

文章编号: 0254-5357(2005)04-0291-03

土样含水率的测量不确定度评定

慎乃齐, 孙进忠, 董贤哲
(中国地质大学工程技术学院, 北京 100083)

摘要: 根据《测量不确定度评定与表示》(JJF 1059—1999)的要求, 系统地对土样含水率的测量结果不确定度进行了评定。针对土的含水率试验中的测量结果不确定度的特点, 选用了物理性质较均匀的粘性土作为试样, 分析了试验过程中影响测量准确性的因素。结果表明: 试验条件下的土样含水率测量结果的扩展不确定度为1.6%。

关键词: 含水率; 标准不确定度; 扩展不确定度
中图分类号: O213.1; TU41 **文献标识码:** B

测量不确定度是评定测量水平的指标, 也是判定测量结果的依据。测量不确定度的评定与表示方法是科技交流的迫切要求, 具有重要意义。本文根据国家质量技术监督局1999年颁布的《测量不确定度评定与表示》^[1]的要求, 对土样含水率 w 测量结果的不确定度进行了评定。

1 试验依据及方法

土样含水率试验是土的基本物理性质试验之一, 对于评价土体工程性质十分重要。该试验依据国标《土工试验方法标准》^[2]进行。

具体试验方法是: 由一桶性质较为均匀的原状粘性土中取土样15份, 先采用EL-410D型精密电子天平称出土样湿重 m_0 , 然后用HG 101-3A型电热鼓风干燥箱将土样在105~110℃的恒温下烘干8 h, 称出土样干重 m_d 。土样在烘干过程中损失的水分质量与其所对应的干土质量的比值即为土样的含水率 w , 其测量结果列于表1。

2 土样含水率测量的影响因素分析

根据土样含水量(w)的计算公式:

$$w = \left(\frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100\% \quad (1)$$

表1 土样含水率的测量结果
Table 1 Measurement results of water content in soil samples

试样序号	称量结果 m/g		含水率 $w/\%$
	湿土 m_0	干土 m_d	
1	16.04	13.90	15.40
2	18.22	15.68	16.20
3	20.26	17.56	15.38
4	18.47	16.01	15.37
5	18.38	15.90	15.60
6	19.55	16.84	16.09
7	19.35	16.62	16.43
8	17.94	15.55	15.37
9	19.64	16.97	15.73
10	17.38	15.06	15.41
11	17.98	15.48	16.15
12	17.96	15.51	15.80
13	21.39	18.41	16.19
14	18.58	16.01	16.05
15	20.14	17.37	15.95
平均值	18.75	16.19	15.81

对于土样含水率测量, 一批土样是置于同一烘箱内在规范规定的温度下(105~110℃)同时烘干, 因此烘干温度的影响可忽略不计。由于土的生成环境及沉积历史的差异, 对于工程场地同一部位所取的原状土样, 其微观结构的非均匀性会导致土样含水率测量结果的差异, 这种差异可以直接利用若干个试样的含水率测量结果进行统计分析, 属于A类

收稿日期: 2005-03-13; 修订日期: 2005-06-26
基金项目: 中国地质大学(北京)“211工程”资助项目
作者简介: 慎乃齐(1956-), 女, 上海市人, 教授, 从事工程地质教学与科研工作。

测量不确定度评定。另外,从式(1)可见,土样的质量称量的偏差必然会导致含水率测量的误差,其中包括湿土质量称量和干土质量称量两个相互独立的环节。最后,测量结果数据的舍入修约,也会影响土样含水率测量结果的准确性。综上所述,影响土样含水率测量准确性的主要因素列于表 2。

表 2 影响土样含水率测量准确性的主要因素
Table 2 Main factors affecting measurement accuracy of water content in soil samples

序号	影响因素	代号	不确定度类型
1	样品不均匀性	N	A 类
2	湿土称量偏差	W	B 类
3	干土称量偏差	D	B 类
4	含水率测量值数据修约	δ	B 类

3 标准不确定度分量评定

3.1 样品不均匀性的标准不确定度(u_N)

根据以上 15 个土样的测试数据进行土样含水率测量的 A 类不确定度评定,土样不均匀性测量的不确定度 u_N 采用贝塞尔法^[1]按式(2)进行评定:

$$u_N = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2} \quad (2)$$

式(2)中, n 为重复测量次数; w_i 为第 i 个土样的含水率测定值; $\bar{w}$ 为各个土样含水率测定结果的平均值。按式(2)计算,因土样不均匀性导致的土样含水率测量标准不确定度 u_N 为:

$$u_N = 0.10\%$$

3.2 湿土质量的标准不确定度(u_W)

湿土和干土质量称量偏差主要由天平的精度决定。试验采用 EL-410D 型精密电子天平,据天平检定结果,天平称量的不确定度 $U_M = 1\%$,可取包含因子 $k = 2$ (对应约 95% 的置信概率),则天平称量的相对不确定度 u_R 为:

$$u_R = \frac{U_M}{k} = \frac{1\%}{2} = 0.5\%$$

设对试验中的各个土样称量得到的单个土样湿土质量最大值为 $m_{0\max}$,则湿土称量的最大偏差 a_0 为:

$$a_0 = m_{0\max} \cdot u_R = 0.5\% m_{0\max}$$

湿土的实际质量 m_0 在区间 $[m_0 - a_0, m_0 + a_0]$ 的各点的分布概率相等(矩形分布),对应的包含因子 $k = \sqrt{3}$ ^[1]。因此,土样的湿土质量 m_0 的称量

