

薄壁取土器的结构及取样过程分析

刘海刚

(冶金部勘察研究总院, 保定)

一、前言

薄壁取土器是软粘土层的最佳取样工具, 目前已列入我国规范并逐步推广。众所周知, 影响土样质量的因素很多, 取土器的结构及取样操作过程对土样质量影响很大。如果取土过程操作不合理, 即使取土器的规格和技术参数等方面符合要求, 也不可能取出高质量的土样。要想取出扰动较少的土样, 首先要正确选用取土器。薄壁取土器主要有四种: 敞口式(Shelby管)、自由活塞式、固定活塞式和水压式(即Osterberg式)。

本文就四种取土器的结构(主要为活塞式, 不包括规格和技术参数)及取样过程对土样质量的影响加以分析, 探讨取土器的合理结构, 以期最大限度地减少土样扰动。并把薄壁取土器进行比较, 从结构和取样过程上分析取样质量的差异及适用范围。

二、薄壁取土器的结构分析

(一) 敞口式薄壁取土器

敞口式取土器结构简单, 操作方便。取土器由取样头和薄壁管组成, 主要结构为一单向球阀。压入取土器时, 残土和浆液沿单向阀排出口排出。为防止快速压入取土器时, 由于排出口过小而形成背压压缩土样, 出口的面积必须足够大。美国ASTM标准规定最小出口面积为 3.9cm^2 , 取土器头部的两个溢流孔最小直径为9mm, 由于孔底有残留, 球阀部分常常被淤泥堵塞或夹砂, 因此取样主要靠管壁摩阻。而土样往往容易移动和脱落。

(二) 固定活塞式薄壁取土器

这种取土器是国际上应用最广泛的软土取土器, 由于增加了活塞锥卡机构, 克服了敞口式易掉样的缺点, 取样率高, 取样质量好。结构特点是: 取土管内的活塞杆一直连到地面并固定。锥卡机构使活塞杆只能向上运动, 向下锁紧。取样时, 通过钻杆把取土管压入土中, 由于活塞固定了, 活塞与土样间产生真空, 保证了土样采取率, 但操作麻烦。锥卡机构受力分析如图1。结构分析、计算如下:

1. 活塞杆在自锁条件下, 卡圈和锥卡的半锥角 α 的取值

由于固定取土器拉杆的加长, 其重量增加, 更重要的是活塞式取土器上腔背压随孔深而

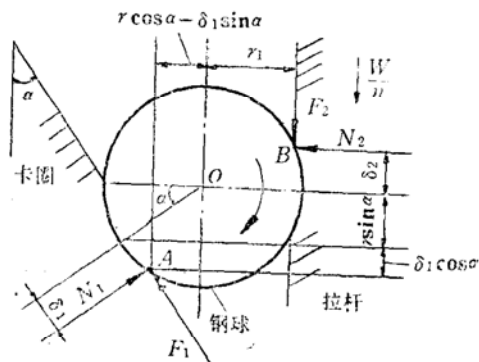


图1 锥卡机构锁紧时钢球受力分析图

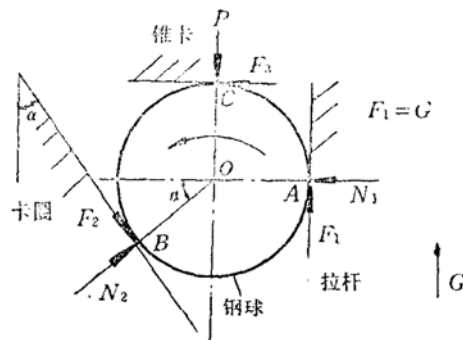


图2 钢球解卡受力分析图

增加。故此要求锥卡机构自锁,防止活塞下移,压缩土样。

经受力分析,在自锁条件下,半锥角的取值为

$$\alpha \leq 2\varphi \quad (1)$$

式中 φ 为钢球与卡圈斜面间摩擦角,一般情况下, $\tan\varphi = 0.15$, $2\varphi = 17^\circ$ 。式(1)变为 $\alpha \leq 17^\circ$, 这里取 $\alpha = 9^\circ$ 。

