

DOI: 10.11779/CJGE2019S2052

AC-14 大抓力锚在无黏性土中的拖锚运动研究

任宇晓¹, 郭炳川², 高鑫¹, 庄道坤¹, 闫澍旺¹, 王彦岷^{*1}

(1. 天津大学建筑工程学院, 天津 300072; 2. 中交第一航务工程局有限公司, 天津 300461)

摘要: AC-14 型大抓力锚在大型船只上使用广泛。设计了能进行水下测量的拖锚模型试验装置, 制作了 AC-14 模型锚, 通过对 AC-14 锚在干砂与水下饱和砂土中的拖锚试验, 完整揭示了该锚在整个拖锚过程中的姿态调整、运动轨迹发展和锚抓力变化等, 在干砂中得到的最终稳定时的锚抓力与前人研究较为接近, 但在饱和砂土中虽然与干砂中的水平倾角一致, 但啮土深度要大于饱和砂, 而锚抓力系数则小于在干砂中的锚抓力系数。另外, 还在不同粒径的碎石进行了拖锚试验, 试验表明较大粒径的碎石层对拖锚姿态的影响更大, 锚在其中达到稳定状态时的埋深更浅。

关键词: 模型试验; 大抓力锚; 拖锚; 海床底质; 锚抓力; 碎石层

中图分类号: TU441; U675.9

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 4548(2019)S2 - 0205 - 04

作者简介: 任宇晓(1991—), 男, 博士研究生, 主要从事海洋岩土工程等方面的科研。E-mail: renyx66@163.com。

Motion of dragging AC-14 anchor in cohesionless soil

REN Yu-xiao¹, GUO Bing-chuan², GAO Xin¹, ZHUANG Dao-kun¹, YAN Shu-wang¹, WANG Yan-di¹

(1. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461,

China)

Abstract: The AC-14 anchor is widely used in large vessels. A model test device for measuring the underwater dragging anchor is designed, and the model anchor of AC-14 is manufactured. The model tests on pulling AC-14 anchor in both dry and saturated sands are operated. The kinematic behavior, the trajectory and the holding capacity of AC-14 anchor model during the dragging process are revealed, and the maximum holding power obtained in this test is closed to that of the previous studies. But in saturated sand, although it is consistent with the horizontal inclination of dry sand, the soil depth is greater than that of saturated sand, and the anchor holding force coefficient is less than that of dry sand. In addition, some dragging anchor tests are carried out on the gravel with different particle sizes, and the tests show that the gravel layer with larger particle size has a greater influence on anchor hauling posture, correspondingly, the anchor is buried shallower and holds the larger horizontal inclination angle of anchor fluke when it reaches a stable state.

Key words: model test; high holding power anchor; drag anchor; seabed sediment; holding capacity; rubble cover

0 引言

随着国际贸易和海上航运的蓬勃发展, 船体体量越来越大。大抓力锚由于锚抓力大、稳定性好、适用性强等诸多优异性能, 常用作大型或超大型油轮、集装箱船、汽车运输船的主锚, AC-14 锚即是其中具有代表性的锚型^[1-2], 是欧美国家和日本常用的锚。

关于锚的研究多采用模型试验^[3-5]、理论计算方法研究^[6]或数值分析^[7]等手段, 不过, 对 AC-14 大抓力锚的研究较少, Sato^[8]提出在砂土底质中, AC-14 与 DA-1 锚类似, 但在淤泥底质中 AC-14 的锚抓力要小于 DA-1; 不过泥沙混合条件下, AC-14 的表现又要好于 DA-1 锚; Shoji 等^[9]提出在淤泥底质中, AC-14 锚的抓力大于 DA-1 锚的抓力, 该结果与 Sato 的结论相悖。NCEL^[10]对包括 AC-14 锚在内的部分锚型给出了

简易的锚抓力估算方法, Shin 等^[4]通过 1:10 的模型试验对 AC-14 锚、HALL 锚、SEC POOR-N 锚进行了砂土和黏土中的模型试验, 并将结果与 NCEL 的预测结果进行了对比。

本文根据规范制作了两个尺寸的 AC-14 锚的模型锚, 设计了多种土性中的拖锚模型试验, 试验研究了该大抓力锚在拖锚进入各种土性时锚的姿态调整、运动轨迹及锚抓力发展规律等。研究成果可为船锚设计制作提供参考。

