

RECENT MORPHODYNAMICS AND
INFLUENCING MECHANISMS OF
THE BEACHES AROUND HAINAN ISLAND

海南环岛沙滩

近期地貌动态及其 影响机制

钟小菁 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

海南环岛沙滩近期地貌动态 及其影响机制

Recent morphodynamics and influencing
mechanisms of the beaches around
Hainan Island

钟小菁 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

海南环岛沙滩近期地貌动态及其影响机制/钟小菁著. —北京: 北京理工大学出版社, 2020. 7

ISBN 978 - 7 - 5682 - 8761 - 6

I. ①海… II. ①钟… III. ①沙滩 - 海岸地貌 - 研究 - 海南
IV. ①P737. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 133135 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中画美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 10.5

字 数 / 152 千字

版 次 / 2020 年 7 月第 1 版 2020 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 46.00 元

责任编辑 / 梁铜华

文案编辑 / 杜 枝

责任校对 / 刘亚男

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

摘要

海岸带是陆地和海洋交互作用的区域，也是人类生活和生产活动的主要区域。海滩是海岸的重要组成部分，具有灾害防御、旅游休闲和生态服务等重大功能。海滩在风、波浪、潮汐等动力的持续作用下发生动态变化，而这些自然条件和人类活动的变化将对海滩形态演变趋势产生影响。在推进海南国际旅游岛建设发展的背景下，对海滩这一自然旅游资源的监测和研究不仅对海南岛旅游资源的规划和管理具有重要的现实意义，同时也是海岸带防灾和国际旅游岛可持续发展的科学依据。本书基于近年来环海南岛海滩剖面观测资料，利用小波变换和 EOF 分析等数学方法，分析了海南环岛海滩形态变化的总体格局和区域特征，利用多元回归模型探讨了影响海南环岛海滩变化的主要因素和机理，基于分形理论和功率谱分析研究了台风影响下的海南岛东部和南部岸线变化的空间尺度特征；针对近年来影响海南岛的台风和人工岛建设两大主要的外部因素，结合水动力数值模型 TELEMAC 分析了台风“威马逊”（Rammasun）登陆海南岛的水动力过程和沿岸变化及其对海滩变化的影响机制，并通过历史遥感影像解译，探讨了人工岛对海南岛周围海滩的影响。

(1) 在海南岛沿岸，海南角和莺歌嘴以东的岸段 -5 m 水深以下的水动力环境相似，平均潮差较小，波高和波向的季节性变化明显；海南岛以西、莺歌嘴以北的海岸平均潮差较大，波高总体较小。相应的，海南环岛的海岸中，西部和北部海岸线变化较小，海滩剖面变化呈现典型的季节特征；受台风影响，海南岛东部和南部海岸不稳定，其中从万泉河口至鹿回头海岸的平均水下坡度比其他岸段的水下坡度偏大 0.5° ，是海南环岛中岸滩变化最剧烈的海岸。

(2) 结果表明，在不同的时间区间和动力环境下，最大潮差、水下坡度、剖面方位角、平均波浪周期、平均波高等参数都与海岸形态变化量（包括岸线变化量、体积变化量和滩面坡度变化量）呈显著的相关关系。其中，波高和波浪周期对海滩的坡度和体积有直接的影响；海岸轮廓（岸线走向和岬角分布）通过改变波高和波周期的沿岸分布使滩面坡度和岸线变化在沿岸方向上产生差异；波向的变化不仅会影响这一沿岸

差异变化的程度和方向，还可能改变泥沙输移的方向，进而引起岸线变化的沿岸分异；潮差和水下坡度则主要对上述机制起增强或减弱的作用，但如果潮差或水下坡度有明显的近岸变化，也会造成近岸海滩变化的差异。

(3) 海南岛海岸线变化具有时空节律特征，其波动主要发生在沿岸长度为 30 km 左右的相对固定的岬角间海岸单元内变化，且表现出相邻单元间变化方向相异、相同单元内往复变化的特征；东部和南部海岸线变化还表现具有明显的分形性质，其空间尺度与波动功率的幂律关系在正常的水动力环境下能够延伸到 30 km 的沿岸尺度上，体现了 30 km 以下各个尺度的岸线波动模式及其强度的有序变化。台风主要在 15 ~ 25 km 范围内的海岸空间尺度上对海岸线变化的尺度规律产生影响。

