

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

中国活动构造研究的进展与展望

邓起东

中国地震局地质研究所, 北京, 100029

内容提要 本文试图在世界活动构造研究背景下概括中国活动构造研究的进展, 并对最近 20 年来中国的活动构造研究, 包括几何学、滑动速率、古地震和大震重复间隔、分段理论和应用、活动褶皱、深浅构造耦合关系、城市和海域活动构造探测、块体划分和块体运动、地震危险性和未来断裂滑动量评价及中国现代构造活动动力学等进行简要评述, 对今后在这些方面的发展进行概略的讨论。

关键词 活动构造

地震和其他地质灾害对经济发展和人民生命财产的巨大破坏是人所共知的, 防灾减灾是现代社会的十分紧迫的课题。所以, 活动构造一直是地球科学家们十分关注的问题。另一方面, 地球动力学研究也总是离不开活动构造研究, 因为现代地球动力学是整个动力学研究中最关键的一环。本文拟对我国活动构造研究的进展和现状作一简要的概括, 并对活动构造研究中的若干问题进行讨论。

1 活动构造的定义和研究发展史

一般认为, 活动构造是指晚更新世 100~120 ka 以来一直在活动, 现在正在活动, 未来一定时期内仍会发生活动的各种构造。它包括活动断裂、活动盆地、活动褶皱、活动火山及被它们围限的地壳和岩石圈块体的变形和运动。

关于活动构造的时限仍有不同的认识。早期, 由于研究程度不够和资料缺乏, 活动构造往往被理解为新构造时期, 甚至新生代以来有活动的构造, 其时间尺度可达数百万乃至数千万年。随着研究的深入和工程的需要, 活动构造考虑的时间尺度越来越缩短, 基本上考虑第四纪, 或晚更新世 100~120 ka, 或全新世 10~12 ka 以来有过活动的构造。由于板内大陆地区断裂重复滑动或大地震重复间隔较长, 常可达数千年(邓起东, 1996), 所以, 我们认为, 只取全新世 10~12 ka 的时间尺度可能偏短, 取晚更新世 100~120 ka 的时间尺度是合适的。

活动构造中最早受到注意的是活动断裂, 近年来, 关于活动褶皱、活动块体的研究越来越引起人们的重视。早在上一世纪, 人们对地震与断裂的关系就已有所注意。Lawson 等(1908)在对 San Andreas 断裂和 1906 年 San Francisco 8.3 级地震的地震断层进行考察后, 首次提出了“活动断裂”这一术语。Reid (1910)根据对同一地震和断裂的研究, 提出了“弹性回跳”假说。Wood (1916)和 Willis(1923)明确提出活动断裂的定义, 他们认为活动断裂是过去 10 ka 或晚第四纪发生过位移的断裂。此后, 美国和日本等即开始了活动断裂研究, 并相继出版了日本、阿拉斯加和加州等地区活动断裂图(Jenning, 1975; 日本活断层研究会, 1980; 张裕明等, 1986)。到 70 年代后期和 80 年代, 随着工作的深入, 新的技术和方法不断发展, 新的概念不断提出, 对活动构造进入了深入研究的时代, 如古地震的研究, 断裂分段概念的提出和发展, 褶皱地震的发现, 海域活动断裂的探测, 概率地震危险性分析的发展等(Wallace, 1970; Sieh, 1978; Schwartz et al., 1984; Stein et al., 1984; 岛崎邦彦等, 1986; Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988)。90 年代, 在国际岩石圈研究计划中, 对活动断裂和古地震研究均作出了安排, 如在 Trifonov(1995)的主持下编制世界主要活动断裂图, 在 Yeats(1996)的主持下, 组织古地震研究专题讨论会和出版专集。

我国的活动构造研究萌发于 20 世纪 20~40 年

注: 本文为国家重大基础研究发展规划项目(编号 G1998040701)和中国地震局“九五”重点项目(编号 9504070101)的成果。

收稿日期: 2001-04-30; 改回日期: 2001-10-29; 责任编辑: 任希飞。

作者简介: 邓起东, 男, 1938 年生。1961 年毕业于中南矿冶学院地质系。现为地震局地质研究所研究员、博士生导师。现任中国地质学会和中国地震学会理事、地震地质专业委员会主任, 从事构造地质学、活动构造学和地震地质学研究工作。通讯地址: 100029, 北京市德外祁家豁子中国地震局地质研究所。

代,前辈地质学家对一些大地震及其与断裂的关系进行过考察和研究,如翁文灏(1922)、常隆庆(1938)和陈国达(1938)对海原、迭溪和广西灵山地震的考查。1956年初,中国科学院召开了第一次新构造运动座谈会,黄汲清、徐煜坚等对一些地区的新构造和断裂活动进行了交流讨论(中国科学院地学部,1957)。此后,在进行中国地震区划及三峡、丹江口和新丰江水库等工程建设中徐煜坚和李坪(1994)等对这些地区的新构造和断裂活动进行了研究。可以说,50年代至60年代前期是我国活动构造研究的萌发期,研究重点是地震与断裂的关系,对新构造时期的断裂活动更加注意。

1966年至70年代,我国大地震频频发生,在全国许多重要的地震构造带上开展了对活动断裂的普查研究,中国活动构造普查和发现期开始了,并由邓起东主持在1976年完成了1:300万中国活动性断裂和强震震中分布图(国家地震局,1976),1979年出版了1:400万中国地震构造图(国家地震局地质研究所,1979)。1980年,中国地震学会地震地质专业委员会在丁国瑜的主持下召开了以活动断裂和古地震为主题的第一次学术讨论会,会后出版了论文集《中国活动断裂》(1982),这是我国以活动断裂为书名和主题的最早和最重要的著作。此后,从80年代起,我国活动构造定量研究的新阶段开始了。首先,在丁国瑜的主持下,1981年对新疆富蕴8级地震断裂带和活动断裂带进行了综合研究,1981至1987年在邓起东的主持下对海原活动断裂带进行了1:5万活动断裂地质填图和研究,在汪一鹏、邓起东的主持下,于1984~1986年对鄂尔多斯周缘活动断裂系进行了专题研究,分别出版了《富蕴地震断裂带》(新疆自治区地震局,1985)、《鄂尔多斯周缘活动断裂带》(国家地震局鄂尔多斯活动断裂系课题组,1988)及《海原活动断裂带》(国家地震局地质研究所等,1990)等专著和1:5万《海原活动断裂带地质图》((国家地震局地质研究所等,1989)。1983~1987年,在丁国瑜的主持下,中国参加了IGCP第206项——全球主要活断层特性对比项目,并出版了包括6条活动断裂的《中国活断层图集》(IGCP第206项中国工作组,1989)。此后,在这些工作的基础上,在邓起东的主持下,在全国大约20条活动构造带上推广1:5万地质填图和综合研究,先后完成或出版了中国活动断裂专辑、1:5万活动构造带地质图和活动断裂研究文集多册(陕西省地震局,1996;李天招等,1997;宋方敏等,1998;丁祥焕等,1999;邓

