

河岸生态修复的主要方法

应 强 张幸农 陈长英 张思和

(南京水利科学研究院 江苏 南京 210029)

摘要 :总结了国内外现有用于河道生态护岸的主要方法 ,将这些方法归纳为 4 类 ,即坡面土壤防护法(包括草体植物的种植、移植和活枝垫法)、岸坡稳定法(包括株苗种植法、活切枝法、篱笆及柳枝编织法、梢料柴捆法、根茎种植法)、组合施工法(包括层叠枝条编扎法、活木条框法、网框结构上的生态复植、土工织布或土工格网生态复植)和辅助施工法。介绍了每类方法的原理、采用的结构型式、优缺点及适用范围。最后指出 ,实际工程应针对具体情况 ,选择合适的护岸工程措施。

关键词 护岸工程 ;生态修复 ;植被护岸 ;坡面土壤防护 ;岸坡稳定

中图分类号 :X171.4

文献标识码 :B

文章编号 :1006-764X(2006)S1-0096-05

当前 ,人类对生态环境的保护日益关注。在河道水环境方面 ,人们需要的是令人流连忘返的水流清澈、鱼虾洄游、水边植物茂盛 ,河道的功能已经不仅仅是泄洪、排涝、蓄水、引清、航运 ,而且还包括景观、旅游、生态和对周边环境的呼应等等。随着社会和经济的发展 ,人们对水环境的要求越来越高 ,需要营造与周围环境相协调的河道岸坡景观。河道岸坡采用生态型护岸形式势在必行^[1-2]。

根据国内外河道护岸工程的形式 ,基本上可将其划分为三类^[3] :第一类是刚性护岸工程 ,主要包括抛石、混凝土沉排和板桩等结构 ;第二类是生态(物)护岸工程 ,包括活树桩、柴排、压条、活柴捆和植物网格 ;第三类是植物恢复护岸技术 ,包括草、灌木和树等。也有人将后两类合并为河道护岸软工程。河道生态护岸的实质是运用植物种植技术进行岸坡保护 ,目前主要有以下几类 :①坡面土壤防护法②岸坡稳定法③组合施工法④辅助施工法。

1 坡面土壤防护法

1.1 草本植物种植

种植草本植物进行护坡是最基本的方法 ,草种要根据植物的根系护坡性能加以选择 ,施工方法主要有以下几种 :

a. 播撒法 :手工或用机具直接播撒草本植物种子在所护岸坡上 ,这是最常用的护坡草本植物种植方法。种子可以是浸泡后的湿种子 ,也可以是拌和

沙土或肥料的干种子。对于防护要求较高的河岸 ,可在实施干砌块石、空心混凝土块体、笼箱碎石等护坡结构上播撒草本植物种子 ,使护坡结构既达到防护要求 ,又能获得绿色的自然景观效果。

b. 水力喷射播种法^[4-5] :以水为载体 ,将植物种子和覆盖料、保水剂、复合肥、土壤亲和改良剂等植物生长辅助材料 ,利用专用设备 ,通过高压喷枪将其混合物一次或分次喷洒 ,固结在堤坝坡面上。在辅助材料的养护条件下 ,帮助植物种子迅速发芽生长 ,可在砂黏贫瘠土壤和碎石等难以恢复植被的陡坡面上以较短的时间建成绿色植被。

c. 根茎种植^[4-5] :利用芦苇等植物的茎或柄形成种植的根瘤 ,采用高 800~1200 mm、最多 5 片叶的强健幼株进行种植。将含根的芦苇挖出 ,搬运至工地途中以黄麻或类似材料包装捆绑 ,成 3~5 排、间隔 0.25~0.5 m ,进行种植。施工水位一般低于夏季平均水位 1.0~1.5 m ,在水面以下最佳。施工时最好将根茎以近乎伏倒于地面的方式放置 ,以免风或波浪侵袭 ,用手将根茎垂直插入土中 ,再用卵石或大石压住 ,如果是乱石坡则开挖成窄沟放入根茎 ,再以土或细石回填 ,为达最佳效果 ,水边石块应稍微抬高以保护植物成长。

d. 杆茎种植^[4-5] :采集各种芦苇或香蒲杆进行种植。种植原理和方法基本与根茎种植相似 ,如捆扎芦苇种植法是在夏季平均水位时 ,锤木桩入土中 ,木桩间隔 1~1.5 m ,露出水面约 30 cm ,平行于桩开

