

## 密云水库集水区河岸生物工程措施初探

王 芳, 高甲荣

(北京林业大学, 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:** 密云水库作为北京城区的重要饮用水源地, 水库集水区流域多山, 夏季降水高度集中, 水土流失面积大, 严重的水土流失威胁着水库集水区生态环境, 如何治理集水区内的水土流失, 改善集水区生态环境非常重要。生物工程以其具有生物生态学属性这一最突出的特点, 而不同于传统的土木工程。它把植物及其对坡面、河岸不稳定的影响与侵蚀过程联系起来, 在防治侵蚀和保护环境中具有快速的工程效应和持久的防护作用双重功能。从河岸带的功能出发, 阐述了河岸生物工程措施的复合功能, 介绍了河岸生物工程措施植物的选取原则, 以此为基础, 详细介绍了集水区河岸生物工程措施的类型及设计模式, 以期为密云水库集水区河岸整治提供理论基础。

**关键词:** 密云水库集水区; 河岸带; 生物工程

中图分类号: X171.1; T V621

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0238-03

## Soil Bioengineering of Riparian in Miyun Reservoir Watershed

WANG Fang, GAO Jia-rong

(Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water

Conservation & Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Miyun Reservoir plays an important role in supplying water for industrial and household use in Beijing. Miyun Reservoir watershed is in mountainous region, where the precipitation is concentrated in summer. However, the serious soil erosion threatens ecological environment of Miyun Reservoir watershed, so how to control soil erosion and improve ecological environment becomes urgent. Soil bioengineering relates plant and its effect on slope instability with erosion process and has the double effect of instant engineering and sustainable protection in erosion control and environment protection. With its biological characteristics and its dynamic nature, soil bioengineering differs from traditional civil engineering. The function of riparian zone is discussed, the compound function of soil bioengineering is stated and the principle of plant species selection in soil bioengineering of riparian is presented. On the basis of these principles, the types and design patterns are provided in detail as the theoretical foundation for riparian restoration in Miyun Reservoir watershed.

**Key words:** Miyun Reservoir watershed; riparian zone; soil bioengineering

密云水库担负着北京市工业和生活用水的重任, 但由于集水区域人类活动的频繁扰动, 一方面造成宝贵的水资源浪费; 另一方面大量泥沙淤积水库, 水质严重污染。因此, 加强以保护流域水源的水量、水质和水源环境为主要目的的防护林工程建设, 防治洪水灾害, 减少水土资源流失和浪费, 保证水库永续利用是当务之急。这样, 就需要从一个新的角度去认识和调控人在密云水库集水区发展经济与利用水资源, 保护水资源中的行为, 使人类的生产活动在改造自然和利用自然中与自然环境协调发展<sup>[7, 9]</sup>。

生物工程是将生物学原理应用在构筑土体工程、水体工程以及固坡、护岸工程中的一种工程技术。其特征是把植物或植物器官作为有生命的建筑材料运用到工程中, 同时与无生命的建筑材料相结合, 在植物生长发育过程中达到维持自身的生命力和持久地保护工程建筑物<sup>[3~5]</sup>。由于它能够提供侵蚀控制的技术、基于环境的设计和美学上愉悦的形态, 目前

已在一些发达国家中的河流堤岸稳固工程中被广泛使用。

本文对河岸带与河岸生物工程的功能、生物工程护岸植物的选择、河岸生物工程的营造技术等当前河岸生物工程研究中的几个热点问题进行了探讨, 希望能为密云水库集水区河岸的整治工作提供一些理论帮助。

### 1 河岸带的功能

河岸带是指高低水位之间的河床及高水位之上直至河水影响完全消失为止的地带, 河岸带也泛指一切邻近河流、湖泊、池塘、湿地以及其他特殊水体并且具有显著资源价值的地带<sup>[10]</sup>。河岸带对流域水文、地貌、生态均具有较大的影响, 河岸带 3 个重要的功能是: 自然河岸廊道以及与之相联系的对地表和地下水径流的保护功能; 对开放的野生动植物生境以及其它特殊地和旅行廊道的保护功能; 可提供多用途的娱乐场所和舒适的环境。其中河岸带的廊道、缓冲

y 收稿日期: 2005-11-21

基金项目: 北京市自然科学基金“北京地区典型河溪生态系统环境效应及其调控机理”(编号: 8062022); 2004 年北京林业大学研究生自选课题基金项目(编号: 04SB001)资助

