

Geometric Characteristics and Kinematic Analysis of the Donggutuo Fault Assemblage in Yangyuan, Hebei

Shuyin Niu, Chao Chen, Fuxiang Zhang, Baojun Ma, Aiqun Sun, Jianzhen Zhang, Qiqing Pang

Hebei GEO University, Shijiazhuang Hebei
Email: niu_shuyin@aliyun.com

Received: Aug. 30th, 2018; accepted: Sep. 19th, 2018; published: Sep. 26th, 2018

Abstract

Two million years ago, the Nihewan area in Yangyuan was a warm, humid and water rich lake environment. It is suitable for the habitat of organisms, including ancient humans. During the period, it also experienced a short time of cold and warm alternation, but eventually became the Plateau hilly area on the dam: the water source decreased, the environment deteriorated, the plant degraded, and the ecological deteriorated. The early cause of the evolution is the rapid uplift of the Zhangjiakou-Xuanhua mantle branch structure, forming a regional basin ridge structure. Since Cenozoic, the Fen-Wei rift system has been formed on the basis of the original basin and ridge structure. The uplift and depression of the crust is aggravated, and some structural units of concave and convex phases have been formed, the ecological environment is further deteriorated, and the Nihewan basin gradually dried up. The basement uplift of the stratigraphic structural section in the Donggutuo area and the consequent concave convex structure are typical examples of the tectonic movement in the Nihewan area. This paper focuses on the characteristics of fault activity in the area and the geometric characteristics and kinematic analysis of the synsedimentary fault.

Keywords

Ecological Environment, Fault Structure, Structural Analysis, Environmental Change, Mantle Branch Structure, Nihewan Basin

河北阳原东谷坨断层组合的几何特征与运动学分析

牛树银, 陈超, 张福祥, 马宝军, 孙爱群, 张建珍, 庞其清

河北地质大学, 河北 石家庄

文章引用: 牛树银, 陈超, 张福祥, 马宝军, 孙爱群, 张建珍, 庞其清. 河北阳原东谷坨断层组合的几何特征与运动学分析[J]. 地球科学前沿, 2018, 8(5): 947-955. DOI: 10.12677/ag.2018.85104

摘要

阳原泥河湾地区在两百万年前属于温暖潮湿、水沛草丰的湖泊环境,是适宜包括古人类在内的生物繁衍栖息地。期间,也经历过较短时间的冷暖交替,但最终演变而成为坝上高原丘陵地带,水源减少,环境恶化,植物退化,生态变差。演变的早期肇因是张家口-宣化幔枝构造的快速隆升作用,构成了区域性盆岭构造。进入新生代以来,在原盆岭构造的基础上,形成了汾渭裂谷系,地壳的隆-拗作用加剧,形成了若干凹凸相间的构造单元,生态环境进一步恶化,泥河湾盆地逐渐干涸。东谷坨地区地层-构造剖面所呈现的基底抬升,和随之而形成的凹凸构造就是泥河湾地区构造运动的典型实例。本文重点解析泥河湾地区的断层活动特征,以及同沉积断层的几何学特征和运动学分析。

关键词

生态环境, 断层构造, 构造分析, 环境变化, 幔枝构造, 泥河湾盆地

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

泥河湾盆地位于冀西北阳原-大同裂陷槽的东段,属于新生代较为广阔的陆相盆地,其温暖潮湿的气候条件为生物生存和繁衍提供了优越的生活环境,亦包括早期人类在内的动物大量繁衍栖息,直至新生代晚期,由于汾渭裂谷系的强烈活动,使泥河湾地区较快地转变成为干旱缺水的丘陵荒漠,并最终导致该区生物大量灭绝。泥河湾盆地成为古人类探源研究的热点地区[1]-[7]。

在阳原泥河湾保护区东南缘东谷坨地区,由于强烈的风化剥蚀,加之研究区修路期间边坡的挖掘与整饰,使新生界剖面中各种构造现象裸露,特别是断层和节理构造展露清晰,沿走向、倾向具有一定的规模,而且空间组合上也呈现出一定规模的凹陷-凸起构造,特别在华北断陷区,一级地堑-地垒构造、二级隆起-拗陷、三级凸起-凹陷排列有序[8][9],展现出不同规模的变形特征,甚至控制着不同级别的隆拗构造的形成和展布,是新构造研究的重要任务。

