.

4

# 冲积物粒度参数中包含的 河型信息的研究

#### 许炯心

(中国科学院地理研究所)

## 一、问题的提出

冲积物是河流作用的产物。沉积物的特征与河流的水文泥沙条件及其动态息息相 关,河流的水文泥沙条件的变化十分清晰地反映在冲积物相的变化中。另一方面,沉积物 本身又构成了平原河流的河床边界。如所周知,一定的河型总是与一定的水沙边界条件 相联系,而一定的水沙边界条件又能形成一套具有一定特征的冲积物,故河流的河型与 其冲积物之间有着紧密的联系,不同的河型往往有其独具的沉积相特征。对此前人进行 了不少研究,但成果大都限于沉积相的宏观特征方面<sup>(3)</sup>。事实上,反映沉积相微观特征 的粒度参数也包含了大量的河流信息,这些信息不仅具有定性的意义,而且具有定量的 意义。

因此,在前人工作的基础上,本文打算进一步研究现代冲积物的粒度参数与形成这 种冲积物的河流的水文泥沙条件及河型特征的关系,并试图建立一些定量关系。

### 二、沉积物的粒度参数

本文所使用的沉积物粒度参数有以下数种:

1.粒径 常用的有中值粒径 d50、平均粒径 d 等。

2.分选系数 分选系数 S。可用下式计算1):

$$S_0 = \sqrt{\frac{d_{25}}{d_{75}}}$$

式 中 d<sub>75</sub>、d<sub>25</sub> 分别为沉积物中百分之七十五和百分之二十五累计含量的粒径。分选系数用来表示沉积物的分选性,S<sub>0</sub> 总 大 于1,其值愈大,说明粒配曲线愈平缓,样品的粒径相差悬殊,分选愈差。反之,S<sub>0</sub>愈接近于1,粒配曲线接近垂直,粒径愈集中,分选愈好。

3.不对称系数 不对称系数可用下式计算1):

1) 北京大学地理系编:环境与沉积,1977年。

$$S_k = \frac{d_{75} \cdot d_{25}}{d_{55}^2}$$

不对称系数可用来反映沉积物的粒度组成中是细粒占优势 还 是 粗 粒 占 优 势,若 S<sub>k</sub>>1,则说明沉积物中以细粒为主,若 S<sub>k</sub><1,则以粗粒为主。

4. 正态概率曲线上的推移、跃移、悬移组分及推悬比 一般认为,沉积物的粒度 分布是服从对数正态分布规律的。若将累积曲线画在正态概率纸上,可得 到 几 个 直线 段,每个直线段自成一个对数正态样本,反映同一搬运动力。其中,粗粒段反映推移组 分,中粒段反映跃移组分,细粒段反映悬移组分。粗粒段与中粒段间的 截 点 称 为粗截 点,中粒段与细粒段间的截点称为细截点。本文分别用字母 A、B、C 表示正态概率曲 线上的推移、跃移、悬移组分百分比,并定义 R<sub>s</sub> = A C 为河床质推悬比,表示河床质中 推移组分与悬移组分之比。

#### 三、粒度参数中所包含的输沙及水力信息

业已指出,从正态概率曲线上可以看出河床质中推移、跃移、悬移各组分的含量。 由于河床质与运动泥沙之间存在着互相转化的关系,故可以设想上述三个组分也就间接 地代表了输沙构成中相应部分的数量比例。为了验证这一假设,笔者运用我国一些进行 过推移质测验的河流的资料,包括黄河、洛河、渭河、长江、汉江、丹江、藕池河共16 个河段的数据,计算出输沙推悬比,即推移质输沙率与悬移质输 沙率之比,用 R<sub>m</sub> 表 示,将此值与相应的河床质推悬比 R。建立关系,可得下式:

 $R_m = 0.00309 R_s^{0.738}$  (r = 0.82)

这就初步证实了上述假设的合理性,即可用河床质推悬比来近似反映 输 沙 推 悬比。这 样,在进行沉积相的研究时,可以用此式来粗略估计形成某一套冲积物的 河 流 的 输沙 构成。

运用粒度参数来推求古河流的水力条件, Middleton 进行了很有意义的工作<sup>[4]</sup>。 他认为,正态概率曲线上的截点,相应于悬移运动的临界状态。他采用了下列悬移 判据:

 $u_{\star}/\omega = 1$ 

式中u\*为水流摩阻流速, ω为泥沙颗粒的沉速。根据细截点的粒径, 再加上沉积物形成 时的水温,可以求出其沉速,此沉速即为古水流的摩阻流速。

笔者认为,粒度参数中的分选系数,包含着古水流的水文条件的信息。冲积物分选 程度的好坏,取决于水流条件的平稳程度。在一定的水流流速条件下所沉积的泥沙,往 往有一定的代表粒径,流速大则沉积物粗,反之则细。若水流状态变化剧烈,洪峰的年 际及年内变化均大,则沉积物粗细混杂,分选程度必然较差。反之则分选可能较好。因 此,河流的洪峰变差系数 Cv 与分选系数 So 应该有一定的相关关系。图1给出了长江、 黄河、渭河、汉江等河流的 Cv 与 So 的关系,可用下式表示:

 $C_{\gamma} = 0.6663S_{0}^{5.037}$  (r = 0.71, n = 8)

2

上式表明,洪峰流量年际变异越大,则沉积物的分选愈差,反过来,亦可以冲积物的分 选系数来反推古河流的洪峰变异情况。



图 1 洪峰变差系数与分选系数的关系



## 四、粒度参数中包含的河型信息

河型是河流的水文泥沙及边界条件诸因子综合作用的结果。Schumm研究了输沙特 征与河型的关系后指出,推移质河流与悬移质河流往往表现出不同的 河 型<sup>[5]</sup>。方宗岱 曾将洪峰变差系数 C<sub>v</sub> 作为区分河型的主要参数<sup>[1]</sup>。既然河流的输沙特 征 及 水文特征 可以反映在粒度参数中,那么,河流的河型特征与粒度参数之间也应该有一定的联系。

(一)河床平面形态与粒度参数

河型主要是根据河床平面形态来划分的,按弯曲系数的不同可将河型划分为高弯曲 型和低弯曲型。Schumm<sup>[5]</sup>和 Leopold<sup>[7]</sup>都发现,当河流挟带的推移质较多时,河床 横断面形态宽浅,有的还会分叉,平面上则较为顺直。将国内一些河流及我们所作的模型 试验中的模型小河的弯曲系数 r 分别对于河床质中的推移组分 A 及河床质推悬比 R<sub>s</sub> 点 绘关系(图 2、3),可得到下列二式:

> $r = 1.559 A^{-0.119} \quad (r = -0.86, n = 16)$  $r = 1.143 R_s^{-0.130} \quad (r = -0.85, n = 15)$

此二式证明,河床质中较高的推移组分和相对较低的悬移组分,是同河床的较低弯曲度相伴出现的,反之亦然。

弯曲系数与河床质分选系数的关系点绘在图 4 中,在二者间可建立下列关系:

 $r = 2.238 S_0^{-1.579}$  (r = -0.76, n = 15)

上式表明较好的河床质分选程度是与较为弯曲的河床平面形态相联系的。这是由于较好



图 3 弯曲系数与河床质推悬比的关系(图例同前) Fig. 3 Relationship between channel sinuosity coefficient and

the ratio of tractin-to- suspension population in bed materials

的分选意味着洪峰变差系数较小,且水流条件比较稳定,这对于曲流的发 育 是 比 较有 利的。

(二)河床横断面形态与粒度参数

当河流挟带的悬移质较多而推移质相对较少时,河床组成物质中的粉砂粘土含量较高,故河床抗冲性较强,此时河床宽深比较小。反过来也一样。由于粒度推悬比可以反映输沙推悬比,故可以将河床宽深比√ B/h 分别与河床质推悬比Rs及推移组分 A 建立 关系(图 5、6),从中可以得到:

> $\sqrt{B}/h = 10.51 R_s^{0.402}$  (r = 0.80, n = 18)  $\sqrt{B}/h = 4.143 A^{0.468}$  (r = 0.75, n = 19)

上列二式表明,河床质中较少的推移组分或较小的推悬比,是与较为窄深的河床形态相 伴出现的,反之亦然。



#### 图 4 弯曲系数与分选系数的关系(图例同前)

Fig. 4 Relationship between channel sinuosity coefficient and bed-material sorting coefficient



图 5 宽深比与河床质推悬比的关系(图例同前)

Fig. 5 Relationship between the channel-width-to-depth ratio and the ratio of traction-to-suspension population in bed materials

当河流水文因子变化剧烈时,河床形态将进行剧烈的调整以适应水文因子的变化,故河床断面将比较宽浅。由于分选系数S。可以间接反映水文因子的变化程度,故可以期望,河床宽深比 √ B /h 与分选系数 S。之间存在着一定的关系。将所研究河流的 √ B /h 对于S。点绘关系(图7),从中得到:

 $\sqrt{B}/h = 1.093S^{5.80}$  (r = 0.67, n = 17)

上式的相关系数虽然不高,但趋势仍是清楚的,从而支持了上述推理。

#### (三)多元回归分析

上列各相关图表明,点子的分布有一定程度的离散,有的甚至有较大的离散。这除



图 6 宽深比与河床质推移组分的关系(图例同前)

Fig. 6 Relationship between channel-width-to-depth ratio and traction population in bed materials



图 7 宽深比与分选系数的关系(图例同前) Fig. 7 Relationship between channel-width-to-depth ratio and bed-material sorting coefficient

了偶然误差之外,还由干河型的信息是由多个参数反映出来的,具体到某一个参数上,其 信息负载量可能不会很大。因此,笔者进行了多元回归分析。点入图 2 至图 7 的数据中,对 弯曲系数而言有15组是互相配套的,对于宽深比而言则有17组互相配套。经计算后得到:  $r = 1.791 \ A^{-0.0805} \ R_s^{-0.0198} \ S_0^{-0.0666} \quad (r = 0.89, n = 15)$  $\sqrt{B}/h = 3.420 A^{0.275} R_s^{0.177} S_0^{1.752} \quad (r = 0.83, n = 17)$ 

上列二式表明,高弯度河流,其河床相冲积物的推移组分值、推悬比值、分选系数值 较小,宽浅河流,其河床相冲积物的推移组分值、推悬比值、分选系数值较大。反之亦然。

## 五、粒度特征与河床形态关系的实验研究

为了验证从野外资料中取得的某些结论并进行进一步的探讨,运用室内模型试验的 资料进行了分析。笔者所塑造的模型小河的点据已点入上述各图,能较好地落在回归线 附近,从而使各项关系得到了模型试验的支持。下面再对不对称系数及分选系数与河床 形态的关系进行分析。

(一)不对称系数的研究

根据模型小河河床质的粒度分析资料,计算出不对称系数 Sk 和河床质推悬比Rs,将二者建立关系,可得到下式:

 $S_k = 1.051$   $R_s^{-0.275}$  (r = -0.89, n = 8)

这表明,推悬比越大,则不对称系数越小。这是因为,当推悬比较大时,运动泥沙中较 粗部分较多,河床质中粗粒部分也较多,故不对称系数较小(偏向粗端)。

由于推悬比 Rs 较大时,河床宽深比  $\sqrt{B}/h$  也较大,故不对称系数 Sk 与 $\sqrt{B}/h$  之间也应有一定关系。运用试验资料,可得到下列关系:

 $\sqrt{B}/h = 16.99 \ S_k^{-1.238}$  (r = -0.87, n = 10)

即河床质不对称系数越小,河床形态越宽浅。对上式的物理意义还可以从水流耗能的角 度进行解释。因为较小的Sk值表示河床质中粗粒部分较多,因而水流切力较大,使能耗 增加,从而使断面宽浅。

(二)分选系数的研究

在笔者所进行的模型试验中,模型小河的流量保持定值,值得注意的是,在这一水流条件下,河床宽深比 √B/h 与分选系数 So 仍存在比较密切的关系。由试验数据得到下式:

 $\sqrt{B}/h = 1.795 S_0^{4.563}$  (r=0.85, n=10)

这表明,河床质分选系数除包含了天然河流洪水特征的信息外,还包含了更多的水力信息。对此可初步解释为:当宽深比较大时,水动力轴变动较快,断面流速分布的不均匀 程度及其随时间的变化均较大,故泥沙沉积的水力条件变化频繁,使得分选程度减小。

## 六、由粒度参数确定古河床稳定性

为了表示河床稳定程度,一般采用形式如<u>D</u>HJ的稳定指标<sup>[2]</sup>,式中D为河床质代 表粒径,一般多用中值粒径,H为水深,J为比降。此式是由河床质颗粒对水流的抵抗 力与水流作用力之比推导而得到的。

近形学书

古河床的水流参数已无法确定,故不得不采用间接的方法。由于冲积河流的河床是 由自身挟带的泥沙塑造而成的,故可假定河床质中最粗的颗粒处于临界起动状态。但最 粗粒径往往带有偶然性,且无法求其平均值,故取 doo(即河床质中99%的累计重量较 之为小的粒径)作为处于临界起动状态的颗粒的粒径。于是有

$$\tau = \tau_{c} = 0.047(\gamma_{s} - \gamma)d_{\theta\theta}$$

式中  $\tau$  为水流切力,  $\tau_c$  为临界切力。  $\tau_c$  的表达式系按 Schields 方 法 确 定。  $\gamma_s$ 、  $\gamma$  分别为沙、水的比重。