(4) 以台风“威马逊”为例，台风期间海南岛沿岸出现浪涌的海岸线长度超过 520 km（除临水角至莺歌嘴以外的大部分岸段），出现风暴潮的海岸线范围则在 110 km 左右（海口湾至铜鼓岭岸段），台风登陆地点附近海滩受到明显影响的海岸范围与出现风暴潮的岸段一致。风暴潮和浪涌在海南岛沿岸的分布有显著的变化，主要受到了海南角和景心角等海岸地形和岸线走向的影响。风暴潮和浪涌在海滩后滨侵蚀，在风暴过后很难恢复，因此体积变化参量更能持久地保留台风这一偶发事件中沙滩上部受到侵蚀的结果。而海岸线变化会对近期动力条件变化产生较为实时的响应，台风过后水下沉积物会逐渐被搬回到滩面形成堆积，台风期间水下坡度和风暴增水的高度又决定了可搬运的水下沉积物的位置，从而对海岸线恢复的进程产生影响。

(5) 近年来，海南周边建设的人工岛项目有 12 个，其中东郊椰林湾、潭门渔港和日月湾人工岛等项目的建设使陆域海岸的岸滩剖面形态和岸线发生了较大改变。由于人工岛的选址、设计和施工中的一些因素，如人工岛与海岸的距离偏近、拦截沿岸流的进岛路堤、岸滩侵蚀的防护措施不到位或方法不当等都加剧了人工岛对邻近陆地海岸的影响和破坏。

综上所述，本书从整体上对海南海滩地貌的变化规律及其影响因素进行了研究，补充了国内在大尺度沙滩动态变化研究方面的缺失；创新

性地运用分形理论研究了平静天气下和台风影响下岸线变化的空间尺度特征差异，发现的岸线变化分形尺度突破了国际上相关研究的尺度上限，达到了 30 km 的海岸尺度；指出了岸线变化在时空上具有韵律特征，且台风作用还会进一步增强其中沿岸尺度为 15 km 的节律模式。本书探究了台风对海南岛海滩变化产生影响的动力过程及其沿岸分异，讨论了 2010 年以来建设的多个离岸人工岛对海南环岛岸滩的影响及主要因素。本研究的开展有助于加深对波浪、潮汐、地质条件等多因素控制下的大尺度沙滩动态变化过程，以及多尺度地貌变化机制的理解，同时也为海岸地貌分形和自组织研究起到补充作用，并为海南岛旅游资源的规划和管理提供了参考。

关键词：海南岛；沙滩；岸滩剖面；岸线变化；分形；台风；人工岛

ABSTRACT

Coastal zones are the areas where land and sea interact, and are also the main areas for human life and production activities. The beach is an important part of the coastal zones, and has disaster protection, tourism and leisure, ecosystem services and other great functions. The continuous effects of wind, wave and tide reshape the beach dynamically, while the changes of these natural conditions and human activities will have an impact on the trend of morphological evolution of beach. In the context of promoting the construction and development of Hainan International Tourism Island, the monitoring and research on this natural tourism resource, the beach, is not only of great practical significance to the planning and management of the tourism resources of Hainan Island, but also a scientific basis for the disaster prevention of the coastal zone and the sustainable development of the international tourism island. This article based on the observation data of beach profiles around Hainan Island in recent years, using wavelet transform and EOF analysis, the overall patterns and regional characteristics of morphological changes of beach around the island are analyzed. The main factors and mechanisms affecting the changes of beach are discussed by using the multivariate regression model. Based on the fractal theory and power spectrum analysis, the spatial scales of the shoreline changes on eastern and southern coasts under the influence of typhoon are studied. For the two major external factors that affect Hainan Island in recent years, typhoon and construction of artificial islands, the hydrodynamic process of typhoon RAMMASUN landing in Hainan Island and the alongshore variation as well as the mechanisms of beach changes affected by typhoon are analyzed combined with the numerical model TELEMAC, and the influences of artificial island on the beach around Hainan Island are discussed with the interpretation of historical remote sensing images.

(1) Around the Hainan Island, the hydrodynamic conditions with bathymetry under -5 m along the eastern coast between Hainanjiao and Yinggezui are fairly similar, with average small tidal range and significant

seasonal changes of wave height and direction; the average tidal range along the northwestern coast is relatively large, and the significant wave height is small. Correspondingly, the western and northern coast are relatively stable, the shoreline changes are quite small, and the variations of the beach profiles show typical seasonal features; due to the influence of typhoon, the eastern and southern coasts of Hainan Island are unstable, while the coast between the Wanquan Estuary and Luhuitou is the most unstable coast on the island, where the submerged slopes are 0.5° higher than the rest coasts.

