

文章编号: 1007-2993(2021)06-0406-05

# 灼烧温度对有机质含量测试结果影响研究

程 芸 杨伟卿 张 伟 李育红 沈家仁

(云南建投第一勘察设计有限公司, 云南昆明 650033)

**【摘要】** 针对滇池湖相沉积代表性泥炭土, 采用灼失量法测试有机质含量, 研究其在不同灼烧温度(75℃、85℃、105℃、200℃、250℃、300℃、350℃、400℃、550℃、650℃、950℃)下的灼失量、比重、颜色等性质的变化特征及内在机理。研究表明: 灼失量随温度的升高逐渐增加并最终趋于稳定, 可以明显划分为 4 个阶段: 基本不变、急速增长、缓慢增长和基本稳定阶段; 土粒比重随温度升高而逐渐增大; 土样颜色由黑色逐渐变为深灰色、褐色至砖红色, 反映了不同灼烧温度下有机质分解损失和矿物转化过程。在试验研究的基础上, 提出滇池泥炭土及同类型土有机质测试的合理灼烧温度范围为 400~550℃。研究结果对合理测定有机质含量及泥炭土判定有一定的指导意义。

**【关键词】** 有机质含量; 灼失量; 温度; 泥炭土

**【中图分类号】** TU 41

**【文献标识码】** A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2021.06.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Study on the Influence of Burning Temperature on Organic Matter Content Test

Cheng Yun Yang Weiqing Zhang Wei Li Yuhong Shen Jiaren

(YCIH No.1 Engineering Survey and Design Co., Ltd., Kunming 650033, Yunnan, China)

**【Abstract】** Aiming at the Dian Lake sedimentary peat soil, the ignition loss method was used to test the organic matter content. The variation characteristics and internal mechanism of the ignition loss, specific gravity and color of the peat soil at different burning temperatures (75℃, 85℃, 105℃, 200℃, 250℃, 300℃, 350℃, 400℃, 550℃, 650℃, 950℃) were studied. The results show that the ignition loss gradually increases with the rise of temperature and finally stabilizes. According to the variation of ignition loss, it can be divided into four development stages: basically unchanged, rapid growth, slow growth and basically stable stage. The specific gravity of soil increases with the rise of temperature. The color of soil changed from black to dark gray, brown to brick red, reflecting the decomposition loss of organic matter and mineral transformation process at different burning temperatures. On the basis of experimental research, it is suggested that the reasonable burning temperature should be 400℃ to 550℃ to test organic matter content for the Dian Lake peat soil or the same type of soil. The results have certain guiding significance for test of organic matter content and determination of peat soil.

**【Key words】** organic matter content; ignition loss; temperature; peat soil

### 0 引言

泥炭土是在静水或类静水环境中沉积的一种特殊土, 多分布于湖沼相盆地、河流冲积平原及部分山间沟谷地段, 其中含有的动植物残体经分解后形成有机质。现行《岩土工程勘察规范》(GB 50021)中按有机质含量对土进行分类: 有机质含量 10%~60% 为泥炭质土, 有机质含量大于 60% 为泥炭。工程上常将二者统称为泥炭土, 属特殊性岩土。

昆明滇池沉积有多层泥炭土, 工程性质差, 对工程建设极为不利。吕 岩等<sup>[1]</sup>、谷任国等<sup>[2]</sup>、牟春梅等<sup>[3]</sup>、

李 皎<sup>[4]</sup>先后研究了有机质含量与土体物理力学参数之间的特征关系, 表明有机质对土体的力学软化效应、渗透性、流变性均有较为明显的控制作用; 对泥炭土进行准确判定, 是研究土体力学行为和采取合理工程应对措施的前提条件。泥炭土判定的关键指标是土体中有机质的含量, 如何准确测定土体中有机质含量尤为重要。

据相关研究总结<sup>[5-6]</sup>, 有机质含量测试常见方法从原理上可以分为两大类: ①化学分析法, 最常用的是重铬酸钾容量法, 而水合热法、比色法、自动电位

