

鄂尔多斯盆地基底断裂及其现代活动性

马润勇^{1,2}, 朱浩平³, 张道法³, 潘爱芳^{1,2}

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054; 3. 中国石油天然气集团公司长庆油田分公司 第五采油厂, 陕西 西安 710021)

摘要: 对鄂尔多斯盆地基底断裂特征及其活动性作了总结、归纳与分析。结果表明, 鄂尔多斯盆地不仅是一个四周被活动断裂或深大断裂围限的块体, 其内部还存在大量规模不等的基底断裂, 并具有明显的分区特征。盆地内基底断裂带可分成 4 组: 几乎贯穿整个盆地的华池—米脂—大同北东向断裂带; 盆地北部的多条东西向断裂带和中部的定边—绥德、南部的庆阳—富县—宜川等东西向断裂带; 中部发育的定边—吴起、乌审旗—榆林北西向断裂带与盆地东西两侧的近南北向巨型断裂带。鄂尔多斯盆地内存在的现代构造地貌以及普遍发育的雁行状、X 共轭状节理等现象, 是新构造运动的直接表现; 盆地内存在的深部流体活动信息、现代地球化学景观特征以及众多的小地震、微地震活动及其与基底构造的密切关系, 反映了这些断裂的现代活动性。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 基底断裂; 新构造活动; 现代活动性

中图分类号: P54; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)04-0400-09

Basement Faults and Their Recent Activity in Ordos Basin

MA Run-yong^{1,2}, ZHU Hao-ping³, ZHANG Dao-fa³, PAN Ai-fang^{1,2}

(1. School of Geological Engineering and Surveying, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. The Fifth Oil Production Factory, Changqing Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Xi'an 710021, Shaanxi, China)

Abstract: The features of basement faults and their activities in Ordos Basin are summarized and analyzed. The study shows that the Ordos Basin is not only a single block surrounded by active faults or deep fracture zone reported before, but a basin with a large numbers of obviously region-related basement faults in the interior. The basement faults can divided into four groups in the basin, that is the NE-trending Huachi-Mizhi-Datong fault zone penetrated almost the basin, the EW-trending faults several faults of the northern part, Dingbian-Suide fault zone in the central part and Qinyang-Fuxian-Yichuan fault zone in the south part, the NW-trending Dingbian-Wuqi fault zone and Wushenqi-Yulin fault zone and the SN-trending fault zone at its eastern and western sides. Modern tectonic geomorphology, all-pervading echelon and X-shaped conjugate joints are direct exhibition of neotectonic movement in the basin. Existing deep fluid information, modern landscape geochemistry features multitudinous minor-moderate earthquake and micro-earthquakes indicate the recent activity of the faults.

Key words: Ordos Basin; basement fault; neotectonic movement; recent activity

0 引言

鄂尔多斯盆地北起阴山山前断裂带, 南至秦岭山前断裂带, 西起贺兰山西缘断裂带与青铜峡—固原断裂带, 东止离石断裂带。该盆地曾以其特有的

稳定性而闻名, 但从近些年研究成果来看, 由于其早期受兴蒙和秦祁两个海槽影响, 晚期受印度、太平洋和库拉等板块的作用, 使其在基底结构、盖层发育特征、各期地壳运动、盆地演化、油气分布、煤田赋存与展布规律、盆缘构造形变、黄土高原形成

收稿日期: 2009-04-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2003CB2146); 交通部国家西部交通建设科技项目(20043188212)

作者简介: 马润勇(1961-), 男, 陕西子洲人, 教授, 从事工程地质、地质灾害等教学与研究。E-mail: dedgx31@chd.edu.cn

演化以及气候环境效应等许多方面, 表现出一定的复杂性、多变性和活动性。因而近些年来受到能源、地震、工程地质、环境等多个领域地学工作者的特别关注。

前人根据航磁、重力、大地电磁、卫星照片以及区域基础地球化学等多种资料, 对鄂尔多斯盆地及周缘地区的基底断裂构造进行了不同程度的研究^[1-12]。然而, 由于具体研究对象和研究目的不同, 绝大多数已有的研究成果尚缺乏对鄂尔多斯盆地基底断裂的系统认识。为此, 笔者在前人研究成果基础上, 对鄂尔多斯盆地基本格局及基底断裂特征给予概略总结与归纳, 并就其现代活动性加以简要探讨。

1 断裂分区特征

鄂尔多斯盆地不仅是一个四周均被活动断裂或深大断裂所围限的非规则多边形断块, 在盆地内部还存在大量规模不等的基底断裂。根据航磁、重力、大地电磁、卫片、地球化学场等多种资料综合分析解译, 在盆地内部及其周缘均发现有不同规模的(隐伏)基底断裂^[12-14], 并具有明显的分区特征。其中, 盆地北部地区, 主要以东西向断裂为主, 而盆地中南部, 则发育大规模的北东向及其相伴生的北西向断裂, 南北向断裂位于盆地东西两侧, 控制着盆地的东西边界(图1)。这些隐伏基底断裂在盆地盖层中大多没有明显的直观显示, 但在热红外遥感图像与大地电磁解释剖面上, 基底断裂反映明显^[23]。以航磁场为例(图2)^[15], 鄂尔多斯盆地北东向航磁异常最强, 其次为东西向, 引起的磁异常幅度也最大, 在盆地中南部大规模北东向磁场背景上, 还可看出东西向和北西向异常存在的痕迹, 表现出东西向构造受北东向构造改造, 北东向构造受北西向构造的改造, 使得局部发生偏移和错位, 表现为北东成带、北西成块的特点。北西向断裂明显晚于东西向断裂, 在磁场上表现为切割了东西向断裂, 并且明显阻挡了北东向断裂的连续性。可见盆地构造的发生、发展主要受北东向和东西向(或北东东向)断裂的控制, 北西向断裂也具有一定的控制作用。

关于断裂的发育时代问题, 王同和^[10]、贾进斗等^[3]认为, 各组断裂在发育的起始时间上有所不同。其中, 东西向断裂发育于早太古代, 并控制了早太古代的沉积与火山活动; 其次为北东向断裂带, 发育时间在晚太古代—早元古代; 位于盆地东、

