

Study on the structural form and adaptability of river bank deceleration and silt protection body to field construction

Yang Song¹ Yongming Chen¹ Dongmei Liu¹ Xiaohui Zhang¹ Yongzhu Piao²

1. Jilin Water Conservancy Research Institute, Changchun, Jilin, 130000, China

2. Changbai Mountain Protection and Development Zone Command Center for Flood Control, Drought Relief, Early Warning and Monitoring, Changbai Mountain, Jilin, 133613, China

Abstract

In recent years, while water conservancy projects in the western part of Jilin Province have achieved phased results, there is still a lack of systematic research on the long-term stability control of the concave bank sections. The river concave bank deceleration and siltation protection structures are crucial for river management and soil and water conservation, effectively altering the flow field structure, reducing erosion intensity, and promoting sedimentation stability. Given the unique geomorphology, hydrology, and soil characteristics of the western region of Jilin, it is essential to study the appropriate design and construction adaptability of these protective structures to support the scientific and systematic development of local water conservancy infrastructure. This paper, based on typical engineering practices in concave bank erosion zones, examines four representative deceleration and siltation structures, exploring their structural suitability and on-site construction response characteristics in the western region of Jilin, providing a reference for the regional promotion of such projects.

Keywords

western Jilin Province; river concave bank; deceleration and silt protection body; structural form; on-site construction adaptability

江河凹岸减速促淤防护体的构造型式与现场施工适应性研究

宋阳¹ 陈永明¹ 刘冬梅¹ 张晓辉¹ 朴永柱²

1. 吉林省水利科学研究院, 中国·吉林 长春 130000

2. 长白山保护开发区防汛抗旱预警监测指挥中心, 中国·吉林 长白山 133613

摘要

近年来, 吉林省西部地区水利工程建设虽取得阶段性成效, 但对凹岸地段的长期稳定性控制仍缺乏系统研究。江河凹岸减速促淤防护体作为河道整治与水土保持的重要措施, 在有效改变流场结构、降低冲刷强度、诱导淤积稳定方面具有显著作用。针对吉林西部地区独特的地貌、水文、土壤特性, 迫切需要研究适宜该区域的防护体构造型式与施工适应性, 以支撑地方水利基础设施建设的科学化与系统化。本文基于典型凹岸冲刷区工程实践, 结合4种具有代表性的减速促淤构造形式, 深入探讨其在吉林西部的结构适配性与现场施工响应特征, 为今后该类工程的区域化推广提供参考。

关键词

吉林省西部; 江河凹岸; 减速促淤防护体; 构造型式; 现场施工适应性

1 引言

吉林省西部地区包括白城、松原及通榆、乾安等典型干旱区, 地表水体以季节性河流为主, 河道多呈间歇性流态, 年径流量波动大。天然河流一般都是弯曲的, 由于河流弯道中流速分布不均匀和断面环流的存在, 导致横向输沙不平

衡, 河弯凹岸冲刷、凸岸淤积, 从而使得沿江河凹岸的防护体受水流冲刷而毁坏。因此, 发展以减速促淤为核心理念、与自然过程协同的防护体结构尤显重要。

2 江河凹岸减速促淤防护体的构造型式分析

2.1 折线式顺坝型防护体

折线式顺坝型防护体采取多段等角错位布置方式, 在主坝体顺水流方向按照折线式布局于河岸前缘依次布置若干次级缓冲单元, 从急流中分段导流逐渐降低水流速度, 使水流靠岸减速、携沙沉积, 在凹岸侧筑成保护性淤积带。该构造形式的防护体坝体一般用浆砌片石或混凝土空心构件筑成, 并于内部设置反滤垫层, 满足松散砂质岸坡地层需

