

文章编号: 1000-0550(2010)02-0307-08

黄河下游辫状、弯曲和顺直河段间沉积动力特征比较^①

王随继

(中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室 北京 100101)

摘要 黄河下游沿程出现了辫状、弯曲和顺直河型段,河道平面形态的差异势必受到不同的沉积动力特征的制约。本研究根据对收集到的有关实测资料的统计和计算,对可以表征河道沉积动力特征的相关指标进行了量化分析,发现不同河型段间的沉积动力特征存在明显差别。河道比降在辫状河段最大,介于 0.2‰~0.14‰之间;弯曲河段的次之,介于 0.14‰~0.10‰之间;顺直河段的小于 0.10‰。平滩流量时的流速在辫状河段的较大,不同年份间的变幅较大;弯曲河段的次之,不同年份间的变幅较小;顺直河段的最小,不同年份间的变幅不大,并向下游显著减小。单位河长能耗率在辫状河段最大,弯曲河段次之,顺直河段的最小,其间的比值为 2.31:1.35:1。单位面积能耗率在辫状河段最小,弯曲河段最大,顺直河段次之,其间的比值为 0.52:1.18:1。河床沉积物粒度较细,并普遍缺失推移质组分,中值粒度在辫状河段、弯曲河段和顺直河段分别为 3.0φ、3.2φ、3.67φ;河床沉积物的分选性也依次变好。受制于上述相关沉积动力特性,河床沉积速率在不同河型段有明显差别:中大流量时,辫状河段的最小,弯曲河段的最大,顺直河段的次之;在小流量时,三个河型段的河床沉积速率非常接近,但沿程略有减小。另外,辫状河段河床沉积速率明显依赖于流量的变化,且随流量的增大而明显减小。

关键词 沉积动力特征 沉积速率 辫状河段 弯曲河段 顺直河段 黄河下游

作者简介 王随继 男 1966 年出生 博士 副研究员 沉积学 E-mail: wangsj@igsnrr.ac.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

黄河下游出现了几种不同类型的河道段,其形成及演变特征历来是研究者所关注的课题。不同的研究者对这些不同河段的称呼存在一定的差别,通常将黄河下游沿程出现的河型分别命名为游荡型河段、过渡型河段和弯曲型河段。但是根据应用较广的河型分类^[1,2],上述个别河段的命名有待商榷,例如,黄河下游下段的弯曲度只有 1.2 左右,显然达不到弯曲河流应该大于 1.3 或 1.5 的限制条件,同时,河道是典型的单河道体系,因此,它属于典型的顺直河段;过渡型河段的弯曲度基本超过 1.3 而河道也为单河道,因此应该也是比较典型的弯曲河段。所以,为了更准确反映黄河下游不同河段的特性,借鉴河型分类及沉积学领域的通用名称,本文将上述河段分别称作辫状河段、弯曲河段和顺直河段。

黄河下游的河床演变非常复杂,而各个河型段之间的差别也比较明显,不同的研究者业已做过相当深入的研究,重点关注下游不同河型段的水沙输送能力以及对其上游相关水库运用的响应特征^[3-9];还有研究者对于黄河下游河道及河型的演变及原因进行过初步分析^[7,13]。近来一些研究者通过对黄河下游流

水断面特征的研究期望揭示不同河型的差异,例如,吴保生^[11]的研究表明,黄河下游的辫状、弯曲和顺直河段的河相关系存在明显的差别,其中辫状河段的断面面积随流量的增大主要是通过河宽的增加来实现的,顺直河段的断面面积随流量的增加主要是通过水深增加来实现的。王随继^[14]的研究表明,黄河下游一次洪水过程中,水面宽度随着流量的变化基本遵循幂函数河相关系式,其中河宽河相关系的指数在上述辫状、弯曲和顺直河段分别为 0.82、0.23、0.04。流水断面宽深比与流量存在二次非线性关系,其中辫状河段的宽深比随流量增加而加速增大,弯曲和顺直河段的宽深比随流量的增大而由增加变为减小。显然,不同河型段的河宽及流水断面宽深比随流量的变化速率存在显著差别。黄河下游河道的高沉积速率导致黄河河床持续抬高而增大决口的风险,不同河型段的沉积速率也存在一定的差别^[14],这表明其沉积动力特征在不同河型段存在差异,因此,有必要对黄河下游不同河型段(图 1)的沉积动力特征进行比较研究,这有助于理解不同河型的形成原因及演变趋势。本文根据黄河水利委员会的历年实测资料,提取能够反

