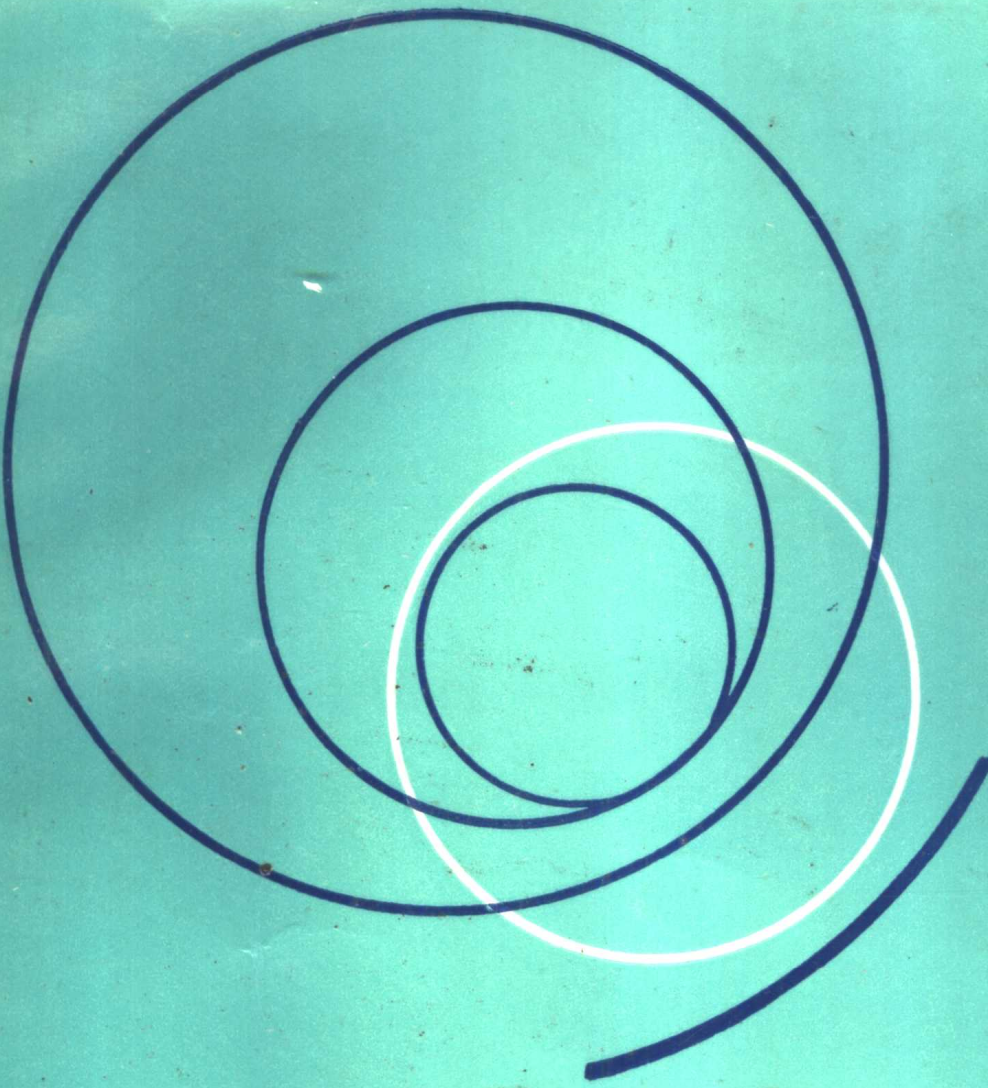




中国及其邻区构造 应力场

胡凤珍 陈彭年 高莉青等 编译

地震出版社

中国及其邻区构造应力场

胡凤珍 陈彭年 高莉青 等 编译

地震出版社

1994

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

本书汇集了近几年来有关研究我国及其邻区构造应力场的文章。收集了我国周边国家板块运动、震源机制解等方面的资料。从而从较大范围客观地反映中国大陆构造应力场特征,以便与小范围内获得的地应力实测资料进行对比。主要内容有构造应力场与其研究现状;构造应力场与地震;应力状态与地震地质构造的关系等。

本书可供地质、水电工程、煤炭、石油等部门研究人员和有关大专院校的师生参考。

中国及其邻区构造应力场

胡凤珍 陈彭年 高莉青 等 编译

责任编辑:吴 冰 胡凤珍

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

航空工业出版社印刷厂印刷

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 10.5印张 269千字

1994年1月第一版 1994年1月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1014-5/P·622

(1407) 定价: 11.50 元

序

构造应力场是地学研究中的重要内容，是地球动力学研究中的重要课题，是探讨和认识构造运动根本原因的主要途径。因而，构造应力场的研究越来越得到世界地学界的重视，并成为当前地球科学前沿研究课题之一。同时，构造应力场与人类生存环境和国民经济建设息息相关，在石油及其他资源的勘探与开发，交通、水电工程和矿山建设，地震预测与预防，环境保护和减轻地质灾害，以至废料处理、干热岩取能等方面，都得到广泛的应用，并且益显示其重要性。因此，世界各国都非常重视各自本土区域构造应力场的研究，并取得很大进展，获得不少新资料、新认识。在此基础上，国际岩石圈计划也将世界应力图的编制列为重要研究课题，而且目前已取得有价值的结果，对全球应力场已有了概括认识。

构造应力场研究中最关键问题，也是最重要的基础，就是取得各地区各地点的实地应力状态资料，包括应力方向和大小。只有取得越来越丰富的准确资料，才能通过数理模拟、理论分析等手段，得到全球和区域构造应力场的全面而本质的认识。当前，取得现代构造应力场实际资料的方法主要是：地震震源机制分析、水压致裂测量，钻孔崩落观测、套芯法测量和断裂统计分析及其运动矢量的反演等。

