

沿莱茵-马斯河下游从河控到潮控体系不同亚环境内的沉积构造特征

陈昌明 汪寿松

(中国科学院地质研究所)

梁瑞仁 (S.D.Nio) Van Gelder, A.

(荷兰马德勒支大学比较沉积学部)

序 言

为修建规模宏大的拦海闸门,沿莱茵-马斯河下游挖掘了一系列深度达十几米的大型建设坑,这项巨大的工程不仅标志着人类与大海斗争的新时期,而且为该地区亚近代沉积物及其环境特征的研究提供了极好的机会。其中阿梅龙根、乌德勒支、巴伦德勒希特、哈林弗里特和东谢尔德建设坑(图1)分别揭露了从河控到潮控体系的不同亚环境内形成的沉积物。

河控体系的沉积构造特征

阿梅龙根和乌德勒支附近大型建设坑揭示了河控沉积物,它们的主要特征如下:

1、大型单向交错层理

大型板状或槽状交错层理是该区河控沉积物的主要沉积构造。大型板状交错层理由中到细砂组成,具颇大的层系长度和层系长/厚比值。保存下来的交错层系,可分出发育良好的彼此在粒度和构造上明显不同的两部分。上部为粗粒的前积层,下部为细粒的底积层。前积层呈简单直线形或切线形,与交错层系下界面呈锐角或切线相交。前积层单个纹层厚度变化于毫米与厘米之间(图版I, 1)。板状交错层内亦见到发育不良的前积层。这些前积层由许多彼此斜叠的小型槽状或平面状交错层系组成(图4)。这是因为流速较低时,流过大波痕上面的水流得不到充分分离,同时大波痕背流面倾角太小,不能维持一个崩落面,只能在缓倾斜波痕面上形成小水流波痕。只有在水流速度足够大时才能形成前积层发育好的大波痕交错层理。在一次洪水事件中可以看到,开始和结束阶段水流速度较低,前积纹层发育不好。中期阶段流速增大,前积纹层发育变好(图2)。关于底积层问题将在下文中涉及。

大型槽状交错层理具有较小的层系长度和层系长/厚比值,底积层发育较差,颗粒相对较粗。河控沉积物内大型板状和槽状交错层理都是单向构造,仅在底积层内有时可看

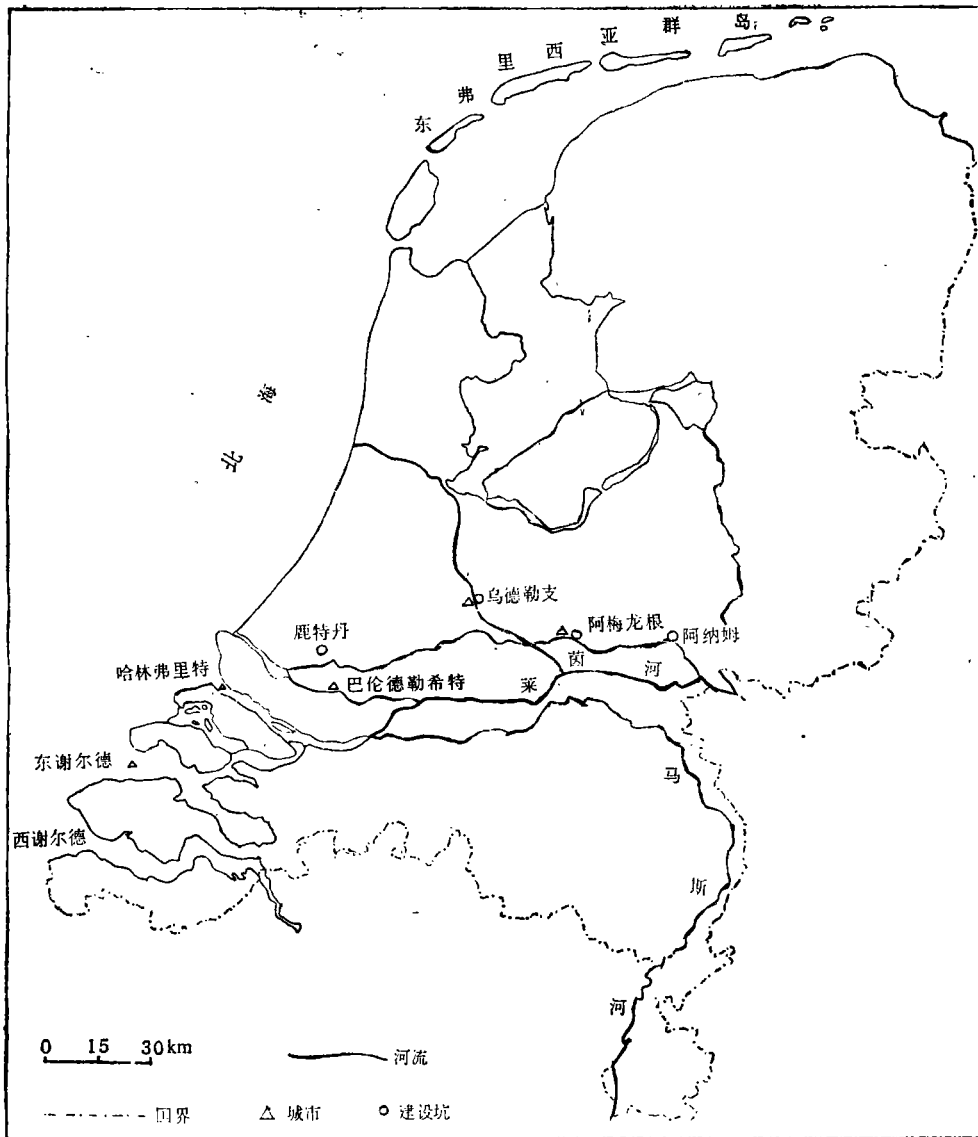


图1 莱茵-马斯河下游和建设工程坑位置图

Fig.1 Localities of the lower reaches of the Rhine-Meuse River and the excavation

到反向的回流波痕(图3、4)。此外常见几套大型板状和槽状交错层系在垂直序列内连续出现,说明水流条件在相当长的时期内是比较稳定的。随着河水流量的季节变化或蛇曲河的迁移,流速逐渐减小,大型板状交错层系往往处在槽状交错层系之上。但这些变化与潮控系统的日变化和小潮/大潮变化相比有较长的周期和较不规则。

2、成分简单而构造复杂的底积层

在大型交错层理特别是板状交错层理的下部常有发育良好的底积层,它们有时达到层系总厚的一半,并常显出相当复杂的内部构造。其中至少有四种小层理类型自上而下相继出现(图3); a)平行纹层,为大前积层的延续部分,由悬移质沉积形成, b)回流产

