

萨拉乌苏河流域第四纪地层及古环境研究综述

杨劲松¹⁾, 王永¹⁾, 闵隆瑞¹⁾, 陈兴强²⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 重庆市地质环境监测总站, 重庆, 400015

内容提要: 萨拉乌苏河流域位于我国毛乌素沙漠—黄土高原过渡带, 对东亚夏季风和冬季风驱动的古环境波动及全球冰期—间冰期旋回有良好的地质记录。流域内河湖相和风成相沉积交错互层, 发育有华北地区晚更新世标准地层——萨拉乌苏组, 并含有河套人化石、萨拉乌苏动物群和丰富的文化遗迹。从其发现定名至今, 就得到了古人类学家和地质学家的广泛关注。研究表明, 流域内出露的第四纪地层主要包括晚更新世萨拉乌苏组和城川组, 全新世大沟湾组、滴哨沟湾组和范家沟湾组, 这与古气候代用指标所反映的沉积环境有很好的阶段响应。本文通过对滴哨沟湾和米浪沟湾剖面研究进展的回顾和总结, 认为在建立精确的地层年代序列, 重建末次间冰期以来的高分辨率古环境历史, 明确萨拉乌苏动物群及文化层的归属和厘定萨拉乌苏组沉积相等方面有待更深入的研究。

关键词: 晚更新世; 末次间冰期; 第四纪地层; 古环境; 萨拉乌苏河流域

萨拉乌苏河流域位于中国季风气候的边缘区和沙漠—黄土过渡带, 流域内沉积了华北地区具有代表意义的晚更新世河湖相地层——萨拉乌苏组, 同时因其含有丰富的哺乳动物化石和古人类化石, 成为研究晚更新世以来环境变迁的理想地点之一(董光荣等, 1983; 李吉均, 1990; 李保生等, 1998; 靳鹤龄等, 2005)。由于其独特的地理位置和沉积组合, 使得该区域对于探明西风环流和亚洲季风的演化及驱动机制、了解西部干旱化过程同气候变化的关系等, 均有着极其重要的科学意义。

通过研究, 已初步建立了萨拉乌苏河两岸第四纪地层年代序列, 澄清了萨拉乌苏组与马兰黄土的关系, 基本恢复了晚更新世以来该区古气候变迁过程, 与全球性气候事件进行了可对比性分析, 并阐明了毛乌素沙漠的形成、演变和成因等问题(苏志珠等, 1996)。近年来, 研究者在第四纪年代学研究、高分辨率古环境重建和考古发掘中取得了一些新的认识和突破。但是就萨拉乌苏组确切的沉积相和时代划分、各时期的高分辨率古环境重建和文化层归属等焦点问题上仍存在异议。

1 地层时代研究

萨拉乌苏河发源于黄土高原北部的白于山, 在流经黄土高原、毛乌素沙漠等不同的地貌区后, 与芦

河、榆溪河共同汇集为无定河, 流入黄河(图1)。

最初 de Chardin(德日进)等(1924)将萨拉乌苏河两岸发现生物化石和石器的地层称为“萨拉乌苏河组”(the Formation of Sjara-osso-gol)。20 纪 60 年代以来, 不断有研究者前来开展工作(表1)。袁宝印(1978)将上更新统地层两分为萨拉乌苏组上部河流相和下部河湖相, 全新统湖沼相地层命名为大沟湾组; 董光荣等(1983)和李保生等(1993)进一步将萨拉乌苏组上部命名为城川组, 下部是以河湖相堆积为主的萨拉乌苏组, 同时将大沟湾组上部的次生黄土、黑垆土等单独命名为滴哨沟湾组; 其后, 李保生等(2004)将最顶部的现代活动沙丘称为范家沟湾组, 标志其步入一个全新的沉积时代; 闵隆瑞等(2009)对萨拉乌苏河酒房台剖面进行了年代地层建阶工作, 将萨拉乌苏组中—上部和城川组一并归入萨拉乌苏阶, 认为萨拉乌苏组地层为中更新统一上更新统地层。此外裴文中等(1964)、刘东生等(1964)、郑洪汉(1989)和靳鹤龄等(2008)都先后对流域内第四纪地层划分方案提出过自己的见解。

萨拉乌苏河在最近两千多年才开始形成, 并迅速地切割地层, 形成深切峡谷(Liu Kai et al., 2011; 胡珂等, 2011)。流向基本为北北东方向, 具有典型的曲流河特征。当河流发展到一定阶段, 常常形成串珠状的绿洲, 即当地所称的“沟湾”。由南至北

注: 本文为中国地质调查局地质大调查项目(编号 1212011087116、1212011120118)成果。

收稿日期: 2012-01-05; 改回日期: 2012-06-19; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 杨劲松, 1987 年生。硕士研究生, 第四纪地层与沉积环境专业。Email: yjs607@163.com。通讯作者: 王永, 1968 年生。研究员。主要从事第四纪地质和新构造研究。Email: wangyong@cags.ac.cn。

有:车轱辘湾、清水沟湾、滴哨沟湾、范家沟湾、杨四沟湾、邵家沟湾、米浪沟湾和酒房台等地层剖面(图1、图2)。其中全新统地层顶部发育的砂质古土壤层、城川组中部的湖沼相粘土层和萨拉乌苏组顶部的粘土层在区内广泛发育,岩性变化不大,层位相对稳定,可以作为地层对比的标志层。从现有资料来看萨拉乌苏河流域研究程度较高的是滴哨沟湾和米浪沟湾剖面。现作为该区标准的地层剖面详述如下:

1.1 滴哨沟湾剖面

滴哨沟湾剖面是区域内极少数可见到下伏基岩的露头剖面。裴文中等(1964)初步讨论了剖面地层划分,文化层位、时代归属和萨拉乌苏河演化历史等问题。袁宝印(1978)依据沉积相特征、古脊椎动物、旧石器、孢粉以及沉积物理化性质等资料在地层划分、沉积环境、萨拉乌苏动物群和旧石器研究中取得了突破性进展。郑洪汉(1989)将该处地层划分为四段共37层,在第一段顶部粘土质粉砂层中获得热释光年龄为:177±14 ka BP。孙继敏等(1996)在湖相地层底部取得光释光年龄为:136±15.2 ka BP,认为其底界年龄应放在中更新世。苏志珠等(1997a),董光荣等(1998)结合年代数据进行对比分析,重新厘定了萨拉乌苏组地层时代,初步建立了可以与黄土、深海沉积记录相对应的沉积序列。认为萨拉乌苏组可与黄土高原S₁古土壤层对比,相当于末次间冰期(约为150~70 ka BP)地层;城川组

与马兰黄土为同期异相,相当于末次冰期(约为70~11 ka BP)地层;大沟湾组和滴哨沟湾组相当于黄土剖面S₀古土壤层,为冰后期(约为11 ka BP至今)产物。樊行昭等(2002)利用磁学参数分析指出萨拉乌苏组底部含脊椎动物群和石器层位的年代应为130~190 ka BP,属中更新世。此外,在滴哨沟湾还开展了碎屑矿物(李保生等,1991),粘土矿物(卢小霞,1985),地球化学(高尚玉等,1985,1988;关有志等,1986;刁桂仪,1987)和孢粉(邵亚军,1987;柯曼红等,1992)等相关分析研究。

近年来,靳鹤龄等(2005,2006,2007)对滴哨沟湾右岸(37°43'95" N, 108°31'22" E)的研究,基本建立了滴哨沟湾剖面地层年代格架(图3)。依据岩性特征将其划分为五个地层单元:中更新统上部河流相—风成相沉积(220~140 ka BP),主要以河流相沉积为主,其中含有冲洪积砾石层,最下部为风成砂,未见底;上更新统下部萨拉乌苏组(140~80 ka BP),由河湖相粉砂、粘土组成;上更新统上部城川组(80~11.5 ka BP),以黄色风成粉砂、细砂为主;全新统地层(11.5 ka BP至今)包括大沟湾组和滴哨沟湾组,前者由灰黑、灰绿色亚粘土和含铁锈斑粉细砂组成,后者由次生黄土和黑砂土组成。通过不同的气候代用指标,可大致得出220 ka BP以来,萨拉乌苏河流域经历了数次的气候更迭事件,这与全球变化记录有很好的对应关系,同时也丰富了区域内毛乌素沙漠边缘在晚更新世以来环境变化的相关

表 1 萨拉乌苏河流域地层划分对比表
Table 1 Comparison of the stratigraphic subdivision in the Salawusu River Valley in different papers

