

顺直河道中沉积物的粒度及重矿物分布规律 ——室内大型水槽实验

叶 玮

(中国科学院新疆地理研究所 乌鲁木齐 830011)

提 要 大型室内水槽重复实验表明,在顺直河道中,分选作用导致了从上游至下游表层沉积物粒径变细、重矿物含量增加。不同河床微地形对重矿物的富集能力不同。在平面上,深槽和浅滩迎水坡为重矿物富集区。在剖面上,则存在表层富集层、埋藏富集层和残留富集层三种富矿层。重矿物在河道中的富集规律表明,侵蚀作用在重矿物富集过程中扮演着重要角色。

关键词 顺直河道 粒度 重矿物

第一作者简介 叶玮 女 41岁 副研究员 自然地理

1 研究现状

为了较好地理解大而复杂且缓慢演化着的地貌系统,地貌学家有时不得不求助于小而简单的模型研究,从而导致了实验地貌学的发展。莫里斯曾将实验地貌学定义为在严密控制的实验条件下,一种被选择的地貌特点的模型研究^[1]。实验有两种类型,一是探索性实验,即试图通过实验来确定不同事物之间的关系;其二则为证实性实验,即在一定的假设条件下,通过实验去验证假说的正确性^[2,3]。在沉积学领域,有关泥沙运动的基础实验具较长的历史,最早可追溯到一个多世纪前。早期的研究主要强调颗粒的沉降平衡,而近年来的研究多集中在拖拽平衡方面。长期以来,也有不少学者致力于重矿物沉积、分布规律的研究,并希望能在实践中指导找矿^[4-10]。

本实验的目的在于通过可控制条件下的室内实验,研究顺直河道中沉积粒度组成特点,侧重研究重矿物在河道中的富集规律。

2 实验设备及程序

实验是在日本国立筑波大学水理实验中心的室内大型水槽中完成的。该水槽建成于 1978 年,长 160 m,宽 4 m,深 2 m,为一由钢板嵌镶而成并配有水、沙再循环系统的大型室内实验设备。水槽的设计坡度为 1/100。通过水槽最下游端堰门高度的改变,

水槽坡度可变化于 0~1/50 之间。水槽上游端有三个水泵可同时或分别供水,流量范围为 0~1.5 m³/s。水槽末端设有混凝土水池,贮存由水槽排出的水沙,通过沙泵和传送机械,沙砾被源源不断补给。

实验始于水槽设计坡度(1/100),槽中铺设有厚约 20 cm 的沙砾,流量为 80 L/s。先后经历数月,共完成一级实验 30 多次。实验中利用空中轨车进行沉积物搬运、微地形的发生、发展与演化等方面的观测,并测流速和水深,实验结束后停水,进行河床地形测量和摄影,并做素描。实验初期,不平衡沉积作用导致上游侵蚀,下游堆积。实验中曾多次降低侵蚀基准面以便实验水道达到平衡状态。在平衡状态获得后,从上游至下游进行了表层样品采集和剖面观测工作。为了更好地理解重矿物的富集趋势,又在大型水槽中修筑长度与之相等、宽度仅一米的水道中进行相同条件下的重复试验,在中游段(93~100 m)以 0.5 m 的间隔截取横剖面,对垂直剖面进行素描,并于平面上采集多个重矿物分析样品。

3 地貌类型

在前述坡度、流量组合条件下,由于沉积物不平衡运动,实验水道中形成了犬牙交错的大淤积体——交错浅滩(Alternate Bar)。浅滩为不对称型,迎水坡有微地貌沙纹(Ripple)叠加,呈现出浅滩交错

分布,主流线蜿蜒其间的格局。正如钱宁先生指出的那样:“顺直型河道纵然有顺直边界,主流流路依然弯曲如故”^[11]。

由于交错浅滩为自然界常见的淤积体之一,地貌学家和沉积学家曾以其为研究对象^[12,13],从不同角度进行实验模拟,以掌握其发生、发展和演变规律,据日本地貌学家池田宏的研究结果^[14],不同坡度,不同流量条件下,交错浅滩的规模和迁移速度也不相同。在坡度为 1/100~1/400 流量为 0.25~1.0 m³/s 的区间中,如坡度为定值,则浅滩的规模与流量成正比;而当坡度为变量时,浅滩变化并不明显。一般而言,在一定的流量范围内浅滩的长度约为河宽的 5~10 倍。在实验中,浅滩的长度约为水槽宽度的 7.5~9.5 倍。河床纵断面测量显示,水道中间平均高程较两侧为大,纵剖面随微地形变化而曲折,呈现为规则的波状起伏。

