

软土有机质含量测定方法对比分析

许晨曦,王 帅,马媛媛

(山东省水利勘测设计院有限公司,山东 济南 250014)

【摘 要】有机质是土壤的重要组成部分,其含量对土体工程稳定性和土样定名影响显著。为深入了解有机质含量不同测定方法的适用性和局限性,采用灼失量法(550 ℃、700 ℃和 950 ℃)和重铬酸钾容量法对各软土样的有机质含量进行测定,并对测定结果进行对比分析。结果表明:重铬酸钾容量法测定的有机质含量小于灼失量法,两种方法的测定结果具有较好的线性相关性,相关性系数为 0.915 9。灼失量法测定的有机质含量随灼烧使用温度的升高而逐渐增大;对于软土等高有机质含量土体,在进行有机质含量测定时,推荐采用灼失量法(550 ℃)进行。

【关键词】软土;有机质含量;灼失量法;重铬酸钾法

【中图分类号】TU447

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-09-0034-04

Comparative Analysis of Determination Methods for Organic Matter Content in Soft Soil

XU Chenxi, WNAG Shuai, MA Yuanyuan

(Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy co., Ltd., Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: Organic matter is an important component of soil, and its content has a significant impact on the engineering stability and classification of soil mass. To further explore the applicability and limitations of different determination methods for organic matter content, the ignition loss method (550 ℃, 700 ℃ and 950 ℃) and potassium dichromate volumetric method were adopted to test the organic matter content of soft soil samples, and the measured results were compared and analyzed. The results indicate that the organic matter content determined by the potassium dichromate volumetric method is lower than that by the ignition loss method, and there is a good linear correlation between the two methods with a correlation coefficient of 0.915 9. The organic matter content measured by the ignition loss method increases gradually with the rise of ignition temperature. For soft soil and other soil masses with high organic matter content, the ignition loss method at 550 ℃ is recommended for organic matter determination.

Key words: Soft soil; Organic matter content; Ignition loss method; Potassium dichromate method

软土是细粒土按照工程特性划分的一类特殊性土,根据有机质含量的不同,可分为淤泥、淤泥质土、泥炭和泥炭质土。有机质是一种有机化合物,其主要来源于动植物残体,在土壤微生物作用下容易分解,使土体的结构发生改变,因此土体中有机质含量的多少,对土体的工程特性影响显著^[1]。

目前,测定软土有机质的方法主要包括灼失量(重量法)和重铬酸钾容量法等。针对两种测定方法,国内外学者做了大量研究,但是大多数学者多采用常规土样进行试验,对于泥炭、泥炭质土等有机质较高特殊性软土尚存在欠缺,并且

对于灼失量方法采用的不同灼烧温度尚缺乏系统的对比研究。

文章采用重铬酸钾容量法和灼失量法对取自云南省丽江市漾弓江流域内样品,进行有机质含量测定^[2]。选取 10 组土样,编号为 H1~H10,其中, H10 号土样为红色黏土,其余皆为灰黑色、黑色软土土样。灼失量法采用灼烧温度分别为 500 ℃, 700 ℃和 950 ℃。通过对两种测定方法的对比分析,探讨两种测定方法不同条件下的准确度和适用性,为同行提供参考。

收稿日期:2026-03-23

作者简介:许晨曦(1991—),女,工程师

1 测定方法及试验原理

1.1 样品制备

本次试验采用烘干土样,《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019)中测软土含水率需采用 65 ℃~75 ℃烘至恒量,而重铬酸钾法和灼失量法烘干温度都为 105 ℃,因此,试验采用 70 ℃与 105 ℃温度对土样进行烘干,测量烘干后含水率的差别,以去除自由水对灼失量的影响,同时能够防止烘干温度的不同导致有机质损失,影响试验结果准确性。因此,首先将土样分为 2 份,先将试样采用 70 ℃烘至恒量,称取含水率,之后将其中一份的烘箱继续升高温度至 105 ℃,称取 2 份土样的质量,并对比两者差异。结果表明:两种温度测得的含水率差别不大,差值基本在 1.5% 以内,因此,该研究的烘干温度均采用 105 ℃进行试验。

