

# 三门湾地区海相软土工程特征研究

李昂<sup>1</sup>, 柯凯豪<sup>1</sup>, 黄瑶<sup>1</sup>, 曹珂<sup>2</sup>, 郑鸿杰<sup>1</sup>, 胡凯翔<sup>1</sup>

(1. 浙江省工程勘察设计院集团有限公司, 浙江 宁波 315012; 2. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 三门湾位于我国东部沿海地带, 是浙江省三大半封闭型港湾之一, 地表广泛分布海相软土。本文搜集了三门湾地区地质、工程钻探和测试数据等资料, 探讨了海湾陆域软土形成历史和空间分布特征, 并对软土物理力学性质指标进行了统计分析。同时, 对各项指标的分布特征和相关性以及随地层深度的变化规律进行了分析, 并与省内其他沿海地区的软土进行了对比。研究结果显示, 三门湾地区软土工程特征较差, 各项指标随深度变化规律不明显, 但土体强度随深度增加呈增长的趋势。研究区内软土的含水量与重度、孔隙比和压缩系数等呈较好的线性关系。另外, 通过对比分析, 表明浙江省内分布的软土工程特性具有“自北向南, 逐渐减弱”的趋势。

**关键词:** 海相软土; 分布特征; 工程特征; 统计分析; 相关性

中图分类号: TU447

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2022)03-0206-09

## Engineering characteristics of soft soil in Sanmen Bay

LI Ang<sup>1</sup>, KE Kai-hao<sup>1</sup>, HUANG Yao<sup>1</sup>, CAO Ke<sup>2</sup>, ZHENG Hong-jie<sup>1</sup>, HU Kai-xiang<sup>1</sup>

(1. Zhejiang Engineering Survey And Design Institute Group Co., Ltd., Ningbo 315012, Zhejiang, China;

2. Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, Shandong, China)

**Abstract:** Sanmen Bay is located at the eastern coastal zone of China. It is one of the three semi-closed bays in Zhejiang Province. Marine soft soil is widely distributed in this area. This paper discussed the formation history and spatial distribution characteristics of soft soil through the regional geological survey, engineering drilling and test data of Sanmen Bay. Based on the statistical analysis, the physical and mechanical properties of soft soil are presented. Moreover, the distribution characteristics and correlations of indexes, as well as the regularity with the strata depth are detected. The soft soil indexes of the study area are also compared with other coastal areas in Zhejiang Province. The statistical results show that the characteristics of soft soil engineering are poor in Sanmen Bay. The variation of physical parameters with depth is not obvious, but the soil strength increases with depth. The water content of soft soil has a good linear relationship with density, void ratio and compression coefficient. In addition, through comparative analysis, the engineering characteristics of soft soil distributed in Zhejiang Province show a trend of ‘decreasing from north to south’.

**Key words:** marine soft soil; distribution characteristics; engineering properties; statistical analysis; correlations

## 0 引言

浙江省地处我国东南部, 其沿海地区广泛分布着全新世时期形成的软土地层, 据放射性<sup>14</sup>C测年结果表明, 软土层形成时期大致为至今0.75万年前。岩性主要为海相或海陆交互的淤泥及淤泥质土层。这类土普遍具有天然含水量高、孔隙比大、

压缩性高、强度低、透水性差、流变性显著和不均匀等特性, 是一种工程性能极差的特殊土体。

浙江省沿海城市经济发展迅速, 土地资源稀缺, 软土地基上的工程建设项目日益增多, 加上不同沿海地区海相软土因物质来源、应力历史和沉积环境的不同, 也各自具有特殊的工程特性。因此, 开展对各区域软土工程特征研究, 对解决由软土引

发的诸多工程问题是十分必要的。目前,国内学者对浙江省一些地区,如杭州湾、宁波和温州等地的软土进行了广泛而深入的研究<sup>[1-6]</sup>,取得了较多的研究成果,但研究范围主要集中在长江口和瓯江口两大域,对于三门湾地区尚未开展过区域海相软土的工程特征研究。本文通过整理分析三门湾地区工程地质资料和勘察钻孔资料,开展三门湾地区海相软土地层工程特征研究,以期为本地区相关工程建设提供参考。

## 1 区域概况

### 1.1 自然地理

三门湾位于浙江省中部宁波和台州沿海,主要包括宁海县、象山县和三门县,陆域面积约2204 km<sup>2</sup>(见图1)。三门湾四周陆地地貌可分为侵蚀剥蚀丘陵、洪(冲)积平原和海积平原,其中以侵蚀剥蚀丘陵为主,其次为海积平原,洪(冲)积平原面积最小。三门湾西南侧的湫水山,地势最高,主峰王戏梁海拔882 m。

### 1.2 地层岩性

根据搜集的三门湾陆域勘察钻探资料<sup>[7-8]</sup>以及“浙江中部海岸带综合地质调查”项目施工的钻探资料,结合岩土工程地质特征和物理力学性质差异,总结三门湾地区浅部地层岩性由上至下分布

如下:

①<sub>0</sub>层素填土:灰黄色,松散,厚层状,-0.50~13.23 m, 0.30~11.20 m。以黏性土为主,含少量建筑垃圾,土质不均。

①<sub>1</sub>层黏土、粉质黏土:灰黄、褐黄色,可塑,厚层状,含铁锰质斑点。顶板标高-1.00~4.19 m,层厚0.60~5.50 m。

①<sub>2</sub>层淤泥、淤泥质土:灰色,流塑,厚层状,土质稀软,厚度变化大,压缩性高,顶板标高-11.00~3.76 m,层厚0.90~10.80 m。

②<sub>1</sub>层淤泥、淤泥质土:灰色,流塑,厚层状,顶板标高-29.75~2.90 m,层厚1.10~22.90 m。

③<sub>1</sub>层粉质黏土:灰黄色,可塑,厚层状,含Fe、Mn质氧化斑点,土质较均匀,顶板标高-22.10~-0.24 m,层厚0.80~16.10 m。

