

文章编号 :1000-0550(2001)01-0079-06

黄河济南以下河段某些异常地质作用 及几种典型沉积构造研究^①

孙景耀 陈辉军 朱明春

(渤海石油实业公司 天津塘沽 300452)

摘 要 黄河自 1972 年发生首次断流以来,以后 26 年间,发生断流年数就有 19 年,近年则愈演愈烈。由此引发了一系列特殊的地质作用,我们称之为异常地质作用,如汛期高含沙河水骤涨骤落,致使下游河床淤积严重,且不断抬高、展宽,并向二级悬河发育;床底不稳、河道迁移频繁,心滩、边滩上水道发育,而断流期则风的作用明显,风蚀地貌发育。水风地质作用混合,相克相伴,构成了黄河三角洲极为复杂的地质景观。又因黄河以沉积细粒物质为主,在多种因素的综合控制下,其沉积物层面或层内发育的沉积构造具有独特性,如变形层理、泥沙钟乳、液化(泄水)构造、气胀构造、植物划痕构造、特殊波痕及特殊流痕等,是典型的沉积构造。正确识别和分析黄河断流后的异常地质作用及由其形成的沉积构造对古河流相分析有重要参考意义。

关键词 异常地质作用 沉积构造 断流 黄河

第一作者简介 孙景耀 1977 年生 双学士 沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 概述

黄河是我国的第二大河流。它流经气候干旱、水土流失极为严重的西北黄土高原和人口密集的华北地区,因此,黄河客水是全流域沿黄河地带重要的供水水源。但九十年代以来,由于流域内降雨偏少,以及工农业用水,导致下游断流天数逐年增加,近几年则连创记录。据利津水文站资料,1990 年以前,利津站全年断流天数一般为 3~40 天,而自 1995 年均超过 120 天,其中 1996 年全年断流累计 196 天,1997 年 226 天,并上延至开封柳园口;1998 年截止 7 月 20 日已达 118 天,汛期过后 9 月份又发生断流,黄河下游山东段已成为季节性河段。

黄河又是世界上含沙量最高的河流,三门峡水文站多年实测平均约为 34.7 kg/m^3 ,为高密度水流,每年将 $15.7 \times 10^8 \text{ t}$ 的泥沙搬运到下游河床或海中沉积,其中约有 25% 的泥沙沉积于下游河槽、心滩或边滩。再者,下游地势开阔及悬河、断流等因素影响,使沉积作用复杂化,特别是断流后风的作用影响很大,在边滩、废弃河道、盐碱滩及堤岸等微环境风成沉积现象常见。

近十年来,国外对沉积构造的研究非常重视,而我国有关沉积构造的专门研究论文则甚少^[1~3]。黄河独特的水文性质、河道条件及沉积物特征,尤其是近年严

重断流,是区别于正常河流的几个主要方面,从而导致黄河下游发育了一些异常地质作用及相关沉积构造,成为一个研究现代沉积的优良天然实验室,前人对其其中的一些地质现象已做了大量工作,并且取得了一些成果^[4~13],为后期的研究奠定了基础。本文拟从两个方面讨论有关问题。研究区主要在济南至黄河口近 300 km 的河道上。

2 黄河下游异常地质作用及几种典型沉积构造

九十年代以来,黄河断流日益加剧,下游山东段季节性显著,夏秋季泄洪量占全年径流量的 60% 以上,冬春季则只有间断的上中游水库放水及少量大气降水形成的小径流,因而造就了两种水动力截然不同的搬运、沉积环境,由此形成了两种差异显著的异常地质现象及导致发育了一些特殊的典型沉积构造。另外,黄河所携物质为以细粉沙和泥质为主,而细粒物质的沉积又较为复杂,为沉积学研究的薄弱环节,并且黄河下游的沉积作用受多种地质因素控制,因而其沉积构造特征较正常河流有很大不同。

