

文章编号: 0253-3782(2002)05-0487-09

# 台海地区的地壳运动与变形\*

李延兴<sup>1)</sup> 胡新康<sup>1)</sup> 李智<sup>1)</sup> 耿洪<sup>1)</sup> 郭良迁<sup>1)</sup>  
郭逢英<sup>2)</sup> 史彝华<sup>2)</sup> 林继华<sup>2)</sup> 丁学仁<sup>2)</sup> 刘序严<sup>2)</sup>

1) 中国天津 300180 中国地震局第一地形变监测中心

2) 中国福州 350003 福建省地震局

**摘要** 利用福建沿海GPS网和台湾-吕宋GPS网站速度数据和两个网数据处理中共用的IGS永久站数据, 实现了两个GPS网参考框架和速度场的统一。分析台海地区的速度场发现, 福建沿海、台湾海峡与台湾岛北部地壳的水平运动完全一致, 运动方向约为东偏南 26.0°, 运动速率约为 39 mm/a; 台湾岛东部的海岸山脉地区发生了相反变化, 运动方向为北偏西 30.0°, 运动速率约为 33.3 mm/a; 在台湾岛的南端存在南偏西 50.0°方向的运动, 运动速率约为 13 mm/a。若以福建沿海的几何中心为参考基准, 台湾岛存在一致的(岛的北端除外)北西向运动, 方向北偏西约 50.0°, 东海岸的速率最大为 61 mm/a, 向西逐渐减小。应变场分析表明, 台海地区存在统一的应变场, 主压应变方向为北西 48.0°, 主张应变方向为北东 42.0°。主压应变速率, 台湾岛的东海岸为  $3.436 \times 10^{-7}/a$ , 向西逐渐减小, 到福建沿海减小到  $1.861 \times 10^{-8}/a$ 。菲律宾海板块在台湾岛东部与欧亚板块的碰撞俯冲是台海地区地壳运动、变形和发生大地震的主要驱动力。本区的主压应力方向约为北西 55.0°。

**关键词** 框架统一 速度场分析 应变场分析 动力学探讨

**中图分类号:** P315.72<sup>+</sup>5      **文献标识码:** A

## 引言

台湾岛和大陆在构造上同属于欧亚板块。台湾岛与其海峡对岸的福建省相距最近处仅 130 km。尽管在福建和台湾岛都建有高精度 GPS 网, 由于台湾岛与福建省之间有海峡相隔, 来往不便等困难, 大陆和台湾不能直接进行 GPS 联测。但两岸的 GPS 网都有多期观测成果, 都开展了大量的研究工作。福建省 GPS 网始建于 1994 年, 已有 3 期观测成果。大陆的大地测量工作者已开展了许多研究工作(邵占英等, 1999; 周硕愚等, 2000)。台湾的 GPS 网也有 3 期观测成果, 台湾的大地测量工作者也开展了许多研究工作(Yu *et al.*, 1999)。能否利用海峡两岸的研究成果统一研究台湾岛与海峡地区(以下简称台海地区)的地壳运动与变形呢? 本文将对此进行探讨。

## 1 参考框架的统一

福建 GPS 网有 15 个 GPS 站, 分别于 1995, 1997 和 1999 年观测。在数据处理时, 使用了 10 个 IGS 永久站的数据, 得到了 25 个 GPS 站相对于 ITRF97 框架的站速度。然后将地心

\* 国家重大基础研究发展计划项目(G19980407)和(94)D1 项目资助。

2001-12-24 收到初稿, 2002-07-08 收到修改稿并决定采用。

坐标系下的站速度转换为站心坐标系下的站速度(表 1).

表 1 福建沿海 GPS 网的站速度(相对于 ITRF97)

