

塔克拉玛干沙漠复合纵向沙垄区大尺度地貌格局初步研究

岳健^{①②}, 雷加强^①, 穆桂金^①

① 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

② 中国科学院研究生院, 北京 100049.

E-mail: yuejiansds@163.com

2007-09-20 收稿, 2008-06-02 接受

中国科学院知识创新工程重要方向性项目(编号: KZCX3-SW-342)资助

摘要 通过对 Google Earth 上卫星影像的分析, 阐述了塔克拉玛干沙漠复合纵向沙垄区的大尺度地貌格局特征. 归纳出了并行格局、日字型和乡字型格局、梳状格局、叉状格局、趾状格局和混杂格局等 6 种地貌格局类型, 并主要依据大地貌格局类型(或其组合)的不同以及其他一些因素将复合纵向沙垄区划分出了 55 个子区. 最后, 针对塔克拉玛干复合纵向沙垄区大尺度地貌格局的成因问题, 根据对影像的分析, 提出了沙垄区沙垄(或沙丘)连接的自然延伸后连接或交汇、狭处相接以及借助中介物连接这 3 种方式.

关键词

塔克拉玛干沙漠
复合纵向沙垄
地貌格局
分区
Google Earth

塔里木沙漠公路穿过的塔克拉玛干沙漠腹地, 地貌以高大复合纵向沙垄与垄间地相间分布为主要特征^[1].

复合纵向沙垄区的地形尺度通常可分为三级: 第一级为大尺度, 如复合纵向沙垄; 第二级为中尺度, 如新月形沙丘(链); 第三级为小尺度, 如沙波纹^[1]. 迄今为止, 关于塔克拉玛干沙漠复合纵向沙垄区风沙地貌及公路沙害的研究主要集中于中小尺度^[2~19]. 但实际上复合纵向沙垄区大尺度地貌格局的分布差异比中小尺度上的要更显著得多, 而且不难理解, 该区域大地貌格局会对风沙地貌演化、公路沙害的发生发展以及分布规律等有着总体控制和决定性的作用. 这是因为: 区域风信系统作用于高大复合沙垄后可使近地面气流状况(流场)发生明显变化, 产生次级环流系统, 并对分布于垄间低地中的纵向沙垄的动力过程产生影响^[7]; 同样, 不同的大地貌格局也会对近地面流场产生与此类似的不同影响. 那么它们究竟会对近地面流场产生什么影响? 这些大地貌格局类型又是怎样形成的并将如何发展? 显然, 搞清这些问题, 将不仅有助于我们从总体上更好地把握复合

纵向沙垄区风沙地貌和公路沙害的形成、分布及演化规律, 而且也可作为塔克拉玛干沙漠其他区域的大尺度地貌格局研究提供借鉴, 为促进风沙地貌学科发展做出贡献.

与该区域大地貌格局相关的问题很多, 而大地貌格局类型则是最基础、最先需要搞清楚的问题. 关于该区域大地貌格局, 有文献曾主要针对复合纵向沙垄本身及其次一级沙丘的形态、垄间地伴生沙丘(或沙垄)的形态等粗略划分了两种沙垄类型^[20], 但尚未见有针对沙垄区大地貌格局进行分类的文献. 本文拟主要通过对卫星影像的分析, 考察塔克拉玛干沙漠复合纵向沙垄区大尺度地貌格局特征, 并尝试对其进行分类和分区划分.

本文所谓的大地貌格局, 是指复合纵向沙垄区内各条复合纵向沙垄(或沙垄链)、垄间横隔(沙垄或沙梁)、垄间平地、垄间地线形沙丘(群)等大、中尺度地貌的空间分布及其相互之间的平面组合与布局形式.

1 研究方法

鉴于 Google Earth 上的影像分辨率较高(一般均

在 30 m 以内, 局部甚至可达 1 m 以内), 进行图像缩放、注记添加等与本文相关的分析操作甚为方便, 且其上尚有高程数据可供参考, 故本文拟用其开展工作。

Google Earth 是由 Google 公司推出的在线电子地图搜索服务, 是一款虚拟地球仪软件。它把卫星照片、航空照相和 GIS 布置在一个地球的三维模型上, 从而可为用户提供景观浏览、地理信息搜索查询及驾驶导航等多种服务 (<http://earth.google.com>)。Google Earth 提供的非常详细的卫星图片、3D 画面等多种信息, 也可为科研人员开展相关工作提供不少帮助。

本文拟对 Google Earth 上塔里木沙漠公路沿线及其附近区域卫星影像反映出的地貌特征主要从形态角度进行分析和归纳, 总结出其大地貌格局类型, 并根据大地貌格局空间分布差异进行大地貌格局分区划分。大地貌格局分区及各區主要大地貌格局类型图的编制系先在 Google Earth 上草绘界线并将其存为图像文件, 然后在 GIS 软件下对该图像文件进行配准和矢量化编辑后完成。等高线形势概图则系根据 Google Earth 上的高程信息绘制。

2 复合纵向沙垄区的大地貌格局类型

卫星影像显示, 随着不同区域地表、风场状况以及复合沙垄发展演化阶段的不同, 塔克拉玛干复合纵向沙垄区的大尺度地貌形成了多种平面展布格局。初步的分析认为, 根据本文前述关于大地貌格局的含义, 若从将复合纵向沙垄区各大、中尺度地貌在空间分布与组合上所表现出来的一些比较典型的平面形状进行理想化抽象的角度, 至少可以归纳命名出并行、日字型 and 乡字型、梳状、叉状、趾状、混杂等 6 种格局: (1) 并行格局。如图 1(a)所示。沙垄之间或由多个沙垄首尾相接而成的垄链之间互不相接, 平行或并行排列, 延伸较远, 最长可达 30 km 以上, 其垄间距一般在 0.5~3.5 km, 尤以 1.4~2.2 km 最常见; (2) 日字型和乡字型格局。如图 1(b)~(d)所示。相邻沙垄间被横向沙垄连接起来, 连接东西相邻纵向沙垄的横向沙垄通常相隔较远, 其长度一般远小于垄间地长度, 但在沙漠公路与尼雅河下游之间的区域等地也可见到不少横向沙垄长度与垄间地长度相近甚至大于后者情形。图 1(b)和(c)分别可谓是最“标准”的日字型和乡字型格局: 纵向沙垄走向顺直, 各