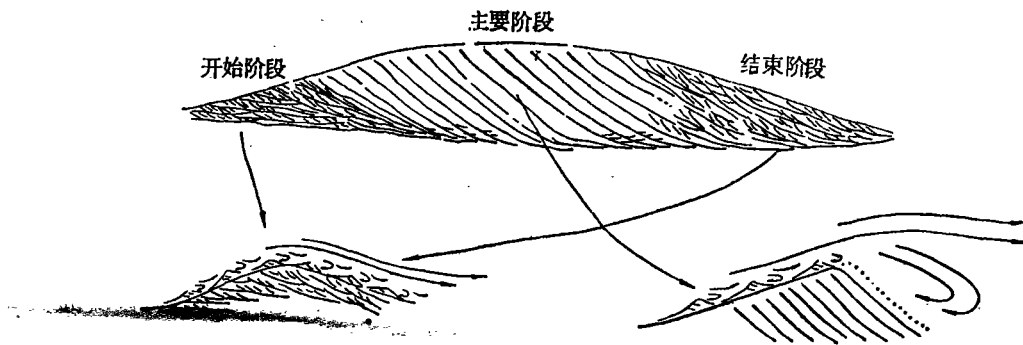


图2 一次洪水事件的不同阶段中大波痕及其前积层发育示意图
 Fig. 2 Development diagram of large ripples and their foresets in the different stages of a flood period

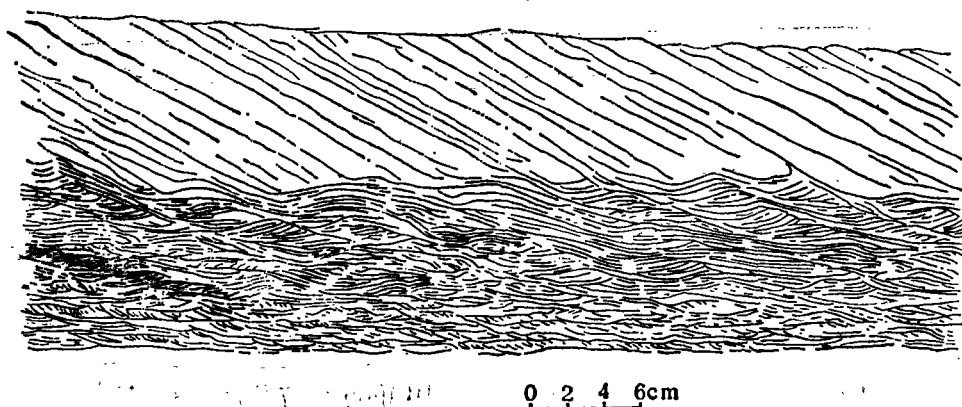


图3 由前积层与底积层组成的大板状交错层系，底积层可以分出四个带：a)平行纹层带，b)上攀波痕纹理带，c)不规则波状纹层带和d)小平面状交错层理带（图版I，1的细部）
 Fig. 3 Large-scale cross-bedding set consisting of foresets and bottomsets

生的上攀波痕纹理，c)不规则波状、槽状交错层理，其成因与大波痕前面不规则的波浪活动有关和d)同向流形成的平面状交错层理（Boersma, 1967）〔2〕。其中上攀波痕纹理倾向与大前积层相反，与本文其它处提到的相比，具较小的上攀角（ $18-20^\circ$ ），属迁移I型（Reineck, 1980）〔9〕，是在悬浮物相对较少和侵蚀作用较强的条件下形成的。这种底积层构造虽然复杂，成分却很简单，属于简单层系组，与潮控体系的完全不同。

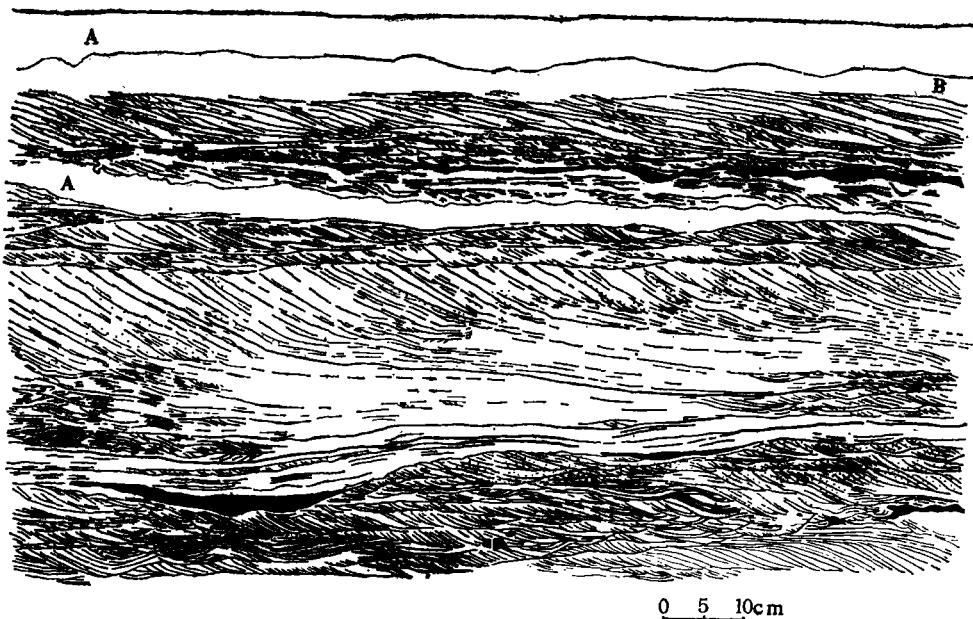
3、单向小型交错层理

小型交错层理除了发育于大交错层系的底积层外，还作为独立的层系组出现在大交错层系组之上或其间。这些小型交错层理形状多变，槽状、平面状交错层理、波痕形态组理和上攀波痕纹理都可以见到，但大部分呈槽状和平面状（图4，图版I，1）。其中上攀波痕纹层属迁移I型，上攀角较大（ $30-40^\circ$ ），这意味着供给和沉降的悬浮物较多。这类小型交错层组成简单，亦属简单层系组，且总是单向的，与潮控体系及过渡带常见

的复合层系组明显不同。

4、连续向上变细序列

把上述大型交错层理与小型交错层理联系起来可以看到，在粒度和构造上，向上变细的序列存在于河控沉积物的大旋回或小旋回中。如图4中包含两个完整和一个不完整旋回。每个旋回自下而上由大型交错层理、小型交错层理和平行纹层状粉砂、粘土质粉砂和粘土交互层组成。三个旋回本身又组成一个向上变细变小的大旋回。垂直序列内这些变化反映河流能量和水流速度随时间改变，而这又可能由流量的季节变化或蛇曲河的迁移造成。变化的周期比潮汐地区的半日或小潮/大潮周期长，也就是说在河流区由砂质沉积作用到粘土质沉积作用的变化需要较潮汐区长得多的周期。并且这些变化主要不规则地发生在垂直方向上。所以，在河控沉积物内不可能发现在一个大波痕交错层系这样短的横向距离内由砂过渡为粘土沉积，而在潮汐沉积物的束状体和横向束状体序列内部可发现这种变化，这是两者的重要差别。



