

黄河三角洲变形层理的研究^①

钟建华 马在平

(中国石油大学勘探系 山东东营 257062)

提 要 黄河三角洲发育了非常丰富的变形层理,规模不一,类型多样,成因复杂,概括起来有下列几种:泄水变形层理、重力滑动变形层理、流水牵引变形层理、沙波滑移变形层理、生物扰动变形层理、波浪改造变形层理及滑塌变形层理七种。其中以泄水变形层理和流水牵引变形层理最为常见和典型。泄水变形层理上表面往往有一乳头状或脊状的突起,有时中心有一泄水孔,与上下部层理呈突变接触。流水牵引变形层理具有五个特点:(1)变形层理之上经常可以见到没有层理或具平行层理的细泥砾(砂)层,或者逆行沙波、逆行爬升层理,显示了变形层理之上有高速水流作用;(2)有时可以看到褶曲状变形层理轴面向下游倾倒,但常常无规律可寻;(3)与上覆层理多为突变接触,与下伏层理突变或渐变接触,取决于变形强烈程度;(4)大部分变形强烈,呈包卷状、囊状或管状;(5)分布稳定,有时可见多级组合产出。

关键词 变形层理 三角洲 黄河

第一作者简介 钟建华 男 40岁 博士 构造地质学

1 概述

黄河三角洲是一个非常特殊的三角洲,有关的研究成果已有不少报道^[1-5],但也还存在许多问题值得深入研究,本文就黄河三角洲上发育的大量变形层理进行简要讨论。

黄河是我国的第二大河流,因流经水土流失极为严重的黄土地区而含大量的泥砂,使其下游淤塞严重,成为一条著名的悬河,再加上水量变化大,导致河道迁移频繁和心滩、边滩上串沟、水道发育,使黄河三角洲上发育了大量的变形层理。

变形层理是一种重要的层内沉积构造,但有的文献中把变形层理称为包卷层理,我们认为包卷层理应属变形层理的一种,即属于那种形态上呈包卷状的复杂变形层理(可能还指那种成因独特的变形层理),而诸如缓波状,规则褶曲状的这一类变形层理不宜称为“包卷层理”,而应与包卷层理一道泛称为变形层理。变形层理对于沉积环境的研究具有重要意义。但是,到目前为止,人们对于变形层理的认识还非常有限,尤其是对它的成因了解不够,因此,很有必要对其进行深入研究。

黄河三角洲上的变形层理类型多样、成因复杂,出露良好,再加上没有经过成岩后生变化,因此是一

个良好的研究变形层理的天然实验室。本次研究地点选择在东营市胜利乡至西河口四十余公里的河道上。

2 黄河三角洲变形层理特征

黄河三角洲发育了大量的变形层理,按照成因可以分为七种,它们是泄水变形层理、重力滑动变形层理、流水牵引变形层理、沙波滑移变形层理、生物扰动变形层理、波浪改造变形层理及滑塌变形层理。它们各具特征,以下分述:

2.1 泄水变形层理

在黄河三角洲的边滩、心滩上,泄水变形层理是最为常见的变形层理之一。它们一般呈面状分布,层位非常稳定。从实地观察结果看来,规模较小的泄水变形层理与规模较大的变形层理具有不同的特点:前者高度一般在2~3 cm,形态上呈倒置的叠锥形或不规则形。上表面成乳头状或脊状突起,有时中心有一泄水孔(图1-a及图版I-1,2,3),与上、下部层理呈突变接触。上、下部均为水平层理。变形层理的下部往往有砂质含量高的薄层;后者高度一般在10~20 cm左右,形态复杂,有磨菇状、圆柱状、扁圆柱状、板片状等(图1-b,c,d,e及图版I-4,5,6),其中心均有一粉砂核心,与上部层理为突变接触关系,与

