

额济纳旗两种地貌类型戈壁纵剖面 沉积物粒度特征

肖靖安^{1,2}, 裴亮^{1,2}, 孙莉英^{1,2}, 马文秀³

(1.中国科学院 地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室,

北京 100101; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.河北廊坊市环境监测中心, 河北 廊坊 065000)

摘 要:采用野外实地调查取样与室内粒度测试结合的方法,通过矩法计算平均粒径、分选系数、偏度、峰态等粒度参数对额济纳旗戈壁两种地貌类型纵剖面沉积物粒度特征进行分析,采用独立样本均值 t 检验判断两种地貌类型沉积物粒度组成与粒度参数有无显著差异。结果表明:(1)湖岸上层沉积物颗粒以砾石和沙子为主,其余剖面层以沙子和粉土为主,古河道 0—10 cm 层沉积物颗粒主要以沙子为主,10—20 cm 层沉积物颗粒主要以砾石和沙子为主,湖岸沉积物较古河道沉积物,黏土、粉土含量显著更高,沙子含量接近,砾石含量显著更低;(2)湖岸沉积物沿纵剖面方向,平均粒径变大,颗粒逐渐细化;古河道整个采样层均为砾石与沙混合,上下层平均粒径接近,下层较上层颗粒更粗;湖岸平均粒径显著大于古河道;(3)两种地貌类型分选系数无显著差异,分选状况均呈分选差或分选较差;(4)两种地貌类型沉积物偏度均以正偏、极正偏为主导,主要以侵蚀过程为主,颗粒粗化明显;(5)两种地貌类型沉积物粒度频率曲线均以很宽平和非常宽平为主。总之,两种地貌类型戈壁纵剖面沉积物的粒度特征整体呈平均粒径由粗变细,分选差或较差,偏度呈正偏、极正偏分布,峰态很宽平和非常宽平的特点,湖岸采样点平均粒径显著大于古河道采样点,分选系数、偏度、峰态则无显著差异,综合反映了两种地貌类型戈壁不同层次颗粒的沉积环境、侵蚀与堆积方式的异同,可为戈壁类型划分提供依据。

关键词:地质学; 粒度特征; 均值检验; 戈壁; 额济纳旗

中图分类号:P588.21,X141

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)03-0038-07

Characteristics of Grain Sizes of Sediments in Two Typical Regions of Ejina Gobi

XIAO Jingan^{1,2}, PEI Liang^{1,2}, SUN Liying^{1,2}, MA Wenxiu³

(1.Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese

Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100049, China; 3.Hebei Langfang Environmental Monitoring Center, Langfang, Hebei 065000, China)

Abstract: By using the method of field survey and indoor particle size test, the particle size parameters such as average particle size, sorting coefficient, skewness and kurtosis were calculated by the moment method to analyze the grain size characteristics of the two typical regional vertical profiles in the Gobi of Ejina Banner. The independent sample mean test is used to determine whether there is significant difference between the grain size composition and parameters of the two types of geomorphic sediments. The results show that: (1) the grain size of the sampling points along the vertical direction of the profile is gradually refined from top to bottom; the average grain size of the upper and lower layers of the ancient river channel sampling points is similar, sand is mainly dominant in 0—10 cm layer, and gravel and sand are mainly dominant in 10—20 cm layer; (2) the sorting coefficient of the sediment particles at the sampling points of the two geomorphic types is poor or much poorer; (3) the sediment skewness of the sampling points of the two

收稿日期:2020-06-01

修回日期:2020-06-30

资助项目:国家重点研发计划项目(2017YFC050540503);国家自然科学基金(41977069,41771314);中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-13)

第一作者:肖靖安(1997—),男,江西吉安人,研究生,主要从事农业水资源高效利用研究。E-mail:xiaoja2018s@igsrr.ac.cn

通信作者:孙莉英(1978—),女,河北石家庄人,副研究员,研究生导师,博士,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail:sunliying@igsrr.ac.cn

geomorphic types is positive skew; (4) the frequency curve of sediment particle size is mainly very wide and very wide; (5) there is significant difference in the percentage of clay, silt and gravel components in the Gobi sediment of the two geomorphic types, and there is no significant difference in the percentage of sand components; in the particle size parameters, there is significant difference in the average particle size, and there is no significant difference in the sorting coefficient, skewness and kurtosis Sexual differences. All in all, the sediment profiles of gobi appears the characteristics of fine average grain size, poor or poorer sorting coefficient, positive skewness and extremely positive skewness, wide flat kurtosis and very flat kurtosis, the average grain size of lake bank sampling points is significantly larger than that of paleochannel sampling points, while sorting coefficient, skewness and peak state have no significant difference. It comprehensively reflects the similarities and differences of sedimentary environment, erosion and accumulation mode of particles in different layers of Gobi of two geomorphic types, which can provide basis for gobi classification.

