

新疆伊犁河谷晚全新世风沙沉积粒度 旋回与气候变化

李志忠^{1 2 3}, 凌智永^{1 3}, 陈秀玲^{1 2}, 王少朴³, 曹相东³

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007; 2. 福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福建 福州 350007; 3. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要: 对新疆伊犁河谷可克达拉剖面(TKP)晚全新世沉积粒度参数及其气候意义分析结果表明: 总体为植被较好、输沙势较弱的沉积环境。可以划分为5个气候变化阶段: 3.71~3.06 ka B. P. 风力由强到弱, 气候暖干到凉湿; 3.06~2.78 ka B. P. 风力很强、气候暖干; 2.78~2.10 ka B. P. 风力较弱, 气候湿润; 2.10~0.5 ka B. P. 前期风力振荡频繁, 气候较湿润; 后期风力减弱、气候冷湿、成壤作用较强; 0.50 ka B. P. 以来, 以相对冷湿为主, 最近100 a来风力加强、气候趋于暖干。各阶段起止与全球气候变化基本一致, 但受西风环流传递北高纬大西洋区域气候变化的影响, 各气候期水热组合呈现典型西风带模式特征。

关键词: 风沙沉积; 粒度参数; 气候变化; 晚全新世; 新疆伊犁

中图分类号: P532 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2010)04-0613-07

最近十几年来, 很多学者运用沉积物粒度参数分析方法^[1~4] 结合其它气候代用指标进行综合分析, 对新疆全新世湖泊沉积^[5~7] 和黄土沉积^[8] 的古气候记录进行了广泛深入的研究, 在重建新疆全新世古气候变迁序列研究方面取得重要进展。李保生^[9,10]、陈惠中^[11]、阎顺等^[12] 也将粒度参数分析方法应用于末次冰期以来新疆沙漠沉积环境变化与古气候演变研究, 表明风沙粒度组成代表沙漠风沙活动强度的相对大小, 可以反映区域植被覆盖度、降水量或气候干湿变化。但相对于中国东部季风区而言^[13,14], 针对新疆全新世沙漠沉积古气候变化的研究比较薄弱。本文以西风气候影响区新疆伊犁河谷塔克尔莫乎尔沙漠为研究对象, 以光释光测年及其内插值作为时间标尺, 通过剖面沉积物粒度参数分析, 重建研究区晚全新世以来的古气候变化序列, 初步揭示全球变化背景下新疆伊犁河谷气候变化的驱动机制。

00°N。北面为北天山支脉科古琴山及其山前洪积冲积平原, 西与哈萨克斯坦卡拉库姆沙漠隔河相望, 南面以现代伊犁河为界, 沙漠总面积 $4.85 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是伊犁河谷面积最大的固定半固定沙漠, 发源于北部科古琴山的水系大致呈南北向穿越把沙漠分隔成几片(图1)。

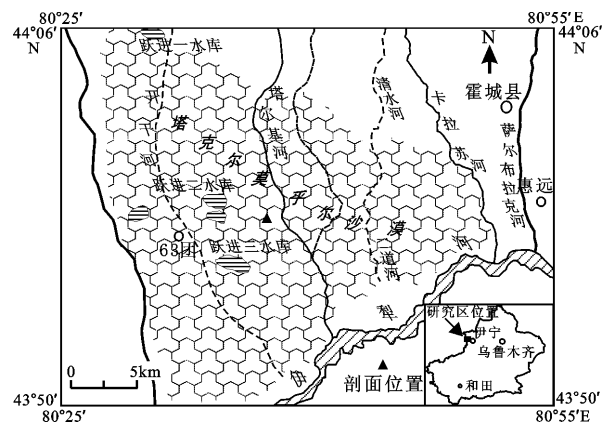


图1 塔克尔莫乎尔沙漠位置及采样点

Fig. 1 The location of Takelmukul desert and the sampling point

1 研究区和研究方法

1.1 研究区与剖面概况

塔克尔莫乎尔沙漠地处新疆伊犁河谷西部, 地理坐标 $80^{\circ}27'00'' \sim 80^{\circ}51'36''\text{E}$ 、 $43^{\circ}50'30'' \sim 44^{\circ}07'$

研究区属于温带半干旱气候, 最热月平均气温 $>22^{\circ}\text{C}$, 年均气温 8.9°C , 年均降水量 244.5mm , 降

收稿日期: 2009-09-23; 修订日期: 2009-12-24

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAC15B07)、新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(200821103)资助。

