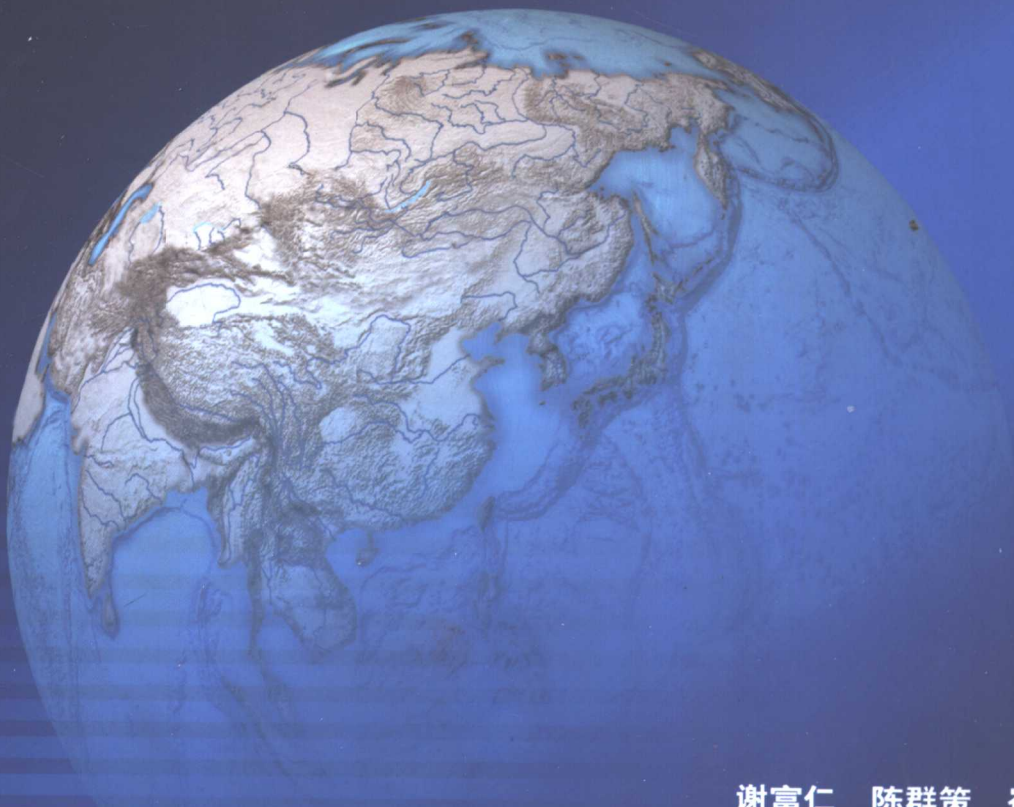


● 科技部基础工作专项资助项目

中国大陆地壳 应力环境研究

CRUSTAL STRESS IN CHINA



谢富仁 陈群策 崔效锋 等著
李 宏 杨树新 陈连旺

地质出版社

科技部基础工作专项 (2000112) 资助

中国大陆地壳应力环境研究

CRUSTAL STRESS IN CHINA

谢富仁 陈群策 崔效锋 等著
李 宏 杨树新 陈连旺

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

地壳应力环境研究是地球科学的前沿性课题,在工程实际应用中具有十分重要的意义。本书以国家科技部基础工作专项“中国大陆地壳应力环境基础数据库”为背景,介绍了该数据库的基本构成和结构特征以及在此基础上开展的大陆地壳应力环境的一系列研究。此外,为了便于读者对该领域有更全面的了解,还收录了有关地应力测量技术以及在地球科学研究和工程领域应用方面的文章。本书是一本内容丰富、较全面反映我国地壳应力环境研究和应力测量方面最新进展的论著。

本书可供从事地球动力学、构造地质、地球物理、构造物理、工程地质、工程地震、地震预测预报的科技人员、工程部门技术人员及有关院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

