

福建九龙江下游 NW 向断裂带第四纪以来活动特征

叶友权, 黄卿团, 王通其, 薛 蕾

(厦门地震勘测研究中心, 福建 厦门 361021)

摘要:通过对福建九龙江下游 NW 向断裂带断层上覆地层的切割关系、断裂两侧第四纪等时地貌面的差异性变化、浅层地震勘探、断层两侧钻孔探测等资料分析,研究了断裂第四纪以来的活动特征及断裂构造的组合特征。结果表明:(1)郭坑—江东桥断裂(F_1)、珠坑断裂(F_3)、金峰—大帽山断裂(F_7)为早第四纪(Q_{1-2})断裂;岱山岩—珩坑断裂(F_6)的观音山—古湖段为早第四纪(Q_{1-2})断裂、古湖—洪塘段为晚更新世活动断裂;覆船山—康山断裂(F_4)、九龙江(西溪)断裂(F_5)为晚更新世早期活动断裂,海沧—钱屿断裂(F_2)为晚更新世活动断裂。(2)郭坑—江东桥断裂和金峰—大帽山断裂将本区切割成3个地块,形成了小田坑山地垒、漳州地堑、锅尖山地垒的构造组合形式。漳州地堑再被覆船山—康山断裂和岱山岩—珩坑断裂切割成3个地块,又形成了较小的圆山地垒、九龙江西溪河谷地堑、马鞍山地垒的构造组合形式。

关键词: 福建九龙江; 活动断裂; 第四纪活动; 组合特征

中图分类号: P315.242

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2012)01-0064-08

Quaternary Active Features of the NW-striking Fault Zone in Jiulong River Downstream Area, Fujian Province

YE You-quan, HUANG Qing-tuan, WANG YU-qi, XUE Lei

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

Abstract: The Quaternary active features and combination relation of NW-striking fault zone in the downstream area of Jiulongjiang in Fujian province are researched through analysis of Quaternary geology, geomorphology, high-resolution seismic profiling, dating and drilling. The results show that: (1) The Guokeng—Jiangdong fault(F_1), Zhukeng fault(F_3) and Jinfeng—Damaoshan fault(F_7) activated in early Quaternary (Q_{1-2}). Daishanyan—Hengkeng fault(F_6) activated in early Quaternary and late Pleistocene on different segments. The Fuchuangshan—Kangshan fault(F_4) and Jiulongjiang(west stream) fault(F_5) activated in early late Pleistocene. The Haicang—Qiangyu fault(F_2) activated in late Pleistocene. (2) The Guokeng—Jiangdongqiao fault and the Jinfeng—Damaoshan fault divided the research area into 3 blocks and formed the Structural Assemblage of Xiaotiankeng horst, Zhangzhou graben and Guojianshan horst. Than the Zhangzhou graben was divided into 3 blocks by the Fuchuan Shan—Kangshan fault and the Daishanyan—Hengkeng fault, and formed the smaller Structural Assemblage of Yuanshan horst, Jiulongjiang Xixi valley graben and Maanshan horst.

Key words: Jiulong river in Fujian province; Active fault; Quaternary activity; Combination relation

0 引言

福建九龙江下游 NW 向断裂带发育自西北漳州盆地至南东厦门岛南侧,地质构造上位于长乐—诏安 NE 向断裂带中段与南段的交界部位。前人对该地区开展过较多的活动构造研究,但对于九龙江下游 NW 向断裂带的构造组成、展布规模及其活动性研究至今尚缺少作全面和系统的反映。在前人工作的基础上,本文根据作者多年工作的资料积累作进一步研究,对该断裂带的几何学特征和运动学特征给予全面展示。通过对该断裂带断层上覆地层的切割关系、断裂两侧第四纪以来形成的等时地貌面的差异性变化、浅层地震勘探、断层两侧钻孔探测

等,研究断裂第四纪以来的活动特征及断裂构造的组合特征。

1 断裂带概况

福建九龙江下游 NW 向断裂带展布于长乐—诏安 NE 向断裂带中段与南段的交界部位,自西北漳州盆地往南东延伸至厦门岛南侧,由郭坑—江东桥断裂(F_1)、海沧—钱屿断裂(F_2)、珠坑断裂(F_3)、覆船山—康山断裂(F_4)、九龙江(西溪)断裂(F_5)、岱山岩—珩坑断裂(F_6)、金峰—大帽山断裂(F_7)组成(图 1)。

