

渭河陕西段河床沉积物的粒度参数分析

宋进喜, 于芳, 王珍

(西北大学 城市与环境学院, 西安 710127)

摘要: 在渭河陕西段选取眉县、咸阳、西安、临潼、华县5个研究点, 通过对河床沉积物样品的采集与粒度分析, 分别采用 Folk-Ward 图解法公式和 McManus 矩法公式, 对5个研究点沉积物的粒度参数进行计算和比较。结果显示, 两种方法计算得出的5个地点沉积物平均粒径和分选系数基本相同, 但偏度和峰度计算结果相差较大。图解法计算结果中除西安草滩外, 其他4个采样点粒径均符合正态分布; 矩法计算出的偏度和峰度的数值超出了所规定的描述范围。从两种分析方法来看, 渭河表层沉积物粒度分析更适合用图解法进行计算和描述。

关键词: 渭河陕西段; 河床沉积物; 粒径分布; 图解法; 矩法

中图分类号: P931.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0075-04

Parameter Analysis on Grain Size Distribution of Streambed Sediment in the Weihe River of Shaanxi Province

SONG Jinxu, YU Fang, WANG Zhen

(College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: Estimation of grain size distribution is of great importance in determination of streambed hydraulic conductivity. In this paper, streambed sediment samples from five study locations including Meixian, Xianyang, Xi'an, Lintong, and Huaxian in the Weihe River were collected. The parameter characteristics of grain size distribution for those sediment samples were analyzed and compared using the Graphical Method of Folk-Ward formula and McManus moment method. The results showed that the average particle diameter and separation coefficient of those sediment samples from the five sites have the same variation but high difference of skewness and kurtosis. Except for the Caotan of Xi'an station, the grain size distribution of streambed sediments from other four sites is in normal distribution based on the graphical method. However, the skewness and kurtosis values calculated by the moment method exceed the predetermined ranges. Comparatively, the graphical method is more suitable for the grain size analysis of streambed sediments in the Weihe River.

Key words: Weihe River of Shaanxi province; streambed sediment; grain size distribution; Folk-Ward graphical method; McManus moment method

沉积物的粒度分布一般受搬运介质和搬运动力强度的控制, 与其周围的具体环境有紧密的联系。通过对沉积物的粒度特征分析有助于提取沉积环境的有关信息, 或进行沉积环境特征辨识^[1-4]。通常, 表征沉积物特征参数有平均粒径、分选系数、偏度和峰度等, 它们在沉积动力学和工程地质等方面研究中都有广泛的应用^[5]。目前在粒度资料分析中使用的计算方法主要有图解法和矩法两种^[6]。这两种方法在海洋沉积物颗粒研究中应用较多^[3, 6, 7], 但较少应用到河流沉积物粒径的计算与分析上。本文以渭河陕西段为研究对

象, 分别采用图解法和矩法两种方法, 对渭河陕西段河床表层沉积物粒度分布参数进行计算, 并分析比较这两种方法在应用上的差异性。

1 研究方法

采用图解法和矩法对沉积物颗粒粒度参数进行计算分析。图解法是根据粒度分析结果绘制出累积分布曲线, 从曲线上直接读出某些具有代表性的累积百分数所对应的粒径值, 然后根据公式进行参数计算; 矩法是将样品的平均粒

收稿日期: 2012-11-23 修回日期: 2013-01-12 网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.023.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51079123); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-11-1045); 教育部留学科研启动基金(教外司留[2010]1174)

作者简介: 宋进喜(1971-), 男, 甘肃天水人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水文学水资源方面研究。E-mail: jinxisong@gmail.com

径、标准偏差、偏态值和峰态值分别定义为粒度分布的一次矩、二次矩、三次矩和四次矩的函数,并根据公式进行计算^[7-8]。

1.1 粒度参数的概念及内涵

粒度参数是综合反映沉积物粒度特征及沉积环境的量化指标^[9]。经常使用的粒度参数有平均粒度(M_z)、分选系数(S_d)、偏度(S_k)、峰度(K_u)等^[10]。

