

DAXUEYANJIUXING
KECHENGZHUANYEJIAOCAI

大学研究型课程专业教材

地理与海洋科学类

海洋沉积动力学研究导引

高抒 著



南京大学出版社

大学研究型课程专业教材

地理与海洋科学类

海洋沉积动力学研究导引

高 抒 著



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

海洋沉积动力学研究导引 / 高抒著. —南京: 南京大学出版社, 2013. 8

大学研究型课程专业教材 地理与海洋科学类

ISBN 978-7-305-11694-0

I. ①海… II. ①高… III. ①海洋沉积—动力学—高等学校—教材 IV. ①P736.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 148266 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

网 址 <http://www.NjupCo.com>

出版人 左 健

丛 书 名 大学研究型课程专业教材 地理与海洋科学类

书 名 海洋沉积动力学研究导引

著 者 高 抒

责任编辑 严 婧 吴 华 编辑热线 025-83686029

照 排 南京紫藤制版印务中心

印 刷 南京爱德印刷有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 25.75 字数 375 千

版 次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-11694-0

定 价 68.00 元

发行热线 025-83594756 83686452

电子邮箱 Press@NjupCo.com

Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购图书销售部门联系调换

总 序

研究生是高校学术研究的主力军。他们的独特优势在于热情一旦被激发,巨大的能量将在瞬间释放,足以化解众多科学难题。纵观科学发展历史,多数学者后来取得的重要成果和学术声誉的基础,是在研究生阶段奠定的。当然,优势不会凭空转化为胜势,还需要一些基本的条件。

首先,研究生要有过硬的写作功夫。学术写作的要点是清晰表述事实、阐明逻辑关系。刻画事实如同画家给人画像,准确、逼真、神似是应追求的标准。各种事实之间、事实与理论之间、不同理论之间隐含着严密的逻辑,揭示这些逻辑关系要通过论说来实现,一篇论文的水平在很大程度上就是论说的水平,具体而言就是解释、比较、讨论的水平。平时多写短文,每年完成从一定数量的学术论文,这是提高写作水平的有效途径。

其次,研究生要有攻克科学难题的勇气。科学发展的历史就是不断克服困难的历史;如今,人类虽然获得了许多知识,但尚未攻克的难题更多。研究生是有能力应对其中部分难题的,他们不应该由于学校的考核标准压力而忽视了自身的潜力,限制了自身的发展。如果能够找到合适的研究切入点,从相对容易的论题入手,取得初步成果,然后逐步深入,以少积多,最终将能完成一项原本难以想象的任务。研究切入点的确定要靠研究生的主观努力,阅读文献、参加学术会议、与指导老师和同学进行讨论,这些活动都能引发许多有价值的论题,经过进一步消化、吸收和凝练,可转化为自己的研究内容。

最后,研究生应在发展新技术、新方法上有所作为。有了科学问题,下一步的任务就是明确要做哪几项工作、如何完成,也就是明确研究方案。研究工作涉及数据和样品采集、实验室分析和数据处理,因而需要掌握一定的操作技能,但要做

出更具创新性的成果这还不够。有哪些前人没有采集过的数据、是否需要设计新的仪器来采集和分析数据、能否建立更新更有效的计算和模拟方法？研究生要经常思考这些问题，有意识地朝着研制新仪器、发展新方法的方向去努力。

我们出版这套“导引”系列教程的目的就是要帮助研究生们提高研究能力。与通常的教材不同，这套教程的重点不是专业知识的系统介绍，而是要在发现科学问题、寻找研究切入点、发展方法技术上提供线索。我们期待研究生能从中获益，促进他们早期学术生涯的发展。