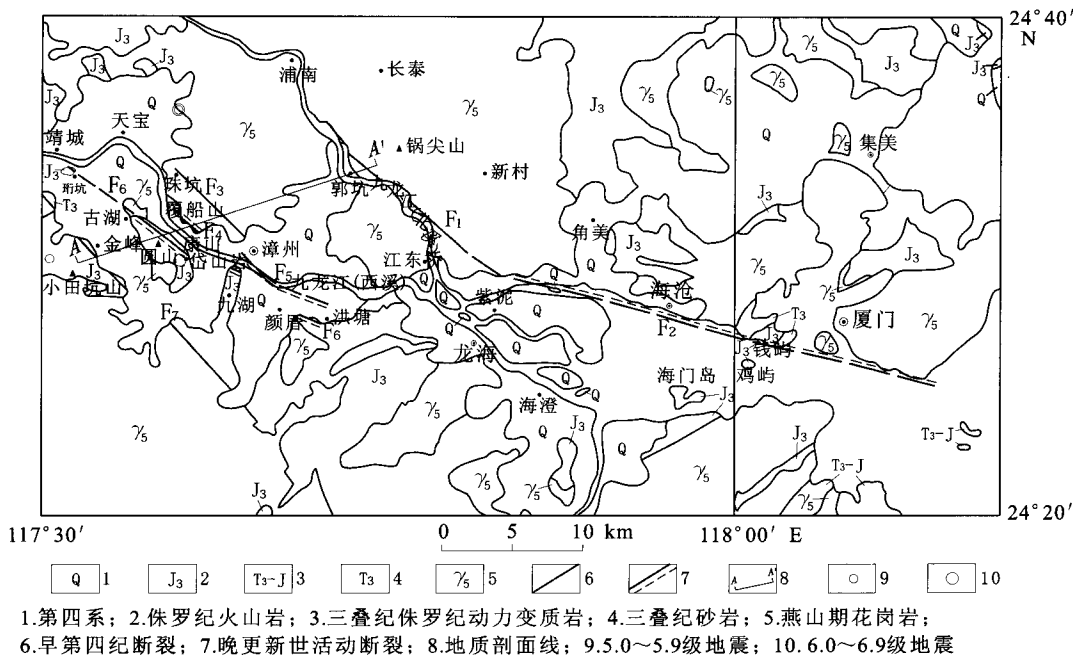


图 1 福建九龙江下游北西向断裂带展布图

Fig. 1 Distribution map of the NW-striking fault zone in the downstream area of Jiulong river, Fujian province.

本区的漳州盆地是福建东南沿海陆地上发生中强地震最频繁的地区,历史上曾发生多次破坏性地震(表 1、图 1)。其中 1185 年 6 月 8 日在漳州西北附近发生 6½ 级地震,1445 年 12 月 12 日在漳州西侧圆山东南发生 6¼ 级地震。区内不仅发育有九龙江 NW 向断裂带,还发育有 NE 向断裂,本区的地震活动与断裂构造在空间上关系密切。

表 1 漳州盆地中强地震目录

序号	发震时间	震中位置		震级/M
		北纬	东经	
1	1067-11-10	24.6°	117.6°	5¼
2	1185-06-08	24.6°	117.6°	6½
3	1445-12-12	24.5°	117.6°	6¼
4	1601-11-05	24.5°	117.5°	5¼

2 断裂第四纪以来的活动特征

(1) 郭坑—江东桥断裂(F_1)

本断裂为漳州断陷盆地东北侧边界断裂^[1],走向 310°~320°,倾向 SW 或 NE,倾角 70°~80°。由于第四纪早期断裂活动,沿九龙江北溪东岸多处发育断层三角面和断层崖,断裂北东盘抬升为山地,南西盘下降为平原。晚更新世以来断裂趋于稳定,未见活动迹象。在郭坑及江东桥南东侧横山附近断裂两侧多处分布海拔 45~50 m 的红土台地,即Ⅲ级侵蚀剥蚀阶地(T_3^B),阶地面较为平坦,断裂两侧阶地面的海拔高程没有差异性变化,形成该阶地面的时代大约在距今 3~4 万年,表明该断裂晚更新世以

来不再活动。

在江东桥附近,断层面上擦痕清晰,有多次活动的迹象,但断层角砾岩胶结坚硬,分布在断裂两侧同一级阶地面(如Ⅰ级阶地)没有明显变化。

据在江东桥东侧 500 m 处,断裂往南东方向延伸进入开阔的红土台地区,覆盖在断裂之上的晚更新世残一坡积物未被断错位移,地层连续(图 2),其热释光(TL)年龄为 5.0 ± 0.4 万年;在横山东坡断裂之上覆盖的中更新世形成的残积物同样未被切割位错,显示了本断裂晚更新世以来没有活动。