①国家自然科学基金项目(批准号:40771031)资助。

收稿日期:2009-04-02 收修修改稿日期:2009-05-11

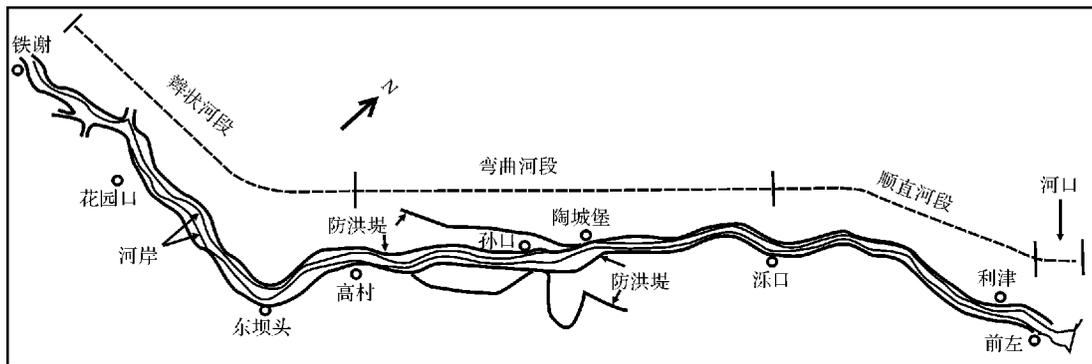


图 1 黄河下游不同河型段及相关水文站分布

Fig 1 Location of the different channel pattern reaches and the hydrological gauging stations in the Lower Yellow River

映河流动力特征的度量指标, 诸如河道比降、流速、能耗率、沉积物中值粒径等, 来对比分析黄河下游不同河型段的沉积动力特征。该研究结果不但可以揭示黄河下游河型转化的机理, 而且在其河道治理上具有借鉴作用。

1 河道比降沿程分布

河道比降是根据给定河段中河床高差与河道长度的比值, 为无量纲数值, 是衡量河流动力特征的主要度量参数, 也是河流沉积动力特征的影响因素之一。由于河道边界条件等的影响, 河床深泓高程并不总是沿程依次降低的, 个别河段的河道深泓很可能低于其下游比邻河段的, 因此, 本文中用到的河道比降数值是根据黄河下游各个实测断面的河床深泓高程进行 3 点滑动平均计算而得到的。图 2 表明, 黄河下游河道比降基本上沿程减小, 其中辫状河段的最大, 介于 0.2% ~ 0.14% 之间。河道比降在辫状河段的下段减小速率在整个黄河下游段最大, 尤其是 1977 年, 相应地, 辫状河段的上段当年表现出反常的沿程增大现象。弯曲河段的次之, 介于 0.14% ~ 0.10% 之间, 沿程减小幅度明显。顺直河段的最小, 小于 0.10% , 其沿程减小的速率最小。另外可以看出, 1977 年顺直河段的河道比降是三个对比年份中最大的, 同时在沿程基本保持稳定。因此, 从河道比降可以看出, 辫状河段的河道比降最大, 沿程减小幅度及减小速率最大, 而弯曲河段次之, 顺直河段最小。

2 平滩流量的流速及河道宽深比

黄河下游辫状河段、弯曲河段和顺直河段在平滩流量时的流速存在明显差别 (图 3a) 其中辫状河段的流速相对较大, 并且在不同年份之间变化幅度较

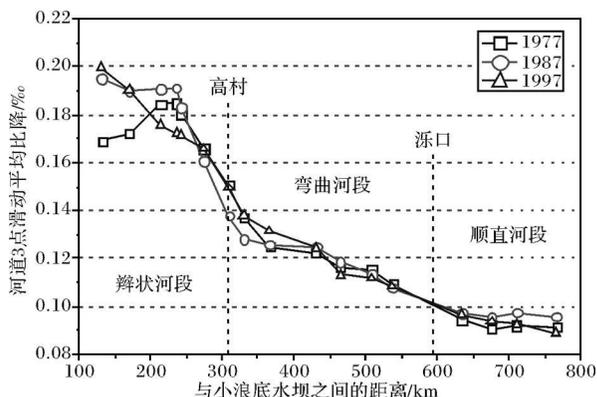


图 2 黄河下游不同河型段河道比降沿程变化特征

Fig 2 Change of channel gradient along the Lower Yellow River

大; 弯曲河段的次之, 不同年份之间的变化幅度相对较小; 顺直河段的总体上最小, 不同年份之间差别不大, 并向下游显著减小。但是, 顺直河段的上游段其平滩流量的流速明显大于弯曲河段下游段的, 表明, 在平滩流量时顺直河段的上游段的总体动能比其比邻河段的弯曲河段的大, 有助于顺利输送水流。

河道宽深比是平滩流量时的河宽与平均水深的比值, 宽深比越大表明河道越容易受水流的冲刷而变形, 即河道的稳定性越差, 反之, 则河道的稳定性越高。图 3b 表明, 黄河下游河道宽深比在辫状河段的最大, 在不同年份以及不同断面之间波动明显, 平均达到 2 000 以上, 最小的也大于 800 同时, 辫状河段的河道宽深比经历了由相对较小到大再到较小的过程, 反映了该段河流的冲淤受到其上段比邻峡谷区的谷地限制以及下段比邻弯曲河段的二元边界条件的限制; 顺直河段的最小, 基本小于 200 在不同年份以及不同断面之间的变化幅度不明显; 弯曲河段的介于上述两类河型段之间, 介于 1 200 ~ 150 之间, 且明显沿程变小。

