

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2018.02.014

沙泥混合型岸滩及沙泥分界点初探

——厦门湾岸滩类型调查

徐 啸,沈 莹,毛 宁,张 磊

(南京水利科学研究院,江苏 南京 210024)

摘要: 基于厦门湾 30 个断面剖面形态和泥沙特点的现场勘测工作,同时辅以潮流场和波浪场的数值模拟,从动力学角度对厦门湾各处的岸滩类型进行划分。提出“沙泥分界点”的概念,指出沙泥分界点高程主要取决于当地波浪条件。分析结果表明:厦门湾除了存在沙质岸滩和泥质岸滩外,还存在“沙泥混合型岸滩”;在淤泥质海岸大环境下,如近岸波浪较强,且有较粗颗粒泥沙供给,则可能产生沙泥混合型岸滩。

关键词: 厦门湾;岸滩特性;现场勘测;沙泥混合型岸滩;沙泥分界点

中图分类号: P737.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2018)02-0183-06

Study on the sandy-muddy hybrid beach and sand-silt demarcation point: survey on the type of Xiamen Bay Beach

XU Xiao, SHEN Ying, MAO Ning, ZHANG Lei

(Nanjing Hydraulic Reserch Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: Through the field investigation of 30 sections and profile characteristics of the sedimentat of the Xiamen Bay Beach, as well as numerical simulations of the tidal current field and the wave field, the beach type of Xiamen Bay is divided from the perspective of dynamics. It was figured out that there is “sandy-muddy hybrid beach” in addition to the sandy beach and muddy beach, and in the environment of the muddy coast, strong coastal waves and supply of the coarse-particle sedimentmay produce sandy-muddy hybrid beach. The concept of “sand-silt demarcation point” is proposed and applied in artificial beach problems. It can be found that the elevation of sand-silt demarcation point mainly depends on the local wave condition.

Key words: Xiamen Bay; beach characteristics; field investigation; sandy-muddy hybrid beach; sand-silt demarcation point

厦门湾位于台湾海峡中部,为一半封闭海湾,湾内涵盖净水域面积约 1 050 km²(图 1)。湾内岸滩形态复杂:有典型的沙质岸滩(厦门岛东南侧海岸),也有大量淤泥质岸滩(东渡湾、同安湾等)。在海岸动力学及海岸地貌学教科书中^[1-3],淤泥质岸滩特征为:滩面质粒径较细($d_{50} \leq 0.03 \text{ mm}$),滩坡平缓($i \leq 1/500$),对岸滩形态起控制作用的主要海洋动力是潮汐水流和大风浪。淤泥质岸滩潮间带沉积物的区域分布特征为:淤泥质岸滩剖面上随着水深加大,沉积物逐渐变粗,高潮滩为颗粒较细的泥滩,中潮位处为泥-粉沙滩,低潮位处则为粉沙滩^[3-7]。但在考察厦门湾岸滩现场时,发现一些典型的淤泥质岸滩的高潮位附近依然存在一定范围的沙滩,与上述描述并不一致。厦门湾内岸滩形态的多种多样,显然与当地海洋动力条件及泥沙供给条件密切相关。为此笔者对厦门湾沿岸一些典型岸滩剖面特征进行了大范围的现场勘测工作,并结合当地动力环境进行分析研究。

作者简介: 徐啸(1943—),江苏,教授,硕士,主要从事海洋动力学及工程泥沙研究。E-mail:xxu1943@163.com

引用本文: 徐啸,沈莹,毛宁,等.沙泥混合型岸滩及沙泥分界点初探:厦门湾岸滩类型调查[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(2):183-188. DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2018.02.014.

