

刘华国, 李峰, 贾启超. 基于钻探的马袅-铺前断裂西段活动性探讨[J]. 华南地震, 2018, 38(1): 47-53. [LIU Huaguo, LI Feng, JIA Qichao. Activity Discussion of the Western Segment of the Maniao-puqian Fault Revealed by Drilling [J]. South China journal of seismology, 2018, 38(1): 47-53.]

基于钻探的马袅-铺前断裂西段活动性探讨

刘华国, 李峰, 贾启超

(中国地震灾害防御中心, 北京 100029)

摘要: 采用地球物理勘探和钻孔联合剖面探测相结合的方法, 在海口市疏港公路沿线展开探测, 通过分析断层的上断点、断错地层序列和盖层年龄, 获得了马袅-铺前断裂西段的活动特征。钻探结果显示: 马袅-铺前断裂西段为北倾正断层, 最新活动时代推测为中更新世。该断裂段累计垂直位移量约为 5 m, 根据地层年代结果, 初步估算出该段的垂直位移速率约为 0.006 ± 0.002 mm/a, 说明断裂中更新世以来活动相对较弱。研究结果对正确评价海口市地震危险性, 服务于经济建设和防震减灾规划具有重要现实意义。

关键词: 钻孔联合剖面; 马袅-铺前断裂; 活动性

中图分类号: P315.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2018) 01-0047-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.01.005

Activity Discussion of the Western Segment of the Maniao-puqian Fault Revealed by Drilling

LIU Huaguo, LI Feng, JIA Qichao

(China Earthquake Disaster Prevention Center, Beijing 100029, China)

Abstract: In this paper combining with, geophysical exploration and composite drilling section exploration, respectively along Shugang road at Wenjia villiage, and activity characteristics of the western segment of the Maniao-puqian fault are obtained through the analysis of the depth of upper breaking point, faulted strata sequence and stratigraphic age. The composite drilling section reveals that the fault is a normal, inactive fault with north dipping, and its latest active age is the middle Pleistocene. The cumulative vertical displacement of the fault section is about 5 m revealed by drilling. According to the result of the stratigraphic age, it is preliminarily estimated that the vertical displacement rate of the segment is about 0.006 ± 0.002 mm/a, indicating that the activity of the fault is relatively weak since Pleistocene. The research results have important practical significance for correctly evaluating Haikou earthquake risk and serving for economic construction and earthquake disaster prevention.

Keywords: Composite drilling section; Maniao-puqian fault; activity

收稿日期: 2017-12-08

基金项目: 中国地震局城市活断层探测与地震危险性评价项目(15406033402、1740616030202)和地震行业专项(20140823)共同资助

作者简介: 刘华国(1982-), 男, 硕士, 助理研究员。主要从事活动构造、遥感地质与工程地震方面的研究。

E-mail: cedpchlhg@163.com.

通信作者: 李峰(1972-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事活动构造、工程地震与空间数据库应用方面的研究。

E-mail: 13810098099@163.com.

0 引言

1605年琼山 7 $\frac{1}{2}$ 级历史强震的震中位于海口江东的塔市村,震中烈度 XI^[1],极震区长轴方向为北东东向,是华南历史上毁坏性最大的历史地震,出现了罕见的大规模“陆陷成海”现象^[2]。作为主要发震断裂的北东东走向的马袅-铺前断裂是一条兼有左旋性质的高角度正断层^[3],位于强烈升降运动的地垒和地堑的边缘转折地带,以垂向差异运动为主^[4]。由于该断裂地处滨海平原区、多为隐伏性质,其活动证据主要来自深部地球物理勘探资料的解释、1605 年地震灾害分布及断裂附近氡气异常^[5-6]。马袅-铺前断裂近东西向横穿海口市,其活动性对正确评价海口市地震危险性、推进防震减灾规划并服务于经济建设,具有重要现实意义。

