

# 额济纳绿洲沙尘暴沉积的物质特征

温小浩<sup>1</sup>,李保生<sup>1,2\*</sup>,李森<sup>3</sup>,欧先交<sup>1</sup> (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 710075; 3.佛山大学旅游与资源环境系,广东 佛山 528000)

**摘要:** 考察了额济纳绿洲内广泛分布的沙丘,并采集了称之“额济纳剖面”的典型沙丘不同粒级的样本 263 个,进行了 25 个化学元素的分析以及 11 个 <sup>14</sup>C 的测定。结果表明,该沙丘是距今 2500 年以来多次沙尘暴堆积的沉积记录,褐黄色风成沙层类似我国内陆沙漠沙,该地沙漠风沙流的产物;黄土状亚沙土与黄河中游的沙黄土、现代沙尘堆积极其相似,且结合历史时期“雨土”资料,说明其是沙尘暴的叠加产物;含红柳枯枝落叶的沙层则是兼有前两者成分的混合堆积。

**关键词:** 额济纳绿洲; 沙尘暴; 粒度; 常量化学元素; 沙丘

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2005)05-0549-05

**Material characteristics of sand storm deposition in Ejina Oasis.** WEN Xiao-hao<sup>1</sup>, LI Bao-sheng<sup>1,2\*</sup>, LI Sen<sup>3</sup>, OU Xian-jiao<sup>1</sup> (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 710075, China; 3. Department of Tourism, Resources and Environment, Foshan University, Foshan 528000, China). *China Environmental Science*, 2005,25(5): 549~553

**Abstract:** The dune distributed widely in Ejina Oasis was investigated; and the typical dune was selected named “Ejina section”. 263 grain sizes and 25 chemical element samples and 11 <sup>14</sup>C were analyzed. The dune reflected the sedimentary records of repeated dust-storms accumulation since from 2500 years ago. The brown-yellow wind generated sand layer was similar to our inland desert sands. Loess-like sandy soils resembled greatly the sand loess in middle Yellow River and modern dusts of dust accumulation. And combined with historic data of “dust rain”, further indicated that it was multiply added products of dust-storms; layers of sands containing deadwood and defoliation of *Tamarix ramosissima* were mixed accumulations of these two formers.

**Key words:** Ejina Oasis; dust storms; grain sizes; main chemical element; dunes

近年来,沙尘暴频繁出现于我国北方广大地区<sup>[1-3]</sup>,引起了学术界的高度重视<sup>[2-7]</sup>。

我国西北干旱、极端干旱荒漠区分布的绿洲正面临着严重的生态恶化。近年实地考察发现,张掖、民勤、酒泉、额济纳等地区绿洲内部沙漠化现象均相当严重,一度曾为河湖相沉积的地表已遍覆规模大小不等的沙地、沙丘。然而,迄今对此详细的研究仍然不多。2001 年以来,作者等多次涉足上述地区进行环境演变考察,采集了大量样品并进行了一些相关分析。本研究以额济纳绿洲沙丘剖面即“额济纳剖面”的沉积序列为例,根据对其粒度、化学分析等结果,探讨该绿洲沙尘暴沉积的物质特征等相关问题。

## 1 研究区概况

额济纳绿洲位于内蒙古黑河终端,北与蒙古接壤,其西、南、东则为戈壁沙漠环境,是沙尘暴的前锋地带。该绿洲现有面积约 3328km<sup>2</sup><sup>[8]</sup>。黑河是该绿洲中唯一的水系补给源,多年以来,该水系在额济纳旗以南近百公里呈现断流形势。据额济纳旗气象资料<sup>[9]</sup>,该地多年年平均气温 7.8~8.5℃,1 月平均气温 -11.3~-10℃,7 月平均气温在 20~

收稿日期: 2004-11-19

基金项目: 国家“973”项目(2004CB720206);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-SW-118)

\* 责任作者, 教授, libsh@scnu.edu.cn

26.0℃,极端最低和最高温度分别为-37.6℃、42.2℃;年平均降水量和蒸发量分别是38.2mm和3700~4000mm;年均风速4.4m/s,多西风或西北风,8级以上大风日数52d,沙尘暴日数年平均达16d.目前,绿洲内典型植被有胡杨、梭梭以及红柳、泡泡刺等.固定、半固定沙丘遍布,呈堆状分布,其规模高1~3m或5~10m不等<sup>[8]</sup>.这些,充分显示出该区主要受温带大陆性气候影响,具有显著的极端干旱荒漠的自然环境.

