



戴志军 李春初 著

HUANAN HUXING
HADAN DONGLI
DQMAO GUOCHENG

华南弧形海岸 动力地貌过程

华东师范大学出版社



戴志军 著
李春初

华南弧形海岸 动力地貌过程

华东师范大学出版社

HUANAN HUXING
HAIAN DONGLI
DIAOGUOCHENG

图书在版编目(CIP)数据

华南弧形海岸动力地貌过程 / 戴志军, 李春初著. —上海: 华东师范大学出版社, 2008
华东师范大学新世纪基金
ISBN 978-7-5617-6244-8

I. 华… II. ①戴…②李… III. 海岸地貌学: 海洋动力学—研究—华南地区 IV. P737.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 107021 号

华东师范大学新世纪学术著作出版基金资助出版 华南弧形海岸动力地貌过程

著 者 戴志军 李春初
项目编辑 孔繁荣
文字编辑 张璐璐
封面设计 黄惠敏
版式设计 蒋 克

出版发行 华东师范大学出版社
社 址 上海市中山北路 3663 号 邮编 200062
电话总机 021-62450163 转各部门 行政传真 021-62572105
客服电话 021-62865537(兼传真)
门市(邮购)电话 021-62869887
门市地址 上海市中山北路 3663 号华东师范大学校内先锋路口
网 址 www.ecnupress.com.cn

印 刷 者 常熟市文化印刷有限公司
开 本 787×1092 16 开
印 张 12.25
插 页 2
字 数 286 千字
版 次 2008 年 9 月第一版
印 次 2008 年 9 月第一次
书 号 ISBN 978-7-5617-6244-8/P.010
定 价 34.80 元

出 版 人 朱杰人

(如发现本版图书有印订质量问题, 请寄回本社客服中心调换或电话 021-62865537 联系)



台风过后的直线段后滨侵蚀状态
(2001.7.23 拍摄)



直线段海滩脊-沟状态 (2001.7.8 拍摄)



A、B 沙坝状态 (2001.7.9 拍摄)



大型垂向歪斜沙坝 (2001.7.8 拍摄)



歪斜沙坝 (2001.7.8 拍摄)



歪斜沙坝切割现象 (2001.7.9 拍摄)

序

河口海岸动力地貌学是地学中的一个重要分支。其科学内涵是运用现代科学技术手段揭示复杂的河口过程和海岸剖面塑造过程规律以及岸线冲淤动态变化,因而它是一门实践性极强的学科。在当前全球变暖、第三驱动力加强的作用下,世界上的海岸特别是砂质海岸呈现出局部或全线冲刷后退、海岸承受严重环境压力。这门学科的实践意义和重要价值将越来越在这占世界约 2/3 人口居住的沿岸地区凸显。

华南弧形海岸是在华夏构造体系和纬向构造体系控制下,由于沿海各种海陆动力长期相互作用而形成的平衡海岸。弧形海岸是一类在华南,也是在世界分布很广且最有特色的海岸,其平面形态为弧形,海岸的凹入地带常作为港工建筑的优良选址。对此类海岸的研究,实质讨论的是一个(砂质)海岸在海陆相互作用下所出现的侵蚀、平衡以及稳定标准,因而分析弧形海岸的动力地貌过程对深入了解弧形海岸的环境及其陆海相互作用具有重要的学术意义,而且对于港口和航道的开发、海岸侵蚀问题的解决具有重要的指导作用。

作者长期从事海岸动力沉积和动力地貌的研究工作,对华南海岸的历史演变、泥沙补给以及海滩响应等都进行了较全面、系统的研究,并取得了一系列具有开拓和创新性的研究成果,本书即是对这些研究成果的进一步提炼和系统总结。

该书从海岸动力地貌的视角出发,将历史过程和现代过程结合、宏观与微观结合,对华南弧形海岸的动力作用、泥沙输运、动力地貌结构与模式以及海滩过程等进行了深入研究和分析,其研究内容以泥沙为纽带,涵盖整个弧形海岸的沉积环境演变、地貌对动力作用的响应、海滩状态以及剖面塑造,并揭示华南弧形海岸的动力地貌过程。该书最大的特色就是充分利用野外原型资料、充分利用各种先进技术手段,综合集成动力、沉积及地貌三方面的知识在理论上对华南弧形海岸的形成、地貌特征、泥沙沿岸输运和海滩变化进行解析。

动力是因,泥沙作绳,地貌为果。加强动力作用下的泥沙输运分析,以揭示最终的地貌变化是我们河口海岸学家努力的方向,也是河口海岸学科富有生命力的表现。该书力求在运用海岸动力地貌学原理分析海岸过程和机理的基础上,探讨海岸地貌的形式、结构及类型,并提出基于弧形海岸的泥沙输运规律、地貌变化预报模式、海滩平衡剖面类型以及海滩状态连续变化谱等,这为进一步开展海岸动力地貌学在今后的海岸冲刷、侵蚀、稳定和预报等研究打下基础和拓展思路。并将海岸带陆海相互作用研究推上一个新的台阶。相信该书的出版将进一步丰富河口海岸动力沉积和动力地貌学的内容,并推动河口海岸动力地貌学的预报研究。