(2) It can be found that under different dynamic environments with different investigated time intervals, each of the shoreline change, beach volume change and beach slope change has a significant relationship with the variations of maximum tidal range, submerged slope, profile azimuth, average wave period and average wave height as a group. Amongst them, the wave height and period have direct impact on beach volume and slope; coastline contour (shoreline azimuth and capes) make alongshore differences of shoreline changes and beach slope changes by redistributing the wave height and period in alongshore direction; changes in wave direction can not only influence the magnitude and trend of the alongshore differences, but also change the direction of sediment transportation and then cause different shoreline changes in alongshore direction; tidal range and submerged slope mainly enhance or reduce these mechanisms, but if there is significant alongshore variation of tidal range or submerged slope, they can also make alongshore differences of beach changes.

(3) The variations of shoreline around Hainan Island have temporal and spatial rhythmic characteristics, which mainly occurred in relatively fixed space units as bays with length around 30 km, and the directions of the changes between the adjacent units are different, while within the same unit the beach shows seasonal variation; and the changes of shoreline on eastern and southern coasts show obvious fractal features, the fractal features of the shoreline changes can be extended to the alongshore scale of 30 km, which indicates a

relationship between the patterns of shoreline changes and the orderly variations of their intensities under the scale of 30 km. The typhoon mainly affects the shoreline change patterns with alongshore scales about 15 ~ 25 km.

(4) The storm waves were distributed along the coast of Hainan Island in spatial scale over 520 km (most coastlines except the section from Linshuijiao to Yinggezui) during RAMMASUN, and the storm surge occurred along the coastline with the length of about 110 km (from Haikou Bay to Tongguling), the coast which was dramatically reshaped by RAMMASUN is the coast section suffered storm surge. Affected by the coastline shape such as Hainanjiao and Jingxinjiao, the storm waves and surge varied in alongshore direction. Because the backshore erosion caused by storm surge and storm wave can hardly be recovered by nature, the parameter of beach volume change could preserve the storm erosion. While the shoreline change is relate to the realtime hydrodynamic condition, the deposited sediment could be moved back to beach surface, in the meantime, the submerged slope and storm surge decided the position of movable sediment and then have an impact on the progress of shoreline recovery.

(5) In recent years, there are 12 artificial island projects constructed around Hainan Island, of which artificial island projects in the Dongjiao Coconut Forest Bay, the Tanmen Fishing Port and the Riyue Bay reshaped the beach morphology and the shoreline dramatically. The short distances between artificial islands and the land coasts, the impermeable embankments connecting the islands, and improper protection methods exacerbate the impact and damage of artificial islands on the adjacent land coasts.

In summary, this study investigate the Hainan Island as a whole for the morphological change and influencing factors, creatively utilized the fractal theory to evaluate the differences in the scale features of shoreline changes between fair weather and storm weather, and the fractal scale discovered breaks the upper limit in other study. This study found rythmic patterns of shoreline change in time and space, which will be strengthen during

storm. This study investigated the hydrodynamic process during storm and it's alongshore variation, discussed the effects of artificial islands built since 2010 on coasts around Hainan Island. This study offers the complementary information for the fractal and self - organised coastal morphology, which is not only useful for better understanding of the large - scale morphodynamic processes under the control of wave, tide and geological conditions, but also for the research of multi - scale morphodynamic mechanisms. This study also gives some references for the planning and management of the tourism resources of Hainan Island.

