

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.01.006

农村河道治理中的护坡材料和技术应用实例

谢三桃¹, 朱青^{1,2}

(1. 安徽省水利水电勘测设计院, 安徽 合肥 230088;
2. 安徽省水资源利用与水环境保护工程技术研究中心, 安徽 合肥 230088)

摘要:针对当前国内农村河道治理中护坡材料及其应用方面存在的一些争议,从河流生态修复与护坡功能等角度,指出河道护坡由坡脚、河岸、堤坡3个基本要素构成,探讨了护坡生态构建的概念与内涵,归纳分析了国内外目前相对先进的护坡材料的类型、使用方法及适用范围,提出了复合型人才构建护坡生态功能的方法,并将河道护坡生态构建运用于不同区域农村河道工程实例。结果表明,河道护坡生态构建是对不同护坡材料的最优化组合和应用,可为农村河道综合治理提供理论和实践参考。

关键词:农村河道;护坡材料;护坡功能;生态修复

中图分类号:X32 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2015)01-0035-06

Slope protection material and example of technology application in treatment of rural river

XIE Santao¹, ZHU Qing^{1,2}

(1. Anhui Survey and Design Institute of Water Conservancy and Hydropower, Hefei 230088, China;
2. Anhui Engineering Technology Research Center of Water Resources Utilization and Water Environmental Protection, Hefei 230088, China)

Abstract: In view of some controversies existing in the slope protection material and its application technology in the rural river regulation, from the aspects of river ecological restoration and slope protection function, the author of this paper thought that the river slope protection consisted of 3 basic factors such as slope toe, bank, and slope of bank, and probed the concept and connotation of ecological construction of slope protection, and summarized and analyzed the type, using method and application range of slope protection material which were relatively advanced both at home and abroad at present, and put forward a method of constructing ecological function of slope protection by using composite materials. The ecological construction of river slope protection was applied in rural river engineering in different regions. The application results show that the ecological construction of river slope protection is an optimization combination and an application of different slope protection material, which can provide theory and practice references for the comprehensive treatment of rural river.

Key words: rural river; slope protection material; function of slope protection; ecological restoration

农村河道是指发源于农村区域或流经农村的自然河流,广义上也包括人工开凿的引水、灌溉或排水的沟渠。天然的农村河道具有平面形态自然、水质条件良好、生物多样性丰富等特点,是农村生活与生产不可或缺的自然资源,不仅承担着防洪、排涝、灌

溉、生态、景观等功能,发挥着生物生长、栖息及繁衍等生态廊道作用^[1],同时还传承着栖居在沿河两岸人们的历史文明,寄托着游子对故乡的思念情结。从人类生存学和景观生态学的角度来说,乡村河道作为农村重要的自然资源和环境载体,关系到农民

生存,影响着乡村发展,是塑造乡村风貌和改善宜居环境的重要因素^[2]。

20世纪八九十年代,受传统治水理念的影响^[3],在我国河道治理过程中,河道被侵占或裁弯取直、两岸采用混凝土或浆砌石衬砌、渠化等现象较为严重,形成“千河一面”的局面,河流岸边生态环境遭破坏,栖息地消失,河流形态自然性与多样性减少以及适宜性和美学价值降低^[4]。近年来,我国加大对生态水利工程的投入,开展美好乡村的建设,各地掀起了农村中小河流综合治理的热潮;而河道护坡作为河流的重要组成部分,为避免重蹈以往城市河流的治理模式,根据区域乡土气息特点及其生态服务功能需求,开展农村河道治理中护坡材料与生态构建的研究,对于美好乡村建设及其河道生态保护具有十分重要的意义。