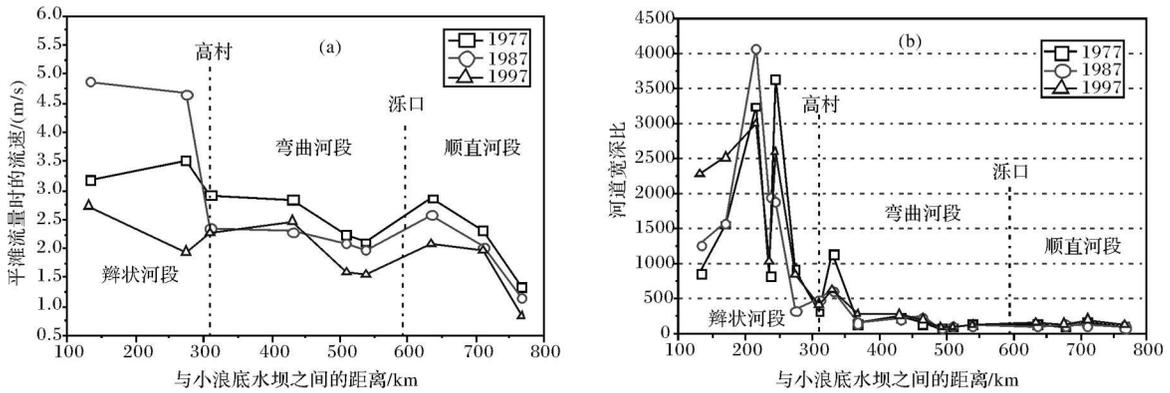


图 3 黄河下游不同河型段在平滩流量时的 (a)流速及 (b)河道宽深比

Fig 3 (a) Mean velocity of bankfull flow and (b) Channel width/depth ratio of the different channel pattern reaches in the Lower Yellow River

3 单位长度能耗率及单位面积能耗率

河流的单位长度能耗率表示单位河长湿周上所消耗的水流动能, 表示如式 (1):

$$\Omega = \gamma g Q_{bf} S \tag{1}$$

单位面积能耗率是单位长度能耗率与河宽的比值, 表示如式 (2):

$$\omega = \gamma g Q_{bf} S / B \tag{2}$$

上两式中, Ω 为单位长度能耗率 (W/m); ω 为单位面积能耗率 (W/m^2); γ 是河水密度 (kg/m^3); g 为重力加速度 ($9.8m/s^2$); Q_{bf} 为平滩流量 (m^3/s); S 为河道比降 (m/m); B 为平滩河宽 (河道宽度) (m)。

在计算黄河下游能耗率时, 不同断面的平滩流量 Q_{bf} 值收集于文献^[12]; 不同断面处河道比降 S 是利用收集于文献的河床高程^[13] 再进行三点滑动平均处理, 然后计算这些断面处的河道比降; γ 可以近似地看作 $1000 kg/m^3$ 。据此计算的黄河下游 17 个河流断面的单位河长能耗率及单位面积能耗率在 1977、1987 和 1997 年的沿程分布分别如图 4a 图 4b 所示。不同河段的平均能耗率见表 1。

表 1 不同河型段的平均能耗率

Table 1 Average stream power in different channel pattern reaches

能耗率	河段	1977年	1987年	1997年
$\Omega/(W/m)$	辫状河段	10588.6	12293.3	5697.5
	弯曲河段	6698.4	6638.7	3307.0
	顺直河段	5053.0	4646.0	2653.6
$\omega/(W/m^2)$	辫状河段	4.22	5.85	2.27
	弯曲河段	10.85	10.36	6.48
	顺直河段	9.09	9.24	5.21

就单位河长能耗率来看 (图 4a), 辫状河段的最大, 弯曲河段的次之, 顺直河段的最小。能耗率高, 表明水流对河床的冲刷能力强, 使得床面的泥沙处于严重扰动之中^[14], 显然, 水流的这种扰动能力在辫状河段最大, 在顺直河段最小。对于不同年份来说, 也存在明显的不同, 在 1977 年和 1987 年, 辫状河段的单位河长能耗率沿程由增大到减小, 并且 1987 年比 1977 年略有增大; 而对于顺直河段, 1987 年比 1977 年略微减小; 弯曲河段在上述两个年份变化不大, 只是其末段随着顺直河段的调整而呈现减小的现象。但在 1997 年, 随着此前几年黄河下游流量的持续减小其河道过水能力减弱, 河道严重萎缩^[15-17], 导致其平滩流量显著变小, 因此, 单位河长能耗率在整个下游段都明显变小, 但仍然以辫状河段的最大, 顺直河段的最小。同时, 辫状河段经过充分调整, 其单位河长能耗率沿程变小。

