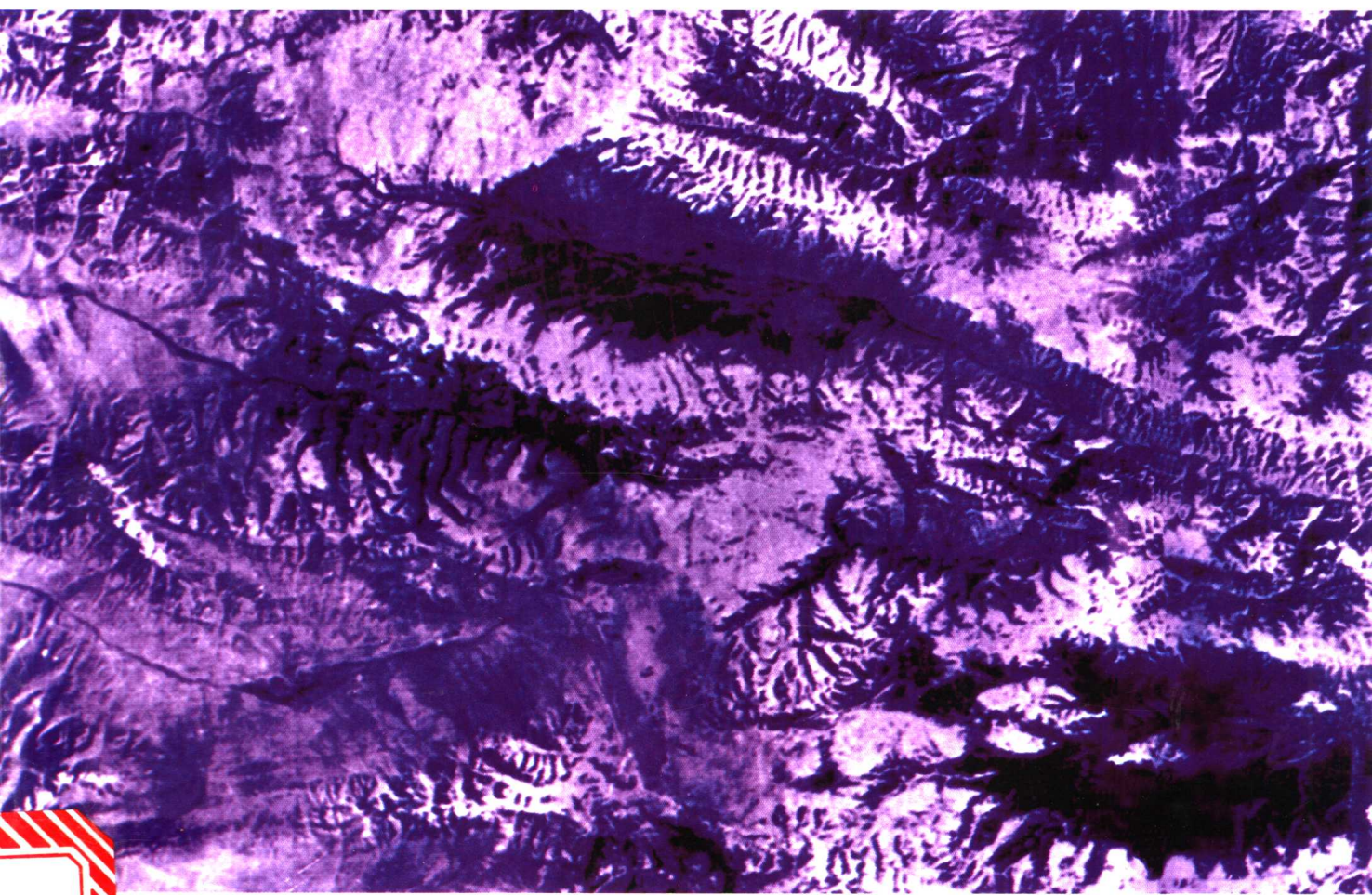


13

# 地壳构造与地壳应力文集

中国地震局地壳应力研究所 编



542

3

地震出版社



# 地壳构造与地壳应力文集

(13)

中国地震局地壳应力研究所 编

地震出版社

2000

## 图书在版编目 (C I P) 数据

地壳构造与地壳应力文集. 13 / 中国地震局地壳应力研究所编. —北京: 地震出版社, 2001.3

ISBN 7-5028-1865-0

I. 地… II. 中… III. ①地壳构造-研究-文集②地应力-研究-文集 IV. P31-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 13564 号

## 内 容 提 要

本书共有论文 24 篇, 为中国地震局地壳应力研究所近几年在地震地质、地震监测、地应力观测与应用及工程地质等试验和研究方面的部分成果。涉及了地质构造活动特征、地震活动性、地震趋势预测、有限元计算、地应力测量、用卫星技术监测地质灾害及工程地质等方面的内容。

本书可供地质、地震减灾、工程地质等方面的工作人员及有关大专院校的师生参考。

## 地壳构造与地壳应力文集 (13)

中国地震局地壳应力研究所 编

责任编辑: 张晓波

---

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 68423031

门市部: 68467991

传真: 68467972

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.Net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

---

版 (印) 次: 2001 年 3 月第一版 2001 年 3 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 349 千字

印张: 13.625

印数: 001~500

书号: ISBN 7-5028-1865-0/P·1073 (2412)

