doi:10.3799/dqkx.2011.102

浙江宁波育王山山前隐伏断层勘探和新活动时代

杨晓平1,袁洪克2,宋新初3,王 里4,刘保金2,叶建青3,陈献程1,周本刚1

1. 中国地震局地质研究所,北京 100029

2. 中国地震局地球物理勘探中心,河南郑州 450002

3. 浙江省地震局,浙江杭州 310013

4. 宁波市科技局,浙江宁波 315012

摘要:利用浅层地震勘探资料和钻探资料,揭示出宁波育王山山前隐伏断层的存在.8条浅层地震勘探剖面资料显示,育王山 山前隐伏断层距山前 600~1 200 m,断错盆地基底面,可能向上延伸到盆地底部的第四纪地层中.用光释光测年和孢粉分析方 法,对钱家钻孔中的第四纪地层进行了年代确定,认为大楔盆地西缘盆地内的第四纪地层为晚更新世以来的堆积.钻探资料 显示,钱家和岭南钻孔组中均揭露出侏罗纪凝灰岩中的断层破碎带和断层面.其中,钱家钻孔联合剖面中断层破碎带宽 8.5 m,岭 南钻孔联合地质剖面中发现 2条断层,其中一条断层的破碎带宽 5 m.岭南 DQZK6 孔埋深 35 m 的上更新统下段黏土中断层面倾 角 70°,擦痕近垂直;钱家 QJZK8 孔中,埋深约 35 m 的黏土层中断层面倾角也为 70°.断层晚更新世早期的垂直活动速率为 0.034~0.046 mm/a,属于晚更新世早期弱活动断层.上断点埋深约 35 m,断层的错动不会对地面建筑物形成直接破坏. 关键词: 隐伏断层;浅层地震勘探;钻孔探测;活动构造.

中图分类号: P542 **文章编号:** 1000-2383(2011)06-0967-10

Exploration of the Buried Fault in Front of Yuwang Mountain and Its Neomovement's Epoch in Ningbo, Zhejiang Province

收稿日期: 2010-08-10

YANG Xiao-ping¹, YUAN Hong-ke², SONG Xin-chu³, WANG Li⁴, LIU Bao-jin², YE Jian-qing³, CHEN Xian-cheng¹, ZHOU Ben-gang¹

1. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

 $2.\ Geophysical\ Exploration\ Center\ ,\ China\ Earthquake\ Administration\ ,\ Zhengzhou\ 450002\ ,\ China\ Schwarzhou\ 450002\ ,\ China\ 45000\ ,\ China\ 45000\ ,\ China\$

3. Earthquake Administration of Zhejiang Province, Hangzhou 310013, China

4. Science and Technology Administration of Ningbo, Ningbo 315012, China

Abstract: Based on the data of shallow seismic survey and drilling geological profiles, a buried fault has been found. With eight shallow seismic profiles, it is found that the buried fault is 600 m to 1 200 m apart from the front of Yuwangshan in front of Yuwangshan Mountain, cutting the floor of Daxie basin, likely extending into Quaternary strata at the basin bottom. Using OSL dating and sporo-pollen analysis, we study the Quaternary sediment in the bore holes of Qianjia village, and suggest that the Quaternary sediment is late Pleistocene stratum at western margin in Daxie basin. On the composite drilling geological section in Qianjia village, fault fracture zone is 8.5 m in width in Jurassic tuff. On the drilling geological section of Liangnan village, we find two faults in Jurassic tuff, one of which is 5 m in width. At the depth of 35 m in Liangnan DQZK6 drilling hole, fault plane obliquity is 70° in clay, with its slickenside approximately upright. In Qianjia QJZK8 bore hole, fault plane obliquity is also 70° at depth of 35 m in clay. Active rate of the fault is 0.034-0.046 mm/a in vertical direction, and it is a weak active fault in early period of late Pleistocene. From the exploration result, we obtain the depth of the upper break point of the buried fault as 35 m in the front of Yuwang Mountain. The active fault will not directly destroy buildings on ground surface along the fault zone.

Key words: buried fault; shallow seismic survey; bore exploration; activity structure.

