

西宁盆地嵌齿象化石地点考证及地层对比^①

李春晓¹⁾²⁾³⁾ 王世骥¹⁾²⁾ 郝呈禄⁴⁾ 陈光庭⁴⁾ 孙博阳¹⁾²⁾ 郑妍¹⁾ 许泗建¹⁾

1) 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室 北京 100044;

2) 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心 北京 100044;

3) 中国科学院大学 北京 100049;

4) 青海省地质调查院 青海西宁 810012

摘要: 西宁盆地的间型嵌齿象(*Gomphotherium connexum*)和维曼嵌齿象(*Gomphotherium wimani*)的种型群材料是中国最早的一批有出土地点记录的长鼻类化石。这些化石在西宁盆地新生代地层划分和对比中起到了基础性的作用,但长期以来,对二者种型群材料产出的精确地点和层位并不完全清楚。受此影响,对二者生物年代及演化阶段的研究,以及西宁盆地的地层对比存在很多争议。对西宁盆地间型嵌齿象和维曼嵌齿象种型群化石点(即正型地点)进行了多方考证,获取了化石地点的准确位置:吊沟和八盘山。通过地层对比,证明两种嵌齿象的正型地点出自同一层位——关家山组(原咸水河组下部)底部河道相的绿色砂砾岩层中,两者的时代相同。依据已有的古地磁结果,间型嵌齿象和维曼嵌齿象的正型地点的年代应为16~15 Ma。通过形态学分析进一步阐释两种嵌齿象的系统演化关系,认为二者仅代表不同的演化方向,而不是原始与进步的演化阶段。这一方面对中国古生物史的研究有重要意义,另一方面为探讨嵌齿象类群演化的问题提供了关键性的年代学数据,也对西宁盆地的大地构造和沉积环境演化等方面提供了重要的生物地层学证据。

关键词: 地层对比, 生物年代, 嵌齿象, 中中新世, 西宁盆地, 青海

中图分类号: P534.62

文献标识码: A

文章编号: 0253-4959(2018)03-0313-12

胡步伍(Hopwood, 1935)首先描述了西宁盆地的长鼻类化石,包括间型三棱齿象(*Trilophodon connexus*)和维曼三棱齿象(*T. wimani*)。三棱齿象(*Trilophodon*)属后来被认为是嵌齿象(*Gomphotherium*)属的同物异名(Simpson, 1945),因此二者的名称分别被订正为间型嵌齿象(*G. connexum*)和维曼嵌齿象(*G. wimani*)(图1)。这是中国最早建立的嵌齿象种类,也是中国第一批有确切的出土地点记录的长鼻类化石(Hopwood, 1935)。这些化石是由安特生(Andersson)于1923~1924年考察甘肃、青海和宁夏等地时发现的(Andersson, 1925; Sun C. C., 1936; Young C. C. & Bian M. N. 1937; Mateer & Lucas, 1985)。

Hopwood(1935)记载两种嵌齿象在西宁盆地种型群材料的地点记录如下:地点1,“Kansu, Sining Fu, SW 20 li, Shui Ch’üan P’u, SE 5 li, Tiao Kou”,出产间型嵌齿象(Hopwood, 1935: p. 15);地

点2,“Kansu, Sining Hsien from city SE 35 li, Hsin T’ien P’o N 3 li, Pa P’an Shan”,出产维曼嵌齿象(Hopwood, 1935: p. 20)。这些地名仅见于英文文献,由于年代久远,化石出土的地点已经不为人熟悉,其对应的中文写法并不清楚;并且近现代中国发生过多次行政区域变更,很多地名已不再使用。吊沟地点(地点1, Tiao Kou)由邱铸鼎等(1981)在石油队的指引下重新确定,但限于技术条件,当时没有对化石点的经纬度进行准确的记录,也没有对地点详细的进行考证;而八盘山地点(地点2, Pa P’an Shan),则不为学术界所知(图2)。

近年来,通过对当地百姓的走访和对西宁盆地的地层考察,确定了维曼嵌齿象和间型嵌齿象种型群的精确出土地点(即正型地点)和层位,这对中国古生物史的研究具有重要意义。详细的地层对比证明,两种嵌齿象的出土位置均位于关家山组

^①国家自然科学基金项目(No: 41372001, 41430102), 科学技术部基础性工作专项(2015FY310100-14), 青海省基金项目(批准号: 2016113003JC003)和中国地质调查局项目(DD20160120-04/121201102000150010-04)。

文稿接受日期: 2018-03-27; 修改稿收到日期: 2018-06-25。

第一作者简介: 硕士研究生, 从事晚新生代哺乳动物和陆相地层的研究; e-mail: chunxiaoli323@126.com

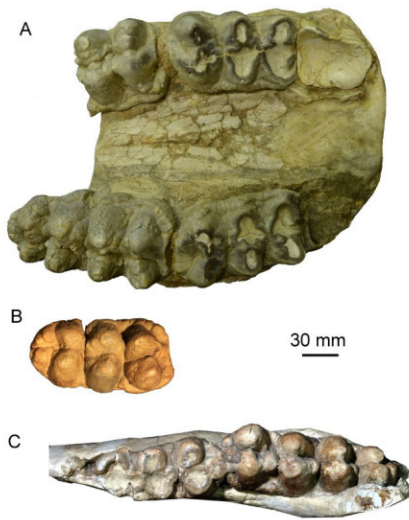


图 1 维曼嵌齿象上颌, 正型标本(PMU M3649), 腹视, 八盘山地点; B: 间型嵌齿象左第三上臼齿, 副型标本模型(RV35049), 冠面视, 吊沟地点; C: 间型嵌齿象左下颊齿列, 正型标本模型(RV35015), 冠面视, 吊沟地点。
A, ventral view of the maxilla of *G. wimani* (PMU M3649, holotype), Bapanshan locality; B, occlusal view of the left M3 of *G. connexum* (RV35049, cast of the paratype); Diaogou locality; C, occlusal view of the left lower tooth row of *G. connexum* (RV35015, cast of the holotype), Diaogou locality.

图 1 Hopwood(1935)报道的西宁盆地长鼻类化石

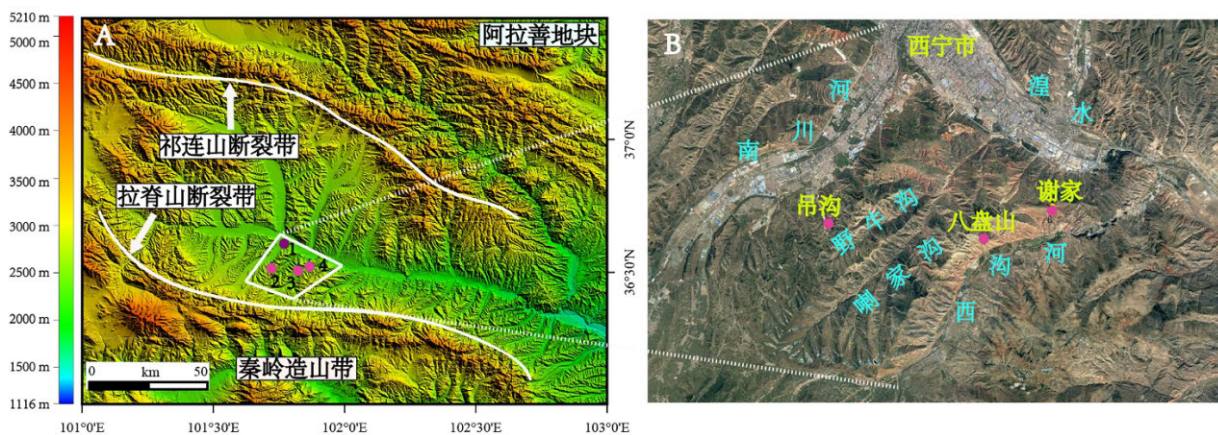
Fig. 1 Fossil proboscideans from the Xining Basin, reported by Hopwood(1935)