起东等,2000;虢顺民等,2001)。这些工作涉及到活动构造定量研究的各个方面,如几何学和内部结构,运动学和滑动速率,古地震和大地震重复间隔,地震地表破裂带和同震位移,分段性和破裂过程,最后一次大地震事件和离逝时间,变形机制和动力学,地震危险性评估等。近年来,更加加强了活动构造深浅关系研究,加强了对不同层次区域性活动块体及其运动学的研究工作,目前,新的1:400万中国活动构造图也正在编制之中。

活动构造研究涉及到最新地质作用的各个方面,构造地质学、地貌学、沉积学和新年代学等的研究起着最重要的作用。我国建立和发展了活动构造大比例尺填图技术,通过这方面的工作,可以很好地获得各种活动构造的定量资料;已建立的包括多种测年手段的新年代学实验室可以保证新年代测试的需要;由于新技术的发展,对隐伏活动构造可以通过各种地球物理和地球化学方法进行探测;对活动构造的深浅耦合关系可以通过多种地球物理探测得到认识;通过常规大地测量和GPS等观测可以进一步得到活动构造的现代活动状况。

2 中国活动构造基本特征

经过几十年,尤其是近20年的工作,对中国的活动构造已积累了相当丰富的资料,已对数百条断裂、盆地和褶皱的晚第四纪活动性进行过研究,其中许多活动构造带获得了定量数据。研究表明,中国大陆板内现代构造活动有明显的分区性。I级活动构造分区可划分为青藏高原、新疆、东北、华北、华南、台湾和南海断块区。同一断块区内的活动构造具有许多共同特征。I级断块区内还可分出II级和III级断块或块体,其活动特征在统一的背景下还有一些区别。

青藏高原断块区南界为喜马拉雅主边界断裂,是一条强烈活动的逆断裂,滑动速率可达50mm/a。作为高原断块区北界的阿尔金—祁连山北缘—海原断裂带为一条左旋逆走滑断裂,阿尔金断裂左旋滑动速率为4.4~6.9mm/a,逆冲速率0.7~1.8mm/a;祁连山北缘断裂逆冲速率较高,可达1.6~3.1mm/a,但左旋滑动速率亦可达1.1~2.0mm/a;而毛毛山—老虎山—海原活动断裂带的左旋滑动速率可达6.8~9.2mm/a(国家地震局地质研究所等,1990;国家地震局《阿尔金活动断裂带》课题组,1992;国家地震局地质研究所等,1993)。1927年古浪8级和1920年海原8.6级地震是发生在本带上

的两次最大地震,海原地震地表破裂带长 237km,左旋水平位移达 10~11m。青藏高原东界为小江—则木河—安宁河—龙门山—岷山构造带,其中南段小江—安宁河断裂左旋走滑速率达 7.3~9.5mm/a,而中段北东向龙门山挤压构造带垂直滑动速率仅 1mm/a,北段左旋的南北向岷山—天水构造带的左旋滑动速率为 0.67~1.2mm/a,垂直滑动速率仅 0.24mm/a(邓起东等,1994;宋方敏等,1998;裴锡瑜等,1998;杜平山,2000)。

青藏高原可分为喜马拉雅、冈底斯、羌塘、巴颜喀拉、东昆仑—柴达木和祁连山等 6 个 II 级断块。喜马拉雅与冈底斯断块以北喜马拉雅正断裂为界,而西藏东西向引张区则以班公错、改则、格林错、崩错和嘉黎等北西西向右旋走滑断裂为界,其南为冈底斯断块,以发育大致等间距分布的 7 条近南北向正断裂和地堑、半地堑盆地为特征,其北为羌塘断块,以发育北东和北西向共轭剪切破裂为特征。格林错、崩错、嘉黎等北西西向右旋断裂的水平滑动速率最高达 10~15mm/a,而北东向念青唐古拉山东南麓正走滑断裂的左旋走滑速率为 7.5mm/a,垂直滑动速率为 1.4mm/a(国家地震局地质研究所,1992;Armijo et al., 1986, 1989;沈军等,2000)。东喜马拉雅构造结以东有川滇菱形块体和滇西南块体,川滇块体北边界鲜水河断裂的左旋滑动速率达 8~13mm/a,而西侧和南侧边界的金沙江、红河和楚雄—建水断裂右旋滑动速率达 2.6~7mm/a。川滇和滇西南块体内部不同方向活动断裂的水平滑动速率相对较小,分别为 2~5 和 2~6.9mm/a(唐荣昌等,1993;李天招等,1997;魏顺民等,2001)。巴颜喀拉断块内发育的北西—北西西向活动断裂向西在藏北一带转为近东西向,它们为左旋逆走滑断裂,水平滑动速率达 2.5~10mm/a(张裕明等,1996)。东昆仑断裂是一条强烈活动的左旋走滑断裂,水平滑动速率高达 8~14mm/a(青海省地震局等,1999)。祁连山断块内部发育北西西和北北西向两组断裂,其中北西西向断裂左旋滑动速率为 2.5~5.4mm/a,逆断层型垂直滑动速率为 0.4~1.2mm/a。此外,在柴达木、酒西等盆地和六盘山、天景山等地区均有活动褶皱发育,其中柴达木盆地的油砂山逆断裂—背斜上还发生过 1977 年 6.4 级地震,六盘山地区水平缩短速率约为 9mm/a,酒西盆地老君庙和白杨河逆断裂—背斜带的缩短速率分别为 1.87~1.92mm/a 和 1mm/a(陈杰等,1998)。

新疆断块区是处于挤压环境下的逆断裂、压陷

盆地和活动褶皱发育区,但也有大型走滑断裂发育。塔里木和准噶尔盆地是区内两个最重要的盆地块体,在其与天山等再生造山带过渡的山前地区活动逆断裂—背斜带十分突出,其中库车和乌鲁木齐山前拗陷逆断裂—背斜带的水平缩短速率分别为 10.4 和 5.8mm/a,吐鲁番盆地的缩短速率则为 3.4~4.1mm/a(邓起东等,2000)。区内发育的北北西向可可托海—二台和北西向博罗霍洛断裂的右旋走滑速率分别为 3.69 和 4.7mm/a(柏美祥等,1996;杨晓平等,2000)。

华北断块区以发育正走滑断裂或正断裂及其控制的地堑、半地堑盆地为特征,其中西部鄂尔多斯断块内部构造和地震活动均很微弱,主要活动均发生在周缘断陷盆地,东西两侧的北北东向山西和银川—吉兰泰断陷盆地内的北北东向右旋正走滑断裂水平滑动速率可达 5mm/a,山西断陷带两端的北东东向正断裂垂直滑动速率为 0.7~0.8mm/a。鄂尔多斯断块南北两侧渭河和河套盆地分别受近东西向左旋正走滑断裂控制,其中渭河盆地南缘华山和秦岭北缘断裂的垂直滑动速率分别为 2~3 和 1.5~2.2mm/a,河套盆地北缘大青山断裂左旋走滑速率达 5mm/a,正断层型垂直滑动速率为 2.4~6.46mm/a(国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系课题组,1988;徐锡伟等,1990;江娃利等,2001)。华北断块区东部华北平原的活动构造可以分成两部分,沧东断裂和聊城—兰考断裂以西发育北北东向正断裂,是与太行山隆起相耦合的正断裂—盆地系统,而渤海的一系列近东西向正断裂及其控制的次级凸起和凹陷则是位于营潍断裂和沧东—聊兰断裂之间的右阶区发育的拉分盆地及张性构造(邓起东等,2001)。郯庐断裂带为一条右旋走滑断裂,水平滑动速率为 2.3mm/a,1668 年 8.5 级地震地表破裂带长 120km,右旋位移量 7~9m(李家灵等,1994)。

