Advances in Geosciences 地球科学前沿, 2021, 11(6), 842-853
Published Online June 2021 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ag
https://doi.org/10.12677/ag.2021.116079

汉江蔡甸段沉积物粒度特征及其地质意义

梁建昊[1]，陆天来[1]，余　慧[1]，熊　烨[1]，庞博勋[1]，王雅宁[1,2*]

[1]长江大学地球科学学院，湖北 武汉
[2]长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室，湖北 荆州
Email: liangjhgeology@gmail.com, *156006285@qq.com

收稿日期：2021年5月10日；录用日期：2021年6月22日；发布日期：2021年6月29日

摘　要

汉江作为长江最大的支流，其曲流发育，沉积环境多变，与人类生产生活息息相关，在沉积研究的相关课题中对于长江与黄河的研究很充分，但是对于汉江的相关研究明显是不足的，因此深入解剖汉江不仅仅具有地质意义，还对于人类社会生产生活具有一定的指导意义。粒度特征是河流以及湖泊沉积物最基本的物理特征，通过粒度特征得到的粒度曲线是沉积环境分析的重要参考标志。本次研究利用汉江蔡甸段34个沉积物粒度资料，采用图解法对沉积物展开粒度参数分析，并综合粒度概率累积曲线分析以及C-M图对汉江蔡甸段进行分析得出：汉江蔡甸段具有典型的曲流河特征，其上游沉积物分选性较好，沉积期环境较稳定；下游沉积物分选性中等，沉积期环境不稳定，这可能是一定的流水作用导致了分选变差。粒度主要集中在粗粒部分，粒度分布曲线中粒度相对集中。其概率累积曲线都呈现“两段式”的特征，跳跃总体只发育一段，缺少牵引总体，表明研究区总体上的沉积物以跳跃总体为主；从上至下细截点向右移动，体现出上游研究区的沉积物整体粒度要大于下游研究区的沉积物，在汉江蔡甸段的曲流部分与顺直部分采集的沉积物其粒度数据受到环境控制明显，但是粒度数据受到了下游沉积物中的云母等沉积物的影响，因此分析河流沉积物粒度特征时需要从多个方法，多个方面，多个角度去解释。

关键词

粒度分析，粒度参数，概率累积曲线，C-M图解

Sedimentary Particle Size Characteristics and Geological Significance of Caidian Segment of Hanjiang

Jianhao Liang[1], Tianlai Lu[1], Hui Yu[1], Ye Xiong[1], Boxun Pang[1], Yaning Wang[1,2*]

[1]College of Earth Sciences, Yangtze University, Wuhan Hubei
[2]Key Laboratory of Oil and Gas Resources and Exploration Technology, Yangtze University, Jingzhou Hubei

*通讯作者。

文章引用: 梁建昊, 陆天来, 余慧, 熊烨, 庞博勋, 王雅宁. 汉江蔡甸段沉积物粒度特征及其地质意义[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(6): 842-853. DOI: 10.12677/ag.2021.116079

Email: liangjhgeology@gmail.com, *156006285@qq.com

Received: May 10th, 2021; accepted: Jun. 22nd, 2021; published: Jun. 29th, 2021

Abstract

As the largest tributary of the Yangtze River, Hanjiang is a typical meander. The sedimentary environment of Hanjiang is highly varied, and plays an important role to human life. The researches on the Yangtze River and the Yellow River are very adequate, but the relevant research on Hanjiang is obviously inadequate. Therefore, in-depth dissection of Hanjiang does not only have geological significance, but also has certain guiding significance for human social production activities. The particle size is the most basic physical characteristics of rivers and lake deposits. The particle size curve obtained by granularity characteristics is an important reference sign of deposition environmental analysis. This study uses 34 deposit particle size data of Caidian segment of Hanjiang. Graphical method is used to obtain particle size parameters of sediments. Integrating the analyzation of probability cumulative curve and the analyzation of C-M diagram, the result of the study on Caidian segment of Hanjiang is as following: Caidian segment of Hanjiang has typical meander characteristics, the upstream sediment sorting is good, the deposition period is relatively stable; the downstream sediment sorting is medium, the deposition period is unstable, which may be a certain amount of flow of water results in the deterioration. The particle size is mainly concentrated in the coarse portion, and the particle size in the particle size distribution curve is relatively concentrated. Its probability accumulation curve shows a two-stage characteristic. The jumping portion is only developed one, and no pulling portion is developed, indicating that deposits in the research area are mainly based on the jumping portion. Cut point T moves to the right from the top, indicating that the overall particle size of the upstream research area is coarser than the sediments of the downstream research area. The particle size data of the sediments collected in Caidian segment of Hanjiang is remarkably controlled by sediment environment. However, the particle size data is affected by particular sediments such as mica in downstream sediments. Thus to analyze and to explain particle characteristics of fluvial sediment need to integrate multiple methods and aspects.

