

亚洲大陆东部若干深部流动挤压带

张加桂

(国土资源部环境地质研究所 , 北京 , 100081)

摘 要 注重深部地质研究是国际地质研究的最新动向。本文提出了在亚洲大陆东部存在广泛的深部流动挤压作用 , 其中 6 个深部流动挤压带是深部流动挤压的骨干 , 它们是 : ①京津唐地区由 SE 向 NW 深部流动挤压带 ; ②赣榆-焦作由 E 向 W 深部流动挤压带 ; ③台湾-洞庭湖平原-四川盆地由 SE 向 NW 深部流动挤压带 ; ④西沙-海南-越南河内-云南大理由 SE 向 NW 深部流动挤压带 ; ⑤东朝鲜湾-中国东北由 E 向 W 深部流动挤压带 ; ⑥俄罗斯萨哈林-斯科沃罗丁诺-伊尔库茨克由 E 向 W 深部流动挤压带。指出它们由太平洋区地幔软流层向大陆内部流动挤压形成 , 力源主要为地球自转力产生的向西的动引力和重力均衡作用。它们对浅部构造、地貌、矿产资源和地震具有控制作用。深部流动挤压是具有全球性的 , 深部的构造运动比浅部构造运动强烈 , 有更广阔和深入的课题值得研究。

关键词 流动挤压 地幔 构造 地貌 亚洲

A Few Deep Flow and Thrust Zones in East Asian Continent

ZHANG Jiagui

(*Institute of Environmental Geology , MLR , Beijing , 100081*)

Abstract It is a new trend in international geoscience circles to pay attention to deep geology. On the basis of a comprehensive analysis of different types of geological data , especially geophysical data , it is held that there widely exists deep flow and thrust movement in East Asian continent , where 6 deep flow and thrust zones form the skeleton , which are ① the northwestward deep flow and thrust zone across the Beijing-Tianjin-Tangshan region , ② the westward deep flow and thrust zone across Ganyu and Jiaozuo , ③ the northwestward deep flow and thrust zone across Taiwan Dongtinghu plain and Sichuan basin , ④ the northwestward deep flow and thrust zone across Xisha Islands and Hainan of China , Hanoi of Vietnam and Dali in Yunnan Province of China , ⑤ the westward deep flow and thrust zone across East Korea Bay and northeast China , and ⑥ the westward deep flow and thrust zone across Russian Sakhalin Island , Skovorodino and Irkutsk. They have been formed by upper mantle flow and thrust under the West Pacific and by the westward dynamic gravitation from earth rotation and gravitational equilibrium of earth substance. The surface tectonics , topographic features , mineral resources and earthquakes are partly controlled by them. Deep flow and thrust bears globality , and the deep tectonic movement is stronger than the shallow one , thus deserving further deepgoing investigation.

Key words flow and thrust mantle tectonics geomorphology Asia

注重深部地质研究是国际地质研究的新动向 , 特别是重视对现有大量地球物理、地球化学资料的重新综合分析 , 建立新的模型(杨巍然等 , 1995)。亚洲大陆东部构造是大地构造的热点问题 , 目前正在进行的 IGCP430 项目便将该区作为主要研究对象。但由于问题的复杂性 , 许多方面有待深入探讨。亚洲东部新华夏构造体系 , 是基于扭动挤压作用下形成(李四光 , 1973) , 是二维平面地质分析 , 而且对于

3 个沉降带中的拉张性特征无法解释。板块构造所提出的弧后扩张理论解释了如日本海等边缘海的成因(Frank 等 , 1982) , 但对内陆盆地及板块内部地震却无法解释 , 而且深源地震的分布非常局限 , 将板块俯冲理论加以推广显得证据不足。滑线场理论试图解释欧亚板块内部的物质运移方式、构造格局和地貌型式等 , 目前对物质运移方式有 3 种不同认识 : 一是印度板块向北挤压 , 青藏高原内部的地壳块体以