作者简介: 程 芸, 女, 1986 年生, 汉族, 湖北孝感人, 工学硕士, 高级工程师, 主要从事岩土工程勘察、试验及科研工作。E-mail: 276069218@qq.com

滴定法、微波测定法等主要从样品的消解方式、氧化剂的改进以及滴定终点的判定等方面进行改进。  
②灼烧法, 该方法采用高温灼烧来分解土壤中有机质, 有灼失量法和 TOC 分析法。不同测试方法的适

用范围及其优缺点见表 1。从表 1 可以看出, 灼失量法适用范围最广, 且是工程建设行业的主流测试方法, 但对灼烧温度的规定并不统一。

表 1 有机质测试常见方法对比表

序号	测试方法	适用范围	优缺点
1	TOC 分析仪法	适用于所有土类	测试精度高、但仪器价格昂贵, 试验室使用极少
2	重铬酸钾容量法	适用于有机质含量小于 15% 的土	采用较高温度融样时对环境有污染, 产生难闻的气味; 当有机质含量较高时, 测试结果偏差较大
3	灼失量法	适用于所有土类	现行《岩土工程勘察规范》推荐测试方法, 现行《土工试验方法标准》中未列出; 其他行业土工试验规程中有采用, 但对灼烧温度的规定并不统一, 主要有 550℃、700℃、950℃ 三种

孔祥斌等<sup>[7]</sup>、钱宝等<sup>[5]</sup>、朱广伟等<sup>[8]</sup>、楼希华等<sup>[9]</sup>分别针对深圳、南京秦淮河沿岸、宁波等地区的有机类土采取不同方法测试其有机质含量, 并对结果进行了对比分析, 探讨了测试结果的准确性和方法的适用性。但以上研究对象有机质含量普遍偏低(仅为 0.94% ~ 28.24%), 且相当部分是有机质含量小于 5% 的无机土, 指导意义值得商榷, 尤其是针对类似滇池地区高有机质含量的泥炭土而言, 参考价值不大。

### 1 研究思路

基于上述分析, 采用灼失量法进行泥炭土中有机质含量的测试是合适的, 但灼烧温度的控制范围值得进一步研究; 同时为便于工程使用及比对, 控制相同的灼烧温度十分必要。本文将围绕灼烧温度展开相应研究工作。

从滇池周边某项目基坑施工现场选取 8 组泥炭土样(每组两件试样平行测定, 试样编号为 1—16), 采用灼失量法进行有机质含量测试, 灼烧温度采用序列: 75℃、85℃、105℃、200℃、250℃、300℃、350℃、400℃、550℃、650℃、950℃, 分析不同灼烧温度下灼失量变化规律。同时辅以比重试验和颜色对比, 从多角度来探讨不同灼烧温度下泥炭土内部水分、有机质、矿物的损失、分解和转化过程。在此基础上, 提出合理的灼烧温度建议, 对开展同类土有机质含量测试有一定指导意义。

## 2 试验方法与过程

### 2.1 样品制备

本次研究中, 每件土样取天然含水量状态下代表性试样约 100 g, 去除粗的树皮草根, 自然风干后置于橡皮板上用木槌碾散, 通过孔径 0.15 mm 的筛(见图 1)。取筛下代表性试样约 20 g, 与干净的瓷坩埚一起, 放入烘箱在温度 65℃ ~ 70℃ 烘至恒量, 置于干燥器内冷却后备用。



图 1 滇池泥炭土试样

### 2.2 灼失量法试验过程

(1)称量瓷坩埚质量, 称取试样 3.000 ~ 5.000 g, 放入瓷坩埚中, 置于高温炉内。在设定的第一个温度下灼烧 12 h 至恒量后, 置于干燥器内, 冷却至室温, 称其质量, 准确至 0.001 g。

