

康滇菱形断块的总体特点与块边内外的构造运动

阚荣举

(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 $\frac{3}{4}$ （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. 地震活动期中，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向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边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：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；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；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；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 ($12-27^{\circ}\text{N}$; $92.5-97^{\circ}\text{E}$)	西南及邻区浅源地震 ($22.6-33^{\circ}\text{N}$; $90.2-103.1^{\circ}\text{E}$)	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

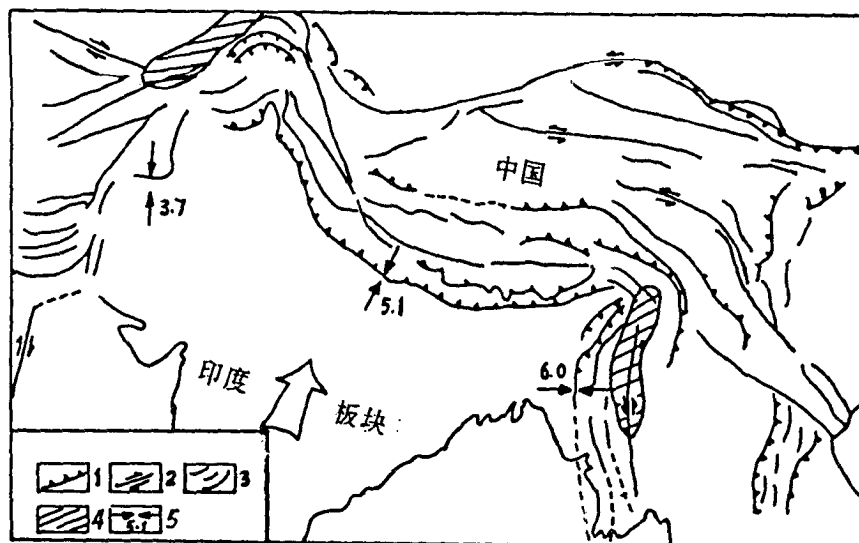
3. 印度板块与欧亚板块碰撞挤压对西南地区的直接影响

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.Шебагин, 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的重力效应,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

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—永胜箐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。永胜箐河断裂作为次级断块的南部约束边界，而在其北侧的丽江—宁蒍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—箐河断裂带以南，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

序分布分析表明,1900年以来西南地区强震活动经历了4个完整的活跃期和一个正在活动尚未完成的活跃期,并且此种活跃期与马宗晋等对本世纪以来中国大陆及其邻区 $M \geq 7.0$ 级大震的分幕大体相当,表2列出西南地区1900年以来强震活跃期的划分。

表2 西南地区1900年以来强震活跃期划分

序号	本世纪中国大陆强震活动幕 (据马宗晋)	西南地区强震活跃期 (本文)
1	1897年~1922年	1904年~1913年
2	1920年~1937年	1923年~1933年
3	1946年~1957年	1941年~1955年
4	1966年~1976年	1970年~1976年

2. 强震活动空间分布

对西南地区强震活动群体特征的研究还表明,强震活动在空间分布上具有主体地区。西南地区814年~1994年 $M \geq 7.0$ 级大震空间分布,尤其是1900年以来的分布图象表明,大震主要分布在板内断块的活动边界断裂上,其次是在现代构造运动中受强烈挤压变形作用地方的活动断裂上。1900年~1994年西南地区6级(6.0~6.9)地震空间分布表明,除了在7级大震发生的主体地区外,板内断块内部的次级断块边界断裂也是6级强震分布的主要地方。

分析还认为,西南地区1900年以来强震活跃期中,强震活动还表现出具有主要的迁移路线。它主要有2种情况: ①活跃期起始,7级大震发生在康滇菱块的活动边界上,之后在康滇菱块内部(次级断块)发生若干6级强震和在菱块周围地区发生7级大震和6级强震,最后在川青断块的东边界活动断裂带上发生7级大震,整个活跃期结束。②活跃期起始以滇西南地区耿马、澜沧地震带为主体活动地区,发生一系列7级大震,之后在康滇菱块、川青断块等板内断块内部发生7级大震,或发生若干6级强震,最后在康滇菱块北部边界发生7级大震,整个活跃期结束。

3. 多层次动力过程与强震活动时间分布

多层次动力过程是一个随时间发展的演化过程,每一层次动力过程有自身的时序发展变化,并且由上一层次向下一层次过程的发展也是一个随时间演变的过程。此种随时间的演化进程,可能是强震活动时间分布的原因。

