

潮流脊的初步研究*

刘振夏 夏东兴

(国家海洋局第一海洋研究所)

在内陆架浅海的近岸海底,发育着一种潮流成因的线状沙体,称潮流脊。其延伸方向与潮流流向一致,呈平行排列或指状伸展,它们沟脊相间,形态奇特。潮流脊在世界上分布相当广泛,它对航运、捕捞、水下工程、军事设施以及地下水和油气田的开发利用都具有重要意义。然而长期以来,人们在进行浅海地质学的研究时,却明显地忽视了潮流的作用,所以潮流脊这种分布广泛,并具有特殊意义的浅海地貌形态尚未被人们认识和重视。对它的命名也含混不清,如所谓浅滩、沙洲、暗沙、水下沙坝、海底沙丘等等,常常是因地而异。

T. Off 在对世界范围内线状沙体的分布作了形态和成因上的研究后,提出潮流脊(tidal current ridges)这一名称,为其后的研究奠定了基础。近年来, D. J. P. Swift, R. H. Belderson 和 V. N. D. Caston 等人对北美中大西洋陆架上的沙脊以及北海南部的水下沙脊进行了更加详细的研究^[4,5,8]。

我国有漫长的海岸线,东临宽广的陆架浅海,是世界上潮汐作用较强的地区之一,广泛发育着形态特殊、规模巨大的潮流脊,较大的有北黄海西朝鲜湾潮流脊、辽东浅滩潮流脊、江苏指状潮流脊、台湾浅滩潮流脊、琼州海峡东西口潮流脊、长江口北支潮流脊以及六股河口、伶仃洋、胶州湾等小型潮流脊。本文根据近几年在我国沿岸进行浅海调查工作及收集的部分资料,试图对潮流脊的特点、分布规律和我国邻近海域潮流脊作如下探讨。

一、潮流脊的一般特征

1. 形态特征

Off 认为:潮流脊的一个重要特征就是沙体间彼此严格地平行^[7],大多数情况也确实如此,北黄海西朝鲜湾潮流脊就是一个典型的范例(图1)。然而,在河流或海峡出口处发育的潮流脊,因水流的扩散,使沙脊平面形态呈指状,如我国琼州海峡东西口潮流脊就属这种类型(图2)。在潮流流速不太大或其流向不严格遵循往复运动时,潮流脊往往发育不好,呈新月形或S型,且稳定性差,极易变化。我国台湾海峡南口的台湾浅滩,涨潮流向为北,落潮流向为西南或南,潮流脊发育不典型(图3),从其平面分布的形态看,主要受西南向的落潮流控制。

潮流脊的规模大小相差悬殊。一般两脊间的距离为1—10公里,沙体长2—100公里,相对高差7—30米,其宽度一般与高度成正相关,沙体愈高,宽度也愈大。

* 本文承陈吉余教授提出宝贵意见,在此致谢。

本刊编辑部收到稿件日期:1981年10月31日。

潮流脊的剖面形态也不尽相同，有的呈驼峰形，如西朝鲜湾潮流脊及辽东浅滩潮流脊；有的呈正弦曲线形，如琼州海峡西口潮流脊。

2. 粒度特征

在广泛采集了江苏潮流砂的沉积物样品和部分西朝鲜湾西缘潮流砂的样品后，经过分析和对比，我们对潮流砂的特征有了初步的认识。潮流脊组成物质一般为细砂，中值粒径范围2—4 ϕ ，由于涨落潮流的反复搬运、淘洗，因而沉积物粒径均匀，分选极好。沉积物类型主要取决于搬运营力和物质供给两个因素。在一般情况下，潮流愈强，物质愈粗；潮流愈弱，物质愈细。然而物质来源也是一个重要因素，北黄海东部朝鲜西海岸山区的急流搬运大量卵石、砂砾等粗物质入海，因而那里的沉积物较粗；江苏潮流脊的物质主要来源于古长江和老黄河水下三角洲，沉积物偏细，尽管潮流很强，粒径却细于北黄海东部。