时代			de Chardin 等 (1924)	裴文中等 (1964)	刘东生等 (1964)	袁宝印 (1978)	董光荣等 (1983)	郑洪汉等 (1989)	李保生等 (2004)	靳鹤龄等 (2008)	闵隆瑞等 (2009)				
第四纪	全新世		现代沙丘 新石器时代古土壤	灰白色泥灰层和砂上堆积M1 极细粉砂M2	次生黄土	大沟湾组	滴哨沟湾组 大沟湾组	黄土状土堆积	范家沟湾组 滴哨沟湾组 大沟湾组	滴哨沟湾组 大沟湾组	全新统				
	晚更新世	晚期	(The Formation of Sjara-osso-gol) 萨拉乌苏河组	萨拉乌苏系 (河湖相) M3~M5	马兰黄土	萨拉乌苏组	上部	城川组	河流相细砂夹湖沼相砂质粘土	城川组	I	城川组	萨拉乌苏阶	城川组	3
										II	2				
										III	1				
		早期			萨拉乌苏组		下部	萨拉乌苏组	湖相粉砂质粘土与粉砂互层	萨拉乌苏组	I	萨拉乌苏组		5	
											II				4
	III	3													
IV	2														
中更新世	早期	红黄色砂土层 (含钙质结核) M6~M7			黄土与风成砂		河流相砂与粘土质粉砂互层	离石组	河流相-风成相 冲洪积层	离石组					

注:由于早期研究中缺少准确的年代数据,所以在地层对比上主要依据是沉积地层的划分方案和岩性特征。

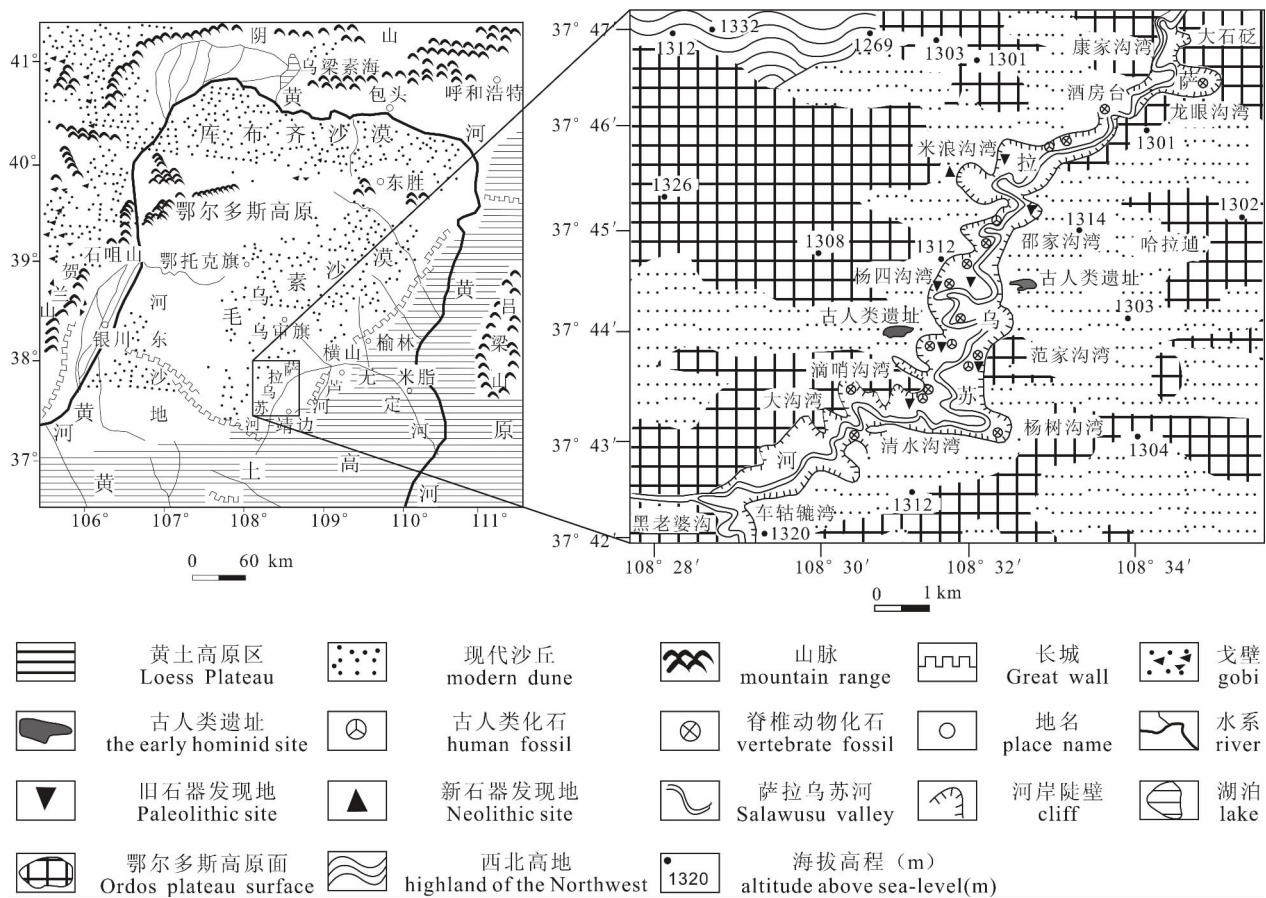


图 1 萨拉乌苏河流域自然地理图(据董光荣等,1983 和李保生等,2007 修改)
Fig. 1 Location and physiographic map of the Salawusu River Valley
(modified from Dong Guangrong et al. ,1983 and Li Baosheng et al. ,2007)

资料(董光荣等,1983,1998;靳鹤龄等,2008)。

1.2 米浪沟湾剖面

米浪沟湾剖面(108°33′5.4″ E,37°45′47.2″N)是由李保生等(1993)建立的。经过近 20 年的研究,已成为流域内研究程度最高的第四系剖面。李保生等(2004)将其划分为 5 个地层单元(图 4):离石组(>150 ka BP)为黄土和风成砂沉积;萨拉乌苏组(150~75 ka BP)主要是河湖相沉积,多为粉砂质粘土、粘土质粉砂,但风成砂同样占有一定比例;城川组(75~11 ka BP)主要为细砂夹粘土质粉砂、粉砂质细砂等堆积;大沟湾组和滴哨沟湾组(10~1 ka BP)总体上表现出河湖相沉积特征;范家沟湾组(1 ka BP 至今)为现代移动沙丘,记录了晚近时期的毛乌素沙漠形成过程。

米浪沟湾剖面包括了现代流动砂丘砂、古流动砂丘砂、古固定一半固定砂丘砂、河流相、湖沼相、古土壤和黄土等 7 种沉积相。如果将风成砂丘砂或黄

土与其上覆的河湖相或古土壤视为 1 次沉积旋回,可以很好地对应末次间冰期以来的古气候波动旋回,区域上反映了东亚冬季风和夏季风交替变化(李保生等,1998,2001;张宇红等,2001;罗开利等^①;李后信等,2002)。并推断冷期应为冬季风盛行的时期,沉积风成砂。相对而言,暖期对应夏季风强盛的时期,形成古土壤和河湖相地层(孙继敏等,1995;Li Baosheng et al. ,2000)。

近年来在高分辨古环境恢复中,研究者常使用地层代号 MGS 作为米浪沟湾与深海氧同位素曲线(MIS)对应的地层代号(Li Baosheng et al. ,2007)。MGS1 为全新统沉积(Lu Yingxia et al. ,2010;李后信等,2010;牛东风等,2011),MGS2~4 为城川组(李保生等,2007),MGS5 为萨拉乌苏组主要部分(杜恕环等,2009;Du Shuhuan et al. ,2011)。

