

云南地震类型分区特征研究^{*}

皇甫岗^{1,2)} 秦嘉政²⁾ 李忠华^{2),*} 邬成栋²⁾

1) 中国合肥 230026 中国科学技术大学地球和空间科学学院

2) 中国昆明 650224 云南省地震局

摘要 对云南地震序列和强震震源机制的分析与研究表明, 云南地区具有较明显的地震类型分区特征. 总体上云南全区地震断层以走向滑动为主, 地震序列以主余震型为主. 考虑到非走滑地震断层和非主余震型地震序列所占的比例, 可以将云南地区划分为 4 个具有不同特点的分区: 滇中(A_1)走滑-主余震型区、滇西北(A_2)斜滑-震群型区、滇西(B_1)走滑-双震型区和滇西南(B_2)准走滑-主余震型区.

关键词 强震活动 地震类型 分区特征 云南地区

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A

引言

云南地区(北纬 $21^\circ \sim 29^\circ$, 东经 $97^\circ \sim 106^\circ$)地震活动十分频繁. 在 20 世纪, 云南地区共发生 5 级以上地震 333 次, 其中 7 级以上大震 10 组 13 次, 6.0~6.9 级地震 69 次.

云南地区强烈的地震活动与其特殊的地质区位密切相关. 一方面, 云南西部地区毗邻印度板块向欧亚板块中国大陆的侧向俯冲带, 可以作为欧亚地震带的一个组成部分; 另一方面, 在大陆内部, 云南东部地区又处于我国南北地震带南段. 张培震等(2002)对我国大陆活动地块的研究认为, 云南地区以金沙江—红河断裂带为界, 东部和西部分属青藏高原和滇缅活动地块. 这与云南地区地震活动的东西部划分基本一致(皇甫岗等, 2000; 皇甫岗, 秦嘉政, 2006). 因此, 云南地区地震活动兼具板内和板缘特征, 地震类型较为丰富. 随着地震研究的不断深入, 云南地区各区地震类型存在的差异正逐渐为人们所关注(皇甫岗, 1997; 秦嘉政等, 2005).

本文从强震的发震构造力学性质、地震活动性参数等方面进行对比, 研究地震类型分布特征并进行地震类型的区划, 以期对云南地区地震活动性研究有所帮助.

1 云南地区现代断裂格局

云南地区处于印度板块与欧亚板块中国大陆碰撞带东缘, 地壳运动剧烈, 地震活动水平高且与活动块体关系密切. 云南地区现代断裂构造格局为喜马拉雅山运动所奠定. 喜马拉雅山运动的本源来自于印度板块与欧亚板块的碰撞. 大约在 45 Ma 年前后, 沿雅江一线发生印度次大陆与欧亚大陆的陆陆碰撞, 进入青藏高原的演化时期(马宗晋等, 1998). 这一时期, 对云南地区影响最为深刻的构造过程来自于同一本源的两个方面.

^{*} 云南省基础研究基金资助.

2006-09-04 收到初稿, 2006-11-24 决定采用修改稿.

[†] 通讯作者. e-mail: zhunghua@km169.net

1) 云南西部毗邻的滇缅弧型带区由西向东的强烈挤压, 这是北东向运动的印度板块在喜马拉雅“东构造结”——阿萨姆弧以南地区派生的近北东东分量的作用. 从地质历史时期印度板块向北推移的轨迹分析, 这一作用过程甚至早于印度板块对欧亚板块中国大陆的正面碰撞. 当今印度板块的侧向挤压, 可能正在云南西部地区形成一条近北北西向新生断裂带, 其地表形迹不显, 但大震分布线性良好(虢顺民等, 1999).

2) 西藏地块向东挤出对云南东部地区的影响. 由于西有相对稳定的塔里木地块、北有柴达木盆地南缘隆起的坚硬地幔盖层的阻挡, 约束青藏地块向东运移(曾融生, 孙为国, 1992; Lee *et al*, 2003; 张培震等, 2004), 从而驱使川滇菱形块体持续向南南东方向运移(李坪, 汪良谋, 1975; Tapponnier, Molnar, 1976; 阚荣举等, 1977).

云南地区现今断裂格局是上新世末—早更新世初才演化而成的, 距今约为 340 万年. 据马宗晋等(1998)研究, 金沙江—鲜水河断裂带在第三纪表现为挤压兼右旋走滑, 第四纪以来转变为左旋走滑, 转变时间主要发生在 248 万年以后, 13 万年以来达到高峰. 除此之外, 延续至现今的各主要断裂带及其围限的各级块体的运动方式, 也于数百万年甚至更短的时间前开始这一转变过程, 大致与羌塘地块向东挤出的时间相当(曾融生, 孙为国, 1992; 孙珍等, 2003; Lee *et al*, 2003). 这显然是我国西南地区断裂活动格局的重要转折, 对研究断裂活动特性以及地震类型十分重要.

