

文章编号: 1006-6616 (2016) 03-0602-08

江苏如东洋口地区断裂特征及其意义

李 云, 姜月华, 杨国强, 金 阳, 杨 辉

(中国地质调查局南京地质调查中心, 南京 210016)

摘 要: 结合已有地热钻孔采用多种物探方法研究了江苏如东洋口地区断裂的空间展布特征。研究表明, 洋口地区分布3组断裂, 分别为隶属滨海断裂的北西向雁行型次级断裂、近东西向栟茶河断裂及海安—河口断裂。北西向雁行型次级断裂为4条, 主要分布于洋口地区北段及老坝港地区, 断裂陡倾, 倾向北东, 倾角 70° — 80° , 推测切穿至新近系。栟茶河断裂由3条次级断裂组成, 主要分布于洋口地区中段, 断裂走向近东西, 倾向北, 整体呈曲折状延伸, 倾角 60° — 80° 。结合以往地震地质特征以及地热钻孔资料, 认为栟茶河断裂为活动性断裂, 切穿了第四纪全新世地层, 全新世地层断距较小。断裂的活动性影响如东洋口经济开发区的建设与发展。海安—河口断裂自海安延伸至洋口地区南段, 走向近东西, 倾向南, 倾角约为 70° , 切穿古近纪地层。洋口地区断裂的分布与该地区地热资源分布具有良好的对应关系, 其对于该地区地热资源开发具有良好的指导意义。

关键词: 断裂特征; 滨海断裂; 栟茶河断裂; 地热资源; 如东洋口地区

中图分类号: P546

文献标识码: A

0 引言

作为国家发展战略之一, 江苏沿海经济区将发展成为区域性国际航运中心、新能源和临港产业基地、农业和海洋特色产业基地、重要的旅游和生态功能区, 涉及南通、盐城、连云港3个行政区。本文的研究区如东洋口地区隶属南通市, 靠近盐城东台地区, 为中央特批的国家一级渔港, 也是苏中沿海唯一的中心渔港以及洋口外闸所在地, 已逐步形成了工业、养殖、高新技术、旅游度假、港口服务等功能区。

由于地处黄海近海潜在震源区内, 20世纪以来洋口地区周边发生多次6级以上地震。地震可诱发活动性断裂的突然快速错动, 直接威胁断层之上建筑物的建设与运营安全^[1]。因第四纪松散层沉积物覆盖严重, 该地区断层在地表出露不明显。以往在该地区开展过部分地质调查工作, 获得了小比例尺以及与地热勘查相关的断裂研究结果^[2-4], 但迄今为止尚未对该地区断裂的展布位置及其活动性做出系统性分析, 给城市发展规划与安全运营留下了隐患。本文采用重力剖面测量、可控源音频大地电磁测深方法, 结合已有的物探结果以及地热钻孔资料, 分析洋口地区断裂的空间展布特征, 探讨各组断裂的活动性。

收稿日期: 2016-04-27

基金项目: 国土资源调查项目(1212011220002); 江苏省沿海地区地质调查项目“南通洋口港海岸带地质环境勘查”

作者简介: 李云(1984-), 男, 助理研究员, 从事水工环地质研究。E-mail: liyun9220@163.com

1 区域地质特征

洋口地区位于扬子陆块下扬子地块东北部, 属于下扬子地层分区, 第四纪地层覆盖严重, 未见前第四纪地层出露^[5]。根据以往钻孔揭示及物探资料, 该区自下而上岩石地层分别为: 上古生界中志留统一上泥盆统 (S_2-D_3)、石炭系—二叠系 ($C-P$), 中生界下三叠统青龙组 (T_1q)、上白垩统浦口组 (K_2p), 新生界古近系泰州组 (E_1t)、阜宁组 (E_1f)、三垛组 (E_{2-3s}), 新近系盐城组 (N_{1-2yc}), 第四系海门组 (Q_p^1h)、启东组 (Q_p^2q)、昆山组 (Q_p^3k)、溇湖组 (Q_p^3g) 和如东组 (Q_hr)。

