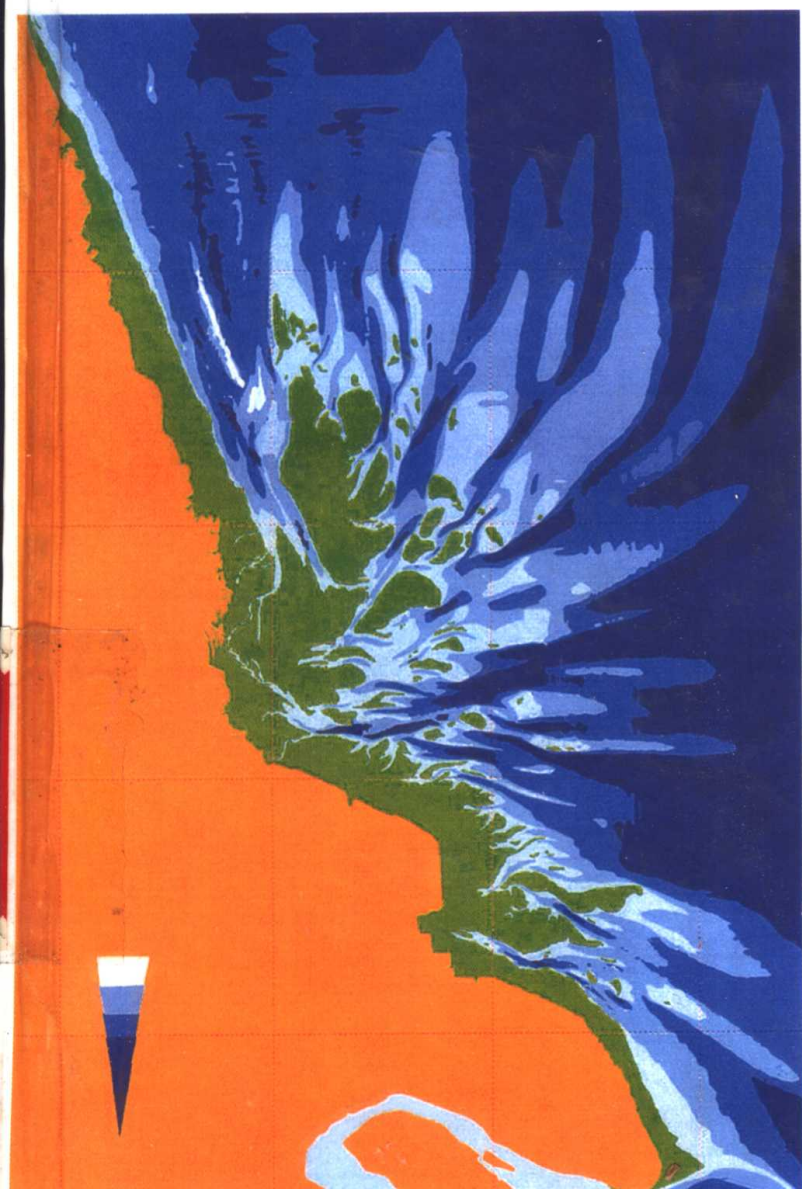




THE SANDY RIDGE FIELD
ON THE CONTINENTAL SHELF
OF THE YELLOW SEA

黄海陆架 辐射 沙脊群

王颖 主编

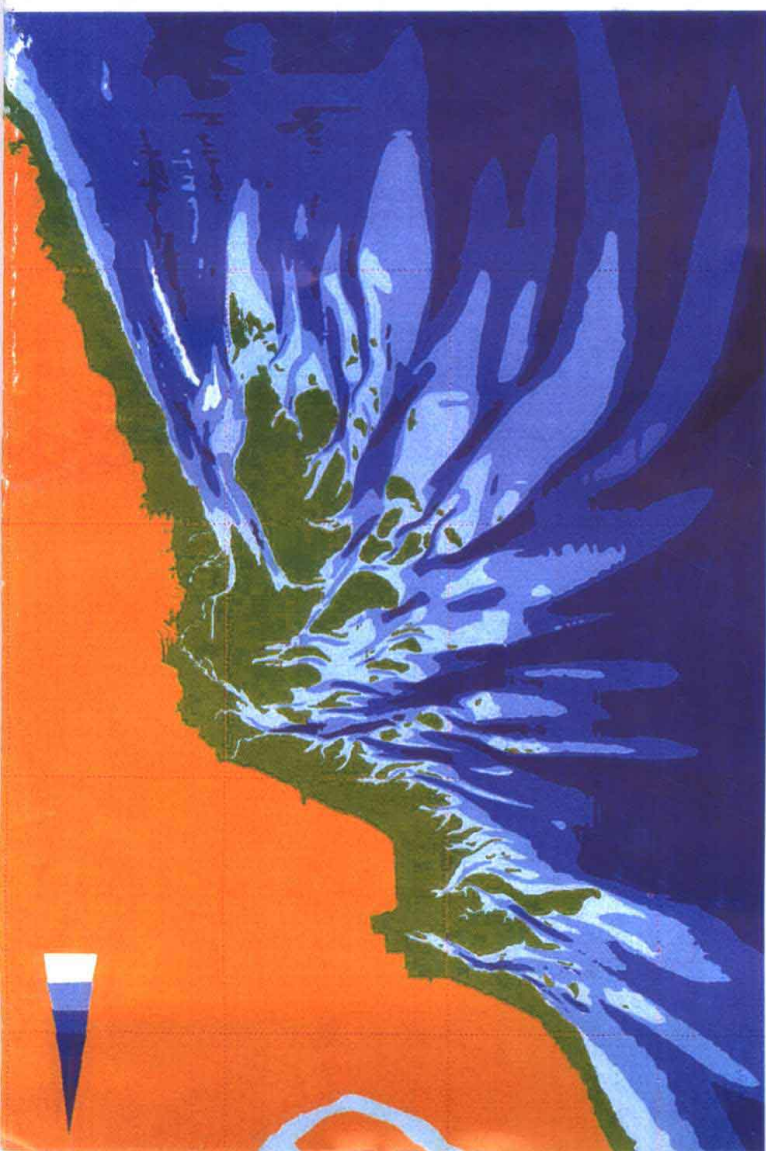


中国环境科学出版社

ALTERNATIVE SANDY RIDGE FIELD
ON CONTINENTAL SHELF
OF THE YELLOW SEA

黄海陆架 辐射 沙脊群

王颖 主编



中国环境科学出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

黄海陆架辐射沙脊群 / 王颖主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2002.12

ISBN 7-80163-443-8

I. 黄… II. 王… III. 黄海陆架-海底地貌-辐射沙脊-研究
IV. P737.272.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 085239 号

三叶草工作室



即中国环境科学出版社环境科学编辑部。工作室以出品环境类图书为宗旨, 服务社会。工作室同仁愿成为您的朋友。

出 版 中国环境科学出版社
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子信箱: sanyecao@cesp.com.cn
电话号码: (010) 68224798

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2002 年 12 月第一版 2002 年 12 月第一次印刷
印 数 1—2 000
开 本 787×1092 1/16
印 张 27.5 彩页 36
字 数 640 千字
定 价 90.00 元

【版权所有, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本工作室更换

R

radiative Sandy Ridge Field on Continental Shelf of the Yellow Sea



王颖

辽宁省康平县人。1956年南京大学地理系地貌学专业毕业，1961年北京大学地质地理系副博士研究生毕业。1979—1982年加拿大达尔豪斯大学地质系海洋地质学研究员，贝德福海洋研究所访问学者，2001年获加拿大滑铁卢大学环境科学荣誉博士学位。现任南京大学教授，地学院院长，海岸与海岛开发教育部重点实验室学术委员会主任，海洋研究中心主任。中国海洋学会副理事长，中国科学院院士。国际海洋研究委员会（SCOR），淤泥质海岸与海平面变化研究组主席，国际太平洋海洋科学技术协会（PACON）、国际地貌学家协会（IAG）常务理事。专长海岸海洋科学，用多学科相结合的观点与技术，研究海岸、大陆架的形成演变，并应用于海洋工程与开发项目。1980年以来，在国内外发表论文120篇，著书13本。



