

文章编号: 1000-0550(2000)01-0007-06

# 黄河断流后三角洲(水上平原)的滑塌构造研究<sup>①</sup>

钟建华 李 理

(石油大学资源科学系资环所 山东东营 257062)

**摘 要** 黄河断流后三角洲(水上平原)上的滑塌构造非常发育,在分流河道中几乎随处可见,它们主要发育在边滩、心滩外缘、周缘或内部的水道中,还可以发育在河床上。滑塌作用形成了三种产物:滑塌壁或滑塌缝;滑塌体和滑塌碎块及滑塌变形基底。滑塌壁或滑塌缝按力学机制可能分为两种类型:一种是张性;另一种是剪性。滑塌壁或滑塌缝的规模不一,大者长度可超过十余米,甚至二十余米,小者长度只有 3~5 cm;滑塌体规模差别也较大,大者高度可超过 1 m,长度可达 3~4 m;小者高度和长度仅数 cm。通过观察发现,滑塌构造的产生与波浪的淘洗和流水冲蚀有关,与地震和斜坡滑动关系不大。黄河断流后在某些低洼河道积水成“湖”,“湖”水在风的作用下形成波浪。波浪不断拍击导致边滩、心滩产生滑塌,形成一系列相应的滑塌构造;再者,黄河断流后边滩、心滩广泛暴露,黄河三角洲地区降雨后使边滩、心滩和河床上汇集成径流,径流的冲蚀也可以形成一系列滑塌构造。有的滑塌构造被风成砂埋藏后很容易被何存下来,而充填滑塌缝之间的风成砂经成岩作用之后则有可能转变成砂岩岩墙。

**关键词** 滑塌构造 三角洲 黄河

**第一作者简介** 钟建华 男 1958 年出生 教授 博士后 构造地质学

**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,也是世界上含泥砂量最高的河流。近年来黄河连续断流,导致三角洲上的许多河段干涸。黄河断流后形成了一系列非常特殊的沉积现象<sup>[1,2]</sup>,通过研究,我们发现部分滑塌构造也是黄河断流后的一种特殊的地质作用的产物。

本次研究主要集中在胜利乡至西河口二十余公里的河段上,这一河段应属于黄河三角洲的水上平原。故本次讨论内容实际上应属于黄河三角洲水上平原的滑塌作用,而不包括黄河三角洲水下平原的滑塌构造。

## 2 滑塌构造的特征

滑塌作用可以形成三种产物,它们分别是滑塌壁或滑塌缝、滑塌体或滑塌碎块及滑塌变形基底。以下分别介绍它们的特征:

### 2.1 滑塌壁或滑塌缝

滑塌作用首先形成的产物是滑塌壁或滑塌缝(图版 I)。滑塌壁的形态主要有平面形、曲面形、弧

形或铲形,表面较平滑或参差不齐。一般规律是发育于心滩、边滩周缘或外侧,或内部水道两侧。规模较大的滑塌壁多呈平面形或曲面形,表面大部参差不齐(图版 I-1,2)。而发育在河床积水洼地周缘或河床上季节水道两侧的小规模滑塌壁则多呈弧形或铲形,表面也比较光滑(图版 I-3~6 及 13)。这一现象很好理解,因为规模较大的滑塌作用要截切多种性质或多个时期形成的沉积物,而规模较小的滑塌作用只能截切一种性质或性质比较相近的沉积物以及在小范围内截切。故前者的滑塌壁会参差不齐,而后者会比较平滑。滑塌一般上陡下缓,呈铲形。

有的滑塌壁上有朝下翻卷、呈阶梯状的粘附沉积物(图 1 及图版 I-4)。这种现象一般出现在粒度较细和含水量较高的滑塌沉积物中。一般地说,由剪切所形成的滑塌壁多呈平面形、弧形或铲形,表面比较光滑,而由拉张所形成的滑塌壁或滑塌缝则多呈锯齿形或参差状,表面不平滑,(图版 I-7~12)。有时某些特殊的滑塌作用可以形成两组滑塌壁或滑塌缝,一组呈剪性,另一组呈张性,(图版 I-7,8)。

