

# 库姆塔格沙漠的“羽毛状沙丘”形态的观测

刘虎俊<sup>1</sup>, 王继和<sup>1</sup>, 廖空太<sup>1\*</sup>, 郑庆钟<sup>1</sup>, 张锦春<sup>1</sup>, 丁峰<sup>1</sup>, 唐进年<sup>1</sup>, 俄有浩<sup>1</sup>,  
苏志珠<sup>2</sup>, 张国中<sup>1</sup>, 翟新伟<sup>3</sup>

1. 甘肃省荒漠化防治重点实验室, 甘肃省治沙研究所 & 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 甘肃 武威 733000
2. 中国林业科学研究院, 北京 100091
3. 兰州大学, 兰州 730000

Liu Hujun<sup>1</sup>, Wang Jihe<sup>1</sup>, Liao Kongtai<sup>1\*</sup>, Zheng Qingzhong<sup>1</sup>, Zhang Jinchun<sup>1</sup>, Ding Feng<sup>1</sup>,  
Tang Jinnian<sup>1</sup>, E Youhao<sup>1</sup>, Su Zhizhu<sup>2</sup>, Zhang Guozhong<sup>1</sup>, Zhai Xinwei<sup>3</sup>

1. Key Laboratory for Desertification Combating of Gansu Province, Gansu Desert Control Reserach Institute & Minqin National Studies Station for Desert Steppe Ecosystem, Wuwei 733000, China
2. Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China
3. Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Liu Hujun, Wang Jihe, Liao Kongtai, et al. A morphologic observation of the “featherlike dune ridge” in the Kumtag Desert.  
*Earth Science Frontiers*, 2007, 14(3): 190-196

**Abstract:** By consulting satellite photos and relief maps, we conducted an observation on the landform of the Kumtag Desert where “featherlike dune ridges” are distributed. The crescent dune ridge is a dominated physiognomy in the Kumtag Desert while the landform between the dune ridges is undulating. If we figure the crescent dune ridge as the “quill”, and the wavy landform is like the “plume”, then a complex morphology of a “featherlike dune ridge” will be formed in the central-northern area of the Kumtag Desert. The crescent dune ridge is formed in such a fashion that the windward slope of a front dune joins the eastern wing of the following dune, with strike direction of NE-WS, height of 3-19 m, width of some 50 m, and length of 15-22 km. The wavy landform, with wavelength of 100-300 m, and amplitude of 40-100 cm, links the crescent dune ridge at an angle of 60-105°. Between the dune ridges, the fine sands, showing a light color, with the thickness of 2-7 cm, pile up at the transitional area between a wave crest and a trough of the wavy landform, and it manifests itself as a “huge sandy wave”. The morphology of the “featherlike dune ridge” viewed in field is a little different from that on satellite photos.

**Key words:** Kumtag Desert; featherlike dune ridge; morphologic observation

**摘要:** 参照卫星照片和地形图, 实地观测了库姆塔格沙漠“羽毛状沙丘”分布区域的地貌。新月型“沙垄”是该区域的主导性地貌类型, 垄间地形波状起伏。如果将“沙垄”喻为“羽轴”, 垄间的波状起伏地形为“羽枝”, 则可构成卫星照片所显示的“羽毛状沙丘”。新月型“沙垄”的走向为 NE-SW, 由新月形沙丘前一沙丘的迎风坡与后一沙丘的东翼相连而成, 高 3~19 m, 宽约 50 m, 长 15~22 km。“垄”间起伏地形的波长为 100~300 m, 振幅为 40~100 cm, 与“沙垄”成 60~105° 夹角。在波状起伏地形的波峰与波谷过渡区堆积颜色较浅的细沙, 厚 2~7 cm, 构成了“大沙波”。实地观测的“羽毛状沙丘”的形态与卫星照片显示的形态有一定差异。

收稿日期: 2006-10-17; 修回日期: 2007-03-30

基金项目: 甘肃省科学事业费项目 (QS041-C31-03)

