

土 壤 液 性 限 度 的 討 論

(鐵道研究通訊抽印本第10號)

鐵 道 部 鐵 道 研 究 所

一 九 五 四 年 · 北 京

土壤液性限度的討論

土壤研究組 楊燦文

(一) 引言

液性限度是土壤的基本性質之一，在工程技術上有着十分重要的作用；在建築設計中需要根據它以決定地基土壤的種類和耐壓力（註1），在鐵路公路和水利工程中也可以根據它以決定最佳含水量和工地控制的方法（註2）。除此之外還有很多其它的應用，因此有關液性限度的試驗方法和原理已漸漸獲得了普遍的重視。

目前我國各地的土壤試驗室中存在有兩種測定液性限度的方法：第一種是蘇聯華西里耶夫所設計的76克平衡錐（註3）（以下簡稱華氏平衡錐）。這個方法在1953年8月14日中國科學院所召開的地基土壤討論會上被推薦作為標準方法，現正日益廣泛地被各處所採用。第二種是卡薩格郎奇所設計的液限儀（註4）（以下簡稱卡氏液限儀），這種方法過去曾普遍使用，現已逐漸減少。

最近兩年來，在我國的刊物上曾有許多關於這兩種新舊方法比較試驗的報導，有許多意見認為這兩種試驗方法的結果基本上應該是一致的，（註5，註6）其間僅有準確程度的差別。另有一部份意見認為新方法的結果比舊方法約小10%（註7）。

我們認為新舊方法之間有很大的差別，而且這些差別是可以從土力學的基本觀念上加以解釋的。因而從這個方向進行了一些研究，結果證實了華氏平衡錐與卡氏液限儀在試驗原理上有着基本不同的特性，因此若在高塑性的土壤中用卡氏液限儀便將發生很大的誤差。

茲將我們的論據和資料報導如下。這些意見可能有不够全面之處，希望讀者多加以討論、批評和指教。

(二) 基本的原理和討論

液性限度是土壤從液體狀態變成塑體狀態時的分界點。當土壤的含水量很多時，它處於液體狀態，可以自由流動（但不同於普通液體）其抗剪強度為零。若使土中的水份逐漸減少，則逐漸有了抗剪強度而進入塑體狀態。所以，從理論上看，液性限度就是土體的抗剪強度『從無到有』時的分界點。我們以這個分界點上的含水量作為代表液性限度的數值。

但是，如果從這個基本觀點出發去尋求液性限度，却將遇見許多困難。首先，土壤抗剪強度的『從無到有』是一個漸變的過程，其中尚未發現明顯的突變點，因而很難決定分界綫。其次，粘性土壤的剪力試驗本身是一個極為複雜的問題，到目前為止，各地所採用的剪力儀和剪力試驗方法還很不一致，土壤在不同的條件下有極不相同的抗剪強度，因而現時還不可能從這條複雜的途徑上去解決液性限度問題。有一些學者主張按照抗剪強度的數值去決定液性限度儀器的優劣和異同（註7，註8）我們覺得這至少在目前是不妥的。

實際上一般液限儀都是從亞德伯的規定（註9）發展出來的，華氏平衡錐和卡氏液限儀也都是如此。他們設計儀器時的目標是要減少試驗中的誤差以使全國各地的試驗結果互相符合。在確定了儀器之後他們也曾附帶着分析和估計了抗剪強度的數值（註4，註8）但那些估計的方法和準確性是還需要商討研究的。華氏平衡錐的優越點在於其準確可靠性，而不在於其抗剪強度的大小。

但值得注意的是：華氏平衡錐和卡氏液限儀雖然都是爲了一致的目標而設計的，它們却只能在某一範圍內取得相同的結果。由於這兩種儀器在試驗原理上有基本不同的特性，它們是不可能在各種情況下獲得完全一致的結果的，這可以從抗剪強度的基本觀念上得到解釋。在試驗操作過程中，華氏平衡錐以76克重的圓錐放在土上而觀測其下沉量，其結果將依土樣抵抗靜力的強度而決定，卡氏液限儀則以土放在銅盤中撞擊25次，其結果將依土樣抵抗震動和撞擊的能力而決定。根據土力學的理論，土壤的抗剪強度在靜力、動力和震動作用下有很大的區別（註10）。當砂土受震動時其強度減低得很多，粘土的塑性指數愈大時則受震動的影響愈少。因此，華氏平衡錐與卡氏液限儀的基本區別是由於土壤對於震動的抵抗力不同而產生的。若使這兩種儀器在某一個塑性指數的範圍內取得一致結果，則土壤的塑性指數高於這個範圍時卡氏液限儀將得到較大的數值，當土壤的塑性指數低於這個範圍時，卡氏液限儀將得到較華氏平衡錐更小的數值。實際試驗已經證實了這一點。

