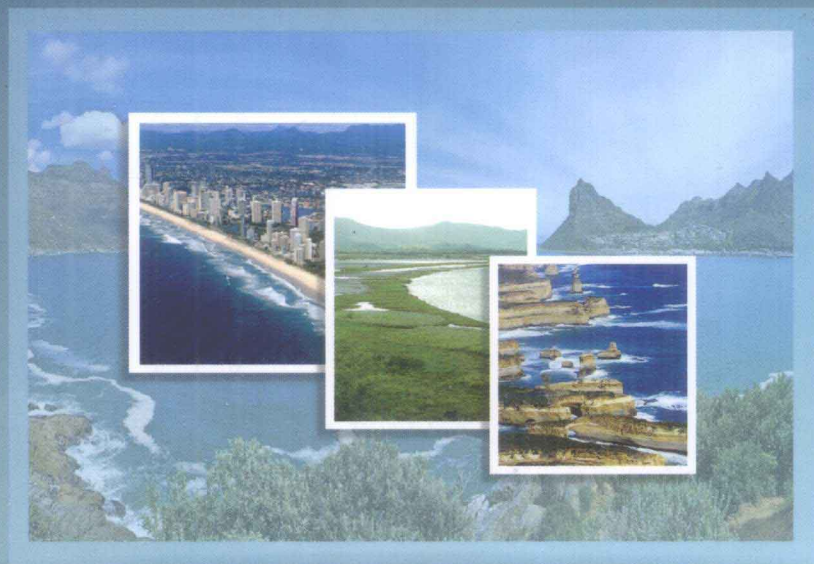


普·通·高·等·院·校·教·材

海岸动力地貌学

王永红 编著



科学出版社

普通高等院校教材

海岸动力地貌学

王永红 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统介绍在海岸动力作用下海岸带各种地貌形成的过程和机制,着重研究海岸地貌形成的现代过程以及地貌与各作用力变量之间的关系,并再现海岸地貌形成和演变的历史。本书主要分三大部分:第一部分为第一至第五章,介绍海岸动力地貌的基础知识,主要内容为本学科发展历程,以及地质背景、海平面、沉积物和输移以及海岸动力;第二部分为第六至第十章,主要介绍五类海岸动力和地貌过程;第三部分为第十一章,主要介绍海岸的侵蚀保护和综合管理等内容。本书图文并茂,习题帮助学生了解所学基本知识和重点内容。

本书可作为海洋地质或海洋地理专业本科生或研究生的教材,也可供从事海洋地质学、海洋地理学、河口海岸学、地貌学和海洋工程环境等相关专业同行参考。

图书在版编目(CIP)数据

海岸动力地貌学/王永红编著. —北京:科学出版社,2012

普通高等院校教材

ISBN 978-7-03-033698-9

I. ①海… II. ①王… III. ①海岸地貌学:海洋动力学-高等学校-教材
IV. ①P737.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 035071 号

责任编辑:杨 红 王淑云 / 责任校对:林青梅

责任印制:张克忠 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年3月第一版 开本:787×1092 1/16

2012年3月第一次印刷 印张:15 插页:8

字数:355 000

定价:35.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 一

早在 19 世纪后半叶,地貌学的奠基人戴维斯就提出地貌是内外营力共同作用的结果。然而,如何实现地貌演化的定量刻画仍然花费了地貌学家数十年的时间。20 世纪中期,海岸地貌学的发展给这一领域注入了活力。如今,经过国内外学者们的努力探索,海岸动力地貌学开始走向成熟,其标志是人们已经能够用水动力学和沉积动力学方法处理沉积物输运和堆积的计算,进而与长时间尺度的构造运动、海面变化、气候变化等因素相结合,定量预测地貌演化进程,评价地貌演化的资源环境效应。

王永红老师的这本教材尝试涵盖海岸动力地貌学的基本理论和最新研究进展,并关注海岸带人类活动的影响,以及海岸带开发、可持续利用、保护和综合管理等应用性问题。该教材主要是为高年级的本科生编写,但是也可以对研究生对海岸动力地貌系统的研究提供帮助。王永红老师多年承担这门课的教学工作,同时还进行这个领域的科研工作,为教材编写积累了经验。

作者仔细安排了该教材的内容和框架,使其具有严密的逻辑性。从海岸相关的基本概念开始,到与这一概念有关的详细介绍;从海岸的基础知识到各个海岸的具体特征,由浅入深,从一般到具体,力求使学生能够尽快掌握本学科的体系和基本框架。

一些相关研究实例和图片来自新发表的文献。通过阅读,学生不仅可以了解新的研究成果,也给进一步阅读文献以及进行课堂讨论提供了信息。目前由于数据采集和分析能力的极大提高,人们开始有能力进行全球背景下的海岸带的研究和比较,但是从全球的视角探讨海岸动力地貌学的问题仍然是一项艰巨的任务。该教材中的实例和图片包含了世界上各种海岸类型,给学生未来进行全球视野的研究打下基础。该教材增加了大量彩色图片,给学生提供了最为直观的海岸地貌印象,能够帮助学生提高对于本学科的兴趣。

每一章后面的习题,都是对本章内容的梳理。对于高年级的本科生和研究生来说,也许他们并不需要一一具体回答习题中的问题,但是他们可以发现这些习题不仅有助于复习,而且还给课堂讨论提供了线索。该教材给出的实例可以为野外工作提供指导,而书后列出的相关文献可以帮助大家就相关的问题扩展阅读范围。学生和需要了解本学科的读者将会体会到阅读本书的乐趣。

