

第一章 地震地质背景

地震是一种地质现象，是现代地壳运动的表现形式之一。地震地质背景研究是综合防震减灾的重要基础工作，也是制定抗震防灾对策的重要依据。我国是一个地震灾害十分严重的国家，而内蒙古自治区又是一个地震活动特别频繁的省份，中强地震大多数发生在自治区中西部人口较为集中的河套断陷盆地，因此，确定本次工作的研究区域其地理坐标为：北纬 $37^{\circ}20' \sim 42^{\circ}40'$ ；东经 $102^{\circ}00' \sim 116^{\circ}00'$ 。行政区划上主要包括内蒙古中西部、宁夏北部、陕西榆林、山西大同等地区。在地质构造上，主要涉及到天山-阴山隆起带、阿拉善隆起带、银川-河套裂陷带、岱海断陷带、鄂尔多斯隆起带等。

§ 1.1 大地构造环境

在大地构造上，研究区处于华北地台、西北地台、天山-兴蒙褶皱系衔接地带（图 1.1）。主要包括华北地台区的内蒙古隆、鄂尔多斯台向斜、贺兰山拗拉槽，西北地台区的阿拉善台隆，天山-兴蒙褶皱系的天山地槽褶皱带（华力西期）、阴山北地槽褶皱带（加里东—华力西期）。

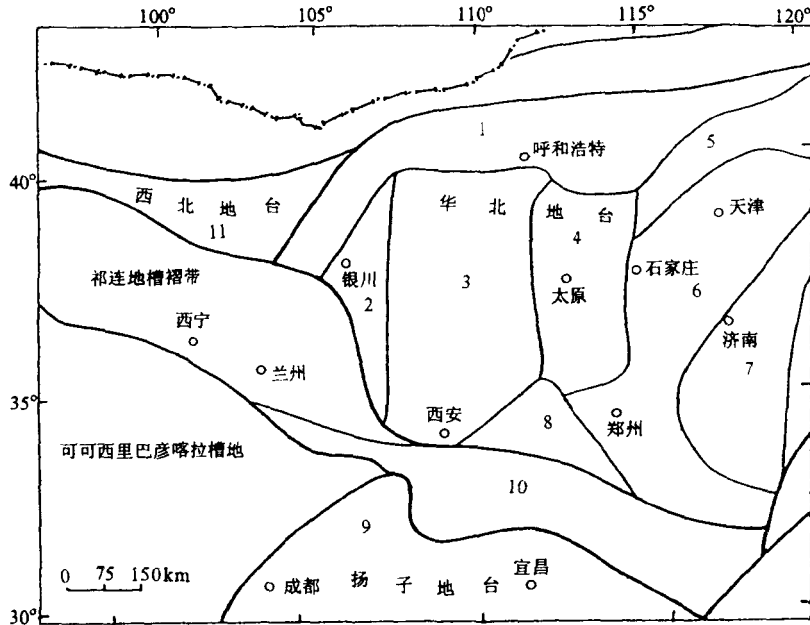


图 1.1 区域大地构造位置图

1. 内蒙古台隆；2. 贺兰山褶皱带；3. 鄂尔多斯台向斜；4. 山西台背斜；5. 燕山台褶皱带；6. 黄淮海拗陷；7. 鲁西台背斜；8. 豫西台褶皱带；9. 龙门山台褶皱带；10. 北秦岭槽地褶皱带；11. 阿拉善台隆

1.1.1 地壳结构及发育简史

华北地台是中国最古老的地台，其形成与演化至少可追溯到 35 亿年前。大约在 30~35 亿年前，在冀东、伊克昭盟一线，形成了比较稳定的古陆核。晚太古时代，古陆核遭受剥蚀，在其两侧发育了界河口群等陆缘碎屑沉积和乌拉山群火山岩及碎屑沉积。在距今约 30 亿年的迁西运动和距今约 25 亿年的阜平运动影响，使大量花岗岩浆侵入和混合岩化作用，使得古陆核进一步发展、扩大。在大青山至秦岭之间，形成了范围广阔的大陆型地壳。在早元古时代（距今约 25~17 亿年）华北地台北缘，沿狼山—色尔腾山一带发生强烈的大陆边缘裂陷作用，局部裂陷作用向南插入大陆内部。断裂活动以近东西向为主，阴山—天山纬向构造带形成雏形，形成二道洼群和马家店群。经历了吕梁运动后（距今约 17 亿年），使鄂尔多斯块体及相邻的原始古陆和活动带连成一体，华北地台结晶基底最终固结形成。西北地台构造演化，兼有华北地台构造特征，但结晶基底最终形成的时间和构造活动的节律，则更明显受华北地台和南部的扬子地台构造活动的影响。中元古代早期，沿北祁连和西昆仑—阿尔金地段发生强烈的裂陷作用，使统一的中洲大陆分裂成塔里木、柴达木和阿拉善三个地块。在这些裂陷槽中堆积了巨厚的火山—碎屑沉积岩类，该沉积岩类经历了强烈变形变质作用的改造，成为该地区结晶基底的一部分。在柴达木、塔里木和阿拉善北部，经塔里木运动（距今约 8.5 亿年），形成了结晶基底。华力西中晚期，阿拉善地块酸性岩浆活动强烈，并伴有区域变质及混合岩化作用，纬向构造发展成熟。由此可见，西北地台曾受中、晚元古代构造的影响，其结晶基底最后固结的时间明显晚于华北地台。西北地台至震旦纪才发育成稳定类型的地台盖层至此，西北地台、扬子地台与华北地台初步合并，形成一个统一的古中国大陆。

1.1.2 地壳变动概况

从大地构造发展旋回来划分，中生代属阿尔卑斯期，其中包括印支和燕山两次构造运动。印支、燕山运动在本区有强烈的表现，为新生代构造运动的演化奠定了基础。印支运动主要发生在中三叠—晚三叠世末期，在阴山和阿拉善地区发育了阿拉善弧形构造及南北向构造，并伴有酸性岩浆的侵入，在鄂尔多斯块体边缘地带有小断裂形成，地层发生挠曲致使侏罗系与三叠系呈角度不整合接触。燕山运动是本区一次重要的构造变动，一般划分为三期。包括五次构造幕（聂宗笙，1985）。由于燕山运动，华北地台与西北地台进入了一个崭新的活跃时期。鄂尔多斯块体与周缘的分异已十分明显，构造活动强烈。在其周缘形成一系列褶皱和压性断层，构造较为复杂。在阴山、河套和阿拉善地区，近东西向的褶皱和逆冲或逆掩断层活动加剧，并有酸性岩浆侵入。在吉兰泰—银川断陷带及其邻区，形成北北东—北东向的挤压构造带，其构造格局对新生代构造的形成、演化具有重要的控制作用。中生代末期区内隆升作用强烈，鄂尔多斯、阿拉善块体结束了内陆拗陷历史，全区以整体抬升为主。进入新生代初期区域构造活动相对稳定，以剥蚀夷平作用为主，形成较为广泛的夷平面。始新世至渐新世，阿拉善块体、鄂尔多斯块体明显抬升，银川—河套断陷带开始发育，与两侧地块的分异作用明显加强。东部华北平原区广泛发育盆岭构造；从上新世至第四纪时期，随着青藏高原的隆起，区内地壳分异继续进行，山西高原被北北东向雁行斜列的山西断陷盆地带分割为太行山和吕梁山两个隆起区，并持续抬升，而东部的华北平原区整体下沉，堆积了巨厚的上新统和第四系堆积物（徐杰等，1986）。河套平原区与阴山山区的差异升降幅度达万米。银

川断陷新生界厚度达 7 000m, 吉兰泰断陷新生界厚度达 2 000m。新生代的构造作用使本区地壳进一步解体, 进入强烈块断差异活动的构造演化时期。

§ 1.2 新构造运动特征

近年来, 利用卫星遥感图像研究地质构造, 解决地震地质问题已在国内外取得很大进展。实践表明这是地震地质研究的有效方法之一。本项研究所采用的是 1994 年美国陆地资源卫星遥感图像, 经计算机增强处理和彩色合成, 使卫星图像上的地质构造信息更加丰富和突出, 是当前所获得的最新资料。同时充分地吸收了我国近年来最新的地震地质研究成果, 综合分析研究了本区的地质构造与地震活动的特征。