2.1 异常地质作用

夏秋季洪水流量变化大,水位暴涨暴落。河水暴涨时,流速大,水位高,冲蚀力强,淹没边滩。但因中下

^① 国家重大基础研究规划项目(编号:G1999043603)资助部分成果

游引水,至济南以下,流量减少,流速降低,所携物质快速沉降,表现为事件性沉积,由九十年代以前的“刷槽淤滩”^[14]变为近几年的“刷滩淤槽”,且下游无足够的水量冲沙入海,减小了滩槽差,有些区段滩唇高昂,槽面高于滩面,由原来的阶地边滩向二级悬河发育。

冬春季为枯水期,河水流量小,流速小且变化不大,冲蚀力弱,也表现为“刷滩淤槽”。在断流期,河床干涸,风蚀作用增强,黄沙弥漫,风蚀构造及暴露构造发育。有时因短时间的大气降水,改造了边滩形态。同时,短期的湿润条件及风的作用有利于泥沙钟乳的发育^[6]。总之,在断流期,其地质作用主要与大气降水及风的作用有关,且二者相互改造。但要说明的是,风的作用基本是连续的,而大气降水形成的水流作用是间断的。

2.1.1 汛期异常地质作用

汛期主要表现为事件性沉积,水位的暴涨暴落引起流速剧增剧减,水流所能携物质与水流流速的高次方成正比^[15]。因此,当水位暴落,水流速剧减时,河中两侧水流速降梯度大于中枢水流速降梯度,则两侧高密度水流中的沙质首先快速沉降,其沉积物粒级多为细粉沙,由于泥质为悬浮难沉降组分,只有当水流速较小或静水条件下才缓慢沉降,厚度较稳定。一般地,边滩沉积物以粉沙和泥质为主,河槽以细粉沙为主,并且有机质均丰富,在一定条件下,有利于气胀构造的发育。据观察,一次洪水沉积的沙厚度可达 50 cm,其中变形层理发育,泥质沉积厚数毫米至十余厘米,一层黄色软泥代表一次落水。廖保方等称之为“落淤层”^[16],二者有相似之处。在凹岸的某些河段内边滩(如胜利大桥南岸边滩),能见到汛期形成的反向水流,姜在兴等认为由于主水流分离等原因所致。但要注意该条件下的反向水流应区别于由大气降水形成的反向径流。汛期洪峰时反向水流所发育的波痕对称性所指示的水流方向与边滩上原地生长植物的倾倒方向所表明的河水流向一致,均为向下游方向,而大气降水形成的回水沟中的波痕所指示的水流方向与洪峰中植物的倾倒方向不一致,前者表明水流可能向下游方向,后者表明水流向上游方向。由此可见,仅就波痕所指示的反向水流的成因非单一性,在沉积记录中应当慎重判断。

在沉积较厚的内边滩上发育有因流水冲蚀力较强而形成的冲蚀沟槽、冲蚀坑。其形状有不规则形的、长沟形的、近圆形的。其成因是疏松的细沙被强水流冲蚀所致,在沟槽侧壁上冲蚀流痕发育^[9,13]。

另外,在内边滩泄洪水道的水在河槽水位急剧下降的条件下,回流主河槽的小股水流在汇入主河道前形成的扇形冲积面上,似辫状流痕发育,多因水流中

与两侧的流速不同而沉积的矿物颜色不同而显示。在水位线附近,由于沉积的泥沙饱含水,较为疏松,很易被拍岸浪改造,形成齿状水位线及线形水位痕。

2.1.2 枯水期(断流期)异常地质作用

在九十年代以前,黄河下游冬春枯水期主要表现为“刷滩淤槽”^[14],抬高河床,进入九十年代,枯水期常表现为断流,因而风的作用较强,在河床、边滩、废弃河道,小型风成沙丘和风蚀构造(风蚀蘑菇、风蚀洼地、风蚀沟槽)发育。

