

文章编号: 0253-3782(2005)03-0260-09

# 南海东部海沟的震源机制 解及其构造意义<sup>\*</sup>

朱俊江<sup>1, 2)</sup> 丘学林<sup>1, 2)</sup> 詹文欢<sup>1, 2)</sup> 徐辉龙<sup>1, 2)</sup> 孙龙涛<sup>1, 2)</sup>

1) 中国广州 510301 中国科学院边缘海地质重点实验室

2) 中国广州 510301 中国科学院南海海洋研究所

**摘要** 根据马尼拉海沟及邻区地震、火山活动的分析,并结合地震震源机制和地球物理资料分析,发现马尼拉海沟在深度 200 多公里仍为俯冲的性质,深地震主要集中在  $12^{\circ}\text{N}\sim 14^{\circ}\text{N}$  之间,地震密集区出现明显的分段特征,从北到南深度逐渐变深.震源机制解所反映的最大主压应力轴( $P$  轴)以菲律宾大断层为界,北部主要为 NW 向;南部较为复杂,为 NW, NE 和近 NS 向.显示了北部以挤压逆冲为特征,南部以顺时针旋转为特征.菲律宾板块向西仰冲所产生的构造应力,被马尼拉海沟的斜向俯冲,菲律宾大断层的左旋走滑,以及民都洛断层的左旋走滑所调节.

**关键词** 马尼拉海沟 震源机制 地震和火山活动

**中图分类号:** P315.3<sup>+</sup>3 **文献标识码:** A

## 引言

南海地处欧亚板块、太平洋板块(菲律宾板块)和印度洋板块的交会地带.三大板块的相互作用,使该区地壳受到多方面的构造应力,使得南海处在一个复杂的构造应力环境中.南海四周存在不同类型的边缘:北边是南海北部张裂边缘构造带;西边是南北向越大大型平移断裂带;南边是已停止扩张的南沙海槽碰撞构造带;东边是一直活动的马尼拉海沟俯冲带.各板块交接地带火山、地震密集分布(图 1).研究表明,南海扩张活动的停止在 17 Ma 左右(Taylor, Hayes, 1983),菲律宾群岛沿马尼拉海沟仰冲大概是早中新世(Schweller *et al*, 1983)或 10 Ma 以后更晚开始的(周蒂等, 2002).马尼拉海沟断裂位于中央海盆东侧,北起巴士海峡南,止与民都洛岛附近海域,呈近 SN 向分布的向西突出的弧形深水槽地,长约 1 000 km.在海沟东侧分布北吕宋海槽、西吕宋海槽,海槽被沉积物填充,两海槽在  $17^{\circ}\text{N}$  被斯图尔特浅滩(SB)分割.该浅滩是海沟西侧古扩张洋脊的一部分(Ludwig *et al*, 1979; Pautot, Rangin, 1989).马尼拉海沟是南海的唯一海沟,它分布在深海盆东缘与东部陆坡的交接处,与马尼拉海沟断裂位置吻合(图 2).Pautot 和 Rangin (1989)利用多波束技术分析正在俯冲的海山链,认为海沟西部海底存在 NNW 向和 NE 向的正断层,NNW 向断层可能与古扩张脊俯冲弯曲有关.李家彪等(2002, 2003)发现近北

<sup>\*</sup> 中国科学院南海海洋研究所领域前沿项目(LYQY200302)、国家 973 项目(G2000046701)、国家自然科学基金(40476026)和广东省自然科学基金(04001309)资助.

2004-04-06 收到初稿, 2004-09-02 收到修改稿, 2004-10-08 决定采用.