将土样放置在 105 ℃烘箱中烘干至恒量,烘干后置于橡皮垫上用木锤捻散研磨成粉状,然后将土样过 0.15 mm 的土壤筛,每组土样取筛下 30 g 土样备用。

1.2 试验原理及方法

1.2.1 重铬酸钾容量法

重铬酸钾容量法基本原理是通过加热重铬酸钾(强氧化剂)来氧化有机质,以重铬酸钾的消耗量来确定有机质的含量。

称取备好后的烘干土样 0.1~0.5 g,放入干燥的烧瓶底部,吸取一定浓度的重铬酸钾-硫酸溶液,在加热恒温的条件下氧化土壤中有有机质中的碳,剩余的重铬酸钾用硫酸亚铁溶液进行滴定,当溶液变成橙红色时,记录硫酸亚铁的用量。根据滴定时硫酸亚铁的消耗量得到重铬酸钾氧化有机质的消耗量,再乘上换算系数 1.724,即可得出土中有机质的含量。有机质含量应按照下式计算:

$$O.M.=\frac{0.003 \times 1.724 \times C\left(\frac{1}{2} \text{FeSO}_4\right)\left(V_{hb8}-V_{hb9}\right)}{m_d \times 10^{-3}} \quad (1)$$

式中:O.M. 为土壤有机质含量,g/kg; V_{hb8} 为空白试验时硫酸亚铁标准滴定溶液的体积,mL; V_{hb9} 为硫酸亚铁标准滴定溶液的体积,mL;0.003 为 1 mol 硫酸亚铁所相当的有机碳量,kg。

重铬酸钾容量法的测量结果偏低,一些研究认为测定结果应乘以 1.1 校正因素加以校正^[3-4]。

1.2.2 灼失量法

灼失量法的试验原理是通过测定土壤在高温炉中灼烧前后重量变化差异,以此计算出土壤有机质的含量。

称取 1~2 g 备好的烘干土样,放入已灼烧至恒量的坩埚内,把坩埚和土样放入高温炉内,烘至恒量。此次将温度分别设定为 550 ℃、700 ℃或 950 ℃,通过对比不同温度的灼失量,对比灼烧温度对有机质含量的影响。

$$X=\frac{m-\left(m_2-m_1\right)}{m} \times 100 \quad (2)$$

式中:X 为灼失量,%,计算至 0.01;m 为烘干土样质量,g; m_1 为空坩埚质量,g; m_2 为灼烧后土样和坩埚质量,g。

2 结果分析

2.1 灼失量法

采用不同的温度灼烧土样,所测灼失量不同,随着温度的升高,所测灼失量逐渐变大。灼烧温度 950 ℃时测出的有机质含量较高,灼烧温度 550 ℃时所测的有机质含量最低,且两者差值在 2%~14%之间,大多数在 2%左右。采用 550 ℃和 700 ℃两者差值基本稳定在 1%~3%之间,差值较小,见表 1。因此,灼烧温度越高,灼失量越大,有机质含量的差别越大^[5]。三种灼烧温度灼失量比较如图 1 所示。

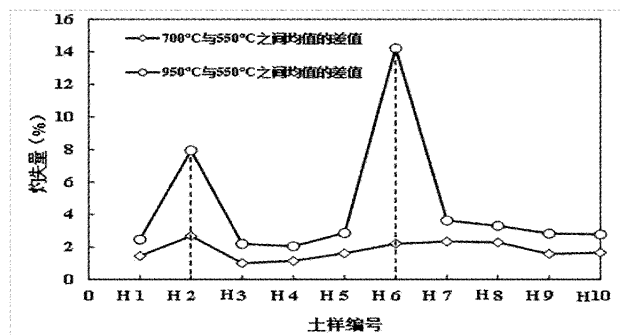


图 1 700 ℃、950 ℃与 550 ℃灼失量差值

由图 1 可知,700 ℃、950 ℃与 550 ℃的差值基本稳定,除了 H2 和 H6 差值较大,且随着温度越高,两者的差值越大,因此,H2 和 H6 两组土样可能存在其他成分的土样。结果表明当土样达到 700 ℃时,土样的灼失量不仅仅是有机质,可能还

表 1 不同温度灼失量法对比

土样编号	钻孔编号	灼失量/%						700 ℃与 550 ℃	950 ℃与 550 ℃
		550 ℃		700 ℃		950 ℃		之间均值的差值	之间均值的差值
H1	QLY2-1	20.67	22.21	22.52	23.25	23.77	24.06	1.45	2.47
H2	YGZ12-1	11.08	10.81	14.68	12.57	19.15	18.63	2.68	7.94
H3	ZGY11-2	7.63	8.43	8.85	9.23	9.93	10.53	1.01	2.2
H4	ZGY11-4	5.48	5.96	6.84	6.90	7.76	7.77	1.15	2.05
H5	ZGY11-7	6.96	8.33	9.20	9.33	10.59	10.43	1.62	2.87
H6	ZGY14-1	7.02	7.16	10.14	8.46	22.74	19.89	2.21	14.22
H7	QHZ3-1	9.62	9.81	12.23	11.89	13.40	13.31	2.34	3.64
H8	ZGZ6-2	14.20	14.22	16.49	16.47	17.51	17.51	2.29	3.31
H9	ZGY8-2	21.38	23.06	23.73	23.86	25.09	25.01	1.58	2.83
H10	ZGZ1-1	8.56	8.89	10.21	10.56	13.10	13.23	1.66	2.78

