

砂相对密度试验方法的改进

范孟华, 孔德志

(河南大学土木建筑学院, 河南 开封 475001)

摘要 : 改进了砂相对密度的试验方法。对最小干密度试验, 改进了试验装置以简化操作手续; 调整了试验步骤以减小测量误差, 推荐只使用量筒倒转法测量, 用量筒倾斜法整平砂面; 研究了最佳取样量和量筒倒转次数。对最大干密度试验, 建议采用电动相对密度仪, 每层试样宜振击 15 min, 推荐只使用小号的金属圆筒。

关键词 : 砂; 相对密度; 试验方法; 改进

中图分类号 : TU414 **文献标识码 :** B

Improvements on Method for Relative Density of Sand Experiments

FAN Meng-hua, KONG De-zhi

(Department of Civil Engineering & Architecture, Henan University, Kaifeng 475001, China)

Abstract : The paper introduces improvements on method for relative density of sand experiments. For the minimum dry density test of sand, test devices are improved to simplify the procedures and the test steps are adjusted to reduce the measurement error. The reverse graduated cylinder method and the tilting graduated cylinder method are recommended as the best methods for minimum dry density test and for leveling sand surface respectively. The optimum sampling quantity and the times of reversing graduated cylinder are studied. For the maximum dry density test, the use of electrically operated relative density instrument, small metal cylinder and 15 min vibration time for each layer of specimen are proposed.

Key words : sand; relative density; testing method; improvement

相对密度是反映无黏性土紧密程度的指标^[1], 只要测出砂的最大干密度和最小干密度及天然干密度, 即可得出砂的相对密度。《土工试验方法标准》^[2](以下简称《标准》)规定: 砂的最小干密度试验宜采用漏斗法和量筒法; 砂的最大干密度试验采用振动锤击法。通过长期的土工试验教学实践, 作者认为在测试砂的最大干密度和最小干密度时, 《标准》^[2]规定的试验方法有不足之处, 如操作手续较繁琐、量筒倒转次数未作明确说明、停止振击标准不易执行等。在实践基础上, 本文对《标准》方法提出了一些改进。

1 砂最小干密度试验的改进

1.1 改进试验装置, 简化操作手续

《标准》介绍的操作步骤只由一人很难完成最小干密度试验。在向量筒内倒入土样时, 需要一人用一只手拿着锥形塞的杆端, 另一只手拿着长颈漏斗, 还需要另外一人向长颈漏斗内倒入土样, 即做此试验至少需要两人, 同时两人需要配合默契。在土样倒入漏斗时, 要将漏斗和锥形塞杆同时提高, 移动塞杆, 使锥体略离开管口, 管口应经常保持高

出砂面 1 ~ 2 cm, 使试样缓慢且均匀地分布落入量筒中。

作者将漏斗仓容积扩大; 并对锥形塞杆做了改进。具体改进方法: 先将锥形塞(底径 1.5 cm)的杆端一定范围内制作出外螺纹, 再将锥形塞杆(直径 0.3 cm)自长颈漏斗下口(内径 1.2 cm)穿入, 并向上提起, 在带有外螺纹的锥形塞杆端套上一事先制作好的中间有内螺纹的铁杆(图 1), 其铁杆总长要大于长颈漏斗上口的最大直径。旋转此铁杆使其上下升降, 一直调整到使锥形塞底部和漏斗管口之间的间距为 15 mm 左右即可。

另外还设计了漏斗上提装置(图 2), 连接 2 个滑轮的一根细线, 其一端固定在长颈漏斗上, 另一端固定在底座的小轱辘上。试验时将连接好后加铁杆的长颈漏斗放入 1000 mL 量筒内, 称取约 700 g 土样倒入漏斗仓内, 缓缓转动小轱辘的手柄, 慢慢提起长颈漏斗及锥形塞, 锥体会略离开管口以使土样缓慢且均匀地分布落入量筒中。操作者只需一手转动手柄, 同时注意观察量筒内砂面, 使管口经常保持高出砂面 1 ~ 2 cm 即可。这样一人即可完成此试验, 简化了操作手续, 提高了工作效率。

收稿日期: 2006-08-26; 修订日期: 2006-12-18

基金项目: 河南大学第三批教学改革研究项目资助(BX - 0311)

作者简介: 范孟华(1972 -) 男, 山东夏津县人, 讲师, 在读硕士研究生, 主要从事岩土工程方面的教学和研究工作。

E-mail: fmh@henu.edu.cn.