（三）液性限度試驗的發展過程

四十幾年以前瑞典農業科學家亞德伯，將土壤的稠度區分爲下列五個階段（註4, 11, 12）。

1. 液性階段：土粒在水中形成懸液，即土粒懸浮在水中。
2. 半液性階段：水份減少土與水膠合，類似膠性土，本身不能維持一定之形狀。
3. 塑性階段：水份再減少，此時土可以保持一定的形狀，也就是可以塑成任一形狀，無彈性，且不發生裂紋。

4. 半固體階段。

5. 固體階段。

同時他又根據稠度規定了下面各種界限，通常我們稱作爲亞德伯界限，這些界限均以水份佔固體部份重量的百分數表示之：

1. 滯流上限—此界限爲液性階段與半液性階段的分界。
2. 滯流下限—半液性階段與塑性階段之分界—通常稱爲液性限度或塑性上界。
3. 粘着界限—水份在某一限度內，土體剛剛不粘着工具時即達粘着界限。
4. 粘聚界限—碎塊的土不能再粘到一塊時即達粘聚界限。
5. 塑性下限—又稱朔性限度—土壤搓至三公厘圓條時斷爲數條。
6. 收縮界限—飽和狀態下水份在空氣中蒸發，土之體積隨之而減小，至某一程度時，土之體積不再減小，即達收縮界限。

除此之外，亞德伯將液性界限及塑性界限之差叫做塑性指數。

亞德伯測定液性限度的方法（註3, 4）是將25克左右的土樣放在圓底的磁盤內（直徑10—12公分）加水拌和成漿體，然後將盤放在帶蓋的玻璃皿內靜置一晝夜，以使其水份均勻分佈在每一顆粒之表面，第二天取出重新攪拌，並使土體在盤中間的厚度各小於1公分，用刮刀將中間刮成V形溝槽（如圖1a）然後撞擊三下；當三擊後兩半土體相接處的高度不小於1公厘，長度爲1.5—2公分（如圖1b）則此時

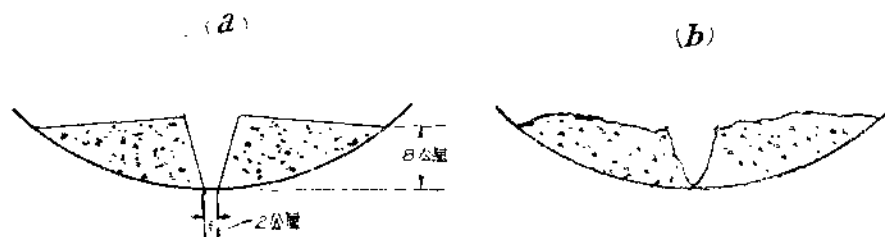


圖 1

之含水量 $\left(\frac{\text{水份重}}{\text{乾土重}} \times 100\%\right)$ 即稱為液性限度。

當初亞德伯對土壤的液性限度的建議原與工程無關，後來由泰沙基將它引用到土力學上來。

繼亞德伯所建議的試驗方法之後曾有很多人定出很多不同的方法，在蘇聯曾有：B.A. 蘇熱尼琴（莫斯科）「使錐震動三次」；П.А. 捷敏雅斯基（列寧格勒）「用手擊錐邊幾下」；H.A. 波利亞可夫（莫斯科）「用手打錐三次」；B.M. 故敏斯基（列寧格勒）「用錘打手三次」等等（註3）。這些方法因為試驗者用力大小不同和打擊方法不同的影響不能得到一致的結果。

由於上面的一些缺點，許多人開始研究用機械的方法，其中較普遍者有三：蘇聯過去採用的落錐法（註12），卡氏法以及近來蘇聯國家標準所規定的華氏平衡錐法。

（四）關於華氏平衡錐與卡氏液限儀物理意義的討論

（1）華氏平衡錐的物理意義：

華氏平衡錐是從很多的比較試驗結果得來的，平衡錐的重量是76克，尖端為30°，當沉入土體內為一公分時土壤之含水量即為液性限度。華氏平衡錐如圖2所示。

華氏本人並未將平衡錐加以理論的解釋，後來 M.H. 高爾得希琴在他所著的土壤的力學性質一書內（註8）論證了華氏平衡錐的物理意義。由於土壤在錐體的作用下塑性變形的理論到現在尚未解決，原作者在分析中，暫時從 П.А. 列別捷爾院士的假定出發，茲摘述如下：

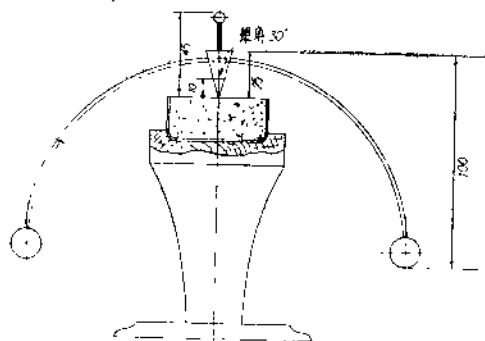


圖 2

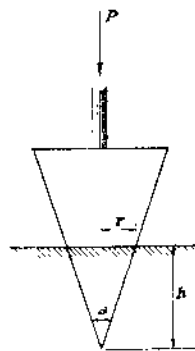


圖 3

已知錐體的重量 P，土壤的抗剪面積 F，如圖3所示，則沿接觸面的最大抗剪強度為：

$$\tau = \frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{F} \quad \text{①}$$