陈吉余

2007. 8. 11

前 言

弧形海岸与海滩动力地貌过程的研究,是海岸动力地貌学研究的一个重要方面和领域。因为弧形海岸在世界,在我国,特别是在我国南方的海岸带,实在是分布太普遍、太常见了。可是过去我国对于这种海岸的特点及其形成发展的规律,知之甚少,研究者也很鲜见。但是国外有关研究进展,促使我对这类海岸的研究发生了兴趣。一是上世纪 70 年代主要以 Silvester 为代表的港口工程学家对弧形或对数螺线形平衡海岸所做的实验研究成果给我的启示:原来,在缺乏泥沙补给或泥沙供给不足的情况下,只要有较恒定的波动力斜向作用于为上、下岬角所限的砂质海岸上,这种海岸就会在波浪动力的持续作用下遭受侵蚀而后退,最后直至在靠近上岬角一侧的岸段形成向陆凹入的圆弧状或螺线形岸线和在靠近下岬角一侧的岸段形成与圆弧相切的直线形岸线,才逐渐达到平衡而稳定下来。这就为探索华南弧形海岸形成的原因提供了参考思路。二是世界著名学者 Wright 和 Short 发表了根据澳大利亚多个海滩状态观察结果综合而成的六种海滩状态系列模式的经典文献,引起我对海滩问题的关注。于是我自 1986 年在中山大学起,结合生产任务和研究生培养,开始在广东水东的弧形海岸进行海滩剖面及海滩状态的观测调查,以后便陆续有了一些关于海滩问题的初步研究成果发表。

戴志军博士自 1998 年来中山大学攻读硕士学位,就开始对海滩进行考察而且颇有心得体会,所以从他攻博开始,我们就安排他继续从事这方面的调查研究工作。但我希望他扩大视野和思路,注意发挥动力地貌学的特点与优势,综合研究弧形海岸和海滩的动力、泥沙(沉积)和地貌三个过程,最好还能将点和面、宏观与微观、定性与定量、历史过程与现代过程的研究结合起来。他积极、刻苦地朝这个目标努力,最终有所发现,取得了成绩。我只是帮他确立了这个研究题目和研究方向,助他寻找了合适的观测研究地点,与他一起推敲、讨论有关学术问题,为了利于本书的出版,还协助他对弧形海岸研究的应用问题做了一些补充和分析。多年的追求和探索,终于有了这样一个结果,对此我是感到欣慰和高兴的。

本书较系统地分析了华南弧形海岸形成的背景与条件,华南弧形海岸的形成和演化模式,弧形海岸的形态、结构及类别,华南弧形海岸过程、地形变化过程与海滩状态等问题。特别是总结提出了华南的弧形海岸存在三种平衡形式:淤进型动态平衡、终极平衡(冲淤平衡)和侵蚀型的动态平衡以及它们三者之间的关系,并描述了这三种平衡形成的动力、泥沙(沉

积)和地貌的特点,给出了这三种平衡形式的判别指标和依据,这可能是关于弧形海岸平衡和稳定问题研究的一个进展。这种理性认识,很快就在解决实际问题(例如广东惠来电厂港口工程海岸海滩变形预测)中发挥了作用。Wright 和 Short 提出的六种海滩状态系列,是根据许多单个海滩的某一种或一二种状态类型进行综合分析而总结出来的,本书揭示出,这六种海滩状态系列,能在华南的同一弧形海岸的海滩上完整地呈现出来。我以为这也是一个有意义的发现,何以能够如此,这是值得进一步探讨的。弧形海岸研究还有不少问题存在,海滩问题研究虽然难度较大但潜力亦大,相信只要继续努力,还能取得更好的成绩。

本项研究成果,得到了国家自然科学基金项目(40506021)和广东省自然科学基金(011181)的资助,同时承蒙陈吉余院士特为本书作序,我们在此谨表衷心的感谢!

热忱欢迎专家学者和读者对本书的缺点、不足甚至错误提出宝贵的指正意见。

李春初

2007年8月12日

序	(1)
前 言	(1)
第 1 章 绪论	(1)
1.1 问题的提出	(1)
1.2 研究的现实意义	(2)
1.3 研究设计	(3)
第 2 章 研究综述	(5)
2.1 弧形海岸演化	(5)
2.2 海滩剖面时空变化过程	(11)
2.3 海滩三维地形时空转换	(16)
第 3 章 华南弧形海岸形成的背景与条件	(21)
3.1 地质、地貌	(21)
3.2 风场分布	(22)
3.3 波浪动力场	(24)
3.4 其他动力作用	(26)
第 4 章 华南弧形海岸的形成和演进模式	(27)
4.1 影响弧形海岸形成的因素	(27)
4.2 弧形海岸形成的演进模式	(31)
第 5 章 弧形海岸的形态、结构及类别	(35)
5.1 螺线海岸判定准则及其应用	(35)
5.2 弧形海岸的岸线分形与稳定性	(40)
5.3 华南弧形海岸岸线形态与动力地貌模式	(46)
第 6 章 华南弧形海岸的海滩动力过程	(54)
6.1 研究环境与资料处理	(54)