平均粒度(M_z),即沉积物粒度的平均值,反应了沉积物粒度分布的集中趋势,即所研究对象的粒度一般是趋向于围绕着一个平均数值分布,这个数值就叫做平均粒径或中值。分选系数(S_d)是分选性的指标,一般用标准偏差表示,用来区分沉积物颗粒大小的均匀程度。当粒度集中分布在某一范围较狭窄的数值区间内时,就可以大致定性地说是分选较好;分选性的好坏可以作为环境标志,常用于分析沉积环境的动力条件和沉积物的物质来源^[9, 11]。偏度(S_k)是统计数据分布偏斜方向和程度的度量,是统计数据分布非对称程度的数字特征,表征概率分布密度曲线相对于沉积物平均值不对称程度的特征数。峰度(K_u),又称峰态系数,表征概率分布密度曲线在平均值处峰值高低的特征数,是描述数据在平均粒度两侧集中程度的参数,简单来讲,峰度就是描述沉积物频率分布曲线分布形态的陡缓程度。

1.2 粒度参数计算方法

(1) Folk Ward 图解法,各参数计算公式如下:

$$M_z = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3} \quad (1)$$

$$S_d = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6.6} \quad (2)$$

$$S_k = \frac{\varphi_{84} + \varphi_{16} - 2 \times \varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_{95} + \varphi_5 - 2 \times \varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)} \quad (3)$$

$$K_u = \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{2.44(\varphi_{75} - \varphi_{25})} \quad (4)$$

式中: $\varphi_5, \varphi_{16}, \varphi_{25}, \varphi_{50}, \varphi_{75}, \varphi_{84}$ 和 φ_{95} , M_z 为平均粒度、 S_d 为分选系数、 S_k 为偏度、 K_u 为峰度。

(2) McManus 矩法,各粒度参数计算公式如下:

$$M_z = \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{100} \quad (5)$$

$$S_d = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^2 f_i}{100}}}{N} \quad (6)$$

$$S_k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^3 f_i}{100 S_d^3} \quad (7)$$

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_z)^4 f_i}{100 S_d^4} \quad (8)$$

式中: f_i 为各粒级组的频率百分数; x_i 为各粒级组的中值,其他符号同上。

1.3 参数定性术语描述

计算出的粒度参数的分级与定性描述可以说明粒度分布的基本特征。使用图解法与矩法计算的粒度参数的数值大小和指示意义不完全相同^[9],粒度参数的分级与定性描述^[12]也略有不同,见表 1 和表 2。

表 1 图解法描述

分选系数		偏度		峰度	
定性描述术语	分选系数	定性描述术语	偏度值	定性描述术语	峰度值
分选极好	< 0.35	极负偏	-1~ -0.3	很平坦	< 0.67
分选好	0.35~ 0.50	负偏	-0.3~ -0.1	平坦	0.67~ 0.90
分选较好	0.50~ 0.71	近对称	-0.1~ 0.1	中等 (正态)	0.90~ 1.11
分选中等	0.71~ 1.00	正偏	0.1~ 0.3	尖锐	1.11~ 1.56
分选较差	1.00~ 2.00	极正偏	0.3~ 1	很尖锐	1.56~ 3.00
分选差	2.00~ 4.00			极尖锐	> 3.00
分选极差	> 4.00				

表 2 矩法描述

分选系数		偏度		峰度	
定性描述术语	分选系数	定性描述术语	偏度值	定性描述术语	峰度值
分选极好	< 0.35	极负偏	< -1.50	非常窄	< 0.72
分选好	0.35~ 0.50	负偏	-1.50~ -0.33	很窄	0.72~ 1.03
分选较好	0.50~ 0.71	近对称	-0.33~ +0.33	中等	1.03~ 1.42
分选中等	0.71~ 1.00	正偏	-0.33~ +1.50	宽	1.42~ 2.75
分选较差	1.00~ 2.00	极正偏	> 1.50	很宽	2.75~ 4.50
分选差	2.00~ 4.00			非常宽	> 4.50
分选极差	> 4.00				

