



基于CPT判别土类及状态在地基检测中的应用

叶 锋¹, 陈小利², 贺迎喜¹, 赵维军², 邱青长¹, 王 盼¹

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 广东广州 510230; 2. 中交四航局第二工程有限公司, 广东广州 510300)

摘要: 针对多哈新港项目中的地基验收标准(即经地基处理后,砂性土须达到中密-密实,黏性土须达到硬塑-坚硬),提出采用CPT作为地基检测方法。首先通过CPT的端阻、摩阻比确定地层土类,划分成砂性土及黏性土两大类,然后分别提出两类土的CPT验收曲线:对于砂性土,通过相对密度与CPT端阻的关系,推导得到砂性土达到中密-密实状态时对应的CPT验收标准;对于黏性土,通过不排水抗剪强度与CPT端阻的关系,推导得到黏性土达到硬塑-坚硬状态时对应的CPT验收标准。采用该地基验收方法简便快捷,值得在大面积的地基处理检测中推广应用。

关键词: 地基检测; CPT; 土类判别; 验收标准

中图分类号: TU 471

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)09-0160-04

Application of method of determining soil type and status based on CPT in ground testing

YE Feng¹, CHEN Xiao-li², HE Ying-xi¹, ZHAO Wei-jun², QIU Qing-chang¹, WANG Pan¹

(1. Engineering Technology Research Co., Ltd. of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. The Second Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd, Guangzhou 510300, China)

Abstract: As per technical specifications in New Doha Port Project, the ground shall be improved to medium dense to dense for granular deposits and firm to stiff for cohesive deposits. CPT is proposed as ground testing method after ground improvement. Firstly, soil classification is undertaken based on cone resistance and friction ratio of CPT. Thus soil is classified into granular and cohesive type. For granular deposits, CPT acceptance criteria are established by the correlation between relative density and cone resistance. For cohesive deposits, CPT acceptance criteria is established by the correlation between undrained strength and cone resistance. The soil classification system and two types of acceptance criteria based on CPT are greatly suitable for ground testing and they are worth popularizing.

Key words: ground testing; CPT; soil classification; acceptance criteria

多哈新港地处卡塔尔Al Masaeed工业区内,离多哈市区40 km。该项目为内挖式港口,码头岸线长7 845 m,土方石方开挖量7 000万m³,地基处理面积达600万m²。

该项目地基主要采用强夯法进行处理。根据技术规格书的要求,地基验收标准如下:对于砂性土,须达到中密-密实状态;对于黏性土,须达到硬塑-坚硬状态。由于该标准为定性而非定量验收标准,因此需由承包商提出合理的地基检测方

法及对应的验收标准值,并获咨工认可。

静力触探(CPT)是用静力将探头以一定的速率压入土中,利用探头内的力传感器,通过电子量测器将探头受到的贯入阻力记录下来。由于CPT方法简便快捷,可获取整个地层的贯入阻力变化情况,因此被选用为该项目的地基检测验收方法。而如何通过CPT数据判断地层是否达到技术规格书的要求显得异常重要。对于达600万m²的超大面积地基处理区而言,CPT验收值或曲线将对地基

收稿日期: 2013-02-15

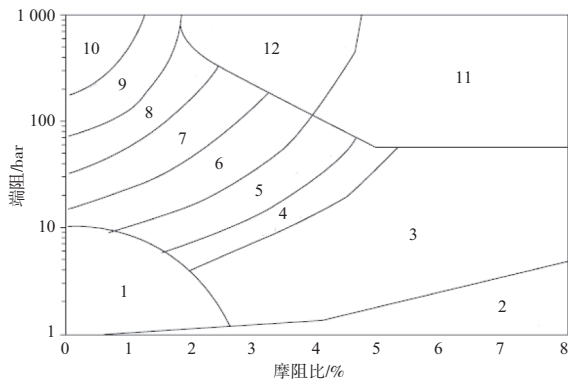
作者简介: 叶锋(1982—),男,硕士,工程师,主要从事地基处理研究工作。

处理的成本、工期产生非常重大的影响。

1 土类判别

由于地基处理验收标准针对砂性和黏性两类土不同, 因此首先须通过CPT采集得到的土层的端阻值 q_c , 摩阻值 f_s , 以及摩阻比 $R_f=f_s/q_c \times 100\%$, 对土类进行判别。