当前,国内外对河道护坡构建技术开展了很多研究,例如生态混凝土护坡、三维植被护坡、石笼护坡等,并将这些护坡统称为“生态护坡”。其实,生态护坡是一个泛指的概念,国内外学者对其称谓与内涵的研究仍存在一些不明确的问题和争议,而究其根本,生态护坡技术就是对河道护坡生态构建材料与方法的应用。鉴于此,本文着重从河流生态修复与护坡功能等方面,探讨护坡生态构建的材料及其使用方法,并结合不同类型的农村河道护坡工程案例,介绍护坡生态构建的实践效果,为农村河道综合治理提供理论和实践参考。

1 河道护坡功能及构成

1.1 河道护坡构成要素

河流廊道中的护坡是河流的基本组成部分,广义上的河道护坡由坡脚、河岸、堤坡3部分组成(图1)。其中,坡脚是指维持岸坡稳定的基础结构部分,一般采用抛石、石笼或木桩进行固基,防止河水的淘刷;河岸是指平水期水陆交错的区域,一般由驳岸与河漫滩构成,驳岸是指水体边缘与陆地交界处的构筑物,保护河岸稳定,防止水土流失及河岸崩塌;河漫滩是指在平水期水位消落、泥沙沉积而形成的天然滩涂地,该区域通常是水草丰茂区域,适宜植

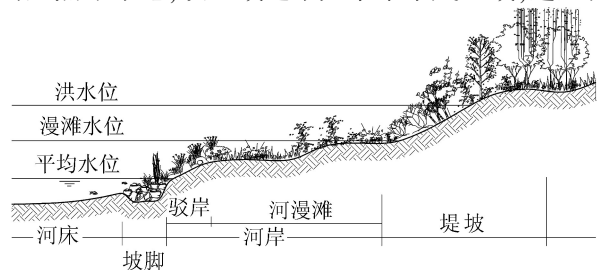


图1 河道护坡构成要素及其空间分布

物的生长和生物的栖息,同时也是人类亲水活动较为频繁的区域。堤坡是指防御一定洪水标准的坡面体,坡体为土工结构,坡面一般采用植物或硬质材料进行防护,主要防止雨水、洪水、波浪冲刷。三者是有机结合的整体,缺一不可,共同承担着河道护坡稳定及生态保护的作用。

1.2 河道护坡功能

传统的河道整治工程对于河道护坡技术的应用存在一定的误区,重防洪轻生态,重景观轻自然,多采用钢筋混凝土或花岗岩等材料将河道包裹成铜墙铁壁式的行洪通道、打造成雕栏玉砌的园林景观廊道^[5],究其原因未将河流作为一个有机的生命体来认识,对河道护坡构成要素的功能界定不清。笔者认为,河道护坡功能应从岸坡稳定、生态服务、环境美化等角度统筹考虑,除满足防止水流冲刷、淘蚀、维持堤岸稳定要求外,还须兼顾维护各类生物适宜生长、栖息和生态景观完整性的功能^[6]。

河道护坡功能首先是护坡,其次是生态。其护坡功能主要表现在:①减缓地表径流对岸坡表面的侵蚀;②减小河岸水流流速,从而降低河水的侵蚀速度;③通过河岸植物根系增强河岸亚表层的强度,提高岸坡稳定性。河道护坡是河流生态系统与陆地生态系统进行物质、能量、信息交换的自然过渡带,是由生物和生境结构组成的开放式系统,其生态功能主要表现在:①透水性的坡面结构具有滞洪补枯、调节生态水位的作用;②多样的生境条件可为生物提供栖息、繁衍与避难场所;③通过护坡植物与微生物拦截、吸收、降解地表径流携带的污染物,改善河道水体水质。“人水和谐共生”是治河之本,而河道护坡是承接人与水相亲的重要纽带,应具有一定景观观赏、亲水及休憩等服务功能。