以往 1:250000 区域地质调查资料表明, 该地区受北东向断裂带控制, 断裂带两侧地层发育存在较大差异。南侧自白垩纪沉积了一套碎屑物质后, 遭长期隆起剥蚀, 直到中新世末, 新构造运动使区内普遍沉降, 形成新近纪—第四纪的松散沉积物, 直接覆盖于晚古生代和中生代地层之上, 缺失古近系; 北侧属于凹陷区, 无长期隆起剥蚀过程, 地层发育齐全, 古生代、中生代及新生代地层均有沉积, 且古近系厚度巨大。断裂北西侧基岩地层为新生界古近系泰州组 (E_1t)、阜宁组 (E_1f) 和三垛组 (E_{2-3s}), 断裂南东侧基岩地层主要为下伏中生界上白垩统浦口组 (K_2p), 局部为中生界下三叠统青龙组 (T_1q) (见图 1)。区内基岩面起伏较大, 总体由南向北倾斜, 南部基岩面埋深最浅处小于 400 m, 至北部最深可达 1000 m 以上。洋口外闸围垦区地热钻井揭示, 第四纪地层为 0~250 m, 新近纪地层为 250~866 m, 866~1073 m 为古近纪地层 (未揭穿)^[2]。

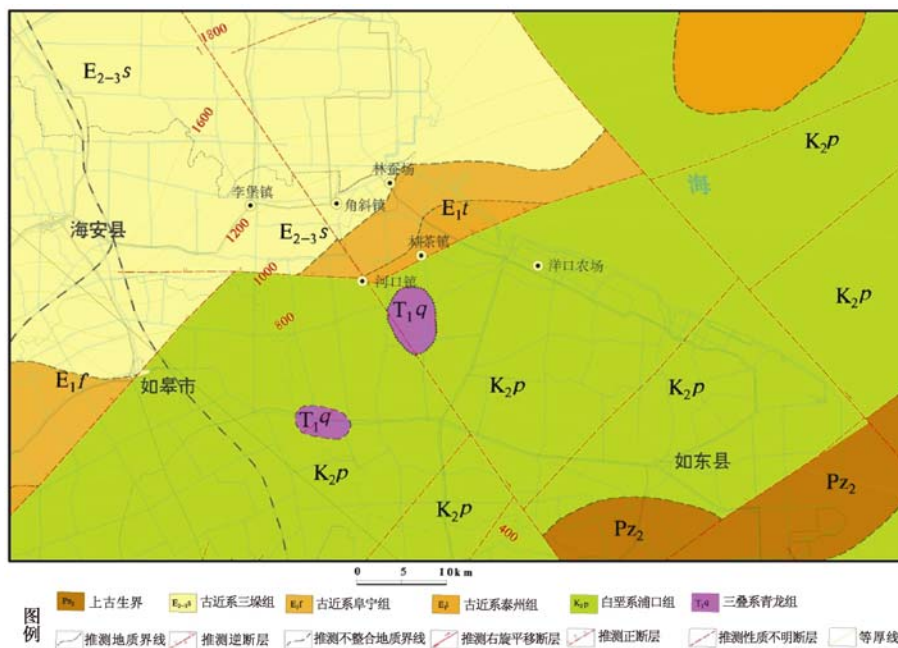


图 1 洋口地区基岩地质图

Fig. 1 Bedrock geological map of Yangkou area

2 地球物理综合探测

为查清洋口地区断裂的空间展布特征, 布设了3条北西向重力剖面(L1、L2、L3)和1条可控源音频大地电磁测深剖面(B4)。重力剖面测量方法具有较高的纵向解译精度, 可控源音频大地电磁测深方法则横向分辨率较高, 两者可以实现断裂构造解释的相互验证。

2.1 重力剖面测量

根据工作区密度特点, 垂向上可划分为4个密度层和3个密度界面, 分别与第四系底界、新生界底界和印支侵蚀面对应, 密度层的平均密度属性见表1。第三密度界面即印支侵蚀面是产生区内重力异常的主要地质因素, 界面的隆、凹往往与重力高异常、重力低异常相对应, 即中、新生代盆地可形成明显的重力低异常, 青龙组以及老地层的隆起或凸起可形成明显的重力高异常^[5]。

表1 地层密度分层表

Table 1 Hierarchical table of formation density in Yangkou area

密度层	平均密度值/($10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	地质属性
第一密度层	1.99	第四系
第二密度层	2.28	新近系、古近系
第三密度层	2.58	白垩系、侏罗系及中、上三叠统
第四密度层	2.71	下三叠统一中元古界