1 模型试验准备

1.1 试验目的

收稿日期: 2019 - 04 - 30

*通讯作者 (E-mail: wangydtju@163.com)

本文拟通过对 AC-14 大抓力锚的拖锚模型试验，揭示该锚型在无黏性土底质中锚的翻转调整过程、运动轨迹发展及所提供的锚抓力变化规律。对于某些近岸结构如海底管道、电缆等在海床上有可能设置的碎石保护层，通过模型试验分析了 AC-14 大抓力锚在经过此类碎石层时的运动轨迹和锚抓力变化。

1.2 试验设备

图 1 为试验装置示意图，包括试验槽、加载牵引设备、滑轮组、钢丝绳、量测系统、模型锚等。试验槽如图 2 (a) 所示，长、宽、高分别为 4000，1500，750 mm。试验时将锚自然放置在土体表面，由转速控制系统控制卷扬机经滑轮组通过钢丝绳水平拖曳模型锚，以 50 mm/min 的速度向前拖曳，在锚爪尖、锚柄前端等位置点焊细钢丝绳，在试验槽顶边安装可移动门型架，测试钢丝绳与门型架顶面的距离，可得到锚上测点的竖向位置变化。拉紧焊在锚上的钢丝绳与门型框架平齐时，读取钢丝绳在试验槽边上的刻度，实时记录锚的水平位置。拖动过程中锚体转动角度由高精度双轴倾角传感器测得，锚的拖曳力由拉压力传感器测得，由数据采集仪实时记录试验数据^[5]。

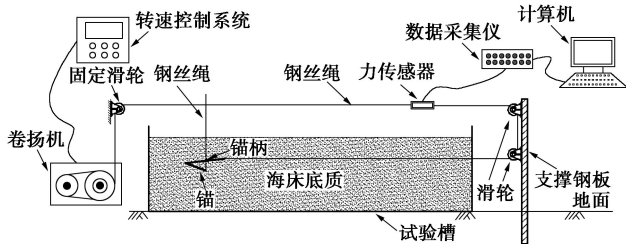


图 1 模型试验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of model test device

1.3 试验用锚

根据国家标准^[11]制作了 AC-14 锚的小比尺模型锚，如图 2 所示，质量为 25.5 kg，锚爪和锚柄最大夹角 $35^\circ \pm 1^\circ$ ，锚体各结构具体尺寸如图 3 和表 1 所示。



图 2 模型锚图

Fig. 2 Model anchor

1.4 试验用土

通过室内试验，测得试验采用的砂土干密度 1.57 g/cm^3 ，相对密实度 0.597，内摩擦角 33° ，经颗分试

验测得其平均粒径 d_{50} 为 0.39 mm。

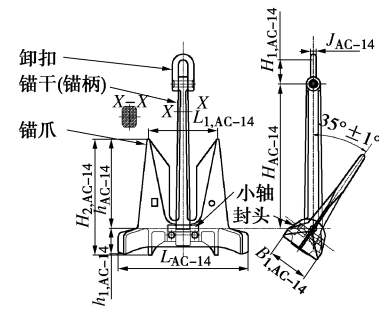


图 3 AC-14 锚示意图

Fig. 3 Schematic diagram of AC-14 anchor

表 1 AC-14 模型锚的尺寸

Table 1 Dimensions of AC-14 model anchors

锚重 W _a /N	锚冠和锚爪部分/mm						锚干(锚柄)/mm	
	H _{2,AC-14}	h _{1,AC-14}	h _{AC-14}	L _{AC-14}	L _{1,AC-14}	H _{AC-14}	H _{1,AC-14}	B _{1,AC-14}
250	170	60	110	190	112	215	30	70