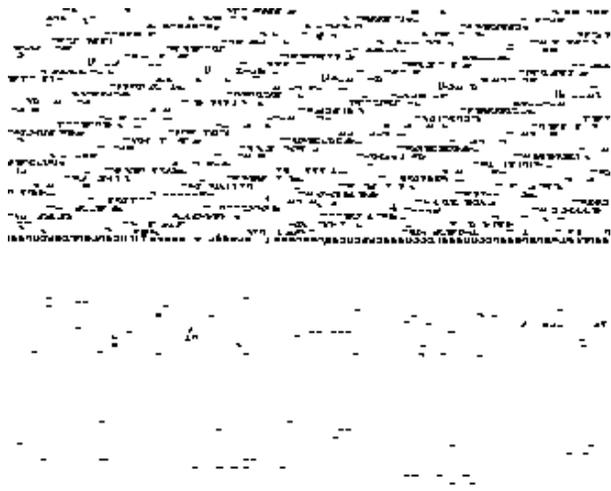


图 1 物源沉积物 (No. 0-0) 粒度组合曲线

Fig. 1 Grain size distribution of the sediment used in the experiment

4 沉积物粒度组成

4.1 顺直河道中沉积物粒度特征

据粒度分析资料,物源物质(实验用沉积物)主要由粗、中沙及细砾组成,中值粒径(D_{50})为 0.75φ (图 1)。沉积物样品分别采自上、中、下游的浅滩与深槽以及同一浅滩的不同沉积部位。不同相沉积物的粒度分析表明,河床物质具有从上游向下游方向逐渐变细的特点。如样品 4, 6, 14, 16 号分别采于上、中、下游浅滩的前半部, 2, 8 号采自不同的深槽,而

其余的样品多采自不同浅滩的后半部,除个别样品外,粒度参数 D_{50} 呈现出从上游向下游逐渐减小的规律,越向下游,粒径越小,分选愈好。详见图 2。

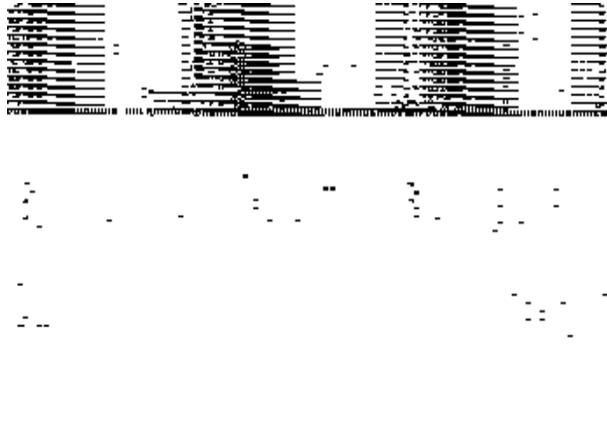


图 2 上、中、下游沉积物粒度直方图

Fig. 2 Grain size histogram of the sediment collected from the different regions of the channel

关于河流堆积物由上游向下游逐渐变细的现象在自然界为有目共睹之事实,但导致沉积物粒度发生上述变化的原因众说纷纭,长期以来一直是沉积学领域有争议的理论之一。较为盛行的有两种:一种认为由于细粒物质向下游运动较粗粒为快,分选作用导致了沉积物从上游向下游变细;另一种理论则认为是磨蚀作用使粗粒物质不断变细,从而随着距源头距离的增加,沉积物颗粒表现为上游粗而下游细。后一种理论近年来在日本较为流行。有人曾对日本关东地区的河流渡赖良川进行细致调查和取样,结合室内砾石受撞击破碎的实验,得出了磨蚀作用是导致渡赖良川沉积物向下游粒径变小的主导因素之结论^[15],并以此为题写成了博士论文。本人并不否认,自然界河流中存在着强烈的磨蚀作用,特别是在洪水季节,因此磨蚀作用是粒径变小的原因之一,但并不是唯一的原因,河流的分选作用仍然扮演着重要角色。我们的实验结果就是最好的证明。在所控制的条件下,基本可排除物源不同而造成的岩性不同以及洪水对砾石的强烈磨蚀作用导致粗粒物质变细的影响,结果沉积物仍然表现出类似于自然界河流所呈现的规律性,这就不能不说明,分选作用是不可忽视的。