高 抒

2012 年元旦于南京大学

序 二

我认识作者大约是在 10 年前,那时我刚刚开始与华东师范大学的学者进行河口海岸泥沙运动的合作研究,作者恰巧也在该校河口海岸国家重点实验室研究长江口的动力地貌过程。长江口的演变自然成了那时我们经常讨论的话题。随着此后国内在河口海岸研究方面的长足进展和国际交流的日益增进,我和作者的学术联系也日渐增多。

我十分高兴地看到作者在过去 10 年中专业方面的成长,更欣喜地看到作者在学习和研究工作中能够潜心积累知识和经验,并将这些积累梳理形成这本教材。我想对于作者来说,完成本书的过程不仅是对本学科知识的一个系统归纳过程,而更重要的是提高对学科知识体系的认识和把握的过程。海岸动力和地貌是一个十分复杂的自然过程,涉及许多影响因素以及这些因素在各种时空尺度下的相互作用。尽管在过去的几十年里我们对海岸动力过程的观测能力和理论认识都有了极大提高,但在海岸动力地貌学中仍存在许多未解的自然现象和科学问题。因此,一本好的教科书不仅需要涵盖海岸动力地貌学的基本理论和专业知识,同时也应涉及该学科的最新研究动态和进展,从而激励和帮助新一代科学工作者和工程师在他们各自的领域中更好地研究和应用海岸动力地貌学的知识。我非常欣喜地看到作者在这方面所做出的卓有成效的努力。

相信该教材的出版将会及时满足广大地学学科的学生和其他有兴趣的读者对海岸动力地貌知识的迫切需求,也期望通过学习和使用有更多的学生对海岸动力地貌学产生兴趣,开启他们的研究探索之路。

董 平

2012 年 3 月于邓迪大学

前 言

对海岸动力地貌最初的兴趣来自于我选修的本科课程——海岸动力地貌,崔承琦老师热情洋溢的授课方式深深地感染了大家。当时我们所用的教材是王颖和朱大奎老师编著的《海岸地貌学》,这本教材将这门学科的基本原理和作者的实际工作经验结合在一起,深深地吸引了我。攻读硕士期间在庄振业和李学伦老师的指导下,对山东半岛的典型沙坝潟湖海岸进行了考察和研究,并完成学位论文,使我对砂质海岸尤其是沙坝潟湖海岸有了更深入的理解。攻读博士期间选修了杨世伦和陈沈良老师的课程,当时选用的教材是王宝灿和黄仰松老师编写的《海岸动力地貌》,杨世伦老师在授课时融进了自己在这—领域的经验体会,并最终将这些内容和体会编写成了《海岸环境和地貌过程导论》。博士论文是在沈焕庭老师的指导下,对长江河口涨落潮槽沉积动力机制进行研究,这时对河口和三角洲尤其是对长江河口动力沉积的认识有了很大的提高。后来在李广雪老师的带领下进行有关黄河口动力沉积地貌研究,因此对我国的两大河口有了较多的认识。博士毕业后在澳大利亚跟随 Ridd 老师在著名的大堡礁区域从事珊瑚礁海岸的沉积动力学研究,并在昆士兰州进行红树林海岸的野外考察,使我对许多海岸类型有了更深入的认识。

在我的专业成长过程中,正是前辈们的那些教材和著作深深地影响着我。但是后来在我给本科生以及研究生上课时发现,由于以上教材没有再版,给海岸动力地貌课程教学效果和学生自学造成了不少影响,再加上近些年海岸地貌这一学科发展较快,国内外同行提出了新的研究内容和研究方法,海岸地貌涵盖的内容增加了许多。在此背景下,亟须编写一本包含这一领域的相关基本知识以及最新研究成果的教材。一方面,便于学生通过课堂教学和自学对这一领域有所了解,进而对这一领域产生兴趣;另一方面,本领域的内容是与生产实践紧密结合的学科,对于这一领域知识的掌握可以使学生在今后的实际工作中发挥更为积极的作用。

在本书编写过程中,除参考以上所列的书目外,还参阅了国外较经典的同类书籍,包括剑桥大学出版社 1994 年出版的 *Coastal Evolution* (R. W. G. Carter 和 C. D. Woodroffe 著) 和 2002 年出版的 *Coasts: Form, Process and Evolution* (C. D. Woodroffe 著), 以及 Hodder Arnold Education 2003 年出版的 *Introduction to Coastal Progress and Geomorphology* (G. Masselink 和 M. Hughes 著)。在国内外的相关书籍中,虽然大家对海岸所采用的归类不一样,但基本的内容还是类似的。本书采用最常用的分类方法,就是将海岸分为基岩海岸、砂质海岸、淤泥质海岸、河口三角洲和珊瑚礁海岸。红树林海岸虽然也是一种生物型海岸,但是生长环境多为淤泥质,因此还是将这类海岸归入淤泥质海岸。本书的第一章是对本学科的综合论述,第二章至第五章是学习海岸动力地貌课程需要的基础知识。因为在对各种海岸的动力地貌进行理解前,需要掌握海岸沉积物和动力的基本原理和基本性质。第六章至第十章是对各类海岸动力地貌过程较为详细的叙述。第十一章涉及海岸的侵蚀保护和综合管理问题。在编写过程中,尽量将与海岸相关的内容加入各相关章节中,以便学生能够了解与本学科相关的内容。例如,增加了流体的性质,如层流和湍流,这是因为学生在阅读与本课程相关的文献时会遇到这些词汇,也需要理解这些概念。

为便于学生理解和掌握有关知识,本书在有些章节增加了与本章所讲述内容相关的实例

以及研究方法,并在章末附上习题,以帮助学生复习和巩固所学知识。这样可以使学生能够从基本原理到实例以及研究方法都有所了解,从而对这一方面的内容进行独立的思考和研究。本书增加了大量彩色图片,主要是考虑文字的描述和图片显示的实际海岸形态相结合可以给学生更加直观的印象。

