

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2019.02.017

用微波炉快速测定黄土含水率最佳烘干时间的确定

毕俊擘, 张茂省, 薛强

(中国地质调查局西安地质调查中心/西北地质科技创新中心, 自然资源部黄土地质灾害重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘 要: 以往现场测定黄土含水率的方法主要有烘干法、酒精灼烧法、比重计法、碳酸钙气压法等。微波炉的出现给含水率测定带来新的途径。微波炉烘干是否破坏了有机质, 测试数据是否有效, 最佳烘干时间是多少成为不可逾越的问题。笔者以延安地区黄土及红黏土为研究对象, 采用微波炉烘干和常规实验室烘箱烘干方法, 对比了不同烘干时间的土样含水率, 确定了土样含水率达到稳定时的烘干时间。结果表明: 微波炉烘干达到 10 min 后, 其结果与烘箱烘干法一致, 方法有效; 微波炉设定高火力, 延安马兰黄土(Q^{p3})烘干时间为 7 min, 离石黄土(Q^{p2})烘干时间为 8 min, 对新近系 N2b-j 组红粘土烘干时间为 10 min; 与烘箱烘干法相比, 微波炉烘干法可现场测试, 省去了送样和长时间烘烤时间, 显著提高了工作效率, 可作为工程施工及地质调查现场快速测定含水率的方法。

关键词: 含水率, 微波炉烘干法, 黄土

中图分类号: P642.13

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2019)02-0167-05

Determination of the Best Drying Time for Rapid Detecting the Loess Moisture Content by Microwave Oven

BI Junbo, ZHANG Maosheng, XUE Qiang

(Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area, MNR, Xi'an Center of China Geological Survey/
Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The drying method is a commonly used method in the determination of loess moisture content. The laboratory uses oven drying method. At the engineering site, the microwave ovens are commonly used for drying in order to save time. There is no uniform standard for the best time to dry in a microwave oven. In this paper, the drying of loess and red clay in Yan'an area has been carried out by microwave oven. The moisture content of soil samples with different drying time has been compared, and then the drying time for the moisture content of soil samples reached stability has been determined. The results show that, when the microwave oven is set to high firepower, the drying time is 7 minutes for Yan'an Q_3 loess, 8 minutes for Q_2 loess, and 10 minutes for red clay in N2b-j group. This result can be used as a reference for rapid determination of moisture content of loess and red clay at the site of engineering construction and geological survey.

Keywords: moisture content; microwave oven method; loess

收稿日期: 2019-02-20; 修回日期: 2019-03-28

基金项目: 重点研发项目(2018YFC1504700), 国家自然科学基金重点项目(41530640), 中国地质调查局项目(DD20189270、DD20179605)联合资助

作者简介: 毕俊擘(1986-), 男, 河南洛阳人, 工程师, 硕士, 主要从事水工环地质调查工作。E-mail: 85441945@qq.com

0 引言

含水率是土的基本物理指标之一。现行测定的黄土含水率方法一般采用烘箱烘干土样,适用于粗细土、细粒土、有机质土和冻土,是测定土含水率的标准方法。烘干时间对不同土质要求不同。依据土工试验标准,烘箱在 105~110℃ 恒温下,砂类土烘干时间不得少于 6 h,黏性土不得少于 8 h。由于烘箱体积和重量都较大,且测定时间较长,不能满足现场测试快速便捷的要求;加之在地质调查中,工作区一般位于较为偏远地区,用传统的烘干法测定含水率,需要将试样搬运至实验室,此过程会引起水分散发,导致测试结果出现偏差。

微波干燥技术起源于 20 世纪 40 年代,现已广泛应用于轻工业、食品工业、农业和农产品加工等领域中。相对于烘箱,微波炉具有体积小、重量轻、搬运方便的特点。1970 年代初,国外开始研究用微波炉法测定土的含水率,于 1987 年正式列入美国 ASTM D 试验标准,1988 年被应用于现场施工中的含水率测试(PAUL A G, 1991)。此方法在中国也得到了应用。张虎元在测定遗址土的含水率(张虎元等, 2012),李祯祥、聂良佐、王建华等在测定各类工程土的含水率(李祯祥等, 2000;聂良佐等, 2007;王建华等, 2009),王铁行等在测定非饱和和原状黄土含水率时,采用了微波炉烘干法,表明该方法是可靠的(王铁行等, 2010)。但是目前微波炉烘干法在中国还未建立标准规范,具体使用方法、应用条件和相关注意事项没有统一标准。为研究微波炉烘干法的实用性与应用条件,笔者结合延安地区地质灾害调查工作,探讨微波炉法在黄土区工程地质调查工作中的实用性。

