

文章编号:1000-694X(2001)04-0346-08

“河套东南角理想剖面”的新近研究

李保生^{1,2}, 靳鹤龄³, 祝一志², 张宇红¹, 董光荣³, 孙冬怀⁴,
邵亚军³, 孙武¹, 张甲坤⁵, 阎满存⁶, 高全洲⁷

(1. 华南师范大学 地理系, 广东 广州 510631; 2. 中国科学院 地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西 西安 710061; 3. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 4. 中国科学院 南海海洋研究所, 广东 广州 510301; 5. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 6. 清华大学 水利水电工程系, 北京 100084; 7. 中山大学 地理系, 广东 广州 510275)

摘 要: 以在萨拉乌苏河流域近年命名的“米浪沟湾地层剖面”作为河套东南的理想剖面, 描述了其地层特征、讨论了地层磁化率值与粒度分布与气候变迁的关系。研究指出, 该剖面记录了 150 ka BP 以来毛乌素沙漠 27 个旋回的砂丘与河湖相和古土壤互为交替的演化历史; 剖面风成砂丘的堆积时期和河湖相或古土壤发育时期分别主要与过去冬季风和夏季风作用加强有关。根据中国沙漠及黄土区现代沙尘暴发生的区域特征认为, 米浪沟湾剖面记录的 150 ka 来的 27 次砂丘期代表了中国沙区存在 27 个沙漠堆积时期。

关键词: 米浪沟湾; 地层剖面; 150 ka; 27 个时期的风成砂丘堆积; 中国沙漠环境变迁

中图分类号: P53

文献标识码: A

20 世纪 20 年代, 法国古生物学家 P. 德日进等根据当时(1922—1923)对包括萨拉乌苏河在内的鄂尔多斯沙漠及其以南黄土区第四系及古生物等工作, 1924 年在“北中国旧石器工业的发现”一文中将萨拉乌苏河流域出露的一套地层命名为“整个萨拉乌苏系”(1956 年改为萨拉乌苏组), 时代属晚更新世^[1]。同年, 他们在“中国鄂尔多斯北、西和南缘地质”一文中勾画出从陕西北部油房头至鄂尔多斯东南角第四纪地质剖面^[2], 这就是习称的“河套东南角之理想剖面”^[3]。剖面中将萨拉乌苏河地区河湖相层系与黄土作同期异相处理。但文中涉及鄂尔多斯水洞沟、萨拉乌苏河流域与油房头一带砂丘之下的土壤时, 依其中发现的石器性质则倾向地认为其属仰韶文化期。以后在 1927、1928、1930、1933 和 1941 年经 P. 德日进、E. 桑志华、M. 布勒、H. 布日耶、D. 布达生和我国学者杨钟健、裴文中对萨拉乌苏河流域及邻区地层、古生物等研究^[4~6], 又将萨拉乌苏组中产出的古脊椎动物和古人类化石以及人类文化遗存依次命名为萨拉乌苏动物群、鄂尔多斯古人和鄂尔多斯文化。后两者亦分别以“河套人”和“河套文化”称之。中华人民共和国成立以来, 我国及俄罗斯学者对该地地层划分、年代测定、古生物、古人类、新旧石器文化与沙漠变迁等进行了大量调

查与研究^[3,7~17]。近年作者在以往工作基础上就萨拉乌苏组上部存在以沙漠堆积为主的城川组的建立问题进行了专门讨论^[18]。总之, 自从德日进等创建萨拉乌苏组、勾画出河套东南角理想剖面以后对该区所进行的上述种种工作, 都加深了对鄂尔多斯东南区域第四纪地层、古生物、古气候等方面的认识。使得“萨拉乌苏”一名经久不衰、广传博引, 在国内外享以盛名。

20 世纪 70 年代以来, 对“过去全球变化”引起的大陆冰量与大洋水体互为消长的关系和中国黄土高原古季风变迁与环境演变研究取得重大进展^[19~23]。这些研究结果显示, 距今 150 ka 以来全球气候变化是多波动多周期的, 不仅在经典冰期间冰期中存在多次冰阶间冰阶, 且在后两者中还存在更多次一级的气候旋迴; 大陆冰川与海洋和中国黄土区在其古气候发展的主要寒暖阶段存在基本耦合关系。这些研究成果也为我们进一步检讨河套东南角地层序列及其反映的干湿冷暖变化周期和 150 ka 来全球寒暖气候波动的沙漠区域响应问题, 提供了重要的研究思路。

以往对本区第四系特别是上更新统一全新统虽有较多研究, 然而迄今在重建古环境时大多仍沿用传统的冰期间冰期对比。因此, 150 ka 来该地是否

收稿日期: 2001-03-18; 改回日期: 2001-05-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(49971009); 中科院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(SK11.QG0008); 国家重点基础研究发展规划项目(G2000048700)资助