作者简介: 刘虎俊 (1965—), 男, 副研究员, 主要从事荒漠化治理研究。E-mail: liuhujun66@163.com

\* 通讯作者: 廖空太, E-mail: kongtai@gsdcri.com

关键词:库姆塔格沙漠;“羽毛状沙丘”;形态  
中图分类号:P931.3 文献标识码:A 文章编号:1005-2321(2007)03-0190-07

“羽毛状沙丘”在中国仅出现在库姆塔格沙漠(图1)<sup>[1-8]</sup>,是一种独特的风成地貌,曾引起了国内外学者的浓厚兴趣。朱震达等<sup>[1-6]</sup>对其分布和形态进行了记述,夏训诚和屈建军在进行形态描述的同时,分别从空气动力学和地质构造学的角度分析了“羽毛状沙丘”的成因<sup>[7-9]</sup>。但因库姆塔格沙漠腹地自然条件严酷,普通的交通工具很难进入<sup>[8-9]</sup>,缺乏较详细的实地观测资料<sup>[10]</sup>,对“羽毛状沙丘”的研究多借助航片、卫片和沙漠外围沙丘观测的推测<sup>[2,4,7-8]</sup>。同一学者对其称谓也不尽相同,朱震达等称“羽毛状沙丘”<sup>[1-9]</sup>,但在论述过程中也称作“羽毛状沙垄”<sup>[2-3,7]</sup>。库姆塔格沙漠位于阿尔金断裂东

缘,夹在罗布泊和疏勒河的尾间之间<sup>[11-12]</sup>,随着罗布泊的枯竭,对其及周围环境的研究越来越受到关注。但库姆塔格沙漠至今仍为我国研究最少的沙漠之一<sup>[4]</sup>,对其风积地貌形态的观测研究,不仅可以揭示沙漠本身的演化过程,而且对于研究罗布泊和古疏勒河水系及其周围环境的变迁也具有参考意义。我们于2004—2006年三次深入库姆塔格沙漠腹地,对其进行了综合考察<sup>[13-15]</sup>。实地观测发现“羽毛状沙丘”的形态与前人的描述<sup>[1-9]</sup>及卫星照片所显示的形态有一定的差异<sup>[15]</sup>。为了检验实地观察结果的正确性,我们分别于2006年4月、6月和9月,再次选择卫星照片(照片3)所显示的“羽毛状沙丘”分布