其上部还明显表现出生长断层(同沉积)之组合,与基岩区的典型构造既有相似之处,又有不同点,是新构造与区域构造研究的重点内容。构造地质学研究的难度除了三维概念要清楚,还要分析构造变形的先后期次,用于分析其变形特征和先后期次,因此,地质构造研究有较大的难度,以往较少有人研究该区小型构造,特别是新构造。本文选择典型剖面加以分析、研究,对探讨泥河湾盆地的形成与演化具有重要的理论和实践研究意义[10][11][12][13]。

2. 区域地质特征

泥河湾盆地北依高耸挺拔的熊耳山脉,南临东西连续延展的六棱山区,往东延至穿山而过的石匣区基底变质岩系隆起区,西则与大同盆地相连。而群山环抱的阳原盆地则一马平川,宏观视野上呈现为

盆 - 山耦合, 错落有致, 一览无余。在地质特征上, 熊耳山和六棱山均具有明显的南侧隆升弱、北侧隆升强的掀斜式隆起构造特点; 阳原盆地同样也具有北缘断距小、南缘断距大的掀斜式特征, 显示了泥河湾 - 阳原地区新生代以来强烈而复杂的盆 - 岭式区域构造演化[12] [14] (图 1)。

近一个多世纪以来, 由于国内、外专家在泥河湾及其附近地区持续不断的野外考察、发掘, 以及深入的科学研究, 在盆地的形成与演化特征、地层古生物研究以及古人类活动遗迹, 甚至区域地质构造演化等领域, 均取得了一系列举世瞩目的研究成果[15] [16]。尤其是发现了大量早期古人类活动遗址群以来, 这里已经成为研究古地质条件变化、古生态环境改变以及古人类起源与演化的重要基地[6] [8]-[15], 受到很多有关专家的重视, 吸引很多相关专家立题开展研究。

泥河湾盆地展布有广阔的沉积台地, 台地的物质组成较为复杂, 主要的有两种基本类型: 一种类型是下部为基岩基座, 上部是湖相堆积, 顶部为黄土覆盖; 另一种类型是下部后缘是岩石基座, 上部是湖相层, 顶部覆盖有黄土。总体来说, 台地面海拔高度为上游较高、下游较低, 如山阴 - 应县一带高层多在 1050~1100 m, 化稍营 - 石匣地区多在 950~1000 m。而台地面的相对高度则有下游高、上游低的特点,

