

细粒土含水率快速检测法的研究与应用

钟 波

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川成都 610041)

摘要:现有的细粒土含水率快速检测方法包括微波炉法与酒精燃烧法。两种方法各有优劣:微波炉法影响因素较多,需要与常用的烘干法进行校准;酒精燃烧法不经济环保且存在安全隐患,因其燃烧温度过高,有机质会对检测结果产生影响,导致所测数值偏高。本文阐述了以快速检测法中的微波炉法作为研究对象,以烘干法检测值为基准,通过正交试验分析了影响含水率检测结果的因素,对微波炉法参数进行了优化组合,使微波炉法与烘干法检测值高度接近。介绍了具体的研究与应用过程。

关键词:细粒土;含水率;快速检测;微波炉;燃烧;正交试验;苏丹上阿特巴拉水利枢纽工程

中图分类号:TV7;TV41;TV42

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2023)06-0056-03

Research and Application of Rapid Detection Method for Moisture Content of Fine-grained Soil

ZHONG Bo

(Sinohydro Bureau 7 Co.,LTD., Chengdu Sichuan 610041)

Abstract: The rapid detection methods of fine grained soil moisture content include alcohol combustion method and microwave oven method. The two methods have their own advantages and disadvantages: the microwave oven method has many influencing factors and needs to be calibrated with the commonly used drying method; the alcohol combustion method is not economical and environmentally friendly, and has potential safety hazards, because the combustion temperature is too high, organic matter will affect the results, and make the value too high. The author takes the microwave oven method as the research object, takes the detection value of the drying method as the benchmark, analyzes the influencing factors of the moisture content detection through the orthogonal test, and optimizes the combination of the parameters of the microwave oven method, so that the detection value of the microwave oven method is highly close to the drying method. The paper introduces the specific research and application process of rapid detection method for moisture content of fine-grained soil.

Key words: Fine-grained soil; Moisture content; Rapid detection; Microwave Oven; Combustion; Orthogonal test; Upper Atbara Water Conservancy Project in Sudan

1 概 述

现有的细粒土含水率快速检测方法包括酒精燃烧法与微波炉法。两种方法各有优劣。鉴于微波炉法影响因素较多,而常用的烘干法检测细粒土含水率获得的结果较准确,但其耗时较长:对于黏性土不少于 8 h,砂类土不少于 6 h,故其不能满足细粒土快速施工的要求;采用酒精燃烧法^[1]虽然获得结果快速,但其不经济环保,存在安全隐患,而且酒精燃烧温度较高,对有机质含量较高的细粒土的检测结果影响较大;微波炉法^[2]检测含水率的优点是检测时间较快,但其缺点是影响因素较多,检测结果准确性较差。为此,笔者依托苏

丹上阿特巴拉水利枢纽黏土芯墙大坝工程,系统地研究了采用微波炉法检测含水率的影响因素,完善了微波炉法并将该方法进行了实际应用。

2 微波炉法与烘干法对比试验

鉴于微波炉法影响因素较多,其准确性相对于烘干法较差,故微波炉法《Standard Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil by the Microwave Oven Heating》ASTM D4643-00^[3]获得的检测结果只能作为指导性结果,如遇仲裁需以烘干法作为最终结果。此外,该规范没有规定如何选择最佳参数组合,如样品个数、有机质含量、烘烤时间等。

鉴于微波炉法确定性较差,需要根据《Stand-

收稿日期:2023-02-02

ard Test Method for Calibration of Microwave Ovens》ASTM F 1317-98^[4] 对其进行校正。笔者在研究时将样品中的含水率控制在 18%~36% 之间, 烘烤时间选择为 8 min 至 15 min, 微波炉功率选择为 754 W, 每次 1 个样品, 并将样品重量控制为 150 g±10 g, 以烘干法检测值为基准, 进行了 168 组对比试验。对比试验差值(绝对值)最小为 0.4%, 最大为 4.5%, 平均为 2%, 说明微波炉法若仅考虑含水率和烘烤时间两个因素, 则其检测结果规律性不强, 离差较大, 准确度较差。为了增加微波炉法含水率检测结果的准确性, 必须通过正交试验分析微波炉法检测含水率的主要影响因素, 并最大限度地消除主要影响因素对微波炉法含水率检测结果的影响, 从而提高微波炉法含水率检测结果的准确性。

前期检测数据表明: 微波炉法检测结果的影响因素有微波炉功率、烘烤时间、有机质含量、含水率大小、样品重量、样品个数等。为分析各种因素对含水率结果影响的大小, 确定微波炉法的准确参数, 配制了不同含水率、不同有机质含量的试样进行了正交试验。本次研究阶段的难点在于配制不同有机质含量的试样。而已取土样有机质含

量的变化范围为 1%~6.7%, 对于有机质含量范围为 0%~0.7% 的试样, 只能采用已去除有机质(在 440 °C 煅烧)^[5] 的土样与有机质含量为 2%~3% 的土料进行掺配制备。

