

粒度标(GSL)和氧化还原度(ROD)在渤海南部海域沉积物环境研究中的应用*

宋金明 李鹏程
(中国科学院海洋研究所)

渤海是我国重要的油气田经济海区,目前已陆续开发。沉积物类型及其氧化还原环境的研究对于了解沉积物的形成、来源,以及埋葬后的早期成岩作用具有重要意义。海洋沉积的环境是海洋地质学的重要研究内容之一,以往这方面的研究大多集中于地球化学领域,而从化学角度研究这个问题的报道则很少,且缺乏系统性(Parker *et al.*, 1983; 宋金明等, 1992),尤其是海洋沉积物现场环境研究更不多见,其研究方法和手段亦较少。沉积物类型及其氧化还原环境是影响许多元素产生、转移、循环的重要因素,也是海洋沉积物环境研究的核心内容(刘宝珺, 1980),以往沉积物粒度数据基本上全都是通过地质机械分析方法得到的,而海洋沉积物氧化还原环境研究也仅仅停留在定性描述上,仅用一个或几个参数辅助说明沉积物是呈氧化性或是还原性,缺乏对此的定量表征。

鉴于以上,作者经过调查研究提出了用纯化学手段研究沉积物类型的标准——“粒度标(GSL)”和定量表征沉积物氧化还原环境的“氧化还原度(ROD)”(宋金明等, 1993; 宋金明等, 1994)。结果表明,上述两项标准与实测结果符合较好,为水化学领域科技人员提供了新的研究方法,对探讨浅水养殖环境和海洋工程评价,特别是对海上油气田开发的平台及管线的腐蚀环境分析有重要的理论和现实意义。

一、取样与分析

1992 年作者随“科学一号”考察船对渤海南部海域进行了调查,取样站位见图 1。用重力活塞式取样器取得沉积物后立即分层(表层和 1.50 层),其中对 6 根柱状样进行了详细研究。分层后的沉积物立即插入铂片电极、Ag-Ag₂S 膜电极和饱和甘汞电极测得沉积物的氧化还原电位(Eh)和膜电极电位(Es)(宋金明、朱仲斌, 1992; 宋金明等, 1994),用容量法测得 Fe³⁺/Fe²⁺ 比值,然后将沉积物密封带回陆地实验室,测定沉积物的含水量(φ)后 70℃烘干,再用容量法测定干沉积物的有机碳含量(C_{org})。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2461 号。

本工作得到季明棠、邓天影、顾全英、高洪峰等同志的帮助,在此一并志谢。

收稿日期: 1995 年 1 月 4 日。

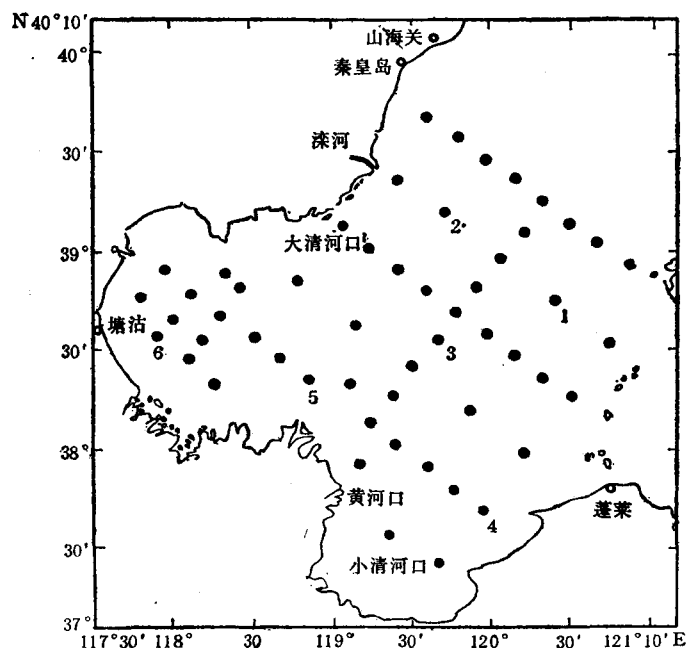


图1 渤海南部海域沉积物取样站位

(1~6站进行了全柱状样研究,其它站仅研究0m层和1.5m层)