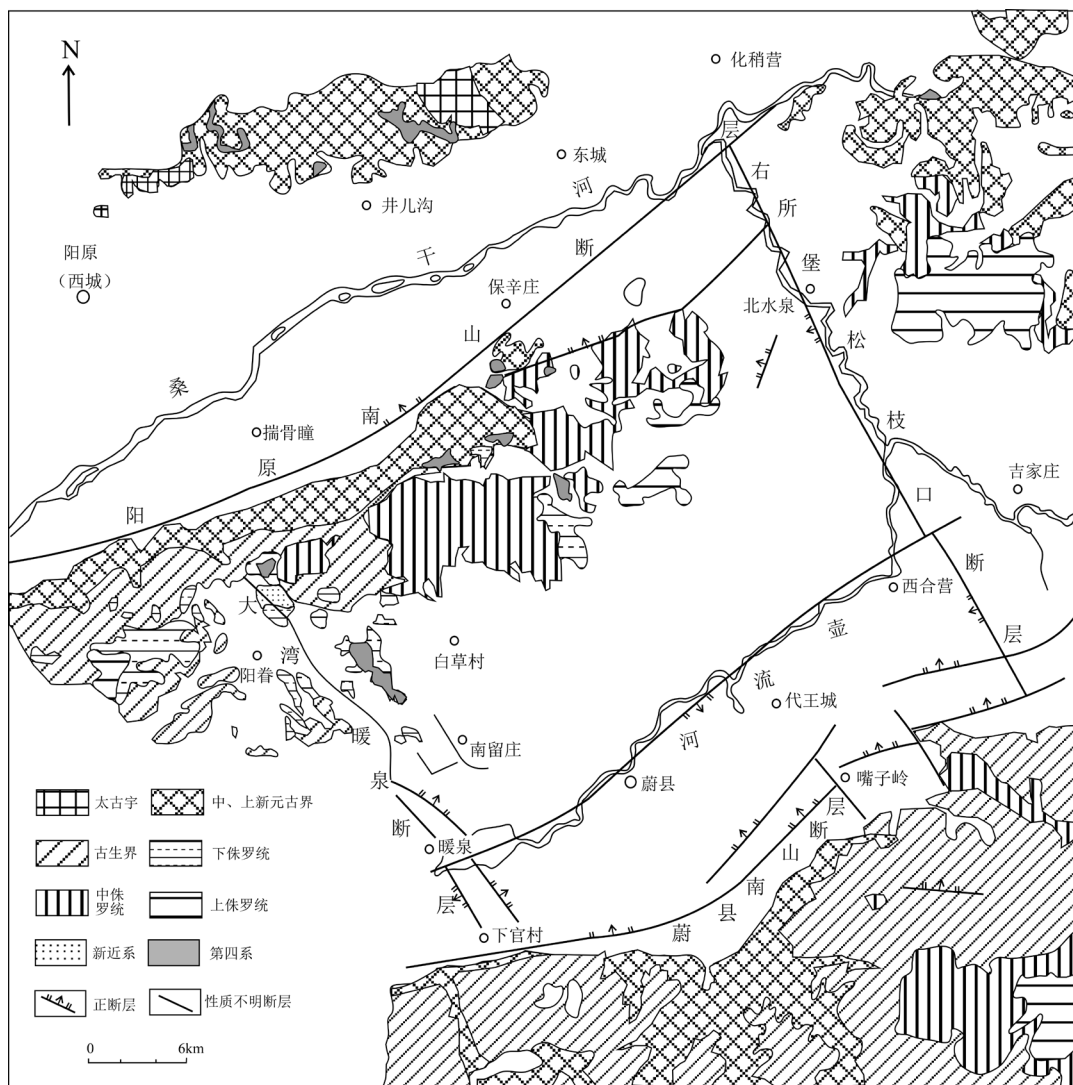


Figure 1. Regional geological structure sketch map of Yangyuan-Yuxian County area
图 1. 阳原 - 蔚县地区区域地质构造略图

化稍营 - 石匣地区一般 150~200 m, 阳原一带则多为 70~100 m, 而大同一带降为 40~70 m, 山阴 - 应县一带则小于 10~30 m。这充分表明了盆地演化的不均匀性[6] [17] [18] [19] [20]。

盆地内的火成岩主要形成在中生代中 - 晚期, 为一套复杂的陆相火山 - 沉积岩系, 新生代则以玄武岩喷溢为主。阳原县位于大同火山群的东缘, 不仅发育溢流玄武岩, 而且形成了大面积的火山 - 沉积碎屑岩系, 包括各类玄武岩、安山岩、集块岩、角砾岩、凝灰岩和沉积砾岩、砂岩、泥灰岩、页岩等。主要沿东西向尚义 - 赤城深断层展布, 构成了一系列浑圆状丘陵。除了阳原、蔚县之外, 在西部下花园、宣化、张家口等地也均有分布[21]-[26]。

第四纪松散堆积物则主要分布在榆次 - 长治、忻州 - 原平、大同 - 阳原等断陷盆地和现代河流谷地中, 主要为砾石层、砂质层、亚砂土和黄土等分布[27]-[34]。

从测年资料来看, 以第三级湖积台地为代表的大同 - 阳原古湖, 无论是东部、中部, 还是西部, 主要从新近纪开始形成并接受沉积, 经早、中更新世延续到了晚更新世中期, 湖泊才逐渐干涸消失。这也说明阳原盆地第三级湖积台地主要形成于早更新世至晚更新世中期[35] [36] [37] [38] [39]。

在构造地质演化方面, 特别是区域构造的变形与演化对盆地的形成与发展起着举足轻重的控制作用[16] [22], 本文在具体分析泥河湾地区地质构造特征的基础上, 总结归纳该区隆 - 拗构造特征, 探讨该区的地质发展与演化史。

