

文章编号: 1000-0550(2012)05-0945-10

新疆柴窝堡湖沉积物中环境敏感粒度组分 揭示的环境信息^①

马 龙¹ 吴敬禄² 吉力力·阿不都外力¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所 湖泊与环境国家重点实验室 南京 210008)

摘 要 通过对柴窝堡湖沉积物剖面和流域表层沉积物进行粒度分析,结合沉积剖面年代序列,研究了柴窝堡地区的环境演变与沙尘暴事件。首先通过主成分因子分析,对柴窝堡湖沉积物剖面粒度不同粒级组分含量进行了研究,探讨了湖泊沉积物的物质来源,获得了两个主控因子 F_1 和 F_2 ,它们控制了湖泊沉积物近 97.7% 的粒度变化特征。研究表明 F_2 代表了以 57 μm 为众数粒径的次总体,主要来源于地表风沙侵蚀;而 F_1 为以 7 μm 为众数粒径的次总体,主要受流水作用控制。进而通过粒径-标准偏差法,提取了湖泊沉积物中环境敏感粒度组分,风成组分 C2(20~209 μm) 反映了区域风沙活动的历史,并揭示了 1910—1930 年和 1980—2000 年为百年来的两个沙尘暴相对活动强烈的时期。沉积物中记录的 1980 年和 2000 年左右的沙尘事件与器测记录及历史文献记载具有很好的一致性。最后利用均值突变诊断分析,发现柴窝堡湖地区 1910 年前后存在近百年来最强的沙尘事件,揭示了近百年来该地区一次最强的环境突变事件。

关键词 柴窝堡湖 湖泊沉积 粒度 敏感组分

第一作者简介 马龙 男 1982 年出生 博士 干旱区湖泊资源与环境 E-mail: malong@ms.xjb.ac.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

近百年来全球发生了以增温为主要特征的气候变化,同时气候的不稳定性更为显著。干旱—半干旱地区生态环境脆弱,对气候及人类活动变化的响应敏感。近年来,我国西北干旱区河流断流、绿洲萎缩、湖泊咸化甚至干涸,并伴随着生态环境的破坏,旱灾、沙尘暴事件等频发^[1]。通过对历史时期气候环境演化、突变事件和原因的分析,可为全球变化过程中可能出现的气候突变事件提供历史相似型^[2],为未来区域生态环境保护提供借鉴。

湖泊沉积物是气候环境信息的有效载体,具有连续性好、分辨率高、分布广等特点,记录了构造运动、气候变化、生态环境演化等丰富的信息^[3-4]。以往对湖泊沉积物中粒度组分的研究,主要基于将沉积物粒度的某一参数与其它相关环境代用指标对比分析,揭示区域气候环境变化信息。近年来,一些研究者基于 Weibull 分布的函数拟合法^[5,6]、端元模型法^[7]、粒径标准偏差法^[8]、因子分析^[9]等提取敏感粒级从而追溯古环境的信息,已广泛应用于对海洋沉积物的研究过程中。但目前对湖泊沉积物中粒度敏感组分研究

的较少,其中薛积彬等^[10]采用粒径标准偏差法对巴里坤湖 2 000 年来的区域沙尘活动历史进行了研究;李育等^[11]通过分析甘肃石羊河流域猪野泽湖泊沉积物粒度敏感组分与花粉组合关系,研究了全新世以来的气候环境变化过程。本文主要根据柴窝堡湖沉积物的粒度分析结果,通过对沉积物粒度组分的数学处理,探讨粒度组分所包含的环境信息,同时对环境演变序列进行突变检验,研究百年来柴窝堡地区的环境变化特征,为当前柴窝堡湖的生态与环境保护和区域发展提供理论支持。

1 研究区概况

柴窝堡盆地位于乌鲁木齐市东南部,南北两侧均为强烈上升的褶皱断块山地,南侧伊连哈比尔尕山,最高处海拔 4 483 m,北侧博格达山最高处达 5 445 m,为流域最高点。盆地西侧山地与准噶尔盆地相邻,东南为土格达坂塔克山地,以白杨河为纽带与吐鲁番盆地相连。柴窝堡湖距乌鲁木齐市东南 45 km(图 1),面积约为 27 km²,海拔 1 091.6 m,平均水深 2 m,

^①中国科学院知识创新重要方向性项目(编号:KZCX2-EW-308;KZCX2-YW-GJ04),中国科学院“西部之光”人才培养计划西部博士项目(编号:XBBS201106)共同资助。