南京大学地理与海洋科学学院

2013 年 5 月 20 日

序

在英国南安普顿大学海洋学系攻读博士学位期间的 1990 年 4 月,按照导师 M. B. Collins 教授的安排,我前往加拿大 Bedford 海洋研究所,参加由 Carl Amos 博士担任首席科学家的一个航次的海上工作。该航次的目的是研究加拿大东部陆架区砂质沉积物的输运和堆积过程。出航前,在 C. Amos 博士的办公室里,我向他提出了关于研究中如何选题的问题。对于一位在寻找科学问题中有很多困惑的学生,C. Amos 博士的回答是很直截了当的,他说:“在海洋沉积动力学领域,需要研究的科学问题太多了,以至于我们每天忙碌,也只能解决其中的一小部分。”接下来与他的讨论使我明白了研究方案本身与科学问题的寻找有很大关系,只有方案对路,才会有源源不断的科学问题。在后来的科研生涯中,我对这一点有了更多的体会。

其实,我从攻读硕士学位开始就在探寻明确科学问题的办法。当时的感觉是我们领域中的不少论文缺乏生气,内容面面俱到,难以从中概括出具体的、聚焦的科学问题。而在国外,地学早已进入了量化的时代,发表的学术论文也早就采用了“一篇论文论述一个问题”的形式。两相对比,我觉得国外的论文形式更能被年轻的研究人员效仿,也更有利于做好研究工作。此外,我尝试通过阅读科学哲学的专著来探寻如何获得科学问题的线索,得出的结论之一是,研究者可以从一个虽小但具体的科学问题出发,通过研究提出更多的问题,这像是一个滚雪球的过程。爱因斯坦的一段经典语录是:“你知道得越多,你知道你不知道的东西也越多。”当时,我还试图从校园讲座中获得信息,有一位专家建议以时间、地点、研究内容为三根轴,形成三维空间,其中的每一个点都构成了一个科学问题。初听起来,这很吸引人,但细究之下,这不过是一个空洞的说法,因为在逻辑上,科学问题

必然先于研究内容而存在,而且在空间上的这些点之间的相对重要性并不是自明的。无疑,研究的起始点不是仅靠哲学思考就能解决的,一种理想状况是有人给刚进入研究领域的年轻学者提供一个好的科学问题。在实践中,这不是所有年轻人都有的运气。

1997年,我自己成了一位博士、硕士研究生指导教师,开始在中国科学院海洋研究所指导研究生。从那时起,我觉得应该在“发现科学问题”上给他们提供更多的帮助。在中国科学院海洋研究所和南京大学的多年研究中,我形成了一个习惯,就是把想到的科学问题记下来,以免忘记,还时常为其中的一些问题设想论文提纲,思考其中应有的工作假说、研究方案、预期结果、形成新的研究方向等。我建议研究生们应在研究中积累一套自己的数据资料,形成自己的科学问题集,在合适的时候把其中的一些转化为科学论文。这可能是基础研究中保持较多产出的一条途径。这些建议似乎是有作用的,因为研究生们都很努力地针对我所建议的科学问题进行了研究,也发表了不少较好的学术论文。

后来,为了提高指导研究生的效率,我萌生了一个想法,即撰写一组专门论述科学问题的文章,供他们参考。我梳理了海洋沉积动力学中的一系列问题,着重于基础研究的论题,写成了一些文章,其中一部分以研究论文、综述、讨论等形式在专业学术期刊或其他出版物上发表。我认为这种方法有一些可取之处。首先,研究生们阅读这些论文,可以直接从中获取科学问题,作为他们研究的起点。其次,重要科学问题能把研究者引导到本领域的重要研究方向,如沉积记录形成过程及其正演模拟、基于沉积动力学的地貌演化过程、海岸与海底沉积体系形成演化等,研究生们对此应有所了解。最后,通过阅读这些材料,研究生们可能在论文写作和发现科学问题上受到启发,在潜移默化中培养他们的科学研究能力。

作为一本大学研究型课程的辅助参考书,本书是以上述论文为基础而写成的。对于曾经发表过的论文,我进行了以下修改:(1)删去了论文摘要,使之符合辅助参考书的体例;(2)按照本领域学术刊物的一种简便格式,统一了参考文献引用格式,补充了原文未列写完整的文献;(3)改正了印刷错漏,修改了少量的措辞。在此,对《科学通报》《沉积学报》《第四纪研究》《地球科学进展》《海洋地质与第四纪地质》《地学前缘》等刊物的编辑部允许使用已发表论文的材料深表感谢。“引

