

小流域治理中河道断面优化与生态保护协同设计

冯跃缺

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]小流域的河道断面形态对流域行洪安全、水生态系统的完整性有着直接的影响。传统的小河流治理期间着重于防洪排涝功能,在治理过程中通常会采用单一硬质矩形、梯形断面,然而,这种方案不仅割裂了水体与岸坡、陆地的生态联系,而且破坏了生物的栖息地,降低水环境自我修复能力。文章聚焦河道断面优化与生态保护协同核心,对传统河道断面设计的弊端进行系统性的分析,在此基础上,充分围绕小流域的特点,构建生态型断面优化方案,为小流域河道轻量化、生态化治理提供参考。

[关键词]小流域治理;河道断面优化;生态保护;协同设计;生态型断面

DOI: 10.33142/ect.v4i2.19183

中图分类号: TU984.113

文献标识码: A

Collaborative Design of River Section Optimization and Ecological Protection in Small Watershed Management

FENG Yueque

Hebei Water Resources and Hydropower Investigation, Design and Research Institute Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The cross-sectional shape of river channels in small watersheds has a direct impact on flood safety and the integrity of aquatic ecosystems. Traditional small rivers focus on flood control and drainage during the treatment process, usually using a single hard rectangular or trapezoidal cross-section. However, this approach not only severs the ecological connection between water bodies, bank slopes, and land, but also destroys the habitats of organisms and reduces the self repair ability of the water environment. The article focuses on the collaborative core of river section optimization and ecological protection, systematically analyzes the drawbacks of traditional river section design, and based on this, fully revolves around the characteristics of small watersheds to construct an ecological section optimization plan, providing reference for lightweight and ecological governance of small watershed rivers.

Keywords: small watershed management; river section optimization; ecological protection; collaborative design; ecological section

引言

小流域通常指面积在 5~50km² 的集水单元,作为小流域的核心脉络不仅兼具水土流失调控,行洪排涝等功能,同时具备水资源调配以及水生生物栖息等多重功能,其断面形态与结构对河道综合功能的发挥有直接的影响。长期以来,在传统水利思想影响下,为了尽快达到防洪除涝、清淤的目的,国内小流域河流多采用矩形、梯形等规则硬质断面形式,并大量采取裁弯取直、砌护边坡、缩窄河宽等方式进行整治,虽然在一定程度上提高了河流过流能力,但也打破了原本流畅的自然河型及河岸水陆衔接关系,造成底栖生物失去生存环境、水生植物无法生长、水体自净功能破坏、岸坡水土流失严重、流域生态系统稳定性显著下降,违背了生态文明背景下小流域综合防治的要求随着生态水利理念的发展,小流域综合治理由单一工程治理转变为系统生态恢复,河道断面不再是单纯的水文水利工程需求,而是结合生态系统完整性、物种多样性及水土涵养,达到工程安全与生态协调统一。目前的研究大多集中在单个断面优化或者生态修复方面,缺少面向小流域尺度的水文功能与生态保护综合规划。本文系统阐述协同设计的原则、断面优化方案、生态配套技术及实施管控要点,

为小流域河道生态化治理提供简洁实用的设计思路。

1 小流域河道现状及传统断面设计弊端分析

1.1 小流域河道核心特征

大江大河相比较小流域河道具有鲜明的自然属性,其主要特征体现在以下几个方面:一是河道的尺寸比较小,赋予宽度也有限,河道的流程比较短,比较相对较陡,存在冲刷与淤积问题;二是流域的规模比较小,而且流汇的过程较为迅速,枯水期水量匮乏甚至出现断流,汛期水流量骤增骤降;三是小流域河道的周边主要以山地、林地、田地等自然地地貌为主,因此,面临着农业面源污染以及小型生活生产排污;四是河道的岸坡主要以自然土质为主。然而,因土体结构比较稀疏,容易出现滑坡、塌岸等相关问题。

1.2 传统河道断面设计核心弊端

传统小流域河道断面主要存在三大突出问题:一是水动力与水环境变差,规整断面造成水流流态单一化,易出现死水区域,加剧水质恶化,提高清淤与维护成本;二是生态连通性受损,硬质衬砌隔断水体与土壤间的物质交换,导致水生生物栖息地退化;三是工程适应性不足,难以适应水位动态变化,景观效果差,后期改造难度大。