沙垄以及沙垄与垄间横隔之间的空间组合与排列清晰且较规整。但这样的情形并不多见, 更多的则是类似图 1(d)这样的情形: 日字型和乡字型混杂、结合在一起, 纵向沙垄走向弯曲, 垄间横隔或封闭或不封闭, 各沙垄以及沙垄与垄间横隔之间的空间组合与排列不太规整甚至较为凌乱; (3) 梳状格局。如图 1(e)所示。由多个较密集排列的纵向沙垄所构成的“梳齿”指向合成输沙方向的下风向, “梳齿”间的垄间地狭小或趋于消失, 而位于上风侧的沙垄“头部”则与邻近沙垄发生“桥接”, 形成统一的横向或近横向沙垄——“梳背”; (4) 叉状格局。如图 1(f)所示。走向呈锐角相交的两组沙垄相互交叉, 分割同一片区域。其相交的角度一般在 11° ~ 23° 之间, 少数可达 53° ; (5) 趾状格局。如图 1(g)所示。一般紧邻沙垄西侧有与垄体相连的多个穹状沙丘顺沙垄走向较规则地逐个排列。垄体东侧边缘多不够清晰, 常多线形沙丘; (6) 混杂格局。如图 1(h)所示。较难区分横向沙垄和纵向沙垄孰占优势, 平面布局显得杂乱不清晰。卫星图片所在位置见表 1。

3 复合纵向沙垄区大地貌格局的区域分异

正是主要由于复合纵向沙垄区内各处大地貌格局类型(或其组合)的明显差异, 使得我们可以将全区进一步划分为若干个不同的子区或亚区, 以便能够对全区的大地貌格局特征有更清晰、全面的认识。为此, 我们制作了小比例尺复合纵向沙垄区大地貌格局分区及各區主要大地貌格局类型图。

鉴于复合纵向沙垄在本区主要分布于 82° ~ 85° E 之间^[20], 本文将制图区域也选择在这一范围, 并试将全区划分出了 55 个子区(图 2)。划分的依据主要是大地貌格局类型(或其组合)的差异, 同时还参考了垄间地宽度与长度、垄体形状、垄体高度、垄体走向、垄体排列规则程度、垄体边缘(或垄间地)清晰程度、流水作用痕迹有无(或是否清晰)、植被状况等因素。划分的一般原则是: 以地貌格局类型(或其组合)的差异为主要参考因素, 如果在这方面基本一致则再考虑其他因素, 但对其他因素的考虑一般不预定主次而是同等对待, 以在所分出的区域与周围相邻区域相比差异性表现最突出者为主。划分出的区域在影像特征上须较为一致并与周围相邻区域有明显差异; 面积足够大, 不致在图幅范围内造成图斑过于琐碎或拥挤。

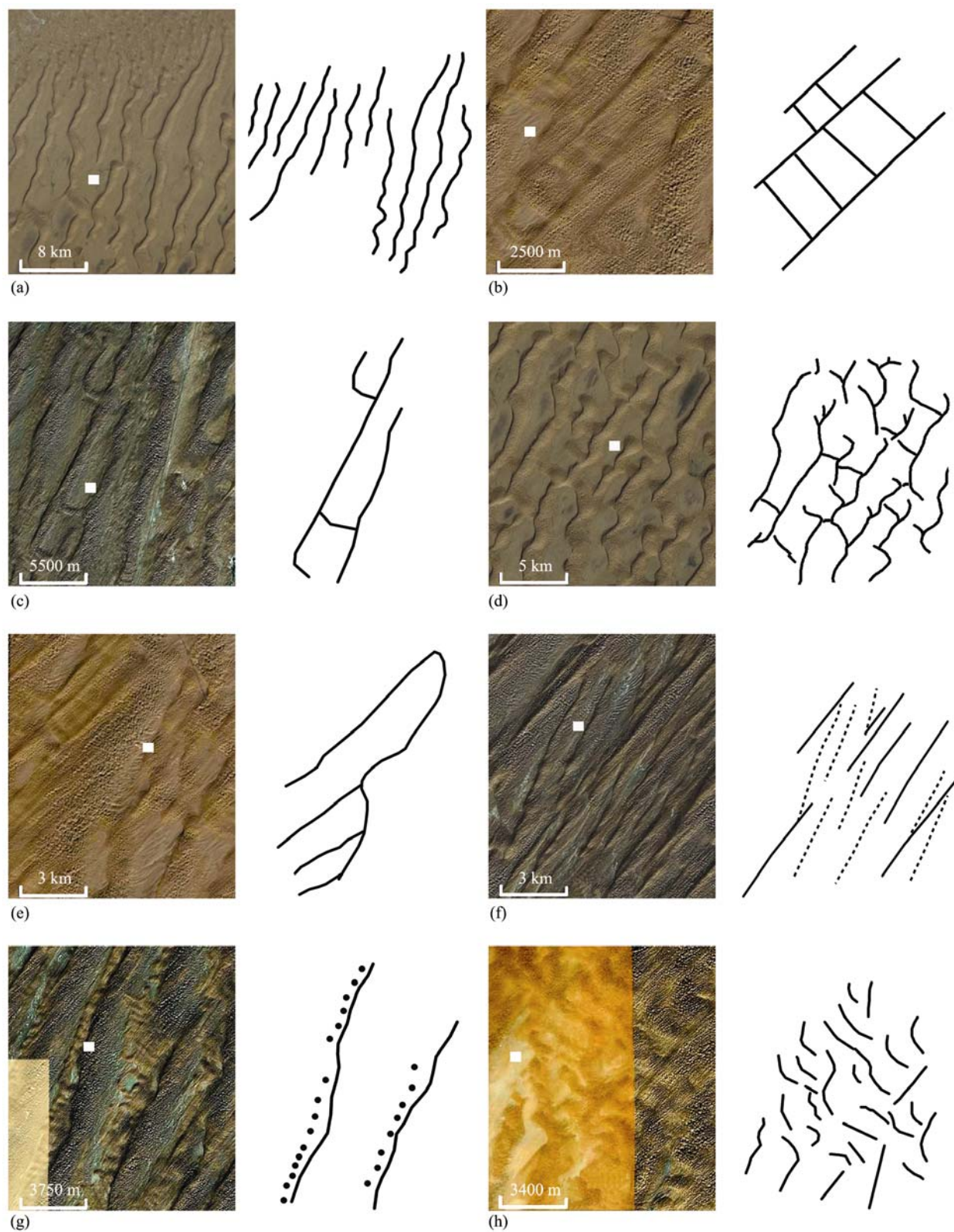


图 1 复合纵向沙垄区大尺度地貌格局类型

实线代表沙垄脊线; (f)中虚线代表另一组走向的沙垄脊线; (g)中黑点代表穹状沙丘

表 1 本文卫星图片所在位置^{a)}(图中白色方形记号处的地理坐标)

