

用液限值对粘性土分类定名的探讨

何运书

(陕西省石泉县建筑勘察队)

一、前言

我国《工业与民用建筑地基基础设计规范》和《建筑地基基础设计规范》规定, 岩土工程土分类按塑性指数划分定名。生产实践中塑性指数测试方法有圆锥仪法和搓条法两种。圆锥仪法操作简单, 容易被人们所掌握, 几十年的实践证明, 基本能满足生产要求。但粘性土粘粒含量不同, 锥体下落稳定时间亦不同, 所测液限差值较大。搓条法是原始的手工操作。方法不同其结果各异。通常参照液限反复修改塑限(搓条复试), 给工作人员带来不便。特别是粉土(轻亚粘土), 采用多种手段, 数据还不一定正确, 这给地基土的合理评价带来了一定的困难。为此笔者以综合多项工程试验资料为依据, 查阅了许多勘察单位的资料和成果, 采用液限法(碟式仪和圆锥仪)及手工搓条法进行对比分析, 提出了按液限值对土进行分类的建议。

二、液限试验原理及概况

列别杰夫(Лебедев)试验原理:

$$\tau = \frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{F} = \frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{\pi r L} = \frac{P \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\pi h^2 \tan^2 \frac{\alpha}{2}} \quad (1)$$

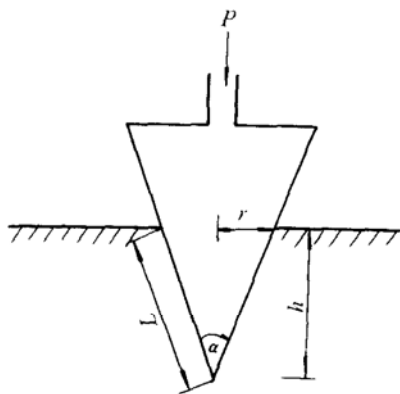


图1 圆锥液限仪

式中 τ 为锥体侧面极限接触剪应力(kPa); F 为锥体与土的接触面积(cm^2)。其它符号见图1

当粘滞塑性体具有一定液限指数时, 不论作用力大小 τ 值保持不变。即液限指数一定时, 锥体重量的比值应与沉入深度的比值平方成正比。瓦西里耶夫(Васильев)设计了顶角为 30° , 重为76g的圆锥仪(见图1), 并规定自由入土10mm时的含水量为液限, 它的极限剪切应力为8.24kPa; 其它国家也有类似的作法, 但他们对锥度、锥重和入土深度的规定不尽相同, 表1是各国标准的比较情况。

若按列别杰夫公式计算, 由各种圆锥仪试验得到的液限极限强度除印度(7.86kPa)与瓦

氏法(8.24kPa)相接近外, 其它几个国家的比较都相差很大, 如瑞典为2.44kPa; 英国只有2.17kPa; 日本仅为1.39—1.51kPa。

表1 各国圆锥仪标准比较表^[1]

国 别	英国	日本	苏联	保加利亚	东德	瑞典	印度	法国	中国	罗马尼亚	备 注
锥角 (°)	30	90	30	30	30	60	31	30	30	30	ГОСТ 5184-77 STAT 1913/4-76 BS 1377-75 SDS 01-84 JTJ 051-81
锥重 (g)	80	100 200 300	76	76	70	60	75	80	76	76	
液限标准 (入土深度 h_L) (mm)	20	10.6 14.6 17.6	10	10	10	10	10	20	10	10	

目前美国、西德和西欧等国采用卡萨格兰德(Casagrande)提出的碟式仪法。将稠泥填入中心深10mm的金属碟中, 用刀具划为两半, 以每秒两次(高为10mm)在胶垫层撞击, 撞击25次时碟中土两半刚好合拢, 这时就是土的液限状态, 许多生产单位采用单点法, 操作方便。将制备样作一次敲击试验, 所得含水量 w_N 和敲击次数 N 代入下式计算液限:

$$\left. \begin{aligned} w_L &= w_N \left(\frac{N}{25} \right)^{0.1} & w_L > 60\% \\ w_L &= w_N \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121} & 60\% \geq w_L > 40\% \\ w_L &= w_N \left(\frac{N}{25} \right)^{0.149} & w_L \leq 40\% \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

