第 26 卷　第 4 期　　地　震　学　报　　Vol. 26, No. 4
2004 年 7 月　(426～431)　　ACTA SEISMOLOGICA SINICA　　Jul., 2004

文章编号： 0253-3782(2004)04-0426-06

长江口海域断裂第四纪活动性特征*

章振铨　火恩杰　刘昌森　王　锋

(中国上海 200062 上海市地震局)

摘要　通过浅层人工地震勘察获知，长江口海域断裂构造发育，以北东、北西向断裂为主. 断裂以上新世—早更新世活动为主，最新活动可至中更新世. 断裂的最大断距一般为几十米，往上断距变小，中更新统底界的断距在 12～13 m. 断裂平均垂直位移速率为 10^{-3} mm/a 量级.

关键词　断裂　活动性　长江口海域

中图分类号： P546　　**文献标识码：** A

引言

海域活动断裂探测对地震研究具有重要意义(邓起东等，2002；火恩杰等，2003). 上海东部的长江口海域地震无论在频次和强度上均远大于陆域，上海陆域至今的最大地震为 1624 年 9 月 1 日的上海 4¾ 级地震，而长江口海域的地震最大为 6¾. 长江口海域是距上海市最近的一个中强地震频发区，是对上海影响最大的一个潜在震源区. 1971 和 1996 年该地区还发生过 5～6 级地震. 但是，这一地区地质上却是一个研究程度相对较低的区域，其北面的南黄海与南面的东海都为开发油气田相应做了许多地质工作，而在本研究区内仅有过一些以重、磁测量为主的基础性地质调查. 因此，开展对长江口海域断裂的探查，查明长江口海域的地质构造条件是有效开展上海市地震减灾工作的重要基础工作. 为此，在以 1996 年 11 月 9 日的 6.1 级地震为中心的长江口海域进行了高分辨率浅层人工地震勘查，以查明该区主要断裂构造的展布特征及其活动性(火恩杰等，2003).

1　区域构造背景与地震活动概述

长江口海域位于中国大陆边缘，临近欧亚板块与太平洋板块的会聚地带. 在构造分区上，本区的构造自西向东可以分为(金翔龙，1992)：苏北—南黄海坳陷带、浙闽隆起带和东海陆架坳陷带(图 1). 本工作区大部分位于浙闽隆起带. 该隆起带的基底由前泥盆纪变质岩组成，局部见晚古生界地层，其上发育了中生代中酸性火山岩和燕山期侵入岩. 燕山运动时期形成了一系列北东、北东东向断裂，局部形成次级小断陷盆地，如勿一、勿二等凹陷. 中生界之上直接为上新统和第四系沉积覆盖，厚度小于 1 000 m(地质矿产部上海海洋地质调查局，1995).

本区区域磁场以正负异常强烈交替变化和不同方向展布的异常相互交错为特征. 磁异

* 上海市科学技术委员会资助项目(012512003).
2003-12-09 收到初稿，2004-02-23 收到修改稿，2004-03-16 决定采用.

http://www.dizhenxb.org.cn

常总体走向由西部的北东东向，向东逐渐转为北东向，但它又常常被北西或北北西向的异常线所切割或扭曲．区域重力场的异常总体走向也呈北东走向，局部叠加有北西及东西向异常(《中国海洋石油物探》编写组，2001)．

