

界限含水量试验的现状与展望

周序源

张剑峰

(水利电力部西北电力设计院, 西安)

(水利电力部华东电力设计院, 上海)

一、前言

界限含水量通常是指土的液限、塑限和缩限。众所周知,液限和塑限是粘性土极为重要的指标,是粘性土工程分类的主要依据,和天然含水量一起,是估价土的工程特性的主要参数。

早在1911,瑞典农学家阿太堡(Atterberg)研究农用土的物理状态,提出土从固态过渡到液态的五个阶段,将液限定义为粘滞流与塑态的界限含水量,塑限定义为塑态与半固态的界限含水量,故通称为阿太堡限度。此后,太沙基(Terzaghi)将它引用于土力学,1932年卡萨格兰德^[2](Casagrande)设计了碟式仪,建立了较精确的液限测试方法,沿用至今。早在1914年瑞典国家铁道土工委员会就提出了圆锥手落法,规定60克60度锥入土深度10mm时的含水量定义为圆锥仪液限^{[4][8]},1942年瓦西里耶夫(Васильев)研究了瑞典圆锥试验原理,提出了平衡圆锥仪法^[12],以76克30度锥入土深度10mm时的含水量定义为液限,1949年被列入苏联国家标准(ГОСТ),以后东欧及我国亦采用该标准。1970年舍伍德和赖利(Sherwood and Ryley)提出以80克30度锥入土深度20mm测定液限^[10],后列入英国国家标准(BS),作为与碟式仪法并列的标准。目前多数国家仍沿用卡氏碟式仪测液限。而苏联、东欧、中国、英国、法国、瑞典、印度等国已采用锥式仪。

塑限试验一般仍沿用搓滚法,多年来各学者曾提出以最大分子吸水量、压并法、挤压法、吸力法、固结法、线缩法等来代替搓滚法,但由于认识不一致而未能推广。1956年瓦西里耶夫提出以76克30度锥入土深度2mm时的含水量为液限。此后,国内外学者对用锥式仪联合测定液塑限作了大量研究,我国水电、冶金、交通等部门的试验室进行了大量比较试验^[21,22,23,24],日本北乡繁等人也作了比较系统的研究^[17],都认为圆锥入土深度与含水量在双对数坐标上呈现较好的直线关系,据以测定液塑限具有一定的可靠性。水电部土工规程SDS01—79修订时通过比较试验^[18],把联合测定法列为试行规程。以后交通部在制订公路土工规程时,通过大量试验也提出了改进的联合测定法^[19]。最近第二次液塑限比较试验又进一步肯定了联合测定法^[22]。目前,从国内外研究的现状和趋势来看,以锥式仪法测定液塑限正在发展中,有可能最终取代碟式仪法和搓滚法。

二、锥式仪法测液限

目前采用锥式仪测定液限的标准并不统一，详见表1。

表1 各国锥式仪液限的标准

国 家	锥角(°)	锥重(g)	入土深度(mm)	标准名称	备 注
中国(水电部)	30	76	10	SDS 01—79	已审查通过， 正送批中
	30	76	17	SDS 01—84	
中国(交通部)	30	100	20	JTJ 051—81	
英 国	30	80	20	BS 1377:1975	
法 国	30	80	20		
苏 联	30	76	10	ГОСТ 5184—77	
罗马尼亚	30	76	10	STAS 1913/4-76	
瑞 典	60	60	10		
印 度	30	75	10		

各国规程虽以锥式仪法为试验标准，但都是以碟式仪作为比较的基础，通过对比试验而确定圆锥规格和入土深度，但由于所用碟式仪的标准和操作方法不同，所得结果亦不同。1977年利特尔顿和法米洛(Littleton and Familo)经过对比试验认为，不论锥体规格如何，在液限小于100%时，锥式仪成果都能与碟式仪成果相吻合，液限大于100%时，锥式仪的测定值略低^[8]。