隐伏活动断层定位及其最新活动时代研究,多年来一直是技术难题^[7]。自 20 世纪 90 年代利用钻孔联合剖面探测隐伏活动断层以来^[8-9],许多专家和学者相继提出了一批具有重大指导意义的技术、方法和建议,经不断完善和改进,逐渐形成了以地质地貌调查、地球物理勘探、钻孔联合剖面探测、槽探和沉积地层年龄测定相结合的多方法、多层次综合探测技术路线^[10-17]。在诸多勘探手段中,地球物理勘探方法是初步确定目标断层位

置、性质及其平面分布的有效手段,比如高密度电法、浅层地震勘探等,是钻孔联合剖面布设和断层活动性鉴定的基础^[18]。钻孔联合剖面探测不仅可以准确厘定断层位置、验证地球物理勘探结果,还可揭示槽探手段所不及深度内的地层岩性分布、断错现象及古地震等信息,是研究隐伏断层活动特征的有效手段。

本文采用地球物理勘探和钻孔联合剖面探测相结合的方法,在海口市西部疏港公路附近的文甲村-道堂村一带展开探测,通过分析断层上断点、断错地层序列和年代,获得了马袅-铺前断裂西段的活动特征。

1 地震构造背景

马袅-铺前断裂展布于琼北断陷区,西起马袅,向东经马村、长流、琼山至铺前以东,陆上长约 100 km,总体走向北东 80°~85°,倾向北(图 1)。深部重力和航磁显示该断裂明显错动了第三系及其以前的深部岩层,控制了大型地貌单元的分界和第四系橄榄玄武岩的分布,是一条规模大、切割深的晚第四纪以来仍在活动的断裂,受北西向断裂切割,平面上不连续展布。人工地震证实,该断裂由多条断裂组成,上第三系被断错 150~200 m 不等^[19]。

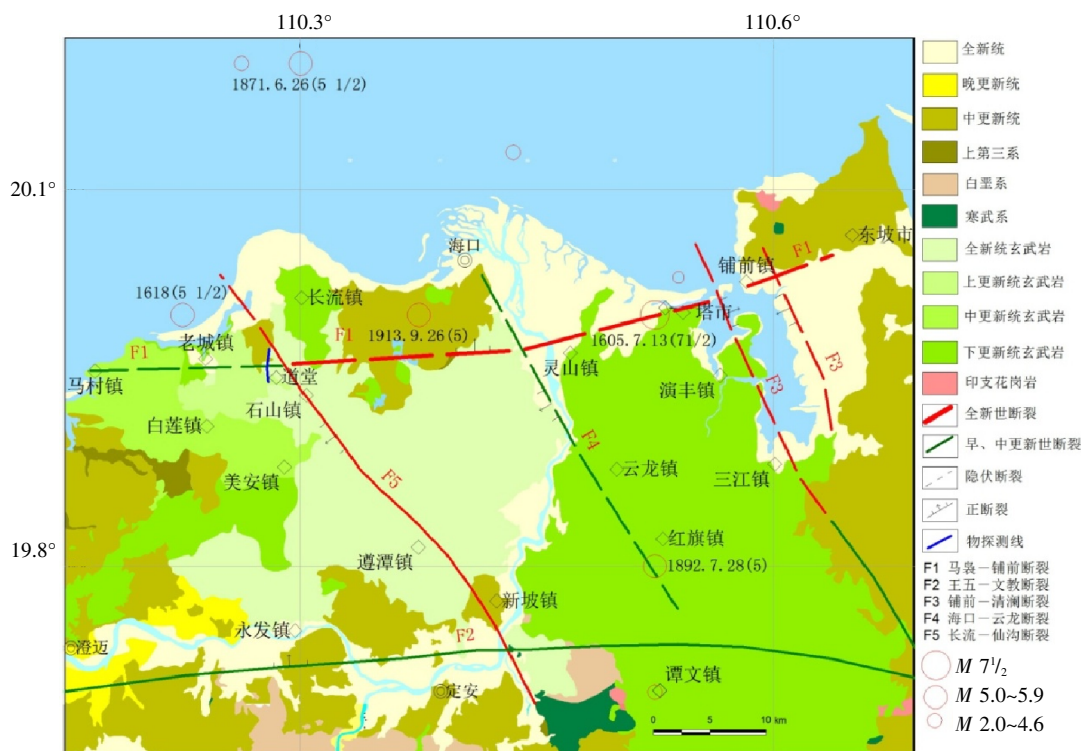


图 1 马袅-铺前断裂地震构造简图

Fig. 1 Seismic tectonic map of the Maniao-puqian fault

根据断裂活动性,以道堂、铺前为界,大体可分为马袅-道堂段(西段)、道堂-铺前段(中段)、铺前-东坡段(东段)三段,断裂活动强度显示具有西弱东强的特点,中、东段为全新世活动断裂,近年来认为西段也是全新世活动断裂,该段的活动性即是本文所讨论的。