Keywords: Hainan Island; sandy beach; beach profile; shoreline change; fractal; typhoon; artificial island

目 录

第一章 绪论	001
1.1 砂质海岸地貌动态及其影响因素	003
1.2 数学方法在海滩动态研究中的应用	013
1.3 海南岛海滩演变的研究	018
1.4 尚存在的问题	021
第二章 海南环岛沙滩变化的区域差异及其影响因素	023
2.1 研究区域概况	023
2.1.1 海南岛概况	023
2.1.2 海南岛沿岸潮汐和波浪概况	024
2.2 数据与方法	027
2.2.1 环岛岸滩剖面	027
2.2.2 野外现场调查与室内实验	028
2.2.3 数据处理与分析方法	030
2.3 海南环岛海滩质量的现状	036
2.4 环岛沙滩形态的时空变化规律	040
2.4.1 环岛岸线的变化规律及区域特征	040
2.4.2 环岛不同岸段的剖面形态变化特征	042
2.5 沙滩动态变化的沿岸分异及其影响因素	045
2.5.1 沙滩变化、动力和地质条件的沿岸分异	045
2.5.2 沙滩变化及其影响因素的多元回归分析	048
2.6 讨论	052
2.7 小结	054
第三章 海南岛东部和南部岸线变化的多尺度特征	056
3.1 分形理论及相关研究	056
3.2 数据和方法	058
3.2.1 数据准备	058
3.2.2 功率谱分析	059
3.2.3 布朗噪声	060

3.2.4	上截幂律·····	060
3.3	岸线变化在沿岸方向上的波动特征·····	060
3.4	垂直于岸线方向的岸线变化幅度·····	065
3.5	讨论·····	068
3.6	小结·····	071
第四章	台风对海南岛沙滩的影响及其动力过程 ·····	073
4.1	水动力数值模型的应用·····	073
4.1.1	1409号超强台风“威马逊”和风场数据·····	073
4.1.2	TELEMAC模型介绍·····	075
4.1.3	模型网格和参数设置·····	076
4.2	水动力数值模型验证·····	077
4.2.1	一般天气条件下的模型验证·····	077
4.2.2	台风期间的模型验证·····	080
4.3	台风登陆过程的动力场·····	080
4.4	台风作用下海南岛沙滩的变化·····	084
4.5	讨论·····	088
4.6	小结·····	090
第五章	人工岛建设对海南岛岸滩形态的影响 ·····	092
5.1	海口市西海岸南海明珠人工岛和东海岸如意岛·····	094
5.1.1	人工岛基本情况·····	094
5.1.2	海口西海岸和东海岸的水动力环境·····	095
5.1.3	南海明珠人工岛附近岸滩的变化·····	095
5.1.4	如意岛附近岸滩的变化·····	101
5.2	文昌市东郊椰林湾人工岛和南海度假村人工岛·····	105
5.2.1	人工岛基本情况·····	105
5.2.2	高隆湾的水动力环境·····	106
5.2.3	人工岛附近岸滩的变化·····	106
5.3	琼海市潭门渔港人工岛和万宁市日月湾人工岛·····	111
5.3.1	人工岛基本情况·····	111
5.3.2	人工岛附近海域的水动力环境·····	111

5.3.3 人工岛附近岸滩的变化·····	112
5.4 三亚市崖州中心渔港人工岛和儋州市海花岛旅游综合体·····	116
5.4.1 人工岛基本情况·····	116
5.4.2 崖州湾和洋浦湾的水动力环境·····	117
5.4.3 人工岛附近岸滩的变化·····	118
5.5 讨论·····	122
5.6 小结·····	125
参考文献·····	126
科研成果·····	153



第一章 绪 论



海岸带是陆地与海洋交互作用的区域，由彼此互相作用的近岸海域和滨海陆地组成，是地球上非常重要的自然地貌，承担着巨大的社会功能：全球的海岸线总长约 500 000 km (Schwartz, 2005)，全世界有一半以上的人口生活在距离海岸线 60 km 以内的近海陆域 (Woodroffe, 2002)。海岸带为人类的交通运输、养殖捕捞、垃圾排放、旅游休闲等活动提供了重要的场所，还蕴藏有潮汐能和波浪能等丰富的能源 (Davidson - Arnott, 2010)；海岸带具有独特的生态系统，其物种丰富多样，不仅孕育着红树林、盐沼植物、珊瑚和珊瑚礁，还为鱼类的繁殖和候鸟的迁徙提供理想的环境 (Goudie, 2004)。总之，海岸带对人类社会经济发展和自然生态环境都具有重大的价值。

作为陆地与海水面相接触的滨海地带，海岸在风、波浪、潮汐等动力的持续作用下发生动态变化，而自然条件的变化及人类活动则会影响此动态变化的趋势，进而影响到海岸及其邻近海域的沉积体系和生态环境系统 (Dean 和 Dalrymple, 2002)。在全球气候变化的背景下，海平面上升、入海河流水沙变化、强风暴等极端气候事件的增加使全球不同地区的海岸都面临着岸滩侵蚀后退、土地资源减少、人们的生产和生活受到威胁等问题 (Diez, 等, 2007; Dwarakish, 等, 2009; Thatcher, 等, 2013; Diffenbaugh, 等, 2017)；河流和海岸工程建设、滨海城市发展等人类活动又进一步增加

