

邵永新,任峰,陈宇坤,等.沧东断裂第四纪活动性探测结果[J].地震工程学报,2020,42(4):927-933.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.04.927

SHAO Yongxin, REN Feng, CHEN Yukun, et al. Exploration Results of Quaternary Activities along the Cangdong Fault[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2020, 42(4): 927-933. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.04.927

沧东断裂第四纪活动性探测结果

邵永新, 任 峰, 陈宇坤, 王志胜

(天津市地震局, 天津 300201)

摘要: 根据人工地震探测结果, 分别在天津东丽区山岭子村北、大港区中塘村和宁河县北淮淀村布设了三条钻孔剖面, 对沧东断裂开展了钻孔勘探工作。经微体古生物鉴定和地层年代测试, 确定了各钻孔第一、第二、第三和第四海相层的位置。通过以海相层为标志层的地层对比并结合中塘村 BZ1 孔古地磁测试结果, 对沧东断裂的活动性进行了分析研究。结果表明, 沧东断裂晚更新世以来没有发现活动的迹象, 其最新活动年代可能在中更新世。如果以海河断裂为界, 从位于沧东断裂北部的北淮淀钻孔剖面 and 位于南部的中塘钻孔剖面的地层对比发现, 沧东断裂北段、南段活动性差异不大。同时, 已有的一些研究表明, 海相层的观测可能对地震信息反映较好。除沧东断裂探测外, 天津南、北断裂、海河断裂对 21 口钻孔进行了海相层鉴定, 目前开展的蓟运河断裂探测也将对海相层位置进行确定, 这些结果, 对利用咸水层观测地震信息的层位选择有很大帮助。

关键词: 沧东断裂; 海相层; 地层对比; 断层活动性

中图分类号: P319.56

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2020)04-0927-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.04.927

Exploration Results of Quaternary Activities along the Cangdong Fault

SHAO Yongxin, REN Feng, CHEN Yukun, WANG Zhisheng

(Earthquake Agency of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China)

Abstract: Based on the results of artificial seismic exploration, three profiles of boreholes are arranged in the North Shanlingzi Village of Dongli District, Zhongtang Village of Dagang District, and Beihuaidian Village of Ninghe County. Through the identification of microfossils and the test of strata age, the locations of the marine strata of boreholes are obtained in this work. The activity of the Cangdong fault is analyzed and studied through strata contrast and the paleomagnetic test results of BZ1 bore in Zhongtang Village. The result indicates that the activity sign of the Cangdong fault has not been found since the Late Pleistocene and its latest active age might be in the Middle Pleistocene. The contrast result of the marine strata of the Beihuandian borehole profile in the northern part of the Cangdong fault and the Zhongtang borehole profile in the southern

收稿日期: 2018-04-16

基金项目: 安全天津与城市可持续发展科技重大专项: 地震风险预警技术及服务产品研发与应用(18ZXQSF00110)

第一作者简介: 邵永新(1966—), 男, 正晋级高级工程师, 主要地下流体地震监测、预报方面的工作。E-mail: tjjsyx@sina.com。

part shows that there is a little difference in activity between the southern and northern sections of the Cangdong fault, divided by the Haihe fault. In addition, previous research has shown that the marine strata observation may better reflect the information of earthquakes. Besides the Cangdong fault, the marine strata of 21 boreholes on the south Tianjin fault, north Tianjin fault, and Haihe fault were also identified, and the location of marine strata will also be determined in the current Jiyunhe fault detection.

Keywords: Cangdong fault; marine strata; strata contrast; fault activity

0 引言

沧东断裂天津段(以下称为沧东断裂)、天津断裂、海河断裂、宝坻断裂等是天津地区的主要隐伏断裂。沧东断裂从河北进入天津后,由南向北基本上贯穿了宝坻断裂以南地区。历史上,1815年8月5日,在与海河断裂交汇处的葛沽曾发生过 $M_s5.0$ 地震。1976年7月28日唐山 $M_s7.8$ 地震后,该断裂与汉沽断裂交汇处于1976年7月28日一次 $M_s6.2$ 地震,1976年11月15日与蓟运河断裂交汇部位又发生了一次 $M_s6.9$ 地震,1977年5月12日与汉沽断裂交汇处再次发生 $M_s6.2$ 地震。其中1976年11月15日的宁河 $M_s6.9$ 地震是天津自有文字记载以来发生的最大一次地震。为研究沧东断裂的活动性,天津市地震局开展了针对沧东断裂活动性的探测工作。本文在重力、航磁资料反演与解译、天然地震层析成像、大地电磁测深、深地震宽角度折/反射探测、浅层人工地震探测等工作的基础上,利用浅层钻孔勘探方法对沧东断裂的活动性进行讨论。