定价: 20.00 元

版权所有, 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

## 编 委 会

主 编：赵国光

副主编：傅子忠      唐荣余      谢富仁

编 委：（按姓氏笔画排列）

于慎鄂      王文清      王恩福      卞兆银      勾 波

江娃利      刘光勋      杜振民      李 克      李方全

李 宏      苏恺之      张伯崇      张宝红      欧阳祖熙

陈 虹      陈学波      陈宏德      陈永德      赵国光

唐荣余      陆远忠      郭启良      郭世凤      黄福明

黄忠贤      傅子忠      谢富仁

编 辑：王文清      张宝红

## 目 录

|                                      |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 北京平原主要活动断裂全新世活动定量研究及未来地震危险性预测        |                               |
| .....江娃利 侯治华 苏怡之 张英礼 谢新生 肖振敏         | (1)                           |
| 华北平原及其邻近地区强震构造环境与地震活动趋势分析            |                               |
| .....于慎谔 龚复华 卢造勋 姜德录 孟补在 董宝中 晁洪太 王志才 | (16)                          |
| 红河断裂孕震环境的流体作用机制研究                    | 张 超 谢富仁 张世民 (31)              |
| 构造稳定性评价方法研究及其在内昆铁路线天旱场至仙水段的应用        |                               |
| .....谢富仁 刘光勋 赵建涛                     | (45)                          |
| 大青山山前断裂活动的分段性研究                      | .....马保起 李 克 吴卫民 (53)         |
| 青藏高原北东边缘第四纪构造应力场转变的有关地质证据            | .....舒塞兵 谢富仁 (61)             |
| 山西大同晚新生代断陷带的构造发育史与构造岩浆过程             | .....杨承先 (66)                 |
| 河北省张家口断裂带的空间展布和第四纪活动特征               |                               |
| .....朱德瑜 王珊玲 许桂林 皇甫清                 | (74)                          |
| 中国东部海域岩石层 S 波速度结构                    | .....郑月军 李红谊 黄忠贤 彭艳菊 刘福田 (79) |
| 地球化学测汞方法在断裂构造研究中的应用                  |                               |
| .....侯治华 戚文忠 钟南才 卫敬生 韩振声             | (85)                          |
| 简述花状构造的地震地质意义                        | .....杨承先 于慎谔 (92)             |
| 唐山地震的局部地面隆起                          | .....张宝红 邱泽华 (98)             |
| 卫星遥感技术应用于减轻地震灾害                      | .....张景发 王晓青 苗崇刚 (108)        |
| 断层地震扩容前兆现象的地震量子模型分析                  | .....杨树新 苏恺之 (114)            |
| 占构造残余应力场研究                           | .....安 欧 (120)                |
| 长庆油田深层岩芯 AE 法应力测量                    | .....李 宏 董平川 (131)            |
| 山东鲍店煤矿原始地应力场数值模拟及其与采区稳定性关系的研究        |                               |
| .....杨树新 王建军                         | (138)                         |
| 高水头电站钻孔高压压水的作用和意义                    | .....郭启良 安其美 丁立丰 (148)        |
| 断面分维数测算系统的建立及可靠性验证                   | .....蒋林根 张宗贤 俞洁 (155)         |
| 机械阻抗法测量基桩承载力原地试验研究                   | .....王恩福 赵国存 张国宏 (162)        |
| 岩石动态断裂过程中的能量问题                       | .....蒋林根 张宗贤 俞洁 (169)         |
| 浅层地震勘探在贫水基岩区找水中的应用                   | .....刘德权 赵国存 张国宏 王恩福 (176)    |
| 全球定位技术在三峡库区滑坡监测中的应用                  |                               |
| .....欧阳祖熙 张永庆 张宗润 贾维九 师洁珊            | (185)                         |
| InSAR 处理算法及理论模型综合研究                  | .....张景发 李发祥 张世民 (192)        |

# CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                                          |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Quantitative Study of Holocene Activity of Main Active Faults in the Beijing Plain and<br>Prediction of Future Seismic Danger<br>.....Jiang Wali Hou Zhihua Su Yizhi Zhang Yingli<br>Xie Xinsheng Xiao Zhenming (1)                      | (1)  |
| The Tectonic Environment of Strong Earthquakes in North China and<br>its Adjacent Areas and Their Seismic Tendency Analyses<br>..... Yu Shen'e Gong Fuhua Lu Zaoxun Jiang Delu<br>Meng Buzai Dong Baozhong Chao Hongtai Wang Zhicai (16) | (16) |
| Study on Fluid-seismogenesis Mechanism and its Application to the Honghe Fault Zone<br>..... Zhang Chao Xie Furen Zhang Shimin (31)                                                                                                      | (31) |
| Methodology of Tectonic Stability Assessment and its Application for<br>the Tianxingchang-Xianshui Segment of the Neijiang-Kunming Railway Project<br>..... Xie Furen Liu Guangxun Zhao Jiantao (45)                                     | (45) |
| Segmentation of the Daqingshan Piedmont Fault..... Ma Baoqi Li Ke Wu Weimin (53)                                                                                                                                                         | (53) |
| Geological Evidences of the Grand Transformation in the Tectonic Stress Field<br>in Northeastern Margin of the Qinghai-Tibet Plateau<br>..... Shu Saibing and Xie Furen (61)                                                             | (61) |
| Late Cenozoic Tectonic Evolution and Tectono-magmatism of the Fault Depression<br>Zones in Datong Region, Shanxi Province ..... Yang Chenxian (66)                                                                                       | (66) |
| Spatial Distribution and its Quaternary Activities of the Zhangjiakou Fault,<br>Hebei Province.....Zhu Deyu Wang Shanling Xu Geilin Huangpu Qing (74)                                                                                    | (74) |
| S Wave Velocity Structure of Lithosphere beneath the Seas in Eastern China<br>..... Zheng Yuejun Li Hongyi Huang Zhongxian Peng Yanju Liu Futian (79)                                                                                    | (79) |
| Geochemical Surveying Method for Detecting Mercury Absorbed in Soil and<br>its Application for Investigating Shattered Fault Zone<br>.....Hou Zhihua Qi Wenzhong Zhong Nancai<br>Wei Jingsheng Han Zhengsheng (85)                       | (85) |
| Brief Description on Flower Structure and Its Seismo-Geological Significance<br>..... Yang Chengxian and Yu Shen'e (92)                                                                                                                  | (92) |

|                                                                                |                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| The Surficial Swelling Associated with the 1976 Tangshan Earthquake            |                                                            |
| ..... Zhang Baohong Qiu Zehua                                                  | (98)                                                       |
| Application of Satellite Sensing Technology to Earthquake Disaster Mitigation  |                                                            |
| ..... Zhang Jingfa Wang Xiaoqing Miao Chonggang                                | (108)                                                      |
| Analysis of Characteristics of the b-Value and the Dilatancy Precursors before |                                                            |
| Large Earthquakes by Earthquake “Quanta” Model                                 |                                                            |
| ..... Yang Shuxin and Su Kaizhi                                                | (114)                                                      |
| Research on Paleo-tectonic Residual Stress Field                               | ..... An Ou (120)                                          |
| In-situ Stress Measurement of the Changqing Oil Field by AE Method             |                                                            |
| with Deep-level Rock Core                                                      | ..... Li Hong and Dong Pingchuang (131)                    |
| Numerical Simulation of the Stress Field of a Coal Mine in Shandong Province   |                                                            |
| and the Stability Evaluation of the Stope in Relation to the Stress State      |                                                            |
| ..... Yang Shuxin and Wang Jianjun                                             | (138)                                                      |
| High-Pressure Packer Permeability Test in Boreholes for Power Station with     |                                                            |
| High Water Head and its Significance                                           | ..... Guo Qiliang An Qimei and Ding Lifeng (148)           |
| Establishment and Reliability Validation of a Measuring and Computing          |                                                            |
| System for Fractal Dimension of Fracture Surfaces                              |                                                            |
| ..... Jiang Lingen Zhang Zongxian Yu Jie                                       | (155)                                                      |
| In-situ Tests of Pile Bearing Capacity by Mechanical Impedance Method          |                                                            |
| ..... Wang Enfu Zhao Guocun Zhang Guohong                                      | (162)                                                      |
| Energy Distribution during the Process of Rock Dynamic Fracturing              |                                                            |
| ..... Jiang Lingen Zhang Zongxian Yu Jie                                       | (169)                                                      |
| Shallow Seismic Exploration Applied to Groundwater Exploitation of Poor Water  |                                                            |
| Bedrock Region                                                                 | ..... Liu Dequan Zhao Guocun Zhang Guohong Wang Enfu (176) |
| GPS Technique and its Application in Monitoring of Landslides                  |                                                            |
| in the Three-Gorges Reservoir                                                  | ..... Ouyang Zuxi Zhang Yongqin                            |
| ..... Zhang Zongrun Jia Weijiu Shi Jieshan                                     | (185)                                                      |
| A Synthetic Study of InSAR Processing Algorithm and Theoretical Model          |                                                            |
| ..... Zhang Jingfa Li Faxiang Zhang Shimin                                     | (192)                                                      |

# 北京平原主要活动断裂全新世活动定量研究 及未来地震危险性预测<sup>①</sup>

江娃利 候治华 苏怡之 张英礼 谢新生 肖振敏

(中国地震局地壳应力研究所 北京 100085)