站名	$\varphi_N/^\circ$	$\lambda_E/^\circ$	$v_e/\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$	$v_n/\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$
YDINW	24.725	116.718	$35.9 \pm 0.9$	$-15.6 \pm 1.3$
DSHAW	23.708	117.427	$29.5 \pm 2.6$	$-17.5 \pm 2.0$
XIAMJ	24.450	118.083	$39.1 \pm 2.5$	$-12.8 \pm 2.5$
NANPW	26.633	118.166	$35.0 \pm 1.1$	$-16.8 \pm 0.1$
YOUXW	26.179	118.201	$35.2 \pm 0.3$	$-17.2 \pm 0.8$
DEHUW	25.490	118.242	$34.9 \pm 0.3$	$-16.5 \pm 0.7$
KMNM2	24.464	118.389	$29.8 \pm 2.4$	$-13.8 \pm 1.2$
QZ03S	24.775	118.595	$35.7 \pm 2.3$	$-16.1 \pm 1.1$
QUAN2	24.630	118.600	$29.7 \pm 2.6$	$-13.9 \pm 1.0$
WANKW	26.352	118.679	$32.8 \pm 2.5$	$-17.5 \pm 1.5$
GUTIW	26.575	118.740	$35.3 \pm 0.2$	$-15.2 \pm 0.9$
MQINW	26.297	118.813	$38.0 \pm 2.9$	$-16.6 \pm 0.8$
PUTIW	25.100	119.149	$37.7 \pm 3.2$	$-18.0 \pm 3.0$
PUZHW	25.972	119.395	$37.2 \pm 3.0$	$-12.1 \pm 2.9$
MZUM2	26.157	119.933	$29.5 \pm 2.5$	$-14.0 \pm 0.6$
		IGS 站		
IRKTI	52.219	104.316	26.4	-9.1
LHASI	29.657	91.104	46.5	14.0
KIT3I	39.135	66.885	29.6	3.5
SHAOI	31.100	121.200	33.6	-15.8
TSKBI	36.106	140.088	-1.9	-11.8
XIANG1	34.369	109.221	32.7	-12.3
TAIWG	25.021	121.537	37.4	-15.2
WUHNG	30.532	114.357	35.3	-14.9
POL2G	42.680	74.694	29.3	3.0
IISCG	13.021	77.570	47.6	32.8

台湾的大地测量工作者与菲律宾合作, 在台湾和吕宋地区建立了一个GPS网. 该网有38个GPS站, 分别于1996, 1997和1998年观测. 在数据处理时, 使用了9个IGS永久站的数据, 得到了47个GPS站相对于ITRF96框架的站坐标和站速度. 然后, 选择上海GPS站作为参考站, 固定其站坐标和速度得到GPS网的站速度. 而上海GPS站的站速度是由Heki使用VLBI站的观测数据估计的, 相对于欧亚板块稳定部分的速度(Yu *et al.*, 1999). 因此, 台湾-吕宋GPS网的站速度(表 2)是以上海GPS站为基准, 得到的相对于欧亚板块稳定部分的速度, 其参考框架与福建沿海GPS网的框架不同. 为了统一研究台海地区的地壳运动与形变, 必须将两个网的参考框架统一. 一个GPS网在地心坐标系下每个站的3个速度分量可转换为在球面上(将地球近似为球体)站心坐标系下的东分量 $v_e$ 和北分量 $v_n$ , 每个块体的站速度( $v_e$ ,  $v_n$ )可以用一组欧拉旋转参数( $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$ )描述. 从表1和表2可以看到, 这两个网在数据处理时所使用的IGS站中, LHAS, SHAO, TSKB, XIAN, TAIW, WUHN和IISC 7个GPS站是共用的. 根据这7个站在两个框架中的站速度( $v_e$ ,  $v_n$ ), 用公式(1)可实现两个GPS网参考框架的统一:

$$\begin{bmatrix} v_e \\ v_n \end{bmatrix}_F = \begin{bmatrix} v_e \\ v_n \end{bmatrix}_T + \begin{bmatrix} -rc \sin \varphi \cos \lambda & -r \sin \lambda \sin \varphi & r \cos \varphi \\ r \sin \lambda & -r \cos \lambda & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

表 2 台湾-吕宋 GPS 网站速度(相对欧亚板块的稳定部分)