随着划土刀具和底座材料及金属碟碗标准逐渐统一, 国外应用很广。

三、液塑限对比试验

笔者选用29处工程实例作对比分析。对于低塑性土, 由于锥体沉入的稳定时间较长, 故测试时间过短会增大液限值, 过长会减小液限值。对不同锥体沉入时间所测的液限值与塑性指数比较, 用筛分法和比重计法及移虹管法分出颗粒组(见表2)。

从表2中看出, 碟式仪液限试验与各组颗粒百分比及粘粒 MC 含量有一定规律, 圆锥仪沉入土中在不同时间各类土的液限变化幅度差异性较大。当 $w_L > 28\%$ 时, 锥体落入土中很快稳定; 当 $w_L > 40\%$ 时, 锥体入土更稳定, 与初瞬时入土深度保持不变。对 $w_L \leq 28\%$, $MC < 12\%$ 的土类, 由于锥体沉入土中使其承受8.24kPa的静压力(圆锥仪与土的极限剪应力), 这时砂土颗粒产生相对位移, 孔隙压力逐渐上升, 有效压力相对减小, 土的抗剪强度随之而降低, 土开始液化。这时锥体随着土的液化加深而徐徐下降, 1min后达到基本稳定。碟式

仪对低塑性土试验也存在许多待研究的问题。碟式仪液限试验实质上是一动力剪切试验,土粒组不同,受振动后发生的反应不同,有些低塑性土在冲击下发生液化或刀具划槽困难等。笔者对40余项工程做了对比试验,并进行了统计(见图2)。

表2 碟式仪与圆锥仪不同入土时间所测液限值与塑限值比较表

土号	液限 w_L (%)					塑限 w_p (%)	塑性指数 I_p				砂土粒组		粉土粒组		粘土粒组		小于0.075mm粒组 (%)	土类
	碟式仪* $N=25$ 击	圆锥仪					5s	15s	30s	60s	0.25	0.1	0.05	0.01	0.005	<0.002		
		5s	15s	30s	60s						0.1	0.05	0.01	0.005	0.002			
1	24.0	23.9	23.3	23.0	22	18	5.9	5.3	5.0	4.0	15	73	7	3	1.1	0.9	42	粉砂
2	26.0	24.2	23.6	22.9	22.4	18.3	5.9	5.3	4.6	4.1	18	65	10	4	2.9	1.1	49	粉砂
3	25.0	24.7	24.1	23.4	22.9	18.3	6.4	5.8	5.1	4.6	18	63	8	8	2.0	1.0	46	粉砂
4	26.8	24.7	24.6	23.9	23.2	18.2	6.5	6.4	5.7	5.0	15	70	7	5	1.2	1.8	50	粉土
5	26.9	24.9	24.7	24.2	23.9	18.2	6.7	6.5	6.0	5.7	9	72	15	2	0.5	1.5	50	粉土
6	29.1	26.3	25.4	24.0	23.7	19.0	7.3	6.4	5.0	4.7	2	65	22	2	4	5	52	粉土
7	27.0	26.9	25.8	24.9	24.4	17.9	9.0	7.9	7.0	6.5	4	63	21	3	5	4	63	粉土
