

中小河流生态护岸技术发展趋势与热点问题

关春曼¹, 张桂荣², 程大鹏³, 何 斌², 费宗如³

(1. 水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 3. 南京市水利规划设计院有限责任公司, 江苏 南京 210022)

摘要:目前我国河流整治工程中过度硬化现象仍较普遍,亟需开发和应用兼具生态保护、资源可持续利用以及符合工程安全需求的生态护岸技术。生态护岸不仅具有传统护岸的行洪、排涝以及水土保持等功能,而且还融入了城市景观、文化和生态等内容,以实现人与自然的和谐共处。结合生态护岸的基本定义,总结了国内外在中小河流生态护岸研究方面的进展及其不足之处,阐述了生态护岸构建技术,指出生态岸坡构建应与传统护坡技术结合、与土工合成材料结合,同时注重新型植被生长基质研发和施工方式的创新。针对现阶段生态护岸技术在破坏机理与耐久性、生态恢复效果定量评价等方面的不足之处,文中提出了若干生态护岸建设中亟需攻克的关键技术问题,并展望了未来的主要研究方向。

关 键 词: 中小河流; 生态护岸; 土工合成材料; 结构型式; 植物群落

中图分类号: TV861

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2014)04-0075-07

作为河流的组成部分,河岸带生态系统主要由3大部分组成,包括属于陆地生态系统的坡顶和属于河流生态系统的坡脚,以及作为水陆生态系统过渡带的坡面。坡面发挥着过滤器、廊道和天然屏障等作用^[1],集中反映了人类与河流之间的物质、能量和信息的冲突与交换。但是,随着人口增长、经济发展以及人类不合理开发活动的加剧,加之长期水位变化侵蚀、船行波淘蚀,河岸带脆弱的生态系统不断退化和恶化;随着河流生态环境破坏的负面影响日益突出,河流生态环境保护也越来越受到关注。21世纪之初我国逐步开始关注水利生态问题,但总体上重视不够,尤其在河流整治工程中,过度硬化现象非常突出,依然采用传统的河道整治工程思路,主要从稳定河道目的出发,采用浆砌块石、钢筋混凝土护坝等硬质护岸材料,护岸结构形式也基本为直立式。传统的护岸结构虽然抗侵蚀与耐久性作用明显,但封闭僵硬,隔绝了土壤与水体之间的物质交换,使得土壤、植物、生物之间的有机联系被切断,破坏了岸坡周边的生态系统。据统计,在使用传统护岸模式后,仅单一防护,沿河生物种类就减少了70%以上,水生物种类也下降到了原本的50%,有的地区更为严重。同时,河道的截弯取直工程实施使得河流渠道化问题凸显,造成生物栖息地丧失或连续性中断,加速了栖息地破碎化与边缘效应的发生,同时也造成了水体物理与化学过程的变化,使河流廊道的潜在栖息地消失,河流的自净能力消失殆尽,河流污染严重。

近年来,开发和应用兼具生态保护、资源可持续利用以及符合工程安全需求的生态护岸技术,已经成为河流整治工程的创新内容。该技术利用植物或者植物与土木工程相结合,对河道坡面进行防护所遵循的原则可概括为:规模最小化、外形缓坡化、内外透水化、表面粗糙化、材质自然化与成本经济化^[2]。该技术遵循自然规律,它所重建的近自然环境除了满足以往强调的防洪工程安全、土地保护、水土保持等功能以及后来提倡的环境美化、日常休闲外,同时还兼顾维护各类生物适宜栖息地环境和生态景观完整性的功能,将越来越受到人们的关注。

收稿日期: 2014-02-10

基金项目: 水利部公益性行业专项经费项目(201201037);水利部“948”项目(201204);2012年度江苏省水利科技项目(2012009);2011年度江苏省交通运输科学研究计划项目(No. 2011Z01-1)

