

山西榆社地区新近纪地层时代讨论

朱大岗^{1,2} 孟宪刚² 邵兆刚^{1,2} 雷伟志²
王 津² 韩建恩² 余 佳² 吕荣平² 王 艳²

(1.国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室,北京 100081;2.中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081)

摘要:通过对山西榆社地区新近纪地层的野外地质调查和实测剖面,对分布于该区的新近纪地层进行了详细的研究和划分,提供了新的 ESR 测年数据,并结合古地磁年龄、生物地层序列确定了该区新近纪地层顺序为:新近系上新统上部麻则沟组(N_2^m)、新近系上新统下部高庄组(N_2^g)和中新统马会组(N_1m)。根据实测剖面,可将这 3 个组的河湖相地层划分为 37 层,总厚度达 446.5 m。ESR 测年结果表明,麻则沟组的形成时间为 2.50~3.04 Ma,属新近纪上新世晚期;高庄组形成时间为 3.25~5.25 Ma,属新近纪上新世早期;马会组形成时间为 5.30~13.10 Ma,属新近纪中新世晚期。

关键词:山西榆社;新近纪;电子自旋共振;岩石地层;生物地层

中图分类号: P534.62 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)02-0300-14

榆社地区地处山西省中南部的晋中市范围内(北纬 $36^{\circ}47' \sim 37^{\circ}42'$ 、东经 $112^{\circ}41' \sim 113^{\circ}19'$ 一带),属于太行山中段西麓中晚新生代断陷盆地的西缘山地。山地的基底为三叠纪砂岩,上面不整合堆积了厚近百米至数百米的新近纪河湖相沉积地层,产丰富的古脊椎动物化石^[1]。为研究华北地区新近纪湖泊演化、气候变化、古地理变迁、地层划分等提供了有利的记录。

笔者在山西榆社地区开展的《华北地区古近纪和新近纪地层格架厘定》工作中,根据野外实测地层剖面、系统样品采集和室内 ESR 法同位素测年、化石鉴定、孢粉分析等资料,结合不整合面、岩石组合等特征,将山西榆社地区原新近纪地层从新到老进一步补充与完善为:新近系上新统上部麻则沟组(N_2^m)、新近系上新统下部高庄组(N_2^g)和中新统马会组(N_1m)(图 1)现报道如下。

1 山西榆社地区河湖相地层研究沿革

山西省境内的新近系出露较好,也较发育,对山西榆社地区河湖相地层的研究,起始于 20 世纪 30

年代。曾因在榆社地区产出丰富的古脊椎动物化石,而引起国内外一些地质古生物学者的极大兴趣,先后前往调查研究的学者接踵而至。杨钟健^[2]、德日进(Teilhard de chardin, P.)等^[3],在山西省部分地区进行新生代地质调查时,依据古脊椎动物化石资料将广泛分布在山西省东南部的漳河、沁水流域一带,以榆社、武乡为中心,沉积的一套厚度约数百米、成因多样的陆相地层命名为榆社组,将其划分为上、中、下 3 段,并将它们划归早更新世和上新世^[4]。安德森(J. G. Andersson)^[5]、李锐言与桑志华(E. Licent)^[6]、汤道年(M. Trassaet)、C. P Berkey 等^[7]也在华北和山西榆社等许多地区做了地层研究工作。

对新近纪比较系统的地质调查工作是在 20 世纪 50 年代末到 60 年代,由山西省区域地质调查队进行的。此后,胡长康^[8]、裴文中等^[9]、刘宪亭等^[10]、李传夔^[11]、邱占祥等^[12,13]、刘兰锁^[14]、曹照垣等^[15]、何培元^[16]、曹家欣等^[17]、理·戴福德等^[18]、陈冠芳^[19]、王惠基^[20]、董为等^[21]、劳伦斯·J·弗林^[22]、李小强等^[23],也先后对山西榆社新近系及其所含古脊椎化石开展了深入的调查研究,取得了一系列新进展。其中,古脊椎动物学

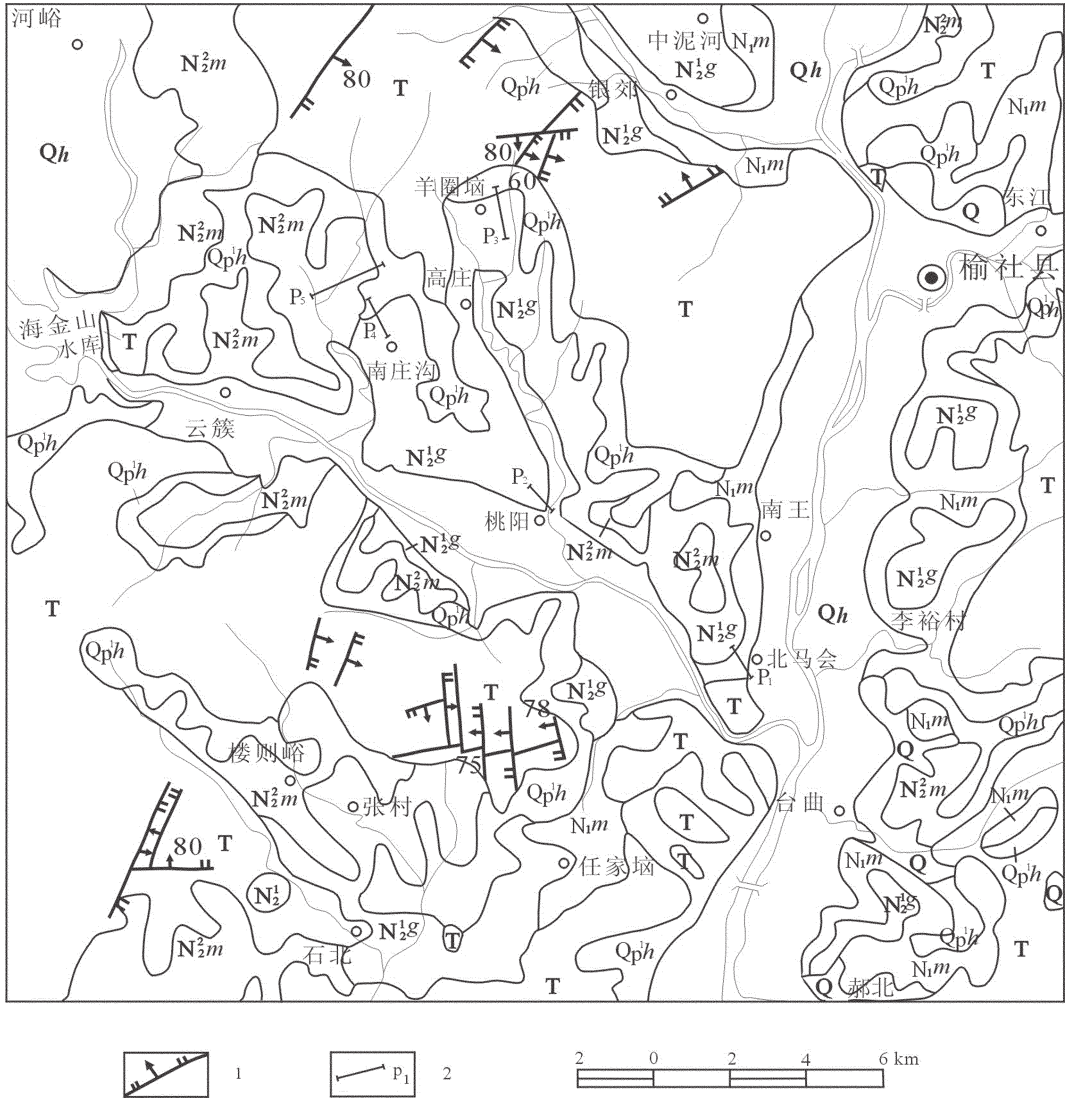


图 1 山西榆社地区地质构造图

Qh-全新统;Q-第四系;Qp/h-上更新统;N₂m-上新统麻则沟组;N₂g-上新统高庄组;N₁m-中新统马会组;T-三叠系;1-断层;2-实测剖面位置及编号

Fig.1 Geological-structural map of Yushu area, Shanxi Province

Qh-Holocene; Q-Quaternary; Qp/h-Uppre Pleistocene; N₂m- Pliocene Mazegou Formation; N₂g-Pliocene Gaozhuang Formation; N₁m-Miocene Mahui Formation; T-Triassic; 1-faults; 2- location and serial number of measured section

者一直处于领先地位,是他们首先命名榆社组并对地层划分和时代归属提出看法的。

就榆社新近系而言,目前山西区调队^①根据榆社群地层中发育的两个不整合面,而将榆社群地层划分为 3 个组:即早更新统楼则峪组、上新统上部的张村组及上新统下部的任家垆组。而李传夔等^[24]、邱占祥等^[25]、董永生等^[26]认为,榆社地区河湖相沉积的地

质时代应为新近纪上新世—中新世早期;而榆社群在《中国地层典》和《中国各地质时代地层划分与对比》中,均已划为中晚期^[27, 28],对此应作出解释和统一。

综上所述,前人对比山西榆社地区新近纪河湖相地层,虽多次进行了划分,但对群、组内的岩相和岩性变化、沉积韵律,以及各组间的接触关系所做工作

①山西省区域地质调查队.山西榆社 1:20 万区调报告,1975.

