

颗粒分析试验研究

李瑜霞

(中国水电顾问集团北京勘测设计研究院, 北京 100024)

【摘要】 颗粒分析试验是测定干土中各种粒组所占该土总质量的百分数的方法, 借以明了颗粒大小分布情况, 供土的分类及粗略判断土的工程性质及建筑材料选料之用, 其中的密度计法用于测定小于 0.075 mm 以下的颗粒大小及分布情况, 测量的准确度直接关系到土中黏粒和胶粒的多少, 在试验的角度分析了密度计法试验结果误差的原因, 指出现行规范中温度校正的不合理性, 提出了空白试验方法, 供工程技术人员和土工试验人员参考并验证。

【关键词】 颗粒分析试验; 密度计法; 空白校正

【中图分类号】 TU 192

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2010.04.009

Experimental Study of Gradation Test

Li Yuxia

(Hydrochina Beijing Engineering corporation, 100024 P. R. China)

【Abstract】 Gradation test is used to get the dry mass percentage of various sizes of soil particles. This is the typical test to obtain the actual soil particle size distribution curve. The curve is usually utilized as a preliminary approach to estimate the soil engineering property or used in determining the applicability of backfill materials. A significant component of the test is hydrometer analysis which is used to get distribution for the soil particle with size less than 0.075mm. However, hydrometer test result is usually different even for the same sample by different operators or laboratories. The hydrometer is the most direct approach to obtain the percentage of silt and clay particles although its result is very sensitive to the temperature or its accuracy depends on various factors. This paper is to investigate the background of the errors from the stand point of testing and to summarize the misunderstandings of temperature correction method in the current code. A KONGBAI approach is finally recommended in eliminating or reducing the hydrometer analysis errors. This method can be used as a reference in engineering and can be testified by future lab testing.

【Key words】 gradation test ; hydrometer analysis; KONGBAI approach

0 引言

目前, 颗粒分析的试验方法主要有两大类, 一是机械分析法如筛析法, 主要适用于粒径大于 0.075mm 的颗粒, 二是物理分析法如密度计法(俗称比重计法)、吸管法、沉淀法等等, 适用于粒径小于 0.075 mm 的试样, 笔者在多年实践的基础上发现现行的土工试验规程^[1,2,3]使用的密度计法测定细粒土颗粒组成时, 计算公式中温度校正值与实际偏离过大, 这将直接改变土中黏粒和粉粒的百分含量, 但在工程中黏粒和粉粒含量的多少往往直接影响了砾类土和砂类土的分类^[4]以及地震液化的复判^[5], 因此提出了空白校正的试验方法, 供工程技术人员和土工试验人员参考并验证, 希望最终达到修改土工

试验规程的目的。

1 理论依据与计算公式

密度计法分析颗粒粒径大小的分布是建立在以下三个假定^[6]的基础上: 一司笃克(STOKES)定律运用于土的悬液中; 二是试验开始时土的颗粒大小均匀分布于水中; 三是所用的量筒直径要比密度计的直径大得很多。

基于这样的理论假设, 用甲种密度计法(乙种密度计计算公式不同, 本篇以甲种密度计为例)测定, 按下式计算小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数:

$$X = \frac{C_G}{m_d} (R + m_T + n - C_D) \times 100 \quad (1)$$

式中: X 为小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数, %; m_d 为试样烘干质量, g; C_G 为土粒密度校正值; 在规范中可以直接查表, 也可以按公式(2)计算求得; R 为甲种密度计读数; m_T 为悬液温度校正值; n 为弯液面校正值; C_D 为分散剂校正值。

$$C_G = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{w20}} \times \frac{2.65 - \rho_{w20}}{2.65} \quad (2)$$

式中: ρ_s 为土粒密度, g/cm^3 ; ρ_{w20} 为 20°C 时水的密度, g/cm^3 。

按司笃克定律计算土的颗粒粒径:

$$d = k \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3)$$

$$k = \sqrt{\frac{1800 \times 10^4 \eta_T}{(G_s - G_{wT}) \rho_{w4} g}} \quad (4)$$