作者简介: 李保生(1951—), 男(汉族), 河北邯郸人, 理学博士, 教授, 多年来从事中国沙区环境及其演变研究。

不难看出,米浪沟湾剖面除具有区域地层代表意义外,还指示出该区 150 ka 来各主要层位的发生时段,具有区域地层的综合特征。该地离石组/萨拉乌苏组、萨拉乌苏组/城川组、城川组/大沟湾组的地质界限年龄大致分别为 150 ka、70 ka 和 10 ka。

显然,米浪沟湾剖面古风成砂丘尤其是古流动砂丘、河湖相和古土壤是其 3 个最为显著的沉积相特征。若按 150 ka 来古代砂丘砂与其上覆的河湖相或/和古土壤所构成的沉积旋回来看,则可高达 27 个沉积旋回(其中,1MD 与 63LS 均属半个旋回),从而表明,自那时以来的该地风成的流动砂堆积不仅频次高,而且波动性亦很大。

2 剖面记录的 150 ka 来的气候波动

过去对本区沉积相的若干研究结果^[13~18]证明,风成砂与河湖相或古土壤是两种不同气候类型的产物,分别指示干冷多风和暖湿或温凉且降水较丰。近年,我们对米浪沟湾剖面中所含动物化石和孢粉指示的古生态进行了讨论,其结果与以往的认识吻合,并据此视上述 27 个沉积旋回为气候旋回^[24,25]。下文讨论米浪沟湾剖面地层的磁化率值与粒度分析结果,为察视该剖面记录的 150 ka 来的气候旋回提供进一步佐证。

2.1 地层磁化率值

米浪沟湾剖面磁化率值(图 1)随沉积相变化而变化,河湖相、古土壤相对古砂丘砂磁化率值表现为峰谷相间的有规律的交替变化。古流动砂丘砂磁化率值较低,常变化于 $2 \times 10^{-8} \sim 10 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,河湖相,古土壤特别是所含软体动物化石的湖沼相层位的磁化率值较高, $10 \times 10^{-8} \sim 10 \times 20^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,甚至达 $30 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上。此种变化模式与黄土高原黄土与古土壤磁化率值变化的情形颇为相似,即后者数值较高,前者数值较低^[26~28],并被认为是其反映出成壤作用的相对强弱^[29,30],而背景与间冰期之古土壤和冰期之黄土的气候环境有关^[26]。从以往和近年^[32]对萨拉乌苏河流域上更新统一全新统的碎屑矿物分析结果来看,与磁化率值紧密相关的铁磁性矿物——磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿总和在河湖相和古土壤中的重矿含量通常较古流动砂丘砂中高,依次为 10.60%~29.70%、8.34%~25.00% 和 1.70%~9.40%,三者平均值依次为 17.60%、13.98% 和 5.45%。这几种铁磁性矿物系生物化学风化条件下的比较稳定的

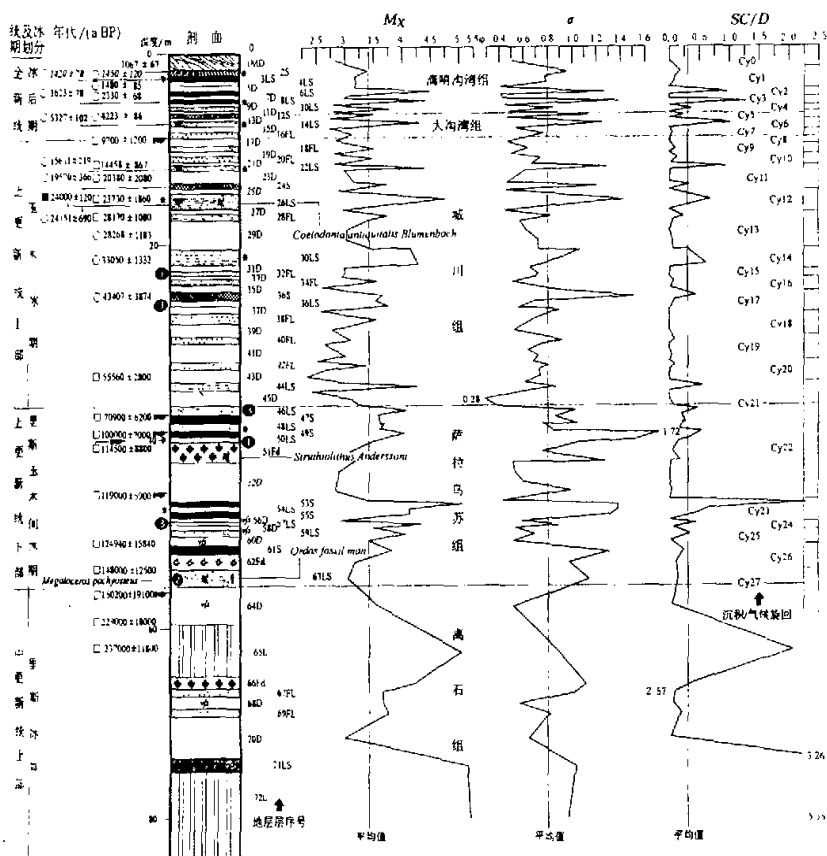
矿物,在温暖潮湿的气候环境下,有利于生物化学风化作用的进行,使之相对富集。反之,气候干冷,其含量降低。因而,从这个意义上来说,米浪沟湾剖面上上述磁化率值的变化规律,在很大程度上揭示河湖相、古土壤与古砂丘砂形成发育时的气候环境具有很大不同,前者偏于暖湿,后者偏于冷干。