综上所述,本断裂为早第四纪(Q_{1-2})断裂。

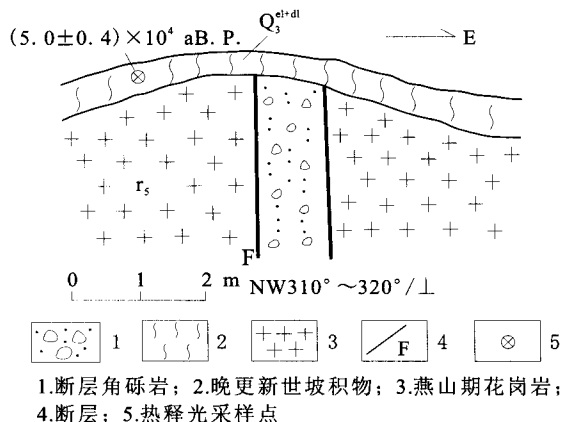


图2 江东桥(农中)F₁断层剖面图

Fig. 2 Geological section of the F₁ fault at Jiangdongqiao.

(2) 海沧—钱屿断裂(F₂)

本断裂是前人根据卫片解译和重、磁资料确定的一条隐伏断裂,长期以来无人见过地表断裂形迹。近年来随着地震地质工作的深入开展,笔者才在九龙江口北岸海沧—钱屿一带首次发现断裂的实际证据,多处见到断裂形迹,如在海岸边侏罗纪火山岩断层崖高 5 m,在潮间带侏罗纪火山岩中断层角砾岩带宽 5~10 m,长约 50~60 m,断裂走向 280°~290°,倾向 SW,倾角 75°~85°(图 3)。

在断裂北东盘陆地上的海沧地区,发育有晚更新世形成的两级侵蚀剥蚀阶地(T_3^B 、 T_2^B)和堆积阶地(T_2^A)。 T_3^B 海拔高程 40~50 m, T_2^B 为 20~30 m,形成时代分别为距今 4~1.8 万年和 1.8~1 万年^[1-2], T_2^A 在内坑村附近为晚更新世河流相棕黄色砂土砾石层(Q_3^d)覆盖在花岗岩残积层之上,组成Ⅱ级基座阶地,海拔高程 23.9 m,形成时代为 1.8~1 万年,反映了 NE 盘上升,SW 盘相对下降,这些阶地(T_3^B 、 T_2^B 、 T_2^A)被九龙江第四纪地层所埋藏。

据物探地震和钻孔资料揭示,该断裂带由南、北两支断裂组成,相距 400 m。其北支在断裂部位有

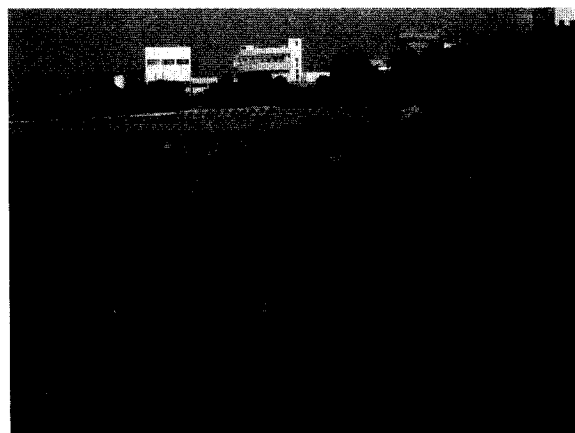
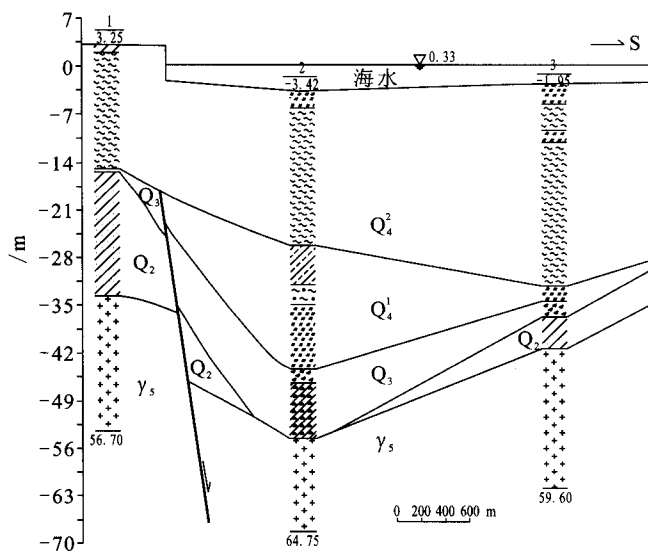


图3 嵩屿电厂南海岸F₂断层角砾岩带

Fig. 3 The photo of F₂ fault breccia at the southbank of Songyu Powerplant.