8	27.2	26.4	25.0	24.1	23.5	19.2	7.2	5.8	4.9	4.3	4	60	20	6	6	4	67	粉土
9	29.4	27.0	25.7	25.6	24.9	18.5	8.5	7.2	7.1	6.4	2	40	37	10	6	5	70	粉土
10	27.4	27.2	25.9	25.8	25.1	18.2	9.0	7.7	7.6	6.9	4	48	33	5	5	5	69	粉土
11	28.1	27.4			27.0	18.0	9.4			9.0	2	12	67	9	6	4	87	粉土
12	28.2	27.5			27.0	17.9	9.6			9.1	1	11	69	7	5	7	89	粉质粘土
13	28.2	28.6			28.1	17.0	11.6			11.1	1	20	47	12	11	9	90	粉质粘土
14	29.0	29.3			28.8	18.5	10.8			10.3	1	26	44	8	12	9	87	粉质粘土
15	30.6	30.2			29.9	17.0	13.2			12.9		28	35	12	14	10	90	粉质粘土
16	32.5	32.9			32.8	19.1	13.8			13.7	6	16	42	8	17	11	91	粉质粘土
17	36.7	35.4			35.3	19.8	15.6			15.5	3	30	19	25	13	10	89	粉质粘土
18	38.1	37.5			37.4	22.0	15.5			15.4	1	8	34	30	17	10	93	粉质粘土
19	39.2	38.1			38.0	22.3	15.8			15.7		7	35	32	17	9	97	粉质粘土
20	40.3	39.4			39.4	22.6	16.8			16.8	1	7	26	27	17	11	97	粉质粘土
21	41.5	39.8			39.8	22.9	16.9			16.9		6	28	27	29	10	98	粉质粘土
22	43.3	42.2			42.2	25.2	17.0			17.0		5	26	19	30	10	98	粉质粘土
23	43.2	42.6			42.6	24.5	18.1			18.1		2	22	20	36	15	100	粘土
24	47.5	46.5			46.5	26.5	20.0			20.0		10	12	26	24	14	99	粘土
25	48.5	47.3			47.3	25.2	22.1			22.1		3	21	29	29	18	97	粘土
26	49.7	48.6			48.6	23.3	25.3			25.3		1	8	37	36	18	100	粘土
27	49.0	48.9			48.9	25.0	23.9			24.9		1	7	32	39	21	100	粘土
28	51.1	49.8			49.8	24	25.8			25.8		3	3	34	34	26	100	粘土
29	51.5	50.2			50.2	24.2	26.0			26.0		2	10	27	36	25	100	粘土