Keywords:geology; grain size characteristics; mean test; Gobi; Ejina Banner

戈壁是指在干旱或极端干旱区长期受物理风化作用、风蚀作用,广泛分布于地势开阔地带,地表为粗砂或砾石所覆盖的一类荒漠景观^[1]。额济纳旗戈壁位于中亚极端干旱区,在强烈的风沙活动作用下,戈壁地表大量的细颗粒被吹蚀、搬运和沉积,是全球沙尘暴的主要物源区^[2],按成因额济纳旗戈壁可划分为侵蚀型和堆积型,或划分为洪积成因的砾质戈壁、剥蚀残丘型的石质戈壁和冲积型戈壁等类型^[3],其形成时代可追溯至晚更新世或全新世^[4-6]。戈壁沉积物是由外力和内力作用于岩石圈而生成的,它受地形、气候和构造条件的共同作用影响^[7]。粒度作为戈壁沉积物的主要特征之一,是戈壁区物源属性、外营力环境和搬运能力的综合反映^[7-10]。对戈壁纵剖面沉积物的粒度组成进行分析是揭示戈壁形成过程的重要手段。常用的粒度指标有粒度平均值、标准差、偏度、峰态等,这些粒度参数分别可反映颗粒的集中趋势、颗粒大小的均匀程度、不对称程度等。近20 a来,粒度指标广泛应用于沉积物的调查研究中,为沙漠、黄土高原以及湖泊沉积物等地质记录体的研究中判定动力成因与方式的重要依据^[11-16]。

对戈壁纵剖面沉积物的粒度构成进行研究可以反映戈壁形成过程中的沉积环境^[17],是揭示戈壁形成过程的重要内容。前人^[8-18]采用图解法计算粒度参数分析对比了额济纳盆地不同地貌类型戈壁表层、下层及整个纵剖面沉积物的粒度特征,本研究采用不同的粒度分析方法与粒度参数计算方法在额济纳盆地两种典型戈壁区域进行了研究分析。本文在额济纳旗戈壁野外实际调查的基础上,以额济纳荒漠戈壁典型区域为研究对象,通过采集东居延海湖岸区域和古河道区域典型剖面地表及剖面上不同发生层次的沉积物样品,粒度分析方法使用激光法和筛析法,采用矩法计算粒度参数分析地表沉积物粒度组成及其

粒度特征各项参数指标的变化,以期为深入探讨戈壁沉积物的沉积环境与形成过程提供科学依据。

1 研究区概况

额济纳旗位于内蒙古阿拉善高原荒漠的最西端,地理坐标为 $97^{\circ}10' - 103^{\circ}7'E$, $39^{\circ}52' - 42^{\circ}47'N$,属于极端干旱地区,地处中亚荒漠东南部,西、西南、北三面环山,为大陆性干燥气候,常年干旱少雨,年降水量仅38.2 mm,年蒸发量约4 000 mm。该区气候温暖,年均气温 $8.2^{\circ}C$ 。全年温度大于 $10^{\circ}C$ 的持续天数为170 d,无霜期超过145 d。年均风速3.3 m/s,最大风速27.0 m/s,年均沙尘暴日数10.7 d。

研究区地形整体呈扇状,地势南高北低,中间呈低平状,海拔高度在820~1 200 m。额济纳盆地构造上属于一个左旋拉分盆地^[19],发源于祁连山的黑河在盆地内形成了巨大的洪积扇,向北延伸近300 km,由南向北从洪积平原演变成湖积平原^[20-21]。洪积扇末端形成了一系列的湖泊,主要包括居延泽、苏泊淖尔和嘎顺淖尔等。研究区西部以中低山和山间的洼地、洪积扇群为主;中部以黑河流域冲—洪积平原为主,包括山前的湖积台地、洪积平原及冲积平原绿洲;中东部地区以湖积盆地为主;东南部以巴丹吉林沙漠的风沙地貌为主。戈壁占额济纳旗土地面积的58.3%,为研究区主要地貌;绿洲及湖盆洼地占27.57%,低山丘陵占9.3%,沙漠占4.36%^[18]。戈壁、平原和低山丘陵区土壤多为石膏性的灰棕荒漠土,河流冲积洪积平原和湖洼地区多为草甸土和草甸盐土,巴丹吉林沙漠和额济纳河西岸主要为风沙土。

2 研究方法

2.1 样品采集

2.1.1 采样点布设 2019年10月在额济纳旗戈壁,

依据地表沉积物形成的方式与典型环境,主要选取以湖积物为戈壁面和以冲积物为戈壁面的两类典型戈壁,结合野外实际调查情况确定 6 个采样点,采集地表及纵剖面沉积物,采样点 1,2,3 位于居延海西南侧戈壁分布区,地貌类型为东居延海湖岸,地貌单元属湖积盆地;采样点 4,5,6 位于额济纳旗至拐子湖气象站沿途戈壁分布区,地貌类型为古河道,地貌单元属于冲—洪积平原(图 1)。各样点的编号、地理位置、海拔、坡度、地表砾石覆盖度见表 1。