注:在统计学上,众数和平均数之差可作为分配偏态的指标之一。如平均数大于众数,称为正偏态;相反,则称为负偏态。

2 研究区域

渭河是黄河的最大支流,也是河流生态环境遭到严重破坏的地区,是陕西关中地区的生命河,渭河流域生态系统健康直接影响着关中地区社会经济发展的兴衰。渭河流域范围内大部分为深厚的黄土覆盖,质地疏松,且多孔隙,垂直节理发育,富含碳酸钙,易被水蚀^[13],加之人为活动的影响,流域内水土流失严重,使渭河成为一条多泥沙河流。渭河泥沙颗粒组成、矿物成分与黄土有极大的相似性,沉积物颗粒粒径较粗^[14]。

通过对渭河陕西段的实地考察,沿渭河四大主要城市西安、宝鸡、咸阳和渭南,选择了宜于采集沉积物的 5 个地点(眉县、咸阳、西安、临潼、华县)作为研究点(图 1),采用水头下降竖管试验法对选定点位的渭河河床沉积物进行取样。

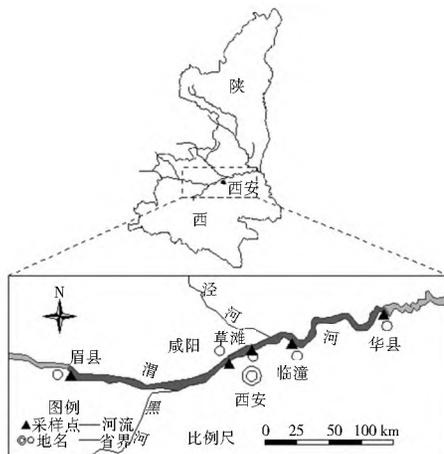


图 1 研究点位置分布

Fig. 1 Distribution of test locations in the study area

在眉县、咸阳、西安、临潼和华县每个研究点的取样数目分别为 13 个、13 个、30 个、15 个、5 个, 沿着水流方向依次布点, 距离河岸 2~ 5 m 处取样, 间隔约 1.5~ 3 m (图 2), 从河底向下取深度约为 40 cm 左右的泥样。每个取样点采用 GPS 定位、布点数见表 3。采样过程中, 考虑到华县河床沉积物主要以粉砂和黏土为主, 所以采取的样品较少一些。

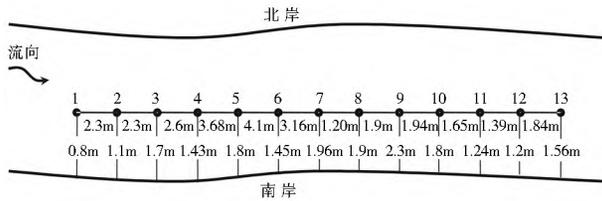


图 2 测试点位布设示意图(如咸阳点)

Fig. 2 Schematic map showing test locations (Xianyang site)

表 3 各研究区试验时间、GPS 定位、布点数

Table 3 Test time, GPS location, and test number of each study location

研究区	试验时间	GPS 定位	布点数
眉县	2011 年 10 月 31 日	N 34°14' 31.13" E 107°48' 43.63"	13
咸阳	2011 年 10 月 17 日	N 34°18' 33.48" E 108°40' 36.96"	13
西安	2011 年 11 月 19 日	N 34°22' 28.63" E 108°50' 01.70"	30
临潼	2011 年 10 月 18 日	N 34°25' 13.52" E 109°10' 43.53"	15
华县	2011 年 10 月 19 日	N 34°34' 44.46" E 109°40' 35.14"	5

3 结果分析

5 个研究点取回的表层沉积物通过自然风干后进行筛分处理并计算^[15], 筛分粒径共分为 17 个等级, 得出 5 个研究点的余土累计百分比与粒径的关系, 见图 3。