本区第四系地层主要包括:新近系海口组为海相沉积,岩性以含贝壳的碎屑岩为主。下更新统秀英组,下部岩性为杂色或灰白色含砾粘土质中粗砂或粘土质砂砾层,斜层理发育;上部岩性以青灰色含粉砂粘土为主,夹紫红、灰黄及黄褐色粘土和粉、细砂层,水平层理发育。中更新统北海组下段为棕红色粘土或砂砾石层,上段为棕红或棕黄色粘土质中粗砂。上更新统八所组岩性主要为棕红、棕黄色砂,向下递变为黄色砂及灰

白色砂,道堂组拉斑玄武岩、玄武质凝灰岩。全新统为海积、冲积、洪积层,主要有粗砂、中砂、细砂及砂砾、还有粉质粘土、粘土及淤泥。

3 地质地貌调查

野外地质调查发现,马袅-铺前断裂在道堂附近展布区的地形地貌差异较大,表现为断裂通过附近地表出露晚更新世的道堂组拉斑玄武岩和凝灰岩底地层。断裂北侧地形平坦,南侧海拔稍高,地形略有起伏,为相对稳定的局部红土化的火山岩台地面。高分辨率遥感影像上线性影纹不明显。在文甲村村附近跨地球物理勘探的断裂异常点开展的构造地貌测量结果显示,最大垂直落差约达20 m (图2)。

