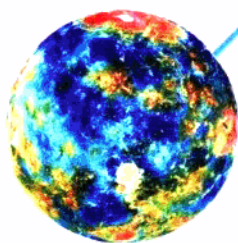
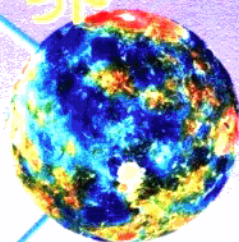
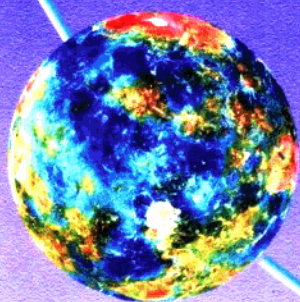
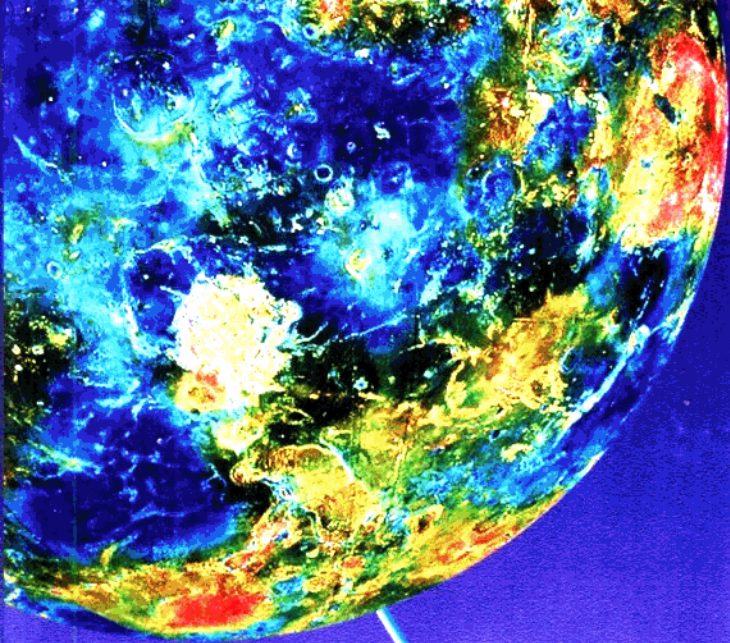


云南地球物理文集(三)

云南地球物理学会编

主编 谢应齐



云南大学出版社

普度廣地球物理
事業振興雲南
科學技術

牛紹堯

二〇〇二年九月

發展地球物理事業
為西部大開發作貢獻

雲南地球物理文集

劉光耀



前 言

人类已跨入了一个新世纪。地球物理工作者肩负着“既要加强理论研究又要密切联系资源、环境、工程等，发展应用理论与技术，将科技转变为生产力”的重任。

1992年，受中国地球物理学会委托，云南省地球物理学会承担了在昆明举行第八届全国学术年会的任务。为了向国内地球物理同行们介绍云南地球物理工作的进展，为了使地球物理学家们注目和理解云南这片地学研究的热土，促进云南地球物理工作的加速发展。我们曾编辑出版了《云南地球物理文集》，它的出版受到了专家同行的好评和广大学会会员的欢迎。《文集》出版后五年的1997年，正是中国地球物理学会成立五十周年和云南地球物理学会成立十周年，为了庆祝，理事会又决定编辑出版《云南地球物理文集（二）》，其目的是为了“记载学会、宣传社会、动员会员和地球物理工作者积极投入学科发展，服务两个文明建设。”在这本文集中集中反映了地球物理科学技术为云南经济建设服务所获得的成果。同时，学会理事会还作出决议：在每届理事会任期内，正式编辑出版一册《云南地球物理文集》。

今年，又逢中国地球物理学会第十七届学术年会再次在春城昆明召开，以及云南省地球物理学会召开第四次代表大会。通过切磋交流学术思想与科研成果，必将对21世纪中国地球物理事业的发展产生极大的促进作用，为我国经济社会的可持续发展作出新的更大的贡献。为了再次向全国的地球物理同行们展示近五年来的工作，我们编辑出版了《云南地球物理文集（三）》。这本文集中收录的是学会五年来学术活动与为云南经济建设服务工作取得成果的一个缩影。

本文集收录的40多篇论文、涉及固体地球物理、工程地球物理、资源地球物理、环境灾害及天地交叉等方面的学术研究与科技应用成果。

云南省常务副省长牛绍尧，中国地球物理学会理事长刘光鼎院士应邀为本文集题词，这对云南省的地球物理工作者是极大的鼓励。我们一定要认真学习、贯彻江泽民总书记在中国科协六大上的重要讲话精神，肩负起新时代赋予地球物理工作者的重要使命，团结学会全体会员，深化改革，开拓创新，克服困难，奋勇前进，在经济建设的洪流中，为地球物理学科的进步，为国民经济的蓬勃发展作出新的贡献。