存在其他物质。

同时,在试验操作过程中,发现当灼烧温度达到 950 ℃时,土样均出现结块,且土样颜色也从不同颜色变成均一的砖红色,表明黏土矿物已经在高温下发生了物质状态的转化。而结块现象推测可能是土壤中含有大量的土壤胶体,这些胶体通常带有电荷,并且表面吸附着一定量的水分子,使土壤颗粒处于分散状态。在灼烧过程中,土壤中的水分被快速蒸发掉,同时高温破坏了胶体的稳定性,胶体颗粒之间的电荷平衡被打破,导致胶体发生凝聚现象,土壤颗粒相互聚集在一起,从而形成结块。因此,950 ℃时土中的物质成分和结构均已发生破坏。相关研究表明:灼烧温度达到 550 ℃时,有机质的增长达到最大值,此时有机质的分解程度达到 96%以上,当温度继续升高时,增加的灼失量主要为钙镁的碳酸盐、硫酸盐的挥发量,因此,当采用灼失量法测定有机质含量时采用 550 ℃灼失量法,最为适宜。

2.2 两种方法对比分析

重铬酸钾容量法与灼失量法(550 ℃)测定有机质含量对比,见表 2。重铬酸钾法测出的有机质含量较低,H2~H6, H9、H10 号有机质含量均小于 5%,H1 号和 H8 号有机质含量大于 15%,采用灼失量法(550 ℃)测得灼失量均大于 5%,其中 H2 号和 H7 号大于 10%,H1 号和 H8 号大于 20%,重铬酸钾容量法与灼失量法测出的有机质含量差值 3%~9%之间。

将两种方法进行相关性分析,如图 2 所示。两者相关性系数为 0.915 9,相关性较好。相关性公式中,截距为 6.914 1,表明两种方法测出的结

表 2 550 ℃灼失量法与重铬酸钾法测定有机质含量对比 %

土样编号	钻孔编号	灼失量法	重铬酸钾法	重铬酸钾法校正后(×1.1)	灼失量法与校正后重铬酸钾法差值
H1	QLY2-1	21.44	15.32	16.85	4.59
H2	YGZ12-1	10.95	2.93	3.22	7.73
H3	ZGY11-2	8.03	0.74	0.81	7.22
H4	ZGY11-4	5.72	1.77	1.95	3.77
H5	ZGY11-7	7.64	0.85	0.94	6.71
H6	ZGY14-1	7.09	3.01	3.31	3.78
H7	ZGZ6-2	14.20	5.62	6.18	8.02
H8	ZGY8-2	22.22	17.55	19.31	2.92
H9	ZGZ1-1	8.73	3.20	3.52	4.59
H10	QHZ3-1	9.72	1.14	1.25	8.47

果差距 6.768 1%,修正后(系数乘以 1.1)的重铬酸钾法测出的有机质与 550 ℃灼失量法的差值平均值为 5.91%。当采用重铬酸钾法测有机质含量时,仅 H1 号和 H8 号土样可定名为泥炭质土,采用灼失量法(550 ℃)时,H1 号、H2 号、H7 号和 H8 号均可定名为泥炭质土。

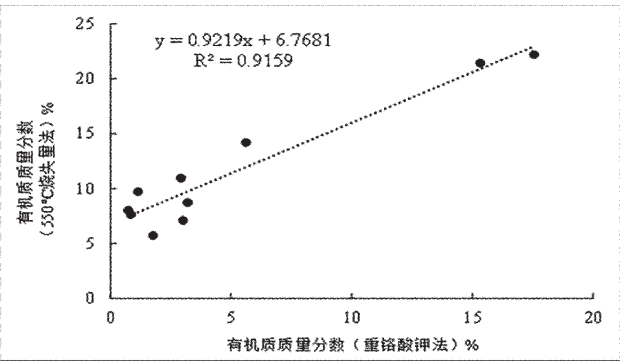


图 2 灼失量法(550 ℃)与重铬酸钾法相关性曲线

为了进一步验证两种方法的可靠性以及对于软土定名的影响,将 H1、H2、H7、H8 四组土样

再次研究,通过试验确定四组土样的定名,以侧面说明灼失量法和重铬酸钾法两种方法对土样定名的影响。根据泥炭质土的定义可知,泥炭质土颜色为灰黑色或黑色,天然孔隙比、天然含水率大,比重较小,压缩系数大,且具有吸水膨胀性等特点^[6-7],因此,对以上四组土样进一步研究其物理力学性质,见表3。四组土样含水率较大,为60%~110%,干密度为0.65~1.00左右,孔隙比为1.300~2.547,压缩系数为1.344~3.179,四组土样均具有一定的吸水膨胀性,因此,认为四组土样均符合泥炭质土的特征。因此,当有机质含量较高时,应采用550℃灼失量法进行测定更加可靠。