对1900年以来西南地区4个完整的强震活跃期和最近一个尚未完成的活跃期的分析认为,它们的起始都与印度板块对欧亚板块在板缘活动加剧对西南地区的直接影响有关。以1897年阿萨姆8.7级地震为标志的印度板块对欧亚板块在喜马拉雅东部弧顶的强烈碰撞挤压过程,以及由此而产生的多层次动力过程与西南地区1904年~1913年和1923年~1933年2个强震活跃期有关。以1950年察隅墨脱8.6级地震为标志的印度板块对欧亚板块在喜马拉雅东部弧顶的强烈碰撞挤压过程,以及由此而产生的多层次动力过程与西南地区1941年~1955年西南地区强震活跃期后期和1970年~1976年2个强震活跃期有关。1941年~1955年强震活跃期前期和自1988年前后开始的西南地区最近一个强震活跃期,与印度板块对欧亚板块在缅甸中深源地震带的侧面挤压剪切活动加剧对西南地区的直接影响有关。

4. 多层次动力过程与强震活动空间分布

多层次动力过程是一个多层次地壳块体运动及其边界断裂破裂错动的过程。断块边界断

裂是多层次动力过程中最为活跃的部位。在断块运动过程中，处在运动过程中受到强烈挤压的部位是动力过程中发生变形最大的地方。因此，断块边界断裂和处在动力过程中受强烈挤压变形的地方是强震发生的主要场所。对西南地区 1900 年以来强震活动空间分布的分析表明，强震主要发生在板内断块和板内断块内部次级断块边界的活动断裂带上，以及在构造运动过程中处在受强烈挤压变形的地方，例如康滇菱块的东南前端的曲江断裂、永善一大关地区等。

四、讨论和认识

(1)在现代构造运动过程中，由于断块的运动，产生了多层次动力作用过程。多层次动力过程是一个随时间发展演化的过程，是断块相对运动和断块边界断裂破裂错动的过程；

(2)若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：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。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性向南南东—南东方向的相对移动产生的动力作用。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；

(3)西南地区多层次动力过程，与西南地区强震活动密切相关，多层次动力过程是西南地区强震活动时间分布和空间分布的主要原因。

参考文献：

[1] 阚荣举等,1977,我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨,地球物理学报,第 20 卷,第 2 期。

[2] 阚荣举等,1983,中国西南地区现代构造应力场与板内断块相对运动,地震地质,第 5 卷,第 2 期。

[3] 李坪等,1993,鲜水河—小江断裂带,地震出版社。

[4] 秦保燕等,1992,与中国大陆相邻的板块运动方向的确定,地震,第 4 期。

[5] 唐荣昌、韩渭宾,1993,四川活动断裂与地震,地震出版社。

[6] 向宏发、严富华等,1994,红河断裂带嘎洒—东峨段水系发育与断裂位错分布研究,活动断裂研究 3,地震出版社。

[7] 徐纪人、尾池和夫,1995,南北地震带南段应力场特征及其与板块运动的关系,地震学报,第 17 卷,第 1 期。

[8] 王绍晋等,1989,云贵地区现代构造应力场空间分布与地震危险区划,云贵地区地震危险性研究文集,云南科技出版社。

[9] 王绍晋、龙晓帆,1996,西南地区强震活动的群体特征,地震研究,第 19 卷,第 1 期。

[10] 鄢家全等,1979,中国及邻区现代构造应力场的区域特征,地震学报,第 1 卷,第 1 期。

[11] 臧绍先,1987,缅甸山弧地区 Benioff 带的形态及其应力状态,地球物理学报,第 30 卷,第 2 期。

[12] V.I. 凯里斯鲍罗克主编,陈颢等译,1991,中期地震预报,地震出版社。

[13] Д.А.Сторчак, Р.Э.Татевосян, Н.В.Шебалин, 1994, О ГЛУБОКОФОКУСНОЙ (70 – 300km) СЕЙСМИЧНОСТИ НА ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ КРАЯХ ГИМАЛАЙСКОЙ ДУГИ, ФИЗИКА ЗЕМЛИ, №.5.