言:海洋沉积和地貌动力过程研究的切入点”、“江苏沿海开发的海洋科技发展方向的思考与建议”、“海岸湿地环境动力学与生态系统动力学研究”和“海洋沉积体系定量模拟方法论”四章的内容是没有发表过的。除“引言”外,其余新论文的部分内容曾分别在第五届海洋强国战略论坛(2010年)、“海陆交互作用过程与中国海岸海洋环境资源特点及疆域主权”科学与技术前沿论坛(2012年)和《科学通报》2012年地学编委会议暨第五届地球科学家学术沙龙上宣读。还有几篇早期的探索科学问题的论文,留有那个时代的烙印,虽然属于初级研究者尚未完全入门的作品,但也提出了若干有意义的论题,可能有一定的借鉴意义,因此汇编为本书的第二部分。此外,“海洋沉积动力学及相邻研究领域论文写作”一文是根据过去写过的多篇短文综合而成的,现列为本书的最后一章,期望对研究生们有参考价值。

与本书相关的研究工作得到了多个项目的资助,主要有国家杰出青年科学基金项目(49725612)、国家自然科学基金重点项目(40231010和40830853)、国家自然科学基金项目(49876018、40476041和40576023)、国家重大基础研究发展计划(973)项目(G20000467)、国家973计划前期研究专项(2006CB708400)、海洋公益性行业科研专项经费项目(2010418006)、江苏省基础研究计划项目(BK2011012)以及江苏高校优势学科建设工程资助项目(地理学)。在各章节内容的准备过程中,我与多位同事和研究生有过交流,讨论中他们提出的一些看法对我的写作很有帮助,我经常回忆起与研究生们一起讨论科学问题的温馨时光。关于海洋沉积体系定量研究的思考得益于2010~2012年国家重大科学研究计划项目的申报,特别要感谢科技部对“扬子大三角洲演化与陆海交互作用过程及效应研究”项目(2013CB956500)的资助。

书稿完成之际,我要感谢我的家人对本项工作的理解、鼓励和支持。南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室牛战胜工程师在文字打印和图件绘制上提供了帮助。在文稿整理中,南京大学出版社杨金荣、严婧编辑提出了不少有益的建议,谨此致谢。

高 抒

2012年12月28日于南京大学

目 录

总序	1
序	1
第一部分 引言	1
第一章 引言:海洋沉积和地貌动力过程研究的切入点	3
第二部分 科学问题初识	9
第二章 东海沿岸潮汐汉道的 $P-A$ 关系	11
第三章 废黄河口海岸侵蚀与对策	19
第四章 从地貌学观点看潮汐汉道研究方向	28
第五章 台维斯学术思想的继承与突破	34
第三部分 海洋沉积动力学的理论与应用问题	43
第六章 海洋沉积动力学研究与应用前景展望	45
第七章 两变量线性关系第三型的回归算法与地学应用	54
第八章 沉积物示踪方法的理论探讨	67
第九章 海洋沉积动力学的示踪物方法综述	76
第十章 关于建立海岸带开发“稳健管理模型”的初步设想	84
第十一章 海岸带受损环境的恢复和整治:以山东半岛月湖为例	89
第十二章 浅海细颗粒沉积物通量与循环过程	96
第十三章 全球变化中的浅海沉积作用与物理环境演化:以渤黄东海为例	103