2 末次间冰期以来古环境分析

虽然对流域内第四纪地层的确切年代尚存在争

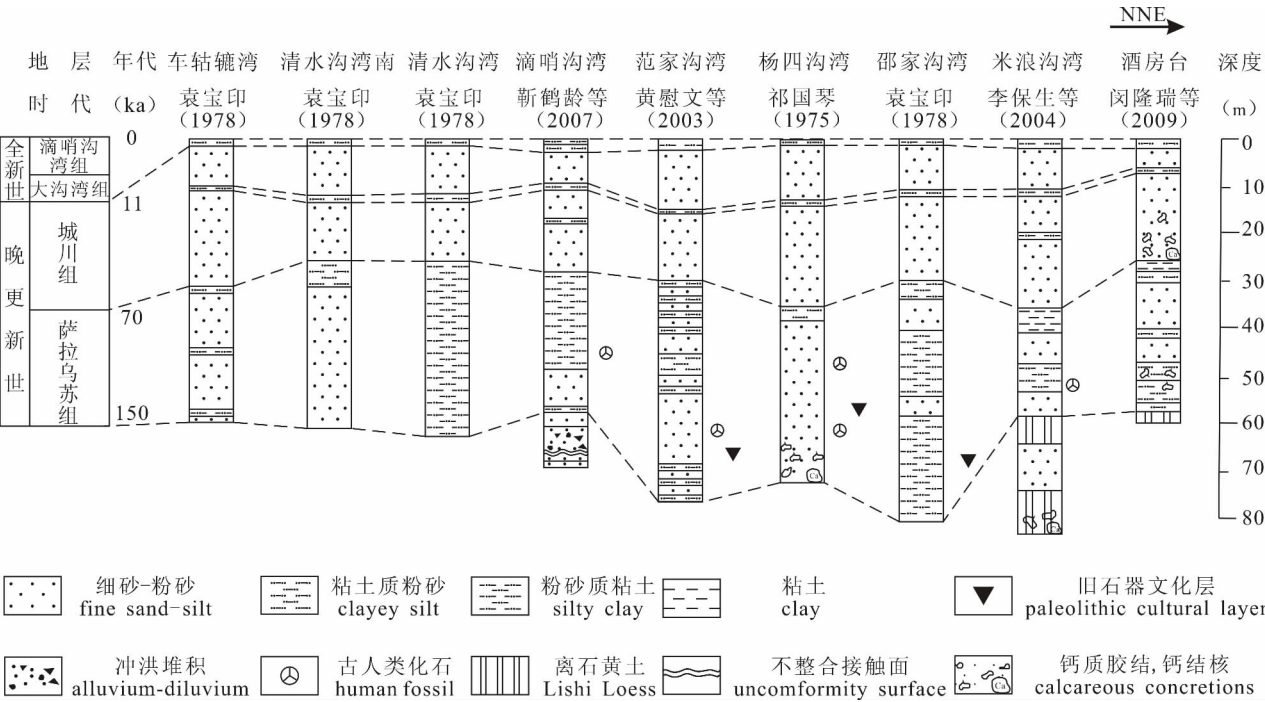


图 2 萨拉乌苏河流域主要剖面对比图

Fig. 2 Comparison of the main columnar sections in the Salawusu River Valley

议,但是可以将其与末次间冰期以来的冰期—间冰期旋回进行对比,探讨古环境的变迁。末次间冰期以来全球变化既存在构造尺度上周期性变化,又发生了千年尺度的气候突变事件,是古环境研究中的重要时段(刘嘉麒等,2001)。研究表明:流域内第四纪古环境变迁历史,可与黄土、海洋和冰芯等记录的标志性气候事件相比较。随着研究的不断深入,实验方法和仪器的日趋完善,最近在部分层位获得了千年—百年尺度的古环境记录,初步实现了高分辨率古环境分析。从已获得的研究成果来看,主要包括从矿物学、沉积学、地球化学、古地磁、孢粉和古生物组合等方面来重建流域内第四纪晚期古环境演变历史。

2.1 末次间冰期

末次间冰期对应地层为萨拉乌苏组,与上覆城川组地层存在明显差异,沉积环境差异较大(李保生等,1993),横向上岩性变化特征虽然局部存在过渡渐变关系,但是界线较清楚(董光荣等,1990),这一时段也恰好为东亚夏季风强盛期(孙东怀等,1995,1996)。

该段地层中乔木花粉和灌木草本花粉含量丰富,主要表现为松+藜+蒿的优势组合,反映该时期植被类型是以针叶林为主的针阔混交森林草原,气

候总温暖湿润,但也可以明显地看出存在亚带波动情况(邵亚军,1987;孙建中,2005)。通过粒度参数、古生物化石组合、磁化率、地球化学等指标分析(余雪飞等,2004; Li Baosheng et al., 2005; 刘宇飞等,2006; 欧先交等,2006; 杜恕环等,2009),并对比邻区黄土高原和毛乌素沙漠的研究成果(孙东怀等,1995; 董光荣等,1997),可以看出末次间冰期气候变化的主要事件有一定相似性,如深海氧同位素曲线 5 阶段中 MIS5a、5c、5e 在该区域对应气候暖湿,5b、5d 对应气候相对干冷。同时,滴哨沟湾剖面的地球化学特征(靳鹤龄等,2005; 李明启等,2006)和磁化率(靳鹤龄等,2006)等指标也有相似结果。此外,在该段地层中记录的砂丘砂堆积,可作为流域内冬季风强盛时的粉尘堆积事件,与黄土高原的沉积记录相呼应,比较清楚地反映了全球性变冷事件(吕玉晓等,2004)。最近研究者在该段地层中获得大量的热释光年龄,推算出较准确的高精度时间范围,认为这些变冷事件与全球性 D—O 振荡关系密切(Du Shuhuan et al., 2011)。

2.2 末次冰期

末次冰期是最近的一次寒冷时期,可将其细分为:末次冰期初寒期(对应 MIS4),末次冰期间冰阶(对应 MIS3)和晚冰期(对应 MIS2)。在沉积地层

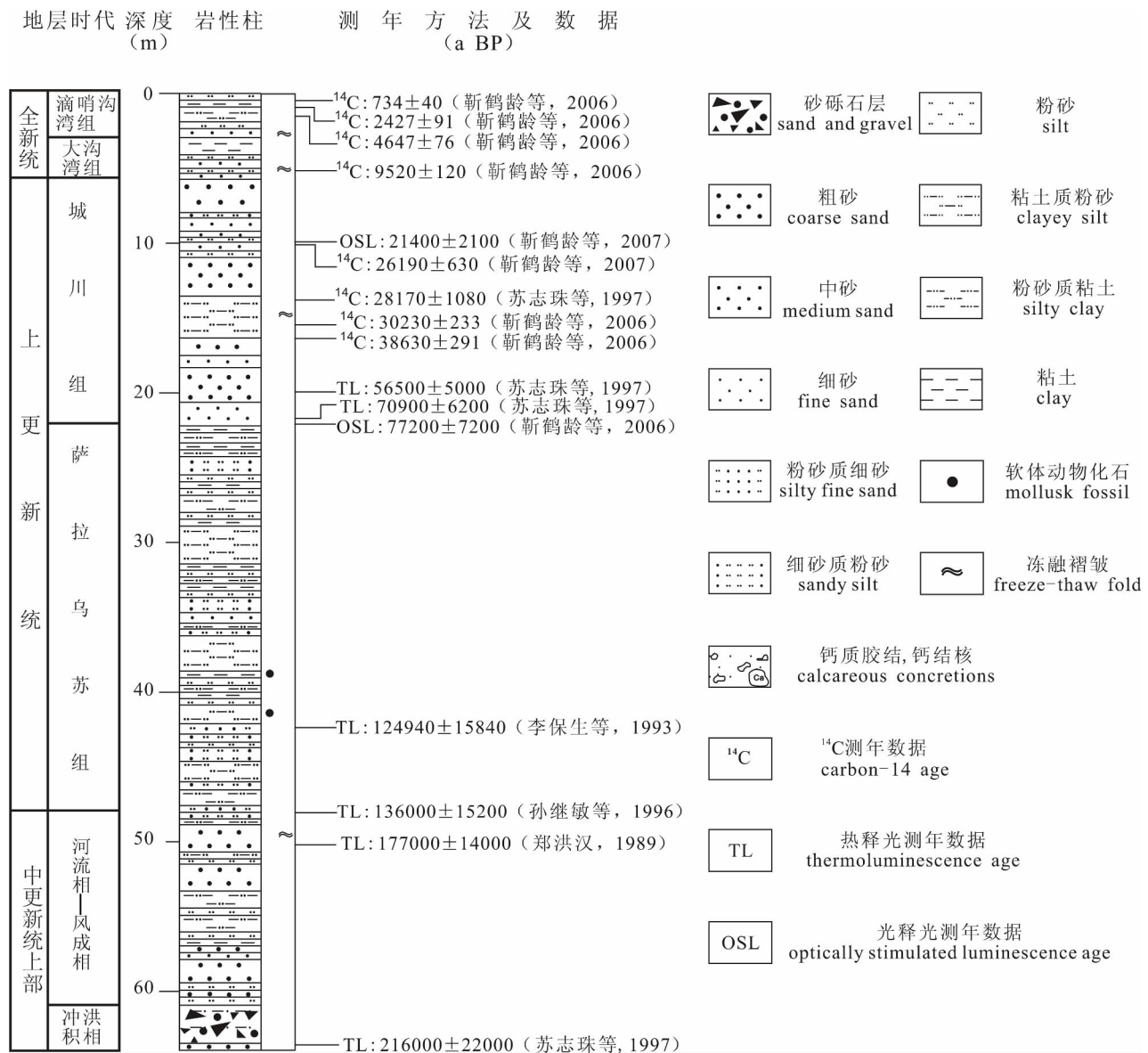


图 3 滴哨沟湾剖面地层及年代格架(主要据董光荣等,1983 和靳鹤龄等,2006 修改)