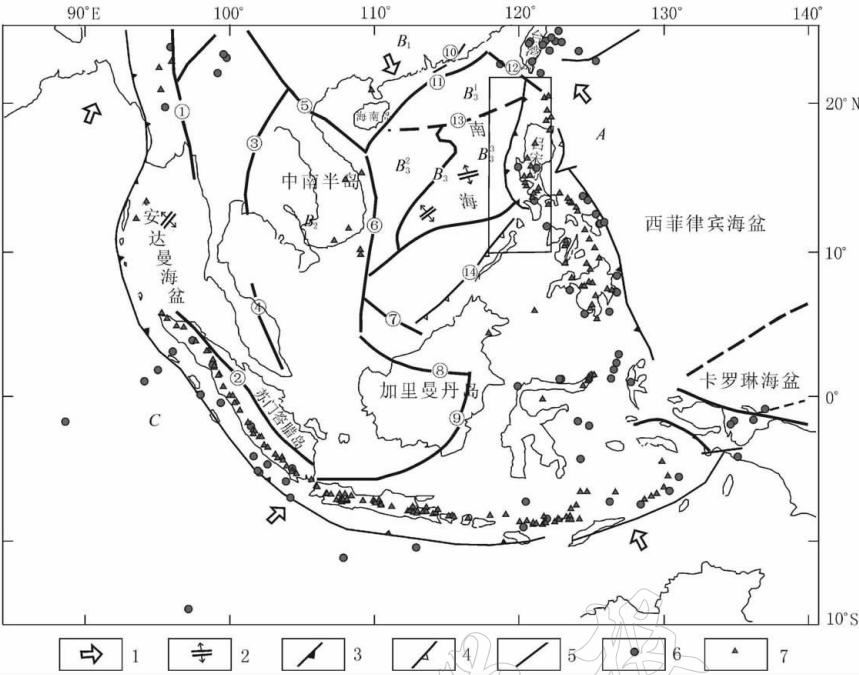


图 1 南海及邻区构造分区与地震和火山分布图

1. 板块与亚板块相对欧亚板块运动方向；2. 扩张中心；3. 俯冲带；4. 推覆带前锋；5. 断层；6.  $M \geq 7$  地震；7. 火山。A. 太平洋板块；B. 欧亚板块；B<sub>1</sub>. 华南亚板块；B<sub>2</sub>. 印支—巽他亚板块；B<sub>3</sub>. 南海亚板块；B<sub>4</sub>. 东沙地块；B<sub>5</sub>. 西沙地块；B<sub>6</sub>. 南海海盆；B<sub>7</sub>. 南沙地块；C. 印度—澳大利亚板块。① 掸帮断裂；② 巴厘散断裂；③ 琅勃拉邦断裂；④ 劳勿—文东断裂；⑤ 金沙江—红河断裂；⑥ 越东断裂；⑦ 廷贾断裂；⑧ 卢帕尔断裂；⑨ 默腊土斯断裂；⑩ 丽水—海丰断裂；⑪ 琼粤滨海断裂；⑫ 澎湖西断裂；⑬ 西沙海槽北缘断裂；⑭ 南沙海槽断裂。底图由 GMT 制作 (Wessel, Smith, 1995)，构造形迹据龚再升等 (1997)

东向的弧形俯冲带增生体构造地貌和北西向断崖、断壁等线性构造。臧绍先等 (1994) 认为菲律宾群岛的形变调整和沿群岛的东西两侧的俯冲作用，使得南海亚板块受东面的挤压作用大大减弱。

南海海盆停止扩张并向马尼拉海沟俯冲控制着南海东部的构造演化，因此，为了认识南海海盆的构造演化，从马尼拉海沟俯冲方式和应力方向入手进行研究显得尤为重要。前人是从地形地貌、单道地震剖面和多道地震剖面来分析海盆东部的断层和地壳速度结构的，但是，对于海沟这样一个特殊的构造部位，构造活动影响较深，从地震反射剖面资料只能获得浅部地质信息，其分析深度远远不够。本文从马尼拉海沟邻区的地震活动和震源机制出发，探讨海沟的应力方向以及与南海构造演化的关系。

1 马尼拉海沟及邻区地震、火山活动特征

从构造地貌分析，马尼拉海沟形态清晰，海沟的断面呈不对称的“V”形，沟底宽 10 km，地形平坦。其水深 4 800~4 900 m，最深达 5 377 m，沉积物厚 2 km，地层微向东倾，沉积物充填海沟 (Pautot, Rangin, 1989；刘以宣, 1994)。海沟为一系列张性断层所控制，构成狭窄的地堑盆地 (刘以宣, 1994；陈学波等, 1996)。马尼拉海沟断裂在早第三纪为张

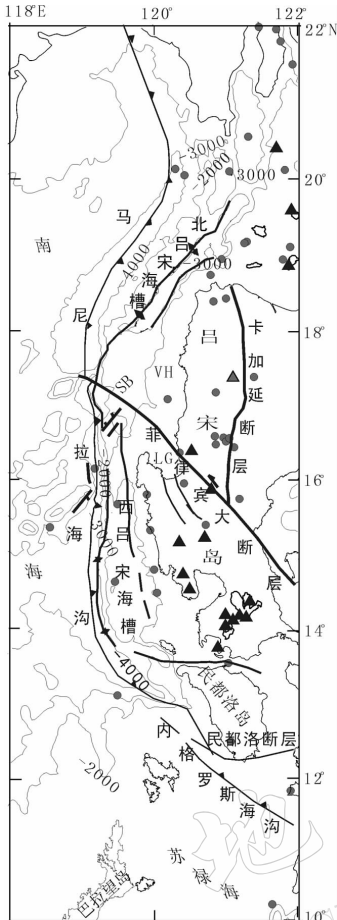


图2 马尼拉海沟两侧断裂及地震、火山分布  
实心圆表示6级以上地震震中，三角表示火山位置，粗线条表示断裂，字母VH(维甘高地)、LG(仁牙因湾)、SB(斯图尔特浅滩)为地名缩写。  
底图由 GMT 绘制，图中水深线利用 ETOPO2 数据