Keywords

Particle Size Analysis, Particle Size Parameters, Probability Accumulation Curve, C-M Diagram

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

积物的颗粒大小称为粒度，研究碎屑沉积和碎屑岩的粒度大小和各种粒级的分布特征的方法称为粒度分析[1]，粒度分析是河流沉积学研究的重要方法，被广泛用于判断沉积环境和分析沉积物搬运过程[2]，在河流沉积相的研究中应用极广。

Folk & Ward (1957)在粒度累计曲线上获得某些累计百分比处的颗粒直径，进而计算如平均粒径 M_Z、标准偏差 σ_i、偏度 S_K、峰度 K_g 等参数，利用粒度参数组合特点进行环境分析，得到了一系列沉积类型的粒度特征。利用这些粒度参数判断沉积环境的研究成果就开始大量出现，比较典型的有 1964 年 Sahu 在

Folk 和 Ward 粒度参数计算公式的基础上，大量统计了现代碎屑沉积物的资料，得出了不同类型沉积环境的判别公式，通过在对数坐标纸上的作图得出可以区分不同沉积环境沉积物的图解。1969 年 Visher 将粒度累积曲线中的粗粒和细粒部分扩大(以 50%累积概率作为对称，将两端的细节进行扩大)，将累积曲线分为三个部分，分别代表沉积物搬运过程的滚动、跳跃、悬浮组分。在对现代不同的沉积环境的沉积物进行实验以后得出了不同的沉积环境下的粒度概率累积曲线模板，这些模板可以有助于区分沉积环境为沉积学研究做出了极大的贡献[3]。

Brandon D. Beierle 等(2001)指出对于粒度数据进行数学统计描述提供了沉积条件和沉积过程中下部变化的一般指示，但对非正态分布或多峰分布不敏感且会损失相当多的原始数据细节。于是提出了粒度数据的表面图，它可以对整个 PSD 的特征进行定性解释，因此可以为沉积过程和不断变化的沉积环境条件提供重要的见解[4]。

可以看出沉积学家应用粒度分析方法，得出了许多成果。传统的方法是对颗粒的平均粒径 M_Z、标准偏差 σ_i、偏度 S_K、峰度 K_g 进行数学统计分析概括，沉积环境判别公式及粒度概率累积曲线等沉积物特征分析方法在目前河流分类增加，在越来越多的沉积模式被提出的大环境下，其使用的范围已经具有局限性，目前国际上的沉积学者都在尝试从传统的粒度分析中找到新的方法，以适用众多河流复杂的沉积，但是传统粒度分析方法仍然不失为解释沉积环境的重要手段。

粒度特征是河流以及湖泊沉积物最基本的物理特征，它具有测量简单快速，不受生物活动的影响以及对于气候变化敏感等特点[5]。通过粒度特征得到的粒度曲线是沉积环境分析的重要参考标志，主要的粒度曲线包括直方图、频率曲线、频率累积曲线、概率累积曲线等。但是粒度曲线的特征很难用文字进行直观的描述，于是在粒度分析中我们也会使用数理统计方法得到的粒度参数用以发掘更多的统计性质[6]。但沉积环境的复杂多变，粒度参数与沉积环境之间绝不是简单的一一对应关系，于是有学者利用多个粒度参数进行组合来区分不同沉积环境的差异，如 Friedman 散点图，C-M 图解等都是利用两两组合的粒度参数绘制散点图用以解释沉积环境[7]。本次选择汉江作为研究对象，在沉积研究的相关课题中对于长江与黄河的研究很充分，但是对于汉江的相关研究明显是不足的[8]，汉江为长江最大的支流，流经陕西、湖北两省，在武汉市汉口龙王庙汇入长江(图 1(A))，其曲流发育，沉积环境多变，与人类生产生活息息相关[9]，因此深入解剖汉江不仅仅具有地质意义，还对于人类社会生产生活具有一定的指导意义，本文基于汉江沉积物粒度特征分析其地质意义，以期为汉江沉积研究提供相关经验以及对合理利用汉江资源提供一些参考。

2. 研究区概况

汉江发源于秦岭南麓，干流全长 1577 km，穿行于秦岭和大巴山之间，流经陕西、湖北两省，流域面积 15.9 * 10^4 km^2，年均径流量为 5.63 * 10^9 m^3，含沙量 2.39 $kg \cdot m^{-3}$ [10]。本文选取的研究区位于湖北省武汉市蔡甸区汉江下游(N30˚35′40.31″~30˚37′8.42″，E114˚2′50.92″~114˚2′44.55″)，其河床坡降小，水流缓慢，曲流发育，河汊纵横，且愈近河口，河道愈窄，于武汉市汉口龙王庙汇入长江，其沿岸的武汉市蔡甸区以及东西湖区对于汉江皆有用水以及运输的需求，因此研究汉江具有很大的现实的意义(图 1(A))。

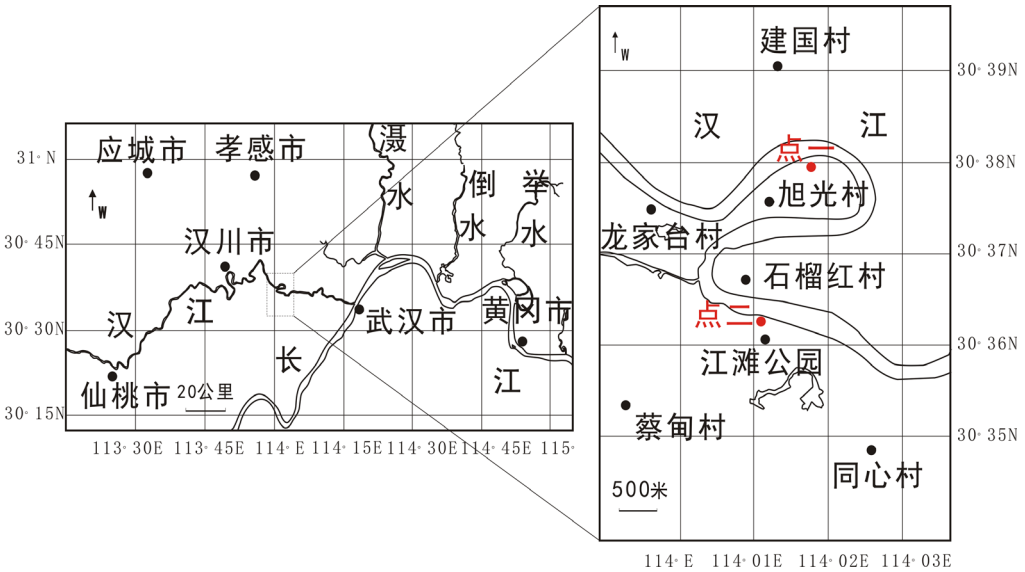
3. 粒度资料分析

3.1. 样品采集与处理

2020 年 12 月汉江蔡甸段水位较低，沉积结构构造暴露明显，沉积物采集难度小。N30˚35′40.31″，E114˚2′50.92″为汉江蔡甸段凸岸处，此处边滩面积大，曲流发育(图 1(B))，在此处边滩通过活塞取样器取得 ZK1、ZK2、ZK3 三组样品组，并以 10 cm 为间隔取得样品 22 个。30˚37′8.42″，114˚2′44.55″处为汉江

