

闫成国、王志胜、陈宇坤等,2014,天津汉沽断裂准确位置及活动性的综合探测研究,中国地震,30(4),501~513。

天津汉沽断裂准确位置及活动性的 综合探测研究

闫成国 王志胜 陈宇坤 任峰 高武平

天津市地震局,天津市河西区友谊路19号 300201

摘要 天津汉沽隐伏断裂属于滨海平原区隐伏断裂。本文采用化探、浅层地震勘探和联合钻孔剖面探测等方法,并结合年代样品测试对汉沽断裂进行了综合探测研究,首次查明了汉沽断裂的准确空间位置和晚第四纪活动性。探测结果表明,汉沽隐伏断裂最新上断点埋深25.8m,断距为2.15m。结合光释光年代样品测试结果,推断其最新活动时代为49.3ka~65ka BP,属晚更新世中期活动断裂。由于该断层是与主断层倾向相反的次级断层,可能并不是震源断层错动在地表的直接反映,同时汉沽断裂晚更新世早期以来的平均滑动速率为0.063mm/a,明显低于海河断裂东段晚更新世以来0.141mm/a的平均滑动速率,这都表明汉沽隐伏断裂的活动强度并不是很大,应是一具有中等活动强度的活动断裂。

关键词: 汉沽断裂 滑动速率 活动性 综合探测研究

[文章编号] 1001-4683(2014)04-0501-13 [中图分类号] P313 [文献标识码] A

0 引言

平原区隐伏断裂的准确定位和晚第四纪活动性研究是活动构造研究中一个重要且难度极大的研究课题(向宏发等,2000)。1966年河北邢台M7.2及1976年唐山M7.8地震均发生在不被充分关注的平原区隐伏断裂上,此后,平原区隐伏断裂成为活动构造研究的热点问题。

天津汉沽隐伏断裂位于天津滨海新区,被巨厚的第四系沉积层所覆盖,断层活动形迹被完全掩盖,很难获取断层准确的空间位置、上断点埋深、最新活动时代及滑动速率等。该断裂穿过人口与工业设施相对密集的天津滨海新区——汉沽城区。在1976年唐山地震的余震序列中,在该断裂附近曾发生过2次6.2级地震,但目前尚无关于该断裂空间位置和晚第四纪活动性研究的成果,因此查明该断裂准确的空间位置及晚第四纪活动性十分必要。

汉沽隐伏断裂上断点埋藏较深,无第四系地貌表现,对其准确定位和晚第四纪活动性探测研究难度极大。隐伏断裂的主要探测方法有地球化学探测、浅层地震反射法、钻孔勘探与

[收稿日期] 2013-04-27; [修定日期] 2014-10-29

[项目类别] 天津市“十一·五”地震安全基础工程(津发改投资[2009]1039号)、天津市矿产资源补偿费地质项目(国土房任[2012]14号)共同资助

[作者简介] 闫成国,男,1982年生,硕士,工程师,主要从事地震地质、活动构造的研究工作。

E-mail: yan Cheng04@sohu.com

地层年代学测试分析以及大型探槽技术等。天津滨海新区第四系覆盖层厚,断层上断点埋藏深,不适合大型探槽技术的应用,因此对汉沽隐伏断裂探测的主要手段为:地球化学探测、浅层人工地震、钻孔勘探与地层年代学测试分析等。这些手段是经过在本地区长期勘探实践证明有效的隐伏断层探测方法。本文采用上述探测方法对汉沽断裂进行了综合探测研究,首次查明了汉沽断裂的准确空间位置和晚第四纪活动性,取得了滨海平原区隐伏断裂研究的新进展。

1 汉沽隐伏断裂概况

天津汉沽断裂属于张家口-渤海断裂带。该断裂带西起张家口以西,向 SE 经怀来、南口、顺义、三河和天津等地,穿过渤海继续向 SE 一直延伸到蓬莱附近海域,总体呈 NW 向展布,全长 700 多千米(徐杰等,1998)。该断裂带形成于中生代,由近 20 条 NW-NWW 向断裂组成,总体表现为左旋走滑、兼有垂直拉张运动。