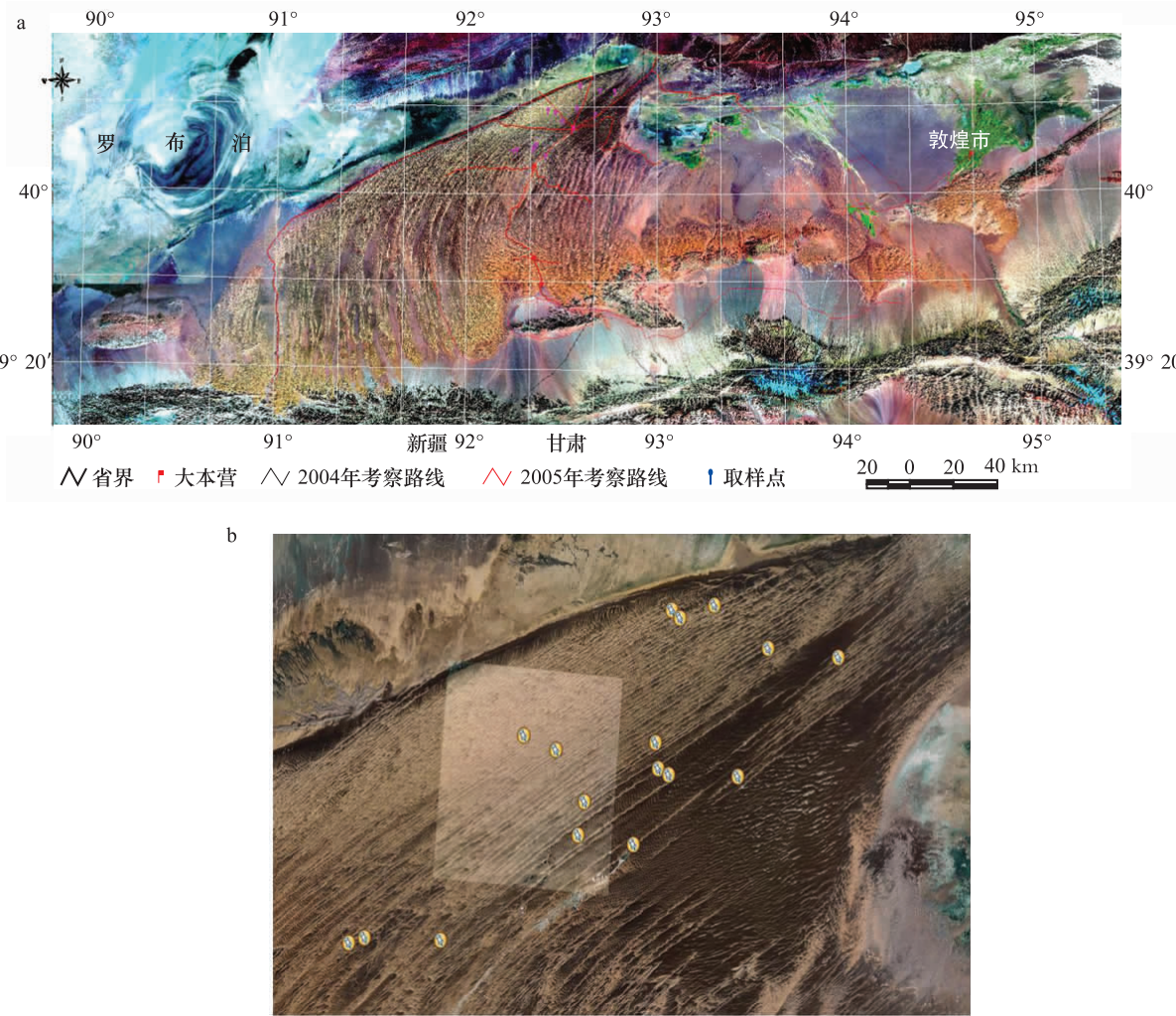


图1 库姆塔格沙漠及“羽毛状沙丘”调查区域示意图  
Fig.1 The Kumtag Desert and sketch map of observation route and sampling location  
a. 库姆塔格沙漠及考察路线图;b. 羽毛状沙丘取样位置图

区,采用水准仪和全站仪进行局部水准和地形测量,较详细地观测了“羽毛状沙丘”的形态组成,结果发现直观<sup>[15]</sup>所见的“羽毛状沙丘”的组成部分与专业精密仪器的测量结果也有一定的差别。本文结合前人研究结果,参照卫星照片和实地观测结果,较详细的描述卫星照片所显示的库姆塔格沙漠“羽毛状沙丘”分布区的地貌形态,对卫星照片显示的“羽毛状沙丘”形态和实地观测结果进行比较,以揭示“羽毛状沙丘”的形态特征。

1 方法

根据库姆塔格沙漠地形图<sup>[5]</sup>和卫星影像解译图(图 1-2),确定典型“羽毛状沙丘”分布区。因“羽毛状沙丘”范围达 3 243 km<sup>2</sup><sup>[4]</sup>,所以在调查区(N40°10'17"~40°25'30",E92°16'52"~92°38'06")内采用样线和样点相结合进行观测取样,共调查样线 7 条,测定样点 17 个(图 1),局部地形测量点 4 个(2006 年 6 月和 9 月)。首先在卫星影像解译图上找出样区内的“羽毛状沙丘”的“羽轴”和“羽枝”的经纬度,然后应用 GPS 确定其在实地的经纬度位置,将卫星影像解译图所显示的“羽毛状沙丘”的“羽轴”和“羽枝”地貌形态与实地进行对照。“沙丘”构件的特征值测定和采样部位的确定,参考吴正等对风沙地貌研究方法<sup>[1,16-20]</sup>。较大距离的量测借助红外线测距仪和全站仪,较小距离采用 50 m 钢卷尺确定。用罗盘仪和倾斜仪测定沙丘的走向、坡度;沙丘高度用全站仪或 GPS 确定。局部地形测量采用全站仪,沿确定方向以 50 m 等距离测定垄间地的高差。在沙丘特定部位取 0~30 cm 层的沙样,测定沙丘沙的粒度,粒度分析用筛风法<sup>[1]</sup>。

2 “羽毛状沙丘”的形态

鸟类的羽毛由羽轴和羽枝组成,羽轴为中心,羽枝均匀地分列在两侧。实地观察库姆塔格沙漠的“羽毛状沙丘”的“羽轴”为新月形沙丘相连而成的“沙垄”(照片 1)，“垄”间的波状起伏地<sup>[15]</sup>,为“羽毛状沙丘”的“羽枝”，二者组合成的平面图类似羽毛(图 2,照片 3)。

