

渤海湾海底沉积作用的初步探讨*

秦蕴珊 廖先贵

(中国科学院海洋研究所)

渤海湾是渤海的三大内湾之一,濒临河北省的东部和山东省的北部;有黄河、滦河、海河等河流注入,现代堆积作用进行得十分迅速,因而对海底地形的改造作用也很剧烈。湾内水浅,大部分在15—25米之间,最深处位于渤海湾之北部近岸,可达30米左右。

为了研究塘沽新港的淤积和湾内的渔场建设问题,各有关单位曾在这个海区进行过不少的海洋调查;但以现代海洋沉积学的观点来阐述渤海湾的沉积作用,却还是初试。本文就是我们根据87个测站资料来进行探讨的。

根据综合分类法的原则¹⁾,可将渤海湾的海底沉积分成下列几种类型:细砂、粗粉砂、细粉砂、粉砂质粘土软泥和粘土质软泥,图1所表示的就是它们的空分布状况。

细砂分布于渤海湾的北部,呈一独立的带状,其延伸方向与海岸线平行。细砂沿北岸向西至湾顶东端即行尖灭而代之以细粉砂。细砂的分选良好,粒径多集中于0.1—0.25毫米的粒级,其中混有不少的粘土颗粒。细砂常呈浅黄褐色,滚圆度较好,轻矿物中以石英为主,含有少量的长石和白云母。重矿物则以含有较多的变质矿物为其特征,如石榴子石,紫苏辉石以及角闪石、磁铁矿等。

细砂中呈“克拉克”含量之各化学成分的数量均较低;其中有机质的百分含量平均为0.57, Fe—3.28, CaCO₃—1.63, P—0.08, N—0.07(详见表1)。

表1 各沉积类型中化学成分的平均百分含量

Табл. 1. Среднее содержание процентов химических составов в различных типах осадков

沉积类型(1)	含量的变动范围(7)					平均值(8)				
	有机质(9)	N	P	CaCO ₃	Fe	有机质(9)	N	P	CaCO ₃	Fe
细砂(2)	0.70—0.13	0.00—0.11	0.03—0.12	0.80—2.41	1.70—4.38	0.57	0.07	0.08	1.63	3.28
粗粉砂(3)	0.90—0.80	0.09—0.14	0.09—0.12	2.15—4.49	3.45—5.74	0.75	0.12	0.11	3.32	4.69
细粉砂(4)	1.50—0.20	0.06—0.17	0.09—0.13	1.68—10.14	3.70—6.59	0.86	0.10	0.11	5.37	4.92
粉砂质粘土软泥(5)	1.50—0.80	0.09—0.14	0.12—0.15	5.00—13.27	5.40—7.22	0.96	0.12	0.14	7.91	6.14
粘土质软泥(6)	1.70—0.90	0.10—0.18	0.13—0.18	7.69—10.09	7.17—5.89	1.20	0.13	0.15	9.37	6.45

- (1) 类型 осадков; (2) 细砂; (3) 粗粉砂; (4) 细粉砂; (5) 粉砂质粘土软泥; (6) 粘土质软泥; (7) 变动范围; (8) 平均值; (9) 有机质。

粗粉砂的分布不广,只在滦河口外之细砂带外缘呈一狭窄的带状;而粒度较细的细粉砂却分布得相当广阔。以其粒度成分及物质组成等方面的特点可划分为北岸细粉砂和南岸细粉砂(见图1)。它们的机械成分列于表2。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第172号。

