

防治沙质海岸侵蚀的人工育滩措施

孙 波¹, 顾大冬², 陈雄波³

(1. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;

2. 江苏省水利建设工程有限公司, 江苏 扬州 225000; 3. 黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

摘要 分析沙质海岸的泥沙运动特点, 结果表明人工育滩因其不会破坏工程区上下游沿岸输沙的平衡, 是相对于海岸防护建筑物而言最为经济和生态友好的新兴防护措施。在介绍人工育滩措施的基本原理和国外应用情况的基础上, 重点阐述了 4 种人工育滩方式以及荷兰和美国的人工育滩设计方法。针对我国主要采用海堤对海岸进行防护的现状, 说明人工育滩在国内的研究与应用方面尚未得到重视, 从我国海岸侵蚀现状和海岸资源开发利用前景出发, 应加强人工育滩这种新兴工程措施的推广与应用。

关键词 人工育滩; 海岸侵蚀; 海岸泥沙运动

中图分类号: P748

文献标识码: B

文章编号: 1006-764X(2006)S1-0108-04

1 我国海岸侵蚀现状

海岸侵蚀是我国沿海地区普遍发生的海洋灾害之一, 尤其在南部海区更为明显。目前我国海岸的侵蚀现象发生在几乎所有开敞的淤泥质海岸和 70% 左右的沙质海岸, 由此带来的经济损失十分惊人^[1]。如黄河口在近 20 年来, 黄河入海水沙量锐减, 岸线侵蚀后退严重, 滨海湿地丧失, 河口地区生态环境受到严重破坏。国家海洋局发布的《2003 年中国海洋环境质量公报》中公布了辽宁省营口市盖州一鲛鱼圈岸段、山东省龙口市至烟台市岸段、江苏省滨海县岸段、海南省海口市新海乡新海村和西秀镇镇海村岸段这 4 个重点岸段侵蚀状况的监测结果, 其中年平均侵蚀宽度最少为 0.9 m, 多者达 6 m, 前三者被侵蚀岸段长度皆超过 20 km。

海浪、潮流、风暴潮、海平面上升等自然因素的作用以及植被破坏、矿物与砂石过度开采、不适当的海岸工程等人造活动影响是造成海岸侵蚀的主要原因。我国海岸侵蚀状况已经从单纯的自然变异过程上升为一种灾害, 尤为严重的是, 海岸侵蚀常与沿海台风、风暴潮和地面下沉等灾害叠加, 使灾情加剧^[2]。一些沿海湿地遭受破坏后使许多沿海城镇因此受到海水的严重侵蚀和渗透, 直接威胁着当地的淡水资源供应和人民的生产和生活。由于海岸侵蚀, 致使海岸带生态系统失去平衡甚至崩溃, 进而影响

大量海洋生物种群的生存和发展。随着我国沿海经济的高速发展, 对海岸资源的需求和开发利用亦日益增长, 与此同时海岸的侵蚀则明显加剧, 如山东半岛。我国人类活动引起的海岸侵蚀虽然比其他国家晚, 但发展却异常迅猛, 如不及早采取措施, 将会带来严重后果^[2]。防治海岸侵蚀已成为我国合理开发利用海岸资源、促进社会经济可持续发展的重要议题。

2 海岸侵蚀的防治措施

从工程角度出发, 防治海岸侵蚀的措施有修建丁坝、离岸堤(防波堤)、海堤(海塘、海挡)等建筑物, 在沙质海岸地区还有采用非建筑物的工程措施就是人工育滩(或人工补沙、海滩补沙), 即用其他来源的泥沙填补或补给被侵蚀的海岸^[3]。人工育滩有时也与丁坝或其他建筑物结合使用。利用建筑物防治海岸侵蚀是已在海岸工程中得到广泛应用的传统方法, 可谓之“刚性”工程措施; 与之相比人工育滩则是一种较为新兴的方法, 因没有建筑物的存在, 属于“柔性”工程措施。

海岸侵蚀是海岸横向输沙和沿岸输沙共同作用的结果, 海岸防护建筑物可以拦截或部分拦截沿岸输沙, 直接或间接地防止岸滩泥沙流失, 但建筑物的存在改变了沿岸输沙的平衡, 进而影响其上下游海岸线的稳定。所以“刚性”工程措施虽然可以使受保护岸段不被侵蚀, 但是会使沿岸输沙的上游和下游