3. 隆起与拗陷构造的地质特征

大陆动力学的一个重要研究内容是盆 - 山耦合。盆 - 山耦合现象的研究最早出现在强烈挤压变形区的造山带与前陆盆地中, 侧重研究前陆盆地与造山带之间的构造、沉积、深部机制以及时空耦合关系[34] [35] [36], 对伸展盆地与造山带之间耦合关系的研究相对较少。随着伸展构造区盆 - 山耦合研究的深入, 人们日益认识到了伸展山岭和伸展盆地之间也存在着密不可分的耦合关系[37] [38] [39] [40], 但更多的是单纯从盆地充填推论山系抬升, 或从山系的抬升反推盆地充填。有人结合物源分析、深部机制等方面定性研究盆山关系, 具体运用时间作为约束进行山 - 盆之间耦合关系研究[21] [41]。

区域规模的伸展构造以及深部过程往往控制着不同规模的正 - 负向构造变形及耦合, 一般按规模从大到小划分为几种级别: 区域规模的一级隆拗构造称作地垒 - 地堑构造; 二级规模的隆拗称作隆起 - 拗陷; 三级规模的隆拗称作凸起 - 凹陷构造等。

地垒 - 地堑构造一般规模较大, 多属于区域构造规模, 其形成与形变多受深部构造过程的控制和影响。例如在阳原 - 蔚县地区, 从北向南依次形成了熊耳山地垒、阳原地堑、六棱山地垒、蔚县地堑、大南山地垒等, 它们相间展布规律排列, 总体构成区域性盆 - 山耦合关系。只是从变形特征来看, 上述地垒 - 地堑构造具有明显的掀斜构造特征, 地堑 - 地垒均具有北侧断距小隆起高, 而南侧断距大拗陷幅度较深, 具有明显的箕状掀斜特征[42] [43]。阳原 - 蔚县地区的地堑 - 地垒构造又是大同盆 - 山构造的东延部分, 从区域地质视觉来看, 统称大同盆地, 并作为整体参与区域地质演化, 不同时代的构造变形表现出不同的构造形态[44]。从大地构造视角分析, 大同盆 - 山构造又总体受着汾渭裂陷的控制和影响。

本文在简要分析区域构造的基础上, 侧重讨论东谷坨北三级凹 - 凸构造(图 2)。该构造组合位于泥河湾地区的东南部, 六棱山隆起的东缘, 剖面为路边人工修路过程中开挖的岩性露头, 剖面方向 NE50° (平行走向), 长约 110 m, 高为 11~12 m, 由于修路工程正好从剖面区通过, 修路勾机进行的开挖和修整, 剖面平整, 露头地层(岩石、沉积物)层理清晰, 便于地质观测并分层研究。

东谷坨剖面自上而下为:

第四系全新统(Qh)

(10) 粘土、砂砾堆积

第四系下更新统泥河湾组(Qp_{1n})

- (9) 土黄色粘土层
- (8) 绿色泥质黄土层
- (7) 粉砂层
- (6) 灰绿色粘土层
- (5) 黄色粉砂层
- (4) 灰褐色粉砂质泥层
- (3) 土黄色粉砂层

——角度不整合

侏罗系中统髫髻山组(J_{2t})

- (2) 火山角砾层
- (1) 灰白色火山凝灰层

从剖面上断层组合特征分析, 断层构造组成了两个凹陷夹有一个凸起。

3.1. 剖面左侧凹陷特征

左侧的凹陷由断层 F₁ 与 f₁、f₂ 组成, F₁ 为剖面左边缘断层, 断层从上到下, 切穿了第四系下更新统泥河湾组和侏罗系中统髫髻山组。断层总体产状为 59°∠62°, 上部偏陡, 接近直立, 往下逐渐变为 60°左右。断层宽 1~5 cm。由于切过了不同的地层(沉积物), 其中有不同成分的断层角砾岩。角砾成分多为断层两侧的沉积物, 大小多在 1~3 cm 之间。由于沉积物尚没有固结而显得软弱, 棱角多不明显。但是接近下伏侏罗系时, 断层中角砾增多, 多为次棱角状, 并混有一些断层两侧落入的沉积物。分析以张扭性正断作用明显。

断层明显地切过上述二套地层(沉积物), 特别是断层的下部, 由于泥河湾组沉积层以角度不整合覆盖在侏罗系之上, 且两者的颜色、层理、成分、硬度等均有明显的区别。所以, 断层错动特征相当明显。以侏罗系髫髻山组为例, 主要可划分为上下两层, 上部为灰白色中-细砂岩为主, 层厚 35~50 cm, 风化面为灰白色; 下层为灰白色火山凝灰层, 地层厚度较大, 可见厚度多在 50~100 cm。在剖面的东部火山凝灰层的出露厚度大于 4 m。质地较为松软, 可见一些 2~5 cm 的火山角砾或火山砾石。