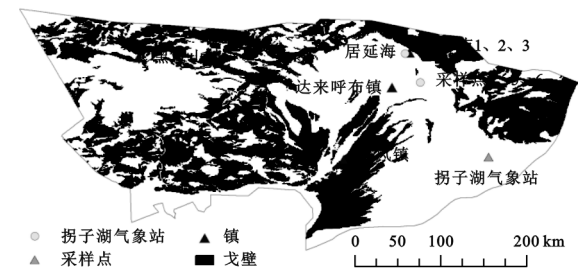


图 1 采样点分布

表 1 额济纳戈壁沉积物取样点位置及地表砾石覆盖度

采样点 编号	纬度 N	经度 E	高程/m	坡度/ (°)	地表砾石 覆盖度
采样点 1-1	42°19.657′	101°12.401′	869.29	1.73	58.28%
采样点 1-2	42°19.590′	101°12.386′	870.17	2.09	57.43%
采样点 2-1	42°19.609′	101°12.435′	870.66	2.39	57.38%
采样点 2-2	42°19.765′	101°12.352′	865.94	2.51	47.94%
采样点 3-1	42°19.847′	101°12.639′	870	1.69	结皮
采样点 3-2	42°19.814′	101°12.593′	869	2.43	11.90%
采样点 4-1	42°01.672′	101°21.927′	902	2.7	36.61%
采样点 4-2	42°01.643′	101°21.951′	899.14	15.51	41.78%
采样点 5-1	42°01.674′	101°21.936′	901	2.7	45.34%
采样点 5-2	42°01.644′	101°21.980′	900.73	3	40.33%
采样点 6-1	42°01.675′	101°21.936′	902	2.7	4.53%
采样点 6-2	42°01.656′	101°21.975′	903	2.7	沙地

2.1.2 样品采集方法 在采样点及周边约 1 km² 的区域内,地表无任何植被发育,尽可能避免人类活动的影响。每个采样点采集两组样品,相隔 100~200 m。采样时分层采集 30×30×40 cm(长×宽×高)的样品,人工开挖剖面,在剖面上,按沉积物的外貌特征与发生层次划分取样层次,绘制剖面图并拍照;根据发生层次,利用地质锤和铁锹由上而下分层采集原状沉积物样品,每层将 30×30 cm 样方内沉积物全部采集,装入土样袋中并编号带回室内分析,采集样方内出露于地表及其下 1 cm 的沉积物作为表层样品。其中采样点 1,2,3,4~1 采集深度为 40 cm,采样点 4~2,5,6 由于下部埋藏大量大粒径砾石,难以采集,故只采集到 20 cm 深度样品。在每一采样点(6 个采样点),采集 2 组样品,总计采集 12 组样品。

2.2 样品分析

2.2.1 粒度组成分析方法 根据美国土壤科学学会划分标准方法(黏土粒径 $d \leq 2 \mu\text{m}$ 、粉土粒径 $2 \mu\text{m} < d \leq 50 \mu\text{m}$ 、沙子粒径 $50 \mu\text{m} \leq d \leq 2\,000 \mu\text{m}$ 和砾石粒径 $d > 2\,000 \mu\text{m}$),对野外采集的戈壁样品进行粒度分析,分析得到不同层间砾石、沙粒、粉土和黏土含量。粒度分析方法使用激光法和筛析法。首先使用 1 mm,2 mm,4 mm,8 mm,16 mm 土样筛对样品进行分筛,称重得出不同粒径颗粒占比,再在中国科学院地理科学与资源研究所粒度实验室使用英国 MALVERN 公司的 MasterSize 2000 激光粒度仪对小于 1 mm 颗粒物进行粒度测量与分析,仪器测量的粒径范围为 0.020~2 000 μm ,重复测量误差小于 $\pm 2\%$ 。最终通过计算得到砾石、沙粒、粉土和黏土颗粒含量。

2.2.2 粒度特征参数分析方法 粒径采用克鲁宾(Krumbein)粒级标准划分,将粒径真值转化为 φ 值,即以 1 mm 为基准,将 2 的几何级数制标度转化为中值标度^[22],其转化公式为

$$\varphi = \log_2 d \tag{1}$$

式中: φ 为粒径的对数值; d 为颗粒的直径(mm),其中 $d = 2^n$, $\log_2 d = n$,所以 $\varphi = -n$, n 为 2 的几何级数。

粒度参数采用 McManus 矩法公式方法求算,前人研究发现矩法相比图解法在计算上具有更高的灵敏度和可靠性^[23-29],包括平均粒径(M_z)、分选系数(δ)、偏度(S_k)和峰态(K_g)^[30]。各参数的计算公式为:

$$M_z = \frac{\sum_{i=1}^n X_i f_i}{100} \tag{2}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 f_i}{100}} \tag{3}$$

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 f_i}{100}} \tag{4}$$

$$K_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 f_i}{100}} \tag{5}$$

式中: X_i 为一定粒级范围内中值(φ); f_i 为各粒级范围的百分含量。以上粒度参数计算通过 GRADISTAT 软件^[31] 自动完成。

平均粒径(M_z)表示沉积物颗粒的粗细,用于研究沉积韵律和探求物质来源。分选系数(δ)是表示颗粒分选程度的参数,它表示颗粒在风力、水力等动力作用下按粒度的富集现象,表示固体颗粒大小的均匀程度。分选系数越小,分选性越好,分选系数越大,则分选性越差。分选系数值均大于 0,可采用规定的 δ