育王山山前隐伏断层位于浙江省宁波市大楔盆 地西缘,属于镇海一温州断裂带北段的一条分支断 层(马杏垣,1989). 镇海一温州断裂为区域深大断 裂,长320 km,宽1~10 km,切割侏罗系和燕山期酸 性岩体,形成于燕山晚期,断裂北段分支断层控制宁 波、宁海等白垩纪盆地的形成和发育(浙江省地质矿 产局,1989).前人对育王山山前断层的几何特征、活 动时代、活动期次有过比较细致的研究.一种观点认 为育王山山前断层最新活动时代为早、中更新世(陈 家庚等,1998).另一种观点认为,育王山山前断层通 过的河头焦洪积扇上存在断层陡坎,认为是一条第 四纪以来活动断层(曲国胜等,1992),存在晚更新世 活动的可能(国家地震局地质研究所,1996.秦山三 期核电站工程地震安全性评价报告). 最新的研究表 明,育王山山前断层具有左阶斜列的几何结构,早更 新世为逆断层活动性质,中更新世为右旋走滑兼正 断和逆断(宋方敏等,2008). 育王山海拔 300~ 500 m,东、西两侧的大楔盆地和宁波盆地海拔高度 仅有 2~3 m. 育王山与大楔盆地接触带为直线状的 地貌,自西向东呈依次降低的台阶状地形(图1),预 示着育王山和大楔盆地之间存在晚更新世活动断 层. 评价断裂在工程使用期内是否会发生地表和近 地表的位错是国内外地震、地质学者努力探索的问 题,其核心是客观认识断裂的活动习性和强震复发 历史,从而为工程安全提供抗震设防参数(冉勇康和 陈立春,2004;冉勇康等,2005).20世纪晚期以来活

动构造研究取得了长足的进展,从定性研究发展到 定量研究阶段,为工程使用期内断裂位错的评价奠 定了较好的理论基础(Wallace, 1970; Schwartz et al., 1984;邓起东等, 1992, 2004; Yeats and Pentice, 1996; 冉勇康和邓起东, 1999; 中华人民共 和国国家标准编写组,1999; Cluf, 2004; 卢海峰等, 2008). 如美国学者通过对阿拉斯加输油管道穿越的 Denali 断裂近期可能发生的最大地震位错进行了定 量研究,采取了相应的设防措施,对抗御 2002 年 *M*_w=7.9级地震起到了良好的效果;我国在西气东 输、青藏铁路等一系列重大工程中也探讨了相应的 评价方法(冉勇康和陈立春,2004). 近年来,地质学 家开展了大量利用浅层地震勘探方法获得浅表地层 和构造信息的工作,如 Dolan(1997)在美国洛杉矶 地区,用高分辨率浅层地震勘探方法获得了 Santa Monica 断裂浅层的构造特征, Robert et al. (2000) 利用浅层地震反射方法获得了南卡罗琳(South Caroline)地区 Brevard 构造带的浅部信息.

大楔盆地隶属于宁波市北仑区,北仑经济技术 开发区已经扩展到大楔盆地的西缘,各种现代化的 厂房和居民区遍布盆地西缘,输油气管道等线状工 程也跨越大楔盆地西缘.为寻找育王山山前最新活 动断层的位置,笔者在育王山山前地带进行了浅层 地震勘探、钻探和第四纪地层研究,以确定育王山山 前隐伏断层的位置和最新活动时代,以及断层活动 对地表和近地表建筑物的影响.



图 1 宁波育王山地区影像 Fig. 1 The image around Yuwangshan Mountains, Ningbo

1 浅层地震勘探路线和钻探剖面的 布置

为确定育王山山前隐伏断层的位置和活动性,笔 者沿山前地带完成了7条浅层地震勘探测线(图2). 测线平均间隔小于2km,除TSL测线外(场地条件限 制,不能继续向东探测),其余6条测线上均有断点揭 露,GT-2测线上发现2个断点,其余6条测线上均为 1个断点.沿 QJ 测线和 GT-2 测线分别完成了 1 条钻 探剖面,每条剖面上有 8 个钻孔.钻孔揭穿第四系堆 积,并深入到侏罗系凝灰岩中约 2~15 m.

