

文章编号: 1001-1986(2018)04-0008-09

宁武煤田北部构造特征及其控煤作用

范二平¹, 杨智文², 高宇平², 程岳宏³, 赵 军²

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 大同煤矿集团有限责任公司, 山西 大同 037003; 3. 中海油研究总院, 北京 100027)

摘要: 为查明宁武煤田北部构造特征及其对石炭—二叠系的控煤作用, 结合野外露头、钻孔岩性、三维地震等资料, 分析了宁武煤田构造区带划分、地层结构、构造演化及应力场特征, 明确了宁武煤田北部主力煤层的控煤构造。研究表明: 晚古生代以来, 宁武煤田主要经历了印支、燕山和喜马拉雅 3 期构造运动, 其中燕山期构造最为复杂, 具有幕式、挤压伸展交替演化, 控制了煤田现今的构造格局; 煤田边界主要受 NE—近 NS 向逆冲断裂带控制, 内部由平鲁向斜、朔县向斜和宁武向斜 3 个赋煤区构成。煤田内发育 NE—NEE、近 NS 向和近 EW 向正断层, 且具有叠加改造和差异性分布的特征, 平面多呈斜交、平行分布, 垂向多为垒堑、顺向和反向断阶构造样式, 共同控制了不同井田的煤层赋存稳定区。

关键词: 控煤作用; 构造特征; 构造演化; 石炭—二叠系; 宁武煤田

中图分类号: P618.11 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2018.04.002

Tectonic characteristics and their control on coal in the north of Ningwu coalfield

FAN Erping¹, YANG Zhiwen², GAO Yuping², CHENG Yuehong³, ZHAO Jun²

(1. Institute of Geology and Mechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 2. Datong Coal Mining Group Co. Ltd., Datong 037003, China; 3. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract: In order to investigate the tectonic characteristics and their role in controlling Carboniferous-Permian coal, the tectonic zone division, stratigraphic structure, tectonic evolution and stress field characteristics of Ningwu coalfield were analyzed based on the field outcrop, borehole lithology, 3d seismic data to clarify the coal-controlling structures of the main coal seam in the northern part of Ningwu coalfield. The study shows that since the Late Paleozoic, Ningwu coalfield has experienced three phases of tectonic movements of Indosinian, Yanshanian and Himalayan, in which the structure of Yanshan period is the most complex, with episodic and compressive extension, controlling the current tectonic pattern of the coalfield. The boundary of coalfield is mainly controlled by NE and near NS trending thrust fault zones, the interior is made up of three coal enrichment areas, such as Pinglu syncline, Suoxian syncline, and Ningwu syncline. The normal faults of NE-NEE trending, near NS and EW trending are developed in the coalfield, with the characteristics of superposition modification and differential distribution. These faults are cross and parallelly distributed in the plane, and vertically they are mostly presented as horst-graben structure or forward and reverse fault bench, which control the coal seam stability in different mine fields.

Keywords: controlling coal; tectonic characteristics; tectonic evolution; Carboniferous-Permian; Ningwu coalfield

宁武煤田的主要含煤地层为侏罗系大同组、石炭—二叠系太原组和二叠系山西组, 为华北典型的双系煤田, 侏罗系仅分布于宁武煤田南部的宁武向斜核部, 面积约 1 200 km², 石炭—二叠纪煤层全区

均有分布, 面积约 4 875 km^{2[1-3]}。2010 年之前, 地方矿务局和中煤集团主要对宁武煤田北部埋藏较浅的平鲁向斜赋煤区以及宁武向斜北部轩岗—阳方口一带石炭—二叠纪煤层进行了开采, 随着煤炭

收稿日期: 2018-01-12

基金项目: 中国地质调查局工作项目(DD20189614); 中国地质调查局基本科研业务费专项项目(JYYWF20183201)

Foundation item: Working Project of China Geological Survey(DD20189614); Special Project of Basic Scientific Research Operation Expense of China Geological Survey(JYYWF20183201)

第一作者简介: 范二平, 1987 年生, 女, 工程师, 博士, 从事页岩气、煤层气地质评价研究工作。E-mail: 525393961@qq.com

引用格式: 范二平, 杨智文, 高宇平, 等. 宁武煤田北部构造特征及其控煤作用[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(4): 8-16.

FAN Erping, YANG Zhiwen, GAO Yuping, et al. Study on the tectonic characteristics and coal controlling in north of Ningwu coalfield[J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(4): 8-16.

开采技术的进步,近些年逐渐对宁武煤田中北部朔县向斜深部赋煤区进行勘探开发,并将建成数个千万吨矿井,是未来晋北又一重要的产煤基地。同时,近几年开始对宁武向斜致密砂岩气、页岩气开展了相关的地质调查,在盆缘逆冲断裂、构造演化、燕山期构造活动时限以及井田范围内含煤层系沉积环境和赋煤规律等方面取得了一定成果^[4-7]。但随着勘探程度的提高,3D地震与钻孔资料揭示不同井田的地质构造特征与煤层赋存条件差异较大,前期研究成果已不能满足现今矿井的生产开发。因此,在充分应用煤田现有资料的基础上,应用构造地质学、沉积学等理论,从成煤大地构造背景、区域构造演化、构造形变、构造控煤作用等角度,总结了宁武煤田构造特征与演化过程,明确了宁武煤田北部石炭—二叠纪煤层赋存的主要地质控制因素和成因机制。

1 区域地质特征

宁武煤田位于华北克拉通盆地北缘,为一对称复式向斜,主要受偏关—神池隆起和五台—恒山隆起南支的云中山隆起夹持,北起平鲁,北东被洪涛山相隔与大同煤田相望,南经朔州、宁武、石家庄镇,南至静乐县南部,是晚古生代成煤后受多期构造运动控制形成的 NE—NS 向狭长带状展布的残余盆地,面积 4 875 km²,与侏罗系煤系重合的面积约 1 200 km²。盆地南部沿 NE 向展布,北部轴向发生迁移和改变,近 NS 向展布,东西宽约 30 km,向斜轴延伸长约 160 km^[2-3,7],从北到南可划分为平鲁向斜、朔县平原向斜和宁武向斜 3 个次级构造单元,南部宁武向斜东西边界分别受芦家庄—娄烦逆冲断裂和春景洼—西马坊逆冲断裂控制(图 1)。煤田内保存了上古生界和侏罗系两套含煤层系,石炭—二叠纪含煤岩系主要出露于宁武煤田的两翼和北部平鲁地区;侏罗纪含煤岩系主要出露于宁武盆地的核部。受加里东运动的影响,盆地基底呈为 NE 高 SW 低,奥陶系马家沟组遭受不同程度风化剥蚀,缺失上奥陶统与下石炭统;到中石炭世开始接受晚古生代沉积,属于巨型华北克拉通陆表海沉积盆地的一部分,其遵循盆内构造演化与沉积充填特征^[2-4],海水整体从东南部合肥、徐州入侵,导致向西北本溪组至山西组灰岩厚度和层数逐渐减少,宁武盆地本溪组至石盒子组从下到上发育潮坪潟湖—三角洲—河流相沉积序列,整体为海退背景,太原组和山西组是该盆地北部主要含煤层系,共揭示 1—11 号煤层,总厚 0.06~42.8 m,其中山西组 4 号、太原组 9 号、11 号煤层为稳定可采煤层^[2-3,7-8];印支期宁武北部隆升

