



不同标准下液限试验中一些问题的探讨

翁奕, 林荃, 区少凤

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东广州510230)

摘要: 对GB/T 50123《土工试验标准》、JTG E40《公路土工试验规程》和英国标准BS1377中关于土的液限试验方法进行对比。结合港珠澳大桥工程项目, 通过对不同标准下液限试验成果数据进行统计和分析, 得到一些有用的经验关系, 为以后的工作提供指导。

关键词: 液限; 土工试验; 标准; 英标

中图分类号: TU 41

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)07-0100-04

Some issues on liquid limit test under different Chinese and other countries' standards

WENG Yi, LIN Quan, OU Shao-feng

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: This paper summarizes differences of liquid limit tests between Chinese and other countries' standards or codes including GB/T 50123, JTG E40 and BS1377. Combining the Hong Kong-Zhuhai-Macao bridge project, some useful experiential relations are obtained after statistics and analysis of the results of liquid limit tests under different standards or codes, which can provide guidances for the future work.

Key words: liquid limit test; soil test; standard; BS

液限是黏性土工程分类中极为重要的物性指标之一。从定义上讲, 液限指的是完全重塑土从黏滞可塑体向黏滞液体转变这一特定状态下的含水率。实际操作中把当土的不排水强度值出现一个最小可度量的状态规定为液限状态, 这是各种液限标准之间进行等效的基本依据。大体上分, 液限的测定方法主要有碟式仪法和圆锥仪法两种, 一般认为后者操作简单、受人为因素影响较小、结果稳定可靠, 为常用的方法^[1-4]。

目前, 国内土工试验标准中的国家标准(GB)、公路规程(JTG)等, 以及国外工程常用的英国标准(BS)关于土的液限试验的方法和要求不尽相同, 有的甚至差别很大, 如表1所示。其中GB中的76 g-10 mm(表示76 g锥、锥沉量10 mm, 下同)液限相比其它各类标准的液限明

显偏小, 此液限状态下土的不排水强度平均值约为5.3 kPa^[2]; 而76 g-17 mm、100 g-20 mm、80 g-20 mm和碟式仪液限虽然各标准在操作和对应强度上有一定的出入, 但总体而言同属于大液限的范畴, 不排水强度平均值约为1.0~2.0 kPa^[5-8]。一般认为, 76 g-17 mm、100 g-20 mm和GB碟式仪液限等效, 其不排水强度平均值约为1.9 kPa^[2]; 而BS中的80 g-20 mm液限与BS碟式仪液限等效, 其不排水强度平均值约为1.0 kPa^[5]。

仅对常用的GB76 g-10 mm, GB76 g-17 mm和BS80 g-20 mm 3种方法中的一些问题进行讨论。

1 GB(76 g-10 mm)液限与GB(76 g-17 mm)液限的关系

GB(76 g-17 mm)液限由于与国际通用标准

收稿日期: 2013-05-06

作者简介: 翁奕(1978—), 男, 工程师, 主要从事岩土测试工作。

表1 常用的液限标准对比

项目	国标GB/T 50123-1999	公路标准JTG E40-2007	英标BS1377:1990
方法/仪器	圆锥仪76 g-10 mm, 锥角30°, 填杯内径40 mm, 高30 mm	圆锥仪76 g-17 mm, 锥角30°, 填杯内径50 mm, 高40~50 mm	圆锥仪多点法80 g-20 mm, 锥角30°, 填杯内径约55 mm, 高约40 mm
	圆锥仪76 g-17 mm, 锥角30°, 填杯内径40 mm, 高30 mm	圆锥仪100 g-20 mm, 锥角30°, 填杯内径50 mm, 高40~50 mm	圆锥仪单点法80 g-20 mm, 锥角30°, 填杯内径约55 mm, 高约40 mm
	碟式仪10 mm-25 b, 硬橡胶底座, ASTM划刀	碟式仪10 mm-25 b, 硬橡胶底座, ASTM划刀	碟式仪多点法10 mm-25 b, 硬度在84°~94°IRHD之间的橡胶底座, Casagrande划刀 碟式仪单点法10 mm-25 b, 硬度在84°~94°IRHD之间的橡胶底座, Casagrande划刀
试样要求	对含有大于0.5 mm颗粒的土风干过筛, 有机质含量不大于5%	对含有大于0.5 mm颗粒的土风干过筛, 有机质含量不大于5%	对含有大于0.425 mm颗粒的土过水筛后烘干, 粗颗粒可用手工拣出
圆锥仪落锥控制	涂凡士林, 自沉时间5 s	涂凡士林, 自沉时间5 s	自沉时间5 s
应用	圆锥仪76 g-10 mm采用塑性指数IP划分土的分类, 按《建筑地基基础规范》确定黏性土承载力标准值等; 其它方法均采用塑性图划分土的分类		

