

福建厦门筭筭港北东向断裂带活动性研究

黄卿团 叶友权 付萍 姚道平

(厦门地震勘测研究中心, 厦门 361021)

摘要 本文根据航卫片、第四纪地质、地貌、浅层地震、钻孔、年代学等资料, 分析了厦门筭筭港北东向断裂带的第四纪晚期活动特征, 并阐述了其构造组合特征。结果表明: ①断裂带中的文灶-龙山-五通断裂和虎尾山-钟宅断裂为第四纪早期断裂, 晚更新世以来不再活动; ②筭筭港断裂为晚更新世早、中期活动断裂, 晚更新世晚期(约3万年)以来不活动; ③文灶-龙山-五通断裂和虎尾山-钟宅断裂将厦门岛切割为3个地块, 分别形成了仙岳山地垒、筭筭港地堑和云顶岩地垒的构造组合, 晚更新世晚期以来地壳以整体性上升运动为总趋势。

关键词: 厦门 更新世 断裂活动

引言

厦门位于福建东南沿海、九龙江口北岸。改革开放以来, 厦门作为对外开放的窗口——经济特区之一, 各项工程建设全面展开, 一些重点工程相继建成, 一批外资企业陆续落户, 经济发展日新月异。正是由于厦门经济建设的快速发展, 使得发育在厦门岛中部的筭筭港北东向断裂带的第四纪活动性研究, 成为了有关部门和专家的关注焦点。本文在前人(1/20万厦门幅区域地质调查和1/50万福建省区域地质志编制)研究工作的基础上, 经过作者及同仁多年的调查和研究, 对包括长乐-诏安断裂带1/10万活动断裂地质填图、华南沿海地震重点监视防御区孕震活动构造的定量研究与强震危险性评估、厦门市活断层探测与地震危险性评价和一些重要工程场地地震安全性评价等, 以丰富而翔实的地质、地貌、物探、钻探、年代测定等资料, 阐述了厦门筭筭港断裂带的几何特征, 分析了断裂带的第四纪晚期活动性。通过上述研究, 本文详细阐述了该断裂带的最新活动发生在中更新世, 局部段落晚更新世仍有活动。

1 断裂带组成和展布特征

厦门筭筭港北东向断裂带主要由文灶-龙山-五通断裂(F_1)、虎尾山-钟宅断裂(F_2)及筭

〔收稿日期〕2008-11-25

〔作者简介〕黄卿团, 男, 生于1950年。高级工程师。主要从事活动构造研究与地震安全性评价工作。

E-mail: Qing_tuan@126.com。

筭筭港北东向隐伏断裂 (F₃) 组成 (见图 1), 发育于厦门岛中部。其中, F₁ 和 F₂ 断裂构成了筭筭港地堑的边界 (黄卿团等, 1999), 在区域构造上属长乐-诏安断裂带主干断裂的中段, 向北东与罗裳山断裂、向南西与港尾断裂呈断续展布 (丁祥焕等, 1992; 黄卿团等, 2005)。

1.1 文灶-龙山-五通断裂 (F₁)

该断裂南西起自文灶, 经龙山、金山等地, 向北东穿过阶地平原区后, 于坂美附近进入海域, 由主断层 (F₁) 和次级断层 (F₁₋₁) 组成 (见图 1)。断裂走向 50°左右, 倾向以北西为主, 倾角 60°—70°, 发育于燕山期花岗岩和侏罗纪火山岩中, 呈断续展布, 多以小裂面或密集节理形式出现。断裂北东段在金山的侏罗纪火山岩中, 南西段在龙山、文灶和坂尾山的燕山期花岗岩中可见断层形迹, 其余大多推测发育于红土台地中, 全长约 13.5km。