剥蚀,缺失三叠系;燕山期多期伸展—挤压作用,充填了永定庄组、大同组、云冈组河流—湖泊和洪积扇沉积,形成逆冲断裂带和现今煤田的形态,后期在北部朔县—平鲁及大同向斜西南地区侏罗系被抬升剥蚀;喜山期受 NW—SE 向张扭应力,区域上发育“多”字型走滑拉分陷盆地,即山西地堑系。

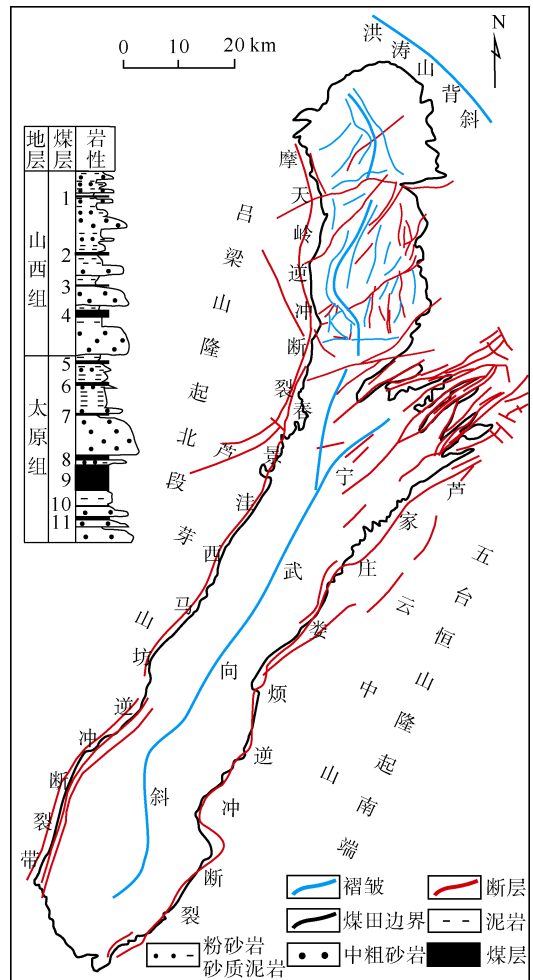


图 1 宁武煤田岩性组合序列与构造纲要图

Fig.1 The lithology combination sequence and structure outline of Ningwu coalfield

2 煤田构造特征

2.1 逆冲断裂带

宁武煤田呈 NE—近 NS 向展布的几何形态,其东西边界分别受芦芽山和云中山隆起及数条逆冲推覆断裂体系控制。西缘从北到南依次发育摩天岭、春景洼、西马坊和马尾沟逆冲断裂带,东缘为芦家庄—娄烦逆冲断裂带。

2.1.1 摩天岭、春景洼—西马坊逆冲断裂

摩天岭逆冲断裂带发育于平鲁向斜西部黑驼山东麓至管涔山以北大水口村,走向近 NNE—NS,倾向 SW—W,断层西盘奥陶系灰岩掩覆于东盘石炭

系之上,其控制着宁武煤田北部(阳方口以北朔县向斜和平鲁向斜)的西部边界^[2]。该断裂带与南部春景洼逆断裂带倾向相反,在神池县东南端为转折段,构造应力相对较低,导致神池—阳方口一带地形相对平缓。春景洼—西马坊断裂是宁武向斜西部边界断裂,由多条次级逆断层组成的断裂带,北起神池与阳方口之间的山口一带,经春景洼、东寨、静乐县西马坊,在岚县附近潜入新生界盖层之下,地表出露部分长约 90 km。该断裂走向为 NE—NNE,南北逆冲方向相反(倾向相反),呈枢纽对称断裂的特征,其扭动支点在新堡一带。北段倾向 SEE, 倾角 30°~55°,呈“上陡下缓”,断面呈弧形分布,南东盘向北西盘逆冲,在春景洼附近中奥陶统马家沟组逆冲到二叠系下石盒子组之上,北西盘地层发生次级挠曲褶皱,岩石破碎较严重;南段在西马坊至岚县一段出露明显,倾向转化为 NW 向,倾角 40°~70°,北西盘远古界逆冲掩盖于南东盘的寒武、奥陶系之上,南东盘寒武、奥陶系直立甚至倒转。

2.1.2 芦家庄—娄烦逆冲断裂

芦家庄—娄烦逆冲断裂带主要沿宁武向斜东翼展布,为煤田东部边界,走向近 NE 向,北起宁武东部的雷家峪村,经怀道乡、杜家村和静乐县的樊家村,地表出露长约 100 km^[2-3]。该断裂北段(芦家庄—杜家村)断层倾向为 NW 向,倾角 40°~80°,表现出“上陡下缓”的特征,断层面呈弧形展布,断面向 SE 向凸出,北西盘向南东盘逆冲,造成多处太古界片麻岩逆冲于寒武系、奥陶系之上,或奥陶系灰岩逆冲于二叠系之上;南段(双路乡以南地区、康家会—娄烦)断层倾向转为 SE 向,倾角 50°~70°,南东盘奥陶系与二叠系直接接触。芦家庄—娄烦逆冲断裂带喜山期发生构造反转,受近 NW 向拉张作

用,现今呈现正断层的性质,这与北部大同煤田口泉—鹅毛口逆冲断裂构造演化类似。

2.2 向斜构造单元

根据地层走向、产状和煤田内断裂带特征可将大宁武煤田从北到南划分为平鲁向斜、朔县向斜、宁武向斜。这三个向斜控制了宁武煤田煤系总体走向及展布特征,也可据此将宁武煤田划分为北部平鲁向斜赋煤区、中北部朔县向斜赋煤区和南部宁武煤田赋煤区。

2.2.1 平鲁向斜

平鲁向斜位于宁武煤田北部担水沟断裂带以北的平鲁地区,走向 NNE—NNW,自北向南贯穿于平朔矿区的中东部,沿马关河河谷两侧向南延伸,在歇马关一带斜交于担水沟断层,延伸长度约 20 km,向斜东翼地层倾角较大,在 15°~30°,地层起伏不大,近似一个单斜;西翼地层较为平坦,倾角在 10°以下,伴生 NE、NEE 向次级小型褶皱和断层,从北到南依次发育二铺向斜、芦子沟背斜、下窑子向斜、堡子沟断层、歇马关逆断层、安家岭逆断层(图 1)。

2.2.2 朔县向斜

该向斜发育于朔县平原区,南北边界分别由担水沟断裂带和王万庄断裂带控制,被巨厚的第四纪松散沉积物覆盖,从形态上看,该向斜为一不对称复式向斜,走向 NNW—NNE,呈弧形展布(图 1),西陡东缓,西翼倾角 20°~30°,最大可达 40°,幅度可达 670 m;东翼倾角 0°~15°,为一宽缓的单斜构造。朔县向斜内发育多个次级褶皱和 NE 和近 NS 向正断层,次级褶皱轴向多与主褶曲轴近平行,斜交展布,向斜西部高庄、丰予、梵王寺井田断裂以 NE 向为主,东部麻家梁井田断裂多呈近 NS 向,与向斜叠加切割共同控制着石炭—二叠系构造样式(图 2)。