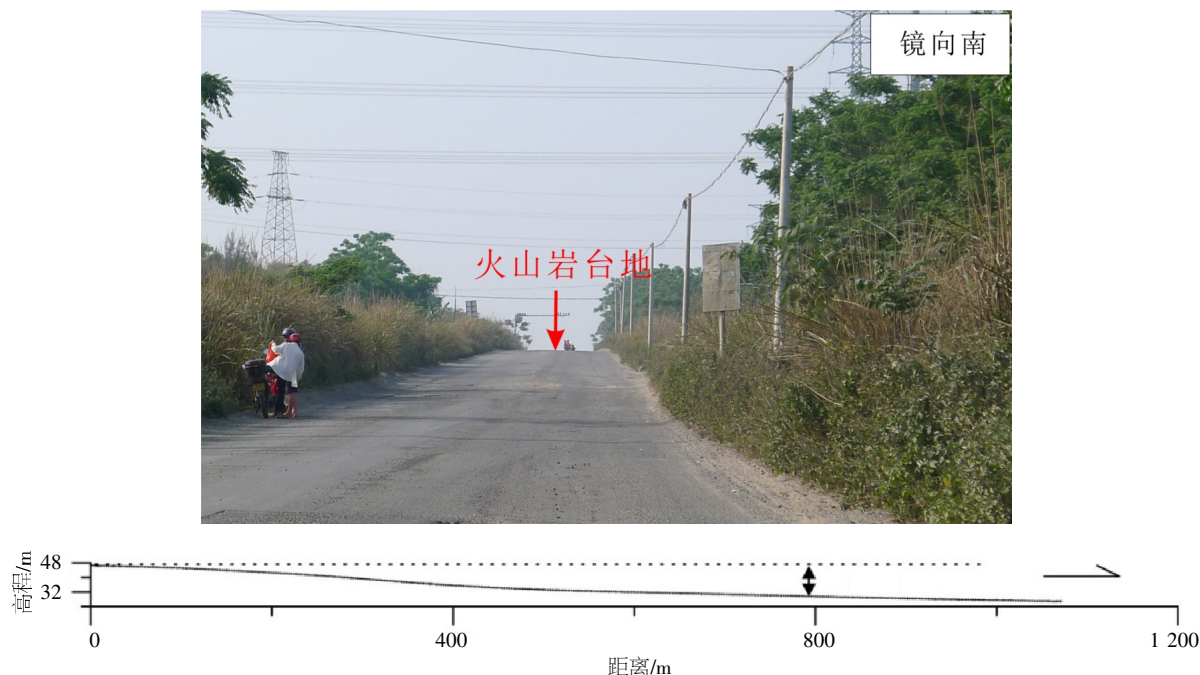


图2 文甲村附近构造地貌调查与测量

Fig.2 The investigation and survey of tectonic landform around Wenjia villiage

3 地球物理勘探结果

结合以往在火山岩地区开展地球物理探测的经验,由于研究区地表分布有大面积的玄武岩,导致浅层人工地震勘探施工时地震波反射能量难以穿透地表硬夹层,很难取得有效的结果,故本次探测采用高密度电法。根据海口市城市活断层工作成果和野外地质地貌调查的结果,沿疏港公路,在椰海大道至绕城高速之间布设了一条长约4 km的测线(图3),确保地球物理勘探可以覆盖断

裂通过处。高密度电法勘探采用重庆奔腾数控技术研究所生产的WGMD-3型高密度电阻率测量系统,基本参数包含:观测极数60个,极间距10 m,测量极距30 m在保证观测精度的前提下,尽量选择小的测量极距,以便对下部介质有更灵敏的反映。这相当于沿测线每10 m完成一个电测深点的测试,为电法资料的精确解释提供了保障。

电法探测结果显示,高密度实测及反演断面显示分别在130~150点及210~230点出现清晰的

低阻异常带(图 4), 大极距电阻率断面等值线亦显示清晰的低阻异常带。电测深解释地质断面显示, 断裂带两侧浅部为中风化玄武岩分布, 断裂带浅部为粘土层, 推断为玄武岩风化残积土, 间夹玄武岩碎块、块石, 显示明显的浅部低阻带状异常, 裂隙带中粘土层的电性是两侧完整玄武岩层电阻

率的 1/12, 中、下部粉砂层、粉质粘土层层位发生错断, 粉砂层底界面出现突然下跌。

综合地球物理勘探结果分析认为, 马袅-铺前断裂在在文甲村附近有两个异常点, 向北陡倾, 该断裂构造带错断的位置延伸至浅部, 最新错断地层及活动时代需要开展钻探获得。



图 3 地球物理勘探线、地貌测线及钻孔位置平面图

Fig.3 Position diagram of the geophysical exploration line, geomorphological survey line and drill holes

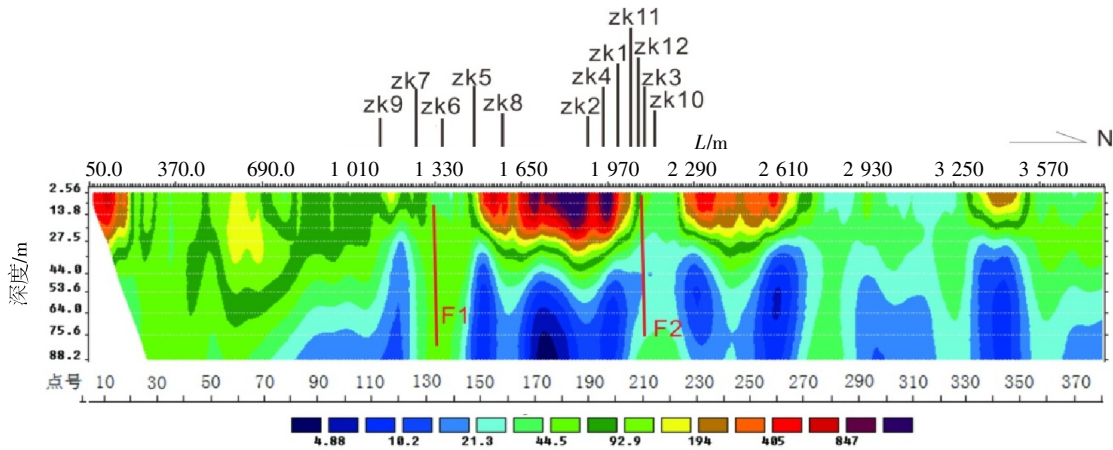


图 4 高密度电阻率断面影像及钻孔位置

Fig.4 The section image of high density resistivity and position of tthe drill holes

