

# 埃及阿莱曼旅游区海滩 养护及硬工程作用

康雪宁<sup>1</sup>, 刘冬雁<sup>1\*</sup>, 庄振业<sup>1</sup>, 杨顺良<sup>2</sup>, 赵东波<sup>2</sup>

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266071; 2 福建省海洋研究所, 厦门 361013)

**摘要:**阿莱曼海滩位于埃及尼罗河三角洲西侧, 是长约 12 km 的平直沙坝潟湖岸, 在强劲的西向常、强浪的作用下, 泥沙沿岸向东运移, 引起海岸长期强烈侵蚀。1998—2009 年分 3 个阶段整治和抛沙养滩, 先后建成 13 条丁坝组成的丁坝群, 丁坝效应稳定了 8.5 km 的海滩, 3 个阶段共向滩肩抛沙  $116 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 但是水下基岩陡斜地形导致严重沙流失, 使海滩不能增宽, 丁坝群尾间效应也导致丁坝群下游 3.5 km 海难侵蚀更加严重, 于是先后采取了分段式岸外坝群和岸外连续长潜堤加堤内丁坝格, 消除了丁坝群下游岸的侵蚀。结合我国相应案例说明在那些强烈侵蚀和严重沙流失岸段养滩, 必须强调丁坝、岸外坝等硬工程的作用。这些构筑物既能消散波能, 又能阻拦所抛沙的流失。对于那些水下为基岩陡斜地形的海滩, 更应设计一定的硬工程, 埃及阿莱曼的连续长潜堤加丁坝格的设计和我国三亚三美湾的连续岸外坝丁坝加人造沙坝的经验都是十分重要的。

**关键词:**海滩养护; 丁坝群; 岸外潜坝群; 陡斜岸坡; 沙流失

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2016.12005

Komar<sup>[1]</sup>的海滩过程巨著中提出了海滩养护的硬工程(水泥石块建造的堤坝)和软工程(向海滩大量抛沙)。20 世纪 70 年代以前, 护岸更多地采用硬工程。70 年代以后普遍倾向于软工程。然而, 在一些严重沙流失的海岸上, 又必须以一些硬工程构筑物来消浪护沙。近十余年, 许多专家强调以软硬工程兼顾来抵御海岸侵蚀。埃及阿莱曼海岸是海岸侵蚀的重灾区, 20 多年来曾以丁坝群构筑物稳定了海滩, 又以分离式岸外坝群和岸

外连续长潜堤制止了丁坝群下游段的继续侵蚀。但多年抛沙养滩却不见海滩增宽。笔者结合我国近年若干养滩工程介绍和研讨了养滩中软、硬工程有机结合的经验。

## 1 海岸环境概况

埃及阿莱曼( $30^{\circ}49'N, 28^{\circ}57'E$ )是世界著名的休闲度假中心, 该区位于埃及北部尼罗河三角洲西侧(图 1A)亚历山大港西南 60~90 km 的地中海岸边。海岸长约 12 km, NW—SE 方向延伸, 垂岸宽约 1.0~2.0 km。自岸向陆约 40 km 之内, 为白云质灰岩组成的丘陵台地, 地面高度由 10 m 升到 100 m, 分布若干条碳酸盐岩沙粒覆盖的岩脊, 陆源粗粒碎屑为海滩提供丰富的物源, 发育了 10 余千米长的沙坝—潟湖海岸。海滩后滨潟湖面积约 4 km<sup>2</sup>, 水深 1~2.5 m, 长条形(图

收稿日期: 2016-03-24

基金项目: 福建省海岛与海岸带管理技术研究重点实验室项目(CIMIS-2014-01)

作者简介: 康雪宁(1988—), 男, 硕士, 主要从事海洋地质方面的工作。E-mail: sdkang2@foxmail.com

\* 通讯作者: 刘冬雁(1967—), 女, 副教授, 主要从事海洋地质、第四纪沉积与环境变迁方面的研究工作。E-mail: ldy@ouc.edu.cn

1B), 潟湖是阿莱曼海滨度假中心的核心, 由 3 条长突堤 J4、J1、J3 保护的潮流通道与地中海相连通。



图 1 (A)埃及尼罗河三角洲和阿莱曼位置(底图据 google); (B)阿莱曼海滩、潟湖、潮流通道及突堤丁坝分布(据文献[2]修改)