标准划分分选级别,即分选极好($\delta < 0.35$),分选好($0.35 \sim 0.50$),分选较好($0.50 \sim 0.71$),分选中等($0.71 \sim 1.00$),分选较差($1.00 \sim 2.00$),分选差($2.00 \sim 4.00$),分选极差($\delta > 4.00$)^[23]。偏度(S_k)表示沉积物粗细分布的对称程度,是偏态的定量描述,沉积物的频率曲线形态差别反映了沉积环境的不同,频率曲线的偏度可以帮助研究者了解沉积物的成因。 $S_k = 0$,粒度呈正态分布,近于对称; $S_k > 0$,粒度呈正偏态分布,集中于粗端部分; $S_k < 0$,粒度呈负偏态分布,集中于细端部分。贾建军等人根据图解法与矩法的对应关系将偏态 S_k 分为 5 个等级级:极负偏态(< -1.50),负偏态($-1.50 \sim -0.33$),近于对称($-0.33 \sim 0.33$),正偏态($0.33 \sim 1.50$),极正偏态(> 1.50)^[23]。峰态(K_g)是用来衡量粒度频率曲线尖锐程度的,表征的是颗粒大小在中间段与两端的分布情况,也就是定量曲线的峰凸程度,代表了不同物源混杂的混合程度。 K_g 等级划分为非常宽平(> 4.5),很宽平($2.75 \sim 4.50$),宽平($1.42 \sim 2.75$),中等($1.03 \sim 1.42$),很尖窄($0.72 \sim 1.03$),非常尖窄(< 0.72)^[23]。表 2 为贾建军等根据图解法与矩法的对应关系,给出的矩法粒度参数的分级表^[23]。

表 2 矩法粒度参数 ^[23] 的定性描述术语					
分选		偏态		峰态	
定性描述	分选系	定性描述	分选系	定性描述	分选系
术语	数值	术语	数值	术语	数值
分选极好	< 0.35			非常窄	< 0.72
分选好	$0.35 \sim 0.50$	极负偏	< -1.50	很窄	$0.72 \sim 1.03$
分选较好	$0.50 \sim 0.71$	负偏	$-1.50 \sim -0.33$	中等	$1.03 \sim 1.42$
分选中等	$0.71 \sim 1.00$	近对称	$-0.33 \sim +0.33$	宽	$1.42 \sim 2.75$
分选较差	$1.00 \sim 2.00$	正偏	$+0.33 \sim +1.50$	很宽	$2.75 \sim 4.50$
分选差	$2.00 \sim 4.00$	极正偏	> 1.50	非常宽	> 4.50
分选极差	> 4.00				

2.3 统计分析方法

数据经 Excel 2019 软件进行整理后,利用 SPSS 25.0 对两种地貌类型采样点戈壁沉积物的粒度组成与粒度参数进行独立样本均值 t 检验(双侧检验),比较其均值,显著性水平 α 值取 0.05, $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3 结果与讨论

3.1 东居延海湖岸采样点纵剖面沉积物粒度组成及特征参数

3.1.1 沉积物粒度组成 图 2 为东居延海湖岸采样点 1(图 2A),2(图 2B),3(图 2C)戈壁沉积物黏土、粉土、沙子、砾石百分比含量随采样深度的变化情况。可知:根据美国土壤科学学会划分标准,在东居延海湖

岸采样点中(采样点 1,2,3),各采样点上层(0—10 cm)沉积物颗粒主要以沙子($50 \mu\text{m} \sim 2 \text{ mm}$)为主,其含量变化范围为 33.3%~68.3%,平均值为 49.2%;其次为砾石($> 2 \text{ mm}$)和粉土($2 \sim 50 \mu\text{m}$),其含量变化范围分别为 9.6%~32.4%和 11.8%~39.7%,平均值分别为 23.4%和 23.3%;黏土($< 2 \mu\text{m}$)含量较低,变化范围为 3.2%~4.8%,平均值为 4.1%。在纵剖面上,沿垂直方向各剖面层的粒度组成与上层存在差异,主要以沙子和粉土为主,平均含量分别为 41.1%和 40.6%,砾石和黏土含量较低,平均含量为 9.6%和 8.8%。