2.1 “羽轴”——“沙垄”的形态

朱震达等将“羽毛状沙丘”的“羽轴”称为“沙垄”<sup>[1-6]</sup>。实地观测“羽毛状沙丘”分布区域的绝大部

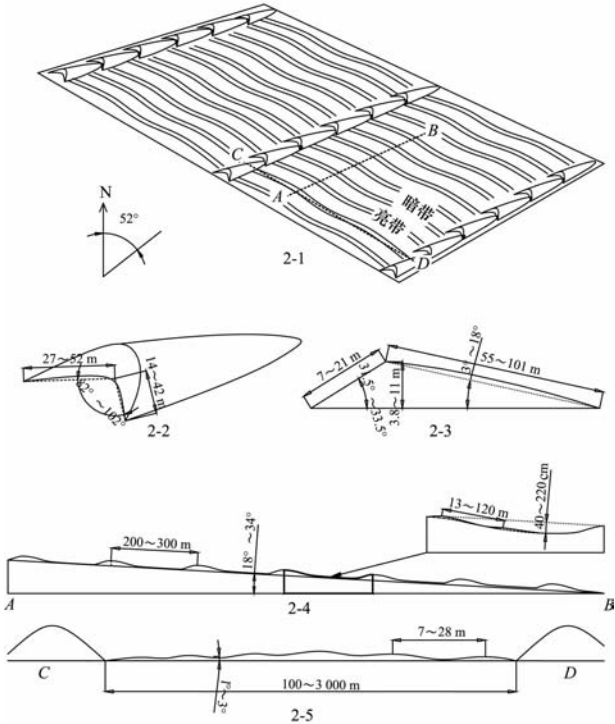


图 2 “羽毛状沙丘”形态示意图

Fig. 2 The body and section sketch of “Featherlike longitudinal ridge”

2-1—“羽毛状沙丘”形态示意图;2-2—新月形沙丘形态示意图;2-3—新月形沙丘 NE-SW 方向剖面图;2-4—垄间地形及“大沙波”NE-SW 方向剖面图;2-5—垄间地形 SE-NW 方向剖面图

分沙垄由新月形沙丘组成,前一沙丘的迎风坡与后一沙丘的东翼相连(照片 1),新月形沙丘前后串连在一起,呈 NE-WS 走向的“沙垄”。在调查区,“沙垄”间距为 100~3 000 m,长为 3~22 km,60%的“沙垄”长约 15 km。构成“沙垄”的每一个新月形沙丘<sup>[1]</sup>的迎风坡、落沙坡和两翼齐全,单个沙丘与其构成的“沙垄”呈约 9°夹角。沙丘最高约 19 m,最低约 3 m,在调查区 60%的沙丘高度为 10 m 左右。沙丘横剖面不对称(图 2,2-2),东翼较短,但也有少数沙丘的西翼较短;两翼间距的极差为 36 m,夹角极差为 38°。沙丘东侧较西侧陡,东侧腰部的平均坡度为 24.8°,西侧的平均坡度为 23.3°。沙丘的迎风坡坡度最大为 18°,70%的沙丘迎风坡坡度小于 15°,迎风坡长度约为背风坡的 3~5 倍;背风坡坡度最小为 31.5°(图 2,2-3)。虽然组成不同“沙垄”的沙丘的丘间距、坡长和两翼长的测量值不同,离散度<sup>[16]</sup>最大为 21.9,但只有翼长的测量值的差异性较显著,不同“沙垄”间的沙丘形态差异不明显(表 1)。

2.2 “羽枝”的形态

“羽毛状沙丘”的“沙垄”(“羽轴”)间的地形呈波

表 1 新月形沙丘的形态参数测定结果

Table 1 The values of morphologic parameters of crescent dune

位置 40°N 92°E	走向 /(°)	丘间距 /m	沙丘高 /m	背风坡		迎风坡		翼				备注
				坡长 /m	坡度 /(°)	坡长 /m	坡度 /(°)	间距 /m	夹角 /(°)	翼长/m		
										E	W	
10'17"~12'08"N 16'52"~20'59"E	238.7a	75.7a	8.4a	19.0a	32.7a	78.3a	12.2a	48.7a	106.0a	21.7a	41.0a	同一“沙垄” 的沙丘
17'15"~18'46"N 24'44"~27'50"E	231.0a	41.0a	7.5a	14.0a	32.2a	68.7a	5.3a	53.3a	87.7a	38.0b	41.3a	同一“沙垄” 的沙丘
离散度	6.9	21.9	2.7	4.5	0.7	17.2	5.8	12.0	14.5	9.2	9.7	