谢应齐

2001年8月

目 录

康滇菱形断块的总体特点与块边内外的构造运动	阙荣举 (1)
The Total Characteristics and Tectonic Movement Inside and Outside for Rhombic Block at Western Sichuan and Yunnan Area	KAN Rongju (1)
西南地区多层次动力过程与强震活动研究	王绍晋 龙晓帆等 (4)
The Study of the Multi - levels of Geodynamics and Strong Earthquake Activity in Southwest China	WANG Shaojin LONG Xiaofan et al. (4)
澜沧耿马 7.6、7.2 级、孟连 7.3 级和丽江 7.0 级地震中短期前兆异常的时空演化特征	王晋南 杨桂芬等 (13)
Time - Space Evolution of Medium - Short Precursory Anomaly Characteristics on Lancang - Gengma M7.6 and M7.2, Menglian M7.3 and Lijiang M7.0 Earthquakes	WANG Jinnan YANG Guifen et al. (13)
施甸地震强震观测记录及其初步分析	赵永庆 崔建文等 (22)
The Strong Earthquake Observation Records of the Shidian Earthquake and Their Preliminary Analysis	ZHAO Yongqing CUI Jianwen et al. (22)
遮放—宾川岩石圈剖面三维应力状态的有限元数值模拟计算	谢 阳 黄雅 (28)
Numerical Simulation with Finite Element of the Three - dimension Stress in Zhefang - Binchuan Lithosphere	XIE Yang HUANG Yong (28)
施甸地震前环境剪应力场动态变化与中短期预测	王绍晋 黄毓珍 (35)
Dynamic Chang of Ambient Shear Stress Field Before Shidian Earthquake and Medium and Short - term prediction	WANG Shaojin HUANG Yuzhen (35)
The Focal Rupture Process and Disaster Distribution of Lijiang Earthquake	ZHANG Jianguo ZHONG Shuodong (41)
丽江地震灾害分布与震源破裂过程	张建国 钟朔冬 (41)
潮汐应力对地震的触发作用研究进展	吴小平 黄 雅等 (45)
The Progress in Studying of Earthquake Triggering Effect of Tidal Stress	WU Xiaoping HUANG Yong et al. (45)
小湾水电站物探工作回顾	王宗兰 (51)
Retrospect of Geophysical Exploration Work in Xiaowan Hydropower Project	WANG Zonglan (51)
地面电阻率勘探反演方法初步研究	毛先进 鲍光淑 (55)
The primary Research on Resistivity Tomography with Data Observed on the Ground	MAO Xianjin BAO Guangshu (55)
高密度电法勘探及工程应用	杨润海 赵晋明等 (60)
High Density Exploration of Electric Method and Case Studies	YANG Runhai ZHAO Jinming (60)

大理—保山高速公路工程地质与桥梁、隧道设计施工	孙英勤 李志厚等 (65)
Engineering geology and design and construction of the bridges and tunnels on the Dali—Baoshan expressway	SUN Yingxun LI Zhihou et al. (65)
滇西红层的工程地质特征及工程对策——以大保公路为例	刘汝明 孙英勤等 (71)
The Engineering Geological Characteristic and the Countermeasure to " Dianxi red rock"	LIU Ruming SUN Yingxun et al (71)
地质雷达在公路路基片石及碎石层厚度探测中的应用效果	高才坤 翟联超 (79)
The effect of GPR detect the thickness of block and broken stone in road bed	GAO Caikun ZHAI Lianchao (79)
探地雷达反射子波识别	陆超 (85)
The Identification of Ground Penetrating Radar Wavelet	LU Chao (85)
直流激电测深探测岩溶地下水信息分析	王小晶 (90)
Information analysis for the DC IP sounding to prospect karst groundwater	WANG Xiaojing (90)
浅层地震反射波法在南昆线小得江滑坡体勘查中的应用	王时平 戴国强 (97)
Application of shallow seismic reflection wave method to exploring Xiao De Jiang landslide of Nan-ning - Kunming railway	WANG Shiping DAI Guoqiang (97)
云南矿产资源评价物探方法应用及主要成果	王宝禄 李丽辉 (100)
Geophysics Method Application to Yunnan Mineral Resources Evaluation and Its Main Achievements	WANG Baolu LI Lihui (100)
攀西裂谷带向南延伸问题的探讨	王宝禄 李丽辉 (106)
Discussion of Panxi Rift Zone's Southward Extending	WANG Baolu LI Lihui (106)
综合电法在富源铅锌矿的应用	王鸿武 鹿金贺等 (111)
The Application of the IP and Excitation - at - the - Mass Methods to Fuyuan Plumbosinc Prospecting	WANG Hongwu PANG Jinhe (111)
瞬变电磁法 (TEM)、时间域激电法 (IP) 在勐兴铅锌矿区的找矿效果	廖忠 罗鉴凡 (115)
Ore Prospecting Achievement of Tem IP in Time Domain in Mengxing Zinc - lead Ore Zone	LIAO Zhong LUO Jianfan (115)
新寨锡矿地球物理地球化学特征	李文尧 (119)
Geophysical and Geochemical Characteristics of Xinzhai tin ore	LI Wenyao (119)
直流电法勘探在岩溶石山地区的找水应用及其地质效果	杨明 常开平 (126)
The Application of DCEM to the Water Finding in Sichuan Karst Region and Its Geological Effects	YANG Ming CHANG Kaiping (126)
保山市核桃峰地区 1:5 万物化探找矿成果及找矿方向	王建飞 (133)
The 1:50000 geophysical prospecting search for mineral deposits resultant and prospect direction in Hetaopin Baoshan	WANG Jianfei (133)
云南省腾冲县老平山——高楼子锡矿区物探异常特征	王建飞 (140)
Tin mining area geophysical prospecting character in Laopingshan and Gaolouzi of Tengchong	WANG Jianfei (140)