6.2	海滩时空变化过程的波浪动力	(58)
6.3	弧形海岸海滩响应的其他动力	(64)
第7章	华南弧形海岸的海滩泥沙输运	(70)
7.1	华南弧形海岸的近岸水体悬浮泥沙特征	(70)
7.2	泥沙的活动特性	(79)
7.3	剖面泥沙的横向输运特征	(81)
7.4	近岸泥沙运移趋势	(86)
第8章	华南弧形海岸的海滩剖面过程	(93)
8.1	海滩均衡剖面形态	(93)
8.2	海滩剖面过程	(104)
第9章	华南弧形海滩的三维地形变化过程	(125)
9.1	海滩水上地形变化过程	(125)
9.2	沙坝(bar)地形变化特征	(136)
第10章	华南弧形海滩动力地貌	(143)
10.1	小南湾海滩动力地貌状态	(143)
10.2	大南湾遮蔽岸段海滩动力地貌	(148)
10.3	大南湾海滩直线岸段动力地貌	(151)
10.4	大南湾海滩中间岸段动力地貌	(153)
10.5	华南弧形海滩动力地貌状态	(157)
第11章	结论与实践应用	(160)
11.1	结论	(160)
11.2	弧形海岸动力地貌模式的应用	(162)
参考文献	(167)

第1章 绪 论

1.1 问题的提出

21世纪是海洋开发的新世纪。作为海洋与陆地唇齿相依的海岸带,既是人类向海洋进军的第一道阶梯,也是陆地抵御海洋各种灾害性动力系统的前沿天然屏障。在当前全球气候变暖、海平面上升、工业革命以来人类驱动力日益加强,海岸生态环境被急剧破坏以及岸滩严重受侵蚀后退的情况下,海岸带已成为全球变化及其陆海相互作用研究的关键地带。令人欣慰的是最近几十年来各国相继开展和加强了海岸带陆海相互作用的研究(李明和施永辉,1996;李凡,1996;House,1998;Macklin,1997;赵士洞等,1995;刘瑞玉和胡敦欣,1997)。然而,过去的海岸带研究往往基于某一个具体的目的,或者是着眼于某一具体自然资源开发利用的研究,如港口选址与开发,河口海岸整治与利用等,这种研究的目的是为了能解决实际问题,而没有将其成果深入集成整合(Murray, et al., 2001)。同时,海岸带曲折起伏,绵延万里,如果对每一个海岸带地区进行集成研究,这在当前环境下是不允许、也是不可能实现的,尤其对于我国的海岸带陆海相互作用研究。因此,比较适宜的是开展区域海岸带陆海相互作用研究,这对促进和推动全球变化研究,科学意义较为重大。

自上世纪50年代以来,我国在渤海湾、长江三角洲、苏北海岸、黄河三角洲沿岸进行了区域海岸带的系统调查与研究(王颖,1961,1964;王宝灿等,1980;王颖和朱大奎,1990;崔承琦等,1994;陈吉余,1957,1980,1982;陈吉余等,1959;陈报章等,1995;李炎等,2000),许多方面都取得了不少重要的研究成果,如淤泥质海岸动力与泥沙分布特征(樊社军等,1997);淤泥质海岸剖面塑造规律(陈才俊,1991;李从先等,1995;陈西庆和陈吉余,1998)等。这对港口冲淤、海岸工程建筑和开挖航道等都有较重要的贡献。然而,在对我国淤泥质海岸作进一步深入研究的同时,地处华南的砂质海岸,尤其是弧形海岸,仍旧有待深入系统的理论与探讨。

弧形海岸是砂质海岸在泥沙供给不足的情况下,优势波浪斜向冲击海岸形成的一种主要与波浪动力及其一定的沿岸输沙率相适应的稳定的海岸类型。它往往是介于上、下岬角之间,其弧形(或螺旋线形)湾顶凹入段为相对侵蚀岸段,偏于上岬角一侧,海滩剖面平缓,呈上凹形,属“消散型”海滩性质;偏于下波侧方向的岸段为相对堆积岸段(称切线段),十分平直,其海滩剖面较陡,呈上凸状,趋于“反射型”海滩性质(Wright & Short,1984)。这是一种很有特色的、分布很广的海岸类型。

弧形海岸论实质讨论的是一个(砂质)海岸在海陆相互作用下出现的侵蚀及平衡、稳定问题。国内外不少学者对此类问题进行了研究。由于这种海岸类型众多,形成原因与自然发展过程各异,从而吸引了不同学科领域的专家参与到弧形海岸的研究中来。一些沉积学