作者简介: 李志忠(1962-) 四川绵阳人, 教授, 主要研究方向为地貌与第四纪地质。E-mail: lizzfz@163.com

水季节分配比较均匀,冬季地面约有 10~25 cm 厚积雪。起沙风(≥ 5 m/s)主要发生在春、夏、秋 3 季。春季起沙风频率占全年起沙风的 33.45%,夏季占 21.05%,秋季占 17.2%。其中,西南风占总次数的 70.87%,西风占 18.2%。地带性土壤为灰钙土,非地带性土壤为风沙土,沙漠南部和东南部为以驼绒藜群系(Form. *Ceratoides latens*) 为代表的温带半灌木、矮半灌木荒漠,沙漠西部和中部为以白梭梭群系(Form. *Haloxylon ammodendron*) 为代表的温带矮半乔木荒漠,植被盖度可达 40%~75%。可克达拉剖面(简称 TKP)位于沙漠腹地霍城至 63 团公路北侧,地理坐标 $80^{\circ}32'39''\text{E}$ 、 $43^{\circ}58'13''\text{N}$,顶部海拔 605 m(图 1)。

TKP 出露厚度 3.6 m(未见底),由连续沉积、侧向延伸范围较广的古风成沙-古土壤序列构成,光释光(OSL)测年为晚全新世以来的沉积。其中,古风成沙由 10 层细沙和极细沙组成,古土壤由 10 层古土壤和弱成土壤构成(图 3)。古土壤上部有黑色腐殖质,底部有白色斑点状钙质淀积物,为草原灰钙土型古土壤。现代风沙粒度分析表明,塔克尔莫乎尔沙漠以细沙为主,占 50.70%,分选较差、负偏值较高。剖面各层也含有较高比例粉沙及部分粘土。推测晚全新世以来研究区处于植被覆盖较好、输沙势较弱的沉积环境,因此 TKP 保存了连续完整的古气候记录。

1.2 剖面定年与粒度实验

关于 TKP 剖面年代,在深度 360、210、165 cm 处分别采集 3 个测年样品,在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所光释光实验室完成 OSL 测年,结果依次为 3.71 ± 0.38 ka B. P.、 2.23 ± 0.19 ka B. P.、 1.88 ± 0.29 ka B. P.。据此编绘了 TKP 剖面的年代-深度关系图(图 2),得到各层位的沉积年代序列。

在野外按 5 cm 等间距对 TKP 剖面连续采样 73 块,并在沙漠沙丘不同部位采集 15 个现代风沙样品。粒度测试前处理如下:① 去有机质,取约为 1 g 的样品放入 100 mL 烧杯中,加入约 5 mL 的 10% H_2O_2 加热使其充分反应;② 去碳酸钙,加入 5 mL 的 10% HCl 加热使其充分反应;③ 中和,在烧杯中注满蒸馏水后静置 24 h,再抽取蒸馏水,重复几次直至溶液呈中性为止;④ 分散,加入 5 mL 的 $0.05\text{N}(\text{Na}_2\text{PO}_3)_6$ 进行分散。采用 Mastersizer-2000 激光粒度仪对所有样品进行两次测量,重复

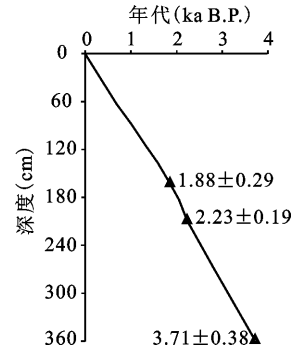


图 2 TKP 地层年代-深度关系图

Fig. 2 Age of TKP stratum

测量误差 $< 2\%$ 。依据粒度参数公式^[1]计算出现代风沙及 TKP 剖面样品的粒度参数。作为参考指标,采用 Bartington MSII 磁化率仪测量了剖面样品的磁化率(SI/g)。

