

文章编号: 1006-6616 (2007) 02-0150-13

晋东北地区燕山运动的基本特征

——来自 1:25 万应县幅区域地质调查的总结

赵祯祥, 杜晋锋

(山西省地质调查院, 山西 榆次 030600)

摘要: 晋东北地区燕山期地壳活动剧烈而频繁, 经历了 3 次由伸展→挤压转换→隆升和岩浆活动过程。燕山运动早期形成早侏罗世断陷盆地和中侏罗世挤压拗陷型聚煤构造盆地; 中期中晚侏罗世形成被 NW、NE 向深大断裂围限的火山断陷盆地, 中基性—酸性火山喷发和浅成、超浅成中酸性岩浆侵入, 晚侏罗世末形成了一系列 NNE 向褶皱和逆冲推覆构造带; 晚期早白垩世再次形成断陷盆地和开阔平缓褶皱, 义县组不整合在火山岩之上, 晚白垩世处于挤压造山后的山体隆升阶段, 左云组不整合在义县组之上, 伴随有壳源型花岗岩侵入, NW、NE 向断裂复活, 形成地堑、地垒式断裂组合, 导致山体隆升。

关键词: 燕山运动; 逆冲推覆构造; 陆相火山岩; 聚煤构造盆地; 山体隆升; 山西
中图分类号: P56 **文献标识码:** A

自翁文灏^[1]以燕山地区为标准提出燕山运动后, 经许多中国地质学家的综合分析研究^[2-12], 已被中、外地质界认可和广泛引用。晋东北地区位于中生代燕山陆内造山带的西端, 燕山期构造运动十分强烈, 以发育侏罗—白垩纪陆相聚煤构造盆地、火山断陷盆地、构造岩浆岩带、逆冲推覆构造带和 NW、NE 向正断层为特征。多年来许多学者对逆冲推覆构造^[13]、侵入岩^[14]等进行了深入研究。本文在近几年区域地质调查、科研成果的基础上, 进一步探讨了该区燕山运动的基本特征。

1 区域地质概况

晋东北地区由于燕山期强烈的陆内造山运动, 形成了一系列 NE 向褶皱、逆冲推覆构造带和 NE、NW 向高角度正断层系统, 广泛出露了早前寒武纪变质岩、中新元古界长城系—青白口系、古生界寒武—奥陶系和石炭—二叠系, 奠定了该区中生代主体构造格局。侏罗系下统永定庄组和中统大同组、云岗组、天池河组主要分布在怀仁北西云岗盆地内, 角度不整合在石炭—二叠系不同层位之上; 中晚侏罗世火山岩地层主要分布在恒山东部浑源北山、青

收稿日期: 2006-12-11

基金项目: 1:25 万应县幅区域地质调查 (编号: 20011300004061) 和 1:25 万忻州市幅区域地质调查 (编号: 20011300004051) 部分成果。

作者简介: 赵祯祥 (1956), 男, 高级工程师, 从事区域地质调查及构造地质研究工作。

磁窑、中庄铺和灵丘太白维山、塔地、招柏等火山盆地中, 大部分地段角度不整合在二叠系之上, 但在广灵北部可见这套火山岩不整合在大同组之上; 白垩系义县组、左云组在全区均有分布, 分别角度不整合在下伏不同层位之上^[5]。燕山期中酸性侵入岩集中发育在五台山和恒山地区, 受断裂控制呈 NE 向带状 NW 向斜列展布, 由六棱山、岔口、灵丘、铁瓦殿、黄土坡 5 个超单元组成 (图 1、表 1)。

