

X射线照相技术在研究沉积物微构造 应用中的几个问题*

郑铁民 徐善民 岳海东

(中国科学院海洋研究所)

在沉积学的研究过程中,沉积构造的研究是沉积学研究的一项主要内容之一。传统上是以观察和测量肉眼所能见到的大构造为主,此外也对一些微构造进行一些观察和研究。受研究方法和手段所限,对一些小构造或微构造,特别是那些肉眼所看不见或难于辨认的微构造,观察和研究的很少。尽管研究者们曾试图用揭皮、染色等方法来揭示那些微构造,但总是不能令人满意。1962年 W. K. Hamblin 开始把X射线照相技术应用于沉积物微构造的研究上^{〔1〕},获得了良好的效果。近年来此项技术得到了较多的使用,特别是海洋调查方面,它不仅在海沉积学和地球化学方面,而且在海洋生物学方面也得到了应用。1969年 A. H. Boorm 把X射线照相技术做为一种沉积构造的研究方法进行了比较详细的介绍和总结^{〔2〕}。1975年我们也开始应用此项技术研究沉积物的微构造。

一、X射线照相法的工作原理及优点

X射线也称伦琴射线。X射线照相主要是利用X射线在穿透物体时,由于物体各个部分的成分和性质不同,而对X射线有不同的吸收性或不同的穿透性,这些差异性在胶片上以不同的感光强度被显示出来。沉积物在沉积过程中,由于环境的改变,在沉积物的组成上和结构上形成一定的差异,这些差异往往可以很清晰地得到显示。所以X射线照相,在沉积物微构造的研究上,是一种较好的研究手段。它可以把内部构造清晰地显示出来,给我们提供了内部和外部微构造之间的关系,至于肉眼不能看见的微构造,X射线照相法就更具有其独到

之处。所以它已被应用于均质砂岩和现代海洋沉积物的研究上。前者为一种均质的巨厚砂岩,成分和层理的变化很少,难于从中获得有关沉积环境方面的信息;后者为松散均匀和大面积分布,除了能见一些生物和生物活动的痕迹之外,其它几乎没有变化,尤其是河口外就更显得单调,但通过X射线照相之后,底片上留下了很多图相可供我们研究(照片1)。

在沉积构造的研究过程中,我们常用的揭皮法、染色法等均必须给样品注入新的物质。新物质的加入对于沉积物成分的分析研究来说是有影响的,X射线照相法则可避免上述缺点,保证样品的完整无损。

总的来说,X射线照相是一种比较快速、简单、经济的方法,它和照相机照相一样,只要把样品和胶片在X射线下曝光,即可获得沉积物的构造图相。现在,小型轻便而且穿透性大的X射线机,已经可以携带到野外和船上进行现场操作,及时和方便地获得所需要的资料。

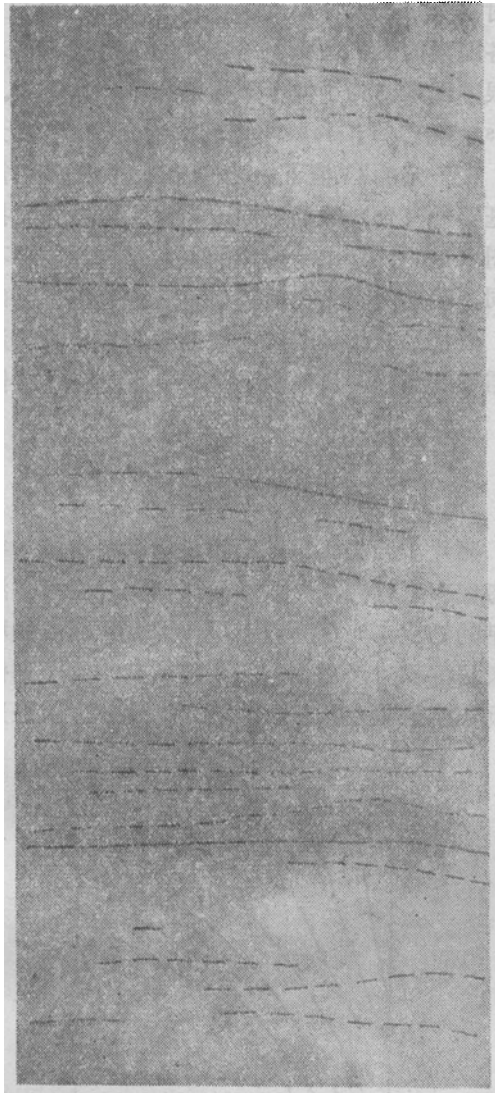
二、X射线照相过程中的几个问题

1. 取样和样品的制备

根据沉积物的固结情况和不同的研究目的,需要采用不同的采用方法和对样品进行不同的处理。

饱和水的松软沉积物(主要指河、湖、海的现代沉积物)含水量大、松软,取样极不容

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第877号。
官晨钟、曲秀华同志参加部分工作;秦蕴珊和陈丽荣同志审阅了全文,并提出了很多宝贵意见;李清同志清绘了图件。谨此致谢。