③<sub>2</sub>层淤泥质(粉质)黏土:灰色,流塑,鳞片状,可见较多粉砂、粉土薄层。顶板标高-42.35~-6.54 m,层厚0.90~16.10 m。部分区域相变为软塑状黏土、粉质黏土。

③<sub>3</sub>层(含黏性土)圆砾、卵石:灰色,稍-中密,厚层状,含黏性土团块及少量砂土,顶板标高-0.95~0.85 m,厚度0.60~12.50 m。

全新世以下地层以厚层灰色或兰灰色软塑-可塑状黏土、粉质黏土和含黏性土卵砾石互层。典型的工程地质剖面见图2。

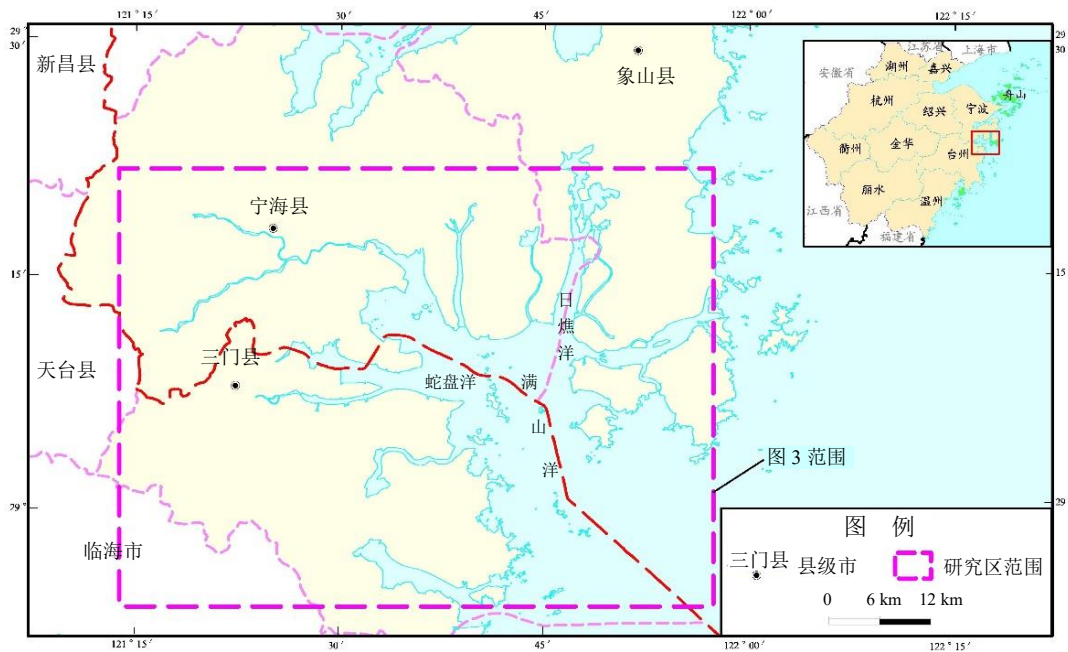


图1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

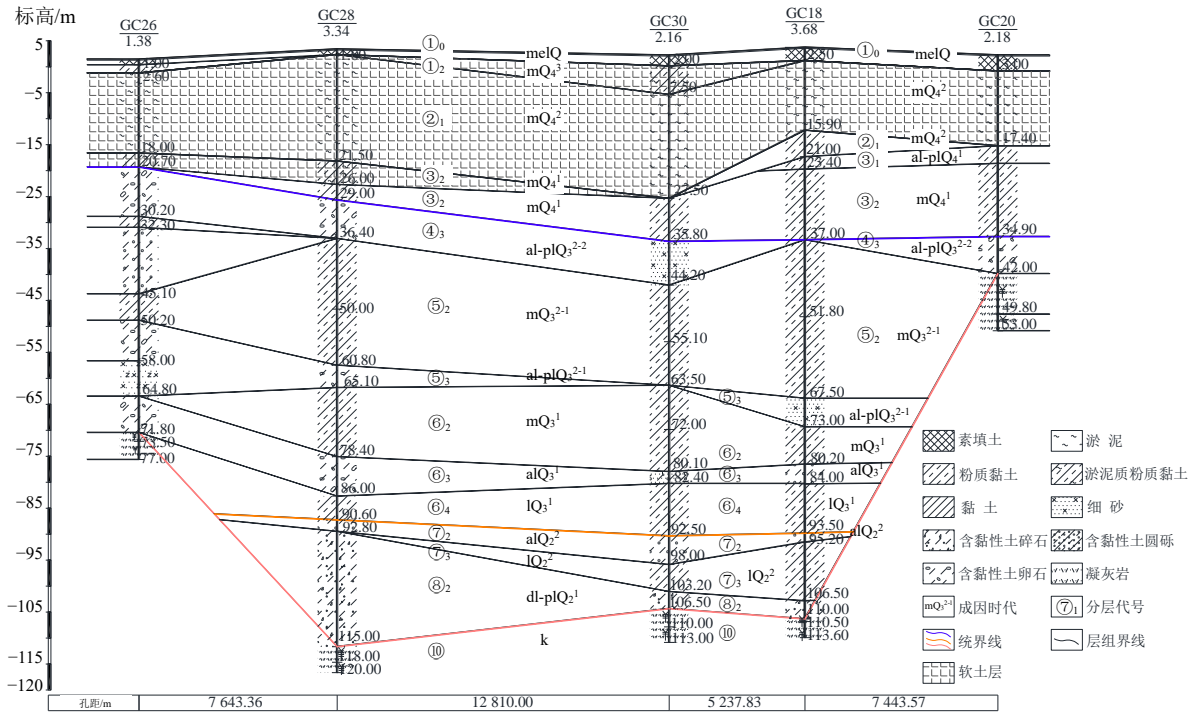


图 2 三门湾典型工程地质剖面  
 Fig. 2 Typical engineering profile in Sanmen Bay

## 2 研究区软土形成历史与空间分布

### 2.1 软土形成历史

浙江省沿海地区分布有多处港湾，湾内广泛分布着淤泥和淤泥质软土层。这些港湾内软土的形成演化过程存在许多共性。本文以三门湾为例，探讨海湾内软土层的成因。

#### (1) 沉积物质来源

三门湾是浙江省三大半封闭型港湾之一，形状似“葫芦”，属规则半日潮港湾，潮差较大，平均潮差约 4.3 m，最大达 7.8 m，潮汐作用明显。三门湾湾口面向东南，有石浦水道与外海相通，其余三面环陆。湾口毗邻高塘岛、南田岛、青门山等岛屿，在环绕岛屿的阻隔作用下，涌入、流出的海水流速发生变化，水动力作用减弱，有助于接受海水输入的细颗粒泥沙汇集沉积，形成大片泥质海滩和海岸。

三门湾位于江山-绍兴深断裂东南侧的华南褶皱系的华夏褶皱带，原基岩港湾发育有中生代火山岩、火山碎屑岩和中、上新统玄武岩。港湾沿岸虽无大的入海河流，但存在有白岙港等近 30 条溪流。区内基岩岩石经风化、剥蚀、海浪与潮汐的冲刷侵蚀等作用形成的矿物质，由雨水等不断输送到近岸海水中沉积下来。

在滨海地区，沉积物质在不同水动力条件下，按其大小、比重和磨圆度等有规律地沉积下来，在水平方向和垂直方向均存在沉积韵律，构成滨海海积平原沉积物<sup>[9]</sup>。

#### (2) 沉积环境演化

三门湾滨海平原地带，地势平坦，沉积环境主要受海水岸流的影响。晚更新世末冰期结束后，气候迅速转暖，海平面开始急剧上升，区域上开始了大规模的海侵，至全新世中期，海平面达到最高。由于海水作用强烈，三门湾基岩海岸地区形成了陡崖和海蚀地貌，而广大平原区位于低潮线之下，开始接受海水带来的丰富泥沙沉积，海湾内的软土开始形成。全新世晚期气候类似于现今，海平面波动趋于平稳，滨浅海环境下的黏粒、粉粒、有机质和矿物质不断堆积，最终形成了如今的软土地层。

### 2.2 三门湾软土空间分布特征

三门湾地区海相软土广泛分布于区内海积平原表面，越远离海岸线或水系河口，埋深越浅，整体厚度也呈减小趋势，反之埋深越大，厚度越大，整体厚度一般小于 30 m。岩性主要是淤泥、淤泥质（粉质）黏土，其特点是含水量大、黏粒含量高、夹杂粉砂和粉土、含有机质、渗透性小、固结慢。依据浙江省地方标准《工程建设岩土工程勘察规范》（DB33/T1065—2019）<sup>[10]</sup> 5.3.2 节的分层标准，