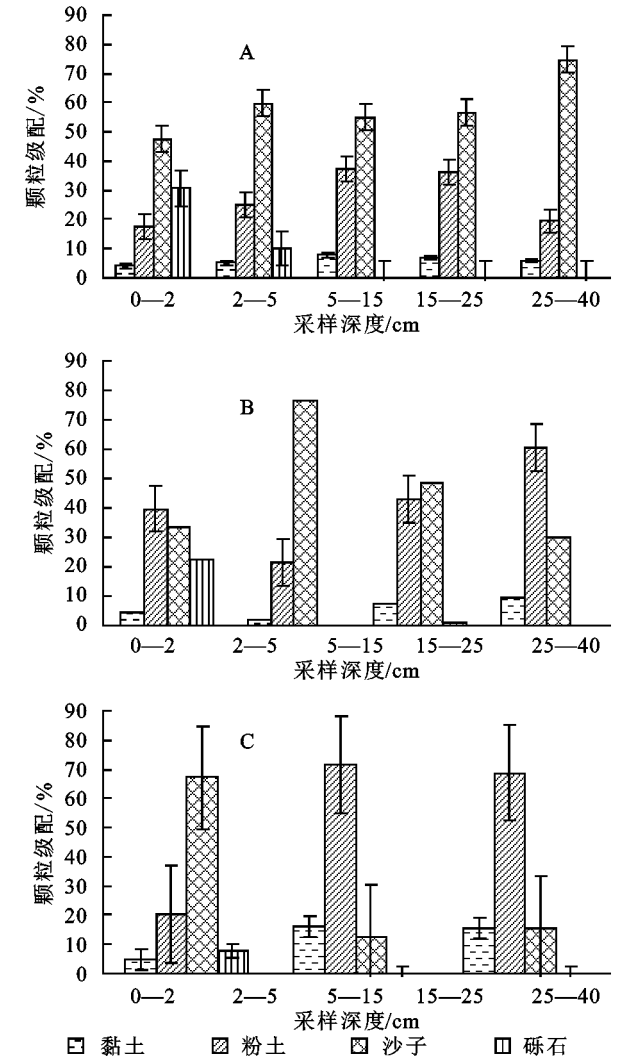


图 2 东居延海湖岸采样点颗粒级配随采样深度变化

在东居延海湖岸采样点中,沉积相相对较细,采样点 1,2 中存在砂、砾、石的互层,其沉积物组成以沙子为主,在纵剖面上其粒度组成逐渐变细,砾石含量下降,粉土和黏土含量上升,变化较明显。采样点 1 仅 0—5 cm 层存在砾石,砾石、沙子和粉土的比重分别为 20.4%,53.7%,21.3%,在其余剖面层中,主要以沙子为主,平均含量达到 62.1%,粉土和黏土含量较低,但沿垂直方向从上至下有增加趋势。采样点 2 砾石主要存在于 0—2 cm 层,砾石、沙子和粉土的比

重分别为 22.5%,33.3%,39.7%,2—40 cm 剖面层主要以沙子和粉土为主,基本不含砾石,沿纵剖面方向,沙子含量逐渐下降,由 76.4%下降到 29.8%;黏土和粉土含量上升,分别由 1.9%到 9.5%和由 21.7%到 60.6%。采样点 3 均为仅 0—10 cm 层存在砾石,比重为 7.8%,该层主要以沙子为主,含量达 67.1%,10—40 cm 剖面层主要以粉土为主,含量达 74.9%,沿垂直方向从上至下,沙子含量逐渐下降,粉土和黏土含量上升。采样点 3 粒度组成较细,地表基本无砾石覆盖,调查发现,采样点 3 位置区域地表存在结皮和侵蚀沟,可能是由于现代流水的冲刷作用,粒径大的颗粒被流水带走,形成结皮保护下层细颗粒不被风蚀。采样点 1,2 表层形成明显的以石块为主的沉积特征,这可能由于研究区常年的大风天气,且戈壁具有较大搬运能力的风沙流^[32]。由于环境中风力作用很强、风沙活动频繁,加之戈壁具有较大搬运能力的风沙流,地表的细颗粒沉积物被风搬运离开原地表,使沉积物质粗化,表面呈现大量石块、砾石分布,下层部分细颗粒物质在上部砾石的保护作用下,长期积累,沉积下来。

3.1.2 沉积物粒度特征参数 通过表 3 可看出,采样点 1 的 5—25 cm、采样点 2 的 10—40 cm、采样点 3 的 10—40 cm 剖面层平均粒径属于粉土($4.32 < M_z < 8.97$),其余各采样点剖面层平均粒径属于沙子($-1 < M_z < 4.322$)。可以发现采样点 1 的 0—5 cm 层沉积物平均粒径小于 5—40 cm,下层沉积物平均粒径稳定,相比较上层,沉积物颗粒更粗;采样点 2 沿纵剖面平均粒径变大,沉积物颗粒逐渐变细;采样点 3 的 0—10 cm 层沉积物平均粒径小于 10—40 cm 层,下层沉积物颗粒较上层细。根据表 2 粒度参数分选性等级标准,采样点 1,2,3 沉积物颗粒的分选系数(δ)的取值范围在 2.05~3.84,分选状况均呈分选差。偏度变化范围在 -0.08~1.70,其中采样点 2 的 0—2 cm 层为近对称(-0.08),采样点 1 的 5—40 cm 层沉积物偏度为极正偏(>1.50),其余各采样点剖面层均为正偏(0.33~1.50),这说明沉积物主要以侵蚀过程为主,颗粒粗化明显。峰态值的变化范围在 2.67~9.00,宽平占 8.3%,很宽平占 50%,非常宽平占 41.7%。这说明沉积物属于单峰态分布,物源单一,较宽的峰态表明沉积物粒度在各级别的优势不明显,沉积物质可能是由不同的物源分选之后形成的混合物。下层沉积物峰态分布表现为很宽平或非常宽平,表明该处受风蚀影响较小,细粒物质没有流失,一旦这些地段因人为因素而出露于地表,细粒物质将很快被风蚀作用搬运迁移,峰态将进一步尖窄化^[13]。