对于单位面积能耗率来说 (图 4b), 辫状河段的却是黄河下游三类河型段中最小的, 并且呈现沿程震荡式增大现象; 而弯曲河段的则在大幅震荡中呈现为最大的。并且, 1977 年和 1987 年, 辫状河段和顺直河段的单位面积能耗率基本上小于 $10 W/m^2$, 尤其是在 1997 年, 上述三个河型段的单位面积能耗率都小于 $10 W/m^2$ 。已经有很多研究者指出, 冲积河流中网状河流以及顺直河流的单位面积能耗率基本上小于 $10 W/m^2$, 而弯曲河流只有极少数的低于该值, 但辫状河流的要远远大于该数值。根据 Ferguson^[17] 对于英国河流的研究结果表明, 顺直河流具有比较小的能耗率, 一般在 $1 \sim 60 W/m^2$ 之间; 弯曲河流具有中等能耗率, 一般在 $5 \sim 350 W/m^2$ 之间; 辫状河流具有高能

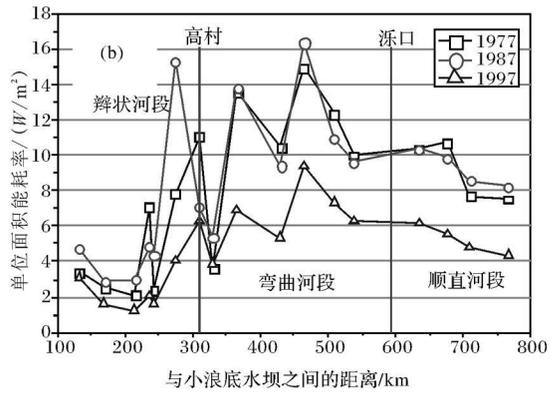
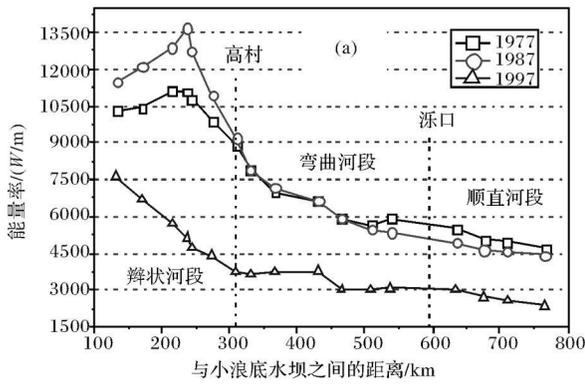


图 4 黄河下游不同河型段能耗率沿程变化特征

(a)单位长度能耗率; (b)单位面积能耗率

Fig 4 Variation characteristics of the steam power in the different channel pattern reaches along the Lower Yellow River

(a) Gross stream power (b) Specific stream power

耗率,一般大于 100 W/m²。黄河下游的研究结果表明,弯曲河段及顺直河段的能耗率虽然很小但仍然处于 Ferguson 所界定的范围之内,而辫状河段的单位面积能耗率远小于其界定范围,并且小于弯曲河段及顺直河段的,这里的原因,是将来有待深入研究的课题之一。

4 粒度分布特征及中值粒径年际变化

从多年实测河床沉积物的平均粒度分布(图 5) 看以看出,黄河下游辫状河段花园口站的相对较粗, 弯曲河段高村站的次之,顺直河段利津站的较细,其中中值粒径在上述三站分别为 3.0φ, 3.2φ, 3.67φ, 沿程逐渐减小。上述三站的河床沉积物中的悬移质泥沙组分分别占其总组分的 12.76%, 9.49%, 5.60%, 也呈现明显的沿程减小趋势,这表明河床沉积物的分选性在辫状河段最差,在弯曲河段为中等,至顺直河段最好。

另外,从粒度分布特征(图 5)可以看出,河床沉积物主要由跳跃组分和悬移组分两部分构成,而推移质组分普遍缺失,表明黄河下游河床沉积物的粒度非常细,其中值粒径都处于极细砂范围,这主要是由于黄河下游的泥沙主要来自黄土高原的黄土,而黄土的粒径普遍较细,同时,晋陕峡谷中的粗粒泥沙在进入下游之前已经被三门峡等水库充分拦截而导致的。

从河床沉积物中值粒径的年际分布(图 6a)可见,在上述三个河型段的各自代表性水文站花园口、高村、利津站都呈现震荡性年际分布特征,而这种震荡幅度在花园口最大,表明其河道水动力变化幅度明显且频繁,同时,除了个别年份外,总体上也呈现沿程