式中 α — 錐之尖角。

h — 錐體之沉入深度。

$$\text{錐的側面積 } F = \pi r l = \frac{\pi h^2 \tan \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

則土壤與錐接觸面的抗剪力 τ 為：

$$\tau = \frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{F} = \frac{P \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\pi h^2 \tan \frac{\alpha}{2}} \quad \text{②}$$

根據列別捷爾院士的試驗，在滯留的物體的稠度下 τ 的值為一常數，與作用荷重 P 無關，以華氏平衡錐的數據代入公式②得到：

$$\tau = \frac{0.076 \cos^2 15^\circ}{3.14 \times 1^2 \times \tan 15^\circ} = 0.08 \text{ 公斤/平方公分} = 80 \text{ 克/平方公分}$$

M.H.高爾得希琴氏又將華氏平衡錐假定為楔體而進行分析，並假定在楔體和土壤中間無摩擦力。如圖4所示土體在塑性平衡狀態下之抗壓力，根據B.B.稍考羅夫斯基的公式（附註12）為：

$$P = 2c (\alpha + 2 - 2\gamma) a$$

式中 c — 粘聚力（公斤/平方公分）

P — 楔體單位長度上之重量

γ — 楔體與土體表面之交角

a — 楔體沉入 h 公分（自尖部）處寬度之半。

h — 沉入深度

$$\text{因為 } \gamma = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \quad a = h \lg \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{故 } P = 2c (2 + \alpha) h \lg \frac{\alpha}{2}$$

$$c = \frac{P}{2 (2 + \alpha) h \lg \frac{\alpha}{2}} \quad (3)$$

楔體與土表面接觸面之抗剪力為：

$$\tau = \frac{P c \alpha^2 a / 2}{2h} \quad (4)$$

由公式③及④得

$$\frac{c}{\tau} = \frac{2}{(2 + \alpha) \ln \alpha}$$

當 $\alpha = 30^\circ$

$$c = 1.58 \tau \quad (5)$$

根據⑤式得華氏平衡錐測得的液性限度時土壤之粘聚力為：

$$c = 1.58 \times 0.08 = 0.13 \text{ 公斤/平方公分}$$

(2) 卡氏液限儀的物理意義：（附註2）

卡氏液限儀的操作方法中，主要步驟為將土體鋪於銀中，用特製的刮刀將中間部份刮成一公分厚的V形溝槽，然後搖動手柄，使銅錐拾高一公分下落撞擊在硬橡皮或膠木之底板上。當二十五擊時若兩半土體有1.2公分長相接觸，則其含水量即為土壤之液性限度。抵抗V形槽溝變形的力是土壤的抗剪力。因此使V形槽溝接觸的下擊次數可以看作是一種相對的測量在相應的土壤含水量下土體之抗剪強度。從這種觀點出發，則所有土壤在液性限度時應該具有常數的抗剪強度。

卡氏用粘土在各種不同的含水量下作直剪力試驗，將剪力試驗的結果與液性限度試驗結果畫在同一圖上（如圖5所示）相比較，因而得到了液性限度時土壤的抗剪強度為27克/平方公分之結論。