作者简介: 王 芳(1980-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 流域管理; 责任作者: 高甲荣(1963-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向流域管理及生态环境建设。

带和植物河岸功能研究较多。

1.1 廊道功能

河岸带是水陆生态系统或水陆景观单元内部及相互之间生态流动的通道,是组成河流景观的结构单元之一,具有生境、传输通道、过滤和阻抑作用以及可作为能量、物质和生物(个体)的源或汇的作用。根据河流廊道及其溶解物原理、宽度原理、连接度原理,河岸带廊道的独特功能归纳起来主要有: 增加物种种类的多样性(常住和暂时); 相邻地区之间物质和能量的交换; 为该地区物种提供安全地带或其它资源; 为生物提供分散和迁移的途径<sup>[16-19]</sup>。

1.2 缓冲带功能

缓冲带功能实际上是河流廊道功能的一部分,缓冲带的概念的提出旨在强调河岸带在农田与河道之间所起的缓冲作用。河流两岸一定宽度的缓冲带可以通过过滤、渗透、吸收、滞留、沉积等河岸带机械、化学和生物功能效应使进入地表和地下水的污染物毒性减弱及污染程度减低<sup>[16-19]</sup>。有研究表明 16 m 宽的河岸带可使硝酸盐浓度降低 50%,50 m 宽的河岸带则能有效地截流来自农田的泥沙和养分。系统监测资料<sup>[9]</sup>显示,20 世纪 80 年代以来,密云水库库区水体主要的物理、化学和生物性状已发生明显的变化。水体的营养程度在逐渐升高,有向富营养发展的趋势。主要原因是潮、白河流域上游生态环境恶化,输入库区的 N、P 等营养物质大于输出,营养盐在水体中积累,使初级生产力增长较快。这说明,密云水库集水区河岸缓冲带的建设意义重大。

1.3 护岸功能

河岸带植被护岸主要由 3 个方面的功能: 减小河岸一侧水流流速从而降低和水的侵蚀速度; 通过河岸植物根系增强河岸亚表层强度以提高河岸的稳定性; 作为河岸缓冲带可以防止漂浮物或冰块对河岸的影响从而保护河岸。河岸带遭受水流侵蚀的方式不同,其植物发挥作用的效应也有不同。植物覆盖的密度与类型对河岸侵蚀的防护作用影响较大,一般植物的固岸作用主要是通过植物根系渗入土层并增大河岸切向力,以减小块体运动和抵御泥沙侵蚀。当然,植物的护岸作用也是有条件的: 在河岸较低时,由于植物根系可以垂直深入河岸内部,故植树可以加强河岸的稳定性; 但当河岸较高时,由于植物根系不能深入到河堤堤脚,则会增加河岸的不稳定性,特别是当河岸易遭受河水侵蚀和底蚀时,同时,当短期的洪水侵蚀河堤并且水位经常发生变化时,草本植物可以有效地发挥防洪和侵蚀作用,但如果水位淹没时间较长,这时就需要寻求根好的护岸方法。

2 生物工程的复合功能

生物工程(Soil Bioengineering)是在古老且已濒临消失的“手工技艺”上发展起来的一门专门领域<sup>[2]</sup>。它是在人们认识到现代景观过于单调的时代而重新受到广泛重视,并且努力通过科学方法来寻求自然和技术之间的协调。生物工程的任务在于通过适宜于生物工程的植物、土壤、水来转化、调节或者控制景观中的自然力,改善土壤的机械特性,削减水的毁坏力。这样营造的植物工程体能够形成一种新型生活空间,其作用表现出来一个生态-机械作用综合体,从而达到并维持自然平衡状态-稳定<sup>[1-3]</sup>。生物工程不是传统土木工程替代品,而应该视为对土木工程的必要完善和补充<sup>[3-5]</sup>。其复合功能见表 1。