【基金项目】吉林省重大科技专项(社发领域)“江河凹岸减速促淤新型防护体的关键技术研究”(项目编号: 20230203123SF)。

【作者简介】宋阳(1984-), 男, 满族, 中国吉林九台人, 本科, 高级工程师, 从事水利科研工作。

求。同时根部预埋锚筋与基底相连接以增强坝体稳定。这种布置适用于江河弯曲度大、水流惯性强的地区，其可打破集中冲刷区，延缓河道摆动速度，由导流、促淤、护岸为一体的组合型构造^[1]。

2.2 格栅透水桩排式防护体

格栅透水桩排式防护体由多列间距可控的木桩、钢桩或钢筋混凝土桩组合而成，桩间以钢筋网片或竹编格栅连接，整体呈半刚性透水结构。其基本原理是减缓水流速度，降低水体剪切力，形成水流滞缓区，促进泥沙沉积并形成护淤台阶。桩排高度依据设计水位与最大冲刷深度设定，底部嵌入河床一定深度以增强抗拔力，同时预设冲刷过渡平台避免局部淘刷。该构型适宜于土质疏松、水动力不稳定区域，吉林西部砂质凹岸分布广泛，结构布设灵活、施工周期短，有利于在洪水前完成节点封堵。结构间隙允许部分水流渗透，形成引导式缓流区，在稳定流态的同时增强结构本体的承载能力。特别适用于季节性冲刷剧烈的次一级河道。

2.3 阶梯式促淤护岸带型防护体

阶梯式促淤护岸带型防护体采用平行于岸线依次设置多级挡墙或堆体形成阶梯状结构，利用台阶间缓坡与沉积面构建高效的淤积空间，逐级削减水流冲击力。阶梯段可选用砂袋、编织袋、混凝土预制块、黏土实心块等材料构筑，结构间设置反滤垫层及排水管道，防止地下水顶托及土体失稳。台阶面向水流方向略作倾斜，利于泥沙回流后沉积^[2]。该结构重在形态诱导和底部稳定控制，对提高凹岸防冲强度、形成稳定护淤带具有显著作用。该地区干流常见岸坡较缓的泥质或粉砂质堤岸，该类结构能根据地形灵活布设，利于快速形成初始稳定带，是在软质岸坡条件下推广性较强的一种防护形式。

2.4 护脚潜堤复合型防护体

护脚潜堤复合型防护体由贴岸护脚结构与水下低位潜堤组合构成，潜堤沿水底设置于主流线偏内侧，护脚结构则贴近岸坡根部延伸设置。潜堤采用石笼网箱、沉管或混凝土块体布设，其作用为抬升近岸水位、削弱底流流速，从而诱导泥沙在凹岸前缘沉积。贴岸护脚部分多采用阶梯式或挡板式构型，主要作用是稳定岸坡基底、防止局部淘刷和翻滚式冲刷。该结构在中等水深、岸坡有一定土壤稳定性的区域应用较多，吉林西部若干断面常存在水深变化剧烈及河床底质不均的情况，此复合结构在保守处理基础上的功能叠加，有利于多重防护与诱导沉积过程的并行展开，具备良好的应用前景。