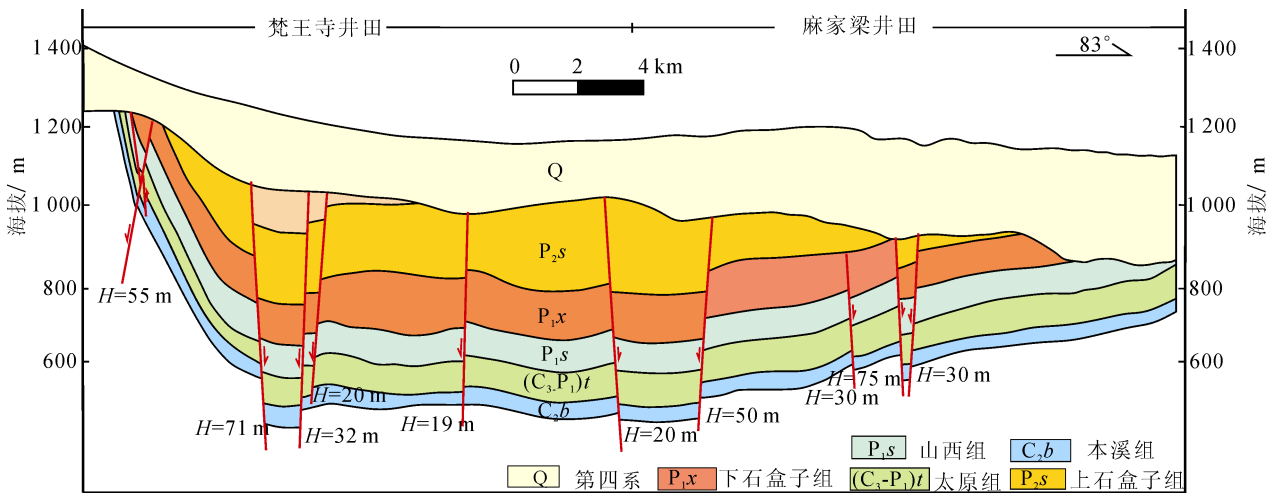


图 2 朔县向斜地质构造特征
Fig.2 The tectonic features of Shuoxian syncline

2.2.3 宁武向斜

宁武向斜北以王万庄断层为界, 西以春景洼—西马坊断裂为界, 东以芦家庄—娄烦断裂为界, 南至娄烦, 呈 NNE 向长轴状展布, 两端宽, 中间窄, 长轴长约 160 km, 短轴宽约 10~30 km, 在向斜东西不同位置, 地层结构和产状差异明显, 东翼产状以 35°、17°、13°和 4°向西倾斜, 西翼以 50°、40°、25°和 8°向东倾斜, 轴部地层平缓且保存完整, 整体为“西陡东缓中部平整”的箱状褶皱构造形态, 反映了两翼强烈的挤压作用。从盆缘向盆内依次出露奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系(图 3)。宁武

向斜不均衡隆升—沉降和应变强度差异南北差异大, 北段即宁武—轩岗—阳方口地区为向斜北部翘起端, 地层抬升强烈, 构造复杂, 发育大量 NE—NEE 向, 呈束状或帚状分布断裂, 落差大小不一, 从 10~350 m 均有, 将煤系切割成不同的块段。中段即位于宁武—轩岗到新堡—杜家村一带, 是向斜核部, 区内构造简单, 地层发育齐全, 石炭—二叠系埋藏深, 开采程度低; 南段即新堡—杜家村以南的向斜地区, 相对中段抬升较高, 构造较简单, 发育规模不大的 NE 向正断层和次级短轴褶曲, 主体被第四系覆盖。

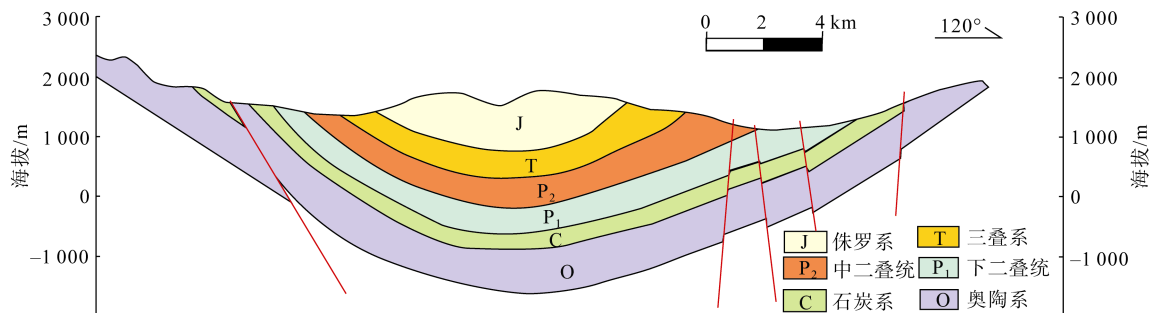


图 3 宁武向斜地质构造特征

Fig.3 The tectonic features of Ningwu synclinal

2.3 煤田北部断裂体系

经历了多期构造作用, 宁武煤田北部断裂体系复杂且差异性分别, 以正断层为主, 走向 NE—NEE、近 EW 和 NS 向断裂均有分布, 前两者是控制煤田内部井田边界的主体断层, 如轩岗北部断裂带、宁武断层、阳方口断层、王万庄断层和担水沟断层等, 局部也可见 NE、NW 向逆断层, 规模小, 在此不再叙述。

2.3.1 轩岗北部断裂带

轩岗北部断裂带位于宁武向斜北东部翘起端及以外地区, 由一系列 NEE—NE 向, 近平行、斜交、紧密排列的正断层组成, 束状或帚状分布。断裂带早期为逆冲断层, 晚期受伸展作用, 再次活化, 呈现今正断层的形态, 并构成了宁武向斜东北部煤层赋存边界(图 1)。由于构造形变复杂, 地层被切割的支离破碎, 形成众多条状分布的垒堑构造块体。

2.3.2 阳方口正断层

位于宁武盆地北部阳方口至丁家岭一带, 断层面走向为 NE73°, 倾向 SE 向, 倾角 73°左右, 北西盘太原组与南东盘石盒子组中部接触, 落差在 160~200 m, 长度在 8 km 左右, 并派生出多条 NE—NEE 向次级断层, 是北辛窑井田的东部边界(图 1、图 5)。

2.3.3 王万庄断裂带

王万庄断裂带发育于阳方口以北, 是朔县矿区

与阳方口—宁武矿区的分界断层。断层绝大部分地段为第四纪沉积物所掩盖, 西与摩天岭逆断层相交, 向东被晚期 NE 向张家咀断层切断, 且继续向东延伸出煤田之外, 煤田内长度约 20 km, 走向近 EW 向, 倾向向 N, 西部落差 170 m 左右, 向东落差变小为 130 m。该断层横穿北辛窑井田北部, 且伴生发育多条 NEE—NE 展布的次生断层, 对北辛窑和麻家梁南部煤层赋存条件影响大(图 4)。

2.3.4 担水沟断裂带

担水沟断裂带是平鲁向斜与朔县向斜的分界断层, 走向近 EW 向, 呈波状展布于担水沟—峙峪一线, 向东和向西均延出煤田之外, 煤田内延伸长度约 16 km, 断面向 S 倾, 倾角 70°左右, 落差 200~500 m。该断裂在区内杨涧矿东南、担水沟矿南部和六郎山隧道口均有出露, 镜下微观和岩石组构分析认为该断裂带受构造应力复杂且多期改造, 早期逆断层, 晚期反转形成现今的正断层^[2,9], 后被厚层的第四系黄土覆盖(图 4)。