2.2 粒度分析结果、 M_x 、 σ 和 SC/D 值

对米浪沟湾剖面进行了 95 个样品的粒度分析。结果表明,米浪沟湾剖面中 32 层古风成砂丘系以砂质成份居绝对优势,又以细砂粒组构成其主要众数。其中 29 层为古流动砂丘,细砂占绝对优势,余为极细砂,极少含粉砂,并常缺失粘粒成分。其粒度组成特征与我国沙漠许多现代流动沙丘^[41,32] 非常相似。另外的 3 层古固定-半固定砂丘为细砂-极细砂,含 2%~3% 的粘粒,粗粉砂、细粉砂含量之和略在 3% 以上。这与毛乌素沙漠南缘与陕西北部间的许多固定-半固定砂丘^[31] 的颗粒组成特征颇为相同。剖面中的中更新统黄土,依黄河中游黄土岩性分类,可将 65L 和 72L 分别定为砂质离石黄土和离石黄土。

为进一步了解米浪沟湾剖面不同层位的颗粒分布状况,我们将粒度分析结果计算出 M_x (平均粒径) 和 σ (标准偏差) 值并绘制成图 2。粒度单位采用 Φ 值表示,转换公式是 $\Phi = -\log_2 d$ (d 为粒径 mm)。 M_x 和 σ 的计算公式分别采用 $M_x = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3$ 和 $\sigma = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/4 + (\Phi_{95} - \Phi_{5})/6.6$ 。结合图 2,对该剖面 M_x 和 σ 的分布情况阐述如下:

米浪沟湾剖面 M_x 和 σ 的分布范围分别为 2.33~5.2 Φ 和 0.26~1.71 Φ 。该剖面 150 ka 来的堆积物中,萨拉乌苏组风成砂、河湖相和古土壤 M_x 分别为 2.83~3.48 Φ 、3.04~5.06 Φ 和 3.57~5.06 Φ , σ 分别为 0.26~1.27、0.7~1.51 和 0.86~1.77; 其中固定-半固定砂丘 M_x 和 σ 分别为 3.08~3.45 Φ 和 0.77~1.27。城川组风成砂、河湖相和古土壤 M_x 分别为 2.33~3.46 Φ 、3.10~4.50 Φ 和 3.52~3.65 Φ ; σ 分别为 0.29~0.9、0.61~1.29 和 0.69~1.51。大沟湾组一滴哨沟湾组风成砂、河湖相和古土壤 M_x 分别为 2.73~3.20 Φ 、3.13~4.49 Φ 和 3.38~3.49 Φ , σ 分别为 0.41~0.79、0.64~1.39 和 0.95~1.13。总的看来,风成砂 M_x 显示的颗粒明显较河湖相和古土壤要粗, σ 显示的分选亦较好。在剖面垂直方向,后两者 M_x 较前者变细, σ 显示的分选相应变差,呈现为粗→细→粗周而复始的反复交替的波动式变化。即使河湖相和古土壤堆

图2 米浪沟湾剖面 150 ka BP 来 M_x 、 σ 、 SC/D 的变化Fig. 2 Variations of the M_x , σ and SC/D in the Milanggouwan stratigraphical section