中国大陆地壳应力环境研究/谢富仁等著. -北京:地质出版社, 2003.11
ISBN 7-116-03921-X

I. 中… II. 谢… III. 大陆型地壳-构造地应力-研究-中国 IV. P548.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 108017 号

ZHONGGOU DALU DIQIAO YINGLI HUANJING YANJIU

责任编辑:陈 磊 张宝红

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508(邮购部); (010) 82324565(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:787mm×1092mm^{1/16}

印 张:17

字 数:410 千字

印 数:1—700 册

版 次:2003 年 11 月北京第一版·第一次印刷

定 价:42.00 元

ISBN 7-116-03921-X/P·2420

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序 言

地壳应力研究是地球科学的一个重要部分，其核心内容是开展地壳应力测量和研究地壳应力的时空分布，从力学分析的角度探讨构造变形、发展演化的过程。早在 20 世纪 30 年代，美国在胡佛大坝开展了应力测量；1966 年邢台地震发生以后，在我国著名科学家李四光教授亲自指导下，我国地震工作者在地震现场安装了中国第一台地应力观测仪，并开展了地应力观测研究；80 年代开展了国际岩石圈计划下的世界应力图编制计划，建立了全球应力数据库，编制的世界应力图首次较全面地反映了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了解释。美国国家自然科学基金会和美国联邦地质调查局新近提出了“板块边界观测计划”，目的是通过加密 GPS 观测网与布设钻孔应力应变观测相结合，了解板块边界上地震活动时地壳应力应变的变化状况。

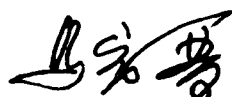
迄今为止，国外已先后有十多个国家实施了大陆科学钻探计划。其中，前苏联实施了 11 口深钻和超深钻，位于科拉半岛的科学钻探已达 12262 m，为当今世界最深超深孔，并将成为世界第一个地学深孔观测实验站。德国超深钻计划（KTB）中的科学钻孔已于 1994 年 10 月终孔于 9100 m。美国、日本以及法国、加拿大等国家也都开展了相应的钻探计划。我国于 2001 年在中国东部大别山-苏鲁造山带开始了深钻计划，至 2003 年 10 月已钻到地下 3600 多米。在这些深钻和超深钻科学计划中，都将地应力测量作为重要的研究内容，为地壳应力环境研究提供了宝贵的基础资料。

此外，地球表面至地下数公里的范围是与人类经济、技术活动关系最为密切的地带，如城建、隧涵、水电、矿山、油气田、地热能、国防等各类工程建设、资源及能源开发以及环境保护等都在这个地壳表层范围内进行。地壳应力在不同区域具有明显的非均匀性，地应力随深度的变化也表现出因地而异的特征。因此，在进行重大工程建设的设计时，准确地查明工程区的应力环境，深入研究其与岩土介质及工程建筑的相互作用，对于工程建设及其安全运行和地球资源及能源的开发均具有重要意义。

中国大陆位于欧亚板块的东南部，是欧亚陆壳板块的重要组成部分，受周围板块作用的影响，现代构造运动和变形强烈且形式多样，地壳应力环境

复杂多变，是全球地球动力学研究中具有特殊重要地位的区域。利用中国大陆优越的地球动力学环境和已有观测基础，建立中国地壳应力环境基础数据库，开展中国大陆独具特色的地壳应力环境研究，对推动大陆的动力学研究具有十分重要的科学意义。

本书作者以国家科技部基础工作专项“中国大陆地壳应力环境基础数据库”为基础，编写了“中国大陆地壳应力环境研究”论文集。该论文集对中国大陆地壳应力环境特征、应力测量技术及其在地球科学和工程领域中的应用等众多方面进行了较深入的论述，是一部内容丰富、系统全面的专业性论著。本论文集的出版，对相关领域的科学研究和技术进步将起到积极的推进作用。