4.2 浅滩表层物质组成

取单一的浅滩或槽单元为解剖对象,同样可以发现,沉积物按粗细的不同有规律地分布于浅滩的不同部位,表现出浅滩沉积物特殊的粒度组合。如图

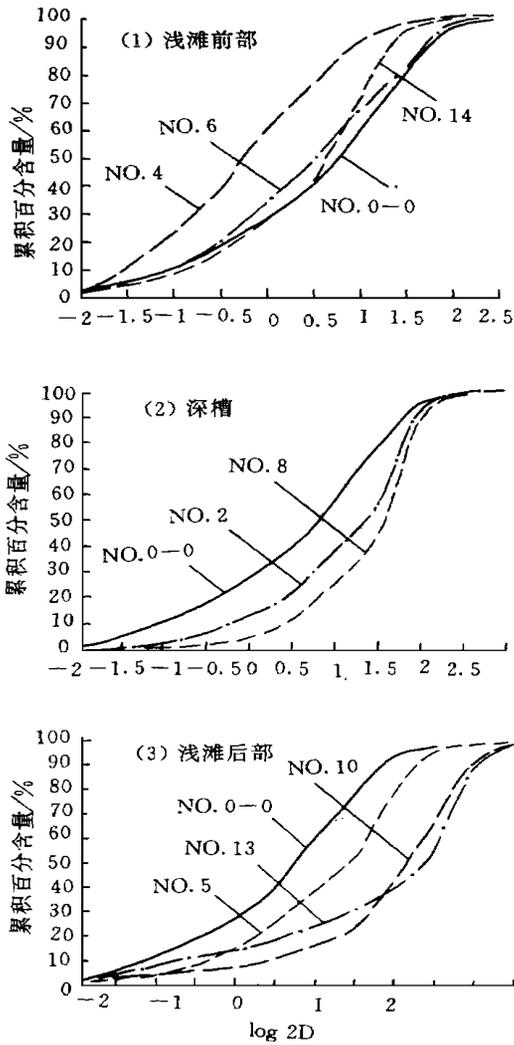


图 3 不同地貌部位沉积物粒度累积曲线

Fig. 3 Grain distributions of the sediment collected from different bedforms

3所示,深槽中的沉积物质与物源物质相比,不但具有较好的分选性,且中值粒径变小。在浅滩的不同部位,沉积物的粗细与分选都存在差别。关于浅滩不同部位的命名目前尚未统一且较为复杂,文中为简单起见,按浅滩移动方向,将之分为头、尾和身三段,尾和身组成了浅滩的迎水坡,即前述滩的后半部,而头则为浅滩的背水坡也就是前述滩的前半部。浅滩头部,是沉积物的大量倾卸堆积场所,粗粒物质所占比重较大,极粗、粗和中沙占绝对优势,缺少细尾,其特征与物源供给物较为接近,但较之为粗。浅滩的尾部则相反,峰值向细尾端偏离,粒度组成中以中沙和细沙占优势,较物源物质为细,且分选度增加(图4)。位于头尾之间的部分,粒度组成介于前二者间,以粗中沙含量为高,分选也较首尾为佳,其特点与深槽沉

积十分相似。

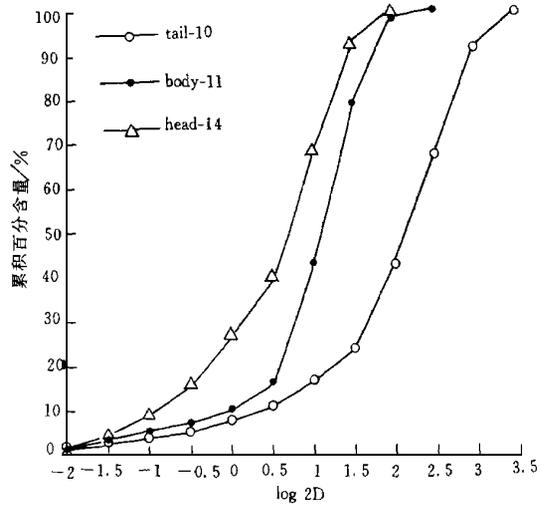


图 4 浅滩不同部位沉积物累积曲线

Fig. 4 Grain size distribution of the sediment collected from different parts of a bar