照片1 长江口表层沉积物
(浮泥) X射线照片
——示大层；- - - -示小层，它们均据自然
形态人工勾绘示意，下文照片也是如此。

易，特别是难于在取样过程中不搅动沉积物，而保持其原始的沉积构造。为了在取样过程中对沉积物尽可能产生较小的影响，现在主要是采用具有大口径的箱式取样器，在取上样品之后，再用有机玻璃小盒插入沉积物中，取出供照相用的标本。为了使插入的小盒在插入沉积物时尽可能搅动得少一些，小盒的口径要大，插口要锋利，但口径过大将增加标本的厚度，影响X射线的穿透和可能造成沉积构造之间的

相互重叠，所以一般小盒口径在3厘米左右较好。如果没有箱式取样器，也可用0.25平方米张口的大洋50型采泥器代替，但插入小盒时，必须尽可能在采泥器的中心部分插入，因为这里取得的沉积物最厚，搅动最小。至于潮间带则可用取样盒在现场直接取样。取完样后的小盒标本，只需清洗掉小盒外的泥迹，就可以上机拍照。如不能在短时间内拍照标本，为了防止生物活动或死亡腐烂影响原始的构造形态，最好在0℃左右的低温下保存。保存时，如标本上部有上浮水，最好原样保存，因为上浮水可避免标本在长期保存过程中出现干裂。

未固结和半固结的沉积物（主要指现代表层沉积物下面的部分）一般含水量少、有较强的可塑性和处于半固结状态。标本主要从柱状岩芯中获得。如要对标本的内部构造做一粗略的了解，则可将整个土柱进行X射线照相。如果要详细了解沉积物的内部构造，则要对样品进行切薄。简易的切薄过程是：首先将土柱切成两半，然后将其一半的切开表面用小刀或金属丝把不平整部分整平，再把整平好的一面放于光滑“凹”字型的有机玻璃平板上，平板两侧各高5毫米，然后用金属丝以两侧5毫米的高度为基准切割样品，将割下的上面部分移去，留在板上的即为5毫米厚可供X射线照相的薄片。在切割过程中要特别留心样品里大颗粒物质的移动，如泥质样品里的贝壳或贝壳碎屑和砂粒等，它们都极易被金属丝拖带而在样品的表面上留下人为的条痕，这些痕迹将和其它沉积构造一起被显示在胶片上，有碍于资料的美观和影响判读。如样品太湿切割困难时，可在室内条件下适当的凉干后，再进行切割。

固结样品（即各种已成岩的岩芯）比较坚硬、形状往往不规则，必须用切片机等切片工具切成薄片。薄片的厚度以3—12毫米为宜^{〔2〕}，薄片对于清晰的显示其内部构造是有利的。

2. X光机性能的选择

为了获得清晰的微构造图相，首先要求X光机的焦点尽可能小，目前固定阳极X光机能

达到的最小焦点面积是1.0—1.8平方毫米。其次要求所产生的X射线能穿透一定厚度的沉积物，即X光机的管电压(kV)要达到一定的强度，在一般拍摄厚度为10—50毫米的前提下，对于松散的现代沉积物，使用最高kV为75—80的X光机可满足需要，固结和半固结的标本则要求最高kV值应能达到90—100kV。当然kV值越高射线的穿透性越强，但仪器的焦点相反地也要增大，影响图相的清晰度，所以不能无限地要求增大kV值。第三要求X光机每次工作时间要尽可能长，以保证胶片有足够的感光时间；同时，为便于携带到野外和船上进行现场操作，要求X光机的体积要小和重量要轻。由于国内目前生产的机器，难于完全满足上述要求，在调查和对比了各种X光机的性能和国外一些资料之后，结合几年来的工作实践，我们提出了新的研究微构造专用的X光机方案，在有关单位的协助下，1981年完成了样机的生产，经初步实验基本上能满足工作的需要。

