

舟山潮差带海相沉积物的物理和化学特征

熊 站¹, 汪明元², 单治钢², 严 乾¹, 王亚军^{1*}, 李 涛¹

(1. 浙江海洋大学 港航与交通运输工程学院, 浙江 舟山 316022;

2. 中国电建集团 华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

摘 要:为舟山潮差带海相沉积物固结机理的深入研究提供物质基础,采用激光粒度仪分析了海相沉积物的粒度组成,并测试了海相沉积物的化学元素、化合物种类及其相对含量,还使用 X-射线衍射技术分析了海相沉积物的矿物组成。结果表明:海相沉积物含水率高、初始孔隙比大、呈流塑状,为低液限粉质黏土;活性指数为 12.4,属于活动黏性土,矿物的亲水性较好;全盐含量高达 9~11.2 g/kg,阳离子交换能力不强,有机质含量(5.82~12.7 g/kg)较高;pH 值为 7.35~8.36,呈弱碱性,加上孔隙水中 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 的存在,使得高岭石常不稳定,有向伊利石、蒙脱石或绿泥石转化的趋势。

关键词:海相沉积物;粒度组成;化学性质;矿物组成

中图分类号:P736.211,P642.11

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2019)01-0071-06

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2019.01.006

引用格式:XIONG Z, WANG M Y, SHAN Z G, et al. Physical and chemical characteristics of marine sediments in the offshore of Zhoushan[J]. Coastal Engineering, 2019, 38(1): 71-76. 熊站, 汪明元, 单治刚, 等. 舟山超差带海相沉积物的物理和化学特征[J]. 海岸工程, 2019, 38(1): 71-76.

浙江舟山是一座海岛城市,当前陆域面积仅为 1 440 km²,而未来“一体一圈五岛群”规划中尚需拓展的城市面积约在 200 km²以上,其中绝大部分空间的形成只能通过向海洋扩张来完成。以舟山大、小鱼山岛的海上围垦为例,竣工后形成的陆域面积可达 41 km²,由此形成的深水岸线约为 4 000 m,项目总投资近 1.2 亿元。舟山地处长江入海口南侧,长江流域淡水汇入东海后在这里发生一系列复杂的离子交换,由此引发洋流中水溶盐成份及密度的剧烈波动,并最终导致颗粒絮凝成团^[1-2],由此形成了大量的泥质海滩,海岸及潮间带均分布着厚层的海相沉积物,质较软。鉴于舟山海域海况极为复杂,受洋流冲积与输运影响,海相有机与无机悬浮物质与沉积层的交换、替代周而复始,第四系海洋沉积层的粒度组成、物化性质及力学性状长期处于动态变迁的过程中^[3],这些因素给海相沉积物的物理和化学特征研究带来了很大的困难。因此本文针对舟山潮差带区域海相沉积物粒度组成、化学成分和矿物组成进行分析,以期海相沉积物固结机理的深入研究提供物质基础。

收稿日期:2018-05-14

资助项目:国家自然科学基金项目——基于模糊随机损伤力学的混凝土高坝抗震安全评价研究项目(51109118);清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室开放基金(sklhse-2018-E-03);浙江省自然科学基金项目——堤坝及基岩系统多相-多场耦合非线性动力损伤灾变理论与数值方法研究(LY14E090001);中国电建集团华东水利水电勘测设计研究院基础研究课题——围海造路工程中大规模吹填泥浆快速排水固结技术的模型试验与研究(21188006615)

作者简介:熊 站(1994-),男,硕士研究生,主要从事海淤泥土固化方面研究. E-mail: 287411661@qq.com

*** 通讯作者:**王亚军(1976-),男,教授,博士,主要从事岩土工程力学方面研究. E-mail: aegis68004@163.com

(王佳实 编辑)

1 材料与方法

1.1 材料

本研究所用海相沉积物取自长峙岛海域一侧滩涂(122°10'48"E, 29°58'48"N),具体地理位置如图1红色加号所示。长峙岛在经历几次不同规模的围海造陆作用后,形成了大量的泥质海滩,潮间带分布着厚层的海相沉积物,质较软。