收稿日期:2011-05-23;收修稿日期:2012-01-04

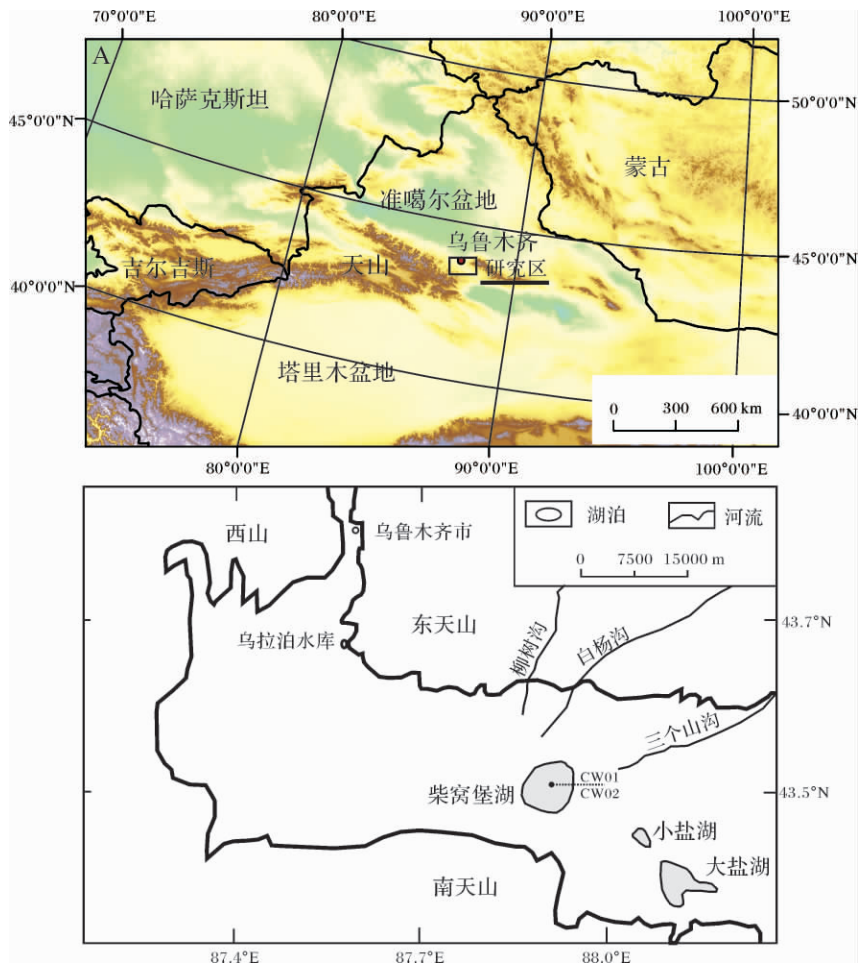


图1 柴窝堡湖泊位置图

Fig. 1 Sketch map of the Chaiwopu Lake Basin

最深处约 4 m,矿化度为 6.8 g/L,湖水透明度 18 cm, pH 值平均 9.04。湖区年均气温 5.0℃,年降水量 64 mm,年蒸发量 2 716 mm,柴窝堡湖地区风力资源丰富,湖区盛行西风,年均风速 6.0 m/s^[12]。湖岸地貌受盆地中强劲西风的影响,发育很不对称,东岸的湖岸堤远较西岸发育。通过柴窝堡地区遥感影像解译,20 世纪 70 年代以来湖泊总体呈萎缩趋势,2008 年湖泊水位比 1971 年下降了约 2.2 m,湖泊面积缩小到约 27 km²。随着湖泊水位的进一步下降,加剧了湖泊周边地区土壤碱化、沙化、植被退化等生态环境问题,对区域社会经济发展产生重要的影响。

2 材料和方法

于 2008 年在柴窝堡湖湖心(87.90087°E,43.49445°N)平行采集沉积物岩芯两根(图 1),分别为 CW01 孔(50 cm)和 CW02 孔(65 cm),同时在柴窝堡湖周边采集表层沉积物样品 6 个,采样点位置见表

1。CW01 孔在野外现场按 0.5 cm(1~20 cm 岩芯)和 1 cm(21~50 cm 岩芯)间隔分样,装入塑料袋中密封保存,以备室内进行¹³⁷Cs 同位素测年;CW02 孔在野外现场按 1cm 间隔分样,装入塑料袋中密封保存,以备室内进行各项指标分析。

¹³⁷Cs 的比活度采用美国 ORTEC 公司生产的高纯锗井型探测器(Ortec HPGe GWL)与 Ortec 919 型谱控制器和计算机构成的 16K 多道分析器所组成的 γ 谱分析系统进行测定,用中国原子能研究院提供的¹³⁷Cs 定年标准样品进行结果对比校正。沉积物粒度的测试步骤是取沉积物样品少量(0.3g 左右)放入 100 ml 的烧杯中,加入 20 ml 的蒸馏水和 10% 的过氧化氢(H₂O₂) 10 ml,将烧杯放到通风橱内控温电板上加热煮沸,同时用洗瓶不断清洗因反应的泡沫带至烧杯壁上的沉积物,待充分反应直至过量的过氧化氢分解完毕,再加入 10 ml 10% 的盐酸,煮沸后取下烧杯。加入蒸馏水 100 ml,静置一夜,抽去蒸馏水,洗

去过量的盐酸,使样品呈中性。在样品中加入 20 ml 蒸馏水和 10 ml 浓度为 0.05 mol/L 的六偏磷酸钾,将烧杯放入超声波清洗仪内超声振荡 15 min。将振荡后的样品用英国 Malvern Mastersizer2000 型激光粒度仪进行测试。以上实验在中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室完成。

表 1 柴窝堡湖流域表层采样点位置
Table 1 The position of surface sediment in Chaiwopu Lake Basin

纬度(N)	经度(E)	样品号	地点描述
43.520289°	87.874345°	CB01	入湖河道边土壤样品
43.518993°	87.874584°	CB02	湖边表层
43.53158°	87.90112°	CB03	阶地面土壤表层 砂含量高
43.53217°	87.90379°	CB04	菜地 农作物
43.53233°	87.90767°	CB05	裸露的农田土壤

在探讨沉积物粒度组成的控制因素时,采用主成分因子分析方法。在提取沉积物中的环境敏感粒度组分时,采用粒度标准偏差算法^[8,10,13,14],其原理是通过研究激光粒度仪给出的每一粒级所对应含量的标准差变化而获得粒度组分的个数和分布范围。粒级—标准偏差变化曲线主要反映了不同样品的粒度含量在各粒径范围内的差异性,高的标准偏差值反映了不同样品的粒度含量在某一粒径范围内差异较大,低的标准偏差则反映了粒度含量在某一粒径范围内差异较小。据此可以反映出一系列样品中粒度变化存在显著差异的粒度组分的个数和分布范围。在提取环境变化序列后,采用 Cramer 法、滑动 T 检验法对环境变化序列进行突变检验^[15]。

3 结果

3.1 柴窝堡湖剖面年代

根据¹³⁷Cs 在北半球湖泊沉积剖面中的分布规律,认为¹³⁷Cs 出现残留层位对应 1952 年全球核试验开始,主蓄积峰层位对应 1963 年全球¹³⁷Cs 散落高峰。柴窝堡湖沉积物岩芯中¹³⁷Cs 存在一显著的蓄积峰,主蓄积峰出现在 20 cm 左右的深度,并在 26 cm 处出现残留,说明沉积环境稳定,未受明显的扰动(图 2)。以 1963 年峰值(深度 20 cm)和 1952 年出现残留(深度 26 cm)两个年代结点来计算,平均沉积速率为 5.4 mm/a; 采样时间为 2008 年,按 1963 年和 2008 年来计算,沉积速率为 4.4 mm/a; 按 1952 年和 2008 年来计算,沉积速率为 4.6 mm/a^[16]。不同层段