表 3 东居延海湖岸采样点粒度参数

采样点	采样深度/cm	平均粒径(M_z)	分选系数(δ)	偏度(S_k)	峰态(K_g)
1	0—2	2.22	3.84	0.37	2.94
	2—5	3.57	3.13	0.75	5.58
	5—15	4.79	2.05	1.51	9.00
	15—25	4.71	2.25	1.52	8.35
	25—40	4.05	2.60	1.70	5.80
2	0—2	3.73	3.64	-0.08	2.67
	2—10	3.53	2.00	1.69	7.93
	10—20	5.18	2.79	0.75	3.67
	20—40	6.06	2.58	0.56	3.57
3	0—10	3.66	2.97	0.82	4.26
	10—20	7.20	2.48	0.37	4.09
	20—40	7.15	2.25	0.99	4.20

3.2 古河道采样点纵剖面沉积物粒度组成及特征参数

3.2.1 粒度组成 图 3 为古河道采样点 4(图 3A),5(图 3B),6(图 3C)纵剖面沉积物粒度组成随采样深度变化情况。可知,在古河道采样点中:各采样点 0—10 cm 层沉积物颗粒主要以沙子为主,比重达 67.3%;其次为砾石,比重达 27.6%;粉土和黏土含量较低,分别为 4.0%和 1.0%。10—20 cm 层沉积物颗粒主要以砾石和沙子为主,比重分别为 44.3%和 43.4%;粉土和黏土含量较低,分别为 9.7%和 2.6%。

古河道采样点粒度组成主要表现为上层细、下层粗的特点,上层细砂含量为 64.4%,下层石块含量为 33.4%,属于典型的河流冲积物二元沉积相结构^[33-34]。表层的细粒物质较多是由于河漫滩沉积物在洪水泛滥时,悬移质沉积物向河道两侧溢出,形成以沙子、粉土等细粒物质为主的沉积层,在下层则形成了以砾石、粗砂为主的沉积层,因而在垂直剖面上构成了典型的二元相沉积互层。其中采样点 6 地表基本无砾石覆盖,主要由于该区域地势较低,频繁的风沙作用,细颗粒物质在该处大量堆积。

3.2.2 特征参数 通过表 4 可看出,3 个采样点沉积物平均粒径均属于沙子($-1 < M_z < 4.322$),说明采样点 4 沉积物颗粒较采样点 5,6 更粗。根据表 2 粒度参数分选性等级标准,采样点 4,5,6 沉积物颗粒的分选系数(δ)的取值范围在 1.48~3.64,除采样点 6 的 0—10 cm 层分选状况均呈分选较差,其余层分选状况均呈分选差。偏度变化范围在 -0.77~0.90,除采样点 6 的 0—10 cm 层为负偏,其余层均为正偏,这说明采样点 4,5 沉积物主要以侵蚀过程为主,颗粒粗化明显,仅在采样点 6 上层依然有着现代沉积的不断堆积。峰态值的变化范围在 3.46~8.45,很宽平和非

常宽平各占 50%。较宽的峰态表明沉积物粒度在各级别的优势不明显,沉积物质可能是由不同的物源分选之后形成的混合物。

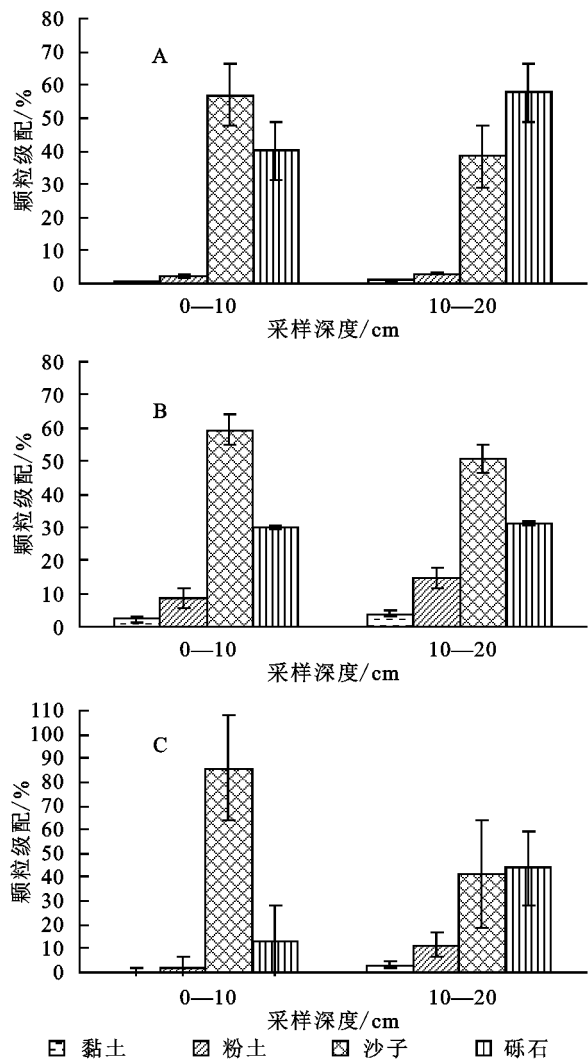


图 3 古河道采样点颗粒级配随采样深度变化

表 4 古河道采样点粒度参数

采样点	采样深度/cm	平均粒径 (M_z)	分选系数 (δ)	偏度 (S_k)	峰态 (K_g)
4	0—10	0.65	2.62	0.62	4.54
	10—20	0.30	2.74	0.82	4.19
5	0—10	1.96	3.03	0.50	4.58
	10—20	2.18	3.64	0.53	3.46
6	0—10	2.15	1.48	-0.77	8.45
	10—20	1.56	3.41	0.90	4.40