二、结果与讨论

1. 粒度标 (GSL) 与沉积物的粒度分布 海洋沉积物的粒度分析对于研究沉积物的来源、形成原因和沉积物环境具有重要意义。沉积物的粒度大小受流水作用营力的控制,并与其形成的环境有密切的关系,所以沉积物的粒度性质主要受物源和沉积环境两方面因素的控制。沉积环境对沉积物粒度性质的改造,主要表现在某些原有组分的丢失或新组分的加入,反之,粒度研究也可以给出沉积环境的某些信息。

目前,国内外粒度分析数据主要通过筛析法、薄片法和水力法等获得(刘宝珺,1980),可以说几乎全部的粒度分析资料都是通过机械分析得到的。本文通过化学方法定义了一个新参数,即“粒度标 (GSL)”,用其划分沉积物的类型和进行渤海南部海域沉积物的粒度研究,为本领域的研究提供了一种沉积物粒度分析的新手段。

海洋沉积物的粒度标准主要有自然粒度标准(以颗粒直径 2mm, 0.05mm, 0.005mm 作为砾、砂、粉砂、泥的分级标准)和 Φ 标准($\Phi = -\log_2 d$, 用 $-1\Phi, 4\Phi, 8\Phi$ 作为砾、砂、粉砂、泥的分级标准)(刘玉珺,1980),而其中最基本的参数粒度要通过筛析法得到。底质沉积物的粒度对于材料的腐蚀有重要的影响,但对于较大海域来说,非常细致的布点取样研究粒度的分布有很多的困难,给化学工作者带来许多不便,因此用化学方法表征粒度就具有许多优越性。

受粒度影响的因素很多,如沉积物的含水量、间隙水中化学成分的含量、沉积物的特性参数 (pH, Eh, Es 等)、沉积物的有机碳含量等(宋金明、朱仲斌, 1992; 宋金明等,

1993)。我们通过大量的研究发现,沉积物的含水量(%)和有机碳含量受粒度影响最为明显,或者说沉积物的粒度直接控制了沉积物的含水量,并在很大程度上控制了沉积物中有机碳的含量 $C_{org}(\%)$,粒度标 (GSL) 这一新概念即以此为基础。

$$GSL = \varphi \cdot C_{org}$$

粒度标 (GSL) 的物理意义为表征沉积物粒度大小,为一无量纲的万分数,其标准与自然粒度标准及 Φ 标准见表 1,具体的 GSL 标准与沉积物类型关系见表 2。

表 1 GSL 标准与自然粒度标准和 Φ 标准的对应关系

沉积物名称	GSL 标准	Φ 标准	自然粒度标准 (mm)
砾	<0.05	<-1 Φ	>2
砂	0.05—1.0	-1 Φ — 4 Φ	0.05—2
粉砂	1.0—10.0	4 Φ — 8 Φ	0.005—0.05
泥	>10.0	>8 Φ	>0.005

表 2 GSL 标准与沉积物颗粒直径及类型的对应关系

沉积物名称	颗粒直径(mm)	GSL 标准	沉积物类型
砾	>1	<0.05	砾石
砂	0.1—1.0	0.05—1.0	砂
粉砂	0.05—0.1	1.0—5.0	粗粉砂
	0.01—0.05	5.0—10.0	细粉砂
泥	<0.01 占 <50%	10.0—15.0	细粉砂质软泥
	<0.01 占 50—70%	15.0—30.0	粉砂质粘土软泥
	<0.01 占 70%	>30.0	粘土质软泥

