

# A brief study on engineering geological characteristics of clay soil—Taking Wanzhi District, Wuhu City as an example

Xueyao Wang

China Railway Shidai Architectural Design Institute Co. Ltd., Anhui, Wuhu, 241000, China

## Abstract

This study conducts a statistical analysis of the physical and mechanical properties of cohesive soils in Wanzhi District, Wuhu City, Anhui Province, based on geotechnical test data from a survey project at "a school in Wanzhi District, Wuhu City". The region is predominantly characterized by alluvial lacustrine and silty clay deposits, which exhibit typical soft soil features including high saturation, medium-high porosity, plastic state, moderate high compressibility, and relatively low bearing capacity. Through mathematical statistical methods, this paper determines the ranges, averages, and variability of key soil parameters while evaluating their engineering geological characteristics. The findings provide valuable references for geological assessments and geotechnical design in similar engineering projects.

## Keywords

Wanzhi District; clay; physical and mechanical properties; indoor test; engineering characteristics

# 浅析黏性土的工程地质特性——以芜湖市湾沚区为例

汪雪瑶

中铁时代建筑设计院有限公司, 中国·安徽 芜湖 241000

## 摘要

本文以“芜湖市湾沚区某学校”勘察项目土工报告中的土工试验数据为基础,对安徽省芜湖市湾沚区(原芜湖县)黏性土的物理力学性质进行了统计与分析。该地区广泛分布的黏性土主要为冲积湖积成因的黏土和粉质黏土,具有高饱和度、中高孔隙比、可塑状态、中高压缩性和中等偏低承载力的典型软土特征。本文通过数理统计方法,给出了主要土性参数的范围、平均值及变异性,并评估了其工程地质特性,为类似工程的地质评价和岩土设计提供参考价值。

## 关键词

湾沚区;黏性土;物理力学性质;室内试验;工程特性

## 1 引言

本项目位于湾沚区城东板块,拟建场地地层主要属第四纪全新世形成的一般堆积土和新近堆积土,为长江中下游丘陵地貌。项目所在位置未发现隐伏断裂穿过,未发现地质构造运动的迹象。广泛分布的黏性土是区内建筑物基础的主要持力层或下卧层,其工程性质直接影响地基基础选型、基坑支护设计及施工难度。

## 2 材料与方法

### 2.1 研究材料(土样)来源与基本特征

本研究的土样来源于“芜湖市湾沚区某学校”勘察项目的室内试验土工报告,取样区域位于安徽省芜湖市湾沚区(原芜湖县),该区域地处长江中下游南岸,属于长江冲积

平原与皖南丘陵的过渡区,主要受河流冲积、湖泊沉积及残坡积作用影响,第四系覆盖层厚度较大及土层结构复杂。土样采集自勘察深度范围内的第②层(粉质黏土)和第③层(黏土),具体包括:

②层粉质黏土:棕褐色,可塑,主要由黏粒构成,干强度中等,韧性中等,切面稍有光泽,可见高岭土斑点;层厚 0.4-4.0m,平均层厚 2.39m,层顶标高 15.55-17.91m。

③层粉质黏土:灰褐色,软塑,主要由黏粒构成,干强度中等,韧性中等,切面稍有光泽;层厚 0.5-1.5m,平均层厚 0.78m,层顶标高 14.70-16.78m(作为②层的亚层,纳入粉质黏土统计范畴)。

④层黏土:棕红色,硬塑状,主要由黏粒构成,干强度中等,韧性中等,切面稍有光泽,夹碎石与大量铁锰质结核;层厚 0.7-8.5m,平均层厚 3.78m,层顶标高 13.11-20.68m。

【作者简介】汪雪瑶(1992-),女,中国安徽芜湖人,本科,工程师,从事试验与检测研究。

## 2.2 实验方法

### 2.2.1 试验仪器

试验所用主要仪器包括:

- (1) 电子控温远红外干燥箱 202(101)系列(土样烘干, 温度控制  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ );
- (2) 电子天平 MP-5002 型(土样质量, 测量范围 0-500g);
- (3) 环刀(密度和含水率测定);
- (4) 液塑限联合测定仪 LG-100D 型(界限含水率试验);
- (5) 全自动固结仪 GZQ-1 型(压缩系数、压缩模量测定);
- (6) 应变控制式直剪仪 ZJ(DSJ-3) 型(抗剪强度参数测定);
- (7) 渗透仪 TST-55 型(渗透系数测定)。

### 2.2.2 操作步骤与数据采集

严格遵循《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019) 的规定, 具体步骤如下:

物理性质试验

a. 含水率( $\omega$ ): 采用烘干法, 取代表性土样称量湿质量后, 在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  烘箱中烘干至恒重, 计算公式为

$$\omega = \left( \frac{m_o}{m_d} - 1 \right) \times 100$$

( $m_o$  为风干土质量,  $m_d$  为干土质量)

b. 密度( $\rho$ )与干密度( $\rho_d$ ): 采用环刀法, 测定环刀内土样质量与体积计算湿密度, 结合含水率计算干密度。

$$\rho = \frac{m_o}{V} \quad \text{和} \quad \rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01 \omega} \quad (V \text{ 为环刀容积})$$

c. 界限含水率(液限  $\omega_L$ 、塑限  $\omega_p$ ): 采用液塑限联合测定法, 通过圆锥仪下沉深度与含水率的关系曲线确定液限和塑限, 塑性指数和液性指数计算公式为:

$$I_L = \frac{\omega_o - \omega_p}{I_p} \quad I_p = \omega_L - \omega_p$$

d. 孔隙比( $e$ )与孔隙率( $n$ ): 根据土粒比重  $G_s$ , 采用比重瓶法测定, 干密度计算孔隙比和孔隙率公式为:

$$e = \frac{G_s \times \rho_w}{\rho_d} - 1 \quad n = \frac{e}{1 + e} \times 100\%$$

( $\rho_w = 1\text{g}/\text{cm}^3$  为水的密度,  $G_s = 2.7$ )。

力学性质试验

e. 压缩试验: 采用全自动固结仪进行压缩试验, 分级施加荷载(12.5、25、50、100、200、400kPa等), 每级荷载稳定后测定土样压缩量, 计算压缩系数  $a_{1-2} = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}$ 、压缩模量  $E_{s-2} = \frac{1 + e_1}{a_{1-2}}$

( $a_{1-2}$  为 100-200kPa 压力段的压缩系数;  $e_1$  为压力  $p_1 = 100\text{kPa}$  时的孔隙比;  $e_2$  为压力  $p_2 = 200\text{kPa}$  时的孔隙比;  $p_1$ 、 $p_2$  分别为两级压力值)

f. 剪切试验: 采用直剪仪进行快剪试验, 施加垂直压力(100、200、300、400kPa), 以 0.8mm/min 的速率剪切至破坏, 记录最大剪应力, 通过摩尔-库仑定律计算黏聚力( $c$ )和内摩擦角( $\phi$ )。

$\tau_f = c + \sigma_n \tan \phi$  ( $\tau_f$  为土的抗剪强度(kPa);  $c$  为土的黏聚力(kPa);  $\sigma_n$  为剪切面上的法向应力(kPa);  $\phi$  为土的内摩擦角( $^\circ$ ))

渗透试验

采用常水头渗透仪测定渗透系数( $k$ ), 记录单位时间内的渗流量, 根据达西定律计算渗透系数  $k = \frac{Q \times L}{A \times H \times t}$ , ( $Q$  为渗流量( $\text{cm}^3$ ),  $L$  为土样高度( $\text{cm}$ ),  $A$  为土样横截面积( $\text{cm}^2$ ),  $H$  为水头差( $\text{cm}$ ),  $t$  为时间( $\text{s}$ ))。