一高 9 m 的基岩斜坡,断裂两侧覆盖层的岩性和厚度差异较大(图 4)。断裂北盘(上升盘)1 号孔上晚更新世地层厚 0.5 m,而南盘(下降盘)2 号孔晚更新世地层则厚 10.2 m^①;断裂两盘花岗岩顶面落差约 20 m。显示出本断裂晚更新世以来差异性活动明显,属正断层。



320°,倾向SW,倾角50°~85°。从断层的胶结程度、断层之上覆盖物的断错情况及年代学研究,断裂活动时代为早、中更新世(Q_{1-2})。主要行迹为断层角砾岩、断层面和断层陡坎,多数的断层角砾岩胶结坚硬,硅化强烈,未见再次破裂。个别地段硅化带也有再次受到切割破碎,如在珠坑断层中的碎屑物质尚未胶结,取断层泥中的石英颗粒作电镜扫描结果,本断裂在早、中更新世有较强的活动^[2],取断层泥做热释光年龄测试,其活动年龄分别 57.5 ± 4.9 万年、 17.9 ± 1.5 万年和 16.0 ± 1.3 万年^②。

中更新世末期以来,断裂通过的有些地段地壳趋于稳定,岩石风化壳被侵蚀剥蚀夷平至准平原化之后,形成了新的地貌面,即红土台地,此时地壳逐渐趋于稳定,断裂差异性活动已不明显。在红土台地地区,覆盖在本断裂之上的残积物(Q^{el})和晚更新世坡积物(Q_3^{dl}),未被切割位错。如在龙奎村附近(图5),断层通过红土台地,台地面上依然平坦,没有变形,其剖面上下部为侏罗纪火山岩,断层宽度20~30 cm,断层上覆残积物(Q^{el}),厚度1 m,层位连续。取覆盖层做热释光年龄测试,其年龄为 15.1 ± 1.7 万年,显示 Q_2 末期以来断层未曾活动。

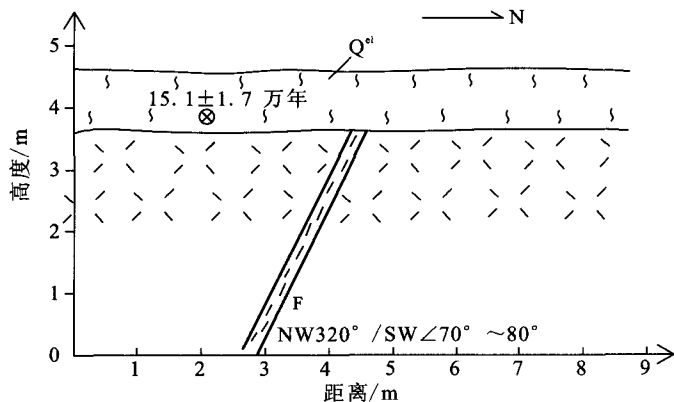


图5 龙奎村西南 F_3 断裂剖面图

Fig. 5 Geological section of the F_3 fault at southwestern of Longkui village.

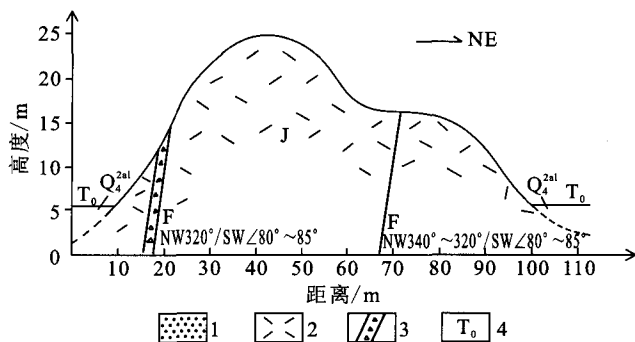
在断裂两侧广泛分布着红土台地(即侵蚀剥蚀阶地),Ⅱ级侵蚀剥蚀阶地(T_2^B)海拔25~37 m,Ⅲ级侵蚀剥蚀阶地(T_3^B)海拔40~50 m,均保持在同一高度上,没有差异性变化, T_2^B 大约距今1.8~1万年, T_3^B 大约距今4~3万年,表明晚更新世中晚期以来断裂处于稳定的状态。

(4) 覆船山—康山断裂(F_4)

本断裂展布在九龙江西溪东岸,走向330°,倾

向SW或NE,倾角60°~70°,晚更新世具有一定的活动性。在断裂下盘的康山、谢溪头一带,下盘上升,形成断层陡坡。红土台地面较为平坦,海拔15~25 m,属Ⅱ级侵蚀剥蚀阶地,形成大约在距今1.8~1万年。而上盘下降形成西溪河谷,红土台地被埋藏在海平面之下,最深可达11 m^[2],据此估算本断裂晚更新世上盘下降速率为0.6 mm/a。

在康山村断裂两侧由全新世晚期堆积物组成的平原(T_0)海拔高程相同(图6),跨断裂开挖探槽,探槽中的全新世晚期(Q_4^{2al})地层未被底部基岩断裂切割,层位连续,表明全新世以来断裂稳定。



1. 全新世晚期冲积物; 2. 侏罗纪火山岩; 3. 断层角砾岩带; 4. 平原

图6 覆船山 F_4 断裂剖面示意图

Fig. 6 Schematic profile of the F_4 fault at Fuchuanshan.

