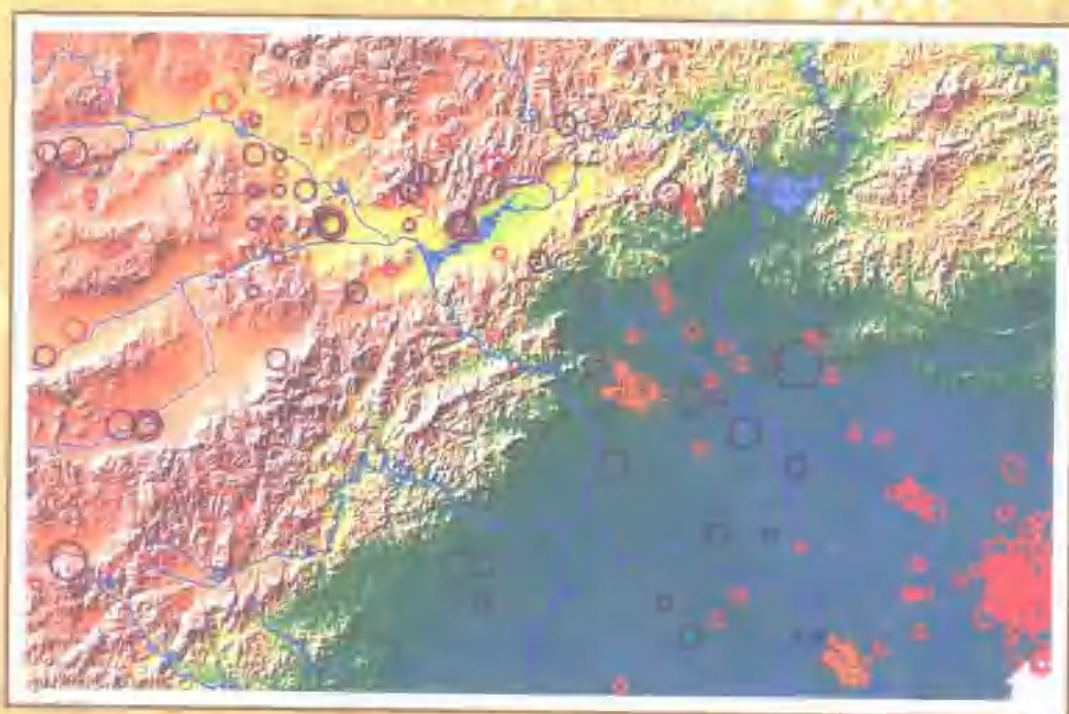



首都圈

- 国家重点基础研究发展规划项目“大陆强震机理与预测”(G19980407)资助出版
- 中国地震局地质研究所论著 2002 F0001

地区地壳最新构造 变动与地震



徐锡伟 吴卫民 张先康 马胜利 等著
马文涛 于贵华 顾梦林 江娃利

 科学出版社
www.sciencep.com

首都圈地区地壳最新构造 变动与地震

徐锡伟 吴卫民 张先康 马胜利
马文涛 于贵华 顾梦林 江娃利 等著

国家重点基础研究发展规划项目“大陆强震机理与预测”
(G19980407)资助出版
中国地震局地质研究所论著 2002 F0001

科学出版社

2002

内 容 简 介

本书根据对首都圈及其邻近地区大地震震例的深地震反射探测、震区浅部地震断层的浅层勘探和活动构造的定量研究,以及区域地壳速度结构的研究等,讨论了首都圈不同构造单元在新生代以来不同时期的深浅构造的几何配置关系,强震孕育的深浅构造标志,并结合数值模拟和岩石力学实验,建立了首都圈地区强震发生的地质-地球物理孕育模型,并对其未来强震发生地段和震级上限做出科学预测。

本书可供有关大专院校师生、科研单位从事构造地质、地球物理、构造物理、工程地质、工程地震、地震预测预报的研究人员和工程建设部门人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

首都圈地区地壳最新构造变动与地震/徐锡伟等著. —北京:科学出版社,2002

ISBN 7-03-010028-X

I. 首… II. 徐… III. 地壳形变—关系—地震—研究—华北地区
IV. P315.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004810 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

霸州印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2002年5月第一次印刷 印张:24 1/4

印数:1 1400 字数:557 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈杨中〉)

序 言

任何其他天灾都比不上地震能在如此短促的时间,如此广大的范围,造成如此巨大的损失——摘自《简明大不列颠百科全书》。

生活在地球上的人类无时无刻不受到现今地壳变动的影晌和制约,随着世界经济的高速发展,人口的急剧增长,城市都市化程度的提高,灾害损失正以加速之势增长:1976年7月28日凌晨3时42分(北京时间)河北省唐山地区发生了一次罕见的破坏性地震($M=7.8$),唐山市顷刻间成为废墟,24.2万余人死亡,16.4万余人受伤,直接经济损失数百亿元人民币(国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组,1982);1985年9月19日的墨西哥地震($M=8.1$)使远离震中区的墨西哥城遭到前所未有的破坏,约有1万人丧生(Esteva et al., 1989);1994年1月17日美国洛杉矶北岭地震($M=6.7$)使城市基础设施遭受严重毁坏,直接经济损失约350亿美元;1995年1月17日的日本神户(阪神)地震($M=7.2$)使6000余人命归黄泉,直接经济损失高达1000多亿美元(徐锡伟等,1996a)。

大量震例分析表明,活动断层的突发性错动是产生地震的主要根源,也是地震灾害的元凶。地震时沿发震断层的破坏最为严重,人员伤亡也明显地大于发震断层两侧的其他区段(徐锡伟等,1996a;Yeats et al., 1997;洪家辉,1999);7级以上地震往往造成地表数米的错动,目前的抗震设防措施还难以阻止这样大的错动对地面人工设施的直接毁坏。例如1995年日本阪神地震的重灾带集中在野岛断层沿线,据1995年3月日本朝日新闻社报道,90%以上的震亡人数集中在发震断层2~3km宽的范围内;1999年土耳其伊兹米特地震的重灾带集中在北安那托里亚断层西段的北分支上,建在断层上的建筑物全部倒塌,而其两侧距断层仅几十米的建筑物主体结构的破坏就轻得多;1999年中国台湾集集地震也将建在车笼埔断层上及其两侧十几米范围内的所有建筑物夷为平地,而十几米以外的建筑物则基本完好(陈肇夏,1999)。因此,认识现今正进行着的构造变动特征,了解最新构造变动过程中活动断层的空间分布及其地震复发行为,对减轻人类可能遭受的自然灾害,保障人类社会可持续发展具有十分重要的意义。

