

贾荣光, 王志才, 王健, 冯志泽, 刘霞, 翟正宏, 朱建亚, 姜早峰, 吴子泉, 2007. 潍坊市主要隐伏断层活动特征研究. 震灾防御技术, 2(3): 249—263.

潍坊市主要隐伏断层活动特征研究¹

贾荣光^{1,2)} 王志才¹⁾ 王健¹⁾ 冯志泽¹⁾ 刘霞¹⁾
翟正宏³⁾ 朱建亚¹⁾ 姜早峰¹⁾ 吴子泉¹⁾

1) 山东省地震工程研究院, 济南 250014

2) 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 青岛 266510

3) 潍坊市地震局, 潍坊 261041

摘要 利用浅层人工地震、电法勘探和工程钻探等多种方法在潍坊市开展了隐伏活断层探测工作, 查明了潍坊市城区周围沂水-汤头断裂、郟郟-葛沟断裂、寒亭断裂和潍县断裂等 6 条主要断裂的位置; 通过释光 (TL、OSL) 和电子自旋测年 (ESR) 研究了这些断裂的最新活动时代。结果表明, 潍坊市城区范围内无活动断层通过, 为土地利用和城市建设规划提供了科学依据。

关键词: 活断层探测 沂沭断裂带 隐伏活断层 潍坊市

引言

活断层与地震的发生关系密切 (张培震, 1999; 张国民, 张培震, 2000; 邓起东等, 2002; 张培震等, 2003)。活断层的重复破裂不仅导致地震的发生, 而且可以造成沿断层两侧人员伤亡与财产损失的加重。现代城市人口密集、经济发达, 是社会财富的集中地, 所以, 发生于城市之下的“直下型”地震往往带来毁灭性的灾难。

沂沭断裂带是中国东部最主要的活动断层之一, 它从山东省中部通过。而潍坊市位于沂沭断裂带北段, 处于东西地堑之间, 因此, 城区内是否发育活断层和是否具有发生“直下型”地震的潜在危险是值得研究的重要课题, 也是需要解决的十分迫切的任务。对于沂沭断裂带的研究开始于上世纪 60 年代, 取得了大量成果 (方仲景等, 1976; 国家地震局地质所, 1987; 高维明等, 1988; 江娃利等, 1991; 李家灵等, 1994; 晁洪太等, 1994a; 1994b; 何宏林等, 2005; 宋方敏等, 2005), 在安丘-莒县断裂的安丘至昌邑段和莱州湾内也发现了晚第四纪活动证据 (王志才等, 2005; 2006), 但是, 对于潍坊市及附近地区活动断层的研究还比较薄弱。因此, 山东省防震减灾“十五”重点项目“潍坊市活断层探测与地震危险性评价”针对潍坊市及附近地区的主要隐伏断裂开展了较为详细的探测工作, 初步查明了沂沭断裂带西地堑的两条边界断裂以及另外几条主要隐伏断裂的活动特征, 为正确评价这一区域地震构造环境提供了依据, 对于地震预报和地震安全性评价工作具有重要意义。

1 山东省防震减灾“十五”重点项目 (SD10503) 资助。

【收稿日期】 2007-07-17

【作者简介】 贾荣光, 男, 生于 1979 年。工程师。主要研究领域: 地震构造。E-mail: zhongjrg@eqsd.gov.cn

1 地震地质背景

以沂沭断裂带为界山东地区可分为东西两部分。鲁西地区属于华北板块(地台),具有复杂的地质演化历史,经历了太古代至早元古代地台结晶基底形成阶段以及中、晚元古代至古生代稳定地台盖层发育阶段。在中生代及新生代第三纪这一区域发生了伸展构造运动,在鲁中形成了一系列北西走向的山脉和盆地构造,其边界断裂主要为北西向;在鲁西南则发育一系列近东西和近南北向的盆地,边界断裂主要为近东西和近南北向。新第三纪以来鲁西地区断裂活动仍较普遍,但活动强度较小;第四纪以来断裂活动基本上继承了前期活动特点,在时间域上断裂活动具有不均匀性,主要表现为断裂活动强度变化和断裂活动的群集性。区内主要断裂,如蒙山山前断裂、泰山山前断裂、新泰-蒙阴断裂、铜冶店-孙祖断裂、莲花山断裂、双山-李家庄断裂、苍尼断裂等(图1),在中更新世末期至晚更新世早期普遍活动,中更新世中期(50万年)以来有许多断层发生过重复性的地表或近地表活动,之后多数断裂停止活动,仅部分断裂(或断裂段)在晚更新世晚期(3万年)仍有活动,个别断裂,如苍尼断裂局部段具有全新世早期活动特征(晁洪太等,1992;王志才等,2001)。

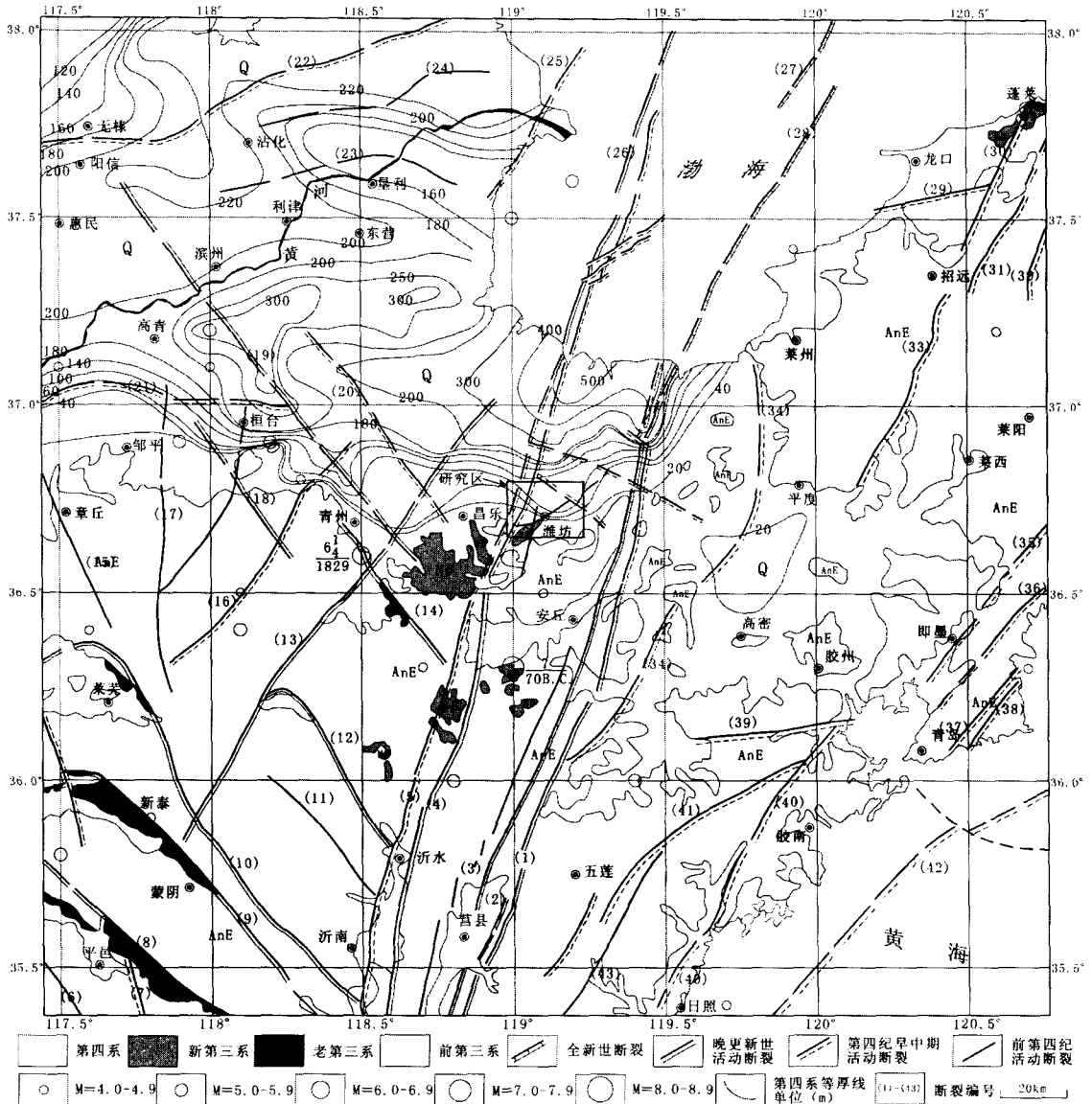
鲁东地区北部属于华北板块,南部属于扬子板块,在两者之间作为秦岭-大别造山带东延部分的胶南-威海造山带(张国伟等,1998;王来明等,2002),就是华北板块南部活动边缘与扬子板块北部被动大陆边缘在中生代三叠纪晚期碰撞、缝合的结果。该造山带北界大致在五莲-荣成一线,南界为响水口断裂。在第三纪以来鲁东地区的差异构造活动较弱,无新第三纪盆地活动。鲁东地区断裂以北北东-北东走向为主;还发育有近东西向和北西-北西西向断裂。其中,北北东向断裂在胶北隆起甚为发育,如西北部的黄县断裂、辛庄断裂、北沟镇-珑玲断裂、凤仪店断裂以及东部的牟平-即墨断裂带内的桃村断裂、郭城-观水断裂、王格庄-崖子断裂、海阳断裂、乳山断裂和即墨-唐家庄断裂等。在胶南-威海造山带的内部及其边界,主要发育北东向断裂为主,如郝戈庄断裂、胶南-日照断裂和千里岩断裂。这些断裂在第四纪时期的活动程度不同,多数断裂的最新活动时代集中于中更新世时期(晁洪太等,2001),同时这些断裂中部分断裂具有晚更新世早期的活动特征,如其中的北沟镇-珑玲断裂、辛庄断裂和东殿后断裂(马保起等,2004);仅在个别断裂上发现晚更新世晚期的活动证据,例如,在海阳断裂的海阳县城北东石兰沟发现了晚更新世晚期活动断裂剖面(周本刚等,2002)。

