

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.10.060

关于不同液限测定方法的相关性浅析

张丁宁, 杨西海, 张 彬

(上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092)

摘 要:液、塑限测定是室内土工常规试验项目,其试验参数是划分细粒土类别及评价其工程性质的重要指标。其中,液限的测定方法多样,且不同规范的测定标准略有差异研究选取 60 个上海地区 0~30 m 深度的淤泥质土、黏土、粉质黏土土样进行 76g-10 mm 和 76g-17 mm 液限试验,利用 Excel 建立两种液限试验相关性的一元二次回归模型,建立大致相当的统计关系。

关键词:液、塑限试验;一元二次回归模型;相关性分析

中图分类号: TU411.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)10-0218-04

0 引 言

液、塑限是划分细粒土类别及评价其工程性质的重要指标。液限是指土由可塑状态变化为流动状态的界限含水率,反映了土体具有可变量的最小强度值,塑限则是土由半固态变化到可塑状态的界限含水率。由它们的测定可以计算塑性指数和液性指数,进而完成细粒土分类、地基容许承载力以及单桩承载力的评价。现行的液、塑限测定方法主要有液塑限联合测定法、滚搓法配合碟式液限仪法,但由于不同标准中对器材及试验方法的要求不同,导致试验结果有所差异,对实际工程性质评价造成诸多影响。因此对不同标准液、塑限试验的相关性研究非常有必要。

1 液、塑限的测定方法

目前我国细粒土的液限测定方法主要是液塑限联合测定法和碟式仪法(卡萨格兰德法)。由于我国各部门现行规范不同,液塑限联合测定法又可分为三种:(1)76 g 瓦氏圆锥仪,锥角 30°,入土 10 mm;(2)76g 圆锥仪,锥角 30°,入土 17 mm;(3)100 g 圆锥仪,锥角 30°,入土 20 mm。塑限测定方法包括液塑限联合测定法和滚搓法(见表 1)。

碟式仪法是国际上最早使用的液限测定方法,至今仍是美国、英国、日本等国的主流方法,但此法存在一定局限性,如切割理想凹槽的难度、估计凹槽闭合量的必要性、高度依赖于操作者、操作速度慢以及低塑性土沿杯形表面滑动而非塑性流动等。相比之下,液塑限联合测定法的

表 1 我国各部门规范要求的液、塑限锥入深度

项目	《交通部公路 土工试验规程》 (JTG E40-2007)	《土工试验方法 标准》(GB/T 50123-2019)	《建筑地基基础 设计规范》(GB 50007-2011)
圆锥质量 /g	100	76	76
液限锥入 深度 /mm	20	17	10
塑限锥入 深度 /mm	$h_p = w_L /$ (0.524 $w_L - 7.606$)	2	2
土的定名 根据	塑性图	塑性图	液、塑性指数

操作更简单,标准易统一,有重复性,在我国使用更为广泛。

通过对比大量试验数据发现:以 76 g 锥入土 17 mm 作为液限和 100 g 锥入土 20 mm 作为液限时的抗剪强度平均值与美国 ASTM D423 碟式仪测液限时的强度一致,以 76 g 锥入土 10 mm 测定液限时土的强度偏高,而以液塑限联合测定法和滚搓法确定的塑限较为接近。为进一步探究 76 g 锥入土 17 mm 与 76 g 锥入土 10 mm 液限试验之间的相互关系,本文收集了上海地区的 60 个土样,土层埋深 0~30 m,根据上海地区经验,进行相关性分析,并利用 EXCEL 软件建立一元线性回归模型。

2 76 g-10 mm与 76 g-17 mm液限的相关性分析

该次试验收集到淤泥质土、黏土、粉质黏土土样各 20 个,分别进行 76 g 锥入土 10 mm 和 76 g 锥入土 17 mm 液限试验。在直角坐标系中,以建筑地基基础设计规范 76g-10 mm 液限(W_{L76-10})为因变量 y ,水利水电部规范 76g-17 mm 液限(W_{L76-17})为自变量 x ,建立一元线性回归模型,得到不同土

