



# 国外某工程的前期勘察资料分析

蔡泽明, 梁文成

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州210230)

**摘要:** 介绍了国外某工程前期勘察资料的分析过程、分析内容和分析方法。通过实例, 针对土层的划分和岩土测试数据的统计, 利用国内外的分析方法对原位测试和室内试验数据进行分析 and 综合对比, 提出合理的岩土工程设计参数和结论。

**关键词:** 勘察; 原位测试; CPTU

中图分类号: TU 42

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)07-0067-04

## Analysis of prophase investigation data of overseas project

CAI Ze-ming, LIANG Wen-cheng

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

**Abstract:** This paper presents the analyzing process, contents and methods for the prophase investigation data of an overseas project. Based on real projects, this paper analyzes the in-situ data and lab test data concerning the soil layers' division and statistics of geotechnical test data, and gives reasonable design parameters and conclusions for the geotechnical engineering.

**Key words:** overseas project; investigation data; analysis

在国外工程的投标阶段以及前期的设计阶段, 通常只能依靠业主提供的由国外公司完成的勘察报告开展工作, 业主提供的国外勘察报告一般具有以下几个特点: 1) 勘察工作量较少, 一般只有少量钻孔辅以相对较多的原位测试, 原位测试较多采用带孔隙水压力量测的静力触探法(CPTU); 2) 土工试验指标较少, 物理指标一般相对较多而力学指标较少; 3) 指标项目不满足设计的需要; 4) 一般只是勘察的事实报告, 多数没有提供统一的地质剖面图; 5) CPTU也只进行力学分层, 不进行土工试验数据和原位测试数据统计和分析。如何进行资料分析、提出合理的主要岩土参数, 是勘察和设计人员首先要面对的一个问题, 本文以非洲某码头区勘察资料为例进行探讨。

### 1 勘察资料概况

业主提供的勘察资料中, 码头区有31个CPTU孔, 其中11个同时进行了钻探、取样和标准贯入试验(SPT), 勘探深度一般是20~30 m, 个别加深至50 m左右。钻探揭示的地层大致是: 1) 砂土, 厚度约10~15 m; 2) 黏性土, 厚度约2~5 m; 3) 砂土, 厚度约10 m; 4) 黏性土。CPTU仅提供现场测试曲线进行力学分层, 没有作进一步的岩土参数分析。提供的土工试验数据主要是物理指标, 强度指标和变形指标很少。因此设计人员要求笔者对资料进行详细的分析, 提出主要的强度指标和变形指标, 尤其对黏性土要重点分析。

经过对资料的分析, 发现CPTU比较准确地反映了地层力学性质的变化, 钻孔划分的地层对力学性质的变化不够细致, 没有划分出砂层中的

收稿日期: 2012-02-27

作者简介: 蔡泽明(1968—), 男, 高级工程师, 从事水运工程岩土勘察与管理工作。

松散层，也没有划分出黏性土层中的软弱层。确定了以CPTU资料为主要依据进行分析，通过分析CPTU数据和对比钻孔资料，细致划分地层、统计各层已有指标，再根据国内外的经验公式综合分析CPTU数据、SPT数据和土工试验数据，提出岩土层的力学性能参数。

## 2 地层分析及指标统计

根据勘察报告所提供的CPTU数据及曲线、钻

孔柱状图，对码头区进行岩土分层，主要分为①<sub>1</sub>砂土层（松散-中密）、①<sub>2</sub>砂土层（密实）、①<sub>3</sub>砂土层（松散-中密）、②黏性土层（硬塑）、②<sub>1</sub>黏性土层（软塑-可塑）、③砂土层（中密-密实）、④黏性土层（硬塑）、④<sub>1</sub>黏性土层（有机质土）、⑤砂土层（密实）。

基于上述的地层划分，对资料中的土工试验数据和原位测试数据进行分层统计(表1~3)。

表1 土层物理指标

土层	含水率 $\omega/\%$	密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	干密度 $\rho_d/(g \cdot cm^{-3})$	孔隙比 $e$	塑性指数 $I_p$
②黏性土	19.5	2.06	1.67	0.700	25.9
② <sub>1</sub> 黏性土	56.8	1.65	1.03	1.370	21.0
④黏性土					17.3
④ <sub>1</sub> 有机质土	45.2	1.77	1.25	1.382	

表2 土层变形指标

土层	压缩模量/MPa		压缩系数/MPa <sup>-1</sup>		固结系数/(m <sup>2</sup> ·y <sup>-1</sup> )		前期固结压力 $P_c/kPa$	压缩指数 $C_c$	回弹指数 $C_s$
	$E_{s1-2}$	$E_{s2-4}$	$a_{v1-2}$	$a_{v2-4}$	$c_{v1-2}$	$c_{v2-4}$			
②黏性土	10.190	20.370	0.210	0.10	0.95	0.81	305	0.18	0.06
② <sub>1</sub> 黏性土	3.571	3.850	0.660	0.62	0.32	0.06	140	0.45	0.15
④ <sub>1</sub> 有机质土	4.245	6.027	0.645	0.415	0.27	0.24	290	0.31	0.06