本书的编写和出版得到了国家自然科学基金重点项目(41030856)、国家自然科学基金面上项目(41176039)、山东省自然科学基金重点项目(ZR201DZ001)和国家海洋局海洋公益项目(200905008-4)、中国海洋大学教材建设基金以及海洋地球科学学院教学基金的资助。另外各个高校和研究所的老师和同事们给予了许多宝贵的意见和建议,他们包括中国海洋大学的崔承琦、庄振业、李巍然、李广雪和李三忠老师,华东师范大学的沈焕庭老师,国家海洋局第一海洋研究所的孙湘平老师和中山大学的吴加学老师等。特别感谢南京大学的高抒老师和英国 Duden 大学的董平老师,不仅给本书提出了宝贵的意见,还给本书精心撰写了序言,以帮助读者更好地了解本书。硕士研究生包敏、孙静、姜山、刘修锦、褚智慧、王双和马莹参加了部分资料整理和有关图件的绘制工作。在此一并表示衷心的感谢。

由于水平所限,书中定有不足之处,敬请读者指正。

王永红

2012年1月于青岛

目 录

序一	
序二	
前言	
第一章 绪论	1
第一节 海岸线、海岸和海岸带	1
第二节 海岸相关研究回顾	5
第三节 海岸动力沉积地貌研究的时空尺度	8
第四节 海岸动力沉积地貌系统	10
习题	12
第二章 海岸形成的地质背景	13
第一节 板块构造	13
第二节 地质结构	14
第三节 地壳的相对运动	16
第四节 研究实例	17
习题	20
第三章 海平面	21
第一节 简介	21
第二节 海平面变化	27
第三节 海平面上升对海岸带的影响	31
第四节 研究实例	34
习题	36
第四章 海岸沉积物和输移	37
第一节 海岸沉积物	37
第二节 流体特性	44
第三节 沉积物输移	47
习题	53
第五章 海岸动力过程	54
第一节 潮汐	54
第二节 波浪	61
第三节 其他海洋动力	71
第四节 陆地和地表过程	77
习题	79
第六章 基岩海岸	81
第一节 基岩海岸地貌过程	81
第二节 海蚀崖地貌	84
第三节 海蚀平台	88
第四节 其他基岩海岸的地貌特征	90

习题	91
第七章 砂质海岸	92
第一节 基本概念	92
第二节 泥沙横向运动和中立线	94
第三节 泥沙的纵向运动	106
第四节 海滩地貌和分类	112
第五节 海岸沙丘	122
第六节 其他砂质堆积地貌	126
第七节 海滩实测和研究方法	131
习题	133
第八章 粉砂淤泥质海岸	135
第一节 潮滩	135
第二节 潮水沟	141
第三节 潮汐通道	144
第四节 潮流沙脊	145
第五节 贝壳堤	149
第六节 盐沼和红树林	151
习题	160
第九章 河口与三角洲	161
第一节 河口	161
第二节 三角洲	176
习题	183
第十章 珊瑚礁海岸	184
第一节 珊瑚礁	184
第二节 珊瑚礁海岸的生物地貌	187
第三节 珊瑚礁面临的问题与保护管理	194
习题	197
第十一章 海岸带侵蚀管理	198
第一节 海岸侵蚀和判断因子	198
第二节 海岸带综合管理	200
第三节 海岸侵蚀防护措施	202
第四节 海岸体系脆弱性的评估框架	207
习题	208
参考文献	209
附录	221
附录 1 海平面变化研究方法——氧同位素分析	221
附录 2 沉积物特征的现场观测	221
附录 3 沉积物粒径的室内分析	223
附录 4 世界主要河流情况	227
附录 5 世界主要三角洲情况	228

第一章 绪 论

本章导读:海岸带的沉积特征、动力作用和地貌是相互联系、相互响应的,理解三者构成的体系以及不同时空尺度下三者的变化是正确掌握本课程的基础,尤其更需要明白不同标准下对海岸带的不同划分。理清国内外对于本学科的研究历程有助于理解本学科未来的发展。

动力地貌学是研究在物理、化学和生物等营力作用下各种地貌形成的过程和机制,着重研究地貌形成的现代过程以及地貌与各作用力变量之间的关系,并再现地貌形成和演变的历史。如果这些营力中主要是波浪、潮汐和沿岸流等作用于海岸带,那么海岸受到这些营力作用后地形、沉积结构和组成特征等将发生一系列的变化,对这些形成过程和演变规律进行研究的科学,称为海岸动力地貌学。其所属学科为一级学科海洋科学、二级学科海洋地质学和河口海岸学。

海岸动力地貌学研究对象包括河口海岸带的陆地部分、水下岸坡以及水体。来自海洋方向的动力包括波浪、潮汐、海流、沿岸流以及风等;来自陆地方向的动力主要指径流等。实际上海岸动力作用、沉积特征和地貌变化构成了一个海岸系统。在这个系统下,来自海与陆的动力相互作用,在这个作用下海岸沉积特征和地貌发生变化。

第一节 海岸线、海岸和海岸带

一、海 岸 线

地球表面 70.8% 的面积为海洋所覆盖,因此陆地和海洋有绵长的交界线。陆地与海洋的交界线称为海岸线。但是由于海水与陆地的接触是随潮涨潮落、风暴潮及其他原因(火山爆发和地震等)而频繁移动,海水面并不在一个固定的位置上。因此通常以多年平均大潮高潮面时的水陆交界线作为海岸线(本书采用这个定义)。这样,海岸线以上大部分时间露出水面,只有在偶然风暴或特大潮时才被海水淹没。地貌学上将海岸线定义为海水向陆达到的极限位置的连线,即海岸线的向陆一侧是永久性陆地。