收稿日期: 20-05-08

作者简介: 张丁宁(1992—),女,硕士,助理工程师,从事岩土工程设计与研究工作。

类的 W_{L76-10} 与 W_{L76-17} 之间存在的线性关系。

2.1 淤泥质土液限值相关性模型

对收集到的 20 个上海地区第三、四层的淤泥质土样进行 76g-10 mm 和 76g-17 mm 液限试验, 所得结果如表 2。由 Excel 对液限值回归分析, 并对所得模型进行显著性检验, 得到淤泥质土的液限值回归方程 $y=0.9536x-0.0218$, 相关系数 0.9677, 标准误差 0.8788 (见图 1)。

表 2 不同标准下淤泥质土液限值 %				
土样编号	$W_{L76g-10}$	$W_{L76g-17}$	土样编号	$W_{L76g-10}$
1	34.2	38.6	11	45.8
2	34.5	40.7	12	39.1
3	32.1	35.7	13	33.9
4	32.4	37.6	14	43.3
5	33.5	36.6	15	35.3
6	48.4	54.0	16	34.8
7	38.3	41.8	17	40.2
8	36.3	40.2	18	36.6
9	44.6	48.1	19	35.5
10	40.5	44.3	20	42.3

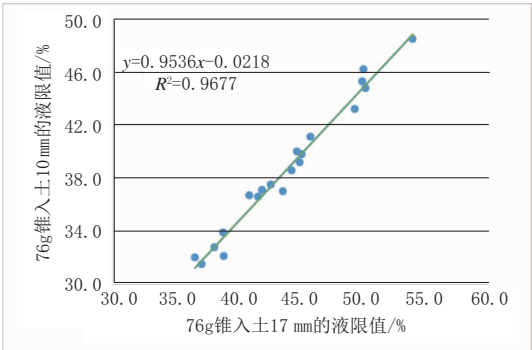


图 1 淤泥质土的 $W_{L76g-10}$ 与 $W_{L76g-17}$ 回归曲线

2.2 黏土液限值相关性模型

对收集到的 20 个黏土样进行液限试验(见表 3), 并建立一元线性回归模型, 得到黏土的液限值回归方程 $y=0.9664x-3.7106$, 相关系数 0.9611, 标准误差 1.1189 (见图 2)。

表 3 不同标准下黏土液限值 %				
土样编号	$W_{L76g-10}$	$W_{L76g-17}$	土样编号	$W_{L76g-10}$
1	36.8	41.6	11	35.9
2	47.0	53.8	12	39.5
3	43.9	51.1	13	43.7
4	46.6	50.4	14	39.2
5	49.9	53.6	15	38.4
6	50.5	55.5	16	53.3
7	46.0	52.0	17	42.4
8	43.2	49.8	18	44.9
9	37.5	42.8	19	38.9
10	34.4	39.3	20	51.3

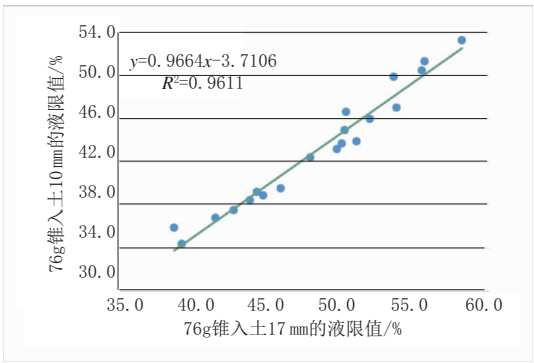


图 2 黏土的 $W_{L76g-10}$ 与 $W_{L76g-17}$ 回归曲线

2.3 粉质黏土液限值相关性模型

对收集到的 20 个粉质黏土样进行液限试验(见表 4), 并建立一元线性回归模型, 得到粉质黏土的液限值回归方程 $y=1.011x-5.6947$, 相关系数 0.978, 标准误差 0.7624 (见图 3)。