家从地层学的角度论述了弧形海岸的演化过程,海岸工程学家偏重于从动力学角度探讨弧形海岸平面形态的发展规律,不少地貌学家则运用动力地貌学的观点研究弧形海岸的地貌过程。多年的研究表明不能用单一学科的研究思想来分析与概括所有的弧形海岸的形成与演化。如何进一步从综合集成动力、地貌及沉积三方面的角度研究弧形海岸形成的动力环境条件,弧形海岸地貌的一般特征与独特特征,弧形海岸的海滩过程及其变化和弧形海岸沿岸泥沙运动规律,是砂质海岸带陆海相互作用研究的关键,亦是难点所在。这对深入了解此类海岸的环境及其陆海相互作用具有重要的学术意义,亦可弥补我国弧形海岸的砂质海滩现代演变过程及其环境特征研究的不足,而且对于港口和航道的开发、海岸侵蚀问题的解决等尤其具有重要的指导作用。

1.2 研究的现实意义

海岸带位于海洋和陆地的过渡地带,是全球变化最为敏感的地带。开展海陆相互作用条件下的海岸环境演变和海滩过程的研究,这对寻求与社会经济发展相协调的途径来管理和利用海岸带,并使其有持续性发展的前景,具有重大的现实意义。

1.2.1 弧形海岸演变的研究

受基岩岬角控制的弧形海岸是一类特殊的海岸类型,其形态常常表现为对数螺线形,半新月形或“Z”字形的曲线状态。作为动力与沉积的中介——泥沙,在波、潮及流的夹带作用下,因受向海突出的岬角地形影响,输沙受到障碍,导致泥沙部分或全部沉积,因此,不同岬角内的弧形海岸体系通常表现为各个独立的体系,塑造海岸的各种动力相对简化。弧形海岸体系的这种固有特性,有利于海岸工程学家在波浪槽中进行模拟研究,分析岸线呈现曲线形态的形成条件、变化发展趋势、各种动力作用强弱程度及其泥沙的运移规律,从而促使人类在进一步加深对弧形海岸演变过程认识的基础上,论证及开发较好的弧形岸段作为港口码头资源。同时,这对港口码头环境的海岸防护工程如防波堤、防沙堤等的建设也有一定的现实指导意义。

1.2.2 海滩的时空变化过程

海滩过程及沉积环境一直是砂质海岸陆海相互作用研究中关注的重点课题,也是海岸保护和港湾开发建设中必须考虑的重要问题。自1999年5月在日本召开的国际地圈生物圈计划(IGBP)第二次大会把其研究重点集中在地球系统的重要界面上(葛全胜等,2000)之后,“海滩”作为地球系统的重要界面之一(海陆界面),其研究的重要性愈加明显和突出。

海滩位于陆海相互作用的动力敏感地带,海滩系统通过其物质组成、坡度与地貌状态的时空分布特征反映了陆海(波浪、潮汐、河流和人类活动等)各种动力此消彼长和相互作用的规律。因受岬角控制位置、海滩朝向方位及陆海动力条件等长期因素的作用而形成各种有趣的海滩平面几何形态及海滩动力地貌,受潮汐、台风等短期因素影响而形成的海滩微地貌(活动的滩肩、水下沙坝、砂丘等)一直受到众多研究者的重视(柯马尔,1985)。研究海滩从消散性到沿岸坝-槽、韵律沙坝地形、歪斜沙坝-裂流、脊-沟体系及反射性状态的转化过程、海

滩的多尺度循环、海滩均衡剖面的形成等具有很高的理论价值,而且对海滩旅游开发、海岸环境管理、海滩砂矿资源的开采、海底工程建设都具有一定的指导意义。

1.3 研究设计

本书从整个海岸边界层的动力、泥沙运动和地形特征角度出发,对华南砂质弧形海岸晚第四纪以来的沉积环境演变、海岸平面形态及物质组成、海底沉积物分布与水下地形结构等进行全面的探讨研究。具体来说,主要是通过对以下几个方面问题的研究,来揭示华南弧形海岸的形成及其海滩的响应模式和历史发展的演变规律。

(1) 华南弧形海岸形成的动力环境条件是什么(包括水动力条件、泥沙供给条件和海平面变化的影响等)? 这是从动力分析入手来研究地貌的形成过程,即揭示此类海岸形成的动力机理。

(2) 华南弧形海岸的泥沙运动规律是什么?

(3) 华南弧形海岸动力地貌的一般特征与独特特征(指不同形式或类型的弧形海岸动力地貌的特殊性)及其对海岸动力与泥沙条件的反应是什么? 这是从地貌特征来反馈了解动力特性。

(4) 华南弧形海岸的海滩过程及其变化是什么? 即着重探讨弧形海岸的反射型—中间型—消散型海滩系列及其海滩类型的转化过程。

1.3.1 研究构架

弧形海岸的发育演变历史过程是研究海滩的中短期尺度变化特征、近岸水环境泥沙输运及其所反映的各种动力耦合特性的基础。本研究即从全新世以来的弧形海岸沉积环境演变入手,在定性概括华南弧形海岸的结构、形式、类别及发育历史阶段的基础上,紧紧扣住泥沙这一动力作用与沉积地貌的纽带,分别展开讨论各种环境动力因子的作用机制、近岸泥沙对动力作用的响应以及动力作用下岸滩体系的调整与反馈,进而将研究结论整合,在此基础上提出响应各种尺度动力作用下,弧形海岸体系的变化模式与特征(图 1-3-1)。