东北断块区晚第四纪构造活动和地震活动程度比上述三个断块区要弱得多,但火山活动强烈,其中长白山火山等在历史时期仍有喷发。华南断块区的活动断裂和盆地主要分布于长江中下游和东南沿海地区,其走向主要为北东和北西向,在东南沿海地区,北西向断裂的左旋滑动速率达 1.1~3.2mm/a,垂直滑动速率为 0.4~1.7mm/a,北东向断裂的垂直滑动速率则在 0.4 至 2.3mm/a 范围内变化,且构造和地震活动强度均由陆向海增强(丁祥焕等,1999;汪一鹏等,2001)。台湾断块区活动构造很突出,纵谷断裂是菲律宾海板块和欧亚板块的边界断

裂,具有很高的活动强度,其中池上断裂左旋位移速率达 13mm/a,垂直位移速率 18mm/a,水平缩短速率 22mm/a(王彦斌等,2000)。中央山脉西麓发育近南北向逆断裂和活动褶皱,1999 年集集 7.3 级地震即是沿其中的车笼埔断裂发生左旋逆走滑运动的结果。此外,在台湾西部还发育北东东走向的右旋走滑断裂,历史上沿这些活动断裂也发生过大地震,如新化断裂等(张徽正等,1999)。

3 活动构造研究中的某些问题及展望

目前正在发展的定量活动构造学已经取得了许多重要的进展,也更加适应工程、地震、减灾和其他各方面的需要。

3.1 古地震研究

古地震是指保存在地质记录中的史前和历史上没有明确记录的地震事件。由于古地震研究可以延长和补充短暂仪器地震记录,及并不长的历史地震记录,使人们可以在几个地震重复周期的时间范围内认识活动构造的长期活动习性和历史,有助于更好地评价未来地震危险性,尤其是对地震重复周期长的大陆内部地区具有更重要的意义。

虽然早期人们已经注意到了某些古地震现象,但现代古地震研究则开创于 70 年代。Wallace (1970)首先利用断裂平均滑动速率与同震位移的关系来估计 San Andreas 断裂的平均地震重复间隔,并对断层崖演化过程、多次坡折的几何形态、坡度与年龄的关系等进行详细研究,用断层崖精确地形剖面来分析古地震;Sieh(1978)则在 San Andreas 断裂带的 Pallett Creek 和 Wallace Creek 用探槽技术及¹⁴C年代样品测定第一次揭示了多次古地震事件,并得出了它们的重复间隔,从而为现代古地震学研究打下了基础。此后,许多国家均广泛开展了断层崖和探槽古地震研究,我国也不例外。我们已在几十条活动构造带上取得了古地震研究结果。总体来说,青藏高原活动断裂滑动速率高,7 级以上古地震重复间隔相对较短,短者仅几百年至 1000 a 左右,长者 1000~2000 a;邻近青藏高原的鄂尔多斯断块周缘断陷带的古地震重复间隔一般为 1500~2000 a,有些可达 2000~2900 a;而深入内陆的新疆断块区的天山北麓和可可托海—二台断裂带则加长至 3000 a,4000 a,乃至 5000 a;远离青藏断块区的华北东部地区,亦长至 3000~3500 a,甚至可达 5000~7000 a(邓起东,1996)。

虽然经过 20 年的发展,古地震学已日趋成熟,

但实际上古地震研究还存在不少问题。不仅存在古地震事件确定的不确定性,也存在古地震年龄测定的不确定性;古地震的完整性问题还很突出,古地震位移量研究也存在明显的局限性;大地震重复模型的复杂性会使古地震资料在应用中发生问题等。所以,Yeats (1996)认为古地震学还没有成熟到可以为概率地震预报提供高信度的数据。今后仍然要加强不同条件和环境中的古地震标志研究;在年代学方面,要正确地采集样品,提高现有测年技术的精度,探索新的测年技术,提倡通过多种测年方法对比来分析事件的年龄;要废止小而浅的探槽工作,废止孤立的 1~2 个探槽的工作,提倡多探槽和组合探槽的对比研究,以便为古地震事件和位移的确定提供尽可能完整的资料;对古地震资料要进行完整性评价;加强区域古地震研究,注意古地震群发和丛集的特征,注意不同断裂间和不同断层段之间的相互影响,并在这些工作的基础上,更深入地进行大地震重复理论模型的研究。总之,古地震研究今后要更加注意克服其不确定性,保证其完整性,这是古地震学面临的挑战,任何遗漏或多确定一次事件都会带来极大的错误,所以,基础工作是最重要的。

3.2 断裂分段性研究

所谓活动断裂分段是指断裂在活动过程中,在破裂过程和破裂历史上都是相对独立的,具有一定规模的一个断裂带的组成部分,各段落之间有一定的界限区将其分开,界限区终止相邻段落的破裂,起着障碍体作用,其本身的破裂强度较相邻断层段低,即界限区是累积位移亏损地段。

从 20 世纪 80 年代初起,活动断裂分段问题便不断得到深入研究(丁国瑜,1992),特别是 Schwartz 等(1984)对断裂分段问题进行的深入分析,并把它与地震重复模型相联系。由于活动断裂分段对了解断裂破裂和错动过程及预测地震可能发生的地点和最大震级都十分重要,所以,今后仍是活动构造重点研究的内容之一。在研究中要注意以下问题:结构、活动习性和破裂分段的结合,结构只是一种可能的分段基础,更重要的是要了解破裂分布,破裂过程和历史,断层活动习性的差异;分段的稳定性和界限区的持久性是分段时必须考虑的问题;要注意分段的层次性和多重破裂问题,即不同尺度破裂共存于一条断裂带的级联破裂模式。这一现象已在 San Andreas 和海原等活动断裂上发现。此外,还应该注意破裂分段的尺度问题,一条几百千米,乃至上千千米的断裂一定会存在分段活动的差异,另一方面,过