计算获得的沉积速率一致,表明岩性均匀,取平均沉积速率外延岩芯底部深 65 cm 处年代为 1860 年。据此,确定了岩芯不同深度对应的年代(表 2)。

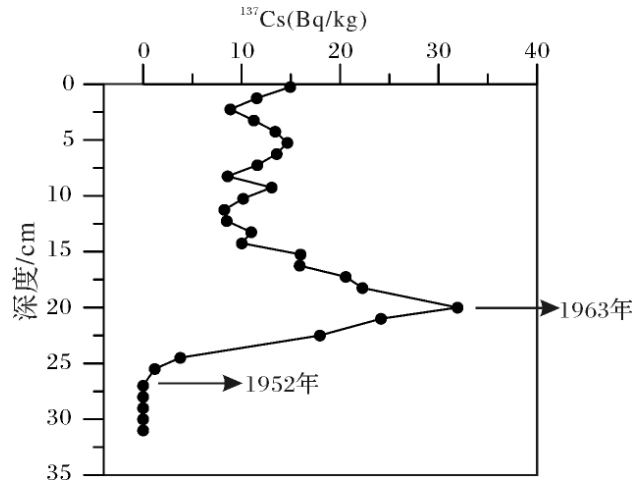


图 2 柴窝堡湖沉积岩芯¹³⁷Cs 分布图

Fig. 2 Distribution of ¹³⁷Cs in Chaiwopu lake sediment core

表 2 柴窝堡湖沉积岩芯深度与对应的年代

Table 2 Age-depth relation based on ¹³⁷Cs dating

深度/cm	年代	深度/cm	年代	深度/cm	年代	深度/cm	年代
0	2008	17	1969	34	1935	51	1896
1	2006	18	1967	35	1933	52	1894
2	2003	19	1965	36	1931	53	1891
3	2001	20	1963	37	1929	54	1888
4	1998	21	1961	38	1926	55	1886
5	1996	22	1959	39	1924	56	1883
6	1994	23	1958	40	1922	57	1881
7	1991	24	1956	41	1919	58	1878
8	1989	25	1954	42	1917	59	1876
9	1986	26	1952	43	1915	60	1873
10	1984	27	1950	44	1912	61	1870
11	1982	28	1948	45	1910	62	1868
12	1980	29	1946	46	1908	63	1865
13	1977	30	1944	47	1905	64	1863
14	1975	31	1942	48	1903	65	1860
15	1973	32	1940	49	1901		
16	1971	33	1938	50	1899		

3.2 柴窝堡湖沉积物粒度特征

柴窝堡湖沉积物粒度变化特征见图 3。从整体上来看,粒度组成以 45 cm、35 cm 和 12 cm 为界限分为 4 个主要的阶段。45 cm 之下变化较有规律且变化幅度大,黏土质(<4 μm)和细粉砂质(4~16 μm)组分含量整体呈减小的趋势发展,细粉砂质(4~16 μm)、粗粉砂(32~64 μm)以及砂质(>64 μm)含量整体上呈增大趋势;而 45~35 cm 层段粒度发生剧烈

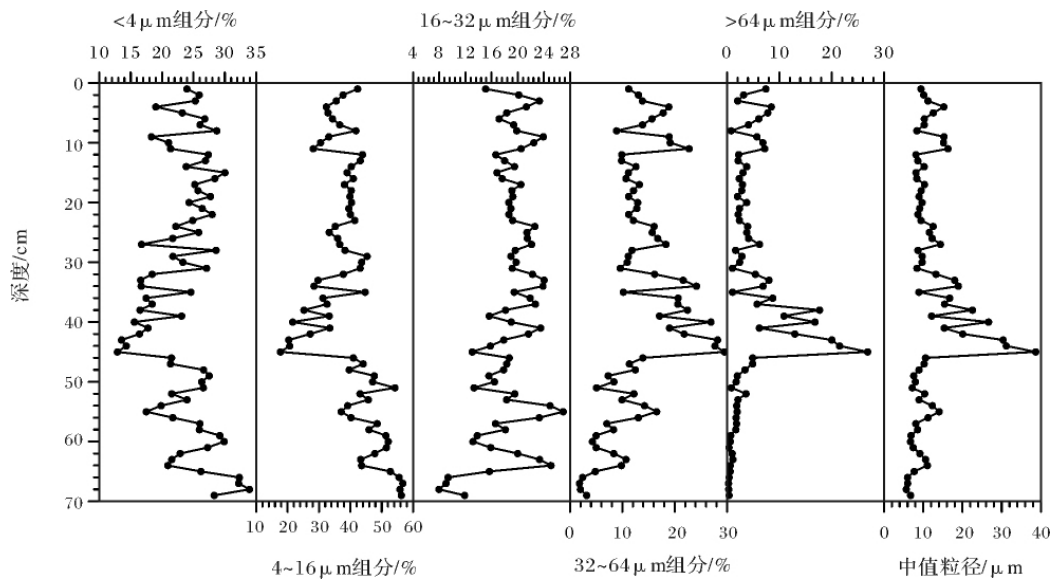


图3 柴窝堡湖沉积剖面粒度垂向分布特征

Fig. 3 Characteristics of grain-size distribution in Chaiwopu Lake sediment

变化,粗粉砂以及砂质含量明显增多。30~12 cm 粒径组分较为稳定,变化幅度较小。12 cm 以上沉积物各粒径组分含量的变化趋势和 45~35 cm 层段类似,再次出现较大幅度变化(图2)。从图3中可以看出,不同粒径组分的变化存在差异,其中黏土质和细粉砂质组分含量变化趋势一致,粗粉砂以及砂质含量变化趋势较为一致而 <16 μm 组分含量和 >32 μm 组分含量基本呈反向变化趋势。中值粒径的变化趋势和砂质组分含量的变化趋势一致。

3.3 柴窝堡湖沉积物粒度敏感组分揭示的环境信息

3.3.1 湖泊沉积物粒度组成的控制因素

对于封闭湖泊,沉积物来源相对单一,沉积物粒度值的大小与湖区降水、湖泊水位的变化密切相关。当湖面变化不大,对湖泊沉积物粒度的影响较小时,湖区降水直接决定沉积物粒度的大小。较高的平均粒径值和粗颗粒组分含量代表了较强的水动力搬运条件,较小的平均粒径值和细颗粒组分含量代表了较为相对稳定的水动力条件。在极端条件下,较小的湖面积减少了沉积物搬运与沉积的距离,也造成沉积物粒度值增大^[17]。从柴窝堡湖沉积岩芯的平均粒径值以及粗颗粒组分含量变化来看,65~45 cm 层段以及 33~11 cm 层段中值粒径较为稳定,反映当时相对稳定的水动力条件。而 45~33 cm 层段以及上部 11 cm 层段不仅沉积物平均粒径值升高,而且粗颗粒组分(>64 μm)含量大幅度增加。这种中值粒径以及粗颗粒组分同时增加的时段难以确定是由于当时水动

力条件增加,还是其它因素作用的结果,需要结合其它手段进行区分。

从柴窝堡湖沉积物不同层位的频率分布曲线来看,存在单峰和双峰两种不同的形式(图4A)。沉积物的频率曲线特征是判断沉积作用形式的重要手段之一,频率曲线峰态变化反映了沉积作用形式的变化^[17-19]。由于外来的或粗或细的新组分的加入,致使湖的沉积物分选变差,频率曲线变为不对称,使偏度呈现出负偏或正偏的变化。以各层沉积物粒度频率分布为变量,通过 SPSS 15.0 软件进行主成分因子分析,获得了两个主控因子 F_1 和 F_2 , F_1 可以解释频率变化特征的 86.7%, F_2 可以解释粒度变化特征的 11.0%。这两个主控因子基本上可以说明沉积物样品的总体粒度变化特征。表3中的系数称为主成分载荷,表示不同层位的粒径频率分布曲线和两个因子之间的相关系数,正(负)数代表正(负)相关。相关系数的绝对值越大,即越接近 ±1,该变量对该因子的代表性就越大,也就更能反映该因子的特征。从载荷系数分布曲线来看,33 cm 之上各层位频率分布与 F_1 的相关系数平均在 97.4%; 45~33 cm 与 F_1 , F_2 的相关系数平均分别为 77.8% 和 49.3%; 65~45 cm 与 F_1 的相关系数平均 94.5%。因子 F_2 主要反映了众数粒径为 52 μm 的粒度次总体。而 F_1 主要反映了众数为 7 μm 的粒度次总体。图4B中 CB01 为河道末端河流相沉积物, CW2-01 为沉积物岩芯表层的频率分布曲线,湖泊中心沉积物粒较河道末端沉积物粒径