首都圈地区经济繁荣发达、人类活动频繁,是我国政治、经济和文化的中心,同时也是地震灾害多发地区。有史料记载以来,首都圈地区曾发生震级 $M\geq 6$ 破坏性地震14次,1679年三河-平谷8级地震是其中震级最大的一次地震。因此,首都圈成为1996年经国务院批准确定的今后一段时间内存在发生破坏性地震背景的地震重点监视防御区之一。首都圈所在的华北北部也是中国大陆强震活跃的地区,1966年至1976年期间曾发生1966年河北邢台7.2级地震、1969年渤海7.4级地震、1975年辽宁海城7.3级地震、1976年唐山7.8级地震等。触目惊心的事实表明,首都圈所在的华北北部正经历着剧烈的地壳构造变动,直接威胁着人民的生命和财产安全。鉴于首都圈在社会各个方面的重要性和潜在地震危险性,如何利用科学技术成果,有效地减轻可能遭遇的地震灾害损失,合理地利用国土资源,造福人类,成为地震科技工作者孜孜不倦的追求目标。

地震是地壳变动、构造应变和震源体岩石突发性失稳破坏而迅速释放弹性应变能的具体表现。在一定的构造应力-应变环境下震源体岩石的突发性失稳破坏,包括完整岩石的破裂形成新生断层和先存活动断层突发性摩擦错动两种基本类型(马瑾,1987;Scholz,1990;徐锡伟等,1996b)。世界范围内大量震例考察表明,历史上或现今地表破裂型地震主要沿先存活动断层发生(Wallace,1977;Sieh,1978;Schwartz et al.,1984;邓起东等,1984;McCalpin,1996;Xu et al.,1996;Yeats et al.,1997),提出了“活动断层”、“地震断层”和“发震断层”等基本概念。“活动断层”指距今10万~12万年以来有充分位移证据证明曾活动过,或现今正在活动,并在未来一定时期内仍会继续活动的断层(徐煜坚,1982);“地震断层”指震源断层在地表的直接延伸,是地壳先存断层摩擦黏滑错动在地表的反映(丁国瑜,1982;Scholz,1990;徐锡伟等,1996b)。基于先存活动断层上古地震观察的部分事实建立了特征地震复发模型:在活动断层的特定段落上会规则或不规则地不断重复发生位移量相近、位移分布格局类似或震级差 ≤ 0.5 的一系列地表破裂型地震(Schwartz et al.,1984;Xu et al.,1996;Yeats et al.,1997),反映了先存活动断层的摩擦黏滑与强震活动间密切的成因联系。也有少数地表破裂型地震的发生与先存活动断层无关,它们所产生的地表破裂带偏离,甚至切割地表可见先存断层迹线,对应于构造物理实验中完整岩石破裂形成的新生断层。例如,1975年辽宁海城地震($M=7.3$)、1976年云南龙陵地震($M=7.6$)、1988年云南耿马地震($M=7.2$)、1989年美国加利福尼亚州洛马普列塔地震($M=7.1$)、1992年美国加利福尼亚州兰德斯地震($M=7.4$)等,它们的地表破裂带或地震断层就具有新生断层的基本构造特征(徐锡伟等,1996b)。因此,深入地研究确定区域应力-应变环境下新生断层形成的力学条件和先存活动断层摩擦黏滑的力学性状及其伴生的地表破裂型地震的复发习性等,对认识地震断层的破裂过程、地震前兆异常特征和震灾类型、预测地表破裂型地震的发生地点和震级上限等,具有重要的科学和实际意义。国际岩石圈委员会瞄准地震与活动断层之间密切的成因关系,在“国际岩石圈计划”中相继设立了“全新世活动断层与古地震”(1990~1995)、“地震随时间复发序列”(1996~现在)、“世界主要活动断层分布图”(1990~1999)、“西半球数值化活动断层分布图”(1992~现在)等专题工作组,指导各国科学家相互协作,研究活动断层的长期滑动习性,建立活动断层个体的地震复发模型。

地震终究发生在地壳内部,地震的孕育和发生受到深部震源物质、结构特征、物理状态和应力-应变环境等因素的制约。对大陆岩石圈深部构造的探测与研究,包括对大震区岩石圈细结构的解剖,成为国内外十分活跃的研究领域。自20世纪80年代以来,各发达国家积极响应“国际岩石圈计划”,相继制定了各自的深部地球物理研究计划,包括美国COCORP计划、加拿大LITHOPROB计划、德国DEKORP计划、英国BIRPS计划、法国ECORS计划、澳大利亚ACORP计划、比利时BELCORP计划等。这些岩石圈探测计划的相继实施及取得的成果,从一个崭新角度审视了大陆岩石圈的结构和可能的物质组成。例如,美国在1811~1812年冬天连续遭受3次8级地震袭击的密西西比河流域新马德里和历史上曾发生过公元1838年、1857年、1906年、1940年和1979年等破坏性地震的圣安德烈斯断层加利福尼亚州段开展的详细深部地球物理探测工作,揭示了这些地区强地震发生的深部构造条件,特别指出新马德里地震群与被新生代沉积物覆盖、控制古生代裂谷发育的埋藏断层在现今区域或局部应力场作用下复活有关(Braile et al.,1986;Sexton

et al., 1986; Granga et al., 1996; William et al., 1999; Shaw et al., 1999)。由此可见,借助于深部地球物理探测手段可以获得不同地质分区的深部结构特征,对认识大地震孕育发生的深部构造条件和划分潜在震源区的深部构造标志具有重要意义。