尚不够充分,尤其是年代地层工作尚未开展,因而造成山西榆社群时代划分不一致的局面。当时主要划分依据是古生物和岩性,而缺少地层年龄资料。针对这一问题,笔者在野外工作期间,对麻则沟组、高庄组、马会组层型剖面进行了实测,系统地采集了各种样品,尤其是增加了年龄地层的高密度取样,以期得到麻则沟组、高庄组、马会组形成时代的确切年龄数据。

2 山西榆社地区新近系河湖相地层

2.1 山西榆社地区的新近纪地层

在山西榆社地区进行野外地质调查和实测河湖相沉积地层工作中,笔者通过大量的路线观察、剖面测量、样品采集等细致的野外工作,确定了3个组的顶、底和该套河湖相地层的厚度,并采集到了大量的测试分析样品。

新近系在山西榆社一带十分发育,据前人资料山西新近系出露的总厚度为409.1~850 m。其中,楼则峪组为117.8~134.3 m,张村组为219.5~257.8 m,任家埡组为67.6~71.8 m^[1,14~16],麻则沟组为180~200 m,高庄组为450 m,马会组为200 m^[12,13]。

2.2 山西榆社地区新近纪地层的划分沿革

从20世纪30年代开始,前人对山西榆社地区的新近纪地层进行了多次划分^[2-6,9,25-28]。笔者根据野外沉积岩性、所含化石、固结程度和岩性的变化,尤其是其中特征的3套紫色粘土层、2个平行不整合面,将这套近水平产出、原顶底和接触关系清楚的山西榆社原早更新统楼则峪组、上新统上部的张村组及上新统下部的任家埡组^[14~16],从新到老进一步补充与完善为:新近系上新统上部麻则沟组、新近系上新统下部高庄组和中新统马会组(表1)。

3 河湖相地层的剖面特征

笔者根据在山西省榆社地区不同区段实测的5

条河湖相地层剖面(P₁-P₅)中的沉积物特征、堆积物位置差异、接触关系等特征,可将该套河湖相地层的3个组(3个段)划分为37层,总厚度达446.5 m。每个组的分层、岩性、所含化石、接触关系等基本特征,从新到老概述如下。

3.1 上新统上部麻则沟组(N₂m)

山西省榆社县赵庄南麻则沟组(N₂m)实测剖面(P₅):剖面起点坐标:N37°3.674',E112°49.692',海拔高度为1079 m;剖面终点座标:N37°3.612',E112°49.786',海拔高度为1023 m(GPS测量),出露地层总厚度为70.1 m,可分为17层,与上覆海眼组(Qp₁h)呈角度不整合接触,未见底(图2)。

- 上覆地层:海眼组(Qp₁h)桔黄色亚粘土
~~~~~角度不整合~~~~~
- 麻则沟组(N<sub>2</sub>m) 70.1 m
- 3.黄色粗砂层,偶夹紫红色砂质粘土层 8.5 m
- 4.紫色粘土层,底为砂质粘土层 5.8 m
- 5.黄色厚层粗砂岩夹薄层棕褐色粘土层,产螺和双壳类化石。产状314°∠14° 6.9 m
- 6.紫色砂质粘土层 2.1 m
- 7.黄色砂层 0.5 m
- 8.紫色粘土层 5.5 m
- 9.黄色巨厚层粗砂岩,局部含砾,中部夹薄层紫色粘土层。细层理、交错层理发育,产状340°∠6° 17.8 m
- 10.黄色厚层粗砂岩夹薄层紫色、黑色粘土层产螺和双壳类化石。层理与交错层理发育,产状330°∠8° 3.8 m
- 11.黄色巨厚层粗砂岩,斜层理发育 9.5 m
- 12.深灰—黑色粘土层夹薄层土黄色粘土层,层理发育,产状:340°∠7° 3.0 m
- 13.黄色厚层粗砂岩 0.9 m
- 14.深灰—黑色粘土夹土黄色薄层粘土层 2.6 m
- 15.黄色粗砂岩,由砂岩岩屑、长石、石英组成 1.1 m
- 16.紫色砂质粘土层,层理发育,产状:330°∠11° 0.4 m
- 17.黄色粗砂岩夹薄层紫色砂质粘土层 1.7 m
- 未见底

表1 山西省榆社地区新近纪地层划分沿革

Table 1 Variations of Neogene stratigraphical division in Yushe area, Shanxi Province

| 时代 \ 地层 |      | 杨钟健<br>(1933) | 桑志华<br>(1933) | 裴文中等<br>(1963) | 山西区调队<br>(1975)    | 邱占祥等(1990)<br>王乃文等(2005) | 本文          |
|---------|------|---------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------------|-------------|
| 第四系     | 下更新统 | 三门期           | III带          | 上榆社组           | 楼则峪组               | 海眼组                      | 海眼组         |
| 新近系     | 上新统  | 蓬蒂期           | II带<br>I带     | 中榆社组<br>下榆社组   | 榆社群<br>张村组<br>任家埡组 | 麻则沟组<br>高庄组              | 麻则沟组<br>高庄组 |
|         | 中新统  |               |               |                |                    | 马会组                      | 马会组         |
| 三叠系     |      |               |               |                |                    | 二马营组(T)                  |             |

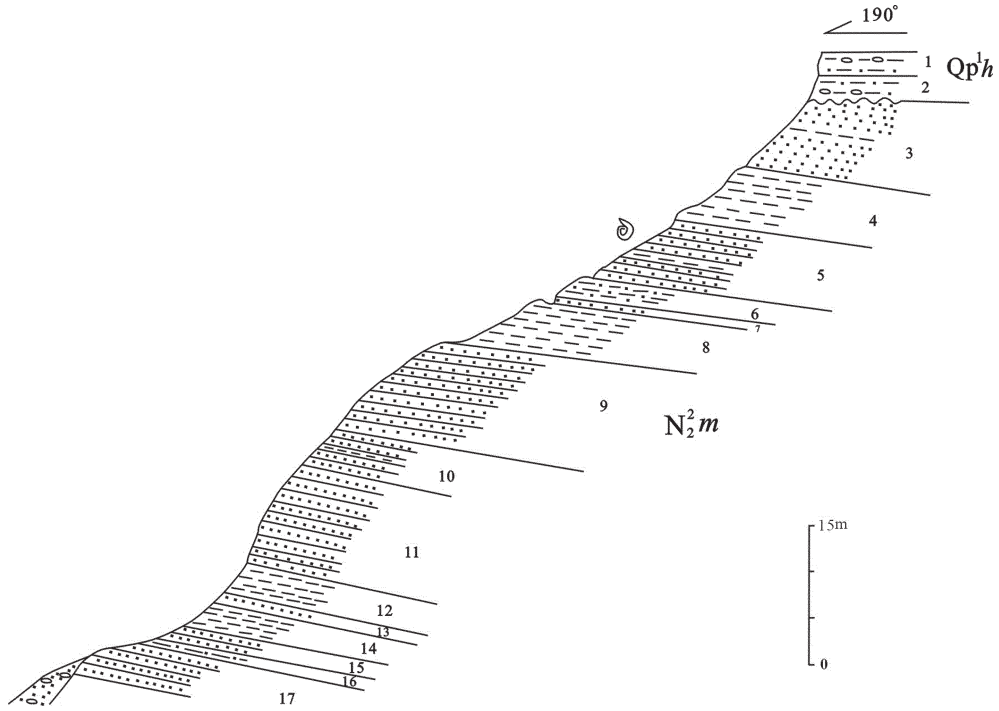


图 2 山西榆社麻则沟组实测剖面

Fig.2 Measured section of Mazegou Formation in Yushe, Shanxi Province

### 3.2 上新统下部高庄组 (N<sub>2</sub><sup>lg</sup>)

根据岩性、接触关系、剖面位置、地层时代等,山西榆社盆地高庄组自上而下可分为醋柳沟段、南庄沟段及桃阳段。

#### (1)高庄组醋柳沟段(N<sub>2</sub><sup>lg</sup>)

山西省榆社县羊圈埡高庄组醋柳沟段(N<sub>2</sub><sup>lg</sup>)实测剖面(P<sub>3</sub>):剖面起点坐标:N37°4.761',E112°52.043',海拔高度为1122m;剖面终点坐标:N37°4.927',E112°51.605',海拔高度1047m(GPS测量),出露地层总厚度136.8m,可分为29层,与上覆海眼组(Qp<sup>1h</sup>)呈角度不整合接触,与下伏地层三叠纪砂岩呈角度不整合接触(图3)。

上覆地层:海眼组(Qp<sup>1h</sup>)桔黄色亚粘土  
~~~~~角度不整合~~~~~

| | |
|--|---------|
| 高庄组醋柳沟段(N ₂ ^{lg}) | 136.8 m |
| 3.土黄色砂质粘土层,层理发育 | 0.9 m |
| 4.褐黄色粘土层夹薄层泥灰岩,层理发育。南东倾,倾角5~8° | 1.2 m |
| 5.棕褐色粘土层 | 1.8 m |
| 6.灰白色泥灰岩,层理发育。产状:110°∠5° | 1.0 m |
| 7.灰紫色泥质粗砂层,产脊椎动物骨格化石 | 0.5 m |

| | |
|--|--------|
| 8.灰绿色粉砂质粘土层 | 0.9 m |
| 9.灰紫色泥质粗砂层,层理发育,产状:120°∠4° | 1.8 m |
| 10.棕褐色粘土层,顶部见厚10cm的灰绿色泥灰岩,层理发育 | 3.5 m |
| 11.灰白色泥灰岩与棕褐色粘土互层 | 1.0 m |
| 12.棕褐色粘土层,层理发育。产状:100°∠7° | 2.1 m |
| 13.黄绿色砂质粘土层,层理发育 | 0.8 m |
| 14.灰紫色粗砂岩,顶部为灰紫色泥质粗砂岩。产状:80°∠5° | 13.2 m |
| 15.黄绿色泥岩,含螺化石。层理发育,产状:90°∠8° | 0.55 m |
| 16.灰紫色砂质粘土层 | 3.5 m |
| 17.灰紫色粗砂层夹薄层黄色粗砂层 | 5.5 m |
| 18.黄色含细砾粗砂层 | 2.2 m |
| 19.灰绿色泥灰岩 | 1.8 m |
| 20.灰紫色泥质粗砂层 | 4.8 m |
| 21.灰紫色含砾粗砂层 | 15.5 m |
| 22.浅灰色细砂岩。产状:70°∠4° | 1.1 m |
| 23.棕褐色砂质粘土层(含少量砾石)夹土黄色粘土层 | 10.5 m |
| 24.褐黄色含砾粗砂层。砾石以砂岩为主,砾径为0.5~1cm,圆状,含量为15%~25%。产状:85°∠5° | 27.5 m |
| 25.褐黄色粗砂层夹紫色薄层砂质粘土层,层理发育 | 2.9 m |