薛鸿超

1929年12月生，1951年上海交通大学水利系毕业，1960年苏联奥德萨建筑工程学院获技术科学副博士学位，曾任河海大学水港系主任，海洋工程研究所所长。“全国海岸带综合调查研究”项目，1992年获国家科技进步一等奖；“港口工程技术规范（海港水文）研究项目，1985年获国家科技进步二等奖；1997年获江苏省优秀知识分子称号。

黄海陆架辐射沙脊群

朱大奎

浙江省杭州市人。1956年毕业于南京大学地理系地貌学专业。现任南京大学海岸与海岛开发国家实验室，南京大学海洋研究中心教授。在海洋地貌学、海洋沉积学，以及海岸工程与海岸带资源开发研究等方面造诣较深。1979年以来，在国内外发表论文100篇，著书6本，已培养硕士30名，博士14名。



严以新

1949年1月生，福建闽侯人。1987年毕业于美国 Florida 大学海岸及海洋工程专业，获工学博士学位。现任河海大学副校长，教授，博士生导师。主要从事港口、海岸及近海工程领域的研究工作，在国内外学术刊物发表论文50余篇。1997年评为水利部高校优秀中青年学科带头人，1998年获水利部“优秀教师”荣誉证书，1999年获江苏省教育厅“江苏高校科技工作先进个人”荣誉证书，2000年获江苏省教育厅“优秀研究生导师”荣誉证书。



张东生

河海大学教授，博士生导师。1938年7月生，1960年毕业于山东海洋学院（现青岛海洋大学）海洋学系。1961年起在华东水利学院（现河海大学）任教。1980年代在挪威特隆海姆大学挪威工学院（NTH）进修海洋工程。长期以来从事海洋学、河口学的教学和科学研究工作。主要研究方向：海岸和近海动力环境；河口、海岸泥沙运动；海洋环境等。



序

南黄海江苏岸外海底，分布着巨大的辐射沙脊群。它是一系列与潮流场相应的沙体及其间的谷槽组成。有的沙脊已出露水面成为沙洲。辐射沙脊群南北长约 200 km，东西宽 140 km，其分布形式与巨大的范围，在全球罕见，是中国大陆架浅海所特有的大型沙体组合。

南黄海辐射沙脊群是河海交互作用形成的。晚更新世末期，长江在江苏境内入海，堆积了大量粉砂细砂，形成大范围的河口三角洲。冰后期海面上升过程中，三角洲及河口分流水道淹没在海面之下，受辐合潮波的改造，沙脊及潮流通道构成辐射状分布。这些沙质堆积体个体巨大，长期处于陆海相互作用的环境，沙体中储存着海岸演变、河口环境、海面变化、气候变化以及海洋环境的各种环境信息，是研究陆海相互作用、区域及全球环境变化的理想载体。辐射沙脊群区域，拥有宽广的浅水海域，潮间带浅滩，沿海河湖湿地等，均是生油环境，若长期下沉可形成良好的生油层。对现代沙脊群沙体的研究，可提供一种大陆架沙体沉积模式，帮助指导油气勘探工作。辐射沙洲是潜在的巨大土地资源，对地少人多的江苏省有特别重大的现实意义。利用辐射沙脊之间主要的潮汐通道，还可开辟为深水航道，建设深水港。沙脊区海域可发展海洋渔业等等。因此，辐射沙脊群的研究，在理论上与应用上都具有重要意义。

20 世纪 60 年代以来，国内海洋科技机构，对这一区域有过规模不等的研究，引起学术界的重视。1979—1985 年，江苏海岸带资源调查期间，南京大学对辐射沙脊区域及沿岸潮滩作了广泛的调查研究。以后有多次地方政府委托的海港选址与航道回淤研究工作，南京大学与河海大学一起对这海区及一些主要的潮流通道，作过多学科深入的海