刚体型式向东滑移,称之为地壳挤出模式(Molnar 等,1975);二是印度板块挤压,青藏高原内部的地壳增厚、地表 SN 向缩短,地壳向东滑移(Houseman 等,1981);三是印度板块下部地幔向北流动挤压,导致青藏高原下部地幔向东挤出,并带动地壳向东滑移(Peltzer 等,1988 ;Silver, 1991)这些认识的前提都是亚洲东部有自由的滑移空间,其实从重力均衡角度来说,东部重力异常高,物质应向西流动,不会给西部滑移提供自由空间。笔者认为,深部流动挤压是亚洲东部的主要构造作用,在亚洲东部广泛存在。在此提出的亚洲大陆东部 6 个深部流动挤压带,是深部流动挤压的骨干,是对全局起控制作用的主体。

1 深部流动挤压带的分布状况及特征

解释地貌、各种构造格局、新构造运动特别是地

震和火山活动,以及各种地球物理异常是大地构造理论的不可回避的目标。本文基于深部构造弯曲形态、浅部构造弯曲状况及其与深部构造的异同相关、上地幔的增厚和隆起状况、地貌的弯曲形态、地震震群及震害分布状况、火山分布状况、地应力状况和地形变状况来鉴定深部流动挤压带,将存在于亚洲大陆东部的 6 个深部流动挤压带分别介绍如下(图 1)。

1.1 京津唐地区由 SE 向 NW 深部流动挤压带

分析地震测深剖面(国家地震局《深部物探成果》编写组,1986 ;国家地震局科技监测司,1988 ;国家地震局《中国岩石圈动力学地图集》编委员,1989)后得出,京津唐地区切割 M 面和 C 面的 NE 向断裂均呈向 NW 的弯曲(张加桂,1992,1997)组合成一 NW 向深部断裂弯曲带,浅部断裂也有类似的弯曲形态,上地幔在横切该带的剖面上呈透镜状增厚。

