

黄河口粉质土矿物成分特征及对水动力条件响应的研究

王小花, 刘红军, 贾永刚

(中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 黄河三角洲潮坪上构筑的道路使得道路两侧水动力条件出现差异。在道路两侧各选典型区域, 取样进行 Xray 衍射物相分析, 概略分析潮坪沉积物的矿物成分及含量对水动力条件响应的变化, 发现了强水动力环境使沉积物中碎屑矿物含量增大, 黏土矿物含量减小, 非均匀性增大的规律, 此规律在表层沉积物中更为明显。

关键词: 黄河三角洲; 水动力条件; Xray 衍射仪; 矿物成分

中图分类号: X141

文献标识码: A

文章编号: 100023096(2008)02004205

黄河口粉土质海床在波浪及风暴潮作用下表现出了诸多不稳定现象, 杨作升、杨少丽等^[1,2]对黄河口的地貌特征、物理力学性质及工程地质性质等作了大量研究工作; Prior 等^[3,4]利用室内振动实验, 观察土体强度丧失与恢复的过程, 发现黄河口粉土有一定触变性; 贾永刚等^[5-8]探讨了黄河口潮坪的一些分形特征, 还发现水底斜坡发生/复活0的周期与风暴潮开始和结束相对应; 相比之下, 对黄河口潮坪沉积物矿物组成的时空变化研究者甚少。

要从本质上解释上述现象, 需要考虑沉积物自身结构和组成的差异与变化, 在兼顾外因的基础上, 重视内因的效应。作者对黄河口沉积物矿物组成的研究, 通过选择水动力条件具有显著差异的两个典型区, 着眼于总体特征的概括, 分析潮坪沉积物矿物成分及含量对波浪动力条件的响应。

1 研究区概况

研究区位于黄河三角洲北部, 是 1964~1976 年黄河由刁口流路入海时形成的三角洲叶瓣。据统计资料, 研究区所在海域潮汐现象微弱, 刁口流路外潮差较小, 只有 1 m 左右; 潮流基本属于正规半日潮, 最大潮流流速大于 120 cm/s^[8]; 波浪主要为风浪, 强浪向为 NE 向, 次浪向 NNW 向, 常浪向为 S 向, 一般情况下波高不超过 1 m^[9]。

研究区所在的潮坪上, 有 2 条为开采极浅海石油而铺设的道路, 一条基本垂直岸线向海延伸, 另一条通向 106217214 井场(38°11.3dN, 118°46'58.8dE), 与波浪传播方向近于垂直。道路修建以前, 两侧沉积物源、环境条件基本相似。道路修建后, 北侧处于迎浪面, 水动力作用显著; 南侧由于道路的阻挡, 水动力

条件明显减弱, 形成相对的静水环境。

2002 年 5 月 19, 20 日, 海面上无显著风浪的情况下, 在道路两侧各选一个位置, 利用美国 Inter Ocean 公司生产的 S4ADW 方向波浪测波仪进行 24 h 水动力状况连续观测, 发现道路两侧潮流流速差异不大, 但波浪荷载悬殊, 北侧波浪荷载测量值是南侧的两倍多, 观测结果见表 1。风暴潮条件下两侧水动力条件差异会更大。显著的水动力条件差异, 必然导致道路两侧沉积物结构与成分发生不同变化, 这为探讨沉积物的动态变化提供了理想的天然实验场所。

表 1 研究区水动力测量结果

Tab. 1 The measurement of hydrodynamic conditions of the research area

测点号	1/10 波高 (cm)	有效波高 (cm)	最大波高 (cm)	最大流速 (cm/s)	最大水深 (cm)
N ₄ 号点	19	15	25	31.6	288
S ₈ 号点	8	6	11	29.3	231

黄河三角洲潮坪和水下斜坡表面沉积物主要为黏土质粉砂和粉砂质黏土; 矿物成分主要是石英、长石、方解石、白云石等碎屑矿物及伊利石、高岭石、绿泥石等黏土矿物^[10,11]。