注:表中字母为 LSR 检验( $\alpha=0.05$ )的显著性,字母相同差异性不显著。

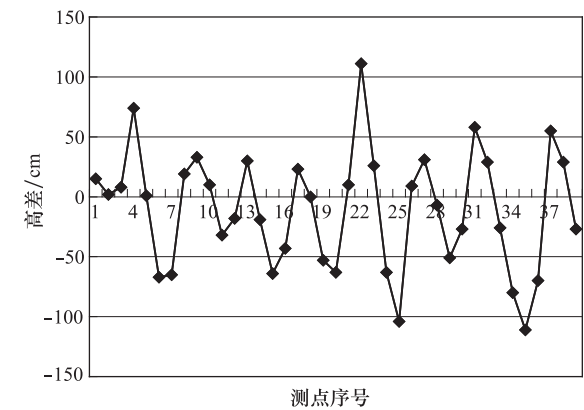


图 3 垄间地东北-西南向高差测定结果  
Fig. 3 The difference of height from northeast to southwest at basin between ridges

状起伏(图 3,自东北向西南)。起伏地形靠近沙垄部分较中心略低,它的波长最大约为 300 m,其中 62%的波长为 200 m;最大振幅(高差)为 2.2 m,85%的测点高差约为 1 m。垄间起伏地形的相对高处(波峰)的颜色较深(暗),而在波峰和波谷的过渡区分布波状的、SE-NW 伸展的“大沙波”<sup>[15]</sup>。它的横剖面有些类似于沙垄的剖面,有些类似于新月形沙丘链的横剖面(图 2,2-1,照片 2,3)。“大沙波”的微起伏部分颜色较浅(照片 3),在距“沙垄”12~50 m 的地方开始出现,与“沙垄”成 60~105°夹角(表 2)。浅色部分为细沙堆积而成,厚度约为 2.0~7.0 cm(图2,2-4),同时与浅色带相伴分布深色带(照片

2,3)。不同沙垄间的“大沙波”的南北宽度不同,约在 13~120 m,其宽度的极差多在 3 m,同一沙垄间的波状浅色带和深色带的形态差异较小。经过两年的定位观测,这种沙波形态和位置随着季节的变化而有所不同,但始终存在。

3 讨论

在我们所调查区域的“羽毛状沙丘”的“羽轴”由新月形沙丘组成。它与纵向新月型沙垄<sup>[1]</sup>不同,构成“沙垄”的 98%以上新月形沙丘的两翼、落沙坡和迎风坡齐全,前一沙丘的迎风坡与后一沙丘的东翼相交,一个个沙丘串连而成“沙垄”。只是在“垄”身的有些部位和头部出现类似纵向新月型沙垄<sup>[1]</sup>的形态,而不是只在“羽毛状沙垄”的迎风坡部位常见新月型沙堆<sup>[3]</sup>,也不是由新月形沙丘的一翼向前延伸形成<sup>[1]</sup>。“沙垄”的长度和高度小于朱震达等<sup>[2,4,8]</sup>所记录的值,垄间距的变幅较屈建军等<sup>[4,7-8]</sup>的记录值大。组成“沙垄”的沙丘的背风坡度小于屈建军<sup>[7]</sup>的观测值。在 2005 年 9 月的调查中,这种“沙垄”形态比较典型,而在 2006 年 4 月的观测,新月形沙丘的沙脊平缓,翼间距增大,只能分辨出每一个沙丘的轮廓,在 9 月观测,则又可分辨出明显的新月形沙丘形态。这种特殊的风沙地貌是纵向新月型沙垄或新月形沙丘链的特殊类型,还是另一类风积地貌类型?

表 2 “大沙波”的形态参数测定结果

Table 2 The values of morphological parameters of “huge sandy wave”

位置 40°N 92°E	与“沙垄”夹角/(°)		对称指数	波长/m	浅色带		深色带		主要形态
	E	W			宽极差/m	沙纹波长/cm	宽极差/m	沙纹波长/cm	
17°15′~25°30′N 24°44′~38°06′E	85.00	105.00	0.34	26.15	3.00	20.40	7.60	50.55	新月型链、波形
离散度	39.06	4.22	0.003	5.27	1.54	33.03	1.57	272.53	
10°17′~12°08′N 16°52′~20°59′E	82.50	102.50	0.60	33.72	3.00	0.00	2.00	73.33	波形
离散度	16.67	1.73	0.02	117.34	1.82		12.06	33.33	