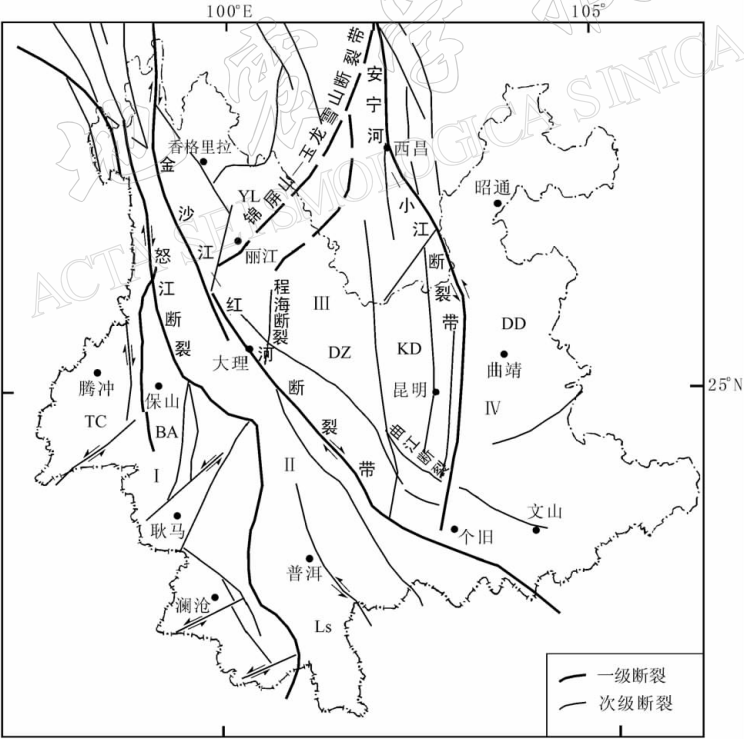


图 1 云南及邻区现代断裂格局示意图

I. 滇缅泰块体; II. 印支块体; III. 滇中块体; IV. 滇东块体; TC. 腾冲块体; BA. 保山块体;
Ls. 澜坪—思茅弧后盆地; YL. 盐源—丽江陆缘拗陷; DZ. 滇中拗陷; KD. 康滇古隆起; DD. 滇东块体

云南地区强震活动与区域现代断裂构造关系密切, 重要的断裂带也是强震活动带, 多

数强震活动主要沿大的构造断裂带分布,强震震源机制结果与野外调查给出的断层错动方向及其力学性质基本一致.表明云南强地震受控于区域活动断裂(图 1).

2 云南地区地震类型分区特征

地震类型是研究地震活动性的重要参数,震区介质状态、动力过程和发震断层几何性 状是影响地震类型的主要因素.云南地区地震类型较为复杂,实际上就是上述 3 个因素随 区域的变化而变化.但是这种变化受到区域构造格局的制约,同样也反映了区域构造运动 的过程和结果.根据云南地区活动块体划分以及过去 100 年强震活动的分布特征(皇甫岗 等,2000),将云南地区以金沙江—红河断裂带为界,分为东、西两大区域.川滇菱形块体 南部就位于东部地区,构成块体东缘的小江断裂带和由红河断裂带控制的块体南缘的曲江 弧形断裂带是大震较为频发的地震带(皇甫岗,张受生,1985).东部地区以近南北向的程 海断裂为界,还可细分为滇西北区和滇中区.滇西北区主要指滇西北裂陷区,西南缘为红 河断裂北段所控制(虢顺民,1990).为了分析云南地区地震类型的分布特征,这里着重从 地震序列类型和震源机制解两个方面进行研究.

2.1 地震序列类型

本文选取了云南地区 1965—2005 年 $M_s \geq 5.0$ 地震序列 87 个,其中,1965—1996 年数 据取自《云南地震目录》^①;1997—2005 年数据取自《云南省月报目录》^②,余震不考虑.

按照地震序列的常规分类标准(中国地震局,1998),将 87 个地震序列进行分类,确定 4 种类型的地震序列分别为:孤立型 2 个(占总数的 2.3%),主震-余震型 55 个(占 63.2%),双震型 25 个(占 28.7%),震群型 5 个(占 5.8%).表 1 给出了这些不同类型的地 震序列及相关参数.结果表明,在云南地区,主震-余震型地震占主导地位,双震型地震