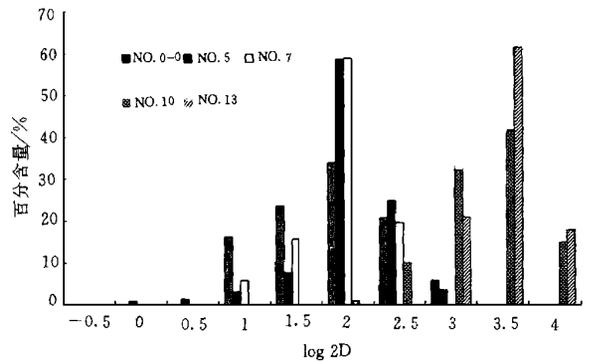


图 5a 上游至下游相同地貌部位重矿物粒度直方图

Fig. 5a Grain size histogram of magnetite fractions in the channel

5 重矿物分布特征

重矿物泛指比重大于 2.9 的矿物,它包括透明和不透明两个部分,为使实验中观察之方便以及样品浓缩之快速,本实验中所指重矿物实际为磁铁矿,其比重约为 5.3,为轻矿物比重的 1.83 倍。由样品重矿物分析可知,其粒径多大于 1.5 ϕ ,具有颗粒细小且分选好之特点。由图 5 不难看出,重矿物集中分布于细沙与极细沙区间内,且从上游向下游,随着沉积物粒径变小,重矿物含量呈增加之势,下游段最高

可达 48%, 是上游重矿物富集段含量的 3 倍。与物源沉积物相比, 可高出 15 倍之多。

就单一的浅滩而言, 迎水坡为富集区, 相反, 背水坡则为贫矿区 (图 6)。沿浅滩脊线方向, 浅滩鞍凹为富集区。

在垂直剖面上, 据多个段面的综合分析可划分出三种不同类型的重矿物富集层, 即活动层最上部的表层富集层、活动层中的埋藏型富矿层以及活动层与不动层交界面上由多次侵蚀作用形成的残留富集层。与活动层中的富集层相比, 处于交界面上的残留富集层不仅具较好的稳定性, 而且连续性好。在自然界该类富矿层往往是冲积沙矿床的重要组成部分。

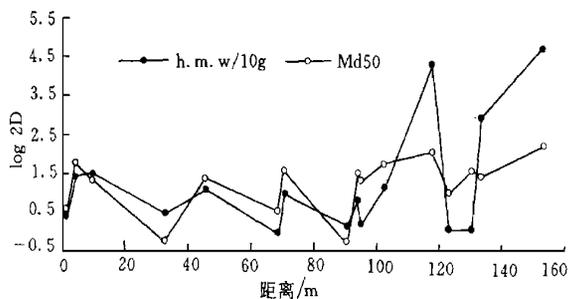


图 5b 上游至下游沉积物重矿含量与中值粒径变化图
Fig. 5b Change in mean size and percentage of magnetite fractions in the channel

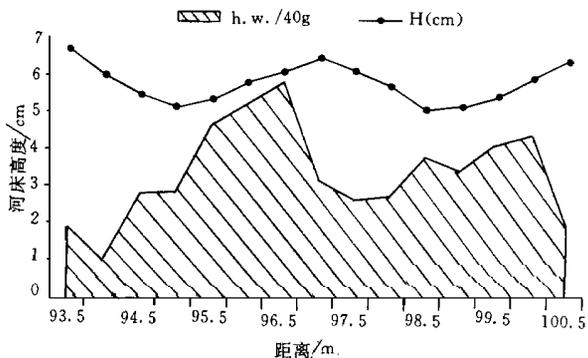


图 6 浅滩纵剖面及不同部位重矿物含量组合图
Fig. 6 Longitudinal profile of the bed and distribution of magnetite fractions

6 结束语

(1) 上述实验结果表明, 在顺直河道中, 表层沉积物中重矿物的富集具有一定的规律性。在平面上, 浅滩的头部为贫矿区, 重矿物集中分布在尾、身部

深槽对重矿物也具富集能力。在纵段面上, 重矿物富集区域是不连续的, 浅滩的迎水坡和浅滩与浅滩之间的凹槽部分为重矿物富集的有力部位。在垂直剖面中, 则可区分出三种不同类型的富集层, 其中残留富集具较好的连续性和稳定性。而埋藏富集层是淤积体向下游移动的结果。