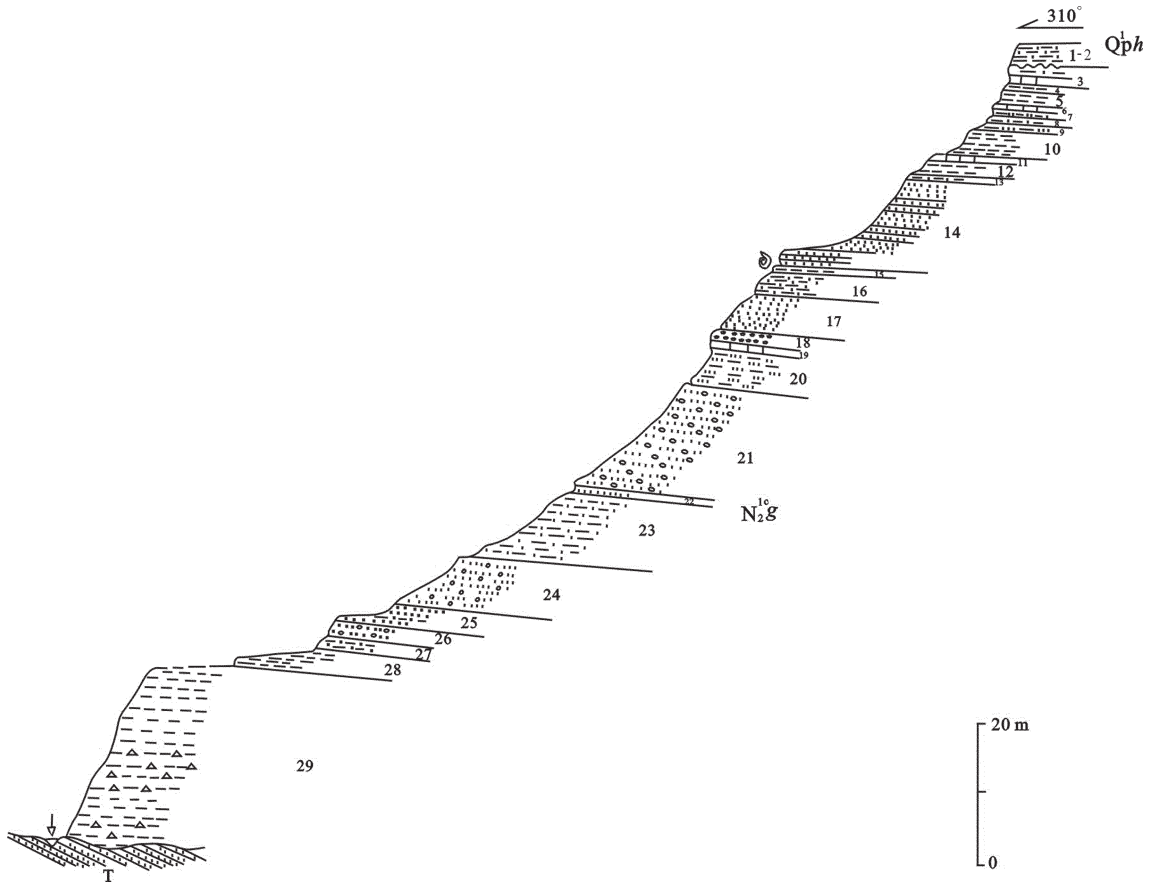


图 3 山西榆社高庄组醋柳沟段实测剖面

Fig.3 Measured section of Culiugou Member of Gaozhuang Formation in Yushe, Shanxi Province

26.灰黄色含砾粗砂层,砾石以砂岩为主,砾径为 3~10 mm,圆状,有的层位砾石增多,并成岩,变为细砾岩。层理发育,产状:75°∠6° 1.9 m

27.棕褐色砂质粘土层夹灰黄色粗砂层,底部含砂岩砾石 1.8 m

28.棕褐色粘土层 3.5 m

29.棕褐色含砾粘土层,砾石以砂岩为主,分选差,磨圆度不佳,砾径一般为 5~20 cm,大者 0.5~1 m,小者 1~3 cm,多为次棱角状,砾石约 30%。 25.0 m

~~~~~角度不整合~~~~~

下伏地层:三叠系砂岩(T)

(2)高庄组南庄沟段(N<sub>2</sub><sup>lg</sup>)

山西省榆社县南庄沟西高庄组南庄沟段实测剖面(P<sub>4</sub>):剖面起点坐标:N37°34.86',E112°50.837',海拔高度为 1035 m;剖面终点座标:N37°3.522',E112°50.760',海拔高度为 1076 m(GPS 测量),出露地层总厚度为 79.8 m,可分为 23 层,与上覆海眼组呈角度不整合接触,与下伏高庄组桃阳段呈平行不整合

接触(图 4)。

上覆地层:海眼组(Qp/h)砖红色粗砂质粘土层

~~~~~角度不整合~~~~~

高庄组南庄沟段(N₂^{lg}) 79.8 m

23.紫色砂质粘土层 8.5 m

22.灰黄色泥质细砂层,底部以细砂为主 1.9 m

21.紫色砂质粘土层,层理发育。产状:305°∠14° 2.1 m

20.土黄色中粒砂层,顶部见厚 20~30 cm 的砂岩结核,其直径在 15~30 cm 1.8 m

19.紫色砂质粘土层,层理发育 3.5 m

18.灰黄色含砾粗砂层,砾石以砂岩为主,少量石英岩,砾径 1~5 cm,呈圆状,砾石占 15%~20%,局部夹粘土透镜体 3.2 m

17.紫色含砾粗砂层,砾石以砂岩为主,直径为 0.5~20 cm,呈圆状,分选性磨圆度均佳,层理发育。产状:325°∠14° 2.9 m

16.锈黄色粗砂层,底部含砂岩细砾 2.2 m

15.棕褐色粘土层 0.85 m

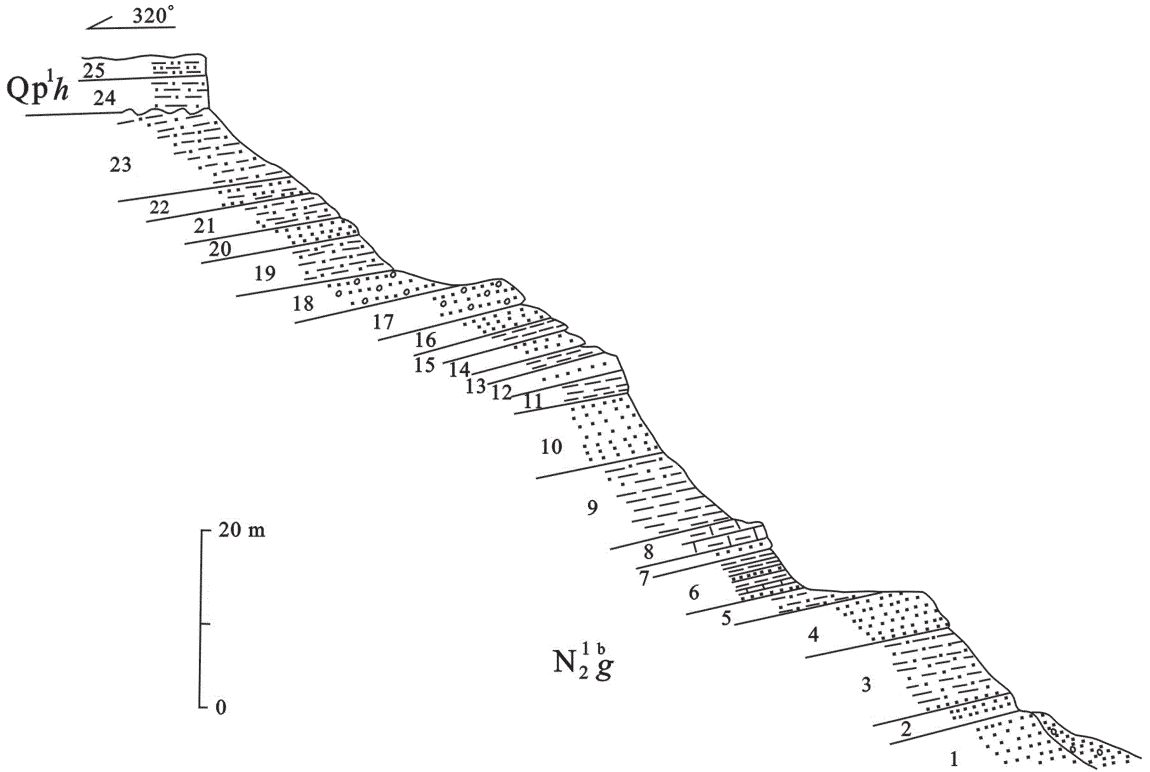


图 4 山西省榆社县高庄组南庄沟段实测剖面

Fig.4 Measured section of Nazhuang Member of Gaozhuang Formation in Yushe, Shanxi Province