洋调查与分析研究工作。1990—1995年由王颖教授负责主持，南京大学、河海大学、同济大学与中国科学院海洋研究所一起，承担国家自然科学基金“八五”重点课题“黄海辐射沙洲形成演变研究”，其主要内容是：辐射沙脊区水动力条件的研究，潮流、波浪与泥沙冲淤变化的数学模型分析；辐射沙洲地貌与沉积特点以及形成演变规律的研究；冰后期琼港辐射沙洲的研究，以及遥感的研究分析。本书主要是国家自然科学基金重点项目的前两部分，以及汇集南京大学、河海大学在此区域历年工作的成果，按统一的提纲撰写而成。

南京大学的海岸海洋地貌和沉积的研究，与河海大学的海岸动力和海岸工程研究，两方面的合作已有长期的历史。从20世纪50年代末期起，严愷院士一直倡导，在国家的重大海洋工程建设过程中，发展海岸动力地貌学与海洋动力学，并与任美锷院士带头合作。这种不同学科的合作，从50年代天津新港回淤研究开始，延续至今。所以，本书也是多学科长期合作的结晶。

本书的作者是：朱大奎撰写第一、二章及第七章；张东生、张君伦、张长宽撰写第三章；严以新、薛鸿超、宋志尧、诸裕良撰写第四章；王颖撰写第五章，朱晓东、邹欣庆撰写第五章第四节；李海宇、马劲松撰写第六章。全部书稿经薛鸿超、朱大奎修改统稿，最后由王颖校阅全书定稿。工作中牛战胜打印全部书稿。张永战协助制作第一、二、五、七章图件。书中较多地选用了一些实测材料，与分析结果一起印出，便于阅读与应用。

本书的出版要特别感谢国家科技部审批，由国家科学技术学术著作出版基金作为全国重点科技书籍，全额资助出版。特别要感谢中国环境科学出版社社长的大力支持，作为该年度重点书籍安排出版事务，以及陈金华先生对该书精心的编辑润色，使之付印面世。

