

美国科德角半岛地貌

李 凡 唐宝珏

(中国科学院海洋研究所)

科德角 (Cape Cod) 是美国马萨诸塞州东南部的一个半岛, 面对浩瀚的大西洋, 著名的伍兹霍尔海洋研究所 (Woods Hole Oceanographic Institution) 位于这个半岛的西南角。整个半岛犹如一个巨人弯曲的臂膀, 从马萨诸塞州东南部的英格兰陆地上伸向大西洋 (图1)。半岛上, 山丘蜿蜒成弧, 象一个巨大的花瓣; 海滨沙嘴弯如月, 沙坝长如刀; 海蚀崖陡峭, 砾石滩发育; 滨海平原上一排排小河并肩南流; 小湖泊星罗棋布在绿色“地毯”上。这种地貌奇观是很值得探讨的。

1984年, 作者对该区进行了考察, 并参阅了有关资料。现报道如下。

一、科德角的地质发育史

科德角半岛是晚更新世冰期由冰川沉积物堆积而成的。

威斯康辛冰期时, 北美大陆冰川中心位于拉布拉多高原及哈德逊湾。随气候变冷, 冰川向南扩展, 侵入新英格兰地区, 覆盖了目前科德角半岛一带的陆地。其前缘位于长岛, 向东穿过勃劳克 (Block) 岛, 玛尔萨斯葡萄园岛 (Marthas Vineyard) 至那楚克特岛 (Nau-tucket) 一线。更新世末期, 随着气候转暖, 冰川向北收缩, 前缘退至罗德岛 (Rhode)、伊丽莎白岛 (Eligabeth) 及科德角半岛目前的位置。据¹⁴C测年资料, 最后一次冰期占据科德角半岛的时间为2.5—1.4万年¹⁾。当时, 冰川前缘分裂成几个巨大的冰舌 (Lobs of the ice), 每一冰舌的前锋呈舌形向外延伸。

巴札德湾 (Bazzard) 的南岸和东岸为一冰舌, 称巴札德冰舌; 科德角半岛为另一冰舌,

称科德角冰舌。两冰舌相连于科德角运河 (Cape Cod Channel) 处, 形成“人”字形, 向北与新英格兰陆地连接。在冰川的推进和消融后退过程中, 冰舌前缘抛下大量冰碛物, 形成了一带高低不平、蜿蜒起伏的岗阜低丘。更新世末期及全新世初期, 海面上升, 大西洋海水侵入科德角湾, 逐渐使科德角成为附着于马萨诸塞州的半岛。

二、主要地貌类型

如上所述, 科德角半岛由巴札德冰舌的东半部和科德角冰舌的冰缘沉积组成, 整个半岛成为狭长的人臂形。巴札德冰舌东半部和科德角冰舌西半部的冰缘沉积物构成了“巨人”的“大臂”。科德角冰舌东半部的冰缘沉积物构成了“小臂”。整个半岛长约110公里, 最大宽度约35公里, 最窄处在科德角运河附近, 仅1.5公里左右。半岛上可以分为以下几种主要地貌类型。

1. 冰碛低丘

冰川刨蚀北美大陆, 携带大量泥沙、砾石及漂砾, 随冰川扩展, 向南搬运。冰川消融时, 杂乱无章地堆积在冰舌前缘, 形成宽约1.5—3.0公里的弧形低丘岗阜条带 (图1), 成为科德角半岛的弧形脊部。此带向西可与伊丽莎白岛连接。岗阜上常有巨大的漂砾, 有的象基岩露头。例如半岛北部的Doane石, 估计有千余吨重。大多数漂砾久经风化, 表面已很少保存有冰川擦痕。

1) Emery, K. O., 1977. Geology and shore of Cape Cod. interior.

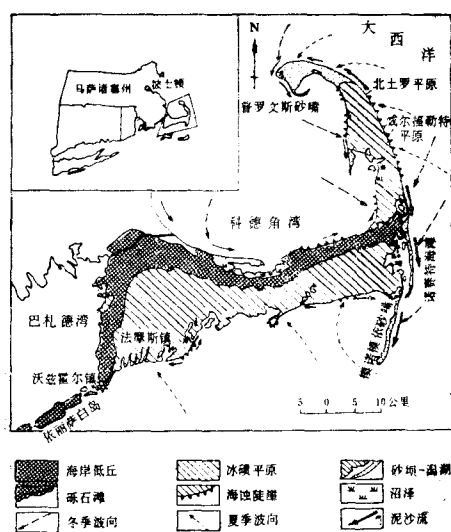


图1 科德角半岛地貌

岗阜上沉积物的结构特征是砾石、泥、沙异常混杂，除整个剖面上可以分辨出因冰川进退形成的沉积层外，一般不具层理构造，砾石成份主要是花岗片麻岩、闪长岩等，它们是从北美大陆由冰川刨蚀裹带而来的，未经流水的搬运，故粒度分选不好，砾石呈稜角或次稜角状。据地球物理勘探资料，这里冰缘沉积物的厚度一般为30—70米厚，西南部的伍兹霍尔镇可达90米左右。其基底为泥盆纪花岗闪长岩 (Emery 1977)。