在康山和覆船山侏罗纪火山岩断层中,取断层泥做热释光年龄测试,其年龄分别 36.0 ± 3.1 万年、 9.7 ± 0.8 万年和 8.3 ± 0.7 万年^②。

因此,本断裂为晚更新世早期活动断裂。

(5) 九龙江(西溪)断裂(F_5)

本断裂为位于漳州市附近经九龙江西溪河谷展布的NW向隐伏断裂,总体走向300°左右,倾向NE,倾角75°~80°。为确定其活动性,开展了浅层地震勘探和钻孔探测。

在浅层地震勘探步文—颜厝ZZSS10测线发现断点 f_p7-9 (图7)^[4],断点在桩号310 m处错断 T_0 ,可能错断 T_{0-1} ,断点倾向NE,形成正断层,即北支断裂。

在步文—颜厝ZZSS10测线上还开展了颜厝镇场地(ZK7)钻孔探测^[4],该场地布设4个钻孔,断点北侧为ZK7-4和ZK7-1,断点南侧为ZK7-2和ZK7-3。颜厝镇场地发育晚更新统龙海组和东山组、全新统长乐组。据钻探揭露,在ZK7-1孔及其

② 厦门地震勘测研究中心,漳州市活断层分布图说明书,2003。

以北,龙海组沉积厚度明显加厚,ZK7-1最厚,为12.26 m,ZK7-2与ZK7-1的龙海组底界面埋深相差2.53 m,推测可能是断裂活动切割龙海组底部

所致,但顶界面没有明显变化,表明在龙海组沉积早期(85.5 ± 12)ka,该断裂可能活动过,推测该断裂为晚更新世早期活动断裂。

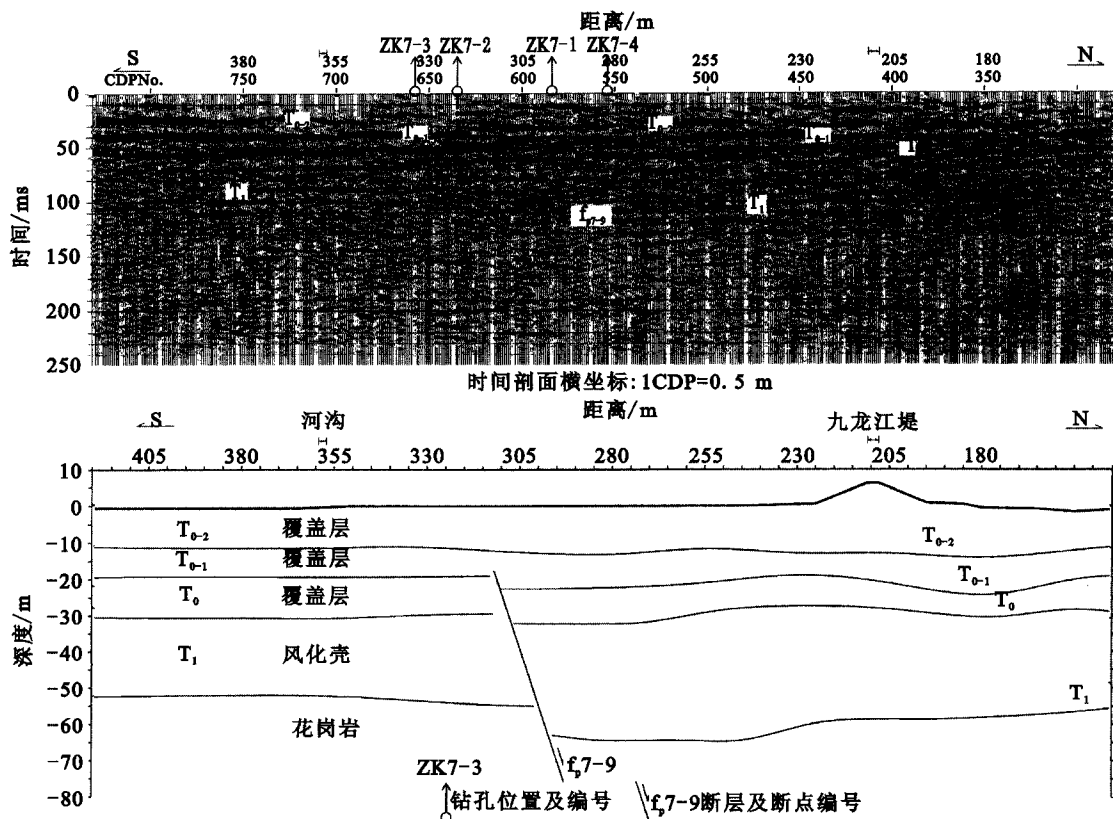


图7 步文—颜厝 ZZSS10 测线 f_{p7-9} 断点地震反射时间剖面 and 深度解释剖面图^[4]

Fig. 7 Seismic reflection profile and its geological interpretation at f_{p7-9} fault point along line ZZSS10 in area.

