

河北东北部兴隆煤田区逆冲构造的特征及其区域构造意义

张路锁¹, 张长厚^{2,3}, 张 勇², 徐德斌², 戴 凇², 李海龙²

ZHANG Lu-suo¹, ZHANG Chang-hou^{2,3}, ZHANG Yong²,

XU De-bin², DAI Lin², LI Hai-long²

1. 河北省煤田地质局, 河北 石家庄 050051;

2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 中国地震局地质研究所, 北京 100029

1. Hebei Bureau of Coal Geology and Resources, Shijiazhuang 050051, Hebei, China;

2. School of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

摘要: 兴隆煤田及邻区的逆冲构造系基底卷入变形的厚皮逆冲构造, 并具有典型的断坪—断坡式几何学结构。断层上盘逆冲方向指向NNW, 沿着主干逆冲断层发生的倾向位移量约为13.1 km, 逆冲断层及相关褶皱变形所造成的局部表层地壳缩短率约32.3%。对兴隆逆冲构造的几何学结构、运动学性质及其地层效应的分析表明, 在中家胡同到黄土梁近东西向一线以南的区域, 寻找到因逆冲断层作用导致的隐伏煤田的可能性是极小的。主干逆冲断层上、下盘地层大面积陡立乃至倒转的特征, 更容易用断展褶皱, 尤其是三角形剪切断展褶皱模型做出合理解释。该逆冲构造主要逆冲断层的上、下盘盖层岩系不整合于基底结晶变质岩系之上, 地层序列发育完整而且可以一一对应, 不存在沿着相对软弱层发育的大规模逆冲断层之断坪, 因此, 将该逆冲构造作为区域上承德逆冲构造的根带是不合适的。

关键词: 逆冲断层; 断坪; 断坡; 兴隆煤田; 河北

中图分类号: P542^{+.3}

文献标识码: A

文章编号: 1671-2552(2006)07-0850-08

Zhang L S, Zhang C H, Zhang Y, Xu D B, Dai L, Li H L. Thrust tectonics in the Xinglong coalfield and adjacent areas, northeastern Hebei, China, and its implications for regional tectonics. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(7):850-857

Abstract: Thrust tectonics in the Xinglong coalfield and adjacent areas are characterized by basement-involved thick-skinned thrust tectonics with a typical flat-and-ramp geometry. The volume of displacement along the NNW-verging master thrust fault is estimated to be about 13.1 km and the shallower crustal shortening caused by the thrust and related folding is estimated to be around 32.3%. Based on an analysis of the geometry and kinematics of the thrust tectonics in this area, it is suggested that there is little probability to find a concealed coalfield in the area south of the nearly E-W-trending line from Shenji-ahutong to Huangtuliang. The extensively steeply dipping and even overturned features of the strata in the hanging wall and footwall of the major thrust fault are more easily rationally explained by basement-cored fault-propagation folding, especially by trishear fault-propagation folding model. The cover sequences in the hanging wall and footwall of the major thrust fault unconformably overlie the crystalline metamorphic series of the basement. They are completely developed and may be corre-

收稿日期: 2005-08-02; 修订日期: 2006-04-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(40272086, 40234048)和北京市教委共建项目《构造地质学重点学科》(XK104910480)联合资助。

作者简介: 张路锁(1962-), 男, 硕士, 工程师, 从事煤田地质勘查技术管理工作。

lated. Neither thrust fault flat developed along the incompetent strata as suggested previously nor evidence for large-scale thrusting deformation has been found in this area. It is proposed that the Xinglong thrust could not serve as the root zone for the Chengde thrust found previously farther northward.

Key words: thrust fault; fault flat; fault ramp; Xinglong coalfield, Hebei Province

河北省兴隆煤田位于燕山板内造山带中部(图1),是冀北比较重要的煤产地之一。由于该煤田构造复杂且具有特色,构造变形对煤层的改造作用强烈并在很大程度上影响和控制了煤炭资源的勘探和开采工作,因此,长期以来受到地质学家的关注,并开展了基础构造地质和隐伏煤田预测等研究工作。早在20世纪60年代,孙殿卿等^[1]曾对矿区及邻区的构造进行了较为详细系统的工作。1980年代初,周济元^[2]运用地质力学分析方法,系统地厘定了矿区及邻近区域的构造体系及发育过程。1990年代初,李涛^[3]、刘天林等^[4]先后对矿区的构造开展了进一步研究,并对可能的隐伏煤田区域进行了预测。李涛^[3]认为兴隆煤田的逆冲构造是区域性滑覆构造系统前缘挤压区域的产物,刘天林等^[4]根据韧性剪切带剪切位移量计算原理,估算了沿着主要逆冲断层发生的逆冲位移量。1990年代后期,现代逆冲构造的基本概念被应用到该区逆冲构造的研究当中,张长厚等^[5]对矿区及邻区的逆冲构造平、剖面结构特征、运动学特征及位移量进行了研究和估算,虽然