1) 见苏联 П. Л. 别兹鲁柯夫等著(秦蕴珊译)“现代海盆地中沉积类型的分类”,海洋地质学文集 1961(5):35—51。

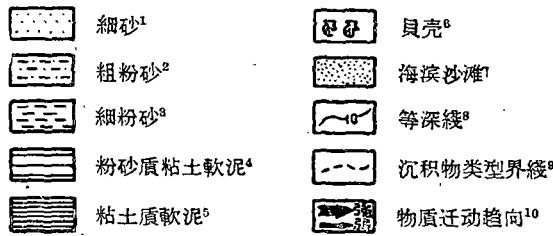
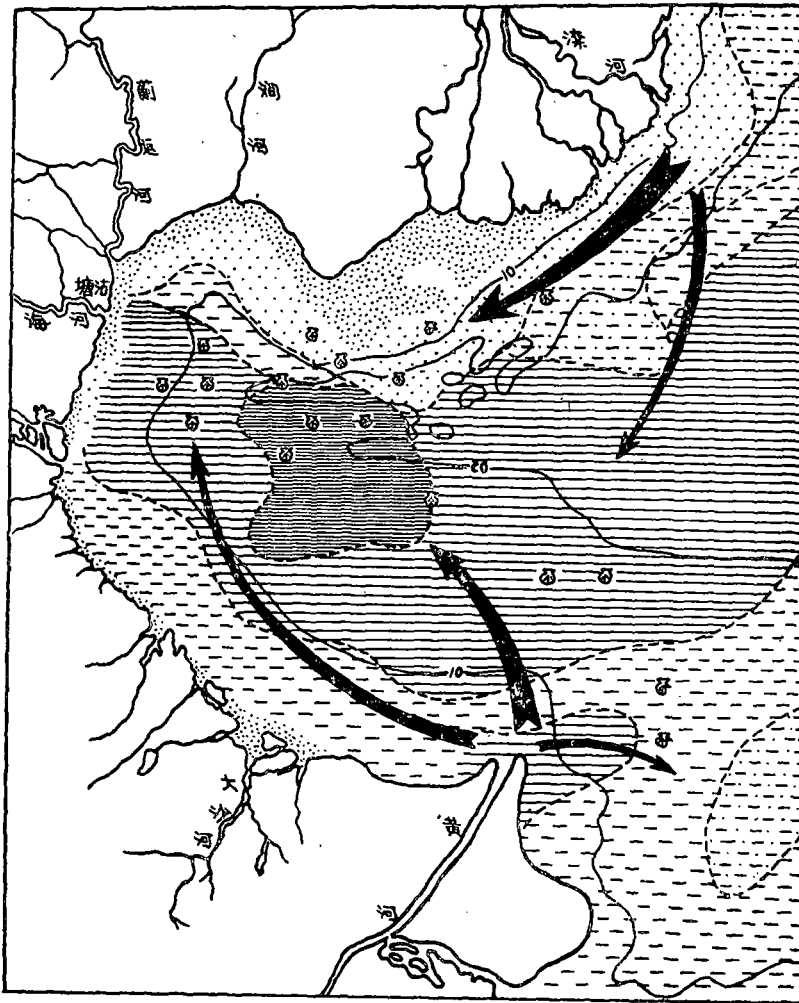


图 1 沉积物类型分布示意图

Рис. 1. Карта донных осадков Бахайского залива

- | | | |
|------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1. пески; | 2. алевриты крупные; | 3. алевриты мелкие; |
| 4. алевритово-глинистые илы; | 5. глинистые илы; | 6. Раковины; |
| 7. пески на пляже; | 8. изобаты; | 9. границы тип осадков; |
| 10. тенденция перемещения веществ. | | |

表 2 細粉砂的機械成分(%)

Табл. 2. Механический состав мелких алевритов (%)

粒級 (毫米) (1)	南 岸 (2)		北 岸 (3)	
	變 動 范 圍 (4)	平 均 值 (5)	變 動 范 圍 (4)	平 均 值 (5)
0.5—0.25	—	—	2.10—0.50	0.52
0.25—0.1	44.40—0.03	9.05	45.00—15.10	29.98
0.1—0.05	31.20—4.00	11.63	11.10—4.60	7.10
0.05—0.01	58.20—14.50	42.37	62.60—20.10	32.70
<0.01	47.60—26.70	36.96	42.40—25.90	36.54
md	0.041—0.010	0.016	0.046—0.013	0.028

(1) фракция (мм);

(2) На южном берегу;

(3) На северном берегу;

(4) пределы колебаний;

(5) среднее.