(2)将装有试样的瓷坩埚再次放入高温炉中, 在下一个温度下灼烧 12 h 至恒量, 冷却至室温并称量。重复上述操作, 直至灼烧至 950℃。

(3)灼烧温度序列按 75℃、85℃、105℃、200℃、250℃、300℃、350℃、400℃、550℃、650℃、950℃ 选用。

### 2.3 灼失量的计算

根据试验结果, 按式(1)计算灼失量

$$W_u = \frac{m_f - m_e}{m_f - m_y} \times 100 \quad (1)$$

式中:  $W_u$  为灼失量, %;  $m_f$  为在温度 65 ~ 70℃ 烘干后坩埚加土的质量, g;  $m_e$  为在不同温度下灼烧后坩埚加土的质量, g;  $m_y$  为坩埚质量, g。

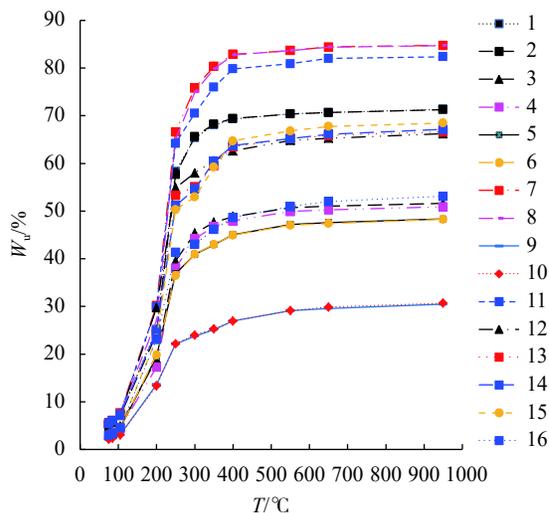
## 3 试验结果分析

不同温度下灼烧至恒量所测定的灼失量见表 2; 以灼烧温度  $T$  为横坐标, 灼失量  $W_u$  为纵坐标, 绘制散点图(见图 2)。从图表可看出: 随着温度升高, 灼失量的变化可以划分为四个阶段。

第一阶段: 灼烧温度 65 ~ 105℃ 区间为“基本不

表2 不同灼烧温度下所测得灼失量

编号	不同灼烧温度下所测得灼失量/%										
	75℃	85℃	105℃	200℃	250℃	300℃	350℃	400℃	550℃	650℃	950℃
1	5.3	5.9	7.1	25.2	58.3	65.3	68.1	69.3	70.4	70.7	71.3
2	5.2	5.9	7.1	24.2	57.6	65.6	68.2	69.4	70.4	70.6	71.3
3	3.4	3.9	4.9	19.0	39.5	45.4	47.6	48.8	50.7	51.0	51.6
4	2.9	3.5	4.4	17.3	38.0	44.2	46.8	47.9	49.9	50.2	50.9
5	2.9	3.4	4.4	19.5	36.8	40.9	43.0	45.0	47.2	47.6	48.3
6	2.8	3.4	4.3	19.8	36.5	41.0	43.0	44.9	47.0	47.4	48.3
7	5.2	6.0	7.7	30.2	66.6	75.8	80.3	82.9	83.7	84.4	84.8
8	5.1	5.9	7.4	27.0	65.0	75.0	79.8	82.7	83.7	84.4	84.7
9	2.1	2.4	3.1	13.6	22.1	23.8	25.1	26.9	29.1	29.6	30.5
10	2.1	2.4	3.1	13.3	22.2	24.0	25.3	26.9	29.1	29.9	30.7
11	5.1	5.9	7.5	29.8	64.2	70.5	76.0	79.8	80.9	82.0	82.4
12	4.9	5.6	7.2	29.7	54.9	58.0	60.6	62.6	64.8	65.3	66.2
13	5.6	6.1	7.3	24.8	53.3	55.1	59.5	63.5	65.2	65.8	66.6
14	5.5	6.0	7.2	24.7	51.1	54.6	60.4	63.7	65.2	66.1	67.1
15	3.0	3.4	4.5	23.2	50.3	52.9	59.2	64.7	66.8	67.7	68.5
16	3.0	3.4	4.5	23.1	41.4	43.0	46.2	48.7	50.9	52.0	53.1

