

# 土壤機械分析比重計法的研究\*

鄧時琴 夏家淇 熊毅

(中國科學院土壤研究所)

目前在國內進行土壤機械分析工作,多採用比重計法,因其簡而易行,也有試行速測的研究。爲着工作上廣大要求,我們曾在比重計機械分析中進行一系列的研究,如比重計校正、比重計速測和土粒分散等方面都得了一些結果,現彙集報告以供大家的參考和討論。

## 一、 比重計的校正

目前國內出產的比重計樣式很多,即按鮑氏(Bouyoucos)所製的土壤機械分析比重計樣式亦多種多樣,上海天中儀器製造廠的出品,規格未能劃一,精確度也不一致,對於應用上有很多的不便,爲了解比重計的良好式樣和規格要求,以便向工廠作出正確建議,提高質量而增進分析工作的效率,我們曾就我們實驗室所有的比重計進行比較研究。

目前我們實驗室內比重計分兩種,甲種比重計(以甲<sub>x</sub>表示)是按鮑氏的原則所製定的機械分析比重計,另外一種是普通所用的比重計,我們稱乙種比重計(以乙<sub>x</sub>表示)。甲種比重計刻度單位是以攝氏 20° 時每公升懸濁液所含土重的克數表示,其刻度爲 0 至 60,在我們所有的甲種比重計中按其浮泡形狀分爲三類:(1)浮泡爲圓筒型;(2)浮泡爲流綫型;(3)浮泡爲圓錐型。

各種浮泡所含的內容物亦各有不同,有的是用鉛粒,有的是用水銀(表 1)。

乙種比重計刻度自 0.995 至 1.050,表示攝氏 20° 時懸濁液之比重。我們室內有兩種,一種是流綫型浮泡,內盛水銀,係中國科學院長春儀器廠出品,編號爲乙<sub>1</sub>、乙<sub>2</sub>;第二種是橄欖型浮泡,內盛鉛粒,爲上海天中儀器廠出品,編號爲乙<sub>3</sub>、乙<sub>4</sub>、乙<sub>5</sub>。

因爲比重計式樣不同,沉降深度亦各有不同,同時由於刻度不够精確,所得結果也不相等,所以一般進行工作時先要進行比重計校正,計算結果時都必須加以校正值。

因爲比重計的式樣和重量不同,當比重計放入懸濁液內時,懸濁液因比重計的浸入而升高的距離不同,不同比重計的土粒沉降深度( $L'$ )也不同,所以每一個比重計必需校正實際的土粒沉降深度,即有效沉降深度( $L$ )。

表 1 甲種比重計種類

(上海天中儀器製造廠出品)

浮泡形狀	浮泡內容物	比重計編號
圓筒型	鉛粒	1、2、3、4、5、6、10
	水銀	11
流綫型	鉛粒	8
	水銀	9、13
圓錐型	水銀	12

\* 本文內有些資料是張雲、顧月蘭及施守蓉同志所工作的結果,謹此誌謝。

當比重計浸入懸濁液以後，由讀數至浮泡中心的距離( $L'$ )，並不能代表實際土粒沉降深度( $L$ )，因此應將  $L'$  化為  $L$ ，此與因為比重計浮泡的體積和量筒橫斷面積不同，實際土粒沉降深度( $L$ )應按下列公式校正(比重計頸部體積略而不計)<sup>[2]</sup>。

$$L = L' - \frac{V_b}{2Aj} = L_1 + \frac{1}{2} \left( L_2 - \frac{V_b}{Aj} \right)$$

$V_b$  = 比重計浮泡之體積，以立方厘米計。

$Aj$  = 量筒之橫斷面積，以平方厘米計。

$L_1$  = 比重計浮泡之頂點至其頸部上各刻度之距離，以厘米計。

$L_2$  = 浮泡之總長度，以厘米計。

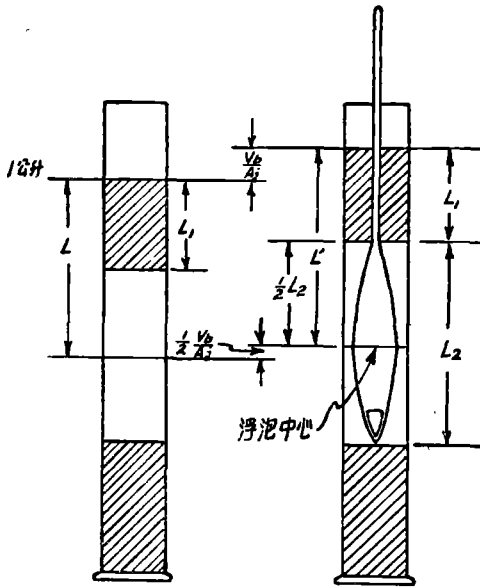


圖 1 土粒沉降深度  $L$  之校正圖

根據我們校正結果(表 2, 表 3), 各種比重計的土粒有效沉降深度都是不同的。增加工作的許多麻煩和不便。假若把比重計式樣、長度、浮泡體積和量筒的大小統一標準，按此標準製訂比重計和精確的校正，當可增加機械分析的效率。

各工廠所製每個比重計標準不一致，一般 0 及 60 刻度較準確(據了解天中儀器廠製造時僅對 0 及 60 刻度進行校正)，其中細分刻度較粗糙，因此我們所用的比重計都得進行刻度的校正。