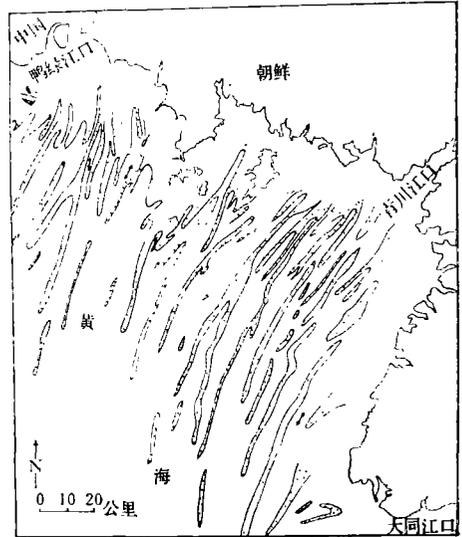


图1 北黄海西朝鲜湾潮流脊

潮流砂的概率累积曲线主要由跃移组分构成，其含量占80%以上，有的高达95%；悬浮组分居次，含量小于20%；滚动组分缺失或很少。从分选看，悬浮与滚动组分差，而跃移组分较好，且由分选不同的两段直线构成，其中第一跃移组分的分选优于第二组分，为正偏态（图4）。该曲线反映沉积物受两个不同方向和速度的流所控制。粗看类似于海滩砂，其实有别。虽然海滩砂在波浪的冲流和回流作用下也形成两个跃移组分，但其第二跃移组分的分选比第一跃移组分好，为负偏态，这可区别于潮流砂。

潮流砂的概率曲线形状相似于某些潮汐作用较强的河口沙坝砂，江苏潮流砂的概率曲线就与现代长江河口沙坝砂的曲线很相似¹⁾。这是由于这类河口的沙坝砂具有潮流沙体的特征，它们的形成机制类同——均在槽形水道中，由往复流作用所致。



图2 琼州海峡东西口潮流脊

1) 刘振夏，1981。江苏近海沉积物粒度特征及其地质意义。

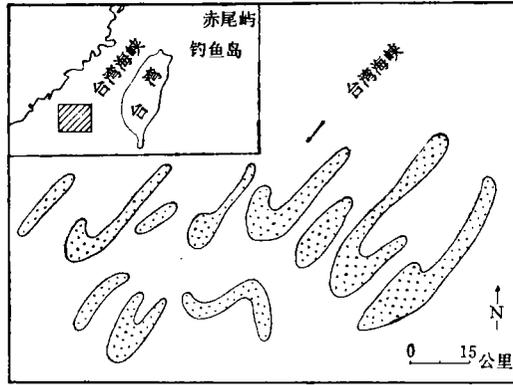


图 3 台湾浅滩潮流脊

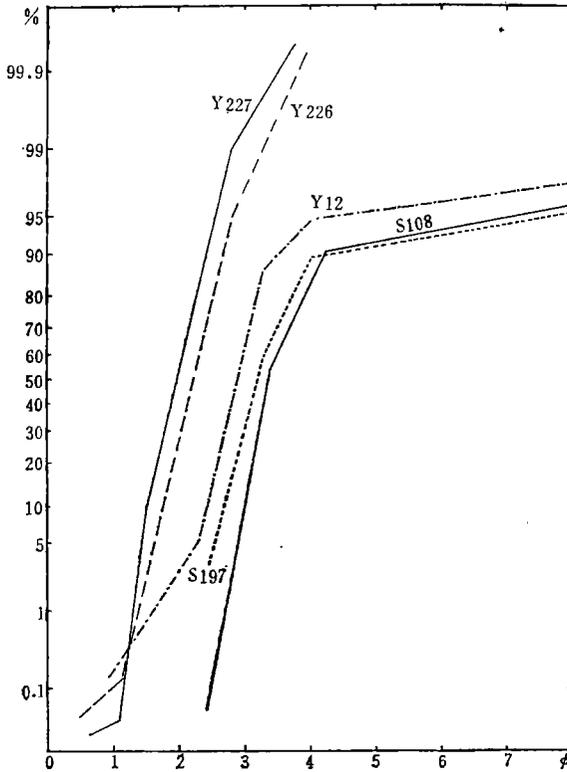


图 4 潮流砂概率累积曲线

用图解测量法计算的部分潮流砂的粒径参数,在 G. M. Friedman ^[6]的标准差对偏态(图 5)和标准差对平均粒径(图 6)的散布图上,几乎都位于河流区的范围,这也反证了潮流砂的形成机制与河流砂近似,相对于海滩砂而言,它们都受有边界控制的槽形水道水流运动的制约,区别是河流为单向水流运动,而潮流为双向水流运动,因而河流砂的概率曲线仅有一个跃移组分,潮流砂却有两个跃移组分。

