

从震前卫星热红外图像看中国现今构造应力场特征

强祖基^{1,2)}, 姚清林²⁾, 魏乐军³⁾, 曾佐勋¹⁾, 郭坚峰⁴⁾

1)长江三峡库区地质灾害研究中心, 中国地质大学, 湖北武汉 430074;

2)中国地震局地质研究所, 北京 100029;

3)中国地质科学院, 北京 100037; 4)海南省地震局, 海南海口 570203

摘 要: 震前卫星热红外探测现今地球热应力场, 既有水平应力热场, 也有垂直应力热场。热辐射能量的增强与应力增强有关。结合地震地表破裂带和地震等烈度线图的分析, 辅以 GPS 空间定位地形变测量、震源机制解和原地应力解除法, 以及地球物理勘探资料, 可使对现今应力场的了解更加全面。以 $99^{\circ}\sim 104^{\circ}\text{E}$ 为界的过渡带包含中国大陆西部重庆荣昌双环、四川汶川椭圆。这种左右涡旋运动方式不同存在一个带内, 与深部构造差异和物质下曳运动有直接的关系。中国西部受印度板块和西北利亚板块 SN 向夹击, 来自西北利亚板块的作用力最南可到天山北麓。印度板块与太平洋板块相互扭动, 壳幔汁上涌差异反映在中国西部热旋扭椭圆为左旋扭动。印度板块与太平洋板块相互扭动, 中国东部地区出现伸展构造。NE、NNE 向破裂发生右旋运动, 可称之为新新华夏构造体系。壳幔汁上涌差异反映在东部热旋扭椭圆为右旋扭动。

关键词: 卫星热红外图像; 构造体系; 地壳上地幔涡旋运动; 过渡带; 垂平转换; 新新华夏构造体系

中图分类号: P422.61; P553 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-3021(2009)06-873-13

The Characteristic of Current Stress Hot Field by Satellite Thermal Infrared Image in China

QIANG Zu-ji^{1,2)}, YAO Qin-lin²⁾, WEI Le-jun³⁾, ZENG Zuo-xun¹⁾, GUO Jian-feng⁴⁾

1) *Research Center of Yangtze River Three Gorges Reservoir, China University of Geosciences
Wuhan, Hubei 430074;*

2) *Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing, 100029;*

3) *Chinese Academy of Geological Services, Beijing 100037;*

4) *Seismological Bureau of Hainan, Haikou, Hainan 570203*

Abstract: Prior to earthquake occurrence serving the current stress hot field by satellite thermal infrared scanner there are having horizontal and vertical stress hot field in the earth. There are the heat radiation more which depend upon the stress increasing. Take the earthquake surface fracture zones and the map of iso-intensity into the consideration, combine these data of GPS, focus moment solution and relax of stress, the current stress field is obtained correctly. Judge eastern and western part with its deep structure movement difference and a result of the crust-mantle left-lateral and right-lateral and up-flow on boundary of $99^{\circ}\sim 104^{\circ}\text{E}$. It was converging attack from both N and S sides. The N side is Sibire plate and S is India plate. The force from the N will be at an end of Tianshan mountain. The Sibire plate and Pacific Ocean plate are revolving each other. The difference of the crust-mantle uprush in the western part of China reflects on the left up flow in the deep crust. The Sibire plate and Pacific Ocean plate are revolving each other. There is extensional structure in the north part of eastern part of China. Along these fracture NE, NNE direction occur right lateral movement that means New Neocathaysian. The difference of the crust-mantle uprush in the eastern part of China reflects on the right up flow in the deep crust.

Key words: vortex rotated movement in upper mantle; tectonic system, satellite thermal infrared image; Intermediate zone; Converting vertical and horizontal movement; New Neocathaysian

本文由教育部国家级优势学科创新平台建设项目“长江三峡库区地质灾害研究”资助。

收稿日期: 2009-10-07; 改回日期: 2009-11-28。

第一作者简介: 强祖基, 男, 1932 生。教授, 副教授, 博导。从事构造地质、遥感地质、地震临震预测预报研究。E-mail: zujiqiang@sina.com。

中国现今构造运动,指的是第四纪到目前的运动,它的形成与应力状态有关。李四光于1973年在《地质力学概论》中就强调地球自转速度的变快与变慢,就像自行车加速与刹车,可造成向后与向前的挤压力,产生褶皱、断裂等多样性的地壳表层构造样式,组合成山字型、旋扭构造、经向和纬向构造。这种分析宏观地揭示了地球上地质构造成因的内在联系。之后板块构造的兴起,地球物理勘探的发现,海底地磁条带扩张的证据,都在进一步揭示构造的多样性,也丰富了李四光的思想。20世纪60-70年代李四光倡导用应力测量来研究地壳运动和地震活动。80年代末俄国人利用卫星红外波段侦测出中亚断裂带上与地震活动有关的增温(Gorny V.I., 1988; Salman A.G., 1992)。到了20世纪90年代我们开始利用卫星遥感技术对地壳热应力场进行研究(强祖基等, 1990, 1995, 1998, 2001, 2008; Qiang Zuji, 1983, 1991, 1999, 2006, 2007),而卫星遥感可以不受地形的局限,且固态、液态、气态的信息都可直接获取,在地壳运动、应力场、构造活动等的全面研究方面有着其它手段无法取代的作用。地震是现今地壳运动的表现形式之一(梅世蓉等 1996)。地震前,大范围内岩石受力增强,沿着应力集中地带出现微裂隙,失去电子的离子向岩石破裂面迁移,红外谱段的辐射能量增强(强祖基等, 1999; Freund F, 2002)。卫星热红外扫描图像能给出震前应力热场的强度、分布及其变化特征。使我们发现此项手段是研究现今构造应力场有效工具之一。结合大地震地表破裂的野外地质考察与力学分析、地震烈度展布以及震源机制解的资料,考虑到地应力测量、地形变测量的数据,对中国现今构造体系与地壳运动模式有了新的认识。GPS也是常用的现代测量工具,但其测站布局往往受沙漠、海水等地形地物的限制或影响,致使地表大部分面积的形变或地壳运动资料都无法利用它得到,因此仅仅靠它不足以全面认识现今全球地壳运动与构造应力场。最近许绍燮(2006)用不同震级的地震展布特性和用超长周期地震台网超宽频带地震仪的记录特征证明大地震岩石圈层间水平运动存在。李鉴杨等(2008)大陆层控构造地球动力学的新思想新思维对理解现今地壳运动具有重大意义。

用沉积地层法、地貌法来研究地壳震荡运动的有别洛乌索夫、黄汲清、尼科拉耶夫、任纪舜等人地下400km层析结构说明以100°-105°E为中国大东西部深部构造差异的分界(刘福田等 1989; 刘国栋等, 1984; 徐常芳等, 1994, 1996)地球旋转的速度变化或非均匀性为水平运动提供了力源,而地球深部

流体的上涌则可垂直运动的动力反映在应力的场效上,既有水平应力热场,也有垂直应力热场,有以水平应力为主(李四光, 1973; Tapponnier et al., 1977)有时两者共同作用,垂直应力的作用也很明显。因此,我们应该把水平运动和垂直运动结合起来,从地球的整体行为来研究现今构造运动和地震成因。