我們曾用硫酸、氯化鈉來校正比重計刻度<sup>[2,7]</sup>，但是在室溫情況下氯化鈉、硫酸的結果都不穩定，變動也無規律，以後改在恆溫室(18.5—21.5°C)進行，所得結果較為穩定。

表 2 甲種比重計的土粒有效沉降深度  $L$  (厘米)的校正\*

比 重 計	讀 數												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
甲 <sub>1</sub>	17.29	16.55	15.87	15.12	14.40	13.70	12.97	12.08	11.52	10.82	10.10	9.36	8.63
甲 <sub>2</sub>	15.64	14.89	14.14	13.38	12.62	11.88	11.13	10.38	9.63	8.90	8.17	7.42	6.67
甲 <sub>3</sub>	16.80	15.94	15.10	14.21	13.34	12.50	11.63	10.79	9.90	9.05	8.20	7.30	6.45
甲 <sub>4</sub>	16.55	15.75	14.90	14.05	13.20	12.35	11.50	10.70	9.85	9.00	8.15	7.30	6.50
甲 <sub>5</sub>	16.00	15.20	14.35	13.53	12.70	11.88	11.05	10.22	9.40	8.60	7.75	6.90	6.10
甲 <sub>6</sub>	16.40	15.55	14.80	13.85	13.02	12.20	11.40	10.55	9.72	8.90	8.08	7.23	6.43
甲 <sub>10</sub>	10.75	10.27	9.80	9.32	8.85	8.37	7.98	7.40	6.92	6.45	5.97	5.89	5.00
甲 <sub>11</sub>	10.87	10.42	9.97	9.50	9.05	8.59	8.15	7.70	7.25	6.80	6.35	5.90	5.45
甲 <sub>8</sub>	16.40	15.70	14.90	14.15	13.40	12.65	11.90	11.12	10.38	9.61	8.87	8.10	7.35
甲 <sub>9</sub>	17.30	16.35	15.67	14.80	14.00	13.20	12.45	11.69	10.90	10.10	9.35	8.67	7.78
甲 <sub>13</sub>	15.40	14.73	14.07	13.42	12.38	12.13	11.47	10.82	10.15	9.50	8.85	8.20	7.65
甲 <sub>12</sub>	6.59	6.30	6.05	5.80	5.50	5.25	4.99	4.70	4.45	4.18	3.90	3.63	3.35

\* 量筒橫斷面積( $Aj$ )為 29.5 平方厘米，直徑由 5.99—6.45 厘米。

不論在恆溫或室溫(10—13°C)下所得結果,用 NaCl 所校正的數字都比用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 為高,NaCl 比 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液好配,溶液比重亦均勻穩定,H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液每隔 15 分鐘須進行攪拌,否則讀數不準,同時試驗前後所測的比重(稱重法)差異亦很大,在 NaCl 溶液中曾連續三次均很穩定。

表 3 乙種比重計的土粒有效沉降深度  $L$  (厘米)的校正\*

比重計	讀						數					
	0.995	1.000	1.005	1.010	1.015	1.020	1.025	1.030	1.035	1.040	1.045	1.050
乙 <sub>1</sub>	20.92	19.37	17.83	16.30	14.77	13.23	11.68	10.17	8.60	7.07		
乙 <sub>2</sub>	21.55	19.97	18.38	16.80	15.25	13.65	12.08	10.50	8.93	7.35		
乙 <sub>3</sub>	15.67	14.85	14.50	13.26	12.48	11.70	10.91	10.12	9.33	8.55	7.77	7.00
乙 <sub>4</sub>	17.20	16.34	15.45	14.60	13.70	12.82	11.98	11.10	10.23	9.38	8.50	7.65
乙 <sub>5</sub>	15.90	15.30	14.70	14.10	13.50	12.98	12.25	11.67	11.05	10.45	9.85	9.20

\* 量筒橫斷面積( $A_j$ )為 29.5 平方厘米,直徑由 5.99—6.45 厘米。

根據試驗結果(表 4),以甲<sub>1</sub>至甲<sub>6</sub>比較好,其他則因刻度不準、浮泡太小、柄桿太短而較差,甲種比重計 1 號至 6 號,其浮泡頂點至 0 刻度之距離平均為 11.26 厘米,浮泡體積平均為 63 毫升,而甲<sub>10</sub>浮泡頂點至 0 刻度之距離為 6.91 厘米,浮泡體積為 17.5 毫升。

由表 5 及表 6 可以看出乙種比重計中以 1 號、2 號較準確,而 3 號至 5 號較差,1 號、2 號浮泡較大,柄桿較長,3 號至 5 號浮泡較小,柄桿較短,由這結果可以說明浮泡大小與柄桿長短對結果很有關係。另外 3 號至 5 號比重計的浮泡是橄欖型,重心不準,在懸濁液中不能垂直懸浮,呈傾斜狀況,不好應用。