此次調查資料表明：灣頂處的細粉砂分選度較差，而且其中粗顆粒，即砂粒級的含量有所增加。根據機械成分繪制的柱狀圖解多呈雙峯曲綫，可以推知它們沉積環境是複雜的。在重礦物成分里除了含有大量的變質礦物外，尚夾有一般的碳酸鹽碎屑及角閃石等。

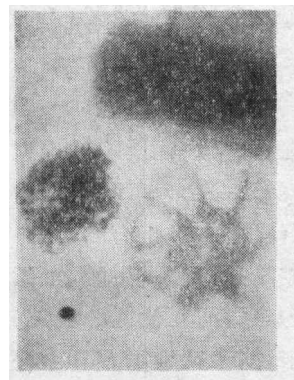
南岸的細粉砂具有另外的特征：顆粒的分選度較好，所含粘土粒級的量更多，而在其礦物組成中則不含或很少含有變質礦物，以碳酸鹽碎屑和磁鐵礦、角閃石等為主。南岸細粉砂的另一個有別於北岸的特点是顆粒表面常具有鐵質浸染現象。細粉砂中各化學元素的含量詳見表 1。

粉砂質粘土軟泥是本區分布最廣的一種沉積類型，它復蓋着整個渤海灣的中部，形成渤海灣南北兩岸的過渡帶。粉砂質粘土軟泥多呈暗黃褐色，具有弱的可塑性，其中所含粘土粒級的量幾乎都是一致的，約在 60% 左右。但是，在粉砂質粘土軟泥分布區的北緣，粉砂粒級的量增多。粉砂質粘土軟泥中的粉砂粒級的礦物主要有：普通角閃石、紫蘇輝石、磁鐵礦（南部最多）、石榴子石、鋳石等。可見其含有礦物的種類較多，而量則不十分集中。南岸碎屑顆粒的表面常被鐵質所浸染（見照片）。

粘土質軟泥是本區最細的一種沉積類型；其中粘土粒級的含量可達 70—80% 以上。成塊狀分布于渤海灣的中部，為暗黃褐色。此類型的沉積中所含有之各化學成分的量常常很高，如鐵的百分含量平均為 6.45，P—0.15，N—0.13，CaCO₃—9.37，有機質為 1.20。粘土質軟泥中重礦物含量一般較低；在其北部的重礦物種類則以紫蘇輝石和普通角閃石為多，並有少量的橢石、獨居石等。南部則常含有較多的金屬礦物，如磁鐵礦等。

從上面我們對於渤海灣各沉積類型的性質及其物質組成的概括性的描述，我們現在可進一步闡明它們的機械沉積過程。

研究機械沉積作用的過程一般是從研究碎屑物質的分異及其機械搬運來開始的。為此，就需要編繪個別粒級分布圖做為探討的根據。但我們覺得根據本海區的沉積特征，如果以沉積類型分布圖為基礎，以



照片說明：左邊為呈斑點狀的鐵質浸染現象

иллюстрация: явление заражения железа на поверхности зерен

粘土粒级的空间分布为辅助,便可查明渤海湾沉积物的一般分布规律。

渤海湾是相当典型的U字型海湾,图1已经表明渤海湾南北两岸分布着粒度较粗的沉积类型,尤其北岸粒度更粗,而在湾顶处粒度则变细,以细粉砂代替了北岸的细砂。在南部的沿岸主要是细粉砂沉积,渤海湾的中部广泛地沉积了细粒碎屑物质,而在中西部这种细粒碎屑物质尤为集中。图2表明:在南北两岸的沉积物中所有之 < 0.01 毫米颗粒的含量一般都小于50%,向湾的中央便逐渐增多。最突出的是在中西部达到了最大值,这就显示出细粒物质在该处的沉降量最大。这种由海岸向海的中心沉积物的粒度由粗到细的分布,正是近岸带沉积物的机械分异过程的表现。

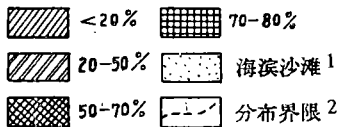
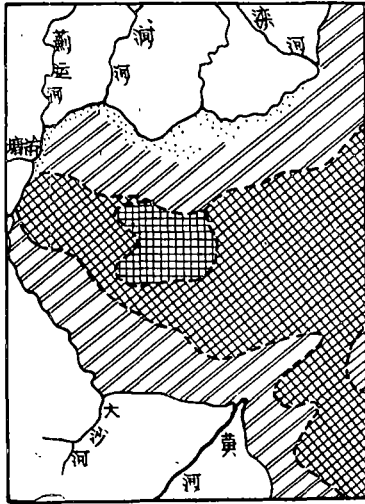


图2 沉积物中粘土粒级分布示意图
Рис. 2. Карта распространения глинистой фракции в осадках
1. пески на пляже, 2. границы.