## 2 样品采集与分析

额济纳剖面位于额济纳旗达来呼布镇正东7km的砖场以南的灌丛沙丘堆积区,地理坐标大致为41°46.36'N 101°09.26'E(图1).对该剖面野外描述的基础上按2cm间距自上而下采集263个粒度和11个<sup>14</sup>C分析测试样品.另外,为了说明不同深度和粒级的化学组分,还选择了全样品(全部粒级)、细沙及其以上颗粒(>0.10mm)、细沙以下颗粒(<0.10mm)、粉沙和黏土(<0.05mm)这4组粒级进行了25个全量化学元素分析.粒度样品采用筛析法和粒度测定仪(日本岛津公司SA-CP3型仪器)进行分析.颗粒的粒级划分:1~0.10mm采用十进制,小于0.1mm粒级用中国黄土的一般分类原则<sup>[10]</sup>,即0.10~0.05mm属极细沙,小于0.05mm颗粒属粉沙和黏土粒级.全量化学分析采用日本理学3070型X荧光光谱仪.

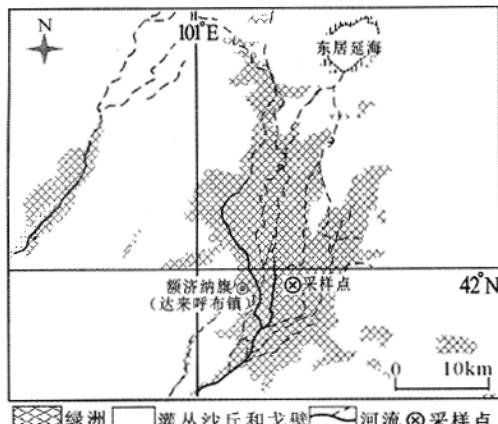


图1 额济纳绿洲和采样点位置

Fig.1 Ejina Oasis and the position of samples  
万方数据

## 3 结果与讨论

### 3.1 额济纳沙丘剖面年代系列的建立

<sup>14</sup>C测年结果显示,额济纳剖面不同深度(单位m)距今年代(aBP)为0.22~0.24,180±40;0.48~0.50,330±40;1.18~1.20,750±40;1.64~1.66,1020±85;2.50~2.52,1460±85;3.10~3.12,1890±90;3.82~3.84,2322±85;4.64~4.66,2365±85;4.78~4.8,2423±85;4.94~4.96,2466±85;5.10~5.12,2510±85.据此可按内插法确定剖面相关层位的年代系列(图2).

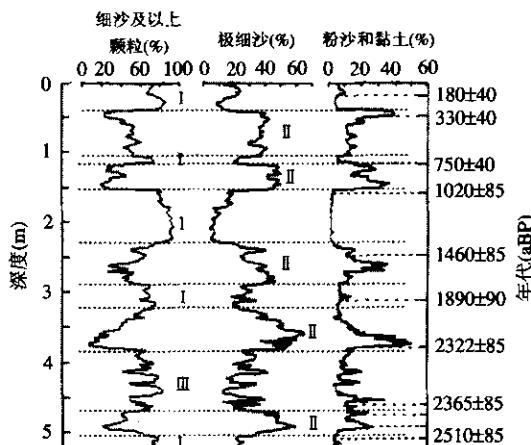


图2 额济纳剖面粒度曲线与<sup>14</sup>C年代系列

Fig.2 Curves of grain-sizes with Ejina section and its <sup>14</sup>C ages

### 3.2 额济纳剖面沙丘物质组成及其特征

3.2.1 剖面沉积物及其特征 该剖面顶部生长灌丛植被,其下为一套厚度逾5m的褐黄色沙、黄土状亚沙土与含红柳枯枝落叶的沙层交互叠覆的风成沙丘堆积.褐黄色沙与该地及周围现代流动沙丘沙相似,主要由细沙组成,其次为极细沙,纯净、松散、分选较均匀,有时可见明显弯状或水平加积纹层.黄土状亚沙土极似现代风成沙尘堆积<sup>[11,12]</sup>,灰黄色,土状粉沙与微薄层理的细沙、极细沙互层,纹层层理清晰,具白色钙质斑点,轻度钙化.含红柳枯枝落叶的沙层是指风成的粉沙质细沙与红柳枯枝落叶层互层的一套堆积,细沙薄层厚度不等,薄1mm,厚5mm,有些枯枝落叶层

厚度达 11cm.