表 4 不同标准下粉质黏土液限值 %				
土样编号	$W_{L76g-10}$	$W_{L76g-17}$	土样编号	$W_{L76g-10}$
1	43.2	49.3	11	41.1
2	37.1	41.9	12	39.2
3	38.6	44.3	13	36.7
4	48.5	53.9	14	37.5
5	32.1	38.9	15	39.8
6	32.0	36.5	16	40.0
7	31.5	37.1	17	45.3
8	33.9	38.8	18	32.8
9	37.0	43.6	19	46.2
10	44.8	50.2	20	36.6

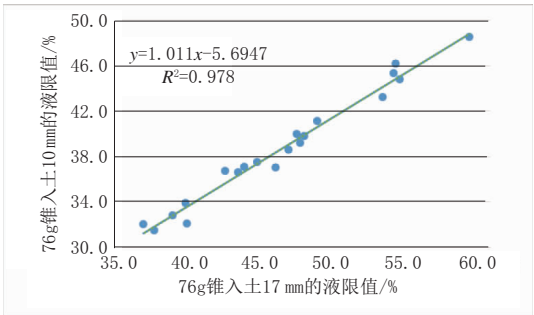


图 3 粉质黏土的 $W_{L76g-10}$ 与 $W_{L76g-17}$ 回归曲线

由以上三个回归模型分析可知, 对淤泥质土、黏土、粉质黏土进行的 76 g-10 mm 和 76 g-17 mm 液限试验方法, 其结果具有良好的线性关系, 相关系数 R^2 均大于 0.9, 标准误差小于 2, 回归模型可靠性好。

3 76 g-10 mm与 76 g-17 mm液限对土类定名的影响

根据大量数据统计, 76g-17 mm 液限 $W_{L76g-17}$

相对于 76 g-10 mm 液限 $W_{L76g-10}$ 增大,因此,与之相关的塑性指数 $I_{P76g-10}$ 、 $I_{P76g-17}$, 液性指数 $I_{L76g-10}$ 、 $I_{L76g-17}$ 等也具有明显差异。从 60 个土样中分别选取淤泥质土、黏土、粉质黏土各 10 个,利用 76 g-10 mm 与 76 g-17 mm 液限分别测定相关参数,并进行土样状态分析及土类定名。

由表 5 可知,两种液限测定方法对应的土样状态和定名具有一定差异性。在同层位细粒土样

中,相较于 76 g-10 mm 对应的塑性指数 $I_{P76g-10}$ 和液性指数 $I_{L76g-10}$,76 g-17mm 对应的塑性指数 $I_{P76g-17}$ 增大,而液性指数 $I_{L76g-17}$ 减小,一部分淤泥质土由流塑变为软塑,黏土和粉质黏土由软塑变为可塑,黏土变为粉质黏土。正是由于液限测定标准的不同,导致土类定名和状态描述的差异性,从而对客观评价工程性质产生不利影响,应引起高度重视。