接近, 从液限状态下的不排水强度来看也比较符合液限的定义, 被认为是“真正”的液限, 目前得到了较为广泛的应用; 但同时对于GB (76 g-17 mm) 液限, 尽管公认为其不排水强度值偏高, 与液限定义的差别较大, 但是由于50年代以来在我国岩土工程界一直被沿用, 许多标准、规范仍采用10 mm液限对土进行定名, 许多经验公式和经验数据也是建立在此标准的基础之上, 故完全采用GB (76 g-17 mm) 液限取代GB (76 g-10 mm) 液限需要一个过渡时期^[1]。通过对已有资料的统计, 得出10 mm与17 mm液限的经验关系将作提供一定的指导。

通过对港珠澳大桥项目1 137个土的液限试验成果进行统计得到的GB (76 g-10 mm) 液限与GB

(76 g-17 mm) 液限经验关系为:

$$W_L(76 \text{ g-10 mm}) = [W_L(76 \text{ g-17 mm}) + 2] / 1.222$$

$$\text{或 } W_L(76 \text{ g-17 mm}) = 1.222W_L(76 \text{ g-10 mm}) - 2。$$

2 BS (80 g-20 mm) 液限与GB (76 g-17 mm) 液限的差异

在港珠澳大桥项目中, 由于关联到多家国内或国际的设计或咨询单位, 为了方便各单位对室内土工试验成果的理解和应用, 在严格按照技术要求执行BS标准的同时, 也进行了一定数量的BS与GB对比试验。表2即为BS和GB标准下液限的对比试验成果, 其中BS (80 g-20 mm) 采用单点液限系数法, GB (76 g-17 mm) 采用联合测定法。

表2 BS与GB液限对比试验成果

试样编号	BS (80 g-20 mm) 液限				GB(76 g-17 mm) 液限/%	两者差 值/%
	锥深/mm	含水率/%	液限系数按插值法查BS1377-2, Table 1	液限/%		
T02-21	20.1	33.0	0.998	32.9	31.5	1.4
T04-13	19.5	56.9	1.009	57.4	55.1	2.3
T09-16	19.8	42.5	1.004	42.7	40.5	2.2
T11-18	20.1	39.8	0.998	39.7	37.8	1.9
T15-16	19.5	55.0	1.009	55.5	53.6	1.9
T31-16	19.5	60.8	1.009	61.3	58.0	3.3
T31-43	19.6	44.9	1.008	45.3	42.6	2.7
T32-40	20.2	23.8	0.997	23.7	21.9	1.8
T38-26	19.5	49.0	1.010	49.5	47.2	2.3
T39-18	19.8	58.0	1.004	58.2	55.6	2.6
Z02-4	20.0	69.6	1.000	69.6	64.9	4.7
Z74-1	20.0	80.2	1.000	80.2	75.2	5.0
Z81-6	20.0	56.6	1.000	56.6	53.8	2.8
Z94-5	20.0	48.6	1.000	48.6	45.0	3.6
Z94-7	20.0	30.5	1.000	30.5	29.3	1.2

由表2中第7列可以看到，BS(80 g-20 mm)液限与GB (76 g-17 mm)液限的差值范围约为1.0%~5.0%。该结论有助于对BS和GB中土的分类差异的理解，将丰富的土的定名与各类物理力学指标建立起来的经验关系应用到BS的实践过程中。

