 现代构造应力场在深、浅部显示出较好的一致性; 地应力绝对值西部相对东部较高。中国现代构造应力场的格局明显受制于周边板块的动力学作用: 印度板块的碰撞是形成中国大陆现代构造应力场的主要力源, 其影响范围和作用强度均大于太平洋板块的俯冲和菲律宾板块推挤。

中国现代构造应力场共分 2 个一级区; 4 个二级区; 5 个三级区和 26 个四级区。一级构造应力区的力源主要来自板块构造作用, 这类应力场的作用特征是在大范围内和长时间

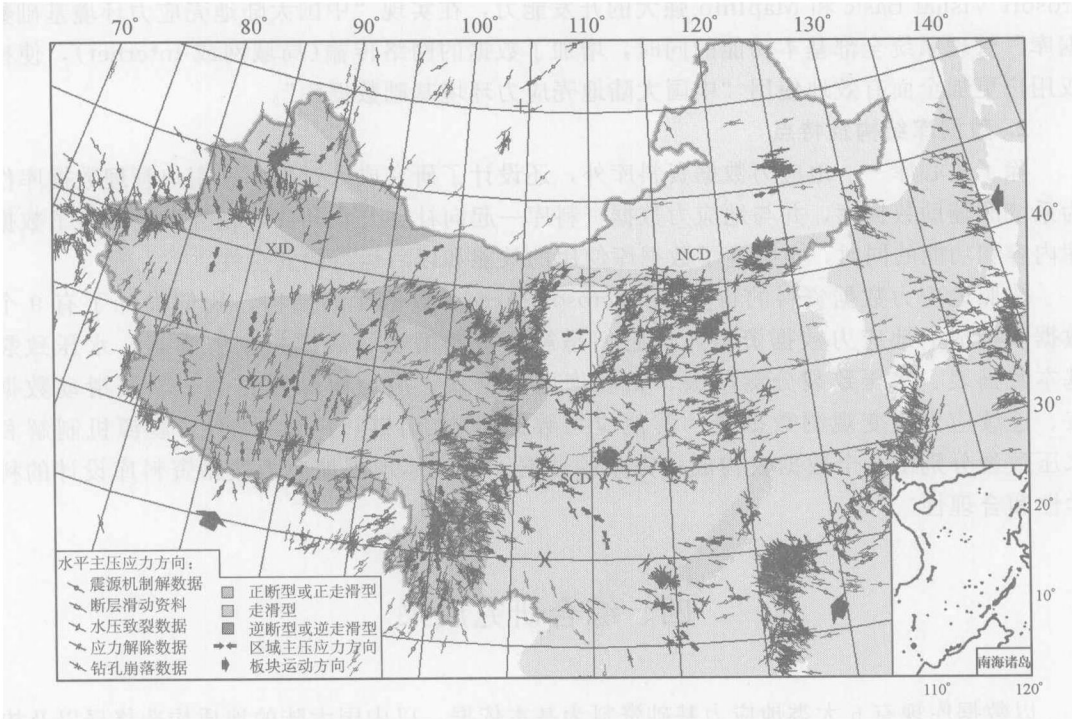


图 2 中国大陆及邻区现代构造应力场图

NCD: 东北—华北应力区; SCD: 华南应力区; XJD: 新疆应力区; QZD: 青藏高原应力区

内保持均匀和稳定，主要受板块边界的几何特征和作用在边界上的力的方向所控制。二级构造应力区的力源主要为板块作用力和大陆内部块体间相互作用力的叠加，在较大构造单元范围内具有同一性特征。主要受区域构造的运动控制。三级和四级构造应力场分布范围相对较小，是局域应力场，主要受块体运动和断裂相互作用的影响，受控于构造与结构的空间特征和岩石力学的非均匀特性。

2. 中国大陆应力环境的数值模拟

利用有限元理论，结合回归分析理论、接触分析方法，数值模拟中国大陆、华北块体现今构造应力场图像以及华北块体近期构造应力场变化特征。

数值模拟结果表明，中国大陆现今水平最大主压应力轴走向以青藏高原为中心呈辐射状分布，可以分为若干个子分区。中国大陆现今水平最大主压应力总体趋势表现为由西向东逐渐降低。中国大陆东南的台湾海峡区域水平最大主压应力有局部升高的现象。

华北块体现今背景构造应力场的总体方向为 NE—SW 至 NEE—SWW 方向，在此总体特征的基础上，存在某种程度的分区特征。以太行山为界，以西地区的应力场方向为 NE—SW 方向，而以东地区为 NEE—SWW 方向。华北大大部分地区的最大主应力和最小主应力均位于或近似位于水平面内，中间主应力均位于或近似位于垂直平面内，因此，华北的大部分地区均处于走滑应力状态，邢台地震、渤海地震、唐山地震、大同地震等均为走滑或走滑为主的断层作用。

