

# 孔压静力触探在上海地区的应用

徐 华

(中航勘察设计研究院上海分院, 上海 200135)

**【摘要】** 通过上海浦东国际机场跑道详勘中的实践, 孔压静力触探在土层划分(尤其对粉性土、砂土薄层的划分)、估算土层固结系数等方面有很大的优越性。

**【关键词】** 孔压静力触探; 粉性土、砂土薄层的划分; 固结系数。

**【Abstract】** The paper introduces its advantages of dividing silty and sandy soil intercalation and evaluating coefficient of consolidation by practice of Pu Dong international airport runway engineering, in Shanghai.

**【Key Words】** pore water pressure static cone penetration test (CPTU); division of silty and sandy soil; coefficient of consolidation.

## 0 引言

孔压静力触探仪器设备精密、操作要求严格、测试时间较长。此法在我国还未普遍应用。我院在上海地区采用了孔压静力触探, 取得较理想的成果。由于上海地区地下水位埋藏较浅, 土质较弱, 在第③层淤泥质粘性土中深度 3~9 m 范围内常夹有粉性土或砂土薄层, 用孔压静力触探能较准确地划分地层, 对基坑支护设计、降排水工程设计尤为适用。同时孔压静力触探测定的固结系数符合实际情况, 能更好地估算固结与时间的关系。

## 1 孔压静力触探的关键技术

我国研制的孔压静力触探探头的滤水器位于锥头之后等直径圆柱面, 避开了锥头底部复杂应力区, 所测孔压比较稳定, 滤水器也不易磨损和堵塞。孔压的消散接近于圆柱轴对称径向排水条件, 按太沙基(Terzaghi)固结理论, 轴对称固结方程为:

$$C_h \left( \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right) = \frac{\partial U}{\partial t}, C_h \text{ 为土的水平向固结系数。}$$

由于超孔压初始分布的不确定性, 土为非均质体, 固结过程压力和渗透随时间的变化性, 上述理论公式是一个估算。根据上述方程的解析结果, 《上海市岩土工程勘察规范》规定, 在实际工程中, 按  $C_v = \left[ \frac{T_{50}}{t_{50}} \right] r_0^2$  计算。 $C_v$ ——固结系数;  $T_{50}$ ——固结度 50% 时的时间因数, 滤水器位于探头锥尖后时,  $T_{50}$  可取 6.87;  $t_{50}$ ——超孔隙水压力消散达 50% 时的历时;  $r_0$ ——孔压探头半径, cm。

保证孔压静力触探试验质量的关键是孔压量测系统(滤水器和传压空腔)的排气饱和, 如饱和不彻底, 则会滞缓孔隙水压力的传播速度, 使部分超孔隙水压力消耗于压缩未排尽的空气上, 严重影响测试成果。常用的饱和方法为真空抽气饱和法。将孔压探头置于真空的密封容器中, 抽真空 3—12 h, 然后

将饱和液体吸入传压空腔内以达到饱和。我院在上海浦东国际机场跑道详勘中,采用分体饱和法,将滤水器与传压空腔分别饱和,滤水器置于一个简单的容器装置内,通过一定的水压力向外渗透,挤出滤水圈微孔中的空气,使其饱和。传压空腔的饱和是将孔口在水中向上,不断晃动,逸出空气达到饱和。然后在水中组装,使整个系统饱和。

## 2 上海浦东国际机场孔压静力触探试验结果

上海浦东国际机场位于上海浦东新区东端,川沙县和南汇县境内。机场跑道长 4 000 m,宽 60 m。根据设计要求,在跑道两端和中间做了 3 个单桥孔压静力触探试验,孔深 30 m。试验曲线和地基层层见图 1。

在孔压静探试验过程中,分别对第②<sub>2</sub>层、②<sub>3</sub>层、③层、④层及⑤层地基土进行了孔隙水压力消散试验。试验曲线见图 2。

## 3 孔压静力触探试验结果分析

### 3.1 孔压曲线划分土层

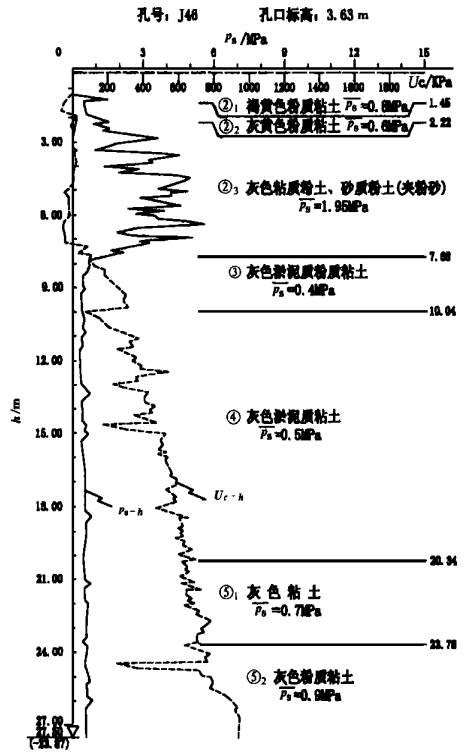
静力触探的阻值曲线对每一土层都有超前段、常数段和滞后段。一般硬土薄层超过 50 cm、软土薄层大于 30 cm,阻值曲线才能达到最大值或最小值。由于不同类型土的渗透性变化很大,孔隙水压力变化比静探阻值曲线变化要灵敏得多,孔压曲线可以把土类分得更细、精度更高,可分辨出厚度 10 cm 左右的土层变化,且孔压突变点所在深度即为土层界面深度。