3 构造演化与形变响应特征

3.1 海西期

宁武煤田位于华北克拉通北缘, 海西运动早期继承了加里东期的碰撞抬升, 并一直持续到晚石炭世, 风化剥蚀时间长达 150~180 Ma, 缺失志留系—

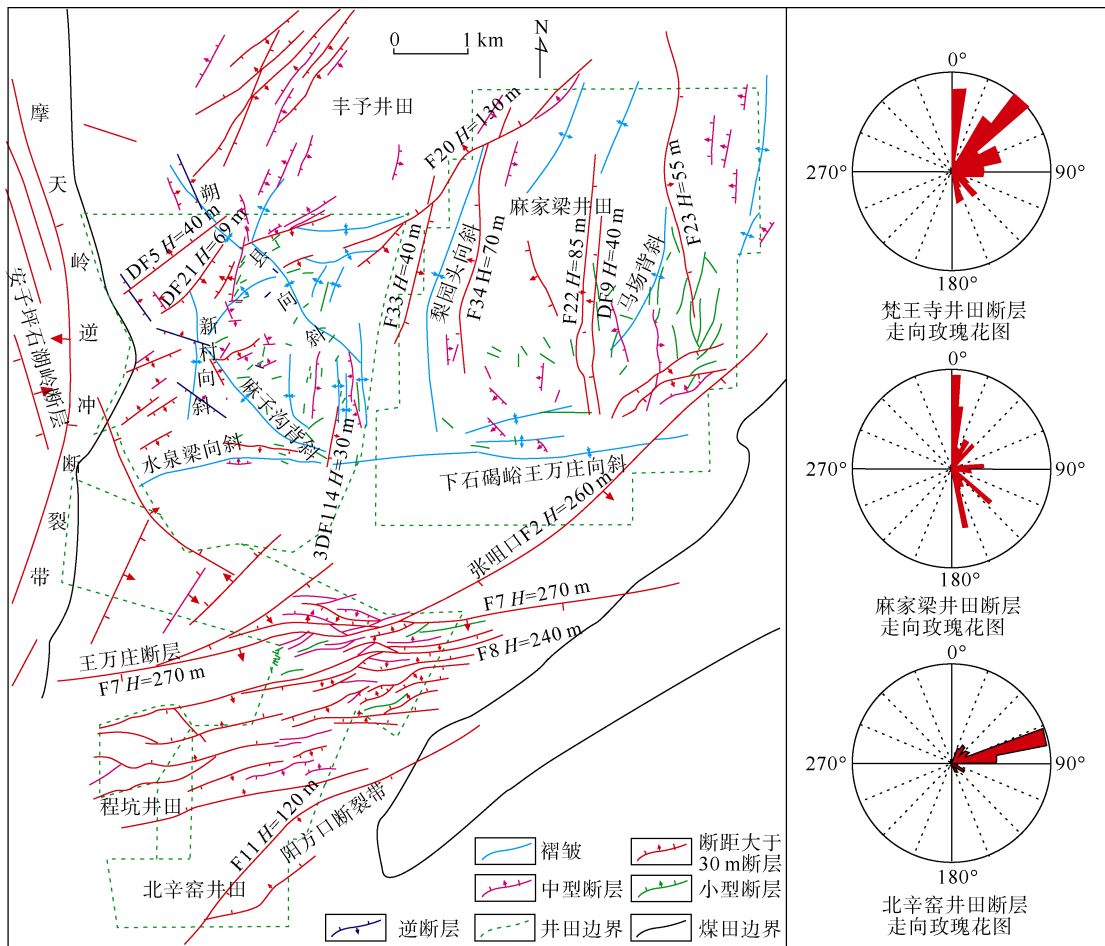


图 4 宁武煤田北部主要井田构造纲要图

Fig.4 The structure outline of the main mines in the north of Ningwu coalfield

下石炭统。海西期古秦岭洋和古亚洲洋的闭合，分别形成了南缘秦岭—大别山和北缘兴蒙造山带，为华北板内陆表海沉积盆地的南北边界，盆地内部随之发生区域性沉降，海水逐渐侵入，开始接受石炭—二叠纪早期潮坪—三角洲沉积，在本溪组和太原组下部可见碳酸盐岩沉积，向北灰岩层数和厚度减少；早二叠世末构造逐渐强烈，北部兴蒙造山带的隆升为盆内提供大量物源，结束了晚古生代长期的海侵历史，海水逐渐退出本区，宁武煤田山西组晚期以来一直发育陆相河流相沉积。

3.2 印支期

晚二叠世—三叠纪印支运动，早期二叠纪末—三叠纪初以近 NS 或 NNE 向强烈挤压为主，华北板块北缘 EW 向褶皱(内蒙隆起)与逆冲断裂发育，是石炭—二叠聚煤后第一次大规模构造活动。晚期早中三叠世开始，受地壳重力塌陷，岩石圈拆沉作用和软流圈上涌等因素的影响，华北克拉通北缘及邻区处于后碰撞/后造山伸展阶段，发生多期大规模伸展构造作用，近 EW 向裂陷沉积盆地和张性断裂构造形迹十分发育，并伴生有大量碱性和高钾、钙碱性

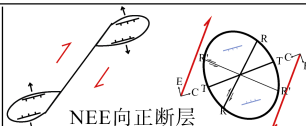
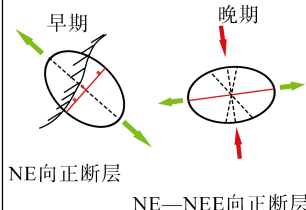
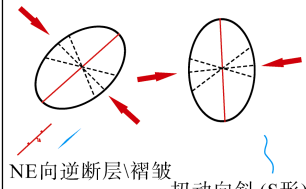
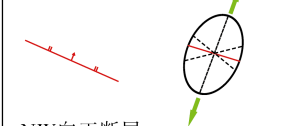
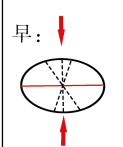
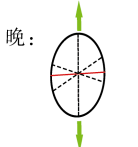
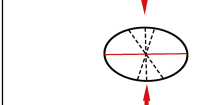
侵入岩体，侵入年龄为 245~199 Ma，这与后碰撞或后造山岩浆演化规律相一致^[5,9-10]，相对华北克拉通北缘而言，宁武煤田在该构造运动旋回阶段隶属于大鄂尔多斯盆地块体中，受到印支期构造旋回作用导致整个宁武地区发生大规模的抬升，宁武煤田北部早期沉积的古生代地层以及三叠系遭受强烈的抬升作用，并遭受强烈的风化剥蚀作用，以至宁武北部朔州—平鲁及大同向斜区三叠系缺失，南部宁武向斜发育三叠系。煤田内构造行迹不是很明显，在宁武县北部及朔州县北部发育两条近 EW 向逆断层和次级近 EW 向向斜，即担水沟和王万庄断裂带(表 1)。