试验中采用了两种粒径的碎石布置碎石层，平均粒径 d_{50} 分别为 33，45 mm。

2 试验结果

2.1 砂土中的拖锚实验

图 4 为两种干砂和饱和砂底质中的锚运动过程示意图。

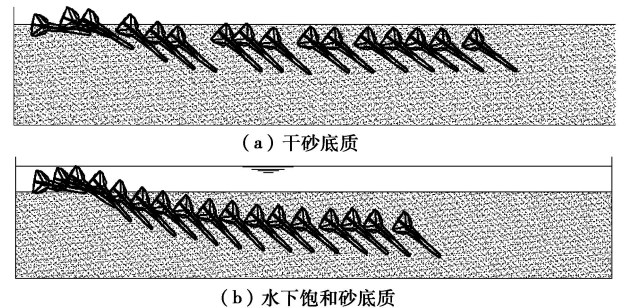


图 4 拖锚运动示意图

Fig. 4 Measured motions of anchor in dragging process

由图 4 可以看出，水上和水下的砂土底质中，锚都经历：锚爪先逐渐打开，翻转 to 一定角度，锚开始插入土中，最后锚体在土中达到一个动态的稳定状态。在干砂中锚爪较快完成翻转，在经过 1.5 倍锚爪长度的拖曳距离后锚爪即达到最大水平倾角，约 32° ，水下饱和砂土中完成这一过程需要约 1.2 倍爪长。达到最大锚爪角度后，锚即开始更快的插入土中，而锚爪倾角会以一个较小的趋势变小，最后稳定在 30° 左右。

另外，图 4 中还显示锚在水下状态下的埋深要略大于水上，绘制了归一化的锚爪尖在土面以下的埋深 (H_1) 及归一化锚抓力 T_a 随爪尖水平位置 (x_1) 的变化曲线，其中 L_1 为锚爪长度，也是图 3 的 AC-14

示意图中的 h_{AC-14} , W_a 是锚重。

图 5 显示两次试验中爪尖运动轨迹的变化趋势相同, 但随着锚的拖动, 水下拖动船锚有更大的啮土深度, 爪尖最大埋深接近 1.49 倍锚爪长度, 而在干砂中约为 1.10 倍爪长。图 5 中归一化的锚抓力显示, 在拖锚前期约 0.3 倍 (干砂) ~0.6 倍 (饱和砂) 爪长的拖锚距离中锚抓力都没有明显抬升, 此时锚爪正在打开, 锚爪尖开始入土, 锚前方土体正在被锚体挤密。之后锚爪前方土体被锚爪挤压进入极限状态, 锚抓力开始迅速增大, 在干砂中的锚抓力增长明显快于水下饱和砂土中, 且最终达到的最大锚抓力也要明显大于饱和砂。试验中干砂和水下饱和砂中 AC-14 锚的锚抓力系数分别为 8.51 和 6.01。

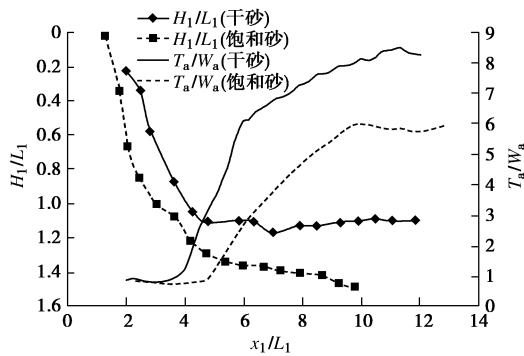
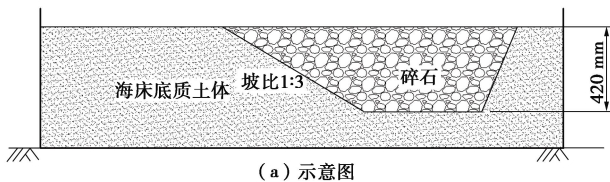


图 5 归一化的锚爪尖运动轨迹及锚抓力

Fig. 5 Normalized motion trajectory of fluke tip and holding power

2.2 碎石中的拖锚轨迹

在近岸区域, 海底管道、线缆等大跨度结构在船只航线附近、锚地、渔业作业区等区域, 为防止第三方损害, 经常采取挖沟后上覆碎石层保护的方式, 而这些区域又是船只系泊活动较多的地区, 因此, 本文研究了 AC-14 锚在经过碎石层时的锚运动特点及其锚抓力发展变化规律。试验布置如图 6 所示。



(a) 示意图



(b) 试验照片
图 6 碎石布置

Fig. 6 Layout of gravel cover

分别采用平均粒径 d_{50} 分别为 33 mm 和 45 mm 的

碎石作为碎石层, 参照海管碎石保护结构常用的铺设方法, 在迎锚一侧设置横截面为倒梯形的碎石保护结构形状, 坡比 1:3, 拖锚速度 50 mm/min, 碎石厚度 420 mm。图 7 为拖锚进入碎石的试验照片。