2 粒度特征分析

2.1 粒度组成的总体特征

现代风沙粒度变化为 $1 \sim 10.96 \Phi$,中值粒径 M_d 为 $1.79 \sim 2.52 \Phi$,平均粒径 M_z 在 $1.74 \sim 2.90 \Phi$ 间;分选系数 σ_i 在 $0.54 \sim 1.67$ 间变化,分选较好至较差不等;偏度 SK_i 为 $-0.42 \sim 0.06$,从负偏至近对称变化;峰度 K_c 为 $0.93 \sim 1.66$,峰形中等至很尖变化。表明塔克尔莫乎尔沙漠风成沙具有不成熟性、物源多样性特点。现代沉积环境分析表明,塔克尔莫乎尔沙漠分布在伊犁河北岸二级阶地上,下伏第四纪晚期到全新世和近现代冲积洪积物。北部前山带剥蚀物质经流水近距离搬运也汇集滞留于本区,再经风力吹扬就地堆积发育成沙漠。同时,西侧毗邻中亚沙漠的粉尘远源搬运沉降也是沙漠细粒组分的重要来源。图 3 可知,TKP 剖面不同累积粒度百分含量 Φ 值变化为 $0 \sim 11.77$ 。 $< 2 \mu\text{m}$ 粘粒含量变化为 $0 \sim 32.16\%$,平均含量为 7.32% ; $> 63 \mu\text{m}$ 的粉沙、细沙含量 $0.27 \sim 94.79\%$,平均含量 36.01% 。其中古风沙层,以细沙含量最高,为 29.14% ,但各粒级中没有含量超过 50% 的主成分,总体上较现代风沙要细。古土壤层,包括弱成壤层,以粉沙为主,占 75.46% ;其次为粘粒占 12.29% ,较粗成分含量少。

2.2 粒度参数和频率曲线特征

TKP 剖面各类样品(图 3~5) M_z 变化于 $2.36 \sim 8.03 \Phi$,分选系数 σ_i 变化于 $0.84 \sim 2.72$, SK_i 变

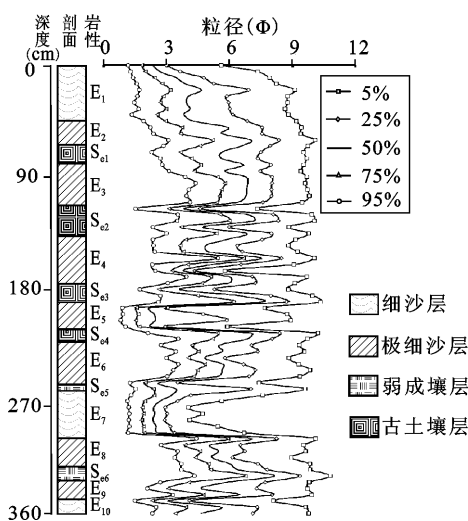
图3 TKP 中不同累积百分含量粒级 Φ 值的变化

Fig. 3 Changes of Φ value with different cumulative percentages in TKP section

化于 $-0.60 \sim 0.22$, K_c 变化于 $0.71 \sim 1.87$, 各个参数变化范围较大。总的来看, 大部分样品细组分含量较高, 与上述现代风沙粒度分析结果基本吻合, TKP 沉积时期研究区气候环境总体上没有很大变化。但古风成沙和古土壤的粒度频率曲线特征仍有较大差异(图4)。古土壤层呈负偏双峰曲线(图4A), 主峰为 $0.36 \sim 25 \mu\text{m}$ 的粘质粉沙, $> 25 \mu\text{m}$ 的次峰大多很低, 即粉沙、细沙含量很少, 这是就地风化成壤产生的大量粘质粉沙, 加少量远源搬运沉降的粉尘混合而成; 弱成壤层为单峰或双峰曲线(图4B), 这是就地成壤过程产生的粘质粉沙、远源搬运粉尘混合堆积的产物, 可能反映成壤期风力作用的波动变化, 其中的双峰态也可能继承了下伏水

成冲积沙的粒度组成特点^[15]。极细沙层呈双峰曲线(图4C), 两峰大致持平, 右侧主峰以 $25 \sim 500 \mu\text{m}$ 为主, 为风力吹扬堆积产物, 左侧次峰是远源搬运的粉沙并继承了下伏冲积沙的粒度组成特点; 细沙层粒度分布呈单峰正态曲线(图4D), 主要粒径范围是 $45 \sim 700 \mu\text{m}$, 代表单一的、强劲风力堆积产物。因此, 根据不同层次粒度参数的变化, 可以推测 TKP 剖面沉积时期区域风力、降水、植被覆盖等古地理条件尚有一定程度的波动变化。