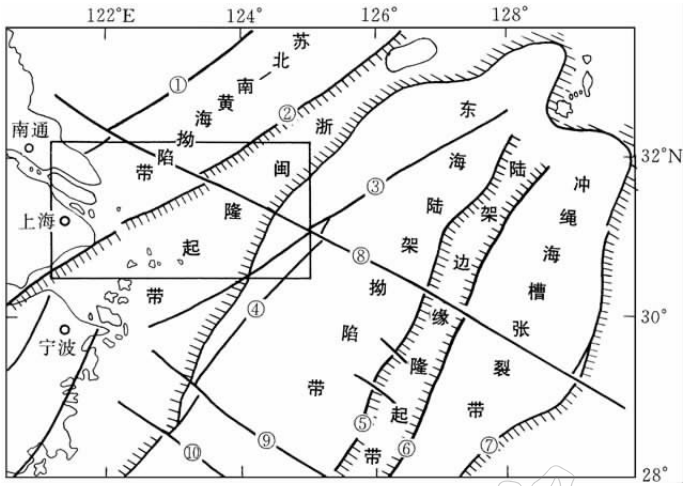

图 1　长江口海域构造分区图(金翔龙，1992)

① 南通—小黑山断裂；② 长江口—济州岛断裂；③ 宁海—东福山断裂；④ 东海陆架坳陷带西缘断裂；⑤ 东海陆架边缘隆起西侧断裂；⑥ 东海陆架边缘隆起东侧断裂；⑦ 冲绳海槽东缘断裂；⑧ 奄美—虎皮礁断裂；⑨ 冲绳—周舟山断裂；⑩ 久米岛—渔山断裂．图中方框为本研究讨论的范围

长江口海域构造总的面貌是以断裂构造为主，褶皱为次．断裂构造大体可分为 3 组：NE(包括 NNE)、NW 和 EW(包括 ENE 和 WNW)．NE 组断裂一般规模比较大，部分属于深断裂．其生成早、发育时间长，具多次活动的特点，如长江口—济州岛断裂．NW 组断裂，单体规模相对较小，呈断断续续延伸，但它错开 NE 向及 EW 向断裂，是一组时代较新的断裂构造．该组断裂在东海地区比较发育，分布较广，是仅次于 NE 向的一组重要断裂．部分 NW 向断裂可达到大断裂的规模(如奄美—虎皮礁断裂)，但多数 NW 向断裂规模不是很大，由于其形成时间较晚，可错开其它方向断裂．近 EW 向断裂在长江口海域也有分布，其分布范围及规模均不及 NE 向断裂，其重要性不及 NW 向断裂．它形成的时间一般较早，可被 NE 向及 NW 向断裂所错开．

长江口海域是个中强地震活动区，地震活动的频次和强度仅次于北部的苏北南黄海区(谢瑞征等，1997)．在北纬 29°～33°，东经 122°～125°的长江口海域，自 16 世纪以来共发生 $M_S \geqslant 4\frac{3}{4}$ 地震 10 次，其中 6～6¾级地震 2 次，5～5.9 级地震 3 次，$4\frac{3}{4} \leqslant M_S < 5$ 的地震 5 次．近年来，长江口水域中小地震也时有发生，1997 年曾在崇明岛东、横沙岛北发生主震为 3.6 级的小地震震群．

2　断裂第四纪活动特征

根据长江口海域的断裂以北东、北西向为主的特点，此次浅层地震勘查布置了 7 条北西向测线和 2 条北东向测线，构成井字型网络．为了能充分利用前人的工作成果，测线尽可能地向已有的钻孔和地震测线延伸联接．

通过地震勘查调查，发现在海底面之下、基岩之上存在多个特征明显的地震反射界面

(波阻抗界面). 其中可在全区进行对比的地震反射界面有 6 个，自上而下依次为 T_0^1，T_1^0，T_2^0，T_2^2，T_3^0 及 T_g 反射界面，将新生界分为 5 个地震层. 经与钻孔资料对比，它们分别相应为始新统($T_3^0 \sim T_g$)、中中新统($T_2^2 \sim T_3^0$)、上中新统($T_2^0 \sim T_2^2$)、上新统($T_1^0 \sim T_2^0$)、第四系(海底 $\sim T_1^0$). 其中，第四系又可分出全新统－中更新统(海底 $\sim T_0^1$) 和下更新统($T_0^1 \sim T_1^0$) 两个亚层.

