

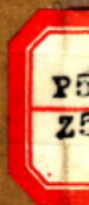
中国活动断层研究

中国地震学会地震地质专业委员会



ISBN 7-5028-1201-6 / P · 737

(1594) 定价: 25.00 元



中国活动断层研究

中国地震学会
地震地质专业委员会

地震出版社

1994

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

80年代,我国活动断裂研究取得显著的进展和一系列成果,已以活断层专辑的形式系列出版。为了更全面地反映这一研究领域的概况和成果,中国地震学会地震地质专业委员会根据第二届全国活动断裂学术讨论会的内容,组织编写了这本命名为《中国活动断层研究》的文集。文集共收入论文42篇,它们对我国一些主要断裂,尤其是以往研究较少地区的活动断裂的特性、活动断裂分段性、隐伏活动断裂探测和研究、活动断裂年代学、活动断裂工程安全评价等问题进行了讨论。

本书可供从事构造地质、地震地质、地球物理、工程地震和工程设计的科技人员及有关院校的师生参考。

中国活动断层研究

中国地震学会

地震地质专业委员会

责任编辑:朱向军

地质出版社出版

北京民族学院南路9号

中国地质大学轻印厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 22.75印张 567.8千字

1994年10月第一版 1994年10月第一次印刷

印数 001—800

ISBN 7-5028-1201-6/P·737

(1594) 定价:25.00元

前 言

活动构造是指晚第四纪和现在正在活动、未来一定时期内仍可能发生活动的构造，一般认为它包括大约 10—12 万年（即晚更新世）以来正在活动的构造。因此，地震和许多地质灾害常与活动构造密切相关，不仅沿活动构造带可以产生不同大小的地震，有的会造成很大的破坏，而且还可能产生地表破裂、位移、缩短和拉张，从而使城市建设和工程安全受到很大的威胁，所以，活动构造的研究不仅是地震区划、地震预测、减轻地震和地质灾害的基础，也是保证城市和工程建设安全的一个核心和重要问题。不言而喻，在现代地球动力学研究中，它也是不可缺少的一个重要方面。所以，在 80 年代和 90 年代的国际岩石圈研究计划中，活动构造研究都是其中一项重要的内容。

活动构造包括活动断裂、活动盆地、活动褶皱及被它们所围限的块体的变形和运动特征等多个方面。几十年来，人们对活动断裂和盆地的研究较多，尤其是近十多年来取得了重大进展，已从描述性和定性研究阶段进展到定量研究阶段，如断裂定量几何学、断裂滑动速率、古地震和大震重复间隔、断裂分段性等。而且，由于地震预测、减轻灾害和工程安全评价的实际需要，在活动断裂和盆地研究方面已取得了许多更加实用化的结果，如根据活动断裂定量资料对地震危险性进行评估，对工程使用期限内的断裂未来位错量进行定量评价等。活动褶皱研究一直是活动构造研究中的一个薄弱环节，但近年来相继发现一些大地震的发生与盲断裂及活动褶皱相关，虽然地表并没有活动断裂，但地表的褶皱和与其相关的地下盲断裂作用也会形成大的地震，造成重大的破坏和损失，如美国 1983 年发生于加利福尼亚的科林加 6.7 级地震、1980 年阿尔及利亚的阿斯南 7.3 级地震、1988 年亚美尼亚 6.9 级地震和 1906 年我国新疆玛纳斯 7.7 级地震等。因此，近年来，人们对活动褶皱的研究给予了特别的注意。对被大型活动断裂、活动盆地和活动褶皱带所围限的地壳块体的运动特性也已获得了一些初步的研究结果，如对大陆内部活动块体的划分、块体的滑动和位移速率、块体的旋转（包括块体绕垂直轴的旋转和绕水平轴的旋转）及其在地震活动、地质灾害的形成和地球动力学中所起的作用等方面均已获得一些新的认识。

我国在活动构造，尤其是在活动断裂研究方面已有几十年的历史，并于 1966 年河北邢台 7.2 级地震后，开始了大规模的研究工作，进入了大发展的时期。1980 年 9 月，中国地震学会地震地质专业委员会在银川召开了我国活动断裂与古地震学术讨论会，对我国 70 年代在活动断裂方面的研究工作第一次作了全面的交流，会后汇集了部分论文，出版了《中国活动断裂》论文集。该书汇集的 53 篇论文，反映了我国 70 年代对各地区主要活动断裂的研究成果，包括断裂的活动特点、断裂的现代形变观测、古地震、历史地震破裂等各个方面，它在我国活动构造研究中起了承上启下的巨大作用。

进入 80 年代以后，我国的活动构造研究逐步由定性研究向定量研究发展，并发展了一套活动构造大比例尺地质填图方法和技术，在活动构造，尤其是活动断裂方面对构造几何学、运动学和动力学开展了全面的研究工作，包括结构和构造组合、演化历史、滑动速率、古地震和大震重复间隔、分段性、地震危险性、工程安全定量评价等方面，还在覆盖区对隐伏活动