2 基于生态构建内涵的护坡类型

2.1 河道的生态修复与护坡生态构建

河流生态修复是当前中小河道生态治理研究的热点之一,生态修复的理论和实践也给环境和生态问题的解决提供了理论指导和技术支撑。国内外对河流生态修复及其相关的概念有不同的理解和做法,在欧洲的德国、法国、瑞士、奥地利等国,主要根据河流形态的特点和生物栖息繁殖的需求,采用一种近自然(close-to-nature)工法^[7-8]对河流生态系统进行修复;美国生态学会主要从河流特定生态系统的结构、功能,生物多样性及其变迁过程等角度,提出河流生态修复是一个竭力再现历史上固有的河流生态系统的过程^[9];国内董哲仁等^[8-12]认为,河流生态修复需从改善河流水文条件、地貌条件、水质条

件、维持生物多样性等角度,在充分发挥生态系统自修复功能的基础上,采取工程和非工程措施,促使河流生态系统恢复到较为自然的状态,从而改善生态完整性和可持续性的一种生态保护行动。研究者虽然对河道生态修复的定义方式不同,但是共同体体现了河道生态修复的最终目的是促进河流生态系统的良性循环。河流生态修复的措施一般分为工程措施和非工程措施,其中工程措施包括水文情势修复、水质改善、河流地貌修复和生物多样性保护4大类;非工程措施包括管理制度、体制机制、监测与评估以及能力建设等4个方面。

河道护坡生态构建是基于河流生态功能提出的一种建设模式,即利用不同类型的护坡材料,在确保边坡形态稳定的基础上,构建生物生长与栖息的生态环境,并以此维持生态系统自我运行与修复。护坡生态构建的具体内涵包括:①在满足行洪排涝功能的基础上,保证岸坡稳定,防止水土流失;②河道护坡是一个开放式的生态交错带,有着较为完善的由初级生产者、消费者和分解者形成的生物群落及其良好的生存环境,并与周围生态系统进行物质、信息与能量交换;③护坡生态构建是一个动态平衡的过程,通过营造多样的生境条件,护坡内的生态系统能够自我修复并能形成良性循环,适应和调节外界环境的动态变化。

2.2 护坡生态构建的材料类型

目前国内外对于护坡生态构建的技术研究较为广泛,应用类型有很多,且技术日趋成熟。根据护坡材料的不同可将生态构建的护坡分为草皮护坡、石笼(植石)护坡、植物梢料护坡、生态预制块(混凝土)护坡、土工合成材料护坡等(表1),这些护坡材料在实际工程中都有应用。

以上常用的材料在护坡功能与使用方法等方面都有各自的特点和要求。草皮护坡是最常用的一种岸坡防护结构形式,它具有防止水流冲刷、改善生物栖息地及美化环境等多种功能,设计时应根据河道设计防洪水位与横向边坡大小,将草皮护坡布置在漫滩水位与洪水位之间或水流较缓的区域,在施工初期草皮未长成时需做好水土流失防治工作。石笼(植石)护坡多用于河道坡脚或河水流速较大的区域,具有很强的防冲和固基作用,设计中须验算水流淘刷深度以确定块石防护范围,根据河道边坡,必要时在坡脚设置挡墙,并按照满足在水流和波浪作用下的稳定性要求确定面层块石尺寸,块石层下面必须设反滤层,从施工工艺要求出发,可采用抛石、干砌石、铅丝石笼等材料和结构类型。植物梢料护坡是一种古老的岸坡防护生态工程技术,在梢料发育到一定程度后,这类结构不仅可促使河水泥沙淤积,有效减小河岸侵蚀,还能较快形成植被覆盖层,恢复河岸植被和河边生境,形成自然景观。梢料材料一般利用长2~3m、直径约为10~25mm的活植物枝条加工而成,枝条须平整码放,并用活木桩或粗麻绳固定,面层可用少量块石(直径约20cm)压重,防止被洪水冲走。生态预制块(混凝土)护坡是一种由较接形高强度预制混凝土块铺面的系统,具有很强的抗冲刷能力,预制块中间设有孔洞或采用无砂混凝土,护坡结构具有多孔性和透水性,可改善岸坡栖息地条件。预制混凝土块铺面底部须设置反滤层和垫层,可选用土工布或碎石,生态混凝土构件的水灰比为0.2~0.25,正常pH值须控制在10以下,预制块空隙间种植或自然发育形成的适宜植物类型为本土草,应避免种植灌木和树木,以免其根系生长造成混凝土破损。土工合成材料护坡是一种生物或有机