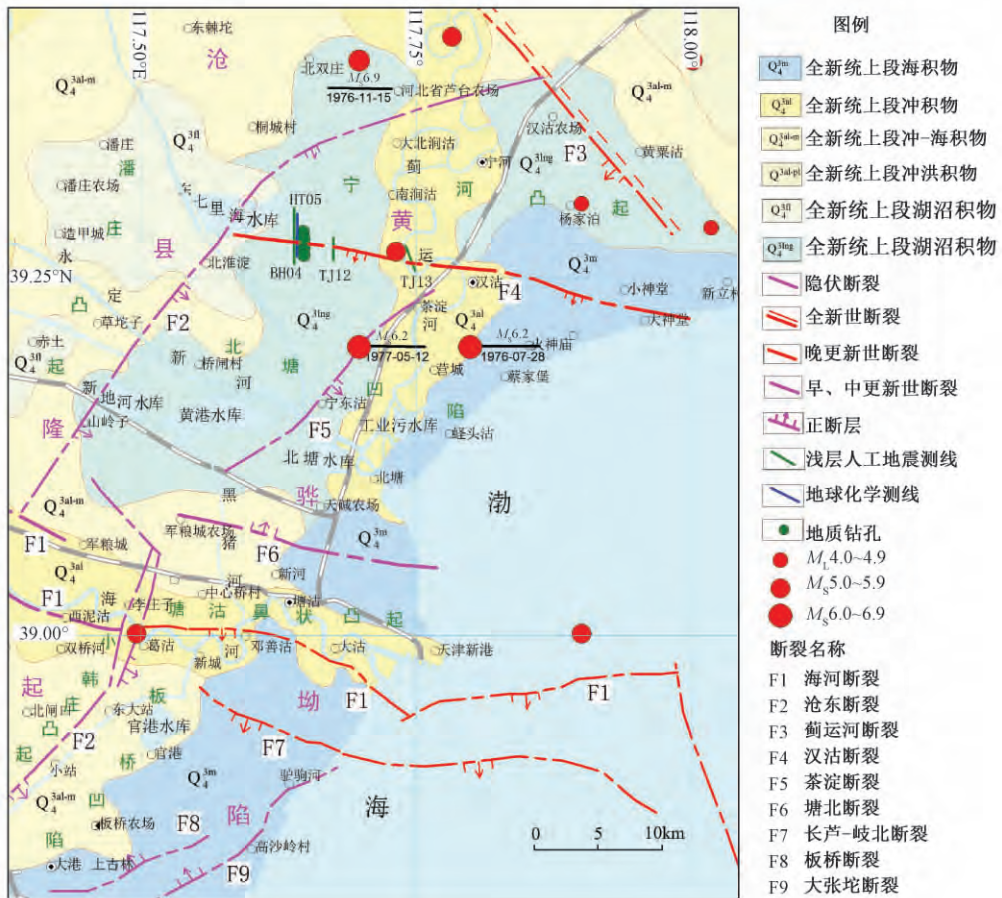


图 1 滨海新区地震地质与测线分布

汉沽断裂是黄骅坳陷北部的一条重要断裂(图 1),该断裂西起七里海附近的沧东断裂,向东经大八亩坨、清河农场,穿汉沽城区,一直延伸到海域,长约 30~40km,走向 NNW 或近

EW, 倾向南, 倾角 $30 \sim 70^\circ$, 属正断层, 在构造上是宁河凸起和北塘凹陷的分界断裂。该断裂在布格重力异常资料上显示为 NW 线性梯度带, 在航磁图上呈现出 EW 向异常。

中深层地震剖面显示汉沽断裂两侧地层有显著差别(图 2), 南侧新近系地层呈水平状, 构造微弱, 北部新近系断层十分发育, 断块活动强烈; 断面具有上陡下缓的特征, 切割中上元古界至新近系, 下古生界断距 $200 \sim 1000\text{m}$, 馆陶组断距 $50 \sim 200\text{m}$; 断错的最新地层为新近系明化镇组地层, 上断点埋深 400m 左右。

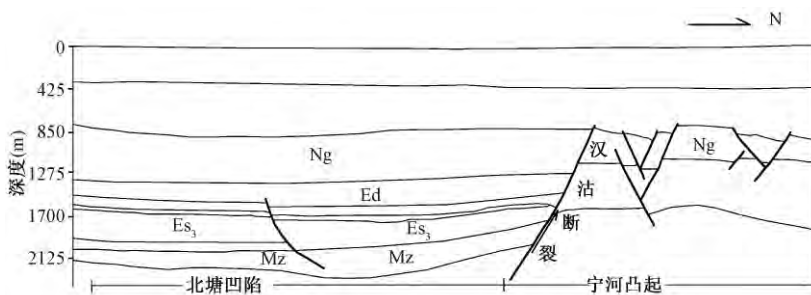


图 2 汉沽隐伏断裂人工地震解释剖面图

Mz: 中生界; Es₃: 古近系沙河街组三段; Ed: 古近系东营组; Ng: 新近系明化镇组

2 汉沽隐伏断裂的化探定位

利用断层气探测隐伏断裂在许多地区都有很好的应用。“九五”、“十五”期间, 在厦门(姚道平等, 2008)、福州(王广才等, 2002)、兰州(苏鹤军等, 2005)、海口(王志成, 2006)等城市活动断层探测中, 断层气方法是隐伏断层初勘阶段的控制性方法之一, 并取得了很好的效果; 王传远等(2004)将其应用于三河-平谷活动断层的探测, 证明了此方法在探测隐伏断层中的有效性。邵永新等(2007)应用该方法对天津海河隐伏断层进行了探测, 初步查明了海河隐伏断裂的空间位置及相对活动强度, 这充分表明即使是在覆盖层很厚的条件下, 通过断层气异常测量仍然能较好地判定断层的空间位置, 进而为断层的活动性研究提供依据。

本次地球化学探测中使用的仪器为 FD-3017 型镭 A 测氡仪, 本次野外测量中一个测点均取 2 个样, 取平均值作为该测点的数值。测点间距 50m 。测线位置见图 1。

经数据处理后, 将每条测线所有测点的平均值作为本测线的背景值。将背景值加 1 倍标准偏差定为异常下限, 即

$$AT = \bar{X} + S$$

式中 AT 为异常下限值; S 为标准偏差; \bar{X} 为平均值。

大八亩坨测线 (HT05): 该测线北起宁河县七里海镇齐家埠村北, 南止于小八亩坨村南, 测线方向自 NW 向 SE, 起、止点经纬度分别为 $39^\circ 17' 55.4''\text{N}$ 、 $117^\circ 38' 42.6''\text{E}$ 和 $39^\circ 16' 8.7''\text{N}$ 、 $117^\circ 38' 40.4''\text{E}$, 全长 3.2km 。该测线测量值波动较大, 最大峰值出现在 $2400 \sim 2700\text{m}$ 段, 汉沽断裂有可能从此段通过(图 3)。本研究还在跨汉沽断裂氡气测量的高值地段开展了浅层人工地震勘探和钻孔地层对比勘探。