表 4 甲種比重計刻度校正 (NaCl)\*

比重計	讀				數			
	0	15	20	30	40	50	60	
甲 <sub>1</sub>	-0.5	+0.5	0	+0.5	-1.0	-1.0	+1.0	
甲 <sub>2</sub>	-0.5	0	0	+1.0	-0.5	-1.0	+1.0	
甲 <sub>3</sub>	-0.5	0	-0.5	+1.0	-1.0	-1.0	—	
甲 <sub>4</sub>	-1.0	0	-0.5	+1.0	-0.5	-1.0	+1.5	
甲 <sub>5</sub>	-0.5	0	0	+1.0	0	-1.0	+1.0	
甲 <sub>6</sub>	-1.0	0	0	+1.0	0	-1.0	+1.0	
甲 <sub>10</sub>	+4.0	+3.5	+3.0	+3.5	+2.0	+2.0	+3.0	
甲 <sub>11</sub>	+4.0	+3.5	+3.0	+4.0	+2.0	+1.0	+3.0	
甲 <sub>8</sub>	+3.0	+3.0	+2.5	+3.0	+1.5	+1.5	+3.5	
甲 <sub>9</sub>	+3.0	+2.5	+2.5	+3.0	+1.5	+1.5	+3.5	
甲 <sub>13</sub>	+2.0	+3.0	+3.0	+3.5	+3.0	+4.0	+6.0	
甲 <sub>12</sub>	+1.0	+1.0	+2.0	+2.0	+3.0	+3.0	+4.0	

\* 校正時溫度為 18.5°—21.5°C (表 5 同)。

表 5 乙種比重計刻度校正 (NaCl)\*

比重計	讀				數			
	0.9982	1.0076	1.0107	1.0169	1.0232	1.0294	1.0356	
乙 <sub>1</sub>	-0.0003	+0.0001	+0.0001	+0.0004	-0.0003	0	+0.0000	
乙 <sub>2</sub>	0	+0.0001	+0.0009	+0.0009	+0.0004	-0.0001	+0.0006	

表 6 乙種比重計刻度校正 ( $H_2SO_4$ )\*

比重計	讀 數					
	0.9982	1.0000	1.0100	1.0200	1.0300	1.0400
乙 <sub>3</sub>	-0.0028	-0.0030	-0.0005	+0.0015	+0.0015	+0.0033
乙 <sub>4</sub>	-0.0028	-0.0025	-0.0003	+0.0010	+0.0010	+0.0010
乙 <sub>5</sub>	-0.0018	-0.0020	-0.0013	+0.0013	0	+0.0010

\* 19.0—20.5°C 時校正。

但是在機械分析工作中所應用的比重計，都經過精確的校正，因此所測得的結果都很相符合(表 7)。這說明比重計的是否精確可用，與刻度的校正關係很大，甲<sub>1</sub> 比重計刻度較準確，校正前後所測得的數字差異很小，而甲<sub>10</sub> 比重計刻度較為粗糙，校正前後所測的數字差異較大，同時柄桿較長而刻度較寬易於校準，所以比重計的形狀影響刻度的準確性，間接地影響土壤機械分析的結果。

表 7 比重計校正前後在紅壤中比較試驗

粒 徑 (毫米)	比 重 計 百 分 數	甲 <sub>1</sub>		甲 <sub>10</sub>	
		校 正 前	校 正 後	校 正 前	校 正 後
< 0.05		90.6	88.8	84.6	88.6
< 0.01		61.6	61.6	54.6	61.6
< 0.005		50.6	51.4	44.6	50.8
< 0.001		36.6	36.6	30.6	36.6

總的說來，比重計的式樣和精確度對於機械分析結果是有決定意義的，根據我們初步試驗對比重計規格有下列幾點建議。

(1) 浮泡以流綫型最適當，浮泡兩邊應與浮泡對稱，這種式樣可減少比重計出入懸濁液時之影響，也可避免土粒遺留浮泡上。

(2) 比重計柄桿應細而長，刻度應精確校正，每 5 位數字的刻度應實際校正並用顏色表明。

(3) 浮泡中最好盛水銀，便於調節重心。

(4) 製造比重計時最好有固定模型以便規格一致。

## 二、 比 重 計 速 測

目前所採用的機械分析比重計法，讀數要進行 13 次，並須在半對數紙上繪製曲綫以求各級土粒的百分數<sup>[2]</sup>，既費力又費時，我們希望能從司篤克氏公式計算出不同溫度下各級土粒沉降一定深度所需時間，但是土粒沉降深度雖在同一時間，因土壤種類的差異而有不同，因此先固定一個比重計(甲<sub>1</sub>)，從過去分析結果中查出測定 < 0.01 毫米土粒的讀數為 25 時，土粒沉降深度為 13.7 厘米，即 < 0.01 毫米的土粒含量為 50%，可代表一般常見的土壤，根據這個假定的土粒沉降深度(13.7 厘米)，按司篤克氏公式計算出沉降時間，在溫度 5°C 時計算出的時間為 42 分，按計算出時間(42 分)，再由司篤克公式列綫圖中查出不同讀數所得的粒徑在 0.0085—0.0109 毫米間，是接近 0.01 毫米的(表 8)。由此

可以說假定 0.01 毫米的沉降深度為 13.7 厘米是沒有大錯而可應用。

表 8 不同質地土壤沉降 42 分(5°C)時所得的粒徑

讀 數	2	4	7	12	17	22	28	38	42	50
粒徑 (毫米)	0.0109	0.0108	0.0108	0.0105	0.0104	0.01	0.0095	0.009	0.009	0.0085