| | |
|--|-------|
| 14.土黄色粗砂层 | 1.5 m |
| 13.棕褐色粘土层夹细砂层 | 0.5 m |
| 12.锈黄色粗砂层 | 0.9 m |
| 11.棕褐色厚层状粘土层 | 1.3 m |
| 10.土黄色细砂层,层理发育 | 6.8 m |
| 9.褐色粘土层,由下部向上砂质增多,变为砂质粘土层 | 8.5 m |
| 8.浅灰色薄层状泥灰岩 | 2.3 m |
| 7.灰黄色半固结粗砂岩 | 1.4 m |
| 6.灰黄色薄层状粘土岩夹薄层状粗砂岩及泥灰岩,层理发育。产状:338°∠7° | 4.5 m |
| 5.紫色泥质细砂层 | 2.0 m |
| 4.锈黄色粗砂层,由深、浅锈黄色粗砂组成的层理发育。产状:315°∠12° | 5.2 m |
| 3.灰紫色砂质粘土层,底部夹薄层半固结黄色细砂岩。产状:320°∠14° | 8.5 m |
| 2.金黄色粗砂层,见锈黄色条纹 | >2 m |
| 1.锈黄色粗砂层(未见底) | >5 m |
| -----平行不整合----- | |
| 下伏地层:桃阳段(N ₂ ¹ g)粗砂层 | |
| (3)高庄组桃阳段(N ₂ ³ g) | |

山西省榆社县桃阳东高庄组桃阳段实测剖面 (P₂):剖面起点坐标:N37°1.571',E112°53',海拔高度为 996 m;剖面终点座标:N37°1.86',E112°52.87',海拔高度为 1035 m(GPS 测量),出露地层总厚度为 91 m,可分为 16 层,与上覆高庄组南庄沟段呈平行不整合接触,未见底(图 5)。

上覆地层:高庄组南庄沟段(N₂^bg)砾岩

-----平行不整合-----

| | |
|---|--------|
| 高庄组桃阳段(N ₂ ³ g) | 91.0 m |
| 16.土黄色粗砂层夹细砾岩,砂层常见黑色炭质细线,交错层理发育 | 3.2 m |
| 15.紫色粘土层夹薄层土黄色细砂层 | 4.5 m |
| 14.土黄色中细粒砂层夹紫红色粘土条带 | 5.5 m |
| 13.土黄色厚层细砂层,有的层位已固结成岩,砂岩层面上常见瘤状,扁平结核。砂层偶夹薄层棕褐色粘土层 | 9.5 m |
| 12.土黄色厚层状细砂层夹薄层棕褐色粘土层,本层常含灰色细砂岩团块。产状:330°∠18° | 11.0 m |
| 11.土黄色细—粉砂层夹棕褐色粘土层,半固结。含不规则细砂岩结核,其扁平面与层理平行。层理发育 | 7.0 m |

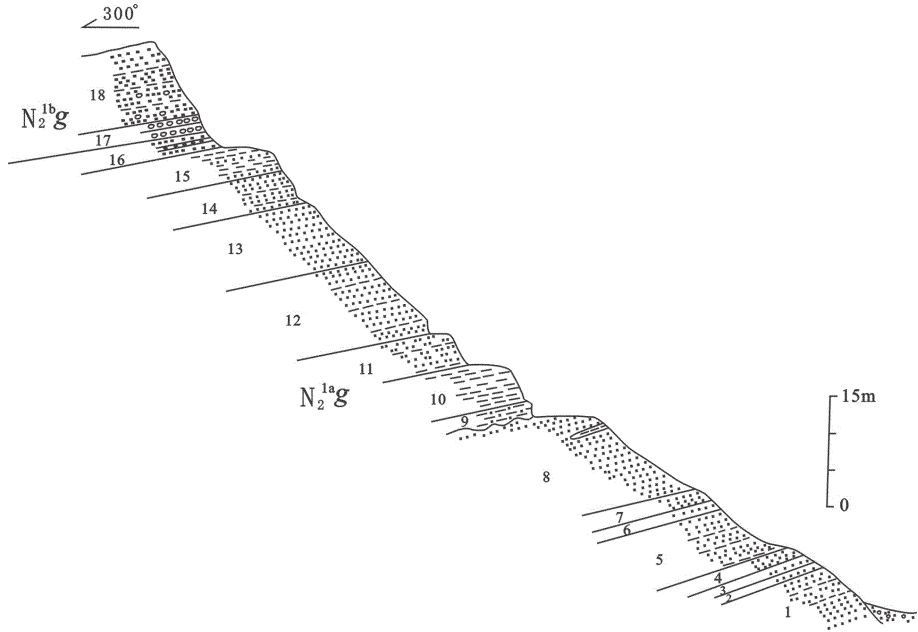


图 5 山西省榆社县高庄组桃阳段实测剖面

Fig. 5 Measured section of Taoyang Member of Gaozhuang Formation in Yushe, Shanxi Province

- 10.棕褐色粘土层 6.7 m
- 9.金黄色泥质细砂层,层理发育,产状 $300^\circ \angle 16^\circ$ 2.3 m
- 8.金黄色巨厚层粗砂层,顶部见棕褐色粘土透镜体,顶界起伏不平,底部见黑色炭质条带 15.0 m
- 7.金黄色与锈黄色薄层相间的粗砂层夹棕褐色粘土质细线。层理十分发育,产状: $335^\circ \angle 25^\circ$ 2.2 m
- 6.金黄色粗砂层 0.8 m
- 5.金黄色巨厚层粗砂层夹薄层棕褐色粘土层,交错层理发育。产状 $325^\circ \angle 22^\circ$ 8.0 m
- 4.金黄色粗砂层,局部含细砾,交错层理发育 1.6 m
- 3.金黄色粗砂层与锈黄色粗砂层夹棕褐色砂质粘土条纹,层理发育 1.4 m
- 2.金黄色厚层粗砂层 0.9 m
- 1.金黄色巨厚层粗砂层夹薄层棕褐色粘土层。层理发育,产状: $330^\circ \angle 20^\circ$ 7.8 m
- 未见底

-----平行不整合-----

- 马会组 (N_1m) 68.8 m
- 21.黄色粗砂层,有的层位变为金黄色,层理发育 4.3 m
- 20.灰色砂砾石层(岩),底部见紫红色粘土透镜体 2.8 m
- 19.黄色粗砂层,有的层位变为金黄色,层理发育 6.8 m
- 18.灰色砂砾石层,以砂岩砾石为主,上部含白色钙质姜结核,直径在 0.5~3 cm 2.3 m
- 17.土黄色粗砂层夹薄层棕褐色粘土层,局部含砂岩、石英岩细砾,层理发育 1.9 m
- 16.土黄色含砾粗砂层,底部砾石增多,形成砂砾石层,半固结,砾径在 0.5~3 cm,成分以砂岩和石英岩为主,层理发育 5.1 m
- 15.褐紫色粘土层夹薄层中粒砂层,有的层位已固结成岩,层理清晰 7.7 m
- 14.土黄色粗砂层,局部含砾及钙质姜结核,层理发育 3.5 m
- 13.褐紫色粘土层夹砂层 1.1 m
- 12.土黄色粗砂层夹褐黄色泥质透镜体,交错层理发育 2.3 m
- 11.褐黄色砂质粘土夹土黄色粗砂层 0.8 m
- 10.土黄色粗砂层含细砾夹紫色薄层粘土层 2.7 m
- 9.灰色砾岩,砾石成分以砂岩为主,偶见砂岩和花岗岩砾石。砾径在 5~20 cm,分选差,磨圆度较佳,砂质胶结 2.7 m
- 8.土黄色粗砂岩含少量砾石,具交错层理 3.3 m

3.3 中新统马会组 (N_1m)

山西省榆社县马会组实测剖面 (P_1): 剖面起点坐标: $N36^\circ 59.841'$, $E112^\circ 55.775'$, 海拔高度为 996 m (GPS 测量); 剖面终点座标: $N37^\circ 00.333'$, $E112^\circ 55.5'$, 海拔高度为 1066 m (GPS 测量), 出露地层总厚度为 68.8 m, 可分为 21 层, 与上覆高庄组桃阳段平行不整合接触, 未见底 (图 6)。