岸段发生淤积或冲刷,由此可能引发新的海岸防护问题。除此以外,海岸建筑物的存在会极大地改变当地和附近的海岸生态系统,可能导致生态系统的失衡。相反,作为“软性”工程措施的人工育滩将泥沙补给于被侵蚀岸段,除了有效缓解侵蚀状况外,由于其本身的可侵蚀性,使其可以维持当地和附近海岸的输沙平衡,而且没有长久性建筑物的存在使其对生态环境的影响降至最低。事实证明,人工育滩是应对海岸侵蚀最为经济的工程措施,不仅可以用于侵蚀岸段的应急处理,而且还可以长效地防治海岸侵蚀^[3-6]。人工育滩作为一种海岸侵蚀的防治措施,其工程理念是对于缺乏泥沙的海岸应该喂给其泥沙,使自然界按其本来的规律发展,而不是抵御自然力量来防止泥沙流失^[5]。

3 人工育滩措施

目前世界上广泛采用人工育滩手段的主要是美国和西欧。美国自 1922 年就有人工育滩的记录,但在 20 世纪 50 年代以前一般采用建筑物的方法来保护海岸和抵御飓风,以后逐渐转向应用人工育滩技术。图 1 给出了美国近 50 年来海岸防护工程中人工育滩与海岸建筑物的运用比例^[7]。欧洲最早在 20 世纪 50 年代德国开始实施人工育滩工程,随后该技术在西欧及南欧得以广泛推广,逐渐取代刚性建筑物成为最普遍采用的工程措施^[5,8]。目前德国、荷兰和丹麦已将人工育滩作为长期策略来防治海岸侵蚀,其中后两国更是将其纳入了法律体系。据统计,欧洲年平均补沙工程项目为 27.5 个,美国为 30 个,欧洲目前每年的补沙量达 2800 万 m³,与美国联邦政府项目的总量持平^[5]。

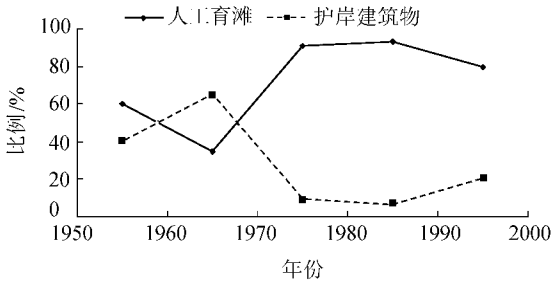


图 1 美国人工育滩与护岸建筑物运用比例

人工育滩按照泥沙堆积在海岸剖面上的位置一般可分为如图 2 所示的 4 种形式^[6],即:①沙丘补沙,将所有补给泥沙堆积在平均高潮位以上;②滩肩补沙,将补给泥沙主要堆积在平均潮位以上形成宽阔的滩肩;③剖面补沙,将补给泥沙吹填在整个海滩剖面上;④近岸补沙,将补给泥沙抛置在平均低潮位以下形成人工沙坝,然后依靠自然波浪的作用将泥沙向岸滩输移。相对而言,滩肩补沙是比较常见的

类型,近岸补沙则是较具潜力的发展方向,也是目前人工育滩研究中备受关注的课题。

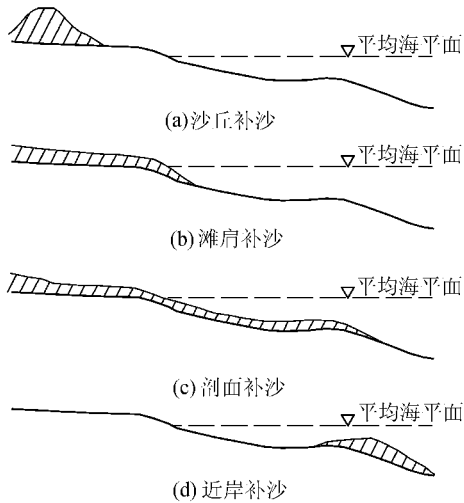


图 2 人工育滩的 4 种形式

不同补沙形式的运用主要考虑泥沙来源、海滩特殊功能以及补沙施工时间的缓急需求等因素。如泥沙来源于陆地,则不能采用近岸补沙形式;反之,泥沙来源于深海区或疏浚弃土,则近岸补沙是较为经济的形式。在海滨旅游区往往需要宽阔的沙滩,补沙形式宜采用滩肩补沙或剖面补沙。如果需要尽快形成对海滩的防护,则应该采用剖面补沙或近岸补沙形式,而不宜采用沙丘补沙形式。