3 与80 g-20 mm液限等效的76 g锥沉量

80 g-20 mm液限属于BS标准，而76 g锥液限属于GB标准，到底80 g-20 mm液限对应76 g锥的

多少锥沉量，这不仅需要考虑锥重的差异，而且还需要考虑BS和GB关于制样、仪器、填杯、是否涂抹凡士林、等待下沉时间等方面的影响。见表2中第1~5列为BS单点法得到的80 g-20 mm液限值。

同时，在GB联合测定法的含水量与锥沉量图上可以查找各试样80 g-20 mm液限（表2中第5列）对应的锥沉量，亦即为等效的76 g锥沉量，见表3。上述2种试验由同一人员、同一仪器、均采用电磁落锥，分别严格地按照BS和GB进行试验。

表3 与80 g-20 mm液限等效的76g锥沉量及误差分析

试样编号	80 g-20 mm液限/%	等效76 g锥对应的锥沉量/mm	76 g-19.8 mm液限/%	76 g-20.0 mm液限与80 g-20 mm液限差值/%
T02-21	32.9	20.6	32.5	-0.4
T04-13	57.4	19.5	57.7	0.3
T09-16	42.7	20.1	42.3	-0.4
T11-18	39.7	20.1	39.3	-0.4
T15-16	55.5	19.5	56.1	0.6
T31-16	61.3	20.3	60.5	-0.8
T31-43	45.3	20.1	44.3	-1.0
T32-40	23.7	19.5	22.9	-0.8
T38-26	49.5	19.9	49.2	-0.3
T39-18	58.2	19.9	57.9	-0.3
Z02-4	69.6	19.3	68.6	-1.0
Z74-1	80.2	19.8	80.2	0
Z81-6	56.6	19.3	57.2	0.6
Z94-5	48.6	20.3	48.0	-0.6
Z94-7	30.5	19.2	30.8	0.3

从表3中第3列数据可以得到：与80 g-20 mm液限等效的76 g锥沉量的平均值约为19.8 mm。

在含水量-锥沉量曲线上，按平均锥沉量19.8 mm查找76 g-19.8 mm液限，结果见表3中第4列所示，与80 g-20 mm液限的差值见第5列所示。从中可以看到两者的差值约在1%以内，属于可以接受的范围。

4 76 g-17 mm液限的单点法系数

按照BS思路，采用单点法可大大节约试验的时间，这样只需要保证调土均匀，并使得锥沉量控制在一定范围内（BS为15~25 mm），此时锥沉量对应的含水率再乘以一个系数（系数按锥沉量查表得到）即可得到液限。既不需要像多点法测3个不同含水率的锥沉量；也不需要像国内常用的直接将锥沉量控制在一特定值（17或10 mm），通过不断调整含水率使其刚好达到液限。

在港珠澳大桥项目的前期进行了大量的塑液限试验（共518个样本），并且得到回归公式：

$$\text{一般性土: } W_p = 0.5826 W_L + 2.0142 \quad (1)$$

$$\text{残积土: } W_p = 0.6039 W_L + 1.3561 \quad (2)$$

计算17 mm锥沉量对应的含水率与其它各锥沉量对应的含水率之比，即为一般性土的单点法液限系数，如表4中第2列所示；同样地，残积土的

表4 单点法76 g-17 mm液限系数

锥沉量/mm	液限系数		相对误差/%	液限系数 平均值
	一般性土	残积土		
12	1.103	1.096	0.6	1.100
13	1.078	1.073	0.5	1.076
14	1.056	1.052	0.4	1.054
15	1.036	1.034	0.2	1.035
16	1.017	1.016	0.1	1.017
17	1.000	1.000	0.0	1.000
18	0.984	0.985	0.1	0.985
19	0.969	0.971	0.2	0.970
20	0.955	0.958	0.3	0.957
21	0.942	0.946	0.4	0.944
22	0.930	0.934	0.4	0.932

单点法液限系数见表4中第3列。可见,一般性土和残积土的系数非常接近,相对误差在0.6%以内,故采用两者的平均值不会影响试验的精度。

为了对表4中单点法液限系数进行验证,选取不同地区不同土类进行实测值(联合测定法)和计算值(单点液限系数法)的比较,见表5。

从表5可以看出:采用单点液限系数法求得的液限误差很小,并且受土类(各种液限土,一般性土或残积土等)、地区(国内、国外等)的影响很小,完全可以代替常规的联合测定法。当采