卫星影像解译的目的是寻找不同地貌类型、地质体变动、扭曲、构造运动方式。在卫星图像上通过色调对比, 可划分出各类不同地貌单元。蛮汗山、大青山、乌拉山、色尔腾山、狼山等山地为红色至深红色, 盆地平原区为不均匀的浅褐色, 山前冲洪积扇为橘黄色。山地与平原有醒目的线性分界。它反映了山地和平原两个地貌单元强烈的差异运动。在平原区, 由于第四纪沉积物较厚, 图像一般反差小, 色调层次丰富而信息微弱、离散度大。经彩色增强、密度分割、滤波等计算机处理, 抽取大量的有用信息, 提高了卫星图像的利用率, 使盆地第四系覆盖区、地表难以看到构造形迹得到充分的显示。近年来地震活动比较频繁的地区, 线性体都有不同程度的突出, 为研究断陷盆地的形成及活动方式提供了较直观的构造轮廓。呼和浩特大黑河近东西走向及五原北北西向、东西向等线性构造都有不同程度的反映, 物探证实这些线性构造都是活动的隐伏断裂。1934 年五原 $6\frac{1}{4}$ 级、1979 年五原 6.0 级地震均发生在五原北北西向线性构造上。卫星图像计算机处理, 对地貌形态的分析有极为突出的作用, 不同时期的地貌类型变化都有所显示。分析水系变化, 包括河流、沟谷的同步扭曲、水系的变迁是研究现代构造运动的显著标志之一。卫星图像上活动断裂特征基本分为三类:

1. 全新世活动明显的断裂

遥感图像上表现出清晰的线性影像, 而且控制第四纪最新地层发育; 流经断裂带上的一系列水系发生同步扭曲, 其中包括一些形成时代较新的小沟谷发生同步扭曲: 在卫星图像上松散沉积物覆盖区, 断层的形迹仍有显示。

2. 更新世活动明显的断裂

不同岩性地层、不同地貌相接, 显示出线性影像, 控制晚更新世地层发育, 但由于受到后期的侵蚀切割, 断裂的影像轮廓线不十分清晰; 流经断裂带上的一些较大沟谷发生同步扭曲, 而时代较新的小沟谷没有发生同步扭曲。

3. 第四纪活动不明显的断裂

地貌上没有明显的反映, 仅仅表现为一些沟谷或不同岩性的接触界面; 卫星影像上反映断裂的影像, 不能向第四系覆盖区延伸; 没有反映断裂新活动的水系同步扭曲特征。

本区构造格架是奠定在燕山运动的基础上, 受喜马拉雅运动强烈影响下所形成。第四纪时期, 大体上继承了晚第三纪的构造格局, 银川-河套断陷带间歇性强烈沉陷, 其沉陷深度最深达 2.4 km。与此同时, 断陷带西侧的巴彦乌拉山、贺兰山、狼山及北侧的色尔腾山、乌拉山、大青山山地间歇性抬升, 形成多级台地和河流阶地。阿拉善块体、鄂尔多斯块体相对隆起遭受剥蚀, 形成现今区域地质地貌景观。新构造运动分区的基本原则是考虑新构造运

动的升、降运动的性质和新构造活动的基本特点及发展阶段。其分区标志为：大的地貌单元分界；新生代盆地边界；规模较大断裂带和活动断裂带。根据上述原则，本区可划分Ⅶ个新构造区（图 1.2）。分别为阴山-燕山东西向隆起区（Ⅰ）、银川-河套裂陷区（Ⅱ）、阿拉善隆起区（Ⅲ）、鄂尔多斯隆起区（Ⅳ）、岱海断陷带（Ⅴ）、山西断陷带（Ⅵ）、太行山隆起区（Ⅶ），各新构造分区均为活动断裂或构造活动带所分隔，其中近东西走向的河套断陷带为阴山东西向隆起区与鄂尔多斯隆起区的分界断裂带。

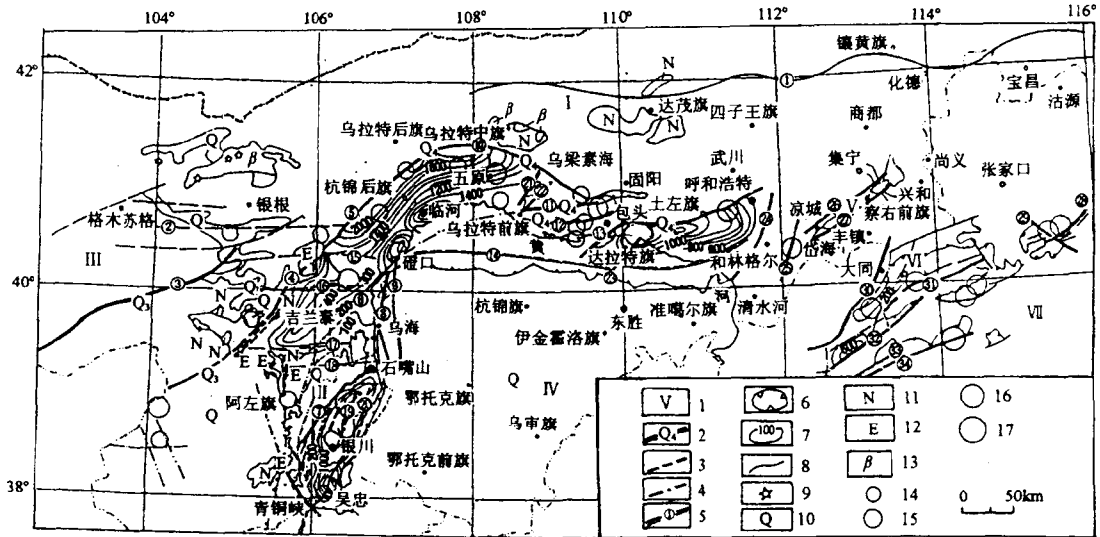


图 1.2 内蒙古中西部地区地震构造图

1. 新构造分区代号； 2. 活动断层及活动时代； 3. 隐伏活动断层； 4. 推测活动断层； 5. 主要活动断裂编号；
6. 第四纪盆地边界； 7. 第四系等厚线（单位：m）； 8. 地质界线； 9. 火山口； 10. 第四系； 11. 上第三系；
12. 下第三系； 13. 新生代玄武岩； 14. $M=8.0$ 地震震中； 15. $M=7.0\sim 7.9$ ； 16. $M=6.0\sim 6.9$ 地震震中；
17. $M=5.0\sim 5.9$ 地震震中

川井-赤峰断裂； ②阿拉善北缘断裂； 雅布赖山前断裂； ④巴彦乌拉山断裂； 狼山山前断裂； ⑤磴口-本井断裂； ⑦贺兰山东缘断裂； ⑧卓子山西缘断裂； ⑨卓子山东缘断裂； ⑩色尔腾山前断裂； ⑪乌拉山北缘断裂； ⑫乌拉山山前断裂； ⑬大青山山前断裂； ⑭鄂尔多斯北缘断裂； ⑮磴口-徐力斯特乌拉断裂； ⑯巴音木仁断裂； ⑰和屯-本井断裂； ⑱正道关断裂； ⑲银川-平罗断裂； ⑳黄河断裂； ㉑乌梁素海东缘断裂； ㉒乌梁素海西缘断裂； ㉓达拉特断裂； ㉔和林格尔断裂； ㉕盆地青-永新断裂； ㉖岱海南缘断裂； ㉗岱海北缘断裂； ㉘桑园堡-黄伯寺断裂； ㉙施庄断裂； ㉚口泉断裂； ㉛六棱山北麓断裂； ㉜恒山北麓断裂； ㉝恒山南麓断裂； ㉞五台山北麓断裂。 Ⅰ 阴山-燕山东西向隆起区； Ⅱ 银川-河套裂陷区； Ⅲ 阿拉善隆起区； Ⅳ 鄂尔多斯隆起区； Ⅴ 岱海断陷带； Ⅵ 山西断陷带； Ⅶ 太行山隆起区

1.2.1 阴山-天山东西向隆起带

阴山-天山东西向隆起带内的主要构造线方向和山脉走向均为近东西，向东逐渐转成北东东至北东向。在研究区内主要包括阴山隆起。阴山隆起区在地质历史时期，经历了复杂的构造变动，基本构造格架为燕山运动形成。中生代时期，阴山地块破裂解体，早中侏罗世和晚侏罗世时，形成了近东西向的断陷盆地，接受巨厚的沉积。下中侏罗统含煤碎屑沉积，厚