全球海岸线总长约 44 万 km(Inman and Brush, 1973),分布在 100 多个国家和南极洲以及北极地区,世界人口的 60% 居住在距海岸 100km 内的沿海地区(表 1.1),21 世纪 75% 的人口将居住在沿海地区。根据《联合国海洋公约》规定,各国享有主权和管辖权的内海、领海、大陆架和专属经济区的面积。中国大陆海岸线长约 18 000km,海岛 6500 多个,岛屿海岸线长约 14 000km,沿海滩涂面积为 20 799km²;海滨砂矿种类达 60 种以上,探明储量为 15.3 亿 t。中国沿海狭长的地区集中了 45% 的人口和 60% 的产值;沿海 12 个省区基本上都是环境条件好、经济发达、人口承载力高的地区。根据 2007 年以后的数据,我国海岸线较长的省份为广东(4300km,一说为 3363km)、福建(3752km)、山东(3121km)、浙江(2200km)和辽宁(2017km),其他还有海南、广西、江苏和河北等。

表 1.1 世界海岸线较长的国家*

排名	国家	国家面积/km ²	海岸线长度/km	海岸线/国家面积/(km, km ²)
1	加拿大	9 093 507	202 080	22
2	印度尼西亚	1 826 440	54 716	30
3	格陵兰	2 166 086	44 087	20
4	俄罗斯	16 995 800	37 653	2
5	菲律宾	298 170	36 289	122
6	日本	374 744	29 751	79
7	澳大利亚	7 617 930	25 760	3
8	挪威	307 442	25 148	82
9	美国	9 161 923	19 924	2
10	新西兰	268 021	15 134	56
11	中国	9 326 410	14 500	2
12	希腊	130 800	13 676	105

* 数据来自“维基百科:各国海岸线长度”。此表中统计的中国海岸线的长度与我国自己统计的数据有些出入。

二、海岸和海岸带

“岸”一般指滨临江、河、湖、海和水库等水域边缘的陆地,海岸应该是指现代海岸线以上的狭长陆地地带,也就是现代海岸线至古代海水作用于陆地的最上界之间的狭长地带。海岸(coast)与海滨(shore)相对应,分别指陆上和水下部分。

具体对海岸带进行划分时发现上下边界不易确定,因为环境因子的指标在这里是过渡的,虽然我们可以用物理的、生物的或文化的标准来划分,但很难在三者之间取得统一,并且也没有必要统一。广义的海岸带一般指向海扩大到沿海国家海上管辖权的外界,即 200n mile (1n mile=1.852km) 专属经济区的外界(图 1.1),向陆离海岸线已超过 10km,包括部分风景优美的陆地、滩涂、沼泽、湿地、河口、海湾、岛屿以及大片海域。甚至有些观点认为可以将海岸带向海一直延伸到大陆架的坡折处。

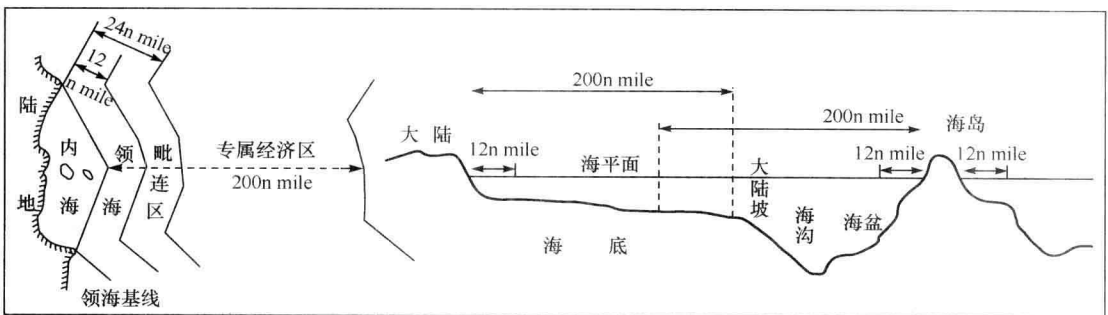


图 1.1 海洋专属经济区的划分

资料来源: <http://www.jschj.gov.cn/gb/jschj/chkj/chkp/hycl/userobject1ai1965.html>

在这 200n mile 的范围内,包括了内海、领海、毗连区以及专属经济区。内海指领海基线向内一侧的全部水域,包括领湾(含河口湾)、领峡、领海基线与海岸之间的海域以及被陆地包围或通过狭窄水道连接海洋的水域。领海是沿海国陆地及其内海以外邻接的一定宽度的海域。

根据《联合国海洋法公约》规定,一国的领海宽度不能超过 12 海里。沿岸国对其领海、领海的上空及其海床享有主权。毗连区是毗连领海,宽度为从领海基线向外量起不超过 24n mile 的区域。沿海国在毗连区内具有防止和惩处在其领土或领海内违犯其海关、财政、移民、卫生的法律和规章事项的管制权。专属经济区是沿海国领海以外并邻接领海的一个国家管辖的海域。其宽度为从领海基线量起不超过 200n mile。

狭义的海岸带指海岸线附近较窄的狭长的沿岸陆地和近岸水域,常常是为便于管理而进行行政划分。例如,斯里兰卡规定海岸带陆域宽度仅为 300m,而海域宽度仅 2000m。毛里求斯海岸带范围是自高潮线向陆 1000m,向海的到近岸珊瑚礁的末端(大约相当于等深线 50m 以外);以色列海岸带的范围包括平均低潮线向陆 1000~2000m、向海 500m 的海域;巴西海岸带的范围为自平均高潮线向陆 2000m、向海为 12 000m 以内的海域。