^① 中国石油大学博士基金资助课题成果之一
收稿日期:1997-01-05 收修改稿日期:1997-09-25

下部层理为渐变接触关系。变形层理的下部有一厚度较大的砂层(10~20 cm)。见于胜利心滩、东张心滩及西河口边滩。

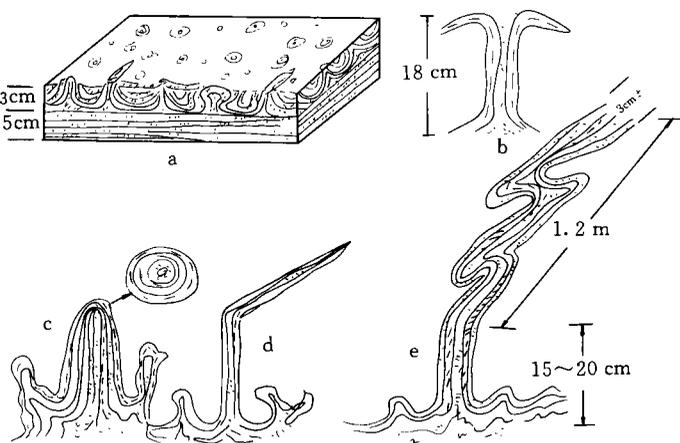


图1 泄水变形层理素描图

Fig. 1 Sketch of sluicing deformation bedding

泄水变形层理(构造)的成因是非常复杂的, Seed等^[6,7]认为(液化)泄水的主要原因是周期性地震波;Lowe^[8]则认为与粒度、沉积物填集性、强度、渗透性和水力学不稳定性有关;但刘宝珺等^[9]认为很可能与流水对床沙表面的拖曳力、沉积物的沉积作用、床沙形体的迁移密切相关。我们认为主要与波浪震荡导致沉积物泄水而发生密度倒置引起底辟有关。我们做的模拟实验部分证明了这一点,详细讨论另文专述。Wen^[10]也用震动桌面的方法使沉积物液化下水产生变形层理。

2.2 重力滑动变形层理

在心滩、边滩上,尤其是在心滩、边滩的水洼、水道及泥沙丘上,有时偶然可见重力滑动变形层理发育。重力滑动变形层理是刚沉积下来的被水充分湿润的细粒沉积物在斜坡上受(自身)重力牵引而产生的滑动变形构造,它们的一般特点是:①沿斜坡滑动,变形层理总体上呈褶曲状,面向斜坡方向倾斜(图3及图版I-7),滑动强烈时呈平卧状态(图版I-7,8),但有时也向斜坡反向倾斜;②规模小至中等,高度一般在数毫米至5~10 cm之间;③与上部层理呈突变接触关系,与下部层理则为渐变关系。据实例观察,发育这种变形层理的斜坡其坡度一般多在十几度至二十余度。这种坡度能否在没外界因素的触发下仅由重力作用而形成滑动变形层理是令人置疑的,因为在胜利心滩内的一些沙泥丘上或水洼

的陡坡上(坡度介于10°~30°之间),绝大多数的沙泥层都未发生滑动变形而形成重力滑动变形层理。另外,我们做的模拟实验也表明,刚沉积下来的水饱和粘土和粉沙交互层在斜置到三四十度,甚至五六十度时也难以顺斜坡面滑动变形。这两点充分表明了仅靠沉积物在斜坡上的重力派生的顺斜坡方向的牵引力是不可能形成重力滑动变形层理的,必须要有某些因素诱发,这些因素可以是波浪震荡液化或地震震动液化,只有在液化沉积物内部内聚力下降的情况下,沉积物方可在自身重力在斜坡方向派生的牵引力作用下发生变形,形成重力滑动变形层理。但也有人认为滑动、滑塌可以在2°~3°的斜坡上发生,如果没有外力(地震、海啸)等因素诱发在这种坡度情况下产生滑动、滑塌是令人怀疑的。