① 国家自然科学基金(批准号:49972037)及国家重点基础研究发展规划项目(编号:G1999043603)部分成果。

收稿日期:1998-11-04 收修修改稿日期:1999-03-09

两组滑塌缝将滑塌体截切成菱形(图版 I -7, 8)。根据滑塌裂缝与滑塌体或滑塌碎块的长轴(方向)关系, 又可将裂缝分为两类: 一类是与滑塌体长轴方向近于平行或小角度斜交的纵向裂缝; 另一类是与滑塌体长轴方向近于垂直或大角度斜交的裂缝。非常有必要指出的是, 有周家边滩, 我们发现一些固结较好的大滑塌体中发育了一些密集的直立裂缝( $> 100$  条/米)。裂缝壁平直, 很象剪应力作用形成的“构造”裂缝, 与干燥收缩形成的裂缝截然不同, 其成因值得今后深入研究。

滑塌缝在横截面上呈楔形, 上宽下窄, 有时被风成砂充填, 成为小型或微型的砂墙。砂墙在上部与风成砂体连续, 内部无任何构造(图 1), 与加拿大东部 Pennsylvanian 河相地层中滑塌裂缝的砂充填有些相似<sup>[3]</sup>。

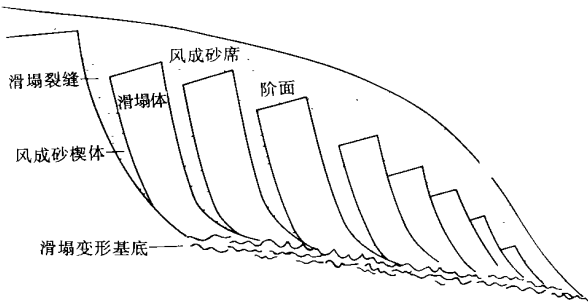


图 1 风成砂充填滑塌裂缝示意图

Fig. 1 Sketch for the aeolian sand filling in the slump crack

## 2.2 滑塌体或滑塌碎块

滑塌作用的另一产物是滑塌体或滑塌碎块, 它们的规模可大可小, 大者高度超过 1 m, 长度在 3~4 m 左右, 体积超过  $3 \sim 5 \text{ m}^3$  (图版 I -1, 2); 小者仅数十厘米<sup>3</sup> 等(图版 I -3 等)。滑塌体的形态以下甚规则的长条形、碎块形及弧片形多见, 大规模的滑塌体多呈长条形或碎块形、小规模的滑塌体多呈弧片形或碎块形。大规模的滑塌体内部多发育了滑塌裂缝, 使其完整性受到破坏(图版 I -1)。有时多个滑塌体可以组成象多米诺骨牌一样的滑塌阶(图版 I -4, 5), 阶面多数向外倾斜。滑动强烈时, 滑塌碎块裂解成无定形的滑塌碎块, 成为一种“筏移漂砾”。

发育于黄河三角洲边滩、心滩一侧或两侧的滑塌体或滑塌碎块的长轴总体上平行于河流流向排列, 但发育在边滩、心滩内部水道中的滑塌体或滑塌碎块其长轴的排列与河流流向无必然联系, 只取决于水道的方向, 而水道往往大多数与河流流向近于

垂直或大角度相交。因此, 利用滑塌体或滑塌碎块的长轴走向来研究河流流向时应做更细致的工作。

滑塌体或碎塌碎块大部分难以保存下来, 它们会随波浪的震荡而不断被液化而解体成松散砂或泥(图版 I -10, 11), 或者被流水所冲走。只有后期形成的少数滑塌体或滑塌碎块得以保存下来, 但最终能够保存下来进入埋藏的还要少, 因为下一次洪水会将大部分剩余的滑塌体或滑塌碎块冲碎(包括浸泡“溶化”)和搬运走。只有被风成砂覆盖后, 它们才能保存下来(图 1)。