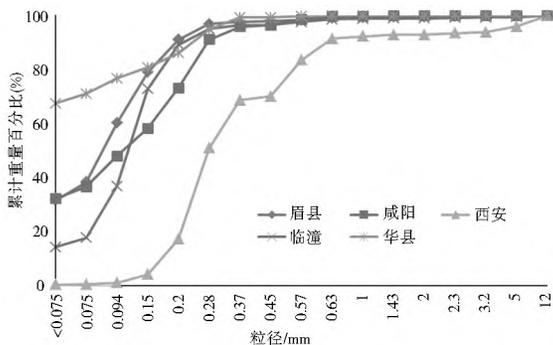


图 3 各采样点累计百分比与粒径关系

Fig. 3 Relationship between cumulative weight percentage and particle diameter of grain size at each test location

结果显示, 西安与其他 4 个研究点的粒径分布有明显差别, 沉积物颗粒明显偏大, 粒径在 0.28 mm 以上的颗粒占了总体颗粒的 50%; 临潼样品中 小于 0.094 mm 的粒径所占比例比眉县、咸阳、华县都小, 但是大于 0.15 mm 的粒径范围内, 4 个地区粒径分布接近; 眉县和咸阳的粒径分布情况比较相似; 华县是这 5 个采样点中, < 0.075 mm 粒径含量最高的, 超过了 60%, 较其他地区粒径明显偏小。

在对图解法和矩法两种计算结果进行对比后发现: 眉县、西安、临潼和华县沉积物分选系数计算结果存在明显的正相关关系, 趋势相同。咸阳样品图解法计算的分选系数略

高, 而矩法计算值略低。5 个采样点的偏度计算值呈一定的负相关关系(图 4、图 5、图 6), 由图可以看出, 眉县、咸阳、西安和临潼的峰度计算值也呈明显负相关关系, 华县处矩法的峰度值与图解法的峰度值相近, 但仍呈负相关关系。这种偏度和峰度值的差异是由于两种参数计算公式的差异造成的, 对于偏态和峰态, 矩法计算参数公式次数增高, 导致两种方法计算结果差异迅速增大。

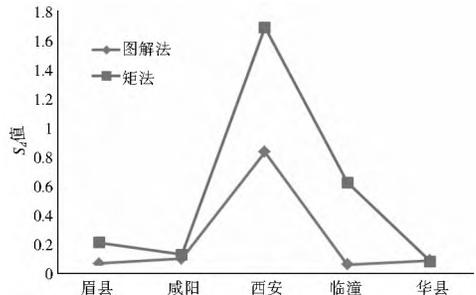


图 4 图解法、矩法分选系数关系

Fig. 4 Sorting coefficient (Sd) from the Folk-Ward graphical and McManus moment method

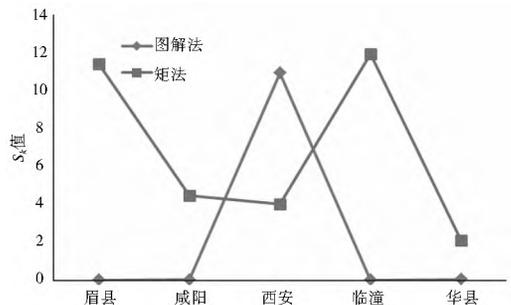


图 5 图解法、矩法偏度关系

Fig. 5 Skewness (Sk) from the Folk-Ward graphical method and McManus moment method

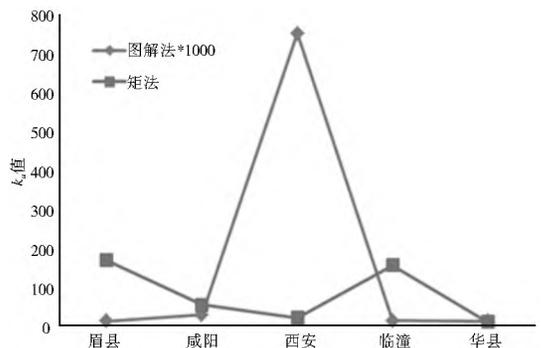


图 6 图解法、矩法峰度关系

Fig. 6 Kurtosis (Ku) from the Folk-Ward graphical method and McManus moment method