小尺度的分段也是没有意义的,它不可能具有持久性。

3.3 活动褶皱研究

大多数破坏性地震均沿地表活动断裂发生,但近年来发现有些地震并不发生在地表活动断裂带上,而是发生在地下盲断裂及其控制的活动褶皱带上,如 1980 年阿尔及利亚的 EL Asnam 7.3 级地震,1983 年美国 Colinga 6.5 级地震和 1906 年我国新疆玛纳斯 7.7 级地震及其他一些地震(King et al., 1981; Stein et al., 1984; 张培震等, 1994)。这表明不仅年轻褶皱是潜在地震危险的场所,而且褶皱本身就极可能是一系列地震的地质产物。所以,人们已开始在这些地震区对活动褶皱进行研究,如关于活动褶皱的类型和变形机制,断裂扩展褶皱、断裂弯曲褶皱和滑脱褶皱是最主要的褶皱类型;多层滑脱和多构造层的不协调变形;地表逆断裂位移和褶皱隆升量与深部位移量的关系;全新世和晚更新世时期的最新褶皱作用和缩短速率;逆断裂—褶皱作用过程中的复杂块体变形和在活动逆断裂—褶皱区地震发震模式的特殊性,即所谓震源盲断坡—滑脱面—地表断坡的复杂发震模式(邓起东等, 2000)。

然而,对活动褶皱的研究还处在初期阶段,无论是关于活动逆断裂—褶皱的形成机制,还是关于再生造山带的变形特征,以及关于活动逆断裂—褶皱过程中破裂扩展和位移变化,盲逆断裂—活动褶皱与地震关系等都需要进一步加强研究。我国天山南北麓,祁连山北麓,西昆仑山北麓、台湾中央山脉西麓及柴达木等地区都是研究活动逆断裂—褶皱的好地方,应该进一步加强这方面的工作。

3.4 活动构造的深浅构造耦合关系

地表活动构造的深部构造特征如何,发生在地下 5~15km 深处的地震震源构造与地表构造的关系如何,一直是人们关心的问题,尤其是在拉张区和挤压区这种关系更加复杂。近年来,我们对华北邢台、唐山、三河等大地震区和延怀等盆地区及西北天山北麓玛纳斯震区等进行了不同深度的地质、地球物理联合研究,后者包括近垂直地震反射剖面、浅层地震反射剖面,宽频带流动地震台阵和大地电磁测深等多种方法,研究内容包括地表活动构造、地下几百米,几千米乃至几十千米不同深度构造的探测和研究,并取得了很好的结果。在邢台张性构造区,地表铲形正断裂及其控制的半地堑盆地发育于地下一定深度沿中地壳发育的滑脱带之上,并终止于滑脱带,滑脱带之下则发育有高角度断裂,沿断裂还可能

被侵入体贯入,邢台地震即发生于上部铲形正断裂,深部高角度断裂和滑脱面汇而不交的部位(王春镛等, 1994)。北天山玛纳斯地震区的不同深度层次活动构造研究结果,验证了在挤压活动构造区震源盲断坡通过近水平滑脱面向浅部逆断坡和活动褶皱传播的破裂模型,而且证明了不同深度多层次滑脱面的存在(邓起东等, 2000)。

3.5 城市活动断裂探测和地震危险性评价

这是现代社会一个十分重要和突出的问题,因为大地震可能给高度城市化的现代社会带来更加严重的威胁。1976 年唐山 7.8 级、1994 年美国洛杉矶 Northridge 6.7 级和 1995 年日本阪神 7.2 级地震对城市的打击充分说明了这一点。由于这些地震沿大城市及其邻近地区的隐伏活动断裂发生,即属于所谓直下型地震,且事先均无必要的防范,损失更加严重。1999 年土耳其 Izmit 7.4 级和台湾集集 7.3 级地震再一次发出了警告。现在有关国家和地方政府充分认识到这一点,大力加强对城市及其周围地区隐伏活动断裂探测和地震危险性研究工作,并在此基础上,采取必要的防震减灾措施,以减轻可能发生的灾害。在这方面最重要的工作内容应该包括利用活动构造最新理论和技术,对隐伏活动断裂进行精确定位(包括浅部和深部断裂定位),测定其最新活动年龄和活动速率,确定最近 10~30 ka 来的古地震事件及其复发间隔,分析未来发生大地震的可能性、最大震级及其发震断裂,评价其可能产生的破坏,包括地表错动量和地面运动量的大小。显然,做好这一工作是关系到保证人民生命财产安全,保证经济建设发展和社会安定的大事,因而绝对不能忽视。

3.6 海域活动构造探测和研究

海域地震和构造活动是我们必须面对的又一个问题,因为我国近海海域存在多个地震活动区,有的地区还有多次 7 级以上地震重复发生,如渤海和南黄海地区。我国以往的活动构造研究主要限于陆地地区,基本没有涉及到海域,对海域地震构造的认识主要基于油气勘探等得到的构造背景资料。而一些国家由于地震研究和工程建设的需要均已开始对海域活动构造进行探测,其中以日本的工作最为突出。最近,土耳其在 1999 年 Izmit 7.4 级地震后,对 North Anatolia 断裂通过 Marmara 海域的地段进行了探测,其地震反射探测剖面总长度超过 800km,在查明海底断裂的定位、几何学和最新活动特性方面取得了很好的结果(Kuscu et al., 2000)。由于日

本东西两面海域均有强烈活动的板块边界和地震活动,他们特别注意对海域活动构造和海域地震区活动构造进行研究。主要是采用声波反射技术对海底活动断裂进行探测,并对海洋沉积取样,进行年龄测试工作,以对断裂进行定位、确定断裂的运动学特征、获得断裂在最新年代里的活动和位错历史,并对其古地震和重复间隔进行研究(中田高等,1993)。他们已在别府湾等海域取得了很好的结果。日本海洋科技中心还先后研制了可达到不同海洋深度的潜水探查船,如 Shinkai 2000 和 Shinkai 6500 载人深海潜水探查船,后者可达水深 6500m 处,他们已利用这些设备取得了一系列新的研究结果(Japan Marine Science and Technology Center, 1995)。比较而言,我国在海洋活动构造研究方面是大大落伍了。由于在我国海域,如渤海、南黄海、台湾海峡和北部湾等海区,均发生过多级 6 级或 7 级以上的强震,为了更好地开发海洋和防灾减灾工作的需要,这种局面在是不应该继续下去了。

3.7 块体划分和块体运动

活动块体是指被晚第四纪活动构造带,包括活动断裂、活动盆地、活动褶皱等所分割和围限的地块。一般而言,同一块体的构造活动常具有相对统一的特征,块体内部相对稳定,而边缘活动构造带活动强烈。活动块体具有不同的级别,大型区域性块体常是一种岩石圈尺度上的活动构造。习惯上常把 I 级块体称为断块区,II 级块体称为断块,III 级地块即称为块体。但也有其他不同的称呼,如中国岩石圈动力学纲要称为亚板块和构造块体(《中国岩石圈动力学地图集》编委会,1991)。