近年来，我国利用上述各种方法已取得大量而丰富的实际资料，在构造应力场研究方面也取得长足的进步，相继发表不少有关的论文和专著，从不同角度、不同侧面探讨了我国构造应力场特征。当然，为了更全面、更深刻研究这一问题，还必须从全球、从大区域来分析研究我国构造应力场特征。本文集即是最近发表的有关我国及其邻区构造应力场的论文，择其部分翻译汇编而成。这些文章包括了上述各种方法新取得的实际资料，这是很宝贵的，尽管这

些文章的观点不一定完全正确，它们之间也不一定一致，但这些实际材料可作为我们分析和研究我国构造应力场的重要参考。我想这本译文集的出版将会对我国构造应力场的研究起一定的推动和促进作用。

刘尧新

1993.7

目 录

构造应力场与其研究现状

中国及其邻区的构造应力场 (综述)	陈彭年 高莉青 (3)
日本列岛的应力场	桥本学 (19)
天山与帕米尔地区的应力状态	В.Н.Крестников (26)
水压致裂应力测量和日本关东—东海地区	
构造应力场	Hioaki Tsukahara et al. (51)
根据遥感获得的近畿西北部的区域应力场	向山广等 (56)
根据断层擦痕反推日本 South Fossa Magna	
西部主应力轴	T.Fukuchi (65)
日本列岛应力场的模拟	吉岗祥一 (68)

构造应力与地震活动

根据震源机制分析台湾地区的应力张量	Y.H.Yeh et al. (77)
中国四川鲜水河断裂带的现今应力场模型	Fronk Roth (87)
达尔瓦兹—卡拉库姆深大断裂带北缘地壳应力状态的	
复原与地震活动性的关系	Т.П.Белоусов и др. (98)
缅甸—安达曼—尼科巴弧区的地震活动和	
构造应力场	B.K.Rajendran et al. (104)
1983 年乌取地震序列及与其相关的构造应力场	R.Nishida (111)

应力状态与地震地质构造

岩石圈的应力状态 —— 预测地质—地球物理过程	
的原始特征	С.И.Щерман (129)
贝加尔裂谷带的断层和构造应力	S.I.Sherman (136)
中亚地壳的地震构造变形和应力状态	С.Л.Юнга (145)
印度东北部的微震活动与构造	J.R.Kayal, R.De (154)

构造应力场与其研究现状

中国及其邻区的构造应力场 (综述)

陈彭年 高莉青

一、引言

构造应力场在一个很大的范围内有区域上的一致性。美国的东部、中部地区, 加拿大的大部分地区, 大西洋西部盆地, 在 $2 \times 10^7 \text{km}^2$ (约占世界陆地面积的 $1/8$) 的广大地区内, 构造应力场的方向是一致的。在东亚地区的日本列岛、朝鲜半岛和中国的大陆地区, 构造应力场也有类似的特征。构造应力场的方向在如此广大的区域内存在着一致性表明, 驱动板块运动的边界作用力控制着板块内部应力的分布, 也就是说, 来自板块间相对运动的构造力可以传递到大陆地壳, 从而形成了大陆内部的构造应力场。

二、板块运动与构造应力场

太平洋板块、菲律宾海板块和印度板块分别位于中国大陆地区的东部、东南部和西南部。这些大板块之间的相对运动控制了中国大陆地区的应力场。

M.L.佐巴克等人已初步编绘出“世界应力图”的轮廓图。从轮廓图中可以看出, 美国中部、东部地区的最大水平主应力方向与北美板块的运动方向是一致的。在亚洲, 中国大陆地区的最大水平主应力方向也与其周围各个板块之间的运动方向一致。

1. 中国西部、西南部及其邻区的板块运动与构造应力场

Minster 等人对印度和欧亚板块之间的相对运动进行的推算表明: 在缅甸地区为北北东-南南西向, 速度约 6cm/a ; 在喜马拉雅山前为南北向, 速度约 5cm/a ; 在吉尔伯特-苏莱曼山前为北北西-南南东向, 速度约 4cm/a (图 1)。

由于印度和欧亚板块之间正在进行着大陆碰撞, 喜马拉雅及其邻区的活断层就是全新世地壳运动的直接证据。下面依据卫星影像、航空照片的详细解释和野外调查结果, 讨论由于印度板块在欧亚板块的弧形边界上倾斜会聚而产生的区域应力场的性质。

(1) 喜马拉雅山前

由于印度板块与欧亚板块在喜马拉雅山区碰撞, 形成的数种独特的构造形迹, 有些与活断层活动密切相关。主边界断层和主中央断层是主要的构造形迹, 人们早已将它们视为沿喜马拉雅整体长度上新生代缩短作用的关键构造单元。上述两个主断层构成亚喜马拉雅、小喜马拉雅和大喜马拉雅之间的山岳形边界。根据晚第四纪的构造活动性, 可以将印度和欧亚板块的现行边界划在喜马拉雅山前。在最近冰期形成的河流阶地广泛分布, 保存完好。沿东喜马拉雅大吉岭山麓分布的活断层形迹出现约 $20-30 \text{m}$ 的垂直错位。每条断层平均滑动速率为 1.5mm/a 左右。由横跨喜马拉雅山前的活断层活动推断出累计滑动速率为 5mm/a 。在尼泊尔东部喜马拉雅带, 几条走向与喜马拉雅山前斜交的不连续断层上