综合物探方法在竹叶山坑道寻找溶洞裂隙的应用	彭宇朝 罗荃凡 (143)
Ore Prospecting Achievement Of TEM IP in Time Domain in Mengxing Zinc-lead Ore Zone	PENG Yuzhao LUO Jian fan (143)
滇东、黔西地区煤层气构造应力场特征研究	王朝栋 (148)
Studies on the Characteristics of the Tectonic Stress Field of Coal Bed Gas in East of Yunnan and West of Guizhou	Wang Chaodong (148)
GPS在区域重力调查中的应用	曹 涛 李丛俊 (155)
The Application of GPS to the Regional Gravity Survey	CAO Tao LI Congjun (155)
云南壳/幔拗陷与大型矿床的关系及其成因探讨	曹显光 王兴彬 (161)
On the Genesis of the Crust/Mantle Depression in Yunnan and Its Relationship with the Large Scale Ore Deposits	CAO Xiangguang WANG Xingbin (161)
钻孔中射气场运动方程的探索	吕维新 (168)
Studies on the Motion Equation of Raton EM Field in Drilling Hole	LU Weixin (168)
利用磁异常评价金矿化分布的一个例子	梁 建 杜泽鹏 (178)
A Sample About Using Magnetic Anomaly to Appraise the Gold Deposits Distribution	LIANG Jian DU Zepeng (178)
物探怎样在个旧矿区坑道中寻找岩溶型砂锡矿	梁 建 高朝勇 (182)
Cave-Tin Ore Finding in the Tunnels of Gejiu Mine Area by Means of Geophysical Prospecting	LIANG Jian GAO Chaoyong (182)
云南天文地震学的研究进展	罗葆荣 (186)
The Recent Progress of Astroseismology Studies in Yunnan	LUO Baorong (186)
近期云南的三次中强震的天文背景分析	胡 辉 李晓明 (192)
Analyses of Astronomical Background of Three Moderate and Strong Earthquakes of Last in Yunnan	Hu Hui Li Xiaoming (192)
一次特殊的米波事件与地球物理响应	马 媛 罗葆荣等 (198)
A Special Meter Event Associated with Geophysical effects	MA Yuan LUO Baorong et al. (198)
150年以来抚仙湖中心地震烈度的沉积学记录	李杰森 宋学良等 (204)
The Deposit Sediment Record of the Earthquake Intensity in Fuxian Lake Center in Recent 150 Years	LI Jisen SONG Xueliang et al. (204)
日冕物质抛射引发地球空间灾害的一次典型事件分析	夏志国 (208)
An Analysis of the Typical Event Which Cause Space Disaster	XIA Zhiguo (208)
地磁长期变化与日长变化的相关分析	康国发 龙海丽等 (214)
Correlation of Geomagnetic secular variation and Length of Day	KANG Guofa LONG Haili et al. (214)
1600~2000年全球地磁的长期变化	康国发 吴小平等 (219)
The Secular Variation of Global Geomagnetic Field during 1600~2000	KANG Guofa WU Xiaoping et al. (219)
臭氧层系统中化学与动力扩散的耦合研究	王卫国 谢应齐等 (227)

Study on Coupling of Chemical and Dynamic Proliferation in Ozonosphere System	WANG Weiguo XIE Yingqi et al. (227)
对流层臭氧次极大值层气候效应的模拟研究	吴 润 王卫国等 (235)
A Study for the Influence of Vertical Maximum in Troposphere of Ozone on Climate Change	WU Jian WANG Weiguo et al. (235)
做好防震减灾工作 促进玉溪经济发展	田 钧 (243)
Do a Good Job of Earthquake Prevention and Disaster Relief Promote the Economic Development of Yuxi	TIAN Jun (243)
论云南省防震减灾与可持续发展	钟翔冬 (247)
The Discussion about the Earthquake Disaster Mitigation and the Sustainable Development of Yunnan Province	ZHONG Shuodong (247)
“1.15” 姚安 6.5 级地震灾害及预报减灾与现场应急	胡智文 (251)
The Disaster Prediction Reduction and Locale Emergency Treatment for Yaoan Earthquake on January 15, 2000	HU Zhiwen (251)
关于云南丽江 7 级地震的中短期、短期预测	董国胜 (257)
Medium - short Term Prediction of the Lijang Ms7 Earthquake on Feb.3, 1996 of Yunnan Province	DONG Guosheng (257)
影响云南省滑坡泥石流活动的几个自然因素	金德山 (264)
Influence of Some Natural Factors on Activity of Landslides and Debris Flows in Yunnan	JIN Deshan (264)

康滇菱形断块的总体特点与块边内外的构造运动

阙荣举

(云南省地震局 650041)

一、断裂构造总体特点

1. 康滇菱形断块的性质是现今活动断块。

2. 位于中国大陆板块内, 自身形成单独的, 成体系的运动。

3. 位于青藏高原东边缘, 以狭义南北地震带为其东界。具体而言是以安宁河地震断裂带和小江地震断裂带为其东界。康滇菱形断块的另外三边地震断裂带分别是鲜水河地震断裂带(北界); 曲江—石屏地震断裂带, 楚雄—南华地震断裂带, 大理洱海地震断裂带(南界); 洱源—龙蟠/鹤庆—丽江地震断裂带组合为其西界。

鹤庆, 1515.06.17. 震级, 6.3/4 (西南地震简目) 或 7 (中国地震目录, 1983)。鹤庆大震极震区近南北偏西 (中国地震目录, 图 22)。

4. 康滇菱形断块隔鲜水河地震断裂带, 北与川青断块相邻。再北有甘宁青断块相邻, 直到祁连山北侧。

5. 康滇菱形断块只是一个小的现今正在运动的构造单元, 基本上有封闭性特征。

6. 康滇菱形断块在构造上具有整体性, 综合地震研究, 资料显示出康滇菱形断块现今有整体性运动。并且, 与周邻地区相比, 康滇菱形断块的现代地震活动强度远强于周边地区。