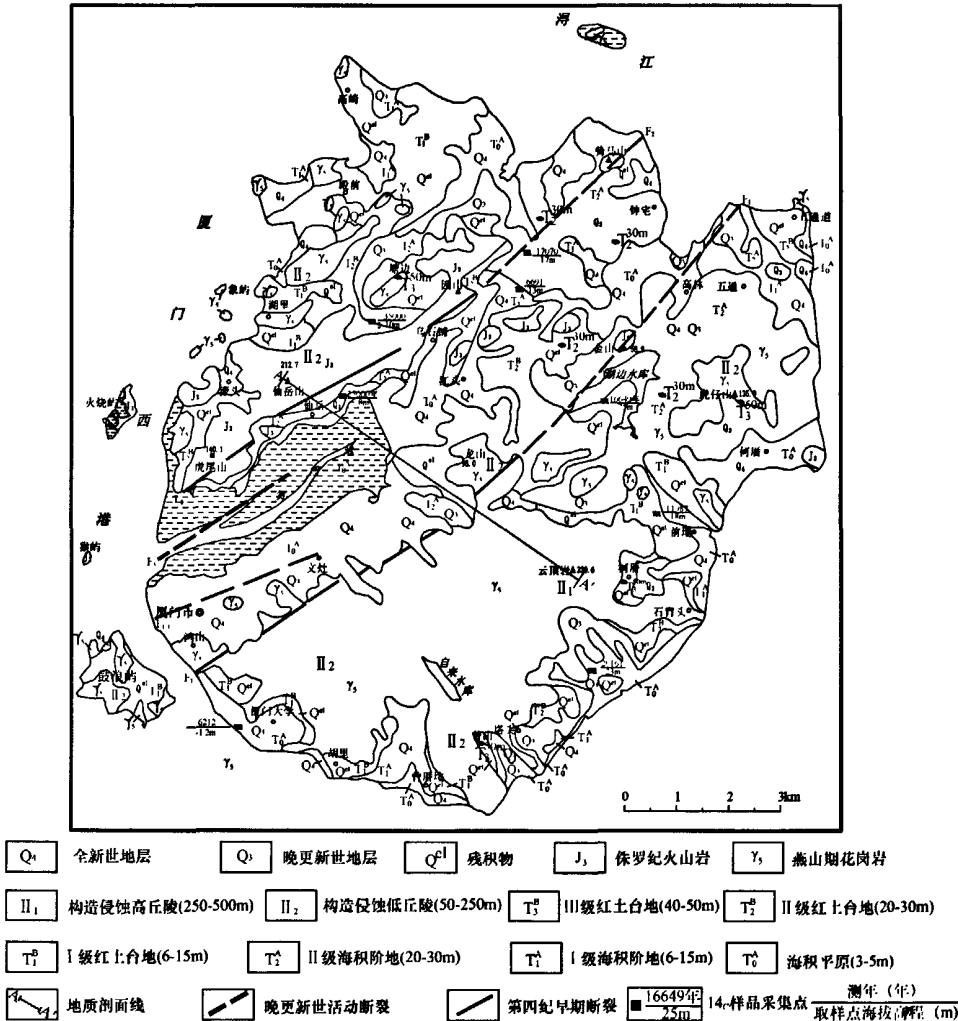


图 1 厦门筭筭港断裂带地质图

Fig.1 Geological map of Xiamen Island and its adjacent area, Fujian province

1.2 虎尾山-钟宅断裂 (F₂)

该断裂南起官浔, 经七星山 (由于城市建设已不存在)、仙洞山南坡至乌石铺, 沿园山

东坡进入阶地平原区,呈“隐伏”状态,在骑马山向北进入海域。断裂发育于燕山期花岗岩和侏罗纪火山岩中,走向 50° — 60° ,倾向以南东为主,倾角 60° 以上。断裂西南段形迹清楚,发育于侏罗纪火山岩之中;北东段形迹不清,隐伏于红土地台地之下,全长约 11km。

1.3 筲筴港断裂 (F_3)

筲筴港原为厦门岛的小海湾,后因城市建设人工填土海湾区域逐步缩小。由于筲筴港内第四纪沉积物之上为地表回填土,无法开展地表地质调查。在城市活断层探测与地震危险性评价工作中,经过浅层地震勘探和跨断层钻探才发现了筲筴港断裂(参见图 1 及后述)。