表 1 地震序列的有关参数、序列类型和主震能量与序列总能量的比值

序 号	日 期 年-月-日	发震时刻 时:分:秒	震 中 位 置		主 震 震 级		深度 /km	参考 地名	最大 余震	序列 类型	$E_{\text{主}}/E_{\text{总}}$
			北纬	东经	M_L	M_S					
1	1970-01-05	01:00:34.0	24°06′	102°36′		7.7	13	通海	$M_S5.7$	主余震型	99.58%
2	1974-05-11	03:25:16.0	28°06′	104°00′		7.1		大关	$M_S5.7$	主余震型	98.50%
3	1976-05-29	20:23:18.0	24°22′	98°38′		7.3	20	龙陵		双震型	52.27%
	1976-05-29	22:00:23.0	24°33′	98°45′		7.4	20				
4	1988-11-06	21:03:14.5	22°50′	99°43′		7.6	13	澜沧-		双震型	75.04%
	1988-11-06	21:15:44.9	23°23′	99°36′		7.2	8	耿马			
5	1995-07-12	05:46:41.2	21°59′	99°04′		7.3	9	孟连	$M_S5.1$	主余震型	97.07%
6	1996-02-03	19:14:18.1	27°18′	100°13′		7.0	10	丽江	$M_S6.0$	主余震型	95.00%
7	1966-02-05	23:12:30.0	26°12′	103°12′		6.5		东川		双震型	73.05%
	1966-02-13	18:44:36.0	26°06′	103°12′		6.2					
8	1966-09-28	22:00:19.0	27°30′	100°06′		6.4		中甸	$M_L4.6$	主余震型	99.21%
9	1970-02-07	06:10:37.0	22°54′	100°48′		6.2		普洱	$M_S5.5$	主余震型	91.50%
10	1971-04-28	23:31:58.0	22°48′	101°06′		6.7		思茅	$M_S6.0$	主余震型	91.69%
11	1973-08-16	11:58:05.0	22°49′	100°58′		6.5		思茅	$M_S5.2$	主余震型	97.54%
12	1976-11-07	02:04:05.0	27°30′	101°05′		6.7	19	盐源-		双震型	69.48%
	1976-12-13	14:36:55.0	27°21′	101°03′		6.4	9	宁蒗			
13	1979-03-15	20:52:25.0	23°07′	101°15′		6.8	10	普洱	$M_S5.3$	主余震型	99.22%

① 云南省地震局. 云南地震目录, 1965—1996.
② 云南省地震局. 云南省地震月报目录, 1997—2005.

