

郭玉贵, 邓志辉, 尤惠川, 黄永华, 刘保华, 楚全芝, 丁志峰, 唐方头, 吴金龙, 金秉福, 秦小光, 孟繁友, 2007. 青岛沧口断裂的地质构造特征与第四纪活动性研究. 震灾防御技术, 2(2): 102—115.

# 青岛沧口断裂的地质构造特征 与第四纪活动性研究<sup>1</sup>

郭玉贵<sup>1)</sup> 邓志辉<sup>2)</sup> 尤惠川<sup>3)</sup> 黄永华<sup>1)</sup> 刘保华<sup>4)</sup> 楚全芝<sup>2)</sup>  
丁志峰<sup>3)</sup> 唐方头<sup>5)</sup> 吴金龙<sup>4)</sup> 金秉福<sup>6)</sup> 秦小光<sup>7)</sup> 孟繁友<sup>1)</sup>

- 1) 青岛市地震局, 青岛 266061
- 2) 中国地震局地质研究所, 北京 100029
- 3) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081
- 4) 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061
- 5) 中国地震局地壳运动监测工程研究中心, 北京 100036
- 6) 鲁东大学, 烟台 250014
- 7) 中国科学院地质地球物理研究所, 北京 100029

**摘要** 本文根据青岛市活断层探测与地震危险性评价项目初查阶段第四纪地层分析、遥感影像解译、地球化学探测、地质地貌调查与探槽开挖、浅层地震勘探与钻孔探测、地质年代测定等获得的丰富的第一手资料, 对青岛沧口断裂的地质构造特征和第四纪活动性进行了详细分析与综合研究, 结果表明: 沧口断裂经历多期构造变动, 是本区的重要断裂之一, 它由多支断层组成, 控制了中生代的火山活动、盆地沉积和岩浆侵入以及晚第四纪的盆地沉积、山体隆升和水系发育; 第四纪以来, 沧口断裂的主要活动发生于中更新世晚期至晚更新世早期, 表现出中高角度向南东倾的逆冲活动特点, 错断了上更新统底面 1—6m, 而最新活动时代为晚更新世中期, 以走滑活动为主, 垂直错距 0.2—1.1m。

**关键词:** 断裂 地质构造 第四纪活动性 青岛 浅层地震勘探 槽探 钻探

## 前言

美丽富饶的胶东半岛分布着许多长数十至百余公里的北北东-北东向断裂, 控制着这里的地质构造演化和山川地貌发育(山东省地质矿产局, 1991; 林伟等, 2003)。其中, 最为醒目的是贯穿半岛中部、长 100 余 km、宽 40—50km 的牟平-即墨断裂带, 它由多条大致相互平行、等间距排列的断裂组成, 控制了胶莱盆地的形成与演化, 第四纪以来不同断裂(段落)仍有不同的活动(黄永华等, 2007)。青岛沧口断裂就是这一断裂带南段的组成部分, 起自即

1 基金项目 国家发展和改革委员会、青岛市人民政府“青岛市活断层探测与地震危险性评价”项目资助

【收稿日期】2007-03-25

【作者简介】郭玉贵, 男, 生于 1961 年。博士, 研究员。主要研究领域: 构造地质、海洋地质、地震地质和灾害地质。

E-mail: premierguo@hotmail.com; ygguo@public.qd.sd.cn

墨东北, 延至黄岛以南, 走向为北东-北北东, 长达 70km 以上, 是胶莱盆地(平原和胶州湾)与其东侧低山丘陵的地质-地貌分界线, 纵贯青岛城区, 控制着本区的新构造活动(山东省地震局, 1997)。

青岛地区开展过 1:20 万和 1:5 万的区域地质调查和水文地质勘察等基础性地质工作。然而, 长期以来对青岛地区断裂活动性的调查和研究却相当薄弱, 尽管在青岛市地震小区划和跨海大桥、地铁线路、海阳核电等工程场地的地震安全性评价过程中, 对包括沧口断裂的地质构造和新构造进行过一定程度的区域地质调查和断裂活动性研究, 但所取得的有价值的资料不多(周本刚等, 2002; 王红霞等, 2005a; 2005b)。并且, 地震安全性评价工作中的地质调查不够全面和详细, 构造研究不够深入, 对断裂活动性缺乏足够客观的认识(如过去认为这里没有晚第四纪以来的活动断层)。本文将根据“青岛市活断层探测与地震危险性评价”项目初查阶段第四纪地层分析、遥感影像解译、地球化学探测、地质地貌调查与探槽开挖、浅层地震勘探与钻孔探测、地质年代测定等方面获得的第一手资料, 对青岛沧口断裂的地质构造特征和第四纪活动性进行详细分析与综合研究。

## 1 地质构造特征

### 1.1 构造演化

青岛及邻近地区在大地构造上属华北地台胶辽断隆, 基底为元古代的变质岩系, 经吕梁运动固结形成; 古生代开始为地台发育时期, 长期处于构造隆起状态, 缺失古生代至三叠纪地层, 致使结晶基底大面积出露。

中生代中、晚期以来, 从地台发育进入新的构造发展阶段。滨太平洋构造系控制了本区地块的差异升降和沉积盆地的发育。西部出现胶莱坳陷, 接受浅海相和陆相沉积; 东部广泛出露燕山晚期花岗岩。构造比较简单, 北北东向和北西西向等多组脆性断层较为发育。

晚第三纪以来, 由于印度板块与亚洲大陆相互碰撞, 其影响通过青藏高原东北部传递到华北地区, 地台进一步解体。因此, 本区断裂的形成大多可以追溯至中生代, 经历了多个构造演化阶段, 控制着燕山期岩浆活动、喜马拉雅期火山活动及地貌形态与轮廓。

随着库拉-太平洋脊的最后消亡, 库拉板块的北北西向运动转变为太平洋板块的北西西-东西向运动, 加之受印度板块碰撞的叠加影响, 本区处于北东东-南西西向的构造挤压作用之下, 北北东-北东向构造从先前的左行走滑转变为右旋剪切构造, 一直延续至今。

### 1.2 地貌与新构造运动

断裂活动和块体运动及其控制的地貌形态与第四纪地层分布是新构造运动的主要表现。总体而言, 青岛及邻近地区山势不高, 以低山、丘陵和平原为主, 海拔较高的山峰多为孤立分布, 大致以沧口断裂为界划分为西北、东南两个不同的地貌分区。西北部地势较低, 多为海湾、第四系冲洪积与剥蚀平原, 海拔一般在 100m 以下; 东南部主要为花岗岩组成的低山丘陵区, 山势较高, 崂山山地海拔多在 250m 以上。