7. 康滇菱形断块东西两边界为南北走向, 即安宁河地震断裂带和小江地震断裂带(东界)和洱源—龙蟠/鹤庆—丽江地震断裂带(西界)为南北走向; 康滇菱形断块南北两边界为北西走向, 即鲜水河地震断裂带(北界)和曲江/石屏—楚雄—南华—大理/洱海地震断裂带(南界)均为北西走向。

8. 菱块东西两边界的南北两半各自的断裂组合有差别, 北半截主要为单一断裂, 如巴塘断裂和安宁河地震断裂带。南半截是并列两条组合成的地震断裂带, 如东界小江地震断裂带自身分为东西两支; 西界由洱源—龙蟠/鹤庆—丽江地震断裂带, 两条地震断裂带并列组成。

9. 与此相应的是菱形断块东西两边界断裂的南半截均向东移。

10. 在此构造移动背景中有共同特点。其中, 西段显示中甸—丽江有地震断裂联接; 东段也有西昌—东川断层连接。与此相应, 菱形断块内部隐约存在北西向横截的构造迹象。

11. 康滇菱形断块周边大震占云南和四川各自的大部分。比较而言, 云南地震构造比四川繁杂。相对而言, 云南的大震、强震比四川多而强。围绕菱形断块, 云南的大震、强震是菱块内多, 菱块外也多。四川则仅鲜水河断裂带上强而密。

12. 康滇菱形断块内部主要断裂走向, 南北有差别; 北为北西, 南为南北。各自形成地

震断裂带组合。

二、地震活动特征

1. 康滇菱形断块四边囊括了中国西南绝大多数大震的震中排列；概括绝大多数大震、强震的地震破裂方向，从而显示了菱块主要边界。

2. 康滇菱形断块四边绝大多数大震、强震的现今运动，显示旋性配套。

3. 菱形断块的大部分周边，特别是南半部，显示两层次强震，南边界个别段落则显示曾发生三层次强震。自北而南依次是曲江断裂，石屏断裂和老旭甸断裂。

4. 菱形断块周边地震是东、西、南侧的内边界地震震级比外边界地震大。由此推测，菱块周边相对移动是内边界比外边界快。

5. 菱块内部与边界相比显示出有震级稍小，次数偏少的强震以及个别大震发生，表明菱块内部有相对运动。

6. 地震活动中，在菱形断块南北两部分的滇川大震紧密呼应。

三、现今活动构造格架及其运动特点

1. 菱块周边以现今地震断裂带为界，显示了菱块所在位置。

2. 康滇菱形断块存在着朝南偏东方向的现今整体运动。

3. 菱形断块在构造上具有整体性，有整体性运动。整体运动特征的显示是：菱块东西两侧边界断裂带都是南北向，东侧左旋，西侧右旋，显示菱块南移；南北两侧边界都呈北西向，北侧左旋，南侧右旋，显示菱块南东移。现今活动断层性质的统一显示是，菱形断块现今向南南东向移动。

4. 康滇菱形断块的现今整体运动与青藏高原的现今整体运动彼此方向相反。

5. 菱形断块的整体性运动导致周边呈现出各自不同的动力关系和不同的构造组合。菱块东界是以动对相对不动，构造界限清楚，地震强；西界是以动对逆动，过渡构造，地震偏弱；北界运动呈现同向又有速率差异，构造单一，地震强而密；南界呈现多向破裂，网裂构造，地震强而不均。

6. 与菱形断块大部分周边发生两层次或三层次强震相对应，菱形断块大部分周边具有双层或多层现今断裂结构。

7. 康滇菱形断块现今构造应力场以水平为主，菱形断块周边现今断裂活动以走滑为主。

8. 现今构造应力场在康滇菱形断块两侧及其南界内外呈现为南南东向的主体方向与扇形分布特征。

9. 在康滇菱形断块整体运动背景下，菱块内部有相对运动。菱块框架内各个分块之间有相对运动，各分块边界有各自的构造组合和不同的构造运动特点。

10. 在康滇菱形断块内部整体上破碎特点有差别，总体上是碎裂成条，而不是破碎成块；是北破南碎，自北向南越南越碎，这是菱块动力特点所决定的。

11. 康滇菱形断块内部总体上南北不同部份的构造走向有差别，即北小半部份呈现北西向断裂（与北边界一致），而南大半部份，除边内邻区北西向断裂与南边界一致外，发育有南北向断裂（与南边界斜交，与菱块移动方向一致）。

12. 菱块南移深度至少达到加厚了的地壳底部。

13. 康滇菱形断块周边大部分为地壳深断裂所分隔，围限。例如，小江地震断裂带深达

莫霍面的地壳深断裂，揭示了东边界。曲江的地壳深断裂揭示了南边界的部分段落的深层性质。

14. 康滇菱形断块东边界以东发育一系列北东向地震断裂，相应地发生一系列中强地震活动，如沿弥勒师宗断裂的5级地震。这一系列中强地震及其断裂活动性质与康滇菱形断块南移带动在东边界以东的作用是一致的。

15. 康滇菱形断块南边界以南发育有几组重要的地震构造，导致一系列大震。如滇西南近滇缅边界先后发生龙陵（1976）、澜沧耿马（1988）七级大震组合，以及此前的耿马、澜沧（勐海西北）（1941）大震组合，由当地发育的北北西和北东向地震构造格架发震。此外，在普洱地区也发育有一组互相交叉的地震构造，造成一定周期的强震活动。