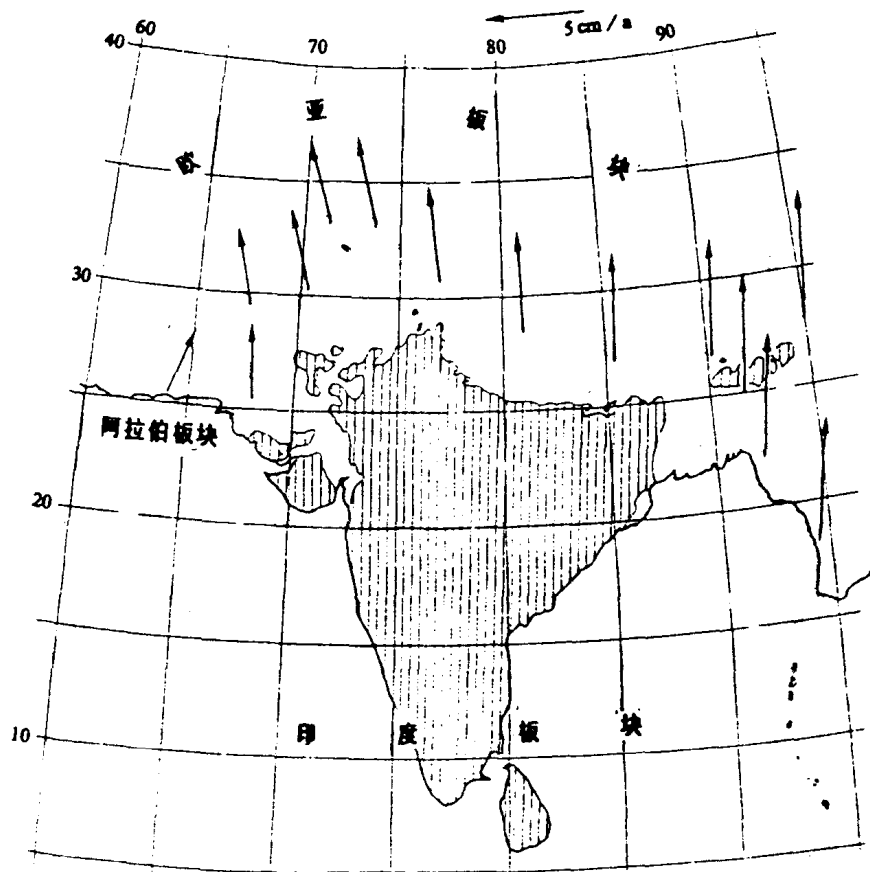


图1 印度和欧亚板块之间的相对运动

箭头指向表示 Minster 等人推算的喜马拉雅碰撞带上各点相对运动的方向

见到走滑式位移；北西-南东向构造形迹上见到右旋位移；而在北东-南西向构造形迹上则见到左旋位移。

(2) 喜马拉雅山脉

在尼泊尔，活断层主要是沿主中央逆断层及伯里河断层那样的主断层的一定部位重新活动。喀喇昆仑山断层的南延部分，印度河-雅鲁藏布江缝合带自晚侏罗世以来右旋错位已超过 20km (图 2)。几条走滑型活断层呈右旋雁列式排列，向北西-南东方向延伸，并与喜马拉雅山前斜交。沿这些断层，河流和山脊的右旋水平断错处处可见。在拉达克，一条平行于喀喇昆仑山断层的活断层也有右旋错动的迹象。在克什米尔，一条北西-南东向的活断层可能是逆断层，卫星影像解释出此断层使卡雷瓦阶地朝东北方向错位。在中国西藏南部，喀喇昆仑山断层东部及其南延地区，南北向正断层较为密集。

(3) 巴基斯坦

在具有中强地震活动性的巴基斯坦北部地区，虽然像主边界断层那样的主构造随处可见，但确认的活断层很少。在主边界断层的西延地区，东西走向的倾滑断层使靠近巴基斯坦的冲积扇发生错位。在奎达横推断层带和苏莱曼构造弧地区，不同走向的倾滑型断层极为普遍，西部的活断层走向一般为东西向。杰曼断层是一条很早就已确定的横推活断层，是构造板块的缝合线。沿断层有完好的左旋滑动地形证据。杰曼断层南段在最近的洪积