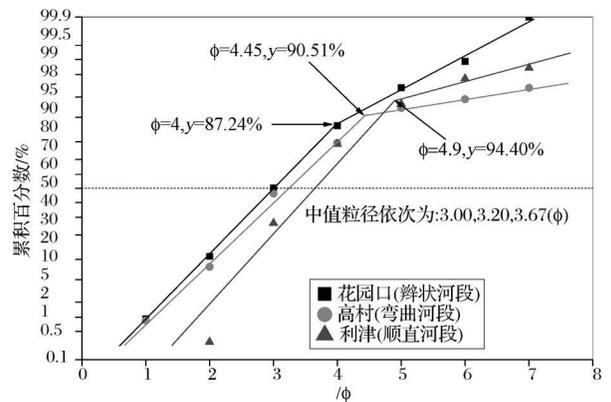


图 5 黄河下游不同河型段河床沉积物粒度分布特征

Fig 5 Distribution of the bed sediment granularity in the different channel pattern reaches along the Lower Yellow River

逐渐变小的趋势。

悬移质泥沙中值粒径的年际分布(图 6b)采用 5 点滑动平均值,其明显趋势是,在 1966~1975 年间,悬移质中值粒径在上述三个站点沿程减小,并且差别较大;自 1976~1982 年间,在花园口断面依然是最大的,而在高村断面却是最小的;1983~1985 年间,表现为沿程增大现象。另外,自 1980 年以来,上述三个断面的悬移质泥沙中值粒径都明显减小,这与黄河下游的来水量减小以及中游的各类水土保持措施发挥作用有关。

5 河床沉积速率比较

上述沉积动力因素的不同导致黄河下游的沉积状况存在显著差别,这主要表现在河道的冲淤演变及

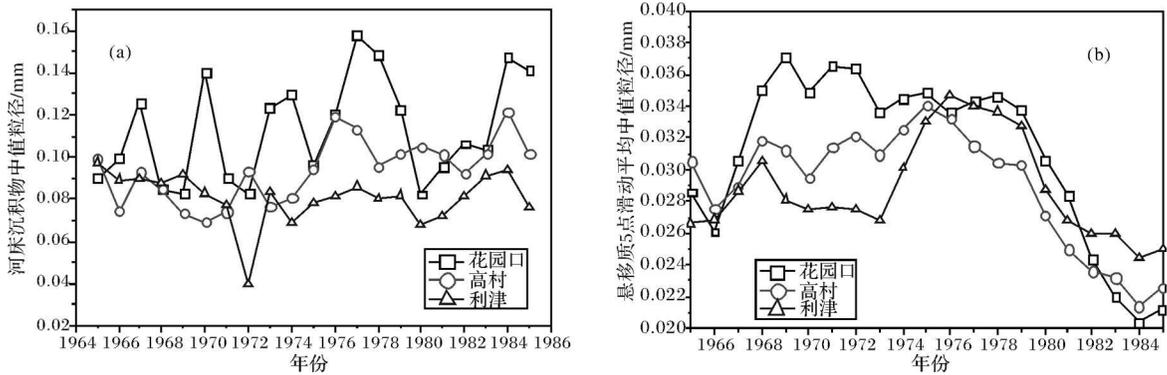


图 6 黄河下游不同河型段泥沙中值粒径年际变化特征

(a)河床沉积物年内平均; (b)年均悬移质泥沙中径的 5 点滑动平均值

Fig 6 Annual variation of the sediment median granularity in the different channel pattern reaches along the Lower Yellow River

(a) annual mean median granularity of channel bed sediment (b) annual mean median granularity of suspended sediment

河床的沉积速率等方面, 其中前者已经有比较充分的论述^[14], 后者仍然有进一步研究的必要。

考虑到黄河下游流量较大时河床的冲淤变化复杂, 在计算河床的加积速率时则存在极大的难度。因此, 将不同年份之间的同流量时的水位变化可以近似看作该水位下的河床高程的变化, 从而可以据此计算河床的加积速率。王随继^[14]以 1953 年和 1989 年流量为 $1\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $3\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ 时的水位高差变化计算得到黄河下游辫状河段花园口站、弯曲河段高村站和顺直河段利津站的河床加积速率如表 2 所示。

表 2 1953—1989 年间黄河下游不同断面在不同流量下的河床沉积速率比较

Table 2 Sedimentation rate on channel bed under different discharges at the different hydrological gauging stations along the Lower Yellow River between 1953 and 1989

流量 / m^3/s	1000	2000	3000
花园口断面沉积速率 / cm/a	2.20	0.67	0.67
高村断面沉积速率 / cm/a	5.94	5.97	6.69
利津断面沉积速率 / cm/a	2.67	2.81	3.56

为了考察黄河下游不同河型段河床最深部分的加积速率, 这里特别选取流量为 $500\text{ m}^3/\text{s}$ 时水下河床来分析其不同年份的沿程变化情况 (图 7)。从图 7a 可见, 在 1977~1987 十年间, 辫状河段的河床以侵蚀冲刷为主; 在弯曲河段表现为净沉积, 即沉积作用起主导作用; 在顺直河段的上段为净沉积, 下段为净冲刷, 沉积作用和侵蚀作用分别主导了顺直河段的上下两段。在 1987~1997 十年间, 上述三个河段