上述资料表明:渤海湾的碎屑物质主要来自二个方向,一是北部,一是南部。显然,北部以滦河的输入物为主,而南部则应首推黄河。黄河是我国第二条大河,年平均流量为470亿立方米,据利津水文站的记录,其年平均输砂量达10亿吨左右,约为滦河年输砂量的60倍,海河的100倍。可见,渤海湾的物质主要来自黄河,滦河等河流是毋庸置疑的。

既然,由不同的河流分别起着主导作用,因而在南北两岸就会很自然地出现粒度成分和物质组成各不相同的沉积类型。概括的说来;滦河输入物的特点是:粒度粗,以变质矿物与其它暗色矿物为主,各种化学成分的含量较低,因而在碎屑颗粒的表面不出现铁质浸染现象。滦河搬运入海之物质,沿渤海湾北岸西下,先在沿岸带沉积了较粗的砂,随后剩下的一些细粒物质则在湾顶处沉积,更细的颗粒除在湾顶处聚集外,还向湾

的中部移动。

黄河所搬运的物质具有另外的特征:(1)粒度细、粒径小于0.01毫米的颗粒可占70%左右;(2)物质组成上以碳酸盐碎屑及一般常见的岩浆岩副矿物为多。黄河搬入海中的泥砂,一部分堆积在河口附近,一部分向湾顶处移动,更多的则堆积在湾的中部。从上述资料看来,渤海湾中部广阔的粉砂质粘土软泥和最细的粘土质软泥的来源主要是黄河的结论是可以提出的。因为它们粒度的成分与物质组成的特点与黄河输入物是极其相似的。黄河所输入的大部分物质之所以在渤海湾中部与U字型海湾呈平行的状态而沉积下来,初步认为主要是由介质的化学条件所控制的,而水文动力状况的影响主要是表现在细粒物质的空间分布形态上,而对其沉积及沉积物堆积强度的影响则不显著。为了便于说明,就必须将物质的搬运和沉积两个不同的过程加以区分。

既然黄河所搬运的物质绝大部分为粘土粒级和胶体,那么这些带电的小质点在具有中性介质的河水搬运过程中,由于河流的搬运力克服了它们之间的相互作用力,也就是说,这些带电的小质点在特定的河流活力条件下保持着平衡状态,从而为河水以悬浮状态

搬运入海。当它們入海后,介质的化学条件发生了轉化——由中性轉到弱碱性,但是这个轉化过程是逐漸的。根据測定:在黄河口外,海水的 pH 值一般在 7—8 之間;愈近河口, pH 值就愈益降低;向海里則逐漸增高。由于弱碱性的海水中带有剩余的 OH^- , 这时 OH^- 就对呈悬浮状态的带电的小质点起着电解质的作用,从而产生了质点間的相互吸附与結合現象。因而有可能使小顆粒結合在一起而沉积下来,其余的部分則繼續呈悬浮状态被海水搬运他方。必須指出,細顆粒間的吸附結合現象在河流刚入海时表現的并不明显(那里的海水基本上还是中性的)。这时,顆粒就在这种介质的理化条件下以其比重的大小而发生着机械分异,所以在渤海湾的南岸可以看到粗粒的物质带。显然,这些粗粒物质在近岸带的沉积,主要是与顆粒的大小、比重及水文动力的强度有关。向海里介质的化学条件逐漸轉化,从而电解质的作用也逐漸明显,这样,細粒物质的沉降量就会增多;当介质完全轉化的时候,电解质的作用就达到最高峯,刚好出现在渤海湾的中部一带。具弱碱性的海水不仅对河流以悬浮状态所搬运来的顆粒质点的吸附結合起着作用,同时也对河水本身所含化学元素有着一定的影响。呈溶解状态而被搬运入海的 Fe^{++} , 当其处于弱碱性的介质条件下,就会轉化成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 而沉淀出来。其反应方程式为: $\text{Fe}^{++} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$ 。显然,随着介质条件的逐漸轉化, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的析出量亦应增多。所以,在顆粒沉降时就会有 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 粘附其上,即所谓的鉄质浸染現象。調查資料表明:鉄质浸染現象最显著的地方也是粘土粒級含量最多并且是鉄含量最高的地方。