沂沭断裂带是鲁东和鲁西之间的分界构造,中生代以来经历了巨大的左行平移、裂谷作用和横向挤压作用过程(高维明等,1980),由多条近于平行的断层组成(图1)。在晚更新世晚期以来沂沭断裂带的新活动主要表现在其中的安丘-莒县断裂上,运动性质以右旋走滑为主兼正断或逆冲活动分量,1668年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震和公元前70年安丘7级地震就发生在这条断裂上(高维明等,1988;李家灵等,1994;晁洪太等,1994a;1994b)。该断裂带向北延伸在渤海海域内称为营潍断裂带,对第三纪地层构造具有明显的控制意义(徐杰等,1999),亦表现明显的晚更新世以来新活动特征(王志才等,2006)。本文的研究区潍坊市及周围正位于沂沭断裂带的北段内,处于陆区向海域的过渡部位,大部分区域为第四系覆盖,迫切需要查明主要隐伏断裂,尤其是沂沭断裂带主干断裂的位置和活动特征。

2 研究区地质条件与活断层探测思路

在潍坊市活断层探测研究区内发育多条断裂,包括北北东走向的沂沭断裂带西支沂水-

汤头断裂和郟部-葛沟断裂，另外，在东侧还发育北西向寒亭断裂、北北东向白浪河断裂和北东向潍县断裂等多条断裂（图 2）。这些断裂都属于隐伏断裂，为第四系覆盖。



- (1) 昌邑-大店断裂；(2) 安丘-莒县断裂；(3) 白粉子-浮来山断裂；(4) 沂水-汤头断裂；(5) 郟部-葛沟断裂；(6) 独角-梁丘断裂；(7) 铜石-甘霖断裂；(8) 蒙阴山前断裂；(9) 蒙阴断裂；(10) 铜冶店-孙祖断裂；(11) 马牧池-铜冶店断裂；(12) 沂源-沂水断裂；(13) 上五井断裂；(14) 双山-李家庄断裂；(15) 文祖断裂；(16) 淄河断裂；(17) 禹王山断裂；(18) 张店-仁河断裂；(19) 益都-无棣断裂；(20) 昌乐-广饶断裂；(21) 广齐断裂；(22) 义南断裂；(23) 陈南断裂；(24) 孤北断裂；(25) 垦西断裂；(26) KL3 断裂；(27) 营滩东支西断裂；(28) 营滩东支东断裂；(29) 黄县断裂；(30) 北沟镇-玲珑断裂；(31) 凤仪店断裂；(32) 林家莊断裂；(33) 招远-平度断裂；(34) 景芝断裂；(35) 即墨-唐家莊断裂；(36) 沧口断裂；(37) 劈石口断裂；(38) 王哥庄-山东头断裂；(39) 百尺河断裂；(40) 胶南-日照断裂；(41) 山相家-郝戈庄断裂；(42) 千里岩断裂；(43) 相邸-高阁庄断裂

