

海岸河口区重力再沉积 和底坡的不稳定性

GRAVITY RESEDIMENTATION AND
SUBMARINE SLOPE INSTABILITY IN
COASTAL AND ESTUARY AREAS

林振宏 杨作升 编

Edited by Lin Zhenhong, Yang Zousheng

海洋出版社
CHINA OCEAN PRESS

责任编辑: 盖广生

ISBN7-5027-1245-3/P·120 ￥5.00 元

海岸河口区重力 再沉积和底坡的不稳定性

林振宏 杨作升 编

海洋出版社

1990年·北京

内 容 简 介

本书介绍了近年来应用地质、地球物理和地球化学相结合的方法,在海岸河口区研究沉积物搬运,再沉积作用和底坡不稳定性的最新进展。全书分三部分分别论述了中国黄河口区、加拿大西海岸区和美国密西西比三角州区沉积物再搬运和底坡不稳定性的现象、成因和特性。

本书适合于海洋地质学、河口海岸沉积学、海洋工程地质学、石油地质、港工等专业的教师、研究人员、研究生、大学生作为参考书,亦可供从事河口、海岸、港工、航道、海洋石油调查和勘探方面的工程技术人员阅读。

责任编辑: 盖广生

海岸河口区重力再沉积和底坡的不稳定性

林振宏 杨作升 编

*

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

东营市包装装潢印刷厂激光照排印刷

开本:787×1092 1/16 印张:9.0625 字数:200千字

1990年12月第一版 1990年12月第一次印刷

印数:1—1000册

*

ISBN 7-5027-1245-3/P·120 ¥:5.00元

资料提供

杨作升 青岛海洋大学河口海岸带研究所

林振宏 青岛海洋大学海洋地质系

王琦 青岛海洋大学海洋地质系

D·B·普顿尔 美国路易斯安那大学海岸研究所

B·D·博恩霍尔德 加拿大地调所太平洋地质中心

G·H·凯勒 美国俄勒冈大学海洋学院

W·J·Jr 怀斯曼 美国路易斯安那大学海岸研究所

L·D·赖特 美国费吉尼亚大学海洋研究所

M·W·琼斯 美国德克萨斯大学

J·M·科尔曼 美国路易斯安那大学海岸研究所

W·R·布顿恩特 美国德克萨斯大学

J·F·林赛 澳大利亚矿物资源局

H·H·罗伯茨 美国路易斯安那大学海岸研究所

序 言

海岸河口区是海陆相互作用的复杂地带,也是海洋开发的前沿。沿岸海底沉积物在重力为主的海洋因素作用下发生搬运和再沉积,导致海底斜坡的不稳定性事件,危及海上平台、海上人工岛、海岸工程设施、海底电缆和管道及废料处理等已引起海洋地质学家和海洋工程学家的密切关注。

七十年代以来,作为物理海洋学和海洋沉积领域的边缘交叉学科——沉积动力学的崛起,更新了沉积学的许多传统概念。应用地质、地球物理和地球化学相结合的方法已在密西西比河口三角洲和墨西哥湾、阿拉斯加湾、太平洋、北美大西洋沿岸的特定海域取得了许多宝贵资料。八十年代在我国渤海、黄海和南海也进行了这方面工作,特别是在黄河口海域取得了系统完整的资料。

高分辨率声学系统(多频剖面仪、旁侧扫描声纳和轰鸣器等)、精确定位系统、沉积物内部结构和土工特性的调查,识别出各种地貌类型和沉积几何形态,证实在海岸河口区广泛存在埋藏河道、流槽、冲沟弧形崖、挤压脊和塌陷地形,沉积物发生不同程度的扰动、形变、坍塌、滑移和滑坡等块体运动。不少学者提出现代近岸水下沉积物重力流的调查结果和各种理论,探讨沉积物的搬运、沉积机制和模式,但多以论文形式发表,至今尚无一部完整系统的论著。

本书系根据中美黄河口区沉积动力学调查成果和赴加拿大访问进修所获资料编成。资料由林振宏、吕亚男和沈渭铨翻译,赵其渊负责校对。

本书出版得到国家自然科学基金大型项目《中国河口主要沉积动力学过程及应用》之《河口底坡不稳定性》课题组资助。

编 者

青岛,1990·7

目 录

序 言

中国黄河口区

现代黄河水下三角洲.....	(1)
现代黄河三角洲沉积格局	(9)
现代黄河水下三角洲上的活动斜坡破坏、沉积物塌陷和粉砂流	(16)

加拿大西海岸区

海底碎屑流的沉积特征	(26)
不列颠哥伦比亚省 Britannia 海滩水下扇三角洲斜坡上的沉积物输送	(47)
沿不列颠哥伦比亚省 Bute 峡湾底水道的活性砂运移	(55)
不列颠哥伦比亚省 Kitimat 峡湾海底斜坡崩塌的土工特性	(63)