中国及邻近海域可以分为前述 7 个 I 级断块区,在 I 级断块区内还可以分出断块和块体,如青藏高原断块区内的冈底斯和羌塘断块和川滇菱形块体,华北断块区内的鄂尔多斯断块等。活动块体的运动应该是一种大陆岩石圈或地壳块体的有限运动,丁国瑜等(1986)曾利用活动构造资料计算过这种块体运动。他们指出:相对于西伯利亚,中国西部各断块的运动方向主要是向北,至青藏北部转为北东向,在川滇和川西则分别转向南南东和向东,块体运动速率由冈底斯和羌塘断块的 28mm/a,至祁连山为 15mm/a,塔里木断块为 14mm/a,准噶尔断块为 3mm/a,鄂尔多斯断块则向北东运动,速率为 2~4mm/a,华南断块区向南东,速率为 2~5mm/a。最近,洪汉净等(1998)和任金卫等(1999)也研究了我国及邻近地区各活动断块的运动方向和运动速率。

这些计算结果与近年来 GPS 测量所得到的块体运动比较,运动方位大体一致,运动速率相近或有一定差异(王琪等,2001)。可以说,关于活动块体研究还处于初期阶段,今后需要在资料逐渐丰富的基础上进一步进行分析。

3.8 地震危险性和未来位移量评价

通过活动构造研究,我们可能获得各种定量资料,如活动构造的长度或分段长度(L)、滑动速率(S)、同震位移(D)、大震重复间隔(T)和最后一次大地震至今的离逝时间(T_e)。在充分考虑了资料的不确定性后,我们可以利用这些资料来评估一条活动构造带的地震危险性和发生地表位错的可能性。它包括确定性方法和概率方法。确定性方法是通过比较 T 和 T_e 的关系或求出离逝率 $E(E=T_e/T)$,根据 E 的大小及统计指标判定地震危险性。通过不同方法,如古地震法、非完全古地震法、滑动速率法、断裂长度转换法、预测地震转换法和定量类比法等求取活动断裂在未来工程使用期限内可能发生的错动量,并进行加权综合,以获得最佳评估结果(邓起东等,1992;闻学泽,1995)。概率法是应用不同的滑动模型求取未来一定时期内大地震发生的条件概率和累积概率(闻学泽,1995)。然而,正如前文所述的那样,古地震和地震重复间隔及断裂分段的不确定性都会影响预测的可靠性,做好这种预测的基础工作是至关重要的。近年来的古地震研究说明,古地震活动更可能是一种丛集模型或准周期丛集模型,即地震在一段时间内密集成丛发生,该时间段内每次地震事件之间的重复间隔较短,而两丛地震活动之间则相隔较长的时间,且在这一时段内,地震重复率低,重复间隔也较长。因此,在进行地震危险性分析时重复间隔的取值应该采用不同的数值(冉勇康等,1999)。一个构造区内存在多条活动构造,其相互影响是必然的,最近开展的区域古地震研究更证明古地震丛集是一种更普遍的模式(闵伟等,2000)。所以,关于地震重复模型仍然是应该进一步研究的重要问题。

3.9 中国现代构造活动动力学问题

活动构造研究还与现代地球动力学紧密相联。关于这一问题在许多具体方面仍有分歧。从板块构造运动角度分析,中国板内构造活动的动力来源主要与印度板块和太平洋板块的运动和作用有关,但板内深部动力作用也不容忽视,应是两者联合作用的结果。

关于青藏高原的挤出量和变形的主要机制、关

于青藏高原及其邻近地区,甚至中国大陆活动断裂的滑动总量和滑动速率的大小等都存在很大的分歧,一部分学者认为青藏高原的挤出量可达印度板块楔入量的 50% 以上,高原及周围地区断裂滑动总量和滑动速率均很大,如高原东北缘地块相对阿拉善地块有 90~120km 的左旋位移,阿尔金和海原断裂带的左旋走滑位移速率达 20~30mm/a。青藏高原东缘龙门山逆断裂带的缩短速率亦大于 20mm/a (Tapponnier et al., 1982; Peltzer et al., 1989; 汪一鹏, 1998; 王琪等, 2001)。但前述中国科学家的活动构造研究成果不支持这一种认识,中国科学家得到的断裂滑动量和滑动速率比这个估计要小得多,如海原断裂的左旋水平位移量仅 12~14km,阿尔金和海原断裂带的左旋位移速率均小于 10mm/a。总的来说,青藏高原不同部位的断裂水平位移量一般仅为 10~30km,位移速率一般为每年几毫米,最大只有 10~14mm/a。这与近期一些 GPS 观测结果及国内外一些新的工作相一致 (England, et al 1997; 任金卫等, 1999; 王琪等, 2001)。

研究表明,青藏高原及邻近地区一些大型走滑型活动断裂往往开始形成于第四纪早中期,它们曾经经过复杂的构造演化,或者由此前的逆断裂转变为走滑断裂,或者在走滑性质上经历过反转。这种现象可能说明在印度板块和欧亚板块碰撞后及高原的发展过程中构造活动曾经历过复杂的变化,前期地壳增厚和隆升可能起着主要作用,后期高原的挤出和沿断裂的水平滑动加强了,但总体来看,它们仍然只是一种有限的滑动。

在某些挤压走滑构造区,构造带表现为平行的走滑与挤压构造共存,如青藏高原北缘祁连山地区,这就是应变分解现象,即地壳深部应变在地表解耦成倾滑型和走滑型应变 (Gaudemer et al., 1995)。这种现象在中国西部是值得进一步注意的问题。

在一些地区,如华北断块区,盆地以下的深部动力作用必须引起注意,因为已有的地球物理资料说明盆地区莫霍面和上地幔高导层上隆,热流值增高,中地壳存在高导、低速层,沿这一低速层存在滑脱面,它构成一个解耦带,分隔了上、下地壳的变形。

