

# 昌黎海岸风成沙丘的形态与沉积构造 特征及其成因初探

傅启龙<sup>①</sup> 沙庆安

(中国科学院地质研究所·北京)

**摘要** 本文论述了昌黎海岸风成沙丘的分布与形成特征、层理构造及其沙丘表面沙波发育情况,并对其成因进行了探讨。沙丘迎风坡表面普遍发育有风成沙纹,层理构造非常发育,有低角度交错层理、大型板状交错层理。海岸沙丘沉积物主要来自滦河,滦河入海泥沙在偏风浪的作用下向北搬运并堆积在海滩上,强劲的向岸风使海滩沙向陆搬运建造成海岸沙丘。目前,沙丘仍在活动之中。

**关键词** 昌黎 海岸风成沙丘 沙丘形态 沙波 交错层理 风沙作用

**第一作者简介** 傅启龙 男 27岁 硕士 沉积学

## 概述

工作区海岸发育在相互交错的小型冲积扇前缘,为基岩前剥蚀冲积沙质海岸。向北至北戴河、秦皇岛一带为基岩岬湾海岸,滦河口附近发育有滦河现代三角洲,向西为滦河废弃三角洲,

其海岸类型属于沙坝—泻湖海岸,大蒲河口至滦河口沿岸发育有风成沙丘,在沙丘带的向陆一侧为泻湖沉积,向海一侧为海滩沉积(图1)。

研究区砂丘带至滨线170—600m,现前滨带宽30—80m。由最高高潮线到风成沙丘带的坡麓分布着上升的早期海滩沉积,现高出高潮面约2m,比较老的海滩沉积向陆地方向为风成沙丘沉积所覆盖。沿岸发育有3—5道沙坝。组成现今海滩的物质主要为中砂和细砂。

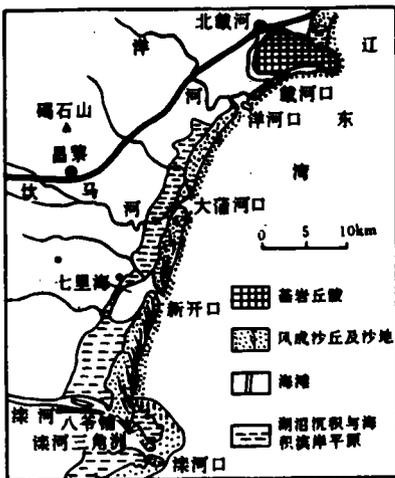


图1 工作区地貌简图

Fig. 1 Sketch geomorphological showing location of duncfield along the coast of Changli

## 1 海岸沙丘的形态与沉积构造特征

### 1.1 海岸沙丘的分布及形态特征

昌黎海岸沙丘区平行于海岸呈带状展布。

<sup>①</sup> 现在中国科学院南京地质古生物研究所

长 30 余公里,宽 1.5—2.5km,自北向南沙丘带逐渐变宽,沙丘高度逐渐增大,大蒲河口以北沙丘发育较差,主要为低平的沙地,大蒲河口以南沙丘发育较好,其中又以新开口至滦河口之间发育最佳。昌黎海岸丘属于横向沙丘,主要呈链状,少数呈新月形(图 2)。紧邻海滩的一列沙丘比较高,为加积型横向沙丘,展布方向为  $NNE9-12^{\circ}$ ,高一般为 15—30m,最高可达 38m,长 5—9km,单个沙丘宽 150—220m。沙丘两坡明显不对称,迎风坡缓,坡度为  $9-11^{\circ}$ ;背风坡较陡,坡度为  $30-32^{\circ}$ 。由于风向经常改变,沙丘两坡的上部往往都很陡,丘背多呈楔状(图版 1, 1)。向陆方向分布着数列斜交于海岸线的沙丘,交角为  $30-50^{\circ}$ ,走向多在  $330-345^{\circ}$  之间(图 2),沙丘较为低矮,高 5—10m,宽 60—100m,长 1—3km,迎风坡上部坡度为  $10-12^{\circ}$ ,下部  $4-6^{\circ}$ ,背风坡坡度  $27-29^{\circ}$ ,丘顶多呈浑圆状(图版 1, 2)。沙丘越高,其丘间距和单个沙丘宽度也就越大。测量结果表明,昌黎海岸沙丘的高度、宽度和丘间距之间存在着很好的线性相关关系(图 3、图 4)。沙丘之间为洼地,宽 80—600m,一部分丘间洼地雨季积水成为丘间沼泽或丘间湖,其周边可见生物潜穴和沙质“球粒”,但远不如海滩发育,干旱季节因地下水位较高而保持湿润,因此植被发育(图版 1, 3)。

