



# 土的附着力试验方法

孙爱国, 王春平, 唐正涛

(长江航道规划设计研究院, 长江航道勘察设计院(武汉)有限公司, 湖北 武汉 430040)

**摘要:** 针对 JTS/T 247—2023《水运工程土工试验规程》中附着力试验方法的科学编制, 通过对以往规范中相关条款内容的充分研究和调研, 从试验方案制定、土样杯、压板及护环等试验设备的定制入手, 进行有针对性的探索性试验。采用单一变量分析方法, 分别研究土样杯尺寸、压板尺寸、护环厚度等对土附着力试验的影响, 总结形成了更贴合实际、更具可操作性、更符合水运工程行业的土附着力试验方法条款, 并纳入 JTS/T 247—2023《水运工程土工试验规程》章节内容中, 推动了水运工程行业中土的附着力试验方法的优化和改进。

**关键词:** 土的附着力试验; 土样杯; 压板及护环

中图分类号: U652.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)02-0186-05

## Adhesion test method of soil

SUN Aiguo, WANG Chunping, TANG Zhengtao

(Changjiang Waterway Planning Design and Research Institute, Changjiang Waterway Survey and Design Institute (Wuhan) Co., Ltd., Wuhan 430040, China)

**Abstract:** In response to the scientific compilation of the adhesion test method in JTS/T 247-2023 *Regulations for Soil Testing in Water Transport Engineering*, we carry out targeted exploratory tests through thorough research and investigation of the relevant clauses in the previous specifications, starting from the development of test plans, customization of test equipment such as soil sample cups, pressure plates, and protective rings. By using a single variable analysis method, we study the effects of soil sample cup size, pressing plate size, and retaining ring thickness on soil adhesion testing, summarize a more practical, operable, and in line with the provisions of soil adhesion testing methods in the water transportation engineering industry, and include provisions in the section of JTS/T 247-2023 *Regulations for Soil Testing in Water Transport Engineering*, promoting the optimization and improvement of soil adhesion testing methods in the water transportation engineering industry.

**Keywords:** adhesion test of soil; soil sample cup; pressure plate and protective ring

在岩土工程学科中, 土在一定的含水率下具有与其他非土壤固体材料的黏附能力, 称之为土的附着力<sup>[1]</sup>。20 世纪 90 年代后, 附着力作为辅助参考判别指标成为疏浚岩土工程特性与分级的衡量标准之一<sup>[2]</sup>, 为航道疏浚工程、开挖工程以及吹填工程提供设计与施工参数, 为抓挖机械选取

及其操作技术提供合理建议。近年来, 随着港口工程建设的不断发展, 疏浚、吹填、开挖工程不断增多, 工程建筑规模及复杂性的增大要求在工程实践中必须准确把握土性对工程建设的影响。然而, 受测试仪器与测试方法等原因限制, 目前国内外对于土的附着力特性研究仍停留在初步阶

收稿日期: 2023-06-16

作者简介: 孙爱国 (1980—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事工程勘测及试验检测。

段<sup>[3-5]</sup>。在实际工作中,土的附着力特性大部分来源于室内试验,然后根据室内试验结果为疏浚工程、开挖工程等提供土附着力的性质依据,这在很大程度上说明了室内试验研究的重要性。但在水运工程中,目前尚无统一的关于土附着力试验的标准规范,室内试验也面临着诸如土样杯尺寸、压板尺寸、护环厚度等不确定的影响因素,在以往学者研究中有关这些方面的研究还基本处于空白状态。

目前土的附着力试验方法在 JTJ/T 320—1996《疏浚岩土分类标准》<sup>[6]</sup>、JTS 181-5—2012《疏浚与吹填工程设计规范》<sup>[7]</sup>、JTS 237—2017《水运工程地基基础试验检测技术规程》<sup>[8]</sup>等规范中都有,分析这 3 本规范可发现,对附着力试验方法的规定都有一定的局限性,需要进行试验研究。