书中不妥之处，欢迎批评指正。

朱大奎

2001年12月25日，南京大学

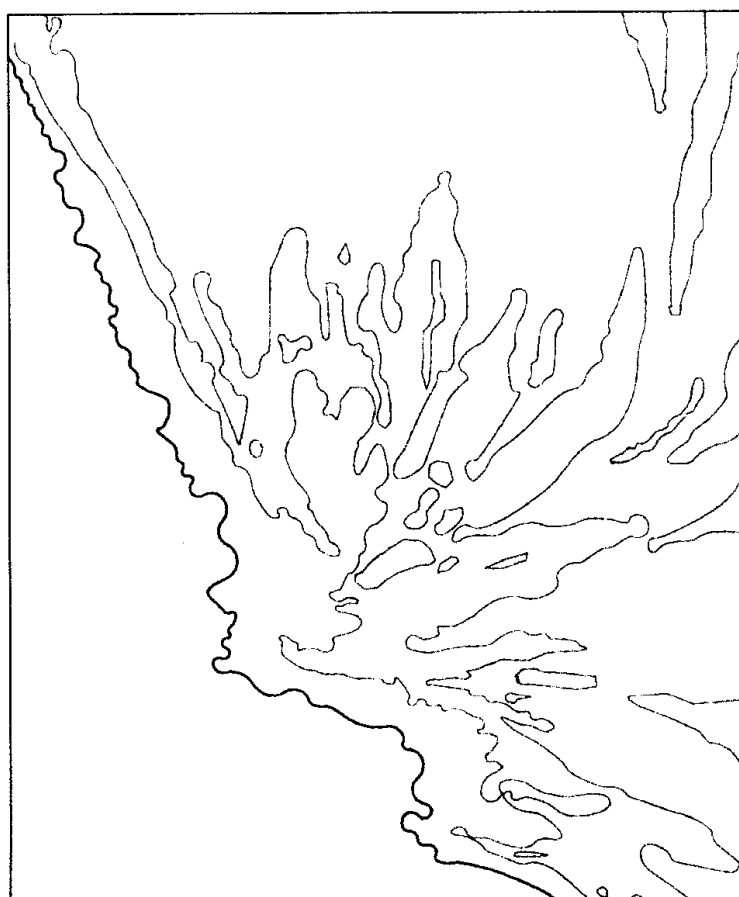
目 录

第一章 绪论	1
第一节 沙脊群的定义、分布与成因的概述	2
第二节 研究历史	3
第二章 黄海辐射沙脊群自然环境	7
第一节 地理位置	8
第二节 地质	10
第三节 气候与河流水文	15
第四节 海洋水文特征	20
第三章 黄海辐射沙脊群动力环境	29
第一节 辐射沙脊群海域潮流场	30
第二节 辐射沙脊群海域波浪场	64
第三节 辐射沙脊群海域的风暴潮	90
第四章 辐射沙脊群潮流动力机制	119
第一节 潮流沙脊机制论述	120
第二节 潮汐通道潮流现场观测	124
第三节 沙脊群海域潮流场三维数值模型	150
第四节 潮流运动平面特征	170
第五节 潮流运动立面特征	188
第六节 潮流输沙与沙脊群演变	216
第五章 辐射沙脊群地貌与沉积结构	229
第一节 辐射沙脊群地貌	230
第二节 黄海辐射沙脊群表层沉积物	237
第三节 沉积物来源的研究	247
第四节 沉积物中微体古生物与环境反映	283
第五节 辐射沙脊群沉积结构	301

第六节 沉积结构的地质钻孔依据.....	354
第七节 辐射沙脊群的形成与演变.....	368
第六章 海岸海洋“4S”技术系统与可视化研究的应用	375
第一节 “4S”技术系统在辐射沙脊群演变研究中的应用	376
第二节 海岸海洋“4S”技术系统的可视化模型与应用实例	401
第三节 海岸海洋“4S”技术系统与可视化的发展展望 ——虚拟海洋环境与“数字海洋”系统.....	414
第七章 结论与展望.....	417
第一节 沙脊群形成与演变问题.....	418
第二节 开发利用的一些规律性问题.....	424
参考文献.....	428

绪 论

第一章



本章作者 朱大奎

第一节 沙脊群的定义、分布与成因的概述

沙脊群是分布在浅海的由潮流沙脊组成的大型堆积体，潮流脊是潮流作用形成的线状沙体，其重要特征是沙体与潮流方向平行，沙脊多由沙质沉积物构成，其形体为高数米至数十米，宽度数百米至数千米，长度数千米至数十千米或更大。常在海底成片分布。

潮流沙脊在中国沿海有多处分布，主要是南黄海江苏岸外辐射状沙脊群，渤海东部辽东浅滩指状沙脊群，鸭绿江口平行线状沙脊群，琼州海峡指状沙脊群等。

国外研究潮流沙脊起自 1960 年代，对英吉利海峡潮流沙脊的研究，北美大西洋沿岸海底潮流脊的研究 (Off, T., 1963)，欧洲北海海底潮流沙脊的研究。近 40 年来断断续续至今仍在进行 (Kenyon, N. H., 1970; Coston, V. N. D., 1972; Swift, D. J. P., 1975; Dyer, K. R., Huntley, D. A., 1999)。至今发现全球规模最大的海底沙脊群，分布在欧洲英格兰西南的凯尔特海大陆架 (Celtic Sea) (Tesser, B. et al., 2000)，其海底沙脊群分布在水深 100~170 m 处，相互平行的海底沙脊高度达 50 m，宽度 5~7 km，长 40~120 km，各沙脊之间的间隔达 16 km。它们是晚冰期最盛时期 (1.8 万年前) 生成的，当时海面比现在海面低 120 m，水深较小，潮流流速大，对水底有较强的侵蚀与堆积作用。巨型的水下沙脊层，厚度 50 m，是随着海面变化经历几个发育阶段，沙体中保存着该海岸带几次升降的标志信息。

潮流沙脊的形成，基本条件是海底有足够的松散沉积物，有较强的潮流作用，潮流流速为 0.25~2.5 m/s (Off, T., 1963)，潮流将海底沙质沉积物改造成沿潮流方向的堆积体。潮流在海底运动，搬运泥沙形成冲刷槽及线状堆积体，或者，原始海底地形中有沟谷洼地、古河谷、古侵蚀槽谷等，潮流沿海底冲刷槽、原始槽谷运动，冲刷侵蚀并将侵蚀产物堆积成沙脊。