的河床都表现为净沉积, 沉积作用起主导作用。在 1977~1997 二十年间, 三个河道段也是以沉积为主。沉积速率在上述不同河段的河床具有类似的变化趋势 (图 7b)。

在黄河下游三个不同类型的河道段中, 当流量为 $500\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 计算出的各段河床的平均沉积厚度及平均沉积速率见表 3。在 1977~1987 十年间, 辫状河段、弯曲河段和顺直河段河床的平均沉积速率分别为 $-0.98\text{ cm}/\text{a}$ 、 $3.13\text{ cm}/\text{a}$ 和 $-0.53\text{ cm}/\text{a}$ 。在 1987~1997 十年间, 上述三个河段河床的平均沉积速率分别为 $14.92\text{ cm}/\text{a}$ 、 $10.14\text{ cm}/\text{a}$ 和 $13.00\text{ cm}/\text{a}$ 。而在所统计的 20 年间, 上述三个河段河床的平均沉积速率分别为 $6.97\text{ cm}/\text{a}$ 、 $6.65\text{ cm}/\text{a}$ 和 $6.28\text{ cm}/\text{a}$ 并呈现沿程减小的趋势。上述研究结果表明, 辫状河段的沉积速率在不同时段变化幅度最为明显, 而弯曲河段的则比较稳定, 同时也表明, 在较长的时段内, 三个不同类型的河道段其河床最深部的沉积速率趋向于一致, 这是河流自动调整中使得河道比降趋向于均衡。对于黄河下游 $500\text{ m}^3/\text{s}$ 流量时的河床沉积来说, 辫状河段的沉积速率最大, 使得其河道维持宽浅, 在现有的沉积动力作用下维持其辫状形态; 而顺直河段的沉积速率最小, 有助于河道维持窄深, 并维持了输沙相对高效的顺直河道形态。

综合分析表 2 及表 3 可以发现, 在一个相对较长的时间尺度内, 低流量时 ($500\text{ m}^3/\text{s}$) 黄河下游辫状河段、弯曲河段和顺直河段的平均河床沉积速率基本接近, 但在这三个河段中以沿程减小为特征; 中、大流量时 ($2\ 000\sim 3\ 000\text{ m}^3/\text{s}$) 辫状河段河床的沉积速率最小, 而弯曲河段的最大。另外可以发现, 相对较长

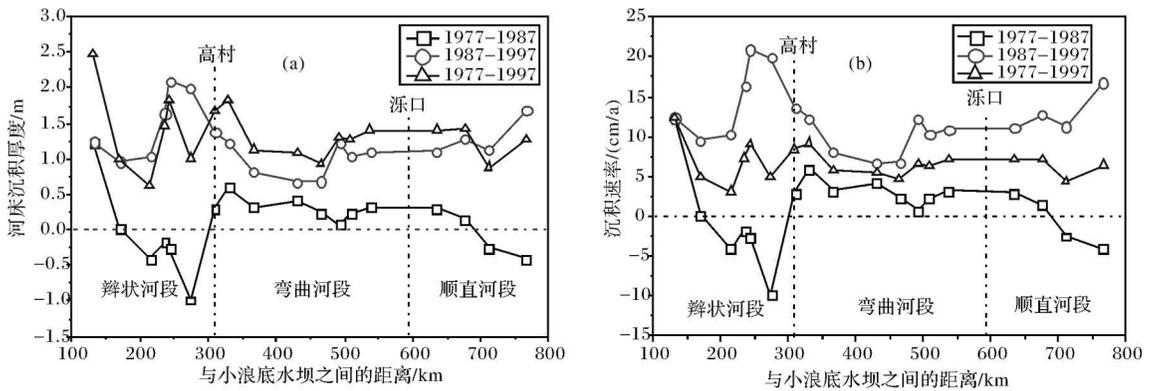


图 7 过水断面面积为 500m²时不同河型段在不同时段的河床沉积特征 (根据文献 [13] 数据计算所得)

(a)河床沉积厚度; (b)河床沉积速率

Fig 7 Sedimentation characteristics on channel bed under 500 m² discharge in different time periods along the different channel pattern reaches (a) sedimentation thickness (b) sedimentation rate

表 3 黄河下游不同河型段特定时段 500 m³/s 流量下河床沉积状况

Table 3 Sedimentation of channel bed under 500 m³/s discharge during certain time periods along the different channel pattern reaches of the lower Yellow River

时段/年	1977~1987			1987~1997			1977~1997		
	沉积厚度/cm			沉积速率/cm/a					
辫状河段	-9.8	149.2	139.3	-0.98	14.92	6.97			
弯曲河段	31.3	101.4	132.6	3.13	10.14	6.65			
顺直河段	-5.3	130.0	124.8	-0.53	13.00	6.28			