美国密西西比三角洲

密西西比河三角洲南通道分流汉道河口沙坝的发育及在三角洲生长过程中的 海底滑坡作用	(84)
密西西比河三角洲前缘泥流与远陆架沉积物的粘土矿物学对比	(101)
海底斜坡的不稳定性	(109)

CONTENTS

PREFACE

THE HUANGHE(YELLOW RIVER) ESTUARY AREA

- The Subaqueous Delta of the Modern Huanghe(1)
- Sedimentary Framework of the Modern Huanghe(9)
- Active Slop Failure, Sediment Collapse, and Silt Flows on the Modern
Subaqueous Huanghe(16)

COASTAL AREAS OF WESTERN CANADA

- Depositional Characteristics of a Submarine Debris Flow(26)
- Sediment Transport on Subaqueous Fan Delta Slopes, Britannia, British Columbia
.....(47)
- Active Sand Transport Along a Fjord-Bottom Channel, Bute Inlet, British Columbia
.....(55)
- Geotechnical Aspects of a Submarine Slope Failure, Kitimat Fjord, British Columbia
.....(63)

THE MISSISSIPPI DELTA

- Distributary-Mouth Bar Development and Role of Submarine Landslides in
Delta Growth, South Pass, Mississippi Delta(84)
- Clay Mineralogy of Contrasting Mudflow and Distal Shelf Deposits on the
Mississippi River Delta Front(101)
- Submarine Slope Instability(109)

现代黄河水下三角洲

D. B. Prior, 杨作升, B. D. Bornhold, G. H. Keller

林振宏, W. J. Wiseman, Jr., L. D. Wright, 林天充

提 要

用高分辨率声学系统研究了黄河水下三角洲。在海底地貌和沉积物几何形态上有许多细微的变化;平滑无特征的区域是少见的。水下三角洲的主要组成包括宽阔而浅的河道,近表面具切割和充填构造的中等扰动区,有海底洼地、洼坑和冲沟的严重扰动区和一个平滑、缓坡的末端三角洲裙或“隆起”。这些特点并非直接与稀薄的表面羽状流的沉积物沉降有关,而是由重力驱动的高密度水下流、海底块体运动和粉砂流造成的。

引 言

水下三角洲环境一般按三个主要成分描述:分流河口坝、远端沙坝和前三三角洲(Wright 和 Coleman, 1974)。水下三角洲的这些细划分与近河口推移质沉积物搬运和来自扩散的低密度表面羽状流悬浮体沉积物沉降有关。靠近河口沉积物具粗粒结构,细粒沉积物沉于较远的近海,向海进一步变细。

但是,最近结合高分辨率声学测量和沉积物取样工作已证明水下三角洲前缘往往相当复杂,并有各种搬运和沉积过程的地貌学和沉积学信号(Prior 和 Coleman, 1982; Field, Gardner, Jennings 和 Edwards, 1982; Prior, Bornhold 和 Johns, 1986)。

现代黄河三角洲也并不例外。黄河目前输送估计 $1069 \times 10^6 \text{t}$ 沉积物到黄河三角洲区(Qin 和 Li, 1983)。由于悬浮沉积物极高的浓度在水下三角洲前缘发育了高密度水下流(Wright 等, 1986)。有 70—90% 的沉积物在河口附近沉降(Qin 等, 1983; Bornhold 等, 1986),建造了一个快速进积的三角洲进到相邻的浅水湾(平均深度 30m)。

使用 200kHz 测深仪、100kHz 旁侧声纳和多频海底剖面仪(3.5kHz 为主)的高分辨率声学测量已揭示水下三角洲上令人感兴趣的海底微地形和沉积物几何形态的变化。平行的声学反射层被宽而浅的河道和海底严重扰动区切割。下三角洲—前缘斜坡以明显宽的、低角度裙或末端三角洲前缘“隆起”为标志。

整体三角洲—前缘的水深测量

图 1 和图 2 说明现代三角洲向海部分的总体水深。现在黄河口外的三角洲进积开始于北面出口三角洲易位以后的 1976 年。过去的十年已经塑造了一个十分宽阔的浅水潮间台地,从岸线延伸 15km 以上(图 1);潮间台地的外缘以 2m 等深线为标志。频繁摆动的主支流切割潮间三角洲台地,当每年排泄期建造一条主尾闾河省时,就提供一个沉积物

