

文章编号:1009-2722(2014)02-0046-04

# 上海地区基于静力触探的液化判别分析

张 浩

(上海申元岩土工程有限公司,上海 200040)

**摘 要:**上海地区(及其他软土地区)以静探触探作为岩土工程勘察的主要原位测试手段,积累了大量的工程数据,其结果稳定可靠,重现性好,具客观性。采用上海地区静探液化判别方法,对收集的大量资料进行统计分析,以期通过静探  $P_s$  值快速、简单地作出地基土是否液化的初步判断,有效指导勘察设计工作。

**关键词:**静探  $P_s$  值;黏粒含量;统计;液化

中图分类号: TU43 文献标识码: A

上海地区除崇明、金山局部地区外,地震设防烈度均为七度,需对地面以下 20 m 深度范围内存在的饱和砂土或砂质粉土判定液化的可能性,被列为《岩土工程勘察规范》<sup>[1]</sup> 3 条强制性规范之一(上海市工程建设规范,以下简称规范),可以看出液化判别的重要性有所提高。规范中对液化的判别较为复杂的,需要利用原位测试(标贯、静探)数据、土工数据(黏粒含量)等参数带入公式计算,因此需要土工试验结果出来之后,方能判断是否液化,时间较长。能否简单、快速通过原位测试数据,判断土层是否液化?本文按规范公式、静探  $P_s$  值和对以往完成项目的统计进行初步判断,以期指导下一步的地质勘察设计工作。

## 1 静力触探试验

静力触探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。由于贯入阻力的大小与土层的性质有关,因此,通过贯入阻力的变化情况,可以达到了解土层工程性质的目的<sup>[2]</sup>。

静力触探相较于钻探有着以下优点<sup>[3]</sup>:①触探指标的再现性好,土的贯入阻力作为土的一种特性指标,能真实地反映土的力学性状(包括结构性);②触探数据的连续性好,具客观性,避免钻探记录的主观性;③比贯入阻力、锥头阻力、侧壁阻力等指标直接与土的工程性质挂钩,避免了取样、试验等中间环节,既缩短了勘察周期,又减少了中间环节造成的误差。

判别液化可采用标准贯入试验,而标准贯入试验(SPT)本身受各种因素影响非线性较大,试验结果存在“代表性差、离散性大”的缺点。上海地区某些统计资料表明,同一场地、同一土层、同一深度相邻钻孔标贯击数的变异系数达 30%~50%,甚至更大<sup>[4]</sup>。

目前上海地区主要有单桥静力触探和双桥静力触探,单桥静力触探只测比贯入阻力( $P_s$ ,单位 MPa,静力触探圆锥探头贯入土层时所受的总贯入阻力与探头截面积的比值。),双桥静力触探可测锥尖阻力( $q_c$ ,单位 MPa)和侧摩阻力( $f_s$ ,单位 KPa)。

## 2 静探判别液化分析

### 2.1 上海地区静探液化判别分析

上海地区砂质粉土和砂土液化判别公式如下:

收稿日期:2013-10-09

作者简介:张 浩(1978—),男,硕士,注册岩土工程师,主要从事岩土工程勘察方面的工作。E-mail: gzpzwx@163.com

$$p_{ser} = p_{s0} \left[ 1 - 0.06d_s + \frac{(d_s - d_w)}{a + b(d_s - d_w)} \right] \sqrt{\frac{3}{\rho_c}}$$

式中:  $p_{s0}$  为液化临界比贯入阻力基准值(MPa), 可取 2.6 MPa;

$d_s$  为静力触探试验点深度, m;

$d_w$  为地下水位埋深, m;

$\rho_c$  为黏粒含量百分率, <3 时取 3;

$a$ 、 $b$  为系数, 分别取 1.0 和 0.75;

当实测比贯入阻力小于临界比贯入阻力时, 应判为可液化土。

取上海地区年平均地下水位 0.5 m, 临界比贯入阻力随黏粒含量及深度的变化曲线如图 1 所示。可以看出, 临界比贯入阻力随着深度成抛物线状, 1~5 m 临界比贯入阻力在增大, 5~20 m 临界比贯入阻力在减小, 在 5 m 处, 地基液化的可能性最大, 土层越深处, 液化的可能性越小; 当实测比贯入阻力 > 4.5 MPa 时, 不会液化, 当实测比贯入阻力 < 1.5 MPa 时, 肯定液化。