表1 护坡生态构建常用的材料及特点

护坡类型	结构特点	适用范围	技术特点
草皮护坡 ^[13-14]	通过植物根系的力学效应和水文效应来固土保土,防止水土流失,满足生态环境建设的需要	主要适用于坡度较缓、坡度缓于1:2、岸坡侵蚀不严重的河段	优势:生物多样性好,景观功能强,吸毒滞尘,造价低;劣势:初期固土能力不强,易受雨水与河水的冲刷而破损
石笼(植石)护坡 ^[15-17]	采用抛石、干砌石、石笼等材料来稳固岸坡,防止河水冲刷,并可维持河岸结构的多孔性和透水性	主要适用于河道护坡的坡脚,流速较大河道,且适用于复杂地形的边坡防护	优势:护坡结构具有较好的适应变形能力,抗冲能力强,透水性好,可为生物提供栖息场所;劣势:石笼网使用寿命有限,影响块石整体抗冲刷能力
植物梢料护坡 ^[18-19]	利用植物的活枝条或梢料,按照规则结构形式,做成梢料排、梢料层、梢料捆等,可用于河道岸坡侵蚀防护	主要适用于坡度较缓的乡村荒溪河道	优势:能较快形成植被覆盖层,恢复河岸植被和河边生境,形成自然景观;劣势:植物形式较单一,生物多样性欠佳
生态预制块(混凝土)护坡 ^[14,20-23]	由多孔混凝土、保水材料、缓释肥料、表层土以及草籽等组成的护坡结构体,主要形式有联锁块、铰链式砌块、生态混凝土球块等	主要适用于水土流失较严重及边坡较陡的护坡	优势:具有很强的防冲刷能力,固土能力强,透气透水性好,能实现植物和水中生物在其中生长,加强生物栖息地;劣势:建设及养护成本较高,景观相对单一
土工合成材料护坡 ^[23-26]	利用活性植物并结合土工合成材料等仿自然材料,在坡面构建一个具有自我生长能力的护坡结构,具体形式有生态袋、植物纤维防护垫、抗冲生物毯等	主要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	优势:能有效减小土壤侵蚀,增强岸坡稳定性,减缓河水流速,促进泥沙淤积;劣势:抗冲刷能力不够强,易受洪水、暴雨等影响,不适用于较陡的边坡

废料再生利用的生态工程技术,主要产品有生态袋、植物纤维毯、抗冲生物毯等,这些材料具有反滤功能,既能防止内部营养物质流失,又能实现坡面上下水分、空气等的交流,保证坡面植物的正常生长;设计中应考虑到生物材料或植物纤维降解和植被生长之间的关系,应保证织物降解时间大于形成植被覆盖所需的时间,并根据水流冲刷力计算生态袋或植物纤维抗撕裂强度,一般撕裂强度应大于 10 kN/m,草籽应选择多种本土草种,保证植物生长的成活率。

河道护坡由坡脚、河岸及堤坡 3 个部分组成,有时单一的护坡形式不能满足护坡要求,通常情况下会选择多种护坡材料联合使用,形成复合形护坡生态构建模式,达到较好的护坡效果。从工程设计角度出发,对于坡脚部位,一般采用石笼、抛石或木桩等进行护脚,使之满足水流冲刷侵蚀作用下的局部抗侵蚀稳定性要求,并有助于生物栖息地功能的加强;对于驳岸部分,坡度较缓的河岸区可采用自然草皮、植物梢料、生态植被毯等护岸形式,坡度较陡的区域可采用生态挡墙、加筋生态袋、叠砌石等护岸形式,使之在满足岸坡稳定与生物栖息等功能要求的同时,兼顾一定的生态景观效果。堤坡一般在常水位以上,可采用的护坡种类很多,如:自然植被护坡、混凝土空心块或铰接混凝土块、混凝土框格、土工格栅、生态型混凝土、生态植被毯等,具体类型主要根据河道两岸的地形及不同河段的功能定位进行选定,满足一定标准的防洪要求,同时需要与周边土地利用规划相结合。