续表 1

序 号	日 期 年-月-日	发震时刻 时:分:秒	震 中 位 置		主 震 震 级		深度 /km	参考 地名	最大 余震	序列 类型	$E_{主}/E_{总}$
			北纬	东经	M_L	M_S					
14	1984-04-24	06:29:56.0	22°04′	99°14′		6.0		缅甸	$M_S5.1$	主余震型	86.89%
15	1985-04-18	13:52:51.0	25°51′	102°51′		6.3		禄劝	$M_S5.1$	主余震型	97.10%
16	2003-07-21	23:16:30.1	25°57′	101°14′		6.1	6	大姚		双震型	64.23%
	2003-10-16	20:28:03.9	25°55′	101°18′		5.9	5				
17	1992-04-23	22:18:33.4	22°25′	98°57′		6.7		缅甸		双震型	58.28%
	1992-04-23	23:32:46.7	22°37′	99°04′		6.8					
18	1993-01-27	04:32:05.1	22°56′	101°05′		6.3	14	普洱	$M_S5.3$	主余震型	95.14%
19	1994-01-11	08:51:56.7	25°05′	97°19′		6.7		缅甸		双震型	57.42%
	1994-04-06	15:03:24.9	25°53′	96°50′		6.3					
20	1995-10-24	06:46:52.2	25°50′	102°19′		6.5	15	武定	$M_S5.3$	主余震型	86.51%
21	1998-10-02	20:49:29.0	27°18′	101°06′		5.3		宁蒗		震群型	89.64%
	1998-10-27	04:01:39.0	27°14′	101°01′		5.2					
	1998-11-19	19:38:11.0	27°14′	100°59′		6.2					
22	2000-01-15	07:37:05.1	25°35′	101°07′		6.5	30	姚安	$M_S5.9$	主余震型	88.40%
23	2001-10-27	13:35:40.4	26°14′	100°34′		6.0	15	永胜	$M_L4.1$	主余震型	99.74%
24	1971-02-05	17:10:35.0	25°16′	99°30′		5.8		保山	$M_L4.6$	主余震型	98.12%
25	1972-01-23	10:05:56.0	23°26′	102°26′		5.5		红河	$M_L4.8$	主余震型	88.91%
26	1972-08-27	22:49:27.0	22°45′	100°34′		5.5		思茅	$M_L4.8$	主余震型	94.61%
27	1973-03-22	14:10:24.0	22°04′	100°49′		5.5		景洪	$M_L3.6$	主余震型	99.77%
28	1973-04-22	13:46:23.0	27°25′	103°53′		5.0		彝良	$M_L3.7$	主余震型	98.88%
29	1973-06-01	21:02:59.0	24°55′	98°36′		4.9		腾冲		双震型	57.44%
	1973-06-02	00:39:48.0	24°56′	98°35′		5.1					
30	1975-01-12	05:22:27.0	24°48′	101°32′		5.6		楚雄	$M_L3.9$	主余震型	98.86%
31	1975-07-09	21:55:40.0	23°52′	103°05′		5.2		建水	$M_L3.0$	主余震型	99.73%
32	1975-09-04	05:50:31.0	25°49′	99°51′		5.0	20	漾濞	$M_L3.8$	主余震型	95.77%
33	1975-10-28	07:18:44.0	21°18′	101°30′		5.5		勐腊	$M_L4.7$	主余震型	94.75%
34	1975-12-01	02:22:23.0	27°06′	100°17′		5.0		丽江		双震型	78.48%
	1975-12-01	02:33:18.0	27°14′	100°23′	4.2	4.6					
35	1976-02-16	22:45:39.0	22°52′	100°36′		5.7	24	思茅		双震型	64.36%
	1976-02-19	17:38:28.0	22°43′	100°35′		5.5					
36	1976-11-03	13:41:02.0	25°00′	99°15′		5.3		保山	$M_L4.3$	主余震型	89.32%
37	1978-05-19	20:58:56.0	25°32′	100°18′		5.3		大理		双震型	72.54%
	1978-05-20	09:40:52.0	25°33′	100°18′		4.9		凤仪			
38	1978-09-10	07:11:07.0	22°57′	101°10′		5.5		普洱	$M_L4.9$	主余震型	86.69%
39	1980-02-02	20:29:12.0	27°58′	101°15′	5.8	5.5		木里	$M_L4.4$	主余震型	97.74%
40	1980-06-18	05:45:52.0	23°25′	103°40′		5.4		蒙自	$M_L3.9$	主余震型	92.98%
41	1981-07-07	10:29:02.0	25°08′	97°55′		5.4		盈江		双震型	66.74%
	1981-08-14	14:09:28.0	25°10′	97°52′	4.8	5.1					
42	1982-07-03	16:13:31.0	26°36′	99°45′	5.4	5.4		剑川	$M_L4.3$	主余震型	93.55%
43	1982-10-08	21:34:54.0	26°16′	100°00′		5.0		洱源	$M_L3.5$	主余震型	98.94%
44	1982-10-27	20:36:31.0	23°48′	105°54′		5.7		富宁	$M_L3.5$	主余震型	97.80%
45	1982-12-28	15:30:03.0	22°26′	101°02′	5.4	5.4		景洪	$M_L3.4$	主余震型	98.16%
46	1982-12-28	16:00:00.0	25°30′	99°23′	5.2	5.3		永平	$M_L2.9$	主余震型	99.93%
47	1983-05-26	20:07:08.0	22°22′	101°13′	4.9	5.1		景洪		双震型	65.59%
	1983-05-28	11:28:04.0	22°25′	101°13′	5.2	5.3					
48	1983-06-04	17:34:41.0	26°58′	103°24′	5.0	4.9		鲁甸	$M_L3.6$	主余震型	97.05%
49	1985-09-02	03:07:41.0	23°36′	102°41′		5.3		建水	$M_L4.6$	主余震型	90.36%
50	1985-08-23	11:19:55.0	25°24′	97°44′	5.1	5.3		缅甸		震群型	53.02%
	1985-08-26	02:42:17.0	25°21′	97°44′	5.2	5.5					
	1985-09-06	02:30:18.0	25°26′	97°44′	5.9	5.7					
51	1986-03-13	16:41:18.0	26°12′	100°10′	5.2	5.3		鹤庆	$M_L3.8$	主余震型	94.73%
52	1986-07-10	09:15:26.0	27°27′	101°24′		5.0		盐源		双震型	66.17%