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¹ 杨桂芬¹ 王华林²

(1. 云南省地震局 昆明 650041)

(2. 山东省地震局 济南 250014)

前 言

1988 年 11 月 6 日, 1995 年 7 月 12 日和 1996 年 2 月 3 日分别有三次四次 7 级以上强震发生在中国西南部云南境内的澜沧、耿马、孟连和丽江等地。三期地震积累的前兆资料, 丰富了不同构造条件下地震中短期前兆时空分布规律研究的强震震例的认识。以下所述, 如无特别说明, 均指这几次强震, 前兆即指中短期前兆。

一、孕震构造动力学环境

澜沧—耿马地震发生在澜沧江西侧的滇西南地区, 该区在大地构造上位于三江断褶带中南段, 震区处于地壳厚度为 39~41km 的临沧—澜沧平台南端, 莫霍面向北缓倾, 表明震区是地壳平台前端、上地幔最有可能发生上隆活动的部位。地质构造与地震区的关系清楚, 几条区域性大断裂, 将地震控制在一定的地震构造区内。澜沧江断裂、南汀河断裂、木嘎断裂之间围成耿马地震区, 孟连断裂、木嘎断裂之间围成澜沧地震区, 打洛—景洪断裂、木嘎断裂、孟连断裂之间围成勐海地震区。1941 年以来的 7 次 7 级以上地震 (包括 1995 年 7 月 12 日孟连 7.3 级地震) 无一例外地发生在这几个区域内。震区的双主震型强震活动序列与该区内发育北东、北西两组次级断裂有关。据王晋南研究^[1], 断块型结构与断裂型结构中节点的均匀性不同, 导致断块型地震与断裂型地震的序列特征不同, 前者介质的破碎度更高, 结构更不均匀。震区处于大范围北北东—北东向的区域应力场作用下。

孟连地震区大地构造环境与澜沧—耿马地震区相同, 震中位置略向西偏, 处于凤庆—澜沧隆起区中西部。孟连地震发生在孟连、打洛、木嘎、澜沧—勐遮、勐包等几条大断裂以及萨尔温江断褶带和孟冒—栋达线性影像带围限交汇地区。孟连断裂是这次地震控震构造, 孟冒—栋达线性影像是发震构造。孟连 7.3 级地震系前震—主震—余震型地震。

丽江地震区位于扬子准地台、三江褶皱系和松潘—甘孜褶皱系接合部位, 经历了复杂的演化历史, 构造变形和地震活动都非常强烈。丽江地震的控震构造为北东向小金河断裂, 发震构造为北西向的大具—大东断裂和近南北向玉龙山东麓断裂 (两次破裂)。地震序列为主震—余震型。

