

基于岩土工程勘察中原位测试的重要性研究

韩喜斌*

(甘肃省核地质二一一大队核工业武威工程勘察有限公司,甘肃武威733000)

摘要:岩土工程勘察的重要性是众所周知的,岩土工程勘察中提供的土工参数和试验数据是工程设计的重要依据。主要论述圆锥动力触探、标准贯入试验和波速测试等原位测试方法在岩土工程勘察中的重要性研究。

关键词:岩土工程勘察;圆锥动力触探;标准贯入试验;波速测试;原位测试

中图分类号:TU413.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5716(2024)10-0029-05

1 常见的原位测试的概述

原位测试的方法有很多种,一般包括动探(根据重量分三种)、静探、十字板、标贯、旁压及波速等。对于原位测试的选用,主要以地层和所需参数的具体要求以及拟建物的重要性等因素确定。

通常,工程运用最多的是圆锥动力触探和标准贯入试验,其中圆锥动力触探根据土质的不同以 $N_{63.5}$ 和 N_{120} 为主。在地层剪切波速测试和场地类别划分中会运用到波速测试。

2 圆锥动力触探

2.1 常见圆锥动力触探试验的论述

圆锥动力触探试验,简称DPT。在岩土工程勘察中我们常见的圆锥动力触探分三种形式,分别为轻型 N_{10} (落距0.5m,探头直径4cm,探杆直径2.5cm)、 $N_{63.5}$ (落距0.76m,探头直径7.4cm,探杆直径4.2cm)、 N_{120} (落距1.0m,探头直径7.4cm,探杆直径5.0~6.0cm)。实际工程勘察中我们以锤击试验应连续进行为主,其中 N_{10} 轻型圆锥动力触探试验以贯入30cm的锤击数为主,以黏性土、粉土、新近沉积的黏性土、粉土、粉细砂、素填土为主,主要用于建筑物基础开挖验槽、地基换土处理的检测等; $N_{63.5}$ 以贯入10cm的锤击数为主,主要用于砂土、松散一中密的碎石土和极软岩为主,对地基土的密实程度确定为主要用途; N_{120} 以贯入10cm的锤击数为主,以中密一密实的碎石土、漂石、块石及极软岩、软岩为主。

在试验时,圆锥动力触探的杆长应进行修正,因为随着锤击试验的深度的增加,锤击能量的传递与消耗

也在同步进行,探杆与孔壁的摩擦也在消耗能量,但因为 N_{10} 轻型圆锥动力触探试验试验深度较小,所以可以不进行杆长的修正。当存在地下水时,应记录地下水的位置,根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001(2009版))说明,“地下水位主要对击数与砂土孔隙比等物理性质的关联有影响,故应对地下水的位置做好相关的记录”^[1]。修正锤击数应以 $N_{63.5} = \alpha \cdot N'_{63.5}$ 或 $N_{120} = \alpha \cdot N'_{120}$ 为主。但根据《工程地质手册》(第五版)探杆与孔壁侧摩阻力的影响在1~15m范围内不考虑;“当砂、碎石土类等位于地下水位以下时, $N_{63.5} = 1.1 \cdot N'_{63.5} + 1.0$ 可对现场实测锤击数进行修正(α 根据杆长和实际的锤击数查表确定, $N_{63.5}$ 和 N_{120} 为实测锤击数)”^[2]。

常见圆锥动力触探试验可以确定有无软弱下卧层、评定土的物理力学指标、土的均匀性、场地土的变形模量(反算压缩模量)、软硬结合层及地基和桩基承载力等。

2.2 常见圆锥动力触探试验的“超前”和“滞后”分析

在实际工程勘察时,多用KT3000、华宁、理正地质勘察等软件处理数据并成图,如果现场技术人员没有记录下动探数据的超前与滞后,可能后期所形成的数据和图件均会有一定的误差。根据现场测试的击数和曲线,经过与现场钻探资料结合分析,根据对比分析再进行分层,对于“超前滞后”现象,分层时应该引起重视。当地层为上硬下软土时,超前约为0.5~0.7m,滞后约为0.2m;当地层为上软下硬层,超前约为0.1~0.2m,滞后约为0.3~0.5m^[1],还可根据超前滞后情况确定相应地层区间内的锤击数,并进行地层密实度的判断。