3.3 燕山期

燕山期，175~135 Ma 太平洋板块向亚洲大陆俯冲，主构造应力方向为 NWW 向，但具有幕式、挤压—伸展作用交替演化的特征^[5,12-14]，基本控制着宁武煤田现今的构造格局。燕山早期早—中侏罗世华北板块岩石圈处于弱伸展状态，整体发生沉降，形成早—中侏罗世陆内统一聚煤拗陷盆地，覆盖了现今的鄂尔多斯盆地、山西高地^[4,5,13,15-17]，宁武地区

表 1 宁武煤田及周缘构造演化与形变响应特征

Table 1 The structural evolution and characteristics of deformation response in Ningwu coalfield and periphery

地质时代	沉积事件	岩浆事件	构造事件	应力	板块动力背景	
第四纪	黄色黏土、砂石、洪积砾岩为主, 分布广, 厚度较大	玄武岩	在右旋走滑背景下, 形成山西境内NE—NEE 断陷盆地, NE—NEE 向正断层	走滑 伸展	喜马拉雅运动 	
新近纪	保德-静乐组, 棕红色黏土为主。分布于静乐县一带					
古近纪	宁武地区不发育	玄武岩			燕山运动晚期(四川期) 强烈挤压收缩后的应力松弛期, 以地壳伸展隆升为主导作用 	
白 垩 纪	晚白垩世	宁武地区不发育	整体抬升剥蚀, 宁武地区为近SN或NNW挤压, 近EW向伸展, 形成北部内近SN向正断层	挤压	燕山运动晚期(四川期) NE向正断层 NE—NEE向正断层	
	早白垩世	大同煤田北部左云组冲积扇-湖泊沉积, 发育紫红色砾岩与不等厚互层的碎屑岩沉积	五台山及恒山东段NE、NW向正断层系统, 大同煤田北部左云组断陷盆地	伸展		
侏 罗 纪	晚侏罗世	宁武地区不发育	玄武安山岩-粗安岩-流纹岩火山喷发	逆时针旋转, 近EW, NWW挤压, 朔县、平鲁向斜	挤压	燕山运动中晚期 多方向强烈挤压阶段华北台地受NW—SE向强烈挤压褶皱变形, 侏罗系被解体剥蚀 
		浑源-张家口一带土城子-张家口组发育基性-中酸性喷发岩, 底部见凝灰质砂砾岩	NE向褶皱、逆冲推覆构造(宁武向斜两侧逆冲断裂带)统一含煤盆地发生解体	挤压		
			断陷盆地 火山岩断陷盆地(浑源、灵丘等地)	伸展		
	中侏罗世	天池河组与云冈组河流相紫红色砂岩、砂质泥岩; 大同组河流-湖沼相灰白色砂岩与泥岩含煤沉积组合	六棱山花岗岩闪长岩二长花岗岩侵入	统一的聚煤盆地(大同-宁武及以西至鄂尔多斯盆地), 垂向差异抬升和沉降	挤压	
早侏罗世	永定庄组小型砾质扇-河流相粗碎屑岩-粉砂-泥质岩沉积组合	英安质流纹岩(宁武一带)		弱伸展	燕山运动早期 继承华北地块基底EW向构造, 引张方向为SN至NNE—SSW。动力背景主要是由于三叠纪挤压碰撞作用后, 板内应力调整, 即印支运动的后效 	
三 叠 纪	刘家沟-延长组以河流相紫红色、黄绿色和灰绿色碎屑岩沉积, 厚度可达2 000余m。主要赋存于宁武煤田南部宁武向斜	早期: 晶屑凝灰岩 宁武-静乐一带; 晚期: 碱性正长岩 闪长岩, 碳酸盐 和正长斑岩脉 大同煤田北部 晚古生代煤层 见煌斑岩	早: 华北北缘NS向 逆冲、褶皱构造 晚: 近东西向张性 断裂, 大规模抬升剥蚀(宁武北部缺三叠系)	伸展 挤压	印支期 西伯利亚板块向北板块 NNE—SSW向挤压, 后期为后造山伸展状态 早:  晚:  EW向逆断层 EW向正断层	
石 炭 一 二 叠 纪	本溪组-太原组浅海潟湖-潮坪相砂质泥岩与三角洲前缘-下平原分流河道砂体-泛滥平原砂质泥岩与泥沼相煤层沉积组合; 山西组-石千峰组为三角洲-河流相粗碎屑岩沉积组合	石炭-二叠纪华北克拉通北缘火山岩不发育, 仅在北部地区可见凝灰岩。二叠纪末-三叠纪初, 岩浆岩分布广	弧后前陆盆地 垂向升降为主 纬向构造带	挤压	海西期 古亚洲洋向南部华北克拉通俯冲, 于三叠纪初最终闭合。宁武地区呈现北高南底的构造格局, 物源从N—NE向进入, 南部受海水影响时间长范围广 	

接受永定庄组、大同组、云冈组湖泊—河流沉积。

燕山中期中—晚侏罗世为多向挤压，区域板块运动发生重大调整，山西台地主要受 NW—SE 向挤压变形，相应形成一系列 NNE—NE 向褶皱和逆冲推覆断裂带，如牛食尧、神头—鹅毛口、五台山北、系舟山一带以及恒山西段逆冲推覆断裂体系，导致早中—侏罗世统一的含煤盆地发生肢解，形成大同煤田、宁武煤田和浑源煤田等现今的几何形态^[4,12-13,17]。就宁武煤田而言，燕山中期应力也具有多期多方向性，早期以 NW—SE 向的压应力为主，形成 NE—NNE 向宁武向斜主体构造，两翼发育芦牙山背斜、云中山背斜、西部春景洼—西马坊逆冲断裂带和东部芦家庄—娄烦逆冲断裂带；后期由于受到吕梁隆起的阻挡，最大主应力发生逆时针旋转，转变为 NWW 或近 EW 向，形成宁武煤田北部的平鲁向斜、朔县向斜以及摩天岭逆冲断裂带，并在内部发育 NNE 向和 SN 向次级褶皱和共轭节理，节理锐角线指示 NWW 向或近 EW 向挤压应力作用^[2,9]。同时，该时期 NS 向伸展作用相对强烈，使印支期近 EW 向逆断层发生构造反转，形成正断层，如担水沟断裂、王万庄断裂等。燕山晚期(99~55 Ma)，华北板块构造应力体制发生重大转换，即挤压应力体制转变为拉伸应力体制，早期受 NW 向拉伸作用，在北部大同煤田北部、阳高—张家口一带 NE 向展布的白垩系山前洪积扇断陷盆地相吻合，而在宁武煤田构造形变主要体现在东部云中山与宁武向斜转换地区一系列 NE—NNE 向逆断层发生明显构造反转；并在宁武煤田北部形成大型的 NE 向正断层，如高庄、丰予、麻家梁和北辛窑井田的 NE 向断层。晚期构造应力再次发生转换，转换为近 SN 向挤压应力场，宁武煤田及周缘整体抬升，未沉积白垩系，在煤田北部朔县向斜形成近 SN 向分布的正断层。这与周晓刚对宁武盆地定向砂岩岩石组构和野外节理分期揭示该期最大张应力为近 EW 向的结果相吻合^[2](表 1)。