## 一、前 言

北京平原位于华北平原西北角,地处燕山南缘与太行山东北缘衔接地带。源自燕山山脉的潮白河及太行山脉的永定河构成北京平原区两大水系。北京平原属于山前冲洪积平原,总体地势西北高东南低,海拔高程 50~10m,坡降 5%。北京市坐落在北京冲洪积平原的后缘。北京平原的活动构造为隐伏活动构造,增加了该地区地震构造研究的难度。本文将展示近年对这一地区主要活动断裂开展调查取得的主要结果,并对该地区未来强震危险性进行探讨。

## 二、主要活动断裂全新世活动特征

### 1. 第四纪活动构造格局

华北平原新生代断陷始于早第三纪始新世。始新世时期北京南面的保定凹陷、固安凹陷沉积有 5000m 厚的陆相碎屑,而此时北京地区仍处于隆起状态。渐新世时期北京平原出现两凹一隆构造格局,北京凹陷和大厂凹陷出现,其间隔着大兴隆起。在北京凹陷中,涿县与丰台两个沉积中心的渐新统厚 900m。晚第三纪,涿县沉积中心消失,丰台凹陷仍有 1000m 上第三系沉积。大厂凹陷的渐新统厚 2000m,上第三系厚 200m。

第四纪时期,北京地区的构造活动出现新的格局。第三纪时期形成的北京凹陷在第四纪时期已消失,涿县、丰台一带仅堆积不足 100m 厚的第四系,而第四纪时期在来广营北形成顺义凹陷。顺义凹陷内出现北东向鲁町及北西向东坝两个沉积中心,沉积中心的第四系厚度大于 700m,同时北东向大厂凹陷第四纪时期继续活动,形成 700m 厚的第四纪沉积。此外,第四纪时期还在北京市西北昌平地区形成了北西向马池口凹陷,第四系厚 600 余米(图 1)。本区除上述 3 个第四纪沉积厚度大于 600m 的凹陷外,还有几个规模较小的第四纪沉积中心,其中怀柔凹陷第四系厚 350m;平谷凹陷第四系厚 500m;昆明湖凹陷第四系厚 250m,这些第四纪沉积凹陷的边缘大多受到活动断裂控制。

综合前述可以看到,北京地区第四纪构造格局具有以下特征:①本区第四纪以来存在块体断陷活动;②本区的第四纪断陷并不完全遵循第三纪构造格局,除大厂断陷在第四纪

①中国地震局九五重点研究项目,课题编号:9404080302。

时期继续活动外，第三纪形成的北京凹陷在第四纪已不活动，同时在北京凹陷北侧形成顺义凹陷；③除北北东向断陷以外，该区第四纪时期还发育有北西向断陷。

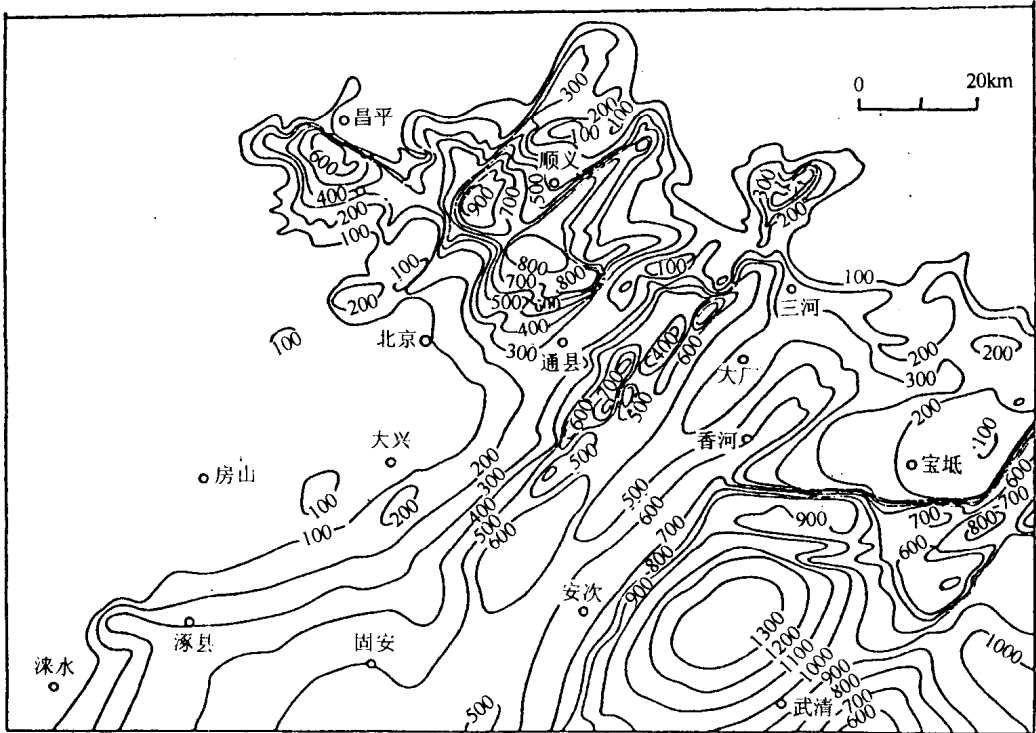


图 1 北京地区第四纪断陷分布（据北京地震地质会战第二专题，等值线单位 m）

本区第四纪活动断裂与第四纪凹陷的展布密切相关，主要以北北东及北西向断裂为主。本区共有第四纪活动断裂 12 条，其中北东向活动断裂 8 条，北西向活动断裂 3 条，东西向活动断裂 1 条（表 1，图 2）。本区活动断裂展布规模大于 100km 的有 3 条北北东向

表 1 北京平原第四纪活动断裂要素

| 编号 | 断 裂 名 称   | 断层产状     | 断裂长度/km | 主要活动时期            | 最新活动时期           | 断裂所处构造位置                                                                                                           |
|----|-----------|----------|---------|-------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 南口山前断裂    | NE60°/SE | 60      | Q                 | Q <sub>3</sub>   | 怀柔凹陷,顺义凹陷<br>鲁町沉积中心西界<br>顺义凹陷鲁町<br>沉积中心东界<br>顺义凹陷东坝<br>沉积中心东界<br>大厂凹陷西界<br>大厂凹陷东界<br>廊坊凹陷西界<br>马池口凹陷北界<br>顺义凹陷东坝南界 |
| 2  | 东北旺—小汤山断裂 | NE22°/SE | 24      | Q                 | Q <sub>3</sub>   |                                                                                                                    |
| 3  | 黄庄—高丽营断裂  | NE/SE    | 130     | E、N、Q             | Q <sub>4</sub>   |                                                                                                                    |
| 4  | 顺义—良乡断裂   | NE/SE    | 100     | Q                 | Q <sub>3,4</sub> |                                                                                                                    |
| 5  | 大兴—通县断裂   | NE/NW    | 60      | N、Q               | Q <sub>3</sub>   |                                                                                                                    |
| 6  | 夏垫断裂      | NE/SE    | 120     | E、N、Q             | Q <sub>4</sub>   |                                                                                                                    |
| 7  | 香河断裂      | NE/NW    | 22      | N、Q               | Q <sub>2</sub>   |                                                                                                                    |
| 8  | 河西务断裂     | NE/SE    | 60*     | E、N、Q             | Q <sub>3</sub>   |                                                                                                                    |
| 9  | 南口—孙河断裂   | NW/SW.NE | 60      | Q                 | Q <sub>4</sub>   |                                                                                                                    |
| 10 | 永定河断裂     | NW/SW.NE | 26      | M <sub>2</sub> 、Q | Q <sub>2</sub>   |                                                                                                                    |
| 11 | 廊坊—武清断裂   | NW/SW    | 50      | Q                 | Q <sub>3</sub>   |                                                                                                                    |
| 12 | 宝坻断裂      | EW/S     | 40*     | M <sub>2</sub> 、E | Q <sub>1-2</sub> |                                                                                                                    |

