



深圳盐田港海相淤积土标贯响应及 力学指标智能解译*

姜雄, 肖熠

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 海相淤积土广泛存在于港口等海岸工程中, 存在易扰动、工程特性差、力学指标难以准确表征等问题。基于盐田港地勘数据, 研究海相淤积土标准贯入响应特征与土性参数间的相关关系, 并采用全连接前馈神经网络构建了基于标贯响应的力学参数智能解译方法。结果表明: 盐田港海相淤积土标贯响应受土体物理力学性质影响显著, 已有经验公式难以表征二者间的相互关系, 而本文所构建的智能解译模型能够很好地反映标贯击数与各因素间的非线性关系, 可获得较高精度的力学指标预测值。研究成果可为港口建设中海相淤积土力学指标评价提供借鉴和参考。

关键词: 海相淤积土; 标贯响应; 力学参数; 智能解译

中图分类号: U655; TU432

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0071-09

Standard penetration response and intelligent interpretation of mechanical parameters for marine sedimentary soil in Yantian Port, Shenzhen

JIANG Xiong, XIAO Yi

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

Abstract: Marine sedimentary soil (MSS) is widely present in coastal engineering such as ports, which is easy to be disturbed, poor in engineering characteristics and difficult to accurately characterize the mechanical parameters. Based on the geological survey data of Yantian Port, the correlation between the standard penetration response characteristics and soil property parameters of MSS is studied, and an intelligent interpretation method of mechanical parameters based on the standard penetration response is constructed by using a fully connected feedforward neural network. The results show that the standard penetration response of MSS in Yantian Port is significantly affected by the physical and mechanical properties of soil, and the relationship between the two is difficult to be characterized by the existing empirical formulas. However, the intelligent interpretation model constructed in this paper can well reflect the nonlinear relationship between the standard penetration number and various factors, and can obtain the predicted value of the mechanical parameters with high accuracy. The research results can provide reference and guidance for the evaluation of mechanical parameters of MSS in port construction.

Keywords: marine sedimentary soil; standard penetration response; mechanical parameters; intelligent interpretation

海相淤积土是河流输入、海床风化、生物沉积等海洋动力过程聚集、沉积形成于沿海地区的沉积物, 常以淤泥、淤泥质土、淤泥混砂等形式赋存。该类土一般由原生矿物和黏土矿物构成,

呈流塑态^[1], 具有颗粒细小、含水量高、孔隙比大、易压缩变形等特点, 易造成地基不均匀沉降、港运轨道偏移和作业吊车倾斜等, 是沿海港口工程需谨慎识别处理的特殊土。

收稿日期: 2024-09-27

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFB2604200)

作者简介: 姜雄(1989—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程设计。

我国深圳、杭州、上海、温州等沿海港区海相淤积土分布广泛，是港工建设最常见的不良地质层之一。以深圳盐田港为例，从历次勘察资料发现其地层赋存有大量海相淤积土，港口建设中遭遇了地基过度沉降、不均匀沉降等难题。研究海相淤积土工程特性是应对工程灾害的关键，而原位标准贯入试验是获得工程特性的重要方法之一。目前国内外开展了大量岩土体标贯测试工作^[2]，并提出一系列标贯数据解译方法^[3]。然而，针对海相淤积土标贯试验研究较少，仅有的文献

也大都集中于某一场地局部地层的测试结果^[4]，缺乏可参考借鉴的成果。

本文以深圳盐田港地勘数据为基础，系统分析典型海相淤积土的标准贯入响应特征以及与土性参数的关系，并构建基于标贯测试的土性参数智能解译方法。

1 标准贯入测试

数据源自盐田港历次地质勘察，如图1所示，区域位置及海相淤积土主要类型见表1。



注：★为盐田港历次地质勘察区域。

图1 盐田港卫星云图及测点分布

Fig. 1 Satellite cloud image of Yantian Port and distribution of measurement points

表1 勘探地层及测试情况

Tab. 1 Exploration of geological layers and test results

位置标记	勘察项目	勘察孔数/个	标贯试验数/击	室内试验数/击	地层情况
1,7	东港区一期可行性勘探	155	1 301	2 247	淤泥、砂混淤泥、淤泥质粉质黏土、黏土、黏性土混砂、粉质黏土、中粗砾砂混黏土、粗砾砂混黏土、残积土
2~3	道路堆场水工码头施工图设计勘察	631	11 632	6 840	淤泥、黏土、粉质黏土、粗砾砂混黏土、残积土
4~6	东港区一期工程地基处理勘察	108	251	177	淤泥、淤泥质黏土、黏土、粉质黏土、砂质黏土、砾质黏土、淤泥质中砂、淤泥质中粗砂
8	东港区纳泥塘地基处理工程地质勘察	64	142	392	填土、淤泥、淤泥混砂、中粗砾砂混淤泥、淤泥质黏土、流泥、粉质黏土、黏土、中粗砾砂混黏性土、黏性土混砂
9	三期集装箱码头扩建工程地质勘察	427	3 281	2 447	淤泥、砂混淤泥、粉质黏土、淤泥质粉质黏土、黏土、砾质黏性土、残积土
10	东港区集装箱码头扩建工程港池地质勘察	42	474	754	淤泥、淤泥混砂、淤泥质粉质黏土、粉质黏土、黏土、砂混黏土、残积土