图片号	位置	图片号	位置
图 1(a)	40°11'35.47"N, 84°47'30.95"E	图 1(h)	38°37'0.09"N, 83°48'55.23"E
图 1(b)	39°10'19.93"N, 83°27'48.51"E	图 3(a)	40°15'43.30"N, 84°29'15.47"E
图 1(c)	38°10'16.65"N, 83°04'19.73"E	图 3(b)	39°53'36.23"N, 84°21'18.52"E
图 1(d)	39°57'22.02"N, 84°52'46.24"E	图 3(c)	40°03'32.91"N, 84°24'18.92"E
图 1(e)	39°12'51.03"N, 83°25'39.18"E	图 3(d)	39°53'07.66"N, 84°26'16.64"E
图 1(f)	39°24'46.94"N, 82°47'42.32"E	图 3(e)	39°51'24.50"N, 83°44'17.32"E
图 1(g)	38°36'19.31"N, 82°58'54.71"E	图 3(f)	39°02'04.21"N, 82°30'26.93"E

a) 所有卫星图片的正上方为正北方向

现将各子区特征简述于表 2.

从图 2 及表 2 我们不难看出, 复合纵向沙垄区内各处的大地貌格局分布不仅有着明显的差异, 而且还遵循着一定的规律, 具体说来就是: 并行格局主要分布于沙垄区北部和西部边缘, 以与穹状沙丘分布区紧邻的大沙漠北部边缘地带最为典型; 日字型和乡字型格局主要分布于沙垄区中东部和南部, 是分布最普遍的两种格局类型; 梳状格局主见于沙漠公路以西的克里雅河下游和尼雅河下游以及二者之间的区域, 尤以沙垄区中部、沙漠公路西侧的区域最为集中; 叉状格局主见于尼雅河下游及其与克里雅河下游之间的区域; 趾状格局主见于南部, 以 39°N 以南、沙漠公路与尼雅河下游之间的区域最为典型, 混杂格局则主见于复合沙垄区的东南部和西北部边缘区域.

不难理解, 复合纵向沙垄区的这种大地貌格局分异会有其特殊的形成机制, 其形成、样式及存在应与格局所在区域的风场及格局发育之始的地表状况(如地形起伏状况、植被分布状况、雏形沙垄或沙丘的分布状况等)有着直接关系, 有的可能还与地貌格局本身所处的发展演化阶段有关. 例如, 混杂格局多位于沙垄区边缘区域, 就很可能与这里处于沙垄区与其他类型地貌区域的过渡地带、风向复杂而较不稳定有关; 而叉状格局一般流水作用痕迹显著, 则很可能是受流水与风力的双重作用而形成.

显然, 不同的大地貌格局类型, 其风沙流运移和沙丘移动状况不会相同, 对公路沙害的形成和分布也会产生不同的控制性影响. 例如, 并行格局对于沙垄走向与公路走向基本一致的公路来说, 其垄间地的沙害相对于其他地貌格局总体来说一般是较轻的^[12,13]. 因此, 搞清沙垄区大地貌格局类型的区域分布状况, 无论对于促进沙漠地貌形成与演化机制研究, 还是对于深化公路沙害研究以更好地引导人们

趋利避害都很有意义.

4 复合纵向沙垄区大地貌格局的形成方式

沙丘形态的成因与复合纵向沙垄区大地貌格局类型的成因在许多方面应是一致或相似的, 因此在一定条件下我们可以由前者推及后者. 关于各种沙丘形态的成因, 虽然提出过多种多样的理论或假说^[18-29], 如关于横向沙丘的气流受阻说^[25,26]和波状运动说(斯科勒等)^[27]、关于纵向沙丘的构造成因说(马克耶夫)^[26,27]、水流侵蚀作用说(格列尔等)^[27]、灌丛沙丘演化说(格拉西莫夫)^[27,28]、合成风说(拜格诺)^[23,27]、纵向涡流说(汉纳)^[26,27]以及关于复合纵向沙垄的简单线形沙丘侧向移动演进说^[19]等, 但尚未有比较公认的成因理论^[27]. 对于塔克拉玛干沙漠复合纵向沙垄成因的解释也同样如此, 至今仍是众说纷纭, 比较有代表性的就有合成风说^[5]、盛行风说^[26]和垄岗地貌控制说^[1]等多种解释.

与各类沙丘的成因相比, 复合纵向沙垄区大地貌格局类型的成因问题就显得更为复杂, 因为它同时涉及了大、中、小多个尺度. 在此, 本文试图从对卫星影像的分析中为相关问题的探讨提供某种可能的线索.

通过分析卫星影像及等高线形势概图, 我们认为, 复合纵向沙垄区沙垄(或沙丘)之间的相互连接是形成沙垄区大尺度地貌格局的最重要方式, 而具体的连接方式则主要有以下 3 种.

(i) 自然延伸后连接或交汇. 多发生于当两相邻沙垄(或沙丘)的走向有一定交角或两沙垄(或沙丘)合成输沙方向的延长线接近重合时. 穹状沙丘或较短小沙垄可通过这种方式连合而发展为更长更大的沙垄, 这种情形在复合纵向沙垄区十分多见, 如图 3(a)所示, 尤以塔里木河老河床以南的大沙漠北部边缘区表现最典型. 要说明的是, 本文所说的穹状沙丘