* 收稿日期:2023-03-26 修回日期:2023-03-28

作者简介:韩喜斌(1987-),男(汉族),甘肃武山人,工程师,现从事岩土工程,地质灾害勘查、设计、施工等方面的实践工作。

现场技术人员在收集和整理动探数据时,对于整段内的异常值应该剔除,应评价变应性的大小,对常见的原位测试数据使用平均值作为评价的数值。

2.3 圆锥动力触探试验中常见问题分析

(1)随着钻孔深度的增加,修正系数逐渐增大;

(2)为了使锤击能量恒定,要使用固定的落距,保持探杆稳定,落锤与探杆的中心尽量重合;

(3)对于动贯入阻力的是根据牛顿非弹性碰撞理论计算的;

(4)动力触探试验时,对强度较高的卵石类是很难被击碎的;

(5)在进行触探试验时,当贯入的深度每增加1m,应对探杆转动1~2圈;随着钻孔深度的增加,试验的贯入深度超过10m时,贯入的深度每增加20cm就应对探杆转动1~2圈,根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009版)以1.5圈为最佳;

(6)当粒径大于20mm的含量大于75%时应改为超重型动力触探。

3 标准贯入试验

3.1 常见圆锥动力触探试验的论述

标准贯入试验,简称SPT。常见标准贯入试验在工民建、公路、水利等方面的应用较多,标准贯入试验的仪器组成主要有穿心锤、贯入器、钻杆等,且一般穿心锤为63.5kg,落距为76cm,将贯入器击入土中45cm的锤击数,其中前15cm不计锤击数,因为由于孔底沉渣,此段击数不能反映原状土层的真实状态;现场记录每打入10cm的锤击数,连续三次(30cm)的锤击数。根据此击数可求得砂土等的状态及参数,但此处所说的土不包含软塑一流塑状态的黏性土,因为软塑一流塑状态的黏性土主要用静力触探测试。标贯所求的参数有土的强度、变形参数和地基承载力等。此实验主要应用于砂土、粉土及一般黏性土。在密实程度好的地层中,当锤击贯入深度不足30cm,而锤击数已经超过50击时,此时应停止作业,记录50击的标准贯入深度,按 $N = 30 \times \frac{50}{\Delta s}$ 换算成标准贯入深度为30cm的锤击数。此式中 N 为30cm的锤击数, Δs 为50击时的锤击数。

因标准贯入试验应用较广泛,此论文主要阐述在工民建、水利及公路勘察中的对比。在实际勘察工程中,是否应对所测的数据进行杆长修正,要根据不同规范和不同应用来决定。如在工民建中对砂土的密实度和液化判别中无需对杆长修正,按实测锤击数判断;但在《水运工程岩土工程勘察规范》(JTS133-2013)中明

确规定对地下水位以下的中、粗砂,实测的锤击数要增加5击。

关于标准贯入试验实测锤击数的修正根据《岩土工程勘察技术规范》(GB50021-2001 2009版),在我国实际工程中,对实测锤击数的修正主要为杆长修正,一般不考虑地下水和土的上覆压力等的修正,但国外通常考虑这些修正。因在牛顿碰撞理论中,锤击传递给杆件的能量变化远超过杆长变化的能量衰减,标贯的最大深度已达100m以上,远超过21m,所以在国内工程的应用中一般不做杆长修正,使用实测值评定,如《建筑抗震设计规范》中进行液化评定时。但在一些规范的数值中使用的是修正的锤击数与参数经验关系。故在具体岩土工程问题中使用锤击数时,是否做杆长修正,应该根据不同规范的具体要求具体分析。通常在常见的岩土工程勘察报告中所提供的锤击数为实测值^[1]。

但标准贯入的缺点是:由于实测 N 值离散性大,精确度偏低,当为饱和软黏土,使用十字板试验和静探等的精确度更高。如果标贯数仅为单孔资料,勘察报告中用标贯数查询的参数是存在局限性的,所以当设计应用此类参数时应特别注意;通常在室内在数据分析整理时,可依据工程所在地的经验值给出合理的设计所需参数,用于工程评价和设计。