### 3.2 孔压消散曲线估算固结系数

孔压静探在某一深度停止贯入后,超孔隙水压力开始消散(见图 2)可求得该深度土层的固结系数。

孔压消散曲线测得的固结系数比室内试验测得的数据要大,但更接近实际情况。在浦东国际机场跑道详勘中,室内试验和现场试验测得的固结系数见表 1。

在粘性土中,孔压消散曲线开始往往有一个上升段,然后才逐渐下降,约 3~5 h 后,



$p_s-h$  为锥尖阻力与深度(实线)  
 $U_c-h$  为超孔隙水压力与深度(虚线)

图 1 阻值曲线和孔压曲线图

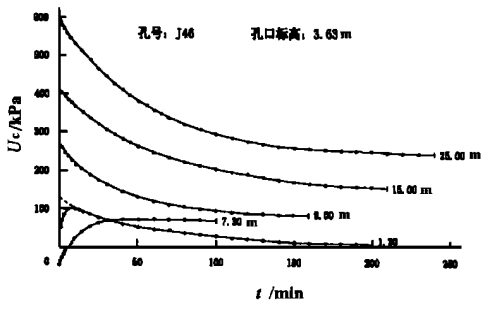


图 2 超孔隙水压力与时间曲线图

降至该深度静止压力值(见图 2)。

在粉性土、砂土中,孔压消散曲线(图 2 中深度 7.3 m 曲线),呈逐渐上升趋势,经 30 分钟左右,上升至静水压力后稳定。此现象

即为负超孔隙水压力。在探头停止贯入后,探头附近土体中的孔隙水逐渐返回探头周围,直至达到静水压力后平衡。

表 1 现场、室内测得的固结系数

土 层 试验方式	② <sub>1</sub>	② <sub>2</sub>	② <sub>3</sub>	③	④	⑤ <sub>2</sub>
孔压试验 $C_v$ $\text{cm}^2/\text{s}(\times 10^{-3})$	8.10	8.98	64.90	15.20	8.39	9.60
室内试验 $C_v$ $\text{cm}^2/\text{s}(\times 10^{-3})$	2.79	4.08	5.08	3.69	1.15	3.77

注:室内测得的固结系数压力段为 100~200 kPa。

根据规范,  $C_v = \left[ \frac{T_{50}}{t_{50}} \right]^2 r_0^2$ , 式中  $T_{50} = 6.87$ ,  $r_0^2 = 3.1847 \text{ cm}^2$ , 再由孔压消散曲线求得

超孔隙水压力消散达 50% (峰值孔压与静水孔压之和除以 2) 时所需时间, 该时间即为  $t_{50}$ , 代入上式, 求出各层的  $C_v$  值(见表 1)。

设计单位估算跑道结构层荷重约为 50 kPa, 系表面分布荷载, 覆盖于②<sub>1</sub> 层面上。拟建跑道长 4 000 m, 宽 60 m, 可作为无限连续分布表面荷载考虑, 即符合一维渗流固结理论条件和认为在地基压缩层内附加应力均为 50 kPa。⑤<sub>2</sub> 层底板埋深约 29 m, 其下为第⑦<sub>1</sub> 层砂质粉土、粉砂层, 标贯击数大于 25 击, 厚度大于 20 m; 在⑦<sub>1</sub> 层面处, 附加应力约为自重应力的 20%, ⑦<sub>1</sub> 层沉降很小, 且随即完成, 故可认为压缩层厚度约 29 m。

按最终沉降量和应力历史法分别计算, 地基土在 50 kPa 附加应力下总沉降量约为 30 cm; 其中第④层淤泥质粘土沉降量约占总沉降量的 80%, 对地基沉降起主导作用。

由图 1 可见, 本场地第②<sub>3</sub> 层为粉性土, 超孔压消散迅速, 可不考虑其固结时间问题。②<sub>3</sub> 层可作为上、下粘性土层的排水层。第③、④、⑤<sub>1</sub> 及⑤<sub>2</sub> 层可简化成一个单层的等

值层(设为④<sub>0</sub> 层)考虑, 该等值层厚度约 22 m, 双面排水(②<sub>3</sub> 与⑦<sub>1</sub> 层), 固结系数近似取第④层土的  $C_v$ , 为  $8.10 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$  (最小值), ④<sub>0</sub> 层对跑道地基沉降与时间关系起主导控制作用, 可代表跑道地基压缩层内土层固结时间。

按一维渗流固结理论, 双面排水计算公式为:  $t = \frac{T_v h^2}{4 C_v}$

$t$ ——不同固结度下土层固结所需时间, d;  
 $T_v$ ——时间因数, 按不同固结度查表确定, 量纲一的量;  
固结度达 95% 时,  $T_v = 1.120$ ;  
固结度达 50% 时,  $T_v = 0.197$ ;

$h$ ——土层厚度, m;

$C_v$ ——固结系数  $\text{cm}^2/\text{d}$ 。

现分别计算跑道地基固结度达 50% 所需时间  $t_{50}$  和 95% 所需时间  $t_{95}$ :

$$t_{50} = \frac{0.197 \times 2\ 200^2}{4 \times 8.10 \times 10^{-3} \times 60 \times 60 \times 24} = \frac{953\ 480}{2\ 799.36} \approx 340, \text{ d}$$

$$t_{95} = \frac{1.120 \times 2\ 200^2}{4 \times 8.10 \times 10^{-3} \times 60 \times 60 \times 24} = \frac{5\ 420\ 800}{2\ 799.36} \approx 1\ 936, \text{ d} \approx 5.3, \text{ a}$$

#### 4 结 语

通过对我院在浦东国际机场少量孔压静探试验和孔压消散试验的分析, 认为该原位测试技术十分适用于上海地区地层。对探明粉性土、砂土薄夹层尤显其优越性。对固结系数的测定较室内试验更符合实际情况, 有着很好的前景。

收稿日期: 1999-05-08