

马迹山海域淤泥质软土物理力学性质统计分析

周伟兵, 郑华文

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 淤泥质软土的物理力学指标是地基处理设计的核心依据, 具有显著的地域性、不确定性和指标间关联性。以马迹山海域深厚淤泥质软土为独立统计单元, 基于土工试验数据, 利用数理统计方法系统分析了其指标的变异性、相关关系及概率分布特征。研究表明: 该海域淤泥质软土具有含水率高、孔隙比大、压缩性大、抗剪强度低等典型特性; 其物理指标的变异性小于力学指标; 线性关系分析显示, 天然含水率与孔隙比、压缩系数呈显著正相关, 液限与塑性指数亦呈较强正相关; 黏聚力随深度变化呈现 $c_m > c_{q1} > c_{q2}$ 的规律, 各力学指标间存在显著线性关系; 概率分布检验表明, 天然含水率、天然密度、天然孔隙比、液限、塑限、渗透系数、无侧限抗压强度指标、快剪和三轴黏聚力指标均服从正态分布。

关键词: 淤泥质软土; 物理力学指标; 相关性分析; 概率分布模型

中图分类号: U6; U652.2; TU411 文献标志码: A 文章编号: 2095-7874(2026)03-0033-06

doi: 10.7640/zggwjs202603006

Statistical analysis of physical-mechanical properties of mucky soft soil in the Majishan sea area

ZHOU Wei-bing, ZHENG Hua-wen

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The physico-mechanical indicators of mucky soft soil serve as fundamental parameters for foundation treatment design, characterized by significant regional specificity, uncertainty, and inter-indicator correlations. Focusing on the deep mucky soft soil in the Majishan sea area as an independent statistical unit, the variability, correlations, and probability distribution characteristics of its parameters were systematically analyzed using mathematical statistical methods based on geotechnical test data. Research results indicate that the mucky soft soil in this area exhibits typical properties including high water content, large void ratio, high compressibility, and low shear strength. Physical parameters demonstrate lower variability than mechanical parameters. Linear relationship analysis reveals significant positive correlations between natural water content and both void ratio and compression coefficient, along with strong positive correlation between liquid limit and plasticity index. Cohesion follows the pattern " $c_m > c_{q1} > c_{q2}$ " with increasing depth, while significant linear relationships exist among various mechanical indicators. Probability distribution tests confirm that natural water content, natural density, void ratio, liquid limit, plastic limit, permeability coefficient, and multiple shear strength indicators all follow normal distribution.

Key words: mucky soft soil; physical-mechanical indicators; correlation analysis; probability distribution model

0 引言

本研究之淤泥质软土分布于东海舟山嵊泗马迹山列岛南部海域, 根据海域钻探资料^[1], 该海域内广泛分布着深厚全新世(Q_4)的软土层, 沉积环

境主要为海相沉积。

目前, 国内学者已对我国不同地区的软土开展了概率模型建立与研究。尹力华等^[2]对天津软土土性指标进行了概率分布统计分析, 提出了该地

收稿日期: 2025-09-15 修回日期: 2025-11-07

作者简介: 周伟兵 (1990—), 男, 内蒙古察哈尔右翼前旗人, 工程师, 注册一级建造师, 从事岩土工程试验、检测工作。

E-mail: zhouweibing@ccccltd.cn

区软土土性指标分布的概率模型及相关性关系；李刚等^[3]对大连地区不同成因软土的物理力学指标进行了对比、统计分析和概率分布模型，提出了区域内土性指标间的相互关系及相关指标的优化分析；屈若枫等^[4]、朱益军等^[5]则分别对武汉地区和温州地区的软土进行了相关分析研究；文渊^[6]对舟山软土土性参数随机场研究。这些研究成果对软土区域的工程建设起到了重要的指导意义。

本文以舟山嵊泗马迹山海域内的淤泥质软土为分析对象，利用数理统计方法分析该地区软土物理力学指标的变化范围、均值、标准差和变异系数，并得到了相关指标间的相互关系和海域内淤泥质软土土性指标的概率分布模型。该成果旨

在为该区海域内的淤泥质软土土性指标参数选取及地基处理方案优化提供依据和参考。

1 物理力学指标统计分析

本文所统计的该海域淤泥质软土层主要埋深在 5.0~38.0 m，整体土层厚度较大。根据成因学原理，把某特定地质时代相同沉积环境下形成的、在工程性质上存在一定内在联系的、具有特性相似的土体可划分为一个工程地质单元，形成一个独立的统计单元体^[7]。