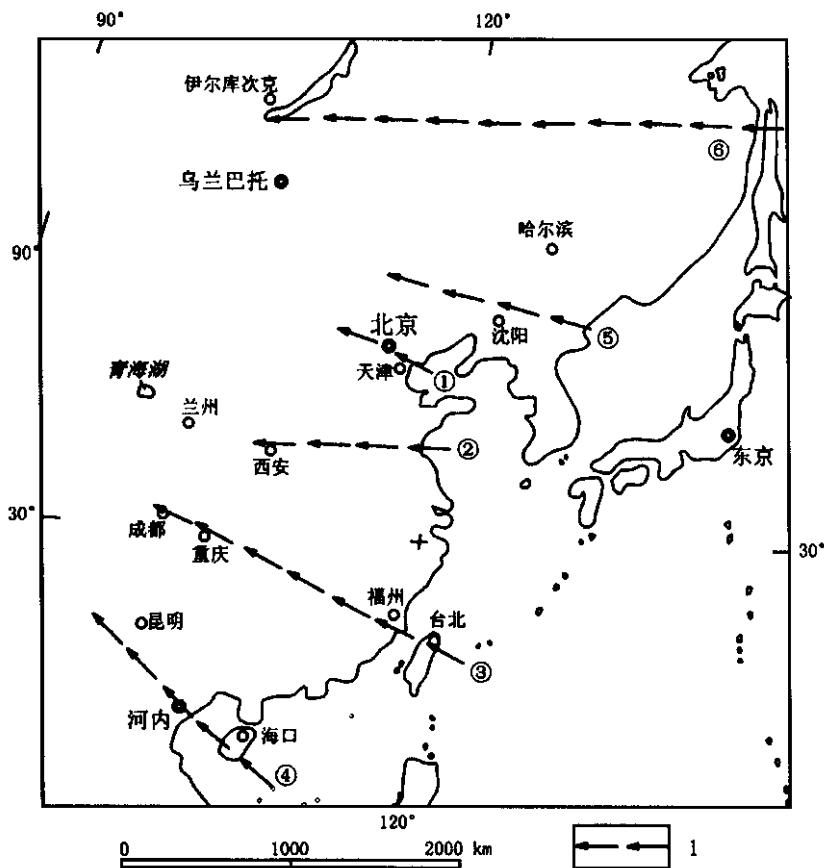


图 1 亚洲大陆东部深部流动挤压带分布格局图

Fig.1 Sketch map of the framework of deep flow and thrust zones in east Asia

1-深部流动挤压带轴线及挤压方向 ①-京津唐地区由 SE 向 NW 深部流动挤压带 ②-赣榆-焦作由 E 向 W 深部流动挤压带 ③-台湾-洞庭湖平原-四川盆地由 SE 向 NW 深部流动挤压带 ④-西沙-海南-越南河内-云南大理由 SE 向 NW 深部流动挤压带 ⑤-东朝鲜湾-俄罗斯北由 E 向 W 深部流动挤压带 ⑥-俄罗斯萨哈林-斯科沃罗丁诺-伊尔库茨克由 E 向 W 深部流动挤压带

由此推断,该带在上地幔深度存在一由 SE 向 NW 深部流动挤压带。带内现今应力呈 NW 向挤压,而外围地区的应力则表现为近 EW 向挤压。

1.2 赣榆-焦作由 E 向 W 深部流动挤压带

这一挤压带的轴线基本沿北纬 35° 线延伸(张加桂 2000)。深部的重要证据(国家地震局《深部物探成果》编写组,1986;国家地震局科技监测司,1988)是沂沭中生代裂谷下的深断裂通过该带时因受挤压向西倾斜,深部重力异常高,上地幔呈透镜状增厚。在浅部,沂沭断裂等一系列 NNE 向断裂通过该带时呈向 W 的弯曲或偏转,第四纪以来,沂沭断裂在该带受到强烈挤压而发生多次逆冲。应力测量和形变测量表明,在深部挤压带内,地表现今也存在由东向西的位移。

1.3 台湾-洞庭湖平原-四川盆地由 SE 向 NW 深部流动挤压带

台湾岛及附近海域深部流动挤压带轴线通过天祥-苗栗,呈 NWW 向延伸。深部表现为东海岸布格重力异常梯级带有一明显向 NW 的弯曲(地质矿产部《中国海区及邻域地质-地球物理系列图》编委会,1992)。浅部表现为 NNE 向断裂、新生代褶皱呈向 NW 的弯曲。地震震源深度位于 M 面和 C 面附近,震源机制解表明,轴线以南 P 轴方向多为 NW 向,以北多为 NE 向。在挤压轴北侧有基隆现代火山,南侧澎湖列岛为新生代玄武岩火山岛。1999 年 9 月 21 日 7.6 级大地震时,极震区北段地震断层呈面状分布,南段车笼埔断裂发生向 NW 的逆冲(王彦斌等 2000),说明向 NW 的深部流动挤压控制地震活动(Zhang Jiagui,1996)。

该带顺 NWW 方向经过福建泉州-漳州平原,延伸至鄱阳湖平原、洞庭湖平原和四川盆地。在强烈的深部流动挤压作用下,形成了 2 个陡变的 M 面梯级带,即福建沿海梯级带和武陵山梯级带(国家地震局《深部物探成果》编写组,1986;国家地震局科技监测司,1988)。在深部流动挤压作用下还形成了鄱阳湖平原和洞庭湖平原下部 2 个地幔隆起区。郯庐断裂和茅山东侧断裂等一系列 NNE 向断裂在流动挤压带中向西偏转、弯曲。福建省境内发育有大量的新生代玄武岩(β_6);江西省内发育有大量的新生代基性-超基性侵入岩体(σ_6),至现今仍活动强烈。1999 年台湾发生 7.6 级地震后,漳州地区发生一联