(原咸水河组下部)的底部, 两者的层位完全一致, 说明两种嵌齿象的时代相同, 这对于嵌齿象的演化研究提供了非常重要的信息。嵌齿象化石在西宁盆地的地层对比中起到了非常重要的作用(李传夔、邱铸鼎, 1980; 邱铸鼎等, 1981; 青海省地质矿产局,

1985、1991; 刘梦儒, 1992; 青海省地质调查院, 2007; 肖国桥, 2009; Xiao G. Q. *et al.*, 2012; Zan J. B. *et al.*, 2015; Zhang W. L. *et al.*, 2017), 因此, 对嵌齿象化石地点的考证和厘清, 为新生代西宁盆地演化的年代学研究提供了生物地层方面的关键证据。

1 地点考证

地点考证主要通过两条途径: 一是语音学方面的考证, 二是走访当地的村民。上世纪 50 年代以前中国常采用威妥玛式拼音法(Wade-Giles romanization), 其中利用送气符号(')来表示送气的声母, 在中国推广汉语拼音方案前广泛被用于人名、地名注音(威妥玛, 1886)。按照汉语拼音与威妥玛式拼法的对照, 化石地点 1, “Kansu, Sining Fu, SW 20 li, Shui Ch'üan P'u, SE 5 li, Tiao Kou” 其中的四个地名转换成汉语拼音应该是: Gansu, Xining Fu, Shuiquanpu, Diaogou; 前两个地名指的是甘肃、西宁府。据《西宁市志·大事记》记载: 公元 1725 年(雍正三年)改西宁卫为西宁府, 隶属甘肃省, 其所属西宁附廓为西宁县。公元 1913 年(民国 2 年)北洋政府裁撤西宁府。公元 1929 年(民国 18 年), 1 月 1 日, 青海省政府正式成立, 以西宁为省会(西宁市志编纂委员会, 1998)。其中还提到: 在公元 1923 年, 瑞典学者安特生(Andersson)以中国政府矿业顾问身份来到西宁十里铺进行墓葬发掘(西宁市志编纂委员会, 1998)。



A. 西宁盆地的地形和地貌(DEM 图像), 白色框线表示该研究的区域, 1. 西宁市中心, 2. 吊沟剖面, 3. 八盘山剖面, 4. 谢家剖面; B. 吊沟、八盘山和谢家化石点的位置(Google Earth 图像)

A. Topography and geomorphology of the Xining Basin(DEM image). White frame denotes the study area in the present paper. 1. center of the Xining city; 2. Diaogou locality; 3. Bapanshan locality; 4. Xiejia locality. B. location of the Diaogou, Bapanshan, and Xiejia fossil localities(Google Earth image)

图 2 西宁盆地长鼻类化石点的地理信息

Fig. 2 Geographic information of fossil proboscidean localities from the Xining Basin

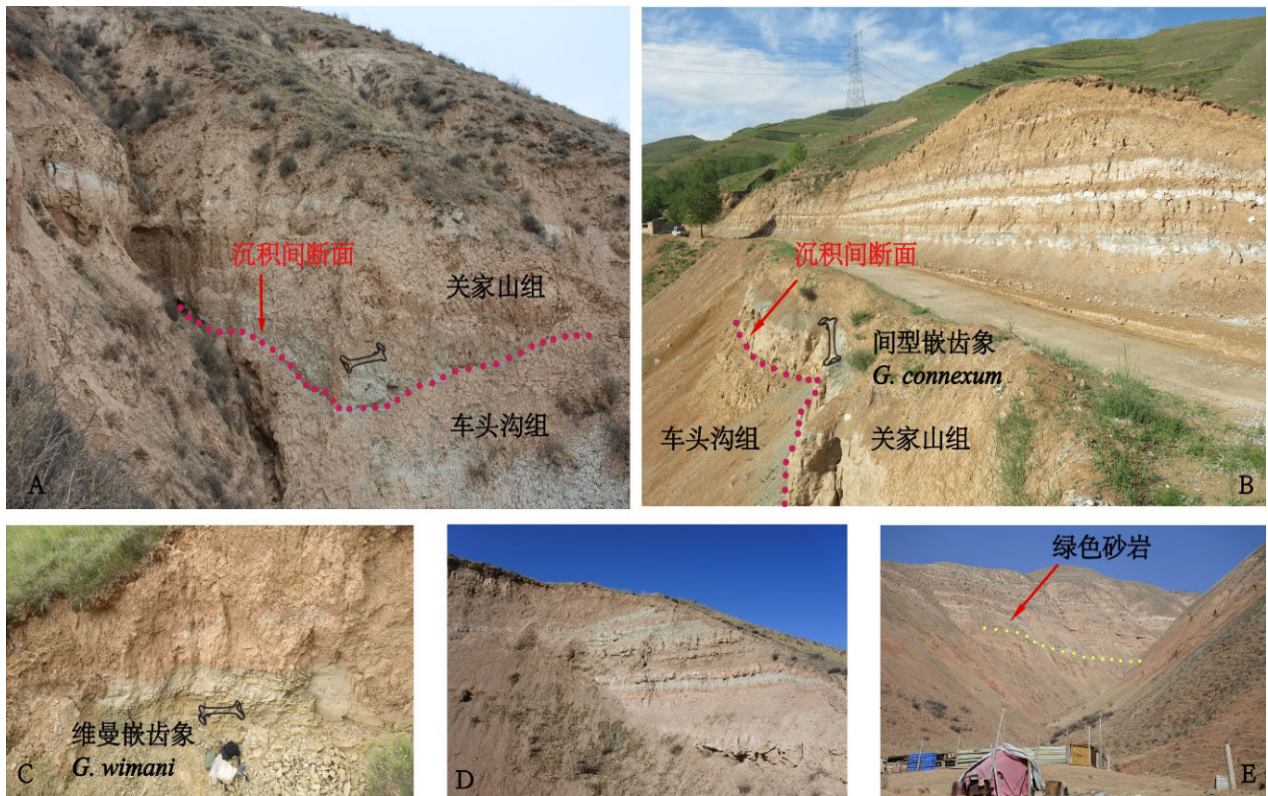
根据青海省地质调查院提供的线索,我们在西宁市城中区总寨镇泉尔湾村(原属湟中县),访问了泉尔湾村村民方胜邦和方振满。根据他们的叙述,泉尔湾村(GPS 坐标: 36°32'24.23"N, 101°42'59.21"E)原名“水泉堡”,与地点 1 的第三个地名 Shui Ch'üan P'u(Shuiquanpu)发音一致。通过在 Google Earth 上距离测量,泉尔湾村在西宁西关(原市中心)西南方向,直线距离 10.31 km,与 Hopwood(1935)记载的 SW(south-west 西南)20 li(里)非常吻合。方胜邦和方振满均提到了泉尔湾村东南的吊沟化石点,出产过大量的龙骨,并且听闻上世纪 20 年代有外国人在这里收集过化石(应该指安特生等人),吊沟的发音与地点 1 中的第四个地名 Tiao Kou(Diaogou)吻合。方胜邦还带领我们找到了吊沟化石点(GPS 坐标: 36°30'53.60"N, 101°43'19.60"E),与泉尔湾的直线距离为 2.59 km,和 Hopwood(1935)记载的 SE(south-east 东南)5 li(里)非常吻合。此外,邱铸鼎等人在石油队的带领下在吊沟收集过长鼻类化石(邱铸鼎等, 1981)。综合以上所有证据,表明吊沟化石点即为 Hopwood(1935)记载的间型嵌齿象的正型地点。