表 5 76 g-10 mm 与 76 g-17 mm 液限相关参数统计表

序号	76g 锥入土 10mm 液限						76g 锥入土 17mm 液限					
	液限 $W_{L76g-10}/\%$	塑限 $W_p/\%$	塑性指数 $I_{p76g-10}$	液性指数 $I_{L76g-10}$	状态	土类定名	液限 $W_{L76g-17}/\%$	塑限 $W_p/\%$	塑性指数 $I_{p76g-17}$	液性指数 $I_{L76g-17}$	状态	土类定名
1	34.2	14.5	19.7	1.13	流塑	淤泥质黏土	38.6	14.5	24.1	0.93	软塑	黏土
2	34.5	24.3	10.2	3.03	流塑	淤泥质粉质黏土	40.7	24.3	16.4	1.88	流塑	淤泥质粉质黏土
3	32.1	20.6	11.5	1.91	流塑	淤泥质粉质黏土	35.7	20.6	15.1	1.46	流塑	淤泥质粉质黏土
4	32.4	19.9	12.5	1.94	流塑	淤泥质粉质黏土	37.6	19.9	17.7	1.37	流塑	淤泥质黏土
5	33.5	21.1	12.4	1.51	流塑	淤泥质粉质黏土	36.6	21.1	15.5	1.21	流塑	淤泥质粉质黏土
6	48.4	25.3	23.1	1.08	流塑	淤泥质黏土	54	25.3	28.7	0.87	软塑	黏土
7	38.3	23.9	14.4	1.68	流塑	淤泥质粉质黏土	41.8	23.9	17.9	1.35	流塑	淤泥质黏土
8	36.3	22.7	13.6	1.71	流塑	淤泥质粉质黏土	40.2	22.7	17.5	1.33	流塑	淤泥质黏土
9	44.6	24.2	20.4	1.35	流塑	淤泥质黏土	48.1	24.2	23.9	1.15	流塑	淤泥质黏土
10	40.5	21.5	19.0	1.41	流塑	淤泥质黏土	44.3	21.5	22.8	1.17	流塑	淤泥质黏土
11	36.8	19.3	17.5	0.94	软塑	黏土	41.6	19.3	22.3	0.74	可塑	黏土
12	47	20.3	26.7	0.76	软塑	黏土	53.8	20.3	33.5	0.60	可塑	黏土
13	43.9	19.5	24.4	0.83	软塑	黏土	51.1	19.5	31.6	0.64	可塑	黏土
14	46.6	22.4	24.2	0.65	可塑	黏土	50.4	22.4	28.0	0.56	可塑	黏土
15	49.9	23.5	26.4	0.68	可塑	黏土	53.6	23.5	30.1	0.59	可塑	黏土
16	50.5	23.4	27.1	0.63	可塑	黏土	55.5	23.4	32.1	0.53	可塑	黏土
17	46	24.1	21.9	0.66	可塑	黏土	52	24.1	27.9	0.52	可塑	黏土
18	43.2	19.6	23.6	0.88	软塑	黏土	49.8	19.6	30.2	0.69	可塑	黏土
19	37.5	17.5	20.0	0.96	软塑	黏土	42.8	17.5	25.3	0.75	可塑	黏土
20	34.4	15.8	18.6	0.99	软塑	黏土	39.3	15.8	23.5	0.79	软塑	黏土
21	43.2	26.2	17.0	0.72	可塑	粉质黏土	49.3	26.2	23.1	0.53	可塑	黏土
22	37.1	20.5	16.6	0.75	可塑	粉质黏土	41.9	20.5	21.4	0.58	可塑	黏土
23	38.6	22.3	16.3	0.83	软塑	粉质黏土	44.3	22.3	22.0	0.61	可塑	黏土
24	36.7	22.6	14.1	0.82	软塑	粉质黏土	53.9	22.6	31.3	0.37	可塑	黏土
25	32.1	19.4	12.7	0.76	软塑	粉质黏土	38.9	19.4	19.5	0.50	可塑	黏土
26	32	18.5	13.5	0.67	可塑	粉质黏土	36.5	18.5	18.0	0.50	可塑	黏土
27	31.5	21.2	10.3	0.84	软塑	粉质黏土	37.1	21.2	15.9	0.55	可塑	粉质黏土
28	33.9	19.0	14.9	0.59	可塑	粉质黏土	38.8	19.0	19.8	0.44	可塑	黏土
29	37	23.1	13.9	0.96	软塑	粉质黏土	43.6	23.1	20.5	0.65	可塑	黏土
30	44.8	28.5	16.3	0.56	可塑	粉质黏土	50.2	28.5	21.7	0.42	可塑	黏土

4 结 论

本文通过对上海地区 0~30 m 地层的淤泥质土、黏土、粉质黏土等 60 个土样进行 76-10 mm 和 76 g-17 mm 液限试验数据分析,利用 Excel 建立两者相关性的一元二次回归模型及经验换算公式,表明 10 mm 液限和 17 mm 液限具有良好的相关性,成果具有一定的参考价值。但由于土样数量有限,回归模型有待进一步提高。

