

土壤坚实度仪的设计与应用*

童永忠 俞劲炎 陈通权

(浙江农业大学土化系)

在土壤学中常常引用“坚实度”的概念来说明土壤的物理状况,特别是耕性状况,但对于“坚实度”这一术语却从未下过明确的定义。从字义上看,“坚”者,抗压强度之意;“实”者,紧实程度之意,所以土壤坚实度应包含抗压强度与紧实度两方面。然而文献中在引用坚实度时,往往只注意到其中的一个方面。有人把土壤坚实度只理解为土壤的抗压强度,以单位面积上所承受的压力的大小作为其量度指标。也有人把它简单地理解为土壤的紧实程度,而以土壤容重作为其量度指标。土壤的抗压强度主要与土壤的粘结力等有关,而土壤容重主要与土壤孔隙关系密切。两者之间,在一般的情况下是一致的,即容重小的土壤,疏松多孔,土壤粘结力小,抗压强度也小,容重大的土壤,土粒密实,土壤粘结力大,抗压强度也大。但是抗压强度与土壤容重之间,并不是在任何情况下都一致的。例如,有坚硬结壳的土壤,其抗压强度较大,但结壳下的土壤可能并不密实,因此其容重不一定也大;反之,疏松多孔,容重小的土壤,由于结构体或结壳坚硬,可以表现出高度的抗压强度。由此可见,所谓土壤坚实度,既不应单纯地理解为土壤的抗压强度,也不应单纯地理解为土壤的紧实度(土壤容重)。土壤坚实度应是每单位压力所产生的土壤容积压缩度(或每单位容积压缩所需要的压力),这样,既考虑到土壤的抗压强度,也考虑到土壤的紧实度(容重)的大小。这就是我们现在对坚实度概念的理解和仪器设计的出发

点。

一、坚实度仪的设计

仪器的结构见图1,其主体(即套筒部分)是按图2

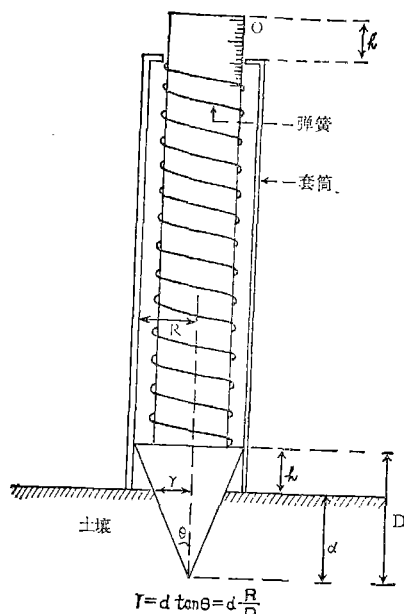


图1. 坚实度仪结构及使用读数示意图

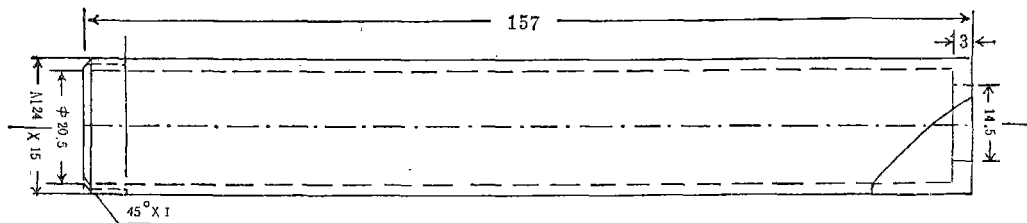


图2. 套 筒

*此项工作得到朱祖祥教授的指导。

的尺寸定制的，也可以利用普通自行车上所备用的小型打气筒的外壳改装而成。套筒内是一圆柱形的铁柱标尺柱，为了减轻仪器重量把它制成空心。铁柱的上下端均可伸出套筒之外，铁柱的上端刻有两列读数，分别代表压力的大小和入土的深度(图3)。套筒内有一螺旋形的弹簧围绕标尺柱。伸出套筒下端的

的是半径为 r 的圆柱状或圆锥状加压探头，它们的长度(1毫米)是一定的。加压探头和标尺柱用螺丝口接起来，可以根据所测土壤的坚实度进行拆换。探头形式基本上有两种类型(图4)，一种是圆柱形的(图4，A、B、C三种)，另一种是圆锥形的(图4，D)。圆柱形探头A、B、C之间的差异在于其截面的大小，土