昌黎海岸风成沙丘向南至滦河河床骤然消失,但在滦河南岸莲花村一带还残存着少数孤立的沙丘,与滦河北岸八爷铺河丘隔河相望,其上被植被覆盖,活动性差。孤立残丘高 8—12m,表面风化呈棕黄色,它在颜色、粒度组成和走向上均与八爷铺沙丘一致,而与附近新堆积的灰色河漫滩沙丘显著不同。显然,孤立残丘是八爷铺沙丘的一部分。1915 年滦河冲断八爷铺沙丘改道东迁由现今位置入海(高善明, 1983),造成八爷铺沙丘部分残存于滦河南岸而成为孤立残丘。

沙丘的形态变化以风的作用为转移,研究区紧靠海滩的一列沙丘比较高,其形态适应新风况的时差也较大,主风向所造成的形态一般不会改变;但顶部常常有明显的变化,当向岸风转变为离岸风时,原来的背风坡变成了迎风坡,原来的迎风坡则成为落沙坡(图版 1, 1)。因此,在同一沙丘中,新风向所造成的形态(丘体上部)和主风向所造成的形态(丘体下部)往往同时存在。向陆方向,沙丘越来越低矮,植被也逐渐发育而成为半固定或固定沙丘,其形态变化也较缓慢。

## 1.2 沙波

沙波是风在沙质地表上塑造的、呈波状起伏的微地貌,包括沙纹和沙脊。

昌黎海岸风成沙丘表面主要是迎风坡表面广泛发育有沙纹。沙纹脊线多为直线形,长而平行,有时有分叉,其排列方向与风向垂直,平行于沙丘脊(图版 1, 3)。沙纹波长 6—10cm,波高 0.3—0.7cm,波纹指数大多介于 14—19 之间。沙纹的分布及波纹大小与风速有关。微风时,迎风坡和丘顶部分沙纹分布普遍,从坡麓至丘顶,

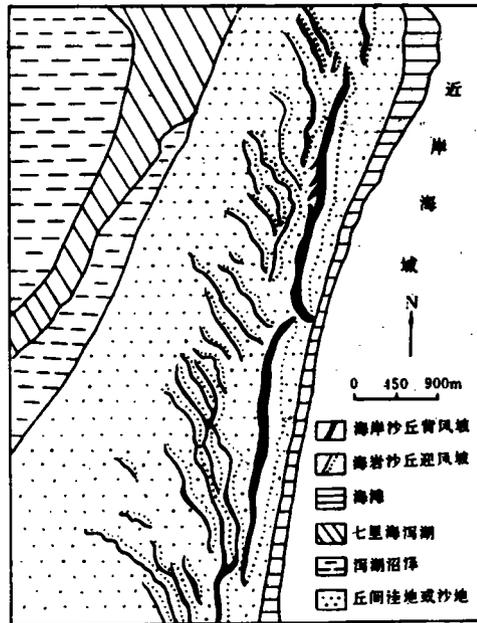


图 2 昌黎海岸新开口至滦河口之间风成沙丘分布图

Fig. 2 Sketch map showing distribution of major coastal dunes on the coast of Changli

沙纹波长逐渐增大,风速增大时,沙纹波长也增大。大风时,沙纹仅见于迎风坡下部,上部和丘顶部分趋于消失。雨天,沙纹遭到破坏,形成流水痕迹(图版 I, 4)。沙纹的剖面形态不对称,背风面比迎风面陡一些;粗颗粒集中在波脊上,重矿物也堆积在沙纹的脊部,细颗粒集中于波谷,并呈薄层状富集在迎风面下部。