3 粒度参数的古气候意义及晚全新世以来的气候变化

3.1 粒度参数的古气候意义

沉积物粒度参数是反映沉积物来源、搬运动力和沉积环境的敏感指标^[1~3, 6, 8~11]。其中, 平均粒径 M_z 表征沉积物粒度的基本特征, 在季风区沙漠和黄土沉积中 M_z 是反映冬季风强度的主要指标^[13, 14, 16]。但研究区为中纬度半干旱荒漠生物气候带, 整个冬季沙漠为积雪覆盖, 而夏季植物覆盖也较好, 因此平均粒径可能综合反映年均风力强度的变化(图5)。

风沙沉积中的粗组分($> 63 \mu\text{m}$)也是过去风力变化的有效代用指标^[13, 14]。鹿化煜^[16, 17]、丁仲礼^[18]等均指出中国季风区沙漠和黄土中粗颗粒含量与冬季风强度为正相关关系。根据研究区现代风力强度与地面覆盖类型的季节变化特点分析, 春夏高温往往伴随着干旱多风, 风沙活动加强, 因此 TKP 剖面 $> 63 \mu\text{m}$ 粗组分含量主要是夏季风力大小的标志(图5)。

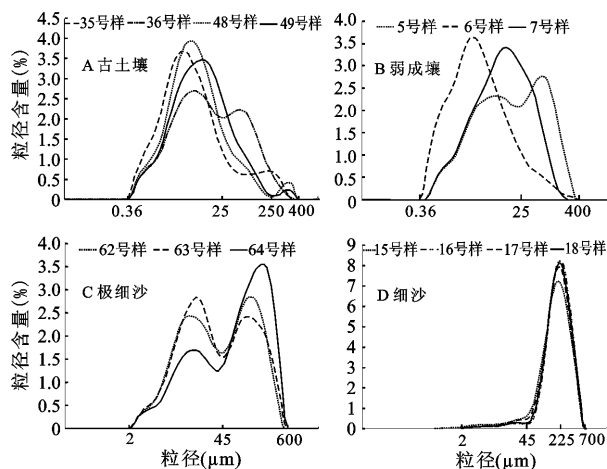


图4 TKP 剖面不同沉积类型样品的粒度频率曲线

Fig. 4 Grain-size frequency curves of samples from TKP profile

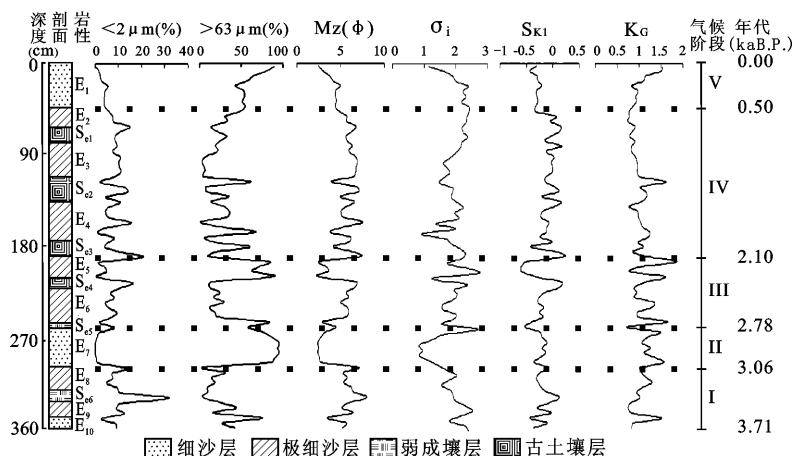


图5 TKP剖面粒度组成、参数变化与气候变化序列

Fig. 5 Grain-size, parameters and climatic changes of TKP profile

沉积物中 $<2\ \mu\text{m}$ 粘粒组分百分含量反映风化成壤强度,而成壤强度与降水量、植被盖度关系密切^[13,14,16,17]。风沙沉积中的沙含量与粉沙、粘粒含量之和的比值(D/SC),可以综合反映风沙活动的强度变化。在中国东部季风区,气候温湿时期 D/SC 比值较小,气候干冷时期比值较大^[14]。但在西风区 TKP 剖面 D/SC 的谷值段,对应 M_z 较小、 σ_i 分选较差,反映冬季风力较弱,气候湿润,成壤作用较强;而 D/SC 峰值段反映风力较强、气候干旱(图 3、4)。