*底座为硬橡皮,铜碗重量143g,划刀为A刀。

当液限 $w_L \leq 28\%$ 时,液限和塑限点在坐标图上分散性大,即使取平均值也看不出明显规律性,数据统计相当困难。

TJ7-74规范根据全国9个省市3254份土工试验资料绘制的塑限与液限的关系曲线见图3。

图中当液限大于27.5%时,塑限随液限的增加而增大,其线性关系密切[2] 业波阳小工

27.5%时, 则塑限随液限的增大而减小, 其线性关系亦很密切。显然 w_L 为27.5%是关系曲线中的突变点。将表2的 w_L (锥)与 w_p , w_L 碟与 w_p 绘入图中也有相近线性关系, 在 $w_L=26\%—28\%$ 为一下弯弧形变段, 角度为 $120^\circ—130^\circ$ 。

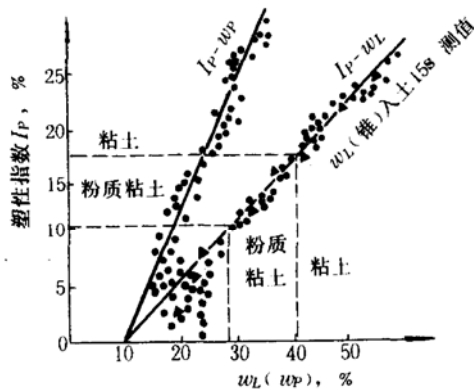


图2 液限、塑限与塑性指数统计关系

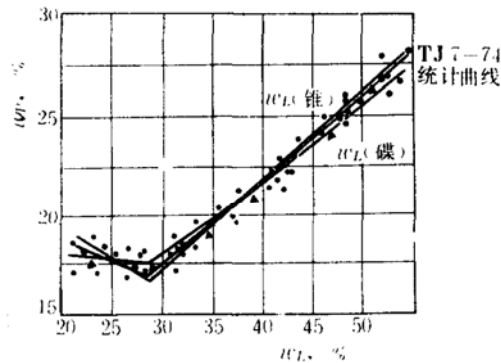
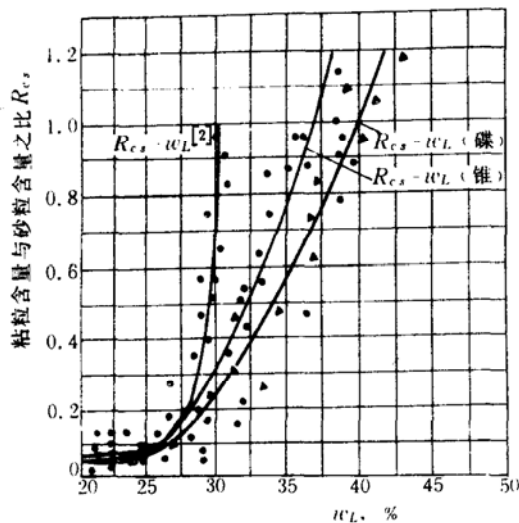


图3 塑限与液限关系

图4 R_{cs} 与 w_L 关系曲线图

国家机械委勘察研究院对天津石化总厂液化区与非液化区两场地共57份试验资料^[3]的粘粒含量 MC 与砂粒含量的比值 R_{cs} 、液限 w_L 的指标值进行了分析研究。 R_{cs} 与 w_L 的关系曲线(见图4)呈立方抛物线形态。

从曲线形态看, 液限26%—28%之间曲线呈弧形状态, R_{cs} 在0.01—0.20之间约三分之二的点子散落在此区间之内。由于 R_{cs} 的变化幅度小曲线斜率也很小, 但当液限值大于28%时, R_{cs} 则急剧增加, 曲线直线上升坡度很大。据统计, 液化区 $w_L \geq 27.5\%$ 占20%, 非液化区 $w_L \geq 27.5\%$ 占55%。

同济大学高大钊教授认为^[4], 在低塑性土($I_p < 10$)中, 随着塑性指数减小, 塑性指数不仅没有减小, 反而逐渐增大, 称这一现象为假塑性。

在粘性土分类试验中, 中高塑性土液、塑限与塑性指数在坐标图中均呈近似的线性关系, 在液限试验中碟式仪试验比圆锥仪试验的成果更近似线性关系, 塑限试验线性关系较差(见图5)。从图中看出, 基本上符合土质学原理。从图6也可看出塑性指数与粘粒含量, 液限 w_L 与粘粒含量也具有较好的线性关系, 但低塑土($I_p \leq 10$)范围内规律性差、散离度大。通过试验和资料分析, 认为低塑土($I_p < 10$)容易产生液化且具有假塑性。粘性土分类应采用碟式仪液限试验值划分; 对低塑土, 用筛分法根据颗粒组比例确定类别。