用76 g-17 mm液限时,单点法液限系数可采用表4中的平均值(第5列)进行计算,此时的结果误差在1.0%以内。

5 结论

本文通过对国内常用土工试验标准GB/T 50123、JTG E40和国外常用的BS1377中有关液限试验标准的深入探讨,总结了各标准下的液限试验在方法、仪器、制样、应用等方面的异同之处。结合港珠澳大桥工程项目的室内土工试验成

表5 单点76 g-17 mm液限系数法与联合测定法的比较

试样编号	联合测定法			单点液限系数法			误差		
	实测值/%	锥沉量/mm	含水率/%	按一般性土系数/%	按残积土系数/%	按平均系数/%	按一般性土系数/%	按残积土系数/%	按平均系数/%
T31-6	58.0	15.4	56.40	58.0	57.9	58.0	0	-0.1	0
T39-18	55.6	16.4	55.10	55.7	55.6	55.6	0.1	0	0
I019-11	43.7	15.1	42.61	44.1	44.0	44.0	0.4	0.3	0.3
I027-12	32.8	15.2	31.85	32.9	32.8	32.8	0.1	0	0
K01-1	118.0	14.3	112.8	118.4	118.1	118.2	0.4	0.1	0.2
B02-2	56.3	18.5	57.7	56.4	56.4	56.4	0.1	0.1	0.1
W05-2	43.3	16.2	42.8	43.4	43.4	43.4	0.1	0.1	0.1
Y19-5	41.8	13.6	39.6	42.2	42.0	42.1	0.3	0.2	0.3
Z02-2	69.1	15.8	66.9	68.3	68.2	68.3	-0.8	-0.9	-0.8
Z25-14	69.5	15.0	66.4	68.8	68.6	68.7	-0.7	-0.9	-0.8
Z90-1	85.4	14.9	81.6	84.7	84.5	84.6	-0.7	-0.9	-0.8
Z92-4	32.6	16.5	32.2	32.5	32.5	32.5	-0.1	-0.1	-0.1

果,对各液限标准之间的一些联系和差别进行分析,建立了一些实用的经验关系。同时仿照英标的思路得到了国标76 g-17 mm的单点法液限系数。本文形成的主要结论有:

1) GB(76 g-10 mm)液限与GB(76 g-17 mm)液限的关系公式为:

$$W_L(76\text{ g-}10\text{ mm})=[W_L(76\text{ g-}17\text{ mm})+2]/1.222 \quad (3)$$

$$\text{或 } W_L(76\text{ g-}17\text{ mm})=1.222 \times W_L(76\text{ g-}10\text{ mm})-2 \quad (4)$$

2) BS(80 g-20 mm)液限与GB(76 g-17 mm)液限的差值范围约为1.5%~3.0%;

3) 与80 g-20 mm液限等效的76 g锥沉量的平均值为19.8 mm;

4) 当采用76 g-17 mm液限时,单点法液限系数可采用表4中的平均值进行计算。

虽然本文的各结论均建立在大量试验数据的基础上,但由于土的性质的复杂性和多变性,

论文所参考的试验数据仅限于港珠澳大桥工程项目,故论文提出的各经验公式和定量关系也仅限于类似性质土的试验中。

参考文献:

- [1] GB/T 50123—1999 土工试验方法标准[S].
- [2] JTG E40—2007 公路土工试验规程[S].
- [3] BS1377-1: 1990 土木工程用土壤试验方法(第1部分)[S].
- [4] BS1377-2: 1990 土木工程用土壤试验方法(第2部分)[S].
- [5] 蒋彭年. 稠度试验的研究现状与发展[J]. 岩土工程学报, 1989, 11(5): 1-16.
- [6] 聂守智. 用圆锥试验确定黏性土性质指标的新方法[J]. 岩土工程学报, 1984(6): 20-31.
- [7] 周鸿逵. 关于液限标准的几个问题[J]. 岩土工程学报, 1992(6): 74-80.
- [8] 马履霞, 蒲海波. 土的界限含水率试验测试方法的研究[J]. 勘察科学技术, 2011(3): 17-18.

(本文编辑 郭雪珍)