作者简介: 关春曼(1969-),女,吉林吉林人,高级工程师,主要从事水利工程规划设计工作。

E-mail: guanchunman@giwp.org.cn

1 中小河流生态护岸技术发展现状

基于对传统硬质岸坡缺点的认识,国内外学者提出了生态护岸或生态岸坡的概念。生态护岸是指能在防止河岸坍方之外,还具备使河水与土壤相互渗透,增强河道自净能力,有一定自然景观效果的河道护坡形式。黄岳文等^[3]认为生态护岸是融现代水利工程学、生物科学、环境学、生态学、景观学、美学等学科为一体的水利工程;罗利民^[4]认为生态护岸是结合治水(水利)工程与生态环境保护的一种新型护岸技术。陈明曦等^[5]认为,生态护岸是现代河流治理的发展趋势,是以河流生态系统为中心,集防洪效应、生态效应、景观效应和自净效应于一体,以河流动力学为手段而修建的新型水利工程。

国外关于岸坡生态防护技术利用最早可追溯至公元前 28 世纪,欧洲凯尔特人和伊里利来人开始采用柳枝编织篱笆的技术^[6],后来罗马人将柳枝柴笼和草捆用于水利建筑工程防护;20 世纪 60 年代后期,德国及瑞士认识到传统的水利设计及管理思想是导致河流自然生态系统受损的根本原因,开始进行受损河岸生态系统恢复的试验研究^[7]。20 世纪 70 年代末,这种生态护岸技术得到了长足的发展,并形成了大量的文献资料,其中加拿大人 H. M. Schiechl 分别于 1980 和 1997 年撰写的《土地利用与保护的生物工程技术》和《护坡与侵蚀控制的地面生物工程技术》,是土壤生物工程技术最基础、最系统、最重要的著作,为该技术的发展奠定了理论基础。除此之外,还有 D. H. Gray, A. T. Leiser 和 R. B. Sotir 分别合著的《护坡与侵蚀控制的生物技术》、《美国山地护坡与减蚀的土壤生物工程》、《坡稳定的生物技术与土壤生物工程》等重要文献资料^[6]。20 世纪 90 年代日本河川局正式出台《多自然型河川建设实施要领》^[8-9],对建设自然型河川的目的、定义、实施细则和注意项目等都作出了非常明确和具体的规定,从此揭开了河道生态建设的序幕。德国、美国、日本、法国、瑞士、奥地利等国纷纷大规模拆除了以前人工在河床上铺设的硬质材料。采用混凝土施工、衬砌河床而忽略自然环境的城市水系治理方法已被各国普遍否定,建设生态河堤已成为国际大趋势。发达国家进行了大量混凝土河岸的生态修复试验研究,在河流自然生态系统恢复方面也积累了大量成功范例^[10]。但是,这些工作多以积累典型工程案例为主,对于河流生态系统恢复的自我调节过程缺乏动态量化研究,尚未建立一套河流生态恢复效果的量化评价指标体系。

20 世纪 90 年代以来,河流生态护岸技术在我国逐渐受到重视。辽宁雅江利用柳圈坝治理河岸取得了良好的结果;石笼挡墙、网笼垫块护坡、复合植被护坡等护岸技术在中小河流治理中得到应用;台湾在基隆河的生态治理中,选用天然块石堆砌成不同类型的护岸来营造植物生长发育的空间。“十一五”期间国内开展了不少有关生态岸坡的研究和实践。上海、浙江、江苏和广东等经济发达地区和中西部部分中心城市在国家水利专项等重大科技项目支持下开展了较多生态护坡治理示范工程。江苏在京杭运河江苏段、通榆河等河道整治中部分河段采用了生态护坡结构,如苏南运河镇江段采用现浇钢筋混凝土空箱结构,常州段采用具有消散波能的透水钢筋混凝土箱式结构、锡北段开阔水域采用联排桩树篱生态护岸型等,河道岸坡生态恢复效果较为明显。以董哲仁教授为代表的水利工程界专家通过对我国过去水利工程建设弊端的反思,提出生态水利工程原理和技术^[2],有力推动了国内生态水利学的发展。