1 沧东断裂基本情况

沧东断裂是一条切割结晶基底并对沉积盖层产生重大影响的断裂,是渤海湾裂谷盆地内最大的断裂,其活动和发展直接控制了沧县隆起和黄骅拗陷的发育与演化历史,是沧县隆起与黄骅拗陷的分界断裂。该断裂北起天津宁河北淮淀附近,向南经葛沽、小站、河北沧州、泊头、东光、吴桥至山东德州,长约230 km,总体走向NNE,倾向南东,倾角平均 60° ,断层面宽约5~13 km。在平面上NNE向主断层和NNW断层形成锯齿状展布,地震剖面上显示为基底滑脱的铲式正断层。在 ΔT_a 等值线图上呈现出线性的磁异常带。总观全貌,在天津葛沽镇磁异常被NW向断裂切割错动略有畸变外,仍为NNE向的磁异常带。根据冀中地区1/20万重力资料,在沧东断裂位置上明显呈现出重力密集带,十分

清楚的构成沧县隆起和黄骅拗陷的分界线。

本项工作探测的主要是沧东断裂进入天津后的天津段,该段北起天津宁河北淮淀附近,向南经山岭子、葛沽、小站、万家码头至唐官屯镇一带,全长130 km。断层总体走向NNE,但在新建村、沈青庄、增福台等处有三次转折,形态上表现为锯齿状延伸。此段断层产状变化颇大,断层由南向北还反映出控制着由老到新的不同时代的沉积。

从钻孔探测资料分析,位于滨海新区大港万家码头附近,沧东断裂下盘的增2井、增3井与位于上盘的增4井、增11井地层对比发现,这里新近系上部明化镇组底板断距约300 m。位于津南区小站附近、断层下盘的津4井和位于断层上盘一侧的津3井,两井新近系上部明化镇组底部断距为150 m,古近系底部断距200 m。位于津南区葛沽镇附近的津2井打在断层上升盘,塘8井、塘23井打在断层下降盘,由于两井离断层稍远,参考新近系底板断距约在330 m左右。这些钻孔资料的对比分析结果表明,整个新近纪时期,断层活动是明显的,断距达到200~330 m。

在此基础上,我们对沧东断裂开展了物、化探方法探测、工作区标准地质剖面建立^[1]等工作,之后又开展了地震技术方法的探测^[2],声波探测^[3-4]等工作,从而获得了沧东断裂的空间位置、展布及几何形态特征等。人工地震探测结果表明,在大港区中塘剖面上,探测到两条断裂,分别为 F_{23-1} 和 F_{23-2} ,其上断点埋深和断距分别为260 m、4 m和180 m、2 m;东丽区津汉公路剖面探测到了 F_{11-1} 和 F_{11-2} 两条断裂,两条断裂上断点和断距分别为268 m、9 m和152 m、2.5 m;宁河县北淮淀剖面探测到了一条断裂,其上断点和断距为360 m、10 m。这三条剖面分别位于沧东断裂的南、中和北部(图1)。据此,在这三条地震剖面探测到的断层上断点埋深最浅位置开展钻孔勘探工作。