蔡甸段曲流河顺直河道(图 1(C))，此处沉积结构构造暴漏十分明显，于近河漫处通过活塞取样器取得 ZK4、ZK5 两组样品组，以 10 cm 间隔取得样品 12 个，两处共取得样品 34 个。

对样品使用智能型石墨电热板以及电烤箱进行干燥处理，干燥处理后的样品需使用相关工具进行粘结块分离、生物部分剔除、巨大粒径沉积物剔除等工作，处理完成的样品通过 LS I3 320 激光粒度分析仪进行粒度分析，此设备操作简单精度高，只需按照简单的步骤进行操作便可进行粒度分析工作。



(A)

(B)

(C)

Figure 1. Hanjiang Caidian segment location diagram (A) Sediment sampling point 1 (B) Sediment sampling point 2 (C)
图 1. 汉江蔡甸段位置示意图(A)沉积物采样点一(B)沉积物采样点二(C)

3.2. 粒度参数分析

沉积物粒度分布通常使用粒度参数来定量表征。当前常见的是由 Folk 和 Ward (1957)提出的 4 项粒度参数：平均粒径 M_Z、标准偏差 σ_i、偏度 S_K、峰度 K_g。这些参数分别代表了沉积物的粗细、均匀程度、对称性和相对集中程度，主要受物源颗粒的原始大小和搬运介质的平均动能的影响[11]。

计算粒度参数的方法有很多，目前主流的方法可分为图解法和矩值法两大类。图解法是基于粒度分析结果绘制出频率累积曲线图，随后在曲线图上选择几个具有代表性的点，利用简单计算公式求得粒径参数结果[12]。本次对于 ZK1-ZK5 的 34 个样品的粒度分析结果绘制频率累积曲线图(图 2)，利用图解法的原理，使用 Folk 和 Ward 粒度参数计算公式(表 1)进行了粒度参数计算。通过图表数据对比分析(图 2、图 3、表 2)

可以看出，汉江蔡甸段 ZK1 至 ZK3 标准偏差平均值在 0.5~0.7 之间居多，属于分选较好的范畴，表明沉积期环境较稳定；而 ZK4 至 ZK5 标准偏差平均值在 0.7~1 和 1~2 之间居多，属于分选中等到分选差的范畴，表明沉积期环境不稳定，一定的流水作用导致了分选变差。偏度以正偏为主，表明粒度主要集中在粗粒部分，平均粒径统计结果与此相符。峰度是描述分布形态的尖锐程度，可反映粒度分布集中分散的状况。由表中数据可以看出，汉江蔡甸段的峰度以尖锐和很尖锐居多，表明粒度分布曲线中粒度相对集中。