3 生物工程护岸植物的选择

生物工程护岸主要依靠河岸带植物的地下根系及地上

茎叶的作用护坡,其作用可概括为根系的力学效应和植被的水文效应两方面。因此选择护岸植物是生物工程实施的一个重要环节。要从多方面考虑,扬长避短,充分发挥植物护岸的效果。植物的选择应符合适地适树原则、因害设防和综合治理的原则、生态经济兼容的原则、植物的功能性和共生性原则、以短养长、长短结合的原则和景观动态性等原则。主要的优势树种包括: 杨(*Populus*)、柳(*Salix*)、槭(*Acer*)、松(*Pinus*)等,这些种类多数有对抗或逃避干扰的能力,并具有高产和损坏后很强的再生能力。

表 1 生物工程的复合功能

功能类型	主要作用
工程性能	控制由于流水和水波引起的河岸侵蚀
	控制由降水、风、霜冻引起的土壤坡面侵蚀
	通过土-根结合体提高坡面稳定性 具有防治风害和坠石的作用
生态功能	通过适宜的生长环境来调节近地表大气的温、湿度
	通过排水和贮水以改善土壤水量平衡
	形成腐殖质,改善土壤结构
	形成适宜多种多样植物和动物生存的空间,提高生物多样性
经济效能	通过植物形成岸边遮荫和鱼类产卵区
	通过植物根托吸收、过滤有害物质以净化水质
	具有防风功能
	降低工程建造和维护费用
美学价值	增加农林业以及休闲地的可利用面积
	用非线性化工程设计达到景观和谐
	通过多种工程材料和工程建筑以增加景观美感 营造新型工程结构以提高区域景观的观赏价值

垂柳(*Salix babylonica* L.),杨柳科,柳属,乔木,高 10 ~ 20 m,小枝细长下垂,喜光,适应性强,喜水湿,耐寒,繁殖容易,生长迅速,树形优美,天然生长于水池边、河岸、湖边或滩地潮湿处。据调查研究,垂柳在水中可以生存 7 d 之久,为河岸绿化的优良树种。

旱柳(*Salix matsudana* Koidz.),落叶乔木,高达 18 m,胸径 80 cm,树冠广圆形,大枝斜上伸,小枝细长,直理或斜展,生于河、湖岸滩地或沟道、池塘边水湿地。广泛分布于东北、西北、华北及西南等地,为护岸固堤保土的优良树种,同时可以作为园林绿化树种。

小叶杨(*Populus simonii* Carr.),杨柳科,杨属,落叶乔木,高达 20 m,胸径 50 cm,喜光,不耐庇荫,耐寒、耐旱,能忍受 40℃ 的高温 and -36℃ 低温。在沙壤土、轻壤土、黄土、冲积土、灰钙土上均能生长,根系发达,萌芽能力强,耐干旱瘠薄,亦抗风、耐风蚀。生长较快,扦插或埋条繁殖,适应性强,广泛用于防风固沙、保持水土及“四旁”绿化。

枫杨(*Pterocarya stenoptera* C.),落叶乔木,高达 30 m,胸径 1 m,生长于河岸、湖旁湿地或沟道,分布于华北、华南、西南等地,为深根性树种,侧根发达,在低洼湿地生长良好,水淹一月尚能生存,在根部表土被水流淘蚀的条件下也能生存和生长,具有很强的护堤固岸作用,是河流、湖泊、水库优良的护岸树种,生长期长,可超过 100 年,造林容易,成活率高,可用扦插或种子繁殖。

紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.),豆科,落叶灌木,高 3 ~ 4 m,萌条直伸,原产北美南部,中国广泛引种,繁殖能力强,适应性广,耐旱、耐瘠薄、耐涝、耐碱,在荒山、沙地、轻盐碱地、低洼湿地以及荒滩地等均能生长,为优良的护岸树种。根系发达且较浅,对表层土有固结作用,具有固氮作用,根菌