断裂逐步形成了以遥感地质、构造和地貌、地球化学、地球物理方法为手段的有效的综合探测方法，后者如浅层地震和地质雷达探测等，在断裂最新活动区，结合浅钻和槽探取得了较好的效果。

为了更好地交流和反映我国 80 年代在活动构造方面的研究成果，除了出版了一系列被命名为活断层研究专辑的系列专著之外，中国地震学会地震地质专业委员会于 1991 年 10 月在北京召开了第二届全国活动断裂学术讨论会。会上除了交流已有的活动断裂研究成果外，重点讨论了以下问题：不同类型活动断裂特性的比较研究、活动断裂分段性研究、隐伏活动断裂的探测和研究、工程建设中的活动断裂研究和活动构造今后的研究方向等。会议收到论文摘要 117 篇，本论文集对其中部分论文进行了整理汇编，共收入论文 42 篇。它们对我国一些主要活动断裂，尤其是以往研究较少的活动断裂的特性、活动断裂分段性、隐伏活动断裂探测、活动断裂年代学、活动断裂工程安全评价等问题进行了讨论。为了减少篇幅，凡在 80 年代出版过专著、专集的活动构造的论文均未收入本论文集。若把本论文集与中国活断层研究专辑结合起来，就能全面地反映我国 80 年代活动构造方面的研究概况和成果。

本论文集主编邓起东，副主编刘若新、刘光勋、刘百箴、丁梦林。

会议及本论文集的出版得到了中国地震学会、国家地震局地质研究所、国家地震局地壳应力研究所、国家地震局兰州地震研究所、辽宁地震局、北京地震科学技术开发公司、北京普惠技术服务公司等单位的资助，在此谨致以深深的谢意。

邓起东

1994.6

目 录

中国大陆活动断裂的分区特征及其成因	邓起东等 (1)
断层活动与原地应力状态	李方全 (15)
辽宁鸭绿江断裂水丰以南段的分段活动特征	高常波等 (22)
辽宁金州断裂不同活动段地震危险性的灰色判别	钟以章等 (28)
肃南断裂晚第四纪活动特征及古地震初步研究	刘建生等 (36)
会宁-义岗活动断裂与 1352 年会宁 7.0 级地震	吕太乙等 (42)
毛毛山活动断裂带运动学特征及与海原活动断裂带的对比	才树华等 (48)
老虎山活动断裂晚第四纪构造活动及古地震研究	刘百箴等 (58)
老虎山活动断裂地震危险性分析	袁道阳等 (67)
青海可可西里地区的活动断裂	叶建青 (75)
阿尔金断裂带中段喀让格萨依-库什哈段活断层及古地震的研究	何文贵 (84)
念青唐古拉山南东麓断层分段性	吴章明等 (92)
大青山山前活动断裂分段性研究	李 克等 (102)
六盘山东麓断裂和陇县-宝鸡断裂带基本特征及其相互关系	孙昭民等 (114)
渭河断陷南缘断裂带分段特征及正断层分段标志探讨	张安良等 (126)
渤海南部晚第四纪地层和活动构造	胡 政等 (132)
郯庐断裂带江苏段全新世活动新证据	李起彤 (140)
山东沂沭断裂带全新世断层展布及运动特征	江娃利等 (146)
川滇地区地震构造定性定量标志研究	魏顺民 (154)
1833 年嵩明 8 级地震破裂带基本特征	曹忠权等 (164)
福建省东南沿海地区活动断裂活动特征分析	丁祥焕等 (175)
深圳断裂带第四纪活动性研究	宋方敏等 (186)
关于罗浮山-灵山近东西向断裂系活动性的初步研究	潘建雄 (196)
平原区隐伏断裂的综合探测研究	向宏发等 (205)
地质雷达探测在隐伏断裂研究中的应用	贾三发等 (215)
浅层地震反射波法勘探	郝书俭 (222)
活断层研究中年代测定的若干问题之商榷	计凤桔等 (232)
地质样品 ^{14}C 年龄测定值可靠性的评价	彭 贵等 (240)
一种隐伏断裂现场定位的新方法—— CO_2 快速测定管法	林元武等 (253)
金沙江向家坝水电工程马步坎高边坡断裂带的活动性研究 ——矿物显微构造方法的应用实例	杨主恩等 (261)
活断层断错产物定向微观古地震标志的研究	姚大全等 (274)
活动断裂现今运动的观测研究及其在地震预报中的应用	高忠宁等 (281)
利用水系分析研究全新世隐伏构造运动的方法	韩慕康等 (291)

微地貌方法在宁夏活动断裂研究中的应用	崔黎明 (296)
电子自旋共振法测定断层活动年龄研究中存在的问题及其解决途径	黄培华 (303)
汞探测隐伏断层及其活动性的应用研究	王 亮等 (305)
隐伏活动断裂的气体地球化学标志初步研究	林元武等 (312)
断层活动动态观测及其在地震监测和工程建设中的应用	勾 波等 (320)
广东汕头海湾大桥桥址断层勘查与研究	彭承光等 (328)
广东深圳核电站厂区四条断层活动性研究	丁梦林等 (334)
安宁河断裂带的活断层研究在四川冕宁大桥水库稳定性研究中的应用	钱 洪等 (342)
鸭绿江断裂带对输油管道影响的研究	王国新等 (349)