式中: d 为土的颗粒直径, mm; k 为粒径计算系数, 在规范中也可以直接查表; L 为 t 时的土粒沉降距离, cm; t 为沉降时间, s; η_T 为 $T^\circ\text{C}$ 时水的动力黏滞系数, 在规范中可以直接查表, ($10^{-6} \text{ kPa} \cdot \text{s}$); G_s 为土粒的密度; G_{wT} 为 $T^\circ\text{C}$ 水的相对体积质量; ρ_{w4} 为 4°C 时水的密度, g/cm^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 。

2 问题的产生及分析

基于上述理论和计算公式, 现行土工试验规程均指出: 密度计使用前均须加以校正, 包括刻度及弯液面校正, 土粒有效沉降距离的校正, 但这些校正工作极其繁重。目前国内已有生产厂商制造甲种密度计准确至 0.5, 乙种密度计准确至 0.000 2 的刻度, 并对土粒有效沉降距离及弯液面在出厂前都已经进行校正的产品, 如果采用此种标准的密度计, 且备有检定合格证书, 在使用前不需进行密度计校正^[1-3], 但需对不同用量和品种的分散剂进行校正。

这说明现阶段生产厂商制造密度计的工艺已经成熟, 具有检定合格证书的密度计使用前只需要对不同用量和品种的分散剂加以校正就可以正常使用了。但在实际操作中经过反复试验, 发现同一种土用不同的密度计由同一人员操作测出的黏粒含量存在不小的差异, 为了研究这个问题, 同一个人用不同的密度计不加土样在 1000 ml 的清水(符合 GB 6682 中三级用水的规定)中进行测试, 因是在清水中, 那么公式(1)中的分散剂校正值是不存在的, 而经过温度和弯液面的校正后密度计的读数应为 0, 但实测数据却有出入。各密度计的参数见表 1, 清水中部分实测试验数据见表 2 和表 3(其中的误差项已经经过了温度和弯液面的校正)。同一密度计不同温

度不同批次的试验结果见表 2。不同密度计同一批次不同温度下的试验结果见表 3, 各密度计的读数误差值与温度的关系曲线见图 1。

表 1 密度计参数

编号	质量/g	浮泡体积/ cm^3	标尺总长/cm	出厂日期
19	59.23	62.00	8.6	1985.
7	65.46	53.53	14.3	2007.10
24	66.32	64.41	14.0	2007.10

表 2 同一密度计不同温度不同批次试验结果

测次	温度/ $^\circ\text{C}$	实测值	查表值	误差
1	13.4	3	-1.48	0.72
	13.5	2.2	-1.5	-0.1
	13.8	2.5	-1.44	0.26
	14.1	2	-1.38	-0.18
2	14.4	2.8	-1.32	0.68
	14.8	2.4	-1.24	0.36
	15.1	2.5/2.9	-1.18	0.52/0.92
	15.8	2	-1.04	0.16
3	14.9	3.1	-1.22	1.08
	16.8	1.1	-0.84	-0.56
	17	1.4	-0.8	-0.2
	20	0.5	0	-0.3

表 3 不同密度计同一批次不同温度下试验结果

密度计号	温度/ $^\circ\text{C}$	实测值	查表值	误差
19	17	1.8	-0.8	0.2
	18.1	0.6/0.8	-0.48	-0.68/-0.48
	20	0.5/0.8	0	-0.3/0
	24.5	-0.3	+1.5	0.4
7	17	1.5/1.8	-0.8	0.7/1.0
	18.1	1.1/1.3	-0.48	0.62/0.82
	20	0/0.1	0	0/0.1
	24.5	-1.5/1.8	+1.5	0/0.3
24	17	1.0	-0.8	0.2
	18.1	1.2	-0.48	0.72
	20	0	0	0
	20.5	-1.5/-2.0	+1.5	0/0.5

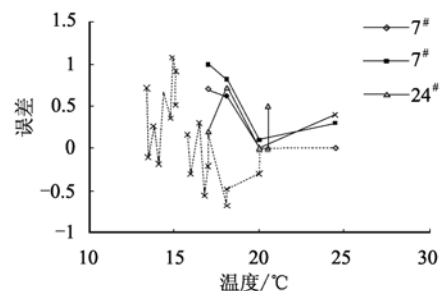


图 1 温度与误差关系曲线

从表2、表3和图1可以看出,密度计的读数误差值在 $-0.8\sim 1.08$ 之间,试验温度在 20°C 时误差较小,低于或高于 20°C 误差都将增大,通过分析试验数据并结合试验操作过程,将产生这个误差的原因分析如下:

1) 标尺总长

可以看出19号密度计是1985年生产的,标尺总长 8.6cm ,7号和24号是2007年生产的,标尺总长为 14cm 以上,3只密度计的准确度均为0.5,显然19号由于标尺总长较短在读数方面存在的认为因素更大一些,试验尽量选取标尺总长长一些的密度计;

2) 温度偏差

尽管3只不同的密度计在不同温度下的误差值在 $-0.8\sim 1.08$ 之间,但 20°C 时试验误差最小,甚至为0,这是由于 20°C 正好是密度计刻度刻制的标准温度,至于在表3中出现 20°C 时0.1或0.2的误差,一是可能由于温度不够准确引起的,二是由于操作时密度计不在量筒中央引起的;

3) 密度计材料

由于玻璃热胀冷缩的特性,在不同温度下使用玻璃器材量测体积时,会造成一定程度的偏差。因为玻璃的热膨胀系数基本取决于玻璃的化学组成,还和玻璃的热历史有关,其大小决定玻璃抗急冷急热能力的大小,是由玻璃原料以及溶解温度等决定。这就是说不同材质的玻璃有着不同的热膨胀系数,玻璃的热膨胀系数根据成分不同可在很大范围内变化,其变化范围为 $(5.8\sim 150)\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 。若干非氧化物玻璃的热膨胀系数甚至超过 $200\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 。

4) 试验操作

这方面存在的问题主要是操作者的熟练程度,密度计放置偏差,不在中央位置,或不能直立,或放置不稳定,均直接影响试验读数的准确性。

5) 密度计理论

由理论方面引起的误差问题如密度计虽然采用了流线形设计,但也不可避免会对悬浮土颗粒的规律造成破坏,再如司笃克定律使用的粒径范围,量筒虽然静置,但因量筒中悬液对流的影响,等等^[7]。

上述几方面因素中,撇开密度计理论方面引起的误差不谈,标尺总长和密度计材料引起的误差相对较小,试验操作引起的误差与操作人员的技术熟练程度关系密切,而温度引起的偏差结果较大,事实上这里所说的温度偏差实际上是一个综合因素。

可以肯定的说,目前现行规范用密度计测量的颗

粒分析试验结果在细颗粒含量方面结果偏大。本次实测数据证明了这一点,以往资料也有记载:认为密度计法的试验结果大于显微镜法和光透法^[7]。可以想像:量筒虽然静置,但因量筒中悬液对流的影响,细颗粒含量的测量结果也偏大,再有每次试验读数前需要提前放入或读数后需要取出密度计,对悬液均有扰动,也可以使细颗粒含量的测量结果偏大。

3 解决方法

根据上述的误差分析,用密度计测定细粒含量首先应该注意解决以下几个问题:

1) 在恒温室进行,试验水温最好保持 20°C ,室内空调温度设置在 22°C ,保持试验环境温度均一,避免试验间温度波动过大;

2) 搅拌时,搅拌棒上下速度要均匀,而且每次要触及沉降筒底部,不能提出水面,防止把土悬浮液溅出,把空气带进悬浮液中产生涡流而影响土粒沉降速度;

3) 密度计尽量放置在量筒中部进行测量,且要稳定直立,不要起伏过大;

4) 提前10s防置,并尽量减少操作时对量筒中土悬液的扰动,放置或取出密度计时动作应轻、稳、小心、快;

