

# 固化废弃泥流动性研究

朱鹏, 翁加兴, 吉锋, 郝之进, 徐桂中

(安徽理工大学 土木建筑学院, 安徽 淮南 232001)

**摘要:**市政工程建设产生大量废弃淤泥, 废弃淤泥处置成为难题, 目前常采用固化方法进行处埋。为使流动固化处理后淤泥流动性和强度达到泵送施工的要求, 需要分析淤泥流动性的大小与含水率和固化材料掺量之间的关系。通过对固化淤泥流动性的试验, 得出如下结论: 固化淤泥流动度随淤泥含水率增加而增加, 随水泥掺量增加而降低; 相比坍落度法, 流动度法操作筒易, 数据更具连续性。

**关键词:**废弃泥; 固化处理; 流动性; 水泥掺量; 含水率。

**中图分类号:** TU411.99

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-5322(2020)01-0006-04

随着我国城市的飞速发展, 道桥、管廊、公园等市政工程的快速建设<sup>[1-2]</sup>, 产生了大量的废弃淤泥<sup>[3]</sup>, 其中开挖深度较深的淤泥因具有高含水率、低强度的特征, 而不能直接使用。大量废弃淤泥的堆积不仅占据了大量土地, 而且对环境资源造成了一定的破坏。为了处理并利用这些废弃淤泥, 通常用加固材料如水泥、石灰等<sup>[4-5]</sup>对其进行固化处理, 以提高其强度, 使之达到使用等级的要求。

在众多废弃淤泥固化处理方法中, 流动固化处理方法成为工程界热门。相对于传统的固化方法, 流动固化处理更为方便高效, 能够有效解决狭小空间回填施工难的问题。流动固化处理的原理是将固化材料加入高含水率的淤泥中, 搅拌均匀使其具有一定的强度和流动性, 从而可以像混凝土一样进行泵送施工。因此, 对废弃淤泥进行流动固化处理, 首先要满足施工时的流动性要求。流动性作为流动固化处理的重要指标, 不少学者对其进行了试验研究。丁建文等<sup>[6]</sup>对流动固化土的流动性能进行了分析, 陆强<sup>[7]</sup>也对固化淤泥流动性设计了流动性试验, 他们发现固化淤泥的流动性与含水率和水泥掺量相关, 即固化淤泥的流动性随着含水率的增加而增加, 随着水泥掺量

的增加而减小。因此, 固化淤泥流动性的大小与含水率和固化材料掺量有着密切联系。

需要指出的是, 目前国内并无固化淤泥流动性指标的相关测试标准, 国外学者通常参照美国低强度材料的流动性试验规范——《Standard Test Method for Flow Consistency of CLSM》(ASTM, 1997)<sup>[8]</sup>和日本建设省的 JHS A313—1992<sup>[9]</sup>规范。这两种方法的测试原理都是将两端开口的塑料圆柱形筒垂直放置于光滑平面上, 将搅拌均匀的固化淤泥填满试验塑料圆筒, 刮平筒表面, 完成装样后迅速提起圆筒, 测量淤泥的水平变形来表示其流动值的大小。两种方法的不同之处在于使用圆筒的高径比不同, 美国采用 2:1, 而日本采用 1:1。Suits 等<sup>[10]</sup>在试验中表明高径比为 1:1 的圆筒比较适合进行流动度试验。我国不少学者常采用混凝土坍落度方法<sup>[11]</sup>来测试固化淤泥的流动度。

由于采用泵送施工固化淤泥, 首先需要明确固化淤泥的流动性能。基于此, 本文在明确固化淤泥水泥掺量的前提下, 选择合适的土的含水率, 在实验室采用混凝土坍落度法和日本的 JHS A313—1992 规范开展固化淤泥的流动性能测试, 分析影响流动度大小的因素。

**收稿日期:** 2019-11-17

**基金项目:**国家自然科学基金项目(51808481、51978597); 江苏省自然科学基金项目(BK20170477); 江苏省水利科技项目(2015068); 淮河水利委员会治淮工程项目(HGBF-QT-41)。

**作者简介:** 朱鹏(1994—), 男, 江苏盐城人, 硕士生, 主要研究方向为地基处理。

## 1 试验材料及方法

### 1.1 试验材料

试验所用土取自安徽五河县现场工地,其物理力学指标如表 1 所示。由表 1 可知,该土属于粉质黏土。试验固化材料选用水泥,为安徽某水泥厂生产的标号为 42.5 的水泥。