但是,从示范工程后期运行效果来看,生态护岸建设技术存在如下几个问题:

(1) 季节性限制。目前在植物特性及稳定植物群落形成等方面缺少系统性研究,绿化植物改善环境受季节性限制,不能持续发挥生态效应;另外,在诸多河流生态恢复治理工程中,出于某种目的需要,急功近利,忽视了自然规律,违背了生物学和生态学原则,仅在生态恢复养护期的 1~2 年内能维持正常的绿色,之后便一片荒凉。

(2) 材料自身污染。除乡土树种等纯生物技术或手段外,大凡采用的硬质如绿化混凝土均有自身不同程度的污染问题。

(3) 航道整治中的大部分直立式生态护岸不耐撞击,且毁损后不易修复等。

(4) 生态袋护坡结构耐久性问题。生态袋护坡经过长时间雨淋、冻融后会塌陷,破坏坡面稳定性及表面效果。如苏南运河镇江凌口航道二级护岸采用的几近直立式生态袋挡墙,结构本身安全稳定,但绿化效果不

尽人意,因填充土质为粉砂土,生态袋填充物保水性能差,在天气连续干旱情况下,生态袋墙面草本和藤本灌木因缺水而枯萎或死亡。因而,在河流生态恢复治理工程中,植物的选择一定要遵循植物群落的某些特性,如群落演替、生物多样性等,同时需在护岸结构耐久性与生态性的有机结合方面开展深入研究,以达到岸坡安全、景观亲水、生态宜人,并恢复河道自然生态系统的功能。

2 中小河流生态岸坡构建技术

传统护坡技术伴随土木工程的发展不断成长,具有更为悠久的历史。该技术的优势在于具有成熟的理论和技术,它能够处理高难度边坡工程问题,且有即时护坡的功效,其安全性和耐久性具有较高的保障;不足之处在于工程一次性投入大,护坡材料中的钢筋、混凝土等为高耗能材料,不具备环保效益。护坡材料呈现逐步老化的趋势,工程效果可能不断弱化^[10]。此外,生硬的传统护坡工程与周边环境不协调,破坏环境和景观,影响生态系统的正常循环,违背了生态环保和可持续发展的理念。岸坡生态防护技术弥补了传统护坡技术的不足。该技术在实现岸坡安全稳定及耐久目标的同时,为生物创造良好的生存环境;随着植被的生长繁殖,护坡的成效以不断增强的趋势发展。

但是,岸坡生态防护技术也有不足之处,植被的生长需要一定的周期,初期难以达到预期的护坡效果;并且,植被生长需要与之相适宜的土壤气候条件,需要进行后期养护。为此,生态护岸技术通常需与其他工程措施相结合,按照工程措施的不同,生态护岸构建技术主要围绕以下3方面进行:①与传统护坡技术的结合;②与土工合成材料的结合;③基质研发和施工方式的创新。这3个技术方向不同程度上将生态的理念引入到河道岸坡防护中,充分发挥植被的固土护坡以及防冲刷功效,同时为动植物和微生物提供生存空间,为人类提供河岸休闲景观空间。在满足岸坡防护要求的情况下,自然植被护坡是首选的生态护岸技术。