本文将海域内淤泥质软土划为一个统计单元体，对在该海域淤泥质软土层中采取的 566 件原状淤泥质软土的物理力学性质指标进行统计分析，见表 1。

表 1 淤泥质软土物理力学性质指标统计

Table 1 Statistics of physical-mechanical property indicators for mucky soft soil

指标	样本容量 <i>n</i> /个	分布区间	均值 <i>u</i>	标准差 σ	变异系数 δ
天然含水率 <i>w</i>	566	37.2%~55.0%	48.2%	3.41%	0.07
天然密度 ρ	566	1.58~1.81 g/cm ³	1.69 g/cm ³	0.04 g/cm ³	0.02
干密度 ρ_d	566	1.03~1.32 g/cm ³	1.14 g/cm ³	0.05 g/cm ³	0.04
天然孔隙比 <i>e</i>	566	1.077~1.666	1.400	0.10	0.07
饱和度 <i>S_r</i>	566	87%~100%	94%	2.50%	0.03
液限 <i>w_L</i>	566	35.9%~53.9%	43.5%	2.86%	0.07
塑限 <i>w_p</i>	566	18.4%~32.9%	24.4%	2.12%	0.09
塑性指数 <i>I_p</i>	566	17.1~23.2	19.1	1.43	0.07
液性指数 <i>I_L</i>	566	1.01~1.79	1.25	0.18	0.14
压缩系数 $a_{0.01-0.2}$	493	0.73~1.94 MPa ⁻¹	1.10 MPa ⁻¹	0.19 MPa ⁻¹	0.17
压缩模量 $E_{0.01-0.2}$	493	1.32~3.07 MPa	2.22 MPa	0.31 MPa	0.14
垂直渗透系数 <i>k_v</i>	24	1.2×10 ⁻⁷ ~4.5×10 ⁻⁷ cm ² /s	2.0×10 ⁻⁷ cm ² /s	0.99×10 ⁻⁷ cm ² /s	0.48
水平渗透系数 <i>k_h</i>	24	1.2×10 ⁻⁷ ~31.0×10 ⁻⁷ cm ² /s	5.4×10 ⁻⁷ cm ² /s	8.16×10 ⁻⁷ cm ² /s	1.51
黏聚力(固结快剪) <i>c_{cu}</i>	270	8.0~20.0 kPa	11.7 kPa	1.71 kPa	0.15
内摩擦角(固结快剪) φ_{cu}	270	8.6°~19.0°	13.4°	2.14°	0.16
黏聚力(快剪) <i>c_q</i>	148	5.0~20.0 kPa	10.6 kPa	3.05 kPa	0.29
内摩擦角(快剪) φ_q	148	1.6°~9.0°	4.6°	1.70°	0.37
黏聚力(三轴不固结不排水) <i>c_{um}</i>	40	9~23 kPa	15 kPa	3.75 kPa	0.22
内摩擦角(三轴不固结不排水) φ_{um}	40	0~1°	0	0.28°	3.61
无侧限抗压强度(原状) <i>q_u</i>	52	14.5~43.2 kPa	26.6 kPa	10.61 kPa	0.40
无侧限抗压强度(扰动) <i>q_u'</i>	52	4.1~13.8 kPa	7.8 kPa	2.49 kPa	0.32
灵敏度 <i>S_i</i>	52	1.93~7.13	3.40	1.30	0.36

1.1 天然含水率高，呈流塑状态

该海域内淤泥质软土的天然含水率分布于 37.2%~55.0% (均值 48.2%)，液限 *w_L* 为 35.9%~53.9% (均值 43.5%)，含水率均值大于液限均值；天然孔隙比 *e* 为 1.077~1.666 (均值 1.400)，天然孔隙比均大于 1；均满足现行国家标准 GB 50021—2001(2009 年版)《岩土工程勘察规范》^[8]中淤泥质

软土的特征指标值要求。液性指数 *I_L* 为 1.01~1.79 (均值 1.25)，当 *I_L*>1.0 时，土体处于流塑状态；天然密度 ρ 为 1.58~1.81 g/cm³ (均值 1.69 g/cm³)，饱和度 *S_r* 为 87%~100% (均值 94%)，低密度和高饱和度的耦合特性表明土体骨架松散，结合现场取样呈现的土体流动性特征，进一步验证了该软土层为典型淤泥质软土。