收稿日期: 200406230; 修回日期: 200504201

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40172088)

作者简介: 王小花(1982), 女, 山东章丘人, 硕士研究生, 研究方向为环境岩土工程, 电话: 13963348427, E-mail: wxh0116@sohu.com; 刘红军, 通讯作者, 主要从事岩土工程设计与检测及海洋工程地质的研究, 电话: 13805320173

2 现场样品采集与室内测试

2.1 现场样品采集

在道路两侧分别选定典型区域: 北侧 ABCD 称为研究区 \tilde{N} , 水动力作用强; 南侧 EFGH 称为研究区 \tilde{O} , 水动力作用弱, 如图 1 所示。分别在 4 号孔位置、研究区 \tilde{N} 西北角、研究区 \tilde{N} 中心、北侧波压仪附近取 2 cm 深度的表层样和 40 cm 深度处的扰动样, 编号记为 N_{21} (21 代表表层样)、 N_{22} (22 代表 40 cm 处深度样)、 N_{21} 、 N_{22} 、 N_{31} 、 N_{32} 、 N_{41} 、 N_{42} 。由 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 连成测线, 定为研究区 \tilde{N} 测线。研究区 \tilde{O} 亦选取 4 个取样点, 分别是 2 号孔位置、3 号孔位置、研究区 \tilde{O} 中心、心滩波压仪位置, 取 8 个样, 分别记为 S_{21} 、 S_{22} 、 S_{21} 、 S_{22} 、 S_{71} 、 S_{72} 、 S_{21} 、 S_{22} 。由各点位置连成测线, 定为研究区 \tilde{O} 测线。取样位置见图 1。

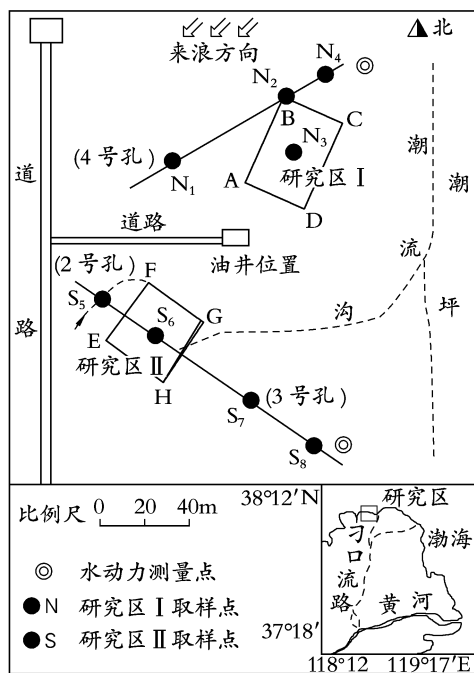


图 1 研究区平面布置图

Fig. 1 The location of the research area

对于表层样, 去掉滩面表层 2 cm 左右的浮泥, 约取 100 g 土样装入样品袋中封口; 对于深度样, 取自现场相应深度处的扰动土, 装入样品袋中留待实验。

2.2 室内测试

X2ray 衍射物相分析测试在中国海洋大学测试

中心进行, 所用仪器为日本理学 D/Max2 θ B 型 X2ray 衍射仪, Cu 靶, 管电压 40 kV, 管电流 100 mA。衍射条件设置: 扫描步长 0.01, 扫描速度 2 θ /min, 扫描范围 3 θ ~33 θ 。

每个被测土样制样两次, 一次是粉末相样品, 完成全矿物成分分析; 另一次是半晶相样品, 完成黏土矿物成分分析^[12, 13]。

3 测试结果及后处理

本次测试选取了有代表性的 16 个土样, 得到 32 条衍射谱线和 32 组测试数据, 其中 16 条全矿物衍射谱线; 16 条黏土矿物衍射谱线。谱线如图 2 所示。