表 1 土样的基本物理指标

Table 1 Basic physical indicators of soil samples

| 指标       | 数值   |
|----------|------|
| 比重 $G_s$ | 2.67 |
| 液限/%     | 27.0 |
| 塑限/%     | 14.8 |
| 塑性指数     | 12.2 |
| 砂粒/%     | 16.2 |
| 粉粒/%     | 63.8 |
| 黏粒/%     | 20.0 |

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 日本的 JHS A313—1992 法

为了研究不同水泥掺量和不同含水率对流动性能的影响,分别采用质量百分比为 0、1%、3%、5%、8%、10%、13% 的水泥掺量和质量百分比为 36%、39%、42%、45%、48%、51%、54% 的含水率的淤泥进行试验。

试验前准备若干份质量不同的淤泥,按照公式计算出试验所需水泥的质量,将其加入土中,并用搅拌机充分搅拌,在连续搅拌 10 min,水泥与淤泥基本混合均匀后,立即进行流动性能试验。试验时,将直径和高度都为 8 cm 的有机玻璃试验圆筒(图 1)垂直置于水平整洁的玻璃平板上,将刚搅拌均匀的固化淤泥缓缓填入圆筒;装填时应避免产生气泡,在其满溢后用刮刀将表面刮平,并将筒边与玻璃平板擦拭干净,然后迅速提起试验筒,此时光滑玻璃平板上形成圆形坍塌体(图 2);利用游标卡尺测量圆形坍塌体水平与垂直距离,两者平均值即为流动度值。为避免触变效应带来的影响,提起圆筒时间应小于 7 s,整个测试过程应在 1 min 内完成。每个试验做 2 次,求其平均值作为最终的流动值。

#### 1.2.2 混凝土坍落度法

试验所用铁筒的尺寸分别为上口直径 100 mm、下口直径 200 mm、筒高 300 mm,底板采用平整的木板。进行坍落度试验前,用湿抹布擦拭底

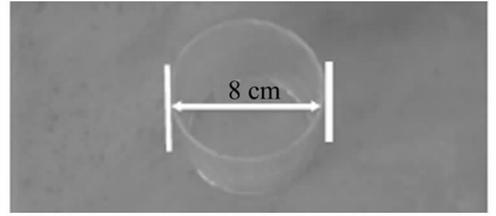


图 1 流动度试验筒

Fig 1 Fluidity test cylinder

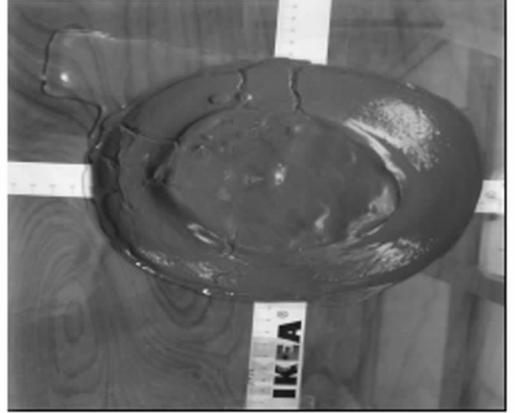


图 2 流动度测试

Fig 2 Fluidity test

板与坍落度筒,以减少摩擦力带来的影响。试验时,将底板放置于水平地面上,坍落度筒放置于底板中心处,并用双脚踩住坍落度筒底部两边的脚踏板,确保其平稳而不会晃动;用小铲将搅拌好的固化淤泥铲入筒中,用捣棒插捣多次,以排出气泡;在顶层填满插捣溢出后,用刮刀刮平其表面,然后将筒边和底板上散落的淤泥清理干净;垂直平稳地将坍落度筒提起,测量筒高与坍落后固化淤泥试体最高点之间的差值,即为该固化淤泥的坍落度值(图 3 为掺水泥量 13%、水灰比为 0.41 的坍落度试验)。为了保证测量的精度,整个提起过程应在 5 ~ 10 s 内完成,整个试验过程应在 150 s 内完成。