和枝叶含氮丰富,可改良养分较低的滩地土壤,可为芦苇和河柳等植物长期提供养分,实现养分自给并减少后期人工维护管理。

4 生物工程营造技术

护岸是水体和陆地的景观边界,是在特定时空尺度下,水、陆相对均质的景观之间所存在的异质景观<sup>[30]</sup>。护岸设计的好坏,可决定滨水区既保持其生态功能,又有景观效果以形成吸引游人的娱乐空间。河岸地带的主要生态功能在于遮蔽水体、维持氧平衡以及防止水体的富营养化,保持河岸具有很强的“渗透性”,能够让水体、岸边土壤连成一体,以保证生态流、物流、能流的顺利进行<sup>[14,15]</sup>。为了达到这种要求,在河岸处理方式上,应该以软式稳定法来代替钢筋混凝土和石砌挡土墙的硬工程,仿效自然河岸,这样不仅能够维护河岸的生态功能、美学价值,而且有利于降低工程造价和管理维修费用。因此,在综合治理中对原有河道护坡和护岸结构进行改造,常用的生物工程护岸技术主要有自然缓坡式护岸、自然改造型护岸、生物技术与工程技术相结合的综合保护技术。

4.1 自然缓坡式护岸

这种护岸不需过多的人工处理,按自然的安息角进行放坡,并按每层厚 25~30 cm 逐层夯实,面层种植植被或铺设细砂、卵石,形成草坡、沙滩或卵石滩。通过植物对坡面的有效覆盖,使其免受表面侵蚀,从而起到保持土壤的作用。主要包括草皮移植、草播种、乔灌木种直播、侵蚀控制网和活枝灌丛席等技术。

4.2 自然改造型护岸

该技术主要是通过护岸植被形成之前,运用自然可降解的材料,来保护岸坡。当岸坡的角度超过自然安息角或土质不稳定时,需要对护岸进行人工防冲蚀和加固处理,可运用稻草、黄麻封自然界原生物质制作垫子、纤维织物等,通过覆盖或层层堆迭等形式来阻止土壤的流失和边坡的侵蚀,并在岸坡上种植植被和树木。当这些原生纤维材料慢慢降解,并最终回归自然时,岸坡的植被已形成发达的根系,降低土壤孔隙水压来加固土层和提高抗滑力。主要包括灌丛席、灌丛层、原木式椰子壳纤维、根系填塞、活性淤泥植物、草卷、活枝扦插、枝条篱墙、活枝柴捆、排水式活枝柴捆、垄沟式种植、压枝和枝干篱墙等技术(图 1)。

4.3 生物技术与工程技术相结合的综合保护技术

按照力学原则,运用木材、石块、金属、土工织物及水泥、混凝土等材料,结合植物种植形成的护岸,包括混凝土构件护岸、干砌块石护岸、木桩护岸、金属笼、土工织物垫护岸等。这种护岸融工程技术与生态绿化为一体,一方面石材、混凝土等材料的硬度高,能抵抗将强的水流冲蚀,保证护岸的安全稳定,另一方面护岸材料之间具有许多的空隙和缝隙,有利于植物的根系生长,并允许水陆间进行生态流的交换,为鱼、虾等水生动物提供了可靠的栖居空间。在景观方面属于软硬景观结合,具有较强的层次感。此外,这种护岸对生态系统的干扰较小,在景观上也接近于自然,且施工方法较简单。在流速小于 3 m/s,岸坡高度小于 3 m 时应优先采用,主要包括绿化干砌石墙、渗透式植被边坡、绿化网箱、绿化土工织物固土结构、绿化栅栏、活性栅栏等技术(图 2)。