所估算出的位移量远远大于刘天林等^[4]的计算结果,但是,基于地表地质调查结果指出隐伏煤田区的预测范围小于后者的推测。姜波等^[6]提出了兴隆逆冲构造属于一个“复式叠瓦扇构造”的认识。关于逆冲构造的形成时间,多认为是中生代早期印支期的产物,但是缺乏比较准确的年代学约束。由此可见,关于矿区及邻区的构造基本特征的认识尚未取得比较一致的意见。此外,在1990年代末,发生褶皱变形的大规模承德逆冲断层(图1)的发现^[7~9],为合理解释承德东南部一带地表地质构造的特征,提供了目前为止最为合理的构造模式。兴隆煤田区的逆冲构造,被认为是承德大型变形逆冲推覆构造的根带^[7~9],如果这种解释是合理的,那么,承德逆冲断层的位移量将超过120 km。这种位移规模逆冲构造的存在与否,涉及到对燕山板内造山带基本构造特征的认识。然而,兴隆逆冲构造是否可以作为承德逆冲构造的根带,尚无研究者对此做出证明或者解释。

本文基于近年来在兴隆煤田区及邻区的构造研究,将对

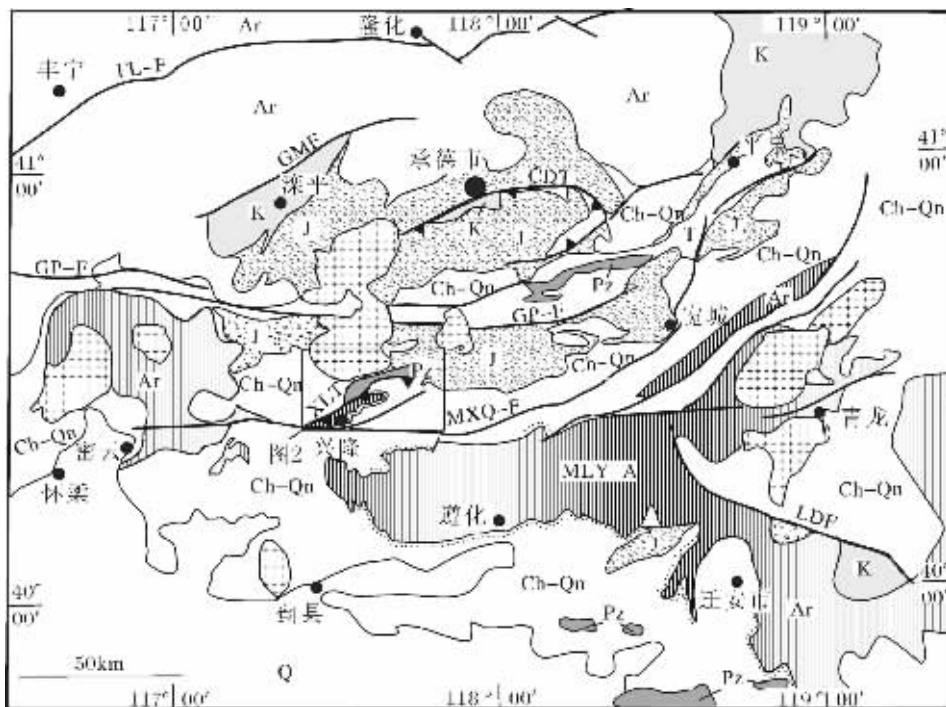


图1 兴隆逆冲构造区域地质构造背景简图

Fig.1 Tectonic settings for the Xinglong thrust tectonics

Q—第四系;K—白垩系;J—侏罗系;T—三叠系;Pz—古生界;Ch—Qn—长城系、蓟县系、青
白口系未分;Ar—太古宇;CDT—承德逆冲断层;FL—F—丰宁—隆化断裂;GMF—岗子—漫
子沟断裂;GP—F—古北口—平泉断裂;LDF—冷口—大岭寨断裂;MLY—A—马兰峪背斜;
MXQ—F—密云—喜峰口—青龙断裂;XLT—兴隆逆冲断层

矿区逆冲构造的几何学结构及其对煤田分布的影响与控制作用、逆冲构造形成时代、兴隆逆冲构造的区域构造意义等进行介绍。

1 区域地质构造背景

在区域构造位置上,兴隆煤田及邻区的逆冲构造位于燕山板内造山带近东西向的密云-喜峰口-青龙断裂以北,尚义-赤城-古北口-平泉断裂带以南;北部为中生代晚期侵入岩雾灵山岩体,东北部为大杖子-寿王坟晚侏罗世火山-沉积盆地(图1)。近年来获得的雾灵山岩体、寿王坟岩体的单颗粒锆石U-Pb年龄分别为132 Ma和130 Ma^[8,9],大杖子-寿王坟盆地底部火山岩中角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄为148 Ma^[8,9]。

研究区分布有太古宙高级深成变质岩与部分表壳岩系构成的结晶基底。盖层岩系包括中、新元古界长城系、蓟县系、青白口系,古生界寒武系、奥陶系及石炭系一二叠系,总厚度近8000 m。其中自下而上有7个相对软弱的岩性地层单位,依次为:①串岭沟组粉砂质页岩和页岩,厚228 m;②高于庄组二段中的含锰页岩,厚30 m;③杨庄组中的白云质泥岩,厚200 m;④洪水庄组薄层粉砂岩和页片状泥岩,厚157 m;⑤下马岭组泥质粉砂岩、泥岩,厚163 m;⑥寒武系馒头组、毛庄组和徐庄组钙质泥岩、粉砂岩,厚115 m;⑦石炭系煤系地层。