沙脊群的沙脊与其间的深槽的形成过程、是与深槽中产生的横向环流以及横向环流进一步发展有关，横向环流使泥沙在深槽与沙脊上横向搬运，其结果是促进了沙脊与深槽的发育。这一现象最早是在欧洲北海大陆架发现的 (Houbolt, J., 1968)。潮流在海底沙脊顶部流速较小，而在沙脊之间潮流深槽中流速较大，这种相邻的流速的差异，导致了横向环流。潮流深槽中的底层流向外辐散，在沙脊顶部流向内辐合，这种横向环流与潮流主流相叠加，形成前进型的螺旋状环流。环流引起底层泥沙运动，冲刷沟槽的泥沙堆积到脊顶，使沙脊发育壮大，高差加大。在北海南部海底沙脊群的观测发现，沙脊两侧潮流流速不相等 (Caston, V. N. D., 1972; Stride, A. H., 1974)，沙脊一侧涨潮

流占优势,另一侧落潮流占优势,而形成深槽底部水向沙脊顶部汇聚,在潮流深槽中产生横向环流,而在涨潮水道与落潮水道之间容易产生沙脊的堆积。研究潮流沙脊的成因,除了现场观测、测验研究外,近30年来亦开展各类模型试验与现场研究互为引证,并深化发展。模型试验也证实了潮流沙脊群深槽中环流作用是潮流沙脊形成发育的重要动力条件,环流引起泥沙的输送,促使沙脊的形成。

本书研究的黄海辐射沙脊群区域,位于南黄海江苏岸外,南北长199.6 km ($32^{\circ}00'N \sim 33^{\circ}48'N$),东西宽140 km ($120^{\circ}40'E \sim 122^{\circ}10'E$),面积28 000 km²,是70多条沙脊及沙脊之间的潮流深槽组成。这些沙脊、深槽以江苏东台的弶港为顶点呈辐射状向海伸展(图1-1,见彩页)。辐射沙脊群的成因机制,涉及潮流动力、沉积物的供应状况以外,还同该海区古地形、古海岸演变有关。本书将以动力作用、沉积过程、沉积层结构特征与地貌演变,综合论证沙脊群形成条件、演变过程、今后发展趋势以及从中得出的若干科学上与应用方面的结论。

第二节 研究历史

在南黄海江苏岸外做海底地质、地貌调查,研究海底沙脊群,至今已有近40年的历史。最早,1960年代初,中国科学院海洋研究所进行苏北沿海水文和地质地貌调查,对该海域的沙脊作了地形、形态、沉积物组成与沙脊成因的研究(李成治,李本川,1981)。1970年代地质部海洋地质调查局,进行了南黄海西部海底地形地貌、沉积物和矿产调查,先后出版了调查报告、图集及说明书等研究成果(周长振,孙家淞,1981;杨长恕,1985)。

1980—1985年,江苏海岸带与海涂资源综合调查工作,对辐射沙脊进行了大规模系统的调查,积累了地形、地貌、地质、气象水文、泥沙、生物等系统资料,并阐明了辐射沙脊群的动力环境——潮波、流、波浪、悬沙等特征及作用过程,海底地貌特征、表层沉积物组成,泥沙来源、成因与动态分析等等(江苏海岸带与海涂资源综合调查报告,1986;朱大奎,1985;傅命佐,1986)。

1987—1988年射阳河口建港可行性研究,进行了射阳河口及附近海域的水文泥沙地质、地貌调查研究(射阳港建港可行性研究报告,南京大学海洋研究中心,1988年)。

1988—1989年南通市计委、如东县人民政府委托南京大学、河海大学进行江苏省洋口港建港预可行性研究。两校的海岸海洋与海洋工程有关的师生数十人,在辐射沙脊群南部黄沙洋周围海域进行连续几个月的海上调查测验工作,主要工作有:水下地形及

沙洲地形测量、水文泥沙测验、短期设站水文测验及风浪计算、海底及沙脊群地质取样分析、表层柱状样分析、多频道浅层地震剖面探测,以及卫星及航测相片分析对比、潮流数学模型计算及港口工程研究等等(江苏省洋口港建港预可行性研究报告·河海大学、南京大学,1989)。