在1:500000布格重力异常等值线图(见图2)上, 洋口地区南北两侧存在明显的布格重力高值和低值异常, 整体呈由南往北降低的趋势。其中, 洋口—丁堰镇一线为重力高值区, 最高值大于 $12 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 反映前三叠纪地层的相对隆起; 新街镇—曲塘镇一线为重力低值区, 最低值小于 $-20 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 反映厚度较大的中、新生代沉积地层。两者之间重力异常等值线分布密集, 重力梯度带呈北东向展布。

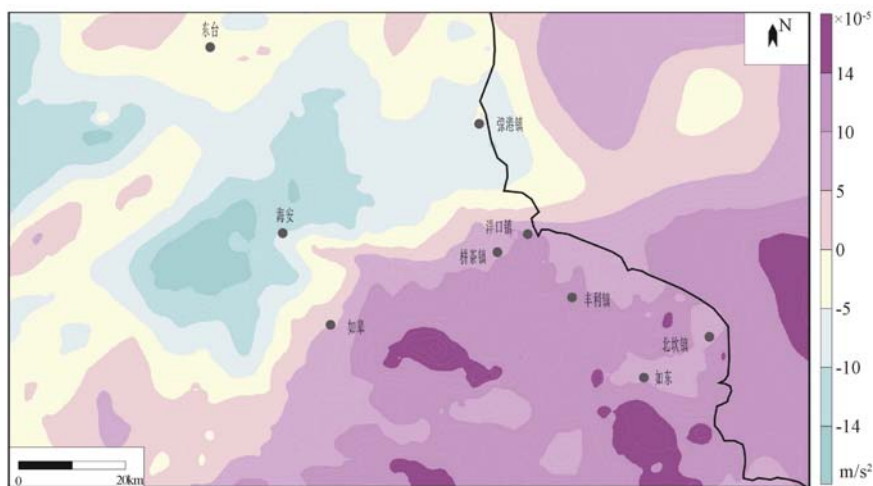


图2 洋口地区布格重力异常等值线图

Fig. 2 Contour map of Bouguer gravity anomalies in Yangkou area

洋口地区重力剖面测量结果呈整体由南往北降低的重力场趋势, 布格异常值介于 $8 \times 10^{-5} \sim$

25×10^{-5} 之间, 趋势与区域布格重力异常一致。重力测量剖面在中部存在布格异常值的凸起, 最高可达 $25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 且各曲线西北段重力梯度大 (见图3)。由于洋口地区基底为沉积地层, 横向上密度变化不是太大, 重力场值高低的主要影响因素为基岩的起伏及断裂构造。因此, 推断洋口地区重力梯级带为断裂带的重力异常表现, 中部高值区为基岩隆起, 西北部重力陡值区为断裂构造与底部地层密度相对较小的综合因素所致。洋口地区重力梯级带较宽的分布范围表明洋口地区断裂带由多条断裂组成。

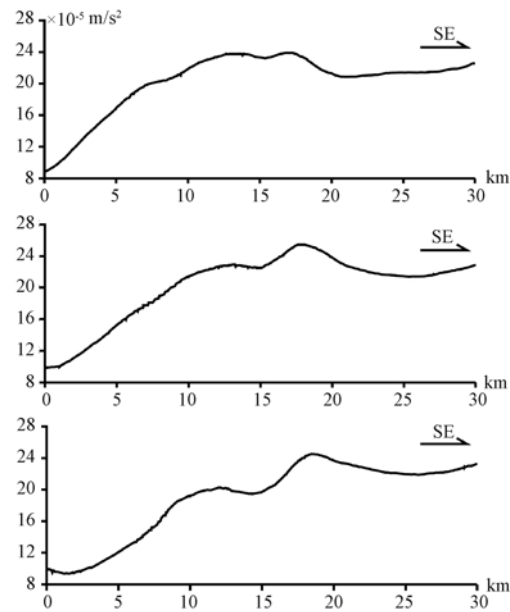


图3 L1—L3线布格重力异常曲线

Fig. 3 Bouguer gravity anomaly curves along L1, L2 and L3 Lines in Yangkou area

2.2 可控源音频大地电磁测深

区内不同地层、岩石间电阻率差异明显, 总体上成岩地层电阻率高于疏松层, 岩浆岩侵入相电阻率高于喷出相。在洋口地区, 第四系电阻率较低, 一般小于 $5 \Omega \cdot \text{m}$; 新近系电阻率亦较低, 但变化较大, 一般为 $5 \sim 50 \Omega \cdot \text{m}$; 古近系由于已固结成岩, 电阻率明显升高, 大小为 $30 \sim 60 \Omega \cdot \text{m}$; 白垩系电阻率总体与古近系相近, 介于 $60 \sim 80 \Omega \cdot \text{m}$; 三叠系及前三叠系位于印支面之下, 电阻率较高, 一般大于 $80 \Omega \cdot \text{m}$ (见表2)。