化石地点 2, “Kansu, Sining Hsien from city SE 35 li, Hsin T'ien P'o N 3 li, Pa P'an Shan”, 四个地名转换成汉语拼音应该是: Gansu, Xining Xian, Xintianpu, Bapanshan。其中第二个地名应为西宁县,据《西宁市志·大事记》,西宁府和西宁县是同一位置,前文已述(西宁市志编纂委员会, 1998)。我们到西宁市湟中县田家寨镇新村村进行走访,通过一位名叫李宜禄的老人了解到:新村村(GPS 坐标: 36°29'42.29"N, 101°49'28.40"E)原名新添堡,发音与第三个地名 Hsin T'ien P'o (Xintianpu)一致。该地名在人民公社时期改名为新村村。村北八盘山上部的“青土”层中出产“龙骨”,在 50 年代和 70 年代当地都有大规模挖掘“龙骨”活动。通过在 Google Earth 上距离测量,新村村在西宁西关(原市中心)西南方向,直线距离 17.11 km,与 Hopwood(1935)记载的 SE 35 Li(里)吻合;而八盘山的发音 Bapanshan 与第四个地名 Pa P'an Shan 一致。在方胜邦的带领下,我们找到了八盘山化石地点(GPS 坐标: 36°30'35.60"N, 101°49'16.20"E),与新村村的直线距离为 1.57 km,与 Hopwood(1935)记载的 N 3 li(里)相吻合。综合以上证据,八盘山化石点即为 Hopwood(1935)记载的维曼嵌齿象的正型地点。这也是在 Hopwood (1935)之后对八盘山地点的唯一的地质古生物学记载。

2 地质概况和地层剖面

西宁盆地位于青海省东北部,青藏高原东北缘。西宁盆地在大地构造上处于祁连地块和北祁连造山带中段,东北部与阿拉善地块相邻,西南部与西秦岭造山带相邻(肖国桥, 2009)。受新生代印度板块向欧亚板块俯冲的影响,在拉脊山断裂带和祁连山南北两条深大断裂带控制下,发育了从晚古新世到更新世比较连续的陆相沉积(图 2A)。从下到上分别为上古新统一始新统祁家川组、中始新统一下渐新统洪沟组、下渐新统一上渐新统马哈拉沟组、上渐新统一下中新统谢家组、下中新统车头沟组、中中新统一上中新统关家山组、上中新统一上新统莫家庄组,以及之上的风成黄土(青海省地质调查队, 1985; 刘梦儒, 1992; 肖国桥, 2009; Zhang W. L. *et al.*, 2017; Yang R. S. *et al.*, in press)。其中,关家山组和莫家庄组原来被划为咸水河组, Zhang W. L. 等(2017)和 Yang R. S. 等(in press)采用新的划分取代“咸水河组”,以便与兰州盆地的同名组相区分,避免不必要的混乱。在谢家村附近的谢家组下部发现了著名的的谢家动物群(李传夔、邱铸鼎, 1980),成为中国新生代谢家期和谢家阶的命名地点。关于谢家剖面,武力超等(2006), Dai S. *et al.*(2006), Xiao G. Q. *et al.*(2012), Zan J. B. *et al.*(2015)均进行过深入的古地磁研究,但是谢家剖面的最上部仅仅到了关家山组的最底部,对于关家山组的大部分层位,这些研究中均没有涉及。

我们对西宁盆地间型嵌齿象正型地点所在的吊沟剖面,和维曼嵌齿象正型地点所在的八盘山剖面进行了详细的地层观察。八盘山剖面与谢家剖面均位于西沟河的西侧,东北距谢家剖面约 7 km(图 2B)。该剖面从下往上依次出露马哈拉沟组、谢家组、车头沟组、关家山组,其中,最下部的马哈拉沟组只出露了最上部,而上部的关家山组仅出露下部。该剖面下部的马哈拉沟组和谢家组以红棕色、灰绿色湖泊相的中—厚层泥岩、石膏质泥岩为主,并含有大量成层的准同生石膏;中部车头沟组石膏逐渐减少,颜色逐渐变黄,碳酸钙质成分逐渐增多,偶夹有河道相的灰黄、灰白色粉砂岩、细砂岩,并含有河漫滩沉积及古土壤层;上部关家山组褐黄色泥岩中含多层湖泊相中—厚层灰白色泥灰岩或钙质泥岩,其底部凹凸不平,且有冲刷—填充构造,说明存在沉积间断(图 3A, 3B)。



A. 八盘山剖面关家山组和车头沟组的沉积间断面; B. 吊沟剖面关家山组和车头沟组的沉积间断面,同时也是间型嵌齿象化石层位(绿色砂砾岩层); C. 八盘山维曼嵌齿象(*Gomphotherium wimani*)化石地点及层位(绿色砂砾岩层); D. 吊沟剖面的“斑马层”; E. 野牛沟地区的“斑马层”及沉积间断面之上的绿色砂岩(黄色虚线)

A. hiatus between the overlying Guanjiashan Formation and the underlying Chetougou Formation, in the Bapanshan Section; B. hiatus between the overlying Guanjiashan Formation and the underlying Chetougou Formation, in the Diaogou Section, also denoting the fossiliferous horizon of *Gomphotherium connexum* (greenish sandstones and conglomerates); C. fossiliferous horizon of *Gomphotherium wimani* from Bapanshan Section (greenish sandstones and conglomerates); D. multilayer of marlstones (“zebra bands”) in the Diaogou Section; E. multilayer of marl stones (“zebra bands”) in Yeniugou area and the greenish sandstones just above the hiatus (yellow dotted line)

图 3 吊沟和八盘山地区的野外露头照片
Fig. 3 Photographs of outcrops of the study area

八盘山剖面(起点 36°30'27.19"N, 101°49'23.53"E)

(图 4A)描述如下:

第四系草山覆盖

~~~~~不整合~~~~~

关家山组

- 32. 灰橙色块状泥质粉砂岩, 夹浅绿色中层状泥灰岩 5.5 m
- 31. 浅绿色厚层状泥灰岩 0.8 m
- 30. 浅绿色薄层状泥灰岩 1.1 m
- 29. 暗黄橙色厚层状泥岩 0.5 m
- 28. 浅绿色薄层状泥灰岩 0.05 m
- 27. 暗黄橙色块状泥岩 2.0 m
- 26. 灰橙色块状泥质粉砂岩, 底部钙质胶结 5.5 m
- 25. 浅棕色薄层状粉砂质泥岩, 含植物根系 0.08 m
- 24. 浅绿色中层状泥灰岩 0.3 m

- 23. 淡黄橙色厚层状泥灰岩 0.8 m
- 22. 浅绿色中层状泥岩, 相变为浅棕色、黄棕色薄层状含砾砂岩、泥岩互层, 有水平及波状层理, 含大量粒径 1~5 cm 钙质粉砂岩结核 4.5 m
- 21. 灰橙色块状粉砂岩, 含有浅绿色钙质粉砂质团块 4.5 m
- 20. 浅橄榄灰色块状中粒长石石英砂岩, 孔隙胶结, 局部为浅橄榄棕色, 含化石及石膏碎片, 底部为沉积间断面, 含哺乳动物化石 *Gomphotherium wimani*?, *Palaeotragus* sp., *Palaeomeryx* (*Sinomeryx*) sp., *Micromeryx* sp., *Tachyoryctoides* sp. 1.5 m

.....假整合.....

车头沟组

- 19. 灰橙色块状粉砂质泥岩, 夹有淡黄橙色钙质粉砂质结核, 直径约 10 cm 3 m

18. 灰橙石块状粉砂质泥岩, 夹有浅橄榄灰色薄层状粉砂质泥岩, 其中在 9 m、42 m 和 84 m 处分别有厚约 1 m 的暗黄棕色中层状钙质泥质粉砂岩, 偶夹浅黄棕色薄层状钙质泥质粉砂岩 100.5 m
17. 浅棕色块状粉砂质泥岩, 夹浅橄榄灰色薄层状粉砂质泥岩。其中在 8 m、15.5 m、27 m 和 48.5 m 处分别有厚约 1 m 的暗黄棕色中层状钙质泥质粉砂岩, 偶夹浅黄棕色薄层状钙质泥质粉砂岩 80 m
16. 浅棕色薄层状含石膏泥岩, 石膏在底部 30 cm 和上部 50 cm 很富集 1.8 m
15. 棕色块状粉砂质泥岩, 夹有深黄绿色薄层状泥岩 20 m
14. 黄棕色薄层状厚约 15 cm 的钙质粉砂质泥岩 1.5 m
13. 浅棕色中层状中细粒长石砂岩, 有小规模平行层理和板状交错层理 0.3 m
12. 浅棕色与黄棕色薄层状粉砂质泥岩 0.5 m
11. 浅黄棕色薄层状粉砂岩 2.6 m

……假整合……

#### 谢家组

10. 棕色块状含粉砂泥岩, 夹浅橄榄灰色薄层状泥岩, 在 13 m 和 32.5 m 处的浅橄榄灰色薄层状泥岩中, 夹蓝绿色土状矿物, 下部含小哺乳动物化石碎片 61.5 m
9. 浅橄榄灰色和灰绿色薄层状泥岩, 夹有棕色泥岩, 夹薄层石膏 1 m
8. 深黄棕色块状、局部薄层状的含粉砂泥岩, 断面有铁锰质斑痕, 有微层理 7.5 m
7. 深黄棕色中层状含粗砾长石岩屑砂岩, 局部含钙质, 孔隙胶结, 有小规模平行层理和板状交错层理, 中间有一深黄棕色厚层状泥岩, 含哺乳动物化石碎片(相当于谢家动物群) 1.5 m
6. 红棕色块状含粉砂泥岩, 夹浅棕色中层或厚层状含钙粉砂质泥岩 16.9 m
5. 红棕色块状泥岩夹灰橄榄色中层状泥岩 19.2 m
4. 深黄棕色薄层状石膏质泥岩, 相变为浅橄榄色夹有深黄绿色含砾的粗粒长石砂岩, 石膏质孔隙胶结, 有小规模板状交错层理, 砾石为棱角状, 分选好, 主要为直径 5 mm 以下的石英岩及变质岩 0.3 m

……假整合……

#### 马哈拉沟组

3. 红棕色块状泥岩夹灰橄榄色中层状泥岩 3 m
2. 深黄棕色薄层状石膏质泥岩, 相变为浅橄榄色夹有深黄绿色含砾的粗粒石膏质长

- 石砂岩, 孔隙胶结, 有小规模板状交错层理, 砾石为棱角状, 分选好, 主要为直径 5 mm 以下的石英岩及变质岩 0.33 m
1. 红棕色块状泥岩, 夹有深黄棕色薄层状泥岩, 夹有多层厚 2 cm 间距 30 cm~1.5 m 的薄层状石膏, 斜向裂隙中有 2 cm 厚的石膏层 16.5 cm
0. 灰绿色、深黄色薄层状石膏质泥岩与红棕色中层状石膏质泥岩互层, 层间有浅黄褐色铁质斑痕, 中夹有薄层状石膏, 斜向裂隙中间有 <6 cm 的石膏层 未见底

吊沟剖面位于八盘山剖面正东约 8 km, 该剖面覆盖较为严重, 仅出露下部的车头沟组和上部的关家山组。车头沟组和关家山组的岩性和沉积特征与八盘山剖面完全一致。关家山组的底部存在褐黄色和绿色的块状—厚层状砂砾岩, 底面起伏较大, 并有较明显的冲刷—填充构造。

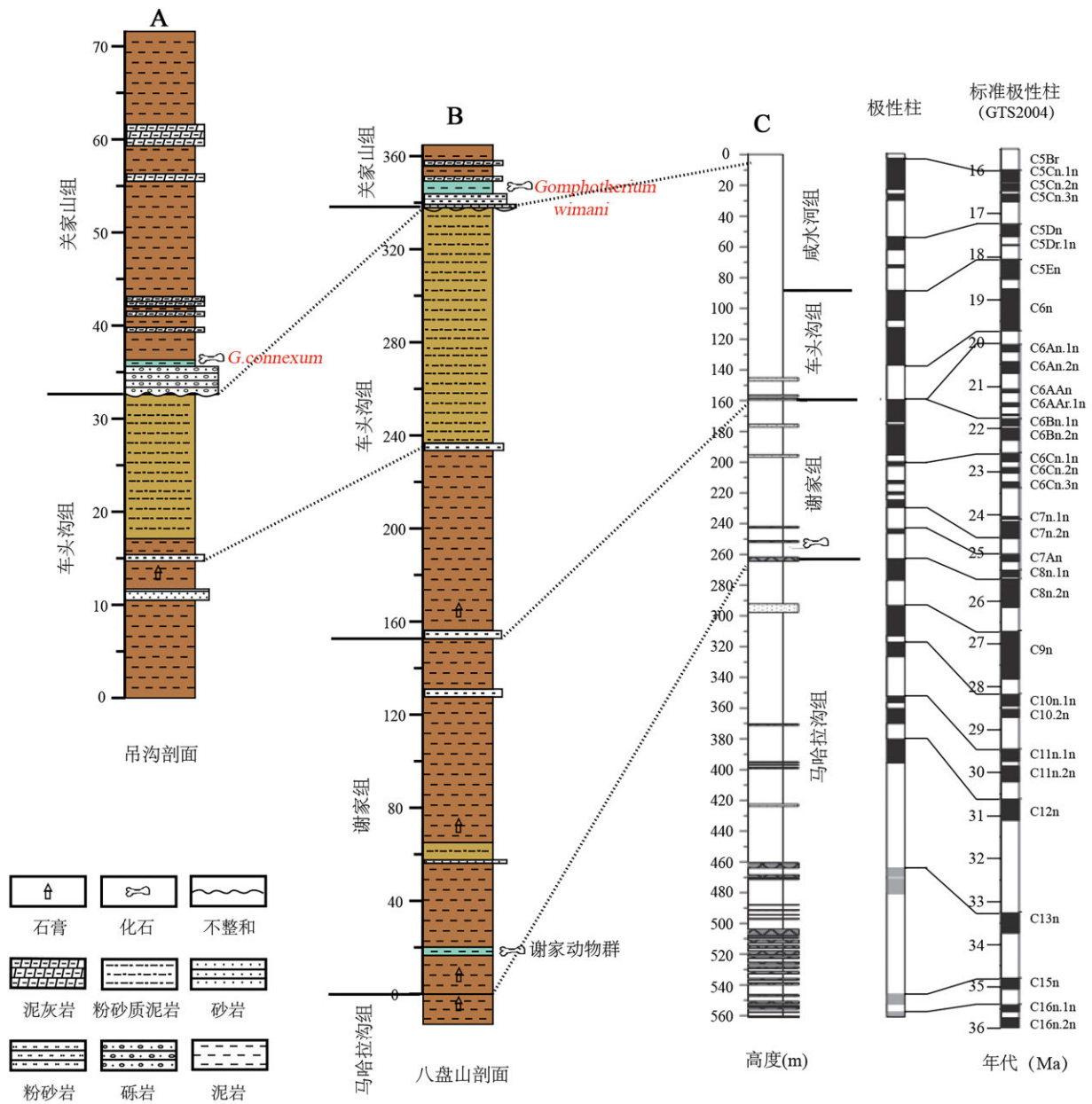
吊沟剖面(起点 36°31'01.74"N, 101°43'21.23"E) (图 4B)描述如下:

#### 第四系草山覆盖

~~~~~不整合~~~~~

关家山组

29. 浅棕色块状含钙粉砂质泥岩, 夹有深黄绿色钙质团块, 裂隙中含铁锰质胶膜 5 m
30. 浅棕色厚层状钙质粉砂质泥岩或泥灰岩, 裂隙中含铁锰质胶膜 0.5 m
27. 浅棕色块状含钙粉砂质泥岩, 夹有深黄绿色钙质团块, 裂隙中含铁锰质胶膜 4.5 m
28. 橘粉色或红橙色薄层状泥岩 0.1 m
25. 浅绿色中层状泥灰岩, 夹浅棕色薄层状粉砂质泥岩, 下部含直径约 15 cm 的浅绿色钙质结核 3 m
25. 浅棕色厚层状钙质粉砂质泥岩或泥灰岩, 裂隙中含铁锰质胶膜 0.8 m
24. 浅棕色块状含钙粉砂质泥岩, 夹有深黄绿色钙质团块, 裂隙中含铁锰质胶膜 2 m
23. 橘粉色或红橙色薄层状泥岩 0.2 m
22. 浅黄绿色与灰橘粉色中层状泥灰岩 0.4 m
21. 浅绿色中层状泥灰岩, 顶部颜色过渡为灰橘粉色 0.4 m
20. 浅棕色厚层状钙质粉砂质泥岩或泥灰 2 m
19. 浅棕色块状粉砂质泥岩, 40 cm 处夹有 10 cm 灰橘粉色薄层状泥灰岩 1.5 m
18. 淡橘色厚层状钙质泥岩和浅棕色泥岩, 断面有树枝状孔洞, 洞中含方解石晶体 0.7 m
17. 浅棕色中层状含钙粉砂质泥岩, 夹浅棕色薄层状粉砂质泥 9 m



A. 吊沟剖面; B. 八盘山剖面; C. 塔山剖面及磁性地层结果(据 Xiao G. Q. et al., 2012)

A. Diaogou Section; B. Bapanshan Section; C. Tashan Section with magnetostratigraphy (Xiao G. Q. et al., 2012), correlating to the GTS2004(Gradstein et al., 2004)

图 4 吊沟、八盘山和塔山剖面柱状图和地层对比

Fig. 4 Histograms showing the correlation of the Diaogou, Bapanshan, and Tashan sections.