2 断裂带活动性分析

厦门筲筴港断裂带的不同断裂和不同时期具有不同的活动性,主要包括以下特征。

2.1 文灶-龙山-五通断裂 (F_1)

根据以下对断层之上第四纪沉积物的覆盖情况、断裂两侧等时地貌面的等高分布、浅层地震勘探以及断层泥测年结果等资料分析,本文认为文灶-龙山-五通断裂 (F_1) 中更新世晚期以来比较稳定,没有发现有过活动的迹象。

① 断层之上覆盖的第四纪沉积物没有被切割位移。在文灶采石场,见厚约 1.5m 的晚更新世海相沉积物 (Q_p^{3m}) 覆盖在断层之上(图 2),该沉积物结构完整,未见断层变形和错动,表明地层沉积以后,断裂不再活动,而该地层的形成时代距今约 3—4 万年(丁祥焕等,1999;黄卿团等,2007)。在坂尾山西坡,花岗岩之中见走向 45° 、倾角近直立的断层,其上覆盖厚 1.5—2.2m 的残积物 (Q^l)。该残积物亦层位连续,未被切割位移(图 3),显示中更新世晚期以来断裂稳定。

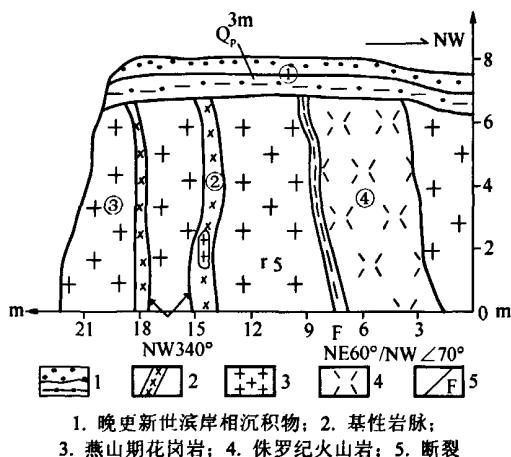


图 2 文灶采石场北东向断裂剖面

Fig.2 Geological section of the NE-striking fault at Wenzao quarry

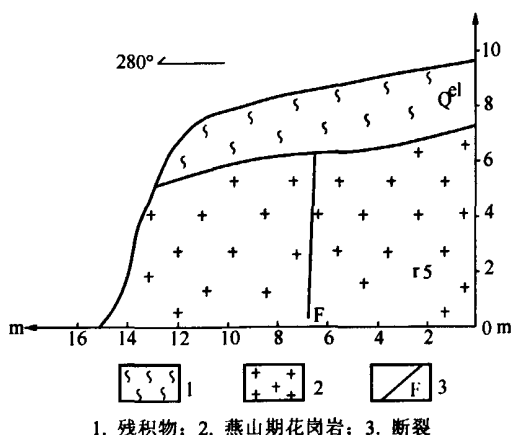


图 3 坂尾山西坡北东向断裂剖面

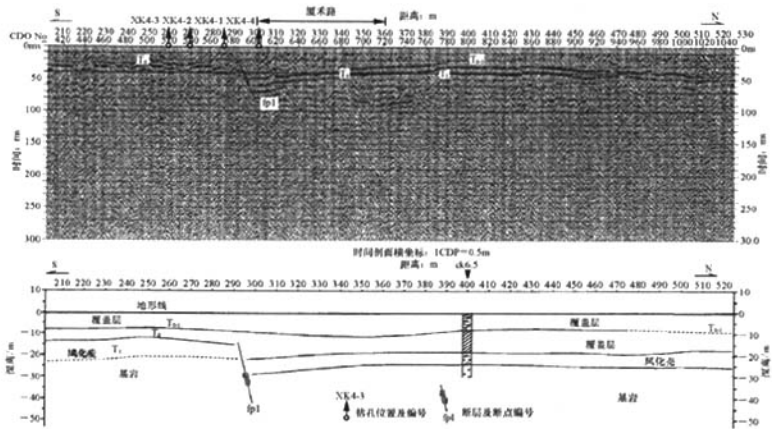
Fig.3 Geological section of the NE-striking fault western along Mt. Banwei

