

沉积岩石学实验指导书

宋宝玺 编

焦作矿业学院地质系

一九九三年六月

前 言

沉积岩石学实验指导书是根据我室多年教学实践中不断总结经验的基础上,按照沉积岩石学教学大纲编写而成的。本指导书的内容以手标本的肉眼观察及镜下的薄片鉴定为主。镜下鉴定又以岩石结构构造观察及物质组分的鉴定为主。在实验安排上同时照顾了沉积特征和成因特征两方面,对某些难点或易混淆之处作了适当提示。

本书是按 30 学时编排的,适用于地质类各专业,但具体内容和要求可以灵活掌握。由于编者水平所限,在内容安排和阐述上难免有不妥之处,恳请使用者批评指正。

编 者

1993 年 8 月

目 录

前 言

实验一	沉积岩常见造岩矿物	(1)
实验二	偏光显微镜下已知重矿物的观察和描述	(2)
实验三	粒度分析及分析数据处理方法	(5)
实验四	常见沉积岩构造的观察与描述	(14)
实验五	碎屑岩的手标本观察和薄片鉴定(一) 砾岩 角砾岩	(15)
实验六	碎屑岩的手标本观察和薄片鉴定(二) 石英砂岩	(16)
实验七	碎屑岩的手标本观察和薄片鉴定(三) 长石砂岩	(19)
实验八	碎屑岩的手标本观察与薄片鉴定(四) 岩屑砂岩 粉砂岩	(20)
实验九	粘土岩的手标本观察与薄片鉴定	(22)
实验十	火山碎屑岩的手标本观察和薄片鉴定	(23)
实验十一	碳酸盐岩的手标本观察与薄片鉴定(一) 内碎屑 鲕粒灰岩	(24)
实验十二	碳酸盐岩的手标本观察与薄片鉴定(二) 生物屑灰岩 泥晶灰岩	(28)
实验十三	碳酸盐岩的手标本观察与薄片鉴定(三) 白云岩 亮晶生屑灰岩	(35)
实验十四	硅质岩及其它内源沉积岩的手标本观察与薄片鉴定	(36)

附 录

一、粘土矿物简易提纯	(38)
二、粘土矿物的差热分析	(40)
三、碳酸盐矿物的染色分析	(40)
四、颗粒磨园分选的目的	(43)

实验一 沉积岩常见造岩矿物

一、目的要求

掌握沉积岩常见造岩矿物肉眼和显微镜鉴定特征。

二、实验内容

常见它生矿物：石英、长石、白云母。

常见自生矿物：方解石、白云石、玉髓、自生石英、自生长石、海绿石、石膏。

标本与薄片：长石砂岩、石英砂岩、石灰岩、白云岩、含海绿石生物灰岩、硅质岩。

三、观察与描述

1、手标本观察：一般不易区分钾长石和斜长石，但可据光泽和有无解理区分长石和石英。石英具油脂光泽，玉髓无光泽或呈暗淡的蜡状光泽。白云母呈细小的片状，银白色，具玻璃光泽。海绿石为绿色鳞片状集合体，易氧化成褐铁矿。方解石和白云石常呈粒状，色多呈浅淡，解理面十分发育，玻璃光泽，小刀可以刻划留痕。常温下，方解石与稀盐酸反应迅速，白云石只有粉末才与稀盐酸反应（详见碳酸盐岩部分）。石膏可呈板状、柱状、粒状或针状、纤维状等，无色透明，有一组解理，玻璃光泽或珍珠光泽，纤维状集合体呈丝绸光泽，硬度很小（小于方解石）。

2、薄片观察：

石英：无色透明，表面光洁，低正突起，无解理，最高干涉色一级黄白，性质稳定，无任何风化蚀变现象。它生石英常为等轴粒状或呈一向伸长，可含尘点状、针状、短柱状或片状包裹体，有时有裂纹或波状消光。碎屑岩中的自生石英多呈加大边形式环绕在它生石英的周边，有时也呈全自形的三方柱状出现（在碳酸盐中更易见到）。硅质岩中由玉髓转化而来的自生石英呈镶嵌粒状。

长石：常见的它生长石为钾长石（多为正长石、微斜长石、条纹长石）及酸性斜长石。根据特殊的双晶、条纹、环带、蠕英石构造、解理和易高岭土化或绢云母化等特征，不难将钾长石与石英区分。如不具上述特征，只能用锥光判别，但石英受应力影响也会出现一个从小到中等的轴角。常见的自生长石也多呈加大边形式环绕在它生长石的周边。自生长石是由粘土矿物转化而来，故常因含杂质而很污浊。偶而也有板柱状的自生长石产生。

白云母：无色透明，片状，具一组极完全解理。垂直解理面的切面有较强的低正——中正闪突起，平行消光，干涉色可达二级顶部，很鲜艳。性质稳定，无风化蚀变现象。平行解理的切面闪突起不明显，易与石英相混，但突起比石英高，可微见糙面。

方解石：无色透明，它形粒状或针状、柱状、叶片状，糙面十分显著，有极强的中高——低负闪突起，两组极完全解理相交成菱形，常发育聚片双晶，双晶纹平行菱形解理的长对角线，高级白干涉色，薄片过薄或近垂直光，轴的切面可呈三到四级的斑斓状干涉色。

白云石：光性与方解石极相似，在沉积岩中易呈菱形自形晶出现，有时还有杂质或铁质的雾心或环带。解理和双晶可能不如方解石发育，如同时发育双晶和解理，则双晶纹平行菱形解理的短对角线。现在常规鉴定白云石多用染色法（见碳酸盐岩部分）。

玉髓：无色或稍带褐色，低负突起，晶体轮廓不固定，正交镜下静止物台常见纤状、扇状、放射状集合体或为边界弯弯曲曲的粉晶级粒状，随物台转动，其边界可在附近小范围内呈扫动或扩散、收敛式移动。最高干涉色为一级灰白。纤维玉髓的延性可正可负，分别称为正玉

髓和负玉髓。玉髓易失水重结晶成镶嵌粒状石英,轮廓遂固定。

海绿石:新鲜者呈深浅不同的绿色,受氧化影响可呈红褐色。多呈鳞片状集合体出现,集合体为颗粒状或填隙状。因其颜色较深,一般难辨其干涉色。海绿石有典型的集合偏光现象,即由极小的单一矿物相构成的集合体在正交镜下不消光,因为这些细小微粒在集合体内的空间取向是随机的,从统计学上说,物台处在任何位置,总有大致相等的颗粒数处在干涉位。一般只有当矿物颗粒小到不易辨别时这种现象也比较典型。在沉积岩中,具有这种现象的还有泥晶碳酸盐矿物、各种粘土矿物和绿泥石等。

石膏:无色透明、板状、粒状、柱状或针状、纤维状,低负突起,一组完全解理,板、柱状晶体可发育燕尾双晶。最高干涉色为一级黄白。在蒸发岩和咸水白云岩中常见,也可作为碎屑岩的胶结物。脱水后变为硬石膏。硬石膏呈低正突起,干涉色可达三级。

思考题

显微镜下如何区别下列矿物?

