

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2021.02.059

静力触探工作原理及其在上海软土地区工程勘察中的应用

王庆磊

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要: 概述了当前国内外静力触探测试技术的发展历程,探讨了静力触探的工作原理及其划分情况;通过土层划分、土类定名、确定单桩极限承载力及地基承载力、进行地基土液化情况判别以及测试地基土物理力学参数指标等,分析了上海软土地区采用静力触探测试技术在勘察中的应用依据。

关键词: 上海软土地区;静力触探;岩土工程勘察

中图分类号: TU413 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2021)02-0221-03

0 引言

静力触探作为一种轻便、高效、快速的原位测试手段,在岩土工程勘察、施工检测等领域得到了广泛应用^[1]。静力触探是通过压力装置将标准规格的金属探头均匀压入土层中,并结合探头传感器,将土层阻力转换为电信号,再由仪表测量出来,具有测量精确度高、方便快捷、经济等优点。目前国内普遍采用的静力触探仪探头有 3 种:单桥探头、双桥探头和孔压触探头。

在岩土工程勘察中,静力触探主要适用于软土、黏性土、粉土、砂类土及少量碎石的土层,常用来划分土层、地基设计、粉土及砂土的液化判别等^[2]。

1 静力触探测试技术在国内外的的发展

1.1 国外静力触探研究发展现状

静力触探测试技术在国外的发展现状见表 1。

表 1 静力触探测试技术在国外发展情况^[3]

时间	国家	研究发展经历
1917 年	瑞典	铁路工程中正式采用螺旋锥头式静力触探
1930 年	荷兰	采用尖锥试验(国际上称荷兰静力触探)
1948 年	荷兰	工程师 Bakker 研制出世界上第 1 个电测式探头
1949 年	荷兰	Delft 土力试验室开始使用电测探头,并于 1957 年研制第 1 台能测侧电阻力的电测式探头
1965 年	荷兰	Fugro 与 TNO 联合推出一种电测式探头,其规格即为后来的 ISSMFE 标准和许多国家标准的基础

收稿日期:2020-06-09

作者简介:王庆磊(1991—),男,硕士,工程师,从事岩土工程勘察设计工作。

1.2 国内静力触探研究发展现状

静力触探测试技术在国内的发展现状见表 2。

表 2 静力触探测试技术在国内发展情况^[4]

时间	研究发展经历
1954 年	陈宗基教授自荷兰引进该项技术,并在黄土地区进行了试验研究
1964 年	王钟琦教授等成功地研制出我国第 1 台电测式触探仪
1965 年	原建设工业部综合勘察研究院自行设计制造了电阻应变式静力触探仪,并建立了贯入阻力与天然地基承载力的统计公式
1966 年	湖北电力设计院、湖北勘察院等 11 个单位组成了“武汉联合测试组”,建立了比贯入阻力 p_s 与第四纪土的变形模量 E_s 及承载力 R 的各项回归方程
1967 年	中南勘察院和武汉城市规范设计院研制成功机械传动静力触探仪
1969 年	铁道部第三勘测设计院设计制造出双缸油压静力触探

2 上海地区工程地质情况

静力触探成果在工程中得到了广泛的应用,如对土层进行土类判别和力学分层,评定土体力学特性,确定地基土的承载力、土体液化判别等,且都取得了满意的结果。近年来静力触探技术在上海地区的工程应用中取得了显著成果,特别是在利用地区经验估算土的强度参数、判定饱和砂土和粉土的地震液化趋势以及施工实时监测评价等方面。

上海地区埋深 50 m 以内的浅砂土、粉土以砂质粉土、粉砂为主。由于上海地下水位埋藏较浅,在基坑开挖和隧道施工过程中极易产生流砂、管涌、突涌等现象。因此,对于饱和软土中深基坑及隧道施工土

体强度的测定,特别是黏土、粉质黏土和粉砂的抗剪强度测定,具有很强的工程实际指导价值。然而,由于施工过程中难以直接测定饱和黏土的孔隙水压力,常常需要借助室内试验或原位测试技术来测定土体的强度。

上海市《岩土工程勘察规范》(DG J08-37—2012)按照地貌形态、时代成因、沉积环境和组成物质等方面的差异,将境内地貌分为:湖沼平原,滨海平原,河口(砂嘴、砂岛),潮坪地带,剥蚀残丘五大类型。总体而言,上海地区地基土主要以软土地层为主。