站名	$\phi_N/(\circ)$	$\lambda_E/(\circ)$	$v/\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$	$A/(\circ)$	$a$	$b$	$\alpha/(\circ)$
欧 亚 板 块							
TAEJ	36.374	127.366	11.3	118.8	1.3	0.9	82.6
TSKB	36.106	140.087	21.2	281.7	1.3	0.8	85.1
XIAN	34.369	109.221	5.2	76.6	1.8	1.6	89.1
SHAO	31.100	121.200	11.2	112.3	1.3	0.9	83.7
WUHN	30.532	114.357	14.9	116.3	1.4	1.0	83.6
LHAS	29.657	91.104	29.1	52.5	1.7	0.9	91.5
MZUM	26.157	119.933	11.8	107.9	1.4	0.9	84.7
YMSM	25.166	121.574	14.3	106.6	1.5	0.9	85.4
S101	25.040	121.614	16.1	131.7	1.4	0.8	85.5
TAIW	25.021	121.537	15.6	109.0	1.3	0.9	85.5
FCWS	24.851	121.250	8.5	110.0	1.4	0.9	85.2
NCTU	24.789	120.997	8.2	71.4	1.4	1.0	85.4
KMNM	24.464	118.389	12.3	111.0	1.4	0.9	83.9
ISHI	24.381	124.236	43.9	160.4	1.5	1.0	87.5
FLNM	23.746	121.453	15.2	321.3	1.3	0.9	85.4
SOIR	23.655	119.592	10.8	107.7	1.4	0.8	84.5
PKG	23.580	120.305	7.3	51.2	1.4	0.9	84.8
S103	23.564	120.475	1.7	103.7	1.3	0.9	84.9
CK01	22.976	120.210	6.3	234.5	1.4	0.9	84.8
S105	22.952	121.113	22.4	294.9	1.4	0.9	85.3
S23R	22.654	120.606	41.1	265.6	1.3	0.9	85.0
TMLM	22.616	121.007	21.7	286.5	1.4	0.9	85.2
KDNM	21.949	120.782	25.1	270.5	1.4	0.8	85.0
TNSM	20.703	116.725	10.7	101.9	1.5	1.1	80.8
PLWN	10.086	118.851	8.1	44.2	3.4	3.1	61.8
菲 律 宾 海 板 块							
S058	23.319	121.454	53.6	322.6	1.4	0.9	85.5
S104	22.821	121.189	53.3	312.5	1.3	0.9	85.3
S102a	22.037	121.558	68.2	306.2	1.4	0.9	85.9
S102b	22.037	121.558	71.7	316.8	1.5	1.1	87.0
BTS3	20.438	121.963	80.7	298.6	2.5	2.2	90.4
BRG1	18.520	120.601	79.8	287.4	2.8	2.4	86.0
LUZI	18.246	121.928	86.2	300.5	2.7	2.3	92.3
LUZH	17.717	121.804	89.6	293.2	3.0	2.6	91.2
LUZD	17.551	120.456	70.0	287.1	2.9	2.6	85.0
LUZG	16.608	121.482	80.1	301.6	2.7	2.3	89.0
LUZC	16.388	120.568	62.1	284.9	2.6	2.3	84.8
PNG3F	16.063	120.108	54.5	281.0	3.5	3.1	83.9
LUZF	15.815	121.113	73.8	298.8	2.4	2.1	87.8
LUZE	15.561	121.097	69.5	285.8	3.0	2.7	90.5
LUZB	15.373	120.517	52.5	284.6	3.2	2.8	87.4
LUZA	14.878	120.195	50.5	286.6	2.7	2.3	89.6
LUZL	14.620	121.208	56.7	289.5	3.2	2.8	92.2
MANL	14.598	120.973	53.0	276.5	1.4	1.0	85.3
GUAM	13.589	144.868	28.4	295.2	1.7	0.9	88.4
VRC2	13.566	124.337	74.2	319.1	3.1	2.6	100.1
澳 大 利 亚 板 块							
IISC	13.021	77.570	42.5	25.1	3.6	1.3	91.8
COCO	-12.188	96.834	56.1	16.9	7.3	2.3	91.6

注:  $A$  为站速度  $v$  的方位角;  $a$ ,  $b$ ,  $\alpha$  分别为速度误差椭圆参数。

公式(1)中,  $[v_e \ v_n]_F^T$  为在福建沿海GPS网框架中 7 个共用站( $\lambda, \varphi$ )的速度分量,  $[v_e \ v_n]_T^T$  为在台湾-吕宋GPS网框架中 7 个共用站的速度分量,  $r$  为地球的平均半径,  $[\omega_x, \omega_y, \omega_z]^T$  为台湾-吕宋GPS网参考框架转换为福建沿海GPS网参考框架的旋转参数. 用最小二乘法求出  $[\omega_x, \omega_y, \omega_z]^T$ , 即可把台湾-吕宋GPS网中每个GPS站的站速度转换为在福建沿海GPS网参考框架下的站速度, 实现两个GPS网站速度参考框架的统一. 表 3 给出了两个GPS网在统一参考框架中的站速度, 图 1 给出了台海地区站速度的图象.