4 疏港公路钻孔联合探测结果

4.1 地层单元划分

根据地球物理勘探的两个异常点, 结合地表

地貌表现, 跨断裂布设了长约 850 m 钻探剖面, 共实施 12 个孔, 总进尺 609 m, 最大孔深 74 m (图 5)。为了准确厘定断裂位置, 缩小了钻孔之间的距离, 断裂附近的 zk11 和 zk12 之间的距离仅

15 m。zk8-zk9 钻孔青灰色顶面未见明显落差(图 5),说明地球物理勘探获取的 F1 异常点不存在。实践证明,在玄武岩覆盖区进行断裂活动性厘定,地形地貌方法具有局限性,甚至还会产生误导。

为了明确 F2 断层性质及断错地层序列,用 RTK-GPS 差分校正各孔相对高程,自下而上分出如下 7 个地层单元:

① 灰褐色凝灰岩,中等风化,水平层理,局部发育倾斜层理,凝灰质结构,含火山角砾韵律层,局部出露强风化玄武岩,斑状构造,气孔构造。根据区域地质资料(1:5 万长流幅地质图)分析

认为属晚更新世道堂组。

② 棕红色粉质粘土,成份以粘粒为主,含黄色粘土夹层,局部含少量火山角砾。结合光释光(OSL)地层样品的测试结果,推测为晚更新世地层。

③棕红色粗砂。结合 OSL 地层样品测试结果,推测为中更新世北海组地层。

④ 顶部为浅黄色粗砂、细砂,底部为浅黄色粉质粘土,顶部含少量锰质结核,斑马条纹。结合电子自旋共振(ESR)地层样品测试结果,推测属中更新世北海组。

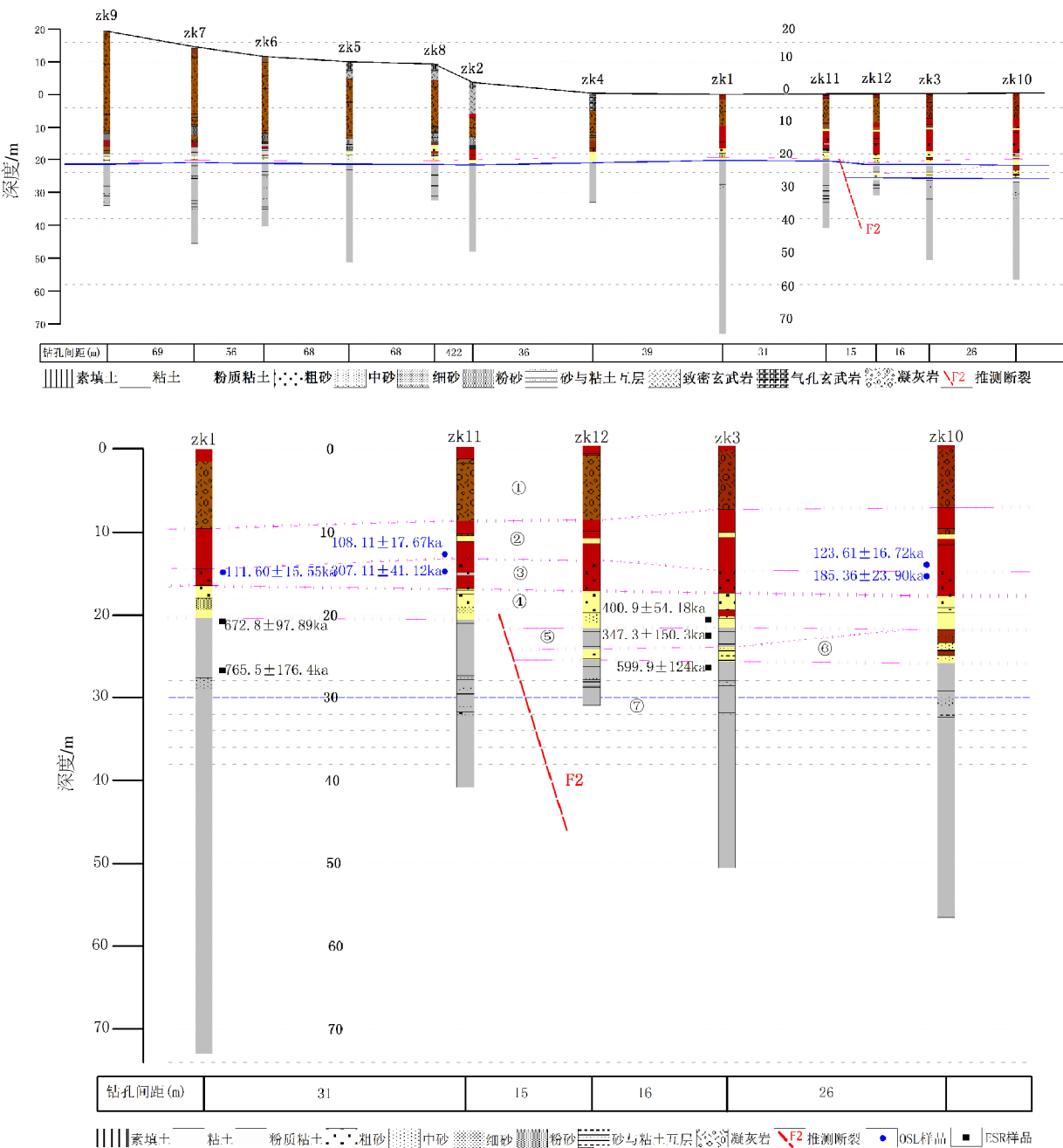


图 5 疏港公路钻孔联合剖面

Fig.5 Joint section of the drill holes along Sugang road

⑤ 浅灰色、青灰色粉质粘土, 为海相沉积地层。结合 ESR 地层样品测试结果, 推测属中更新世北海组。

⑥ 浅黄色(棕红色)细砂、粉质粘土, 推测属中更新世北海组。

