

水利工程中生态护岸型式的研究

荣云杰¹,刘经强^{1,2*},徐树宝³

1. 山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018

2. 山东农业大学 勘察设计院, 山东 泰安 271018

3. 山东省新泰市水利局, 山东 新泰 271200

摘要:生态护岸是一种新型、生态的护岸型式。与传统护岸相比,生态护岸能保证河流生态的可持续健康发展,应用前景广阔。本文着重总结了生态护岸的设计原则,概括了护岸植物的选择因素,通过国内外的研究和工程实例,对水利工程中常见的生态护岸类型按照天然材料在护岸材料中所占比重进行总结分类,并介绍了其适用范围和优缺点等。提出生态护岸在实际应用过程中,应摆脱自身局限性,结合现状、综合灵活地选择治河方案和护岸型式。

关键词:生态护岸;设计原则;护岸型式;工程措施

中图分类号: TV861

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2017)04-0549-04

Study on the Patterns of Ecological Revetment in Hydraulic Engineering

RONG Yun-jie¹, LIU Jing-qiang^{1,2*}, XU Shu-bao³

1. College of Water Conservancy and Civil Engineering/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

2. Institute of Survey and Design/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

3. Xintai Water Conservancy Bureau of Shandong Province, Xintai 271200, China

Abstract: Ecological revetment is a new pattern, it ensures the sustainable and healthy development of river ecology and has broad prospects compared with traditional one. This paper emphasized the design principle for ecological revetment, summarized the selective factors for plants, classified revetment patterns according to proportions of natural materials in revetment matters through domestic and oversea project cases and introduced their application scopes and relative merits. In conclusion, ecological revetment in the practical application process should get rid of its own limitations, combine with the status quo, choose river regulation schemes and revetment type comprehensively and flexibly.

Keywords: Ecological revetment; design principles; revetment patterns; engineering measures

传统护岸工程在设计上考虑最经济断面可输送最大流量的原则^[1],在平面布置、断面设计和材料选择等方面,侧重工程安全性及人类需求性,具体表现为:为减少工程量、节省耕地和减少移民搬迁等,在平面布置上,将曲折的天然河道改造成直线或折线的人工河道;为便于计算、增强输水能力和易于施工等,横断面往往设计成梯形、矩形等规则形状;为减少渗漏、提高岸坡抗冲性、抗侵蚀性及耐久性等,边坡通常采用表面糙率较小的混凝土、砌石等硬质材料。基于这些原因,功能单一的传统护岸工程将会造成河流形态的均一化和不连续化,对河流生态系统造成胁迫,以致生物群落多样性水平下降^[2]。

与之相比,生态护岸工程利用植物或者植物与工程相结合的技术手段^[3],在确保护岸结构稳定性和安全性的前提下兼顾工程的生态效应^[4],达到水体、土体和生物相互涵养,适合生物生长的仿自然状态^[1]。生态护岸集防洪、生态、景观和自净功能于一身^[3],遵循规模最小化、外型缓坡化、内外透水化、表面粗糙化、材质自然化及成本经济化的原则^[5],更能满足生态保护、资源可持续利用和工程的安全需求。因此,随着社会的进步和人们生态环境意识的增强,生态护岸工程技术势必代表护岸技术的发展趋势,受到越来越多地重视和应用。

1 生态护岸的设计原则

生态护岸的基本设计原则是在确保河道基本泄洪、固岸功能的前提下,兼顾恢复和保持河道及周边的自然环境,维持水域生态系统的稳定,提高土地的使用价值,创造良好的景观效应等功能。具体表现为以下六个原则。

收稿日期: 2016-03-30

修回日期: 2016-06-02

作者简介: 荣云杰(1991-),男,硕士研究生.研究方向为水利工程. E-mail:ryj113@163.com

*通讯作者: Author for correspondence. E-mail:13705389158@163.com

1.1 安全稳定性原则

生态护岸作为一种护岸型式，必须在设计标准规定的范围内，满足工程的安全、稳定和耐久性需求，能够承受住洪水冲刷、风雨侵蚀、冰冻干旱等自然力的荷载，有效地发挥其防洪固岸的作用。对可能由于岸坡冲刷、深层或表层土滑动等因素而引起的岸坡不稳，应进行相关的土工技术参数和水力参数的研究，确保工程的安全稳定。