Fig. 1 (A)Location map of the Nile Delta and El Alamein, Egypt (base map from Google); (B)Distribution of the beach, lagoon, tidal inlet and solid jetties in El Alamein (modified from reference [2])

海滩滩面狭窄而陡斜, 前滨为波浪反射型海滩, 波浪靠近海岸线一次性破碎, 产生强烈的裂流。滩面由白色碳酸盐岩岩屑沙组成, 粒度为 0.10~0.58 mm, 平均粒径  $M_z$  为 0.44 mm, 断续分布到 12 m 水深处。滨面海底坡度约 1:30~1:40。水下分布 4 条碳酸盐岩脊, 与岸相交约 40°, 向海延伸约 5 km(图 2A), 岩脊顶水深分别为 1.5、2.0、4.3 和 8.0 m(图 2B)。Iskander 等<sup>[3]</sup>认为岩脊不能有效地消散 <2 m 的波浪, 却能消散 >2 m 的入射波, 暴风浪期间(如波高 4.6 m, 周期 7.7 s)波浪耗散, 产生脊间向东水流, 导致泥沙向脊间深水或外海运移。

近岸海水清澈见底, 含沙量极小, 自然旅游资源十分理想。潮差不足 60 cm, 潮流不能有效输

运泥沙, 波浪是主要水动力。据区内 10 年风数据绘制浅水区(水深 8 m 内)波浪玫瑰图(图 3A), 可知常浪向和强浪向均为 NW, 波浪入射角 16°~70°(自岸法线逆时针角), 形成自西向东的沿岸流, 导致泥沙常年沿岸向东运移。按 CERC 公式计算, 向东的年净输沙量达到  $48 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

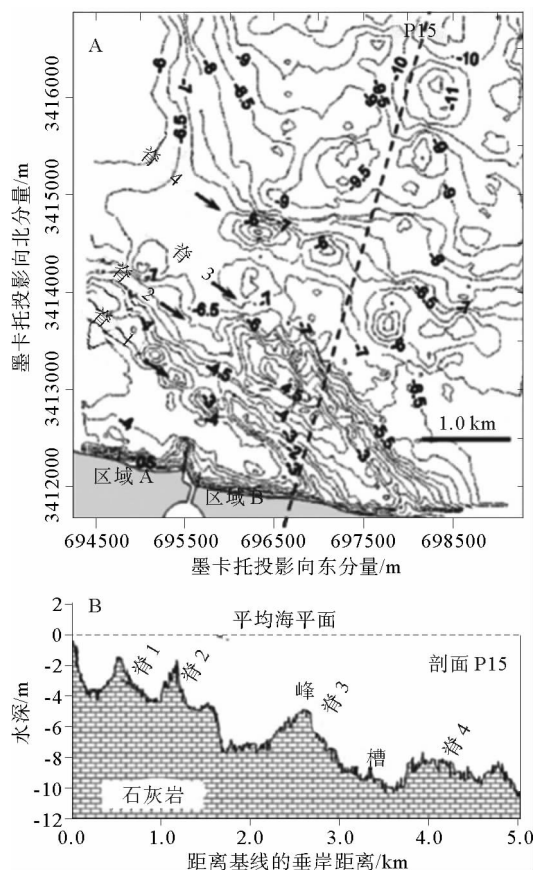


图 2 (A)海底水深等值线;(B)剖面 P15 水下脊顶水深分布(据文献[3]修改)

Fig. 2 (A)the bathymetric map (B)distribution of underwater ridge (modified from reference [3])

尼罗河三角洲海岸是世界著名的侵蚀岸段, 阿莱曼 12 km 的沙坝潟湖岸又是其中的最严重的侵蚀岸段(图 3B), 半个世纪以来岸线蚀退率一直在 1.5~2.0 m/a 以上, 海滩变窄, 沙粒粗化, 而且受 NW 向常浪和强向的影响, 泥沙沿岸运移为主, 潟湖入口潮道多被淤塞, 按各岸段侵蚀情况可将阿莱曼 12 km 海岸自西向东划分成 E、D、C、B 和 A 等 5 个区段(图 4)。