风成沙丘主要由分选好的粉沙组成,其表面发育了直脊、曲脊、舌形、新月形波痕及一系列风蚀构造。风蚀构造是在较强风力和持续干旱气候条件下,由风卷起粉沙质及未粘结的泥质形成高含泥沙的空气流,我们称之为高密度空气流,并随风力的增强,每立方米空气中含泥沙质颗粒增多,高密度空气流的侵蚀力增强,其定量关系有待进一步研究。若高密度空气流遇到障碍物,如干泥砾,在泥砾迎风方向遭受风蚀,形成微型风蚀洼地,在障碍物背风方向及风向下游形成一种狭长的放射状沉积。风成障碍痕与水流成因障碍痕不同的是,风成障碍痕为锥形,向风下游变细变尖,而水成障碍痕象彗星拖着长“尾巴”,障碍物处于彗星的位置上。二者的形态和规模分别与风速和水流速有关。若高密度空气流遇到体积较大、较坚固障碍物(如缩小干燥的大型泥砾)或因风力的突然增强,在较平坦的沙质表面或障碍物的迎风方向前缘,因高密度空气流强度突变,将会被侵蚀为洼地,表面可见风成波痕,而冲蚀洼地边缘一般较陡,流水波痕常见。若高密度空气流遇到陡坡,由于沉积而形成顶大颈细的蘑菇状形态,在颈部可见侵蚀痕,为外凸与内凹以交互层方式产出,其形成与层内含较多泥质薄层有关。而更为常见的是风蚀沟槽,经常发育在边滩坡降带。风蚀沟槽与流水成因的冲蚀沟槽不尽相同,风蚀沟槽棱角较圆滑,且沟较狭窄,周围风成波痕发育,而冲蚀沟槽范围较大,棱角分明,似陡立山峰,侧壁上流痕发育,有时可发育泥沙钟乳,周围可见流水波痕。但在枯水期,冲蚀沟槽易被风改造为风蚀沟槽。水风混合作用,相克相伴,构成了黄河三角洲极为复杂的地质过程,并由此形成了极为复杂的地质景观。

另外,在枯水期长时间干旱条件下,泥裂和泥皮可直接发育在河床中心,这在一般的河流中是难以见到的。主要成因是黄河断流后在一些河床的低洼处积水成“湖”,在这种“湖泊”的中心,有时沉积了一层有一定厚度的软泥。随断流进一步加剧,若“湖泊”干涸,其中的软泥便可发育泥裂或泥皮,使泥裂或泥皮直接发育在河床中心,形成了这种高能的河床相与低能的泥质

沉积直接接触的异常现象,并使河床中心出现具有指示暴露环境的泥裂,这都可称之为异常。

2.2 几种典型的沉积构造

细粒物质的沉积作用较为复杂,而黄河以沉积细粒物质著称,其下游的沉积作用及沉积后作用又受多种因素控制,因而其沉积构造特征较正常河流有很大不同,前面已有所论述。另外,比较典型的沉积构造如泥沙钟乳、变形层理、细流痕、气胀构造、植物划痕构造、液化构造、梯状波痕等,前四种已做过详细报道^[4-10]。现仅就后三种作一简要讨论。

2.2.1 植物划痕构造(plant-engraved structure)

植物划痕构造是一种未见报道的典型沉积构造,其成因有两种:一种是水流;另一种是风。水流成因的植物划痕构造多发育在汛期时泥质边滩或河床泥砾上。而风成植物划痕构造为暴露成因,发育在植物生长的沙质边滩或天然堤陡壁上。

两种成因的划痕多为孔状、坑状、狭槽状、扇环状、同心圆环状等多种形态。孔状、坑状一般表面积不大,但较深,磨蚀较圆滑。狭槽槽宽和长度与植物及动力条件有关,一般动力越强,植物越粗,槽越宽,或反之;植物长且细,槽则狭长。同心扇环或圆环直径最大可达十几厘米,划痕深度与动力条件、植物及被划体性质有关。

水成植物划痕是在有植物生长的泥质边滩上或河床泥砾,洪水将细小植物冲倒或泥砾上植物根外露,在较浅水流冲刷或振荡下,植物茎或根在泥质表面来回摆动、刻划,由于泥质呈饱和水状态,表面软而易划,从而发育水成植物划痕构造。据实地观察,一般直立的植物在水动力作用下,原地晃动,被磨蚀形成孔状或坑状(图版 I-1a),植物根若中部外露,两端在泥中固定,则中间部分左右摆动,形成狭槽状刻痕(图版 I-1b);若根(茎)中部又生有细根(小茎),在特殊水动力(如涡流)作用下,植物根(茎)在一端固定下作圆周运动,似圆轨画圆一样,从而在泥质表面刻划为同心圆环或扇环(图版 I-1a、b、c、d)。并在固定端保留有水流冲蚀痕迹,因此可判断水流方向。