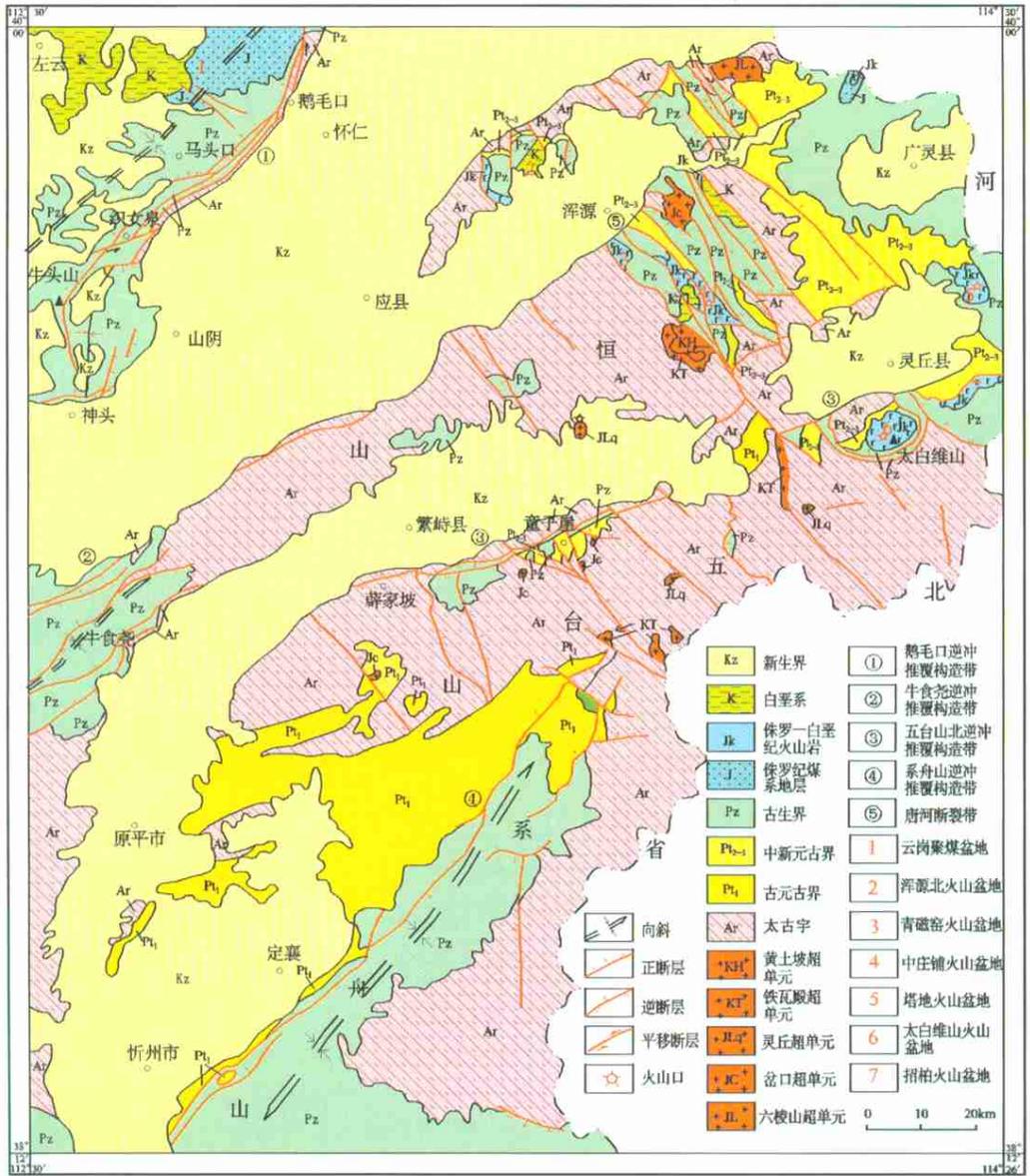


图 1 晋东北中生代区域地质略图

Fig. 1 Mesozoic geological sketch map of northeastern Shanxi

表1 侏罗—白垩纪地层划分简表

Table 1 Multiple stratigraphic division of the Jurassic-Cretaceous

系	统	组	地层特征	植物组合	双壳类组合	厚/m
白垩系	上统	助马堡组	灰白色含砾砂岩、砂岩，紫红、灰绿色砂质泥岩夹泥灰岩透镜体	<i>Platanus cf cuneifolia</i>	<i>Pseudohyria Shyurium Mantungense</i>	27~83
		左云组	砾岩、砂砾岩夹砖红色泥岩、砂质泥岩、砂岩及泥灰岩透镜体	<i>Otocamitesit linguifolius</i>		57~303
白垩系	下统	义悬组	上段：上部为流纹质火山角砾岩、流纹岩、珍珠岩，下部为紫红色砂质泥岩夹砂砾岩及两层玄武岩。下段：紫灰色砾岩、砂岩夹泥岩、劣质煤3~7层			280~814
		大北沟组	上段：流纹质角砾熔岩、紫红色砂质泥岩。下段：玄武安山岩、粗安岩、紫红色泥岩夹凝灰质角砾岩			15~340
侏罗系	上统	张家口组	上段：英安质流纹岩、流纹岩、石英粗面岩、流纹质凝灰角砾岩。下段：玄武安山岩、粗安岩、玄武质角砾岩夹紫红色砂岩、泥岩			163~982
		土城子组	流纹质凝灰角砾熔岩、凝灰岩、流纹岩，下部夹玄武安山岩，底部为凝灰质砂砾岩			45~296
		髻髻山组	杏仁状玄武安山岩、玄武安山质集块凝灰角砾岩，底部为砂质砾岩			15~60
侏罗系	中统	天池河组	紫红色长石石英砂岩、长石砂岩夹泥岩			284~388
		云岗组	含砾砂岩、中粗粒长石砂岩夹泥岩	<i>Coniopteris Hymenophylloides</i>	<i>Ferganoconcha Yananoconcha Margaritiera</i>	151~187
		大同组	砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩夹煤层及淡水灰岩	<i>Nilssoniopteris Phoenicopsis</i>	<i>Pseudoardinia Maygaritfera. is Tutuella</i>	211~277
		永定庄组	下部为含砾砂岩、砂砾岩夹粉砂岩，上部为粉砂岩、粉砂质泥岩夹砾岩、砂岩及英安质流纹岩	<i>Coniopteris Gaoitianensis Phoenicopsis</i>	<i>Ferganoconcha Unio cf. ningxiaensis Utschamiella</i>	62~107

二叠系石盒子组、孙家沟组—寒武系

2 盆地构造特征

怀仁北西云岗盆地内沉积了侏罗系下统永定庄组和中统大同组、云岗组、天池河组。下统永定庄组为一套河湖相碎屑岩系，下部为含砾砂岩、砂砾岩夹粉砂岩，上部为粉砂岩、粉砂质泥岩夹砾岩、砂岩，夹2~3层英安质流纹岩，呈角度不整合超覆在二叠系不同层位之上。垂向上为辫状河粗碎屑岩→河湖相粉砂、泥质岩沉积夹有火山喷发岩。其沉积中心位于马头口一带，向北渐变为冲洪积扇状砂砾岩，发育盆缘同沉积正断层，属短轴的山间断陷盆地。中统大同组、云岗组、天池河组为一套河流—湖沼交互相含煤层的碎屑岩系。其中大同组为一套砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩夹煤层及淡水灰岩，可与冀北的下花园组和辽西

的北票组对比^[16], 平行不整合覆盖在永定庄组之上, 其河流—湖沼交互相含煤地层在中部沉积厚度大而两侧较薄。主要层段砂体古流向测定为近EW向^[17], 内部发育有小型同沉积波状褶曲和压扭性断层。据钻孔资料, 北界在左云一带, 南界以应县隆起与冀北下花园一带聚煤盆地相隔, 排除后期NNE向的构造改造, 属近EW向含煤建造的挤压型内陆聚煤盆地, 上叠在永定庄期断陷盆地之上。云岗组、天池河组连续沉积在大同组之上, 由河流相含砾砂岩、中粗粒长石砂岩夹泥岩—紫红色长石石英砂岩、长石砂岩夹泥岩组成, 进入聚煤盆地的消亡期。

浑源北山、青磁窑、中庄铺和灵丘、塔地、招柏等中晚侏罗世火山盆地, 四周均被NE、NW向深大断裂围限, 具有明显的新生性, 内部由许多相互独立的次一级盆地构成, 次级盆地被盆内相对高地分隔, 基底为二叠系, 缺失永定庄组、大同组, 反映沉积前为南隆北坳的古构造格局。底部为髻髻山组一套无分选的快速堆积的粗碎屑岩, 之上为髻髻山组一大北沟组的基性—酸性—偏碱性多旋回火山喷发岩, 间断期为成熟度低的复成分冲积—河湖相粗碎屑岩沉积。浑源以南与青磁窑、中庄铺、太白维山火山盆地对应, 地层依次变新, 具不对称箕状断陷的性质, 总体属伸展构造环境下的火山断陷盆地。