的时间尺度内,在 500~3 000 m³/s 的流量范围内,弯曲河段的沉积速率都是非常接近的,表明弯曲河段的沉积状况相对稳定,与流量的变化关系不大,而辫状河段的则与流量的变化关系非常密切。这就揭示了辫状河道的冲淤变化主要受制于流量的变化,流量的增加导致河床大幅展宽,接受沉积的床面面积大幅增大,从而引起沉积速率变小,但河床沉积总量依然是非常可观的。

6 结论

黄河下游不同河型段间的沉积动力特征存在明显差别,其中河道比降、平滩流量时的流速、单位河长能耗率以及河床中值粒径都表现出在辫状河段最大,弯曲河段次之,顺直河段最小。这意味着辫状河段的河流综合动能较强,河道的冲淤变化明显,河道宽浅,流量增大时就产生散乱的复式河道;弯曲河段的动能次之,但能够使河道侧向迁移,呈现弯曲单河道特性;顺直河段的动能较小,河道的侧向迁移能力微弱,且具有高效输沙能力。

受制于上述相关沉积动力特性,河床的沉积速率在不同河型段也有显著差别。总体上看,在中大流量

时,辫状河段的沉积速率最小,弯曲河段的最大,顺直河段的次之。在小流量时,三个河型段的沉积速率非常接近,但呈现沿程递减趋势。另外,辫状河段河床沉积速率明显依赖于流量的变化,且随流量的增大而减小。

单位面积能耗率在辫状河段最小,弯曲河段最大,顺直河段次之,其间的比值为 0.52:1.18:1。在一般情况下,辫状河段的单位面积能耗率应该是这三类河型中最大的,而本文的结果却完全相反。这是将来有必要进一步深入研究的课题。

参考文献 (References)

- 1 Rust B R. A classification of alluvial channel systems [C] // Miall A D ed Fluvial Sedimentology Can Soc Petrol Geol Mem 5 1978 187-198
- 2 王随继,任明达. 根据河道形态和沉积物特征的河流新分类 [J]. 沉积学报, 1999 17(2): 240-246 [Wang Suiji Ren Mingda. A new classification of fluvial rivers according to channel planform and sediment characteristics [J]. Acta Sedimentologica Sinica 1999 17(2): 240-246]
- 3 钱宁,张仁,周志德. 河床演变学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 584 [Qian Ning Zhang Ren Zhou Zhide. River Channel Process [M]. Beijing: Science Press 1987: 584]

- 4 惠遇甲, 张仁. 小浪底水库运用对下游游荡性河道的影响 [J]. 人民黄河, 1996 10: 27-29 [HuiYujia Zhang Ren Influence of the operation of the Xiaolangdi Reservoir on the braided channel of the lower Yellow River [J]. Yellow River 1996 10: 27-29]
- 5 许炯心, 张欧阳. 黄河下游游荡段河床调整对于水沙组合的复杂响应 [J]. 地理学报, 2000 55(3): 274-280 [Xu Jingxin Zhang Ouyang Complicated fill-scour behaviors of the Huanghe River and the channel forming processes [J]. Acta Geographica Sinica 2000 55(3): 274-280]
- 6 梁志勇, 杨雨丰, 冯普林. 黄河下游平滩河槽形态与水沙搭配之关系 [J]. 水力发电学报, 2005 6: 68-71 [Liang Zhiyong Yang Yufeng Fen Pulin Relations of channel geometry to water and sediment rate for the lower Yellow River [J]. Journal of Hydroelectric Engineering 2005 6: 68-71]
- 7 杨积武. 黄河下游河型分异及游荡性河型形成原因的探讨 [C] // 第二届全国泥沙基本理论研究学术讨论会论文集. 北京: 中国建材工业出版社, 1995: 401-407 [Yang Jiwu Channel pattern differentiation and the formation reason of the braiding channel in the lower Yellow River [C] // Symposium Papers of the Second Basic Theory on Sedimentation of China Beijing China Architectural Material Industry Press 1995: 401-407]
- 8 王随继. 黄河下游河型的特性及成因探讨 [J]. 地球学报, 2003 24(1): 73-78 [Wang Suiji Channel pattern specialities and the formation of the lower reaches of the Yellow River [J]. Acta Geoscientia Sinica 2003 24(1): 73-78]
- 9 尹国康. 黄河下游纵剖面自调整特性 [J]. 泥沙研究, 1999 (2): 28-33 [Yin Guokang Self-adjustment characteristics of the longitudinal profile in lower Yellow River [J]. Sediment Research 1999 (2): 28-33]
- 10 王随继. 黄河流域河型转化现象初探 [J]. 地理科学进展 2008 27(2): 10-17 [Wang Suiji Analysis of river pattern transformations in the Yellow River basin [J]. Progress in Geography 2008 27(2): 10-17]
- 11 吴保生, 李凌云. 黄河下游河道横断面的若干特点 [J]. 人民黄河, 2008 30(2): 15-16 [Wu Baosheng Li Lingyun Characteristics of cross-section in the lower channel of the Yellow River [J]. Yellow River 2008 30(2): 10-17]
- 12 Wu Baosheng Wang Guangqian Xia Junqiang et al Response of bankfull discharge to discharge and sediment load in the Lower Yellow River [J]. Geomorphology 2008 100: 366-376
- 13 Wang Z B Wang Z Y de Vriend H J Impact of water diversion on the morphological development of the Lower Yellow River [J]. International Journal of Sediment Research 2008 23: 13-27
- 14 王随继. 黄河下游不同河型河道的水沙效应及演变趋势分析 [J]. 沉积学报, 2009 27(6): 1163-1171 [Wang Suiji Analysis of effect of water and sediment load and evolution trend of the different channel patterns in the Lower Yellow River [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2009 27(6): 1163-1171]
- 15 陈建国, 邓安军, 戴清, 等. 黄河下游河道萎缩的特点及其水文学背景 [J]. 泥沙研究, 2003 (4): 1-7 [Chen Jianguo Deng Anjun Dai Qing Zhou Wenhao et al Hydrological background of channel shrinkage in the Lower Yellow River [J]. Journal of Sediment Research 2003 (4): 1-7]
- 16 许炯心, 孙季. 黄河下游游荡河道萎缩过程中的河床演变趋势 [J]. 泥沙研究, 2003 (1): 10-17 [Xu Jingxin Sun Ji Tendency of channel change of the Lower Yellow River during its shrinkage [J]. Journal of Sediment Research 2003 (1): 10-17]
- 17 姚文艺, 王德昌, 侯志军. 黄河下游河道萎缩模式研究 [J]. 泥沙研究, 2004 (5): 8-14 [Yao Wenyi Wang Dechang Hou Zhijun Study on channel shrinkage mode in the lower Yellow River [J]. Journal of Sediment Research 2004 (5): 8-14]
- 18 Ferguson R I Channel form and channel changes [C] // Lewin J ed British River A Ilen and Unwin London 1981: 90-211