长石和石英,自生石英和它生石英;

长石和石膏,粒状玉髓和石英。

实验二 偏光显微镜下已知重矿物的观察和描述

一、目的要求

偏光显微镜是鉴定重矿物的一种重要手段,尤其适用透明矿物。通过本实验要求同学们能掌握重矿物在镜下光性特征。

二、重矿物分离原理

重矿物是指比重大于 2.87~2.90 的矿物,它们常以碎屑矿物形式赋存于沉积岩中,或以付矿物、变质矿物、金属矿物及部分暗色造岩矿物形式赋存于火成岩、变质岩中,并集中于 0.25~0.1mm 及 0.1~0.05mm 两个粒级中。它们有的具有磁性,有的具有电磁性。因此,其分离方法和步骤是:先用永久磁铁及电磁仪分别将磁性和电磁性矿物吸起,后再用退磁的方法使矿物落下,分别存放。将无磁性的矿物投入比重为 2.87~2.90 的重液中时,重矿物则因比重大于重液而沉于底部,而轻矿物则漂浮在重液表面,这样便可把矿物按比重分开。

三、观察内容

实验观察的矿物为:金红石、锆石、电气石、榍石、磷灰石、石榴石、紫苏辉石、独居石、绿帘石、锐钛矿、白云母、角闪石。

四、观察及描述方法

重矿物薄片是选用 0.1~0.25mm 的颗粒用特种胶胶结而成,它不同于厚度为 0.03mm 的标准薄片,且矿物经搬运、风化等作用,其晶形、颜色等与薄片中所见的均有区别。

1、形状:颗粒的形状一方面反映了矿物的结晶习性和物理性质,同时也反映了它在风化、搬运与沉积过程中所遭受的变化。作为重组份的矿物常常是一些晶形良好且具有特征的付矿物或变质矿物。如果它硬度高又无解理,则虽经搬运仍能保持原有晶形,甚至识别,如锆石为很好的长柱形;若硬度较小,则晶形消失只保持原有轮廓,如角闪石的长柱状;若解理发

育则形成不规则尖棱形,如蓝晶石、重晶石;若硬度小则常常磨蚀成浑圆状,如独居石。

2、颜色及多色性:重矿物薄片矿物厚度比标准薄片厚,因此矿物的颜色和多色性较之标准薄片更为清楚。借助于颜色的细微差别我们能区分相似的矿物,如透辉石与普通辉石,普通角闪石与阳起石等。按矿物颜色分为(1)无色——如重晶石、磷灰石等。(2)有色、多色性弱——如独居石、榍石等。(3)有色、多色性强——电气石、紫苏辉石等。矿物的多色性不仅要观察其强度还须注意其颜色变化。

3、突起与糙面:由于重砂矿物厚度较大,因此总的看来矿物突起都比标准薄片中明显,所以突起的估计不能细分,大致可分为三类以示区别。(1)极高突起($n > 1.78$):如锆石、独居石和榍石。(2)高突起($n = 1.78 - 1.70$):如辉石、十字石和蓝晶石。(3)中突起($n = 1.70 - 1.60$):如红柱石、普通角闪石、磷灰石和电气石。必须指出矿物的糙面是由矿物本身表面凹凸不平所引起,而重矿物中有些矿物晶形发育良好且表面平整,虽其为极高突起亦可不具糙面。

4、解理和断口:可借助双目镜观察。

5、包裹体:大多数重矿物均含有包裹体,同一种矿物在不同成因条件下所包裹的物质不同(如锆石),某些矿物常具有特征的包裹体(如蓝晶石),因此对包裹体成分、含量和排列方位的研究,对鉴定矿物并借以详细划分和对比地层有很大帮助。

6、表面性质:一般在双目镜中观察。

7、干涉色:重矿物颗粒厚度较大,干涉色较标准薄片中的矿物为高,但干涉色仍是鉴定矿物的重要特征之一。当然干涉色的详细划分是无必要的,为了便于区别和对比常分为四级:(1)均质,如石榴石。(2)低干涉色,即一级干涉色,如磷灰石。(3)中干涉色,指二级至高级白以下的干涉色,如锆石、蓝晶石、绿帘石、辉石、角闪石和电气石。(4)高干涉色,指高级白干涉色,如独居石和榍石等。此外,必须注意矿物的异常干涉色。

8、消光类型:根据矿物外形及断续的解理判别。平行消光者有电气石、锆石和紫苏辉石等,斜消光者有蓝晶石、辉石和角闪石等,并应注意消光角的大小。

9、延长符号:对长柱状及柱状矿物很重要。

10、轴性和光性:二轴晶矿物还应注意 $2V$ 的大小。

对每种矿物所有光学特征均需系统观察,但不必一视同仁,应注意相似重矿物的区别,并善于抓住矿物最主要的有决定意义的鉴定特征,例如电气石根据其特征的多色性、平行消光和负延长即可识别。

五、实验所观察矿物的光学特征:

1、锆石:无色透明,呈角柱状外形,颗粒边缘轮廓线清晰,高正突起,糙面不明显,常含气体或其它针状矿物包裹体。干涉色为三~四级,正延长,平行消光。

2、磷灰石:无色透明,呈六方柱状外形,中正突起,糙面不明显。干涉色达一级黄,有的因颗粒厚可达二级以上,平行消光,负延长。

3、金红石:柱状,角柱状或不规则的柱状外形。红及红褐色,多色性不显著,高正突起。平行消光,正延长(不易测定),干涉色因被其颜色掩盖也不清晰。

4、锐钛矿:红褐色,具八面体晶形,平面看似菱形,高正突起,轮廓线较宽,糙面不清晰。干涉色因其颜色深不明显。

5、石榴石:褐红及玫瑰色,不规则的粒状外形,正高突起,糙面显著,均质,个别颗粒可见光性异常现象。

6、电气石:柱状及滚圆的颗粒。多色性强,浅橙色到黑色(或其他颜色)、中正突起,糙面

不明显,平行消光,二级——三级干涉色,负延长。

7、普通角闪石:呈柱状晶形,边缘不规则,略有磨圆。绿色、具多色性、颜色深时透明度差,柱状解理完全,中正突起,斜消光, $Ng \wedge C = 12^{\circ} - 25^{\circ}$,二级干涉色,正延长。

8、紫苏辉石,短柱状外形,见一组平行(110)柱面解理,多色性较明显, Ng —淡绿色, Np —浅红色,正高突起,平行消光,一级黄——一级紫红干涉色,正延长。

9、独居石:滚园状(因其硬度低,易于磨圆),黄绿色,多色性弱,深黄绿—浅黄绿,正高突起,斜消光,高级白干涉色,二轴晶正光性,2V小。

10、榍石:橙黄色、黄色,有的颗粒多色性很强。晶形不规则,有的略可辨别呈信封状或楔形。正高突起,轮廓线清晰可见糙面。干涉色为高级白干涉色,接近垂直光轴的切面具异常干涉色,斜消光,负延长。二轴晶正光性,2V=20°—40°,色散强。 $r > v$

11、绿帘石:粒状、不规则棱角状颗粒。黄绿色,有的颗粒多色性明显 Ng (黄绿色), Np (浅黄色),正高突起,二—三级干涉色,向边缘干涉色降低,呈环状分布。二轴晶负光性,2V=60°—70°。

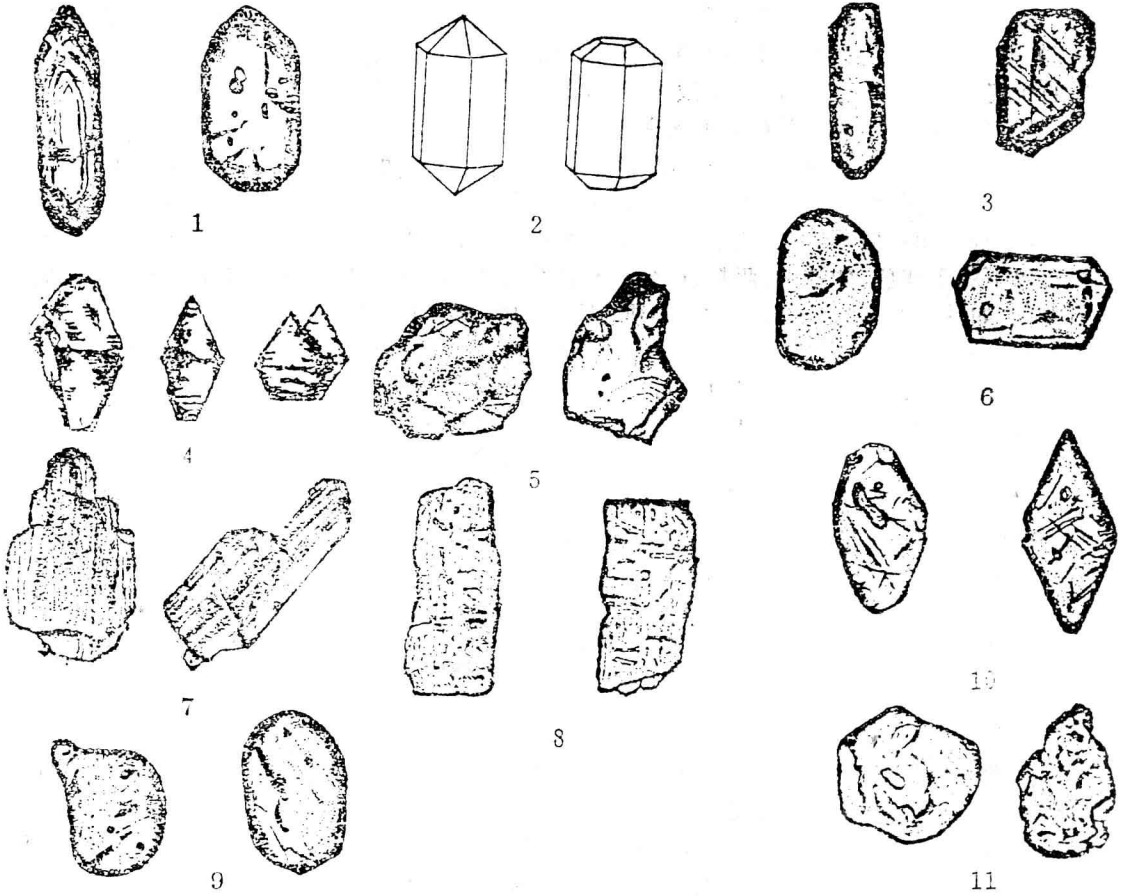


图1 重矿物的形状

1、锆石;2、磷灰石;3、金红石;4、锐钛矿;5、石榴石;6、电气石;
7、普通角闪石;8、紫苏辉石;9、独居石;10、榍石;11、绿帘石

实验三 粒度分析及分析数据的处理方法

粒度分析的任务是对组成沉积岩或沉积物的颗粒大小进行统计测量与数据处理,为沉积岩石学的研究提供参数。

一、粒度的分级方法

沉积物和沉积岩一般是多粒级的,即粗颗粒中含有细颗粒,细颗粒中可以混有粗颗粒物质,因而对其进行粒级划分,并测定其百分含量是有其实用意义的。粒度的分级有以下几种方法:

1、采用真数,即以毫米(mm)作为颗粒的直径及粒级的大小。此种划分法是比较直观,缺点是不便于作图和运算。

2、采用粒径的对数值表示:目前国际上应用最广的粒度分级是伍登、温德化粒级标准(Udden Wentworth Scale),他把颗粒直径(D)的大小用 $2^\phi = D$ 表示,即 $2^\phi = D$ 。但是由于大多数沉积岩中的颗粒,其大小都在1mm以下,因此其 ϕ 值(指数)都是负的,计算起来十分不便,于是克鲁宾(Krumbein)1934年提出以 $2^{-\phi}$ 表示颗粒的大小,即为

$$\phi = -\log_2 D$$

上式计算后,得到的 ϕ 值为正值。上式还表示颗粒直径愈大, ϕ 值愈小。颗粒直径大于1毫米时, ϕ 为负值。用 ϕ 作图时,粒级分界为等间距,故可用一般方格纸作图(不一定用对数图纸),它还有其它许多优点,在此不再叙述。