- | | | | |
|---|-------|---|-------|
| 16. 浅黄绿色块状泥灰岩, 裂隙中含铁锰胶膜 | 1 m | 12. 浅绿色厚层状泥灰岩, 裂隙中含铁锰质胶膜 | 0.5 m |
| 15. 浅黄绿色中层状钙质粉砂质泥岩, 夹浅棕色薄层状粉砂质泥岩 | 0.6 m | 11. 浅棕色块状含钙粉砂质泥岩, 夹有深黄绿色钙质团块, 裂隙中含铁锰质胶膜 | 3 m |
| 14. 青白色厚层状泥灰岩, 裂隙中含铁锰质胶膜, 断面可见方解石晶屑 | 0.5 m | 10. 浅黄绿色中、厚层状钙质粉砂质泥岩, 含大量岩屑杂质及哺乳动物化石, 含 <i>G. connexum</i> , <i>Amebelodontidae</i> gen. et sp. indet | 0.7 m |
| 13. 浅棕色厚层状钙质粉砂质泥岩或泥灰岩, 裂隙中含铁锰质胶膜, 夹黄棕色薄层状泥岩 | 1.2 m | 9. 浅黄棕色, 顶部变为浅黄绿色块状砾质长石岩屑粗粒砂岩, 接触胶结, 局部具小 | |

规模平行层理。砂岩中夹同色砂质砾砾,分选差,次磨圆状,杂基支撑,砾石粒径大于 3 cm,最大粒径约 10 cm,砾石以杂色石英岩为主。砂岩中夹暗黄橙色薄层—中层状泥岩,底部不平。 1.2~3 m

……………假整合……………

车头沟组

8. 浅棕色厚层状粉砂质泥岩,夹有深黄绿色泥质团块,与厚层状暗黄橙色含钙粉砂岩互层 6.0 m
7. 黄褐色薄层状含粉砂岩屑长石细砂岩与暗黄橙色薄层状泥岩互层,砂岩含大量云母碎屑,泥岩局部有水平微层理,含石膏薄片 0.5 m
6. 浅棕色厚层状粉砂质泥岩,夹有深黄绿色泥质团块,与暗黄橙色厚层状含钙粉砂岩互层 9 m
5. 浅棕色块状钙质粉砂质泥岩,夹有深黄绿色钙质结核,结核直径约 8 cm 1 m
4. 浅棕色厚层状粉砂质泥岩,夹有深黄绿色泥质团块 0.7 m
3. 暗黄橙色厚层状含钙粉砂岩,断面有树枝状孔洞,其中有方解石晶体 0.7 m
2. 暗黄橙色块状粉砂质泥岩,局部有水平层理,含不规则石膏薄片 3 m
1. 黄褐色薄层状含粉砂岩屑长石细砂岩,含大量云母碎屑 1.2 cm
0. 浅棕色块状粉砂质泥岩,夹有深黄绿色泥质团块 (未见底)

3 讨论

3.1 吊沟、八盘山剖面的地层对比及其在西宁盆地构造和沉积环境演化方面的意义

吊沟剖面、八盘山剖面,经典的谢家剖面、及其附近的塔山剖面的地层可以很好地对比。在西宁盆地中,这几个剖面均位于西宁市南部一块约 270 km² 的梯形区域范围之内(图 2A,白色框线中)。东西边分别以西沟河和南川河为界,南边是拉脊山断裂,北边是湟水谷地(即西宁市城东区)。其东北角为泥盆纪小峡英云闪长岩(青海省地质调查院,2007),受该岩体的影响,西沟河谷形成一 NW 向背斜(小峡背斜)(Yang R. S. *et al.*, in press)。八盘山剖面与谢家剖面同位于西沟河谷西侧,地貌上连为一体,地层亦直接相连,只不过八盘山剖面位于西沟河更上游的位置,靠近盆地南缘,出露层位比谢家和塔山剖面较高,最下部仅出露马哈拉沟组的最顶部(肖国桥,

2009: p.31,所谓“绿腰带”层),上部则出露了关家山组(原咸水河组下部)下部较多的层位。由于位于小峡背斜西翼,整套地层向西北倾斜,从八盘山剖面向西的喇家沟和野牛沟,下部的马哈拉沟组和谢家组逐渐没入地表以下,到接近南川河的吊沟剖面,仅车头沟组的上部出露,而关家山组出露的层位更多,但上不见顶。

吊沟剖面和八盘山剖面的关家山组底部均存在一层绿色、分选较差的河道滞留相砂砾岩沉积。砂砾岩底面凹凸不平,在吊沟剖面,这种起伏的高度差达到了 1.8 m,表现出明显的沉积间断,为平行不整合构造(图 3A, 3B)。间型嵌齿象和维曼嵌齿象的出产层位,均位于这一层绿色砂砾岩之中(图 2B, 2C)。在绿色砂砾岩之下,为车头沟组洪泛平原相褐黄色粉砂质泥岩,几乎不具水平层理,并夹有多层古土壤;在绿色砂砾岩之上,则为褐黄色泥岩夹多层灰白、灰绿色泥灰岩条带的“斑马层”(图 2D),即我们所说的关家山组。

在吊沟剖面和八盘山剖面之间的野牛沟和喇家沟,均可以发现“斑马层”及其底部的绿色砂砾岩和沉积间断(图 2E),说明这一沉积构造在西宁市东南部的西宁盆地具有普遍性。但在谢家和塔山剖面,这一沉积间断并不明显。其原因是在谢家和塔山剖面,由于小峡背斜的影响,关家山组仅在剖面的最上部出露,第四系的覆盖及表面风化作用对原生层位的破坏非常严重,并且由于谢家和塔山剖面相对更靠近盆地中心,水动力条件减弱,岩性变细。但该沉积间断面在塔山的顶部仍然存在,位于塔山剖面 5 m 的位置(肖国桥,2009: p. 69, fig. 5-3, 图中标记为带问号的不整合面)。

在过去的文献中,咸水河组(下部大体上相当于关家山组)的底部划分存在争议。本文的划分与李传夔、邱铸鼎(1980)基本一致,李传夔、邱铸鼎将咸水河组的底界划在第一层泥灰岩之下(1980: 图 1),盖因砂岩在谢家剖面已经变细,但其上的泥灰岩层仍然延续到此处。有资料表明咸水河组的底界远在这一沉积间断面之下(刘梦儒,1992; 肖国桥,2010; Xiao G. Q. *et al.*, 2012)的划分。例如肖国桥(2009)将咸水河组的底界划在塔山剖面的 87.8 m 处,依据是之上的地层不再出现石膏。显然,该划分在岩性上并不易于识别,在肖国桥(2009: p. 30 fig. 3-4)地层划分中,咸水