 $\chi \tau = \gamma H J$ 

故可解得

64

 $HJ = \frac{0.047(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} d_{\theta \theta}$ 

在河床稳定指标 $\frac{|d_{50}}{HJ}$ 中,以上式右端代入且略去常数 $\frac{0.047(\gamma_{s}-\gamma)}{\gamma}$ ,即可得到  $\frac{d_{50}}{d_{00}}$ ,此即为本文提出的从粒度参数而来的河床稳定指标,可用于估计古河床的稳定 性。此指标值愈大,则河床愈稳定。也可用其倒数 $\frac{d_{00}}{d_{50}}$ ,可称为古河床不稳定性指标,  $\frac{d_{90}}{d_{50}}$ 值愈大,则河床愈不稳定。

现代黄河、长江及其支流的 $\frac{d_{00}}{dl_{50}}$ 值已列入表1中,可初步看出,此指标与河型确有 较密切的关系,当 $\frac{d_{00}}{dl_{50}} > 3$ 时,为游荡型,当 $\frac{d_{00}}{d_{50}} < 3$ 时,为弯曲型。故可用作判别古

> 表 1 由冲积物粒度参数建立的河床不稳定指标dgg/dgg值 Table 1 The dgg/dgg value of the channle unstability index established by sedimetary grain size parametens

河	名	河段	名	d <sub>99</sub> /d <sub>50</sub>	河	型
黄	河	花园	<u>п</u>	3.737	游	荡
		高	村	3.968	游	荡
		孙	п	2.804	过	渡
		艾	Щ	2.826	弯	曲
		洛	ц	2.917	弯	曲
		利	津	2.369	弯	曲
渭	河	咸	阳	4.70	游	荡
		华	县	2.321	弯	曲
ĸ	江	监	利	1.666	弯	曲
		新	Г	2.38	弯	曲
		洪	цī	2.13	弯	曲
汉	江	黄家	塂	3.1	游	荡
		裹	阳	3.41	游	荡
		仙	桃	3.08	弯	曲
		蔡	甸	2.08	弯	曲
滹	沱河	正	定	2.76	游	茜

河型时的参考。

## 七、运用粒度参数对河型的判别分析

从上面的分析可以看出,游荡河流与弯曲河流的河床质粒度参数值是不相同的,各 自处于不同的组合关系之中。因此,我们可以运用粒度参数来对河型进行判别。粒度参 数中的推移组分 A,推悬比 Rs,分选系数 So,不对称系数 Sk 及古河床不稳定性指标 doo doo doo doo 的方法,根据黄河、长江、汉江、渭河、滹沱河及笔者的模型小河共18组数据,得到如 下判别函数:

$$Y = 0.255A + 0.191 R_{s} + 17.190 S_{o} + 0.278 \frac{d_{99}}{d_{50}}$$

当 Y>26.6时,为游荡型,当 Y<26.6时,为弯曲型。上述判别函数对于18组样本的河 型全都判对,故其精度是可靠的。

## 八、讨 论

Schumm最近指出,河型可以在极不相同的比尺之下进行考虑。沿河谷流动的河道 所呈现出的结构是最大尺度的类型,床面上沙垅、沙纹的分布是中等尺度的类型,泥沙 颗粒的分布则是最小尺度的类型<sup>(6)</sup>。通常所说的河型是宏观意义下的,相当于这里的 第一种。不少学者研究了沉积相中的层理类型与河型的关系,这实际上揭示了包含在床 面微形态(沙波地形)中的河型信息,说明第二种意义的河型与宏观的河型是有联系 的。本文运用数理统计方法,揭示了粒度参数中包含的河型信息,表明微观尺度下(即 第三种意义下)的河型与宏观意义下的河型也是统一的。这就说明,Schumm从大、中、 、小三种尺度所划分的河型有其内在统一性。要研究微观意义下的河型,沉积相的微观 特征(其中包括粒度特征)的分析是很有用的工具。从大、中、小三种不同尺度对河型 的机理进行分析,将有助于河型成因这一河流地貌学上悬而未决的重要理论问题的 解决。