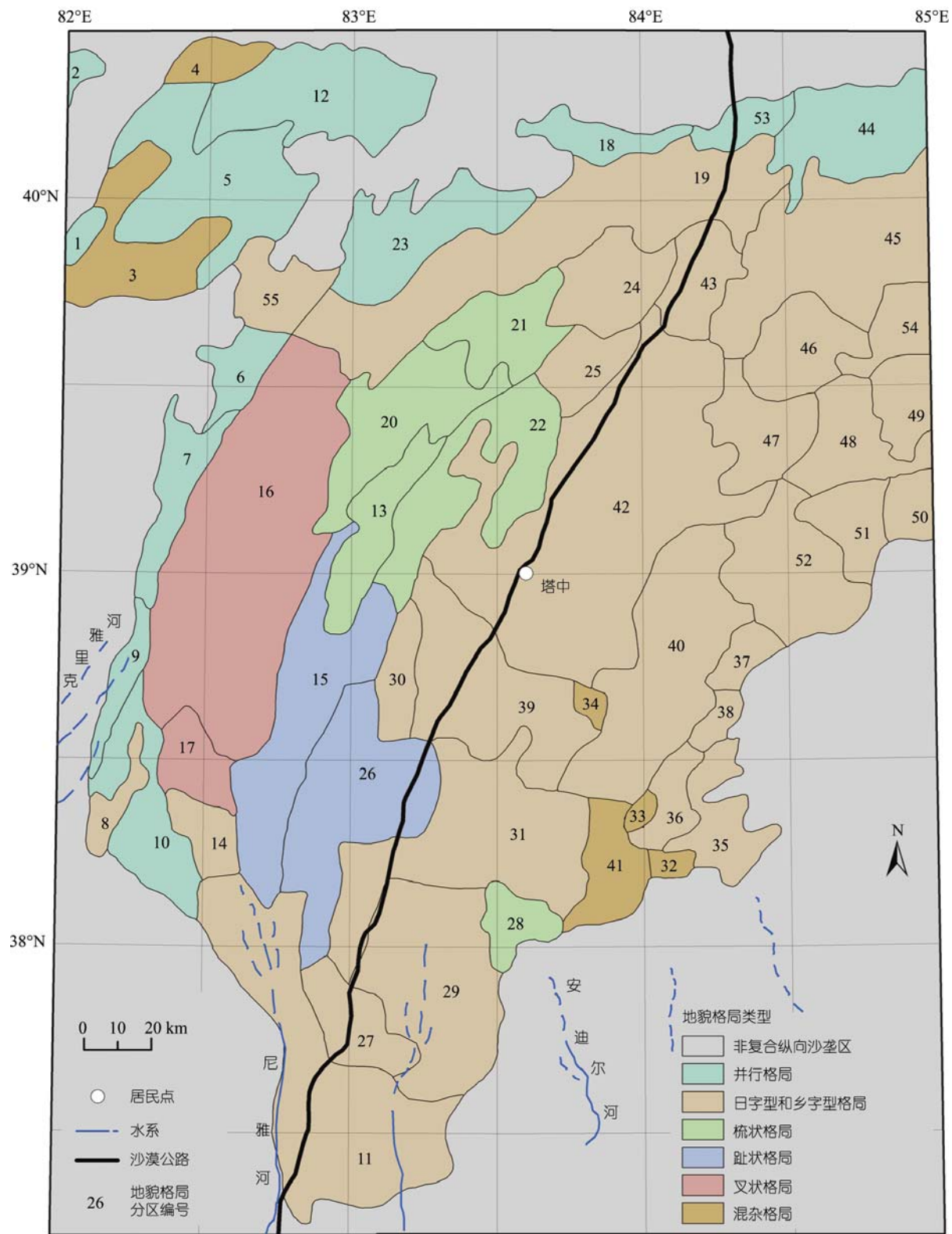


图 2 复合纵向沙垄区大地貌格局分区及各主要大地貌格局类型图

表 2 复合纵向沙垄区大地貌格局分区特征

分区编号	主要格局类型	其他特征
1	并行格局	垄体及其走向欠清晰, 垄体较直; 垄间地宽 0.7~0.9 km, 与垄体宽度相近, 垄高仅 1~3 m
2	并行格局	垄体走向较清晰, 延伸明显; 垄高均在 5 m 以下, 一般仅 1~3 m; 垄间地宽 0.5~0.8 km, 较垄体略宽
3	混杂格局	垄体不太成形, 边缘模糊, 走向很不清晰, 与非纵向沙垄混杂, 面积比例相当或偏小; 垄间地宽 0.4~0.6 km; 垄高均在 5 m 以下, 一般仅 1~3 m, 仅稍可显出沙垄特征
4	混杂格局	同 3 区类似, 但垄体及其走向较 3 区稍清晰, 较 1 区又不如; 垄间地宽 0.8~1.7 km
5	并行格局	间有混杂格局. 垄体较直, 垄体及其走向较 1 区再清晰些, 但垄体边缘仍较模糊; 垄高 5 m 以内, 一般仅 1~3 m; 垄间地宽 0.3~1 km, 与垄体相近或略宽于后者
6	并行格局	位于克里雅河下游东侧, 流水作用痕迹清晰可见, 垄间地形不平, 多有河流故道切割. 垄体细窄, 垄间地宽 1.2~2.4 km, 远宽于垄体, 可达后者 3~5 倍以上; 垄高数米至 20 余米; 垄间横隔多见小型梳状格局, 且多不完全封闭, 令各垄之间多可连通
7	并行格局	同 6 区, 但垄高明显降低, 一般<5 m; 垄体窄短且更见稀疏, 垄链纵向上多间断, 不连续; 垄间地宽 0.4~1.8 km
8	日字型和乡字型	沙垄稀疏低矮、不明显, 垄高多<5 m; 多穹状沙丘, 较高, 可达 20 m 左右; 过去流水作用痕迹依稀可见; 垄间横隔不明显, 垄间地宽 0.6~1.6 km
9	并行格局	位于克里雅河下游东侧, 垄间地现代流水作用明显, 且有较多植被; 垄体较高, 可达 15 m 左右; 垄体细直, 垄链纵向上多间断; 垄间地宽 0.6~2.4 km
10	并行格局	多穹状沙丘及串珠状沙垄(由穹状沙丘连合而成, 穹状沙丘个体形态仍清晰可见); 垄高多在 10~20 m, 高者可达 30 余米; 垄间地宽 0.4~2.6 km, 多不封闭, 过去流水作用痕迹依稀可见; 局部垄间有不明显的横隔
11	日字型和乡字型	位于民丰北隆起附近、尼雅河与牙通古孜河之间, 受现代流水作用明显, 沙垄排列受到干扰或打断而显凌乱, 垄体可呈辫状或麻花状; 垄体多由短小的近东北-西南走向的沙垄沿近北-南或近西北-东南方向连合而成; 垄高一般 10~20 余米, 少数可达 30 余米. 局部有并行格局; 垄间地宽 0.3~1.7 km
12	并行格局	垄体细长、较直; 垄间地开阔, 宽度 0.6~2.7 km, 为垄体宽度 3~6 倍; 垄高多在数米, 少数可达 10 m 左右
13	梳状格局	次为日字型和乡字型格局. 流水故道痕迹明显, 垄间地宽 0.3~1.2 km, 面积远小于垄体, 多被分隔为小块近三角形; 垄高一般 10~20 余米, 少数可达 40 余米