(2) 表层重矿物的分布与沉积物粒度组成之间具密切关系, 表现为沉积物越粗, 重矿物富集程度越低。

(3) 沉积分异是影响冲积物向下游变细的重要因素。

(4) 重矿物沿流向从上游向下游逐渐富集, 并于下游呈高度集中之势, 是侵蚀基准面不断下降所致。

(5) 从残留富集和因侵蚀基准面下降导致下游河床不断被侵蚀而造成重矿富集以及浅滩迎水坡水流侵蚀作用和浅滩凹槽中涡流作用使重矿富集的事实可推论, 侵蚀作用在沙矿床形成过程中扮演着重要角色。

感谢日本筑波大学池田宏先生, 伊势屋先生, 饭岛英夫技官在实验中所给予的指导和帮助。

参 考 文 献

- 1 Mosley M P, *et al.* Hardware models in geomorphology. *Progress in Physical Geography*, 1978, 2 438- 461
- 2 Flueck J A. The role of statistics in weather modification experiments. *Atmosphere Ocean*, 1978, 16 60- 80
- 3 Choley R J. *Models in geomorphology*. Methuen, London, 1967. 59- 96
- 4 Colby B R. *Fluvial sediments - a summary of source, transport, deposition and measurement of sediment discharge*. U S Geo. Survey Bull., 1963, 1181
- 5 Ashmor P E. Laboratory modeling of gravel braided stream morphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1982, 7 201- 225
- 6 Stanley A Schumm, *et al.* *Experimental Fluvial Geomorphology*. New York: John Wiley and Sons Inc., 1987. 59- 86
- 7 Adams J. Basin dynamics, channel processes and placer formation, a model study. *Economic Geology*, 1978, 73 416- 426
- 8 Curt D Peterson. Distribution, geometry, and origin of heavy mineral placer deposits on Oregon beaches. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1986, 1 67- 77
- 9 Paul D Komer. Processes of selective grain transport and the formation of placer on beaches. *Journal of Geology*, 1984, 92 637- 665
- 10 Rudy L Slingerland. The effects of entrainment on the hydraulic equivalence, relationships of light and heavy minerals in sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1977, 47(2): 753-

- 770
- 11 Qian Ning. Evolution of Channel. Beijing: Science Press, 1987. 243
- 12 Thomas E Lisle. Formation of stationary alternate bars in a steep channel with mixed-size sediment, a flume experiment. Earth Surface Processes and Landforms, 1991, 16 463~ 469
- 13 Mark R Welford. A field test of Tubino model of alternate bar formation. Earth Surface Processes and Landforms, 1994, 19 287~ 297
- 14 Hiroshi Ikeda. Experiments on bedload transport, bedforms and sedimentary structures using fine gravel in the 4m wide flume. E R C Papers, Tsukuba University, 1983, 2 78
- 15 Yoshinori Kodama. Effect of abrasion on downstream gravel-size reduction in the Watarase River. Japan. E R C Papers, Tsukuba University, 1992, 15 88

A Flume Study on Grain Size Distributions of Sediments and Patterns of Heavy Mineral Concentrations

Ye Wei

(Xinjiang Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011)

Abstract

The flume study was made at Environment Research Center of Tsukuba University, Japan. The observation of the bedload transportation and the grain size analysis of samples collected along the channel from upper to downstream showed that selective sorting plays a very important part in heavy mineral concentrations. The results were as follows

1) The sediment from superficial layer was fining downstreamward. As a result, the percentage of heavy mineral fractions increased with increasing distance off the flume inlet. The longer the distance, the higher the percentage was. The maximum reached 48% near the flume outlet, whereas the initial population was lower than 3%.

2) Heavy particles were characterized by good sorting and fine diameter size. Mean particle size ranged from 1.5 to 2 ϕ . Major content was fine sand.

3) The percentage of the heavy mineral fractions changed with the variation of bedforms. Stoss side of a bar, trough and pool were traps of heavy particles.

4) According to the texture of the sediment, a bar was divided into three parts. The superficial layer of the tail was observed to contain large amount of fine and medium sand and to be rich in heavy minerals. In contrast, the head of a bar was mainly composed of gravel and coarse sand, which contains few heavy particles. The body of a bar mediated between the tail and head.

5) On transection, three layers with abundant heavy minerals were observed, but only the lag layer was continuous and signified to forming placers.

Key Words straight stream channel grain size heavy mineral