上覆地层: 高庄组桃阳段 (N_2^1g) 砾岩

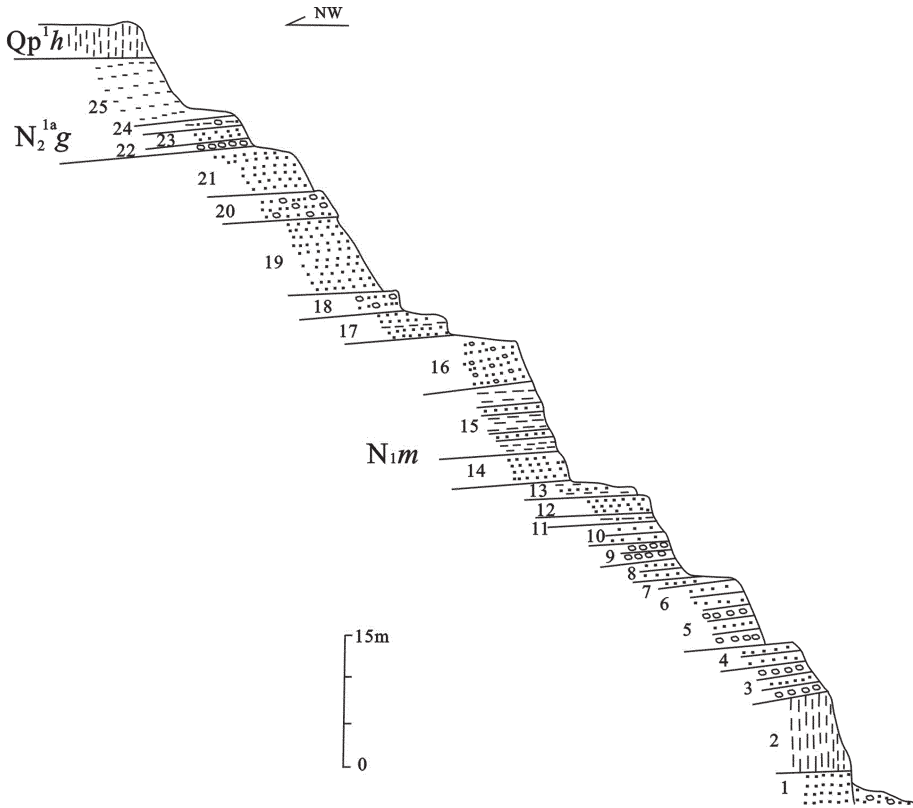


图 6 山西省榆社县马会组(N_{1m})实测剖面

Fig.6 Measured section of Mahui Formation(N_{1m})in Yushe, Shanxi Province

- 7.灰色中细粒砂岩夹粗砂岩 1.2 m
- 6.土黄色粗砂岩,局部含砂岩砾石,交错层理发育 1.6 m
- 5.灰色砾岩夹粗砂岩,砾石成分以砂岩为主,偶见少量石英岩和花岗岩。砾径一般在 5~20 cm,大者可达 50 cm,小者 5 cm 以下。分选差,磨圆度较佳,多为圆状或次圆状。砂质胶结,易风化。砾岩与砂岩呈犬牙交错状。产状:330°∠11° 2.2 m
- 4.土黄色粗砂岩夹砾岩透镜体。砂岩顶底均有灰紫色粘土岩,其厚度变化大。本层水平层理发育,交错层理较为发育 2.1 m
- 3.灰褐色砾岩夹粗砂岩 2.1 m
- 2.棕褐色粘土层,底部为砂质粘土层 9.0 m
- 1.土黄色粗砂层含灰黑色炭质条纹。水平层理和交错层理发育 1.2 m
- 未见底

绝对优势,含量高达 93%。其中,落叶阔叶植物花粉占孢粉总数的 55.8%,针叶植物花粉占 37.6%,草本植物花粉仅占 6.5%,未见蕨类植物孢子;落叶阔叶植物花粉中榆和桦属大量出现,占孢粉总数的 50.4%,其他有胡桃、桤、榛和木犀科等;针叶植物花粉以云杉和松为主,冷杉次之;草本植物花粉有十字花科、蔷薇科和禾本科等。说明当时的植被是由针叶林为主的针阔叶混交林向以阔叶林为主的针阔叶混交林演替,反映当时的气候向着温暖湿润方向发展^[29-34],时代可能为上新世晚期^[14,17]。

在高庄组中孢粉化石丰富,组合中木本植物花粉占优势为 73.7%,草本植物花粉次之,占 23%,蕨类孢子最少,占 1.7%;木本植物中以针叶植物花粉占优势,其含量为孢粉总数的 56.4%,其中以松和云杉出现最多,其次为冷杉和雪松;另外,还见有个别的落叶松、罗汉松、油杉和铁杉等,阔叶植物花粉较少,占 18%,主要是榆、胡桃、山核桃、桦、榛、栎等。草本植物中以藜科为主,占孢粉总数的 12.6%;其他还有少量的蒿、麻黄、蔷薇科及零星的百合科、豆科、唇

4 生物地层特征与时代讨论

4.1 孢粉组合特征

在麻则沟组中的孢粉化石含量较少,仅在个别样品中发现较丰富的孢粉。孢粉组合以木本植物花粉占

形科和水生植物眼子菜等;蕨类植物孢子仅见有水龙骨科和风尾蕨等^[14,17]。反映温湿气候下的森林、灌丛、草原交混环境^[29-31],时代为上新世早期^[17,20,24]。

在马会组中的孢粉化石贫乏,在一些样品中仅含个别喜干凉的木本植物松(*Pinus*)、桦(*Betula*)花粉和耐旱的草本植物藜科(*Chenopodiaceae*)、蒿(*Artemisia*)花粉,显示了森林草原植被环境^[29-34],时代为中新世晚期^[14,28]。

4.2 古动物化石

(1)哺乳类化石:在麻则沟组中产哺乳类丁氏鼯鼠、三门马、梅氏双角犀、中国古野牛比较种、翁氏转角羚羊、裴氏转角羚羊比较种、中国羚羊比较种、蒙古羚羊、鹅喉羚比较种、羚羊、山东绵羊、黑鹿、山西轴鹿、布氏大角鹿、平额原齿象、德永古菱齿象、纳玛古菱齿象、真犀科(*Rhinocerotidae*)、小型中国山羊(*Sinocapra minor*)^[18]等;除了 *Hipparion pater*, *H. houfenense*, *Agriotherium* sp., *Pliohyaena pyrenaica*, *Nyctereutes sinensis*, *Zygodon sp.*, *Stegodon zdanskyi*, *Sinomastodon intermedium* 等与高庄组共有分子,另有新分子 *Anancus sinensis*, *Antilospira licenti*, *Mimomys orientalis*, *Prosiphneus paratingi* 等,表明其地质时代为上新世^[9-13,28],在时代上相当于欧洲的早 Villafranchian 期,即 MN16^[25]。

在高庄组中产哺乳类 70 余种,如水獭、真犀科(*Rhinocerotidae*)、大唇犀、东方双角犀、李氏三趾马比较种、布氏羚羊、桑氏转角羚羊、包氏轭齿象、山西轭齿象、撒旦琴角羚牛、截氏原鼯鼠、鹿后鹿、细鹿、湖鹿、矮鹿、简单后鹿、水鹿等^[18,19]。除与麻则沟组共有分子外,另有 *Alilepus* sp., *Yanshuella promaera*, *Prosiphneus eriksoni*, *P. praetingi*, *Micromys chalcus* 等;表明其地质时代为上新世^[9-13,28],应和欧洲的 Ruscinian 期(MN14+15)相对比^[25]。

在马会组中产哺乳动物化石李氏三趾马、师氏剑齿象、榆社剑齿象、维氏嵌齿象、中国五棱齿象、楔形五棱齿象、中间齿轭象、鼬鬣狗、巴氏剑齿虎、大唇犀、新俄罗斯鹿、始柱角鹿、枝角鹿、三角小羚羊、高氏羚羊比较种等^[17,18],还有沙棘竹鼠,以及 *Prosiphneus murinus*, *Lophocricetus* sp., *Agriotherium* sp., *Machairodus palanderi*, *Ictitherium* sp., *Dicerorhinus ringstromi*, *Acerorhinus* cf. *Cornutus*, *Hipparion platyodus*, *Chleuastochoerus stchlini*, *Palaeotragus* sp., *Gazella gaudryi*, *Stregodon licenti* 等 50 余种;表明其地质时代为中新世^[21,28]。

(2)其他化石:在麻则沟组中产螺、双壳类、轮藻和介形类化石。介形类有玻璃介(*Candona*)、近弯玻璃介、侯氏玻璃介(*C. houae* Huang)、小玻璃介(*Candoniella*)、纯净小玻璃介(*Candoniella albicans*)、奇异小玻璃介(*Candoniella mirabilis*)、奇异小玻璃介相近种、美星介(*Cyprinotus*)、正式美星介相近种(*C. aff. formalis*)、印县美星介(*C. quixinaensis*)、阿克希尔美星介(*C. aksyirensis*)、巴杜尔美星介(*C. baturini*)、巴氏美星介相近种、真星介(*Eucypris*)、膨胀真星介、膨胀真星介相近种、柯氏土星介(*Ilyocypris cornae* Mandelstam)、布氏土星介(*I. bradyi*)、玛纳斯土星介(*Ilyocypris manasensis*)、东山土星介(*I. dunshanensis*)、隆起土星介(*I. gibba*)、近球形金星介相近种、史氏达尔文介(*Darwinula stevensoni*)等,均为典型的湖相属种^[15],故判定为湖泊相沉积环境,其地层时代可能属于上新世^[35]。