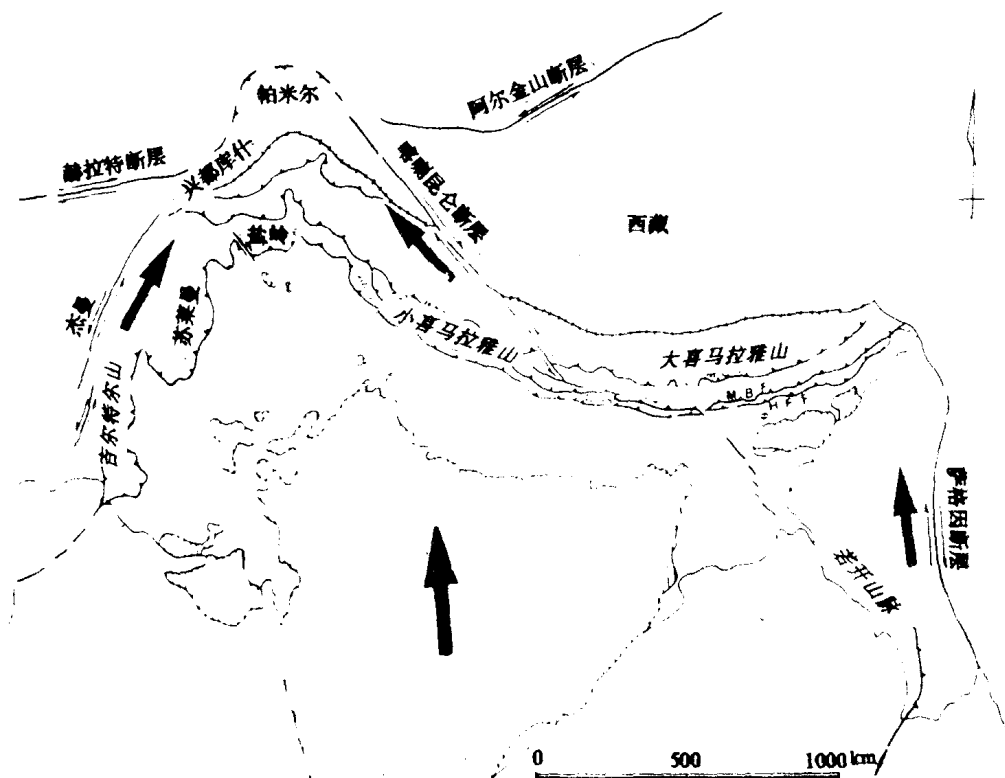


图2 喜马拉雅及其邻区构造略图

期出现的阶地上升的水平断错为 60m,据此推算出两条平行断层形迹之一的滑动速率为 $4-6\text{mm/a}$ 。这样我们就可以假定在杰曼断层的另一侧滑动速率达 10mm/a 左右。这一横推断层伴有左旋位移产生的总体滑动速率约 15mm/a 。在奎达南部北北东-南南西走向的活断层到处都可见到左旋走滑位移。

(4) 碰撞边界上的应力轨迹

依据活断层的类型和走向可以确定最大水平缩短方向或最大水平主应力方向。由于挤压形成的交叉剪切破裂之间的角度,一般为 60° 左右。剪切破裂与最大主应力轴之间的角度约为 30° ; 通常用这一角度作为依据,确定走滑断层的平均应力方向,就倾滑断层而言,最大水平缩短或水平挤压轴方向垂直于逆断层的走向,而平行于正断层的走向。

为了确定碰撞边界上区域应力场的特征,我们在推测活断层最大主应力轴的方向时需

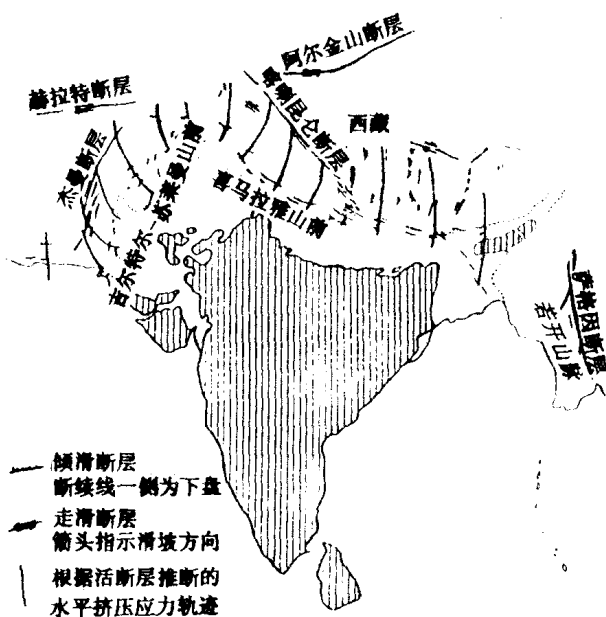


图3 据活断层推断出的碰撞带上的应力轨迹

要考虑剪切破裂的角度 (图 3)。在东喜马拉雅, 东西向断层主要为活动性逆冲断层, 而南北向的断层则以正断层活动为主, 据此推测该区应力轴方向为南北向。

在盐岭附近, 根据北东东-南西西向盐岭山前由北向南的逆冲作用和博德瓦尔高原西南侧北北西-南南东走向的活断层形迹的右旋错动, 推测应力轴方向为北北西-南南东向 (图 3)。在杰曼和奥尔纳杰-纳尔断层和奎达的轴心带南部, 其他活断层上左旋走滑范围内应力轴方向为北北西-南南东向。但是苏莱曼弧形构造和吉尔特尔-苏莱曼山前活断层