积与发育时亦有风成的沉积物参与,这种波动式变化至少可说明其干旱的风力在其地质营力过程中存在强→弱→强的周期性反复交替作用。

图2中还绘制了粒度的 SC/D ,表达粉砂(S)、粘粒(C)之和与砂(D)的含量之比。以此说明地质时期以来风砂活动强度具有特殊意义。假定某一地质时期的特定空间始终为流砂活动的环境,则 SC/D 值必然趋近于零,理想的环境过程系由 SC/D 表达出一近似的直线型。但如果在该地质时期中某一时段相同空间内存在 $<5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (起砂风)的风力变化,则粉砂、粘粒必然增多,以至为河湖相或者是砂丘生草固定乃至成壤过程替代之,相应地 SC/D 值必然呈现增大趋势,故流砂环境过程系由 SC/D 表达出一非线性的波动变化。事实上,若以 $>10 \text{ ka}$ 作为一种长期的地质过程,与前一种情况类似的现象在我国西部沙区广泛存在,如 17 ka BP 来的塔克拉玛干沙漠腹地的古流动砂丘砂^[42]以及 70 ka BP 来中昆仑山北麓的黄土状亚砂土堆积^[42],只是其粒

度特征表现为一种近似的直线;与后一种情况类似的现象则广见于我国东部沙区,米浪沟湾地层剖面即是典型的例证。由图3可见,米浪沟湾剖面记录的 150 ka 来沙漠的堆积过程,多次出现古砂丘砂 SC/D 为零或趋近于零的低谷,但并未贯穿始终,而是以若干河湖相和古土壤层序呈现的 SC/D 峰与这种低谷互替。很显然, SC/D 的峰谷变化与 M_x 和 σ 同步;所说明的干旱的风力地质营力过程与由 M_x 和 σ 指示的上述情况在性质上是相同的。

值得注意的是,软体动物化石所在的河湖相或者古土壤层位的 SC/D 值问题。这些层位中有 2/3 的 SC/D 呈现显著峰值。这可能指示其间软体动物的栖息条件与前期堆积流砂的风力减弱、与潮湿或者暖潮气候孕育的水泽、草地乃至森林草原环境在颇大程度上的联系。

如果以上看法同文献[13~18,24,25]中对本区主要沉积相指示的古气候看法正确,则进一步支持了前述 27 个沉积旋回作为气候旋回的看法。图2

表示出了气候旋迴的发生层位,由此表明了 150 ka 来该地经历的 27 次风砂堆积与 27 次河湖相或古土壤互为替代的时期;显示出自那时以来,该地多经干冷与温暖气候的交替波动,这是迄今为止我们在中国的沙质荒漠乃至中国北方干旱半干旱区了解到的过去这一地质时代唯一具有千年尺度的古气候波动最为频繁的过程线。

3 一些基本认识

3.1 经典冰期间冰期与气候旋回

米浪沟湾剖面记录的 150 ka 来的干湿冷暖波动频率远比过去认为的经典冰期间冰期、冰阶间冰期那种变化频次更多且更为复杂。但过去所认为的间冰期中,风砂堆积频次较少,冰期频次较多;萨拉乌苏组(里斯/玉木间冰期)含 5 个时期的风砂堆积,城川组(玉木冰期)则可达 15 个时期。不仅于此,150 ka 来以风成砂丘为代表的干燥期和以河湖相或古土壤为代表的潮湿期出现的周期性波动时间越来越短,且愈加频繁。萨拉乌苏组,150~70 ka BP,旋回为 Cy26.5—Cy20,平均约 16 ka 为一个风成砂与河湖相或古土壤构成的旋迴;城川组,70~10 ka BP,Cy20—Cy7 中的 17D,平均约 4 ka—旋迴;大沟湾组和滴哨沟湾组 10 ka BP 至现代,Cy7 中的 16FL—Cy0,平均约 1.45 ka—旋迴。

3.2 古代季风变迁

以将今论古的原则来看,米浪沟湾剖面揭示的 150 ka 来的气候旋迴应当是北半球气温变化触发的区域性大气动力能量及其对其物质转换的结果。众所周知,毛乌素沙漠现代风砂活动主要与冬春季北半球气温降低引起的西伯利亚—蒙古高压增强、亚洲冬季风由北而南和由西北而东南的侵入有关。米浪沟湾剖面过去 150 ka 古砂丘的岩石学特征及其粒度特征与现代砂丘的基本相似性,使得我们亦同样视其为过去地质时代亚洲冬季风过程之产物。反之,在夏秋季节,北半球增温引起毛乌素沙漠东南以远的亚洲夏季风作用增强,海洋气团兴盛并向西北推进,给该区带来更多的雨泽,导致流动砂丘生草固定。米浪沟湾剖面 150 ka 来堆积发育在古流动砂丘之上的河湖相和古土壤,从以往的研究和其中某些古生物标志^[24,25]看,代表了前期流砂环境为后来的河湖沼泽、草地化乃至成壤所替代的过程。由此不难设想,150 ka 来的毛乌素沙漠在亚洲冬季风