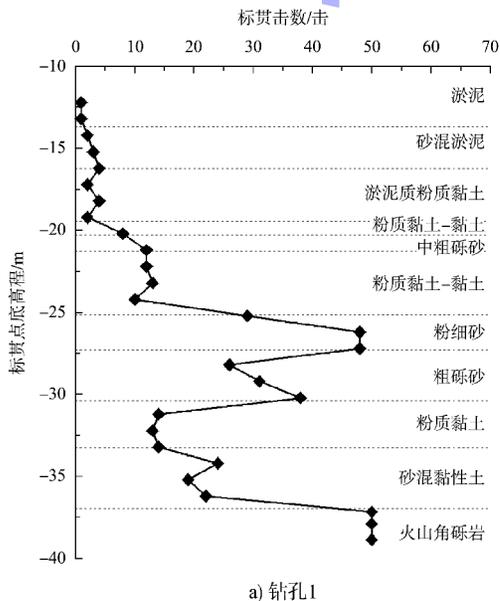
标准贯入试验采用质量 63.5 kg、落距 76 cm 的滑销式自由落锤,锤击速度 15~30 次/min,测试间距 1.0~1.5 m。利用提阀式取土器取样并开展室内试验,测定含水量、密度、比重、液塑限、固结、直剪/三轴特性。按地层汇总整理所有孔位数据,累计获得 115 种海相淤积土的标贯和室内试验数据。

2 标贯测试数据相关性分析

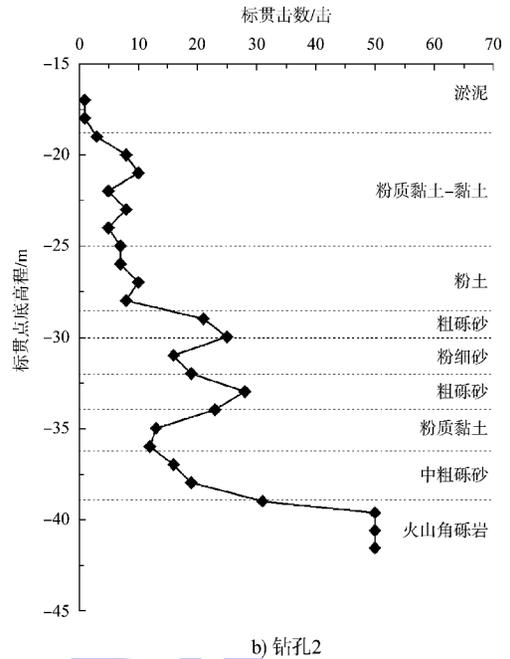
2.1 标贯曲线

图 2 为典型海相淤积土地层的标贯曲线。由图可知,淤泥、淤泥质粉质黏土、淤泥混砂等含淤泥土均呈现较低的标贯击数;随淤泥含量降低,标贯击数按粉质黏土、粉土、粉细砂、砂混黏性土、粗粒砂顺序逐渐增加。土体类型不同,其物理力学性质也存在明显差异,标贯击数能够很好地反映土体性质。图 2a) 为砂混黏性土层,图 2b) 为粉土层、中粗砾砂层,相同土层的标贯击数随深度增加总体呈增大趋势,表明随应力水平增加,土体强度增加,标贯击数也相应增加。

标准贯入击数是土体自身赋存状态(密度、含水量、深度等)和力学强度(模量、黏聚力、内摩擦角等)综合作用的结果。由于标准贯入是典型的动力过程,目前还未建立标贯击数的理论解答。



a) 钻孔1



b) 钻孔2

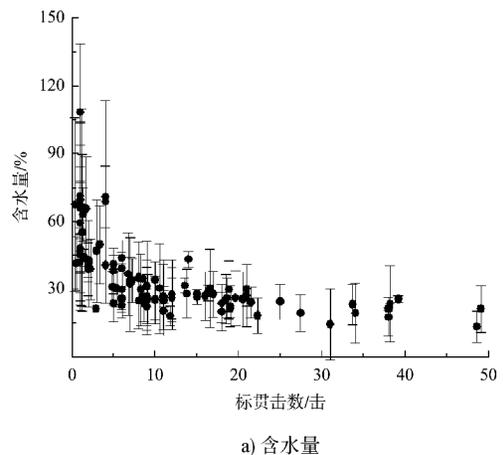
图 2 典型海相淤积土地层标准贯入曲线

Fig. 2 Standard penetration curve of typical MSS layers

2.2 标贯击数与状态参数关系

图 3 为海相淤积土标贯击数与含水量、液/塑性指数间的关系曲线。图 3a) 显示标贯击数与含水量呈显著相关性,随含水量增加,标贯击数明显降低。鉴于海相淤积土的成因,其含水量往往较高,且土体中含有淤泥或黏性土成份,也使得标贯响应对含水量较为敏感。