在冰川融化过程中，冰舌前缘常折断成巨大的冰块，夹杂在冰碛物中。冰块周围逐渐堆积起厚层沉积物。冰块进一步融化时，在原冰块停滞区形成大小不等的凹地，并且积水成湖 (kettle 或 pond)，从而在岗阜区形成一连串凹凸不平的低丘凹地群聚的特殊冰碛地貌景观，地质学家称之为冰碛阜 (knob and kettle)⁽²⁾。这种由冰碛阜构成的冰碛低丘，顺巴扎德冰舌及科德角冰舌前缘成弧形排列，构成了科德角半岛的骨架。

科德角半岛受大西洋暖流影响，气候温和湿润，成土作用条件较好，低丘上生长着以北美落叶松为主的茂密森林。

2. 冰水平原

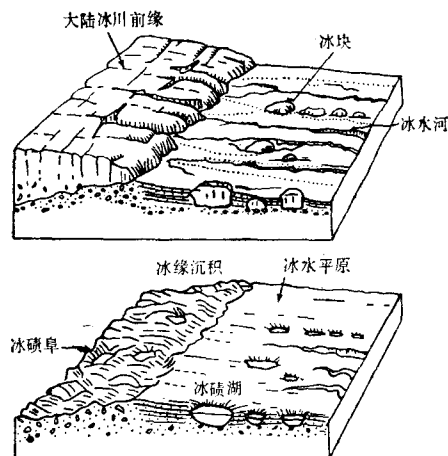
冰碛低丘以南是平坦宽阔的冰水平原

(outwash plain)。北面的大陆冰川融化时，冰融水从冰缘沉积物组成的低丘流出，携带的泥沙沿途堆积，由于河道的摆动、洪水泛滥等，在冰碛低丘的外缘发育成冰水平原。这里的沉积物以泥、沙、细砾等为主。随流水动力条件的变化、沉积层中发育有大型的斜层理、交错层等河流相沉积构造。沉积物层厚一般为100—130米。由于地理条件的限制，河流多为平行或略成放射状南流的小河。

在河流发育过程中，有时因河道淤塞或河流截弯取直等，形成了小湖泊或沼泽。

在冰川后退过程中，常有许多大的冰块停滞，因体大量重，往往不易搬运。而后，在冰块周围沉积越来越厚的冰川沉积物，有些甚至将冰块埋入其中。这些冰块融化后，便形成大小不等的湖、塘，或称冰碛湖 (图2, 3)，由于冰块漂移频繁，所以，因冰块融化形成的湖泊很多，分布广泛，加上低丘区的湖泊，其量数以百计，科德角半岛真可谓百湖半岛。

冰水平原因为地势平坦开阔，成为当地的商业、工业中心。

图2 冰碛阜及冰碛湖的成因示意
(引自A. N. Strachler, 1966)

3. 堆积海岸

包括砂嘴、砂坝-泻湖岸及砾石岸。其中，以砂嘴最为奇特、壮观。

(1) 普罗文斯砂嘴。这是本区最大的复式砂嘴，位于科德角半岛的最北部，向北直插

大西洋深处。著名的游览胜地、艺术家之城——普罗文斯镇就位于这个砂嘴之上。普罗文斯砂嘴向北、西伸展后折而向南，俨如人的手腕和拳头，所以，有人把它称为科德角的手腕（Wris）和拳头（fist）。它的物质来自半岛东部的北土罗平原（north Truro plain）上的高地（highland）。这里面临大西洋，海岸经受强烈侵蚀。在夏季东风和东南风的作用下，海浪与岸线成锐角相交，交角指向北，产生北向的沿岸输沙力，将侵蚀下来的沙，沿岸向北北西方向搬运，形成北北西方向延伸的砂嘴。因为科德角半岛是由未固结的冰缘沉积物组成的，海岸松散，易受侵蚀，所以，这里可以源源不断地为砂嘴发育提供沙源。