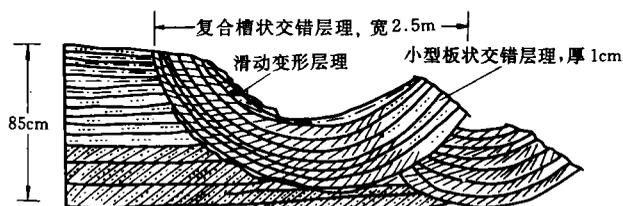


图2 重力滑动变形层理

Fig. 2 Sketch of gravity sliding deformation bedding

2.3 流水牵引(拖曳)变形层理

在黄河三角洲的边滩和心滩上,有一种高1~5 cm和10~20 cm左右的变形层理其分布非常稳定,甚至可以在不同的边滩或心滩上对比。我们认为这种变形层理的成因与汛期的大洪峰有关。其主要特点除了上述以外,还有下列几点:①变形层理之上经常可以见到没有层理或具平行层理的细泥砾(沙)层,或者逆行沙波、逆行爬升层理,显示了变形层理之上的高速水流作用(图3-a, b, c及图版I-7, 12;图版I-1, 2, 3);②有时可以看到褶曲状变形层理轴面向下倾倒,但这不是绝对现象,事实上很多是杂乱无方向的,因此,仅凭变形层理(包卷层理)轴面倾向是否一致来判别其是否为流水作用成因是不可靠的;③与上覆层理呈突变接触关系,与下伏层理则呈渐变关系,在下伏的未变形水平层理中有时可以见到粉沙细层中有波状皱痕,其长轴平行于褶曲状变形层理,这是一种滑动的痕迹;④大部分变形层理变形强烈,呈包卷状或囊状(图版I-10, 11),有的还呈沙球状(图版I-8)。有的变形层理系可以明显地分

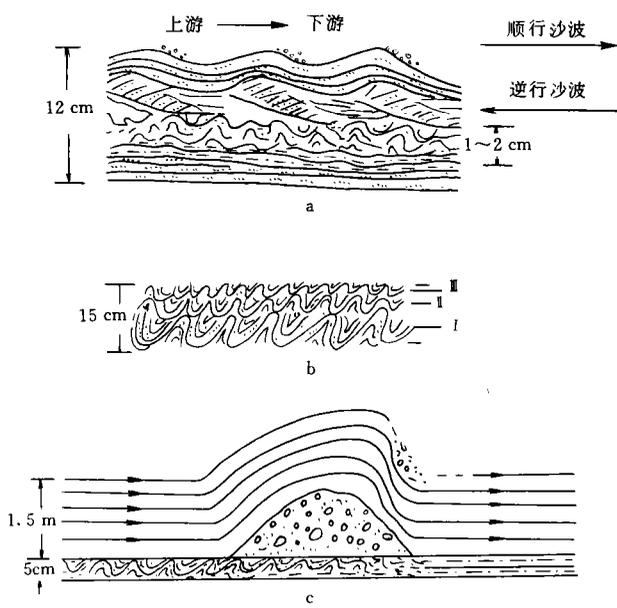


图 3 流水牵引变形层理

Fig. 3 Sketch of current-drag deformation bedding

为多个变形强度和规模不同的部分(图版 I -12),如图 3-b 所示的变形层理明显可以分为三个部分,有可能反映了三次不同强度和深度的水流的作用。

流水牵引变形层理的成因是非常复杂的,概括起来有三种:一种是流水(洪水)靠其中携带的大量推移质强行牵引下部沉积物而形成(图 3-c 及图版 I -10,11);第二种是干涸的沉积物突然被水湿润后内粘力突然下降,由一般的流水和其中少量的沉积物牵引而变形;第三种是沉积物在波浪震荡作用下发生液化,同时受到一定流速的水流(可能还要含少量的推移质)牵引而形成。Ten Haaf^[11]解释了以水流拖曳(牵引)方式形成的包卷层理。Allen^[12]也认为流水拖曳也可以形成变形层理。总之,流水牵引(拖曳)形成变形层理的过程是非常复杂的,但我们认为仅靠流水牵引(不挟带沉积物)是难以形成变形层理的,我们所做的模拟实验证明了这一点。具体过程复

杂,另文专述。

有的流水牵引变形层理之上直接与非常平坦的具水平层理的粉沙或粘土接触,看不出其间有冲刷面。实际上二者之间有一非常平坦的冲刷面,在胜利 II 号心滩我们看到了流水牵引变形层理之上由凸凹不平的冲刷面和泥砾盖层(图版 I -10)向冲刷面比较平坦和泥砾盖层很薄(图版 I -11),甚至冲刷面平坦和无泥砾盖层过渡的现象。这一现象表明了流水牵引的痕迹(冲刷面和泥砾层)可以因水流太急而未被保存下来。在这种情况下,变形层理的成因也就令人费解了,尤其是在沉积岩中则更是如此。黄河三角洲边滩、心滩上的流水牵引变形层理的成因对于解释某些沉积岩中包卷层理的成因很有帮助。事实上,很多包卷层理的成因与本文讨论的流水牵引变形层理的成因是相同的。

2.4 沙波滑移变形层理

流水作用在沙波的迎流面上会产生一种向前的推力,使沙波向前滑移。沙波向前滑移的过程中必定会带动其下的层理向前滑动而变形(图 4)。这种变形层理的主要特点是:①规模比较小,高度都在 1~2 cm 以下;②总是产在沙波之下,被卷入的变形细层位置很稳定,但横向上一般延伸只有数十厘米;③变形层理多呈褶曲状。