(一)锥式仪试验成果的影响因素

1. 锥角：锥角30度的锥式仪，如锥角误差1度，贯入阻力的变化约为6%^[8]。

2. 锥尖磨损：30度的锥角在多次使用后极易磨损，如入土深度以磨损的钝头触土为起点，则贯入阻力约增大9.5%^[8]。如以理想锥尖“接触土面”为起点，则可基本上消除钝头的影响。BS规定钝头的允许标准为“锥尖放入厚1.75mm金属板上的一个直径1.5mm的孔中，手指在背面刚好可以感到锥头”。这个规定大约相当于锥尖磨损1mm左右。考虑到低含水量测点的入土深度只有几毫米，故1mm的影响是相当大的，入土深度应加以修正。

3. 锥面粗糙度：锥面粗糙度的影响比锥角误差和磨损的影响大得多，高度光滑与高度粗糙的圆锥，其贯入阻力相差可达1.9倍^[8]。因此，除应有锥面必须光滑的规定外，每次测试前规定涂以薄层润滑脂，这是完全必要的。

4. 土面隆起：锥体贯入时四周的土面隆起，使理论计算的强度偏高(假定土面为不变的水平面)。广东水电设计院用液塑限联合测定法测定了土面隆起的影响，试验结果说明，塑性指数高的土(I_P 为30—40)，塑限和液限的差值分别可达3及4%，低塑性土的差值较小，但对土的分类定名无影响。国内外采用锥式仪测液限的规程与文献均未考虑土面隆起的影响。为测定方便，宜以圆锥下沉深度为准^[18]，不考虑土面隆起的影响。

5. 放锥快慢: 瓦西列耶夫提出的试验方法规定, 锥尖与试样表面接触后圆锥以自重下沉。BS规定: “在锥尖刚接触土面时, 在锥自重下自由下落”, 这些均属快放。在实际操作中, 某些试验人员为消除自由下落冲击力的影响, 采用待锥体重量全部或大部为土承担后再松锥, 即慢放。我国作者根据对比试验得到的结果, 说明慢放法所得入土深度约为快放法的0.89倍^[21]。实际上原倡议者规定的方法(快放)已包括锥自重冲击力的影响, 同时快放法在操作上易于掌握及统一, 且可采用机械或电磁放锥, 因此, 采用“快放法”较为适宜。

6. 取值时间: 对中、高液限的粘性土, 锥体沉入土中后能在短时间内趋于稳定。但低液限的粉质土, 随着锥体下沉有排水现象, 使锥体附近土的含水量增大, 锥体持续下沉有长达数分钟才稳定的。如取稳定后的读数, 则因含水量及土的强度均已变化, 已不能代表试样的真实情况。因此, 在锥体由快速的剪切破坏下沉转变为缓慢的受压排水蠕动下沉之前就应该读数, 多数标准规定取值时间为5秒, 这是比较合理的。

7. 平行测定及取值精度: Γ OCT规定试验时应调整含水量, 直至锥体入土深度恰好为10mm为止, 并需作两次平行测定, 两次测定的含水量差值不得大于2%, 取两次的算术平均值为液限, 精确至0.1%, 显然取值精度与允许误差不能相配。BS规定每个测点应有两次平行测定, 两次入土深度的差值不能大于0.5mm, 至少测4点不同入土深度, 作贯入度-含水量的最佳直线, 找出入土深度为20mm的含水量为液限, 含水量的测定精度为0.1%, 液限取值至整数值(%)。

(二) 贯入深度与含水量的关系

BS规定贯入深度(范围15—25mm)与含水量的关系, 在数学坐标上为直线关系; 罗马尼亚标准(STAS)规定贯入深度的对数值与含水量为直线关系; 北乡繁等人认为在双对数坐标上, 贯入深度与含水量的线性关系较好^[17]; 罗思和伍德(Wroth and Wood)认为含水量与贯入深度的对数呈直线关系^[15]。以上不同关系式, 当含水量在液限附近时, 差别不大, 如采用液塑限联合测定法, 含水量范围将从塑限至液限, 第二次液塑限比较试验对此作了研究, 说明圆锥下沉深度从2至20mm范围内, 含水量与下沉深度在双对数坐标上呈直线关系^[22], 这与北乡繁等人的研究成果相符。

(三) 一点法

克雷敦和吉克斯(Clayton and Jukes)提出锥式仪测液限的一点法^[6], 其原理同卡氏碟式仪一点法, 测点的贯入深度必须处于15—25mm之间(BS标准), 含水量测定精度至0.1%, 然后乘以表2的系数即得液限