3 江河凹岸减速促淤防护体构造型式的现场施工适应性研究

3.1 折线式顺坝型防护体的现场施工适应性分析

折线式顺坝型防护体在吉林西部具有一定现场适应性，尤宜于弯曲度高、来流惯性强、冲刷较严重的河段。结合实

践来看，这一区域江河主要属平原型慢坡河流，局部弯道半径小、流速分布不均匀，利用此结构可以建造多段导流系统以减缓流速。比如针对松嫩平原南部洼地性河道，这种类型的结构可以利用空间折线对水流的引导作用，在不同区域之间形成多个“缓冲滞留区”而诱导出局部淤积带，从而起到对凹岸冲刷的制约作用。但是就目前来看，折线式顺坝型防护体存在基础承载力以及岸坡稳定性要求较高的不足。该地区部分区域岸坡为粉砂质或风积细砂土，结构基础需依赖较高的地基强度，若未进行有效加固，折角段易因流体绕射而产生局部冲刷集中^[3]。此外，该区域年温差大、冬季结冰严重，冰凌堆积易对坝体折角节点产生侧向推力，不利于长期结构稳定。对于未封冻河段，冰压频率高，需综合考虑结构受力重心分布及河床变形响应。从资源匹配角度看，吉林西部地区可就地取材的砂石资源较为有限，部分区域建设所需材料需外运，可能对结构经济性和实施周期造成制约。此外，因该结构折线布设需要较高精度的定位放线与岸线协调，对作业环境的开阔度及岸坡几何形态要求高，不适合于河道空间受限或岸坡自然植被密集区。因此，该结构适宜于地形开阔、岸基承载力较高且具备一定导流需求的中大弯段，在具备水工基础条件的地区具良好适配性，但在松软基质或封冻严重的河段则应慎用或结合结构优化设计。

3.2 格栅透水桩排式防护体的现场施工适应性分析

格栅透水桩排式防护体在吉林西部的现场适应性表现出一定的多样性，特别适合用于次一级河道、支流沟渠及岸坡破坏非结构性强的区域。该地区大量河段具有季节性流态，丰水期出现强流冲刷，枯水期基本断流，使得透水结构可有效在低流速条件下诱导水流扰动并促成泥沙滞留，是典型的非阻断型柔性诱导结构，与西部多变的河流动力学特征具有高度契合性。然而，其现场适应性受限于几个关键区域性因素。首先，吉林西部土体可承载力较低，尤其在风沙沉积区或退化草地段，垂直结构布设稳定性受限。虽然格栅结构自重小、柔性好，但对桩体嵌固深度的依赖性较高，局部河段若存在地下淤泥层或高含水率粉质壤土，将大幅降低结构的稳固性。此外，洪水频发年份水流动能增强，透水结构桩体易发生局部弯折或位移，降低整体引导效果。从生态兼容性角度看，该型结构通透性强，对水生植被自然恢复影响小，适合于生态治理与水利防护并重的综合治理项目。其布局方式对自然地貌干扰较小，可在不大规模改变河岸形态的前提下实现防护功能，尤其适合于生态敏感区及湿地型河段。然而，该结构对现场构件规格统一性与桩间连接稳定性要求较高，吉林西部部分地区建设条件受限，不具备标准化构件生产能力，可能影响结构安装质量。综合来看，格栅透水桩排式防护体在吉林西部具备较广泛的适应性，特别适合于流态非稳定但流速不高、岸坡结构松散且生态干预需求较强的地段；在地基承载力不足或施工能力受限的区域，则需强化结构设计与配套条件，避免结构早期失稳。

3.3 阶梯式促淤护岸带型防护体的现场施工适应性分析

阶梯式促淤护岸带型防护体具有较强的现场适应性,特别是在吉林西部中小型缓坡河岸分布广泛的自然条件下。该区域地貌多以冲积、风积平原为主,岸坡坡度平缓、基质以粉砂壤和轻质砂层为主,易于形成阶梯型台阶结构的自然基底条件。该构型本身依赖逐级削减流速与高差诱导泥沙沉降的机制,较为适配西部地区流速分布不均、整体流能较弱的天然特征^[4]。从适应性角度分析,该结构对岸坡线性连续性要求不高,能够灵活布设于不规则岸段,具有较强的现场可变性。吉林西部河段普遍存在河岸边界不清、断面变化频繁的问题,该结构形式可随地形调整层级高度与台阶宽度,无需大量土方改动即可实现防护功能,降低了对现场工程干预强度。在水文适配性方面,西部干旱区多发突发性暴雨型径流,洪峰流速短时内剧增,但整体过程流量较小,该结构通过台阶阻水诱淤,具备一定削峰蓄洪能力。在河道流速低至中等的条件下,水体在各级台阶间形成滞缓区,有助于沙质颗粒自然沉降,增强护岸前缘沉积层的稳定性。这种特性使其在支流、小型干流或低缓冲刷段具有明显优势。但同时,该结构对沉积物供给具有一定依赖。吉林西部部分河段由于上游径流控制严、输沙量不足,在流动介质泥沙浓度较低条件下,其促淤效果不甚显著。另一个局限因素在于冬季严寒造成的冻结层可能影响台阶结构的边界连续性,若未能有效处理排水系统,冻胀易导致结构台阶错动或表层剥蚀,从而削弱其长期性能。