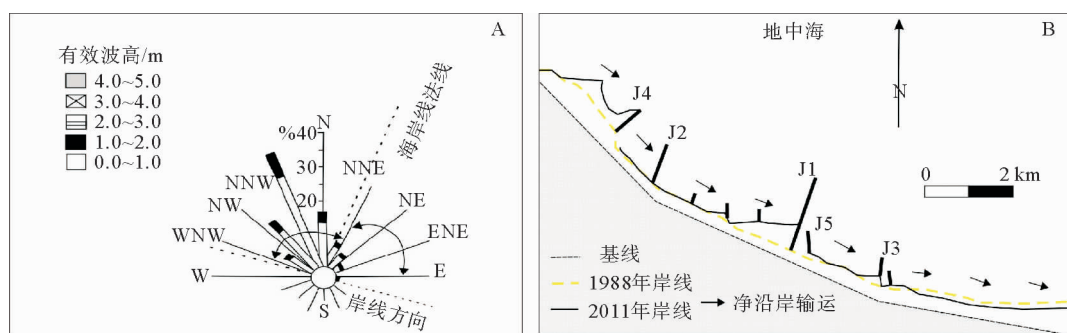


图 3 (A)波浪分布;(B)侵蚀情况(据文献[4]修改)

Fig. 3 (A)distribution of waves; (B)erosion status (modified from reference [4])

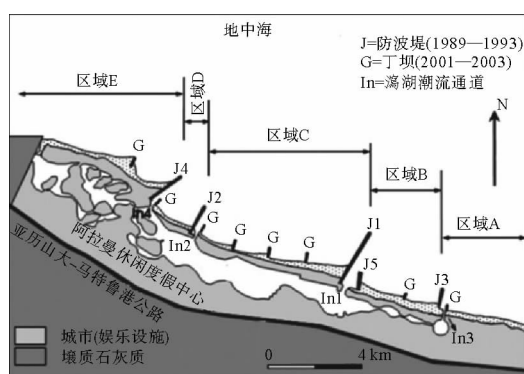


图 4 海滩区段和丁坝分布(据文献[4]修改)

Fig. 4 Distribution of beach zone and groins  
(modified from reference [4])

在 E 区段, J4 突堤以西, 海岸缓蚀和淤长; D 区段位于潮流通道的上游, 两侧分别有 J4 和 J2, 其流道与地中海连通较好; C 区段位于 J2 和 J1 之间, 岸长约 6 km, 为强烈侵蚀段; B 区段 J5—J3 为严重侵蚀段; A 区段 J3 以东约 3.5 km 为长期侵蚀的丁坝群下游段。

## 2 海滩养护工程

埃及阿莱曼休闲度假中心所在的 12 km 海岸, 因滩陡浪强, 泥沙严重流失。20 世纪 70 年代以来, 海岸开始强烈蚀退, 80 年代开始着手护岸养滩, 至今约二十多年, 曾建丁坝群、岸外潜坝群和连续长潜坝, 同时向海滩抛沙  $116 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 共经历 3 个养滩阶段。

### 2.1 突堤护岸疏通流道

1988—1993 年为了开发休闲码头, 创建安全

游泳活动中心, 浚深潟湖、疏通潮流通道, 在被淤塞的 3 个潮流通道的上游侧建 5 条突堤丁坝 J1、J2、J3、J4 和 J5 (图 1B), 突堤长 600~1 250 m, 堤距 3~6 km。突堤阻挡沿岸运移的泥沙, 从而疏通了潮流通道, 浚深了潟湖, 突堤上游侧海岸快速淤积, 淤积率达  $4.6 \sim 16.4 \text{ m/a}$ , 突堤下游岸段均严重蚀退, 平均侵蚀率多达  $2 \text{ m/a}$ , 局部达  $10 \text{ m/a}^{[3]}$ 。为此, 在 1993—1995 年向侵蚀段海滩上部抛沙  $28 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 但所抛沙迅速流失掉, 丁坝下游岸段仍然蚀退不止, 尤其是 J3 以东的区段 A 的 3.5 km 岸段。