西南地区多层次动力过程与强震活动研究

王绍晋 龙晓帆 卫爱民
(云南省地震局 昆明 650041)

前 言

一定地区的地震活动图象表明,地震活动作为一种活动场,具有显著的群体特征,并且强震活动的空间分布图象及其时序发展过程,以及地震构造应力场空间分布格局等方面,在近代所经历的多个活动期中往往表现出具有明显的相似性。这些特征表明,一定地区的强震活动应具有统一的动力源作用。我国西南地区强震活动所表现出的群体特征、空间分布图象和活动秩序,以及地震构造应力场空间分布格局表明,本地区强震活动高潮与印度板块对亚欧板块的正面碰撞挤压以及侧面挤压剪切作用密切相关。若把此种板块边界力作为最高层次的动力源,则西南地区强震活动可能是在一个多层次的有序发展的动力源系统作用之下,它控制着西南地区强震活动的空间分布图象及其发生秩序。

近年来国内外许多地球物理学家研究了岩石圈不同层次结构的应力场和动力学过程与地壳变形和地震活动的关系。Keilis-Borok (1990) 在地震预报问题中的非线性系统研究中,把地震的发生看成是岩石圈内各种层次相互作用的块体组成的不稳定的非线性系统,研究从全球性的构造板块到较小块体,块体与块体之间及其边界层相互作用的一般规律与地震的关系。岩石圈作为一个非线性系统由一系列具有层次结构的体积元或块体组成,这些大大小小的断块或块体构成了岩石圈的多层次结构体系。每一级块体可能隶属于上一级更大的块体,而又可能包含次一级较小的块体。由于块体相对于周围块体的运动,形成了岩石圈的多层次动力过程系统,组成块体边界的断裂的活动以及地震活动则是此种动力过程的结果。M.L.Zoback (1989) 研究了包括板块边界力、地球动力学过程这类“构造应力”,以及局部应力所反映出来的现今区域构造应力分布图与板内地震活动的关系。苏刚、许绍燮等 (1990) 研究了板间作用动力与大华北地震活动“成片”迁移的关系,指出动力源变化对板内地震活动的影响。若把印度板块在喜马拉雅山地区和缅甸中深源地震带对欧亚板块的碰撞挤压剪切作用作为最高一级动力源作用,则可将西南地区地壳分解成由大小规模不等的块体组成的多层次结构及其多层次动力过程体系。

一、板块运动对西南地区的动力作用

许多地学工作者的研究指出,中国大陆的周边受到太平洋板块、菲律宾海板块和印度板块的联合作用,它们控制着中国大陆的现代构造运动格局、强震活动态势和现代构造应力场空间分布状态。汪素云等对中国及其邻区现代构造应力场的数值模拟研究表明,印度板块、太平洋板块和菲律宾海板块三大板块对中国大陆周围边界动力作用强度的相对比值为 2:1:0.8,也就是说印度板块对中国大陆的作用处在首要的位置。显然,处在印度板块与欧亚板

块碰撞挤压边界带近旁的西南地区, 印度板块对它的作用更是首当其冲, 此种动力作用是形成西南地区现代构造活动特征、现代构造应力场空间分布格局以及强震活动图象的最重要的动力源。

1. 强震震源机制和应力场空间分布

对我国西南地区及其邻区强震震源机制和现代构造应力场的研究表明(鄢家全等, 1979; 阚荣举等, 1977, 1983; 臧绍先, 1987; 王绍晋等, 1989, 1991; 徐纪人等, 1995; Le Dain et al., 1984; ISC 1990, 1991, 1992), 西南地区构造应力场空间分布呈现出复杂的图象, 综合分析可以看出主压应力方位主要有三种优势分布, 即北北东—北东—北东东、南南东—南东和北西西—近东西向。进一步分析表明, 现代构造应力场空间分布有显著的区域性特征: ①北北东—北东—北东东向的主压应力方位分布最为广泛, 由喜马拉雅碰撞带、缅甸缝合线、滇西南地区, 直到四川北部、中部均有分布; ②由喜马拉雅碰撞带到缅甸缝合线, 再到滇西南地区, 主压应力方位由北北东向北东, 再向北东方向逐渐连续偏转呈扇形分布; ③在东经 $99^{\circ}\sim 104^{\circ}$, 北纬 $21^{\circ}\sim 28^{\circ}$ 范围, 即以康滇菱形块体为主体, 包括滇西南块断带在内的区域, 主压应力优势方位为南南东—南东; ④大致在东经 102° 以东, 北纬 25° 以北的区域, 主压应力优势方位为北西西—近东西向。这样一种应力场分布格局, 显示西南地区受到以印度板块对欧亚板块碰撞挤压作用为主要力源, 在东部同时受到太平洋板块和菲律宾海板块远距离作用的总体特征, 三大地壳板块的联合作用, 是西南地区受到的最高层次的动力作用。

2. 强震震源深度分布

我们对北纬 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}$, 东经 $90^{\circ}\sim 106^{\circ}$ 范围内 $M\geq 6.0$ 级地震的震源深度分布作了分析, 资料表明, 大于 70 公里的中深源地震分布在缅甸缝合线上, 并且在其北端相对集中。在缅甸缝合线上震源深度最深为 200 公里, 在东经 97° 以东向西南地区发展震源深度显示为一个突变, 在西南地区没有震源深度大于 40 公里的强震分布, 这样一种震源深度分布状态显示出印度板块在缅甸中深源地震带对欧亚板块的碰撞挤压作用及其作用方式。