1 厦门湾海洋动力及供沙条件

1.1 潮汐潮流条件

厦门地区属正规半日潮,潮汐参数 $F=0.34$,潮波呈驻波形态;厦门湾海域为强潮地区,平均潮差为4 m。受地形条件影响,潮流呈往复流特点,图2为厦门湾大潮全潮平均流速等值线分布(数学模型计算成果),由图2可知,潮流通道主槽流速较大,近岸区流速较小。

1.2 厦门湾海域波浪场分布特点(数学模型计算结果)

为分析厦门湾水域的波浪分布,对厦门湾水域的波浪场进行了数值模拟。波浪场数值模拟采用可考虑波浪传播折射、绕射以及传播过程中风能输入的抛物性缓坡方程^[8]。深水波要素采用围头站和流会站的年平均波浪要素确定。

由于厦门湾口门和湾内岛屿众多,外海波浪进入浅滩及岛屿波高迅速衰减,岛屿掩护区后及湾内一些水域的波浪主要由局部风产生,因此在波浪数学模型计算中直接加入风能输入因子,水域年平均风速取6.0 m/s。厦门湾典型波况(E向和SE向)条件下年平均波高 $H_{4\%}$ 分布(平均潮位)如图3所示。由图3可知:(a)波浪从厦门湾口外向湾内逐渐减小,围头、流会等外海近岸区年平均 $H_{4\%}$ 波高为1.0~1.2 m;(b)漳州后石东侧海域、厦门岛南侧及东南侧海域直接受外海波浪作用影响,年平均 $H_{4\%}$ 波高为0.8~1.0 m,大磔浅滩近岸海域年平均 $H_{4\%}$ 波高为0.7~0.8 m;(c)厦门岛东侧、大嶝岛南侧和同安湾口门附近海域, $H_{4\%}$ 波高为0.5~0.7 m;(d)厦门港南港及海沧港区海域年平均 $H_{4\%}$ 波高为0.4~0.6 m;(e)同安湾、浔江水域的年平均 $H_{4\%}$ 波高为0.3~0.4 m;(f)鼓浪屿北侧的东渡湾水域年平均 $H_{4\%}$ 波高为0.2 m。

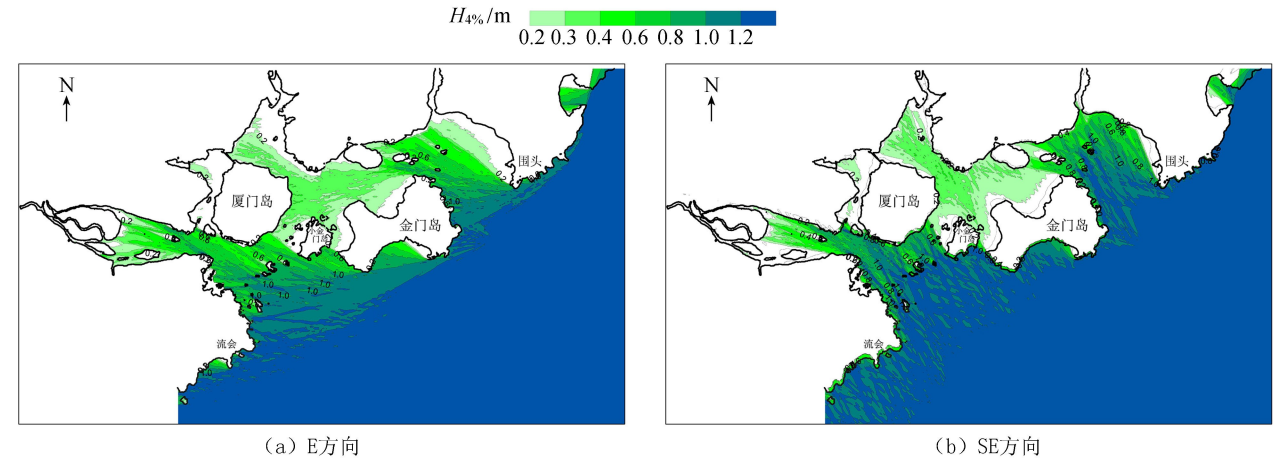


图3 E方向、SE方向年平均 $H_{4\%}$ 波高分布

Fig.3 Height distribution of the annual average $H_{4\%}$ at the eastern and south-eastern directions

1.3 厦门湾海域泥沙来源

厦门湾内的九龙江,是台湾海峡西岸的第二大入海河系,九龙江流域总面积14740 km²。据近60年输沙量资料统计,九龙江年输沙量平均约为330万t。径流挟带的较粗颗粒泥沙在九龙江河口外淤积形成浒茂洲