Contents

Characteristics of regionalization of active faults in China and their genesis	Deng Qidong et al. (1)
Active faults and the state of in-situ stress	Li Fangquan (15)
Characteristics of segmented activity of Yalujang fault in south of Shuifen, Liaoning	Gao Changpo et al. (22)
Grey-scale discrimination of seismic risk on different active segments of the Jinzhou fault, Liaoning	Zhong Yizhang (28)
Preliminary study on Late Quaternary movement and paleoseismicity along the Sunan fault	Liu Jiansheng et al. (36)
The Huining-Yigang active fault and the M 7.0 Huining earthquake in 1352	Lu Taiyi et al. (42)
Kinematic characteristics of the Maomaoshan active fault and its comparison with the Haiyuan active fault	Cai Shuhua et al. (48)
A study on Late Quaternary tectonic movement and paleoseismicity along the Laohushan active fault	Liu Baichi et al. (58)
An analysis of seismic risk on the Laohushan active fault	Yuan Daoyang et al. (67)
Active faults in Hoh Xil region of Qinghai Province	Ye Jianqing et al. (75)
A study on the active features and paleo-earthquakes on the middle segment, the Kerangsay-Kushiha segment, of the Altun fault zone	He Wengui (84)
Segmentation of the southeastern piedmont fault of Nyinqen-Tangla Mountains	Wu Zhangming et al. (92)
A study on segmentation of the Daqingshan frontal active fault	Li Ke et al. (102)
Basic characteristics and interaction of the eastern Liupanshan piedmont fault and the Longxian-Baoji fault zone	Sun Zhaomin et al. (114)
A discussion on segmentation of the southern boundary fault of Weihe depression and indicators for segmentation of active fault	Zhang Anliang et al. (126)
Late Quaternary stratigraphy and active structures in the southern part of the Bohai Sea	Hu Zheng et al. (132)
New evidence for the Holocene movement along the Jiangsu segment of the Tancheng-Lujiang fault zone	Li Qitong (140)
Extension and kinematic characteristics of the Holocene faulting of the Yishu fault zone, Shandong Province	Jiang Wali et al. (146)
A study on qualitative and quantitative seismotectonic indicators in Sichuan-Yunnan region	Guo Shunmin (154)

Basic characteristics of rupture zone formed by the Songming M 8. 0 earthquake in 1833	Cao Zhongquan et al. (164)
An analysis of movement along the active faults in the southeastern coastal area of Fujiang Province	Ding Xianghuan et al. (175)
A study on the Quaternary movement along the Shenzhen fault zone	Song Fangming et al. (186)
A preliminary study on the activity of sub-latitudinal Luofushan-Lingshan fault system	Pan Jianxiong (196)
Integrated survey and investigation of hidden faults in plain region	Xiang Hongfa et al. (205)
Application of geological radar detection to study of hidden faults	Jia Sanfa et al. (215)
Geological survey by shallow seismic reflection waves	Hao Shujian (222)
A discussion on some problems of geochronological dating in research of active faults	Ji Fengju et al. (232)
Evaluation of reliability in ^{14}C dating data of geologic samples	Peng Gui et al. (240)
A new method for field locating of hidden fault—using tube for rapid detection of CO_2	Lin Yuanwu et al. (253)
A study on the activity of fault zone at the Mabukan high slope of Xiangjiaba Hydropwer on Jinshajiang River—An example of application of mineral micro-structural method	Yang Zhuen et al. (261)
A study on paleoseismic indicators by observation on orientations of products of active fault offset	Yao Daquan et al. (274)
Observation on present movement along active fault and its application to earthquake prediction	Gao Zhongning et al. (281)
A method for study on the Holocene hidden structure by analysis of stream system	Han Mukang et al. (291)
Application of micro-morphologic method to study on active faults in Ningxia	Cui Liming (296)
Some problems of ESR dating of fault activity and approach to solving them	Huang Peihua (303)
A study on application of mercury detection to searching hidden fault and determination of its activity	Wang Liang et al. (305)
A preliminary study on gas-gaochemical indicators for hidden fault	Lin Yuanwu et al. (312)
Observation on regime of fault activity and its application to monitoring on earthquake and engineering site stability	Gou Po et al. (320)
Survey and investigation of faults in the Great Bridge site area of Shantou Bay, Guangdong Prorince	Peng Chengguang et al. (328)

A study on the activity of four faults in the Shenzhen Nuclear Power area	Ding Menglin et al. (334)
Application of research result on active faults of the Anninghe fault zone to study of stability of Mianning Bridge reservoir	Qian Hong et al. (342)
A study on the effect of the Yalujiang fault zone on oil pipeline	Wang Guoxin et al. (349)

中国大陆活动断裂的分区特征及其成因

邓起东 徐锡伟 于贵华

(国家地震局地质研究所)