青岛及邻近地区新构造运动幅度不大, 表现为整体性抬升, 差异性活动较之中生代和早第三纪有明显的减弱趋势, 盆地和构造洼地内堆积有较薄的第四系, 在断裂活动、盆地形成、断块隆起与掀斜等方面表现出继承性特点, 构造带的新构造运动相对比较强烈, 崂山隆起还表现出间歇性特点, 形成了多级夷平面和台、阶地。主要的夷平面有唐县和临城两期, 海拔高度分别为 200m 左右和数十米, 断裂明显影响了唐县期夷平面, 主要表现为较缓且不连续

的地形转折,沿断裂常有线性展布的垭口、谷地等地形特征。

### 1.3 第四系地层

青岛及邻近地区第四系主要分布于海湾、盆地和沟谷等处,岩性变化较大,最大厚度近30m(图1),根据前人资料及本次第四纪地层划分结果,自上而下可划分出11个组:

**白云湖组(Qby):**全新统湖泊、沼泽相沉积物,为灰黑色粘土及砂质亚粘土等,最大厚度可达7m。覆于潍北组或基岩之上,呈平行不整合或侵蚀接触关系。主要分布于现代湖泊、大型水库及周围低洼地带。

**旭口组(Qxk):**全新统海相沉积物,为淡黄褐色细砂、中砂、砂砾石层等,厚度较小。覆于基岩之上,呈侵蚀接触关系。主要分布于海岸地带。

**潍北组(Qhb):**全新统海、陆交互相沉积物,为灰黄色、灰黑色含砾中粗砂、细砂及粉砂质粘土等,最大厚度可达23m。位于大站组、黑土湖组等地层之上。主要分布于河流入海口三角洲地带。

**沂河组(Qyh):**全新统河流相沉积物,为含砾混粒砂、砂砾石层等,厚度较小。横向上与临沂组、潍北组呈相变关系。主要分布于现代河床中。

**临沂组(Qly):**全新统河漫滩相沉积物,为黄褐色细砂、灰黄色含砾亚粘土、粗砂或砂砾石层。覆于山前组之上,横向上与潍北组呈相变关系。主要分布于青年水库一带。

**黑土湖组(Qht):**全新统湖沼相沉积物,为灰黑色粘土质粉砂、亚粘土,厚度小于4m。不整合于基岩之上,横向上与潍北组、临沂组呈相变关系。主要分布于西北边缘一带。

**楼山组(Qls):**上更新统洪冲积物,为灰色与褐黄色粘土、亚粘土、含砂亚粘土、粉砂、中粗砂及含泥砾石层等,厚度不超过10m。覆于大站组或基岩之上。主要分布于盆地内部。

**大站组(Qdz):**上更新统洪冲积物,为土黄色粘土、亚粘土、含砂亚粘土、中粗砂及含泥砾石层等,厚度不超过23m。不整合于基岩之上,主要分布于胶州城南一带。

**山前组(Qsq):**上更新统残坡积物,为灰黄皮砂质亚粘土、含砂亚粘土、砂砾石层等,厚度不超过23m。不整合于基岩之上,与大站组呈相变关系。主要分布于肖家一带。

**于泉组(Qyq):**中更新统洪积物,为“黄皮”砾石层,厚约1.9m。底部与小埠岭组呈平行不整合接触,顶部与山前组为整合接触。主要分布于青年水库一带。

**小埠岭组(Qxf):**下更新统冲积物,为“白皮”砾石层、土黄色粗砂细砾层、黄绿色含砾粘土层等。底部不整合于白垩系之上,顶部被于泉组覆盖。主要分布于青年水库一带。

为了建立区内第四纪地层标准剖面,奠定断裂活动性鉴定基础,在不同构造部位布设了4个控制性钻孔(图1)。钻探及测年结果表明,区内主要断层附近的典型构造洼地第四系为全新统和上更新统,缺失中、下更新统。

### 1.4 断裂构造与遥感影像特征

青岛及邻近地区发育一系列北北东向断裂,并有北西西向断裂与之交切。即墨断裂、沧口断裂、劈石口断裂等组成的北北东向构造带纵贯青岛城区,为区内的主导性断裂,经历了早期的强烈挤压与左旋走滑和晚期的以右旋剪切为主的构造活动,破碎带宽达数十米,第四纪地表断错现象经常可见;北西西向断裂形成较晚,规模最小,与北北东向断裂构成不对称的共轭构造(图1)。

对青岛及邻近地区TM影像的断裂构造背景进行了详细判读与分析后,结果表明:区内最重要的断裂构造是一系列北东-北北东西向断裂,此外北西、北西西、近东西和近南北向断

裂也比较发育 (图 2)。其中, 北东-北北东西向断裂具有延伸长、形迹明显、地形特征突出、控制山区主要沟谷走向的特点。由图 2 可见, 沧口断裂具有下列基本特征:

- ① 构成显著的地貌分界: 西为第四系堆积平原, 东为基岩山地, 新构造具有西降东升的特点。
- ② 由许多规模不一的平行断裂组成。走向上分布宽度发生变化, 还有分叉现象, 由多支断层组成。
- ③ 具压扭性特点。从断裂带由许多次级断裂构成、缺乏主干断裂、部分断裂多被第四系覆盖的特点分析, 断裂早期具有挤压 (逆冲) 性质, 后期转为压性走滑活动。
- ④ 延伸长、切割深, 形成早、持续活动时间长, 第四纪仍在活动。