粒度参数统计结果表明，汉江蔡甸段沉积物粒度以粗粒为主，不同地段粒度分选性存在差异，反映各地点沉积环境并不一致。

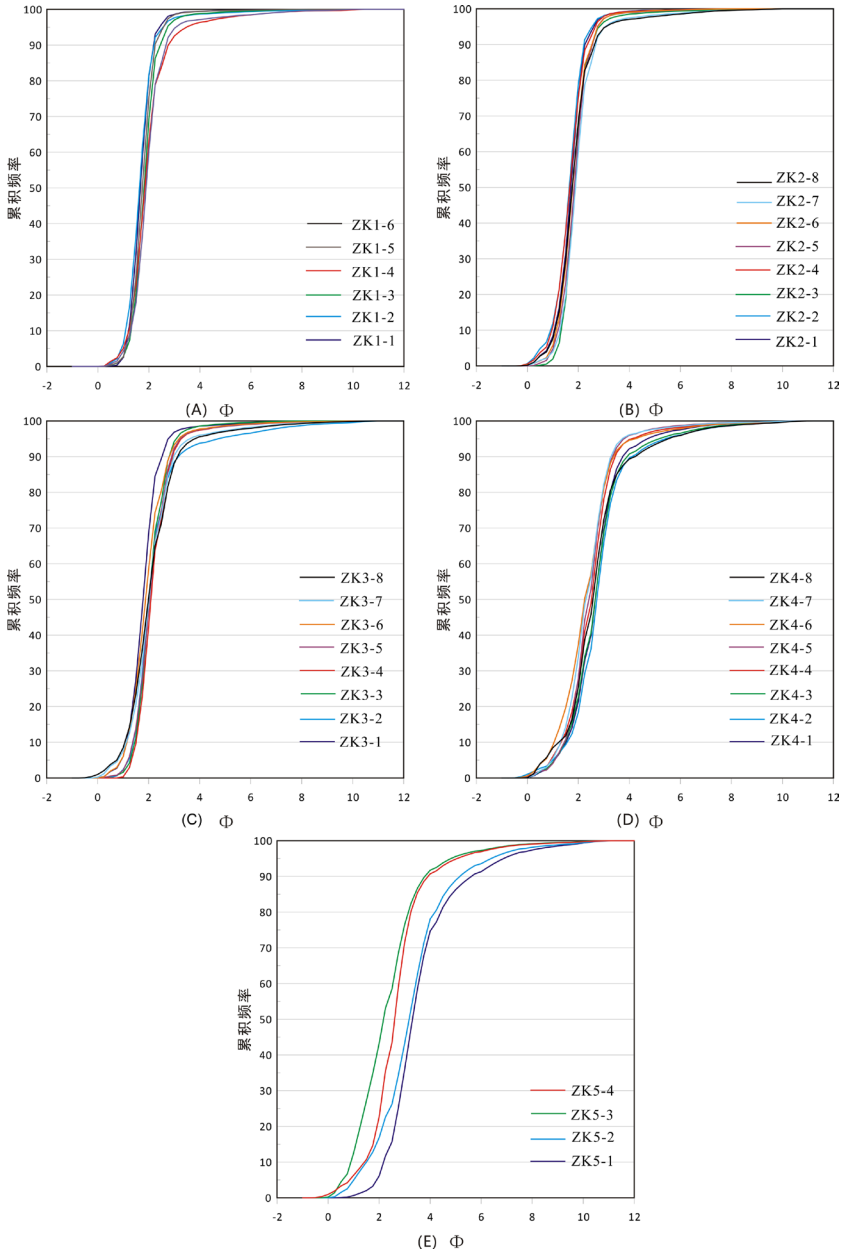


Figure 2. Hanjiang Caidian section frequency accumulated graph: ZK1-ZK5 (ZK1-3: Is the third sample of a ZK1; ZK4-7: Is the 7th sample of the ZK4, The same is true below)

图 2. 汉江蔡甸段 ZK1-ZK5 频率累积曲线图(ZK1-3 代表 1 号样品组的第 3 号样品；ZK4-7 代表 4 号样品组的第 7 号样品；下同)

Table 1. Sediment particle size parameter calculation formula (In the expression, $\Phi_{(5,16,84)}$, etc. represent the particle diameter of the corresponding cumulative probability percentage of the frequency accumulation curve) [1]

表 1. 沉积物粒度参数计算公式(表达式中 $\Phi_{(5,16,84)}$ 等表示频率累积曲线上相应累积概率百分比处的颗粒直径；M_z 为均值；σ 为分选系数；S_K 为偏度；K_g 为峰度) [1]

粒度参数	福克－沃德公式
均值	$M_z = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3$
分选系数(偏差)	$\sigma = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/4 + (\Phi_{95} - \Phi_5)/6$
偏度	$S_k = \frac{\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$
峰度	$K_g = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$

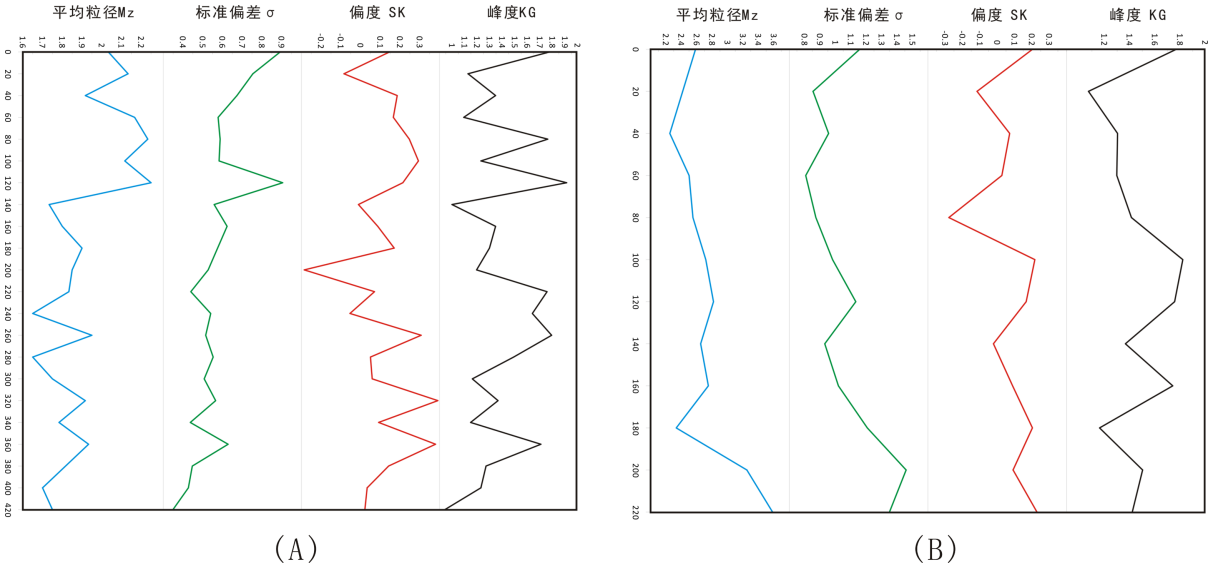


Figure 3. Depth changes in granular parameters in Hanjiang Caidian section ((A) ZK1-ZK3; (B) ZK4-ZK5)

图 3. 汉江蔡甸段粒度参数深度变化图((A) ZK1-ZK3；(B) ZK4-ZK5)

Table 2. Caidian section granular parameter statistics table

表 2. 汉江蔡甸段粒度参数统计表

钻孔号	样品号	平均粒径 M_z	标准偏差 σ_i	偏度 S_K	峰度 K_g
ZK1	ZK1-1	1.75	0.35	0.02	0.94
	ZK1-2	1.70	0.43	0.03	1.23
	ZK1-3	1.82	0.45	0.14	1.27
	ZK1-4	1.93	0.63	0.38	1.71
	ZK1-5	1.78	0.44	0.09	1.15
	ZK1-6	1.92	0.57	0.39	1.37