**3.2.2 粒度组成** 为表述方便,将上述黄褐色沙、黄土状亚沙土以及含红柳枯枝落叶的沙层,分别以类型 I、类型 II、类型 III 表示。由表 1,图 2 可见,这一沙丘在剖面不同深度的粒度分布不尽相同。褐黄色沙中细沙及其以上颗粒含量差不多都在 65% 以上;极细沙多数<30%;粉沙和黏土多数<10%;黄土状亚沙土中细沙及其以上颗粒含量主要在 20%~50%;极细沙多数在 30%~60%;粉沙和黏土多数在 10%~40%;含红柳枯枝落叶的沙层,其各个粒级的含量波动分布于 I 与 II 相应粒级变化范围之内,如表 1 所示。

表 1 额济纳剖面的粒度组成(%)

Table 1 Grain-size composition of Ejina section (%)

类型	深度(m)	>0.10mm	0.10~0.05mm	<0.05mm
	0~0.40	66.94~87.04	9.29~24.03	3.28~11.42
I	1.06~1.16	67.41~75.08	19.74~24.67	5.17~7.19
	1.54~2.38	67.28~94.77	4.68~28.15	0.44~5.04
	2.88~3.30	59.22~75.96	18.09~33.45	4.29~12.99
	5.02~5.26	63.65~77.95	20.15~32.54	1.69~6.55
	0.40~1.06	23.48~61.24	28.52~41.62	10.23~40.35
	1.16~1.54	18.99~45.73	37.75~48.83	13.38~37.39
II	2.38~2.88	25.79~66.05	23.77~44.96	8.81~35.63
	3.30~3.84	6.49~64.23	33.41~62.41	2.35~50.47
	4.72~5.02	19.41~59.45	34.45~56.67	6.10~26.54
III	3.84~4.72	41.19~82.72	13.01~40.08	2.21~34.12

**3.2.3 化学成分** 对一些常量元素(总含量>90%)进行分析和讨论。由表 2 可见,同一类型沉积的氧化物含量在不同深度颇为一致。不同类型的沉积因粒级和氧化物不同,其含量差别明显。黄土状亚沙土全样品  $\text{SiO}_2$  含量较褐黄色沙低约 9%,除  $\text{TiO}_2$  外,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  等其余氧化物含量比褐黄色沙同类氧化物含量高约 1%~1.5%。黄土状亚沙土、褐黄色沙和含红柳枯枝落叶的沙层在细沙及其以上颗粒和细沙以下颗粒的  $\text{SiO}_2$  含量相差都不大(除 E189 外);而包括这 2 组粒级在内的诸粒级氧化物,黄土状亚沙土  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ 、 $\text{CaO}$  等含量相对略高。一般来说,相同样品中细沙以下颗粒的  $\text{SiO}_2$  含量明显低于细沙及其以上颗粒,而后的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ 、 $\text{CaO}$  等氧化物含量

则高于前者相应氧化物的含量。在黄土状亚沙土中,细沙以下颗粒特别是粉沙和黏土的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ 、 $\text{CaO}$  等氧化物含量存在更为明显的上述现象,从这种沉积不同粒级氧化物含量分布可知(表 2),细沙以下颗粒尤其是粉沙和黏土颗粒氧化物是影响这类沉积全样品氧化物含量差异的主要贡献因子。

表 2 额济纳剖面氧化物成分(%)

Table 2 Oxide compositions of Ejina section (%)