(6) 岱山岩—珩坑断裂(F_6)

岱山岩—珩坑断裂展布于九龙江西溪西岸,呈断续展布,走向 $320^\circ \sim 325^\circ$,倾向北东,倾角 $70^\circ \sim 78^\circ$ 。该断裂第四纪以来具有一定的活动性。在沿断裂延伸方向的不同地段其差异活动程度不同。

在靖城观音山—古湖段,长约 10 km,主要展布在红土台地、Ⅱ级和Ⅰ级阶地地区,基岩为侏罗纪火山岩和燕山期花岗岩,沿断裂见有断层面、断层角砾岩、破碎带和节理密集带等,断裂形迹清楚。该段断裂晚更新世以来活动不明显。表现在断层角砾岩强烈硅化,胶结坚硬(珩坑附近),未见再次破裂;断裂两侧广泛分布着较为平坦的红土台地、Ⅱ级(海拔 31.7 m 和 31.5 m)和Ⅰ级阶地,红土台地面和阶地地面的海拔高程没有差异性变化。在下尾张村附近,断层之上覆盖有晚更新世冲积物,厚 2~3 m,未被切割位移,层位连续,经热释光年龄测试其年龄为 10.5 ± 0.9 万年。在径里 68.5 高地,在火山岩中发

育 4 条小断层组成断层破碎带,宽 30~50 m,取断层泥做热释光年龄测试,其活动年龄为 15.5 ± 1.3 万年。表明本段断裂晚更新世以来不再活动,属早第四纪(Q_{1-2})断裂。

在古湖—洪塘段,长约 17 km。在岱山岩此断裂由 3 条大致平行的断层组成,其断层面清晰可见,擦痕新鲜,破碎带内的断层角砾岩和碎屑物质没有胶结,多数地段活动迹象清楚,据断层泥热释光年龄测试,其活动年龄为 8.2 ± 0.7 万年和 7.78 ± 0.65 万年^[5]。在靠近山地内侧的一条断层位错之后在山前形成一条延伸数十米的陡坎,断裂形迹清晰,其高度达 12 m。在紧靠西溪河边的一条断层切割断错了由晚更新世冲—洪积物组成的Ⅱ级阶地,阶地海拔高程 20~25 m,阶地面和冲—洪积层有明显的位错。根据沧溪河谷 ZK315 孔揭示, Q_3^{al} 冲积层顶界面深埋于海平面之下 10.30 m,该地层与邻近地区的时代地层相比,其形成时代大约在 1.7~1.8 万

年^[2],据此估算员山北麓岱山岩断裂最北侧一条断层(山地与平原交界处),晚更新世以来上盘下降,其地层沉积速率为 $0.4\sim 0.6\text{ mm/a}$ 。在古县公山火山岩中见数条断层组成断裂带,断层角砾岩、断层面清晰可见,规模很大,整个断层破碎带宽约 50 m ,断层切割位错了上覆的晚更新世(Q_3^{dl})坡积物(图8),该地层经热释光年龄测试,其年龄为 4.0 ± 0.3 万年,取断层泥做热释光年龄测试,断层的最新一次活动年龄为 3.6 ± 0.4 万年^[2],显示晚更新世具有差异性活动的特点。

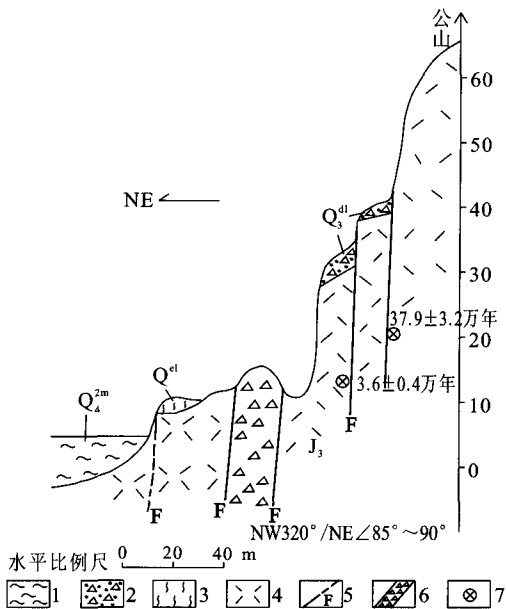


图8 古县公山北坡 F_6 断裂剖面图
Fig.8 Geological section of the F_6 fault at the northern slope of Mt. Gongshan, Guxian.