图 1 潍坊市区域地震构造图

Fig. 1 Seismo-tectonic map of Weifang area

研究区除在南部局部出露有新第三纪牛山组玄武岩外，大部为第四纪地层覆盖。第四系

具有岩性复杂、厚度变化快的特点，按岩石地层单位主要分为山前组 (Qs)、临沂组 (Ql)、寒亭组 (Qht) 和沂河组 (Qy) 4 个组。

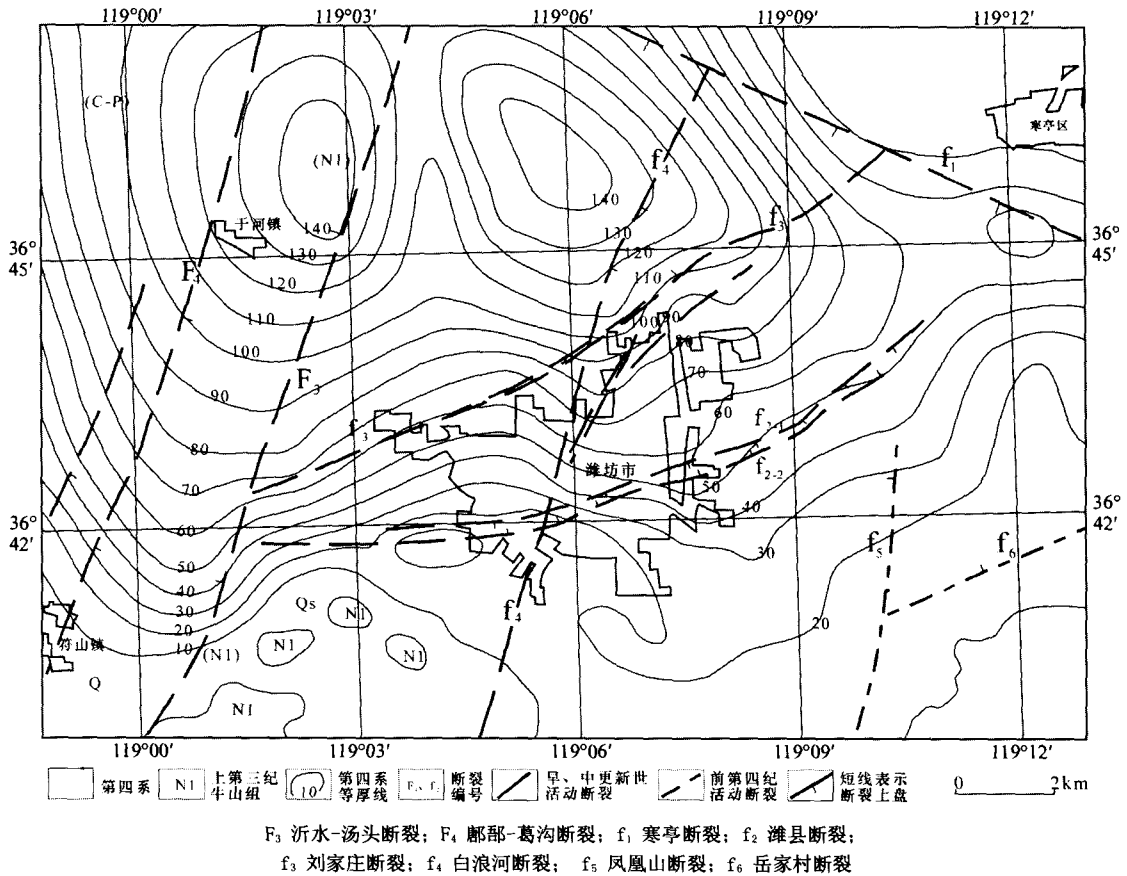


图2 潍坊市研究区地质图

Fig. 2 Geological map of the study area

在郯庐断裂带内，研究区可分为两个次级的构造单元：①以寒亭断裂为界北侧为寒亭凸起（潜凸），第四系小于 100m，一般在 30 至 76m 之间，下伏地层为新太古代结晶基底泰山岩群，岩性为黑云斜长片麻岩和中生代青山群（石前庄组）中酸性火山岩；②寒亭断裂以南属于潍坊凹陷区，在晚第三纪时期发生伸展断陷活动，堆积了新近纪临朐群牛山组，岩性主要为基性火山岩、冲洪积陆源碎屑岩，其中牛山组基性玄武岩厚 40—82m，冲积洪积陆源碎屑岩厚度大于 219.95m。

潍坊凹陷区第四系厚度在 0—150m 之间，具有南浅北深，南薄北厚的特点，最深处在寒亭断裂以南的潍坊凹陷区内，厚度近 150m（图 2）。区内缺失早更新世 (Q₁) 地层；山前组的粘土或含砾砂、碎石及姜石粘土，时代一般属于中更新世 (Q₂)；上部常见的寒亭组黄色细砂、粉砂和粉土可能主要是晚更新世末至全新世初期形成的风成物（夏东兴等，1995；张祖陆，1995），而临沂组和沂河组则主要是晚更新世及全新世的河流堆积物。

在城区内及周围地区开展隐伏活断层的探测工作十分艰难，但已有研究工作证明，利用高分辨率的地球物理与工程钻探和地质测年相结合的方法，可以有效地确定城市及周围区域

的隐伏断裂的位置、上断点埋深和最新活动时代(徐锡伟等, 2000; 方盛明等, 2002; 邓起东等, 2003), 从而为确定活断层地震危险性提供依据(徐锡伟等, 2002; 韩竹军等, 2002)。针对城区干扰背景高和第四系覆盖浅(中厚)等实际情况, 参照《中国地震活动断层探测技术系统技术规程》(中国地震局, 2005)的有关要求, 笔者于2003至2005年针对潍坊市研究区内主要的隐伏断裂进行了详细的勘探工作, 查明了主要断裂在城区内通过的位置以及断裂的最新活动时代。下面将对探测结果做一简要的介绍。

3 主要断裂探测结果

3.1 沂水-汤头断裂(F_3)

沂水-汤头断裂在研究区的西部通过, 距潍坊市城区仅5km左右, 走向北北东, 倾向西, 倾角约为 70° 。该断裂是沂沭断裂带西支(西地堑)东侧断裂, 在山东中南部断裂形迹明显, 在遥感地质影像上表现清楚, 有断层坎发育; 在道托-沂水段断层带较宽, 发育有较新鲜的断层泥, 局部见错断晚更新世地层; 在临沂后林子-沂水段断层带较宽, 发育有较新鲜的断层泥, 错断了第四纪早期含砂砾亚粘土及晚更新世亚粘土层(高维明等, 1988)。但是, 该断裂向北延构造形迹已不太清楚, 在研究区以南的昌乐市大盛至贾陶之间, 仍可见断裂构成了白垩系火山碎屑岩的东界。在大盛镇东断裂带之上覆盖了一层黄色亚粘土, 其中所取一个样品的热释光年代为距今 (6.44 ± 3.9) 万年前, 没有错动现象。为了探测该断裂在研究区内通过的位置, 我们开展了多条直流电法、浅层人工地震勘探, 并进行了钻探验证和样品定年。

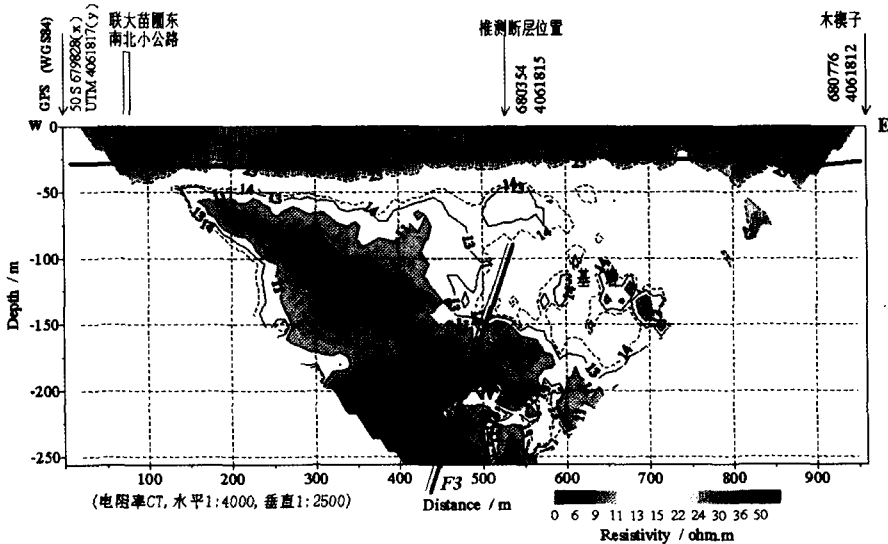


图3 团结村电成像CX2测线剖面图

Fig. 3 CX2 profile line near Tuanjie village

团结村电成像CX2测线剖面(图3)较好地反映了沂水-汤头断裂的位置以及基岩错动情况, 剖面中盖层和基岩的界面非常清楚, 但仅在该剖面上还难以判断断裂错断浅部地层的详细情况。根据多条测线的初勘结果, 在CX2测线北进行了跨断层地质钻探验证, 证明第四系厚度(图4)与同时进行的(道间距1m)浅层人工地震结果吻合, 17m以上的地层(属

Q₃ 地层) 层位近水平, 横向无落差; 第四系底部东高西低, 整个剖面东西方向有近 3m 的高差, Wt01 与 Wt03 之间的基岩顶面高差约为 2.2m。结合在研究区以南出露区以及其它考察、探测结果, 分析认为在研究区内沂水-汤头断裂最新活动时代为早、中更新世, 错断了第四系之下的所有基岩地层, 但对于晚更新世以来的沉积地层无错动影响, 不属于晚更新世活断层。