表 1 列出 1900 年以来, 缅甸中深源地震带中深源 ($h\geq 70\text{km}$) 地震 ($M\geq 6.0$) 与西南地区及其邻区强震 ($M\geq 6.0$) 关系, 由表中可以看出, 缅甸发生中深源强震后, 西南及其邻区往往都有强震发生, 相隔时间最短 0.17 月, 最长 28 月; 相距距离最短 53 公里, 最长 915 公里, 表明缅甸中深源地震的发生与西南及其邻区强震的发生有较好的相关关系。

表 1 缅甸中深源强震与西南及邻区强震对应关系

缅甸中深源地震 ($12\sim 27^{\circ}\text{N}$; $92.5\sim 97^{\circ}\text{E}$)	西南及邻区浅源地震 ($22.6\sim 33^{\circ}\text{N}$; $90.2\sim 103.1^{\circ}\text{E}$)	时间间隔 (月)	相距距离 (公里)
1906.8.31. $M=7.0$, $h=100$	1908.12.12. $M=7.5$, 滇缅交界	28	53
1914.10.11. $M=7.2$, $h=80$	1915.12.3. $M=7.0$, 西藏	14	1766
1926.5.10. $M=6.25$, $h=80$	1927.3.14. $M=6.0$, 云南寻甸	10	615
1927.3.15. $M=6.5$, $h=130$	1929.2.22. $M=6.0$, 云南通海	24	818
1932.8.14. $M=7.0$, $h=120$	1933.6.7. $M=6.25$, 云南中甸	11	465
1934.6.2. $M=6.5$, $h=130$	1934.6.23. $M=6.0$, 青藏	0.7	953
1935.4.23. $M=6.25$, $h=110$	1935.4.28. $M=6.0$, 四川峨边	0.17	915

1938.4.14.M=6.8, h=130	1938.5.14.M=6.0, 云南澜沧	1	503
1939.5.27.M=6.8, h=75	1940.4.6.M=6.0, 云南石屏	11	863
1940.5.11.M=6.5, h=80	1940.9.3.M=6.25, 西藏	4	833
1941.1.27.M=6.5, h=180	1941.5.16.M=7.0, 云南耿马	4	728
1954.5.21.M=7.4, h=180	1955.3.22.M=6.0, 云南泸水西	12	375
1955.8.26.M=7.0, h=200	1955.9.23.M=6.8, 四川拉祜	1	1567
1956.7.16.M=7.0, h=100	1957.5.28.M=6.0, 缅甸	10	180
1957.7.1.M=6.8, h=80	1958.1.6.M=6.0, 缅甸	6	308
1959.7.24.M=6.1, h=160	1959.8.27.M=6.1, 缅甸	1	165
1964.2.27.M=6.5, h=120	1964.4.13.M=6.0, 西藏	2	733
1964.7.12.M=6.0, h=155 1964.7.13.M=6.0, h=117	1964.10.21.M=6.6, 西藏	3	510
1969.10.17.M=6.1, h=124	1970.1.5.M=7.7, 云南通海	3	833
1975.7.8.M=6.5, h=157	1975.12.29.M=6.1, 滇缅交界	5	653
1988.8.6.M=7.2, h=92	1988.11.6.M=7.6, 7.2, 云南澜沧	3	533
1990.1.9.M=6.1, h=118	1992.4.23.M=6.8, 6.7, 滇缅交界	27	454

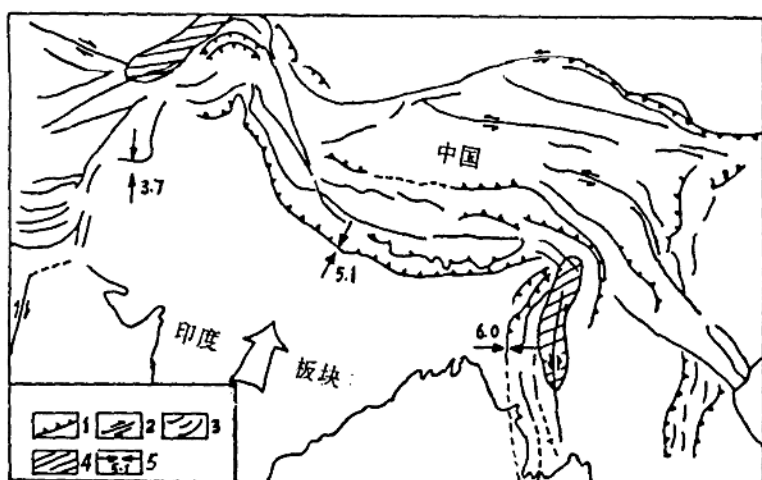
3. 印度板块与欧亚板块碰撞挤压对西南地区的直接影响

印度板块对欧亚板块的作用,在喜马拉雅山地区表现为北北东—近南北向正面碰撞挤压,在缅甸缝合线则表现为北东—北东东向侧面挤压剪切。Д.А.Сторчак 等对喜马拉雅弧两翼深源地震活动性的研究表明(Д.А.Сторчак, Р.Э.Татевосян, Н.В.Шебалин, 1994),沿整个喜马拉雅弧,地壳块体的运动速度不相同,在缅甸中深源地震带为 6.0cm/a,喜马拉雅山前为 5.1cm/a,在兴都库什、帕米尔地区为 3.7cm/a(图 1),与 Minster 等人的研究结果一致。