3. 照相条件的选择

X射线对胶片所起的化学感光作用强度取决于X射线管电流的大小、管电压的强度、照相时间的长短、以及射线源距胶片距离的远近。为了获得清晰的图相，必须正确地掌握上述条件之间的关系。

毫安秒或毫安分，是管电压和照相时间的乘积，这是工作中最常用的照相强度值，可以做为使胶片感光强弱的一个衡量标准。毫安秒(分)越大胶片感光越强，反之则弱。管电压的大小，决定X射线的性质和强度，当管电压增大时，发出的射线波长变短，它的穿透性也增强。另一方面，射线的强度和电压的平方成正比。此外，X射线强度还与管电流成正比。照相时，在满足样品穿透的条件下，应尽可能采用最低的电压，因为管电压太大能引起散射而影响图相的清晰度。但在降低电压时，需要适当的增加照相时间或毫安量。由于X射线的强度随着距离的增减而成倍的减少和增大，所以为了便于掌握照相条件，一般使距离保持一定，然后改变其它三个因素的搭配关系。由于被拍照

的对象变化很大，厚度也往往不同，再加上上述各因素的变化关系，给条件的正确选择带来了许多困难。为了便于掌握照相条件，G. S. Fraser和A. T. James把沉积物分成几个大类，在一定的kV值下，按沉积物不同厚度需要毫安秒(分)数的不同，列出了照相曝光指导图(见图)，由于使用的每台仪器性能各不相同，确切的曝光条件需要每一台仪器自己确立，但是曝光指导图可以帮助我们更快的接近所需要的条件，所以它还是有一定参考价值的。

三、几个拍摄实例

照片1为长江口外黄褐色流动一半流动状的海底表层软泥，一般称河口浮泥，它是长江携带的物质在河口附近大量快速沉积而成的现代层沉积，沉积物均一单调，几乎看不到任何沉积构造和生物及生物活动的遗迹。但经过

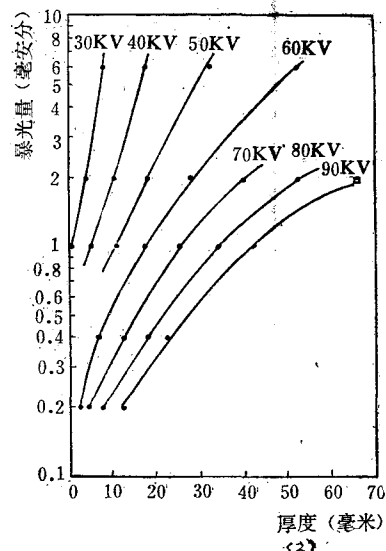


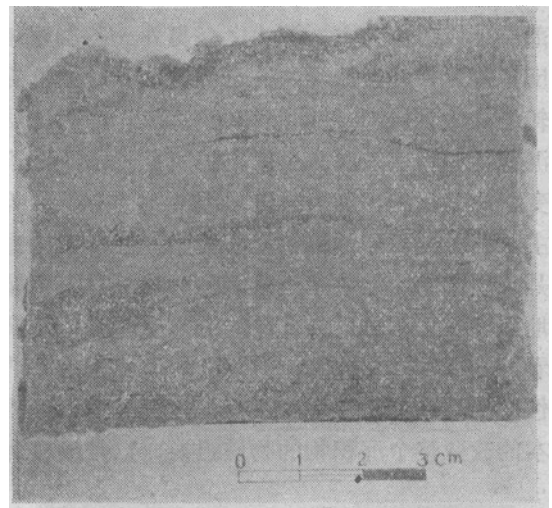
图 海泥曝光量指导图^[3]

X射线照相之后，显出了明显的沉积层。这些沉积层是河口区波浪、潮汐等水动力条件对携带入海，并处于沉积前的物质进行分选和改造的结果。分选和改造导致每次沉积的沉积物成分出现一定的差异性，造成了不同沉积层对X射线吸收性的不同。因此，经过照相之后，单调均一的沉积物就出现了清晰的微构造图相。