性裂谷，渐新世晚期至早中新世南海第二次 SN 向扩张时为剪性断层。早中新世后，菲律宾海板块自 ESE 向 WNW 挤压，从而转换成向东倾的贝尼奥夫带。其北部倾角为 45°，向东延深 200 km，有浅、中源地震。该带为强烈活动断裂带(刘以宣，1994)。

本文地震数据来自国家数字地震台网分中心的中国地震台网(CSN)和国际地震台网(ISC)地震目录，时间从 1964 年 1 月~2003 年 11 月，共收集地震 2 170 次。火山位置数据来自史密逊研究所的全球火山项目(GVP)数据目录。马尼拉海沟两侧出现的地震部分是浅源地震(震源深度 0~70 km)，还有许多是中深源地震，其中 7 级以上地震 4 次，6 级以上地震 49 次，主要分布在吕宋岛，少量沿着海沟零散分布(图 2)。地震震源深度从浅部到 200 多公里分布，反映了南海东部洋壳的俯冲深度。200 km 以下的地震多分布在 12°N~14°N 之间。地震密集区出现明显的分段特征，从北到南深度逐渐变深，可以反映南海东部洋壳的斜向俯冲(图 3)。

该区域上火山分布在几大板块的接触部位，但在研究区主要分布在西吕宋海槽东侧、菲律宾大断层南部和民都洛断层北部所围的区域内(图 2)。火山类型主要有火山渣锥、复合型火山(层状火山)等，都是全新世以来曾活动过的火山<sup>①</sup>。火山与地震活动都与强烈的构造运动有关，火山的不断活动也反映了深部岩浆的不断调整作用。研究区火山带主要处于俯冲带的上方，从民都洛岛穿过西吕宋一直向东延伸到台湾东南(北吕宋山脊)。火山活动带与向东倾的贝尼奥夫带以及沉积物填充的前弧盆地(西吕宋海槽和北吕宋海槽)，共同

反映出南海岩石圈俯冲在西吕宋和北吕宋山脊之下(Cardwell *et al.*, 1980; Hamburger *et al.*, 1983)。这些火山主要是在引张力作用环境下形成的(Wolfe, Self, 1983)。深震主要集中在 12°N~14°N 之间(图 3)，而火山多数分布在 14°N~16°N 之间，这可能是俯冲板片向下俯冲扰动了深部岩浆活动，从而使板舌处产生了深震，而在板块会聚浅部引起火山活动。总之，地震和火山活动都反映出研究区活跃的构造运动。

2 震源机制和构造应力场

南海东部天然地震活动主要集中在台西南和马尼拉海沟附近。地震活动为研究南海东

① Venzke E, Wunderman R W, McClelland L, *et al.* 2002. Global Volcanism, 1968 to the Present. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program Digital Information Series, GVP-4.