左侧边缘断层 F₁ 从下至上的断距也有所不同, 在断层的下部明显切过侏罗系下部的灰白色凝灰岩和上部中-细砂岩层, 断距可达 50~70 cm, 断面明显, 断距清晰, 它使上盘泥河湾组的土黄色粉砂层、沙土堆积层与下盘的侏罗系灰白色凝灰岩和火山角砾岩以断层相接触。往上断距逐渐变小, 中间段断距约 40~30 cm, 土黄色粉砂质沉积层与灰白色细沙质沉积层相接触; 上至顶部全新统沉积物稍有错断, 断距在 1~2 cm, 表明凹陷边界断层 F₁ 属于明显的同沉积断层, 以至于边界断层从下往上断距逐渐变小。

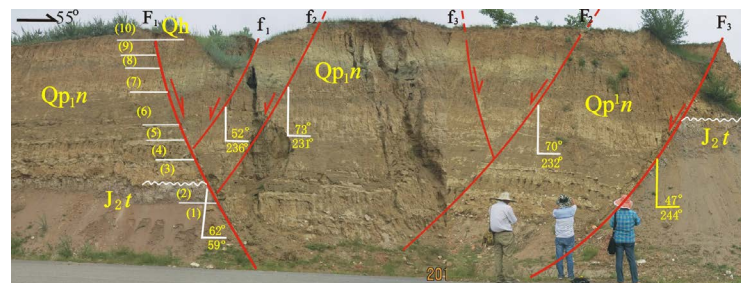


Figure 2. Fault composite section of Donggutuo in Nihewan area
图 2. 泥河湾地区东谷坨断层组合剖面

3.2. 凹陷构造的地质特征

凹陷中右侧边界 F_2 断层是剖面北东部的主干断层，断层从上至下断到左边界断层处， F_2 断层则明显的显示出下部断距较小；再往北东方向为 F_3 断层，也是剖面北东侧的边界断层，上部错断灰白色沉积层达 32 cm，表明左右边界断层是凹陷的主要控制性断层，且一边沉降一边断层错动，断距从下往上逐渐变小；而右边界断层则从下往上，断距逐渐加大，并构成剖面凹陷的南西边界断层。

3.3. 凹陷构造的组合特征

在凹陷两边界断层 F_1 和 F_2 断层之间，还发育有近乎等间距的三条断层，分别标注 f_1 、 f_2 、 f_3 ，断层产状陡倾，断距相对较小，应该属于反铲状断层。至于断层的多少则与凹陷的大小以及区域应力状态密切相关。

3.4. 剖面右侧凹陷构造

在东谷坨地质剖面的右侧，还分布着另一个凹陷构造，应与上述凹陷是同期、同变形的系列凹陷组合，由 F_2 、 F_3 和 f_3 等三条断层组合而成(图 2)， F_3 断层为凹陷东侧边界断层，断距较大，达 580 cm。断层总体产状为 $244^\circ \angle 47^\circ$ ，上部偏陡，倾角 $60^\circ \sim 70^\circ$ ，往下逐渐变为 $45^\circ \sim 40^\circ$ 左右。断层宽 3~10 cm，其中分布有沿断层展布的张扭性角砾岩，角砾大小不等，棱角明显，成分多为侏罗系岩石，表明曾有较强的构造运动。

4. 生长断层的运动学标志

生长断层是指在某沉积环境中，位于某活动断层上盘，断层边错断活动，沉积物边沉积，使沿断层错断的地层断距下部较大，而往上部断距越来越小，甚至为零(即断层停止活动)，东谷坨地层剖面中部就发育一条良好的生长断层 F_4 (图 3)。

从图 3 可见，该断层切过了整个地层剖面，且上部和下部断层较陡，一般在 $75^\circ \sim 85^\circ$ 之间，中间段断层变缓处为 75° ，整个断层呈现缓“S”特征。