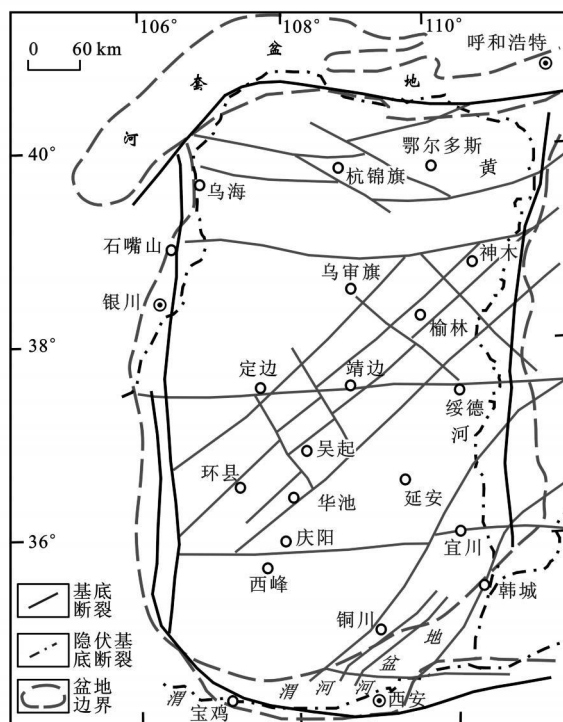


图1 鄂尔多斯盆地隐伏基底断裂分布

Fig 1 Distribution of Basement Fractures in Ordos Basin

西两侧且构成盆地东西边界的南北向断裂系, 可能形成于元古代末, 但主要活动期为中生代; 北西向断裂主要发育在大同—华池大型韧性剪切带上, 可能与北东向断裂同期或稍晚形成。

2 断裂分组及其基本特征

归纳起来, 鄂尔多斯盆地内断裂带主要有4组: 几乎贯穿整个盆地的华池—米脂—大同北东向断裂带; 盆地北部的多条东西向断裂和中部的定边—绥德、南部的庆阳—富县—宜川等东西向断裂带; 中部发育的定边—吴起、乌审旗—榆林北西向断裂带; 盆地东西两侧的近南北向巨型断裂带(图1)。

2.1 东西向基底大断裂

盆地内存在3条纬向基底大断裂带, 分别位于盆地的北部、中部和南部(图1)。该组断裂不仅在磁场上显示明显, 甚至在下地壳的等厚度图上显示为一个明显的东西向梯度带^[10, 16], 反映出该组断裂至少已切穿了下地壳。已有研究结果表明, 该组断裂带主要发育于早太古代, 它们可能在晚太古代或早元古代就已出现, 在中、晚元古代已发展成主构造线, 直接控制着鄂尔多斯盆地构造的发展, 并在古生代和中生代仍然活动, 制约了古生界和中生界沉积层的分布^[9, 10, 13]。