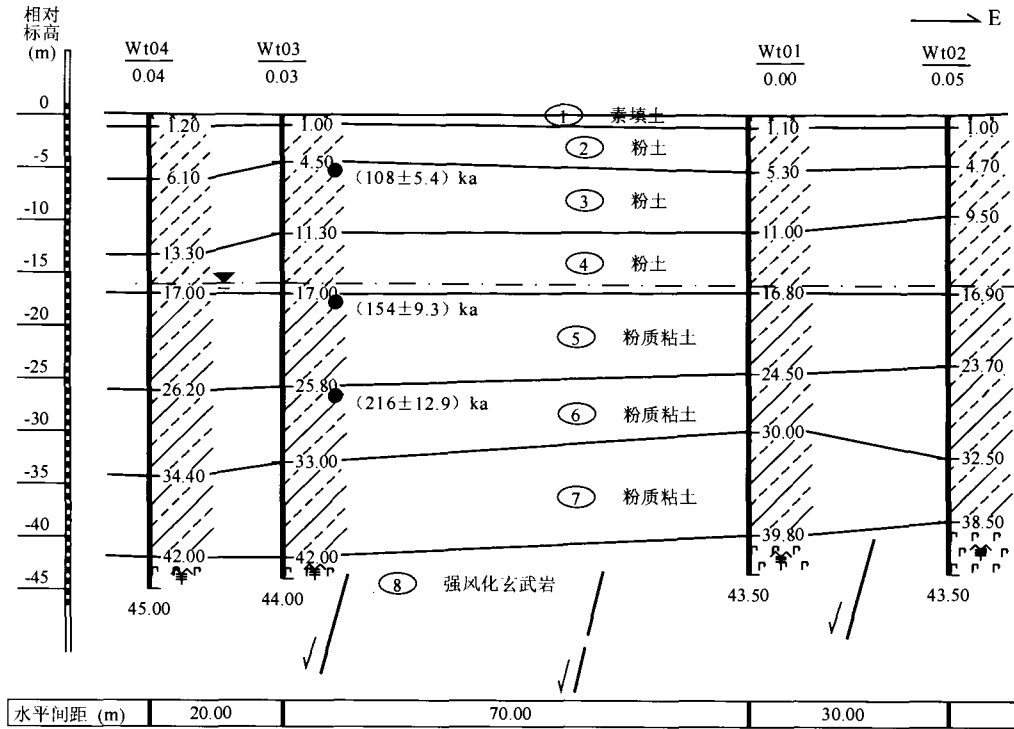


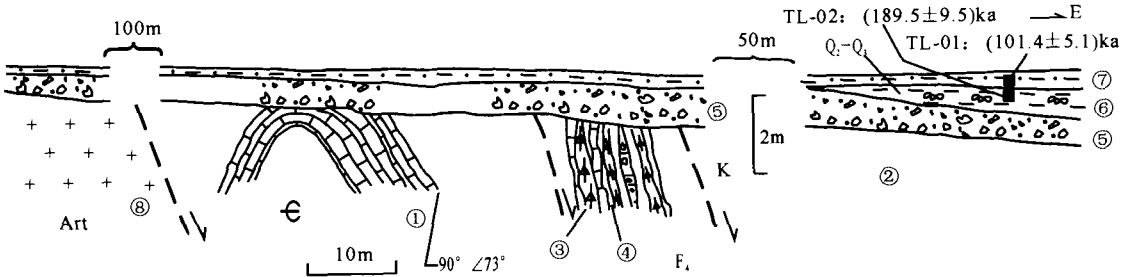
图 4 团结村跨沂水-汤头断裂钻孔剖面图

Fig. 4 Borehole sections across Yishui-Tangtou fault near Tuanjie village

3.2 郯部-葛沟断裂 (F₄)

该断裂是沂沭断裂-带西地堑的西边界断裂, 同沂水-汤头断裂相似, 在山东中部断裂形迹清楚, 在马站大水场-高桥四旺庄一段显示出第四纪晚期活动, 野外可见错断晚更新世地层。该断裂剖面为正断层, 倾向东, 倾角 60°左右; 自南部的二甲村、郭家成章等地向北延, 进入研究区后被第四系覆盖。

在郭家成章村西 (邻近研究区) 该断裂通过山前的缓坡之上 (图 5), 地形自然向东缓倾, 自西向东发育三套地层, 分别是太古代片麻岩、古生界与白垩纪地层。古生界为薄层灰黄色灰岩, 变形强, 产状陡立; 白垩系主要为紫红色页岩, 大部分覆盖于第四纪地层之下。古生代灰岩与白垩纪地层之间见大规模的断裂碎裂岩、断层角砾带, 其中可见灰岩和紫红色页岩两种不同的原岩类型, 胶结好。断裂带顶面平整, 直接覆盖有 (0.8—1.0) m 厚的第四纪沉积物, 其中下部的冲积砾石层厚度 60cm 左右。沿剖面向东, 该套砾石层之上又依次覆盖有黄色含钙质结核层、含砾砂土层和土黄色含砂粉土层, 其中所取两个样品的热释光年代分别为 (189.5±9.5) ka 和 (101.4±5.1) ka, 说明其时代分别为中更新世和晚更新世。断裂对上覆的第四纪地层 (包括中更新世晚期和晚更新世地层) 无错动影响。



①薄层灰岩；②紫红色页岩、泥岩；③断层碎裂岩，原岩为灰岩；④碎裂岩，原岩为白垩纪泥页岩；⑤晚更新世中晚期砾石层；⑥黄色含钙质结核、含砾砂土；⑦土黄色砂土，顶部为耕土；⑧太古代片麻岩

图5 郭家成章村西郟部-葛沟断裂剖面

Fig. 5 Geological section near Guojiachengzhang village

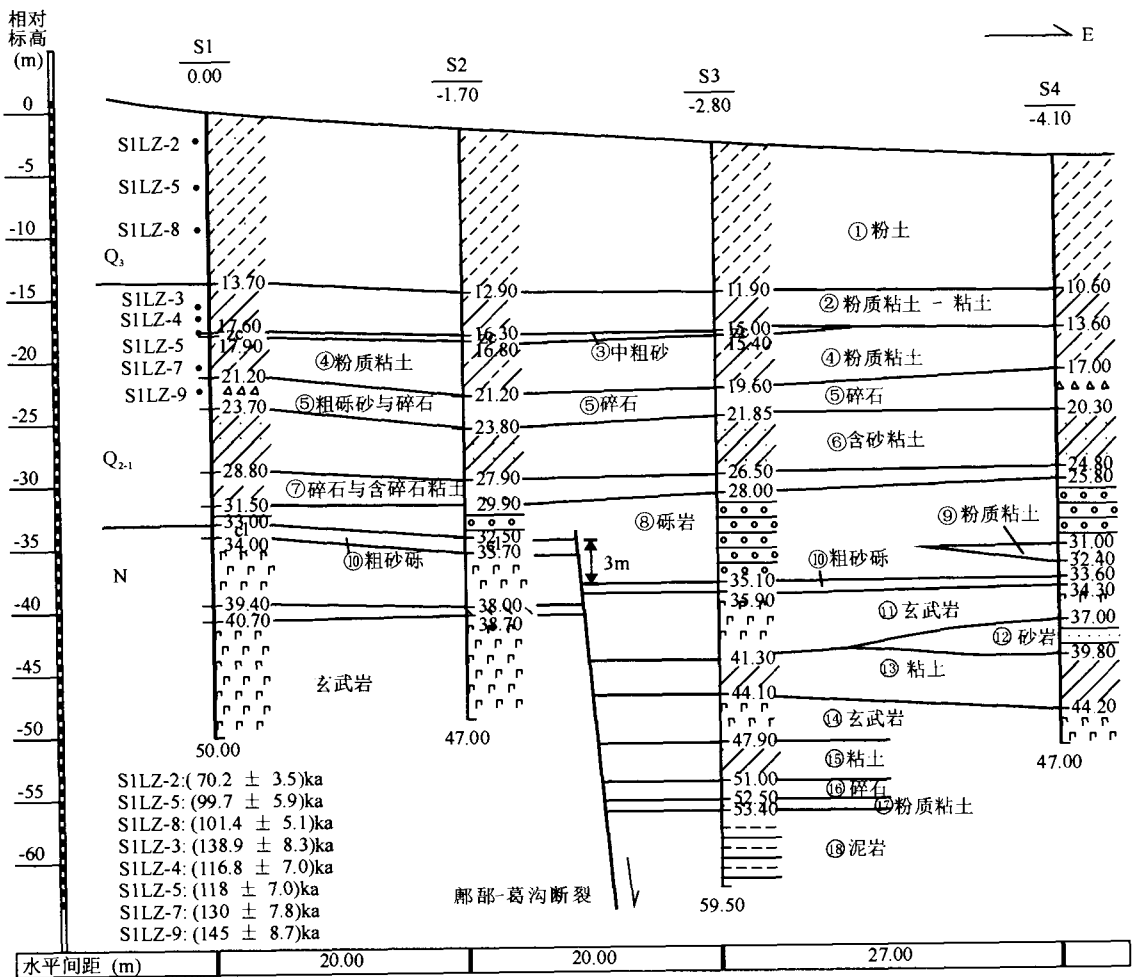


图6 楼子村西跨郟部-葛沟断裂钻孔剖面图

Fig. 6 Borehole section across Tangwu-Gegou fault near Louzi village

根据出露区位置以及多条物探测线的结果，在研究区内对楼子村西沿电法勘探线进行跨断裂钻探验证，剖面（图6）显示第三纪地层错动明显，第四系的底部层位也有一定的差

异, 底部落差约 3m 左右。但第四系上部在各孔之间横向上可以对比, 无明显的高度变化; 结合测年结果分析, 断裂对于晚中更新世地层无错动影响。综合出露区以及隐伏区多条测线的探测结果, 分析认为研究区内郟部-葛沟断裂为第四纪早、中期活动, 没有错动晚更新世以来地层, 不属于晚更新世活断层。