进入白垩纪以来, 发育早、晚两个时代的断陷盆地。早时代盆地堆积了厚度巨大的义县组, 上段上部为流纹质火山角砾岩、流纹岩、珍珠岩, 下部为紫红色砂质泥岩夹砂砾岩及两层玄武岩; 下段为紫灰色砾岩、砂岩夹灰绿色泥岩及劣质煤3~7层, 基底为中、晚侏罗世火山岩。垂向上为向上变浅的湖沼相—河流相沉积序列, 并喷出有少量玄武岩和流纹岩, 砾石成分以下伏火山岩为主, 具近源快速堆积的特征。对砾石扁平面测量统计, 显示古流向为NE—SW向, 浑源北山、中庄铺等地发育有盆缘同沉积正断层, 属伸展型断陷盆地, 斜跨在中、晚侏罗世火山盆地之上。晚时代盆地堆积了左云组砾岩、砂砾岩夹砖红色泥岩、砂质泥岩、砂岩、泥灰岩透镜体和助马堡组含砾砂岩、砂岩, 紫红、灰绿色砂质泥岩夹泥灰岩透镜体, 角度不整合在下伏义县组及以下不同层位之上, 为一套山前冲洪积扇—洪泛盆地的紫红色沉积组合。在垂向上以砾岩、泥岩交替发育为特征, 指示山体周期性的快速隆升和夷平过程, 亦属伸展型断陷盆地。

3 断裂构造特征

3.1 逆冲推覆系统

自1979年开展1:5万区调工作以来, 在太白维山^[18]、神头等地发现了一系列规模巨大的逆冲推覆构造, 近年来1:25万区调又重点对神头—鹅毛口、系舟山一带的逆冲推覆构造进行了研究, 同时新发现了恒山西段的逆冲推覆构造。它们均发育在中生代燕山期云岗、宁武、系舟山等区域性向斜的两翼, 以对冲式逆冲、逆掩断层组合及飞来峰发育为显著特征, 对中侏罗世云岗聚煤盆地具有不同程度的改造, 切割了晚侏罗世火山岩, 被早白垩世义县组角度不整合覆盖(图2), 并被NW向正断层晚期活动切割, 因此其形成于晚侏罗世晚期。

鹅毛口逆冲推覆构造带: 总体呈30~40°方向延伸, 由若干相互平行的逆冲断层组成, 长约80km, 影响宽度3~20km。主干断层发育在太古宙片麻岩与寒武—奥陶系之间, 由SE向NW片麻岩被逆冲推覆在下盘不同层位之上, 并残留有飞来峰, 致使下盘岩层普遍倒转而倾向南东, 呈叠瓦状堆垛在一起(图3a)。在鹅毛口—神头的广大区域内, 除表现为大规模的由SE向NW的逆冲推覆外, 由NW向SE逆冲的断层也很发育, 构成一系列断面上陡下缓

的铲形逆冲断层，呈叠瓦状排列。鹅毛口村北奥陶系三山子组白云岩推覆在二叠系山西组之上，断面平缓，微向 NW 倾斜，上盘岩层产状自上而下由陡变缓，近断面处为 $350^\circ \angle 30'$ 左右，与断面间的锐夹角指示上盘向 SE 方向推覆（图 3b）。自斧刃山向 SW、NE 两侧均可见到三山子组白云岩自 NW 向 SE 仰冲在山西组之上，断面自地表向深部急剧变缓，下盘原地系统山西组砂岩中发育一系列阶梯状小型褶皱、压扭性劈理，表明鹅毛口逆冲推覆构造带在主体自 SE 向 NW 逆冲的同时，来自向斜盆地的反冲作用存在（图 3c）。织女泉平移断层以西至神头段在次级背斜的两翼分为两支，北支在牛头山一带折向近 SN 向展布，奥陶系马家沟组三段泥灰岩呈楔状由 W 向 E 逆冲在下盘马家沟组四段厚层灰岩之上。南支由一系列近 EW 向叠瓦状逆冲断层组成，断面附近不同形态的牵引褶皱指示上盘由 N 向 S 逆冲。

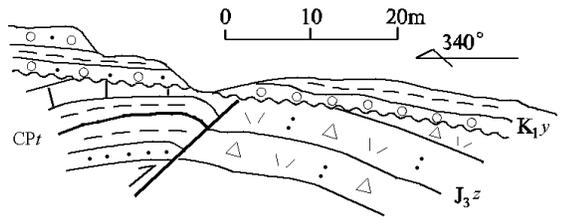


图 2 西柏林逆冲断层被义县组不整合覆盖
 Fig 2 The Xibolin thrust is unconformably overlain by the Yixian Formation
 K_{1y}-义县组; J_{3z}-张家口组; CP_t-太原组

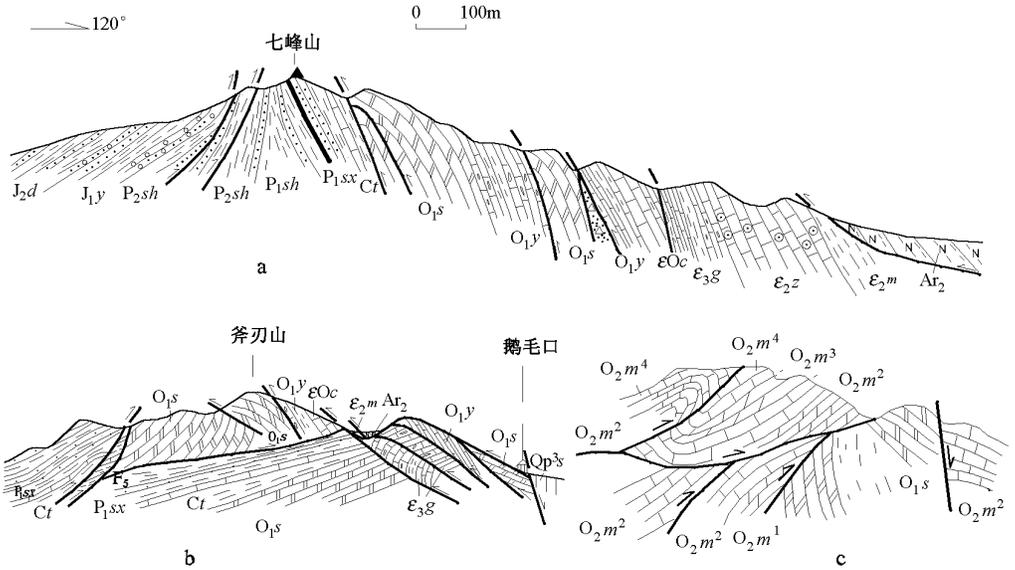


图 3 鹅毛口断裂带构造剖面

Fig 3 Structural section of the Emaokou fault zone in Shentou-Emaokou
 Qp³s-峙峪组; J_{2d}-大同组; J_{1y}-永定庄组; P_{2sh}-石盒子组; P_{1sx}-山西组;
 Ct-太原组; O_{2m}-马家沟组; O_{1s}-三山子组; O_{1y}-冶里组; ε_{0c}-炒米店组;
 ε_{3g}-崮山组; ε_{2z}-张夏组; ε_{2m}-馒头组; Ar₂-中太古代片麻岩