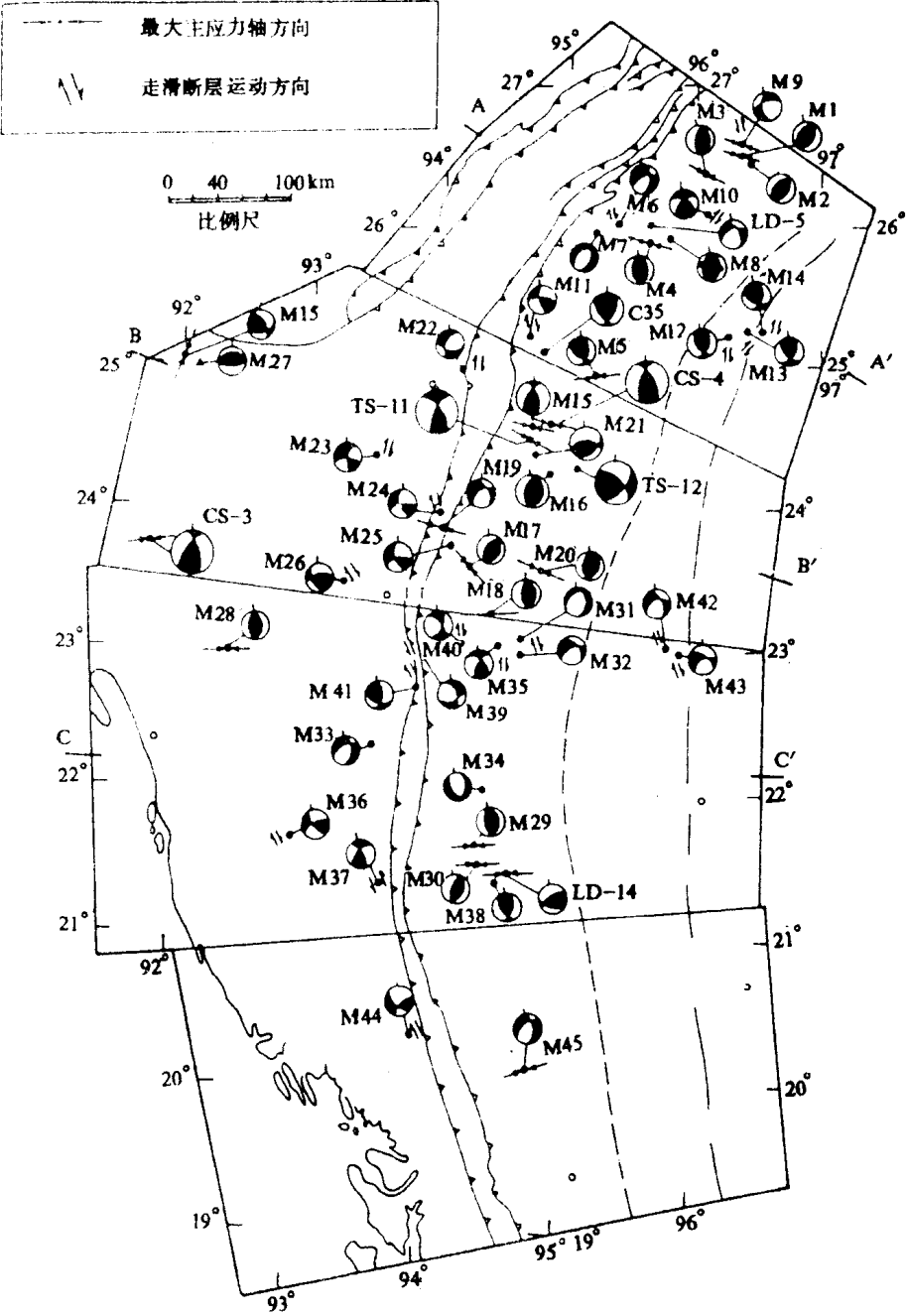


图 4 缅甸弧和孟加拉盆地的震源机制解
图中 C-35, LD-5, M1—M45 均为震源机制解编号

活动的方向和方式显示出,最大主应力轴的方向是逐渐向东转动的,形成北西-南东向。

沿缅甸弧和孟加拉盆地的断层作用和应力图像可以用震源机制解阐明。图4表明,在缅甸弧南部最大主应力为东西向,在缅甸弧北部,最大主应力方向变为北西-南东,这些断层面解表明,印度板块相对于缅甸弧作右旋运动。这说明印度板块正向北运动。

2. 中国东部及其邻区的板块运动与构造应力场

(1) 台湾地区的构造模式

中国台湾省东部是菲律宾海板块和欧亚板块相碰撞的边界地区。台湾岛处在琉球-台湾-吕宋-菲律宾岛弧系的特殊位置上。从琉球弧和台湾岛之间的接合处到吕宋海沟北部地区是菲律宾海板块边界最复杂的部分。琉球和吕宋相邻地区的构造可根据岩石圈消减作用来解释。

从台湾岛南端的台东到花莲是台湾地区最重要的构造线。该构造线长150km,宽5—7km。纵谷东侧,狭长的山岭平行于该构造线。其两侧是高大的中央山脉,它平行于纵谷,纵贯全岛。海岸地区是第三纪中新统以来的压缩岛弧系。与大陆架的碰撞发生在晚上新世。海岸山岭与中央山脉之间的边界纵谷是在菲律宾海板块和欧亚板块之间形成的弧陆碰撞缝合线。台湾岛位于两个相反的消减弧和以碰撞为特征的两个板块之间。Wu和Lin等(1978)提出了台湾岛构造模式(图5)。

(2) 台湾地区的应变场

台湾纵谷压应变场是由于菲律宾海板块和欧亚板块相碰撞产生的。台湾东部的张应变场与板块边界的弯曲有关。利用三角测量可以获得台湾主应变场资料。

1917至1921年,该区建立一等三角测网。1976至1979年又建立重复三角测网。根据这些观测结果,可以获得过去几十年长期水平应变情况。图6示出台湾岛长期水平应变的测量结果。台湾东部应变分布的最显著的特点是,纵谷两个端点的应变图像与纵谷中部显著不同。纵谷中部是压应变,且应变速率大;而它的两端是张应变,且应变速率小。这一结果与震源机制得出的图像是一致的。纵谷中部发生的地震属逆断层型的,并带有左旋分量;在台湾东北部发生的地震,两个震源机制解是正断层型的,显示出东西向的张应变。纵谷的应变速率是 $2.1 \times 10^{-6}/a$,这比其他地区要大。纵谷最大压应变的方向是 $N40^\circ W$,与纵谷走向成 60° 交角。海岸地区的运动相对于板块边界有左旋分量,菲律宾海板块和欧亚板块成斜交碰撞。

台湾西部三角测量资料很少。但可根据地震和地质的数据获得应力和应变场的信息。W.Kosnga等人使用水准资料、三角测量和P波初动资料,研究了Hsinchn-Taichung地震($M=7.1$),发现主断层运动方向与菲律宾海板块会聚方向一致。Angelier等(1986)根

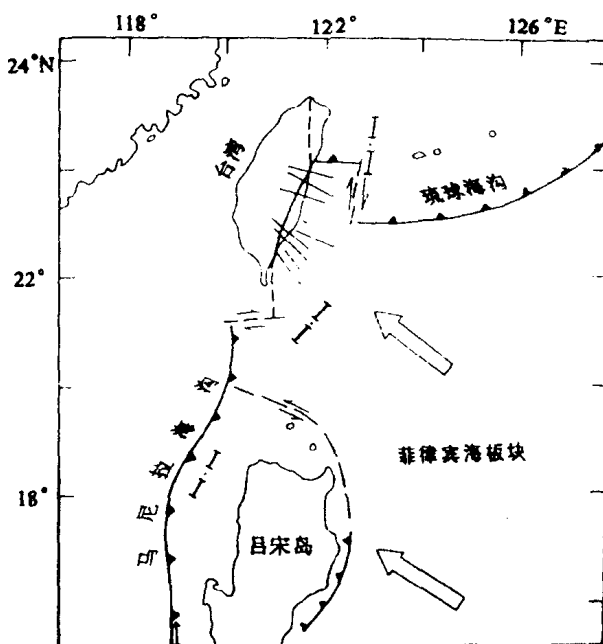


图5 台湾地区的构造模式 (Lin 等, 1981)