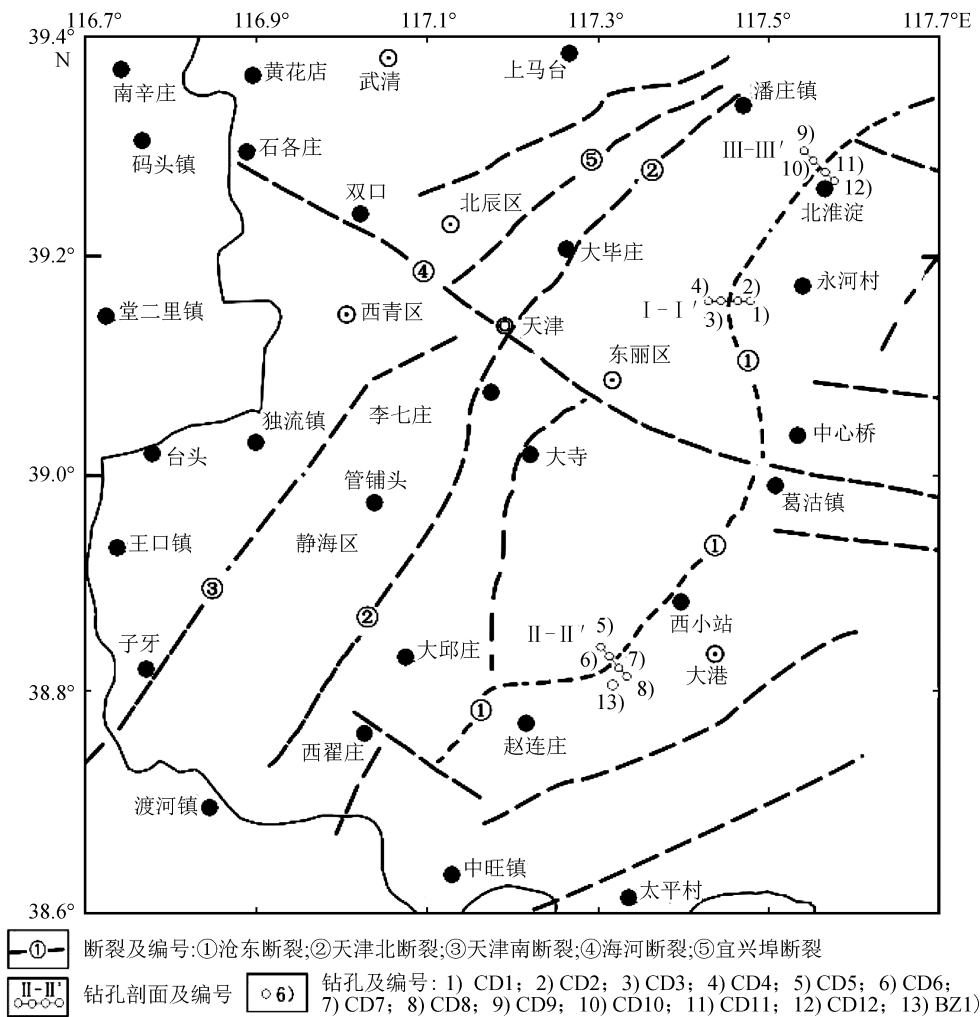


图 1 钻孔剖面位置示意图

Fig.1 The sketch of the location of the borehole sections

2 标志层的确定及地层对比原则

2.1 标志层的选择

在钻孔地层对比中,最重要的是标志层的选取。天津地区活断层探测选择了晚第四纪以来形成的四个海相层作为地层对比的标志层,是因为这四个海相层具有等时、分布广泛、层位稳定等特点,并且在岩性、岩相、古生物组合、颜色等特征方面又明显区别于其它第四系陆相地层,具备了标志地层的基本要求^[5-7]。这四个海相层从上至下分别命名为第一海相层、第二海相层、第三海相层和第四海相层,其中第一、第二、第三和第四海相层开始形成的年代大致为 0.9 万年、存在争议、12 万年左右和 15 万年左右^①。而根据我们在活断层探测的工作结果,第二海相层开始形成年代大约在 7 万年左右^[8]。在层位分布上,第一海相层位于全新统底部,其底板与全新

统底界大致重合或接近。第二和第三海相层位于上更新统的上、下部,第三海相层底板也与上更新统底界大致重合或接近。第四海相层则位于中更新统的上部。本项目以四个海相层作为标志地层,开展地层对比工作。

依据天津地区各海相地层的分布特征,我们分别对三条钻探剖面上的 12 个钻孔岩芯以每米一个样品开展了微体古生物鉴定工作。通过对有孔虫、介形虫、瓣鳃类、腹足类及其口盖、轮藻等化石种类和数量鉴定,同时结合钻孔岩芯光释光测年结果分析以及地层岩性、岩相等的判别,确定出了中塘、山岭子北和北淮淀三条剖面各钻孔海相层的具体层位(表 1)。

2.2 地层对比原则

沧东断裂是一条正断性质的断裂。如果断裂从

① 王强,宋大伟,等.天津市第四系沉积结构与地下水赋存条件分析.地质矿产部天津地质矿产研究所,1994.