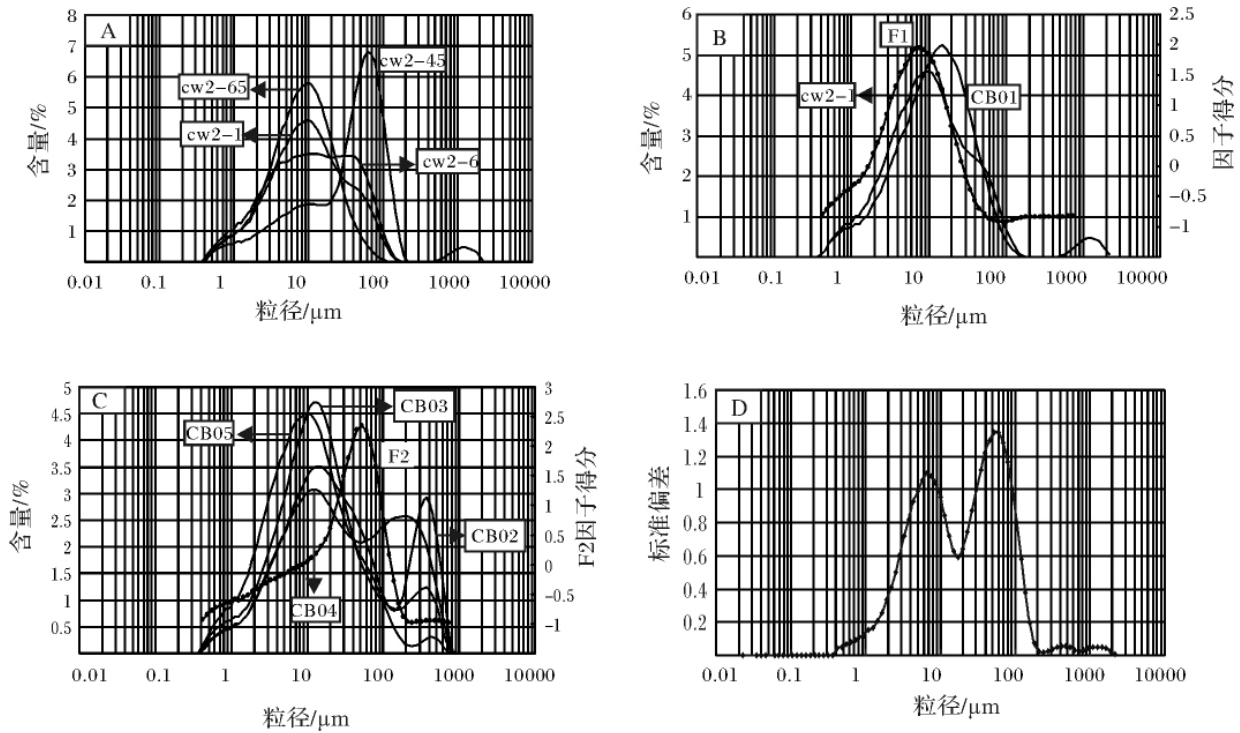


图 4 柴窝堡湖沉积岩芯 CW-02 频率分布曲线 (A)、主控因子 F_1 得分与表层沉积物粒径频率分布对比曲线 (B)、
主控因子 F_2 得分与表层沉积物粒径频率分布对比曲线 (C) 和柴窝堡湖沉积岩芯 CW-02 粒径标准偏差 (D)

Fig. 4 The grain-size distribution of lake sediment (A), PCA factor scores compared with surface sediment grain size distribution (B for Factor 1 and C for Factor 2) and standard deviation curve of different grain-size (D)

偏细, 这两者的众数粒径与 F_1 因子控制的粒度次总体的众数粒径基本相同, 说明因子 F_1 主要反映了流水作用对湖泊的影响。通过我们对其它流域表层沉积物样品的粒度分析结果 (图 4C), 流域表层沉积物粒度频率曲线大多呈双峰分布, 两个次峰对应粒度为约 $10 \mu\text{m}$ 的次总体和以 $200 \sim 300 \mu\text{m}$ 为众数粒径的次总体。受因子 F_2 影响的以 $52 \mu\text{m}$ 为众数粒径的粒度组分, 介于表层沉积物粒度频率分布曲线双峰之间, 因此因子 F_2 控制的粒度组分与流域表层沉积物之间存在较为明显的源汇的关系, 因此主控因子 F_2 应反映了风营力的作用 (图 4C)。

3.3.2 湖泊沉积记录的风沙活动历史

通过主成分因子分析, 得到了两个主要控制湖泊沉积物来源的因素, 代表流水作用影响, 而代表了风力影响。依据因子载荷系数 (表 3), $45 \sim 33 \text{ cm}$ 段为风沙活动影响最强的层位, 但尚不能区分湖泊沉积物组成中风沙组分的含量。根据粒径—标准偏差分布曲线中较高标准偏差峰值分别出现在 $7 \mu\text{m}$ 和 $60 \mu\text{m}$ (图 4D)。可以确定三个粒度组分的分界线约在 $20 \mu\text{m}$ 和 $209 \mu\text{m}$ (图 3A)。据此, 可将粒度组分划分为