图 3b) 中标贯击数随液性指数增加而变化的规律与图 3a) 相似。这表明,液性指数越高,土越软弱、抵抗贯入能力也越弱。图 3c) 中标贯击数随塑性指数增加呈缓慢降低趋势,这表明塑性指数越大,土体吸水能力越强、颗粒粒径越细,抵抗贯入的能力越低。



a) 含水量

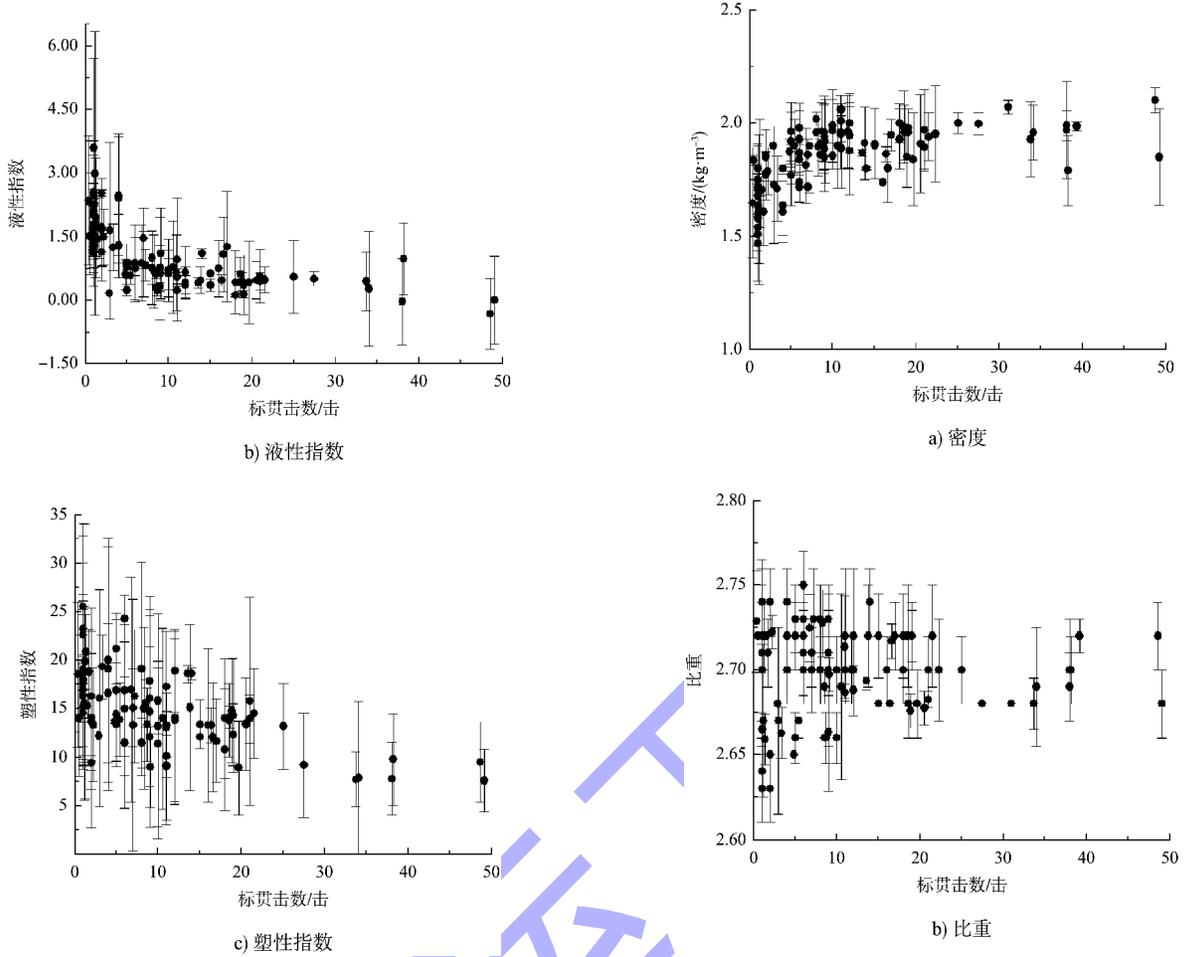


图 3 标贯击数与土体含水相关指标的关系

Fig. 3 Relationship between standard penetration count and related indicators of soil moisture

图 4 为标贯击数与密度、比重和孔隙比的关系。图 4a) 显示随密度增加，标贯击数逐步增加，且增加速率也显著提升。这表明，海相淤积土在较松散状态下对标准贯入响应较为敏感，当土体密实后其抵抗贯入的能力显著增加。