据台湾西部断层作用和褶皱作用得出压应力的方向为北西西-南东东。这一结果表明,台湾西部的应力场主要受菲律宾海板块运动的影响。

3. 中国东部及其邻区的板块运动与构造应力场

中国东部邻区——日本列岛及其周围地区是四个板块的交汇处。Nakamura (1983) 根据对地形凹陷和日本海深海盆地东侧较小浅谷的观测,研究了欧亚板块和北美板块的会聚边界,他提出年轻的日本海岩石圈刚刚开始向日本东北部下面俯冲的观点。Seno (1985b) 研究了北海道地区第四纪地壳运动,研究表明,北美—欧亚板块边界从北海道中部到日本海东部边缘的转移在中更新世以前就已经完成,沿着这个会聚边界发生的地震都与东西向挤压应力有关。沿日本海东部边缘和大深沟地区则在同一方向发生了地壳的缩短。他认为,这两个板块相对运动速度为 1.0cm/a , 运动方向为东西向。

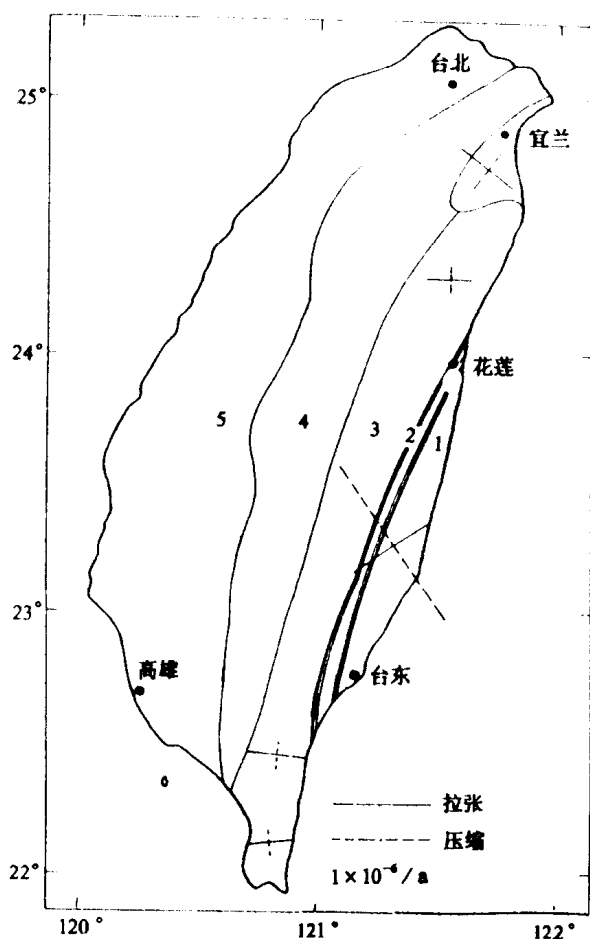


图6 台湾地区水平应变图像

1983年5月26日,沿日本海东侧发生了7.7级大震,它的发生促使地震工作者开始探讨日本海东部边缘的构造问题。大的板内地震发生之前,内陆周围地区地震活动加强。1983年日本海东部边缘最大地震发生之前,其周围地区已出现震群活动。这些现象表明,地震之间存在密切关系,这同样也为本州地区地震应力通过地壳进行传递提供了证据。此外,欧亚板块和北美板块之间的相对运动也影响了日本西南地区的构造应力场。

Huzita (1980) 根据地质和地球物理资料分析了本州岛的构造,在西南日本外带,即中央构造线南侧,存在着一个受菲律宾板块俯冲影响的北西-南东向的压应力场。沿中央构造线的西半部,产生了右旋走滑断层运动。由于这一右旋走滑断层的作用,菲律宾板块对中央构造线北部(内带)的影响减弱了,在那里,东西向的水平压应力占主导地位 (Huzita 等, 1973)。

Hashimoto (1982) 应用有限元法计算了日本西南部的三维应力场,结果表明,菲律宾海板块消减作用没有影响到内

带地壳的应力场。Huzita (1980) 的研究表明,由于太平洋板块俯冲作用引起的水平方向的压性构造应力是通过日本东北部的东部边缘相对刚性的块体传递到日本海边缘褶皱带的,这种构造应力通过大深沟地区北部进一步传送到西南日本内带,在西南日本内带存在着许多在挤压应力场作用下的活动断层系。沿这些活断层的近代倾滑运动主要分布在中部和近畿北部地区及中国东部地区,它们是在东西向挤压应力场作用下发生的。几乎是东西

向的挤压应力轴分布在从内带穿越朝鲜半岛地区而到达中国内陆的广大地区。这种分布意味着在东部大陆相当广泛地区的应力场与这种应力传递机制有关。

Huzita 和 Oike (1981) 利用有关地震活动性的历史资料探讨了从日本东北部经过大深沟地区北部到日本西南部内带, 在过去 1400 年所发生的大地震的相关性表明, 从太平洋板块消减带沿日本东北部通过大深沟地区北部向西南日本内带存在着构造应力的传递。

(1) 日本内陆及其周围地区地震分布和构造应力场之间的关系

震级大于或等于 7 级的大地震是沿着主要活动构造线和构造格架分布的, 正如图 7 中所示, 几乎所有大地震都是沿着活动断裂带发生的。这一事实表明, 图 7 中所示出的活断层分布与过去几个世纪曾经引起强震的构造应力场有密切关系。