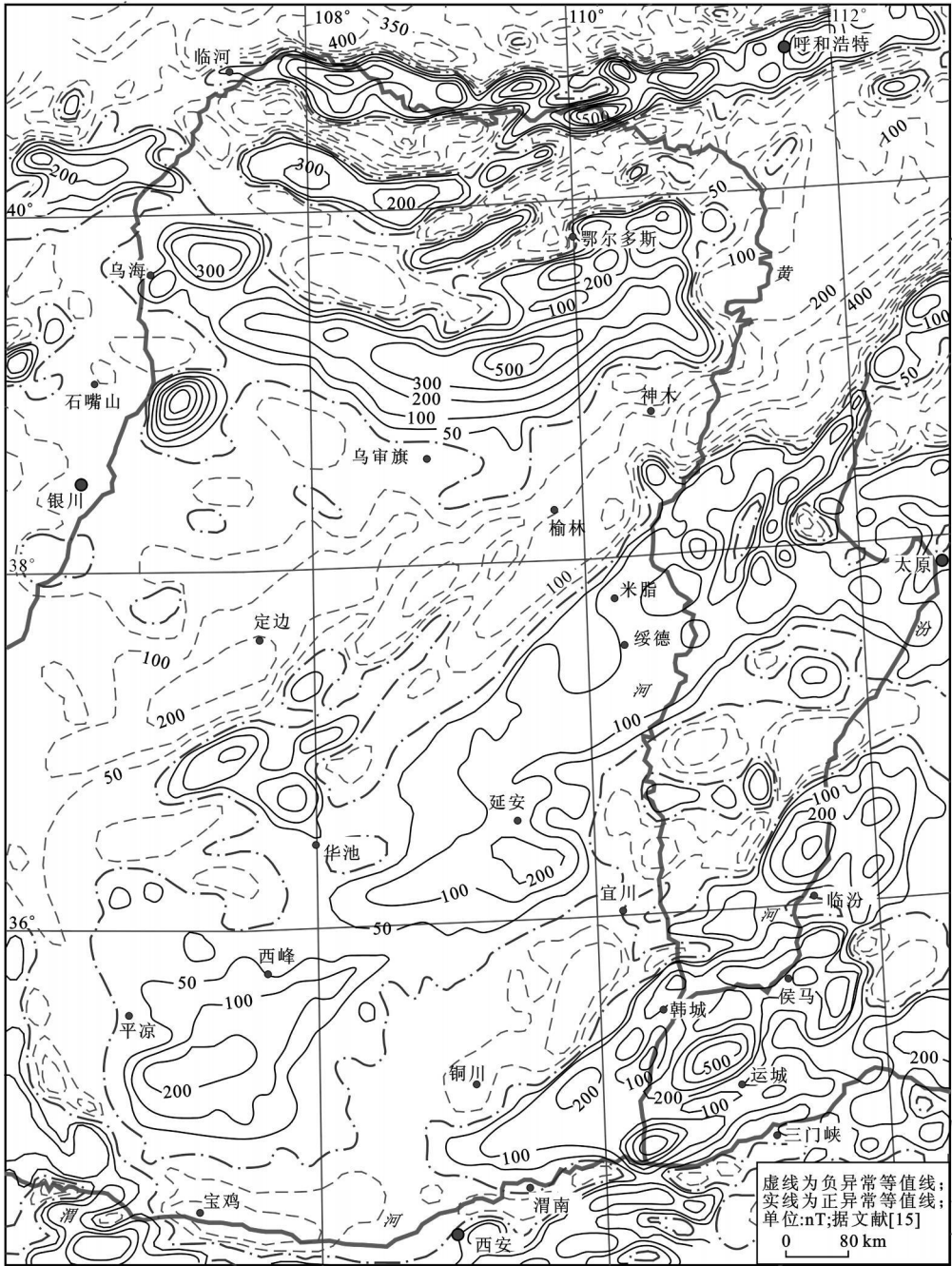


图 2 鄂尔多斯盆地航磁 ΔT 异常图

Fig. 2 ΔT Magnetic Anomaly Map of the Ordos Basin

2.1.1 盆地北部断裂带

北部断裂带由 3 条断裂构成, 自北至南依次为杭锦旗—达拉特旗断裂、百眼井—准格尔旗断裂和石嘴山—神木断裂。其中, 石嘴山—神木断裂两侧的磁场特征具有明显差异, 南侧体现为宽缓的负磁场, 磁异常等值线总体上以北东走向为主, 而断裂北侧的磁异常变化幅度较大, 且总体上呈东西走向。断裂带总体走向特征为中—西段近东西走向,

东段向北有所偏移, 呈北东东走向。北部断裂带控制着区内地质构造的发展^[13]。

2.1.2 定边—绥德断裂带

该断裂带(图 1、3)为前人根据对重磁、大地电磁、地震及卫片资料的研究成果所确定^[2, 9, 17-19], 它不仅出现在鄂尔多斯盆地, 而且是一条横跨甘、宁、陕、晋、冀、鲁等省(区)的深大构造带, 位于北纬 $37^{\circ}20' \sim 38^{\circ}00'$ 之间, 展宽 50 ~ 70 km, 东西绵亘

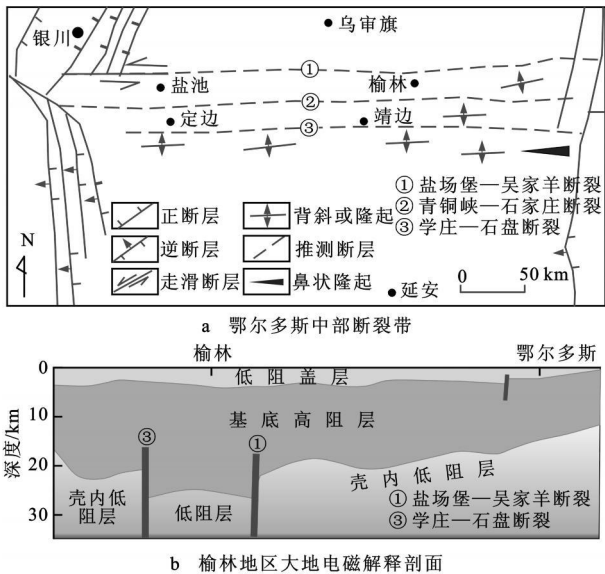


图 3 鄂尔多斯中部定边—绥德断裂带剖面解释

Fig. 3 Profile Map of the Dingbian-Suide Fault Zone in the Central Ordos Basin

1 500 km, 是一条在地质历史上具有长期活动特征的岩石圈断裂^[9, 20]。该构造带在盆地西缘南北构造带以西区段, 是青藏高原东北缘著名的古浪—中卫左旋活动断裂带, 断裂南倾, 1709 年的宁夏中卫 7.5 级大地震和 1927 年的甘肃古浪 8 级大地震均发生于该断裂带上^[21-23]。在鄂尔多斯盆地内部, 其分布范围北至乌审旗, 南达定边、靖边一线, 主要表现为—构造上的浅凹带, 为南北两构造块体之间的过渡部位^[18]。该构造带被推定为由 3 条断裂和数个近东西向的隆起或背斜构成 (图 3a^[9])。3 条断裂由北至南分别为: ① 盐场堡—吴家羊断裂; ② 青铜峡—石家庄断裂; ③ 学庄—石盘断裂。局部由西向东主要有发牛坡、玉皇庙、王家场、马坊、东红庄、郝滩、麒麟沟以及子洲等隆起或背斜。构造带在盆地东缘以东外围区段不仅延伸到了石家庄, 以远还有衡水断裂、埡南断裂等对应。大地电磁测深资料表明, 壳内低阻层断距达 5~7 km, 如图 3b^[9]。除此之外, 葛碧如等^[2] 进行的遥感图像解译表明, 该断裂带在热红外遥感图上的反映也相当明显, 在北纬 37°20′~37°40′ 处具有明显的红、黄、绿线性分界, 且是古生代与中生代的断陷。在地貌上, 该构造带在靖边以西段对应的是南北地貌分界线, 靖边以东至绥德一带 (图 4), 反映了该断裂对现代构造地貌的影响。