中国大陆地区是板内构造活动十分强烈的地区,晚第四纪以来断裂活动显著,强地震活动与它们有着密切的关系^[1,2]。由于中国大陆地处欧亚板块的东南隅,为印度板块、太平洋板块和菲律宾海板块所挟持,板块间的相互作用深刻地影响着中国大陆活动构造的面貌,使中国大陆的活动断裂在空间分布、力学属性和运动学特征方面,都表现出明显的分区特点,并控制着大陆内部地震活动的强度、频度和发震构造类型。70年代以来,我国地质学家逐步开展了中国大陆地区一些主要活动断裂的研究,并对其中一些断裂带进行了1:50000大比例尺地质填图^[3-9]。我国的活动断裂研究在断层几何学、位移速率、分段性、古地震和大地震重复间隔等方面已取得长足的进展。

一、中国大陆活动断裂的构造分区和特征

本文所指的活动断裂是指第四纪晚期,包括晚更新世、全新世和现代均在活动,未来一定时期内仍会继续活动的断裂。中国大陆的活动断裂十分发育,并呈现出十分复杂的构造面貌。这些活动断裂的空间展布、力学性质、被断裂围限的块体的变形和运动方式以及地震活动性的差别表明,中国大陆新生代,特别是晚第四纪以来的构造活动具有东西有别、南北分区的格局(图1)。大致以分布于青藏高原东缘的南北构造带为界可以划分为东部区和西部区。西部区可进一步划分为青藏高原和新疆两个构造区,东部区则可分为东北、华北和华南三个构造区。各区的活动断裂具有不同的活动特征。台湾和南海是另外两个构造区,我们曾在另文中进行过讨论^[1,2],本文不作专门叙述。

1. 青藏高原构造区(I)

青藏高原构造区位于中国大陆的西南隅,是上新世末至第四纪以来的强烈上升区,形成平均海拔高度在4000m以上的世界屋脊。高原南缘为北西西向的喜马拉雅弧形逆掩断裂带,其南界为喜马拉雅山系南面的主边界断裂,它是欧亚板块与印度板块之间的一条向南突出的弧形分界断裂,具有很高的活动性。P. Molnar用古地磁资料推算得到印度板块以50mm/a的速率向北运动^[10],这一数据接近于利用喜马拉雅地区近代地震资料,用Brune方法推算到的该逆断裂的54.6mm/a的速率值^[11]。高原西南部有喀喇昆仑断裂,为北西向,由于受印度板块西北端在帕米尔地区强烈挤压作用的影响,这一条断裂表现为右旋逆走滑性质,在班公湖一带切割了所有近东西向构造^[12]。由于同样的原因其北的西昆仑山区也发育一系列右旋逆走滑的北西向断裂,如米牙断裂、布伦口断裂、塔什库尔干断裂等,沿后者有1895年地震地表破裂带分布。西昆仑山的活动断裂向西延伸至帕米尔地区,断裂走向转成东西向,断裂性质转变为逆断层,如乌恰以南的卡兹克阿尔特断裂沿克孜勒苏河南岸延伸,为一向南倾斜的逆断裂。1985年乌恰7.4级地震沿断裂形成一条长度大于15km的逆断层型的地表破裂带。