注：表中编号与图中断裂编号一致；\*表示此处数据仅指本区展布的长度。

断裂, 为黄庄—高丽营断裂, 顺义—良乡断裂及夏垫断裂。这 3 条断裂分别位于顺义第四纪凹陷西南两侧及大厂第四纪凹陷西侧。规模最大的北西向断裂为南口—孙河断裂。以下本文将讨论夏垫断裂、高丽营断裂及南口—孙河断裂的全新世活动特征, 在预测该区未来强震时, 还将涉及到大兴—通县断裂。

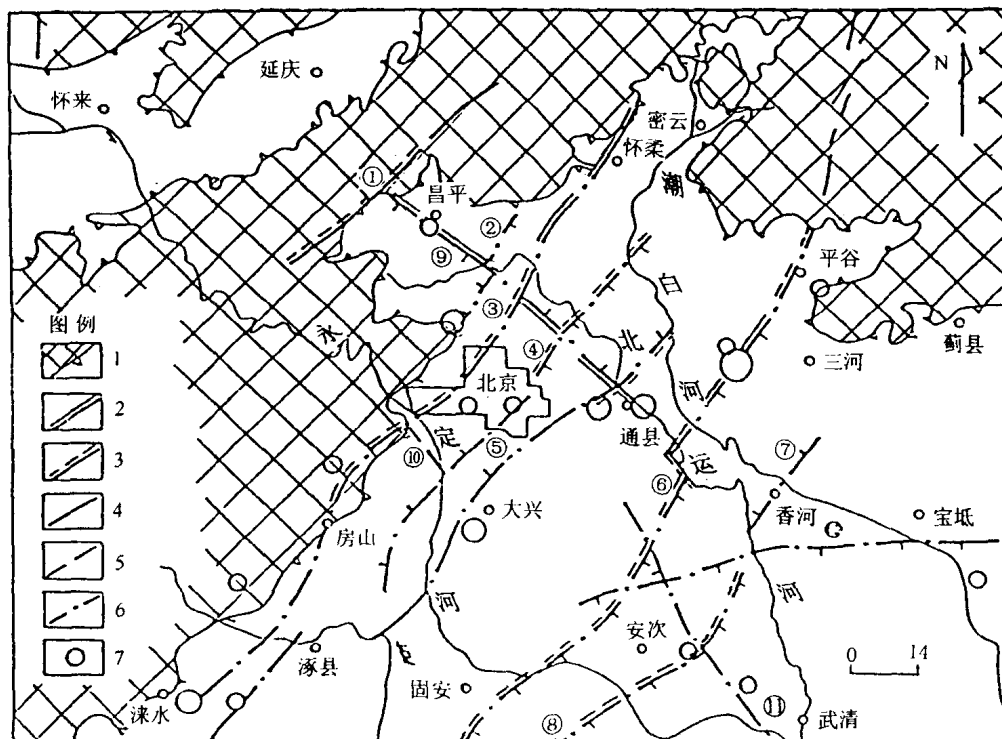


图 2 首都圈平原区活动断裂分布及震中分布图

1. 山区与平原界限; 2. 全新世活动断裂; 3. 晚更新世活动断裂; 4. 第四纪活动断裂;  
5. 前第四纪断裂; 6. 隐伏活动断裂; 7. 地震震中分布; 断裂编号①~⑫见表 4

## 2. 主要活动断裂全新世活动特征

### (1) 夏垫断裂。

该断裂位于京东平原, 北北东走向, 长 120km, 北起平谷县王辛庄, 向南经夏垫、永乐店至凤河营西侧通过。该断裂是大厂断陷西界主控断裂。大厂凹陷形成于早第三纪, 晚第三纪活动减弱, 第四纪活动加强。该断裂曾发生 1679 年三河—平谷 8 级地震。

夏垫断裂两侧有 3 对钻孔反映夏垫断裂带第四纪活动。马坊南面的小五福村, 断裂两侧 131—22 孔与 131—19 孔第四系落差 247m; 夏垫断裂两侧夏 2 与夏 4, 两孔下更新统底界断距 320m, 中更新统底界断距 170m, 上更新统底界断距 20m<sup>①②</sup>。位于断裂下降盘夏 2 孔显示了第四系向断面的倾斜, 下更新统倾角  $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ , 中更新统倾角  $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ , 上更新统倾角  $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ , 表明断层下降盘不同时代地层的掀斜幅度不同<sup>②</sup>。在大厂凹陷

①北京平原钻孔柱状图图集, 1987, 北京市地震地质会战研究成果汇编(5), 北京市地震地质会战办公室。

②北京地震地质会战第二专题组, 1979, 北京地区活动构造体系图说明书。

南段西集,断裂两侧 121—2 孔与 292—23 孔第四系落差 200 m。

有关 1679 年三河—平谷 8 级地震的地表破裂,孟宪梁<sup>[2, 3]</sup>、向宏发<sup>[4]</sup>曾进行过较详细的研究,向宏发(1988、1994)<sup>[4, 5]</sup>、冉永康<sup>[6]</sup>分别在该地表破裂带的中段潘各庄、西端东柳河屯开挖探槽,对该地表破裂带的古地震特征进行研究。徐锡伟<sup>[7]</sup>在东柳河屯实施 2 孔浅钻,依据钻孔地层位错及地层年代学资料,对夏垫断裂 26ka 以来的古地震事件进行了研究。本研究在夏垫断裂 1679 年 8 级地震地表破裂带的东端齐心庄实施探槽工程,并对前人(焦振兴等, 1983<sup>①</sup>)在潘各庄实施的浅钻进行了层位落差及晚更新世晚期古地震事件分析。

齐心庄探槽工程由 2 个探槽及 4 个探坑组成,探槽最大深度 4m,探槽及探坑展布的地面跨度达到 400m。开挖探坑地面跨度如此之大的主要目的是了解断层下降盘淤积塘的展布范围。本项探槽工程共揭露出地层层位 16 层,实测 <sup>14</sup>C 测年样品 6 个,热释光测年样品 13 个。

依据探槽剖面显示的地层断错、崩积楔、堰塞塘堆积及探槽内地层的揉皱,该探槽共揭露全新世 4 次强震事件,其中包括 3 次古地震事件及一次历史地震<sup>[8]</sup>。这 4 次强震分别发生在距今 10.85~9.71ka、7.39~6.68ka、5.416~2.233ka 及 1679 年三河—平谷 8 级地震,这 4 次强震的时间间隔分别为  $3.245 \pm 0.336\text{ka}$ 、 $3.211 \pm 0.815\text{ka}$  及  $3.553 \pm 0.796\text{ka}$ ,平均强震间隔为  $3.336 \pm 0.396\text{ka}$ ,4 次强震的平均同震垂直位移为  $1.4 \pm 0.4\text{m}$ 。各期古地震事件的判断依据见表 2。

