



锚地选址时的底质影响因素分析

谷文强¹, 马志强²

- (1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230;
2. 中交天津港湾工程设计院有限公司大连分公司, 辽宁 大连 116011)

摘要: 针对锚地选址时的底质影响问题, 对比分析国内外锚地底质研究成果, 根据锚抓力试验结果分析不同底质条件对应不同船锚类型的锚抓力系数, 论述船锚类型和锚地底质对于锚抓力的影响, 最终将锚地底质条件按照不同锚型的锚抓力系数进行分类; 分析研究底质对于卧底锚链摩擦力的影响并给出典型大型船舶在不同底质上的卧底锚链摩擦力, 说明卧底锚链长度对船舶锚泊的影响。得出如下结论: 锚地底质的适宜性跟使用锚地的船舶类型、等级、锚型等因素有关, 应对使用锚地的船型进行分析论证, 必要时应开展锚泊试验论证。

关键词: 锚地; 底质; 锚抓力; 卧底锚链摩擦力

中图分类号: U 653.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)08-0042-05

Influential factors of bottom material in anchor site selection

GU Wen-qiang¹, MA Zhi-qiang²

(1.CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. Tianjin Port Engineering Design & Consulting Co., Ltd., Dalian Branch, Dalian 116011, China)

Abstract: For the influence of the bottom material on the anchorage site selection, we compare and analyze research results on the bottom material of the anchorage at home and abroad, analyze the anchor holding power coefficient of different anchor types corresponding to different bottom material conditions through according to anchor holding power test results, discuss the influence of the anchor type and the bottom material on the anchor holding power, and classify the anchor bottom material conditions according to the anchor holding power coefficient of different anchor types. We also analyze the influence of the bottom material on the friction of the laid chain and give the friction of the laid chain of the typical large ship on different bottom materials, and explain the influence of the length of the laid chain on the anchoring of the ship. The conclusion is drawn that the suitability of the bottom material of the anchorage is related to the type, grade, and anchor type of the ship using the anchorage. The ship type using the anchorage should be analyzed and demonstrated in detail, and the anchoring test should be carried out if necessary.

Keywords: anchorage; bottom material; anchor holding power; laid chain holding resistance

影响锚地选址的影响因素较多, 包括水深、底质、环境条件以及与海上设施的安全距离等。当其他因素根据水域条件确定时, 底质对于锚地中船舶锚泊安全的影响需要进行重点研究和分析。国内外对于锚地选址时的底质影响因素研究成果较少, 试验研究范围也不全面。本文全面分析锚

地选址时的底质影响因素, 最终将锚地底质条件按照锚抓力系数和锚型进行分类, 并针对锚地选址时底质选择给出建议。

国内对于锚地选址时的底质影响研究主要是针对个别特定船舶锚型的锚抓力试验研究。于洋等^[1]通过对 DA-1 型船用大抓力锚抓底性能试验研

究, 给出 DA-1 型锚在细砂底、粗砂底和软泥底条件下的锚抓力系数; 闫澍旺等^[2]通过物理模型试验方法研究了砂土中的拖锚模型试验及锚抓力计算方法; 天津海事局编制的《海上锚地设置指南与监管的研究》^[3]中针对锚地底质也给出调研成果——锚抓底之后能否发挥出较大的抓力与底质密切相关, 而对底质的要求与锚型有关: 对于 AC-14 型大抓力锚, 底质优劣顺序依次为泥、砂底、砂砾、软泥; 而对于霍尔锚, 底质优劣顺序依次为砂底、泥、砂砾、软泥; 而石底、珊瑚礁底则不宜抛锚。JTS 165—2013《海港总体设计规范》^[4]规定, 锚地应优先选择泥质、泥沙质底质的水域, 也可选择沙泥质底质的水域, 应避免在硬黏土、硬砂土、多礁石和抛石地区设置锚地。