3.2 标贯锤击数判别液化在不同规范中的应用

工民建、水利及公路勘察中对液化的初判在不同规范中的对比分析,如表1和表2所示。

式中: d_w ——地下水位深度,m(按设计基准期内或近期内年最高水位计算,不能直接取勘察时的水位,取不利值);

d_u ——上覆盖非液化土层厚度,m(不含淤泥及淤泥质土);

d ——基础埋置深度,m($d \geq 2m$);

d_0 ——液化土特征深度,m,按粉土6(7度)、7(8度)、8(9度);砂土7(7度)、8(8度)、9(9度)^[4];

V_{st} ——上限剪切波速度,m/s;

K_{μ} ——地震动峰值加速度系数;

Z ——土层深度,m;

r_d ——深度折减系数^[5]。

满足其中之一即可不考虑液化。对 d_u 当初判为不液化时不可作为下层的上覆非液化土层。

关于 d_u 可根据不同的环境的取值,详见图1~图4。

根据表2可知, $N > N_{cr}$ 时不发生液化,但工民建和公路工程中 N 为标贯锤击数实测值不需要修正,但水利

表1 二本规范对地震液化的初始判别分析对比表

| 判别规范 | 建筑抗震设计规范 | 公路工程抗震规范 | 水利水电工程地质勘察规范 |
|----------|--|---|--------------|
| 初始判别条款对比 | ①对晚更新世(Q ₃)及其以前的地层,当为7和8度时可判为不液化; ②粉土的黏粒含量当为:7度≥10%、8度≥13%和9度≥16%时,可判为不液化土; ③天然地基,满足其一即可: $d_u > d_0 + d_b - 2$ $d_w > d_0 + d_b - 3$ $d_u + d_w > 1.5d_0 + 2d_b - 4.5$ | ①对晚更新世Q ₃ 或以前的土,为不液化 ^[5] ; ②土的粒径d<5mm:质量百分率不大于30%时,为不液化 ^[5] ; ③对d<5mm:质量百分率大于30%时,其中d<0.005mm的质量百分率ρ _c ≥0.10g(16)、0.15g(17)、0.20g(18)、0.30g(19)和0.40g(20)可判为不液化;当黏粒含量不满足上述规定时,可通过试验确定 ^[5] ; ④工程使用后,非饱和土(地下水位以上)为不液化 ^[5] ; ⑤当实测剪切波速大于计算: $V_{sr} = 291 \times \sqrt{K_H \times Z \times \gamma_d}$ 上限剪切波速时,为不液化 ^[5] | |

表2 二本规范对地震液化的复判分析对比表

| 判别规范 | 建筑抗震设计规范 | 公路工程抗震规范 |
|------|--|---|
| 复判对比 | $N_{cr} = N_0 \cdot \beta \cdot [\ln(0.6 \cdot d_s + 1.5) - 0.1 \cdot d_w] \cdot \sqrt{\frac{3}{\rho_c}}$ 判断深度一般情况下取20m,当满足《建筑抗震设计规范》4.2.1时取15m。 式中: N_{cr} ——临界锤击数; N_0 ——锤击数基准值,0.10g(7)、0.15g(10)、0.20g(12)、0.30g(16)和0.40g(19); d_s ——标准贯入点深度,m(饱和砂土); d_w ——地下水位,m; ρ_c ——黏粒含量:粉土ρ _c ≥3,砂土:ρ _c =3; β ——调整系数(第一组-0.80,第二组-0.95,第三组-1.05) ^[4] | $N_{cr} = N_0 \cdot [0.9 + 0.1 \cdot (d_s - d_w)] \cdot \sqrt{\frac{3}{\rho_c}} (d_s \leq 15m)$ $N_{cr} = N_0 \cdot [(2.4 - 0.1 \cdot d_w)] \cdot \sqrt{\frac{3}{\rho_c}} (15m \leq d_s \leq 20m)$ 式中: N_{cr} ——临界锤击数值; N_0 ——锤击数基准值,0.10g(0.35s-7,0.4s/0.45s-8)、0.15g(0.35s-8,0.4s/0.45s-10)、0.20g(0.35s-10,0.4s/0.45s-12)、0.30g(0.35s-13,0.4s/0.45s-15)、0.40g(0.35s-16,0.4s/0.45s-18); d_s ——标准贯入点深度(m)(饱和砂土); ρ_c ——黏粒含量:粉土ρ _c ≥3,砂土:ρ _c =3 ^[6] |