据 GSL 公式及标准可以计算渤海沉积物的 GSL,继而可得出沉积物类型。图 2 为该海域沉积物表层和 1.5m 层沉积物类型分布。

从图 2 可看出,在表层的大部分河口,如滦河-大沽河口、海河口、小清河口都分布着粒度小的粘土质软泥和粉砂质粘土软泥。渤海湾的大部分都分布着大面积的粉砂质粘土软泥;在渤海海峡西侧沉积物较粗,主要是粗砂,最粗的一小块区域分布在滦河口与老铁山西角连接的中央区,是一块沉积砂区。在 1.5m 层,沉积物的粒度较表层大,粒度小的粉砂质粘土软泥主要分布在渤海湾和黄河口附近;和表层区别最大的是在滦河口外出现了一块砂区,刁龙口嘴与滦河口-老铁山西角中部区也有一砂区,且滦河口与老铁山西角中部砂区面积扩大。各种粒度大小分布面积的相对比例见表 3。

表 3 所给出的渤海南部沉积物类型分布是迄今为止最详尽的渤海沉积物类型分布图,对进一步开发渤海有重要的作用。

2. 氧化还原度 (ROD) 海洋沉积物氧化还原环境研究对于了解海洋沉积物的形成、来源和探讨海水养殖环境及海洋工程评价,特别是海上油气田开发管线埋设的腐蚀环境分析具有重要的意义。评价海洋沉积物氧化还原环境的方法有单因素和多因素分因子评价法。单因素评价法用得最多,其中绝大部分都采用沉积物的氧化还原电位(Eh)或湿沉积物的 Fe^{3+}/Fe^{2+} 比值。作为评价标准,它的特点是简单明了,但对较复杂的底质环