3.3 寒亭断裂 (f_1)

寒亭断裂位于研究区北部, 断裂走向 300° , 正断层, 倾向南, 倾角约 50° — 70° , 是潍坊凸起和潍坊凹陷的边界断层。在布格重力异常图上, 该断层表现为正、负重力场之间的重力梯级带, 断层位置靠近正重力场区。根据探测结果, 在电法及浅层人工地震剖面上均有一定的反映, 显示为向南倾的正断层。

沿寒亭区霞飞路浅层人工地震测线进行了跨断层钻探验证, 断裂带之上第四系底界面变化较小, 说明该断裂在第四纪早期可能仍有一定活动, 但活动量较小, 无晚更新世以来错动迹象, 不是晚更新世活断层。

3.4 潍县断裂 (f_2)

该断裂是根据以往研究资料和遥感地质解译推测出的一条北东走向断裂, 它在潍坊市城区内通过, 隐伏于第四系之下。本次工作跨该断裂共布设了 10 余条测线, 主要为可控震源浅层人工地震, 测线间距为 (1—2) km, 查明了断裂的浅层结构和位置, 并且开展了钻探验证, 确定了断裂的最新活动时代。

根据浅层人工地震和钻探结果, 潍县断裂长度大约 11km, 走向 $NE50^\circ$ — 85° , 由两条相向正断裂组成, 北西侧断裂 ($f_{2.1}$) 倾向南东, 倾角 60° — 80° , 南东侧断裂 ($f_{2.2}$) 倾向北西, 倾角 60° — 80° , 两断裂构成了小型“地堑”, 之间为一基岩凹陷 (图 2), 相对于两侧而言, 凹陷内基岩埋深较大, 第四纪地层厚度较大。

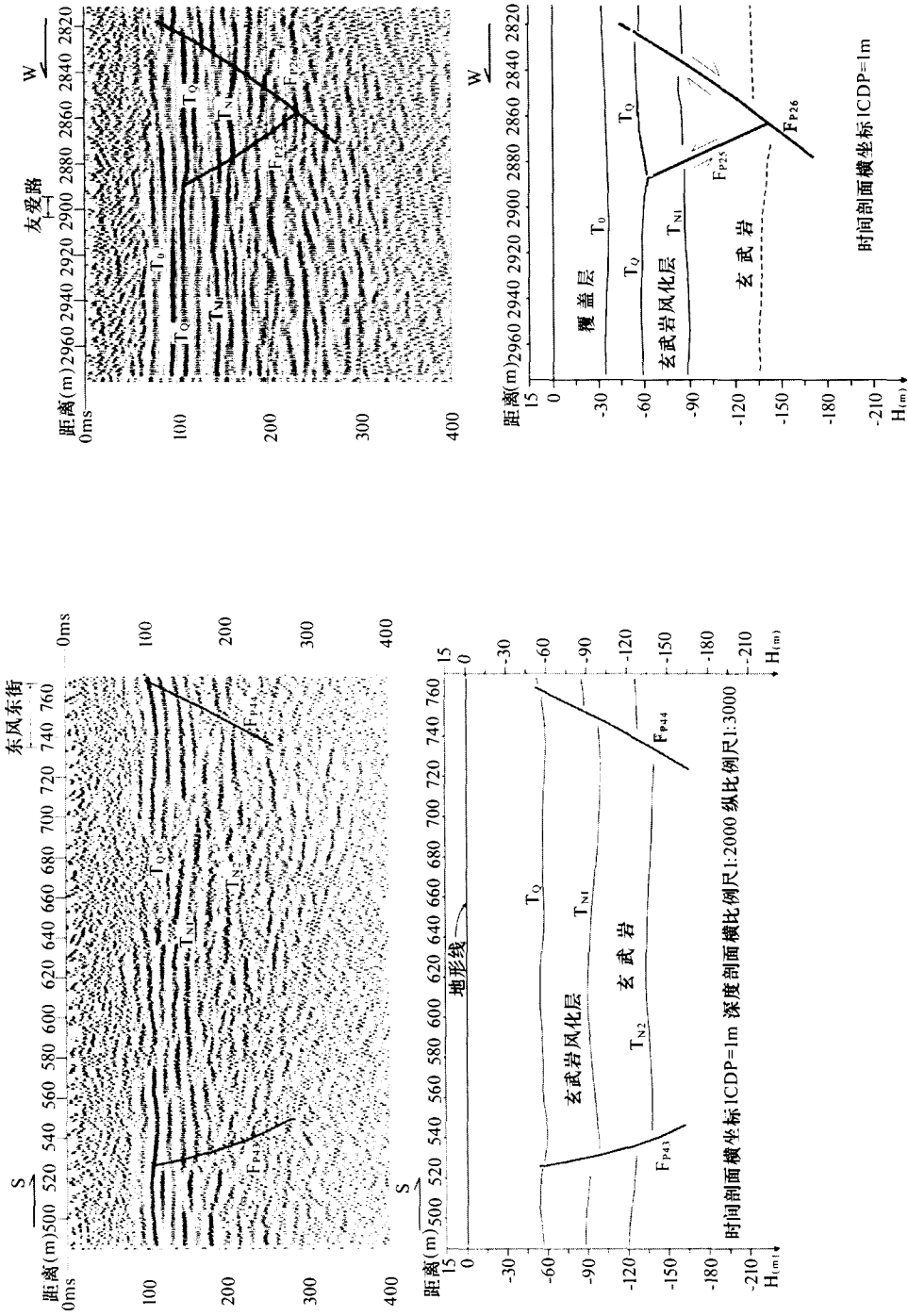
在新华路浅层人工地震测线剖面上, 揭示了两条断层 Fp_{43} 和 Fp_{44} 为潍县断裂, Fp_{43} 南倾, Fp_{44} 向北倾, 两个断层点对于第四系的错断不明显, 在两断层之间剖面上为一个基岩相对凹陷而第四系覆盖层变厚的区域 (图 7a)。而富华游乐园钻孔剖面 (图 8) 显示潍县断裂明显错断了第四系下部地层, 基岩顶面垂向断距约 4m; 从剖面分析, 断裂没有错动上部的晚更新世地层。

从总体上分析, 其南东侧正断层 ($f_{2.2}$) 是主断裂, 该断裂以北第四纪沉积厚度总体具有增大趋势。在多数地段, 断裂并未进入上覆的第四系 (主要是覆盖较浅的地区), 属于基岩断裂, 但在部分剖面上, 断裂不但错断了基岩顶面, 而且还影响了第四系底部。根据这一地区的标准地层年代柱以及有关的测年数据, 认为该断裂为早、中更新世活动断裂, 无晚更新世以来活动迹象, 不属于晚更新世活断层。

3.5 刘家庄断裂 (f_3)

刘家庄断裂走向北东 50° — 75° , 长度约 15km, 是一条隐伏断裂。跨断裂布设了 8 条浅层人工地震勘探剖面, 显示该断裂多数段落由两条近于平行的次级断裂组成, 其南东侧的断裂为主断裂, 倾向北西; 北西侧的断裂为次级断裂, 倾向南东。两断裂之间相距 (50—80) m, 主断裂一般错断基岩顶面和第四系底部层位, 剖面上具有逆冲或正断活动。

在福寿西街浅层人工地震剖面上断裂呈“Y”字形 (图 7b), 沿此浅层人工地震剖面, 跨断层点的钻孔资料证实了浅层人工地震探测结果, 在两个断层点之间地质意义上的基岩顶面高出两侧约 3m 左右, 形成了一个小地垒构造 (图 9); 在钻孔剖面上断裂两侧的第四系上部



