

近百年来渤、黄、东海陆架冲淤作用强度数值研究*

朱玉荣

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

摘要 数值模拟了渤、黄、东海陆架区潮流动力场作用下 9 种无黏性单粒径泥沙的冲淤作用强度。计算所得渤、黄、东海陆架近百年来冲淤分布与实测底质类型的分布在大多数海区相一致,这表明渤、黄、东海陆架的潮流动力场在该区的泥沙输运与淤积中起着主导作用,是该区近百年来冲淤作用强度分布格局的主要控制因素。

关键词 冲淤作用强度,沉积动力学,渤、黄、东海陆架,数值研究

陆架区的泥沙输运引起的冲刷与淤积问题不仅是全球海洋通量研究计划中陆架物质通量与循环研究的一项重要内容,与陆架区的沉积作用过程和沉积环境演变密切相关,研究渤、黄、东海陆架区近百年来冲淤作用强度可为全球陆架物质通量与循环研究提供我国实例,有助于深入了解陆架区的沉积动力过程与沉积环境演变,可为相关学科提供沉积动力学依据。而且在航运、海洋与海岸工程的实施、海洋渔业与油气资源的开发以及国防等方面亦具有重要意义。

迄今,对陆架区近百年来沉积作用强度的研究一般采用²¹⁰Pb测定沉积速率法。自1980年以来,在我国渤、黄、东海陆架已做过许多该方面的工作,例如赵一阳等1991年、Li F. Y. 等^[14]曾测定了南黄海中、西部许多站位的沉积速率和(或)沉积通量;Zhao Y. Y. 等1990年、李凤业等^[1]曾给出了南黄海东部泥区的沉积速率;李凤业等1990年给出了渤海辽东湾不同区域的现代沉积速率;杜瑞芝等1990年给出了渤海湾现代沉积速率;李凤业等^[2]给出了渤海的现代沉积速率;邹汉阳等1982年、金翔龙^[3]、Chih An Huh等^[17]给出了东海陆架不同区域的沉积速率。最近,范德江等^[4]对渤、黄、东海陆架²¹⁰Pb测年法确定的沉积速率进行了分析研究,认为由于²¹⁰Pb本身的局限及陆架沉积环境的复杂性,加之各家对²¹⁰Pb数据处理标准及结果表达的不统一,使得渤、黄、东海陆架²¹⁰Pb沉积速率只能定性、半定量地表征沉积作用强度。

陆架上有沉积的地方,用²¹⁰Pb测年确定沉积速率法可行,但对无沉积,甚至发生冲刷的地区,其应用则受到限制,因²¹⁰Pb测年只能确定沉积速率,却无法确定冲刷速率。另外,限于经费、野外作业的难度等,要想用²¹⁰Pb测年法较详细地了解我国整个渤、黄、东海陆架不同地区的沉积作用强度困难很大。因此,本文

将数值模拟渤、黄、东海陆架的冲淤状况,根据模拟结果并结合实测资料,探讨渤、黄、东海陆架近百年来冲淤作用强度及其分区。

1 方法

渤、黄、东海陆架的水动力有潮流、海流、波浪以及风暴潮等,但永久存在并且起主导作用的是潮流,尤其是M₂潮流。海流、波浪以及风暴潮的情况是,海流存在季节与年际变化,且一般比潮流小一个量级;波浪仅在近岸起作用;风暴潮具有突发性等。由于目前计算多种水动力因素耦合作用下的海底冲淤作用强度尚有相当难度,因此,本文计算了M₂潮流作用下渤、黄、东海陆架的海底冲淤作用强度。在整个计算过程中,首先根据潮流数学模型计算渤、黄、东海陆架的潮流动力场;然后根据Bagnold于本世纪60年代提出的泥沙输运公式的修正式计算渤、黄、东海陆架的泥沙输运场,即泥沙输运率;最后根据高等数学中对散度的定义,计算泥沙输运率散度,并根据泥沙输运率散度的计算结果,画出相应的海底冲淤作用强度图。本文所用潮流模型及用其计算的渤、黄、东海陆架的潮流动力场见文献[6];泥沙输运计算公式的正确可信性已在计算现在渤、黄、东海陆架区的泥沙输运场时^[15]得到验证;泥沙输运率散度的计算公式是作者根据高等数学中对散度的定义而给出的,这也是可信的;并且其可信性还将由计算所得海底冲淤状况与实测底质类型的良好对应关系(关于此,见结果部分)进一步得到验证。限于篇幅,具体计算公式不再叙述。实