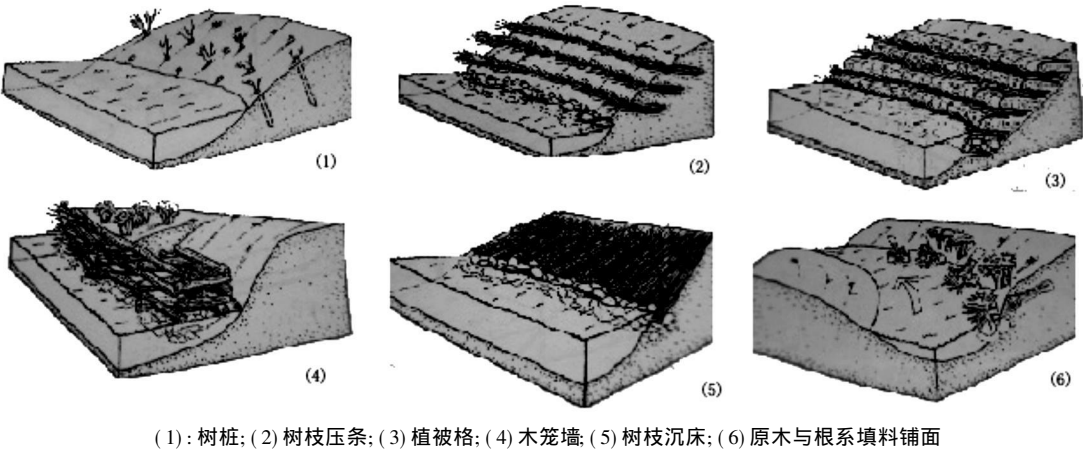


图 1 生物工程自然改造堤岸类型示意图<sup>[6]</sup>

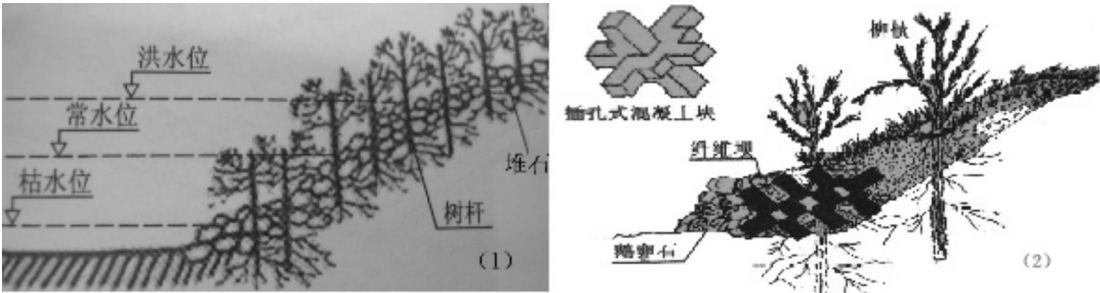


图 2 生物技术与工程技术相结合的综合保护技术<sup>[22]</sup>

3.3 加强领导, 精心组织实施

石漠化防治是一项长期的战略任务, 要精心组织, 逐步实施。成立县长任组长的德江县石漠化防治领导小组, 领导和组织全县的石漠化防治工作。领导小组下设办公室( 办公室设在县计划局), 负责日常事务性工作。建立石漠化防治年度目标责任制, 并列入干部政绩考核内容。

3.4 加强宣传和管理, 依法治理石漠化

加强石漠化防治的法制宣传, 提高全社会的生态意识; 其次加强石漠化治理重点工程的管理, 如按规划立项, 按项目进行动态管理, 按设计进行动态施工, 按工程进度安排建设资金, 按工程标准组织验收, 按投资效益进行考核。引入竞争机制: 面向社会允许不同经济主体参与石漠化防治的投标, 优胜劣汰。三是健全相关法律法规, 使石漠化防治步入法制化、规范化的轨道。

3.5 健全完善激励机制

(1) 鼓励和支持不同经济主体购买石漠化荒山荒坡的使

用权, 从事石漠化生态治理及相关的产业开发, 创办绿色产业。(2) 保护开发、经营者的权益, 允许石漠化荒山使用权一定 70 年不变或延长年限; 治理、开发成果允许继承、转让。国家征用时, 要对治理石漠化开发成果予以补偿。(3) 对从事石漠化防治的企业公司, 相关政府部门要积极协助解决生产资料、资金、购销、运输等问题。

3.6 建立健全稳定的投入保障机制

(1) 积极申请国家投资, 石漠化防治是公益事业, 应以国家投资为主。(2) 按照“谁投资、谁经营、谁受益”的原则, 广泛吸引社会闲散资金和社会各类投资主体对石漠化防治的投资。建立生态环境补偿制度。(3) 调整农业投资比例, 尽力增大地方财政对农业的投入, 用于石漠化防治资金的配套。也可以把石漠化防治资金与其他项目资金互补配套使用, 充分发挥投资效益。(4) 广大农民群众是石漠化防治的主力军, 发动他们积极投工投劳, 并继续完善劳动积累工制度。