表2 洋口地区电性层地质属性表^[3]

Table 2 Formation resistivity in Yangkou area

电性层	电测深电阻率变化范围/ ($\Omega \cdot \text{m}$)	地质属性
ρ_1	<5	第四系
ρ_2	5 ~ 50	新近系
ρ_3	30 ~ 60	古近系
ρ_4	60 ~ 80	白垩系
ρ_5	>80	三叠系及印支面以下地层

以往的 CSAMT 工作^[3]揭示该地区 3000 m 以浅地层的电阻率表现为“低—中—高”的特征, 总体呈现 3 个电性层:

①800 m 以浅地层低阻率相对较低,为 $2 \sim 30 \Omega \cdot \text{m}$,其等值线小平展布,横向变化不大。其中 250 m 以浅电阻率小于 $5 \Omega \cdot \text{m}$,等值线稀疏,为第四纪地层。250 ~ 800 m 电阻率 $5 \sim 30 \Omega \cdot \text{m}$,为新近系盐城组泥岩、砂岩及砂砾岩。

②800 ~ 1800 m 为中阻层,电阻率 $40 \sim 80 \Omega \cdot \text{m}$,横向变化较大,等值线呈波状起伏,地层为古近系及白垩系。

③1800 m 以深,电阻率明显高于上一层,总体大于 $80 \Omega \cdot \text{m}$,横向变化大且连续性差,地层推测为三叠系及二叠系。

可控源音频大地电磁测深结果(见图 4)显示,浅部地层视电阻率较低,总体低于 $20 \Omega \cdot \text{m}$;往下视电阻率逐渐增加,最大可达 $300 \Omega \cdot \text{m}$ 。结合地质钻孔资料,视电阻率低于 $20 \Omega \cdot \text{m}$ 为第四纪和新近纪地层的视电阻率特征,地层厚度整体由南往北逐渐增加,在剖面南段厚约 750 m,北段厚约 1000 m。

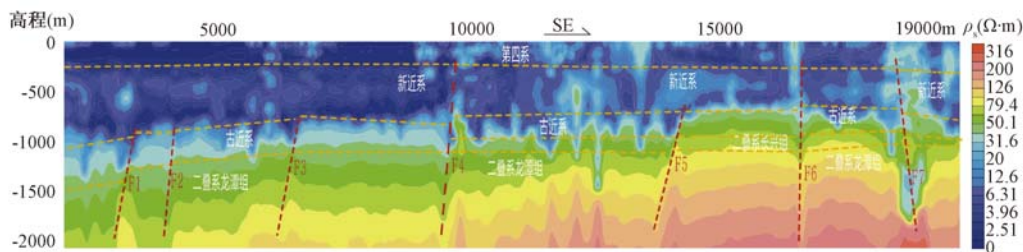


图 4 B4 反演电阻率推断解释剖面

Fig. 4 Inversion resistivity and geological interpretation of Line B4

在剖面上,视电阻率曲线有一定的起伏变化,在 3440 m、4220 m、6680 m、9800 m、14520 m、16800 m、18640 m 处视电阻率曲线呈阶跃状、漏斗状或陡倾状变化(见图 4),且与布格重力曲线变化特征比较吻合。结合重力剖面测量及区内已有地热井,综合分析认为洋口地区测线范围内存在多条断裂(F1、F2、F3、F4、F5、F6 和 F7),横向上分别对应可控源音频大地电磁测深剖面 3440 m、4220 m、6680 m、9800 m、14520 m、16800 m、18640 m 处电阻率异常变化。同时,在东北向 F4 断裂至 F5 断裂间,视电阻率曲线阶跃状变化频繁,反映出 F4 至 F5 断点位置处断裂延伸、几何结构的复杂性,左丽琼等^[3]认为该点处同时存在东北向与北西向断裂。据此推测可控源音频大地电磁测深与重力剖面上的 F4 断点处可能存在 2 条以上的断裂,为多条断裂共同作用的地段。结合重力、可控源音频大地电磁测深与二维地震结果,推测 F4 断裂附近异常为东北向与北西向 2 条断裂交汇(F4-1、F4-2)所致。