### 2.2.3 试验质量控制

每组试验至少进行 3 次平行试验, 取平均值作为结果, 平行试验误差需满足规范要求(如含水率平行误差  $\leq 1\%$ );

试样制备过程中避免扰动, 原状土样采用薄壁取土器取样, 运输和储存时保持天然含水率和结构完整性;

仪器定期校准, 确保试验数据的准确性和可靠性。

## 2.3 数据分析方法

对试验数据采用以下统计指标进行分析:

算术平均值( $\bar{x}$ ):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

( $x_i$  — 多次测定值,  $n$  — 指标测定的总次数, — 指标测定值的总和  $\sum_{i=1}^n x_i$ )

标准差( $s$ ):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$  — 每个数据与平均值差值的平方和;  $n-1$  — 自由度。

标准差越大, 表明数据分布越分散

变异系数( $c_v$ ): 用于比较不同指标的离散程度,

$$c_v = \frac{s}{\bar{x}}$$

(相关性分析: 采用线性与非线性回归, 建立参数间经验方程, 通过  $R^2$  检验拟合优度 ( $R^2 \geq 0.5$  为显著相关))。

变异系数	$c_v < 0.1$	$0.1 \leq c_v < 0.2$	$0.2 \leq c_v < 0.3$	$0.3 \leq c_v < 0.4$	$c_v \geq 0.4$
变异性	很小	小	中等	大	很大

### 3 结果与分析

#### 3.1 基本物理性质统计特征

对黏土与粉质黏土的物理性质指标进行统计，结果如表 1 所示。

#### 3.2 分析

状态判别：黏土的液性指数  $I_L$  平均值为 0.04（可塑状态），粉质黏土为 0.47（可塑~软塑），与区域地下水位高（饱和度 >85%）的特征一致。

塑性特征：黏土塑性指数  $I_P = 21.9$  (>17)，粉质黏土

$I_P = 13.3$  ( $10 < I_P \leq 17$ )，符合定名标准。黏土液限（42.8%）和塑限（20.9%）均高于粉质黏土（液限 30.5%、塑限 17.2%），表明黏土黏粒含量更高，可塑性更强，含水率变化时体积变形更显著，对地基基缩影响更大。

变异性：各项物理指标变异系数  $c_v = 0.10 \sim 0.15$ （变异性程度小），说明土层在水平向和垂直向上性质较为均匀，数据可靠性较高。

#### 3.3 基本力学性质统计特征

对黏土与粉质黏土的力学性质指标进行统计，结果如表 2 所示。

表 1 湾沚区黏性土主要物理性质指标统计结果

土类	项目	样本数	最大值	最小值	平均值	标准差 (s)	变异系 (cv)
黏土	含水率 $\omega$	58	27.5	13.1	21.5	3.2	0.15
	孔隙比 $e$	58	0.815	0.538	0.668	0.068	0.10
	液限 $\omega_L$	58	50.5	33.5	42.8	4.5	0.11
	塑限 $\omega_P$	58	26.7	14.9	20.9	3.1	0.15
	塑性指数 $I_P$	58	25.9	16.1	21.9	2.4	0.11
	液性指数 $I_L$	58	0.27	-0.16	0.04	0.12	3.00 *
土类	项目	样本数	最大值	最小值	平均值	标准差 (s)	变异系 (cv)
粉质	含水率 $\omega$	47	31.0	16.3	22.8	3.5	0.15
黏土	孔隙比 $e$	47	0.991	0.565	0.705	0.095	0.13
	液限 $\omega_L$	47	37.6	25.5	30.5	3.2	0.10
	塑限 $\omega_P$	47	20.5	12.7	17.2	2.1	0.12
	塑性指数 $I_P$	47	17.9	9.5	13.3	2.0	0.15
	液性指数 $I_L$	47	0.94	-0.10	0.47	0.25	0.53