在 C-M 粒径图象上,潮流砂主要分布在中等紊流递变悬浮区 (V),少数在强紊流

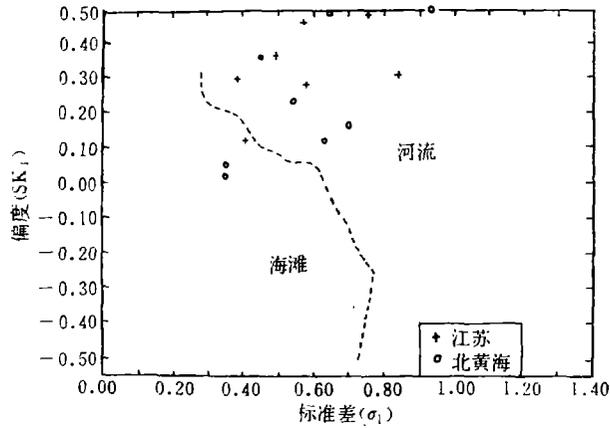


图5 潮流砂的标准差对偏态图

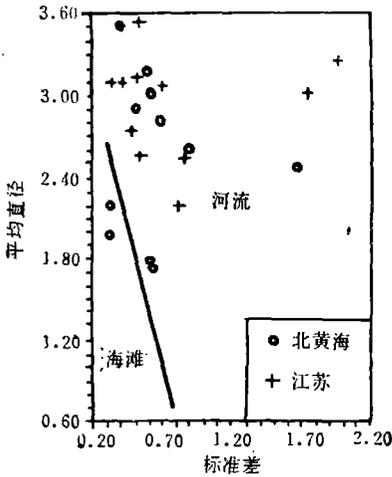


图6 潮流砂的标准差对平均粒径图

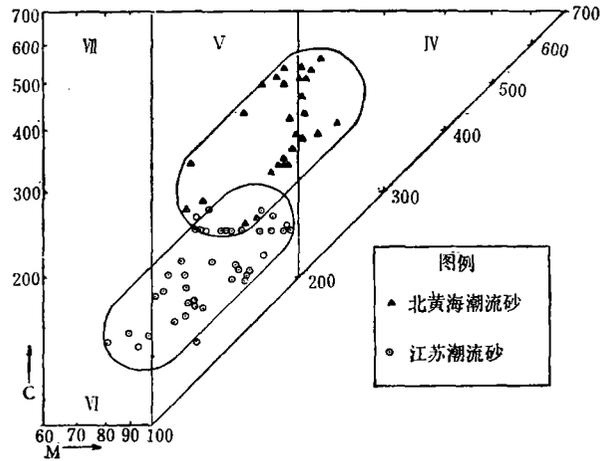


图7 潮流砂 C-M 粒径图象

递变悬浮区 (IV) 和与递变悬浮非常临近的均匀悬浮区 (VI)。搬运方式以递变悬浮为主,其悬浮体粒度和浓度均随水深增加而有规则地增加,即通常所指的跃移质,并受底部摩擦所引起的紊流控制,被紊流举起进行分选,紊流愈强,悬浮的颗粒愈粗;当紊流减弱时,发生了沉积作用。最大特点是 C 和 M 成正比增加,投影区平行 C=M 直线(图 7)。

潮流砂的频率曲线尖陡,众数为 2—4φ, 通常带一细颗粒的尾巴(图 8),而波浪作用形成的海滩砂通常没有这种尾巴,可见潮流的分选作用不及波浪。

3. 其它特征

由于潮流的往复淘洗作用,造成沉积物中重矿物和稳定矿物相对富集,成分以比重大、硬度高、无解理、不易破碎的粒状矿物为主。西朝鲜湾潮流砂以角闪石、石榴子石、钛铁矿为主,平均含量为 5%¹⁾;苏北潮流砂以角闪石、绿帘石为主,其次为石榴子石、榍石,重矿物占矿物总量的 5.5%²⁾。

1) 国家海洋局第一海洋研究所, 1978。黄海沉积调查报告。

2) 陈穗田, 1982。苏北辐射沙洲重矿物分布特征及其地质意义。

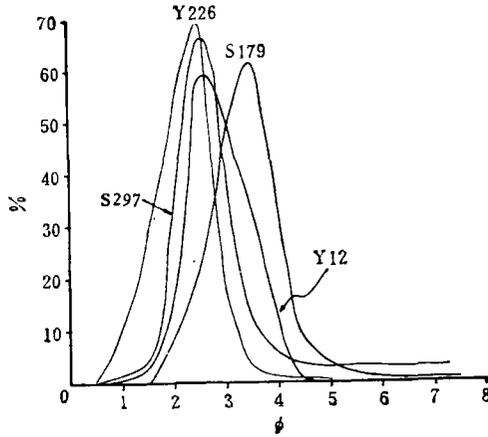


图8 潮流砂频率曲线

潮流砂孔隙度大,透气透水性好,因而多属氧化环境。氧化还原电位和高低铁比值均高,而有机质含量很低。江苏潮流砂 Eh 值在 200—400 毫伏,最高可达 590 毫伏; Fe^{+++}/Fe^{++} 平均为 1.15,最高为 3.09;有机质含量平均为 0.29%¹⁾。西朝鲜湾潮流砂 Eh 均大于 200 毫伏,最高值为 364 毫伏; Fe^{+++}/Fe^{++} 均大于 2,最高值为 44.5;有机质含量皆小于 0.50%,最低仅 0.05%²⁾。