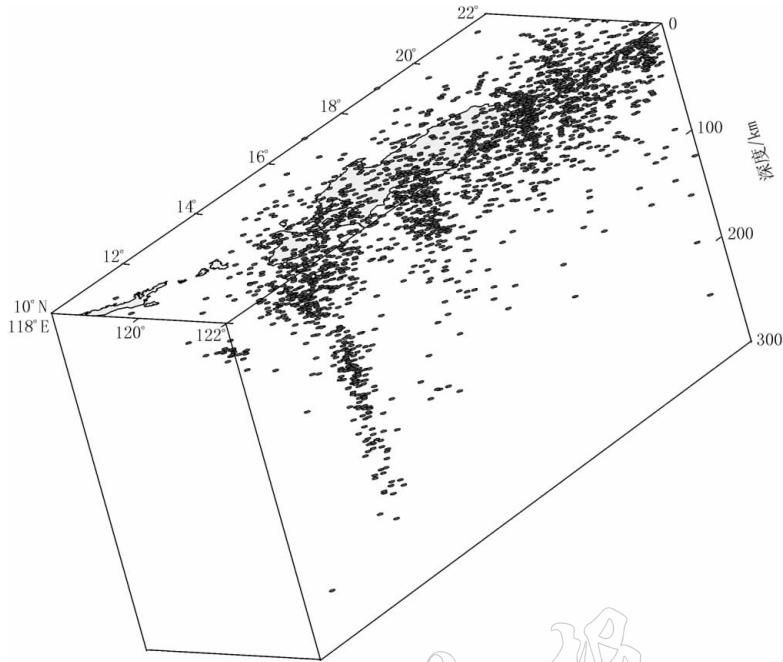


图 3 马尼拉海沟两侧地震震源深度立体分布

部向马尼拉海沟俯冲提供了很好的资料. 能进一步深入认识南海停止扩张后与菲律宾板块运动之间的关系. 本文利用哈佛大学 CMT 解资料, 共获得研究区范围 1977~2003 年 240 条记录. 所用的震源机制解数据是下半球投影, 采用双力偶震源模型. 同时利用 RAKE 软件(Louvari, Kiratzi, 1997)对 240 条数据做进一步处理, 得到了  $P$  轴、 $T$  轴的方位和倾伏角.  $P$  轴、 $T$  轴和中间轴( $B$  轴)所反映的断裂活动方式可从三角图中清晰地反映出来(图 4、图 5)(Frohlich, Apperson, 1992). 从区内震源机制解, 可以得到有关断层的错动方式和类型. 从图 4 中可以看出, 马尼拉海沟及其两侧地震多数都反映了逆冲型的特征, 但也有些走滑型和正断型. 介于这三者之间的为奇异型. 这从总体上反映了俯冲带不同部位

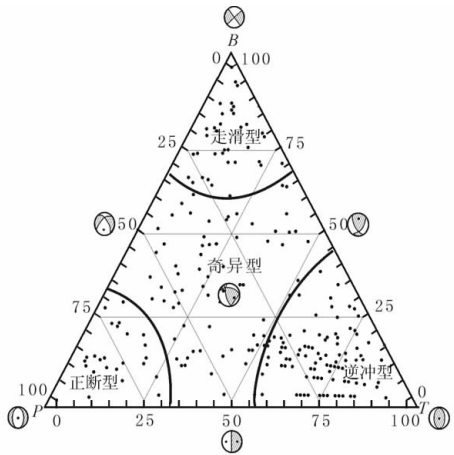


图 4 马尼拉海沟两侧震源机制三角图

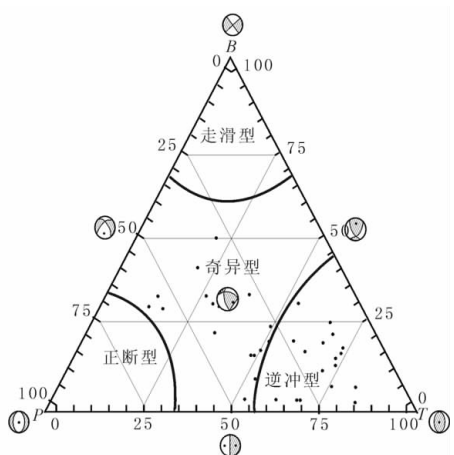


图 5 马尼拉海沟两侧震源机制三角图  
(震源深度大于 100 km, 数据见表 1)