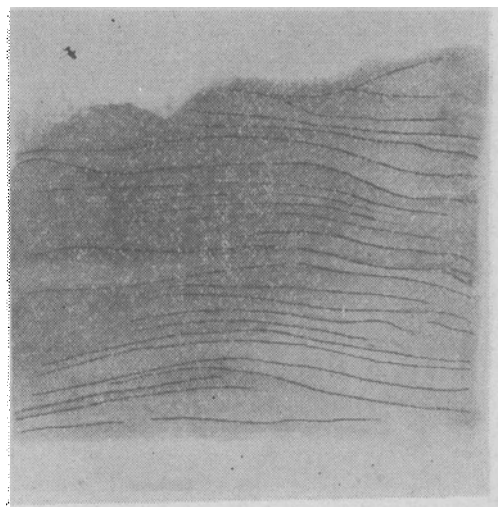
从图相中可以看到，河口浮泥沉积并不像我们肉眼看见的那样均匀，而是存在着具有一定规律的沉积层，这些沉积层可以分为两种类型，一是大一些的沉积层，一般厚3—5厘米；一是小沉积层，厚几毫米—几厘米不等。前者反映一次大的周期性变化过程，在这过程中沉积物的物质组成基本上是相似的，在照片里它大体上呈现出一种色调；后者是包含于前者中的一些小层，也有周期性的变化。河口浮泥是一种处于半流动状态的不稳定沉积物，随时可被水动力搅动、悬浮、搬运和再沉积。但从X射线照片来看，大沉积层的层理分布均较稳定，小层则多变，常常不连续。所以我们初步认为，在正常水动力条件下的浮泥，其不稳定性可能只限于距表面不厚的一层，深度一般不超过一个大层的间距，只有水动力条件发生较大改变时才波及大层。也可进一步认为，浮泥在沉积了两个大层之后，其下伏的沉积物一般是比较稳定的，如果没有发生较大水动力条件的影响，它将转成稳定的海底沉积物的一部分，被长期保存下来。此外，在长江口外浮泥沉积区的X射线照片中，生物的活动痕迹仍然很少，见到的只有那些可以在泥中自由活动的多毛类 *Polychaeta* 和蛇尾类 *Ophiuroidea*，它们的活动性很强，甚至可以在表层沉积物之下30—40厘米处生活，不过数量也很少。总之，虽然长江携带着大量营养物质入海，本应有大量的生物活动，但由于沉积速率很大，一些活动性小的生物，无法适应沉积物质不断地覆盖，也就无法在河口区内生活。沉积速率是决定本区生物量的主导因素，它破坏了生物之间的依存关系，给我们留下了单调均一的长江口区沉积外貌。

照片2为东海某钻孔岩芯照片。该站位于水深28米处，标本层位是海底以下23米附近。肉眼可见厚层的泥层中夹有薄的砂层，有的砂局部成不规则的团块状，该图是标本的外形照片，用普通照相机拍摄。同一标本的X射线照相所示(见照片3)，除了上述特征之外，还可见很多密集的微细层理，为泥和砂的互层沉积。照片中白色为泥，黑色为砂。故据外形所见的沉

积物是厚泥层夹薄层砂，但经X射线拍照之后，应确切的改为具有薄的泥砂互层沉积的沉积物。所以，X射线照相可以给我们提供真实的构造形态和沉积物的分布状态。正确地认识微构造形态，对于认识沉积环境是有帮助的。从上述例子中可以看到，泥层中夹有薄的砂层和具有薄的泥砂互层沉积是反映两种不同的沉积环境。前者是以泥的沉积为主，砂的出现是偶然的，或者是一种特殊情况发生之后产生的沉积，没有明显的规律性；后者的泥砂是在周期性变化的条件下形成的，在海相条件下，这种周期性变化应该是以潮汐的作用为主，而且是滨