20世纪90年代末期,美国洛杉矶北岭、日本神户(阪神)、土耳其伊兹米特、中国台湾集集、美国加利福尼亚州赫克托迈等一系列地震均沿先存活动断层发生,使世界各国政府清楚地认识到对破坏性地震的预测预报是减轻地震灾害的基础和关键环节。在地震预报的三要素中,地点和震级的预测是实现追踪预报和防震减灾工作的重要依据,而地震发生地点和震级的预测需要通过浅部活动断层和深部孕震环境的精细探测,获得反映活动断层(隐伏)长期滑动习性、地震破裂分段特征、发震构造类型、深浅构造关系等基本参数。为此,各大地震的发达国家相继实施了活动断层研究与减灾项目,试图通过对有潜在发震危险的活动断层探测,更合理地进行国土资源规划和抗震设防,减轻可能遭遇的地震损失。1994年美国加利福尼亚州洛杉矶北岭地震后,美国政府立即实施洛杉矶地震实验计划,简称LARSE计划,在加利福尼亚州及其邻近海域组织了大规模的活动断层探测工作,通过人工地震探测、钻探、地震精确定位等综合技术手段,揭示出洛杉矶盆地覆盖层之下存在与破坏性地震发生有成因联系的隐伏活动断层,明确了其中一些活动断层具有发生6.5~7级地震的危险性;1999年10月美国加利福尼亚州赫克托迈发生7.1级地震后,为了更准确地绘制出洛杉矶地区的活动断层分布图,又在93个不同地点实施了人工地震探测,以确定未来可能威胁到洛杉矶市的直下型地震震源位置。1995年日本阪神地震后,日本政府重新审查并修改了原有的防灾政策,加强了内陆活动断层的研究,对日本8个地区的主要活动断层进行了紧急调查,制订了东京、大阪、京都等地隐伏活动断层的详细调查计划。1999年9月中国台湾南投地震发生后,鉴于活动断层对地面及建筑物的毁坏,“国科会”决定用5年左右的时间,实施“地震与活动断层研究”计划,对集集大地震的发震断层以及嘉义-台南、新竹-苗栗等地区的活动断层进行探测研究。从目前各国和地区实施的活动断层研究计划来看,特别强调了浅部活动断层和深部孕震环境的地质与地球物理综合研究,以确定未来破坏性地震的发生地点和震级上限,有效地减轻地震灾害的损失。

首都圈作为地震重点监视防御区,历来受到各级政府和地震管理部门的高度重视,投入了大量人力、物力和财力,相继开展了大规模的地震地质调查和地球物理探测等研究工作,其中包括1976年北京市地震地质会战、首都圈地震地质环境与地震灾害研究等,对首都圈地区的地质与地球物理背景、地震危险性、台网布局与地震预报、震害预测与减灾对策等作了较为系统的分析与总结(高文学等,1993)。20世纪90年代以来,中国地震局的地震学家们积极参与国际岩石圈委员会提出的“国际岩石圈计划”,紧跟国际地震科学技术进步的步伐,把首都圈地区作为研究大陆地震成因、地震预测预报的试验地,采用了先进的活动断层大比例尺填图技术、古地震探槽开挖技术、隐伏活动断层探测技术,以及深地震反射剖面、深地震反射/折射剖面、大地电磁测深、电磁阵列和宽频带流动地震台阵等地壳深部结构的观测技术,有目的、有步骤地实施了国家科委科技攻关项目“地震、地质灾害及城市减灾重大技术方法研究”(1991~1995)、中国地震局重点科技攻关课题“活动断裂大比例尺地质填图和综合研究”(延庆盆地北缘断裂和涿鹿盆地北缘断裂部分)(1991~1995)、中日国际合作课题“山西高原六棱山北麓断裂晚第四纪运动学研究”(1993~

1996),特别是“九五”期间执行的重点科技攻关课题“首都圈深浅孕震构造精细探测研究与强震危险地点和震级上限的地质-地球物理孕震模型预测”(1996~2000),以及国家重点基础研究发展规划项目“大陆强震机理与预测”下属课题“中国大陆活动地块的最新构造变动与时空演化过程”(1998~2003),运用现代多种深浅探测技术,基于点面结合的原则,重点解剖首都圈及其邻近地区已知大震区(三河-平谷 8 级地震区、延庆-怀来盆地区和邢台地震区)的深浅构造关系(点),辅以典型深浅地震构造的岩石力学实验的验证,以及区域活动断层(隐伏)的定量化研究、地壳异常结构和壳内物性异常体的分布、地壳物质组成和岩石力学参数等综合分析(面),建立首都圈地壳地质-地球物理孕震模型,进而对首都圈地区未来地表破裂型地震发生的地点和震级上限作出孕震模型预测,这不仅对研究板内地震的形成机制和孕震过程具有十分重要的科学意义,而且对指导首都圈地区未来地震的监测预报、有效地减轻地震灾害具有解剖“麻雀”之功效。

本专著是在前人丰富而扎实的研究工作基础上,对国家重点基础研究发展规划项目“大陆强震机理与预测”(G19980407)和“首都圈深浅孕震构造精细探测研究与强震危险地点和震级上限的地质-地球物理孕震模型预测”(95-04-08)课题,在过去 5 年期间获得的地质与地球物理基础资料、实验数据进行综合分析所取得的实质性进展的全面总结。本专著的内容包括首都圈地区的地质-地球物理背景、活动断层(隐伏)长期滑动习性、地表破裂型地震复发模型、已知大震区地壳深浅构造精细探测、深浅地球物理资料的地质解释、地壳物质组成和岩石力学参数、典型孕震构造的实验模拟、地质-地球物理孕震模型及其中长期地震预测等。作为隐伏活动断层定量研究的创新点,我们在有关章节结合实例重点介绍了古地震钻孔探测的新方法,以及用于验证典型孕震构造发震属性和深浅构造关系的大标本实验设备、实验条件和实验结果。本专著涉及地震地质学、地球物理学、构造物理学、工程地震学和地震预报等学科的许多前沿性科学问题,着重强调地质学与地球物理学的有机综合,通过构造物理实验手段,验证地壳上地幔的深浅构造关系;试图利用获得的最新基础资料,解决华北地区现代仪器记录到的大部分地震具有“走滑型地震震源机制”与“典型大陆伸展构造环境”传统理论概念之间的矛盾。本专著的作者们力求全面反映课题获得的各个方面成果,并充分体现成果的创新性、综合性和实用性,但受时间、篇幅和水平的限制,缺点、错误和不足在所难免,敬请读者批评指正。如果本专著所取得的任何学术进步能对读者未来的科研工作有一些启发和帮助,或者能对首都圈地区包括地震预测预报在内的防震减灾事业发挥一定的作用,作者们将感到极大的欣慰和满足。