近年在洋口地区西侧开展的区域地质调查工作^[6]布设了 3 条可控源音频大地电磁测深剖面(B1、B2、B3),其探测结果亦揭示了明显的地层错断特征(见图 5),与洋口地区断裂延伸错断一致。

3 洋口地区断裂展布特征

结合区域重磁、区调项目成果^[5~7],分析认为洋口地区展布 2 套不同走向的断裂,分别为北西走向(F1、F2、F3、F4-1)和近东西走向断裂(F4-2、F5、F6、F7)(见图 6)。

根据断裂倾向,又可进一步划分为 3 组断裂。其中, F1、F2、F3、F4-1 为北西走向断裂,推测为北西走向滨海走滑断裂的雁行型次级断裂,主要分布于洋口地区北段及老坝港地区,断

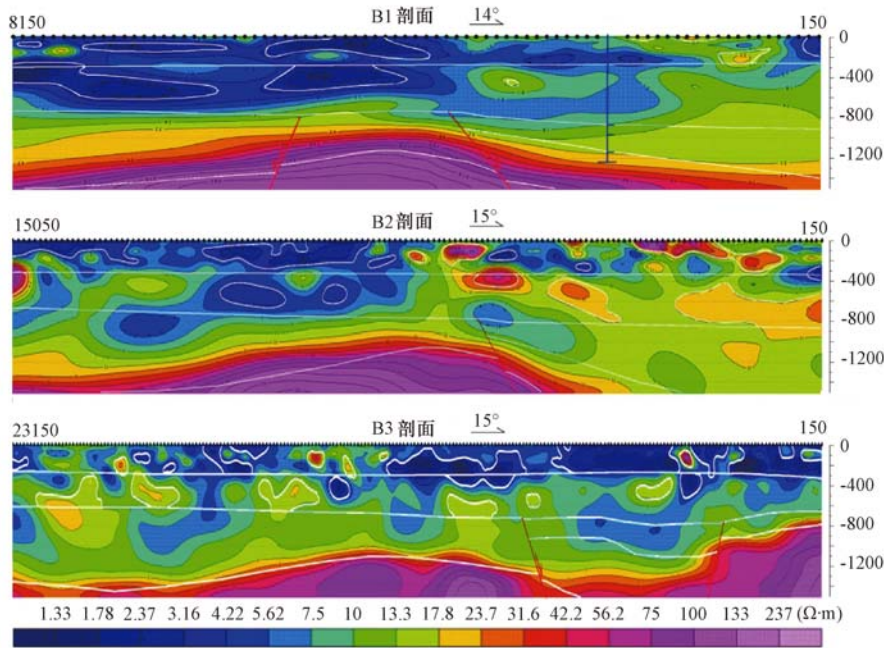


图5 B1—B3反演电阻率推断解释剖面

Fig.5 Inversion resistivity and geological interpretation of B1, B2 and B3 profiles