与夏季风相互对峙的关系中,当前者处于劣势、向北衰退时才有利于河湖沼泽堆积、草地化和土壤化过程进行、从而有利于砂丘的固定,这也许是什么 SC/D 值通常在河湖相和古土壤层增高的主要原因。

3.3 米浪沟湾地层剖面与中国的沙漠期间沙漠期

米浪沟湾剖面风成砂丘砂与河湖相和古土壤记录客观地揭示出 150 ka BP 或者晚更新世以来的沙漠环境及其正逆过程已不再是过去所认为的几个时期、几个旋回,而是几十个时期、几十个旋回。显而易见,以往采用传统冰期划分的沙漠期间沙漠期尚不能解释如此频繁的沙漠变动。但值得商讨的是:该剖面记录的 150 ka 来气候旋迴中的 27 个时期的沙漠环境是一个剖面柱、一个区域、一个沙漠,还是过去该时期整个中国沙区动态过程中留下来的一个颇为完整的记录? 回答这个问题,应首先有赖于对包括毛乌素沙漠在内的中国沙区及其以南黄土区现代风沙风尘活动过程一般规律的了解。由于中国沙区现代沙尘暴活动主要是冬春季节源于中蒙国界线以北的西伯利亚—蒙古高压增强,导致强劲的冬季风南伸时的该区物质对其的响应所致,因此在这样一种大的天气系统影响下,沙尘暴在中国干旱荒漠一半干旱草原甚至森林草原地带才可能具有如此广阔的活动与堆积空间。中国诸沙漠、沙地的沙尘暴发生时间不仅具有显著的季节特征,而且一次大的持续时间较长的沙尘暴或者沙暴发生,在沙区主要气象台站上几乎都有反应。与之并发的则是黄土区的降尘天气。持续数日的尘暴,如 1980 年 4 月 17~21 日的尘暴,除黄土区外,还以黄尘天气波及长江南北,向东更可达朝鲜半岛北部和日本南部。在北方的这种天气动力影响下,中国沙区和黄土区无疑分别属于风成的沙尘与粉尘堆积的两大沉积地带,这两个地带分别在某一地点记录的冬春季,特别是春季的风沙、风尘堆积恰又可说明该季节上述天气影响下的广柔空间风成沙尘的地质过程。这种天气情况业已为近年不断出现的现象所共识。特别是近年我国西北和世纪交替时的北京春季多次发生的沙尘暴天气,更使人们确信其与更大天气系统及其所发生在更加广阔空间上的同类现象之间存在着的密切联系。一个季节尚是如此,若以百年、千年甚至以万年计计的地质时代的低温,冬季风对沙区和黄土区影响更大,所产生的旱寒和多风的气候效应显然不仅仅是某一沙区和黄土区,而可能是整个沙区

和黄土区乃至半壁北方国土。因此,过去 150 ka BP 某一时期的风沙、风尘堆积亦应是类似天气过程多次发生的结果。从这个意义上讲,米浪沟湾剖面记录的 150 ka 来的 27 次沙漠堆积期,实际上代表了该时期的中国沙区曾经发生过 27 次西伯利亚-蒙古高压控制的时期,是在其影响下冬季风导致的沙漠风沙流活动的必然结果。由于风沙堆积指示的起沙风力至少到达米浪沟湾剖面所在的 $37^{\circ}47'N$ 的位置,而 95% 以上的中国沙区系分布在其以北广大区域,由此便不难理解过去 150 ka 中冬季风南移导致的米浪沟湾剖面中 27 层沙漠堆积实际上也是整个中国沙区一个比较完整的缩影。然而,由 27 次沙漠堆积的逆向过程产物—河湖相或古土壤为代表的相对暖湿时期是否也适合于整个中国沙区呢?从目前对中国沙区上更新统一全新统的若干调查和研究结果看^[34~38],以此来说明古砂丘上广泛发育古土壤层的贺兰山以东的沙区是可以的,但尚不能解释贺兰山以西,特别是极端干旱区内沙漠堆积的逆过程。如普遍缺乏古土壤的塔里木盆地内沙漠、风成的亚砂土和黄土层系中^[32,33,36,37],砂丘的逆过程或者黄土的“沉积间断”通常是由河湖相来充当的,但此类堆积中的古气候信息指示其时更加燥热。因此在暖期时贺兰山以东、以西的沙区分别具有显著的东潮西旱的气候特征,这种特征可能在 150 ka BP 的初始阶段已显露分野,而且越来越显著。