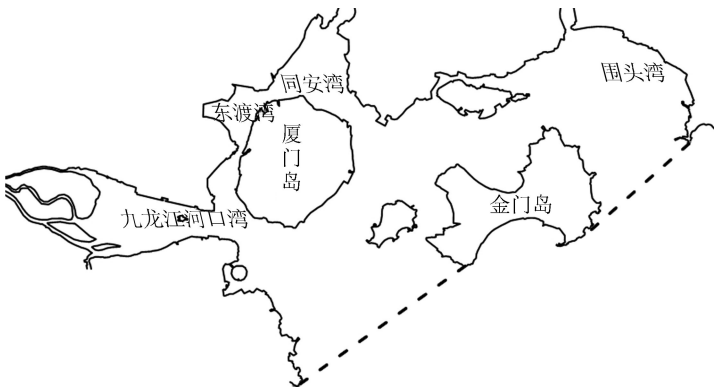


图1 厦门湾形势图

Fig.1 Situation map of the Xiamen Bay

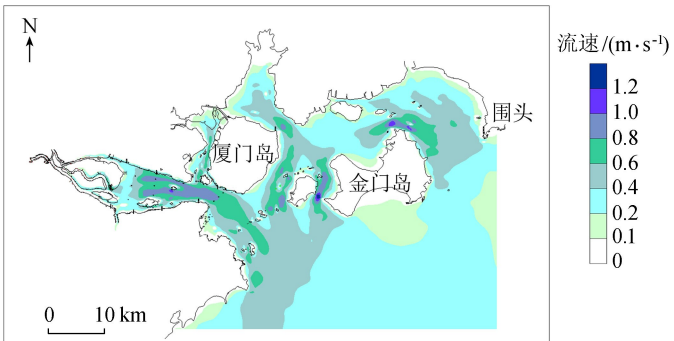


图2 厦门湾大潮全潮平均流速分布

Fig.2 Mean velocity of the spring tide in the Xiamen Bay

等 3 个大型河口沙洲,较细颗粒泥沙随潮流输移,图 4 为近年航摄九龙江河口湾泥沙向九龙江河口湾外输移扩散情况,浑水带可随潮到金门岛附近海域。含沙水体随潮往复输移并沉降到动力环境相对较弱海域(如东渡湾或同安湾等)。经过漫长的地质年代,形成了厦门湾内大片淤泥质岸滩。厦门湾内这些淤泥质岸滩具有 2 个特点:(a)因受众多岛屿的掩护作用外海涌浪较小,但当地风浪作用较强;(b)很多海岸为红土台地(同安湾内 80% 为红土台地),在偏东盛行风浪作用下,海岸容易发生侵蚀。波浪同时对侵蚀泥沙进行分选,细颗粒泥沙沉积到深水区,较粗颗粒泥沙向岸边运动。风浪对海岸红土台地的侵蚀和分选,是当地高潮滩粗颗粒泥沙的主要来源。

2 厦门湾岸滩特征观测资料

2007 年在厦门湾近岸区进行 30 条岸滩断面地形测量,采集底质沙样 90 个;同时进行大量海岸踏勘工作^[9]。根据地理位置,可将现场调研的厦门湾近岸海域分为 5 个区域:同安湾、厦门岛东侧及东南侧、漳州岛美-后石、大嶝岛近岸及围头湾近岸区(图 5)。

表 1 为 5 个区域的地理位置、地形地貌、岸滩泥沙和波浪动力特点。定义“平均坡度”为厦门大潮平均高、低潮位之间(大致为理基高程 1.0~6.0 m 范围)滩面平均坡度^[10-15]。由表 1 可知,厦门湾具有与教科书描述基本一致的沙质岸滩和淤泥质岸滩。但在一些平坦宽阔泥滩的高潮位附近,并不是细泥,而是宽度不等的沙滩,这种类型岸滩剖面特征既不同于沙质岸滩,也不同于淤泥质岸滩,可称之为“沙泥混合型”岸滩。