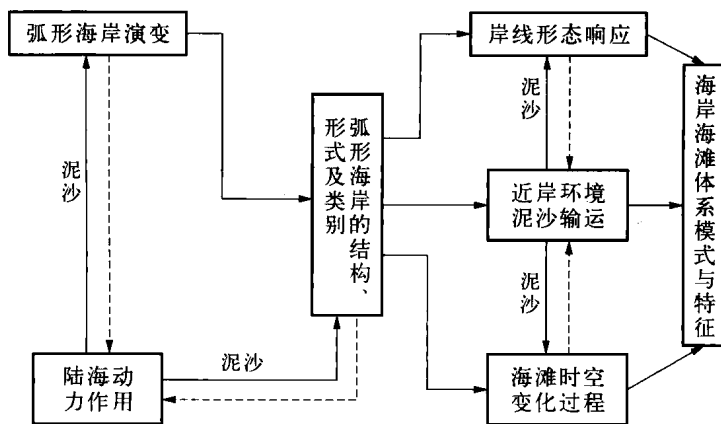


图 1-3-1 基本框架

1.3.2 研究方法

我们的研究运用海岸动力学、海岸沉积学、海岸地貌学和海岸工程学等多学科领域的基本原理,采用点面结合、历史与现代过程相结合、宏观与微观及定性定量相结合等方法,综合集成研究弧形海岸海滩不同尺度的地形时空变化过程。

(1) 点和面研究相结合。在华南中部沿海地区选择规模不大的、波浪观测资料完整的、上下岬角位置居于中间状态(两岬角连线基本呈东—西走向)的典型弧形海岸及海滩进行重点研究,以获取全面、系统的观测和数据。同时对面上华南东、西其他结构形式(上、下岬角连线呈北东—南西走向和北西—南东走向者)的较有代表意义的弧形海岸及海滩过程进行对比,以达到全面掌握华南弧形海岸特征的目的。

(2) 历史与现代过程研究相结合。即在国内对华南沙坝(堡岛)海岸研究的现有基础上,进一步研究华南弧形砂质海岸的形成过程和控制因子,即研究弧形海岸形成的天然背景、海面变化、动力作用和泥沙供给状况等历史过程;同时开展对海滩现代过程的研究。

(3) 宏观与微观及定性定量分析相结合。在宏观和定性研究弧形海岸的结构形式及其地貌模式的基础上,微观观测与分析弧形海岸海滩的动力地貌变化、体积的动态变化与泥沙运动,运用分形理论、小波分析、奇异谱分解及其经验正交函数分解(EOF)等方法定量研究海滩地貌状态及剖面过程对不同陆海动力作用的响应。

1.3.3 研究内容

本书在评述波流作用下的弧形海岸演变、海滩时空变化过程及其近岸环境泥沙运移等研究的基础上,首先概述了华南弧形海岸环境(包括地质、地貌及其波浪、潮汐等动力)的基本状况,并结合华南弧形海岸历史演变过程的研究成果,对比分析华南不同地质钻孔资料,对华南弧形海岸的演化过程及演进模式进行探讨,同时在分形理论的指导下,对长期响应陆海动力作用下的岸线形态采用分形及因子分析进行描述与概括,进而提出华南弧形海岸的结构及其概念模式。接着以动力—泥沙—地貌为主线,着重分析华南弧形海岸形成的动力机理,运用奇异谱分析(SVD)及相关分析研究波浪场与海滩场的相互关系,海滩场对风应力、台风大浪及潮汐等动力的响应过程。其次,运用泥沙一维、二维输运概念模式及 EOF 方法对近岸环境各种动力作用下的弧形海岸纵向与横向泥沙的输运进行研讨。再次,根据弧形海岸的岸线响应特征和地貌结构模式,对珠海荷包岛南湾海滩分别在夏、冬季进行为期一个多月的野外监测,通过盒子分维法、经验正交函数分解(EOF)及小波分析探讨海滩均衡剖面特性、剖面时空变化及其水下沙坝进退特征。在此基础上,提出华南弧形海岸海滩的水上均衡剖面指数公式及其海滩剖面变化模式,并且结合野外实际观测的海滩动力地貌变化特征,确认弧形海岸海滩可能存在的海滩状态概念模式及其海滩三维地形变化特征,从而最终整合集成陆海动力作用下,弧形海岸海滩在不同尺度的动力地貌响应特征。

第2章 研究综述

海岸演变是响应外部环境变化而发生的海岸动力地貌过程的结果,海岸动力地貌即为“涉及到泥沙运输的流体动力与地形的相互调整”(Wright & Thom, 1977)。根据动力驱动泥沙在海岸环境运输的时间尺度,海岸演变可分为长期的海岸演化、中短尺度(近100年或者几十年)的岸滩变化及短期的海岸行为(如一年、一个月甚至一次台风作用的几天时间)。