度大于 3 175m；上侏罗统大青山组红色碎屑沉积，厚度达 4 757m，局部有火山喷发。由于燕山运动，受南北向的挤压应力作用，形成近东西向的褶皱及断裂构造，以及北东东和北西西向两组规模较大的断裂带，它们对后期构造活动具有重要控制作用。经历了燕山运动后，阴山隆起基本固结成一稳定的地块，晚白垩世时山地隆起遭受剥蚀。进入新生代时期，阴山隆起区南侧破裂解体，形成河套断裂带。由于受阴山山前活动断裂带控制，阴山山地相对间歇性抬升，遭受剥蚀作用，形成夷平面、剥蚀台地、深切沟谷、河流阶地和山前台地。山体与平原之间线性特征十分明显，山麓洪积扇裙极为发育。在地形上隆起区呈阶梯状上升趋势，总体上向北倾斜，大青山夷平面分布在大青山主峰以北，海拔标高为 1 600~2 200 m，南高北低，南部遭受强烈剥蚀作用，夷平面为深切沟谷分隔；北部保存连续、完整，由宽缓的谷地和浑圆的山丘组成。第四纪时期，隆起区除河谷中有阶地堆积外，广大地区遭受剥蚀。新构造时期是一个持续隆起的构造单元，其内部差异活动不明显，隆起区内部地震活动十分微弱，一般仅有 4.0 级左右的地震发生，无强震发生。

1.2.2 银川-河套断陷带

该区处于鄂尔多斯隆起区与阴山隆起、阿拉善隆起和贺兰山隆起之间，主要受隆起区两侧的活动断裂带控制。银川-河套断陷带主要由河套断陷盆地、吉兰泰断陷盆地、银川断陷盆地组成。它是银川-河套地震活动带的重要组成部分。

1. 河套断陷盆地带

位于阴山隆起区与鄂尔多斯隆起区之间，西界为狼山山前断裂，东界为和林格尔断裂，北界为色尔腾山、乌拉山和大青山山前断裂，南界为鄂尔多斯北缘断裂（图 1.2）。卫星图像上断陷带周围山地或丘陵沿边界断裂带抬升，特别是断陷北侧的狼山、色尔腾山、乌拉山、大青山抬升更为强烈，全新世冲洪积物反映为宽窄不一的浅黄色条带状沿断带分布。重力航磁和石油地震勘探资料表明，河套断陷盆地并非单一的构造盆地，其间存在两个次级隆起即西山咀凸起和包头凸起，它们将河套盆地分为三个拗陷，即临河拗陷、白彦花拗陷和呼包拗陷，其中临河拗陷新生界沉积厚度最大达 10 km 以上（表 1.1）。三个拗陷在横剖面上均呈北深南浅的箕状（图 1.3），表明断陷北侧断裂活动速率远大于南侧断裂。在纵剖面上西深东浅，说明断陷带由西向东活动有所减弱。河套断陷带地理上与银川-吉兰泰断陷带相联，构成银川-河套地震带，是华北地区的一个主要强震活动带。

表 1.1 河套断陷盆地带新生代地层最大厚度与沉积速率

地 区	临河拗陷		白彦花拗陷		呼包拗陷	
	厚度/ m	沉降速率/ (mm/a)	厚度/ m	沉降速率/ (mm/a)	厚度/ m	沉降速率/ (mm/a)
第四纪 (Q)	2 400	1.00	2 000	0.83	2 300	0.95
上新世 (N ₂)	6 000	2.14	900	0.32	1 800	0.64
中新世 (N ₁)	3 800	0.20	1 200	0.06	2 300	0.12
渐新世 (E ₃)	2 600	0.20	1 000	0.08	1 000	0.08
新生代 (Kz)	14 800	0.40	5 100	0.14	7 400	0.20

自公元 849 年以来，河套断陷带内曾发生过 5 次 6 级以上地震，即公元 849 年包头西

6.7级、1996年5月3日6.4级地震、1929年1月14日毕克齐6.0级地震、1934年1月21日五原6¼级地震、1979年8月25日6.0级地震。另外在70年代初和80年代，在该带发生了一系列4~5级地震，这些地震的频繁发生使河套断陷带成为华北地区十分引人注意的地震活动地段。河套断陷盆地从早第三纪晚期开始，逐渐由西向东发展。晚第三纪是河套断陷发育的重要阶段。上新世阶段，是河套断陷发育的鼎盛时期，其沉积范围西起狼山山前，东至和林格尔，向南扩展至乌兰格尔蒙起一带。西部临河拗陷沉降幅度最大，其沉积厚度达6000m，白彦花拗陷为800m，呼和拗陷为1800m，沉降中心都靠近山前断裂一侧。断陷横向呈北断南超的箕状形态，由于断陷北部强烈沉降，导致了盆地南界鄂尔多斯北缘断裂的形成。第四纪以来，断陷活动仍然保持晚第三纪的特点，其周边山地继续抬升，断陷继承性沉降。断陷北侧的山前断裂，普遍错断了第四纪全新世沉积物，山麓带广泛分布三级台地，山前冲洪积扇发育。虽然断陷的沉积范围较晚第三纪上新世期有所缩小，但断陷的垂直差异运动和断裂活动仍然很强烈，并有明显的间歇性。河套断陷是内蒙古地震活动频繁的地区，该断陷带的地震活动主要受阴山山前断裂带控制。6.0级以上强震主要发生在阴山隆起区南侧的河套断陷带内。

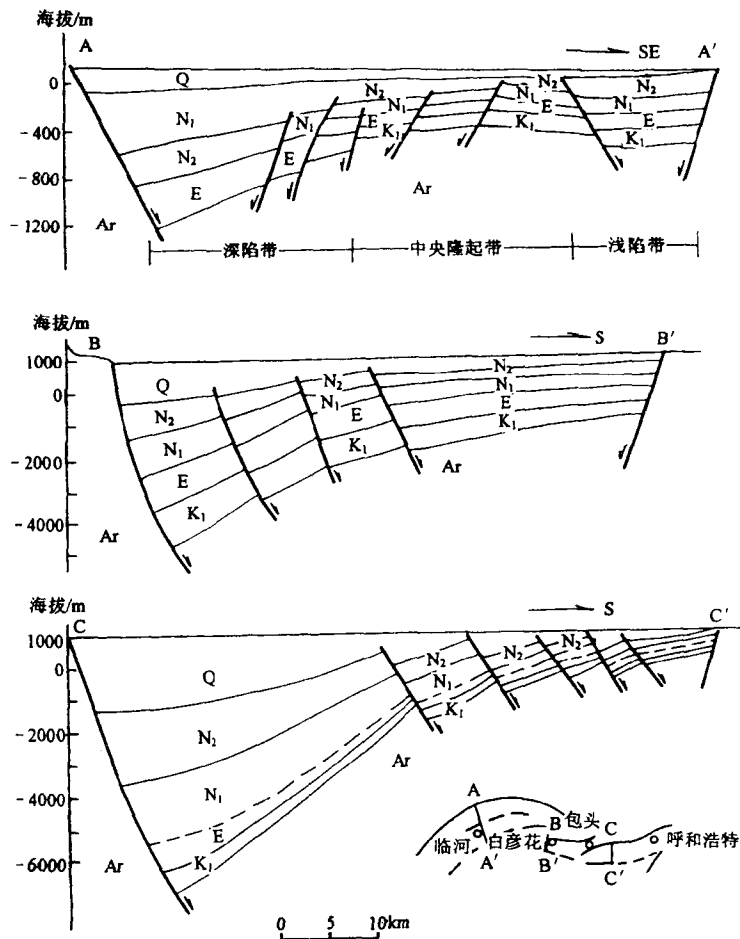


图 1.3 河套断陷带横剖面图

2. 吉兰泰断陷盆地

吉兰泰断陷盆地位于鄂尔多斯隆起西北边缘。地理上,吉兰泰盆地与河套盆地是相通的。但从盆地的发育和活动强度及力学成因机制上分析,这一地堑式盆地与银川盆地相类似。吉兰泰断陷东界为北东走向的磴口-本井隐伏断裂,西界为巴彦乌拉山麓断裂,南北边界不甚清晰。据物探资料,在徐力特乌拉至磴口一带有近东西走向的潜伏隆起将吉兰泰断陷与临河拗陷分隔开为其北界。断陷南部也为东西向潜伏基底隆起,在隆起北部地表为第四系覆盖,而其南第三系广泛出露,它可被认为是吉兰泰断陷的南界。上述边界围成的一个北东方向延伸的平行四边形,东西宽约 70 km 南北长达 120 km。

吉兰泰盆地最初发育于早白垩纪,但晚白垩纪一早第三纪古新世期间抬升为陆地,始新世又重新开始发育一直到现在。渐新世时,吉兰泰盆地最为发育,其盆地沉积范围最大,其西界的许多地段都超出巴彦乌拉山东麓断裂达 20~30 km,其北与临河盆地相连,南与贺兰山西麓盆地相连接。吉兰泰断陷盆内新生界厚度约 2 000~3 000 m,其中第四系最大厚度为 400 m 沉降中心靠近巴彦乌拉山东麓断裂。吉兰泰断陷是地震活动较频繁的地区,地震活动主要受边界断裂和盆内横向断裂控制,1976年9月23日巴音木仁地震就发生在断陷内。