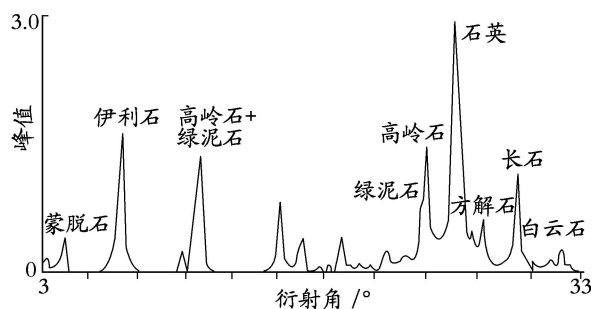


图 2 X 射线衍射谱线

Fig. 2 X2ray diffraction spectrum

从计算得到的土样中各碎屑矿物的质量分数以及黏土矿物的相对质量分数可以看出, 各样品的物相组成有很大相似性, 但其质量分数有所不同。总体来讲, 碎屑矿物占绝对优势, 质量分数在 70% 以上。其中石英质量分数最大, 40% 左右; 其次为长石, 20% 左右, 方解石约占 10%, 白云石含量甚微。结果还表明, 土样中黏土矿物约占全矿物的 20%~30%, 多为伊利石、高岭石及绿泥石, 其中伊利石占黏土矿物总量的一半以上; 高岭石次之, 25% 左右; 绿泥石约占 20%, 大部分试样中蒙脱石缺失。详见表 2。

由此可知, 沉积物中多含石英、长石等矿物, 黏土矿物主要是伊利石、高岭石、绿泥石, 总量较低。范德江等^[14]在比较长江与黄河口沉积物中黏土矿物的组成时也发现了上述特征。王留奇等认为黄河中游地区第四系黄土矿物成分以石英、长石为主, 显然研究区近表层沉积物成分基本继承了上述特征, 但其含量发生了很大变化。

表 2 X 射线衍射全矿物质量分数

Tab. 2 The mineral content measured by X2ray diffraction

土样编号	取样位置	取样深度(cm)	质量分数(%)									
			石英	长石	方解石	白云石	伊利石	绿泥石	高岭石	蒙脱石	碎屑矿物	黏土矿物
N ₁₂₁	4号孔	2	49.2	19.7	8.9	3.6	10.6	3.0	5.1	0	81.3	18.7
N ₁₂₂	4号孔	40	46.2	18.2	10.4	1.8	13.6	3.6	6.2	0	76.6	23.4
N ₂₂₁	区N西北角	2	50.3	20.3	9.1	2.6	11.5	3.2	4.0	0	82.3	18.7
N ₂₂₂	区N西北角	40	37.2	25.5	6.4	2.3	16.2	3.3	9.1	0	71.4	28.6
N ₃₂₁	区N中心	2	40.7	21.6	7.9	2.4	15.3	4.3	6.0	0	72.4	27.6
N ₃₂₂	区N中心	40	33.4	24.0	8.2	1.9	17.5	5.7	9.4	0	67.4	32.6
N ₄₂₁	北侧波压仪	2	36.6	21.6	7.9	2.4	15.2	6.4	8.8	0	68.5	31.5
N ₄₂₂	北侧波压仪	40	34.6	23.8	8.9	1.8	17.7	7.0	6.2	0	73.1	30.9
S ₂₁	3号孔	2	39.2	25.6	9.2	0.9	14.4	3.3	6.1	1.3	74.9	25.1
S ₂₂	3号孔	40	35.9	18.5	8.3	1.1	20.7	7.4	8.2	0	63.7	36.3
S ₂₁	区O中心	2	41.9	22.6	9.8	1.0	14.6	5.1	5.2	0	75.2	24.8
S ₂₂	区O中心	40	35.4	19.4	10.0	1.2	18.7	7.7	7.6	0	66.0	34.0
S ₂₁	2号孔	2	44.6	15.5	11.2	1.2	14.4	6.4	6.0	0	72.5	27.5
S ₂₂	2号孔	40	35.4	20.7	11.1	1.6	19.2	5.2	6.8	0	68.8	31.2
S ₂₁	心滩波压仪	2	46.7	18.5	11.4	1.1	13.1	3.5	4.8	0.9	77.7	22.3
S ₂₂	心滩波压仪	40	39.8	22.2	9.9	1.1	15.8	4.0	7.1	0	73.1	26.9