14	日字型和乡字型	次为叉状格局和梳状格局, 总体格局较凌乱. 位于尼雅河下游, 多串珠状沙垄. 流水作用痕迹明显, 垄间地多见河湖相土状堆积——龟裂土或风蚀土状台墩; 垄体密度较大, 垄间地狭小, 垄间地宽 0.2~0.7 km; 垄高多在 10 m 内, 少数可近 20 m
15	趾状格局	次为梳状格局、日字型和乡字型格局. 流水作用遗迹明显, 多河流故道, 受河流切割影响, 整体格局凌乱与整齐相伴; 垄体密度较大, 垄间地多狭小、被分隔, 宽度 0.2~1 km; 垄高多 10 m 左右, 高者可达 20 m 左右. 南部有少量串珠状沙垄
16	叉状格局	亦可见部分梳状格局穿插其中, 尤以东北部和南部较多见. 流水作用遗迹依稀可见, 流水作用方向与主风向锐角相交, 垄体多被分割成节段状. 垄间地宽 0.2~2.5 km, 以 0.6~1.6 km 最多见, 风力作用的垄间距相对窄密、规则, 而流水控制的垄间距明显较大且不规则. 垄高多在数米至 20 余米, 高者可近 40 m, 北部多高于南部, 风力控制的垄高一般高于流水控制的
17	叉状格局	次为梳状格局. 总体较整齐, 垄高多在数米至 10 余米, 垄间地宽 0.2~1.6 km. 余同 14 区
18	并行格局	位于复合沙垄区北缘, 紧邻北侧的复合穹状沙丘区. 多为串珠状沙垄, 且垄链纵向上多间断. 垄间地宽阔, 宽 0.8~3.3 km, 可达垄体宽 4 倍左右; 垄高多在 20 m 以上, 高者可达 40 余米
19	日字型和乡字型	沙垄较平直、短窄, 垄间地稍显凌乱, 但尚较宽, 宽 0.8~2.2 km, 最宽达 2.8 km, 可为垄宽 2~3 倍; 垄高多在 20 m 以上, 高者可达 50 m 左右, 南部较北部偏高. 夹有少量穹状沙丘
20	梳状格局	次为叉状格局、日字型和乡字型格局. 流水作用遗迹依稀可见. 垄间地较宽显, 宽 0.3~1.7 km, 但多被分隔, 纵向延伸不远; 垄高多在 20 m 以上, 高者可达 50 余米
21	梳状格局	同 20 区, 但垄体更密集, 垄间地窄、少而不明显, 宽 0.2~0.9 km, 少数可达 1.7 km; 垄高多在 20 m 以上, 高者可达 40 余米
22	梳状格局	次为日字型格局. 垄间地大多窄、少, 不明显, 宽 0.4~1.4 km; 垄高多在 10~30 m, 高者可达 40 余米
23	并行格局	垄链多间断, 垄体多平直、短窄, 呈蝌蚪状; 垄间地宽阔, 宽 1.2~2.5 km, 为垄体宽 2~3 倍; 垄高多在 20 m 以上, 高者可达 40 m 左右
24	日字型和乡字型	同 19 区, 但垄间地较之窄短且更凌乱, 宽 0.6~2.4 km, 垄高多在 30 m 以上, 高者可达 50 m 以上
25	日字型和乡字型	有串珠状沙垄. 垄间地宽窄不一且较凌乱, 宽 0.7~1.7 km; 垄高多在 30 m 以上, 高者可达 60 m 以上. 兼有叉状格局