根据最近 20 年所进行的微震观测, 可以确定活动断层, 沿着这些活动断层, 地震活动性明显增高。根据微震的分布, 可发现有三条明显的活动断裂带, 其中的两条与近期灾难性的余震区一致。另一活动带沿山崎断层, 这表明该断层系现今还有明显活动。上述两条带组成一个走滑运动的共轭组合, 它们中的一条带的近期运动表现为右旋水平滑动, 而另一条带显示为左旋滑动, 这一组合表明, 挤压轴几乎呈东西向。

图 8 示出日本东北部的东带 (太平洋边缘) 和西带 (日本海边缘)、日本西南部的南带 (菲律宾海边缘) 和北带 (日本海边缘) 历史大震的轮廓, 并且显示出在上述各个地区中每 50 年期间所发生的大震。从图 8 中可以发现, 四个地区中的前三个地区之间的地震活动是相关的, 日本西南部内带在 9、17 和 19 至 20 世纪为地震活跃期。

沿南海拗陷若干大于或等于 8 级大震的发生和其他地区的地震活动性没有关系, 它们对北带的地震活动没有直接影响。这一特点与 Huzita (1980) 根据第四纪构造分析获得的结果是一致的。

从日本海东侧到大深沟北部整个地区, 地震发生具有同时性的特征。日本海东部边缘 38°N 以北地区, 大震后, 大深沟地区的地震活动就活跃起来, 大约每 20 年可以观测到相同的现象。

