

黄河入海泥沙对渤海和 黄海沉积作用的影响*

秦蕴珊 李 凡
(中国科学院海洋研究所)

渤海平均水深 18m, 最大水深 70m, 是一个较浅的海湾。黄海平均水深 38m, 其中部为水深大于 50m 的盆地。它们的共同特征是陆地环绕。沿岸河流输沙特征对沉积作用过程有重大影响, 特别是黄河入海泥沙的影响尤为显著。

关于黄河入海泥沙对渤海和黄海沉积作用的影响, 前人已从不同角度进行过讨论^[1,3,8,10-12]。黄河是世界上著名的多沙性河流。由于黄河尾间长期以来不断发生变迁, 纵横摆动于华北平原之上, 交替注入渤海和黄海, 因此, 在讨论黄河入海泥沙在中国近海沉积中的作用时, 必须把渤海和黄海作为一个整体, 甚至南涉东海。本文试图在以往工作的基础上, 概括讨论黄河入海泥沙对渤海和黄海海底沉积作用的影响。

一、黄河输沙特征与岸线变迁

1. 输沙量

黄河干流长 5460km, 流域面积约 75 万 km^2 , 流经九个省、自治区, 注入渤海。由于流域面积较大, 气候变化不一, 其年径流量和输沙量均有相当大的变化 (图 1)。据利津水文站统计资料, 1951—1980 年间, 年平均含沙量为 26.1 kg/m^3 , 平均输沙量为 10.69 亿吨, 比世界第一大河亚马孙河年输沙量还多, 约为长江输沙量的 2.3 倍, 密西西比河的 3 倍; 平均径流量为 $40936 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。在上述三十年中, 输沙量最小的是 1960 年, 年输沙量仅为 2.43 亿吨, 相应的平均含沙量为 26.7 kg/m^3 , 径流量为 $9100 \times 10^6 \text{ m}^3$; 最大的是 1958 年, 年输沙量达 20.97 亿吨, 几乎为前者的 9 倍, 相应的平均含沙量和年径流量分别为 35.2 kg/m^3 和 $59600 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。据报道, 黄河下游多年最大含沙量为 222 kg/m^3 , 最小含沙量为 11.3 kg/m^3 , 最大含沙量约为最小含沙量的 20 倍。

黄河流域大部分地区受东南季风影响, 雨量分布不均, 因而黄河输沙量在一年之内亦有很大差异 (表 1), 7—10 月为汛期, 输沙量约占全年总输沙量的 86%; 12—2 月为枯水期, 输沙量只占全年输沙量的 8.17%。

据渤海周围 11 条河流的资料统计, 每年输入渤海的泥沙量约 11.6 亿吨, 其中黄河输沙量约占总量的 90% 左右。黄海周围除长江以外, 淮河、射阳河、鸭绿江以及朝鲜的大同江、汉江等河流年输沙量一般不超过一亿吨, 不及黄河的 1/10, 由此可显示出黄河入海泥

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1252 号。

本文曾在“东海及其他陆架沉积作用国际学术讨论会”(杭州, 1983 年)上作邀请报告。

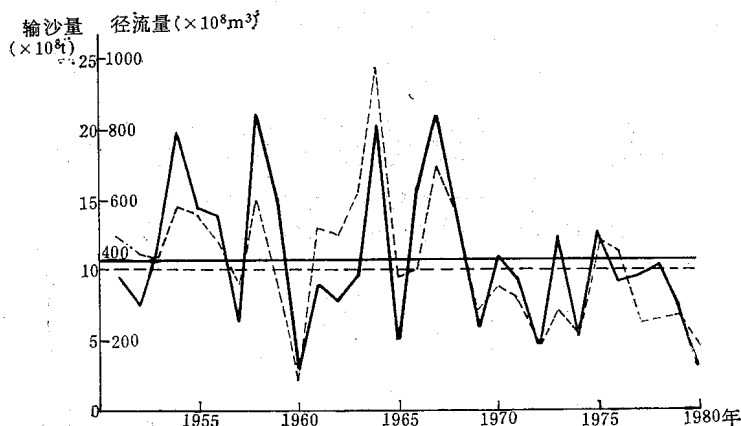


图1 黄河输沙量和径流量年变化

——输沙量；-----径流量

表1 黄河径流量和输沙量的平均月变化(1971—1980年)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
径 流 量 ($\times 10^8 \text{t}$)	15.01	11.13	14.85	13.40	8.49	4.97	30.49	40.95	54.48	52.27	32.82	15.29
输 沙 量 ($\times 10^8 \text{t}$)	0.06	0.06	0.14	0.16	0.10	0.03	1.28	2.09	2.20	1.35	0.63	0.07