五台山北坡逆冲推覆构造带：西起薛家坡向东至太白维山，延伸长度超过 120km。薛家坡段呈 NEE 向发育在五台期北台片麻岩与长城系或寒武系之间，断面呈舒缓波状，总体倾向北西，上盘片麻岩由 NW 向 SE 逆冲推覆于长城系、寒武系之上，下盘岩层发生倒转及次级冲断面发育，并形成了童子崖倒转向斜。太白维山段推覆体位于太白维山东侧鹅鸭泉—东岗一线，自北向南依次由五台群、太古宇义兴寨片麻岩、长城系、寒武—奥陶系及侏罗系火

山岩组成, 原地系统由奥陶系及石炭—二叠系组成。推覆面在北部以 75°高角度逆冲形成断坡, 中部以 10~20°低角度逆掩形成断坪, 前缘以 50~60°冲断翘起, 上盘发育叠瓦状断层组合及一系列牵引褶皱, 总体呈舒缓波状, 主推覆面上擦痕指示上盘沿二叠系的泥岩薄弱面由 NW 向 SE 推覆 (图 4), 推覆距大于 7km^[18]。

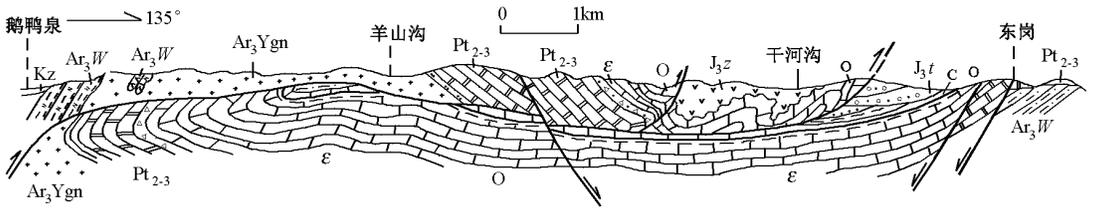


图 4 太白维山推覆构造地质剖面图 (据刘德佑等^[18], 1987)

Fig 4 Geological section of the Weishan nappe structure in Taibai

Kz-新生界; J_{3z}-张家口组; J_{3t}-土城子组; C-石炭系; O-奥陶系; ε-寒武系;
Pt₂₋₃-中新元古界; Ar_{3W}-五台群; Ar_{3Ygn}-太古宙义兴寨片麻岩

系舟山逆冲推覆构造带: 呈 NE50°方向带状发育在系舟山向斜北翼, 全长约 100km, 宽 4~10km。空间上由一系列互相平行的逆冲断层组合及不对称的褶皱组成, 其运动方向为上盘向 SE 逆冲推覆。七峰山北西外来系统为古元古代变质花岗岩、滹沱群及寒武系, 逆冲于三山子组白云岩之上 (图 5), 并残留有飞来峰, 推覆距离约 6km。上盘岩层产状杂乱, 呈叠瓦状堆垛在一起。下盘为一倒转向斜。主推覆面在根部及前缘产状陡立, 中部产状平缓形成断坪, 伴生有不对称的紧闭—倒转—平卧褶皱, 倒转翼岩层普遍变薄, 前缘褶皱形态由紧闭—开阔—挠曲—单斜变化。

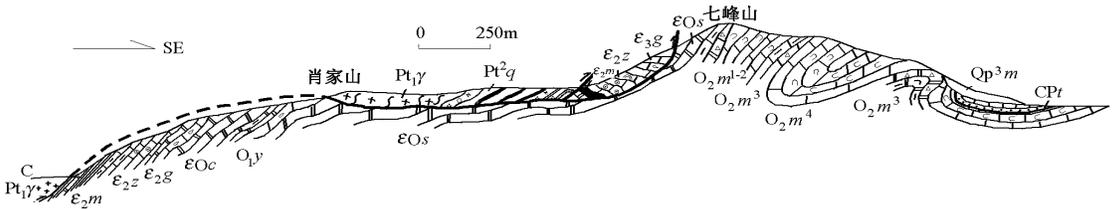


图 5 系舟山逆冲推覆构造带构造剖面

Fig 5 Tectonic section of the Xizhoushan thrust nappe structure

Qp³m-马兰组; Cpt-太原组; O₂m¹⁻²-马家沟组一至二段; O₂m³-马家沟组三段;
O₂m⁴-马家沟组四段; εO_s-三山子组; O_{1y}-冶里组; εOc-炒米店组;
ε_{3g}-崮山组; ε_{2z}-张夏组; ε_{2m}-馒头组; Pt_{1γ}-古元古代花岗岩; Pt_{2q}-滹沱群青石村组

上述逆冲推覆构造往往与褶皱伴生, 发生于燕山运动强烈挤压压缩期, 其组合形式为平行褶皱轴、倾角陡缓不一的叠瓦状倒扇形对冲式逆冲断层组合。具有一定规模的推覆构造多发育在早前寒武纪变质岩与长城系或寒武—奥陶系与石炭—二叠系等软弱界面之间, 其内部由多条逆冲断层组合为一条顶板或底板断层, 中部形成断夹块, 类似于双重构造模式。从这些逆冲推覆构造的运动学特征可以看出, 其形成是在 NW—SE 向水平挤压应力作用下, 首先产生了区域性背、向斜, 由于持续的地应力作用, 背斜倒转翼产生破裂并向两端扩展, 沿不整合面或山西组泥岩等软弱层顺层或切层由两翼向向斜核部逆冲推覆形成的。