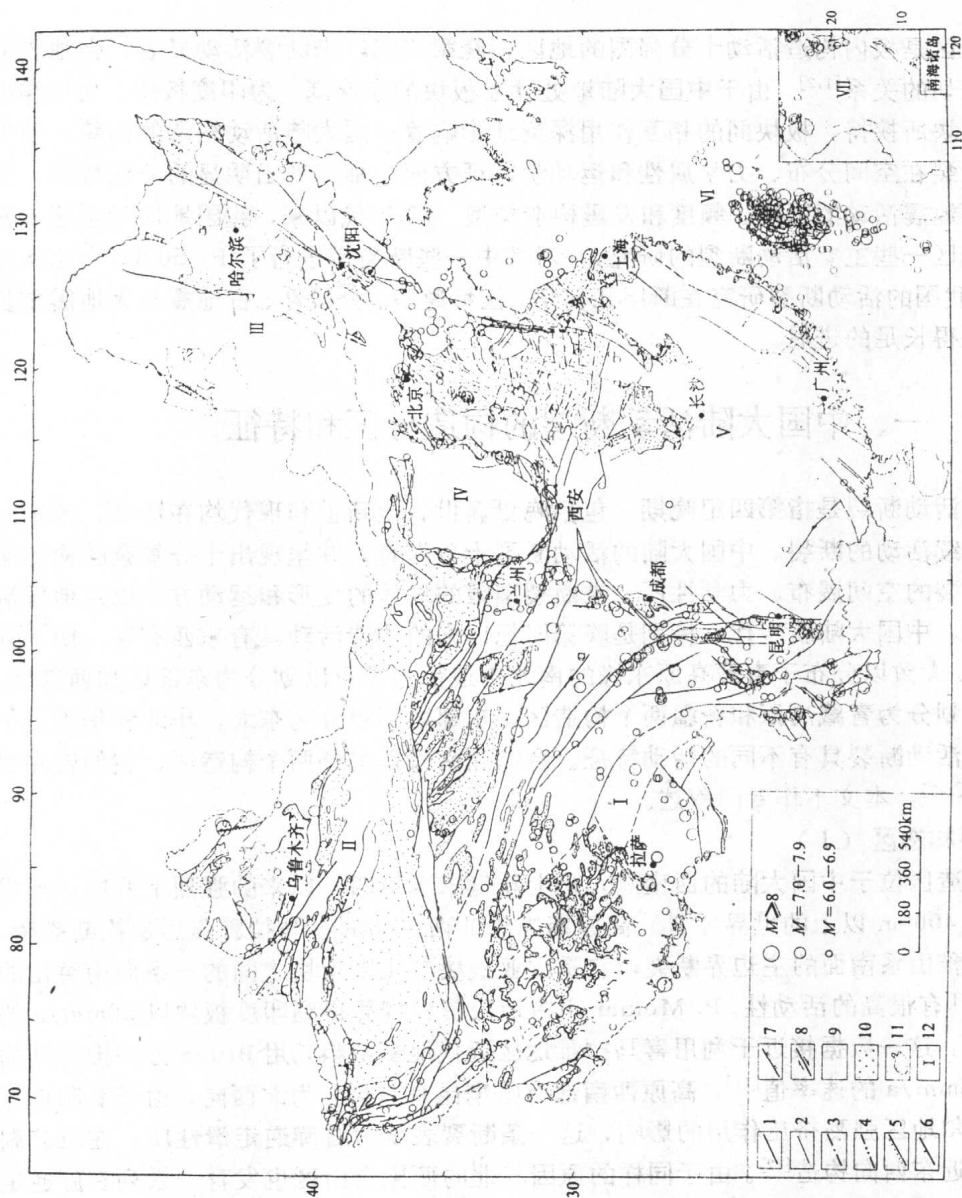


图 1 中国主要活动断裂分布图

I. 青藏高原构造区; II. 新疆构造区; III. 东北构造区; IV. 华北构造区; V. 华南构造区; VI. 台湾构造区;
 VII. 南海构造区; 1. 晚更新世以来的活动断裂; 2. 第四纪活动过的断裂; 3. 隐伏断裂;
 4. 根据卫星影像推测的第四纪断裂; 5. 地震地表破裂带; 6. 正断裂; 7. 逆断裂; 8. 走滑断裂;
 9. 前第四纪地层出露区; 10. 第四纪盆地; 11. 湖泊; 12. 晚第四纪构造分区编号

青藏高原的北界位于阿尔金断裂带、祁连山北缘断裂带和河西走廊断陷盆地。阿尔金断裂带是一条巨大的作北东东向延伸的逆走滑断裂带,长达1600km,可分为西段的阿尔金南缘断裂和东段的阿尔金北缘断裂,每一条断裂又是由若干次级剪切断层羽列组成。自上新世以来阿尔金断裂即作左旋逆走滑运动,全新世以来西段的水平滑动速率为 5.23mm/a ,东段可达 4.29mm/a ,断裂带逆冲速率平均为 0.22mm/a ^[13]。祁连山北缘断裂带和河西走廊断陷盆地是一条左旋走滑逆冲构造带。河西走廊断陷带内的各断陷盆地受走滑逆断裂所控制,并作左阶排列。祁连山北缘断裂带内北西西向的次级断层一方面表现出强烈的挤压性质,为逆冲或逆掩断裂,晚更新世以来垂直运动速率多在 $1.6\text{—}3.1\text{mm/a}$;另一方面,该断裂带又具有左旋走滑性质,错断一系列水系,其左旋走滑速率可达 $2\text{—}3\text{mm/a}$ ^[14]。不仅如此,在祁连山北缘断裂带以南还有北西西向的昌马断裂和雷公山-毛毛山断裂等,它们都是显著的左旋逆走滑断层,其中昌马断裂左旋滑动速率达 $3.3\text{—}4.3\text{mm/a}$ ^[15],垂直滑动速率为 $0.6\text{—}1.2\text{mm/a}$ ^[14];雷公山-毛毛山断裂左旋走滑速率约为 $3.6\text{—}5.6\text{mm/a}$,垂直滑动速率为 $0.7\text{—}1.2\text{mm/a}$ ^[14]。

青藏高原东北边缘以牛首山、香山-天景山、海原、六盘山和陇县-宝鸡等活动断裂带组成的弧形断裂系与华北构造区相邻。这些弧形断裂带的西段为北西或北西西向,是强烈的走滑断裂带,中段六盘山断裂带为北北西至近南北向的逆断裂带。其中香山-天景山断裂带全新世以来的走滑速率为 2.5mm/a ^[16],海原断裂带则为 $6\text{—}10\text{mm/a}$ ^[9]。

青藏高原构造区的东界比较复杂,由北向南由北东向的龙门山断裂带、南北向的安宁河断裂带、北西向的则木河断裂带和南北向的小江断裂带等组成。除龙门山断裂带为逆断裂带表现为强烈的推覆构造外,其他断裂均为左旋走滑断裂带。其中安宁河和则木河断裂带左旋走滑速率分别为 7mm/a 和 4.9mm/a ,小江断裂带的滑动速率约为 6.7mm/a ^[17,18]。