图 4 九龙江河口泥沙输移航拍图
Fig. 4 Sediment transport in the Jiulongjiang Estuarine

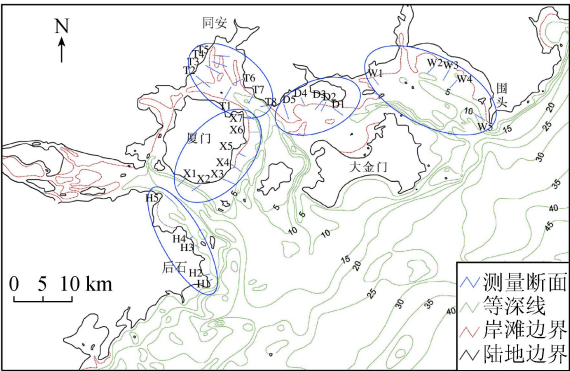


图 5 厦门湾近岸海域测量断面位置
Fig. 5 Position map of the surveyed sections in the coastal waters of Xiamen Bay

表 1 厦门湾岸滩现场观测资料概况
Table 1 Survey data of the Xiamen Bay Beach

地理位置		地形地貌及风浪特点	观测断面	岸滩类型	年平均波高/m	平均坡度/m
同安湾	西侧	湾内掩护条件好	T2~T5	泥质	0.3~0.4 m	1/600~1/800
	口门	受大、小金门掩护	T1, T6~T8	沙泥混合型	0.5~0.6 m	1/140
厦门岛东南侧	东南	开敞	X1~X5	沙质	0.8~1.0 m	1/27~1/64
	东侧	受小金门掩护	X6, X7	沙泥混合型	0.6~0.7 m	1/135~1/209
漳州岛美-后石海域	后石东	开敞海域	H1~H3	沙质	0.8~1.0 m	1/30
	后石北	半开敞海域	H4, H5	沙泥混合型	0.6~0.7 m	1/150
大嶝岛附近	岛南	受东风浪影响	D1~D3	沙泥混合型	0.5~0.6 m	1/180~1/290
	岛西	受当地南向浪作用	D4~D5	泥质	0.4 m	1/800
围头湾	小嶝	半开敞	W1	沙泥混合型	0.5~0.6 m	1/215
	围头	开敞海域	W2~W5	沙质	0.8 m	1/22

综上,九龙江等径流提供的细颗粒泥沙在强潮的厦门湾内随潮输移、沉积形成厦门湾广泛的淤泥质岸滩宏观环境。但在一些海岸,如近岸区波浪作用较强,且波浪对海岸的侵蚀可提供较粗泥沙来源,在波浪的分选作用下,在高潮位附近形成宽度不等的局部沙质岸滩,沙滩趾部则为坡度十分平缓、可以陷脚的泥质淤泥滩,两者共同构成了“沙泥混合型”岸滩。这种类型岸滩的存在,使得在淤泥质海岸建设人工沙滩成为可能,为此需对“沙泥混合型”岸滩特征进行深入研究。

3 厦门湾典型岸滩特征分析

3.1 厦门湾岸滩类型分类

根据表 1,厦门湾内 30 条岸滩断面可分为以下三大类型。

a. 沙质岸滩。沙质岸滩主要分布于厦门岛东南海域、后石东南部海域以及围头湾部分海域。图6为具有代表性的X3断面(位于厦门市亚洲海湾大酒店附近)形态。由图6和表1可知:(a)近岸区潮间带岸滩平均坡度约为1/50,为常见的沙质海岸坡度范围。(b)近岸平均波高为0.8~1.0 m,周期约为5 s,动力条件较为强烈。(c)近岸带岸滩泥沙粒径为0.39~1.50 mm,为中、粗沙。