3 静力触探测试技术在上海地区的应用

3.1 土层及土类的划分

单桥静力触探数据成果只能应用于力学土层的划分,若要进行常规岩土工程分层常结合钻探孔取样进行;双桥静力触探的测试结果可直接用于划分土层及土的类型。

3.2 确定地基承载力

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)规定地基承载力特征值可由荷载试验或其他原位测试、公式计算并结合工程实践经验等方法进行综合确定。

3.3 确定单桩极限承载力

依据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)规定,当根据单桥探头静力触探资料确定混凝土预制桩单桩竖向极限承载力标准值时,如无当地经验,可按下列公式计算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + \alpha p_{sk} A_p \quad (1)$$

式中: Q_{uk} 为单桩竖向承载力特征值,kN; Q_{sk} 为单桩总极限侧阻力,kN; Q_{pk} 为总极限端阻力标准值,kN; u 为桩身周长,m; q_{sik} 为用静力触探比贯入阻力值估算的桩周第*i*层土的极限侧阻力,kPa; l_i 为桩身长度,m; p_{sk} 为桩端附近的静力触探比贯入阻力标准值,kPa; A_p 为桩端面积,m²。

$q_{sk}-p_s$ 曲线如图1所示。图1中:直线①(线段gh)适用于地表下6m范围内的土层;折线②(线段oabc)适用于粉土及沙土土层以上(或无粉土及沙土土层地区)的黏性土;折线③(线段odef)适用于粉土及沙土土层以下的黏性土;折线④(线段oef)适用于粉土、粉沙、细沙及中砂。

当根据双桥探头静力触探资料确定混凝土预制桩单桩竖向极限承载力标准值时,对于黏性土、粉土和砂土,如无当地经验时可按下式计算:

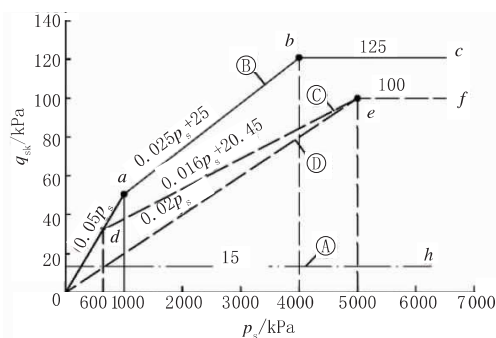


图1 $q_{sk}-p_s$ 曲线

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum l_i \cdot f_{si} + \alpha \cdot q_c \cdot A_p \quad (2)$$

式中: f_{si} 为第*i*层土的探头平均侧阻力,kPa; q_c 为桩端平面上、下探头阻力,kPa。

3.4 判断地基土液化可能性

上海市《岩土工程勘察规范》(DG J08-37—2012)规定,抗震设防烈度为7度的建筑场地,当地面以下20m深度范围内存在饱和砂土或砂质粉土时,应判定该土层地震液化的可能性,并确定整个地基的液化等级,用于液化判别的静力触探试验孔,每个场地不应少于3个。

当单桥探头实测比贯入阻力 p_s 小于临界比贯入阻力 p_{scr} 或双桥探头实测锥尖阻力 q_c 小于临界锥尖阻力 q_{scr} 时,应判为可液化土^[5-6]。

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

$$q_{scr} = q_{c0} [1 - 0.06d_s + \frac{(d_s - d_w)}{a + b(d_s - d_w)}] \sqrt{\frac{3}{\rho_c}} \quad (4)$$

式中: p_{s0} 、 q_{c0} 分别为液化临界比贯入阻力基准值和临界锥尖阻力基准值,MPa,可分别取2.6MPa和2.35MPa; d_s 为静力触探试验点深度,m; a 、 b 为系数,分别取1.0和0.75。

3.5 测定地基土的物理力学参数

依据上海市《静力触探技术规程》(DG/T J08-2189—2015),对地基土的物理力学指标进行测定。

3.5.1 黏性土常用物理性指标

当缺乏钻探取样试验指标^[7],可采用静力触探试验成果对黏性土的物理性指标进行估算,结果见表3。

3.5.2 软黏土不排水抗剪强度 c_u

c_u 的计算式为:

$$c_u = p_s / N_k \quad (5)$$

式中: N_k 为锥头承载力系数,由经验取得,一般 $N_k=15\sim 25$,对于大多数软黏性土,可取 $N_k=20$ 。

3.5.3 砂土密实度及基床系数^[8]