在这里最值得一提的是,本专著凝聚了参加 G19980407 和 95-04-08 课题所有科技人员的心血。如果没有他们分分秒秒刻苦钻研付出的辛勤劳动,没有他们数年如一日头顶烈日洒下的滴滴汗水,没有他们长期脚踏实地、废寝忘食的拼命干劲,没有他们持之以恒追求科学真理的献身精神,本专著就不可能适时地奉献给广大的读者。先后参加 95-04-08 课题研究工作的科技人员有:张先康、顾梦林、孙振国、李松林、赵金仁、刘保金(以上人员属中国地震局地球物理勘探中心);徐锡伟、马胜利、冉勇康、林传勇、刘杰、梁竞阁、马文涛、刘力强、于贵华、马瑾、扈小燕、刘占坡(以上人员属中国地震局地质研究所);江娃利、侯治华、张英礼、苏怡之、谢新生、肖振敏、李桂英、冯西英、刘其向(以上人员属中国地震局地壳应力研究所)等。参加本专著各章节有关内容编写的有徐锡伟、张先康、吴卫民、马胜利、江娃利、顾梦林、方盛明、方仲景、冉勇康、马文涛、林传勇、李松林、孙振国、刘洁和

吴建春等。全书由徐锡伟、吴卫民、张先康、马胜利、马文涛、于贵华、顾梦林、江娃利等负责修改和补充,徐锡伟最终定稿。刘萍负责本书的编辑工作,赵东芝、张兰凤和于贵华负责文字排录和图件处理。

本项研究工作得到了科技部基础司、中国地震局科技发展司和计划财务司的资助。感谢中国地震局分析预报中心研究员张国民、中国地震局地质研究所汪一鹏和刘国栋研究员在课题立项、实施和结题等各个阶段自始至终给予的学术指导和帮助,感谢中国地震局科技发展司朱世龙司长和吴建春副司长等一贯的支持。此外,在撰写的专著过程中,参考并引用了前人大量的地质与地球物理资料,特别是中国地震局实施完成的国家科委“八五”科技攻关项目“地震、地质灾害及城市减灾重大技术方法研究”的大量研究成果、地质部门1/20万的区域地质测量资料和石油部门相关浅层地震探测剖面等,在此一并深表感谢。

目 录

序 言

第一章 区域地质-地球物理背景	1
第一节 区域地质构造的形成与演化	1
第二节 区域新构造运动分区特征	5
第三节 区域地震构造环境	11
第四节 区域地壳上地幔结构特征	18
第五节 区域应力场世代转化特征	23
第六节 地震活动性分析	31
第二章 地表活动构造的定量化研究	35
第一节 活动断层的分段习性与古地震	36
第二节 晋冀蒙盆岭构造区的活动断层和活动盆地	43
第三节 平原区隐伏活动断层及其古地震	105
第三章 强震区地壳浅部结构特征的探测与研究	135
第一节 浅层-超浅层人工地震探测方法简介	135
第二节 邢台地震区近地表浅层-超浅层地震探测	150
第三节 延庆-怀来盆地活动断层的浅层-超浅层地震探测	160
第四节 三河-平谷 8 级地震断层浅层地震探测与综合解释	163
第五节 强震区浅部构造基本特征	187
第六节 地震解释模型中公式的推导(附录)	187
第四章 地壳上地幔结构的探测与研究	198
第一节 三河-平谷 8 级地震区深地震反射探测	198
第二节 三河-平谷 8 级地震区地壳上地幔速度结构	207
第三节 延庆-怀来盆地地壳上地幔精细结构探测	220
第四节 邢台地震区地壳上地幔结构特征	225
第五节 首都圈地区的三维地壳结构特征	229
第五章 地壳物质组成与岩石力学参数	237
第一节 下地壳-上地幔的物质组成与热结构	237
第二节 下地壳麻粒岩密度和高温高压下波速测定	248
第三节 首都圈地区地震测深资料的地质解释	256
第四节 结论与存在的问题	268
第六章 首都圈及其邻近强震区深浅构造关系讨论	269
第一节 应力-应变环境与深浅构造基本样式	269
第二节 深地震反射特性的构造地质解释	274
第三节 1966 年邢台地震区深浅构造关系模型	277

第四节	延怀盆地深浅构造关系模型·····	287
第五节	三河-平谷 8 级地震区深浅构造关系模型·····	297
第六节	深浅构造关系研究结论·····	307
第七章	强震孕育的地质-地球物理模型及未来强震地点和震级上限模型预测·····	310
第一节	首都圈及其邻区强震孕育环境分析·····	310
第二节	典型孕震构造模型的实验研究·····	315
第三节	强震孕育的地质-地球物理模型·····	336
第四节	未来地震发生地点和震级上限的有限元模拟预测·····	339
第五节	未来地震发生地点及其震级上限的综合预测·····	353
第六节	首都圈地区未来地震发生地点的综合判定·····	366
第八章	首都圈及其邻区最新构造变动与地球动力学简析(代结束语)·····	368
主要参考文献	·····	370

第一章 区域地质-地球物理背景

首都圈地区范围包括东经 114°~118°、北纬 39°~41°所限的矩形区(图 1-1),南到坝县、容城,北至万全、赤城,东抵蓟县、宝坻,西达阳原、天镇。本章简要地讨论该区域深浅地质构造的基本特征,涉及到区域地质构造的形成与演化、区域新构造运动的分区特征、区域地球物理场特征、区域地壳上地幔的结构特征、区域应力-应变环境和现今区域地震活动性等内容。更为详细和具体的地质与地球物理基础资料可参阅《河北省北京市天津市区域地质志》(河北省地质矿产局,1989)、《山西省区域地质矿产志》(山西省地质矿产局,1991)、《首都圈地震地质环境与地震灾害》(高文学等,1993)等著作。