表 1 三条钻孔剖面海相层深度

Table 1 Depth of marine strata of three borehole profiles

剖面名称	钻孔名称	相对标高/m	孔深/m	第一海相层深度/m	第二海相层深度/m	第三海相层深度/m	第四海相层深度/m
山岭子剖面	CD1	0.00	100	1.60~16.20	20.85~28.30	54.20~56.20	-
	CD2	0.00	60	1.50~16.00	21.10~29.90	55.00~57.70	-
	CD3	0.00	60	1.90~15.10	21.15~28.70	53.30~55.00	-
	CD4	0.00	100	1.00~16.20	22.01~29.95	55.30~56.70	-
中塘剖面	CD5	0.33	100.02	3.20~16.10	25.66~31.25	41.15~60.23	67.86~71.21
	CD6	0.00	100.03	3.30~15.14	22.67~31.64	42.20~60.50	66.31~69.74
	CD7	0.57	100.08	3.59~15.64	24.15~33.56	42.95~61.64	66.88~69.30
	CD8	0.89	114.76	3.70~16.10	24.50~32.60	42.00~59.58	67.20~69.51
北淮淀剖面	CD9	0.00	201.10	1.50~14.50	25.14~31.80	55.64~58.90	72.91~76.80
	CD10	0.79	100.00	2.00~13.11	23.48~32.00	54.54~58.55	73.47~76.27
	CD11	0.33	100.72	1.05~12.41	22.00~29.69	55.47~58.00	73.05~76.30
	CD12	0.12	201.64	2.74~13.07	21.12~28.32	55.78~59.10	73.50~75.90

所钻探的两孔之间通过,必将使两孔间的地层产生错动。根据这一特征,在天津地区开展的对海河断裂、天津北断裂、天津南断裂以及沧东断裂的探测中,均使用了海相地层的这种变化特征进行对比,分析孔与孔间海相层顶、底板的变化幅度来判断是否有断层通过。由于地层是存在起伏变化的,标志层也不例外,根据经验均遵循了:(1)标志层变化幅度从上至下方向,大小应具有一致性;(2)标志层变化的方向应与断层的下滑方向相一致;(3)从上至下变化幅度应逐步增大。另外对比中还考虑了孔与孔之间地层的起伏问题。

3 钻孔剖面地层对比分析

3.1 山岭子北剖面(Ⅰ-Ⅰ')

该剖面位于天津东丽区山岭子村北,横切沧东断裂,布设四个钻孔,分别为 CD1、CD2、CD3 和 CD4,EW 向展布。由于该剖面位于路边,地势较平坦,四个钻孔基本在一个水平面上。孔间距为 50 m,按设计沧东断裂应从 CD2 和 CD3 间通过,倾向 E。

由微体古生物鉴定结果表明(表 1),该剖面划分出三个海相层,又根据年代测试结果及其深度分布,它们分别应为第一、第二和第三海相层,在剖面上的分布如图 2(a)所示。在相同标高下,各孔间标志层底板起伏变化列于表 3。

由于第三海相层底板与上更新统底界相近,因此首先从三海底板埋深差异分析。图 2(a)及表 2 所示,各钻孔间三海底板埋深相差幅度分别为:CD1 和 CD2 间相差-1.5 m,即 CD2 孔深于 CD1 孔,与断层倾向相反;CD2 和 CD3 间相差 2.7 m,且下落方向与断层倾向一致;CD3 与 CD4 间相差-1.7 m,即 CD4 孔三海底界深于 CD3 孔,与已探测到的断层倾

向不一致。因此在该剖面上的 CD2 与 CD3 间第三海相层底板变化幅度较大,并且其变化方向与断层倾向一致。考虑到地形起伏变化的可能,对于这种变化尚不能判断为是因断层活动所致。

3.2 中塘钻孔剖面(Ⅱ-Ⅱ')

该剖面总体走向为 SE 方向,由于其位于滨海新区大港中塘村内,钻孔位置的选取只能随民房间的空地而定。从 NW 向 SE 方向钻孔分别命名为 CD5、CD6、CD7 和 CD8 孔。CD5 与 CD6 孔间距为约 50 m,CD6 与 CD7 孔约为 40 m、CD7 与 CD8 孔约为 90 m,剖面长 180 m。该剖面以 CD6 为 0 m 相对标高,CD5、CD7、CD8 孔相对标高分别为:0.33 m、0.57 m 和 0.89 m。各孔设计深度为 100 m,实际深度列于表 1。根据设计,沧东断裂应从 CD6 和 CD7 间通过,断层倾向 E。

由微体古生物鉴定结果表明,该剖面划分出四个海相层(表 1),它们分别为第一、第二、第三海和第四相层,在剖面上的分布如图 2(b)所示。在相同标高下,各孔间标志层底板起伏变化列于表 3。