图2  $W_d-T$ 关系曲线

变阶段”。本阶段灼失量较小且变化不大,灼烧损失主要为土体内部残余的少量水分,有机质基本未分解。

第二阶段:灼烧温度 105~250℃ 区间为“急速增长阶段”。本阶段灼失量大幅增加,处于陡增状态,是整个曲线中灼失量增长速率最大部分,表明土体内部的有机质开始大量分解。根据试验数据统计,250℃ 时,有机质灼烧分解程度达到 75.3%~84.7%(以 550℃ 测试结果作为土样有机质最终含量计算,下同),平均达 79%。

第三阶段:灼烧温度 250~550℃ 区间为“缓慢增长阶段”。本阶段灼失量增长速度趋于平缓。其中,前期(250~400℃),完成本阶段增幅的 84%,有机质灼烧分解程度达到 96.7%;后期(400~550℃),灼失量增长速率更慢,增长幅度绝对值均值为 1.7%。

第四阶段:灼烧温度 550~950℃ 区间为“基本稳定阶段”。本阶段灼失量基本不再变化,灼失量增长幅度绝对值均值为 1.3%。

由于土粒比重与土颗粒的大小、矿物成分密切相关,本次研究中同时进行了泥炭土试样的比重试验,以便进一步研究不同灼烧温度下泥炭土有机质及矿物分解情况。比重试验共选取代表性试样 6 件,编号为 1—6,依次在 65℃、105℃、250℃、400℃、950℃ 温度下灼烧至恒重后,按《土工试验方法标准》(GB/T 50123)进行比重试验,试验结果见表 3,不同温度灼烧后的颜色变化见图 3。

从表 3 及图 3 可看出,随着灼烧温度的升高,比重逐渐增大至稳定。在 250℃ 温度时灼烧后,泥炭土仍为典型的黑色,表明有机质仍未灼烧充分;400℃ 时呈深灰色,比重也已达到 2.69(平均值),接近常规湖相沉积的黏性土的颜色状态和比重经验值(2.70~2.72);550℃ 时呈褐色,比重平均值达 2.74;950℃ 时,比重达到 2.77,且土样颜色全部转变为砖

表 3 在不同温度灼烧后土样比重

编号	不同温度灼烧后土样比重 $G_s$					
	65℃	105℃	250℃	400℃	550℃	950℃
1	1.55	1.58	2.70	2.74	2.76	2.77
2	1.76	1.83	2.58	2.69	2.74	
3	1.85	1.87	2.53	2.66	2.72	
4	2.10	2.16	2.60	2.66	2.74	
5	1.63	1.67	2.51	2.67	2.73	
6	1.80	1.83	2.62	2.69	2.73	

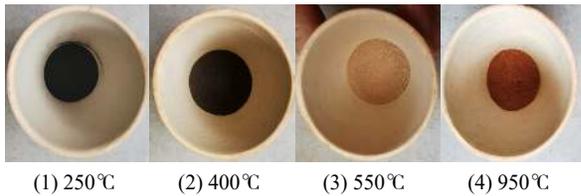


图 3 不同温度灼烧后泥炭土状态

红色,明显发生了矿物质的转化。通过颜色变化一方面反映了有机质分解损失的过程,另一方面体现了黏土矿物在高温灼烧下矿物质的转化过程。

#### 4 灼烧温度对测试结果的影响分析

##### 4.1 不同行业规程对灼烧温度的规定

现行国标《土工试验规程》(GB/T 50123)中有机质含量测定未列入灼烧法,而铁路、公路、冶金等行业土工试验规程中均列入了灼烧法测定有机质含量的试验方法;但对灼烧温度的规定不统一,如表 4 所示。另外,美国 ASTM 规范 D2974<sup>[10]</sup> 建议测试有机质时灼烧温度采用  $440\pm 10^\circ\text{C}$ 。