2.5 生物扰动变形层理

可以分为两类:一类是动物扰动变形层理;另一类是植物扰动变形层理,以下分述。

2.5.1 动物扰动变形层理

这是一种由动物在沉积物内部或表面运动所形成的变形构造。在黄河三角洲动物扰动比较发育,主要有三种,其中有一种最为发育,是蜈蚣形成的,以水平内生为主。这种变形层理的规模一般不大,仅限定在虫孔周缘(图 5a),多呈管柱状分布在虫孔四周,直径在 2~3 cm,长数米或十几、二十余米。

2.5.2 植物扰动变形层理

在黄河三角洲的边滩上有时可以见到植物根系



图 4 沙波滑移变形图

Fig. 4 Sketch of ripple-sliding deformation bedding

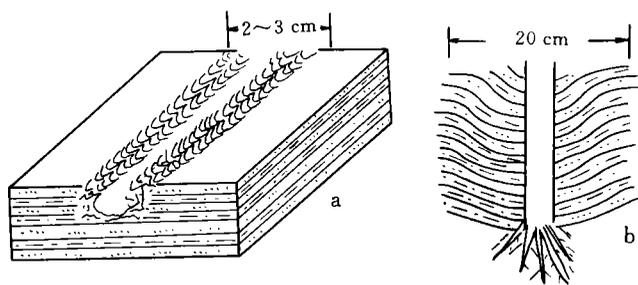


图5 生物扰动变形层理

- a. 蝼蛄水平潜穴导致周缘水平层理发生变形
- b. 玉米根向下生长导致水平层理下凹变形

Fig. 5 Sketch of organism-disturbed deformation bedding

生长发育所形成的变形层理(图5-b及图版I-6),其一般特征是纵截面上呈叠置漏斗状,横截面上呈同心环状,规模大小不一,直径多在数厘米到十几厘米,高度多在十几厘米到三四十厘米。

2.6 波浪改造变形层理

由于河床、边滩、心滩内常发育有水洼或水道而积水,风的作用可以使这些积水产生波浪。波浪不断拍打会在水洼或水道周缘形成一种类似浪蚀阶地的微地貌(水位线)(图6),在这种波浪改造形成的“阶地”内往往发育有变形层理(图6)。其主要特征有下列几点:①规模一般很小,高度多在数厘米至十厘米左右,宽十几至二三十厘米,或围绕整个水洼或水道形成一不规则的变形层理环带;②底部凹凸不平,与上、下层理呈突变接触关系,顶部一般很平,可以发育水平层理;③变形层理不规则,连续性差,多断断续续,但可出现很小的包卷状层理;④多含细小泥砾。泥砾呈椭球形,也可呈短板片状,长轴多顺水平方向排列(图6)。

2.7 滑塌变形层理

在三角洲的边滩、心滩上,由于河道的迁移,或

串沟、水道的发育而导致滑塌或崩塌,滑塌或崩塌体的变形可以产生变形层理,崩塌体向下坠落对地表沉积物的冲击也会产生变形层理(图7)。这种变形层理的特点有下列几点:①规模可大可小,取决于滑塌体的大小,大者高度可达数十厘米,小者数毫米;②变形层理的形态可以从简单的褶曲状到复杂的包卷状;③总是产在边滩、心滩边部或内部的串沟或水道两侧;④一定与滑塌体或滑塌碎块(角砾)一道产出。

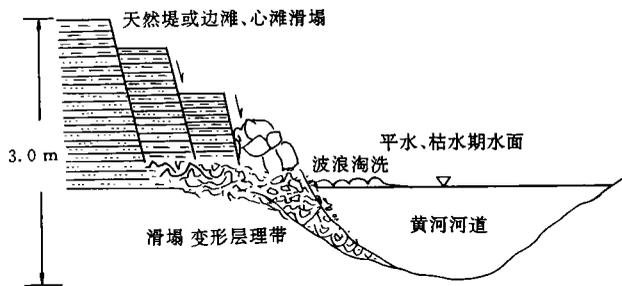


图7 滑塌变形层理及其形成示意图

Fig. 7 Sketch of formation of slump deformation bedding

滑塌变形层理与重力滑动变形层理是完全不同的:首先前者的变形力可以有变形体重力以外的力参与,而后者没有;再者,前者的变形稳定性及连续性都比较差,而后者则比较好;第三,两者的发育部位不同,前者一般发育在边滩、心滩一侧或两侧的侵蚀滑塌陡壁部位,或者是在边滩、心滩内部的水道或串沟两侧;而后者一般发育在边滩、心滩外缘或内部水洼、水道或泥沙丘的自然沉积斜坡上,不伴随任何侵蚀滑塌。