表 2(续)

分区编号	主要格局类型	其他特征
26	趾状格局	“趾部”略不清晰,兼有日字型和乡字型格局。流水作用痕迹多见。垄高一般 10~30 m,少数可在 30 m 以上。垄间地宽 1.4~2.2 km,少数可窄至 0.7 km
27	乡字型	局部为并行格局。沙垄略呈蛇形弯曲,走向近西北-东南方向,排列基本规则。垄间地流水作用痕迹明显,宽度 0.6~2.7 km,为垄体宽 0.5~3 倍不等,北宽南窄;垄高多在 15~30 m
28	梳状格局	位于安迪尔河下游,多流水作用的新旧沟道,部分沟道中有零星小片状植被。垄体宽矮,一般在 20 m 以下,与垄间地界限不明晰,垄间地较凌乱,宽 0.5~1.3 km
29	乡字型	位于牙通古孜河下游,局部呈并行格局。流水作用痕迹清晰,中部垄间地河道内植被茂盛,呈条带状分布,垄间地宽 0.6~2.3 km。垄体略呈放射状排列,较规则。垄高数米至 20 余米
30	乡字型	垄间地宽显,宽 0.8~2 km,为垄体宽 1~1.5 倍,且纵向延伸较长,局部接近并行格局。沙垄排列较规则,垄体较直;垄高多在 20~30 m,少数可近 40 m
31	日字型和乡字型	多处接近并行格局。沙垄排列较规则,垄体较直;垄间地宽显,宽 0.5~3 km,多在 1.1~2.2 km,为垄体宽 1~2 倍;垄高 20~40 m
32	混杂格局	垄间地少而不明晰,宽 0.5~1.4 km;垄高在 20 m 以内,多为 10 m 左右
33	混杂格局	垄高在 20 m 内,多为数米。垄间地少而不明晰,宽 0.4~0.8 km
34	混杂格局	垄高 20 m 左右,少数可近 40 m。垄间地少而不明晰,宽 0.4~0.9 km
35	乡字型	垄体排列较规则,垄链多转折,每段垄体较短;垄间地多较宽,但宽窄不一,宽 0.4~2.3 km,为垄体宽 0.5~4 倍,纵向延伸多较短;垄高 20~50 m
36	乡字型	垄体排列较凌乱,沙垄走向近南北向。垄间地宽窄不一,宽 0.3~2.2 km;垄高数米至 50 余米不等
37	日字型和乡字型	沙垄近南北向,部分垄体边缘不清晰。垄间地宽 0.8~2.1 km,与垄体宽度接近或略宽,且延伸较长;垄高 20~60 m
38	日字型和乡字型	垄间地杂乱但尚较清晰,多被分隔为小块,宽 0.4~1.9 km。垄体走向因垄体多弯曲而摆动于正北向两侧。垄高 30~60 m
39	日字型和乡字型	夹有较多梳状格局及少量趾状格局,致总体格局略显凌乱。垄体东缘边界多不清晰;垄间地多呈近扁长椭圆形,宽度 0.3~1.7 km,与垄体宽接近;垄体较高大,一般可达 30~40 m
40	日字型和乡字型	夹有较多梳状格局。垄间地窄少不明晰,宽度 0.6~1.7 km;垄体连合不清晰,延伸较短;垄高 20~50 m
41	混杂格局	夹有梳状格局。垄体走向不定,宽窄不一,形状不规整;垄间地面积较大,宽度 0.4~1.9 km;垄高数米至 20 m
42	日字型和乡字型	局部有少量梳状格局。垄体走向较清晰一致,垄体东侧边界多毛糙或不清晰;垄体宽度较均匀;垄间地多呈花生型或近扁长椭圆形,宽度 0.6~2 km,与垄体宽度相近;垄体较高大,多在 30 m 以上。高者可达 50 m 左右。
43	日字型和乡字型	同 42 区,但垄间距较宽长,宽度 0.6~2 km,多在 1 km 以上;垄体排列较稀,垄高多高于 42 区,不少可达 60 m 以上
44	并行格局	垄链略呈蚯蚓状弯曲,向南弯曲程度增大;垄体边界十分清晰,垄体排列较规则;垄体宽度自西向东、自北向南有逐渐增加趋势;垄间地开阔,其宽 0.8~3.7 km,多在 1.5~2.5 km 之间,为垄体宽度 2 倍以上;垄体高大,多在 40 m 甚至 60 m 以上
45	日字型和乡字型	紧邻 44 区南侧。垄体边界大多清晰,垄链多弯曲,排列较密;垄链中各垄北端不少都具逗点形,垄体走向略显凌乱,从西南向东北走向逐渐西偏;垄间地多呈长或超长豆荚形,宽度 0.5~3 km,多为 0.8~1.8 km,明显较 44 区大幅缩窄,而与垄体宽度接近或稍宽于后者;垄高与 44 区接近或略有降低
46	日字型和乡字型	紧邻 45 区南侧。垄体略弯,但较 45 区顺直,垄体边界多不清晰;垄体宽度较 45 区明显变窄,垄链上各段垄体的长度也缩短,明显短于 45 区;垄间地呈豆荚形,宽度进一步缩小,为 0.4~2.2 km,多为 1.1~1.8 km,与垄体宽相近;垄体高大,高度与 45 区相似
47	乡字型	紧邻 46 区南侧。垄体边界不清晰程度较 46 区加重。垄体略弯曲,走向近正北方向;垄体普遍增宽,与 45 区相近或更宽;垄体排列较 46 区进一步增密,垄体宽多大于或接近垄间地宽,垄间地更显狭小、封闭,多呈短豆荚形或葫芦形,宽度 0.4~2.5 km,多在 0.8~1.5 km 之间;垄体高大,高度与 46 区相似
48	乡字型	垄链弯曲,每段垄体呈短节状;垄体边界较清晰,总体走向近正北向;垄间地较开阔,宽度 0.4~2.7 km,多在 0.9~2 km,与 45 区相近;垄体高大,与 47 区相近或略有降低
49	日字型和乡字型	与 54 区类似,但垄体排列增密,边界更不清晰;垄体与垄间地宽度均缩窄,垄体规模变小,垄间地宽 0.3~1.4 km,多在 0.5~0.7 km,因垄间地被分割较碎而使格局略呈网格状;垄高进一步降低,多在 20 m 内
50	日字型和乡字型	因垄间地长宽相近而使格局很接近网格状。垄体边界较模糊,垄链弯曲,每节垄体短而宽;垄链排列密,整体走向近正北向;垄间地均被分隔为小块菱形,宽 0.4~1.9 km,垄体所占面积明显多于垄间地;垄高明显较 49 区增高,一般在 30 m 左右,高者可达 50 m 以上

表 2(续)

分区编号	主要格局类型	其他特征
51	日字型和乡字型	垄体长、宽与 48 区相近, 但排列较凌乱, 多数垄体走向近正北方向, 西南部有若干近西北-东南方向的沙垄; 垄间地宽 0.4~2.5 km, 地块多较 48 区小; 垄体高大, 多在 40 m 乃至 50 m 以上
52	乡字型	局部可呈并行格局. 垄链较顺直, 排列较整齐, 走向近正北向或略偏向正北方向; 垄体宽度较均匀, 边界清晰; 垄间地较宽显, 宽 0.3~2.8 km, 多在 1~2 km, 多宽于垄体; 垄体高大, 与 51 区相似
53	并行格局	位于复合纵向沙垄区北缘, 与 18 区类似. 多为串珠状沙垄, 并夹有孤立复合穹状沙丘. 垄间地宽阔, 宽 0.6~4.5 km, 为垄体宽 2~5 倍; 垄高 10~40 余米
54	日字型和乡字型	垄体较直, 垄体边界模糊; 垄间地较宽, 为 0.2~1.8 km, 并多线形沙丘; 垄高普遍低于邻近的 45, 46 和 48 区, 一般在 40 m 以内, 南部垄高低于北部
55	日字型和乡字型	位于克里雅河下游东侧, 流水作用痕迹明显. 垄链多呈竹节状, 每节东北端较宽粗, 向西南方向变尖细; 垄间地宽 0.7~2 km, 为垄体宽 1~4 倍, 但多被垄间沙梁分隔为数段; 垄高数米至 20 余米

均包括了类穹状沙丘. 所谓类穹状沙丘是指各种非典型形态(圆形或椭圆形)的穹状沙丘的变体, 如雨滴状、短梭状或蝌蚪状的穹状沙丘以及曲弧体不明显、形态介于穹状沙丘和新月形沙丘(或沙垄)之间的沙丘等. 自然延伸后交汇的另一个典型例子是叉状格局中两组走向呈锐角相交沙垄的相接, 如图 1(f)所示.

(ii) 狭处相接. 指相邻沙垄在相距十分接近、垄间地过于狭小的部位发生横向的相向拓展而自然

相接, 如图 3(b)所示. 但这种情形似乎并不多见.