2.1.3 庆阳—富县—宜川断裂

该断裂向东途径山西洪洞并继续延伸与东部

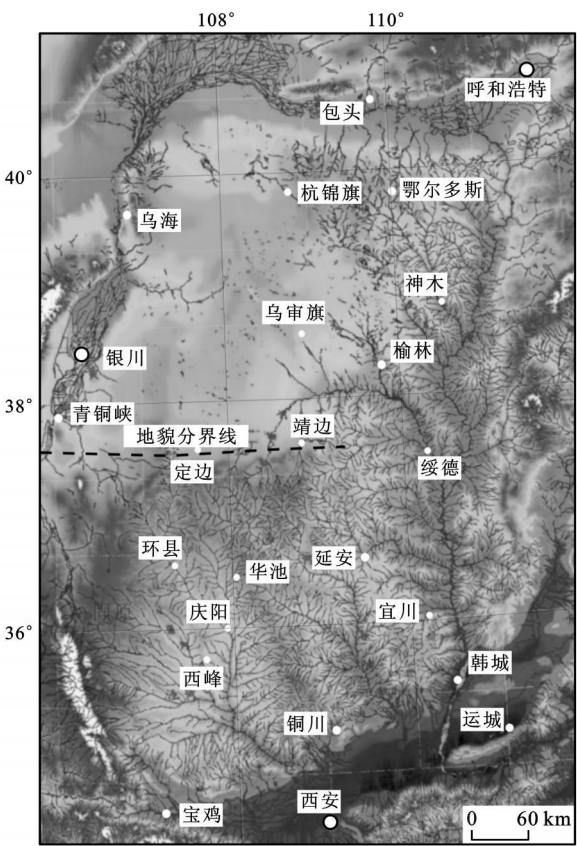
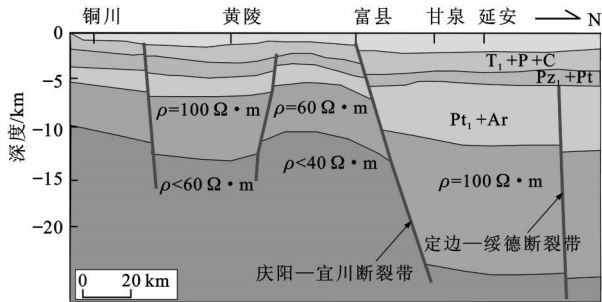


图 4 鄂尔多斯盆地卫星遥感影像

Fig. 4 Remote Sensing Image of the Ordos Basin

北北东向的晋城—获鹿大断裂相交, 长约 600 km。该断裂带在盆地西部地区隐伏于沉积盖层之下, 庆阳至宜川一带, 在大规模北东向磁场背景上出现异常局部发生偏移和错位的现象。该断裂在地表以及地震剖面上虽然没有明显反映, 但是在大地电磁解释剖面上, 基底内部显示明显, 其中在富县附近, 深部高阻层底界错断超过 12 km, 只是高阻层顶界错断不明显 (图 5), 并认为该断裂在结晶基底形成后基本停止了活动^[3, 10]。



据文献 [3]

图 5 大地电磁解释剖面

Fig. 5 Interpretation of the Magnetotelluric Sounding

2.2 北东向基底大断裂

北东向基底大断裂主要位于盆地的中南部区域,分别是斜贯盆地中部的庆阳—大同断裂带和铜川—宜川—文水断裂带。其中,以庆阳—大同断裂为界,西北侧为大面积平静的负磁异常区,而其东南侧,则是3条醒目的北东向异常带,并斜贯盆地中部及晋北地区(图1)。3条北东向异常带分别为北部的涇川—延安—忻州正异常带;中部的铜川—宜川—文水至太行中段负异常带,铜川—宜川断裂带对应于该异常带;南部的永济—侯马北东向正磁异常带(图2)。目前对北东向基底大断裂主要集中于对庆阳—大同断裂带的研究,现将主要研究成果作以简述。

庆阳—大同断裂带呈北东向斜穿鄂尔多斯盆地中部及山西北部,由3条断裂组成,北边的两条分别是姬塬—安边断裂(长180 km)和环县—横山断裂(长430 km)。该断裂在遥感图上反映的也比较清楚,主要显示为断裂南北两侧的地貌差异(图4)。在平面上该断裂带呈羽状排列,反映其是在同一构造应力场作用下形成的断裂系。张家声等^[24]因此将其认定为一大型韧性剪切带,因地表地震资料显示不清楚,而大地电磁在深部有清晰反映,故认为属基底形成时期发育的断裂。汤锡元等^[25]及朱英^[26]认为,该断裂规模宏大,是基底岩相区的明显界线,因而是一种变质杂岩体内的缝合线,属壳深大断裂性质,但近期活动性不很强烈。

2.3 南北向基底大断裂

南北向基底大断裂位于研究区东西两侧,构成盆地的东西边界。该组断裂可能形成于元古代末,但主要活动期为中生代。

2.3.1 鄂尔多斯盆地西缘断裂

鄂尔多斯盆地西缘逆冲断裂带是中国北方东部与西部构造、地貌以及各种地球物理场的分界带,是中生代发育起来的中国内部极其重要的推覆逆冲构造带。该构造带北起内蒙古桌子山经贺兰山,南抵陕西宝鸡附近,西界分别以贺兰山西麓的磴口—阿拉善左旗断裂和三关口—青铜峡—固原断裂与阿拉善地块和北祁连加里东褶皱带相毗邻,东面是鄂尔多斯盆地。该逆冲构造带南北长约600 km,东西宽30~100 km。多年来,该构造带以其明显的地貌特征、陡变的地球物理场、强烈的地震活动性、特殊的构造样式、“多旋回”式的构造活动以及丰富的资源而受到许多学者的关注^[4, 5, 8, 11-12, 27-29]。

西缘断裂构造带中,最重要的一条是青铜峡—固原断裂,断裂自北向南分别经乌海、石嘴山、青铜峡、罗山、炭山、固原、华亭等地,总体呈南北向延伸。断层面向西倾斜,并有上陡下缓的趋势;断块由西向东逆冲,青铜峡—固原断裂在小罗山、平凉嵩店及华亭马峡口均有清楚的露头^[4, 30]。