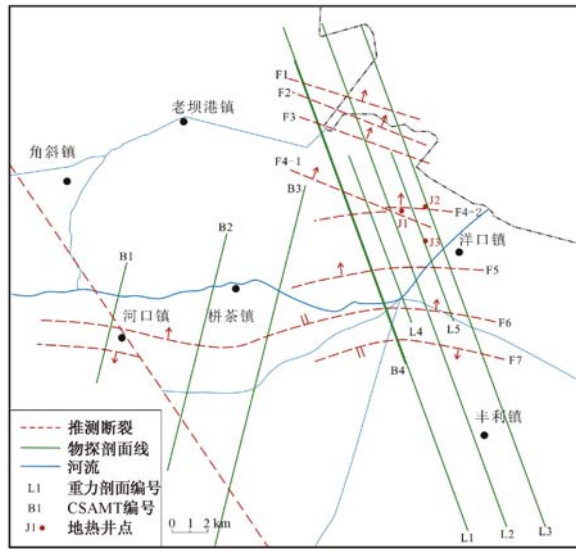


图6 洋口地区断裂分布综合解译成果图

Fig.6 Comprehensive interpretation of faults in Yangkou area

裂陡倾, 倾向北东, 倾角为 70° — 80° , 推测切穿至新近系。F4-2、F5、F6 为近东西走向北倾断裂, 推测为拼茶河断裂, 主要分布于洋口地区中段, 断裂整体沿东西方向呈曲折状延伸, 倾角 60° — 80° 。据江苏省地震工程研究院以往开展浅层地震研究, 认为拼茶河断裂为活动性断裂, 切穿了第四纪全新世地层, 全新世地层断距较小。F7 为近东西走向南倾断裂, 与根据重磁异常特征推测的海安—河口断裂吻合, 断裂倾角约为 70° , 切穿古近纪地层。

根据洋口地区附近北西向断裂晚于近东西向断裂的特点^[5], 推测该地区的北西向断裂 F4-1 错断了近东西向断裂 F4-2, 在 2 条断裂交汇地带受 2 组断裂的共同影响形成了结构复杂的多条次级断裂。在该交汇地带, 汇集了洋口地区仅有的 3 口地热井。J1 地热井终孔深度 418 m, 成井深度 412 m, 井口水温 42 ℃; J2 地热井井深 1073 m, 井口水温 76 ℃; J3 地热井井深 2800 m, 井口水温 92 ℃。这 3 口地热井的平均地温梯度均高于南通地区的平均地温梯度 (2.4 ℃/100 m), 受断裂控制明显^[2]。同时, 地热井的地温梯度变化呈现随水井离断裂交汇点的距离加大而减小的特点, 离断裂交汇点最近的 J1 地热井点平均地温梯度高达 5.8 ℃/100 m, 而距离最远的 J3 地热井点平均地温梯度则仅为 2.7 ℃/100 m, 略高于南通地区的平均地温梯度, 进一步论证了 F4-1 与 F4-2 断裂交汇带的存在。

4 结论与建议

综合野外地质和室内研究资料认为, 洋口地区展布 3 组断裂, 一组为北西走向北东倾断裂 (F1、F2、F3、F4-1), 第二组为近东西走向北倾断裂 (F4-2、F5、F6), 第三组为近东西走向南倾断裂 (F7)。北西走向断裂为滨海断裂的北西向雁行型次级断裂, 断裂陡倾, 倾向北东, 倾角 70°—80°, 推测切穿至新近系。近东西走向北倾断裂为栟茶河断裂, 整体倾向北, 自海安延至洋口地区入海, 走向与倾向随东西向延展不断改变, 整体呈曲折状延伸, 倾角 60°—80°, 错断全新世地层。作为活动性断层, 在地区发展建设过程中, 需要对其做进一步的危险性评估。

洋口地区断裂的分布特征与该地区地热资源的分布具有良好的对应关系, 该地区的地热水井均分布于北西向与近东西向 2 组断裂交汇的影响带附近, 且主要受控于近东西向 F4-2 断裂。认为洋口地区的地热受北西向与近东西向 2 组断裂的共同影响, 形成了裂隙比较发育、导热与导水性较好的区域, 越是靠近北西向与近东西向 2 组断裂交汇地带, 地热富集越明显。综合分析结果表明 F6 断裂相比于其他次级断裂具有更好的空间延展性, 其延展性甚至优于 F4-2 次级断裂。根据 F4-2 次级断裂的地热资源分布特征, 认为 F6 次级断裂附近分布丰富地热资源的可能性亦很大, 在该断裂附近可进一步开展大比例尺高精度的地热综合探测, 推动如东洋口地热产业的开发和社会经济的发展。