2. 解卡上顶力 G 与弹簧力 P 的关系

弹簧力为锥卡机构压紧锥卡所需的力,解卡上顶力为锥卡锁紧时,解卡上顶所需的力。解卡受力分析如图2。

通过计算,二力关系如下式:

$$G = \frac{P \cdot f}{\tan\alpha} \quad (2)$$

式中 $\alpha = 9^\circ$, $f = 0.15$, 这时式(2)变为

$$G \approx P \quad (3)$$

弹簧力的选取可在钻孔一定深度内防止活塞上浮。如果弹簧力 P 太硬,虽有利于防止下钻中活塞上浮,但对较软土取样压入时,容易造成活塞排挤土样。故其选择很关键,这里选取 $P_{78} = 200\text{N}$, $P_{89} = 300\text{N}$,下文加以讨论。

(三) 自由活塞式取土器

这种取土器除了没有活塞杆延伸至地表连接固定部分外,结构与固定式完全相同。操作简单。然而这种取土器开始下入后,不能准确地掌握活塞的位置,取土器压入时,活塞被其带动下移,有可能挤压管内土样。

(四) 水压式薄壁取土器(即Osterberg式)

水压式取土器有上下两个活塞,上活塞与薄壁筒相连,在薄壁筒外还有一个套筒,即上活塞缸套。当水压由钻杆通至上活塞时,将活塞压下,带动薄壁筒压入土中。它与固定式取土器不同,即不需连接拉杆,压入不需钻杆传递,所以避免了钻杆受压弯曲的斜向力造成的土样扰动。因此适用于深部取样,国外最深达250m。此外,该取土器无双钻杆,减少了辅

助时间,但结构较复杂,安装,拆卸也较麻烦。从结构上讲,此取土器设计是很合理的,取样质量极好^[1]。

三、薄壁取土器的取样过程分析

前文分析了薄壁取土器的结构,下面通过取样过程进一步确定取土器的结构,分析其取样质量。这里的取样过程分为取土器的下入、压入和取土器的拔出三部分,也称孔内过程。

(一)取土器的下入过程分析

敞口式和水压式取土器在下入过程中,不存在活塞上浮问题,也就不存在因活塞上浮而造成的土样扰动问题。因前者无活塞,后者活塞杆与取土器头部是固定的。另外这两种取土器下入操作中,只需连接一套钻杆下入,相对固定式减少了双钻杆的麻烦,因而缩短了辅助时间。下面分析自由和固定式取土器下入过程,探讨活塞上浮的规律,确定适用范围。

根据软土地层钻孔孔径等特性,采用的钻探方法为清水(或泥浆)钻进,套管护壁。下入取土器前应仔细清孔。清孔钻具和取土器在接近取土深度时,应缓慢下落,避免下压或冲击而使孔底受压。我们知道,在下入取土器过程中活塞上浮,首先造成取样长度不够,满足不了地质要求。其次,活塞上浮后,土样上部取上一段水或残留土,这样按取样预定长度下压取土器时,由于液体不可压缩,必然对上部土样产生压缩,影响取土质量。

如果假设背压为零,通过计算,在取土器下入液下40m深时的静压力达400kPa,活塞在此液柱压力下必将上浮。然而实际取样下钻过程中,取土器上腔进入液流,当注满容腔后,背压即开始逐渐建立,同时抵消液柱静压力。其过程如图3。图中 p_1 、 p_2 分别为活塞底部和进口处静压力, p_A 为取土器上腔背压。

由于缓慢匀速下入取土器,其液柱的动压力很小,可忽略不计,加速下钻而引起的波动压力也近为零。通常要求的慢慢下入取土器,目的之一是在结构摩阻大于液柱压力内,上腔建立起背压;目的之二是防止水击。取土器结构参数见表1。