挖宽、深均约为 0.4 ~ 0.5 m 的沟 ,如沟墙会崩塌应以木片支撑 ,再将绳网放于沟底 ,内填粒径 6 ~ 12 cm 的粗石和粒径 2 ~ 6 cm 的碎石 ,再放置每卷直径约 30 ~ 40 cm 的芦苇 ,顶层 1/3 填以芦苇丛后进行缝合 ,将支撑沟的板块拆除 ,进行填土 ,最后将木桩锤入土中 ,即告完成。

草本植物种植方法在各国河道护岸中均有应用 ,如我国在江苏海滩种植大米草^[6]和在武汉汉江大堤金口堤段种植香根草^[7] ,以及多处河湖岸种植芦苇等 ,德国利用土工织物包裹椰子根系纤维形成长形卷条进行草本植物种植。

1.2 草本植物移植

最常用的草本植物移植是指在其他基地上预先培育好草皮或杆茎植物 ,然后将连土带草的草皮一起移植至所需的护坡处 ,或是采用植物活的茎秆进行种植。该方法应用在许多区域 ,如山坡、河湖堤岸、道路边坡、广场、球场等 ,其优点是保土性好、见效快、成活率高。对于河道护坡而言 ,有如下几种常用方法 :

a. 草皮块移植^[4]。对于流速较小的河渠坡岸 ,可直接应用草皮移植进行护坡。在枯水季节 ,将培育好的天然草皮切割成数 10 cm 的方块(如 40 cm × 40 cm) ,在保持草皮湿润的条件下 ,用竹签或树枝等将草皮方块固定在预先铺洒的壤土上 ,再予以滚压夯实 ,草皮成活后不断进行养护。

b. 草皮卷移植^[8]。对于坡度较陡或流速较大、风浪淘蚀或坡面雨水冲蚀严重且又不宜采取刚性防护的河道岸坡 ,为防止岸坡失稳 ,可采用草皮卷或草皮垫的护坡方法。该方法将传统的单一种草护坡与防护网相结合 ,利用天然植物纤维或土工织物、合成纤维制成网垫 ,网垫与草本植物相结合形成一个防护整体。首先在育苗基地预先在网垫上种草培育 ,当草生长到一定高度和密度后 ,草根与网垫纠结在一起形成草皮卷或草皮垫 ,即可铺设在堤岸坡面上 ,形成植物护坡层。永久性防侵蚀的三维网垫一般由粗尼龙单丝熔接而成 ,通常情况下网垫厚度 3 ~ 5 cm ,长宽可根据实际情况裁制。网垫具有固土能力强、耐久性好、适合植物生长等优点 ,可抗御高达 6 m/s 左右的近岸流速。利用椰子纤维织成网垫、在暖房中培植自然水生植物形成草皮卷的技术已成功应用在美国北河受风浪影响的岸坡防护中^[8]。近十几年来 ,欧美等发达国家开发研制了多种特制的塑料或尼龙网垫(又称建植网植被或三维网) ,结合种植草皮进行土坡防护 ,这项技术原先多用于山坡及高速公路路坡的保护 ,现在也用于河道岸坡的防护。由于三维植被网投资较大 ,基本尚未在我国大江大

河的护坡中应用 ,仅在部分城市附近的河岸进行过试验应用。

1.3 活枝垫(梢料压层)法

该方法采用种植活柳树枝条进行护岸 ,适用于流速大且需持久保护的河道岸坡 ,常用于抵抗洪水冲刷的坡面^[4 8-11]。柳树以直枝较佳。图 1 是美国某河岸紊流区的活枝垫法护岸及其效果的情况^[4]。