在高庄组中除产脊椎动物骨格化石外,还产螺化石、腹足类、昆虫类、鱼类和介形类等。介形类有布氏土星介、双折土星介(*I. ipricata*)、东山土星介、玛纳斯土星介、隆起土星介、浪游土星介(*I. errabundis*)、开封土星介(*I. kaifengensis*)、湖花介(*Limnocythere*)、灵巧真星介(*Eucypris concinna*)、灵巧真星介圆形变种(*E. concinna* var. *rotundata*)、美丽真星介(*Encypris favosa* Schneider)、正直真星介(*E. condida*)、光滑真星介(*E. globra*)、特别真星介(*E. propria*)、眼球真星介(*E. illoformis*)、真星介(*Eucypris*)、奇异小玻璃介、苏氏小玻璃介(*C. suzini* Schneider)、纯净小玻璃介、双头小玻璃介(*C. anceps*)、光瘤小玻璃介相近种(*C. aff. platigena*)、光亮小玻璃介(*C. candida*)、新奇玻璃介(*Candona visenda*)、吉尔吉斯玻璃介(*C. kiekijica*)、弯曲玻璃介(*C. sinuosa*)、近弯玻璃介(*C. subsinuosa*)、疏忽玻璃介(*C. neglecta*)、卵形球星介(*Cyclocypris ovun*)、球星介、娃氏斗星介(*Cypridocypris vassoevitschi*)、美丽斗星介(*C. foarrosa*)、凸状斗星介(*C. convexa*)、斗星介等,均为典型的湖相属种^[15],其地层时代可能属于上新世^[35]。

4.3 生物地层的时代划分

根据山西榆社地区河湖相沉积物的孢粉组合特征,并结合哺乳动物和介形类化石的鉴定结果,可将榆社地区河湖相沉积划分为不同的生物地层时代:麻则沟组和高庄组的形成时代为上新世;马会组河湖相沉积的形成时期为中新世晚期。

5 河湖相沉积的年代地层

5.1 ESR 法测年

在山西榆社地区的河湖相地层中,大约以 5 m 的间隔,采集了 40 个 ESR 测年样品,样品自然风干后,粉碎为 0.2~0.125 mm 粒度,由成都理工大学 ESR 实验室用 KJD—2000N 低本底伽玛仪和微机数据采集系统测定 α 和 γ 天然放射性,同时进行含水量校正。分选出 0.2~0.45 mm 粒度单矿物石英样品,每件样品进行热活化处理,每份质量 120 mg,经过热活化的样品需要冷却一周,然后用德国 ER—2000D—SRC 电子自旋共振仪,测定其顺磁中心浓度值^[36~40]。

测试结果表明,麻则沟组顶部的 ESR 年龄为 2.50 Ma,底部 ESR 年龄为 3.04 Ma;高庄组顶部的 ESR 年龄为 3.25 Ma,底部 ESR 年龄为 5.25 Ma(其中,醋柳沟段顶部的 ESR 年龄为 3.25 Ma,底部 ESR 年龄为 3.81 Ma;南庄沟段顶部的 ESR 年龄为 4.05 Ma,底部 ESR 年龄为 4.44 Ma;桃阳段顶部的 ESR 年龄为 4.50 Ma,底部 ESR 年龄为 5.25 Ma);马会组顶部的 ESR 年龄为 5.30 Ma,底部 ESR 年龄为 13.10 Ma(表 2)。基本介于《中国地层指南》中上新世 2.60~5.30 Ma、中新世 5.30~23.30 Ma 的年龄范围内^[41]。这是首次得到的山西榆社地区新近纪河湖

相地层年代学的系统数据,也是年代学研究上的一个大进展。

5.2 年代地层划分

麻则沟组 (N_2^3m):前人测试的古地磁年龄为 0.69~2.39 Ma^[14~16]、2.50~3.40 Ma^[25,28];本次沉积物的 ESR 法同位素测年结果表明,它们的形成时间介于 2.50~3.04 Ma,综合判断其形成时代属新近纪上新世晚期。

高庄组 (N_2^1g):前人测试的古地磁年龄为 2.39~3.30 Ma^[14~16]、3.40~5.20 Ma^[25,28];本次沉积物的 ESR 法同位素测年结果表明,它们的形成时间为 3.25~5.25 Ma,综合判断其形成时代属新近纪上新世早期。

马会组 (N_1m):前人测试的古地磁年龄为 3.30~4.20 Ma^[14~16]、5.20~6.00 Ma^[28];本次沉积物的 ESR 法同位素测年结果表明,它们的形成时间为 5.30~13.10 Ma,综合判断其形成时代属新近纪中新世晚期。

因此,山西榆社地区河湖相沉积形成的时间,为新近纪上新世—新近纪中新世晚期。该套地层由新近系上新统上部麻则沟组、新近系上新统下部高庄组和中新统上部马会组组成(表 3)。

6 结论与讨论

(1)根据沉积岩性、不整合面、所含化石、固结程度和岩性的变化,可将山西榆社地区 3 个组的河湖

表 2 山西榆社地区新近系 ESR 测年结果

Table 2 ESR dating of Neogene System in Yushe area, Shanxi Province

| 样品编号 | 地层 | 年龄/Ma | 样品编号 | 地层 | 年龄/Ma |
|--------|---------|----------|-------|---------|-----------|
| MZE-3 | 麻则沟组 | 2.55±0.3 | NE-3 | 高庄组南庄沟段 | 4.28±0.1 |
| MZE-4 | 麻则沟组 | 2.60±0.1 | NE-2 | 高庄组南庄沟段 | 4.37±0.1 |
| MZE-5 | 麻则沟组 | 2.65±0.1 | NE-1 | 高庄组南庄沟段 | 4.44±0.1 |
| MZE-6 | 麻则沟组 | 2.71±0.1 | TE-10 | 高庄组桃阳段 | 4.50±0.1 |
| MZE-7 | 麻则沟组 | 2.78±0.1 | TE-9 | 高庄组桃阳段 | 4.61±0.1 |
| MZE-8 | 麻则沟组 | 2.85±0.1 | TE-8 | 高庄组桃阳段 | 4.70±0.1 |
| MZE-9 | 麻则沟组 | 2.91±0.1 | TE-7 | 高庄组桃阳段 | 4.80±0.1 |
| MZE-10 | 麻则沟组 | 2.97±0.1 | TE-6 | 高庄组桃阳段 | 4.86±0.1 |
| MZE-11 | 麻则沟组 | 3.04±0.1 | TE-5 | 高庄组桃阳段 | 4.90±0.1 |
| CE-3 | 高庄组醋柳沟段 | 3.25±0.1 | TE-4 | 高庄组桃阳段 | 4.98±0.1 |
| CE-4 | 高庄组醋柳沟段 | 3.33±0.1 | TE-3 | 高庄组桃阳段 | 5.04±0.2 |
| CE-5 | 高庄组醋柳沟段 | 3.41±0.1 | TE-2 | 高庄组桃阳段 | 5.13±0.2 |
| CE-6 | 高庄组醋柳沟段 | 3.50±0.1 | TE-1 | 高庄组桃阳段 | 5.20±0.2 |
| CE-7 | 高庄组醋柳沟段 | 3.57±0.1 | ME-7 | 高庄组桃阳段 | 5.25±0.2 |
| CE-8 | 高庄组醋柳沟段 | 3.67±0.1 | ME-6 | 马会组 | 5.30±0.3 |
| CE-9 | 高庄组醋柳沟段 | 3.73±0.1 | ME-5 | 马会组 | 8.80±0.8 |
| CE-10 | 高庄组醋柳沟段 | 3.81±0.1 | ME-4 | 马会组 | 10.00±1.0 |
| NE-6 | 高庄组南庄沟段 | 4.05±0.1 | ME-3 | 马会组 | 10.50±1.0 |
| NE-5 | 高庄组南庄沟段 | 4.13±0.1 | ME-2 | 马会组 | 11.20±1.0 |
| NE-4 | 高庄组南庄沟段 | 4.21±0.1 | ME-1 | 马会组 | 13.01±1.3 |