青藏高原边界活动断裂的上述特征,似乎说明在印度板块的推挤作用下,高原块体除表现为强烈隆起和挤压特征外,还有向东滑动的总趋势。因而,北界断裂均为左旋逆走滑断裂,东界断裂有的地段为逆断裂组成的推覆构造,有的为逆走滑断裂^[19]。

青藏高原内部的活动断裂系统比较复杂,在不同的构造部位具有不同的活动特征,具有更细微的分区性。首先,在青藏高原的北部和东部发育着一组规模巨大的北西西至北西向断裂,它们大多表现为逆断裂并有左旋走滑特征,如西秦岭北缘断裂、库赛湖-玛曲断裂、西金乌兰湖-玉树断裂、达日断裂和鲜水河断裂等;在东南部靠近阿萨姆楔附近的北西向断裂表现为右旋走滑断裂,如红河断裂、澜沧江断裂等。这些断裂一般都有很强的活动性,断错山脊和年青的水系,沿断裂带有大地震发生,产生与活动断裂运动相一致的走滑型地震地表破裂带。其中鲜水河断裂带的左旋位移速率可达 17mm/a ^[19],红河断裂带的右旋滑动速率亦可达 $7\text{—}8\text{mm/a}$ ^[20]。青藏高原的这一地区被这些北西向断裂分成若干条状块体,这些条状块体在青藏高原整体向东滑动的过程中又发生不均匀的向东南或南南东方向的滑动,总的来说,由北向南滑动速度加大^[19]。一方面,正是由于这些条状块体的运动,在其东端与华南断块接触的不同构造部位形成了不同方向和性质的构造带,即从龙门山断裂带到小江断裂带组成的复杂的青藏高原东部边缘活动断裂带^[19];另一方面,断裂的左旋走滑运动表明其间的块体在运动过程中还存在着顺时针的转动(图2)。值得指出的是,南部的川滇菱形块体的北界和东界,从鲜水河、安宁河、则木河到小江断裂连续地左旋走滑,亦表明川滇菱形块体也具有顺时针转动的特征。不仅如此,块体东北界左旋走滑的鲜水河、安宁河和则木河断裂及块体西南界的红河断裂北西向段都带有一定的挤压分量,而块体西北界的红河断裂北北西向段和东南界的

小江断裂带有张性分量，这一断裂活动特点在运动学上进一步证实了川滇菱形块体的顺时针转动。程国良等通过对川滇地区白垩纪地层的古地磁测量也证实了这一点^[21]。而红河断裂带等的右旋走滑活动是印度板块大幅度北移所引起的一种被动运动，它与左旋走滑运动的菱形块体北界和东界断裂一起，使块体除顺时针转动外，还作南南东向的滑动，其活动速率为6—8mm/a。

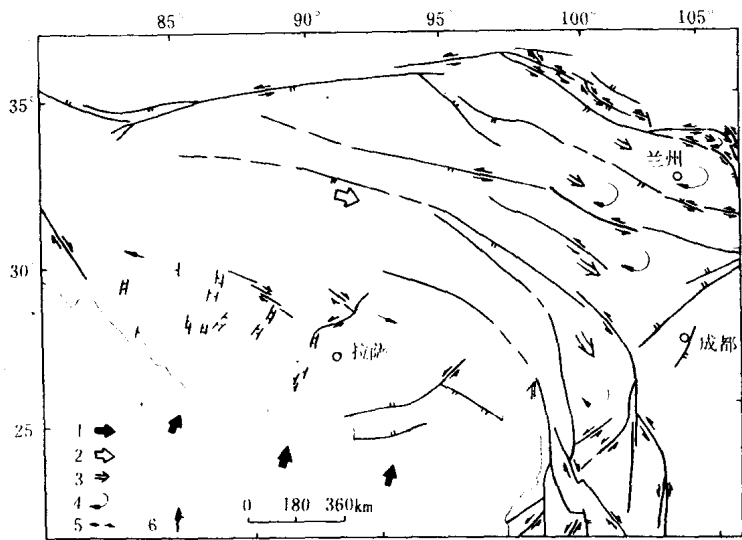


图2 青藏高原次级块体运动特征

- 1. 印度板块的推挤方向；2. 青藏高原总体运动方向；3. 次级块体滑动方向；
- 4. 块体转动方向；5. 西藏局部引张区；6. 青藏高原东部简单剪切作用方向

其次，在青藏高原的腹地，即西藏部分，发育了一系列规模相对较小的北西、北东向的走滑断裂和近南北向的正断裂，其中北西向断裂为右旋走滑断裂，如崩错断裂，不仅使水系发生右旋变位，断裂带内控制了崩错拉分盆地，而且沿断裂发生了1951年8级地震^[8]。又如格林错北西向断裂带也是一条右旋走滑断裂带，控制了格林错拉分盆地的形成。该区的北东向断裂为左旋走滑断裂，其中规模最大的为念青唐古拉山东麓断裂，第四纪以来的左旋滑动速率为4.2mm/a，正断层型的倾滑运动速率为3.5mm/a^[22]。该区内的近南北向断裂一般均为正断裂，控制了一系列南北向盆地和湖盆的分布，如蓬错、懂错等小盆地。上述近南北向断裂的张性倾滑和北西、北东向断裂的共轭剪切，兼有正断层型倾滑性质，反映出本区主要是经历着近东西向局部引张应力和物质的近东西横向运移。从断裂的活动特征来看，念青唐古拉活动构造带是这一引张区的东界，其北界可达可可西里山南缘。