Fig. 3 Dishaogouwan stratigraphic section and chronological framework
(mainly modified from Dong Guangrong et al. ,1983 and Jin Heling et al. ,2006)

中,城川组中部的灰绿色湖沼相对应为 MIS3,将风成砂分割为上部 (MIS2) 和下部 (MIS4)。邵亚军 (1987) 指出湖沼相中存在大量孢粉,其中乔木花粉占绝对优势,气候相对温凉湿润,自然景观为森林草原。柯曼红等 (1992) 和孙建中 (2005) 指出在风成砂中,乔木花粉和灌木草本花粉明显减少,蕨类孢子相对增加。透过区域分析,可知流域内在末次冰期为相对干冷的时期,期间存在多次气候波动,这与同期南极冰芯温度、赤道太平洋海面温度、全球海面升降有类似规律 (靳鹤龄等,2007)。

末次冰期初期,对应地层为城川组下部,地层中

普遍沉积风成砂。由于沉积相变不大,年代资料相对较少,实验数据精度不高,所以该时间尺度下尚未建立较好的古环境曲线和详细的气候波动事件,但是主要气候环境为寒冷干旱 (靳鹤龄等,2005,2006,2007,2008; 闵隆瑞等,2009)。

末次间冰阶,为末次冰期中气候相对温暖湿润的一个亚期。在米浪沟湾地层剖面中,9.5 次沉积旋回与常规代用指标所反映的 19 次冷暖波动情况相符 (温小浩等,2007,2009; 李保生等,2007)。将其与深海氧同位素 3 阶段对应,包括 5 个亚段,其中 MIS3a、3c、3e 明显较 3b、3d 更温暖,这与全球性及

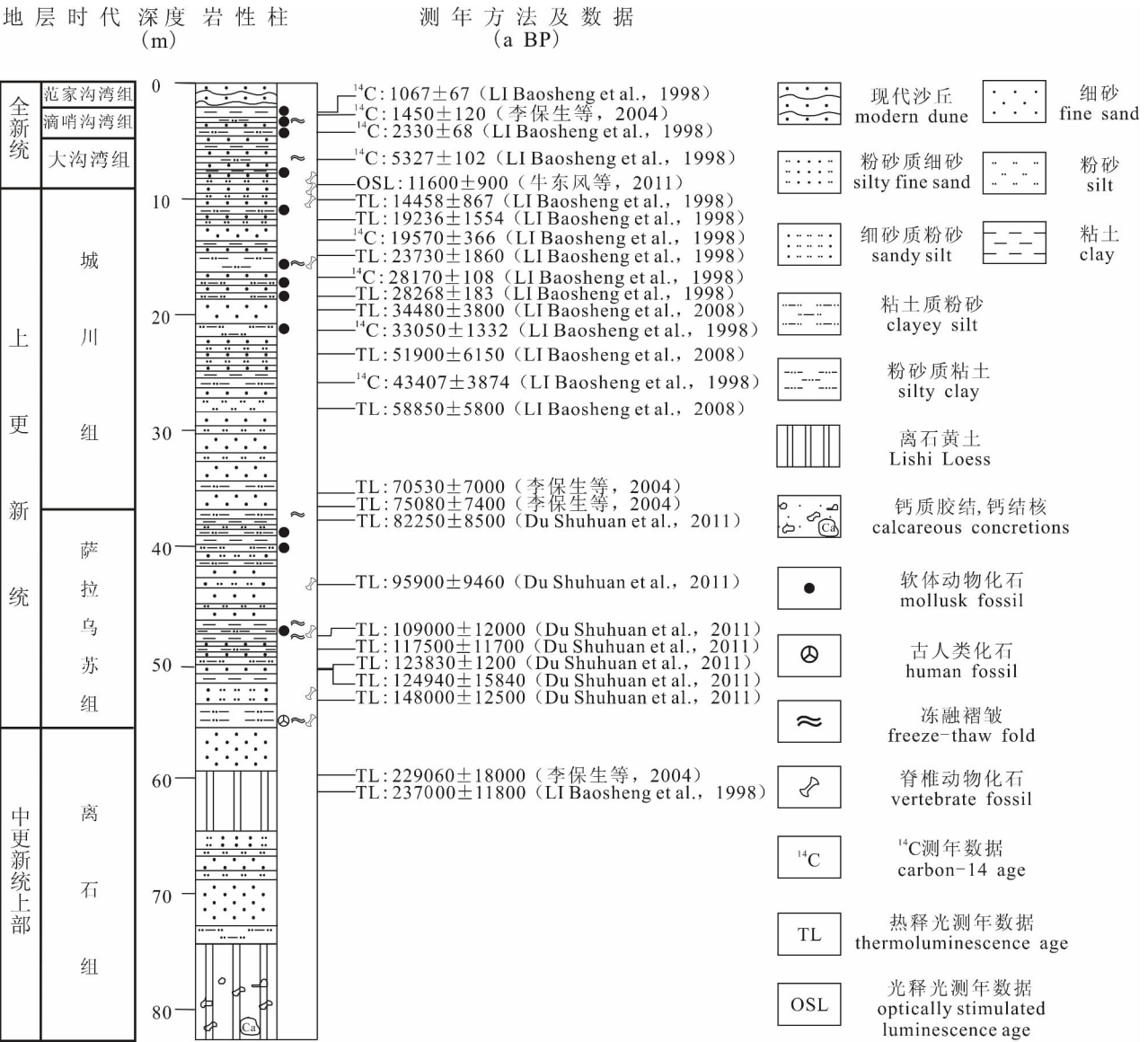


图4 米浪沟湾剖面地层及年代格架柱状图(主要根据李保生等,2004 修改)

Fig. 4 Milanggouwan stratigraphic section and chronological framework
(mainly modified from Li Baosheng et al. ,2004)

区域性冰芯记录有较好的可比性(Li Baosheng et al. ,2007; Wen Xiaohao et al. , 2008)。温小浩等(2007)利用粒度进行谱分析,验证了萨拉乌苏河流域在千年尺度上主要受控于北大西洋温盐环流引起的东亚冬、夏季风变化,而万年尺度上则受控于岁差周期所导致的太阳辐射变化。

末次冰期向全新世过渡期为晚冰期(MIS2),对应地层为城川组上部,该段地层记录了5.5个沉积旋回和对应的气候旋回,与北欧的最老仙女木、老仙女木和新仙女木等气候突变事件,有很好的沉积响应(李后信等,2010)。

2.3 冰后期

萨拉乌苏河流域全新统地层的孢粉组合中,藜、蒿等草本花粉相对富集,说明整体气候较为干冷,为干旱草原类型。但在全新世中期乔木花粉增加,指示当时气候较湿润偏凉,自然景观为疏林草原(邵亚军,1987;柯曼红等,1995)。不同指标的进一步详细研究表明,其记录了11次古气候波动,这与北大西洋寒冷突变事件和国内的其他高分辨率气候变化记录,在持续时间和程度上大致相当。不过流域内全新世沉积记录的气候寒冷事件较其他地区更为丰富,这种气候波动的不稳定性或许与D—O振荡

(Niu Dongfeng et al. ,2008;Lu Yingxia et al. ,2010;牛东风等,2011),以及萨拉乌苏河流域特殊的地理位置和沉积环境有关。但 Liu Kai 等(2011)在滴哨沟湾研究中,认为该时段初期是最温暖湿润的时期,随后开始气候逐渐干冷的渐变过程。此外胡柯等(2011)探讨了流域内历史时期,主要是宋(西夏)时期,环境演变过程,并指出人为因素在该区域沙漠化进程中有一定的作用。

3 古生物研究

对萨拉乌苏动物群及古人类的研究,始于德日进等在流域内的野外考察。他们将发现的披毛犀和王氏水牛等特征性脊椎动物群定名为萨拉乌苏动物群。此外还发现了大批的旧石器和少量古人类化石:两件股骨、一件肱骨和一枚门齿。这一发现揭开了河套人神秘面纱,填补了中国旧石器文化的空白,但由于很多化石缺少化石准确的地点和层位,地层及古生物研究意义不大。