5) 经常用碱或肥皂清洗密度计,因为密度计玻璃杆上常有土颗粒黏附物^[7]。

6) 除了注意以上几方面因素外,试验中宜采用空白试验法加实测温度校正,这种方法为综合校正法,可以最大限度的降低试验误差。具体的试验方法见下面【空白校正】。

4 空白校正

取一只 1000ml 量筒,先加 $400\sim 500\text{ml}$ 试验用水(符合GB 6682中三级用水的规定),再加入与试验所用相同数量的分散剂,最后加水达 1000ml 刻度,用搅拌器上下搅匀,于测定土悬液密度之前(或之后)放入密度计,等密度计稳定后读取弯液面顶部与密度计杆相交处的读数(在0点以下为正值,0点以上为负值),同时记录试验温度。此数值为空白校正读数,包括温度、弯液面和分散剂的校正。资料整理时可以将公式(1)改为:

$$X = \frac{C_G}{m_d} (R - k_b) \times 100 \quad (5)$$

式中: k_b 为空白校正值,其他符号同前。

附【实测温度校正】

取一只 1000ml 量筒,直接加 1000ml 蒸馏水,用搅拌棒上下搅匀。于测定土悬液密度之前(或之后)放入密度计,等密度计稳定后读取弯液面顶部与

密度计杆相交处的读数(在0点以下为正值,0点以上为负值)。此数值为温度、弯液面的综合校正读数,资料整理时可以将公式(1)改为:

$$X = \frac{C_G}{m_d} (R - m_w - C_D) \times 100 \quad (6)$$

式中: m_w 为温度、弯液面综合校正值。

空白试验最好与土样试验同时进行,试验条件与规范要求的一致(比如搅拌时间、读数间隔等),这样可以把各种因素引起的误差得以充分考虑,如果在恒温室进行试验,悬液温度相同而每次测定的空白校正的读数不同,资料整理时可以采用平均值计算。

5 对比试验

表4 对比试验结果

样品编号	颗 粒 组 成/%				说 明
	>0.25 mm	0.25~0.075 mm	0.075~0.005 mm	<0.005 mm	
1	1.9	3.4	53.7	41.0	按规范操作
2	1.6	2.7	62.7	33.0	
3	5.7	4.7	66.6	23.0	
4	4.2	4.8	58.0	33.0	
1	1.9	3.4	58.7	36.0	按[空白校正]操作
2	1.6	2.7	66.7	29.0	
3	5.7	4.7	70.6	19.0	
4	4.2	4.8	63.0	28.0	

6 结 论

用【空白校正】进行密度计的颗粒分析试验,简单实用,只是在正常试验时多加一只量筒,与试验条件保持一致,并不增加任何劳动强度。笔者通过多次工程实例验证,对于<0.075 mm的细粒土可以消除3%~5%的误差,但在工程中黏粒和粉粒含量的多少往往直接影响了砾类土和砂类土的分类以及地震液化的复判,也就影响了建筑材料的使用性能,希望能引起各方同行关注并加以推广应用。

参 考 文 献

[1] 电力行业水电规划设计标准化技术委员会, DL/T 5355—2006 水电水利工程土工试验规程[S].北京:中国电力出版社,2007.

用同一密度计同一样品,按照试验规程和采用本文提出的空白校正试验进行对比,其结果见表4。从表4的结果可以看出,两种试验结果的黏粒和粉粒含量值有所差异,但就黏粒含量而言空白校正的试验结果比按规范操作的试验结果要小,这4组数据差值在4%~5%,当然这里例出的只是几个典型的特例,试验中也存在误差值很小的工程实例,不过通过这种空白校正试验,得出的试验数据应该可以解释前文提到的“用密度计测量的颗粒分析试验结果在细颗粒含量方面结果偏大”的疑问,因为,其结果是显而易见的。

[2] 中华人民共和国建设部. GB/T 50123—1999 土工试验方法标准[S].北京:中国计划出版社,1999.
 [3] 中华人民共和国水利部. SL 237—1999 土工试验规程[S].北京:中国水利水电出版社,1999.
 [4] 中华人民共和国建设部. GB/T 50145—2007 土的工程分类标准[S].北京:中国计划出版社,2008.
 [5] 中华人民共和国建设部. GB/T 50287—2006 水力发电工程地质勘察规范[S].北京:中国计划出版社,2008.
 [6] 中华人民共和国水利电力部. SD 128—84 土工试验规程[S]第一分册.北京:水利电力出版社,1987.
 [7] [日]三木五三郎. 日本土工试验法[S].北京:中国铁路出版社,1985.

收稿日期:2010-04-30