参照搜集的区域钻探资料, 软土层自上而下可分为 3 层:

①<sub>2</sub> 软土层, 由全新统上组海积 (mQ<sub>4</sub><sup>3</sup>) 淤泥、淤泥质土组成, 灰色, 流塑, 厚层状, 压缩性高, 层厚 0.90~10.80 m, 表层形成一层性质良好的“硬壳层”。

②<sub>1</sub> 软土层, 由全新统中组海积 (mQ<sub>4</sub><sup>2</sup>) 淤泥、淤泥质 (粉质) 黏土组成, 灰色, 流塑, 厚层状, 层厚 1.10~22.90 m, 为研究区最主要的软土层。

③<sub>2</sub> 软土层, 由全新统下组海积 (mQ<sub>4</sub><sup>1</sup>) 淤泥质 (粉质) 黏土组成, 灰色, 流塑, 鳞片状, 可见较多粉砂、粉土薄层。层厚 0.90~16.10 m。部分区域相变为软塑状黏土、粉质黏土。

### 3 研究区软土工程地质特性

#### 3.1 物理力学性质指标统计

为了保证数据的统一性和分析的准确性, 本次研究选用了具有代表性的 37 孔工程地质钻探结果进行统计分析。选取钻孔分布基本涵盖整个三门湾陆域滨海平原, 基本可以反映研究区软土的分布及工程地质特征, 钻孔位置见图 3。

以所划分软土工程地质层 (亚层) 为统计单元, 对软土层中的 119 个样品测试数据, 首先进行归层、

检查、删去个别异常值, 常规试验指标由微机采用 Grubbs 准则<sup>[11]</sup> 进行分层统计 (结果见表 1), 统计方法采用浙江省地方标准《工程建设岩土工程勘察规范》(DB33/T1065—2019)<sup>[10]</sup> 规定的岩土参数分析方法, 计算公式如下:

$$\text{平均值: } \varphi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n} \quad (1)$$

$$\text{标准差: } \sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n \varphi_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \varphi_i)^2}{n} \right]} \quad (2)$$

$$\text{变异系数: } \delta = \frac{\sigma_f}{\varphi_m} \quad (3)$$

$$\text{修正系数: } \gamma_s = 1 \pm \left( \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta \quad (4)$$

$$\text{标准值: } \varphi_k = \gamma_s \varphi_m \quad (5)$$

从指标统计情况来看, 三门湾海积软土的重度、饱和度和比重指标分布集中, 变异系数小于 0.05, 含水量、孔隙比和界限含水量指标等变异系数小于 0.2, 压缩系数、压缩模量变异系数小于 0.3, 离散性不大, 表明本次统计结果基本上反映了研究区软土的工程地质特征 (表 1)。综合分析指标统计结果, 并结合岩芯实物, 三门湾陆域软土层具有以下工程特征:

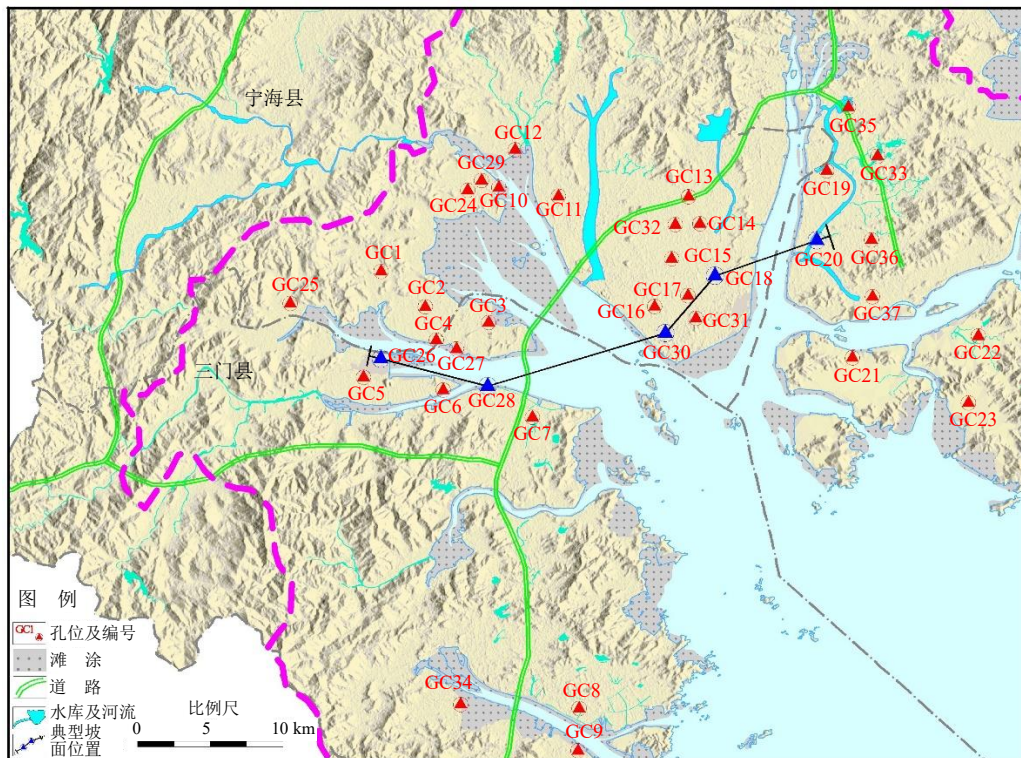


图 3 三门湾钻孔位置分布

Fig. 3 Location of boreholes in Sanmen Bay

(1) 颜色主要呈灰色,部分表层呈灰黄色,土体粒度以细颗粒为主,有机质含量较高。

(2) 天然含水量高,含量一般为31.6%~69.1%,且天然含水量大于液限。天然孔隙比大(1.001~1.917),土体近乎饱和(饱和度85%~99.9%),土质稀软,多呈流塑状态,塑性指数一般为11.9~25.5,属于中等塑性土。

(3) 压缩性高,压缩系数为0.43~2.37 MPa<sup>-1</sup>,属于中高压缩性土,开展工程建设时,土层易发生较大沉降。

(4) 强度低,软土的固快黏聚力一般为13~26 KPa,内摩擦角为6.5°~13.8°。

此外,据搜集的其他勘察项目资料,研究区软土还具有低渗透性、明显的流变性、高灵敏度等特征,是影响建(构)筑物沉降变形的主要地层。

### 3.2 指标参数规律

(1) 指标随地层深度分布特点

a) 常规指标

对三门湾区域海积软土层内119个样本的含水

量、孔隙比和重度指标随深度分布情况进行了初步统计(见图4)。

散点统计结果显示,含水量主要分布在40%~65%范围,孔隙比主要分布在1.0~1.8范围,重度主要分布在16.2~17.5 kN/m<sup>3</sup>范围,三项指标随深度的增加无明显的变化规律,反映三门湾分布的软土土质均一性较差。

为进一步研究土体物理指标与深度的分布规律,对样本的含水量等分不同深度区段(按5 m间隔划分)进行区间均值统计,见图5,其中30 m、30~35 m深度区段统计数据量少,代表性较差,故不参与规律总结。分析发现,0~25 m深度范围内,含水量与孔隙比随区段深度增加,均值整体呈减小趋势,而重度呈增大趋势,且各指标均值的变化趋势均在10~15 m深度范围内出现了突变,可能与该深度区间软土土质不均一,含较多粉土、粉砂薄层或团块有关。

用上述两种方法对样品的界限含水量的4个指标进行统计(图6~7)。

表1 土层力学参数

Table 1 Soil mechanical parameters

指标	样本数量	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数	修正系数	标准值
含水量 $w/\%$	119	69.100	31.600	52.130	7.82	0.150	1.023	53.360
重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	119	18.900	15.800	16.900	0.59	0.035	0.995	16.810
孔隙比 $e$	119	1.917	1.001	1.488	0.21	0.143	1.022	1.521
饱和度 $S_r/\%$	119	99.900	85.000	96.500	2.63	0.027	1.004	96.880
比重 $G_s$	119	2.760	2.720	2.760	0.01	0.004	1.000	2.760
液限 $W_L/\%$	119	56.100	29.800	45.530	5.26	0.115	1.000	45.530
塑限 $W_P/\%$	119	30.600	17.900	24.960	2.86	0.115	1.000	24.960
塑性指数 $I_p$	119	25.500	11.900	20.570	2.57	0.125	1.000	20.570
液性指数 $I_L$	119	1.910	0.790	1.310	0.16	0.119	1.019	1.340
压缩系数 $a_{v0.1-0.2}/\text{MPa}^{-1}$	119	2.370	0.430	1.220	0.36	0.294	1.046	1.280
压缩模量 $E_{s0.1-0.2}/\text{MPa}$	119	4.650	1.230	2.180	0.55	0.252	0.961	2.090
固快黏聚力 $c/\text{kPa}$	103	26.000	13.000	14.700	1.72	0.117	0.980	14.400
固快内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	103	13.800	6.500	8.000	0.94	0.118	0.980	7.800