长江口海域新生代地层分布规律明显，下第三系仅分布于测区东北角，中新统、上新统依次向西南超覆、减薄、尖灭. 沉积等厚线方向呈北西-南东向. 第四系在测区西南部沉积较薄，为 120～160 m，向北东增厚至 400 m 左右. 第三系厚度也显示类似特点，西南部缺失，至东北部迅速增厚至 1 300 m.

断层在地震剖面中的反映往往是非常直观而形象，也相对比较准确. 在地震剖面中解释断层依据主要是：地震波组的错断或相位的中断；波组产状的突然改变或在连续性良好的波组中出现杂乱的相位；以及部分断层显现断面波及异常波特征等情况. 通过对本区地震剖面资料的解释，发现在本区存在有众多的断裂构造. 在本区所有地震剖面中，断点屡有出现. 根据剖面上所显现的断裂特征，能组合起来的断裂大约有 30 条(表 1)；还有很多断点，由于测网密度不足还无法组合. 目前已组合的断层一般有两个以上的断点. 个别单一断点比较明显而可靠的，根据周围的条件又能大体确定其走向的，也予以表示，以供参考，如 F_{19} 断裂. 上述断裂，根据其展布方向，大体可分为 3 组，即 NE，NW 及近 EW 向. 前两组断裂在本区大量出现，规模及断距相对较大，为本区的主要断裂；后一组断裂在本区分布较少，为次要断裂(图 2).

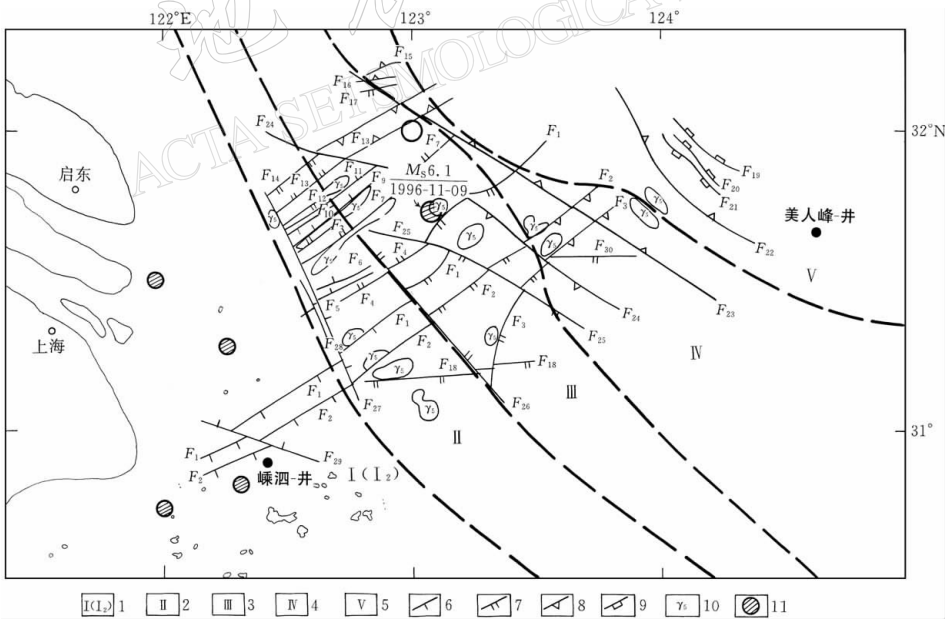

图 2 长江口海域断裂分布图

1. 第Ⅰ层第 2 亚层(Q_1)；2. 第Ⅱ层(N_2)；3. 第Ⅲ层(N_1^2)；4. 第Ⅳ层(N_1^1)；5. 第Ⅴ层(E)；6. 第四纪断裂；7. 晚第三纪上新世断裂；8. 晚第三纪中新世断裂；9. 早第三纪断裂；10. 燕山晚期中酸性侵入岩；11. 地震