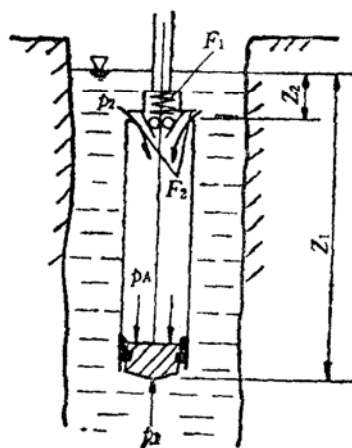


图3 取土器上腔背压 p_A 的建立过程示意图

表1 取土器结构参数表

取土器规格 (mm)	结构参数 (mm)	活塞面积 (cm ²)	溢流孔(进口) F_2				拉杆与取土器环隙孔(出口) F_1			取土器上腔 容积 V (l)
			直径 d (cm)	长度 L (cm)	数量 (个)	面积 F_2 (cm ²)	环隙 δ (cm)	环隙长 L (cm)	拉杆外径 d (cm)	
$\phi 76 \times 1000$		40	1.2	2.4	2	2.26	0.05	4.8	1.2	3.9
$\phi 89 \times 1000$		56.7	1.2	2.4	2	2.26	0.05	4.8	1.2	5.2

1. 结构摩阻 G'

结构摩阻为液柱压力 p_1 克服取土器结构部分的阻力。

$$G' = G + W + F_A \quad (4)$$

式中 G 为解卡上顶力; W 为活塞总成重量, 20N; F_A 为活塞与取样管内壁的摩擦力, 10N。

由式(3)得 $G_{76} = 200\text{N}$, $G_{89} = 300\text{N}$ 。

代入式(4)得 $G'_{76} = 230\text{N}$, $G'_{89} = 330\text{N}$ 。

由于缓慢下入取土器, 经计算, 在结构摩阻大于 p_1 时间内, 背压 p_A 已建立。故此, 液柱压力 p_1 要克服 G' 和 p_A 的压力, 活塞方能上浮。

2. 取土器上腔背压 p_A 的计算

取土器进口流量

$$Q_1 = \mu F \sqrt{2g \frac{\Delta p_1}{\gamma}} \quad (5)$$

注满上腔后, 在 p_A 作用下环隙泄漏量

$$Q_2 = \frac{\pi d \delta^3 \Delta p}{12 \mu l} \quad (6)$$

式中 μ 为常温下水的动力粘度值, $10^{-7}\text{N}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ 。

背压形成后

$$Q_1 = Q_2 \quad (7)$$

且 $\Delta p_1 = p_2 - p_A$, $\Delta p = p_A$ 。把表1参数代入式(5)、(6)、(7)整理得

$$p_A = \sqrt{25 + 10 p_2} - 5 \quad (8)$$

3. 活塞底部液柱压力 p_1 克服 G' 后的有效压力 p

由图3计算如下: $p_1 - p_2 = 0.1 \rho (z_1 - z_2) = 10\text{kPa}$,

$$p_{76} = \frac{p_1 \cdot F - 23}{F_1}, \quad F_1 \approx F = 40\text{cm}^2, \text{ 整理得}$$

$$p_{76} = p_2 - 0.475, \quad (9)$$

$$p_{89} = p_2 - 0.482 \quad (10)$$

$$p_2 = 0.1 \rho z_2 = 0.1 z_2 \quad (11)$$

式中 F_1 和 F 分别为活塞上下面积; p_2 为进口处压力; p_{76} 和 p_{89} 分别为液柱压力 p_1 克服结构摩阻 G'_{76} 和 G'_{89} 及沿管长压差后的有效压力。由式(9)(10)看出, 两种取土器下入液下4.8m时有效压力 p 才开始逐渐增大。如果此值大于 p_A 则活塞上浮。下面把液柱不同高度值代入式(11)再代入式(9)、(10)、(8)计算如图4。

4. 分析

前述选取 $\phi 76$ 种 $\phi 89$ 取土器的弹簧力为200N和300N。由图4看出, 有效压力 p 在25m以下逐渐大于背压(当然, 由于向钻杆内泄漏增加, p_A 要逐渐克服一定阻力), 在此之上, 缓