(iii) 借助中介物连接. 这是形成沙垄区地貌格局的最普遍方式, 它决定了沙垄区用于连接纵向沙垄的绝大多数横向沙垄的形成, 同时也影响着一部分纵向沙垄首尾相连而合并为更长大沙垄的过程. 这种方式中, 沙垄的连接主要依靠介于垄体之间的某个中介物来完成. 中介物向相邻沙垄中的两方或一方拓展延伸(当然也有可能同时存在两侧沙垄向中

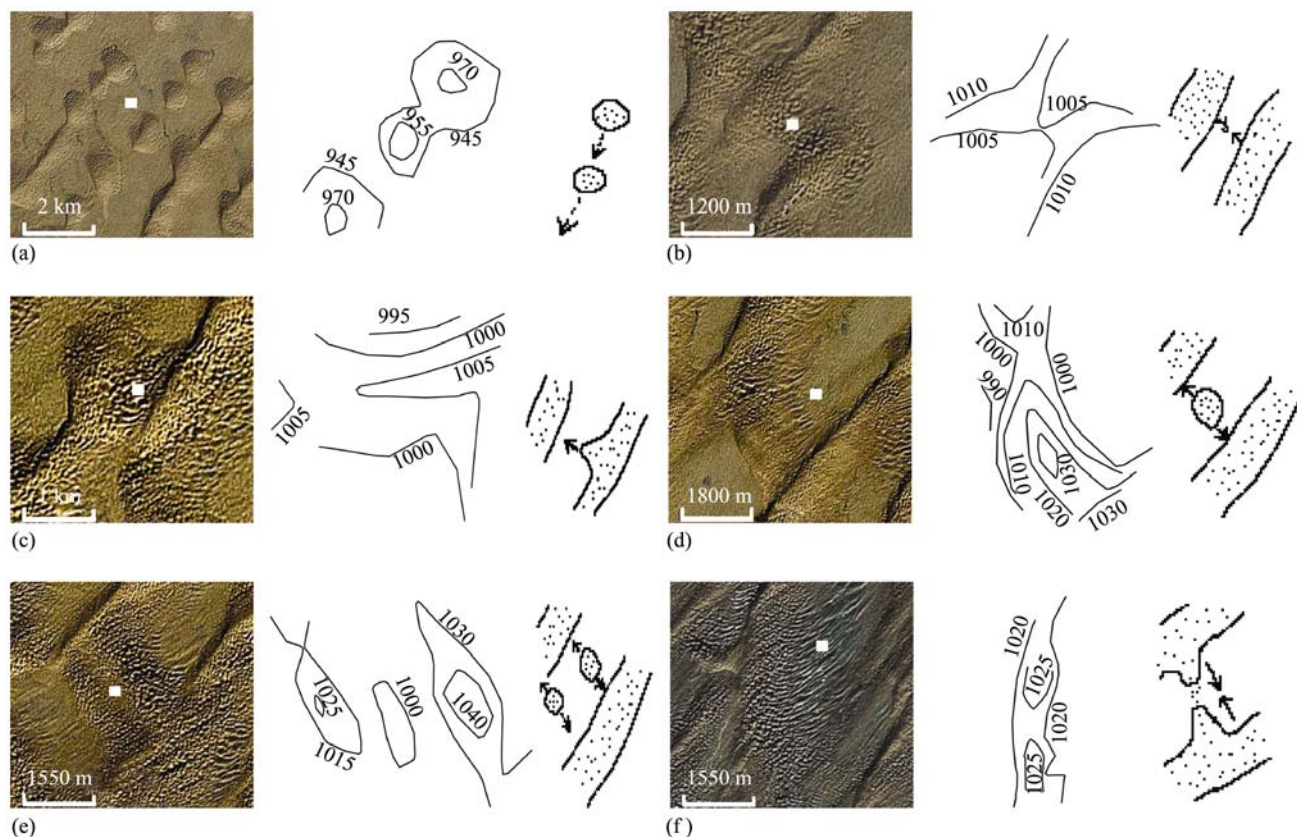


图 3 沙垄区沙垄(或沙丘)的连接方式

线画图为等高线形势草图, 高程单位为 m; 示意图中箭头为沙垄或沙丘的扩展或连合方向

介物一方延伸的情况), 最终将这两个沙垄连接起来, 这个中介物最常见的就是穹状沙丘。此外, 依附于某个沙垄的“指状突起”(指平面形状)也是一种中介物, 如图 3(c)和(f)所示。图 3(d)和(e)都是借助穹状沙丘连接的例子, 明显可见穹状沙丘作为形成垄间连接横梁(横向沙垄)的“发生核”的情形。

应当说沙垄(或沙丘)正是通过上述这 3 种连接方式, 经过平面组合形式各异的相互连接, 最终形成了不同和各具特色的沙垄区地貌格局。不过, 3 种连接方式在各地貌格局的形成过程中, 并不总是同等重要, 而常常是以其中的一种或两种为主。例如, 自然延伸交汇显然应是产生并行格局的最主要方式, 而日字型 and 乡字型格局的形成则主要是借助中介物连接来完成。

当然, 以上的阐述还只是从卫星影像反映出的形态特征的角度所做的分析和推测, 至于与这些连接方式相关的更详细具体的风沙地貌学过程, 尚有待于相关的野外观测或室内试验予以验证。

5 讨论

本文归纳了复合纵向沙垄区地貌格局的 6 种类型, 这种归纳是否合理、是否完全尚有待进一步探讨。从前述地貌格局子区的划分中可以看到, 地貌格局的差异不仅表现在沙漠区各种地貌体的空间排列与组合方式上, 还体现在沙垄高度、垄间地宽度与长度、垄体形状、垄体排列规则程度等诸多方面。这就导致即使同为本文所说的某种格局类型, 不同子区间的地貌格局仍可能有较大甚至很大差异。例如垄间横隔密集或垄间地狭窄的日字型和乡字型格局, 就与垄间横隔稀疏或垄间地宽阔的日字型和乡字型格局不仅在形态上有明显差异, 而且在沙害程度上也可能会有很大不同。那么, 我们是不是应依据这些差异进一步细分出更多的类型, 以及具体应怎样细分、标准如何界定和细化, 等等, 这些都是有待继续探讨的问题。

另外, 本文所述的大地貌格局类型与通常所指的新月形沙丘、金字塔沙丘等风沙地貌类型在划分标准上如何区分和衔接, 也是值得注意的一个问题。现行的多种风沙地貌分类大多都是以沙丘形状来进行划分和命名的^[27], 且一般都并未在地貌尺度上加以严格区分, 而是将实际上分属不同尺度的风沙地貌甚至是风沙地貌群体都笼统地归纳在同一个分类系统中。本文所讨论的大地貌格局类型, 实际上针对的正是大尺度风沙地貌的群体分布所呈现的不同形式。鉴于上述这些情况, 本文所述的大地貌格局类型与一般风沙地貌类型在划分标准上的区分和衔接可能存在一些问题就不足为奇了。例如, 所谓的格状沙丘, 究竟是属于一种沙丘类型, 还是应该算作一种大地貌格局类型, 亦或是两者都属于? 在目前来说, 这都还可能是会引起争议的问题。作者以为, 要解决这些问题, 可能需要将现行风沙地貌的分类和命名与大尺度风沙地貌格局的分类和命名结合起来进行统一审视和重新考虑, 并且可能需要重新考虑如何处理与地貌尺度相关的问题。