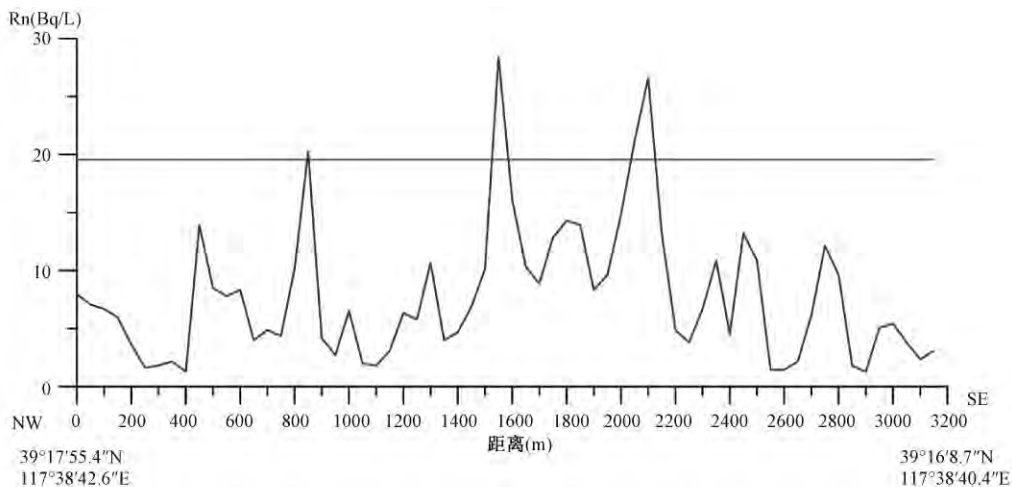


图3 跨汉沽断裂大八亩坨测线 (HT05) 土壤氡测量结果

3 浅层人工地震探测

浅层人工地震探测技术是城市隐伏断层探测的主要技术手段(方盛明等,2002、2006;何正勤等,2007),在我国开展的城市活动断层探测与地震危险性评价过程中,浅层地震探测技术在进行断层空间定位及活动性评价中发挥了极其重要的作用(卢造勋,2009)。但其在天津滨海新区这种第四系覆盖层巨厚的地区还有其应用中的特殊性。何正勤等(2007)指出,在第四系覆盖层中,浅部介质的横向变化较大,隐伏断层的错距又很小,在这种情况下,要准确地确定隐伏断层的错距、产状等基本参数,如果使用常规的反射地震勘探方法就较难实现,因此必须根据场地条件,在野外数据采集、资料处理和解释中为提高信噪比和分辨率作针对性的改进,才有可能达到不误判、漏判断层的目的。

3.1 天津滨海平原区第四纪地层

针对天津滨海平原区的第四纪地层前人做了大量的研究工作,陈宇坤等(2008)以第四纪地质钻孔为基础,综合利用古地磁测年和光释光测年技术,辅以岩性地层和生物地层学方法,建立了天津地区黄骅坳陷的第四纪年代地层剖面;研究结果表明,天津地区黄骅坳陷全新统底界埋深约 19m,上更新统底界埋深约 45m,中更新统底界埋深约 103m。天津地区黄骅坳陷第四系底界面埋深约 400m(天津市地质矿产局,1992)。本研究给出的浅层地震探测剖面及钻孔地层对比剖面,结合区域第四纪地层研究结果,为判定汉沽隐伏断裂断错的地层及最新活动时代提供了依据。

3.2 汉沽隐伏断裂的浅层人工地震探测

为进一步揭示汉沽断裂的空间展布特征和第四纪活动特征,在化探定位的基础上,跨汉沽断裂开展了 3 条跨断层浅层地震勘探剖面,分别为大八亩坨测线(BH04)、清河农场测线(TJ12)和蓟运河测线(TJ13),各测线位置见图 1,相关参数见表 1。本次采用美国生产的抗干扰、高分辨率 STRATAVISOR NX60 地震系统,震源系统采用美国 IVI 公司制造的高分辨率、宽频带车载可控震源;本次探测的道间距为 3m,炮间距 9m,偏移距 0~15m,叠加次数 10

次,60 道接收,单边排列。

本次浅层地震勘探反射时间剖面见图 4、6、8。对反射时间剖面进行了时-深转换,同时结合区域第四纪地层研究结果,给出了地质解释剖面(图 5、7、9);图中, T_1 、 T_2 反射波组为新近系内部界面的反射波, T_0 反射波组大致为第四系底界面反射波, T_{0-4} 、 T_{0-2} 、 T_{0-3} 、 T_{0-4} 大致为下更新统内部界面的反射波, T_{0-5} 、 T_{0-6} 大致为中更新统内部界面的反射波, T_{0-7} 为上更新统内部界面的反射波, T_{0-8} 大致为全新统底界面的反射波。跨汉沽断裂各浅层人工地震测线探测断层参数见表 1。各浅层地震剖面布设及特征如下:

表 1 跨汉沽断裂浅层人工地震测线探测断层参数

测线 编号	测线名称 (方向)	断层 编号	第四系底界 面断层位置 (距起点距离) (m)	断层 视倾向	断层 视倾角 ($^{\circ}$)	第四系底 界面断距 (m)	上断点地表 投影位置 (距起点距离) (m)	上断点 埋深 (m)	上断点 断距 (m)
BH04	大八亩坨 (S-N)	F_{p4-4}	1630	S	83	13	1645	110	4.0
TJ12	清河农场 (S-N)	F_{12-4}	1180	N	83	11.5	1165	70	2.0
			1280	S	82	20	1305	70	1.0
TJ13	蓟运河 (SSE-NNW)	F_{13-4}	370	NNW	80	10	272	90	3.0
			420	SSE	82	35	458	90	3.5

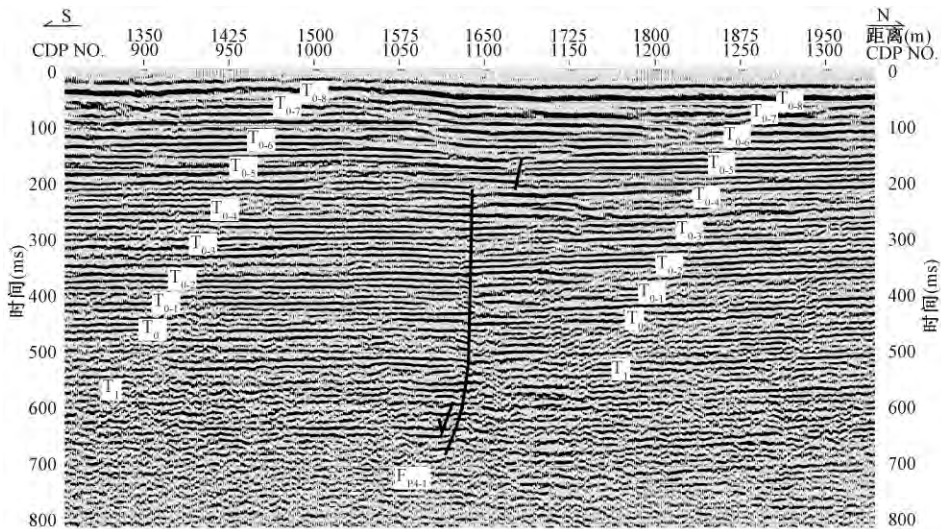


图 4 汉沽断裂大八亩坨测线(BH04)浅层人工地震反射时间剖面

(1) 大八亩坨浅层人工地震测线(BH04):该测线位于宁河县七里海镇大八亩坨村东边,沿河边村间土路东侧由南向北施工,长约 3km。图 4 为该测线的反射时间剖面图,由该图可见,距起点距离 1650m 附近显示一条向南倾的高角度正断层,该断层明显断错了 T_{0-4} 及以下的反射波组,上断点埋深已达 150m 左右,在该断层以上还存在一条小的分支断层,该