密度与土粒比重、粒间孔隙紧密相关，本质上反映了土粒自重力及其空间堆积的疏密程度。由于多数海相淤积土的标贯击数在 25 击以内，采样点在低标贯区聚集导致了离散。因此，图 4b) 中标贯击数与比重未呈现明显相关性。相反，图 4c) 中孔隙比与标贯击数显著相关。随孔隙比减小，标贯击数逐渐增加且增速加快，与图 4a) 呈现的规律相似，表明密度对标贯击数的影响主要体现在孔隙比上。

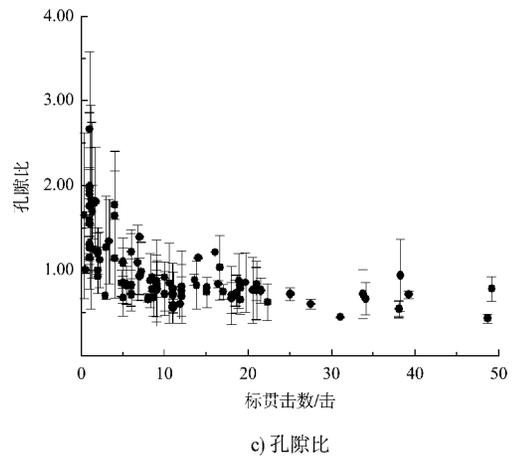


图 4 标贯击数与土体密实度相关指标的关系

Fig. 4 Relationship between standard penetration count and related indicators of soil compactness

此外，地层深度反映原位应力水平，也会影响抵抗贯入能力。图 5 为标贯击数与土层平均深度关系曲线，浅埋土体的标贯击数较小，随深度增加，土体抗贯入能力增加，标贯击数增大。此外，图 5 也显示了土体类别对标贯击数的影响。

右半幅标贯击数对应的土体埋深相差较少, 但标贯击数却差异较大。经分析, 该段土体类别随标贯击数的增加依次为中粗砾砂混黏性土、粗砾砂混黏性土和风化岩残积土, 按此顺序土体强度明显增加, 其抵抗贯入的能力也随之增加。

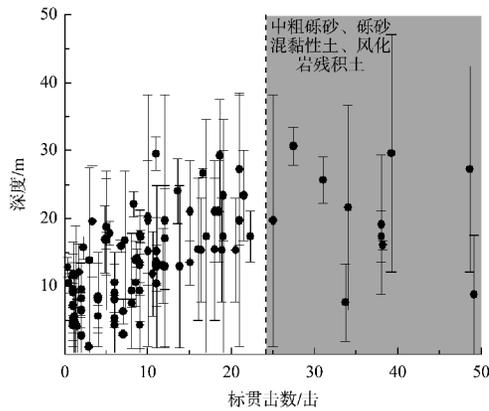
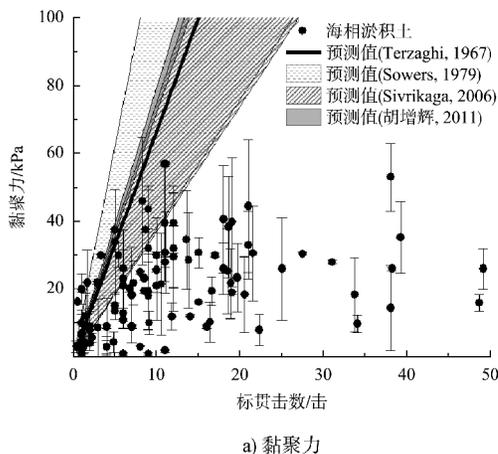


图5 标贯击数与土体埋置深度的关系

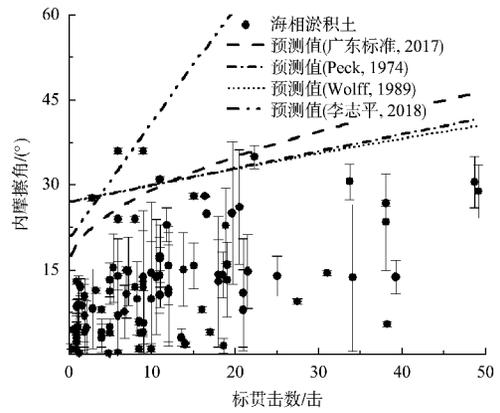
Fig. 5 Relationship between standard penetration count and burial depth of soil