3、采用目数:即以孔/吋表示之,许多工业部门使用这种划分方法。

二、粒度分析方法

粒度分析方法是根据样品的固结程度和颗粒粗细来选择的。固结的样品,如各种砂岩、碳酸盐岩等,制成薄片或光片用显微镜进行测量;松散的砾石、砂、粘土,则采用直接测量、筛析、沉降分析等方法。

(一)直接测量法

凡大于2mm的颗粒,可直接用量具(尺子或卡尺)测量颗粒的直径。

2~0.063mm的颗粒,可采用网格放大镜(放大10倍左右)进行测定。

0.063~0.008mm的颗粒,可用光学显微镜进行测定。

<0.008mm的颗粒,采用电子显微镜测定较为合适。

(二)筛析法

筛析法用于测定粗粒物质(细砾和砂)。其基本工具是筛子。筛析前要对样品进行处理,主要处理方法有:用10%稀盐酸溶掉砂中的贝壳碎片及氧化铁和碳酸盐薄膜。用 H_2O 洗去有机质,最后用蒸馏水冲洗并且以低温烘干(<100℃),烘干的样品需用橡皮棒研磨,直接完全解离。

筛析样品以125克为佳,从大样中取筛样时,要用分样器或锥堆缩分法。

筛析的原理是:通过筛孔的园形颗粒的最大直径等于筛孔直径。但是由于颗粒本身的形

状不规则,极少数为园球形。而筛子本身又多用金属丝、编织丝等材料织成,其孔径实为方形,因此,实际通过筛孔的尺寸应为筛孔孔径的 L 至 $L\sqrt{2}$ (L 为方形筛孔的孔长, $L\sqrt{2}$ 为方孔对角线方的孔径,即为 $1.4L$)。对于用金属板打园孔的筛子来说,由于金属板的厚度不同,通过的颗粒大小也不同,厚金属板制成的筛子通过的颗粒尺寸小于薄金属板制成的筛子通过的颗粒尺寸。又因在筛析过程中有颗粒间的碰撞、吸附等作用,经常出现裂分误差,同时还有制造误差、读数误差、人为误差等,使得筛析结果比较复杂。尤其是套筛(将不同孔径的筛子套迭在一起进行筛析)造成的误差最为显著,一般粗砂误差为7%,细砂误差为17%左右。因此,筛网的误差是值得引起注意的。例如筛孔为0.061毫米(250目)的一节丝织筛,其尺寸误差可达8.5%,金属丝编织的筛子误差也可达2~5%。所以必须对筛子筛孔经常进行校正工作。

(三)沉降分析法

此法适用于测定细颗粒部分的组成。沉降法的原理是依斯托克斯公式,即球形颗粒的沉降速度一般与颗粒的粒度、比重、形状以及水介质的性质有关(见教材)。因而可以利用颗粒的沉降速度来测定粒级分布,但得到的并非是颗粒的真实尺寸,而是与球形颗粒具有相同下降速度的所谓球形颗粒的“水力当量半径”。

沉降分析测定方法所使用的仪器很多,有手工操作的常规仪器,也有各式各样的自动记录仪器。常用的方法如下:

1、澄洗法(萨巴宁法):此法常用的仪器是萨巴宁仪。其原理是:颗粒沉降的速度随其粒径而异,于是可将小颗粒从悬浮体中吸出。例如已知某颗粒在水中的沉速,经一定时间沉降后即能求出该颗粒到达的深度,从一定深度中可以吸出小于某一粒级的颗粒,因而可将样品分为若干粒级。表1列出了不同大小颗粒的沉降速度。

表1 颗粒沉降速度表

颗粒直径(毫米)	颗粒在水中的沉速(毫米/秒)
0.05	2 (5秒沉降1厘米)
0.01	0.6 (50秒沉降1厘米)
0.005	0.046 (3分38秒沉降1厘米)
0.002	0.0029 (48分沉降1厘米)
0.001	0.0012 (2小时24分沉降1厘米)

2、移液管法:此法是基于用特制的移液管,从正在沉降的悬浮液中取样,进行蒸发烘干,求得样品中各粒级的百分含量。

3、沉降筒法:在高约120cm,直径30cm的有机玻璃园筒内的底部吊一个接砂盘,充满水,将砂样倾入,接砂盘上的累计砂重量将随时间增加而增加。该累计重量的变化通过传感机构送入记录仪可自动绘出粒级累积曲线,数分钟即可完成一个样品分析。该法适用于砂——粉砂级粒度分析。

4、密度差法:在两个高20cm,直径5cm的园筒内分别放入清水和分析样品的悬浮液,两筒即出现密度差,样品筒内的上下不同部位密度也不同。用两个特制钢球感应出上述密度差异及其变化,并送入记录仪自动绘出粒度分布累积曲线。数分钟可分析一个样品,此法适用

于细粉砂——粘土级粒度分析。

5、沉降天平法：原理同沉降筒法，但用小沉降筒，适用于粘土分析。因能自动记录，所以对微米级的粘土即使沉降数十小时，也无需人工守候。

(四)薄片粒度分析法

对固结牢固的岩石只能在薄片中进行“颗粒直径”（即颗粒在任意切面内的特定弦长，一般称之为视直径），并计算各粒级的百分含量。薄片的制备方法与普通岩石薄片相同，但要求薄片磨得大一点，以满足薄片内有足够的颗粒可以测量。在薄片内测量颗粒直径的方法有点计法、线计法和带计法三种：

1、点计法：此法与重砂分析时估计百分含量的点颗法相似。使用的工具是带有网格目镜的岩石显微镜，每一方格的边长应大于薄片内颗粒的最大视直径，应用机械台通过视直域，测量网格结点上所遇到的颗粒的直径。

2、线计法：此法与求积仪上测定矿物的百分含量相似，使用的仪器是带有目镜微尺的岩石显微镜，在机械台上垂直目镜微尺方向移动薄片，所有与十字丝中心相遇的颗粒都要测量其直径，测了一行再测一行，测线间隔要大于薄片内颗粒的最大视直径，一下测量到足够的颗粒数为止。