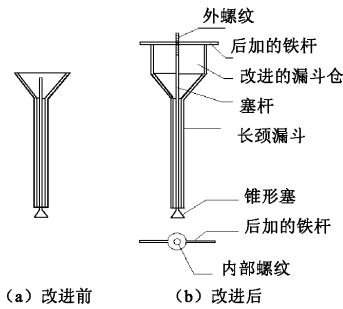


图 1 改进后的长颈漏斗和锥形塞

Fig. 1 Ameliorated long-neck funnel and taper cork

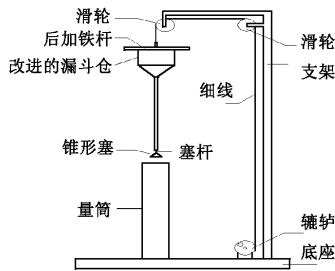


图 2 改进后的仪器

Fig. 2 Ameliorated instrument

1.2 改进试验步骤,减小测量误差

《标准》^[2]规定的试验操作中,先称取烘干的代表性试样 700 g,然后均匀缓慢地倒入漏斗中。作者认为,先称量后倒入的次序不太合理,在称量及倒入土样过程中可能存在土样的流失,导致最终进入到量筒里的土样质量不足 700 g,从而带来测量误差,故建议改为先倒入土样后称量的方法。具体操作步骤:先称取量筒的质量,再取烘干的代表性试样约 700 g,然后均匀缓慢地倒入漏斗中,倒完后将装有干砂的量筒轻轻地放在电子天平上称出其总质量,用总质量减去量筒的质量即为装入砂土的质量。为了避免对量筒内干砂的密实度造成扰动,在称取总质量时一定要轻拿轻放;为便于称量及加快试验速度,建议使用电子天平(称量 5100 g,最小分度值 0.1 g)。《标准》规定,若试样中不含大于 2 mm 的颗粒时可用容积为 500 mL 和 1000 mL 两种规格的量筒,后者内径应大于 60 mm。为了减少试验所用仪器设备的种类和数量,本文建议只用 1000 mL 的量筒,相应的砂面拂平器也改为一种。

1.3 建议使用量筒倒转法测量

目前国际上对砂的最大孔隙比即最小干密度的测定一般用漏斗法,但是作者通过对比试验认为,用漏斗法测定的最小干密度的结果较测量筒倒转法大,而二者的平均偏差 ($\frac{1}{n} \sum |x - \bar{x}|$) 则相差不大(表 1)。用量筒倒转法时,采用慢速倒转,虽然细颗粒下落慢,粗颗粒下落快,粗细颗粒稍有分离现象,但能达到较松的状态;且该方法简便易行,故本文推荐使用量筒倒转法测定砂的最小干密度。对量筒倒转次数《标准》^[2]并没有明确规定,由表 2 可知,最小干密度出现在前 6 次以内,故本文建议倒转 6 次;对漏斗法,建议重复测试 5 次(表 3)。

表 1 漏斗法与量筒倒转法测定砂最小干密度对比

Table 1 Comparison of sand minimum dry density measured with funnel and reversing graduated measuring cylinder methods

m ³ 试样/g	测试方法	最小干密度 $\rho_B/(g \cdot cm^{-3})$										平均值	平均偏差
		分次测试值											
土样 1	量筒法	1.46	1.46	1.47	1.48	1.47	1.48	1.46	1.46	1.47	1.46	1.467	0.0064
	漏斗法	1.49	1.48	1.50	1.49	1.48	1.49	1.49	1.51	1.49	1.49	1.491	
土样 2	量筒法	1.46	1.47	1.44	1.44	1.46	1.44	1.46	1.47	1.46	1.47	1.457	0.0102
	漏斗法	1.52	1.51	1.52	1.54	1.52	1.51	1.51	1.51	1.54	1.54	1.522	
土样 3	量筒法	1.48	1.47	1.49	1.48	1.48	1.47	1.47	1.47	1.48	1.48	1.477	0.0056
	漏斗法	1.48	1.47	1.49	1.49	1.47	1.48	1.48	1.48	1.49	1.481	1.481	
土样 4	量筒法	1.46	1.46	1.47	1.46	1.46	1.48	1.48	1.47	1.46	1.46	1.466	0.0072
	漏斗法	1.49	1.48	1.49	1.50	1.49	1.51	1.49	1.48	1.49	1.49	1.491	
土样 5	量筒法	1.43	1.44	1.44	1.41	1.44	1.44	1.44	1.44	1.43	1.43	1.434	0.0072
	漏斗法	1.49	1.52	1.51	1.52	1.47	1.51	1.52	1.49	1.51	1.52	1.506	
土样 6	量筒法	1.53	1.52	1.53	1.53	1.54	1.50	1.52	1.54	1.52	1.51	1.524	0.0100
	漏斗法	1.59	1.57	1.59	1.58	1.57	1.59	1.57	1.57	1.59	1.58	1.580	
土样 7	量筒法	1.49	1.54	1.52	1.52	1.49	1.49	1.49	1.52	1.52	1.49	1.507	0.0170
	漏斗法	1.49	1.51	1.52	1.49	1.49	1.52	1.51	1.52	1.49	1.51	1.505	