2.1 与传统护坡技术的结合

将传统的护坡技术和植被固坡方式结合,进行合理的结构设计,是生态护岸较为常规的方式。传统技术和结构设计方案的选取是根据通航要求、河岸土体特性、岸坡特点以及可用材料等多因素综合考虑进行经济合理的设计,常常是因地制宜,就地取材,具有良好的护岸效果。常用的护岸技术方案有:①抛石护脚+植草护坡(图1),该方法造价低廉,施工简单,但植被护坡部分抗冲击能力差。②预制混凝土连锁空心块体+植草,这是目前用于岸坡侵蚀防护的较常用技术。连锁块体砌筑抗冲刷能力良好,结构整体性好,适用于水流和风浪淘刷侵蚀严重、坡面相对平整的河流岸坡。块体空心处填充卵石、原表层土或腐殖土等,供植被生长和水体渗流,施工便捷,适应能力强。③直立矮墙+混凝土方格植草,直立矮墙的设置可节省放坡距离,同时利于河道通航。混凝土方格与格子梁类似,对边坡的稳定起到骨架作用,为植被生长提供了更为开阔的空间条件^[11]。④木桩植被复合护岸(图2),该技术沿着河岸向岸坡底部直接打入圆木桩,抵挡船行波及水位变化带来的冲刷和淘蚀,上部土坡可种植根系发达、观赏性较好的水陆两栖植物^[12]。该类型的护岸不仅可满足生态型护岸坡去硬质化的要求,还能满足一定的抗洪能力要求,适用于大部分自然原型河岸的生态修复。

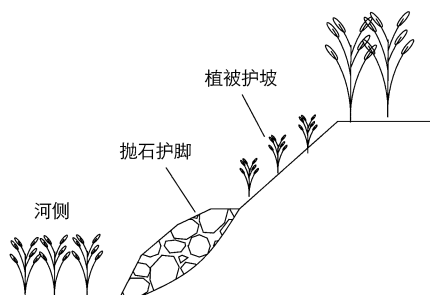


图1 抛石护脚

Fig. 1 Diagram of riprap revetment

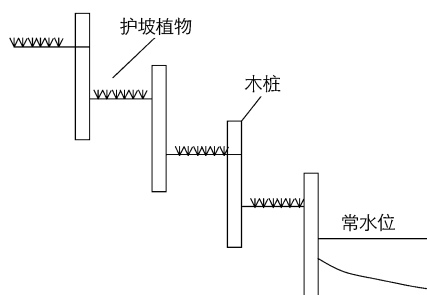


图2 木桩植被复合护岸

Fig. 2 Composite revetment of piles with vegetation

2.2 与土工合成材料的结合

土工合成材料在强度、柔韧性、渗透性、耐久性等多方面具有相当的优越性,土工合成材料和生态理念的结合产生了较多经济可行的生态护岸技术,其与岸坡土、植被根系共同形成的防护体系具有极高稳定性。按照稳定、经济与适用的原则,介绍以下 3 种生态护岸类型。

(1)生态袋护岸技术。在袋中装入含腐殖质的土体作为植被生长的基质,通过连接扣、加筋格栅等组件连接,在冲刷较严重的坡脚部位利用石笼作为护脚,共同形成力学稳定的生态软体岸坡(图 3)。生态袋在风吹、日晒、雨淋、自然降解、酸雨、河水冲刷等方面均有较好的品质,透水不透土,既能防止袋内填充物流失,又能实现水分在土壤中正常交换。同时,柔性生态袋可适应坡面局部变形,并可根据坡面形态做成阶梯型式^[13]。因而,该柔性护坡技术特别适合于地形坡度变化较大的岸坡。

(2)土工格室护岸技术。土工格室是由强化的 HDPE 片材经高强度焊接而制成的一种三维网状格室结构,具有伸缩自如、运输可缩叠、施工时可张拉成网状等特点,构成具有强大侧向限制和大刚度的结构体。土工格室生态护岸技术是将土工格室铺设在岸坡上,格室中填充腐殖土、河道疏浚弃土、碎石、草种等材料组成的混合物,格室内可扦插活枝条与草本植物共同形成植被覆盖层,有助于减缓水流流速,为生物提供栖息地。

(3)三维植被网垫护岸技术。利用人工加工复合的防护网结合灌草种子进行岸坡防护和植被恢复(图 4),可在河道坡面构建一个具备自修复能力的功能系统;并可在保护岸坡抵御侵蚀的同时,改善栖息地环境。植被网垫具有高孔隙率、强通透性等特点,利于植物根部的发育;网片表面粗糙凹凸,可减缓水流冲刷。植物生长茂盛后,网片与根系、土壤形成强劲加筋体,起到复合护坡的作用^[2]。