表 9 小於某粒徑粒子下沉時所需之時間

溫 度 °C	< 0.05 毫米			< 0.01 毫米			< 0.005 毫米			< 0.001 毫米		
	時	分	秒	時	分	秒	時	分	秒	時	分	秒
4		1	32		43		2	55		48		
5		1	30		42		2	50		48		
6		1	25		40		2	50		48		
7		1	23		38		2	45		48		
8		1	20		37		2	40		48		
9		1	18		36		2	30		48		
10		1	18		35		2	25		48		
11		1	15		34		2	25		48		
12		1	12		33		2	20		48		
13		1	10		32		2	15		48		
14		1	10		31		2	15		48		
15		1	8		30		2	15		48		
16		1	6		29		2	5		48		
17		1	5		28		2			48		
18		1	2		27	30	1	55		48		
19		1			27		1	55		48		
20			58		26		1	50		48		
21			56		26		1	50		48		
22			55		25		1	50		48		
23			54		24	30	1	45		48		
24			54		24		1	45		48		
25			53		23	30	1	40		48		
26			51		23		1	35		48		
27			50		22		1	30		48		
28			48		21	30	1	30		48		
29			46		21		1	30		48		
30			45		20		1	28		48		
31			45		19	30	1	25		48		
32			45		19		1	25		48		
33			44		19		1	20		48		
34			44		18	30	1	20		48		
35			42		18		1	20		48		
36			42		18		1	15		48		
37			40		17	30	1	15		48		
38			38		17	30	1	15		48		
39			37		17		1	15		48		
40			37		17		1	10		48		

因此我們根據 13.7 厘米的土粒沉降深度計算出不同溫度下  $< 0.01$  毫米土粒沉降所需時間(表 9)。根據計算的時間在過去分析資料中查其土粒直徑及土粒百分數結果與常用分析方法所得結果相近,兩種方法所測  $< 0.01$  毫米粒徑的差異範圍為 0.0089—0.0108 毫米,土粒百分數的差異在黃褐土中為 0.3—0.7%,灰褐土為 0.5—1%,紅壤中為 0.3—1.1%,均在機械分析比重計法實驗誤差範圍(3%)以內,因此假定的土粒沉降深度和表 9 所計算的時間是可以應用的。我們是用一般分析法(簡稱標準法)和速測法進行實際比較,所得  $< 0.01$  毫米土粒百分數的差異為 0.3—2.1%,同樣證明我們所設計的速測法是可以應用的(表 10)。

表 10 速測法與標準法比較 ( $< 0.01$  毫米)

土 壤	質 地*	標 準 法				速 測 法		
		溫度°C	結果 %	溫度°C	結果 %	溫度°C	粒徑(毫米)	結果 %
黃 褐 土	砂 壤 土	10.5	18.1	26.0	19.4	10.5	0.0105	19.1
灰 褐 土 (25579)	輕 壤 土	13.5	27.9	7.0	29.0	13.5	0.0101	27.6
灰 褐 土 (25572)	中 壤 土	12.5	36.6	7.0	37.5	12.5	0.01	36.1
灰 褐 土 (25581)	重 壤 土	13.0	48.4	6.0	50.0	13.0	0.0098	47.9
紅 壤	輕 粘 土	11.0	63.4	21.0	62.0	11.0	0.0093	64.1

\* 根據卡慶斯基的質地命名<sup>[8]</sup>。

上面的實驗只限於壤土級  $< 0.01$  毫米土粒,我們為了解其他粒徑及在砂土、粘土中的速測是否可行,又進行了下列試驗。我們把過去的標本 249 個進行總結,得出各土粒的比重計刻度讀數(表 11),根據各讀數(包括各種質地和平均值)計算出不同溫度下各級土粒的沉降時間並按所計算的時間進行試驗(表 12),結果認為不同土壤質地應用不同的讀數結果與用平均讀數所計算的時間所得結果相似,這種速測結果與標準比重計法一般相差在  $< 3\%$ 。

表 11 各種質地土壤中各級土粒的比重計讀數

土 粒 (毫米)	砂 土	壤 土	粘 土	平 均
$< 0.05$	25	42	45	30
$< 0.01$	7	18	35	25
$< 0.005$	8	13	29	20
$< 0.001$	7	9	16	15

因此我們認為固定一個比重計後,可假定一個土粒沉降深度,應用於各種質地和各級土粒中。我們會把不同溫度下各級土粒的沉降時間計算如表 9,在進行速測前先測得溫度即可查出時間進行各土粒的分析,土粒含量可按下列式計算之:

$$\begin{aligned}
 &< \text{某級土粒} \% = \\
 &= \frac{\text{讀數} + \text{刻度和彎液面校正值} + \text{溫度校正值} - \text{分散劑用量(空白試驗)}}{\text{標本重(克)}} \times 100
 \end{aligned}$$