国外学者对河流中的滑塌体或滑塌碎块(slump blocks)进行了较深入的研究, 取得了不少成果<sup>[3~5]</sup>。在加拿大东部的 Pennsylvanian 河流相地层中有大量由河流侵蚀形成的滑塌体或滑塌碎块(slump blocks), 它们构成了内部变形发育的砾岩(intraformational conglomerates)<sup>[3~5]</sup>。在黄河三角洲, 如果滑塌碎块(图版 I -1~3)被风成砂覆盖后便有可能被下一次洪水携带来的泥砂所埋藏(部分因侵蚀再度被冲蚀搬运走), 如经过成岩作用便同样可以转变成(滑塌)砾岩。在一些滑塌体或滑塌碎块中同样可以见到变形层理<sup>[6]</sup>。这些发育有变形层理的滑塌体或滑塌碎块经成岩作用后同样可以转变成内部发育有变形构造的砾岩(intraformational conglomerate)。

从国外学者发表的一些论文看, 滑塌体上往往发育一些侵蚀构造(mold of flute and groove)<sup>[3]</sup>, 但从观察结果看来, 黄河三角洲上的滑塌体或滑塌碎块上并未见到任何侵蚀构造。

在黄河三角洲, 还能见到一种独特的滑塌现象, 如某些低洼积水处进一步干涸, 其泥质沉积物便会发生干裂。如果黄河三角洲降雨, 在黄河河道内的低洼处便会形成小规模径流。这些小规模径流沿发育裂的泥质沉积物流动时, 沿泥裂往下渗流, 使泥裂片的“基底”发生侵蚀和形成液化“流变”, 导致泥裂片滑塌。如果小规模径流能较长时间(数天)发育, 泥裂片下部的砂质基底便会淘洗“干净”, 使泥裂片就地堆积在一起, 形成一种原地泥砾。由于这种泥砾是在泥裂之后经过滑动和“冲洗”形成的, 是在一种硬化条件下发生滑塌和“冲洗”的, 因此, 泥砾(泥裂片)内部不会发育滑动变形构造, 形成那些软质沉积物在“韧性”条件下滑塌形成的滑塌褶皱(slump fold), 而这种现象在 California 西部的白垩纪 Pigeon Point 组中的泥砾中经常可以见到。虽然

没有滑塌褶皱,但在黄河三角洲的滑塌干裂泥片中有时可以见到沿泥裂缝边缘微弱先起的弧形变形层理。显然这是由泥质沉积物在干裂过程中边缘失水较早和较多所形成的。如果径流过强或遇到三门峡水库放水或黄河正常过流,泥裂片经过滑塌、“冲洗”形成的原地泥砾可以被水搬运到下游,形成一种异地泥砾(homogeneous mud pebble),有的泥砾可以磨圆很好。

2.3 滑塌变形基底

滑塌体的滑塌多是沿着一基底进行的(图 1),当滑塌位移量很小时,滑塌变形基底的连续性比较好,仅形成一些变形构造,从成因上来说,这些变形构造应属于软沉积物变形构造的一种。目前国际上对软沉积物变形(构造)的研究非常重视,有关成果屡见不鲜<sup>[7~11]</sup>,而我们做的工作却非常有限。变形构造的特征标志应是变形层理,因为滑塌基底中的变形层理的成因与滑塌有关,所以我们将其称为滑塌变形层理<sup>[6]</sup>。

黄河三角洲上的滑塌变形层理非常复杂。既有简单褶曲状,又有复杂褶曲状或肠状;既有连续的,也有非连续的。无论是简单褶曲状,还是复杂褶曲状的变形层理,其轴面与滑动方向均无必然联系,所以根据变形层理轴面产状来判断滑塌方向是非常困难的。虽然有人尝试了一种方法用来根据滑塌变形层理轴面的产状来判断滑动斜坡方向<sup>[12]</sup>,而且也有人用此方法获得了满意的结果<sup>[13]</sup>,但我们怀疑此方

