

压缩空气法测定土壤比重及水分的评价*

田积莹

(西北水土保持生物土壤研究所)

压缩空气法的主要优点是能测定原状土的比重和水分含量。现将其原理和方法介绍如下，并与其他方法作一对比讨论。

一、原理及测定方法

压缩空气法为 Dr. V. Nitzsch 根据波义耳定律 ($P_0 \cdot V_0 = P_1 \cdot V_1$) 设计而成，如图 1 所示，仪器是

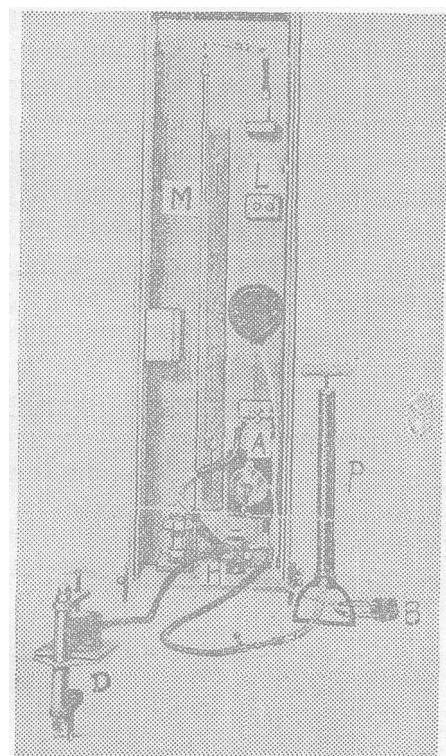


图1. 压缩空气比重计(Dr. V. Nitzsch法)

由水银压力计(M)，调节器(A)及一个盛试样的容器(D)组成。使用时先用打气筒(P)，将气压计中之水银柱调到高气压。再操作调节箱之曲柄，同时使达于一恒定的标准压力。调整压力时通过电源(B)供电于

小灯泡(L)。在压力计管的末端有两个白金丝，当其与水银接触时则接通电流。如压力过高则两白金丝均浸入水银中，两个灯泡就亮起来，压力降低则灯泡不亮，当有一个灯泡亮时，则为标准的正常压力，操纵活塞(H)将压力计与调节箱隔断开，并将盛试样容器与压力计连通，则压力降低到一定位置，即保持平衡，则可在压力计上读数，得出相当试样的容积数。当仪器漏气时则影响测定结果，可以用气压计中水银柱不稳定或用水检查出来。测定后即将试样从筒中取出。为了经常很便利的使用该仪器，在测定之前先绘制一标准曲线备用。

1. 标准曲线的绘制 即称取水量按 5 克或 10 克的递增量于试样筒中，总水量应为 0—100 毫升，测定水量(按重量)容积与压力变化的相应关系；在方格坐标纸上以水量 0—100 毫升(50 厘米)值作为横坐标，以加入水量相应的压力计高度为纵坐标，连接各交点即得标准曲线(图 2)。同时在压力计旁贴一方格(厘

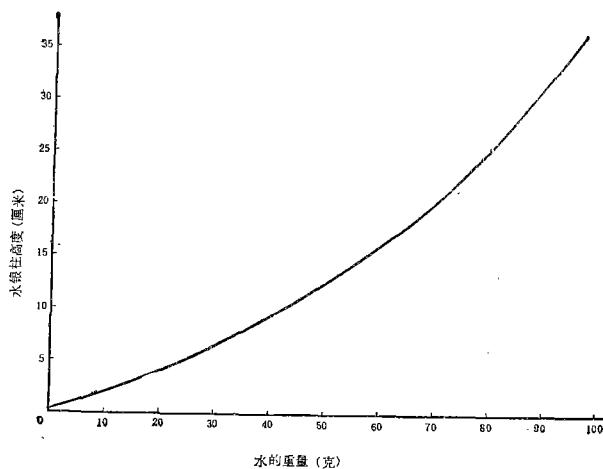


图2 压缩空气法比重计算标准曲线

米)纸，标上压力与水量的关系。

2. 盛土筒容积校正 为了便于测定工作的顺利

*本文仪器说明书(德文)由本所姚振镐同志翻译。

进行，需用一组盛土筒，当绘制标准曲线时，只能采用一个固定的土筒（标准筒 100 毫升）。因土筒的重量稍有差异，则其体积亦有少量的偏差，故需测量其差别，以便在计算结果中消除之。例如标准土筒的重量为 139.72 克，其他土筒的重量为 125.12 克，两者相差 14.60 克，根据铁的比重 7.85 可求出校正体积为 +1.9 毫升，在计算水银压力计读数相当土样的容积时，应加上 1.9 毫升。因测量读数的精度 0.1 毫升，故需考虑到相差 0.1 毫升产生的重量差异。