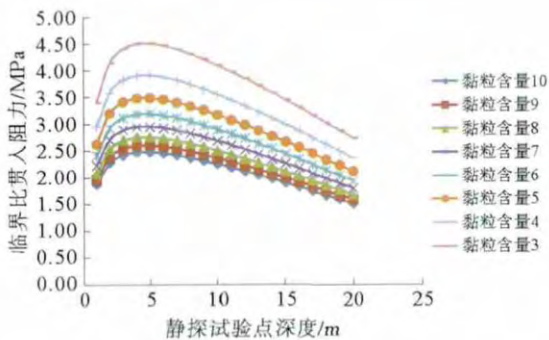


图 1 临界比贯入阻力随黏粒含量及深度变化曲线  
Fig. 1 Relation of specific penetration resistance to the soil clay content and depth

### 2.2 静力触探与土体性质关系

静力触探测试表明, 土类及其成因、时代、密实度不同, 一般锥尖阻力或比贯入阻力也会有明显的不同; 不同的土类由于某种原因(如砂层和老黏土)可能有相同的锥尖阻力(或比贯入阻力), 而侧壁摩阻力和孔压值可大不相同, 根据研究<sup>[5,6]</sup>, 双桥静探的摩阻比与黏粒含量有着较好的相关性。

但单桥静力触探测试在上海静探测试中占到了 80% 以上, 积累了大量的原位测试数据和工程

经验。静探贯入阻力不仅反映了土的密实度, 还反映了土的结构性, 不同类型的土可能有相同的  $P_s$  值, 反过来说相同的  $P_s$  值, 也可以代表着不同的土类, 因此想通过单一的  $P_s$  值判断砂质粉土与黏质粉土是非常困难的。

### 2.3 单桥静力触探 $P_s$ 值与黏粒含量的关系

笔者对 2000 年至今上海岩土工程勘察报告进行了统计, 其中 312 份报告中有浅层粉土, 砂质粉土样本 339, 黏质粉土样本 333, 共 672 份样本(包括②<sub>2</sub>、②<sub>3</sub>、③<sub>夹</sub>、④<sub>2</sub>层, 因⑤<sub>2</sub>层一般埋藏在 15 m 以下, 且一般不液化, 因此本文未统计。在统计中另有 22 份样本为粉砂, 黏粒含量范围 1.0~7.7,  $P_s$  值范围 3.21~10.94, 一般不液化, 也未统计)。  $P_s$  值与黏粒含量的散点图如图 2 所示, 图中黏粒含量为每一层的平均值,  $P_s$  值为每一层的小值平均值。

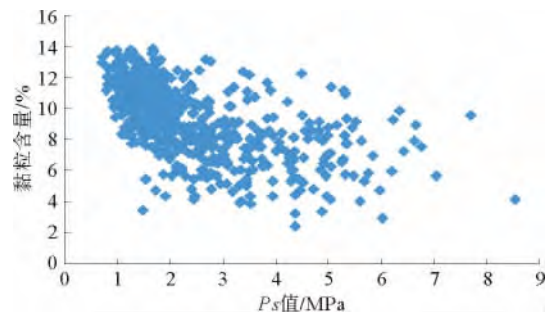


图 2  $P_s$  值与黏粒含量散点图  
Fig. 2 Scatter diagram of  $P_s$  value and soil clay content

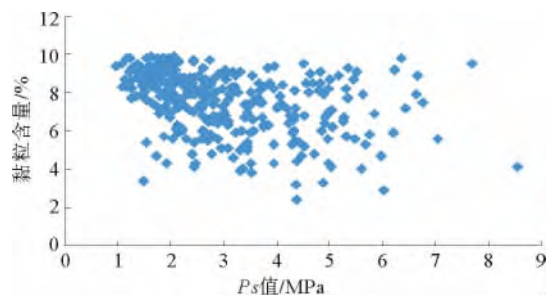


图 3 砂质粉土  $P_s$  值与黏粒含量散点图  
Fig. 3 Scatter diagram of sandy silt  $P_s$  value and soil clay content

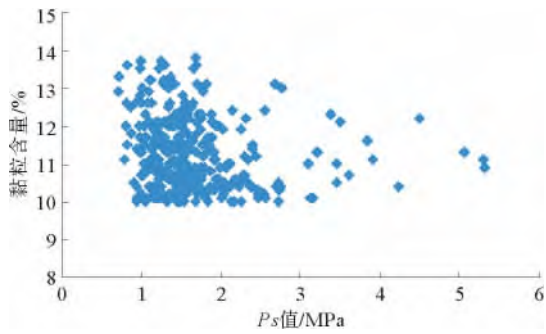


图 4 黏质粉土  $P_s$  值与黏粒含量散点图

Fig. 4 Scatter diagram of clayey silt  $P_s$  value and soil clay content

从图 2~4 可以看出,  $P_s$  值与黏粒含量相关性很差, 很难拟合出一个公式由  $P_s$  值得黏粒含量的值。各  $P_s$  值区段, 砂质粉土与黏质粉土所占百分比如表 1。