⑦ 青灰色粉质粘土, 局部夹细中砂层和贝壳碎屑层。结合 ESR 地层样品测试结果, 推测属早更新世秀英组。

4.2 断裂最新活动时代及垂直位移速率

根据 zk1-zk10 钻孔所揭示的地层, 划分出 7 个标志层。依据钻孔所揭示的标志地层及其落差, 钻孔联合勘探结果揭示了马袅-铺前断裂 F2 的存在, 推测断裂从 zk3 和 zk5 之间通过, 分别断错了层⑦、层⑥、层⑤。层⑤顶界即层④底界在断裂附近垂直落差约 1.5 m, 可能为同震位移量, 断裂两盘总体落差可达 5 m。层④地层底界落差约 1.5 m, 顶面深度基本一致, 说明断裂未断错至该层顶面。同时, 层①、②、③上下盘稳定均匀发育, 未见明显错断痕迹。根据中国地壳应力研究所提供的 OSL 样品的年代测试结果, 层②最新地层为 108.11 ± 17.67 ka。同时层①为晚更新世道堂组地层, 综合分析, 认为该断裂未断错晚更新世地层, 断层不活动。

同时, 根据地层可以大致分析其演化过程。最早一次地震事件断错层⑦, 而后沉积陆相地层⑥。又一次地震时间发生, 断裂上盘地层下降, 断裂附近形成负地形, 海水侵入, 在断裂附近沉积层⑤, 为青灰色还原环境的海相或浅海相沉积地层。最新一次地震事件将层⑤断错, 形成约 1.5 m 的垂直位移量。

又根据 ESR 测年结果可知, ④底部的最新地层年代为 400.9 ± 54.18 kaBP, 说明断裂错断了中更新世地层, 其位移量约 1.5 m, 估算获得其垂直位移速率约为 0.004 mm/a。层⑦顶部地层年代为 599.9~672.8 kaBP, 其累计垂直位移量约为 5 m, 可以获得其垂直位移速率约为 0.008 mm/a, 综合分析认为, 该断裂段的垂直位移速率约为 0.006 ± 0.002 mm/a, 说明断裂最新活动时代为中更新世, 且活动相对较弱。