断层断错了 $T_{0.5}$ 反射波组, 上断点埋深达 110m 左右。另外, 由时间剖面可以清楚看出, 在主断层的左上方, 距起点距离 1575 ~ 1650m 之间还存在一扰动构造, 该扰动构造倾向与主断层面相反, 断错了 $T_{0.7}$ 反射波组, 埋深约 40 ~ 50m, 推测为下部主断层活动引起的上部地层变动。

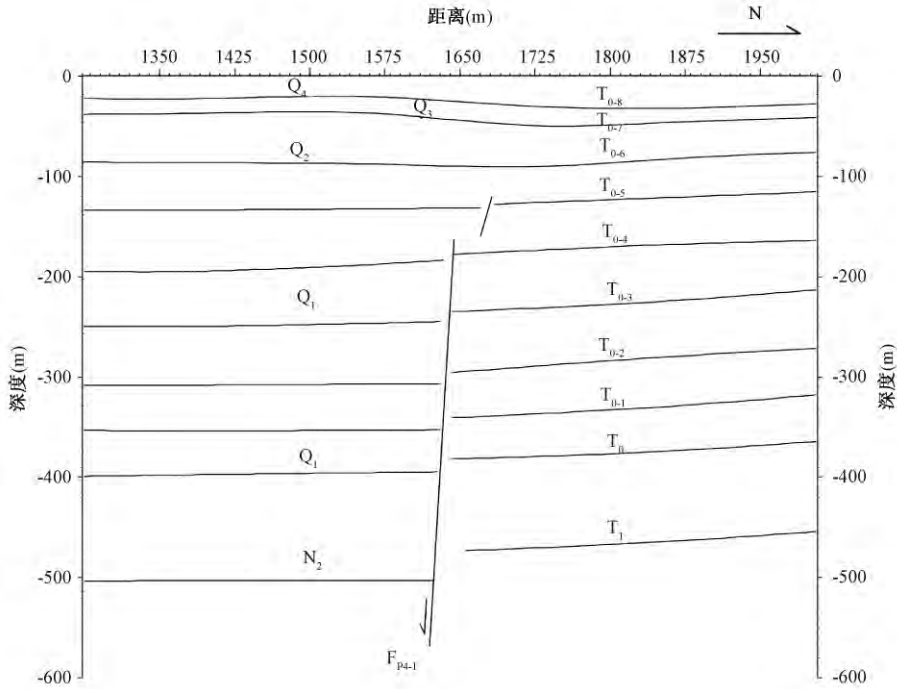


图5 汉沽断裂大八亩坨测线(BH04)浅层人工地震地质解释剖面

(2) 清河农场浅层人工地震测线(TJ12): 该测线位于汉沽清河农场附近, 方向由南向北, 测线总长 1755m。在图 6 所示反射剖面上距起点距离 1180m 和 1280m 附近分布“Y”字型断层 F_{12-1} , 该断层断错特征比较清楚, 明显断错了 $T_{0.6}$ 及以下的反射波组; 由图 7 地质解释剖面图可见, 该断层在第四系地层内的断距较小, 在新近系内的断距较大。这一“Y”字型断层整体倾向南, 上断点埋深达 70m, 断距达 2m。

(3) 蓟运河浅层人工地震测线(TJ13): 该测线位于汉沽蓟运河西岸, 方向由 SSE 到 NNW, 测区地势平坦, 激发和接收条件较好。由图 8 所示的时间剖面上可以看出, 蓟运河测线与清河农场测线反射时间剖面上的断层特征类似, 距起点距离 250m 和 450m 附近分布“Y”字形断层, 该断层断错特征比较清楚, 明显断错了 $T_{0.5}$ 及以下的反射波组, 上断点埋深达 90m, 断距达 3m。

通过上述地球化学探测及浅层人工地震探测工作, 我们弄清了汉沽断裂在浅部地层的空间展布特征及断错信息。汉沽断裂起自七里海水库附近的沧东断裂, 经大八亩坨村、清河农场一分场、后沽、留庄、穿蓟运河、汉沽城区、大神堂, 并继续向东延伸入海, 总长约 40km。

浅层人工地震的探测结果表明, 汉沽断裂倾角较陡, 剖面上呈“Y”字型构造; 汉沽断裂断错浅部地层明显, 浅层地震剖面显示的最浅上断点埋深为 70 ~ 110m, 断距达 2 ~ 4m, 这表