来源点。1984 年的主河道位置标在图 1。

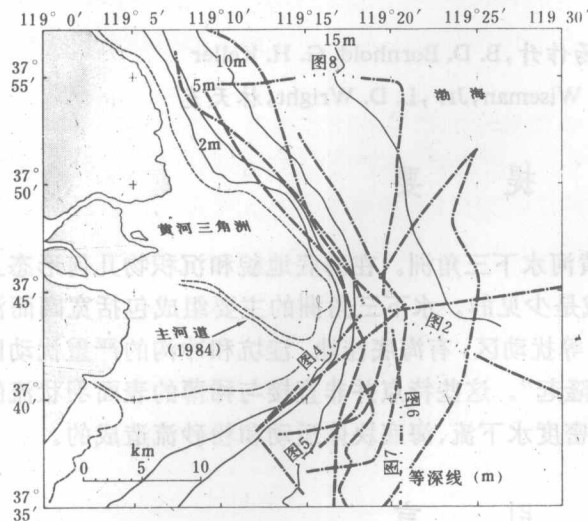


图 1. 黄河水下三角洲的水深;

图中标有测结和图 2 及图 4—8 中所示剖面的位置

水深 2m 到 10m 之间的水下三角洲前缘并非具有相同坡度, 而显示许多低起伏的不规则变化(图 2), 并被孤立平滑的三角洲前缘区隔开。斜坡角度 $0.2 - 0.3^\circ$, 在靠近三角洲顶边缘局部坡度较陡($0.4 - 0.5^\circ$)。围绕整个三角洲 12m 到 18m 水深之间为一约 8km 宽的三角洲裙或“隆起”, 以规则坡度斜向不到 0.1° 深湾底。水深 20m 以外的渤海湾南部海底实际上是平坦或缓波浪形的。

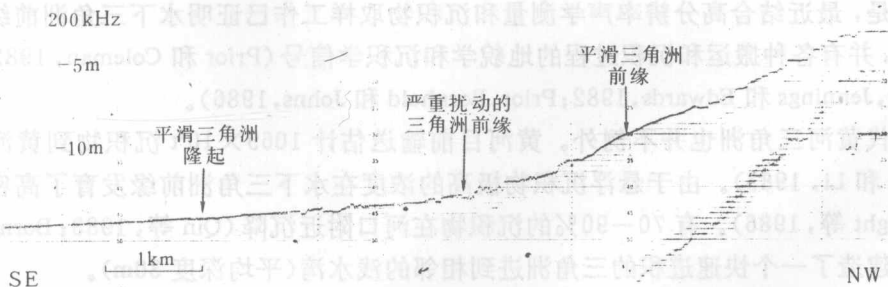


图 2 垂直于三角洲前缘的水深剖面实例。剖面位置见图 1

海底地貌和近表层沉积物的几何形态

高分辨率资料揭示在普遍的三角洲前缘低起伏区内(2 到 20m 水深), 大范围海底地貌和近表层的沉积物几何形态有明显的局部变化(图 3)。与极微妙的、起伏高达 2m 的表面特征相关联的局部水深变化, 可由旁侧声纳图象和海底剖面的差异校正。主要类型和分布标在图 3。

1. 平滑海底

2m 到 10m 水深上部三角洲的少数地区总体上是没有起伏的。三角洲东南侧小地段显示平滑的水深剖面, 其下伏有厚度 10—15m 的未扰动、声学上平行层理状的沉积物层序。在低脊顶部和沿浅水河道轴部和边缘以及偶尔在三角洲前缘斜坡上也可发现孤立的平滑区(图 2 和 3)

2. 三角洲前缘河道

几条宽而浅的河道或河谷从水深 2—4m 的潮间台地外缘附近开始并延向下坡通过三角洲的东南侧(图 1, 图 3 和图 4), 终止于水深 8—10m 处。每条都具有非常平缓的横剖面(图 4)。海底

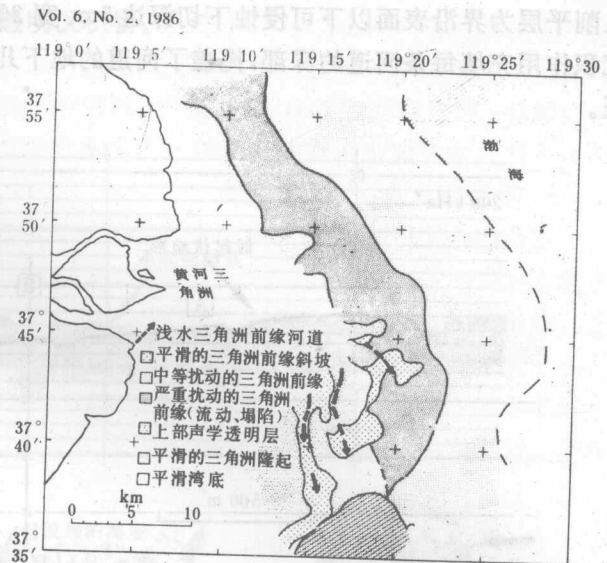


图 3. 高分辨率声学测量证实的海底地形图
(3.5kHz 和旁侧声纳)