### 2.2 丁坝群护岸和抛沙养滩

为了应对海岸严重侵蚀, 稳定和增宽海滩, 发展旅游业, 2001—2003 年, 在突堤之间的沙坝滩肩上再建 8 条短丁坝 G1—G8 (图 4), 并与 13 条丁坝构成丁坝群。短丁坝长约 150~400 m, 坝距为 600~800 m, 基本符合丁坝群护岸的规范要求 (坝距小于 2~4 坝长), 缓解了 D 至 C、B 区段的侵蚀, 但 A 区 3.5 km 海岸处于丁坝群的下游段, 却遭受严重侵蚀, 侵蚀率普遍在  $1.2 \sim 3.9 \text{ m/a}$  之间, 局部岸段, 蚀退率达  $22 \text{ m/a}^{[4]}$ 。2003—2009 年期间, 对严重侵蚀岸段进行再抛沙养滩  $48 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 每年夏初向海滩前滨抛沙约  $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 秋冬就被全部流蚀, 陷入每年抛沙每年流失掉的怪圈。

### 2.3 岸外长潜坝和丁坝群护滩

为了缓解区段 A 的海滩侵蚀、创建适合游泳的海滩环境, 1998—2001 年开始在 3.5 km 的区段 A 海岸建 4 条分离式岸外潜坝, 组成岸外潜坝

群(图 5), 每条潜堤长 50 m, 间距 30 m, 距 1988 年岸约 40~50 m。两年后发现只有在每条潜堤内侧发育凸滩或小型连岛沙洲, 最东端岸外潜堤以东(下游段)仍然严重侵蚀(图 5)。CoRI<sup>[5]</sup> 设计了水下静态长潜堤格工程, 即在岸外水下建一条 2.4 km 长, 平行海岸的潜堤, 堤内侧建 G1、G14 和 G15 水下丁坝, 将潜堤内的海滩分隔成 3 片, 第 3 片末端不建丁坝(图 6)。在 3 片海滩上再抛沙约  $40 \times 10^4 \text{ m}^3$  实行喂养, 两年来滩面扩至 1.5 m 水深处, 前滨干滩的宽度达 30~40 m, 可满足游人滩上运动娱乐休闲活动和游泳者的需要。设计的水下长潜堤构筑物由白云质灰岩构成, 并具有混凝土保护层。潜堤和丁坝的顶端宽度分别为 2 和 6 m, 顶端工程均在平均海平面以下 0.5 m。潜堤的横断面包括 2 个过滤层, 是由 0.5~5.0 kg 石块组成, 并具有由 0.5~25.0 kg 石块组成的核心。离岸潜堤水下丁坝和抛沙同时进行, 做到软硬工程兼顾, 终于稳定和扩宽了海滩, 也未见下游岸段的侵蚀。

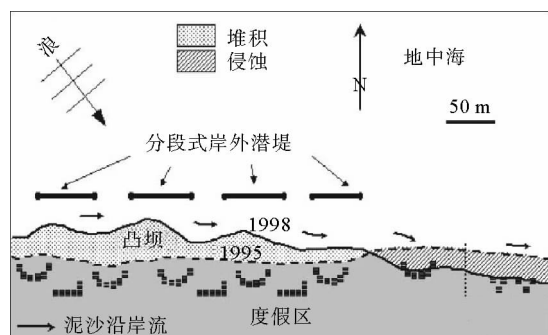


图 5 A 区段的分段式岸外潜堤(据文献[2]修改)

Fig. 5 Segmented submerged dam at zone A (modified from reference [2])

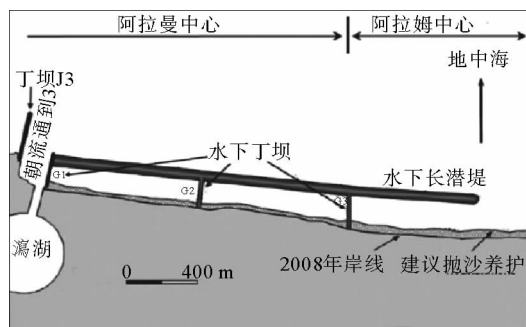


图 6 A 区段水下静态长潜堤和丁坝格(据文献[4]修改)

Fig. 6 Static long submerged dam and groins at zone A (modified from reference [4])

### 3 讨论和评估

阿莱曼 12 km 长的平直砂岸, 长期受侵蚀, 岸线严重蚀退。为建休闲旅游度假区, 1988 年至今经过三阶段 4 次海岸整治和抛沙养滩。曾先后使用丁坝、丁坝群、分段式潜坝群和连续长潜坝加丁坝格等硬工程, 经历若干弯路后, 终于适应了当地和邻区恶劣的侵蚀环境, 初步稳住和扩宽了海滩。经验和教训值得学习和吸取。