二、碟式仪法测液限

卡氏碟式仪仍为各国规程所采纳。英、罗等国的规程都将锥式仪法和碟式仪法并列。同时, 碟式仪仍是各国学者改革液限测试方法的比较基础。用碟式仪测定低液限土的液限时会产生“震动液化”现象, 不符合土的粘滞流动状态, 这时测得的液限值偏低, 液限强度显著偏高, 试验表明, 液限在20%以下的土采用碟式仪法是不可靠的。

碟式仪本身缺乏严格标准, 试验方法也不统一, 因此碟式仪试验的精度及重现性实际上比锥式仪差。影响碟式仪法试验的主要因素为^[18]: ①基座材料, ②基座尺寸及其与支承它的

表 2

锥式仪一点法修正系数(摘自BS1377-1975)

贯入深度 mm	高塑性土 (液限>50%)	中等塑性土 (液限=35-50%)	低塑性土 (液限<35%)
15	1.098	1.094	1.057
16	1.075	1.076	1.052
17	1.055	1.058	1.042
18	1.036	1.039	1.030
19	1.018	1.020	1.015
20	1.001	1.001	1.000
21	0.984	0.984	0.984
22	0.967	0.968	0.971
23	0.949	0.954	0.961
24	0.929	0.943	0.955
25	0.909	0.934	0.954

工作台之间的隔震情况；③落碟的材料及重量；④落碟的垂直落高；⑤土的类型；⑤操作者的判断。

(一) 基座材料

各国采用的材料很不一致，有硬橡皮，有硬胶木的，也有用硬木的。诺曼(Norman)的试验表明较软的BS式橡皮基座比较硬的ASTM式胶木基座所得液限值高些。例如，对伦敦粘土所得试验成果为

$$w_L = 72\% (\text{BS式软基座}), w_L = 68\% (\text{ASTM式硬基座})$$

在强度方面，软基座较硬基座约低25%。

(二) 碟重

不同制造厂生产的碟子重量亦带有很大的任意性。第二次液塑限比较试验中各单位所用碟式仪就各不相同，见表3。

表 3

各单位采用的碟式仪规格(摘自参考文献[22])

使用单位	华东电力设计院		广西水科所		山西水科所		广东电力设计院	长江规划办公室
制造国家	美 制	法 制	美 制	仿 美	美 国	仿 美	美 制	
基座材料	胶 木	胶 木	硬胶木		硬胶木	硬 木	胶 木	
刀 型	A	C	A	A	A	A	A	A
碟重(g)	140	193	195.87	160	217	222.32	214	189.19

可以看到, 最重的碟子与最轻的差1.6倍, 相应的测试成果的差值为1.06—1.14倍^[22]。

(三) 划刀

ASTM采用的是卡氏刀(A刀), 并允许至多划槽六次; BS, JIS, STAS采用的都是BS刀(C刀), 槽深和刀口宽亦不一致, 且只允许划槽一次。华东电力设计院曾用A刀和C刀对液限由38%至66%的不同土样作对比试验, 发现用C刀所得液限值一般比A刀的大10%左右, 最大可达17%。 $(w_L = 66.4\%)^{[22]}$ 。推其原因, A型刀的槽深为10mm, 碟内土层较厚, 重量较大, C型刀槽深7.5mm, 碟内土层薄, 重量小, 当摇击时, 若土的含水量相同, 厚土层沟槽合拢所需的摇击次数比薄土层少。

(四) 取值

ASTM要求至少进行不同含水量的试验三次($N = 15-35$ 次), 作含水量与击次对数的关系曲线, 取 $N = 25$ 次的含水量为液限, 取值至整数(%)。BS要求先做两次平行测定, 两次的击数相同才能取样测含水量, 至少要取得4个击数不同的含水量测点(击数大于及小于25次的各2点)才能作含水量与击次对数的关系曲线, 取 $N = 25$ 次的含水量为液限, 取值至整数(%)。STAS亦要求先做二次平行测定, 但二次平行测定的击数不超过 ± 1 次即为合格。