参 考 文 献

- [1] 邓起东. 城市活动断裂探测和地震危险性评价问题 [J]. 地震地质, 2002, 24 (4): 601 ~ 605.
DENG Qi-dong. Exploration and seismic hazard assessment of active faults in urban areas [J]. Seismology and Geology, 2002, 24 (4): 601 ~ 605.
- [2] 范迪富, 徐雪球, 戴康明. 江苏如东县小洋口地热田成因研究 [J]. 地质学刊, 2012, 36 (2): 192 ~ 197.
FAN Di-fu, XU Xue-qiu, DAI Kang-ming. Origin study of geothermal field in Xiaoyangkou of Rudong County in Jiangsu [J]. Journal of Geology, 2012, 36 (2): 192 ~ 197.
- [3] 左丽琼, 王彩会, 荆慧, 等. 综合物探方法在南通小洋口地区地热勘查中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 2016, 13 (1): 122 ~ 129.
ZUO li-qiong, WANG Cai-hui, JING Hui, et al. The application of comprehensive geophysical prospecting method to geothermal prospecting in Xiaoyangkou of Nantong City in Jiangsu [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2016, 13 (1): 122 ~ 129.
- [4] 范迪富, 徐宁玲. 苏北盆地中低温地热资源成矿模式研究 [J]. 水文地质工程地质, 2015, 42 (4): 164 ~ 170.
FAN Di-fu, XU Ning-ling. A study of the occurrence of geothermal resources of low to medium temperature in the Subei

- Basin [J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2015, 42 (4): 164 ~ 170.
- [5] 张登明, 徐雪球, 陈火根, 等. 1:25万南通市幅区域地质调查报告 [R]. 南京: 江苏省地质调查研究院, 2003.
ZHANG deng-ming, XU Xue-qiu, CHEN Huo-gen, et al. The 1:250000 regional geological survey report of the People's Republic of China, Nantongshi photograph (I51C004001) [R]. Nanjing: Geological Survey of Jiangsu Province, 2003.
- [6] 刘宪光, 程知言, 杨晋炜, 等. 江苏省1:5万三仓镇、弼港镇、李堡镇、栟茶镇、岔河镇、白蒲镇幅区域地质调查报告 [R]. 南京: 华东有色海洋院, 2016.
LIU Xian-guang, CHENG Zhi-yan, YANG Jin-wei, et al. The 1:50000 regional geological survey report of the People's Republic of China, Sancangzhen photograph (I51E020003), Jianggangzhen photograph (I51E020004), Libaozhen photograph (I51E021003), Benchazhen photograph (I51E021004), Chahezhen photograph (I51E022004), Baipuzhen photograph (I51E023004) [R]. Nanjing: Institute of Geochemical Exploration and Marine Geological Survey, ECE, 2016.
- [7] 王明义, 郝培栋, 郭永春, 等. 江苏省苏中工区1/5万重力测量成果报告 [R]. 南京: 地矿部华东石油局第6物探大队, 1991.
WANG Ming-yi, HAO Pei-dong, GUO Yong-chun, et al. The 1:50000 gravity survey report of central Jiangsu region [R]. Nanjing: The No. 6 Geophysical Prospecting Unit of East China Petroleum Bureau, 1991.

CHARACTERISTICS OF THE FRACTURES IN YANGKOU AREA, RUDONG, JIANGSU PROVINCE AND ITS IMPLICATION

LI Yun, JIANG Yue-hua, YANG Guoqiang, JING Yang, YANG Hui

(*Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China*)

Abstract: Fracture characteristics in Rudong Yangkou area, Jiangsu province have been studied through various geophysical methods combined with geothermal drilling data in this paper. Results indicate that there are three fault systems in Yangkou area, including a NW-trending secondary fault system of Binhai fault, EW-trending Benchahe fault system and Haiian-Hekou fault. The NW-trending secondary fault system contains four secondary faults, mainly distributed in the north of Yangkou area and Laobagang area. The faults are steeply NE-dipping, with dip angles range from 70° to 80° , and speculatively cut through the Neogene strata. The EW-trending Benchahe fault system contains three secondary faults, mainly distributed in the middle of Yangkou area. The faults are mainly north dipping, with dip angles range from 60° to 80° . Combined with previous seismogeological and geothermal data in Yangkou area, it is comprehensively speculated that Benchahe fault is active, which makes the Quaternary Holocene strata being cut off with minor displacement. The activity of Benchahe fault influences the safety in the construction and development of Yangkou Economic area. The EW-trending Haiian-Hekou fault is south dipping with the dip angle about 70° , extending from haiian to the south of Yangkou area and cut off the Paleogene strata. There is compatible corresponding relation between distribution characteristics of faults and geothermal resources in Yangkou area, which is of certain guiding significance for the geothermal resources exploitation in this region.

Key words: fracture characteristics; binhai fault; benchahe fault; geothermal resource; Yangkou area