表1总结了黄河三角洲上不同类型变形层理的特征及产出部位与环境。

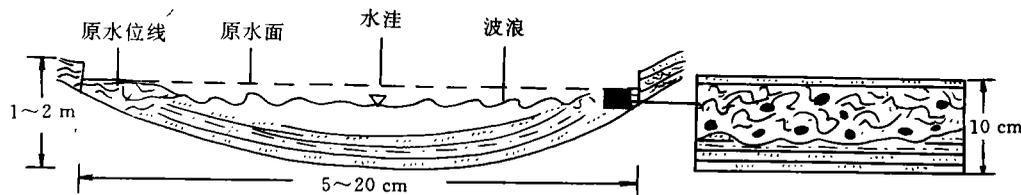


图6 波浪变形层理

Fig. 6 Sketch of wave-transformed deformation bedding

表1 黄河三角洲不同类型变形层理的特征

Table 1 Features of the different deformation beddings in Yellow River delta

层理类型	规模大小	形态	上、下接触关系	产出部位与环境
泄水变形层理	一般高2~3cm,宽3~5cm,或高~20cm,宽10余厘米,数十厘米	规则者呈宽缓向斜状,不规则者复杂,上表面或脊状突起	突变接触	边滩、心滩上靠近河道一侧或心滩上部易受波浪影响部位
重力滑动变形层理	规模一般较小,高、宽多在数十厘米,以十厘米者也能见到	呈斜歪或平卧褶曲状,轴面倾向斜,连续性较好	与上部层突接触,与下部层渐变接触,也可以是突变接触	边滩、心滩外缘或内部水道的斜坡上
流水牵引变形层理	高宽多在数十厘米,大者也可见到,同一层内的变形规模大小相近	形态呈斜歪褶曲状,或模棱形式,但同一层内的变形形态近似	与上部层突接触;与下部层渐变接触或突变接触	边滩上靠近河道一侧或心滩上
沙波推移变形层理	规模一般较小,多在1厘米级以下	呈斜歪褶曲状,轴面向下游	与上部层突接触;与下部层渐变接触	边滩、心滩上有高速水流作用的地方
生物扰动变形层理	取决于生物个体的大小	形态由生物决定	突变接触	边滩、心滩上或河道内
波浪改造变形层理	规模多在数厘米	形态复杂,多不连续	突变接触,多有泥砾、泥片	边滩、心滩上或河道内
滑塌变形层理	规模可大可小,取决于滑塌体大小、滑塌高度及沉积物本身的固结性。	形态复杂	突变接触,上部为泥沙碎块	边滩、心滩外缘,或内部有水道发育的地方

3 结束语

以上简要地介绍了黄河三角洲上的七种不同成因的变形层理。从以上可以看出,黄河三角洲上的变形层理形态多样、规模不一、成因复杂。藉此可以想象地质历史上形成的变形层理成因也同样是非常复

杂的,不能简单而论,这样对于沉积环境的研究不利,应该谨慎对待。

变形层理是一种沉积物刚沉积下来而响应环境因素变化所形成的一种准同生构造。黄河三角洲现代沉积物中变形层理的研究无疑对探讨沉积环境、尤其是古代变形层理的成因具有一定参考意义。由于水平有限,不足之处定所难免,敬请指正。