河组的下界也标记了问号, 显示出肖国桥对该划分的怀疑。在这里, 我们同意 Zhang W. L. 等(2017)于方小敏(个人通讯)的意见, 由于咸水河组首先被用于兰州盆地, 西宁盆地的“咸水河”组与兰州盆地的同名组岩性和时代存在一定的差异, 无法直接对比, 使用该名称会引起不必要的混乱, 使用重新定义的关家山组和莫家庄组则避免了这种矛盾和混乱, 并且关家山组的底界应该划在绿色河道相砂砾岩限定的沉积间断面的位置。根据的古地磁数据, 这一界线恰好在标准磁性柱 GTS2004 的正向带 C5Cn.1n 的顶部, 年龄约为 16 Ma, 亦即: 车头沟组顶界的年龄值为 16 Ma (肖国桥, 2009; Xiao G. Q. *et al.*, 2012), 而关家山组的底(即间型嵌齿象和维曼嵌齿象)的年代由于有沉积间断的存在, 可能会比 16 Ma 稍晚, 这里估计为 16~15 Ma 之间(图 4C)。

吊沟剖面和八盘山剖面的关家山组均以多层灰白、灰绿色中—厚层泥灰岩条带夹于黄褐色泥岩中为典型特征, 即所谓“斑马层”(图 3B, 3D), 塔山剖面顶部的钻孔也表明“斑马层”在西宁市东南部这一区域广泛存在(Zan J. B. *et al.*, 2015)。斑马层与马哈拉沟组的多层石膏层相似, 代表了短暂的浅湖与洪泛平原的交替发育。在西宁市以北, 如莫家庄剖面, 关家山组中泥灰岩条数较少(Yang R. S. *et al.*, in press)。很可能西宁市东南部位于前陆盆地的前渊沉积带上, 湖泊相对比较发育; 而西宁市以北更接近于前隆沉积带, 以洪泛平原为主, 湖泊较少发育。由于西宁盆地和临夏盆地的成因和发育过程存在同构性, 关家山组和东乡组反映了相似的沉积环境。维曼嵌齿象也在东乡组发现(杨湘雯等, 2017), 很可能暗示关家山组和东乡组的时代也具有可比性。

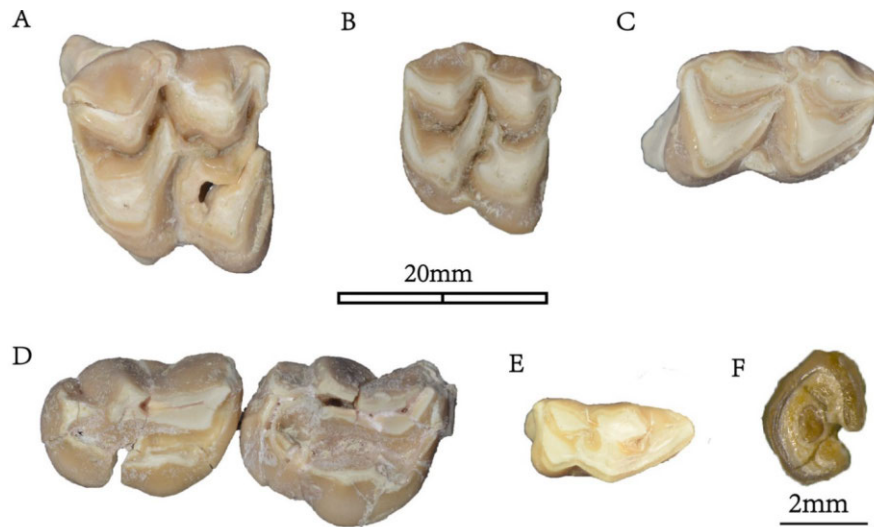
3.2 间型嵌齿象和维曼嵌齿象时代和演化关系的讨论及其在西宁盆地气候及动物群演化的意义

在本文之前, 对于间型嵌齿象和维曼嵌齿象(图 1)生存的时代问题, 存在两种不同的意见。第一种意见以 Tobien *et al.*(1986)为代表, 认为间型嵌齿象比维曼嵌齿象形态原始, 时代要早。Wang S. Q. *et al.*(2015), 杨湘雯(2017), 杨湘雯等(2017)均采用此说法。Tobien *et al.*(1988: p. 200, table 4)进一步将间型嵌齿象的时代对比为山旺期, 而维曼嵌齿象对比为通古尔期, 但这种对比并没有直接的地层学依据。Tassy(1985)从嵌齿象属中

划分出联合嵌齿象类群(*G. annectens* group)和窄齿嵌齿象类群(*G. angustidens* group)。Wang S. Q.(2014), Wang S. Q. *et al.*(2017)进一步提出了“衍生嵌齿象类群”(derived *Gomphotherium* group)。通过臼齿形态学的比较认为间型嵌齿象与属型种窄齿嵌齿象很相似, 应归入窄齿嵌齿象类群, 而维曼嵌齿象与施泰因海姆嵌齿象(*G. steinheimense*)、进步嵌齿象(*G. productum*)等相似, 应归入衍生嵌齿象类群(Wang S. Q. *et al.*, 2017, 杨湘雯, 2017, 杨湘雯等, 2017)。并且, 窄齿嵌齿象类群和衍生嵌齿象类群都是单系群, 因此, 间型嵌齿象和维曼嵌齿象代表了两个不同的演化方向, 其形态学特征不能作为判断年代早晚的依据。

第二种意见认为两者时代相同(邱铸鼎等, 1981; 刘梦儒, 1992), 与本文结论一致。但是该意见的来源是邱铸鼎等(1981)报道的在吊沟地点发现的一件“维曼嵌齿象”的右 M3(IVPP V6018.1)。根据杨湘雯(2017)的研究, 这件 M3 比八盘山维曼嵌齿象的正型标本齿冠低且窄长, 齿柱的分裂趋势弱。杨湘雯(2017: p. 41)认为, 这件标本有可能是维曼嵌齿象的祖先类型, 也有可能属于铲齿象科(Amebelodontidae)。杨湘雯(2017)显然受到了 Tobien *et al.*(1986, 1988)对间型嵌齿象和维曼嵌齿象年代判断的影响; 但同时也说明, 以吊沟发现的“维曼嵌齿象”的右 M3 这件标本判定间型嵌齿象和维曼嵌齿象时代相同并不充分。

根据吊沟和八盘山地层的对比, 间型嵌齿象和维曼嵌齿象的正型地点的层位相同, 时代相同, 并且由于有古地磁年代的约束(肖国桥, 2009; Xiao G.Q. *et al.*, 2012; Zan J. B. *et al.*, 2015), 可以充分讨论间型嵌齿象和维曼嵌齿象的时代问题。前文已述, 西宁盆地关家山组底部, 即间型嵌齿象和维曼嵌齿象正型地点时代应比 16 Ma 稍晚。间型嵌齿象还报道于新疆准噶尔盆地北缘的哈拉玛盖组(Wang S. Q. *et al.*, 2015), 发现于播塔莫音地点的第三层, 相当于哈拉玛盖组的上部化石层(王世骥, 未发表数据)。根据叶捷等(2012), 哈拉玛盖组的底界的年代为 16.8 Ma, 但组内部由于岩性的原因, 没有古地磁数据, 这里将哈拉玛盖组间型嵌齿象的层位估计为 16~15 Ma, 与关家山组底部化石层的年代相同。



A. 古鹿(*Palaeomeryx(Sinomeryx)* sp.), 右第二上臼齿; B. 古鹿(*Palaeomeryx(Sinomeryx)* sp.), 右第四上乳前臼齿; C. 古鹿(*Palaeomeryx(Sinomeryx)* sp.), 右第二下臼齿; D. ? 古麟(?*Palaeotragus* sp.), 左第二和第三上前臼齿 E. ? 古麟(?*Palaeotragus* sp.), 右第三上乳前臼齿; F. 拟速掘鼠(*Tachyoryctoides* sp.), 左第一下臼齿前半部
A.*Palaeomeryx(Sinomeryx)* sp., right M2; B.*Palaeomeryx(Sinomeryx)* sp., right DP4; C.*Palaeomeryx(Sinomeryx)* sp., right m2; D. ?*Palaeotragus* sp., left P2 and P3; E. ?*Palaeotragus* sp., right DP3; F. *Tachyoryctoides* sp., left m1