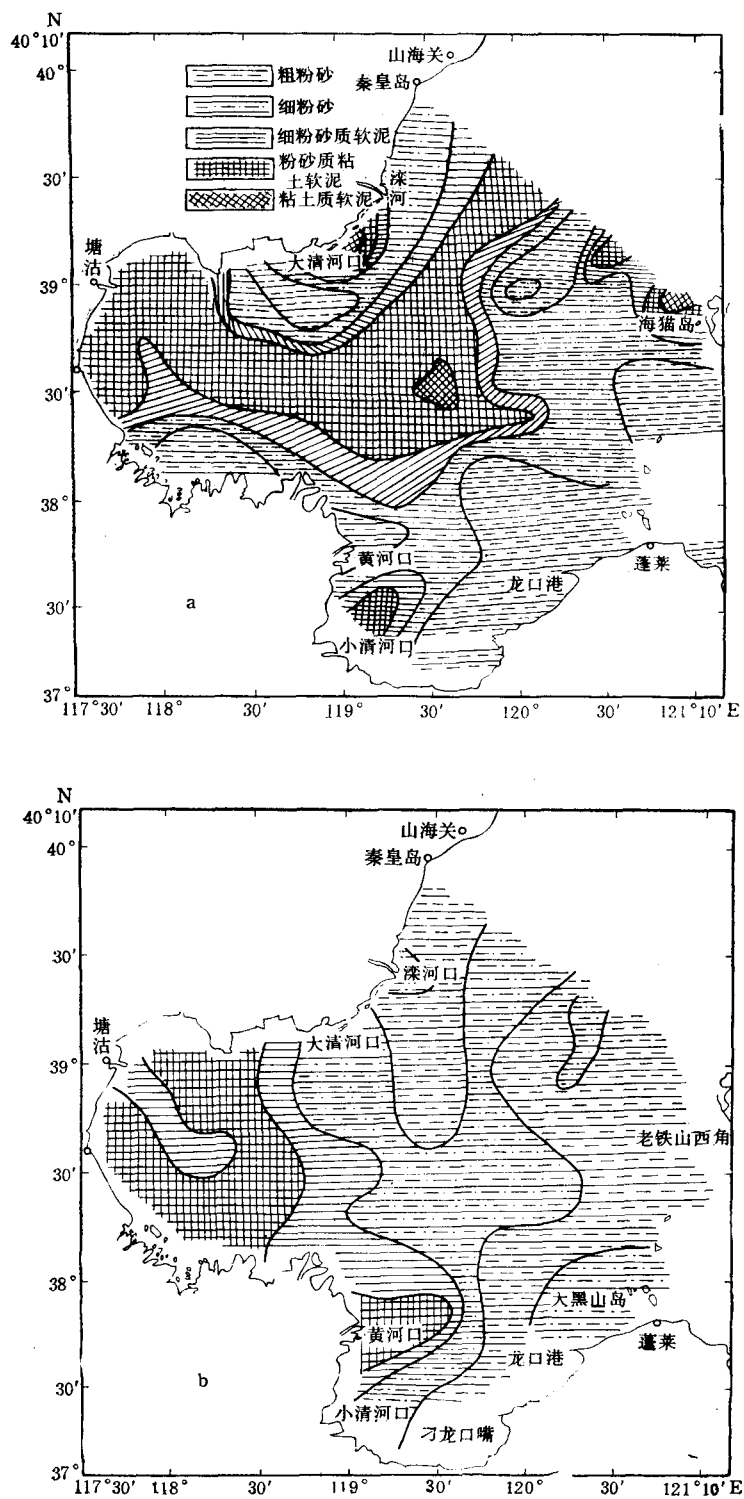


图2 渤海南部海域沉积物类型分布

a. 0m层; b. 1.5m层 (图例同 a)

表 3 渤海南部海域沉积物类型分布的相对比例(%)

沉积物名称	沉积物类型	所占比例(相对大小)			
		0m 层		1.5m 层	
		比例	总比例	比例	总比例
砂	砂	2	2	5	5
粉砂	粗粉砂	19	46	29	
	细粉砂	27		31	60
泥	细粉砂质软泥	11		18	
	粉砂质粘土软泥	35	52	17	35
	粘土质软泥	6		0	

境往往偏差较大。多因素分立因子评价法多采用沉积物的氧化还原电位 (Eh)、湿沉积物的 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值和干沉积物的有机碳含量 (C_{org}) 作为评价标准,用这 3 个因子的不同分段来划分底质的氧化还原环境能更真实地反映底质环境,但由于复杂的地质环境常有 2 个或 3 个因子不在同一水平上的情况出现,从而难以划分复杂底质的氧化还原环境,应用上亦有较大的局限性。

近几年,我们曾对东海、南海、辽东湾等沉积物环境作过较系统的研究,发现沉积物的氧化还原环境不仅与 Eh, C_{org} , $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值有关,还与沉积物的颗粒大小和间隙水中的硫体系(特别是一 2 价硫)密切相关,在某些海区后两种因素甚至成为控制其底质氧化还原环境的主要因素(宋金明、朱仲斌,1992,宋金明等,1994;Parker and Sellwood, 1983; Isley *et al.*, 1990; Sanford, 1992; Churchill *et al.*, 1994), 所以我们的立足点就是构造一个含有以上参数因子的综合评价函数,以便能更真实地确立底质的氧化还原环境,因此,我们定义了一个新函数——氧化还原度 (ROD), 并用来评价沉积物的氧化还原环境:

$$\text{ROD} = \frac{\text{Eh} \cdot \text{Es} \cdot (\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+})^{\frac{1}{3}}}{\varphi \cdot \text{C}_{\text{org}}}$$

Eh 和 Es 分别为铂片电极和 Ag-Ag₂S 膜电极相对于标准氢的电位,有正负值 (V)。 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 为沉积物的铁比值,系容量法取样后现场测定; φ 为沉积物含水量; C_{org} 为干沉积物的有机碳含量(%), $\varphi \cdot \text{C}_{\text{org}}$ 表征粒度。规定 Eh 和 Es 有一个为负值,则 ROD 为负值。这样可根据 ROD 划分底质的氧化还原环境。