感谢中国地质学会构造地质专业委员会对本文的委托和鼓励。

参 考 文 献

- 柏美祥, 罗福忠, 尹光华, 等. 1996. 新疆可可托海—二台活动断裂带. 内陆地震, 10(4): 319~329.
- 常隆庆. 1938. 四川迭溪地震调查记. 地质论评, 3(3): 251~292.
- 陈国达. 1938. 民国 25 年 4 月 1 日广东灵山地震记略. 地质论评, 3(4): 427~447.
- 陈杰, 卢演传, 丁国瑜. 1998. 祁连山西段酒西盆地阶地构造变形的研究. 西北地震学报, 20(1): 28~35.
- 邓超东, 刘百箴, 张培震, 等. 1992. 活动断裂工程安全评价和位错量的定量评估. 活动断裂研究, 2: 236~246.
- 邓超东, 陈社发, 赵小麟. 1994. 龙门山及其邻区的构造和地震活动及动力学. 地震地质, 16(4): 389~403.
- 邓超东. 1996. 中国活动构造研究. 地质论评, 42(4): 295~299.
- 邓超东, 冯先岳, 张培震, 等. 2000. 天山活动构造. 北京: 地震出版社.
- 邓超东, 闵伟, 晁洪太, 钟以章. 2001. 渤海地区新生代构造与地震活动. 见: 新构造与环境. 北京: 地震出版社, 218~233.
- 丁国瑜, 卢演传. 1986. 对我国现代板内运动状况的初步探讨. 科学通报, 18: 1412~1415.
- 丁国瑜. 1992. 有关活断层分段的一些问题. 中国地震, 8(2): 1~10.
- 丁祥煥, 王耀东, 叶盛基. 1999. 福建东南沿海活动断裂与地震. 福州: 福建科学出版社.
- 杜平山. 2000. 则木河活动断裂带的走滑位移及滑动速率. 四川地震, (1~2): 49~64.
- 国家地震局. 1976. 中国活动性断裂和强震震中分布图. 北京: 国家地震局出版.
- 国家地震局阿尔金活动断裂带课题组. 1992. 阿尔金活动断裂带. 北京: 地震出版社.
- 国家地震局地质研究所, 国家地震局兰州地震研究所. 1993. 祁连山—河西走廊活动断裂系. 北京: 地震出版社.
- 国家地震局地质研究所, 宁夏自治区地震局. 1989. 海原活动断裂带地质图(1:5万). 北京: 地震出版社.
- 国家地震局地质研究所, 宁夏自治区地震局. 1990. 海原活动断裂带. 北京: 地震出版社.
- 国家地震局地质研究所. 1979. 中华人民共和国地震构造图和简要说明. 北京: 地图出版社.
- 国家地震局地质研究所. 1992. 西藏中部活动断层. 北京: 地震出版社.
- 国家地震局鄂尔苏周缘活动断裂系课题组. 1988. 鄂尔苏周缘活动断裂系. 北京: 地震出版社.
- 魏顺民, 计凤桔, 向宏发, 等. 2001. 红河活动断裂带. 北京: 海洋出版社.
- 洪汉净, 汪一鹏, 沈军, 等. 1998. 我国大陆地壳块体运动的平均图像及其动力学意义. 活动断裂研究, 6: 17~30.
- IGCP 第 206 项中国工作组. 1989. 中国活断层图集. 北京: 地震出版社, 西安: 西安地图出版社.
- 江娃利, 肖振敏, 王焕贞. 2001. 内蒙古大青山山前断裂第四纪右旋走滑现象. 中国地震, 16(3): 203~212.
- 李家灵, 晁洪太, 崔昭文, 赵清玉. 1994. 祁连山活断层的分段及其大震危险性分析. 地震地质, 16(2): 121~126.
- 李坪. 1994. 三峡、丹江口地区地震地质研究. 北京: 地震出版社.
- 李天招, 杜其方, 游泽李, 等. 1997. 鲜水河活动断裂带及强震危险性评估. 成都: 成都地图出版社.
- 闵伟, 张培震, 邓超东. 2000. 区域古地震复发行为的初步研究. 地震学报, 22(2): 163~170.
- 裴锡瑜, 王新民, 张成贵. 1998. 晚第四纪安宁河活动断裂分段的基本特征. 四川地震, (4): 52~61.
- 冉勇康, 邓超东. 1999. 大地震重复特征与平均重复间隔的取值问题. 地震地质, 21(4): 316~322.
- 任金卫, Holt W E, 中屠炳明. 1999. 中亚及东南亚变形运动学及其动力学问题. 活动断裂研究, 7: 109~146. 地震出版社.
- 陕西省地震局. 1996. 秦岭北缘活动断裂带. 北京: 地震出版社.

- 沈军, 任金卫, 汪一鹏. 2000. 嘉黎断裂带晚第四纪右旋走滑运动研究. 活动断裂研究, (8): 150~159.
- 宋方敏, 汪一鹏, 俞维贤, 等. 1998. 小江活动断裂带. 北京: 地震出版社.
- 唐荣昌, 韩渭滨. 1993. 四川活动断裂与地震. 北京: 地震出版社.
- 汪一鹏, 宋方敏, 黄卿团, 陈伟光. 2001. 潮汕平原北西向断裂左旋走滑运动的地貌证据和速率. 中国地震, 17(1): 35~43.
- 汪一鹏. 1998. 有关塔波尼亚的青藏高原运动学模型的要点及评述. 国际地震动态, (1): 9~13.
- 王椿镛, 张先康, 赵静娴, 等. 1994. 邢台地震区地壳细结构研究及对地震构造的新认识. 见: 中国固体地球物理学进展. 北京: 海洋出版社, 31~40.
- 王琪, 张培震, 牛之俊, 等. 2001. 中国大陆现今地壳运动和构造变形. 中国科学(D辑), 31(7): 529~536.
- 王彦斌, 王永, 李建成, 詹瑜璋. 2000. 1999年台湾集集大地震的地表断层破裂特征. 地震地质, 22(2): 97~103.
- 闻学泽. 1995. 活动断裂地震潜势的定量评估. 北京: 地震出版社.
- 翁文灏. 1922. 民国九年十二月六日甘肃的地震. 科学, 7(2): 105~114.
- 新疆自治区地震局. 1985. 富蕴地震断裂带, 北京: 地震出版社.
- 徐锡伟, 邓起东. 1990. 山西霍山山前断裂晚第四纪活动特征和1303年洪洞8级地震. 地震地质, 12(1): 21~30.
- 杨晓平, 沈军. 2000. 天山内部博罗可努断裂精河—阿拉山口段晚更新世以来的活动特征. 地震地质, 22(3): 305~315.
- 张徽正, 林启文, 陈勉铭, 等. 1998. 台湾活动断层概论. 台北: 中央地质调查所.
- 张培震, 邓起东, 徐锡伟, 等. 1994. 盲断裂、“褶皱地震”与1906年玛纳斯地震. 地震地质, 16(3): 193~204.
- 张裕明, 方仲景. 1986. 活断层研究的进展. 中国地震年鉴(1984). 北京: 地震出版社, 78~88.
- 张裕明, 李闽峰, 孟勇琦, 等. 1996. 巴颜喀拉山地区断层活动性研究及其地震地质意义. 活动断裂研究, 5: 154~171.
- 中国地震学会地震地质专业委员会. 1982. 中国活动断裂. 北京: 地震出版社.
- 中国科学院地学部. 1957. 中国科学院第一次新构造座谈会发言记录. 北京: 科学出版社.
- 《中国岩石圈动力学地图集》编委会(丁国瑜主编). 1991. 中国岩石圈动力学概论. 北京: 地震出版社.
- 岛崎邦彦, 中田高, 千田升, 等. 1986. 海底活动断层的ボーリング調査による地震発生長期予測の研究—一別府湾海底断層を事例として—(预报). 活断层研究, 2: 83~88.
- 日本活断层研究会. 1980. 日本の活断层. 东京: 东京大学出版会.
- 中田高, 岛崎邦彦. 1993. 海底の地震の巣を探る. 科学, 63(9): 593~599.
- province. Geological Review, 3(4): 427~447 (in Chinese).
- Chang Hui-Cheng, Lin Chi-Wen, Chen Mien-Ming, Lu Shih-Ting. 1998. An introduction to the active faults of Taiwan, Explanatory text of the active fault map of Taiwan (1: 500, 000). Taipei: Central Geological Survey (in Chinese with English abstract).
- Chang L C. 1938. Investigation of Tienchi earthquake in Sichuan province. Geological Review, 3(3): 251~292 (in Chinese).
- Chen Jie, Lu Yanchou, Ding Guoyu. 1998. The latest Quaternary tectonic deformation of terraces of Jiuxi basin in west Qilianshan mountains, Northwestern Seismological Journal, 20(1): 28~36 (in Chinese with English abstract).
- Chinese Working Group of the Project 206. 1989. Atlas of active faults in China. Beijing: Seismological Press, Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing House.
- Deng Qidong, Liu Baichi, Zhang Peizhen, and Yun Daoyang. 1992. Research of active fault in evaluating engineering safety and assessing amount of displacement. Research on Active Fault, 2: 236~246 (in Chinese with English abstract).
- Deng Qidong, Chen Shefa, Zhao Xiaolin. 1994. Tectonics, seismisity and dynamics of Longmenshan mountains and its adjacent region. Seismology and Geology, 16(4): 389~403 (in Chinese with English abstract).
- Deng Qidong. 1996. Active Tectonics in China. Geological Review, 42(4): 295~299 (in Chinese with English abstract).
- Deng Qidong, Feng Xianye, Zhang Peizhen, et al. 2000. Active tectonics in Tianshan mountains. Beijing: Seismological Press (in Chinese with English abstract).
- Deng Qidong, Min Wei, Chao Hongtai, Zhong Yizhang. 2001. Cenozoic tectonics and seismic activity in Bohai sea area. in: Lu Yanchou, et al., ed. Neotectonics and Environment. Beijing: Seismological Press, 218~233 (in Chinese).
- Ding Guoyu, Lu Yanchou. 1988. A preliminary discussion on the status of recent intraplate motions in China. Chinese Science Bulletin, 33(1): 52~57.
- Ding Guoyu. 1992. Some discussions on fault segmentation. Earthquake Research in China, 8(2): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Ding Xianghuan, Wang Yaodong, Ye Shengji. 1999. Active faults and earthquakes in southeastern coast region of Fujian province. Fuzhou: Scientific Press of Fujian (in Chinese).
- Du Pingshan. 2000. The Displacement and its slip rate along Zemuhe fault. Earthquake Research in Sichuan, (1~2): 49~64 (in Chinese with English abstract).
- Editorial Board for Lithospheric Dynamics Atlas of China, State Seismological Bureau (Chief editor: Ding Guoyu). 1991. Lithospheric dynamics of China. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- England P, Molnar P. 1997. The field of crust velocity in Asia calculated from Quaternary rates of slip on faults. Geophys. J. Int., 130: 551~582.
- Gaudemer Y, Tapponnier P, Meyer B, et al. 1995. Partitioning of crustal slip between linked, active faults in the eastern Qilian Shan, and evidence for a major seismic gap, the “Tianzhu gap”, on the western Haiyuan fault, Gansu (China). Geophys. J. Int., (120): 559~645.
- Geoscience Division of China Academy of Sciences. 1957. 1st Symposium on neotectonic movements in China, China Academy