串的小震,说明流动挤压作用由 SE 向 NW 发展,带中现今构造应力场主压应力方向为 NWW 向。

1.4 中国西沙-海南-越南河内-中国云南大理由 SE 向 NW 深部流动挤压带

深部流动挤压带轴线通过中国西沙群岛中部,向西至海南岛南部、越南河内,沿红河至云南大理,总体呈 NW 向延伸,由于受来自印度洋的深部挤压影响(张加桂 2001),在云南变为 NNW 向。深部表现为密集的布格重力异常线在西沙群岛附近海域呈不规则状向 NW 弯曲,在越南河内呈规则状向 NW 弯曲(地质矿产部《中国海区及邻域地质-地球物理系列图》编委会,1992);晏贤富(1981)指出深部流动挤压带在云南沿带地壳变薄,等厚线呈向 NW 弯曲的形态。浅部构造反映明显,西沙群岛至海南岛间海域发育一系列 NNE 向线型盆地,盆地轴向呈向 NW 的弯曲(中国地质科学院地质力学所,1984);NE 向断裂在带中呈向 NW 的弯曲形态。带中有大规模晚第三纪和第四纪基性火山活动(β_6)。挤压作用现今仍有反应,应力测量表明(国家地震局《中国岩石圈动力学地图集》编委会,1989;地质矿产部《中国海区及邻域地质-地球物理系列图》编委会,1992),NW 向挤压应力为主导应力,震源机制解也显示挤压应力方向为 NW 向(国家地震局《中国地震区划图》编委会,1991)。1996 年云南丽江 7 级地震的发震断层、等震线和余震的分布范围亦均呈向 NW 的偏转(云南省地震局滇西地震预报实验场,1998)。

1.5 东朝鲜湾-中国东北由 E 向 W 深部流动挤压带

该流动挤压带是对应来自日本海宽阔流动挤压作用形成的一个带,全带涉及从东朝鲜湾至彼得大地湾以西广阔的范围,包括中国东北地区。可分为南、北 2 个亚带。

南亚带轴线由东朝鲜湾通过朝鲜咸兴、水丰至中国辽宁营口,呈近 EW 向展布。深部表现有布格重力异常线在东朝鲜湾呈向 W 的弯曲,在通过该带的深地震测深剖面上,下地壳和地幔增厚(国家地震局《中国岩石圈动力学地图集》编委会,1989)。在浅部,NE 向断裂呈向 W 的弯曲,沿带有新生代基性火山(β_6)活动。在卫星影像图上,沿带有 2 条大断裂影像,东部明显,向西至宽甸附近变为断续分布的

一组小断裂。深部挤压作用现今仍存在,东北地区的区域应力方向为近 EW 向(国家地震局《中国岩石圈动力学地图集》编委员,1989),1975 年海城 7.3 级地震的地裂缝、前震、余震均呈近 EW 向片状展布,而且余震主要呈片状分布在主震以西(朱凤鸣等,1982),说明挤压作用向西发展。

北亚带轴线通过彼得大地湾和长白山地区,表现为流动挤压带 NE 侧有大量断裂呈向西偏转形态,带中有大规模新生代基性火山活动(β_6)表明长白山受 NWW 向深断裂控制(李邦良,1992)。

1.6 俄罗斯萨哈林-斯科沃罗丁诺-伊尔库茨克由 E 向 W 深部流动挤压带

深部流动挤压带也是地震带(朱岳清等,1985;国家地震局地质研究所,1981)。该带轴线为“岩石圈活动接触带”(舒金等,1990),由于受北冰洋深部向南挤压的影响,在贝加尔湖地区转为 SW 向,带中 M 面隆起,上地幔软流层呈透镜状增厚;“西伯利亚地台与西伯利亚地台的边界缓慢地向西倾斜”;“在地幔中相对向西偏移 300~400 km”,NS 向重力异常在轴线附近中断。在萨哈林湾和乌第湾附近表现为朱格朱尔山脉和雅布洛诺夫山脉南段向西偏转,锡霍特山脉北段向西偏转,附近的断裂有向西的弧形弯曲(朱岳清等,1985;中国地质科学院,1975),贝加尔裂谷的南端表现为向西的偏转(杨巍然等,1995),裂谷及周围有大量的新生代玄武岩火山(β_6)。震源机制解揭示,主压应力方向为近 EW 向(舒金等,1990)。1995 年 5 月 27 日萨哈林岛 7.5 级地震位于挤压带中,地震时大量的树木被震断,树的倾倒方向指示地面由东向西运动,地震的余震首先在震中区附近,然后呈片状向西迁移,说明挤压作用由东向西发展。