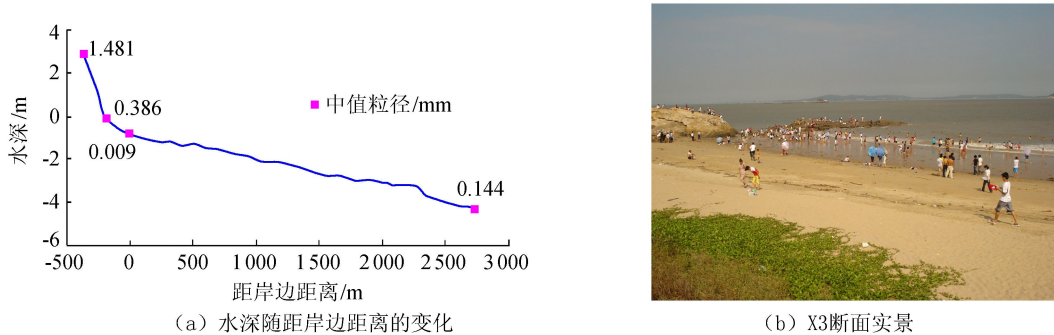


图6 厦门岛东南 X3 断面处的沙质岸滩
Fig. 6 The X3 section in southeast of Xiamen Island

b. 泥质岸滩。泥质岸滩主要分布于同安湾西海岸,图7为具有代表性的T3剖面形态。由图7、表1可知:(a)T3断面潮滩宽广,近岸潮间带岸滩平均坡度小于1/500。(b)由于隐蔽条件较好,外海涌浪无法进入,仅受当地风浪作用,因岸滩平缓,水深不大,波浪能量沿程衰减较快,波浪场数值计算当地年平均波高仅为0.3~0.4 m左右。(c)平均高潮位以下均为淤泥质岸滩,岸滩泥沙粒径在0.007 mm左右,为淤泥质粉砂。

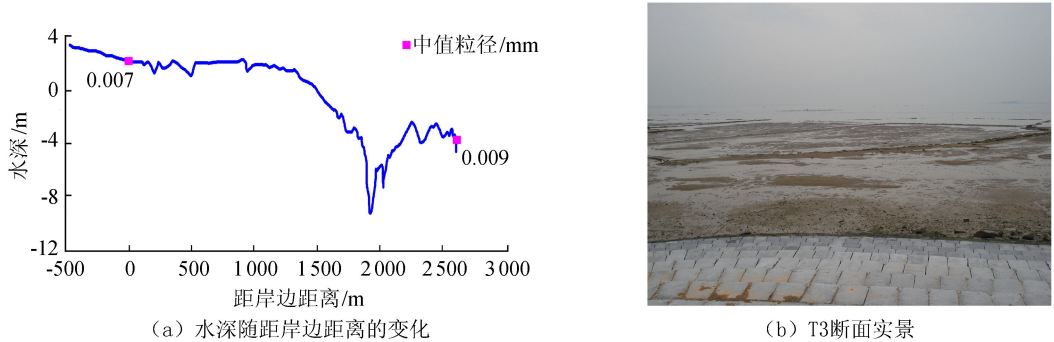


图7 同安湾西岸 T3 断面处的泥质岸滩
Fig. 7 The T3 section in the West Beach of Tongan Bay

c. 沙泥混合型岸滩。沙泥混合型岸滩主要分布于厦门岛东岸北部海域、大嶝岛海域及大磐湾海域。以具有代表性的厦门岛东岸北部海岸处的X7断面(图8)进行分析:(a)X7断面近岸坡度为1/135。资料表明,混合型岸滩近岸潮间带平均坡度介于沙质岸滩和泥质岸滩之间,多为1/100~1/300。(b)受大、小金门等岛屿的掩护影响,X7断面处波浪强度要小于厦门岛东南海域,近岸年平均波高约为0.5~0.7 m,在厦门湾属于中等波能海区。(c)近岸红土台地在东向风浪作用下发生侵蚀,在波浪分选作用下,高潮滩形成宽约