3 正交试验

将正交试验的因素选定为含水率(15%~36%)、烘烤时间(6~13 min)、样品加瓷杯重量(50~90 g)、样品数量(1~8 个)、有机质含量(0%~6.3%)和微波炉功率(468~1 300 W)共 6 个因素, 8 个水平, 选取 $L_{64}(8^9)$ 正交试验表进行正交试验。

4 正交试验结果分析

在对 64 组正交试验数据进行分析时, 以烘干法结果为基准进行了差值分析, 其差值越接近于零, 说明微波炉法检测结果越准确。为了分析以上 6 个因素对微波炉法检测含水率影响的主次关系和可靠程度, 需要对正交试验结果进行极差分析和方差分析。

4.1 极差分析

极差分析的目的在于分析各因素对含水率检测结果的影响大小及主次关系。极差分析结果见表 1。

表 1 极差分析结果表

项目	影响因素							误差
	含水率 / %	烘烤时间 / min	样品加瓷杯重量 / g	样品个数 / 个	有机质含量 / %	微波炉功率 / W		
极差值	4.9	5.2	5.9	8.7	8.3	18.9	4.6	

根据对表 1 中的极差分析结果进行分析得知: 本次正交试验极差值最大的是微波炉功率, 其次是样品个数, 再次是有机质含量, 然后是样品加瓷杯重量, 再次为烘烤时间, 最小为含水率。由此可以判定微波炉快速检测含水率的各影响因素的主次关系为: 微波炉功率 > 样品个数 > 有机质含量 > 样品加瓷杯重 >

烘烤时间 > 含水率。

本次正交试验有 3 个空列, 其为本次正交试验误差列, 极差值最小, 说明误差控制较好。本次正交试验在设计时各主要因素已包含齐全, 已无其他对含水率影响较大的影响因素, 试验较成功; 同时筛选出差值在 ±0.3% 范围内的 6 组最佳组合, 其最佳参数组合见表 2。

表 2 最佳参数组合表

序号	烘烤时间 / min	样品加瓷杯重量 / g	样品个数 / 个	微波炉功率 / W	差值
1	7	55~60	2	754	0.2
2	10	65~70	6	1 152	0.3
3	12	85~90	4	754	0.2
4	13	75~80	1	985	-0.2
5	10	70~75	5	985	0
6	6	60~65	8	1 300	-0.1

在表 2 中的 6 组对应参数组合中, 其细粒土含水率检测结果最接近烘干法值, 故在现场检测

时通常选择第 1 或第 4 组合。

4.2 方差分析

为确定正交试验中 6 个影响因素的主次关系置信概率,必须进行方差分析。所取得的方差分析结果见表 3。在 6 个影响因素中,对检测结果影响最显著的

表 3 方差分析结果表

来源	变动平方和 S_i	自由度 ν	方差	$F_{因}$	临界值	影响显著性
含水率	155.5	7	22.2	0.93		不显著
烘烤时间	213.3	7	30.5	1.28	$F_{0.1}(7,21)=2.03$	不显著
样品加瓷杯重	227.7	7	32.5	1.37	$F_{0.05}(7,21)=2.5$	不显著
样品个数	515.5	7	73.6	3.09	$F_{0.01}(7,21)=3.66$	** 显著
有机质含量	354.8	7	50.7	2.13	$F_{0.005}(7,21)=4.2$	* 显著
微波炉功率	2 309.0	7	329.9	13.85		**** 显著

备注:当 $F_{因}$ 值 $> F_{0.10}(7,21)、F_{0.05}(7,21)、F_{0.01}(7,21)、F_{0.005}(7,21)$ 临界值时,认为该因素对检测结果有高度显著影响,分别用 *、**、***、**** 表示。

是微波炉功率,其次为样品个数,再次为有机质含量,而方差和极差分析整体结果一致。微波炉功率越大,土样中的水分蒸发越快、越彻底;若其功率过大,有机质将影响检测结果,准确度将降低。而样品个数将影响到试样在微波炉加热过程中的能量吸收,同一功率下,检测样品个数越少,单个样品吸收能量越多,其受热效果越好,水分蒸发越彻底。

表 4 优化参数后的微波炉法与烘干法结果对比表

序号	检测时间 /min	含水率 /%					
		微波炉法	烘干法(24 h)	差值(微波炉法-烘干法)			
		Ⅷ	Ⅷ	单个差值	平均	最大	最小
1		23.4	23.6	0.2			
2		22.4	22.4	0			
3		26.1	26.3	0.2			
4		24.1	23.9	0.2			
5		26.4	25.9	0.5			
6		22.7	23.0	0.3			
7		27.0	26.6	0.4			
8		26.1	26.6	0.5			
9		22.5	22.5	0			
10		26.1	26.5	0.4			
11		26.8	26.5	0.3			
12		24.1	24.2	0.1			
13		25.9	26.2	0.3			
14		25.3	24.8	0.5			
15	7	22.6	22.1	0.5	0.3	0.5	0
16		24.6	24.7	0.1			
17		26.6	26.6	0			
18		26.9	26.4	0.5			
19		24.9	25.1	0.2			
20		25.1	25.6	0.5			
21		26.8	26.9	0.1			
22		27.0	27.3	0.3			
23		22.9	23.4	0.5			
24		25.4	25.8	0.4			
25	25.4	24.9	0.5				
26	23.9	23.6	0.3				
27	23.7	23.5	0.2				
28	24.1	24.6	0.5				
29	25.9	25.4	0.5				
30	24.0	24.4	0.4				
标准偏差		1.5	1.5	0.2	—	—	—