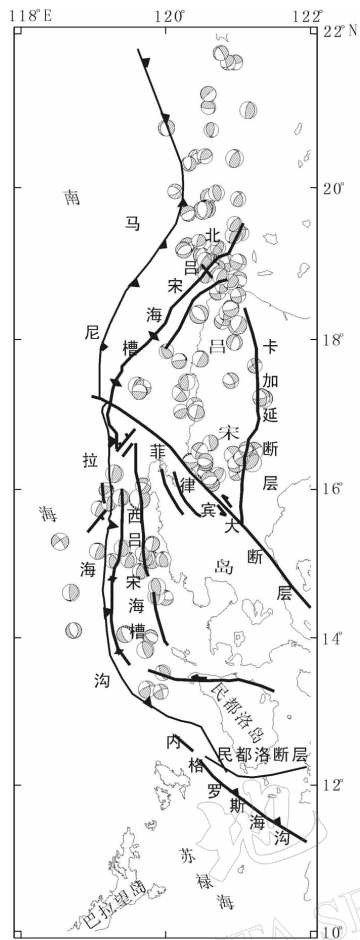


图 6 马尼拉海沟两侧震源机制分布

的应力环境. 由于马尼拉海沟的俯冲是受到菲律宾板块的向上仰冲引起的, 故海沟的俯冲是一种被动的或是转换俯冲带. 在海沟的不同部位容易发生应力场的转换, 使得逆冲型转变为走滑型或正断型. 由于海沟附近的地震深度达到 200 多公里, 为了查明深部地震的活动特征, 通过分析深度超过 100 km 以下地震震源机制发现多数都反映了逆冲型的特征, 部分为奇异型(表 1、图 5). 这一结果说明海沟在 200 km 深度仍然处于相对向下的俯冲. 令人困惑的是在这样一个深度是什么力驱使海沟继续向下俯冲? 是俯冲体自身的重力还是菲律宾板块继续影响? 如果是菲律宾板块的继续作用, 在这样的深度估计力的作用很小. 因此, 对于马尼拉海沟及邻区的应力状态需要考虑几个断层的活动方式, 需要考虑马尼拉海沟断裂、菲律宾大断层以及民都洛断层在应力调节方面所起的作用.

通过震源机制解分析, 认为马尼拉海沟及其邻区不同部位所受的应力不同. 马尼拉海沟与菲律宾断层、卡加廷断层所围的区域主要反映了挤压逆冲的性质; 海沟与菲律宾断层、民都洛断层所围的区域应力分布比较复杂, 靠近海沟在西吕宋海槽两侧主要为挤压走滑和正断作用, 远离海沟在俯冲前缘主要为逆冲性质(图 6). 菲律宾板块的 NW 向挤压, 使海沟和周围的几个断层分解此方向的应力. 马尼拉海沟西侧存在 NE 向、NNW-NS 向的正断层, NE 向正断层是由于俯冲过程中下降岩石圈弯曲造成的, NS 向断层主要沿俯冲

的海山链与 NE 向断层形成菱形, 这可能是伴随俯冲产生的(Pautot, Rangin, 1989). 海沟东侧局部分布 NE 向正断层、NW 向逆冲断层和海槽两侧的挤压褶皱带, 这些都在调节着菲律宾板块向西的挤压力. 在台湾西南和北吕宋海槽北部的地震反射剖面上, 可以清晰地辨别出逆冲断层(图 7).

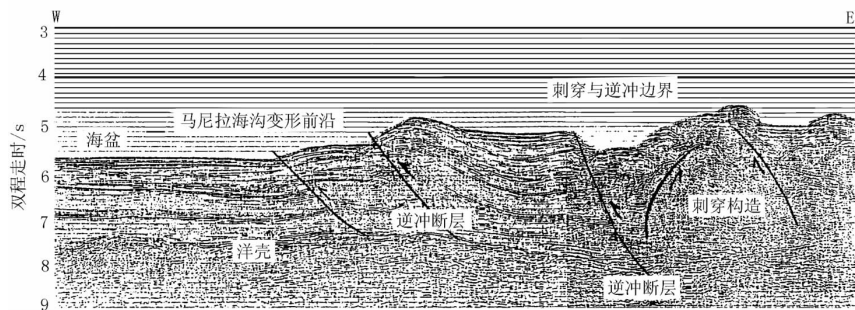


图 7 马尼拉海沟两侧地震的反射特征差异(据王平, 2000)