(3) 關於液性限度物理意義的討論：

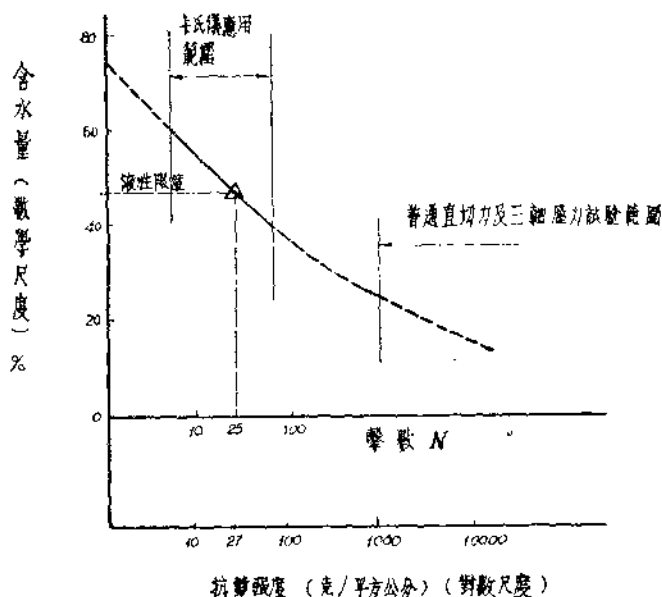


圖5 粘土抗剪強度，擊數與含水量關係圖

前兩段雖指出 M. H. 高爾得希琴求得應用華氏平衡錐所得液性限度時土壤抗剪強度為 80 克 / 平方公分。卡氏求得的却是 27 克 / 平方公分。但我們認為這兩個抗剪強度的數值是不能互相比較的，首先 M. H. 高爾得希琴及卡氏所得到的土壤在液性限度時抗剪力數值的來源是完全不一樣的。卡氏所得到之土壤在液限時之抗剪強度 (27 克 / 平方公分) 是從剪力試驗得來的，原文中未說明試驗所採用的儀器和試驗方法。但卡氏本人將剪力試驗區分為快試、慢試及參照快試法三種，不同的方法會得到不相同的結果。因此 27 克 / 平方公分的數值也還是值得懷疑的，同時卡氏的剪力試驗比較數值只是根據粘土，對於砂質粘土及砂質壤土是否能得到相同結果也是疑問。至於 M. H. 高爾得希琴所寫的抗剪力分析，前一半是從 П. А. 列別捷爾院士的假定出發的，而後一半將固態假定為液態也未說明理由，當然尚不能認為完全可靠。這樣我們如果將兩種不同來源而且其推演的過程尚有問題的抗剪力數據相比較是不很妥當的。

另一方面從上面看出二種儀器的物理意義都是在應用儀器之後補充的，可知設計儀器時並未考慮到剪力大小的問題。

(五) 試驗結果

為了證實我們的論點我們在實驗室進行了一批比較試驗，試樣是從很多地方蒐集而來，內中包括一些比較特殊的土壤如鹽土，坍方流泥土壤等，試驗結果如表 1。同時並列舉現有的其他部門的資料如：中國科學院長春綜合研究所，和同濟大學俞調梅教授的一些試驗資料，以作比較 (表 2—表 4)。

我們試驗所用的兩種儀器的規格如下：

華氏平衡錐——平衡錐重 76 克，錐角 30°，鋼絲弧頂至平衡球下端之垂直距離為 100 公厘，土壤杯直徑為 40 公厘，杯高 25 公厘。

卡氏液限儀：——鋼錐及凸輪從動部總重 216 克，厚 3.4 公厘，底座材料為膠木。

我們所用的卡氏儀除厚度較原設計標準大 0.4 公厘外，重量則在卡氏規定之允許範圍內 (200 克 ± 20 克) (註 4) 我們所用的華氏平衡錐，完全合乎華氏本人所推薦的尺寸。

試驗時的操作方法完全根據華氏和卡氏的規定，並參照了俞調梅教授著作中所介紹的經驗。

我們的比較試驗結果如表 1：

表 1

土樣號碼	液 性 限 度		塑 性 限 度	塑 性 指 數		取 樣 地 點	備 註
	華氏平衡錐	卡氏液限儀		華氏平衡錐	卡氏液限儀		
1	21.6	20.6				西北張家口	砂質壤土
2	25	24.7	18.4	6.6	6.3	"	"
3	28.2	29.7	17.3	10.9	12.4	"	"
4	29.2	33.1				寶天路某處	黑 色
5	30.6	34.3				廣西南寧	綠 色
6	34.1	38.2	18.7	15.4	19.5	漢 陽	紅 色
7	34.3	40.0	18.0	16.3	22.0	寶天路某處	紫 紅 色
8	35.6	41.2	17.7	17.9	23.5	柳 州	灰 色
9	36.0	40.7	16.0	19.1	23.8	漢 陽	
10	36.2	43.1	16.9	19.3	26.2	漢 陽	
11	37.0	44.0	17.1	19.9	26.9	灤 口	
12	39.5	46.5	17.8	21.7	28.7	西北張家口	
13	40	48	16.7	23.3	31.3	漢陽赫山山頂	
14	41.0	50	17.2	20.0	32.8	"	
15	42	53.4	17.0	25	36.4	廣 陽	

16	43.1	50.1	17.2	25.0	38.9	漢陽縣山由脚	
17	43.7	53.0	19.5	24.2	33.5	內 蒙 古	
18	44.0	55.0				青 寧	杏 黃 色
19	45.5	56.7	14.7	27.0	39.1	遼 東	
20	46.5	61.5	18.4	28.1	33.1	"	
21	28.3	27.3				北京西郊	砂質壤母
22	34.6	35.1	21.8	12.8	13.3	西北張掖	碱灘土樣
23	31.9	36.9	21.3	13.7	15.6	"	"
24	35.0	35.1	20.1	14.9	18.0	"	"
25	36.0	33.8	21.5	14.5	17.3	"	"
26	36.5	37.4	25.3	11.2	12.1	"	"
27	36.9	38.9	25.2	11.7	13.7	西北張掖	碱灘土樣
28	37.7	43.7	22.2	15.5	21.5	"	"
29	38.7	41.1	23.3	15.4	17.8	"	"
30	40.4	44.9	22.0	20.4	22.9	"	"
31	41.7	46.2	21.4	19.3	24.8	"	"
32	49.3	58.1	27.2	22.1	30.9	"	
33	55.6	65.9	24.4	31.6	41.2		
34	67.2	83.5	37.5	29.7	46.0	南 寧	黑 粘 土
35	85.7	105.2	46.6	39.1	58.2	內 蒙 古	
36	23.7	22	17.5	6.2	4.5	張 掖	砂質壤母