3. 银川断陷盆地

银川断陷盆地位于吉兰泰断陷南东。银川断陷盆地构造边界比较清楚。西界为贺兰山东麓断裂带;东以黄河断裂与鄂尔多斯块体相接;南以北西走向的牛首山北缘断裂为界;北界为石咀山以南一组东西走向的隐伏断裂所控制。银川断陷盆地长约 160 km,最宽约 55 km。盆地从早第三纪始新世开始形成,盆内沉积了巨厚的新生界。据地震反射剖面,新生界总厚度达 7 km,其中下第三系为 3.6 km,上第三系为 2.5 km,第四系最大厚度为 1.6 km。第四纪时的沉降中心有 3 个,由北向南为平罗、银川和吴忠。银川断陷地震活动不仅频度高,而且强度大。自公元 876 年以来,共发生 5.0 级以上地震 16 次,其中 ≥ 6.0 级地震 4 次,最大的是 1739 年发生在平罗的 8 级大震。

1.2.3 阿拉善隆起区

阿拉善隆起的构造主要为弧形构造和东西向构造。在研究区范围内北东和东西向构造较发育,山体和山间洼地均以北东走向为主。隆起区在地质历史上经历了多次复杂的构造变动,但基本构造格架由中生代印支和燕山运动形成。

中生代印支构造运动使南北向构造及阿拉善弧形构造体系发育,燕山期中侏罗世,在东西向山间断陷盆地或北东向槽地边缘,形成陆相碎屑沉积,此后地壳略有抬升,造成白垩系的不整合接触。早白垩世早期属于阿拉善弧形构造的北东向槽地进一步发展成为巴丹吉林盆地,并接受内陆湖相沉积。晚白垩世湖盆面积虽有扩大,但深度普遍较浅。燕山晚期构造运动使各种构造形迹普遍活动,白垩纪地层亦褶皱,断裂活动加剧,湖盆消亡成陆地。第三纪渐新世,仅在部分北东向山间断陷及洼地有红色碎屑沉积。新第三纪仅局部北东向断陷底部有灰色湖沼相沉积。

第四纪以来,受喜山构造运动强烈影响,阿拉善地块较急剧抬升,断裂活动加剧,雅布赖山前断裂、巴彦乌拉山东缘断裂均错断第四系。沟谷两岸上更新统被强烈侵蚀下切,平原区以风沙堆积为主,山前冲洪积物发育。阿拉善隆起区地震活动较频繁,4.7级以上地震主要发生在隆起区北部,受阿拉善北缘断裂控制,特别在断裂的东端,2.0级以上地震活动密

集并呈东西向展布。另外沿雅布赖山前断裂带，2.0~4.7级以上地震活动频度高，在断裂带北段与东西向断裂的交汇区小震活动密集呈条带，基本与断裂走向一致。

1.2.4 鄂尔多斯隆起区

鄂尔多斯隆起区，轻微地由北西向南东翘起，略倾斜于东南。新构造活动极其微弱，地层近于水平，构造单一，新构造差异运动和地震活动都发生在其周缘的断陷盆地中。新生代以来以缓慢地整体性抬升为主，内部差异升降运动和地震活动都很微弱，无6.0级以上地震发生，仅以中小地震出现。6.0级以上地震主要沿块体的边界断裂带发生。鄂尔多斯隆起区是华北断块内一个最为稳定而完整的地区，地貌上是著名的黄土高原。新生代以来受到不同程度的切割，海拔高程为1000~1700 m。在中生代时期，鄂尔多斯大部分地区相对周缘为缓慢的不均一沉降，形成西深东浅的大型拗陷盆地，广泛堆积了三叠纪至早白垩世地层沉积。新生代时期鄂尔多斯地区转为以隆升运动为主，周缘形成一系列的断陷盆地带，即渭河断陷盆地带、银川断陷盆地带、河套断陷盆地带、山西断陷盆地带等。这些断陷盆地带新构造活动都十分强烈，破坏性地震基本都发生在这些断陷盆地带内。

1.2.5 岱海断陷带

岱海断陷带位于鄂尔多斯块体东北角与河套断陷盆地相邻，是上新世至第四纪时期受正断层控制形成的地堑型盆地，总体走向北东60°左右，长150 km，宽10~20 km，由岱海和黄旗海两个凹陷组成，第四系沉积厚度可达500 m。由于断陷东南侧断裂活动幅度大于北西侧断裂，断陷呈北西侧浅，东南侧深的不对称状。在断陷带内发育着北东和北西向两组断裂，北东向断裂为断陷盆地的主控边界断裂，规模较大，北西向断裂一般呈隐伏状态。

1.2.6 山西断陷带

山西断陷带主要由延怀、蔚县、灵丘、大同、忻定、太原、临汾等十来个大小不等的北东、北东东向的地堑或半地堑式盆地作右行斜列组成，总体走向北北东，平面上呈“S”形，全长约1200 km。该带是太行山隆起区与吕梁山隆起区的分界断裂构造带，它是一条上新世至第四纪发展起来的北北东向右旋剪切拉张带，形成于上新世末，第四纪时期承袭了上新世已奠定的轮廓，并持续断陷。研究区主要包括山西断陷带的北段

山西断陷带北端的地壳被一系列北东东向张性倾滑断裂切割成大小不同的长条状断块，产生一致向东的掀斜运动，组成了典型的盆岭构造，主要包括忻定盆地东部的繁代和定襄次级盆地、浑源、阳原和阳高-天镇等次级盆地以及东端的灵丘盆地，蔚县盆地和延怀盆地，在构造上组成了山西断陷盆地带北端“S”状拐弯的转折部分。

大同盆地、忻定盆地等是山西断陷盆地带中形成最早的主体部分，盆地内堆积了数千米厚的上新世-第四纪的松散堆积物，其中大同盆地厚度约1500 m，其沉降中心靠近口泉断裂带分布，第四纪以来盆地沉降中心的最大沉积厚度达400 m。忻定盆地上新世-第四纪的沉积厚度达2100 m，沉降中心靠近五台山和系舟山山前断裂分布。

山西断陷带第四纪以来，新构造运动强烈，是我国著名的强震发生带，也是华北地区重要的地震活动区，自公元前213年有地震记载以来，山西断陷带北部曾发生7.0~8.0级地震4次，6.0~6.9级地震7次。

§ 1.3 主要活动断裂带与地震活动

本研究区是我国活动断裂研究程度较高的地区之一。区内的大部分活动断裂基本属于鄂尔多斯周缘断裂系的一部分，这些活动断裂在遥感图像上表现出清晰的线性影像。研究区内活动构造带主要有：银川-河套断陷带、岱海断陷带及山西断陷带北部的大同盆地等。这些活动构造带的地震活动性，主要受断陷带周缘活动断裂带及盆地内活动断裂的控制。研究区西部断裂带多为弧形左旋走滑活动断裂，大部分兼具挤压性质，中部以近东西向左旋走滑断裂为主，东部多为北东走向活动断裂。这些断裂的活动方式以正断层居多（表 1.2）。