经测试,海相沉积物的含水率(ω)为 89.2%,比重(G_s)为 2.72,天然密度(ρ)为 1.42 g/cm³,孔隙比(e)为 2.62,塑限(W_p)为 22.0%,液限(W_L)为 37.8%,液性指数(I_L)为 4.3,塑性指数(I_p)为 15.8,由检测结果可见其含水率高、初始孔隙比大、呈流塑状,依据土的分类标准(GB/T 50145—2007)^[4]和岩土工程勘察规范(GB 50021—2001)^[5]应将其定名为低液限粉质黏土。

1.2 方法

为了深入研究海相沉积物的物理和化学特征,本研究采用马尔文激光粒度仪(Mastersizer 3000)分析了海相沉积物的粒度组成,选取总质量为 1 kg 的海相沉积物,关键离子团、化学微量元素与易溶盐测试各用 0.5 kg,测试操作和分析过程均按照海相土检测实验规程^[6-9]。此外,还使用 X-射线衍射(D8 Advance Davinci)技术分析沉积物的矿物组成,利用 Jade6.5 软件和 K 值法对矿物组成进行半定量计算。

2 结果与讨论

2.1 粒度组成

对海相沉积物粒度组成进行激光粒度仪法实验分析,其粒径累计曲线如图 2 所示,则不均匀系数(C_u)计算公式为

$$C_u = d_{60}/d_{10} = 6.0, \quad (1)$$

式中, d_{60} 为限制粒径, $d_{60}=40.1 \mu\text{m}$; d_{10} 为有效粒径, $d_{10}=6.7 \mu\text{m}$; $5 < C_u < 10$,在级配良好与不良之间。

由图 2 可见,黏粒(0.000 1~0.005 mm)质量分数为 8.5%,粉粒(0.005~0.075 mm)质量分数为 76.6%,可见海相沉积物以粉粒为主。

土的活性指数(A)可用来衡量土中黏土矿物吸附结合水的能力,定义为

$$A = I_p/p_{0.002}, \quad (2)$$

式中, I_p 为黏性土的塑性指数, $p_{0.002}$ 为粒径 $<0.002 \text{ mm}$ 的颗粒的质量占总质量的百分比。经测试 $I_p=15.8$, $p_{0.002}=1.77$,故该粉质黏土的活性指数为 12.4,属于活动黏性土($A>1.25$),矿物的亲水性较好。