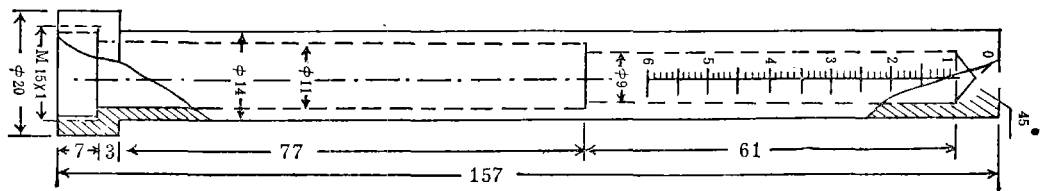


图3. 标 尺 柱

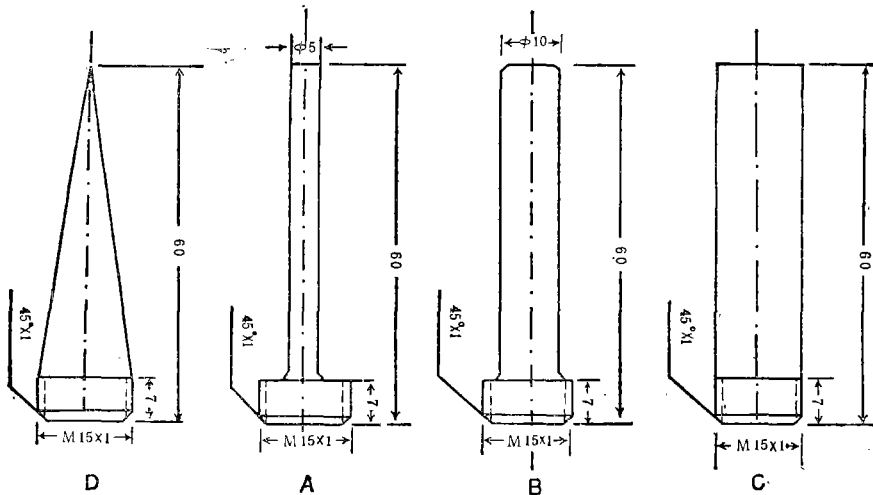


图4. 探 头

壤愈坚实，适用的探头截面应愈小，这是因为在一定弹簧总压力下，土壤所受的单位面积压强与探头截面大小呈反比的关系。圆锥形探头的优点在于它适用的范围较广，这是由于它的几何形状所决定的。从几何形状来看，这种探头的受压面积显然是随入土的深度而变化的；在一定的压力下，土壤愈松软，探头陷入土面下的深度愈大，其受压面积也必随之而迅速增加。设圆锥的锥角为 2θ ，则根据几何学上的锥体高度和截面的关系，可以依下列公式从圆锥形探头的入土深度(d)，求出其受压截面(S)的面积：

$$S = \pi r^2 = \pi d^2 \tan^2 \theta = \pi d^2 \frac{R^2}{D^2} \dots\dots(1)$$

而入土部分的锥形体的体积(V)则为：

$$V = \frac{1}{3} S \cdot d = \frac{1}{3} \pi d^3 \frac{R^2}{D^2} \dots\dots\dots(2)$$

在已定的设计状况下，圆锥体的 R 和 D 是固定而己知的，因此只要求得入土深度(d)，土壤受压截面(S)和压缩体积(V)，便可从(1)、(2)两式中算出，即

$$S = K_1 d^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$V = K_2 d^3 \dots\dots\dots(4)$$

(3)、(4)两式中 K_1 及 K_2 均为仪器常数，分别等于 $\pi \frac{R^2}{D^2}$ 及 $\frac{1}{3} \pi \frac{R^2}{D^2}$ (即 $K_2 = \frac{1}{3} K_1$)。由(3)、

(4) 两式可见, 在同一总压力下, 土壤的受压截面是随着圆锥形探头入土深度的增加而迅速地增加的 (成平方关系)。当入土深度增加一倍 (等于原来的二倍) 时, 受压截面便增加三倍 (等于原来的四倍), 至于土壤的压缩体积则甚至以更大的倍数随着探头入土深度的增加而急速增加。当入土深度增加为原来的两倍时, 压缩体积就增为原来的八倍。由于入土深度和受压截面和压缩体积有如上的关系, 所以随着探头入土深度的增加, 单位土壤截面上所受的压强就相应地急速下降, 产生单位压缩容积的力, 也相应地急速下降。这些由仪器的几何形状所带来的特点, 使锥形探头对不同土壤有较大的适应性, 它适用于坚实度有很大变化幅度的各种土壤, 特别是水稻土。

仪器中所用的弹簧, 有两种不同的规格, 其全长都为 14.7 厘米, 但钢丝粗细不等。在坚实的土壤中使用弹力较大的 B 型弹簧 (钢丝直径 2.5 毫米、22 圈), 反之就选用弹力较小的 A 型弹簧 (钢丝直径 2 毫米)。这两种弹簧可以同时互换, 以适应所测土壤。