一些国家对海岸带范围的具体界限,在地理概念的基础上,又增加了经济和法律上的含义。例如,美国规定外界为美国领海的外界,内侧则由各州自行规定。根据《加州海岸带法》,海岸带范围从海岸线(大潮平均高潮线)向海一侧 3mi(1mi=1.609km,后同)边界线延伸到内陆边界线。从海岸线到内陆边界线宽度在不同的地方不一样,如在都市区,有的只有几百英尺(1ft=0.305m,后同);在农村地区,有的可能延伸到内陆几英里。地方政府在做“地方海岸规划”时,可根据实际需要对海岸带范围进行调整,如橘县海岸线从向海一侧 3mi 调整为 5mi。海岸带范围不包括圣弗朗西斯科湾,圣弗朗西斯科湾由圣弗朗西斯科湾保护与开发委员会管辖。

印度的海岸带范围为从低潮线到高潮线之间的区域以及距高潮线 500m 以内向岸一侧的岸上区域。印度在 1991 年颁布了海岸带管理条例。为了实施分类管理,该条例将上述海岸带区域划分为四类。第一类为生态敏感区,包括国家公园、海洋公园、动物庇护区、野生动物栖息地、红树林、珊瑚礁、森林保护区、鱼类和其他海洋生物产卵和繁殖区及附近海域、重要的风景区、历史名胜和遗产区、基因资源丰富地区、海平面上升后有可能被淹没的地区以及其他被中央和地方政府临时指定的地区;第二类为靠近海岸线的、已经被开发的区域,包括城市及其郊区,这些地方已经有上下水管线和道路等基础设施;第三类为开发程度比较差的地区,包括沿海乡村和已经被划为城市用地但基本上还未建设的地区;第四类为没有被划为一、二、三类区域的海岛区。每类区域对严格限制哪些活动和对哪些活动进行适当管制都有明确规定。为了强化管理,沿海各邦和领地也结合各自情况制订了海岸带管理计划。

我国 20 世纪 80 年代初开始海岸带综合调查时规定海岸带内界至海岸线陆侧 10km 左右,外界至 10~15m 等深线附近。另外,为了便于行政管理,每个地区都有自己的规定。例如,青岛规定青岛市的海岸带是指胶州湾及青岛市其他近岸海域和毗连的相关陆域和岛,胶州湾西岸和北岸以环胶州湾公路为界(包括盐场);陆域建成区一般以临海第一条城市主要道路为界,海泊河以北以铁路为界;特殊区域以青岛市人民政府批准的海岸带规划控制范围为准。海口市海岸带指海口市行政区域海洋和陆地相互交接、相互作用的过渡地带,包括近岸海域和毗连的相关陆域和岛屿。海岸带控制范围自海岸线量起,海域至 -10m 等深线;陆域主城区以临海的第一条城市主干道路为界,陆域主城区以外至 1km 等距线;特殊区域以人民政府指定的海岸带规划控制范围为准。

一般来说,从自然科学研究的角度来说,海岸带包括永久性陆地带(海岸线以上部分,海岸带向陆边界可以是海蚀崖或风成沙丘的向陆边界,也可以是人工海堤等)、过渡带(高低潮线之间)和永久性水下岸坡带(向海边界是波浪作用下的下限,即波浪开始扰动海底泥沙之处,这个

界线随波浪作用的强度而变化,一般来说,是在水深相当于波浪长度的 1/2 或者 1/3)三个部分。针对不同的海岸类型,常常使用不同的术语来描述这三个带(图 1.2)。

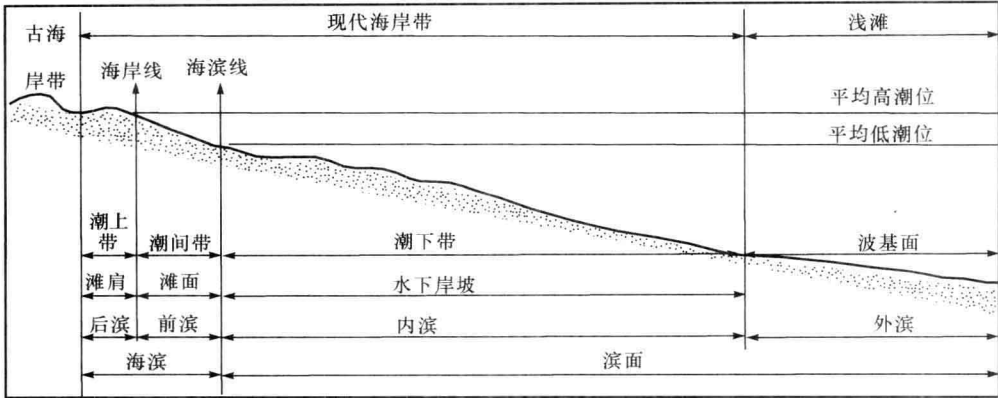


图 1.2 海岸带的划分

资料来源: [http://dose.zju.edu.cn/redir.php? catalog_id=672&object_id=847](http://dose.zju.edu.cn/redir.php?catalog_id=672&object_id=847)

对海岸带的动力地貌的研究具有深刻的实际意义。海岸带是第一海洋经济区。海岸带是海陆的交接带和过渡带,陆海两类经济荟萃,生产力内外双向辐射,成为社会经济地域中的“黄金地带”。因此在进行海岸的动力地貌研究时,需要考虑海岸管理对海岸研究的迫切需要。只有对海岸带综合管理才能使人类在利用海岸带的同时减少对海岸的影响,并保护人类的利益。