Continued

ZK2	ZK2-1	1.75	0.51	0.06	1.16
	ZK2-2	1.65	0.55	0.05	1.49
	ZK2-3	1.95	0.52	0.31	1.79
	ZK2-4	1.65	0.54	−0.05	1.64
	ZK2-5	1.83	0.44	0.07	1.76
	ZK2-6	1.85	0.53	−0.29	1.20
	ZK2-7	1.90	0.58	0.17	1.30
	ZK2-8	1.80	0.62	0.09	1.35
ZK3	ZK3-1	1.73	0.56	−0.01	1.00
	ZK3-2	2.25	0.91	0.21	1.91
	ZK3-3	2.12	0.58	0.29	1.23
	ZK3-4	2.23	0.59	0.25	1.76
	ZK3-5	2.17	0.58	0.17	1.09
	ZK3-6	1.92	0.67	0.19	1.35
	ZK3-7	2.13	0.75	−0.08	1.13
	ZK3-8	2.03	0.89	0.15	1.78
ZK4	ZK4-1	2.65	0.93	−0.02	1.37
	ZK4-2	2.82	1.13	0.17	1.76
	ZK4-3	2.72	0.98	0.22	1.82
	ZK4-4	2.55	0.87	−0.28	1.41
	ZK4-5	2.50	0.81	0.03	1.30
	ZK4-6	2.25	0.96	0.07	1.30
	ZK4-7	2.42	0.85	−0.12	1.07
	ZK4-8	2.58	1.16	0.20	1.77
ZK5	ZK5-1	3.58	1.35	0.23	1.42
	ZK5-2	3.25	1.46	0.09	1.50
	ZK5-3	2.33	1.21	0.20	1.16
	ZK5-4	2.75	1.02	0.09	1.74

3.3. 粒度概率累积曲线分析

粒度概率累积曲线是能够分析沉积物形成的水动力条件从而达到判别沉积环境的典型曲线，它在正态概率图上绘制，以粒径为横坐标，以粒度的累积百分数为纵坐标，以正态概率标度[1]。一般来说粒度概率累积曲线包括三个总体(牵引总体、跳跃总体、悬浮总体)以及两个截点(细截点、粗截点)。

使用汉江蔡甸段 ZK1-ZK5 的样品粒度分析结果进行粒度概率累积曲线的绘制并将结构参数进行统计(图 4、表 3)，发现 ZK1、ZK2、ZK3 都呈现“两段式”特征，缺少牵引总体。悬浮组分含量基本在 10%以下，斜率一般小于 20˚，分选较差；跳跃总体只发育一段，含量均在 90%以上，最高可达 99%，斜率在 70%~75%之间，分选较好，跳跃总体与悬浮总体之间的细截点变化不大，基本位于 2.5~3 Φ 之间，表明此区的粒度整体较粗，水动力强度较强。

