

黄河下游河床纵剖面形态及其地文学意义

陆中臣¹, 周金星², 陈 浩³

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国林业科学研究院林业科学研究所, 北京 100093;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 本文通过河床比降和凹度两个指标, 研究黄河下游河床纵剖面形态的自动调整作用, 结果发现比降和凹度多年平均值分别为 1.28 和 1.35, 偏离均值为 1~2%, 变化很小, 说明黄河下游河床纵剖面以近于平行抬升的形态调整, 标志着河道已进入了老年期发育阶段。对于研究河道发育史和老年期河道的特点, 以及在治河上均有重要的理论和现实意义。

关键词: 黄河河床纵剖面; 加积作用; 沿程淤积; 溯源淤积; 准平原; 老年期河流

中图分类号: P931.1 **文章编号:** 1000-0585(2003)01-0030-09

1 前言

关于黄河下游河床纵剖面形态的调整, 研究的方法很多, 如水位法^[1,2]、河口延伸与河床演变相关沉积法^[3~6]、数学模型法等^[7,8]。主要是评价沿程冲淤和溯源冲淤的作用, 其结果各有侧重。如张仁^[1]利用 3000m³/s 流量相应水位资料对比了不同年代的河流纵剖面, 得出黄河下游自 30 年代至 50 年/70 年代纵剖面平行抬升的结论; 尹学良^[2]同样利用 3000m³/s 流量水位变化, 取 5 年为时间长度进行统计, 发现在不同年份没有趋势性规律, 认为河道的冲淤主要为沿程因素所致; 王恺忱^[3]利用滩面高程的变化及其与河口延伸的关系, 说明黄河下游纵剖面是平行抬升的; 庞家珍^[4,5]、谢鉴衡^[6]等认为河道延伸及改道是造成黄河下游纵剖面升降的主要因素, 即溯源冲淤因素为主, 且影响程度自下而上逐渐减弱, 直至洛口附近; 贾绍凤等^[7]从理论上用数学语言解释了河床平行抬升的原因, 得出冲积河流下流河床在基面抬升的持续作用下平行抬升的结论, 即溯源淤积是黄河下游河床平行抬升的根本原因; 魏合龙等^[8]认为黄河下游沿程冲淤主要与流量及含沙量的变化有关, 而溯源冲淤是由于河流下游基准面的变化, 主要为河长的改变引起, 根据 1952~1992 年的资料, 利用多元线性回归方法分析黄河下游各站的冲淤变化, 即沿程因素在洛口以上河段的影响较为明显, 影响幅度可达 2.52m, 利津以下河段影响已不显著, 幅度为 1.13~1.22m; 溯源因素在利津以下河段影响显著; 幅度可达 1.77m, 向上游减小, 至花园口影响幅度为 0.75m。

综上所述, 虽然大量的研究方法涉及到黄河下游河床纵剖面形态的自动调整, 但惟独从宏观的角度, 用比降和凹度指标研究纵剖面形态的调整少见。因此, 本文具有从地貌学角度研究的特点。通过最小二乘法 and 抛物线法对长时段和长距离的比降和凹度值进行了计

收稿日期: 2002-05-18; 修订日期: 2002-08-22

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (G1999043604)

作者简介: 陆中臣 (1935-), 男, 安徽萧县人, 研究员。主要从事流域地貌系统、河床演变、环境地学等研究。

算, 结果表明, 二个指标值变化很小, 说明黄河下游河床纵剖面多年平均为近于平行抬升的形态调整, 进而说明黄河下游是一条加积性准平原化的老年期河流, 不过它是在下沉的环境中形成的, 不同于台维斯的在地壳上升地面剥蚀而形成的准平原, 但结果皆为准平原。黄河下游发育到老年期阶段, 一方面意味着在发育史上已到了临界阶段, 河床淤积加重, 河道萎缩; 另一方面抵挡历史大洪水的能力大大减小, 出现大险、大灾的机会更多。