2.3 标贯击数与力学参数关系

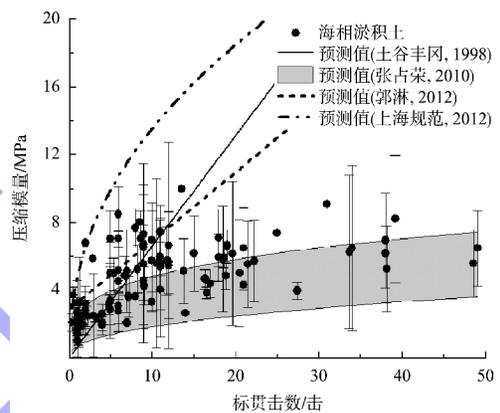
图6为标贯击数与力学参数之间的关系。图6a)中黏聚力 c 随标贯击数 N 的增加, 整体呈先增加后趋于稳定的趋势。标贯击数小于15击时, 黏聚力增长较快, 之后增加趋势缓慢。数据点总体呈现较大的离散性, 这与其他因素的交叉影响、测试误差及取样扰动有关。图6b)中内摩擦角 φ 的演化规律与黏聚力相似, 但其增长趋势相对平缓。



a) 黏聚力



b) 内摩擦角



c) 压缩模量

图6 标贯击数与土体力学参数的关系

Fig. 6 Relationship between standard penetration count and mechanics parameters of soil

标贯试验重要用途之一是表征土体力学参数。图6a)为基于 Terzaghi et al.^[5]、Sowers^[6]、Sivrikaga et al.^[7] 和胡增辉等^[8]公式(分别为 $c = 6.67N$ 、 $3.80N \sim 12.50N$ 、 $3.70N \sim 7.52N$ 和 $7.21N \sim 7.95N$)的黏聚力预测结果对比。由图可见, 海相淤积土黏聚力实测值总体上远低于已有经验公式的预测值, 且标贯击数越大, 偏差越显著。Sowers 和 Sivrikaga 公式在 N 小于10时, 预测范围能涵盖少部分实测值。这表明海相淤积土具有特殊的地质成因和物理力学特性, 基于已有经验公式难以准确预测其黏聚力。

图6b)为基于广东省建筑地基基础设计规范、Peck et al.^[9]、Wolff^[10] 和李志平等^[11]公式(分别为

$\varphi = 15 + \sqrt{20N}$ 、 $0.3N + 27$ 、 $27.1 + 0.3N - 0.00054N^2$ 和 $2.077N + 20.29$ 的内摩擦角预测结果对比。由图可见，所有预测结果均高于实测值，因此以上公式也无法应用于海相淤积土内摩擦角的预测。

图 6c) 为标贯击数 N -压缩模量 E_s 关系以及基于日本规范^[12]、张占荣等^[13]、郭琳等^[14]、上海市 DG/TJ 08-37—2023 岩土工程勘察标准^[15] (分别为 $E_s = 0.684N^{0.986}$ 、 $E_s = 0.7204N^{0.4169} \sim 2.5814N^{0.2726}$ 、 $0.4023N + 2.9048$ 和 $4.8N^{0.45}$) 的 E_s 预测值对比。图中显示，海相淤积土 E_s 随 N 的增加呈先增加后趋于稳定的趋势，且快速增加段集中于 10 击以内区间。实测 E_s 演化规律与张占荣公式预测值较为相似，但数值上稍高。日本规范和郭琳公式预测值在较小标贯击数范围内较为接近实测值，但标贯击数大于 15 击后误差明显增加。尽管上海地层多分布海相淤积土，但利用其规范公式预测的 E_s 值明显大于盐田港实测值。

3 力学指标智能解译

标贯击数与土体赋存状态、力学性质等多因素呈非线性相关，简单拟合的经验公式难以反映该非线性关系，存在较大的应用局限。因此引入人工智能领域的全连接前馈神经网络，构建海相淤积土力学指标解译模型。

采用 115 个地层标准贯入和室内试验数据作为数据集，选取标贯击数和土体状态参数作为输入参数 X ，力学指标作为输出量 Y 构建力学指标解译模型，即：

$$X = [N, D, \omega, \rho, e, G_s, I_w, I_l] \quad (1)$$

$$Y = [E_s, c, \varphi] \quad (2)$$

式中： N 、 D 、 ω 、 ρ 、 e 、 G_s 、 I_w 、 I_l 、 E_s 、 c 和 φ 分别为标贯击数、深度、含水量、密度、孔隙比、比重、塑性指数、液性指数、压缩模量、黏聚力和内摩擦角。

构建涵盖输入层、隐藏层、输出层的全连接前馈神经网络解译模型(图 7)，经优化调试确定隐藏层层数为 1 层、神经元个数为 6 个。

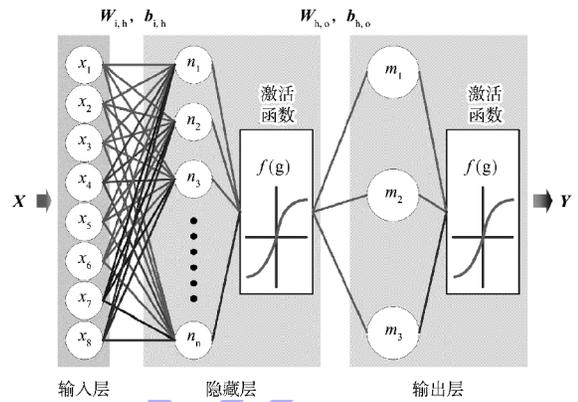


图 7 全连接前馈神经网络解译模型
Fig. 7 Interpretation model of fully connected feedforward neural network