2 浅层地震勘探资料上的断层特征

2.1 观测仪器

浅层地震勘探使用的是德国 DMT 公司生产的



图 2 浅层地震勘探测线和钻探布置

Fig. 2 The sites of shallow seismic survey lines and the position of composite drilling section
1. 全新世堆积; 2. 晚更新世坡洪积物; 3. 侏罗纪凝灰岩; 4. 燕山期花岗岩; 5. 隐伏断层; 6. 走滑断层; 7. 正断层; 8. 晚更新世断层; 9. 早一中更新世断层; 10. 浅层地震测线、编号和断点; 11. 钻探联合剖面位置; F₁. 算山一曹隘断层带; F₂₋₁. 育王山山前断层; F₂₋₂. 育王山山前隐伏断层; F₃. 北仑一育王断层; F₄. 北仑一奉化断层; 图件据中国地震局地质研究所, 2007. 宁波市目标区活断层综合分析与制图

SUMIT 遥感数字地震仪,具有采样率高(0.025~8ms)、记录频带宽(0~3000 Hz)、动态范围大(144 db)、能对可控震源资料进行实时相关处理等功能,适合在干扰较强的城市环境下开展地震勘探工作.震源采用美国生产的 Minivib Ⅱ型可控震源,最大激震力 5 t、扫描频带 8~240 Hz,可保征有足够的激发能量来满足探测深度的要求.部分测线采用炸药震源.

2.2 观测系统和参数

笔者采用具有抗干扰能力的多次覆盖纵波反射 地震勘探方法,以及中间放炮、两侧对称或不对称接 收的观测系统.由于大楔盆地西缘地质环境等方面 差异较大,探测过程中不同的测线往往采取不同的 探测参数.各测线的探测参数见表 1.

2.3 数据处理

浅层高分辨率地震勘探的资料处理追求高信噪 比和高分辨率,重视浅部反射波信息的保护和突出. 因此,有效保护和恢复地震记录中的宽、高频反射信 息是资料处理的关键;压制背景干扰、提高地震资料 信噪比和分辨率是地震资料处理的目的.使用Focus 和 Grisys 地震反射数据处理软件包,以及中国地震 局地球物理勘探中心研究开发的一些处理软件模块 对数据进行处理.

2.3.1 数据流程 依据本次浅层地震勘探的方法 和资料特征,设计的基本数据处理流程如图 3.

2.3.2 资料处理的主要方法 为压制噪声、提高叠 加剖面信噪比,在资料处理中对以下几个处理技术 反复实验和研究,以求得到最佳地震反射剖面.

(1)滤除地震记录中的面波、声波及外界干扰. 由于大楔盆地属于宁波北仑区的工业发达地区,背 景噪声强,使用可控震源激发,对大部分噪声进行了 压制;在室内使用了一维数字滤波、扇形 PK 滤波 等,取得了更好的处理效果.

(2)废道和畸变切除.野外数据采集过程中,由 于各种原因引起个别记录道波形紊乱或畸变成为废 道,采用编辑切除技术剔除了单炮记录中的废道,同 时切除了不能用滤波技术完全滤除的非反射条带, 如声波等.

(3)反褶积.对信噪比高、频带宽的记录,采用反 褶积处理手段来提高分辨率.反褶积是通过压缩基 本地震子波提高地震资料的纵向分辨率.经过实验, 选用预测反褶积技术对数据进行处理,并对不同记 录采用了相应的处理参数.

(4)静校正.采用初至时间拟合折射静校正方法

表1 各测线探测参数

Table 1	The	parameters	for	sallow	seismic	exploration
---------	-----	------------	-----	--------	---------	-------------

测线 - 编号		观测	系统		עברי	震源扫描 频率(Hz)	采样间 隔(ms)
	接收 道数	道间 距(m)	偏移 距(m)	覆盖 次数	记求云 度(ms)		
SJ	96	1	-36	12	1 024	炸药	0.5
QJ	96	1	-40	12	$1\ 024$	炸药	0.5
XF	96	1	-40	15	$1\ 024$	$30 \sim 220$	0.5
CHK-1	96	1	12	15	$1\ 024$	$30 \sim 220$	0.5
BS-2	96	1	-32	12	$1\ 024$	炸药	0.5
GT-2	96	1	-32	12	$1\ 024$	炸药	0.5



图 3 基本数据处理流程

Fig. 3 The flow chart of data processing

对数据进行静校正处理,去除了地表低速带引起的 时间延迟.