从断层切割地层来看，它属于很典型的生长断层。断层的上下盘地层具有很好的对应层序。

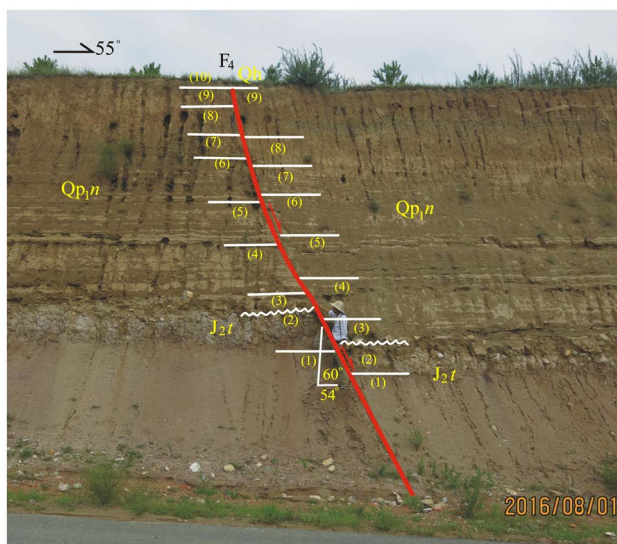


Figure 3. Growth fault structures in the Donggutuo section
图 3. 东古坨剖面中的生长断层构造

4.1. 地层不整合面的错断

剖面展布范围较广,层位稳定,层序清楚,岩性变化有序。下部主要为侏罗系上部灰白色火山凝灰岩,顶部展布有 30 cm 灰白色砾石层。其上部为泥河湾层碎屑沉积物,是侏罗纪顶部沉积物与上部泥河湾组之间的不整合面。界面上下岩性及结构构造差别较大,被断层整齐切割,标志清楚,断距明显,地层断距约 50 cm。缺失侏罗系上统、白垩系、古近系、新近系等地层。风化剥蚀时间较长,直至第四系下更新统泥河湾组沉积才覆盖其上。表明这个不整合面构造强度大,延续时间长,断面构造复杂。不整合面下部为侏罗系顶部砾石层,砾石多为浑圆形,砾石成分较为复杂,多为花岗质、泥质、粉砂质,少量灰质、白云质砾石,参杂有下部变质岩系砾石。砾径多在 10~20 cm,其中多为 5~15 cm,砾石约占沉积物的 40%~60%,以中-细粒砂为主,磨圆度较好,分选一般,表明曾存在长时间的风化剥蚀。

4.2. 中部地层的错断特征

以第(5)地层错断为标注特征,就总体来看,它处于地层剖面的中部,以(4)-(5)-(6)为例对比分析其主要特征:3个层位均为中厚层,厚度相近;地层岩性的颜色从下往上从灰白变为灰色;岩性粒度从下往上逐渐变细,岩性由土黄色含粉砂质粘土变为上层褐色粘土层;错断地层厚度有所加大,断距可达 60~68 cm;3个层位错断的断距也基本相当。

4.3. 剖面上部断距变化

剖面的上部第(9)层为第四纪土灰色粘土层,沉积物明显变细,以泥质成分为主,灰黄色夹层也明显减少。断层特征看,剖面上部断距加大,以第(9)为例,断层左侧层厚 35 cm,而右侧却加厚到 116 cm,说明该剖面中第(9)层地层沉积阶段仍是生长断层,断层左侧错断地层厚度较小,相对断层左侧而言,右侧断距较大。但是,在剖面的顶层覆盖着一层 1~3 cm 厚的第四系土黄色松散腐殖质覆盖层,并生长有耐寒耐干旱的木本植物和草本植物,表明第四纪以来断层没有活动。

值得强调的是该断层是非常典型的生长(同沉积)断层,且由于地层近于水平,加之地层颜色分明,层次清楚,断距明显,是非常好的野外典型断层实例。其最为明显的界面是侏罗系顶部的灰白色砾石层与上部泥河湾组底界面的灰白色粗砂层之间的不整合面,虽然两者产状属于平行不整合面,但是,其上下之间却存在着 $100 \pm \text{Ma}$ 的沉积间断,直到泥河湾组沉积才不整合覆盖其上。断层上盘下滑 57 cm,而在剖面顶部,有 3~1 cm 的全新统覆盖层,且基本没有被断层切割。表明底界面错断距离最大达 57 cm,而顶界面未见错断,那么,上下两者之间基本为过渡状态。