20世纪90年代徐常芳(1996)、刘国栋(1984)、彭建平、高锐及赵文津(Zhao Wenjin, 2001)在地球物理勘探认为地震区如:河西走廊、西藏羊八井、渭河盆地华阴、唐山、山东郯城地区地壳深处有低速高导层存在或上地幔拱起。刘福田(1989)、孙若昧(1991)及梅世蓉(1996)在地震层析结构分析上做了大量工作,在壳下400km深处速度图像表明,102.5°E附近约200km宽的条带存在,实为中国大陆东西两大部分不同构造的分界,400km深度处图像显示出,102.5°E附近的速度近于参考值9.15 km/s,以它为界,以东的低速带其走向为NNE和SN向,以西的低速带其走向为NNW或EW向。中国大陆东西两部分的构造差异存在受制于整个上地幔状态不同。近期发展起来的卫星热红外应力场分析(强祖基等, 1995, 2008; Qiang Zuji et al., 2007; WU LX, LIU SJ et al., 2006)是我们这次研究现今构造应力场重点采用的方法。卫星热红外热应力场反映的是地壳受力时的应力状态。当岩石受力时沿着应力增加的部位产生微破裂,岩石中受力时失去电子的离子会集中到破裂面上,产生热辐射。因此,热的展布与应力状态和岩石断裂构造有着密切关系,能显示主压应力方向。其应力场样式如下:孤立块体、X型剪、雁列、单臂、串珠状、蜗牛状、山字型、旋扭椭圆、推进旋扭椭圆环等。

1 中国西部青藏高原

基于中国现今构造应力场东西部有很大差异,为了叙述方便先从西部由南向北,而东部则从北向南一一叙述。

西部青藏高原形变速率按分布均匀的原则共选取5个,青藏高原西段(木山口1a, 珠峰南1b, 图1)形变速率21 mm/a左右,形变方向N20°E。喀喇昆仑断裂(1c, 图1)平均滑动速率可能为4-6 mm/a,形变方向N45°E。巴颜喀喇山(1d)形变速率与喀喇昆仑断裂基本相同,方向N80°E。祁连山中段(1e, 图1)的缩短速率为 (610 ± 115) mm/a,形变方向N45°E(Wang Qi et al., 2004)。

西藏察隅M8.6大地震应力场,地震地面破裂强

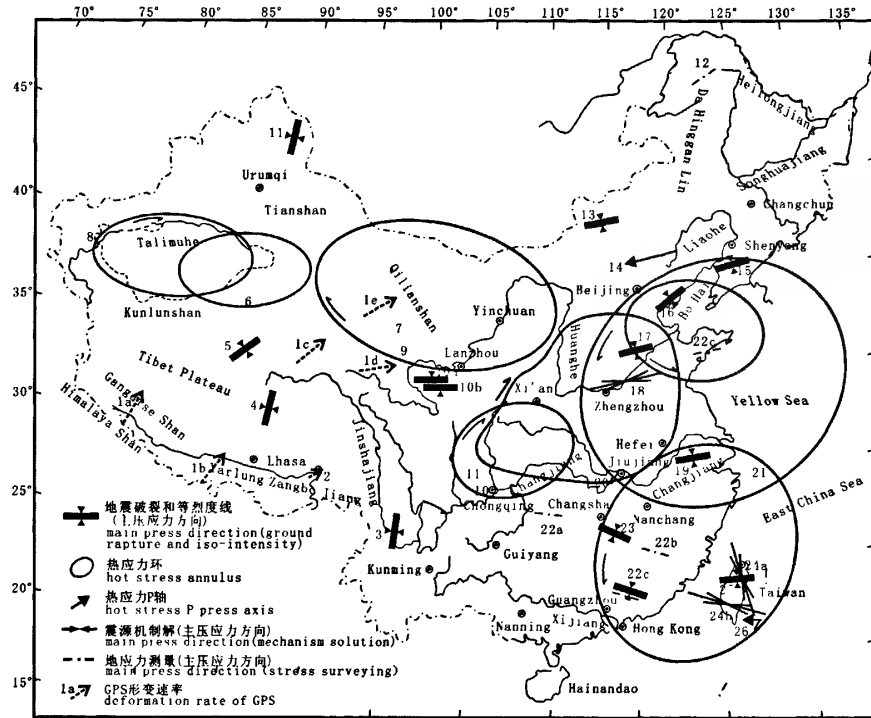


图1 中国现今构造应力场图
Fig. 1 Present tectonic stress field in China

度极大,都集中在X度以上地区。IX度区地面破坏程度减小,分布不广。VIII度和VII度区破坏呈零星散布。等烈度线为不规则蛋形分布,长轴呈NNW向,长800 km;短轴呈NEE向,长600 km。因此,这一形态反映的是垂直上涌运动,主压应力P轴近于直立(见图1中的2号点,西藏自治区科委,国家地震局科技监测司,1988)。

1996年2月3日云南丽江7.0级地震地表破裂带应力场,地表破裂带可分3段,中间有数千米不连续。1)北段,发育在大具盆地南侧,位于二叠系玄武岩区,由一系列长数米至数十米的裂缝呈左旋右列排列。长约1.5 km,宽数米。总体走向NNE,走向稳定。最大水平和垂直错距在20~10 cm之间。2)中段。在黑水河北侧缓坡地带,位于二叠系玄武岩上的残坡积物上。由一系列剪切裂缝组成,呈左旋右列。羽列(邓起东,1984)阶区宽1~3 m。各单条剪裂缝长10~20 m,宽数厘米至十余厘米。整个破裂带以NNE(20°)展布,延伸1.3 km,带宽5~8 m,破裂倾角大于70°,陡立,向E倾斜,属压扭性。在羽列岩桥区出现挤压鼓包,左旋水平位错树干、田坎、树根等。最大水平错距30~50 cm,最大垂直错距25~40 cm。3)南段,位于极震区中部的玉湖、文华一带,分布在第四纪冰水沉积物的台地和盆地中,破裂带长

1 km多,宽数十米乃至数百米,总体延伸方向为NNE。排列方式为左旋右列,与北、中段相比,各条裂缝不仅略呈弧形,长度与宽度都增大到百米和数十米,水平位错不明显,垂直断距数厘米。

从卫星热红外图片(1995年12月15日19:47(世界时)上可以见到丽江环,直径约250 km (25.3°~28.3°N, 100.1°~103.2°E),分布在下关、丽江到盐源、西昌一带。热旋扭面环的力学性质受内旋运动方向与撒开或收敛之间的关系而决定(李四光,1973;马宗晋等,1995;李东旭,2003)。结合震源机制热旋扭面环的力学性质受内旋解中的主压应力方向和主破裂面展布及力学性质,决定热旋面相对扭动方向。从丽江环的东部旋扭面结构面上,NNW向的旋扭面往S收敛,旋扭面性质为压扭性。判定为左旋上隆(见图1中的3号点,卫照1)(强祖基等,2008)。上涌旋转力带动“围岩”及上覆岩层扭转,形成扭转力偶,使应力产生垂平转换。张建国、周光全描述的丽江地震破裂带上,垂直力对构造变动的作用较为明显。

1951年当雄8.0级地震的地面破裂带长达81 km。北起江错区克那村南,向SE经篷错南等地延伸在下打停止,地震裂缝带一般宽几至几十米,局部宽285 m。裂缝带由一系列NNW、NW向张裂缝,EW向剪切裂缝右列组成,右旋扭动。总体走向55°~

60°。主压应力方向为 SN 向(西藏自治区科委, 国家地震局科技监测司, 1988)(见图 1 中的 4 号点)。

新疆于田昆仑山 M7.3 级地震位于昆仑山主山脉之内(31°N, 81.6°E)。震前 15 天, 2008 年 3 月 7 日 05 时 0 分(世界时间)卫星热红外照片上显示中国大陆西部有 NW 向的增温椭圆, 长轴 3000 km, 短轴 1500 km (28~45°N, 70~100°E), 该椭圆西南边沿雅鲁藏布江往东至金沙江, 顺江北上, 到黄河第一湾又北上, 顺新疆与内蒙边界 NW 方向北上, 在新疆最北界转向西。此大增温椭圆内套另一增温椭圆, 椭圆西界在新疆最西面, 南界沿雅鲁藏布江东下至雅江拐弯处后北上, 该增温椭圆北界为新疆中部, 椭圆长轴 NW 向长 1200 km, 短轴北东向, 长约 1000 km, 增温面积约 1, 000, 000 Km², 新疆于田昆仑山 M7.3 级地震震中位于椭圆西南边界内侧。震源机制解表明, P 轴方位 NNW350°, 倾角 49°, Np1 走向 63°, 倾角 83°, 滑动角 74°, 具有正断拉伸性质。雅鲁藏布江水系与藏北高原上的东西增温条向西收敛(卫照 2, 图 1 中的 5 号点, 图 2), 增温条属压扭性, 示外旋左旋、内旋右旋的壳内塑性层上地幔上涌运动(李鉴杨等, 2008)。