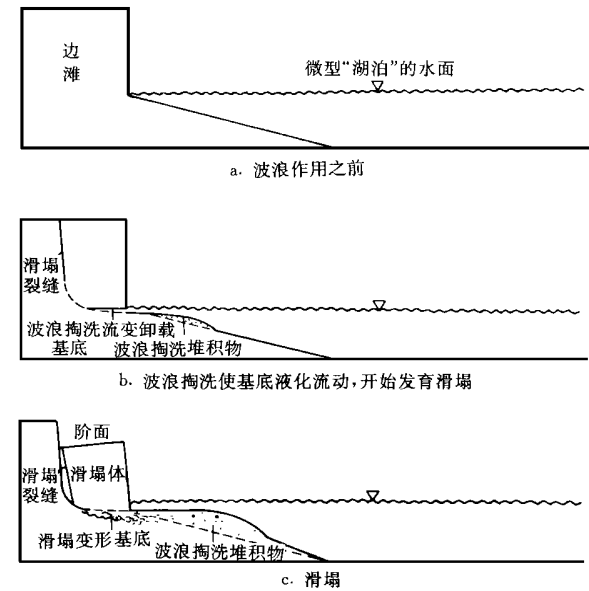


图 2 波浪淘洗形成滑塌构造示意图

Fig. 2 Sketch for the sluicing formation by wave washing

法的有效性。

如果滑塌位移量很大时,滑塌变形基底的连续性则完全受到破坏,大量的变形物质被波浪淘洗或流水冲刷而搬运走,使整个滑塌体朝下侧滑陷,图 2 及图版 I -11。如果沉积物非常潮湿,且波浪淘洗或流水冲蚀强烈,整个变形基底则会发生液化而流动(图版 I -10, 11),变形层理也会随之消失。滑塌变形基底包括三个组成部分,除了滑塌变形层理外,还有滑塌断裂和滑塌(变形)碎块。后两者常发育在滑塌位移较大和基底软化流变性相对较小的滑塌基底中。

3 滑塌作用的成因

黄河三角洲上滑塌作用发育,成因有以两种:

(1)波浪淘洗这是滑塌构造最常见的一种成因。黄河断流后下游河床大部干涸,但在某些低洼处常积水成“湖”(图版 I -5, 6)。在风的作用下,“湖”面发育波浪,波浪不断冲刷淘洗沉积物,使其不断被搬运走;再者波浪不断拍击,使沉积物液化泄水,沉积物体积收缩或发生流动,使滑塌体的基底失去支撑或支撑不均衡而产生滑动,如图 2。

(2)流水冲洗黄河三角洲季节性的降雨会使某些干涸河断的河床出现暂时性的细小流水,细小流水可以使较平坦的河床形成“U”形沟槽。流水沿“U”形沟槽流动时对两侧产生侵蚀,使两侧产生滑塌作用(图 3 及图版 I -13)。这种滑塌体的规模一般比较小,滑塌体的高度多在 10 至 20 cm 以下。

顺便讨论一下,在黄河三角洲断流后,不少地方发育了由局部降雨形成的径流冲蚀形成的沟槽(图 3 及图版 I -13),非常类似于 Gibling 等在研究 Pennsylvanian 辫状河沉积时发现和描述的一种线性蚀槽(linear scour)<sup>[14]</sup>。Gibling 等认为这种线性蚀槽的成因与干涸收缩裂缝控制的侵蚀有关,而

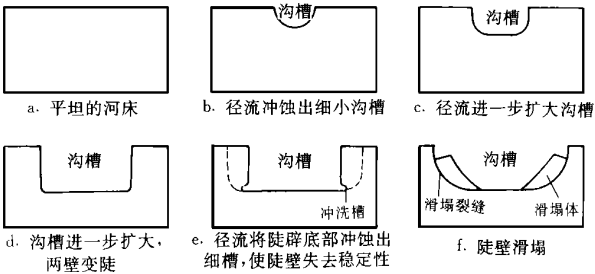


图 3 流水冲蚀形成滑塌构造示意图

Fig. 3 Sketch for the sluicing structure by running water washing

Harvey 则认为与河床局部“缺陷”有关<sup>[15]</sup>。从黄河三角洲的实际情况看来,线性蚀槽的成因既与干燥收缩裂缝无关,也与河床局部“缺陷”无关。如果说有什么“缺陷”的话,那就是河床内部地势略微的呈线性低洼,有利于集中降雨形成的片流,使之成为径流,最后由径流侵蚀形成沟槽(线性蚀槽, linear scour)。滑塌是沟槽扩展的一种重要方式(图3及图版I-13)。有关沟槽的详细讨论将另文专述<sup>①</sup>。