4 结果与讨论

4.1 不同水动力区潮坪表层沉积物组成变化

对于表层沉积物, 研究区N碎屑矿物质量分数比研究区O略大; 且研究区N各点差异较大, 尤其是石英质量分数, 区O差异较小。研究区N黏土矿物总量比研究区O低, 其中绿泥石和高岭石质量分数均是如此。见图3。表明强水动力作用对潮滩沉积物有较强的扰动作用, 导致沉积物中的碎屑矿物质量分数增大, 差异性即非均匀性也增大。水动力作用是影响沉积物成分的主要因素之一。

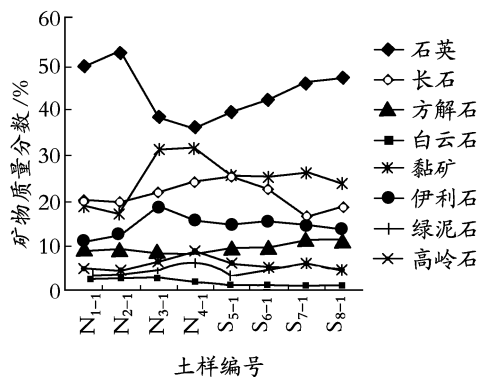


图 3 两研究区表层样矿物质量分数变化曲线

Fig. 3 Mineral content curves of surface layer samples on two research areas

可以用有效应力和渗流理论来解释沉积物成分的非均匀化。将波浪理想化为正弦波, 在一个波长范围内, 波峰下的土体不易液化破坏; 对于某个瞬间处于波谷下的土体, 在土体本身有效应力不变的情况下, 土体受到的静水压力较小, 超孔隙水压力为负值, 方向向上, 而两侧波峰下的土体, 超孔隙水压力为负值, 方向向下。波浪作用下土体中渗流力示意图如图4所示^[15]。

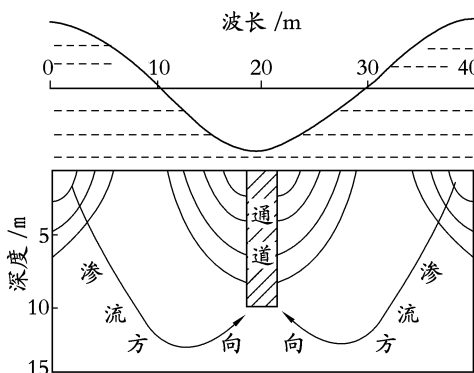


图 4 波浪作用下土体中的渗流场示意图

Fig. 4 The sketch map of seepage field in the sediment under the action of wave

在渗流过程中, 具有一定压力的孔隙水携带大量的细颗粒向上渗流, 形成竖向的排水通道, 黏土矿物含量高的细粒物质被筛析到土体表层。在研究区

\tilde{N} , 由于强波浪的分选和冲刷, 沉积物被粗化; 在研究区 \tilde{O} , 细颗粒物质同样通过渗流通道到达表层富集, 由于区 \tilde{O} 的水动力作用较弱, 冲刷粗化程度亦较弱, 使得细颗粒存留于表层。因此在水动力作用下, 由于土体中不断的排水冒砂过程, 土颗粒发生重新排列, 使得滩面沉积物成分发生变化, 出现研究区 \tilde{N} 土样碎屑矿物质量分数大于研究区 \tilde{O} 的现象。对此现象的解释有待于今后工作中进一步研究探讨。