风成植物划痕构造是在边滩或天然堤陡壁上,由于滑塌作用植物根外露,或植物生长延伸到陡壁上,或在陡壁上生长的植物,在较干旱气候条件下,沙质干燥疏松,风吹动植物在陡壁表面往复摇曳或作圆周运动,因沙质被磨蚀即可以发育孔状、坑状、扇环状及圆环状植物划痕构造(图版 I-2),由此也可判断风向。

水与风成植物划痕构造虽形态类似,却反映了不同的环境条件,在沉积成岩后,极易保存,若未充分研究,有的有可能被误认为古生物化石。

2.2.2 液化构造(liquefaction structure)

液化构造是在汛期快速沉积,并且快速水退后受外力作用,在边滩、心滩上发育的典型沉积构造。

由于汛期沉积速率较快,沉积物细而饱含水,泥沙混层,而表层沉积为一薄层泥质,这样经数次沉积后,形成数次叠覆的沉积层序,在波浪振荡等作用下,导致饱含水分的沉积物在泥质薄层间发生不均匀滑动,由层内各处泥沙厚度不均导致重力不平衡,发育变形层理,与上下部的水平层理呈突变接触,在强波浪振荡作用下,发生密度倒置引起底辟而液化(泄水)^[7](图版 I-3)。若外力较大,可喷出粉沙或泥质,形成“沙火山”或“泥火山”,一般呈面状分布,层位稳定。从实地观察结果,其形态呈倒置的叠锥形或不规则形,上表面呈乳头状或突起状,规模不一,直径数厘米,高度由不到一厘米至几厘米,中间为直径只有几毫米的液化通道或液化管,为泄水孔,表面发育有放射状的流痕,这种典型沉积构造在碳酸盐岩沉积中也有发育^[17],其成因是否一致,有待进一步研究。

在无外力因素(地震、生物践踏等)触发下形成液化构造,值得探讨。具体与边滩和天然堤之间存在水力梯度有关,还是与其它因素有关?值得深入研究。

2.2.3 梯状波痕(ladder-back ripple)

这是一种比较特殊的波痕。国外许多学者对其进行了研究^[18-28],而我国学者很少涉及。

这是一种在大波痕(Megaripple)之上以垂直或近于垂直角度叠加了次级波痕的特殊干涉波痕。次级波痕多是被风驱动水面形成的波浪所形成的^[18,25,26]。可能是其看上去象楼梯状,所以人们称之为“梯状波痕”。这种波痕在黄河三角洲上非常发育,可以是流水波痕之上叠加小型浪成波痕所构成(图版 I-4a),也可以由小型浪成波痕叠加微型浪成波痕构成(图版 I-4b)。据观察,凡是叠加的浪成波痕均是风驱动水形成的波浪所形成的。这与国外学者观察到的结果一致。但也有一种极小型的梯状波痕完全是由波浪作用形成的。黄河断流为梯状波痕的形成提供了良好的水文条件。黄河汛期,流水在心滩、边滩和河床上形成一系列流水波痕,枯水期尤其是断流期河水停滞,在风的作用下发育一系列波浪。波浪作用到水体边缘浅水区的时候,往往容易形成一些与原先流水波痕呈大角度、甚至垂直相交的浪成波痕,叠加在流水波痕上一并组合成梯状波痕。据观察,黄河三角洲上的梯状波痕很容易被保存下来,无论是风成沙,还是水流带的沙泥均可使梯状波痕覆盖起来,只有极少数会被流水冲蚀,完全不能发育于潮间带的梯状波痕不易保存。

梯状波痕过去作为一种具有指相的意义的沉积构

造而受亲睐。许多学者把梯状波痕作为潮间带的标志而应用于沉积学研究中^[18, 22, 29~32]。后来有些学者发现在其它环境,如潮下带、河口,甚至河流环境中也可以出现^[33~35],表明了梯状波痕可以出现在多种沉积环境,黄河三角洲水上平原发育了大量的梯状波痕也证实了这一点。所以,梯状波痕确实不是什么具有指相意义的沉积构造,在今后应注意这一点。