2.4 单桥静力触探  $P_s$  值与黏粒含量的统计关系

从以上分析, 根据静力触探  $P_s$  值很难估算黏粒含量, 所以通过  $P_s$  值不能区分砂质粉土和黏质粉土。

本文从砂质粉土、黏质粉土不同的  $P_s$  值区

表 1 砂质粉土与黏质粉土所占样本百分比

Table 1 Percentage of sandy silt and clayey silt of studied samples

$P_s$ 值范围	砂质粉土 样本数	黏质粉土 样本数	砂质粉土 所占百分比/%	黏质粉土 所占百分比/%
$0 \leq P_s < 1$	1	21	4.5	95.5
$1 \leq P_s < 1.5$	30	147	16.9	83.1
$1.5 \leq P_s < 2.0$	58	102	36.2	63.8
$2.0 \leq P_s < 2.5$	57	35	62.0	38.0
$2.5 \leq P_s < 3.0$	51	11	82.3	17.7
$3.0 \leq P_s < 3.5$	36	8	81.8	18.2
$3.5 \leq P_s < 4.0$	29	4	87.9	12.1
$4.0 \leq P_s < 4.5$	21	1	95.5	4.5
$4.5 \leq P_s$	56	4	93.3	6.7

段, 求得黏粒含量的范围值、平均值和变异系数, 估算黏粒含量标准值, 从分析结果来看砂质粉土各  $P_s$  值区段黏粒含量变异系数  $< 0.26$ , 黏粒含量主要在 6%~9% 之间, 黏粒含量较稳定; 而黏质粉土的变异系数较小, 一般  $< 0.11$ , 黏粒含量主要在 10.5%~12% 之间, 结果如表 2。

表 2 砂质粉土统计

Table 2 Statistics of sandy silt

$P_s$ 值范围	样本数量	所占百分比/%	黏粒含量( $P_c$ ) 范围值/%	黏粒含量( $P_c$ ) 平均值/%	标准差	变异系数	统计修正系数	黏粒含量( $P_c$ ) 标准值/%	临界 $P_s$ 值	是否液化
$0 \leq P_s < 1$	1	0.3								
$1 \leq P_s < 1.5$	30	8.8	3.4~9.8	8.58	1.13	0.13	1.04	8.93	1.58~2.60	液化
$1.5 \leq P_s < 2.0$	58	17.1	4.3~9.9	8.34	1.23	0.15	1.03	8.61	1.61~2.65	部分液化
$2.0 \leq P_s < 2.5$	57	16.8	4.1~9.9	7.84	1.40	0.18	1.04	8.16	1.65~2.73	部分液化
$2.5 \leq P_s < 3.0$	51	15.0	4.8~9.7	7.35	1.20	0.16	1.04	7.64	1.71~2.82	部分液化
$3.0 \leq P_s < 3.5$	36	10.6	3.9~9.2	6.87	1.56	0.23	1.07	7.32	1.74~2.88	不液化
$3.5 \leq P_s < 4.0$	29	8.6	3.8~9.4	6.94	1.53	0.22	1.07	7.43	1.73~2.85	不液化
$4.0 \leq P_s < 4.5$	21	6.2	2.4~8.4	6.19	1.56	0.25	1.10	6.79	1.81~2.99	不液化
$4.5 \leq P_s$	56	16.5	2.9~9.8	6.98						

表 3 黏质粉土统计  
Table 3 Statics of clayey silt

$P_s$ 值 范围	样本 数量	所占百分 比/%	黏粒含量( $P_c$ ) 范围值/%	黏粒含量( $P_c$ ) 平均值/%	标准差	变异系数	黏粒含量( $P_c$ ) 标准值/%
$0 \leq P_s < 1$	21	6.3	10.0~13.7	11.97	1.15	0.10	12.40
$1 \leq P_s < 1.5$	147	44.1	10.0~13.7	11.32	0.92	0.08	11.45
$1.5 \leq P_s < 2.0$	102	30.6	10.0~13.8	11.31	0.93	0.08	11.46
$2.0 \leq P_s < 2.5$	35	10.5	10.0~12.4	10.74	0.63	0.06	10.93
$2.5 \leq P_s < 3.0$	11	3.3	10.0~13.1	10.95	1.23	0.11	11.63
$3.0 \leq P_s < 3.5$	8	2.4	10.1~12.3	10.95	0.73	0.07	11.44
$3.5 \leq P_s < 4.0$	4	1.2	10.7~12.1	11.38			
$4.0 \leq P_s < 4.5$	1	0.3	10.4	10.40			
$4.5 \leq P_s$	4	1.2	10.9~12.2	11.38			