本断裂还兼具左旋走滑的水平活动特点^[2,5-6],该断裂在航片上其活动形迹明显,主要表现为垂直于断层走向的3条NE向冲沟及山脊发生较大幅度的同步拐弯,在第一道冲沟拐弯处(即自北东拐向北西)夹角 120° ,冲—洪积扇在此形成陡坎,其高度达 12 m ,在同时代的冲—洪积扇中部也同时见到 10 m 高差的陡坎,由于 Q_3 冲—洪积扇受到切割,再形成 Q_4 冲—洪积扇。这几条冲沟均受断层影响发生左旋弯曲,其位错量可达 $200\sim 300\text{ m}$ ^③。

(7) 金峰—大帽山断裂(F_7)

本断裂为漳州断陷盆地的西南边界断裂,走向 320° ,倾向NE,倾角 78° 。断裂第四纪早期活动明显,晚第四纪以来未见活动迹象。在大帽山一带断裂形迹清晰可见,在金峰一带在地貌上为山地与平

原的边界,山前地带风化残积物较厚,可见厚度 $2\sim 5\text{ m}$,红土台地发育,台地上覆盖有晚更新世冲积物(Q_3^{dl}),台地前沿为平原区平坦开阔,这些地貌现象反映了第四纪早期断裂—断块的差异活动特点。

晚第四纪以来,在山前地带发育的数条北东 30° 左右的沟谷,未见被NW向断裂切割位错的迹象。在程溪小田坑,覆盖在NW向断层之上的中更新世形成的残积物(Q^{el})层位连续,未被错断位移,显示了晚更新世以来本断裂不再活动。上述表明,本断裂为早第四纪(Q_{1-2})断裂。

3 断裂的构造组合特征

九龙江下游NW向断裂带将漳州盆地及邻区切割成3个大的地块,形成了地堑地垒系的构造组合形式,即自西而东为小田坑山地垒、漳州地堑、锅尖山地垒(图9)。尔后,在漳州地堑内部又由NW向断裂将区内再切割成3个较小的地块,又形成了规模较小的地堑地垒系的构造组合形式,自西而东为圆山地垒、九龙江西溪河谷地堑、马鞍山地垒。

九龙江下游NW向断裂带与长乐—诏安NE向断裂带主要是在中生代形成的。新近纪末至第四纪以来,太平洋板块通过菲律宾板块继续向欧亚板块产生NWW向的挤压作用,在厦门、龙海、漳浦、漳州的老断裂产生新的活动,并有基性岩浆玄武岩喷出。本区新近纪末期的新构造运动,是在燕山运动奠定的构造格架基础上进一步发展,仍以断裂及由断裂控制的断块升降活动为特征。第四纪以来,在NWW—SEE向区域应力场的挤压作用下,断裂活动在空间上具有明显的继承性,表现在老断裂的复活。如上述的地堑地垒构造经过多次的差异性升降活动进一步形成。尤其是在漳州地堑中,由于康山—覆船山断裂和岱山岩—玳瑁坑断裂在晚更新世的再次活动,又形成了九龙江西溪河谷小地堑,从而在漳州地堑的基础上又形成了一个时代更新的地堑地垒系,即圆山地垒、九龙江西溪河谷地堑、马鞍山地垒。显示了本区断裂—断块多期活动的特点。

4 结语

(1) 本文能全面展示九龙江下游NW向断裂带的整体面貌,皆由浅层地震勘探和钻孔探测发现新

③ 中国地震局地质研究所,等. 华南沿海(珠江三角洲、闽东南等)地震重点防御区孕震(隐伏)活动构造的定量研究与强震危险性评估. 2000.