(a) 新华路跨潍县断裂浅层地震剖面图局部; (b) 福寿西街跨刘家庄断裂浅层地震剖面图局部

(a) 潍坊活断层探测浅层地震剖面局部

图 7 潍坊市活断层探测浅层地震剖面局部

Fig. 7 Shallow seismic profile setup in Weifang area

地层连续平稳, F_{P26} 断裂错断了第四系底部层位, 为第四纪早中期活动逆断层(图 9)。综合分析认为该断裂显示第四纪早中期活动特征, 晚更新世以来不活动。

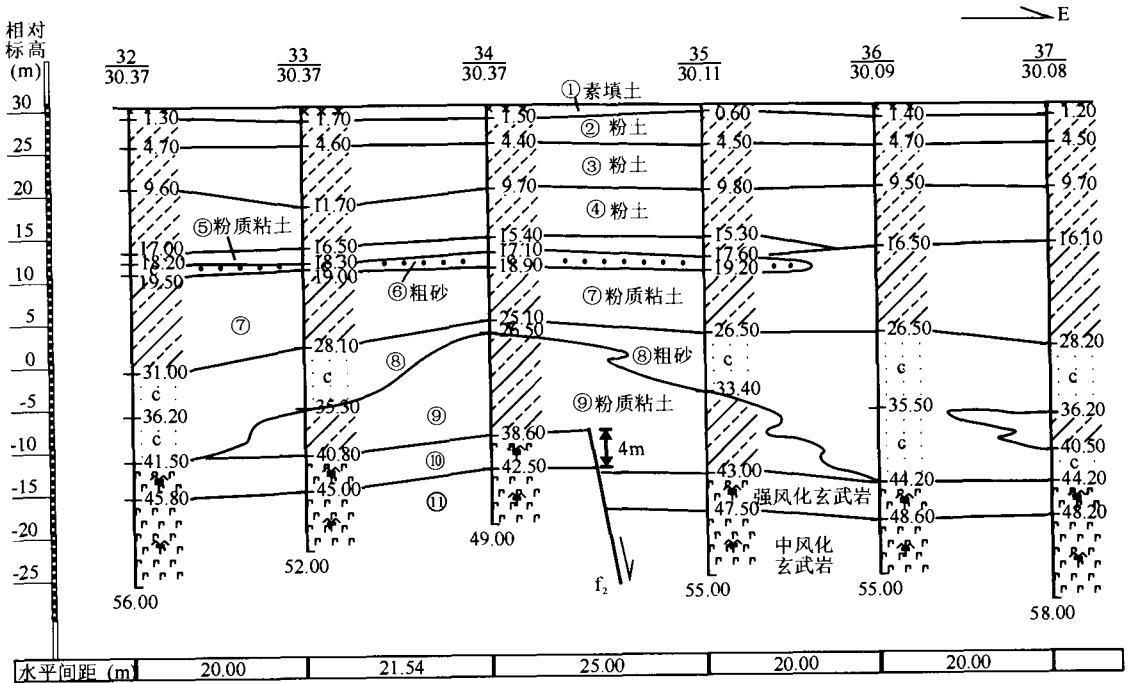


图 8 富华游乐园钻孔剖面图

Fig. 8 Borehole logs in Fuhua Amusement Park

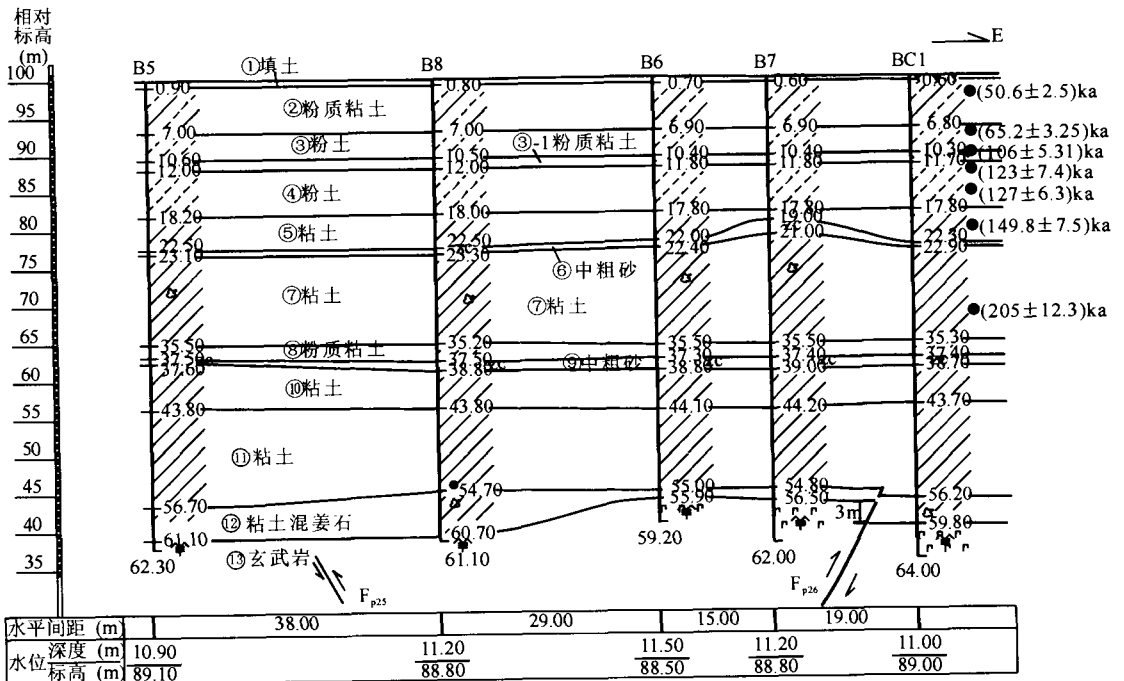


图 9 跨刘家庄断裂福寿西街浅层地震断点 F_{P26} 和 F_{P25} 钻孔地质剖面图

Fig. 9 Geological section of borehole F_{P26} and F_{P25}

3.6 白浪河断裂 (f_4)

白浪河断裂是一条隐伏断裂,长度大于 20km,走向北北东 (15° — 20°),根据本次工作所布设的多条浅层人工地震剖面和钻探验证,发现其主断裂面倾向东,局部向西,正断为主,倾角 50° — 80° 。断裂主要发育在基岩内部,在部分浅层人工地震剖面上断裂错断了基岩顶面或第四系底界面,但断裂仅进入第四系的下部层位,垂向断距可达 2.8m 左右。根据浅层人工地震勘探结果、断裂错动第四系情况以及覆盖层样品测年结果,分析认为该断裂第四纪早中期有一定的活动,但晚更新世以来无错断地层影响,不属于晚更新世活断层。

综上所述,在潍坊市活断层探测研究区内,包括沂沭断裂带西边界的两条主干断裂沂水-汤头断裂和郟部-葛沟断裂在内,未发现有晚更新世活断层,这些断裂仅表现出第四纪早中期的活动特征(图 2)。

4 地震构造环境评价

4.1 沂沭断裂带北段新生代与第四纪构造活动特征

位于安丘以北潍坊市周围区域的沂沭断裂带北段构造格局与南段一致,分东西两支,包括沂水-汤头、郟部-葛沟、安丘-莒县和昌邑-大店 4 条断裂,构成了济阳拗陷和鲁东隆起的分界。从潍坊向北至莱州湾沿断裂带发育了一系列受其控制的新生代凹陷和凸起,如潍坊凹陷、潍县凸起、潍北凹陷等,该断裂带向北延伸进入莱州湾内亦具有类似的格局,明显控制了新生代凹陷与凸起的发育(蔡东升等, 2001; 程有义等, 2004; 韩文功等, 2005; 吴时国等, 2006), 两侧的主走滑断裂长且直,在沿断裂的一个狭窄带内,影响新近纪以来地层的浅部断裂同时褶皱十分发育,发育典型的花状构造。这些说明沂沭断裂带北段在第三纪时期具有明显的构造活动,显示出分界构造性质。