A: 平行纹层状粉砂、粘土质粉砂和粘土互层沉积 B: 小波痕交错层理, 由于受植物根扰动而破坏
可见两个完整和一个不完整旋回(下部)。每个旋回自下而上由大交错层理、小交错层理和纹层状粉砂、粘土质粉砂和粘土层的交互层组成。三个旋回本身又组成一个向上变细变小, 发育变差的大旋回。其中黑色为粘土沉积

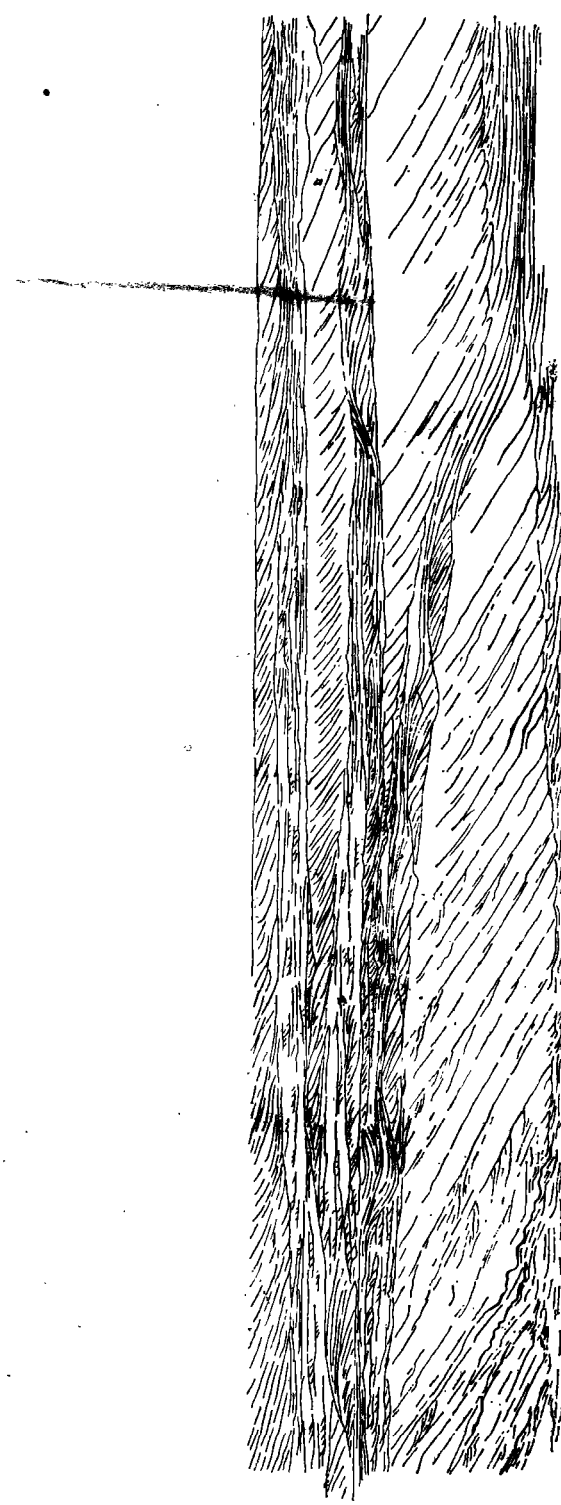
图4 河控沉积物旋回

Fig. 4 Cycles of the fluvial dominated sediments

此外，河控沉积物内主要由基岩砾石和淡水介壳组成的滞后沉积物可用于鉴别河流沉积物。与此相反，潮汐区的滞后沉积物缺乏基岩砾石，而富泥砾和海相介壳。

5、河控沉积物受潮汐影响的证据

仔细观察可在河控沉积物内发现一些不协调现象，如大型交错层理的不连续性，前积纹层呈波状或弯曲形态，偶而出现的泥披覆层(图4、5)。所谓大型交错层理的不连



0 5 10 cm

河控沉积大交错层系内无规律地出现泥被覆层和小水流波痕交错层理，小交错层理与大前积层倾向相同。泥被覆层和小交错层理的形成与潮汐影响有关

图 5 受潮汐影响的河控沉积物沉积构造特征
Fig. 5 Characteristics of the sedimentary structure of fluvial dominated sediments influenced by tidal currents

续性是指大交错层理内或它的顶上有一些细物质,它们还常显出发育良好的小型波痕形态,其前积纹层倾向与大交错层理的一致(图5)。推测这由不规则地间歇发生的潮汐影响造成。在潮汐(如涨潮)作用影响下河水流速可暂时减小,大波痕停止移动,静止的大波痕可能受到侵蚀,表面变缓,并有起伏,减弱的水流在此表面上形成小波痕。随后在水流速度恢复时继续发育大波痕。结果小波痕合并到大交错层系中或其顶面上(图4,5,8-(8))。泥披覆层应属比小波痕更低流速的产物,它们直接通过悬浮物的沉降生成。

潮控体系的沉积构造特征

亚近代潮控沉积物在古莱茵-马斯河口区分布广泛。东谢尔德和哈林弗里特建设坑揭露了平均海平面以下17m深的亚近代潮控沉积物。潮控沉积物在沉积构造上的突出特征是具有交错层束状体、横向束状体系列、泥披覆层或双粘土层。

交错层束状体是以泥披覆层或无沉积侵蚀面(复合面)为界面的一个前积层单位(Boersma 1967, 1969; Visser 1980)(2, 3, 13)(图7, 图版I, 2)。由于主水流期的中期水流较强,束状体中部的层发育和保存好,主水流期的开始和结束阶段流速变小,并存在有侵蚀作用和滑动变形,使束状体两侧的前积层发育和保存较差。束状体可呈S形或平板状,这决定于侵蚀程度(见第73、77页正文;图2、7;图版I, 2)。

束状体在横向上的规则排列构成横向束状体序列。束状体在横向序列上的厚薄、疏密变化反映潮汐日不等量和小潮/大潮周期性变化(图版I, 2, I, 3)。

双粘土层是分隔束状体的两个泥披覆薄层,分别形成于主潮流和次潮流之后的平潮期。双粘土层之间是次潮流形成的薄砂层,常具有与大前积纹层倾向相反的小波痕纹理(图7、图版I, 2, I, 1)。双粘土层通常在底积层内发育和保存较好,向上延伸到大前积层上,然后因受到侵蚀而逐渐尖灭掉。由于侵蚀作用双粘土层可以不连续,甚至成为孤立脉状体。一般下粘土层比上粘土层保存好,重力滑动作用常使上粘土层褶皱变形(图版I, 2, I, 1)。然而单粘土层在潮控沉积物特别是潮间沉积物内是常见的。