2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级(36.2°N, 90.9°E)大地震地表破裂由西向东延伸长达 425 km, 是迄今为止所见到的大陆地震最长的一条地表破裂带。在破裂带最西端, 地裂缝长约 25 km, 最大水平位移 3 m。在库赛湖北距湖 80~90 km 处, 破裂走向为 N70°W-EW, 左旋水平位移最大为 6 m; 在昆仑山口东 20 km 处见到地震断裂垂直位移量 0.2 m,

左旋位错 0.5 m。在路标 2894 km 处, 见到公路左旋错断, 水平位移量为 3.8~3.9 m。主压应力为 NE 向(见图 1 中的 6 号点)(中国地震局监测预报司, 2002)。

从 2001 年 10 月 27 日 10 时 32 分(北京时间)的风云 2C 静止气象卫星图像显示青藏高原海拔 3000 米以上地区, 其背景温度应时 0~4℃, 但是有一条从 36.5°N, 98°E 到震中附近 EW 向的增温条(黄色, ≥5℃), 该增温条长约 700 km(卫照 4)。

青海共和旋扭椭圆, 1990 年 4 月 11、12 日卫星红外图像上显示了长 1500 km、宽 1000 km 的增温椭圆, 位于 E 92°~110°, N36°~44°, 温度 25~29℃, 而地震发生在其南侧青海共和境内(图 3)。李四光曾描述过旋扭面的力学性质, 受内旋运动方向与撒开和收敛方向之间的关系而决定(李四光, 1973; 马宗晋等, 1995)。结合震源机制解中的主压应力方向和主破裂面展布和力学性质也可决定热旋面的相对扭动方向。共和地震震源机制解 P 轴 45°, 破裂面走向 135°(SE), 属压扭性。共和旋转椭圆的东南部旋扭面向 N 呈收敛趋势, 而向 S 撒开, 外旋力向左, 而内旋力向右(卫照 2)。旋扭面性质为压扭性。此增温椭圆具左旋垂涌运动(见图 1 中的 7 号点)。

以 99°~104°E 为界的过渡带包含中国大陆西部重庆荣昌双环、四川汶川椭圆。这种左右旋转运动方式不同存在一个带内, 受深部构造差异和物质下曳运动有直接的关系。中国西部受印度板块和西北利亚板 SN 向夹击, 来自西北利亚板块的作用力最南可到天山北麓。

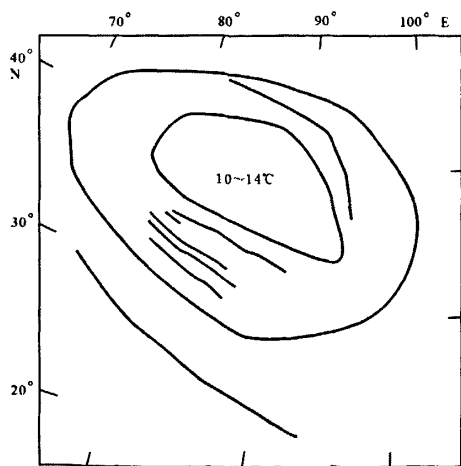


图 2 卫星热红外增温椭圆示意图(2008, 03 07 0600(GMT))

Fig. 2 Schematic diagram showing satellite thermal infrared temperature increase ellipse (2008, 03 07 0600(GMT))

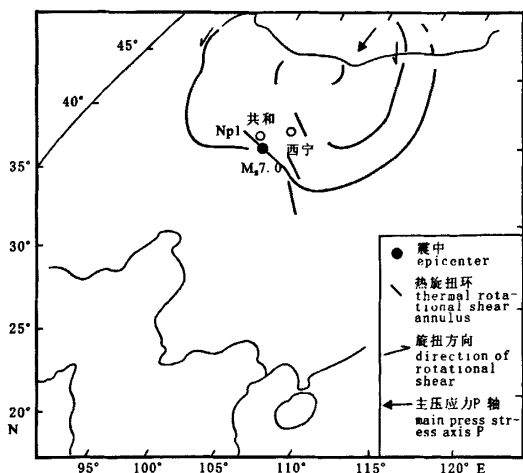


图 3 青海共和热旋扭椭圆

Fig. 3 The thermal rotation shear ellipse structure of Gonghe in Qinghai Province

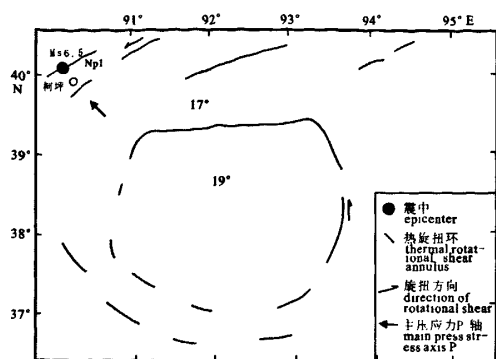


图4 新疆柯坪热旋扭椭圆
Fig. 4 The rotation shear ellipse structure of Kepin in Xinjiang

2 新疆与过渡带

新疆与过渡带包括新疆北部天山以北地区和 99°~104°E 地区的过渡带, 中国习惯上称之横断山脉, 在深部构造上具有自己的特色兼顾东西部特点。

1991 年 2 月 24 日卫星热红外图像显示塔里木盆地 E79°~86°、N37°~40°, 长 600 km、宽 300 km 范围内出现一个近椭圆形的增温圆, 最高温度 20~23℃, 柯坪 M6.5 地震震源机制解 P 轴 324°, 破裂面走向 N50°E(Np1), 属压扭性。柯坪地震震中位于旋转椭圆的西北角边缘。柯坪旋转椭圆的北部旋扭面向 NE 收敛, 而向 S、SW 方向撒开, 外旋力向左, 而内旋力向右旋(卫照 5; 图 6)。旋扭面性质为压扭性。此增温椭圆受垂涌左旋运动控制, (见图 1 中的 8 号点)。

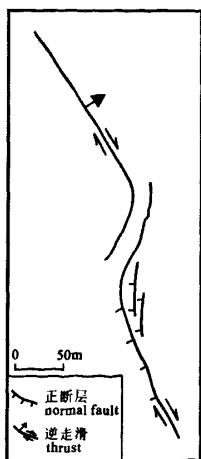


图5 富蕴地震地表破裂尾端(邓起东, 1984)
Fig. 5 The trails of ground rupture in Furong fault zone (after Deng Qidong, 1984)

3 新疆富蕴 M8.0 地震

1931 年 8 月 11 日新疆阿尔泰富蕴发生 8.0 级大地震。地震地表破裂巍巍壮观。北起罗增萨依沟口, 向 SSE 方向经可可托海新山口, 斜插入夏贝尔特山, 经干沟, 越红山包, 过乌伦古河, 终止于阿尔曼特山北坡, 全长 176 km。总体走向 342° (NNW), 倾向 E, 倾角 70°, 以右旋走为主。但是在其尾端应力减弱变为张性破裂(图 5; 邓起东, 1984)。从整个破裂带的全面力学分析也可得出水平力主要与来自北面西伯利亚板块向南挤压有关(见图 1 中的 9 号点)。

1973 年 2 月 6 日四川炉霍 7.9 级地震地表破裂带北起卡苏向东南至吾都, 全长 90 km, 总体走向为 N55°W, 带宽可达百余米。地震破裂水平位错最大达 3.6 m, 呈左旋滑动, 垂直分量约 20~30 cm。主压应力 P 轴方向为近 EW 向(张肇诚, 1988)。(见图 1 中的 10a 号点)。