国外对于船用锚在各种底质类型下锚抓力的研究成果较多, 试验的船锚和底质类型比较全面。Lee 等^[5]在砂底上对霍尔锚、AC-14 型锚和波尔锚进行抓底模型试验研究, 分析锚的质量和几何形状对啮土深度及抓力的影响; Shin 等^[6]分别在硬质底床和软质底床上对霍尔锚、AC-14 型锚和波尔锚进行了抓底试验研究; 石油公司国际海事论坛 (OCIMF) 规范 *Anchoring Systems and Procedures*^[7]给出不同类型锚和海底底质对应的锚抓力系数; 荷兰代尔夫特三角洲研究院 2013 年 9 月发布的手册 *Anchor Tests German Bight*^[8]中, 使用 AC-14 大抓力锚和普通无杆锚在不同底质和水深进行了锚抓力试验。P. Sincock 等在编写的 *Drag Anchors for Floating Systems*^[9] 中认为, 普通黏土、硬砂和软石灰质最佳, 锚的抓力最大; 砂砾、粗砂质中等, 而贝壳、软砂、硬土最差。根据美国国防部设计规范 *Military Harbors and Coastal Facilities*^[10], 锚地尽可能选择软珊瑚礁、黏土、松散砂或砂砾底质的水域, 应避免选择岩石、硬砾石、厚淤泥底质的水域。

国内外对于锚地底质规定略有差异, 其中对于黏土、淤泥底质等的规定界限不清晰, 但是对于避免在岩石、礁石水域设置锚地的规定一致。在锚地选址中, 需要更为深入的底质适宜性研究。

1 锚力分析

1.1 锚抓力

理想情况下, 锚抓力应根据锚地内的底质特性参数进行估算。但是, 此方法目前已经很少用于商业船舶, 取而代之的是采取一种经验公式, 该公式主要基于锚抓力系数与大气中锚质量的乘积。

$$P_m = C_m W \quad (1)$$

式中: P_m 为锚抓力 (t); C_m 为锚抓力系数; W 为大气中锚的质量 (t)。

锚抓力系数与锚的类型和锚地底质特性有关。商船用锚一般可按其抓力分为普通锚和大抓力锚。

普通锚是指通常采用的无杆锚, 包括霍尔锚、斯贝克锚和尾翼式锚等。无杆锚的特点是使用方便, 很容易将锚从锚链筒中抛出或收进。其锚抓力系数相对较小。当船舶偏荡时, 锚爪易将泥土耙松而使锚的抓力下降。这类锚由于使用方便而广泛用作船首锚。其缺陷则通过增加锚重来弥补。

大抓力锚是指其抓力至少为相同质量普通无杆锚抓力 2 倍的锚, 包括无杆的 AC-14 型锚、DA-1 型锚、波尔锚, 和有杆的丹福氏锚和史蒂文锚等。AC-14 型锚是 20 世纪 50 年代英国海军部队研制的一种大抓力锚, 其明显特征是设有极其肥大的稳定鳍, 具有很好的稳定性, 能迅速啮土, 对各种底质的适应性较强, 锚抓力系数可达 12~14, 是目前公认的性能较好的一种锚型, 常在超大型船或水线以上面积较大的滚装船上被用作首锚。DA-1 型锚是在 AC-14 基础上开发出来的, 1995 年开始在船上使用, 锚抓力系数与 AC-14 型锚相当。波尔锚也是荷兰研制出的一种大抓力锚, 其锚爪平滑而锋利, 适应各种底质, 其稳定性好, 抛收方便, 锚抓力系数一般为 6 左右。波尔锚可作为大型船舶的首锚和工程船的定位锚, 特别是在挖泥船上广泛采用。丹福氏锚和史蒂文锚锚抓力系数可达 17~34, 因抓力较大, 多用于海上石油平台等不需要频繁抛起锚的永久性系统或长期作业系统的定位锚。