潮控沉积的大波痕交错层理往往具有层系长而厚的底积层,它由泥/砂交互组成复合层系组(注意与河控沉积比较),泥常以双粘土层形式出现。砂层分成两类:一类由次潮流形成,其倾向与大前积层相反,常发育不好,呈不连续砂层或双粘土层间的孤立砂透镜体,另一类由同向流形成,常显示出复杂的内部构造(图版I, 2, I, 1)。

泥砾、泥炭碎屑和海相介壳富集在滞后沉积物或大波痕前积层下部,但这里缺乏河控沉积中常见的基岩砾石。

此外,脉状、波状和透镜状层理常出现于剖面中上部(图版I, 2)。它们的形成与平潮水流停滞期和涨落潮水流活动期的规律性交替有关(Reineck et al. 1968)(8)。其中小水流波痕交错层理与浪成波痕交错层理常密切共生。具有零星脉状体的小型交错层理带(疏带)与波状和透镜状层理带(密带)的韵律性同样反映了小潮/大潮周期的变化。前者形成于有较强水流和波浪作用的大潮周期,后者在水流和波浪能量都已减弱的小潮期形成(图版I, 2)。

由底栖生物如 *Echinocardium*、双壳类和鸟蛤(*Cockle*)等造成的生物扰动结构

是潮控沉积物内常见的特征。生物扰动强度可达到完全破坏原始物理构造而形成全生物扰动构造。

过渡带沉积物的沉积构造特征

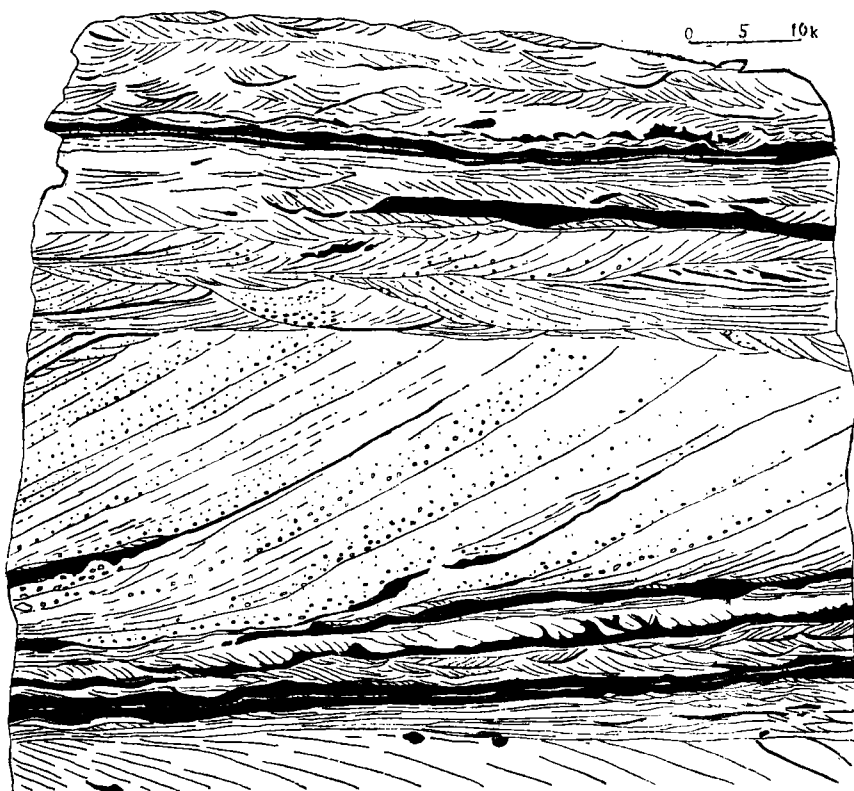
出露于巴伦德勒希特建设坑内的过渡带沉积物在沉积构造上兼有河控和潮控环境的双重特征。

1. 大型单向槽状或平面状交错层理

与阿梅龙根建设坑沉积物相似，过渡带沉积物的大型单向槽状或平面状交错层理也具有发育好的底积层，然而大前积纹层时常被薄的粘土或粉砂层覆盖，泥质披覆层一直延伸到底积层。底积层内有发育好的回流波痕层理（图6）。

2. 似束状体的前积层构造

过渡带里也观察到了具潮汐束状体特征的类似构造。例如在图6中，束状体上下被泥披盖，并以泥披覆层彼此分开。构成束状体的前积层显示出纵向上和垂向上向下变细的递变。有时可以发现双粘土层，其间具有与大前积层反向的小交错层理。差异压实作



过渡带内不规则产出的束状体被泥披覆层分开，且底积层厚（漆揭片取自巴伦德勒希特）。其中可见双粘土层和反向波痕层理。大小交错层理都表现为双向型羽状交错层理

图6 过渡带类束状体前积层构造

Fig 6 Structure of the bundle-like foreset in the transitional zone

用使泥披覆层变形并侵入上覆砂层,形成小火焰状构造。当泥披覆层受到侵蚀时,可能只留下一些孤立脉状体。然而这些束状体很少发育成像哈林弗里特、东谢尔德和西谢尔德典型潮控系统那样好的横向束状体序列,而只能在横向上不规则地随意排列。因此过渡区可能是一个很复杂的水动力体系,其水动力条件变化相当不规则。这里除有潮汐日变化,退潮/涨潮,小潮/大潮的规律性变化之外,还有河流流量和流速的不规则变化的影响。

3. 双向交错层理

按构造的规模可将过渡带交错层理区分为小型双向交错层理和大型双向交错层理。小型双向交错层理具有完好的波痕形态和常呈羽状交错层理出现,分布于剖面的中上部(图6)。羽状交错层理的形成是由于水流每日两次反向,而水流速度几乎相等(Klein 1977〔5〕; Reineck, 1963〔7〕)。这里可能是因为涨潮流的强度与退潮流+河流的强度几乎相等。

双向大交错层理常见于剖面的中部,其规模一般小于剖面下部的单向交错层理(图6)双向大交错层理的前积层亦呈切线形和上凹形,常有发育好的趾积层,甚至底积层。双向性也可出现在不同规模的层系之间,层系上下界呈不规则和微波状起伏。双向大交错层理的组成物质较粗,其形成的水动力条件可与相应双向小交错层理相比,但水较深,水流速度较高(Simons et al., 1962)〔10〕。