2 深部流动挤压带的成因

这些带是由来自太平洋区上地幔的流动挤压作用产生的,力源主要由重力均衡作用和地球自转产生,并以后者为主。

2.1 重力均衡作用产生的流动挤压

近 30 a 的研究表明(周辉,2000),在漫长的地质时间尺度里,几乎所有地球物质的物理性质都表现为流变特性,固体与液体之间没有截然界限,特别是岩石圈地幔和下地壳,处于部分熔融的温度条件。

而具有全球性的岩石圈下软流层就更具活跃的流变性。

据此,从重力的角度讲,在有重力异常存在的地方就会受重力均衡作用而发生流变。西太平洋区为重力异常高值区(曾维鲁,1985;别洛乌索夫等,1983),上地幔强烈隆起,重力均衡作用会导致洋区地幔向大陆地区流动挤压。

2.2 地球自转产生的流动挤压

地球自转速度变化产生构造运动是地质力学的动力学基础(李四光,1973),这只是地球动力学的一个方面,另一方面是地球自转产生的动引力。两个相对静止的物体与两个相对运动的物体产生的引力是不同的,相对运动的物体之间会产生动引力。设地球处于静止状态,太阳绕地球旋转,太阳除了对地球产生向心引力外,还产生向西(即旋转方向)的引力。向西的动引力会导致洋区地幔强烈地向西侧大陆地区流动挤压,从而推动大陆区地幔由东向西流动。越向低纬度地区流动挤压作用越强(张加桂,2001),并出现流动挤压作用的相互叠加、穿插,从而使低纬度区的挤压方向变为 NW 向。

2.3 流动挤压作用的不均匀性

流动挤压作用在三维空间都是不均匀的。由于横向的不均匀性,流动挤压作用在某些纬度区增强,形成了 6 个深部流动挤压带。垂向的不均匀表现在上地幔软流层的流动挤压最强,本文所提的“深部”主要是指该层。纵向的不均匀表现在每隔一段距离,流动挤压就会在那里停滞、聚集扩散,并对地壳产生顶托、底劈作用,形成地表的边缘海、湖泊、沉降盆地和裂谷。

流动挤压作用在时间上也是不均匀的,主要发育于中生代晚期和新生代,从边缘海、岛弧、盆地和裂谷研究可知,其具有多期次特点。

3 深部流动挤压带的作用

3.1 对浅部构造的控制作用

深部挤压好似在木头中钉钉子,内部是挤压,周缘是张裂,而实际情况更复杂。深部流动挤压往往造成浅部垂直于挤压轴的平面拉张,形成张裂凹陷带或形成凹陷与凸起相间格局。深部挤压还造成浅部断裂弯曲或偏转,形成褶皱弯曲、紧闭。

3.2 对地貌的控制作用

深部流动挤压具有底劈作用,使地壳变薄,地形降低,其作用是不均匀的,在轴线附近最强,向两侧衰减,因此,会造成向挤压方向弯曲的地貌形态。在海岸地带则是海岸线向陆地的弯曲,6个流动挤压带均有海岸线弯曲形态,在挤压带与山脉的交汇处,会形成向挤压方向弯曲的拗陷地形。挤压带还控制河流的发育。

3.3 对矿产资源的控制作用

深部流动挤压带控制着各种矿产的形成和分布,也是地热异常带,带中地幔软流层热体的流动和流动产生的摩擦作用带来了大量的热能,是取之不尽用之不竭地热资源。带中有大量的高温热泉出露。局部为现代火山活动区,也是高温热泉出露区。