石油公司国际海事论坛规范 *Anchoring Systems*

and Procedures 给出不同类型锚和海底底质对应的锚抓力系数，如表 1 所示。

表 1 不同类型锚和海底底质对应的锚抓力系数

锚类型	锚抓力系数			
	砂/碎石	上覆薄泥层的岩石底质	软泥	硬黏土
普通无杆锚	3.5	1.8	1.7	2.7
大抓力式锚	7.0	2.4	6.0	12.0

除了上覆薄泥层的岩石底质，大抓力锚的锚抓力系数比普通无杆锚大很多。上覆薄泥层的岩石底质对于 2 种锚型的锚抓力系数都非常低，因此岩石底质海域不适合作为锚地使用。而软泥底质对于普通无杆锚来说，锚抓力系数仅为 1.7，软泥底质海域不适合使用普通无杆锚的船舶锚泊。而大抓力锚即使在软泥底质锚抓力系数也达到 6，在硬黏土底质达到 12，所以对于使用大抓力锚的船舶来说，硬黏土底质的海域也非常适合抛锚。

荷兰代尔夫特三角洲研究院 2013 年发布的手册 *Anchor Tests German Bight* 中，使用 8.5 t 的 AC-14 大抓力锚和 11.5 t 的普通无杆锚在不同底质和水深进行了锚抓力试验，试验结果如表 2 所示。

表 2 不同底质的锚抓力和锚抓力系数

锚的类型	位置	水深/m	底质	锚抓力/ kN	锚抓力 系数
8.5 t 的 AC-14 大抓力锚	S2	28	中密-密实砂	950	11.2
	S1	28	中密-密实砂	860	10.1
	N3	35	非常松散-松散砂	820	9.6
	V5	23	下覆硬黏土的砂	800	9.4
	V3	23	下覆硬黏土的砂	780	9.2
	V1	23	下覆硬黏土的砂	730	8.6
	S3	28	中密-密实砂	640	7.5
	N1	35	非常松散-松散砂	620	7.3
11.5 t 的普通 无杆霍尔锚	S6	28	中密-密实砂	800	7.0
	V6	23	下覆硬黏土的砂	800	7.0
	V4	23	下覆硬黏土的砂	790	6.9
	S4	28	中密-密实砂	760	6.6
	V2	23	下覆硬黏土的砂	75	6.5
	S5	28	中密-密实砂	72	6.3
	N6	35	非常松散-松散砂	65	5.6
	N2	35	非常松散-松散砂	64	5.6
	N5	35	非常松散-松散砂	58	5.0

从表 2 可知：

1) 对于大抓力锚，锚抓力系数最大值为 11.2，最小值为 6.3，平均值为 9.1；最小的锚抓力系数对应的底质为松散砂，但是松散砂底质也给出了第 3 大的锚抓力系数，说明相同底质的水域锚抓力系数可能不同。

2) 对于普通无杆锚，锚抓力系数最大值为 7.0，最小值为 5.0，平均值为 6.3；与大抓力锚试验不同的是，3 个最小的锚抓力系数对应的底质均为松散砂，这与松散砂不是良好锚泊底质的说法是一致的。

3) 对于相同底质情况，一般大抓力锚的锚抓力系数远远大于普通无杆锚的锚抓力系数。

1.2 锚链摩擦力

卧底锚链的摩擦力是卧在海床上的锚链与底质的摩擦力，其计算公式如下：

$$P_f = C_f W_L L g \quad (2)$$

式中： P_f 为卧底锚链的摩擦力 (kN)； C_f 为摩擦力系数； W_L 为每延米锚链的质量 (t/m)； L 为卧底锚链长度 (m)； g 为重力加速度 (m/s^2)。

根据 Ramnas 公司的产品手册 *Ramnas Offshore Chain Brochure* [11]，不同底质情况下的卧底锚链摩擦力系数如表 3 所示。从表 3 可以看出，在船舶锚泊情况下，各种底质的卧底锚链摩擦力系数相差不大，其中黏土的摩擦力系数最大。