卡萨格兰德提出碟式仪法测液限的同时提出了“一点法”, 已被多数标准采纳作为快速测定法之一, 它主要根据在液限附近, 含水量与击次对数呈直线关系, 该直线的坡角为 β , 经验关系式为

$$w_L = w_N \left(\frac{N}{25} \right)^{\lg \beta}$$

以一次测定的含水量推求 $N = 25$ 次时的含水量为液限。由于土的性质和采用的仪器、方法不同, 所得 $\lg \beta$ 值亦不同见表4

表4 各研究者提出的 $\lg \beta$ 值(摘自参考文献[22])

研究者	ASTM	BS	伊 登 (Eden)	诺 曼 (Norman)	藤 本 广
$\lg \beta$ 值	0.12	0.092	0.100	0.092	0.081—0.097

表5 BS 提出的修正值 $\left(\frac{N}{25} \right)^{\lg \beta}$

击数 N	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
$(\frac{N}{25})^{\text{tg}\beta}$	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	1.00	
击数 N	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
$(\frac{N}{25})^{\text{tg}\beta}$	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03

STAS 提出的一点法经验关系式为

$$w_L = w_N + K$$

表 6

STAS 的 修 正 值 K

击数 N	20	21	22	23	24	25	26	27
K 值	-1.4	-1.1	-0.8	-0.5	-0.3	0.0	+0.2	+0.5
击数 N	28	29	30	31	32	33	34	35
K 值	+0.8	+1.0	+1.2	+1.4	+1.6	+1.8	+2.0	+2.2

四、搓滚法测塑限

自1926年太沙基修正阿太堡方法，提出测定土出现脆性界限的搓滚法以来，各国规程一直沿用至今。但这种方法人为影响因素太大，如作用于土条上的压力、手掌与土条接触的宽度及摩擦力、搓滚的速度等因素因人而异，故试验的结果差异很大。

(一) 搓滚方法有关规定

ASTM规定用手指压住土条，在毛玻璃板上前后搓滚，搓滚速度每分钟80—90次，直至土条直径达 $\frac{1}{8}$ in (3.2mm) 时碎裂。如土条直径大于 $\frac{1}{8}$ in 时已碎裂，允许“只要上一次搓滚中土条直径曾搓成过 $\frac{1}{8}$ in，此时亦可认为试验已完成”。

BS亦规定用手指搓滚，要求经5—10次前后搓滚后，土条直径由6mm减小至3mm。对某些重粘土，允许搓滚10—15次。

ГОСТ、JIS、STAS等标准均规定用手掌将土条搓滚至3mm时断裂即可，没有搓滚速度及允许条件的规定。

(二) 取值

ASTM没有规定需作平行试验，塑限取值至整数(%)。BS规定需将试样分成四小块，分别搓滚至3mm断裂，然后将四次的断裂土条放在一起测定一个含水量，并依样再做一次平行测定，取得另一个含水量，二次平行测定的含水量差值不大于0.5%为合格，然后取二次含水量的平均值为塑限，取值至整数(%)。ГОСТ规定需做二次平行试验，二次的含水量差值不大于2%为合格，然后取其平均值为塑限，取值至0.1%。显然，取值精度与允许误差并不相配。搓滚试验是较粗糙的试验，以取值至整数(%)较为合适。

五、液限与塑限时强度

有关研究说明，不同土在液限时强度差别不大，各学者用碟式仪测定的液限强度如表

表 7

碟式仪法液限的强度

研 究 者	采用的碟式仪类型	强度测定方法	液限强度 $C_u(\text{g/cm}^2)$	说 明
卡萨格兰德, 1939 ^[10]	卡氏型	三轴不排水试验	27	测定值分散性极大
西特(Seed)等, 1964 ^[13]			25	
斯肯普顿(Skempton), 1952 ^[11]	BS型	室内小十字板	7—17.5	土的液限 = 30—95%
汉斯巴(Hansbo), 1957 ^[6]		室内小十字板	23.5	
霍尔斯拜(Houlsby), 1982 ^[7]		室内小十字板	7—26.5	平均 $C_u = 17\text{g/cm}^2$
诺门, 1958 ^[9]	BS型	室内小十字板	8—16	
诺门, 1958 ^[9]	ASTM型	室内小十字板	11—23	
卡尔逊(Karlsson), 1977 ^[13]	ASTM型	室内小十字板	5—40	
扬西夫(You ssef) 1965 ^[16]	ASTM型	室内小十字板	13—24	土的液限 = 30—200%, 平均 $C_u = 17\text{g/cm}^2$
BS 1377-1975	BS型		16.3	
斯科皮克($\hat{S}$ kopek), 1975 ^[12]	BS型		10—30	平均 $C_u = 20\text{g/cm}^2$
第二次液塑限比较试验 ^[22]	ASTM型	室内小十字板	8—29	
罗思、伍德, 1978 ^[15]	BS型	室内小十字板	17	