图 3 生态袋护岸图片

Fig.3 Diagram of ecological bag revetment

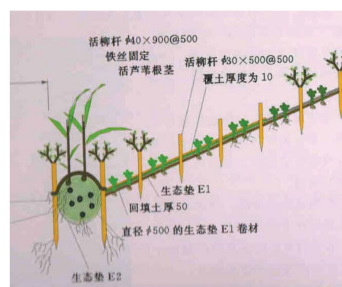


图 4 三维植被网垫护坡示意图

Fig.4 Diagram of 3D vegetation mattress revetment

2.3 新型植被生长基质材料研制

河道岸坡的稳定性问题之一在于坡体自稳能力差,松散的岸坡土体难以为植被生长提供稳定环境。因此,新型植物生长基质材料的研制成为生态护岸技术发展的新方向。目前主流的植被生长基质材料是生态混凝土、水泥生态种植基和土壤固化剂。基质自身的力学特性能够满足岸坡稳定要求,同时能为植被提供适宜的生长环境,并能实现较高的机械化作业。

(1)生态混凝土。生态混凝土起源于日本,后推广于河道护坡方面,由多孔混凝土、保水材料、缓释肥料和表层土组成;多孔混凝土充当骨架,由粗集料、水泥、适量的细掺和料组成;保水材料以有机质保水剂为主,并掺入无机保水剂,为植物生长提供必需的水分;表层土铺设于多孔混凝土表面,形成植被发芽的空间,减少土中水蒸发,提供植被发芽初期的营养。生态混凝土基材具有一定的强度和抗侵蚀性能,可直接作为岸坡防护材料。该技术的优点是机械化程度较高,可进行全坡面喷植,生产效率高^[14]。

(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。固体物质主要包括土壤、肥料、有机质及由低碱性的水泥、河砂组成的胶结材料等,固体物质间由稻草秸秆等成孔材料形成孔隙,在种植基内还可填充保水剂。水泥生态种植基构筑的固、液、气三相体为植被生长提供了良好的环境。

(3)土壤固化剂技术。土壤固化剂是以水泥为主体掺入特殊的激发元素后制成,与土壤混合后经过一

系列物理化学反应,固化剂中的固化分子形成三维网状结构^[15],提高了土体的抗压、抗渗、抗折等力学性能指标,同时提供了植物生长的必要土壤环境。

3 我国中小河流生态护岸研究热点问题

目前,国内对生态护岸的关注度越来越高,生态护岸技术的研究也越来越深入和成熟,其应用范围也逐渐广泛起来,但生态护岸技术在理论研究和实践方面尚存在不少问题,未来几年内有必要结合研究成果和工程经验,集中攻克如下共性关键技术问题。

3.1 岸坡失稳破坏机理和植被护岸机理研究

基于水力学和泥沙运动力学,利用大型水槽试验和带高速水流系统的离心模拟技术,研究水流波浪条件、岸坡结构类型、岸坡形态、降雨、岸坡植被等不同因素及其组合条件下,各类岸坡失稳破坏理论;深入分析近岸水流的冲刷力和岸坡土体的抗冲力,建立水流侧蚀的概化物理力学模型。

植物对航道岸坡的抗滑稳定性影响包括水文效应和力学效应两方面。在水文效应方面,研究含植被生态护岸的内河航道水流的阻力特性、流速分布特性、泥沙运动特征、水位流量过程及行洪能力、航道水流涡量场与紊流特性,研究生态护岸对船行波的消波作用;在力学效应方面,利用室内试验和现场试验,以直剪试验为主要研究手段,以土体抗剪强度作为综合评价植被根系固土效果的指标,分析植被根系的固土贡献,针对植被的抗侵蚀机理及植被根系加筋作用和抗滑稳定机理开展深入研究。