1.2 压缩性大、渗透性小

压缩系数 $a_{0.1-0.2}$ 为 $0.73\sim 1.94 \text{ MPa}^{-1}$ (均值为 1.10 MPa^{-1}), 压缩模量 $E_{s0.1-0.2}$ 为 $1.32\sim 3.07 \text{ MPa}$ (均值为 2.22 MPa), 海域内淤泥质软土属高压缩性土层。垂直渗透系数 k_v 为 $1.2\times 10^{-7}\sim 4.5\times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ (均值为 $2.0\times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$), 水平渗透系数 k_h 为 $1.2\times 10^{-7}\sim 31.0\times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ (均值为 $5.4\times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$), 渗透性等级为微透水性 ($k < 1\times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$)。值得注意的是, 垂直渗透系数整体低于水平渗透系数, 这一各向异性特征可能与该软土层在沉积过程中形成的薄层粉土夹层有关, 薄层粉土的水平向渗透优势导致了渗透数值相对偏大, 进而影响软土地基排水固结效率。

1.3 抗剪强度低

1) 直剪剪切试验

快剪的黏聚力 c_q 范围为 $5.0\sim 20.0 \text{ kPa}$ (均值为 10.6 kPa), 内摩擦角 φ_q 范围为 $1.6^\circ\sim 9.0^\circ$ (均值为 4.6°); 固结快剪的黏聚力 c_{cq} 范围为 $8.0\sim 20.0 \text{ kPa}$ (均值为 11.7 kPa), 内摩擦角 φ_{cq} 范围为 $8.6^\circ\sim 19.0^\circ$ (均值为 13.4°)。固结快剪试验的黏聚力和内摩擦角的均值显著高于快剪试验, 反映出排水条件对提高淤泥质软土的力学性质有关键的影响。

2) 三轴不固结不排水试验与无侧限抗压强度试验

三轴不固结不排水试验的黏聚力 c_{un} 范围为 $9\sim 23 \text{ kPa}$ (均值为 15 kPa), 内摩擦角 φ_{un} 接近 0° ; 试验原状土无侧限抗压强度 q_u 范围为 $14.5\sim 43.2 \text{ kPa}$ (均值为 26.6 kPa), 试验扰动土无侧限抗压强度 q'_u 范围为 $4.1\sim 13.8 \text{ kPa}$ (均值为 7.8 kPa), 灵敏度范围为 $1.93\sim 7.13$ (均值 3.40), 表明区域内土层结构性强, 受到扰动后其强度会显著降低, 属于高灵敏度淤泥质软土层。

根据表 1 软土的物理、力学性质指标的变异系数统计分析, 统计结果直观呈现了该海域内淤泥质软土的大部分物理性质指标变异系数均小于 0.1 , 统计数值的平均数具有一定的代表性, 可作为该海域工程应用的参考依据, 在用概率方法计算土体变形时, 可不考虑变异系数的影响。力学性质指标变异系数明显大于物理指标的变异系数, 在用概率方法计算土体变形时, 必须考虑变异系数的影响。

2 软土物理指标相关性分析

软土的物理力学性质指标主要由其组成成分、结构特征以及应力历史等因素决定。借鉴学者们

的研究成果^[2,5], 本研究通过对存在关联的物理力学性质指标进行一元线性回归分析。该方法旨在利用易于测得的物理性指标, 建立与难以直接获取的物理力学性指标之间的统计关系, 从而为工程应用提供参考依据。

2.1 天然含水率与天然孔隙比的关系

通过对海域内淤泥质软土天然含水率与天然孔隙比进行线性回归分析, 见图 1, 样本数为 566 个, 相关系数 $R^2=0.946 2$ 。图 1 中随着含水率增加, 孔隙比逐渐增大, 二者具有显著的正相关线性关系, 同时与天津^[2] ($e=0.027 3w+0.037 1$)、温州地区^[5] ($e=0.025 8w+0.014 7$) 的线性关系进行对比, 可见其中的线性关系具有相似性。回归方程为:

$$e=0.027 1w+0.081 9 \quad (1)$$

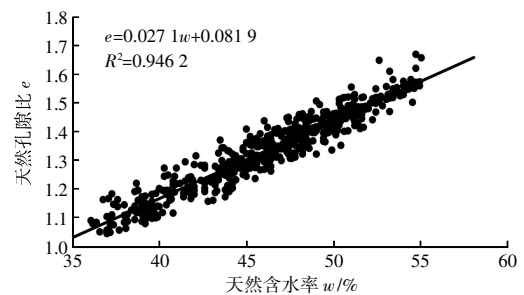


图 1 天然含水率与天然孔隙比关系曲线

Fig. 1 Relationship curve between natural water content and natural void ratio

2.2 液限与塑性指数的关系

通过对海域内淤泥质软土液限与塑性指数进行线性回归分析, 如图 2 所示, 样本数为 566 个, 相关系数 $R^2=0.890 3$ 。图 2 中液限与塑性指数二者具有近似的正相关线性关系, 同时与天津^[2] ($I_p=0.690 7w_L-9.744 3$)、温州地区^[5] ($I_p=0.390 0w_L+0.074$) 的线性关系进行对比, 体现出各地区软土的线性关系具有一定的差异性。回归方程为:

$$I_p = 0.537 8w_L - 4.650 8 \quad (2)$$

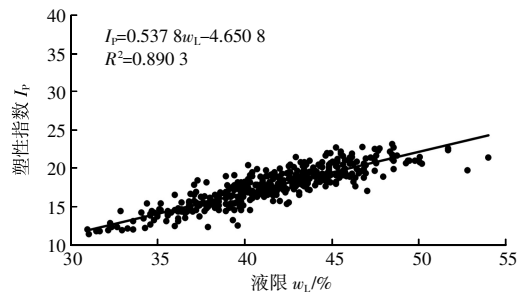


图 2 液限与塑性指数关系曲线

Fig. 2 Relationship curve between liquid limit and plasticity index

2.3 天然含水率与压缩系数的关系

通过对海域内淤泥质软土天然含水率与压缩系数进行线性回归分析, 见图 3, 样本数为 493 个, 相关系数 $R^2=0.8310$ 。图 3 中天然含水率与压缩系数二者具有近似的正相关线性关系, 同时与天津^[2]($a_{v0.1-0.2}=0.0301w-0.5345$)、大连地区^[3]($a_{v0.1-0.2}=0.0390w-0.7970$)的线性关系进行对比, 可见其中线性关系与天津、大连地区均具有一定的相似性。回归方程为:

$$a_{v0.1-0.2} = 0.0356w - 0.6165 \quad (3)$$

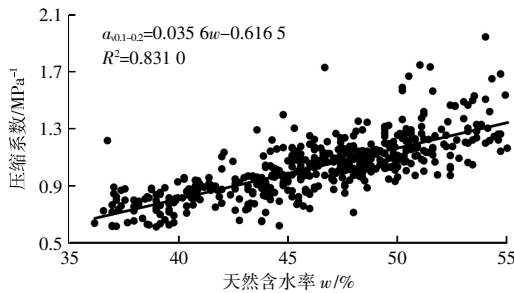


图 3 天然含水率与压缩系数关系曲线

Fig. 3 Relationship curve between natural water content and compression coefficient

2.4 不同试验方法下强度指标间的关系

根据国内部分学者对不同地区软土的物理性

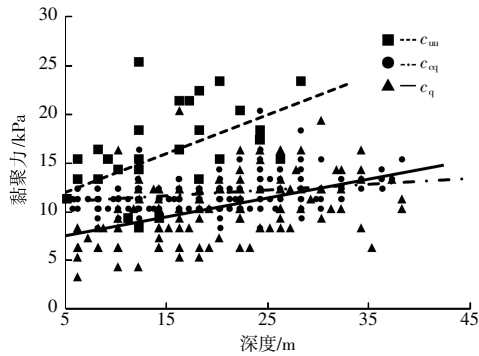
指标与黏聚力、内摩擦角之间的相关性研究表明, 软土在高含水率的条件下, 结合水膜的厚度达到一定程度后, 含水率增加也不会再改变其厚度, 对软土的黏聚力、内摩擦角并无显著的影响, 但含水率与软土的黏聚力、内摩擦角存在一定的递减关系^[2,4]。