3. 测定时应注意的问题 压缩空气法当水银柱达到最高度即标准压力高度约 92 厘米时，压力相当 1.22 个大气压，在压力很大的情况下，易发生漏气现象，故操作应视标准压力指示灯泡亮的时间长短为准，时间愈长愈好，即说明仪器内部不漏气，随即开动活塞（H），使压力计与盛样器（D）连通，当压力计降到一定位置时立即稳定起来，随后即有很缓慢不显著的下降，第一次稳定的读数即为测定值，以后压力计缓慢的下降可能是由于活塞或其他方面极微弱的漏气所形成。

从图 2 看出，当盛样器标准筒内的水量愈少时，空气所占的容积愈大，则水受到的相对压力愈大，体积收缩愈大，同时压缩空气本身的缓和能力大，故曲线在水量为 0—40 克时与压力计高度关系成一直线，而当水量超过 40 克时，水量与压力计高度关系成抛物线形状，说明当筒内水的容积很大时，空气所占的容积愈小，则水受到的相对压力愈小，体积收缩愈小，压缩空气缓和能力小，每单位水量影响压力计高度递增，故水量超过 40 克成一抛物线。在水量很少的情况下，每单位水量影响水银压力计的高度较小，当水量很多时每单位水量影响压力计的高度较大。因此要保证结果的准确性在利用压缩空气法时，最低限度要使试样的容积超过 25 毫升，试样的实际容积愈大，则其测定结果的准确度愈大。

二、结果计算及讨论

1. 土壤比重的计算 土壤比重的测定，一种是称取风干通过 1 毫米筛子的破坏土壤；另一种是用环刀采取原状结构土壤。首先将待测土壤装入测筒内，称重，减去测筒重量即得湿土重量 M 克，然后放入盛样器内与压力计连通，测得压力计的高度，从标准曲线上可以查出试样的土水总体积 V 毫升，再用烘箱法测定土壤含水量，获得烘干土重量 m 克，于是

$$\text{土壤水分重量 } y = M - m,$$

$$\text{烘干土容积 } x \text{ 毫升} = V - y$$

$$\text{所以 土壤比重} = \frac{\text{烘干土重量}(m)}{\text{烘干土容积}(x)}$$

用压缩空气法对壤土破坏状态及原状结构状态下进行了土壤比重的测定。结果是破坏土壤的比重大于原状土壤，破坏状态的壤土表土为 2.78，心土为 2.77；原状结构状态的表土为 2.68，心土为 2.67。这种差异产生的原因可能是土壤水分对于土壤微空隙的影响，在破坏土壤测定时，土壤为风干土，其含水量仅有 2.5%—3.8%，由于疏松排列的原因，这样少的含水量不足以堵塞土壤的微空隙，故压缩空气可以全部充塞于土壤空隙中。但在土壤原状结构的情况下，土壤含水量达到 21—25%，这样多的含水量可能对结构中的某些微空隙起封闭的作用，故压缩空气不易透入为水封闭的微孔隙，致影响试样总体积的大小。另一方面可能是因为风干土的总量仅为 100—120 克，如果将其中的含水量忽略不计，以其比重计算实际总容积仅有 35—45 毫升，而相当同样干土量的原状土壤，实际容积为 70—80 毫升。从图 2 看出，当试样的总容积小于 50 毫升时，影响压力计的高度仅为 12.5 厘米，试样的总容积量近于 100 毫升时，影响压力计的高度可达到 35 厘米以上，这说明后 50 毫升容积影响压力计的高度超过前 50 毫升的两倍，因此产生了土壤比重的差异。同时试样的总容积大于 50 毫升时，土壤比重值的精确度较高，说明在土壤量多及含水量高的情况下，能使试样总容积增大，故能使测定结果精确度提高。为此目的我们曾以风干破坏土样不同重量及不同含水量进行了试验，结果是风干土样适宜的土量为 66—140 克之间，即其实际容积在 25—50 毫升之间；同时在土样量大的情况下，含水量增加，比重结果变异并不很显著。

2. 土壤含水量的计算 采用压缩空气法测定土壤含水量，则和前述测定土壤比重的方法相反。即将假定（或已知）比重 S 的待测土壤称得湿土重量 M 克，然后测得压力计高度，查出土水总体积 V 毫升，再从下列关系式中计算出土壤含水量。

设 烘干土容积 = x 毫升，土壤水分容积 = y 毫升

$$y = V - x = M - xS \quad V - x = M - xS$$

$$x = \frac{M - V}{S - 1}$$

$$y = V - x, \quad \text{烘干土重量} = x \cdot S$$

$$\text{所以 土壤含水量 \%} = \frac{y}{x \cdot S} \times 100$$

测定水分时，为了获得精确的结果，同一土层应采取三个重复样品。每进行测定一组试样结束后，应立即计算，以便复核结果。曾对黑油土剖面表层，亚表层及心土进行了原状结构土壤含水量的测定，结果如表 1 所示，每层土样绝对误差最大为 1% 左右，而

表 1 压缩空气法测定土壤含水量的结果
(原状土)