2003年11月18日

前 言

地壳的应力状态是地壳最重要的性质之一。地壳表面和内部发生的各种构造现象及其伴生的各种地质灾害都与地壳应力的作用密切相关。地壳应力环境变化是导致地壳变形、断裂、褶皱乃至地震发生的最直接动因。加之地壳与人类生存空间的密切关系,因而对地壳应力状态的研究便愈加突显了其重要意义。另一方面,由于在地球的圈层结构中,地壳处于最浅层,凭借各种观测手段,人们可以更为直接地进行有效的探测,研究其应力赋存状态和变化规律。20世纪80年代后期在国际岩石圈计划下开展的世界应力图编制计划,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,建立了全球应力数据库。在此基础上,编制的世界应力图全面反映了岩石圈应力场的总体和分区特征,深化了对于全球板块构造运动的认识。在我国,自20世纪60年代开始,就开展了地应力观测和相适应力场的研究工作,对这些观测资料 and 研究成果进行总结,勾画中国大陆地壳应力分布状态并分析其基本特征及变化规律对推动大陆地壳动力学研究具有十分重要科学意义,同时,也为深入研究各种地质灾害的成因机制及其预测预防提供了重要的基础资料。

中国地震局地壳应力研究所是我国最早开展地应力观测和研究的单位之一,长期以来,积累了大量的地应力基础观测资料 and 研究成果。为使这些宝贵的地应力基础数据更好地服务于社会,在国家科技部的支持下,中国地震局地壳应力研究所于2001~2002年间承担并完成了“中国大陆地壳应力环境基础数据库”的研制工作。在该数据库中,收录了水压致裂、应力解除、震源机制解、钻孔崩落、断层滑动解析、应力应变连续观测共六大类资料,数据条目近4万条,数据范围涵盖中国大陆及其邻近地区。另外,利用先进的计算机和网络信息技术,为该数据库设置了强大的数据库管理功能、便捷的查询和分析功能。毫无疑问,该数据库的建立对于地球动力学的基础研究以及重大工程实践将发挥重要的作用。从另外一个角度来看,本数据库的建设过程也是对我国在该领域内历年工作的梳理和总结过程,这不仅表现为对大量基础数据的整理和分析工作,而且还体现在对各类数据入库格式和规范的制定以及数据库结构的确立。这些工作的进行,使我们对我国的地壳应力的研究现状有了更加系统和全面的了解,在本项目完成之际,我们把有关的研究经验、认识和体会以及相关的研究成果汇集一起,通过本文集发表,期望有助于相关的研究人员对中国大陆地壳应力的研究现状有一个比较全面的了解,从而促进该研究领域的进一步发展。这也正是编撰本文集的初衷。

本文集收录的论文,从内容上分为三个部分。第一部分,对“中国大陆地壳应力环境基础数据库”进行概括的介绍,包括数据库的立项背景、数据库的结构、数据入库格式和标准以及数据库的作用和意义;第二部分,着重介绍有关中国大陆地壳应力研究方面的最新进展,其中包括中国大陆现今地应力分区特征以及中国大陆和华北地区数值模拟研究成果。此外,在该部分,还收录了有关青藏高原等研究区域根据各种观测资料获得的现今地

壳应力状态的最新研究成果。在本文集的第三部分，收录的论文重点介绍了地应力测量技术的发展现状和应用领域，对地应力观测技术在工程应用以及地震预测等领域的研究也进行了初步的探讨。

项目执行过程中，得到国家科技部基础司、中国地震局、第二炮兵第二研究所有关领导的大力支持。中国地震局地壳应力研究所李方全教授、国土资源部地质力学研究所廖椿庭教授等一批长期从事地应力观测与研究的专家为项目的设计提供了建设性意见，并在数据库基础资料的收集和整理方面提供了支持和帮助。中国地震局地壳应力研究所梁国平副研究员、安其美副研究员、赵仕广副研究员、毛吉震高级工程师等在数据资料的收集过程中提供大力的帮助。中国科学院地质与地球物理研究所、武汉岩土力学研究所、国家电力公司、石油天然气总公司等单位及有关专家对项目提供了宝贵的咨询意见。在此，一并致以衷心的感谢。