表 12 機 械 分 析 比 重 計 速 測 法 與 標 準 法 比 較

土 壤	質 地	土 粒 (毫米)	標 準 法 (%)	速 測 法 (按不同質地計算沉降時間)(%)			
				砂 土	壤 土	粘 土	平 均
黃 褐 土	砂 壤 土, 輕 壤 土	<0.05	42.5	43.9	45.2	45.2	44.4
		<0.01	19.0	21.0	21.4	23.3	22.3
		<0.005	13.0	17.2	17.2	17.2	16.8
		<0.001	5.3				10.2
灰 褐 土 (25565)	中 壤 土, 輕 壤 土	<0.05	90.0	82.7	86.7	87.2	83.2
		<0.01	34.5	29.8	30.3	31.8	30.9
		<0.005	26.5	25.0	25.0	25.0	24.2
		<0.001	19.5				15.0
紅 壤	輕 粘 土	<0.05	93.0	91.6	92.6	93.1	91.6
		<0.01	64.5	62.5	62.5	65.8	64.6
		<0.005	52.5	50.6	52.6	53.6	52.6
		<0.001	38.0				36.6
灰 褐 土 (23617)	緊 砂 土, 鬆 砂 土	<0.05	5.8	4.4			4.4
		<0.01	5.8	4.4			4.4
		<0.005	5.5	4.4			4.4
		<0.001	5.4				3.4
灰 褐 土 (23608)	緊 砂 土	<0.05	9.5	9.0			9.0
		<0.01	6.8	5.6			6.8
		<0.005	7.3	5.6			5.6
		<0.001	6.4				5.8
灰 褐 土 (23601)	砂 壤 土	<0.05	16.7	14.2			14.2
		<0.01	10.5	10.2			
		<0.005	9.6	8.0			9.0
		<0.001	7.6				7.0
灰 褐 土 (23276)	緊 砂 土, 砂 壤 土	<0.05	33.0	34.6			36.6
		<0.01	10.0	9.0			9.0
		<0.005	10.0	9.0			9.0
		<0.001	7.6				7.0
灰 褐 土 (23621)	砂 壤 土	<0.05	26.5	26.2			27.0
		<0.01	17.8	16.0			16.0
		<0.005	16.5	14.2			14.2
		<0.001					10.4
灰 褐 土 (25587)	輕 壤 土	<0.05	79.5		75.4		73.5
		<0.01	25.5		23.5		24.2
		<0.005	20.5		19.6		19.6
		<0.001	15.4				13.2
灰 褐 土 (25573)	中 壤 土	<0.05	88.5		88.0		86.0
		<0.01	38.2		36.2		36.2
		<0.005	29.9		29.4		29.4
		<0.001	18.8				19.0

表 12

土 壤	質 地	土 粒 (毫米)	標 準 法 (%)	速 測 法 (按不同質地計算沉降時間)(%)			
				砂 土	壤 土	粘 土	平 均
灰 褐 土 (25577)	重 壤 土	<0.05	91.0		88.0		88.0
		<0.01	43.5		41.0		41.0
		<0.005	33.5		33.2		33.2
		<0.001	21.8				19.8
灰 褐 土 (23706)	輕 粘 土	<0.05	88.4			86.0	86.0
		<0.01	55.5			54.6	53.4
		<0.005	48.6			48.2	49.2
		<0.001	37.0				35.2
灰 褐 土 (23691)	中 粘 土	<0.05	90.0			93.0	92.0
		<0.01	77.0			80.0	78.0
		<0.005	65.5			68.0	67.0
		<0.001	39.0				
膠 泥	重 粘 土	<0.05	99.5			97.0	97.2
		<0.01	90.5			89.0	88.0
		<0.005	78.0			74.0	73.0
		<0.001	40.0				41.0

表 13 機械分析比重計速測法與標準法比較(恆溫, 室溫)

土 壤	粒徑(毫米)	恆 溫 (19.5—22°C)		室 溫 (8—10.5°C)	
		標 準 法 (%)	速 測 法 (%)	標 準 法 (%)	速 測 法 (%)
灰 褐 土 (28685)	<0.05	90.0	83.8	90.0	
	<0.01	40.0	40.8	41.0	
	<0.005	30.0	31.2	31.5	
	<0.001	18.4	18.4	18.4	
中壤土, 重壤土	<0.05	86.4		87.5	87.8
	<0.01	40.0		42.5	40.0
	<0.005	31.5		33.5	33.0
	<0.001	22.2		22.8	22.8
灰 褐 土 (28619)	<0.05	89.0	87.8	88.0	83.8
	<0.01	30.5	32.8	33.0	32.8
	<0.005	24.0	25.4	26.0	25.2
	<0.001	14.6	14.6	16.2	16.2
中 壤 土					

爲了證明不同溫度下所測得的結果是否互相一致,我們又進行比較試驗(表 13)。

除 <0.05 毫米土粒結果較差外,其他較細各級土粒的測定值與標準法比較都小於 3%,我們認爲在計算土粒沉降時間已考慮到溫度,則在不同溫度下的測定結果應該相一致,我們曾按我們制定的速測方法實際進行若干樣品的分析,結果尙佳。



### 三、土壤分散方法

分散土壤顆粒的主要原理為除去土粒的結合劑，再度水化粘粒和增加粘粒的電荷，所以如何施用分散劑及物理分散土粒成為機械分析操作中的主要措施。

關於機械分散土粒的措施，前人已有很多研究，如煮沸、振盪、攪動、摩擦、搗潰與洗滌等。1866年德人狄特雷奇(Dietrich)曾採用加水或鹽酸煮沸土壤的處理。1922年魯濱生(Robinson)用6%  $H_2O_2$  除去有機質後並作煮沸土壤處理，可增加粘粒百分率達4倍之多。1925年普里(Puri)和肯(Keen)曾研究土壤水分與振盪時間對於土粒分散的影響，認為土粒分散程度隨水分含量而不同，最初20小時的振盪可將大部分較細土粒分散，振盪20至24小時之間土粒分散情況增加頗為緩慢。1927年鮑堯可斯(Bouyoucos)用高速攪拌器攪動土壤10分鐘，比用平行振盪器分散土壤16小時的效果還好。1927年衛格勒爾(Wiegner)認為煮沸一小時相當於振盪6小時的效果，在煮沸之前必須先洗去電解質<sup>[1,5,6]</sup>。1941年B. Ф. 斯科瓦爾濁夫(B. Ф. Скворцов)認為用玻璃棒攪拌土壤一分鐘使其成為濃稠糊狀，可引起顯著的土粒分散，1947年P. X. 安基良(P. X. Айдинян)用帶有橡皮頭之玻璃棒研磨土壤使成稠糊狀約10—15分鐘，可使土粒良好分散，在灰壤和黑鈣土中所得的 $< 0.001$ 毫米的分散率約為振盪法的83—95%。1953年T. H. 契爾妮可娃(T. H. Черникова)建議在10克土壤中加入草酸鈉使其濕潤，靜置一段時間(黑鈣土一小時，生草灰化土半小時)然後研磨5分鐘可代替0.05 N HCl 處理加NaOH煮沸之手續<sup>[3]</sup>。