3.4 护脚潜堤复合型防护体的现场施工适应性分析

护脚潜堤复合型防护体在吉林西部具有较为复杂的现场适应性表现,其主要取决于河段水深条件、主流分布、底质稳定性及岸坡响应能力。吉林西部部分干流河段存在主流偏岸、岸坡冲刷严重的现象,潜堤结构能够有效诱导主流外移,降低凹岸底部水动力强度,同时护脚结构可稳定岸坡脚部土体,对整体防护形成“内支外导”的协同作用,因此在河床结构具备一定稳定性的区域具有较好适配性。然而,该构型对水下水地质条件具有较高要求。西部典型河段常出现细颗粒底质或松散淤积层,若潜堤布设区域缺乏稳定支撑层,将导致潜堤基础下陷、结构整体失稳。此外,结构需延伸至水下主流线附近,受限于该区域水深、水流速度及水下可视性较低,吉林西部多处水体混浊、泥沙含量高,现场作业难

度大。特别在丰水期来临前后,潜堤结构易因河床冲刷加剧而发生局部掏空,因此结构设计需对潜堤前缘冲刷范围有充分预判,否则适应性明显受限。护脚部分在现场适应性方面受岸坡稳定性影响显著。该地区部分河段岸坡受风蚀影响较大、冻融循环频繁,在春融时易发生浅层滑移或者塌方现象,在无外力约束情况下护脚石块将会发生偏移甚至会被掩埋,造成结构的整体失效。尽管护脚潜堤复合型防护体具有良好的引导和支撑作用,但是其对地基和水流要求高,适用于水位变幅小、水下地质状况稳定好、岸坡完整等情况,如果坡脚过软或主流过于接近岸边,则不能直接应用^[5]。另外,受此地区施工窗口期短、河道封冻期长的影响,潜堤类结构的施工无法实现高效的快速施工,从而不利于其推广使用,因此从实际条件考虑而言,尽管此结构有很强水力学控制能力,但是由于受到水下基础及岸坡完整性等方面的制约,必须经过仔细的勘察及响应,确认后再考虑是否适用。

4 结语

针对吉林省西部干旱区河流凹岸冲刷严重,水动力条件差,地质较弱的特点,对本文研究区域内分布较为广泛的4种典型减速促淤防护体构造形式进行分析并归纳总结了每一种典型减速促淤防护体的结构特性;在此基础上进一步研究分析了不同类型防护体在当地的现场施工可适应性,发现不同的防护体在该地区都存在一定的适宜性差异,因而在实际应用时要根据当地不同河段情况、现场自然条件、土源等资源适应性等选择最合适的类型,并重视结构功能的作用发挥应与现场施工环境条件的配合和相应施工能力和运行环境影响之间的关系。

参考文献

- [1] 张柱.汾河新绛段堤岸防护工程直角转弯段设计[J].山西水利,2024(9):25-28.
- [2] 黄鹏.山洪作用下河湾段路基挡墙破坏机理研究[D].重庆交通大学,2023.
- [3] 吴人杰,李昱,姜子岳,等.浅滩湿地在河道凹岸冲刷防护中的应用研究[J].江苏水利,2023(7):8-11.
- [4] 徐莉.中小河流治理工程水土流失特征及防护措施探究[J].工程技术与管理(新加坡),2020.
- [5] 何苗,秦兰芝,尹太举,等.分支河流体系在东海西湖凹陷南部的运用及其对油气潜力的指示[J].中国地质,2021,48(3):12.