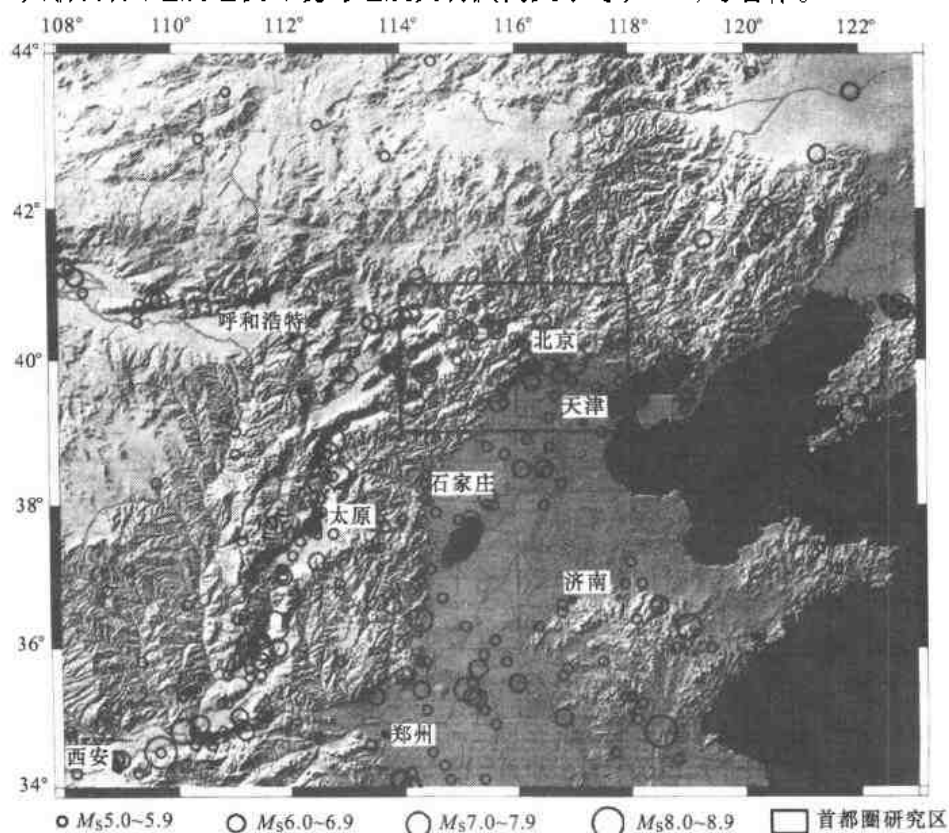


图 1-1 首都圈区域地形地貌图

第一节 区域地质构造的形成与演化

在大地构造位置上,首都圈位于华北亚板块北部地区,向北与黑龙江亚板块南部燕山-阴山构造带相接,是中朝地台的重要组成部分。经历了前寒武纪结晶基底形成阶段、前寒武纪晚期到古生代地台沉积盖层发育阶段和中生代至新生代地壳活化阶段等 3 个大

的构造演化阶段(马杏垣等,1979;张文佑等,1980),塑造了现今地壳的基本构造格局和地貌形态特征。

一、前寒武纪结晶基底的形成与组成

中朝地台是我国最古老的陆台之一,其结晶基底主要经历了太古宙迁西期构造运动(距今3 000~3 500Ma前)和阜平期构造运动(距今2 800Ma左右)、古元古代五台期构造运动(距今2 000~2 500Ma),最终在古元古代末吕梁-中岳期构造运动(距今1 700~1 800 Ma)固结形成,由多套彼此呈角度不整合接触的结晶变质岩系组成,广泛出露在西部太行-五台山区和燕山-阴山地区,包括迁西群、阜平群、五台群、朱杖子群或其他时代与它们相对应的地层(马杏垣等,1979;河北省地质矿产局,1989)。

迁西群是区内变质程度最深、时代最老的地层单元,变质程度达到麻粒岩相(下部)和高角闪岩相-麻粒岩相(上部),下限年龄大于3 500Ma。在迁西和怀安等地出露的下亚群辉石麻粒岩为代表,其中又以角闪斜长二辉麻粒岩最为发育,其次为角闪斜长次透辉麻粒岩、斜长次透辉麻粒岩和钾长二辉麻粒岩,夹有二辉斜长角闪岩、次透辉斜长角闪岩和辉石磁铁石英岩等;迁西、怀安、密云和承德等地出露的上亚群以斜长角闪岩、含辉石的角闪斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、二辉斜长麻粒岩、含石榴二辉斜长麻粒岩等为主。

阜平群的变质程度达到高级角闪岩相至低级角闪岩相。分布在太行-五台山区和燕山的密云、怀安、迁西、承德等地,又称单塔子群。太行-五台山区的代表性岩性包括黑云斜长片麻岩、二辉麻粒岩、角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩、太理岩等;燕山-阴山地区主要由(角闪)黑云斜长变粒岩、变粒岩夹磁铁石英岩组成。阜平群南营组内部锆石的变质年龄介于2 700~2 900Ma。

五台群属低角闪岩相至绿片岩相变质岩,分布在太行-五台山区、燕山迁西(双山子群)、密云(张家坟群)和承德(双山子群)等地,代表性岩性包括变粒岩、长石石英岩、角闪质片岩、角闪黑云斜长变粒岩、含石榴黑云片岩、绢云石英片岩、石英岩、变余斑状斜长角闪岩、变余斑状斜长变粒岩等。

朱杖子群仅出露在青龙县青龙河沿岸的朱杖子、老爷庙一带,以变质砾岩、黑云斜长变粒岩、含石榴二云片岩等为代表;在阴山地区称化德群,由变质粗砂岩、砂砾岩和含砾石英岩、绢云石英片岩、绢云片岩、二云片岩等一套浅变质岩系组成;太行-五台山区则包括甘陶河群和东焦群或溁沱超群,是由变质砾岩、变质砂岩、千枚岩、板岩、变玄武岩、石英砾岩、长石石英岩、石英片岩等组成的浅变质岩系。据Rb-Sr和U-Pb等同位素绝对年龄测定,朱杖子群下限年龄值2 400Ma,化德群地层年龄老于1 650Ma,溁沱超群底部地层年龄 $(1\ 851 \pm 11)$ Ma,顶部东焦群地层年龄 $(1\ 802 \pm 68)$ Ma。

从变质矿物,特别是朱杖子群或相应层位顶部锆石变质的绝对年龄可知,前寒武纪结晶变质基底最终于距今1 700~1 800Ma的吕梁-中岳期构造运动期间形成,命名为华北-柴达木-塔里木原始纬向大陆,或称中朝地台(马杏垣等,1987)。

二、地台沉积盖层的形成与演化

结晶基底或地台形成后,便进入了距今 1 700Ma 至 200Ma 相对稳定的地台沉积盖层发育与演化阶段。沉积盖层的发育与演化包括中-新元古代和古生代-中生代三叠纪两个主要构造运动时期(国家地震局地学断面编委会,1992)。中-新元古代(距今 1 700 Ma 至 600 Ma)以整体性沉降为主,形成了浅海相、滨海相、海湾潟湖相和浅海大陆架相沉积环境,堆积了仅经受轻度变质的碳酸岩盐类、碎屑岩类和黏土岩类沉积岩系,包括长城系、蓟县系和青白口系,属结晶基底之上的早期盖层沉积物。