为更好地研究各试验指标间的相互关系, 对不同试验方法下的淤泥质软土的黏聚力、内摩擦角、抗压强度之间的相关性进行线性回归分析, 回归公式如表 2 所示, 相互关系曲线如图 4 所示, 目的是为工程应用中不同试验条件下的软土力学性指标的使用提供参考。

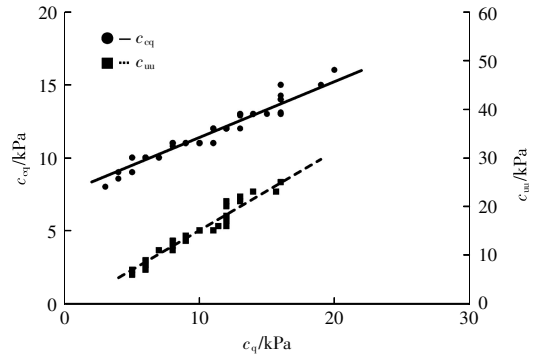
表 2 不同试验方法下强度指标间的关系

Table 2 Relationships between strength parameters under different testing methods

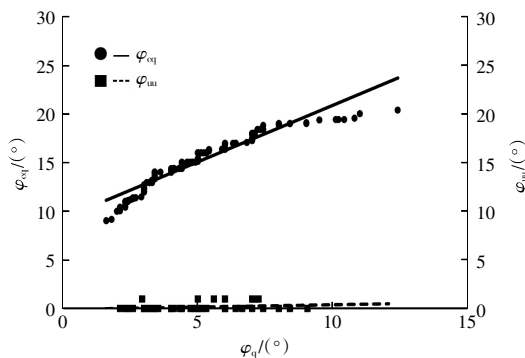
编号	指标		回归方程	相关系数
	因变量	自变量		
1	c_{cq}	c_q	$c_{cq}=0.3812c_q+7.581$	$R^2=0.91$
2	c_{cu}	c_q	$c_{cu}=1.6241c_q-1.1822$	$R^2=0.92$
3	φ_{cq}	φ_q	$\varphi_{cq}=1.16\varphi_q+9.275$	$R^2=0.90$
4	φ_{cu}	φ_q	$\varphi_{cu}=0.0516\varphi_q-0.0795$	$R^2=0.25$
5	q_u	c_{cu}	$q_u=1.8029c_{cu}-2.356$	$R^2=0.95$



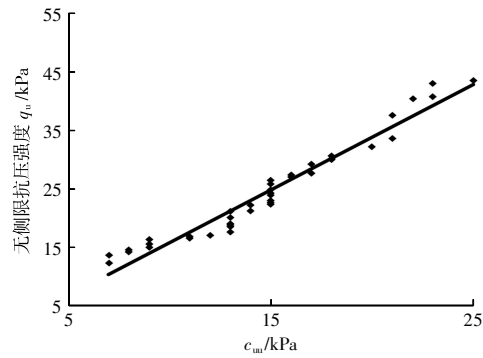
(a) 深度与黏聚力的关系曲线



(b) c_q 与 c_{cq} 、 c_{cu} 的关系曲线



(c) φ_q 与 φ_{cq} 、 φ_{cu} 的关系曲线



(d) c_{cu} 与 q_u 的关系曲线

图 4 不同试验方法下强度指标间的关系

Fig. 4 Relationship between strength parameters under different testing methods

本文采取回归分析法对快剪(q)、固结快剪(c_q)、三轴不固结不排水(UU)的黏聚力与软土深度分布之间的关系进行分析, 见图 4(a)。可以看出, 随着深度的增加, 与黏聚力具有一定的正相关关系, 不同的试验方法下黏聚力指标数值变化呈现如下规律: $c_{um} > c_{cq} > c_q$; 3 种试验方法下黏聚力指标间的关系见图 4(b), c_q 、 c_{cq} 、 c_{um} 具有显著的线性关系, 回归方程、相关系数见表 2。内摩擦角指标间的关系见图 4(c), φ_q 与 φ_{cq} 具有显著的线性关系; 因饱和软黏土在三轴不固结不排水(UU)的条件下, 强度包线呈水平状态, φ_{um} 趋近于 0, 所以 φ_q 与 φ_{um} 不具有线性关系, 回归方程、相关系数见表 2。三轴 c_{um} 与无侧限 q_u 的关系如图 4(d)、表 2 所示, 两者具有显著的线性关系, 相关系数 $R^2 = 0.95$, 关系式分析表明: 无侧限 $q_u \approx 1.8c_{um}$, 该比值接近经典库伦定律^[9]中理论值 $q_u = 2c_{um}$ 的 90%, 反映软土不排水强度的内在一致性。