类型	样号	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}}{\text{FeO}}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$
全 样	E01	75.20	7.85	2.67	3.30	1.76	1.84	1.84	0.34
	E94	73.72	8.07	2.89	3.87	1.93	1.81	1.74	0.37
	E106	71.61	8.27	3.15	4.61	2.16	1.78	1.82	0.40
品 Ⅱ	E24	62.97	9.79	3.46	5.20	3.33	1.98	4.16	0.49
	E74	64.84	9.46	3.60	5.36	3.10	2.04	2.70	0.52
	E153	77.32	7.50	2.40	2.92	1.54	1.81	1.69	0.30
细 沙	E263	77.37	7.48	2.41	2.96	1.42	1.81	1.66	0.30
	E31	73.08	8.46	2.98	3.74	2.06	1.93	1.99	0.37
	E62	71.02	8.53	2.88	3.99	2.30	1.96	2.30	0.38
其 以 上	E132	74.48	8.13	2.59	3.20	1.80	1.94	1.74	0.33
	E189	63.77	10.51	3.80	5.41	3.18	2.20	1.87	0.53
	E248	71.47	8.21	2.69	4.36	1.86	1.90	1.71	0.36
颗 粒 Ⅲ	E202	76.99	7.57	2.41	2.38	1.51	1.86	1.68	0.30
	E224	76.40	7.63	2.54	3.25	1.55	1.79	1.74	0.31
	E153	67.31	9.37	3.60	5.25	2.85	2.00	1.95	0.56
细 沙	E263	67.24	9.21	3.68	5.41	2.68	1.95	1.89	0.58
	E31	64.12	9.64	3.79	5.73	3.20	2.01	2.89	0.56
	E62	61.57	10.08	3.92	6.02	3.50	2.07	3.13	0.56
下 颗 粒	E132	64.85	10.17	3.78	5.45	3.06	2.16	1.86	0.53
	E189	58.84	10.89	4.45	7.09	3.61	2.03	1.89	0.71
	E248	66.11	9.86	3.42	5.12	2.80	2.11	1.83	0.49
Ⅲ	E202	66.87	9.50	3.70	5.25	2.78	2.00	1.96	0.57
	E224	64.39	9.59	4.09	6.05	2.94	1.93	1.95	0.67
	E132	59.59	10.43	4.37	7.20	3.30	1.94	1.90	0.74
粉沙和 黏土Ⅲ	E248	59.41	10.92	4.43	6.85	3.46	2.02	1.84	0.72

### 3.3 讨论

上述褐黄色沙与我国内陆现代沙丘沙无论在粒度还是在氧化物上都十分相近。以额济纳绿洲相邻的巴丹吉林沙漠<sup>[13]</sup>为例,现代沙丘粒度分布以大于 0.05mm 以上颗粒为主(平均 94.6%)、细沙所占比例最大、粉沙含量甚低、黏土微量甚至缺失;现代沙丘氧化物分布也是以  $\text{SiO}_2$  含量为

主,72.26%~77.80%,其余  $\text{Al}_2\text{O}_3$  7.69%~9.19%, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$  2.10%~2.76%, $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$  含量依次为 1.24%~2.97%、1.05%~1.66%、1.72%~2.10%、1.68%~2.06% 和 0.30%~0.41%,这与褐黄色沙相应氧化物全样品的分布范围(表 2)吻合较好,说明此类沉积是沙尘暴类型之一,即沙漠风沙流的产物。

上述黄土状亚沙土与黄河中游马兰黄土<sup>[11]</sup>在粒度组成上具有相似的特点.该地马兰黄土以 0.05~0.02mm 的粗粉沙为主,含量一般在 45%~60%,其次是小于 0.005mm 的黏土,15%~25%,几乎缺失大于 0.25mm 的中粗沙粒组;其中该地较粗类型的马兰黄土是沙黄土,细沙含量 23.6%~72.4%,黏土 7.0%~20.0%,极细沙含量也相当高;在氧化物方面,黄土状亚沙土也可与黄河中游黄土进行对比,以洛川剖面马兰黄土为例,其  $\text{SiO}_2$  含量为 56.54%~59.52%, $\text{Al}_2\text{O}_3$  11.58%~12.37%, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$  4.46%~4.91%, $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$  含量依次为 6.50%~8.77%、1.98%~2.13%、1.88%~2.26%、1.40%~1.67% 和 0.58%~0.64%.黄土状亚沙土的  $\text{SiO}_2$  含量明显高于洛川黄土, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$  则相反,而其它氧化物并没有明显的差别.这种现象很可能与额济纳绿洲现在和过去都是处在沙尘暴前锋的地理位置有关.即在尘暴(黄土)发生过程中,如果干旱的风力作用加强时,就会产生风沙流的输入,导致石英含量增加,这也许就是额济纳剖面中黄土状亚沙土比洛川黄土  $\text{SiO}_2$  含量相对较高, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$  含量相应降低的原因.因此,额济纳绿洲的黄土状亚沙土应该是在尘暴下并受到风沙流影响的一种沉积类型.