该断裂以盆地中部定边—绥德东西向断裂带为界,分为南北两部分,且具有各自相对独立的形成机制与过程。定边—绥德东西向断裂带的存在,导致了鄂尔多斯西缘构造带南北两部分之间活动特征的分化。而张进等^[12]则认为,主要是由于盆地西缘构造带南北两部分之间存在一个较大的侧断坡导致了该构造带南北两部分之间的分化。事实上,所谓的侧断坡与定边—绥德东西向基底断裂在位置上相同,因此相互间有密切关系。由于东西向基底断裂对该南北构造带的影响,使得其南北两部分形成的时间、持续时间以及内部结构有所不同:该组断裂最早可能形成于元古代末,但主要活动期为中生代,其中北段活动时间短,主要于晚侏罗世开始活动,南段活动时间长,在晚三叠世就已开始活动,其间断断续续,在新生代仍然有活动。西缘北段最大的特点是基底已经卷入了变形,断层倾角较陡,且倾向多样,抬起最高,出露地层普遍较老。一些地方(如岗德尔山地区)前震旦系变质杂岩以及部分下古生界灰岩已经逆冲在二叠系地层之上,并在老石炭系向斜西翼形成由下古生界灰岩构成的飞来峰,属于厚皮构造,而南段的特点表现为盖层滑脱,基底未参与变形,属于薄皮构造,平面上主冲断层呈雁行排列,大断层倾角缓,倾向大多向西,断层向下倾角变缓并归并到石炭系与二叠系的煤层中。古生界的地层冲到中生界地层之上,该段总体表现为叠瓦状冲断席^[31]。

2.3.2 鄂尔多斯盆地东缘断裂

鄂尔多斯盆地东缘与晋西挠褶带相伴生的断裂南起临汾以西,经蒲县黑龙关、中阳、离石、兴县交楼申,北至偏关以北,为一条近南北向的大型背冲断裂体系,长达350 km多,展宽10~30 km^[10]。航磁图上(图2)虽被北东向异常所干扰,但极高的近南北向线性异常特征线仍然明显。该断裂将长城系至三叠系地层全部断开,离石以南,地表构造显示明显,断裂带内岩层产状较陡,挤压破碎强烈,其附近伴有与之平行的褶皱和小型逆冲、逆掩断裂,显示了强烈的挤压特征;离石以北,为一系

列雁列展布断面西倾的逆冲断裂,越向北逆冲断裂规模渐小,沿断面可见糜棱岩和构造透镜体。该断裂兴县以北隐伏于盖层之下,兴县至偏关一线,地面仅见有膝褶和弧形褶皱,沿断裂有不同时代的碱性岩和超基性岩分布,反映了该断裂发育早、规模大的特点^[32]。

2.4 北西向基底大断裂

贾进斗等^[3]通过对重、磁、电资料的统一处理,划分出该区北西向断裂主要发育在大同一华池大型韧性剪切带上,这些断裂切割并错断了北东向断裂,表现为左行平移特征,并认为它们可能是北东向共轭断裂,与北东向断裂同期或稍晚形成。大同一华池大型韧性剪切带东北段的大同一天镇地区广泛发育北西—北北西向辉绿岩岩墙群,岩墙群切割中元古代地层并被寒武系下部地层不整合覆盖,其K-Ar同位素年龄为1.2~1.7 Ga,充填辉绿岩岩墙的北西—北北西向裂隙具张性和左行张扭性特征,裂隙密度向燕辽拗拉谷方向增加^[33-34],因此,说明北西向断裂形成时代为前寒武纪,其形成与北东向大型韧性剪切带的演化有一定联系。

由上可见,鄂尔多斯盆地并非铁板一块,而是存在众多的错断壳乃至岩石圈的深大断裂。

3 基底断裂的现代活动性

长期以来,多数专家学者认为,鄂尔多斯盆地周缘断裂活动强烈而频繁,但盆地内部比较稳定。然而稳定和活动都是相对的,正如张国伟所讲^①,鄂尔多斯盆地表面上看似稳定,但与国际上其他类似地块相比它是活动的,而陆地实际上本身就是活动的。此外,鄂尔多斯盆地四周均是活动的山脉与断陷,势必对盆地产生不同程度的影响。因此鄂尔多斯盆地应存在基底断裂的现代活动。

3.1 新构造活动

鄂尔多斯盆地虽然是中国最典型的克拉通型盆地,但中新世以来的构造运动仍然活跃^[19],首先在盆地周缘形成了银川、河套、太原、大同等一系列不同方向强烈拉张走滑的断陷盆地和阴山、贺兰山、秦岭以及太行山等活动山系^[21],有关断陷盆地和山脉的活动势必会影响到鄂尔多斯盆地内部的稳定性。麒参1井、天深1井等钻孔资料的沉降抬升史反映出新近纪以来,鄂尔多斯盆地发生了快速抬升、剥蚀及明显的区域性西倾^[35]。第四纪以来,受青藏高原对鄂尔多斯盆地的北东—北东东向推

挤作用,黄土高原内不同区域发生了不同程度的抬升与构造变形^[36]。

大量研究结果表明,断裂活动与深部流体活动具有密切关系^[22,37]。鄂尔多斯盆地内存在的深部流体活动的基本信息^[16],反映了庆阳—大同断裂带、定边—绥德断裂带与庆阳—宜川断裂带的现今活动性。其中,元古代鄂尔多斯盆地内曾发育北东向基底断裂,这些北东向基底断裂在显生宙有再次活动的迹象^[38]。中生代以来,鄂尔多斯盆地特别是其周边曾有较强烈的构造活动^[1]。伴随盆地东部隆起、紫金山花岗岩活动、北部河套地区深断裂的出现、南部渭河的现代地裂活动以及伴随的非烃类气井的发现^[39],表明鄂尔多斯盆地一直存在构造活动。事实上,强烈的构造活动也必然在地表出现不同程度的反映。例如实地调查发现,在庆阳县城附近的泉子沟、冉河以及宁县以东的榆田等沟系中发现白垩系地层有对冲甚至掩冲在第四系黄土之中的现象,且在盆地中随处都可见到由剪切、走滑作用形成的雁行状、X共轭状节理,这些均是喜马拉雅构造运动在盆地中的表现^[35]。盆地中部定边—绥德东西向基底大断裂至今仍有在明显活动的迹象,其中,中部气田靖边一带的高产油气区,除发现有倾角直立的断层外,倒钩水系发育,河流骤然转向,水系中断出现峡谷,钻井发生井漏等现象都是新构造活动的佐证^[40]。定边—绥德断裂带、庆阳—大同断裂带两侧的现代构造地貌差异(图4)以及现代地球化学景观差异^[7,14]更是反映了其现代活动性。