长城系平均厚度 1 500m,最大厚度可达 4 300m。据岩石组合特征从下而上可划分为常州沟组、串岭沟组、团山子组、大红峪组和高于庄组等地层单元。常州沟组岩性为紫红色砾岩、砂砾岩、微红色细砾岩、长石石英砂岩、石英岩状砂岩和石英岩等,顶部黄绿色、粉砂岩和页岩互层,局部地段有少量碳酸盐岩;常州沟组底部胶磷矿 Pb-Pb 等时年龄为 $(1\ 635 \pm 26)$ Ma,不整合地覆盖在结晶基底之上。串岭沟组岩性为具有沉积韵律结构的黄褐色砂质页岩夹黄绿色粉砂岩和含铁细砂岩、深灰色粉砂质页岩和薄层粉砂岩等。团山子组岩性以碳酸岩盐类(白云岩)为主,其次为碎屑岩类(砂岩、粉砂质页岩)及少量黏土岩。大红峪组岩性为灰白色石英岩状砂岩、长石石英砂岩、细晶白云岩等,中部夹富钾火山岩。高于庄组岩性则以白云岩类为主,夹少量白云质灰岩、白云质砂岩等。上述 5 组地层构成了常州沟组-团山子组和大红峪组-高于庄组两个海进沉积旋回。

蓟县系平均厚度 2 500m,最大厚度达 4 500m,可划分为杨庄组、雾迷山组、洪水庄组和铁岭组等 4 个组。杨庄组属潟湖相蒸发岩建造,岩性为紫红色、灰白色泥质白云岩、砂质泥晶白云岩、燧石条带状或结核状白云岩等。雾迷山组分布范围最广,在整个中-上元古界中沉积厚度最大,岩性为含粉砂泥状白云岩、含燧石条带白云岩、叠层石白云岩等。洪水庄组主要由黑色、黑绿色、绿色伊利石页岩,夹薄层白云岩和砂岩等组成。铁岭组主要由含锰白云岩、紫色或翠绿色页岩、含海绿石叠层石灰岩和白云质灰岩等组成。铁岭组堆积的末期发生“芹峪上升”,结束了蓟县系的沉积,具体地表现为蓟县系铁岭组与上覆的青白口系下马岭组之间的沉积间断。

青白口系平均厚度 500m,岩石类型以黏土岩为主,次为碳酸盐岩及碎屑岩。下部下马岭组岩性组合以灰绿色、紫红色、灰黑色粉砂质页岩或片状粉砂岩为主,夹大量板层状和复杂形态的细砂岩透镜体,上部夹泥灰岩透镜体。中部长龙山组的岩石组合包括含砾长石砂岩、石英砂岩、海绿石砂岩和杂色页岩等,自下而上颗粒由粗变细,韵律沉积结构发育,与下伏下马岭组假整合接触。上部井岭组岩石为一套红色、灰绿色、灰褐色薄层含泥白云质泥晶灰岩,最底部常有一层含海绿石粗粒长石砂岩或细砾岩,与下伏长龙山组呈整合接触。

距今 600~200Ma 的古生代至三叠纪是地台沉积盖层进一步平稳发展的时期,地壳升降运动不大强烈,形成了寒武纪-奥陶纪浅海相、石炭纪-二叠纪局部海相、海陆交互相、陆相和到三叠纪陆相等沉积环境,堆积了海相碳酸岩盐类、陆相碎屑岩类和含煤岩系。寒武纪-奥陶纪时期张家口和承德以北地区为缺乏沉积的古陆,以南则为海相环境,堆积了一套稳定的地台型浅海碳酸岩盐沉积,代表性岩性包括豹皮灰岩、鲕状灰岩、竹叶状灰岩、

富含燧石结核灰岩、角砾状灰岩、白云质灰岩、白云岩、泥质粉砂岩、页岩等。中朝地台自中奥陶世末期开始隆升,经受长期风化剥蚀,直到中石炭世海水重新侵入才接受沉积,缺失下石炭统,中石炭统直接覆盖在中奥陶统侵蚀面上,堆积了中晚石炭世海陆交互相含煤沉积、早二叠世河湖-沼泽相含煤碎屑岩、晚二叠世内陆杂色碎屑岩以及三叠世河流相红色泥砂岩和顶部的河湖相煤系,属典型的稳定地台沉积。中下三叠统沉积后,印支运动使大部分地区上升为剥蚀区,内蒙古古陆南缘和燕山台褶带北侧发育少数山间河谷盆地,沉积了上三叠统杏石口组黄褐色砾岩、灰白色角砾岩、灰褐色粗砂岩、灰绿色凝灰质砂岩和暗色碳质页岩等。

三、中、新生代地壳的活化与演化

中、新生代开始了一个面貌全新的地史发展阶段,地壳构造运动不断加强。侏罗纪-白垩纪时期的燕山期构造运动具有阶段性和节奏性的基本特征,在构造运动相对平静时期形成含煤或含油页岩建造,而在构造运动相对剧烈时期,火山活动较为普遍,并造成许多地层组系之间的不整合或假整合等构造现象。侏罗系是一套复杂的陆相火山沉积地层,不整合或假整合地覆盖在三叠系之上,其下部为门头沟群中基性喷出岩和含煤岩系,中部为长山峪群河流相红色砂砾岩夹中性火山岩,上部为东岭台群中酸性-亚碱性火山岩系。白垩系为一套陆相含煤和油页岩的陆源碎屑岩和中性火山岩。

燕山期构造运动后整体隆升,经晚白垩世至古新世长期剥蚀均夷,形成了北台期准平原面,进入喜马拉雅期构造旋回,新生或复活断裂作用强烈,孕育了大量断陷或裂谷盆地。早第三纪始新世到渐新世时期,华北亚板块发生区域构造分异,大致以近SN向的太行山山前断裂为界,东部平原区伸展型裂谷作用强烈,准平原面解体,广泛发育盆地与山岭相间排列的盆岭构造,西部和北部太行-五台山和燕山-阴山等地区明显抬升隆起。晚第三纪至第四纪时期,伴随着青藏高原的快速隆升,区内的地壳构造分异继续发展,不仅燕山、阴山、太行-五台山等周围山区持续抬升,而且还在太行-五台山区发育了上新世-第四纪断陷盆地、断块山地等新构造现象,而东部平原区整体下沉,新生代时期差异升降运动幅度可达8000m以上。