5. 结论

地质建造和改造是幔壳运动的主要表现形式。因此,可依据建造和改造的特征探讨区域构造演化过程。

1) 东谷坨断层组合位于泥河湾盆地的东南侧盆缘,多以铲状断层组合展布,构成 2 个三级凹陷和 1 个三级凸起。地层展布有序,断面清楚,切割明显,断距可测。是一处相当典型的断层凹凸构造剖面。

2) 在剖面上,断层下部断距较大,最大可达 57 cm,沿着断层面上,断距逐渐变小,并呈连续性渐变,具明显的生长(同沉积)断层特征。

3) 断层构造分析并参考测年资料,泥河湾盆地自新近纪末期逐渐裂解并形成湖盆,开始接受湖相沉积,经早、中更新世延续至晚更新世中期,由于汾渭裂谷早期的隆起,逐渐波及到大同-泥河湾盆地,断层导致湖水外泄,湖泊逐渐干涸消失。

基金项目

本项研究工作得到河北省重点研究项目“东方人类探源工程——泥河湾人类起源、地质及环境背景

研究(13277611D、15276242D)”和“河北省海洋综合图集(2013006)”联合资助。

参考文献

- [1] 闵隆瑞, 迟振卿. 河北阳源盆地西部第四纪地质[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 1-160.
- [2] 牛平山, 宋雪琳, 李凯清, 等. 泥河湾自然保护区资源与环境保护[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-194.
- [3] 裴树文, 侯亚梅. 东谷坨遗址石制品原料利用浅析[J]. 人类学学报, 2001, 20(4): 271-281.
- [4] 马寅生, 崔盛芹, 曾庆利. 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.
- [5] 吴忱. 华北地貌环境及其形成演化[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 421-463.
- [6] 袁宝印, 同号文, 温锐林, 等. 泥河湾古湖的形成机制及其早期古人类生存环境的关系[J]. 地质力学学报, 2009, 15(1): 77-87.
- [7] 庞其清, 翟大有, 赵筑簾, 等. 泥河湾盆地晚新生代微体古生物地层及环境演化的探讨[J]. 地质学报, 2015, 89(5): 935-943.
- [8] 蔡学林, 朱先寿, 程先琼, 等. 南海复蘑菇状地幔低速结构及其地幔动力学[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 268-279.
- [9] 杨巍然, 曾佐勋, 李德威, 等. 板内地震过程的三层次构造模式[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 206-317.
- [10] 侯亚梅, 卫琦, 冯兴无, 等. 泥河湾盆地东谷坨遗址再发掘[J]. 第四纪地质, 1999(2): 139-147.
- [11] 邓晋福, 莫宣学, 赵海岭, 等. 中国东部燕山期岩石圈 - 软流圈系统大灾变与成矿环境[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 309-315.
- [12] 同号文. 第四纪以来中国北方出现过的喜暖动物及其古环境意义[J]. 中国科学(D 辑), 2007, 37(7): 922-933.
- [13] 易明初, 李晓. 燕山地区喜马拉雅运动及现今稳定性研究[M]. 北京: 地震出版社, 1991: 1-184.
- [14] 王行军, 王德强, 班长勇, 等. 冀西北康保、沽源一带新构造运动特征[J]. 地质调查与研究, 2006(1): 38-46.
- [15] 谢富仁, 张红艳, 崔效锋. 延怀盆地活动断裂运动与现代构造应力场[J]. 地震地质, 2007, 29(4): 693-705.
- [16] 邢集善, 李蕾, 黄华芳, 王健, 等. 泥河湾侯家窑遗址古河流及环境考古意义[J]. 沉积学报, 2016, 34(1): 111-119.
- [17] 刘俊来, 关会梅, 纪沫, 等. 华北晚中生代变质核杂岩构造及其对岩石圈减薄机制的约束[J]. 自然科学进展, 2006, 16(1): 21-26.
- [18] 刘亮明, 彭省临. 核 - 幔相互作用及其地球动力学意义[J]. 高校地质学报, 1997, 3(4): 438-444.
- [19] 嵇少丞, 王茜, 许梓成. 华北克拉通破坏与岩石圈减薄[J]. 地质学报, 2008, 82(2): 174-193.
- [20] 王志光, 霍毫, 徐孟罗, 等. 华北地块南缘地质构造演化与成矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997: 1-310.
- [21] 郑建平, 余淳梅, 苏玉平, 等. 中生代华北南缘带状岩石圈结构特征及其大陆形成演化意义[J]. 地球科学, 2009, 34(1): 28-36.
- [22] 夏正楷, 韩军青, 金德秋. 泥河湾盆地末期间冰期气候变化的氧碳同位素记录[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1998, 34(1): 119-124.
- [23] 夏正楷. 泥河湾层的研究现状和展望[J]. 第四纪研究, 2001, 21(3): 262-269.
- [24] 吕金波, 卢耀如, 郑桂森, 等. 北京西山岩溶洞系的形成及其与新构造运动的关系[J]. 地震地质, 2007, 29(4): 693-704.
- [25] 马金龙, 徐义刚. 河北阳原和山西大同新生代玄武岩的岩石地球化学特征: 华北克拉通西部深部地质过程初探[J]. 地球化学, 2004, 33(1): 75-88.
- [26] 黄慰文. 中国旧石器文化序列的地质学基础[J]. 人类学学报, 2000, 19(4): 269-283.
- [27] 高茂生, 郭飞, 侯国华, 等. 北黄海东部次盆地白垩统沉积环境及沉积充填[J]. 中国地质, 2018, 45(1): 59-68.
- [28] 邓成龙, 刘青松, 潘永信, 等. 中国黄土环境磁学[J]. 第四纪研究, 2007, 27(2): 193-209.
- [29] 张文朋, 申旭辉, 曹忠权, 等. 桑干河阳原 - 涿鹿段地貌演化[J]. 地震, 2011, 31(4): 108-117.
- [30] 马寅生, 崔盛芹, 施炜, 等. 中国东部 - 朝鲜半岛海陆构造格局及含油气盆地特征[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-298.
- [31] 卫奇, 黄为龙. 泥河湾盆地的科学开拓者[J]. 化石, 2009(4): 28-33.
- [32] 滕吉文. 地球内部物质、能量交换与资源和灾害[J]. 地学前缘, 2001, 8(3): 1-8.