#### 3.1 丁坝和丁坝群在养滩工程中的作用

丁坝工程是一种古老的护岸工程, 数百年前就有人造矶头挑江流护河岸, 20 世纪初以来逐渐用于海岸上, 海岸丁坝的护岸机理是消浪拨流, 使坝上游岸淤积, 而下游段侵蚀, 通称为丁坝效应<sup>[6]</sup>。垂岸伸出的丁坝可转移沿岸流方向导致波能降低, 泥沙堆积。

在埃及阿莱曼养滩工程中, 前二阶段均使用丁坝和丁坝群构筑物来阻沙稳岸。第 1 阶段的 5 条突堤丁坝破坏了沿岸运移的泥沙流, 阻挡了暴风浪期间壅入潟湖流道的泥沙<sup>[7]</sup>, 同时淤宽了丁坝上游一定长度(约 1~1.5 个丁坝长度)的海岸。但丁坝过长, 难以护岸<sup>[8]</sup>。按中国海滩保护养滩技术手册<sup>[9]</sup>, 坝距在坝长的 2~3 倍之内方起正常护岸作用, 这是因为沿岸流(波浪)所携带的泥沙在丁坝上游岸段基本沉积下, 到丁坝下游岸段波浪仍然需要携带一定泥沙才能沙浪平衡, 所以坝距过长, 就等于将大部分海滩裸露于强波能之下, 就更加侵蚀; 第 1 阶段养滩突堤丁坝距相当于坝长的 3~6 倍, 自然大部分岸段仍然强烈侵蚀; 第 2 养滩阶段, 设计者在突堤丁坝间增加了 8 条短丁坝, 以充分利用丁坝效应建丁坝群, 缩短了坝距, 增加了丁坝上游淤积段, 同时在各坝间抛填大量外地沙, 基本稳定了丁坝群掩护的海滩。

丁坝群的尾间效应是丁坝效应的派生产物, 即丁坝群拦截了沿岸输沙, 使丁坝群范围内海岸稳定和淤长, 而最末一个丁坝的下游, 沿岸流仍要侵蚀海滩沙, 再形成稳定携沙的输沙流, 导致丁坝群下游岸更加强烈的侵蚀。为了将丁坝群海岸逐渐过渡到自然海岸, 通常采用丁坝长度逐渐缩短, 允许更多的泥沙绕过丁坝, 直到丁坝长度收敛岸

线与自然海滩岸线形成大约  $6^\circ$  的夹角<sup>[10]</sup>(图 7),就可解除丁坝群的尾间效应。

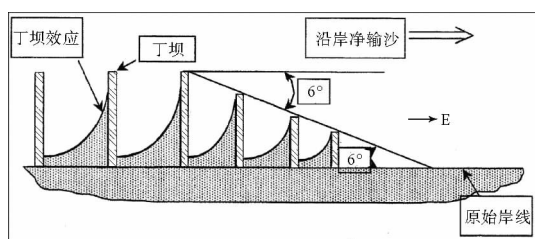


图 7 丁坝群向自然海滩过渡楔(据文献[10])

Fig. 7 Groin wedges to natural beach (from reference [10])

阿莱曼第 2 养滩阶段基以 13 条丁坝组成的丁坝群护岸,基本稳定了区段 E、C、B 的海滩,却引起了区段 A 3.5 km 海岸的更加强烈的侵蚀就是丁坝群尾间效应所致。设计者采用长潜堤格加抛沙,特别是最末丁坝空缺的办法(图 6),最终使区段 A 及以东的海滩逐渐减少拦沙过渡到自然海滩,渐进式脱离丁坝群的控制范围,也保护了人工抛沙的再流失。

