

河岸侵蚀的监测与管理方法研究

李国栋

山西水务集团建设投资有限公司，山西省太原市，030006；

摘要：本文通过分析目前相关研究，介绍了河岸侵蚀的监测、建模和管理的最新进展，并概述了新的研究方向。它有助于我们推进和理解监测活动如何表征外部驱动的影响，数值模型在预测系统响应时的能力和局限性是什么，以及不同管理实践的有效性是什么，以防止和减轻河岸侵蚀和故障。首先，强调了在预测黏性土脱离时，需要更好地理解侵蚀率随施加边界剪应力增加的非线性行为，并据此调整目前用于获得可蚀性参数的计算程序；其次，强调了在河流修复项目的设计和评估中，需要将建模过程纳入其中。

关键词：河流侵蚀；监测；管理；研究进展

DOI：10.69979/3060-8767.24.3.018

引言

河岸侵蚀和破坏被认为是河流泥沙的重要来源，在某些情况下占河流泥沙总物质的 80%^[1-2]。Laubel 等^[3]和 Mittelstet 等^[4]指出退化的河岸可能是溪流中养分负荷的主要贡献者，他们估计侵蚀泥沙可以分别贡献小农村和农业流域中总磷的 40 % 和 47 %，溪流河岸磷的贡献可能是显著的^[5]。从地貌角度来看，河岸侵蚀和破坏改变了河道平面形态和断面几何形态，最终改变了河段的水流和泥沙输移动力。这导致在不同的空间和时间尺度上发生的水动力-形态动力学调整，如水流深度、床面物质组成和运输能力的变化^[6]，河岸侵蚀和破坏导致严重的渠道拓宽^[7]。

本文通过分析目前相关研究，介绍了河岸侵蚀的监测、建模和管理的最新进展，并概述了新的研究方向，为河岸侵蚀的监测与管理提供理论支持。

1 主要成果

1.1 监测

Arnold 和 Toran^[8]监测了城市河流的侵蚀速率和浊度水平，以检查常见的入侵物种对河岸后退的影响。他们的结果突出了不同类型的岸边植被对侵蚀速率的影响及其对计算泥沙供应量的意义。Dragi'cevi'c 等^[9]利用 87 年的地籍图和航片观测数据重建了一条曲流河 15 km 河段的横向迁移。本研究是利用历史数据来表征相对于触发岸坡侵蚀的水文情势的长期趋势的相关例子。Karimov 和 Sheshukov^[10]对一条浅沟进行了为期两年的监测，以确定引起土壤分离的主要因素。通

过对 2 年的治沟造地过程进行分析，找出造成土壤剥蚀的主要因素。他们开发了一个临界剪切应力函数来解释土壤含水量的变化，以实现短暂沟谷内侵蚀区更准确的预测。最后，Kociuba^[11]通过使用 Global 测量固定地点的侵蚀速率，表明高度变化的水文气象条件如何影响岸坡侵蚀对总输沙量的贡献。导航卫星系统 (Gnss)。

1.2 模型

Enlow 等人^[12]使用基于一维过程的模型来模拟河岸的凹退。Huang^[13]发展并验证了一个二维解析模型来预测渗流引起的颗粒夹带的临界水力梯度。他们提出了一种计算颗粒运动起始概率的方法。Lai^[14]提出了一个基于二维水深平均水沙运动模型 SHR - 2D 的垂向和横向岸坡侵蚀耦合模型的发展和应。这项研究突出了移动和固定网格方法相结合的好处，以增强数值模型在预测复杂系统的垂直河床变化和横向岸滩侵蚀时的鲁棒性。

Mahalder 等^[15]研究了在进行 JETs 时使用单一和多重压力设置对三种不同计算方法计算的可蚀性参数的影响。它们的比较突出了与所应用的计算方法相关的高度可变性。此外，他们还提出了一种新的 JET 运行技术，即通过施加递增的压力水头来考虑试验过程中土壤性质的变化。Rousseau 等^[16]进行了数值模拟，以检验模型预测在两种不同的河流环境中对关键生物物理条件的敏感性。Vonwiller 等^[17]验证了二维水动力-形态动力学模型，并进行了敏感性分析，以检验各种方法 (例如，重力塌岸) 模拟直河道无粘性河岸侵蚀和人工砾石堆积体侵蚀的适宜性。