3 结束语

以上简要介绍了黄河济南以下河段异常地质作用及几种典型的沉积构造。之所以异常其原因与黄河下游独特的水文条件、沉积环境、沉积物及气候条件有关。

黄河下游主要沉积细粉沙和泥,汛期和枯水期(断流期)动力条件相差甚大,汛期受水流(洪峰)、波浪及风等动力联合作用,而枯水期主要表现为风的沉积作用,因而其沉积特征明显不同。

从以上也可以看出,对于象黄河这样的季节河的沉积研究应区别于正常河流,在研究古河流及其沉积相时也应注意这一点。

致谢:国家科委提供了资助,石油大学团委和科研处给予了大力支持,借此机会致以深深谢意。

参 考 文 献

- 李鸿业,王振鹏.化石波痕和现代波痕的对比研究[J].沉积学报,1990,8(1):129~132
- 关尹文,范法明.湖南桃江半边山先寒武纪马底驿陆组屑风暴岩[J].沉积学报,1990,8(4):115~121
- 傅启龙,沙庆安.昌黎海岸风成沙丘的形态与沉积构造特征及其成因初探[J].沉积学报,1994,12(1):98~103
- 钟建华.沙岩岩墙(岩脉、岩床)的一种可能成因—冲积沟槽的充填[J].岩相古地理,1996,17(2):25~29
- 钟建华.黄河三角洲三种典型的沉积构造[J].西北大学学报(自然科学版),1996,12(增刊):506~510
- 钟建华,马在平.泥沙钟乳—一种特殊的沉积构造[J].科学通报,1997,42(17):1853~1856
- 钟建华,马在平.黄河三角洲变形层理的研究[J].沉积学报,1998,16(1):45~51
- 钟建华,马在平.黄河三角洲胜利 I 号心滩的研究[J].沉积学报,1998,16(3):38~43
- 钟建华,倪晋仁.黄河三角洲上特殊侵蚀沟槽的研究[J].高校地质学报,2000,6(3):321~328
- 钟建华,侯启军,钟延秋.黄河三角洲(泄水)变形层理的成因研究[J].地质论评,1999,15(3):306~312
- 钟建华,周瑶琪.黄河三角洲平原上的泄气坑的发现[J].科学通报,1999,44(11):1206~1208
- 钟建华,李理.黄河断流后三角洲(水上平原)的滑塌构造研究[J].沉积学报,2000,18(1):7~12
- Zhong Jianhua and Wang Jianbao. Study on the ripple in Yellow River delta