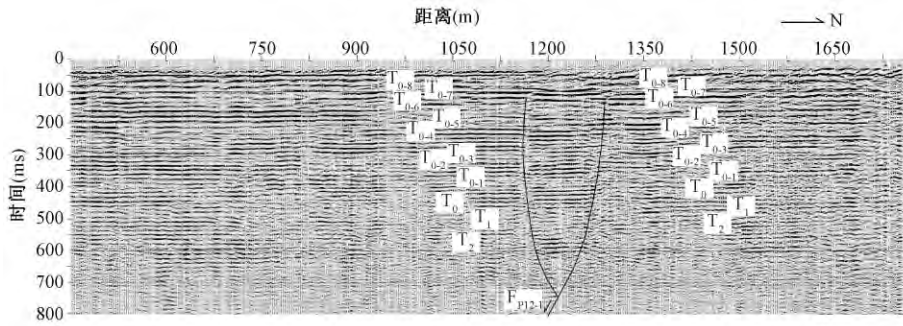


图 6 汉沽断裂清河农场测线 (TJ12) 浅层人工地震反射时间剖面

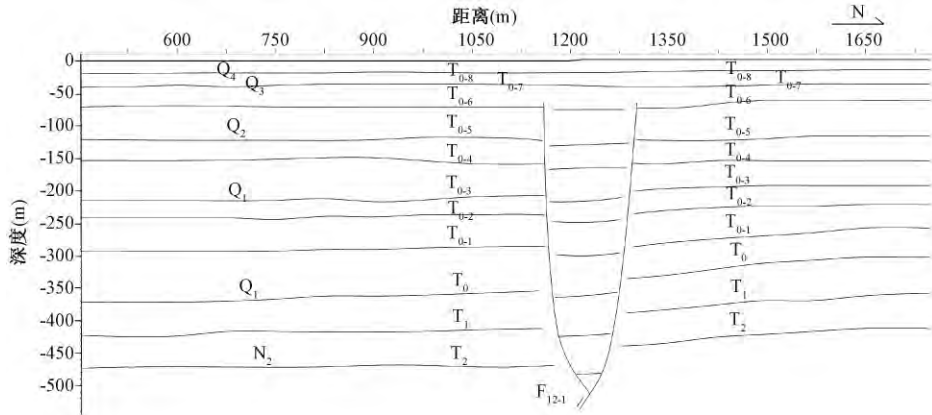


图 7 汉沽断裂清河农场测线 (TJ12) 浅层人工地震地质解释剖面

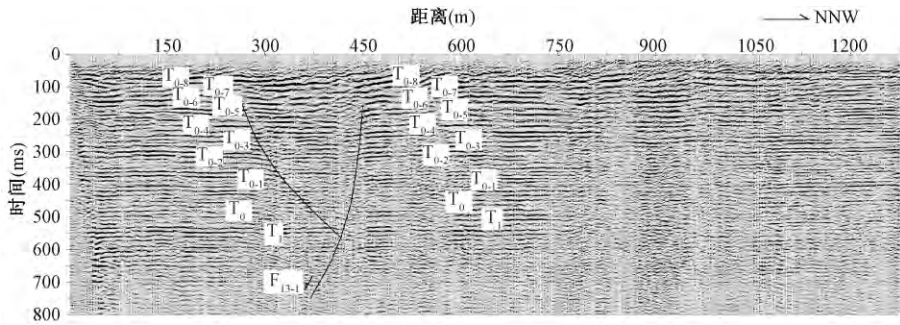


图 8 汉沽断裂蓟运河测线 (TJ13) 浅层人工地震反射时间剖面

征了汉沽断裂的活跃性特点,其最新活动时代可能已达晚更新世。

4 钻孔勘探与地层对比

钻孔探测技术是研究隐伏活动断层的重要手段。20 世纪 90 年代以来,钻孔联合剖面法已开始用于隐伏活动断层探测(向宏发等,1991、1995、2000),有些学者用钻孔岩心资料从沉积相、地层断错及层厚变化等角度进行隐伏区古地震事件研究(徐锡伟等,2000;江娃

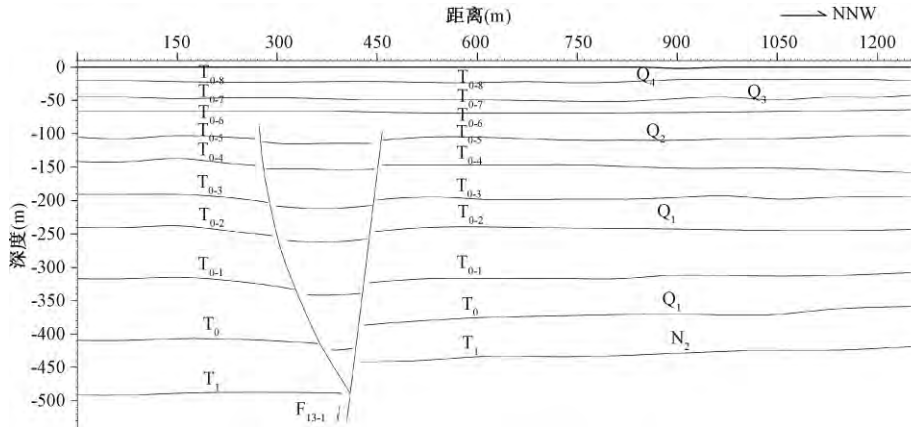


图9 汉沽断裂蓟运河测线(TJ13)浅层人工地震地质解释剖面

利,2001)。“十五”期间,《中国地震活动断层探测技术系统技术规程》(中国地震局,2005)明确将钻孔联合剖面法列为隐伏活动断层探测的主要手段,并在许多城市隐伏活动断层探测实践中取得显著成效(徐锡伟等,2002;邓起东等,2003,朱金芳等,2005,张世民等,2007、2008;雷启云等,2008;郭慧等,2011)。

浅层人工地震探测由于分辨率有限,其探测结果显示的断裂上断点埋深往往较实际断裂的上断点偏深,为确定汉沽断裂准确的上断点埋深及最新活动时代,我们根据大八亩坨人工地震测线探测结果,跨汉沽断裂开展了钻孔联合剖面研究,并采取光释光样品进行年代测试(测年结果见表2),为钻孔剖面的地层对比提供年代学依据。钻孔剖面位置见图1。

图10为大八亩坨钻孔地层对比剖面。由图10可见,本剖面自上而下共划分了9个标志层。这些标志层主要由黏土和亚黏土组成,层位稳定,特征明显,可以作为钻孔地层对比的标志层位。

表2 汉沽断裂大八亩坨钻孔样品光释光测年结果

序号	钻孔编号	样品编号	埋深(km)	岩性	估计年龄(ka BP)
1	HG01	OSL-3	22.10~22.20	灰绿色亚粘土	49.3±3.8
2	HG01	OSL-5	31.64~31.74	灰黄色亚砂夹亚粘土	96.5±6.9
3	HG02	OSL-3	15.35~15.45	灰色淤泥质亚粘土	9.1±0.4
4	HG02	OSL-4	22.75~22.85	褐灰色粘土	52.2±3.6
5	HG02	OSL-6	37.65~37.75	灰色粘土	~96.0
6	HG03	OSL-2	9.70~9.80	灰色亚粘土	3.4±0.3
7	HG03	OSL-4	21.40~21.50	灰褐色粘土	30.5±1.8
8	HG03	OSL-6	28.15~28.25	褐色粘土	~65.0
9	HG03	OSL-8	38.48~38.58	黄灰色亚粘土	105.8±3.6
10	HG04	OSL-3	13.80~13.90	黑灰色淤泥质亚粘土	8.6±0.4
11	HG04	OSL-6	28.3~28.34	黄褐色亚粘土	~64.0