② 晚更新世冲洪积扇由断裂所在的山前逐渐延伸进入海湾,山前红土地台地(即侵蚀剥蚀阶地)也平缓地向海湾倾斜,两者均被全新世海相地层 (Q_h^m) 超覆。这些冲洪积扇面和红土地台面均无明显的(转折)变形和变位,也没有发现被断层切割的迹象,表明该断裂晚更新世以来已趋于稳定。

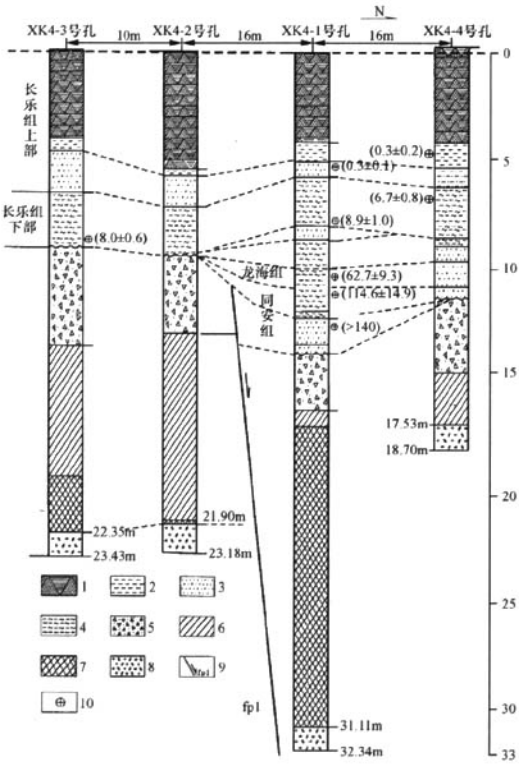
③ 分布在断裂两侧的晚更新世晚期形成的Ⅲ级和Ⅱ级等时地貌面 T_3^B 和 T_2^B （见图1）的海拔高程分别为50m和30m，没有差异性变化，显示晚更新世晚期以来地壳稳定，断裂没有发生活动。

④ 在龙山西坡铁路边的燕山期花岗岩中，断层走向为 45° ，倾向南东，倾角 85° ，破碎带宽45—50cm，断层泥样品经中国地震局地壳应力研究所热释光测试，其年龄为距今 (27.4 ± 2.3) 万年（朱金芳等，2008）。

⑤ 在断裂南西端的湖滨西路和向北东方向进入红土台地区的高林村，分别布设了浅层地震勘探测线（XMSS1和XM08-2），朱金芳等（2008）根据同相轴特征研究，认为断点断错了 T_0 （残积层顶界面）和 T_1 ，断层倾向南东，为正断层（见图4和图5）。也就是说，断层错断了中更新世形成的残积层，但未错断上部晚更新世以来的覆盖层，表明断层在中更新世曾经有过活动，而晚更新世以来不再活动。



⑧ 在浅层地震勘探剖面的断点附近分别布设了跨断层钻孔组合，其中在厦禾路 XK4 场地由南向北的 4 个钻孔依次为：XK4-3、XK4-2、XK4-1 和 XK4-4（见图 6）。这些钻孔跨越了断点 Fp1，钻孔资料显示，XK4 场地第四纪地层中发育有更新统中部同安组、上部龙海组，全新统长乐组，其中 XK4-3 和 XK4-2 钻孔缺失同安组和龙海组，而长乐组以角度不整合覆盖于残积层之上。同时，XK4-1 和 XK4-4 钻孔的同安组以角度不整合覆盖于残积层之上，而龙海组与同安组及长乐组之间呈平行不整合接触。从上述剖面可以看出，XK4-1 和 XK4-2 之间的残积层顶界面埋深曾发生过差异性变化，因此可以推测断层曾错断过残积层顶界面，断距为 4.5m，残积层主要形成于中更新世，表明中更新世期间断层曾有过活动，而更新世晚期以来没有活动，同时这种推测与浅层地震勘探资料也是相吻合的。