续表 1

序 号	日 期 年-月-日	发震时刻 时:分:秒	震 中 位 置		主 震 震 级		深度 /km	参考 地名	最大 余震	序 列 类型	$E_{主}/E_{总}$
			北纬	东经	M_L	M_S					
	1986-08-12	18:45:49.0	27°28'	101°26'	5.6	5.3					
53	1986-10-07	07:27:08.0	25°20'	102°22'		5.3		富民	$M_L4.2$	主余震型	97.69%
54	1987-05-18	10:03:07.9	26°11'	100°11'		5.1		鹤庆	$M_L3.8$	主余震型	98.81%
55	1988-01-10	15:43:13.6	27°13'	100°56'	5.7	5.5		宁蒗	$M_L3.5$	主余震型	98.96%
56	1990-01-27	06:46:17.6	23°13'	100°01'	5.2	5.0		双江		双震型	73.31%
	1990-01-27	07:27:38.6	23°22'	100°04'	4.7						
57	1991-04-12	04:32:16.9	27°15'	100°59'	5.4	5.0		宁蒗	$M_L3.9$	主余震型	96.96%
58	1991-07-01	14:18:03.8	24°52'	99°01'	5.0	4.9		施甸		双震型	59.82%
	1991-07-22	19:58:51.5	24°50'	99°01'	5.3	5.1					
59	1992-12-18	19:21:40.9	26°22'	100°35'	5.6	5.4	15	永胜		双震型	73.05%
	1992-12-22	11:30:15.5	26°22'	100°36'	5.2	5.1	20				
60	1993-02-01	03:33:28.8	25°51'	101°21'	5.5	5.3	10	大姚		双震型	84.63%
	1993-02-01	19:50:33.8	25°52'	101°20'	4.9	4.8	10				
61	1993-03-29	09:17:26.3	21°56'	102°58'		5.2		越南		双震型	43.82%
	1993-03-30	21:57:06.6	21°59'	102°57'		5.2					
62	1993-05-30	16:32:25.5	23°41'	100°23'	4.9			景谷		震群型	43.30%
	1993-06-03	09:15:36.9	23°25'	100°07'	5.3	5.0	10				
	1993-06-11	04:38:30.9	23°42'	100°28'	4.8		20				
63	1993-06-04	09:03:59.9	23°40'	100°23'	5.3	5.0		临沧		双震型	73.46%
	1993-06-04	09:42:52.0	23°41'	100°22'	4.7						
64	1993-07-17	17:46:34.3	27°47'	99°42'		5.8		中甸	$M_L4.2$	主余震型	98.69%
65	1993-08-14	22:30:00.4	25°27'	101°15'		5.6		姚安	$M_L4.3$	主余震型	98.83%
66	1994-07-05	19:35:42.9	23°34'	100°23'	4.5			景谷		震群型	48.41%
	1994-07-05	19:59:11.1	23°35'	100°24'	4.8						
	1994-09-19	23:28:36.2	23°36'	100°19'	5.2	5.0					
67	1995-02-18	08:14:40.6	22°59'	99°41'	5.3	5.2		澜沧	$M_L3.2$	主余震型	99.81%
68	1995-04-25	00:13:08.5	22°46'	102°44'	5.7	5.5		金平	$M_L2.6$	孤立型	99.98%
69	1995-11-10	04:55:15.1	22°11'	102°32'		5.2		越南	$M_L4.3$	主余震型	52.47%
70	1997-01-25	10:38:52.0	21°52'	101°05'	5.3	5.1		景洪		双震型	84.83%
	1997-01-30	17:59:01.0	22°24'	101°24'		5.6	5	江城			
71	1998-12-01	15:37:53.0	26°19'	104°05'		5.1		宣威	$M_L3.0$	主余震型	99.86%
72	1999-06-29	07:38:22.0	21°24'	99°20'	5.5	5.0	5	缅甸		双震型	59.30%
	1999-07-15	18:35:15.0	21°23'	99°19'	5.5	5.2					
73	1999-11-25	00:40:18.0	24°36'	102°52'		5.2	10	澄江	$M_L3.8$	主余震型	98.58%
74	2000-01-27	04:55:16.0	24°09'	103°38'		5.5	10	丘北	$M_L3.0$	孤立型	99.98%
75	2000-08-21	21:25:39.7	25°49'	102°13'		5.1	8	武定	$M_L3.8$	主余震型	96.06%
76	2001-02-19	23:51:36.1	21°26'	102°50'		5.2	10	老挝		双震型	47.31%
	2001-02-20	03:02:50.6	21°22'	102°54'	5.0	8					
77	2001-03-12	16:57:50.4	22°18'	99°49'		5.0	10	澜沧	$M_L4.3$	主余震型	98.28%
78	2001-04-10	11:13:06.7	24°48'	99°01'		5.2	10	施甸		震群型	79.08%
	2001-04-12	18:46:59.6	24°50'	99°01'		5.9	5				
	2001-06-08	02:03:28.2	24°49'	98°59'		5.3	5				
79	2001-05-24	05:10:39.6	27°38'	100°48'		5.8	5	宁蒗	$M_L4.7$	主余震型	97.15%
80	2001-07-15	02:36:05.2	24°20'	102°38'		5.1	8	江川	$M_L3.1$	主余震型	99.86%
81	2001-07-10	07:51:32.1	24°56'	101°23'		5.3	13	楚雄	$M_L3.0$	主余震型	99.93%
82	2001-09-04	12:05:55.6	23°38'	100°33'		5.0	8	景谷	$M_L3.8$	主余震型	93.01%
83	2003-11-15	02:49:42.7	27°10'	103°37'		5.0		鲁甸		双震型	77.00%
	2003-11-26	21:38:54.7	27°12'	103°38'		4.6					
84	2004-12-26	09:18:12.4	25°51'	100°36'		5.0		宾川	$M_L3.9$	主余震型	97.34%
85	2005-01-26	00:30:36.2	22°37'	100°43'		5.1	6	思茅	$M_L4.4$	主余震型	90.80%
86	2005-08-13	12:58:42.7	23°36'	104°04'	4.7	5.3	3	文山	$M_L3.7$	主余震型	97.44%
87	2005-08-05	21:45:12.1	26°33'	103°08'		4.7	21	会泽		双震型	91.11%
	2005-08-05	22:14:43.1	26°33'	103°09'		5.4	21				

的比例也很大，这在我国其它地区并不多见。

对云南各区的地震类型进行了统计分析(表 2)。由表 2 可以看出，云南东、西部地区的地震序列类型存在着明显差异：东部地区主要为主震-余震型，占 73.3%，双震型和震群型占 24.4%；而西部地区主震-余震型与其它类型约各占一半。