中國科學院長春綜合研究所土建研究室的比較試驗結果（註6）如表2：

表 2

土 壤 名 稱	新 方 法	舊 方 法			附 註
		盤 重 205 克	盤 重 170 克	盤 重 160 克	
砂 質 粘 土	26.1	26.4	26.1	26.0	舊方法係用卡氏液限儀。 新方法為華氏平衡瓶
"	39.3	39.2	38.8	—	
"	36.5	37.6	37.2	36.7	
"	31.2	31.1	30.8	—	
"	29.2	31.5	29.4	—	
砂 質 壤 母	27.1	25.9	—	—	
砂 質 粘 土	29.9	30.8	30.5	29.3	
"	35.0	36.1	35.4	35.2	
"	31.4	33.0	31.2	30.6	

俞調梅教授論文中的比較試驗（註5）結果如表3：

表 3

土 樣	用美氏卡氏	用蘇聯式錐形
	流性限度儀	流性限度儀
粘 土 第 一 號	37	31
粘 土 第 二 號	41	35
粘 土 第 三 號	51	43
皂 土 (bentonite)	123	111

中國科學院長春綜合研究所編的土壤流限、塑限、比重、顆粒分析比較試驗總結內關於流性限度的比較試驗部份如表4（註14）：

表 4

土 樣	單 位				南京水利 實 驗 處	科 學 院 長春綜合 研 究 所	鞍 鋼 黑 色 冶 金 設 計 公 司	天 津 水 工 試 驗 所
	鐵 道 研 究 所	清 華 大 學	交 通 部 公 路 總 局 材 料 試 驗 所	同 濟 大 學				
科 A	43.7※	39.4△ 37	38	39.4 46.6※	37.5 46.0※	37.3	40	47.6※
科 B	42.4※	40.3△ 38.5	38	38.7 46.7※	38.5 37.9※	38.0	40.3	43.4※

註：△號表示用科學院儀器館早期出產之蘇式流限儀測得之結果

※號表示用卡氏流限儀測得之結果。

未註附號者係以蘇聯華西里耶夫平衡錐測得之結果

該二土樣之塑性限度平均為18。

其中各單位所用儀器規格如下表：

表 5

單 位	蘇 式 流 限 儀				卡 氏 儀	
	錐 重 (克)	鋼絲弧頂至平衡球下 端間之距離 (公分)	杯 徑 (公分)	杯 高	錐 重 (克)	底 座 材 料
鐵 道 研 究 所					216	硬 木
清 華 大 學	76	8	4	2.5		
公 路 總 局	76		4	2		
同 濟 大 學	76	12	3.6	5.5	143.9	膠 木
南 京 水 利 實 驗 處	76		4		200	
科 學 院 長 春 綜 合 研 究 所	76	12				
鞍 鋼	76	9.7	4	3.5		
天 津 水 工 試 驗 所					209.3	膠 木

（六）試驗結果的分析及討論

從以上的試驗結果來看是完全符合我們的論點的，茲作以下幾點分析和討論：

（1）從表1我們所作的比較試驗數據中可以看出，絕大多數的數據是液限愈大，兩種儀器的差別也愈大。在同等的液性限度上，土壤的塑性限度愈高，其差別愈低。故知兩種結果的差數主要是依塑性指數而變化。例如在表1中上樣1—26液限由21.6—46.6（以華氏平衡錐為準）其差別由—1逐漸增加到15；土樣21—35，液限由28.3—85.7（以華氏平衡錐為準）其差別由0.5—19.5。土樣6，7，22和23，其液限（華氏）各為34.1, 34.3, 34.6, 34.9，相差很少。然而因為其塑性指數不同（各為15.4, 16.3, 12.8, 13.7）則其差別各為4.1, 5.7, 0.5, 2.0。即表示塑性指數愈小的差別愈小。因為差別主要是由於震動而產生的，當土壤的塑性大時其對於振動的抵抗能力較對於靜力的抵抗能力相對地提高，因而必須相對地增加水份始能達到卡氏儀的液性限度。反之，若塑性指數降低時，則卡氏液限儀所產生的液性限度較華氏平衡錐的結果相對地降低。

（2）根據上述的推論，塑性指數降至最低時，卡氏液限儀的結果可能降至低於平衡錐的結果，這一點也得到了證實。對於砂質壤土類土壤，華氏平衡錐所得的結果都較卡氏液限儀為大。如表1中上樣1、2及21，表2中的砂質壤土樣都是這樣。雖然我們對此類土壤所作的試驗還不夠多，但是從所作的試驗結