表 4 评价沉积物氧化还原环境的 ROD 标准

ROD 范围	海洋沉积物氧化还原性质
<0	强还原
0—5	还原
5—15	弱还原
15—30	弱氧化
30—300	氧化
>300	强氧化

从表 4 可看出,海洋沉积物的氧化还原界面为 $\text{ROD} = 15$ 。据以上公式可计算出渤

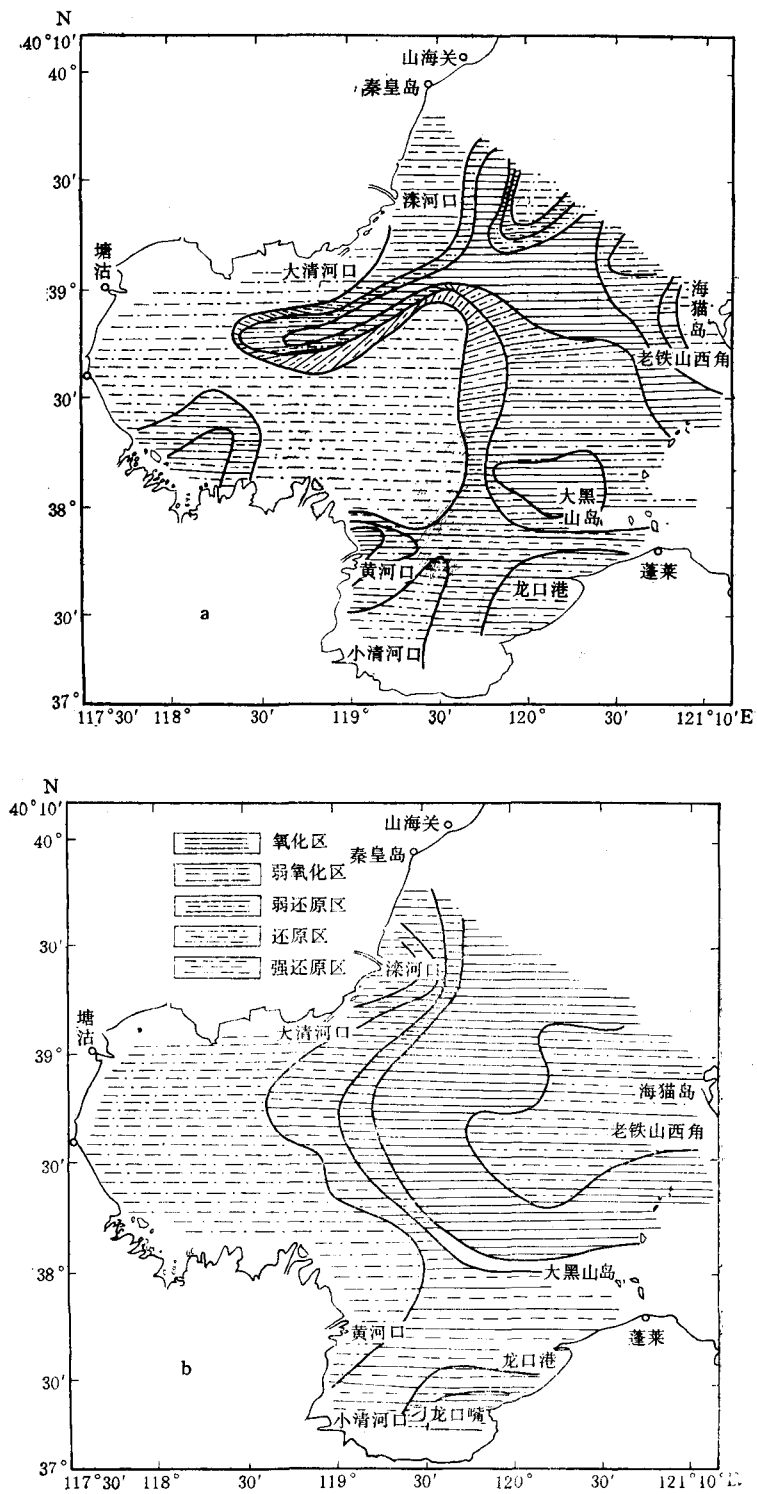


图3 渤海南部海域沉积物氧化还原类型分布
a. 0m层(图例同 b); b. 1.50m层

海南部沉积物的 ROD。图 3 为该海域 ROD 分布图, 从图中可看出, 在表层沉积物中, 主要还原区出现在渤海海湾及河口区(黄河口除外), 氧化区出现在滦河口-老铁山西南中部、大黑山岛及北部区域; 从总体上看, 弱还原区-还原区占调查区域的很大部分。在 1.50m 层沉积物中, 还原区出现在渤海湾及黄河口外, 氧化区比表层沉积物在面积上有较大增加, 在滦河口出现一小块强还原区。在调查区域内氧化-还原区所占比例见表 5。

表 5 渤海南部海域氧化-还原区的相对大小(%)

沉积物分区	0m 层	1.50m 层
强氧化区	0	4
氧化区	42	35
弱氧化区	20	20
弱还原区	20	14
还原区	18	27
强还原区	0	0

表 6 列出了所取 6 根柱状样的氧化还原状况。柱状的氧化还原类型基本上反映了所在站位的氧化还原状况, 仅就化学腐蚀而言, 沉积物越氧化, 钢铁在该处的腐蚀越严重, 反之沉积物越趋还原, 则钢铁腐蚀越轻。

表 6 柱状样的氧化还原状况

柱状号	取样深度(m)	沉积物类型	氧化还原类型	氧化还原状况柱名
1	2.0	粗粉砂	弱氧化-弱还原	弱氧化柱
2	3.8	细粉砂-细粉砂软泥	氧化	氧化柱
3	3.8	细粉砂-粉砂质软土软泥	弱还原-氧化	弱还原-弱氧化柱
4	1.0	粗粉砂	还原-弱氧化	还原柱
5	3.5	粉砂质粘土软泥	弱还原-还原	还原柱
6	3.9	粉砂质粘土软泥	弱还原-还原	还原柱

参 考 文 献

- 刘宝珺, 1980, 沉积岩石学, 地质出版社, 307。
- 宋金明等, 1993, 新概念“粒度标 (GSL)”用于研究海洋沉积环境——以黄河口北部海域为例, 海洋环境科学, 12: 116—122。
- 宋金明等, 1994, 黄河口北部海域沉积物氧化还原环境研究, 中国青年科技论文精选, 中国科技出版社, 803—810。
- 宋金明, 朱仲斌, 1992, 用沉积物的特性参数 pH、Eh、Es 及间隙水中的 SO_4^{2-} 浓度表征陆源物质对辽东湾的影响, 烟台大学学报, 3: 34—40。
- Churchill, J. H., et al., 1994, Sediment resuspension over the continental shelf east of the Delmarva Peninsula, *Deep-sea Research*, (Part II) 41: 341—363。