3.4 喜马拉雅期

喜马拉雅运动是新生代主要的构造运动，印度板块向欧亚板块 NE—SW 向强烈挤压，在山西境内为右旋右阶走滑作用，且走滑体系内 NW—SE 向拉伸作用强烈，对燕山期构造形迹进行改造，通常，早期大型逆冲断裂带受 NW—SE 向伸展作用，再次活化，构造反转为大规模正断层，不仅为现今煤田的边界断裂带，如大同煤田东南缘的口泉—鹅毛口断裂带和宁武煤田东缘的芦家庄—娄烦断裂带，同时也是山西境内 NE 向“多”字型断陷盆地群的控盆断裂，如大同断陷、东部的忻州断陷和南部的太原

断陷等。另外在宁武煤田内，燕山晚期形成的 NE 向正断层持续发育(轩岗—阳方口北辛窑—丰予一带)(表 1)。

4 控煤作用

4.1 沉积作用对煤层的控制

宁武煤田北部位于华北石炭—二叠纪陆表海盆地的北缘，主要经历了潟湖—潮坪相—三角洲相—河流相的海退沉积序列。潮坪(潮上泥炭坪)、分流间湾与河漫滩沼泽是主要的成煤环境(图 5)。太原组下部(太原组底—9 煤顶)主要发育潮下带砂坝、潮道砂岩—潮间带砂泥岩—潟湖相灰岩—潮上带泥炭沼泽炭质泥岩、煤等细粒沉积的潮坪沉积序列，其中 11 号煤硫分最高且局部顶板灰岩发育，反映了海平面持续上升，为该区最大海侵期，随后基准面缓慢下降，海水多退出研究区，区内处于覆水的潮上带沼泽环境，沉积了巨厚的 9 号煤，厚度 0.6~25 m，平均厚度 11m(图 6)，但局部也存在次级海侵事件，在梵王寺中南部和麻家梁南部形成 NW 向障壁岛，其破坏了聚煤环境，使 9 煤分叉，局部减薄、缺失(图 5，图 6a)。太原组上部(9 煤顶—5 煤顶)发育三角洲下平原沉积，从下到上发育砂岩—泥岩—煤—砂岩—泥岩或煤的整体向上变粗的沉积序列。分流河道砂岩在中上部广泛发育，水动力条件以及河道下切、侧向冲刷切割作用强，导致该时期煤层多赋存于分流河道衰亡期，多被河道冲刷缺失或分叉减薄，如 5~7 号煤，其煤层厚度最大可达 2 m，多小于 1 m，横向连续性差，向南部石湖—梨园河井田河道砂体特别发育，垂向多期切割叠置，导致 5、6 煤零星分布。

山西组下部(山西组底—4 煤顶)，为三角洲上平原沉积，早期三角洲水动力条件强，物源供给充足，在研究区中西部发育沿 NE 向展布的、稳定的分流河道，其贯穿了丰予东南、梵王寺中西部和麻家梁东北部，由于河道的持续发育，沉积物供给充足，不利于煤层聚集，导致该区 4 煤厚度薄，多小于 3 m，而在分流河道西北、东南两侧煤层厚度大，最厚可达 11.4 m，多大于 6 m(图 5，图 6b)，且煤层结构简单，横向稳定。山西组上部为曲流河沉积环境，物源供给充足，发育多期叠置的厚层河道砂体—中薄层分流间泥岩的沉积相序组合，水动力条件强，泥炭堆积速率远大于可容纳空间增长速率，且河道的频繁冲刷迁移，导致泥炭沼泽难以保存。仅在局部零星发育横向稳定性差、厚度小、结构较复杂的 1—3 号不可采煤。

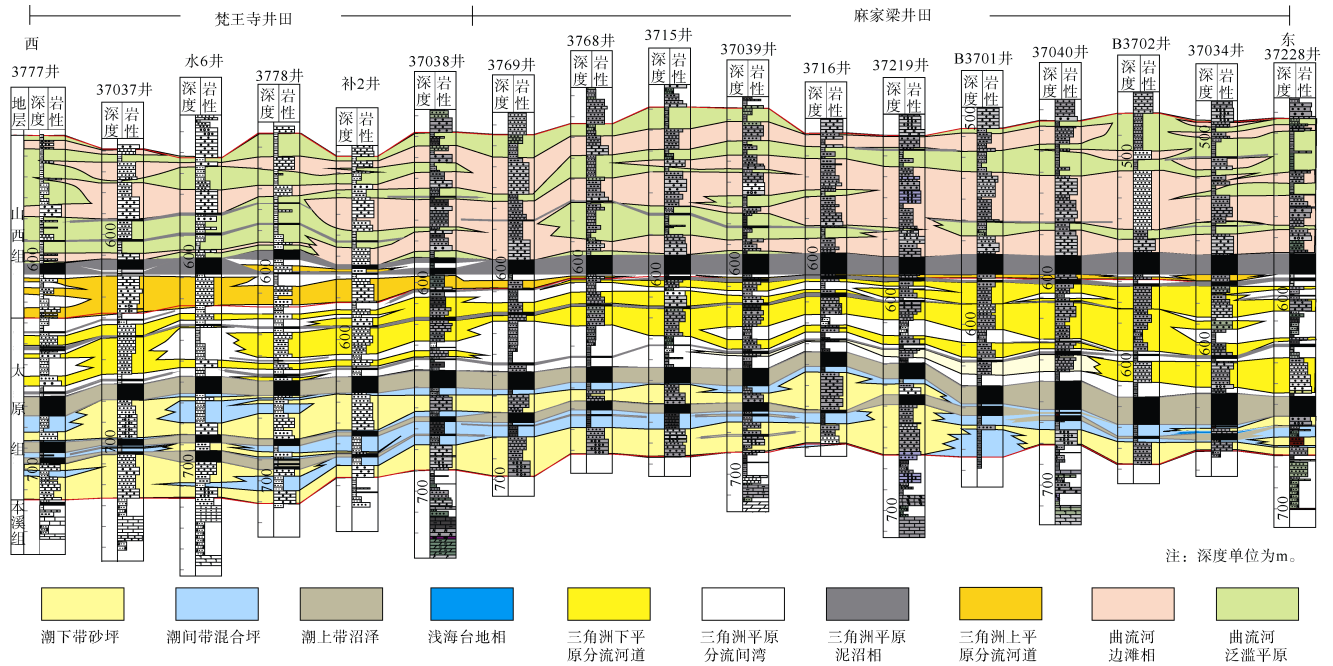
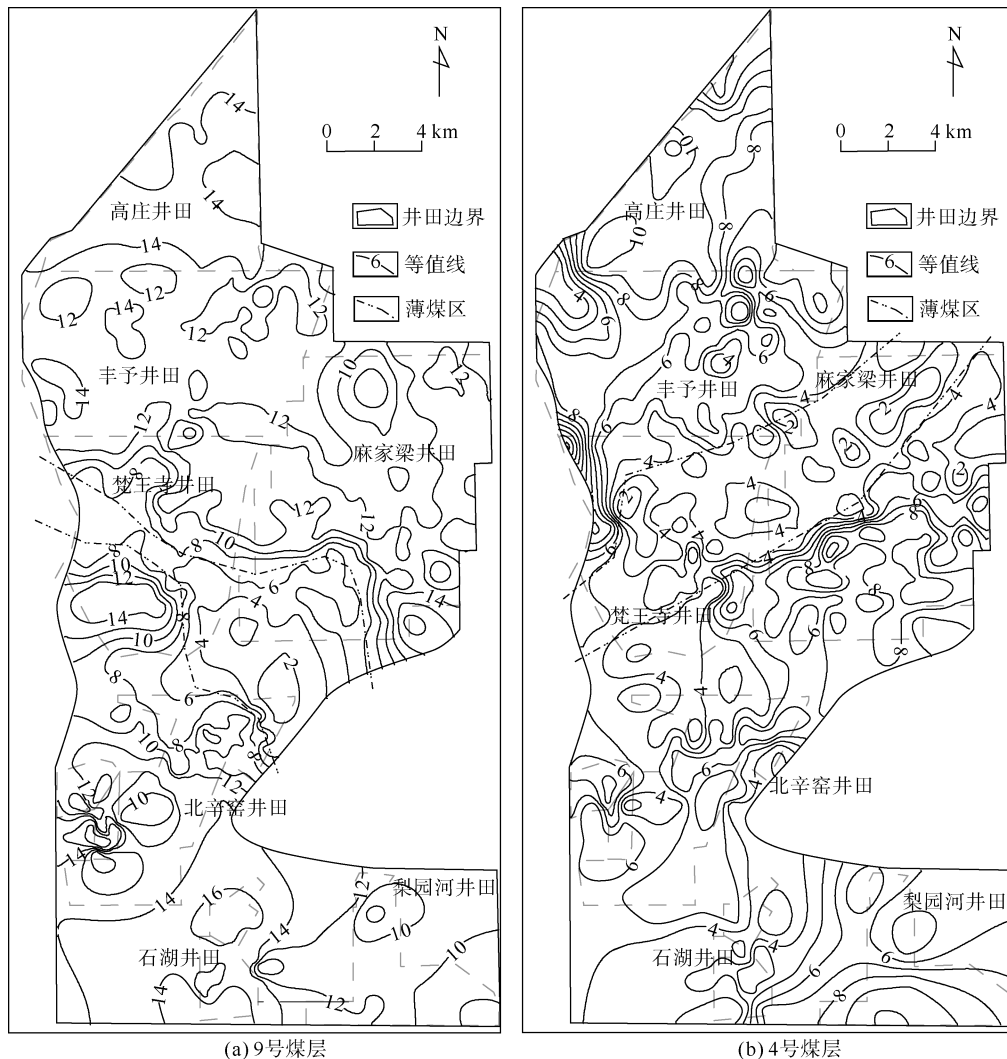