表 1 马尼拉海沟两侧震源机制解参数表

年-月-日	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	深度 /km	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴	
				走向 / $(^{\circ})$	倾角 / $(^{\circ})$	滑动角 / $(^{\circ})$	走向 / $(^{\circ})$	倾角 / $(^{\circ})$	滑动角 / $(^{\circ})$	方位 / $(^{\circ})$	倾角 / $(^{\circ})$	方位 / $(^{\circ})$	倾角 / $(^{\circ})$
1977-05-21	15.39	120.6	188	329	48	-15	70	79	-137	299	38	193	20
1978-06-28	13.87	120.7	168	37	24	91	215	66	89	306	21	123	69
1980-09-19	13.77	120.7	146	331	33	100	139	58	83	234	13	29	76
1981-03-13	13.98	120.9	142	12	27	137	142	72	69	248	24	24	58
1981-06-28	21.03	121.3	132	266	40	87	89	50	92	178	5	14	85
1982-07-06	14.1	120.5	134	30	27	156	141	80	65	251	30	24	49
1983-06-01	13.9	120.8	229	65	28	54	284	68	107	1	21	222	63
1984-11-14	17.01	120.4	122	318	39	-37	79	68	-123	307	55	192	16
1984-11-30	20.24	122	121	153	38	-16	256	80	-127	131	43	14	26
1985-04-23	15.35	120.7	182	312	42	-41	75	64	-124	299	57	189	12
1986-01-16	13.71	120.8	208	103	34	-165	1	82	-56	303	43	65	29
1986-10-10	20.4	121.7	145	143	24	-17	248	83	-113	134	47	358	34
1987-04-25	16.02	120.5	105	317	44	-35	74	66	-128	298	53	191	13
1987-10-14	21.09	121.8	107	194	19	23	82	82	108	157	35	11	50
1988-11-03	13.31	120.4	141	321	40	82	152	50	97	237	5	104	83
1989-03-16	13.42	120.4	138	132	37	67	339	57	106	58	10	291	73
1991-04-19	14.4	120.9	161	102	36	123	243	60	68	349	13	111	67
1992-01-10	13.38	121	127	318	41	113	108	53	71	211	6	323	74
1992-01-15	14.13	120.8	161	113	36	109	269	57	77	9	11	141	74
1994-02-20	13.64	120.8	204	115	37	173	210	86	53	330	31	88	38
1996-02-18	14.07	120.8	243	155	12	134	290	81	82	27	36	190	53
1996-07-20	13.87	120.5	119	10	23	154	124	80	69	231	32	11	51
1996-08-09	13.61	120.7	134	0	49	121	137	50	59	248	1	340	67
1997-09-07	13.93	120.6	102	34	55	-178	303	88	-35	253	25	354	22
2000-03-03	13.01	120.4	109	163	17	97	335	73	88	67	28	242	62
2000-06-19	13.88	120.4	107	246	15	20	136	85	104	213	38	61	48
2000-10-07	13.41	120.5	136	308	44	60	166	53	116	238	5	136	69
2000-10-21	13.74	120.8	152	317	30	72	158	62	100	240	16	91	71
2000-11-29	13.67	120.8	109	112	41	37	352	67	125	58	15	306	54
2001-07-23	13.85	120.4	111	293	8	71	132	82	93	220	37	45	53
2002-11-11	14.12	120.8	200	316	45	68	166	49	111	241	2	144	74
2002-11-23	13.34	120.9	198	333	17	21	223	84	105	299	37	150	49
2003-04-12	13.9	120.5	134	344	23	97	157	67	87	249	22	62	68

注：表中只给出震源深度大于 100 km 的震源机制参数，其它深度未列出。

为了进一步认识海沟和几个断层的应力调节，需要知道研究区最大主压应力轴的分布特征。通过最大主压应力轴(P 轴)分布图，很容易看出海沟不同部位的最大主应力分布。在马尼拉海沟与菲律宾断层所围的北部区域主要为北西向的 P 轴方位。在海沟与菲律宾断层、民都洛断层所围的区域主要为 NW，NE 和近 NS 向的 P 轴方位。此区域比较复杂，靠近马尼拉海沟为 NS 向的挤压，显示马尼拉海沟的左旋走滑特征，NW 向 P 轴特征仍然显示菲律宾板块的作用，NE 向最大主压应力轴主要分布在民都洛岛附近，显示出挤压逆冲的特征。总体上菲律宾大断层、海沟和民都洛断层所围区域显示顺时针旋转。靠近海沟在西吕宋海槽为 NW 向挤压，海沟显示左旋走滑。民都洛断层受到 NE 挤压显示左旋走滑特征。可见所围的边界断层都具有左旋走滑特征，通过顺时针旋转来调节挤压应力，与菲律

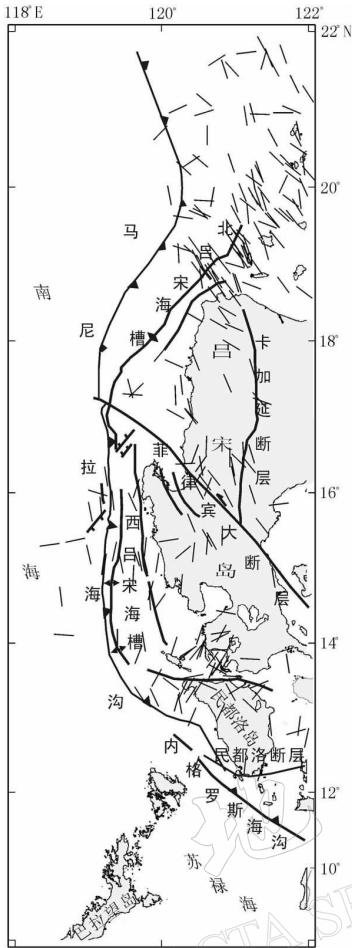


图 8 马尼拉海沟两侧最大主应力轴(P 轴)方向分布

宾断层北部完全不同(图 8)。

3 讨论和结论

通过马尼拉海沟及邻区地震、火山活动和地震震源机制解分析,认为马尼拉海沟及邻区地震活动主要集中在海沟东侧的吕宋岛上,在海域部分地震发生次数较少。深度在 200 km 以下的地震多分布在 12°N~14°N 之间,地震密集区出现明显的分段特征,从北到南深度逐渐变深,反映了南海东部洋壳的斜向俯冲。火山活动主要分布在西吕宋海槽东侧、菲律宾大断层南部和民都洛断层北部所围的区域内。这些火山主要都是在全新世曾活动过的,在引张力环境下形成的,反映了该地区强烈的岩浆和构造活动。