图 3 坍落度试验

Fig 3 Slump test

## 2 流动度

### 2.1 初始含水率对流动度的影响

为了探索在低含水率下淤泥流动度与含水率之间的关系,采用含水率为 36% ~ 54% 的淤泥进行试验,结果如图 4 所示。

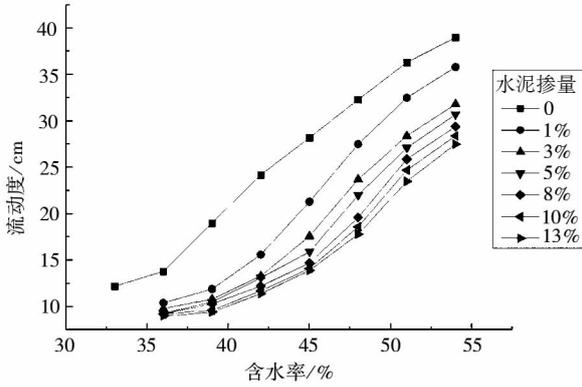


图 4 流动值与含水率关系曲线图

Fig 4 Curve graph of relationship between flow value and water content

从图 4 可以看出:无论是未掺入水泥的淤泥,还是掺入水泥的固化淤泥,其流动度均随含水率的增加而增加,其中在含水率高于 45% 时,淤泥流动度随着含水率的增加几乎呈线性关系增加;而在含水率为 36% ~ 42% 时,淤泥的流动度随含水率的增加而增加缓慢,即变化幅度较小。这与丁建文等<sup>[6]</sup>研究结论一致。丁建文通过对白马湖高含水率疏浚淤泥进行流动性试验,得出结论:高含水率淤泥流动度随含水率增加呈线性关系显著增加;在低含水率下,流动度随含水率增加而增加幅度缓慢。

### 2.2 水泥掺量对流动度的影响

图 5 为淤泥流动度与不同水泥掺量的变化关系图。由图 5 可以看出:随着水泥掺量的增加,淤泥流动性降低,其中水泥掺量较低时,淤泥流动性随着水泥掺量的增加,降低幅度较为显著;水泥掺量较高时,淤泥流动性随着水泥掺量的增加,降低幅度较为缓慢。比如,在含水率为 42% 时,未加入水泥与加入 3% 的水泥后,土样流动度数值最大相差 10.9 cm;水泥掺量在 3% ~ 13% 时,流动度变化幅度较小,流动度数值最大相差为 0.8 ~ 5.9 cm。该现象说明,对于固化淤泥,水泥掺量对流动度的影响主要产生在低掺量时。分析认为,水泥掺量对土样流动度的影响主要是在加入水泥

后,土样的土性发生变化。未加入水泥时,土样为粉土;加入很少量的水泥后,尽管此时水泥的水化反应还没起到主导作用,但水泥粉末极其微小,使得土样的土性由粉土瞬间变为黏性土,流动度显著降低。

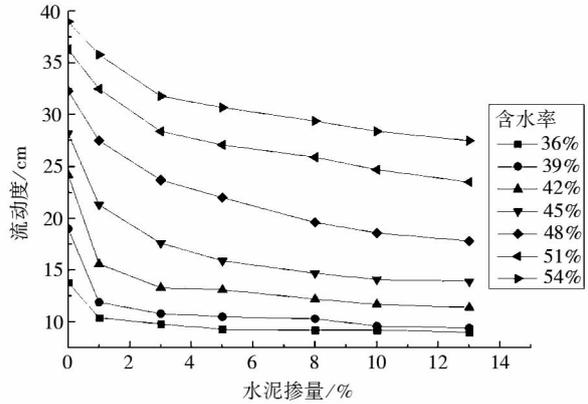


图 5 流动值与水泥掺量关系曲线图

Fig 5 Curve graph of relationship between flow value and cement content

## 3 坍落度

为了对比坍落度与流动度方法之间的差异,同样进行了坍落度试验。图 6 为淤泥坍落度与含水率之间的关系曲线。由图 6 可知:固化淤泥的流动度随含水率的增加而增加,随水泥掺量的增加而降低,显然,这与流动度法相一致;但图 6 中