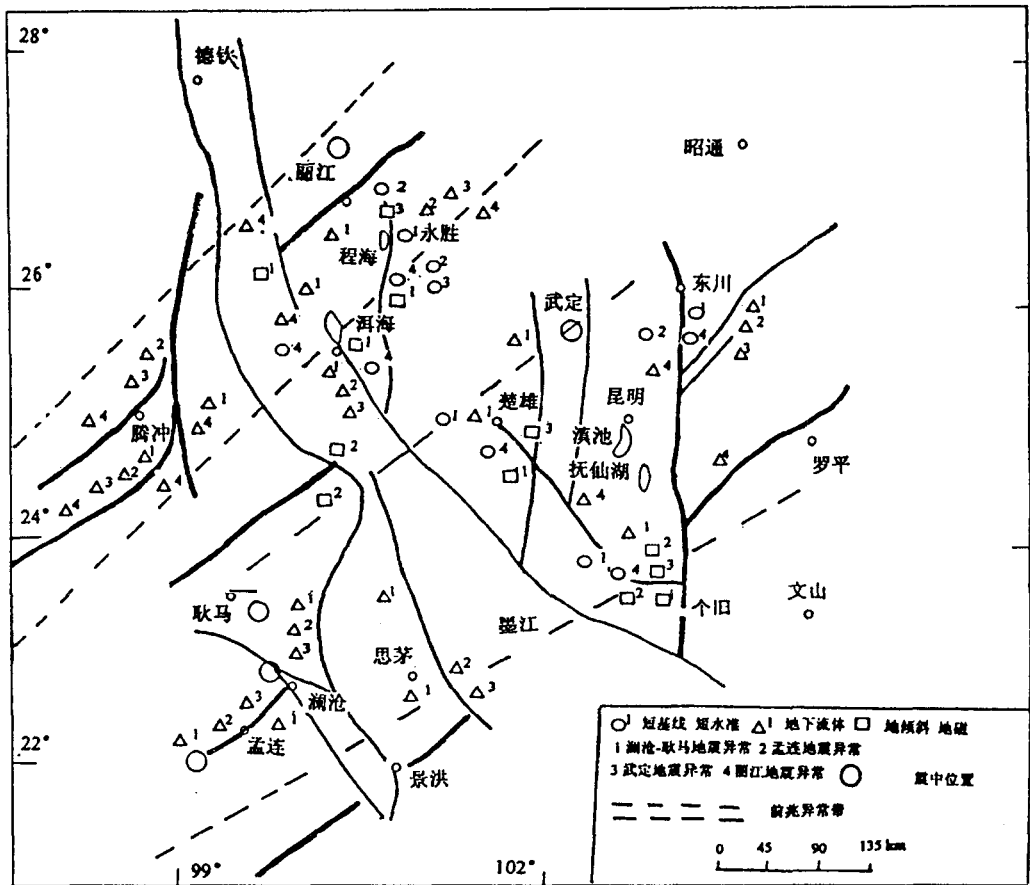


图 1 澜沧—耿马、孟连、丽江和武定地震前兆异常平面分布图

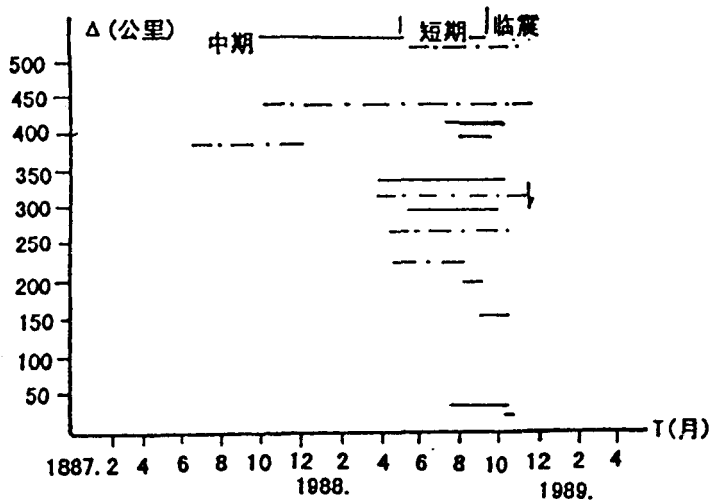


图 2 澜沧—耿马地震前兆异常时空演化图

2. 孟连地震

孟连地震出现前兆异常 23 项，震中区附近的澜沧、思茅、普洱都出现了水位、水温、水化的短临异常（表 2 和图 1）。图 5 显示了孟连地震时空演化特征，图 6 和图 7 分别为该地震的异常分项月频次和异常频次随震中距的变化图。分析表 2、图 1 和图 5~7 可以发现，孟连地震前兆异常时空演化有如下特征：

- (1) 前兆异常的空间分布规律及发震断裂性质与澜沧—耿马地震的相似。
- (2) 震前半个月内定点前兆异常平静，临震前活动加剧，震区前震活动更加明显。
- (3) 震前 3 个月异常数量明显震多，以场分布广，震中区 3 口井水有异常显示。前兆异常场兆为主。

表 2 孟连 7.3 级地震定点前兆一览表

台站名称	构造位置	震中距 (km)	异常测项	T1	T2	T3 (天)	T4 (天)	异常幅度	异常形态	异常类型	备注
保山	胡家山断裂	351	So4 日均值	95.5.6	96.6.4	30		18.33ng/l 41%	趋势性上升	短临场兆	
腾冲	大盈江断裂	347	水氧日均值	95.5.1	95.6.8	未结束		19%	同上	同上	
临沧	临沧盆地断裂	225	氟离子日均值	95.6.1	95.6.8	8		上升 18%	震前突降	短临源兆	
剑川	剑川断裂	508	水位日差分	95.4.1	95.5.30	47		43mm	低值波动	短临场兆	
景谷	昔盘山断裂	225	深井水温均值	95.5.19	95.5.22	4		0.0034oc	突降	短临源兆	
永胜	程海断裂	545	短基线	94.11	95.5	210		22.03mm	历年最高值	中期场兆	
云县	南汀河断裂	288	石英倾斜均值	95.5.14	95.5.27	14		146ms	连续下降	临震场兆	
通海	曲江断裂	423	同上	95.5.1	连续上升			1.95"	连续上升	短临场兆	
石屏	建水断裂	382	金属摆均值	95.4.2	95.6.14	54		0.446"	连续突降	短临场兆	
洱源江干	洱源断裂	464	水汞日均值	95.4.17	95.5.18	32		985ng/l	震前突跳	同上	
洱源 20 号井	同上	464	水汞日均值	95.4.28	95.5.29	32		1098ng/l	突跳	同上	
以下 18 项异常明细省略											