## 4 结束语

以上简要地介绍了黄河三角洲水上平原在黄河断流后发育的滑塌构造。可以看出,黄河三角洲上的滑塌构造很具特色,与传统的滑塌构造成因有所不同,即它们未必都是在斜坡上由重力或地震作用形成的。细粒沉积物的半松散状态及特殊的水文条件是其形成的基础。

关于滑塌构造,国内外学者在认识上还有一定差异,如 Blatt 的滑塌构造指的是包卷层理(convolute bedding)或滑塌褶皱(slump fold),所以“真滑塌构造在野外往往不易于与负荷或液化构造,以及流体剪应力或错动所形成的构造所区别<sup>[16]</sup>”。由此可以看出,Blatt 的滑塌构造是一种狭义的滑塌构造,仅相当于我们研究的滑塌构造中的一个组成部分。国内学者对滑塌构造的理解更趋科学<sup>[17, 18]</sup>。

有一点非常有必要指出:在黄河三角洲常常还可以见到另一个与滑塌相似的现象,那就是崩塌。我们认为,崩塌不宜列入滑塌一并考虑。因为崩塌与滑塌本质不同:崩塌是直立陡峭的边滩、心滩、心滩外缘,也包括它们内部的水道陡峭边缘因重力失稳而自由塌落,它没有一个“流变”的基底,因而也就没有基底变形构造,再者,崩塌块体与滑塌体也大不相同。前者多呈碎块状,碎块棱角育,无定向排列性,与坠积物相似;而后者则具有一定形态,排列也有一定规律性(方向性、阶梯性)。尤其是弧片形这一特殊形态是崩塌块体所难以具有的。其它的区别还能找到一些,在此就不多叙了。总之,将滑塌与崩塌区别对待,其意义是明显的。

最后我们用这样一句话来作结束语:应当充分重视滑塌构造的研究,充分发掘它在环境分析中的科学意义!

致谢:国家自然科学基金及国家重点基础研究发展规划项目提供了资助;石油大学资源系的马在平、钱铮等协助完成野外科考;石油大学93级、94

级及95级的部分同学参与了野外科考;姜在兴教授给予了关心支持,在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- 1 钟建华. 黄河三角洲上3种典型的沉积物构造构造[J]. 西北大学学报, 1996(增刊), 506~510
- 2 钟建华, 马在平. 一种特殊的沉积构造—泥砂钟乳[J]. 科学通报, 1997, 42(17): 1 853~1 856
- 3 Plint A G. Slump blocks, intraformational conglomerates and associated erosional structures in Pennsylvanian fluvial strata of eastern Canada[J]. Sedimentology, 1986, 33: 387~399
- 4 Van de Poll H W, Patel I M. Slump blocks, intraformational conglomerates and associated erosional structures in Pennsylvanian fluvial strata of eastern Canada[J]. Sedimentology, 1989, 36: 137~145
- 5 Plint A G. Slump blocks, intraformational conglomerates and associated erosional structures in Pennsylvanian fluvial strata of eastern Canada[J]. Sedimentology, 1989, 36: 145~150
- 6 钟建华, 马在平. 黄河三角洲上的变形层理的研究[J]. 沉积学报, 1989, 16(1): 13~19
- 7 Lopea Gamundi O R. Pebbly mudstones in the Cretaceous Pigeon Point Formation, western California; a study in the transitional stages from submarine slumps to cohesive debris flows. Geology, 1993, 84: 37~50
- 8 Hansen E. Strain Facies[M]. New York: Springer-Verlag, 1977
- 9 Sims J D. Earthquake-induced structures in sediments of Van Norman Lake, San Fernando, California[J]. Science, 1990, 182: 161~163
- 10 Owen G. Soft-sediment deformation in upper proterozoic Torridonian sandstones (Applecross Formations) at Torridon, northwest Scotland[J]. Jour. Sedim. Res. 1995, A65(3): 495~504
- 11 Williams G E. Soft-sediment deformation structures from the Marinoan glacial succession, Adelaide foldbelt: implications for the palaeotemperature of late Neoproterozoic glaciation[J]. Sedimentary Geology, 1996, 106: 165~175
- 12 Stone B D. Analysis of slump slip lines and deformation fabric in slumped Pleistocene Lake Beds[J]. Jour. Sed. Petrology, 1976, 46: 313~325
- 13 Tamas H, Lantos M. An evaluation of slump fold formation using paleomagnetic techniques[J]. Sedimentary Geology, 1994, 90: 233~240
- 14 Gibling M R. and Rust B R. Channel margins in a Pennsylvanian braided fluvial deposit: the Moien Group near Sydney, Nova Scotia Canada[J]. Jour. Sedim. Petrol. 1984, 54: 773~782
- 15 Harvey L D. Shearing and Kolking phenomena in fluvial sediments, Old Crow, Yukon Territory, Canada[J]. Jour. Sedim. Petrol. 1980, 50: 787~792
- 16 Blatt H Middleton G, Murray R. Origin of sedimentary rocks[M].