表 3 台海地区 GPS 网在统一参考框架中的站速度

站名	$\varphi_N/(\circ)$	$\lambda_E/(\circ)$	相对于 ITRF97		相对于福建沿海的几何中心	
			$v_e/\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$	$v_n/\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$	$v_e/\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$	$v_n/\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$
DSHAM	23.71	117.43	29.5	-17.5	-3.1	-1.1
XIAMJ	24.45	118.08	39.1	-12.8	6.2	3.4
KMNM	24.46	118.39	29.8	-13.8	-2.9	2.1
QUAN2	24.63	118.60	29.7	-13.9	-3.0	1.9
YDINW	24.73	116.72	35.9	-15.6	1.4	2.1
QZ03S	24.78	118.60	35.7	-16.1	2.8	-0.2
PUTIW	25.1	119.15	37.7	-18.0	4.9	-2.4
DEHUW	25.49	118.24	34.9	-16.5	0.8	0.2
FUZHW	25.97	119.40	37.2	-12.1	3.5	3.8
MZUM2	26.16	119.93	29.5	-14.0	-4.0	1.5
YOUXW	26.18	118.20	35.2	-17.2	0.2	0
MQIN	26.30	118.81	38.0	-16.6	3.4	0.1
WANKW	26.35	118.68	32.8	-17.5	-2.0	-0.7
GUTIW	26.58	118.74	35.3	-15.2	0.2	1.7
NANPW	26.63	118.17	35.0	-16.8	-0.6	0.7
KDNM	21.95	120.78	-6.2	-10.1	-33.5	1.7
TMLM	22.62	121.00	-1.8	-4.2	-29.8	7.8
S23R	22.65	120.61	-22	-13.4	-50.4	-1
S104	22.82	121.19	-20.3	25.5	-48.4	37.5
S105	22.95	121.11	-1.2	-1	-29.5	11.1
CK01	22.98	120.21	13.9	-13.8	-15.3	-0.7
S058	23.32	121.45	-13.5	32	-42	44
S103	23.56	120.48	20.8	-10.6	-8.9	2.6
PKG	23.58	120.31	24.9	-5.5	-5	7.9
SOIR	23.67	119.59	29.5	-13.2	-1.1	0.9
PLNM	23.75	121.45	9.6	1.3	-19.5	13.6
NCTU	24.79	121.25	27.2	-7.8	-3.6	5.7
FCWS	24.85	121.54	27.4	-13.3	-3.3	0
TAIWG	25.02	121.62	37.4	-15.2	6.8	-2.1
S101	25.04	121.57	31.4	-21.3	0.8	-8.2
YMSM	25.17	121.25	33.1	-14.6	2.3	-1.4

## 2 台海地区地壳水平运动速度场分析

图 1 是台海地区由 GPS 网得到的地壳在 ITRF97 框架下的水平运动速度场. 图 2 是台海地区以福建沿海几何中心为参考基准的速度场图象. 从图 1 可以看出, 台海地区在 ITRF97 框架下水平运动大体上可分为 4 个区: 第一区为福建沿海、台湾海峡(以 SDIR 站为代表) 和台湾岛的北端(以 TAIWG, YMSM 和 S101 3 个 GPS 站为代表). 这个地区地壳的水平运动是