2.2 化学成分

海相沉积物中固相、液相和气相的化学元素、化合物种类及其相对含量对沉积物的化学性质影响较

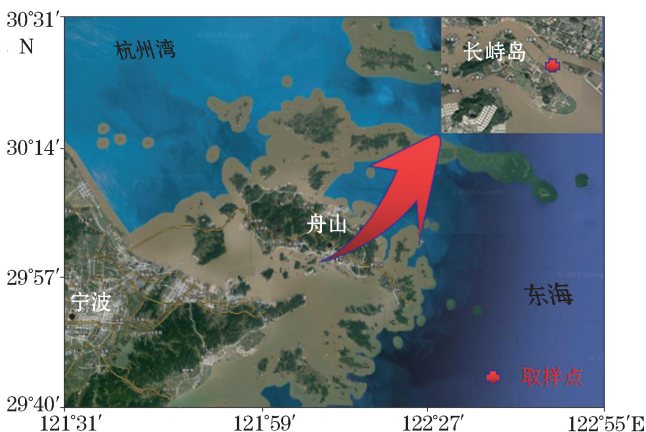


图 1 取样点地理位置

Fig.1 Geographical location of the sampling stations

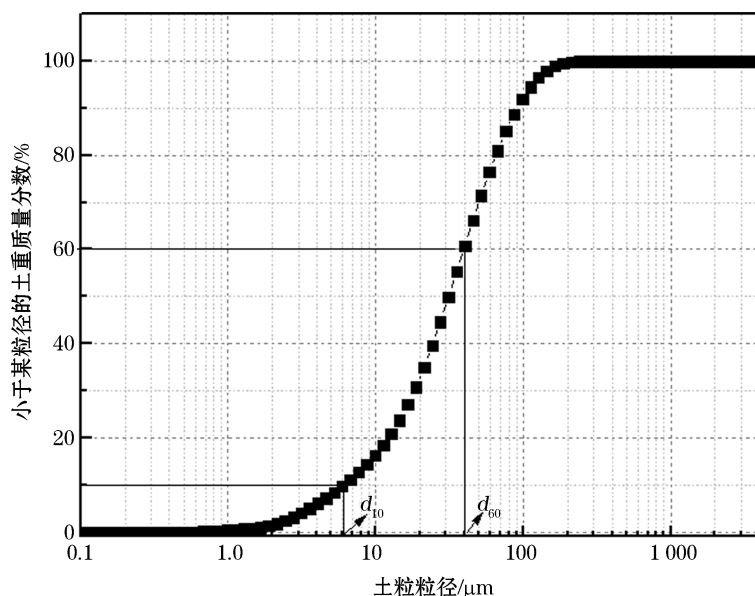


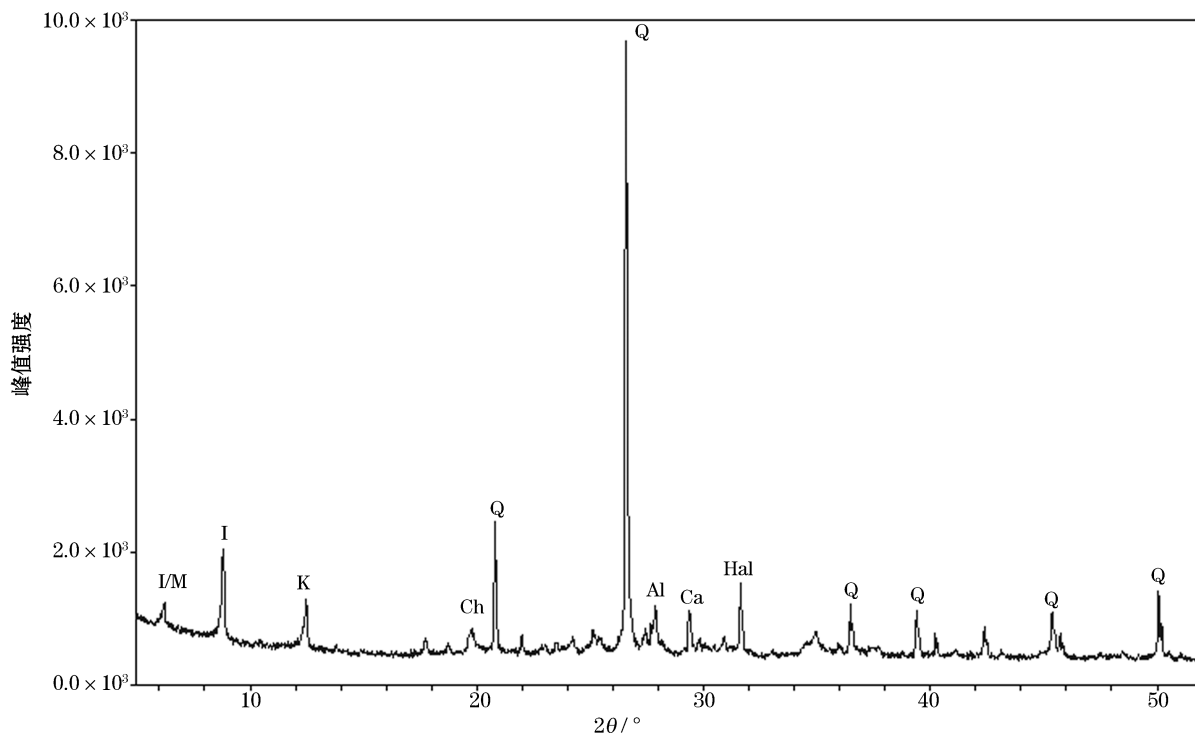
图2 粒径累计曲线

Fig.2 Grain size accumulation curve

大。本实验测定了海相沉积物中离子含量结果如下: Cl^- 为 5.28 g/kg, Na^+ 为 14.7 g/kg, Ca^{2+} 为 20.4 g/kg, Mg^{2+} 为 15.2 g/kg, K^+ 为 22.1 g/kg。海相沉积物溶液 pH 值为 7.35~8.36, 溶液呈弱碱性, 其 pH 值与沉积物矿物的等电 pH 值相差较大, 且易溶盐中 Na^+ 的含量较高, 故矿物颗粒的扩散层较厚。本实验亦测定海相沉积物的全盐含量高达 9~11.2 g/kg, 当沉积物呈干燥状态时, 固态易溶盐起着胶结土粒的作用, 当沉积物中水分较多时, 呈离子状态的易溶盐, 与带电的土粒相互作用, 对沉积物颗粒表面的双电层起到抑制作用, 土粒间的斥力减弱, 起到絮凝作用^[10]; 海相沉积物的阳离子交换容量为 5.6 cmol/kg, 阳离子交换能力不强, 这与粒度组成测试结果相一致, 因为土中的黏粒含量与交换容量呈正相关性; 海相沉积物的有机质含量 (5.82~12.7 g/kg) 较高, 导致沉积物呈现出大孔隙比、高压缩性的特征。

2.3 矿物组成

X-射线衍射仪能给出晶体结构的图谱, 可获取质量小于 3/1 000 的成分信息, 因此通过 X-射线衍射技术来探究海相沉积物的矿物组成与宏观透水能力的内在机制。任何结晶物质都有自己独特的衍射特征, 且可以用各个衍射晶面间距 (d) 和衍射线相对强度来表征, 并据此鉴别物质的物相^[11-12], 海相沉积物矿物组成衍射图如图 3 所示。