在灤河所搬运的物质中由于粘土粒級的含量很少,所以介质化学条件的轉化对其所起之作用就不明显。因而入海物质主要受 NNE—WWS 向的沿岸流的影响,在顆粒大小与比重作用下发生机械分异。这样就形成了由海岸向中部粒度由粗到細的变化。

我們的初步結論是:渤海湾的沉积物质主要来自黄河和灤河,因而形成了渤海湾南北两岸的机械成分及物质組成各不相同的沉积类型。黄河搬运入海的物质絕大部分都沉积在渤海湾的中部,这主要是由于介质的化学条件发生了轉化而形成的。因而可以认为在平原河流的河口区控制細粒物质沉积过程的主导因素是介质的化学条件。

此外,沉积物中矿物成分的詳細分析研究的結果亦可做为上述結論的有力佐証。

根据分析結果而繪制的重矿物百分含量分布图(见图 3),在渤海湾的海底沉积物中,重矿物的分布呈明显的带状,而且近岸带的含量低,愈向湾中心其含量愈高。陆源碎屑物不依其比重之大小而产生分异沉积的現象,可以說明重矿物的含量变化与顆粒质点的大小間存在着有机的联系。如将图 1 与图 3 相对照便可看出重矿物高含量区与粉砂质粘土軟泥分布区大致相当。即然,由于介质化学条件的控制而在渤海湾之中

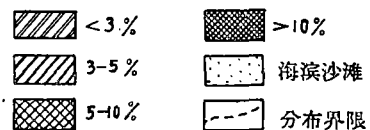
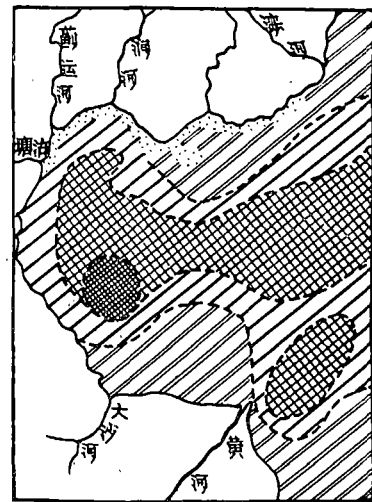


图 3 沉积物中重矿物百分含量分布示意图

Рис. 3. Распределение тяжелой подфракций

部沉积了广阔的粉砂质粘土软泥,那么,在渤海湾中部而不在其边缘出现了重矿物的高含量区也将是很自然的。因而我们初步认为:在沉积物的粒度与重矿物含量间存在着一定联系条件下,重矿物的迁移与集中有时可依其比重的差异而进行,同时介质的水动力条件也起着主导作用,但在平原区河流搬运物质入海的情况下则受着介质化学条件的控制。

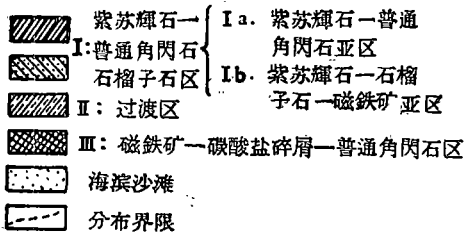
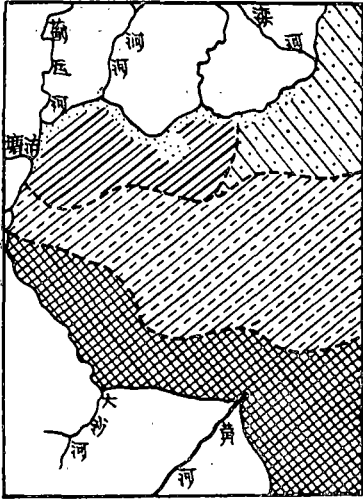


图4 沉积物中重矿物分区示意图

Рис. 4. Схема расположения минералогических провинций

I: Провинция гиперстена-роговой обманки-граната;

Ia: подпровинция гиперстена-роговой обманки;

Ib: подпровинция гиперстена-граната-магнетита;

II: провинция промежуточная.