从力值测定来看,3 本规范中都是选用弹簧秤附着力仪进行力值测定,根据目前技术,已有很多其他方式可以代替弹簧秤,并能提高力值测定的精度,有改进的空间;从转速控制来看,“转速控制在 6 r/min”,如仪器不同,其转一圈的拉拔高度是不同的,也可能导致不同仪器做出来的试验结果不一致,需要做试验论证;从垂直施加荷载来看,如果仪器不同,其压板质量不同,最终加载在样品上的荷载是不一样的,这就可能导致不同仪器做出来的试验结果没有可比性,同样需要试验验证。

本文重点从试验方案制定、土样杯、压板及护环等试验设备的定制入手,分别研究土样杯尺寸、压板尺寸、护环厚度等对土附着力试验的影响,旨在为 JTS/T 247—2023《水运工程土工试验规程》<sup>[9]</sup>中“附着力试验”章节的编制提供指导和依据,进而为类似工程的设计与施工提供参考。

## 1 试验方案及方法

1) 试验样品:同一批土样,在 105~110 ℃ 条件下烘干,碾碎,过 0.5 mm 筛,按 30%预加含

水率控制,均匀喷洒,防止水分散失,均匀浸润,均匀搅拌。

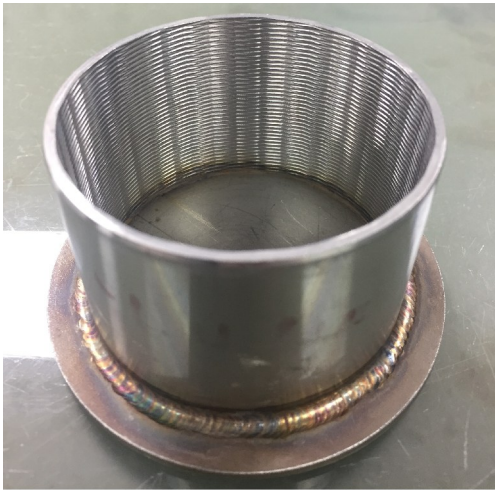
2) 在 JTJ/T 320—1996《疏浚岩土分类标准》和 JTS 181-5—2012《疏浚与吹填工程设计规范》中对土样杯、护环的尺寸和粗糙度没有规定,对压板的尺寸和材质也没有做出规定,而在 JTS 237—2017《水运工程地基基础试验检测技术规程》对相关的内容都有规定。结合该规程中的相关规定,对压板、土样杯和土样杯护环提出规格、尺寸、粗糙度等的定制要求,要求压板的粗糙度为 3.2、土样杯内壁刻有阻力螺纹或粗糙度大于 6.3。土样杯、护环、压板定制方案见表 1。定制实物见图 1。

表 1 附着力试验土样杯、护环、压板定制方案

方案	仪器 配件	外径/ mm	杯口内径 面积/cm <sup>2</sup>	厚度/ mm	深度/ mm
1	圆形土样杯	39.7	10.0	壁厚 2.0	40
	护环	—	—	壁厚 4.0	有效高度分别为 0.5、0.7、1.0
	压板	直径 49.0	—	5	—
2	圆形土样杯	47.7	15.0	壁厚 2.0	40
	护环	—	—	壁厚 4.0	有效高度分别为 0.5、0.7、1.0
	压板	直径 57.0	—	5	—
3	圆形土样杯	54.5	20.0	壁厚 2.0	40
	护环	—	—	壁厚 4.0	有效高度分别为 0.5、0.7、1.0
	压板	直径 64.0	—	5	—
4	圆形土样杯	60.4	25.0	壁厚 2.0	40
	护环	—	—	壁厚 4.0	有效高度分别为 0.5、0.7、1.0
	压板	直径 70.0	—	5	—



a) 土样杯、压板



b) 土样杯内壁阻力螺纹



c) 土样杯护环

图 1 土的附着力试验仪器配件定制实物

3) 试验数量：方案 1 的有效高度 0.5、0.7、1.0 mm 的护环分别各做 30 组试验，每组试验测 5 个样品的数据，其他方案的有效高度 0.5 mm 的护环分别各做 30 组试验，每组试验测 5 个样品的数据。