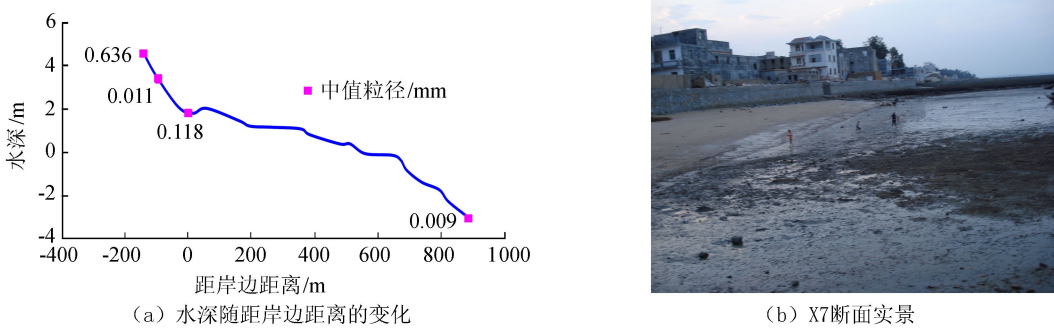


图8 厦门岛东侧 X7 断面处的沙泥混合型岸滩
Fig. 8 The X7 section on the eastern Xiamen Island

15 m 宽的局部沙滩,泥沙粒径为 0.20 ~ 0.60 mm,为中粗沙,岸滩坡度为 1/10;紧接下部的为呈黑色的泥滩,泥沙粒径为 0.01 ~ 0.02 mm,为泥质粉砂。沙滩和泥滩之间在材质和坡度上有明显差别,存在一条沙泥分界线,沙泥分界高程大致在平均海平面以上 0 ~ 0.5 m 左右(图 8)。

以上分析说明在厦门湾内,当泥质岸滩近岸波浪波高为 0.5 ~ 0.7 m 时,在波浪作用下岸滩侵蚀能够提供粗颗粒泥沙来源时,则可具备形成沙泥混合型岸滩的条件。此时岸滩下部为平缓的泥滩,但高潮位附近可以保持一定范围的沙质岸滩,两者间有明显的界线(图 8),沙泥分界高程是沙泥混合型岸滩剖面的一个重要特征指标和参数。

3.2 厦门湾沙泥分界点与近岸波高关系

现场分析表明,厦门湾岸滩存在一个沙泥分界点高程指标,它与当地近岸波浪条件密切相关。将部分观测断面具有明显沙、泥分界点高程与当地近岸(平均)波高对应点绘于图 9。可以看出,当近岸波高较小,沙泥分界点水深也小,即沙泥分界线位置较高,如波高小于 0.4 m,沙泥分界点一般在高潮位附近,滩面大部分被淤泥覆盖;在中等波浪条件下(年平均波高 0.6 m 左右),沙泥分界点位置一般在平均海平面附近;当波高较大(年平均波高大于 0.7 m),沙泥分界点位置在低潮位附近或更低,潮间带岸滩基本为沙质。这一规律可用表 2 进一步说明。

3.3 沙泥混合型岸滩特点小结

在厦门湾内多处可以观测到岸滩上部为局部沙滩,下部为宽阔的泥滩,两者之间有明显界线的现象,这一现象在国内其他一些淤泥质海岸也可发现^[7]。这种类型岸滩已无法简单地用沙质或淤泥质岸滩来定义和分类。通过分析,能够形成这类岸滩的条件为:(a)附近有河流能够提供源源不断的细颗粒沙源;强潮流可将细颗粒泥沙输移、并沉积于海洋动力较弱处,形成淤泥质岸滩地形地貌的本底环境。(b)如果近岸区波浪动力作用较强,且海岸能够提供一定数量较粗颗粒泥沙来源,在波浪的分选作用下,即可能形成高潮滩局部沙质岸滩现象,即沙泥混合型岸滩。(c)在供沙条件相同条件下,沙泥混合型岸滩上的沙泥分界点位置主要取决于波浪条件,波浪越强,沙泥分界点越低,在有足够的粗颗粒泥沙供给条件下,沙滩范围就越大。