第十四章	美国《洋陆边缘科学计划 2004》述评	111
第十五章	亚洲地区的流域-海岸相互作用:APN 近期研究动态	120
第十六章	海岸带陆海相互作用及其环境影响	131
第十七章	潮汐汉道形态动力过程研究	143
第十八章	从海岸地貌学看河海划界的可操作性	160
第十九章	沉积物粒径趋势分析:原理与应用条件	169
第二十章	海底、海岸和沙漠大型沙丘的动力地貌过程	184
第二十一章	极浅水边界层的沉积环境效应	199
第四部分	海洋沉积体系及相关地表系统的定量研究	211
第二十二章	潮滩沉积记录正演模拟初探	213
第二十三章	长江三角洲对流域输沙变化的响应:进展与问题	224
第二十四章	陆架与海岸沉积:动力过程、全球变化影响和地层记录	236
第二十五章	江苏沿海开发的海洋科技发展方向的思考与建议	249
第二十六章	海洋沉积地质过程模拟:性质、问题与前景	259
第二十七章	IODP 第 333 航次:科学目标、钻探进展与研究潜力	270
第二十八章	海岸湿地环境动力学与生态系统动力学研究	286
第二十九章	海洋沉积体系定量模拟方法论	300
第三十章	海洋沉积动力学及相邻研究领域论文写作	313
参考文献		327
索引		377

第一部分 引言

第一章 引言:海洋沉积和地貌动力 过程研究的切入点

科学研究从提出问题开始。一轮研究之后,既可能找到问题的答案,也可能发现新的问题,两者都是基础研究的成果。如果顺利的话,这一链式反应可以持续下去,直至产生一项较大的学术成果,就像核反应最终导致爆发一样。初学者就更需要一个合适的科学问题作为切入点。这个科学问题从哪里来?在许多情况下,研究生们从导师那里得到要研究的问题。此外,通过学术会议、学术报告、与同行交谈等方式,也可获取有用的信息。阅读文献时,如果能关注论文的“讨论”部分,并且经常思考诸如“作者所提的问题是否恰当”“是否有更好的研究方法或技术路线”“作者提供的答案是否有局限性、能否进一步改进”之类的问题,年轻的研究者也会发现一些适合自己的科学问题。这是比自学能力更上一层的学术能力。

本书第二部分的4篇文章,就是一位年轻学者探寻科学问题的实例。有时候,他从教师的研究中得到一个可研究的问题,然后模仿同行论文的模式进行写作(高抒,1988),或者从与别人的交谈中获取一个研究议题(高抒,1989a);在另一些情况下,他试图从文献阅读中总结研究进展,从中找到新的问题(高抒,1989b, 1989c)。

这里的其他论述则是本书作者对本领域科学问题的思考,其目的是为研究生和年轻学者提供研究的切入点。所涉及的科学问题可分为以下几类:一是关于海洋沉积动力过程的(高抒,1997a,2000a,2003,2005,2008a,2009a,2009b),二是关于海洋沉积体系和沉积记录的(高抒,2007,2010a,2010b;高抒等,2011),三是关于定量刻画和模拟方法的(高抒,1997b,2009b,2011),四是关于本学科在全球变

化研究、海洋资源开发以及环境和生态保护等方面的应用的(高抒,1998,2000b,2020,2008b,2009c,2010a)。

关于过程和机理的研究,传统上最重要的途径是现场观测。通过做野外工作,不仅能够得到第一手数据,而且对自然系统会有切身体会。因此,野外工作对于研究生创新意识的培养至关重要,地球科学在这一点上与数理化有明显的不同。基本上我们的所有问题都难以通过室内实验来解决,其中的道理是,自然系统的影响因素众多,如影响沉积物输运率的因素可能有十几个。对于单因素的问题,容易以室内实验来解决,若该因素的状态有 N 个,只要进行 N 次试验就会得出结论。但是,如果有 M 个因素,则需要 N^M 次试验,当 M 值较大时,在操作层面上通常是困难的。正因为如此,地球科学研究中室内实验只是起辅助作用,主要的数据来源是野外环境这个大实验室,室内分析的功能主要是对野外获得的样品进行测试。因此,研究生应把野外工作当成自己研究的主要部分,尽快地掌握一套属于自己的独特数据。