表 3 主成分分析因子载荷矩阵

Table 3 Principal components loadings matrix

样品 层位	成分		样品 层位	成分		样品 层位	成分	
	F_1	F_2		F_1	F_2		F_1	F_2
1	0.97	-0.16	23	0.99	-0.11	45	0.37	0.83
2	1.00	-0.03	24	0.98	0.15	46	1.00	-0.01
3	0.98	0.04	25	0.98	0.14	47	0.98	-0.11
4	0.94	0.33	26	0.98	0.15	48	0.99	-0.10
5	0.96	0.25	27	0.96	0.25	49	0.93	-0.36
6	0.98	0.11	28	0.98	-0.12	50	0.95	-0.31
7	1.00	0.02	29	0.98	-0.15	51	0.87	-0.45
8	0.96	-0.24	30	0.99	-0.15	52	0.99	-0.08
9	0.94	0.31	31	0.97	-0.23	53	0.97	-0.22
10	0.93	0.35	32	0.98	0.16	54	0.98	0.05
11	0.87	0.46	33	0.88	0.46	55	0.95	0.16
12	0.97	-0.24	34	0.85	0.50	56	0.99	-0.02
13	0.98	-0.22	35	0.98	-0.21	57	0.93	-0.34
14	1.00	-0.05	36	0.91	0.41	58	0.96	-0.27
15	0.97	-0.17	37	0.93	0.34	59	0.88	-0.45
16	0.98	-0.19	38	0.74	0.65	60	0.86	-0.48
17	1.00	-0.02	39	0.93	0.24	61	0.90	-0.42
18	0.99	-0.10	40	0.65	0.75	62	0.96	-0.25
19	0.99	-0.14	41	0.94	0.31	63	0.98	-0.11
20	1.00	-0.07	42	0.84	0.54	64	0.96	-0.12
21	0.99	-0.09	43	0.56	0.80	65	0.90	-0.42
22	0.98	-0.15	44	0.52	0.79			

组分1(C1) ($< 20 \mu\text{m}$)和组分2(C2) ($20 \sim 209 \mu\text{m}$)和组分3(C3) ($> 209 \mu\text{m}$),由于组分C3的含量 $< 1\%$,本文不讨论其环境意义。

组分C1($< 20 \mu\text{m}$)和组分C2($20 \sim 209 \mu\text{m}$)的含量及其平均粒径变化如图5,组分C1和组分C2的含量呈反向变化,且组分C1的平均粒径变化不显著,而柴窝堡湖沉积物中值粒径和组分C2的平均粒径的变化趋势一致,反映了湖泊沉积物粒度的变化应主要受组分C2的控制,因此组分C2为沉积物粒度组成中的环境敏感粒度组分。通过对沉积物粒度频率分布变量的主成分因子分析,柴窝堡湖沉积物中粗颗粒组分主要由风力作用的影响,组分C2的含量及平均粒径反映了区域风沙活动的历史,风成组分C2与乌鲁木齐河流域黄土的平均粒径基本一致($36 \sim 209 \mu\text{m}$)^[21]。从风成组分C2的变化曲线可以看出,柴窝堡地区百年来共存在两个主要的高值区,1910—1930年(45~33 cm)和1980—2000年(11~4 cm),两个时期的风成组分C2含量及平均粒径明显高于平均值,反映了风沙组分的明显增加,为两个沙尘暴天气发育强烈的时期,其中后一个时期,存在1980年和2000年左右两个沙尘暴活动事件。近50年来器测气候资料分析表明,1980—1990年降水处于近50年来的偏干期,根据新疆77个站点1961—2005年沙尘暴日数资料,北疆地区1977—1989年沙尘暴

明显增多^[21],历史文献也记录柴窝堡附件地区的托克逊在约1980年发生沙尘暴事件^[22],与柴窝堡湖湖泊沉积粒度记录的约1980年证据一致。从上世纪80年代末以来,虽然降水增加,但沙尘天气仍处于高发期,尤其是约1998—2001年,湖泊沉积也记录了一次较大强度的沙尘暴天气,我国各气象台站也记录了2000—2002年沙尘暴频次明显增加^[23]。因此,这一时期沙尘多发除与气候变化有关外,与人类农业活动导致区域植被、土地退化等下垫面的改变有密切关系。人类活动的结果为沙尘暴的发生提供了充足的物质来源,加之我国北方1999年冬至2000年春季强寒潮大风的频繁出现,为沙尘暴的频繁发生提供了动力条件。柴窝堡湖沉积记录沙尘变化与器测记录一致,风成组分C2敏感地指示了区域沙尘强度的变化。据此,约1910年风成组分C2的最高值段揭示了柴窝堡湖百年来的最强沙尘暴事件。

3.3.3 湖泊粒度环境敏感组分的均值突变检验

滑动T检验法和Cramer法的原理基本相同,都是通过样本数 n 值的变化来计算统计量 t 的值,再给定不同置信度水平检验突变年份。运用滑动T检验法和Cramer法进行突变分析时,将所求出的 t 值绘成曲线,然后给定置信度水平,将超过临界线的波峰所对应的年份作为突变点。通过Cramer法及滑动 t 检验,对柴窝堡湖湖泊沉积物粒度敏感组分C2的含

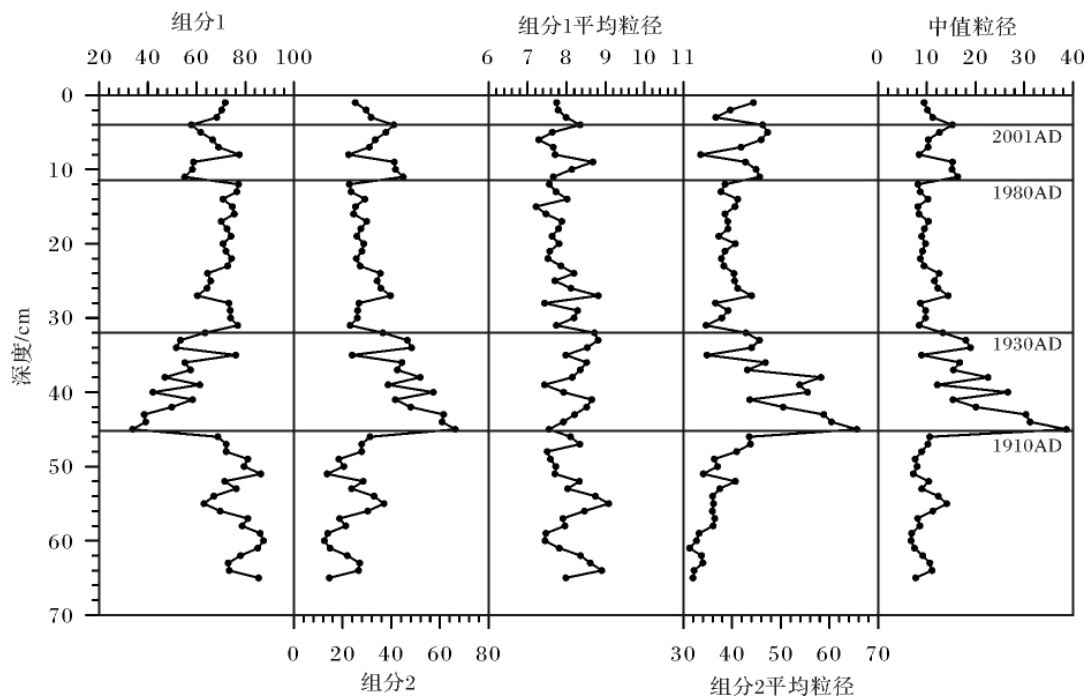


图5 柴窝堡湖沉积剖面粒度敏感组分含量及其平均粒径与剖面中值粒径对比

Fig. 5 The variation of content/mean-size of sensitive grain-size components and the median grain size of the sediment