由表 4、表 5 可以看出, 无论应用何种方法计算粒度参数, 所得平均粒径及分选系数差异较小; 图解法和矩法的偏度和峰度有数量上的差异, 而且呈负相关性, 而峰度基本不能够转换, 因此使用这两种方法计算得出的粒度参数与对应的河床沉积环境可能会相差很大。在渭河陕西段这一研究区域, 矩法算出的偏度和峰度的数值超出了所规定的描述范围(偏度为 1.5, 峰度为 4.5)。因此比较两种方法, 渭河表层沉积物粒度分析更适合用图解法进行计算和描述。但对于颗粒粒径偏大的地方(如西安), 图解法得出的数值也明显偏

大,因此在大颗粒粒径分布集中区使用图解法需慎重。

表 4 各采样点的图解法与矩法粒度参数对比

Table 4 Comparison of particle diameters from the Folk Ward graphical and McManus moment methods

站点	平均粒度(M_z)		分选系数(S_d)		偏度(S_k)		峰度(K_u)	
	图解法	矩法	图解法	矩法	图解法	矩法	图解法	矩法
眉县	0.10	0.12	0.08	0.22	0.02	11.41	0.01	165.86
咸阳	0.14	0.15	0.11	0.14	0.03	4.46	0.03	51.26
西安	0.35	0.75	0.84	1.69	10.94	4.00	0.75	18.01
临潼	0.12	0.19	0.07	0.63	0.02	11.94	0.01	153.11
华县	0.09	0.09	0.10	0.09	0.05	2.10	0.01	7.55

表 5 各采样点的粒度分布定性描述

Table 5 Qualitative description of the particle size distribution of tested sediments

采样点	图解法			矩法		
	分选系数	偏度	峰度	分选系数	偏度	峰度
眉县	分选极好	近对称	很平坦	分选极好	极正偏	非常宽
咸阳	分选极好	近对称	很平坦	分选极好	极正偏	非常宽
西安	分选中等	极正偏	平坦	分选较差	极正偏	非常宽
临潼	分选极好	近对称	很平坦	分选较好	极正偏	非常宽
华县	分选极好	近对称	很平坦	分选极好	极正偏	非常宽

4 结论

沉积物颗粒粒度参数的分析方法主要有图解法和矩法。在渭河陕西段眉县、咸阳、西安、临潼、华县 5 个研究区,分别采用图解法和矩法对沉积物颗粒粒度参数做了计算与分析,结果表明,图解法和矩法计算得出的平均粒径和分选系数基本相同,偏度和峰度差异较大,且呈负相关性,而峰度基本不能够转换。除西安草滩外,通过图解法计算结果中粒径均符合正态分布,而矩法计算出的偏度和峰度的数值超出了所规定的描述范围。两种方法比较,渭河表层沉积物粒度分析更适合用图解法进行计算和描述,尤其是在参考历史资料时,用图解法更容易提取所需信息。图解法与矩法计算粒度参数的差异,在研究渭河河床的沉积环境、粒径趋势及历史数据分析时,应予以充分考虑。

参考文献(References):

[1] Visher G S, . Grain Size Distributions and Depositional Processes. [J]. Journal of Sedimentary Petrology[J], 1969, (39): 1074-1106.

[2] Friedman G M, . Address of the Retiring President of the International Association of Sedimentology: Difference in Size Distributions of Populations of Particles Among Sands from Various Origins. [J]. Sedimentology, 1979, (26): 3-32.