表 2 夏垫断裂齐心庄探槽古地震事件判别依据及发生时间

| 地震事件分期         | 地震事件发生时间          | 地震事件表现       | 同震垂直位移 / m    |
|----------------|-------------------|--------------|---------------|
| E <sub>1</sub> | 1679 年三河—平谷 8 级地震 | 地表陡坎及层(14)揉皱 | 1.8           |
| E <sub>2</sub> | 5.416~2.233kaB.P. | 层(11)堰塞塘堆积   | 1.0           |
| E <sub>3</sub> | 7.39~6.68kaB.P.   | 层(9)崩积楔堆积    | 0.5~1.0       |
| E <sub>4</sub> | 10.85~9.71kaB.P.  | 层(7)崩积楔堆积    | ≥1.9          |
| 累积垂直位移         |                   |              | 5.7           |
| 平均垂直位移         |                   |              | $1.4 \pm 0.4$ |

通过对前人开挖的东柳河屯探槽资料的分析,齐心庄探槽与东柳河屯探槽有 3 次地震事件可以对比,同时齐心庄探槽较东柳河屯探槽多一次距今 5.416~2.233ka 的地震。在同震位移对比方面,齐心庄探槽全新统的垂直落差近 6.0m,若考虑地层落差与地面陡坎的综合分析,东柳河屯探槽同期的垂直落差约 6.0m。徐锡伟<sup>[7]</sup>依据东柳河屯钻孔资料认为,在全新世时期,夏垫断裂曾发生 3 期地表破裂型强震事件。这 3 期强震事件除 1679 年三河—平谷 8 级地震外,另 2 期事件发生在距今  $4.2 \pm 0.37\text{ka}$  及  $7.97 \pm 0.65\text{ka}$ 。这 3 期强震事件与齐心庄探槽全新世期间后 3 次地震事件大体对应。

80 年代初期,焦振兴等人在潘各庄东,位于夏垫断裂 1679 年 8 级地震地表断层陡坎两侧实施 2 个钻孔,孔距 100m。潘 1 孔位于断层北西侧上升盘,孔深 20.5m,潘 2 孔位于断层南东侧下降盘,孔深 30m。潘 1 孔与潘 2 孔的地层分别划分为 21 层及 26 层。这些地层由亚砂土、亚粘土及粉砂土组成。因这两个钻孔有详细的地层记录及 3 个 <sup>14</sup>C 测年

①焦振兴等, 1983, 夏垫断裂晚更新世以来活动性初探。

数据, 本研究根据现今对古地震造成断层两侧地层落差的认识, 重新分析了这 2 个钻孔所反映的晚更新世晚期以来的古地震事件<sup>[9]</sup>。

在夏垫断裂潘各庄钻孔资料的分析中, 判断古地震存在的依据有以下几点: ①断裂一侧层位缺失。②地层上下层位的位移量存在差异, 下层位移量大于上层位移量, 下层存在剩余的垂直位移。③同层厚度出现明显差异, 表明在层位沉积过程中, 出现局部沉积环境的剧烈变动。依据上述分析, 共判定潘各庄钻孔在距今 3 万年以来存在 8 次古地震事件。据已有的 3 个测年资料, 推测这 8 次古地震各次的间隔为 3.947~4.625ka, 其平均间隔为  $4.286 \pm 0.339\text{ka}$ 。这 8 次强震事件的同震垂直位移列入表 3, 其平均同震垂直位移为  $1.69 \pm 0.5\text{m}$ <sup>[9]</sup>。

表 3 夏垫断裂潘各庄钻孔距今 3 万年以来地震事件及同震垂直位移

| 地震事件期次     | E <sub>1</sub> | E <sub>2</sub> | E <sub>3</sub> | E <sub>4</sub> | E <sub>5</sub> | E <sub>6</sub> | E <sub>7</sub> | E <sub>8</sub> |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 各期同震垂直位移/m | 1.50           | 1.35           | 1.90           | 2.85           | 1.05           | 1.70           | 1.15           | 2.00           |

## (2) 南口—孙河断裂带。

该断裂带北西走向, 北西端起自昌平南口镇, 向南东方向经百泉、孙河到通县, 长约 80km。该断裂的活动表现为枢纽断裂, 断裂的西北段断面倾向南西, 控制了马池口北西向第四系凹陷。该断裂南东段断面倾向北东, 与高丽营断裂带共同控制了顺义凹陷, 其中顺义凹陷东坝沉积中心的第四系等值线显示了与该断裂展布相同的北西方向。

有关南口—孙河断裂的活动时代, 80 年代北京地震地质会战资料确定其为第四纪活动断裂。以后李华章、杨景春等<sup>①</sup>及徐海鹏等<sup>[10]</sup>曾依据地貌及水系变迁, 认为该断裂全新世存在活动, 但缺少断裂活动直接证据。90 年代初, 向宏发等人对南口—孙河断裂展开了详细调查<sup>[5]</sup>, 通过浅钻认为断裂两侧晚更新世晚期地层被错断。向宏发等人在昌平百泉开挖的探槽表明, 断裂在距今 1.2 万年前曾有活动, 但断面被 1.1 万年地层覆盖。本研究于 1999 年在昌平旧县西对南口—孙河断裂实施了探槽工程, 揭露出该断裂全新世活动的多期古地震事件<sup>②</sup>。

昌平旧县探槽工程包括 3 个探槽, 1 个探坑及 1 个陡坎剥落剖面。探槽工程的南北向跨度达到 136m, 探槽开挖总长度达 70m, 探槽开挖的最大深度达到 8m。探槽内出露的断面, 位于现今地表陡坎以南 47m。旧县探槽共实测 <sup>14</sup>C 测年样品 8 个, 热释光测年样品 (TL) 27 个, 并做了 8 个样品的粒度分析, 7 个样品的全化学分析, 2 个样品的扫描电镜。

旧县探槽出露的地层由亚粘土、亚砂土、粘土等细粒物质组成。根据这些地层的色调、岩性、结构共分层位 14 层。昌平旧县探槽出露的构造现象丰富, 构造变形带宽度可达 30m。这些构造变形现象包括: 断面构造楔、地层 20° 的倾斜、上下层位的不整合及超复现象、堆积楔、细小的竖直粘土脉、地层断错及土壤中灰色竖直条带沿断面的密集分布。其中沿断面分布的 2 个构造楔由黑色粘土组成, 对确定探槽古地震事件提供了帮助(图 3)。

根据探槽内断面构造楔、堆积楔的分布及探槽内地层的断盖关系分析, 南口—孙河断

①北京市地震地质会战专题成果第四专题组, 1982, 北京平原区全新世构造活动调查研究。

②江娃利等, 1999, 首都圈平原区隐伏活动断裂定量化研究。

裂在全新世时期有过3次古地震事件。由于测年方法的不同,依据 $^{14}\text{C}$ 测年及热释光(TL)测年对确定探槽最早一次古地震的时间有较大差异,而这两种方法对后2次事件的测年结果有较好的一致性。这里将最早一次古地震事件两种方法的测年结果同时列出,分别为距