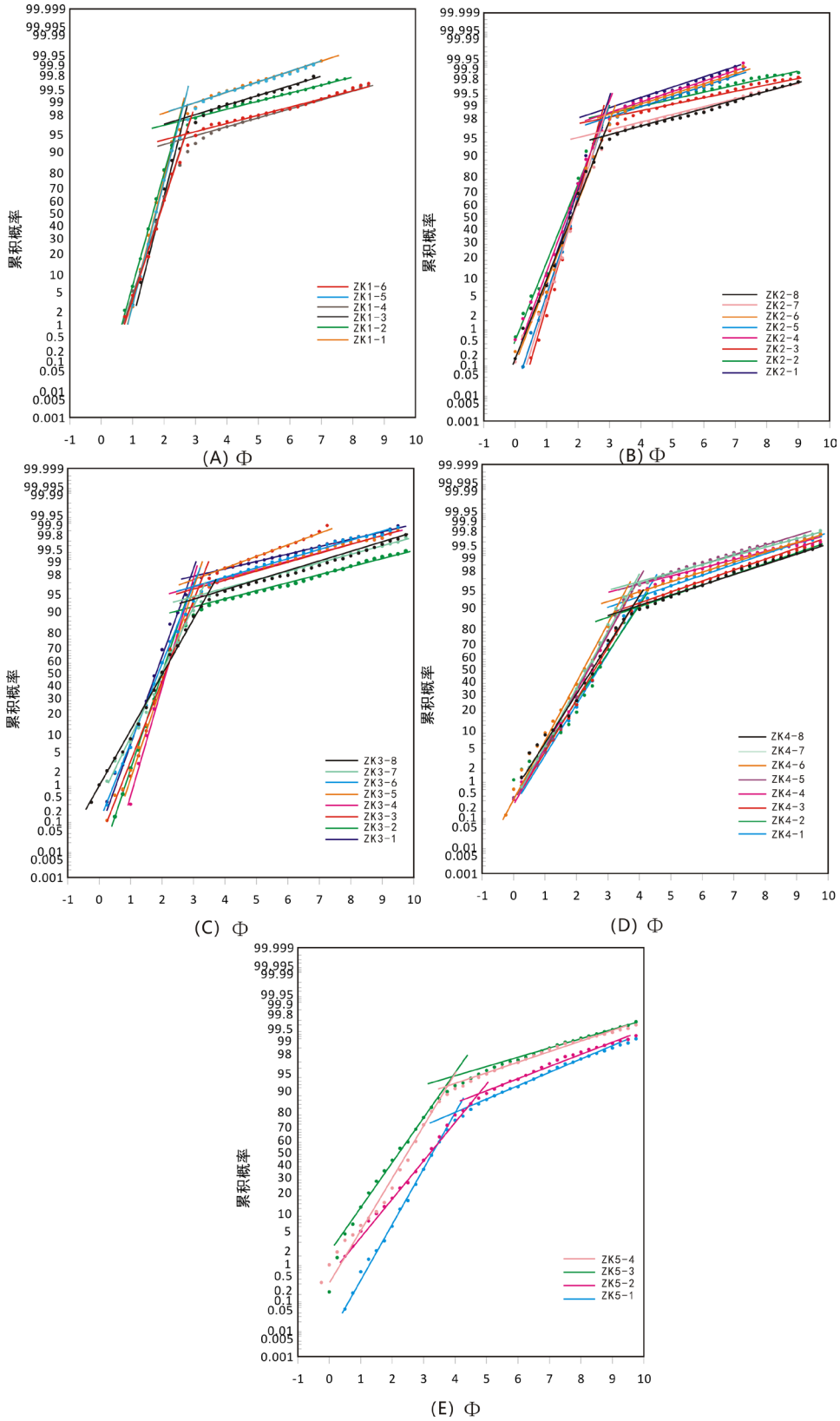


Figure 4. Hanjiang Caidian section particle size probability accumulation curve: ZK1-ZK5
图 4. 汉江蔡甸段 ZK1-ZK5 粒度概率累积曲线

Table 3. Cumulative curve structure parameter statistics of Hanjiang Caidian section: ZK1-ZK5
表 3. 汉江蔡甸段 ZK1-ZK5 粒度概率累积曲线结构参数统计

转孔号	样品号	截点(Φ)		次总体百分含量(%)			次总体斜率(°)		
		粗截点	细截点	滚动	跳跃	悬浮	滚动	跳跃	悬浮
ZK1	ZK1-1	/	2.6	/	98.5	1.5	/	75	18
	ZK1-2	/	2.2	/	97	3	/	74	15
	ZK1-3	/	2.4	/	98	2	/	75	16
	ZK1-4	/	2.3	/	94	6	/	72	16
	ZK1-5	/	2.5	/	98	2	/	76	19
	ZK1-6	/	2.5	/	95	5	/	73	17
ZK2	ZK2-1	/	2.8	/	99	1	/	71	18
	ZK2-2	/	2.8	/	98	2	/	69	14
	ZK2-3	/	2.6	/	96	4	/	74	13
	ZK2-4	/	2.6	/	97	3	/	70	19
	ZK2-5	/	2.7	/	96.5	3.5	/	71	17
	ZK2-6	/	2.9	/	98	2	/	69	18
	ZK2-7	/	2.5	/	95	5	/	72	15
	ZK2-8	/	2.7	/	95	5	/	68	16
ZK3	ZK3-1	/	2.6	/	96	4	/	70	14
	ZK3-2	/	2.2	/	90	10	/	72	14
	ZK3-3	/	2.9	/	96	4	/	73	20
	ZK3-4	/	2.8	/	95	5	/	75	26
	ZK3-5	/	2.9	/	96	4	/	69	17
	ZK3-6	/	2.5	/	96	4	/	70	18
	ZK3-7	/	3	/	94	6	/	64	15
	ZK3-8	/	3.2	/	93	7	/	61	17
ZK4	ZK4-1	/	4	/	94	6	/	60	19
	ZK4-2	/	3.9	/	90	10	/	57	20
	ZK4-3	/	3.8	/	90	10	/	59	18
	ZK4-4	/	3.7	/	95	5	/	61	15
	ZK4-5	/	3.7	/	96	4	/	60	16
	ZK4-6	/	3.2	/	92	8	/	62	18
	ZK4-7	/	3.6	/	95	5	/	63	14
	ZK4-8	/	3.5	/	90	10	/	58	17
ZK5	ZK5-1	/	3.8	/	80	20	/	60	24
	ZK5-2	/	4.5	/	90	10	/	51	21
	ZK5-3	/	3.7	/	93	7	/	55	17
	ZK5-4	/	3.5	/	90	10	/	59	20

ZK4、ZK5 两组取样于 ZK1-ZK3 的东偏南约 25°的下游地段，此时汉江处于枯水期，相比于 ZK1-ZK3 取样于边滩，ZK4-ZK5 更接近于河道，从粒度概率累积曲线以及结构参数上明显与 ZK1-ZK3 不同，ZK4-ZK5 也呈现出“两段式”特征，缺少牵引总体。悬浮组分含量在 10%左右，斜率在 20%左右，表明分选较差；跳跃总体含量均在 90%以上，但斜率相对于 ZK1-ZK3 明显的变低，在 50°~60°之间，表明分选一般，跳跃总体与悬浮总体之间的细截点变化不大，但相对于 ZK1-ZK3 来说粒度减小，位于 3.5~4 Φ 之间，表明此处的水动力强度有所降低。

整体来说研究区汉江蔡甸段概率累积曲线都呈现“两段式”的特征，跳跃总体只发育一段，缺少牵引总体，表明研究区总体上的沉积物以跳跃总体为主；自 ZK3 以下细截点向右移动，表明上游研究区的沉积物整体粒度要大于下游研究区的沉积物，ZK4-ZK5 的总体斜率小于 ZK1-ZK3 可以看出 ZK4-ZK5 的分选差于 ZK1-ZK3，以上特征直观的表明了 ZK4 和 ZK5 相比于 ZK1-ZK3 水动力能量减弱，结合采样地点的空间因素，原因可能为 ZK4 和 ZK5 为 ZK1-ZK3 的前期水道，在河流形成早期沉积物在上游地区经历了较强的水动力作用，原本稳定水体中的细粒沉积物受到水动力突然增强等因素而产生移动，后期由于地形变化以及曲流河的发育，致使下游沉积物粒度较细，但是对于粒度资料分析时发现，虽然下游的沉积物粒度更细，但是其最大沉积物粒度却明显大于上游，通过分析发现下游的沉积物中往往含有大量的云母片而导致的(图 1 黑色部分)。