http://www.dizhenxb.org.cn

表 1　长江口海域断裂特征参数表

断裂编号	长度/km	产状			主要活动时代	最大断距/m	断至最新层位	上断点埋深(距海面)/m
		走向	倾向	视倾角				
F_1	>180	NE	SE	46°～61°	N_2	60(N_1^2)	Q_2	80
F_2	>180	NE	SE	51°	N_2	86(N_1^2)	Q_2	130
F_3	>50	NE	SE	46°	N_2	61(N_1^3)	N_2	545
F_4	45	NE	NW	53°	N_1^3	21(N_1^3)	N_2	560
F_5	25	NE	NW	77°	Q_1	50(N_2)	Q_1	
F_6	25	NE	NW	41°	Q_1	54(N_2)	Q_1	185
F_7	>72	NE	NW	40°	N_1^3	23(N_1^3)	N_2	825
F_8	42	NE	NW	48°	N_2	21(N_2)	N_2	
F_9	40	NE	NW	45°	Q_1	57(N_2)	Q_1	
F_{10}	38	NE	SE	75°	Q_1	65(N_2)	Q_1	
F_{11}	35	NE	NW	53°	N_2	16(N_2)	N_2	475
F_{12}	33	NE	SE	55°	N_2	68(N_2)	N_2	
F_{13}	>68	NE	NW	52°～57°	N_2	22(N_1^3)	N_2	430
F_{14}	>75	NE	SE	54°	N_1^3	34(N_1^2)	N_2	860
F_{15}	>15	NE	NW	59°	N_1	56(N_1^2)	N_1	795
F_{16}	>13	NE	NW	63°	N_1	33(N_1^2)	N_1	850
F_{17}	>9	NE	SE	66°	N_2	49(N_1^3)	N_2	
F_{18}	>60	ENE	SE	35°	N_2	43(N_2)	N_2	525
F_{19}	>25	NW	NE	46°	E	174(E)	E	1 530
F_{20}	>15	NW	NE	46°	E	105(E)	E	1 310
F_{21}	>30	NW	SW	48°	E	35(E)	E	1 490
F_{22}	>60	NW	NE	38°	E	218(E)	N_1	1 135
F_{23}	>150	NW	NE	33°	E	755(E)	N_1	870
F_{24}	>140	NW	SW	51°	N_1	48(N_1^2)	N_1	520
F_{25}	>85	NW	SW	43°	N_2	35(N_1^2)	N_2	410
F_{26}	>70	NW	NE	52°	N_2	79(N_2)	N_2	370
F_{27}	>80	NW	NE	42°	Q_1	29(N_2)	Q_1	180
F_{28}	20	NW	SW	50°	Q_1	11(N_2)	Q_1	150
F_{29}	>45	NWW	NE	52°	Q_2	51(Q_1)	Q_2	50
F_{30}	38	EW	S	30°	N_1	56(N_1^3)	N_2	685

1）NE 向断裂．NE 向断裂是本区的主要断裂，目前在本区已组合的有 17 条，即 F_1～F_{17}．断裂的展布方向在 NE30°～60°之间，其中以 NE50°～60°方向居多，倾角一般大于 45°．其规模沿走向长度在 25～185 km，最大断距 21～86 m 不等．断层性质均为正断层，错断的最新层位有自东北至西南越来越新的特点．最新活动时间由晚第三纪的中新世(N_1)，上新世(N_2)，直至第四纪的早更新世(Q_1)，中更新世(Q_2)．

例如 F_1 断裂，见于本区中部(图 2)，纵贯全区，呈 NE50°方向延伸，长度超过 180 km，在穿越本区的 6 条测线上均有断点显示．该断层错断的最新层位自上新世(N_2)至中更新世(Q_2)不等．由南向北随着沉积层的加厚，错断的层位依次降低，即错断裂位由新变老．在本区南部 DZL11oa 测线的 4 150 点附近，F_1 断裂断至的最新层位可达中更新统—全新统(Q_{2-4})(图 3)．在该处 F_1 断裂断切了 T_0^1 界面(中更新统底界)，其中基底面(Tg 界面)的垂直断距可达 60 m，向上断距变小，中更新统底界的垂直断距只有 12.5 m．从对上海地区陆域的第四纪地层研究可知，中更新统底界的年龄为 78 万年．据此推知，F_1 断裂中更