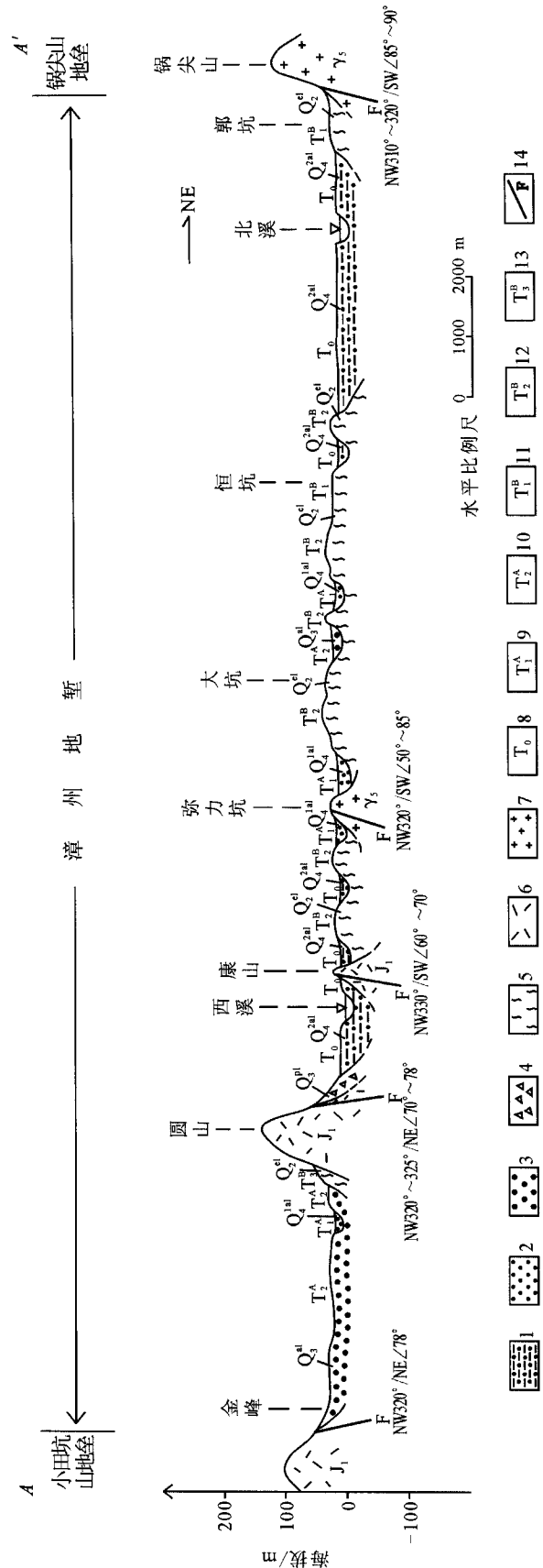


图9 金峰—郭坑地质地貌剖面图

Fig. 9 Geologic-geomorphic profile along Jinfeng-Guokeng line.

增了九龙江(西溪)断裂(F_5)^[4]和近年来作者及同仁深入的地震地质调查工作才获得了海沧—钱屿断裂实际的地质地貌证据,从而丰富了该断裂带的内容。

(2) 该断裂带中郭坑—江东桥断裂(F_1)和金峰—大帽山断裂(F_7)控制着漳州盆地的发育,分别成为盆地东北侧和南西侧的边界断裂,并使该盆地成为NW向展布的断陷盆地。海沧—钱屿断裂(F_2)则控制着九龙江河口北岸和厦门岛南岸的发育,使之岸线平整,北东盘上升,南西盘下降。郭坑—江东桥断裂(F_1)、珠坑断裂(F_3)、金峰—大帽山断裂(F_7)属早第四纪(Q_{1-2})断裂;岱山岩—玳坑断裂(F_6)的观音山—古湖段属早第四纪(Q_{1-2})断裂、古湖—洪塘段属晚更新世活动断裂;覆船山—康山断裂(F_4)、九龙江(西溪)断裂(F_5)属晚更新世早期活动断裂;海沧—钱屿断裂(F_2)属晚更新世活动断裂。

(3) 郭坑—江东桥断裂和金峰—大帽山断裂将本区切割成3个地块,形成了小田坑山地垒、漳州地堑、锅尖山地垒的构造组合形式。漳州地堑内部再被覆船山—康山断裂和岱山岩—玳坑断裂切割成3

个地块,又形成了规模较小的时代更新的地堑地垒系的构造组合形式,即圆山地垒、九龙江西溪河谷地堑、马鞍山地垒。

[参考文献]

- [1] 黄卿团,丁祥焕,庄进耀. 福建东南沿海晚第四纪断陷构造的形成和发育[A]//国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究(7)[G]. 北京:地震出版社,1999: 67-80.
- [2] 丁祥焕,王耀东,叶盛基,等. 福建东南沿海活动断裂与地震[M]. 福州:福建科学技术出版社,1999.
- [3] 黄卿团,付萍,郑韶鹏. 福建东南沿海50 m以下的地貌面与断裂活动性[J]. 地震地质,2007,29(3):578-596.
- [4] 朱金芳,谢志招,曲国胜,等. 闽南地区城市活动构造与地震[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [5] 黄卿团,汪一鹏,宋方敏,等. 福建漳州盆地岱山岩—玳坑北西向断裂第四纪活动特征[J]. 华南地震,2001,21(2):28-35.
- [6] 黄卿团,郑韶鹏. 福建东南沿海及邻区活动断裂的微地貌研究[J]. 地球物理学进展,2006,21(4):1099-1107.
- [7] 许仪西,占惠,方韡,等. 邵武—河源断裂带中段重磁、垂直形变场特征及其与地震的关系[J]. 西北地震学报,2009,31(3): 277-284.