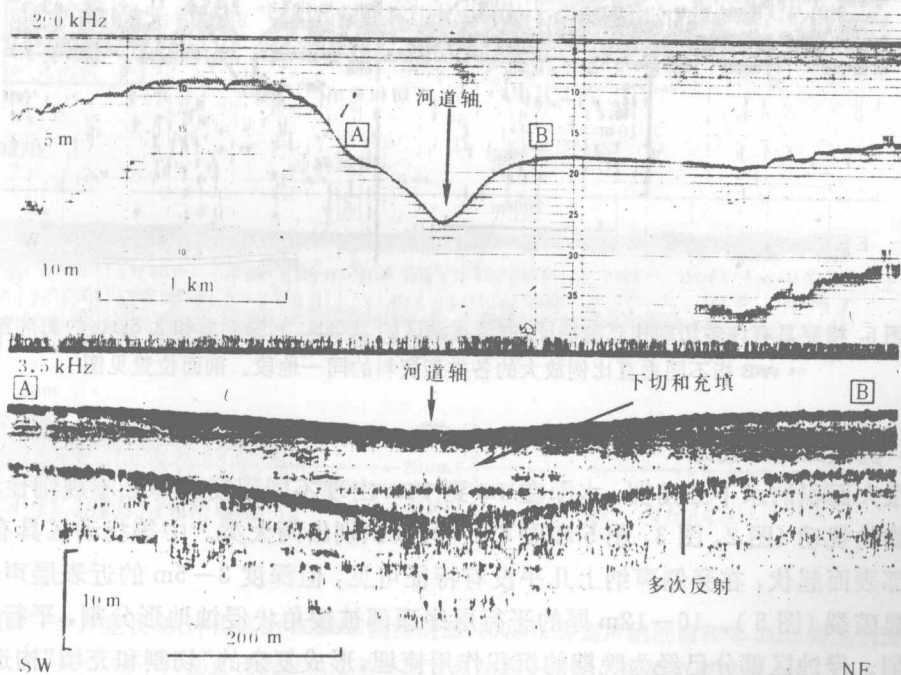


图 4. 横穿三角洲前缘-河道段的 200kHz 测深剖面 and 3.5kHz 的海底剖面;
A-B 指不同垂直放大类型资料的同一地段。剖面位置见图 1

类剖面揭示各河道发育于声学层状沉积物层序内,向河道轴部变瘦。但是,河道谷底似乎从削平层为界沿表面以下可侵蚀下切深达 5m、宽 200m 到 400m,以削平层为界。后来的沉积作用充填每条河道的深部,掩盖了河道的地下几何形态,并减弱了河道的全面地表特征。

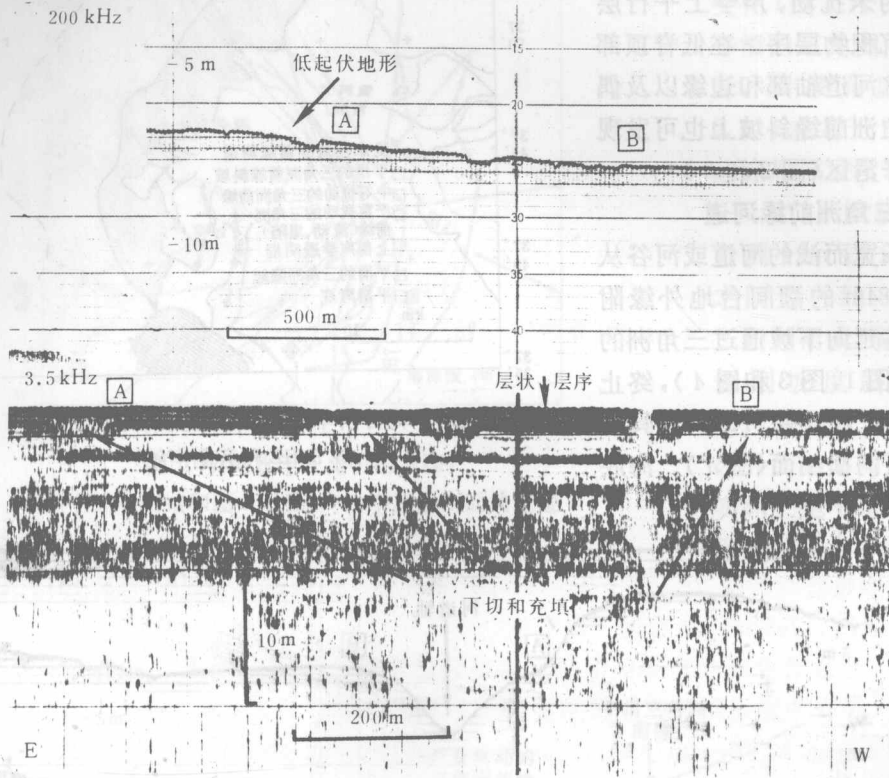


图 5. 横穿具有许多切割和充填特征、中等扰动区的 200kHz 测深剖面 and 3.5kHz 的海底剖面;
A-B 指不同垂直比例放大的各类型资料的同一地段。剖面位置见图