解译模型基本计算单位为神经元。隐藏层神经元在接收到输入层输出变量 X 后，根据每个输入变量的贡献度(即权重 $W_{i,h}$)求和以及整体偏置，获得神经元的净输入值 g ：

$$g = \sum_{j=1}^n w_j x_j + b_{i,h} \quad (3)$$

式中： $W_{i,h} = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ 为输入层到隐藏层的权重矩阵， $b_{i,h}$ 为相应偏置矩阵。

将净输入值 g 代入激活函数，获得隐藏层的最终活性值 $f(g)$ 。此后， $f(g)$ 进入输出层，经过权重矩阵 $W_{h,o}$ 、偏置矩阵 $b_{h,o}$ 和激活函数运算后获得最终输出值 Y ，得到的力学参数解译模型为：

$$Y = f[W_{h,o} \cdot f(W_{i,h} X^T + b_{i,h}) + b_{h,o}] \quad (4)$$

将地层数据划分为 85% 训练集和 15% 测试集。采用训练集数据对解译模型进行训练即可获得各权重和偏置矩阵。测试集数据用于验证解译模型的可靠性，训练过程中，激活函数采用 tanh 函数，训练算法采用 Levenberg-Marquardt 算法，在训练和测试前数据集均进行归一化。获得的解译模型训练结果为：

$$W_{h,o} = \begin{bmatrix} 0.302 & 0.891 & -14.980 & 2.971 & 16.026 & 0.365 & 1.935 & 2.653 \\ 0.992 & -0.110 & 1.124 & -1.124 & 0.511 & 1.416 & -2.027 & 0.112 \\ 1.728 & 0.551 & -0.612 & -0.998 & -8.104 & 1.398 & 0.744 & -2.827 \\ 1.077 & 0.001 & 2.268 & -1.194 & 0.017 & 1.708 & -2.427 & -0.106 \\ 0.589 & 0.612 & -6.022 & 2.451 & 11.110 & 2.082 & 1.844 & -2.158 \\ 2.985 & 2.013 & -0.485 & -3.735 & 1.155 & -2.002 & -2.585 & -5.077 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$b_{i,h} = \begin{bmatrix} 3.338 & 1.597 & -4.615 & 1.785 & 4.714 & 5.617 \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

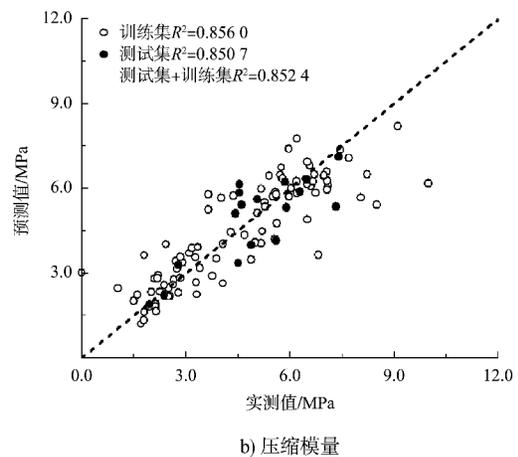
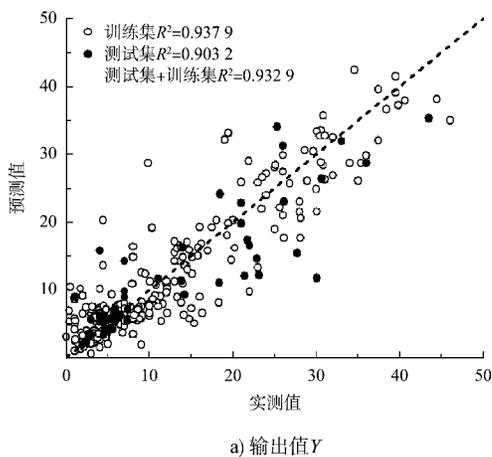
$$W_{h,o} = \begin{bmatrix} 0.111 & 0.143 & 0.433 & -0.258 & -0.309 & -0.053 \\ -2.251 & -5.212 & 0.171 & 4.562 & 7.220 & 1.561 \\ -1.416 & 6.198 & 0.496 & -5.358 & 0.604 & 0.282 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$b_{h,o} = \begin{bmatrix} 0.102 & -6.364 & -0.666 \end{bmatrix}^T \quad (8)$$

图 8a) 为训练集和测试集所有力学指标预测值与实测值的对比。图中显示, 训练集和测试集所获得的力学指标参数均围绕 1:1 对角线分布, 这表明模型具有较好的解译能力。具体地, 模型总体的决策系数 R^2 达到了 0.932 9, 在训练集和测试集上分别达到 0.937 9 和 0.903 2。