地壳应力环境研究涉及的内容十分丰富，加之该领域近年来的迅猛发展，不断有新的研究成果涌现，本文集所述及的内容难免存在一定的局限性。文集集中的有些概念和看法仅为作者的一家之言，可能有失偏颇。我们真诚欢迎广大同仁的批评和指正。

中国大陆地壳应力环境基础数据库项目组

2003 年 6 月

目 录

第一篇 地壳应力环境基础数据库

中国大陆地壳应力环境基础数据库	谢富仁等 (3)
中国大陆地壳应力环境基础数据库——数据入库格式标准	李 宏 (13)
基于 GIS 技术的“中国大陆地壳应力环境基础数据库”查询分析系统	姜 波 崔效锋 高 兰 (23)
中国大陆地壳应力环境基础数据库在地学研究和工程实践中的意义	陈群策 谢富仁 (30)

第二篇 构造应力场研究

中国现代构造应力场基本特征与分区	谢富仁 崔效锋 张景发 窦淑芹 赵建涛 (39)
中国及邻区震源机制解分析及其在构造应力场 研究中的应用	崔效锋 谢富仁 赵建涛 (49)
青藏高原现今应力状态及工程应用	廖椿庭 吴满路 张春山 马寅生 区明益 (59)
中国大陆现代构造应力场与强震活动的关系	谢富仁 崔效锋 赵建涛 (69)
祁连山-河西走廊断裂系第四纪构造应力场研究	谢富仁 舒塞兵 张世民 窦淑芹 (77)
金沙江溪洛渡水电站水压致裂法地应力测量研究	安其美 丁立丰 王海忠 赵仕广 (86)
中国大陆现今构造应力场的有限元法回归分析研究	杨树新 陈连旺 谢富仁 (97)
华北块体现今构造应力场及其年变化特征	陈连旺 杨树新 谢富仁 (105)
华北块体边界作用力变化引起的分区加卸载效应	陈连旺 陆远忠 郭若眉 张 杰 (118)
唐山地震震源区构造应力场强度的初步分析	赵建涛 崔效锋 谢富仁 (130)
构造应力状态与活断层地震危险性、危害性评定	谢富仁 李 宏 (140)
显微构造在构造应力场研究中的应用——以六盘山东麓断裂为例	窦淑芹 (148)

第三篇 应力测量方法及应用

原地应力测量方法及原地应力测量的研究领域	李方全	陈群策	张志国	(155)		
水压致裂应力测量方法的新发展			郭启良	(164)		
对地应力尺寸效应的讨论		陈群策	李方全	(174)		
原地应力测量在地球科学研究中的重要意义	李方全	陈群策	李 宏	(180)		
原地应力测量在工程中的应用	李方全	陈群策		(192)		
北京房山 300 m 钻孔试验 P_0 值的计算分析	陈群策	张志国	李方全	(203)		
利用岩石声发射 Kaiser 效应进行原地应力测量			李 宏	(210)		
糯扎渡水电站水压致裂应力测量与水力劈裂试验	李 宏	安其美	郭启良	王福江	赵仕广	(218)
利用油田水力压裂资料获取深部应力量值的研究			张彦山	侯砚和		(228)
地下洞室围岩应力的测量与研究	丁立丰	安其美	王海忠	赵仕广		(240)
观测同震应变阶与断层活动性评价			邱泽华	张宝红		(248)
钻孔应力应变连续观测在地震监测预报中的作用				张宝红		(255)

第一篇

地壳应力环境基础数据库

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 本文阐述了中国大陆地壳应力环境基础数据库的立项背景; 重点介绍了本数据库基础数据的构成, 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的中国大陆构造应力分区以及应力场的数值模拟研究成果。