1 试验操作

1.1 试验器材

试验设备有美的微波炉(型号 M1-211A),输出功率 700 W,微波频率为 2450 MHz,外形尺寸为 459 mm×374 mm×281 mm。试验时将烘箱温度设置为 105℃,天平量程为 300 g,分度值为 0.001 g。小坩埚若干个,以及小铁铲、棉线手套、秒表、切土刀、干燥器、毛刷、铝盒。

1.2 试验材料

试验样本全部采集于延安地区原状 Q₃ 黄土、Q₂ 黄土及 N₂b-j 组红粘土,分别采集各种土样 6 组开展对比试验。

1.3 适用条件

本方法适用于一般粘性土和粉、细砂土的含水率测定,对特殊土,如有机质土参照电热干燥箱法另行规定。试样的质量取 20~30 g,按规范一种土称 2 个样,做平行测定。

1.4 工作原理与注意事项

微波炉法是利用机内磁控管所产生的超高频率电磁波,被土体内的各种分子吸收,使得分子间相互碰撞、挤压、摩擦产生热量,温度升高,土体中的水分子被蒸发出来。利用这一原理,把一定量的土体放置在微波炉中烘烤一定时间,使土体内的水分完全分离出来,称重并计算被烘烤土体的含水率。

盛试样的器皿须为 50 mL 的耐热陶瓷小坩埚或其他耐热器皿,如耐热玻璃容器等,切忌采用铝盒或其他金属器皿盛样。

2 试验过程与结果

2.1 微波炉法的试验过程

以 6 组不同类型土为代表试样,取样放入称量盒内,盖好盒盖,称量湿土质量,再揭开盒盖,将试样放入微波炉中,调到中高火力对其进行烘干,测定不同时间下干土的质量。其含水量的计算公式为:

$$\omega = (m / m_s - 1) \times 100 \quad (1)$$

式中: ω 为含水率(%); m 为湿土质量(g); m_s 为干土质量(g);计算精确至 0.1%,其结果见表 1。

利用实验数据绘制出含水率随时间变化图(图 1)。从表 1 及图 1 可以看出,试样用微波炉热进行到 5 min 前,其含水率值迅速增加,说明采用中高火加热,水分减少较快,而且当含水率较小时,只需很少时间土样即被烘干。当加热到 7 min 时,试样的含水率变化已经不大,含水率变化量在 2% 范围内,基本稳定。这说明利用微波炉法测定延安地区 Q₃ 黄土时,只需加热 7 min 左右,土的含水率就能够测定出来,比标准方法烘干法所用最短时间 360 min,效率至少提高 51 倍。以上分析说明利用微波炉法测定土的含水率,时间短,大大提高了测试效率。

表 1 延安地区 Q₃ 黄土采用微波法测定含水率结果表

Tab. 1 Determination of water content by microwave method in Q₃ loess in Yan'an area

试样编号	实验时间(min)	微波法含水率(%)	变化率(%)
1	1	2.07	
	2	4.59	121.74
	3	5.35	16.56
	4	6.34	18.50
	5	7.21	13.72
	6	7.60	5.41
	7	7.74	1.84
	8	7.78	0.52
	9	7.78	0.00
	10	7.78	0.00
2	1	1.65	
	2	4.91	197.58
	3	6.22	26.68
	4	6.95	11.74
	5	7.65	10.07
	6	8.04	5.10
	7	8.08	0.50
	8	8.08	0.00
	9	8.08	0.00
	10	8.08	0.00
3	1	1.64	
	2	4.35	165.24
	3	5.55	27.59
	4	6.86	23.60
	5	7.54	9.91
	6	7.83	3.85
	7	7.87	0.51
	8	7.87	0.00
	9	7.87	0.00
	10	7.87	0.00