III: провинция магнетита-карбонатного обломкароговой обманки.

的差别,而中央则为前二者的过渡类型。

(2) 渤海湾陆源碎屑物主要来自两个方面——北部以滦河为主,南部以黄河为主,中部除有滦河输入物外,主要是黄河物质的堆积。

此外,由于现代陆源碎屑物质的来源复杂,所含矿物种类也较复杂。所以,在阐述它们的迁移动向时,还应将具有成因联系的矿物组合作为指示物,否则,若仅以某种矿物,即使是最稳定的矿物,来做为指示物也未必能得到满意的结果。

最后,我们要着重提出,沉积物中主要化学成分的研究不仅能够阐明它们的迁移与富

渤海湾南北两岸的沉积物,不论矿物组合或重矿物含量的变化均有显著的差别,因此我们可依据:(1)重矿物含量的变化;(2)矿物组合的特征;(3)铁质浸染现象的差异;(4)沉积物类型的不同等原则来清晰地 在渤海湾划分出三大矿物组合区(见图4)。

1. I区(紫苏辉石—普通角闪石—石榴子石区):

本区的特征是:重矿物含量较低,其含量由近岸带的 $< 3\%$ 向海里增至 $3-5\%$;变质矿物普遍出现。沉积物的粒度较粗,以细砂及粗砂为主;入海的河流主要为滦河、海河等。

2. II区(过渡区):

本区的特征是重矿物含量高,但在矿物组合上显示出I区与III区之间的过渡性质。

3. III区(磁铁矿—碳酸盐碎屑—普通角闪石区):

本区的特征是:重矿物含量较高,矿物组合以磁铁矿、碳酸盐碎屑、普通角闪石为主,它们可占总量的 70% ,其次则为一般常见的岩浆岩副矿物。颗粒的表面普遍有强烈的铁质浸染现象。

根据以上从矿物方面所进行的分析,也可以说明:

(1) 渤海湾沉积物中矿物组成的差异显示着它们的不同来源区,南北两区有着明显的



图 5 沉积物中有机质分布示意图

Рис. 5. Распределение органического углерода в осадках



图 6 沉积物中全氮分布示意图

Рис. 6. Распределение азота в осадках

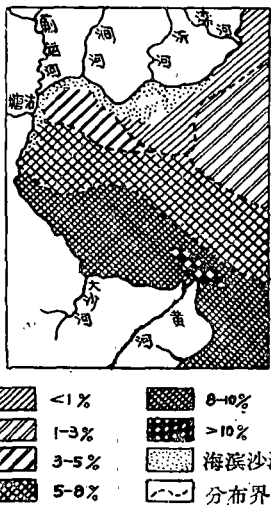


图 7 沉积物中碳酸钙分布示意图

Рис. 7. Распределение углекислого кальция в осадках

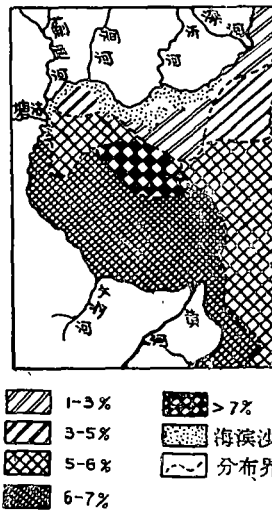


图 8 沉积物中全铁分布示意图

Рис. 8. Распределение железа в осадках

集过程,而且对于闡明沉积物质的来源与移动也会有很大的帮助。图 5—8 表明了渤海湾海底沉积物中有机质、全氮、全铁、碳酸钙等的含量分布及其分布的空间状态。但更值得指出的是：(1)所有这些化学成分的含量均与沉积物之颗粒质点的大小间有密切的相关性。表 1 的资料表明：随着沉积物颗粒的变细,也即是随着粘土粒级的增加,沉积物所含的有机质以及氮、磷、铁和碳酸钙的含量也相应增加。因而可以认为,碳酸钙含量与粒度间的这种相关性也是本海区沉积作用的特征之一,根据已知资料,在其它海区里这种相关性是不存在的。(2) CaCO_3 百分含量的分布也显示出黄河输入物对这个海区的影响。因为本海区的 CaCO_3 的来源主要是来自黄河输入物中的碳酸盐碎屑,只要将本文中所附的几幅