3.3 两种典型区粒度组成及特征参数差异分析

额济纳旗戈壁不同沉积环境颗粒物粒度特征是风化、侵蚀、堆积等地表过程与干旱多风的气候环境共同作用的结果。对比两种典型区域样品沉积物的粒度组成及特征参数发现,东居延海湖岸样品沉积物相比于古河道采样点更细,其沉积物组成以沙子为主,细粒组分粉土和黏土含量明显高于古河道采样

点。戈壁沉积物粒度组成有一定的变化规律,采样点 1,2,3 沿纵剖面方向,其粒度组成逐渐变细,且以砂砾为主;采样点 4,5,6 表层以沙粒为主,下部以砾石为主。各样点不同层次粒度组成主要与颗粒的搬运堆积方式有关。整体来看,古河道采样点(采样点 4,5,6)平均粒径小于湖岸采样点(采样点 1,2,3),沉积物颗粒粒径较湖岸采样点更粗。两种地貌类型采样点沉积物分选状况均呈分选差或分选较差,这也反映了不同沉积物沉积动力的差别与沉积过程的复杂性,不同粒径的沉积物互相混合,造成戈壁沉积物分选性差。两种地貌类型采样点沉积物偏度范围在-0.77~1.70,除采样点 6 的 0—10 cm 层沉积物偏度为负偏,采样点 1 的 5—40 cm 层为极正偏,采样点 2 的 0—2 cm 层为近对称,其余层均为正偏。这说明沉积物主要以侵蚀过程为主,颗粒粗化明显。仅在采样点 6 的 0—10 cm 层依然有着现代沉积的不断堆积。两种地貌类型采样点沉积物峰态接近,范围在 2.67~9.00,频率曲线形态基本表现为很宽平和非常宽平,表明沉积物粒度在各级别的优势不明显,沉积物质可能是由不同的物源分选之后形成的混合物。

独立样本均值 t 检验结果表明(表 5),两种地貌类型采样点戈壁沉积物粒度组成中,湖岸采样点黏土组分含量(7.44 ± 4.38)%明显高于古河道采样点(1.85 ± 1.48)%,差异有统计学意义($t = 2.606, p = 0.02 < 0.05$);湖岸采样点粉土组分含量(38.42 ± 19.33)%明显高于古河道采样点(6.85 ± 5.49)%,差异有统计学意义($t = 3.23, p = 0.006 < 0.05$);湖岸采样点沙子组分含量(48.09 ± 21.34)%低于古河道采样点(55.37 ± 16.98)%,差异无统计学意义($t = -0.669, p = 0.514 > 0.05$);湖岸采样点砾石组分含量(6.03 ± 10.35)%明显低于古河道采样点(35.96 ± 15.18)%,差异有统计学意义($t = -3.855, p = 0.002 < 0.05$)。可见,湖岸采样点黏土和粉土含量明显高于古河道采样点,沙子含量相接近,砾石含量则明显更低,这也体现了湖相沉积较河流相沉积,沉积物颗粒较细的特点。两种地貌类型采样点戈壁沉积物粒度参数中,湖岸采样点平均粒径(4.65 ± 1.52)明显大于古河道采样点(1.47 ± 0.81),差异有统计学意义($t = 3.567, p = 0.003 < 0.05$);湖岸采样点分选系数(2.72 ± 0.59)与古河道采样点(2.82 ± 0.76)接近,无显著差异($t = -0.315, p = 0.759 > 0.05$);湖岸采样点偏度(0.91 ± 0.58)大于古河道采样点(0.43 ± 0.61),差异无统计学意义($t = 2.047, p = 0.59 > 0.05$);湖岸采样点峰态(5.17 ± 2.17)与古河道采样点(4.94 ± 1.77)接近,无显著差异($t = 0.26, p = 0.798 > 0.05$)。

表 5 两种地貌类型戈壁沉积物颗粒组成及粒度参数 t 检验

地貌 类型	黏土组分 含量/%	粉土组分 含量/%	沙子组分 含量/%	砾石组分 含量/%	平均粒径 (M_z)	分选系数 (δ)	偏度 (S_k)	峰态 (K_g)
东居延海海岸	(7.44±4.38)% ^a	(38.42±19.33)% ^a	(48.09±21.34)% ^a	(6.03±10.35)% ^a	4.65±1.52 ^a	2.72±0.59 ^a	0.91±0.58 ^a	5.17±2.17 ^a
古河道	(1.85±1.48)% ^b	(6.85±5.49)% ^b	(55.37±16.98)% ^a	(35.96±15.18)% ^b	1.47±0.81 ^b	2.83±0.76 ^a	0.43±0.61 ^a	4.94±1.77 ^a

注：表中数值右侧相同小写字母表示根据独立样本均值 t 检验结果，不同地貌类型沉积物颗粒组成及粒度参数在 $p<0.05$ 下无显著性差异，不同则表示有显著性差异。