(5)动校正. 在动校正时处理时,随着炮检距的 增大,远炮点因动校正拉伸引起不同程度的反射波 视频率的降低和畸变. 在处理过程中采用不同的拉 伸比和不同的切除时窗,有效切除了因动校正拉伸 引起的波形畸变.

2.4 资料解释

原始地震记录经过上述数据处理之后,可以得 到能够反映地下不同地质结构特征的速度结构图. 本次浅层地震勘探资料的解释主要包括:(1)地震反 射时间剖面的分析和解释;(2)深度剖面图的绘制和 断层的判定;(3)利用钻孔资料对地震剖面进行层位 标定等.

2.4.1 反射波震相识别 (1)同相性和波形特征. 地下同一反射界面的反射波到达相邻接收点的传播 路径是相近的,因此,在相邻接收点得到的同一相位 的到达时间也十分相近.通常每个有效反射波有几 个相位,所有相位的同相轴彼此平行,每个同相轴有 一定的长度.在激发条件一定时,对来自同一界面的 反射波由于传播路径和介质性质差别不大,波形特

测线 名称	断点 编号	断点位 置(m)	上断点 深度(m)	推测断 距(m)	视倾向	断层 性质	判定断层的依据	可靠性
SJ	F _{p14}	525	38	4~6	Е	正断	Tg 中断和 Tg 面 下的绕射波	可靠
QJ	$F_{\rm p15}$	877	57	2~3	E	正断	Tg 中断、同相轴 紊乱、能量变弱	可靠
XF	$F_{\rm p16}$	127	59	2~4	E	正断	Tg 中断和 Tg 面 下的绕射波	较可靠
CHK-1	$F_{\rm p17}$	619	69	2~4	Е	正断	Tg 中断和 Tg 面下的绕射波、能量变弱	较可靠
BS-2	$F_{\rm p18}$	462	70	$4 \sim 5$	Е	正断	Tg 中断	一般
GT-2	F_{p19}	202	58	3~4	Е	正断	Tg 中断和 Tg 面 下的绕射波	较可靠
GT-2	$F_{\rm p20}$	66	60	2~4	W	正断	T _g 中断和 T _g 面 下的绕射波	一般

表 2 断点参数

Table 2 The schedule of fault's parameter on shallow seismic survey profiles

征稳定(包括视周期、相位数目、包络形状、振幅比等 具有相似性).(2)标准层的确定和追踪.依据剖面中 反射波组特征和测线上钻孔资料确定标准层,再把 选定的标准层对比、追踪到其他无钻孔资料的剖面 上.分析各测线的时间剖面和钻孔资料,把第四系底 界面和第四系内部不同岩性间的强反射作为反射标 准层,分别标示为 Tg、Tou、To2和 To3.

2.4.2 断层点的判定和结果 数据处理后输出的 叠加时间剖面是地质解释的基础,它所反映的波组 特征等信息是判定断层的依据.具体有:(1)同相轴 的中断和错位;(2)同相轴数目的增减或消失;(3)同 相轴产状和反射能量的突然变化.

6条浅层地震勘探剖面上均表现为盆地底部基 岩顶面反射波组(Tg)发生错断,垂直落差一般为 2~4 m. 各剖面上断点的位置、断错层位等,以及判 定断层存在的主要依据如表 2 所示. 根据资料处理 获得的叠加速度和反射波的双程走时,可求出反射 界面的埋藏深度,同时可把时间剖面转换为深度剖 面. 通过与测线上钻孔中地层对比可知,晚更新世以 来(下文讨论钻孔中地层时代)的地层中存在 2~3 个明显的反射波组,其中 To1为全新统淤泥层和上 更新统顶部黏土层之间的反射波组,To2、To3反射界 面为晚更新世地层中的界面,To2位于晚更新世地层 的上部,To3位于晚更新世地层的底部. 在地震剖面 上,断层使盆地基底反射波组错断(Tg),但被晚更 新世下部地层中的 To3覆盖(图 4).