[J].地质科学(英文版),1999,8(2):145~160

- 叶青超.黄河断流对三角洲环境的恶性影响[J].地理学报,1998,53(5):385~391
- 冯增昭主编.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,1993,23~31.
- 廖保方,张为民,李列.辨状河现代沉积研究与相模式—中国永定河剖析[J].沉积学报,1998,16(1):34~39.
- 迟元林,钟建华,周瑶琪等.安徽巢北早三迭世南陵湖灰岩中的灰涌构造及其成因意义[J].岩石学报,1999,15(1):60~70
- Straaten L M J U V. Rhythmic pattern on Dutch North Sea beaches[J].Geol. Mijnbouw,1953,15e:31~43
- Klein G D. Bay of Fundy intertidal sediments[J]. Jour. Sedim. Petrol., 1963,33:844~854
- Land L S, Hoyt J H. Sedimentation in a meandering estuary[J]. Sedimentology, 1966,19:191~207
- Klein G D. Tidal origin of a Precambrian quartzite—the Lower Fine-grained Quartzite (middle Dalradian) of Islay, Scotland[J]. Jour. Sedim. Petrol., 1970,40:973~985
- Wunderlich F. Genesis and environment of the "Nellenkpfchenschichter" (Lower Emsian, Rhenian Devon) at Iocus typicus in comparison with modern coastal environment of the German Bay[J]. Jour. Sedim. Petrol., 1970,40:102~130
- Larsonteur C. Tidal Deposits. Mont Sanint-Michel Bay, France[A]. In: (Ginsbury R N ed) Tidal Deposits[C]. Springer-Verlag, Berlin, 1975, 428, 21~30
- Blatt H, Middleton G, Murray R. Sedimentary rocks[M]. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1980, 170
- Eriksson K A. Sedimentology phot[J]. Jour. Sedim. Petrol., 1982, 52:394
- Reddering J S V. Subtidal occurrences of ladder-back ripples: their significance in palaeo-environmental reconstruction[J]. Sedimentology, 1987, 34: 253~257
- Baas J H. Dimensional analysis of current ripples in recent and ancient depositional environment[J]. Geol. Ultraiectina, 1993, 106
- Baas H. A flume study on the development and equilibrium morphology of current ripples in very fine sand[J]. Sedimentology, 1994, 41: 185~209
- Brunn V V, Hobday D K. Early Precambrian tidal sedimentation in the Pongola Supergroup of South Africa[J]. Jour. Sedim. Petrol., 1976, 46: 670~679
- Beukes N J. Transition from siliciclastic to carbonate sedimentation near the base of the Transvaal Supergroup, northern Cape Province, South Africa[J]. Sedim. Geol., 1977, 18: 201~221
- Hobday D K, Home J C. Tidally influenced barrier island and estuarine sedimentation in the Upper Carboniferous of Southern West Virginia[J]. Sedim. Geol., 1977, 18: 97~122
- Dalrymple R W. Runoff microdeltas: a potential emergence indicator in cross-bedded sandstones[J]. Jour. Sedim. Petrol., 1984, 54: 825~830
- Reddering J S V. Subtidal occurrences of ladder-back ripple: their significance in palaeo-environmental reconstruction[J]. Sedimentology 1987, 34: 253~257
- Allen J R L. Sedimentary structures: their character and physical basis. Developments in sedimentology[M]. Elsevier, Amsterdam, 1982, 501
- Mckee E D. Report on studies of stratification in modern sediments and in laboratory experiments[R]. Office of Naval Research, Project Nonr, 164

(00):Nr 081123 ,1953. 61

Study of Some Abnormal Geological Processes and Abnormal Sedimentary Structures down from Jinan in Yellow River

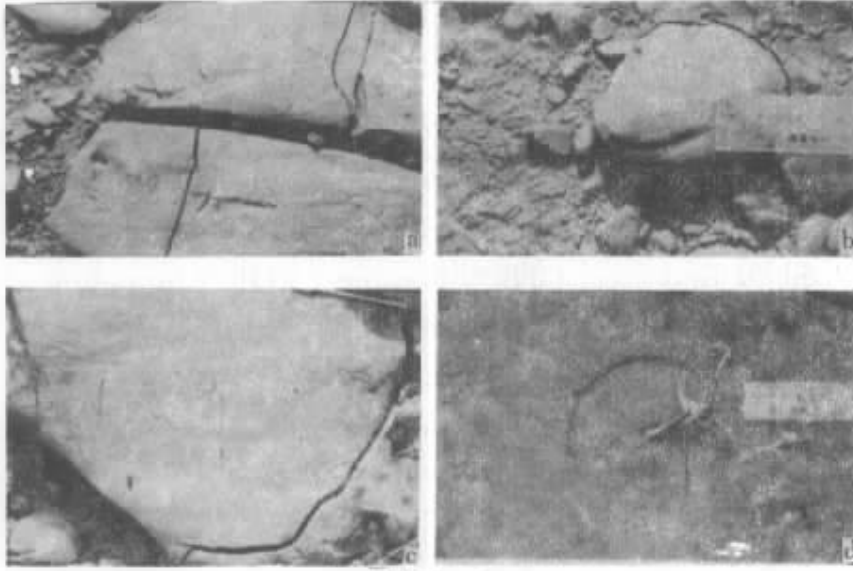
SUN Jing-yao CHEN Hui-jun ZHU Ming-chun

(Bohai Oil Company ,Tanggu Tianjin 300452)