3.4. C-M 图解分析

C-M 图是 Passega (1957)提出的一种综合性成因图解，是表示沉积物结构与沉积作用关系的样品集合图，属于粒度参数散点图的一种[1]。C-M 图既考虑了沉积环境整体的动力和搬运机制，同时还兼顾了颗粒组分，因而可以有效地反映沉积环境和沉积动力特征[13]。

汉江蔡甸段的沉积物在 C-M 图上的反映主要表现为两大类型(图 5)。一类是 ZK1-ZK3 的样品反映出的平行 C 轴的图像，一类是 ZK4-ZK5 的样品反映出的平行 M 轴的图像。

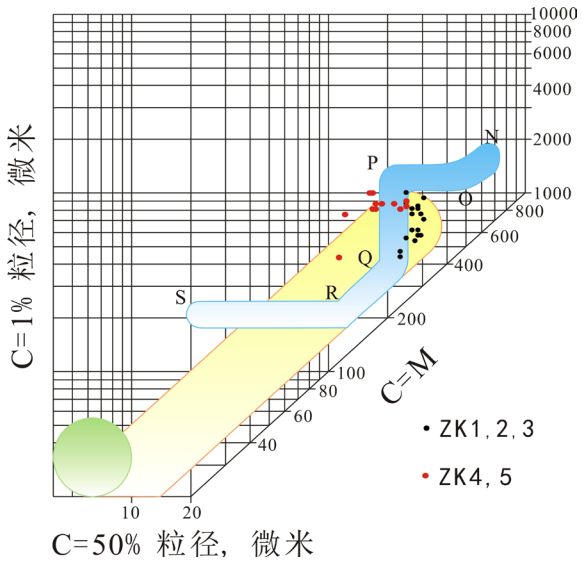


Figure 5. Hanjiang Caidian segment sediment C-M: ZK1-ZK5
图 5. 汉江蔡甸段 ZK1-ZK5 沉积物 C-M 图

上游地区的 ZK1-ZK3 的样品，在 C-M 图上的图像平行于 C 轴，C 值变化而 M 值不变，投点大部分位于 PQ 段附近，代表底负载最粗的沉积物，是以 Q 点为代表的递变悬浮物和少量滚动颗粒所组成。搬

运方式以跳跃搬运为主。C 值的范围为 400~1000 微米，M 值的范围为 200~300 微米。可以看出 C 值较为分散，M 值集中。C 值变化大，表示向下游滚动颗粒因水动力降低而粒度明显降低，但由于滚动颗粒数量不占优势，因此 M 值变化不显著。图像明显反映出当地水动力为牵引流型，是典型的曲流河特征。

下游地区 ZK4-ZK5 的样品，在 C-M 图上的图像平行于 M 轴，M 值变化而 C 值不变。C 值的范围为 800~1000 微米，M 值的范围为 100~300 微米。C 值和 M 值的分散程度都在 200 微米以内，分散程度极小。可以推测该地沉积物是在比较稳定的流速下形成。样品中超过 1000 微米的大部分是云母片。同时，结合样品的频率曲线能够看出，ZK4 的频率曲线呈现明显的双峰图像，ZK5 的频率曲线中甚至出现了三峰图像。表明此处的沉积物在粒度上出现了比较明显的差别分布(图 6)。