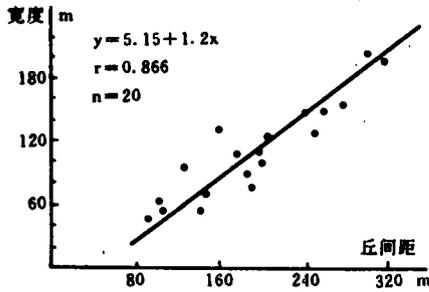


图3 沙丘高度与丘间距之间的关系  
Fig. 3 Relationship between dune width and dune spacing

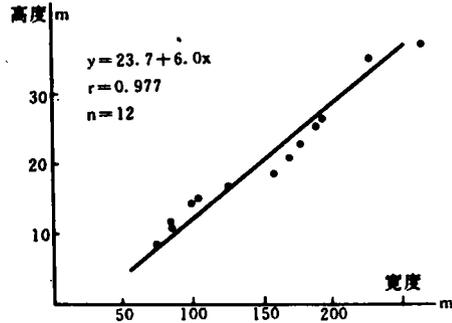


图4 沙丘高度与沙丘宽度之间的关系  
Fig. 4 Relationship between dune height and dune width

沙脊主要见于丘间地区,其波纹参数较大,波长30—40cm,波高可达3—5cm,沙脊的剖面形态较沙纹更为不对称。

### 1.3 层理构造

昌黎海岸风成沙丘的层理构造基本上可以分为两种类型。

**1.3.1 低角度交错层理** 常见于沙丘迎风坡表层和丘间地区,在迎风坡的分布厚度2—30cm不等(图版 I, 6a)。纹层平行于沙丘表面,倾角较小,通常为2—11°,倾向NE55—70°。单个纹层很薄,为1—4mm,有时可见夹有重矿物富集的纹层。纹层具有逆粒序性,较细的颗粒富集在纹层下部,往上逐渐变粗,两个纹层之间的粗细颗粒接触是突变的。逆粒序纹层是风成沙纹在迁移过程中形成的。

**1.3.2 高角度交错层理** 是研究区分布极为广泛的一种层理类型,见于沙丘背风坡(图版 I, 5),也见于迎风坡低角度交错层理之下(图版 I, 6b),多数呈板状,少数呈楔状。纹层厚0.5—4cm,倾角为28—31°,倾向向下风方向。在背风坡坡角,纹层倾角变小,逐渐变得与下伏界面相切。背风坡的层理不甚清晰。纹层中可见中沙甚至中粗沙夹层。在沙丘顶部,交错层理形态较为复杂,具许多侵蚀不整合面,且层系界面常发生弯曲,呈弧形、类似槽状交错层理,这种层理是由于风向的改变所引起的蚀积作用而产生的。

高角度交错层理主要由滑落面上逐次滑落的纹层堆积而成,在丘顶也可以由降落颗粒纹组成。它以板状,层系规模大和前积纹层高角度倾斜等特征显著区别于海滩浪(流)成交错层理,是鉴别古代沉积中风成沉积的重要标志之一。

## 2 影响和决定海岸沙丘发育的因素

影响海岸沙丘发育的因素有植被、降雨的季节分配、海岸地貌形态、人工因素和海洋水文因素。而对海岸风成沙丘起决定性作用的则是沙质沉积物的供应情况和风况。

据当地气象观测站资料,昌黎海岸带为向岸风、离岸风和沿岸风经常交替出现的季风海岸。常向风为偏南风(图5),占全年总频率的11%左右;其次为NEE向风即向岸风,出现频率为8.3%,其中6级以上的大风出现频率为2.3%,年平均风速可达4.3m/s,为本区的优势风。一年中1—5月和9—12月为大风和较大风季节。正好是降雨量少的季节,这有利于风沙作用。