* 国家自然科学基金资助项目49876018号。中国博士后科学基金资助项目。

收稿日期:2000-09-07;修回日期:2000-09-20

际海域中的泥沙一般为混合沙,但目前尚不能计算混合沙的输沙率散度,故本文计算了9种单粒径,即0.008,0.016,0.032,0.063,0.105,0.125,0.25,0.375,0.45 mm,无黏性泥沙的输运率散度,并画出了相应的海底冲淤图,据此定性探讨渤、黄、东海陆架近百年来的冲淤作用强度及分区。上述9种单粒径泥沙是根据渤、黄、东海陆架的实测底质类型^[5]选取的。限于目前对进入渤、黄、东海陆架的所有物源,甚至是主要物源尚不能定量给出,因此,本文在计算单粒径无黏性泥沙的输运率散度时,不考虑具体的物源,即只要有泥沙进入渤、黄、东海陆架的潮流动力场,就得到文中给出的冲淤作用强度分布图(图1)。

2 结果与讨论

2.1 近百年来渤、黄、东海陆架冲淤作用强度分布格局

细粒泥沙的冲淤作用强度分布图(以0.016 mm的为例,见图1(aI))显示,冲刷区主要分布在渤海海峡、辽东浅滩、六股河口、渤海湾湾口、北黄海中部、江华湾离岸区、朝鲜半岛南端西侧海域、济洲岛南侧、长江口外扬子浅滩区、扬子浅滩南侧的东海外陆架、浙闽近岸、杭州湾湾口、苏北沿海离岸区、古黄河三角洲区、海州湾湾口北部。其中,冲刷比较厉害的区域有老

铁山水道、山东半岛顶部北端、江华湾离岸区、朝鲜半岛南端西侧海域、扬子浅滩区、扬子浅滩南侧的东海外陆架、杭州湾湾口、苏北沿海离岸区。淤积区分布在辽东湾、渤海中央的中部、莱州湾东侧海域、西朝鲜湾近岸区、江华湾湾顶、北黄海与南黄海的交界处、山东半岛南侧海域、南黄海中部南端、海州湾中部、扬子浅滩的北侧与东北侧、扬子浅滩南侧东海外陆架的东侧与东南侧、浙闽离岸区、杭州湾湾顶、苏北沿海近岸。其中,淤积比较厉害的区域有辽东湾东侧、渤海湾湾顶、西朝鲜湾湾顶、江华湾湾顶、朝鲜半岛中部西侧海域、扬子浅滩的北侧与东北侧、浙闽离岸区、杭州湾湾顶。冲淤平衡区分布在渤海中央的南端与北端、北黄海西部、南黄海中部北端。

当泥沙粒径变粗时,以0.063 mm的为例(图2(bI)),冲刷区主要分布于渤海海峡、辽东浅滩、六股河口、渤海湾湾口与顶部、北黄海中部、江华湾离岸区、朝鲜半岛南端西侧海域、扬子浅滩、杭州湾口门、扬子浅滩南侧的东海外陆架、苏北沿海离岸区、海州湾。淤积区主要分布于辽东湾、渤海湾中部、西朝鲜湾、北黄海与南黄海的交界处、江华湾湾顶、南黄海中部的西南侧与东南侧、扬子浅滩的北侧与东北侧、扬子浅滩南侧东海外陆架的东侧与东南侧、浙闽岸外、杭州湾湾顶以及苏北沿海。冲淤平衡区主要分布于渤