4) 弹簧秤附着力仪的数显推拉力计的力值显示有清零功能，所以压板的厚度均采用 5 mm。

2 试验目的

1) 选择不同杯口面积、同一护环有效高度的试验数据比较分析，研究附着力随土样杯杯口面积的变化。

2) 选择同一杯口面积、不同护环有效高度的

试验数据比较分析，研究附着力随护环有效高度的变化。

3) 通过试验，查看随着杯口面积的增大，深度 40 mm 的土样杯中的土样是否被附着力带出，以确定是否采用深度更深的土样杯。

4) 通过以上分析研究，为规范中设备的选型、配件的尺寸等提供依据。

3 附着力仪测力计选用

附着力试验要求在压板上部无冲击地对土样表面施加垂直荷载 20 N，持续 30 s，再平稳拉动压板，记录测力计的最大拉力读数。

3.1 弹簧秤附着力仪自带的测力计

弹簧秤附着力仪自带的测力计只能测一个方向的压力或者拉力，不能既测压力又测拉力，并且力值是以表盘式的刻度显示(图 2)，存在人为的读数误差，不满足试验要求。



图 2 弹簧秤附着力仪自带的测力计

3.2 数显推拉力计

根据试验要求预压荷载为 20 N，通过文献查阅了解一般黏性土的附着力值范围，对测力计重新定制、购置并进行检定校准(图 3)。数显推拉力计既能测压力又能测拉力，并且力值数显、精确度高，满足试验要求。

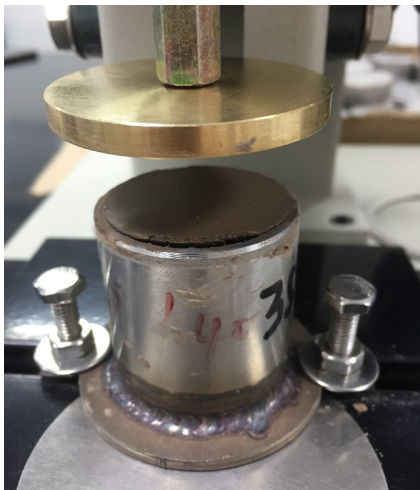




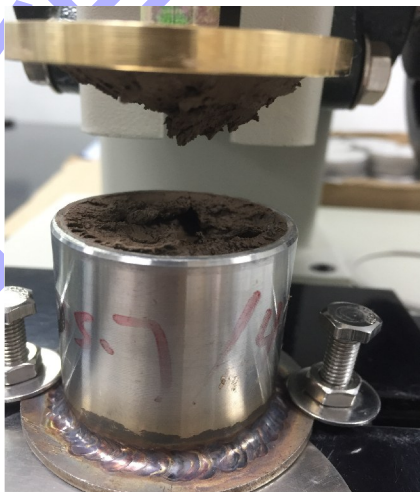
图 3 数显推拉计

#### 4 试验方法确定

- 1) 从附着力试验结果数据来看，随着土样杯杯口面积和土样杯护环有效高度的变化，力值  $F$  大都基本维持在 21~23 N，附着力  $T(\text{kPa})$  随着土样杯杯口面积的增大而减小。
- 2) 在 JTS 181-5—2012《疏浚与吹填工程设计规范》中疏浚岩土的工程特性和分级有附着力的判定指标，其中附着力试验方法采用的便是该规范的附录 A，但附录 A 中并没有对压板、土样杯、护环等尺寸做出规定。
- 3) 为了与其他相关行业标准配套使用，经综合考虑，压板的尺寸和粗糙度继续沿用 JTS 237—2017《水运工程地基基础试验检测技术规程》的规定，土样杯的粗糙度规定继续沿用 JTS 237—2017《水运工程地基基础试验检测技术规程》的规定。土样杯和护环的尺寸结合前期调研咨询资料略有调整和改善，由外径 35.7 mm 调整为内径 35.7 mm。
- 4) 土样杯护环厚度 0.5 mm 时，做附着力试验压板和土样的断裂均发生在压板和土样表面，见图 4a)；土样杯护环厚度 0.7 或 1.0 mm 时，做附着力试验压板和土样的断裂部位均有发生在土层中，见图 4b)、c)，说明护环越厚，附着力的测试越不真实。结合 JTS 237—2017《水运工程地基基础试验检测技术规程》，护环厚度定为 0.5 mm。



a) 护环厚度0.5 mm



b) 护环厚度0.7 mm



c) 护环厚度1.0 mm

图 4 不同护环厚度时附着力试验的效果

- 5) 在做附着力试验研究时，“在压板上部无冲击地施加垂直荷载 20 N，持续 30 s”保持不变，继续沿用以往规范。
- 6) 在启动拉力设备测定附着力时，JTJ/T