通过最大主压应力轴(P 轴)的分布特征分析,以菲律宾断层为界南北存在很大的差异。北部以 NW 向挤压应力为主,南部存在 NW, NE 和近 NS 向挤压应力。NW 向的挤压应力主要来自菲律宾板块继续向西北的运动,这使得南海亚板块被动地沿着马尼拉海沟斜向俯冲。马尼拉海沟两侧的断层起着调节挤压应力的作用,依据 GPS 观测结果计算,可得菲律宾大断层的左旋走滑速率为 17~31 mm/a (Yu *et al*, 1999),菲律宾大断层的左旋走滑并横过海沟使得在断层南北存在不同的应力调节。菲律宾大断层南部、海沟东侧和民都洛断层北部所围区域显示顺时针旋转,沿海沟显示出走滑和正断作用,民都洛断层显示左旋走滑特征。菲律宾大断层北部主要为 NW 向的挤压逆冲。

对于南海西北部地区,不同深度震源机制解反映了红河走滑断裂带在不同深度所受挤压应力方向没有变化(朱俊江等, 2004)。而在南海东部海沟附近,中深源地震反映了应力主要为逆冲特征,浅源地震反映了应力为逆冲、走滑和正断特征都存在。被动俯冲的海沟在 200 多公里仍然表现为俯冲的特点,这个驱动力可能与自身重力有关,与菲律宾板块的仰冲关系很小。菲律宾板块以 70 km/Ma 呈 NW305°方向与欧亚板块会聚(Seno *et al*, 1993),南海古扩张脊沿着 NE 方向越过海沟,到达海沟东侧并被 NW 向断层的左旋走滑错动到更北的位置。其中维甘高地(VH)和斯图亚特浅滩(SB)原来在海沟的西侧(Pautot, Rangin, 1989),更巧合的是古扩张脊越过海沟的位置正是菲律宾大断层切过海沟的位置。此处海沟两侧存在一些正断层,显示出在挤压环境下的局部拉张,这可能与海沟俯冲过程中的弯曲有关。

总之,在菲律宾板块斜向仰冲的作用下,南海亚板块沿马尼拉海沟被动俯冲。马尼拉海沟、菲律宾大断层和民都洛断层起着应力调节的作用,特别是所围区域的旋转作用调节着不同边界的应力,使上浮的菲律宾板块处于相对平衡的状态。另外,在吕宋岛东侧还存