人类活动对于海岸的影响是双向的,一方面是开发作用,资源被利用,土地被开垦,一方面是开发过程中带来的问题。人们对海岸沉积物的输移不经意的干扰会带来意想不到的后果。例如,海岸工程建成后,海岸动力因素发生变化,可能引起新的工程技术问题;水流、滩涂的演变也会对鱼类洄游和贝类生长发育条件产生影响;采油和排污工程有污染环境的危险,并对稀有动植物、珍贵文物、名胜、古迹和游览胜地产生影响等。各国在这方面均有不少经验教训,如埃及阿斯旺水坝的修建使入海口海岸迅速蚀退,沙丘体阻塞溯河性鱼虾洄游通道,仅沙丁鱼减产每年即损失几百万美元。

海岸侵蚀、港湾河口淤积、海平面上升、沿岸土地盐渍化、海咸水入侵地下淡水层和沿海地面沉降等海洋地质灾害,目前已呈恶性发展趋势。虽然不可能详细地预测海岸带将来如何对人类活动产生响应,但是对于海岸动力地貌基本原理的掌握可以帮助人们减少对未来海岸变化进行理解的不确定性,从而可以帮助避免和解决与海岸带有关的问题,同时在海岸带的发展过程中带来社会效益。①建造港口是海岸带开发利用的一个重要方面。随着各国经济的发展,海港数量和吞吐量迅速增加。建港口、海岸防护(如建丁坝、防波堤、避潮墩等),需要充分了解海岸动态演化规律。②海岸带的石油、天然气资源是目前世界上正在发展的重要产业。海岸带还蕴藏有丰富的矿产,如金、金刚石、独居石和金红石的贵重金属和稀有金属的矿床等,还有大量可供开采的煤、铁、钨、锡和海滨砂矿等。对于这些资源的开发利用,需要了解其分布规律、形成条件与地质地貌过程以及水动力条件等。③由于河流挟带泥沙入海,海岸带每年海涂都有自然增长,如中国的大河每年入海泥沙达 20 余亿吨,大部分沉积在河口海岸,一些岸段的岸线每年向外延伸数十至数百米。对这些入海泥沙的输运和沉积规律进行研究,可以有效地帮助对其全年的管理和利用。④海岸河口水域饵料丰富,是大量鱼类生长和孵化的场所,如

鱼、虾、贝、蟹和藻类等。海岸带的渔业生产在海洋捕捞业中占有重要地位。捕捞作业时要考虑海岸带动力地貌条件和底质水文特征等。并且,不同的海岸适于养殖不同的产品,因此需要对于海岸带的水文地质等条件进行了解。⑤能源和国防的重要作用。海岸带蕴藏有潮汐能、盐差能和波浪能等可再生海洋能。据初步计算,全世界海洋潮汐能(约 10 亿 kW)主要集中在浅海区,对于海岸波浪和沉积物的输运的研究起到极大的作用。另外基于国防的需要,进行军港的选择和防护以及航道的使用、潜艇和核潜艇的活动、登陆和抗登陆活动中必须采取的军事措施,都必须掌握海岸动力地貌。

第二节 海岸相关研究回顾

一、我国海岸的相关研究历程

在远未进入科学系统地研究海岸之前,居住在沿海的千百万人民已经接触了海岸带发生的各种自然现象。古代人类对这些现象的熟悉和了解是由于农垦、捕鱼、航海和贸易的需要。早在公元前 400 多年的春秋战国时代,我们的祖先对捕鱼和海盐生产就有十分丰富的经验。汉代在长江三角洲和钱塘江口一带,农业已有了一定的发展,浙江沿岸已出现了工程较大的海塘。晋代(265~316 年)葛洪在《神仙传》一书中,提出“东海三为桑田”,明确地表达了海陆屡有变迁的思想。公元 220~460 年魏晋南北朝时,我国对外贸易和文化交流事业已经很发达,与波斯等西亚国家的海上交通和贸易往来频繁。到了唐朝,江苏、浙江和福建都出现了系统的海塘。海塘的修建史说明了我国古代人充分了解了海岸带动力特征、地貌形态和动态过程等。中国古代海塘图实际是河口海岸地貌图,如清代方观承《两浙海塘通志》和翟均廉《海塘录》中的图。图中明显可见海塘分布并不连续,低平的海岸有海塘分布,塘外有大片滩涂;而海岸山地则没有海塘。

明朝永乐年间(1408~1430 年),郑和七次下西洋,获得不少我国东南沿海和南洋、西亚和东非一代的知识,熟悉了各种海岸、海底地形和沉积特征。郑和所做的《郑和航海图》是我国古代记载海洋地貌最为详尽的海图,该图是中国传统绘图方法绘制海图的高峰,较正确地绘有中外岛屿 846 个,并分出岛、屿、沙、浅、石塘、港、礁、碛、石、门、洲等 11 种地貌类型。《郑和航海图》得以传世,主要在于明代晚期作者茅元仪收录在《武备志》中。海图中记载了 530 多个地名,其中外域地名有 300 个,最远的东非海岸有 16 个;标出了城市、岛屿、航海标志、滩、礁、山脉和航路等。

从清朝以后到新中国成立以前的数百年间,由于封建统治的闭关自守,以及后来中国沦为半封建半殖民地国家,经济命脉操纵在各强国手中,我国海岸带的建设,如围海工程、港口建设和矿产开采等逐渐落后。只有少量的研究和测量工作有一定的成果,如 1922 年海军部设立海道测量局,至 1935 年该局共绘出图 30 余幅,编有《水道图志》一册。1937 年以后,中国的海洋科学研究绝大部分陷于停顿。