表 1.2 研究区主要活动断裂一览表

编号	断裂名称	长度/ km	倾向/倾角	最新活动特征
1	川井-赤峰断裂	1100		第四纪以来控制断裂两侧差异升降
2	阿拉善北缘断裂	230		断裂带东端 2.0~4.7 级地震较活跃
3	雅布赖山山前断裂	250	SE/65°	小震活动频繁，密集地分布在断裂两侧
4	巴彦乌拉山断裂	150	SE/60°	全新世以来裂带发生 3 次古地震事件
5	狼山山前断裂	160	SE/60°~70°	错断全新统，最近活动在 1240±50 年期间
6	磴口-本井断裂	120	NW/	沿断裂小震活动密集呈北东向带状
7	贺兰山东麓断裂	120	SE/60°	全新世以来有 4 次古地震，重复间隔约 2000 年
8	卓子山西缘断裂	66	W/65°	切割全新统
9	卓子山东缘断裂	520	W/	山前台地发育
10	色尔腾山山前断裂	270	S/39°~57°	在五原先后发生 2 次 6 级以上地震
11	乌拉山北缘断裂	75	N/	断裂东端 1996 年发生了包头西 6.4 级地震
12	乌拉山山前断裂	130	S/60°~75°	近 20 年来，沿断裂带中小震群时有发生
13	大青山山前断裂	200	S/50°~70°	普遍错断全新统，多次发生古地震
14	鄂尔多斯北缘断裂	360	N/51°~57°	沿断裂小震活动密集
15	磴口-徐力斯特断裂	70	S/	对第四系沉积有明显的控制作用
16	巴音木仁断裂	85	S/	为巴音木仁 6.2 级地震，发震构造
17	和屯-本井断裂	110	N/	对第四系沉积有控制作用
18	正谊关断裂	100	N/60°	沿断裂中小地震活跃
19	银川-平罗断裂	66	NW/70°	1739 年平罗 8 级地震发震构造
20	黄河断裂	130	NW/70°	对第四系沉积有控制作用
21	乌梁素海东缘断裂	40	NW/	推测全新世活动断裂
22	乌梁素海西缘断裂	50	SE/	推测全新世活动断裂
23	达拉特断裂	60	NW	切割全新统，小震活动频繁
24	和林格尔断裂	80	NW/60°	沿断裂小震活动频繁
25	盆地青-永新断裂	70		1976 年和和林格尔 6.2 级地震发震构造
26	岱海南缘断裂	75	NW/45°~55°	切割晚更新统砂粘土层
27	岱海北缘断裂	60	NE/55°	1977 年曾发生 4.8 级地震
28	桑园堡-黄柏寺断裂	63	NE/	错断中更新统
29	施庄断裂	58	NW/	1337 年曾发生 6.5 级地震
30	口泉断裂	110	SE/65°~75°	全新世有 4 次古地震，历史上发生过 2 次强震
31	六棱山北麓断裂	130	NNW/61°~72°	沿断裂发生大同-阳高 6.1 级地震及地震群
32	恒山北麓断裂	128	NW/65°~78°	沿断裂有小震活动
33	恒山南麓断裂	40	NW/70°	错断晚更新统，全新世仍有活动
34	五台山北麓断裂	95	NW/76°	控制代县拗陷

1.3.1 川井-赤峰推测深大断裂带

川井-化德-赤峰推测深大断裂，位于内蒙地轴与内蒙华力西晚期褶皱带的过渡带上，大致在北纬 42° - $42^{\circ}07'$ 之间，是华北断块区的北部边界断裂。该深断裂带形成于古生代，由于断裂的强烈活动造成断裂带南北两侧古生界的差异，断裂以南内蒙地轴隆起作用占主导优势，广泛出露前寒武纪变质岩系，断裂以北的地槽区则沉降剧烈，有巨厚的地槽型沉积。深断裂两侧有印支期石英闪长岩类呈近东西向带状展布，燕山期花岗岩类及喜山期玄武岩、火山岩等沿断裂分布，说明印支期至喜山期深断裂仍有活动。该深断裂是一条宽阔的，由走向北西西和北东东向挤压片理、碎裂岩带、逆冲断层及挤压破碎带、糜棱岩带以及不同时期的脉岩组成。新生代以来，该断裂带仍控制着两侧的差异升降运动，北部的桑根达来-浑善达克沙漠缓慢下沉，南部的阴山-燕山东西向隆起区缓慢抬升，但差异活动幅度已大大减弱，沿断裂无 6.0 级以上地震活动。

1.3.2 阿拉善北缘断裂带

阿拉善北缘断裂带为物探推断的区域性规模巨大的东西走向的隐伏断裂带。卫星图像上线性形迹隐约可见，断裂被中生界覆盖，零星出露有前中生界及印支期岩体露头，其长轴均近东西。该断裂控制着南北两区的地质发展史，“阿拉善地块”和“内蒙华力西晚期褶皱带”正是以此分界的。该断裂形成于古生代，断裂南侧为阿拉善地块，自古生代以来长期为一隆起带。主要由前震旦亚界变质岩系和岩浆杂岩组成结晶基底，发育一系列东西向展布的紧密褶皱和压性断裂。该断裂北侧自前震旦亚代至晚古生代以来，长期为一海槽，地层厚度逾万米。当断裂带南侧沉积长城系和蓟县系时，而北侧处于隆起状态。据地质及航磁资料，由北而南有数条大断裂或隐伏基底断裂存在。沿该断裂带东端 2.0~4.7 级地震较活跃，表明断裂带现今仍有活动。

1.3.3 河套断陷盆地活动断裂

1. 大青山山前断裂带

大青山山前断裂，西南起自昭君坟南，呈北东走向过黄河，经麻池、苗家营子，而后转为近东西走向过包头市东河区，向东沿大青山南麓延伸至呼和浩特市以东的奎素一带，总体走向为北东东，全长约 200 km，是呼包断陷的北边界断裂。断裂在地表基本连续出露。由一系列阶状正断层组成，具有左旋走滑分量性质，断层面南倾，地表倾角较陡。约 50° ~ 70° ，到深部变缓为 45° ~ 65° 之间，总体上呈铲形。断裂在晚更新世至全新世时期活动强烈，普遍错断上更新统及全新统，沿断裂不仅 1929 年在毕克齐发生过一次 6.0 级地震，而且槽探揭露发现有多次古地震事件。大青山山前断裂形成于燕山早期，侏罗纪时为一条近东西向的右旋逆倾滑断裂。早白垩纪时，断裂转变为拱张正断层，但仍具右旋性质，说明大青山一带的局部拱张应力场与侏罗纪以来形成的挤压应力场相统一。进入新生代，自渐新世开始，区域应力场发生根本变化，大青山山前断裂转变为拉张正断层，表现为南降北升的垂直差异运动，大青山相对抬升，呼和盆地不断沉降。断裂的这一活动特点一直持续到现代。断裂的活动造成了断裂两侧鲜明的地貌差异。北侧的大青山受断裂的控制，间歇性抬升，遭受剥蚀，形成夷平面、山前台地、河流阶地、断层陡坎等地貌。大青山山顶夷平面现存两级， [

级夷平面基本为大青山山顶面，海拔为 1 700~2 000 m，形成于晚白垩世—古新世；Ⅱ级夷平面海拔 1 450~1 600 m，形成于中新世。山前台地共发育三级，沿断裂带北侧广泛分布。Ⅲ级台地为基座台地，其盖层为一套冲湖积粉细砂层夹砾石层，厚度几米至十几米不等。地层的时代依据大量测年（表 1.3）资料及地层中发现的哺乳类化石：*Palaeoloxoclen namadicu*、*Eguus przewalskyi*、*Coelodonta antiguitatis*、*Cervus Canadensis*、*Megaceros bactouensis* sp. nov, *Bubalus Wansjocki* 等可以确定为晚更新世晚期，时间跨度为距今 4~2 万年左右。Ⅲ级台地的海拔高程为 1 100~1 170 m，台地面与山前侵蚀基准面的相对高差最大可达 120 m。Ⅱ级台地是晚更新世湖积地层遭剥蚀而形成的基座台地，其海拔高程一般为 1 060~1 125 m。Ⅰ级台地为堆积台地，由断裂断错山前冲洪积扇、低阶地等地貌面后断裂下盘抬升而形成。其相对高度为 2.7~17 m。台地上部的测年资料表明Ⅰ级台地形成于早中全新世。大青山山内较大的河流水系均形成 2~5 级阶地。断层陡坎包括基岩断层坎与松散堆积构成的断层坎。前者主要见于包头市古城湾及东园一带，最高可达 40~50 m，形成于晚更新世晚期。后者沿整个断裂带断续分布，构成Ⅰ级台地前缘地形坎。其高度为 2.7~17 m，形成于全新世。上述地貌类型共同反映了大青山山前断裂的正倾滑活动性质以及上升盘的抬升幅度。而断裂带南侧地区受断裂活动的控制，处于持续的下陷状态，接受巨厚有新生界沉积。渐新统至全新统总厚度最大可达 7 400 m，平均沉降速率为 0.2 mm/a。第四系总厚度可达 2 400 m，第四纪平均沉降速率接近 1.0 mm/a。断裂南侧地区在地貌上表现为广阔的呼包冲洪积平原，海拔为 980~1 100 m，与断裂北侧陡峭的山势形成鲜明的对比在山麓地带形成三期冲洪积扇，早期冲洪积扇规模较大，扇长可达 10km，相互衔接形成扇