表3 土层强度指标

土层	不排水剪切强度 $S_u/kPa$	内摩擦角 $\phi/(^\circ)$	标准贯入击数 $N$ /击	锥尖阻力 $q_c/MPa$
① <sub>1</sub> 砂土		39.2	8.3	10.10
① <sub>2</sub> 砂土		38.1	42.4	28.16
① <sub>3</sub> 砂土				12.29
②黏性土	115.1		11.4	2.44
② <sub>1</sub> 黏性土			4.7	0.90
③砂土		38.3	39.1	22.92
④黏性土	119.3			3.91

## 3 岩土参数的分析

### 3.1 根据静力触探数据进行分析

#### 3.1.1 强度参数

上面对各土层的静力触探数据进行了统计，根据统计成果，可采用经验公式估算出岩土层的变形、强度参数。

国外对于黏性土的强度参数，不排水抗剪强度可按下式计算：

$$S_u = \frac{q_c - p_0}{N_k} \quad (1)$$

式中： $q_c$ 为锥尖阻力； $p_0$ 为原位总上覆应力； $N_k$ 为

锥头系数， $N_k$ 一般可取15~20，根据Joseph E. 提出的对于低灵敏度正常固结和塑性指数 $I_p < 30$ 的黏性土， $N_k$ 可取18<sup>[1]</sup>。

国内采用静力触探数据估算黏性土的不排水剪切强度也积累一些经验公式，其中铁道部《铁路工程地质原位测试规程》中指出，黏性土不排水剪切强度可按下式估算<sup>[2]</sup>：

$$S_u = 0.04P_s + 2 \quad (2)$$

式中： $p_s$ 近似等于 $q_c$ 。

对于砂土的强度参数，根据Joseph E. 等人提出的经验公式，内摩擦角可按下式计算<sup>[1]</sup>：

$$\phi = 29 + \sqrt{q_c} \quad (\text{砾石: } +5, \text{ 粉砂: } -5) \quad (3)$$

根据《工程地质手册》(4版)第三篇, 砂土的内摩擦角也可根据静力触探的 $p_s$ 值查表求出<sup>[2]</sup>。

### 3.1.2 变形参数

国外, 根据Sanglerat等人提出的经验公式, 土层的压缩模量可按式计算<sup>[3]</sup>:

$$E_s = a q_c \quad (4)$$

对于黏性土, 根据Sanglerat(1975)的取值,  $a$ 可取2~6, 结合这里的土层性质, 对软黏土 $a$ 取4,

硬黏性土 $a$ 取3.5; 对于砂土, 根据Buisman的取值,  $a$ 取1.5。

国内, 对于采用静力触探数据评定土的压缩模量也积累了很多经验公式, 对于黏性土, 铁三院总结了以下公式<sup>[3]</sup>:

$$E_s = 3p_s + 1 \quad (5)$$

式中:  $p_s$ 可近似等于 $q_c$ 。

根据上面的分析, 各土层按静力触探成果估算出的强度及变形参数见表4。

表4 按静力触探数据估算的土层强度及变形参数

土层	不排水剪切强度 $S_u$ /kPa			内摩擦角 $\phi / (^\circ)$			压缩模量 $E_s$ /MPa			锥尖阻力 $q_c$ /MPa
	国外取值	国内取值	建议值	国外取值	国内取值	建议值	国外取值	国内取值	建议值	
① <sub>1</sub> 砂土				32.2	35.8	34.0	15.2		15.2	10.10
① <sub>2</sub> 砂土				34.3	38.7	36.5	42.2		42.2	28.16
① <sub>3</sub> 砂土				32.5	36.5	34.5	18.4		18.4	12.3
②黏性土	116	100	108				8.5	9.3	8.9	2.44
② <sub>1</sub> 黏性土	32	38	35				3.6	3.7	3.6	0.90
③砂土				33.8	38.1	36.0	34.4		34.4	22.92
④黏性土	179	158	165				15.6	12.7	14.2	3.91
⑤砂土				33.6	37.8	35.7	31.1		31.1	20.74

## 3.2 根据标准贯入击数进行分析

### 3.2.1 强度参数

对于砂土, Peck提出了内摩擦角的经验关系<sup>[2]</sup>:

$$\phi = 0.3N + 27 \quad (6)$$

在国内, JTJ 240—1997《港口工程地质勘察规范》附录K给出了标贯击数与砂土内摩擦角的关系曲线, 可据此估算砂土的强度。

对于黏性土的不排水抗剪强度, 根据Terzaghi和Peck的研究, 得出以下经验关系<sup>[3]</sup>:

$$c_u = (6 \sim 6.5)N \quad (7)$$

但由于此勘察报告中黏性土层的标贯试验数

量少, 代表性不强, 所以对于黏性土没有采用标贯成果估算强度。

### 3.2.2 变形参数

对于标准贯入击数与压缩模量的经验关系, 希腊Schultze等提出了以下经验公式<sup>[3]</sup>:

$$\begin{cases} E_s = 4.0 + C(N - 6) & N > 15 \\ E_s = C(N + 6) & N < 15 \\ \text{或者 } E_s = C_1 + C_2N & N < 15 \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $C, C_1, C_2$ 为不同土类的系数, 砂土 $C$ 取0.70, 黏性土 $C_1$ 取3.8,  $C_2$ 取1.05。