3 大楔盆地西缘的第四纪地层

3.1 QJZK1 孔第四纪地层的光释光测年

QJZK1 孔是钱家钻探联合地质剖面中的一个 钻孔(图 2),第四纪地层厚度 52.8 m. 自上而下采 集、测试了 7 块有效的光释光测年样品,样品深度和 测年结果见图 5(光释光测年和孢粉分析由国家地 震动力学实验室测定).A 层为灰黑色软塑状的淤泥 质黏土,底部样品的光释光测年结果为距今 0.96 万 年,为全新世地层.B、C、D、E 和 F 层中采集了 6 块 测年样品,测年结果为距今 7.0~10.5 万年,而且测 年结果存在上下颠倒的现象,但也显示出该段地层 的沉积时代为距今 11 万年左右.

3.2 QJZK7 孔中埋深 30.4~54.8 m 地层段的孢 粉地层和气候地层

在 24.8 m 厚的第四纪地层内,按大致相等的间 隔采集了 35 块样品,通过分析获得了比较丰富的孢 粉,经鉴定和统计共得各类孢粉 2 542 粒,将这些孢 粉进行分类,又可将其归入 53 个植物自然分类科、 属之内(中国地震局地质研究所,2004.地质与钻孔 资料收集、分析和标准孔钻探与测试).每块样品的 详细孢粉类型及其数量和孢粉组合特征是:乔木植 物花粉较多,占总数的69.7%,其中又以依次分别占 总数 52.3%、9.7%及 2.8%之松、冷杉及桦孢粉较 多;灌木及草本植物花粉较少,占总数的 24.2%,其 中又以依次分别占总数 8.7%、7.1%及 3.4%之蒿、







藜及禾本科孢粉较多;蕨类植物孢子少,占总数的 6.1%,其中又以占总数2.4%之水龙骨科孢子较 多.沉积时期的植被当属以松为主要建群植物树种 组成的亚热带温性常绿针叶林植被,间夹稀树草原, 气候温和较湿夹温凉及湿润.

孢粉化石颜色之深浅、立体性之强弱及压扁程 度之轻重,均是确定沉积物时代的重要标志.一般时 代较新之孢粉,其颜色均相对较浅,立体性较强及压 扁程度较轻.该剖面的孢粉形态观察,其颜色不仅相 对较浅,立体性较强,且压扁程度亦相对较差,看来 该剖面 30.4~55.6 m 沉积物的地质时代,可能不会 早于晚更新世、晚于全新世.

据孢粉地层及气候地层研究资料,在我国华北及 西北地区的许多晚更新世早期及晚期时的植被,多是 以松及冷杉为主或较多组成的针叶林.这样性质的古 植被及古气候,在我国华南地区的晚更新世早期及晚期时亦是,只是程度较轻.这样的特征在该剖面中亦有显示,特别是在35.7~47.9m之沉积时期显示得比较清晰.据此,故亦可将该孔剖面35.7~47.9m沉积物之地质时代划为或置于晚更新世.

在一定的地理区域范围内,一般相同及相似的 地质时代之孢粉组合及其古植被及古气候也是相同 或相似并可比的.据该孔剖面 30.4~55.6 m 沉积层 (段),特别是 33.4~47.9 m 沉积层之孢粉分析结果 及其古植被和古气候,时代被定为晚更新世.深度为 27.1~45.2 m 宁波标准钻孔剖面沉积时期之古气 候及古植被,亦甚相似并可进行对比(中国地震局地 质研究所,2004.地质与钻孔资料收集、分析和标准 孔钻探与测试).据此,故将该孔剖面 30.4~54.8 m 沉积物(层)之地质时代划为晚更新世.



图 5 钱家钻探联合地质剖面

Fig. 5 The composite drilling geological section in Qianjia

1. 表土层;2. 灰黑色淤泥质黏土;3. 灰色、灰褐色黏土;4. 灰色细砂层;5. 灰色砾石层;6. 凝灰岩;7. 断层角砾岩;8. 正断层. 光释光样品位置、 编号和测年结果单位:ka

综上分析,笔者认为该孔剖面 30.4~55.6 m 沉 积物的地质时代为晚更新世.

钱家钻孔位于大楔盆地的西缘,大致可以代表 该区第四纪地层沉积时代.除埋深10m以上的淤泥 质黏土为全新世地层外,其余为晚更新世地层.