3. 扰动三角洲前缘

很大面积的水下三角洲,水深在 4m 到 14m 出现不同程度的海底不规则性和近表层沉积物的扰动(图 2, 图 3, 图 5 和图 6)。可以识别出两大类。中等扰动区具有不到 1m 的局部表面起伏,在旁侧声纳上几乎没有特征可见,但深度 3—5m 的近表层声学反射层有明显破裂(图 5)。10—12m 厚的平行层序顶部被棱角状侵蚀地形分割,平行层理被侵蚀切割。侵蚀区部分已经为晚期的沉积作用掩埋,形成复杂的“切割和充填”构造,但仍然保留着某些低起伏的表面特征。这种中等扰动区见于水深 2m 到 4m 的三角洲内缘周围,也在靠近河道的三角洲南翼上延向深水区(10—12m)。

严重扰动区是海底起伏达 1m 或 1m 以上的区域,在旁侧声纳上出现明显的地形,如洼地、洼坑、冲沟和明显结构带(图 6)。扰动一般也与缺乏侧向连续性或连贯几何形态的

声学上成层性差的沉积物联系在一起。在合适位置上,主要地形都是延伸的海底冲沟,它们切削周围沉积物并部分充填以声学透明沉积物。

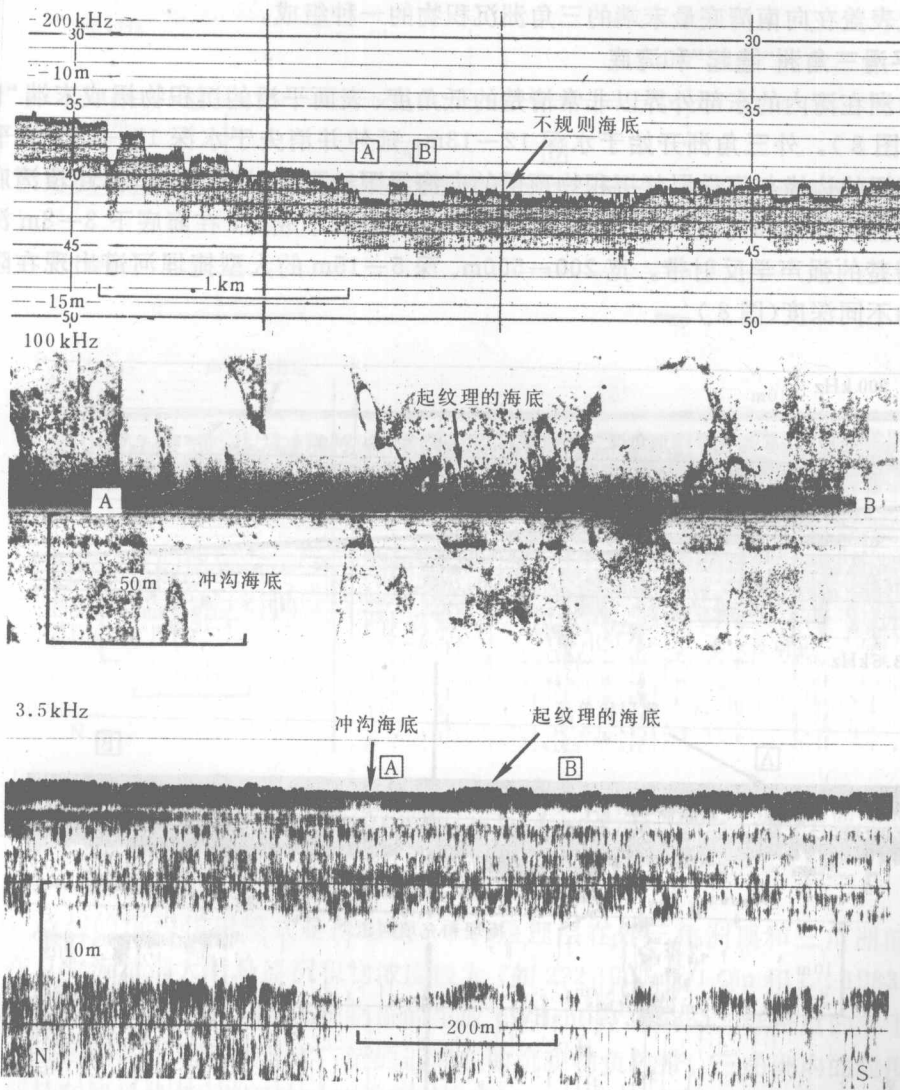


图 6. 横穿一个严重扰动、冲沟区的 200kHz 测深剖面, 100kHz 旁侧声纳剖面 and 3.5kHz 海底剖面;
A—B 指不同垂直比例放大的各类型资料的同一地段。剖面位置见图 1