Comparison of Depositional Dynamics among the Braided Meandering and Straight Channel Reaches in the Lower Yellow River

WANG Sui-ji

(Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research CAS Beijing 100101)

Abstract There are braided meandering and straight channel reaches along the lower Yellow River. The difference in channel planform certainly is influenced by different depositional dynamics. In this work, according to a series of data collected from the yearbook of the water and sediment of the Yellow River, the different indexes of representative channel depositional dynamics has analyzed. The results show that there are evident differences in depositional dynamics among the braided meandering and straight channel reaches in the lower Yellow River. The channel gradient is the maximum for the braided reach, which ranges 0.2-0.14, is moderate for the meandering reach, which ranges

(To be continued on page 330)

Fossil Wood of the Upper Triassic Xujiahe Formation on the Western Margin of Sichuan Basin: Implication for Palaeoclimate

QIAN Li-jun SHI Zhi-qiang LI Zhi-wu OU Li-hua

(Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract Abundant plant fossils were found in the Upper Triassic Xujiahe Formation outcropped in the Western margin of Sichuan Basin. Based on the recent geological investigation, we discovered well-preserved fossil woods with clear growth rings, which indicated that warm climate developed during the Xujiahe Formation deposited. The growth rings of fossil wood showed seasonal fluctuations. It was thought that the climate alternation was closely related to the megamonsoon which was prevalent from the Permian to the Triassic. Average sensitivity of the tree rings of fossil woods was calculated to less than 0.3, which showed the balanced water supply. The plant growth was strongly influenced by the megamonsoon developing during the Late Triassic.

Key words Megamonsoon; fossil wood; tree ring; palaeoclimate; Late Triassic; Xujiahe Formation

(be continued from page 313)

0.14-0.10, and the minimum for the straight reach, which less than 0.10%. The flow velocity of the bankfull discharge is also larger for the braided, moderate for the meandering and least for the straight reaches. Its variational extent decreases downwards along the three channel patterns. The gross power of stream flow is decreases from the braiding via meandering to straight reaches and its ratio is 2.31 : 1.35 : 1. The specific power of stream flow is minimum for the braided, maximum for the meandering and moderate for the straight reaches and its ratio is 0.52 : 1.18 : 1. The channel bed sediment is relatively fine and generally lacks the roll component. The median grain size is 3.0ϕ , 3.2ϕ and 3.67ϕ for the braided, meandering and straight reaches, respectively. Furthermore, the sediment sorting is also enhanced along the different channel reaches downwards. Be enslaved to the abovementioned depositional dynamics, the sedimentation rate on channel bed is different among the three channel pattern reaches. It is the minimum for the braided, maximum for the meandering and moderate for the straight reaches when discharge is moderate to large, and it is approximative among the three channel pattern reaches, but a decrease tendency downwards, when discharge is small. In addition, the sedimentation rate on braided channel bed evidently depends on the variation of discharge and decreases with increasing discharge.

Key words depositional dynamics; sedimentation rate; braided channel; meandering channel; straight channel; Lower Yellow River