由表 3 可以看出，在东部地区中，滇西北区的主震-余震型占 68.4%，双震型和多震型占 31.6%；滇东地区的主震-余震型占 86.7%，双震型和多震型占 13.3%。由此可见，东部地区的双震型和多震型主要分布在滇西北裂陷区。

表 2 云南东西部地区地震序列类型统计

地 区	地震序列数	地 震 序 列 类 型			
		孤立型	主余震型	双震型	震群型
云南地区	87	2	55	25	5
东部地区(A ₁ +A ₂ +C)	45	1	33	10	1
西部地区(B ₁ +B ₂)	42	1	22	15	4

表 3 云南地震序列类型分区统计

地 区	地震序列数	地 震 序 列 类 型			
		孤立型	主余震型	双震型	震群型
滇中区(A ₁)	15	0	13	2	0
滇西北区(A ₂)	19	0	13	5	1
滇西区(B ₁)	22	0	9	10	3
滇西南区(B ₂)	20	1	13	5	1
滇东区(C)	11	1	7	3	0

西部地区的双震型和多震型主要分布在北西向的腾冲—景洪一带，无与之相应的地表断裂构造存在，可能是一条新产生的新生地震破裂带(虢顺民等，1999)。图 2 给出了本研究使用的地震震中分布及统计分区结果。

2.2 震源机制解

对于云南地区震源机制解，前人做了大量的研究工作(阚荣举等，1977；王绍晋，2001)。本文采用震源机制解中 N 轴倾角资料，用以判断震源断层错动或滑动方式。根据 N 轴倾角 α 的变化，可以把震源破裂性质划分为 3 种滑动类型：① 倾滑型。 $\alpha < 30^\circ$ ；② 斜滑型。 $31^\circ < \alpha < 60^\circ$ ；③ 走滑型。 $61^\circ < \alpha < 90^\circ$ (程万正等，2003)。由此，收集并计算得到了 1933—2005 年云南地区 39 次 6 级以上的地震震源机制解中 N 轴的数据(表 4)。图 3 给出了云南 4 个分区的强震 N 轴倾角的优势分布。

由表 4 得知，云南地区强震 N 轴倾角绝大多数大于 60° ，平均值为 65.7° 。这一统计结果表明云南地区走滑错动型地震居多；然而在滇西北中甸、丽江和宁蒗地区强震 N 轴倾角绝大多数小于 60° ，平均值仅为 48.5° 。表明该地区受到较强的垂向力的作用，断层运动垂

表 4 云南强震震源机制解 N 轴倾角分区

分 区	N 轴倾角 $\alpha/^\circ$		断层滑动类型
	取值范围	平均值	
云南地区	15~86	65.7	走滑为主
滇中区	50~84	74.3	走滑为主
滇西北区	15~73	48.5	斜滑为主
滇西区	36~86	71.2	走滑为主
滇西南区	21~70	60.0	走滑，垂向分量大