在菲律宾海沟向西俯冲,这对民都洛岛以南应力分布有一定的控制作用,需进一步考虑它对菲律宾板块向西应力的调节作用。

本文所用地震数据由国家数字地震台网分中心提供,火山位置数据由斯密逊研究所全球火山项目火山目录提供,震源机制解数据由哈佛大学 CMT 解资料提供;所用软件为 E. K. Louvari 编写的 RAKE 程序以及 P. Wessel 和 W H F. Smith 编写的 GMT 软件。在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- 陈学波,李金森,王恩福,等. 1996. 汕头—吕宋岛岩石圈速度结构与震源构造——台湾浅滩 7.3 级地震构造之一[J]. 地球物理学进展, **11**(1): 28~41
- 龚再升,李思田,谢泰俊,等. 1997. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 44~46
- 李家彪,金翔龙,高金耀. 2002. 南海东部海盆晚期扩张的构造地貌研究[J]. 中国科学, D 辑, **32**(3): 239~248
- 李家彪,郑玉龙,金翔龙,等. 2003. 马尼拉俯冲带: 倾斜俯冲的地貌证据[A]. 见: 李家彪,高抒主编. 中国边缘海岩石层结构与动力过程[C]. 北京: 海洋出版社, 111~117
- 刘以宣主编. 1994. 南海新构造与地壳稳定性[M]. 北京: 科学出版社, 95~107
- 王平. 2000. 南海东北部与台湾间深部构造与中、新生代沉积盆地的关系[D]. [学位论文]. 北京: 中国地质大学, 44
- 臧绍先,陈奇志,黄金水. 1994. 台湾南部—菲律宾地区的地震分布、应力状态及板块的相互作用[J]. 地震地质, **16**(1): 29~37
- 周蒂,陈汉宗,吴世敏,等. 2002. 南海的右行陆缘裂解成因[J]. 地质学报, **76**(2): 180~190
- 朱俊江,詹文欢,丘学林,等. 2004. 红河断裂带两侧地震震源机制及构造意义[J]. 大地构造与成矿学, **28**(3): 239~247
- Cardwell R K, Isacks B L, Karig D E. 1980. The spatial distribution of earthquakes, focal mechanism solutions, and subducted lithosphere in the Philippine and northeastern Indonesian island[A]. In: Hayes D E ed. *The Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*, *Geophys Monogr Ser* 23[C]. Washington D C: AGU, 1~35
- Frohlich C, Apperson K D. 1992. Earthquake focal mechanisms, moment tensors, and the consistency of seismic activity near plate boundaries[J]. *Tectonics*, **11**(2): 279~296
- Hamburger M W, Cardwell R K, Isacks B L. 1983. Seismotectonics of the northern Philippine Island Arc[A]. In: Hayes D E ed. *Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, Part 2, Geophys Monogr Ser* 27[C]. Washington D C: AGU, 1~22
- Louvari E K, Kiratzi A A. 1997. RAKE: A windows program to plot earthquake focal mechanisms and the orientation of principal stresses[J]. *Computers & Geosciences*, **23**: 851~857
- Ludwig W J, Kumar N, Houtz R E. 1979. Profiler-sonobuoy measurement in the South China Sea basin[J]. *J Geophys Res*, **84**(B7): 3 505~3 518
- Pautot G, Rangin C. 1989. Subduction of the South China Sea axial ridge below Luzon (Phillippines)[J]. *Earth Planet Sci Lett*, **92**: 57~69
- Schweller W J, Karig D E, Bachman S B. 1983. Original setting and emplacement history of the Zambales ophiolite, Luzon, Phillipines, from stratigraphic evidence[A]. In: Hayes D E ed. *Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, Part 2, Geophys Monogr Ser* 27[C]. Washington D C: AGU, 124~138
- Seno T, Stein S, Gripp A E. 1993. A model for the motion of the Philippine Sea Plate consistent with NUVEL-1 and geological data[J]. *J Geophys Res*, **98**: 17 941~17 948
- Taylor B, Hayes D E. 1983. Origin and history of the South China Sea Basin[A]. In: Hayes D E ed. *Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, Part 2, Geophys Monogr Ser* 27[C]. Washington, D C: AGU, 23~56

- Wessel P, Smith W H F. 1995. New version of the Genetric Mapping Tools released[J]. *EOS Trans AGU*, **76**: 329
- Wolfe J A, Self S. 1983. Structural lineaments and Neogene volcanism in Southwestern Luzon[A]. In: Hayes D E ed. *Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, Part 2, Geophys Monogr Ser 27*[C]. Washington D C: AGU, 157~172
- Yu S B, Kuo L C, Punongbayan R S, *et al.* 1999. GPS observation of crustal deformation in the Taiwan-Luzon region [J]. *Geophys Res Lett*, **26**(7): 923~926

## FOCAL MECHANISM SOLUTIONS AND ITS TECTONIC SIGNIFICANCE IN THE TRENCH OF THE EASTERN SOUTH CHINA SEA

Zhu Junjiang<sup>1, 2)</sup> Qiu Xuelin<sup>1, 2)</sup> Zhan Wenhuan<sup>1, 2)</sup>

Xu Huilong<sup>1, 2)</sup> Sun Longtao<sup>1, 2)</sup>

1) Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

2) South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

**Abstract:** According to the activity of earthquakes and volcanoes along the Manila trench and its adjacent region, combined with analysis of focal mechanism solutions and geophysics data, the Manila trench is still being downward subduction in the depth of 200 km. Deep earthquakes mainly concentrate between 12°N and 14°N, the concentrated region is divided into different sections, and the focal depth is gradually deep from the north to the south. From the focal mechanism solution data, the maximum principal stress direction ( $P$  axis) varies from the northern region of Philippine fault to the southern region of the fault. In the north  $P$  axes directions are mainly NW, however in the south there is the complex displaying and  $P$  axes have NW, NE and approximately NS directions. These results show the characteristic of press-thrust in the northern region of the Philippine fault and the clockwise rotation in the southern region of the fault. The stress caused by the Philippine plate, which moved upon the South China Sea sub-plate, is adjusted by the oblique subduction of the Manila trench, the sinistral strike-slip of the Philippine fault and the sinistral strike-slip of the Mindoro fault.

**Key words:** Manila trench; focal mechanism; activities of earthquakes and volcanoes