石炭系以下的盖层岩系总厚7577 m,其中软弱岩系939 m,占地层总厚的12.3%。

2 逆冲构造的几何学特征

兴隆煤田及邻区主逆冲构造在平面上呈现出向北西突出的弧形形态,在走向上由北东向和近东西向逆冲断层共同组成(图2)。根据逆冲断层的结构特征,大致可以分为2个不同的区段。

西南段从前苇塘经四棵松到荞麦岭一带,断层走向NE,倾向SE,倾向40~50°。上盘由太古界高级变质岩系组成,下盘包括了长城系大红峪组到古生界奥陶系的所有地层,表现为断层与下盘地层之间的截切现象(图2),因此构成了一个下盘断坡(footwall ramp)^[10,11]。在四棵松附近断层下盘的部分高于庄组和杨庄组地层因逆冲作用发生倒转。在大石洞东北到拨东一带的断层下盘当中发育着一条规模较大的次级逆冲断层,使寒武系—奥陶系地层向北西逆冲于奥陶系—石炭系地层之上。

北东段从荞麦岭向北东延伸,经申家胡同、平安堡、马圈子东北转为近东西向,一直延伸到凿子岭东南部一带。断层上盘为太古宇结晶变质岩系和盖层长城系到奥陶系的所有地层,下盘为石炭系一二叠系煤系地层。在平面上该段显示

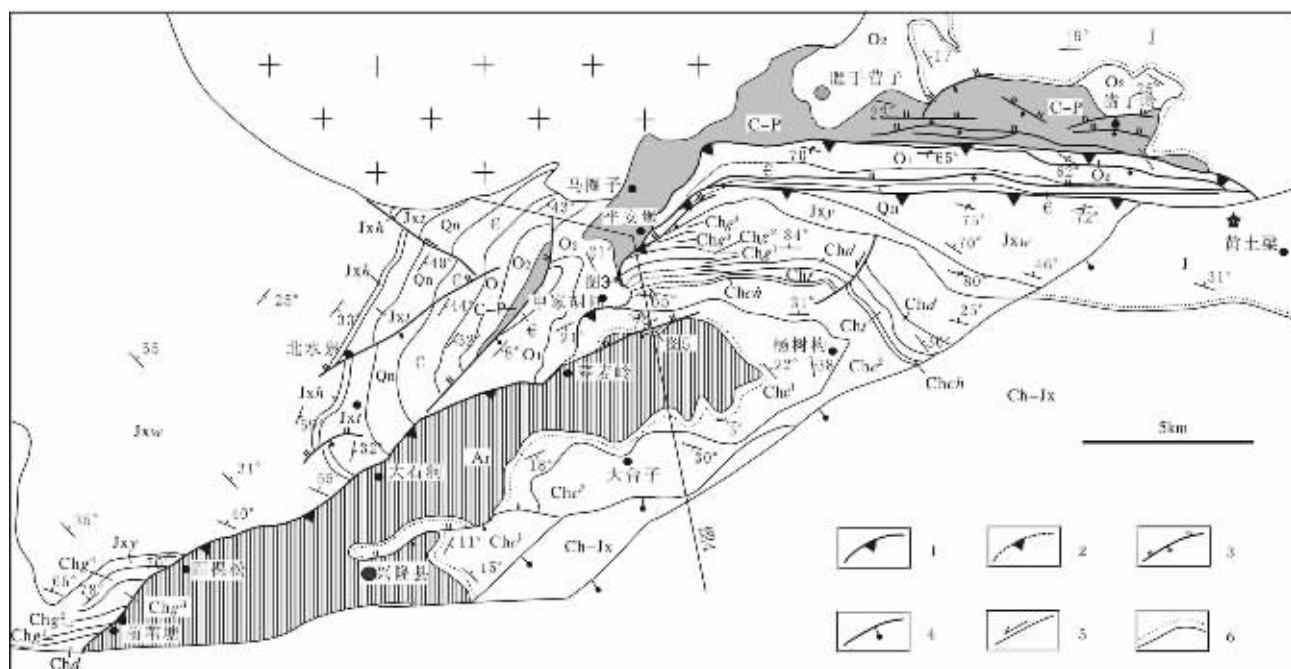


图2 兴隆-鹰手营子一带地质构造简图

Fig.2 Tectonic sketch map of the Xinglong-Yingshouyingzi area

J—侏罗系;C-P—石炭系、二叠系(未分);O₂—中奥陶统;O₁—下奥陶统;ε—寒武系;Qn—青白口系;

Jxt—铁岭组;Jxh—洪水庄组;Jxw—雾迷山组;Jxy—杨庄组;Chg—高于庄组;Chd—大红峪组;

Ch—团山子组;Chch—串岭沟组;Chc—常州组;Ch-Ix—长城系、蓟县系(未分);Ar—太古宇基底;

1—主干逆冲断层;2—主干逆冲断层(覆盖);3—逆断层;4—正断层;5—走滑断层;6—角度不整合;

图右端黄土梁西北部星号位置为原髫髻山组下部火山岩⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄^[8,9]样品采集点