不确定度 u_{m_0} 为:

$$u_{m_0} = \frac{a_0}{k} = 2.88 \times 10^{-3} m_{0\max}$$

土样含水率 w 对于湿土质量 m_0 的灵敏系数 $c_{m_0} = \frac{\partial w}{\partial m_0}$ 可以通过对式(1)求偏导数求得,即:

$$c_{m_0} = \frac{\partial w}{\partial m_0} = \frac{1}{m_d} \times 100\% \quad (3)$$

从而,因湿土质量称量偏差导致的土样含水率测量标准不确定度 u_W 可由式(4)计算求出:

$$u_W = c_{m_0} \cdot u_{m_0} = 0.288 \frac{m_{0\max}}{m_{d\max}} (\%) \quad (4)$$

式(4)中,取 m_d 为各个土样干土质量测定值中的最小值 $m_{d\min}$,即:

$$u_W = 0.288 \frac{m_{0\max}}{m_{d\min}} (\%) \quad (5)$$

这样,计算得到的因湿土质量称量偏差导致的土样含水率测量标准不确定度 u_W 最大,从而可以提高由 u_W 所确定的误差区间对土样含水率测量值分布的包容性。把表 1 所列试验数据代入式(5)得:

$$u_W = 0.44\%$$

3.3 干土质量的标准不确定度(u_D)

设对试验中的各个土样称量得到的单个土样干土质量最大值为 $m_{d\max}$,则干土称量的最大偏差 a_d 为:

$$a_d = m_{d\max} \cdot u_R = 0.5\% m_{d\max}$$

干土的实际质量 m_d 在区间 $[m_d - a_d, m_d + a_d]$ 的各点的分布概率相等(矩形分布),对应的包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。因此,土样的干土质量 m_d 的称量不确定度 u_{m_d} 为:

$$u_{m_d} = \frac{a}{k} = 2.88 \times 10^{-3} \cdot m_{d\max}$$

土样含水率 w 对于干土质量 m_d 的灵敏系数 $c_{m_d} = \frac{\partial w}{\partial m_d}$ 可以通过对式(1)求偏导数求得,即:

$$c_{m_d} = \left| \frac{\partial w}{\partial m_d} \right| = \frac{100m_0}{m_d^2} (\%) \quad (6)$$

从而,因干土质量称量偏差导致的土样含水率测量标准不确定度 u_D 可由式(7)计算求出:

$$u_D = 0.288 \frac{m_0 \cdot m_{d\max}}{m_d^2} (\%) \quad (7)$$

按照对式(3)、(4)讨论的原则,在式(7)中取 $m_0 = m_{0\max}, m_d = m_{d\min}$,则有:

$$u_D = 0.288 \frac{m_{0\max} \cdot m_{d\max}}{m_{d\min}^2} (\%) \quad (8)$$

将表 1 所列试验数据代入式(8),得:

$$u_D=0.59\%$$

3.4 数值修约的标准不确定度(u_δ)

根据土样含水率数据修约规则,其修约间隔 $\delta=1\%$ ^[3],由数据修约引起的土样含水率测量标准不确定度 u_δ ,为:

$$u_\delta=\frac{\delta}{2\sqrt{3}}=0.29\%$$

4 合成标准不确定度(u_C)

由于样品不均匀性、湿土质量称量偏差、干土质量称量偏差和数据修约四个因素导致的土的含水率测量不确定度分量 u_N 、 u_W 、 u_D 、 u_δ 彼此独立,所以可按式(9)计算土样含水率测量合成标准不确定度 u_C :

$$u_C=\sqrt{u_N^2+u_W^2+u_D^2+u_\delta^2}\tag{9}$$

将以上确定的各个不确定度分量代入式(9),得:

$$u_C=0.80\%$$

5 扩展不确定度(U)

扩展不确定度(U)与合成不确定度(u_C)关系为:

$$U=k\cdot u_C\tag{10}$$

式(10)中, k 为包含因子, k 值与被测量的指标值的分布有关,一般取 2 ~ 3,在大多数情况下取 $k=2$,当取其他值时应该说明其来源^[1]。取 $k=2$,将计算出的 u_C 代入式(10),最后得到土样含水率测量扩展不确定度为:

$$U=1.6\%$$

6 结论

根据国标《土工试验方法标准》^[2]及《数字修约规则》^[3]的规定,土样含水率 w 的最终测量结果为:

$$w=(15.8\pm1.6)\%$$

上述给出的含水率测量的不确定度评定结果可供同测试条件下的土的含水率试验参考。

7 参考文献

[1] JJF 1059—1999,测量不确定度评定与表示[S].
[2] GB/T 50123—1999,土工试验方法标准[S].
[3] GB 8170—87,数字修约规则[S].

Evaluation of Measurement Uncertainty
for Water Content Tests in Soil Samples

SHEN Nai-qi, SUN Jing-zhong, DONG Xian-zhe
(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: According to the requirements of the standard JJF 1059—1999 “Uncertainty Evaluation and Denotation of the Measurement Results”, the uncertainty for the measurement results of the water content in soil samples was evaluated. Concerning the characteristics of uncertainty of the water content determination in soil samples, a pail of soil sample was taken as the specimen due to its relative homogeneity. The factors affecting the measurement accuracy were discussed. The result shows that the expanded uncertainty of measurement results of the water content in soil samples was 1.6% under the proposed testing conditions.

Key words: water content; standard uncertainty; expanded uncertainty