3.2 北东、北西向正断层系统

北西向断层是燕山期最明显的断裂构造形迹，广泛发育于五台山及恒山东段，呈北西310~340°方向延伸。伯强、古花岗岩、义兴寨等北西向重力低值带^[19]与该组断裂和中酸性岩体的展布相吻合，一系列中生代陆相火山盆地、中酸性侵入岩和金、银多金属矿床均受控于这些深大断裂，是中生代成矿的导矿、储矿构造。

唐河断裂带呈北西向斜贯于恒山、五台山东段，横跨幅度达20km，其内部由一系列的NW和NE向断层共轭产出，西边界断裂SW盘为早前寒武纪变质岩，NE盘为长城纪以来的沉积盖层，表现为一系列阶梯状正断层，总体走向310~330°，断面产状35~110°∠60~70°。破碎带内中酸性脉岩及多金属矿化发育，常见早期的角砾被晚期的角砾岩包绕胶结，下盘残存有早期胶结致密的断层泥，形成陡立且平直的三角面，早期擦痕为175°∠43°，晚期为115°∠50~60°，因此它们至少在中生代燕山期有两期活动，晚期活动构成一系列地堑、地垒式断层组合(图6)，断距最大可达1000m以上，属多期活动的断裂。

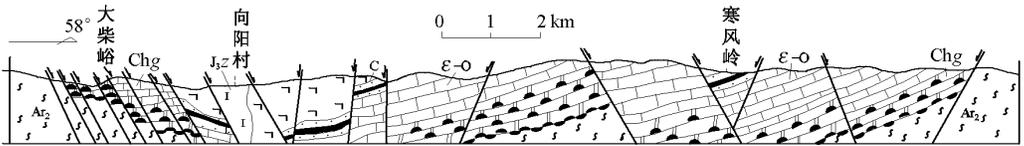


图6 唐河断裂带剖面图

Fig 6 Section of the Tanghe fault zone

J_{3z}-张家口组; C-石炭系; ε-O-寒武-奥陶系; Chg-高于庄组; Ar-太古宙片麻岩

4 岩浆岩特征

4.1 陆相火山岩

燕山期火山岩最老层位为宁武一带的侏罗系下统永定庄组，为英安质流纹岩(表1)。恒山东部浑源及灵丘等地的火山岩，发育在四周被一系列断裂围限的负向火山盆地中，主体为基性-中酸性、偏碱性岩(图7)和火山碎屑岩，其火山喷发旋回、演化序列、岩性岩相及叠覆关系明显。浑源及灵丘一带依据其火山岩地层典型剖面，可划分为4个火山旋回(图8)。髫髻山组玄武安山岩和土城子组流纹质角砾熔岩、火山碎屑岩构成第一个完整的火山旋回。张家口组为玄武安山岩→粗安岩→英安质流纹岩→流纹岩→粗面岩火山旋回。早期喷溢与喷发交替进行，由基性向中性演化，晚期为中心式火山爆发喷溢，由流纹质向粗面质分异演化，构成韵律性叠复火山堆积，形成与火山热液有关的金、银多金属矿产。大北沟组为玄武安山岩→粗安岩→流纹质角砾熔岩火山旋回。白垩系下统义县组沉积时火山活动较弱，下部为河湖相砂砾岩、泥岩，上部构成玄武岩→流纹岩火山旋回。

上述偏基性火山岩从早到晚，SiO₂、Na₂O+K₂O逐渐增高，碱度指数AR=1.3~5.5，组合指数δ=3.7~5.99，在硅-碱图上投点落于碱性岩区^①，无论是基性还是酸性火山岩，从早到晚不相容性元素Sr、Ba、Zr、Hf、Nb、Ta逐渐减少，相容性元素Co、Ni、Cr、V、Zn逐渐增大，其微量元素分配型式与板内环境的地球化学型式相似(图9)，稀土元素以偏基性岩具正铈异常、流纹岩具负铈异常为特征(图10)。

① 赵祯祥. 应县幅1:25万区域地质调查报告. 2003.

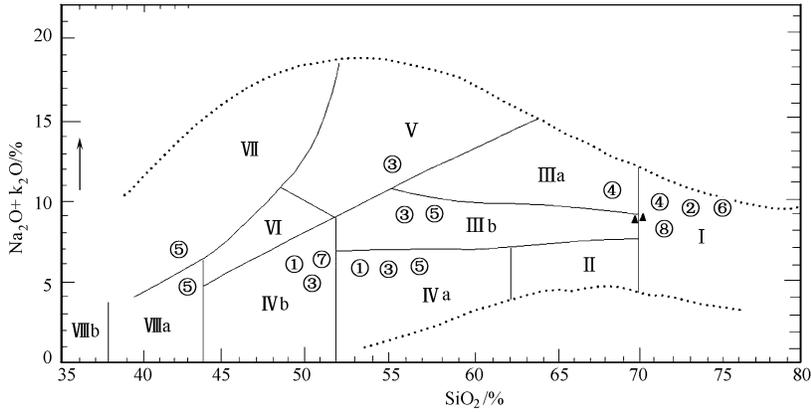


图 7 火山岩化学定量分类图解 (据李兆霖等, 1984)

Fig. 7 Diagram showing the chemical quantitative classification of volcanic rocks

I - 流纹岩类; II - 英安岩类; IIIa - 粗面岩类; IIIb - 安粗岩类; IVa - 安山岩类; IVb - 玄武岩和碱性玄武岩类; V - 响岩类; VI - 碱玄武岩类; VII - 副长石岩类; VIII - 超镁铁质岩类; ① 髫髻山组; ② 土城子组; ③ 张家口组下段; ④ 张家口组上段; ⑤ 大北沟组下段; ⑥ 大北沟组上段; ⑦ 义县组玄武岩; ⑧ 义县组流纹岩; ▲ 永定庄组; 点线为中国火山岩投点的实际范围