这些结果表明,印度板块与欧亚板块的作用,在缅甸缝合线较喜马拉雅山前和西翼更为强烈。这样一种机制使得印度板块对欧亚板块的碰撞挤压作用对西南地区的直接影响更加显著。在西南地区受此种直接影响的地区主要有川西地区和滇西南地区,川西地区主要受到印度板块在喜马拉雅碰撞带东部弧顶对欧亚板块的正面挤压的直接影响;滇西南地区主要受到印度板块在缅甸中深源地震带产生的侧面挤压剪切作用的直接影响。在此种直接影响下,受影响地区的强震活动几乎与板块边界大震活动同步发生。1941 年~1955 年西南地区出现的强震活动高潮和由 1988 年澜沧—耿马大震起始西南地区最近一个大震活动高潮(王绍晋等, 1996),就是受印度板块在缅甸中深源地震带产生的侧面挤压剪切作用直接影响的显示。

4. 印度板块对欧亚板块碰撞挤压对西南地区的间接作用

印度板块对欧亚板块碰撞挤压对西南地区的间接作用主要有两种表现形式:(1)印度板块与欧亚板块在边界上的碰撞挤压作用,通过板块内部物质向西南地区传递,但此种动力作用的传递随着与板块边界距离的增加逐渐减弱,呈现出所谓动力作用的距离效应(秦保燕等, 1992)。自喜马拉雅碰撞带、缅甸中深源地震带向东,在西南地区内部北北东—北东向压应



1.边界逆冲断层 2.巨型平移断层 3.褶皱 4.深源地震活动区 5.板块运动速率 cm/a

图1 喜马拉雅山地区地壳块体运动速度分布 (据 Д.А.Сторчак)

力作用逐渐减弱,正是此种现象的明显显示。(2)由于印度板块北移在喜马拉雅山地区产生的北北东—北东向的强烈挤压作用,也由于青藏高原在印度板块向北推挤作用下地壳增厚出现重力效应,使得青藏高原地壳物质向南东—南南东方向运移,导致了西南地区以康滇菱形断块为主体,包括川青断块、滇西南块断带等板内断块向南南东—南东方向的移动。在此种动力作用下,形成了西南地区复杂的构造应力场空间分布格局。由于各板内断块相对运动,形成了西南地区第2层次动力作用,使得组成断块的边界断裂产生活动。图2给出此种动力作用的示意图。

二、板内断块运动的动力作用

由于板内断块内部存在着断裂,在板内断块内部又可出现次级断块,此时板内断块的相对运动对次级断块施于动力作用。板内断块的运动,产生了西南地区第2级动力源。显然,板内断块的运动特征、边界断裂的错动性质及其活动性等对板内断块内部次级断块的活动有着重要的意义。

1. 板内断块边界断裂的性质

构成板内断块的边界断裂至少应该具有活动性和制约性两种性质。板内断块均是现今活动块体,它们的边界断裂也应该是现今活动断裂。板内断块的活动是有制约的,并非是无限制的。只有如此,才可能出现西南地区现代构造应力场的空间分布格局,才会形成西南地区地壳现代构造运动特征,也才有西南地区现今地震活动的图象。例如,川滇菱形断块,它是西南地区诸板内断块中向南南东方向运动相对最快的板内断块,但在它的运动过程中也必然受到阻挡和制约,只能以每年有限的速率向前运动,其它断块也一样。于是,板内断块边界断裂的构成出现了复杂性。当构成板内断块的边界断裂同时具有活动性和制约性时,此边界即由一条断裂带构成。康滇菱形断块的东边界由鲜水河—安宁河—则木河—小江断裂带组