砂嘴向西北方向延伸后，东北风影响相对加强。东北风是本区之强风向，主要发生在冬季。它们与砂嘴成 30° — 50° 交角，沿岸输沙力较强，迫使早期之普罗文斯砂嘴折而向西，然后，受海浪折射及北向风影响，使砂嘴顶端折而向南。如此继续，新砂嘴在老砂嘴的基础上不断增长，逐渐形成大型的普罗文斯复式砂嘴（图3）。

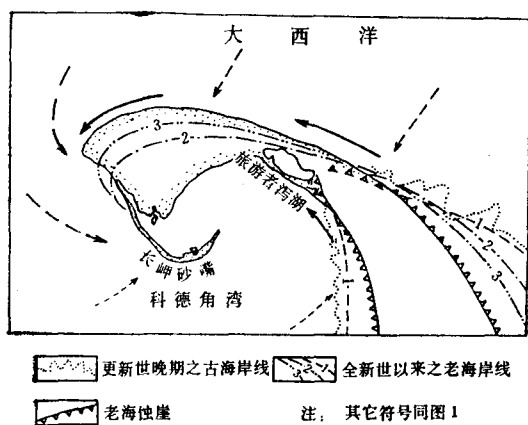


图3 普罗文斯复式砂嘴的形成示意

普罗文斯砂嘴主要由粗沙、中沙及细砾组成，在尾部的罗斯角（Roce）、细沙成份增多，海滩坡度 $1/30$ — $1/40$ ，高潮线以上的海滩剖面上，出现不典型的堆积阶地，高出现代高潮线4—5米，它是由早期的沿岸砂堤组成的，可能是全新世中期老海滩的遗迹（图4）。沿岸

砂堤以上为滨海砂丘，沙质海滩剖面发育典型。

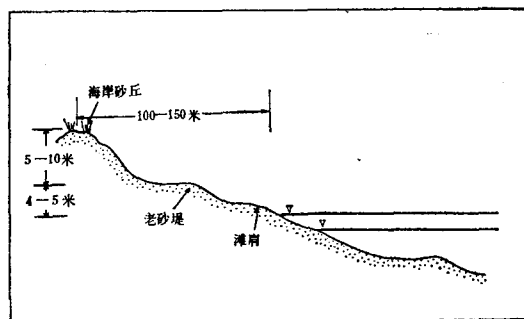


图4 普罗文斯复式砂嘴的海滩结构

（2）模诺摸依（Monomoy）砂嘴。位于半岛的南部，砂嘴根部在科德角半岛东南拐角处，砂嘴本身呈南北走向的长条形，长约10公里，东西宽0.2—0.5公里，该砂嘴的沙直接来源于北部奥尔兰（Orlean）海滩和那塞特（Nauset）海滩的侵蚀，东北向强风与奥尔兰海滩及那塞特海滩岸线成锐角相交，交角指向南，产生南向输沙力，出现自北而南的南向泥沙流，促使模诺摸依砂嘴向南迅速增长，最快每年可增长20—30米。

（3）砂坝-泻湖海岸，其中以那塞特海滩附近规模最大。美国联邦地质调查所（U. S. G. S.）及伍兹霍尔海洋研究所的有关学者对这段砂坝-泻湖海岸的发育过程都进行过详细的研究。此类砂坝是在纵向（沿岸）泥沙运动为主的条件下，由砂嘴发育起来的砂嘴式砂坝，类似于美国长岛^[3]及中国山东乳山县白沙口^[1]等地的砂坝-泻湖海岸的纵向发育模式。其泥沙来自北面的高地至威尔福勒特（Wellfleet）岸段的侵蚀，特别是在冬季强劲东北风的作用下，新产生的南向沿岸输沙力，乃是本区砂坝-泻湖海岸形成的主要动力因素。由于这里的海岸线迂迴曲折，使砂嘴沿湾口延伸，分隔部分海域成泻湖，仅在那塞特高地附近有一狭窄的潮汐通道与大西洋相通。目前，泻湖内一些较高的地方已演变为盐沼，临近潮汐通道的局部深水区则被开辟为小港口，供渔轮或游艇停泊。

除上述大型的堆积体以外, 小型沙质堆积体比比皆是, 如普罗文斯复式砂嘴顶端的次生砂嘴——长岬砂嘴 (long point) (图5), 西岸的耶利米砂嘴 (jeremy point) 等。科德角半岛上堆积地貌的规模较大, 数量众多, 反映了半岛的海岸具有物质松散易蚀, 以及海洋动力因子活跃等基本特征。在这种情况下, 半岛许多岸段都发育有长距离的泥沙流, 为沙质堆积地貌的发育提供了非常有利的条件(图1)。