但在第四纪这一区域的各个第三纪凹陷与凸起之间的差异性活动并不显著;虽然从第四纪地层厚度等资料分析,这一区域仍有一定的继承性活动,但已十分微弱。而本项目所开展的隐伏活断层详细探测工作则以确凿的资料证实了研究区内沂沭断裂带的西侧两条边界断裂沂水-汤头断裂和郟部-葛沟断裂在晚更新世以来均不活动,仅具有第四纪早中期活动特征。另外,在该断裂带内部以及穿过断裂外围的一些次级断裂,如寒亭断裂、潍县断裂、白浪河断裂和昌乐断裂等,在晚更新世以来均不活动。在莱州湾内虽然与陆地沂水-汤头断裂和郟部-葛沟断裂相对应的主干断裂在第四纪甚至晚更新世仍具有明显的活动,但已受到北东向和近东西向次级断裂的强烈改造。以上事实说明沂沭断裂带北段西侧的沂水-汤头断裂和郟部-葛沟断裂在第四纪晚期以来的构造活动已经被其它的构造所替代。在这一区域内沂沭断裂带在第四纪晚期以来的活动主要表现在东侧的安丘-莒县断裂上,与其中段的特征类似,在安丘以北直至莱州湾凹陷内该断裂由一系列的右阶斜列的次级断裂组成,具有右旋走滑运动特征,明确错断了晚更新世晚期以来至全新世早期的地层(王志才等, 2005; 2006),表明郟部断裂带东支断裂在这一地区构造活动的一致性和连贯性;在安丘以北以至莱州湾内的北北东向安丘-莒县断裂(莱州湾内称为龙口断裂)仍是占主导地位的活动断裂。

4.2 现代小震活动特征

为研究地震活动与构造的关系,本项目对包括沂沭断裂带安丘以北段在内的较大区域进行了小震精定位研究¹,研究范围如图 10 所示。自 1970 年建立测震台网以来,这一区域内共

1 周翠英, 2006. 潍坊市活断层探测与地震危险性评价项目地震活动性研究报告.

记录到 $M_L \geq 2.0$ 级地震 148 次, 其中 2.0—2.9 级地震 131 次; 3.0—3.9 级地震 16 次; 4.0 级以上地震 1 次, 即 1985 年 5 月 8 日发生在益都附近的 M_L 4.1 级地震。现代地震活动在时间上呈现密集与稀疏交替活动, 具有韵律性活动特点; 1988 年以后至今, 基本呈现随机活动状态。

对具备资料条件的 $M_S \geq 2$ 级地震以双差定位方法重新定位 (图 10), 重新定位后的震中有序性增强, 除了明显在断裂交汇部位集中分布外, 沿双山-李家庄断裂和沂沭断裂带东侧的景芝断裂分布较集中。从精定位后的现代小震震中分布图看, 沿安丘-莒县断裂, 安丘至昌邑以北几乎无小震活动, 形成了一个相对空白区段, 有可能说明该断裂段正处于闭锁状态。

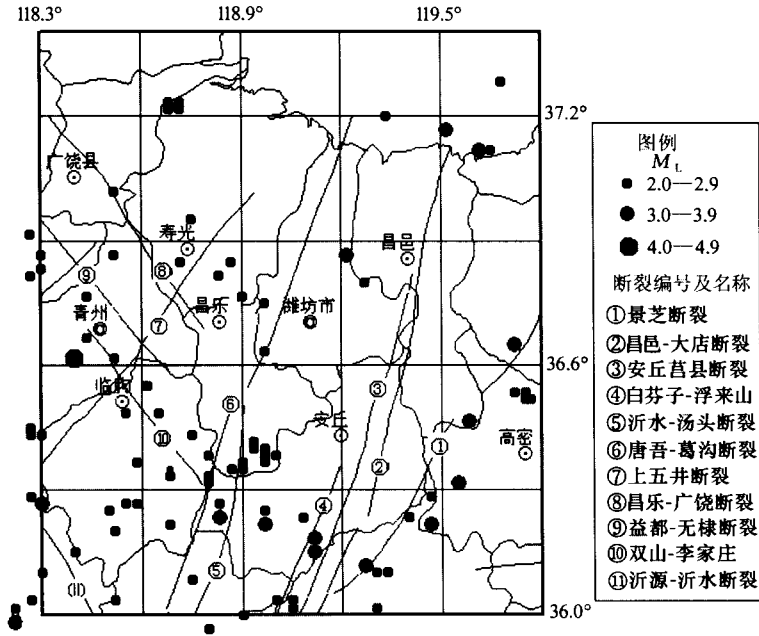


图 10 工作区小震 ($2.0 \leq M < 4.9$) 震中分布图

Fig. 10 Distribution of the epicenters ($2.0 \leq M < 4.9$) in the study area

4.3 沂沭断裂带北段地震构造环境评价

沂沭断裂带是中国东部最为重要的活动构造带, 构成了华北活动地块区华北平原活动地块与鲁东-黄海活动地块之间的二级边界断裂带 (邓起东等, 2002; 张培震等, 2003; 韩竹军等, 2003)。该断裂带在地球物理场上具有明显的反映, 是重力、航磁的异常梯度带; 根据深地震测深工作 (张碧秀等, 1988) 这一断裂带具有切割地壳的深部构造特征。该断裂自中生代以来一直是山东乃至中国东部的主导性断裂构造, 晚更新世晚期以来断裂新活动主要集中在东侧的安丘-莒县断裂上, 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震就发生在该断裂的中段, 公元前 70 年安丘 7 级地震的发生也与该断裂带具有密切的关系。

此前曾有研究者认为安丘 7 级地震与双山-李家庄断裂有关 (王华林, 1990), 但我们最近的研究成果认为, 安丘-莒县断裂最新活动时代为晚更新世晚期至全新世早期, 无论是错断地层, 还是地貌表现均比双山-李家庄断裂要新 (晁洪太, 1998; 王志才等, 2005), 是该地区占主导地位的活动断裂。另外, 我们对这次地震的史料记载进行了重新的收集研究, 地震强烈影响的范围较大, 包括了北海、琅琊郡的大部, 值得注意的是, 地震强烈影响区的长轴方向是北北东向, 正是沿着安丘-莒县断裂分布, 而宏观震中位于郯庐断裂带上。因此, 我们

认为公元前安丘 7 级地震的发震构造很可能是安丘-莒县断裂。在安丘附近及以北段, 安丘-莒县断裂的最新活动时代为晚更新世晚期至全新世早期, 具备发生强震的构造条件。周本刚等 (1997) 曾推荐使用 Wels 等 (1994) 的关系式计算活断层的潜在最大震级:

$$M_L=4.34+1.54\times\lg L$$

式中, L 为活断层的分段长度; M_L 为估算的最大潜在地震震级。如果 L 取 100km, 则震级可达到 7.4 级。

在本次工作已获得新资料的情况下, 本文认为有必要对原第四代地震区划图中包括整个沂沭断裂带的淮北 6.5 级潜在震源区进行细化, 建议以沂沭断裂带纵向中间线为界分为东西两个潜源区: 东侧包含安丘-莒县断裂, 为震级上限 7 级的潜在震源区; 西侧包括沂水-汤头断裂和郟部-葛沟断裂。如前所述, 西区内未发现晚更新世以来活动断裂, 各主要断裂仅在第四纪早、中期有一定活动, 按照山东地区的经验, 早-中更新世活动的断裂仅对 5 级左右的地震有一定的控制作用 (晁洪太等, 1997), 但是考虑到是在沂沭断裂带这一具有深部构造背景的边界断裂带上, 西侧的潜在震源区仍保持 6.5 级震级上限不变。

5 结论

在潍坊市研究区内未发现沂水-汤头断裂和郟部-葛沟断裂等主要隐伏断裂错动晚更新世以来地层的证据, 均不属于晚更新世活断层。沂沭断裂带北段在晚更新世以来的新活动主要表现在安丘-莒县断裂上, 该断裂最新活动时代为晚更新世至全新世早期, 它在控制地貌、最新地层沉积与变形等方面表明, 北北东向断裂活动是这一区域的主导活动构造, 具备强震发生的构造条件。

致谢: 本项目在野外探测过程中还有山东省地震工程研究院其他多位同事参加; 浅层人工地震和电法勘探实施单位有中国地震局地球物理勘探中心、中国地震台网中心和中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所; 此外, 中国地震局地质研究所、潍坊康平工程地震研究所和山东省地震分析预报中心的多位同志也参加了项目工作, 在此向他们表示衷心的感谢!