### 3.2 分段式岸外潜坝群的作用

分段式岸外坝,又称近滨防波堤,是在岸外(滨面)平行海岸构筑的堤坝,用以在岸外消散波能,在坝的内侧形成波影区,波影区内波能很低,引起泥沙沉积,保护海岸,同时可阻挡人工抛沙的向海流走。多条岸外坝组成岸外坝(潜坝)群,是养滩护岸的理想构筑物。在阿莱曼的 A 区段,3.5 km 的严重海岸侵蚀曾于 1998 年构筑 4 条岸外坝组成的岸外潜坝群。当年海岸由蚀变淤,但其下游段侵蚀更加严重(图 5),这是因为坝长( $L$ )、坝岸距( $Y$ )和坝坝距( $L_g$ )之间有一定的关系式,通常  $L/Y < 1.5 \sim 2.0$ ,  $L_g < L$ ,而本区  $L$  接近  $Y$ ,导致沿岸运移的泥沙几乎全部沉积于坝岸之间,其下游岸段的波浪,只有携走下游岸段泥沙才能达到浪和沙的平衡,也像丁坝群一样存在岸外坝群的尾间效应。如果设计四坝,坝顶向东逐渐降低或坝岸距逐渐增大,可能会抑制其尾间效应的作用。在 2008 年,阿莱曼的连续长岸外潜堤坝内 G1、G14、G15 水下丁坝群的末端短失 G16(图 6)丁坝的设计就注意了抑制丁坝群的尾间效应,效果还是不错的。

### 3.3 水下滨面地形影响养滩工程

近 20 余年来埃及阿莱曼海滩实施了三阶段的养滩工程,初步缓解了海岸侵蚀,稳住了海滩的蚀退,但严重的沙流失使海滩一直不能增宽,往往夏初抛沙,秋冬被流走,20 多年来的整治没有改善沙流失,严重制约了阿莱曼的旅游事业。多年来这一现象曾受到许多研究者的关注。学者 Iskander 等<sup>[3]</sup>、Stul<sup>[11]</sup>、Bosselle 等<sup>[12]</sup>、Gallop 等<sup>[13]</sup>、Frihy<sup>[14]</sup> 调查之后认为,滨面水深、斜坡较陡(滨面坡度  $1:10 \sim 1:40$ <sup>[4]</sup>),破浪带狭窄,波浪靠近海岸线一次性破碎,利于裂流和回流将客沙移走,暴风浪期间,客沙在较陡的滨面上容易向海运移,并积聚在水下岩脊(图 2B)之间的凹槽处,缓和天气,涌浪不能或很少携沙回返至滩面上,导致海滩沙长期亏损;Iskander 等<sup>[15]</sup> 认为水下岩脊顶水深分别为 1.5、2.0、4.3 和 8.0 m(图 2B),岩脊不能有效地消散 2 m 的入射波,暴风浪(如波高 4.6 m,周期 7.7 s)<sup>[16]</sup> 期间,波浪耗散,产生脊间水流,携运泥沙向脊间深水运移,而  $< 2$  m 的波浪越过脊顶直到岸边才破碎<sup>[17,18]</sup> 不能将脊间的泥沙带回到滩面。

类似情况在我国并不少见。如青岛第二海水浴场于 1957 年开始在开敞的岬角岩滩上兴建两丁坝环抱式海滩,最初抛沙  $0.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,一次暴风浪沙流走大半,半个世纪期间每年夏初必须抛沙  $(0.2 \sim 0.3) \times 10^4 \text{ m}^3$ ,维持当年使用。经调查知低潮线以外约在 4~5 m 水深地方有一条坡度达  $1:30$  的陡坎,而陡坎上下坡度为  $1:65$  和  $1:85$ ,这一陡坎正处在当地闭合深度以上<sup>[19]</sup>。这就是暴风浪期间海滩沙顺海底流至陡坎以下,常浪期间不能回返到海滩的道理。大连星海广场浴场也有类似养滩经历,每年人工抛沙数次,才勉强维持使用<sup>[20]</sup>,经查,在低潮线外的水深 5 m 附近亦分布一条陡坎<sup>[21]</sup>。这说明普遍推行的抛沙养滩工程在设计之前不仅要评估水上原滩环境,更重要的是注重水下调查,至少是闭合深度以上的海底状况<sup>[22]</sup>。

防止水下陡斜岸严重沙流失的方法仍要从适宜的硬工程方面考虑。我国有双坝半封闭式、双坝封闭法、单坝半封闭法和单坝封闭法等多种实例,这里的双坝指内砂质坝、外水泥岩块坝,所谓

封闭指外坝(或内坝)与丁坝连成封闭海滩的防波堤。我国三亚三美湾采用拦沙潜堤与丁坝连接成封闭状的方法,可以阻挡暴风浪时人工抛沙的外流。三美湾是岬角前水下陡斜的海岸,岸线向海约 500 m 处水深达 20 m,波浪近岸一次性破碎,沿岸发育 20 m 宽的反射型海滩,曾多次抛沙均不能增宽,2012 年采用外防波堤消浪、内封闭式拦沙坝模式(图 8)<sup>[23]</sup>,而取得成功。其建成 3 年来,沙滩稳定,干滩达 50~80 m 宽<sup>[22]</sup>,成为三亚西郊繁荣的旅游休闲浴场。这充分说明经过精心设计、足量抛沙和适宜的硬工程仍然可以战胜基岩陡斜岸这不利的养滩环境<sup>[23]</sup>。