2.1 弧形海岸演化

弧形海岸演化是指冰后期海侵以来,响应与泥沙有关的海岸各种动力变化作用的海岸进退迁移、海岸地形演变及其海岸沉积层序的变化。这种长时间的历史海岸行为是与近岸区横向方向或纵向方向参与堆积和侵蚀的泥沙数量的多少,当时的构造背景及其水文气象等条件的控制分不开的。

2.1.1 弧形海岸历史演变过程

研究堆积形态是近岸海洋动力学和地貌学中最重要方法,因为堆积形态的结构可以反映出海岸变迁的主要特性(列昂捷夫,1960)。经受波浪作用而形成弧形岸线形态的堡岛(barrier island) (“barrier island”一词有的翻译称“沙坝岛”、“堡岛”或“障壁岛”等。本文为了防止与沙坝(bar)一词发生冲突,从而,将“barrier island”一概称为“堡岛”)是弧形海岸体系的一个主要组成部分,也是弧形海岸演化过程中保存下来的较完整的一种沉积地貌单元。在海岸的形态学分析中,认真地确定和研究构成堆积类型的这种海岸沙堤的分布,以及堆积类型的形态特点是非常重要的(列昂捷夫,1958)。从而,这种堡岛堆积形态体的成因及发展过程可以较好地重建古代的海岸地形和重建形成这种地形的动力条件。

对堡岛的研究一般是从堡岛的起源和堡岛的演化模式两个方面进行的。有关堡岛的成因主要有三种不同的学术观点:① De Beaumont(1845)认为堡岛是由于离岸水下沙堤出露水面形成。Otvos(1970)进一步认为堡岛起源于水下沙堤的建造过程,即泥沙垂向输运形成。② Gilber(1885)及 Johnson(1919)描述了堡岛的形成是建立在沿岸沙咀被破坏的基础上(Gilber, 1885; Johnson, 1919),尔后 Fisher(1968)指出,沙嘴沿海岸线平行推进,进而被通道分隔,从而导致堡岛形成。③ Mcgee(1890)提出堡岛是在海面上升期间,因大陆海滩的分割而形成, Hoyt(1967)发展了 Mcgee 的理论,认为堡岛是海岸海滩脊的沉降而形成。

实际上,堡岛的形成是相对海平面变化、泥沙补给的可采用性、波能、气候和海岸轮廓等几个因素相互作用的结果(Melville, 1984)。然而在海湾内,堡岛的确立受海湾轮廓、泥沙补给、离岸流梯度和优势波浪的作用机制影响,该概念不仅适合空廓的海洋性海滩,也适合只

有几千米宽的深海湾海滩(Komar, 1976b)。此外, Wanless(1972)认为先成地形必须被考虑, 海湾两侧边的海岸过程主要依赖于当地的背景条件和湾头或岬角的发展阶段(Zenkovich, 1967)。岬角和离岸岛, 在研究区域可能对湾内堡岛的束缚和发育有重要的作用(Melville, 1984)。因而, 堡岛的形成原因具有多解性(Schwartz, 1971)。确定某一堡岛的形成, 并不是一件容易的事, 而应将堡岛的形成和演变放在海岸水动力环境下及其冰后期海进海退的过程中, 才能正确地区分和理解它们的成因(李从先和陈刚, 1984a)。

海岸堡岛的研究一直涉及堡岛的迁移演化。堡岛地形的一个主要动力特性即具有继承性(Leatherman, 1987), 滨面在堡岛的演化过程中扮演了一个重要的角色(Oertel, 1985)。一些地貌学家通过历史航空相片、海图、海平面变化及其钻孔资料研究堡岛迁移演化模式, 证明了现代沉积性海岸的不少地貌特点与冰后期海面上升及其影响下的滨面泥沙向岸搬运和沉积有关(Rampino, 1983; Leatherman, 1983; Niedoroda, et al., 1985; Swift, et al., 1985; Boyd & Penland, 1984; Schwab et al., 2000; Lessa, et al., 2000)。当堡岛撤退时, 滨面在间歇性的风暴作用下, 其表面侵蚀并给堡岛提供了主要的泥沙来源; 当堡岛海进时, 泥沙通过滨面的亚环境、碎波带搬运到海滩及后滨沙丘(Swift, et al., 1985)。从而, 一些研究者提出了与堡岛发育有关的概念模式, 如 Swift(1975)提出的海侵时陆架坡发育模式, 该模式包括了堡岛海岸滨面后退的机制、滨面位置的移动次序和地层结果, 即堡岛形成演化的模式是由于滨面带流体过程和滨面底层响应的复合相互作用。这些作用包括由于浅水波引起的泥沙向陆运动, 裂流夹带泥沙向海运输, 破波点堡岛向岸运动及其泥沙在海滩的存贮(如图 2-1-1 所示)。