Robertson^[1-2]通过对大量不同类型土层CPT数据的整理, 得到以摩阻比 R_f 为横轴, 端阻 q_c 为纵轴的土类判别图, 如图1所示。



注: 1.灵敏细粒土, 2.有机质土, 3.黏土, 4.粉质黏土-黏土, 5.黏质粉土-粉质黏土, 6.砂质粉土-黏质粉土, 7.粉砂-砂质粉土, 8.砂-粉砂, 9.砂, 10.砾砂-砂, 11.坚硬细粒土, 12.砂-黏土质砂。

图1 土类判别

然而, 图1中的曲线并未给出对应的曲线方程, CPT数据量庞大, 一般沿深度每1或2 cm即采集1个值。如通过人工将逐个值在判别图上描点将会是非常繁重的工作。基于此, 笔者拟合得到了各曲线的曲线方程, 并编制了土类判别的VB程序, 从而实现了土类判别的自动化。

依12类土的定名, 将1~6及第11类土划归为黏性土, 7~10及第12类土划归为砂性土。

2 砂性土CPT验收曲线

对于砂性土, 要求地基处理后达到中密-密实状态。工程上一般采用相对密度 D_r 判定砂性土所处的密实状态^[3-4], 标准如下:

$$\begin{cases} D_r \leq 1/3 & \text{疏松} \\ 1/3 < D_r \leq 2/3 & \text{中密} \\ D_r > 2/3 & \text{密实} \end{cases}$$

即对于砂性土, 地基处理后须满足 $D_r > 1/3$ 。

Baldi等^[5]通过对室内制备的各种密实度的砂进行CPT试验, 得到砂土的相对密度 D_r 与CPT端阻值 q_c 的关系如下:

$$D_r = \frac{1}{C_2} \ln \left[\frac{q_c}{C_0(\sigma')^{C_1}} \right] \quad (1)$$

式中: C_0, C_1, C_2 为系数, 分别等于157, 0.55和2.41; σ' 为砂土有效自重应力 (kPa)。

据此得出砂性土的CPT验收曲线如图2所示。

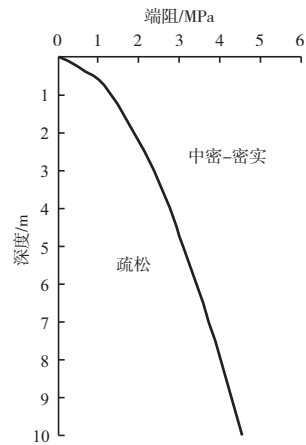


图2 砂性土CPT验收曲线

对于图2, 现场另通过SPT进行了比对和验证。在现场某区域的8 m深处, 测得CPT端阻值为4.09~4.13 MPa, 即按图2曲线, 砂性土正好达到中密状态。通过对该区域的SPT检测, 该深度的标贯值为11~13击, 按照英国标准5930^[6], 当标贯值为10~30击时, 砂性土为中密状态。可见, 现场依SPT测得的标贯值, 与依CPT测得的端阻值, 两者在判断砂性土密实度方面是相互吻合的。

3 黏性土CPT验收曲线

对于黏性土, 要求地基处理后达到硬塑-坚硬状态。英国标准5930^[6]通过不排水抗剪强度 S_u 判定黏性土状态, 如表1所示。

表1 黏性土不排水抗剪强度

状态	不排水抗剪强度 S_u /kPa
Very soft (非常软)	<20
Soft (软)	20~40
Firm (硬塑)	40~75
Stiff (坚硬)	75~100
Very stiff (非常坚硬)	>150