(1) 第三海相层对比

该剖面第三海相层底板埋深在 59.58~61.64 m 间,平均埋深为 60.49 m。从第三海相层底板埋深分析,埋深较为平直,CD5 与 CD6 间、CD6 与 CD7、CD7 与 CD8 间三海底板变化幅度分别为:0.60 m、0.57 m 和-2.38 m。其最大变化出现在 CD7 与 CD8 孔之间,在同一标高下,幅度为 2.38 m。即 CD7 孔三海底板较 CD8 孔深 2.38 m,但与断层倾向变化相反。因此,从第三海相层底板的变化特征分析,未发现断层活动的迹象。由于第三海相层底板与晚更新统底界大致相当,也就是说该剖面未发现沧东断裂晚更新世以来活动的证据。

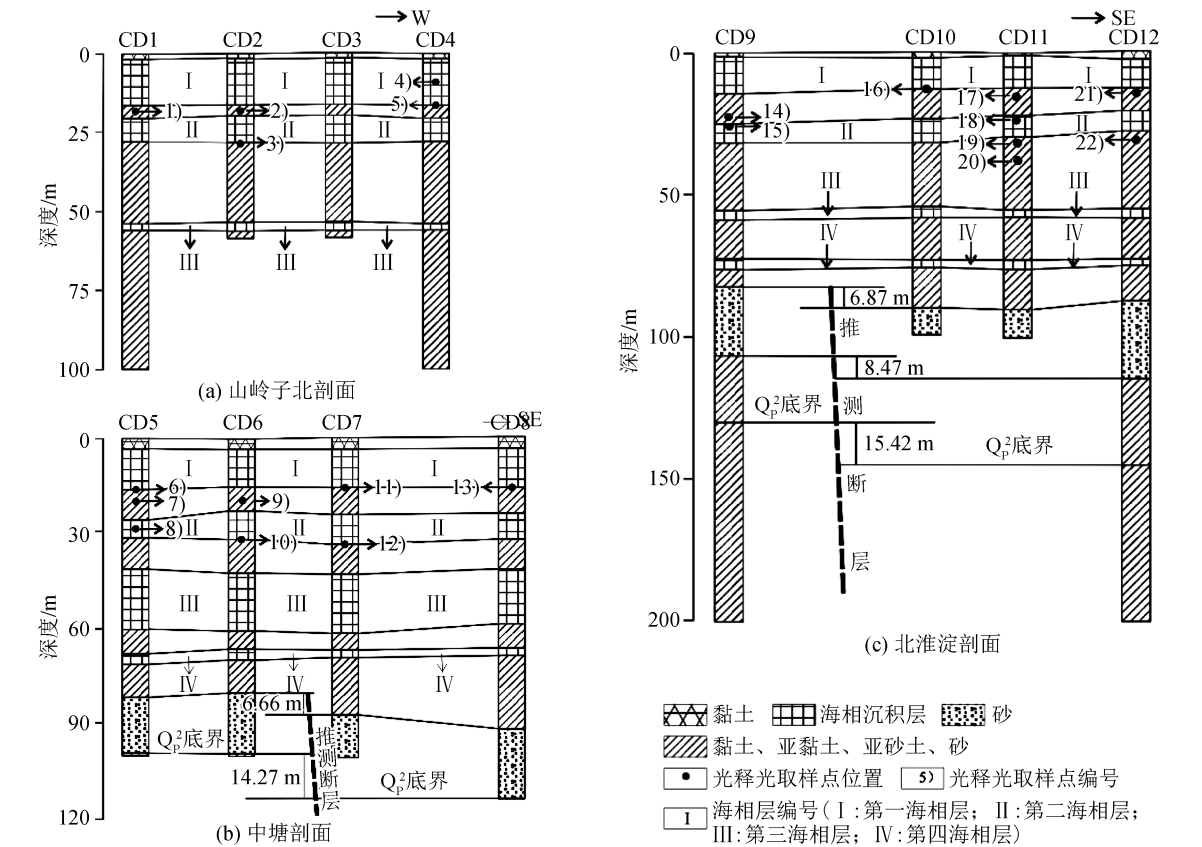


Fig.2 Comparison between borehole profiles in the north Shanlingzi, Zhongtang, and Beihuaidian village