有了基础数据,就可以开展过程和机理研究,这是基础研究中最为关键的部分,也往往是年轻研究者最为拿手的。简而言之,过程和机理是指影响系统特征及行为的因素与它们起作用的方式。在海洋沉积动力学领域,最基本的过程有紊动、颗粒沉降、再悬浮、水平方向输运、沉积物堆积、底部边界层、重力流等。经过前人几十年的研究,有些已得到了深入了解,但有的过程尚未被充分了解,成为本领域历史遗留的科学难题,如紊动和边界层过程就是如此。由于这些问题的难度大,研究要付出的代价也大。在技术路线上,要对问题进行分解,从不同的角度来逼近。例如,紊动的分析在微观上要提高观测技术,尤其是提高时空分辨率,而在宏观上则有可能通过床面形态特征的研究来寻找线索;又如,边界层的问题可以按照深水、浅水和极浅水的不同环境来区别对待,利用悬沙浓度的时空变化格局和床面形态分布格局来反演边界层动力过程。

沉积动力过程涉及的时间尺度通常较小,但海洋沉积动力学的任务之一是了解沉积体系和沉积记录的形成,而这涉及 $10^1 \sim 10^4$ 年的时间尺度。因此,如何将动力过程和长时间尺度的产物相联系,这实际上关系到沉积动力学与地层学、地貌学、生态学等学科的结合。作为沉积动力学家,一方面要掌握沉积层序分析的

反演方法,即从钻孔或柱状样分析中提取沉积动力过程的信息;另一方面也要试图将地层、地貌和生态系统问题还原为沉积动力学问题,将长周期因素,如海面变化、河流入海通量变化、地壳升降、沉积物压实、生态系统演替等,包含在动力过程分析之中,以解决地层层序、地貌演化的一部分问题。沉积记录的形成与物质堆积时的过程、冲淤过程和埋藏后的成岩过程有关。因目前对这些过程的了解还不够,故沉积记录解译也成为科学难题(高抒,2010d)。生态系统更是一个复杂的问题,它影响了沉积体系和记录,因而生态系统演化特征可以反映在沉积记录中,同时也受到沉积作用的影响。沉积动力学研究在动力地貌、层序地层和生态系统动力学领域都可以发挥重要作用。例如,海岸与海底地貌演化主要是潮流、波浪等导致的沉积物输运和堆积的结果,考察地貌系统中的物质、能量输入、输出状态,结合地貌学的基本概念,如演化的阶段性、稳定均衡态等,往往可形成重要的科学问题。再如,从沉积动力学的观点来看待沉积记录,可以获得其在沉积体系中的时空分布图景,并得出其连续性和分辨率的信息;通过了解沉积物运动和分布对物质循环、初级生产、次级生产、底栖生态、海岸湿地生态的影响,可以对生态系统动力学作出贡献。

沉积动力学与一般意义上的动力学有着明显的区别。如流体动力学,它依赖于连续方程和动量方程所构建的一个理论体系,其中流体运动和能量传输的参数与变量是完备的,因而可以通过解析或数值方式求解。沉积动力学则不同,由于沉积物作为颗粒态物质具有刚体和流体物质的双重性质,因此虽有连续方程,但尚未形成实用的动量方程。正因为如此,沉积物运动速率要与流体运动相联系,这不得不涉及许多环境因素,如温度、盐度、生物作用等,在许多情况下只能表达为经验关系。这就是说,沉积动力学的理论是不完备的,仅仅利用现有的控制方程有可能得到误差很大的结果,这在现实情况中经常出现。

如何解决这个难题?我们可以考虑从研究方法上来弥补。一方面是发展独立于传统动力学方法的观测和分析体系,以提供对比和参照数据;另一方面是发展和改进数值模拟技术,实现正演和反演方法的结合,使有关动力学体系的知识不断得到完善。

在上述第一个方面,示踪物方法和沉积物粒径趋势法是最具有代表性的。在

地质学研究领域,经常采用地球化学参数来定性或半定量地确定沉积物来源及其相对贡献,划分沉积物源区,并提取成岩作用信息。在沉积动力学中,不仅要获得源区信息,而且还要获得输运率和堆积速率信息。长期以来,人们发展了天然示踪物和人工示踪物方法,分别用以解决以上两个不同性质的问题,然而,前者对定量分析的困难、后者在操作层面上的难度造成了一定的局限性。通过理论分析,我们现在知道,其实天然示踪物也可用于实现沉积动力学的各种目的,如物源定量追踪和沉积物输运方向及大小的确定,也就是说,可以建立统一的示踪物动力学方法。在这个体系中,如何进行物质守恒分析,如何确定示踪物在输运中的变化,如何获取与底部沉积物-水体界面上的物质交换参数,这些都是关键的科学问题。