图 7 锚由砂土进入不同平均粒径的碎石层中

Fig. 7 Photos of model anchor entering gravel layers with different average particle sizes from sand

图 8 为锚由砂土进入不同碎石粒径组成的碎石层的拖锚运动轨迹示意图, 可以看出, 锚先在砂中进过姿态调整达到最大啮土深度后开始进入碎石, 锚柄先接触碎石, 锚体有一定抬升, 然后锚爪也接触碎石, 锚进一步抬升, 最终在碎石中稳定在某一深度。不过在平均粒径 45 mm 的较大碎石中锚的抬升程度更高, 其锚爪与水平倾角更大。两种碎石粒径对锚运动轨迹和锚抓力的影响详见图 9, 图中虚线为碎石层的设计横截面形状。

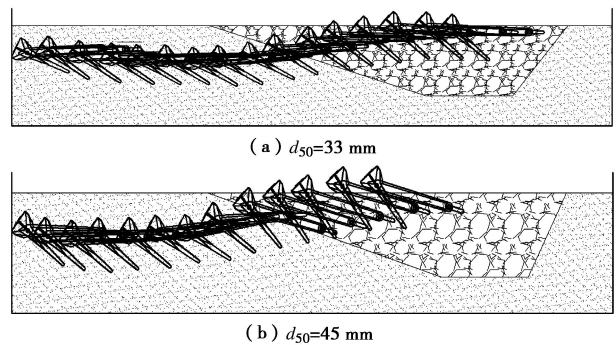


图 8 在不同碎石粒径组成的碎石层中的拖锚运动示意图

Fig. 8 Measured motions of anchor in dragging process within gravel layer with different gravel particle size compositions

图 9 的锚爪尖埋深曲线显示, 两个试验的锚在砂土中都达到了比较接近的稳定姿态和埋深。进入碎石后, 锚爪尖都会发生较大抬升而锚爪角度都由砂土中的 30° 陡增。在较大粒径的碎石层中锚爪角度变化大, 抬升高度也较大。最终在 d_{50} 为 45 mm 和 33 mm 的碎石中的稳定啮土深度分别约为 0.302 倍和 0.395 倍爪长。对应地, 锚抓力在进入碎石后都开始降低。由于在 $d_{50}=45$ mm 的碎石中抬升较多, 锚抓力 (3.16 倍锚重) 也要略小于在 $d_{50}=33$ mm 的碎石层中的锚抓力 (3.57 倍锚重)。

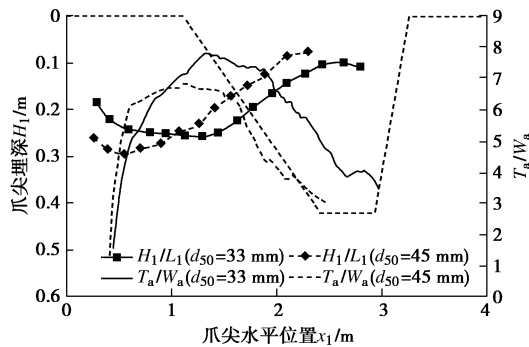


图9 碎石层中拖锚的爪尖运动轨迹和锚抓力

Fig. 9 Normalized motion trajectory of tip of fluke and holding capacity within gravel layer with different gravel particle sizes

2.3 试验结果总结

总结上述试验结果见表2所示。

表2 试验得到的锚抓力系数和最大啮土深度

Table 2 Holding powers and maximum buried depths

土性	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	平均粒径 d_{50}/mm	锚抓力 系数	爪尖埋深/ 锚爪长	锚爪稳定时 水平角/ $(^\circ)$
干砂	33	0.39	8.51	1.10	31.7
饱和砂	33	0.39	6.01	1.49	30.0
碎石1	—	33	3.57	0.40	41.7
碎石2	—	45	3.16	0.30	51.7

从表2中可看出：①干砂中的拖锚最大啮土深度明显小于水下饱和砂土中的深度，而最大锚抓力则远大于饱和砂。②当拖锚经过碎石层时，碎石粒径大对锚的影响较大，锚一接触碎石即开始发生翻转抬升，锚抓力随之减小。