3 软土物理力学指标概率分布模型

在客观世界中, 正态分布随机变量广泛存在, 因而在研究某一连续型总体时, 往往应首先考虑其是否服从正态分布。在众多检验正态性的方法中, “偏斜度、峰度检验法”较为有效^[10]。

3.1 偏斜度和峰度

偏斜度 g_1' :

$$g_1' = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (4)$$

峰度 g_2' :

$$g_2' = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (5)$$

式中: n 为样本容量; x_i 为第 i 个样本观测值; \bar{x} 为样本均值; 样本标准差 $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

若所观察的一组数据偏斜度、峰度都接近于 0, 则可以认为该组数据是来自正态总体; 若峰度为正, 则表示与正态分布相比, 其分布相对尖锐; 若峰度为负, 则表示与正态分布相比, 其分布相对平坦。

3.2 拒绝域

设 x_1, x_2, \dots, x_n 为来自总体下的样本, 对其检验假设 $H_0: x$ 为正态分布。

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}} \quad (6)$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}} \quad (7)$$

$$u_1 = \frac{g_1'}{\sigma_1} \quad (8)$$

$$u_2 = \frac{g_2' - \mu_2}{\sigma_2} \quad (9)$$

式中: σ_1 为偏斜度标准差; σ_2 为峰度标准差; u_1 为标准化偏斜度统计量; u_2 为标准化峰度统计量; 峰度偏差修正项 $\mu_2 = 3 - \frac{6}{n+1}$ 。

若 $|u_1|$ 或 $|u_2|$ 值过大, 就会拒绝 H_0 。取显著性检验水平 $\alpha = 0.1$, 则 H_0 的拒绝域为:

$$|u_1| = \left| \frac{g_1'}{\sigma_1} \right| \geq Z_{\alpha/4} = Z_{0.025} = 1.96 \quad (10)$$

$$|u_2| = \left| \frac{g_2' - \mu_2}{\sigma_2} \right| \geq Z_{\alpha/4} = Z_{0.025} = 1.96 \quad (11)$$

式中: Z 为标准正态随机变量; $\alpha/4$ 为显著性检验水平 α 被均分至 2 个检验统计量(偏斜度与峰度), 且每个统计量采用双侧检验, 故每个单侧尾部的显著性检验水平为 $\alpha/4$ 。

3.3 软土物理力学指标分布规律

根据以上方法, 采用偏斜度、峰度检验法对舟山嵊泗马迹山海域淤泥质软土物理力学指标进行正态分布检验, 结果见表 3。

表 3 淤泥质软土物理力学性质指标概率分布模型

Table 3 Probability distribution model for physical-mechanical property indicators of mucky soft soil

指标	偏斜度 g_1'	峰度 g_2'	u_1	u_2	正态检验	分布形态
天然含水率 w	-0.164	-0.193	1.169	0.622	接受	正态分布
天然密度 ρ	0.269	0.438	1.911	1.649	接受	正态分布
干密度 ρ_d	0.375	0.368	2.666	1.398	拒绝	近似正态分布
天然孔隙比 e	-0.113	0.089	0.807	0.396	接受	正态分布
饱和度 S_r	-0.331	0.042	2.349	0.223	拒绝	近似正态分布
液限 w_L	0.461	0.541	0.685	1.097	接受	正态分布
塑限 w_p	0.393	1.246	1.894	0.391	接受	正态分布
塑性指数 I_p	0.707	-0.313	5.019	1.054	拒绝	非正态分布
液性指数 I_L	0.704	-0.164	4.999	0.518	拒绝	非正态分布