1. 填土; 2. 黏土; 3. 中粗砂; 4. 淤泥质粘土; 5. 残积土; 6. 强风化花岗岩; 7. 中风化花岗岩;
8. 微风化花岗岩; 9. 断层及编号; 10. 光释光采样点及年龄 (单位: ka)

图 6 厦禾路 XK4 场地跨断层钻孔联合剖面

Fig.6 The combined drilling geological section at XK-4 site, Xiahe

综上所述，文灶-龙山-五通断裂（F₁）属第四纪早期断裂，晚更新世以来不再活动。

2.2 虎尾山-钟宅断裂（F₂）

根据以下对断层之上覆盖层的连续性、断层物质硅化固结程度、断裂两侧等时地貌面的等高分布、浅层地震勘探、钻孔探测以及断层泥测年等资料分析，本文认为虎尾山-钟宅断裂（F₂）属第四纪早期断裂，晚更新世以来不再活动。

① 断裂之上覆盖的残积物 (Q^{el})、中更新世坡积物 (Q_p^{2dl}) 和晚更新世冲洪积物 (Q_p^{3dl+pl}) 未被切割、错动或变形。在钟宅西侧的骑马山燕山期花岗岩中, 断层之上覆盖厚 2.0—2.5m 的残积物和厚 3m 的中更新世坡积物, 层位连续, 没有发现差异性变化 (见图 7)。取 Q^{el} 和 Q_p^{2dl} 样品经中国地震局地壳应力研究所热释光测试, 其年龄分别为: (19.7 ± 2.2) 万年和 (18.9 ± 2.1) 万年 (朱金芳等, 2008)。在七星山侏罗纪火山岩中, 断裂上覆的风化层、残积物、晚更新世冲洪积物也没有发现被错动或变形。上述结果表明, 虎尾山-钟宅断裂 (F_2) 晚更新世以来不活动。

② 断层物质 (角砾岩及次生矿物) 未见结构、构造变化。在官浔、七星山等地, 断层中的角砾岩已硅化和胶结成岩, 非常坚硬, 未见再次构造变动; 在虎尾山, 断层角砾岩间的空隙内有石英晶簇生成, 晶形完整, 未见挤压扭曲、拉长或破裂等变形现象。

③ 晚更新世冲洪积扇由山前逐渐伸入海湾, 山前红土台地 (即侵蚀剥蚀阶地) 也平缓地向海湾倾斜, 两者均被全新世海相地层 (Q_n) 超覆, 无明显转折, 未发现活动断层切割现象, 表明断裂晚更新世以来趋于稳定, 不再活动。

④ 在龙山、园山以东地区, 断裂两侧红土台地发育, 分布广泛, 海拔高程在 30m 左右 (即 II 级等时地貌面 T_2^B), 台地面平坦, 除发育中更新世残积层之外, 在台地面上或台地前缘还覆盖有晚更新世海陆交互相地层 (Q_p^{3m+al}) 和晚更新世冲洪积地层 (Q_p^{3dl+pl}), 这些地层向北东方向延伸进入该地区, 因此可以推测断裂可能发育于红土台地中, 而台地面和阶地地面的微地貌起伏不大, 表明该地区经过长期夷平趋于准平原化, 同时也说明该地区中更新世以来地壳处于相对稳定的状态, 断裂已不再活动。

⑤ 在枋湖、仙岳附近、虎尾山山前地带的火山岩中, 在断层中取断层泥做热释光年龄测试, 其结果分别为: 距今 (25.5 ± 2.8) 万年、 (42.5 ± 4.7) 万年、 (27.9 ± 2.4) 万年、 (30.3 ± 3.3) 万年、 (22.8 ± 2.5) 万年和 (29.2 ± 2.5) 万年 (朱金芳等, 2008), 属中更新世。