还可以指出,本文所取得的成果也具有应用上的意义。既然河型的信息包含在沉积物的粒度参数中,我们就可以通过埋藏于地下的古冲积物的研究,来重建留下这一套冲积物的古河流的河型特征。限于资料,文中各经验关系式所包含的样本尚嫌太小,这就难免带有一定程度的偶然性,若能在更大范围内得到类似的公式,就可以用来对古河流的河型进行判别,还可粗略计算古河流的弯曲系数和宽深比值以及古河床的稳定指标,还可以估计古河流的输沙构成。将地层剖面中不同层位上的冲积物所包含的河型特征都一一弄清楚后,就可以根据河型的变化来推论古环境的变迁。因为河型是自然地理环境因子综合作用的产物,环境的变迁必将会造成河型的转化。当气候由湿润变得干燥时,河流挟带的泥沙会增加,河床会变得宽浅,稳定程度会减小,从而从弯曲型转化为游荡

£

型<sup>[5]</sup>。因此,用本文的方法可以在重建古地理环境方面进行新的尝试。

#### 收稿日期 1984年3月24日

#### 参考文献

- 〔1〕 方宗岱, 1964, 水利学报, 第1期, 32-37页。
- 〔2〕 武汉水利电力学院河流泥沙工程学教研究编著: 1981年,河流泥沙工程学,水利出版社。
- (3) Reineck H.E. and Singh I.B., 1980, Depositional Sedimentary Environment, Springer-Verlag.
- (4) Middleton G.V., 1973, Jour. Geology, V.84, 405-423.
- (5) Schumm S.A., 1977, The Fluvial System, John Wiley and Sons, New York.
- [6] Schumm S. A., 1980, Plane form of alluvial rivers, Proceedings of the International Workshop on Alluvial River Problems, Held at Roorkee, India.
- [7] Leopold L. B. et al. 1964, Fluvial Process in Geomorphology, W. H. Freeman and Company.

# A STUDY OF THE RIVER PATTERN INFORMATION CONTAINED IN GRAIN SIZE PARAMETERS OF FLUVIAL SEDIMENT

#### Xu Jiongxin

#### (Institute of Geography, Acadmia Sinica)

#### Abstract

Based on the data about some Chinese rivers and the author's model river, this paper deals with the relationship between sedimentary grain size parameters and corresponding river pattern information contained in sedimental grain size parameters can be revealed.

By analysing the data about the Huanghe River, the Changjiang River, the Hanjiang River, the Weihe River, etc, the author has established the following relationship between the measured bed load to suspended load ratio  $(R_m)$  and the ratio of traction population to suspension population (%) calculated from the probability curve $(R_n)$ :

#### $R_m = 0.00309 R_*^{0.0739}$

This empirical equation indicates that R. contains the fluvial load information. The more the traction population in bed materials, the more the load in the sediment transported by the river.

The author has discovered that there is a comparatively close positive correlation between the coefficient of variation of flood discharge  $(C_v)$  and sediment sorting coefficient ( $S_o$ ), indicating that the more stable the river flows, the higher the fluvial sediment is sorted by flowing water.

It is accepted by most researchers that river pattern is the result of water, sand and river bed boundary conditions. So is the grain size feature of bed material. So we can expect that river pattern characteristics would be reflected by sedimentary grain size parameters. The regression analysis demonstrates that this deduction is true, from which the author has obtained.

> $r = 1.791 A^{-0.085} R_{s}^{-0.0198} S_{o}^{-0.666} (r = 0.89)$  $\sqrt{B}/h = 3.420 A^{0.275} R s^{0.177} S_0^{1.752}$  (r = 0.83)

"r"for river sinuosity coefficient, " $\sqrt{B}$ /h"for the width to depth ratio, "A" for the traction population in bed materials, and the other symbols have been mentioned above.

Because of the river pattern information contained in sedimentary grain size parameters, we can discriminate river patterns through sedimentary grain size parameters. By using the discrimination analysis method, the author has gained a discriminating function.

 $Y = 0.255A + 0.191R_{s} + 17.190S_{o} + 0.278 d_{yy}/d_{s0}$ 

" $d_{\mathfrak{gg}}/d_{50}$ " is an index derived from flow tractive force to particle resistance ratio, which is proposed by the author in this paper and can be used to describe the stability of paleo-rivers. The other symbols are the same as the mentioned above ones. If Y >26.6, the river is a wandering braided one, and if Y<26.6, the river is a meander.

According to the empirical relationships given in this paper, the author can calculate roughly the river bed forms and load features of paleo-rivers, and discriminate paleo-riverpatterns. Based on the above information, the author can also reconstruct the paleo-geographical environment in which the paleo-rivers developed.