综上所述不难看到,自从德日进等建立萨拉乌苏组、勾画出河套东南角理想剖面以来的 70 余年中的该地第四纪地质学研究,迄今已在一些看法上发生了很大变化。尤其是随着深海、大陆冰川和黄土区 150 ka 来多旋迴古气候波动的陆续发现,以及将“过去全球变化”作为一个重要的研究课题所取得的成就,又不断促进了萨拉乌苏河流域所在的中国沙区古气候研究工作的深入进展。P. 德日进等是中国沙区第四纪地质学研究的先驱和重要的奠基人。他们对鄂尔多斯东南区域上更新统一全新统的生物地层与古气候学方面的研究所倾注的贡献无疑是卓著的。致使在上个世纪 20 年代以来的该地第四纪研究中几乎都不同程度地印含着 P. 德日进等人早期研究的思想。本文示出米浪沟湾地层作为河套东南角之理想剖面,不仅是为 P. 德日进等创建萨拉乌苏组近 80 年,纪念法国这位伟大的地层古生物学家及其同行对中国沙区第四纪所作的杰出贡献,也试图为当今我国西部大开发中必然涉及到的沙漠化及其防治问题和地球科学领域正在进行的过去 150 ka

来的全球环境变化研究提出一个区域性的反映沙漠古气候变迁的认识线索。

致谢:文中地层年龄由黎兴国、原思训、郑公望、胡智育、徐齐治先生,张景昭、裴静娴、卢良才女士测定,颗粒分析由张焕新、宋维佳女士完成,在此一并致谢。

参考文献 (References):

- [1] Teilhard de Chardin, Licent F. On the discovery of a paleolithic industry in northern China[J]. *Bulletin of the Geological Society of China*, 1924, 3 (1): 45-50.
- [2] Teilhard de Chardin, Licent F. On the geology of the northern, western and southern borders of the Ordos, China[J]. *Bulletin of the Geological Society of China*, 1924, 3 (1): 37-44.
- [3] Jia Lanpo. The Ordos Fossil Man[M]. Shanghai: Longmen United Publishing House, 1950. 1-89. [贾兰坡. 河套人[M]. 上海: 龙门联合书局, 1950. 1-89]
- [4] Licent E, Teilhard de Chardin P, Black Davidson. On a presumably Pleistocene human tooth from the Sjara-Osso-Gol (south eastern Ordos) deposits[J]. *Bull. Geol. Soc. China*, 1927, V: 285-290.
- [5] Boule U, Breuil H, Licent E, Teilhard de Chardin P. Le Paleolithique de La China (Paleontologie)[M]. Paris: Archives de L'Institut de Paleolithique Humaine, 1928. 4.
- [6] Teilhard de Chardin P. Early man in China[M]. Sales Agents; the French Bookstore, Peking, Institut de Geo-Biologie, Peking(?). 1941. 67-77. [P. 德日进. 东亚地质及人类原始[M]. 北京地质学生物学研究所出版品 7 号, 1941. 67-77.]
- [7] Liu Tungsheng, et al. The Composition and Texture of Loess [M]. Beijing: Science Press, 1966. 9-18. [刘东生, 等. 黄土的物质成份和结构[M]. 北京: 科学出版社, 北京, 1966: 9-18.]
- [8] Kozlovski J K. The problem of the so-called Ordos Culture in the light of the Palaeolithic finds from Northern China and Southern Mongolia[J]. *Polia Quaternaria*, 1971, (39): 74.
- [9] Qi Guoqing. Quaternary mammalian fossils from Salawusu River district, Nei Mongol (Inner Mongolia)[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1975, 13(4): 239-249. [祁国琴. 内蒙古萨拉乌苏河流域第四纪哺乳动物化石[J]. 古脊椎动物与古人类, 1975, 13(4): 239-249.]
- [10] Yuan Baoyin. Sedimentary environment and stratigraphical subdivision of Sjara-Osso-Gol Formation[J]. *Scientia Geologica*, 1978, (3): 320-334. [袁宝印. 萨拉乌苏组的沉积环境及地层划分问题[J]. 地质科学, 1978, (3): 320-334.]
- [11] Dong Guangrong, Gao Shangyu, Li Baosheng. New discovery of the Fossil Ordos Man[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1982, 26 (19): 192-194. [董光荣, 高尚玉, 李保生. 河套人化石的