了海岸的脆弱性 (Blum 和 Roberts, 2009; Defeo, 等, 2009; Yang, 等, 2011; Lentz 和 Hapke, 2011; Qiu 和 Zhu, 2013)。因此, 认识和理解当前气候环境和人类活动作用下的海岸动态变化规律和机制, 对滨海城市安全和发展、海岸防护、自然环境保护等都具有重要意义。

我国拥有长度为 18 000 km 的大陆岸线和长度为 14 000 km 的岛屿岸线。自 20 世纪 50 年代以来, 全国海岸普遍受到侵蚀 (夏东兴, 等, 1993; 季子修, 1996; 蔡锋, 等, 2008; 陈吉余, 2010), 至今仍有许多岸段处在侵蚀或强烈侵蚀之中 (李广雪, 等, 2013; 程林, 等, 2014; 张林, 2016; 战超, 等, 2017; 王永红, 等, 2017)。海岸侵蚀可能导致房屋和道路等沿岸建筑设施破坏或移位、海滩宽度缩小、旅游功能下降、防风林被冲毁、海水倒灌、沿海低洼地淹没、土壤盐渍化加剧等情况, 从而造成经济损失和人员伤亡。沿海经济带占我国陆域国土的 13%, 以全国 40% 的人口创造着 60% 的国民生产总值 (邹志利, 2009)。沿海经济的发展, 一方面对良好的海岸带资源环境提出需求; 另一方面又给沿海地区和近岸海域的自然环境带来巨大的压力和挑战。海南岛是我国的第二大岛, 本岛岸线总长约 1 944 km。自 20 世纪 80 年代以来, 伴随着海南省和海南经济特区的成立, 海南省经济社会快速发展; 而在 1973 年至 2013 年的 40 年间, 海南环岛的一部分自然岸线不断发生侵蚀后退, 同时由于人为的圈围筑堤导致全岛约 1/4 的自然岸线变为人工岸线。海南环岛自然岸线的总长度不断减少, 其中砂质海岸线的长度以平均 5.69 km/a 的速度迅速减少 (包萌, 2014)。目前海南岛的海岸带土地利用格局已经发生了明显的变化, 天然海岸在人类活动的强烈影响下也已成为极脆弱的区域 (Tian, 等, 2016)。2009 年 12 月 31 日, 国务院印发了《国务院关于推进海南国际旅游岛建设发展的若干意见》, 从而掀起海南岛旅游度假资源开发的新一轮高潮。在这样的背景下, 更应当注重对海滩等自然旅游资源的监测和保护, 掌握当前自然条件和人类活动作用下的岸滩动态演变规律和机制, 为海南岛的综合规划与生态文明建设提供科学指导, 从而增强其可持续发展能力, 实现合理、有序的开发建设及长足的发展。

1.1 砂质海岸地貌动态及其影响因素

海岸地貌学是地貌学的分支。自 18 世纪末起,学术界就有针对受海洋、湖泊等大型水体影响的区域地貌的专门性研究。20 世纪 50 年代以前,对海岸地貌的研究以描述为主,且大部分受到戴维斯侵蚀循环理论相关概念的影响。当时对海岸地貌的描述和分类主要集中在海平面变化方面(尤其是全新世海平面上升对海岸地形地貌的作用),波浪和潮流则被视作夷直海岸线、使曲折的岸线平面形态由繁变简的动力作用(Woodroffe, 2002; Ashton 和 Murray, 2006a)。而最近几十年,对海岸地貌的研究重点由形态描述转变到了对动态分析和形成机制的研究。主要研究对象则是波浪、潮汐、波生流和潮流等动力因素发生作用的区域及其相关的侵蚀和沉积地貌(Jr. Duncan, 1964; Sunamura 和 Horikawa, 1975; Wright 和 Short, 1984; Elfrink 和 Baldock, 2002; 陈子燊, 等, 2010; Rijn, 等, 2013; Green 和 Coco, 2014; Jia, 等, 2015)。随着对流体运动、沉积物输运及动态地貌的观测仪器的快速发展(Davidson - Arnott, 2005),关于海岸沉积动力学方面研究的数据资料来源越来越丰富,对海岸带沉积物运动规律及其机制的认识和理论也在不断更新(刘勇, 等, 2016; 刘海江, 时连强, 2016; Xie, 等, 2017; Ge, 等, 2017)。