完全一致的, 运动方向约为东偏南  $26^\circ$ , 运动速率约为  $39 \text{ mm/a}$ ; 第二区是台湾岛的西部平原. 这个区地壳的运动方向与第一区基本相同, 运动速率比第一区小一些, 而且从北向南运动速率逐渐减小; 第三区为台湾岛的东部沿海, 大体上是台湾岛的花东纵谷断裂带以东的海岸山脉地区. 这个地区地壳的运动与前两个区完全不同, 运动方向约为北偏西  $30^\circ$ . 与第一区恰好相反, 运动速率约为  $33.3 \text{ mm/a}$ ; 第四区为台湾岛的南端, 这个区地壳运动的方向约为南偏西  $50^\circ$ , 运动速率约为  $13 \text{ mm/a}$ . 在台海地区, 地壳的东向运动速率从西向东逐渐减小. 在台海地区中部( $23.319^\circ \sim 23.708^\circ \text{N}$ ,  $117.427^\circ \sim 121.454^\circ \text{E}$ )作一条东西方向的剖线. 在这条剖线附近从西到东有 5 个 GPS 站: DSHAW, SOIR, PKGM, S103 和 S058. 这 5 个站的经纬度和东向速度已列入表 4, 并用图 3 表示. 从表 4 和图 3 可以看出, 从福建沿海 (DSHAW 站) 到台湾海峡 (SOIR 站) 约  $220 \text{ km}$ , 东向运动速率没有变化, 到台湾岛西部的 PKGM 站开始减小, 由台湾海峡的  $29.5 \text{ mm/a}$ , 减小到  $24.9 \text{ mm/a}$ , 向东到 S103 站减小到  $20.8 \text{ mm/a}$ , 再向东开始大幅度减小, 到台湾岛的东海岸 (S058 站) 减小到  $-13.5 \text{ mm/a}$ . 从 S103 站到 S058 站, 地壳的运动由正变为负, 运动方向发生了完全相反的变化.

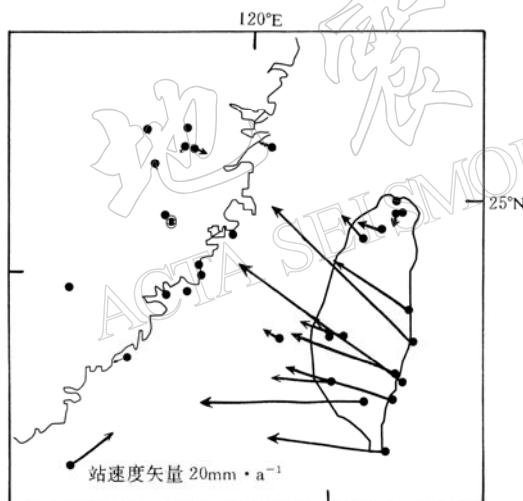


图 2 台海地区 GPS 网站速度 (相对于福建沿海几何中心)

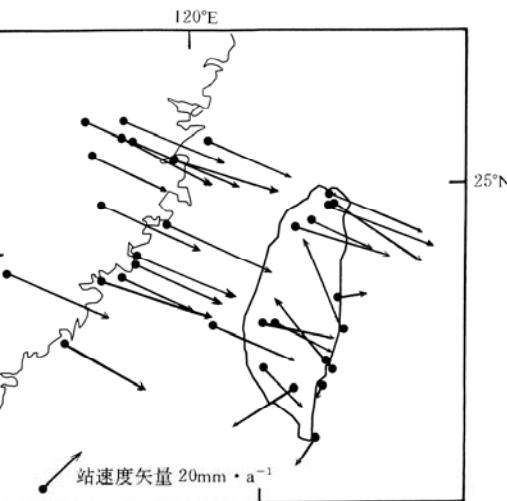


图 1 台海地区 GPS 网站速度 (相对于 ITRF97)

从图 1 还可以看出, 在台湾岛上地壳北向速度的分布也是不均匀的, 在北部和西部平原存在向南的速度分量, 在东海岸的花东纵谷一带存在向北的速度分量; 在南端存在向南的速度分量.

从图 2 可以看出, 若以福建沿海的

表 4 台海中部东西向地壳的东向运动与应变

序号	站名	$\varphi_N/^\circ$	$\lambda_E/^\circ$	$v_e/\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$	$\varepsilon_e$
1	DSHAW	23.708	117.427	29.5	
2	SOIR	23.655	119.592	29.5	0
3	PKGM	23.580	120.305	24.9	-0.633
4	S103	23.564	120.475	20.8	-2.365
5	S058	23.319	121.454	-13.5	-3.436

注:  $\varepsilon_e$  为东西向应变速率, 单位:  $10^{-7}/\text{a}$ , 负号表示压缩.