所设计的仪器特点, 除上述探头、弹簧外, 还有一重要之点, 即探头在施加压力时, 随着筒内弹簧的压缩, 可以自由缩入筒内, 这时, 刻有读数的标尺柱则由套筒顶部伸露出来。仪器的这一构造机制, 可直接从标尺柱的上端刻度 (以毫米为单位, 代表仪器受压时的读数) 获得两方面的量度, 它一方面反映了套筒内弹簧的压缩距离, 而另一方面又指示了探头入土的深度。标尺柱的刻度是自套筒筒口开始向筒内延伸的 (如图 3), 其精度要求至少可读出毫米数。

二、仪器使用和结果计算

当筒内弹簧未受压时, 刻度读数恰恰为零。使用时, 把仪器平置于土面上, 一手握仪器外壳, 标尺读数应归零, 用垂直于土面的力, 把外壳掀向土面, 直至外壳下端恰恰与土面相接。读这时的标尺柱读数为 h 毫米, 而探头的总长度为 D 毫米, 则 h 直接代表了弹簧受压而紧缩的距离。其数值大小与所施压力的大小成比例, 而 $(D - h)$ 则代表探头陷入土中的深度, 这一深度即反映了土壤的松紧程度。在我们设计的仪器里, D 为 50 毫米, 假定读数 (弹簧压缩的距离) h 为 20 毫米, 则入土深度为 $d = 50 - 20 = 30$ (毫米)。

有了弹簧压缩距离 (h) 和探头入土深度 (d) 之后, 即可进行下列的简单运算。第一步把弹簧压缩距离 (h), 换算成压力 (F), 其关系一般如下:

$$F = Kh/L \quad \dots\dots\dots (5)$$

上式中 L 为弹簧最大的工作压缩距 (本仪器 50 毫米), K 为弹簧压缩到最大工作压缩距时所需要的力 (公斤)。 L 和 K 两个数值, 在一定的仪器中都是常数,

可合并为 K_1 , 因此:

$$F = K_1 h \quad \dots\dots\dots (6)$$

对已知弹簧规格, 则可以运用下式计算出 K_1 :

$$K_1 = P_{\text{II}}/n \cdot f_{\text{II}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

P_{II} 为工作时最大载荷量 (公斤), n 为弹簧圈数, f_{II} 为 P_{II} 作用下每圈变形量 (毫米), $n \cdot f_{\text{II}}$ 即为在 P_{II} 下弹簧总变形量。计算时, 先从机械零件设计手册中的“弹簧性能规格表”中查出 P_{II} 和 f_{II} 。我们所采用的弹簧 A、B 两型的钢丝直径 (d) 分别为 2.0 毫米及 2.5 毫米, 弹簧直径 (D) 均为 20 毫米, 弹簧圈数分别为 20 圈和 22 圈, 查表得 P_{II} 分别为 11.6 公斤和 21 公斤, f_{II} 为 4.2 毫米和 2.9 毫米。它们的 K_1 应当是:

$$\text{A 型弹簧 } K_1 = 11.6 \text{ 公斤} / 20 \times 4.2 \text{ 毫米}$$

$$= 0.14 \text{ 公斤/毫米}$$

$$\text{B 型弹簧 } K_1 = 21 \text{ 公斤} / 22 \times 2.9 \text{ 毫米}$$

$$= 0.33 \text{ 公斤/毫米}$$

如果弹簧规格标准为未知, 不能从手册中查出其 K_1 值时, 则可用简单的办法测定之。用感量为百分之五公斤的普通平台小磅秤, 把坚实度仪探头垂直抵住磅秤的平台, 然后用手紧捏仪器外壳向下掀压, 每压缩单位距离, 读一次称量 (公斤), 直至测出仪器最大压缩量时的称量为止。经过这样测定后, 得到压缩距离和相应公斤数的资料, 由此绘制直线图, 从这一直线图即可求得:

$$F = Kx + b \quad \dots\dots\dots (8)$$

(8) 式中的 K 即相当于 (7) 式中的 K_1 , x 为弹簧压缩距离, b 为截距。所以 K_1 实际上是直线方程式的斜率。根据我们的试验, 用这种方法求出的 K_1 值, 其精确度也较高, 对上述两种弹簧所测得的 K_1 值分别为 0.16 和 0.32, 这和标准数值相当接近。

换算的第二步, 是求出每单位土壤容积上抗压强度 (ΔP), 即土壤坚实度。

$$\Delta P = \frac{F}{V} \quad \dots\dots\dots (9)$$

F 在测得 h (压缩距离) 后, 由 (6) 式求得。 V 则可以根据探头型号分别采用下列二式计算之: 1. 圆柱型探头 $V = \pi r^2 d$, 2. 锥形探头 $V = \frac{1}{3} \pi d^3 \frac{R^2}{D^2}$ 。