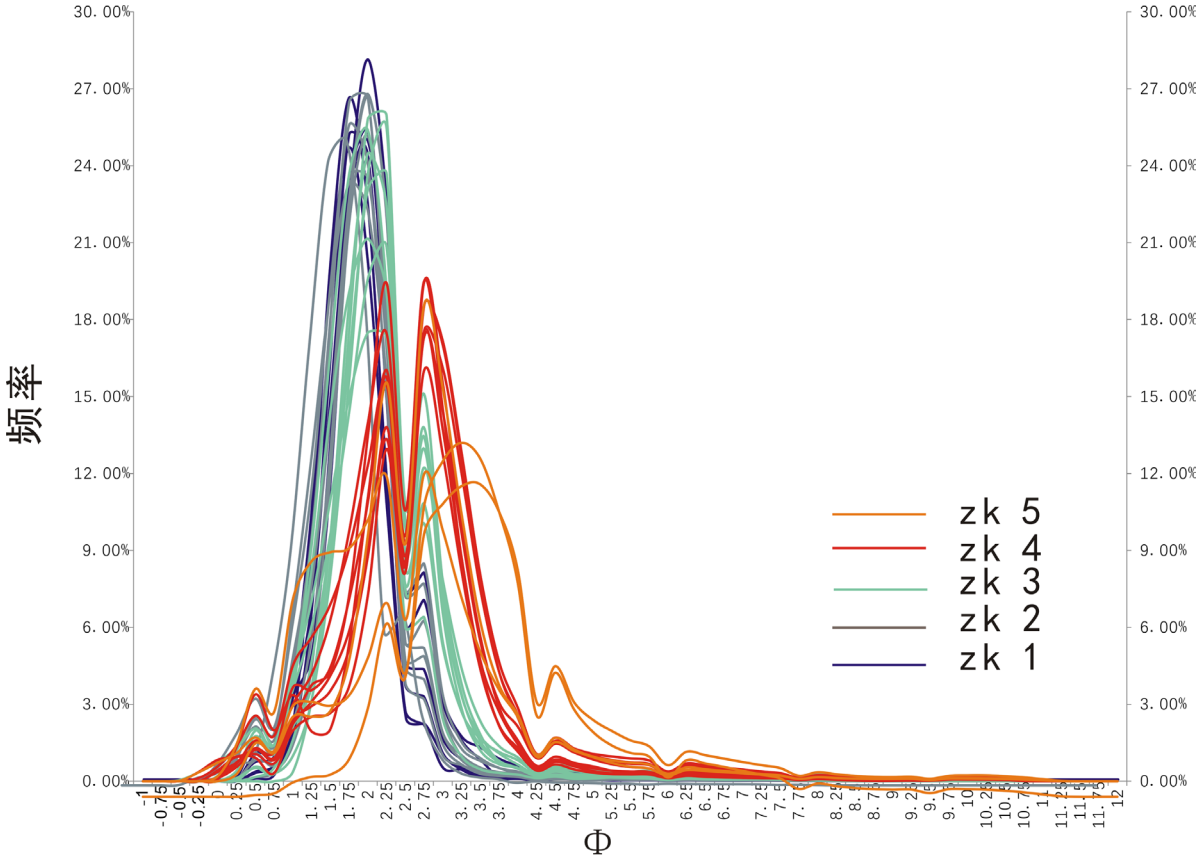


Figure 6. Hanjiang Caidian section frequency graph: ZK1-ZK5
图 6. 汉江蔡甸段 ZK1-ZK5 频率曲线图

相较上游的沉积物，下游沉积物的图像在 C-M 图上的分布更靠近 C 轴，也就是 M 值普遍小于上游沉积物。可以判断下游水动力相比上游更加缓慢，因此沉积物的平均粒径也更小，多为粉砂级别。在沉积过程中，近球型的矿物先沉积，板片状的矿物后沉积，所以云母类的片状矿物与石英、长石等粒状矿物呈现不一样的沉积规律：云母容易在弱动力环境中沉积，常见与细粒质如细砂、粉砂，乃至泥质一起沉积[14]。在实际采集时可以发现，下游沉积物中混合了一定数量的云母，使得样品的 C 值普遍处于一个较高的水准。

结合研究区的沉积物在 C-M 图上的图像特征，可以得知汉江蔡甸段具有典型的曲流河特征。上游的水动力较强，沉积物分选较好，且基本为砂质沉积物。下游的水动力弱，砂质沉积物粒度较上游更细，但同时沉积了少量云母，因此整体分选较差，在频率曲线上呈现出明显的双峰图像。

4. 结论

由于传统粒度分析方法本身的局限性，分析结论可能存在误判的情况，但是传统粒度分析的结果可以作为研究河流尤其是汉江沉积的一个重要参考。

本次研究利用汉江蔡甸段 34 个沉积物粒度资料，采用图解法对沉积物展开粒度参数分析，并综合粒度概率累积曲线分析以及 C-M 图解分析的结果，得到的主要认识有：

江蔡甸段具有典型的曲流河特征，其上游沉积物分选性较好，沉积期环境较稳定；下游沉积物分选性中等，沉积期环境不稳定，这可能是一定的流水作用导致了分选变差。粒度主要集中在粗粒部分，粒度分布曲线中粒度相对集中。其概率累积曲线都呈现“两段式”的特征，跳跃总体只发育一段，缺少牵引总体，表明研究区总体上的沉积物以跳跃总体为主；从上至下细截点向右移动，体现出上游研究区的沉积物整体粒度要大于下游研究区的沉积物，在汉江蔡甸段的曲流部分与顺直部分采集的沉积物其粒度数据受到环境控制明显，但是粒度数据受到了下游沉积物中的云母等沉积物的影响，因此分析河流沉积物粒度特征时需要从多个方法，多个方面，多个角度去解释。

参考文献

[1] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 第 2 版. 北京: 石油工业出版社, 2008: 114-125.

[2] 彭飚, 常甜甜. 几种主要粒度分析方法的优缺点[J]. 科技与创新, 2019(10): 35-36, 39.

[3] 彭飚, 雷光宇. 粒度分析方法在沉积学中的应用[J]. 科技与创新, 2019(11): 156-157.

[4] Beierle, B.D., Lamoureux, S.F., Jaclyn, M.H. and Ian Spooner, C. (2002) A New Method for Visualizing Sediment Particle size Distributions. *Journal of Paleolimnology*, **27**, 279-283. https://doi.org/10.1023/A:1014209120642

[5] 李勇, 李海燕, 赵应权. 沉积物粒度特征及其对环境的指示意义——以濠河为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(3): 918-925.

[6] 田宇昕. 粒度分析及其地质应用[J]. 西部探矿工程, 2020, 32(1): 159-160.

[7] 李晓刚, 杨洋, 吕肖, 丁玉火, 朱鑫. 丹江流域河流沉积物粒度分形特征分析[J]. 甘肃科学学报, 2020, 32(4): 50-55.

[8] 梅惠, 马振东, 李长安. 长江与汉江现代沉积物元素组成分析[J]. 世界地质, 2007, 26(2): 208-212.

[9] 张金亮. 河流沉积相类型及相模式[J]. 新疆石油地质, 2019, 40(2): 244-252.

[10] 王光朋, 查小春, 黄春长, 庞奖励, 张国芳. 汉江上游沉积记录的北宋时期古洪水事件文献考证[J]. 浙江大学学报(理学版), 2018, 45(4): 488-496.

[11] 李高聪, 李志强, 朱士兵, 张会领, 曾春华. 图解法和矩值法海洋沉积物粒度参数的对比[J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(6): 96-101.

[12] Louis Folk, R. and Ward, W.C. (1957) Brazos River Bar [Texas]; A Study in the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Research*, **27**, 3-26. https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D

[13] 喻薛凝, 战庆, 王张华. 长江口各地貌单元沉积构造和粒度分区特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(4): 1-11.

[14] 樊水淼, 金秉福, 王昕, 于海洋. 云母在黄河口段沉积物中的形状系数与等效沉积[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(5): 31-38.