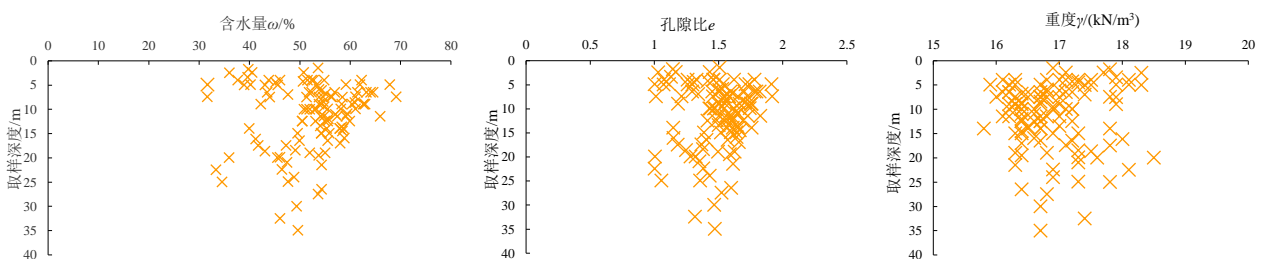


图4 研究区软土层常规指标随深度分布

Fig. 4 Conventional indexes of soft soil with depth in study area

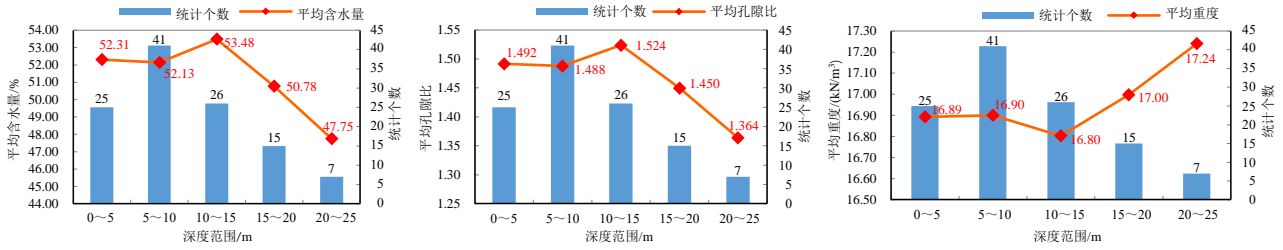


图5 研究区软土层不同深度范围常规指标均值统计

Fig. 5 Average statistics of conventional indexes of soft soil in different depths in study area