图5 普罗文斯砂嘴尾部的次生砂嘴——长岬砂嘴 (据凯纳)

(4) 砾石海岸。这是半岛上的另一类堆积海岸, 分布面积很小, 仅在半岛西南角的伍兹霍尔镇与法摩斯镇之间局部岸段上出现。砾石的颗粒西部较粗大, 其长径多为10—20厘米, 东部颗粒变细, 至法摩斯镇西面已过渡到沙质海岸。砾石成分主要是花岗片麻岩、闪长岩等, 也有部分石英岩脉颗粒。圆或次圆状。它们是冰碛低丘的冰碛物中小的冰碛石, 经长期的冲刷分选而成的, 其中细粒泥沙被抛到水下岸坡或邻近岸段沉积。砾石滩坡度为1/5—10, 其上见有发育不太好的小型阶地, 记录了因风暴潮影响而引起的增水现象。

海滩上的砾石长期受海浪作用, 出现定向排列的镶嵌构造。砾石多倾向东南, 反映了这一岸段上主要受东南向海浪作用的动力特征。

4. 侵蚀海岸——现代海蚀陡崖

侵蚀岸约占半岛的30%左右, 主要分布在半岛的东北部。由于半岛海岸是由松散的冰碛物组成的, 其休止角较小, 所以, 本区没有十

分陡峭险峻的海蚀悬崖 (cliff)¹⁾, 一般为坡度较前者缓的海蚀陡崖 (scarp)。

调查区海蚀陡崖分布面积很广, 但是, 主要在半岛的东北部, 特别是东岸的高地海岸 (highland) 附近, 陡崖高达50米左右, 其他地区一般高20—30米。高地海岸至威尔福勒特海岸之间有漫长而巨大的海蚀崖, 那里海岸经受强烈的侵蚀后退, 其速度平均每年一米左右, 为南北两端的沙质堆积体提供了丰富的沙源。

5. 海岸砂丘

在科德角半岛的北部, 特别从高地海岸至普罗文斯砂嘴上, 发育许多高大壮观的海岸砂丘, 这些砂丘的沙都是砂嘴、海滩或沿岸砂堤上的沙在强劲的、从大西洋洋面上吹来的风的作用下形成的, 其相对高度可达10—20米。除了部分砂丘具有新月形外, 一般形状不规则。其上多长有低矮的松林, 紧靠海滩的砂丘, 一部分被毛茛科或豆科的植物固定。

三、海岸的防护和利用

该区防止海岸侵蚀的措施主要有两种。

1. 修建丁坝群

丁坝群能够阻挡或减弱海浪作用产生的沿岸输沙力, 并在丁坝附近产生回流, 不但能够有效的防止海岸侵蚀, 而且使丁坝间发生淤积, 形成一个个小型的沙滩。

2. 砌石护坡

一般在地区不大、位置重要的地区采用砌石护坡的办法。除此以外, 当地居民在海浪作用不太强烈的岸段, 还利用这里林密树茂的有利条件, 把大量的树枝树干堆砌在高潮线上, 也能达到消浪防蚀的良好效果。

以上防护措施多在居民点或有公共设施的

1) cliff和scarp都被译为海蚀崖。但是, 前者多指在基岩海岸上发育的悬崖峭壁, 后者多指在松散沉积物上发育的陡崖, 坡度一般为30—40°, 较前者小。为了区别, 本文将前者译为海蚀悬崖, 后者为海蚀陡崖。

岸段上采用，半岛绝大多数侵蚀岸段，特别是半岛东北部的高地海岸至威尔福勒特海岸之间，岸线虽受强烈侵蚀后退，但是却设置任何防护设施。估计，侵蚀区将进一步向北扩大。

参考文献

[1] 李凡，1983。白沙口海岸小泻湖的形成及

砂坝-泻湖海岸的成因。海洋科学 6:12—18。

[2] Strachler, A. N., 1966. A geologist view of Cape Cod.

[3] Fisher, J. J., 1968. Barrier island formation: discussion. Geol. Soc. Am. Bull. 79, 1421—1426.

INTRODUCTION TO THE GEOMORPHOLOGICAL PATTERN ON THE CAPE COD PENINSULA

Li Fan and Tang Baojue

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

Abstract

Cape Cod peninsula, located in the southeast of the Massachusetts state, was formed by the accumulation of the moraine after the glacier melted in the late Pleistocene and early Holocene. The moraine knobs, moraine plane, accumulated sand and gravel coast, erosional coast such as sea scarp and coastal dune etc. geomorphological patterns were evolved on the Cape Cod peninsula. Some part of the coast were effectively protected and utilized by the resident but most of it still not been protected.