320—1996《疏浚岩土分类标准》与 JTS 181-5—2012《疏浚与吹填工程设计规范》中规定“摇动手柄, 转速控制在 6 r/min”, JTS 237—2017《水运工程地基基础试验检测技术规程》中规定“平稳拉动压板, 缓缓增加拉力”, 没有对摇动手柄的转速进行规定。考虑到摇动手柄时为人为操作, 转动速率难以控制, 所以在此次规范中也没有对摇动手柄的速率进行规定。

7) 每组测试数量和计算方法继续沿用 JTS 237—2017《水运工程地基基础试验检测技术规程》的规定。

## 5 结语

1) 本文是在对 JTJ/T 320—1996《疏浚岩土分类标准》、JTS 181-5—2012《疏浚与吹填工程设计规范》和 JTS 237—2017《水运工程地基基础试验检测技术规程》等规范进行充分研究和调研的基础上, 为更好地编制 JTS/T 247—2023《水运工程土工试验规程》中附着力试验内容所开展的探索性试验, 充分尊重了以往标准规范的相关条款, 也通过试验研究分析, 总结形成了更贴合实际、更具操作性的土附着力试验条款。

2) 本研究是在对土的附着力试验现状调研的基础上, 对同一类土做了 130 组 650 个土样的试验对比研究得出的结论, 并将选定的附着力土样杯内径尺寸、护环厚度尺寸、压板直径尺寸、压板厚度尺寸纳入 JTS/T 247—2023《水运工程土工试验规程》第 28.2.3 条。

3) 附着力仪试验设备在试验过程中难免存在一定的人为操作误差, 有条件时建议可开展基于万能试验机的试验方法研究, 提升智能控制水平,

该方法可行性强、操作方便、结果准确度高, 但设备造价偏高, 条件具备时可选择。

## 参考文献:

- [1] 张先伟, 黎伟, 王勇, 等. 疏浚土的附着力特性试验研究[J]. 水运工程, 2014(3): 45-50, 56.
- [2] 天津航道局. 疏浚工程技术规范: JTJ 319—1999[S]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [3] REN L Q, CONG Q, TONG J, et al. Reducing adhesion of soil against loading shovel using bionic electro-osmosis method[J]. Journal of terramechanics, 2001, 38(4): 211-219.
- [4] REN L Q, TONG J, LI J Q, et al. Soil adhesion and biomimetics of soil-engaging components: a review[J]. Journal of agricultural engineering research, 2001, 73(9): 239-263.
- [5] SONI P, SALOKHE V M. Influence of dimensions of UHMWPE protuberances on sliding resistance and normal adhesion of Bangkok clay soil to biomimetic plates[J]. Journal of bionic engineering, 2006, 3(2): 63-71.
- [6] 交通部上海航道局. 疏浚岩土分类标准: JTJ/T 320—1996[S]. 北京: 人民交通出版社, 1996.
- [7] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 中交天津港航勘察设计研究院有限公司. 疏浚与吹填工程设计规范: JTS 181-5—2012[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
- [8] 中交天津港湾工程研究院有限公司, 中交四航工程研究院有限公司. 水运工程地基基础试验检测技术规程: JTS 237—2017[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [9] 中交第一航务勘察设计院有限公司水运工程土工试验规程: JTS/T 247—2023[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2023.

(本文编辑 王璁)

## 编辑部声明

近期不断发现有人冒用《水运工程》编辑部名义进行非法活动, 他们建立伪网站, 利用代理投稿、审稿等手段进行诈骗活动。《水运工程》编辑部郑重声明, 从未委托第三方为本编辑部约稿、投稿、审稿。《水运工程》编辑部唯一投稿网址: [www.sygc.com.cn](http://www.sygc.com.cn), 敬请广大读者和作者周知并相互转告。

《水运工程》编辑部