1.2 经济有效性原则

在进行生态护岸规划过程中，护岸型式和材料的选择应遵循风险最小、效益最大的原则，多方位考虑经济、环保和有效等因素，进行方案比较、选择和设计。另外，从整个工程的大方向，充分利用河流生态系统的自我修复规律^[5]，也是提高生态护岸工程经济有效性、获得最大产出比的合理技术手段。

1.3 生态持续性原则

生态护岸与传统护岸最大的区别就在于生态护岸的生态可持续性，在进行相关规划设计过程中，应进行相关水文分析，了解当地流量、水量和水位的周期和随机变化，确定水位变幅范围，针对不同的环境选择不同的植物种类，要求对当地的原生动植物没有产生重大的负面影响，尊重生物物种的多样性。在材料选择上，也应该选择多孔、透水的材料，不能隔绝水体、土体和生物之间的相互联系，保证生态的可持续性。

1.4 因地制宜性原则

生态护岸设计也应因地制宜，在充分了解当地自然环境、地理环境和风土人情的基础上设计出与当地环境相和谐的护岸。具体表现在：在植物选择上优先考虑当地乡土种；在建材选用上，优先选择当地天然建材，对非天然材料，要控制废料的产生，避免二次污染；在整体风格上，要尊重当地传统文化和乡土知识；对不同河流或者同一河流不同河段，也应根据实际情况，来改进施工工艺。

1.5 空间异质性原则

由于生物群落多样性与非生物环境的空间异质性存在正相关关系^[5]，而在人类大规模的治河工程的建设过程中，造成自然河流渠道化及非连续化，使河流生态系统不同程度退化，因此，在生态护岸工程中应适当提高空间异质性，如横断面采用自然断面、允许平面蜿蜒曲折等措施。

1.6 景观亲水性原则

建筑物的布置应考虑人们的休闲、娱乐和亲水需求，能让人们比较安全和便利地与水亲近，营造人水和谐的自然空间，突出景观设计，将河道景观与周围景观融为一体，在结构设计上可设置台阶、亲水平台等。

2 生态护岸的植物选择

护岸植物的选择可根据该地区的气候条件，选择适宜生长的品种，最好是乡土类植物，一般应当考虑以下几种条件：当地的气候与土壤条件与植物生长相适应，对土质适应能力强，生长力旺盛；根系比较发达，生根性、萌芽力强，茎干较低矮，生长速度快，能形成很好的覆盖性；成活率要高，并能够利用根系吸收深层的水分和养分，达到固土的效果；繁殖容易，种子成活率高，价格经济，管理方便，抗逆性强^[6-8]。具体流程参考图 1。

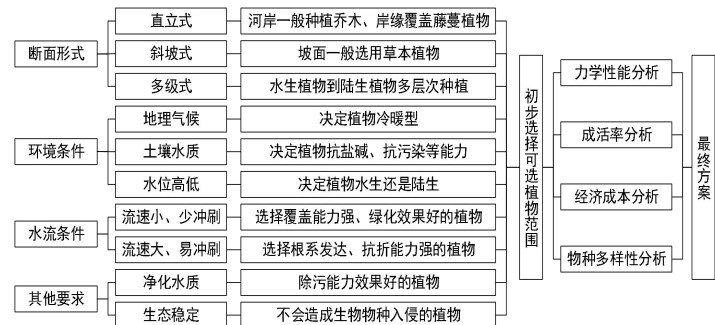


图 1 护岸植物的选择流程

Fig.1 The selection process of revetment plants

植物控制侵蚀的机理体现在两方面：根系的力学效应和茎叶的水文效应。力学效应是指根系穿过土壤并在一定深度分布时，根系如同复合材料中的纤维一样与土壤紧密地结合形成一种特殊的复

合材料,并通过斜向牵引、垂直锚固等机械作用增加根际土层的综合强度^[9]。水文效应是指整个坡面被植物完全覆盖,起到降雨截留、抑制地表径流和减弱雨水的溅蚀的作用。研究不同植物抗侵蚀效果对植物选择有很大帮助。

3 生态护岸的主要类型及具体分析

目前国内外较为广泛使用的分类方法是根据天然材料在使用的护岸材料中比重的多少,将生态护岸分为自然原型护岸、自然型护岸和多自然型护岸。对不同类型生态护岸的适用范围、优缺点和常见护岸型式等方面总结归纳如下。