即对于黏性土，地基处理后须满足不排水抗剪强度 $S_u \geq 40$ kPa。

Lunne等^[7]通过对正常固结黏性土的CPT试验，得出黏性土的不排水抗剪强度 S_u 与CPT端阻值 q_c 的关系如下：

$$S_u = \frac{(q_c - \sigma_{v0})}{N_k} \quad (2)$$

式中： N_k 为系数，介于11~19，可取平均值15； σ_{v0} 为黏性土总自重应力（kPa）。

经现场钻孔取黏性土样并进行三轴不固结不排水剪切试验，所得 S_u 值与现场CPT测得的 q_c 值基本满足式（2）。据该式得出黏性土的CPT验收曲线如图3所示。

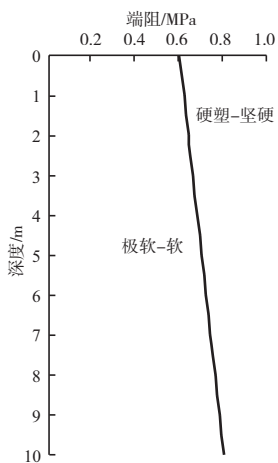


图3 黏性土CPT验收曲线

对比图2及图3可见，黏性土的CPT验收标准较砂性土低。

4 工程应用

多哈新港工程需处理的地基深度为6~9 m，地基在经强夯处理后的典型CPT曲线如图4所示。

首先依不同深度的端阻、摩阻值计算得到该深度的摩阻比，再依端阻及摩阻比判别各土层的土类。数据处理过程由程序自动执行，最后得到的土类划分如图5a)所示。由图可见：地表~6.18 m，土类为7~9类，即砂性土；6.18~7.40 m，土类为5~6类，即黏性土；往下为基岩。经CPT孔位旁的钻孔取样比对，地层与上述吻合。此外，该工程前期钻孔勘察显示：多哈新港地基为5~7 m厚砂性