- [33] 张旗, 钱青, 王二七, 等. 燕山中晚期的中国东部高原:埃达克岩的启示[J]. 地质科学, 2001, 36(2): 248-255
- [34] 谢飞. 泥河湾[M]. 北京: 文物出版社, 2006: 1-330.
- [35] Wernicke, B. (1981) Low-Angle Normal Faults in the Basin and Range Province: Nappe Tectonics in an Extending Orogen. *Nature*, **291**, 65-648. <https://doi.org/10.1038/291645a0>
- [36] Anderson, D.L. (1975) Chemical Plume in the Mantle. *GSA Bulletin*, **86**, 1593-1600. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1975\)86<1593:CPITM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1975)86<1593:CPITM>2.0.CO;2)
- [37] 刘和甫. 盆地 - 山岭耦合体系与地球动力学机制[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(6): 581-596.
- [38] 朱日祥, 邓成龙, 潘永信. 泥河湾盆地磁性定年与早期人类演化[J]. 第四纪研究, 2007, 27(6): 922-944.
- [39] Maruyama, S. (1994) Plume Tectonics. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **100**, 24-49. <https://doi.org/10.5575/geosoc.100.24>
- [40] Niu, S.Y., Shao, J.A., Hou, Q.L., *et al.* (2004) On the Origin of One Basin-Multiple Mountains Coupling of the Mesozoic-Cenozoic Basin-Range Area of Eastern North China. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, **78**, 302-312. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2004.tb00704.x>
- [41] 牛树银, 邵济安, 孙爱群, 等. 华北东部盆山耦合与内生成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(3): 331-342.
- [42] 张旗, 金惟俊, 李承东, 等. 中国东部燕山期大规模岩浆活动与岩石圈减薄: 与大火成岩省的关系[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 21-51.
- [43] 牛树银, 张福祥, 陈超, 等. 河北阳原侯家窑断层的几何学、运动学和动力学分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(3): 103-114.
- [44] 牛树银, 孙爱群, 陈超, 等. 河北阳原 - 蔚县盆地形成 - 消亡的深部构造机理[J]. 地球科学前沿, 2017, 7(1): 17-29.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ag@hanspub.org