表 2 量筒倒转法测量砂最小干密度与试验次序的关系

Table 2 Relationship between minimum dry density of sand measured with reversing graduated measuring cylinder method and experimental sequence

最小干密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$										最小值最先出	
分次测试值										最小值	现在第几次
1.46	1.46	1.47	1.48	1.47	1.48	1.46	1.46	1.47	1.46	1.46	1
1.48	1.47	1.49	1.48	1.48	1.47	1.47	1.47	1.48	1.48	1.47	2
1.46	1.46	1.47	1.46	1.46	1.48	1.48	1.47	1.46	1.46	1.46	1
1.43	1.44	1.44	1.41	1.44	1.44	1.44	1.44	1.43	1.43	1.41	4
1.53	1.52	1.53	1.53	1.54	1.50	1.52	1.54	1.52	1.51	1.50	6
1.46	1.47	1.48	1.47	1.47	1.49	1.50	1.47	1.49	1.47	1.46	1
1.46	1.47	1.44	1.44	1.46	1.44	1.46	1.47	1.46	1.47	1.44	3
1.49	1.54	1.52	1.52	1.49	1.49	1.49	1.52	1.52	1.49	1.49	1

表 3 漏斗法测量砂最小干密度与试验次序的关系

Table 3 Relationship between minimum dry density of sand measured by funnel method and experimental sequence

最小干密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$										最小值最先出	
分次测试值										最小值	现在第几次
1.49	1.48	1.50	1.49	1.48	1.49	1.49	1.51	1.49	1.49	1.48	2
1.48	1.47	1.49	1.49	1.47	1.48	1.48	1.48	1.48	1.49	1.47	2
1.49	1.48	1.49	1.50	1.49	1.51	1.49	1.48	1.49	1.49	1.48	2
1.49	1.52	1.51	1.52	1.47	1.51	1.52	1.49	1.51	1.52	1.47	5
1.59	1.57	1.59	1.58	1.57	1.59	1.57	1.57	1.59	1.58	1.57	2
1.52	1.51	1.52	1.54	1.52	1.51	1.51	1.51	1.54	1.54	1.51	2
1.49	1.51	1.52	1.49	1.49	1.52	1.51	1.52	1.49	1.51	1.49	1

1.4 建议用量筒倾斜法整平砂面

用砂面拂平器将砂面拂平、测记试样体积时,由于砂面拂平器和量筒内壁之间存在间隙,故拂平后的砂面边缘处存在“凹面”,给准确测读土样体积带来了困难。本文建议不用拂平器拂平砂面,而是将量筒轻轻拿起后,缓慢地向砂面较低方向稍稍倾斜后即可使砂面平整。

2 砂的最大干密度试验的改进

电动相对密度仪(南京土壤仪器厂)自动化程度较高,安装好土样筒,并设定好振动锤击时间之后即可开始振击,到设定时间后自动停止,操作非常方便。相比较而言,手动

相对密度仪的振击频率很难控制。

《标准》^[2]规定的停止振击标准为“直至试样体积不变为止”此规定较为模糊且不易执行。因为土样是分 3 次倒入金属圆筒进行振击的,在振击的过程中很难确定土样体积是否还在发生改变。根据作者的测试结果(图 3),击振 15 min 以后,砂的最大干密度趋于稳定,故采用振击时间控制土样体积较为适用。本文推荐每层试样宜振击 15 min。

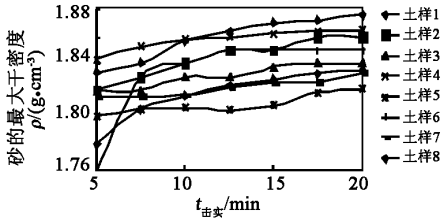


图 3 不同击实时间下的砂最大干密度

Fig. 3 Maximum dry density of sand at different hitting time

《标准》^[2]规定用振动锤击法测定砂的最大干密度时,需尽量避免由于振击功能不同而产生的人为误差。同时《标准》^[2]又规定振动叉以每分钟往返 150 ~ 200 次的速度敲打圆筒两侧,并在同一时间内用击锤锤击试样表面,每分钟 30 ~ 60 次。当采用振击时间控制土样体积后,由于《标准》^[2]规定的振击频率范围较大,还是会导致由于振击功能不同而产生的人为误差,故作者建议对振动叉和击锤锤击频率应作统一规定。本试验推荐使用小号的金属圆筒(容积 250 mL,内径 5 cm),主要是考虑与击锤配套(锤质量 1.25 kg、落高 15 cm、锤直径 5 cm),锤直径和金属圆筒内径相同,在振击过程中是全截面振击,而不用逐点振击。