以往对人工育滩的研究实际上与岸滩剖面形态研究联系在一起,并且主要针对滩肩补沙形式。Dean 通过大量的岸滩剖面资料的总结来分析岸滩形态的普遍形式,即所谓的平衡剖面^[9],在此基础上形成了一些滩肩补沙的设计原则。欧洲、美国和日本通过大型水槽做过很多断面实体模型,在不同的波浪条件与水位的组合下试图建立海滩的剖面形态、坡度及其稳定性之间的关系^[10-11],这些试验结果可以用来评估在不同岸滩坡度下滩肩补沙设计指标,以及在不同波浪条件下滩肩补沙的响应。

WES 曾在 SUPERTANK 的大型水槽试验中考虑了两种近岸补沙的情况^[11],在水槽中分别堆积了宽和窄的水下沙坝进行试验,结果表明在相同波浪作用下窄沙坝高度较之宽沙坝有更快且更多的减小,窄沙坝更多地向岸移动而宽沙坝上部分泥沙有离岸输移的迹象。由于水槽的二维特征,其不能模拟沿岸输沙,即这些水槽试验的结果是建立在没有沿岸输沙条件下的,不能全面反映补给泥沙在海岸动力(主要是波浪)作用下的响应。除了水槽或港池等物理(实体)模型外,数值模拟技术也被大量运用于人工育滩的研究中^[12-14],这些模型最初大多是以预测海岸防护建筑物引起的岸线变化或剖面变化为出发

点建立起来的^[14]。大型综合软件包(包括水动力、泥沙运动与床面演变、生态变化等)也被用来研究这一问题,但泥沙运动的数值模拟技术尚存在诸多困难,此类软件还需要大量实测数据的验证^[13-14]。

1993年5月至1996年12月欧盟曾对近岸补沙展开了专题研究 Nourtec(innovative nourishment techniques evaluation)^[5]。该研究选取了瓦登海(the Wadden Sea)沿岸丹麦、荷兰和德国各一处海岸进行现场试验,分别进行了近岸补沙施工和后续监测。结果表明,近岸补沙能有效地防止海岸进一步侵蚀,并且水下沙坝比滩肩补沙更稳定。

人工育滩的关键技术问题是海岸泥沙运动,主要是波浪动力作用下的海岸泥沙横向和纵向输移。由于泥沙运动问题本身的复杂性,以及海岸动力条件的复杂性,对人工育滩的研究与应用主要还是经验的方法。目前在人工育滩的研究与应用中的主要技术难题是如何提高育滩的功效,特别是针对近岸补沙形式,另外陆地沙源的缺乏使得人工育滩工程大多利用深海取沙,如何有效地进行泥沙粒径的配比来产生最佳的育滩效果是需要研究的课题。这些疑难问题归根结底还是海岸泥沙运动的基本理论问题。

4 人工育滩的设计方法

目前在人工育滩的设计思路主要有荷兰方法和美国方法,虽然不同地区有不同的设计标准,但它们基本上源于这两种方法。荷兰所采用的方法建立在对育滩海岸地形长期观测的基础上(5~10年的每年或每两年测量),并假定补给泥沙与海滩泥沙的粒径是一致的,工程设计遵循以下5个步骤:①进行工程区海岸的地形测量;②计算每年被侵蚀的泥沙量;③在每年侵蚀的泥沙量上再加40%的超填量即为每年应补给的泥沙总量;④该泥沙总量乘以补沙的周期(如5年)即得1次补沙周期的补沙量;⑤将1次补沙周期的补给泥沙吹填于从沙丘坡脚至平均低水位减1m的等深线/等高线之间的岸滩上。该方法的另一个重要假定是人工育滩不会对该海岸的长期自然演变产生影响,也就是说育滩工程前后该海滩的冲刷量不变。

美国方法的依据思想是补充泥沙所形成的剖面最终会向补给之前的剖面形式(或平衡剖面形式)演化,故设计剖面形式大体上与当前剖面形式相似或平行,如图3所示^[6]。根据设计剖面的几何特征来计算总的泥沙补给量:

$$V_T = (B - d_L)LW \quad (1)$$

式中: B 为滩面高程; d_L 为限制水深(泥沙运动的下限水深); L 和 W 分别为滩面长度和宽度,其中宽度

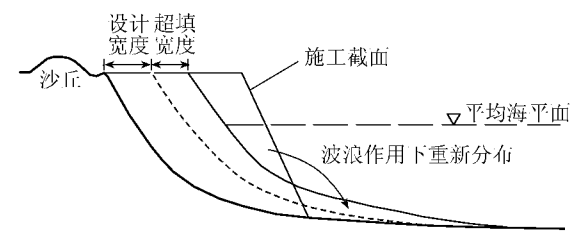


图3 滩肩补沙设计示意图

应包括设计宽度和超填宽度。在实际施工中,一般按照施工截面来操作,由于施工截面较之平衡剖面坡度大得多,在波浪的作用下,施工截面会很快被重塑为平衡剖面。

人工育滩经常与防护建筑物共同作用来增强育滩的效果。在建筑物存在的情况下,人工育滩的剖面形式通常按照平衡剖面的思想来设计,即海滩剖面存在如下关系^[9]:

$$h(y) = Ay^{0.67} \quad (2)$$

式中: h 为水深; y 为离岸距离; A 为与泥沙粒径有关的比例系数。

以上这些方法只是给人工育滩的设计提供指导性建议,由于海岸动力条件的复杂性,以及泥沙运动规律尚未被充分掌握,不同国家不同地区采用不同的人工育滩类型和设计标准,对于大型的人工育滩工程,还需要通过模型试验(包括数值模拟和物理模型)来为设计提供依据。

5 人工育滩在我国沿海的应用前景

人工育滩已成当前国际上防治沙质海岸侵蚀最重要的措施,目前我国大陆海岸线上还没有这种工程应用的实例,说明该措施的研究尚未引起足够重视。我国在20世纪60年代以前海岸的主要防护措施是建造海堤,这是一种被动的海岸防护形式,而且只保堤不保滩,长远来看并不能有效地对海岸进行防护,以致耗费较大。近年来,丁坝和离岸堤的措施以及生物护滩(如种植大米草)技术也逐渐运用于我国部分海岸的防护工程中。香港浅水湾海滩养护工程是一个实施人工育滩工程较为成功的典范^[5],既美化了城市环境,又促进了当地旅游业的发展。

我国有着漫长的海岸线,海岸资源在沿海经济发展中占有十分重要的地位,特别是旅游业。随着人民生活水平的提高,保护以及合理开发利用海岸资源是摆在人们面前的一个紧迫课题。对于海岸旅游资源需求较大的地方,如山东半岛一些受到侵蚀影响的海滨浴场,应优先考虑实施人工育滩的防护措施,在海岸防护建筑物已不能有效保护岸滩免受侵蚀的岸段,如海南岛部分地区,可以考虑实施人工育滩措施或者人工育滩结合建筑物的措施。笔者认为

为 人工育滩措施在我国的推广应用需要开展两方面的工作 其一是要加强宣传引导 改变强调采用建筑物防护措施的固有观念 其二是要加强应用研究 探讨适合于我国海岸防护情况的人工育滩运用形式。伴随我国对海岸资源的开发和环境保护意识的增强 可以预见人工育滩在我国沿海将有着广泛的应用前景。

参考文献：

[1] 丰爱平 夏东兴.海岸侵蚀灾情分级[J].海岸工程 2003 , 22(2) : 60-66.

[2] 薛春汀.中国海岸侵蚀治理和海岸保护[J].海洋地质动态 2002 ,18(2) : 6-9.

[3] 严凯 梁其苟.海岸工程[M].北京 海洋出版社 2002.

[4] 张振克.美国东海岸海滩养护工程对中国砂质海滩旅游资源开发与保护的启示[J].海洋地质动态 2002 ,18(3) : 23-27.

[5] 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.

[6] National Research Council. Beach nourishment and protection/ Committee on Beach Nourishment and Protection[M]. Washington DC :National Academic Press ,1995.

[7] US Army Corps of Engineering. Coastal engineering manual[S].

Coastal and Hydraulics Laboratory , Vicksburg , Mississippi , 2003.

[8] HANSON H ,BRAMPTON A ,CAPOBIANCO M ,et al. Beach nourishment projects , practices , and objectives : a European overview[J]. Coastal Engineering 2002 47(2) : 81-111.

[9] Dean R G. Beach nourishment : a limited review and some recent results[C]/Proc 26th ICCE ,ASCE ,1998 : 45-69.

[10] DETTE H H ,LARSON M ,MURPHY J ,et al. Application of prototype flume tests for beach nourishment assessment[J]. Coastal Engineering 2002 47(2) : 137-177.

[11] KRAUS N C ,SMITH J M. SUPERTANK laboratory data collection project. Vol. I : Main text[R]. Tech Rep CERC-94-3 , U S Army Eng ,Waterw Exp Stn ,USA ,1994.

[12] LARSON M ,KRAUS N C. SBEACH : numerical model for simulating storm-induced beach change , Rep 1. Empirical foundation and model development[R]. Tech Rep CERC-89-9 , U S Army Eng ,Waterw Exp Stn ,USA ,1989.