二、潮流脊的分布及发育条件

潮流脊作为一种浅海海底地貌体,它发育在特定的地貌部位和沉积环境中。从整体看,潮流脊发育在陆架宽阔的浅海地区。由于海岸的潮差和潮流流速往往与陆架宽度成正比,陆架愈宽,潮差愈大,潮流也愈强,也愈利于潮流脊的形成。在我国邻近的黄、东、南海,美国东海岸及澳大利亚与新几内亚间的阿拉弗拉海,陆架宽度与潮差都呈良好的正相关(图 9)^[4]。

从局部看,潮流脊一般分布在海湾、河流和海峡的出口处以及潮差较大的近岸地区,水深多在 35 米以浅。如西朝鲜湾、波斯湾北部、孟加拉湾、印度的坎贝湾、新几内亚的巴布亚湾、美国的特拉华湾及阿拉斯加的努萨加克湾,均有规模大小不等的潮流脊发育。

在一些潮汐作用较强的河口地区,尤其在河口湾,既有强潮流的作用,又有丰富的泥沙供应,很利于沙脊的发育。如亚马逊河口、克斯科奎姆河口(阿拉斯加)及长江口北支等。在自然界中,河口与湾顶又往往是统一的,如西朝鲜湾湾顶即清川江口,孟加拉湾湾顶即恒河口,特拉华湾湾顶即特拉华河河口。但是在潮汐作用异常强烈的河口地区,反而不易形成潮流脊,因为潮流会对原有的三角洲起侵蚀和破坏作用。

在海峡地区,当潮流通过时,过水断面缩小,流速增大,因地转偏向力的影响,使涨落潮流具有相对固定的水道,实际上这可看成是海底的河床,水道内流速可强到 5 节以上,它们的出口如同河流的出口,因水流扩散,流速减小而发生堆积,往往在海峡出口处形

1) 周长振,孙家松,1980。论苏北浅滩的成因。

2) 同上页1)。

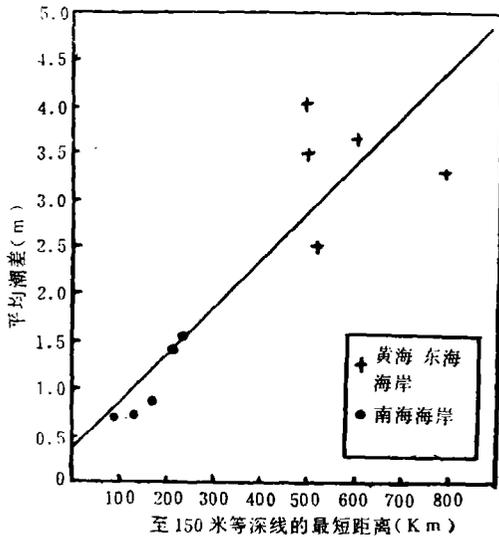


图 9 我国陆架宽度与潮差相关图

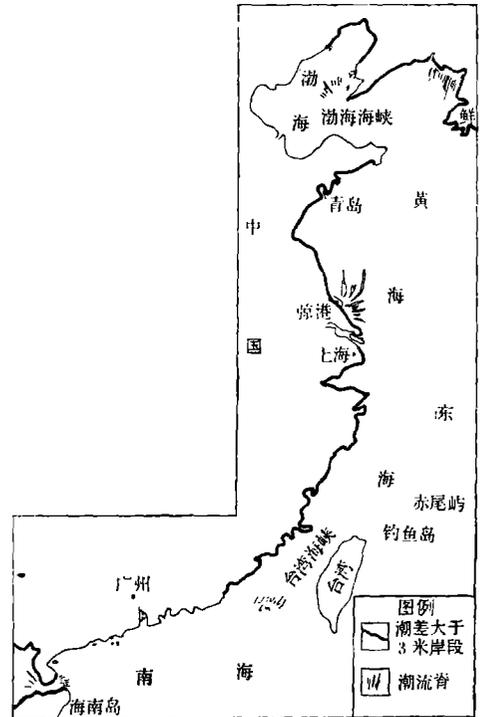


图 10 中国邻近海域潮流脊分布图

成指状潮流脊,有人称其为潮流三角洲。例如: 被称为辽东浅滩的指状潮流脊就位于渤海海峡老铁山水道在渤海内的出口处。琼州海峡东西出口的指状潮流脊也是这种类型。

在潮差大的沿岸海区, 只要有较强而定向的潮流运动和丰富的物质, 就可形成潮流脊, 如江苏指状潮流脊及胶州湾外东侧的潮流脊。

潮流脊发育的必要条件是:

1. 较强而定向的潮流作用

潮流脊的塑造营力是潮流, 沙体的方向与潮流流向平行。潮波传到近岸地区受岸线及局部地形的影响, 使潮流具有定向往复流的性质, 再加上可观的潮流速度, 就可能发育潮流脊。流速太小, 不能移动砂粒; 流速太大, 发生强烈的冲刷, 也不利于堆积。据 Off 统计, 潮流流速约在 1—5 节最有利于潮流脊的发育, 据我国邻近海域潮流脊发育的条件看, 流速多在 1.0—3.5 节之间。

表 1 我国邻近海域部分地区潮流速度表

地 点	江苏指状潮流脊	西 朝 鲜 湾	台 湾 海 峡	辽 东 浅 滩
速度(节)	2—3	2—3	2—3	1.3—2.3
地 点	琼州海峡东西口	胶 州 湾	长 江 口 北 支	伶 仃 洋
速度(节)	2—3.5	1—2	2—3	1—1.5

2. 丰富的物质供应

潮流脊通常出现在砂质浅海以及现代或古代河口三角洲地区。那里有较厚的松散沉积物,现代物质供应也丰富,在这种条件下,潮流的侵蚀-堆积作用才能盛行。如江苏潮流脊就发育在古长江水下三角洲上。

更新世冰期时的强烈机械风化作用造成了目前陆架上的大量古海滨砂质沉积,这为潮流脊发育提供了物质基础。 尽管潮流脊的物质多数是低海面时形成的,但在现代潮流的作用下,已与环境逐渐或完全趋于平衡,主要显示了现代沉积作用的特点。

三、我国邻近海域潮流脊的分布与特点

我国东南濒临宽广的陆架浅海,致使我国沿岸潮差较大,潮流较强;无数入海河流在地质时代和现在不断向海中输运大量泥沙;大小海湾、河口湾、海峡出口等又是潮流脊发育的理想场所,这些有利条件使我国近岸海域的潮流脊分布广泛(图 10)。

1. 江苏指状潮流脊

在我国江苏沿岸发育着举世瞩目的大型潮流脊,其南北长约 200 公里,东西宽约 90 公里,约有七十余个大小沙体组成。 单个沙体长几十公里甚至百余公里,宽 5—10 公里,以琼港为中心向外呈指状展布,自北向南顺时针排列为: 东沙、太平沙、毛竹沙、蒋家沙、牛角沙、河鲀沙、太阳沙、火星沙、冷家沙及腰沙等,琼港外中心部分为条子泥(图 11)。 脊间的沟槽深度一般为 10 米左右,中心脊高沟浅,水深在 15 米以浅,外围沟槽水深达 30 米