严重扰动区只发现于水深 5m 到 13m 的三角洲前缘,尤其在朝东和东北的斜坡上(图 3),为近 6km 宽的一条带。

4. 声学透明沉积物

在水深 10—14m 的三角洲南翼上,下切最深的河道下坡有一声学透明的近表层沉积物不连续区(图 3 和图 7)。海底起伏非常平缓,而且好像为厚度 2—3m 的表面沉积物盖层覆盖,几乎没有内部反射层。该顶层覆盖—地震记录上显示成层性很差并至少 6—8m 厚的层序,而且向其底部有一些掩埋切割和充填成小河道地形的证据。这种声学透明顶层似乎代表盖在向南湾底最末端的三角洲沉积物的一种组成。

5. 平滑三角洲“隆起”和湾底

三角洲在湾内的东部外界以非常清楚的低角度、表面平滑的沉积物裙或末端“隆起”为标志(图 8)。外三角洲开始于水深 12—13m,延伸并消失于水深 17—18m 的平坦湾底。末端裙的边缘与声学层状沉积物顶层的向海界限一致,逐渐向东变薄,超覆湾底。变薄的三角洲楔状体和湾底两者下面,沉积物部分成层或不成层,在海底下 3—8m 深处有一很不清楚的强声学反射带。宽 200—500m、深 5—15m 的大型掩埋河道出现在隆起和湾底下的不同深度(图 8)。

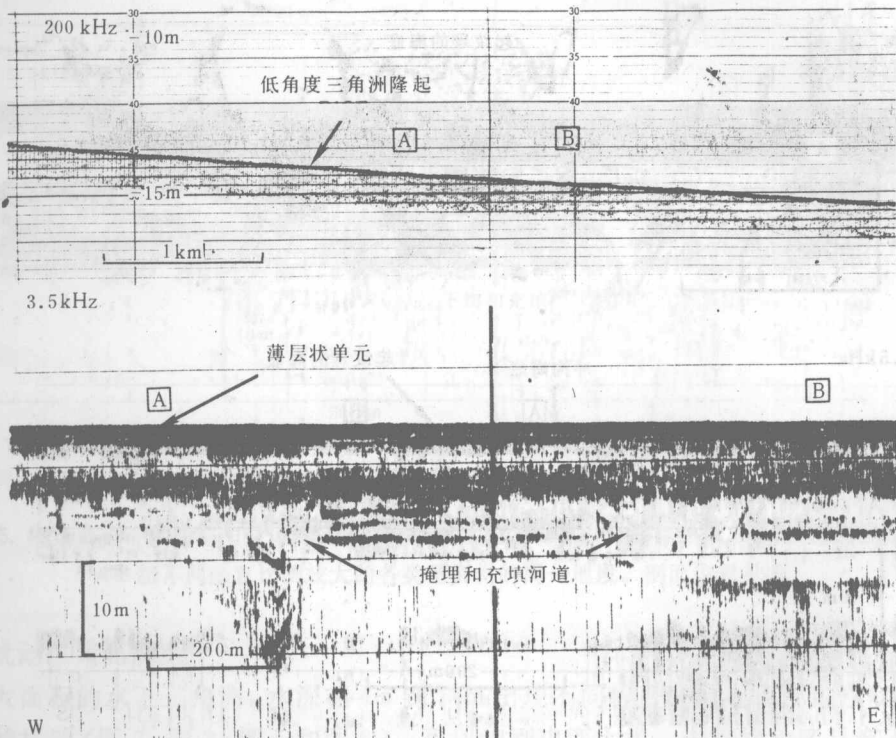


图 7 横穿声学透明的近表层沉积物区的 200kHz 测深剖面 and 3.5kHz 的海底剖面;
A—B 指不同垂直比例放大的各类型资料的同一地段。剖面位置见图 1

讨论与结论

就黄河三角洲的情况,作为一种悬浮沉积物扩散模式,表层羽状流是次要的(Wright

等, 1986)。水下三角洲的各部分代表几种不同近海底沉积物搬运、沉积和再活动作用的综合影响。水下三角洲显然反映不同类型和浓度的重力诱发沉积物流的整套活动性。根据声学证据结合海洋学和沉积学资料, 一种可能的作用过程的解释应如下述:

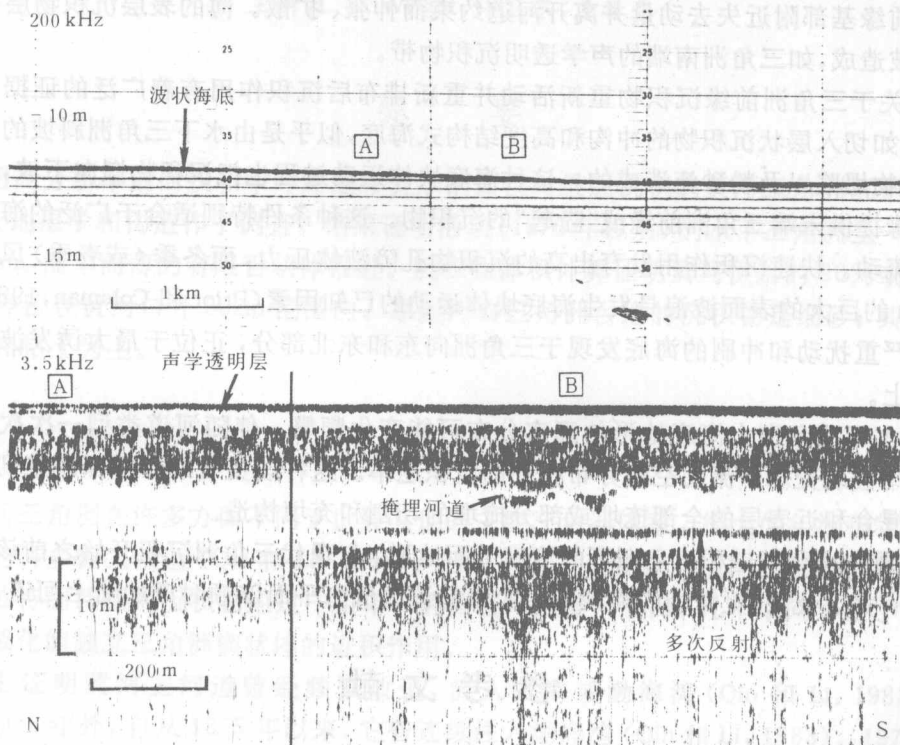


图8 说明低角度三角洲隆起和湾底下掩埋河道的 200kHz 测深剖面和 3.5kHz 的海底剖面;
A-B 指不同垂直比例放大的各类型资料的同一地段。剖面位置见图 1

1、最初的沉积作用模式是薄层状, 平行层理层在外三角洲顶和三角洲前缘上部就位。在夏季流量最大时悬浮沉积物浓度极大 (如 222, 000mg/l Qin 和 Li, 1983)。这种浓度适合低密度和高密度异重沉积物流的生成 (Wright 等, 1986)。低密度的水下流类型在外三角洲顶部和上部斜坡形成广泛的近海底的沉积物负载带。三角洲内的粒度分布实际上包括砂和粉砂粒级, 潮间和近端水下三角洲以砂为主, 而在三角洲前缘则主要为细砂和有些粘土 (Bornhold 等, 1986)。沉积物供给的粗度也降低, 作为三角洲进积一种方式的表层羽状流中沉积物扩散的效应。因此, 构成 10m 到 15m 厚的上部三角洲主体的广泛的层状层序, 大概都由低密度近海底水下流当它们下移到三角洲前缘时沉积下来并造成沉积物向海的进一步变细。

2. 悬浮浓度也足以发育高密度异重流, 后者可越过三角洲前缘进入深水区 (Wright 等, 1986)。高密度水下流很可能由现在位于三角洲东南侧的多数活动尾间河道向海发育。水下三角洲南侧的河道被认为是切割三角洲前缘至 10m 水深之下的高密度水下流

通道。降低水下流活动性或后来低密度流的沉积作用会有效地掩埋每条河道并减弱河道的表面特征。

3. 下三角洲前缘斜坡末端裙或“隆起”的进积解释为靠近低密度流最外界的沉积作用和特殊情况下高密度流所挟带沉积物越过上部三角洲而沉积下来的结果。后者可能在三角洲前缘基部附近失去动量并离开河道约束而伸张、扩散。薄的表层沉积物层会由河道向下坡造成,如三角洲南端的声学透明沉积物带。

4. 关于三角洲前缘沉积物重新活动并重新排布后沉积作用有着广泛的证据。扰动地形,例如切入层状沉积物的冲沟和高度结构式海底,似乎是由水下三角洲斜坡的不稳定性、沉积物塌陷以及粉砂流造成的。这种海底块体运动过程也把沉积物搬向下坡,通过三角洲前缘提供末端三角洲前缘或“隆起”的沉积物。这种条件特别适合于广泛的海洋滑坡和粉砂流动。快速沉积作用发育出高的沉积物孔隙液体压力,而冬季(或春季)风暴引起高达 7m 的巨大的表面波浪是发生海底块体运动的已知因素(Prior 和 Coleman,1982)。