注:光释光样品由中国地震局地质研究所的地震动力学国家重点实验室测试完成

标志层②为褐黄、褐灰色黏土层,该套黏土层厚度大、分布稳定,顶板埋深分别为21.7、22.0、22.6、21.4m,变化不大,表明标志层②的顶板未受断裂错动影响,同时HG01孔埋深

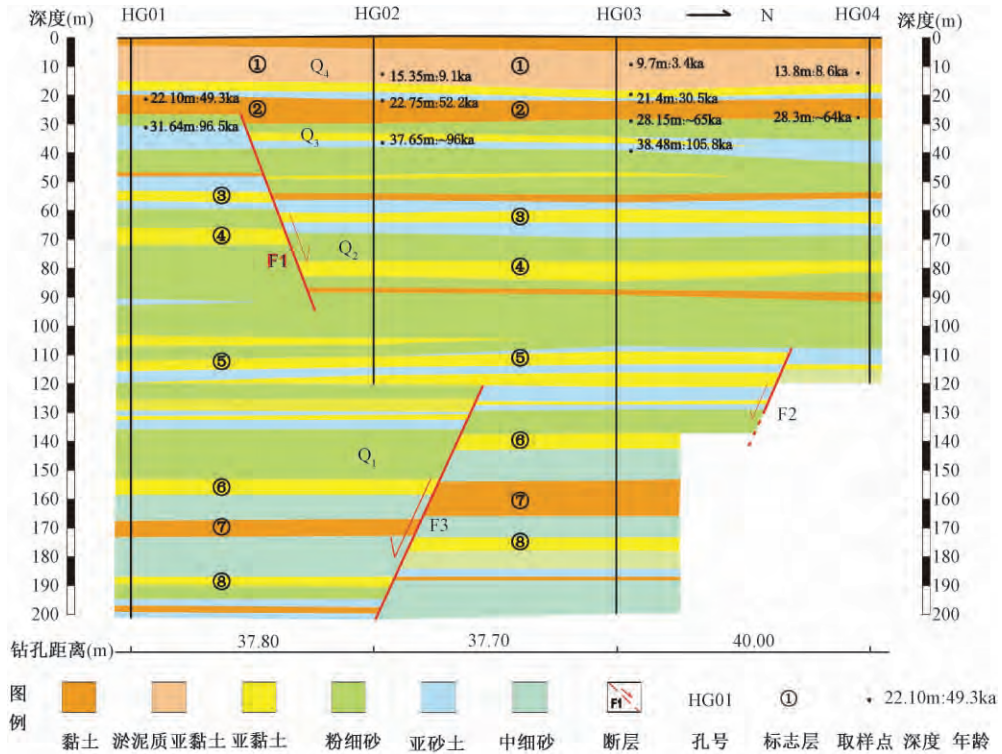


图 10 汉沽断裂大八亩坨剖面钻孔地层对比剖面

22.1m 处的光释光测年样品的年龄为 49.3ka, HG02 孔 22.75m 处的光释光样品的年龄为 52.2ka, 也表明埋深 22m 左右的土层时代为距今 50ka 左右, 未受断裂错动影响。

标志层②的底板埋深出现较大落差, HG01 孔该套黏土层的底板埋深为 25.8m, 而 HG02 ~ HG04 孔该套黏土层的底板埋深分别为 28.05、28.87、28.5m, 近水平分布, 与 HG01 孔有较大落差, 这表明断裂应从 HG01 和 HG02 间穿过, HG02、HG03、HG04 孔均位于下降盘, 断距为 2.15m。HG01 孔埋深 31.64m 处的光释光测年样品的年龄为 96.5ka, HG02 孔 37.65m 处的光释光样品的年龄约为 96.0ka, 这也表明 HG01 孔和 HG02 间存在断层。

标志层③为黑灰色、褐灰色亚黏土层, 该套亚黏土层厚度大、层位稳定、岩性较均一, 刀切面光滑, 在 HG01 ~ HG04 孔的埋深分别为: 53.7 ~ 57.4、61.3 ~ 64.85、59.35 ~ 64.8、61.05 ~ 64.75m。如果以 HG01 和 HG02 孔该套亚黏土层的顶板埋深计算, 断距为 7.6m。

埋深 70.0m 以下的地层岩性逐渐变得复杂, HG01 孔的砂层明显增厚, 一些黏土、亚黏土层表现出地层不连续特征, 标志层⑤为灰褐、灰黄色亚黏土层, 在 HG01 孔中埋深 112.1 ~ 115.80m, 断层 F1 并没有断错该标志层。这表明断层 F1 在埋深 100m 以下后开始逐渐湮没, 该断层应是由主断层强烈活动, 从而引起上部地层失稳, 形成与主断层倾向相反的次级断层。

由地层对比剖面图 10 还可以看出, HG03 与 HG04 之间在 108.35m 以下地层存在不连续现象, 该处存在一北盘上升、南盘下降、倾向南的正断层 F2, 该断层也是汉沽断裂主断层强烈活动引起的次级断层。

埋深 120m 以下的地层对比主要依据 HG01、HG03 孔。这 2 个孔在 120m 以下均显示出黏土类与砂土类互层的旋回特征,砂土类地层以粉细砂、中细砂为主,厚度较大,较稳定,黏土类地层呈现黏土、亚黏土互层的特性。HG01 孔可以作为地层对比的标志性地层主要有:层⑥埋深 153.47 ~ 158.87m 的灰褐色亚黏土层;层⑦埋深 167.24 ~ 173.60m 的深灰色黏土层;层⑧埋深 173.73 ~ 178.27m 的褐灰色黏土层。从各标志层的对比情况看, HG01 与 HG03 孔之间存在较为明显的错断,该断层显示北盘上升、南盘下降、倾向南的正断层特性,该断层应是汉沽断裂的主断层。该断层上断点埋深 121.75m,断距达 7.95m。