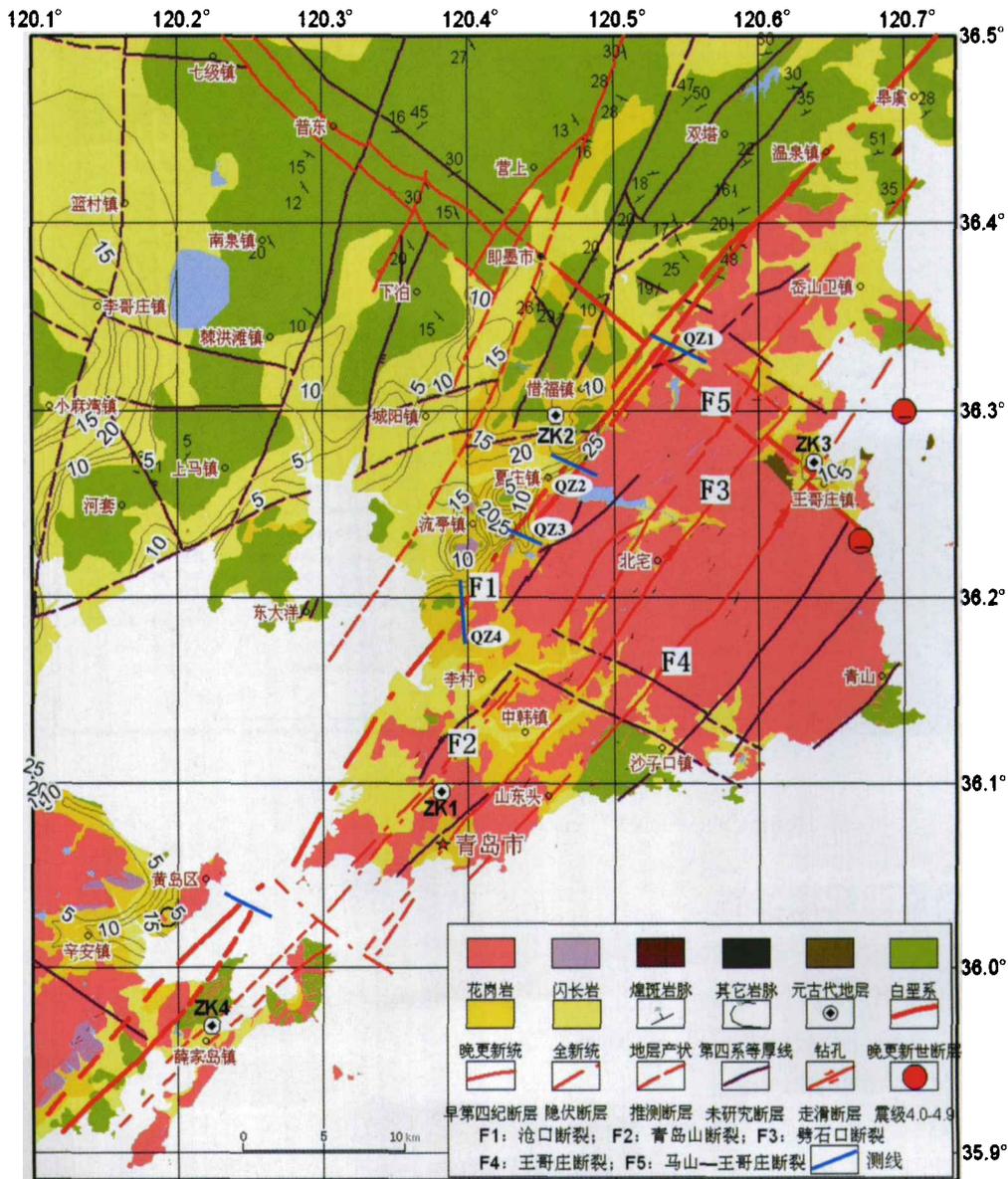


图 1 青岛地区地质构造图

Fig. 1 Geological map of Qingdao area, Shandong Province



图2 青岛地区卫星遥感影像及推测断裂解译图

Fig. 2 Distribution of faults inferred from remote-sense images in Qingdao area

## 2 断裂第四纪活动性

### 2.1 地球化学探测

地球化学探测的目的是为了查明目标断裂在隐伏区段通过的大致状况，包括断裂存在与否、位置、规模及断裂破坏程度（活动性）等。本文依据均方差二倍法绘制了气体曲线，用来识别气体异常与断裂的关系。

在院后—前金沟村、马家台、窝洛子—积米崖3个地段，分别布设了跨沧口断裂（不同段落）的化探测线，共发现3组各2个异常点。其中，前金沟村测线的氡（Rn）异常出现在两个局部地段（图3）。一个位于后金沟村东，异常测点主要分布在浅“U”字型低洼地中；另一个位于在前金沟村西，宽约50m。两个氡异常点相距1050m左右，可能对应于沧口断裂的

两条分支断层。

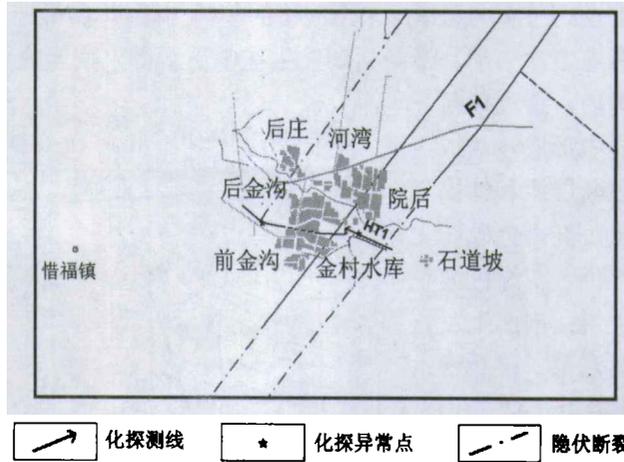


图 3a 前金沟村沧口断裂化探测线平面图

Fig. 3a Geochemical profile across the Cangkou fault at Qianjingou village

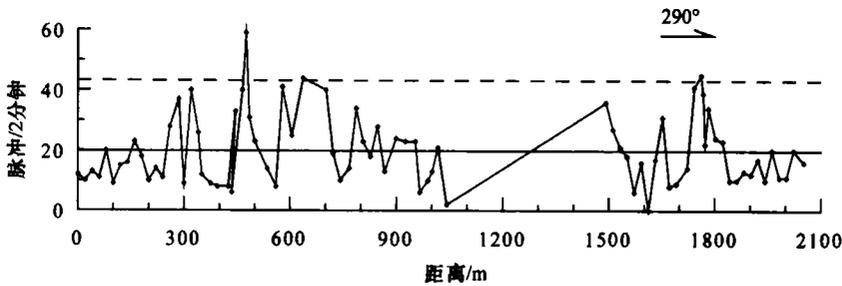


图 3b 前金沟村沧口断裂化探测线 Rn 值变化曲线图

Fig. 3b Plot of curve showing variation of Rn-value across the Cangkou fault at Qianjingou village

综合沧口断裂 3 个地段的地球化学探测结果，认为该断裂中段（马家台地区）活动性较强，北端次之，南部地区断裂规模和活动性都相对较弱。

## 2.2 地质地貌调查与探槽开挖

### 2.2.1 地质地貌表现

如前所述，沧口断裂是一条经历多期构造变动的区域性断裂，控制了中生代中、晚期的火山活动、盆地沉积和岩浆侵入；第四纪晚期，是控制青岛地区盆地沉积和山体隆升的主要断裂之一，其北西侧是晚第四纪沉降堆积区，南东侧是崂山隆升区。

沧口断裂北东起自即墨远洪沟，从即墨温泉至南岭段走向为北东 40° 左右，在沧口小庄以南，断裂走向为北北东向，经沧口邢台路青年教师公寓、人民印刷厂、沧口公园，后进入胶州湾，大致沿胶州湾南东一线延伸至黄岛。

沧口断裂带对宏观地貌有明显的控制作用：断裂西侧为剥蚀的准平原及胶州湾，对即墨-沧口断陷盆地的形成和胶州湾的陷落起着控制作用；东侧为侵蚀、剥蚀的山地和丘陵，对燕山期花岗岩的出露与分布有较大的影响。沿断裂有现代温泉分布。