工作区平均大潮差为1.10m左右,属于弱潮型海岸,以涨潮流作用为主,其波浪状况几乎完全取决于风,主要为风浪,涌浪极少,全年以偏南风浪为主。波高小于1.5m的波浪占全年风浪的96%以上(吴秀杰等,1986)。辽东湾西岸近期普遍受侵蚀后退,海水向陆进侵(任明达,1988)。海进是沙丘形成和发育过程中一种重要的动力作用(Cooper,1958;Pye and Bowman,1984)。

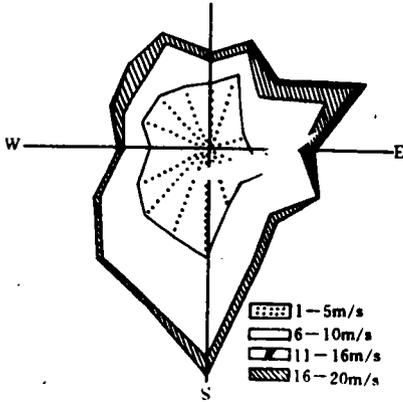


图5 滦河口附近风分向频率图

Fig. 5 Wind rose for Luanhe River Mouth

沙坝发育,属于Wright等(1979)海滩分类中的消耗型海滩。而风沙的搬动速率以消耗型滩为最大(Shot and Hesp,1982),加之昌黎海岸陆域开阔,地势低平,因而会成为海岸风成沙丘发育的良好场所。

## 3 海岸沙丘的物质来源

适合于风力搬运的丰富沙源是形成海岸沙丘的物质基础。昌黎海岸带宽达200—500m的海滩是风成沙丘的直接物源区,而海滩沙质沉积物又靠河流的输送和补给。戴河、洋河和饮马河在沙丘北部流入辽东湾,为发育于附近低山丘陵区的短源小河,其中以洋河流量最大,所携带的物质主要为粗砂。虽然沙丘北段洋河方面存在着泥沙向南搬运的条件(蔡爱智等,1983;姜太良等,1986),但因它们均是流域面积、径流量很小的间歇性河流,不能携带大量的沙质沉积

昌黎海岸地处半干旱地带,据昌黎城关气象站资料,年平均降雨量为730mm,主要集中在6—8月份,年平均蒸发量为1759mm,远大于降雨量。这直接影响到风沙的搬运速率。植被可以拖阻近地层气流的运行,导致风速减低,阻止风蚀,引起沙质沉积物的堆积。研究区沙丘迎风坡和丘间地区有植被发育的地方因其风蚀速率小于其他地方而凸出于沙丘表面或形成孤立的沙丘。向陆方向,随着植被覆盖率的增加,沙丘的活动性也逐渐减弱而成为半固定或固定沙丘。其内部夹多层成土灰化层,说明固定沙丘在不断地加积。目前,昌黎海岸沙丘受人类活动的影响还较小。

昌黎海岸水动力条件较弱,为浅湾低能型海岸,其海滩坡度小,破波带小,破波带宽,沿岸

物入海,它们输送的沙质沿岸向南输送可以为北段沙丘提供少量的物质来源。这说明海岸沙丘还有其他更重要的物质来源,它只能是在沙丘南端入海的滦河。

滦河是一条中等偏小型河流,发源于蒙古高原,穿过燕山山脉,南流入辽东湾,全长900km,年平均径流量 $4.5b \cdot m^3$ ,年平均输沙量为 $19m \cdot t$ ,其输沙量与径流量之比为4.2,虽小于黄河,却大于长江、珠江和辽河(大港油田研究所等,1985)。滦河入海泥沙以细沙和粉沙为主,中沙和粘土次之,平均粒径 $2.7\phi$ ,中砂含量约为4%,大于 $2.5\phi$ 粒级沙的含量小于28%。而沙丘沙为中细沙和中沙,平无粒径为 $1.7-2.3\phi$ ,中砂含量平均为43%,大于 $2.5\phi$ 粒级的沙在沙丘中占92%以上,大蒲河口至滦河口之间海滩沙的粒度组成与其基本相同。滦河是一条多沙性河流,虽然大于 $2.5\phi$ 粒级的沙质沉积物在滦河入海泥沙中所占比例较小,但由于滦河的输沙量很大,所以大于 $2.5\phi$ 粒级的沙绝对量年平均可达500万吨,远远大于洋河、戴河和饮马河的输沙总量。滦河入海泥沙有75%以上集中在盛行偏南风的5—8月份内。入海泥沙在风浪作用下搬运的过程中,砂和极细砂被搬运浅海,而细砂和中砂在内滨带沉积下来建造成沿岸沙坝。滦河口北面分布的3—5道沿岸沙坝就是这样形成的。沿岸沙坝经水动力的长期筛选作用,较粗的部分滞留原地或向岸搬运而相对富集。平均粒径为 $2.2-2.4\phi$ ,至新开口地区,平均粒径可达 $2.1\phi$ ,中砂含量占48%以上。最靠近海岸的一条沙坝低潮时出露,顶部受到侵蚀和向陆侧接受沉积使其向陆迁移。这样海滩沙便得到了源源不断地补充,海岸沙丘也就有了充足的物源。