表 4 不同行业规程对灼烧法灼烧温度的规定

	铁路工程岩土化学分析规程 TB 10103—2008	公路土工试验规程 JTG 3430—2020	土工试验规程 YS/T 5225—2016
温度/℃	550	950(中性和酸性土可采用700)	550

##### 4.2 灼烧温度对土中矿物成分的影响分析

地壳表层土体中的阳离子主要有  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NH}_4^+$  等,这些阳离子多以碳酸盐、硫酸盐、硅酸盐、卤素盐、磷酸盐等形式存在。灼烧温度的高低,直接关系到试验过程中所损失的成分的不同。在高温灼烧下,土体中的有机质被灼烧分解,同时也会伴随着部分结晶水、挥发性盐类的蒸发、分解。

据相关研究表明<sup>[11]</sup>,土中的强结合水脱去临界温度为  $210\pm 5^\circ\text{C}$ 。矿物中的结晶水从晶格中溢出温度约为  $200\sim 500^\circ\text{C}$ ; 镁的碳酸盐、硫酸盐开始分解温度约为  $640\sim 890^\circ\text{C}$ ; 而钙的碳酸盐、硫酸盐、卤化物、

硅酸盐等开始分解温度均在  $800\sim 1000^\circ\text{C}$  以上; 相对来说,铵盐的分解温度较低,在  $200\sim 300^\circ\text{C}$ 。因此灼烧温度越高,灼烧量试验结果所包含的其他的损失越多,导致有机质含量测试结果误差越大;但如果温度不够,又会存在有机质分解不充分的问题,导致测试结果偏低。

##### 4.3 合理灼烧温度建议

结合现有研究结论和上述滇池泥炭土试验结果分析得知:  $105\sim 250^\circ\text{C}$  是灼烧量快速增长的阶段,此阶段的灼烧量的增长来源主要为有机质的大量分解;  $250\sim 400^\circ\text{C}$  阶段为缓慢增长阶段的前期,灼烧量的增长主要来自于有机质的损失,同时可能含有极少数的挥发性盐类和矿物结晶水;  $400\sim 550^\circ\text{C}$  为缓慢增长阶段的后期,灼烧量增长较小,以极少量有机质的损失和挥发性盐类为主;  $550\sim 950^\circ\text{C}$  阶段,黏土矿物已经在高温下发生了物质状态的转化,灼烧量的增长原因应不再是有机质。

基于上述原因,滇池泥炭土及同类型土采用灼烧法测定有机质含量时,灼烧温度取  $400\sim 550^\circ\text{C}$  为宜。此温度区间既可保证有机质的充分分解( $400^\circ\text{C}$  分解程度达到 96.7%),又不会引起其他物质产生较大损失,从而影响测试结果的准确性。考虑到与现行规范的匹配性,实际工作中可选取  $550^\circ\text{C}$  的灼烧温度,灼烧时间以 12 h 为宜。

#### 5 结语

选取滇池湖相沉积代表性泥炭土,采用灼烧法测试有机质含量,研究不同灼烧温度下( $65\sim 950^\circ\text{C}$ )灼烧量和比重的变化规律及其内在机理,提出滇池泥炭土有机质含量测试的合理灼烧温度范围。研究表明:

(1)灼烧量随温度的升高逐渐增加,最终达到稳定。根据灼烧量变化曲线,可以明显划分为 4 个发展阶段:基本不变、急速增长、缓慢增长和基本稳定阶段。

(2)随着灼烧温度的升高,土的比重逐渐增大,颜色不断变化,依次为黑色、深灰色、褐色和砖红色。通过比重和颜色变化,反映了有机质分解损失和黏土矿物在高温灼烧下矿物质转化过程。