沙在渤海和黄海沉积作用中的主导地位。

2. 物质成分

黄河泥沙主要来自我国西北地区的黄土高原,尤其是泾河、渭河流域,因此,黄土乃是黄河携带泥沙的主要成分。黄土以粒度细和富含 CaCO_3 为特征。据测定,黄河下游河床沉积物中 CaCO_3 含量为 7.3—9.4%,平均为 7.8%。在黄河的悬移质中,粒径小于 0.01mm 的泥粒含量为 30—50%,小于 0.025 mm 的细粒物质则达 90%,粗粒物质极少。河床质中,粒径大于 0.05mm 颗粒的含量一般小于 30%。矿物成分以斜长石、普通角闪石、绿帘石、白云母为其标型矿物组合,又以高含量的碳酸盐矿物为其特征。上述物质成分分析黄河入海泥沙对渤海和黄海沉积作用影响的基础。

3. 黄河尾间摆动及岸线变迁

巨量泥沙的堆积使黄河尾间变迁频繁。据历史记载,二千多年来,黄河尾间大小变迁近千次。1855 年以前曾大改道六次(图 2)。公元前 602 年以前的古黄河分为两支^[4],北支为主流,称济水,经山东广饶县入渤海;南支自茌阳向南与淮河汇合流入黄海。公元前 602 年,黄河改道北上,在天津附近流入渤海。1194 年,北流基本断绝。黄河流经苏北平原,在连云港南面的六合庄附近入海——称老黄河口。1855 年,黄河在铜瓦厢决口,改道北上,流入渤海。自 1855 年至今,除 1938 年 7 月—1947 年 3 月(花园口决口)黄河经徐淮故道流入黄海以外,其余时间均流入渤海。

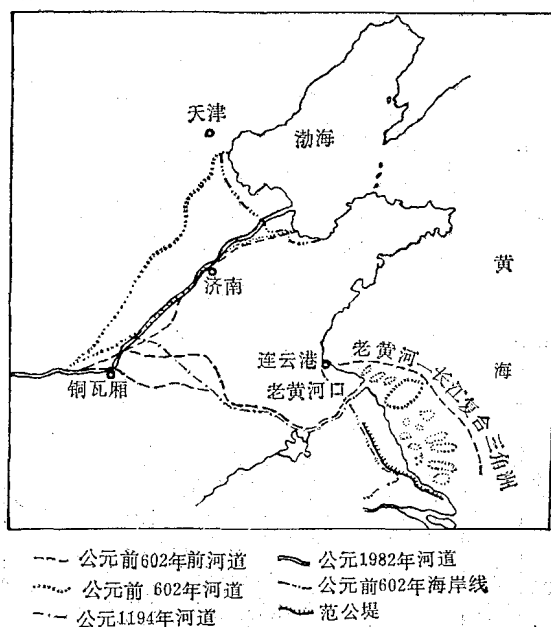


图2 黄河尾间变迁示意图(据岑仲勉等)

黄河的巨量泥沙堆积导致海岸线迅速向海延伸,三角洲顶点不断下移。1855年以前,三角洲的顶点在孟津,其范围北起天津,南达淮阴,面积约150000 km²。1855—1954年,顶点下移至宁海,面积缩至5400 km²,平均造陆速率23 km²/a,岸线增长0.15 km/a。1954—1972年间,由于人为因素的影响尾间摆动幅度减小,三角洲顶点至渔洼,面积为2200 km²,平均造陆23.5 km²/a,岸线增长0.42 km/a^[6]。

江苏江淮平原上的范公堤可能是1185年以前的海岸线¹⁾。在黄河夺淮入海后的670年间,淤出陆地一万余平方公里,同时,在河口前海区汇同古长江入海的泥沙建造了巨大的水下古黄河-长江复合三角洲。