2 纵剖面显示的信息

本文用河床比降和凹度两个指标显示纵剖面的形态信息。众所周知, 河床比降是一个河段的落差与水平距离之比值, 而纵剖面则是沿程变化。为了能较精确的比较, 我们用最小二乘法计算比降, 其算式如下:

$$J = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (1)$$

式中: J —比降 ($\%$); n —断面号, x —相等的断面间距 (km); y —断面高程 (m)。通过对花园口至利津段深泓的河床比降计算表明, 其平均值为 1.28 (表 1)。

表 1 黄河下游比降和凹度指标历年变化

Tab. 1 Changes of gradient and concavity indexes in the lower Yellow River during the past years

项目	年份													
	1954	1958	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	
比降 ($\%$)	1.29	1.30	1.28	1.29	1.27	1.29	1.29	1.27	1.27	1.28	1.29	1.27	1.29	
凹度	1.36	1.36	1.32	1.34	1.33	1.33	1.36	1.37	1.37	1.39	1.37	1.3	1.36	
项目	年份													平均
	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	
比降 ($\%$)	1.28	1.26	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.28	1.28
凹度	1.36	1.36	1.36	1.36	1.34	1.33	1.34	1.36	1.35	1.35	1.33	1.30	1.30	1.35

可以看出, 从三门峡水库建成后, 不同运用阶段的河床比降变化很小, 与均值偏离在 1~2% 左右, 说明黄河下游河流纵剖面是平行抬升的。为了定量地描述纵剖面形态, 用凹度指标表示, 所谓凹度就是河流纵剖面向下凹的程度, 具体的来说, 就是抛物线方程的指数 (n), 其方程的形式为^[9]:

$$h = H \left(\frac{l}{L} \right)^n \quad (2)$$

式中: h —纵剖面线上某点的高 (m); H —最高点高程 (m); l —某一点距河口的距离 (km); L —纵剖面水平距离 (km)。 n —抛物线方程指数。

n 值确定的方法: 即把全河或某河段的纵剖面图绘出之后, 通过上下两端点作矩形, 而纵剖面线将把矩形分成上下两半, 用上下两面积之比, 此值便是全河或河段的纵剖面形态指标 (n)。当 $n > 1$ 时, 即纵剖面为凹型, 小于 1 者为凸型, 等于 1 者则纵剖面为直线型。计算结果表明 (表 1), 黄河下游河床纵剖面属于下凹型, 其多年平均凹度值为 1.35,

与均值的偏差在 1~2%左右,说明黄河下游河床纵剖面调整的形式也是平行抬升的。其拟合的河床纵剖面抛物线方程为:

$$h=82.85\left(\frac{l}{L}\right)^{1.35} \quad (3)$$

3 河流纵剖面平行抬升的旁证

黄河下游是一条强烈堆积性河流,它的纵剖面具有向上抬升的总趋势,但至今纵剖面的形态在沿程淤积和由基准面上升引起的溯源淤积共同的作用下,表现为接近平行抬升的淤积形态,其旁证如下。

有关黄河下游河流纵剖面平行抬高的问题,研究的人较多,如王恺忱^[3]及张仁等^[1],都曾出示过纵剖面平行抬升的证据。王恺忱依据河口延伸长度与水位升高关系提出,在 1855 年至 1976 年间,实际走水 87 年,河口延伸共 61km,相应水位累计抬高 4m,平均每年升高 4.6cm。又根据山东、河南河段滩地淤积情况加以比较,认为山东河段左右岸共有 20 处滩地,年平均升高速度为 4.5cm;河南段除在 1855 年以前的计有 9 处,亦得到年平均淤厚为 4.5cm,此与河口延伸引起的平均升高 4.6cm/年是相应的。还根据 1956~1975 年黄河下游各站水文资料,从高村以下至利津各站此期水位升高值在 2.07~2.38m 之间,与此同期,河口延伸 32km 引起的升高值 2.10m 亦是相应的,都说明纵剖面平行抬高。张仁等统计了历年(1934~1957 年)汛后 3000m³/s 的水位值,并用来绘制出黄河下游的纵剖面图,由图可以看到,30 年代的点子基本上落在 1975 年的曲线上,而 1952 年的纵剖面形态则和 1975 年的十分相似,并无显著差别。由此可见,经 30 年代到 70 年代,黄河下游纵剖面形态一直具有比较稳定平行抬升的特点。贾绍凤^[10]为了进一步证明黄河下游纵剖面平行抬升,又作了统计检验,利用滑动平均法统计各站 3000m³/s 流量相应水位,也得出平行抬升的结论,同时还得出滑动平均的时间长度越长,趋势越明显。对冲积河流下游河床持续抬升,用数学模型的方法分析,亦得到黄河下游纵剖面平行抬升的结论。