⑥ 在垂直断裂的钟宅等地进行的浅层地震勘探获得的反射剖面显示 (见图 8), 断点断错了 T_0 和 T_1 , 倾向南东, 为正断层。断裂通过的山前地带及红土台地, 第四纪沉积层普遍较薄, 浅层地震勘探剖面中断点大多错断了 T_1 强反射 (花岗岩风化壳顶) 界面和 T_0 强反射 (残积层顶) 界面, 残积层主要形成于中更新世, 但没有断错 T_{0-1} 强反射 (晚更新世海相地层底部) 界面, 表明虎尾山-钟宅断裂中更新世曾发生过活动, 但晚更新世以来却没有再发生过活动。

上述分析表明, 虎尾山-钟宅断裂 (F_2) 属第四纪早期断裂, 晚更新世以来没有活动, 地

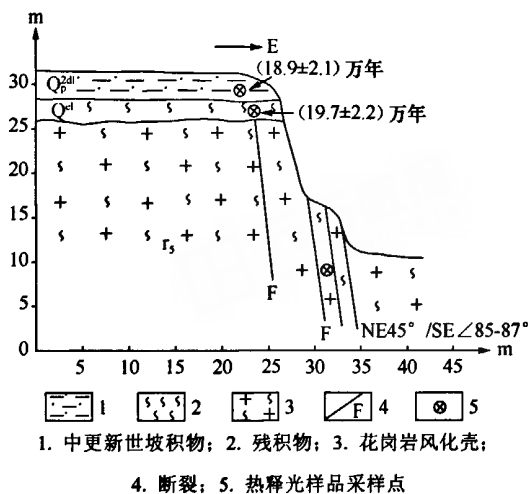


图 7 钟宅骑马山花岗岩中北东向断层探槽剖面
Fig.7 Geological section on wall of trench showing
NE-striking fault in granite at Maqishan, Zhongzai

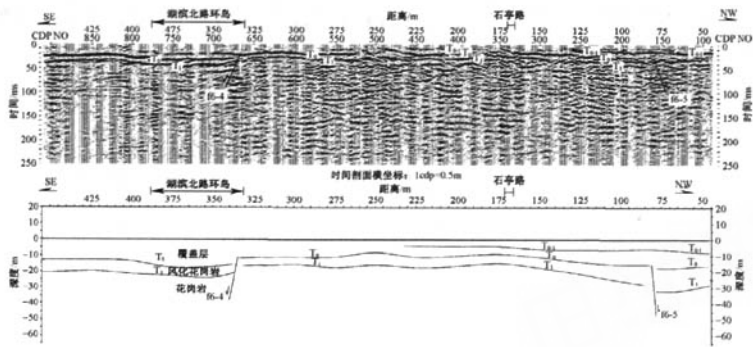
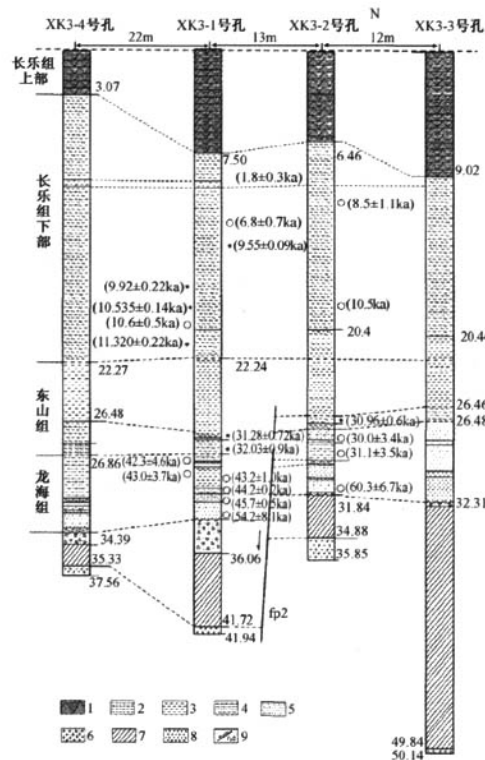