随着黄河尾间的变迁,新、老黄河三角洲岸线发生淤积-侵蚀交替。黄河入海时,河口沙咀发育,岸线迅速向海增长。改道后,由于泥沙来源不足,岸线侵蚀后退,早期的沉积物经受改造。例如,目前老黄河口附近之灌河口—射阳河口岸段,侵蚀后退速度达30—175 m/a。

黄河泥沙入海后的悬移扩散过程,作者已发表文章作了专题讨论^[10],在此不赘述。

二、黄河入海泥沙与海底沉积的关系

1. 主要沉积类型的分布

以Md为基础,同时参考<0.1 mm 粒级含量^[13],对本区海底沉积物进行分类,绘出了沉积类型分布图(图3)。

(1) 粘土质软泥: 主要分布在黄河口外,其范围大致是在渤海中央海区的西部、渤海

1) 据速水颂一郎: 长江三角洲和黄河南迁。

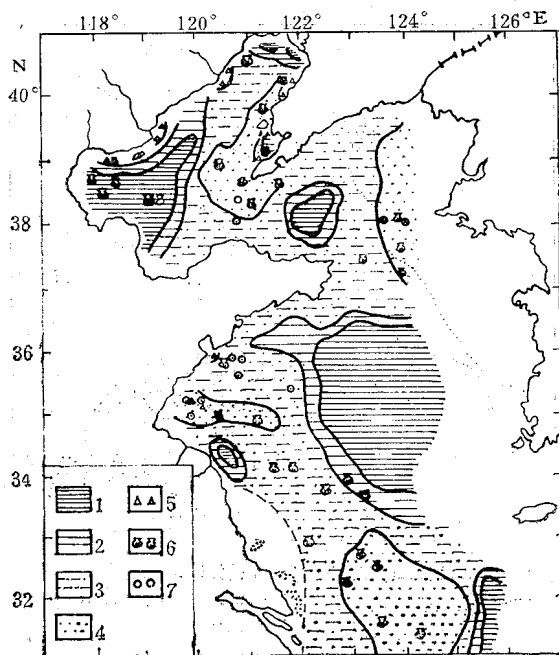


图3 海底沉积类型分布图

1.粘土质软泥; 2.粉砂质粘土软泥; 3.粉砂; 4.砂; 5.砾石; 6.贝壳; 7.钙结核

湾中部及南部广大海区。该类沉积物在黄河口外浅海区呈鲜艳的黄褐色,半流动状,富含 CaCO_3 ,基本上保持了黄河输入之黄土物质的特征。随着离河口距离的增加,由于沉积环境的改变和外源物质的混入,沉积物颜色变暗, CaCO_3 含量降低,黄河输入物质所占的比重相应减少。辽东湾顶部,粘土质软泥的性质和黄河输入的不同,它们是辽河等河流的输入物质。在黄海,此类沉积主要分布在北部和南部深水区,水深多大于 50m。这里,沉积物呈褐灰色或暗灰色, CaCO_3 含量中等,它们是黄河输入物质和外源细粒物质的混合产物。

(2) 砂: 包括粗砂、中砂和细砂。它们主要分布在渤海海峡北部、辽东浅滩、黄海东岸浅水区、海州湾内的部分海区及其他零星分布区。辽东浅滩和渤海海峡北部砂质沉积物之粒度概率累积曲线具有四段结构和双跃移组分,分选良好;同时,重矿物含量高,有孔虫介壳常有褐色污染斑点和碰撞裂痕。这里分布着早期滨海地貌的残迹,并有强烈的海底侵蚀作用。底层水潮流流速大于砂粒起动流速 (20cm/s) 的时间,每天达 16—18h。这一区域分布着早期形成的残留沉积物,而其中 CaCO_3 含量低及矿物组合特征又与黄河输入物不同^[5],说明近期基本上未受黄河入海泥沙的影响。

海州湾内,砂质沉积物主要分布在老黄河口以北海域。砂中泥粒含量为 10—30%。 CaCO_3 含量较高。部分测站上有近江牡蛎、蚶等生活于滨海和河口区的软体生物贝壳。本区以富含钙质结核为特征。其所含之 Si, Al, Ca, Mg, Ti 等元素与陆上结核相似^[3]。调查表明,青岛近海水深 30m 左右的海底有大面积的陆相硬粘土层,部分测站上几乎露出地表。在硬粘土的一定深度上常有钙质结核层,因此,本区之钙质结核可能与硬粘土层

