

河床泥沙运动及分布特征研究

白文举 田鹏

山西水务集团建设投资有限公司, 山西省太原市, 030006;

摘要: 粗颗粒冲积河流的沉积学研究揭示了不同空间尺度的河床物质分布模式, 包括从长剖面的下游细粒化到单个颗粒尺度的粗表层的垂直分离。本文综述了泥沙搬运和沉积过程中按粒径分选底质的机制, 并讨论了不同时空尺度下泥沙分选的模式和过程之间存在的一些相互关系。在运动的初始阶段, 分选可能来自于从非均质层沉积物中优先夹带较细的组分。在运输过程中, 推移质的粒度分布会随着不同粒级的推移而改变。该综述强调了对不同尺度沉积物分选模式和过程之间存在的许多反馈联系的理解不足, 以及对这些联系的空间和时间界限的更大认识的必要性。

关键词: 泥沙分选; 砾石层河流; 河流沉积学; 泥沙运动

DOI: 10. 69979/3029-2727. 24. 05. 021

引言

粗粒冲积河道中的沉积物分选模式, 这是由于在侵蚀、运输和沉积过程中具有不同物理特征的颗粒分离而产生的结果。冲积层的分类在整体上是由于较大颗粒的尺寸选择, 因为它们的惯性, 本质上比较小的颗粒流动性更小, 以及使它们的剪切力更高。因此, 泥沙分选的模式与局部流动能力的差异有关^[1-3]。然而, 最近的研究表明, 沉积物混合物的内部挟带只是一个平均大小的选择。

本文在简要介绍卵石河流主要沉积学特征的基础上, 综述了目前对沉积物挟带、搬运和沉积过程中按粒径分选床料过程的认识, 以及不同时空尺度下格局与过程之间存在的一些相互关系。

1 大型河床河流沉积物分选^[4-8]

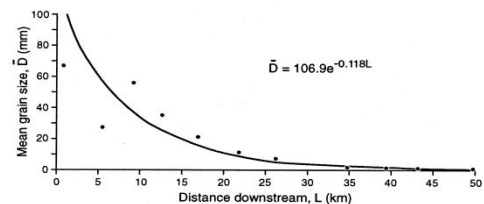
卵石河流表现出复杂但系统的沉积物分选模式, 最明显的分选现象发生在沟道长度尺度上, 并伴随着下游床面粒径的减小(图 1a)。尽管支流输入和谷侧断层引起的粒度趋势不连续, 但河流砾石在纵剖面上的分选通常被模拟为简单的下游指数粒度减小(图 1a):

$$D = D_0 e^{\alpha L} \quad (1)$$

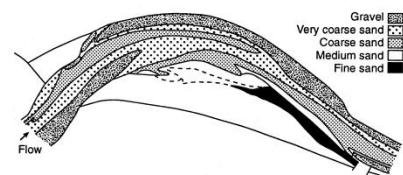
其中 D 为某一特征粒径(通常为中位数(D_{50}))或表面物质的平均粒径, D_0 为初始值, L 为下游距离, α 为经验衰减系数($\alpha < 0$)。衰减系数的汇编表明下游加细率。 D_{50} 减半的距离从大型单线河流中的几十公里到快速堆积的滑坡体中的几百米不等。从砾石到砂质, 远端河段往往表现出河床物质粒径突然减小的现象, 其突变性可

能反映了两类水系截然不同的水力学特征。

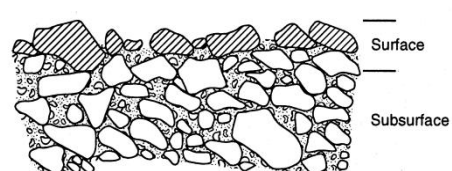
与砂/砾混合料相比, 卵石河流下的砂/砾混合料大部分发育一个表层, 一个或两个颗粒直径较粗。虽然亚表层物质中存在的所有粒度组分通常在表层物质中表现出来, 但后者通常具有更好的分选性, 中位粒径约为的 2 ~ 3 倍。粗表层的发育可能代表了更广泛的颗粒-颗粒相互作用的表现, 促进了小尺度砾石床面中沉积物的分选。类似的过程可能是横肋和碎屑坝发育的部分原因。



(a) 河下游细粒化



(b) 河弯道的平均粒径分布



(c) 表面和地下

图 1 卵石河流的沉积物分选模式

2 泥沙起动机制^[2-5]

定义粒子运动开始的标准主要基于 Shields 的工作。在一系列由直径小于 3mm 的均匀材料组成的平面床层的水槽实验中, Shields 通过定义一个无量纲的挟带函数, 将负责颗粒运动的边界处的切向流体应力 (τ_c) 与形成其最上层的单位面积颗粒的重量联系起来。

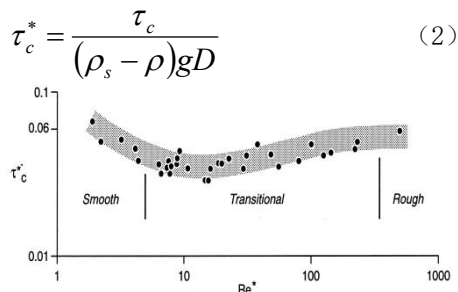


图 2 Shields 挟带函数

式中, ρ_s 、 ρ 、 g 和 D 表示沉积物密度, 流体密度, 流体密度, 特别是由颗粒密度和颗粒直径引起的颗粒密度。

尽管受到相当大的离散度的影响, 但是结果表明, 在天然卵石河流的水力粗糙条件下, τ_c^* 达到恒定值。因此, 临界剪切应力与颗粒尺寸成正比, 这表明颗粒重量是限制运动的主要力量。较大的颗粒由于其较大的惯性作用, 在本质上比较小的颗粒具有更小的流动性, 需要更高的剪切应力才能将其挟带。