3.2 生态护岸新型结构型式研究

深入研究适合于不同河流地貌形态的绿色生态护岸结构形式,包括自然型亲水护岸、景观挡墙组合、坡面滩地立体绿化以及植物选择和搭配等,研发多种绿色生态护岸材料,如新型生态混凝土、生态膜袋技术等,开发中小河流绿色生态护岸设计方法及构建技术。研究新型导渗、析渗技术,使之集抗渗、导渗、析渗等功能于一体,集成岸坡土壤改良及水体生态净化的技术。研究生态护岸监测评估技术,构建岸坡生态恢复效果综合评价体系。

3.3 生态护岸结构破坏机理及耐久性研究

生态护岸结构如生态袋护岸、石笼网护岸和土工格室护岸等,应用于工程时间较短,大部分还停留在试验性应用阶段,国内外对其破坏机理及耐久性的研究较少。

生态柔性护岸结构破坏的影响因素复杂多样,多种影响因素之间相互作用,这是该研究的难点所在。需综合考虑影响护岸结构破坏的各种因素,重点研究护岸结构破坏的主要因素,采取单一因素逐个研究的方法,假定各因素相互独立,分别对各因素进行研究,探讨生态护岸结构破坏的力学机理,根据护岸结构破坏程度和破坏形式,建立护岸结构破坏判断标准。在生态护岸结构耐久性研究方面,以生态袋这一典型柔性护岸材料为例,通过对比新旧生态袋的力学性能、水力学性能和抗老化性能,揭示生态袋理化性能与生态岸坡质量的内在联系,研究生态袋护岸结构在实际工程应用中的耐久性,进而指导护岸设计、施工和生态袋生产技术的改进。

3.4 生态护岸效果监测和动态评估技术

由于我国的河流生态修复工作刚刚起步,对于河流岸坡生态防护工程成功与否的判断,从理论到实践上都存在不同认识。由于缺少这类判别准则,在很多河流岸坡防护工程的投资和执行中缺乏相应的评估措施,很难对岸坡生态恢复效果进行有效监测、评估。因此,亟需制定河流岸坡生态恢复效果动态评估方法。根据岸坡特点,可将岸坡生态恢复效果评估分为4个层次:总目标层、评价准则层、评价指标层和结构层;以岸坡生态恢复效果最佳的护岸类型为总目标,以岸坡土体物理化学特征、岸坡稳定性特征、岸坡植被及水质特征为准则,在此基础上选择多个指标对岸坡生态恢复效果进行综合评价。

3.5 生态护岸建设技术指南与生态岸坡维护与管理方面的配套机制研究

目前,我国在河流生态护岸建设技术方面尚无国家及行业标准。在已有的生态护岸治理示范工程中,岸坡生态恢复效果较为明显,但存在季节性限制、护坡材料自身污染、护坡材料毁损后不易修复、护坡结构耐久

性不足等几方面的问题。同时,由于缺少相关标准的指导,国内生态护岸治理工程良莠不齐,生态恢复效果差异明显,在生态护岸效果评价及长效管理机制方面的技术方法尤为欠缺。因此,急需制定生态护岸建设技术指南以指导工程实践。另外,河流岸坡生态治理技术的发展还处于初始阶段,后期配套维护管理要求尚无成熟的经验,生态护岸结构疏于管理、人为破坏、自然损毁等情况较为严重,为生态护岸结构的顺利推广应用带来了负面影响。因此,生态护岸维护与管理方面的配套机制有待进一步的经验积累和发展提高。