解放后,陆续有大量的科考人员在该地区从事古人类及动物群研究。贾兰坡(1951)将河套人与欧洲尼安德特人进行对比分析,认为其生存时代大约为 100ka BP,并认为水洞沟遗址和萨拉乌苏河遗

址同为“河套文化期”。裴文中等(1964)指出水洞沟与萨拉乌苏河地区在沉积地层上具有一致性,但是在旧石器和古生物化石的特征上有明显差异。祁国琴(1975)在杨四沟湾的发现为萨拉乌苏动物群找到了新的种属:虎和斯氏高山鼠相似种,并指出形成萨拉乌苏动物群生存的古环境并非一成不变,经历过频繁的气候波动,化石形成过程中也经过近距离的搬运。袁宝印(1978)确定了动物群的产出层位主要为萨拉乌苏组中下部地层。近年来在邵家沟湾至范家沟湾之间开始了系统挖掘工作,获取了丰富的考古材料(黄慰文等,2003;黄慰文,2006)。

从已发现的化石报道来看,萨拉乌苏动物群所含化石数量多,类型复杂,包括 33 种哺乳类和 12 种鸟类(同号文等,2008),主要分布在萨拉乌苏河中游沿岸,包括清水沟湾、滴哨沟湾、杨树沟湾、大沟湾、范家沟湾、杨四沟湾、米浪沟湾、三岔沟湾等处。在包头地区发现的萨拉乌苏动物群(聂宗笙等,1988)说明其生存范围可能为整个鄂尔多斯高原,甚至更大面积内。李保生等(1987)从动物种类和数量、绝灭种属生存的环境等认为在城川组中的动物群有别于萨拉乌苏动物群,建议将其单独命名为城川动物群,目前这一划分方案在学界已基本得到

表 2 萨拉乌苏动物群及文化层时代归属对比表
Table 2 Comparison of the ages of the Salawusu fauna and cultural layer in different papers

文献	研究地点	研究材料和方法	萨拉乌苏动物群及文化层时代
祁国琴,1975	杨四沟湾	前人发现的大量古生物化石进行动物群绝灭种属统计	晚更新世中—晚期,为丁村动物群之后,山顶洞动物群之前
袁宝印,1978	杨四沟湾和滴哨沟湾	依据出土的动物化石组成和石器代表性特点进行划分	晚更新世中期,与峙峪动物群同时,丁村动物群之后,山顶洞动物群之前
董光荣等,1981	杨四沟湾、范家沟湾、邵家沟湾	地层中出土的古人类化石进行化石形态学研究	晚更新世中期,为丁村动物群之后,山顶洞动物群和峙峪动物群之前
原思训等,1983	杨树沟湾、杨四沟湾和范家沟湾等	动物牙齿化石和羊角化石,进行铀系测年	不早于晚更新世中期,具体年限为:37 ~ 50 ka BP
黎兴国等,1984	范家沟湾	文化层中碳屑进行 ¹⁴ C 测年	晚更新世晚期,测年结果为:35340 ± 1900 a BP
李保生等,1987	萨拉乌苏河流域	地层中采集的化石进行种属划分,结合沉积相分析	晚更新世早期,和丁村动物群同期。年代约为 70 ~ 100 ka BP
郑洪汉,1989	滴哨沟湾	无原生层位化石,通过化石层位对比。主要方法是年代学、孢粉分析和沉积相对比	中更新世晚期,丁村动物群之前,大致在 MIS6 附近
谢骏义等,1995	萨拉乌苏河流域中下游	前人资料统计总结,综合归纳	晚更新世中期,丁村动物群之后,略早于峙峪动物群
樊行昭等,2002	滴哨沟湾	并无原生层位化石,但进行了层位对比。主要方法是年代学和磁学参数分析	中更新世晚期,具体年限约为:130 ~ 190 ka BP
尹功明等,2004	范家沟湾	1980 年范家沟湾系统发掘工作,对含萨拉乌苏动物群和旧石器的层位进行红外释光测年	晚更新世中期,测年结果为 61 ~ 68 ka BP

认可(李保生等,1993,2004;谢骏义等,1995;同号文等,2008)。流域内先后有数位学者提出了萨拉乌苏动物群或古人类时代划分意见(表2),但常常因为缺乏直接的化石层位证据,以及所采用的测年手段和材料不同,使得对动物群及文化层时代归属存在较大争议。

河套人是我国最早发现的旧石器时期古人类之一,但限于发现的原生材料较少,研究程度相对较低。最初,吴汝康(1958)研究了汪宇平发现的化石,推测其比尼安德特人更为接近现代人,可能是现代人类的直接祖先。尚虹(2004)和尚虹等(2006a)对已发现的古人类化石进行了详细的考古学研究,取得了一些细节上的成果。认为河套人具有同尼安德特人相同或相近的上肢运动习惯,同时也可能体现了中国晚更新世人类与欧亚地区同时代古人类之间的联系。此外,尚虹等(2006b)曾将德日进、桑志华最初发现的股骨标本进行 ^{14}C 年代测定,所得结果仅为200~300 a BP,推测其不是原生层位化石。

4 主要进展及存在问题

萨拉乌苏河流域位于中国北方季风气候区的边缘区域,干旱、半干旱过渡地带,又毗邻毛乌素沙漠和黄土高原,是环境变化较为敏感的区域,对研究季风演化、第四纪地层以及古环境变迁等很多方面具有重要意义。同时发现的大量石器制品和古人类化石对研究中国古人类演化及文化期划分提供了新的证据。综合流域内第四纪地层、古环境及古生物的研究现状,笔者提出以下几点认识和建议:

4.1 地层年代格架的建立

近年来不同研究者将传统意义上的萨拉乌苏组进行了细化说明,建立了对应的地层单元。同时通过 ^{14}C 、热释光和光释光、古地磁和铀系等测年手段获得了丰富的年龄数据,尤其是在城川组、滴哨沟湾组和大沟湾组,基本建立了可信的年代格架,但就萨拉乌苏组底界认识上尚存在较大争议。一方面在流域内能够观察到底部岩石单元的剖面较少,且界线附近没有明显的标志层,沉积相变交错复杂,使得不同的研究者对底界岩性的认识上也存在差异(图2),常常难以确定统一的岩性界面;另一方面,对萨拉乌苏组底界测年数据相对缺乏,已有数据多为热释光年龄,测试方法较为单一,不能排除方法本身的局限性和测年误差。两方面相辅相成,互为因果。因此,对流域内地层剖面沉积相的准确划分和地层年代的确定仍是今后工作中的重点和难点。我们应

加强对本区古地理和沉积学特征的分析,重点厘清萨拉乌苏组的沉积相特征,确定其沉积关系,统一认识,同时尝试不同测年手段来开展地层及年代学研究。

4.2 高分辨率古气候的重建

通过数十年的调查研究,已经获得了大量的古气候资料,重建了部分时段的高分辨率古环境演变历史,与全球性和区域性的气候事件密切相关。并结合在毛乌素沙漠和黄土高原上的沉积记录,初步探讨了古气候变化机制。冬季风盛行时,气候寒冷干旱,西北风和偏北风驱使沙漠向东南和偏南扩张,伴随发生大规模的粉尘事件;夏季风盛行时期,气候相对温暖湿润,湖泊或古土壤发育,沙漠逐渐萎缩,沙漠中河流湖泊发育。虽然在米浪沟湾和滴哨沟湾剖面获得了丰富的古气候代用指标信息,但流域内对第四纪地层和环境系统研究的剖面相对较少,难以进行相互验证和对比。所以需要增加流域内其他剖面的精细研究,综合分析末次间冰期以来萨拉乌苏河流域的高分辨率气候变化。这对于我们恢复沙漠—黄土过渡带精确的古环境变迁历史,探讨区域内气候变化机制有重要意义,同时也可以为不同沉积环境下代用指标的解释提供更为详实的证据。

4.3 末次间冰阶大湖期分析

城川组中下部广泛发育1~2层湖沼相地层(李保生等,1993),含腹足类化石(Li Baosheng et al., 2007),具冻融褶皱,可与马兰黄土中弱发育古土壤对应(苏志珠等,1997b)。该湖相粘土层在西北部高地上表现为城川组风成砂中的剥蚀面,在东南部黄土区相对平坦的地段发育黑垆土型古土壤,地势较高部位为马兰黄土中的剥蚀面(李保生等,1987)。在萨拉乌苏河流两侧多被风成砂包卷,呈团状,不规则状。局部地区层位界面平直,成层性较好。