References

- Armijo R, Tapponnier P, Mericet J L, Han Tonlin. 1986. Quaternary extension in southern Tibet: field observations and tectonic implications. J. G. R???, 91(B14): 13803~13872.
- Armijo R, Tapponnier P, T Han. 1989. Late Cenozoic right-lateral Strike-slip faulting in southern Tibet. J. G. R., 94(B3): 2787~2838.
- Bai Meixiang, Luo Fuzhong, Yin Guanghua, et al. 1996. Kokotokay—Ertai active fault zone in Xinjiang, Inland Earhtquake, 10(4): 319~329 (in Chinese with English abstract).
- Chan Kuota. 1938. Lingshan earthquake of April 1, 1936, in Guangxi

- of Sciences. Beijing: Scientific Press (in Chinese).
- Guo Shunmin, Ji Fengju, Xiang Hongfa, et al. 2001. Honghe active fault zone, Beijing: Ocean Press (in Chinese with English abstract).
- Hong Hanjing, Wang Yipeng, Shen Jun, Li Chuanyou. 1998. Mean velocity field and its dynamic implication of continental crust-block's motion in China. *Research on Active Fault*, 6: 17~30 (in Chinese with English abstract).
- Institute of Geology of State Seismological Bureau. 1979. Seismotectonic map of China and its summary instruction. Beijing: Cartographic Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Institute of Geology of State Seismological Bureau and Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region. 1989. Geological map of Haiyuan active fault (1 : 50000). Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Institute of Geology of State Seismological Bureau and Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region. 1990. Haiyuan active fault. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Institute of Geology, State Seismological Bureau. 1992. Active faults in the central Tibet. Beijing: Seismological Press (in Chinese with English abstract).
- Institute of Geology, State Seismological Bureau and Lanzhou Institute of Seismology, State Seismological Bureau. 1993. The Qilian Mountain—Hexi Corridor active fault system. Beijing: Seismological Press (in Chinese with English abstract).
- Jiang Wali, Xiao Zhanming, Wang Huanzhen. 2000. Sinitral strike-slip along western end of the piedmont active fault of Daqingshan Mountain, Inner Mongolia, China. *Earthquake Research in China*, 16(3): 203~212 (in Chinese with English abstract).
- Japan Marine Science and Technology Center. 1995. Deep sea research at JAMSTEC. Yokosuka. ????
- Jenning, C W. 1975. Fault map of California with locations of volcanoes, thermal springs and thermal wells (1 : 750,000). California geologic data map series, California Division of Mines and Geology.
- King G C P, Vita-Finzi C. 1981. Active folding in the Algerian earthquake of 10 October 1980. *Nature*, 292(5818): 22~26.
- Kuscu I, Demirbas E, Kurt H, et al. 2000. The North Anatolio fault zone under the sea of Marmara imaged by seismic reflection profiles, Active fault research for the New Millenium, Proceeding of the Hokudan international symposium and school on active faulting. Japan:199~208.
- Lawson A C, et al. 1908. The California earthquake of April 18, 1906-Report of the state earthquake investigation commission, 1. parts 1, 2, Carnegie Institution of Washington, Publication, 87.
- Li Jiaoling, Chao Hongtai, Cui Zhaowen, Zhao Qinyu. 1994. Segmentation of active fault along the Tancheng—Lujiang fault zone and evaluation of strong earthquake risk. *Seismology and Geology*, 16(2): 121~126 (in Chinese with English abstract).
- Li Ping. 1994. Research of Seismogeology in Sanxia and Danjiangkou Region. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Li Tianshao, Du Qifang, You Zeli, Zhang Chenggui. 1997. Xianshuihe active fault and seismic hazard assessment. Chengdu: Chengdu Cartographic Publishing House (in Chinese).
- Min Wei, Zhang Peizheng, Deng Qidong. 2000. Preliminary study on regional paleoearthquake recurrence behaviours. *Acta Seismologica Sinica*, 22(2): 163~170 (in Chinese with English abstract).
- Pei Xuyi, Wang Xinming, Zhang Chenggui. 1998. Basic segmentation characteristics on late Quaternary Anninghe active fault. *Earthquake Research in Sichuan*, (4): 52~61 (in Chinese with English abstract).
- Peltzer G, Tapponnier P, Armijo R. 1989. Magnitude of late Quaternary left-lateral displacements along the northern edge of Tibet. *Science*, 246: 1283~1289.
- Ran Yongkang, Deng Qidong. 1999. Characteristics of large Earthquake recurrence and determination of average recurrence interval value. *Seismology and Geology*, 21(4): 316~322 (in Chinese with English abstract).
- Reid H F. 1910. The mechanism of the earthquake. In the California earthquake of April 18, 1906, Report of the State Earthquake Investigation Commission. 2. Washington, D. C.: Carnegie Institution. 1~192.
- Ren Jinwei, Holt W E, Shentu Bingming. 1999. Deformation Kinematics of Central-Southeast Asia and its dynamics. *Research on Active Fault*, 7: 109~146 (in Chinese with English abstract).
- Schwartz, D P, Coppersmith, K J. 1984. Fault behavior and characteristic earthquake: example from the Wasatch and San Andreas fault zones. *J. Geophys Res.*, 89(B7): 5681~5698.
- Seismogeological Committee of Chinese Seismological Society. 1982. Active faults in China. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Seismological Bureau of Shaanxi Province. 1996. Active fault of the northern piedmont of Qinling Mountains. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1985. The Fuyun earthquake fault zone in Xinjiang, China. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Shen Jun, Ren Jinwei, Wang Yipeng, Cao Zhongquan. 2001. The late Quaternary Right-lateral strike-slip of the Jiali fault zone. *Research on Active Fault*, 8: 150~159 (in Chinese with English abstract).
- Sieh K E. 1978. Pre-historic large earthquake produced by slip on the San Andreas fault at Pallett Creek, California. *J. Geophy. Res.*, 83:3907~3939.
- Song Fangmin, Wang Yipeng, Yu Weixian, Cao Zhongquan, Shen Xuhui, Shen Jun. 1998. Xiaojiang active fault. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- State Seismological Bureau. 1976. Map of Active faults and distrabution of Strong earthquakes in China. Beijing: State Seismological Bureau.
- Stein R S, King G C P. 1984. Seismic potential revealed by surface folding, 1983, Coalinga, California, Earthquake. *Science*, 224: 869~872.
- Tang Rongchang, Han Weibing. 1993. Active faults and earthquakes in Sichuan province. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al. 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, 10: 611~616.
- The research group on "Active fault system around Ordos massif", State Seimological Bureau. 1988. Active fault system around Ordos massif. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Trifonov V G. 1995. World map of active faults (preliminary results of studies). *Quaternary International*, 25:3~12.
- Wallace R E. 1970. Earthquake recurrence intervals on the San Andreas fault. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 5:190~205.