图 5 宁武煤田北部含煤层系沉积相对比剖面(东西向)

Fig.5 The sedimentary facies correlation section in north of Ningwu coalfield(EW)



(a) 9号煤层

(b) 4号煤层

图 6 宁武煤田北部 9 号和 4 号煤层厚度等值线图

Fig.6 Thickness isoline of No.9 and No.4 coal in the north of Ningwu coalfield

4.2 后期构造对煤层的改造作用

前述分析认为，聚煤期地质构造稳定，宽泛的潮上带沼泽和三角洲平原沼泽沉积环境形成连续分布的主采煤层，但从现今地质剖面可见，该区煤层赋存状态起伏不平与不同井田差异显著，与聚煤期相比变化很大，这主要是受后期燕山期、喜山期多期构造应力及差异性变形作用影响。从断层平面展布特征和构造样式来看，北部丰予井田发育单斜和 NE 向断裂，断裂平行和斜交分布，垂向呈顺向断阶构造样式；梵王寺井田发育向斜和 NE 向、近 SN 向断裂，以垒堑和断阶构造样式为主；麻家梁井田发育单斜和近 SN 向断裂，垒堑构造为主，且具有宽缓垒窄深堑的特征；南部北辛窑井田构造最为复杂，以 NEE 向断裂为主，断距规模大，大于 50 m 的断层达 14 条，占井田脆性断层总数 37%，多斜交和近平行分布，垒堑和顺向断阶发育，形成多个三角或板状赋煤区(图 4、图 7)，直接影响采煤区划分、巷道和工作面的布置。总之，煤层赋存条件及差异性主要受构造应力形变特征影响，NE 向断裂和向斜切割叠置共同控制西部丰予和梵王寺井田煤层赋存稳定区；近 SN 向断裂体系夹持的宽缓的地垒分布区为麻家梁井田煤层赋存稳定区；NEE 向断裂体系控制着北辛窑井田的赋煤稳定条件，其近平行分布的垒堑赋煤区更稳定。

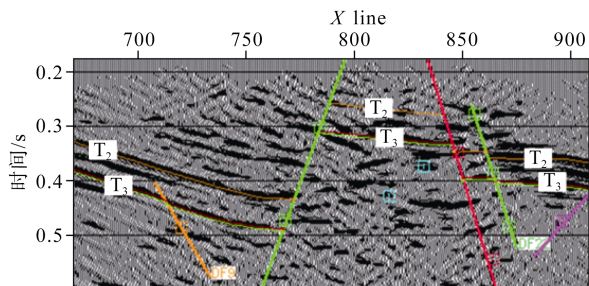


图 7 北辛窑井田垒堑构造样式地震反射特征图
Fig.7 The seismic reflection characteristics of horst-graben structure in Beixinya mine

5 结论

a. 总结了宁武煤田边缘逆冲断裂体系和赋煤向斜构造单元特征，明确了石炭系成煤后经历了印支、燕山和喜马拉雅 3 期构造运动叠加作用，其中燕山期构造最为复杂，具有幕式、挤压伸展交替的特征，奠定了煤田现今的构造格局，形成煤田东西缘逆冲断裂系、中部复向斜和井田内 NE—NNE 向、近 EW 向和近 NS 向断裂构造体系。

b. 结合构造应力向斜特征，明确宁武煤田北部主要井田发育地垒、地堑、顺向、反向断阶及断

褶构造样式，其平面呈近平行和斜交分布，麻家梁和梵王寺井田煤层赋存稳定区广泛发育，前者受 NE 向断裂和向斜控制，后者受近 SN 向断裂夹持的地垒区控制；北辛窑井田煤层赋存稳定区分布局限，由 NE—NEE 向断裂体系夹持的窄条状垒—堑区控制。

参考文献

[1] 杜丕. 大同煤田区域构造特征及与邻区构造关系[J]. 地质论评, 1964, 22(4): 259-266.
DU Pi. Tectonic characteristics of Datong coalfield and its relation with adjacent area [J]. Geological Review, 1964, 22(4): 259-266.

[2] 周晓刚. 宁武盆地构造演化及其对页岩气成藏的控制[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015: 1-60.

[3] 何仕. 山西宁武煤田平朔矿区煤层赋存规律[J]. 山西煤炭管理干部学院学报, 2006, 3(3): 123-124.
HE Shi. The occurrence law of coal seam in Pingshuo mining area, Ningwu coalfield, Shanxi Province[J]. Journal of Shanxi Coal-Mining Administrators College, 2006, 3(3): 123-124.

[4] 李振宏,董树文,渠洪杰,等.宁武-静乐盆地侏罗系碎屑岩地球化学特征及地质意义[J]. 地质论评, 2013, 59(4): 637-655.
LI Zhenhong, DONG Shuwen, QU Hongjie, et al. Geochemistry of Jurassic detrital rocks and geological significance in Ningwu-Jingle basin[J]. Geological Review, 2013, 59(4): 637-655.