柯曼红等(1992)通过孢粉分析认为该段时期存在巨大的萨拉乌苏古湖,气候相对冷湿。刘凯等(2010)在酒房台剖面上部进行了光释光取样分析,得出湖相层发育的阶段为40~30 ka BP。并与毛乌素沙漠相邻区域对比,表明该段时期内存在萨拉乌苏古湖的大湖期。这与青藏高原(李炳元,2000;郑绵平等,2006)、腾格里沙漠(Pachur et al., 1995; Zhang Hucai et al., 2002)和巴丹吉林沙漠(Lehmkuhl et al., 2000)中发育的大湖期有很好等时关系。

末次冰期间冰阶,夏季风加强,气候适宜,有利

于发育湖相沉积,但在区域内缺乏明显的湖积阶地和湖岸线等直接地质地貌特征。因此城川组中的湖相层是否可以说明毛乌素沙漠中存在大湖,尚需更多的证据。考虑到末次间冰期气候更为温暖湿润,接受沉积时段更长,尚未形成统一的大湖期,城川组中的湖相沉积是否有足够的规模?毕竟在季风边缘区,环境变化频繁,区域内部某些时段可以发育一定规模的蓄水洼地,接受沉积,并形成断续分布的湖沼相地层(贾铁飞,1996)。因此,关于该时段的沉积环境和古气候情况,有待更深入的研究。

4.4 萨拉乌苏组沉积相探讨

萨拉乌苏组沿革至今,所处的层位越来越明确,但是对萨拉乌苏组沉积相划分却依旧笼统称为河湖相沉积,并作为我国北方晚更新世标准地层。袁宝印(1978)认为该地层是以湖相粉砂和粘土质粉砂为主,局部夹有细砂层。董光荣等(1983)认为萨拉乌苏组底部为砂土砾石层;中下部为湖沼相粘土、粉砂层;上部为湖相细砂、粉砂沉积,顶部为一层棕红色粘土。郑洪汉(1989)则认为主要为湖相粉砂质粘土与粘土质粉砂沉积互层,向上过渡为河流相细砂。孙继敏等(1996)认为主要是湖相地层。李保生等(2004)则将其划分为河湖相地层与风成相互层。靳鹤龄等(2007)指出对萨拉乌苏组沉积相的探讨分析不应将其统称为河湖相地层,两者代表了不同的沉积环境。并认为该段主要为湖相沉积,与下伏河流相和风成相地层有较大区别。

可见,确切的沉积相划分尚无定论,考虑到萨拉乌苏河流域最初的研究成果主要集中在史前考古上,这些发现多在沿河两岸阶地之上(汪宇平,1963;裴文中等,1964;祁国琴,1975;袁宝印,1978;原思训等,1983),而现生的河流堆积,难免会给沉积相分析造成一定误解。但是从对古环境记录的直接性来说,沉积相变是最为客观、直接的证据。因此明确萨拉乌苏组沉积相划分,对地层划分和沉积环境的解释极为重要。

4.5 萨拉乌苏动物群和古人类研究

如前所述,古生物和古人类作为第四纪研究的重要材料,得到了广泛关注。在对萨拉乌苏动物群与古人类的研究中,随着研究材料的增加,实验方法的完善,我们对萨拉乌苏河流域古人类及古动物群的研究程度也逐步提升,但依然存在两点问题。

一方面,在萨拉乌苏河流域发现有石器和古人类化石,但往往由于化石材料的稀少,原生层位定位不准等,测试材料不具可比性,使得对萨拉乌苏动物

群及文化层的确切年限存在很大争议。另一方面,在对萨拉乌苏河流域的史前考古工作中,历来存在着对部分学术名词混用、误用、滥用的现象,遗址发现地记录含糊不清等问题(卫奇,2005;张森水,2007)。以大家熟知的河套人为例,最初 Licent(桑志华)等(1927)命名、以步达生(Black D)鉴定的那颗“the Ordos Tooth”为代表的古人类为“Ordos Man”。裴文中(1948)在其文章中,结合该地区历史地理沿革后将其翻译为“河套人”。此后河套人蜚声国内外,得到了广泛的关注。但是近年来考虑到萨拉乌苏与水洞沟文化差异较大,主张将“Ordos Man”正名为“鄂尔多斯人”(黄慰文等,2004;杨泽蒙,2007)。河套人在中国考古学界的意义重大,亟需对其进行系统的总结工作。

最近在鄂尔多斯市乌兰木伦河两岸发现了大量的旧石器和古生物化石,两者在空间上相隔距离约 30 km,该地区的岩性和年代均与萨拉乌苏河流域有较好的可对比性(邢宇皓,2011;侯亚梅等,2012)。相信随着流域内地层剖面研究程度的逐步提高,区域上地层、环境和考古遗址等研究成果的不断丰富,我们对萨拉乌苏河流域的认识也会愈加清晰。

致谢:本文参阅、引用了国内外同行的许多资料和文献;成文初期得到李保生教授的点拨帮助;靳鹤龄研究员和章雨旭研究员审阅文稿并提出了宝贵的修改意见;姚培毅研究员和迟振卿研究员对相关问题进行过有益的探讨;在此一并深表感谢。

注 释 / Note

① 罗开利. 2002. 鄂尔多斯东南地区 150 kaBP 以来 CaCO_3 旋回与气候变迁的探讨. 硕士学位论文. 导师:李保生. 广州:华南师范大学.

参 考 文 献 / References

刁桂仪. 1987. 萨拉乌苏河滴哨沟湾剖面的化学成分与沉积环境. 矿物岩石地球化学通讯, (4): 226 ~ 227.
董光荣,高尚玉,李保生. 1981. 河套人化石的新发现. 科学通报. 26 (19): 1192 ~ 1194.
董光荣,李保生,高尚玉. 1983. 由萨拉乌苏河地层看晚更新世以来毛乌素沙漠的变迁. 中国沙漠, 3(2): 9 ~ 15.
董光荣,金炯,高尚玉,李保生,陈惠忠. 1990. 晚更新世以来我国北方沙漠地区的气候变化. 第四纪研究, (3): 213 ~ 222.
董光荣,靳鹤龄,陈惠忠. 1997. 末次间冰期以来沙漠—黄土边界带移动与气候变化. 第四纪研究, (2): 158 ~ 167.
董光荣,苏志珠,靳鹤龄. 1998. 晚更新世萨拉乌苏组时代的新认识. 科学通报, (17): 1869 ~ 1872.
杜恕环,李保生,Zhang David Dian,牛东风,温小浩,陈德牛,欧先交,杨艺,司月君,赵欣楠. 2009. 萨拉乌苏河流域 MGSS 层段 CaCO_3 记录的末次间冰期东亚季风与沙漠环境演化. 自然科学进展, 19