图 8b) ~ d) 为压缩模量、黏聚力和内摩擦角预测值与实测值的对比, 压缩模量总体决策系数 R^2

达到 0.852 4, 在训练集和测试集上分别达到了 0.856 0 和 0.850 7; 黏聚力总体 R^2 达到 0.926 7, 在训练集和测试集上分别达到 0.932 0 和 0.895 4; 内摩擦角总体 R^2 达到 0.864 2, 在训练集和测试集上分别达到 0.874 9 和 0.811 9。除内摩擦角决策系数略微偏低外, 其他指标均大于 0.85, 这表明所构建的模型具有较好的力学指标解译能力, 后续增加地层数据可进一步提高精度。



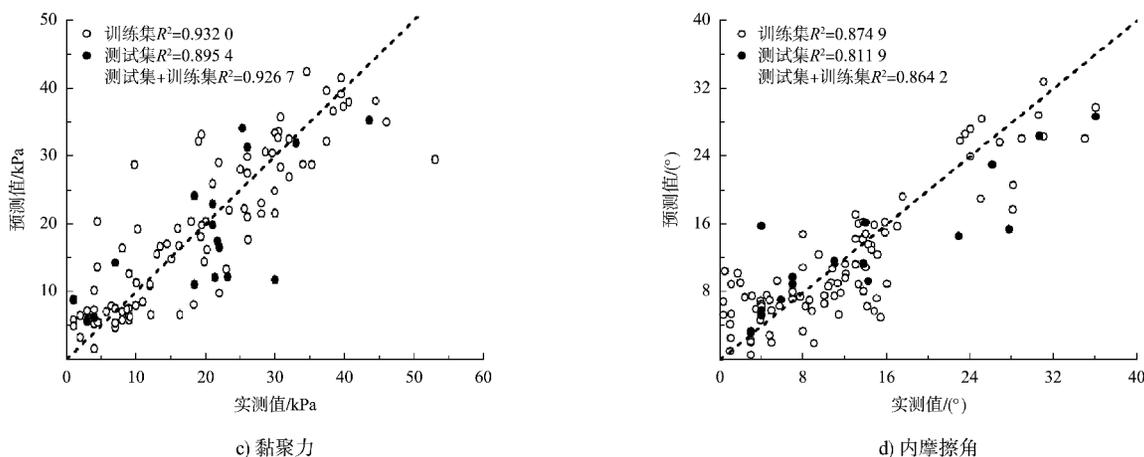


图 8 海相淤积土力学指标智能解译结果

Fig. 8 Intelligent interpretation results of mechanical indicators of MSS

4 结论

1) 海相淤积土特殊的地质成因和物质组成使其标贯响应显著不同于其他土体。标贯击数与土体埋深、含水量、液/塑性指数、比重、密度、孔隙比等赋存状态参数和压缩模量、黏聚力、内摩擦角等力学参数均相关。

2) 目前已建立的各类土体标贯击数与压缩模量、黏聚力、内摩擦角间的经验公式难以准确预测盐田港海相淤积土力学指标。基于全连接前馈神经网络的力学指标解译模型能够较好地表征海相淤积土标贯击数与力学指标间的非线性关系，解译结果与实测结果吻合良好。

3) 本文所揭示的海相淤积土标准贯入响应特性及所建立的力学参数智能解译模型，可为深圳盐田港及其他临海港口建设工程领域中海相淤积土力学性质评估提供参考和指导。

参考文献:

[1] 汪明元, 王亚军, 李强, 等. 极软海相淤积土的多尺度固结机制[C]// 中国土木工程协会. 第十二届全国工程排水与加固技术研讨会论文集, 广州: [出版者不详], 2023. WANG M Y, WANG Y J, LI Q, et al. Multi scale consolidation mechanism of extremely soft marine siltation soil[C]//China Civil Engineering Society. Proceedings of the 12th national symposium on engineering drainage and reinforcement technology, Guangzhou: [s. n.], 2023.

[2] 荣誉, 倪万魁, 聂永鹏, 等. 黄土标贯击数与物理力学参数相关性及其微观机制分析[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(3): 1192-1199. RONG Y, NI W K, NIE Y P, et al. Correlation between SPT blow counts and physical and mechanical parameters of loess and analysis of microscopic mechanism [J]. Science technology and engineering, 2024, 24 (3) : 1192-1199.

[3] ASEM P. Prediction of unconfined compressive strength and deformation modulus of weak argillaceous rocks based on the standard penetration test [J]. International journal of rock mechanics and mining sciences, 2020, 133: 104397.

[4] 祝怀田. 某沿海铁路软土区综合勘察浅析[J]. 铁道勘察, 2016, 42(2): 67-69. ZHU H T. Comprehensive survey of soft soil area in a coastal railway [J]. Railway investigation and surveying, 2016, 42(2): 67-69.