致谢:中国石油大学提供了野外科考资助,石油大学的姜在兴教授提出了宝贵的修改意见,借此机会致以深深谢意。

参 考 文 献

- 姜在兴,周丽清,林承焰等. 河流中的异常水流及其沉积作用——以黄河下游为例. 科学通报,1992,37(1):54~56
- 姜在兴,王留奇,马在平等. 黄河三角洲现代沉积研究. 山东:石油大学出版社,1993. 50
- 钟建华. 黄河三角洲的三种典型沉积构造. 西北大学学报(自然科学版),1996,12(增刊):506~510
- 钟建华. 沙岩岩墙(岩脉、岩床)的一种可能成因——冲蚀沟槽的充填. 岩相古地理,1996,16(2):25~29
- 钟建华,马在平. 泥沙冲乳——一种特殊的沉积构造. 科学通报,1997,42(17):1853~1856
- Seed H B, Idriss I M. Analysis of Soil Liquefaction. Niigata earthquake; American Society of Civil Engineering. Journal of Soil and Foundations Division, 1967, 93, 83~108
- Seed H B. Landslides during earthquakes due to liquefaction. Journal of Soil Mechanics Foundations Division, Am, Soc, Civ, Engrs, 1968, S4, SMt, 1053~1122
- Lowc D R. Water escape structures in coarse graded sediments. Sedimentology, 1975, 22:157~204
- 刘宝珺主编. 沉积岩石学. 北京:地质出版社,1980. 93
- Owen G. Experimental soft-sediment deformation: structures formed by the liquefaction of unconsolidated sands and some ancient examples. Sedimentology, 1996, 43:279~293
- Ten Haal E. Significance of convolute lamination. Geol. Mijnbouw, 1995, 18:188~194
- Allen J R L. The possible mechanics of convolute lamination in graded sand beds. Geol Soc, 1972, London, 134:19~31

Study on the Deformation Bedding in the Delta of Yellow River

Zhong Jianhua Ma Zaiping

(Exploration Department, University of Petroleum, ShanDong Dongyin 257062)

Abstract

Deformed beddings of different sizes are often observed in the Yellow River Delta. They are formed by

water escaping, gravitational sliding, water flow dragging, ripple gliding, bioturbation, wave action and slumping, and can be divided into seven types according to their origins. Those formed by water escaping and water flow dragging are the most common and typical ones among them.

On surfaces of the deformed beddings of water escaping type, there are usually many nipple-like and dorsal fin-like projectings which may sometimes have a hole for water escaping in the center of each projecting, and the deformed beddings may have abrupt contact with their neighbor beddings. Deformed beddings of water flow dragging type usually possess five characteristics as follows:

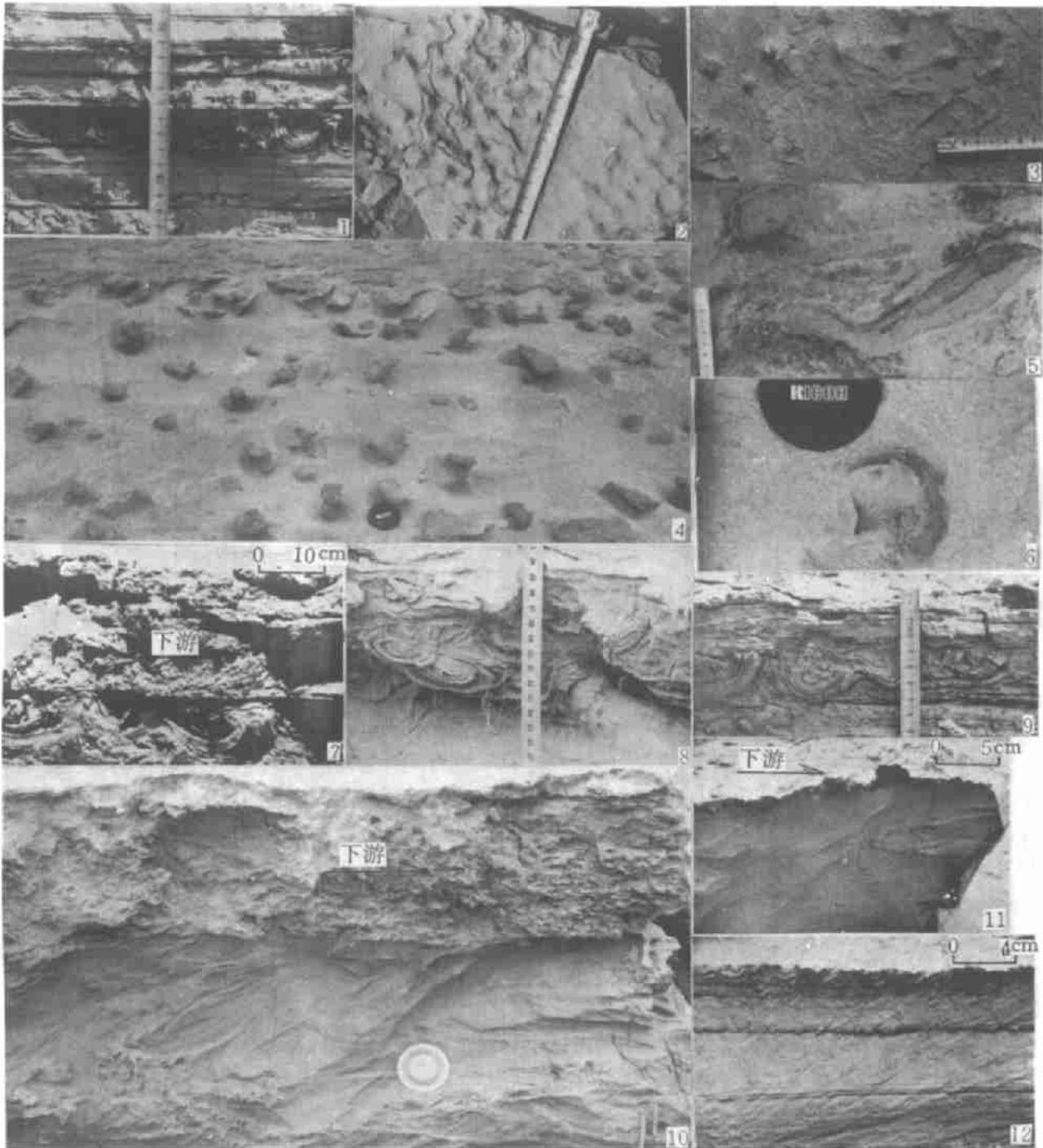
(1) the overlying sediments and sedimentary structures of them, such as clay boulder or sand-sized grains in massive and parallel beddings, regressive sand waves, climbing-ripple laminations, are all formed by water flow of high velocity. (2) the axial planes of fold curve-like deformed beddings are often randomly oriented, although they may sometimes dip toward the upper reach. (3) usually, they show abrupt contact with overlying beddings and gradual or abrupt contact with underlying beddings of them according to extent of deformation. (4) most of them are deformed severely and show very complicated appearances such as the cabbage-like ones and the bag-like or tube-like ones. (5) they are steadily widespread and sometimes may be well-stratified and graded.