4 钻探联合地质剖面上的断层解释

横跨育王山山前隐伏断层完成了2个钻探联合 地质剖面,地点分别位于钱家和岭南,这2个钻探联 合地质剖面上的钻孔数均为8个,均揭穿盆地中的 第四纪地层,深入到侏罗纪凝灰岩2~15m不等,以 下介绍钻孔中揭露出的断层活动信息.

4.1 钱家钻孔联合地质剖面

钱家钻探联合地质剖面中有 8 个钻孔,钻孔间 距 2~22 m 不等,断点附近的 4 个钻孔之间的间距 为 2~4 m,共完成 7 块有效的光释光测年样品 (图 5).对比 8 个钻孔中的第四纪地层,大致可以把 它们划分成特征明显的 5 套地层.A 套地层为全新 世灰色、灰黑色淤泥层;B 套地层为晚更新世顶部地 层,为一套灰黄色硬粘土层(尹功明等,2005);C 套 地层为灰色、深灰色粘土夹砂砾石层;D 套可以分为 灰黄色、灰色粘土夹砾石层;E 套地层为黄色、棕黄 色粘土夹角砾石层;F 套地层为黄褐色黏土角砾 石层.

判断断层存在的依据:(1)相距5m的2个钻孔





中基岩落差大于1m(中国地震局地质研究所, 2007.平原区隐伏活断层古地震识别标志的钻孔探 测一原则和方法);(2)全风化基岩岩芯和第四纪粘 土中出现断面;(3)基岩中出现破碎的凝灰岩,或有 断层面存在.

根据以上判据可知,(1)钱家钻探联合地质剖面 中QJZL1和QJZK8之间的间距为2m,它们之间 存在1.7m的垂直落差;(2)在QJZK8、QJZK7、 QJZK8三个钻孔中的凝灰岩中均钻遇断层破碎带, 其中QJZK7孔中56.2m处发现清新的断面,断面 倾角65~70°,擦痕侧伏角70°(图5);(3)QJZK8、 QJZK7、QJZK8 三个钻孔中的凝灰岩破碎带宽 8.5m,新鲜的凝灰岩中断面陡倾,有近水平的擦 痕;(4)QJZK8孔埋深34.6m处黏土中发育倾角 70°的断面(图5).

因此,钱家钻探联合地质剖面中揭露出育王山 山前隐伏断层,最新断层面的倾角 70°,晚更新世地 层中也发现断层的存在.但剖面中断层的垂直断距 小,标志地层均没有出现明显的垂直落差.

4.2 岭南钻孔联合地质剖面

岭南钻探联合地质剖面中有 8 个钻孔,孔间距 1.5~15.0 m 不等,孔深为 40.9~49.0 m,深入基岩 1.2~6.0 m(图 6),共完成 8 块有效的光释光样 品测年.

岩性地层分段:根据钻孔联合地质剖面中地层 的粒度、颜色、塑性,以及地层组合特征,可以把剖面 中的第四纪地层分为4段.A段为全新世海相淤泥 层,软塑,含少量贝壳碎片;B段为上更新统顶部的 硬粘土,沉积和形成时代为距今1.3~4.7万年(中 国地震局地质研究所,2004.地质与钻孔资料收集、 分析和标准孔钻探与测试);C段地层为灰色粘土夹 砂砾石层,与钱家孔对比,可以认为它是上更新统中 段的地层;D段为灰黄色、杂色粘土夹砂砾石、角砾 石层,为上更新统下段地层.第四纪地层之下为全风 化、半风化和新鲜的侏罗系凝灰岩.

断层存在的依据:由于 DQZK3 和 DQZK7 间的

距离为 2.0 m,基岩顶面落差为 0.6 m,而且在 DQZK3、DQZK7 和 DQZK6 中凝灰岩中均发现破 碎,带宽 5 m,DQZK3 中的强风化凝灰岩中有高角 度断面和断层泥发育. DQZK3 孔中埋深 35 m 处的 粘土中发育倾角 70°的断面,DQZK7 孔中埋深 35 m 处的 黏土层破碎,呈角砾状,断面光滑.因此, DQZK3 和 DQZK7 间的第四纪地层中发育一条断 层,最大垂直位移是 0.6 m;DQZK4 和 DQZK5 之间 距离为 1.5 m,基岩面落差为 2.3 m,而且在 DQZK5 孔底部的侏罗纪凝灰岩破碎、且发现高角度节理面. 所以 DQZK4 和 DQZK5 之间的应存在一条断层,垂 直位移是 2.3 m.这些断层均没有向上延伸到晚更 新世的 C 段地层中.