土层下卧0.5~2 m厚的黏性土层。而现场按30 m × 30 m网格进行的CPT检测结果很好地印证了该地层特征。

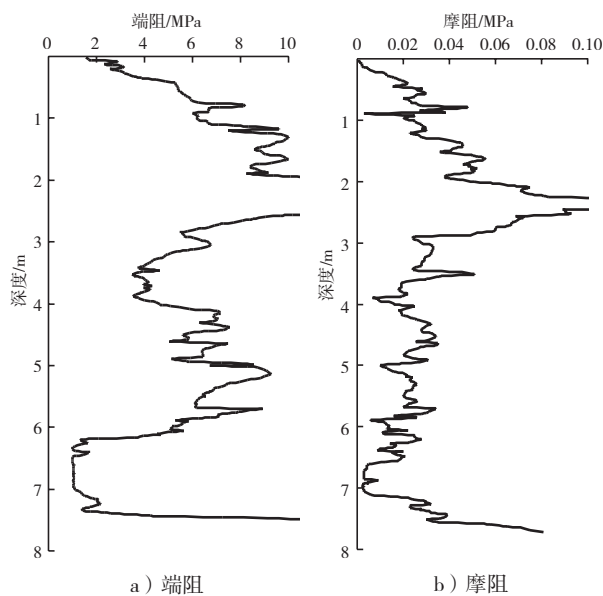


图4 CPT曲线

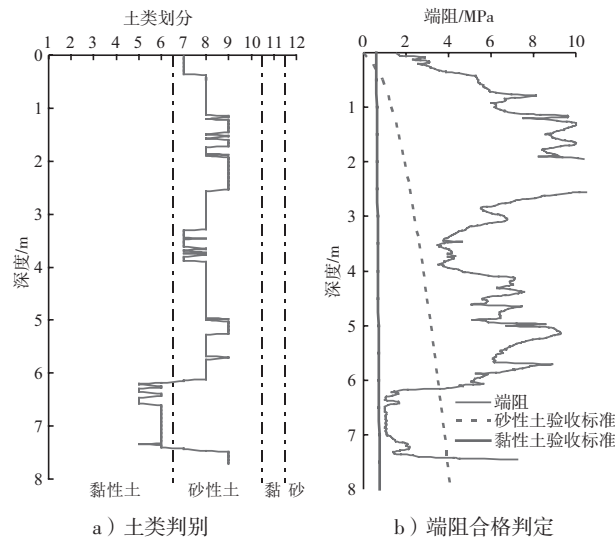


图5 土类判别及端阻合格判定

对于该点位，从地表~6.18 m的砂性土层应采用砂性土验收标准进行验收，而对于6.18~7.40 m的黏性土层则应采用黏性土验收标准进行验收(图5b))，显然地基经强夯处理后满足验收标准。

目前该土类判别方法及两类土的CPT验收曲线已获咨工认可，并应用于整个场地的地基检测验收。

5 结论

1) 利用CPT所得到的端阻及摩阻比, 可对地层土类进行判别。经钻孔取样比对, 该判别方法准确可靠。

2) 对于砂性土, 通过相对密度与CPT端阻值的关系, 即可利用CPT端阻值对砂性土的密实程度进行判断。

3) 对于黏性土, 通过不排水抗剪强度与CPT端阻值的关系, 即可利用CPT端阻值对黏性土的状态进行判断。

4) 采用CPT方法进行地基检测方便快捷, 无须钻孔取样即可对土类进行判别, 并快速判断砂性土的密实程度及黏性土的状态, 适合于大面积的地基处理检测。

参考文献:

[1] Robertso P K, Campanella R G, Gillespie D, et al. Use of piezometer cone data[G]// American Society of Engineers (ASCE). Proceedings of the ASCE Specialty Conference In Situ'86: Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering.

Blacksburg: [s.n.],1986:1 263-1 280.

[2] Robertson P K. Soil classification using the cone penetration test[J]. Canadian Geotechnical Journal,1990, 27(1): 151-158.

[3] 陈仲颐, 周景星, 王洪瑾. 土力学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1994.

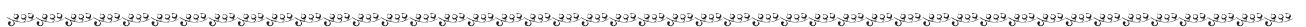
[4] T William Lambe, Robert V Whitman. Soil Mechanics[M]. USA:Massachusetts Institute of Technology, 1969:31.

[5] Baldi G, Bellotti R, Ghionna V, et al. Interpretation of CPTs and CPTUs, 2nd part: drained penetration of sands[C]. Singapore:Proceedings of the Fourth International Geotechnical Seminar, 1986: 143-156.

[6] British Standard 5930: 1999, Code of practice for site investigations [S].

[7] Lunne T, Kleven A. Role of CPT in North Sea foundation engineering[G]// American Society of Engineers (ASCE). Session at the ASCE National Convention: Cone Penetration Testing and Materials. St. Louis:[s.n.], 1986: 76-107.

(本文编辑 武亚庆)



(上转第131页)

2) 沉桩过程超长钢管桩动位移较大, 黏土层中其端阻力能完全发挥, 其桩端承载力闭塞系数达到0.83, 比一般钢管桩的承载力闭塞系数要大。

3) 深厚黏土层超长钢管桩沉桩柴油锤锤击能量传递系数略低, 约为0.30。

参考文献:

[1] 徐向阳, 吕黄, 姚三. 深厚沉积层大直径钢管桩承载力特性试验研究[J]. 水运工程, 2012, 467(6): 179-182.

[2] JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规范[S].

[3] 张丽. 浅谈第四系湛江组黏土层工程特点[J]. 采矿技术, 2010, 10(1): 24-25.

[4] 冯洁, 苏谊. 湛江红黏土的工程特性[J]. 西部探矿工程, 2008(1): 44-45.

[5] 雷严问. 浅谈湛江市老黏性土的工程地质特性与环境地质因素的关系[J]. 广东水利水电, 2007(4): 3-6.

[6] 罗鸿禧, 陈守义. 湛江灰色黏土的工程地质特性[J]. 水文地质工程地质, 1981(5): 1-5.

(本文编辑 郭雪珍)