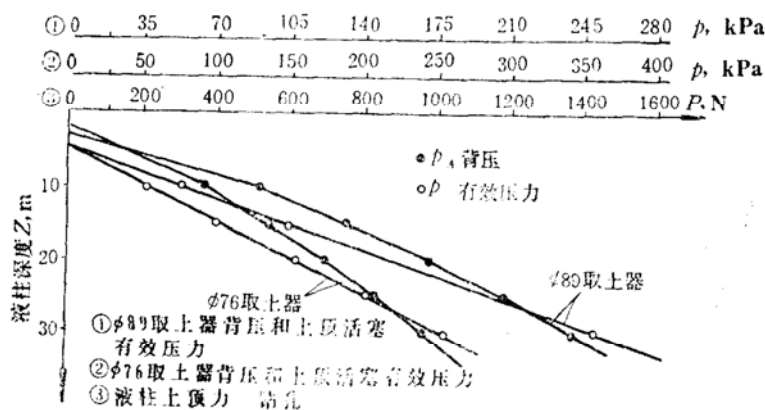


图4 取土器上腔背压 p_A 与有效压力 p 随液深变化

慢匀速下入取土器活塞是不会上浮的。记住这个关系，将会在操作中提高取样效率。在结构参数一定时，弹簧力起到曲线“○”下移的作用。那么，加大弹簧力防止活塞上浮不是更好吗？从实践得知，弹簧力过大取样压入时排挤压缩土样，且取样长度不够。故以上选取是可行的。从图中看出，自由式取土器在25m以下不宜使用。对于固定式取土器，由于连接的拉杆重量随深度增加，抵消 p 与 p_A 压差。另外，为稳妥起见，拉杆在下钻过程中可以固定在钻杆上，但很麻烦，也增加了辅助时间。所以，缓慢匀速下入是很关键的， p 和 p_A 压差并不很大，如果加速下钻，动压力和波动压力迅速增加。加速下钻时，下完1立根时的突然停止而引起的水击会使压力增至几倍到十几倍，这样活塞必将上浮。例如，在孔深为9m的试验深度上取土，由于活塞上浮后，其扰动比大至36%，而同深度上的其余三个土的扰动比平均只有5.1%，其它有残留的土，扰动都较大。

(二)取土器压入过程分析

取土器压入时，要求快速、连续和均匀地压入土中，以免土样与取土筒间产生粘附而引起扰动^[2]。同时测定取土器压入长度和活塞拉杆相对钻杆的位移。压入长度不能过量，通过试验，取样器的105—110%压入后，压出土样时观察，发现在土样刃尖部20—50cm范围内，产生纵向裂缝，沿裂缝的滑动破坏而引起的强度 q_u 下降达14%左右^[3]。所以要求取样压入长度为有效长度的90%以内。除了水压式取土器外，其余3种取土器的压入静压力为钻杆传递的。在压入过程中，当压力达到一定界限时，钻杆失稳弯曲变形。由于软土沉积比较均匀，轴向压力变化不大，一般下压力为4000N左右。对于 $\phi 42$ mm钻杆，通过欧拉公式计算失稳长度为3.6m。那么对于40m深的取土孔，由于孔壁的限制，钻杆将发生呈正弦曲线状的多处弯曲。

对于敞口式取土器，弯曲钻杆传递轴向力，将对取土产生弯矩。也就是说，压入取土器时，作用于土体的力除了管内壁摩擦力和刃口贯入力影响土样外，增加了对土的侧向位移和挤压力，使土样扰动。另外，由于单向阀的工作条件差，造成密封不严，在较软($N < 2$)的土中取样时，土样与管壁摩擦减小，造成掉样，因此不适应太软地层。

对于固定活塞取土器，由于垂直拉杆约束，将减少弯曲钻杆的影响。但压入钻杆将对拉杆产生随孔深而增加的多处挤压，造成取土器压入时，拉杆处于受拉力(张力)状态，且随孔深而增加。此外，取土器压入后，活塞底部的液柱压力基本为零，活塞在取土器上腔背压下