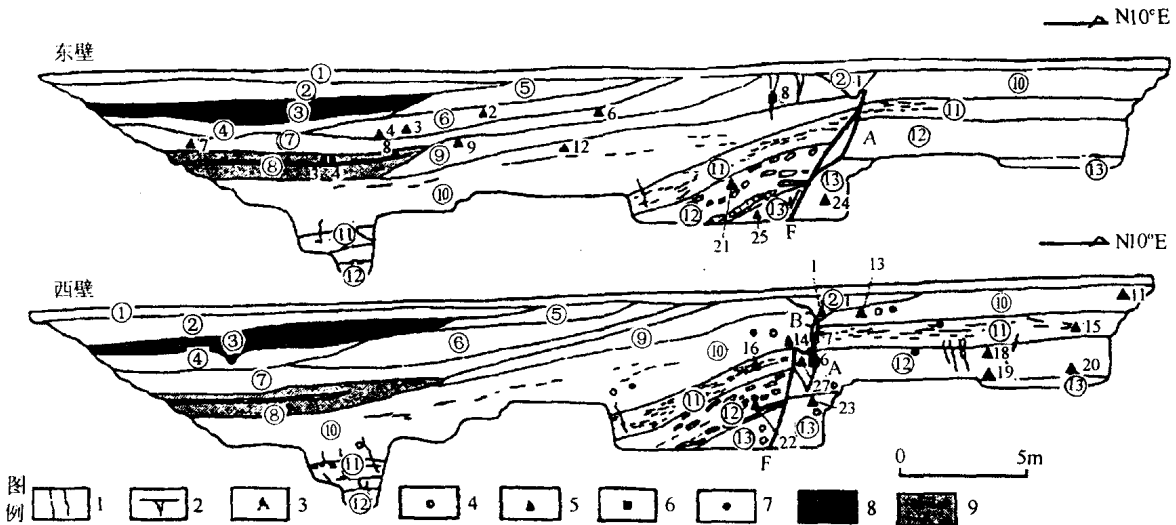


图3 南口—孙河断裂昌平旧县3号探槽剖面

1. 粘土脉; 2 张裂隙; 3 断面构造楔编号; 4. 土工实验取样点; 5. 热释光取样点; 6.  $^{14}\text{C}$  取样点; 7. 全化学分析及扫描电镜取样点; 8. 地层③; 9. 地层⑧。探槽内地层简单描述: ①地表耕植土; ②桔黄色亚粘土; ②-1: 灰黄色亚砂土; ②-2: 黄色纯净中、粗砂, TL 测年距今  $3670 \pm 310\text{a}$ ; ②-3: 黄色亚砂土; ③黑灰色粘土,  $^{14}\text{C}$  测年距今  $2466 \pm 70\text{a}$ ; ④灰黄色粘土、亚粘土; ⑤灰黄色亚砂土; ⑥黄色亚砂土, 3个 TL 样品测年分别距今  $5360 \pm 460\text{a}$ ,  $5130 \pm 410\text{a}$  及  $5830 \pm 490\text{a}$ ; ⑦黄色粉砂、亚砂土, 3个 TL 样品测年分别距今  $7260 \pm 620\text{a}$ ,  $7480 \pm 640\text{a}$  及  $8360 \pm 490\text{a}$ ; ⑧褐黄色粘土, TL 测年距今  $7640 \pm 650\text{a}$ ,  $^{14}\text{C}$  测年结果距今  $12440 \pm 250\text{a}$  及  $11900 \pm 150\text{a}$ ; ⑨褐黄色亚粘土, TL 测年距今  $10690 \pm 910\text{a}$ ; ⑩黄色粉砂, 含黑色锰斑, 富含灰色管状竖条带, 5个 TL 测年样品, 最小值距今  $8090 \pm 690\text{a}$ , 最大值距今  $11690 \pm 990\text{a}$ ; ⑪黄色亚砂土, TL 测年分别距今  $10590 \pm 910\text{a}$ ,  $10410 \pm 880\text{a}$  及  $10930 \pm 930\text{a}$ ; ⑫黄褐色亚粘土、亚砂土互层, 该层共取4个 TL 测年样品, 测年结果距今  $10220 \pm 870\text{a} \sim 11870 \pm 1010\text{a}$ ; ⑬黄褐色粘土为主, 含两层黄色亚砂土, 共取4个 TL 测年样品, 测年结果距今  $12360 \pm 1050\text{a} \sim 13710 \pm 1160\text{a}$ ; ⑭灰色亚砂土, TL 测年距今  $11540 \pm 980\text{a}$ ,  $^{14}\text{C}$  测年距今  $16560 \pm 150\text{a}$

今  $12.44 \pm 0.250\text{ka}$  ( $^{14}\text{C}$  测年)及  $10.377 \pm 0.543\text{ka}$  (TL 测年), 后两次古地震的发生时间分别为距今  $7.767 \pm 0.334\text{ka}$  及  $3.829 \pm 0.163\text{ka}$ 。这3次古地震时间的间隔分别约为  $3.938\text{ka}$  及  $4.673\text{ka}$ , 或  $2.610\text{ka}$ 。这3次古地震事件的平均同震垂直位移为  $1.67 \pm 0.5\text{m}$ 。依据前人华北地区地震地表位错与震级的统计公式<sup>[1]</sup>, 对应的参考震级约为7.8级。以上各期古地震事件的依据及发生的时间分别列入表4。

表4 南口—孙河断裂昌平旧县探槽全新世古地震事件判别依据及发生时间

| 古地震期次 | 古地震发生时间(距今)                                                                                     | 古地震发生时间均值                                                      | 古地震事件依据                                           | 古地震事件间隔                         |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|
| $E_1$ | $3.987 \pm 0.100\text{ka}$<br>$\sim 3.670 \pm 0.310\text{ka}$                                   | $3.829 \pm 0.163\text{ka}$                                     | 断面构造楔B, 层(6)混杂堆积, 堰塞塘层(4)、(3)堆积                   | $3.938 \pm 0.186\text{ka}$      |
| $E_2$ | $7.894 \pm 0.150\text{ka}$<br>$\sim 7.640 \pm 0.650\text{ka}$                                   | $7.767 \pm 0.334\text{ka}$                                     | 断面构造楔A, 层(10) $10^\circ$ 倾斜角, 层位(7)南厚北薄, 堆积楔层位(8) | $4.673 \pm 0.209\text{ka}$      |
| $E_3$ | $12.44 \pm 0.250\text{ka}$ ,<br>$10.643 \pm 0.217\text{ka}$<br>$\sim 10.110 \pm 1.045\text{ka}$ | $12.44 \pm 0.250\text{ka}$<br>或<br>$10.377 \pm 0.543\text{ka}$ | 层位(11) $20^\circ$ 倾斜角, 层位(10)南厚北薄, 层位(11)中薄层粘土的错断 | 或<br>$2.610 \pm 0.315\text{ka}$ |

### (3) 高丽营断裂带。

黄庄—高丽营断裂北自密云西峪庄，向南经怀柔、高丽营、西直门、丰台、良乡至涞水附近，长 132km。黄庄—高丽营断裂在第三纪时期是北京凹陷西界主控断裂。第四纪时期，黄庄—高丽营断裂北段活动，形成顺义—怀柔第四系凹陷。从黄庄—高丽营断裂第四纪活动特征考虑，可将该断裂分为三段。北段为高丽营段，长 40km，第四纪活动强烈，控制怀柔及顺义第四纪沉降中心；中段黄庄段长 52km，第四纪中、晚更新世活动，在晚更新世晚期至全新世已不活动；南段涞水段长 40km，该段第四纪活动不明显，钻孔资料显示断裂两侧的晚更新世地层连续分布<sup>[12]</sup>。