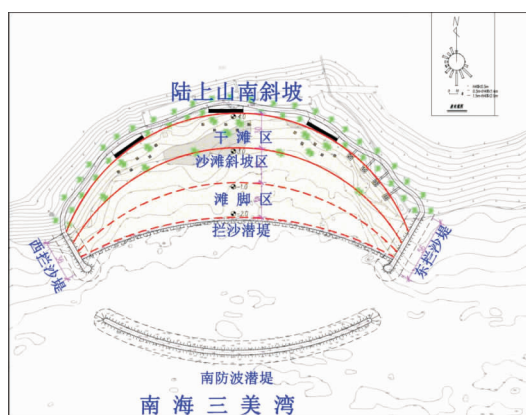


图 8 三亚三美湾的连续双潜坝和

丁坝分布图(据文献[21]修改)

Fig. 8 Continuous double submerged dam and groin at Sanya Sanmei Bay (modified from reference [21])

## 4 结论

埃及阿莱曼旅游休闲度假区位于亚历山大港以西平直的沙坝潟湖海岸,海滩长约 12 km,按侵蚀程度可以分为 E、D、C、B、A 5 个区段,1989—2012 年期间进行了 3 个阶段的海滩整治和抛沙养护。第 1、2 阶段建丁坝群并抛沙  $116 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,稳住了 E—B 段海滩,但因岸外岩滩陡斜,所抛沙严重流失而不能回返,海滩长期不能增宽;第 3 阶段在强烈侵蚀的 K 区段建分段式岸外潜坝群和岸外连续长潜堤以及堤内水下丁坝群格,成功抑制了丁坝群尾间效应,也阻挡了 A 区段的沙流失。阿莱曼近 20 多年的养滩经验和教训说明,按

海岸水上水下具体情况采取合乎实际的丁坝、岸外潜坝群等硬工程兼顾抛沙养滩,可以战胜基岩陡斜岸的海岸侵蚀灾害并养护成宽阔的海滩的。我国相关海滩养护工程的经历,也证明海滩养护工程既要强调足够的抛沙,还应设计联系区域水上水下环境的硬工程。

### 参考文献:

- [1] Komar P D. Beach Processes and Sedimentation[M]. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1976.
- [2] Frihy O E. The necessity of environmental impact assessment (EIA) in implementing coastal projects: lessons learned from the Egyptian Mediterranean Coast[J]. Ocean & Coastal Management, 2001, 44(7/8): 489-516.
- [3] Iskander M M, Zed A I A, Sayed W R E, et al. Existing Marina coastal problems, Western Mediterranean Coast, Egypt[J]. Emirates Journal for Engineering Research, 2008, 13(3), 27-35.
- [4] Frihy O, Deabes E. Erosion chain reaction at El Alamein Resorts on the western Mediterranean coast of Egypt[J]. Coastal Engineering, 2012, 69(6): 12-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.05.009>
- [5] CoRI (Coastal Research Institute). Study of erosion process in areas 6 and 7 at Marina El Alamein and proposing protection works[R]. Technical Report (in Arabic), 2008: 1-63.
- [6] Masria A, Negm A. Coastal protection measures: Review paper[J]. Journal of Coastal Conservation, 2015, 19(3): 281-294.
- [7] Ibrahim H S, Shaw D. Assessing progress toward integrated coastal zone management: Some lessons from Egypt[J]. Ocean & Coastal Management, 2012, 58(3): 26-35.
- [8] Frihy O E S, Deabes E A, Shereet S M, et al. Alexandria-Nile Delta coast, Egypt: update and future projection of relative sea-level rise[J]. Environmental Earth Sciences, 2010, 61(2): 253-273.
- [9] 蔡峰,等. 中国海滩养护技术手册[M]. 北京:海洋出版社, 2005.
- [10] U. S. Army Corps of Engineers. Coastal Engineering Manual [M]. Washington D C: US. Government Printing Office, 2002: V-3-1-V-3-110.
- [11] Stul S. Physical characteristics of Perth beaches, Western Australia[D]. Crawley, Western Australia: The University of Western Australia, Honors Thesis, 2005.
- [12] Bosselle C, Haigh I D, Pattiaratchi C B, et al. Simulation of perched beach accretion using smoothed particle hydrodynamics [C]// Coasts and Ports 2011: Diverse and Developing: Proceedings of the Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the Australasian Port and Harbour Confer-