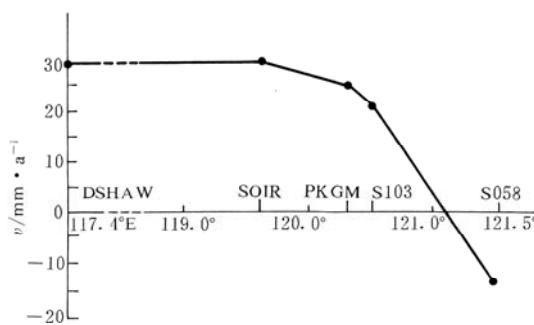


图3 台海中部东西向剖线上测站的东向速度

海地区的水平运动速度场的空间分布是不一致的。其中，第一区的速度场基本上是一致的；第二区与第一区相比运动速率发生了变化；第三、第四区与第一区相比在运动方向和速率两个方面都发生了很大变化，其中变化最大的是台湾岛的东部和南部。速度场空间分布的变化是地壳变形的直接反映。在台湾岛的中部，从西部平原到东海岸存在东西向的压缩应变。从表4的最后一列可以看出，从西到东，压应变的速率从 $0.633$ 增大到 $3.436 \times 10^{-7}/a$ ，应变速率增加了4.4倍。这表明在东海岸存在强烈的压缩变形。在岛的北部与中部之间存在南北向的压应变，而在岛的中部与南端之间存在张应变。

若将台海地区作为一个块体，其上共有31个GPS站，根据这些站的速度分量用公式(2)可计算这个地区的应变参数。若将台海地区分成福建沿海和台湾两个地区，也可以分别计算这两个区的应变参数，计算结果列入表5。

$$\begin{bmatrix} V_e \\ V_n \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ \sin \lambda & -\cos \lambda & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} + r \begin{bmatrix} \varepsilon_e & \varepsilon_{en} \\ \varepsilon_{en} & \varepsilon_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (\lambda - \lambda_0) \cos \varphi \\ (\varphi - \varphi_0) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中， $\lambda_0$ ， $\varphi_0$ 为地块几何中心的经纬度； $\varepsilon_e$ ， $\varepsilon_{en}$ ， $\varepsilon_n$ 为地块的应变张量(李延兴等，2001)。

从表5可以看出，无论是将台海地区作为一个整体或是将其分为两部分，计算得到的主应变方向是一致的，即本区存在北西 $48^\circ$ 的主压应变与北东 $42^\circ$ 的主张应变。所不同的是福建沿海地区的主应变值很小( $\varepsilon_1$ 为 $-1.861 \times 10^{-8}/a$ )，而台湾岛的主应变值却非常大，

特别是主压应变，台湾岛比福建沿海增加了13倍，达到 $-26.373 \times 10^{-8}/a$ 。

台湾岛从西向东压应变率逐渐增加，到东海岸达到最大值，这与台湾岛的地形从西向东逐渐升高，到东海岸的海岸山脉地区达到最高的变化趋势完全一致。这表明，台湾岛西低东高的地形以及东部海岸山脉和中部中央山脉的形成，都是由于这个地区应变场长期作用的结果。

几何中心为参考基准，台湾岛除其北端外，其它地区都存在着向福建沿海的北西向运动。在东海岸，海岸山脉的中部其运动速率最大，达到 $61 \text{ mm/a}$ ，方向约为北西 $50^\circ$ ；向西运动速率逐渐减小，到台湾海峡减小到 $1.4 \text{ mm/a}$ ，已趋近于福建沿海的运动速率。

### 3 台海地区的变形分析

从上面的速度场分析可以看出，台

海地区的水平运动速度场的空间分布是不一致的。其中，第一区的速度场基本上是一致的；第二区与第一区相比运动速率发生了变化；第三、第四区与第一区相比在运动方向和速率两个方面都发生了很大变化，其中变化最大的是台湾岛的东部和南部。速度场空间分布的变化是地壳变形的直接反映。在台湾岛的中部，从西部平原到东海岸存在东西向的压缩应变。从表4的最后一列可以看出，从西到东，压应变的速率从 $0.633$ 增大到 $3.436 \times 10^{-7}/a$ ，应变速率增加了4.4倍。这表明在东海岸存在强烈的压缩变形。在岛的北部与中部之间存在南北向的压应变，而在岛的中部与南端之间存在张应变。

若将台海地区作为一个块体，其上共有31个GPS站，根据这些站的速度分量用公式(2)