备注:参数组合为:烘烤时间为 7 min,样品加瓷杯重量为 55~60 g、2 个样品、微波炉中档(754 W)。(下转第 67 页)

凝结时间和降低 1 d 强度；

(2) 偏光显微镜观察以及沉降试验结果充分说明硅灰经 HB-2D 预分散后具有良好的分散性；

(3) 硅灰经过预分散后, 对比未处理的硅灰混凝土达到目标扩展度所需的减水剂用量可降低 19%, 混凝土 28 d 孔隙率降低 10%, 平均渗水高度可降低原有硅灰水平的 56%, 说明 HB-2D 预分散处理可明显提升硅灰的填充效应；

(4) 掺预分散硅灰的混凝土 28 d 强度较掺未处理硅灰的混凝土强度提高 26.2%, 其掺量为 4% 时即可达到未处理硅灰 10% 掺量的强度水平, 从而体现出 HB-2D 预分散硅灰对火山灰效应的促进作用。

参考文献:

[1] Korpa A, Kowald T, Trettin R. Hydration behavior, structure and morphology of hydration phases in advanced cement-based systems containing micro and nanoscale pozzolanic additives [J]. Cement and Concrete Research, 2008, 38(7):955-962.

[2] G Hernández-Carrillo, A Durán-Herrera, Valdez-Tamez P

(上接第 58 页)

5 微波炉法的应用

在取得正交试验成果后, 将优化参数后的微波炉法在黏土芯墙填筑施工中进行了实际应用。微波炉法的优化参数为: 烘烤时间为 7 min, 样品加瓷杯重量为 55~60 g, 2 个样品, 微波炉功率为 754 W 的参数组合。为了验证优化参数后微波炉法取得的检测结果的可靠性, 笔者抽取了 30 组样品进行了含水率对比试验。对比试验仍以烘干法为基准, 优化参数后的微波炉法与烘干法结果对比情况见表 4。

通过对优化参数后的微波炉法与烘干法结果进行对比分析得知: 微波炉法与烘干法含水率差值(绝对值)平均为 0.3%, 最大为 0.6%, 最小为 0%。对比试验情况与正交试验结果吻合, 说明优化参数后的微波炉法取得的结果准确、可靠。

6 结语

对于细粒土含水率的检测, 烘干法获得的结果较为准确, 但因其耗时较长而不能满足快速填筑施工的要求。微波炉法获取结果快速, 但其影响因素较多, 若参数组合选择不合适, 则其准确性较烘干法差。本次研究通过正交试验找出了使用

L. ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE (UH-PC) WITH LOW SILICA FUME CONTENTS AND LIMESTONE AGGREGATES[C]// Proceedings of the International RILEM Conference Materials, Systems and Structures in Civil Engineering 2016. 2016.

[3] Ye Q, Zhang Z, Kong D, et al. Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume[J]. Construction & Building Materials, 2007, 21(3):539-545.

[4] Belkowitz J S, Belkowitz W L B, Nawrocki K, et al. Impact of Nanosilica Size and Surface Area on Concrete Properties[J]. ACI Materials Journal, 2015.

[5] 张波. 不同形态硅灰在高性能混凝土中的作用机理[D]. 清华大学, 2015.

[6] 张玉德, 刘钦甫, 伍泽广, 等. 纳米高岭土和白炭黑硫化橡胶复合材料[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2006, 21(2):73-76

作者简介:

雷英强(1989-), 男, 四川眉山人, 工程师, 学士, 从事试验检测及混凝土材料研究工作;

吴伟(1985-), 男, 重庆万州人, 工程师, 硕士, 从事高性能混凝土材料研发工作。

(责任编辑: 李燕辉)

微波炉法检测细粒土含水率的影响因素及影响的主次关系, 为微波炉法检测含水率的参数选择提供了有力依据。微波炉法的使用解决了烘干法耗时较长, 酒精燃烧法不经济、环保数值偏高、存在安全隐患的问题。优化参数组合后的微波炉法在保证检测结果准确性的同时缩短了细粒土填筑施工检测周期, 提高了施工效率, 所取得的经验可为类似工程参考。

参考文献:

[1] 土工试验方法标准, GB/T 50123-2019[S].

[2] Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, D2216-98[S].

[3] Standard Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil by the Microwave Oven Heating, D4643-00[S].

[4] Standard Test Method for Calibration of Microwave Ovens, F1317-98[S].

[5] Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils, D2974-00[S].

作者简介:

钟波(1982-), 男, 贵州瓮安人, 正高级工程师, 从事工程试验检测工作。

(责任编辑: 李燕辉)