图 10 湖滨中路 XM06-1 测线浅层地震反射时间与地质解释剖面
Fig.10 Seismic reflection profile and its geological interpretation of Line XM06-1 at Middle Hubin road

② 钻孔资料分析

为了进一步鉴定筭筭港断裂的活动性，在湖滨西路 XMSS1 测线上还针对解释断点布设了跨断层钻孔联合探测剖面 XK3（见图 11）。从图 11 可以看出，全新世的长乐组底界面年龄



- 1. 杂填土；2. 淤泥质粘土；3. 黏土；4. 砂质粘土；5. 含泥中粗砂；6. 残积土；
- 7. 强风化花岗岩；8. 中微风化花岗岩；9. 断层及编号

图 11 湖滨西路 XK3 场地跨断层钻孔联合剖面

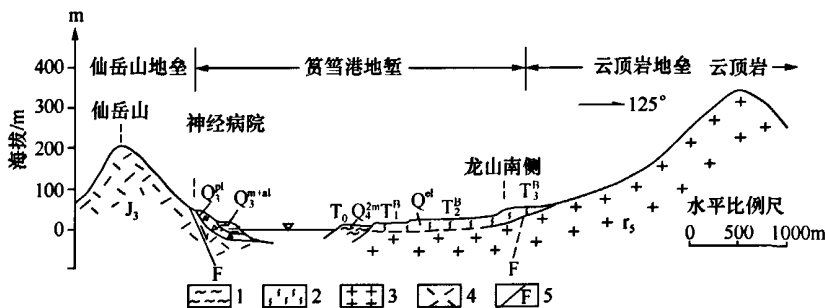
Fig.11 The combined drilling geological section at XK-3 site, Western Hubin road

值为 11.32ka 左右;晚更新世的东山组上部埋深不大,底界面年龄值约为 32.0ka 左右;东山组下部和晚更新世的龙海组底界面年龄值为 60.0ka 左右;在 XK3-1 与 XK3-2 钻孔之间存在较大的差异变化,断错明显,错距约 1.8m;断层断错了龙海组至东山组的下部,被东山组上部粘土层覆盖。上述这些钻探结果表明,筴筴港断裂(F_3)属晚更新世早、中期活动断裂,晚更新世晚期(距今约 3 万年)以来不活动。

综上所述,筴筴港断裂(F_3)呈北东向发育于厦门筴筴港内,由湖滨中路附近向南西延伸,穿越湖滨西路后进入海域。该断裂走向 55° 左右,倾向南东,倾角较陡约为 70° — 85° ,在筴筴港的陆域范围长约 2.8km,并可能向南西海域延伸。湖滨西路跨断层钻孔联合剖面探测表明,筴筴港断裂(F_3)属晚更新世早、中期活动断裂,晚更新世晚期以来不再活动。

3 断裂带的构造组合特征

厦门文灶-龙山-五通断裂(F_1)和虎尾山-钟宅断裂(F_2)将厦门岛切割成 3 个地块(见图 12),形成了以下 3 个地堑-地垒的构造组合:仙岳山地垒、筴筴港地堑、云顶岩地垒。