4.2 不同水动力区滩面之下 40 cm 沉积物组成变化

对于滩面以下 40 cm 处沉积物, 碎屑矿物中石英质量分数变化幅度较大, 两区均无明显规律; 研究区 \tilde{N} 长石和白云石质量分数比区 \tilde{O} 略高。黏土矿物中研究区 \tilde{O} 伊利石质量分数略高, 其他矿物质量分数无明显变化规律, 见图 5。

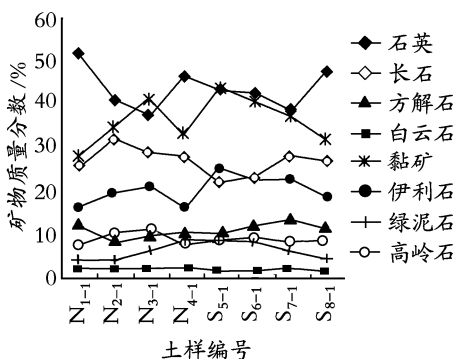


图 5 两研究区 40 cm 处深度样矿物质量分数变化曲线
Fig. 5 Mineral content curve of samples about 40 cm deep

说明原本初始状况相似的两研究区, 在强弱不同的水动力作用一段时间后, 研究区 \tilde{N} 强水动力作用使得各点矿物质量分数差异变大; 研究区 \tilde{O} 则保持了较好的一致性。表明水动力作用是影响沉积物成分的主要因素之一, 并且这种影响可达到 40 cm 以下深度内。

4.3 不同水动力区矿物组成沿测线的变化

沿研究区 \tilde{N} 测线向海的方向, 无论表层样还是 40 cm 深度样, 碎屑矿物质量分数略有减小趋势。黏土矿物总量差异较大, 总体呈增大趋势; 伊利石、高岭石质量分数都沿测线略微增大。见图 3, 5。细颗粒在渗流所形成的排水通道内向上排出, 在表层沉积。

沿研究区 \tilde{O} 测线几乎相反, 表层样和 40 cm 深度样均是石英、方解石质量分数逐渐增高, 长石质量分数为表层样逐渐降低, 40 cm 深度样渐高; 黏土矿物质量分数逐渐降低。弱水动力区水动力作用小, 细颗粒在表层富集的程度较小, 空间上变化亦不大,

沿测线对表层沉积物的作用主要表现为冲刷粗化, 使得黏土矿物质量分数沿测线逐渐降低。

4.4 潮坪沉积物矿物组成沿深度的变化

研究区 \tilde{N} 和 \tilde{O} 表层样碎屑矿物质量分数均明显高于 40 cm 处深度样, 尤其石英质量分数表层样明显偏高; 黏土矿物质量分数则较深度样低。见图 6。

说明水动力作用无论强弱, 对表层沉积物成分的影响相对明显, 使得表层样和深度样矿物质量分数存在差异; 随着深度增加, 深部土体所受影响逐渐减弱。

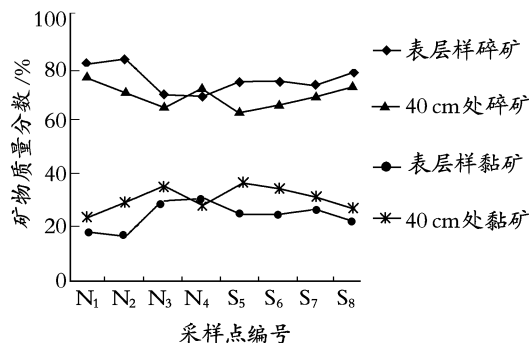


图 6 表层样与 40 cm 处深度样矿物质量分数比较曲线
Fig. 6 Mineral content curve of surface layer samples compared with 40 cm deep