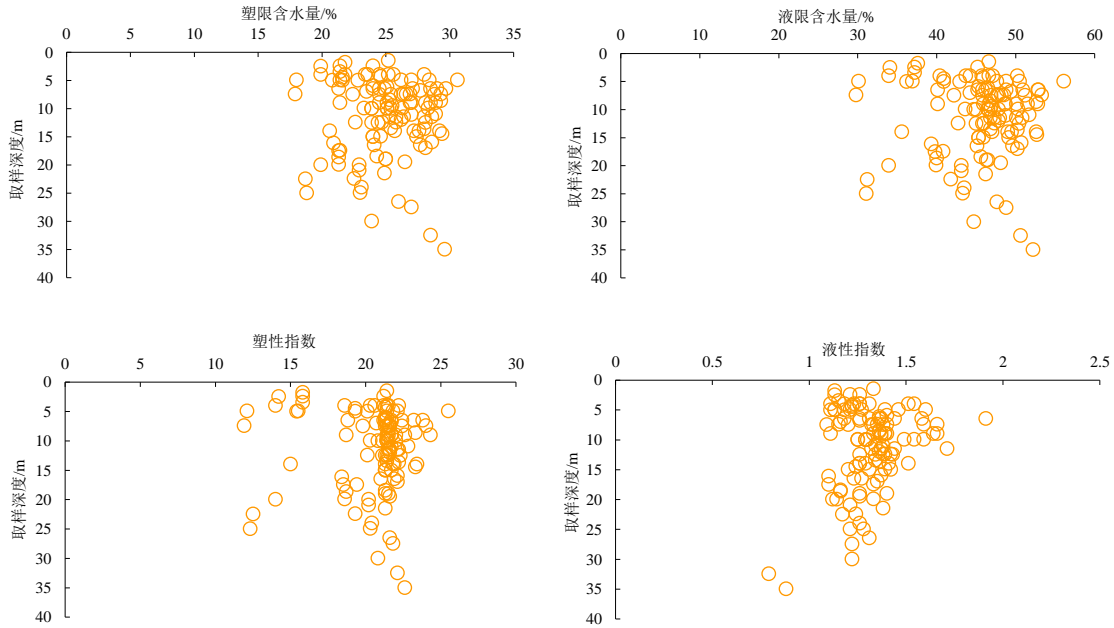


图6 研究区软土层界限含水量指标随深度分布

Fig. 6 Atterberg limits of soft soil along different depths in study area

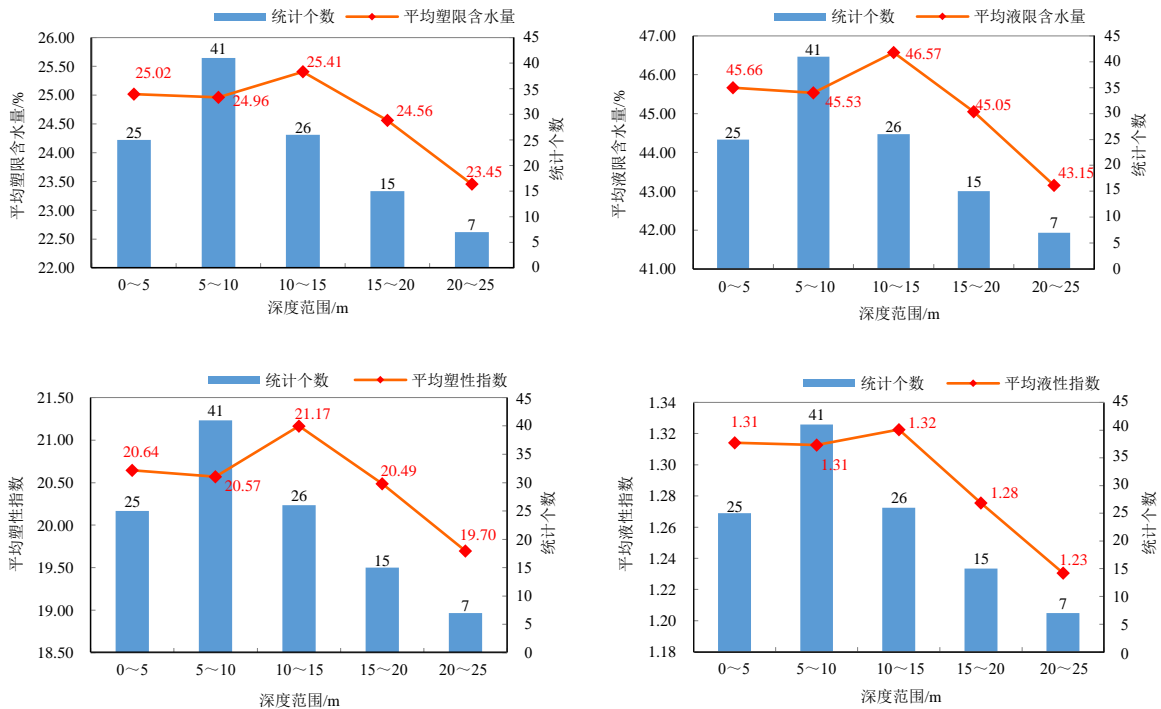


图7 研究区软土层不同深度范围界限含水量指标均值统计

Fig. 7 Average statistics of Atterberg limits of soft soil in different depths in study area

散点统计结果显示塑限含水量主要分布在20%~30%范围,液限含水量主要分布在40%~53%范围,塑性指数主要分布在20~23范围,液性指数主要分布在1.1~1.5范围,各指标随深度变化无明显规律可循。区间均值统计表明0~25 m深度范围内,塑限含水量、液限含水量、塑性指数、液性指数随着深度增大,深度区段均值整体呈减小趋势,但在10~15 m深度区段内变化趋势也出现了突变。

b) 压缩性指标

对三门湾区域海积软土119个样本的常规压缩试验指标随深度的分布情况进行了统计(见图8~9)。

散点统计结果显示压缩系数 $a_{v0.1\sim 0.2}$ 主要分布在0.5~2.0 MPa<sup>-1</sup>,压缩模量 $E_s$ 分布在1.6~2.2 MPa,两项指标随深度变化无明显规律可循。区间均值统计结果显示压缩系数随深度增加整体呈减小趋势,压缩模量整体呈增大趋势,而在10~15 m深度范围同样出现了突变。

以上软土性质指标随深度变化规律统计结果表明,三门湾地区软土各项物理力学性质指标随深度变化规律不明显,不同深度区间统计的各项指标均值变化统计结果反映出研究区内软土层物理力学性质整体随深度的增加趋于变好,基本符合土体沉积固结的规律。10~15 m范围内统计结果反常,可能与该区间软土土质不均匀,以及含较多粉砂和

粉土团块有关。

(2) 指标相关性分析

对各指标之间的相关性分析,能够更好地利用易于测定的指标去计算难以直接测定的指标,同时又可以验证土工试验结果的准确性,对工程项目的开展具有实际意义。

统计结果显示(图10),三门湾陆域软土的孔隙比、重度与含水量相关性较高,其中,孔隙比与含水量相关系数 $R^2$ 为0.976 3,重度与含水量的相关系数 $R^2$ 为0.850 3。而压缩系数与含水量的相关性相较前两者略低,相关性系数 $R^2$ 为0.833 9。

以软土的孔隙比与含水量相关性为例,其拟合关系式为:

$$e = 0.027w + 0.0826 \quad (6)$$

将前述指标统计的 $w$ 标准值53.36%代入上式,得 $e=1.523$ ,与统计获得的孔隙比标准值 $e=1.521$ 十分接近,进一步验证了本文统计工作结果的合理性。

3.3 浙江省各地区软土性质对比

本文搜集了浙江省由北向南各地区软土分布厚度和物理力学指标统计值<sup>[7-8,12-14]</sup>(表2)。通过对比分析发现,浙江省内不同区域内的软土地层普遍具有天然含水量高、压缩性大和强度低等特点,但各项物理力学性质指标均有所差异。其中,研究区

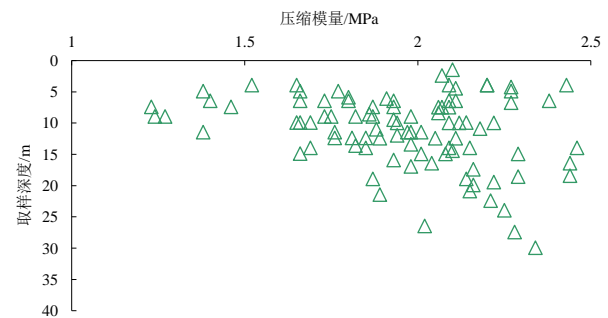
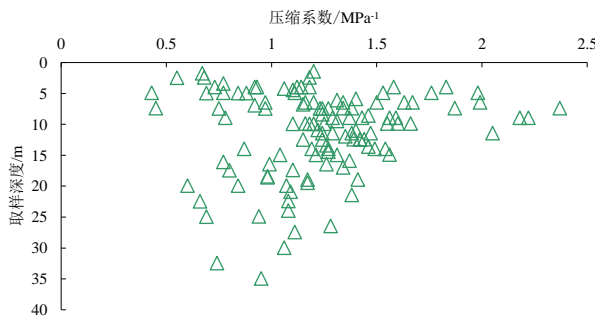