### 2.2.2 地质剖面特征

在窑上村南，断裂形成坡中谷。谷中人工开挖剖面揭示：最新活动的断层面形成比较新鲜的断层泥，断错了上覆第四纪地层底部，上部未被断错（图 4）。沿最新活动断层面采集断

层泥样品，经 ESR 方法测定其年龄为距今  $(240 \pm 20)$  kaBP。被断错的第四纪坡积物底部，其 TL 年龄为距今  $(116.3 \pm 9.9)$  kaBP；未断地层的年龄为距今  $(76.2 \pm 6.5)$  kaBP。表明断裂在第四纪中、晚期有过多次活动，最新活动发生在中更新世末期至晚更新世早期。

在窑上村南的冲沟内，跨沧口断裂的探槽揭示：花岗岩中形成浅灰绿色构造碎裂岩、灰绿色断层泥和红褐色构造角砾岩；之上覆盖红褐色砾石层夹砂质亚粘土，土红色、灰绿色坡积砾石层与含砾亚粘土层；剖面上发育多条断层，断错了第四系。被断错的地层经 TL 测年，年龄为  $(41.54 \pm 3.53)$  kaBP；断层上覆地层的 TL 年龄为  $(20.13 \pm 1.71)$  kaBP。断层为正断性质，可见断距 15—20cm。

在太平庄陵园南、公路东侧，探槽开挖揭示的地质剖面如图 5 所示。层①为基岩风化壳，黄褐色，原岩结构清晰；层②为棕红色含粗砂亚粘土，夹砾石层；层③为棕红色粗砂亚粘土，砾石含量比层②增加，砾径最大 25cm；层④下部为黑灰色粗砂夹细砂质淤泥层，厚度约 20—30cm，呈透镜体状，属湖相沉积；层⑤为红黄色粗砂层；层⑥为铁灰色坚硬致密角砾粗砂岩屑，夹细砂粘土透镜体，断面处形成 1—3cm 厚的灰绿色粘土质薄膜（该透镜体主要为岩屑和砾石，几乎不含粘土，风化程度较低，与层②有明显的区别）；层⑦为砖灰色，含角砾、岩屑、以粘土为主的致密透镜体（该透镜体与层⑥透镜体的边界较清楚，与层②分界呈渐变过渡，但成份与层②明显不同，颜色差别也大），与断面接触处形成灰绿色薄膜；层⑧略显疏松，为土黄色含细砾亚砂土透镜体，位于层③之下；层⑨成份颜色可以与层⑦对比；层⑩为花岗岩顶部残留风化壳，时代可与层①对比，但风化程度较层①浅。

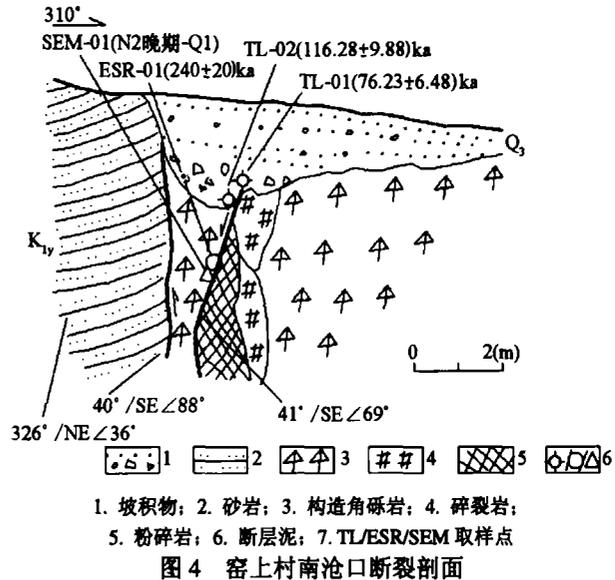
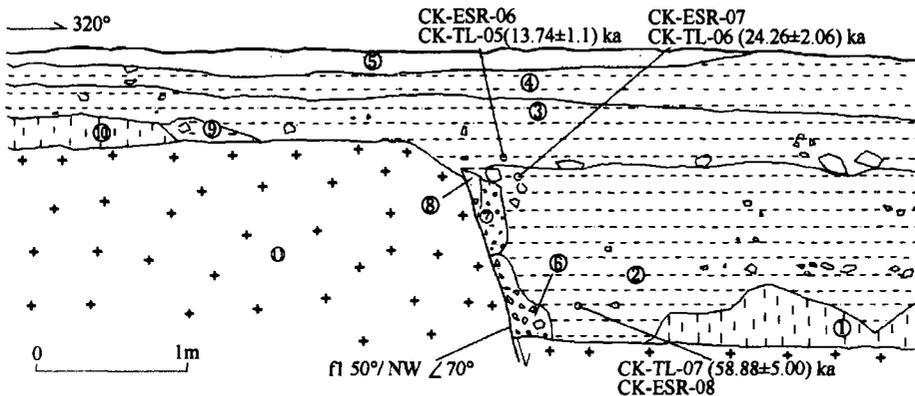


图 4 窑上村南沧口断裂剖面  
Fig. 4 Geological section of the Cangkou fault at south of Yaoshang village



图中层号内容见正文描述  
图 5 太平庄沧口断裂地质探槽剖面

Fig. 5 Geological section of the Cangkou fault in the trench at Taipingzhuang

被错断地层②底部(CK-TL-07)的 TL 年龄为  $(58.88 \pm 5.00)$  kaBP, 顶部(CK-TL-06)的 TL 年龄为  $(24.26 \pm 2.06)$  kaBP; 断层上覆地层③底部(CK-TL-05)的 TL 年龄为  $(13.74 \pm 1.17)$  kaBP, 表明断裂至少在晚更新世中期仍有活动。此外, 探槽揭示的视断距为 1.1m, 断层活动为正断性质。

在丹山 5 号楼建筑工地东侧约 20m, 人工开挖地基剖面中揭示出清晰的断层剖面(图 6)。断层断错土红色含砾亚粘土, 该层的 TL 年龄为  $(31.77 \pm 2.70)$  kaBP, 灰绿色断层泥的 TL 年龄为  $(33.30 \pm 2.83)$  kaBP, 表明该处断裂的最新活动发生在晚更新世中、晚期。

在黄岛花科子村, 断裂发育于花岗岩体内。断层发育厚约 3—5cm 的断层泥, 经 ESR 方法测定, 其年龄为距今  $(75 \pm 8)$  kaBP, 表明断裂在晚更新世早期仍有活动。

综合上述结果, 沧口断裂是青岛地区规模最大的、控制地质-地貌发育的晚更新世中期活动断层。

## 2.3 浅层地震勘探与钻孔探测

### 2.3.1 陆地浅层地震勘探与钻孔探测

跨沧口断裂布设了 QZ1、QZ2、QZ3 和 QZ4 四条陆地控制性浅层地震测线(测线位置见图 1), 均发现了断点, 共 15 个, 各断点的基本属性列于表 1, 图 7 是其中的主要断点特征。