4 显示信息的解译

4.1 黄河口基准面变化的作用

黄河下游河床纵剖面平行抬升,是沿程淤积和由基准面上升而引起的溯源淤积共同作用结果,但必须强调,至目前为止,黄河下游纵剖面的调整,在来水来沙、河床粒经和糙率不变的条件下,主要是在河口延伸引起的溯源淤积作用。因此,在讨论纵剖面平行抬升时,必须首先分析基准面变化对溯源淤积的影响。

黄河河口侵蚀基准面变化对黄河下游演变有两种作用:一种是由于河口的淤积延伸,基准面相对抬升而引起的溯源淤积;另一种是由于河口三角洲上的河道摆动改道,流路缩短,基准面相对下降而引起的溯源冲刷。此节仅介绍由于基准面相对上升,而引起的溯源淤积影响范围。这个问题看法不一,仅谈作者的意见。

我们是用抛物线法和沉积物厚度变化综合分析确定溯源淤积的影响范围。抛物线法就是以河口改道那年的纵剖面为基础,用拟合的抛物线方程,将其概化成圆滑的下凹型理论剖面线,然后将延伸时段内每年实测的纵剖面线,都拟合成抛物线方程,用抛物线方程将

历年实测的剖面线概化成圆滑的曲线，再与理论曲线套绘，看诸线间的关系，因为下游是淤积性河道，所以，溯源淤积的纵剖面线，与理论曲线一般是渐近的关系，而不是相交的关系，其渐近距离最小处，则为溯源淤积影响的上限。就这样确定了 1955~1960 年的 O_1 点和 1964 年~1975 年的 O_2 点，其溯源淤积的上限分别为孙口和苏酒庄。另外，我们还拟合了三门峡下泄清水期间，1961~1963 年的纵剖面线，虽然河口延伸 14km，但溯源淤积的影响上限仅到二号坝附近如 O_3 ，由此可见，三门峡水库清水冲刷的作用（见图 1）。

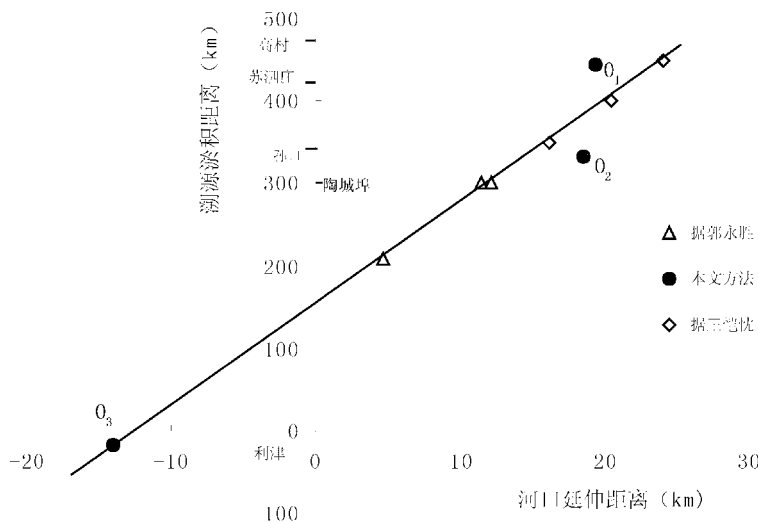


图 1 河口延伸与溯源淤积关系

Fig. 1 The relationship between the extending of the river mouth and the headward aggradation