3.4 控震作用

地壳和上地幔中的不连续面会在深部流动挤压作用下发生剪切滑动而导致地震,特别是在界面有起伏的地带(图2)。为什么许多大地震均不见有大型地表发震断层,缘由于此。京津唐地区地震的震源和台湾及附近地震的震源大都成层分布在M面和C面附近,说明层间滑动的存在。

断裂会增加地震的强度。深部流动挤压作用造成通过深部流动挤压带的横向断裂发生弯曲,断裂的弯曲部位是应力易于集中的部位,而深部挤压作用又使弯曲断裂闭锁,致使应力可以高度集中,最后发生强烈地震。地震最强的部位位于区域应力方向与断裂间的剪切角较小的断裂弯曲段(图3)。

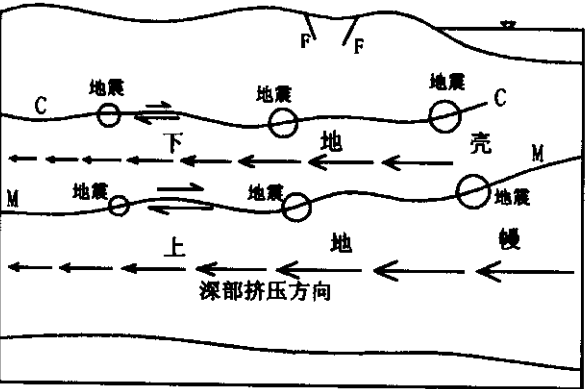


图2 挤压带深部层间滑动控震示意图

Fig.2 Schematic map of slip along deep discontinuation to control earthquake under deep flow and thrust zone
F-断裂 C-康氏面 M-莫氏面

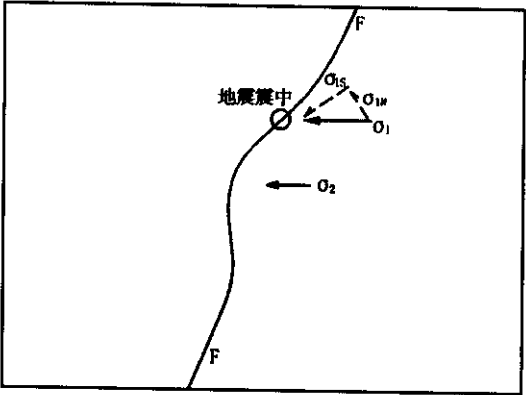


图3 深部流动挤压带地应力示意图

Fig.3 Schematic map of seismic stress along the deep flow and thrust zone
F-断裂 σ_1 -区域应力 σ_{1s} -剪应力分量;
 σ_{1H} -正压力分量 σ_2 -深部挤压应力

4 结论

(1)亚洲大陆东部存在着广泛的深部流动挤压作用,本文所述的6个深部流动挤压带是深部流动挤压的骨干。深部流动挤压的层位主要是上地幔软流层。深部流动挤压带在深部和浅部均有明显的反映,特别是具有明显的地球物理特征。

(2)深部流动挤压带由太平洋区地幔软流层向大陆内部流动挤压形成,力源主要来自地球自转产生的向西的动引力和重力均衡作用。

(3)深部流动挤压带对浅部构造、地貌、地热和地震等有强烈的控制作用。

(4)深部流动挤压带揭示了地球深部运动的一面,这种运动是具有全球性的,笔者认为深部的构造运动比浅部构造运动强烈,有更广阔和深入的课题值得研究。

致谢 部分国外资料由第30届国际地质大会上交换得到,在此表示感谢。

参考文献

别洛乌索夫 B B [苏]. 1983. 地球构造图. 北京: 地震出版社, 198~199 225 231.
地质矿产部《中国海区及邻域地质-地球物理系列图》编委会. 1992. 中国海区及邻域地质-地球物理系列图(1:5,000,000). 北京: 地质出版社.
国家地震局地质研究所. 1981. 亚欧地震构造图(1:8,000,000). 北京: 地图出版社.