2. 新疆构造区（Ⅰ）

新疆构造区位于中国大陆的西北部，区内受活动逆断裂和走滑断裂的控制，形成了大型断块型盆地和其间的隆起山地，前者如塔里木盆地、准噶尔盆地等；后者如天山、阿尔泰山等。二者之间的差异升降运动亦十分强烈，天山、阿尔泰山等山体向盆地逆冲上升。

新疆构造区内的近东西向活动断裂为逆冲和逆掩断裂，如天山南北缘和内部的北轮台-辛格尔断裂、准噶尔南缘断裂和吐鲁番-三道岭断裂等。天山北缘发育有三排近东西向背斜，背

斜北翼陡,南翼缓,中更新世地层卷入褶皱,晚更新世和全新世阶地在背斜部位发生隆起变形^[23],在这些背斜核部或北翼均分布有逆断裂,这些断裂晚第四纪以来均有强烈活动,切割晚更新世和全新世冲洪积物,形成规模宏伟的断层崖,其中独山子-安集海断裂的逆冲垂直速率大于 0.51mm/a ^[24];天山南缘发育有3—4排近东西向背斜,一般南翼陡,北翼缓,同样在其核部或南翼发育有逆断裂,直到全新世,断裂仍有强烈的活动,断层崖地貌十分醒目。上述构造和断裂组合反映了新疆构造区内山体向两侧盆地的扇形逆冲,地表的平行逆断裂向下组成一个统一的逆掩滑脱面,活动褶皱属逆断裂-扩展褶皱^[23]。

新疆构造区内还发育了一组北西向断裂,如阿尔泰山的额尔齐斯断裂和天山的博罗霍洛断裂,它们一般为右旋逆走滑断裂,前者走滑速率为 4.6mm/a ,逆冲速率为 0.18mm/a ,后者右旋走滑速率约 6.3mm/a ^[25]。天山西段的喀什河断裂右旋走滑速率为 3.8mm/a ^[26]。区内北东和北东东向断裂则为具有左旋走滑活动特征的逆断裂,如天山南缘的柯坪断裂、依斯拉克-卡拉乌尔断裂和秋里塔格断裂等,其中秋里塔格断裂的左旋走滑速率为 4.0mm/a ,逆冲速率为 $0.73\text{—}2.0\text{mm/a}$ ^[25]。

发育于阿尔泰山的可可托海-二台断裂走向 340° ,长约 200km ,错动地质体和山脊、水系,是一条晚第四纪以来有强烈活动的右旋走滑断裂,晚更新世以来右旋滑动速率约 3mm/a ^[27]。

总体来看,新疆构造区内的北西西向断裂的逆断活动反映了北北东向挤压,这一结果与现代地震机制解P轴统计方位大体吻合。区内北西向断裂的右旋走滑速率在 $3\text{—}4.1\text{mm/a}$ 之间,北东东向断裂的左旋走滑速率约为 $3\text{—}4\text{mm/a}$,且都带有逆冲分量。根据矢量合成原理,新疆构造区在北北东向挤压作用下,地壳缩短速率平均为 5.1mm/a 。

3. 华北构造区 (I)

华北构造区位于中国东部,北以燕山、阴山近东西构造与东北构造区相邻,南界位于秦岭-大别山构造带,西至贺兰山一带,东达海域。

新生代以来,华北构造区是一个内部结构复杂和断裂活动强烈的地区,受断裂活动的控制发育了一系列的断陷盆地,西部有鄂尔多斯周缘断裂系和断陷盆地,东部平原区在早第三纪发育了由典型的盆地-山岭构造组成的裂谷系。晚第三纪以来,裂谷系进入了整体沉降阶段,但区内主要断裂仍有一定的活动性,直至现代^[28]。

鄂尔多斯块体周缘为两组断陷盆地所围绕,其东西两侧分别为北北东向的银川-吉兰泰和山西盆地,南北两侧为近东西的渭河和河套断陷盆地,其中除山西断陷带是自上新世发育起来的盆地外,其余三条盆地开始形成于始新世至渐新世。晚第四纪,这四条断陷盆地及断裂带继续活动,均表现为剪切拉张带,其中银川-吉兰泰和山西断陷盆地受北北东向右旋正走滑断裂控制,而渭河和河套断陷盆地则受左旋正走滑断裂所控制,但其正断层倾滑分量占有更主要地位。银川-吉兰泰断陷盆地由银川地堑、贺兰山地垒和吉兰泰地堑斜列组成,北北东向的控制性断裂为右旋正走滑断裂,其中贺兰山东麓断裂晚更新世以来的右旋走滑速率约为 $2.58\text{—}4.73\text{mm/a}$,差异升降运动速率为 $1.12\text{—}2.1\text{mm/a}$ ^[29]。山西断陷带的主体受不连续的北北东向右旋正走滑断裂所控制,形成一系列斜列的活动断裂和盆地,如口泉、系舟山、麓、交城和霍山等断裂及其相关的盆地,带内还发育有左旋的北西和近东西向断裂,如什林、苏堡等断裂,它们是剪切带内与北北东向右旋走滑断裂共轭的一组活动断裂。在断裂错列的阶区形成推挤型隆起,如灵石和石岭关隆起。在山西盆地带的南北两端各发育有一个受北东东向正断裂所控制的张性构造区,区内北东东向断裂为正断层,盆地为半