① 钟建华, 倪晋仁. 黄河三角洲上的特殊侵蚀沟槽的研究. 高校地质学报, 待刊.

Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1980

17 刘宝珪主编. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980

18 陈景山, 冯增昭等. 沉积构造. 中国沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994

Study of the Slump Structure on the Yellow River Delta During Its in Zero

ZHONG Jian-hua LI Li

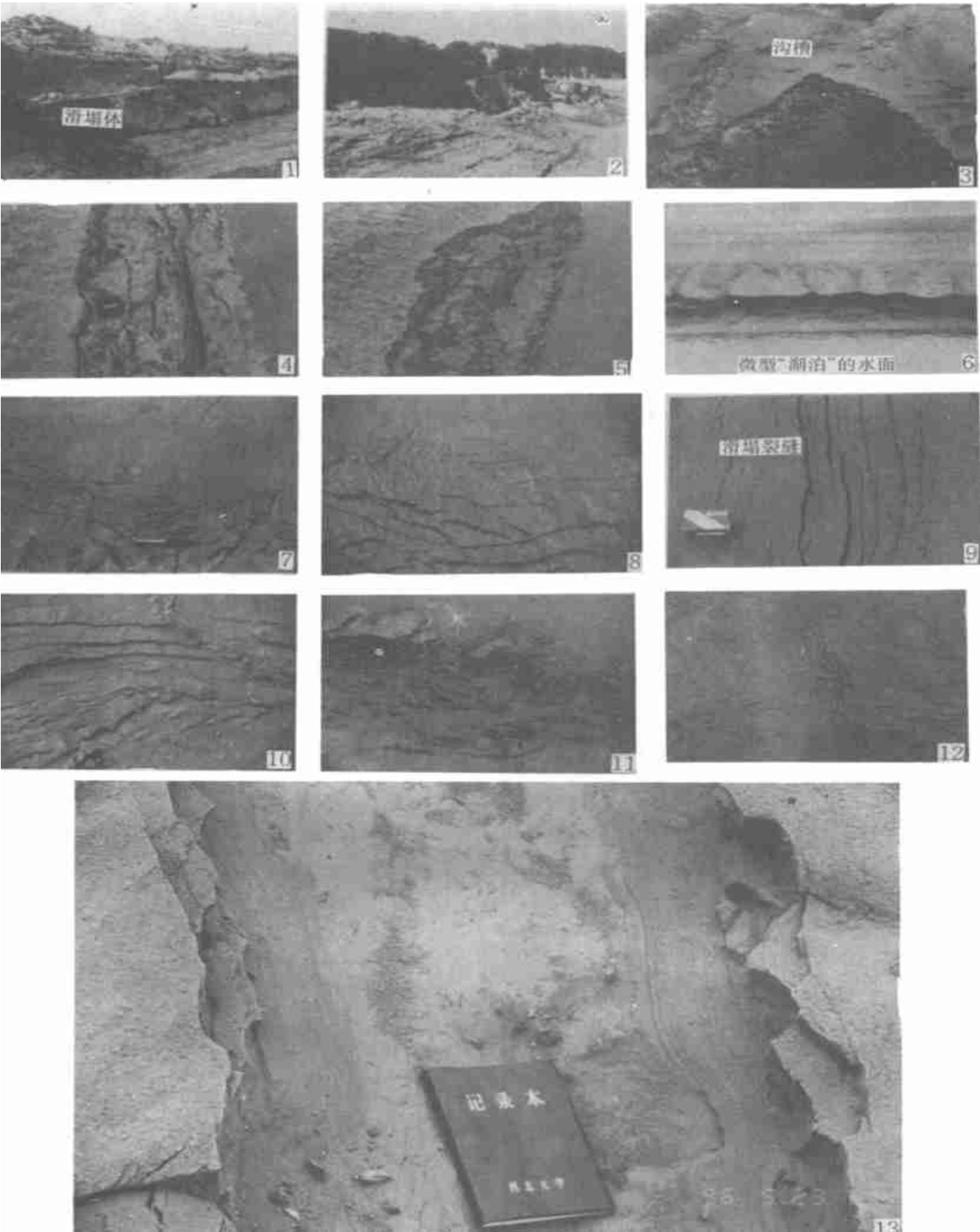
(Resource Science Department Resource Institute Petroleum University of China Dongying Shangdong 257062)