图5 八盘山动物群的颊齿的冠面图

Fig. 5 Cheek teeth of the Bapanshan Fauna, all in occlusal view

关于维曼嵌齿象正型地点的年代, 杨湘雯等(2017), 杨湘雯(2017)初步估计为 14~15 Ma, 现在根据我们最新的地层对比, 八盘山维曼嵌齿象正型地点的年代应调整为 16~15 Ma。除了正型地点, 维曼嵌齿象化石的出产地较多, 其中比较重要的地点是杨湘雯(2017)、杨湘雯等(2017)报道的临夏盆地郑家坪地点, 该地点的维曼嵌齿象化石位于东乡组。上文已经讨论过, 东乡组与关家山组沉积环境和年代均可能相近。根据邓涛等对 Fang X. M. 等(2003)古地磁数据的重新解释(Deng T 等, 2013), 东乡组的开始约为 17 Ma, 杨湘雯等(2017), 杨湘雯(2017)将郑家坪地点的时代估计为 15~14 Ma, 与八盘山地点的时代接近。另一个重要地点是兰州的泉头沟, 也是维曼嵌齿象种型群的产地之一。古地磁数据均认为, 泉头沟地点的时代约为 15 Ma 左右(Qiu Z. X. et al., 2001; Yue L. P. et al., 2001), 而杨湘雯等(2017)认为估计为 13 Ma, 依据是泉头沟发现的铲齿象(*Platybelodon*)可以与通古尔推饶木的铲齿象对比, 但这种间接的比较的依据不是很充分。我们的判断更倾向于前者, 泉头沟的年代可能约为 14~15 Ma。

刘梦儒(1992)提出了吊沟地方哺乳动物群, 包括间型嵌齿象、维曼嵌齿象、青海跳兔(*Alloptox*

chinghaiensis Qiu et al., 1981)、李氏近古仓鼠(*Pleisiodipus leei* Young, 1927)、民和库班猪(*Kubanochoerus minheensis* (Qiu et al., 1981))、继土耳其羊(*Turcocerus noverca* (Pilgrim, 1934))、青海皇冠鹿(*Stephanocemas chinghaiensis* Young, 1964)等。然而, 上述动物并非发现于同一地点, 也不能证明属于同一层位, 因此, 这种归类是有风险的。例如民和库班猪的 p4 下原尖和下后尖明显可区分, 要比其他中中新世早期的库班猪进步(邱占祥等, 1987)。我们在民和盆地来家山地点发现的民和库班猪与进步的葛氏铲齿象(*Platybelodon grangeri*)共生, 时代可能是最晚的中中新世, 比吊沟和八盘山晚约 3~4 Ma。所以我们建议仅将位于西宁盆地关家山组底部的化石归为吊沟动物群, 除间型嵌齿象、维曼嵌齿象之外, 还有我们在同一层位新发现的哺乳动物群, 如 *Palaeotragus* sp., *Palaeomeryx(Sinomeryx)* sp., *Micromeryx* sp. 等(图 5)。但无论如何, 吊沟动物群是以大型的哺乳动物, 尤其是长鼻类的大量出现为特色, 与中国西北地区的其他一些动物群, 如新疆准噶尔盆地哈拉玛盖组、宁夏同心地区彰恩堡组、甘肃临夏盆地东乡组的哺乳动物群相似(邓涛, 2016), 属于中中新气候适宜期(Zachos et al., 2001)。吊沟动物群的嵌齿

象、古鹿(*Palaeomeryx*)、小古麝(*Micromeryx*)等动物均适宜于温暖湿润的森林环境,而塔山剖面顶部的钻孔的颜色、磁化率、氧同位素等指标均证明,西宁盆地关家山组下部对应于中中新世气候适宜期(Zan J. B. *et al.*, 2015),很好地解释了间型嵌齿象、维曼嵌齿象等大型动物在这一时期的突然出现。

4 结 论

笔者通过语音学考证和走访当地的村民,确定了Hopwood (1935)所记载的间型嵌齿象(*Gomphotherium connexum*)和维曼嵌齿象(*Gomphotherium wimani*)的种型群材料的精确出土地点:吊沟和八盘山。对正型地点剖面的地层对比证明二者均位于关家山组底层绿色河道相的砂砾岩之中。同时根据前人对附近谢家剖面 and 塔山剖面的古地磁结果,认为间型嵌齿象和维曼嵌齿象的正型地点的年代约为 16~15 Ma。经过形态学的比较认为:间型嵌齿象应归入窄齿嵌齿象类群,而维曼嵌齿象应归入衍生嵌齿象类群;二者并非代表原始和进步类型,而是表示两种不同的演化方向。

感谢中国科学院地质与地球物理研究所方小敏,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所邓涛,葛俊逸,邱铸鼎,李传夔在地层对比方面提供的帮助;青海省地质调查院拜永山,保光普,丁玉进和中国科学院古脊椎动物与古人类研究所孙丹辉等人在野外考察中提供的指导和帮助;中国科学院地质与地球物理研究所郭利成和吴佳斌在作图方面的指点,笔者在此致以诚挚谢意!

参 考 文 献

邓涛. 2016. 中国北方哺乳动物群在中中新世气候适宜期的记录和表现. 第四纪研究, **36**: 810-819.

李传夔, 邱铸鼎. 1980. 青海西宁盆地早中新世哺乳动物化石. 古脊椎动物与古人类, **18**(3): 198-214.

刘梦儒. 1992. 西宁一民和盆地上第三系层序及所含化石. 青海地质, (2): 1-17.

邱铸鼎, 李传夔, 王士阶. 1981. 青海西宁盆地早中新世哺乳动物化石. 古脊椎动物与古人类, **18**(3): 198-214.

邱占祥, 叶捷, 霍福臣. 1988. 记宁夏同心发现的库班猪头骨化石. 古脊椎动物学报, **26**: 1-19.

青海省地质矿产局. 1985. 中华人民共和国区域地质调查报告(1/50000)《多巴幅》,《西宁市幅》,《田家寨幅》,《高店幅》. 武汉: 中国地质大学出版社. 1-545.

青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社. 1-665.

青海省地质调查院. 2007. 中华人民共和国区域地质调查专题报告(1/250000), 西宁市幅. 西宁: 青海省地质调查院. 1-365.

威妥玛(英), 1886. 语言自述集(第二版)(张卫东译). 上海: 上海海关总督察统计署. 1-532.

武力超, 岳乐平, 王建其. 2006. 新近系谢家阶层型剖面古地磁年代学研究. 地层学杂志, **30**(1): 50-53.

西宁市志编纂委员会. 1998. 西宁市志·大事记. 西安: 陕西人民出版社. 1-239.

肖国桥. 2009. 西宁地区晚始新世一早中新世沉积的磁性地层与沉积环境演化研究[博士学位论文]. 西安: 中国科学院研究生院. 1-108.

杨湘雯. 2017. 临夏盆地中中新统维曼嵌齿象(*Gomphotherium wimani*)(长鼻目, 嵌齿象科)新材料研究[硕士学位论文], 北京: 中国科学院大学. 1-57.

杨湘雯, 李雨, 王世骥. 2017. 临夏盆地中中新统维曼嵌齿象(*Gomphotherium wimani*)(长鼻目, 嵌齿象科)的头骨及颊齿. 古脊椎动物学报, **55**(4): 331-346.

叶捷, 吴文裕, 倪喜军, 毕顺东, 孙继敏, 孟津. 2012. 新疆准噶尔盆地北缘夸勒布勒津剖面的地层学及环境意义. 中国科学(地球科学), **42**: 1523-1532.

Andersson J G. 1925. Geological notes from Kansu. Bulletin of the Geological Society of China, **4**: 15-18.

Dai S, Fang X M, Dupont-Nivet G, Song C H, Gao J P, Krijgsman W, Langereis C & Zhang W L. 2006. Magnetostratigraphy of Cenozoic sediments from the Xining Basin: Tectonic implications for the northeastern Tibetan Plateau. Journal of Geophysical Research, **111**(B11102): doi: 10.1029/2005JB004187

Deng T, Qiu Z X, Wang B Y, Wang X M & Hou S K. 2013. Late Cenozoic biostratigraphy of the Linxia Basin, northwestern China // Wang X M, Flynn L J & Fortelius M eds. Neogene Terrestrial Mammalian Biostratigraphy and Chronology of Asia. New York: Columbia University Press. 243-273.