#### 4 海岸风成沙丘的发育

风是形成海岸沙丘的动力因素。偏东风浪和涨潮流的作用使大量的沙物质堆积于海滩上部而暴露。由于风力作用使沙粒脱离海滩表面而进入气流中被搬运,产生风沙运动并形成风沙流。风力搬运的沙量随风速的增加而急剧增加。本区起沙风的频率较大(图5),当优势风NE—NEE向风盛行时,风速最大可达 $18-20m/s$ ,可由海滩向陆地搬运大量的沙物质。风沙运动主要以跃移的形式进行,气流中搬运的沙大部分是在离沙面10cm高程内通过。在海岸沙丘发育的初期,滨岸堤和草丛的存在以及地表的微小起伏都会引起风沙流容量的减小,导致沙粒从气流中脱落发生遇阻或停滞堆积而形成盾形沙堆。沙堆形成以后,其本身就成为风沙流运行的障碍。随着沙体的不断增高,出现落沙坡并逐渐扩大,沙堆发展成为新月形沙丘,研究区沙质沉积物供应充足,新月形沙丘彼此相连成为沙丘链。在昌黎海岸,紧靠海滩的一列沙丘在空间上的排列与展布受优势风向和海岸线的双重控制,其展布方向近乎平行于海岸,和优势风向(NE—NEE向)以锐角相交,因其离沙源区(海滩)较近,形成的沙丘比较高。向陆方向,海岸线对沙丘的展布没有影响,所以向陆一侧的几列沙丘走向垂直于优势风向,因其离沙源区较远,沙物质的供应相对不足,形成的沙丘较为低矮。

滦河以南为沙坝—泻湖海岸,海滩沉积物较细,主要为粉细沙和粘土淤泥,海岸走向为NE—NEE向,与本区优势风向平行,没有强劲的向岸风。可见,滦河以南既缺乏充足的物质来源,又缺乏形成沙丘的动力因素,因而滦河以南海岸沙丘不发育。

沙丘区沉积物向陆搬运表现为迎风坡遭受风蚀,背风坡接受沉积,其结果是沙丘向陆移动。昌黎海岸沙丘南段每年向陆移动可达10m(蔡爱智等,1983)。昌黎海岸除向岸风外,尚有离岸风作用,离岸风使沙质沉积物向海搬运,但由于离岸风的风力和出现频率小于向岸风,因

此只能使沙丘顶部或沙丘两翼发生微小的离岸迁移。

海岸沙丘的形成和发育是全新世的最新事件,据历史文献记载和古海岸线位置推断,昌黎海岸沙丘于唐代(1000年前)以来才逐渐形成(高善明,1983)。可见研究区风沙活跃的历史并不长。沙丘在向陆推移的过程中,其形态也在不断变化。在1915年发生海啸和滦河由现今位置入海以前,本区海岸线和海岸沙丘形态曲折,七十多年来,随着海岸蚀退和沙丘西移,海岸沙丘和海岸线也由弯曲变得较为顺直,其内缘七里海泻湖也逐渐缩小淤浅。