5 结论

通过在典型研究区取样进行 X2ray 衍射物相分析, 发现水动力作用导致一定深度内的潮坪沉积物矿物成分在以下方面发生了变化: (1) 强水动力区沉积物中碎屑矿物含量高于弱水动力区, 黏土矿物含量相对较低; 并且矿物成分非均匀性增大。表明水动力作用对潮滩沉积物有扰动作用, 是影响沉积物成分的主要因素之一。(2) 沿强水动力区测线, 沉积物中碎屑矿物含量有减小趋势, 黏土矿物含量略呈增大趋势, 总体非均匀性较大。沿弱水动力区测线, 碎屑矿物含量增大, 黏土矿物含量降低。(3) 无论水动力作用强弱, 对表层沉积物成分的影响相对明显, 随着深度增加, 深部土体所受影响逐渐减弱。

对于上述特征与规律, 后续工作中正在进一步研究探讨。

致谢: 本文的完成得益于中国海洋大学测试中心王文正老师的大力协助, 深表感谢。

参考文献:

[1] 陈卫民, 杨作升, Prior D B. 黄河口水下底坡微地貌及其成因探讨[J]. 青岛海洋大学学报, 1992, 22(1): 72-81.

- [2] 李安龙, 杨少丽. 波浪加载下海底土质特性变化的研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33 (1): 102106.
- [3] Prior D B, Suhayda J N . Storm wave reactivation of a submarine landslide [J]. Nature, 1989, 34: 4250.
- [4] Prior D B, Yang Z S, Lu N Z. Active slope failure, sediment collapse, and silt flows on the modern subaqueous Yellow River delta [J]. Geomarine, 1986, 6: 8295.
- [5] 贾永刚, 付元宾, 许国徽, 等. 水动力条件差异导致潮坪分形特征变化实例研究 [J]. 海洋学报, 2003, 23(5): 5267.
- [6] 霍素霞, 许国辉, 贾永刚. 黄河三角洲土体非均匀性及对底坡微地貌形成影响 [J]. 工程地质学报, 2003, 11 (2): 132142.
- [7] 贾永刚, 单红仙. 黄河口海底斜坡不稳定性调查研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(1): 25.
- [8] Jia Yonggang, Fu Yuanbin. The fractal character change in the Huanghe River Estuary due to the Hydrodynamic conditions Variation [J]. ACTA Oceanological Sinic, 2003, 22(2): 192200.
- [9] 尹延鸿, 成国栋. 黄河三角洲桩西 101 站潮沟地貌形态及其水动力学研究 [J]. 海洋科学, 1997, 5: 4248.
- [10] 成国栋, 薛春江. 黄河三角洲沉积地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 3240.
- [11] 李安龙. 近代黄河水下三角洲底坡土体的差异侵蚀及土工特性 [J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(3): 422440.
- [12] 杨于兴, 漆睿. X 射线衍射分析 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1989. 71288, 92104.
- [13] 陈启明, 仇玉芹. 长江口悬浮物和沉积物的物相分析 [J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2001, 1: 77283.
- [14] 范德江, 杨作升, 郭志刚. 长江与黄河沉积物中黏土矿物及地化成分的组成 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 7212.
- [15] 霍素霞. 黄河三角洲沉积物对波浪响应的试验研究和数值模拟 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003.

The research on the mineral characteristics of sediment and the response to the hydrodynamic conditions of the tidal flat, at the northern Yellow River Delta

WANG Xiaohua, LIU Hongjun, JIA Yonggang

(Ocean University of China, Environment Science & Engineering College, Qingdao 266003, China)

Received: Jun. , 30, 2004

Key words: the Yellow River Delta; hydrodynamic condition; X2ray diffractometer; mineral component

Abstract: The road paved across the tidal flat is perpendicular to the propagating direction of waves in the Yellow River Delta, which makes a sharp difference on the hydrodynamic condition of both sides of the road. We selected two representative research regions on both sides and took some sediment samples respectively. The X2ray diffraction phase analysis shows the characteristics of the mineral components and their contents which respond to the hydrodynamic conditions. In general, the content of detrital minerals increases in intense hydrodynamic condition. It is manifested more prominently in the superficial layer of the sediment.

(本文编辑: 刘珊珊)