沉积物分选性好,则分选系数(σ_i)很小,如 TKP 剖面 295~255 cm 的风成沙 E_7 。偏度(SK_1)反映沉积物来源,分选性好、物源单一,则偏度值接近于 0,如剖面 80~115 cm 的风成沙 E_3 ;如果有不同物源混合,分选性较差,可出现正偏或负偏,如剖面 190~215 cm 的极细沙层 E_5 ;古土壤层粒度大多为负偏,频率曲线不对称(图 4A)。峰度(K_c)值大小与沉积环境有关^[19,20]。如剖面 50~190 cm 叠置发育极细沙层和较厚古土壤层, K_c 值很小且变化稳定,反映风力较弱、植被覆盖较好的相对稳定的沉积环境(图 4)。此外,分析 TKP 剖面磁化率(SI/g)与粒度关系表明(另文讨论),磁化率大小主要受粗组分含量影响,可能主要反映了夏季风强度的年际变化。

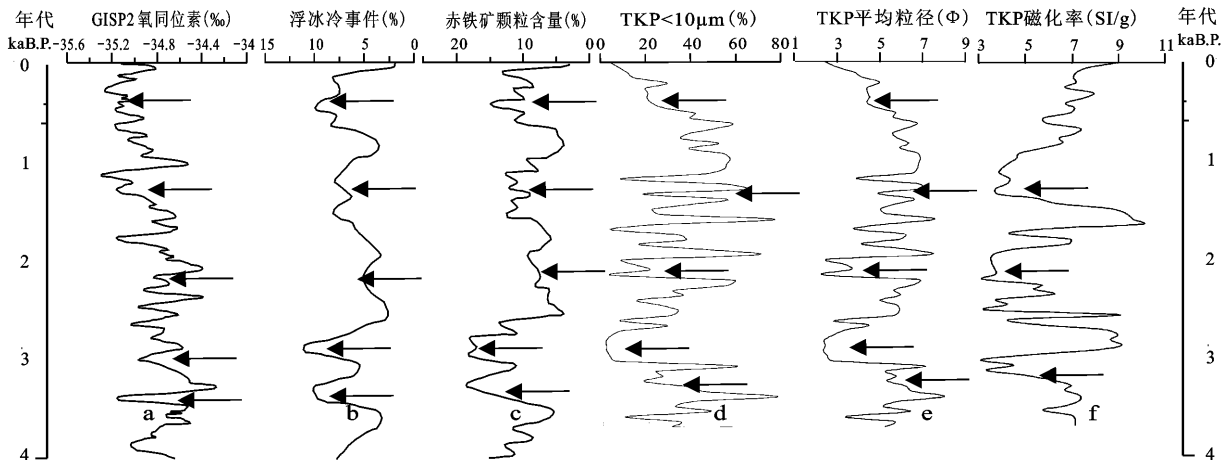
3.2 晚全新世以来的气候变化与区域对比

以 OSL 年代序列为时间标尺,以粘粒($<2\ \mu\text{m}$)和粗砂($>63\ \mu\text{m}$)百分含量,平均粒径(M_z/Φ)、分选系数(σ_i)、偏度(SK_1)和峰度(K_c)等参数并结合 D/SC 比值作为气候环境代用指标,运用

最优聚类分割法可将研究区 3 700 a B. P. 以来的古气候变化划分为 5 个阶段(图 5),各阶段气候事件不仅与新疆各地同期气候环境事件有较好对比性,同时与北大西洋 GISP2 冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的气候冷期、浮冰碎屑含量及赤铁矿含量记录的气候事件^[21]有很好的遥相关(图 6)。

阶段 I: 3.71~3.06 ka B. P., M_z 3.42~8.03 Φ 、均值 5.86 Φ ,且有先粗后细变化; $>63\ \mu\text{m}$ 、 $<2\ \mu\text{m}$ 粒径含量分别为 3.13%~73.40%, 2.80%~32.16%,均值为 22.58%和 10.81%; D/SC 为 0.03~2.76,均值为 0.45。其中, $>63\ \mu\text{m}$ 粗组分含量后期显著降低,分选性变差,磁化率 SI 亦先高后低。反映区域年均风力由强变弱,后期春夏风力小且较稳定。气候由前期暖干到后期凉湿变化,发育弱成土壤 Se_6 。北疆东道海子在 4 500~3 500 a B. P. 期间为低水位湖面、沉积物 M_d 为相对高值,显示暖干气候^[7]。乌鲁木齐河源在 4 000~3 630 a B. P. 为暖干期,3 230~2 670 a B. P. 之后转为凉湿或冷湿^[22]。尤其是 TKP 剖面弱成土壤 Se_6 发育期与北高纬大西洋同期的各种冷事件记录有较好的可比性^[21]。