1.3 管理

Addisie 等^[18]对埃塞俄比亚中部高地的 14 条浅沟进行了为期 4 年的研究,以确定经济有效的浅沟沟头稳定措施。评估的措施包括改判率边坡,以及添加抛石、植被或两者的组合。研究结果突出了预防或控制泥沙侵蚀的各种做法的效率,最终有助于管理向下游水体的沉积物供应。Beck 等^[19]通过实施岸面调查、侵蚀针和土壤分析,从四种类型的岸坡材料中量化了流域尺度的沉积物和总磷负荷。研究流域以风化/崩积物为主,占泥沙和总磷质量流失量的 70 % 以上。这类研究有助于改善区域努力,以减少和管理河流的泥沙和营养负荷。

Dave 和 Mittelstet^[20]评估了在 18 个不同的河岸地点实施的 6 个稳定实践的有效性。他们使用航空图像来量化稳定前和稳定后的河岸撤退,并评估评估期间发生的重大风暴事件的影响。他们的结果强调了选择适当的稳定技术来管理河岸侵蚀的重要性,同时考虑了极端条件下的相关成本和性能。

2 尚存的挑战和研究方向

在河岸侵蚀和故障的监测、建模和管理领域仍然存在许多挑战。①考察地层层位对河流沉积物和总磷负荷量化的影响;②在数值模式的开发、校准和应用中考虑植被、蜿蜒、减弱和风化过程的影响;③更好地了解控制沟谷进展和发展的物理机制,特别是河岸地区的物理机制;④建立可蚀性试验结果运行和后处理的标准化程序;⑤更好地理解水化学等影响因素对河岸侵蚀的影响。

2.1 河岸侵蚀相关问题进行阐述

虽然 JET 经过近 30 年的发展,仍然是最适合原位测量可蚀性参数的工具,但仍需要对该装置进行更新,并更好地了解各种设计方面的影响。该装置克服了无法在不周期性地停止水射流冲击土壤的情况下,自动收集随时间变化的冲刷测量值的问题。对冲刷坑的深度和形状的高分辨率测量也可以更好地告知用户土壤的可侵蚀性。在有限的边界剪应力范围内,线性假设是合适的,这通常与通过 JET 现场测试的值相关。对于较大的边界剪切应力,后一变量与冲刷率之间的关系不是线性的。这意味着,当 JET 推导的可蚀性参数与线性剪应力方程结合使用时,对于较大的施加边界剪应力,侵蚀速率可能会被高估。因此,有必要更好地理解上述非线性行为和不同剪切应力范围内剥离机制的潜在变化,并据此调整目前用于后处理 JET 结果的计算程序,以获得可蚀性参数。

2.2 河流修复模型

目前,河流修复工程的方法主要基于对河道形态的评估。

例如,应用广泛的 Rosgen 分类系统试图通过对断面和平面几何形态的表征、经验的河岸可蚀性危害指数(BEHI)、单个造床流量和稳定的输沙能力来评估和预测这些形态动力学过程的行为。同样,另一种常用的方法 BANCS(非点源泥沙库岸评价)根据基于 BEHI 的统计模型和由现场数据得到的边界剪切应力的近似值来预测河岸的年侵蚀速率和年输沙量。但是,在解释这种形态动力学过程的行为时,基于形态的修复具有局限性。

因此,有必要纳入对控制流道动力学和河岸侵蚀和破坏的动态物理过程的正式分析,以便关注流函数,而不是仅关注流形式。这种方法将有助于增强我们对退化溪流中现有条件的理解,并改进新的恢复项目的设计。

3 结论

本文通过分析目前相关研究,介绍了河岸侵蚀的监测、建模和管理的最新进展,并概述了新的研究方向。主要结论如下:

(1)在河岸侵蚀和故障的监测、建模和管理领域仍然存在许多挑战。包括:地层层位对河流沉积物和总磷负荷量化的影响;在数值模式的开发、校准和应用中考虑植被、蜿蜒、减弱和风化过程的影响;控制沟谷进展和发展的物理机制;水化学等影响因素对河岸侵蚀的影响。

(2)有必要更好地理解上述非线性行为和不同剪切应力范围内剥离机制的潜在变化,并据此调整目前用于后处理 JET 结果的计算程序,以获得可蚀性参数。

(3)河流修复工程的方法主要基于对河道形态的评估,但是,在解释这种形态动力学过程的行为时,基于形态的修复具有局限性。

参考文献

- [1]Tomer, M.D., Locke, M.A. The challenge of documenting water quality benefits of conservation practices: A review of USDA-ARS' s Conservation Effects Assessment Project watershed studies[J]. Water Sci. Technol., 2001, 64, 300-310.
- [2]Wilson, C.G., Kuhnle, R.A., Bosch, D.D., et al. Quantifying relative contributions from sediment sources in Conservation Effects Assessment Project watersheds[J]. J. Soil Water Conserv, 2008, 63, 523-532.
- [3]Laubel, A., Kronvang, B., Hald, A.B., et al. Hydromorphological and biological factors inf