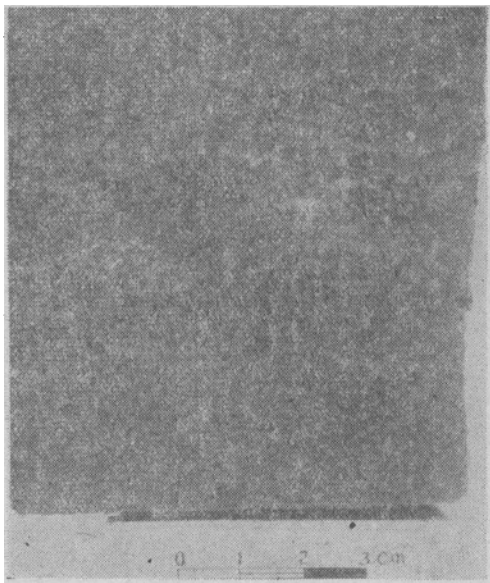
照片2 标本外貌
粗粒为砂，其它均为泥



照片3 照片2标本的X射线照片

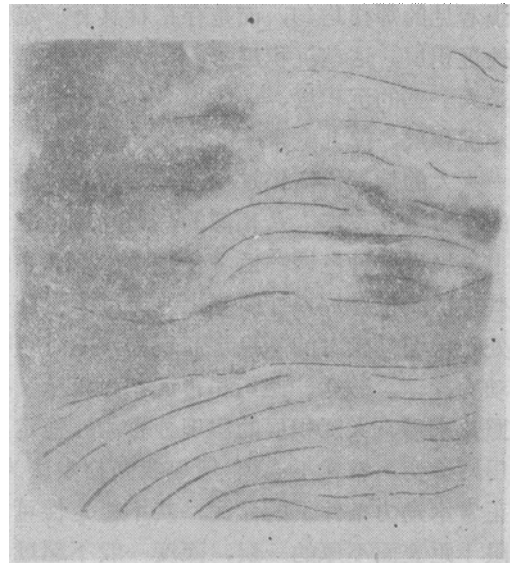
岸条件下的潮汐作用。据该层的生物分析资料来看,该层的生物主要是一些滨海相生物群落,和据X射线照相图相所做的判断是一致的。

照片4也是东海的岩芯照片,站位同照片3,取样位置为海底以下32米附近。属粉砂质软泥沉积物,成分均一,几乎没见过任何沉积层理,照片中的裂纹是标本在室温下放置时间过长失水后产生的干裂。照片4为普通照相机拍摄下来的标本外观。照片5是同一块标本的X射线照相,可见很多以泥为主(白色)的薄层和以粉砂为主的(黑色)薄层。粉砂质软泥是沉积物的总称,但通过X射线照片所示,可以进一步给我们提供泥和粉砂的存在情况,即有些薄层是以粉砂为主,泥次之,另外一些层则相反。照片中的扭曲现象,可能是钻取时钻机旋转造成的。通过X射线照相之后可以看到,该层沉积物的物质来源并不像肉眼所见那样稳定不变,均匀沉积,而有时是以泥的细粒沉积为主,有时是以砂的粗粒沉积为主,变化似乎也是有规律的,但它并不像潮汐影响那样有明显地周期变化。从该层发现的淡水生物群落来看,是一种陆相沉积,所以微层理可能是季节性变化引起物质来源的改变,这种改变不是根本的改变整个沉积物的物质组成,只是改变沉



照片4 标本外貌

积物中泥砂含量的配比。



照片5 照片4标本的X射线照片

四、存在的问题

1. X射线对沉积物的穿透能力是有限的,在样品厚度超过穿透能力时,就必须把样品切薄,这时不仅样品处理要花费时间,更重要的是不得不损坏一部分样品。另一方面,在样品的内部构造极其复杂的情况下,为了避免构造之间的互相重叠,也需要把样品的厚度切薄。但目前尚没有理想的切薄工具。

2. 沉积构造的研究,是要通过观察各种构造形态和组合的时空分布,来恢复古沉积环境和环境的演变。但在研究过程中我们所观察到的各种构造现象,已经受到了各种人为的影响,主要是各种取样工具在取样过程中的冲击和旋转,以及样品切割过程中切割工具的挠动等,它们已经严重的影响了原生的沉积构造形态,其中以未固结和半固结沉积物所受的影响最大。这些影响的存在,降低了X光照相法的使用价值。所以必须设法解决或减少上述人为的影响。

3. 虽然已经对各种微构造的成因做了不少研究,但仍有很多微构造现象未能得到满意的解释,尚须要做很多工作来确定各种构造形态和环境因子之间的关系,只有这样,才能使我们从沉积构造的研究中获得更多信息。

参 考 文 献

- [1] Hamblin, W. K., 1962. X-radiography in the Study of Structure in Homogeneous Sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* 32:201—210.
- [2] Bouma, A. H., 1969. Methods for the Study of Sedimentary Structures. Wiley-Interscience. pp. 1—453.
- [3] Fraser, G. S. and A. T. James, 1969. Radiographic Exposure Guides for Mud, Sand-Stone, Limestone and Shale. Illinois State Geological Survey Circular, p.443.

AN X-RAY RADIOGRAPHIC TECHNIQUE FOR STUDYING MINOR STRUCTURE OF MARINE SEDIMENTS

Zheng Tiemin, Xu Shanmin and Yue Haidong
(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

Abstract

This paper introduces a machine made in our institute which is useful in studying minor structure of marine sediments. Some basic principles of this machine and its X-ray radiographic technique are also described.