为了更好地区分地层, 辨别断裂, 跨钻孔开展了剪切波速测试工作(图 6)。结果显示, zk8-zk9 波速等值线相对较平直, 成层性好, 无断裂活动迹象。另一波速剖面显示, 浅部地层成层性较好, 未发现明显异常, 在断裂通过处的 zk11-zk12 之间, 地层开始出现波速凹陷, 推测为断层破碎带引起, 断层上盘的波速值也有明显的下降, 进一步佐证了断裂的存在。

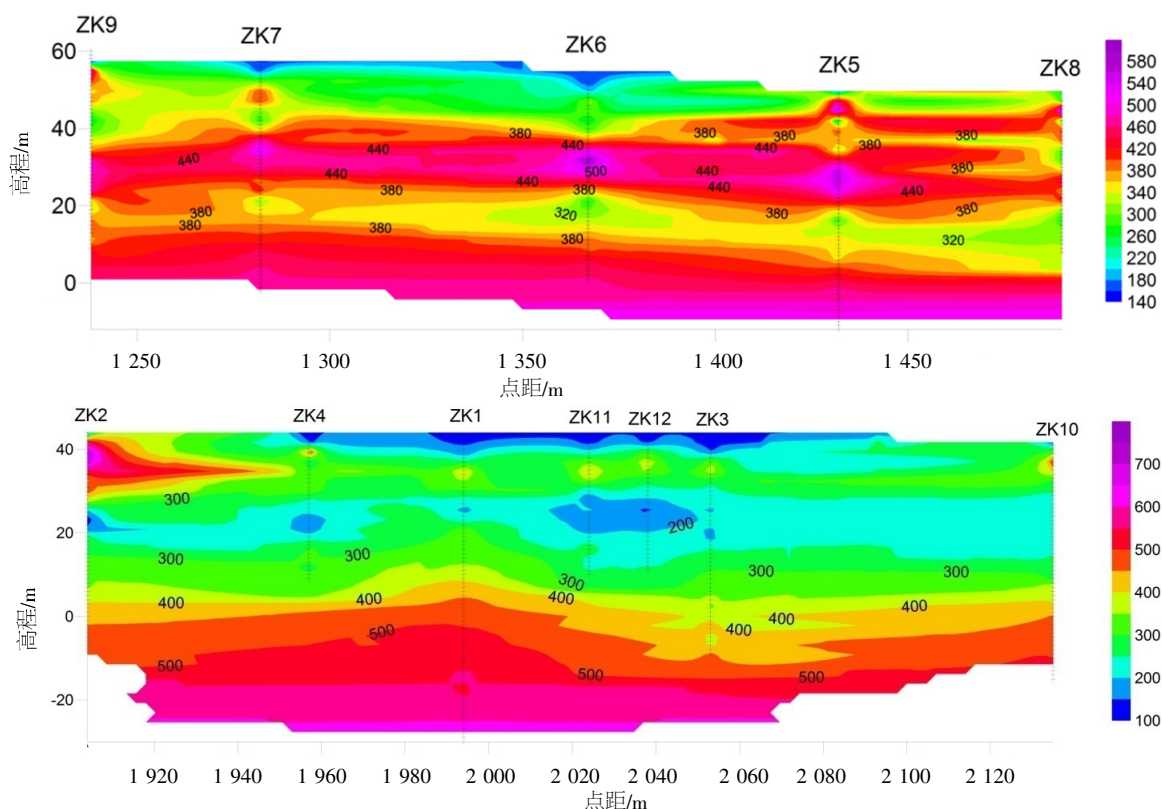


图6 波速断面等值线图

Fig.6 Contour map of wave velocity profile

4 结语

本文采用地球物理勘探和钻孔联合剖面探测相结合的方法,在疏港路展开探测,通过分析断层的上断点、断错地层序列和盖层年龄,初步获得了马袅-铺前断裂西段的活动性特征。

(1) 钻孔联合剖面探测结果显示,马袅-铺前断裂西段为北倾正断层,最新活动时代为中更新世。

(2) 钻探还揭示出该断裂段累计垂直位移量约为5 m,根据地层年代结果,初步估算出该段的垂直位移速率约为 0.006 ± 0.002 mm/a,断裂中更新世以来活动相对较弱。