3 结 论

本文在无黏性土中进行了AC-14大抓力锚的拖锚模型试验，还对近岸海底保护结构通常采用的碎石保护层中的拖锚运动规律进行了研究，得到结论如下：

(1) 揭示了在水上、水下无黏性土中拖锚时锚的姿态调整和轨迹移动、锚抓力变化等。

在水上和水下砂土底质的拖锚过程中中，锚都经历了锚爪打开、逐渐埋入土中、稳定平动这3个阶段。稳定时的锚爪水平倾角接近 30° ，在干砂和水下饱和砂土中AC-14锚的运动趋势基本一致，达到最大啮土深度时经过的水平距离都接近3倍爪长，在水下饱和砂中略长。

(2) 干湿砂土底质中拖锚的区别在于，最大啮土深度分别为1.15倍和1.49倍锚爪长度，对应锚抓力系数则分别为8.51和6.01。

(3) 锚在不同粒径组成的碎石层中的啮土深度和锚抓力不同，碎石粒径越大锚稳定时的啮土深度越小锚抓力越小。由砂土底质进入平均粒径33, 45 mm的碎石层中，锚抓力为3.16倍和3.57倍锚重，水下饱和砂底质进入碎石的锚抓力略大于由干砂底质进入碎石。

参考文献：

- [1] 刘志东, 王红宇, 王大任, 等. AC-14大抓力锚研制及标准介绍[J]. 船舶标准化与质量, 2004(2): 31 - 34. (LIU Zhi-dong, WANG Hong-yu, WANG Da-ren, et al. Development and standard introduction of AC-14 large grasping anchor[J]. Shipbuilding Standardization & Quality, 2004(2): 31 - 34. (in Chinese))
- [2] 蒋治强, 于洋. 近代船用锚发展历史与现状[J]. 中国水运, 2013, 13(2): 120 - 121, 123. (JIANG Zhi-qiang, YU Yang. Development history and present situation of modern marine anchor[J]. China Water Transport, 2013, 13(2): 120 - 121, 123. (in Chinese))
- [3] NEUBECKER S R, RANDOLPH M F. The kinematic behaviour of drag anchors in sand[J]. Can Geotech J, 1996, 33: 584 - 594.
- [4] SHIN H K, SEO B C, LEE J H. Experimental study of embedding motion and holding power of drag embedment type anchor on hard and soft seafloor[J]. Inter J Nav Archit Oc Engng, 2011, 3: 193 - 200.
- [5] 闫澍旺, 任宇晓, 孙立强, 等. 砂土中的拖锚模型试验及锚抓力计算方法研究[J]. 中国造船, 2016, 57(1): 103 - 115. (YAN Shu-wang, REN Yu-xiao, SUN Li-qiang, et al. Model test and study of calculation method of holding capacity on hall anchor in sand in the dragging process[J]. Shipbuilding of China, 2016, 57(1): 103 - 115. (in Chinese))
- [6] LIU Hai-xiao, LIU Cheng-lin, YANG Han-ting, et al. A novel kinematic model for drag anchors in seabed soils[J]. Ocean Engineering, 2012, 49: 33 - 42.
- [7] 任宇晓, 闫澍旺, 闫玥, 等. 基于CEL方法对拖锚过程的数值分析[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(6): 1573 - 1578. (REN Yu-xiao, YAN Shu-wang, YAN Yue, et al. Numerical analysis on dragging anchors in soil based on CEL[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(6): 1573 - 1578. (in Chinese))
- [8] SATO H. A study on the holding capacity of anchors[J]. Journal of School of Marine Science and Technology, 2005, 3(3): 31 - 39.
- [9] SHOJI Kuniaki, MINAMI Kiyokazu, MITA Shigeo, et al. Holding Performance of a New Type Anchor[C]// Asia Navigation Conference 2008. Shanghai, China, 2008.
- [10] NCEL. S0300-A8-HBK-010, APPENDIX G: Anchoring System[S]. 2000.
- [11] 国防科学技术工业委员会. CB T 3972—2005-AC-14大抓力锚[S]. 2005. (CB T 3972—2005-AC-14 high holding power anchor[S]. 2005. (in Chinese))

(责编: 黄贤沙)