- 新发现[J]. 科学通报, 1982, 26(19): 152-191.]
- [12] Zhe Jianshi, Li Xingqiao, Shao Yajun. The permafrost period subdivision in the Salawusu River Reaches, Inner Mongolia, and its significance[A]. Contribution to the Academic Symposium on the Pre-Historic Earthquake and Quaternary Geology of China [C]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1982, 119-153. [周昆叔, 黎兴团, 邵亚军. 内蒙萨拉乌苏河流域冰缘期划分及其意义[A]. 史前地震与第四纪地质论文集[C]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1982, 119-153.]
- [13] Dong Guangrong, Li Baosheng, Gao Shangyu. The case study of the vicissitude of Mu Us Sandy Land since the Late Pleistocene according to the Salawusu River area strata[J]. *Journal of Desert Research*, 1983, 3(2): 9-14. [董光荣, 李保生, 高尚玉. 由萨拉乌苏河地层看晚更新世以来毛乌素沙漠的变迁[J]. 中国沙漠, 1983, 3(2): 9-14.]
- [14] Lu Xiaoxia. Clay mineral composition and its relation to paleoclimate in the area of Sjara-Osso Gol River, Inner Mongolia[J]. *Journal of Desert Research*, 1985, 5(2): 27-35. [卢小霞. 萨拉乌苏河地区粘土矿物组合分析与气候的关系[J]. 中国沙漠, 1985, 5(2): 27-35.]
- [15] Guan Youzhi, Chen Zhenying, Jia Hulan. Ancient climate and element distribution in the Quaternary strata in Sjara-Osso Gol District[J]. *Journal of Desert Research*, 1986, 6(1): 32-35. [关有志, 陈振英, 贾惠兰. 萨拉乌苏河地区第四纪地层中的元素分析与古气候[J]. 中国沙漠, 1986, 6(1): 32-35.]
- [16] Shao Yajun. Pollen component and paleoclimate and paleovegetation in Sjara-Osso Gol River since Late Pleistocene Epoch[J]. *Journal of Desert Research*, 1987, 7(2): 22-27. [邵亚军. 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[J]. 中国沙漠, 1987, 7(2): 22-27.]
- [17] Li Baosheng, Dong Guangrong, Gao Shangyu, et al. Relationship between the Malan Loess and the Salawusu Formation in the Salawusu River area, Ordos, and their geological age[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1987, 61(3): 218-230. [李保生, 董光荣, 高尚玉, 等. 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[J]. 地质学报, 1987, 61(3): 218-230.]
- [18] Li Baosheng, Dong Guangrong, Wu Zheng, et al. The establishment of the Upper Pleistocene Chengchuan Formation in Northern China[J]. *Geological Review*, 1993, 39(2): 91-100. [李保生, 董光荣, 吴正, 等. 我国北方上更新统城川组的建立[J]. 地质论评, 1993, 39(2): 91-100.]
- [19] Emiliani C. Quaternary paleotemperature and the duration of the high temperature intervals[J]. *Science*, 1972, 1(178): 398-401.
- [20] Shackleton N J, Opdyke N D. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V25-238: Oxygen isotope temperatures and ice volume on a 10^5 year and 10^6 year scale[J]. *Quat. Res.*, 1973, 3(1): 39-55.
- [21] Shackleton N J, Opdyke N D. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific core V28-239, Late Pliocene to Latest Pleistocene[J]. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 1976, (115): 419-461.
- [22] Lu Yanchou, An Zhisheng. The quest for series of nature environmental changes during the Bruhes Epoch[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1979, 24(5): 221-221. [卢演俦, 安芷生. 约70万年以来黄土高原自然环境变化系列探讨[J]. 科学通报, 1979, 24(5): 221-221.]
- [23] Lorius C, Jouzel J, Ritz C, et al. A 150000 years climatic record from Antarctic ice[J]. *Nature*, 1985, 315(15): 591-595.
- [24] Li Baosheng, Jin Heling, Lu Haiyan, et al. Processes of the deposition and vicissitude of Mu Us Desert, China since 150 ka BP[J]. *Science in China (Series D)*, 1998, 28(1): 85-90. [李保生, 靳鹤龄, 吕海燕, 等. 150 ka 以来毛乌素沙漠的堆积与变迁过程[J]. 中国科学(D), 1998, 28(1): 85-90.]
- [25] Li Baosheng, David Dian Zhang, Jin Heling, et al. Palaeo-Monsoon activities of Mu Us Desert, China since 150 ka BP - A study of the stratigraphic sequences of the Milanggouwan section, Salawusu River area[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, 162: 1-16.
- [26] Kukla G, Heller F, Liu X M, et al. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility[J]. *Geology*, 1988, 16: 811-811.
- [27] An Z, Liu T, Lu Y, et al. The long-term palaeomonsoon variation recorded by the loess-paleosol sequence in central China[J]. *Quaternary International*, 1990, 7(8): 91-95.
- [28] Forman S L. Late Pleistocene chronology of loess deposition near Luochuan, China[J]. *Quaternary Research*, 1991, 36: 19-25.
- [29] Zhao L P, Oldfield F, Wintle A G. Partly pedogenic origin of magnetic variations in Chinese loess[J]. *Nature*, 1990, 346: 737-739.
- [30] An Z, Liu T, Kukla G, et al. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau[J]. *Quaternary Research*, 1991, 36: 29-36.
- [31] Li Baosheng, Dong Guangrong, Gao Shangyu, et al. Analysis and discussion on the grain size of the Quaternary stratum profile in Yulin area of the Northern Shaanxi[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1988, 43(2): 125-133. [李保生, 董光荣, 高尚玉, 等. 陕北榆林第四纪地层剖面的粒度分析与讨论[J]. 地理学报, 1988, 43(2): 127-133.]
- [32] Li Baosheng, Ding Tonghua, Jin Hong, et al. Some problems on wind drift sand geomorphology in East Taklimakan Desert[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1990, 35(23): 1815-1818. [李保生, 董光荣, 丁同虎, 等. 塔克拉玛干沙漠东部风沙地貌中的几个问题[J]. 科学通报, 1990, 35(23): 1815-1818.]
- [33] Li Baosheng, Jin Hong. A preliminary research on the Pulu stratigraphical section in the sandy hills of the southern margin of Taklimakan Desert[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1988, 33(2): 115-143. [李保生, 金剑. 塔克拉玛干沙漠南缘沙山古脊地层剖面的初步研究[J]. 科学通报, 1988, 33(2): 115-143.]