Key Words deformed bedding delta Yellow River

(Continued from page 39)

another is a low slope braided river which is distributed in the fluvial plain. Both of them are different in river shape and sediment characteristics, but have similar sedimentation mechanism and models. There are five sedimentary reworking surfaces, and three types of thin interlayers, and they both have vertical accretion. The three thin interlayers are lag deposit, fall-siltseam and grain-fall lamina or grain flow lamina. The fall-siltseam is an important facies index. The wide-scale stacked pan-sandbody was formed by channel shifting. The braided stream sedimentation model-stacked pan-sandbody provides a good reservoir space for oil and gas.

Key Words high slope braided river low slope braided river fall-siltseam sedimentation model stacked pan-sandbody



1. 小型泄水变形层理,呈槽曲状,“背斜”紧闭呈叠锥状,“向斜”开剖呈“U”字形;2. 小型泄水变形层理的顶视照片,表面凸起呈乳头状;3. 小型泄水变形层理的顶视照片,表面凸起呈乳头状,其四周有冰裂缝;4. 大型泄水变形层理,大部分呈蘑菇状,完整高度可达 20 余厘米;5. 中型泄水变形层理的顶视照片,左上角为蘑菇状泄水变形层理,其内的变形层理呈同心环状,下部为板片状泄水变形层理;6. 大型泄水变形层理的顶视照片,中心为“沙核”;7. 流水牵引变形层理,上部为一 20 余厘米厚的(细)泥砾层,系汛期洪水中的底部滞流沉积物;8. 流水牵引形成的强烈变形层理,斜截面上呈沙球状;9. 流水牵引变形层理,变薄层理之上为细小泥砾沉积,其中发育了平行层理,变形层理之上有一明显的冲刷面;10,12. 流水牵引变形层理,变形层理呈不规则槽曲状和囊状,轴面朝下游(右)倾倒(10);11. 中的流水变形层理呈平卧管状,系流水(+沉积物)强烈牵引之故,变形层理之上有一厚薄不等的细泥砾和细沙的混合层,系汛期的洪积物,二者之间有一冲刷面;12. 多级流水牵引变形层理