4. 脉状、波状和透镜状层理

彼此相关的这组层理常见于过渡带的中上部。由脉状经波状到透镜状层理周期性地出现,说明水流能量逐渐减弱。值得注意的是波状层理砂层有时显示出良好的上攀波痕层理,后者常见于冲积层内而很少出现在潮汐沉积物中。事实上在哈林弗里特和东谢尔德潮汐沉积物内尚未发现它们。这种奇特的组合正是河控和潮控地区之间过渡沉积的特点。

5. 沉积物的混合组分

粗粒物质尤其能反映不同的来源。过渡带出现主要来自潮汐区的泥砾和海相介壳碎屑(*Hydrobia ulvae*)和来自河流区的基岩砾石和淡水介壳碎屑。所以过渡带沉积物成分很复杂。此外,基岩砾石大部分呈滞后沉积分布于河底,而泥砾有时富集于波谷内和沿大前积层分布。

沉积过程反应模式

1. 时间-速度型式: 沉积物和底形的运动

沉积过程与其产物(反应)之间,更确切地说是水流速度与底形(或层理)之间有一定关系(Allen 1968; Reineck et al. 1980; Simon et al. 1962, 1965; Cry et al. 1966)〔1, 4, 9, 10, 11〕。通常潮汐水流具非对称双向性质,即包含主潮流和反向次潮流,主潮流既可以是涨潮流也可以是落潮流,次潮流也是如此,这主要决定于潮流活动的空间(H. G. Reading 1982; Terwindt 1981)〔6, 12〕、时间及与河流作用(假如存在的话)的相互关系。图7 A表示潮流的一般时间速度型式。横座标以上两条虚线给出形

成小型交错层理或大型交错层理及粘土和粉砂沉积的速度范围，横座标以下的虚线同此，只是流向相反。时间由O到Q表示一个半日周期。图7 B表示在此时间-速度条件下形成的沉积构造——一个完整的束状体。在主潮流的主要阶段(A)中形成束状体的主要部分——a。前积层发育好，形状平直而规则。在主潮流的开始(B₁)和结束(B₂)阶段，小型水流波痕交错层理(b₁)和(b₂)形成于先前的大前积层表面(b₂)或在泥披覆层之上(b₁)。小波痕显出与大前积层相同的倾向，它们不同程度地侵蚀大前积层，使其缺失或呈波状起伏。由于B₁和B₂周期相当短，小波痕不能发育得很好，结果在束状体上下界附近仅形成几个波状起伏或弯曲形的前积层。之后一个主潮流后的平潮期(C₁+C₂)到来导致泥披覆层C的形成，由于随之而来的反向次潮流(E)具有较低速度(速度曲线在小波痕形成范围内)，仅形成倾向与大前积层相反的小水流波痕。最后另一个披覆层(d)出现在次潮流后的平潮期(D₂+D₁)。到此一个半日周期结束，一个完整的束状体建立起来。同样地，其它许多构造能用稍作修改的模式加以解释。

沿莱茵-马斯河口向上游，由于随着离海距离的增加，潮汐作用减弱，河流作用增强，

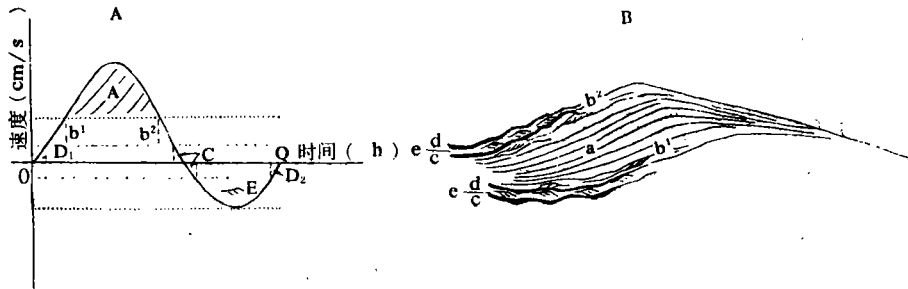
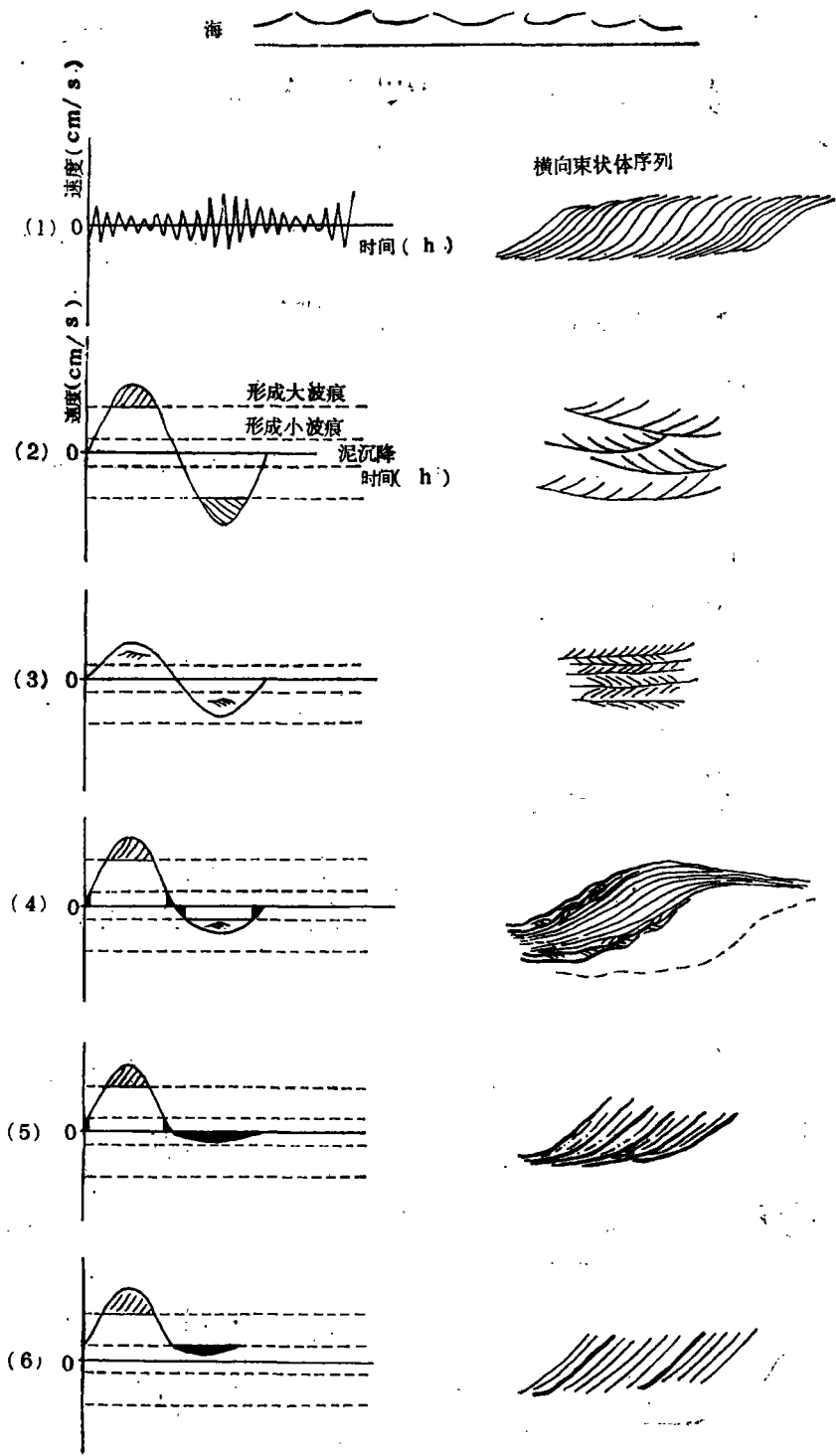