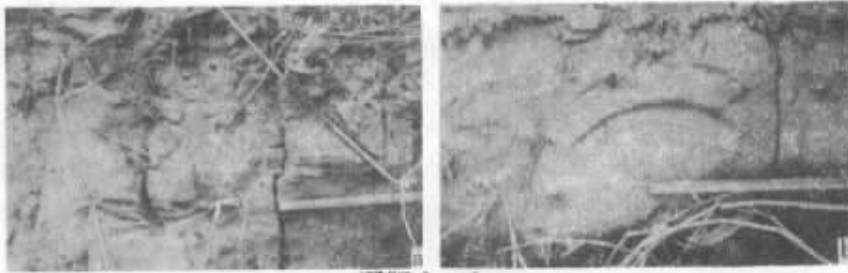
Abstract

The flow cutoff of the Yellow River has been occurred twenty times out of twenty seven years since 1972. Recently ,the phenomena become more seriously. It has caused a number of special geological phenomena. We call them abnormal geological processes. For example ,the heavy loaded flow changes greatly in flood period and makes downstream channel silting-up seriously. Moreover ,the channel is developing higher and wider constantly. Now it develops into two-gade "hanging river "in some intervals. The river bed is getting unstable and the channel changes frequently. Drainage ditches develop in point bar and channel bar. But the wind action is obvious during water-depleted period and wind-induced phenomena are common. The flow and wind geological processes affect each other and build up complex geological phenomena in delta of Yellow River. On the other hand ,the sediments are mainly fine asnd and mud. Under various conditions ,the sedimentary structures are particular at the bed plane and in situ ,for example ,deformed bedding ,muddy and sandy stalactite ,liquefied (water draw-off) structures ,gas heave structures ,plant engraved structures ,special ripple marks and special rill marks etc. We should identify and analyse abnormal geological processes and abnormal sedimentary structures under the flow cutoff of Yellow River and it is important to analyse the fluvial facies.

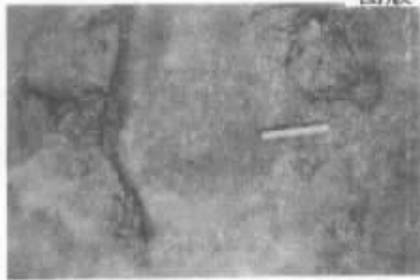
Key words abnormal geological processes sedimentary structures flow cutoff and Yellow River



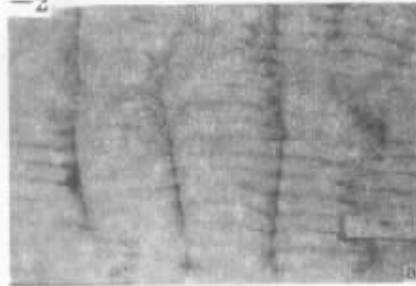
图版 I-1



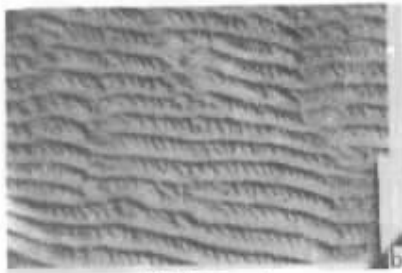
图版 I-2



图版 I-3



图版 I-4



图版 I-4

图版说明 I 1. 水成植物划痕构造 形成于细粒边滩或河床泥砾上 (a) 植物根部泥质被磨蚀形成孔状孔状或坑状 (b) 植物两端固定 泥质表面被磨蚀形在狭槽状 (a、b、c、d) 植物细根在特殊水流作用下作圆周运动 磨蚀泥质表面形成的同心圆环、扇环或圆。摄于济阳黄河大桥以下 2 km 处的河床上 2. 风成植物划痕构造 形成于沙质边滩陡壁上 (a) 呈狭槽状 (b) 呈圆弧状。摄于胜利大桥下游 3 km 处的天然堤上 3. 液化(泄水)构造 呈乳头状或突起状, 中心为液化管(液化通道) 表面发育放射状细流痕。摄于垦利胜利大桥下游 2 km 处的边滩沟槽中 4. 梯状波痕 (a) 由浪成波痕(近)垂直叠加于大型流水波痕之上组合而形成 (b) 小型浪成波痕叠加微型浪成波痕。摄于滨州黄河大桥之下