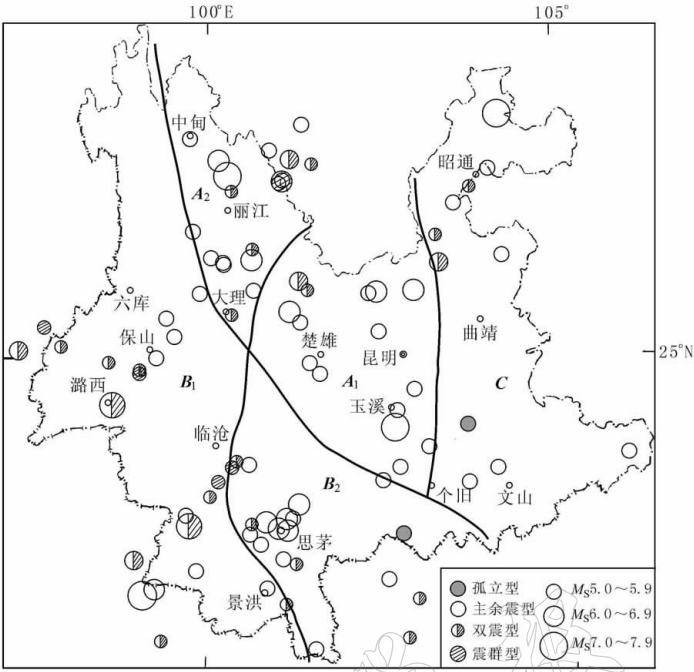


图 2 地震类型分区示意图

A₁. 滇中区; A₂. 滇西北区; B₁. 滇西区; B₂. 滇西南区; C. 滇东区

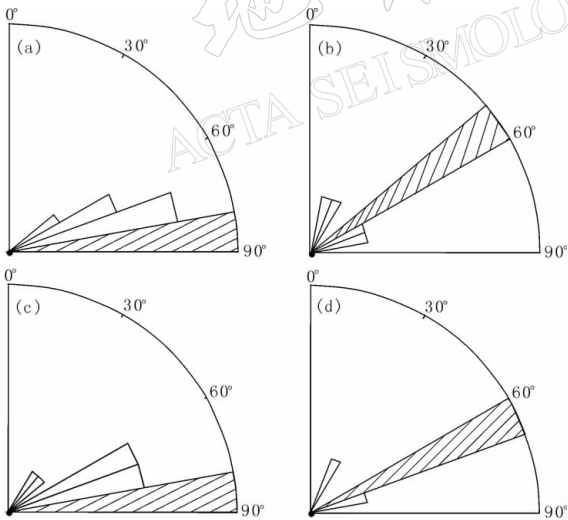


图 3 云南强震震源机制解 *N* 轴倾角分区玫瑰图
(a) 滇中区; (b) 滇西北区; (c) 滇西区; (d) 滇西南区

向分量较大. 其中 1996 年 2 月 3 日丽江 7.0 级地震破裂面就显示以正倾滑为主的特征, *N* 轴倾角仅为 15°. 另外滇西南思茅—普洱地区比云南其它地区 *N* 轴倾角也较小, 平均值为 60°. 表明断层错动也具有一定垂向分量. 因此, 根据 *N* 轴倾角的优势分布, 可以将云南地区划分为 5 个区域: ① 滇中区(A₁). 断层错动以走滑为主, *N* 轴倾角平均值为 74.3°; ② 滇西北区(A₂). 断层错动垂向分量较大, 显示出受到较强的垂向力作用, *N* 轴倾角平均值为 48.5°; ③ 滇西区(B₁). 断层错动以走滑为主; ④ 滇西南区(B₂). 断层错动具有一定垂向分量, *N* 轴倾角

平均值为 60°; ⑤ 滇东区(C). 小江断裂带以东的地区地震活动性相对微弱, 相应震例极少, 在此为独立分区.

3 讨论和结论

地震类型分区特征研究对于地震趋势及区域地震活动性判定是一项重要的基础研究工作. 本文综合地震序列和震源机制的研究结果, 将云南地区按地震类型分为 5 个区(图 2):

滇中区(走滑-主余震型区)(A_1). 该区的西、南和东缘分别为程海、红河和小江 3 条断裂带所围限, 边界及内部断裂基本为走滑型, 地下介质相对完整, 属于低 Q 值地区(秦嘉政, 1989). 这样的地区, 前震不发育, 地震前兆异常不明显, 是云南地区地震预测难度较大的地区.

滇西北区(斜滑-震群型区)(A_2). 该区长期处于裂陷环境, 西缘的红河断裂北段以及东缘的程海断裂带在北段均有较大的倾滑分量. 特别是滇西北中部发育的北东向丽江—小金河断裂两侧存在地壳厚度由北向南陡减的梯度带(王凯英等, 2003). 推测在滇西北菱形块体向南南东水平滑动过程中, 可能派生出较大的垂向运动分量. 加之整个滇西北地区地壳介质完整性较差, 属于云南地区 Q 值较大的地区. 因此, 该区地震类型较为复杂, 震群和双震型占有很大的比例, 特别是滇西北北部地区.

滇西区(走滑-双震型区)(B_1). 主要指澜沧江断裂带以西地区, 地质历史上以一系列北东向断裂构成主控断裂系. 印度板块侧向俯冲, 在该区除强烈的水平推挤外还派生出一定的垂向分量. 值得关注的是现代大震活动沿北北西条带分布, 地表这一方向无明显大断裂形迹, 被认为一条新生断裂正在形成中(虢顺民等, 1999). 由于该区能量积累速率远高于内陆其它地域, 大震原地复发时间间隔较短, 且双震型大震占很大比例, 表现出北东向断裂与北西—北北西向断裂活动关联度很高.

滇西南区(准走滑-主余震型区)(B_2). 特指澜沧江断裂与红河断裂夹持的思茅—普洱地区. 该地区历史上无 7 级以上大震记录, 但中强地震极为活跃, 地震类型以主-余震型为主体.

滇东区(C). 小江断裂带以东地区. 该地区北部地震活动频繁, 而南部微弱, 地震样本少且复杂, 地震类型优势不明显, 无法纳入相应的区划.

通过地震序列和强震震源机制研究表明, 云南地区具有较明显的地震类型分区特征. 很显然, 这种特征是一个相对的概念. 就云南全区而言, 地震断层以走向滑动为主, 地震序列以主-余震型为主. 这与云南所处的大地构造区位、活动块体以及主要活动断裂的动力学、运动学以及几何学特征相一致. 在这样的大背景下, 不同区域还存在着受区域构造、介质及应力场控制的特殊的地震类型.