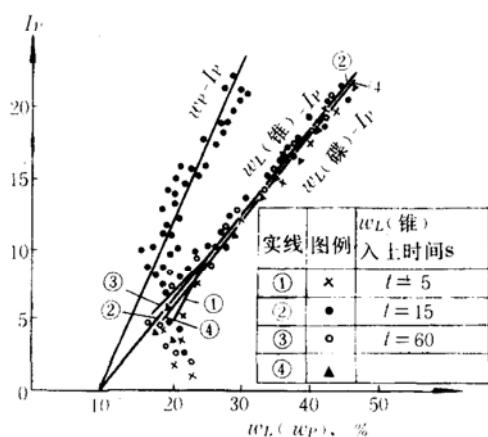


图5 塑性指数与塑限、液限关系

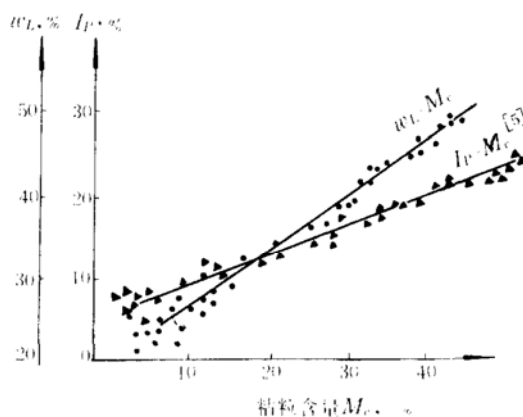


图6 塑性指数、液限与粘粒含量关系

四、对有关规范中粘性土分类定名的探讨

TJ7-74规范是总结了我国20余年的实践经验而制定的,也是我国第一本工业与民用建筑地基基础设计规范,实践证明基本符合我国的实际情况。近十几年来岩土工程发展很快,TJ7-74规范有许多内容不适应目前的生产发展需要,应作一定补充修改。建筑地基基础设计规范GBJ7-88^[6]对土类定名仍按TJ7-74规范的规定,采用塑性指数分类定名,但对土类名称和指标做了一些新的划分,按TJ7-74规范:粘土, $I_p > 17$; 亚粘土, $10 < I_p \leq 17$; 轻亚粘土, $3 < I_p \leq 10$ 。按GBJ7-88规范:粘土 $I_p > 17$; 粉质粘土, $10 < I_p \leq 17$; 粉土, $I_p \leq 10$, 其性质介于砂土与粘性土之间。

TJ7-74规范采用苏联“ННТУ127-55”规范的砂土类标准,是不全面的,与我国砂土类的实际情况不完全符合,不能反映其主要工程特征。特别是粉砂定名有上限而无下限。而中南电力设计院、冶金部武汉勘察公司和机械部勘察研究院及《上海市地基基础设计规范》编制中,对粉砂下限做了一定研究,根据筛分和颗分确定粗粒比和粘粒含量,对TJ7-74规范中轻亚粘土 ($3 < I_p \leq 10$) 及砂类土 ($I_p < 3$) 的分类提出了否定意见。对TJ7-74规范进行了修改,补充了上述不足。

对粘性土 ($I_p > 10$), 若仍按塑性指数定名是存在一定缺陷的。塑限试验(搓条)受操作人员的经验控制,复试量多,由本次试验研究知,塑限线性关系次于液限,液限试验中 w_L (锥) 的线性关系次于 w_L 碟。交通部公路科学研究所,对不同圆锥重量的液限试验与碟式仪试验进行了比较,76g重的圆锥仪所测液限值较小。从表2试验数据中也可看出,对低塑土 ($I_p \leq 10$), 当液限 $26\% < w_L \leq 28\%$ 时为一曲线,以 $w_L = 27.5\%$ 为顶点, $w_L \leq 26\%$ 以下液限与塑限成反比例关系。据以上试验,同一土样所测时间不同,液限差值很大,搓条试验界线含水量难以控制,故此区间用塑性指数定名是不严格的。

五、结 语

由于塑限(搓条)试验未建立独立理论,人为因素较大,实际工作中难以掌握,作为岩土工程土分类定名,合理评价地质土层是有一定困难的。结合我国地质特征及成因,粘性土采

用碟式仪所测的液限值分类定名, 粉土用筛分法分类定名。根据上述探讨, 对规范提出如下修改建议:

1. 粘土, $w_L > 40\%$ 。
2. 粉质粘土, $28\% < w_L \leq 40\%$ 。
3. 液限 $w_L \leq 28\%$ 时, 粒径小于 0.075mm 占 50% 以上为粉土; 大于 0.075mm 粒组量超过 50% 为砂类土; 0.075mm 的粒组含量是确定和划分粘性土和砂类土的分界线。

参 考 文 献

- [1] 饶鸿雁, 土的液限、塑限联合测定, 工程勘察, No.1, 1986, p.2.
- [2] 工业与民用建筑地基基础设计规范 TJ7-74 及说明书, 中国建筑出版社, 1974, p.9.
- [3] 张世荣, 粉砂与轻亚粘土分类定名的探讨, 机械电子工业部勘察研究院, 1981年10月, p.5.
- [4] 高大钊等, 土的分类研究方法, 岩土工程学报, Vol.10, No.2, 1988, p.4.
- [5] 南京大学编, 工程地质学, 地质出版社, 1982, p.161.
- [6] 建筑地基基础设计规范 GBJ7-88, 报批稿。