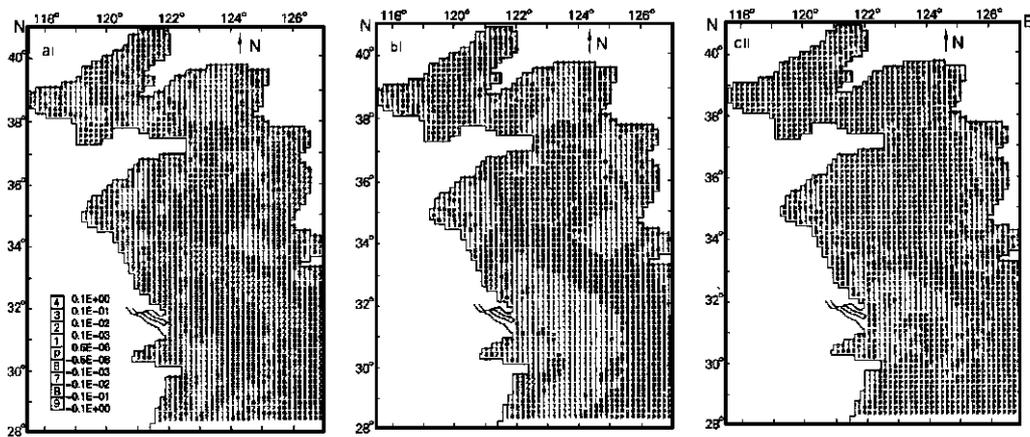


图1 M_2 潮流作用下泥沙输运造成的海底冲淤作用强度分布格局($g/(cm^2 \cdot a)$)

a: 0.016 mm; b: 0.063 mm; c: 0.25 mm (I: 悬移输运; II: 推移输运) 图中 p 代表冲淤平衡,即冲刷率或淤积率很小; 1,2,3,4 代表冲刷,数字越大表示冲刷强度越高;6,7,8,9 代表淤积,数字越大表示淤积强度越高。

Fig.1 The distribution patterns of sea bed erosion/accretion intensities caused by sediment transports under the action of M_2 tidal currents

a: 0.016 mm; b: 0.063 mm; c: 0.25 mm (I: suspended load transport; II: bedload transport) p represents erosion/accretion equilibrium, i.e., erosion rate or accretion rate is very low. Number 1, 2, 3, and 4 stand for erosion, and the more greater the number is, the more heavier erosion is; while number 6, 7, 8, and 9 represent accretion, and the more greater the number is, the more heavier accretion is.

海中央、北黄海西部、南黄海中部以及计算区的东南角。

当泥沙粒径进一步变粗时,以 0.25 mm 的为例(图 1(c II)),渤、黄、东海陆架的大部分区域处于冲淤平衡状态。冲刷区主要出现在老铁山水道、山东半岛顶端东北部、朝鲜半岛西侧离岸较远处、扬子浅滩区、浙闽近岸、苏北沿海离岸区、海州湾。淤积区主要分布在辽东浅滩区、西朝鲜湾湾顶、江华湾湾顶、朝鲜半岛中部西侧近岸、扬子浅滩的北侧与东北侧、浙闽近岸、苏北近岸、海州湾湾顶以及山东半岛顶部东端。

从上述不同粒径的泥沙冲淤作用强度分布格局可看出,当泥沙粒径较小时,例如 0.016 mm,几乎整个海域都有冲淤现象发生,并且冲淤区的冲淤作用强度比较高;随着泥沙粒径变粗,例如 0.063 mm,渤、黄、东海陆架的冲淤平衡区增大,并且大多数海区的冲淤作用强度比 0.016 mm 时的有所降低;泥沙粒径继续变粗,例如 0.25 mm,渤、黄、东海陆架的大部分区域处于冲淤平衡状态,只有强潮流区,才有泥沙的冲淤现象,例如老铁山水道、朝鲜半岛西侧海域、扬子浅滩区、浙闽岸外、杭州湾、苏北沿海离岸区以及海州湾等。上述现象表明,在水动力场一定的情况下,粒径越细的泥沙,越易被起动,越易发生冲淤;粒径越粗的泥沙,越难被起动,越难发生冲淤。

2.2 计算所得渤、黄、东海陆架冲淤分布与实测主要底质类型分布之间的对应关系

由于目前尚不能计算混合沙的输沙率散度,本文给出的是渤、黄、东海陆架每一计算点上 9 种单粒径泥沙的冲刷或淤积通量,而不是每一计算点的总冲刷或总淤积通量,而²¹⁰Pb 测年法得到的一般为某一地点的总沉积速率或总沉积通量。因此,计算所得渤、黄、东海陆架冲淤作用强度无法与²¹⁰Pb 测年法确定的沉积作用强度进行直接比较。本文采用的计算泥沙运输的公式仅适用于无黏性沙,不适用于黏性泥,亦不适用于砾。因此,一方面,对于浅海陆架环境中粘性泥、砾等的输运与沉积的计算公式有待于进一步研究;另一方面,到目前为止,数值模拟象其他手段一样有其自身的局限性,并非所有的实测现象都能计算出来。鉴于此,下面仅将计算所得渤、黄、东海陆架的海底冲淤状况与实测的主要底质类型进行比较,以间接验证计算结果的正确性。如果以后条件允许,作者将选择一个在水文、泥沙、底质、地貌等方面研究程度较高的海湾,作更加深入细致的工作,来进一步检验与发展本文所采用的研究方法。