1981 年 1 月 24 日四川道孚 6.9 级地震地裂缝带应力场:

这次地震造成的地裂缝带北起麻湾附近, 沿鲜水河断裂带向 SE 延伸直达松林口, 长达 44 km。在鲜水河断裂带中沟普南泉华层上见到地表裂缝。整个地表破裂带呈 NWW 走向, 有左行羽列的近 SN 向鼓包, 与右行雁列的 NWW 向张扭性裂缝相间排列而成(邓起东, 1984)。考虑到震源机制解, 认定这次地震主压应力 P 轴为近 EW 向(张肇诚, 2000)(见图 1 中的 10b 号点)。

1973 年炉霍 7.9 级地震是自 1971 年以来鲜水河断裂带第 5 个强震活动幕的起始阶段, 直到 1982 年才进入平静期。从炉霍、道孚强震的地表破裂应力场分析得出鲜水河断裂的局部应力场为近 EW 向, 而与本区 NE 向的青藏高原东部区域应力场不一致, 反映了鲜水河断裂带的强震幕是受局部应力场控制。

四川荣昌双核热旋扭下曳椭圆位于 102°E 以西地区, 在 1997 年 8 月 12 日的卫星热红外图像上, 四川重庆、成都、绵阳一带出现了直径 300~400 km 的椭圆, 长轴近 NE 向, 最高温度 22~29℃。四川荣昌 M5.2 级地震机制解告诉我们 P 轴主压应力方向为 NW(320°), 地震破裂面走向 N20°E(Np1), 力学性质为压扭性。荣昌 M5.2 级地震震中位于旋转椭圆的西南角北缘, 位于四川盆地块体内断裂上。荣昌旋转椭圆的东部旋扭面向 NE 收敛, 而向 S、SW 方向撒开, 外旋力向左, 而内旋力向右旋。因此可称之为荣昌左旋下曳区。1998 年王绳祖研究员在研究亚洲大

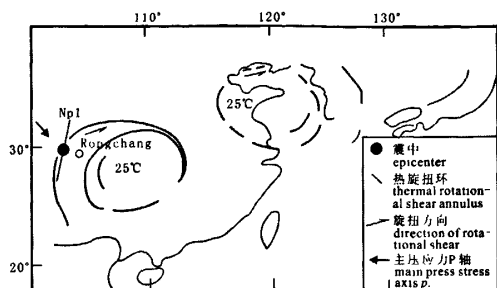


图6 四川荣昌双核热旋扭椭圆

Fig. 6 The binucleus-type rotation shear ellipse structure of Rongchang in Sichuan Province

陆板内地震根据强地震震中涡状展布、大型内陆盆地构造创新提出地幔涡旋对流、块体破裂网络动力学模型,揭示大陆板内构造运动复杂性的真面目(王绳祖, 1998, 2000)。

四川荣昌双核增温椭圆,区内温度 22~29℃。此椭圆覆盖着渤海、黄海、胶东一带属黄渤海盆地,可称之上涌椭圆。长轴NW向,长 600 km,短轴 500 km,四川荣昌双核热旋扭上涌和下曳椭圆乃是上地幔涡旋对流所致。结合应力热出现的位置,确定受力盘主动盘来判定荣昌断层东盘为主动运动块体(强祖基和姚清林, 2008)(见图 1 中的 11 号点)卫照 4; 图 6)。

这 2 个旋转构造联合起来为双核型旋扭构造(曾佐勋, 1990), 它的延伸方向为 SW, 其 SW 端前缘为荣昌 5.2 级地震的发震地点。四川荣昌双核旋扭椭圆西南前端位于兼有西部和东部旋扭特点 102°E 以西过渡带地区,深部构造背景属中国西部地区。

4 四川汶川椭圆

2008 年 5 月 12 日四川汶川 M8.0 级巨震都是发生在青藏高原范围内, 2008 年 3 月 17 日 20 时 0 分(世界时间)卫星热红外卫片(卫照 5)在 100°-113°E, 20°-32°N 范围内见到黄(18-21℃)绿色(14-18℃)NEE 向手镯增温椭圆环, 其南部 A 区出现自西向东由怒江、澜沧江、元江经南、北盘江到湖南沅水上游(26°N, 110°E)。往东北为 B 区洞庭湖孤立升温区黄色(18-21℃), 再往北 C 区长江汉水孤立升温区黄色(18-21℃), 回返西部是 D 区, 是四川盆地孤立升温区黄色(18-21℃)。整个长轴约 1000 km, 短轴约 700 km。增温面积约 70 万 km² 黄色(10-14℃)(卫照 7, 图 7)。推测三级四川一洞庭椭圆环内侧向左, 外侧向右的旋扭上涌运动,震中位于推进方向的前端,为地球动力学提供了地幔旋扭上涌的线索(Yao Qinglin and Qiang Zuji, 2009)。

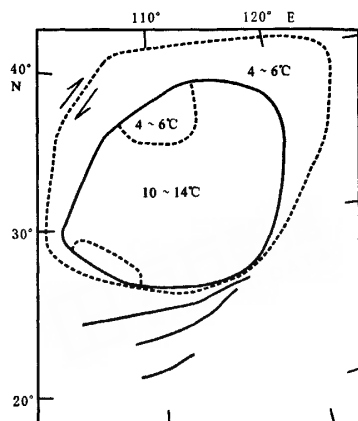


图7 四川一洞庭椭圆环(据 2008 03 17 2000(世界时))

Fig. 7 Wenchuan ellipse of Sichuan Province (after Image of March 17 2000 (GMT) 2008)

地表构造分析此次地震地表破裂长度 270 km, 走向 NNE, 为右滑逆冲断层。最大走滑-逆冲约 10 m, 震源深度地下 19 km(B.C.Burchfied et al., 2008)另据资料断面倾角 50°, 倾向 SSW。四川盆地下降 4 m, 重庆抬高(张培震, 2008)结合震源机制解中的主压应力方向和主破裂面展布和力学性质也可决定热旋面的相对扭动方向。汶川地震震源机制解为 P 轴 SEE116°倾角 7°, 破裂面走向 SW229°向 W 倾、倾角 43°, 破裂走向 NE。(陈运泰等, 2008), 汶川椭圆外旋力向右, 而内旋力向左(王绳祖, 1998)。卫星热红外云图升温演化图像显示受力盘为破裂的 SE 盘(强祖基和姚清林, 2008)。与震源机制解吻合, 通常解析这次地震是印度板块向 N 俯冲, 青藏块体受推挤向东挤压(B.C.Burchfied et al., 2008), GPS 资料支持这种看法青藏高原向东挤出, 它压到了龙门山断裂带上, 但是龙门山断裂每年平均位移量只有 1.5 mm/a 并不高(沈正康, 2008; 陈鑫连, 2008)。这些现象只是反映表层构造变形状况。来自地下深处壳幔热物质旋扭上涌的强大力量(费琦, 2009), 使得上覆岩块产生旋转力偶, 导致四川盆地(块体, 含龙门山断裂带 ES 盘)强烈向 W 向下俯冲, 是地震引起了断层活动, 产生了断层。这一切的一切是地震后产生的结果, 研究地震的结果怎么能预测地震? 根据这个结果会引来错误导向, 引导人们去研究龙门山断裂带内的变形测量, 地应力观测、各种地球物理、地球化学量的采集, 结果震前震兆什么也没抓到, 反而得出错误的结论。地震是不能预报的。想不到这样一个很浅显的问题长期阻碍了地震学、地震预测学的发展(傅承义, 1993)。

5 中国东部

中国东部可以分为东北亚板块、华北亚板块、南华亚板块(马杏垣, 1987)。从北向南叙述最早提出华北新构造活动具有引张(拉伸)构造现象是高明修(高明修, 1979; 马杏垣, 1987)。继而强祖基、张立人(Qiang Zuji et al., 1983)从断层活动及定量研究方面入手来研究华北活动断层。得出唐山地震水平与拉张垂直位移量之比为 2~2.8 的引张数据。