表 3 不同底质情况下的卧底锚链摩擦力系数

锚地底质	摩擦力系数	
	锚泊情况(抓地)	走锚情况(滑动)
砂	0.98	0.74
含砂淤泥	0.92	0.69
可塑淤泥	1.01	0.62
软淤泥	0.90	0.56
黏土	1.25	0.81

典型大型船舶的锚和锚链参数如表 4 所示。根据卧底锚链的摩擦力计算公式可以计算出不同类型船舶卧底锚链的摩擦力，如表 5 所示。

表4 典型大型船舶的锚和锚链参数

船舶	锚的类型	锚的质量/t	锚链长度/m	锚链节数/节	锚链直径/mm	每米质量/kg
20万吨级集装箱船	普通无杆锚	31.000			137	436
QMax型LNG运输船	AC-14大抓力锚	18.375	385	14	122	345
30万吨级油轮	大抓力锚	16.125			114	304
25万吨级散货船	AC-14大抓力锚	14.820			95	211

表5 卧底锚链摩擦力

船舶类型	卧底锚链节数/节	海底底质对应卧底锚链摩擦力/kN				
		砂	含砂淤泥	可塑淤泥	软淤泥	黏土
20万吨级集装箱船	6	610	570	630	560	780
	7	720	670	730	650	910
	8	820	770	840	750	1 040
	9	920	870	950	840	1 170
	10	1 020	960	1 060	940	1 310
26.7万m ³ LNG船	6	480	460	500	440	620
	7	560	530	580	520	720
	8	650	610	670	600	830
	9	730	680	750	670	930
	10	810	760	830	740	1 030
20万吨级油轮	6	430	400	440	390	540
	7	500	470	510	460	630
	8	570	540	590	520	730
	9	640	600	660	590	820
	10	720	670	740	660	910
25万吨级散货船	6	300	280	300	270	380
	7	340	320	360	320	440
	8	400	370	410	360	500
	9	450	420	460	410	570
	10	490	460	510	450	630

从表5的计算结果可以看出, 卧底锚链越长, 摩擦力越大。对于底质较差的锚地, 锚抓力会变得很小, 而当卧底锚链足够长时, 卧底锚链摩擦力会变得更为重要, 船舶在抛锚时应尽量抛出更长的锚链。根据国际船级社协会(IACS)规范 *Requirements Concerning Mooring, Anchoring and Towing*^[12], 每根锚链的长度应使被拖的锚柄保持水平, 为此, 锚链的长度通常为锚链筒口至海底垂直距离的10倍, 并至少应为锚链筒口至海底垂直距离的6倍。对于特别良好的环境条件, 卧底锚链的摩擦力即可抵抗环境荷载, 防止船舶走锚。

1.3 埋地锚链阻力和悬链锚链的自重

当船舶抛锚后, 在较软的底质, 例如淤泥底质, 锚链会下沉到底质中, 埋地锚链会提供一部

分阻力抵抗船舶所受的环境荷载, 但是埋地锚链阻力一般较小且难以估计, 而且很难与卧底锚链的摩擦力区分, 在锚泊力计算时一般会忽略埋地锚链阻力。

锚链筒口至海底部的锚链自重也是抵抗船舶所受环境荷载的阻力。通过船舶的平面和立面图可以量测到锚链筒口的高度, 根据船舶锚泊水域的水深计算出悬链锚链的自重。对于中大型船舶, 这个长度一般为1节锚链(约27.5 m长)。