的海底风化、侵蚀有关,所以,可以视之为残余沉积的标志,或属残留沉积^[1,3]。此外,分布在黄海北部和东部的砂质沉积也以其岩性和物质组成的特点而有别于现代黄河输入物。这些砂质沉积分布区内的现代沉积速率都比较缓慢,基本上不受现代黄河入海泥沙的影响。

(3) 粉砂: 是本区分布最广的沉积类型之一, 主要分布在砂和细粒沉积物之间, 水深最大可达 80m 左右, 形成了宽阔的过渡沉积区。由于来源地和沉积环境的差异, 各地粉砂沉积物的成分亦有不同。莱州湾东部及渤海海峡南部粉砂沉积物中, 粉砂粒级含量可达 50—70%, 分选较好, 黄褐色至黄灰色, CaCO_3 含量仅次于黄河口区。其物质来源除山东半岛北岸的河流输沙和海岸侵蚀供给小部分以外, 主要是现代黄河输入的泥沙。黄海海底粉砂质沉积物的分布特征是: 西部分选较差, 频率分布曲线多为双峰型, CaCO_3 含量较高, 特别是胶东半岛北岸近海及老黄河口外浅海区, 部分测站上有钙质结核。东部及东南部深水区, 其颜色较暗, CaCO_3 含量较低。

上述沉积物的分布格局表明, 黄河入海泥沙因受介质条件动态变化的影响而发生不均匀的分异, 从而产生现代沉积作用的不均匀性, 致使由不同沉积循环形成的沉积物可同时出露海底, 为我们认识黄河入海泥沙的扩散及影响提供了依据。

2. 沉积物中 CaCO_3 含量的分布

基于上述, 沉积中 CaCO_3 的含量分布在一定程度上可成为识别黄河入海泥沙扩散的

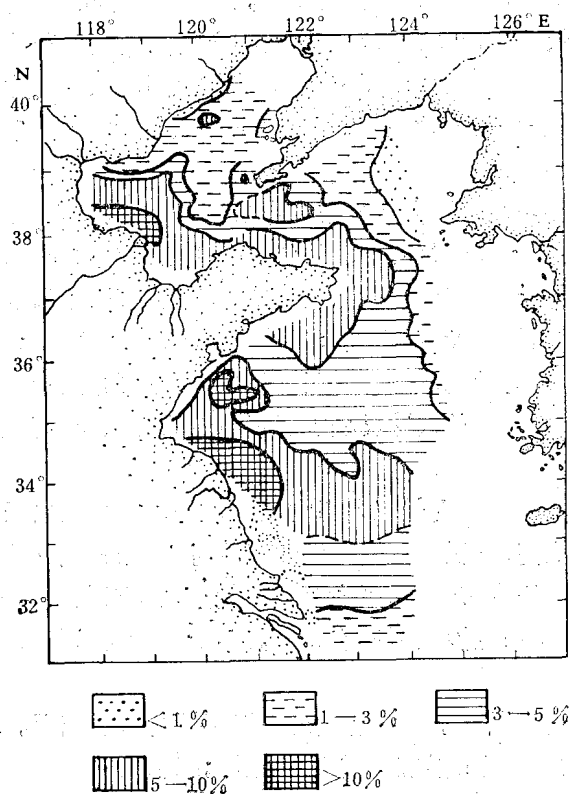


图 4 海底沉积物中 CaCO_3 含量分布图

标志。调查区沉积物中 CaCO_3 含量分布(图4)的基本趋势是:渤海内的新黄河口外和苏北沿岸的老黄河口外浅海为高含量区,含量大于10%,这里是新、老黄河不同时期入海泥沙的主要沉积区。此外,海州湾内的残余沉积或残留沉积区内也出现局部高含量区,它们可能与钙质结核和生物贝壳的富集有关。渤海湾中部、渤海中央海区西部及莱州湾为次高含量区,含量为5—10%,它们和胶东半岛北岸近海的次高含量区连成一体,显示了现代黄河入海泥沙的影响由渤海向东扩散至黄海西北部。南黄海西部的古黄河—长江复合三角洲外浅海为另一次高含量区。上述两个次高含量区中间被崂山近海之低含量区分隔,它们分别反映了新、老黄河入海物质的影响范围。