关键词 数据库 地壳应力 应力图 应力分区 数值模拟

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 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, 在此基础上建立了全球构造应力数据库, 编制了世界应力图。该成果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, 对已有的各类应力资料进行收集、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。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 (Zoback 等, 1989); Richardson 等人 1979 年展示了一张由 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应力图件; 加拿大学者 (Arjing 和 Herget, 1997) 从 1973 年开始在 CANMET 采矿试验室建立了地应力数据库, 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 等人, 1986) 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, 建立了芬诺斯坎迪亚地应力数据库; 意大利学者 (Montone 等, 1999) 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。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, 就开展了原地应力测量工作及相应的地应力场研究工作 (李方全, 1983; 李方全、刘光勋, 1986), 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、钻孔崩落等构造应力场研究方法（许忠淮等，1989；谢富仁等，1989；丁健民等，1987），积累了大量基础资料和研究成果，并在科学研究、防震减灾和经济建设中起到了重要作用。据不完全统计，全国现有各类地壳应力数据，包括水压致裂、应力解除、地震震源机制解、断层滑动反演、钻孔崩落、应力应变连续观测等资料近4万条。另外还有间接反映地应力状态的地形变测量、跨断层测量、GPS测量等大量资料。

然而，与其投入的巨额资金相比，这些珍贵资料的科学价值还远远没有得到充分的开发和利用。目前这些基本数据资料和研究成果大多分散保存在各有关单位或专家个人手中，其表述方式不一，不利于查询使用，不能共享，易产生重复性工作，造成科研成果的极大浪费，并且随着管理人员的流动和变化，存在着资料维护不当而损坏、失散的危险。因此，急需建立一个统一的、开放式的中国大陆地壳应力基础环境数据库来收集、整理和发布全国地壳应力基础环境数据和研究成果，以加强国际和国内研究者之间的交流，促进我国基础地球科学的研究与地壳应力环境研究成果向生产力的转化，进而为我国的国民经济持续发展提供基础资料。

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”总体目标是通过收集6类主要地壳应力数据，参照相应的国际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”。数据库将涵盖全国范围内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。利用目前先进的计算机和信息传播技术，使之成为具有时效性的动态数据库，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、开放式的数据库；实现目录网上检索、数据资料网络传输，以达到地壳应力数据为全社会共享的目的。

二、数据库基础资料

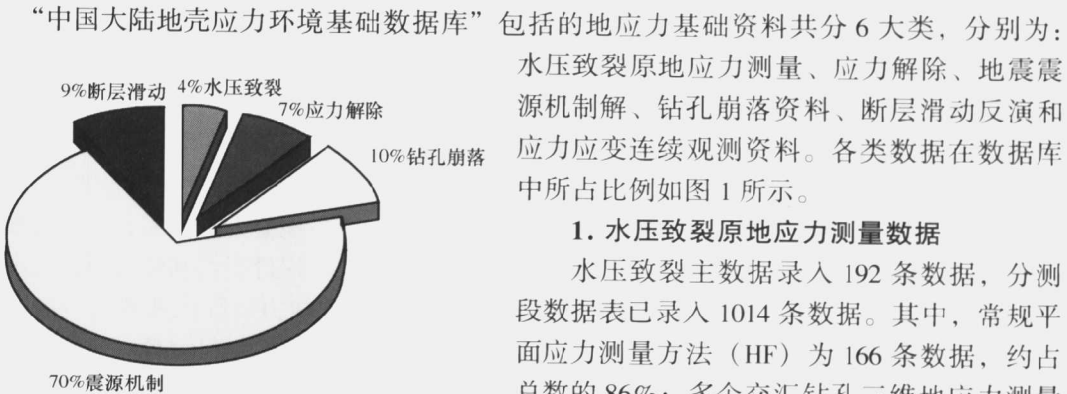


图1 数据库中各类数据所占比例示意图
连续应力应变观测资料以观测台站为单位进入数据库，目前共录入23个台站的观测数据，未表示在图中。其余5类数据量的单位为条

1. 水压致裂原地应力测量数据

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%。而对预存裂缝的水压致裂应力测量方法

(HTPF) 目前还无数据录入。对水压致裂应力测量数据而言, 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。

从数据的地域分布范围来看, 水压致裂应力测量数据覆盖了除内蒙古、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 (王连捷等, 1996; 李方全等, 1993)。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 (Klee 等, 1999)。