分布图加以对比就很能明显地看出。这样,我們便可以以 CaCO_3 含量的分布状况來說明黃河物質在渤海湾的扩散范围及其沉积強度。(3)有机質和全氮之間有明显的比例关系,而且它們的空間分布輪廓也大致相似。如将有机質換算成有机碳,那么它与全氮的比值就可平均达到 5.7。(4)鉄含量的最高区恰与鉄質浸染的強烈区相一致。如果再考虑到上述有关矿物分析資料,便可認为本海区沉积物中的鉄質主要是由于呈离子状态的 Fe^{++} 被河流搬运入海,在介质化学条件的改变下发生沉淀的結果。

由此看来,鉄、磷、氮和有机質的含量是随粒度的变化而变化的,或者确切地說,它們的含量是由粘土粒級的量来控制的。于是也可以認为:这些呈“克拉克”值分布的化学成分的分异与富集是受沉积物的机械分异控制的(其中由化学沉淀形成的鉄也最易与粘土顆粒发生吸附)。因为在現代海洋沉积中粘土粒級的量是表征机械分异作用过程的枢紐所在。

本文蒙张文佑先生审阅并提出許多宝贵意見,作者表示感謝。

ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В БОХАЙСКОМ ЗАЛИВЕ

Цин Юйнь-сан и Ляо Сянь-куй
(Институт океанологии АН КНР)

По принципу комплексной классификации, представленной Н. М. Страховом и П. Л. Безруковым, донные отложения в Бохайском заливе разделяют на следующие типы: мелкий песок, крупный и мелкий алевриты, алеврито-глинистый ил, и глинистый ил. Из них алеврито-глинистый ил распространен наиболее широко. Бохайский залив представляет собой типический U-образный. На северном и южном берегах залива распространены крупные обломочные зерна, а более тонкие частицы зерен веществ приурочены к средней части залива. Эта характерная черта ясно выражает процесс механической дифференциации осадков. Так, на северном и южном берегах залива содержание процента глинистой фракции (< 0.01) в донных отложениях, не превышает 50% в общем, к средней части залива количество глинистой фракции постепенно возрастает, а на средно-западной части залива максимально (70—80%). Это хорошо показывает, что здесь количество седиментаций тонких частиц самое максимальное.

Очевидно, от обоих берегов к средней части залива этот процесс превращений крупных обломочных веществ в тонкие частицы по гранулометрии представляет собой выражения процесса механической дифференциации прибрежных осадков.

Данные анализа образцов показывают, что главным источником питания обломочных веществ являются реки Хуанхэ на южном берегу и Луанхэ на северном берегу, следовательно, образуются осадки различные по механическому и вещественному составам.

Большое количество веществ, принесенных в море рекой Хуанхэ, накапливается в средней части залива именно потому то, что вызвано результатом превращения химического условия морской среды. Поэтому мы считаем, что на приустье равнинной реки основным фактором влияния на седиментации тонких веществ является химическое условие морской среды.

По результатам изучения минеральных составов осадков получен одинаковый вывод с предыдущим. На южном и северном берегах различие минеральных составов тоже показывает, что на северном берегу залива источником питания обломочных веществ является река Луанхэ, на южном берегу является река Хуанхэ, а в средно-западной части залива преобладают тонкие вещества, принесенные рекой Хуанхэ.

Из данных несколько химических составов осадков очень интересно видим, что тесное отношение наблюдается между содержаниями всех этих химических составов и крупностями зерен осадков, т. е. по мере возрастания количества глинистой фракции содержания этих химических составов в осадках соответственно увеличиваются.

По предыдущим данным автором статье ещё посвящено отношения между распространением химических составов и механической дифференциации осадков.