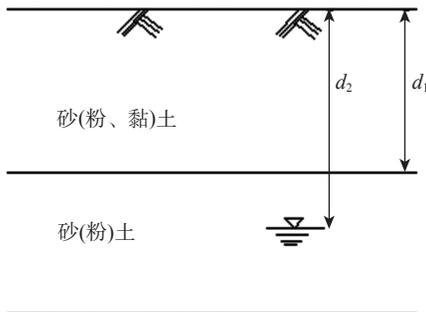


图1 地下水位位于第二层砂(粉)土之间此时d_u=d₁

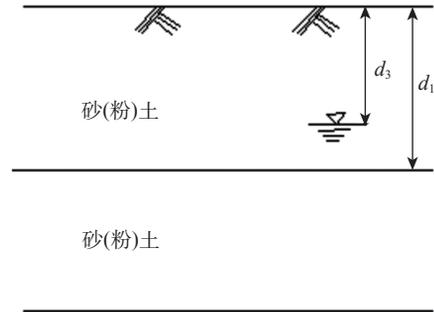


图2 地下水位位于第一层砂(粉)土之间此时d_u=0

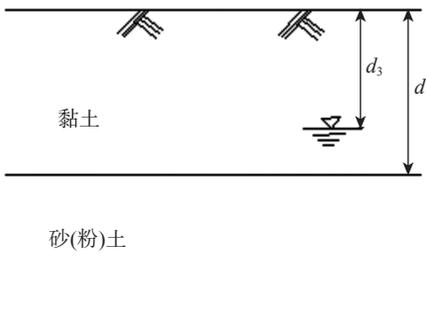


图3 地下水位位于第一层砂(粉)土之间此时d_u=d₁

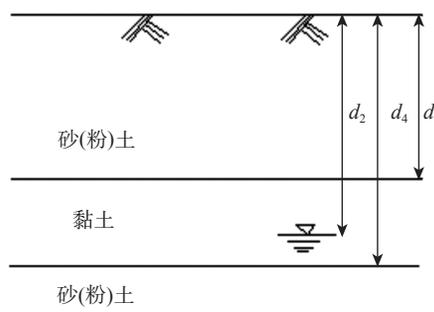


图4 地下水位位于第二层黏土之间此时d_u=d₄

水电工程中N为根据试验和勘察时的试验点深度及水位深度对标贯锤击数的校正系数,因篇幅限制此处不再做论述分析。

3.3 标准贯入试验中应注意的问题

(1)宜采用回旋钻进,当有地下水位时,孔内水位高出地下水位一定高度,孔底土处要处于平衡状态,不

防止发生涌砂影响实测 N 值,但标准贯入试验并不受地下水的影响^[1];

(2)套管的高度不能超过试验点标高;

(3)为防止扰动孔底土体变松动,下钻具和标贯器时要轻而慢;

(4)为防止塌孔影响标准贯入试验,可采用泥浆护壁缓解塌孔及涌砂的发生;

(5)在标贯试验中受机械和人为因素影响较大。

4 波速测试

4.1 常见波速测试的论述

工程中波速的测试一般有单孔法、跨孔法、瑞雷波法,比较常用的为单孔法,因为单孔法操作简单,成本低,工作效率较高,精度略低,孔内测试深度较深,激振分为孔内和地面两种。随着科技的进步,单孔法有地面敲击法和孔中自激自收法。

地面敲击法,在钻孔(垂直)中放入检波器,当在地面敲击模板时,钻孔中的检波器就可接收到信号,一般取自下至上逐层逐点进行测试(或自上而下),通过计算各点及每一地层的P波(压缩波)或SH波速(剪切波的水平分量),称为单孔法。该法按激振方式不同可以检测地层的压缩波波速或剪切波波速。孔中自激自收法,通常将震源和检波器看作一个整体,在钻孔(垂直)中一般取自下至上逐层逐点进行测试(或自上而下),通过计算各点及每一地层的P波(压缩波)或SV波速(剪切波的垂直分量)^[2]。P波(压缩波)较多应用于岩石完整性指数计算判断岩石的完整程度分类和波速比判断岩石的分化程度。S波(剪切波)较多应用于场地类别判断。