渤、黄、东海陆架的主要底质类型按其粒度大体可分为粗的砂质沉积与细的泥质沉积,以及介于两者之间的混合型沉积^[5]。辽东半岛的西、南两侧^[7,16]、朝

鲜半岛西侧沿岸^[8]、海州湾^[8,9]、长江口外扬子浅滩^[3,10,13]、扬子浅滩以南的东海外陆架^[3,10]、苏北岸外^[11]为粗粒的砂质沉积;渤海中央^[7]、北黄海西部^[8,9]、南黄海中部^[8,9]、南黄海东部^[1,12]、济洲岛西南^[3,10]、浙闽岸外^[3,10]、长江口外^[3,10]为细粒的泥质沉积;余下部分介于两者之间,为砂泥之间的过渡型或混合型沉积,多为粉砂,局部为泥质砂。

本文选取的 9 种单粒径泥沙中,一般认为 0.063 mm 为粉砂与砂的分界线,因此,本文将根据 0.063 mm 粒径泥沙的冲淤作用强度分布图,探讨渤、黄、东海陆架的冲淤分布与实测底质类型之间的关系。至于 0.016 mm, 0.25 mm 粒径的冲淤分布应分别与细粒径中的细分类型、粗粒径中的细分类型作比较,由于缺乏相应资料,本文不做讨论。在图 1(bI)中,发生冲刷的地区,即 0.063 mm 粒径泥沙能够起动并被带走的地区,应是砂质沉积区;发生淤积的地区,应是以粒径小于或等于 0.063 mm 的粉砂为主的混合沉积区;冲淤平衡区,实际上是不能起动海床上 0.063 mm 粒径泥沙的弱潮流区,应是比 0.063 mm 更细泥沙的沉积区,在这些区域海床上的泥沙虽不能起动,但却有利于水体中细粒悬浮泥沙在此沉积,这些区域一般应为泥质沉积区。

经对比可知,图 1(bI)中的冲刷区,即推测的砂质沉积区,基本与实测底质类型的砂质沉积区相对应。值得注意的是,图 1(bI)与其他 8 种单粒径泥沙的冲淤图均显示苏北岸外为淤积区,而实测底质类型该处为砂质沉积,即南黄海辐射状沙脊所在区域,这两者之间看似矛盾,实际上并不矛盾,虽然粗细泥沙都在此淤积,但是如果粗于 0.063 mm 粒径的泥沙在强潮流作用下在此淤积的量较多就可导致该处以砂质沉积为主。除南黄海辐射状沙脊区的砂质沉积外,渤、黄、东海陆架的其他砂质沉积一般为粒径小于 0.063 mm 粒径的细粒泥沙被带走,剩下粗砂被强潮流改造所致。

图 1(bI)中的冲淤平衡区,即推测的泥质沉积区,分别对应于实测底质类型中的渤海中央泥、北黄海西部泥以及南黄海中部泥。这些泥区基本处于冲淤平衡状态,说明这些泥区的沉积速率很低,组成泥的物质应基本为细粒组分中最细的物质。图 1(bI)中没有冲淤平衡区与实测底质类型中的济洲岛西南泥、浙闽岸外泥、长江口外泥相对应,图 1(bI)中这些区域为淤积区,这表明这些泥的物质组成比上述冲淤平衡区泥的物质组成要粗一些,很可能由细粒组分中较粗的物质组成。值得注意的是,实测底质类型中的南黄海东部泥在图 1(bI)中对应的不是冲淤平衡区,亦不是淤积区,而是冲刷区,这可能与本文未考虑的水动力因素