原生矿物有石英、黑云母、钠长石等, 黏土矿物包括伊-蒙混层、伊利石、高岭石、绿泥石等, 可溶盐为方解石、石盐等。利用 jade6.5 软件, 采用 K 值法对矿物组成衍射图进行半定量计算, 获得伊-蒙混层 (13%)、伊利石 (15%)、高岭石 (11%)、绿泥石 (7%)、石英 (28%)、钠长石 (17%)、石盐 (4%)、方解石 (5%) 海相沉积物的相对质量分数, 发现海相沉积物以石英矿物为主, 由于海相软土的 pH 值为 7.35~8.36, 呈弱碱性, 这使得高岭石常不稳定。而孔隙水含有 K^+ , 使高岭石向伊利石转化; 由于 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的存在, 高岭石则可以转化成蒙脱石或绿泥石。在晶体结构上, 蒙脱石是一种典型的以水合阳离子以及水分子作为层间物的 2:1 型黏土矿物, 在被埋藏后, 随着温度和压力的增加, 层间水将逐渐被释放出来, 造成层间塌陷, 形成伊-蒙混层, 进而逐渐向伊利石转化^[13]。尽管海相沉积物的伊-蒙混层的含量不高, 但亲水性矿物含量较高, 因而具有一定的吸水膨胀性。



注: I/M 为伊-蒙混层; I 为伊利石; Ch 为绿泥石; K 为高岭石; Q 为石英; Al 为钠长石; Ca 为方解石; Hal 为石盐

图3 海相沉积物的 X-射线衍射图

Fig.3 X-ray diffraction diagram of the marine sediment

3 结 语

海相沉积物的含水率高、孔隙比大,具有丰富的孔隙结构,属于活动性黏土,矿物的亲水性较好,不利于自重固结。一方面,沉积物的全盐含量高达 9~11.2 g/kg,呈离子状态的易溶盐与带电的土粒相互作用,抑制沉积物颗粒表面的双电层,起到絮凝作用,且沉积物以粉质黏土为主,阳离子交换能力不强,有利于沉积物的排水固结;另一方面,沉积物的水溶液呈弱碱性,易溶盐中 Na^+ 的含量较高,故矿物颗粒的扩散层较厚,加上沉积物中亲水性矿物和有机质含量较高,故沉积物呈现出大孔隙比、高压缩性的特征,不利于沉积物的排水固结。因而选择一种合适的排水固结方式方能实现海相沉积物的有效固结。

参考文献 (References):