3、带计法：所用设备同线计法，它是将薄片放在机械台上，固定横坐标，再规定一条带的宽度，这个宽度至少大于颗粒最大视直径，在带内所有的颗粒都要测量其直径，测完一个带，垂直目镜微尺移动薄片再测一个带，直到测得所要求的颗粒数为止。

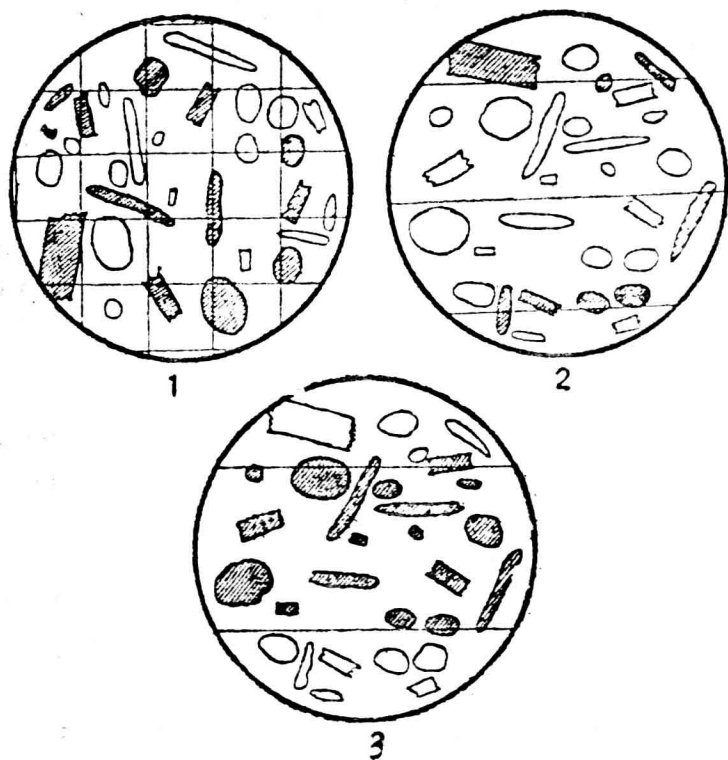


图2 薄片粒度分析法

1、点计法；2、线计法；3、带计法

近年来,由于图象分析仪的出现,已使薄片粒度分析基本上实现了自动化。

薄片粒度分析的几条原则:

(1)颗粒成分的选择:一般测石英和长石

(2)测量颗粒:400—500 颗,分选磨园好的可测 300 颗。

(3)视直径选择:一般测视长径。因此,当颗粒通过十字丝中心时,应转动载物台,使最大视直径与目镜微尺吻合。

(4)粒级分组:按 $1/4\Phi$ 分组。

三、粒度分析数据的处理方法及应用

(一)各粒级重量百分含量与累积百分含量的求法;粒度分析所获得的是各粒级的重量,必须把它们换算成重量百分比与累积百分比。

1、重量百分含量的求法,可用下式计算:

$$K=\frac{G}{W}\times 100\%$$

X:某粒级的重量百分含量;

G:某粒级的重量;

W:样品的重量。

2、累积百分含量的求法;它是在重量百分含量的基础上进行的,求法有大于某颗粒和小于某颗粒两种累积法,下面介绍前一种:

粒 径 mm	Φ 值	重量百分含量	累积百分含量
4~2	-2~-1	A	A
2~1	-1~0	B	A+B
1~0.5	0~+1	C	A+B+C
0.5~0.25	+1~+2	D	A+B+C+D
⋮	⋮		A+B+C+D+...=100%

(二)粒度分析数据的整理:对样品进行粒度分析后,获得的是各粒级百分含量的资料,需再进行统计计算,以适当的方式表示粒度分布的特征。目前常用的有图解法及粒度参数法两种:

1、图解法:此法的特点是比较直观,常用的图解有:

(1)粒度分布直方图:是粒度分析中广泛应用的图解方式,以横座标表示粒径大小(用 mm 或 Φ 值大小 J),纵座标表示粒级的重量百分含量,每个粒级都按其百分含量画成不同高度的柱子,表示粒度分布的特征,如图 3 所示。

制图时,横座标可采用厘米方格座标(以 Φ 值度量粒级)或对数座标(以毫米度量粒级大小 0,纵座标采用等距离分格的厘米方格座标。

(2)直方图频率曲线:将直方图各方块(矩形)顶边的中点连接成园滑的曲线,即成各粒级百分比的直方图频率曲线,频率曲线的形状,取决于直方图间距的大小及选择的粒级的边

界,通常把频率曲线的最高点叫做峰,从峰顶向底边作一垂线,它与横坐标交点处的粒径数值称为众数,以 M_0 表示。

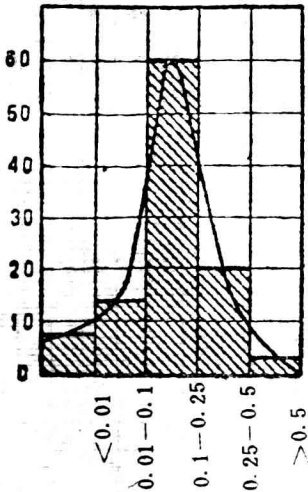


图 3 直方图和频率曲线图

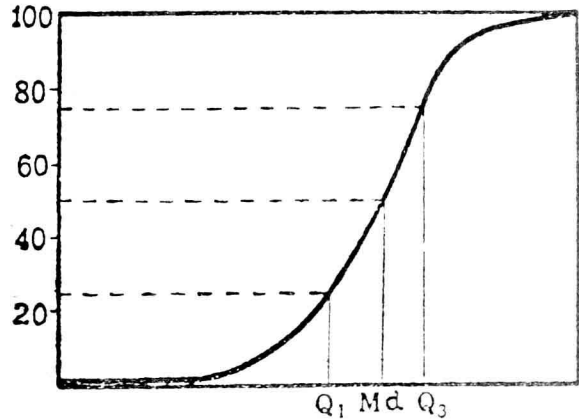


图 4 厘米坐标累积曲线图

(3)厘米坐标累积曲线:是图解法中最常用的一种方法,它与直方图频率曲线不同,所表示的是大于或小于某一粒度数值的众多粒级的百分含量变化情况的一种曲线。

其坐标纸特征是以横坐标代表各粒级的大小(以 Φ 值计,用厘米方格坐标;若以 mm 计,用对数坐标),向右表示较细的颗粒,而纵坐标则为各粒级的累积百分含量(用厘米方格坐标)。绘图前要把各粒级的重量百分比换算为小于某 Φ 值的累积百分含量(如求出 $<-1\Phi$ 、 $<0\Phi$ 、 $<1\Phi$ 、 $<2\Phi$ 、 3Φ ...的含量等等),绘图时,从粗的一端往细的一端绘,以每一粒级的下限(如粒径为 $-1\sim 0\Phi$ 者, 0Φ 为下限)为基线,向上读出累积百分数,即得作图点。将各点用圆滑线连接之,即成“S”形图 4。