(下转第 246 页)

(上接第 240 页)

5 结 语

河岸生物工程措施主要是利用植被来保护河道岸坡的, 这些技术与传统护岸工程方法相比较, 除了具有增强岸坡的稳定性、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。在坡面发生不稳定时还可以调整自身状况来适应坡面变化, 维

持较高的抗侵蚀能力。每种护岸措施都有自身的特点和适用范围, 使用中需要根据河岸的具体情况, 结合考虑经济、环境和景观等诸因素, 确定断面形式及组合方式, 加强生物工程技术的应用, 这种技术的使用, 不仅创造坚实的、可持续的、美学上令人愉悦的水岸, 而且为水生和陆地野生生物提供生存环境, 并对地表径流起到净化作用。

参考文献:

[1] Barker, D H. Vegetation and slopes - stabilization, Protection and Ecology[M]. Institute of Civil Engineer, London: Thomas Telford, 1995.

[2] Bergmann, W, Schiechl, H M. Ingenieurbiologie, Handbuch zum naturnahen Wasser- und Erdbau[M]. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag, 1986. 11- 22.

[3] Morgan, R R C, Rickson, R J. Slope stabilization and erosion control - A bioengineering approach[M]. London: E & EN Spon,

[4] Tobias, S, Grubinger H. Verbundfestigkeit, ein neuer Ansatz bei Festigkeitsfragen in der Ingenieurbiologie[M]. Interpretation - Tagungspublikation, 1988, Band 4, 239- 251.

[5] Gray D H, Sotir B R. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A practical guide for erosion control[M]. Toronto : John Wiley & Sons, 1996. 106- 129.

[6] Ming- Han Li, Karen E. Eddleman. Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods- A biotechnical streambank stabilization design approach[J]. Landscape and Urban Planning, 2002, 60: 225- 242.

[7] 郑万均. 中国树木志(第二卷)[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985. 1954- 2009, 2359- 2393.

[8] 常建国. 太行山农林复合生态系统中灌草植物的选择[J]. 山西林业科技, 2004, (3): 6- 9.

[9] 王礼先, 高甲荣, 谢宝元, 等. 密云水库集水区生态经济分区研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 1- 6.

[10] 刘霞, 杜桂森, 张会, 等. 密云水库的浮游植物及水体营养程度[J]. 环境科学研究, 2003, 16(1): 27- 29.

[11] 陈吉泉. 河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用[J]. 应用生态学报, 1996, 7(4): 439- 448.

[12] 高甲荣, 刘德高, 吴家兵. 密云水库北庄示范区水源保护林林种配置研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 12- 17.

[13] 高甲荣, 肖斌, 牛健植. 河溪近自然治理的基本模式与应用界限[J]. 水土保持学报, 2002, 16(6): 84- 87.

[14] 高甲荣. 北京密云水库集水区水源保护林建设与发展对策[J]. 水土保持通报, 1999, 19(5): 1- 6.

[15] 朱国平, 徐伟, 齐实, 等. 山东省招远市城东河河道近自然治理设计初探[J]. 水土保持研究, 2004, 11(1): 160- 162.

[16] 周应海. 试谈南淝河综合治理中的生态设计[J]. 当代建设, 2001, (4): 35.

[17] 夏继红, 严忠民. 生态河岸带研究进展与发展趋势[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(3): 252- 255.

[18] 张建春, 彭补拙. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 56- 63.

[19] 张建春, 史志刚, 彭补拙. 皖西南大别山麓河岸带滩地生态重建与植物护坡效能分析[J]. 山地学报, 2002, 20(1): 85- 89.

[20] 张建春, 彭补拙. 河岸带及其生态重建研究[J]. 地理研究, 2002, 21(3): 373- 383.

[21] 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): 21.

[22] 温全平. 城市河流堤岸生态设计模式探析[J]. 中国园林, 2004, (10): 19- 23.

[23] 刘滨谊, 周江. 论景观水系整治中的护岸规划设计[J]. 中国园林, 2004, (3): 49- 52.