新生界主要分布在北京平原区、坝上高原、太行山、燕山、阴山等山前地带以及断陷盆地和河谷地带,缺失古新统,成因类型复杂。北京平原区、坝上高原区和发育在晋冀蒙山地的断陷盆地区地层连续,堆积厚度较大,以河湖相碎屑堆积为主,并有晚第三纪汉诺坝组玄武岩喷发,不整合地覆盖在前新生界之上。需要说明的是,喜马拉雅期不同阶段的构造运动除造成各组或段之间的假整合接触外,渐新世末期的喜马拉雅运动(第Ⅱ幕)使全区普遍上升,形成了上第三系与下第三系之间明显的不整合接触。整个晚第三纪华北平原区内部差异活动减弱,新构造运动以平原区的整体均衡下沉作用和周围山地的抬升为特征;第四纪时期的新构造运动继承性地发展,山区间歇性地抬升,平原区整体下沉,内部新生断裂作用明显,这种基本构造轮廓一直持续到现今。

第二节 区域新构造运动分区特征

新构造运动期间平原和山地的构造分异作用,山西裂谷系北端晋冀蒙盆岭构造山区 NE 向正断层系及 NW 向斜穿平原区、晋冀蒙盆岭构造区和燕山-阴山 EW 向断块隆起区的张家口-蓬莱断裂带等长期滑动的累积效应,加上隆起区的剥蚀夷平和盆地区的堆积作用等各种因素的存在,使首都圈及其邻近地区具有明显的新构造运动分区特征。可划分为燕山-阴山隆起区、太行-五台断块隆起区和华北平原区(北京)等 3 个新构造单元。这些新构造单元被活动断层或活动构造带分隔,各单元内也发育一定规模的活动断层,与地震活动关系最密切的是晋冀蒙盆岭构造区和 NW 向张家口-蓬莱断裂带内部或邻近地区存在的不同走向、不同类型和不同运动学性质的活动断层(徐锡伟等,1998;徐杰等,1998)。

一、燕山-阴山隆起区

燕山-阴山隆起区是一个内部相对完整、无明显活动断层发育的稳定地块,其新构造运动表现为整体间歇性缓慢隆升。隆起区北部与内蒙古高原相连,南部以张家口-蓬莱断裂带、晋冀蒙盆岭构造区北端的阳高-天镇断裂、岱海-黄旗海断陷盆地和河套断陷盆地为界,与华北亚板块相隔。河套断陷盆地形成于第三纪渐新世,其北缘的主控断裂有狼山-色尔腾山山前断裂、乌拉山山前断裂、大青山山前断裂、和林格尔断裂等。第四纪以来作正断倾滑运动,垂直滑动速率最大达 6.4mm/a ,古地震复发间隔介于千年至数千年之间(吴卫民等,1995)。岱海-黄旗海盆地虽然规模较小,但从上新世开始发育至今,受 NE 向蛮汉山山前断裂和岱海-黄旗海南缘断裂的控制,第四纪沉积厚度达 400m ,盆地南边界断裂全新世仍有活动,最大垂直滑动速率 0.37mm/a (国家地震局鄂尔多斯断裂系组,1988)。张家口-蓬莱断裂带是一条规模较大的活动构造带,由一系列 NW 至近 EW 向断裂斜列而成,控制着华北平原区北部多个晚第三纪-第四纪隐伏断陷盆地的分布,如北京顺义、武清、宁河等盆地(郑炳华等,1981;李建华,1983;徐杰等,1998)。在张家口-蓬莱断裂带西北端的张北、尚义、万全和崇礼等 4 县境内,覆盖着面积约 $20\,000\text{km}^2$ 的中新世裂隙或溢流式汉诺坝玄武岩(刘若新,1992)。汉诺坝玄武岩层以倾角 $8^\circ\sim 12^\circ$ 向北缓倾,不整合地覆盖在前寒武纪变质岩、侏罗纪陆相碎屑岩和火山岩、白垩纪河湖相砂砾岩等地层之上,形成宽阔的坝上熔岩台地。据张北钻孔揭露的岩心可知,汉诺坝玄武岩厚约 $100\sim 300\text{m}$,由碱性玄武岩和拉斑玄武岩等组成,夹有厚度不大的河湖相沉积层,底部碱性玄武岩的 K-Ar 年龄距今 25.3Ma ,顶部拉斑玄武岩年龄距今 $15.8\sim 13.7\text{Ma}$,普遍含有尖晶石二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、斜辉橄榄岩和橄榄岩等超铁镁质岩包体,汉诺坝玄武岩是中新世时期幔源岩浆沿近 EW 向的赤城-崇礼断裂和 NW 向的张家口-蓬莱断裂带喷溢的结果(刘若新,1992)。赤城-崇礼断裂为逆断裂,晚第三纪有过活动,但第四纪以来未见活动迹象。

燕山-阴山隆起区内的构造线方向和山脉走向均呈 EW 向,向东逐渐转成 NEE 至 NE 向。新生代时期的间隙性整体抬升形成了多级夷平面,地形上呈阶梯状向北倾斜,其

中生代早期形成的北台期夷平面分布较广,在延庆、怀来以东地区海拔标高大于1 000m,唐县期夷平面海拔400~500m(李志义等,1985);以西地区北台期夷平面海拔约1 600~1 800m,唐县期夷平面1 300~1 400m;第四纪时期除河谷中有阶地堆积外,广大地区为剥蚀区,是新构造运动时期持续隆升的构造单元,内部差异运动不明显,仅个别地段发育孤立的小型断陷盆地,如宁城盆地,发生过公元1290年6 $\frac{3}{4}$ 级地震,燕山-阴山隆起区的地震活动非常弱。

二、太行-五台山断块隆起区

太行-五台山断块隆起东以NNE向太行山山前断裂带与华北平原区相隔,西以NNE向山西裂谷系与吕梁-鄂尔多斯黄土高原隔堑相望,新构造运动期间以整体间隙性抬升为主,形成了多级夷平面(图1-2)。北台期夷平面在五台山、小五台山、灵山等山区保存较好,海拔标高2 000~3 000m,向东在与华北平原交接地带降低到1 000m左右;唐县期夷平面是太行山区分布最广的一级夷平面,平坦宽阔,在太行山中段的凤凰山、雪花山一带顶部覆盖了K-Ar法年龄距今4~8Ma的玄武岩,其下伏的唐县期夷平面上有一套棕红色砂砾石层,属中新世末期堆积,北部蔚-广盆地南山的唐县期夷平面上也有少量上新世早期棕红色地层分布(徐锡伟等,1994),太行山山前地带海拔200~300m。上新世到第四纪时期,隆起区各地河谷中发育了多级宽谷阶地,南部发育少量NNE向至NE向断裂和沿断裂分布的小型断陷盆地,如林县盆地、长治盆地和涉县盆地等;北部五台山-军都山一带受山西裂谷系向东扩展和张家口-蓬莱断裂带的共同影响,发育了一系列NE-NEE向倾滑正断层和少量NW向正走滑断层,前者如系舟山北麓断裂、五台山北麓断裂、恒山北麓断裂等,它们将地壳切割成长条状块体,产生掀斜转动,形成了半地堑断陷盆地和半地垒断块隆起山地组成的典型盆岭构造(徐锡伟等,1988)。

