

从容重计算土壤总孔隙度的初步探讨*

趙洪書

(黑龙江省水利厅勘测设计院)

土壤总孔隙度是土壤物理的重要特征之一,据此可以计算土壤通气孔隙度,而且对于确定灌溉与排水也有重要的参考价值;在农业实践中,土壤通气性与土壤水分、导热性及作物养分等好多方面都有关,所以对总孔隙度的了解就很重要。

过去人们一直采用下列常规公式计算土壤总孔隙度:

$P\% = \left(1 - \frac{D}{d}\right) \times 100$, 利用此式需知干容重(D)和比重(d)两个数据,而比重的测定操作冗繁。因此,应用此式计算土壤总孔隙度有一定的限制和不便之处。

在我们整理黑龙江省土壤水分物理资料中^[2]发现,利用容重和总孔隙度的高相关关系,可以求出一个经验公式,不用比重而只用容重可计算出有一定精确度的土壤总孔隙度值,从而减少测定比重的的工作量。

一、土壤总孔隙度经验公式的求得

根据我省平原区具有代表性的黑钙土、黑土、草甸土、盐渍土和白浆土的507个容重、比重和总孔隙度的数据(实测资料),作出如图1所示的关系图形。它表明容重和总孔隙度之间具有线性相关的性质,符合 $y = a + bx$ 的一次直线方程式的基本图形(图1)。如以 MN 代表图形的回归线时,为使其位置求得正确起见,采用最小二乘法,将507个点的资料列表统计后,按回归方程式: $\begin{cases} \sum y = na + b\sum x \\ \sum xy = \sum xa + b\sum x^2 \end{cases}$, 求出 $a = 93.947, b = -32.995$ 根据此值得出土壤总孔隙度的直线方程式为:

$$P\% = 93.947 - 32.995D \tag{1}$$

通过此式便确定了图1上 MN 线的最佳位置。(1)式是通过 $D = 0.68-1.82$ 的范围求得的土壤总孔隙度经验公式,所以范围外的不宜应用。

用(1)式计算后得如下结果。

D	P_1^*	D 差0.1时 P_1^* 之间的绝对差	P_1^* 差取值
0.9	64.252	—	—
1.0	60.952	3.300	3.3
1.1	57.653	3.299	3.3
1.2	54.353	3.300	3.3
1.3	51.054	3.299	3.3
1.4	47.754	3.300	3.3

* 为与常规公式区别起见,经验公式用 P_1^* 、常规公式用 P_1 表示总孔隙度。

* 本文承我院杜仲工程师全面指导,很多同志提供宝贵意见和帮助,特此致谢。

由上可以得出容重和总孔隙度的规律：容重每增加或减少 0.1 个单位，总孔隙度便相应的减少或增加 3.3%。这是两者成反比关系的数量指标。

土壤总孔隙度的经验公式与常规计算公式所得结果之间是有误差的。至于误差的大小通过一般分析就可看出：当经验公式与常规公式计算结果相同的时候， $P_2 - P_1 = 0$ ，即没有误差，这种情况是指散布点落在回归线上；如果散布点离回归线时，则都要产生以常规公式计算结果为标准的所谓离均差或剩余偏差 ($\pm \Delta$)。我们对 507 个资料的离均差统计结果列入表 1。

将统计结果归纳如下：

- + Δ 出现次数为 238
- Δ 出现次数为 249
- 0 值出现次数为 20
- $\Sigma \Delta^2 = 284.59$
- < ± 0.7 的概率为 66%
- < ± 1.5 的概率为 96%
- < ± 2.0 的概率为 99%
- > ± 2.0 的概率为 1%