3.1 自然原型护岸

自然原型护岸是指在护岸基质上种植适于滨水地带生长的植物,单纯利用植物本身发达的根系固土护岸,利用植物的茎叶消能、减缓侵蚀,属于低强度型护岸。

3.1.1 适用范围及优缺点 自然原型护岸适用于短期降雨量少、流速流量小、水位落差小和冲刷力弱的河段,坡度一般要求在土壤的自然倾斜角之内。其优点主要有:对生态系统的干扰最小,物种多样性好,生态功能健全;工程量比较小,投资少,技术简单,维护费用低;近自然程度高,软质景观,适合多种游憩活动。其缺点主要有:护岸强度低,抗冲刷的能力差,抵御洪水能力不足;日常水位线下种植植物难度较大,品种选择影响成活率;植物根系在未完全长成前,护坡土壤易被侵蚀。

3.1.2 常见护岸型式 (1)水生植物护岸:水生植物利用其本身根、茎、叶在沿岸边水线形成保护性地带,消洪减波,促进泥沙的沉淀,保护岸坡;可吸收水体中的氮、磷和有机物等营养物质,净化水体;为其它水生生物提供栖息的场所。选用的植物一般有^[10]:芦苇、菖蒲、香蒲、灯心草和鸢尾等,适宜水深范围一般在0~0.5 m,栽培基质以泥土为佳;(2)植草护岸:植草护岸最为常见,主要利用草等植物覆盖护坡表面,防止水土流失。常用的草种类型有^[11]:狗牙根、假俭草、高羊茅、野牛草、结缕草和香根草等。主要播种方法有:人工种植或移植法、草皮卷护坡法、水力喷播法等。长期浸泡在水下、行洪流速超过3 m/s的迎水坡面、防洪重点地段(如河流弯道)及较陡岸坡不适宜植草护岸^[6];(3)防护林、梢料护岸:常用的木本植物有柳属、杨属、水杉和山茱萸等,其中柳树自古以来就被作为天然的护坡材料,因其抗水冲击力强,生长又快,所以无论是在恢复自然环境还是在防洪上,都是被广泛使用的树种^[11]。利用植物的活枝条或梢料,按照规则结构型式做成梢料排、梢料层和梢料捆等,可用于岸坡侵蚀防护^[12];(4)植物纤维垫护岸:植物纤维垫一般采用椰壳纤维、黄麻、木棉、芦苇、稻草等天然植物纤维制成(也可应用土工格栅进行加筋),可用活木桩固定,结合植被应用于河道岸坡防护,适用于水流相对平缓、水位变化不太频繁、岸坡坡度缓于1:2的中小型河流。

3.2 自然型护岸

自然型护岸是指除种植植被以外,还利用石材、木材等天然材料来保护坡脚,增加护岸的抗洪能力和稳定性。该类护岸在坡脚一般设有石笼、木桩或干砌块石等,其上部筑一定坡度的土堤,坡上种植适当植物,属中等强度型护岸。

3.2.1 适用范围及优缺点 自然型护岸一般适用于水位落差较小,坡度自然(允许坡度稍大于土壤的自然倾斜角)的河道,对流速稍大、低等或中等冲刷程度、河床不平整的河道也适用。其优点主要有:材料都是天然或可再生的,对环境无污染;对生态系统干扰较小,木桩、石块间的缝隙为生物提供生长空间和栖息场所,物种多样性好,生态功能健全;施工方便,周期短;保持一定程度自然景观,亲水性好。其缺点主要有:与自然原型护岸相比,投资增多、工程量加大;在干砌石和土体结合的地方,结构不稳定;木材使用寿命有限,需后续更换。

3.2.2 常见护岸型式 (1)木材护岸:采用已死的木质材料为主要材料的生态护岸。木材可根据需要制成各种形状,一般与石材搭配,增强岸坡的稳定性。此外,木材粗糙表面可附着大量的微生物,能净化水质。常见的有木桩栅栏护岸、树根扎捆护岸、荆棘柴捆护岸、木框挡土墙、活性木格框护岸等^[11];(2)石材护岸:单一型石材护岸是指利用天然的石材堆积而成的护岸结构,采用的石料主