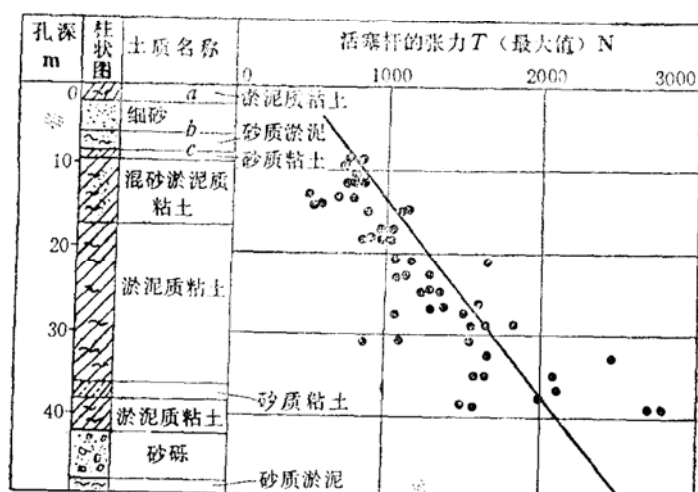


图5 固定活塞取土器压入时，作用于活塞杆张力的测定结果

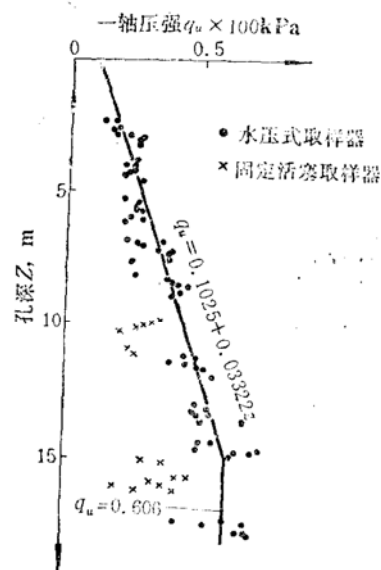


图6 活塞完全固定与不完全固定的 q_u 值比较示意图

下移。拉杆受到的张力(即下压活塞的推力)随孔深(液深)增加而增大,可达3000N^[4],如图5。活塞拉杆随之伸长3—12mm。活塞下移挤压土样会造成土样随之压缩变形。试验发现,土样有1—2%的轴向变形时便被扰动。

为了进一步探讨活塞固定的影响,把水压式取土器作为完全固定活塞的取土器,与有意放松活塞连接零件的固定活塞取土器进行比较^[5],取土质量如图6,图中“×”表示活塞下移(松动)时的情形。从图中可明确看出,固定活塞取土器,由于活塞的不固定(拉杆伸长)而使取土质量明显下降。把利用最小二乘法得到的平均值作为标准值,与活塞松动所得到的试验值作比较,无侧限 q_u 值下降50—60%。因此,活塞必须充分固定,活塞杆不能太细,更不能软连接。活塞杆,固定活塞拉杆的工具和钻塔等要具有足够的强度,决不允许有较大的拉伸与变形。

对于自由活塞取土器,由于活塞靠土顶起,土样顶端自然受压而产生扰动,因此对很软($N < 2$)的土就不适用。另外,不具备固定活塞部分,由于孔深增加其活塞随取土器下压而下移会更严重。故此取样深度受到限制。

以上三种取土器都为钻杆传递压力,在使用钻杆前,应仔细测量,检查其是否挺直,要求钻杆弯曲度不得大于1.5—2 mm/m,禁止使用弯曲钻杆取土。

对于水压式取土器,由于结构设计比较合理,故没有前述取土器下入、压入等过程造成土样扰动的因素。虽然结构较复杂,拆卸麻烦,但取样质量很好。

(三) 取土器的拔出

取土器压到预定深度后,要停止3—5分钟,使土样和取土管内壁之间产生粘附力和摩阻力后拔出。起拔速度要慢、稳,提升过程中不得撞击取土器。

以上分析了取土器的结构、取样过程对土样的影响以及影响因素的控制方法。从以上分析看出薄壁取土器在结构的合理性与取样过程上确实存在某些差异。薄壁取土器结构不同,

取样质量不尽一样,如图7。根据以上分析,各取样器特点和适用范围归纳见表2。

在实际取样中,要想能够采取某种等级的土样,首先取决于取土器或取样方法,其次取决于地层。换句话说,在选择取土器时,需要很好的研究取样目的与取土器的适用性,应该分别对应于不同的目的而采取相应等级的土样。根据所采取的土样选择相应的取样器。这里应强调的是,为力学性能试验而采取优质土样,即使增加费用也是必要的,对这一点应充分认识。除了取土器的种类、钻孔和取样方法外,土样的运输,贮藏及试验方法对土样质量都有直接影响。因此,要想取得能代表天然土层性状的指标,哪一环节都不能忽视。