3 农村河道治理中护坡技术的应用

根据区域地形地貌特点,我国农村河道可划分为平原区河道、丘陵区河道及山丘区河道 3 大类,针对不同结构的农村河道,表 1 中 5 种护坡材料在实

际工程中都有应用。

合肥市滨湖森林湿地公园内的焦姆河属平原圩垸河道,岸线平直,水流较缓,河床地层均为淤泥质土。治理段河道护坡长 1.6 km,受河道两侧道路限制,设计在常水位下 20 cm 至河底部分均采用直立干砌毛石挡墙进行护脚,常水位以上 2~3 m 区域采用 $\Phi 15$ cm 带皮鲜松木桩成排打入地下,木桩顶部高出常水位 30 cm,背水侧采用 $\Phi 30$ cm 活柳枝捆,木桩与堤顶道路采用 1:5 缓坡进行衔接,临水侧以栽种水生植物为主,堤坡上种植草皮和花灌木(图 2)。施工完成后,岸坡稳定,活柳枝生长良好,枝叶的截雨和根系的固土作用很明显,水土保持效益逐渐增强,水下毛石上附着有田螺及其他水生动物,且在石缝间经常能发现螃蟹或小鱼,生物多样性显著增加。

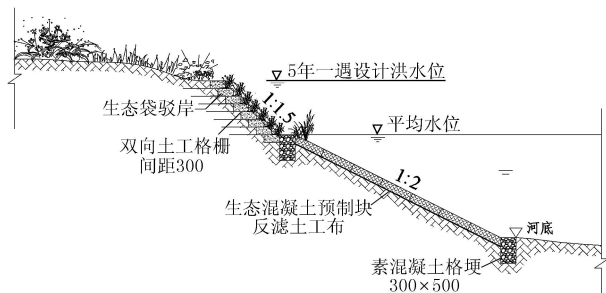


图 3 “生态袋+生态预制块”护坡设计

南京江宁区某中小河道位于丘陵岗区,河底比降为 1/500,丰水期水流较急,河道边坡较陡,水土流失较为严重。设计在常水位至河底采用边坡为 1:2 生态连锁式预制块进行护脚,常水位至 5 年一遇洪水之间采用 1:1.5 生态袋错位叠放,中间采用土工格栅进行锚固,生态袋表面通过铺设草皮恢复植被,顶部高程以 5 年一遇设计洪水水位进行控制,5 年一遇洪水水位以上采用 1:5 缓坡与堤顶或周边地形自然衔接(图 3)。施工完 3 个月后,生态袋植被