注:由成都理工大学 ESR 实验室梁兴中教授测定。

表 3 西省新近纪地层综合划分表
Table 3 Neogene stratigraphical division in Shanxi Province

| 地层系统 | | | | 柱状图 | 厚度 (m) | 描 述 | ESR (Ma) |
|-------|-------|------------------------|--|--------------------|--------|--------------------------------|----------|
| 界 | 系 | 统 | 组(段) | | | 海眼组 (Qp ^{1h}) 紫红色粘土层 | |
| 新 生 界 | 新 近 系 | 上 新 统 | 麻 则 沟 组
N ₂ ^m | | 8.5 | 黄色粗砂层, 偶夹紫色砂质粘土层 | 2.50 |
| | | | | | 5.8 | 紫色粘土层, 底部含砂质 | 2.60 |
| | | | | | 9.5 | 黄色粗砂岩夹猪肝色粘土层 | 2.75 |
| | | | | | 5.5 | 紫红色粘土层 | 2.71 |
| | | | | | 30.6 | 黄色巨厚层粗砂岩, 斜层理发育 | 2.78 |
| | | | | | 6.5 | 灰黑色粘土层夹黄色粗砂层 | 2.85 |
| | | | | | 5.7 | 黄色粗砂岩夹紫色砂质粘土层 | 2.91 |
| | | | | | 15.5 | 猪肝色粘土层夹泥质粗砂层, 层理发育 | 2.97 |
| | | | | | 13.2 | 灰紫色粗砂层, 半固结或成岩 | 3.04 |
| | | | | | 4.1 | 灰紫色砂质粘土层, 顶部为黄绿色泥岩 | 3.25 |
| | | | | | 7.7 | 灰紫色粗砂层, 底部含砾 | 3.33 |
| | | | | | 6.7 | 灰紫色泥质粗砂层, 顶部为泥灰岩 | 3.41 |
| | | | | | 15.4 | 灰紫色含砾粗砂层 | 3.50 |
| | | | | | 11.6 | 猪肝色砂质粘土层, 顶部为细砂层 | 3.57 |
| | | | 12.3 | 褐黄色含砾粗砂层 | 3.67 | | |
| | | | 30.3 | 猪肝色粘土层, 下部含角砾 | 3.73 | | |
| | | | 17.8 | 紫色砂质粘土层夹黄色泥质细砂层和砂层 | 3.81 | | |
| | | | 6.1 | 灰黄色、紫色含砾粗砂层 | 4.05 | | |
| | | | 7.3 | 锈黄色粗砂和猪肝色粘土互层 | 4.13 | | |
| | | | 6.8 | 土黄色细砂层, 层理发育 | 4.21 | | |
| | | | 8.5 | 褐色粘土层, 上部为砂质粘土 | 4.28 | | |
| | | | 2.3 | 浅灰色薄层泥灰岩 | 4.98 | | |
| | | | 7.9 | 灰黄色粘土岩, 顶底见薄砂层 | 4.28 | | |
| | | | 5.7 | 锈黄色粗砂层, 层理发育 | 4.37 | | |
| | | | 8.5 | 灰紫色砂质粘土层 | 4.44 | | |
| | | | 8.9 | 锈黄色粗砂层, 底为砾岩 | 4.50 | | |
| | | | 3.2 | 土黄色粗砂层夹细砾岩, 具斜层理 | 4.61 | | |
| | | | 4.5 | 紫色粘土层夹薄层土黄色砂层 | 4.70 | | |
| | 33.0 | 土黄色细砂层夹紫红色粘土条带 | 4.80 | | | | |
| | 6.7 | 猪肝色粘土层 | 4.86 | | | | |
| | 2.3 | 金黄色泥质细砂层, 层理发育 | 4.90 | | | | |
| | 41.3 | 金黄色巨厚层粗砂层, 斜层理发育, 底为砾岩 | 4.98 | | | | |
| | 25.0 | 土黄色粗砂与含砾粗砂互层, 层理发育 | 5.04 | | | | |
| | 15.4 | 紫色粘土层与土黄色粗砂互层, 层理发育 | 5.13 | | | | |
| | 17.9 | 灰色砾岩与土黄色粗砂岩互层 | 5.20 | | | | |
| | 9.0 | 猪肝色粘土层, 底部为砂质粘土层 | 5.25 | | | | |
| | >1.5 | 土黄色粗砂层, 层理发育 | 5.30 | | | | |
| | | 三叠系 | | | | | |
| | | 中 新 统 | 马 会 组
N ₁ ^m | | 25.0 | 土黄色粗砂与含砾粗砂互层, 层理发育 | 5.30 |
| | | | | | 15.4 | 紫色粘土层与土黄色粗砂互层, 层理发育 | 8.80 |
| | | | | | 17.9 | 灰色砾岩与土黄色粗砂岩互层 | 10.0 |
| | | | | | 9.0 | 猪肝色粘土层, 底部为砂质粘土层 | 10.5 |
| | | | | | >1.5 | 土黄色粗砂层, 层理发育 | 11.2 |
| | | | | | | | 13.1 |

相地层划分为 37 层。5 条实测剖面表明,其总厚度达 446.5 m。

(2)孢粉分析、哺乳动物和介形类化石鉴定、古地磁和 ESR 法测年结果表明,山西榆社地区河湖相沉积地层的形成时间为新近纪上新世—中新世晚期。

(3)根据岩石地层、生物地层和年代地层的综合研究结果,可将山西榆社地区原山西省区测队划分的下更新统楼则峪组、上新统上部的张村组及上新统下部的任家垴组,进一步补充完善为:新近系上新统上部麻则沟组、新近系上新统下部高庄组和中新统上部马会组。

(4)山西榆社地区的麻则沟组、高庄组和马会组的地层层序十分清楚,在区域地质调查中具有较强的可对比性。同时,这 3 个组中所含动植物化石都十分丰富,对地层单元时代的确定和研究新近纪生物地层具有重要意义。

致谢:在工作中得到孙立蓓、马天林、王建平研究员的具体指导和大力帮助,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1] 山西省地质矿产局. 山西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1988. Bureau of Geology and Mineral Resources of Shanxi Province, Regional Geology of Shanxi Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988 (in Chinese with English abstract).
- [2] 杨钟健. 中国人类化石及新生代地质概论 [J]. 地质专报乙种, 1933, (5):1-106. Young Chungchien. Fossil man and summary of Cenozoic geology in China[J]. Geology Reported B, 1933 (5):1-106 (in Chinese).
- [3] Teilhard de chardin P, Young C C. Preliminary observations on the Pre-loessic and Post-Pontain Formations in Western Shansi and Northern Shansi [J]. Geol. Men., Surv. China, Ser A. 1930, No.8: 1-90.
- [4] 杨钟健. 中国上新统与更新统之分界问题[J]. 科学, 1940, 24 (4): 261-280. Young Chungchien. The boundary between Pliocene and Pleistocene[J]. Science, 1940, 24 (4): 261-280 (in Chinese).
- [5] Andersson J G. Essays on the Cenozoic of northern China [J]. Geol. Mem. Surv. China, Ser. A, 1923, No. 3, 25-54.
- [6] Licent E, Trassaet C M. The phocena lacustrine series in central Shansi[J]. Bull, Geol. Soc. 1933, 14, (2):12-27.
- [7] Berkey C P, Granger W. Later sediments of the desert basins of Central Mongolia[J]. Amer. Mus. Novitates, 1923, 77, 1-16.
- [8] 胡长康. 山西榆社上新世古鹿属(Metacervulus)一新种及鹿亚科分类的讨论[J]. 古脊椎动物与古人类, 1962, 6(3):251-261. Hu Changkang. A new species of Metacervulus of Yushe, Shansi, with notes on Pliocene muntjaks of China[J]. Vertebrata PalAsiatica, 1962, 6 (3):251-261 (in Chinese with English abstract).
- [9] 裴文中, 周明镇, 郑家坚. 中国的新生界[M]. 北京:科学出版社, 1963. Pei Wenzhong, Zhou Mingzhen, Zheng Jiajian. Cenozoic Group of China[M]. Beijing: Science Press, 1963(in Chinese).
- [10] 刘宪亭, 苏德造. 山西榆社盆地上新世鱼类[J]. 古脊椎动物与古人类, 1962, 6(1):1-25. Liu Hsienting, Su Tezao. Pliocene fishes from Yushe basin, Shansi [J]. Vertebrata PalAsiatica, 1962, 6 (1): 1-25 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李传夔. 山西榆社上新世沙鼠化石[J]. 古脊椎动物与古人类, 1981, 19(4):321-326. Li Chuankuei. Pontian sand-rat from Yushe basin, Shansi [J]. Vertebrata PalAsiatica, 1981, 19 (4): 321-326 (in Chinese with English abstract).
- [12] 邱占祥, 阎德发. 山西榆社一有角大唇犀[J]. 古脊椎动物与古人类, 1982, 20(2):122-132. Qiu Zhanxiang, Yan Defa. A Horned Chiloterium skull from Yushe, Shansi[J]. Vertebrata PalAsiatica, 1982, 20 (2): 122-132 (in Chinese with English abstract).
- [13] 邱占祥, 理·戴福德. 山西榆社狐化石一新种 [J]. 古脊椎动物学报, 1990, 28(4):245-258. Qiu Zhanxiang, Tedford R H. a Pliocene species of I'ulpes from Yushe, Shanxi[J]. Vertebrata PalAsiatica, 1990, 28 (4): 245-258 (in Chinese with English abstract).
- [14] 刘兰锁. 山西榆社组地质时代的商榷 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1983, 3(4):105-110. Liu Lansuo. Sporo-pollen analysis of the Yushe formation and its geological age[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1983, 3 (4): 105-110 (in Chinese with English abstract).
- [15] 曹照垣, 邢历生, 于清河. 榆社组磁性地层的年代与界线 [J]. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 1985, (6):143-154. Cao Zhaoyuan, Xing Lisheng, Yu Qinhe, The age and boundary of magnetic strata of the Yushe formation [J]. Bulletin of the Institute of Geomechanics CAGS, 1985, 6:143-154 (in Chinese with English abstract).
- [16] 何培元. 论“榆社组”地层的时代归属及其环境变迁[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1984, 4(2):77-89. He Peiyuan. On the geological age of the “Yushe formation” and its environment variation [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1984, 4 (2): 77-89 (in Chinese with English abstract).
- [17] 曹家欣, 崔海亭. 山西榆社上新世植物群及环境 [J]. 地质科学, 1989(4):369-375. Cao Jiabin, Cui Haiting. Research of Pliocene flora and Palaeoenvironment of Yushe basin on Shanxi Plateau, China [J]. Scientia Geologica Sinica, 1989, 4:369-375 (in Chinese with English abstract).
- [18] 陈冠芳. 山西榆社上新世山羊类一新属 [J]. 古脊椎动物学报,