表 3 中平均值、标准差和变异系数按《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)第 14.2 条<sup>[7]</sup>公式计算。根据文献[8]建议,在采用静探判别液化时,宜从轻判定,所以本文对统计修正系数公式中正负号的选择,取正号。

根据上表的计算, $P_s$  值 $<1.5$  MPa 的砂质粉土肯定液化; $1 \text{ MPa} \leq P_s$  值 $<3$  MPa 时可认为基本液化; $\geq 3$  MPa 时可认为不液化。根据以上的判断方法,与笔者单位最近 50 项采用标贯判别液化的工程进行了对比,当砂质粉土  $P_s$  值 $<3$  MPa 时,采用本文的方法得出的是否液化的结论与 90% 的报告判别一致。

### 3 结论

(1)通过静探  $P_s$  值,不能区分砂质粉土和黏质粉土。

(2)根据统计分析,砂质粉土静探  $P_s$  值 $\leq 3.0$  MPa 时可判断土层液化的概率很高, $\geq 3$  MPa 时,液化的概率较低。

(3)由于通过静探  $P_s$  值,不能区分砂质粉土和黏质粉土,在野外钻探中,根据目力鉴别砂质粉土和黏质粉土准确度不是很高,因此,现场遇到粉土需每米留样做颗粒分析才能准确判断是否液化。

(4)本文只是通过静探对土层液化判定做出了定性的描述,土层是不均匀体,每个区域、不同

层位因沉积环境不同,黏粒含量都有着很大的差异,本文的方法并不能取代规范中液化判别的过程和结果,只能作为勘察一线人员野外判断液化的参考,或是对正式的液化判别的一种预估或验证,对其他软土地区的液化判别具借鉴作用。

(5)本文只统计了 300 余项工程的  $P_s$  值与黏粒含量的关系,样本数量相对有限,期待能有更多的其他单位的统计关系加以佐证。

#### 参考文献:

- [1] 上海岩土工程勘察设计院有限公司. 上海市工程建设规范《岩土工程勘察规范》(DGJ08-37—2012)[S]. 2012.
- [2] 《工程地质手册》编委会. 《工程地质手册》[M]. 第四版. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] 顾宝和.《岩土工程勘察规范》中的静力触探问题[J]. 工程勘察,2008(10):4-6.
- [4] 上海现代设计(集团)有限公司. 上海市工程建设规范《地基基础设计规范(条文说明)》(DGJ08-11—2010)[S]. 2010.
- [5] 张继红,顾国荣. 双桥静力触探法判别上海薄夹层粘土地基液化研究[J]. 岩土力学,2005,26(10):1 652-1 656.
- [6] 蔡国军,刘松玉,童立元,等. 基于静力触探测试的国内外砂土液化判别方法[J]. 岩石力学与工程学报,2008, 27(5):1 019-1 026.
- [7] 中华人民共和国建设部. 中华人民共和国国家标准《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001,2009 年版)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [8] 张文龙. 上海全新统地层中地下水类型和不良作用分析[J]. 上海地质,2008(2):3-6.

(下转第 55 页)

## STUDY ON TECHNOLOGICAL STANDARD FOR SUBMARINE GEOLOGICAL SAMPLING

LAN Xianhong, WEN Zhenhe, LI Rihui, WANG Zhongbo, CHEN Xiaohui, HOU Fanghui, XU Xiaoda  
(Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resource and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources,  
Qingdao 266071, China; Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China )

**Abstract:** This paper describes the submarine geological sampling standards development and jobs composition and technique features, and studies the submarine geological sampling standard content and key points of technical specification for submarine operations upon the needs in marine geological survey and the code principle of submarine geological sampling. The standard system structure and operation rules for submarine geological sampling are discussed.

**Key words:** submarine geology; sampling; standard



(上接第 49 页)

## CONE PENTERATION TESTING FOR SUBSOIL LIQUEFACTION EVALUATION IN SHANGHAI AREA

ZHANG Hao

(Shanghai Shen Yuan Geotechnical Co. , Ltd. ,Shanghai 200040, China)

**Abstract:** CPT is the principal method widely used in Shanghai and other soft soil areas for in-situ geotechnical investigation. A large amount of engineering data has been accumulated during the past years. The results are stable, reliable, objective and reproducible. In this paper, the author tries to approach a quick and easy method for judgement of liquefaction possibility. Large amounts of CPT data were collected for the purpose and recommendations were proposed for concerned parties.

**Key words:** CPT PS value; soil clay content; statistics; liquefaction