通过钻孔地层对比再结合年代样品分析可以看出,汉沽断裂大八亩坨钻孔地层对比剖面共显示出 3 条断层 F1、F2、F3,这与 BH04 浅层地震测线的探测结果对应的非常好。断层 F1 位于钻孔 HG01 与 HG02 之间,显示南盘上升、北盘下降、倾向北的正断层特性;该断层上断点埋深约为 25.8m,断距约为 2.15m,在埋深 100m 以下后逐渐湮没;F1 断层是由下部主断层强烈活动引起上部地层失稳形成与主断层倾向相反的次级断层,对应的活动时代为晚更新世中期。HG03 与 HG04 之间存在一北盘上升、南盘下降、倾向南的正断层 F2,该断层也是汉沽断裂主断层强烈活动引起的次级断层。汉沽断裂的主断层是 F3,位于钻孔 HG01 与 HG03 之间,为北盘上升、南盘下降、倾向南的正断层,该断层上断点埋深 121.75m,断距达 7.95m。

5 汉沽断裂构造特征及活动性

5.1 与沧东断裂的交切关系

汉沽断裂与沧东断裂的构造交切关系是本地区构造格局研究的基本问题。沧东断裂是华北地区一条切割结晶基底并对沉积盖层产生重大影响的区域性大断裂,为沧县隆起和黄骅坳陷的分界断裂(图 1),其活动和发展控制了沧县隆起和黄骅坳陷发育与演化历史。汉沽断裂是黄骅坳陷内部宁河低凸起与北塘凹陷的分界断裂,是发育在沧东断裂上盘的次级断裂。汉沽断裂与沧东断裂是限制与被限制的关系,汉沽断裂止于沧东断裂,其构造级别决定它无法穿过沧东断裂。

5.2 最新活动时代

汉沽隐伏断裂在地球化学探测、浅层人工地震勘探中都有较为明显的反应。钻孔勘探与地层对比结果表明,汉沽断裂最新上断点埋深为 25.8m,断距约为 2.15m。上升盘 HG01 孔埋深 22.1m 处的光释光样品年龄为 49.3ka,下降盘 HG03 孔埋深 28.15m 处的光释光样品年龄为 65.0ka,下降盘 HG04 孔埋深 28.3m 处的光释光样品年龄为 64ka,表明汉沽隐伏断裂的最新活动时代应该在 49.3ka ~ 65.0ka BP,属晚更新世中期活动断裂。

5.3 第四纪以来各时段的滑动速率

由钻孔地层对比可知,汉沽隐伏断裂的主断裂上断点埋深 121.75m,断距达 7.95m,根据天津地区年代地层剖面可知,黄骅坳陷中更新统底界埋深 103m 左右(陈宇坤等,2008),因此汉沽断裂主断裂断错的最新地层位于下更新统顶界与中更新统底界之间,据此可推算出汉沽断裂中更新世以来的平均滑动速率大约为 0.011mm/a。同时由光释光年代样品数据可知,汉沽断裂 96kaBP 以来的平均滑动速率为 0.063mm/a,49.3ka ~ 65ka 以来的平均滑动速率为 0.033 ~ 0.044mm/a(表 3)。由此可见,汉沽断裂晚更新世早期以来平均滑动速率

明显增大,但晚更新世中期以来又呈现减缓的趋势。与海河断裂晚更新世以来 0.141mm/a 的平均滑动速率相比(陈宇坤等,2004),汉沽断裂晚更新世以来的滑动速率明显偏低,这表明汉沽断裂的活动强度有限。

表 3 汉沽断裂中更新世以来各时期的断距与平均滑动速率

地质年代(龄)	断距(m)	平均滑动速率(mm/a)
中更新世	7.95	0.011
96.0ka BP	6.01	0.063
49.3ka ~ 65.0ka BP	2.15	0.033 ~ 0.044

5.4 活动强度

汉沽隐伏断裂最浅上断点埋深 25.8m ,最新活动时代在 $49.3\text{ka} \sim 65.0\text{kaBP}$,属晚更新世中期活动断裂。由于该断层是与主断层倾向相反的次级断层,且活动强度有限,震源断层错动产生的能量并不足以使断裂错动直达地表、形成地表破裂,而只能到达距地表 $121.75\text{m} \sim 108.35\text{m}$ 处。但是汉沽主断裂的活动还是引起了上部地层失稳,使其上部地层产生了错动,形成与主断层倾向相反的次级断层,同时汉沽断裂晚更新世早期以来的平均滑动速率为 0.063mm/a ,明显低于海河断裂东段晚更新世以来 0.141mm/a 的平均滑动速率(陈宇坤等,2004),因此汉沽断裂应属一具有中等强度的活动断裂。在 1976 年唐山地震的余震中,在汉沽断裂附近曾发生过两次 $M_s 6.2$ 地震,依此初步估计汉沽断裂的潜在最大地震为 6.5 级左右。

6 结论与讨论

滨海平原区隐伏断裂由于被巨厚的第四系沉积层所覆盖,断层活动形迹被完全掩盖,很难获取断层准确的空间位置和上断点埋深及最新活动时代。本文通过化探、浅层人工地震勘探、联合钻孔剖面探测等并结合钻孔样品的光释光年代测试结果,给出了汉沽断裂的准确空间位置和晚第四纪活动性等特征。

(1) 通过化探、浅层人工地震勘探和联合钻孔剖面探测等综合探测研究,给出了汉沽断裂的准确位置。汉沽断裂起自七里海水库附近的沧东断裂,经大八亩坨村、清河农场一分场、后沽、留庄、穿蓟运河、汉沽城区、大神堂,并继续向东延伸入海,总长约 40km 。汉沽断裂在浅部地层中呈“Y”字型构造,其与沧东断裂是限制与被限制的关系,汉沽断裂止于沧东断裂,其构造级别决定其无法穿过沧东断裂。