国家地震局科技监测司. 1988. 中国大陆深部构造的研究与进展. 北京: 地质出版社, 48~60, 140~153, 169~179, 216~226.

国家地震局《深部物探成果》编写组. 1986. 中国地壳上地幔地球物理探测成果. 北京: 地震出版社, 52~124, 328~339, 343~345, 392.

国家地震局中国地震区划图编委会. 1991. 中国及邻区地震震源机制图及说明书. 北京: 地震出版社.

国家地震局《中国岩石圈动力学地图集》编委会. 1989. 中国岩石圈动力学地图集. 北京: 地图出版社, 61, 33, 34, 46, 65.

李邦良. 1992. 白头山区冰川地貌航空卫星照片解译. 地质论评, 38(5): 431~438.

李四光. 1973. 地质力学概论. 北京: 科学出版社, 36~53, 154~158.

舒金, Ю. К. [苏], 谢莫夫 B. H. 1990. 苏联弱震区深部结构. 北京: 地震出版社, 54, 78~79, 106~109, 124, 170.

王彦斌, 王永, 李建成等. 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.

杨巍然, 孙继源, 纪克诚等. 1995. 大陆裂谷对比——汾渭裂谷与贝加尔裂谷例析. 武汉: 中国地质大学出版社, 2~3, 52, 62, 73~77, 111~113.

晏贤富. 1981. 云南及邻区的深部地质构造. 地质学报, 55(1): 20~28.

云南省地震局滇西地震预报实验场. 1998. 一九九六年丽江地震. 北京: 地震出版社, 9, 18, 67.

曾维鲁. 1985. GEM10B 地球模型全球自由空气重力异常场及勒让德函数计算的研究. 地球物理学报, 28(6): 599~607.

张加桂. 1992. 环渤海地区地应力场及其动力源探讨. 第四届全国工程地质大会论文选集. 北京: 海洋出版社, 54~58.

张加桂. 1997. 京津唐地区深部挤压带特征及其与地震的关系. 中国区域地质, 16(2): 188~192.

张加桂. 2000. 赣榆-焦作由东向西深部流动挤压带. 地球学报, 21(4): 345~349.

张加桂. 2001. 从深部流动挤压格局分析西部的区域地壳稳定性. 成都理工大学学报, 28(增刊): 195~199.

中国地质科学院. 1975. 亚洲地质图(1:5,000,000). 北京: 地图出版社.

中国地质科学院地质力学研究所. 1984. 中华人民共和国及其毗邻海区构造体系图(1:2,500,000). 北京: 地图出版社.

周辉. 2000. 大陆岩石圈流变动力学研究进展. 地学前缘, 7(增刊): 121~127.

朱凤鸣, 吴戈, 钟以章. 1982. 一九七五年海城地震. 北京: 地震出版社, 9~19, 118~129.

朱岳清, 邢如英. 1985. 亚欧大陆地震活动的空间谱分析. 地球物理学报, 28(1): 40~52.

Frank Press, Raymond Siever. 1982. Earth. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 443~445.

Houseman G. A., McKenzie D. P., Molnar P. 1981. Convective instability of a thickened boundary layer and its relevance for the thermal evolution of continental convergent belts. J. Geophys. Res., 86: 6115~6132.

Molnar P., Tapponnier P. 1975. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. Science, 189: 419~426.

Peltzer G., Tapponnier P. 1988. Formation and evolution of strike-slip faults, rifts, and basins during the India-Asia collision: an experimental approach. J. Geophys. Res., 93: 15085~15117.

Silver P. G., Chan W. W. 1991. Shear wave splitting and subcontinental mantle deformation. J. Geophys. Res., 96: 16429~16454.

Zhang Jiagui. 1996. Model of earthquake-pregnancy controlled by the deep thrusting under continental rift. In: Abstract of 30th IGC, 3(3): 179.