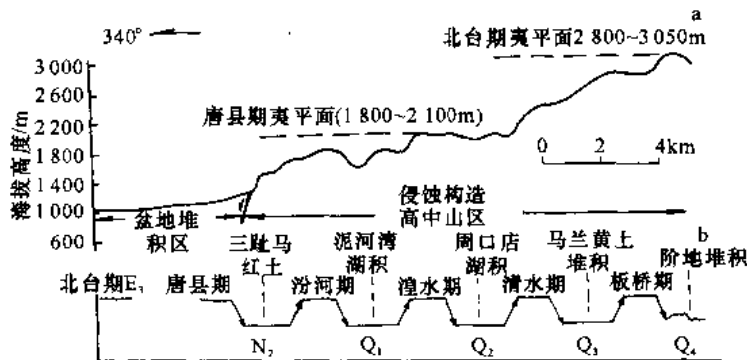


图1-2 山西断隆夷平面作用期次示意图

(徐锡伟,1989)

a. 太原西山地形地貌剖面图; b. 夷平面期次划分图

太行-五台山断块隆起区内部地震活动较弱,破坏性地震主要沿两侧的边界断裂带发生。太行山区仅沿中南部的晋获断裂或呈孤立状态的小型断陷盆地内有中强地震:晋获断裂中部的黎川-昔阳段历史上发生过多多次5级左右地震,林县盆地1980年8月发生过1次4.6级地震,涉县盆地1314年也发生过1次6级地震等。

三、华北平原区

华北平原区西以 NNE 向太行山山前断裂与太行-五台山断块隆起区相邻,北部通过张家口-蓬莱断裂带与燕山-阴山 EW 向隆起区的燕山段相连,东以郟城-庐江断裂带的渤海段与胶辽隆起毗邻。在晚白垩世-古新世长期剥蚀均夷形成北台期准平原面的基础上,华北平原区主要经历了早第三纪差异性裂陷形成盆岭构造和晚第三纪以来区域性整体沉降拗陷形成华北平原等 2 期构造演化阶段。早第三纪始新世,裂陷区中部和北部在 NNE 至 NEE 向营口-潍坊断裂带北段、宁河-昌黎断裂、陵县-阳信断裂、沧东断裂、聊城-兰考断裂和太行山山前断裂带以及 NW 向张家口-蓬莱断裂带、衡水断裂、磁县-大名断裂和安阳断裂等控制下,地壳开始伸展裂陷,形成一系列窄长条形断陷盆地(凹陷),裂陷区南部在 NEE 和 NW 向断裂作用下,也发育一些断陷盆地,但渤海大部分地区依然处于隆升状态。渐新世时期是裂陷作用的鼎盛期,裂陷区范围显著扩大,除原有断陷盆地继续发展外,又新发育一些断陷盆地,如张家口-蓬莱断裂带沿线的武清、岐口、沙南、埕北、渤中等凹陷。早第三纪断陷盆地多为半地堑箕状凹陷,基底倾角(掀斜转动角)一般 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$;半地堑盆地间被半地垒断块山岭分隔,镶嵌排列构成盆岭构造,类似于美国西部盆岭构造省现今的构造地貌现象。这些盆地彼此互不连通,但大多相对集中呈 NNE-NEE 向至近 EW 向带状分布,冀中、黄骅、济阳、开封等拗陷分别由这些断陷带组成,拗陷之间以隆起分隔,如沧县、埕宁、邢衡、内黄等隆起。因此,早第三纪华北平原裂陷区具有多隆多拗、多凸多凹多层次掀斜断块的构造特征。拗陷和凹陷中堆积了巨厚的陆相碎屑岩,包括孔店组、沙四段组、沙河街组和东营组等,早第三纪地层一般厚 3 000~6 000m。

晚第三纪至第四纪时期,华北平原早第三纪时期形成的盆岭构造整体下沉成为大型拗陷盆地,第三系和第四系逐渐填平拗陷和凹陷,并超覆到隆起和凸起之上(图 1-3),沉积厚度 1 500~2 000m,个别沉降中心可达 2 000~4 500m。在区域沉降背景上,大多数拗陷、凹陷、隆起、凸起等仍有不同程度的继承性活动,但活动幅度逐渐减弱,最终在上新世末期或第四纪初期停止;华北平原北部张家口-蓬莱断裂带附近还发育了沙河、顺义、雅洪桥、草泊等第四纪凹陷,第四系沉积厚度达 600~800m(李祥根,1982)。控制上述拗陷和凹陷形成和发展的边界断裂大部分是上陡下缓的“铲形”断层,少数是平面状断层,倾滑正断性质,倾角较缓,约 $30^{\circ}\sim 55^{\circ}$,具有同生断层的基本构造特征(彭一民等,1981)。据对 40 多条断陷盆地主边界断裂统计分析(徐杰等,1985),新生代以来的水平拉张运动和垂直差异滑动都很强烈,各断陷盆地主边界断裂的水平拉张位移量一般为 2.5~9km,最大如大兴断裂达 19.5km,断裂的垂直位移量 2~6km;晚第三纪-第四纪早期主边界断裂的水平拉张位移量仅 0.2~0.7km,垂直位移量 0.2~0.8km,强度明显减弱。

依据新构造运动的方式、类型和现今地震活动性等,华北平原西北角的北京平原及其邻近地区可进一步划分为北京断陷、沧县断隆和黄骅断陷等 3 个次级新构造单元。北京断陷包括北京-涿县凹陷、大兴凸起、大厂凹陷等,是一个复杂的断陷区。第四纪时期沿南口-孙河隐伏断裂发育了 NW 向的沉降带,断裂北侧的顺义次级盆地第四系厚度大于 700m,断裂以南的马池口-沙河次级盆地第四系厚约 600m。大兴凸起第三纪时期处于隆升剥蚀状态,顶部第四系直接不整合地覆盖在中新元古界白云质灰岩之上,厚度仅 200~