3.4 沙泥分界点概念在同安湾人工沙滩问题上的应用

根据以上分析,在厦门湾凡近岸动力环境符合沙质和沙泥混合型的岸滩处均可考虑布置人工沙滩。显然,优质的人工沙滩应尽量布置在沙泥分界点水深比较大的地方。

原计划建设人工沙滩的同安湾西岸,处于波浪较弱的泥质岸滩动力环境,沙泥分界点在理论基面以上 5 m 附近,并不是一个适宜建设良好人工沙滩的自然环境。考虑到同安湾目前正在进行大规模的清淤工程,大部分滩面将从理论基面以上 2 m 左右(图 7),清淤至理论基面以下 1.3 m。清淤工程实施后,可美化海景环境,不再看到黑色的淤泥,更重要的是可以增加近岸区波浪强度,进而降低沙泥分界点高程,减少人工沙滩今后发生泥化的可能性。据计算,同安湾近岸平均波高将从 0.25 m 增大至 0.34 m(图 10),沙泥分界点也可降低 1 m 左右。

需要说明的是,沙泥混合型岸滩存在的大环境是淤泥质动力环境,沙滩下部的泥滩是漫长的自然历史过程所形成。清淤导致的沙泥分界点的降低,只表示当地波浪动力条件增强后,具有形成范围更大的优质的沙

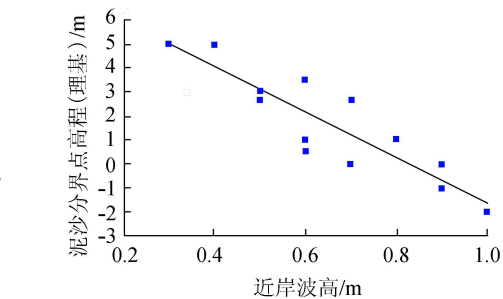


图 9 厦门湾沙泥分界点高程与近岸年平均波高关系
Fig. 9 Relationship between the elevation of sand-mud demarcation point and the annual mean wave height in the Xiamen Bay

表 2 厦门湾近岸平均波高、沙泥分界点位置、岸滩类型
Table 2 Annual mean wave height, sand-mud demarcation point elevation and the beach type in the Xiamen Bay

近岸年平均波高/m	岸滩类型	沙泥分界点位置
≤0.4 m	泥质	平均高潮位附近
0.4 ~ 0.7 m	沙泥混合型	平均海平面附近
>0.7 m	沙质	平均低潮位附近及以下

在厦门湾内多处可以观测到岸滩上部为局部沙滩,下部为宽阔的泥滩,两者之间有明显界线的现象,这一现象在国内其他一些淤泥质海岸也可发现^[7]。这种类型岸滩已无法简单地用沙质或淤泥质岸滩来定义和分类。通过分析,能够形成这类岸滩的条件为:(a)附近有河流能够提供源源不断的细颗粒沙源;强潮流可将细颗粒泥沙输移、并沉积于海洋动力较弱处,形成淤泥质岸滩地形地貌的本底环境。(b)如果近岸区波浪动力作用较强,且海岸能够提供一定数量较粗颗粒泥沙来源,在波浪的分选作用下,即可能形成高潮滩局部沙质岸滩现象,即沙泥混合型岸滩。(c)在供沙条件相同条件下,沙泥混合型岸滩上的沙泥分界点位置主要取决于波浪条件,波浪越强,沙泥分界点越低,在有足够的粗颗粒泥沙供给条件下,沙滩范围就越大。

根据以上分析,在厦门湾凡近岸动力环境符合沙质和沙泥混合型的岸滩处均可考虑布置人工沙滩。显然,优质的人工沙滩应尽量布置在沙泥分界点水深比较大的地方。

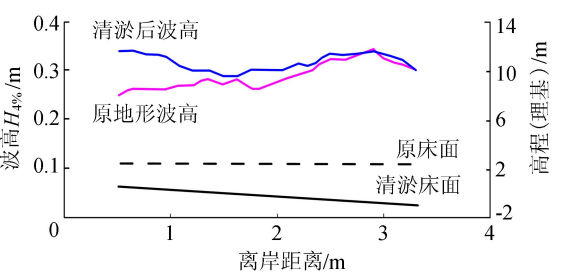


图 10 清淤方案实施前后波高沿程分布
Fig. 10 Wave height distribution before and after the implementation of dredge project