图8 研究区软土层压缩性指标随深度分布

Fig. 8 Distribution of compression coefficients of soft soil with depths in study area

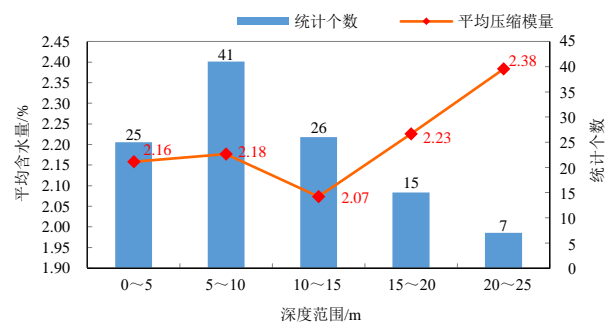
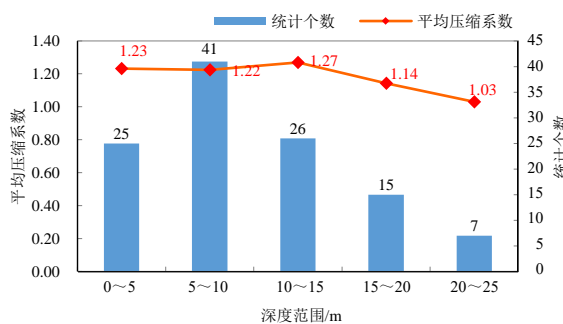


图9 研究区软土层不同深度范围压缩系数均值统计

Fig. 9 Average statistics of compression coefficients of soft soil in different depths in study area

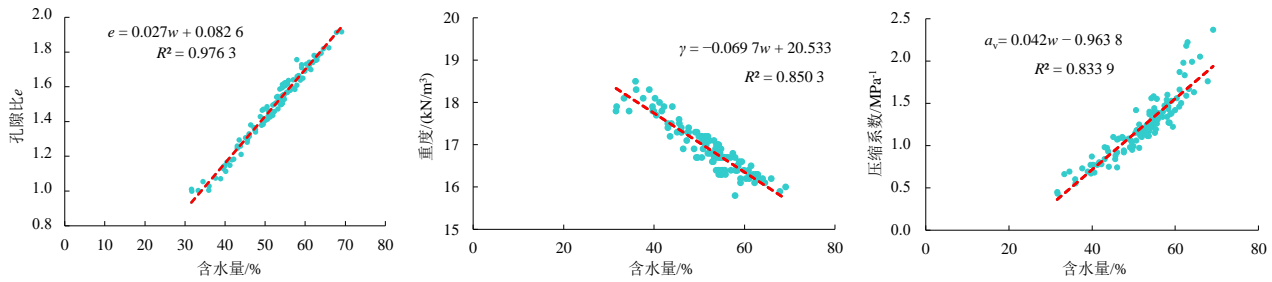


图 10 研究区软土层各指标间关系

Fig. 10 Relationship between the indexes of soft soil and water content in study area

表 2 浙江省各地区软土的物理力学指标统计值对比

Table 2 Comparison of physical and mechanical properties of soft soil in Zhejiang Province

区域	厚度/m	w/%	$\gamma$ /(kN/m <sup>3</sup> )	e	S <sub>r</sub> %	G <sub>s</sub>	W <sub>L</sub> %	W <sub>p</sub> %	I <sub>p</sub>	I <sub>L</sub>	$a_{v0.1-0.2}$ /MPa <sup>-1</sup>	$E_{s0.1-0.2}$ /MPa	c/kPa	$\phi$ (°)
嘉兴滨海新区 <sup>[12]</sup>	1.5~41.8	41.80	17.90	1.168	97.30	2.73	39.91	23.54	16.42	1.18	0.78	2.49	13.4	13.8
舟山本岛 <sup>[13]</sup>	0.9~28.1	43.07	17.87	1.259	96.23	2.74	38.20	21.85	16.51	1.40	1.06	2.75	11.2	9.6
宁波北部 <sup>[8]</sup>	0.7~40.7	46.25	17.50	1.299	97.20	2.74	39.40	22.15	17.25	1.40	0.91	2.79	14.1	9.3
宁波象山 <sup>[7]</sup>	0.5~38.5	51.02	17.14	1.428	97.84	2.75	45.41	24.86	20.60	1.29	1.21	2.18	14.2	9.0
三门湾	0.0~36.8	53.36	16.81	1.521	96.88	2.76	45.53	24.96	20.57	1.34	1.28	2.09	14.4	7.8
温州 <sup>[4]</sup>	0.5~50.5	57.49	16.74	1.560	98.92	2.69	48.34	25.97	22.37	1.41	1.42	2.10	13.6	8.0

注:表中统计数值为标准值。

软土整体厚度较舟山本岛大,较其他区域小。区域软土的含水量、孔隙比、饱和度、界限含水量和压缩系数指标高于嘉兴、舟山本岛和宁波北等北部地区,低于南部的温州地区。而研究区软土的重度、比重、压缩模量和内摩擦角指标则低于北部的嘉兴等地,高于温州地区。这也表明了三门湾陆域软土性质整体较嘉兴等地区差,但优于温州地区。从地域分布来看,浙江省内各地区软土的含水量、孔隙比、饱和度、界限含水量和压缩系数指标自嘉兴至温州地区由北向南呈增加趋势,而重度、比重、压缩模量和内摩擦角指标呈减小趋势,表明浙江省沿海地区软土工程性质呈由北向南依次变差的特点。这种差异可能是由各区域的地貌形态、水动力条件、地质作用和沉积气候环境等共同作用造成的。