参考文献

- 蔡东升, 罗毓晖, 姚长华, 2001. 渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义. 石油学报, 22 (2): 19—25.
- 晁洪太, 李家灵, 崔昭文, 1992. 鲁中地区北西向断裂及其第四纪晚期的活动特征. 地震学刊, 2 期: 1—10.
- 晁洪太, 李家灵, 崔昭文等, 1994a. 郟庐断裂带中段全新世活断层的几何结构与分段. 见: 国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究 (3). 北京: 地震出版社, 180—190.
- 晁洪太, 李家灵, 崔昭文等, 1994b. 郟庐断裂带中段全新世活断层的特征滑动行为与特征地震. 内陆地震, 8 (4): 297—304.
- 晁洪太, 王铨, 李家灵等, 1997. 《山东省地震构造图》、《山东省新构造图》说明书. 济南: 山东省地图出版社.
- 晁洪太, 1998. 第四纪地层中活断层的显微构造标志、隐性活断层及其应用研究. 博士学位论文.
- 晁洪太, 于慎谔, 李家灵等, 2001. 山东半岛地区活断层研究. 东北地震研究, 17 (4): 1—8.
- 陈国星, 高维明, 1988. 沂沭断裂带现代活动特征及其与强震构造的关系. 中国地震, 4 (3): 130—135.

- 程有义, 李晓清, 汪泽成等, 2004. 淮北拉分盆地形成演化及其对成油气条件的控制. 石油勘探与开发, **31** (6): 32—35.
- 邓起东, 张培震, 冉勇康等, 2002. 中国活动构造基本特征. 中国科学 (D 辑), **32** (12): 1020—1030.
- 邓起东, 徐锡伟, 张先康等, 2003. 城市活动断裂探测的方法和技术. 地学前缘, **10** (1): 93—104.
- 方盛明, 张先康, 刘保金等, 2002. 探测大城市活断层的地球物理方法. 地震地质, **24** (4): 606—613.
- 方仲景, 计凤桔, 向宏发等, 1976. 郯庐断裂带中段第四纪断裂活动特征与地震地质条件述评. 地质科学, 4 期: 354—365.
- 高维明, 李家灵, 孙竹友, 1980. 沂沭大陆裂谷的生成与演化. 地震地质, **2** (3): 11—18.
- 高维明, 郑郎荪, 李家灵等, 1988. 1668 年山东郯城 8.5 级地震的发震构造. 中国地震, **4** (3): 9—15.
- 国家地震局地质研究所, 1987. 郯庐断裂带. 北京: 地震出版社.
- 韩文功, 季建清, 王金铎等, 2005. 郯庐断裂带古新一早始新世左旋走滑活动的反射地震证据. 自然科学进展, **15** (11): 1383—1388.
- 韩竹军, 冉勇康, 徐锡伟, 2002. 隐伏活断层未来地表破裂带宽度与位错量初步研究. 地震地质, **24** (4): 484—494.
- 韩竹军, 徐杰, 冉勇康等, 2003. 华北地区活动地块与强震活动. 中国科学 (D 辑), **33** (增刊): 108—118.
- 何宏林, 宋方敏, 李传友等, 2005. 郯庐断裂带莒县胡家孟晏地震破裂带的发现. 地震地质, **26** (4): 630—637.
- 江娃利, 刘仲温, 李咸业等, 1991. 山东汤头断层全新世右旋走滑的新证据. 地震地质, **13** (2): 147—151.
- 李家灵, 晁洪太, 崔昭文等, 1994. 1668 年郯城 8¹/₂ 级地震断层及其破裂机制. 地震地质, **16** (3): 230—237.
- 马保起, 舒赛兵, 刘光勋, 2004. 山东半岛东北部新发现近 EW 向活断层. 地震地质, **26** (4): 639—644.
- 宋方敏, 杨晓平, 何宏林等, 2005. 山东安丘-莒县断裂小店子-茅埠段新活动及其定量研究. 地震地质, **27** (2): 200—211.
- 王华林, 1990. 公元前 70 年诸城-昌乐地震发震构造的初步研究. 地震学刊, 3 期: 100—103.
- 王来明, 宋明春, 王沛成, 2002. 胶南-威海造山带研究进展及重要地质问题讨论. 山东地质, 18 期: 3—4.
- 王志才, 石荣会, 晁洪太等, 2001. 鲁中南隆起区第四纪晚期断裂活动特征. 海洋地质与第四纪地质, **21** (4): 95—102.
- 王志才, 贾荣光, 孙昭民等, 2005. 沂沭断裂带安丘-莒县断裂安丘-朱里段几何结构与活动特征. 地震地质, **27** (2): 212—220.
- 王志才, 邓起东, 杜宪宋等, 2006. 莱州湾海域郯庐断裂带活断层探测. 地震学报, **28** (5): 493—503.
- 吴时国, 余朝华, 邹东波等, 2006. 莱州湾地区郯庐断裂带的构造特征及其新生代演化. 海洋地质与第四纪地质, **26** (6): 101—110.
- 夏东兴, 刘振夏, 王揆洋等, 1995. 渤海东部更新世末期以来的沉积环境. 海洋学报, **17** (2): 86—92.
- 徐杰, 宋长青, 高战武, 1999. 营口-潍坊断裂带新生代活动的特征. 地震地质, **21** (4): 289—300.
- 徐锡伟, 计凤桔, 于贵华等, 2000. 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. 地震地质, **22** (1): 9—19.
- 徐锡伟, 于贵华, 马文涛等, 2002. 活断层地震地表破裂“避让带”宽度确定的依据与方法. 地震地质, **24** (4): 470—483.
- 张碧秀, 汤永安, 1988. 沂沭断裂带地壳结构特征. 中国地震, **4** (3): 16—22.

- 张国民, 张培震, 2000. “大陆强震机理与预测”中期学术进展. 中国基础科学, 10 期: 4—10.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚等, 1998. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社.
- 张培震, 1999. 中国大陆岩石圈最新构造变动与地震灾害. 第四纪研究, 5 期: 404—413.
- 张培震, 邓起东, 张国民等, 2003. 中国大陆的强震活动与活动地块. 中国科学 (D 辑), 33 (增刊): 12—20.
- 张祖陆, 1995. 渤海莱州湾南岸滨海平原的黄土. 海洋学报, 17 (3): 127—134.
- 周本刚, 张裕明, 董瑞树等, 1997. 划分潜在震源区的地震地质规则研究. 中国地震, 13 (3): 241—252.
- 周本刚, 冉永康, 环文林等, 2002. 山东海阳断裂东石兰沟段晚更新世以来地表断错特征与最大潜在地震估计. 地震地质, 24 (2): 159—166.
- 中国地震局, 2005. 中国地震活动断层探测技术系统技术规程.

Study on Blind Faults in Weifang Urban Area

Jia Rongguang^{1,2}, Wang Zhicai¹, Wang Jian¹, Feng Zhize¹, Liu Xia¹,
Zhai Zhenghong³, Zhu Jianya¹, Jiang Zaofeng¹ and Wu Ziquan¹

1) Institute of Earthquake Engineering of Shandong Province, Jinan 250014, China

2) College of Geo-info Science and Eng., SUST, Qingdao 266510, China

3) Earthquake Administration of Weifang City Weifang 261041, China

Abstract Active faults in Weifang city and surrounding areas are studied with geophysical surveys such as shallow artificial seismic prospecting, electrical exploration and combined with engineering drilling. Six main faults are detected including Yishui-Tangtou fault, Tangwu-Gegou fault, Hanting fault and Weixian fault, etc. The latest active age is determined by OSL, TL and ESR dating techniques. No active fault has been found so far in Weifang urban area. Our results provide a scientific basis for land utilization and city planning.

Key words: Active fault exploration; Yishu fault zone; Hidden active fault; Weifang