量进行均值突变检验 检验结果见图 6。Cramer 法法
检验结果表明 在 1910 年(45 cm) 突变的置信度达

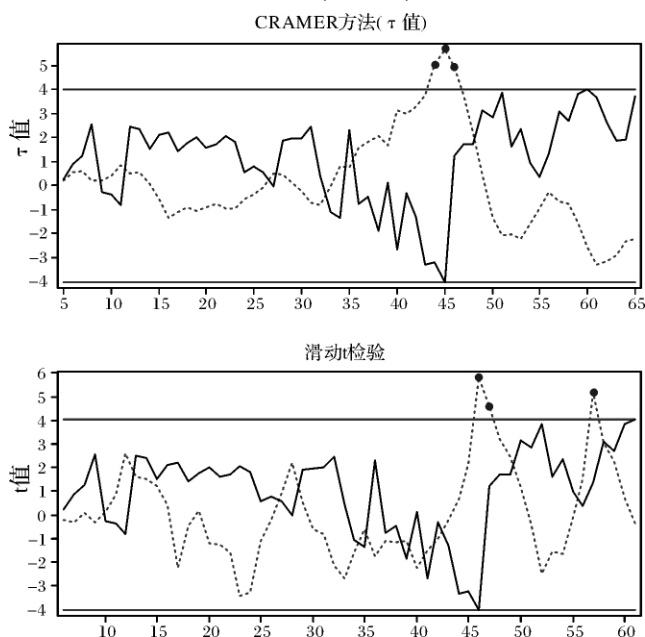


图 6 柴窝堡湖粒度敏感组分均值突变检验

Fig. 6 Analysis of the abrupt changes of the environmentally

到 99%。滑动 T 检验法与 Cramer 法的检验结果相
似 均检验出 1910 年前后出现大于 99% 置信度的方
差突变。因此 ,沉积物粒度在 1910AD(45 cm) 为一
极端环境事件 代表了一次强沙尘暴活动。

1910 年前后北半球气候发生了重要的变化 ,大
气的不稳定程度增加(图 7E)。在区域从天山 PDSI
指数在 1910 年左右气候处于偏干值 ,同时 1910—
1930 年左右处于由干燥到湿润的过渡阶段 ,整体偏
干^[24](图 7B)。而从乌鲁木齐河源河流径流量重建
值来看 ,1910s 乌鲁木齐径流量具有极端低值 ,同时
整个 1907—1954 年处于 360 年以来的偏枯期^[25]。
袁玉江等^[26]利用新疆天山中段乌鲁木齐河山区夏干
萨特树轮年表重建了 326 年降水量变化趋势 ,研究表
明从 1908—1960 年为偏干年份 ,这些都反映了区域
尺度上 ,1910 年前后区域气候是干燥的 ,干燥的气候
为沙尘暴的形成提供了丰富的物质基础。通过对比
北大西洋涛动指数变化曲线 ,在 1910 年左右 NAO 明
显偏正(图 7A)。对亚洲内陆 100 多个站点近百年的
降水资料与北大西洋涛动异常的统计分析表明 ,北大
西洋涛动正异常对应中纬度的亚洲内陆西风影响区

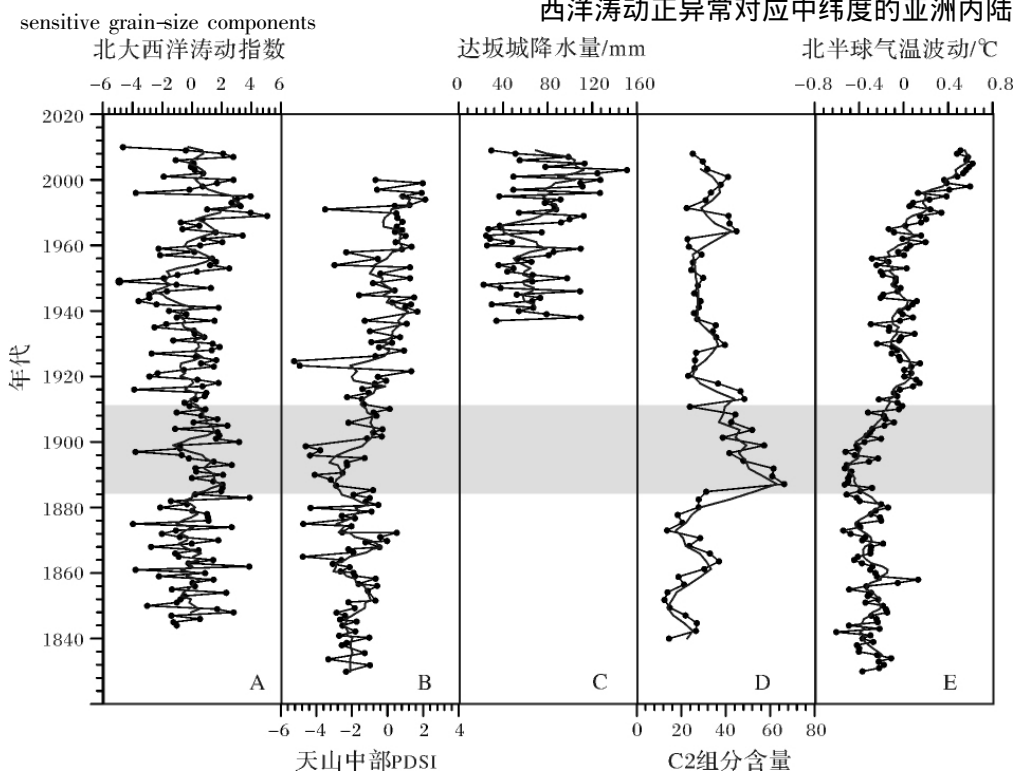


图 7 柴窝堡地区粒度敏感组分反映的沙尘暴强度变化与天山中部 Palmer 干旱指数、北大西洋涛动指数、
北半球温度以及达坂城地区降水曲线对比

Fig. 7 The content of sensitive grain-size component (D) compared with Northern Hemisphere temperature
variation (E) , North Atlantic Oscillation index (A) , the April - June Palmer Drought Severity Index PDSI for the
central Tien Shan (B) and the Annul total precipitation (mm) in Dabancheng weather station

降水的减少^[27,28],反映了区域的干旱与北大西洋涛动之间存在紧密的关系。1910s 开始北半球气候发生了重要变化,大气的不稳定加之气候的干旱,导致柴窝堡湖地区在1910年左右发生了一次极端天气事件,同时在1910—1930年间沙尘暴频发。