图7 时间-速度及沉积物和底形运动或沉积构造示意图

Fig. 7 Scheme illustrating the pattern of time and velocity, movement of sediments and bedforms or structures

各处的水流速度在河流水流与涨落潮水流的相互作用下发生消长变化，使得总的水流速度在时间和空间上发生不同的变化。例如，当次潮流变得太弱时，速度曲线落在粉砂和粘土沉积区(图8-5)，束状体边界将出现较厚的泥披覆层，而非小波痕。当然，此时也分辨不出双粘土层。如果次潮流速度进一步减小到零，如图8-6所示，即无次潮流存在，潮汐区不对称双向水流变为在潮汐影响下具有水流速度日变动的河控体系的单向水流。潮汐影响表现为一些泥披覆层无规律地出现在河流沉积中(图5)。如果受潮汐影响的河流不够强，以致不能形成发育良好的大前积层，而低速的河流时间又太短不能形成小波痕，所以水流只改造大前积层使之呈波状或微起伏(图8-7)。发育不好的具有波状或曲线形前积层的大波痕交错层理推测正好在这样的条件下形成，如过渡带所观察到的一些例子(图7)。最后，如果流速的半日或日变化大大减小，即潮汐影响减到最小，速度曲线将变平，直到成为一条平行于横座标的直线。流量较稳定的莱茵-马斯河具此特点。发育好的大板状或槽状交错层理反映这种特殊的水动力条件(图8-10、11;图3)。



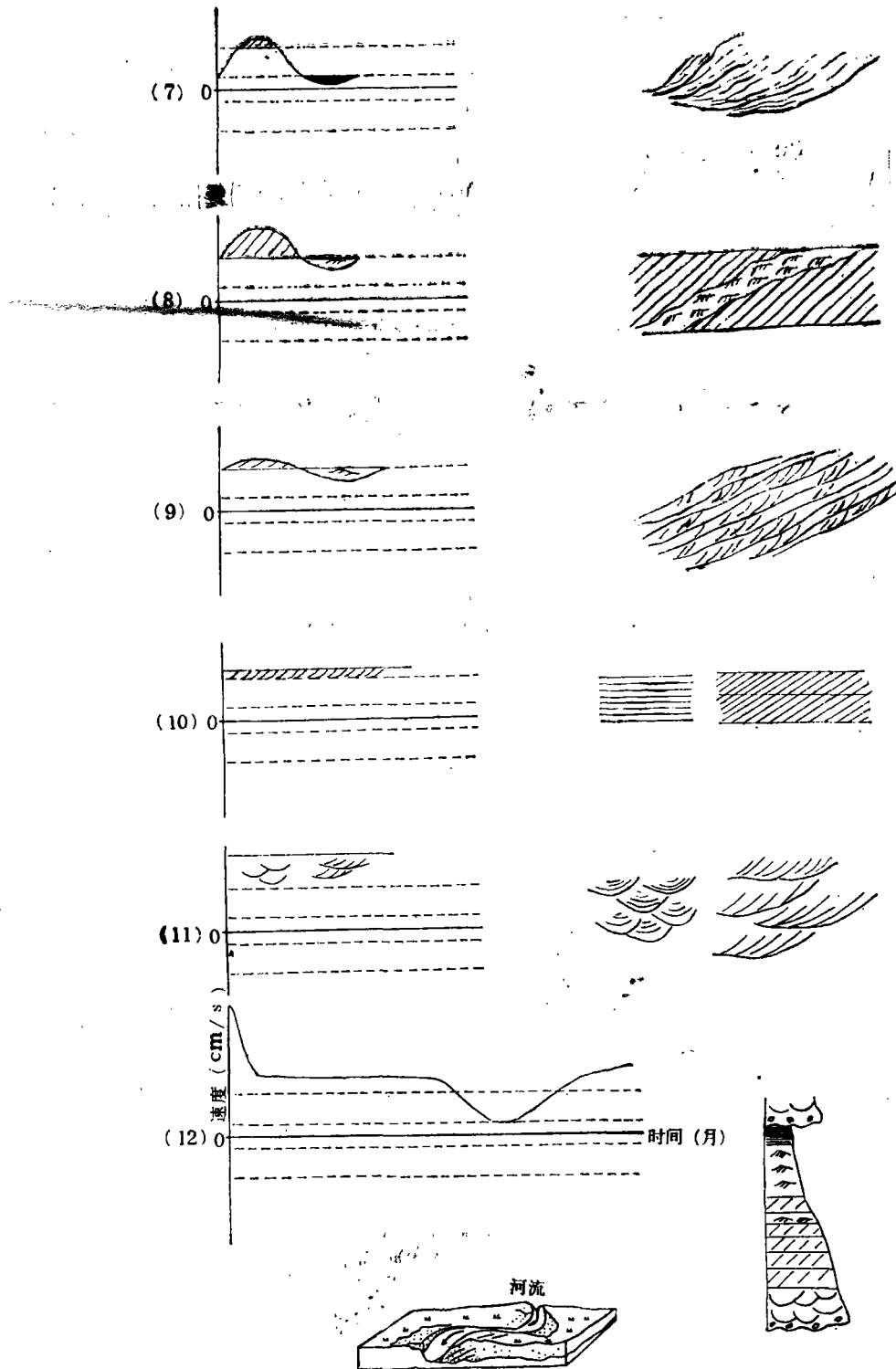


图8 时间-速度型式变化及沿老莱茵-马斯河由潮控到河控体系的相应沉积构造示意图
 Fig. 8 Scheme showing the change of the time-velocity pattern and the corresponding structure from the tidal dominated system to the fluvial dominated system along the old Rhine-Mass River

2. 沉积过程反应模式由海到陆的变化

图8说明时间-速度型式的变化及相应于潮控到河控体系的沉积构造。由图看出,从潮控体系经过渡带到河控体系:

(1) 双向(不对称或对称)水流→单向水流; 双向大交错层理(或小交错层理)→单向大交错层理(或小交错层理)。

(2) 水流从具有明显规则的周期性的半日变化经过不规则的变化到比较稳定; 沉积构造从具有频繁出现束状体和粘土层的大波痕交错层理、脉状、波状和透镜状层理经过这些构造的不规则产出变为层系长度相当大的简单大型交错层理。

(3) 水流从比较短的周期性变化(半日潮和大潮/小潮周期)经过不规则变化到较长周期的水流变化(季节性变化); 沉积构造和结构在一个束状体或束状体侧向序列中的侧向变化经过结构构造在侧向上的不规则变化到结构构造主要在垂向上的变化大而在侧向上比较稳定。

作者非常感谢荷兰乌德勒支大学比较沉积学部教职人员在研究工作中的友好支持和帮助,也感谢多年来在研究工作中制作了大量漆揭片,而为本研究提供了方便和可能的人。本文两位作者(陈昌明和汪寿松)特别要向洪堡基金会表示谢意,感谢她以研究奖学金的形式提供的经济资助,并且深切感谢H. E. Reineck教授的热情支持。

收稿日期 1986年3月1日

参 考 文 献

- [1] Allen, J.R.L., 1968, Current ripples, Their relation to patterns of water and sediment motion, Amsterdam, North-Holland Publ. Comp.
- [2] Boersma, J.R., 1967, Geol. Mijnb., V. 46, P. 217-135.
- [3] Boersma, J.R., 1969, Geol. Mijnb., V. 48, P. 409-414.
- [4] Guy, H.H., Simons, D.B. and Richardson, E.V., 1966, U.S. Geol. Surv., Profess. Papers 462-1.
- [5] Klein, G. deV., 1977, Clastic tidal facies, CEPCO, Champaign, Illinois.
- [6] Reading, H.G., 1982, Sedimentary environments and facies, Blackwell Scientific publication, Oxford.
- [7] Reineck, H.E., 1963, Abhandl. Senckn. Nat Gesell., V. 505, N. 1, P.138.
- [8] Reineck, H.E. et al., 1968, Sedimentology, V. 11, P. 99-104.
- [9] Reineck, H.E. and Singh, I.B., 1980, Depositional sedimentary environments, 2ed, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- [10] Simons, D.B. and Richardson E.V., 1962, Am. Soc. Civ. Engrs. Trans., V. 127, P. 923-953.
- [11] Simons, D.B., Richardson, E.V. and Nordin, C.F., 1965, SEPM Spec. Publ., V. 12, P. 34-52.
- [12] Terwindt, J.H.J., 1981, Origin and sequences of sedimentary structures in in-shore mesotidal deposits of the North Sea, In: Holocene Marine Sedimentation in the North Sea Basin (ed. by Nio, S.D.), 4-26, Spec. Publ. Int. Ass. Sedi-

ment., 5, Blackwell Scientific Publication, Oxford.

[13] Visser, M.J., 1980, *Geology*, V. 8, P. 543-546.

CHARACTERISTICS OF SEDIMENTARY STRUCTURES IN DIFFERENT SUBENVIRONMENTS FROM FLUVIAL DOMINATED SYSTEMS TO TIDAL DOMINATED SYSTEMS ALONG THE LOWER OLD RHINE-MASS RIVERS

Chen Changming Mang shonsong

(Institute of Geology, Academia Sinica)

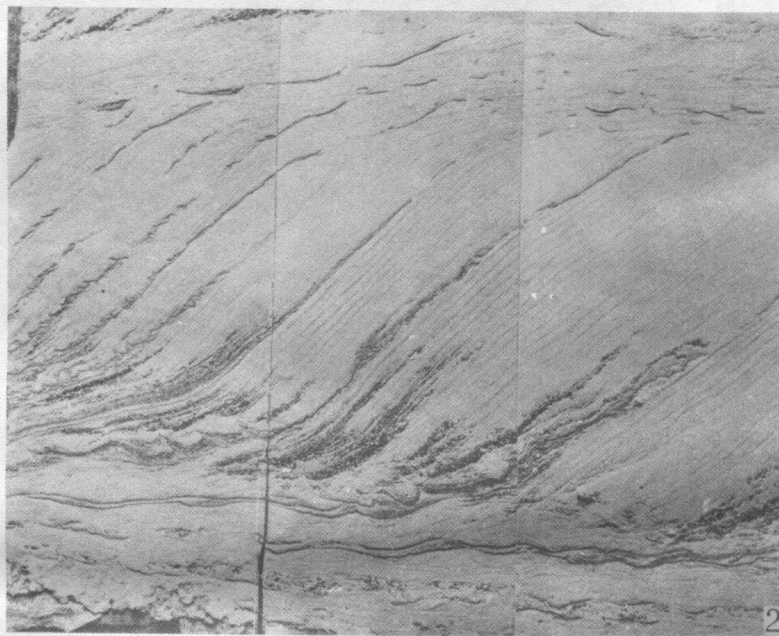
Nio, S.D. Van Gelder, A.

(Comparative Sedimentology Division, University of Utrecht, The Netherlands)