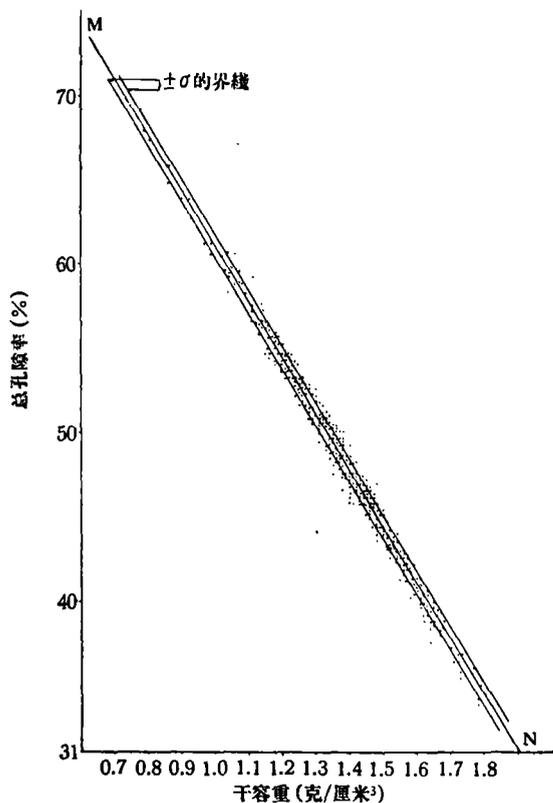


图 1 容重与总孔隙率直线图

表 1 离均差统计表

Δ 值	Δ 出现次数		Σ	Δ^2	$\Sigma \cdot \Delta^2$	概率	Δ 值	Δ 出现次数		Σ	Δ^2	$\Sigma \cdot \Delta^2$	概率
	+	-						+	-				
0			20	0	0	3.95	1.2	14	8	22	1.44	31.68	4.33
0.1	27	31	58	0.01	0.58	11.44	1.3	3	9	12	1.69	20.28	2.36
0.2	17	41	58	0.04	2.32	11.44	1.4	4	1	5	1.96	9.80	0.98
0.3	18	22	40	0.09	3.60	7.88	1.5	6	3	9	2.25	20.25	1.77
0.4	33	22	55	0.16	8.80	10.84	1.6	3	3	6	2.56	15.36	1.18
0.5	21	28	49	0.25	12.25	9.66	1.7	3	1	4	2.89	11.56	0.78
0.6	12	17	29	0.36	10.44	5.72	1.8	1		1	3.24	3.24	0.20
0.7	11	15	26	0.49	12.74	5.12	1.9		2	2	3.61	7.22	0.39
0.8	23	14	37	0.64	23.68	7.29	2.0	1		1	4.00	4.00	0.20
0.9	20	14	34	0.81	27.54	6.71							
1.0	9	7	16	1.00	16.00	3.15	2.2		2	2	4.84	9.68	0.39
1.1	10	9	19	1.21	22.99	3.74	2.3	2		2	5.29	10.58	0.39

按误差公式^[1]，依统计结果计算如下：

$$\text{估计值的标准误差 } \sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \Delta^2}{n - 2}} = \pm 0.75$$

$$\text{容重与总孔隙度相关系数 } r = \frac{\Sigma xy - \frac{\Sigma(x) \cdot \Sigma(y)}{n}}{\sqrt{\Sigma(x^2) - \frac{(\Sigma x)^2}{n} \cdot \Sigma(y^2) - \frac{(\Sigma y)^2}{n}}} = -0.98$$

由上得到从經驗公式所算出的估計值标准誤差 $\sigma = \pm 0.75\%$ ，图上散布点落于迴归綫上估計值 $\pm 1\sigma$ 的概率为 68%，最大誤差采用二倍标准誤差 $2\sigma = \pm 1.5\%$ 时，其概率为 96%，标准誤差和最大誤差的出現次数概率和理論值相差无几。由表 1 所作的离均差分配图形(图 2)符合高斯曲綫。 $> \pm 2.0$ 的在 100 次当中只出現 1 次。相关系数 r 表明容重和总孔隙度之間具有很高的負相关关系，属高相关范围，从图形上也可以看出围绕迴归綫 MN 的散布点是很密集的。