果來看還沒有例外。這也說明了震動的影響有很確定的可以預測的規律性。

(3) 我們將上面各表內的試驗結果，以橫座標代表華氏平衡錐的數據，以縱座標表卡氏與華氏儀結果的差數，繪製成曲綫如圖 6。

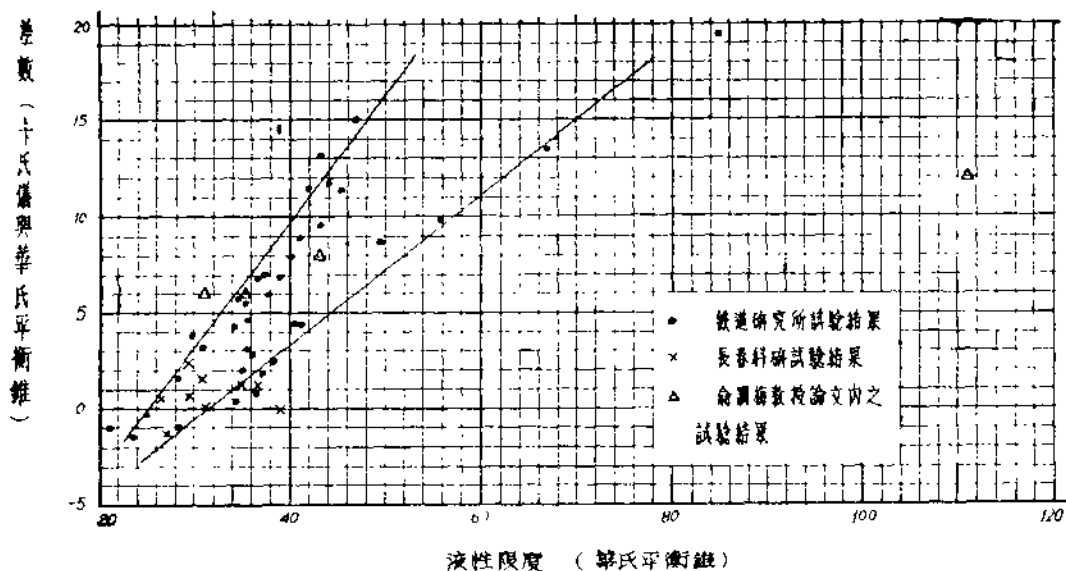


圖 6

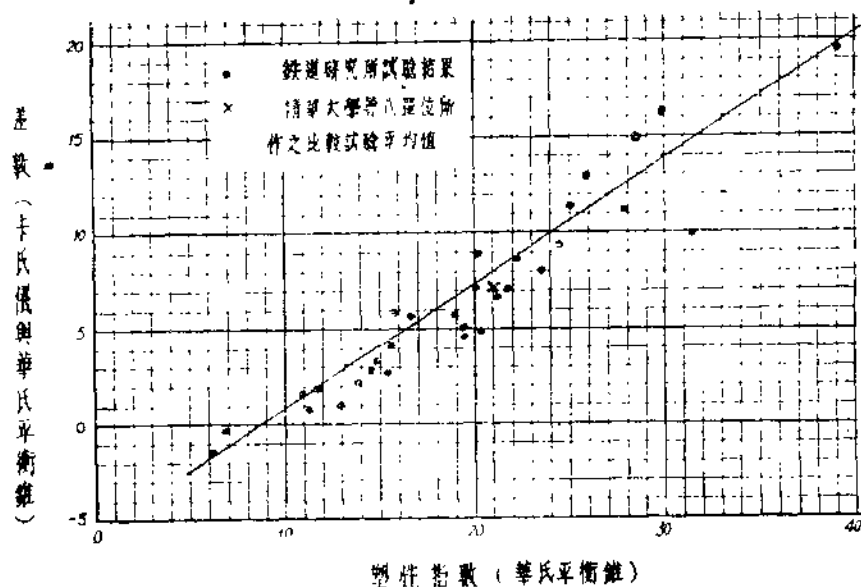


圖 7

從圖 6 上可以大致看出二條直線，下面的一條絕大部份是塑性限度較高的土樣，這正符合我們前面的分析。

如果拿橫座標表示土壤的塑性指數，以縱座標表示華氏平衡錐與卡氏液限儀試驗結果的差數，繪製另種曲線則圖 6 的兩條曲線應大致的變為一條；結果圖 7 所示，正是如此。

上面的兩條曲線是用比較試驗的結果繪製出來的，它可以幫助我們更清楚的了解這兩種不同儀器的差別概況。

(4) 表 2 內中國科學院長春綜合研究所土建研究室的比較試驗中兩種儀器所得的結果相當接近。這是因為他們的試樣的液限範圍很小 (20—36)，表內未列出土樣塑性限度的數據，但根據表內所定的名稱，除了一個砂質壤土外，其它均為砂質粘土。若據此以表 1 內我們的試驗樣 2、22、23、24、25、26 等相比較，那麼我們得到大致相同的結果。我們將科學院的結果繪在圖 6 上 (以 × 代表)，也證明符合於我們所發現的規律。