根据床剪应力的变化, 河床形态的变化揭示了不同平面几何河道中的泥沙分选、河道地形和流动模式的机制。如弯曲中的泥沙分选 (图 1b 和 1c), 长期以来一直是由于对流动结构的地形控制引起的边界剪应力和流动能力的不均匀分布引起的。

3 运输过程中的泥沙分选^[6-7]

虽然初始运动条件决定了泥沙量, 但泥沙粒径的大小在运输过程中会发生变化。输运过程中的沉积物分选是由河道和河床的变化引起的。在弯曲的河道中, 河道以与深度相关的离心力作用于一个方向, 使地表水向外岸区域移动, 导致河岸的水积累。相反, 水面和内岸是向下的。其结果是自由水面的倾斜和压力与收缩压力的显著力之间的平衡。然而, 由于逆附加力与流动深无关, 离心力和压力附加力之间的平衡只在年的时间尺度上保持。在河床附近, 压力显著力占主导, 造成了一个次要循环, 水面坡度的倾斜度随连续弯曲的方向而变化。该现象导致了纵向坡度的发生了重要变化, 即最大区域的坡度, 从内部转移到外部的区域。如果把沙坝延伸到水流中, 这种影响是近底流速和边界切应力矢量向外岸

方向的一个方向。浅化流股与引起上拱的点坝断裂相遇的次级环流。在外岸, 观察到一个较不重要的循环单元。当外岸单元格与主副环流相遇时, 发生突变。

非均匀床面地形上的颗粒运动轨迹由近床面流体矢量和横通道及下游床面坡度控制。在横向倾斜的床面上运动的颗粒会被重力偏转到斜坡的底部。作用在斜坡上的重力正比于颗粒直径的三次方, 但流体的拖曳力随直径的平方 (颗粒面积) 而变化。因此, 对于相同的近底流速, 较粗的颗粒比较细的颗粒更直接地向下倾斜。这导致了一个称为“地形分选”的过程, 它将较粗的颗粒集中在地形较低的表面上, 如交替棒下游边缘。

如前所述, 弯道内的近床面流动通过横流压力梯度朝向弯道内岸。因此, 颗粒通过弯道的运动轨迹取决于曳力的相对大小受到向内作用的二次流和向外作用的引力作用。由于细颗粒比粗颗粒具有更多的单位质量表面积, 因此在二次流的净作用下, 直径较小的颗粒向内运动, 而直径较大的颗粒则向外运动引力的影响。横向床面坡度对不同粒径颗粒的差异性影响迫使细颗粒和粗颗粒在通过弯道时进行交换。这导致了一致的沉积物分选模式, 即水池比其自身向下游变细的内部点坝更粗。

4 结论

床沙在长剖面 and 单个河段内的分选性表明, 在推移质输移过程中, 必然发生泥沙的粒度选择性输移。尽管夹卷时的粒度分离已被证明是微弱的, 但冲积水道调整其形态和沉积学的相对较长时期表明, 这些对等流度的细微偏差可能足以产生系统的沉积物分选模式。推移质颗粒级配的改变发生在搬运过程中。特别重要的是不同粒径组分沿不同运输路径的地形路径, 这导致了不同河道形态的河段所表现出的沉积物分选模式。最后, 沉积过程中床层表面的变凹槽几何形状以及与之相关的流体湍动强度促进了分选。在搬运过程中的自媒介入/离开过程是一种特别有效的分选机制, 尤其是在粒度较差的沉积物中。

这篇综述表明, 在沉积物搬运过程的三个阶段进行分选对河流沉积学的发展具有重要意义。它还强调了在不同的空间和时间尺度上, 模式和排序过程之间存在的一些相互依赖关系。这些尺度依赖关系知之甚少。因此, 研究应该从卵石河流的单个形态和沉积学组分的研究中继续下去, 并更多地关注模式和分选过程之间存在的反馈联系, 从仅有几个颗粒的组合到沉积物在纵剖面上

的分级。

参考文献

- [1]Masselink G ,Brown T ,Scott T , et al. Sediment sorting within a relatively wave-exposed and sandy subtidal seagrass (*Zostera marina*) meadow [J]. Marine Geology, 2024, 476 107385-107385.
- [2]韩雪,王金华,王岗,等. 泥沙输移模拟中垂向床沙分选模型比较分析[J]. 泥沙研究,2024,49(03):18-24. DOI:10.16239/j.cnki.0468-155x.2024.03.003.
- [3]付亚磊,唐文武. 小尺度围区吹填过程泥沙分选特性研究[J]. 珠江水运,2024,(03):35-40. DOI:10.14125/j.cnki.zjsy.2024.03.016.
- [4]Yichun M ,Yaojun L ,Liang T , et al. Roles of soil surface roughness in surface - subsurface flow regulation and sediment sorting [J]. Journal of Hydrology, 2023, 623
- [5]Yunping Y ,Jinhai Z ,Lingling Z , et al. Influence of the Three Gorges Dam on the transport and sorting of coarse and fine sediments downstream of the dam [J]. Journal of Hydrology, 2022, 615 (PA):
- [6]Zeng Z ,Yiming W ,Daidu F , et al. Sediment sorting and bedding dynamics of tidal flat wetlands: Modeling the signature of storms [J]. Journal of Hydrology, 2022, 610
- [7]Pei T ,Yuwei G ,Fanghua H , et al. Comparing erosion and rill development processes by simulated upslope inflow in two red soils from subtropical China [J]. Catena, 2022, 213
- 作者简介: 白文举, 1970.08.10, 本科学历, 高级工程师, 一直从事水利工程建设管理, 履历: 企业总工程师, 总经理、党委书记、董事长等职。