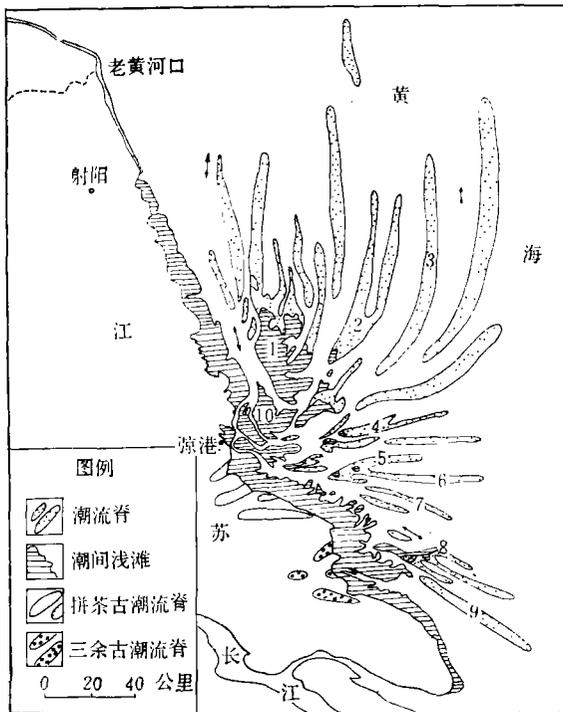


图 11 江苏指状潮流脊

以上。东沙是其中规模最大的沙体,低潮时出露面积为六百余平方公里。

这种潮流脊是由江苏沿岸特定的潮流环境造成的。据水文动力资料,琼港附近是两种潮波的交汇处,琼港以北受黄海西部旋转潮波系统的制约,波峰线由北向南传,在沙脊分布区,除东部个别点为旋转流外,其它区域均为往复流。东沙以西主流方向基本与海岸线平行,呈 NNW—SSE 向的往复流,涨潮历时小于落潮历时,涨潮平均流速大于落潮平均流速,平均大潮流速在 3 节左右。东沙以东流向为 NNE—SSW,平均大潮流速为 1.6 节,涨落潮流历时差和流速差较小。琼港以南太平洋潮波经东海仍以前进波形式进入黄海,方向为 NWW—SEE,也是涨潮流速大于落潮流速,平均大潮流速约 2.5—3 节¹⁻³⁾。这两组方向的潮流在琼港这个宽浅的大湾内相汇,造成高潮差、强潮流的环境。

江苏指状潮流脊的物质主要来源于海底被淹没的古长江和老黄河水下三角洲。在潮流的反复搬运改造下,较粗粒的细砂物质留下,塑造了这种特殊形态的指状沙脊;泥质粉砂等细粒物质一直运移到岸边或远海,参与岸滩的淤积,因此在指状潮流脊内侧发育了十多公里宽的潮坪。相应于两组潮流方向,存在两组指状潮流脊:北部的东沙、太平沙和毛竹沙等近于南北向;南面诸沙近于东西向。位于潮波交汇处的条子泥淤涨迅速,渐已并滩。江苏指状潮流脊的一个显著特点是善变,因为两组潮流的交汇,常常形成旋涡,再加上冬季强劲的东北风和夏季的台风,使一些小的沙脊经常移动,如老鼠沙,但对于一些较大的沙脊还是具有相对的稳定性。

研究表明,现代海岸的基本轮廓大约在七千年前就已形成,所以从那时以来,沿岸的海洋动力条件与现今相差无几。在江苏沿岸,由于这两组潮流的作用,形成指状潮流脊是必然的结果,又由于涨潮流速大于落潮流速,物质的净位移指向沙脊中部,造成沙脊不断淤浅增高,最后并岸成陆。全新世晚期以来已先后形成三期这种指状潮流脊。据冈济大学的研究,最早的一期——拼茶辐射沙洲,形成于距今 1000—2000 年前;第二期——三余辐射沙洲;第三期——琼港辐射沙洲(即江苏潮流脊)^[2]。由此可见,一期沙脊从形成、发育、淤浅、并岸直至消亡,历时不到一千年。

根据江苏指状潮流脊的发育程度不同,可分成几个部分:西沙已发育到沙脊的晚期,渐已并岸消亡;东沙虽处在淤浅增长的过程之中,但与陆地的并岸却不是指日可待的,因为它与陆地之间的西洋潮流流速很大,在王港附近最大流速可达 9 节以上,局部处于冲刷阶段。涨潮时势如排山倒海,可与钱塘涌潮相比,但历时仅 20 分钟,且北部老黄河三角洲来沙日少,也不利于淤积;外部的太平沙、毛竹沙及南部诸沙还都处在沙脊的形成发育阶段。

2. 北黄海西朝鲜湾潮流脊

从鸭绿江口至大同江口外方圆上万平方公里的海底,发育着世界上最典型的平行排列的潮流脊(图 1),几十条沙体组成了规模宏大的水下梳状沙脊,相对高度 7—25 米,平均高度约 20 米,单个沙体长达 80 公里以上。两脊间的沟槽在湾顶较窄,湾口展宽,间距 1.4—8 公里,顺潮流方向呈 NNE—SSW 向延伸,在卫星照片上也清晰可见。由于地转偏

1) 叶和松等,1981。江苏海岸带北部海域潮流特征的初步分析。

2) 房宪英等,1981。江苏海岸带南部海域潮流分析。

3) 黄易畅等,1981。江苏沿海潮汐状况的初步分析。

向力的影响,黄海东部的潮差普遍比西部大,在西朝鲜湾潮差达 8 米以上,流速为 2—3 节。落潮流加上高比降河流的来水来沙,流速相当可观,故组成沙脊的物质为中砂至细砂。这些沙脊如同驼峰突起于海底,早已引起人们的注意,但很长时间人们误认为是受构造或岩性影响造成的水下丘脊。

3. 辽东浅滩潮流脊

大型海峡的一端或两端常常有潮流脊出现,辽东浅滩指状潮流脊以渤海海峡老铁山水道西端为顶点,向北及北西方向呈指状展开,沙脊宽约 2—4 公里,长 10—36 公里,高 10—24 米,脊间距 10 公里左右,沙脊在近海峡处槽宽脊窄,地形起伏大,沟脊高差可达 30 米¹⁾;潮流脊向湾中伸入展开后,地形起伏逐渐变缓,最后沟脊地形被平坦的海底形态所代替(图 12)。