表 8

锥式仪法液限的强度(摘自参考文献[23])

标 准 名 称	锥 式 仪 规 格	液 限 时 强 度 (g/cm^2)	液限强度平均值 (g/cm^2)	强度测定方法
ГОСТ 5184—77	30°, 76g, 10mm	32—67	54	室内小十字板
SDS 01—84	30°, 76g, 17mm	13—27	19.5	
BS 1377 : 1975	30°, 80g, 20mm	9—21	15	
JTJ 051—81	30°, 100g, 20mm	12—27	19	

扬西夫等对重塑粘性土做了大量试验, 测得液限含水量与抗剪强度(室内小十字板)的关系在双对数坐标上是一条直线, 土强度随液限值的增大而减小, 液限由30%增加到200%时, 强度由 24g/cm^2 降至 13g/cm^2 , 平均与 17g/cm^2 ^[10]。

文献[21]通过大量试验取得圆锥入土深度与土强度的关系, 得图1所示的直线。

汉斯巴曾用大量斯堪的纳维亚粘土(主要是瑞典土)做过不同圆锥贯入度与现场十字板剪切强度的相关关系, 得表达式为^[6]:

$$C_u = \frac{KP}{h_s^2}$$

式中 C_u ——液限时不排水强度;

K ——常数, 随锥角而不同, 亦受剪切速度和灵敏度的影响;