(2) 联合钻孔剖面探测表明,汉沽隐伏断裂最新上断点埋深 25.8m ,断距为 2.15m 。结合光释光年代样品测试结果,其最新活动时代在 $49.3\text{ka} \sim 65.0\text{kaBP}$,属晚更新世中期活动断裂。汉沽断裂中更新世以来的平均滑动速率为 0.011mm/a ,至晚更新世增大到 0.063mm/a ,但晚更新世中期以来又减缓到 $0.033 \sim 0.044\text{mm/a}$,明显低于海河断裂东段晚更新世以来的滑动速率。

(3) 汉沽隐伏断裂的活动强度有限,震源断层错动产生的能量并不足以使其错动直达地表、形成地表破裂,而是只能到达距地表 $121.75 \sim 108.35\text{m}$ 处;但是汉沽主断裂的活动还是引起了上部地层失稳,使其上部地层产生了错动,形成与主断层倾向相反的次级断层,因

此汉沽断裂应是一具有中等活动强度的活动断裂,简单估计地震的潜在最大震级为 6.5 级左右。

参考文献

- 陈宇坤、任峰、张翠芬等,2004,天津海河隐伏断裂的晚第四纪活动特征研究,地震地质,26(1),111~121。
- 陈宇坤、李振海、邵永新等,2008,天津地区第四纪年代地层剖面研究,地震地质,30(2),383~399。
- 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),150~162。
- 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。
- 方盛明、张先康、刘保金等,2006,城市活断层地震勘探的最佳组合方法与应用研究,地震地质,28(4),646~654。
- 郭慧、江娃利、谢新生,2011,钻孔与探槽揭示 1976 年河北唐山 $M_s7.8$ 地震发震构造晚第四纪强震活动,中国科学:D 辑,41(7),1009~1028。
- 何正勤、陈宇坤、叶太兰等,2007,浅层地震勘探在沿海地区隐伏断层探测中的应用,地震地质,29(2),363~372。
- 江娃利,2001,北京平原夏垫断裂潘各庄钻孔晚更新世晚期以来古地震事件分析,见:中国地震局科技发展司,活动断裂研究(8),140~148,北京:地震出版社。
- 雷启云、柴焱章、孟广魁等,2008,银川隐伏断层钻孔联合剖面探测,地震地质,30(1),250~262。
- 卢造勋,2009,城市活断层探测中的地球物理方法,东北地震研究,25(2),1~7。
- 苏鹤军、张慧、刘旭宙等,2005,兰州市刘家堡隐伏断层的地球化学探测方法试验,高原地震,17(1),9~16。
- 邵永新、杨绪连、李一兵,2007,海河隐伏活断层探测中土壤气氮和气汞测量及其结果,地震地质,29(3),627~636。
- 天津市地质矿产局,1992,天津市区域地质志,北京:地质出版社。
- 王传远、杜建国、周晓成,2004,三河-平谷活断层汞地球化学特征,地震,24(1),132~136。
- 王广才、王基华、刘成龙等,2002,福州市隐伏断层地球化学试验探测及研究,地震地质,24(4),593~600。
- 王志成,2006,土氡测量在海口市活动断层探测中的初步应用,华南地震,26(4),61~66。
- 向宏发、方仲景、张晚霞等,1991,联合剖面法在探测南口-孙河隐伏断裂活动性中的应用,见:国家地震局,中国地震年鉴,411~415,北京:地震出版社。
- 向宏发、方仲景、张晚霞等,1995,北京平原区隐伏断裂晚第四纪活动特征的联合剖面研究,地震研究,18(1),75~79。
- 向宏发、王学潮、魏顺民,2000,聊城-兰考隐伏断裂第四纪活动性的综合探测研究,地震地质,22(4),351~359。
- 徐杰、宋长青、楚全芝,1998,张家口-蓬莱断裂带地震构造特征的初步探讨,地震地质,20(2),146~154。
- 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、吴卫民、张先康等,2002,首都圈地区地壳最新构造变动与地震,118~127,北京:科学出版社。
- 姚道平、卓群、张艺峰等,2008,厦门城市隐伏断层控制性地球化学探测,震灾防御技术,3(4),451~458。
- 中国地震局,2005,中国地震活动断层探测技术系统技术规程,北京:地震出版社。
- 朱金芳、徐锡伟、黄宗林等,2005,福州市活断层探测与地震危险性评价,246~278,北京:科学出版社。
- 张世民、王丹丹、刘旭东等,2007,北京南口-孙河断裂带北段晚第四纪活动的层序地层学研究,地震地质,29(4),729~743。
- 张世民、王丹丹、刘旭东等,2008,北京南口-孙河断裂晚第四纪古地震事件的钻孔剖面对比与分析,中国科学:D 辑,38(7),881~895。

Comprehensive survey and investigation on the exact spatial location and activity of the Hangu fault in Tianjin

Yan Chengguo Wang Zhisheng Chen Yukun Ren Feng Gao Wuping

Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China

Abstract The Hangu buried fault in Tianjin belongs to the buried fault of coastal plain area. The paper used methods of geochemical exploration, shallow seismic exploration, drilling exploration and sample age to survey and research on the Hangu buried fault. This is the first identification of the exact spatial location and the Late Quaternary activity of the Hangu buried fault. The results showed that the depth of the latest upper break point of Hangu buried fault is 25.8m, fault throw is 2.15m. Combining with the test results of the optically stimulated luminescence dating sample, we found that the latest active age is between 49.3ka ~ 65ka BP, which belongs to the late Pleistocene active fault. But the fault is secondary fault, with a tendency opposite to the main fault. The fault may not be the direct reaction of the earthquake source fault on the surface, and the slip rate of Hangu fault since the early Late Pleistocene is 0.063mm/a, significantly lower than the eastern section of the Haihe fault which has an average slip rate of 0.141mm/a since the Late Pleistocene. All this indicates that the activity strength of Hangu buried fault is not strong, an active fault of moderate activity level with the maximum potential earthquake with $M_s6.5$.

Key words: Hangu fault Slip rate activity Comprehensive survey and investigation