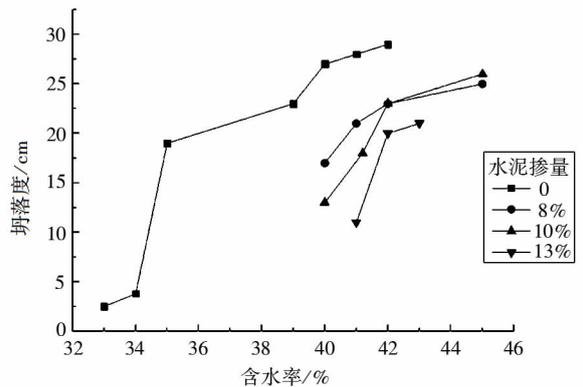


图 6 坍落度与含水率关系曲线图

Fig 6 Curve graph of relationship between slump and water content

数据没有较好的连续性,曲线陡峭有突变,存在突变点,这与测试方法有关,坍落度法测量的是坍塌体的下落高度,流动度法测量的是坍塌体的水平变形量。试验结果表明,采用坍落度法也可描述固化淤泥的流动性,但流动度法测出的数据更具有连续性,即采用流动度法测试固化淤泥时更为

方便与精确,更能显示出流动性与含水率和水泥掺量之间的关系。

## 4 结论

通过固化淤泥流动性试验,分析了含水率、水泥掺量等因素对淤泥流动性的影响,得出如下结论:

(1)固化淤泥的流动性随含水率的增加并非完全呈线性变化。在较高的含水率下,流动度随着含水率增加呈线性显著增加;在较低的含水率

下,流动度随含水率增加增幅较缓。

(2)水泥掺量的增加会导致流动性降低,但水泥掺量对流动度的影响主要产生在低掺量时。在水泥掺量较低时,随着水泥掺量的增加,流动度显著下降,流动度最大差值为 10.9 cm;随着水泥掺量的不断增加,流动度变化幅度较缓。

(3)坍落度法也可以描述淤泥流动性,但采用坍落度法测试的数据曲线有突变点,而流动度试验方法所得数据曲线更具连续性,且操作简易,更能体现淤泥的流动性变化。

## 参考文献:

- [1] 翟志军. 市政工程现场施工存在的问题和提高措施[J]. 建材与装饰, 2019(32):212-213.
- [2] 王明仕,刘平,鲍仁行. 建设市政综合管廊中出现的问题及对策[J]. 建材与装饰, 2019(32):169-170.
- [3] 何晶晶,邵立明,顾国维,等. 市政淤泥脱水固化技术研究[J]. 中国市政工程, 2000(3):48-51.
- [4] 林彤,刘祖德. 粉煤灰与生石灰加固软土的室内试验研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(6):1049-1052.
- [5] 黄英豪,朱伟,张春雷,等. 固化淤泥重塑土力学性质及其强度来源[J]. 岩土力学, 2009, 30(5):1352-1356.
- [6] 丁建文,洪振舜,刘松玉. 疏浚淤泥流动固化处理与流动性试验研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(S1):280-284.
- [7] 陆强. 海水环境下固化淤泥流动性及强度特性试验研究[D]. 镇江:江苏大学, 2016.
- [8] ASTM INTERNATIONAL. Standard TEST method for flow consistency of LSM[S/OL]. ASTM D6103-04, DOI:10.1520/D6103-04.
- [9] 日本道路公团. エアモルタル及びエアミルクの試験方法:JHS A313—1992[M]. 东京:日本高等级公路设计规范编译组, 1992.
- [10] SUITS L D, SHEAHAN T C, LEE L T. Method to rapidly assess the index properties of fine-grained dredged materials [J]. Geotechnical Testing Journal, 2004, 27(5):464-468.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家质量监督检验检疫总局. 普通混凝土拌合物性能试验方法标准:GB/T 50080—2016[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2017.

# Study on the Fluidity of Solidified Waste Sludge

ZHU Peng, WEN Jiaying, JI Feng, HAO Zhijin, XU Guizhong

(School of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui 232001, China)

**Abstract:** A large amount of waste sludge is produced in municipal engineering construction, and the disposal of waste sludge becomes a problem. At present, solidification method is often used for treatment. In order to make the fluidity and strength of the sludge reach the requirements of pumping construction, it is necessary to analyze the relationship between the fluidity of the sludge and the water content and the content of solidified materials. Through the test of the fluidity of solidified sludge, the following conclusions are drawn that the fluidity of solidified sludge increases with the increase of sludge moisture content and decreases with the increase of cement content. Compared with slump method, the fluidity method is easier to operate and more continuous in data.

**Keywords:** waste sludge; curing process; fluidity; cement content; water content

(责任编辑:李华云)