[13] SUN B O. Validation of hydrodynamic and morphodynamic modelling on a Shoreface Nourishment at Egmond , The Netherlands[D]. UNESCO-IHE. 2004.

[14] CAPOBIANCO M ,HANSON H ,LARSON M ,et al. Nourishment design and evaluation : applicability of model concepts [J]. Coastal Engineering 2002 47(2) : 113-135.

(收稿日期 2006-03-30 编辑 高建群)

(上接第 100 页)

[9] Erosion control using soil bioengineering[EB/OL].[2004-05-10]. [http://www. nehalem.tel. net/~ lnwcouncil/HabitatRestoration/Riparian/MarkBeach. html](http://www.nehalem.tel.net/~lnwcouncil/HabitatRestoration/Riparian/MarkBeach.html).

[10] THOMAS G F. Surface water management specialist bioengineering for hillslope[EB/OL].[2004-05-10]. [www. Streambank And Lakeshore Erosion Control. ianpubs. unl. edu/soil/ g1307. htm](http://www.StreambankAndLakeshoreErosionControl.ianpubs.unl.edu/soil/g1307.htm).

[11] ALLEN H H ,FISCHEINICH C. Brush mattresses for stream-bank erosion control[R]. U S Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station 2001.

[12] ALBERT R F. Trees and rivers : the new maintenance of shores [EB/OL].[2004-05-10]. [www. cirf. org/reif. pdf](http://www.cirf.org/reif.pdf).

[13] 国家林业局造林司.黄河上、中游地区林业生态建设与治理模式[J].林业衬用技术 2002(2) 34-35.

[14] 刘新宇 赵岭 许成启 等.护岸护堤林的生态效益及其营造技术的探讨[J].防护林技术 ,1999(4) 48-49 ,71.

[15] Tillamook county soil & water conservation district[EB/OL]. [2004-05-10]. [http://www. tcwrc. org/swcd/](http://www.tcwrc.org/swcd/).

[16] EDWARD P. Speaks on hard-armoring techniques and bioengineering[EB/OL].[2004-05-10]. [http://www. forester. net/ ec.0009.interview. html](http://www.forester.net/ec.0009.interview.html).

[17] GARY S. Bioengineering bank stabilization[EB/OL].[2004-05-10]. [http://www. fernald. gov/Future/bank. htm](http://www.fernald.gov/Future/bank.htm).

[18] Robbin B Sotir & Associates Inc. Johnson Creek[EB/OL].

[2004-05-10]. [http://www. sotir. com/johnson/johnson-creek. htm](http://www.sotir.com/johnson/johnson-creek.htm).

[19] Water police team. River bank protection[EB/OL].[2004-05-10]. [http://www. waterpolicyteam. org/Wetland% 20Habitats % 20& % 20Species/ublications/Factsheets/](http://www.waterpolicyteam.org/Wetland%20Habitats%20&%20Species/ublications/Factsheets/).

[20] New river state park. Riverbank stabilization project[EB/OL]. [2004-05-10]. [http://www. ils. unc. edu/parkproject/visit/ neri/stab. html](http://www.ils.unc.edu/parkproject/visit/neri/stab.html).

[21] NANCY L S. On course with nature soil bioengineering : a natural approach to stream bank stabilization[EB/OL].[2004-05-10]. [http://turf. lib. msu. edu/1990s/1993/930918. pdf](http://turf.lib.msu.edu/1990s/1993/930918.pdf).

[22] Field operations Renovating post-industrial landscapes the north delaware riverfront ,philadelphia riverbank restoration & stabilization[EB/OL].[2004-05-10]. [www. pecpa. org/_final _pec/DelRivRep_Ch5Ch6. pdf](http://www.pecpa.org/_final_pec/DelRivRep_Ch5Ch6.pdf).

[23] Stream bank stabilization[EB/OL].[2004-05-10]. [http://www. deq. state. mi. us/documents/deq-swg-nps-sbs. pdf](http://www.deq.state.mi.us/documents/deq-swg-nps-sbs.pdf).

[24] ROBERT A O. Factors affecting stream band and river bank stability ,with an emphasis on vegetation influence[EB/OL]. [2004-05-10]. [http://www. dnr. state. ak. us/forestry/pdfs/ 2BandStabilityfinal. Pdf](http://www.dnr.state.ak.us/forestry/pdfs/2BandStabilityfinal.Pdf).

[25] Stabilizing soils in a challenging proving ground the Mississippi Delta[EB/OL].[2004-05-10]. [http://www. erosion control. com](http://www.erosioncontrol.com).

(收稿日期 2006-05-31 编辑 骆超)