最后值得一提的是, 由于可清楚见到的受流水作用所形成的垄岗地貌控制发育的沙垄在数量上相对要少得多(仅主见于数量并不占多的叉状格局中), 而绝大多数沙垄的排列方向、高度以及垄间地的宽度都表现出非常明显的和一致的规律性(而这是除风沙地貌以外的其他地貌类型不具备的^[3]), 加之缺少整个复合沙垄区的下伏地形都是垄岗地貌的实地考察证据, 因此, “塔克拉玛干沙垄是以第四纪垄岗地貌为基础发育而成”^[1]这一说法是难以令人信服的。否则, 至少叉状格局的存在就 will 很难得到合理解释。至少从卫星影像的分析结果看来, 我们认为更为合理的解释应是: 塔克拉玛干复合纵向沙垄及其大尺度地貌格局主要是受风力作用的控制而发育形成^[26], 只在局部区域有一少部分可能是由过去流水作用形成的下伏垄岗地貌^[29]或下伏构造隆起地形等其他因素所控制形成。

致谢 论文写作过程中先后得到李生字、杨发相、雷军、吴世新、林丽莎、梁匡一、石原、蓝利、黄子朗、贺俊霞等老师、同事和朋友的热情支持和帮助, 在此一并表示衷心感谢!

参考文献

- 1 中国石油天然气总公司塔里木石油勘探开发指挥部. 塔里木沙漠石油公路. 北京: 石油工业出版社, 1996. 78—223

- 2 李恒鹏, 陈广庭. 塔克拉玛干沙漠腹地复合沙垄间地新月形沙丘的逆向演变. 中国沙漠, 1999, 19(2): 134—138
- 3 李恒鹏, 陈广庭, 薛东前. 塔克拉玛干沙漠腹地复合沙垄的流场和上覆沙丘组合及动态特征. 干旱区地理, 2001, 24(1): 80—85
- 4 王训明, 董治宝, 屈建军. 塔克拉玛干沙漠简单横向沙丘形态学示量特征. 兰州大学学报(自然科学版), 2002, 38(6): 110—116
- 5 张家武, 陈广庭, 陈发虎, 等. 塔里玛干沙漠中部地区线形沙丘表面动力学过程. 中国沙漠, 1999, 19(2): 128—133
- 6 董治宝, 陈广庭, 颜长珍, 等. 塔里木沙漠石油公路沿线沙丘移动规律. 中国沙漠, 1998, 18(4): 328—333
- 7 李志忠, 关有志, 孙忠, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地纵向沙垄的粒度分布特征. 干旱区研究, 1996, 13(2): 37—43
- 8 李志忠, 关有志, 孙忠, 等. 塔里木沙漠石油公路沿线新月形沙丘的地貌特征. 新疆大学学报(自然科学版), 1998, 15(1): 80—90
- 9 李振山, 陈广庭, 冯起, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地纵向沙垄表面沙物质粒度特征. 干旱区资源与环境, 1998, 12(1): 21—28
- 10 李生字, 王德, 雷加强. 塔克拉玛干沙漠腹地路面沙害的空间分布研究. 干旱区地理, 2005, 28(1): 93—97
- 11 雷加强, 王雪芹, 王德. 塔里木沙漠公路风沙危害形成研究. 干旱区研究, 2003, 20(1): 1—6
- 12 钱亦兵, 王雪芹, 黄强, 等. 塔里木沙漠公路风沙危害研究. 干旱区资源与环境, 2000, 14(3): 28—34
- 13 王雪芹, 雷加强. 风沙活动区工程线路走向与风沙危害程度的关系——以塔里木沙漠公路为例. 干旱区地理, 2000, 23(3): 221—226
- 14 王雪芹, 雷加强, 黄强. 塔里木沙漠公路风沙危害分异规律的研究. 中国沙漠, 2000, 20(4): 438—442
- 15 王雪芹, 黄强, 雷加强. 塔里木沙漠公路在复合型纵向沙垄区的道路沙害. 干旱区研究, 1998, 15(3): 48—51
- 16 王德, 雷加强, 徐俊荣, 等. 塔中一号公路防沙体系不同地貌部位风沙危害差异研究. 干旱区资源与环境, 2004, 18(5): 29—33
- 17 Dong Z B, Chen G T, He X D, et al. Controlling blown sand along the highway crossing the Taklimakan Desert. J Arid Environ, 2004, 57: 329—344
- 18 Wang X M, Dong Z B, Qu J J, et al. Dynamic processes of a simple linear dune—A study in the Taklimakan Sand Sea, China. Geomorphology, 2003, 52: 233—241
- 19 Wang X M, Dong Z B, Zhang J W, et al. Formation of the complex linear dunes in the central Taklimakan Sand Sea, China. Earth Surf Proc Landf, 2004, 29: 677—686
- 20 朱震达, 陈治平, 吴正, 等. 塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究. 北京: 科学出版社, 1981. 27—70
- 21 Livingstone I, Wiggs G F S, Weaver C M. Geomorphology of desert sand dunes—A review of recent progress. Earth Sci Rev, 2007, 80: 239—257
- 22 Tsoar H, Blumberg D G, Stoler Y. Elongation and migration of sand dunes. Geomorphology, 2004, 57: 293—302
- 23 李志忠, 周勇, 罗若愚. 风沙地貌研究的若干新进展. 干旱区研究, 1999, 16(2): 61—66
- 24 钱广强, 董治宝, 罗万银, 等. 横向沙丘背风侧沙粒风蚀起动的风洞模拟. 干旱区地理, 2007, 30(1): 66—70
- 25 贺大良. 风沙地貌形成机制的几个问题. 中国沙漠, 1985, 5(1): 33—37
- 26 吴正. 塔克拉玛干沙漠成因的探讨. 地理学报, 1981, 36(3): 280—291
- 27 吴正. 风沙地貌学. 北京: 科学出版社, 1987. 127—141
- 28 朱震达, 吴正, 刘恕, 等. 中国沙漠概论. 北京: 科学出版社, 1980. 42
- 29 A. Γ. 巴巴耶夫, C. K. 戈列诺夫. 韩志文, 译. 荒漠地貌学. 兰州: 甘肃文化出版社, 1998. 32—37