为了客观地确定溯源淤积的上限，笔者又分析了下游不同河段淤积厚度的变化，因为产生淤积的原因不同，其淤积厚度也不同，如以来水来沙影响为主而产生的沿程淤积，其淤积厚度上大下小；而以基准面相对上升而产生的溯源淤积，则淤积厚度下大上小，根据两者的衔接处，即可确定溯源淤积的上限（表 2）。

表 2 溯源淤积时下游淤积厚度的变化

Tab. 2 Changes of sedimentation thickness in the lower Yellow River during headward sedimentation

淤积厚度 (m)	花园口	苏酒庄	孙口	洛口	利津
1955~1960	0.83	1.44	0.70		1.30
1964~1975	2.35	2.01	2.15		3.23

由表可以看出，1955 年~1960 年和 1964 年~1975 年溯源淤积上限，分别为孙口和苏酒庄，这与上述方法确定的位置一致。

为了弥补更远历史时期缺乏资料的不足，又将王恺忱^[3]三次大循环的资料和郭永盛^①近代海岸变化的资料点绘在图上。据王氏的研究，黄河河口三角洲，自 1855 年以来已完

① 郭永盛. 近代黄河三角洲海岸的变迁. 打印稿. 山东师范大学, 1979.

成近三次大循环,如 1875~1926 年第一次大循环结束时,三角洲岸线由距三角洲扇面轴点宁海村 40km 处平均向外延伸至 61km 处,实际延伸 21km;1926~1953 年第二次大循环中,此期间平均岸线延伸至 77km 处,实际延伸 16km;1953 年后三角洲扇面轴点向下移约 30km 至渔洼村附近,到 1975 年改道清水沟前夕,三角洲岸线较原 1953 年岸线又外延了约 24km,溯源淤积的最远点到高村附近。郭永盛根据近代黄河三角洲海岸的变化,得出不同时段海岸推进的距离,如 1855~1935 年岸线推进了 11.8km,1935~1955 年岸线推进了 4.6km;1955~1975 年岸线增长了 11.5km,溯源淤积的最远点约在陶城埠附近,如图 1 所示。在此要说明的是:由于黄河口入海走水时间的不同,因此由河口延伸引起溯源淤积影响的最远点也不同,而本文所指的只是影响的最远点,由此可见,溯源淤积占整个下游河长的 62%左右,足以说明河口延伸的作用是很大的。

4.2 纵剖面平行抬升原因分析

河流纵剖面存在自动调整作用。河床的冲刷和淤积为河流加重或减轻了负担,调整比降和纵剖面形态是水流挟沙能力与来沙量相适应的一种手段。

黄河下游河道身处特殊的地理环境中,流经不同的地貌部位,由于流域的来沙量和水流的挟沙能力不相适应,所以,自发育以来,就是一条加积性河流,其河床比降和纵剖面形态在加积的环境中作自动调整。由于地貌类型的影响,各段调整的形式不同,如黄河在出山口的河南段,身处复合冲积扇上,地面坡度突然减缓,为了力求水流挟沙能力与来沙量相适应,河床比降以沿程淤积的方式调整增大;人工控制的顺直微弯段,流经在冲积平原和河口三角洲的地貌部位上,由于河口三角洲的前缘不断淤积向前推进,河长不断增加,基准面相对上升,河床比降以溯源淤积的方式调整减小;处于叠加的冲积扇前缘的弯曲段,为了要在河口不断延伸的条件下保持一定的输沙能力,通过沿程淤积和溯源淤积的共同作用,每年在河道中淤积一定数量的泥沙,其结果将使整个河段平行抬升,这是两种效应合成的动态平衡比降和相应的纵剖面形态的结果,也就是说,只有当纵剖面形态与流域水文状况和地理环境相适应而达到稳定时,这种自动调整作用,才能促使河流纵剖面在多年平均情况下平行抬升。