2 小流域生态型河道断面优化设计

2.1 主流生态断面形式及适用场景

结合小流域不同地形与水文条件,优选复式生态断面、自然化梯形断面、浅滩深潭组合断面三种形式,各类断面适用场景、核心结构设计如表 1 所示:

表 1 各类断面适用场景、核心结构设计

断面形式	适用小流域类型	核心结构设计	核心优势
复式生态断面	平原区、丘陵区宽浅型河道,水位变幅中等,行洪需求较高	分为主行洪槽+两侧生态滩地,主槽满足枯水期输水、汛期主流过流;滩地设置缓坡,高于常水位、低于设计洪水位	行洪与生态兼顾,滩地可种植植被,缓冲水流,营造两栖生物栖息地,适配水位季节性变化
自然化梯形断面	山区、丘陵区窄深型河道,岸坡稳定性较差,坡降较陡	取消全硬质衬砌,采用缓坡设计,坡比 1:3~1:5,坡脚设置生态固脚,坡面保留土壤层	施工简单,成本低,保留水陆物质交换通道,利于植被生长,提升岸坡稳定性
浅滩深潭组合断面	生态敏感度高、需重点修复水生态的河道,流量较小、行洪压力适中	沿河道纵向交替设置浅滩与深潭,断面形态不规则,浅滩坡度缓,深潭深度适中	营造多样化流态,提升水体复氧与自净能力,为鱼类、底栖生物提供差异化栖息地

注:设计参数可根据小流域实际水文、地形条件微调。

2.2 复式生态断面详细设计

2.2.1 断面设计核心依据

复式生态断面设计主要以小流域的水文以及地形资料为基础,在设计的过程中,主要遵循三大原则。一是,充分围绕河道岸坡的土体特性,合理确定边坡的坡比;二是充分围绕设计洪水位以及常水位,合理划分滩地与主槽范围;三是考虑河道行洪的要求以及枯水期的流量条件,对主槽断面的尺寸进行优化,同时要预留充足的生态空间,实现河道断面形态与生态治理措施的有机衔接。

2.2.2 断面竖向分层结构及功能细化

复式生态断面采用“自上而下、功能互补”的竖向三层结构,各层对应差异化生态保护技术,共同构建完善的工程—生态协同系统,具体结构如下:洪水位以上岸坡防护带作为路上的防护层,建议采用超缓坡的设计,坡比控制在 1:4~1:7,取消硬质衬砌,保留原状土体或换填腐殖土,不仅可以固土护坡,而且可以拦截面源污染,衔接周边生态缓冲带,为陆生动物提供活动与迁移空间,是实现生态连通的关键区域。常水位至洪水位生态滩地带属于行洪缓冲与生态功能核心层,为断面标志性结构,宽度一般为 1.5~3m,坡度 1:3~1:4,可根据河道宽度灵活调整。区域内呈干湿交替状态,基底铺设腐殖土;工程上可辅助行洪、降低水流流速,生态上形成滩涂湿地生境,为水生及湿生生物提供栖息环境,同时有效截留污染物,适配多种生态治理技

术。常水位以下主行洪槽为河道核心功能层,承担主要行洪任务,槽底采用自然弧形形态,保留原状淤泥层且不进行硬化处理。既能保证河道过流能力与蓄水效果,又可维持水体自然生态平衡,避免硬化带来的生态破坏。

2.2.3 核心设计参数精准控制

复式生态断面参数可根据小流域实际情况灵活调整,在满足工程安全的同时兼顾生态功能。根据设计洪峰流量、允许行洪流速确定主槽底宽,小型小流域通常为 1~3m,流量较大时可增至 3~4m,确保枯水期水深、防止河道断流。滩地高程介于常水位与设计洪水位之间,平原区滩地宽度不小于 2m,丘陵区不小于 1.5m,合理控制以避免植物枯死,充分发挥滩地缓冲功能。常水位以下坡比采用 1:2~1:3,土质松散、易冲刷区域取 1:3~1:3.5,不采用陡直边坡,优先选用生态护岸形式,禁止全断面硬质衬砌。依据设计洪水位确定岸坡的总高度,以防止洪水漫溢。堤顶高程高于设计洪水位 0.3~0.5m,山区河段可提高至 0.5~0.7m。