1958~1961 年,在国家科学技术委员会海洋组的统一领导和协调下首次进行了大规模的全国海洋综合调查,其调查数据成果迄今还发挥着重要的作用。20 世纪 80~90 年代初实施了全国范围的海岸带和海岛综合调查;于 1995~2001 年开展了“专属经济区和大陆架勘测专项(126 专项)”,开展与海域划界有关的环境研究和补充调查。2004~2009 开展的“我国近海海洋综合调查与评价(908 专项)”以及“海洋地质保障工程(第一阶段为 2008~2015 年,第二阶段为 2016~2025 年)”等专项调查,基本上摸清了包括黄海在内的中国东部陆架海域的基本地质特征。

20 世纪 80 年代以来,我国先后开展了一系列中美、中韩、中法、中日等联合调查研究,如“中美长江口沉积作用过程联合调查”(1980~1981 年)、“中美渤海及黄河口海域沉积动力合作调查”(1985~1987 年)等,并参加由国际科联理事会(ICSU)于 1986 年发起的国际地圈生物圈计划(IGBP)核心计划之一的海岸带陆海相互作用(LOICZ)研究等。这些联合研究和国际计划的参与,使得我国在近海海岸带沉积动力地貌研究理论和技术方法上取得了明显的进步,促进了与国际前沿研究的接轨。

二、国外海岸的相关研究历程

希腊人很早就描述了尼罗河河口的三角洲,Herodotus 指出三角洲的形状与希腊字母 Δ 相似。15 世纪意大利的 Leonardo da Vinci 在计划对 Pontine 盐沼进行疏浚时就对海岸线的曲线进行了精确的描述。但是国外真正对海岸的科学研究始于文艺复兴后期,那时人们的航行能力已经可以越过地中海。因此基于航行而发展的水道学的研究成为全球探险的必要组成部分,随后地质和生物学的研究是这些研究的延伸。

(一) 20 世纪以前的海岸研究

早期发现者的探险活动,特别是詹姆士库克船长(1728—1779)的航行使人们获得大量对于海岸的感性认识,博物学家们也详细描述了海岸的地形。另外,达尔文(1809—1882)的全球航行和詹姆士达纳的美国海岸航行也带来了许多对海岸观察的结果和对海岸形成的解释。1842 年达尔文就认识到重要的构造活动不仅包括沿着美洲海岸的上升活动,还包括珊瑚礁海岸的下沉作用。达尔文推断岸礁可以演变成堡礁,最后可能会因为火山岛的逐渐下沉以及珊瑚的生长变成环礁。这个珊瑚礁演变模式也被以后大量的研究所证实,同时也激励了人们对海岸其他的变化模型的发展研究。詹姆士达纳推动了达尔文的理论,认识到太平洋地区富有珊瑚的岛屿多是下沉海岸。实际上海上探险和调查研究使人们认识到:只有通过长期的现代的过程才可能获得对历史上大量的侵蚀或者沉积过程的理解。

1885 年卡尔吉尔伯特详细论述了美国大盐湖(Bonneville)沉积地层和阶地的关系,揭示出废弃的更新世岸线,并为现代岸线均衡论提供了基础。同时,他也认识到平直的海岸(如太平洋)是地形的构造线与海岸线平行,而不规则的海岸(大西洋)是地形的构造与海岸线成一定的角度。古罗马的工程师已经估计到港口淤积的可能性,古代港口已经采用贯通堤以预防淤积。

总之,16~17 世纪各国海军的建立发展以及大规模的筑港都大大推进了海岸带的研究。18~19 世纪,资本主义国家在海外寻找殖民地,也进一步推动了对海岸带的研究。

具体来说,1804 年 F. J. Gerstner 提出摆线波理论,同时认为无限深海中,随着水深以算术级数增加,水质点轨迹半径以几何级数减小;1831 年法国的 A. R. Emy 提出水质点轨迹理论,即浅水中水质点轨迹为椭圆。另外,他还试图解释海岸泥沙运动、海滩变化、波浪的破坏力和堆积形态的形成过程。1834 年,英国的 H. R. Palmer 研究了砾石海滩的动态以及港口淤积的原因等;1845 年法国的 E. Beaumont 研究了海岸过程、水下坝成因和泥沙横向运动等。

(二) 20 世纪早期的海岸研究

20 世纪的前几十年,海岸学的主要原理和假说已经确立,经过大量的资料和实验积累,对

海岸过程的研究已经从描述阶段进入了定量阶段。1902年美国的 N. M. Fenneman 研究了水下岸坡上的泥沙运动。1909年美国的 W. Davis 提出了海蚀学说,他的地理循环和侵蚀理论在20世纪初得到广泛的承认。Davis 最初是关注阶地地形的发育,认识到构造和过程中时间的重要性。他强调尽管时间是不可逆转的,却是海岸过程的基本因素。1919年美国的 D. W. Johnson 出版了 *The shore processes and shoreline development*, 成为几十年来海岸学的主要指导书,但是该书对于水下岸坡的研究未给以足够的重视。1937年以上几人发展了前人的中立线概念。

Davis 的侵蚀循环是一种想象而不是观察,但是这个概念被后来的研究者不断证实。1919年道格拉斯·约翰逊在他有关海岸演化的研究中不仅描述了地貌变化,而且提出一个演化模式,这一模式总结了海岸系统初始—青年—成熟三个阶段的依次演化。他认为海岸的最初模式控制了海岸侵蚀的第一个阶段。海岸经过了一个年轻的阶段,存在大量的不同的海岸沙脊和沙嘴。在成熟阶段,海岸变得比较平直,海湾的数量会逐渐减少。这个模式提供了一个海岸演化的框架和顺序,可以帮助人们构建以前和未来的海岸结构。约翰逊认为在海岸地貌研究中均衡是一个重要的概念。他依据很少的野外数据点,提出近岸的平衡剖面。尽管争论一直存在,但是大部分学者还是认为在海滩和沙坝海岸平衡剖面是存在的。