表 3 中俞調梅教授的比較試驗資料，基本上也是符合於上述規律的。我們將俞教授的試驗數字繪在圖 6 上 (以 △ 代表) 除了皂土外其它三個土樣大致與表 1 內相當的試樣相符合，俞教授曾認為兩種結果的差別可能是由於儀器不合規格及土樣中留有氣泡所致。但是根據我們的試驗及表 2、4 內的資料證明，這個差別是由於更基本的原因，而且符合一定的規律。

表 4 所列清華大學等單位的試驗結果互不相同，用華氏平衡錐測得的結果，科 A 土為 37—40，科 B 土為 38—40.5 用卡氏液限儀所得的結果，科 A 土為 43.7—47.6，科 B 土為 42.4—46.7，該土樣之塑性限度約為 18 (註 14) 差別約為 7—10。但是若將其試驗的平均結果繪入圖 7 也是符合於上述規律內。

因此，可以說表 2—4 的比較試驗資料與表 1 我們的比較試驗資料內兩種儀器差別，所表現的規律性是完全一致的。

(5) 華西里耶夫在他所著的土壤試驗書中特別指出新的 76 克平衡錐的試驗結果與 1940 年蘇聯工程試驗會議所建議的舊儀器試驗結果完全一致，還可能是過去許多人認為華氏平衡錐與卡氏液限儀結果應當一致的觀念之來源。但進一步對於華氏書中所指的舊儀器加以調查，證實所謂 1940 年的舊標準並非卡氏儀而是另一種落擊三次儀器，在落擊的鋼底盤下並且有橡皮墊着 (註 12)。這種試驗方法雖然也是動力，但撞擊的次數比卡氏儀少十倍之多，自不可同日而語。

(6) 錢家歡教授根據俞調梅教授的試驗結果而得到一個結論，認為蘇聯式液限儀所得到的數值較卡氏儀的結果約小 10% (註 7)。現在我們的結果說明這兩種方法在砂質粘土的範圍內是接近一致的；在砂質壤土中卡氏儀結果有較小的趨勢；在粘土中卡氏儀結果大於平衡錐其差別隨着塑性的增加而加大。

(七) 兩種儀器的差別對於實際應用的影響

根據這些資料的比較結果，我們究竟應該採用那種儀器呢？我們認為最合理的答覆是華氏平衡錐。因為在大規模推廣使用的情况下，如何使大家對於同一種試驗的結果能夠準確一致，是很重要的關鍵問題。卡氏儀可能因為許多因素（如鋼盤重量、搖動速度、底座材料性質等等）的影響而使結果互相出入，但華氏儀則構造簡單，易達於標準化而使大家得到一致的結果。

其次，我們在祖國建設中需要大量地吸取及學習蘇聯的規範，而蘇聯的有關資料是根據華氏平衡錐的結果製定的。所以在使用蘇聯規範時必需從與其來源相同的試驗方法出發。否則將會犯技術上的錯誤，為了說明這一點，下面列舉三個例子：

(例一) 我國現用的天然地基設計規範是根據蘇聯『工業民用房屋及建築物地基設計』，其中對粘性土壤所需要的指標是液性限度，塑性限度，天然含水量，空隙比及土壤類別。土壤類別又是根據土壤的塑性指數而定，塑性指數從 1—7 時為砂質壤土，7 到 17 為砂質粘土，大於 17 時為粘土。茲舉例說明一個土樣的液性限度用卡氏及華氏兩種不同的儀器得到不同的結果對應用蘇聯規範 (註 1) 的影響如何。

A) 對土壤分類的影響—表 1 內，6 號，7 號，24 號，25 號，28 號，29 號等土樣都因為液性限度試驗所採用的儀器不同而使土壤類別有所改變，如果用華氏平衡錐為標準則它們都是砂質粘土，但是如果以卡氏儀為標準時它們都應為粘土。

B) 對土壤稠度的影響—通常我們求粘性土壤的稠度應用公式 $B = \frac{W - W_p}{W_n - W_p}$

式中：B 為土壤的稠度。

W_p —粘性土壤的塑性界限。

W_n —液性指數

公式中對於同一土樣，分子與液限無關，分母中塑性指數是液限與塑限之差，如果液限數值不同當然就會使稠度的數值改變，例如表 1 內 28 號土樣。

$W_p = 22.2$,

W_n 卡氏 = 21.5,

W_n 華氏 = 15.5

假定土壤的天然含水量為 30%

根據二種液限儀所得的數據則稠度各為：

$$B_{\text{卡氏}} = \frac{30 - 22.2}{21.5} = 0.36$$

$$B_{\text{華氏}} = \frac{30 - 22.2}{15.5} = 0.51$$

B) 對土壤允許承載力的影響—拿表 1 內，28 及 19 號土樣為例，根據蘇聯工業與民用建築物及構築天然地基設計標準及技術規範，假定已知土壤之天然空隙比及天然含水量，得到土壤之允許承載力如下表：