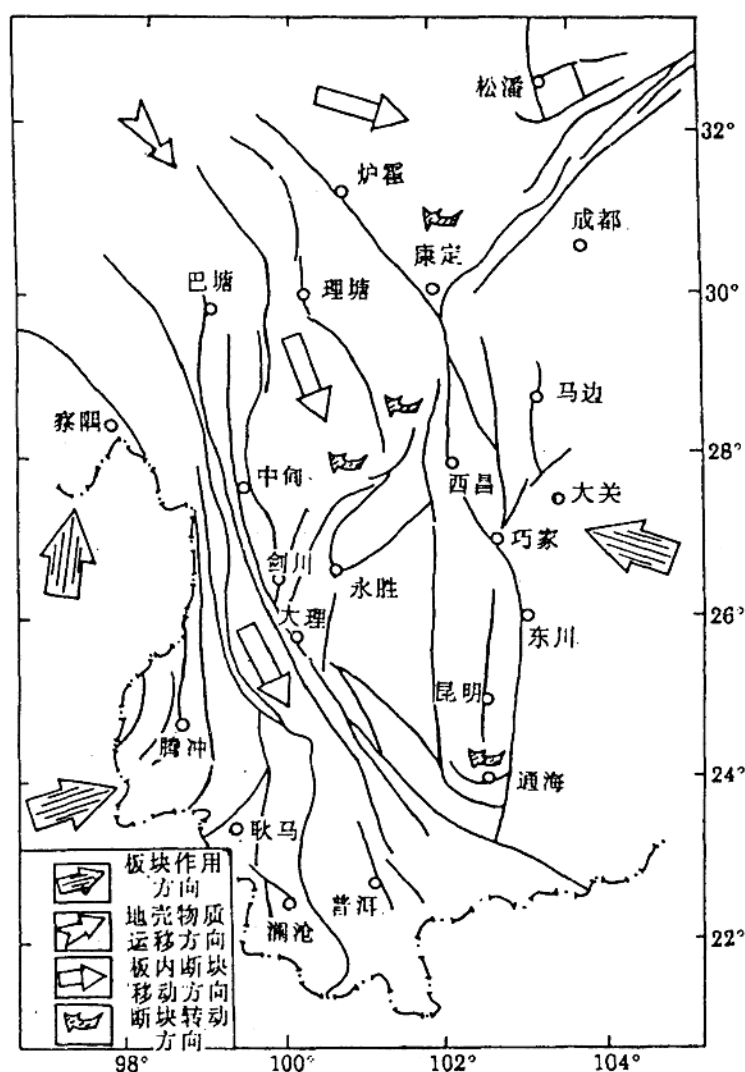


图2 西南及邻区多层次动力过程示意图

成，它既是现今活动断裂带，又是切穿地壳的深断裂带，对康滇菱形块向南南东的移动起着制约的作用。康滇菱形断块的西南边界—红河断裂带南段，是深大断裂带，但现今活动性相对较弱，可以认为它实际上是断块的约束边界。而与之平行、处在菱形断块内侧的楚雄—建水断裂带，虽然规模较小，但由地震活动性显示它是近代活动断裂。红河断裂带和楚雄—建水断裂共同组成了康滇菱形断块的西南边界。

2. 板内断块边界断裂现今活动速率的差异是断块内次级断块活动的动力源

断裂活动速率是衡量断裂活动水平的一个标志，通过对活动速率的估算可以定量描述断

裂活动的强度。研究表明(唐荣昌,韩谓宾等,1993;李坪等,1993;向宏发等,1994)西南地区板内断块的边界断裂现今活动速率具有明显的差异,同一断块不同边界断裂的活动速率有的差异还相当显著。同一断裂带上,不同段落活动速率也有差异。可以认为,正是由于边界断裂活动速率的差异,使得断块内由于断裂存在而形成的次级断块获得了动力源而产生运动。在分析断裂活动速率时,考虑到西南地区现代构造应力场以水平作用为主,主要断裂的活动以水平剪切为主,所以我们主要分析断裂的水平滑动速率。资料显示,康滇菱形断块东西两边界断裂的活动速率有显著的差异。康滇菱形断块的东边界鲜水河断裂带近代活动为强烈的左旋水平错动,最大水平滑动速率为15mm/a左右,安宁河断裂带左旋水平错动最大水平滑动速率为6mm/a左右,则木河断裂左旋水平错动最大水平滑动速率为9mm/a左右,小江断裂带左旋水平错动最大水平错动速率为12mm/a左右。康滇菱形断块的西边界金沙江断裂带近代活动为右旋—逆冲错动,最大水平滑动速率为7mm/a左右,西南边界红河断裂带北段,右旋水平错动最大水平滑动速率为4mm/a左右。由分析认为,康滇菱形断块在整体向南南东方向移动时,其东南端受到边界断裂红河断裂带的约束阻挡,形成强烈的挤压应变区。同时由于东边界小江断裂带与西南边界红河断裂带北段两者水平滑动速率的显著差异,小江断裂带的水平滑动速率几乎是红河断裂带北段的3倍以上。因此在康滇菱块东南端,块体运动可能出现顺时针转动,在小江断裂带与普渡河断裂之间、普渡河与元谋—绿汁江断裂之间形成了南北条带状的次级断块。地震活动性显示,处在康滇菱块东南端的曲江断裂是西南地区现代强震强烈活动的地区之一,普渡河断裂南端较中部和北部地震活动强烈,而普渡河断裂又较西侧的元谋—绿汁江断裂地震活动强烈,在此形成了自东向西地震活动逐渐减弱的趋势。在康滇菱块北部—永胜—宁蒗河北东向断裂以北的地区,西边界金沙江断裂带右旋水平错动最大水平滑动速率为7mm/a左右,约为鲜水河断裂带滑动速率的一半。分析认为,这里产生了次级断块的顺时针转动。永胜—宁蒗河断裂作为次级断块的南部约束边界,而在其北侧的丽江—宁蒗北东向断裂带和盐源、木里弧形断裂带是活动边界,这里也是强震活动区之一。在该次级断块内部有北西向的理塘—德巫断裂带,1948年发生过7.3级大震,推测这里是印度板块在喜马拉雅东部弧顶正面碰撞的直接影响地区,在北东—北东东向压应力作用下,该断裂带产生左旋错动的结果。可能还可以以理塘—德巫断裂带为界将此次级断块再分为两个更次一级的断块。永胜—宁蒗河断裂带以南,元谋—绿汁江断裂以西,楚雄—建水断裂带以北所围限的次级断块,可能以南南东方向的移动为主。

三、多层次动力过程与强震活动

由上述分析可以认为,以板块之间在边界上的相互作用为最高层次的动力作用,西南地区现代构造运动至少包括三个层次的动力作用过程:(1)印度板块对欧亚板块的碰撞挤压,对西南地区产生的直接影响和间接作用;还有菲律宾海板块对欧亚板块的北西西向的推挤,通过华南地区对西南地区东部的间接作用。(2)以康滇菱形断块为主体,包括川青断块、滇西南块断带等板内断块的整体向南南东—南东方向的相对移动产生的动力作用。(3)由于板内断块边界断裂运动速率差异,主要是水平滑动速率差异造成的板内断块内部次级断块移动产生的动力作用。

1. 强震活动时间分布

对西南地区强震活动群体特征的研究表明(王绍晋等,1995),强震活动在时间分布上表现出活跃期与平静期相交替的周期性。由西南地区1900年至今 $M \geq 6.0$ 级地震的活动时