(三) 20 世纪中期的海岸研究

在20世纪中期,依据地理循环侵蚀原理,人们研究了复杂的剥蚀年代背景下海岸的发展过程,如英格兰东南 Weald 和 Wales 的海岸发育。这些研究认为地形都经历了一系列的上升和逐渐侵蚀的循环。由于缺乏陆地表层的年代数据,所作的研究不可避免地有着推测和各种的假设。现在使用地质年代方法发现当时许多的地形描述都有误。

另外,研究者也进行了大量的海岸归类研究。当时 Shepard(1948)和 Valentin(1952)进行了这方面的研究(Woodroffe, 2002)(表 1.2)。归类的方法包括描述性的(现代岸线可见的特征)或者继承性的(海岸演化的结果)。表 1.2 依据当时的框架进行了海岸的分类,用于勾画海岸不同的类型,主要是依据海岸的结构、发育阶段、陆和海的相对运动、海岸的前进和后退。这几种归类是对以前海岸发育理论的扩展,区分了下沉和上升海岸。尽管还有其他的海岸归类,但是这三类当时得到的支持较多。

表 1.2 20 世纪中期对于海岸分类的三种方法

分类 I	分类 II	分类 III
1. 初期或年轻海岸 (a) 陆源侵蚀 (b) 陆源沉积 (c) 火山活动 (d) 地壳变动	1. 前进海岸 (a) 上升型 (b) 构造型 (c) 有机型(红树林,珊瑚) (d) 无机型(海洋,冲积)	1. 稳定区海岸 (a) 最近下沉 (b) 以前上升 (c) 复合型的
2. 次级或成熟海岸 (a) 海洋侵蚀 (b) 海洋沉积	2. 后退海岸 (a) 下沉型 (b) 冰川型(侵蚀的,沉积的) (c) 河流型(重叠的,平摊的) (d) 后退型(海蚀崖)	2. 活动区海岸 (a) 最近下沉 (b) 最近上升 (c) 断层或单斜 (d) 复合型的

20世纪50~60年代,地貌学变得更加集中于地形的过程研究。随着在伦敦和剑桥大学有关研究机构的建立,现代海岸环境过程研究中沉积物运移已经变成了一个重要的元素,并且为以后的研究打下了基础。日益接受的板块构造学说可以解释太平洋(活动的板块边缘)和大西洋(被动的板块边缘)海岸的不同。海岸学的研究也随着海洋地质和海洋学的发展而发展。

海滩环境的研究一直较为贫乏,1930年在美国华盛顿成立了BE组织(Beach Erosion),开始了有关的研究。后来在第二次世界大战期间,由于登陆艇和军队成员在海滩着陆时不了解海岸地形的动力特性而遇到困难,因此开始关注海滩的研究。研究项目基金主要通过美国海军研究办公室地理项目组支持,许多项目主要由密苏里州 St. Louis 海岸研究所和加利福尼亚的 Scripps 海洋研究所承担。最早进行海滩研究的国家有美国、英国和荷兰。他们的研究成果帮助我们更加了解海滩的发育过程。

(四) 20世纪晚期的海岸研究

在这个阶段,大量室内和野外实验用于海岸地貌过程研究,同时基于海平面变化历史的研究以及海岸地貌相应的发育研究不断发展。这一阶段最主要的影响就是测年技术的发展。这时已经可以使用放射性¹⁴C测年,使解释墨西哥湾海岸和密西西比河以及三角洲的演化方式比以前有了很大的进步。地质测年为海岸演化的研究带来了新的契机,虽然用这种方法并不能解释现象,但是可以对以前所做的假设进行校正。海平面在间冰期时接近于现在的水平,但是在冰期海平面要比现在海平面低80~150m,在世界不同的地方有不同的海平面升降历史。因此海平面对海岸的演化是一个重要的因素。

20世纪60年代以前,海岸学的研究一直集中在欧洲西北海岸、北美和苏联,但这些地区的海岸并不能代表世界上所有的岸线,并且其中许多海岸仍然经历着对更新世以来冰盖融化的均衡调整。海岸研究的许多研究工作是由美国海军研究办公室(US Office of Naval Research)管理,但是这个阶段日本和澳大利亚都有了海岸地貌研究小组,研究成果包括地形演化、地貌重建和过程变化,这些进展促使了地貌动力学方法的发展。这个阶段,全球的各个海岸都有了一定的研究成果,因此可以通过收集资料进行研究而对全球的海岸线进行比较。人们也认识到海岸沉积环境不仅仅被动地响应外部刺激,而且能够进行内部的动力地貌调整(Woodroffe, 2002)。整体来说,20世纪50年代主要关注海岸灾害研究,60年代关注海岸开发利用,70年代关注海岸环境问题,80年代开展海岸立法保护的调整,90年代关注新的环境问题以及21世纪开始倡导与自然和资源再生。当然,上述问题需要多个学科的参与,如海洋学、气象学、地理学、地质学和生物学等。

第三节 海岸动力沉积地貌研究的时空尺度

一、时空的变化

对海岸的研究要关注空间和时间的尺度。在空间上,海岸带的宽度可以从本质上发生变化,如在河口三角洲的研究中,沉积通量可以从河口三角洲上溯到河流,向下到水下峡谷。在海蚀崖的研究中,不仅海蚀崖面本身属于海岸带的研究,一些海水影响的崖顶植物群落也和海岸的研究相关。研究的尺度也与海岸的岩性和沉积特性相关。一般的海蚀崖可以延伸几百千米,而在时间和空间上变化很小。而对于海滩,细微的粒径分选变化和微型的沙坝地貌都可以