黑龙江亚板块(马杏垣, 1987)地壳活动相对比较微弱。

大兴安岭震源机制解, 主压应力方向为 $N45^{\circ}E$ (见图 1 中 12 号点)。

据 1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级地震Ⅷ度烈度展布(张肇诚、陈琪福, 2000)显示了 1 组 NNE 及 NNW 向的剪切破裂。NNE 向自山盖沟经震中张家坡到黄上沟, 长 22 km。NNW 向由单晶洞至小鸟土地沟, 长 16 km。得出主压应力方向为 $NEE(65^{\circ})$, 与震源机制解一致(见图 1 中 13 号点, 张肇诚、陈琪福, 2000)。

内蒙古包头出现了 X 形热剪应力场, 1996 年 5 月 1 日卫星热红外图像在我国北部内蒙古包头出现了 X 形热剪应力场, 剪应力带温度 $22\sim 25.5^{\circ}C$ 。一个应力热带为 $N45^{\circ}E$, 另一条平行于燕山山前带呈 EW 向, 从两条交汇点包头往东、东北延伸, 到达东经 120° 。共轭剪应力场的平分夹角的主压应力方向 P 轴为 $N65^{\circ}E$ (卫照 8, 图 13)(见图 1 中 14 号点)。

1975 年 2 月 4 日辽宁海城 7.3 级地震地表破裂, 主破裂面为 NNW, 走向 290° 。在基岩中最大水平错距为 55 cm, 断层长度为 70 km。海城地震地表破裂带小弧山段长约 5.5 km, 近 EW 方向延伸。a 段次级

剪切破裂走向 NEE, 切割震旦纪变质岩。b、c 段的破裂都出现在松散沉积物中, 呈透镜状张性破裂。整个破裂带为左行扭动。考虑到本区区域应力场特征, 认定其主压应力方向为 NEE(朱凤鸣等, 1982)(见图 1 中 15 号点)。

1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震, 地表破裂由 5 条主破裂带显示了巨大的水平位错。较大的裂缝带自北向南有: (1)胜利路—永红路裂缝带; (2)达谢庄子—十中裂缝带; (3)韩家后街—兴旺街裂缝带; (4)马家花园—针织库裂缝带; (5)礼尚庄—郑家庄裂缝带。这 5 个裂缝带绵延达 8 km。从地表破裂带的走向、张扭性质可得出主压应力方向为 NE(国家地震局编辑组, 1982)(见图 1 中 16 号点)。

1966 年 3 月 8 日, 3 月 22 日 $M6.8$ 和 7.2 级地震烈度展布显示 1 组 NNE、NNW 向共轭剪切样式。以 3 月 8 日 6.8 级地震为例(河北省地震局, 1988), 震中位于滏阳河畔梅庄与马栏之间, IX^+ 及 IX 度烈度区为 NE 延伸方向, 长约 30 km, 宽 12 km。Ⅷ度、Ⅶ度区从任县到百尺口, 长约 80 km, 延伸方向为 NE; 宽 68 km, 从固城镇到件只, 方向为 $NW(310^{\circ})$ 。这 2 组强烈度方向显示了共轭剪破裂, 判定 P 轴为 NEE 方向(见图 1 中 17 号点)。

菏泽震源机制解给出的主压应力方向为 $N70^{\circ}E$ (见图 1 中 18 号点, 中国震例(1976~1980)1990)。

从 1979 年 7 月 9 日江苏溧阳 6.0 级地震的烈度分布图, 可见到极震区Ⅷ度区长轴方向为 NW, 长 8 km; 短轴为 NE 方向, 长 6 km。震中位于上沛、庆丰一带。Ⅷ度区在南渡及上典仍有一小块。显示了 NW 及 SN 向延伸占优势, 初步判定 P 轴主压应力方向为 $NEE(60^{\circ})$ (见图 1 中 19 号点)。

九江地震热旋扭椭圆, 从 2005 年 11 月 16 日的卫星图像上可见, 中国大陆东部湖列系区从北面的河北白洋淀、山东微山湖、安徽巢湖、江苏洪泽湖、太湖和江西鄱阳湖, 这一系列湖泊全部位于九江垂涌右旋下洼区。它还包括华北平原全部、渤海、黄海及浙江一带。该区内由亮黄 $10^{\circ}C$ 、黄色 $14^{\circ}C$ 、浅棕色 $18^{\circ}C$ 条带构成。九江地震热旋扭椭圆的东南部旋扭面向 S 收敛, 而向 N 撒开, 外旋力向右, 而内旋力向左, 上涌旋转力带动“围岩”及上覆岩层扭转, 形成扭转力偶, 使应力产生垂平转换。(卫照 7; 图 9)。同时 $M5.7$ 地震震源机制解告诉我们, P 轴主压应力方向为 $230^{\circ}(SW)$, 主破裂面是 $50^{\circ}(Np1)$, 属张扭性质, 从环的东南部旋扭面结构面上, NNE、NNW 向的旋扭面往 S 收敛, 示内旋指向左, 旋扭面性质为

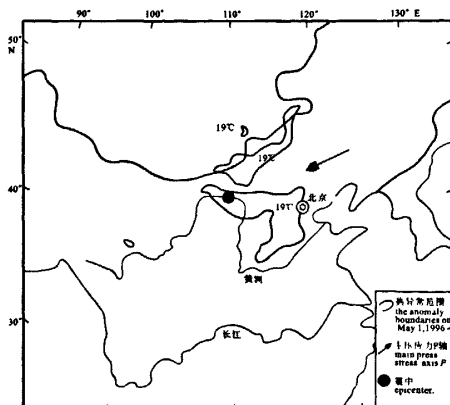


图 8 内蒙古包头 X 型热剪应力场
Fig. 8 The X thermal shear stress field of Baotou, Inner Mongolia

张扭性,判定为右旋上涌运动区(见图 1 中 20 号点,图 9)。(王绳祖, 1998)。

南黄海旋扭椭圆, 更有趣的是 1996 年 10 月 30 日诺阿卫星红外图像显示, 我国东南沿海各省(浙江、江西、福建、广东、台湾)、东海及南海有一长轴近 NE 向的椭圆增温区, 长轴长 1 100 km, NW 向短轴长约 700 km, 陆地上最高温度为 22~28℃。南黄海地震热旋转椭圆的东北部旋扭面向 W、SW 撒开, 而向 N 收敛, 外旋力向右, 而内旋力向左。破裂面为张扭性。震源机制解主压应力 P 轴方向为 275°(NNW), 张扭性破裂面走向 62.3°(Np1), 示破裂面与内旋面之间夹角顺时针方向为 $< 90^\circ$ 时, 旋扭面性质为张扭性。呈右旋上涌运动(卫照 8; 图 9, 见图 1 中 21 号点)。

长沙西沅江, 地应力测量主压应力方向为 275°(NNW)(见图 1 中 22a 点)。

福建宁德西, 地应力测量主压应力方向为 280°

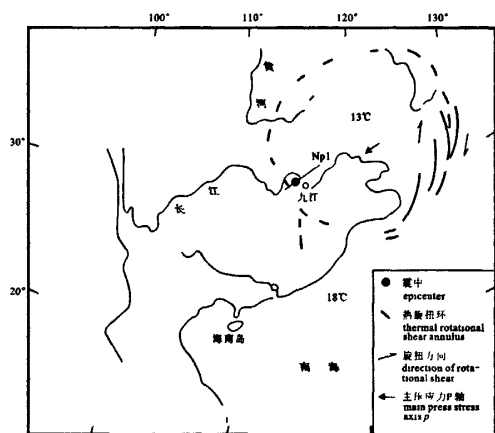


图 9 江西九江热旋扭椭圆
Fig. 9 The thermal rotation shear ellipse structure of Jiujiang, Jiangxi Province