2.2.4 断面形态优化与生态适配细节

复式生态断面除竖向分层外,还需优化平面与横向形态。平面形态尽量保留河道自然弯曲度,配合滩地与主槽。主槽底部可设置轻微起伏,局部预留小型深潭区域。滩地边缘采用弧形过渡,便于植物种植与生长,减少水流局部冲刷。断面左右两岸根据河道水流方向、岸坡地形,调整滩地与主槽宽度,最大化利用地形,降低施工成本,同时提升生态适配性。

2.3 断面优化的水力适配要求

复式生态断面优化通过分区差异化设计,在保障行洪安全的同时守护河道生态,如生态滩地流速控制在 0.5~1.0m/s,汛期主槽流速控制在 0.8~2.0m/s。主槽枯水期水深不低于 0.3m,重点整治河段维持 0.4~0.5m,通过水流归槽、滩地裸露的空间布局,维持河道生态系统稳定与生物活力。借助复式断面结构塑造丰富多样的水力流态,增强水体复氧能力,契合水生生物栖息习性,有效提升水环境质量。

3 断面优化配套生态保护协同技术

3.1 生态护岸技术

传统硬质护岸虽可在短期内实现岸坡加固,却会隔断水陆之间的物质循环,造成生态功能退化。结合小流域自身特征,优先推荐三类轻量化生态护岸技术,在满足工程安全的同时实现生态修复。

格宾石笼护岸适用于水流冲刷作用强烈的区域,采用镀锌格宾网箱装填当地石料构筑,网箱孔隙可为水生生物提供栖息空间,也利于植物生长,具有施工便捷、造价较低、适应地基变形等优势,适合坡降大、流速快的河段。

植被喷播护岸适用于坡度较缓的岸坡,通过将腐殖土等材料混合后喷覆于坡面,依靠植被根系固持土体、减轻水土流失,同时形成良好生态景观,具有造价低廉、养护简便等特点,适合平原、丘陵地区的土质岸坡。

生态袋护岸适用于易发生滑坡、冲刷破坏的岸段，采用透水生态袋装填改良土分层码砌，既能防止岸坡坍塌，又可为植物生长提供条件，施工过程中可保留天然土质岸坡结构，有效保障水陆生态连通性。

3.2 水生境营造技术

水生境是河道生态系统的核心，依托优化后的复式断面、浅滩深潭组合断面等不规则形态，针对性营造多样化水流环境与生物栖息空间，破解传统规则断面流态单一、栖息地缺失的问题，核心围绕底质修复、水生植物配置、水流形态调控三大方面实施，与断面分层结构精准协同。

底质修复方面，遵循“保留原生底泥、局部清淤”原则，不进行河道全断面硬质硬化与彻底清淤，仅清理主槽内淤积过厚、污染物富集的区域，保留原生底泥层，底泥中留存的微生物、底栖生物是河道自净系统的核心，能有效降解水体污染物，维持水生态平衡。针对浅滩深潭断面，深潭区域保留 15~25cm 厚的软泥底质，浅滩区域保留沙泥混合底质，适配不同底栖生物、鱼类的生存需求。

水生植物配置方面，常水位以下的主槽区域，种植沉水植物，提升水体透明度，为小型鱼类提供栖息场所；常水位至洪水位之间的生态滩地，种植挺水植物，缓冲汛期水流冲击力，同时拦截水体悬浮污染物，为两栖动物、水鸟提供觅食与栖息空间；洪水位以上岸坡带，搭配湿生草本植物，衔接岸带乔木灌木，形成完整的水生-湿生-陆生植被链条。