(4)正态概率累积曲线:正态概率坐标纸的特征是横坐标采用以 Φ 表示的厘米坐标,纵坐标采用概率坐标(图 5),该坐标从直观上看,不是等间距的,中央部分百分比之间间距小,上下始末二端百分比之间的间距大,其变化规律是以中央 50%处为对称中心,向上下两端其间距相应地增大,因而使样品粗细尾部百分含量较小的部分得以放大,使原来在半对数坐标纸或算术坐标纸上的“S”形累积曲线的始末二端曲线拉长为直线。正态概率纸有各种图版,如维希图版,其纵横比为 1.38 : 1,横坐标分为 9 格,间隔为 0.5 Φ ,标注 0~4.5 Φ 。格莱斯特图版纵横比为 1.40 : 1,横坐标分为 17 格,间隔 0.5 Φ ,标注 -2.5 Φ ~6 Φ 。在正态概率纸上所作的累积曲线有以下特点:

若样品的粒度分布符合于通常所说的正态(或高斯)分布的话,则其累积曲线是一条直线。

沉积物的粒度分布,一般是或多或少接近于正态或对数正态分布的,而不是简单的正态分布,因此它在正态概率图纸上的累积曲线图形,不是一条简单的直线,而是由几段相交的直线段组成的,这些直线段是按回归原则,至少由四个点连接而成(直线两边甩掉的点数应相等)。一般可得到三至四个直线段组成的累积曲线。不同性质的沉积物,直线段的数目、交切点位置、直线段的坡度性质均不同,便于我们直观地比较沉积物之间的差别和辨别沉积环

境,因此近年来较普遍地被采用,这种曲线可简称为“概率累积曲线”。

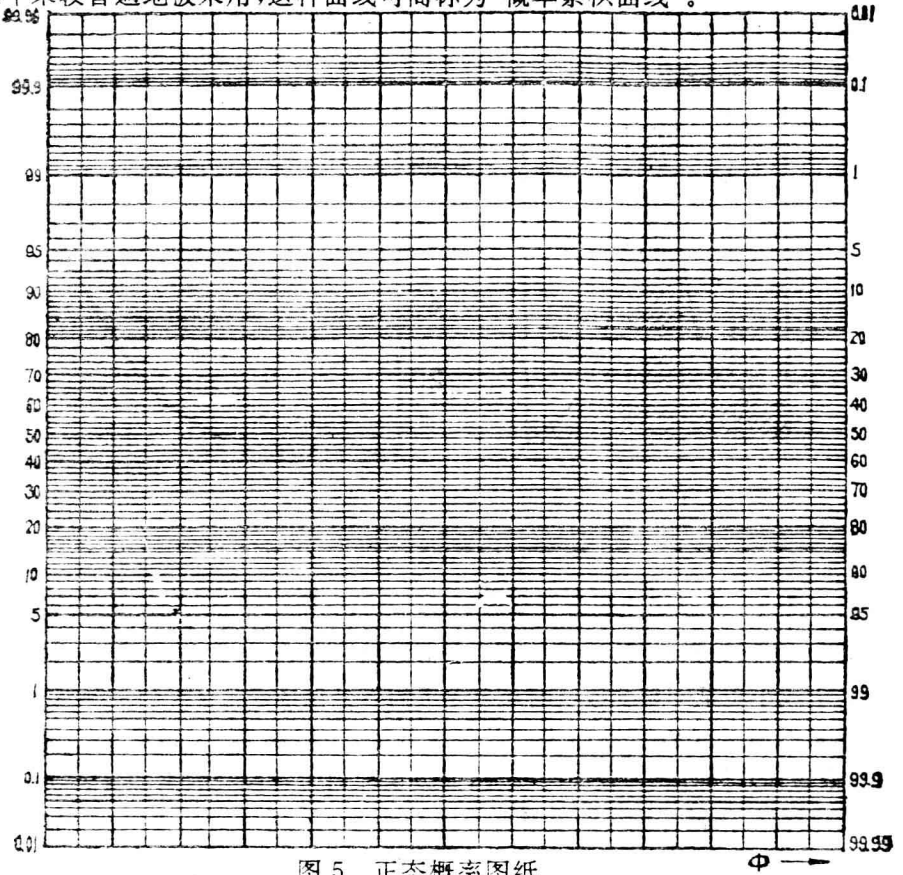


图 5 正态概率图纸

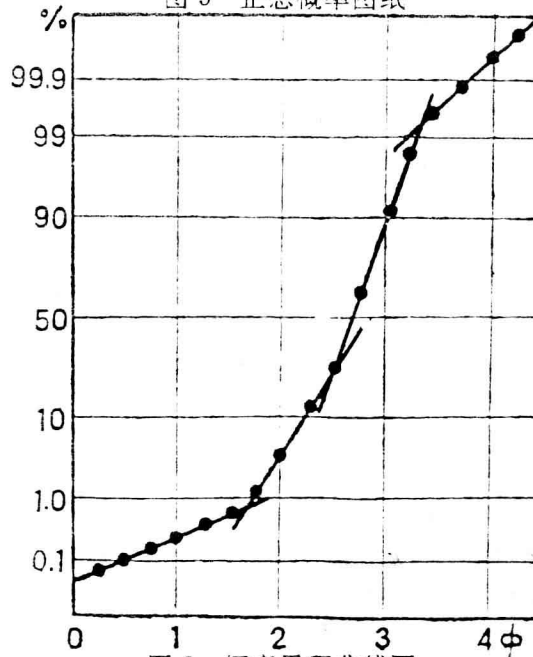


图 6 概率累积曲线图

2、粒度参数法:

(1) 粒度参数的概念:

从累积曲线中读出某些累积百分比的颗粒直径,例如 25%、50%、75%,以简单的算术公式求出相关数值,表示沉积物中粒度分布的特征,这些数值,表示沉积物中粒度分布的特征,这些数值即为粒度参数,是鉴别沉积环境的参考数值。粒度参数的种类很多,过去广泛采用是中值和分选系数。现在广泛采用的是平均值、标准偏差、偏度和尖度等。

(2) 粒度参数图解算法: 粒度参数的图解计算公式很多,下面介绍常用的两种方法:

(a) 四分位数法: 以前大都采用此法计算。

中值(Median): 以 M_0 表示,指累积曲线中与累积百分含量 50% 相当的颗粒直径

$$\text{分选系数}(S_0) \quad S_0 = \frac{Q_1}{Q_3} \text{ 或 } \sqrt{\frac{Q_1}{Q_3}}$$

$$\text{不对称系数}(SK) \quad SK = \frac{Q_1 + Q_3}{M_0}$$

Q_1 与 Q_3 分别为累积曲线中累积百分含量为 25% 及 75% 处的颗粒直径。

(b) 福克的图解法: 五十年代以后,以 Φ 值为计算单位的粒度参数的计算方法发展很快,不少学者提出各种计算公式,其中最常用的是福克公式,介绍如下:

$$\text{平均粒径(Mean Size)} \quad M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

$$\text{标准偏差(Standard Deviation)} \quad \sigma_1 = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$$

$$\text{偏度(Skewness)} \quad SK_1 = \frac{\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

$$\text{尖度(Kurtosis)} \quad K_k = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

(3) 粒度参数的矩值计算: 此法不需作累积曲线,直接用粒度分析记录表中各粒级的百分数值计算,计算时可采用电子计算机,计算公式如下:

$$\text{第一矩(平均值)} \quad \bar{x}\Phi = \frac{\sum fm}{100(n)}$$

$$\text{第二矩(标准偏差)} \quad \sigma\Phi = \sqrt{\frac{\sum f(m - \bar{x}\Phi)^2}{100}}$$

$$\text{第三矩(偏度)} \quad SK_\Phi = \frac{\sum f(m - \bar{x}\Phi)^3}{100\sigma\Phi^3}$$

$$\text{第四矩(尖度)} \quad K\Phi = \frac{\sum f(m - \bar{x}\Phi)^4}{100\sigma\Phi^4}$$

式中: f ——每个粒级的重量百分数(频率);

m ——每个粒级的中间值,以 Φ 值表示;

n ——样品中颗粒总数,若以百分数表示 n 就等于 100。

矩法较精确,是一种定量的近似计算,但若没有计算机计算是困难的,应用图算法可以减少计算的工作量,所以一般常用的还是福克等的图算公式。

(三) 粒度参数的应用

1、平均粒径和中值: 二者均用来表示沉积物的粒度大小的平均值;中值指沉积物中有一半重量的颗粒直径大于该值,另一半小于它。因此它只代表累积曲线中央的一个点,粗细二

侧的变化未考虑,因此近年来有人主张不用中值,而用平均粒径;平均粒径采用了概率累积曲线中的累积频率为16%、50%、84%处的粒径,所以它的代表性比中值广。

2、标准偏差和分选系数:都是用来表示沉积物粒度的分选程度,即颗粒大小的均匀性。若样品中粒级少,主要粒级很突出,百分含量高,分选就好,标准偏差或分选系数的数值小;反之,粒级分布范围广,主要粒级不突出,甚至是双峰或多峰沉积物,则分选差。标准偏差与分选系数的数值就大。

按 S_0 (分选系数)的大小,可分为三个分选等级:

- $S_0 < 2.5$ 分选好
- $S_0 = 2.5 \sim 4$ 分选中等
- $S_0 > 4$ 分选差

标准偏差(σ)的计算方法考虑到概率累积曲线的中央部分(16%~84%)和粗细尾部(95%~5%)的分选情况,故比分选系数全面些,计算时用的粒径单位是 φ 值。

3、偏度:又称偏态(不对称系数),是用来测量频率曲线的不对称程度的,频率曲线按其对称形态,分为两类:

I 对称,又分二种:

(i)单峰对称曲线:只有一个主要粒级,呈单峰,居于中央,峰二侧的粗细粒级的百分含量互相对应地逐渐减少形成以峰为对称轴的对称曲线。

(ii)双峰对称曲线:有两个峰,百分含量近于相等,呈马鞍状。

II 不对称:也分二种

(i)正偏态:曲线形状不对称主要粒级(主峰)偏于粗粒一侧,细粒一侧有一低的尾部,沉积物以粗组为主,只含少量细组分。

(ii)负偏态:曲线形状不对称,主要粒级(主峰)偏于细粒一侧,粗粒一侧有一低的尾部,沉积物以细组为主,只含少量粗组分。

不对称曲线可以是单峰曲线,但更常见的是双峰曲线,在尾部有一低的次峰。

图 7 频率曲线的形状和偏度

福克按偏度值将偏度划分为五级:

- (1) $SK = -1.0 \sim -0.3$ 极负偏
- (2) $SK = -0.3 \sim -0.1$ 负偏
- (3) $SK = -0.1 \sim +0.1$ 近对称
- (4) $SK = +0.1 \sim +0.3$ 正偏
- (5) $SK = +0.3 \sim +1.0$ 极正偏

偏度与分选度有密切的关系,很纯的分选很好的单峰沉积物,如纯砂或纯砾沉积物,频率曲线是对称的。当有另一组或粗或细的少量组分加入时,分选变差,频率曲线变为不对称,

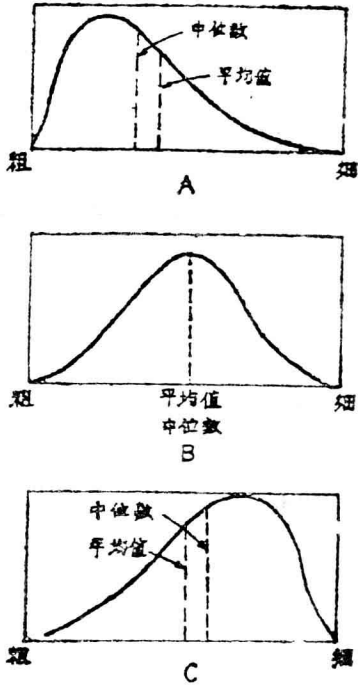


图 7 频率曲线的形状和偏度

或为正偏态(加入粗组分),或为负偏态(加入细组分),当新加入的组分逐渐增加,旧组分的成分即逐渐减少,至二组分相等时,分选最差,频率曲线呈平坦的马鞍状双峰曲线,又趋于对称。