不同学科(例如生物学、工程学、地质学和地貌学等)甚至不同的国家对海岸带、海岸单元及其相应过程的定义也有所区别(Davidson - Arnott, 2010)。对于从海岸带的动力环境及因此发育的地貌单元,可以采用理想的海岸剖面结构图简要描述各海岸单元的界限和相关概念,如图 1-1 所示。

海岸带的定义普遍较为宽泛,而广义的海岸带向陆侧可以延伸至海崖顶部或数千米的海岸沙丘,向海侧则可以延伸至大陆架的边缘。我国在 20 世纪 80 年代开始的全国海岸带和滩涂资源综合调查中,把海岸线向陆侧延伸 10 km,向海侧延伸至水深 10 ~ 15m 等深线的范围界定为海岸带。图 1-1 中的“近岸带”区域是海岸带的主体,是海陆相互作用最为频繁的区域;

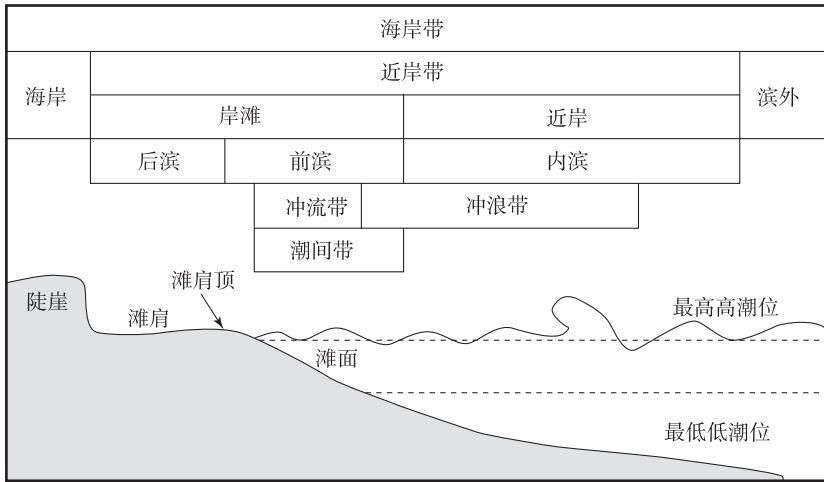


图 1-1 理想的海岸剖面结构图及本文所涉及的部分专业术语

(王宝灿, 黄仰松, 1989; Davidson - Arnott, 2010)

这一区域内的沉积物受到波浪运动的搬运作用，其上界是波浪运动与海滩发生作用的上限，下界则是波浪运动对水下地形产生作用的最大水深处 (Davidson - Arnott, 2010)。本书主要的研究对象则是图 1-1 所示的“岸滩”所覆盖的海岸带区域。海岸中的岸滩部分在波浪作用的范围之内，且在潮汐涨落变化的过程中有机会露出水面。岸滩可分为两部分：一部分是后滨，此处更靠近陆地，波浪一般只在风暴期间对此处的沉积地貌产生作用，而平静天气下风积作用则可能对沉积体进行重新塑造；另一部分是前滨，在平静天气下也受到波浪的作用，是地形变化较为频繁的区域。后滨通常是波浪作用下的堆积体，由陆向海逐渐延伸至滩肩顶位置，这种堆积的平面又称为滩肩，有的海滩剖面上同时存在多个滩肩。后滨的上界通常是植被覆盖的海岸、陡崖或沙丘；如果海岸发生侵蚀，则后滨的上界会向陆推移，植被受到破坏、陡崖和沙丘受到侵蚀而崩塌。滩肩顶是高潮时波浪上冲的界限，也是后滨和前滨的界限。前滨除滩肩顶以下的滩面，还包含滩面以下延伸至低潮回流边界的坡度平缓的海滩部分 (王宝灿, 黄仰松, 1989)。

根据影响因素的来源 (即是来自陆地或者海洋)，可以区分和归纳影响和控制海岸地貌发育的一系列自然因素，见表 1-1。为表达方便，生物作