续表 1			
试样编号	实验时间(min)	微波法含水率(%)	变化率(%)
4	1	1.32	
	2	3.80	187.88
	3	5.18	36.32
	4	6.48	25.10
	5	7.22	11.42
	6	7.50	3.88
	7	7.70	2.67
	8	7.78	1.04
	9	7.78	0.00
	10	7.82	0.51
5	1	1.19	
	2	4.37	267.23
	3	5.52	26.32
	4	6.34	14.86
	5	6.95	9.62
	6	7.34	5.61
	7	7.45	1.50
	8	7.49	0.54
	9	7.45	−0.53
	10	7.53	1.07
6	1	3.15	
	2	5.18	64.44
	3	6.76	30.50
	4	7.46	10.36
	5	7.79	4.42
	6	7.87	1.03
	7	7.96	1.14
	8	8.04	1.01
	9	8.00	−0.50
	10	8.00	0.00

采用相同的试验方法及过程,分别对延安地区 Q₂ 黄土及 N₂b-j 红粘土开展微波炉烘干试验,分别获得不同类型土的最短烘干时间,结果见图 2。

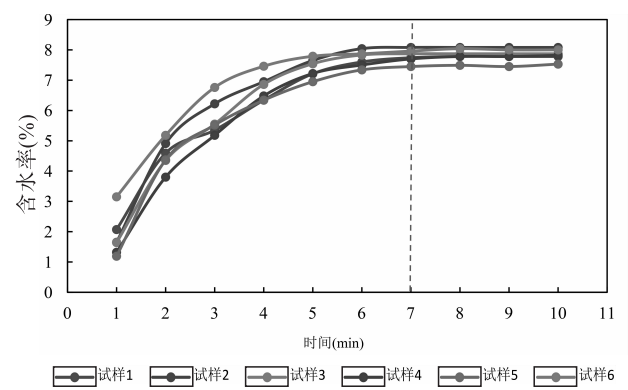


图1 延安地区Q₃黄土采用微波法测定含水率随时间变化图

Fig. 1 Determination of moisture content with time by microwave method in Q₃ loess in Yan'an area

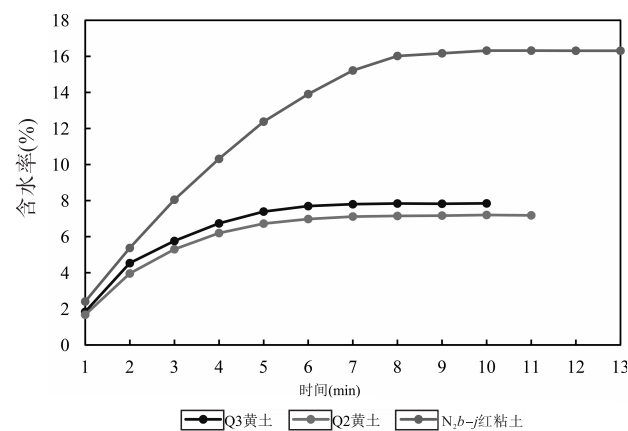


图2 延安地区三种土采用微波法测定含水率随时间变化图

Fig. 2 Variation of water content with time in three soils in Yan'an area by microwave method

从图2中可以看出,Q₂黄土烘干加热稳定时间为8分钟,N₂b-j组红粘土烘干加热稳定时间为10 min。初步分析认为,随着塑性的增强,土样中所含黏粒及亲水性矿物的含量增多,土样结合水膜厚度增大,相应的薄膜水(强结合水和弱结合水)就增加,吸附水的能力增强,在微波加热过程中,需要更多的时间来使水分充分蒸发,因此所需的时间有所增加。

2.2 平行对比试验

另分别取5组Q₃黄土、Q₂黄土及N₂b-j组红粘土,按照微波炉加热烘干7 min、8 min、10 min的时间,测出其含水率,并与烘干法比较,其结果见表2所列。其中,1~5号为Q₃黄土,6~10号为Q₂黄土,11~15号为红粘土。

表2 三种类型土含水率采用烘干法与微波炉法结果对比表(%)

Tab. 2 Comparison of the moisture content of three types of soil by drying method and microwave oven method (%)

试验编号	烘干法含水率 (%)	微波炉法含水率 (%)	相对误差
1	8.17	8.27	1.20
2	7.05	7.15	1.40
3	5.13	5.18	0.97
4	4.75	4.83	1.68
5	6.35	6.42	1.10
6	12.38	12.45	0.56
7	12.87	13.05	1.40
8	13.55	13.75	1.48
9	14.7	15.0	2.00
10	12.03	12.21	1.50
11	17.9	18.15	1.40
12	16.42	16.63	1.27
13	17.2	17.35	0.87
14	17.33	17.46	0.75
15	17.65	17.85	1.13