通过单桥静力触探试验得到的砂土密实度、砂

表 3 采用静力触探试验成果估算的黏性土常用物理性指标

探头	适用范围	土体重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	含水率 $w/\%$	孔隙比 e	液性指数 I_L
单桥	$p_s \leq 1.05 \text{ MPa}$	$2.3p_s + 16.2$	$58.4 - 22.6p_s$	$1.58 - 0.53p_s$	$1.64 - 0.67p_s$
	$p_s > 1.05 \text{ MPa}$	$0.4p_s + 18.2$	$40.0 - 5.1p_s$	$1.17 - 0.14p_s$	$1.20 - 0.25p_s$
双桥	$q_c \leq 0.95 \text{ MPa}$	$2.3p_c + 15.8$	$61.0 - 25.3p_c$	$1.72 - 0.68p_c$	$1.88 - 1.0p_c$
	$q_c > 0.95 \text{ MPa}$	$1.0p_c + 17.1$	$44.3 - 7.7p_c$	$1.27 - 0.21p_c$	$1.25 - 0.34p_c$
孔压	$p_t \leq 1.05 \text{ MPa}$	$2.1p_t + 15.7$	$63.8 - 24.2p_t$	$1.80 - 0.66p_t$	$1.98 - 0.96p_t$
	$p_t > 1.05 \text{ MPa}$	$0.9p_t + 17.0$	$46.1 - 7.4p_t$	$1.32 - 0.20p_t$	$1.31 - 0.32p_t$

土和黏性土的基床系数 k 及其比例系数 m 见表 4、表 5。

表 4 通过单桥静力触探试验确定砂土密实度、基床系数及比例系数

p_s/MPa	密实程度	$k/(\text{MN}\cdot\text{m}^{-3})$	$m/(\text{MN}\cdot\text{m}^{-4})$
< 2.6	松散	< 10	< 4
$2.6 \leq p_s < 5$	稍密	$10 \sim 20$	$4 \sim 6$
$5 \leq p_s < 10$	中密	$20 \sim 50$	$6 \sim 10$
$10 \leq p_s$	密实	> 50	> 10

表 5 通过单桥静力触探试验确定黏性土基床系数及比例系数

p_s/MPa	$k/(\text{MN}\cdot\text{m}^{-3})$	$m/(\text{MN}\cdot\text{m}^{-4})$
≤ 0.6	< 5	< 2
$0.6 < p_s \leq 1.0$	$5 \sim 15$	$2 \sim 4$
$1.0 < p_s \leq 2.0$	30	$4 \sim 6$
$2.0 < p_s \leq 5.0$	$30 \sim 50$	$6 \sim 10$
$5.0 < p_s$	> 50	> 10

4 结 语

(1)静力触探作为一种轻便、快速、高效的原位测试手段,可以划分土层界面、土类定名、确定地基承载力和单桩极限承载力、判定地基土液化可能性及测定地基土的物理力学参数等,在上海软土地区

工程勘察中应适当予以考虑。

(2)进行岩土工程勘察时,应用静力触探技术时应注意与其他测试手段综合运用,注意经验的获取和积累,从而提高静力触探的测试精度。

(3)由于不同地区土层在成因类型、沉积条件、年代等方面的差异性,决定了不同地区土的力学性质的独特性。故在静力触探成果的应用方面,不同地区应综合各种勘察手段建立适合本地区的经验公式,使静力触探在岩土工程勘察中发挥更大的作用。

参考文献:

[1] 仲维丽.静力触探在岩土工程勘探中的应用[J].科学技术创新, 2018(16):131-132.

[2] 张浩.上海地区基于静力触探的液化判别分析[J].海洋地质前沿, 2014,38(2):46-49,55.

[3] 涂志良.静力触探的发展及其在岩土工程中的应用[J].建材与装饰,2017(43):215-216.

[4] 陈强华,俞调梅.静力触探在我国的发展[J].岩土工程学报,1991(1):84-95.

[5] 马海鹏,陈祖煜,于沐.上海地区土体抗剪强度与静力触探比贯入阻力相关关系研究[J].岩土力学,2014,35(2):536-542.

[6] 樊向阳,魏根群,马晓晴.上海地区单桥静力触探与双桥静力触探之间的关系[J].工程勘察,2007,218(9):10-12.

[7] 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(10):131-135.

[8] 徐华.孔压静力触探在上海地区的应用[J].岩土工程技术,1999(3):57-59.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com