2 锚地底质条件分析

当船舶抛出的锚链长度适宜时, 锚抓底之后能否发挥出较大的抓力与底质关系非常密切, 而对底质的要求与锚型有关: 对于普通无杆锚, 在

泥沙质、沙泥质、泥质底质可以获得较大的锚抓力，但是在硬黏土、硬砂土等底质锚抓力很小；对于大抓力锚，在硬黏土、中等密实到密实砂土也可以获得较大的锚抓力，而泥沙质、沙泥质、泥质底质也同样可以获得较大的锚抓力。对于多礁石及抛石地区，2种类型的船锚均不能获得足够的锚抓力，因此应避免在多礁石及抛石地区设置锚地。以锚抓力系数来判断海底底质类型是否适合船舶抛锚可能更为合理。根据本文的锚抓力系数研究资料综合分析，建议将锚地底质条件按照锚抓力系数和锚型进行分类，如表6所示。

表6 根据锚抓力系数针对锚地底质条件分类

锚的类型	锚抓力系数	锚地底质条件分类
大抓力锚	≥10	良好
	6~9	中等
	<6	较差
普通无杆锚	≥7	良好
	5~6	中等
	<5	较差

根据国际船级社协会(IACS)规范 *Requirements Concerning Mooring, Anchoring and Towing*, 装备在船首两舷锚的重力取决于船舶的舾装数, 但其并未对锚型作出规定。对于小型和中型船舶, 普通无杆锚和大抓力锚都可能会配置; 对于大型船舶, 尤其是LNG船和VLCC船, 一般配置大抓力锚; 但须注意马士基公司的3E级集装箱船采用了普通无杆锚(斯贝克锚), 便于收入船体内, 更加美观。可见, 锚地底质的适宜性还跟使用锚地的船舶类型、等级、锚型等因素有关。必要时应对使用锚地的船型进行详细分析论证, 并开展锚抓力试验, 确定锚地底质选择的可行性。

3 结论

1) 船舶抛锚后, 通过锚泊系统的锚抓力、卧底锚链的摩擦力、埋地锚链阻力和锚链悬链的自重抵抗环境荷载以防止走锚, 埋地锚链阻力一般较小且难以估计, 锚链悬链的自重也相对较小, 船舶主要的锚泊力是锚的抓力和卧底锚链的摩擦力。

2) 卧底锚链与底质的摩擦力系数对于各种类型底质差异较小, 锚抓力系数较小的底质水域, 锚抓力会变得很小, 船舶主要靠卧底锚链摩擦力抵抗环境荷载。当卧底锚链足够长时, 卧底锚链摩擦力会变得更为重要, 船舶在抛锚时应尽量抛出更长的锚链。

3) 各种类型底质的锚抓力差异较大, 锚抓力与锚地底质、锚型和出链长度与水深之比有关。船用锚一般分为普通无杆锚和大抓力锚, 不同类型的锚在相同底质中的锚抓力差异很大。以锚抓力系数来判断海底底质类型是否适合船舶抛锚可能更为合理。对于大抓力锚, 锚抓力系数小于6的底质不适宜作为锚地; 对于普通无杆锚, 锚抓力系数小于5的底质不适宜作为锚地。

4) 锚地底质的适宜性跟使用锚地的船舶类型、等级、锚型等因素有关, 应对使用锚地的船型进行详细分析论证。

5) 锚地选址时, 底质因素往往直接影响到船舶锚泊安全。考虑到船舶锚泊系统和海底底质参数的多样性和复杂性, 应开展必要的锚泊试验, 确定锚地底质选择的可行性。

参考文献:

- [1] 于洋, 刘贤朋, 蒋治强, 等. DA-1型船用大抓力锚抓底性能试验研究[J]. 中国航海, 2014, 37(1): 53-55, 65.
- [2] 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.
- [3] 天津海事局. 海上锚地设置指南与监管的研究[M]. 天津: 天津海事局, 2012.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [5] LEE J H, SEO B C, SHIN H K. Experimental study of embedding motion and holding power of drag embedment type anchor(DEA) on sand seafloor[J]. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 2011, 48(2): 183-187.
- [6] 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 sea floor[J]. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2011, 3(3): 193-200.

(下转第66页)