沉积物粒径趋势是一个有趣的问题。过去,粒度分析技术的发展曾给沉积学带来了很大的希望,颗粒数量的巨大使人们相信其中必然含有大量信息。然而,在尝试用粒度数据分辨沉积环境和分析沉积物输运方式后,数据的多解性成为一个难题。目前,生物地球化学方法已成为更好的环境识别方法,用以判断海、陆相沉积比粒度方法更有效,而沉积动力过程的研究也不支持用粒径分布曲线判别输运方式(如悬移、跃移、推移),没有证据表明某种输运方式下的物质一定是正态分布的。后来,人们提出粒度参数的平面分布可能含有物质输运信息,于是发展了粒径趋势分析方法来确定沉积物的净输运方向。这一方法得到了广泛的应用,但在应用该方法时应满足的前提条件、粒径趋势的形成机理、粒径趋势与输运率的关系等方面,还存在着许多尚待解决的科学问题。

对于数值模拟方法,前人已经构建了不少关于潮汐、波浪、风和环流、沉积物输运和生态系统的模型,但除了水动力模型,其他模型的验证都很困难,其原因是模型本身有很多不完善的地方,而且验证材料的获取也经常是不充分的。既然如此,我们应该重新考虑数值模拟的定位问题。进行数值模拟,最重要的不是进行传统意义上的“验证”,而是把模型作为工具来进行过程模拟,用以形成工作假说和制定现场观测方案,在与观测资料和钻孔分析资料的不断对照中改进模型本身。在这个方面,数值模拟的范围并不局限于短时间尺度过程(如潮周期物质输运、风暴潮和海啸事件过程等),它可以扩展到海洋沉积动力学的各个时空尺度,

如地貌演化、沉积体系和沉积记录形成等。

深海与陆架、海岸水域的环境差异很大,这里物源相对较少,主要来自火山喷发、水柱中的生物颗粒和大气沉降颗粒,以及陆坡、海山的重力流输运物质,潮汐、波浪的影响很小,而重力流和深海环流是主要的动力过程。对这些过程的观测和模拟目前还较为薄弱,是一个具有前景的研究方向。

最后,沉积动力学研究对其他领域科学问题的解决也可以作出贡献。全球变化在自然科学范围内主要是指气候变化、地貌环境变化和生态系统演化,而在这些变化中,沉积物都起了重要作用。例如,碳循环对气候系统有很大影响,海洋环境中随着沉积作用发生的碳埋藏和伴随海底再悬浮及物质输运而发生的有机碳分解是影响碳循环的重要过程,而这些正是海洋沉积动力学所要研究的内容。海岸带陆海相互作用是全球环境和生态变化中的重要组成部分,海岸与陆架的沉积物来源(如河流入海物质、海岸与海底冲刷、生物颗粒等)、沉积物在浅海的堆积以及引发的地貌变化、沉积物在生态系统中的作用等都是重要的科学问题。在“过去全球变化”研究中,主要的材料来自沉积记录,而沉积动力学的目标之一正是要弄清沉积记录的性质,以便正确地解译沉积记录,并从中提取更多的环境信息。在与经济、社会发展密切相关的海洋资源开发、环境保护和生态建设等方面,在海岸土地围垦、港口建设、自然保护区建设、海岸湿地保护、河口环境治理、海岸带管理模型的建立中,都有值得深入研究的沉积动力学问题。

从1996年开始,本书作者及所在的研究组致力于潮汐环境沉积动力过程及其应用的研究;从2006年前后起,又开始聚焦于海洋沉积体系和沉积记录形成演化的研究工作。因此,本书将这两个方面的材料进行了大致的划分,分别汇编于第三部分(海洋沉积动力学的理论与应用问题)和第四部分(海洋沉积体系及相关地表系统的定量研究)。