为了避免计算上的麻烦, 我们按上式计算原理, 根据弹簧压缩距离和探头入土深度, 可制成“土壤坚实度换算表”, 这样可以从标尺读数直接查得土壤坚实度。

三、测定实例和要点

我们用自制坚实度仪对不同类型和肥力水平的土壤进行了田间测定, 基本上符合要求。兹举其中一例, 本校华家池农场的三块旱地 (甘蔗地, 棉花地和菜园

地), 质地为粗粉质轻壤土(小粉土), 含水量基本相同, 甘蔗地和棉花地早期中耕过, 至测定时(11月1日)土壤已相当沉实, 菜地中耕较勤而土壤较疏松。用锥形探头和细弹簧的坚实度仪测定, 重复各60次, 得到的平均值及其标准差, 变异系数列于表1。从表中数值看, 变异系数(即标准差占平均值的百分数)为11.9~15.6%。考虑到土壤(尤其是耕层)的差异以及物理性质田间测定的允许误差范围, 应当说这一结果的重现性是良好的。

表1 土壤坚实度的田间测定结果举例
(粗粉质轻壤土)

测定田块	坚实度(公斤/厘米 ²)	变异系数
甘蔗地	3.87±0.52	13.4%
棉花地	3.61±0.43	11.9%
菜地	2.76±0.43	15.6%

土壤坚实度如同其它物理性质一样, 在田间不同点以及随时间而变化大, 需要较多的重复测定次数并且进行一定时期内的动态观察。对于质地、结构状况、

容重、特别是含水量与坚实度的关系, 尚需要进行系统的研究, 才能定出不同条件下土壤坚实度数据的分级标准, 以便在土壤调查和土壤诊断中应用。

据我们用自制仪器对各种类型和肥力水平的土壤的测定, 发现其相对误差是不同的, 因而最好能分别规定其必要的重复次数。例如, 耕作不良, 耕作后尚未沉实或是“粳性”水田土壤等, 其相对误差较大, 至少须重复测定40~50次以上; 精耕细作的, 耕作后已沉实的或是订板性比较强的土壤, 肥沃的“糯性”水田等, 各点的土壤坚实度数值变动小, 有20~30次测定即可。就剖面中不同土层来说, 通常是耕层的坚实度变化大, 心底土(尤其是匀细的沉积母质)的测定数值变化小。如白土的白土层很紧实, 其测定误差小, 有10次测定已可得到满意的结果。

为了把坚实度数据进行比较, 各田块(处理)测定时的土壤含水量等应尽量较为接近, 以消除这方面引起的误差。在进行土壤坚实度测定时, 需要同时记载土壤含水量、容重、耕层厚度变化等数据以及耕作施肥、灌排、降水、作物生育的情况。

水 田 土 壤 渗 漏 量 测 定 器

上海市农科院土肥植保所治水改土组

根据上海郊区水田渗漏量的测定, 高产水稻土日渗漏量在4~15毫米/天。我们测定这一水田特性, 可为科学地管水用水提供依据, 而且也是评价土壤通气透水的重要指标。为此我们参照日本测定水田渗漏的方法作适当改进, 把接口从顶端移至筒侧, 在水层较浅(1寸以内)时就可以测定, 经三年来试用证明效果较好, 现简介如下。

一、测定原理

水田土壤渗漏量测定器是测定土壤的垂直渗漏。将一无底密闭圆筒插入稻田至犁底层, 筒面淹入水中, 筒内充满水分, 关闭通气口, 筒内水分发生下渗, 下渗量由浮在水面的测定管补给水分, 在一定时间内筒内水分下渗体积与测定管内水柱移动的体积相等, 再换算成一天的渗漏量, 在几分钟内就可测出全天的渗漏量。由于筒面淹入水中, 筒内外的静水压力相等, 不存在侧渗条件, 故比较可靠。

二、结构设计

1. 仪器部件: 由无底密封圆筒, 测定板和测定管等组成。圆筒可用1毫米厚白铁皮制成。测定板为涂漆防水木板(60×6×0.5厘米), 上附细玻璃管或塑胶管, 板上画有三种刻度, 测定时间分别为5、10和20分钟, 单位为厘米/天, 并要通气口和橡皮塞口完全密封。主要组成如图1。

2. 设计:

圆筒下渗水量体积 $V_{大} = \pi R^2 \cdot H$

测定管内水柱移动体积 $V_{小} = \pi r^2 \cdot h$

设: 测定10分钟, 根据测定原理, 圆筒内一天渗漏量的体积等于测定管10分钟水柱移动体积乘以一天10分钟的倍数 $\left(\frac{1440}{10} = 144\right)$

则: $\pi R^2 H = 144 \pi r^2 h$

$\therefore h = \frac{R^2}{144 r^2} H \dots\dots\dots (1)$