各土层按标准贯入击数估算出的强度及变形参数见表5。

表5 按标准贯入击数估算的土层强度及变形参数

土层	内摩擦角 $\phi / (^\circ)$			压缩模量 $E_s$ /MPa			标准贯入击数 $N$ /击
	国外取值	国内取值	建议值	国外取值	国内取值	建议值	
① <sub>1</sub> 砂土	29.49	28.0	29.5	10.0		10.0	8.3
① <sub>2</sub> 砂土	39.72	40.1	39.7	33.9		33.9	42.4
③砂土	38.73	39.8	39.2	31.6		31.6	39.1

### 3.3 根据室内试验资料进行分析

根据勘察资料提供的有限的试验成果及试验图表，经分析统计，得出各土层的强度及变形指

表6 按室内试验成果估算的土层强度及变形参数

土层	不排水剪切		压缩模量 $E_s/\text{MPa}$	压缩系数 $a_v/\text{MPa}^{-1}$
	强度 $S_u/\text{kPa}$	内摩 擦角 $\phi/(\text{°})$		
① <sub>1</sub> 砂土		39.2		
① <sub>2</sub> 砂土		38.1		
① <sub>3</sub> 砂土				
②黏性土	115.1		10.2	0.21
② <sub>1</sub> 黏性土			3.6	0.66
③砂土		38.3		
④黏性土	119.3			
④ <sub>1</sub> 有机质粉土			4.2	0.65

标，见表6。

### 4 岩土参数的选取

本项目的勘察工作量的布置，主要是CPTU，同时进行一定数量的钻孔，并在孔内采取土样及进行标准贯入试验。总体而言，各土层的CPTU数据较为充分，可信程度较高，而标准贯入试验和室内试验数量相对较少，代表性也比CPTU数据差。所以在确定土层的强度、变形参数建议值时，以CPTU数据为主，同时也参考标准贯入试验成果和室内试验成果，土层强度及变形参数的建议值见下面表7和表8。

表7 土层的强度参数建议值

土层	不排水剪切强度 $S_u/\text{kPa}$				内摩擦角 $\phi/(\text{°})$			
	按CPTU	按SPT	按室内试验	建议值	按CPTU	按SPT	按室内试验	建议值
	① <sub>1</sub> 砂土					34.0	29.5	39.2
① <sub>2</sub> 砂土					36.5	39.7	38.1	38.1
① <sub>3</sub> 砂土					34.5			34.5
②黏性土	108		115.1	111				
② <sub>1</sub> 黏性土	35			35				
③砂土					36.0	39.2	38.3	37.8
④黏性土	165		119.3	154				
⑤砂土					35.7			37.5

表8 土层的变形参数建议值

土层	压缩模量 $E_s/\text{MPa}$				压缩系数 $a_v/\text{MPa}^{-1}$	
	按CPTU	按SPT	按室内试验	建议值	按室内试验	建议值
	① <sub>1</sub> 砂土	15.2	10.0		13.9	
① <sub>2</sub> 砂土	42.2	33.9		40.2		
① <sub>3</sub> 砂土	18.4			18.4		
②黏性土	8.9		10.2	9.2	0.21	0.21
② <sub>1</sub> 黏性土	3.6		3.6	3.6	0.66	0.66
③砂土	34.4	31.6		33.7		
④黏性土	15.6			15.6		
④ <sub>1</sub> 有机质土					0.65	0.65
⑤砂土	31.1			31.1		

### 5 黏土层固结状态分析

土层的固结状态与前期固结压力和现在的有效覆盖压力有关，如前期固结压力与现在土层的有效覆盖压力基本一致时为正常固结土，如前期固结压力大于现在土层的有效覆盖压力为超固结土，如前期固结压力小于现在土层的有效覆盖压力则为欠固结土。土层的固结状态一般采用超固

结比OCR来判别。

国外学者Lacasse等人经过研究，提出黏性土的超固结比(OCR)与不排水剪强度( $S_u$ )、有效覆盖压力( $\sigma'_0$ )和塑性指数( $I_p$ )的关系<sup>[3]</sup>：

$$OCR = \frac{1}{0.08 + 0.0055I_p} \frac{S_u}{\sigma'_0} \quad (9)$$

$$OCR = 4.3 \left( \frac{S_u}{\sigma'_0} \right)^{1.05} \quad (10)$$

(下转第76页)