地堑或地堑,形成局部的现代盆岭构造。晋北张性区内发育有阳原、浑源、繁峙、定襄、灵丘、蔚广等盆地及相邻的隆起山地;晋南张性区有河津、运城盆地和中条山、峨眉台地等隆起。山西剪切带两侧及带内的北北东向正走滑断裂的右旋滑动速率可达 5mm/a 以上^[30,31],而剪切带两端的尾端张性区内张性正断裂的差异运动速率则为 $0.7\text{—}0.8\text{mm/a}$ ^[32]。渭河断陷带以其南侧的秦岭北缘断裂和华山山前断裂为断陷主断裂,河套断陷带的控制性断裂为其北侧的大青山断裂、乌拉山断裂和色尔腾山断裂,它们都是强烈活动的正断裂,错断全新世地层^[29],但在这两条断陷带中与之平行的东西向断裂,如鄂尔多斯北缘断裂、口钐-关山断裂和铁炉子断裂等均表现出左旋走滑活动特征。

在华北构造区东部的华北平原和河淮平原,北北东向断裂活动亦具右旋走滑性质,如太行山山前断裂、郑庐断裂带、夏垫断裂和唐山断裂等,1668年郑城地震、1679年三河-平谷地震和1976年唐山地震是沿上述后三条断裂发生的大地震,都产生了右旋走滑型地震地表破裂带^[33-35]。其中郑庐断裂带是中国东部一条规模巨大的活动断裂带,其中段全新世右旋走滑速率为 2mm/a ^[36]。华北平原的北西向断裂自北而南有大洋河断裂、张家口-蓬莱断裂、衡水断裂、魏县断裂和胙城断裂等,它们大多隐伏于平原之下,其中张家口-蓬莱断裂带断续出露,是一条控制平原北缘第四纪小盆地、具有左旋性质的走滑断裂^[37]。沿大洋河断裂西端发生的1975年海城地震地表破裂带是一条左旋剪切破裂带^[38]。河淮平原的内部构造主要受北西西和北北东向构造控制,但其活动强度较华北平原弱。

华北构造区内北北东向断裂以右旋正走滑活动为主,北西西向断裂具左旋正走滑断裂活动特征表明,本区处于北东东-南西西向的挤压和北北西-南南东向的引张应力场作用下。地震机制解P轴和T轴的赤平极射投影统计也与这一区域应力场相符。值得注意的是,除位于胶辽隆起上的郑庐断裂带中段为右旋逆走滑断裂外,位于断陷盆地边缘和内部的断裂均带有正断层型倾滑分量,这说明本区盆地下方的上地幔上隆和物质运动产生的垂直力作用的存在,所以,本区的断裂活动特征是由区域水平应力场和上地幔垂直力的联合作用所决定的^[39]。

华北构造区内的北北东向断裂或断陷盆地带将区内地壳切割成多个块体,大地震活动主要沿这些活动断裂和断陷盆地带发生,除华北平原外,块体内部很少或没有6级以上地震活动。这说明区内变形和位移主要沿块体的边界断裂带发生。华北构造区上新世以来以北北东向右旋正走滑断裂的活动为主,从这些断裂的力学性质和两侧块体的位移和相对运动分析,这些断裂带上的右旋剪切运动会导致被它们所围限的块体作逆时针转动(图3)。华北地区新生代不同时期的玄武岩样品古地磁测试结果进一步表明,上新世以来,这些块体的逆时针转动量为 $1.3\text{—}3.7^\circ$ ^[40]。显然,这种块体转动与华北区域应力场特征是一致的。

4. 东北构造区(Ⅳ)

东北构造区主要由松辽平原及其两侧隆起山地组成,最北端有三江平原和海拉尔断陷。区内主要发育有北北东向的嫩江断裂、依兰-伊通断裂、密山-敦化断裂、孙吴地堑及松花江断裂、纳谟尔河断裂等北西向断裂。嫩江断裂在老哈河一带右旋切错了一系列水系,为右旋走滑断裂,沿密山-敦化断裂有晚更新世和全新世玄武岩喷发^[41]。总的说来,东北构造区晚第四纪断裂活动比华北构造区弱,但其区域应力场大致与华北构造区类似。

5. 华南构造区(Ⅴ)

华南构造区位于中国大陆东南部,晚第三纪以来以缓慢的整体性上升为特征,内部断裂活动和块体差异升降运动均较弱,但在其南北两部靠近台湾和华北构造区的东南沿海和长江