出向北西突出的弧形形态。申家胡同到平安堡一带的低角度逆冲断层特征最为醒目,断层倾角仅约11°。而更为突出的特征是,在莽麦岭到申家胡同一带,断层大致沿着奥陶系与石炭系之间的平行不整合界面发育。在申家胡同村东侧,试图进行煤炭开采的努力,却沿着断层带挖掘出了位于奥陶系与石炭系之间平行不整合面上的铝土矿(图3),之上即为中元古代长城系高于庄组的白云岩系。在平安堡、马圈子到凿子岭一带主要逆冲断层以很小的切层角向上切入石炭系一二叠系地层当中。但是,在莽麦岭东北部到马圈子东部一带,构成断层面上盘的长城系、蓟县系地层发生倒转或者近直立产出,并以高角度与主要逆冲断层相交(图2)。因此,这一段构成了主要逆冲断层的上盘断坡和近似的下盘断坪(或者切层角极小的下盘断坡)^[10,11]。

需要指出的是,在北东段主要逆冲断层上盘陡立乃至倒转的地层序列当中,发育有一系列的次级逆冲断层。其中规模和位移量最大的,当属平安堡到黄土梁西北部的一条逆冲断层(图2)。在平安堡一带,该断层发育在蓟县系杨庄组和新元古代青白口系之间,并向下聚敛于北东段主干逆冲断层带上。向东延伸,断层发育在蓟县系雾迷山组白云岩和青白口软弱岩系之间,并以较大的切层角切过雾迷山组地层(图2)。所以,青白口系软弱岩系在该分支逆冲断层的形成过程当中,可能扮演了重要的控制性角色,并基本上构成了沿着该

软弱岩系发育的一个下盘断坪,沿着它的构造滑动,调节了较大的上盘地层缩短量。

北东段主逆冲断层下盘的次级断层,主要分布在鹰手营子—凿子岭南部,发育在产状正常的石炭系一二叠系地层中(图2),无论是延伸规模还是沿着断层发生的位移量都比较小。

综上所述,可以根据地表地质调查资料并结合部分钻探结果^[3,4],将研究区逆冲构造的主要几何学特征概括为图4所示的剖面图。由图可见,兴隆煤田及邻区的逆冲构造具有比较完整的断坡—断坪几何学结构。长城系—奥陶系的盖层岩系均被主逆冲断层切割,构成了一个典型的下盘断坡;石炭系一二叠系地层以较小的切层角被主逆冲断层所切,大致构成了主逆冲断层的下盘断坪或者切层角很小的下盘断坡。而且,无论是从平面上还是剖面上都可以发现,该区逆冲构造虽然是基底变质岩系卷入的逆冲构造,但是在研究区内已经表现出基底与盖层岩系共同褶皱(图5),并发生逆冲变形的完整图像。主要断层上、下盘岩石和地层序列基本保持连续而且可一一对比,并不是上盘仅有基底变质岩系的大型逆冲推覆构造根带的特征。

分布在兴隆县南部、东部到大水泉一带规模较大的兴隆—大水泉正断层(XDF)系逆冲断层作用之后形成的,并切割了早期形成的主要逆冲断层(图2、图4)。主要逆冲断层附

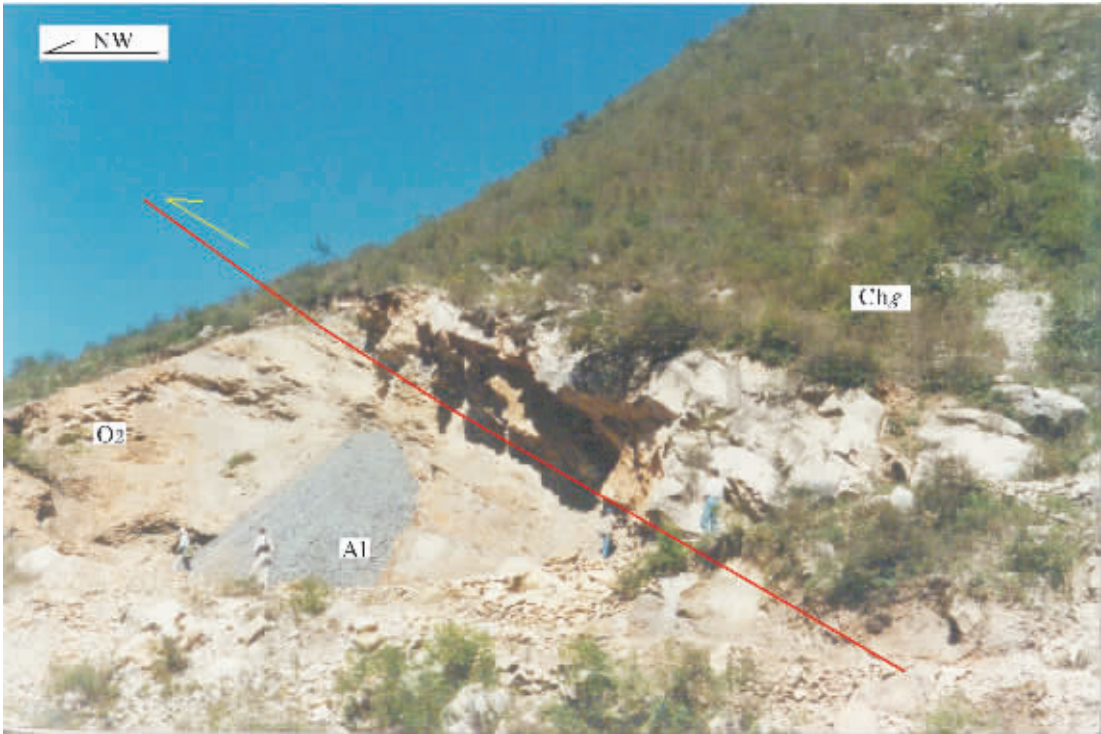


图3 兴隆逆冲断层在申家胡同一带的产出状况及沿断层带开挖出的铝土矿(位置见图2)