从表 1 可看出, 各断点具有许多共同属性特征, 均错动了基岩反射波同相轴, 个别断点还表现出反射波杂乱或不连续, 有些断点呈“y”字型等组合形式, 断错现象比较清楚, 可信度比较高。各断点(f4-4 除外)的基岩顶面落差 1—6m 不等, 绝大部分断点埋深为 9—15m, 切错了基岩风化壳和上更新统底部, 其中 f2-1、f2-4 和 f3-1、f3-4 断点对上更新统的影响具有明显的断错特征。以中高角度的逆断层为主, 倾向多为南东方向; 近垂直的走滑断层也比较常见, 个别为伴生的正断层。

根据各断点的构造位置和具体特征, 判断 f1-1、f1-2、f2-2、f2-4、f3-1、f3-4、f4-2 和 f4-4 为主要断点, 组成沧口断裂的主要分支, 表现出中高角度向南东倾的逆冲活动特点, 错断了上更新统底面 1—6m, 上断点埋深 6—18m。因此, 沧口断裂为晚更新世活动断层。

在演礼村 QZ16 测线南段 CDP635#处的沧口断裂断点附近, 布设了 1 组 6 个深 19—50m、相邻孔距 5—10m 的钻孔, 进行联合地质剖面探测, 结果(图 8)揭示:

①断层确实存在无疑。首先, 两侧基岩明显不同, 分别为煌斑岩和火山碎屑岩; 其次, 5m 之内第四系底面落差达 10m 左右; 第四纪残坡积物与煌斑岩呈断层接触。

②6 个钻孔的地层岩性可明显地分为两组。西侧的一组 zk1 和 zk6 底部为风化的紫褐色火山岩, 顶面埋深达 22.3—24.4m, 之上堆积 13.5—15.7m 厚的浅紫色残坡积粘质角砾碎石, 再往上为紫红色、黄褐色冲洪积砂砾石和砂质粘土, 以及近地表的杂色填土; 东侧的一组 zk2—zk5 底部为风化的墨绿色、青灰色、黄绿色煌斑岩, 顶面埋深仅 12.4—16.0m, 之上堆积的

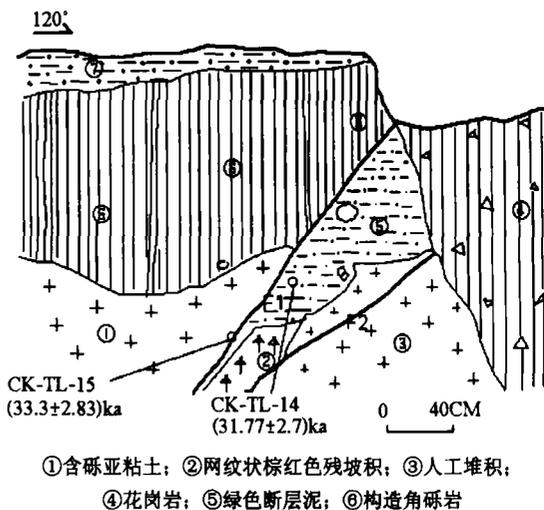


图 6 丹山 5 号楼地基东侧开挖坑内沧口断裂剖面

Fig. 6 Geological section of the Cangkou fault in trench at east of Danshan No.5 Building

黄褐色、黄绿色残坡积粘质角砾碎石厚度只有 3.6—5.1m, 浅部与西侧一样, 也是紫红色、黄褐色冲洪积砂砾石和砂质粘土, 以及杂色填土。

表 1 陆地浅层地震勘探发现的沧口断裂的断点属性

Table 1 Attributes for fault-point of the Cangkou fault by high-resolution seismic reflection profiling on land

断点编号		断点位置		视倾向	视倾角	性质	断点埋深	基岩落差	反射波组特征	置信度
		测线	CDP							
f1	f1-1	QZ1	436	SE	高	逆	9	1.3	基岩反射波同相轴错动	A
	f1-2		1722	SE	中	逆	16	2.6	基岩反射波同相轴错动	
f2	f2-1	QZ2w	379	SE	高	逆	14	3.1	Tg 反射波同相轴错动	B
			367	NW	高	逆	15	2.0	基岩反射波同相轴错动	
	f2-2	QZ2m	270		垂直	走	14	3.0	Tg 反射波同相轴错动	A
			176		垂直	走	11	2.8	基岩反射波同相轴错动	
			163		垂直	走	10	4.8	基岩反射波同相轴错动	
	f2-4	QZ2e	624	E	中高	逆	15	2.9	基岩反射波杂乱、错动	
f3	f3-1	QZ3w	170	W	垂直	走	10	6.2	基岩反射波同相轴错动	A
	f3-2	QZ3e	106	E	中高	正	18	5.4	基岩反射波同相轴错动	B
			186	E	中高	逆	11	2.0	基岩反射波同相轴错动	
	f3-4		262	E	中	逆	13	5.9	基岩反射波同相轴错动	A
f4	f4-1	QZ4	1914	N	垂直	逆走	7	2.0	Tg 反射波同相轴错动	A
	f4-2		1448	S	垂直	逆走	6	5.1	Tg 反射波同相轴错动	
	f4-3		1150	N	中低	逆	10	2.0	Tg 反射波同相轴错动	C
	f4-4		884	S	高	走	6		基岩反射波杂乱不连续	B
	f4-5		274	S	中	逆	9	2.2	Tg 反射波同相轴错动	

③在 zk1 与 zk5 之间, 存在一条近于直立的走滑断层, 兼有倾滑活动, 东升西降, 两侧基岩岩性完全不同; 基岩之上的残坡积物厚度有很大的差异, 表明该处断裂在残坡积物堆积期间具有强烈的倾滑活动; 之上的冲洪积物底部也被垂直错断约 2m, 在 zk1 钻孔该层位 (深 6.9—7.0m 和 9.7—9.9m 处) 取光释光样, 测得其年龄分别为  $(82.2 \pm 7.3)$  kaBP 和  $(113.8 \pm 11.5)$  kaBP。因此, 该处沧口断裂的强烈活动发生在晚更新世之前 (即中更新世), 晚更新世早期仍有明显的活动 (垂直错距约 2m), 考虑到断层近于直立, 以走滑活动为主, 不排除其在晚更新世中期也有较弱的活动。

### 2.3.2 海域地震勘探与钻孔探测

在 4 条海域地震测线的剖面上, 发现了沧口断裂的 4 组共 10 个断点, 各断点的基岩顶面落差 2—42m 不等, 断点埋深为 0—27m, 切错了基岩风化壳和上更新统底部, 倾角较陡。各断点的规模、倾向等特征略有差异。以造船厂—黄岛黄山嘴连线为界, 沧口断裂在海域可以分为两段: 北段为一组小断层组成的断裂带; 南段则表现为基岩落差极大的断阶, 正断性质。在 L4 和 L5 测线的断点上, 发现了上覆沉积层发生明显垂向位错的证据, 推测上更新统下部发生了 4—6m 的错动 (图 9)。因此, 海域部分的沧口断裂为晚更新世活动断层, 活动强度大于陆地部分。