可计算这个地区的应变参数。若将台海地区分成福建沿海和台湾两个地区，也可以分别计算这两个区的应变参数，计算结果列入表5。

表5 福建沿海、台湾、台海地区的应变参数

地区	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$\gamma_{\max}$	$A/(^\circ)$
福建沿海	-1.861	0.518	2.378	133.1~313.1
台湾	-26.373	4.155	30.528	127~307.8
台海	-8.524	2.542	11.065	133.9~313.9

注： $\varepsilon_1$ 为主压应变率、 $\varepsilon_2$ 为主张应变率，单位： $10^{-8}/a$ 。 $\gamma_{\max}$ 为最大剪应变率， $A$ 为主压应变率的方位角。

## 4 台海地区地壳运动应变的动力学探讨

台湾为西太平洋大陆边缘花采列岛中的一段, 东北方接琉球岛弧, 南连菲律宾弧, 是构成环太平洋地震带中的一环。就大地构造而言, 花莲纵谷以东(包括海岸山脉)、琉球弧沟系统以南区域属于菲律宾海板块, 这一界线以北及以西区域则属于欧亚板块(图 4)。目前, 菲律宾海板块正以每年 7 cm 的速度以北西方向与欧亚板块汇聚。在台湾东北方外海的琉球弧沟系统, 菲律宾海板块正向北隐没在欧亚大陆板块之下; 在台湾的东部, 两大板块下以花东纵谷为缝合线碰撞(张徽正, 2000), 并且菲律宾海板块俯冲于欧亚板块之下。在台海地区, 欧亚板块向南东方向运动, 菲律宾海板块向北西方向运动, 在台湾东部汇聚形成了北西-南东方向很强的压应力场。这个应力场正是台海地区发生运动、应变和大地震的驱动力。

由地震的震源机制参数可计算震中区的主压应力方向, 特别是由 7 级以上大地震得到的主压应力方向能代表震中区所在地区应力场的主压应力方向。近期在台湾岛内和东部近海内发生了两次 7 级以上大地震。1986 年 11 月 14 日在花莲以东的近海内发生了  $M_w=7.4$  地震; 1999 年 9 月 21 日在集集镇发生了  $M_w=7.6$  地震。这两次大震的地震参数和由震源机制解得到的主压应力方向列入表 6(引自国家数字地震台网分析中心网站 (<http://www.eq-igp.ac.cn>) 中的 Harvard 大学震源机制解)。

从表 6 可以看到, 由这两次大震得到的台湾的主压应力方向比较一致, 二者的平均值为北西 57.5°。由表 5 可以看到, 由 GPS 网速度场得到的台湾地区的主压应变方向为北西 52.2°, 与由地震参数计算的主压应力方向只差 5.3°, 二者相当一致。这表明, 用测震学方法与用大地测量学方法计算的台湾地区的主压应力方向是一致的, 台湾地区的主压应力方向为北西 55°。

表 6 台湾近期 7 级以上大地震的主压应力方向

地区	时间 年-月-日	震中		震级 $M_w$	$A_P/(\circ)$	$A_T/(\circ)$
		$\lambda_e/(\circ)$	$\varphi_e/(\circ)$			
花莲东	1986-11-14	121.80	23.96	7.4	302	128.0
集集	1999-09-21	120.80	24.15	7.6	303	115.0

## 5 讨论和结论

台海地区地壳水平运动的空间分布是不一致的, 福建沿海、台湾岛北端基本上保持了欧亚板块东南部向东南运动的趋势; 台湾岛的中部和南部存在一致的朝向大陆的运动(北向南); 东海岸速率最大, 从东向西逐渐减小。

用大地测量方法, 利用高精度 GPS 网的速度场可以计算某一地区的主应变参数, 用测

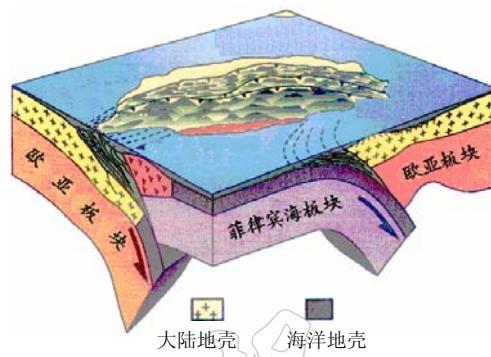


图 4 台湾地区板块构造模型(据张徽正, 2000)

震学方法, 利用大地震的震源机制解可以计算震中地区的主应力参数. 台海地区的计算结果表明, 这两种方法具有很好的一致性.