表 9

土樣 號碼	測定液限 所用之儀 器	天 然 含 水 率 %	塑性指數 W_p	液性限度 W_L	塑性指數 W_p	稠 度 B	天 然 空 隙 比	土壤名稱	允 許 承 載 力
28	華氏平衡錐	30	22.2	37.7	15.5	0.51	0.7	砂質粘土	2.14
	卡氏液限儀	30	22.2	37.7	21.5	0.36	0.7	粘土	3.15
19	華氏平衡錐	29	14.7	45.5	27.9	0.512	0.6	"	3.98
	卡氏液限儀	29	14.7	56.7	39.1	0.366	0.6	"	4.27

從上表看出因為卡氏液限儀和華氏平衡錐測出的液性限度不同，定出的允許承載力也很不相同。對於上表所列舉的兩個土樣來說，如果將卡氏液限儀的結果，應用到蘇聯的規範中決定承載力是相當不安全的。

(例二) 鐵路公路路基修築工程上，根據最近蘇聯 В. И. 畢羅里所著的路基壓實快速控制法一書內介紹，對土壤壓實之最佳含水量可以根據其液性限度來決定。通常最佳含水量 $W_0 = 0.55 \sim 0.65 W_L$ ， W_L 為液性限度。知道土壤之最佳含水量及空氣含量即可計算出最佳密度。如果我們將推廣了這個先進的方法，那就可以保證我們所要求的工程質量，同時也會大大加快我們的工程進度。但是這裏所說的液性限度值是用華氏平衡錐來測定的，如果不知道這個前提，將會得到不良的後果。

(例三) 液性限度值用來估計土壤的壓縮係數

英人 A. W. Skempton 從試驗中得到了粘性土壤壓縮係數與土壤液性限度的關係如圖 8 所示的曲綫（這條曲綫在參考資料 8 第 180 頁及參考資料 11 第 66 頁均有轉載）

如果我們知道土壤的液性限度就可以根據圖 8 找到其壓縮係數為若干，以用來估計基礎的沉降量。我們認為如果要應用圖 8，就必需首先知道這條曲綫是用卡氏液限儀得到的。那麼就不能根據華氏平衡錐的

結果，否則也是會產生偏差的。



圖 8

根據上面所述的三個例子，我們深深的體會到液性限度的試驗的重要性。但是如果我們不考慮所採用的儀器如何，就輕易把液限數據應用到實際問題中去是十分不恰當的。（當然在某一個小的範圍內兩種不同的儀器仍可能有相接近的試驗結果）。另一方面我們認為如果把液性限度的數值直接應用到實際問題上去時，需要加以慎重的考慮，特別是在應用規範及經驗公式時要充分了解其中液限的試驗是應該採用那一種液限儀器。

〔本文寫編，承本所盧肇鈞，周鏡兩同志的鼓勵和指導，並在試驗儀器和資料方面，蒙清華大學陳耀生教授和公路總局饒鴻雁先生大力幫助，謹此致謝〕

參 考 文 獻

- 註 1. 蘇聯工業與民用建築物及構築物天然地基設計標準及技術規範，顏景田譯
東北工業出版社
- 註 2. 路堤壓實快速控制法，В.И.畢羅里著 鐵道研究所譯
- 註 3. А.М.Васильев. Основы Современной Методики и Техники Лабораторных определений физических свойств Грунтов Москва—1953.
- 註 4. Notes on soil mechanics—first semester. Compiled by the teaching staff and students during the Academic year 1938—39 and based on the lectures by A. Casagrande, Harvard university graduate school.
- 註 5. 工程建設第三十五期，俞調梅教授論文，『關於亞德伯流性限度試驗的討論』
- 註 6. 廠房地基土壤試驗報告 中國科學院長春綜合研究所土建研究室
- 註 7. 土壤力學 錢家歡著
- 註 8. М.Н.Гольдштейн, Механические Свойства Грунтов. Москва—1952
- 註 9. 參考註 3，及註 8，二書
- 註 10. Доц. Н.Н.Богословский. основания и фундаменты. Стройиздат 1947
- 註 11. Soil mechanics in engineering practice by Karl, Terzaghi and Ralph, B. Peck, 1948
- 註 12. Е.Г.Чдловский. практическое руководство к Лабораторным работам по грунтоведению и Механике Грунтов. Госгеолгиздат 1945
- 註 13. В.В.Соколовский. Теория пластичности. Изд. АН. СССР. 1946
- 註 14. 土壤流限，塑限，比重，顆粒分析試驗總結。中國科學院長春綜合研究所。