- Wang Chunyong, Zhang Xiankang, Zhao Jingxian, Zhu Zhiping. 1994. Study of fine structure in Xingtai Earthquake area and New Knowledge of the Seismotectonics. in: Chen Yuntai, et al., eds. *Advances in Solid Earth Geophysics in China*. Beijing: Ocean Press, 31~40 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qi, Zhang Peizhen, Niu Zhijun, et al. 2001. Present-day crustal movement and tectonic deformation in continental China. *Science in China* (in press).
- Wang Yanbin, Wang Yong, Lee Jiancheng, Zhang Yuzhan. 2000. Characteristics of ground ruptures caused by the 1999 M7. 3 earthquake of Jiji, Taiwan, *Seismology and Geology*, 22(2): 19~103 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yipeng. 1998. Main points of the kinematic model of the Qinghai—Xizang plateau developed by P. Tapponnier and review on the model. *Recent Developments in World Seismology*. (1): 9~13 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yipeng, Song Fangmin, Huang Qingtuan, Cheng Weiguang. 2001. Geomorphic evidence and rate of sinistral strike-slip movement along northwest-trending faults in Chaoshan Plain. *Earthquake Research in China*, 17(1): 35~43 (in Chinese with English abstract).
- Wen Xueze. 1995. Quantitative estimates of seismic potential on active faults. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Weng Wenhao. 1922. The earthquake of December 16, 1920, in Gansu Province. *Science*, 7(2): 105~114 (in Chinese).
- Willis B. 1923. A fault map of California, *Seismol. Soc. Amer. Bull.*, 13: 1~12.
- Wood H O. 1916. The earthquake problem in the western United States. *Seismol. Soc Amer. Bull.*, 6:181~217.
- Working Group of Altun Active Fault zone, State Seismological Bureau. 1992. *The Altun active fault zone*, Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Working Group on California Earthquake Probabilities. 1988. Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andreas fault. U. S. Geological Survey Open-File Report, 88~398.
- Xu Xiwei, Deng Qidong. 1990. The features of late Quaternary activity of the piedmont fault of Mt. Huoshan, Shanxi province and 1303 Hongdong earthquake ($M_s = 8$), *Seismology and Geology*. 12(1): 21~30 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xiaoping, Shen Jun. 2000. Late Quaternary activity of Jinghe—Alshankou section of the Boluokenu fault, Interior Tianshan, *Seismology and Geology*, 22(3): 305~315 (in Chinese with English abstract).
- Yeats R S. 1996. Introduction to special section: paleoseismology. *J. Geophy. Res.*, 101(B3): 5847~5853.
- Zhang Peizhen, Deng Qidong, Xu Xiwei, et al. 1994. Blind thrust, folding earthquake, and the 1906 Manas earthquake, Xinjiang. *Seismology and Geology*, 16(3): 193~204 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuming, Fang Zhongjing. 1986. Overview on researches of active faults. *China Earthquake Yearbook* (1991). Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Zhang Yuming, Li minfeng, Meng Yongqi, Wu Shuxue, Cai Changxing. 1996. Research on fault activities and their seismogeological implication in Bayankala Mountain area. *Research on Active Fault*, 5: 154~171 (in Chinese with English abstract).

Advances and Overview on Researches of Active Tectonics in China

DENG Qidong

Institute of Geology, China Seismological Bureau Beijing, 100029

Abstract

This paper briefly overviews major advance in researches of active tectonics of China. Initiation of active tectonic studies was characterized by descriptions of relations between faults and strong earthquakes during the 1920s to 1950s. Reconnaissance on active faults and fault-controlled Quaternary basins had been carried out along major historic seismic zones and in the regions where historic great earthquakes occurred during the 1960s to 1970s. Quantitative studies on active tectonics, including 1 : 50000 scaled mapping on major active structures, started from early 1980. Researches in this time period concentrated on fault geometry and segmentation, fault slip rates, active folds, earthquake surface ruptures and coseismic displacements, paleoearthquakes and earthquake recurrence intervals, relationships between surface and deep structures, delineation of crustal block and block motion, seismic hazard assessment and estimation of future amount of coseismic displacement along a particular fault. Such parameters were obtained along more than 10 major fault zones in China. In general, slip rates are fast and paleoearthquake recurrent intervals are short in the Tibetan Plateau. In contrast, slip rates are slow and paleoearthquake recurrent intervals are long in the Xinjiang and North China blocks. The paper also discussed aspects that should be further studied with special emphasizes on active structures in the marginal sea regions.

Key words: active fault