计算表明, 台湾存在以压应变为主的应变场, 主压应变率与主张应变率之比为 6.3:1, 主压应变方向为北西 55°, 这是菲律宾海板块在台湾东部向欧亚板块北西向持续碰撞仰冲形成的. 这是台海地区地壳运动、地形变化与大地震频发的主要驱动力.

本文引用的台湾两次大地震的主压应力方位角分别由刁桂苓研究员和许力生研究员帮助计算, 在此表示感谢.

## 参 考 文 献

- 李延兴, 黄 , 胡新康, 等. 2001. 板内块体的刚性弹塑性运动模型与中国大陆主要块体的应变状态[J]. 地震学报, 23(6): 565~572
- 邵占英, 刘经南, 姜卫平, 等. 1999. 高精度 GPS 观测及其在福建东南沿海地壳形变研究中的应用[J]. 地壳形变与地震, 19(4): 39~44
- 张徽正. 2000. 九二一地震地质调查报告[R]. 台北: 经济部中央地质调查所, 1~10
- 周硕愚, 帅平, 郭逢英, 等. 2000. 中国福建及其边缘海域现时地壳运动定量研究[J]. 地震学报, 22(1): 66~72
- Shui-Beih Yu, Long-chen Kuo, Raymundo S, et al. 1999. GPS observation of crustal deformation in the Taiwan-Luzon[J]. *Geophys Res Lett*, 26(7): 923~926

# CRUSTAL MOVEMENT AND DEFORMATION IN TAIWAN AND ITS COASTAL AREA

Li Yanxing<sup>1)</sup> Hu Xinkang<sup>1)</sup> Li Zhi<sup>1)</sup> Geng Hong<sup>1)</sup>  
Guo Liangqian<sup>1)</sup> Guo Fengying<sup>2)</sup> Shi Linhua<sup>2)</sup>  
Lin Jihua<sup>2)</sup> Ding Xueren<sup>2)</sup> Liu Xuyan<sup>2)</sup>

1) First Crustal Deformation Monitoring Center, China Seismological Bureau, Tianjin 300180, China

2) Seismological Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350003, China

**Abstract:** Based on the station velocity data obtained from Fujian coastal GPS network and Taiwan-Luzon GPS network and the data obtained from IGS permanent stations commonly used in the data processing of both networks, the uniformity of reference frames and velocity fields of both GPS networks is realized. It has been discovered from the analysis on the velocity field in Taiwan and its coastal areas that the horizontal crustal movements in the coastal area of Fujian, Taiwan Strait and the northern part of Taiwan Island are fully consistent. The movement direction is around 26.0°E by S and the rate is about 39 mm/a. The opposite variation occurs in the coastal mountain area in the eastern part of Taiwan Island with the movement direction of 30.0°N by W and the movement rate of about 33.3 mm/a. In the southern end of Taiwan Island, the movement direction is 50.0°S by W and the movement rate is about 13 mm/a. If the geometric center of Fujian coast is used as the reference datum, Taiwan Island has a consistent (except its north end) NW-trending movement with the direction of around 50.0°N by W. The maximum rate of 61 mm/a occurs along the eastern coast and decreases gradually towards west. The analysis of strain field

indicates that Taiwan and its coastal area have a uniform strain field with the principal compressive strain direction of N48.0°W and the principal tensile strain direction of N42.0°E. The principal compressive strain rate along the eastern coast of Taiwan Island is  $3.436 \times 10^{-7}/\text{a}$ , which decreases gradually towards west and reaches  $1.861 \times 10^{-8}/\text{a}$  to Fujian coast. The collision and underthrust of Philippine Sea plate with Eurasian plate in the eastern part of Taiwan Island can be considered as the principal force for the crustal movement, deformation and great earthquake occurred in Taiwan and its coastal area. The direction of principal compressive stress in the area is about N55.0°W.

**Key words:** unified frame; analysis of velocity field; analysis of strain field; study of dynamics