- [1] XIONG Z, WANG M Y, ZHU X, et al. Study on properties of marine dredged slurry in the offshore area of Zhoushan and suggestion of the technique of handling[J]. Coastal Engineering, 2017, 36(3): 59-64. 熊站, 汪明元, 祝幸, 等. 舟山近海海相吹填泥浆的性状研究及处理技术建议[J]. 海岸工程, 2017, 36(3): 59-64.
- [2] XIONG Z, WANG M Y, YAN Q, et al. A model test study on traditional and staged vacuum preloading[J]. Coastal Engineering, 2017, 36(3): 59-64. 熊站, 汪明元, 严乾, 等. 传统与分级真空预压的模型试验研究[J]. 海岸工程, 2018, 37(3): 43-49.
- [3] ZHU X. Vacuum preloading experiments of the marine reclamation works in Zhoushan[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2017. 祝幸. 舟山海相沉积物真空预压排水固结机理与实验研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2017.
- [4] Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Classification of soil: GB/T 50145—2007[S]. Beijing: China Planning Press, 2007. 中华人民共和国水利部. 土的分类标准: GB/T 50145—2007[S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.
- [5] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for investigation of geotechnical engineering: GB 50021—2001[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2009. 中华人民共和国住房和城乡建设部. 岩土工程勘察规范: GB 50021—2001[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.

- [6] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Soil testing; part 16 Method for determination of total amount of water-soluble salt in soil: NY/T 1121.16—2006[S]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006. 中华人民共和国农业部. 土壤检测: 第 16 部分 土壤水溶性盐总量的测定: NY/T 1121.16—2006[S]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [7] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Soil testing; part 5 Method for determination of cation exchange capacity in calcareous soils: NY/T 1121.5—2006[S]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006. 中华人民共和国农业部. 土壤检测: 第 5 部分 石灰性土壤阳离子交换量的测定: NY/T 1121.5—2006[S]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [8] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Soil testing; part 6 Method for determination of soil organic matter: NY/T 1121.6—2006[S]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006. 中华人民共和国农业部. 土壤检测: 第 6 部分 土壤有机质的测定: NY/T 1121.6—2006[S]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [9] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Soil testing; part 2 Method for determination of soil PH value: NY/T 1377.2—2007[S]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007. 中华人民共和国农业部. 土壤检测: 第 2 部分 土壤 PH 值的测定: NY/T 1377.2—2007[S]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [10] YAN H. Aging characteristics of material, structure changes and settlement prediction of dredger fill in the consolidation process of step vacuum preloading[D]. Changchun: Jilin University, 2015. 闫欢. 分级真空预压法加固吹填土物质、结构变化时效特性及沉降预测分析[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [11] WANG Y J, JIN F, ZHANG C H, et al. Liquefaction failure pore-pressure models of Zhoushan marine sandy soil under cyclic exciting loading[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(3): 582-597. 王亚军, 金峰, 张楚汉, 等. 舟山海域海相砂土循环激振下的液化破坏孔压模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(3): 582-597.
- [12] WANG M Y, SHAN Z G, WANG Y J, et al. Dynamic elastic moduli and damping ratios of marine sediments at Zhoushan Daishan based on dynamic triaxial tests under strain control[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(7): 1503-1512. 汪明元, 单治钢, 王亚军, 等. 应变控制下舟山岱山海相软土动弹性模量及阻尼比试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(7): 1503-1512.
- [13] JIANG Z X. Sedimentology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010. 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.

Physical and Chemical Characteristics of Marine Sediments in the Offshore of Zhoushan

XIONG Zhan¹, WANG Ming-yuan², SHAN Zhi-gang², YAN Qian¹, WANG Ya-jun¹, LI Tao¹

(1. School of Port and Transportation Engineering, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Huadong Engineering Corporation Limited, China Power, Hangzhou 311112, China)

Abstract: To provide material basis for the further study of consolidation mechanism of marine sediment in the tidal zone of Zhoushan, the particle composition of marine sediments is analyzed by laser particle size analyzer, the chemical elements, compound species and their relative contents of marine sediments are tested, and the mineral composition of marine sediments was also analyzed using X-ray diffraction techniques. The results indicate that the marine sediment is mainly composed of low liquid limit silty clay, which is high in water content rate, large in initial pore ratio and flow plastic in property. The activity index of the sediment is 12.4, indicating that it belongs to an active clay. The minerals in the sediment have a good hydrophilicity. The total salt content of the sediment is as high as 9~11.2 g/kg. The cation exchange capacity of the sediment is not strong and the organic matter content of the sediment is high (5.82~12.7 g/kg). The pH of the sediment is 7.35~8.36, showing weakly alkaline in property. The pore water of the sediment contains K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} , which makes kaolinite unstable and tend to transform into illite, montmorillonite or chlorite.

Key words: marine sediment; particle compositions; chemical property; mineral compositions

Received: May 14, 2018