要有卵石、砾石、块石、干砌石和太湖石等,其堆积的主要方法可配合周围景观制定。通常在正常水位以下采用干砌石断面,在正常水位以上再采用自然石堆积。适用的坡度在 1:3~1:5 之间的缓流水体。复合型石材护岸采用石材配合木材等材料,坡底一般用砾石笼或天然石材等垒砌,坡面用框架和木桩护面,框架内嵌有砾石或卵石并在缝隙种植护坡植物,目的为恢复水陆交错带的多种生物,一般用于水位较高的水体;(3)石笼护岸:用喷塑或镀锌的铁丝网笼或者竹子编的竹笼装满碎石,垒成台阶状护岸或做成砌体挡土墙,并结合植物、碎石以增强其稳定性和生态性的一种护岸型式。其表面可覆盖土层,种植植物,所以具有整体性好、抗冲刷能力强、应用灵活、能随地基变形而变化的特点,即使是全断面护砌,也可为水生动物、生物提供生存空间,比较适合于流速较大的河道断面。目前也有在石笼内设置引水管道,上部或内部固定天然纤维垫,种植水生植物净化污水。

3.3 多自然型护岸

多自然型护岸是在自然型护岸的基础上采用钢筋混凝土、土工布等材料加强抗冲刷能力和抗洪能力的一种护岸型式。相较前两者而言,多自然型护岸具有更强的抗水流冲刷能力,是目前使用较为广泛的护岸型式。

3.3.1 适用范围及优缺点 多自然型护岸一般适用于高差 ≥ 4 m,坡度 $\leq 70^\circ$ 的河段,应用范围较广。其主要优点有:保持了一定的水陆生态结构和生态边缘效应;景观软硬相结合,偏重结构安全,兼顾一定亲水效应;防护效果好,具有较高的抗冲刷和固坡性能。其缺点主要有:人工痕迹明显,对原生态有一定影响,景观偏生硬;新工艺和新技术的应用使施工难度加大;投资高、工程量大;材料使用不当可能造成二次污染。

3.3.2 常见护岸型式 (1)三维植被网护岸:利用活性植物与土工合成材料相结合,在坡面构建成具有生长能力的生态防护系统。原材料主要是聚丙烯等高分子材料,结构为三维立体结构,且材料柔韧、结构疏松,内部可填充沙土和草种,适合草类植物生长,属轻型护坡结构。网垫强度较高,具有整体性和柔韧性,能抵御水流的侵蚀,防止表层土壤移动,亦有助于植被的均匀生长。适用于坡度缓于 1:1.5 的岸坡^[13];(2)框架覆土复合型护岸:坡底采用了天然的石材垒砌,上部采用木工、土工格室或混凝土框架等材料,框架内填充改良土,种植植被,土工格室表面可覆挂三维网进行喷播施工。护坡植物依据水淹频率进行选择,交互种植,景观效果错落有致,适用于高水位的护岸要求;(3)生态型挡土墙:一般分为格宾石笼、石笼垫、块石挡土墙或者土工格室挡土墙等结构型式,也有采用多孔性生态砖构造生态护岸,如鱼巢砖和生态护坡砖等,适于岸坡相对较陡的河段。实际应用时应对挡土墙及岸坡土体进行抗滑稳定计算、墙体抗倾覆稳定以及加筋土工布或格栅的抗拉拔稳定性验算;(4)生态混凝土护岸:生态混凝土护岸是利用景观材料研选、采用特殊工艺制造出来的具有特殊结构与表面特性的混凝土建造成的生态护岸。其内部存在许多连续的空隙,具有良好的透水、透气性,孔隙中充填的腐植土,种子可生根、发芽,并渗透到土壤中生长,可改善周围生态环境;(5)连锁、铰接混凝土块护岸:一种连锁型高强度预制混凝土块铺面系统,将标准的预制混凝土块用镀锌的钢缆或聚酯缆绳连接或通过混凝土块相互咬合连接构成,其砖孔、砖缝中种植植物,达到增加耐久性、稳定性与生态性的目的;(6)土工织物扁袋护岸:利用土工织物展平填土后向坡内反卷包裹填土,呈阶梯状堆叠,土体包含草种、碎石、腐殖土等,上下层扁袋之间放置活枝条。

4 结语

选择护岸型式及材料时,应考虑气候环境、水文条件、河势规律、岸坡土体、经济可行、施工技术等多方面因素。虽然生态护岸能满足生态环境的需求,但是在实际应用过程中仍然有很多局限性,尚不能完全取代传统护岸,因此应综合灵活采用一种或多种护岸型式,因地制宜地选择合理的河道治理方案及护岸型式。在满足人类需求的前提下,应使工程对河流生态系统的冲击最小化,不仅对水流的流量、流速、冲淤平衡和环境外观等方面影响最小,而且应创造适宜动植物栖息生长的多样性空间。