实践证明,玄武岩大面积分布地区进行断裂活动性厘定,地形地貌方法具有局限性。跨钻孔剪切波速测试结果也可以为分析断层破碎带特征提供佐证,不失为一种简易可行的测井方式。本文基于钻孔联合剖面探测的研究成果与前人关于马袅-铺前断裂活动性西弱东强的整体认识具有一致性。

致谢:感谢中国地震局地质研究所冉勇康研究员的现场指导和宝贵建议,感谢海南省地震局、海口市市民防局在钻探施工过程中给予的指导和帮助。

参考文献:

- [1] 陈恩民,黄咏茵. 1605年海南岛琼州大地震及其发震构造的初步探讨[J]. 地震地质,1979,1(4):37-44.
- [2] 徐起浩. 1605年琼州大地震陆陷成海和可能的海啸[J]. 海洋学报,2007,29(3):146-156.
- [3] 陈恩民,黄咏茵. 1605年海南岛琼州大地震的震害特征和发震构造研究[J]. 地震学报,1989,11(3):319-331.
- [4] 李志雄,赵文俊,刘光夏. 1605年琼山大地震深部构造和应力状态研究[J]. 华南地震,2006,26(1):28-36.
- [5] 胡久常,白登海,王薇华,等. 琼州7.5级地震区深部电性异常及地震活动性研究[J]. 地震学报,2007,29(3):258-264.
- [6] 王志成. 土氡测量在海口市活动断层探测中的初步应用[J]. 华南地震,2006,26(4):61-66.
- [7] 汪一鹏. 关于“城市活断层探测与地震危险性评价工作大纲(试行)”的几点认识[J]. 地震地质,2004,26(4):559-565.
- [8] 向宏发,方仲景,张晚霞,等. 北京平原区隐伏断裂晚第四纪活动性的初步研究[J]. 地震学报,1993,15(3):385-388.
- [9] 向宏发. 隐伏活动构造探测研究的若干问题讨论[J]. 地震地质,2003,25(3):460-466.
- [10] 徐锡伟,计凤桔,于贵华,等. 用钻孔地层剖面记录恢复古地震序列:河北夏垫断裂古地震研究[J]. 地震地质,2000,22(1):9-19.
- [12] 方盛明,张先康,刘宝金,等. 探测大城市活断层的地球物理理论方法[J]. 地震地质,2002,24(4):606-613.
- [13] 邓起东. 城市活断层探测和地震危险性评价问题[J]. 地震地质,2002,24(4):601-605.
- [14] 柴炽章,孟广魁,杜鹏,等. 隐伏活动断层的多层次综合探测-以银川隐伏活动断层为例[J]. 地震地质,2006,28(4):536-544.
- [14] 王萍,苏旭,田勤俭,等. 西宁市北川河西岸断层、湟水断层活动的钻探研究[J]. 震灾防御技术,2007,2(2):147-157.
- [15] 袁道阳,王兰民,何文贵,等. 兰州市地震活断层探测新进展[J]. 地震地质,2008,30(1):236-249.
- [16] 雷启云,柴炽章,孟广魁,等. 隐伏活断层钻孔联合剖面对折定位方法[J]. 地震地质,2011,33(1):45-55.
- [17] 曹筠,冉勇康,许汉刚,等. 宿迁城市活动断层探测多方法技术运用的典型案例[J]. 地震地质,2015,37(6):430-439.
- [18] 邓起东,徐锡伟,张先康,等. 城市活断层探测的方法和技术[J]. 地学前缘,2003,10(1):150-162.
- [19] 张新东,王晓山,沈繁奎,等. 由现今小震资料研究琼北地区区域应力场和发震构造[J]. 地震学报,2013,35(4):451-460.