- [34] Dong Guangrong, [in Jiong, Gao Shangyu, *et al.* The formation, evolution and cause of the Mu Us Desert in China[J]. *Science in China (Series B)*, 1988, 18(6): 633-642. [董光荣, 高尚玉, 金炯, 等. 毛乌素沙漠的形成、演变和成因问题[J]. 中国科学, B 辑, 1988, 18(6): 633-642.]
- [35] Jia Huilan, Li Baosheng. Chemical element distribution and palaeoclimate in the Late Pleistocene-Holocene strata in East Gonghe Basin[J]. *Journal of Desert Research*, 1991, 11(2): 27-32. [贾惠兰, 李保生. 青海共和盆地东部晚更新世-全新世地层中元素分布与古气候[J]. 中国沙漠, 1991, 11(2): 27-32.]
- [36] Li Baosheng, Zhou Xinjia, Zhu Feng, *et al.* The evolution of Yutian-Hotan Oasis since 13500 a BP[J]. *Chinese Journal of Arid Land Research*, 1996, 19(2): 137-143.
- [37] Li Baosheng, Li Sen, Wang Yue, *et al.* Geological age of the sand and dust deposits of the Aqiang section in the extremely arid region of China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1988, 72(1): 83-92. [李保生, 李森, 王跃, 等. 极端干旱区边缘阿拉善沙尘堆积剖面的地质时代及其划分意义[J]. 地质学报, 1988, 72(1): 83-92.]
- [38] Li Baosheng, Yan Mancun, Barry B Miller, *et al.* Late Pleistocene and Holocene palaeoclimate records from the Badain Jaran Desert, China[J]. *Current Research*, 1998, 17: 129-131.

Recent Study on the “Ideal Section in the Southeast Corner of Ordos”

LI Bao-sheng^{1,2}, JIN He-ling³, ZHU Yi-zhi², ZHANG Yuhong¹, DONG Guang-rong⁴,

SUN Dong-huai⁴, SHAO Ya-jun⁵, SUN Wu¹, ZHANG Jia-shen⁵,

YAN Mun-cun⁶, GAO Quan-zhou⁷

(1. Department of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; 2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China; 3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 4. South China Sea Research Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 5. Geography Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 6. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 7. Department of Geography, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Taking “Milanggouwan section” located in the Salawusu River valley termed in recent years as an ideal profile in the southeastern margin of Ordos Plateau, the stratigraphic characteristics in the section and the relation between the stratigraphical magnetic susceptibility values, grain-size distributions and climatic changes have been discussed in this paper. It is pointed by studies out that the section takes down 27 cycles of alternately evolutionary histories of desert depositions in the Mu Us Desert with the fluvio-lacustrine facies and palaeosols since 150 ka BP and that the sedimentary periods of the aeolian dune and fluvio-lacustrine facies or palaeosol are chiefly apart related to intensifying winter monsoon and summer monsoon. Based on the regional feature that the contemporary sand-dust storm take place, it is considered that the 27 periods of dune accumulations recorded in Milanggouwan section represent 27 periods of desert deposition in China in past 150 ka.

Key words: Milanggouwan; stratigraphical section; past 150 ka; 27 periods of aeolian dunes; desert environmental vicissitude of China