鄂尔多斯块体稳定性虽然相对较高,但和典型地台区相比,其深部热状态仍然偏高,同时岩石圈厚度也比典型地台区稍薄^[21],反映了盆地内深部热流体的作用效应。鄂尔多斯盆地中生代晚期的燕山运动改变了其较稳定的状态,盆地边缘褶皱、断裂和岩浆活动的同时使盆地中部北东向基底断裂再次活化^[41]。笔者在鄂尔多斯盆地北部野外考察中发现,盆地内部分区域岩层裂隙、节理十分发育,在盆地北部的杨家圪楞矿区发现的一条小型断裂,断裂左盘发育多组构造节理,且在节理缝中还有石英脉充填,成为构造及热液活动的有力证据(图6)。图7、8则是在神木永新煤矿延安组5[#]煤层中发育的“井”型节理和小型错断,节理、断层内有方解石

① 张国伟, 973项目2004年度阶段性成果总结汇报会发言, 2005

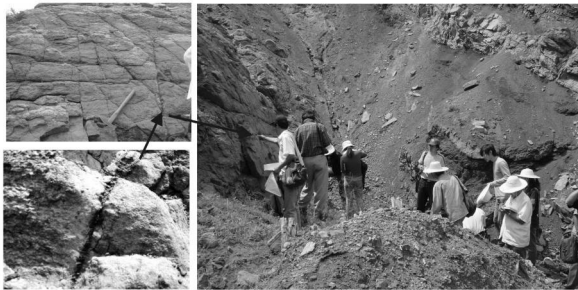


图 6 鄂尔多斯盆地北部杨家圪楞矿区发育的小断裂
Fig. 6 Small Fault Developing in Yangjiageleng Ore District in the Northern Ordos Basin

(图 9), 主要表现为断层两侧节理裂隙发育、地层不连续、产状不一致。



a 断层右盘 b 断层左盘

图 9 神木县吴树沟发育的断层(镜向东)
Fig. 9 Fault Developing in the Wushugou Village of Shenmu County

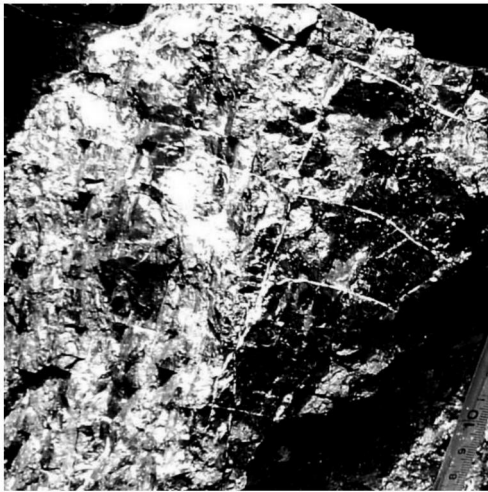


图 7 鄂尔多斯盆地北部延安组煤层中发育的“井”型节理
Fig. 7 “井” Mode Joint Developing in the Yan'an Group Coal Bed of Northern Ordos Basin

3.2 地震活动性

近些年来的大量研究结果表明, 鄂尔多斯盆地地壳内普遍存在一层电阻率为几欧米到几十欧米的、比较稳定的高导层^[42-43], 目前多数学者主张大陆壳内高导层主要与含盐深部流体有关^[44-45]。鄂尔多斯盆地内存在的切穿高导层的基底深大断裂为深部流体的运移提供了基本通道, 流体的运移又会进一步促进基底断裂的活化(包括一系列地震活动)和断裂的产生^[46-47]。

青藏高原的强烈隆升使高原内部及其周缘区的活动构造发育、地震活动强烈^[36-48]。鄂尔多斯盆地周缘是地震多发地带, 盆地内地震活动虽然相对较弱, 但 5 级以上的地震仍时有发生, 自 1448 年以来发生 5 级以上地震达 32 次之多^[49], 据不完全统计, 自 1970 年 1 月 29 日至 2004 年 9 月 26 日, 鄂尔多斯盆地及其周缘发生微震 1 382 次, 震级多在 2~4.8 级之间。总体上, 这些微震震源深度最小 5 km, 最大 43 km, 有震源深度记载的微震, 其震源深度大多集中在 20~35 km 之间, 与鄂尔多斯盆地壳内高导层的深度^[11] 较为接近。盆地内震中总体上呈北东向分布, 分布方向和位置均与华池一大同基底断裂相一致, 且顺盆地南部的庆阳—宜川断裂带沿线以及中央古隆起附近的地震活动更为频繁(图 10)。据马宗晋等^[50] 研究, 大陆 95% 以上的地震属于岩石破裂引发的构造类地震, 且地壳内存在多震层, 其孕震层通常是低速高导层, 而断层破裂通常是自下而上产生的。由于破裂尺度与震级密切相关, 对于中国大陆而言, 震级达到 6.5 级以上时才能够产生地表破裂^[50-52]。鄂尔多斯盆地内部的地震通常小于 6 级, 这些破裂一般不会穿透地表。因此, 尽管在鄂尔多斯盆地地表不存在大规模

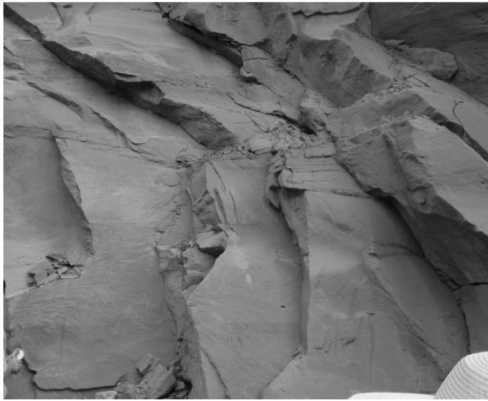


图 8 鄂尔多斯盆地北部延安组煤层上覆灰色砂岩中发育的大型节理和裂隙
Fig. 8 Large-scale Joints and Crannies Developing in the Top of Yan'an Group Coal Bed, Northern Ordos Basin
脉充填, 其上覆灰色砂岩中节理裂隙也十分发育。此外, 在吴树沟还断续发育数条小型断裂或错断