此外,在渤海海峡北部也形成了局部的 CaCO_3 次高含量区,但这可能与黄河现代输入的泥沙无直接的联系。渤海北部、黄海中部和东部的沉积物中 CaCO_3 含量皆小于3%,说明近代黄河入海泥沙对该区的影响由于时间的推移和外源物质的混入而变得微弱。

3. 沉积物中矿物组合的分布特征

黄河输沙的矿物成分以斜长石、碳酸盐矿物、普通角闪石、白云母等矿物的含量较高为特征^[9],区别于辽东沿岸、黄海东部的沉积物,同时又以石榴石、绿帘石等含量较高而与长江输入的泥沙不同。从矿物成分的含量分布中可以看出,白云母等片状矿物的高含量区,自黄河口外向东与胶东半岛近海的高含量区联成一片,直至崂山以东的近海;在青岛—连云港附近海区,其含量减少,向南至老黄河口外近海区复又增加。此外,在南黄海深水区也出现片状矿物的高值区。深水区以东,沉积物中片状矿物含量皆小于1%。

胶东半岛沿岸片状矿物含量的高值虽然与陆上古老变质岩侵蚀物的输入有关,但是受黄河输入物的影响则是直接原因^[2]。新、老黄河口间沉积物中片状矿物含量的高—低—高变化与 CaCO_3 沿程分布规律一致,它们共同反映了新、老黄河输入泥沙的影响范围。

石榴子石、榍石、钾长石等的含量分布与片状矿物相反,辽东半岛沿岸、青岛—连云港附近海区,含量相对较高,新、老黄河口区较低。普通角闪石的含量分布具另一特征,自新黄河口向东,其含量减少;黄海北部近海及青岛—连云港近海区,因陆上角闪片麻岩等古老岩石风化物质的输入,其含量有所增加;老黄河口区含量又降低;再向南,因受长江输入物质的影响含量复又增加。新、老黄河口区沉积物中普通角闪石的含量,前者可达40—50%,后者降至10—30%,这种差异反映了老黄河口的沉积物经受了长期改造,不稳定矿物含量减少。

弥港以南,海底沉积物因受长江入海物质的影响,钛铁矿、白云石等矿物的含量比老黄河口区及黄海南部均高,这说明黄河入海的泥沙对这里的影响很弱。

综合上述矿物组合的分布特征,可将渤海和黄海划为五大矿物区(图5),新黄河入海泥沙主要影响1区,老黄河泥沙主要影响3区,其他区受新、老黄河入海泥沙的影响较弱,或不受影响。

上述资料从不同角度说明了新、老黄河入海泥沙的影响范围。现代黄河入海泥沙主要影响渤海的南部,波及崂山以东的胶东半岛近海;老黄河入海泥沙则主要影响以老黄河口为中心的黄海西部,北达连云港,南至吕四以东海域。黄海深水区为过渡区,那里的细粒沉积物主要是黄河物质,但是混以其他陆源物质,它们的粘土矿物成分主要是伊利

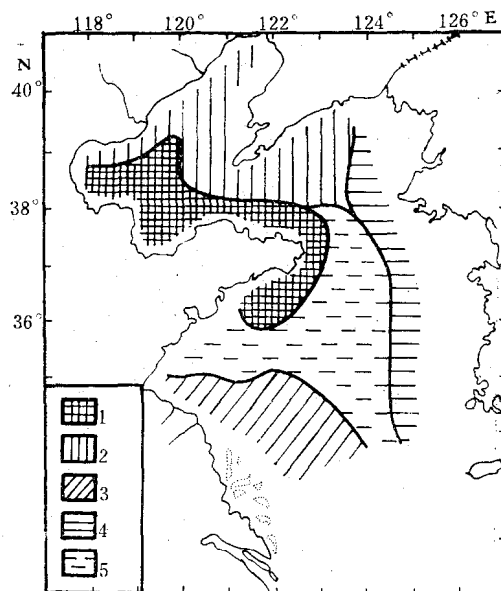


图5 渤海和黄海矿物分区图(据陈丽蓉等)