钱家钻探联合地质剖面和岭南钻探联合地质剖 面中,侏罗纪凝灰岩中发现断层破碎带,带宽 5.0~ 8.5 m,全风化凝灰岩中新鲜断面倾角 70°,侧伏角 70°.两排钻孔中埋深 35 m 的黏土层中均发现破碎 的黏土角砾,且断面光滑.黏土层中断层面倾角 70°,擦痕近垂直.即育王山山前隐伏断层断错晚更 新世底部的地层,上断点的埋深约 35 m,以正断层 活动为主.

5 结论

育王山山前隐伏断层发育在育王山东麓山前、 大楔盆地的西缘,距离育王山山前 600~1 200 m. 浅 层地震勘探剖面上表现为错断代表盆地内侏罗纪凝 灰岩和第四纪地层界面的 T_g 反射层,且向上延伸 到第四纪地层的底部,但没有影响到第四系内部的 T₀₃、T₀₂、T₀₁反射层,断层延伸长度约 9 km. 钻探联 合地质剖面也揭示了育王山山前隐伏断层的存在, 不仅在侏罗纪凝灰岩中发现断层破碎带和新鲜的断 层面,而且在埋深35m以下的晚更新世黏土层中发 育黏土角砾和断面,断层倾角 70°. 以晚更新世起始 时间为距今10万年计算(刘嘉琪和刘强,2000),钱 家钻孔中晚更新世地层的沉积速率为 0.45 mm/a, 埋深 35 m 处地层的沉积年龄为距今约 5 万年. 育王 山山前隐伏断层晚更新世地层底面垂直落差 1.7~ 2.3 m,最大垂直活动速率 0.034~0.046 mm/a,属 于晚更新世早期弱活动断层.

依据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001),晚 更新世早期弱活动的育王山山前隐伏断层的活动不 会对地表建筑物、地下输油气管道等形成直接 的断错.

References

- Bureau of geology and mineral resources of Zhejiang Province, 1989. Regional geology of Zhejiang municipality. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Chen, J. G., Chen, C. G., Wang, L., et al., 1998. Earthquakes and neotectonics movement in Ningbo region. Acta Seismologica Sinica, 20(3): 285 – 294 (in Chinese with English abstract).
- Cluf, L. S., 2004. Bridging the gap between earthquake science and enginering: the story of the trans-alaska pipe line performance during the Mw 7.9,2002 earthquake.
 In:Proceedings of the Third International Conference on Contininental Earthquakes, ICCE, 63-68.
- Deng, Q. D., Chen, L. C., Ran, Y. K., 2004. Quantitative studies and applications of active tectonics. *Earth Science Frontiers*, 11(4):383-392 (in Chinese with English abstract).
- Deng, Q. D., Liu, B. C., Zhang, P. Z., et al., 1992. Research of active fault in evaluating engineering safety and assessing amount of displacement. In: Institute of Geology, China Earthquake Administration, ed., Research on active fault. Earthquake Press, Beijing, 236 - 246 (in Chinese).
- Dolan, J. F., 1997. High-resolution seismic reflection profiling of the Santa Monica fault zone, west of Los Angeles, California. *Geophysical Research Letters*, 24 (16): 2051-2054.
- Liu, J. Q., Liu, Q., 2000. Quaternary stratigraphy in China. *Quaternary Sciences*, 20(2):129-141 (in Chinese with English abstract).
- Lu, H. F., He, Z. T., Zhao, J. X., et al., 2008. Quantitative analysis on activety of the Yuanmou fault in Late Quaternary. *Earth Science—Journal of China University* of Geosciences, 33(6):852-860 (in Chinese with English abstract). doi:10.3799/dqkx. 2008.102
- Ma, X. Y. ,1989. Lithospheric dynamics atlas of China. China Cartographic Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Ministry of Construction P. R. China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine P. R. China, 2001. Code for seismic design of buildings (GB50011-2001). China Architecture & Building Press, Beijing (in Chinese).
- Qu, G. S., Hao, C. T., Chen, G. G., 1992. A study on the segmentation and tectonic stress field of the Zhenhai-Wenzhou extending faults in Cenozoic. *Journal of Seismology*, 2:11-20 (in Chinese with English abstract).
- Ran, Y. K., Chen, L. C., 2004. Active tectonic research for seismic safety evaluation of long line engineering sites in

China. Seismology and Geology, 26(4): 733 – 741 (in Chinese with English abstract).