h_s ——圆锥贯入深度。

塑限时土的强度, 由于搓滚法人为因素影响较大而有较大的差异, 国外学者所得成果如表9。

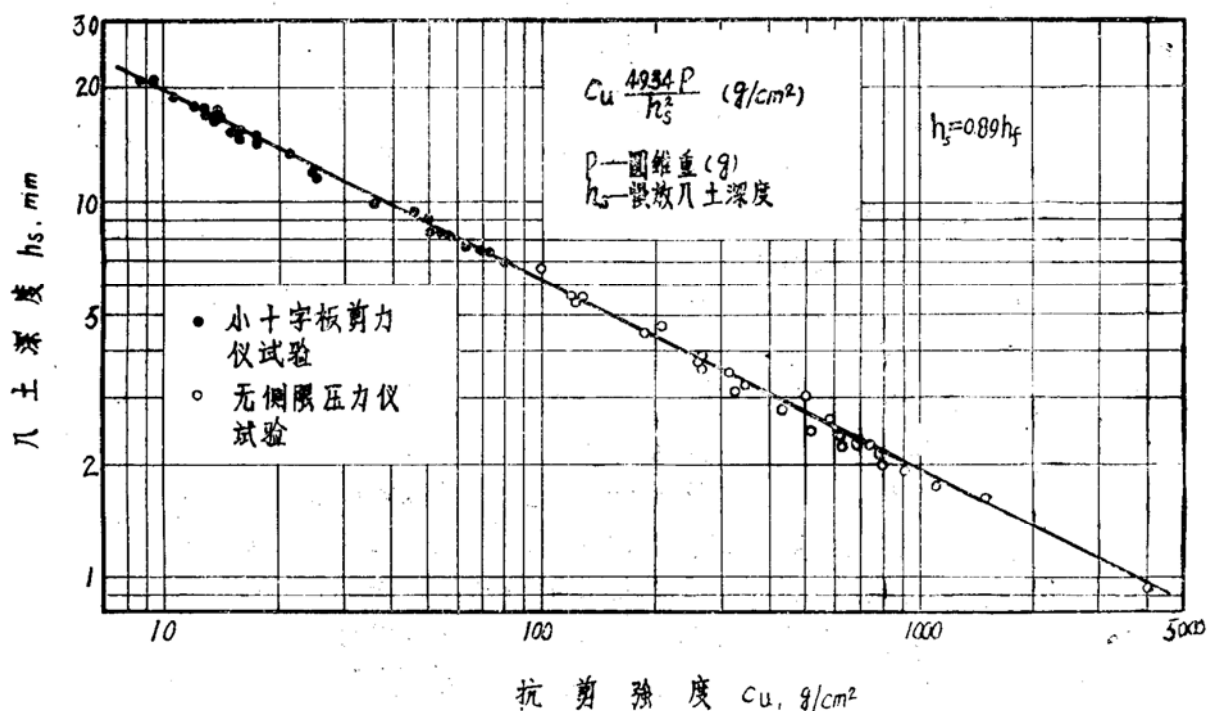


图1 入土深度和抗剪强度之间的关系

注: 图中 $C_u = \frac{4934 P}{h_s^2}$ 系 $C_u = \frac{4934 P}{h_s^2}$ 之误

表9

塑限时土的强度(摘自参考文献[13])

研究者	抗剪强度 C_u (g/cm ²)	平均抗剪强度 $C_{u,v}$ (g/cm ²)
斯肯普顿和诺瑞(Northey), 1952	867—1275	1122.4
登内希(Dennehy), 1978	306—3265	1061.2
阿罗史密斯(Arrowsmith), 1978	204—2245	1122.4
阿罗史密斯, 1979	255—2857	1326.5
罗思, 1979	1735	
BS1377: 1975	1122	

表10

第二次液塑限比较试验所得塑限时土的强度(摘自参考文献[23])

标准	SDS 01—79	SDS 01—79	比较试验	JTJ 051—81
	搓滚法	30°, 76g, 2mm	30°, 76g, 2.2mm	30°, 100g, h_p = 变量
范围值(g/cm ²)	620—2050	1000—2100	820—1700	160—2500
平均值(g/cm ²)	1430	1560	1270	1190

文献[21]认为, 76克锥入土深度 2 mm 时, 各类粘性土的抗剪强度平均约为 1187.5 g/cm² (见图 1, $h_s = 0.89 h_f$) 这与国外学者所得成果较为接近。

六、结 语

粘性土的强度与其含水量密切相关,然而它们之间的关系是渐变的,并没有明显的界限。阿太堡最初提出的界限含水量并没有明确的定量概念。以后引用于土力学,并建立了专门的测试方法,但仍没有明确的强度指标,只是一种人为的、精度和重现性很差的、很粗糙的、且仍以原有测试成果为基础的试验。随着土力学与岩土工程的发展,现有界限含水量的基本原理和测试方法都不能满足各项工程建设的要求,迫切要求能有一种测试方法简单、概念明确,且有明确的强度标准的界限含水量。

不同土的液限强度相差不大^[17],从国内外的现状看,都倾向于采用低强度标准(平均16—17g/cm²),即尽可能接近粘滞状态的强度。但苏联、东欧及我国沿用的30度76克锥入土深度10mm的标准,其强度为54^[22]至85^[12]g/cm²,这比卡氏碟式仪液限强度高3—5倍,显然偏高。瓦氏当时提出以锥式仪测液限时亦曾与碟式仪作过比较试验,认为两种仪器的测定成果颇为接近^[18],这很可能是瓦氏采用的碟式仪的规格不同所致。因此,单规定一种测试方法(如碟式仪法),而不制订一个强度标准,在工程上是无法应用的。

塑限相当于饱和重塑土的一个强度状态,不论采用何种测试方法,实质上仍是一种强度试验,塑性指数又是土的塑性压缩性的一个量度。故其测定精度决定了该指标的可靠性。然而滚搓法塑限的强度变化极大,不同土的强度相差可达10倍以上(见表9),即使同一土样,试验中的人为误差及重现性都极差,可见迫切需要制订一种具有强度标准的测试方法。各学者提出的塑限的平均强度值比较统一,约为1100—1200g/cm²。

碟式仪法及搓滚法的缺点是众所周知的,已不能适应当前岩土工程的需要。笔者认为目前提出的替代测试方法中以锥式仪法最有前途。目前以锥式仪为测定液限标准的国家有苏联、东欧各国、我国、英、法、瑞典、印度等,并有逐渐增多的趋势,很可能最终取代碟式仪法。回顾液塑限试验的发展过程,锥式仪法和碟式仪法原来就是同时开始的两种测定液限的途径。近十多年来,研究锥式仪液塑限强度及其与土的工程特性的关系的文献大量涌现,锥式仪的优点越来越明显。它操作简单,易于标准化,人为因素小,再现性好,突出的优点是能直接取得土的强度值。