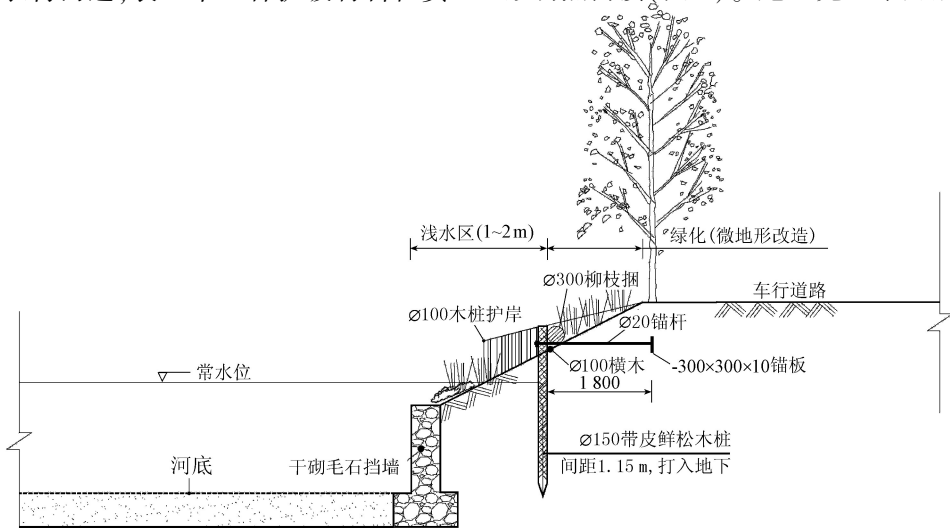


图 2 毛石挡墙+活柳枝护坡设计

覆盖率达到 100%，护坡稳定，未发现水土流失现象，生态预制块空隙间生长了一些水生植物，有水蓼、菖蒲、菱等，植物群落结构丰富，为水生动植物的生长发育和物质的分解、代谢、循环提供了良好的条件^[27]。

四川省松潘县岷江川主寺河段位于岷江上游源头，属于高原山区河道，平均海拔在 2900 m 左右，治理河道长 4.0 km，河底平均比降为 1/127，河床地层均为第四系洪冲积层，揭露的土层为卵砾石层（层厚多在 10 m 以上），受河水冲刷或淘刷的影响，河床多出现深泓与露滩，岸坡土壤贫瘠，植被脆弱，水土流失严重。对于坡脚为卵砾石基层，存在渗透系数大、稳定性差、沉降不均匀等问题，设计采用 1.5 m（高）×3.0 m（宽）格宾石笼网对河道两岸进行固基。对于河道护坡护岸的形式，设计主要从各区段的地形地貌特点、生态服务要求及景观功能定位等角度综合选用。其中，上游源头生态保护河段 5 年一遇洪水水位以下的岸坡采用生态混凝土护坡，以上的堤坡采用草皮护坡（图 4），与周边地形自然衔接，形成了河道源头自然风貌和生态修复态势；中游滨河休闲廊道河段，边坡较缓的岸线采用散石护岸，呈现河道自然、生态的特点，较陡的岸线采用叠石护岸，在石缝之间栽种草木，为鱼类和底栖生物提供了良好的栖息场所；下游高原牧民畅坝河段，高边坡岸线采

用分级植生式生态混凝土挡墙，有效地解决了边坡稳定性与水土流失问题^[28]。

4 结 语

农村河道的生态保护和修复与人类社会的发展表面上存在矛盾，但实质上应该是统一的，因为人类来源于自然，是自然的组成部分，人类和其他的动植物在河流生态系统中占据着不同的生态位，彼此之间相辅相成，撇开人类活动谈农村河道生态护坡建设是不切实际的。我国正处于大规模的城镇化过程中，一些农村河道也正逐步向城市河道演变，维护人类与河流自然生态环境的协同性是当今农村河道综合治理与生态建设的一个重要目标和方向；而河道护坡作为农村河道的掩体和保护层，护坡材料及其技术的应用直接关乎农村河道自然风貌的留存与生命体征的延续。尊重农村河道生态自然演替过程，运用“师法自然”的表现手法，通过草、木、土、石等天然材料构建起“人水和谐共生”的河道护坡，是当前乃至今后农村河道护坡治理的发展方向。