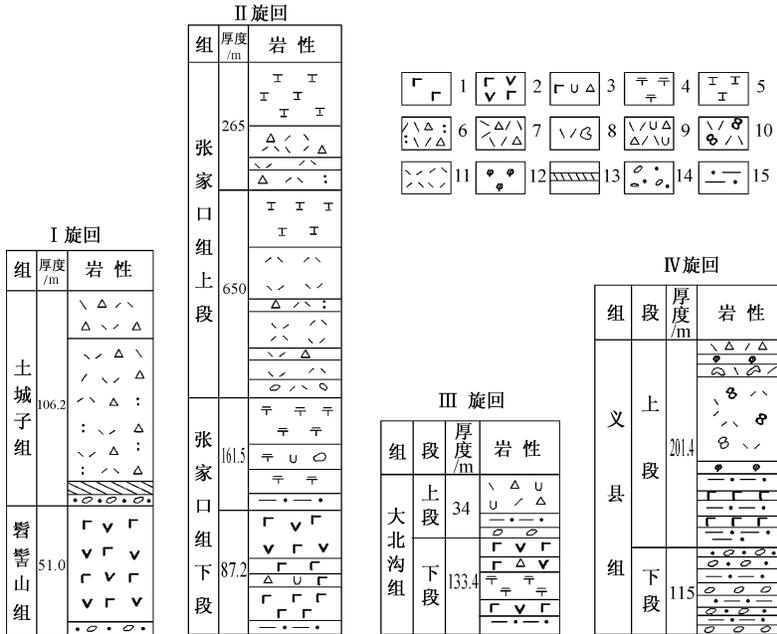


图 8 浑源及灵丘一带燕山期火山岩旋回柱状图 (图中厚度代表比例尺)

Fig. 8 Columnary sections of Yanshanian volcanic cycles in Hongyuan and Linqu

1-玄武岩; 2-玄武安山岩; 3-玄武质角砾熔岩; 4-安粗岩; 5-粗面岩; 6-流纹质角砾凝灰岩; 7-流纹质火山角砾岩; 8-流纹质火山集块岩; 9-流纹质角砾熔岩; 10-球泡流纹岩; 11-流纹岩; 12-珍珠岩; 13-膨润土矿化层; 14-砂砾岩; 15-砂质泥岩

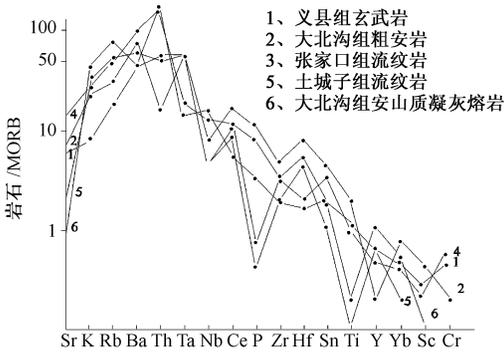


图9 微量元素分布模式

Fig 9 Trace element distribution patterns

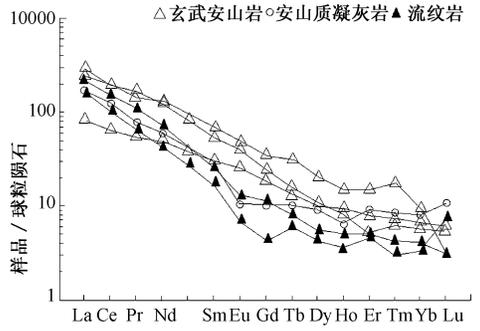


图10 稀土元素分布型式

Fig 10 REE distribution patterns

4.2 中酸性侵入岩

中酸性侵入岩分布于恒山、五台山区，呈椭圆状、不规则状岩株、岩床产出，侵入最新层位为上侏罗统，并被白垩系左云组不整合覆盖（图 11）。由壳源型中深成和壳幔过渡同熔型浅成、超浅成两个花岗岩系列组成。

壳源型中深成花岗岩系列由六棱山、铁瓦殿、黄土坡 3 个超单元组成。主体为花岗闪长岩—二长花岗岩和中细粒—粗粒—斑状黑云母花岗岩组合。岩体受控于 NW、NE 向断裂的交会部位，围岩均具轻微的变形，边部有平行接触面的面状构造，内部的岩石类型呈同心环带状分布，边缘岩石时代老，中心岩石时代新，除六棱山超单元形成于中侏罗世（K-Ar 年龄 153.4Ma）外，其他两个超单元形成于早白垩世（K-Ar 年龄 108.5 ~ 93.9Ma）。它们均属铝过饱和钙碱性岩石， $Al_2O_3 > K_2O + Na_2O + CaO$ ， $\delta = 1.2 \sim 1.7$ 。微量元素 Cr、Ni、Co、V、Sr 低，Nb、Ta 较高， $Sr^{87}/Sr^{86} = 0.7288^{14}$ 。稀土元素的总量、负钕异常从早到晚增大（图 12、图 13）。

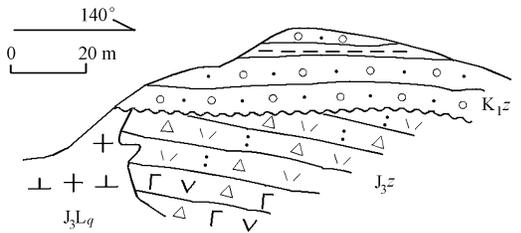


图 11 小窝单花岗闪长岩与左云组不整合关系素描

Fig 11 Unconformity between the Xiaowodan granodiorite and Zuyun Formation

J₃L_q-灵丘超单元；K₁z-白垩系左云组；
J₃z-侏罗系张家口组

壳幔过渡同熔型浅成、超浅成花岗岩系列由岔口、灵丘两个超单元组成。与中晚侏罗世火山岩形成的同步，多为复式小岩体，与隐爆角砾岩筒或火山口紧密伴生。岔口超单元为似斑状黑云母花岗岩—石英斑岩组合，Rb-Sr 等时线年龄 163.9Ma；灵丘超单元为闪长岩—花岗闪长斑岩—花岗斑岩—石英斑岩组合，K-Ar 年龄分别为 159.8Ma、148.6Ma、129.5Ma、126.7Ma。两个超单元从早到晚均具有由正常岩石向铝过饱和岩石过渡的钙碱性岩石特征， $\delta = 1.24 \sim 3.05$ ，相容性元素 Co、Cr、Li、Cs、V、Zn、Cu 较高，稀土元素以具弱负钕异常为特征（图 14、图 15），反映岩浆源于上地幔并有壳源的混染，受控于 NE、NW 向两组深大断裂，具主动侵位的特征，伴随形成有金、银多金属矿产。