含红柳枯枝落叶的沙层,其主要的沉积环境与黄土状亚沙土相似,所不同的是其形成过程中具有多次明显的植被变化.

结合  $^{14}\text{C}$  测年绘制了该沙丘剖面粒度曲线与公元 300 年来我国“雨土”年频数曲线图<sup>[14]</sup>(图 3).由图 3 可见,文献[14]的我国降尘频发期 890~860aBP、790~680aBP 对应于沙丘剖面深度 1.54~1.16m 的黄土状亚沙土,480~390aBP、340~

250aBP、130~60aBP 对应剖面深度 1.06~0.40m 的黄土状亚沙土.故推测额济纳绿洲黄土状亚沙土是过去历史时期多次沙尘暴发生的叠加记录,相应的堆积时期是沙尘暴频发期.在所分析 119 个黄土状亚沙土粒度频率曲线中,存在类似黄土和现代沙尘暴沉积物粒度频率分布呈双峰态<sup>[15,16]</sup>.此外,据兰州“930505”特大尘暴沉积物的化学元素分析<sup>[16]</sup>, $\text{SiO}_2$  含量为 52.88%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  11.36%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$  4.84%、 $\text{CaO}$  8.57%、 $\text{MgO}$  3.71%、 $\text{K}_2\text{O}$  2.33%、 $\text{Na}_2\text{O}$  0.55%、 $\text{TiO}_2$  0.66%,黄土状亚沙土的对应元素含量接近上述值.

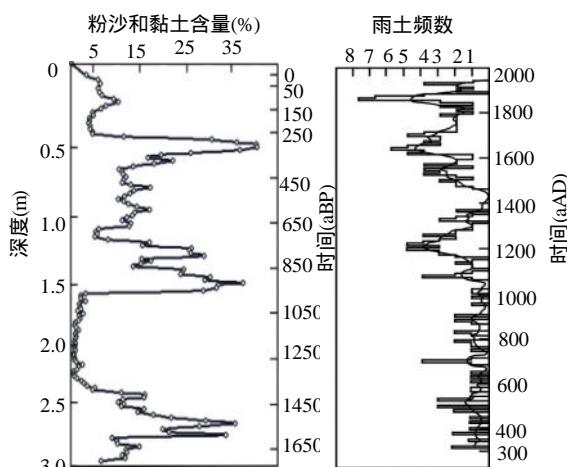


图 3 额济纳剖面粉沙和黏土含量与“雨土”频数

Fig.3 Silt and clay's contents of Ejina section and “rain dusts” frequencies

据塔里木盆地策勒绿洲的观测和实验结果,绿洲是大气沙尘的一个主要沉积区,在同一时间、同一高度和同一风向上的降尘量,绿洲内的降尘量是戈壁地区降尘量的 3 倍<sup>[17]</sup>.额济纳绿洲发育于河流三角洲冲积平原以及古居延泽范围内,戈壁、沙漠环绕,粉沙物质来源广泛且丰富,沙尘暴频繁地侵袭,极端干旱荒漠大陆性气候等组成的极其复杂的绿洲生态系统有利于该类沉积物的堆积与保存.该类沉积物的存在为上述历史时期的“雨土”记录提供了沉积实证,为探讨历史时期以来沙尘暴的演化提供一些新的思路.

## 4 结论

4.1 额济纳绿洲的沙丘剖面的粒度组成以及常量化学元素揭示了额济纳绿洲内沙物质兼有内陆沙漠沙和沙黄土的特征,存在褐黄色沙、黄土状亚沙土与含红柳枯枝落叶的沙层的物质分异。

4.2 额济纳绿洲内沙丘剖面中黄土状亚沙土是过去 2500a 以来多次沙尘暴沉积信息的良好载体,也是绿洲得以存在的重要的土地资源。因此,保护额济纳绿洲的生态系统,不仅应该高度重视水源问题,黄土状亚沙土这类广存于绿洲内宝贵的土地资源也应该给予特别关注并加以保护。这样,才能够使得水、土保持有效结合,防治土壤风蚀,使绿洲环境得以可持续发展。