续表 3

指标	偏斜度 g'_1	峰度 g'_2	u_1	u_2	正态检验	分布形态
压缩系数 $a_{0.01-0.2}$	0.920	2.271	6.144	7.787	拒绝	非正态分布
压缩模量 $E_{0.01-0.2}$	0.504	2.351	3.366	8.058	拒绝	非正态分布
垂直渗透系数 k_v	1.600	2.649	1.687	0.223	接受	正态分布
水平渗透系数 k_h	3.310	11.213	0.576	1.593	接受	正态分布
黏聚力(固结快剪) c_{cq}	1.666	5.392	8.022	13.538	拒绝	非正态分布
内摩擦角(固结快剪) φ_{cq}	0.083	-0.274	0.399	0.571	接受	正态分布
黏聚力(快剪) c_q	0.279	-0.038	1.119	0.057	接受	正态分布
内摩擦角(快剪) φ_q	0.446	-0.497	1.787	0.907	接受	正态分布
黏聚力(三轴不固结不排水) c_{um}	-0.426	0.682	0.786	1.425	接受	正态分布
内摩擦角(三轴不固结不排水) φ_{um}	3.605	13.000	6.640	17.221	拒绝	非正态分布
无侧限抗压强度(原状) q_u	0.776	-0.611	1.838	0.553	接受	正态分布
无侧限抗压强度(扰动) q'_u	0.420	-0.356	0.994	0.197	接受	正态分布
灵敏度 S_t	0.833	0.375	1.972	0.821	接受	正态分布

由表 3 可知,天然含水率、天然密度、天然孔隙比、液限、塑限、渗透系数、快剪黏聚力和内摩擦角、无侧限抗压强度、固结快剪内摩擦角、三轴黏聚力均服从正态分布;干密度、饱和度接近正态假设检验结果,符合近似正态分布;塑性指数、液性指数、压缩系数、压缩模量、固结快剪黏聚力和三轴内摩擦角与正态假设检验相差较大,检验结果均不服从正态分布。

对海域内淤泥质软土的物理力学性质指标建立了正态分布模型检验,检验结果表明:对于服从或近似服从正态分布的指标,其变异性规律相对明确,在概率统计分析或基于标准值的工程计算中,可采用正态分布模型进行简化处理,这有助于提高效率并降低软土试验测试的成本;对于显著偏离正态分布的指标,在涉及概率分析、可靠性或计算标准值时,必须考虑其影响,确保分析结果的准确性和工程安全性。

4 结语

本文通过对舟山嵎泗马迹山海域淤泥质软土进行数据统计分析、相关性分析与概率分布检验,得出如下结论:

1) 统计分析结果表明该海域内淤泥质软土的特征为:天然含水率高、天然孔隙比大、饱和度高;压缩性大、渗透性小、抗剪强度低、结构性强等显著的工程特性。

2) 淤泥质软土的标准差、变异系数分析结果表明,物理性质指标变异系数较小,在采用概率方法计算土体变形时,可不考虑变异系数的影响;力学性质指标变异系数较大,必须充分考虑变异

系数的影响。

3) 通过线性关系分析表明,天然含水率与天然孔隙比、压缩系数之间呈现正相关关系且相关性显著;液限与塑性指数之间呈现正相关关系且相关性较强。相较于其他地区软土,该地区存在着特殊的工程特性。

4) 随着深度增加黏聚力指标具有正相关且增大的趋势,呈现 $c_{um} > c_{cq} > c_q$ 的变化规律;对不同试验方法下强度指标之间的关系分析表明,各力学性质指标间存在显著的线性关系,这些线性关系可以用来预测和控制该海域内淤泥质的力学性质。

5) 正态分布模型统计分析得出,天然含水率、天然密度、天然孔隙比、液限、塑限、渗透系数、快剪黏聚力和内摩擦角、无侧限抗压强度、固结快剪内摩擦角、三轴黏聚力均服从正态分布;其他指标为非正态分布。为该海域内淤泥质土的土工参数取值提供了一定的依据。

参考文献:

- [1] 吴朝东,段存俊,沈明云,等.宁波舟山铁矿石马迹山基地勘察报告[R].上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2021-2022.
WU Chao-dong, DUAN Cun-jun, SHEN Ming-yun, et al. Investigation report on the Majishan Base of the Ningbo-Zhoushan Iron Ore Port[R]. Shanghai: CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., 2021-2022.
- [2] 尹力华,王晓谋,张留俊.天津软土土性指标概率分布统计分析[J].岩土力学,2010,31(2):462-469.
YIN Li-hua, WANG Xiao-mou, ZHANG Liu-jun. Probabilistical distribution statistical analysis of Tianjin soft soil indices[J]. Rock

(下转第 104 页)