(3)不同灼烧温度下,灼烧量的增长来源不同。在  $105\sim 250^\circ\text{C}$  阶段,增长来源主要为有机质的大量分解;  $250\sim 400^\circ\text{C}$  阶段为有机质、极少量挥发性盐类和矿物结晶水;  $400\sim 550^\circ\text{C}$  以极少量有机质和挥发性盐类为主;  $550\sim 950^\circ\text{C}$  阶段,黏土矿物已经在高温下发生了物质状态的转化,灼烧量的增长原因不再是

有机质。

(4)对于滇池泥炭土及同类型土,采用灼失量法测试有机质含量时,400~550℃为较为合理的灼烧温度范围。实际工作中可选取550℃以与现行规范相适应,灼烧时间以12h为宜。

#### 参 考 文 献

- [1] 吕岩, 佴磊, 徐燕, 等. 有机质对草炭土物理力学性质影响的机理分析[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(4): 655-660.
- [2] 谷任国, 房营光. 有机质和黏土矿物对软土流变性质影响的对比试验研究[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2008, 36(10): 31-36.
- [3] 牟春梅, 李佰锋. 有机质含量对软土力学性质影响效应分析[J]. 水文地质工程地质, 2008, (3): 42-46.
- [4] 李皎. 有机质含量对土体物理力学性质的影响[J]. 中国水运, 2017, 17(2): 102-103.
- [5] 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.
- [6] 于彬, 郭彦青, 杨乐苏. 化学氧化法测定土壤有机质的研究进展[J]. 广东林业科技, 2007, (1): 100-103.
- [7] 孔祥斌, 冯秋兰, 王嫚. 沿海地区土中有机质含量不同试验方法的比较[J]. 西部探矿工程, 2007, (6): 20-21.
- [8] 朱广伟, 秦伯强, 高光, 等. 灼烧对沉积物烧失量及铁、磷测定的影响[J]. 分析实验室, 2004, 23(8): 72-76.
- [9] 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): 112-118.
- [10] ASTM D2974. Standard Test Methods for Moisture Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils[S]. ASTM International, West Conshohocken PA, 2014.
- [11] 谢刚. 黏土结合水的热分析定量研究方法[J]. 钻井液与完井液, 2013, 30(6): 2-4.

收稿日期: 2021-05-18

(上接第405页)

- [5] 陈锦剑, 王建华, 杜毅, 等. 两侧深基坑开挖影响下浅埋运营隧道的位移特性[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(6): 1163-1167.
- [6] 伍尚勇, 杨小平, 刘庭金. 双侧深基坑施工对紧邻地铁隧道变形影响的分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(S1): 3452-3458.
- [7] 高波, 李方明, 朱利明, 等. 地铁车站深基坑邻近浅基础房屋保护措施研究[J]. 现代隧道技术, 2018, 55(6): 117-123.
- [8] 吕文龙. 珠江三角洲地区基坑开挖对邻近建筑地基基础的影响及控制[J]. 建筑科学, 2018, 34(1): 122-129.
- [9] 刘念武, 龚晓南, 俞峰, 等. 软土地区基坑开挖引起的浅基础建筑沉降分析[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(S2): 325-329.
- [10] 信磊磊, 杜一鸣, 郑刚. 两侧深基坑开挖对邻近地铁车站及隧道变形影响的优化分析[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(5): 84-90.
- [11] 梅祯, 肖军华, 王炳龙. 基坑开挖对临近基坑地铁高架结构变形的影响[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2019, 41(4): 51-58.
- [12] 徐中华, 王卫东. 敏感环境下基坑数值分析中土体本构模型的选择[J]. 岩土力学, 2010, 31(1): 258-264.
- [13] OU C Y, HSIEH P G. A simplified method for predicting ground settlement profiles induced by excavation in soft clay[J]. Computers & Geotechnics, 2011, 38(8): 987-997.
- [14] SCHUSTER M, KUNG T C, JUANG C H, et al. Simplified model for evaluating damage potential of buildings adjacent to a braced excavation[J]. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, 2015, 135(12): 1823-1835.
- [15] GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

收稿日期: 2020-01-10