為了解各物理分散法的效力，我們曾用陝西武功所採的灰褐土和南京附近所採的黃褐土進行比較試驗，先取土樣50克加37.5毫升0.8 N  $NaPO_3$ ，再進行各種物理處理(表14)。結果說明各種分散處理的效果大致相若，在未除去電解質的情況下煮沸處理似無顯著效果，研磨5分鐘或攪拌15分鐘與振盪8小時的結果亦很接近。為簡化物理分散方法，研磨處理是可以採用的。

但是研磨土壤處理由於各人用力不同是否會影響結果，為了解決這一題，我們曾用四人分別試驗，結果尚稱一致(表15)。

關於石灰性土壤的分散劑施用問題<sup>[4]</sup>，前文已有討論，本文僅就不同石灰含量的土壤中所應施用的 $NaPO_3$ 進行試驗(表16)結果為50克土壤加水配成一升，以用60毫升0.5 N  $NaPO_3$ 為優。

在華南紅壤中進行NaOH用量試驗(表17)結果50克土以0.5 N 60毫升為最適宜。

以上這些結果，因試驗樣品太少還不能下結論，希望以後再繼續研究。

在土壤機械分析的比重計法中，土壤樣品並不事先洗滌，但在鹽土中如不洗去鹽分很難得到穩定的懸濁液，因此無法進行比重計的測定。

我們曾用玻杯傾倒、離心機、平板漏斗及巴氏濾管等方法來進行洗鹽，玻杯傾倒法較粗糙，但很方便；離心機的洗鹽效果很好，但費時費力頗不經濟；平板漏斗過濾很慢；巴氏濾管過濾和倒置巴氏濾管(把巴氏濾管放在無底玻璃瓶中倒置於過濾燒瓶上進行抽氣過濾)都很好但在時間上仍不經濟。

根據比較試驗的結果(表18)，玻杯傾倒法所得的粘粒含量一般都較低，僅達離心機

表 14 各種物理處理對機械分析之影響\*

處理方法	各級土粒 (毫米) 含量													
	<0.05			<0.01			<0.005			<0.001				
	黃 褐 土 (輕粘土)(孝陵衛)													
	50 克土加 0.8 N NaPO <sub>3</sub> 37.5 毫升													
	灰 褐 土 (22797) (重壤土)			灰 褐 土 (22797) (重壤土)			灰 褐 土 (22797) (重壤土)			灰 褐 土 (22797) (重壤土)				
	50 克土加 0.8 N NaPO <sub>3</sub> 37.5 毫升													
振盪 8 小時.....	91.0	100	49.0	100	37.0	100	22.0	100	91.0	100	55.0	100	33.0	100
研磨 5 分鐘, 攪拌 15 分鐘 (8,400 轉/1 分鐘).....	95.0	104	46.0	94.0	36.0	98.0	23.0	105	94.0	103	56.0	102	45.0	100
振盪 8 小時, 煮沸 5 分鐘.....	92.0	101	49.0	100	38.0	101	23.0	105	94.0	103	56.0	102	47.0	104
研磨 5 分鐘, 煮沸 5 分鐘, 攪拌 15 分鐘.....	88.0	96.0	45.0	92.0	33.0	89.0	20.0	91.0	93.0	102	56.0	102	46.0	102
研磨 5 分鐘, 煮沸 5 分鐘.....	91.0	100	49.0	100	37.0	100	23.0	105	93.0	102	55.0	100	43.0	95.0
攪拌 15 分鐘 (8,400 轉/1 分鐘).....	91.0	100	46.0	94.0	34.0	92.0	21.0	95.0	91.0	100	54.0	98.0	45.0	100
研磨 5 分鐘.....	92.0	101	48.0	98.0	37.0	100	23.0	105	90.0	98.0	52.0	94.0	43.0	95.0
煮沸 1 小時後將 <0.25 毫米之土粒研磨 5 分鐘.....	91.0	100	48.0	98.0	36.0	98.0	22.0	100	92.0	101	51.0	92.0	40.0	90.0
	灰 褐 土 (武功, 輕壤土)													
	50 克土加 0.5 N Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 35 毫升													
振盪 9 小時.....	89.0	100	53.0	100	42.0	100	29.5	100	41.0	100	22.0	100	16.0	100
攪拌 15 分鐘 (5,800 轉/1 分鐘).....	93.0	105	58.0	91.0	45.0	109	31.0	105	40.5	98.0	19.5	89.0	13.5	84.0
攪拌 15 分鐘 (5,400 轉/1 分鐘).....	92.5	104	52.5	100	42.0	100	30.0	101	40.5	98.0	20.0	91.0	15.5	97.0

\* 分析者: 張 雲

表 15 各級土粒百分數(灰褐土)

土 粒 (毫米)	不 同 人 研 磨 處 理*			
	1	2	3	4
<0.05	96.6	97.0	97.4	97.3
<0.01	50.0	50.5	50.3	50.5
<0.005	35.8	36.5	36.2	36.8
<0.001	18.5	19.7	19.7	20.0