## 参考文献:

- [1] 周自江,章国材.中国北方的典型强沙尘暴事件 [J]. 科学通报,2003,48(11):1224-1228.
- [2] 孙业乐,庄国顺,袁 蕙,等.2002 年北京特大沙尘暴的理化特性及其组分来源分析 [J]. 科学通报,2004,49(4):340-346.
- [3] 庄国顺,郭敬华,袁 蕙,等.2000 年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响 [J]. 科学通报,2001,46(3):191-197.
- [4] 介冬梅,胡 克,霍新疆,等.东北地区 2002 年春季沙尘暴的物质特征和成因分析 [J]. 环境科学,2004,25(2):27-31.
- [5] 刘国梁,郝丽珍.中国沙尘暴的下降趋势与气候变迁的对比 [J]. 中国环境科学,2003,23(4):341-343.
- [6] 杨前进.沙尘暴沉积物的粒度特征及其环境意义 [J]. 中国沙漠,2004,24(1):47-50.
- [7] 张小曳.亚洲粉尘的源区分布、释放、输送、沉降与黄土堆积 [J]. 第四纪研究,2001,21(1):29-40.
- [8] 黄盛章.绿洲研究 [M]. 北京:科学出版社,2003.20-21.
- [9] 额济纳旗志编纂委员会.额济纳旗志 [M]. 北京:方志出版社,1998.47-120.
- [10] 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.
- [11] 刘东生.黄土与环境 [M]. 北京:科学出版社,1985. 303-336.
- [12] 全 浩.黄沙 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.1-140.
- [13] 高全洲,董光荣,李保生,等.晚更新世以来巴丹吉林南缘地区沙漠演化 [J]. 中国沙漠,1995,15(4):345-352.
- [14] 中国科学院地学部.关于拯救额济纳绿洲的紧急建议 [J]. 地球科学进展,1996,11(1):56.
- [15] 王赞红.现代尘暴降尘与非尘暴降尘的粒度特征 [J]. 地理学报,2003,58(4):606-610.
- [16] 师育新,戴雪荣,李节通,等.兰州“930505”特大尘暴沉积物特征研究 [J]. 沉积学报,1995,13(3):76-82.
- [17] 刘玉璋,董光荣,金 炯,等.塔里木盆地大气降尘初步观测研究 [J]. 中国沙漠,1994,14(3):18-24.

**作者简介:** 温小浩(1979-),男,广东梅州人,华南师范大学地理科学学院在读博士研究生,主要从事环境演变和沉积分析方面的研究。

**致谢:** <sup>14</sup>C 测试由兰州大学资源与环境学院徐齐治完成;元素分析由中国科学院寒区旱区环境与工程研究所孙忠先生完成。此外,姚春霞、罗开利、曾兰华等人在采样、实验中提供了帮助,在此一并表示感谢。

## 联合国环境规划署自愿减少汞排放

2005 年 2 月在肯尼亚内罗毕联合国环境规划署(UNEP)召开管理委员会会议,来自 140 个国家的部长们一致同意采取自愿步骤减少汞排放,而不是像欧盟领导人要求的那样定一个减排的具体目标。减少汞排放协议的框架是美国代表引入的,导则满足了发展中国家许多官员的要求,他们说缺乏资金和技术达到减排的具体目标。

与会各国民官员同意评估 2 年内这种自愿减排的效果。他们要求 UNEP 决定交易和供应的汞的数量,研究汞在全球范围内的迁移,同时进行镉和铅的全球输送评价。欧盟曾建议为取消汞输出定最后日期,但美国和发展中国家一致认为自愿减排会取得成功。

美国国务院发言人 Richard Boucher 说,美国已为 UNEP 的汞项目提供约 150 万美元经费,接近该项目费用的 80%。Boucher 说:“我们宁愿做些实在的事情削减汞排放,而不去花 5 年或 8 年时间谈判一项条约。”美国 EPA 官员 Maria Doa 说,国际汞项目正在帮助发展中国家建立汞排放清单。UNEP 将组织伙伴关系并于 9 月发表第一批名单。美国将向发展中国家派遣汞和多种污染物控制技术的专家。

江 刚 摘自《Environmental Science & Technology》, June 1, 237A(2005)