### 参 考 文 献

- 大港油田研究所等,1985,滦河冲积扇—三角洲沉积体系,北京:地质出版社。
- 任明达、李淑鸾等,1988,渤海现代海进现象剖析,海洋学报,1期,67—75页。
- 吴秀杰、田素珍等,1986,河北海岸带波浪状况分析,黄渤海海洋,3期,9—15页。
- 吴正,1987,风沙地貌学,北京:科学出版社。
- 高善明,1983,滦河口北岸海岸沙丘的形成时代,海洋湖沼通报,3期,30—32页。
- 蔡爱智、蔡月娥,1983,中国海岸风沙沉积的形成与特征,中国沙漠,3期,1—10页。
- Bagnold R. A., 1941, *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen & Co. Ltd., London. p. 56—183.
- Cooper W. S., 1958, Coastal Sand Dune of Oregon and Washington, *Geol. Society of America Memoir* 72, p. 169.
- Gornitz V. S., 1982, Global sea level trend in the past century. *Science*, V. 215, p. 1161—1614.
- Hunter R. H. and Richmond B. M., 1988, Daily cycles in the coastal dunes. *Sediment. Geol.*, V. 55, p. 43—67.
- Pye K. and Bowman G. M., 1984, The Holocene marine transgression as a forcing function in episodic dune activity on eastern Australian coast. In: Thom B. G. (ed.), *Coastal Geomorphology in Australia*. Academica Press, Sydney. p. 179—186.
- Short A. D. and Hesp P. A., 1982, Wave, beach and dune interactions in Southeastern Australia. *Marine Geol.*, V. 48, p. 259—284.
- Wright L. D. et al., 1979, Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems, Southeastern Australia. *Marine Geol.*, V. 32, p. 105—140.

## Morphology Sedimentary Structural Characteristics and Genesis of The Changli Coastal Dunes, Hebei Province

Fu Qilong      Sha Qingan

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing)

### Abstract

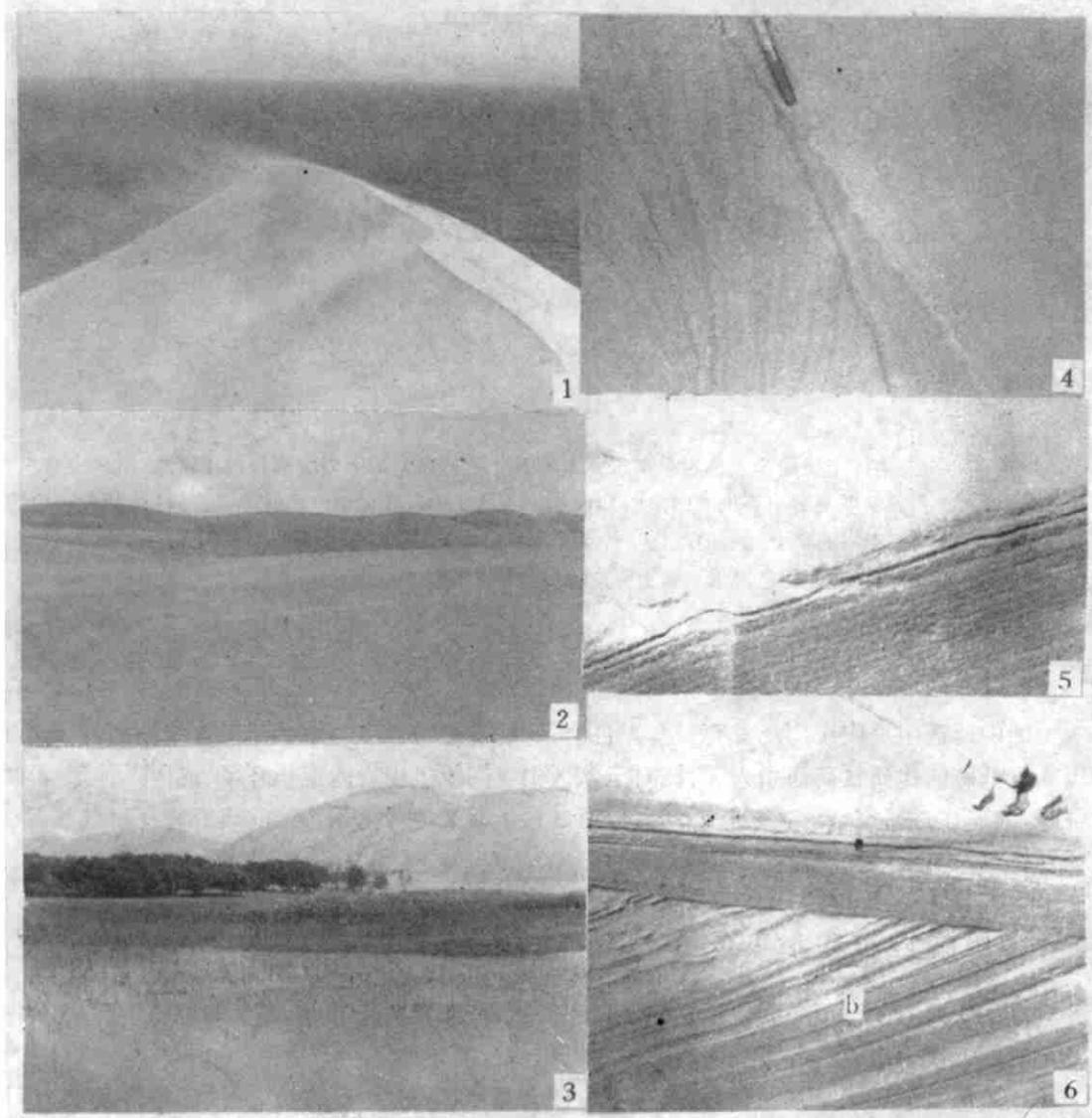
The Changli coastal dunefield, situated on the southwestern shore of Liaodong Bay, is one of the largest coastal dunefields in China. The dunefield forms a strip 2—3 km wide and more than 30 km long. The dominant dune type in the studied area is transverse dunes, and these dunes have spacings of 80—600m with a height 5—38m. Most dune crests are oriented normal to the prevailing wind vector (NE—NEE). There are close relationships between dune height, width and spacing ( $r > 0.8$ ).