1. 渤海南部及黄海西北部矿物区；2. 渤海北部及辽南浅海矿物区；3. 黄海西南部矿物区；
4. 黄海东部矿物区；5. 过渡区

石,其次是高岭石、绿泥石等,也与黄河输入物的粘土矿物成分相似¹⁾。

三、黄河入海泥沙的扩散及影响强度

黄河搬运之细粒物质入海后,因河口区径流动能的突然减弱及水介质条件的改变而大量沉积。根据悬移质通量平衡原理及不同时期河口区地形图对比等方法粗略估计,黄河输沙中约70%左右沉积在河口三角洲及近河口浅海区,余者向外扩散^[7,10]。

黄河口附近有一潮汐驻波节点,流速较大,未经沉积的泥沙顺流扩散。黄河口北岸,沿岸流方向自东向西(图6,7),流速(包括潮流流速)自湾口向湾顶减弱,有利于黄河入海的泥沙向渤海湾顶部搬运、沉积。另一部分物质汇合北上的渤海余流向北扩散,将黄河的泥沙带至渤海中央海区西部。上述之沿岸流和北上的余流,在夏季受东南季风的影响有所加强。此时,正值黄河汛期,输沙量大,因此,大部分泥沙向渤海湾和渤海中央海区的西部搬运、沉积,形成了 CaCO_3 含量较高的大面积粉砂质粘土软泥和粘土质软泥等细粒沉积物。冬季在偏北风的作用下,向东去的余流发育,它汇同东去的密度流,将黄河入海的泥沙向莱州湾搬运、沉积,余者继续向黄海扩散。但此时正值黄河枯水期,输沙量较小,因此,现代黄河入海物质对莱州湾的影响比渤海湾及中央海区的西部为弱。渤海中部、辽东浅滩、渤海海峡北部,由于潮流流速大,海底存在着强烈的侵蚀作用,加上逆时针方向的密度环流阻碍了黄河入海泥沙的进入和沉积,黄河(甚至包括其他河流)现代输入的泥沙很少能够在此沉积,因而,露出了某些残留沉积物。由此可见,现代黄河入海的泥沙对渤海

1) 赵全基,1979。海洋地质论文集。国家海洋局第一海洋研究所编印,98—105页。

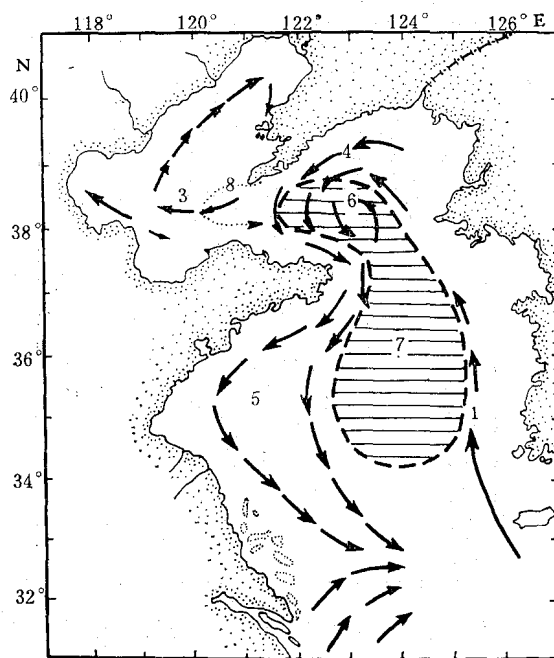


图6 黄海、渤海夏季(6—8月)海流分布模式(据管秉贤等)

1. 黄海暖流; 2. 黄海暖流余脉; 3. 渤海环流; 4. 辽南沿岸流; 5. 黄海西部沿岸流;
6. 北黄海密度环流; 7. 黄海冷水团; 8. 渤海密度流

的影响是极不均衡的。它们主要影响渤海南部,包括渤海海峡南部的大部分海域,其影响强度以黄河口三角洲及近岸浅海区最强,渤海湾南半部及中央海区西部次之,莱州湾及渤海海峡南部较弱。作为现代沉积物搬运过程标志的海水中悬浮体的含量分布特征也有有力地证明了上述结论^[10]。

渤海和黄海经渤海海峡的水体交换主要是潮流,此外是余流和密度流,后者流动的基本规律是“北进南出”,即:辽南沿岸流及低温高盐的密度流,从黄海流经渤海海峡北部进入渤海以后,分别形成各自的环流,再由海峡南部流向黄海(图6,7)。流出的水体便携带了黄河入海的泥沙进入黄海沉积。在海峡内外水体交换的过程中,其进出水量及海水中悬浮体含量之间的差别有可能产生泥沙净输移。基于这个设想,我们曾根据流经海峡的渤海和黄海水量交换和悬浮体含量资料,大致估算出由渤海输入到黄海的泥沙量平均每年约为 $(5-10) \times 10^6$ 吨^[1]。由此推测,目前黄河输沙对于黄海的直接影响不大。