Fig.3 Outcrops of the Xinglong thrust fault near Shenjiahutong Village and bauxite excavated along the thrust fault
O₂—中奥陶统灰岩;Chg—中元古界高于庄组白云岩;A1—铝土矿

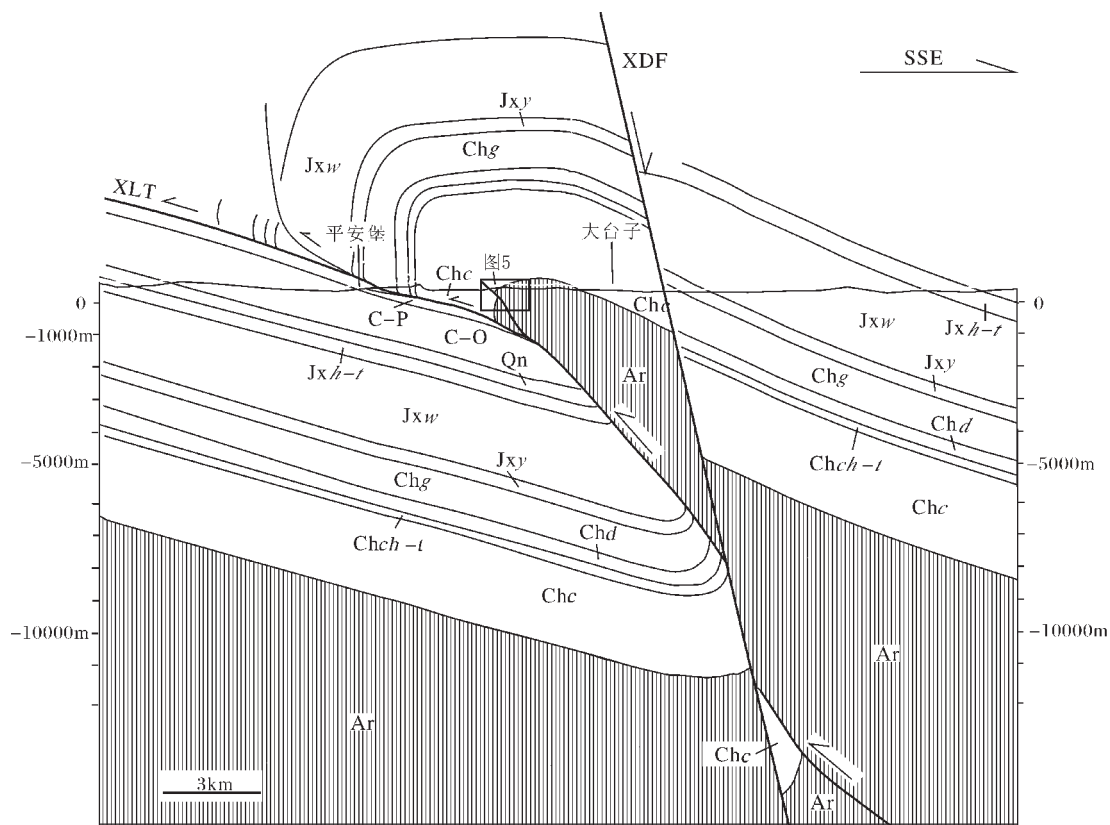


图4 兴隆煤田及邻区逆冲构造综合剖面

Fig.4 Integrated cross-section of the Xinglong thrust tectonics in the Xinglong coalfield and its adjacent areas

C-P—石炭系、二叠系(未分); ε-O—寒武系、奥陶系未分; Qn—青白口系; Jxw—Jxt—洪庄组、铁岭组未分; Jxw—雾迷山组; Jxy—杨庄组; Chg—高于庄组; Chd—大红峪组; Chch—Cht—串岭沟组、团山子组未分; Chc—常州沟组; Ar—太古宇基底; XLT—兴隆逆冲断层; XDF—兴隆—大水泉断层

近上、下盘盖层岩系地层产状都很陡乃至倒转的事实,无法用断弯褶皱定量几何学模型^[12]所预计的断层倾角变化引起的地层产状改变做出合理解释。这可能表明,在基底中的逆冲断层向盖层岩系扩展之前,基底和盖层岩系曾经发生过褶皱作用,其形成机制与三角形剪切断展褶皱作用机制(trishear fault-propagation folding)^[13]类似。

3 逆冲构造的运动学特征与形成时代

3.1 逆冲推覆方向

前人曾经对兴隆煤田及邻近区域逆冲构造的运动学特征展开过研究^[1-9],本次研究收集到的主要逆冲断层上盘中发育的不对称褶皱构造数据和断层面上的擦痕线理、张裂脉等发育、分布特征,进一步证实了逆冲构造的运动方向。例如,对平安堡南部一带冲断推覆体前缘露头尺度伴生褶皱构造的观测与产状统计(图6)表明,褶皱轴面向南东倾斜,枢纽统计倾向向N80°E,倾向角约15°,指示了本区主要冲断推覆方向是自SSE向NNW的。主逆冲断层上盘主体褶皱构造两翼的