3.3 岸带生态缓冲带构建

岸带生态缓冲带是河道断面与周边陆地生态系统的过渡屏障，也是断面生态功能的延伸，主要布置在各类生态断面洪水位以上的岸坡外侧，宽度根据小流域周边用地条件控制在 1.5~4m，平原区农田周边河道适当加宽至 3~4m，山区林地周边河道可缩至 1.5~2m，核心作用是拦截陆地地表径流、农业面源污染，同时为陆生动物、两栖动物提供迁徙通道，构建完整的流域生态网络。

缓冲带采用乡土植被立体分层种植模式，不进行任何硬质铺装，完全保持自然状态：下层种植狗牙根、早熟禾、结缕草等乡土草本植物，形成致密的地被层，快速拦截地表径流中的泥沙、化肥农药残留等污染物，防止污染物直接入河；中层种植紫穗槐、荆条、火棘等乡土灌木，株距 1~1.5m，灌木根系发达，深层固土，减少岸坡深层水土流失，同时形成灌木绿篱，提升岸坡稳定性；上层种植垂柳、枫杨、水杉等耐水湿乡土乔木，株距 3~4m，乔木树冠能遮阴降温，调节河道水温，为水鸟提供栖息空间，同时改善河道周边微气候。

缓冲带与河道断面协同设计时，坡度与断面岸坡保持一致，采用缓坡衔接，避免陡坡落差，保障水陆生态系统的连续性，无需额外养护，依靠乡土植被自然生长即可长期发挥作用，真正实现低成本、可持续的生态防护。

3.4 生态防渗与水土保持协同技术

小流域河道岸坡多为砂质土、粉质壤土，结构松散，

汛期易出现水土流失、岸坡渗漏坍塌问题，传统防渗技术采用不透水膜、混凝土防渗，彻底破坏水陆连通，与生态保护目标相悖。生态防渗与水土保持技术，依托断面缓坡设计，采用“植物固土+天然材料防渗”的模式，兼顾防渗保水与生态连通，不阻断水体与岸坡的物质交换，同时维持断面形态的长期稳定。

生态防渗方面，摒弃不透水硬质材料，在岸坡土壤层中掺入天然膨润土、泥炭土等生态防渗基材，改良土壤结构，减少岸坡水分渗漏，基材透水不漏水，既能保持河道水量，减少枯水期断流概率，又能让水分、养分自由交换，保障植物根系生长；针对渗漏严重的坡脚区域，搭配格宾石笼固脚与天然土工布，土工布选用可降解环保材质，仅拦截泥沙、不阻断水体交换，实现柔性防渗。

4 协同设计效果评估

为便于基层管控，设置简洁的评估指标，从工程安全、生态功能、水环境三大维度考核设计效果，指标如下表所示，无需复杂监测，便于实操：

表 2 水利工程设计效果评估指标表

评估维度	核心指标	合格标准
工程安全	行洪能力、岸坡稳定性、淤积量	满足设计防洪标准，岸坡无滑坡、坍塌
生态功能	植被覆盖率、生物栖息地面积、水陆连通性	岸坡植被覆盖率不低于 80%，生态滩地完整
水环境	水体透明度、水质类别	水体透明度提升，无明显黑臭现象

5 结论

针对小流域河道特点，搭配简易生态护岸、水生境营造、缓冲带构建的协同设计方案，满足小流域工程安全需求，恢复河道生态功能，提升水体自净能力，保护生物多样性，实现水安全与水生态协同提升。

[参考文献]

[1]吕刚林,于广洲,陆建华.城市河道生态修复效果评价与改善措施研究[J].皮革制作与环保科技,2022,3(17):116-118.

[2]杨祯和.中小型河道治理中的生态加固和生物防治管理实践[J].水利技术监督,2022(11):230-233.

[3]李超,张世元.生态水利设计理念在城市河道治理工程中的应用[J].居舍,2019(35):3-3.

[4]陈秋.小型农田水利工程中河道的治理对策[J].吉林农业(下半月),2018(4):68-68.

[5]徐孝宙.生态水利设计理念在城市河道治理工程中的应用研究[J].安徽建筑,2019,26(6):179-180.

作者简介：冯跃缺（1988.6—），毕业院校：石家庄铁道大学，所学专业：道路与铁道工程，当前工作单位：河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司，职务：职员，职称级别：高级工程师。