[3] 贾建军. 图解法与矩法沉积物粒度参数的对比[J]. 海洋与湖沼, 2002, (6): 577-582. (JIA Jianjun. Grain size Parameters Derived from Graphic and Moment Methods: A Comparative Study[J]. Oceanology and Limnology, 2002, (6): 577-582. (in Chinese))

[4] Song J X, . Chen X H, . Cheng C, . et al. Feasibility of Grain size Analysis Methods for Determination of Vertical Hydraulic Conductivity of Streambeds[J]. Journal of Hydrology, 2009, (375): 428-437.

[5] 王德杰, 范代读, 李从先. 不同预处理对沉积物粒度分析结果的影响[J]. 同济大学学报, 2003, 31(3): 314-318. (WANG Dejie, FAN Daï du, LI Cong xian. Influence of Different Pretreatments on Size Analysis and Its Implication [J]. Journal of Tongji University, 2003, 31(3): 314-318. (in Chinese))

[6] 刘志杰, 龙海燕. 南海沉积物图解法和矩法粒度参数计算及对比[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(2): 313-316. (LIU Zhi jie, LONG Hai yan. Comparing Study on the Grain size Parameters Estimated from the Graphical Method and the Moment Method of the Sediments from South China Sea[J]. Journal of Ocean University of China, 2009, 39(2): 313-316. (in Chinese))

[7] 徐树建, 潘保田, 张慧, 等. 末次冰期旋回风成沉积物图解法与矩法粒度参数的对比[J]. 干旱区地理, 2005, 28(2): 194-197. (XU Shu jian, PAN Bao tian, ZHANG Hui. Grain Size Parameters of Loess palaeosol Deposits from Graphic and Moment Methods: A Comparative Study[J]. Arid Land Geography, 2005, 28(2): 194-197. (in Chinese))

[8] 李志亮, 杜小如. 沉积物粒度参数求解方法的对比[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(4): 16-19. (LI Zhi liang, DU Xiao ru. Comparison of Methods Solving Sediment Particle Size Parameters [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008, 25(4): 16-19. (in Chinese))

[9] 卢连战, 史正涛. 沉积物粒度参数内涵及计算方法的解析[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(6): 54-60. (LU Lian zhan, SHI Zhen tao. Analysis for Sediment Grain Size Parameters of Connotations and Calculation Method[J]. Environmental Science and Management, 2010, 35(6): 54-60. (in Chinese))

[10] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1978: 31-54. (Shanbei Team of Chengdu. Institute of Geology. Grain Size Analysis of the Sedimentary Rock (sediment) and Its Application[M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1978: 31-54. (in Chinese))

[11] 陈冬梅, 穆桂金. 不同沉积环境下沉积物的粒度分形特征的对比研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 47-51. (CHEN Dong mei, MU Gui jin. Comparing Study of Grain size Fractal Dimensions Characteristics between Several Sediments with Different Forming Environments [J]. Arid Land Geography, 2004, 27(1): 47-51. (in Chinese))

[12] 赵珍清. 南黄海沉积物粒度分布参数计算方法的比较[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1992, 12(3): 95-105. (ZHAO Zhen qing. Comparison Grain size of Calculating Methods Distribution Parameters for Sediments in South Yellow Sea[J]. Marine Geology & Uaternary Geology, 1992, 12(3): 95-105. (in Chinese))

[13] 李永善. 西安地裂及渭河盆地活断层研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992. (LI Yong shan. The Xian Taphrogenic and Weihe Basin Active Fault[M]. Beijing: Seismological Press, 1992. (in Chinese))

[14] 史兴民, 万正耀, 师静. 渭河咸阳段近代洪水沉积物粒度特征分析[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 71-76. (SHI Xing min, WAN Zheng yao, SHI Jing. Recent Flood of Weihe River Sediment Grain Size Characteristics Analysis[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 28(3): 71-76. (in Chinese))

[15] 黄思静. 用 EXCEL 计算沉积物粒度分布参数[J]. 成都理工大学学报, 1999, 26(2): 196-198. (HUANG Si jing. Calculation of Grain Size Distribution Parameters of Sediments by Microsoft Excel[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(2): 196-198. (in Chinese))