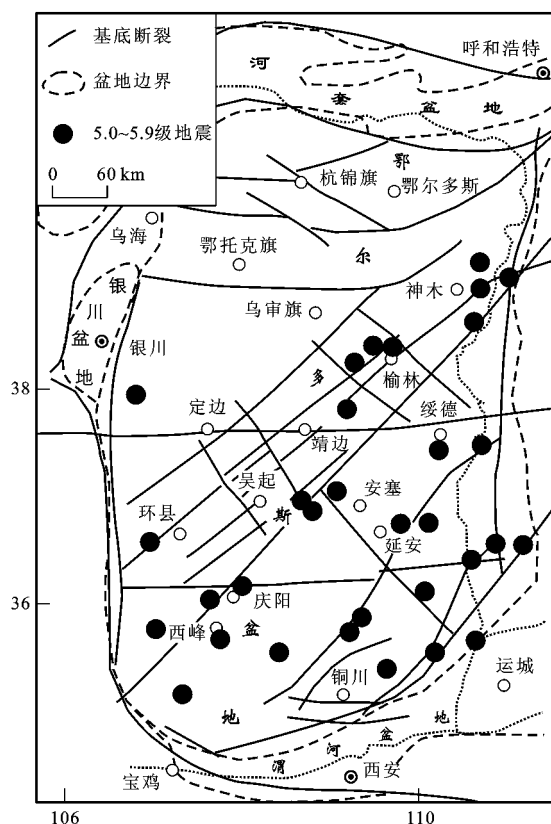


图10 鄂尔多斯盆地 $M_L \geq 5.0$ 级地震震中分布

Fig. 10 Epicenter Distribution of $M_L \geq 5.0$ in Ordos Basin

的断裂活动现象, 但中小强度地震的频繁发生说明盆地内部的地下深处存在断裂的现代活动。

4 结语

(1) 鄂尔多斯盆地不仅是一个四周均被活动断裂或深大断裂所围限的非规则多边形断块, 在盆地内部还存在大量规模不等的基底断裂, 并具有明显的分区特征。盆地北部地区, 主要以东西向断裂为主, 盆地中南部发育大规模的北东向及其相伴生的北西向断裂, 而南北向断裂位于盆地东西两侧, 控制着盆地的东西边界。由此将盆地内断裂带分成4组: 几乎贯穿整个盆地的华池—米脂—大同北东向断裂带; 盆地北部的多条东西向断裂带和中部的定边—绥德、南部的庆阳—富县—宜川等东西向断裂带; 中部发育的定边—吴起断裂带、乌审旗—榆林北西向断裂带与盆地东西两侧的近南北向巨型断裂带。

(2) 鄂尔多斯盆地基底断裂的现代活动性明显。盆地内存在的深部流体活动信息反映了庆阳—大同断裂带、定边—绥德断裂带与庆阳—宜川

断裂带的现今活动性; 伴随盆地东部的隆起、紫金山花岗岩的活动、北部河套地区深断裂的出现、南部渭河的地裂活动以及伴随的非烃类气井的发现, 表明鄂尔多斯盆地存在新构造活动; 定边—绥德断裂带、庆阳—大同断裂带两侧的现代地貌差异以及现代地球化学景观差异更是反映了其现代活动性; 鄂尔多斯盆地部分地区发现的白垩系地层甚至掩冲在第四系黄土之中的现象以及盆地中普遍发育的剪切、走滑作用形成的雁行状、X 共轭状节理等现象, 则是新构造运动的直接表现。

(3) 鄂尔多斯盆地周缘为地震多发地带, 盆地内地震活动虽然相对较弱, 但5级以上的地震仍时有发生, 自1448年以来发生5级以上地震次数达32次之多。盆地内震中分布位置与华池—大同基底断裂相一致, 且顺盆地南部的庆阳—宜川断裂带沿线以及中央古隆起附近的地震活动更为频繁。因此, 尽管在鄂尔多斯盆地地表不存在大规模的断裂活动现象, 但中小强度地震的频繁发生说明, 盆地内部地下深处存在断裂的现代活动。

参考文献:

- [1] 丁燕云, 李占奎. 中国北部深层构造之我见[J]. 物探与化探, 2000, 24(1): 17-22.
- [2] 葛碧如, 滕吉文, 郑新江, 等. 热红外遥感鄂尔多斯高原隐伏地质构造[J]. 地球物理学进展, 1996, 11(2): 16-34.
- [3] 贾进斗, 何国琦, 李茂松, 等. 鄂尔多斯盆地基底结构特征及其对古生界天然气的控制[J]. 高校地质学报, 1997, 3(2): 144-153.
- [4] 李清河, 郭守年, 吕德徽. 鄂尔多斯西缘与西南缘深部结构与构造[M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [5] 刘少峰, 杨士恭. 鄂尔多斯盆地西缘南北差异及其形成机制[J]. 地质科学, 1997, 32(3): 397-408.
- [6] 潘爱芳, 赫英, 黎荣剑. 鄂尔多斯盆地基底断裂与能源矿产成藏成矿的关系[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(4): 459-464.
- [7] 潘爱芳, 赫英, 马润勇. 鄂尔多斯盆地基底断裂的环境地球化学效应[J]. 水土保持通报, 2006, 26(2): 9-11.
- [8] 汤锡元, 郭忠铭, 王定一. 鄂尔多斯盆地西部逆冲推覆构造带特征及其演化与油气勘探[J]. 石油与天然气地质, 1988, 9(1): 1-10.
- [9] 王同和. 华北克拉通中腰纬向构造带的特征及演化[J]. 山西地质, 1992, 7(3): 301-312.
- [10] 王同和. 晋陕地区地质构造演化与油气聚集[J]. 华北地质矿产杂志, 1995, 10(3): 283-398.
- [11] 张抗. 鄂尔多斯断块构造和资源[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989.
- [12] 张进, 马宗晋, 任文军. 鄂尔多斯西缘逆冲褶皱带构造特征