黄河泥沙进入黄海以后,一部分在沿岸流的作用下,于胶东半岛北岸和南岸近海沿途沉积,形成那里 CaCO_3 及片状矿物含量较高的细粒沉积物,其范围估计不超过崂山以东近海,另外很少一部分向深海扩散。由于黄海中部冷水团水体相对稳定,有利于细粒沉积物沉积,因而,黄河输入的细粒物质与外源细粒物质一起,构成了那里大面积的细粒沉积物。自济州岛北上的黄海暖流和自东向西的辽南沿岸流,限制了黄河入海泥沙向北及向东的扩散,因此,它们对北部及中央深水区以东的影响可能很小。

1) 秦蕴珊、李凡,1982.黄河泥沙对渤海沉积的影响。参见“Proceedings of 11th IAS held in Canada, 1982, 9.”。

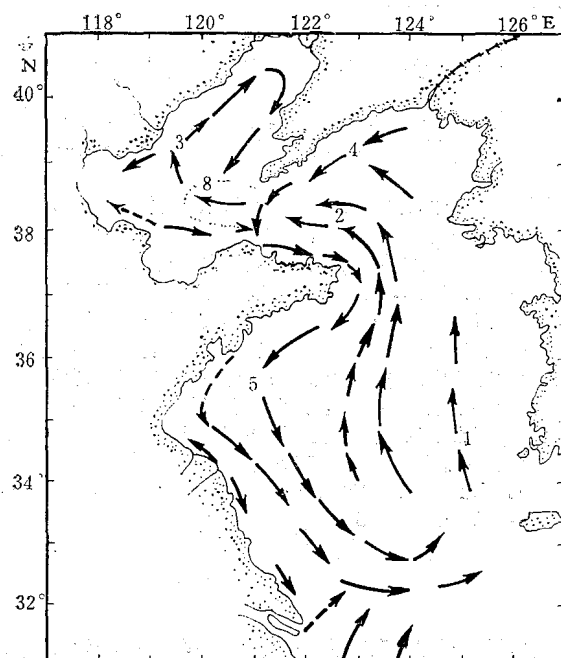


图7 渤海和黄海冬季(12—3月)海流分布模式(据管秉贤等)

(图注同图6)

黄河早期输入的泥沙主要沉积在古黄河-长江复合三角洲的北半部,以老黄河口为中心向外扩散。老黄河口以北,由于岸线走向近于NWW—SEE,风力合成方向为NE,所以,由风产生的沿岸流将泥沙向西北方向搬运。老黄河口以南,在南向沿岸流作用下,沿岸泥沙向南搬运,形成了局部的泥沙流。吕四渔港附近,南下的苏北沿岸流遇北上的长江径流的顶托,搬运力减弱,阻碍了再搬运的黄河泥沙向南扩散,因此,吕四港以南的浅海区受黄河泥沙的影响相当微弱。海州湾内的残余沉积或残留沉积区是否受黄河早期输入泥沙的影响尚待研究。

综上所述,我们绘出了现代和早期黄河入海泥沙的扩散范围和影响强度示意图(图8)。

从图8可以明显看出,现代黄河入海泥沙对海底的影响强度随地区不同而有很大差异,但可以认为,其入海泥沙大部分都沉积在河口地段,其次是渤海南部和北黄海的南部海域,而对南黄海的影响已显著减弱。然而,老黄河三角洲沉积物质的再搬运又使南黄海的物质运移增添了新的内容,使新、老黄河的细粒物质继续影响东海的部分特定海域。但可以预言,黄河