表 2 湾沚区黏性土主要力学性质指标统计结果

土类	指标	样本数	最大值	最小值	平均值 ( $\bar{x}$ )	标准差 (s)	变异系数 (cv)
黏土	压缩系数 $a_{1-2}$	58	0.23	0.09	0.15	0.04	0.27
	压缩模量 $E_s$	58	18.0	7.3	12.8	2.8	0.22
	黏聚力 $c$	53	68.6	44.4	55.8	6.5	0.12
	内摩擦角 $\phi$	53	13.4	8.9	10.7	1.1	0.10
土类	指标	样本数	最大值	最小值	平均值 ( $\bar{x}$ )	标准差 (s)	变异系数 (cv)
粉质	压缩系数 $a_{1-2}$	47	0.51	0.13	0.23	0.08	0.35
黏土	压缩模量 $E_s$	47	15.9	3.9	8.5	2.9	0.34
	黏聚力 $c$	40	54.6	12.5	36.2	10.1	0.28
	内摩擦角 $\phi$	40	16.8	11.8	14.9	1.3	0.09

#### 3.4 分析

压缩性：根据《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011），黏土压缩系数  $a_{1-2} = 0.15 \text{ MPa}^{-1}$ （中压缩性土）；粉质黏土压缩系数  $a_{1-2} = 0.23 \text{ MPa}^{-1}$ ，（中~高压压缩性土）。粉质黏土压缩模量（8.5MPa）低于黏土（12.8MPa），表明

其在相同荷载下变形更大，对建筑物沉降控制更不利，设计时需严格验算沉降。

抗剪强度：黏土黏聚力（55.8kPa）高于粉质黏土（36.2kPa），但内摩擦角（10.7°）较低，符合“黏粒含量越高，黏聚力越大、内摩擦角越小”的规律。

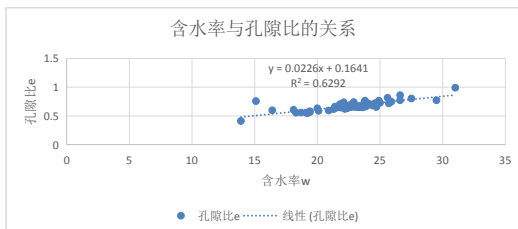
变异性：力学参数的变异性普遍高于物理参数。压缩系数和压缩模量的变异系数 ( $c_v=0.22\sim 0.35$ ) 属中等变异性，反映了土体压缩性在空间上的不均匀性。抗剪强度参数变异性相对较低，数据稳定可靠。