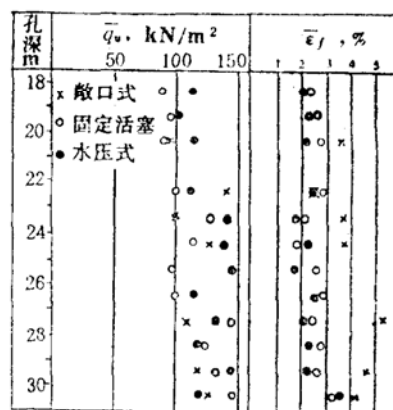


图7 不同取土器, $\bar{q}_u$, $\bar{e}_f$ 值随孔深分布图

表2

薄壁取土器适应的土层与特点

取土器种类	活塞状态	适用地层	特 点	土 样 的 大致等级	使用率 (%)
敞 口 式 取 土 器	无	软质粘土 $N = 2 - 5$	静压取土,含水量、颗粒组成不受扰动,土样有可能脱落	软土 1—2	60
自由活塞 取 土 器	自由	软质粘土 $N = 2 - 5$	活塞有可能随取土管移动,操作简单,容重、含水量颗粒组成不变	软土 1—2	30
固定活塞 取 土 器	固定	软质粘土 $N = 0 - 5$	规范取土器可靠性高质量好,被广泛采用	软土 1	80
水 压 式 取 土 器	固定	软质粘土 $N = 0 - 5$	活塞固定在取土器头部,克服了固定活塞取土器的缺点,采样率高,取样质量最好	软土 1	—

四、结 语

1. 薄壁取土器的结构设计要合理,否则影响取土质量,而且用其它方法难以弥补。活塞取土器锥卡机构半锥角应小于 $17^\circ (2\varphi)$,可取 9° ,弹簧力在200N和300N。并通过下式(2)计算解卡上顶力。

2. 下入活塞式取土器时,一定要缓慢、匀速,禁止加速下钻,自由活塞式取土器不宜在孔深25m以下取土。

3. 取土器下入前,一定要检查钻杆是否挺直,弯曲度不得大于 $1.5 - 2 \text{ mm/m}$,禁止使用弯曲钻杆取土。

4. 活塞拉杆部分要充分固定,不得软连接,活塞杆及固定活塞杆的工具,钻架等要有一

定强度，不允许有较大的拉伸及变形。

5. 根据取样的目的与地层，选择相应的取土器。

总之，取土器的结构和取样过程，对取样质量影响很大，必须给予高度重视。

本文承魏汝龙高级工程师提供资料，谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] 大野晴正等，软らかい粘性土の试料采取法——水压式サンプラーと固定ピストン式シンウオールサンプラの比较，土と基础，Vol.30, No. 8, 1982, pp. 23—29.
- [2] 魏汝龙，软粘土取土技术及其改进，岩土工程学报，Vol. 8, No.6, 1986, pp.113—125.
- [3] 松尾 稔等，实验操作因素对无侧限抗压强度的影响，土质工学会论文报告集，1986, No. 6.
- [4] 日本全国地质调查业协会联合编，袖珍钻探手册，田志坤等译，地质出版社，北京，1988, pp. 243—245
- [5] 松本一明，软弱粘土のサンプリング，土と基础，Vol. 27, No.5, 1979, pp.11—16
- [6] 足立格一郎，土のサンプリング法，土と基础，Vol. 36, No. 6, 7, 1988, pp. 73—78
- [7] 魏汝龙等，连云港淤泥取土质量的对比分析，南京水利科学研究所土工所，1988。
- [8] Horiuchi T., et al, Evaluation of Sample Quality by Thin-Wall Sampling Tube, Proceedings of the International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering Eighth Asian Regional Conference, Vol. 1, 1987, pp. 41—44.