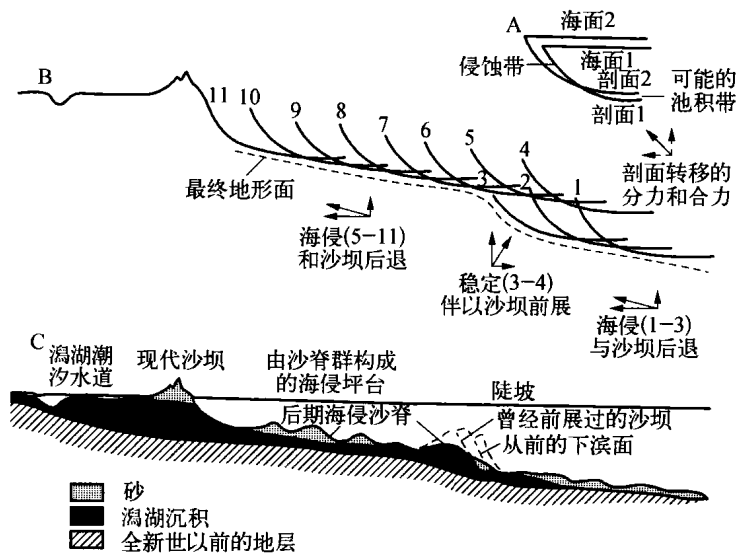


图 2-1-1 海侵时陆架坡发育模式(据 Swift, 1975)

A) 滨面后退机制; B) 滨面位置次序; C) 地层结果

在滨面带底层与动力相互作用的过程中, 滨面通过自身的调整(滨面转移)维持了动力平衡。滨面带底层横剖面向陆部分是向上凹的形状, 向海部分近似于直线。滨面带的形态由影响滨面主要过程的变量决定, 即相对海面上升速率, 泥沙补给的速率和特征及其流体能量的耗散率(Swift, et al., 1985; Leatherman, 1983)。显然, 滨面转移而形成的形态是海面上

升,滨面自身的响应调整。Bruun(1962)最先阐述了该机制为海侵条件下滨面向陆转移的结果(如图 2-1-2 所示)。在此基础上,不少学者对堡岛海岸的形成进一步作了探讨,认为堡岛在滨面转移时有不同的演化过程,如 Kraft 和 John(1979)提出的 Delaware 海岸海侵发育模式,Roy 等(1980)提出的在新南威尔士海岸的堡岛形成概念模式。近期,Dillenburg 等(2000)再次讨论了先成地貌在海岸形态及其堡岛形成过程中的作用,认为堡岛形成的大部分泥沙来源于陆架,滨面转移模式能够再现全新世岸线。Dubois(2002)则着重探讨了堡岛是如何随海平面上升的内在机制。

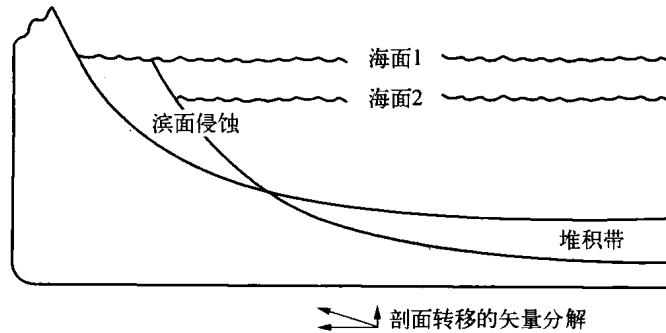


图 2-1-2 海侵条件下滨面向陆转移模式(据 Bruun,1962)

国外有关堡岛演化的模式大多是定性或概念化的。与此同时,国内李春初等(1986)提出了粤西水东湾堡岛演化模式,并指出国内不少堡岛海岸主要是通过滨面转移横向搬运泥沙形成(李春初,1987)。李凡(1983)及蔡爱智(1980)分别在分析山东白沙口海岸和刁龙咀海岸的演变时,认为这两种海岸都是泥沙沿岸运动条件下形成,海岸的发育过程是港湾式海岸的夷平过程。蔡月娥和蔡爱智(1984)在分析山东海岸潟湖的成因的基础上,认为山东省堡岛潟湖的成因包括三种:1)横向搬运;2)纵向泥沙输运;3)由纵向和横向共同作用。同期,李从先和陈刚(1984b)讨论了冰后期来的堡岛沉积体系形成过程,并就山东半岛滨外坝进行了研究(庄振业和李从先,1989)。此外,虞志英等(1982)将苏北沙堤的形成归结为泥沙在全新世海侵期间波浪作用下向岸横向搬运而成。王为(2000)认为香港海岸发育的重要原因是海湾内外滨的残余沉积在风暴作用下经横向搬运到岸而成。

尽管国内外对弧形堡岛海岸的演化都有一定的理解,然而,弧形堡岛海岸的形成发育过程,海岸的不同地貌单元特征,是受区域内海面波动,滨面性质(滨面坡度、滨面泥沙性质等)、近岸环境泥沙供给状况以及动力强弱等众多因素综合影响的结果。在充分借鉴国内外堡岛演化成果的基础上,考虑华南弧形海岸环境的特征,有关华南弧形堡岛海岸的演变阶段与地貌模式,应值得进一步开展与研究。