4 结论

(1) 额济纳旗戈壁各采样点沉积物粒度组成因其形成环境与搬运、堆积方式的差异而不同。湖岸采样点上层沉积物粒度组成受侵蚀过程影响，颗粒组成以沙子和砾石为主，粉土和黏土质量含量相对更低；下层沉积物颗粒组成则主要受沉积过程影响，主要以沙子和粉土为主；古河道采样点 0—10 cm 层沉积物颗粒主要以沙子为主，10—20 cm 层沉积物颗粒主要以砾石和沙子为主。

(2) 湖岸采样点下层颗粒平均粒径大于上层，下部沉积物较上部更细，沉积物有细化趋势；河道采样点 0—10 cm 层与 10—20 cm 层平均粒径相近，但下层沉积物较上层含有更多砾石组分。湖岸采样点平均粒径显著大于古河道采样点，两种地貌类型分选系数则无明显差异，取值范围为 1.48~3.84，分选状况均呈分选差或分选较差。

(3) 两种地貌类型采样点偏度无显著差异，偏度变化范围为-0.77~1.70，正偏、极正偏比例占 88.8%，近对称和负偏均占 5.6%。两种地貌类型采样点沉积物主要以侵蚀过程为主，颗粒粗化明显，仅在采样点 6 的 0—10 cm 层依然有着现代沉积的不断堆积。两种地貌类型采样点峰态无显著差异，峰态值的变化范围为 2.67~9.00，宽平占 5.1%，很宽平占整体的 50%，非常宽平占 44.4%。表明沉积物粒度在各级别的优势不明显。

参考文献：

[1] 冯益明, 吴波, 周娜, 等. 基于遥感影像识别的戈壁分类体系研究[J]. 中国沙漠, 2013, 33(3): 635-641.

[2] Prospero J M, Ginoux P, Torres O, et al. Environmental Characterization of GLOBAL Sources of Atmospheric Soil DUST Identified with the NIMBUS 7 Total OZONE Mapping SPECTROMETER (toms) Absorbing Aerosol Product[J]. Rvgeo, 2002, 40(1): 1002, DOI: <https://doi.org/10.1029/2000 RG000095>.

[3] 赵松乔. 中国干旱地区自然地理[M]. 科学出版社, 1985.

[4] Owen L A, Windley B F, Cunningham W D, et al. Quaternary alluvial fans in the Gobi of southern Mongolia: Evidence for neotectonics and climate change[J].

Journal of Quaternary Ence, 2015, 12(3): 239-252.

[5] Hülle D, Hilgers A, Radtke U, et al. OSL dating of sediments from the Gobi Desert, Southern Mongolia[J]. Quaternary Geochronology, 2010, 5(2/3): 107-113.

[6] LüY W, Gu Z Y, Aldahan A, et al. 10 Be in quartz gravel from the Gobi Desert and evolutionary history of alluvial sedimentation in the Ejina Basin, Inner Mongolia, China [J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(33): 3802-3809.

[7] 任明达, 王乃梁. 现代沉积环境概论[M]. 北京: 科学出版社, 1981.

[8] 孙东怀, Rea D. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 327-335.

[9] 秦小光, 吴金水, 蔡炳贵, 等. 全新世时期北京—张家口地区与黄土高原地区风成系统的差异[J]. 第四纪研究, 2004, 24(4): 430-436.

[10] 殷志强, 秦小光, 吴金水, 等. 湖泊沉积物粒度多组分特征及其成因机制研究[J]. 第四纪研究, 2008, 28(2): 345-353.

[11] 刘富刚. 鲁西北地表沉积物粒度特征及分布成因研究[J]. 人民黄河, 2008, 30(7): 12-13.

[12] 殷志强, 秦小光, 吴金水, 等. 中国北方部分地区黄土、沙漠沙、湖泊、河流细粒沉积物粒度多组分分布特征研究[J]. 沉积学报, 2009, 27(2): 343-351.

[13] 董智, 王丽琴, 杨文斌, 等. 额济纳盆地戈壁沉积物粒度特征分析[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(1): 32-38.

[14] 肖晨曦, 李志忠. 粒度分析及其在沉积学中应用研究[J]. 新疆师范大学学报: 自然科学版, 2006, 25(3): 118-123.

[15] 钱广强, 董治宝, 罗万银, 等. 巴丹吉林沙漠地表沉积物粒度特征及区域差异[J]. 中国沙漠, 2011, 31(6): 1357-1364.

[16] 魏豆豆, 陈英玉. 达连海湖泊沉积物粒度特征及其古气候意义[J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2015, 33(2): 53-60.

[17] 毕志伟, 杨振京, 徐建明, 等. 塔里木盆地腹地第四纪沉积物粒度特征及其沉积环境[J]. 干旱区地理, 2009, 32(3): 335-339.

[18] 王丽琴, 李红丽, 董智, 等. 额济纳盆地戈壁纵剖面沉积物粒度参数分析[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 152-156, 162.

[19] Wünnemann B, Hartmann K, Janssen M, et al. Responses of Chinese desert lakes to climate instability during the past 45,000 years[J]. Developments in Quaternary Sciences, 2007, 9: 11-24.