4 结 语

河流生态修复的目标不是要让河流系统完全恢复到原来的原始状态,而应该是恢复河流系统的必要功能,使其达到新的动态平衡。一方面,要提高河道稳定性,降低河道维护费用。另一方面,恢复或重构河流生态系统的必要结构和功能,如改善水质、加强栖息地功能等,实现河流生态系统可持续性特征,并使其实现自我维持。从国内外有关研究和技术发展趋势来看,河流岸坡生态护岸技术的核心思想是在保证岸坡稳定的前提下,以营造岸坡的生物多样性为目标,利用柔性网络及植被根系和枝茎的生态自适应性,形成一体化的岸坡变形自适应的综合防护体系,以提高河流自净能力,并改善人居环境。另外,绿色河流建设的关键是形成具有自支撑与自我修复能力的护岸结构与稳定的植物群落。稳定的植物群落不仅可以消解水力淘蚀、船行波等对土质岸坡的侵蚀,而且可以利用植物根系的固着能力稳定岸坡,形成具有美学和生态价值的绿色廊道。

总的来看,河流土质岸坡的生态恢复区别于水体修复提出的生态护坡治理:河流土质岸坡生态恢复需要着重强调土质岸坡的物理稳定性,水体修复目的的生态护坡治理在于控制污染源、净化水体和恢复生物多样性等生态环境目的,最好的河流岸坡生态恢复的办法是实现二者的结合。但是,我国河道生态恢复理论及开发应用还处于起步阶段,对河道生态护岸的研究主要集中在生态护坡的定义、功能的定性描述阶段,生态恢复效果定量评价标准匮乏;或是过于关注护岸结构型式设计,忽视了对已完成的生态护岸工程的监测及动态评估。为此,需要针对本文提出的共性关键技术问题开展基础理论和应用技术研究。

参 考 文 献:

- [1] 尚宗波,高琼.流域生态学生态学研究的一个新领域[J].生态学报,2001,21(3):468-472. (SHANG Zong-bo, GAO Qiong. Watershed ecology - a new research area of ecology[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(3): 468-472. (in Chinese))
- [2] 董哲仁,孙东亚.生态水利工程原理与技术[M].北京:中国水利水电出版社,2007. (DONG Zhe-ren, SUN Dong-ya. The principle and technology of ecological water conservancy project[M]. Beijing: China Water Power Press, 2007. (in Chinese))
- [3] 黄岳文,吴寿荣.感潮河道的生态护岸设计[J].吉林水利,2005(8):10-12. (HUANG Yue-wen, WU Shou-rong. Ecological revetment design on tidal river[J]. Jilin Water Resources, 2005(8): 10-12. (in Chinese))
- [4] 罗利民,田伟君,翟金波,等.生态交错带理论在生态护岸构建中的应用[J].环境保护,2004(11):26-30. (LUO Li-min, TIAN Wei-jun, DI Jin-bo, et al. Application of the ecotone theory in bioengineering design[J]. Environmental Protection, 2004(11): 26-30. (in Chinese))
- [5] 陈明曦,陈芳清,刘德富.应用景观生态学原理构建城市河道生态护岸[J].长江流域资源与环境,2007,16(1):97-101. (CHEN Ming-xi, CHEN Fang-qing, LIU De-fu. Application of landscape ecology in construction of nature river levee[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(1): 97-101. (in Chinese))
- [6] 夏继红,严忠民.国内外城市河道生态型护岸研究现状及发展趋势[J].中国水土保持,2004(3):20-21. (XIA Ji-hong, YAN Zhong-min. Research status of ecological revetment on urban river at home and abroad and its development trends[J]. Soil and Water Conservation in China, 2004(3): 20-21. (in Chinese))
- [7] 杨海军,内田泰三,盛连喜,等.受损河岸生态系统修复研究进展[J].东北师大学报:自然科学版,2004,36(1):95-100. (YANG Hai-jun, UCHIDA Taizo, SHENG Lian-xi, et al. Advances in studies on the restoration of the damaged riparian ecosystem[J]. Journal of Northeast Normal University(Natural Science Edition), 2004, 36(1): 95-100. (in Chinese))
- [8] 财团法人河口整治中心.河流与自然环境[M].吴浓娣,张祥伟,高波,等,译.郑州:黄河水利出版社,2004. (Estuary Regulation Center of Japan Consortium. The rivers and the natural environment[M]. Translated by WU Nong-di, ZHANG Xiang-