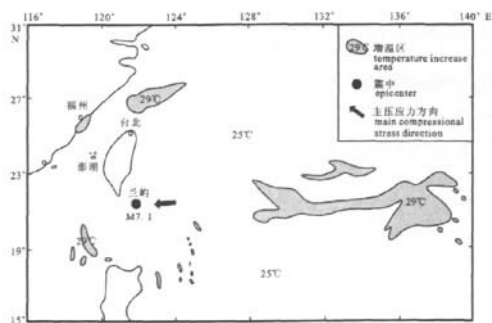


图 10 南黄海热旋扭椭圆
Fig. 10 The thermal rotation shear ellipse structure in Southern Huanghai sea

(NNW)(见图 1 中 22b 点)。山东半岛, 青岛北面, 地应力测量主压应力方向为 N80°E(见图 1 中 22c 点), 广东河源, 主压应力方向为 290°(NNW)(见图 1 中 22d 点)。

1982 年 2 月 25 日江西龙南发生 5.0 级地震。从广东省地震局冯绚敏等人调查, 得出地震烈度图上极震区位于南亨公社塘寮乡, 为 VI 度强。VI 度区近 EW 向, 长约 27 km; 短轴呈 SN 向。V 度线呈 NE 方向延伸。NE 以版石、安远为界, 向西南到达广东的连平、和平一带。长约 130 km, 宽 70 km。从等烈度线展布可以初步判定 2 个节面分别为 NNE 及近 EW 向。 P 主压应力轴为 SE 向(张肇诚, 2000)(见图 1 中 23 号点)。

花莲, 震源机制解主压应力方向为 350°(NNW)(见图 1 中 24a 点)。台南, 震源机制解主压应力方向为 280°(NNW)(见图 1 中 24b 点)。

1999 年台湾集集(南投)大地震的地表破裂特征。中国地质科学院王彦斌等调查了该地震破裂带, 其走向为 SN, 倾角 30°~50°, 倾向 E。垂直位错 2~3 m(南段)、3~8 m(北段)。断层左旋水平位错量为 0~3 m(南段)、3~5 m(北段)。断层水平缩短量在南段为 2~3 m, 北段为 3~6 m。从断层的位错情况认定其主压应力轴为 EW 向(王彦斌等, 2000)(见图 1 中 25 号点)。

兰屿山字型应力场, 1996 年 8 月 27 日 05:34(世界时), 卫星热红外增温图像显示, 在台湾岛四周出现增温, 尤其是台湾岛东侧太平洋海域升温更强烈。增温图像非常有趣, 仔细观察发现, 在台湾岛东侧太平洋海域 N18°~25°、E126°~131°范围内出现一不规则的近 EW 向山字型脊柱(红色, 27℃), 这一增温脊柱指向西面, 此山字型的北翼, 东海呈现 NE 向增温块, SW 延伸到大陆福州、莆田等地呈现 NNE 向小增温块, 再向南, 则转为 SE 向断断续续的增温小块(红色), 直到菲律宾吕宋岛北端, 这一奇特增温形态, 宛如著名科学家李四光教授所描述的大陆构造—山字型构造的再现。因此, 我们提出应力热线或叫应力热带、块等术语。空心圆为震中(卫照见强祖基等, 2001; 图 11)。根据其山字型的脊柱方向得出其主压应力轴为近 EW 向(见图 1 中 26 号点)。中国典型卫星热红外旋扭圆环如图 1 所示, 从西到东圈出了 7 个增温旋环, 分别为云南丽江环、新疆柯坪环、青海共和环、四川荣昌环、四川汶川环、江西九江环与南黄海环。其中位于中国大陆西部的新疆柯坪环(中国西北地区, 大致在塔里木盆地)、青海共和环(中国西北、北部地区, 蒙古南部)、

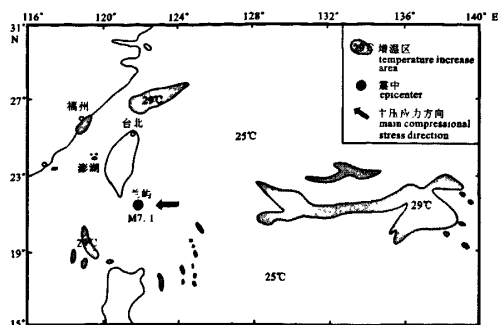


图 11 兰屿山字型应力热场

Fig. 11 The π type stress thermal field of Lanyu, Taiwan

四川荣昌环、云南丽江环; 四川汶川环在过渡带内, 可归属中国东部, 位于中国大陆东部的江西九江环(包括大陆东部, 以东的渤海、黄海, 朝鲜半岛中、南部等)与南黄海环(包括中国东南部分大陆与以东海域、台湾岛等)右旋(强祖基, 1990, 1995, 1998, 2001, 2008; Qiang Zuji et al., 1999; 梅世蓉, 1996)

这种旋转运动方式在中国东、西部的明显区别与地下 400 km 下深部构造迥然不同有直接的关系(刘福田等, 1989; 孙若昧等, 1991), 相同于中国地壳地幔涡旋东西部不同(王绳祖, 1998)。

中国东部处于西部印度板块向 NNE、NE 方向推挤和太平洋板块向 S 运移及向 W 俯冲的共同作用, 造成华北块体新新华夏体系的右旋扭动。由于菲律宾板块向 W、向 N 的俯冲, 造成中国大陆东南沿海以 NW 方向的挤压为主; 南海块体成 SN 向的拉张。

卫星热红外、地应力、地震地表破裂地质力学分析、地震烈度展布、震源机制解、地形变(GPS)等的最新研究表明, 印度板块上新世以来不断向 N 和 NNE 方向俯冲、挤压, 致使中国东部、鄂尔多斯块体以东地应力分布产生了方向性的根本改变。原来李四光根据堪察加、鄂霍次克海、萨哈林、日本海、朝鲜半岛、东海、山东半岛、华北平原、太行山等山脉(褶皱)与断裂左列展布, 提出了新华夏构造体系, 上述扭动构造属左旋扭动(Li Si-guang, 1929; 李四光, 1973)。西西伯利亚块体向南运动, 而太平洋块体向北运动。但是到了上新世末, 第四纪以来, 由于印度板块向 N、NNE 方向推挤, 太平洋板块向南移动, 向西俯冲, 在中国东部、华北大部的应力场则发生了彻底改变。形成右旋扭动的华北 NNE、NE 向构造。为了区别起见, 我们在此把它称之为新新华夏构造体系。

总之, 中国现今构造应力场, 既有水平应力场, 也有垂直应力场。

参考文献:

- 陈鑫连, 2008. GPS 技术与地震监测, 中国地震信息网。
 陈运泰, 许力生, 张用等 2008 初步研究及考查成果(一)—2008 年 5 月 12 日汶川特大地震震源性分析报告[R/OL]. [2008-05-27]http://www.csi.ac.cn/Sichuan/chenyuntai.pdf.
 池顺良, 骆鸣津, 2002. 海陆起源[M]. 地震出版社, 149.
 邓起东. 1984. 断层性状、盆地类型及其形成机制. 地震科学研究所[J]. (2): 57-64.
 杜乐天. 1998. 地幔流体与玄武岩及碱性岩浆成因. 地学前缘 5, (3): 145-157
 杜乐天. 2000. 地幔排气作用-建立整体地球科学的一条统纲, 地学前缘, 7 卷, 2 期。
 费琦. 2009. 壳幔物质流变的底辟作用孕育大地震—卫星重力资料的证据[J], 地学前缘. 16(3): 282-293.
 傅承义. 1993. 中国地震预报概论. 序. 1[M]. 北京: 地震出版社. 498.
 高名修. 1979. 华北块断构造区的现代引张应力场. 地震地质. 1(2): 1-12.
 国家地震局编辑组. 1982. 1976 年唐山地震[M]. 北京: 地震出版社. 458.
 河北省地震局. 1988. 一九六六年邢台地震[M]. 北京: 地震出版社. 307.
 李东旭. 2003. 旋扭构造动力学——理论、方法及应用[M]. 北京: 地质出版社. 259.
 李鉴扬, 崔永强, 秦俊霞, 戴想. 2008. 大陆层控构造与油气资源[J], 化工矿产地质. 30(2): 1-20.
 李四光. 1973. 地质力学概论[M]. 北京: 科学出版社. 171.
 刘福田, 曲克信, 吴华, 等. 1989. 中国大陆及其邻近地区的地震层析成像[J]. 地球物理学报, 32(3): 281-291.
 刘福田, 曲克信, 吴华, 等. 1989. 中国大陆及其邻近地区的地震层析成像[J]. 地球物理学报, 32(3): 281.
 刘国栋, 史中林, 王宝钧. 1984. 华北地区壳内高层及其与地壳构造活动的关系[J]. 中国科学(B 辑), (9): 839-848.
 马杏垣主编[M]. 1987. 1/400 万中国邻近海域岩石圈动力学图及说明书. 北京: 地质出版社. 76.
 马宗晋, 杜品仁. 1995. 现今地壳运动问题——地质力学的方法与实践. 第四篇(下)[M]. 北京: 地质出版社.
 梅世蓉, 宋治平, 薛艳丽. 1996. 中国巨大地震前地震活动环形分布图像与规律[J]. 地震学报 18(4): 413-419
 强祖基, 杜乐天. 地球排气与森林火灾和地震活动[J]. 地学前缘 2001. 8(2): 235-245.
 强祖基, 贺常恭, 李玲芝, 等. 1998. 卫星热红外图像亮温异常短临震兆[J]. 中国科学(D 辑), 28(6): 564-573.
 强祖基, 贺常恭, 赵勇, 等. 1995. 瞬时地壳运动与地震短临预报[J]. 地学前缘. 2(1—2): 213-215.
 强祖基, 姚清林, 魏乐军等. 2008. 震前卫星热红外环形应力场特征[J]. 地球学报. 卷 29, 4, 486-494
 强祖基. 1990. 卫星热红外异常——临震前兆[J]. 科学通报, 35(17): 1324-1327.
 孙若昧, 刘福田, 刘建华. 1991. 四川地区地震层析图像[J]. 地球物理学报. 34, 6: 708-716.
 孙若昧, 赵燕来, 梅世蓉. 1991. 渤海及其邻近地区地震层析图像[J]. 地球物理学报. 36, 1: 44-54.
 王绳祖, 李建国, 张宗淳. 2000. 地幔对流的实验研究: 非立柱

- 状幔柱和地幔涡旋[J]. 地震地质, 22(2): 155-166.
- 王绳祖. 1998. 亚洲中东部地幔涡旋对流与涡旋/网络大陆动力学模型[J]. 地震地质, 20(4): 379-390.
- 王彦斌, 王永. 2000. 1999年台湾集集大地震的地表破裂特征[J]. 地震地质, 22(2): 97-102.
- 西藏自治区科委, 国家地震局科技监测司. 1988. 西藏察隅当雄大地震[M]. 拉萨: 西藏人民出版社. 166.
- 徐常芳. 1996. 中国大陆地壳上地幔电性结构及地震分布规律(一)[J]. 地震学报, 18(2): 254-261.
- 许绍燮. 2006. 大尺度地层内的分层运动. 中国工程科学, 8(6): 14-22.
- 许绍燮. 2006. 地层大尺度运动的一次记录[J]. 国际地震动态, 8: 1-5.
- 云南省地震局滇西地震预报试验场. 1998. 1996年丽江地震[M]. 北京: 地震出版社. 188.
- 张肇诚, 陈琪福. 2000. 中国震例系列 1966-1975, 1976-1980, 1981-1985, 1989-1991, 1992-1994, 1995-1996, 1997-1999[M]. 地震出版社.
- 中国地震局监测预报司. 2002. 2001年昆仑山口西8.1级大地震[M]. 北京: 地震出版社. 129.
- 朱凤鸣, 吴戈. 1982. 1975年海城地震[M]. 北京: 地震出版社. 220.
- References:**
- B C Burchfiel, L H Royden, Van der Hilst, B H Hager, Z Chen, R W King, C Li, J Lu, H Yao, E Kirby. 2008. A geological and geophysical context for the Wenchuan earthquake of 12 May 2008, People's Republic of China[J]. GSA Today, 18(7).
- CHEN Xin-lian. 2008. Technique of GPS and Survey of earthquakes[OL]. China earthquake information NET.
- CHEN Yuntai, Xu Lisheng, ZHANG Yong et al 2008 Analysis of the source parameters of the great Wenchuan earthquake of May 12, 2008 [R/OL]. [2008-05-27]http://www.csi.ac.cn/Sichuan/chenyuntai.pdf.
- CHI Shun-liang, LU Ming-jing. 2002. Geneicis of continent and ocean[M]. Seismological Press 149(in Chinese).
- DENG Qi-dong. 1984. The type of faults and basins and its mechanic Study on Earthquake[J]. The study on Earthquake (2): 57-64.
- Department of Monitoring and Prediction, China Earthquake Administration, 1988. Chayu and Danxun great earthquake of Tibet[J]. Lasha, Tibet people publish house 1662(in Chinese).
- Department of Monitoring and Prediction, China Earthquake Administration. 2002. M8.1 Earthquake of 2001 in the Western part of Kunlunshan[M]. Beijing; Seismological Press 245 (in Chinese).
- DU Le-tian. 1998. The origin of Mantle fluid, basalt and magma[J]. Earth Science Frontiers. 5(3): 145-157(in Chinese).
- DU Le-tian. 2000. Outgassing of the earth is a key link of the framework of the whole earth science[J]. Earth Science Frontiers 7(2): (in Chinese).
- Earthquake forecasting test group of Earthquake Bureau in Yunnan Province, 1998. Lijiang Earthquake of 1996[J]. Beijing Seismological Press. (in Chinese).
- Editor group of State Earthquake Bureau. 1982. Tangshan Earthquake in 1976[M]. Seismological Press, Beijing 458 (in Chinese).
- FU Cheng-yi. 1993. China earthquake prediction generality, Foreword[J]. Seismological Press, Beijing, 498.(in Chinese).
- FI Qi. 2009. Major earthquakes by rheological diapirism of crust-mantle material—Evidence from satellite gravity data[J]. Earth Science Frontiers. (16)3: 282-293(in Chinese).
- Freund F. 2002. Charge generation and propagation in igneous rocks[J]. J. Geodyn, 33: 545-572.
- Freund F. et al. 2006. Stimulated infrared emission from rocks: assessing a stress indicator[E]. eEarth Discuss.
- GAO Ming-xiu. 1979. Current tensile stress field in the block-faulting tectonic areas of North China[J]. Seismology and Geology 1(2): 1-12(in Chinese).
- Gorny VI, Salman AG, Tronin AA, Shilin BB, 1988. The Earth outgoing IR radiation as an indicator of seismic activity. /Proceeding of the Academy of sciences of the USSR/, vol.301, N 1, 67-69. (in Russian).
- Hebei Seismological Bureau. 1988. Xingtai Earthquake in 1966[M]. Seismological Press, Beijing, 307(in Chinese).
- LI Si-guang. 1929. The tectonic patterns in East Asia and their significance to the continental movements. The geological magazine of Britain, 66 (782).
- LI Si-guang. 1973. The outline of geomechanics. Beijing Scientific Publishing House (in Chinese).
- LI Dong-xu. 2003. Dynamics of rotation-shear structures—Theory, method & application, Geological Publishing House Beijing 259 (in Chinese).
- LI Yang-jian, CUI Yong-qiang, LUAN Jun-xia, DAI Xiang. 2008. Continental layer—controlled tectonics and oil & gas resource [J]. Geology and chemical minerals. 30(2): 1-20(in Chinese).
- LIU Fu-tian, QU Ke-xin, LI Qiang. et al. 1989. Seismic Tomography of the Chinese continent and adjacent region[J]. Acta Geophysica Sinica. 32 (3): 281-291(in Chinese with English abstract).
- LIU Guo-dong. et al, 1984 The relation of the crustal conductive layer and activity of the crustal tectonic. Scientia Sinica “B”9, 839-848(in Chinese).
- MA Xing-yuan. 1987. Lithospheric dynamics map of China and adjacent seas. Scale 1:4000000, Geological Publishing House, Beijing(in Chinese).
- MA Zhong-jin, DU Pin-ren. 1995. The problems on recent crust movement—the Method and Practice of Geomechanics IV-2, Geological Publishing House, Beijing (in Chinese with English abstract).
- MEI Shi-rong. 1996. On the physical model of earthquake precursors fields and the mechanism of precursor's time-space distribution—origin and evidence of the strong body earthquake-generating model[A]. The selected papers of earthquake prediction in China, Dedicated to the 30th international geological congress, Seismological Press 21-34.
- MEI Shi-rong, SONG Zhi-ping, XU Yan-li. Patterns and Regularity of Ring Distribution of Seismic Activity Before Great Earthquakes Acta Seismologica Sinica 18(4): 413-419. (in Chinese).