五、结 束 语

“中国大陆地壳应力环境基础数据库”集成了遍布中国大陆范围内的各类地应力观测和研究的基础数据资料，并将使得这些宝贵的基础数据直接服务于地球科学的基础研究，同时也将在各类重大工程实践中发挥重要的作用。为使本数据库拥有一个良好的运行、维护和管理机制，也出于对知识产权保护的考虑，从而使地应力基础数据更好地服务于社会，我们在本数据库的发布运行机制中，对各类基础数据拟采取分级共享的技术措施(具体措施见有关细则)，其根本目的在于使现有的地应力数据得到充分的开发和利用，并且随着数据库的开通和运行，有更多的地应力数据进入本数据库，以便发挥其更大的作用。

参 考 文 献

- [1] Zoback M. L., First-and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project, *J. Geophys. Res.*, 97(B8): 11703~11728, 1992.
- [2] Hast, N., The state of stress in the upper part of the Earth's crust. *Tectonophysics*, 8(3): 169~211, 1969.
- [3] Zoback M L, Zoback M D, Adams J, et al., Global patterns of tectonic stress, *Nature*, 341: 291~298, 1989.
- [4] Richardson R. M., Solomon S. C., Sleep N. H., Tectonic stress in the plates, *Rev Geophys Space Phys*, 17: 981~1019, 1979
- [5] Arjing B., Herget G., In-situ ground stresses in the Canadian Hardrock Mine: an Update, *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.*, 34, No. 3~4, 1997.
- [6] Stephansson O., Sarrkka, P. and Myrvang, A., State of stress in Fennoscandia, *Proceeding of the International Symposium on Rock Stress and Rock Stress Measurements*, Stockholm, 1~3 September, 1986.
- [7] Paolo Montone, Alessandro Amato and Silvia Pondrelli, Active Stress Map of Italy, *J. Geophys. Res.*, 104: 25595~25610, 1999.
- [8] 李方全, 原地应力测量在地震地质研究工作中的应用, *华北地震科学*, 1(2): 71~76, 1983.
- [9] 李方全、刘光勋, 我国现今地应力状态及有关问题, *地震学报*, (82): 492~501, 1986.
- [10] 许忠淮、汪素云、黄雨蕊、高阿甲, 由大量地震的资料推断我国大陆构造应力场, *地球物理学报*, 32(6): 636~647, 1989.
- [11] 谢富仁、刘光勋, 阿尔金断裂带中段区域新构造应力场分析, *中国地震*, 5(3): 26~36, 1989.
- [12] 丁建民、梁国平、郭启良等, 根据钻孔崩落椭圆确定地壳应力方向, *地震学报*, 9(2): 26~36, 1987.
- [13] 王连捷、丁原辰、刘琦胜等, 引黄隧洞地应力测量, *地质力学学报*, 2(1): 62~69, 1996.
- [14] 李方全、张伯崇、苏恺之等, 三峡坝区水库诱发地震研究——茅坪钻孔的现场测试与分析, 北京: 地震出版社, 1993.
- [15] 李方全、廖椿庭, 地应力测量实例, *地质科技*, (3): 67~73, 1973.
- [16] 廖椿庭等, 金川矿区地应力测量与构造应力场, 北京: 地质出版社, 1985.
- [17] 蔡美峰、乔兰等, 梅山铁矿地应力测量结果及分析, *岩石力学与工程学报*, 16(3): 233~239, 1997.
- [18] 汪素云、高阿甲、许忠淮, 中国及邻区地震震源机制特征, *中国地震区划文集*, 北京: 地震出版社, 10~26, 1993.
- [19] 许忠淮, 东亚地区现今构造应力图的编制, *地震学报*, 23(5): 492~501, 2001.
- [20] 谢富仁、祝景忠、梁海庆等, 中国西南地区现代构造应力场基本特征, *地震学报*, 15(4): 407~417, 1993.
- [21] 谢富仁、张世民、窦素芹等, 青藏高原北、东边缘第四纪构造应力环境演化特征, *地震学报*, 21(5): 501~512, 1999.
- [22] 谢富仁、苏刚、崔效锋等, 滇西南地区现代构造应力场分析, *地震学报*, 23(1): 17~23, 2001.
- [23] Jacques Angelier, Eric Barrier and Hao Tsu Chu. Plate collision and paleostress trajectories in a fold-thrust: the foothills of Taiwan. *Tectonophysics*, 125: 161~178, 1986.
- [24] Armijo, R., P. Tapponnier, J. L. Mercier, et al., Quarternary extension in southern Tibet, *J. Geophys. Res.*, 91: 13803~13872, 1986.