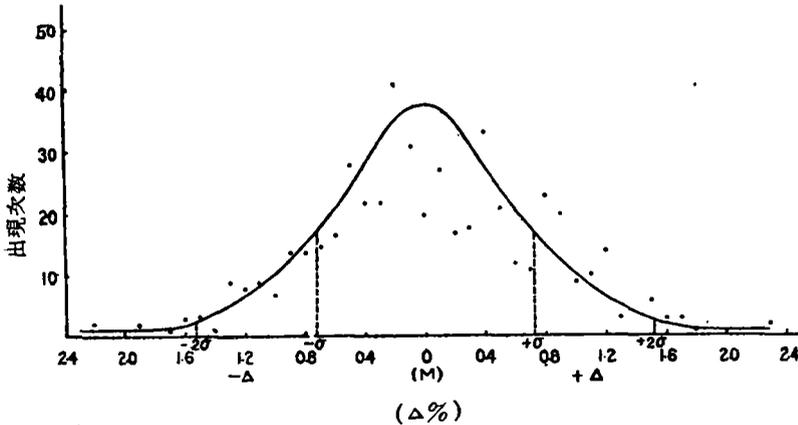


图 2 离均差(Δ)分配图形

上述的誤差值($\pm\sigma$ 及 $\pm 2\sigma$)对于不需要太精确的土壤总孔隙度來說是不大的，能达到一般要求的精度。

为了验证經驗公式的可靠性，茲选用几个常見的例子^[2,3]作对比，結果見表 2。

从表 2 中的离差 Δ 可以看出經驗公式計算結果与常规公式計算結果的相差是不大的。

在实际工作中为了便于应用經驗公式起見，按(1)式計算出常用容重范围的土壤总孔隙度值列于表 3。依一般查数表的方法就可以查出一定容重范围的总孔隙度，而不需要一一計算。

查表举例：当 $D = 0.87$ 时其 $P_2 = 65.2\%$ ； $D = 1.20$ 时其 $P_2 = 54.4\%$ ； $D = 1.72$ 时其 $P_2 = 37.2\%$ 。

二、容重与孔隙度的关系

容重和孔隙度的关系，不仅表现在土壤总孔隙度方面，而且在土壤团聚体容重和团聚体孔隙度方面也是这样。根据文献上的資料^[4]我們作成图 3。从图 3 可以看出，除个别点外，也有綫性相关关系，仍符合 $y = a + bx$ 图形。因此我們认为在团聚体容重和团聚体孔隙度的資料有足够数量的时候，也能够求出其經驗公式，而不一定采用目前通用的公

表 2 經驗公式可靠性的验证

取样深度	Д. Г. Виленский 土壤学 131 頁						取样深度	土壤和土質的水分性質 82—83 頁 A. A. Poge					
	D	d	P	P ₁	P ₂	Δ		d	D	P	P ₁	P ₂	Δ
0—12	1.33	2.61	49.04	49.0	50.1	1.1	0—10	2.50	0.97	61	61.2	61.9	0.7
12—20	1.35	2.60	48.08	48.1	49.4	1.3	10—20	2.55	1.16	55	54.5	55.7	1.2
20—32	1.39	2.65	47.55	47.6	48.1	0.5	20—30	2.56	1.11	57	56.7	57.3	0.6
32—55	1.56	2.68	41.79	41.8	42.5	0.7	30—40	2.57	1.18	54	54.1	55.0	0.9
55—85	1.72	2.72	36.76	36.8	37.2	0.4	40—50	2.57	1.16	55	54.9	55.7	0.8
85—110	1.78	2.70	34.10	34.1	35.2	1.1	50—60	2.63	1.21	54	54.0	54.0	0
0—4	0.90	2.49	63.86	63.9	64.3	0.4	60—70	2.62	1.21	54	54.0	54.0	0
10—14	0.99	2.55	61.17	61.2	61.3	0.1	70—80	2.62	1.24	53	52.7	53.0	0.3
40—44	1.06	2.57	58.75	58.8	59.0	0.2	80—90	2.61	1.22	53	53.3	53.7	0.4
55—59	1.08	2.63	58.93	58.9	58.3	-0.6	90—100	2.65	1.25	53	52.9	52.7	-0.2
80—84	1.10	2.61	57.85	57.9	57.7	-0.2	100—110	2.68	1.26	53	53.0	52.4	-0.6
100—104	1.14	2.68	57.46	57.5	56.3	-1.2	110—120	2.69	1.26	53	53.2	52.4	-0.8
0—4	1.07	2.46	56.50	56.5	58.6	2.1	120—130	2.70	1.26	53	53.3	52.4	-0.9
10—14	1.32	2.64	50.00	50.0	50.4	0.4	130—140	2.70	1.30	52	51.9	51.1	-0.8
15—19	1.36	2.73	50.18	50.2	49.1	-1.1	140—150	2.70	1.37	49	49.3	48.7	-0.6
60—64	1.54	2.77	44.40	44.4	43.1	-1.2	150—160	2.70	1.42	47	47.4	47.1	-0.3
2—10.5	1.33	2.61	48.98	49.0	50.1	1.1	160—170	2.70	1.46	46	46.0	45.8	-0.2
10—1.75	1.41	2.60	45.91	45.9	47.4	1.5	170—180	2.70	1.50	44	44.4	44.5	0.1
20—28.5	1.58	2.65	40.24	40.2	41.8	1.6	180—190	2.70	1.53	43	43.3	43.5	0.2
36—44.5	1.63	2.68	39.33	39.3	40.2	0.9	190—200	2.70	1.53	43	43.3	43.5	0.2
66—74.5	1.60	2.72	41.28	41.3	41.2	-0.1	200—210	2.70	1.54	43	43.0	43.1	0.1
97—105.5	1.64	2.70	39.44	39.4	39.8	0.4	210—220	2.70	1.55	43	42.6	42.8	0.2
123—131.5	1.59	2.70	41.14	41.1	41.5	0.4	220—230	2.70	1.56	42	42.2	42.5	0.3
145—153.5	1.71	2.68	36.34	36.3	37.5	1.2	230—240	2.70	1.60	41	40.7	41.2	0.5
170—178.5	1.78	2.69	33.70	33.7	35.2	1.5	240—250	2.70	1.67	38	38.1	38.9	0.8
194—202.5	1.78	2.69	33.99	34.0	35.2	1.2							