Eolian sand ripples, composed of well-sorted medium to fine-grained sand, occur mainly on the stoss sides of dunes, with their long axes parallel to the slope. Granule ripples form in the interdune lows of coarse

lag deposits. They are form in the interdune lows of coarse lag deposits. They are usually asymmetrical and large, and move slowly than the sand ripples.

In the main trenches, oriented at right angles to the dune crests, two types of stratifications were recognized. Low-angle cross-strata sets occur on the surficial parts of the stoss sides, they dip upwind (NE50-70), with angles less than  $11^{\circ}$ . High-angle cross-strata sets are the dominant type of stratification in studied area, mostly they are tabular-planar, and measurements show the foreset strata with southwestern dips of  $28^{\circ}$ - $31^{\circ}$ . Sets of cross-strata in the beach are relatively thin and slightly dipping with angles less than  $6^{\circ}$ .

Sand dunes may occur where there is a large supply of sand, a wind to move it, and a place in which it can accumulate. Changli Coast, with wide and low-angle beach, is ideal location for these criteria to be met. The original sand source for the Changli coastal dunes is Luanhe River. The abundant fluvial sediments are transported northward and deposited on the beach by the alongshore currents and waves. The onshore wind blows the well-sorted sand grains off the beach and transports them landward, then builds up large transverse dunes. At present time, the coastal dunes are still active.



1. 紧靠海滩的沙丘,沙丘脊呈楔状,在离岸风的作用下,原来的迎风坡变成了落沙坡。 2. 陆侧低短沙丘,背部浑圆,其表面沙纹发育,沙纹脊线和沙丘走向平行。 3. 丘间洼地中植被发育。 4. 雨天沙丘表面沙纹遭到破坏,取而代之的是流水痕迹。 5. 沙丘背风坡高角度交错层理。 6. 沙丘迎风坡层理构造,a为低角度交错层理,b为高角度交错层理。