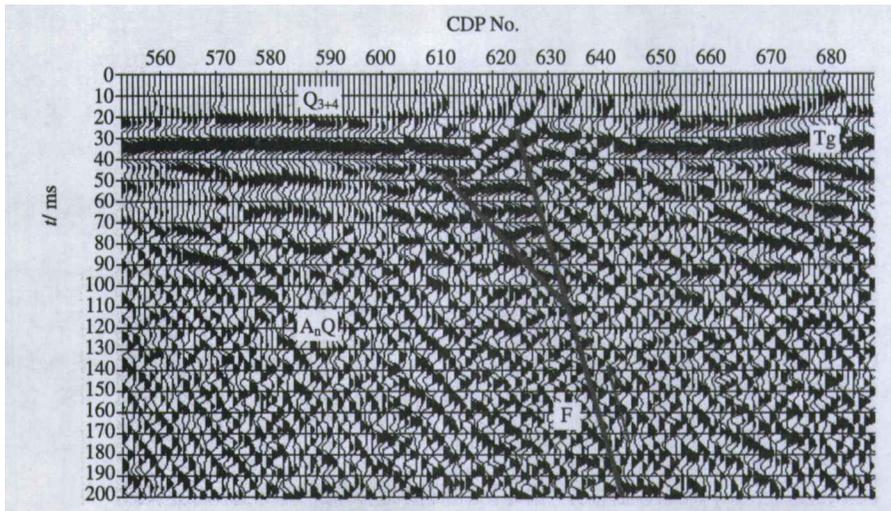


图 7a QZ2 测线东段沧口断裂 f2-4 断点

Fig. 7a Fault-point in f2-4 segment of the Cangkou fault in the east segment of QZ2 seismic reflection profile

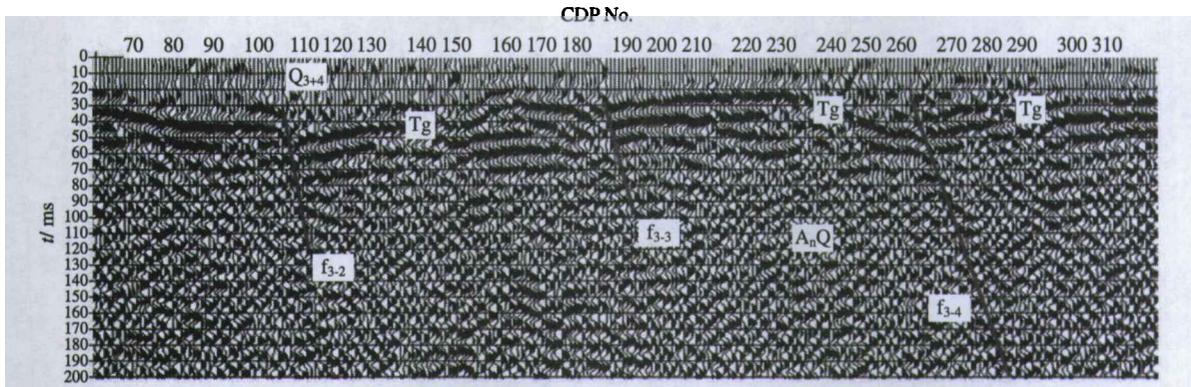


图 7b QZ3 测线东段沧口断裂 f3-2、3、4 断点

Fig. 7b Fault-points in f3-2, 3, 4 segments of the Cangkou fault in the east segment of QZ3 seismic reflection profile

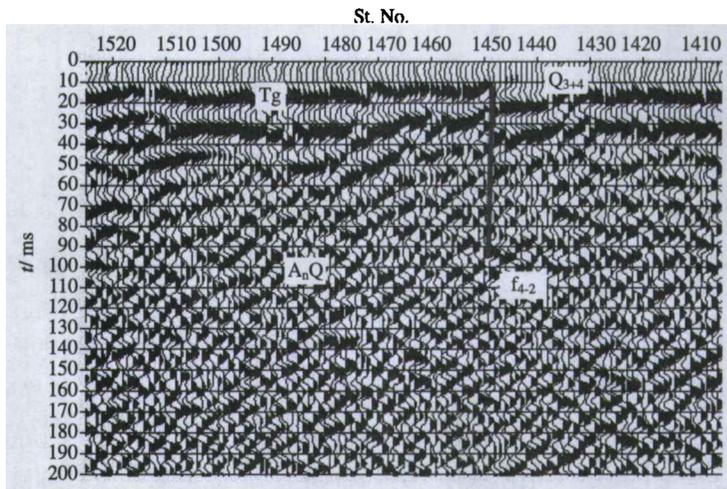


图 7c QZ4 测线沧口断裂 f4-2 断点

Fig. 7c Fault-point in f4-2 segment of the Cangkou fault on QZ4 seismic reflection profile