Fang X M, Garzzone C, Vood R V, Li J J & Fan M J. 2003. Flexural subsidence by 29 Ma on the NE edge of Tibet from the magnetostratigraphy of Linxia Basin. Earth and Planetary Science Letters, **210**: 545-560.

Fang X M, Wang J Y, Zhang W L, Zan J B, Song C H, Yan M D, Appel E, Zhang T, Wu F L, Yang Y B & Lu Y. 2016. Tectonosedimentary evolution model of an intracontinental flexural(foreland)basin for paleoclimatic research. Global and Planetary Change, **145**: 78-97.

Gradstein F M, Ogg J G & Smith A G eds. 2004. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge: Cambridge University Press. 1-589.

Hopwood A T. 1935. Fossil Proboscidea from China. Palaeontologia Sinica, Series C, **9**: 1-108.

Mateer N J & Lucas S G. 1985. Swedish vertebrate palaeontology in China: A history of the Lagrelius Collection. Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala, New series, **11**: 1-24.

Qiu Z X, Wang B Y & Qiu Z D. 2001. Land mammal geochronology and magnetostratigraphy of mid-Tertiary deposits in the Lanzhou Basin, Gansu Province, China. Eclogae Geologicae Helvetiae, **94**: 373-385.

Simpson G G. 1945. The principles of classification and a classification of mammals. Bulletin of the American Museum of Natural History, **85**: 1-350.

Sun C C. 1936. On the stratigraphy of upper Huangho and Nanshan regions. Bulletin of the Geological Society of China, **15**(1): 75-85.

Tassy P. 1985. La place des mastodontes Miocènes de l'ancien monde dans la phylogénie des Proboscidea (Mammalia): hypothèses et conjectures. Unpublished Thèse Doctoratès Sciences. Paris: UPMC

(Université Pierre et Marie CURIE).

- Tobien H, Chen G F & Li Y Q. 1986. Mastodonts (Proboscidea, Mammalia) from the Late Neogene and Early Pleistocene of the People's Republic of China, part I: historical account, the genera *Gomphotherium*, *Choerolophodon*, *Synconolophus*, *Amebelodon*, *Platybelodon*, *Sinomastodon*. *Mainzer Geowissenschaftliche Mitteilungen*, **15**: 119-181.
- Tobien H, Chen G F & Li Y Q. 1988. Mastodonts (Proboscidea, Mammalia) from the Late Neogene and Early Pleistocene of the People's Republic of China, part II: the genera *Tetralophodon*, *Anancus*, *Stegotetralodon*, *Zygotetralodon*, *Mammot*, *Stegolophodon*. *Mainzer Geowissenschaftliche Mitteilungen*, **17**: 95-220.
- Wang S Q. 2014. *Gomphotherium inopinatum*, a basal *Gomphotherium* species from the Linxia Basin, China, and other Chinese members of the genus. *Vertebrata Palasiatica*, **52**: 183-200.
- Wang S Q, Duangkrayom J & Yang X-W. 2015. Occurrence of the *Gomphotherium angustidens* group in China, based on a revision of *Gomphotherium connexum* (Hopwood, 1935) and *Gomphotherium shensiensis* Chang and Zhai, 1978: continental correlation of *Gomphotherium* species across the Palearctic. *Paläontologische Zeitschrift*, **89**: 1073-1086.
- Wang S Q, Li Y, Duangkrayom J, Yang X-W, He W & Chen S-Q. 2017. A new species of *Gomphotherium* (Proboscidea, Mammalia) from China and the evolution of *Gomphotherium* in Eurasia. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **37**: 1-15.
- Xiao G Q, Guo Z T, Guillaume D N, Lu H Y, Wu N Q, Ge J Y, Hao Q Z, Peng S Z, Li F J, Abels H A & Zhang K X. 2012. Evidence for northeastern Tibetan Plateau uplift between 25 and 20 Ma in the sedimentary archive of the Xining Basin, Northwestern China. *Earth and Planetary Science Letters*, **317-318**: 185-195.
- Yang R S, Fang X M, Meng Q Q, Zan J B, Zhang W L, Deng T, Yang Y B, Ruan X B, Yang L Y & Li B S. in press. Paleomagnetic constraints on the Middle Miocene-Early Pliocene stratigraphy in the Xining Basin, NE Tibetan Plateau, and the geologic implications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*.
- Young C C & Bian M N. 1937. Cenozoic geology of the Kaolan-Yungteng Area of Central Kansu. *Bulletin of the Geological Society of China*, **16**: 221-260.
- Yue L P, Heller F, Qiu Z X, Zhang L, Xie G P, Qiu Z D & Zhang Y X. 2001. Magnetostratigraphy and paleoenvironmental record of Tertiary deposits of Lanzhou Basin. *Chinese Science Bulletin*, **46**: 770-774.
- Zachos J, Pagani M, Sloan L, Thomas E & Billups K. 2001. Trends, rhythms and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, **292**: 686-693.
- Zan J B, Fang X M, Yan M D, Zhang W L & Lu Y. 2015. Lithologic and rock magnetic evidence for the Mid-Miocene Climatic Optimum recorded in the sedimentary archive of the Xining Basin, NE Tibetan Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **431**: 6-14.
- Zhang W L, Zhang T, Song C H, Appel E, Mao Z Q, Fang Y H, Lu Y, Meng Q Q, Yang R S, Zhang D W, Li B S & Li J. 2017. Termination of fluvial-alluvial sedimentation in the Xining Basin, NE Tibetan Plateau, and its subsequent geomorphic evolution. *Geomorphology*, **297**: 86-99.

A TEXTUAL RESEARCH OF THE EARLY LOCALITIES OF FOSSIL *GOMPHOTHERIUM* IN THE XINING BASIN WITH RELEVANT STRATIGRAPHIC CORRELATION

LI Chun-xiao^{1) 2) 3)}, WANG Shi-Qi^{1) 2)}, HAO Cheng-lu⁴⁾, CHEN Guang-ting⁴⁾, SUN Bo-yang^{1) 2)},
ZHENG Yan¹⁾ and XU Si-jian¹⁾

1) Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins of Chinese Academy of Sciences, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044;

2) Center for Excellence in Life and Paleoenvironment, Beijing 100044;

3) University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

4) Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012

Abstract The hypodigms of *Gomphotherium connexum* and *G. wimani* from the Cenozoic of the Xining Basin are the earliest known fossil-proboscidean localities in China. The materials were collected by Andersson in the 1920s and were first studied by Hopwood in the 1930s. *Gomphotherium connexum* and *G. wimani* play a fundamental role in the stratigraphic subdivision and correlation of the Cenozoic of the Xining Basin. However, the precise locations and horizons of the type localities have been lost for a long time. Partially for this reason, many controversies exist both in biochronology and evolution in the two species, and in the stratigraphic correlation of the Cenozoic of the Xining Basin. In this paper, we made a textual research on the type localities of *G. connexum* and *G. wimani* in various ways, and finally obtained their precise positions, Diaogou(=Tiao Kou) and Bapanshan(=Pa P'an Shan), respectively. Based on the stratigraphic correlation, it is established that both fossiliferous beds of the two localities are characterized by massive green-grayish channel sandstones and

both situate in the lower part of the newly established Guanjiashan Formation(formerly the lower part of Xianshuihe Formation). Therefore, *G. connexum* and *G. wimani* were contemporary species. According to paleomagnetic data, the estimated age of the type localities is approximately 16–15 Ma. A recent phylogenetic study of *Gomphotherium* suggested that the morphological distinction between *G. connexum* and *G. wimani* represents different evolutionary directions rather than primitive or advanced evolutionary stages. This study contributes to our understanding on the research history of Chinese paleontology, provides key biochronology data for the evolution of the genus *Gomphotherium* and important biostratigraphic evidence for the geotectonic and sedimentary evolution in the Cenozoic of the Xining Basin.

Key words *Gomphotherium*, stratigraphic correlation, Middle Miocene, biostratigraphy, biochronology, Xining Basin, Qinghai