前人曾指出怀柔南桃山一带存在高丽营断裂中晚更新世活动形成的断层陡坎<sup>①</sup>，在此基础上，经过野外调查，本研究在怀柔高各庄断层陡坎两侧实施了 3 孔浅钻，揭示断裂两侧距今 2 万多年的地层分布特征。这 3 孔浅钻总进度 80m，其中 1 号孔深 26.5m，2 号孔深 33.0m，3 号孔深 21.0m。1 号孔与 2 号孔孔距 650m，孔位高差 7.3m；2 号孔与 3 号孔孔距 350m，孔位高差 6.7m（图 4）。高各庄 3 个浅孔共实测 <sup>14</sup>C 样品 7 个，热释光样品 10 个。

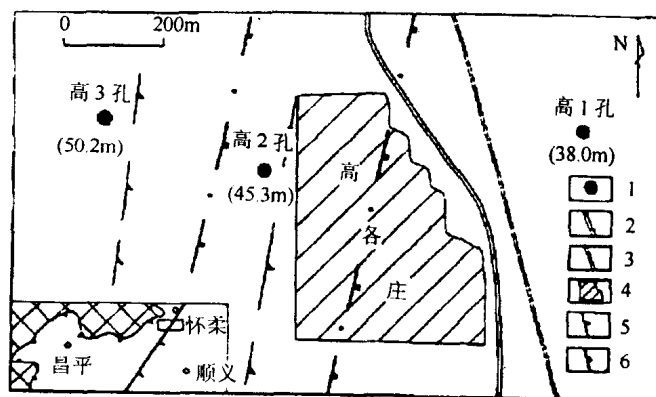


图 4 高丽营断裂怀柔高各庄钻孔平面分布

1. 钻孔位置及编号；2. 公路；3. 铁路；4. 村庄；  
5. 地表陡坎；6. 推测断裂展布

高各庄钻孔揭示，1 号孔与 2 号孔的岩性较为接近，而 3 号孔与 1、2 号孔的岩性存在很大差异。1 号孔的岩性分 13 层、归属为 4 套；2 号孔地层划分 16 层，分为 5 套；3 号孔地层分为 8 层、2 套。1 号孔与 2 号孔有 5 层地层可以大体对比；2 号孔与 3 号孔有 4 层地层可以大体对比（图 5）。

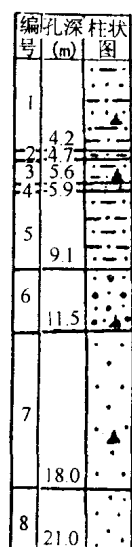
由钻孔资料判断断层活动事件的依据，与前面潘各庄钻孔所述相同，同时考虑到高各庄 3 个钻孔的孔距较大，这里选取垂直断距 2.0m 作为判断是否存在断层活动事件的标准。经过综合分析对比，从高各庄钻孔得到以下主要结论。

①高丽营断裂为全新世活动断裂。根据断层下降盘地层沉积，推测全新世时期断裂的 2 次活动分别发生在距今  $3.510 \pm 0.100\text{ka}$  及  $7.050 \pm 0.590\text{ka}$ 。②在怀柔高各庄，钻孔资料表明高丽营断裂存在相距约 300m 平行分布的两条断裂  $F_1$  与  $F_2$ （图 3）。这两条断裂与现今的地表陡坎对应。在距今 2~3 万年期间，主要是西侧  $F_1$  活动，在断裂东侧下降盘沉积 30 余米厚的灰黑色淤积粘土，并出现靠近  $F_1$  的高 2 孔较高 1 孔的同期粘土厚度增大现象。在距今 2 万年左右及以后， $F_2$  出现活动，致使  $F_2$  两侧年代大体相同的灰黑色淤泥粘土顶面出现 12m 的落差。在全新世时期， $F_1$  与  $F_2$  同时活动。③在距今 2.8 万年期间，高丽营

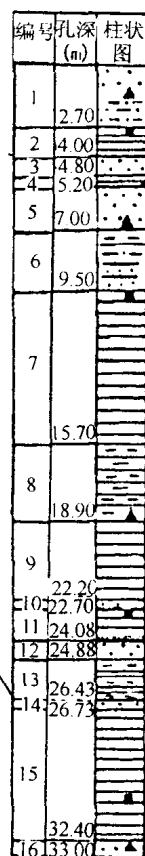
①梁金鹏，1981，北京市怀柔县桃山村 ME-3000 激光电测距点选点报告，地震地质大队二队。

断裂北段至少存在 6 次断层活动事件, 这 6 次断层活动事件的平均间隔约为 4.6ka。④在距今 2.8 万年期间的 6 次断层活动事件中, 各次事件的垂直落差为 1.5~7.0m, 平均同震垂直落差  $4.6 \pm 2.4$  m。⑤距今 2.8 万年以来, 该断裂的垂直活动速率达到 1.0mm/a。从上述可以看到, 此处得到的古地震间隔及同震垂直落差均较大, 有可能在钻孔分析中存在古地震事件的遗漏。在此对该断裂未来发生地震的最大震级推测为 7.5 级。以上各次事件的判断依据及垂直断距列入表 5 中。对应用钻孔资料获得的断层活动事件及同层垂直位错, 笔者认为其总体结论是可信的, 但其可靠程度与探槽资料相比仍有一定差距。期待能在以后的研究中对此结论进行检验。

3 号孔(孔位标高 52.0m)



2 号孔(孔位标高 45.3m)



1 号孔(孔位标高 38.0m)

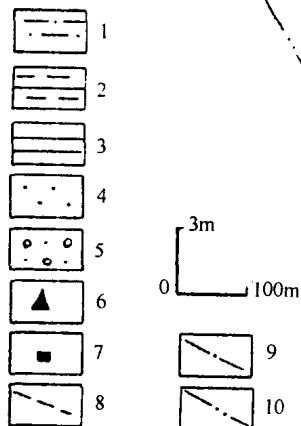
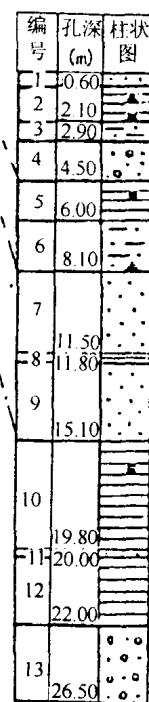


图 5 怀柔高各庄钻孔地层对比

1. 亚砂土; 2. 亚粘土; 3. 粘土; 4. 砂, 粉砂; 5. 砂砾石; 6. 热释光取样点; 7.  $^{14}\text{C}$  取样点; 8. 钻孔之间岩性对比;

9. 钻孔之间同时代地层同种岩性对比; 10. 钻孔之间同时代不同岩性对比

表5 高丽营断裂怀柔高各庄钻孔断层活动事件分期及各期事件依据

| 断层活动事件                  | 单次事件<br>垂直落差 / m | 判定活动事件依据                                                       | 断层活动<br>事件年代    |
|-------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------|
| $E_1$ ( $F_1$ 、 $F_2$ ) | 1.5              | 地形差异,高 2 孔地层缺失                                                 | 3.510ka.B.P.    |
| $E_2$ ( $F_1$ 、 $F_2$ ) | 6.7              | 地形差异                                                           | 7.050ka.B.P.    |
| $E_3$ ( $F_2$ )         | 2.6              | 同层厚度差异, 2 孔层(2)与 1 孔层(5)(6)<br>对比                              | 20.457ka.B.P.以后 |
| $E_4$ ( $F_2$ )         | 2.6              | 同层厚度差异, 2 孔层(3)1 孔层(7)对比                                       | 28.390ka.B.P.前后 |
| $E_5$ 、 $E_6$ ( $F_1$ ) | 14.3             | 顶面落差,高 3 孔地层缺失, 3 孔层(7)与<br>2 孔层(15)对比,3 孔层(6)与 1 孔层(12)对<br>比 |                 |