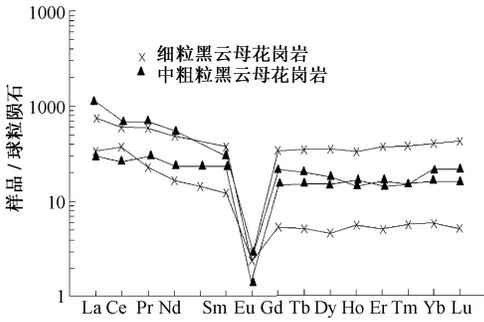


图 12 铁瓦殿超单元稀土元素分布型式

Fig 12 REE distribution patterns for the Tiwadian supenunit

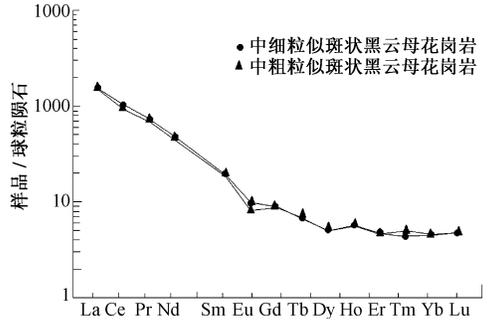


图 13 黄土坡超单元稀土元素分布型式

Fig 13 REE distribution patterns for the Huangtu po supenunit

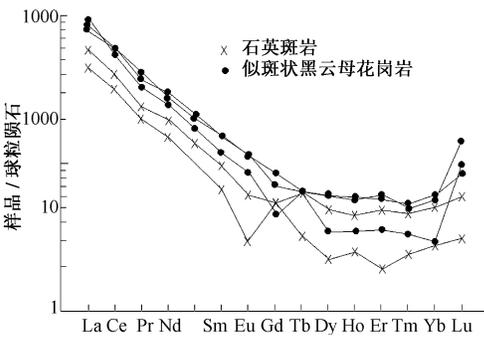


图 14 岔口超单元稀土元素分布型式

Fig 14 REE distribution patterns for the Chakou supenunit

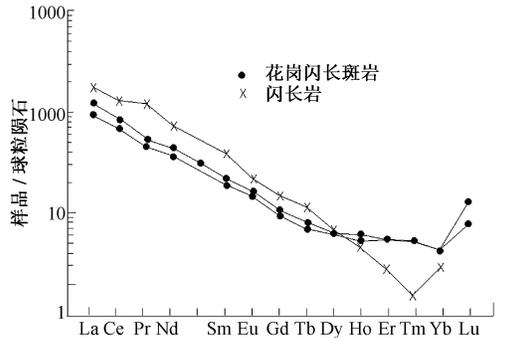


图 15 灵丘超单元稀土元素分布型式

Fig 15 REE distribution patterns for the Linqiu superunit

5 分析与讨论

综上所述, 晋东北地区燕山运动既形成褶皱、逆冲推覆和聚煤构造盆地, 又形成断陷盆地和高角度正断层, 由伸展向挤压转换交替进行。结合它们的时空分布、成生联系、建造与改造的特征, 燕山运动包括了整个侏罗—白垩纪期间发生的构造运动, 形成的地质事件序列见表 2。

早侏罗世永定庄组沉积阶段, 印支运动南北向挤压作用后处于应力松弛阶段, 其构造线方向亦呈近 EW 向, 以盆地断陷快速堆积为主, 盆缘同沉积断层和火山喷发岩发育, 属伸展构造环境。

中侏罗世早期大同组、云岗组、天池河组沉积阶段, 呈平行不整合覆盖在永定庄组之上, 大同组为河湖相沉积序列, 发育微型波状褶皱和压扭性断层, 指示属挤压型拗陷聚煤盆地, 体现了燕山运动第一次由伸展到挤压作用的转换。

中侏罗世晚期—晚侏罗世, 整体为伸展断陷盆地发育期, 盆地四周被深大断裂围限, 构造岩浆热事件活动表现为盆缘同沉积断裂发育、多旋回火山喷发及壳幔同溶型浅成—超浅成

表 2 地质事件构造序列

Table 2 Structural sequence of geological events

时代		沉积事件	岩浆事件		构造事件		体制	幕	期	
白 垩 纪	晚白 垩世	左云组、助马堡组山前冲洪积扇—洪泛盆地的紫红色碎屑岩—泥质岩沉积组合			断陷盆地	北东、北西向断裂, 山体隆升	伸展	七幕	晚 期	
	早白 垩世	义县组湖沼相—河流相含煤泥质岩、碎屑岩沉积组合	玄武岩→流纹岩火山喷出	壳源型中细粒—粗粒—斑状黑云母花岗岩侵入	含火山断陷盆地	盆缘断裂				挤压 伸展
侏 罗 纪	晚侏 罗世	大北沟组河湖相红色碎屑岩—泥质岩沉积组合	玄武安山岩→粗安岩→流纹岩火山喷出	壳幔过渡同熔型似斑状黑云母花岗岩—石英斑岩、闪长岩—花岗闪长斑岩—花岗斑岩—石英斑岩	北北东向褶皱、逆冲推覆构造	火山断陷盆地	北东、北西向断裂	挤压 伸展	四幕 三幕	中 期
		张家口组河湖相红色碎屑岩—泥质岩及火山碎屑岩沉积组合	玄武安山岩→粗安岩→英安质流纹岩→粗面岩火山喷出							
		土城子组河流相火山碎屑岩、火山灰流沉积组合	流纹质角砾熔岩火山喷出							
侏 罗 纪	中侏 罗世	鬻鬻山组河流相碎屑岩	玄武安山岩火山喷出	六棱山花岗闪长岩—二长花岗岩侵入	聚煤构造盆地	近东西向隆起、凹陷、盆缘断裂	挤压	二幕	早 期	
		天池河组河流相红色碎屑岩—泥质岩沉积组合								
		云岗组河流相碎屑岩—泥质岩沉积组合								
	大同组河流—湖沼交互相碎屑岩—泥质岩含煤沉积组合									
早侏 罗世	永定庄组辫状河粗碎屑岩→河湖相粉砂、泥质岩沉积组合	英安质火山喷出岩		含火山断陷盆地	盆缘断裂	伸展	一幕			