表 2 光释光样品测试结果

Table 2 Test results of OSL samples								
序号	深度/m	测试结果/ka	序号	深度/m	测试结果/ka	序号	深度/m	测试结果/ka
(1)	19.3	76.1±19.1	(9)	18.5	86.1±10.2	(17)	15.5	18.8±1.6
(2)	18.0	35.6±3.3	(10)	33.1	102.4±9.7	(18)	23.5	96.7±18.5
(3)	29.8	99.9±14.7	(11)	14.44	9.0±1.0	(19)	32.4	84.6±21.6
(4)	8.4	2.3±0.2	(12)	33.36	100±9.1	(20)	39.7	>100
(5)	15.8	10.2±0.8	(13)	16.57	10.8±1.0	(21)	14.92	30.7±3.6
(6)	15.44	21.0±1.7	(14)	12.4	10.6±0.9	(22)	31.2	>100
(7)	19.33	90.1±8.3	(15)	15.05	10.8±0.5			
(8)	29.11	>100	(16)	13.47	11.1±1.4			

表 3 各剖面钻孔间标志层变化幅度

Table 3 Variation range of the marker bed between boreholes of each profile					
剖面名称	标志层	各剖面钻孔间标志层底界变化幅度/m			
		CD1-CD2	CD2-CD3	CD3-CD4	
山岭子北	第一海相层	0.2	0.9	-1.1	
	第二海相层	-1.6	1.2	-1.25	
	第三海相层	-1.5	2.7	-1.7	
中塘		CD5-CD6	CD6-CD7	CD7-CD8	
	第一海相层	-0.63	-0.07	0.14	
	第二海相层	0.72	1.35	-1.28	
	第三海相层	0.6	0.57	-2.38	
	第四海相层	-1.14	-1.01	-0.11	
北淮淀		CD9-CD10	CD10-CD11	CD11-CD12	
	第一海相层	-2.18	-0.24	0.87	
	第二海相层	-0.59	-1.85	-1.66	
	第三海相层	-1.14	-0.09	1.31	
	第四海相层	-1.32	0.49	-0.19	

(2) 第四海相层对比

第四海相层底板埋深在 68.62~70.88 m 间,平均埋深为 69.49 m。从第四海相层底板埋深分析,埋深也较为平直,CD5、CD6、CD7 和 CD8 相邻两孔、相同标高下四海底板变化幅度分别为: -1.14 m、-1.01 m 和 -0.11 m。其最大变化出现在 CD5 与 CD6 孔之间,幅度为 1.14 m。即 CD5 孔四海底板较 CD6 孔深 1.14 m。但各孔间四海底板的变化特征均与断层倾向相反。因此,从第四海相层底板分析,也没有发现沧东断裂活动的迹象,也就是说,中更新世晚期也没有发现沧东断裂活动的证据。

在现场钻探过程中,CD5、CD6 孔在 80 m 以下遇到一套巨厚砂层。从地层岩性、颜色、沉积旋回等沉积韵律特征分析,其具有一定的可比性。这套砂层于 CD5、CD6 孔埋深分别在 99.17 m、99.30 m 处揭穿,而 CD7 孔完井深度为 100.08 m,尚未揭穿。在进行 CD8 孔钻探中,相同深度内又发现同一现象,由于 CD7 孔没有将该砂层揭穿,于是现场更改设计,CD8 孔在钻探至完全揭穿该砂层终孔。到 114.46 m 处 CD8 孔揭穿了这套砂层。从这套砂层分析,在同一标高下,其底板落差达 14.27 m,该变化不仅幅度大,而且变化方向与断层倾向相一致。在距该剖面以南约 1 km 左右,对 BZ1 孔(200 m 深)开展了古地磁测试。结果表明,BZ1 孔 Q_2^p 底界应在 103m 左右^{①[1]}。该深度从 93.39~103.18m 为一套灰黄色细砂,与 CD5、CD6、CD7 和 CD8 四孔相当深度内的砂层可类比,其底界应为 Q_2^p 底界。以此为参照,前述位置应位于中更新统的底部。再分析这套砂层的顶板。其在 CD5、CD6、CD7 和 CD8 孔处的深度分别为:81.57 m、80.16 m、87.39 m 和 93.27 m。可见,在同一标高下,该砂层在 CD6、CD7 孔间也出现了 6.66 m 的起伏变化,结合其底板的变化分析认为,这一现象应是断层活动的结果。也就是说,沧东断裂在该剖面处的活动年代是 Q_2^p 早中期。在断裂通过的位置上,由于 CD7 没有将这层砂层揭穿,分析认为断层可能是在 CD6 与 CD7 间通过。

3.3 北淮淀钻孔剖面(Ⅲ-Ⅲ')