渤海海峡涨潮流速达 5 节,出海峡后流速降低,不足 2 节。加上古辽河和现代辽河在这里沉积了大量泥沙,强潮流又将海峡底部掘出的大量粗物质带人,物质来源丰富,宜于潮流脊的发育。潮流脊主要由细砂组成,夹有少量贝壳砂。从其平面形态看,该潮流脊主要由涨潮流作用形成。

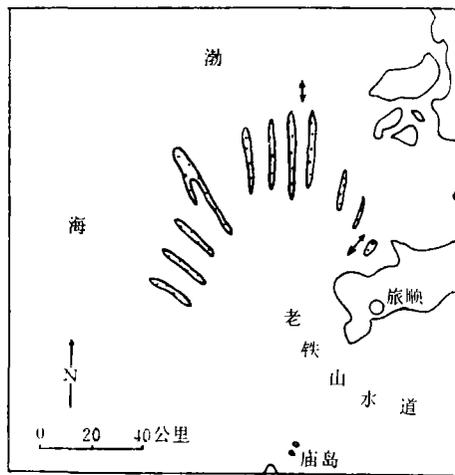


图 12 辽东浅滩潮流脊

4. 胶州湾口潮流脊

胶州湾是我国著名潮汐通道型的半封闭海湾,出口狭窄,湾内腹地较大。周期往复进出海湾的潮水,因湾口东窄而加大了流速,达 2—4 节,这里近似一个小海峡,故在海湾进出口处都有小规模潮流脊发育。

在湾内深槽水道西侧,距团岛—马蹄礁一线以西约 1 公里处,有一高 15 米左右,宽 0.5 公里,长 4 公里近南北向沙脊,组成物质主要是粗中砂。沙脊向北延伸逐渐展宽,物质成分变成粉细砂。

胶州湾口外燕儿岛以南,深槽以北,分布着数条 NWW—SEE 向的平行沙体,称北

1) 耿秀山, 1980。黄渤海海底地貌图。

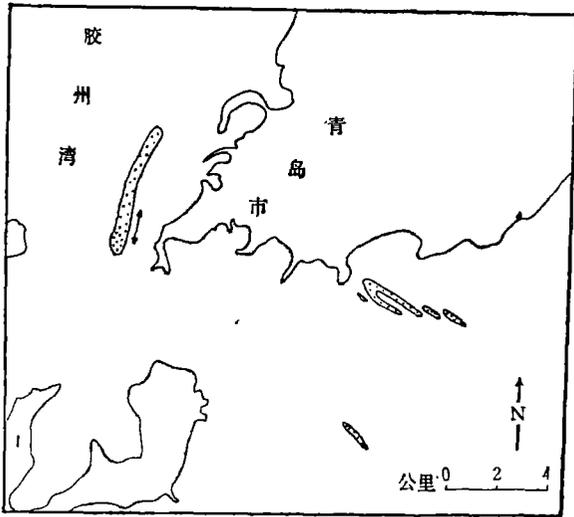


图 13 胶州湾口潮流脊

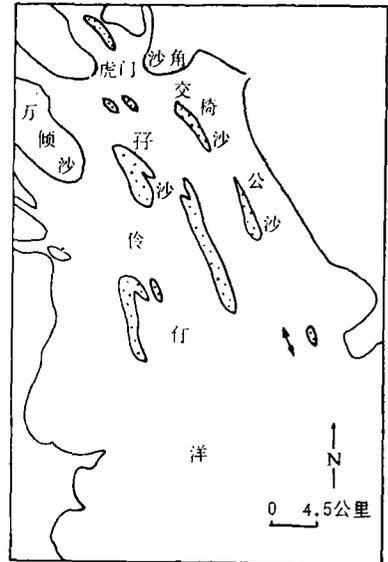


图 14 珠江口外伶仃洋潮流脊

沙。在深槽航道之南大桥岛以东海域有一条方向基本相同的沙体，称南沙(图 13)。这些沙体高 6—10 米，宽 200—300 米，长 1—3 公里，规模较小，物质较粗，大部分为粗中砂，它们是在和海岸交角很小的潮流作用下形成的。