图 1 河岸紊流区活枝垫法及其效果

2 岸坡稳定法

在河岸带种植木科植物 ,如树木或竹子 ,形成河岸防护林 ,洪水经过河岸防护林区时 ,在防护林的阻滞作用下流速大为减慢 ,减小了水流对土表的冲刷 ,减少了土壤流失。其作用主要体现在以下 3 个方面 :一是茎、叶的覆盖和栅栏作用 ,既避免雨滴、风力对土壤表面的直接侵蚀 ,又减缓了河水的流速 ,减少了对土壤的冲刷 ,增加了泥沙的沉积量 ;二是树木根系发达 ,穿扎力强 ,增加了土壤抗失稳的机械强度 ,减少了河岸的崩塌量和冲刷量 ;三是根、茎、叶的生长对土壤具有改良作用 ,增加了土壤有机质的含量 ,改善了土壤结构 ,增强了土壤持水性 ,增强了土壤抗侵蚀能力。河岸防护林既能保持水土起到固土护岸作用 ,又提高了河岸土壤肥力 ,改善了生态环境^[12-14]。

木科植物用于河岸生态环境的改良 ,一般采用容易成活的枝条、树干、树根等埋于土中 ,使其重新

生根长枝,达到稳定岸坡、美化环境的作用。根据施工方法的不同可分为株苗种植法、活切枝(插枝)法、篱笆及柳枝编织法、梢料柴捆法和根茎种植法等。

2.1 株苗种植法

株苗种植法最为简单和普遍,即采用苗木基地培育的树木或竹子的活株苗,在所需防护的河岸进行种植。一般选择在株苗容易成活的春季种植,也可在其他季节进行种植,但必须在株苗根部附土团以保证其成活。株苗种植的间距根据树木的种类确定,一般为3~5 m,施工多采用人工挖坑、放置株苗、回填覆土的方法,完成后再进行浇水养护^[4]。

2.2 活切枝(插枝)法

采用成活的树枝(如柳树枝)进行插枝种植,一般选择在树木冬眠期,若应用于流水区,也可在树木成长期实施。具体操作是采用1到数年合适的树种,切下直径10~15 mm没有分枝的枝条,长度至少40 cm^[8,15-17]。

在抛石或干砌块石中进行插枝种植,可在短时间内使树木根系发育,根和新萌芽对石层稳定有加强作用,根系对小碎石也具有保护功能,从而提高了河岸的抗冲刷能力。若需在天然块石中进行插枝种植,则需用长1~1.5 m有活萌芽的柳枝。枝条插入后在其周围抛投碎石或块石,枝条末端埋入土中深0.3~0.5 m,枝条尖端突出石面约0.5 m,且斜向下游面。若在干砌块石中插枝种植,一般应在夏季平均水位以上,为利于植株,石缝留宽0.3~0.5 m,必要时可用钢钎进行挖掘,切枝的部分突出约0.5~1.0 m,也可将其修正使高度一致,枝条植入后在石缝空隙中回填土。为避免被水流冲走,最底层处枝条的高程要低于夏季平均水位,并用石头夹住以防冲失,水下部分防护则可配合铺设土工织物。

欧美国家都采用过活切枝(插枝)法,配合土工织物卷和雪松树等进行河道护岸,取得了不少成功经验,如意大利 Tyrol 省大块石链的生态复植,在河岸坡脚以机械排列放置质量300~500 kg的块石,再用钢索连接在一起,以木棒钻入河床固定,活枝条插在石笼或石缝间,并用枝条垫或活密枝保护邻近坡面^[4]。又如在爱尔兰 Creek 河段采用柳树插枝法进行护岸,见图2^[8]。在美国伊利诺斯州 Court 河采用冬眠期的柳枝,配合土工织物卷和雪松树的插植进行护岸。

2.3 篱笆及柳枝编织法

篱笆及柳枝编织法是通过编织灌木或树枝篱笆进行护岸。选用长而圆滑、根系发达和有萌芽的灌木或树枝,将其混合编织成篱笆。施工时,以粗灌木条(直径3~10 cm,长约1 m)或类似的钢棒作为主



图2 爱尔兰 Creek 河段柳树插枝法护岸



图2 爱尔兰 Creek 河段柳树插枝法护岸

图2 爱尔兰 Creek 河段柳树插枝法护岸

桩,按1 m的间距锤入土中,并以0.5 m间距在主桩之间锤入较短的副桩,将生殖力强的树枝和软枝互相编辫在一起,放置于桩之间,将每对茎秆编扎一起后用力压入土中,再将3~7对茎秆顶部固定在一起,固定的木桩突出不超出5 cm,与编篱相比,至少2/3要埋入土中,最低及切端必须埋入土中,以利于根系发展,突出地表的茎秆很可能变干而枯萎,编篱可以依等高线成列或斜交,并在坡面上形成格状^[4,10,18-19]。该方法也可分层构造护岸结构,由底层往上施工填筑,以朝岸内5°~10°开挖台阶沟渠,然后放入编织篱笆,在上层开挖沟渠台阶进行回填土,视地质情况每台阶相距1~3 m。