该剖面总体走向也为 SE 方向,位于宁河区北淮淀村北,从 NW 向 SE 方向钻孔分别为 CD9、CD10、CD11 和 CD12 孔。因剖面位置上既有农田,又有输水管线以及苇垛等障碍物,钻孔必须避开这些位置。因此钻孔间距只能因地物而定,CD9 距 CD10 约 80 m;CD10 与 CD11 两孔之间的距离为 45

m,而 CD11 与 CD12 孔间距离为 55 m,剖面长约 180 m,剖面两端设计孔深为 200 m,中间两孔为 100 m。以 CD9 孔为 0 m 相对标高,CD10、CD11 和 CD12 孔相对标高分别为 0.79 m、0.33 m 和 0.12 m。沧东断裂应从 CD10 和 CD11 间通过,倾向 SE。

由微体古生物鉴定结果表明,该剖面划分出四个海相层(表 1),在剖面上的分布如图 2(c)所示。在相同标高下,各孔间标志层底板起伏变化列于表 3。

(1) 第三海相层对比

该剖面第三海相层底板埋深在 58.00~59.10 m 间,平均埋深为 58.64 m。从第三海相层底板埋深分析,埋深较为平直,CD9、CD10、CD11、CD12 相邻两孔间三海底板变化幅度分别为: -1.14 m、-0.09 m 和 1.31 m。其最大变化出现在 CD11 与 CD12 孔之间,幅度为 1.31 m。即 CD12 孔三海底板较 CD11 孔深 1.31 m,与断层倾向变化相致。

(2) 第四海相层对比

第四海相层底板埋深在 75.90~76.80 m 间,平均埋深为 76.32 m。对比第四海相层底板,CD9 与 CD10 间、CD10 与 CD11 间、CD11 与 CD12 间变化幅度分别为: -1.32 m、0.49 m 和 -0.19 m。其最大变化出现在 CD9 与 CD10 孔之间,仅为 1.32 m,即 CD9 孔四海顶板较 CD10 孔深 1.32 m,其变化方向与断层倾向相反。

因此,由第三海相层、第四海相层底板变化特征分析,该剖面没有发现沧东断裂晚更新世以来活动的证据,同时中更新世晚期也没有发现活动的迹象。

与中塘剖面非常相似,到四个钻孔的 100 m 上下该剖面也揭露出一套砂层,CD9 孔从 82.84~107.08 m 为 24.24 m 巨厚沉积砂层,其中 89.38~96.24 m 为灰黑色 6.86m 黏土;CD12 孔从 88.35~115.67 m 为 27.32 m 砂层,其中 101.0~103.86 m 为褐灰色 2.86 m 黏土。而在 CD10 和 CD11 孔分别从 90.5 m、90.66 m 以下均为粉砂、细砂沉积,由于井孔深度问题,两孔没有将这层砂层揭穿。从这套砂层分析,CD9、CD10、CD11 和 CD12 顶板深度分别位于 82.84 m、90.5 m、90.66 m 和 88.35 m,其中 CD10、CD11、CD12 孔顶板大致相当,在同一标高下,CD9 与 CD10 孔间出现了 6.87 m 的地层起伏变化,并与断层倾向一致。从其底板分析,CD9 与 CD12 两孔相差 8.47 m,也与断层的倾向相一致。

另外,BZ1 孔位于沧东断裂的东侧、黄骅拗陷内,由于北淮淀剖面也位于沧东断裂上。以 BZ1 孔

为标准,根据 BZ1 孔中更新统底界划分结果,并结合各孔岩性、颜色、沉积旋回等综合分析,CD9 孔和 CD12 孔中更新统底界可划分在 130.71 m、146.25 m^②。因此中更新统底界 CD12 孔较 CD9 孔 Q_P 底界深 15.42 m,与前述砂层顶、底板的变化特征及断层的倾向相一致。

北淮淀剖面钻孔地层对比结果表明,该剖面上沧东断裂最晚活动年代可能是中更新世的中期,其上断点可能在 83 m,断距为 7 m 左右,并且断层应在 CD9 与 CD10 间通过,与剖面设计断层通过位置不一致。

4 结论与讨论

(1) 经钻孔探测验证结果表明,沧东断裂晚更新世以来没有发现活动的迹象,其中在中更新世可能存在活动。如果以海河断裂为界,位于沧东断裂北部的宁河北淮淀钻孔剖面地层对比结果表明,沧东断裂最晚活动年代可能是在中更新世中期,上断点埋深可能在 83 m 左右,断距为 7 m 左右。位于沧东断裂南部的中塘剖面地层对比结果表明,上断点埋深和断距与北淮淀剖面相差不多,但最新活动年代可能是中更新世早中期,表明沧东断裂北段、南段活动性差异不大。