1992年南通市及如东县人民政府为建设洋口港,委托南京大学承担港区海域稳定性研究,为建设深水大港进行建港自然条件的可行性论证。该项研究组织20余人进行辐射沙脊群南部海域(烂沙洋、黄沙洋)多项海洋调查,包括表层及柱状取样、多频道地震剖面测量、全潮水文泥沙测验、沉积物粒度矿物化学分析、遥感研究、地理信息系统研究、地层沉积环境分析等,在完成地方政府委托的大型海洋工程调查研究的同时,为海底沙脊群的研究积累了大量系统的资料(江苏岸外辐射沙洲形成演变及洋口港区水道稳定性研究报告·南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室,1993)。

江苏沿海是我国沿海港口建设的空白带,为了利用辐射沙脊群北部主要的潮流通道——西洋深槽建设深水港,1992年大丰县人民政府委托南京大学、河海大学等进行大丰王港建港的可行性研究。南京大学主要研究西洋潮流通道的稳定性及建设深水航道的可行性,西洋是辐射沙脊群北部最大的潮流深槽, -10 m 的深槽从大丰王港直接与外海相通, -20 m 的深槽长度有10 km,具有建设深水航道的条件。南京大学对这潮流深槽及邻近沙洲海域作了地形、地貌、沉积多项测量研究,为辐射沙脊群北部海域积累了大量资料(南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室,1993,江苏省大丰县岸外西洋潮流通道稳定性及王港建港可行性研究报告)。

1993—1996年南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室负责,与河海大学海洋工程研究所、同济大学海洋地质与地球物理系、中国科学院海洋研究所合作,承担国家自然科学基金“八五”海洋重点研究项目(地球科学部49236120号):“黄海海底辐射沙洲形成演变研究”。该研究项目由四部分课题组成:

1. 辐射沙洲水动力条件分析研究

主要是潮汐数学模型、潮流通道潮流模型及泥沙冲淤演变分析,这部分由河海大学薛鸿超教授、张东生教授负责。

2. 辐射沙洲地貌与沉积特点及其形成演变规律

由南京大学王颖教授、朱大奎教授负责,内容主要有水深地形分布;沙脊潮流通道地貌特征分布;表层沉积物、物质来源及沉积构造;沙脊群的冲淤变化、泥沙运动;潮流通道成因及稳定性分析;辐射沙洲形成发展演变趋势与冲淤规律分析;海平面变化与辐射沙洲响应。