液、塑限如果有一个明确的强度值作为标准,则不论何种型式的锥,或其他测定强度的方法,都能取得一致的成果。这样,液、塑限就能更好的与土的工程特性相关,更广泛的应用于岩土工程。

参 考 文 献

- [1] Arrowsmith, E. J., Roadwork fills—a Material Engineers View Point, Proc. Clay Fills, Conf. ICE, London 1978, pp 25-36.
- [2] Casagrande, A., Research on the Atterberg Limits of Soils, Pub. Roads, 13, 1932, pp. 121-130, 136.
- [3] Dennehy, J. P., The Remoulded Undrained Shear Strength of Cohesive Soils and Its Influence on The Suitability of Embankment Fill, Proc. Clay Fills, Conf ICE, London, 1978, pp. 87-94.
- [4] Garnean, R. and LeBihan, J. P., Estimation of Some Properties of Champlain Clays with The Swedish Fall Cone, Canadian Geotechnical Journ., Vol. 14, No. 4, Nov. 1977, pp. 571-581.

- [5] Hansbo, S., A New Approach to The Determination of The Shear Strength of Clay by The Fallcone Test, Proc. Royol Swed. Geot. Inst. Stockholm, 14, 1957.
- [6] Head, K. H., Moisture Content and Index Tests, Manual of Soil Laboratory Testing, Vol 1, 1980.
- [7] Houlsby, G. T., Theoretical Analysis of The Fall Cone Test, Geotechnique, Vol. 32, No. 2, June 1982, pp. 111-118.
- [8] Karlsson, R., Suggested Improvements in the Liquid Limit Test, with Reference to The Flow Properties of Remoulded Clays, Proc. 5th Int. Conf. on Soil Mech. Found. Eng., Paris 1, 1961, pp. 171-184.
- [9] Norman, L. E. J., A Comparison of Values of Liquid Limit Determined with Apparatus Having Bases of Different Hardness, Geotechnique 8, 1958, pp. 79-85.
- [10] Sherwood, P. T. and Ryley, M. D., An Investigation of a Cone-Penetrometer Method for The Determination of The Liquid Limit, Geotechnique, Vol. XX, No. 2, 1970.
- [11] Skempton, A. W. and Northey, R. D., The Sensitivity of Clays, Geotechnique, No. 3, 1952.
- [12] Škopek, J. and Ter-Stepanian, G., Comparison of Liquid Limit Values Determined According to Casagrande and Vasilev, Geotechnique, No. 5, 1975, pp. 135-136.
- [13] Whyte, I. L., Soil Plasticity and Strength—A New Approach using Extrusion, Ground Eng., Vol. 15, No. 1, Jan. 1982.
- [14] Wood, D. M., Cone Penetrometer and Liquid Limit, Geotechnique, No. 2, 1982, p. 32.
- [15] Wroth, C. P., and Wood, D. M., The Correlation of Index Properties with Some Basic Engineering Properties of Soils, Canad. Geot. Journ. Vol. 15, No. 2, 1978, pp. 137-145.
- [16] Youssef, M. F., El Ramli, A. H and Demery, M., Relationships between Shear Strength, Consolidation, Liquid Limit and Plastic Limit for Remoulded Clays, Proc. 6th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Montreal, 1, 1965, pp. 126-129.
- [17] 北乡繁 佐藤正义, 液性塑性两界限的同时测定法に関する研究(第5报), 土と基础, No. 6, 1970.
- [18] 中华人民共和国水利电力部, 土工试验规程, SDS01—79.
- [19] 中华人民共和国交通部, 公路土工试验规程, JTJ051—81.
- [20] 袁浩清、贾文祥, 土的液限试以圆锥仪联合测定法, 天津土工, 1966. 2. pp. 14—21.
- [21] 聂守智, 土的液塑限及强度, 安徽省水利科学研究所, 1983. 8.
- [22] 液塑限规程修订小组, 第二次液塑限比较试验总结, 华东电力设计院, 1984. 5.
- [23] 钱鸿雁, 土的液限塑限联合测定法的改进, 岩土工程学报, 第5卷, 第1期, 1983.
- [24] 高玉衡, 论A.M.瓦西里耶夫土的天然稠度试验, 河北省水利厅勘测设计院, 1981. 9.
- [25] 各国液塑限试验标准:
- 美 国 ASTM D423—66; D424—59
- 英 国 BS 1377 : 1975
- 日 本 JIS 1205/6—1980
- 苏 联 ГОСТ 5184—77
- 罗马尼亚 STAS 1913/4—76