注:对称指数(RSI)=浅色带宽/深色带宽。

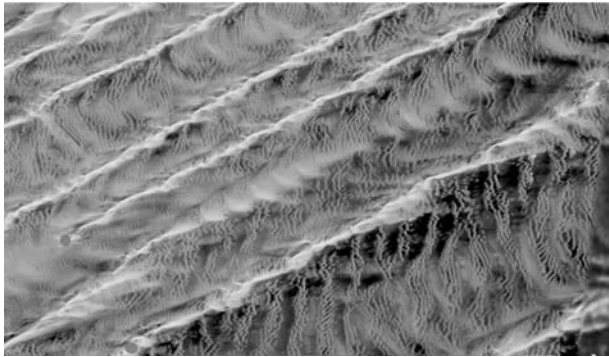




照片1 “羽毛状沙丘”的“羽轴”——“沙垄”,王继和摄  
Photo 1 The “quill” of “featherlike longitudinal ridge”—crescentic dune ridge, photo by Wang Ji-he



照片2 “大沙波”,王继和摄  
Photo 2 The “huge sand wave”, photo by Wang Ji-he



照片3 “羽毛状沙丘”的卫星影像,Google Earth(2006)  
Photo 3 The satellite photo of “featherlike longitudinal ridge”, Google Earth(2006)

等<sup>[1-9]</sup>在描述“羽毛状沙丘”的形态时将其“羽轴”称为“沙垄”。经过实地观测,笔者认为库姆塔格沙漠的“羽毛状沙丘”分布区的“沙垄”应该称作纵向排列的“新月形沙丘链”。但在未研究清楚“羽毛状沙丘”形成机理之前,为了不造成混乱,仍沿用前人的称谓。

在我们进行地形测量的区域内,组成“羽毛状沙丘”的“沙垄”间为波状起伏地形。其最大高差接近于王涛<sup>[3]</sup>所记载的组成“羽毛状沙丘”的沙埂的高200 cm。由于垄间起伏地形的高差不大,坡度小于5°,但其跨度较大(200 m左右)。所以当在沙垄上观察垄间地形时,很难觉察到其高差,而只是看到浅(明)色和深(暗)色相间的“大沙波”<sup>[15]</sup>,这种明暗相间的“沙波”颜色正好与卫片显示的“羽毛状沙丘”垄间地颜色“相符”(照片3),从而也就将其确定为“羽枝”<sup>[15]</sup>。另外卫星影像显示的“大沙波”也如同沙丘(照片3),但实地却是找不到沙丘的。经过全站仪的地形测量和GPS对照,卫片显示的“垄”间的明暗相间的“羽枝”为波状起伏地形,“大沙波”分布在起

吴正记述在我国的塔克拉玛干沙漠分布新月形沙丘纵向排列而成的风积地貌<sup>[1]</sup>,并称其为纵向排列的“新月形沙丘链”;Nicholas 称在 Sahara 沙漠也有相似的沙丘形态出现<sup>[21]</sup>,但两位都未详细描述其形态,其形成机理不得而知。在风积地貌类型分类<sup>[1]</sup>中,有些研究者将沙垄和沙丘链互用<sup>[22]</sup>。屈建军也将“羽毛状沙丘”称作“羽毛状沙垅”<sup>[4]</sup>。朱震达

伏地形上,是波状起伏地形的直观表象。作为一种微地貌形态,“大沙波”会不会是瞬时性地表形态?“大沙波”的波长远大于沙纹,与沙脊<sup>[1]</sup>相近。据研究<sup>[1]</sup>沙脊的大小与其年龄的平方根成正比,不是瞬时性地表形态。那么“大沙波”的形成也应该需要一定的时间,而且也可能不会在短时间内消失。经过2005年和2006年的定位观测,同一个“大沙波”在不同时间的位置和形态略有变化,但始终存在。

如果从风沙地貌<sup>[1,23]</sup>的沙丘概念分析,在我们所调查的库姆塔格沙漠中北部,“沙垄”是唯一的风积地貌。但是如果从地貌形态的角度分析,在卫片显示的库姆塔格沙漠“羽毛状沙丘”分布区,“沙垄”和垄间波状起伏地形有规律的大面积组合分布,形成平面图形似“羽毛”的地貌景观(照片3),具有重复性,成为一种综合型风沙地貌类型。

## 4 结论

(1)实地观测库姆塔格沙漠中北部的卫星照片所显示的“羽毛状沙丘”,“新月型沙垄”是“羽轴”,垄间起伏地形为“羽枝”,组合成平面图形类似“羽毛”的形态,“羽毛状沙丘”是一种综合型地貌类型。在库姆塔格沙漠中北部,NE-SW走向的“沙垄”是该区域的主导地貌类型。