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 (李方全等, 1973; 廖椿庭等, 1985; 蔡美峰等, 1997)。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 1000 m, 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

截止目前, “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 1908 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, 可能由 2 个以上的震源机制解, 少数强烈地震的解甚至多达 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), 并且这些解有时相差较大, 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(汪素云等,1993;许忠淮,2001)。

为了使用户更准确地使用数据库中的震源机制解资料,对震源机制解中的地震基本参数(包括发震时间、震级、震中经纬坐标和地点等),中国境内震级 ≥ 4.7 的地震采用中国地震局震害防御司1999年编撰出版的《中国近代地震目录》给定的数据,震级 < 4.7 的地震采用中国地震局分析预报中心编撰出版的《中国东部地震目录》和《中国西部地震目录》给定的数据。另外,除了常用的属性参数外(如两个节面、 P 、 B 、 T 轴等),震源机制解中还增加了地震矩张量、震源机制解类型等属性参数。

有些文献给出的震源机制解数据不完整(如有的文献只给出 P 、 B 、 T 轴,没有给出两个节面参数),在认真查阅原文献的基础上,计算、补齐震源机制解各属性参数,并对原文献中的印刷错误进行了细致的校验、更正。

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。

该类资料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(谢富仁等,1993,1999,2001)。资料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. 应力应变连续测量资料

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,以较高的起点和较先进的设计理念,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工作。

1. 数据库系统的基本设计思想

依据“中国大陆地壳应力环境基础数据库”的特点和设计目标,在数据库及其管理系统的设计中,我们主要遵循以下几个原则:

(1)充分利用计算机网络这一最新的信息传播技术,使社会更多的用户群以不同方式更方便、更快捷、更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,这样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。

经过对目前较为通用的数据库系统(包括 Microsoft Access、SQL Server、Oracle 等)的调研,我们选用 Microsoft Access 构建“中国大陆地壳应力环境基础数据库”中的所有资料数据库。Microsoft Access 不仅简单实用、便于二次开发、满足数据库的设计要求,更主要的是它有广泛的使用基础,可以使社会上各种用户群都能够方便有效地使用“中国大陆地壳应力环境基础数据库”。

将“中国大陆地壳应力环境基础数据库”管理系统设计成两个联系紧密又相对独立的分系统——“数据库查询分析系统”和“数据库网络发布系统”。

“数据库网络发布系统”以通过国际互联网快速准确的发布中国大陆地壳应力环境基础数据信息为主要目的。与中国人民解放军第二炮兵第二研究所共同研制开发的“数据库网络发布系统”全部采用 Java 技术和网页发布技术,在实现网络环境下地应力数据库可视化查询的基础上,做到运行环境不受计算机及操作系统的限制,将用户使用“中国大陆地壳应力环境基础数据库”的技术障碍基本降到了零。

“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。在该系统中,选用 MapInfo 地理信息系统作为技术支持平台,利用 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),可以使更大范围的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”(图 2,图 3)。

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,它们是地震震源机制解主表、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、断层滑动反演数据表、应力应变连续观测数据表、其他应力数据表(火山排列、声发射等)。震源机制解和水压致裂分别由两个数据表构成一个完整的数据子库,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