- (11):1187~1193.
- 樊行昭,苏朴,Reidar L. 2002. 岩石磁学研究对萨拉乌苏组年代归属的意义. 自然科学进展,12(11):1223~1227.
- 高尚玉,董光荣,李保生,李传珠. 1985. 萨拉乌苏河第四纪地层中化学元素的迁移和聚集与古气候的关系. 地球化学,(3):269~276.
- 高尚玉,董光荣,李保生,邵亚军. 1988. 萨拉乌苏河地区地层中 CaCO_3 和易溶盐含量变化与气候环境. 干旱区资源与环境,(4):41~48.
- 关有志,陈振英,贾惠兰. 1986. 萨拉乌苏河地区第四纪地层中的元素分布与古气候. 中国沙漠,6(1):32~41.
- 侯亚梅,王志浩,杨泽蒙,甄自明,张家富,董为,袁宝印,李保生,黄慰文,刘扬. 2012. 内蒙古鄂尔多斯乌兰木伦遗址 2010 年 1 期试掘及其意义,32(2):178~188.
- 胡珂,莫多闻,王辉,张翼飞. 2011. 萨拉乌苏河两岸宋(西夏)元前后的环境变化与人类活动. 北京大学学报(自然科学版),47(3):466~474.
- 黄慰文,侯亚梅. 2003. 萨拉乌苏遗址的新材料:范家沟湾 1980 年出土的旧石器. 人类学学报,22(4):309~320.
- 黄慰文,董光荣,侯亚梅. 2004. 鄂尔多斯化石智人的地层,年代和生态环境. 人类学学报,23(增刊):258~271.
- 黄慰文. 2006. 萨拉乌苏河石器工业在旧石器文化序列中的位置. 鄂尔多斯文化,(3):26~28.
- 贾兰坡. 1951. 河套人. 北京:龙门联合书局,10~59.
- 贾铁飞. 1996. 萨拉乌苏河地区若干第四纪沉积与环境问题初探. 内蒙古师大学报(自然科学汉文版),(4):66~70.
- 靳鹤龄,李明启,苏志珠,董光荣,赵晖. 2005. 220ka BP 来萨拉乌苏河流域地质剖面地球化学特征及其对全球气候变化的响应. 冰川冻土,27(6):861~868.
- 靳鹤龄,李明启,苏志珠,董光荣,赵晖. 2006. 220ka 以来萨拉乌苏河流域地层磁化率与气候变化. 中国沙漠,26(5):680~686.
- 靳鹤龄,李明启,苏志珠,董光荣,赵晖,孙忠. 2007. 萨拉乌苏河流域地层沉积时代及其反映的气候变化. 地质学报,81(3):307~315.
- 靳鹤龄,董光荣,左听听. 2008. 滴哨沟湾地层沉积特征记录的毛乌素沙漠变迁. 中国沙漠,28(6):1064~1072.
- 柯曼红,孙建中. 1992. 萨拉乌苏地区末次冰期的古气候及古环境. 植物学报,34(9):717~719.
- 黎兴国,刘光联,许国英. 1984. 河套人及萨拉乌苏文化的年代. 见:第一次全国 ^{14}C 学术会议文集. 北京:科学出版社,141~143.
- 李保生,董光荣,高尚玉,邵亚军. 1987. 鄂尔多斯萨拉乌苏河地区马兰黄土与萨拉乌苏组的关系及其地质时代问题. 地质学报,61(3):218~230.
- 李保生,董光荣. 1991. 萨拉乌苏河地区地层中的碎屑矿物及其所反映的中更新世末期以来之气候环境变化. 岩石矿物学杂志,10(1):84~90.
- 李保生,董光荣,吴正,高尚玉,祝一志,靳鹤龄,邵亚军. 1993. 我国北方上更新统城川组的建立. 地质论评,39(2):91~100.
- 李保生,靳鹤龄,吕海燕,祝一志,董光荣,孙冬怀,张甲坤,高全洲,阎满存. 1998. 150ka 以来毛乌素沙漠的堆积与变迁过程. 中国科学(D 辑),28(1):85~90.
- 李保生,靳鹤龄,祝一志,张宇红,董光荣,孙冬怀,邵亚军,孙武,张甲坤,阎满存,高全洲. 2001. “河套东南角理想剖面”的新近研究. 中国沙漠,21(4):346~353.
- 李保生,靳鹤龄,祝一志,董光荣,温小浩. 2004. 萨拉乌苏河流域第四系岩石地层及其时间界限. 沉积学报,22(4):676~682.
- 李保生,陈德牛,Zhang David Dian,温小浩,邱世藩,欧先交,杜恕环,牛东风,杨艺,叶建萍,郭云海. 2007. 萨拉乌苏河流域 MGS3 地层段腹足类动物化石种类及气候环境. 中国科学(D 辑),37(12):1625~1633.
- 李炳元. 2000. 青藏高原大湖期. 地理学报,55(2):174~182.
- 李后信,李保生,温小浩,欧先交,李志文,牛东风,杜恕环. 2010. 萨拉乌苏河流域 MGS2 层段主要氧化物变化及其指示的气候波动. 中国沙漠,30(4):808~815.
- 李后信,李保生,祝一志,靳鹤龄,Zhang David Dian,阎满存,张宇红,罗开利,姚春霞. 2002. 150 ka BP 以来萨拉乌苏河流域主元素变动旋回. 地球化学,31(5):424~432.
- 李吉均. 1990. 中国西北地区晚更新世以来环境变迁模式. 第四纪研究,(3):197~204.
- 李明启,靳鹤龄,董光荣,张洪,孙忠. 2006. 萨拉乌苏河流域微量元素揭示的气候变化. 中国沙漠,26(2):172~179.
- 刘东生,王克鲁. 1964. 中国北方第四纪地层的某些问题. 见:中国科学院地质研究所编. 第四纪地质问题. 北京:科学出版社,65~76.
- 刘嘉麒,倪云燕,储国强. 2001. 第四纪的主要气候事件. 第四纪研究,21(3):239~248.
- 刘凯,赖忠平,樊启顺,李保生. 2010. 萨拉乌苏地区末次冰期酒坊台剖面光释光年代及其环境意义. 盐湖研究,18(3):1~8.
- 刘宇飞,李保生,杨艺,欧先交,温小浩,欧阳椿陶,曾兰华. 2006. 末次间冰期我国半干旱盆地 Rb、Sr 的迁移聚集规律与环境演变——以萨拉乌苏河流域米浪沟湾剖面研究结果为例. 中国沙漠,26(3):341~344.
- 卢小霞. 1985. 萨拉乌苏河地区粘土矿物组合分析与古气候的关系. 中国沙漠,5(2):27~35.
- 吕玉晓,李保生,靳鹤龄,余雪飞. 2004. 萨拉乌苏河流域末次间冰期全球变化区域响应的主元素记录. 中国沙漠,24(2):136~143.
- 闵隆瑞,朱关祥,关友义. 2009. 内蒙古萨拉乌苏河流域第四系更新统上部萨拉乌苏阶基本特征剖析. 中国地质,36(6):1208~1217.
- 聂宗笙,李克. 1988. 内蒙古包头地区萨拉乌苏组的发现及其意义. 科学通报,33(21):1645~1649.
- 牛东风,李保生,温小浩,杜恕环,李志文,王丰年,司月君,欧先交. 2011. 萨拉乌苏河流域 MGS1 层段微量元素记录的全新世千年尺度的气候变化. 地质学报,85(2):300~308.
- 欧先交,李保生,靳鹤龄,吴正,温小浩,董光荣,曾兰华,欧阳椿陶,杨艺,刘宇飞. 2006. 萨拉乌苏河流域萨拉乌苏组沙丘砂沉积特征. 地理学报,(9):965~975.
- 裴文中. 1948. 中国史前时期之研究. 北京:商务印书馆,87~107.
- 裴文中,李有恒. 1964. 萨拉乌苏河系的初步探讨. 古脊椎动物与古人类,8(2):99~118.
- 祁国琴. 1975. 内蒙古萨拉乌苏河流域第四纪哺乳动物化石. 古脊椎动物与古人类,13(4):239~249.
- 尚虹. 2004. 萨拉乌苏河流域化石智人的身高. 人类学学报,23(3):196~199.
- 尚虹,卫奇,吴小红. 2006a. 关于萨拉乌苏遗址地层及人类化石年代的问题. 人类学学报,25(1):82~86.
- 尚虹,刘武,吴新智,董光荣. 2006b. 萨拉乌苏更新世晚期的人类肩胛骨化石. 科学通报,51(8):937~941.
- 邵亚军. 1987. 萨拉乌苏河地区晚更新世以来的孢粉组合及其反映的古植被和古气候. 中国沙漠,7(2):22~27.
- 苏志珠,董光荣. 1996. 萨拉乌苏地层研究新进展. 地理科学,16(3):266~273.
- 苏志珠,董光荣,靳鹤龄. 1997a. 萨拉乌苏组地层年代学研究. 地质力学学报,3(4):90~97.
- 苏志珠,董光荣. 1997b. 萨拉乌苏组沉积时代的重新厘定. 沉积学报,15(4):159~165.
- 孙东怀,周杰,蒋复初,Porter S C. 1995. 末次间冰期黄土高原夏季风

气候的初步研究. 科学通报,40(20):1873~1873.

孙东怀,安芷生,吴锡浩. 1996. 最近 150ka 黄土高原夏季气候格局的演化. 中国科学 (D 辑),26(5):417~422.

孙继敏,丁仲礼,刘东生,袁宝印,刘嘉麒. 1995. 末次间冰期以来沙漠—黄土边界带的环境演变. 第四纪研究,2(11):117~122.

孙继敏,丁仲礼,袁宝印,刘东生. 1996. 再论萨拉乌苏组的地层划分及其沉积环境. 海洋地质与第四纪地质,16(1):23~31.

孙建中. 2005. 黄土学. 香港:香港考古学会,253~254.

同号文,李虹,谢骏义. 2008. 萨拉乌苏动物群有关属种的修订与讨论. 第四纪研究,28(6):1106~1113.

汪宇平. 1963. 内蒙古伊盟乌审旗发现人类化石. 古脊椎动物学报,7(2):190~191.

卫奇. 2005. 萨拉乌苏河旧石器时代考古史(上). 文物春秋,(5):1~7.

卫奇. 2005. 萨拉乌苏河旧石器时代考古史(下). 文物春秋,(6):1~8.