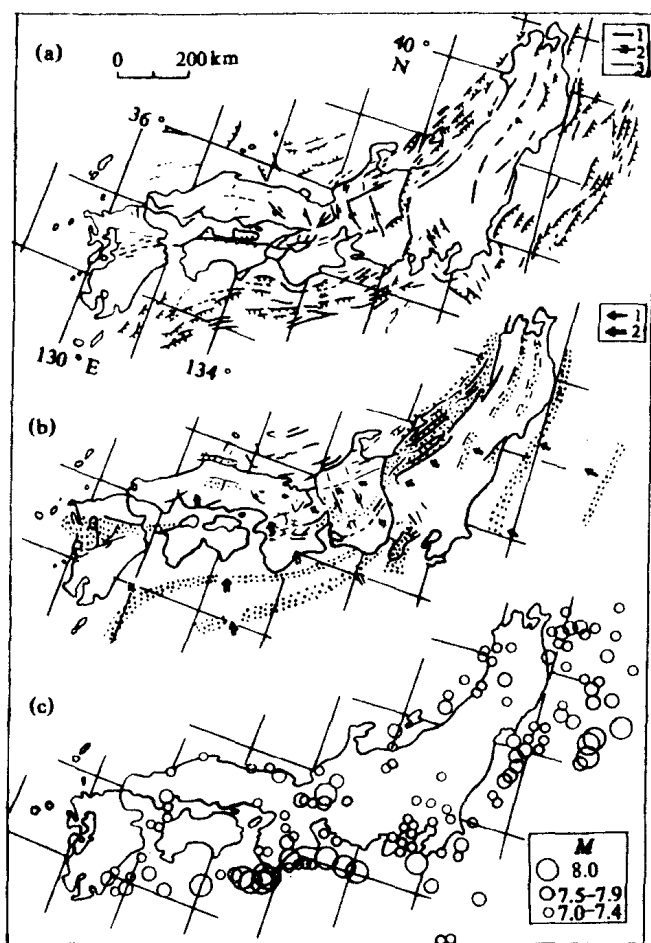


图 7 活动构造与大地震分布

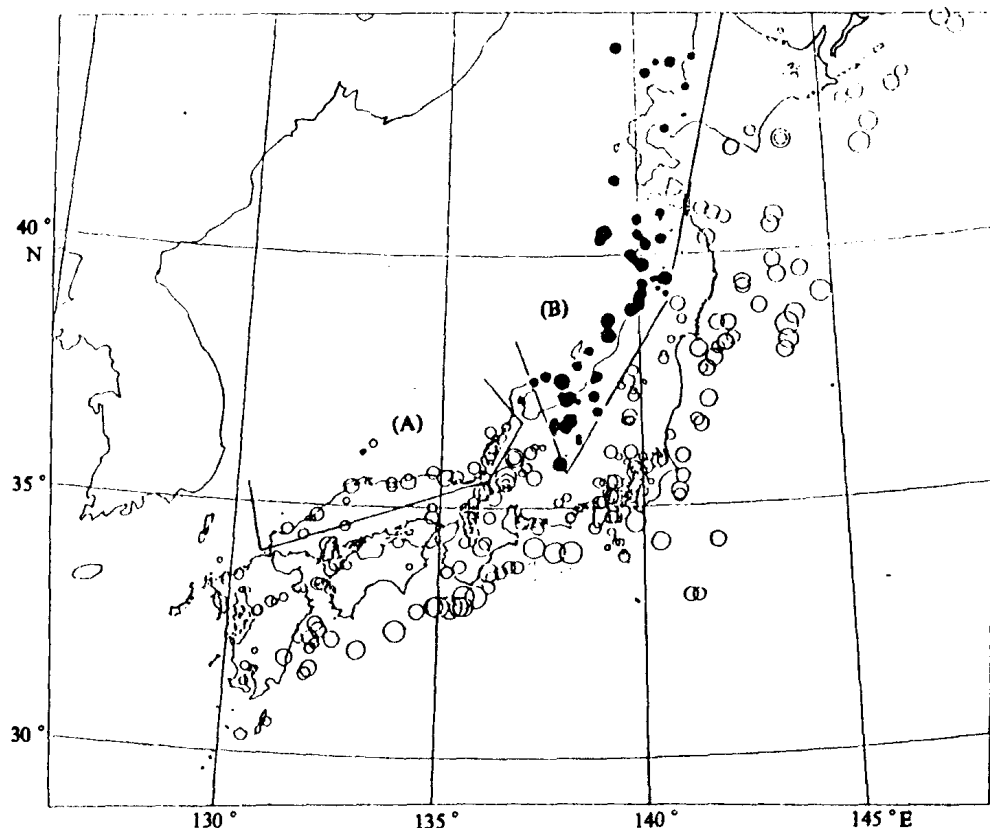


图8 日本四个地区每50年中所发生的最大地震
实心圆(B区)与空心圆(A区)均表示地震。A区与B区的地震活动无相关性

1964年沿着日本海东侧发生了两次大地震，一次是1964年5月7日发生在西部青森县以外的6.9级地震；另一次是1964年6月10日发生的新潟7.5级地震。大约一年后，在大深沟北部发生了松代地震群。这一震群中主要地震的压力轴方向呈东西向(Clikawa, 1977)。这些事实表明，该震群发生在地壳上部的东西向挤压应力场里。这样的应力场是由于日本东北部向西运动产生的压力效应所形成的。大深沟北部被认为是从本州东北块体向西南块体应力传递的连结部(Huzita和Oike, 1981)，浅源地震同时发生的现象，意味着日本东北部地壳块体受其西部边缘活动构造带的支撑作用。日本海东侧大地震释放的能量，引起大深沟地区北部应力增强。

(2) 日本西南部内带压力轴的方向

在日本西南部内带的宽阔范围内，从震源机制获得的压力轴方向基本为东西向。这一方向与由地质和地貌资料分析得到的第四纪构造特征相一致(Huzita, 1980)。

在外带，主要地震活动发生在菲律宾海板块下插到上地幔的块体上，压力轴的方向为北西-南东向。这主要受到欧亚板块和菲律宾海板块相对运动的影响。在邻近中央构造带南侧的和歌山及四国地区，浅源地震占优势，浅源地震的压力轴为东西向，这意味着该区的应力场受到同内带一样的力传递的影响。图9示出日本本州地区的构造特征。对图9中

压力轴的方向一种可能的解释如下:

1) 日本西南部(内带东端)向菲律宾海板块运动的前锋在猿投和伊那地区, 由于沿着中央构造带东端的逆断层作用, 因而有大的垂直位移, 垂直位移的产生是由于菲律宾海板块俯冲作用派生的南东-北西方向挤压应力所造成的 (Huzita, 1980).

2) 在飞弹及其周围地区有两种应力被传递, 一种是来自日本北部地壳块体, 穿过大深沟地区北部; 另一种来自菲律宾板块, 穿过中央构造线东端与南海海沟平行.

3) 本区南东-北西向压应力的存在为各种各样的证据所证实. 证据之一是, 这里过去60多年由三角测量资料得出, 在御前崎周围存在一很强的南东-北西向的压应力场 (Mogi, 1970).

4) 在飞弹地区, 从东传来的力比较强, 这是由于日本西南部和北部在大深沟北部地区相碰撞的结果. 因此, 菲律宾海板块的消减所产生的力导致了压应力轴向南东东-北西西方向轻微旋转.

5) 在日本中部北侧的日本海地区, 来自东方的力是由日本海和日本东北块体之间相对运动所形成的. 所以从南部地区穿透过来的力变得突出了, 引起了这里的压力轴向南东-北西方向作很大的旋转.

6) 从东西部穿透到内带的这个应力系统的西部边界是根尾谷断层, 1981年8.4级大地震在那里引起很大的左旋滑动. 在日本中部地区压力轴从东向南旋转意味着, 现在仍然有一个很强的压应力从东南地区传递过来.

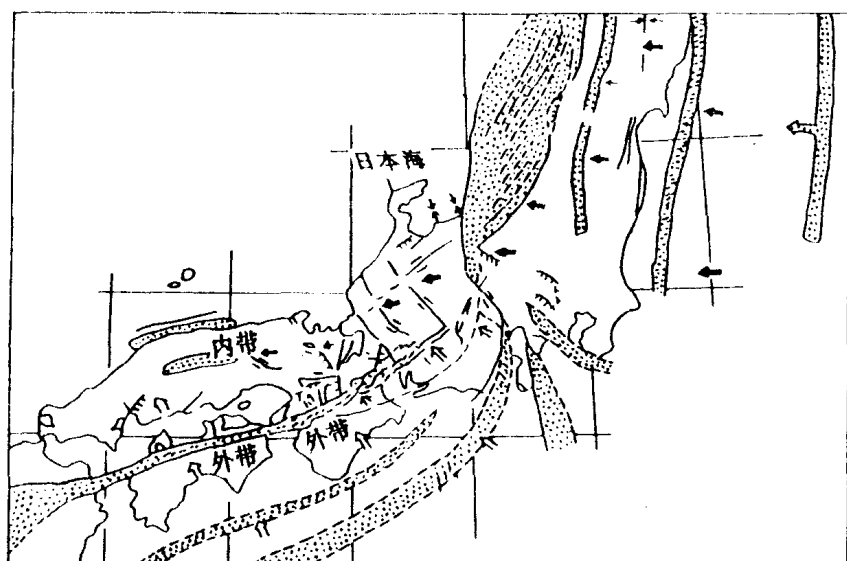


图9 本州地区构造特征

图中粗黑箭头表示太平洋板块运动方向, 空心箭头表示菲律宾海板块运动方向

总之, 日本本州岛由两个大的地壳块体构成: 一是日本东北部地块, 另一是日本西南部地块, 这两个地块的结合部在大深沟的北部, 横穿本州岛中部地区. 据此认为, 引发西南日本内带浅源地震的地壳中的构造应力是通过这个结合部从日本东北部传递过来的. 由于这种构造力的传递, 在日本内带的地震活动, 显示出一些重要特征, 即与日本东北部主要的地震活动存在着密切的关系. 特别是沿着日本海东部边缘发生的大震提供了这方面的