4 结论和讨论

根据对柴窝堡湖沉积物环境敏感组分的提取,沉积物中(20~209 μm)组分反映了区域风沙活动强度。柴窝堡地区近百年来最强风沙活动出现在1910—1930年,主要与该时期的极端干旱有关。然而,近30年风沙活动频发除与气候变化有关外,很大程度上与人类活动密切相关。西昆仑山冰芯记录指示的塔克拉玛干沙漠南缘对流层中上部近百年大气尘埃变化趋势表明,在1906、1915、1919年出现了高尘埃浓度^[29];马兰冰芯微粒含量也显示1910—1915该冰芯所在地区沙尘天气的频发时期^[30],以上显示在区域尺度上,1910s具有较大范围的沙尘天气。另外,据史书记载,袁大化宣统三年(1911年)二月去新疆赴任,二月二十四日经平凉、三月二十六日经永昌至四月初三到达盐池堡,沿途一直是扬沙扑面,风霾蔽日^[31]。1912年民国元年新疆哈密,“五月初三日行未抵哈密厅,宿荒店,破炕几案皆无,风急沙舞,日夜不休,翌日风仍不息,十三日烟墩大风竟日,日色浊,气象恶”^[22]。

干旱地区湖泊作为相对稳定的静水水体,接纳地表径流搬运的流域物质以及风力输送来的物质,这两种不同动力机制对湖泊沉积物粒度共同产生影响。通过对柴窝堡湖沉积物粒度分析数据,采用粒径—标准偏差算法提取了该剖面沉积物中对环境变化的敏感粒度组分,结合器测记录与历史文献等资料的对比分析,表明粒径—标准偏差法对提取其环境敏感粒度组分,能够较好的揭示干旱区风沙活动的历史和强度。多种数理统计方法的使用对深入研究粒度这一指标所蕴含的环境信息具有重要的应用价值。

参考文献(References)

- 王根绪,程国栋,徐中民. 中国西北干旱区水资源利用及其生态环境问题[J]. 自然资源学报,1999,14(2): 109-116 [Wang Genxu, Cheng Guodong, Xu Zhongmin. The utilization of water resource and its influence on eco-environment in the northwest arid area of China[J]. Journal of Natural Resources, 1999, 14(2): 109-116]
- 鲜锋,周卫健,余华贵. 全新世气候系统的突变及周期性[J]. 海洋地质与第四纪地质,2006,26(5): 109-115 [Xian Feng, Zhou Weijian, Yu Huagui. The abrupt changes and periodicities of climate during Holocene[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(5): 109-115]
- 陈敬安,万国江,张峰,等. 不同时间尺度下的湖泊沉积物环境记录——以沉积物粒度为例[J]. 中国科学: D辑,2003,33(6): 563-568 [Chen Jingan, Wan Guojiang, Zhang Feng, et al. Environmental records of lacustrine sediments in different time scales: Sediment grain size as an example[J]. Science in China: Series D, 2003, 33(6): 563-568]
- 王苏民,张振克. 中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展[J]. 科学通报,1999,44(6): 579-587 [Wang Sumin, Zhang Zhenke. New progress of lake sediments and environmental changes research in China[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(6): 579-587]
- 孙东怀,安芷生,苏瑞侠,等. 古环境中沉积物粒度组分分离的数学方法及其应用[J]. 自然科学进展,2001,11(3): 269-276 [Sun Donghuai, An Zhisheng, Su Ruixia, et al. Mathematical approach to sedimentary component partitioning of polymodal sediments and its applications[J]. Progress in Natural Science, 2001, 11(3): 269-276]
- Sun D, Bloemendal J, Red D K, et al. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components [J]. Sedimentary Geology, 2002, 152(3-4): 263-277.
- 张晓东,翟世奎,许淑梅. 端元分析模型在长江口邻近海域沉积物粒度数据反演方面的应用[J]. 海洋学报,2006,28(4): 159-166 [Zhang Xiaodong, Zhai Shikui, Xu Shumin. The application of grain-size end-member modeling to the shelf near the estuary of Changjiang River in China [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 28(4): 159-166]
- 孙有斌,高抒,李军. 边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J]. 科学通报,2003,48(1): 83-86 [Sun Youbin, Gao Shu, Li Jun. Preliminary analysis of grain-size populations with environmentally sensitive terrigenous components in marginal sea setting [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(1): 83-86]
- 陈国成,郑洪波,李建如,等. 南海西部陆源沉积物粒度组成的控制动力及其反映的东亚季风演化[J]. 科学通报,2007,52(23): 2768-2776 [Chen Guocheng, Zheng Hongbo, Li Jianru, et al. Dynamic control on grain-size distribution of terrigenous sediments in the western South China Sea: Implication for East Asian monsoon evolution [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(23): 2768-2776]
- 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): 647-654 [Xue Jibin, Zhong Wei. Variations in dust event reflected by grain-size component of lacustrine records in droughty area: a case study on Barkol Lake, Xinjiang, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4): 647-654]
- 李育,王乃昂,李卓仑. 甘肃石羊河流域猪野泽湖泊沉积物粒度敏感组分与花粉组合关系[J]. 湖泊科学,2011,23(2): 295-302 [Li Yu, Wang Naiang, Li Zhuolun. Relationship between grain-size sensitive components and pollen assemblages in the lake sediments of Lake Zhuye, Shiyang River Basin, Gansu Province [J]. Journal of Lake Sciences, 2011, 23(2): 295-302]