2.1.2 弧形海岸的平面形态

以基岩为基础发育的沉积性海岸,如果沿岸有岩石出露,并且泥沙供给不是很充足,在常年优势浪向的波浪作用下,岬角后的海岸形成弧形,远离岬角的下方向海岸呈与盛行波向垂直的切线形,即这类海岸在演化过程中,最终在平面上出现弧形或曲线的形态(如图 2-1-3 所示)。这种曲线状或弧形的海岸形态有许多名词:半心脏形的海湾(Silvester,1960),岬

湾海滩(Le Blond, 1979; Wong, 1981), 新月海湾(Ho, 1971; Silvester & Ho 1972), 螺线形海滩(Le Blond, 1980), 曲线或钩状海滩(Rea & Komar 1975), “Z”字形海湾或口袋状海滩(Silvester, et al., 1980)。这类弧形海湾海滩在世界海岸带的分布是较为普通的, 主要出现在面对开敞性海洋的海岸、河口滨线以及岬角和工程结构如海墙、防沙堤的下方向。

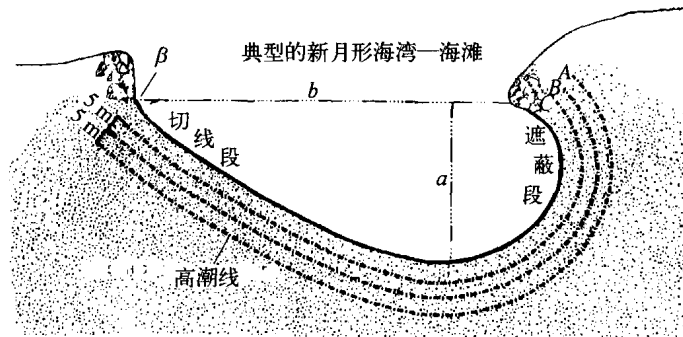


图 2-1-3 弧形海湾示意图(据 Finkelstein, 1982)

陆海动力作用下的弧形海岸平面形态响应规律是研究沙质海岸演变与稳定的关键, 也是认识海滩过程及其近岸环境泥沙活动的重要基础。国外不少地理学家、地质学家和海岸工程学家对波流作用下的弧形海岸平面形态的研究已有近一百年的历史, 理论分析成果较多。这些研究主要分成两个部分。第一部分的成果是从宏观、定性的角度, 着重探讨弧形海岸岸线演变的动力机理。Johnson (1919)最早对弧形海岸岸线平面形态进行了初步研究, 他描述了弧形海湾岬角存在时, 波浪的折射现象。Krumbein(1944)则展示了一个在岬角遮蔽下的海湾内的波浪折射图, Jennings(1955)阐述了新月形海湾稳定时的地形学特征。这是对有关波浪与地形相互作用现象的初步认识。Davies(1958)首先注意到折射对弧形海岸的重要作用。随后, Davies(1958, 1960, 1964)、Jennings(1955)和 Silvester(1960)确认优势波向的涌浪是一些沉积海岸轮廓发育的主要动力因素。Dunham(1951)、Carry 和 Chapus(1951)及其 Lesméhaute 和 Bribner(1961)坚持波浪的绕射作用是海湾形成圆弧曲线状的重要原因。Fico(1978)进一步确认了较长周期的波浪对海岸形状的作用要超过较短周期波浪对海岸的影响。同期, 更多的研究者强调波能从岬角到海湾直线端系统的分布是弧形海岸体系的关键特征, 而且对海湾的形状及其形成是极其重要的(May & Tanner, 1973; Rea & Komar, 1975; Walton, 1977; Le blond, 1979, 1980; Finkelstein, 1982)。Phillips(1985)则认为弧形岸线形态通常是一个远离岬角的距离衰减函数, 它的发育演化不是波能作用的产物, 而是波能、海滩泥沙粒径、海滩坡度及其泥沙供给等诸多因子共同作用的结果。González 和 Medina (1997, 1999)进一步讨论了绕射作用及其防波堤对海岸均衡岸线形成的影响。此外, Yasso (1965)考虑了潮汐作用引起的水位变化将改变波浪冲击前滨的位置, 导致前滨泥沙在浅的离岸区运动, 即潮汐流在遮蔽段对岸线的发育起作用。Hsu 等(1989, 1993)研究了海湾的下岬角在岸线形成与海岸防护方面的影响。Bishop 与 Cowell(1997)分析了沉积性弧形海湾的岩层及其湾顶河流入海输沙量在岸线形成中的作用。由于研究者大都是基于自己所研究某一区域的弧形海湾海滩而提出的理论成果, 一般只能适应于某一特定环境。实际上, 由于岸线形态是响应众多因子相互作用的综合表现, 从而通过探讨其中对岸线发育机理起主导性