表 1.3 大青山山前Ⅰ、Ⅱ级台地地层测年数据表

序号	实验室编号	取样地点与层位	样品成份	方法	测年结果 年
01*	DY-0020	包头万水泉剖面第⑩层	化石骨骼	¹⁴ C	22486±1256
02*	DY-0016	包头万水泉剖面第④层顶部	龙黑色粉砂	¹⁴ C	37929
03*	DY-0006	包头万水泉剖面第②层	黑色粉砂	¹⁴ C	47168
04*	DY-0011	包头万水泉剖面第④层	树干	¹⁴ C	47071
05*	R-646	包头万水泉台地下约 2m	黄色粉细砂	TL	26310±2890
06*	DY-0044	包头色气弯冲洪积层顶部砂层	含炭屑褐色粉砂	¹⁴ C	26891±1218
07*	BKY86031	包头色气弯冲洪积砂砾石层	化石骨骼	Th/U	246000±3300
				Pa/U	213000±3300
08*	BKY87001	包头色气弯冲洪积砂砾石层	化石骨骼	Th/U	200000±3300
				Pa/U	>150000
09*	BKY87002	包头后水沟剖面第⑤层	化石骨骼	Th/U	694000±2800
				Pa/U	35000±3300
10*	R850	包头永富剖面第⑧层中部	黄色粉砂	TL	31900±2870
11*	R648	土右旗五当沟粉细砂层	黄色粉细砂	TL	29620±3850
12*	R473	土右旗哈子盖Ⅲ级台地顶部	黄色砂层	TL	23390±4670
13*	R844	土左旗把什湖积粉细砂层顶部	黄绿色粉细砂	TL	32020±2380
14*	R849	土左旗什报气砂砾层下粉细砂	黄色粉细砂	TL	34580±3110
15*	R615	乌素图湖积粉细砂层顶部	黄色粉细砂	TL	28530±2850
16*	R621	榆树村Ⅲ级台地顶部	黄色粉细砂	TL	22260±2670

北京大学考古系年代实验室测试； * 中国地震局地壳应力研究所 ¹⁴C 与热释光实验室测试。

裙，时代为早中全新世。中期冲洪积扇一般长 3~6 km，能够分辨出清晰的扇形。晚期冲洪积扇 C 规模小、扇形独立、完整，扇长不过 2~3 km。中晚期冲洪积扇形成于晚全新世。洪积扇的组合类型主要为上迭扇，仅在土默特左旗以东出现一些内迭扇或串珠状扇，反映全新世时期断裂南侧仍处于持续的沉降状态。

大青山山前断裂普遍错断山麓地带的上更新统和全新统，位于土默特左旗把什村西北的牦牛沟，出露数条正断层，均错断了上更新统砂砾石层（图 1.4）。但只有剖面最南端的主断层错断了剖面上部的全新统钙质角砾层与含角砾黑土层，其上为表土层覆盖。含角砾黑土层的¹⁴C 年龄为 2 810±70 a.B.P.，黑土中所夹陶片的热释光年龄为 2 014±148 a.B.P.。说明断层在距今 2000 年以后有过显著活动。一系列断层露头均表明大青山山前断裂是一条在晚更新世晚期和全新世时期活动强烈的张性正断裂。

(1) 断裂带的位移幅度与活动速率。

(a) 早中更新世位移幅度与活动速率。大青山山前断裂北侧缺失下、中更新统，因此无法通过位错地层对比来确定其位移幅度，但可以推断当时下、中更新统的堆积面在上升盘并未超过现今上更新统的出露高度。说明早中更新世时期断裂活动主要以下降盘的下陷作用为主，下中更新统的厚度基本上反映了断裂在这一时期的位移幅度。根据石油勘探与水文钻井资料可知下中更新统最大厚度约为 1 700 m，求得早中更新世时期大青山山前断裂的平均垂直活动速率约为 0.75 mm/a。

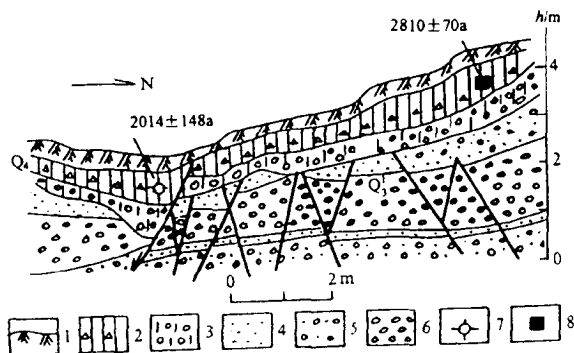


图 1.4 把什村西北断层剖面

1. 表土层；2. 黑土角砾层；3. 灰白色钙质角砾层；4. 粉细砂层；
5. 砂砾石层；6. 砾石层；7. 热释光取样点；8. ¹⁴C 取样点

(b) 晚更新世晚期以来的位移幅度与活动速率。依据断裂南侧附近大量的钻孔资料可以获得断裂南侧较完整的上更新统地层层序，将其与山前台地上的上更新统地层相对比，可以求得这套地层的断距，也就代表了晚更新世晚期以来断裂的位移幅度。万水泉一带晚更新世晚期以来的平均活动速率为 2.22 mm/a。五当沟一带晚更新世晚期以来的平均活动速率为 4.49 mm/a。把什一带晚更新世晚期以来的平均活动速率为 4.26 mm/a。什报气与西乌素图这两处晚更新世晚期以来平均活动速率为 3.29 mm/a 与 2.85 mm/a。

(c) 全新世位移幅度与活动速率。大青山山麓地区全新统沉积类型复杂，岩性与厚度变化大，且断裂下降盘常被最新沉积物覆盖，因此无论是天然断层露头还是探槽剖面都很难将两盘的全新统作准确的对比。只有通过被断层错断但仍保留较完整的地貌面的对比来确定全

新世断裂的位移幅度。全新世断层陡坎沿大青山断裂带断续分布，发育较好。虽则陡坎附近遭受了一定程序的剥蚀改造，但陡坎上、下原始面在距陡坎较远处一般都保存较好，这些面大多广泛平缓，同一陡坎的上、下原始面坡角差不多超过 2° ，说明它们原来为同一地貌面。通过陡坎地形剖面的测量即可得到断裂的全新世位移幅度。根据位移量值和年龄资料分别求得雪海沟、黑麻板、莎木佳、纳太、古雁、上达赖、霍寨、奎素八个地点的断裂全新世平均活动速率依次为：0.37、1.42、1.55、1.24、1.70、1.20、0.64、0.43 mm/a。

大青山山前断裂带的位移幅度和活动速率的研究结果，反映了该断裂的活动在时间和空间上的不均匀性。空间上的不均匀性：断裂带最大位移与最大速率分布均在断裂带中部，向两端逐渐减小。时间上的不均匀性：断裂带在第四纪时期以晚更新世晚期活动最强烈，全新世相对较弱，而早、中更新世时期的活动最弱。

大青山山前断裂带古地震研究揭示了断裂带的古地震序列，从土默特左旗上达赖探槽剖面图 1.5) 分析，至少有四次古地震事件。事件 I 形成崩积楔 *a*，其上覆坡洪积砂层的 TL (热释光) 年龄为 10790 ± 750 aB.P.，说明事件发生在 10790 ± 750 年之前。事件 II 形成张裂充填楔 *b*，这一事件发生在第一层古土壤形成之后，古土壤 ^{14}C 测年为 9060 ± 1350 aB.P.。事件 III 形成张裂楔 *c* 与崩积楔 *d*，崩积楔之下的古土壤层 ^{14}C 年龄为 7286 ± 150 aB.P.，说明这一事件发生在 7286 ± 150 年之后。

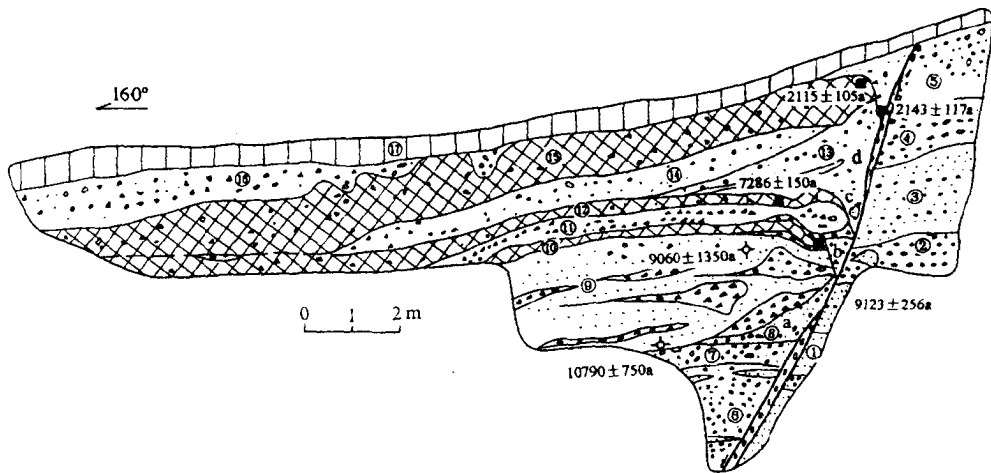


图 1.5 上达赖探槽剖面

①砂砾石层；②白色砾石层；③黄色砂层；④夹砾石层；⑤紫红色扁平砾石层；⑥白色粗砾石层；⑦白色砾石层；⑧白色粗砾石层；⑨崩积砾石、砂土层；⑩坡洪积砂层夹角砾透镜体；⑪黑色古土壤层；⑫含角砾砂土层；⑬黑色古土壤层；⑭崩积黄色砂土夹角砾；⑮坡积角砾层；⑯古土壤层；⑰灰色角砾层；⑱表土层