3 讨论

3.1 使用量筒倒转法测量时的最佳取样量

由图 4 可知,用 1000 mL 的量筒测量时,砂最小干密度与取样量关系曲线大致出现了 3 个波谷,第一个在 400 ~ 500 g,第二个在 700 ~ 800 g,第三个在 1000 ~ 1100 g;且第二个波谷对应的最小干密度值较小,考虑到《标准》^[2]规定的取样量为 700 g,故建议最佳取样量为 700 g。同理,用 500 mL 的量筒测量时,砂最小干密度与取样量关系曲线大致出现了 2 个波谷,第一个在 300 g 左右,第二个不是很明显,在 500 ~ 600 g;且第一个波谷对应的最小干密度值最小,故建议最佳取样量为 300 g。

3.2 土样湿度对试验结果的影响

制订原《土工试验方法标准》(89 标准)时,有关专家曾分别进行了干法和湿法最大干密度试验(锤击法),试验结果表明干法所测得的砂最大干密度最大^[2],考虑到便于统一土样干湿标准和现行《标准》^[2]的规定,建议仍以烘干土样采用振动锤击法为准。

3.3 试验方法改进后对试验结果的影响

如前所述,用漏斗法测定的砂最小干密度较量筒倒转法大,《标准》^[2]规定取上述两种方法测得的较大体积值计算最小干密度,故最终试验结果应为量筒倒转法的测定结

果,因此采用量筒倒转法和采用现行《标准》^[2]测定砂的最小干密度,测试结果并没有发生变化。

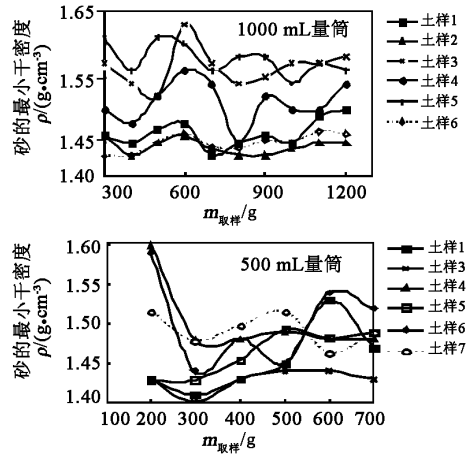


图 4 量筒法测量的砂最大干密度与取样量关系

Fig. 4 Relationship between maximum dry density of sand measured with measuring cylinder method and sample quantity

用作者设计的漏斗提升装置用漏斗法测定砂的最小干密度,简化了操作手续,且对试验结果并无明显影响。

《标准》^[2]规定先称量后倒入,在称量及倒入土样过程中可能存在土样的流失,从而带来测量误差;由于目前 500 mL 和 1000 mL 量筒的刻度精度为 10 mL,在测试土样体积时《标准》^[2]规定估读至 5 mL。此估读精度较粗,极少量散失土样对试验结果基本无影响。据经验,只有散失 7 g(砂最小干密度取 1.4 g/cm³, 5 mL × 1.4 g/cm³ = 7 g)以上时才会对试验结果产生影响。建议提高量筒的刻度划分精度至 5 mL,在测试土样体积时可估读至 2.5 mL。这样当散失量超过 3.5 g(2.5 mL × 1.4 g/cm³ = 3.5 g)时,就会对试验结果产生影响。

3.4 存在问题

作者没有测定不同湿度土样对试验结果的影响;限于设备条件,也没有用振动台和改进后的振击法进行对比试验,级配对试验结果的影响也没有探索,这是本改进方法仍需完善之处。

4 结语

改进后的仪器和方法适用于用 1000 mL 的量筒、采用量筒倒转法测定砂的最小干密度;若用漏斗法,建议使用作者设计的漏斗提升装置。对砂最大干密度试验,可采用小号金属圆筒,用电动相对密度仪,每层试样击实 15 ~ 20 min。

需要注意的是,砂的相对密度试验适用于粒径不大于 5 mm 的土,且粒径 2 ~ 5 mm 的试样量不大于试样总量的 15%。该试验必须进行两次平行测定,两次测量的密度差值不得大于 0.03 g/cm³,取两次测量结果的平均值。

5 参考文献

[1] GB/T 50279—98, 岩土工程基本术语标准[S].
 [2] GB/T 50123—1999, 土工试验方法标准[S].