### 3.5 参数相关性分析

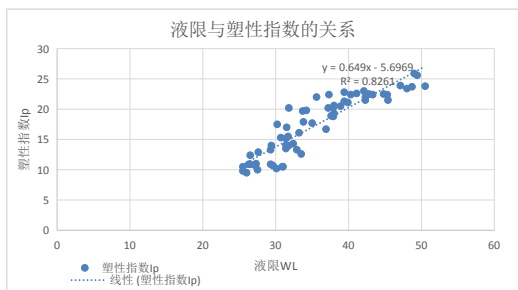
#### 3.5.1 物理参数相关性

根据芜湖市湾沚区某学校勘察项目的土工报告。

含水率与孔隙比： $e=0.023\omega+0.164$  ( $R^2=0.6292$ )。



液限与塑性指数： $I_p=0.65\omega_L-5.70$  ( $R^2=0.83$ )，液限越高，塑性越强。



#### 3.5.2 物理与力学参数相关性

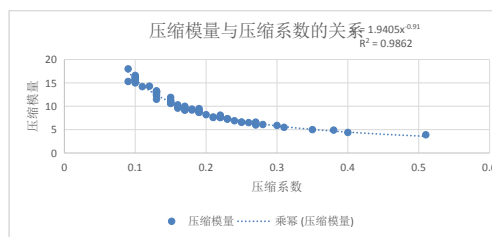
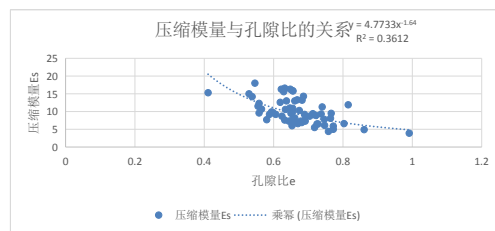
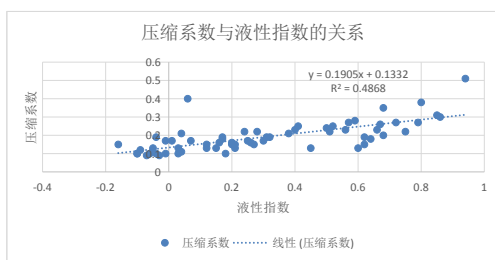
压缩系数与液性指数： $a_{1-2}=0.19I_L+0.1332$  ( $R^2=0.48$ )，液性指数越大，压缩性越高。

压缩模量与孔隙比： $E_s=4.773e^{-1.64}$  ( $R^2=0.36$ )。

#### 3.5.3 力学参数相关性

压缩模量与压缩系数： $E_s=1.94a_{1-2}^{-0.91}$  ( $R^2=0.98$ )，符合土力学理论关系。

孔隙比和压缩模量之间存在着负相关的关系。



## 4 黏性土特性综合评价

结合地层分布特征，对各主要黏性土层的工程地质特性进行综合评价如下：

第②<sub>1</sub>层粉质黏土：呈软塑状态，局部分布。天然含水量高、孔隙比大，强度低、压缩性中等偏高，工程性质差且厚度变化大，不可作为基础持力层。开挖时易出现流塑变形，建议采用搅拌桩超前支护，同时验算地基均匀性。

第②层粉质黏土：呈可塑状态，与②<sub>1</sub>层类似，局部分布。强度一般、中压缩性，厚度变化较大。在分布稳定且厚度适宜的区段，经深度修正后可作为低层建筑浅基础持力层，但需验算下卧层强度及地基沉降。

第③层黏土：呈硬塑状态，强度较高，中等压缩性。该层厚度变化相对不大（局部缺失），工程性能良好，是区内较好的天然地基持力层。建议作为拟建工程浅基础的主要持力层。其承载力特征值  $f_{ak}$  可根据地区经验及试验结果综合确定，采用该层时需验算软弱下卧层（如④<sub>1</sub>层）。

第④<sub>1</sub>层粉质黏土：呈可塑状态，空间分布极不稳定，厚度变化大。其强度一般、中压缩性，工程性质相对较差。该土层不能作为拟建工程的基础持力层。在进行桩基设计时，需注意其分布可能导致的桩身负摩阻力或桩身强度变化问题。

## 5 结语

芜湖市湾沚区广泛分布的黏性土主要为冲积湖积成因的黏土和粉质黏土，具有高饱和度、中高孔隙比、可塑状态、中高压压缩性和中等偏低承载力的典型软土特征。通过数理统计，获得了该地区黏性土物理力学参数的可靠取值范围和平均值，其变异性多属中等，规律性较好，可为该地区的岩土工程设计提供量化依据。在该地区进行工程建设时应优先选用③层黏土作为持力层，应重点关注地基的沉降变形和稳定性问题。重要建筑建议采用桩基础；浅基础需严格控制沉降。

### 参考文献

- [1] 尹旭. 武汉经济技术开发区老粘土基本物理力学参数统计分析 [J]. 资源环境与工程, 2008, 22 (S4): 57-60.
- [2] GB50021-2001. 岩土工程勘察规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [3] GB50007-2011. 建筑地基基础设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [4] GB/T50123-2019 土工试验方法标准. 北京: 中国计划出版社, 2019.