[5] TERZAGHI K, PECK R B. Soil mechanics in engineering practice [M]. New York: John Wiley & Sons Inc., 1967.

[6] SOWERS G F. Introductory soil mechanics and foundation engineering [M]. New York: Macmillan, 1979.

[7] SIVRIKAYA O, TOĞROL E. Determination of undrained shear strength of fine-grained soils by means of SPT and its application in Turkey [J]. Engineering geology, 2006, 86(1): 52-69.

[8] 胡增辉, 李家奇, 李晓昭, 等. 利用标准贯入试验确定粘

- 性土的不排水抗剪强度[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(S2): 1577-1582, 1588.
- HU Z H, LI J Q, LI X Z, et al. Determination of undrained shear strength of clayey soils by SPT value [J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2011, 7 (S2): 1577-1582, 1588.
- [9] PECK R B, HANSON W E, THORNBURN T H. Foundation engineering [M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1974.
- [10] WOLFF T F. Pile capacity prediction using parameter functions [C]//ASCE. Predicted and observed axial behavior of piles, results of a pile prediction symposium, Evanston: Geotechnical Special Publication. 1989: 96-106.
- [11] 李志平, 彭振斌, 肖尊群, 等. 含水率影响下尾矿砂内摩擦角随标贯击数变化研究[J]. 岩土力学, 2013, 34(5): 1340-1344.
- LI Z P, PENG Z B, XIAO Z Q, et al. Variation of internal friction angle of tailings with standard penetration number under influence of water content [J]. Rock and soil mechanics, 2013, 34(5): 1340-1344.
- [12] 地盤工学会. N 值和 c 、 ϕ 的活用法[S]. 东京: 地盤工学会, 1998.
- Construction Engineering Society. The active usage of N value and c 、 ϕ [S]. Tokyo: Construction Engineering Society, 1998.
- [13] 张占荣, 刘庆辉, 赵勇. 基于标贯试验特性的土体力学参数估计[J]. 勘察科学技术, 2010(6): 18-21.
- ZHANG Z R, LIU Q H, ZHAO Y, et al. Estimation of soil mechanical parameters based on standard penetration test characteristics [J]. Site investigation science and technology, 2010(6): 18-21.
- [14] 郭淋, 王春艳, 张飞, 等. 标贯试验 N 值与土体物理力学参数的相关性分析[J]. 安全与环境工程, 2012, 19(4): 148-152.
- GUO L, WANG C Y, ZHANG F, et al. Correlation analysis of SPT N-value and geotechnical physical mechanic parameters [J]. Safety and environmental engineering, 2012, 19(4): 148-152.
- [15] 上海勘察设计院(集团)有限公司. 岩土工程勘察标准: DG/TJ 08-37—2023 [S]. 上海: 同济大学出版社, 2023.
- SGIDI Engineering Consulting (Group) Co., Ltd. Standard for investigation of geotechnical engineering: DG/TJ 08-37-2023 [S]. Shanghai: Tongji University Press, 2023.
- (本文编辑 赵娟)
-
- (上接第 35 页)
- [8] 陈培, 武彬, 张煜, 等. 顺岸式自动化集装箱码头堆场布局设计[J]. 港口装卸, 2022(1): 62-65.
- CHEN P, WU B, ZHANG Y, et al. Yard layout design of automated container terminal based on mode of parallel to shoreline along yard side [J]. Port operation, 2022 (1): 62-65.
- [9] 武彬, 吴鹏伟, 张煜, 等. 考虑混合车流的自动化集装箱码头隔离式车道布置设计[J]. 港口装卸, 2021(5): 22-25.
- WU B, WU P W, ZHANG Y, et al. Isolated lane layout design of automated container terminal considering mixed traffic flow [J]. Port operation, 2021(5): 22-25.
- [10] 单佳, 倪敏敏, 边志成. 自动化集装箱码头新型布局下的海侧路口交通组织研究[J]. 水道港口, 2021, 42(3): 404-409.
- SHAN J, NI M M, BIAN Z C. Study on traffic organization at seaside intersection under the new automated container terminal layout [J]. Journal of waterway and harbor, 2021, 42(3): 404-409.
- [11] 刘广红, 程泽坤, 林浩, 等. 自动化集装箱码头总体布局模式对比分析[J]. 水运工程, 2016(9): 14-18.
- LIU G H, CHENG Z K, LIN H, et al. Comparative analysis of overall layout pattern for automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2016 (9): 14-18.
- [12] 郭大伟, 王伟, 李强, 等. 自动化集装箱码头集卡周转效率影响因素研究[J]. 水运工程, 2023(2): 65-68, 79.
- GUO D W, WANG W, LI Q, et al. Factors affecting turnover efficiency of trucks in automated container terminals [J]. Port & waterway engineering, 2023 (2): 65-68, 79.
- (本文编辑 王传瑜)