- Islcy, A., R. Pillsbury, and E. Laine, 1990, The genesis and character of benthic turbid events, northern Hatteras abyssal plain, *Deep-Sea Research*, 37: 1099—1119。
- Parker, A., and B. W., Sellwood, 1983, *Sediment Diagenesis*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 94—158。
- Sanford, L. P., 1992, New sedimentation, resuspension and burial, *Limnology and Oceanography*, 37: 1164—1178。

GRAIN SIZE LABEL (GSL) AND REDOX DEGREE (ROD) IN THE STUDY ON SEDIMENT ENVIRONMENTS OF SOUTHERN BOHAI SEA*

Song Jinming and Li Pengcheng

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences)

ABSTRACT

Southern Bohai Sea sediment types and redox environments were studied by using the new concepts of "Grain Size Label (GSL)" and "Redox Degree (ROD)". The GSL, the pure chemical standard, has advantage for studying sediment grain size. The ROD gives a quantitative classification to marine sediment redox environments. The main results were follows: The mud (silt clay) is the first and silt is the second in surface sediments, but silt is the first and mud second in the 1.50m sediment layer. Reduction is the characteristic in the two layers sediments. The main oxidation regions centered between the estuary of the Luanhe River and the area west of Laotieshan.

* Contribution No. 2461 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.