- 及其南北差异的形成机制[J]. 地质学报, 2004, 78(5): 600-611.
- [13] 丁燕云. 鄂尔多斯盆地北部航磁反映的构造特征[J]. 物探与化探, 2000, 24(3): 197-202.
- [14] 潘爱芳, 赫英, 徐宝亮, 等. 鄂尔多斯盆地基底断裂地球化学特征研究[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2005, 35(4): 440-444.
- [15] 刘寿彭. 中国及其毗邻海区航空磁力异常图[M]. 北京: 中国地图出版社, 1989.
- [16] 潘爱芳, 马润勇, 黎荣剑. 鄂尔多斯盆地深部流体地球化学研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [17] 张福礼, 黄舜兴, 杨昌贵, 等. 鄂尔多斯盆地天然气地质[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [18] 方国庆, 王多云, 林锡祥, 等. 陕甘宁盆地中部东西向构造带的确定及其聚气意义[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(3): 195-198.
- [19] 朱照宇, 丁仲礼. 中国黄土高原第四纪古气候与新构造演化[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [20] 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化——1:4 000 000 中国大地构造图简要说明[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [21] 国家地震局鄂尔多斯活动断裂系课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1988.
- [22] 国家地震局地质研究所, 国家地震局兰州地震研究所. 祁连山—河西走廊活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
- [23] 彭建兵, 马润勇, 席先武, 等. 区域稳定动力学的应用实践研究——区域非稳定动力学环境下的大型水电工程环境灾害效应[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [24] 张家声, 索书田. 华北北部结晶基底中的大型韧性剪切带[J]. 地质通报, 1988, 7(4): 3-10.
- [25] 汤锡元, 徐黎明, 卢金城, 等. 陕甘宁盆地及其周缘地区结晶基底及深部地质研究[R]. 西安: 长庆石油勘探局, 1993.
- [26] 朱英. 壳深大断裂和油气储集[C] //朱夏. 中国中、新生代盆地构造和演化. 北京: 科学出版社, 1983: 55-64.
- [27] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地西缘掩冲带构造与油气[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1990.
- [28] 陈发景, 孙家振, 王波明. 鄂尔多斯西缘褶皱-逆冲断层带的构造特征和找气前景[J]. 现代地质, 1987, 1(1): 103-112.
- [29] 张泓, 白清昭, 张笑微, 等. 鄂尔多斯聚煤盆地形成与演化[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1995.
- [30] 汤锡元, 郭忠铭, 陈荷立. 陕甘宁盆地西缘逆冲推覆构造及油气勘探[M]. 西安: 西北大学出版社, 1992.
- [31] 张进, 马宗晋, 任文军. 鄂尔多斯盆地西缘逆冲带南北差异的形成机制[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(2): 124-133.
- [32] 山西省地质矿产局. 山西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [33] 张臣, 陈亚平, 钱祥麟. 大同一带地区中元古代辉绿岩岩墙群的基本特征及构造意义[J]. 山西地质, 1993, 8(2): 131-140.
- [34] 张臣, 侯贵廷, 钱祥麟. 吕梁—晋北地区晚前寒武纪镁铁质岩墙群侵位方式的磁组构证据[J]. 地质论评, 1994, 40(3): 245-251.
- [35] 邱领军, 张东阳, 王宏科. 鄂尔多斯盆地喜山期构造运动与油气成藏[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 34-37.
- [36] 马润勇, 彭建兵, 袁志东, 等. 青藏高原隆升的黄土高原构造侵蚀效应[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(3): 289-293.
- [37] 徐常芳. 深部流体在地震孕育和发生过程中的作用[J]. 华南地震, 2002, 22(3): 1-10.
- [38] 赵文智, 胡素云, 汪泽成, 等. 鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集中的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 1-5.
- [39] 姚志温. 汾渭盆地含氢天然气成因探讨[C] //石油地质文集编委会. 石油地质文集(6). 北京: 地质出版社, 1982: 62-65.
- [40] 王庭斌. 新近纪以来中国构造演化特征与天然气田的分布格局[J]. 地质前缘, 2004, 11(4): 403-416.
- [41] 解习农. 中国东部中生代盆地形成演化与深部过程的耦合关系[J]. 地质前缘, 1998, 5(增刊): 162-163.
- [42] 屈健鹏. 鄂尔多斯块体西缘及西南缘深部电性结构与该区地质构造的关系[J]. 内陆地震, 1998, 12(4): 312-319.
- [43] 赵国泽, 汤吉, 詹艳, 等. 青藏高原东北缘地壳电性结构和地块变形关系的研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2004, 34(10): 908-918.
- [44] Touret J. Fluid Distribution in the Continental Lithosphere [C] //Fuchs K, Froidevaux C. Geodynamics Series 17: Proterozoic Lithospheric Evolution. Washington: American Geophysical Union, 1987: 27-33.
- [45] Wickham S M. Fluids in the Deep Crust: petrological and Isotopic Evidence[M]. New York: Elsevier, 1992.
- [46] 宋贯一, 易立新, 宋晓冰. 地下热水对断裂活动与地震活动的影响研究[J]. 地震学报, 2000, 22(6): 632-636.
- [47] 王基华, 林元武, 刘成龙. 地下流体在地震孕育与发生中的作用——以张家口南部地热活动区为例[J]. 地震, 2000, 20(增刊): 115-118.
- [48] 彭建兵, 马润勇, 范文, 等. 汶川地震的科学思考[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(1): 1-29.
- [49] 国家地震局兰州地震研究所. 陕甘宁青四省(区)强地震目录(公元前 1177 ~ 公元 1982 年)[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985.
- [50] 马宗晋, 高祥林. 大陆多震层的研究与震源体的破裂发展[C] //马宗晋. 大陆多震层研究. 北京: 地震出版社, 1992: 1-8.
- [51] 邓超东, 刘百簋, 张培震. 活动断裂工程安全评价和位错量的定量评估[C] //国家地震局地质研究所. 活动断裂研究(2). 北京: 地震出版社, 1992: 236-246.
- [52] 马润勇, 彭建兵, 门玉明. 确定地震破裂带长度的新方法[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2005, 35(3): 339-341.