产状、褶皱枢纽统计方位(93°±5°)(图7)也给出了同样的运动学结论。这种运动学分析结果还得到了次级断裂及其断裂面上的擦痕、张裂口等运动学标志(图8)的支持。

3.2 逆冲断层位移量与局部地壳表层水平缩短率估算

根据基于地表地质构造观测、实测地层剖面工作成果及部分钻井资料^[3-9]所编制的综合地质构造剖面(图4),以盖层与基底之间不整合界面为标志层,可以测得沿着主要逆冲断层发生的倾向位移量约为13.1 km。

将图4所示的综合地质构造剖面复原,可以获得图9所示的复原剖面图。其中考虑了与逆冲作用伴生的主要褶皱作用所造成的地层水平缩短量,而未将上、下盘次级逆冲断层造成的地壳缩短计算在内,因此,所计算得出的结果仅可以作为缩短率的下限。比较变形剖面和复原剖面,可得本区逆冲作用和伴生褶皱变形所导致的水平缩短率约为32.3%。

3.3 形成时代

兴隆煤田逆冲构造之主逆冲断层,在骊子岭以东及东南部被前人所称的中侏罗统九龙山组所覆盖。观测发现,原所

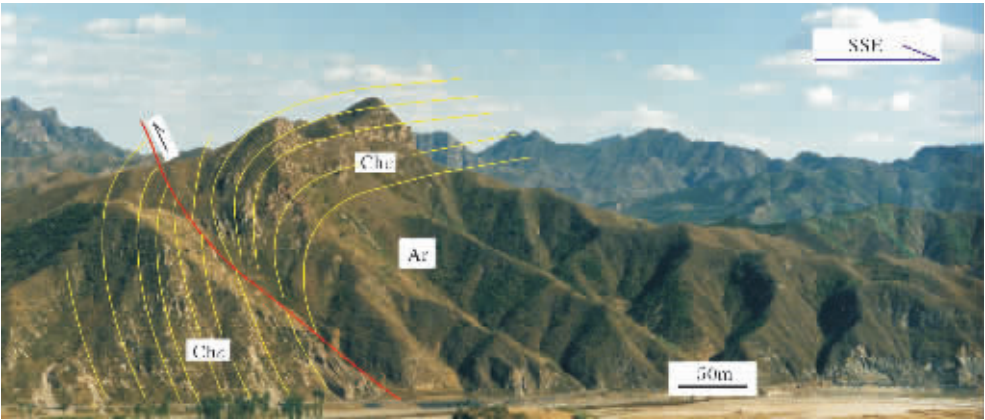


图5 荞麦岭东北兴隆逆冲断层上盘基底与盖层共同褶皱及次级逆冲断层(位置见图4)
Fig.5 Basement-cored fold and subsidiary reverse fault of the upper plate
of the Xinglong thrust, northeast of Qiaomailing Village
Chc—常州沟组;Ar—太古宇

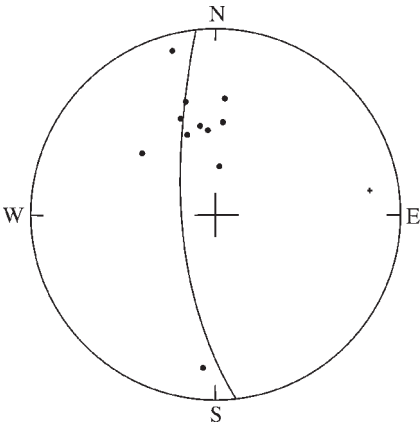


图6 平安堡南部逆冲断层上盘褶皱地层产状极点
等值线图及褶皱枢纽统计产状(下半球投影)
Fig.6 Stereoprojection of the poles to limbs of the
outcrop-scale folds in the upper plate of the Xinglong
thrust south of Ping'anbu (lower hemisphere)

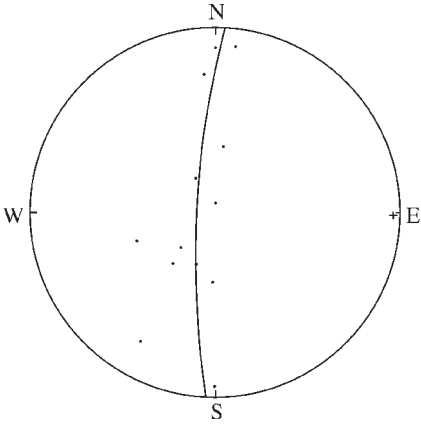


图7 平安堡-荞麦岭以东主干逆冲断层上盘区域褶皱地
层产状极点等值线图及褶皱枢纽统计产状(下半球投影)
Fig.7 Stereoprojection of the poles to limbs of the
regional-scale folds in the upper plate of the Xinglong
thrust east of Ping'anbu-Qiaomailing (lower hemisphere)

谓的九龙山组出露相对较少而且很不稳定,岩性为一套主要来自于古生代不同岩性地层单位的砾石组成的巨砾岩。砾石绝大多数为寒武系和奥陶系的灰岩、白云岩、竹叶状灰岩砾石,另有石炭系和二叠系的石英长石砂岩及闪长岩质砾石。砾石的磨圆和分选极差,反映了较大的地形落差、近距离快速搬运和堆积的特点,具有同构造沉积特征。这种岩性特征与更大区域范围内以红色砂岩、砂页岩为主的典型的九龙山组地层存在显著差别。因此,它是否属于真正意义上的九龙山组值得进一步研究。