[5] 李振宏,董树文,渠洪杰,等. 华北克拉通北缘侏罗纪造山过程及关键时限的沉积证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(5): 1553-1574.
LI Zhenhong, DONG Shuwen, QU Hongjie, et al. Sedimentary evidences of Jurassic orogenic process and key time limit on the northern margin of North China Craton[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2014, 44(5): 1553-1574.

[6] 田文广,汤达祯,孙斌,等. 宁武盆地南部煤层气富集的主控因素[J]. 天然气工业, 2010, 30(6): 22-25.
TIAN Wenguang, TANG Dazhen, SUN Bin, et al. Major controlling factors of coalbed methane enrichment in the southern Ningwu basin[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(6): 22-25.

[7] 李尧. 山西省宁武煤田朔南详查区 4 号煤层厚度变化控制因素[J]. 中国煤田地质, 2007, 19(1): 19-21.
LI Yao. Controlling factors of No.4 coal seam thickness in Shuonan preliminary exploration area, Ningwu coalfield, Shanxi Province[J]. Coal Geology of China, 2007, 19(1): 19-21.

[8] 薛少波,朱长生. 宁武煤田朔南矿区 5、6 号煤层沉积环境及对比研究[J]. 中国煤田地质, 2008, 20(5): 7-9.
XUE Shaobo, ZHU Changsheng. Depositional environment and correlation of No.5 and 6 coal seams in Shuonan mining area, Ningwu coalfield[J]. Coal Geology of China, 2008, 20(5): 7-9.

- for increasing the permeability of coal seams[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(10): 1945-1955.
- [9] 孙炳兴, 王兆丰, 伍厚荣. 水力压裂增透技术在瓦斯抽采中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11): 78-80.
SUN Bingxing, WANG Zhaofeng, WU Hourong. Hydraulic pressurized cracking and permeability improvement technology applied to gas drainage[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(11): 78-80.
- [10] 闫志铭. 低透煤层井下长钻孔水力压裂增透技术[J]. 煤田地质与勘探, 2017, 45(3): 45-48.
YAN Zhiming. Hydraulic fracturing technology for permeability improvement through underground long borehole along coal seam[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(3): 45-48.
- [11] 姚宁平, 张杰, 张国亮, 等. 晋城矿区井下梳状钻孔瓦斯抽采技术体系[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(2): 88-91.
YAO Ningping, ZHANG Jie, ZHANG Guoliang, et al. System of gas drainage technology of comb-like directional drilling in Jincheng mining area[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(2): 88-91.
- [12] 付江伟, 王公忠, 李鹏, 等. 顶板水力致裂抽采瓦斯技术研究[J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(1): 109-115.
FU Jiangwei, WANG Gongzhong, LI Peng, et al. Research on technique for gas drainage based on roof hydraulic fracturing[J]. China Safety Science Journal, 2016, 26(1): 109-115.
- [13] 王生全, 李树刚, 王贵荣, 等. 韩城矿区煤与瓦斯突出主控因素及突出区预测[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(3): 36-39.
WANG Shengquan, LI Shugang, WANG Guirong, et al. Control factors of coal and gas outburst and regional prediction in Hancheng mining area, Shaanxi[J]. Coal Geology & Exploration, 2006, 34(3): 36-39.
- [14] 姬新强, 要惠芳, 李伟. 韩城矿区构造煤红外光谱特征研究[J]. 煤炭学报, 2016, 41(8): 2050-2056.
JI Xinqiang, YAO Huifang, LI Wei. FTIR spectroscopic study on tectonically deformed coals in Hancheng mining area[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(8): 2050-2056.
- [15] 雷毅. 松软煤层井下水力压裂致裂机理及应用研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2014.
- [16] 刘大猛, 周三栋, 蔡益栋, 等. 地应力对煤储层渗透性影响及其控制机理研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(6): 1-8.
LIU Dameng, ZHOU Sandong, CAI Yidong, et al. Study on effect of geo-stress on coal permeability and its controlling mechanism[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(6): 1-8.

(责任编辑 范章群)

(上接第16页)

- [9] 黄辅强, 朱炎铭, 钟和清, 等. 担水沟断裂带显微构造特征及其变形环境探讨[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(7): 99-103.
HUANG Fuqiang, ZHU Yanming, ZHONG Heqing, et al. Discussion on microstructure features and deformation environment of Danshuigou fractured zone[J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(7): 99-103.
- [10] 赵越, 陈斌, 张拴宏, 等. 华北克拉通北缘及邻区前燕山期主要地质事件[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 900-915.
ZHAO Yue, CHEN Bin, ZHANG Shuanhong, et al. Pre-Yanshanian geological events in the northern margin of the North China Craton and its adjacent areas[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 900-915.
- [11] 聂凤军, 张可, 刘翼飞, 等. 华北克拉通北缘及邻区印支期岩浆活动与钼和金成矿作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(6): 1651-1666.
NIE Fengjun, ZHANG Ke, LIU Yifei, et al. Indosinian magmatic activity and molybdenum, gold mineralization along the northern margin of North China craton and adjacent area[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2011, 41(6): 1651-1666.
- [12] 张岳桥, 廖昌珍, 施伟, 等. 论鄂尔多斯盆地及其周缘侏罗纪变形[J]. 地学前缘, 2007, 14(2): 182-196.
ZHANG Yueqiao, LIAO Changzhen, SHI Wei, et al. On the Jurassic deformation in and around the Ordos basin, North China[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(2): 182-196.
- [13] 张岳桥, 董树文, 赵越, 等. 华北侏罗纪大地构造: 综评与新认识[J]. 地质学报, 2007, 81(11): 1462-1480.
ZHANG Yueqiao, DONG Shuwen, ZHAO Yue, et al. Jurassic tectonics of North China: A synthetic view[J]. Acta Geological Sinica, 2007, 81(11): 1462-1480.
- [14] 郑亚东, DAVIS GA, 王琼, 等. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题[J]. 地质学报, 2000, 74(4): 289-302.
ZHENG Yadong, DAVIS G A, WANG Cong, et al. Major Mesozoic tectonic events in the Yanshan belt and the plate tectonic setting[J]. Acta Geological Sinica, 2000, 74(4): 289-302.
- [15] 程守田, 黄焱球, 付雪洪. 早中侏罗世大鄂尔多斯古地理重建与内陆拗陷的发育演化[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 43-49.
CHENG Shoutian, HUANG Yanqiu, FU Xuehong. Paleogeography reconstruction of the Early-Middle Jurassic large Ordos basin and development and evolution of continental downwarping[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 43-49.
- [16] 张泓, 晋香兰, 李贵红, 等. 鄂尔多斯盆地侏罗纪-白垩纪原始面貌与古地理演化[J]. 古地理学报, 2008, 10(1): 1-11.
ZHANG Hong, JIN Xianglan, LI Guihong, et al. Original features and palaeogeographic evolution during the Jurassic-Cretaceous in Ordos basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(1): 1-11.
- [17] 孙占亮, 续世朝, 李建荣, 等. 山西五台地区系舟山逆冲推覆构造地质特征[J]. 地质调查与研究, 2004, 27(1): 28-34.
SUN Zhanliang, XU Shichao, LI Jianrong, et al. Geological and structural features of Jizhoushan thrust nappe in Wutaishan area, Shanxi Province[J]. Geological Survey and Research, 2004, 27(1): 28-34.

(责任编辑 晋香兰 范章群)