土层	表层	亚表层	心土
土壤含水量%	18.49	20.00	19.26
	19.70	21.40	19.42
	18.91	20.63	19.27
平均土壤含水量%	19.03	20.68	19.32

注：测定土壤系陕西省武功县黑油土。

其相对误差最大为 5% 左右，说明压缩空气法测定土壤含水量是相当可靠的。

3. 压缩空气法与其他方法测定比重及水分含量结果的比较 运用压缩空气法对不同土壤及不同状态下的土壤进行了土壤比重的测定，同时并与标准的比重瓶法测定结果相比较；土壤含水量的测定结果与标准烘箱法测定的结果相比较。

利用压缩空气法测定土壤比重，在原状结构状态时，土样相当烘干土重量均超过 110 克，故代表性大；

表 2 压缩空气法与比重瓶法测定
土壤比重的结果比较

地 区	土 壤	压 缩 空 气 法	比 重 瓶 法	相 差 值
甘肃省卓尼县山顶	有机质土壤	2.44	2.44	0.00
陕西省武功县	壤土(重壤)	2.78	2.73	0.05
同 上	壤土(轻壤)	2.76	2.76	0.00
贵州省贵定县	黄壤(粘土)	2.73	2.72	0.01
江西省九江县	红壤(粘土)	2.80	2.76	0.04
陕西省武功县渭河滩	砂 土	2.73	2.67	0.06

注：供试土壤均采用通过 1 毫米筛的破坏土壤，除红壤(粘土)为三次重复的平均值外，其他均为四次重复。

表 3 压缩空气法与其他方法测定土壤比重及水分结果比较(原状土)

土 壤	土 层 深 度 (厘米)	水 分 含 量 %				比 重			
		压 缩 空 气 法		烘 箱 法		压 缩 空 气 法		比 重 瓶 法	
		平 均 值	平 均 偏 差	平 均 值	平 均 偏 差	平 均 值	平 均 偏 差	平 均 值	平 均 偏 差
壤 土 (陕西省武功县)	0—15	25.40	±0.36	25.04	±0.47	2.69	±0.02	2.70	±0.02
	15—30	22.80	±0.08	22.25	±0.12	2.63	±0.01	2.74	±0.00
	30—45	22.25	±0.43	21.79	±0.50	2.68	±0.02	2.70	±0.00
	45—90	20.85	±0.08	20.49	±0.11	2.68	±0.00	2.73	±0.00
黑 油 土 (陕西省武功县)	0—15	19.03	±0.44	20.49	±0.22	2.76	±0.01	2.73	±0.00
	15—30	20.68	±0.48	20.56	±0.18	2.70	±0.02	2.74	±0.01
	30—45	19.32	±0.07	19.65	±0.18	2.71	±0.00	2.72	±0.00
淤 土 (陕西省渭河边)	0—15 (砂土)	15.98	±0.61	16.25	±1.46	2.71	±0.03	2.71	±0.02
	35—45 (粘土)	18.35	±1.50	18.81	±1.21	2.72	±0.01	2.71	±0.01

注：1. 压缩空气法以假定土壤比重 2.70 计算其土壤含水量；

而比重瓶法仅用风干土 8.0 克，故代表性小，两法测定比重结果列于表 2 及表 3，从表 2 可以看出，有机质土壤及轻壤土的比重，两法测定结果相互一致，说明破坏土壤在疏松排列情况下比紧密排列的重壤土及粘土易于获得一致的结果(砂土例外)。同时风干土含水量很低，其含水量值略有差异，对于土壤比重结果即能引起极大的误差，例如用烘箱法测定轻壤土含水量为 2.50%，另一为 3.0%，含水量的相对误差达到 18.2%，致使比重值超出规定范围 0.02；又例如重壤土含水量为 3.76%，另一为 3.95%，相对误差为 4.9%，比重结果相差值未超出规定误差范围 0.02，这说明含水量相对误差如超出 5% 也会引起土壤比重结果的误差值增大，故风干土含水量值得注意。

从土壤比重的测定结果中可以看出，土壤为破坏状态时(表 2)压缩空气法较比重瓶法为大；当土壤为原状结构状态时(表 3)较比重瓶法为小。

但是特别值得引起我们注意的是在原状结构情况下，粘土排列很紧密，利用压缩空气法和比重瓶法测定的土壤比重结果相互一致，如表 3 所示无论各土层比重重复值之间，或两法测定值之间，均未超出规定误差 0.02 范围。因此我们认为采用压缩空气法测定原状结构土壤的比重是可以应用的。本法又能快速测定同时又能节约水电。

土壤含水量测定的结果列于表 3，除去个别土层含水量绝对误差达到 1.7% 或相对误差达到 9.0% 以外，其余绝大部分土层绝对误差均未超出 1%，相对误差未超出 5%，说明利用压缩空气法在假定土壤比重的前提下，测定的土壤含水量和烘箱法测定的含水量结果相比较，同样可以达到所要求的精确度。

2. 表内数据均为三次重复的平均值。