在这套具有快速堆积特征的所谓的“九龙山组”之上,是大杖子-寿王坟盆地南部大面积分布的前人所称的髻髻山组

火山岩。Davis等^[8,9]在黄土梁西北部该套火山岩底部采集的角闪安山岩样品,用⁴⁰Ar/³⁹Ar法对样品中的角闪石进行测年,获得148 Ma的同位素年龄值。因此,上述野外地质接触关系和同位素测年结果只能表明,兴隆逆冲构造的形成时代为晚侏罗世之前。鉴于最新建立起来的燕山地区构造-年代学格架^[9]所显示的燕山地区构造变动过程的复杂性,没有确切证据表明兴隆逆冲构造是中生代早期印支运动的产物。

4 逆冲构造与隐伏煤田的关系

刘天林等^[9]根据对兴隆煤矿区及外围逆冲构造的研究提出了矿区外围隐伏煤田预测方案,李涛^[9]也进行了逆冲构造

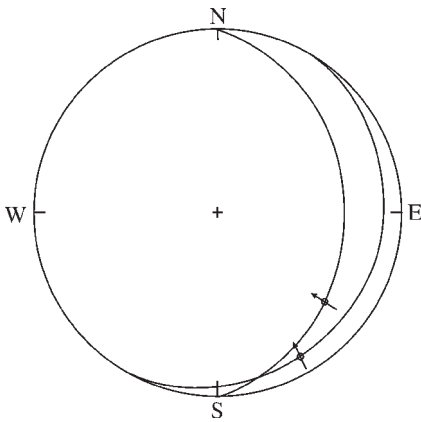


图8 申家胡同东北部断层、擦痕线理产状及伴生构造反映的断层运动方向赤平投影图(下半球投影)
Fig.8 Stereoprojection of displacement directions of the fault reflected by fault planes and slickenside lineations and their associated structures northeast of Shenjiahutong (lower hemisphere)

所导致的隐伏煤田区的预测。仔细对比二者的预测方案,可以发现存在着比较大的差异。刘天林等认为在申家胡同、荞麦岭一带存在着隐伏煤田的可能性,而李涛未对该区隐伏煤田的可能性予以评价。

根据本研究揭示的区内逆冲构造的几何学特征,它具有比较典型的断坪-断坡式结构,并遵循向前、向上切层的逆冲断层发育准则^[4]。比较典型的下盘断坡分布在荞麦岭到申家胡同南部一带,从申家胡同更往北、北东区域,逆冲断层从石炭系一二叠系地层中以较小的切层角穿过,因此,严格来讲也属于一个下盘断坡。正是在这个构造位置,保存了一定数量的隐伏煤层。此外,在申家胡同附近断层已经沿着奥陶系与石炭系不整合界面发育,并且发掘出石炭系底部的铝土矿层,因此,从申家胡同向南到荞麦岭一带,也就是向着逆冲断层更后侧的部位,不再有因逆冲断层作用而导致的隐伏煤田

存在的可能性。相应地,兴隆煤田区以南的可能隐伏煤田区,也应限于申家胡同到黄土梁一线以北的区域,而不可能延伸到更往南的逆冲构造下盘区域中。

5 兴隆逆冲构造与承德逆冲构造的关系

基于地表地质研究厘定的承德逆冲断层^[7-9],对于合理解释承德市南部、东南部到下板城(承德县)北部区域的地质图图面结构和正确认识该区域的构造演化,无疑是近年来燕山中部构造研究的重要成果之一。承德逆冲构造被解释为一个大型的变形逆冲构造^[7-9]。位于承德市南部和东南部的北部前缘区域,断层上盘为长城系大红峪组和部分高于庄组地层,而位于下板城北部、因后期构造变形暴露于地表的逆冲岩席的上盘,由部分长城系常州沟组地层和申岭沟组、团山子组地层组成。将目前呈向斜形状的变形逆冲岩席展平,则可以获得逆冲位移至少有35~40 km^[7],而且可以看出,该逆冲断层具有以较小的切层角向北、向上逐渐切层的特征。

既然承德逆冲断层因后期变形改造,南部的逆冲岩席底部已暴露于地表^[7,8],那么,其根带位置的确定就成为证实和认识该逆冲构造规模和意义的关键所在。Davis等^[7-9]认为承德逆冲构造根带的最可能位置,就是本文所讨论的兴隆逆冲构造。如果这种推测得到证实,那么,承德逆冲构造的水平位移量将超过120 km(图1)。然而,从前面对兴隆逆冲构造几何学结构的分析可知,该逆冲构造主干断层上、下盘的地层序列分别是连续的,且基本上可以一一对比(图2、图4)。此外,现有地表地质调查表明,没有证据显示沿着申岭沟组相对非能干层发育有大规模的断坪^[9]。因此,将兴隆逆冲构造作为承德逆冲构造的根带,未能得到该区实际地质构造特征的支持。

6 结论与讨论

兴隆煤田及邻区的逆冲构造系基底卷入变形的厚皮逆冲构造,并具有典型的断坪-断坡式几何学结构。断层上盘逆冲方向指向NNW。沿着逆冲断层发生的倾向位移量约为13.1 km,逆冲断层及相关褶皱作用所造成的局部表层地壳缩短率约为32.3%。