3. 冰后期琼港辐射沙洲的形成演变

由同济大学李从先教授负责,主要内容为辐射沙洲的成因、长江口在琼港地区入海时的时间(全新世早期、中期、晚期);物质来源;辐射沙洲形成的时间。

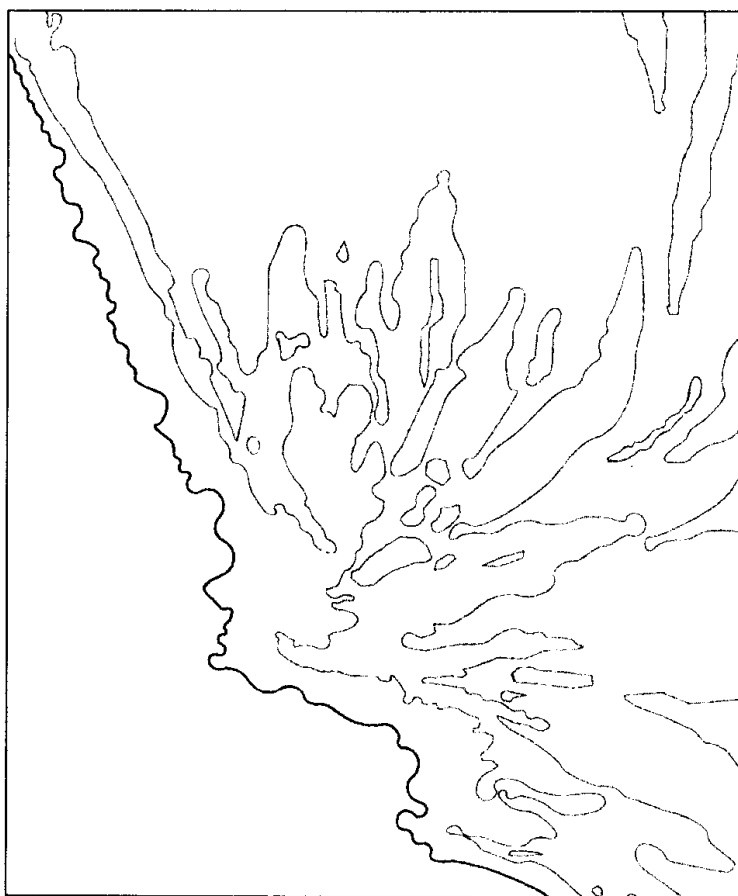
4. 黄海海底辐射沙洲不稳定性遥感研究

中国科学院海洋研究所李成治与黄海军研究员负责，主要内容为利用遥感技术获取沙洲形态、分布面积；采用模糊数学、遥感、数学地质方法，结合常规方法划分辐射沙洲的不同单元及其不稳定性类别；解释沙洲的形态与动态变化的特征。

国家自然科学基金重点项目对南黄海辐射沙脊群的研究，是一次系统的大规模的科学研究工作，该项研究已有一系列的论文报告及专门的研究总结报告（王颖等，1998；张东生等，1998；严以新等，1999；李从先，1998）。本书主要根据国家自然科学基金重点项目“南黄海辐射沙洲形成演变研究”的第一、第二方面的课题，同时结合南京大学、河海大学历年在该海区的工作，撰写而成。

黄海辐射沙脊群 自然环境

第二章



本章作者 朱大奎

第一节 地理位置

辐射沙脊群分布于江苏岸外，黄海南陆架海域，自射阳河口向南至长江口北部的蒿枝港，南北范围界于 $32^{\circ}00'E$ ， $33^{\circ}48'N$ ，长达 199.6 km，东西范围界于 $120^{\circ}40'E \sim 122^{\circ}10'E$ ，宽度为 140 km。大致以新川港为主轴，沙脊呈褶扇状向海辐射，有 70 多条沙脊与潮流通道组成，脊槽相间分布，其水深介于 0~25 m。

我们用 1979 年实测的海图，加以 1992 年与 1994 年的卫星遥感图像制作，并以 1992 年卫星遥感图像为依据修编海岸线轮廓，外海补充了 1965—1967 年实测资料，以墨卡托投影制作完成了 1:250 000 的辐射沙脊海底地形图，该水深地形图作为该项研究的基础图件^①。辐射沙脊群是呈辐射状分布的出露于海面以上的沙洲与隐伏于海面以下的沙脊，以及其潮流通道的总称（图 2-1）。

我们又用该图将投影改正为通用横轴墨卡托投影（UTM 投影），用计算机量测获得辐射沙脊群的面积。沙脊群所占海域的面积为 22 470 km²，其中出露海面的面积为 3 782 km²，水下部分 0~5 m 水深的沙脊群面积为 2 611 km²，5~10 m 水深的沙脊群面积为 4 004 km²，10~15 m 水深的沙脊群面积为 6 825 km²，15 m 以下的沙脊群面积为 5 045 km²，所以，辐射沙脊群主要是 10 m 及 15 m 水深范围内。

辐射沙脊群中主干沙脊约 21 列：小阴沙、孤儿沙、亮月沙、东沙、太平沙、大北槽东沙、毛竹沙、外毛竹沙、元宝沙、苦水洋沙、蒋家沙、黄沙洋口沙、河豚沙、太阳沙、大烘梗子、火星沙、冷家沙、腰沙、乌龙沙、横沙等。分隔沙脊的潮流通道主要有：西洋（西洋东通道及西洋西通道）、小夹槽、小北槽、大北槽、陈家坞槽、草米树洋、苦水洋、黄沙洋、烂沙洋、网仓洪、小庙洪等 11 条。这些大型的潮流通道，水深均大于 10 m，深度向海递增。

^① 辐射沙脊海底地形图由海军测绘研究所朱鉴初研究员协作完成。