- QIANG Zu-ji and ZHANG Li-ren. 1983. The divisions of Quaternary active faults and their seismicity of China, *Acta Geologica Sinica*, v. 57, n. 4, 358-368.
- QIANG Zu-ji, XU Xiu-deng and DIAN Chang-gong. 1991. Impending Earthquake Satellite Thermal Infrared and Ground Temperature Increase Anomalies[J]. *Chinese Science Bulletin*, 36(22): 1894-1900.
- QIANG Zu-ji, DIAN Chang-gong, LI Ling-zhi, et al. 1999. Satellite thermal infrared Brightness temperature anomaly image—short-term and impending earthquake precursors. *China Science* 28(3): 313-324.
- QIANG Zu-ji, DU Le-tian. Earth Degassing, Forest Fire and Seismic Activities. *Earth Science Frontiers*, 2001 8(2). pp235-245 (in Chinese).
- QIANG Z. 2006. Interactive comment on “Stimulated infrared emission from rocks: assessing a stress indicator by F.T.Freund eDiscussions.
- QIANG Z, ZHAO X, XIE H, ZENG Z. 2007. Satellite thermal infrared stress field and earthquake prediction in short-term and imminent S33B 1314 AGU Fall Meeting.
- QIANG Zu-ji, YAO Qin-lin, WEI Le-jun, et al. 2008. The annular stress thermal field of Satellite thermal Infrared prior-earthquakes *Acta Geoscientica Sinica* 29Vol.No.4 486-494. (in Chinese).
- QING Lin-yao, Zuji Qiang 2009 The elliptic stress thermal field prior to Ms 7.3 Yutain, and Ms 8.0 Wenchuan earthquakes in China in 2008[J]. *Nat. Hazards* Dot 10 1007/s 11069-009-9470-4 (in print)
- Salman A.Egan W G, Tronin AA, 1992. Infrared remote sensing of seismic disturbances. Polarization and remote sensing[R]; Proceedings of the Meeting, San Diego, CA, July 22, 23, 1992 (A93-30026 11-35), p. 205-218.
- SUN Ruo-mei, LIU Fu-tian, LIU Jian-hua. 1991 Seismic Tomography of Sichun[J]. *Acta Geophysica Sinica*. 34(6): 708-716 (in Chinese).
- SUN Ruo-mei, ZHAO Yan-lai, MEI Shi-rong. 1993. Seismic Tomographic Image in Bohai Sea and It's Adjacent area[J]. *Acta Geophysica Sinica*. 36(1) 44-54(in Chinese).
- Tapponnier P and P.Molnar, 1977. Active faults and tectonic in China[J]. *J.Geophys.Res*,82,20.
- Tapponnier P, Mercier J L, Armijo R, et al.1981. Field evidence for active normal faulting in Tibet[J]. *Nature*, 294(5840): 410-414.
- WANG Qi, Freymueller J, ZHANG Pei-zhen. 2001. Present-day crustal deformation in China constrained by Global Positioning System measurements[J]. *Science*. 294(5542): 574-577.
- WANG Sheng-zu. 1998. The continental geodynamic model of mantle vortex convection and “Vortex/Network” in the central and eastern Asia[J]. *Seismology and Geology*. 20(4): 379-390(in Chinese).
- WANG Sheng-zu, LI Jian-guo, ZHANG Zong-chun. 2000 Experimental study of mantle convection: Non-columnar plume and mantle vortex[J].*Seismology and Geology*. 22(2) 115-166.
- WANG Yan-Bin, WANG Yong. 2000. Characteristic of surface fracture of Qi-Qi great earthquake[J]. *Seismology and Geology*, 22(2): 97-102(in Chinese).
- WU LX, LIU SJ, WU YH, WANG CY. 2006. Precursors for rock fracturing and failure—Part II: IRR T-Curve abnormalities[J]. *Int J Rock Mech Mining Sci*, 43(3): 483-493.
- XU Chang-fan. 1996 The earthquake distribution and the Resistivity Structure in Chinese Mainland[J]. *Acta Seismologica Sinica* 18(2): 254-261.
- XU Shao-xie, WANG Chun-zhen. 2006. A Record of Movement of Large-scale Stratum[J]. *Recent Developments in World Seismology* 8(Serial No.332); 1-52(in Chinese)
- XU Shao-xie. 2006. Sub-layer Movement in the Large-scale Stratum[J]. *Engineering Science* 8(6): 14-22(in Chinese)
- ZHANG Zhao-chen, CHEN Qi-fu 2000. Earthquake's series in China, 1966-1975, 1976-1980, 1981-1985, 1989-1991, 1992-1994, 1995-1996, 1997-1999[M]. *Earthquake Press*. (in Chinese)
- ZHAO Wen-jin. 2001. INDEPTH Team, Deep Structure and Tectonics of the Himalays and Yaluzangbu Suture[M]. Beijing, Geological Publishing House
- ZHU Feng-ming, WU Ge. 1982. Hai-Cheng Earthquake in 1975[J]. Beijing; Seismological Press(in Chinese)
- Zoback M L. 1992. First and Second-order of stress in the lithosphere: the world stress map project[J]. *Tour, Geo-phys, Res.*, 11703-11738.

图版 I Plate I

1. 2008-03-07T06: 32, GMT. 绿、深绿 Green、dark green 0-4℃; 黄 Yellow 10-28℃; 棕色 brown 31-34℃; 粉、红色; pink、red 36-40℃。
2. 2001-10-27T10:32, BJ. 绿、深绿 Green、dark green 0-4℃; 黄 Yellow 10-28℃。
3. 1991-02-24T08:00, GMT. 左起始温度为 266k, 向东 1 格增加 1k; The most left one of the index shows the start temperature is 266K, and the temperature increase of each square pattern is 1℃ from to right.
4. 1997-08-12T02: 56, GMT. 黄色 Yellow 17℃; 黑棕色 dark brown; 22℃; 粉色 pink 25℃; 红色 red 29℃。
5. 2008-03-17T20: 00, GMT. 绿、深绿 Green、dark green 0-4℃; 黄 Yellow 10-28℃; 棕色 brown 31-34℃; 粉、红色; pink、red 36-40℃。
6. 1996-05-01T00:34, GMT. 浅棕色 light brown 14℃; 棕色 Brown 19℃;
7. 2005-11-14T00: 00, GMT. 亮黄 bright yellow 10℃; 黄色 yellow 14℃; 浅棕色 light brown 18℃
8. 1996-10-31T05: 42, GMT. 左边起始亮温为 275k, 向右 1 格增加 1k; The most left one of the index shows the start temperature is 275K, and the temperature increase of each square pattern is 1℃ from to right