阶段 II: 3.06~2.78 ka B. P., M_z 2.55 Φ 为全剖面最大值阶段,区域年均风力最强。其中 $>63\ \mu\text{m}$ 、 $<2\ \mu\text{m}$ 组分的平均含量则分别为 89.85%, 0.46%, $>63\ \mu\text{m}$ 粗组分含量也是最高值段,可能反映春夏风力很强。而 $<2\ \mu\text{m}$ 细组分含量为剖面最低值段,因此细沙分选性较好, D/SC 为 11.11,磁化率 SI 为显著峰值。粒度参数综合显示气候干暖、春夏风力很强,沙漠植被盖度很低、风沙活动强



a. GISP2 冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 变化^[21]; b. 北大西洋浮冰碎屑冷事件^[21];
c. 北大西洋 VM 29-191 赤铁矿颗粒含量变化^[21]; d、e 和 f 为 TKP
剖面 <10 μm 百分含量、平均粒径 MZ/Φ 和质量磁化率 SI 变化

图 6 TKP 剖面粒度和磁化率参数变化与北大西洋区域气候变化记录对比

Fig. 6 Comparison of climate between Takemohuer desert and the north Atlantic

烈。此时昆仑山北坡黄土堆积也显示近 5 000 a 来塔克拉玛干沙漠风沙活动最强烈时期^[8]。同样, TKP 剖面风沙层 E_7 与北大西洋各种记录反映的暖期对比显著。

阶段 III: 2.78 ~ 2.10 ka B. P., M_z 为 4.67 Φ , 粒径趋于变细; >63 μm 、<2 μm 组分的平均含量分别为 42.40%、6.21%。其中 >63 μm 粗组分含量较阶段 II 明显下降, 而 <2 μm 的粘粒含量在波动中增加, 因此本段以极细沙为主, D/SC 均值为 1.75, 磁化率 SI 显示为较低值, 后期发育较厚古土壤 Se_4 (图 2)。粒度参数综合反映本阶段气候逐渐变湿润, 风力减弱、且波动不大。北疆石河子草滩湖湿地在 2 500 ~ 1 810 cal. a B. P. 期间形成芦苇湿地景观, 气候较今湿润^[23]。南疆博斯腾湖流域在 3.1 ~ 2.2 cal. a B. P. 期间也是短暂高湖面的气候湿润期^[5]。本阶段后期发育古土壤 Se_4 , 发生时间与 GISP2 冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 、北大西洋浮冰碎屑及赤铁矿含量记录的冷事件对比明显。

阶段 IV: 在 2.10 ~ 0.50 ka B. P., 平均粒径 M_z 5.99 Φ 值较小, >63 μm 粗组分含量均值为 20.40% 也较低, 有连续沉积的极细沙和 3 层较厚古土壤。<2 μm 粘粒含量均值 9.03, D/SC 均值 0.33。总体反映为持续的相对寒冷湿润气候, 风力较弱, 由于沙漠植被盖度较高, 沙尘活动也很弱。此时, 南疆昆仑山北坡黄土堆积记录显示为持续的相对湿润环境, 且干湿波动缓慢^[11]。本阶段可划

分为两个亚阶段, 其中 2.10 ~ 1.32 ka B. P. 在总体较湿润背景中有明显干湿波动, 风力波动也较大。乌鲁木齐河源在 2 210 ~ 1 310 a B. P. 期间气候波动变化也很明显^[22]。第二亚阶段 1.32 ~ 0.50 ka B. P. 各个粒度参数反映风力很弱、变化平稳, 气候相对湿润, 发育古土壤 Se_1 。北疆艾比湖在 1.70 ~ 0.60 ka B. P. 是高水位时期^[7], 草滩湖湿地在 1 160 ~ 650 cal. a B. P. 期间也是湿润气候期^[23]。此时 TKP 剖面发育的 3 层古土壤可与北大西洋各种记录反映的冷事件年代进行对比。