(2)“羽毛状沙丘”的“羽轴”由新月形沙丘前后相连组成,是一种独特的“新月型沙垄”,沙垄高3~19 m,长15~22 km。

(3)组成“羽毛状沙丘”的“沙垄”间的地形波状起伏,其波长100~300 m,振幅40~100 m,是“羽毛状沙丘”的“羽枝”。在波状起伏地形上分布“大沙波”。它是波状起伏地形的直观表象。

参加野外考察的人员还有新华社记者王志恒,向导马木利、刘学仁,司机武志元、叶荣和马光亚。中国科学院寒区旱区工程研究所的张伟民研究员和北京师范大学的严平教授参加了2006年9月的考察。张小琴高级工程师协助分析了沙样的机械组成。常兆丰高级工程师协助绘制和分析沙丘剖面图。敦煌市七里镇政府李春林镇长和西湖国家自然保护局的吴三雄局长对科考给予大力支持,特此感谢。

## References:

[1] Wu Z. Geomorphology of wind-drift sands and their controlled engineering [M]. Beijing: Science Press, 2003:91-361

(in Chinese).

- [2] Zhu Zh D, Wu Zh, Liu S, et al. Chinese desert[M]. Beijing: Science Press, 1980:79-81(in Chinese).
- [3] Wang T. Desert and desertification in China [M]. Shiji-azhuang: Hebei Science and Technology Publishing House, 2003:689-698(in Chinese).
- [4] Qu J J. Kumtag Desert map (synopsis)[M]. Beijing: The Publishing House of Map of China, 2004(in Chinese).
- [5] Qu J J. Kumtag Desert map(1:500 000) [M]. Beijing: Publishing House of Map of China, 2004(in Chinese).
- [6] Ma Sh W, Ma Y M, Yao H L, et al. Eremology[M]. Huhehaote: Inner Mongolia Public Publishing House, 1998:326-328(in Chinese).
- [7] Qu J J, Zhen B X, Yu Q H, et al. The Yadan landform of Aqik Valley in the east of Lop Nor and its relationship with the evolution of the Kumtag Desert [J]. Journal of Desert Research, 2003,3(5):295-300(in Chinese).
- [8] Xia X Ch. The elementary characteristic of Kumtag[M]//The Xinjiang Team of Chinese Academy of Sciences, The Comprehensive Investigation Team of Lop Nor. The sciences investigation and study on Lop Nor. Beijing: Science Press, 1987:78-88(in Chinese).
- [9] Qu J J, Zuo G Ch, Zhang K Ch, et al. Relationship between the formation and evolution of the Kumtag desert and the regional neotectonic movement [J]. Arid Land Geography, 1995,28(4):424-428(in Chinese).
- [10] Li J F, Xia X Ch. The zone climate of Lop Nor[M]//The Xinjiang Team of Chinese Academy of Sciences, The Comprehensive Investigation Team of Lop Nor. The sciences investigation and study on Lop Nor. Beijing: Science Press, 1987:118-131(in Chinese).
- [11] Wang Y, Zhao Zh H. Quaternary palaeogeography of Aqike depression east Lop Nur, Xinjiang[J]. Journal of Palaeogeograph, 2001,3(2):23-28(in Chinese).
- [12] Guo Zh J, Zhang Zh Ch. The geological interpretation of the forming and evolution of Lop Nur, NW China[J]. Geological Journal of Universities, 1995,1(2):82-87(in Chinese).
- [13] Liu H J, Zhao M, Wang J H, et al. Geomorphology characteristics of wind-shift sands in south of Kumtag desert[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2005,19(7):130-134(in Chinese).
- [14] Wang J H, Liao K T, E Y H, et al. A primary conclusion of overall explored scientifically Kumtag desert[J]. Gansu Science and Technology, 2005,21(10):6-8(in Chinese).
- [15] Liu H J, Wang J H, Liao K T, et al. Morphologic parameters of “featherlike longitudinal ridge”of Kumtag desert[J]. Arid Land Geography, 2006,29(3):314-319(in Chinese).
- [16] Zhu Zh D, Chen Zh P, Wu Zh, et al. Study on the geomorphology of wind-drift sands in the Taklamakan desert[M]. Beijing: Science Press, 1981:27-71(in Chinese).
- [17] Hasi. Characteristics and controlling factors of dune mor-