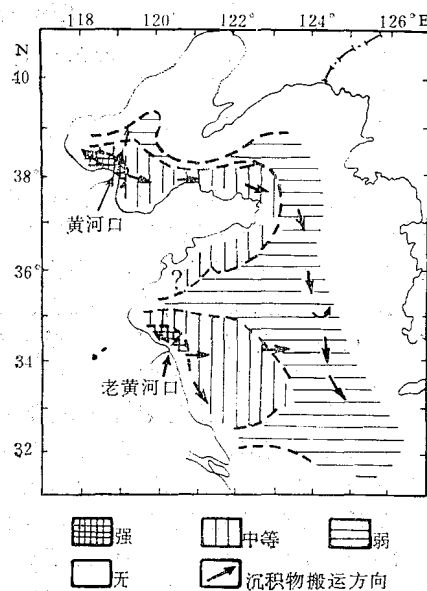


图8 黄河入海泥沙影响强度示意图

物质对开阔大洋的影响将是很小的。

参 考 文 献

- [1] 王振宇, 1982. 南黄海西部残留砂特征及成因的研究. 海洋地质研究 2(3): 63—70.
- [2] 申顺喜、陈丽蓉、徐文强, 1984. 黄海沉积物中的矿物组合及其分布规律的研究. 海洋与湖沼 15(3): 240—250.
- [3] 吴世迎等, 1982. 黄海海州湾钙结体的特征及其地质意义. 地质科学 2: 207—214.
- [4] 岑仲勉, 1957. 黄河变迁史. 人民出版社, 221页.
- [5] 陈丽蓉、栾作峰等, 1980. 渤海沉积物中的矿物组合及其分布特征的研究. 海洋与湖沼 11(2): 46—64.
- [6] 庞家珍、司书亨, 1979. 黄河河口变迁 I. 近代历史变迁. 海洋与湖沼 10(2): 136—141.
- [7] 庞家珍、司书亨, 1980. 黄河河口演变 II: 河口水文特征及泥沙淤积分布. 海洋与湖沼 11(4): 295—305.
- [8] 范时清、秦蕴珊, 1959. 中国东海和黄海南部底质的初步研究. 海洋与湖沼 2(2): 82—85.
- [9] 秦蕴珊, 1963. 中国陆棚海的地形及沉积类型的初步研究. 海洋与湖沼 5(1): 72—85.
- [10] 秦蕴珊、李凡, 1982. 渤海海水中悬浮体的研究. 海洋学报 4(2): 191—200.
- [11] 徐家声等, 1981. 最末一次冰期的黄海. 中国科学 5: 605—613.
- [12] 耿秀山, 1981. 中国东部陆架的古河系. 海洋科学 2: 21—26.
- [13] Безруков, П. Л. и А. П. Лиссицын, 1960. Классификация осадков современных морских водоемов. Труды Ин-та Океан. СССР 34: 73—85.

STUDY OF THE INFLUENCE OF SEDIMENT LOADS DISCHARGED FROM HUANGHE RIVER ON SEDIMENTATION IN THE BOHAI AND YELLOW SEAS*

Qin Yinshan and Li Fan

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

During 1951—1980, the annual average amount of sediment loads discharged from the Huanghe River is 1069×10^6 t/a, which accounts for around 80% of the total sediment load emptied into the Bohai sea and Yellow Sea from rivers except the Changjiang River. It shows that sediment loads discharged from the Huanghe River play the most important role in the sedimentation in this area. However, intensities of their influences were different at different places. About 70% of the total sediment loads from the Huanghe River settled down at the mouth and nearby area and the rest spread toward the sea under influence of the tidal current and wave. In the investigation area, characteristic of sedimentation is unequilibrium, which led different sediments formed at different times to distribute on sea bottom.

Sediment loads discharged from the Huanghe River were predominantly loess with abundant CaCO_3 , which can be used to distinguish their dispersion range and intensity. Their mineral assemblage further indicate the influence of the sediment loads derived

* Contribution No. 1252 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

from the old and the present Huanghe River.

Investigation indicates that the influence of sediment loads derived from the Huanghe River on the Bohai Bay and on the center of the Bohai Sea is stronger than on the Laizhou Bay. The spatial distribution of suspended matter, which indicates the transport processes of sediment loads discharged from river, has proved this conclusion. The annually average amount of sediment emptied into the Yellow Sea through the Bohai Strait is estimated to be about 5—10 million tons. Most of that was transported round the Chengshan Cape to the west along the south coast of the Shandong Peninsula to the Laoshan Bay. A small part of that was dispersed to the center of the Yellow Sea and deposited together with sediments derived from other sources forming fine grain sediment there, and the rest was transported to the East China Sea.