(2) 由于海侵,天津地区形成了广泛的咸水层分布。利用咸水层的特点,1976 年唐山 7.8 级地震前天津就开展了咸水层地震信息的观测^[9-10]。已有的研究成果显示^[9],观测层包含海相层的观测井可能对地震有较好的异常反映。除本文沧东断裂 3 条剖面、12 口钻孔探测外,天津地区曾对天津南、北断裂、海河断裂 17 口钻井经微体古生物、年代测试确定了海相层的位置,并且目前开展的蓟运河断裂钻探工作也将对海相层进行确定,这些结果对咸水层观测层位的选择无疑具有极大帮助。

参考文献(References)

[1] 陈宇坤,李振海,邵永新,等.天津地区第四纪年代地层剖面研究[J].地震地质,2008,30(2):383-399.
CHEN Yukun, LI Zhenhai, SHAO Yong-xin, et al. Study on the Quaternary Chaonostratigraphic Section in Tianjin Srea [J]. Seismology and Geology, 2008, 30(2): 383-399.

[2] 徐明才,高景华,刘建勋,等.应用于城市活断层调查的地震方

法技术[J].中国地震,2005,21(1):17-23.

XU Mingcai, GAO Jinghua, LIU Jianxun, et al. Application of the Seismic Method to Detecting Active Faults[J]. Earthquake Research in China, 2005, 21(1): 17-23.

[3] 赵根模,赵国敏,杨港生,等.声波探测显示的渤海湾西部全新世断层活动[J].中国地震,2005,21(2):139-146.

ZHAO Genmo, ZHAO Guomin, YANG Gangsheng, et al. The Holocene Active Fault in the Western Part of Bohai Gulf Showed by Acoustic Sounding[J]. Earthquake Research in China, 2005, 21(2): 139-146.

[4] 陈宇坤,郑彦鹏,高武平,等.声学探测技术在天津隐伏断层探测中的应用[J].震灾防御技术,2007,2(2):116-127.

CHEN Yukun, ZHENG Yanpeng, GAO Wuping, et al. Application of Acoustic Technique on Buried Fault Surveying of Tianjin[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2007, 2(2): 116-127.

[5] 陈望和,倪明云.河北第四纪地质[M].北京:地质出版社,1987,116-170.

CHEN Wanghe, NI Mingyun. Quaternary Geology of Heibei Province[M]. Geological Publishing House, Beijing, 1987, 116-170.

[6] 天津市地质矿产局.天津市区域地质志[M].北京:地质出版社,1992.

Bureau of Geology and Mineral Resource of Tiangjin Municipality. Regional Geology of Tianjin Municipality[M]. Geological Publishing House, Beijing, 1992.

[7] 陈宇坤,任峰,张翠芬,等.天津海河隐伏断裂的晚第四纪活动特征研究[J].地震地质,2004,26(1):111-121.

CHEN Yukun, REN Feng, ZHANG Cuifen, et al. Characteristics of Late Quaternary Activity of the Haihe Buried Fault in Tianjin Municipality[J]. Seismology and Geology, 2004, 26(1): 111-121.

[8] 邵永新,李振海,陈宇坤,等.天津断裂第四纪活动性研究[J].地震地质,2010,32(1):80-89.

SHAO Yongxin, LI Zhenhai, CHEN Yukun, et al. A study on the Quaternary Activity of Tianjin Fault[J]. Seismology and Geology, 2010, 32(1): 80-89.

[9] 邵永新,马建英,张磊.天津地区咸水层观测井的改造与优化问题讨论[J].国际地震动态,2011(3):18-26.

SHAO Yongxin, MA Jianying, ZHANG Lei. Discussion about the Transformation and Optimization of Observation Wells of Salt Water Layer in Tianjin Region[J]. Recent Developments in World Seismology, 2011(3): 18-26.

[10] 王耀熙,刘双庆,刘文兵,等.天津塘沽、天船井水位异常机理的初步探讨[J].地震工程学报,2016,38(增刊 1):90-95.

WANG Yixi, LIU Shuangqing, LIU Wenbing, et al. A Preliminary Study on Water Level Anomalies of Tanggu and Tianchuan Wells in Tianjin[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(Suppl 1): 90-95.

② 邵永新,任峰,等.天津、沧东断裂钻孔详勘钻探与活动性鉴定.天津市地震局,2008。