- luencing sediment and phosphorus loss via bank erosion in small lowland rural streams in Denmark[J]. *Hydrol. Process.* 2003, 17, 3443-3463.
- [4]Mittelstet, A.R., Storm, D.E., et al. Testing of the Modified Streambank Erosion and Instream Phosphorus Routines in the SWAT Model[J]. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 2017, 53, 101-114.
- [5]Fox, G.A., Purvis, R.A., Penn, C.J. Streambanks: A net source of sediment and phosphorus to streams and rivers[J]. *J. Environ. Manag.*, 2016, 181, 602-614.
- [6]Pizzuto, J.E. Streambank Erosion and River Width Adjustment. In *Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice*, Garcia, M.H., Ed., American Society of Civil Engineers (ASCE): Reston[M]. VA, USA, 2008, pp. 387-438.
- [7]Schottler, S.P., Ulrich, J., Belmont, P., et al. Almendinger, J.E. Twentieth century agricultural drainage creates more erosive rivers[J]. *Hydrol. Process.*, 2014, 28, 1951-1961.
- [8]Arnold, E., Toran, L. Effects of Bank Vegetation and Incision on Erosion Rates in an Urban Stream[J]. *Water*, 2018, 10, 482.
- [9]Dragi'cevi'c, S., Pripu'zi'c, M., Živkovi'c, et al. Spatial and Temporal Variability of Bank Erosion during the Period 1930 - 2016: Case Study - Kolubara River Basin (Serbia)[J]. *Water*, 2017, 9, 748.
- [10]Karimov, V.R., Sheshukov, A.Y. Effects of Intra-Storm Soil Moisture and Runoff Characteristics on Ephemeral Gully Development: Evidence from a No-Till Field Study[J]. *Water*, 2017, 9, 742.
- [11]Kociuba, W., Janicki, G. Effect of Meteorological Patterns on the Intensity of Streambank Erosion in a Proglacial Gravel-Bed River (Spitsbergen)[J]. *Water*, 2018, 10, 320.
- [12]Enlow, H.K., Fox, G.A., Guertault, L. Watershed Variability in Streambank Erodibility and Implications for Erosion Prediction[J]. *Water*, 2017, 9, 605.
- [13]Huang, Z., Bai, Y., Xu, H., et al. A Theoretical Model to Predict the Critical Hydraulic Gradient for Soil Particle Movement under Two-Dimensional Seepage Flow[J]. *Water*, 2017, 9, 828.
- [14]Lai, Y.G. Modeling Stream Bank Erosion: Practical Stream Results and Future Needs[J]. *Water*, 2017, 9, 950.
- [15]Mahalder, B., Schwartz, J.S., Palomino, A.M., et al. Estimating Erodibility Parameters for Streambanks with Cohesive Soils Using the Mini Jet Test Device: A Comparison of Field and Computational Methods[J]. *Water*, 2018, 10, 304.
- [16]Rousseau, Y.Y., Biron, P.M., Van de Wiel, M.J. Comparing the Sensitivity of Bank Retreat to Changes in Biophysical Conditions between Two Contrasting River Reaches Using a Coupled Morphodynamic Model[J]. *Water*, 2018, 10, 518.
- [17]Vonwiller, L., Vetsch, D.F., Boes, R.M. Modeling Streambank and Artificial Gravel Deposit Erosion for Sediment Replenishment[J]. *Water*, 2018, 10, 508.
- [18]Addisie, M.B., Langendoen, E.J., Aynalem, D.W., et al. Steenhuis, T.S. Assessment of Practices for Controlling Shallow Valley-Bottom Gullies in the Sub-Humid Ethiopian Highlands[J]. *Water*, 2018, 10, 389.
- [19]Beck, W., Isenhardt, T., Moore, P., et al. Streambank Alluvial Unit Contributions to Suspended Sediment and Total Phosphorus Loads, Walnut Creek, Iowa, USA[J]. *Water*, 2018, 10, 111.
- [20]Dave, N., Mittelstet, A.R. Quantifying Effectiveness of Streambank Stabilization Practices on Cedar River, Nebraska[J]. *Water*, 2017, 9, 930.

作者简介: 李国栋 1983.05 汉族, 忻州市忻府区, 副高职称, 科技创新中心主任, 太原理工大学研究生, 研究方向: 水库河道清淤, 固废资源生态转化。