更 正

本刊第7卷第1期所载“国际制单位及其换算关系”一文，第103页，重度、容重一栏内，换算系数 $1 \text{ lbf/ft}^3 = 0.1917 \text{ kN/m}^3$ 系 $1 \text{ lbf/ft}^3 = 0.1571 \text{ kN/m}^3$ 之误，特此更正。

编 者

Chinese Journal of Geotechnical Engineering

Vol. 7, No.3 (Total 26), May., 1985.

CONTENTS

The Deformation Calculation of a Large Box Foundation

.....*Li Wen-fang and Dong Qi-shi* (1)

Splitting Test for Marble Disc

.....*Cai Yue-jun, Liu Bao-chen and Cui Zhi-lian* (9)

Unified Equivalent Harmonic Loading on Seabed Soil Foundation for

Random Ocean Wave Loading.....*He Guang-na and Cao Ya-lin* (16)

The Analytical Method for the Experimental Data of the Laterally

Loaded Piles in Multiple Layers of Soil.....

.....*Zhou Ming, Wang Hui-chu and Lu Zi-ai* (25)

NOTES

Calculation of Lateral Loaded Pile by Double-Parameter Method and

Determination of the Parameters in the Case of Long Pile

.....*Wu Heng-li* (41)

Slope Stability Analysis of Noncohesive Earth Dam...*Wang Hong-xing* (47)

The Increase of Loading Capacity of Single Pile With Time in Satu-

rated Clay.....*Hu Zhong-xiong* (58)

The Relation between Pore Pressure Parameter and Degree of Satur-

ation.....*Lou Yan* (62)

Study of Backpacking Effect in Underground Circular Chamber

.....*Song Xi-tai* (68)

The Deformation Characteristic of Some Building on Expansive Soil

Ground.....*Cao Ke-zhi* (78)

GEOTECHNICAL STANDARDIZATION

Distribution Character of Fine-grained Soil in China on the Plasticity

Chart.....*Li Sheng-lin and Wang Zheng-hong* (84)

The Current Situation and Prospect of the Tests of Atterberg Limits

.....*Zhou Xu-yuan and Zhang Jian-feng* (90)

本刊启事

为执行国务院1984年2月27日颁发的《关于我国统一实行法定计量单位的命令》，本刊自1986年第1期起实行法定计量单位。现对来稿作如下补充规定：

1. 作者来稿使用的计量单位应以我国法定计量单位为准。
2. 来稿引用的外文资料，可径直使用原文单位，但应在括号内注明换算关系，或作必要的说明。
3. 来稿因特殊需要亦可使用某些非法定单位，但应作必要的注释或说明。
4. 在公式、图表及运算中一律使用计量单位的国际符号，在文字叙述中应优先考虑使用符号。

《岩土工程学报》编辑部

岩土工程学报

(双月刊)

第7卷第3期(总26)

1979年创刊

Chinese Journal of Geotechnical Engineering

(Bimonthly)

Vol. 7, No.3(Total 26)

First Issue Published in 1979

编辑者 《岩土工程学报》编辑部
(南京虎踞关34号)

出版者 南京水利科学研究所
(南京虎踞关34号)

印刷者 南京人民印刷厂

国内总发行 南京市邮政局

订购处 全国各地邮政局

国外总发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
北京2820信箱

Edited by
Editorial Office of Chinese Journal
of Geotechnical Engineering
34 Hujuguan Road
Nanjing, China
Published by Nanjing Hydraulic Research
Institute, 34 Hujuguan Road,
Nanjing, China
Printed and Binded by RENMIN
Printers, Nanjing, China
Distributed by China International Book
Trading Corporation
(GUOJI SHUDIAN)
P.O.Box 2820, Beijing, China