以数据库现有六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

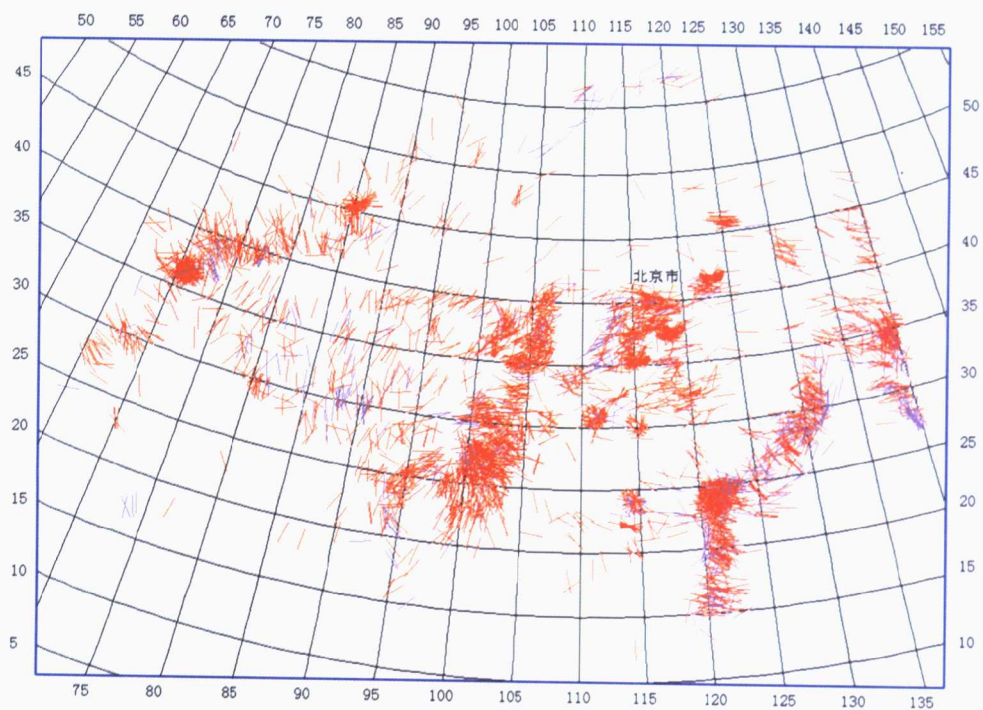


图 2 中国及邻区水平最大主应力方向分布图

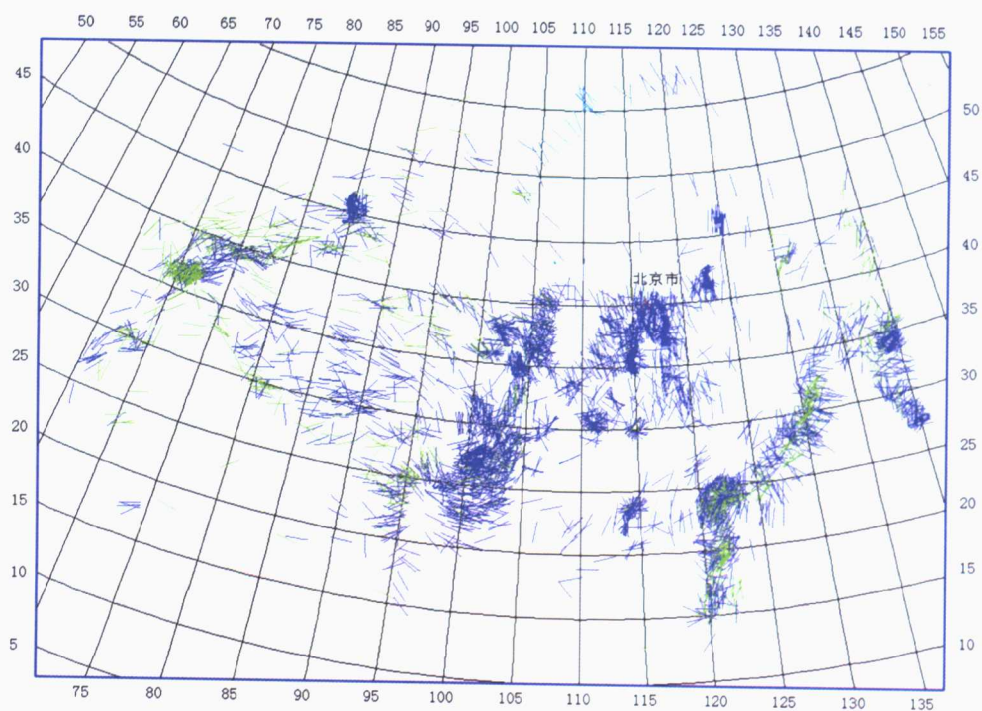


图 3 中国及邻区水平最小主应力方向分布图