参考文献：

- [1] 张震宇,陈强富,张展羽,等. 农村河道生态治理模式研究[J]. 中国农村水利水电,2009(10):55-56. (ZHANG Zhenyu, CHEN Qiangfu, ZHANG Zhanyu, et al. Study on the rural ecological regulation mode [J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(10):55-56. (in Chinese))
- [2] 朱国平,王秀茹. 城市河流的近自然综合治理研究进展[J]. 中国水土保持科学,2006,4(1):92-97. (ZHU Guoping, WANG Xiuru. Advances on near natural comprehensive control of urban river [J]. Science of Soil and Water Conservation,2006,4(1):92-97 (in Chinese))
- [3] 俞孔坚,李迪华,刘海龙. “反规划”途径[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005:20-26.
- [4] HYOSEOP W. Trends in ecological river engineering in Korea[J]. Journal of Hydro-Environment Research, 2010(4):269-278.
- [5] 谢三桃,朱青. 城市河流硬质护岸生态修复研究进展[J]. 环境科学与技术,2009,32(5):83-87. (XIE Santao, ZHU Qing. Review on ecological restoration on flinty riparian by urban rivers [J]. Environmental Science & Technology,2009,32(5):83-87. (in Chinese))
- [6] 王新军,罗继润. 城市河道综合整治中生态护岸建设初探[J]. 复旦学报:自然科学版,2006,45(1):120-127. (WANG Xinjun, LUO Jirun. A preliminary study of ecological embankment construction for urban river restoration [J]. Journal of Fudan University: Natural Science, 2006,45(1):120-127. (in Chinese))
- [7] ODUM H T. Ecological engineering and self-organization [C]//Ecological engineering: an introduction to