- phometry in the southeastern fringe of Tengger desert[J]. Journal of Desert Research, 1995, 2(15): 136-141 (in Chinese).
- [18] Wang X M, Dong Zh B, Qu J J, et al. Studies on the morphodynamic processes of simple linear dunes in Taklimakan desert[J]. Journal of Desert Research, 2003, 23(15): 136-141 (in Chinese).
- [19] Yang P, Jiang Z R. Method for measuring dune morphological parameters and its application—an example from Badain Jaran desert[J]. Journal of Desert Research, 1998, 18(4): 354-358 (in Chinese).
- [20] Ling Y Q, Wu Zh, Liu S Zh, et al. Simulated study on Barchan dune forms [J]. Scientia Geographica Sinica, 1998, 18(1): 88-93 (in Chinese).
- [21] Nicholas L, Gary K, Ashok S, et al. Late Pleistocene and Holocene dune activity and wind regime in the western Sahara desert of Mouritai[J]. Geology, 2002, 30(11): 991-994.
- [22] Edwin D M, Zhao X L. A study of global sand seas[M]. Yinchuan: Ningxia Public Publishing House, 1993: 244-273 (in Chinese).
- [23] Beijing University, Nanjing University, Shanghai Normal University, et al. Geomorphology [M]. Beijing: Higher Education Publishing House, 1978: 4-251 (in Chinese).
- 人民出版社, 1998: 326-328.
- [7] 屈建军, 郑本兴, 俞祁浩, 等. 罗布泊东阿奇克谷地雅丹地貌与库姆塔格沙漠形成的关系[J]. 中国沙漠, 2003, 3(5): 295-300.
- [8] 夏训诚. 库姆塔格沙漠的基本特征[M]//中国科学院新疆分队, 罗布泊综合科学考察队. 罗布泊科学考察与研究. 北京: 科学出版社, 1987: 78-88.
- [9] 屈建军, 左国朝, 张克存, 等. 库姆塔格沙漠形成演化与区域新构造运动关系研究[J]. 干旱区地理, 1995, 28(4): 424-428.
- [10] 李江凤, 夏训诚. 罗布泊地区气候[M]//中国科学院新疆分队, 罗布泊综合科学考察队. 罗布泊科学考察与研究. 北京: 科学出版社, 1987: 118-131.
- [11] 王永, 赵振宏. 罗布泊东部阿奇克谷地第四纪古地理[J]. 古地理学报, 2001, 3(2): 23-28.
- [12] 郭召杰, 张志诚. 罗布泊形成演化的地质新说[J]. 高校地质学报, 1995, 1(2): 82-87.
- [13] 刘虎俊, 赵明, 王继和, 等. 库姆塔格沙漠南部的风积地貌特征[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(7): 130-134.
- [14] 王继和, 廖空太, 俄有浩, 等. 库姆塔格沙漠综合科学考察的初步结果[J]. 甘肃科技, 2005, 21(10): 6-8.
- [15] 刘虎俊, 王继和, 廖空太, 等. 库姆塔格沙漠“羽毛状沙丘”形态的示量特征[J]. 干旱区地理, 2006, 29(3): 314-319.
- [16] 朱震达, 陈治平, 吴正, 等. 塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 27-71.
- [17] 哈斯. 腾格里沙漠东南缘沙丘形态参数特征及其影响因素[J]. 中国沙漠, 1995, 2(15): 136-141.
- [18] 王训明, 董治宝, 屈建军, 等. 塔克拉玛干沙漠简单线形沙丘形态动力学过程研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(15): 136-141.
- [19] 杨萍, 蒋紫蕊. 沙丘形态参数指征的测定方法及其应用——以巴丹吉林沙漠为例[J]. 中国沙漠, 1998, 18(4): 354-358.
- [20] 凌裕泉, 吴正, 刘绍中, 等. 新月形沙丘形态的模拟实验研究[J]. 地理科学, 1998, 18(1): 88-93.
- [22] Edwin D M, 赵兴梁. 世界沙海的研究[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1993: 244-273.
- [23] 北京大学, 南京大学, 上海师范大学, 等. 地貌学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1978: 4-251.

## 参考文献:

- [1] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 91-361.
- [2] 朱震达, 吴正, 刘恕, 等. 中国沙漠概论[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 79-81.
- [3] 王涛. 中国沙漠与沙漠化[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2003: 689-698.
- [4] 屈建军. 库姆塔格沙漠图(说明书)[M]. 北京: 中国地图出版社, 2004.
- [5] 屈建军. 库姆塔格沙漠图(1: 500 000)[M]. 北京: 中国地图出版社, 2004.
- [6] 马世威, 马玉明, 姚洪林, 等. 沙漠学[M]. 呼和浩特: 内蒙古