\* 1. 張 雲 2. 施守蓉 3. 鄧時琴 4. 顧月蘭

表 16 不同碳酸鈣含量的灰褐土中偏磷酸鈉用量比較

標 本 總 號	CaCO <sub>3</sub> 含量 (%)	各 級 土 粒 (毫 米) 百 分 數 (%)			
		<0.01		<0.001	
		50 克土中 0.5 N NaPO <sub>3</sub> 用量(毫升)			
		60	40	60	40
24565	0.51	20.0	20.0	11.0	10.0
24493	3.96	26.0	25.0	16.0	14.0
23582	5.43	29.5	27.0	12.5	10.0
23650	9.64	19.5	18.0	11.5	9.0
25058	10.91	27.3	24.0	12.8	12.0
25219	12.05	25.3	22.0	10.5	8.0
25208	12.63	43.0	44.0	20.8	20.0
25182	14.15	43.8	43.0	19.0	18.0
24520	19.54	51.5	51.0	20.0	19.0

表 17 華南紅壤中 NaOH 不同用量對機械分析的影響\*

0.5 N NaOH 毫升數	各 粒 級 百 分 數	
	<0.01 毫米	<0.001 毫米
30	63.8	34.2
40	63.6	35.2
60	63.8	36.2
80	62.2	32.6
100	63.6	32.8
130	62.8	34.2
200	62.4	30.0

\* 質地為輕粘土

洗鹽法所得粘粒的 80—91%，倒置巴氏濾管法的結果與平板漏斗法相近，其粘粒含量約為離心機法的 94—98%，玻杯傾倒法的粘粒含量約為平板漏斗法的 80—88%。各種洗鹽處理雖以玻杯傾倒法最差，但因操作簡單，似可與平板漏斗或巴氏濾管結合應用。

氯化鈉對土粒絮固的作用既如此顯著，為了獲得數字的說明，另在黃褐土中加入不等量的 NaCl 進行比重計測定(表 20)，土壤樣品都不加分散劑。

若只作物理研磨處理試驗，土壤懸濁液在 48 小時後都澄清，< 0.001 毫米的土粒都減少(與加 NaPO<sub>3</sub> 處理相比較約減少一半)，在土壤含鹽 10%，< 0.001 毫米的土粒發

表 18 各種洗鹽方法對土粒分散度的影響

土 號	含鹽量%	洗 鹽 方 法	各 粒 級 (毫 米) 百 分 數					<0.001 比 值
			2—0.05	0.05—0.005	<0.005	<0.01	<0.001	
27247	0.33	離 心 機	5.5	52.5	42.0	53.0	31.5	100
		玻 杯 傾 倒	5.5	56.5	38.0	51.0	25.0	80
27353	0.26	離 心 機	17.5	45.5	37.0	45.5	24.0	100
		玻 杯 傾 倒	12.0	53.0	35.0	42.0	22.0	91
27354	0.30	離 心 機	9.5	31.5	59.0	69.0	37.0	100
		玻 杯 傾 倒	14.0	36.0	50.0	60.0	30.0	81
27223	>4.0	平 板 漏 斗	14.0	60.0	26.0	34.0	18.0	100
		倒 裝 巴 氏 濾 管	11.5	64.5	24.0	35.5	17.0	94
		玻 杯 傾 倒	7.5	70.5	22.0	31.0	14.5	80
27224	3.5	平 板 漏 斗	5.0	52.5	42.5	56.5	26.0	100
		倒 裝 巴 氏 濾 管	8.0	52.0	40.0	53.0	25.5	98
		玻 杯 傾 倒	1.5	59.5	39.0	57.0	23.0	88

表 19 不同鹽分和含量下的土粒混濁度

鹽 分	0.5%	0.4%	0.2%	0.1%	對 照*
NaCl	1	2	3	5	5
NaCl+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	3	4	5	5
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3	4	5	5	5

\* 對照即不加鹽分

表 20 不同處理對土粒絮固的影響

處 理	各 粒 級 (毫 米) 百 分 數				48小時後懸濁 液的絮固情況
	<0.05	<0.01	<0.005	<0.001	
僅物理處理,不加分散劑	86.2	39.2	25.2	11.1	清
加分散劑 NaPO <sub>3</sub>	86.2	44.5	32.6	21.4	懸 濁
土壤含 0.1% NaCl, 不加 NaPO <sub>3</sub>	83.2	37.2	24.2	11.1	清
土壤含 0.6% NaCl, 不加 NaPO <sub>3</sub>	84.2	38.2	26.1	11.1	清
土壤含 10% NaCl, 不加 NaPO <sub>3</sub>	96.2	43.2	16.1	絮 固	最 清

生絮固無法測定。

但是在加有 NaCl 的土壤中,再加以 NaPO<sub>3</sub>, 土壤分散反較為優(表 21), < 0.005 及 < 0.001 毫米的土粒都比只加 NaPO<sub>3</sub> 的處理的含量高。

在加以不同 NaCl 含量的試驗中(NaPO<sub>3</sub> 用量是一定的), 細粒部分的含量因所加的 NaCl 增加而加大(表 22)。

我們又曾用不同鹽類進行試驗,無論是 NaCl 或 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 都有同樣的趨勢,所得細