### 三、北京平原未来强震危险地点预测

#### 1. 历史强震构造背景

据前人资料<sup>[13]</sup>, 历史文献记载北京平原区曾发生  $4\frac{3}{4}$  级以上地震 23 个, 其中 5~6 级地震 17 个, 6~7 级地震 5 个, 7 级以上地震 1 个(图 2)。

1679 年三河—平谷 8 级地震, 是本区历史文献记载的最大地震。该次地震发生在大厂凹陷西界夏垫断裂带, 震中烈度 XI 度, X 度区长轴范围达到 90km, 等震线的长轴方向与夏垫活动断裂展布一致。该次地震的夏垫地表破裂带长 10km, 这与该地区第四系松散沉积较厚, 地下破裂未全部显露地表有关。1057 年大兴  $6\frac{3}{4}$  级是本地区历史地震震级仅低于 1679 年三河—平谷 8 级大震的一次强震。该次地震虽震级较高, 但因历史文献记载有限, 至今未出现该地震的等震线图件。因大兴—通县断裂与该次地震的震中相距不远, 推测该次地震与大兴—通县断裂的活动有关。此外在北京通县附近还发生了 1665 年  $6\frac{1}{2}$  级地震及 1536 年 6 级地震。1536 年 6 级地震的低烈度区长轴方向为北北东向, 1665 年  $6\frac{1}{2}$  级地震的高烈度区的方向为南北向, 均与该处展布的大兴—通县断裂北段的方向大体相同。此外, 1730 年在北京西郊发生的  $6\frac{1}{2}$  级地震, 具有北北东及北西方向共轭的等震线特征, 震中区烈为度 VIII 强。1658 年发生在本区涑水的 6 级地震, 其等震线的形态近于圆形, 构造归属尚不明了。

#### 2. 未来强震危险地点预测

##### (1) 危险地点及震级上限判别依据。

从活动构造的角度, 判断北京平原区未来强震发生的地点及震级上限, 主要依据以下 3 点: ①活动构造的规模; ②活动断裂与活动构造单元的关系; ③活动构造晚更新世末期以来及全新世的活动状况。

对北京平原地区未来震级上限的预测, 主要划分为 3 个地震等级, 分别为 7 级及 7 级以上、6.5~6.9 级及 6.0~6.5 级。严格说来, 北京平原历史上 6 级或 6 级多的地震在地表并无地震构造破裂的显示。但鉴于首都圈特殊的地理位置, 地震预测的目标是要对该地区 6 级以上的地震作出较准确的预测。为此, 从已知的北京平原的构造特征与历史地震的关

系中总结出以下判别标志。

7 级及 7 级以上地震区的判别标志：①有确切的证据证明断裂在全新世或在晚更新世晚期强烈活动；②活动断裂的展布具有一定的规模，并作为第四纪活动构造单元的主控边界断裂；③断裂在全新世有多期古地震事件，

6.5 级地震区的判别标志：①晚更新世时期有过明显活动，或第四纪时期有过强烈活动的断裂；②活动断裂的展布具有一定规模，第四纪活动段落及第四纪活动较弱段落的总体长度一般来说应大于 60km。③发震断裂与第四纪活动幅度较大的构造单元有一定联系。

6.0 级地震区的判别标志：①邻近第四纪活动断裂，尤其是晚更新世有过活动的断裂；②不同构造单元的交汇部位，易于局部应力集中；③发震断裂与第四纪活动规模不大的构造单元有一定联系。

(2) 未来强震危险地点及震级上限预测。

本研究对北京平原 3 条主要活动断裂取得的主要研究结果，分别列入表 6。

鉴于以上诸点，本研究根据对区内活动断裂研究取得的最新进展，应用确定性的方法对本区未来强震发生地点进行了预测。划分出震级上限为 7 级及 7 级以上地震的危险区 3 个，震级上限为 6.5 级地震的危险区 2 个，震级上限为 6 级地震的危险区 8 个（表 7，图 6）。为便于对照，在图 6 中同时列出前人对本地区潜在震源区的划分情况<sup>[14]</sup>。

表 6 北京平原区 3 条主要活动断裂全新世活动特征

| 断裂名称    | 活动速率<br>/(mm/a) | 最新活动时间<br>/a.B.P. | 古地震间隔<br>/a | 同震位移<br>/m     | 预测未来<br>最大震级 |
|---------|-----------------|-------------------|-------------|----------------|--------------|
| 高丽营断裂   | >1.0            | 3510              | 3500        | $4.6 \pm 2.4$  | 7.5          |
| 南口—孙河断裂 | 0.4             | 3670~3987         | 3938~4673   | $1.67 \pm 0.5$ | 7.7~7.9      |
| 夏垫断裂    | 0.6             | 1679 年(M8.0)      | 3336        | $1.4 \pm 0.4$  | 8.0          |

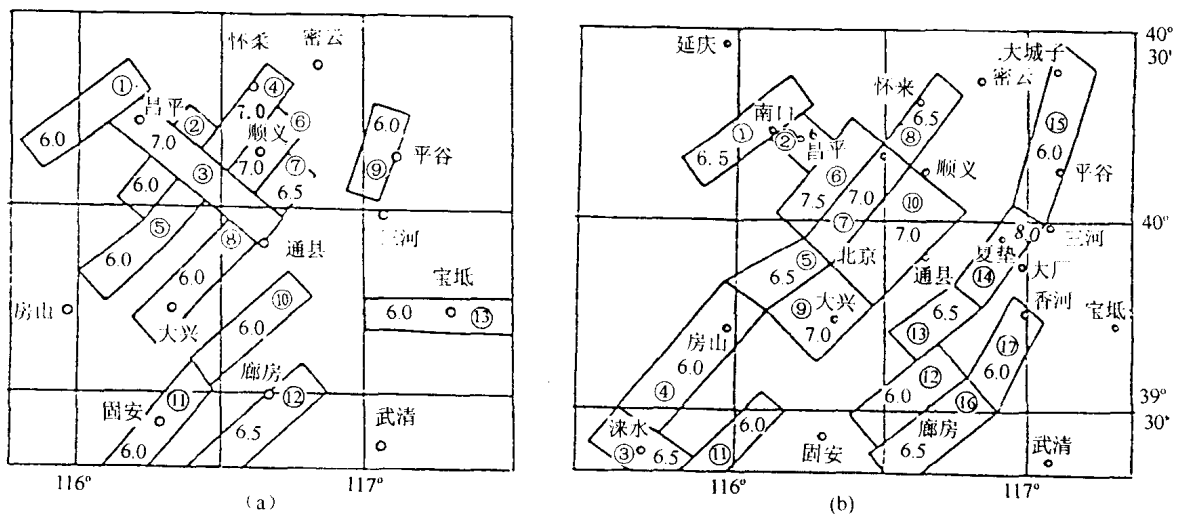


图 6 北京平原未来强震地点预测

(a)图为本项研究预测；(b)图为汪良谋等(1993)划分的潜在震源区