- wei, GAO Bo, et al. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2004. (in Chinese))
- [9] 日本土木学会. 滨水景观设计[M]. 孙逸增,译. 大连:大连理工大学出版社,2002. (Civil Society of Japan. Waterfront landscape design[M]. Translated by SUN Yi-zeng. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2002. (in Chinese))
- [10] MITSCH W J. Ecological engineering: a new paradigm for engineers and ecologists[M]. Washington D C: National Academy Press, 1996, 145.
- [11] 刘黎明,邱卫民,许文年,等. 传统护坡与生态护坡比较与分析[J]. 三峡大学学报:自然科学版,2007,29(6):528-532. (LIU Li-ming, QIU Wei-min, XU Wen-nian, et al. Discussion on traditional slope protection and ecological slope protection technology. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2007, 29(6): 528-532. (in Chinese))
- [12] 徐朝辉,步海滨,程巍华,等. 内河航道生态护岸的发展及应用分析[J]. 水运工程,2009(9):107-110. (XU Zhao-hui, BU Hai-bin, CHENG Wei-hua, et al. Development and application of ecological protection bank for inland waterway[J]. Port & Waterway Engineering, 2009(9): 107-110. (in Chinese))
- [13] 罗朝晖,陈菁,陈丹,等. 通南高沙土区河道岸坡生态治理模式研究[J]. 三峡大学学报:自然科学版,2012,34(5):28-33. (LUO Zhao-hui, CHEN Jing, CHEN Dan, et al. A study of ecological restoration models of river bank in Jiangsu Tongnan area of soil with high-content sands[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2012, 34(5): 28-33. (in Chinese))
- [14] 张桂荣,赵波,饶志刚,等. 土质岸坡生态防治技术研究[J]. 郑州大学学报:工学版,2012,33(5):87-91. (ZHANG Gui-rong, ZHAO Bo, RAO Zhi-gang, et al. Study on ecological controlling techniques for soil bank slope of channel[J]. Journal of Zhengzhou University(Engineering Science), 2012, 33(5): 87-91. (in Chinese))
- [15] 夏振尧,许文年,王乐华. 植被混凝土生态护坡基材初期强度特性研究[J]. 岩土力学,2011,32(6):1719-1724. (XIA Zhen-yao, XU Wen-nian, WANG Le-hua. Research on characteristics of early strength of ecological slope-protected base material of vegetation-growing concrete[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(6): 1719-1724. (in Chinese))

Development trends and the hot topics of ecological revetment technology for medium and small rivers

GUAN Chun-man¹, ZHANG Gui-rong², CHENG Da-peng³, HE Bin², FEI Zong-ru³

(1. General Institute of Water Resources & Hydropower Planning and Design, MWR, Beijing 100120, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210022, China)

Abstract: At present, there is an excessive hardening phenomenon in river regulation works in China. It is urgent to develop ecological revetment technologies to meet the requirement of ecological protection, sustainable utilization of resources and project safety. Compared with traditional bank protection works, the ecological revetments have not only the general functions, such as flood discharge, drainage, soil and water conservation, but also advantages of nice city landscape, ecology and culture, which realizes the harmonious coexistence between man and nature. Considering the basic definition of the ecological revetment, research progress and drawbacks of the ecological revetment for the medium and small rivers are summarized in this study. It points out that the construction of ecological revetment mainly focuses on the following aspects: the combination with traditional bank protection technology, application of geo-synthetics, new substrate development for vegetation growth and construction mode innovation. In view of the shortage of the ecological revetment technology at the present stage, concerning failure mechanism and durability, and quantitative evaluation on ecological restoration effects, etc., several common crucial problems are put forward, and main research directions in the future are proposed.

Key words: meclium and small rivers; ecological revetment; geo-synthetics; structure form; plant community