- Ran, Y. K., Deng, Q. D., 1999. History, status and trend about the research of paleoseismology. *Chinese Science Bulletin*,44(1):12-20 (in Chinese).
- Ran, Y. K., Li, J. B., Min, W., et al., 2005. Active tectonics along site and neighborhood of west route of south-tonorth water transfer project in China. *Chinese Journal* of Rock Mechanics and Engineering, 24(20): 3664-3672 (in Chinese with English abstract).
- Robert, B. H., Cyntyia, L. P., Jeffrey, E. C., 2000. Shallow seismic reflection profiling over Brevard Zone South Caroline. *Geophysics*, 65(5):1388-1401.
- Schwartz, D. P., Coppersmith, K. J., 1984. Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas fault zones. *Journal of Geophysical Research*, 89(B7):5681-5698.
- Song, F. M., Chen, X. C., Yang, X. P., et al., 2008. Geometrical structure and neomovement's epoch of fault in front of Mountain Yuwang in Ningbo, Zhejiang. *Resources Survey and environment*, 29(3):177-186 (in Chinese with English abstract).
- The National Standards Compilation Group of People's Republic of China, 1999. Code for seismic safety evaluation of engineering sites (GB17741-1999). Standards Press of China, Beijing (in Chinese).
- Wallace, R. E., 1970. Earthquake recurrence intervals on the San Andreas fault. *Geological Society of America Bulletin*, 81(10):2875-2890.
- Yeats, R. S., Pentice, C. S., 1996. Introduction to special section: paleoseismology. Journal of Geophysical Research, 101(B3):5847-5853.
- Yin, G. M., Wang, X. L., Zhou, B. G., et al., 2005. The chronology of the first hard clay in Ningbo region. Seismology and Geology, 27(4):548-555 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈家庚,陈存国,王里,等,1998. 宁波地区的地震与新构造运动. 地震学报,20(3): 285-294.
- 邓起东,陈立春,冉勇康,2004.活动构造定量研究与应用.地 学前缘,11(4):383-392.
- 邓起东,刘百篪,张培震,等,1992. 活动断裂工程安全评价和 位错量的定量评估.见:国家地震局地质研究所编. 活 动断裂研究(2). 北京:地震出版社,236-246.
- 刘嘉琪,刘强,2000.中国第四纪地层.第四纪研究,20(2): 129-141.
- 卢海峰,何仲太,赵俊香,等,2008. 元谋断裂晚第四纪活动性 定量分析. 地球科学——中国地质大学学报,33(6): 852-860.
- 马杏垣,1989. 中国岩石圈动力学图集. 北京:中国地图出版社.
- 曲国胜,郝重涛,陈国光,1992.镇海一温州断裂分段性及新 生代构造应力场研究.地震学刊,2:11-20.
- 冉勇康,陈立春,2004.中国长线工程场地地震安全性评价工作中的活动构造问题.地震地质,26(4):733-741.
- 冉勇康,邓起东,1999.古地震学研究的历史、现状和发展趋势.科学通报,44(1):12-20.
- 冉勇康,李建彪,闵伟,等,2005.南水北调西线工程区及邻域 的活动构造.岩石力学与工程学报,24(20):3664-3672.
- 宋方敏,陈献程,杨晓平,等,2008.浙江宁波育王山山前断层 几何结构及新活动时代.资源调查与环境,29(3): 177-186.
- 尹功明,王旭龙,周本刚,等,2005. 宁波地区第一硬土层的年 代. 地震地质,27(4): 548-555.
- 浙江省地质矿产局,1989.浙江省区域地质志.北京:地质出版社.
- 中华人民共和国国家标准编写组,1999.工程场地地震安全 性评价技术规范(GB17741-1999).北京:中国标准 出版社.
- 中华人民共和国建设部,国家质量监督检验检疫总局,2001. 建筑抗震设计规范(GB50011-2001).北京:中国建筑工 业出版社.