最严重扰动和冲刷的海底发现于三角洲向东和东北部分,正位于最大诱发波浪能量的通道上。

5. 水下三角洲上海底地形的真实分布可能变化频繁。伴随河道类型一次次摆动的进积作用会改变水下流的空间分布和局部沉积速率。这种改变有助于解释观察到的层状序列的混合和近表层的全部掩埋或部分掩埋的切割和充填构造。

6. 现在埋藏于进积三角洲下的湾底下面地形,与现代三角洲沉积开始之前该湾的早期发育有关。更大、更深切的掩埋河道大概是该区低海平面停顿时期的陆上河道。

参 考 文 献

Wright LD, Coleman JM (1974) Mississippi river mouth processes; effluent dynamics and morphologic development. *Journal Geology* 82:751—778.

Prior DB, Coleman JM (1982) Active slides and flows in underconsolidated marine sediments on the slopes of the Mississippi delta. In: Saxov S, Nieuwenhuis JK (eds) *Marine Slides and Other Mass Movements*. Plenum Press. New York, vol. 6, pp 21—49.

Field ME, Gardner JV, Jennings AE, Edwards BD (1982) Earthquake-induced sediment failures on a 0.75° slope, Klamath River delta. *Geology* 10:542—546.

Prior DB, Bornhold BD, Johns ME (1986) Active sand transport along a fjord-bottom channel, British Columbia. *Geology* 14:581—584.

Qin Yunshan, Li Fan (1983) Study of the influence of sediment loads discharged from Huanghe River on sedimentation in Bohai Sea and Huanghai Sea. In: *Proceedings International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea*, Hangzhou China. 1:91—101

Wright LD, Yang Z-S, Bornhold BD, Keller GH, Prior DB, Wiseman WJ Jr. (1986) Hyperpycnal plumes and plume fronts over the Huanghe (Yellow River) Delta front. *Geo-Marine Letters* 6:97—105

Bornhold BD, Yang Z-S, Keller GH, Prior DB, Wiseman WJ Jr, Wang Q, Wright LD, Xu WD, Zhuang ZY (1986) Sedimentary framework of the modern Huanghe (Yellow River) Delta. *Geo-marine Letters* 6:77—83

现代黄河三角洲沉积格局

B. D. Bornhold, 杨作升, G. H. Keller, D. B. Prior, W. J. Wiseman, Jr.,

王琦, L. D. Wright, 许卫东, 庄振业

提 要

用高分辨率剖面仪和中等穿透布麦尔剖面仪对最近沉积的黄河三角洲沉积物的几何形态、地层学和构造作了调查。结果证明活动(1976年以后)的水下三角洲呈一最大厚度仅15m、简单而薄的有限舌状体推进。沉积物体积计算证明黄河供给的90%或更多的沉积物停留在黄河口外30km范围内。靠近河口三角洲台地的沉积物是细砂;其他部位以粉砂和粘土为主。

引 言

黄河三角洲在许多方面不同于世界其他的主要三角洲体系。极大的年沉积物输沙加之河流的许多惊人改道(Qin 和 Li, 1983)。已经产生一个复杂而短期的三角洲历史。该三角洲独特的特征即沉积物通过一条单一的分流河道输入渤海,几年期间导致了快速而高度定域化的独立三角洲楔状体的进积作用。

历史证明黄河主河道曾经频繁改道,流入黄海或渤海湾(Qin 和 Li, 1983)。除1938—1946年外,自从1855年以来,它曾连续注入渤海湾(Qin 和 Li, 1983)。1976年以前,进积的位置是向北流入渤海湾南部。自那时起,河道位于三角洲复合体的东侧并建造宽阔的沉积舌状体进入渤海南部。

本文根据浅地震剖面(3.5kHz和布麦尔)、回声测深、蛤式取样和柱样资料,叙述这个现代三角洲舌状体的地貌要素、沉积楔的内部构造和正在其上面推进的海底以及主要地貌单元的结构特征。野外工作于1985年5月和6月由调查船“克凌”号和“东方红”号实施。

结果和讨论

渤海南部海底(图1)是水深15到20m平滑而平坦的海底。地震记录揭示在现在海平面以下,在声波往返走时35—40ms(27—31m)的明显反射层(I)之上,有一横向稳定、平行并且水平产状的反射层序(A)(图2)。水平层(I)见于整个近海区并解释为晚玉木冰期时发育的侵蚀不整合(距今25000到10000年)(Geng, 1982)。观察到层状沉积物充填的河道与这种不整合共生(Prior 等, 1986)。