2.4 梢料柴捆(活枝束薪)法

梢料柴捆法是通过将灌木或树枝捆扎成束进行护岸。选用长1~3 m的活枝条、柳树、枯枝,将枝条放于锯齿状框架上,通过系绳线或铁线进行捆扎,形成长2~3 m的圆筒状。将柳枝、铁线、塑料绳于交叉处进行固定,如以地工格网、金属格网包覆枝条,则可能成本较高。在夏季平均水位以上处挖沟槽,将直径约15~30 cm呈长条圆柱的枝条捆束放入沟槽中,埋入1/3~1/2于土中,也可低于水位线,将长约0.75 m的活枝或枯枝插入束薪中,按1 m间距牢固锚定地下。如果无法提供大量活枝,则枯枝及部分不具生殖能力的枝条也可混入束薪中,放在最中心部分的尖端应突出0.5~0.75 m,并朝向河床中央,以保护束薪不受波浪下切作用,如有必要加强,可在较高河岸放置束薪在顶面,以形成束薪墙^[4,8,10,20]。

2.5 根茎种植法

将活的树根茎放置于浅沟中,回填土后,根茎的顶端略高出地面,便于施工和生长,见图3^[15]。根茎成活后,形成的护岸结构具有较强的防冲性能^[18-20]。



图3 柳树根和柳树种植护岸

3 组合施工法

3.1 层叠枝条编扎法

层叠枝条编扎法是以树枝和灌木枝条(典型的是柳枝和山茱萸)与土层交替堆成的河岸防护形式。一般用于夏季水位以上,树枝层可用于河岸的抗水流冲刷区,灌木枝条的伸出端位于高流速区,以防止或减缓水流冲刷,灌木根长成后锚入深层土壤,起稳定岸坡的作用^[4,8,21-22]。

通常采用休眠期具有生殖力的柳枝及其他树枝,小区域内的修复是将长0.6~0.8m的木桩用铁丝捆绑在一起锤入土中并夯实,间距约1m,然后将厚密的活枝层扎束于木桩间,端部位于河床面,形成厚10cm的枝条层,再覆以表土于各枝条孔隙间。大区域侵蚀区也可以用类似方法进行处理,以1层或多层枝条层排列木桩之间,各层间覆以表土,不可有间隙以免结构体崩塌下陷,如能以大石覆压为最佳,枝条扎束放置后其坡度必须与邻近未受损的上下游岸坡相同,活枝不足时可混以枯枝,再用群桩锤入土中进行加固,由多层枝条组成时最底层要低于夏季平均水位,并以萌芽、枯枝组合,如混以单层枝条中至少25%要具生殖力。

3.2 活木条框法

活木条框法是以活木条组成框架的防护形式,常用于较陡的岸坡面,方法是将木条框放在坡面上,用水力冲填覆土。框架必须坚固以防弯曲,并需要大量活枝条以供补强,顶层种植快速生长的草皮。活枝框可避免冲蚀,增强边坡稳定性,构筑后可立即产生效果,植物根系发育后可取代木框功能^[8,10,19]。

活拦栅墙是由圆木连锁组成的中空构体,中空部分由回填材料和伸出边坡的活切枝组成,这些活

切枝的端部在拦栅墙内,当活切枝成活后,根系和植被会代替木栅的功能,活拦栅墙在用于非稳定河岸防护的同时可为鱼类提供极佳的活动空间。

3.3 网框结构上的生态复植

这种技术原先多用于山坡及高速公路路坡的保护,现在也开始用于河道岸坡的防护。它主要利用活性植物并结合土工合成材料,在坡面构建一个具有自身生长能力的防护系统,通过植物的生长对边坡进行加固。根据岸坡地形地貌、土质和区域气候等特点,在岸坡表面覆盖一层土工合成材料并按一定的组合与间距种植多种植物,通过植物的生长达到根系加筋、茎叶防冲蚀的目的,可在坡面形成茂密的植被覆盖,在表土层形成盘根错节的根系,有效抑制暴雨径流对边坡的侵蚀,增加土体的抗剪强度,减小孔隙水压力和土体自重,从而大幅度提高岸坡的稳定性和抗冲刷能力。土工网对减少岸坡土壤的水分蒸发,增加入渗量有较好的作用。同时,由于土工网材料为黑色的聚乙烯,具有保温吸热的作用,可促进种子发芽,有利于植物生长。生态复植包括以下两种:

a. 防冲蚀网上的生态复植^[8,10,23]。防冲蚀网采用黄麻、椰纤、化学纤维、金属制加筋格网、铁丝网等,与碎石复合形成种植基。通常是由镀锌或喷塑铁丝网笼装碎石、肥料及种植土组成复合种植基。铁丝网与碎石复合种植基的最大优点是比较适合于流速大的河道,抗冲刷能力强、整体性好、适应地基变形能力强,避免了预制混凝土块体护坡整体性差和现浇混凝土护坡与模袋混凝土护坡适应地基变形能力差的弱点,同时又能满足生态型护坡的要求,即使进行全断面护砌,生物与微生物都能生存。但因其价格昂贵,铁丝网与碎石复合种基主要用于砂质、陡峭和冲蚀严重的区域。国外在这方面已有较多工程实例。铁丝网笼可以做成不同形状,既可以用作护坡,又可以做成砌体挡土墙。

b. 金属框(石笼框架、石笼卷)上的生态复植。金属框或石笼框架(石笼卷)上的生态复植方法及效果与防冲蚀网上的生态复植基本相似^[8,10,24-25],只是框架的制作材料或结构形式有所不同。

3.4 土工织布或土工格网生态复植

由于土工织布或格网具有渗透和保沙功能,可将其做成如四方形、长圆筒形或垫状形,活枝可插入袋间或刺入袋中,活枝成活后不仅可以增强岸坡稳定性,防止洪水水流侵蚀,而且增加了河岸景观,不足之处是在护岸效果与其他形式相同的情况下投资较高。土工材料固土种植基可分为土工网垫固土种植基、土工格栅土种植基、土工单元固土种植基等多种形式^[8,10,23-24]。

4 辅助施工法

生态护岸辅助施工技术主要是利用种植或移植景观植物进行护坡固土保沙,防止水土流失,同时满足生态环境的需要,营造景观、美化环境。除采用种植或移植根系发达的植物外,近年来还出现了多种新型材料及其施工方法^[1],大致有以下几种。

4.1 植被型生态混凝土

植被型生态混凝土主要由多孔混凝土、保水材料、难溶性肥料和表层土组成。多孔混凝土由粗骨料、混有高炉炉渣和硅灰的水泥、适量的细料组成,是植被型生态混凝土的骨架。保水材料常用无机人工土壤、吸水性高分子材料、苔泥炭及其混合物。表层铺设多孔混凝土,形成植被发芽空间,同时提供植被发芽初期的养分。

植被型生态混凝土可做成预制块体,形成砌体结构挡土墙,或直接作为护坡结构应用在城市河道护坡或护岸结构中,近年来日本在这方面进行了较多的设计研究工作,并有工程实例。

4.2 水泥生态种植基

水泥生态种植基是由固体、液体和气体三相组成的具有一定强度的多孔性材料。固体物质主要包括适合于植被生长的土壤、肥料、有机质及由低碱性的水泥和河砂组成的胶结材料等。在种植基固体物质间,由稻草秸秆等成孔材料形成孔隙,以便为植物提供充足的水分和空气。在种植基内还可填充保水剂,保持植物在常日照坡面能很好生长。水泥生态种植基目前在国内外均有研究,但作为河道护坡材料的应用较为少见。

4.3 土壤固化剂

固化剂是以水泥为主体掺入特殊的激发元素后制成,其机理主要是固化剂中的水分子调节剂与土壤中的水分子形成化学键,对水分子有很强的吸附作用,利用土壤稳定固化,其中含有微晶核,通过晶核配位,在土颗粒孔隙中生成针状晶体,形成骨架结构,固化剂中的固化分子通过交联形成三维网状结构,从而提高土壤的抗压、抗渗、抗折等性能指标^[1]。因此,采用固化剂可使河底或河岸土层表面结壳,与混凝土相似具有硬化土壤表面的功能,而松软的下层又具有近似于土壤的性能,从而既能达到固土保沙的目的,又能使底层有利于水生物繁衍生殖,满足生态需要。