偏度与标准偏差等结合,构成粒度参数离散图解,可用来鉴别沉积环境。

(4)尖度(峰态):是用来测量频率曲线两尾端的分选与曲线中央部分分选的比率,即计算频率曲线展开度与中央展开度的比例。其公式为:

$$K_g = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

因为在正态高斯曲线中 $\Phi_{95} \sim \Phi_5$ 的展开度等于 $\Phi_{75} \sim \Phi_{25}$ 展开度的2.44倍,故正态曲线中 $K_g=1$,如图8所示。

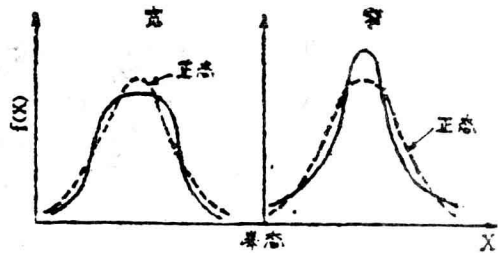


图8 频率曲线尖度示意图

两个单峰频率曲线中,当中央部分比正态曲线窄,峰态尖锐,而尾部比正态曲线展开度大,则表明尖度大。相反,中央部分比正态曲线宽,而峰态扁平,但尾部的展开度不大,则表明尖度小,即尖度也与分选度有关。

福克根据尖度值把频率曲线划分为六类:

- | | |
|----------------------------|------------|
| (1) $K_g < 0.67$ | 很扁平 |
| (2) $K_g = 0.67 \sim 0.9$ | 扁 平 |
| (3) $K_g = 0.9 \sim 1.11$ | 中等尖锐(近于正态) |
| (4) $K_g = 1.11 \sim 1.56$ | 尖 锐 |
| (5) $K_g = 1.56 \sim 3.00$ | 很尖锐 |
| (6) $K_g = > 3.00$ | 非常尖锐 |

尖度也是判别沉积环境的标志之一。

(四)粒度参数图解的编制及解释

1、特征参数组合图:也称粒度参数离散图解或粒度参数散布图。

这种图解是利用粒度分析得出的各粒度参数,双双结成对分别作为方格坐标纸上的纵、横坐标作成的图;常用的离散图解有偏度(SK_1)——标准偏差(σ_1)离散图、平均粒径(M_2)——标准偏差(σ_1)离散图等。若把未知成因的样品点投在图中,可帮助判别该样品的成因。

2、CM图解:一种采用C值和M值两个粒度参数作成的离散图解。其中C值为累积曲线上1%处的粒径,实际上相当于样品中最粗粒的粒径,M值相当于累积曲线上50%处的粒径,即相当于中值 M_d 。作图时,横坐标代表M值,左细右粗;纵坐标代表C值,下细上粗。绘出C—M这条斜线。各样品按其C值与M值点于图上,观察这些样品点在图上的分布与构成的图形。不同搬运方式的沉积物,点子分布的范围不一样,然后与已知环境的典型CM图比较,作为参考,判别该沉积物或沉积岩的沉积环境。

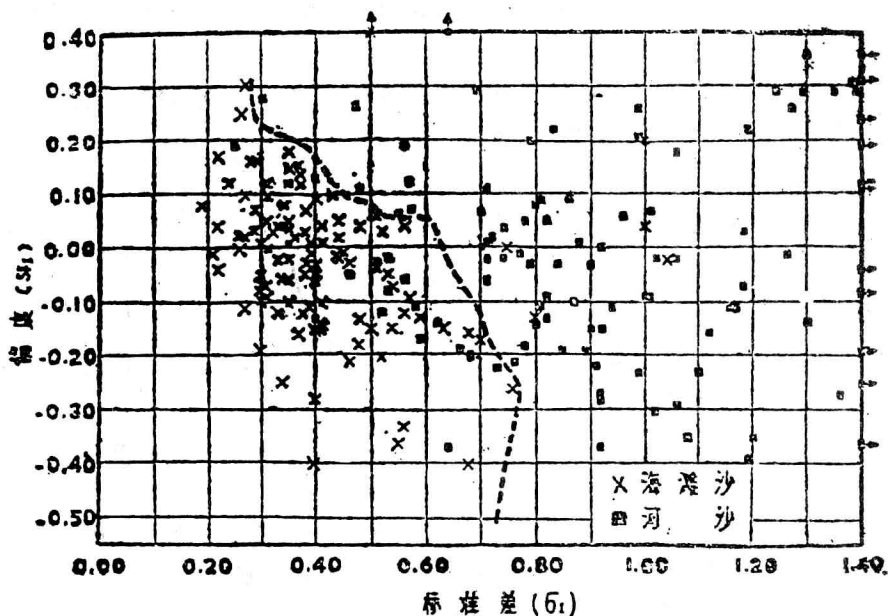


图9 偏度对标准偏差离散图解

实验四 常见沉积岩构造的观察与描述

一、目的要求

认识沉积岩中常见的构造形态特征,了解主要沉积构造的形成机理。

二、实验内容

I、机械成因构造

- 1、层理构造:水平层理,平行层理,各种交错层理,波状层理,脉状层理,透镜状层理。
- 2、层面构造:波痕、晶痕、泥裂、槽模、沟模。
- 3、其它构造:冲刷构造、包卷层理。

II、化学成因构造;缝合线、叠锥、结核、假层理。

III、生物成因构造:虫孔、爬痕、薄叠层。

三、实验提示

对任何沉积构造,除注意观察其形态外,均需注意“量”上的特征,如纹层(层理中的细层、藻叠层中的纹层)和层系的厚度,交错层理交错角的大小,波痕指数,槽模高度及密集度,冲刷面、缝合线等的起伏规模,干裂的垂直深度和水平宽度,晶痕、结核、虫孔的大小、多少等等。对各种层理、冲刷、包卷层理、结核、藻叠层等构造还需注意它们是由哪种因素表现出来