### 4 结论

(1) 三门湾软土分布广泛,厚度大,形成于全新世。形成期间经历了一次大规模的海侵事件,岩性主要为淤泥和淤泥质土。大量土试实验数据统计分析表明,三门湾软土天然含水量高、孔隙比大、近似饱和且呈流塑状态、并具有压缩性高和抗剪强度低等特征,工程性质差。

(2) 运用统计学方法,对三门湾软土样品的物

理力学性质指标的探讨发现,海湾内软土含水量与湿密度、压缩系数和孔隙比指标具有较好的线性关系,软土力学性能随深度增加而增强。

(3) 对浙江省各海湾内软土物理力学性质指标进行了统计对比分析发现,省内分布的软土整体工程性质差,土体性质大致呈“自北向南,逐渐变弱”的特点,这种现象受控于区域地貌形态、水动力条件、地质作用和沉积气候环境等因素。

### 致 谢

感谢由青岛海洋地质研究所“浙江中部海岸带综合地质调查”项目组提供的三门湾区域钻探、土样测试资料。在野外数据获取的过程中,青岛海洋地质研究所的张志忠研究员等人本着严肃科学、一丝不苟的态度坚守在野外,保证了数据的真实可靠和样品的完整性,为本次研究和后期测试结果的有效性、代表性打下了坚实的基础,特此感谢!

### 参考文献

[1] 王文军,刘用海,朱向荣. 宁波海相软土工程特性研究[J]. 工程勘察,2008,10(8): 19-24.  
WANG Wen-jun, LIU Yong-hai, ZHU Xiang-rong. Engineering characteristics of marine soft soil in Ningbo[J]. Engineering Survey, 2008, 10(8): 19-24.

[2] 骆以道. 海积软土特性及地基沉降分析若干问题的研



- 究[D]. 武汉: 武汉大学, 2012.
- LUO Yi-dao. Study on the characteristics of marine soft soil and foundation settlement analysis[D]. Wuhan: Wuhan University, 2012.
- [3] 王一鸣, 仓飞, 袁静, 等. 甌江河口巨厚海相软土沉积历史与工程特性[J]. 工程地质学报, 2019, 27(增刊 1): 542-548.
- WANG Yi-ming, CANG fei, YUAN Jing, et al. Sedimentary history and engineering characteristics of thick marine soft soil in Oujiang estuary[J]. Journal of Engineering Geology, 2019, 27(S1): 542-548.
- [4] 祝卫东. 温州软土与台州软土工程特性及其比较分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- ZHU Wei-dong. Engineering characteristics and comparative analysis of Wenzhou soft soil and Taizhou soft soil[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003.
- [5] 梁国钱, 张民强, 俞炯奇, 等. 浙江沿海地区软土工程特性[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(5): 435-437, 441.
- LIANG Guo-qian, ZHANG Min-qiang, YU Jiong-qi, et al. Soft soil engineering properties in coastal areas of Zhejiang[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2002, 31(5): 435-437, 441.
- [6] 苏伯苓. 宁波软土流变规律及其工程应用[J]. 河北地质学院学报, 1990, 13(2): 111-120.
- SU Bo-ling. The rheological law of soft soil in Ningbo and its engineering application[J]. Journal of Hebei Institute of Geology, 1990, 13(2): 111-120.
- [7] 浙江省水文地质工程地质大队. 宁波市海岸带地质环境调查与评价(一期)成果报告[R]. 浙江宁波: 2015.
- Zhejiang institute of hydrogeology and engineering geology. Report report of geological environment investigation and evaluation (phase I) of coastal zone in Ningbo[R]. Ningbo, Zhejiang: 2015.
- [8] 浙江省水文地质工程地质大队. 宁波市都市圈(北部)1:5万环境地质调查成果报告[R]. 浙江宁波: 2018.
- Zhejiang institute of hydrogeology and engineering geology. Ningbo metropolitan area (north) 1:50 000 environmental geological survey results report[R]. Ningbo, Zhejiang: 2018.
- [9] 吴雪婷. 温州浅滩软土工程特性及固结沉降规律研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2010.
- WU Xue-ting. Study on engineering characteristics and consolidation settlement law of Wenzhou shoal soft soil[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2010.
- [10] 浙江省住房和城乡建设厅. 工程建设岩土工程勘察规范: DB33/T1065—2019[S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.
- Department of housing and urban-rural development of Zhejiang Province. Engineering Construction Code for Investigation of Geotechnical Engineering: DB33/T1065—2019[S]. Beijing: China Plan Press, 2019.
- [11] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册[M]. 第五版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- Engineering geology manual compilation committee. Engineering Geology Manual[M]. Fifth Edition. Beijing: China Construction Industry Press, 2018.
- [12] 浙江省地质调查院. 嘉兴市滨海新区工程地质调查报告[R]. 浙江嘉兴: 2013.
- Geological survey of Zhejiang Province. Engineering geological survey report of Binhai new area in Jiaxing City[R]. Jiaxing, Zhejiang: 2013.
- [13] 浙江省水文地质工程地质大队. 长江三角洲海岸带综合地质调查与监测(舟山群岛新区)成果报告[R]. 浙江舟山: 2017.
- Zhejiang institute of hydrogeology and engineering geology. Results report on comprehensive geological survey and monitoring of the coastal zone of the Yangtze River Delta (Zhoushan Islands New Area)[R]. Zhoushan, Zhejiang: 2017.
- [14] 浙江省第十一地质大队. 浙江省温州市城市地质调查报告[R]. 浙江温州: 2008.
- 11th geology team of Zhejiang Province. Urban geological survey report of Wenzhou City, Zhejiang Province[R]. Wenzhou, Zhejiang: 2008.