注: P₁ 是以原資料 D, d 重新按常規公式計算后取小数第一位。

表 3 总孔隙度查对表*

P ₂ \ P	D									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.6									71.51	71.18
0.7	70.85	70.52	70.19	69.86	69.53	69.20	68.87	68.54	68.21	67.88
0.8	67.55	67.22	66.89	66.56	66.23	65.90	65.57	65.24	64.91	64.58
0.9	64.25	63.92	63.59	63.26	62.93	62.60	62.27	61.94	61.61	61.28
1.0	60.95	60.62	60.29	59.96	59.63	59.30	58.97	58.64	58.31	57.98
1.1	57.65	57.32	56.99	56.66	56.33	56.00	55.67	55.34	55.01	54.68
1.2	54.35	54.02	53.69	53.36	53.03	52.70	52.37	52.04	51.71	51.38
1.3	51.05	50.72	50.39	50.06	49.73	49.40	49.07	48.74	48.41	48.08
1.4	47.75	47.42	47.09	46.76	46.43	46.10	45.77	45.44	45.11	44.79
1.5	44.46	44.13	43.80	43.47	43.14	42.81	42.48	42.15	41.82	41.49
1.6	41.16	40.83	40.50	40.17	39.84	39.51	39.18	38.85	38.52	38.19
1.7	37.86	37.53	37.20	36.87	36.54	36.21	35.88	35.55	35.22	34.89
1.8	34.56	34.23	33.90							

*表中第一纵行(D 值)为容重,第一横行(P 值)为容重的第二位小数。P₂ 为总孔隙度。

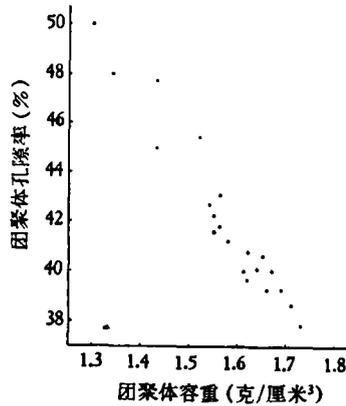


图3 团聚体的容重孔隙率关系

式。

三、結 語

1. 土壤总孔隙度的經驗公式具有一定的精确性和可靠性,其标准誤差为 $\pm 0.75\%$ 。
2. 容重每增加或減少 0.1 个单位,总孔隙度便相应的減少或增加 3.3%。

参 考 文 献

- [1] Соколов, А. А.: 土壤的农业化学研究法。科学出版社,1957。
- [2] Рогс, А. А.: 土壤和土质的水分性质。科学出版社,1958。
- [3] Виленский, Д. Г.: 土壤学。高等教育出版社,1957。
- [4] Иоффе, А. Ф.: 农业物理学問題 74 頁,科学出版社,1962。

A METHOD FOR THE CALCULATION OF SOIL POROSITY FROM VOLUME WEIGHT

H. S. CHAO

(SUMMARY)

According to 507 determinations of volume weight, specific gravity and total porosity of five main soil types in Heilungkiang province, it was found that there is a high correlation between volume weight and total porosity, and the later can be calculated directly from volume weight with an empirical equation. Within the range of volume weight, 0.68 to 1.82, the equation is found to be

$$P\% = 93.947 - 32.995D,$$

where $P\%$ = total porosity in per cent,

D = volume weight.

The correlation is -0.98 between the volume weight and total porosity; standard error is $\pm 0.75\%$; the probability is 68% at $\pm 1\sigma$ and 96% at $\pm 2\sigma$.