1. Q_4^m 全新世晚期海相灰黑色淤泥、粘土, Q_3^{m-al} 晚更新世晚期海陆交互相灰白色、灰黑色中粗砂、砂质淤泥;
2. Q^d 残积台、阶地; 3. 燕山期花岗岩; 4. 中生代火山岩; 5. 活动断裂

图 12 厦门仙岳山-云顶岩地质剖面图

Fig.12 Geological section from Mt. Xianyue to Mt. Yundingyan in Xiamen

强烈的燕山运动在福建东南沿海伴随着大量的火山喷发、岩浆侵入及断裂的形成,奠定了区内的断裂构造格局,就此形成了厦门的文灶-龙山-五通断裂(F_1)、虎尾山-钟宅断裂(F_2)、筴筴港断裂(F_3)和钟宅港。新近纪末至第四纪初的新构造运动,在原有的构造格局基础上进一步发展,仍以断裂及由断裂控制的断块差异升降活动为特征。第四纪以来,在北西西-南东东向挤压应力场的作用下,断裂活动在空间上具有明显的继承性,具体表现为老断裂的复活,其中多个断层物质的热释光测年结果表明,断裂的最新活动主要发生在中更新世。而前述的地堑-地垒构造是经过多次的差异性升降活动才进一步形成的。晚更新世晚期以来,厦门岛地壳逐渐趋于稳定,红土台地被进一步夷平,在各个断块中都分布有晚更新世的海拔高程大致相同的地貌面,显示出地壳以整体上升运动为总趋势,因而在筴筴港断裂带附近历史上和现今都没有发生过地震。

4 结论

(1) 对福建厦门筴筴港断裂带在地貌、第四纪地层、浅层地震勘探、钻孔探测等资料的

综合分析表明：文灶-龙山-五通断裂（ F_1 ）和虎尾山-钟宅断裂（ F_2 ）为第四纪早期断裂，晚更新世以来没有活动；而筭筭港断裂（ F_3 ）是晚更新世早、中期活动断裂，晚更新世晚期以来不活动。

（2）文灶-龙山-五通断裂（ F_1 ）和虎尾山-钟宅断裂（ F_2 ）将厦门岛切割成了 3 个地块，分别形成了仙岳山地垒、筭筭港地堑和云顶岩地垒的构造组合，晚更新世晚期以来地壳以整体性上升运动为总趋势。

参考文献

- 丁祥焕, 黄卿团, 庄进耀, 1992. 福建省长乐-诏安断裂带晚第四纪活动性的分析. 见: 活动断裂研究 (2), 国家地震局地质研究所. 北京: 地震出版社, 224—235.
- 丁祥焕, 王耀东, 叶盛基等, 1999. 福建东南沿海活动断裂与地震. 福州: 福建科学技术出版社.
- 黄卿团, 丁祥焕, 庄进耀, 1999. 福建东南沿海晚第四纪断陷构造的形成和发育. 见: 活动断裂研究 (7), 国家地震局地质研究所. 北京: 地震出版社, 67—80.
- 黄卿团, 庄进耀, 谢志招等, 2005. 福建龙海-漳浦沿海活动断裂与火山活动. 地震地质, 27 (1): 89—97.
- 黄卿团, 付萍, 郑韶鹏, 2007. 福建东南沿海 50m 以下的地貌面与断裂活动性. 地震地质, 29 (3): 578—596.
- 朱金芳, 谢志招, 曲国胜等, 2008. 闽南地区城市活动构造与地震. 北京: 科学出版社.

Research on Quaternary Activities of Yundanggang Fault Zone in Xiamen, Fujian Province

Huang Qingtuan, Ye Youquan, Fu Ping and Yao Daoping

(Xiamen Seismological Survey and Research Center, Xiamen 361021, China)

Abstract The NE-striking Yundanggang fault zone, consisted of 3 normal faults, is distributed in Xiamen island, Fujian province, with a general strike of about 50° and dip to NW or SE with an angle of 50° — 70° , controlling the boundary of Yundanggang Basin. Based on the previous work, through analysis in Quaternary geology, geomorphology, high-resolution seismic profiling, dating and drilling, the Quaternary active character of the NE-striking Yundanggang fault zone is discussed. The results are as follows: Wenzao-Longshan-Wutong fault segment and Huweishan-Zhongzai fault segment of this zone are active in early Quaternary, but inactive since late Pleistocene; Yundanggang fault, as an active fault, is active in early-middle Pleistocene. These above two faults divided Xiamen island into 3 blocks: Xianyueshan, Yundanggang and Yundingyan, with different movement.

Key words: Xiamen; Pleistocene; Fault activities