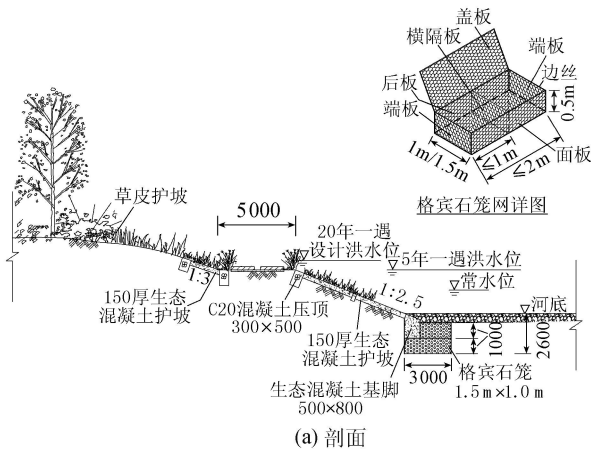


图 4 格宾石笼+生态混凝土护坡设计及实施效果

- ecotechnology. New York: Wiley,1989:79-101.
- [8] 董哲仁. 河流生态修复[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013.
- [9] 吴保生,陈红刚,马吉明. 美国基西米河生态修复工程的经验[J]. 水利学报,2005(4):473-477. (WU Baosheng, CHEN Honggang, MA Jiming. Review of the ecosystem restoration of Kissimmee River in USA [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2005(4):473-477. (in Chinese))
- [10] 杨芸. 论多自然型河流治理法对河流生态环境的影响[J]. 四川环境,1999,18(1):19-24. (YANG Yun. Study on the river eco-environmental improvement by rivers rich in nature [J]. Sichuan Environment, 1999,18(1):19-24. (in Chinese))
- [11] 彭少麟. 恢复生态学[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [12] 何兴元. 应用生态学[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [13] HENGCHAOVANICH D. Vetivergrass slope stabilization and erosion control [M]. Bangkor: Office of the Royal Development Projects Board,1998.
- [14] 马广春. 草皮护坡在堤防水土保持中的应用[J]. 治淮,2014(4):43-44. (MA Guangchun. Application of turf revetment in embankment in soil and water conservation [J]. Zhi Huai, 2014(4):43-44. (in Chinese))
- [15] 王宏俊. 生态石笼护坡在上海迪士尼围场河中的应用[J]. 水利规划与设计,2013(8):61-63. (WANG Hongjun. Application of gabion revetment ecology in Shanghai Disney paddock in the river [J]. Water Resources Planning and Design, 2013(8):61-63. (in Chinese))
- [16] 巨红霞. 生态石笼在河流护坡工程中的应用[J]. 黑龙江水利科技,2012,40(9):31-33. (JU Hongxia. Application of revetment engineering of river in the ecosystem gabion [J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2012,40(9):31-33. (in Chinese))
- [17] CHEN jinchi, HO lichih. Changes in the streambank landscape and vegetation recovery on a stone revetment using the image spectrum: case study of the Nan-Shi-Ken stream, Taiwan [J]. Ecological Engineering, 2013, 61: 482-485.
- [18] 张振兴. 北方中小河流生态修复方法及案例研究[D]. 长春:东北师范大学,2012.
- [19] 王越,高甲荣,魏伟,等. 松木桩拦挡配置灌木护坡技术效果研究[J]. 广东农业科学,2013,40(2):10-13. (WANG Yue, GAO Jiarong, WEI Wei, et al. Study on the effects of slope protection technique by shrub vegetation and pine wood piles [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(2):10-13. (in Chinese))
- [20] 应强,张幸农,陈长英,等. 河岸生态修复的主要方法[J]. 水利水电科技进展,2006,26(S1):96-100. (YING Qiang, ZHANG Xingnong, CHEN Changying, et al. The main method of the riparian ecosystem restoration [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006,26(S1):96-100. (in Chinese))
- [21] 曹载宏. 生态连锁式护坡技术在河道护坡工程中的应用[J]. 水利规划与设计,2014(1):51-53. (CAO Zaihong. Application of ecological interlocking revetment in river slope protection works [J]. Water Resources Planning and Design,2014(1):51-53. (in Chinese))
- [22] DUONG T T, KOMINE H, DO M D, et al. Hideo komine. Riverbank stability assessment under flooding conditions in the Red River of Hanoi, Vietnam [J]. Computers and Geotechnics,2014(6):178-189.
- [23] 陈杨辉,吴义锋,吕锡武. 生态混凝土在河道护坡中的应用[J]. 中国水土保持,2007,28(6):42-43. (CHEN Yanghui, WU Yifeng, LV Xiwu. Application of ecological concrete in the slope protection [J]. Soil and Water Conservation in China, 2007, 28(6):42-43. (in Chinese))
- [24] 张俊云,周德培,李绍才. 岩石边坡生态种植基试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2001,20(2):239-242. (ZHANG Junyun, ZHOU Depei, LI Shaocai. Testing study on planning material for rock slope [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(2):239-242. (in Chinese))
- [25] 张宝森,荆学礼,何丽. 三维植被网技术的护坡机理及应用[J]. 中国水土保持,2001,22(3):32-33. (ZHANG Baosen, JIN Xueli, HE Li. The slope protection mechanism of vegetation net technology and application [J]. Soil and Water Conservation in China,2001,22(3):32-33. (in Chinese))
- [26] OBERHAGEMANN K, MAKBULHOSSAIN M. Geotextile bag revetments for large rivers in Bangladesh [J]. Geotextiles and Geomembranes,2011,29:402-414.
- [27] 汪亮,顾凌云,张晓玲. 生态护坡在江宁区中小河流综合整治中的应用研究[J]. 中国水运,2014,14(1):175-176. (WANG Liang, GU Linyun, ZHANG Xiaoling. Application of ecological revetment in the comprehensive improvement of the middle and small rivers in Jiangning District [J]. China Water Transport, 2014, 14(1):175-176. (in Chinese))
- [28] 骆克斌,谢三桃,朱青. 城镇河道治理多层次规划设计理念的探索:松潘县岷江川主寺河段生态护岸工程规划设计[J]. 水利规划与设计,2012(4):1-4. (LUO Kebin, XIE Santao, ZHU Qing. Exploration of three level planning and design idea of urban river regulation: ecological revetment engineering planning and design in Songpan County Chuazhusi Section of Minjiang River [J]. Water Resources Planning and Design,2012(4):1-4. (in Chinese))

(收稿日期:2014-11-15 编辑:徐娟)