从表2中可见,2种方法相对误差最大值2%,满足土工试验标准误差小于2%的要求。尽管随着土样塑性的增强,微波炉法与烘箱法之间的绝对差值变大,但均小于规范规定的最大试验误差2%。同时也可看出,微波炉法测定土含水率的平行度略低于烘箱法。但从前述的相对误差判断,微波炉法测定结果能满足土工试验标准误差小于2%的要求,且具有体积小、重量轻、测定时间快速等特点,在现场测量中更具有优势。

3 结论

- (1)延安地区黄土微波炉烘干可用中高火力,对于Q₃黄土烘干时间为7 min,对于Q₂黄土烘干时间为8 min;对N₂b-j组红粘土烘干时间为10 min。
- (2)在黄土地区采用微波炉烘干法测试土壤含水率是可行的,能够取得较好的试验效果及时间效益,为黄土地区工程地质调查工作提供新的思路。
- (3)微波炉体积小、重量轻、使用便捷,测定土的含水率准确、可靠,可以替代烘箱推广使用。注意不同地区应先确定同类土的烘干时间,后进行大范围的推广应用。

参考文献(References):

- 邢鲜丽,李同录,李萍,等. 黄土抗剪强度与含水率的变化规律[J]. 水文地质工程地质, 2014, 41(3): 54-59.
- XING Xianli, LI Tonglu, LI ping, et al. Variation regularities of loess shear strength with the moisture content [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2014, 41(3): 54-59.
- 边加敏,王保田. 含水量对非饱和土抗剪强度影响研究[J]. 人民黄河, 2010, 32(11): 124-125.
- BIAN Jiamin, WANG Baotian. Study on Influence of Moisture Content to the Shearing Resistance of Unsaturated Soil [J]. Yellow River, 2010, 32(11): 124-125.
- 南京水利科学研究所. GB/T 50123—1999 土工试验方法标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.
- Nanjing Hydraulic Research Institute. GB/T 50123 — 1999 Standard for soil test method [S]. Beijing: China Planning Press, 1999.
- 张虎元,张秋霞,李敏. 微波炉法测定遗址土含水率的可靠性研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(2): 65-70.
- ZHANG Huyuan, ZHANG Qiuxia, LI Min. Reliability research of soil moisture content measurement by microwave oven drying method for earthen monuments [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(2): 65-70.
- 李祯祥,赵寿刚. 用微波炉测定土含水量的比较试验[J]. 防渗技术, 2000, 6(3): 5-10.
- LI Zhenxiang, ZHAO Shougang. Comparative Experiment of Measuring the Moisture Content of Soil with Microwave Furnace [J]. Technique of Seepage Control, 2000, 6(3): 5-10.
- 聂良佐. 微波炉法快速测试土的含水率[J]. 安全与环境工程, 2007, 14(2): 105-107.
- NIE Liangzuo. Research and Application of Quick Measurement of Soil's Water Content with Microwave Oven Method [J]. Safety and Environmental Engineering, 2007, 14(2): 105-107.
- 王建华,李永江,王伟. 微波炉烘干法快速测试土的含水率指标的试验研究[J]. 水电能源科学, 2009, 27(6): 63-65.
- WANG Jianhua, LI Yongjiang, WANG Wei. Study on Rapid Testing Soil Water Content Using Microwave Oven Method [J]. Water Resources and Power, 2009, 27(6): 63-65.
- 王铁行,罗小锋,刘小军. 考虑含水率影响的非饱和原状黄土冻融强度试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(8): 2378-2382.
- WANG Tiexing, LUO Xiaofeng, LIU Xiaojun. Testing study of freezing-thawing strength of unsaturated undisturbed loess considering influence of moisture content [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(8): 2378-2382.
- ASTM. D4643 - 00 Standard test method for determination of water (moisture) content of soil by the microwave oven heating[S]. Philadelphia American Society of Testing and Materials, 2008.
- PAUL A G. Rapid water content by computer-controlled microwave drying [J]. Geotech. Engrg., 1991, 117(1): 118-138.
- HAGERTY D J, ULLRICH C R, DENTON MM. Microwave drying of soils [J]. Geotechnical Testing Journal, 1990, 13(2): 138-141.