温小浩,李保生,章典,范小平,叶建萍,杜恕环,郭云海,陈德牛. 2007. 萨拉乌苏河流域末次间冰阶气候——以米浪沟湾剖面为例. 地质学报,81(4):553~562.

温小浩,李保生,Zhang David Dian,郑琰明,牛东风,杜恕环. 2009. 萨拉乌苏河流域米浪沟湾剖面主元素记录的末次间冰阶气候波动. 中国沙漠,29(5):835~844.

吴汝康. 1958. 河套人类顶骨和股骨化石. 古脊椎动物与古人类,2(4):208~212.

谢骏义,高尚玉,董光荣,李保生. 1995. 萨拉乌苏动物群. 中国沙漠,15(4):313~322.

邢宇皓. 2011. 乌兰木伦遗址考古初步发掘 现代人起源再引热议 [N,OL]. 光明日报. 2011-11-07(第 6 版). [2011-12-11]http://scitech.people.com.cn/GB/16160151.html.

杨泽蒙. 2007. 萨拉乌苏遗址发现八十五周年回顾与思考. 内蒙古文物考古,(2):24~36.

尹功明,黄慰文. 2004. 萨拉乌苏遗址范家沟湾地点的光释光年龄. 人类学学报,23(增刊):272~276.

余雪飞,李保生,靳鹤龄,吕玉晓. 2004. 末次间冰期全球变化区域响应的粒度旋回——萨拉乌苏河流域米浪沟湾剖面记录. 华南师范大学学报(自然科学版),(1):129~135.

原思训,陈铁梅,高世君. 1983. 用铀子系法测定河套人和萨拉乌苏文化的年代. 人类学学报,11(1):90~94.

袁宝印. 1978. 萨拉乌苏组的沉积环境及地层划分问题. 地质科学,(3):220~234.

张森水. 2007. 萨拉乌苏河遗址旧石器研究史略及浅议. 文物春秋,(5):3~12+24.

张宇红. 2001. 萨拉乌苏河流域 150 ka BP 以来的粒度旋回. 地理学报,56(3):332~344.

郑洪汉. 1989. 中国北方晚更新世河湖相地层与风积黄土. 地球化学,(4):343~351.

郑绵平,袁鹤然,赵希涛,刘喜方. 2006. 青藏高原第四纪泛湖期与古气候. 地质学报,(2):169~180.

de Chardin P T, Licent E. 1924. On the discovery of a Paleolithic industry in Northern China. Bulletin of the Geological Society of China,3(1):45~50.

Du Shuhuan, Li Baosheng, Niu Dongfeng, Zhang David Dian, Wen Xiaohao, Chen Deniu, Yang Yi, Wang Fengnian. 2011. Age of the MGS5 segment of the Milanggouwan stratigraphical section and evolution of the desert environment on a kiloyear scale during the Last Interglacial in China's Salawusu River Valley: Evidence from Rb and Sr contents and ratios. Chemie der Erde - Geochemistry, 71(1):87~95.

Li Baosheng, Zhang David Dian, Jin Heling, Wu Zheng, Yan Mancun, Sun Wu, Zhu Yizhi, Sun Donghuai. 2000. Paleo-monsoon activities of Mu Us Desert, China since 150 ka BP—a study of the stratigraphic sequences of the Milanggouwan Section, Salawusu River area. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 162(1~2):1~16.

Li Baosheng, Zhang David Dian, Wen Xiaohao, Dong Yuxiang, Zhu Yizhi, Jin Heling. 2005. A multi-cycle climatic fluctuation record of the last interglacial period: Typical stratigraphic section in the Salawusu River Valley on the Ordos Plateau, China. Acta Geologica Sinica (English Edition), 79(3):398~404.

Li Baosheng, Wen Xiaohao, Qiu Shifan, Zhang David Dian, Du Shuhuan, Chen Deniu, Ou Xianjiao, Niu Dongfeng. 2007. Phases of environmental evolution indicated by primary chemical elements and paleontological records in the Upper Pleistocene—Holocene Series for the Salawusu River Valley, China. Acta Geologica Sinica (English Edition), 81(4):555~565.

Licent E, de Chardin P T, Black D. On a presumably Pleistocene human tooth from the Sjara - osso - gol (south - eastern Ordos) deposits. Bull Geol Soc China, 1927, 5(3~4):285~290.

Liu Kai, Lai Zhongping. 2012. Chronology of Holocene sediments from the archaeological Salawusu site in the Mu Us Desert in China and its palaeoenvironmental implications. Journal of Asian Earth Sciences, 45:247~255.

Lu Yingxia, Li Baosheng, Wen Xiaohao, Qiu Shifan, Wang Fengnian, Niu Dongfeng, Li Zhiwen. 2010. Millennial-centennial scales climate changes of Holocene indicated by magnetic susceptibility of high-resolution section in Salawusu River Valley, China. Chinese Geographical Science, 20(3):243~251.

Niu Dongfeng, Li Baosheng, Du Shuhuan, Wen Xiaohao, Qiu Shifan, Ou Xianjiao, Yang Yi. 2008. Cold events of Holocene indicated by primary elements distribution of the high-resolution sand dunes in the Salawusu River Valley. Journal of Geographical Sciences, 18(1):26~36.

Pachur H J, Wünnemann Bernd, Zhang Hucai. 1995. Lake evolution in the Tengger Desert, Northwestern China, during the last 40,000 years. Quaternary Research, 44(2):171~180.

Wen Xiaohao, Li Baosheng, Zheng Yanming, Zhang David Dian, Ye Jianping. 2008. Climate variability in the Salawusu River valley of the Ordos Plateau (Inner Mongolia, China) during Marine Isotope Stage 3. Journal of Quaternary Science, 24(1):61~74.

Zhang Hucai, Wünnemann Bernd, Ma Yuzhen, Peng Jinlan, Pachur H J, Li Jijun, Qi Yuan, Chen Guangjie, Fang Hongbing, Feng Zhaodong. 2002. Lake level and climate changes between 42,000 and 18,000 ¹⁴C yr BP in the Tengger Desert, Northwestern China. Quaternary Research, 58(1):62~72.

Review of Quaternary Strata and Paleoenvironment on Salawusu River Valley in North China

YANG Jinsong¹⁾, WANG Yong¹⁾, MIN Longrui¹⁾, CHEN Xingqiang²⁾
Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science, Beijing, 100037;
Chongqing Geological Circumstance Inspect Center, Chongqing, 400015

Abstract: The Salawusu River Valley is located in the transitional zone between the Mu Us Desert and the Loess Plateau, and in the northern marginal area of the East Asian Monsoon. de Chardin and Licent (1924) discovered a paleolithic industry and many fossil specimens in the Salawusu River Valley (or Sjava-osso-gol) in which they found the first fossil evidence (“the Ordos tooth”) of paleolithic man in Asia. From then on, the research developments of the Salawusu River Valley get much attention and affirmation from the paleoanthropologists and geologists.

In this paper, writers put emphasis on both of the Dishaogouwan section and Milanggouwan section, and reviewed the study history on Quaternary stratigraphy and paleoclimate. The strata in the river valley are made up of interlaced fluvio-lacustrine facies and aeolian facies, consist of Salawusu fauna and many geological vestiges. Previous studies indicate the strata contain sedimentary sequences from the last glacial period to the postglacial period, including the Salawusu Formation (150 ~ 70 ka BP) which is the typical Late Pleistocene strata sequence in North China, the Chengchuan Formation (70 ~ 11 ka BP), the Dagouwan Formation and the Dishaogouwan Formation (11 ka BP). The sedimentary cycles respectively correspond to the paleoenvironment variations in the glacial-interglacial terms, which is explained by the changes of the East Asian Summer Monsoon and Winter Monsoon. Climate proxies help us to confirm these ideas.

At the same time, there are still some excited problems and suggestions: (1) the correct and credible chronostratigraphy should be established quickly, especially on the Salawusu Formation; (2) detail study on sedimentary facies may help us to get the high-resolution paleoclimate records which need more accurate data by different ways; (3) whether there existed a paleolake in the southeast margin of the Mu Us Desert during the period between 40 ~ 30 ka is still an interesting question; (4) some divergent views, such as the different translations of the “Ordos Man” and the issue of the time scale of Salawusu fauna and cultural layer, need to be unified as soon as possible.

Further research of Quaternary strata and paleoenvironment has great significances. Combining the records of the Salawusu River Valley with some recent discovery on adjacent regions is indispensable.

Key words: Late Pleistocene; last interglacial; Quaternary; paleoenvironment; Salawusu River Valley