二叠系石盒子组、孙家沟组—寒武系

中酸性岩浆侵入。

燕山运动主造山期, 发生于早白垩世义县组沉积之前, 以强烈的水平挤压作用使侏罗纪地层发生变形, 形成广为发育的褶皱和逆冲推覆构造带, 体现了中生代地壳的强烈缩短, 为第二次由伸展到挤压作用的转换, 同时与中国东部为一体, 完成了其构造线方向由近 EW 向向 NE—NNE 向的构造—动力体制彻底转换, 形成中国东部宽阔的陆缘活化带^[20]。

进入白垩纪以来, 总体处于强烈挤压收缩后的应力松弛期, 以地壳伸展隆升为主, 早白垩世义县组沉积阶段形成断陷盆地接受沉积, 构造岩浆热事件活动为同沉积断裂和火山喷发。在左云组沉积之前再次发生由伸展到挤压的转换, 但强度已明显减弱, 仅使义县组形成微弱的开阔平缓褶皱, 被左云组角度不整合覆盖; 早白垩世晚期构造活动表现为由伸展—挤压交替进行转换为以地壳伸展隆升为主导作用, 亦有断陷盆地产生, 壳源型黑云母花岗岩侵

入, 先存NW、NE向断层复活, 导致山体整体隆升。

6 结论

晋东北地区的燕山运动, 经历了3次由伸展→挤压构造体制转换→挤压造山后地壳隆升事件和岩浆活动过程。3次伸展阶段分别对应于早侏罗世永定庄组沉积、中侏罗世晚期—晚侏罗世火山岩和早白垩世义县组沉积时的盆地伸展发育阶段。3次挤压事件分别对应于中侏罗世早期聚煤构造盆地; 晚侏罗世末主造山期完成了构造线由近EW向向NE—NNE向的彻底转换, 形成褶皱、逆冲推覆构造、义县组之下的不整合面和早白垩世早期的开阔平缓褶皱、义县组与左云组间不整合面所持续的时间。挤压造山后地壳隆升事件发生于早白垩世晚期, 对应于左云组、助马堡组沉积, 其中壳源型钙碱性花岗岩侵入和NW、NE向地堑、地垒式断裂组合, 是地壳伸展隆升的标志。

致谢: 苗培森、李德胜教授级高级工程师审阅了全文, 提出许多具体意见, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 翁文灏. 中国东部中生代以来之地壳运动及火山活动[J]. 中国地质学会会志, 1927, 6(1): 9~36.
- [2] 谢家荣. 北平西山地质构造概况[J]. 中国地质学会会志, 1936, 15: 61~74.
- [3] 黄汲清. 中国地质构造基本特征的初步总结[J]. 地质学报, 1960, 40: 1~37.
- [4] 赵宗溥. 中国东部的燕山运动[J]. 地质科学, 1963, (3): 128~138.
- [5] 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 217.
- [6] 马杏垣, 刘和甫, 王维襄, 等. 中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造[J]. 地质学报, 1983, (1): 22~32.
- [7] 王鸿祯, 杨森楠, 李思田. 中国东部及邻区新生代盆地发育及大陆边缘区的构造发展[J]. 地质学报, 1983, 57(3): 213~223.
- [8] 崔盛芹, 吴珍汉, 王建平, 等. 华北陆块北缘构造运动序列及区域构造格局[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 326.
- [9] 赵越. 燕山地区中生代造山运动及构造演化[J]. 地质论评, 1990, 36(1): 1~12.
- [10] 马寅生, 崔盛芹, 曾庆利, 等. 燕山地区燕山期的挤压与伸展作用[J]. 地质通报, 2002, 21(4/5): 218~223.
- [11] 赵越, 崔盛芹, 郭涛, 等. 北京西山侏罗纪盆地演化及其构造意义[J]. 地质通报, 2002, 21(4/5): 211~217.
- [12] 崔盛芹, 吴珍汉, 马寅生, 等. 北京地区中生代陆内造山过程——以十三陵—龙庆峡—八达岭路线观察为基础[J]. 地质力学学报, 2003, 9(3): 201~219.
- [13] 刘成第, 朱道尊. 鹅毛口逆掩断层与推覆体[J]. 构造地质论丛, 1986(6): 63~70.
- [14] 武铁山, 吕花荣, 李忠和. 试论山西燕山期花岗岩的成因类型[J]. 山西地质, 1987, 2(1): 9~29.
- [15] 山西省地质矿产局. 山西省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
- [16] 陈晋镛, 武铁山. 华北区区域地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 100~103.
- [17] 贾炳文. 大同侏罗纪含煤地层沉积环境与聚煤特征[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 86~88.
- [18] 刘德佑, 胡学智. 山西灵丘太白维山推覆构造[J]. 山西地质, 1987, 2(2): 29~32.
- [19] 周永娴, 张文陆. 山西省重磁资料的初步研究[J]. 山西地质, 1989, 4(2): 111~114.
- [20] 任纪舜. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京: 地质出版社, 1999.

BASIC CHARACTERISTICS OF THE YANSHAN MOVEMENT IN NORTHEASTERN SHANXI—A SUMMARY OF REGIONAL SURVEY OF THE 1:250000 YINGXIAN COUNTY SHEET

ZHAO Zhen-xiang, DU Jin-feng

(*Shanxi Institute of Geological Survey, Yuci 030600 Shanxi, China*)

Abstract: The Yanshanian crustal activity in northeastern Shanxi was intense and frequent and underwent a process of extension→transpression→uplift and magmatism. The early stage of the Yanshan movement generated an Early Jurassic downfaulted basin and a Middle Jurassic compressional-downwarped coal-accumulating basin. In the middle stage, the Mid-Late Jurassic witnessed the formation of a volcanic downfaulted basin bounded by NW and NE deep faults, intermediate-basic and acid volcanic eruption and hypabyssal and near-surface intermediate-acid magmatic intrusion, and the terminal Late Jurassic witnessed the formation of a number of NNE-trending folds and overthrust zones. In the late stage, in the Early Cretaceous a downfaulted basin and open gentle folds once again formed and the Yixian Formation unconformably rested on volcanic rocks; the Late Cretaceous was a stage of mountain uplift after compressional orogeny, when the Yixian Formation was unconformably overlain by the Zuoyun Formation, accompanied by intrusion of crust-derived granite, and NE- and NE-trending faults were revived, forming a graben- and horst-type fault combination and resulting in mountain uplift.

Key words: Yanshan movement; overthrust structure; continental volcanic rocks; coal-accumulating structural basin; mountain uplift; Shanxi