高性能土壤固化剂固化处理各种污泥在日本等国已有 30 多年的历史,广泛应用于道路工程、土木建筑工程、环境保护工程、农田水利工程中。我国于 20 世纪 90 年代曾引进土壤固化剂首次大面积用于

湖底固化,近年来又多次应用于灌溉渠道防渗,但作为护坡工程材料直接应用于河岸防护尚未有实例,值得尝试。

5 结 语

河道生态护岸技术主要是利用植被来保护河道岸坡,与传统护岸工程方法相比,除了具有增强岸坡稳定性、防止水土流失等工程措施所具有的功能外,还具有成本小、工程量小、环境景观协调性好、适应性好等优点。

坡面土壤防护法采用根系密集型的禾本科草种植物,提高坡面土壤的抗冲蚀能力,起到保护坡面的效果,但无法对岸坡深部产生稳定加固作用。岸坡稳定法利用木科型深根植物的根系加固岸坡,提高和加强岸坡的稳定性,有效防止滑坡坍塌。组合施工法将植物种植与常规建材以及土工复合材料配合应用,组成岸坡防护工程。辅助施工法利用种植或移植景观植物,美化环境。生态护岸工程虽对许多河岸冲刷防护十分有效,但并不能彻底解决土壤冲刷或边坡失稳的问题。尤其是高水位引起的滑坡,因受水位的影响,水下植物不易成活,当河岸较高时,由于植物根系不能深入到河堤堤脚,植树反而会增加河岸的不稳定性。因此实际工程中,须针对具体情况选择适当的护岸工程措施。

参考文献:

- [1] 季永兴,刘水芹,张勇.城市河道整治中生态型护坡结构探讨[J].水土保持研究,2001,8(4):25-27.
- [2] 龙笛,潘巍.河流保护与生态修复[J].水利水电科技进展,2006,26(2):21-25.
- [3] ALLEN H H, LEECH J R. Bioengineering and river management[R]. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, 1997.
- [4] SCHIECHTL H M, STERN R. Water bioengineering techniques for watercourse bank and shoreline protection[R]. Blackwell Science Inc, 1997.
- [5] 林武淮.生态工法於河床稳定及河岸保护之技术[D].台中:逢甲大学,2002.
- [6] 唐廷贵,张万钧.论中国海岸带大米草生态工程效益与“生态入侵”[J].中国工程科学,2003,5(3):15-20.
- [7] KE Cheng-chun, FENG Zi-yuan, WU Xi-jing, et al. Design principles and engineering samples of applying vetiver eco-engineering technology for steep slope and river bank stabilisation[EB/OL].[2004-05-10]. www.vetiver.com/ICV3-Proceedings/CHN_riverbank.pdf.
- [8] ALLEN H H, LEECH J R. Bioengineering for streambank erosion control[R]. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, 1997.

(下转第 111 页)

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 nourishmen[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] .

(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> .
 [10] THOMAS G F .Surface water management specialist bioengineering for hillslope[EB/OL].[2004-05-10]. 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 .
 [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 distric[EB/OL].[2004-05-10]. <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> .
 [17] GARY S .Bioengineering bank stabilization[EB/OL].[2004-05-10]. <http://www.fernald.gov/Future/bank.htm> .
 [18] Robbin B Sotir & Associates Inc .Johnson Creek[EB/OL] .

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 result[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 tex[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 Netherland[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)

[2004-05-10]. <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/> .
 [20] New river state park .Riverbank stabilization projec[EB/OL].[2004-05-10]. <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> .
 [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 .
 [23] Stream bank stabilization[EB/OL].[2004-05-10]. <http://www.deq.state.mi.us/documents/deq-swq-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> .
 [25] Stabilizing soils in a challenging proving ground the Mississipi Delta[EB/OL].[2004-05-10]. <http://www.erosioncontrol.com> .

(收稿日期 2006-05-31 编辑 骆超)