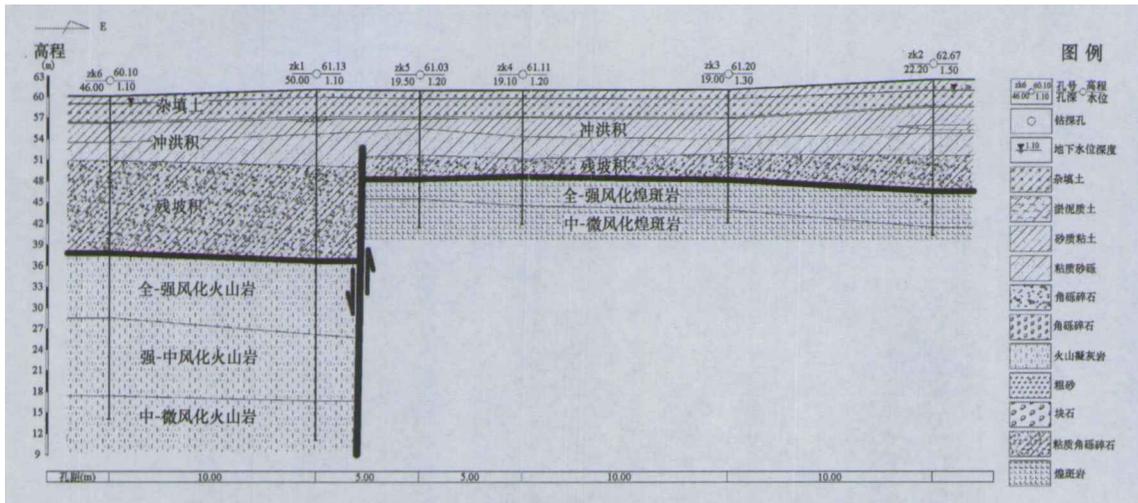


图 8 QZ16 测线发现的沧口断裂断点钻孔探测联合地质剖面

Fig. 8 Geological section from drilling log and QZ16 seismic reflection profile

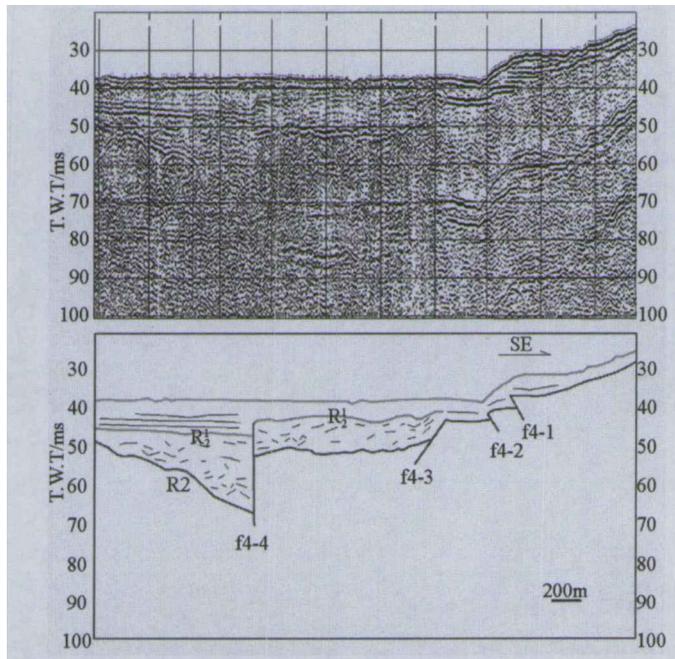


图 9 胶州湾海域地震测线 L4 揭示的沧口断裂断点

Fig. 9 The fault-points of Cangkou fault revealed by seismic surveying along line L4 in Jiaozhou bay

为了确定胶州湾海域沧口断裂的活动性，在地球物理探测的基础上，横跨断裂布设了 5 个钻孔。对 ZK1—ZK4 四个钻孔的沉积物综合分析及测年结果表明，所有钻孔都揭示了晚更新世以来的沉积地层、沉积相变化具有一致性，与物探结果有较好的可比性（图 10）：第一，4 个钻孔都可划分为下部的陆相沉积和上部的海相沉积两大层，两者的界限明显；第二，ZK1 孔界限深度未知，ZK2 孔界限位于 1.43m，ZK3 孔界限位于 0.15m，ZK4 孔界限位于 1.20m，海相沉积厚度很薄，与周围地层对比推测，该区域海相层可能遭受人工挖掘破坏；第三，下部的陆相沉积均为晚更新世地层，由下往上大体可以划分为 5 个亚层（I—V）（图 11），分属洪坡积相、冲积相、湖沼相 3 种不同沉积环境。

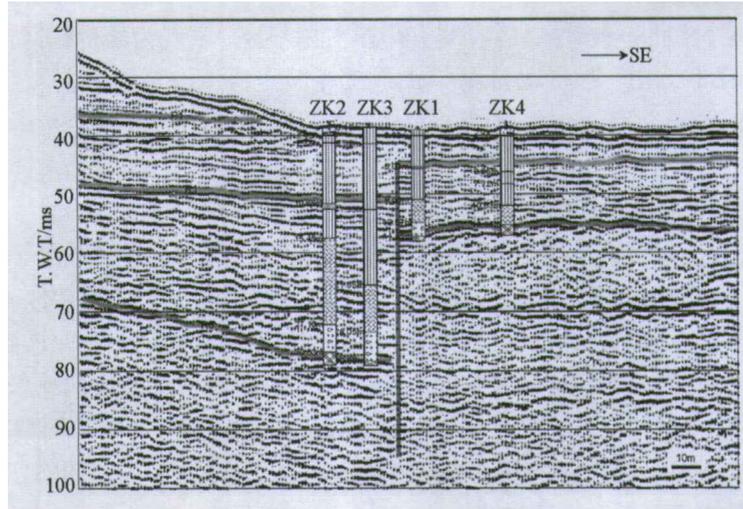


图 10 地震与钻孔联合剖面

Fig. 10 The combined profile for seismic survey and borehole data

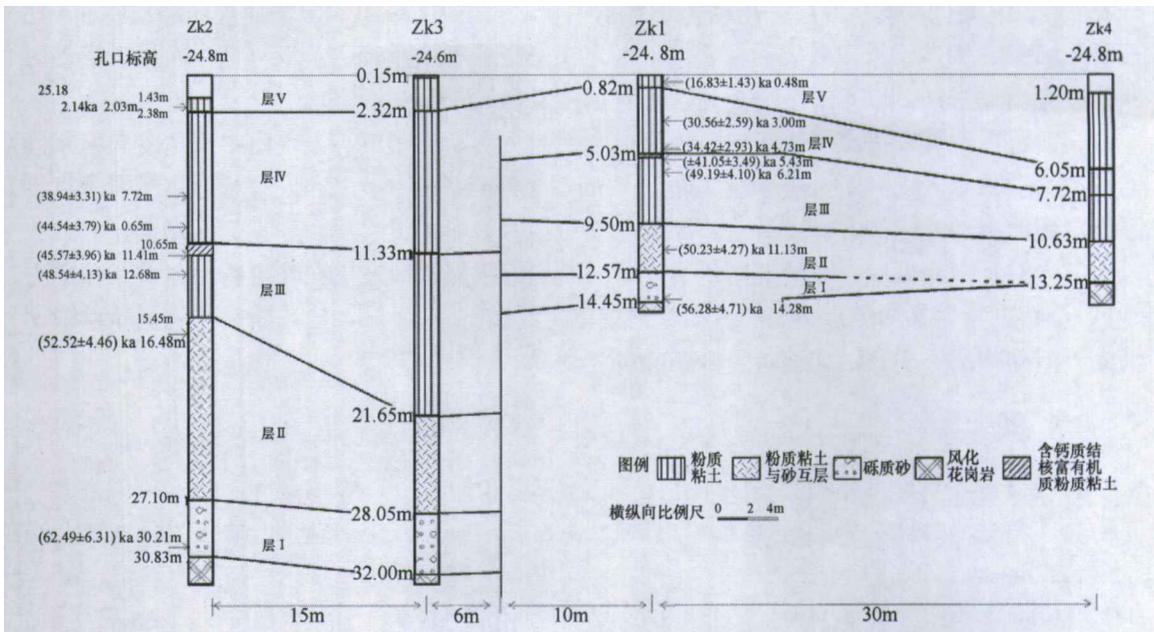


图 11 钻孔柱状联合地质剖面

Fig. 11 Geological borehole logs

根据钻孔的沉积岩相特征和测年数据结果，并结合青岛地区陆地第四纪地层划分情况，在图 11 中地层 I 以粗砾砂为特征；地层 II 表现为若干砂层与粉质粘土层的互层，是晚更新世中期形成的冲洪积物，隶属于大站组；地层 III 和地层 IV 以粉砂质粘土为特征；地层 V 表现为一套砂层与粉质粘土层的互层，为晚更新世晚期冲洪积物，隶属于楼山组。