5. 珠江口外伶仃洋潮流脊

河口湾中潮流脊为潮流及径流共同作用的结果，珠江口外的伶仃洋便是一例(图 14)。伶仃洋是一个略成南北向的漏斗状河口湾，是冰后期海侵形成的溺谷^[3]。珠江携来的大量泥沙和 1.5 节左右的潮流流速为潮流脊发育提供了条件，形成了以珠江口为顶点的若干条沙体：交椅沙、公沙、拦江沙、仔沙等，方向大致是 NW—SE 向，长几公里至十几公里，宽约 2 公里。由于河流作用较强，潮流脊发育不甚典型，高度仅 5—6 米，且还在淤浅过程中，唯东槽因潮流作用较强，有冲刷发展的趋势。

结 语

1. 潮流脊是世界上分布较广泛的一种浅海底地貌类型。由潮流往复作用形成，沙体平行于潮流流向，平面形态有平行状或指状两种。在宽广的陆架上，1—3.5 节的潮流速度和丰富的物质供应，是潮流脊发育的条件。其分布的地貌部位是：海湾，河流和海峡出口以及潮流较强的平直岸段，水深多在 35 米以浅。

2. 潮流脊组成物质以砂为主，粒级集中，分选很好。粒度特征表明潮流砂的形成机制与河流砂有相同的地方，都受有边界控制的槽形水道水流运动的制约，其区别为河流砂受单向流控制，潮流砂受双向流控制。概率累积曲线有两个跃移组分，其中第一跃移组分分选优于第二组分，这可区别于海滩砂。在 C-M 粒径图象上，潮流砂主要位于递变悬浮区，投影区平行于 C=M 直线。

3. 我国邻近海域具有潮流脊发育的有利条件，因而各种各样规模巨大、形态迥异的潮流脊广泛分布。

参 考 文 献

- [1] 任美锷, 曾成开, 1980. 论现实主义原则在海洋地质学中的应用. 海洋学报 **2**(2):94—111.
- [2] 李从先等, 1979. 全新世长江三角洲地区砂体的特征和分布. 海洋学报 **1**(2):252—268.
- [3] 赵焕庭, 1981. 珠江河口湾伶仃洋的地形. 海洋学报 **3**(2):255—274.
- [4] Belderson, R. H. and A. H. Stride, 1966. Tidal Current Fashioning of a Basal Bed. *Mar. Geol.* **4**: 237—257.
- [5] Caston, V. N. D., 1972. Linear Sand Banks in the Southern North Sea. *Sedimentology* **18**: 63—78.
- [6] Friedman, G. M., 1967. Dynamic Processes and Statistical Parameters Compared for Frequency Distribution of Beach and River Sand. *J. Sedim. Petro.* **39**: 327—354.
- [7] Off, T., 1963. Rhythmic Linear Sand Bodies Caused by Tidal Currents. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* **47**: 324—337.
- [8] Swift, D. J. P., 1976. Continental Shelf Sedimentation. In: D. J. Stanley and D. J. P. Swift. *Marine Sediment Transport and Environmental Management*, pp. 311—350.

A PRELIMINARY STUDY OF TIDAL CURRENT RIDGES

Liu Zhenxia and Xia Dongxing

(First Institute of Oceanography, National Bureau of Oceanography)

ABSTRACT

Tidal current ridges, widely distributed geomorphological phenomena over the continental shelf of the world, are studied. They are formed by tidal current and the trend of their sand bodies runs parallel to the direction of tidal current. There are two types of the plane shapes: the parallel and the fingered. Conditions of forming tidal current ridges are the velocities of tidal current ranging from 1 to 3.5 knots and the supply of abundant sediments. Tidal current ridges often develop in following morphological locations: the bays, estuaries, the mouths of channels, as well as the offshore area with strong tidal current. Tidal current ridges occur generally at a water depth of less than 35 metres.

The sediments of tidal current ridges are mainly composed of sand. The grain size of the sediments is uniform and well sorted. The characteristics of grain size of the sand imply that their formation mechanism is similar to that of river sand, that is, both of them are the result of flow movements in a trough channel controlled by boundary. There is however difference between them that the river sand is formed by one-way flow movement while the tidal current sand by two-way movement. There are two saltation populations in the log-probability curves of tidal current sand, the sorting of first saltation population is better than the second one, and having positive skewness, which differs from beach sand. In the C-M grain size pattern tidal current sand is most found in graded suspension segment.

The continental shelves of the Yeauo Sea, the East China Sea and the South China Sea have favourable conditions for developing tidal current ridges in massive scale and special shape, such as the tidal current ridges in the offshore of Jiangsu, the Gulf of Korea, the shoal of Liaodong, the east and west mouths of the channel of Qiongzhou, Jiaozhou Bay, the shoal of Taiwan, Lingtanyang, the north branch of Changjiang estuary. The studies of them are of vital significance in shipping, fishing, submarine engineering, military installations, oil and gas explorations, as well as in scientific research.