滩自然条件,今后沙滩受到泥化影响的可能性降低,而不可简单地理解为它是新的泥滩滩面高程。

在沙泥分界点较高的岸滩铺设人工沙滩,如果水体细颗粒泥沙含沙量较高,人工沙滩滩面可能产生细颗粒泥沙淤积,这是人工沙滩的泥化问题,将另文讨论。

4 结 语

通过厦门湾 30 个断面的剖面形态和泥沙特点的现场勘测工作,同时辅以潮流场和波浪场的数值模拟,从动力学角度对厦门湾各处的岸滩类型进行划分。首次指出厦门湾除了存在沙质岸滩和泥质岸滩外,还存在一种沙泥混合型岸滩。

分析认为,在淤泥质海岸大环境下,如近岸波浪较强,且近岸区有较粗颗粒泥沙供给,则可能生高潮滩为沙滩、其下部为淤泥质泥滩的沙泥混合型岸滩。首次提出沙泥分界点的概念,指出沙泥分界点高程主要取决于近岸波浪条件;并说明此概念在人工沙滩问题上的应用。

参考文献:

[1] 陈士荫,顾家龙,吴宋仁. 海岸动力学[M]. 北京:人民交通出版社,1988.

[2] 朱大奎,王颖. 工程海岸学[M]. 北京:科学出版社,2014.

[3] 王颖,朱大奎. 海岸地貌学[M]. 北京:高等教育出版社,1992.

[4] 贺松林. 淤泥质岸滩剖面塑造的探讨[C]//陈吉余. 中国海岸发育过程和演变规律. 上海:上海科学技术出版社,1989.

[5] 王爱军. 淤泥质海岸潮间带沉积物的区域分布特征及影响因素[C]//佚名. 第十届中国河口海岸学术研讨会论文集. 北京:海洋出版社,2007:44.

[6] 黄世昌,姚文伟,刘旭,等. 淤泥质海床相邻的岬湾沙滩剖面特征研究[J]. 海岸工程,2016,35(4):1-9. (HUANG Shichang, YAO Wenwei, LIU Xu, et al. Profile characteristics of the beaches adjacent to muddy seabed in the Headland Bays[J]. Coastal Engineering,2016,35(4):1-9. (in Chinese))

[7] 吕亭豫,龚政,张长宽,等. 粉砂淤泥质潮滩潮沟形态特征及发育演变过程研究现状[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016,44(2):178-188. (LYU Tingyu, GONG Zhen, ZHANG Changkuan, et al. Reviews of morphological characteristics and evolution processes of silty mud tidal creeks[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2016,44(2):178-188. (in Chinese))

[8] 潘军宁,王红川. 厦门湾及厦门东海域波浪场数模计算[R]. 南京:南京水利科学研究院,2007.

[9] 徐啸,余小建,毛宁,等. 人工沙滩研究[M]. 北京:海洋出版社,2012.

[10] 王谅,金鹰,李宇,等. 砂质海滩特征点水深的计算方法[C]//佚名. 第八届中国河口海岸学术讨论会暨 1997 年海峡两岸港口及海岸开发研讨会论文集. 北京:北京海洋出版社,1997:299-306.

[11] DEAN R G. Beach nourishment theory and practice[M]. Singapore:World Scientific Publishing Co Pte Ltd. , 2003.

[12] HAMM L, CAPOBIANCO M, DETTE H H, et al. A summary of European experience with shore nourishment[J]. Coastal Engineering,2002,47(2):237-264.

[13] GRUNNET N M, WALSTRA D, RUESSINK B G, et al. Process-based modeling of shoreface nourishment[J]. Coastal Engineering,2004,51:581-607.

[14] BOON J, GREEN M. Caribbean beach-face slopes and beach equilibrium profiles[J]. Coastal Engineering, 1988,35:1618-1630.

[15] KAMPHUIS J W, SAYAO O F S J. Model tests on littoral sand transport rate[J]. Coastal Engineering, 1982,1:1305-1325.

(收稿日期:2017 - 01 - 13 编辑:刘晓艳)