地震学报 ACTA SEISMOLOGICA SINICA

新世以来的平均垂直位移速率为 0.016 mm/a. 在本区北部 DZ40 测线的 3 615 点附近，该断层断错的最高层位为上新统(图 4). 该处 F_1 断裂断切了 T_2^0 界面(上新统底界)，断距为 40 m 左右. 该处沉积层的厚度可达 650 m.

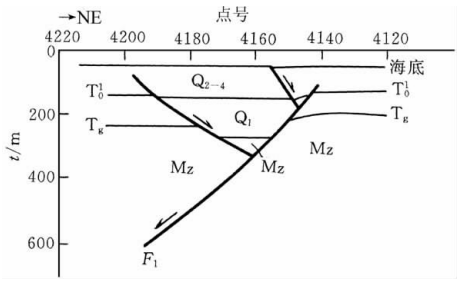

图 3 DZL11oa 测线 4 150 点断点剖面图

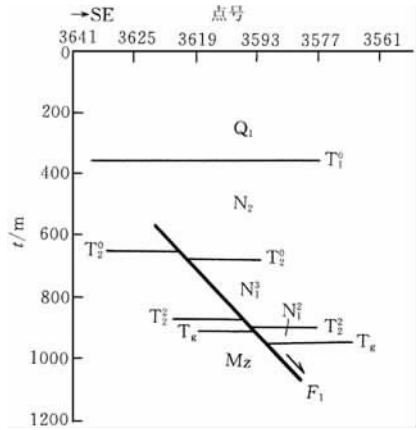

图 4 DZ40 测线 3 615 点断点剖面图

2) NW 向断裂. NW 向断裂为本区另一组主要断裂，共有 10 条，即 F_{19}～F_{28}. 该组断裂的展布方向为 N300°W～N330°W. 其中以 N300°W 为多，倾角一般大于 40°. 断裂长度在 25～150 km，最大断距 11～755 m 不等. 断裂性质以正断层为主，兼有左旋走滑. 断错的最新层位自东北向西南分别为：下第三系(E)、上第三系(N)及第四系(Q). 例如，F_{23} 断裂位于测区北部，断裂走向 N300°W，为一倾向 NE 的正断层，长度超过 150 km. 断裂活动时代为早第三纪至中新世，以早第三纪为主；F_{24} 断裂也是横贯东西的一条主要 NW 向断裂，位于 F_{23} 断裂以南，长度超过 140 km. 断裂活动时代主要为中新世(N_1)；F_{27} 断裂位于测区南部，长度大于 80 km. 断裂断错的最新层位为下更新统.

3) 近 EW 向断裂. 近 EW 向断裂包括 WNW、ENE 及 EW 向. 该组断裂在本区数量较少，现有 3 条，规模也较小. 其长度 25～60 km，最大断距 40～55 m. 南部断裂断至的最新地层为中更新统，断距也都在 12～13 m 之间；北部断裂仅断至上新统.

3 结论

通过浅层地震勘测，可获知长江口海域断裂活动具有如下特征：

1) 断裂以上新世—早更新世活动为主，最新活动可至中更新世. 在 30 条断裂中，早第三纪活动的有 3 条，中新世的有 5 条，上新世的有 12 条，早更新世的有 7 条，中更新世的有 3 条. 所有断裂均为正断层性质.

2) 断裂的最大断距一般为几十米. 百米以上的断距都在北部的几条 NW 向断裂上，与早第三纪凹陷的发育有关，具有同生断层性质.