从图 11 中还可发现，钻孔 ZK2 和 ZK3 所揭示的同一岩性层基本位于同一水平面上，表明两孔之间无断层存在；钻孔 ZK1 和 ZK4 所揭示的同一岩性层也具有同样的特征，但其与 ZK2 和 ZK3 两个钻孔中的同一岩性层间存在明显的落差，表明其间有断层存在；最上部的不连续地层界面的年代为  $(41.05 \pm 3.49)$  kaBP，表明海域沧口断裂在晚更新世中期仍处于活动状态。由上而下，钻孔 ZK1 和 ZK3 中几个岩性界面的落差分别为：5.98m、12.10m、15.48m

和 17.55m, 且断层两侧同一岩性层的厚度也存在明显差异, 表现为西厚东薄, 说明该断裂为一同生断层; 从 62.49kaBP 到 41.05kaBP, 断层的视断距为 10.23m, 计算得到该处断层的垂直活动速率为 0.48mm/a。

### 3 结论

(1) 沧口断裂是一条经历多期构造变动的区域性断裂, 走向北东-北北东, 长达 70km 以上, 控制了中生代的火山活动、盆地沉积和岩浆侵入; 第四纪晚期, 是控制青岛地区盆地沉积和山体隆升的主要断裂之一, 断裂两侧的地形差异明显, 唐县期夷平面遭到破坏, 垂直差异幅度在数十米至近 200m, 代表了第四纪以来沧口断裂垂直活动幅度的总量。

(2) 沧口断裂北段窑上村一带, 沿断裂形成坡中谷和断层谷, 卫星影像极为清晰, 可见山梁被切错。断裂对水系发育有控制作用, 形成多个局部分水岭, 河流出现近直角转弯。沿断裂带存在多处露头泉水, 有地热温泉分布。

(3) 地质剖面观察和断层物质测年结果表明, 沧口断裂第四纪以来强烈活动发生在 (75—267) kaBP 之间; 被断地层的热释光年龄集中在 (31—79) kaBP, 上覆地层年龄集中在 (13—76) kaBP。因此, 沧口断裂的主要活动发生在中更新晚期至晚更新世早期; 而最新活动时代为晚更新世中期, 以走滑活动为主, 垂直错距 0.2—1.1m。

(4) 浅层地震勘探结果表明, 陆地沧口断裂由多支断层组成, 表现出中高角度向南东倾的逆冲活动特点, 错断了上更新统底面 1—6m, 上断点埋深 6—18m; 海域沧口断裂垂直错断上更新统下部 4—6m。因此, 沧口断裂隐伏段也是晚更新世 (早、中期) 活动断层。

(5) 钻孔探测证实, 在陆地隐伏区, 沧口断裂的强烈活动发生在晚更新世之前 (即中更新世), 晚更新世早期仍有明显的活动, 垂直错距约 2m; 在海域, 沧口断裂在晚更新世中期仍处于活动状态, 垂直活动速率为 0.48mm/a。

### 参考文献

- 郭玉贵, 辛永忠, 1998. 青岛地区断裂分形分析. 非线性动力学学报, 5 (增刊): 274—277.
- 黄永华, 尤惠川, 宋毅盛, 郭玉贵, 环文林, 2007. 山东胶东半岛地区断裂最新活动性研究. 震害防御技术, 2 (1): 39—49.
- 林伟, Michel Faure, 王清晨, 2003. 胶东半岛中生代构造演化的几何学和运动学. 地质科学, 38 (4): 495—505.
- 栾光忠, 段本春, 1999. 青岛及其邻区 NE、NW 向断裂的活动性研究. 青岛海洋大学学报 (自然科学版), 29 (4): 727—732.
- 山东省地质矿产局, 1991. 山东省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1—639.
- 山东省地震局, 1997. 山东省新构造图及说明书. 济南: 山东省地图出版社, 1—15.
- 王红霞, 郭玉贵, 2005a. 青岛马山-王哥庄断裂带构造活动性分析. 地球物理学进展, 20 (3): 630—634.
- 王红霞, 郭玉贵, 2005b. 山东沿海及近海地区主要地质灾害类型分析. 青岛海洋大学学报, 35 (5): 751—756.
- 周本刚, 冉勇康, 环文林, 冉洪流, 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.

## Geological Features and Quaternary Activities of Cangkou Fault in Qingdao, China

Guo Yugui<sup>1)</sup>, Deng Zhihui<sup>2)</sup>, You Huichuan<sup>3)</sup>, Huang Yonghua<sup>1)</sup>,  
Liu Baohua<sup>4)</sup>, Chu Quanzhi<sup>2)</sup>, Ding Zhifeng<sup>3)</sup>, Tang Fangtou<sup>5)</sup>,  
Wu Jinlong<sup>4)</sup>, Jin Bingfu<sup>6)</sup>, Qin Xiaoguang<sup>7)</sup> and Meng Fanyou<sup>1)</sup>

1) Qingdao Municipal Seismological Bureau, Qingdao 266061, China

2) Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

3) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

4) The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China

5) National Earthquake Infrastructure Service, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

6) Eastern Shandong University, Yantai 250014, China

7) Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

**Abstract** Making use of abundant field survey/exploration data about Quaternary strata, geomorphology and satellite images, geological surveying/ trenching results, seismic reflection profiling, drilling results and geological dating, this paper discusses the geological features and Quaternary activities of Cangkou Fault in Qingdao, China. The research results make known that Cangkou Fault has undergone polygenetic tectonic variance, which is one of the key faults in the area. Cangkou Fault is consisted of several sub-faults, and controls the volcanic activity, sedimentation in the basin and magmatic intrusion in Mesozoic Era as well as the sedimentation in basin, uplifting and development of drainage system in the Late Quaternary Period. Since Quaternary the main activity of Cangkou Fault took place from the late Middle Pleistocene to early Late Pleistocene, which display the middle-high angular inclination to Southeast and thrust active features. This fracture staggered the bottom surface of upper Pleistocene Series for 1 – 6 m. The latest active time is the middle Late Pleistocene with the main feature of strike – slip and 0.2 – 1.1 m vertical displacement distance.

**Key words:** Fault; Geological structure; Quaternary tectonic activity; Qingdao; Shallow seismic investigation; Trenching; Drilling