表3 四组土样物理力学性质

土样 编号	含水 率/%	干密度/ (g·cm ⁻³)	天然孔 隙比 e ₀	压缩系数 (100~200 kPa)	自由膨 胀率/%	颜色
H1	83.9	0.76	2.547	1.834	45	黑色
H2	66.0	0.94	1.892	1.852	40	黑色
H7	64.4	1.00	1.300	1.344	39	黑色
H8	106.2	0.65	2.400	3.179	52	黑色

3 结 论

1)通过对灼失量法采用950℃、700℃、550℃等不同温度测定有机质含量进行对比分析,发现950℃测出的有机质含量最高,其次是700℃,最小是550℃,可能与土样中存在碳酸盐或其他可灼烧矿物有关,因此,对于软土采用灼失量法测定有机质含量时采用550℃最为适宜。

2)通过灼失量法和重铬酸钾容量法测定结果分析,两者测定结果线性相关性较好,相关性

系数为0.9159,重铬酸钾容量法测定的含量略小,可能与重铬酸钾容量法未使泥炭质土等特殊土完全氧化有关。

3)当有机质含量较高时,尤其是需要对土样进行定名,推荐采用灼失量法(550℃),该测量结果可靠性最高。

4)灼失量法对于土中含有碳酸盐矿物等特殊土有一定局限性,重铬酸钾容量法对测定高有机质含量土具有一定的局限性,当有机质大于20%时无法测出有机质含量。在实际试验中,可采用两种方法结合使用。

5)受土样数量、仪器设备等限制,对于软土有机质含量的精确测定仍需进一步研究。

参考文献

[1] 刘爱叶,朱德余.土中有机质含量测定方法的优化[J].中国勘察设计,2015(4):88-91.

[2] 程芸,杨伟卿,张伟,等.灼烧温度对有机质含量测试结果影响研究[J].岩土工程技术,2021,35(6):406-410.

[3] 彭丹.土工试验中有机质含量测定方法对比分析[J].广东化工,2018,45(20):44-45.

[4] 楼希华,毛晓慧,陈秀云.土工试验中有机质含量测定方法对比研究[J].科技通报,2015,31(3):112-114,118.

[5] 陈森,陈颖,赵九强,等.土壤烧失量与有机质含量的关系研究[J].四川环境,2021,40(5):17-21.

[6] 钱宝,刘凌,肖潇.土壤有机质测定方法对比分析[J].河海大学学报(自然科学版),2011,39(1):34-38.

[7] 裴利华,杨醒宇,桂跃,等.有机质含量及组分对泥炭土物理力学性质影响[J].水文地质工程地质,2022,49(2):77-85.

(责任编辑 崔春梅)

(上接第33页)临底流速呈增大趋势,且随突扩比的增大而增大。突扩大大降低了临边墙的最大临底流速,且随突扩比的增大而持续降低,但降低幅度随突扩比的增大而明显减小。

3)跌扩式消力池内水流流态为淹没底流流态,突扩比增加,相同水力条件下,随消力池变宽池内水位降低,主流淹没程度变小,上部漩涡区减小,导致入池流速随之增加,从而出现最大临底流速随突扩比的增大而增大现象。

参考文献

[1] 陈朝,王立辉,王海军.跌扩型底流消能工消能的试验研究

[J].水力发电学报,2012,31(4):145-149.

[2] 王海军,王立辉,杨红宣.突扩跌坎型底流消能工突扩后立轴漩涡水力特性研究[J].水力发电学报,2010,29(2):11-14.

[3] 张红梅,刘经强,张浩,等.突扩式跌坎消力池脉动压强特性[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(5):1007-1013,1023.

[4] 张红梅,假冬冬,张幸农,等.突扩式跌坎消力池掺气脉动特性研究[J].中国农村水利水电,2023(3):223-228.

[5] 张雪.突扩式跌坎消力池水流紊动特性研究[D].泰安:山东农业大学,2022.

(责任编辑 崔春梅)