Abstract

On the delta during Yellow River in zero, there developed a great number of slump structures, which might be formed near the edge of point bar and channel bar or in the channel developed within the point bar or channel bar, as well as in the river course. Slump may result in three products; one is slump wall and/or slump crack; the second is slump body, and the third is slump deformation basement. The slump wall and/or slump crack could be divided into two types according to the dynamic mechanics; one is of extension and the other of shearing. They has different sizes; the largest has more than ten meters in length and the smaller is not beyond three to five centimeters in length. The slump body is also defferent in sizes, and the largest may have one meter high and two or three meters long, and the smaller is a few centimeters in height and length. The observation indicates that the slump has been caused by wave and/or runing water washing and not by earthquake and/or sliding on slope.

Interrupting of the Yellow River flow results in forming small ‘lake’ in some lower courses and the water in the ‘lake’ is blown by wind to forming wave. The wave—washing causes the wall of point bar and channel bar collapse, forming a series of slump structures. Interrupting of the Yellow River flow, meanwhile, makes almost all the point bar and channel bar exposed wholly and the rainfall in Yellow River delta is concentrated to form small runoff in the bar surface, which scours walls of the bar, resulting in forming a series of slump structures. Some of slump structures are buried by wind—induced sand and easily preserved, and the wind—induced sand filling in the slump fissures will become sand walls by diagenesis.

**Key words** slump structure delta Yellow River



图版说明 1. 胜利大桥北岸边滩的滑塌构造, 滑塌体高 1 m(属大型滑塌体), 从其左前方滑塌体后部的滑塌壁可以看出, 其向下滑塌了近 1 m; 2. 周家边滩的滑塌构造。滑塌体高 1 m 左右, 因向下滑塌而急剧倾斜; 3. 河道中的小型滑塌构造, 滑塌碎片呈弧片形。义和 1 号险桩附近; 4、5. 河道中的小型滑塌构造, 呈阶梯状。4 中的滑塌上有朝下翻卷, 呈阶梯状的粘附沉积物, 并发育有纵向小裂缝。胜利大桥附近; 6. 河床的小型弧片型滑塌构造。胜利大桥附近; 7、8. 河床上发育有两组裂缝的滑塌构造。两组裂缝把滑塌体(碎块)截割成菱形。胜利大桥附近; 9. 河床上发育的滑塌构造。中部滑塌体下陷 两侧相对较高, 成地堑状, 西河口心滩; 10、11. 波浪作用使滑塌基底和滑塌体液化。胜利大桥下游 1km 左右; 12. 张性滑塌裂缝。胜利大桥附近; 13. 河床上的小型滑塌构造。滑塌体呈弧片形, 滑塌壁较光滑, 罗家附近。