如果将红河断裂带视为云南地区一级地震类型分区的界限, 那么对于地震孕震过程监视更为重要的是二级分区. 北西向的红河断裂东部地区或川滇菱形块体南部地区, 地震断层基本为走滑型, 地震序列主要为主-余震型; 西部地区或滇缅弧形构造带与红河断裂带夹持地区, 地震断层走滑背景上存在明显的倾滑分量, 双震型地震占了相当的比例. 因此, 本研究进一步支持以红河断裂带划界, 研究云南强震活跃期强震活动主体地区变化的合理性, 进而深入探讨云南东、西部地区在不同力源作用下相对独立的孕震过程(皇甫岗, 秦嘉政, 2006).

参 考 文 献

程万正, 刁桂苓, 吕弋培, 等. 2003. 川滇地块的震源力学机制、运动速率和活动方式[J]. 地震地质, 25(1): 71-87.

- 魏顺民. 1990. 滇西北活动断裂[M]. 北京: 地震出版社: 199-207.
- 魏顺民, 向宏发, 周瑞琦, 等. 1999. 滇西南龙陵—澜沧断裂带: 中国大陆地壳上一条新生的破裂带[J]. 科学通报, 44(19): 2 118-2 121.
- 皇甫岗, 张受生. 1985. 地震的同步性与滞后性: 曲江、石屏断裂带与鲜水河断裂带地震活动对比研究[C]//鲜水河断裂带地震学术讨论会文集. 北京: 地震出版社: 104-110.
- 皇甫岗. 1997. 1996年2月3日云南丽江7.0级地震[J]. 地震研究, 20(1): 1-8.
- 皇甫岗, 苏有锦, 石绍先. 2000. 20世纪云南地区地震活动研究[J]. 地震研究, 23(1): 1-9.
- 皇甫岗, 秦嘉政. 2006. 云南地区大震活动规律研究[J]. 地震地质, 28(1): 37-47.
- 阚荣举, 张四昌, 晏凤桐, 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[J]. 地球物理学报, 20(2): 96-109.
- 李坪, 汪良谋. 1975. 云南川西地区地震地质基本特征的探讨[J]. 地质科学, (4): 308-325.
- 马宗晋, 张家声, 汪一鹏. 1998. 青藏高原三维变形运动学的时段划分和新构造分区[J]. 地质学报, 72(3): 211-227.
- 秦嘉政. 1989. 云南地区短周期波区域Q值与地震烈度衰减关系[G]//云贵地区地震危险性研究文集. 昆明: 云南科技出版社: 253-260.
- 秦嘉政, 皇甫岗, 钱晓东. 2005. 云南强震活动与预测方法研究[M]. 昆明: 云南科技出版社: 1-321.
- 孙珍, 钟志洪, 周蒂, 等. 2003. 红河断裂带的新生代变形机制及莺歌海盆地的实验证据[J]. 热带海洋学报, 22(2): 1-9.
- 王凯英, 马瑾, 顾国华, 等. 2003. 1996年川滇地区发生的一次应力转向事件[J]. 地学前缘, 10(特刊): 233-239.
- 王绍晋. 2001. 川滇地区7级大震前中强震震源机制变化[J]. 地震研究, 24(2): 99-108.
- 曾融生, 孙为国. 1992. 青藏高原及其邻区的地震活动性和震源机制以及高原物质东流的讨论[J]. 地震学报, 14(增刊): 534-564.
- 张培震, 邓起东, 张国民, 等. 2002. 中国大陆的强震活动与活动地块[J]. 中国科学(D辑), 33(增刊): 12-20.
- 张培震, 沈正康, 王敏, 等. 2004. 青藏高原及周边现今构造变形的运动学[J]. 地震地质, 26(3): 367-376.
- 中国地震局. 1998. 地震现场工作大纲和技术指南[M]. 北京: 地震出版社: 25-26.
- Lee Haoyang, Chung Sunlin, Wang Junren. 2003. Miocene Jiali faulting and its implications for Tibetan tectonic evolution[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 205: 185-194.
- Tapponnier P, Molnar P. 1976. Slip-line field theory and large scale continental tectonics[J]. *Nature*, 264: 319.

SUBAREA CHARACTERISTICS OF EARTH- QUAKE TYPES IN YUNNAN

Huang Fugang^{1,2)} Qin Jiazheng²⁾ Li Zhonghua²⁾ Wu Chengdong²⁾

1) School of Earth and Space Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

2) Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, China

Abstract: Studies on the earthquake sequences and the source mechanisms of the strong earthquakes show that Yunnan has more obvious subarea characteristics of earthquake type. Strike-slip seismic fault and mainshock-aftershock earthquake sequences are dominant in whole Yunnan area. Considering the ratio of non strike-slip faults and non mainshock-aftershock, Yunnan area can be divided into four subareas with different characteristics, which are strike-slip mainshock-aftershock in central Yunnan (A_1), incline-slip swarm in northwestern Yunnan (A_2), strike-slip double shock in western Yunnan (B_1) and quasi-strike-slip mainshock-aftershock in southwestern Yunnan (B_2), respectively.

Key words: activity of strong earthquake; earthquake type; subarea characteristics; Yunnan area