- ence, Perth, 28-30 September, 2011;79-83.
- [13] Gallop S L, Bosserelle C, Pattiaratchi C B, et al. Form and function of natural and engineered perched beaches [C]// Coasts and Ports 2011: Diverse and Developing: Proceedings of the Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the Australasian Port and Harbour Conference, Perth, 28-30, 2011.
- [14] Frihy O E. Morphodynamic implications for shoreline management of the western-Mediterranean sector of Egypt [J]. *Environmental Geology*, 2009, 58(6): 1177-1189.
- [15] Iskander M M, Frihy O E, Ansary A E E, et al. Beach impacts of shore-parallel breakwaters backing offshore submerged ridges, Western Mediterranean Coast of Egypt [J]. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85(4): 1109-1119.
- [16] Frihy O E, Banna M M E, Kolfat A I E. Environmental impacts of Baltim and Ras El Bar shore-parallel breakwater systems on the Nile delta littoral zone, Egypt[J]. *Environmental Geology*, 2004, 45(3): 381-390.
- [17] Omeru T, Cartwright J A. Multistage, progressive slope failure in the Pleistocene pro-deltaic slope of the West Nile Delta (Eastern Mediterranean) [J]. *Marine Geology*, 2015, 362: 76-92.
- [18] Frihy O E, Abo Zed A B, Lotfy M, et al. Sediment transport pattern off Alamien Marina Resort [C]//Proceedings of the MEAD COAST-2007 Conference, Egypt, Alexandria, 2007: 1017-1028.
- [19] 庄振业, 马莹, 刘修锦, 等. 基岩陡斜岸养滩的负面作用和对策——案例分析[J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(3):16-25.
- [20] 庄振业, 曹立华, 李兵, 等. 我国海滩养护现状[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2011(3):133-139.
- [21] 宋向群, 郭子坚, 陈士荫. 星海湾人工海滨浴场的规划设计研究[J]. *土木工程学报*, 2005, 38(4):134-140.
- [22] 叶银灿. 中国海洋灾害地质学[M]. 北京:海洋出版社, 2012.
- [23] 莫文渊, 纪桂红, 谢琳, 等. 三亚三美湾和鹿回头湾人工沙滩设计[J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(3):34-37.

## THE BEACH NOURISHMENT PROJECT IN EL ALAMIEN MARINA, EGYPT, AND ROLE OF HARD STRUCTURES

KANG Xuening<sup>1</sup>, LIU Dongyan<sup>1\*</sup>, ZHUANG Zhenye<sup>1</sup>, YANG Shunliang<sup>2</sup>, ZHAO Dongbo<sup>2</sup>

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2 Fujian Institute of Oceanography, Xiamen 361000, China)

**Abstract:** The El Alamien marina is located in the west of the Nile Delta in Egypt, as a 12 km long flat sandbank along the shore of a lagoon. The coast has been eroded intensively for a long time, under the long-term action of the strong southwest wave which carries sediment moving eastwards along the coast. Three projects had been conducted in 1998—2009 to protect the beach from erosion. 13 groins were built to stabilize the beach of 8.5 km long and  $116 \times 10^4 \text{ m}^3$  of sand have been nourished to save the beach. However, they did not work well. Then groins and continuous offshore submerged dikes plus internal groins were constructed to stop the loss of sand, and then they succeeded. Some of the domestic nourishment projects in China face similar challenges. We made an introduction to the success management experiences in the El Alamien marina to use the model to combine groins and continuous offshore submerged-dikes and the model to combine groins and double parallel offshore groins at foreshore flow-out to effectively stop sand loss with the dissipation of the offshore wave energy and then stop the littoral drift to protect the nourished beach from erosion. It is also verified that it is possible to construct a broad artificial beach at a steep rocky coast with the support of specific combination of hard structures.

**Key words:** beach nourishment; groin; offshore submerged-dikes; steep rocky beach; sand loss