(2) 断裂带的分段与古地震重复序列。大青山山前断裂带的不同区段，揭露出的古地震事件的期次、时间分布、最新事件的时代在各区段互不相同，反映了断裂的分段性。依据断裂破裂分段原则，结合断裂带的几何学、运动学特征与构造地貌表现，可以将大青山山前断裂带划分为五个断层段。

通过各断层段内的探槽剖面分析与古地震事件对比，可以恢复各断层段的古地震重复序列，从而获得各段的大震复发间隔数据。

黄河南—雪海沟段：仅揭露出一次古地震事件，发生在距今 $5\,330 \pm 260$ a 之前。这次事件以后断层未见活动。

雪海沟—土默特右旗段：通过探槽的分析对比，可以确定该段有五次古地震事件：

I. 发生在全新世初期。约距今 $11\,000 \sim 12\,000$ a 左右。阿善沟门探槽下部地层（TL 年龄 $11\,300 \pm 900$ aB.P.）被错断。

II. 发生在 $9\,300$ 年以后。莎木佳探槽中的古土壤层被错断并形成崩积楔，其 ^{14}C 年龄为 $9\,318 \pm 78$ aB.P.。

III. 发生在距今 $5\,000 \sim 6\,000$ a 左右。铝厂探槽错断 TL 年龄为 $5\,010 \pm 300$ aB.P. 的黄土角砾层及阿善沟门探槽的中部崩积楔 TL 年龄 $6\,530 \pm 650$ aB.P.。

IV. 发生在距今 $3\,500$ 年左右。铝厂探槽错断 ^{14}C 年龄为 $3\,370 \pm 145$ aB.P. 的古土壤层并形成张裂楔和莎木佳探槽错断 ^{14}C 年龄为 $3\,930 \pm 78$ aB.P. 的古土壤层并形成张裂楔。

V. 发生在距今 $1\,200 \sim 1\,600$ 年左右。在永富至阿赖一带， ^{14}C 年龄为 $1\,620 \pm 100$ a 与 $1\,070 \pm 70$ a 的坡积层被错断。

由此可知该段的古地震活动强烈，大震的实际重复间隔约为 $1\,700 \sim 3\,000$ a，平均重复间隔为 $2\,200$ a 左右。

土默特右旗—美岱桥段：该段共揭示出三次古地震事件：

I. 发生于全新世初期。

II. 发生于距今 $8\,844 \pm 161$ a 之后，崩积楔上覆古土壤层被错断，年龄为 $8\,844 \pm 161$ aB.P.。

III. 发生在距今 $4\,000$ a 左右，错断 ^{14}C 年龄为 $4\,150 \pm 151$ aB.P. 的含砾砂土层。

最后一次事件发生至今已 $4\,000$ 余年。该段的古地震重复间隔在 $4\,000$ a 以上。

美岱桥—土默特左旗段：通过探槽的对比再结合一些断层天然露头剖面，可以确定出五次古地震事件：

I. 发生在距今 $11\,000$ a 左右，其早期崩积楔的上覆砂层年龄为 $10\,790 \pm 750$ aB.P.

II. 发生在距今 $9\,000$ a 左右，其 ^{14}C 年龄为 $9\,123 \pm 256$ aB.P. 的古土壤层被错断，并沿断面形成张裂充填楔。

III. 发生在距今 $7\,000$ a 左右，其 ^{14}C 年龄为 $7\,286 \pm 150$ aB.P. 的古土壤层被错断，并形成张裂楔与崩积楔。

IV. 发生在距今 $4\,000$ a 左右，其早期崩积楔上覆的黑土角砾层 ^{14}C 年龄为 $3\,864 \pm 258$ aB.P.。

V. 发生在距今 $2\,000$ a 左右，道试探槽晚期崩积楔的上覆黑土角砾层 ^{14}C 年龄为 $2\,096 \pm 110$ aB.P.；上达赖探槽 ^{14}C 年龄为 $2\,115 \pm 105$ aB.P. 的古土壤层被错断并形成张裂楔；窑子湾探槽上部 ^{14}C 年龄为 $2\,150 \pm 149$ aB.P. 的黑土角砾层被错断。另外在把什一带， ^{14}C 年龄为 $2\,810 \pm 70$ aB.P.，热释光年龄为 $2\,014 \pm 148$ aB.P. 的黑土角砾层被错断（参见图 1.5）。这次事件是该段的最新活动事件。在窑子湾， ^{14}C 年龄为 $1\,461 \pm 127$ aB.P. 的古土壤层覆盖在断层之上；把什一带赵长城穿越断层未发生任何变形。

上述古地震资料说明美岱桥—土默特左旗段是断裂带中活动较强烈的一段。其实际大震重复间隔为 $2\,000 \sim 3\,000$ a，大震平均重复间隔为 $2\,300$ a 左右。

土默特左旗—奎素段：上述榆树沟探槽位于该段内，另外在乌素图召及呼市靶场均开挖

了探槽，仅榆树沟探槽揭露出一期崩积楔堆积。崩积楔物质的 TL 年龄为距今 $9\,840 \pm 1\,770$ a。另外在什报气、乌素图、乌兰不浪 TL 年龄为 $7\,380 \pm 660$ a.B.P.、 $8\,640 \pm 172$ a.B.P.、 $8\,380 \pm 1\,050$ a.B.P. 的地层被错断，可能为同一次事件。全新世中期以来该段未见活动。图 1.6 为大青山山前断裂带全新世古地震时空分布图。可以看出各个断层段的古地震期次、发生时代及最新事件均互不相同，因此可以认为大青山山前断裂带不是一个统一的发震单元，而具有五个独立的发震单元，各单元均有独自的古地震重复序列。如果将各段的古地震重复序列统一起来考虑，则大青山山前断裂带平均大震重复间隔约在 $1\,000$ a 左右。

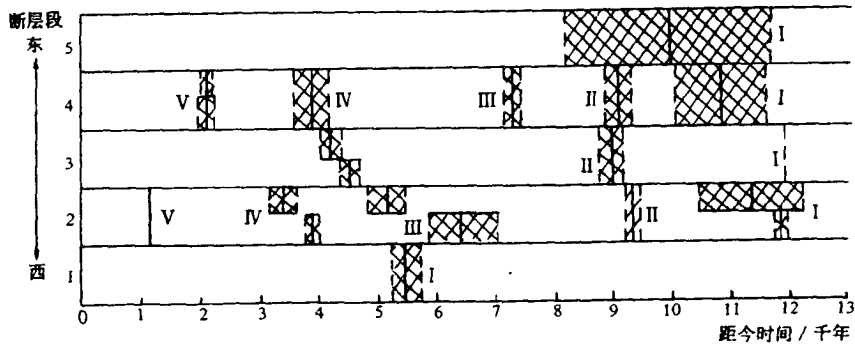


图 1.6 大青山山前断裂全新世古地震时空分布图

1. 黄河南—雪海沟段；2. 雪海沟—土右旗段；3. 土右旗—美岱桥；
4. 美岱桥—土左旗段；5. 土左旗—奎素段

2. 乌拉山山前断裂带

乌拉山山前断裂带沿乌拉山南麓展布，西起乌拉特前旗，东至包头昆区北色气弯一带，总体走向近东西，全长约 110 km。该断裂在重力、航磁及石油地震勘探资料上均有显示，由一系列阶状正断层组成（图 1.7），断面倾向南，地表倾角较陡，达 $60^\circ \sim 75^\circ$ ，到深部变缓为 $44^\circ \sim 62^\circ$ 之间，总体上呈铲形，它与狼山-色尔腾山、大青山山前断裂带在平面上显示左行排列特征，共同控制着河套断陷的北界。第三纪时期，断裂活动相对较弱，其沉积厚度