表 21 含 NaCl 土壤中加 NaPO<sub>3</sub> 後的分散情況

處 理	各 粒 級 (毫 米) 百 分 數			
	<0.05	<0.01	<0.005	<0.001
NaPO <sub>3</sub>	86.2	44.5	32.6	21.4
0.1% NaCl+NaPO <sub>3</sub>	88.6	44.0	34.4	23.4
0.1% NaCl	83.2	37.2	24.4	11.1
0.6% NaCl+NaPO <sub>3</sub>	88.6	45.0	34.4	24.4
0.6% NaCl	84.2	38.0	26.1	11.1
10% NaCl+NaPO <sub>3</sub>	100.8	51.9	40.1	25.8
10% NaCl	98.2	43.2	16.1	絮固

表 22 不同 NaCl 含量對於 NaPO<sub>3</sub> 分散土壤的情況

粒 級 (毫 米)	對 照 (祇 加 NaPO <sub>3</sub> )	0.1%	0.2%	0.6%	10%
<0.05	89.7	88.6	89.7	88.6	100.8
<0.01	45.3	44.4	44.5	45.0	51.9
<0.005	34.8	34.4	33.3	34.4	40.1
<0.001	23.4	23.4	23.5	24.4	25.8

表 23 不同鹽類對於 NaPO<sub>3</sub> 分散土壤的情況

處 理	各 粒 級 (毫 米) 含 量							
	<0.05		<0.01		<0.005		<0.001	
	%	比 值	%	比 值	%	比 值	%	比 值
對照(NaPO <sub>3</sub> ).....	86.2	100.0	44.5	100.0	32.6	100.0	21.4	100.0
10% NaCl + NaPO <sub>3</sub> .....	100.8	116.7	51.9	116.6	40.1	123.0	25.8	120.6
10% (NaCl+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )+*NaPO <sub>3</sub>	80.5	93.3	54.6	122.7	42.2	129.4	29.0	135.5
10% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NaPO <sub>3</sub> .....	81.6	94.7	56.0	127.2	45.4	139.3	29.8	139.3

\*NaCl: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>=1:1

粒百分數都比對照高。各種鹽類影響 NaPO<sub>3</sub> 的分散也不一致，其增加分散度的次序是 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > NaCl + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > NaCl (表 23)。據麥特生(Mattson)的試驗，同樣規定濃度，而種類不同的鹽類，絮固鈉質膠體的情況不同，NaCl 的絮固力比 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 大一倍半，比亞鐵氰化鈉高 2 倍。

## 摘 要

本文對於土壤機械分析在比重計的校正、比重計速測和土粒分散措施進行了一些試驗，現將結果摘要如下：

1. 土壤機械分析中所用的比重計式樣和規格應當劃一，校正應求精確，這對具體工作方便很多。最好的比重計式樣是流線型的浮泡，內盛水銀，柄桿應細長，刻度應精確校正。最好固定模型製造比重計以便式樣劃一。

2. 固定一個比重計按實際工作結果，假定一個土粒沉降深度，根據司篤克公式計算出不同溫度下各級土粒沉降一定深度所需時間，以後可按不同溫度在不同時間直接測出某種粒徑的土粒含量，方便很多。

3. 在未除去電解質的情況下，煮沸處理對於土粒分散並無特殊效果，研磨 5 分鐘或攪拌 15 分鐘與振盪 8 小時對土粒分散的效果很接近，為簡化物理分散，研磨處理是可採用的。

據初步試驗結果，土壤分散劑的用量是在石灰性土壤中以每 50 克土壤用 60 毫升 0.5 N NaPO<sub>3</sub> 較為適宜，紅壤中以 50 克土用 60 毫升 0.5 N NaOH 為較適宜。

鹽土中的溶性鹽分可用玻杯傾倒法結合平板漏斗或巴氏濾管以洗去之，但鹽土中的有些鹽分可幫助分散劑分散土粒，據實驗結果各種鹽類增加 NaPO<sub>3</sub> 的分散力並不一致，其次序是 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > NaCl + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:1) > NaCl，但土壤中鹽分組成複雜是否可不進行洗鹽而直接加分散劑以後應實際試驗。

### 參 考 文 獻

- [1] Baver L. D., 1956. Soil physics. 3rd edition.
- [2] 中央人民政府水利部南京水利實驗處，土工試驗手冊。
- [3] 契爾尼柯娃 T. H., (王國權譯，1953)論機械分析中土壤處理方法。土壤學報，2卷3期。
- [4] 夏家洪等，1953。石灰性土壤機械分析的良好分散劑——偏磷酸鈉。土壤學報，2卷3期。
- [5] 陳振鐸等，1947。普通浮秤法土壤機械分析之研究。台灣省農業試驗所專報第2號。
- [6] 宋達泉，1935。土壤機械分析之理論與實際。土壤與肥料，第1卷第5、6號。
- [7] 中國科學院長春綜合研究所，1953。地基土壤檢驗規範草案。
- [8] Кацинский Н. А., 1938. Классификация почв по механическому составу. Журнал «Почвоведение».

## HYDROMETER METHOD OF MECHANICAL ANALYSIS OF SOILS

S. C. TENG, C. C. HSIA AND Y. HSEUNG

(Soil Institute, Academia Sinica)

A definite type of hydrometer with linear and fine stem and parabolic bulb is suggested. Before measurement, the hydrometer should be well calibrated. The contents of soil particles of different size can be directly determined at different time after sedimentation of particles.

Grinding the soil sample for five minutes is available for mechanical dispersion of soil particles. 60 ml of 0.5 N NaPO<sub>3</sub> for 50 grams of soils is suggested for calcareous soils and 60ml of 0.5 N NaOH for 50 grams of soils is suggested for lateritic soils.