阶段 V: 0.50 ka B. P. 以来, M_z 均值为 4.09 Φ , 粒径较大且后期变粗。>63 μm 、<2 μm 组分的平均含量分别为 56.86%、3.57%, 即 >63 μm 粗组分含量较高, 并有波动升高趋势。分选性则在波动中变差, D/SC 为 2.09。反映本阶段年均风力较大、气候总体偏干。北疆草滩湖湿地 650 cal. a B. P. 以来逐步过渡到类似现代的气候类型^[23]。东道海子从 300 a B. P. 以来湖面逐渐下降^[7]。巴里坤湖同期记录反映在 240 ~ 440 cal. a B. P. 为北疆沙尘暴事件多发或强风沙活动时段^[6]。年轮气候水文研究表明, 近 300 a 来伊犁地区^[25]和新疆其它地区气候^[26]在波动中存在着变干的趋势。

4 结果与讨论

通过新疆伊犁河谷塔克尔莫尔沙漠 TKP 剖面粒度参数变化综合对比分析可知:

1) 晚全新世以来,研究区气候变化可以划分为5个阶段,各个阶段粒度参数变化总体反映“暖干强风—冷湿弱风”为主的气候变化模式,表现出明显的西风带气候演变特色。大体上可与北大西洋同期古气候记录呈现很好的遥相关,说明研究区气候变化受到全球气候变化的驱动,北大西洋区域的气候变化可能通过西风环流影响到新疆伊犁河谷。

2) 从总体趋势上看,研究区气候变化大致以2 000 a B. P. 为界,之前总体偏干,伊犁河谷风沙活动强弱交替明显、变化周期较长;约2 000 a B. P. 之后气候总体偏湿,风沙活动较弱、变化频率加快。晚全新世气候变化阶段与中国东部沙区也较一致,但个别气候事件有100~200 a 滞后或超前,可能反映中国中纬度季风区和非季风区响应全球气候变化的时空差异性。

3) 本项研究与其他区域气候变化对比的细节差异也可能是各地自然环境区域分异以及气候变化系统的复杂性的反映。今后深入研究 TPK 剖面沉积物粒度参数记录的气候变化模式还须借助古土壤 AMS¹⁴C 测年数据对现有 OSL 测年进行校正,并综合孢粉、磁化率、碳酸盐、有机碳等其它古气候替代指标进行更高分辨率、更多古气候替代指标的校验分析。

致谢:中国科学院新疆生态与地理研究所穆桂金研究员在粒度测定实验中给予的热情帮助,谨此致谢。

参考文献:

- [1] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京:地质出版社,1978:1 31~60.
- [2] 王心源,吴立,张广胜,等. 安徽巢湖全新世湖泊沉积物磁化率与粒度组合的变化特征及其环境意义[J]. 地理科学, 2008 28(4): 548~553.
- [3] 何华春,丁海燕,张振克,等. 淮河中下游洪泽湖湖泊沉积物粒度特征及其沉积环境意义[J]. 地理科学, 2005 25(5): 590~596.
- [4] 史威,朱诚,王富葆,等. 宁镇及宜溧地区全新世中晚期典型沉积相与5 700 a B. P. 前后的气候突变事件[J]. 地理科学, 2007 27(4): 512~518.
- [5] 陈发虎,黄小忠,杨美临,等. 亚洲中部干旱区全新世气候变化的西风模式——以新疆博斯腾湖记录为例[J]. 第四纪研究, 2006 24(6): 881~887.
- [6] 薛积彬,钟巍. 干旱区湖泊沉积物粒度组分记录的区域沙尘活动历史:以新疆巴里坤湖为例[J]. 沉积学报, 2008 26(4): 647~669.
- [7] 冯晓华,阎顺,倪健,等. 新疆北部平原湖泊记录的晚全新世湖面波动及环境变化[J]. 科学通报, 2006 51(S1): 49~55.
- [8] 唐自华,穆桂金,陈冬梅,等. 昆仑山北坡近5 000年以来黄土堆积的环境信息[J]. 第四纪研究, 2007 27(4): 598~606.
- [9] 李保生,温小浩,David Dian Zhang,等. 昆仑山北麓阿羌黄土剖面 AQ S₃ 层段记录的末次间冰阶千年尺度的气候波动[J]. 第四纪研究, 2008 28(1): 140~149.
- [10] 李保生,董光荣,张甲坤,等. 塔克拉玛干沙漠及其以南风成相带划分和认识[J]. 地质学报, 1995 69(1): 78~87.
- [11] 陈惠中,金炯,董光荣. 全新世古尔班通古特沙漠演化和气候变化[J]. 中国沙漠, 2001 21(4): 333~339.
- [12] 阎顺,穆桂金,孔昭宸,等. 天山北麓晚全新世环境演变及其人类活动的影响[J]. 冰川冻土, 2004 26(4): 403~410.
- [13] 曹红霞,张云翔,岳乐平,等. 毛乌素沙地全新世地层粒度组成特征及古气候意义[J]. 中国沙漠, 2003 21(3): 482~486.
- [14] 张洪,靳鹤龄,苏志珠,等. 全新世浑善达克沙地粒度旋回及其反映的气候变化[J]. 中国沙漠, 2005 25(1): 2~7.
- [15] 钱亦兵. 新疆伊犁塔克尔穆库尔沙漠砂特征与沙源的关系[J]. 中国沙漠, 1985 5(2): 36~43.
- [16] 鹿化煜,安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J]. 中国科学(D), 1998 28(3): 278~283.
- [17] Porter S C, An Z S. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glacial period[J]. Nature, 1999 375: 305~308.
- [18] 丁仲礼,孙继敏,刘东生. 联系沙漠—黄土演变过程中耦合关系的沉积学指标[J]. 中国科学(D), 1999 29(1): 82~87.
- [19] 贾铁飞,戴雪荣,张卫国,等. 全新世巢湖沉积记录及其环境变化意义[J]. 地理科学, 2006 26(6): 706~711.
- [20] 朱江玲,刘鸿雁,王红亚. 河北坝上地区湖泊沉积物记录的中全新世干旱气候[J]. 地理科学, 2007 27(3): 380~384.
- [21] Bond G, Showers W, Cheseby M, etc. A Pervasive Millennial—Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates[J]. Science, 1997 278(14): 1257~1266.
- [22] 鞠远江,刘耕年. 孢粉记录揭示的4 000 a B. P. 来乌鲁木齐河源气候环境变化[J]. 冰川冻土, 2004 26(2): 166~170.
- [23] 张芸,孔昭宸,倪健,等. 新疆草滩湖湿地4550年以来的孢粉记录和环境演变[J]. 科学通报, 2008 53(2): 306~316.
- [24] 阎顺,穆桂金,藤邦彦,等. 2500年来艾比湖的环境演变信息[J]. 干旱区地理, 2003 26(3): 227~232.
- [25] 叶玮,袁玉江. 新疆伊犁地区现代气候特征与300年来的干湿变化规律[J]. 中国沙漠, 1999 19(2): 97~103.
- [26] 徐海量,叶茂,宋郁东. 塔里木河源区气候变化和年径流量关系初探[J]. 地理科学, 2007 27(2): 219~224.

Late Holocene Climate Changes Revealed by Grain-size Cycles in Takemukul Desert in Yili of Xinjiang

LI Zhi-zhong^{1 2 3}, LING Zhi-yong^{1 3}, CHEN Xiu-ling^{1 2}, WANG Shao-pu³, CAO Xiang-dong³

(1. Geography Science College, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007; 2. Provincial Key Lab of Subtropical Resources and Environment of Fujian, Fuzhou, Fujian 350007; 3. Geography Science and Tourism College, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054)

Abstract: This paper discussed the climatic significance of grain-size parameters such as M_z , σ_1 , SK_1 , K_g , D/SC , the coarse fraction ($>63\mu m$) and the clay fraction ($<2\mu m$) of 72 samples, which collected from Kekdala section (TKP) in the heart of Takemukul desert in Yili Valley, Xinjiang. Based on parameters and OSL date data of TKP, five climate evolution stages can be divided since the late Holocene. First stage, from 3.71 kyr BP to 3.06 kyr BP, wind changed from strong to weak, and climate changed from warm-dry to cool-wet. Second stage, from 3.06 kyr BP to 2.78 kyr BP, the grain-size was very coarse, wind was very strong and the climate was warm and dry. Third stage, from 2.78 kyr BP to 2.10 kyr BP, wind was weak, vague soil formed, the climate was wet and little fluctuation. Fourth stage, from 2.10 kyr BP to 0.5 kyr BP, climate was wet, wind was strong-weak alternation and changed frequently in earlier stage; then the wind became weak and climate was cold-wet, and pedogenesis was strong. Last stage, from 0.50 kyr BP to today, the climate was relatively wet as a whole, but wind became stronger and climate was warm-dry in the latest 100 yr. The climate change agreed well with that of global change. Since the late Holocene, due to climatic change of north Atlantic in high latitude, the climate change model of Takemukul desert has typical westerly characteristics.

Key words: aeolian sediment; grain-size parameters; climatic change; late Holocene; Yili of Xinjiang