- 12 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 557-561 [Wang Sumin, Dou Hongshen. A Directory of Lakes in China [M]. Beijing: Science Press, 1998: 557-561]
- 13 向荣, 杨作升, Yoshiki Saito, 等. 济州岛西南泥质区近 2300a 来环境敏感粒度组分记录的东亚冬季风变化[J]. 中国科学: D 辑地球科学, 2006, 36(7): 654-662 [Xiang Rong, Yang Zuosheng, Yoshiki Saito *et al.* East Asia Winter Monsoon changes inferred from environmentally sensitive grain-size component records during the last 2300 years in mud area southwest off Cheju Island, ECS[J]. Science in China: Series D, 2006, 36(7): 654-662]
- 14 郑洪波, 陈国成, 谢昕, 等. 南海晚第四纪陆源沉积: 粒度组成、动力控制及反映的东亚季风演化[J]. 第四纪研究, 2008, 28(3): 414-424 [Zheng Hongbo, Chen Guocheng, Xie Xin, *et al.* Grain size distribution and dynamic control of late Quaternary terrigenous sediments in the South China Sea and their implication for East Monsoon evolution[J]. Quaternary Sciences, 2008, 28(3): 414-424]
- 15 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493 [Fu Congbin, Wang Qiang. The definition and detection of abrupt climate change[J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992, 16(4): 482-493]
- 16 吴敬禄, 马龙. 新疆干旱区柴窝堡湖沉积记录的 150 年来气候环境特征[J]. 第四纪研究, 2010, 30(6): 1137-1144 [Wu Jinglu, Ma Long. Climatic and environmental characteristics recorded in lacustrine sediment of Chaiwopu Lake in arid area in the past 150 years[J]. Quaternary Sciences, 2010, 30(6): 1137-1144]
- 17 孙千里, 周杰, 肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(1): 93-95 [Sun Qianli, Zhou Jie, Xiao Jule. Grain-size characteristics of Lake Daihai sediments and paleoenvironment significance[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(1): 93-95]
- 18 金章东, 王苏民, 沈吉, 等. 岱海地区近 400 年来的“尘暴”事件——来自岱海沉积物粒度的证据[J]. 湖泊科学, 2000, 12(3): 193-198 [Jin Zhangdong, Wang Sumin, Shen Ji, *et al.* Dust-storm events in Daihai Lake area, Inner Mongolia during the past 400 years: evidence from grain-size analysis of lake sediments[J]. Journal of Lake Sciences, 2000, 12(3): 193-198]
- 19 沈吉, 汪勇, 羊向东, 等. 湖泊沉积记录的区域风沙特征及湖泊演化历史: 以陕西红碱淖湖为例[J]. 科学通报, 2006, 51(1): 87-92 [Shen Ji, Wang Yong, Yang Xiangdong, *et al.* Paleosandstorm characteristics and lake evolution history deduced from investigation on lacustrine sediments: The case of Hongjiannao Lake, Shaanxi Province[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(1): 87-92]
- 20 李红军, 李军, 何清. 新疆沙尘暴的趋势和突变研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 915-919 [Li Hongjun, Li Jun, He Qing. Study on sandstorm trend and abrupt change in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(5): 915-919]
- 21 高存海, 刘嘉麒. 乌鲁木齐河流域的黄土研究[J]. 第四纪研究, 1990, (3): 251-260 [Gao Cunhai, Liu Jiaqi. Study on loess along the Urumqi River valley[J]. Quaternary Sciences, 1990, (3): 251-260]
- 22 杨根生, 拓万全. 关于内蒙陕农牧交错带重点地区沙尘暴灾害及防治对策[J]. 中国沙漠, 2002, 22(5): 452-465 [Yang Gensheng, Tuo Wangquan. Sandstorm disasters and controlling ways in the agricultural and pasturing interlaced zone of Ningxia, Inner Mongolia and Shaanxi[J]. Journal of Desert Research, 2002, 22(5): 452-465]
- 23 范一大, 史培军, 周俊华, 等. 近 50 年来中国沙尘暴变化趋势分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(3): 22-28 [Fan Yida, Shi Peijun, Zhou Junhua, *et al.* Research on change of duststorm in China in recent 50 years[J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(3): 22-28]
- 24 Li J, Gou X, Cook E D, *et al.* Tree-ring based drought reconstruction for the central Tien Shan area in northwest China[J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33(7): L07715.
- 25 李江风, 袁玉江, 由希尧. 乌鲁木齐齐河山区流域 360 径流量的重建[J]. 第四纪研究, 1997, 17(2): 131-138 [Li Jiangfeng, Yuan Yujiang, You Xirao. 360 years' runoff reconstruction in the Urumqi river basin using tree rings[J]. Quaternary Sciences, 1997, 17(2): 131-138]
- 26 袁玉江, 邵雪梅, 李玉江, 等. 夏干萨特树轮年表中降水信息的探讨与 326 年降水重建[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2048-2053 [Yuan Yujiang, Shao Xuemei, Li Yujiang, *et al.* Discussion of precipitation information in Xiagansate tree-ring chronology and 326 year precipitation reconstruction[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(12): 2048-2053]
- 27 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, 26(6): 881-887 [Chen Fahu, Huang Xiaozhong, Yang Meilin, *et al.* Westerly dominated Holocene climate model in arid central Asia: A case study on Bosten Lake, Xinjiang, China[J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(6): 881-887]
- 28 Aizen E M, Aizen V B, Melack J M, *et al.* Precipitation and atmospheric circulation patterns at mid-latitudes of Asia[J]. International Journal of Climatology, 2001, 21(5): 535-556
- 29 李永能, 杨阳, 韩建康, 等. 西昆仑山冰芯记录指示的塔克拉玛干沙漠南缘对流层中上部近百年大气尘埃变化趋势[J]. 冰川冻土, 2006, 28(6): 873-878 [Li Yongneng, Yang Yang, Han Jiankang, *et al.* Persistent decrease of dust burden for about 100 years over middle-upper troposphere of the Southern Taklimakan Desert, China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(6): 873-878]
- 30 王宁练, 姚檀栋, 羊向东, 等. 冰芯和湖泊沉积记录所反映的 20 世纪中国北方沙尘天气频率变化趋势[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(3): 378-385 [Wang Ninglian, Yao Tandong, Yang Xiangdong, *et al.* Variations in dust event frequency over the past century reflected by ice-core and lacustrine records in north China[J]. Science in China: Series D, 2007, 37(3): 378-385]
- 31 王社教. 清代西北地区的沙尘天气[J]. 地理研究, 2008, 27(1): 155-161 [Wang Shejiao. The dust weather of Northwest China during the Qing Dynasty[J]. Geographical Research, 2008, 27(1): 155-161]

Environmental Changes Inferred from Environmentally Sensitive Grain-size Component Records in Chaiwopu Lake , Xinjiang

MA Long¹ WU Jing-lu² JILILI Abuduwaili¹

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology , Xinjiang Institute of Ecology and Geography , Chinese Academy of Sciences , Urumqi 830011;

2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment , Nanjing Institute of Geography and Limnology , Chinese Academy of Sciences , Nanjing 210008)

Abstract: Grain-size analysis of a sediment core CW02 and surface sediments of the drainage area , retrieved from Chaiwopu Lake of Xinjiang , were carried out using a Malvern 2 000 grain-size analyzer. Combining with ¹³⁷Cs dating , a continuous high-resolution record of environmental changes was studied over the past 150 years. Firstly , according to primary components analysis of the contents of different grain-size , the material source of lake sediment was discussed. It showed that the large particle fraction of lake sediment was from the drainage surface sediment. And then , environmentally sensitive grain-size components were extracted by the variations of the grain-size standard deviation. The results indicated that the content/mean-size of sensitive grain-size component (20 ~ 209 μm) is sensitive to the regional sand-dust storm events in Chaiwopu lake basin. During the last 150 years , the strong sand-dust storm occurred during 1910—1930AD and 1980—2000AD. Historical documents also recorded the strong dust storms around 1910s and 1980s. Based on the analysis of the abrupt change points , the sediment grain-size increased abruptly around 1910AD , which indicated an abrupt environmental event.

Key words: Chaiwopu Lake; lake sediment; grain size; sensitive components