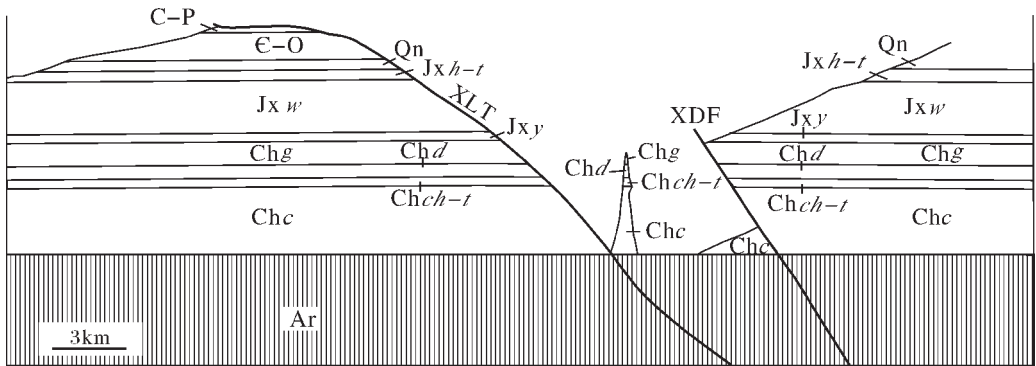


图9 兴隆逆冲构造剖面(图4)复原图(图例同图4)

Fig.9 Palinspastic section of the integrated section of the Xinglong thrust tectonics shown in Fig. 4

主要逆冲断层附近上、下盘地层大面积陡立乃至倒转的产状特征,难以用断弯褶皱定量模型做出合理解释,而更容易用断展褶皱,尤其是三角形剪切断展褶皱模型^[13]做出合理解释。这种特征显示了逆冲作用始于基底内部,逐渐向浅部和盖层中扩展,在形成盖层逆冲构造之前,已经发生了较强烈的褶皱变形。主逆冲断层后侧发育的较大规模的正断层,在形成时间上晚于主要逆冲构造变形,而且逆冲断层向后侧延入基底当中。因此,兴隆逆冲构造具有典型的逆冲构造属性,而不属于滑覆构造^[9]。断坪-断坡式几何学结构的揭示及不同部位断层上、下盘地层的特征表明,在申家胡同到黄土梁近东西向一线以南的区域,寻找到逆冲断层作用导致的隐伏煤田的可能性是极小的。

兴隆逆冲构造主要逆冲断层的上、下盘盖层地层序列完整,而且可以一一对应,盖层岩系底部地层不整合于基底结晶变质岩系之上,不存在沿着相对软弱岩性地层单位发育的大规模逆冲断层之断坪,因此,将该逆冲构造作为区域上承德逆冲构造的根带^[7-9]是不合适的。

致谢:本文部分野外工作是与北京大学地球与空间学院郑亚东教授、张进江博士和美国南加州大学G. A. Davis教授共同进行的,野外工作中还曾得到中国地质大学(北京)白志达副教授等的帮助,在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1]孙殿卿,崔鸣铎.河北兴隆煤田地区构造体系的划分及其复合现象[J].地质力学论丛,1965,(2):1-30.
- [2]周济元.河北兴隆煤田区域构造体系的进一步探讨[J].成都地质学院学报,1980,7(1):45-61.
- [3]李涛.兴隆煤田滑覆体研究及隐伏煤田预测[A].见:煤炭科学研究总院西安分院文集第5集[C].西安:陕西科技出版社,1991.1-7.
- [4]刘天林,李涛.兴隆矿区外围推覆构造及煤田预测[J].煤田地质与勘探,1992,20(6):1-8.
- [5]张长厚,陈爱根,白志达.河北省兴隆煤田及邻区厚皮式逆冲推覆构造与隐伏煤田问题[J].现代地质,1997,11(3):305-312.
- [6]姜波,王桂梁,刘洪章,等.河北兴隆复式叠瓦扇构造[J].地质科学,1997,32(2):165-172.
- [7]Davis G A, Wang Cong, Zheng Yadong, et al. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: New views on its intraplate contraction styles[J]. Geology, 1998, 26(1): 43-46.
- [8]Davis G A, Zheng Yadong, Wang Cong, et al. Geometry and geochronology of Yanshan belt tectonics[A].见:北京大学地质系编.北京大学国际地质科学学术研讨会论文集[C].北京:地震出版社,1998.275-292.
- [9]Davis G A, Zheng Y, Wang C, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan segment of the Yinshan fold-and thrust belt, northern China[A]. In: Hedrix M S, Davis G A, eds. Paleozoic and Mesozoic tectonic evolution of central Asia: From continental assembly to intracontinental deformation[C]. Boulder, Colorado, Geological Society of America Memoir 194, 2001. 171-197.
- [10]Boyer S E, Elliott D. Thrust systems[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1982, 66: 1196-1230.
- [11]Butler R H W. The terminology of structures in thrust belts[J]. Journal of Structural Geology, 1982, 4: 239-246.
- [12]Suppe J. Geometry and kinematics of fault-bend folding[J]. American Journal of Science, 1983, 283: 684-721.
- [13]Erslev E A. Trishear fault-propagation folding[J]. Geology, 1991,19: 617-620.
- [14]Dahlstrom C D A. Structural Geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1970,18(3): 332-406.