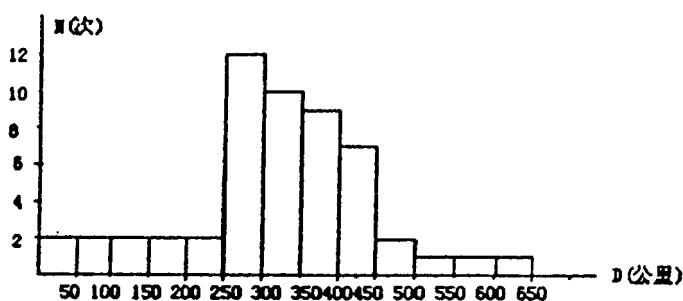


图 4 澜沧—耿马地震前兆异常频次随震中变化图

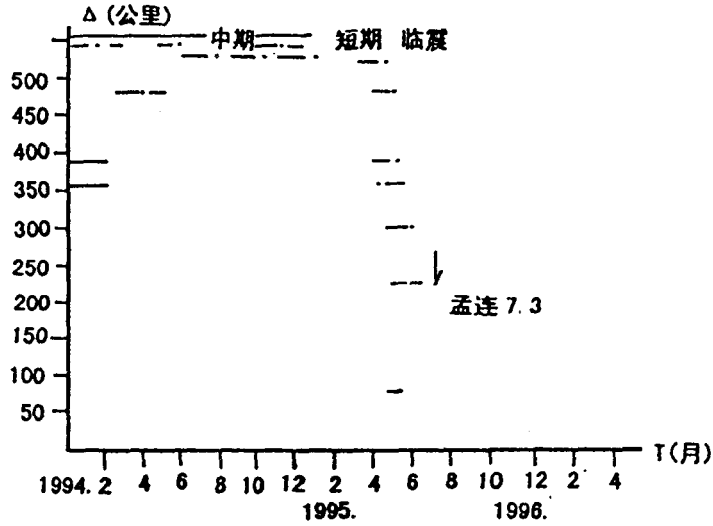


图 5 孟连地震前兆异常时空演化图

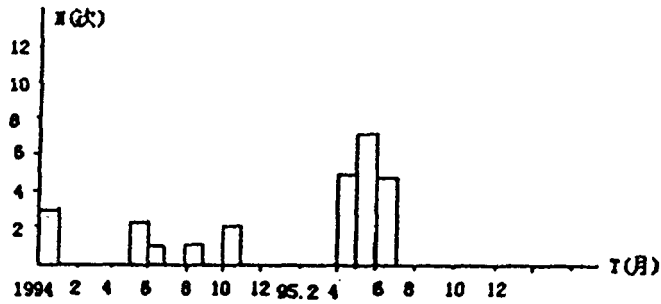


图 6 孟连地震前兆异常月频次图

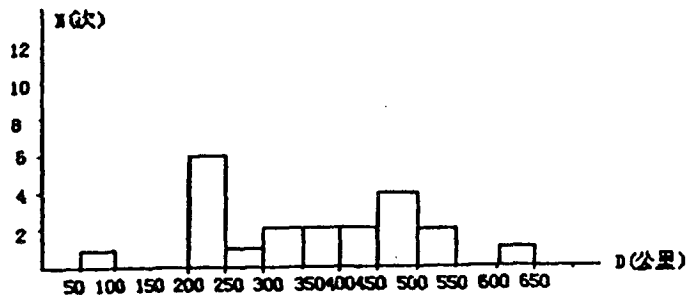


图 7 孟连地震前兆异常频次随震中变化图

3. 丽江地震

丽江地震出现前兆异常 33 项，大都出现在震中区附近（表 3 和图 1）。图 8~10 显示了地震的前兆时空演化、异常分项月频次及其随震中距变化特征，分析表明，丽江地震前兆异常时空演化有如下特征：