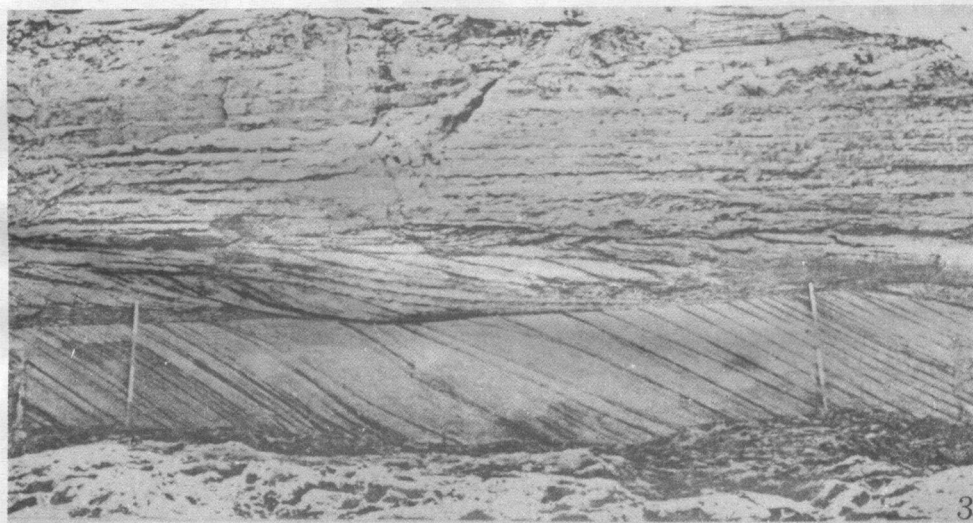
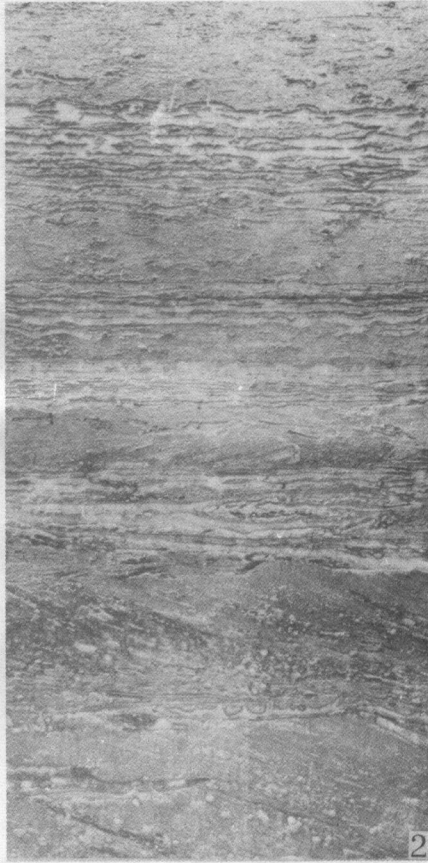
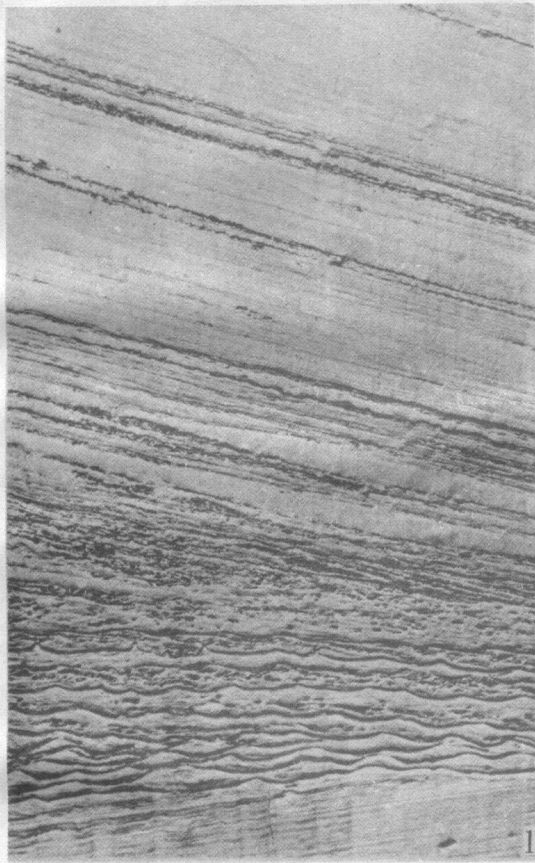
Abstract

A series of construction pits along the lower Rhine-Mass rivers revealed the subrecent deposits in different subenvironments from tidal dominated systems to fluvial dominated systems. This makes it possible to study the properties of these sediments. The sedimentary structures of these deposits are examined and compared by sampling a series of lacquer peels. The study indicates that (1) tidal dominated systems are structurally quite different from fluvial dominated systems. For the former bundles of cross-strata, lateral bundle sequence, mud drape or mud layer couplets, flaser bedding, wavy bedding and lenticular bedding and bimodal cross-bedding (large and small) are striking. Mega ripple cross-stratification in tidal dominated deposits usually possesses well-developed bottomsets with large set length and set thickness. The bottomsets are composed of alternated muddy layers and sandy layers belonging to composite beasets. The muddy layers are, in fact, mud drapes which often occur as double mud layers. The sandy layers can be divided into two types: one is formed by subordinate tidal current with reverse dip direction to mega foresets, and it is generally poorly developed and presents itself as discontinuous sandy layers or as an isolated sand lens between the mud layer couplets; the other is formed by conflow and shows well-developed small current ripple cross-bedding. In the sand/mud alternated flaser bedding, wavy bedding and lenticular bedding structures the association of small current ripple cross-bedding with wave-genetic ripple cross-bedding can be observed commonly. The interval with scattered flasers (sparse zone) rhythmically alternates with one bearing wavy and lenticular bedding (dense zone). In addition, bioturbation is so strong that it destroys

the primary sedimentary structure thoroughly and forms a complete bioturbate structure. Mud pebbles, peat fragments and marine shells are often concentrated in the lag deposits of channels or in the lower part of mega ripple foresets, but the gravels of base rocks are absent here. For the fluvial dominated systems a simple unidirectional cross-stratifications (large and small) and their irregular change in larger scale as well as in vertical sequence are distinct. Unidirectional large scale cross-stratifications are mainly of tabular and trough forms. The large scale tabular cross-bedding possesses considerable set length and high set-length/set-thickness ratio. Bottomsets are well developed and exhibit very complete internal structures, in which four types of small stratifications can be recognized: parallel lamination, climbing-ripple lamination created by back flow, irregular wavy and trough cross-lamination and planar cross-lamination generated by conflow. However, this sort of bottomsets has simple composition and belongs to a simple bedset. Besides, fluvial dominated deposits often constitute structurally and texturally upward-fining cyclic sedimentary sequences in varied scale and contain base-rock pebbles. (2) transitional zone is mixed in sedimentary structures. (3) major factors causing the involved disparity are the different hydrodynamics in each one with increasing distance from sea. In the tidal dominated systems they are ebb current flood current and wave action. Diurnal and neap/spring changes of tidal currents are apparent, regular and short periodic. In the fluvial dominated systems, however, there is only stream-flow. Its discharge and velocity is relatively stable and its change, if it presents is longer-periodical and irregular. The hydrodynamics in the transitional zone are complex and irregular. All of these changes in sedimentary structures and hydrodynamics can be well interpreted by a set of united time-velocity curves.



1. 河控体系沉积物中的大型单向板状交错层系组 (中下部), 具有很发育的底层, 上部为小型单向交错层系组, $100 \times 80 \text{ cm}^2$ 2. 潮控体系沉积物中的潮汐束状体, 束状体中部的前积纹层发育好、平直, 双粘土层在前积层下部和底部积层中发育和保存较好, 注意双粘土层因重力滑动而变形, $118 \times 136 \text{ cm}^2$



1. 潮控沉积中的大波痕交错层理, 十分发育和构造复杂的底积层, $149 \times 90 \text{ cm}^2$ 2. 下部为大波痕交错层理, 中上部为脉状、波状和透镜状交错层理和由它们组成的疏带和密带, $182 \times 84 \text{ cm}^2$ 3. 横向束状体序列, 标杆每格代表 0.5 m