- 1991, 29(3):230-236.
- Chen Guanfang. A new genus of caprini (Bovidae, Ariodactyla) from upper Pliocene of Yushe, Shanxi [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1991, 29(3):230-236 (in Chinese with English abstract).
- [19] 理·戴福德, 邱占祥. 山西榆社上新世的貉(食肉目, 犬科)化石兼论中国的貉化石[J]. *古脊椎动物学报*, 1991, 29(3):176-189.
- Richard H, Tedford, Qiu Zhanxiang. Pliocene Nyctereutes (Carnivora; Canidae) from Yushe, Shanxi, with comments on Chinese fossil raccoon-dogs[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1991, 29 (3): 176-189 (in Chinese with English abstract).
- [20] 王惠基. 山西榆社楼则峪组和张村组的地质时代 [J]. *地层学杂志*, 1992, 16(4):290-291.
- Wang Huiji. Ages of the Louzeyou and Changtsun Formations in Yushe, Shanxi[J]. *Journal of Stratigraphy*, 1992, 16 (4):290-291(in Chinese with English abstract).
- [21] 董为, 胡长康. 记山西榆社后恼的晚中新世鹿科化石[J]. *古脊椎动物学报*, 1994, 32(3):209-227.
- Dong Wei, Hu Changkang. The late Miocene Cervidae from Hounao, Yushe basin, Shanxi [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1994, 32 (3):209-227 (in Chinese with English abstract).
- [22] 劳伦斯·J·弗林. 山西榆社晚中新世竹鼠一新种 [J]. *古脊椎动物学报*, 1993, 31(2):95-101.
- Lawrence J. Flynn. A new bamboo rat from the late Miocene of Yushe basin [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1993, 31 (2):95-101 (in Chinese with English abstract).
- [23] 李小强, 李承森, 鹿化煜, 等. 山西榆社—太谷盆地上新世中晚期的植被与环境[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 22(1):103-108.
- Li Xiaoqiang, Li Chengsen, Lu Huayu, et al. Paleovegetation and paleoenvironment in middle-late Pliocene Yushe and Taigu basins, eastern Shanxi, China [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 22 (1):103-108 (in Chinese with English abstract).
- [24] 李传夔, 吴文裕, 邱铸鼎. 中国陆相新第三系的初步划分与对比 [J]. *古脊椎动物学报*, 1984, 22(3):163-178.
- Li Chuankuei, Wu Wenyu, Qiu Zhuding. Chinese Neogene; Subdivision and correlation [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1984, 22 (3): 163-178 (in Chinese with English abstract).
- [25] 邱占祥, 邱铸鼎. 中国晚第三纪地方哺乳动物化石的排序及其分期[J]. *地层学杂志*, 1990, 14(4):241-260.
- Qiu Zhanxiang, Qiu Zhuding. Neogene local mammalian faunas; Succession and ages[J]. *Journal of Stratigraphy*, 1990, 14 (4):241-260 (in Chinese with English abstract).
- [26] 董永生, 郑少华, 邱铸鼎. 中国新生代哺乳动物分期 [J]. *古脊椎动物学报*, 1995, 33(4):290-314.
- Tong Yongsheng, Zheng Shaohua, Qiu Zhuding. Chinese Cenozoic era mammal age [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1995, 33 (4): 290-314 (in Chinese with English abstract).
- [27] 《中国地层典》编委会. 第三系(郑家坚、何希贤、邱铸鼎等编著) [M]. 北京:地质出版社, 1999.
- The Editor Committee of the China's Strata, The Tertiary System [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999 (in Chinese).
- [28] 王乃文, 何希贤. 新近系[C]//汪啸风, 陈孝红等编著, 中国各地质时代地层划分与对比. 北京:地质出版社, 2005:523-558.
- Wang Naiwen, He Xixian. The Palaeogene [C]//Wang Xiaofeng, Chen Xiaohong(eds.). *Stratigraphic division and correlation of each geologic period in China*. Beijing: Geological Publishing House, 2005:523-558 (in Chinese).
- [29] 王津, 朱大岗, 孟宪刚, 等. 西藏札达盆地古格组剖面沉积环境演化特征[J]. *中国地质*, 2006, 33(5):1006-1012.
- Wang Jin, Zhu Dagang, Meng Xiangang, et al. Features of the change in Pliocene depositional environment at the Guge Formation section in the Zanda basin, Tibet [J]. *Geology in China*, 2006, 33 (5):1006-1012 (in Chinese with English abstract).
- [30] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地早更新世早期沉积及其古气候与古环境变化 [J]. *中国地质*, 2006, 33(6):1276-1284.
- Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. Early Pleistocene deposits and paleoclimatic and paleoenvironmental changes in the Zanda basin, Ngari area, Tibet[J]. *Geology in China*, 2006, 33 (6):1276-1284 (in Chinese with English abstract).
- [31] 余佳, 罗鹏, 韩建恩, 等. 西藏札达盆地古格剖面孢粉记录及其反映的古环境信息[J]. *中国地质*, 2007, 34(1):55-60.
- Yu Jia, Luo Peng, Han Jianen, et al. Sporopollen records in the Guge section of the Zanda basin, Tibet, and paleoenvironmental information reflected by it[J]. *Geology in China*, 2007, 34 (1):55-60 (in Chinese with English abstract).
- [32] 朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等. 西藏纳木错和藏北高原古大湖晚更新世以来的湖泊演化与气候变迁 [J]. *中国地质*, 2004, 31(3):269-277.
- Zhu Dagang, Meng Xiangang, Zhao Xitao, et al. Evolution and climatic change of Nam Co of Tibet and an ancient large lake in the northern Tibetan Plateau since the late Pleistocene [J]. *Geology in China*, 2004, 31 (3):269-277(in Chinese with English abstract).
- [33] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏札达盆地及周缘高山区第四纪冰川堆积及冰川进退程讨论[J]. *中国地质*, 2006, 33(1):86-97.
- Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. Quaternary glacial deposition and glacial advance and retreat in the Zanda basin and its surrounding mountains in Ngari, Tibet [J]. *Geology in China*, 2006, 33 (1):86-97(in Chinese with English abstract).
- [34] 吴珍汉, 吴中海, 叶培盛, 等. 青藏高原晚新生代孢粉组合与古环境演化[J]. *中国地质*, 2006, 33(5):966-979.
- Wu Zhenhan, Wu Zhonghai, Ye Peisheng, et al. Late Cenozoic environmental evolution of the Qinghai-Tibet Plateau as indicated by the evolution of sporopollen assemblages [J]. *Geology in China*, 2006, 33 (5):966-979 (in Chinese with English abstract).
- [35] 王强. 察尔汗盐湖的突然形成与地表系统巨变——据介形类研究[J]. *地质力学学报*, 1998, 4(4):82-87.
- Wang Qiang. Abrupt formation of the Charhan salt lake and the Megaevolution of the Earth surface system -on the basis of Ostracoda [J]. *Journal of Geomechanics*, 1998, 4 (4):82-87 (in Chinese with English abstract).

- [36] 梁兴中, 童运福. 古剂量勘查技术 [J]. 物探化探计算技术, 1996, 18(增刊):27-30.
Liang Xingzhong, Tong Yunfu. A method of Paleodose exploration [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 1996, 18:27-30 (in Chinese with English abstract).
- [37] Ye Y G, Diao S B, He J, et al. ESR dating studies of palaeo-debris-flow deposition Donggechuan, Yunnan Province, China [J]. Quaternary Geochronology, 1998, 17:1073-1076.
- [38] Bluszcz A, Goslar T, Hercman H. Comparison of TL, ESR and ^{14}C dates of speleothems [J]. Quaternary Science Reviews, 1988, 7:417-421.
- [39] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新世-早更新世河湖相地层年代学研究 [J]. 中国地质, 2007, 34(6):983-992.
Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. Chronology of Pliocene-early Pleistocene lacustrine strata in the Zanda basin Ngari area, Tibet [J]. Geology in China, 2007, 34 (6):983-992 (in Chinese with English abstract).
- [40] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 山西平陆地区古近纪河湖相地层的重新厘定与划分 [J]. 中国地质, 2008, 35(4):656-669.
Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zaogang, et al. Revision and classification of Paleogene fluvial-lacustrine strata in the Pinglu area, Shanxi [J]. Geology in China, 2008, 35 (4):656-669 (in Chinese with English abstract).
- [41] 全国地层委员会编. 中国地层指南及中国地层指南说明书(修订版) [M]. 北京:地质出版社, 2001.
The National Commission on Stratigraphy. The Stratigraphy in Guide and Explanatory of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001 (in Chinese).

A discussion on the age of the Neogene strata in Yushe area, Shanxi Province

ZHU Da-gang^{1,2}, MENG Xian-gang², SHAO Zhao-gang^{1,2}, LEI Wei-zhi², WANG Jin²
HAN Jian-en², YU Jia², LV Rong-ping², WANG Yan²

(1. Key Laboratory of Neotectonic Movement & Geohazard, Ministry of Land and Resources, Beijing 100081, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on geological survey and measured profiles, the authors carried out a detailed study and classification of the Neogene strata distributed in the Yushe area of Shanxi Province. ESR dating combined with biostratigraphic and Paleomagnetic dating of the Neogene strata in the study area revealed the stratigraphic sequence as follows (in descending order): Upper Pliocene Mazegou Formation, Lower Pliocene Gaozhuang Formation and Miocene Mahui Formation. Based on the measured section, the authors divided the fluvio-lacustrine facies sediments of the three formations into 37 layers, with the total thickness being 446.5m. It is obvious from the ESR dating that the Mazegou Formation (2.50~3.04Ma), the Gaozhuang Formation (3.25~5.25Ma) and the Mahui Formation (5.30~13.10Ma) should belong respectively to Late Pliocene, Early Pliocene and Late Miocene.

Key words: Yushe in Shanxi; Neogene; ESR; lithostratigraphy; biostratigraphy

About the first author: ZHU Da-gang, born in 1951, male, senior researcher, director of doctors, engages in research on regional geology, sedimentary facies and paleoenvironment; E-mail: dagangzhu@sohu.com.