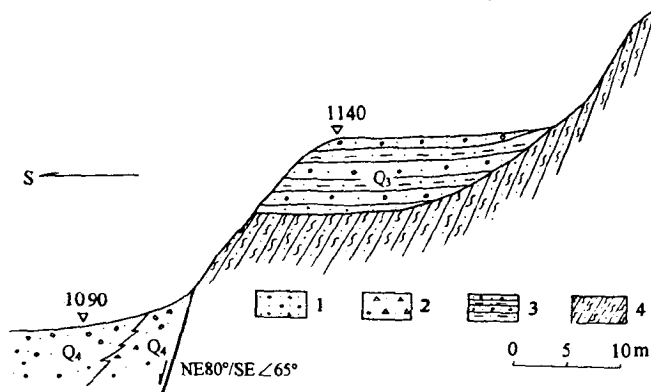


图 1.7 乌拉山山前第四纪断层剖面

1. 冲积砂砾石层；2. 坡积洪积砂砾石层；3. 砾石层与砂质粘土互层；4. 片麻岩

3 100 m, 远不及临河拗陷与呼包拗陷。但第四纪以来活动有所加强, 其最大沉积厚度达 2 000 m。断裂以倾滑运动为主, 兼左旋走滑型正断层性质。晚更新世以来, 断裂西段较东段活动强烈。近 20 年来, 沿断裂带在山前拗陷中小震群时有发生, 是河套断陷盆地中一条不可忽视的活动断裂带。

3. 乌拉山北缘断裂带

该断裂是临河断陷盆地东段的南界断裂, 沿乌拉山的北缘发育。断裂西起乌拉特前旗西山咀, 东至沙德格附近, 走向近东西, 倾向北, 为张性正断层, 全长约 75 km。该断裂与色尔腾山山前断裂在沙德盖一带交汇, 在其交汇区地震活动较频繁, 公元 849 年发生了 6.7 级地震, 1996 年 5 月 3 日又发生了包头西 6.4 级地震, 有明显的地震重复现象。

4. 色尔腾山山前断裂

该断裂是临河拗陷的北界, 断裂西起狼山口, 由近东西向延伸至乌不浪口后转为南东 120°方向延伸至大余太以东与乌拉山北缘断裂交汇, 全长约 150 余公里。断面南倾, 倾角约 55°, 断裂性质为带有左旋走滑分量的正断层(图 1.8)。第四纪以来, 由于断裂的强烈活动, 在临河拗陷北部紧靠山前断裂沉积了巨厚的第四纪地层, 最大沉积厚度在西段达 2 400 m。向东在五原一带沉积厚度约 1 400 m, 五原以东逐渐变薄。断裂西段的活动程度较东段强烈。在山前二级台地前缘, 第四纪断层十分发育。据探槽开挖揭露, 在乌加河附近有 5 条阶状正断层, 走向近东西, 倾向南, 倾角 39°~57°, 一般断距为 30~50 cm, 累计断距达 1.5 m, 断层错断了上更新统半胶结砂砾石层和全新统松散砂砾石层, 反映了断裂在全新世时期有明显活动。在断裂控制的五原地段, 于 1934 和 1979 年相继发生了 6¼、6.0 级地震。这两次地震相隔 45 年后在原地重复发生, 又据近几年跨断层短水准测量结果, 其断层活动速率为 0.4~0.5 mm/a, 进一步说明该断裂现今仍有活动。

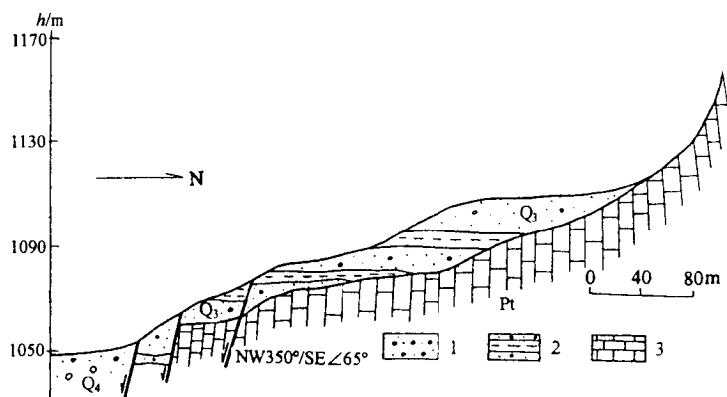


图 1.8 色尔腾山山前断裂带乌加河北实测地质剖面

1. 砂砾石; 2. 砂质粘土与砾石层互层; 3. 大理岩

5. 狼山山前断裂带

沿狼山东南麓展布, 南起哈腾套海, 北至狼山口, 全长约 160 km, 是控制临河盆地西北边界断裂。断裂走向北东 55°, 倾向南东, 倾角 60°~70°。断裂带由一系列向盆地倾斜的

正断层或阶状正断层组成，其宽度约 300 m。从地貌、构造活动特征及盆地第四系厚度来看，该断裂北段较南段强烈。狼山山地北段海拔可达 1 800 m 以上，乌盖西北部最高峰可达 2 364 m，南段山势逐渐减缓，降至海拔 1 400 m。与此对照，北段盆地第四系厚度达 1 800 m，而南段沉积厚度逐渐减小，表明狼山山前断裂带北段垂直差异运动较南段强烈。此外，沿断裂带北段第四纪断层发育，山前断层崖、断层陡坎常见到，而南段则少见，这也表现出北段较南段强烈。

位于狼山山前断裂和色尔腾山山前断裂转折地段的狼山口是狼山—色尔腾山前断裂活动最强烈的地段。该处不仅北侧的山势陡峻，山前台地发育，而且也是盆地第四系沉积最厚的地方。沿山麓带，第四纪断层和断崖十分发育。在石兰计附近，探槽揭露了 I 级台地前缘陡坎，断层呈阶状发育，有 7~11 条之多（图 1.9），断层错动晚更新统和全新统，断距一般为 0.2~0.4 m，累计最大断距可达 1.6 m。根据断层错断地层及其活动特征，断裂带全新世以来至少有两期活动，最近一次活动应在距今 $1\,240 \pm 50$ a 期间。

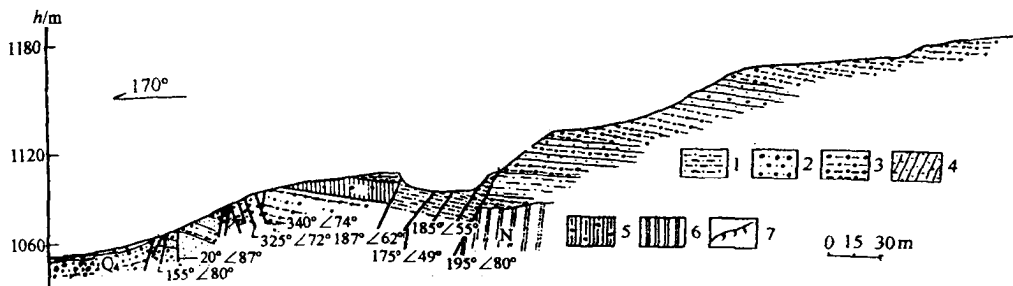


图 1.9 狼山石兰计北实测地质剖面图

1. 亚粘土；2. 洪积物；3. 冲积物；4. 砂岩；5. 黄土夹砾石层；6. 红土；7. 表层土

6. 鄂尔多斯北缘断裂

该断裂为近东西向，沿鄂尔多斯台地北缘延伸，向东至托克托拗陷伏于呼和拗陷之中，全长约 360 km，向北倾斜，倾角 $51^\circ \sim 70^\circ$ ，垂直断距一般为 300~350 m，为一左旋正走滑断裂。该断裂在地表形成高达 20~50 m 的地形陡坎，并使第四纪时期形成的河流发生左旋位错。据乌兰村附近探槽剖面，断层错断晚更新统砂砾石层和粘土粉细砂层。近十几年来沿断裂附近小震活动密集。

7. 和林格尔断裂

和林格尔断裂为一条北东走向，倾向北西的正断层，它形成于上新世末期，是呼包断陷的东界（图 1.10）。该断裂北起呼和浩特市以东的大窑村附近，以南西 $20^\circ \sim 30^\circ$ 走向，向西南经南店、公喇嘛、台基，至黑水泉西，转向南西 $60^\circ \sim 70^\circ$ 延伸，大致止于冯彦附近。断面倾向北西，倾角 $60^\circ \sim 70^\circ$ ，全长约 100 km，是河套断陷带东缘断裂。断层在卫星影像上线性特征清晰，地貌上有明显反映。据钻孔资料及托克托砖厂黑色淤泥层 ^{14}C 年龄测定为 3 万年左右，通过层位对比分析断层错断了该湖积层，反映了断裂在晚更新时期曾有活动。近十几年来，沿断裂中小地震活动相当频繁，1975 年在断裂附近发生 4.4 级地震，表明断裂现今仍在活动。