与泥沙要素有关,关于此,有待于进一步研究。图 1 (b) 中的淤积区,在大多数地区与实测底质类型中的混合型沉积区相对应。

总之,本文计算结果与实测底质类型的分布在大多数海区吻合良好。这表明渤、黄、东海陆架的潮流动力场在该区的泥沙输运与淤积中起着主导作用,是近百年来渤、黄、东海陆架冲淤作用强度分布格局的主要控制因素。对于计算结果与实测底质类型不相符合的局部地区,有待于综合考虑渤、黄、东海陆架的水动力与泥沙因素,进一步深入研究。

3 结论

本文计算所得渤、黄、东海陆架的冲淤作用强度不能与²¹⁰Pb 测年法确定的沉积作用强度进行直接比较。计算所得渤、黄、东海陆架的冲淤分布与实测底质类型的分布在大多数海区吻合良好。渤、黄、东海陆架的潮流动力场在该区的泥沙输运与淤积中起着主导作用,是近百年来渤、黄、东海陆架冲淤作用强度分布格局的主要控制因素。

主要参考文献

- 1 李凤业,杨永亮,何丽娟等.海洋科学,1999,5: 37~39
- 2 李凤业,史玉兰.海洋科学,1995,2: 47~50
- 3 金翔龙.东海海洋地质.北京:海洋出版社,1992.205, 217~219
- 4 范德江,杨作升,郭志刚.地球科学进展,2000,15(3):

- 297~320
- 5 许东禹,刘锡清,张训华等.中国近海地质.北京:地质出版社,1997.93~99
- 6 朱玉荣.海洋学报,1999,21(3): 73~82
- 7 中国科学院海洋研究所海洋地质室.渤海地质.北京:科学出版社,1985.13~118
- 8 秦蕴珊,赵一阳,陈丽蓉等.黄海地质.北京:海洋出版社,1987.1~32,65~99
- 9 刘敏厚,吴世迎,王永吉.黄海晚第四纪沉积.北京:海洋出版社,1987.303~317,362~400
- 10 秦蕴珊,赵一阳,陈丽蓉等.东海地质.北京:科学出版社,1987.1~91,125~136
- 11 任美镔.江苏省海岸带和海涂资源综合调查报告.北京:海洋出版社,1986.19~134
- 12 赵一阳,朴龙安,秦蕴珊等.海洋科学,1998,1: 34~37
- 13 Liu Z. X.. *Marine Geology*, 1997, 137: 321~330
- 14 Fengye Li, Liyuan He, Yulan Shi. Isotopic Records of modern sedimentary environments in the southern Yellow Sea. In: Chang Bok Lee, Yi Yang Zhao. Proceedings of the Korea-China international seminar on Holocene and late pleistocene environments in the Yellow Sea basin. Seoul, Korea: HOAM Convention Center, Seoul National University, 1996. 194
- 15 Zhu Y. R. and Chang, R. F.. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 2000, 51: 663~680
- 16 Liu Z. X., Xia D. X., and Berne S. et al.. *Marine Geology*, 1998, 145: 225~253
- 17 Chih An Huh and Chih-Chieh Su. *Marine Geology*, 1999, 160: 183~196

NUMERICAL STUDY ON MODERN EROSION/ SEDIMENTATION INTENSITY ON THE CONTINENTAL SHELVES OF THE BOHAI SEA, YELLOW SEA AND EAST CHINA SEA

ZHU Yirong

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

Received: Sep. 7, 2000

Key Words: Erosion/sedimentation intensity, Sediment dynamics, The continental shelves of the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea, Numerical simulation

Abstract

The study on modern erosion/ sedimentation intensity on the continental shelves of the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea (BYECS) can provide a model for material flux and cycling in global shelf areas, can help understand further sediment dynamics process and sedimentary environment evolution on continental shelves, and can provide sediment dynamics basis for relative branch of learning. In addition, this study is of important significance in the aspects of shipping, fishery, marine and coastal engineering, national defense and so on. The seabed erosion/sedimentation intensities for 9 kinds of non-cohesive single grain size are simulated under the action of M₂ tidal current on the continental shelves of the BYECS. The calculated distribution pattern of present seabed erosion/accretion is consistent with that of field bottom sediment type in most areas of the continental shelves of the BYECS. This implies that tidal current field plays a dominant role in sediment transport and deposition, and is a main factor controlling the distribution pattern of present erosion/sedimentation intensity on the continental shelves of the BYECS.

(本文编辑:李本川)