由于液限测定标准的不同,与其相应的液限、塑性指数、液性指数也具有明显差异性,从而影响土类定名和状态描述。在上海地区,相较于 76g-17 mm 液限,76g-10 mm 液限在岩土工程勘察、铁路工程地质勘察等方面使用范围更为广泛,

并积累了大量工程检测资料。因此,当选择液限定方法时,应在遵守国家标准的基础上,参考地方标准规范,充分结合地方的丰富资料和宝贵经验,进行合理选择。

参考文献:

- [1] GB/T 50123—2019,土工试验方法标准[S].
- [2] JTG E40—2007,公路土工试验规程[S].
- [3] 翁奕,林荃,区少凤.不同标准下液限试验中一些问题的探讨[J].水运工程.2013(7):100-103.
- [4] 庄宇,王静.对比分析不同规范下粘性土的液塑限测定方法[J].山西建筑.2010,36(10):78-79.
- [5] Hawkar Hashim Ibrahim,Krikar M-Gharrib Noori. Determining Casagrande Liquid Limit Values from Cone Penetration Test Data[J]. ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences,2019,31(s3):114-120.

~~~~~  
(上接第 217 页)

和社会行为为主导、以自然生命保障系统为依托、以生态过程为命脉的人工生态系统。健康的湖泊依赖于结构完整、功能完善的水生态系统,通过生态系统正负反馈机制的平衡来维持或促进湖泊的健康发展。人工湖生态系统的结构、功能恢复,须统筹水系内部、外部环境的综合改善,否则很难成功。南通紫琅湖水生态系统构建设计,以控源截污、湖体形态优化及水力调控为前提,合理配置生态系统生物群落结构,以激发生态系统的自我恢复功能,形成具有自我修复、自我净化能力的城市湖泊水生态系统。结合海绵城市建设、生态景观打造及亲水休闲设施等手段,打造城市生态绿心,促进城市的和谐发展。

### 参考文献:

- [1] 张智,张智,杨冬雪,等.某人工湖成库初期水环境特征研究[J].环境工程学报,2010(6):123-128.
- [2] 李英杰,许秋瑾,金相灿,等.湖泊水生植被恢复物种选择及群落配置分析[J].环境污染治理技术与设备,2004,5(8):23-26.
- [3] 张爱菊,宓国强,练青平,等.不同密度铜锈环棱螺对不同水体指标影响效果的研究[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2011(3):29-35.

- [4] 陈宗永.草型生态系统构建技术在南湖富营养化防治中的应用[J].水生态学杂志,2019,2:35-40.
- [5] 龚志军,李艳玲,谢平.武汉东湖铜锈环棱螺的种群动态及次级生产力[J].湖泊科学,2009,21(3):401-407.
- [6] 蔡永久,刘劲松,戴小琳,等.长荡湖大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J].生态学杂志,2014,33(5):1224-1232.
- [7] 杨东妹,陈宇炜,刘正文,等.背角无齿蚌滤食对营养盐和浮游藻类结构影响的模拟[J].湖泊科学,2008,20(2):228-234.
- [8] 魏小飞,关保华,刘正文.背角无齿蚌对水体净化作用的研究[J].生态科学,2016,35(1):56-60.
- [9] 徐海军.淡水贝类作为水域环境的生态修复工具种的可行性研究[D].苏州:苏州大学,2010.
- [10] 孟顺龙,陈家长,胡庚东,等.滤食性动物放流对西五里湖的生态修复作用初探[J].中国农学通报,2009,25(16):225-230.
- [11] 吴中奎,邱小常,张修峰,等.富营养化浅水湖泊生态修复中背角无齿蚌(*Anodonta woodiana*)对水质改善的影响[J].湖泊科学,2018,30(6):1610-1615.
- [12] 高学平,杨蕊,张晨.人工湖水生态系统构建方法研究[J].环境工程学报,2016,10(2):444-450.
- [13] 苏云华,杨桐.秋季湿地植物收割对氮、磷污染物去除能力影响浅析—以罗时江湿地为例[J].环境科学导刊,2018,181(4):34-37.