4.2 实际工程中波速测试分析

判断场地类别及覆盖层厚度主要以剪切波为主,如xxx棚户区改造建设项目的场地土剪切波速测试,拟建场地地层从上至下主要分为2层:①杂填土,②卵石。使用仪器为上海岩联工程技术有限公司生产的YL-SWT悬挂式波速测井仪,测试时悬挂式探头(即振源和检波器)应放入孔中,震源和检波器与井壁耦合介质可选用孔中的泥浆液。P·S波由水平激振产生,并沿井壁地层传播,且P·S波振动信号被两个检波器接收,此检波器相距1m,经检波器转换后的电信号由主机记录存储。数据处理分析后,两道检波器间传播的时间差将自动计算所得,故可计算出S波的传播速度。

测试顺序自下而上逐点进行,测点深度间隔1.0m。现场测试时取激振板至钻孔口的水平距离约1m,可选

用汽车或挖机等的两前轮压在木板上,木板按规范规格(2.5m,0.3m,0.05m)选取。将测试检波器宜埋于木板中心位置下;测试开始后可用铁锤水平敲击激振板一侧(也叫正敲),剪切波经地层传播给孔内的三分量检波器,经水平检波器接收产生的信号波(即SH波),并记录三次清晰的波形。然后再敲击木板另一侧(也叫反敲),并记录三次清晰波形。此时该点剪切波速测试完成。存盘后可提升电缆至另一测点。

此工程共计在5个钻孔中完成场地剪切波速测试,其中①杂填土为软弱土,②卵石为中硬土。场地等效剪切波速、覆盖层厚度及场地类别判断成果见表3。

表3 建筑场地等效剪切及场地类别判断成果表

| 孔号 | 激振板离孔口的水 平距离(m) | 测深 (m) | 计算深 (m) | 等效剪切 波速 V_{sc} (m/s) | 场地覆盖 层厚度(m) | 场地 类别 |
|------|--------------------|-----------|------------|---------------------------|----------------|----------|
| ZK2 | 1 | 22 | 20 | 302 | ≥ 5 | II |
| ZK10 | 1 | 21 | 20 | 291 | ≥ 5 | II |
| ZK14 | 1 | 21 | 20 | 296 | ≥ 5 | II |
| ZK32 | 1 | 21 | 20 | 291 | ≥ 5 | II |
| ZK37 | 1 | 20 | 20 | 298 | ≥ 5 | II |

通常对场地覆盖层厚度应由以下两条确定,①应按该层 $V_{sc} > 500\text{m/s}$,且其下各层均 $V_{sc} > 500\text{m/s}$,地覆盖层厚度 d_0 为地面至该层顶面的距离;②当地面5m以下 $V_{sc} > 2.5V_{sc上}$,且其下各层均 $V_{sc} > 400\text{m/s}$ 时,地覆盖层厚度 d_0 为地面至该层顶面的距离^[4]。

由表3可知,场地等效剪切波速分别为291m/s、302m/s,覆盖层厚度大于5m,因此该场地为II场地。

4.3 场地波速测试中应注意的问题

(1)探头放入孔中,等耦合片完全弹开后要与钻孔壁紧贴,可通过上下拉伸电缆来测试;

(2)可选择从孔底逐点向上测试,当确定好木板两侧的正敲和反敲时,敲击顺序(正敲、反敲)不能再改变,应避免重复敲及二次敲,否则会形成反相位的波形,并对初至时间的读取产生影响;

(3)波速测试所用木板与地面应完全吻合,地面要坚实平整;

(4)随着波速测试孔深随测试的增加,有效信号的频率在不断地衰减,会增加测试数据误差,需多次叠加采集。

5 总结

在建筑业迅速崛起与发展的信息时代,以及超高层
(下转第36页)