3) 在断点剖面上显示，往上断距变小. 第四系底界的断距在 10～30 m 之间；中更新统底界的断距在 12～13 m.

4) 最大的平均垂直位移速率在 0.016 mm/a 左右.

5) 北东向断裂分段明显，自西南至东北，依次可分为第四纪断裂、晚第三纪断裂和早

第三纪断裂；北西向断裂分段不很明显.

本区新构造运动主要表现为大面积间歇性的升降运动. 研究区域属长江三角洲间歇性缓慢沉降区，它继承了第三纪以来的大面积缓慢坳陷，但活动强度普遍减弱. 新生代沉积物等厚线展布方向受北西向断裂控制较为明显. 浅层地震勘测揭示了在测区的南、北部断裂构造活动性有较大的差异，且与地震活动显示的构造活动性不尽相符. 浅层地震探测解释的断裂活动性，其活动时代是根据错断的最高层位(最新地层层位)来确定的. 从探测的结果看，本区的断裂活动性有自北而南越来越新的趋势.

由长江口海域的浅层地震勘测结果可知，6.1 级地震附近的海域断裂以 NE 和 NW 向两组断裂为主，其中北东向的 F_1，F_2 断裂，北西向的 F_{23}，F_{24} 等断裂都是规模较大的断裂，至少有 100 多千米长. 工作区东北部的第三纪盆地明显受北西向断裂控制. 第三系的沉积物等厚线呈北西向分布，下第三系仅分布在 F_{23} 断裂北东侧，厚度达 600 多米. 北东向断裂在第四纪有所活动，最新活动可至中更新世. 根据苏浙皖沪地区中强地震潜在震源区判定标志的研究，中强地震往往发生在中新生代断陷盆地的陡深一侧，而且北西向与北东-北东东向断裂的交会部位也是经常发生地震的地方. 因此，F_1，F_2 等北东向断裂与 F_{23}，F_{24} 等规模较大的，控制着第三纪盆地边界的北西向断裂的交会部位，是可能发生中强地震的构造部位. 但根据浅层地震探测所揭示的断裂活动性来看，似不足以发生 7 级以上的大震.

参　考　文　献

地质矿产部上海海洋地质调查局. 1995. 中华人民共和国上海幅(H-51)综合地质图说明书，1∶100 万[M]. 北京：地质出版社，264～265

邓起东，晁洪太，闵伟，等. 2002. 海域活动断裂探测和古地震研究[J]. 中国地震，**18**(3)：311～315

火恩杰，章振铨，刘昌森，等. 2003. 长江口海域新生代地层与断裂活动性初探[J]. 中国地震，**19**(3)：206～216

金翔龙. 1992. 东海海洋地质[M]. 北京：海洋出版社，282～287，292～297

谢瑞征，徐徐，黄伟生，等. 1997. 苏浙皖沪地区中强地震潜在震源区判定标志的研讨[J]. 地震学刊，**17**(1)：11～20

《中国海洋石油物探》编写组. 2001. 中国海洋石油物探[M]. 北京：地质出版社，117～121

THE CHARACTERISTICS OF QUATERNARY ACTIVITY OF FAULTS IN THE SEA AREA NEAR THE YANGTZE RIVER MOUTH

Zhang Zhenquan　Huo Enjie　Liu Changsen　Wang Feng

(*Earthquake Administration of Shanghai Municipality*, *Shanghai* 200062, *China*)

Abstract: By shallow seismic prospecting, it is showed that the faults in the sea area near the Yangtze River Mouth are mainly the NE and NW-trending faults. The main activity time of fault is Pliocene to Early Pleistocene, and the latest activity is up to middle Pleistocene. The maximum of fault is generally several tens meters with the decreased upward. The dislocation near the bottom of middle Pleistocene is 12～13 m. The average vertical displacement rate is on a level of 10^{-3} mm/a.

Key words: fault; activity; sea area near the Yangtze River Mouth