有人认为,黄河下游无急流段,河口的影响能向上传播到峡谷口,这种意见笔者不反对,但根据我们的分析认为,溯源淤积影响范围很大,可直至高村附近。

那么淤积状况下纵剖面近似平行抬升,冲刷状况又如何呢?我们计算了黄河下游从铁谢至利津,在三门峡水库下泄清水期间,不同河段的比降(表 3)。由表 3 可见,黄河下游各河段比降的逐年变化不大,即说明是平行下切的。另外,还以断面冲刷和距离的加权平均计算了河段的平均冲刷深度。结果表明,1960 至 1964 年全下游累积平均冲刷深度为 1.57m,铁谢至高村冲刷为 1.52m,高村至利津为 1.49m^[11],由此可见,没有单向的偏离均值的变化。

表 3 黄河下游冲刷阶段不同河段比降值

Tab. 3 The gradient values of reaches in the lower Yellow River during degradation

河段比降 (%)	1960	1961	1962	1963	1964
铁谢至高村	2.14	2.11	2.11	2.11	2.12
高村至利津	1.14	1.13	1.12	1.13	1.12
铁谢至利津	1.52	1.50	1.50	1.50	1.51

综上所述，长距离纵剖面形态，不同河段纵比降和沿程冲刷深度值变化均不大，表明河床纵剖面在冲刷过程中，以近似于平行下切方式调整，原因作如下分析：

从河床挟沙能力的角度看，水库下泄清水以后，下游河道要降低河槽的挟沙能力，才能与上游来沙量大幅度减少的情况相适应。过去一般认为调整挟沙能力的最有效途径是调整比降，在短距离内集中冲刷，使河床比降很快调平，甚至设想可以迅速减少到使泥沙不再起动的临界极限比降，这一段河道不再供应泥沙，然后冲刷向下游发展，随着下段的冲刷，又引起上段的溯源冲刷，使上段河床继续保持极限比降而近于平行下切。

最近的研究认为^[12]：一方面冲刷很快发展到相当大的距离，比降不容易有大幅度的调平；另一方面，挟沙能力的降低可以在相当大的程度上通过河床物质的粗化作用完成。如野外资料证明，如果河床组成物质粗到有可能形成抗冲铺盖层，则挟沙能力的降低主要通过河床粗化作用完成。水槽试验的结果同样指出：如果床沙组成沿程比较均匀，一部分较粗的颗粒能够形成抗冲铺盖层时，河床将平行于原始的坡降整体下降。

还可从力学的角度来解释。众所周知，泥沙在运动过程中进行分选，不管流域的情况如何，结果上游床沙粗而下游细。因此一条河流从上游到下游，床沙组成沿程分布不可能是均匀的，又由于比降和床沙粒径成正比关系，所以河床比降也是上游大而下游小，基于以上的认识，我们可以从泥沙对水流的抵抗力与水流拖曳力间的相互关系用洛赫钦 (D/J) 数来解释，其中：D (mm)；J (%)。当泥沙对水流的抵抗力大于水流拖曳力时，即此值大于 1，且越大河床越稳定；小于 1，河床极不稳定。如果上下游各河段的洛赫钦数相等或接近，则河床的稳定性一样或接近，这种情况，只能是床沙粒径上粗下细和比降上大下小才有可能。如果上下河段河床的稳定性基本相等，则在水库下泄清水时，沿河床的下切也应接近相等，既然河床下切沿程相等，纵剖面就以近于平行下切的形式调整。黄河下游沿程各河段的资料证实了这个结论。如各水文站的洛赫钦数值 (表 4)。

表 4 黄河下游各水文站的洛赫钦数 (D/J)

Tab. 4 The Lokhtion number (D/J) at various ganging stations in the lower reaches of the Yellow Rirer

站名	秦厂	高村	孙口	艾山	洛口	利津	前左
D/J	0.47	0.40	0.58	0.56	0.57	0.57	0.59

由表看出，黄河下游各站的洛赫钦数均小于 1，这则说明上下河段皆不稳定。而且洛赫钦数的数值变化不大，属于同一数量级，也就是说，上下段河床的稳定性程度基本一样，所以当清水下泄一定时间后，纵剖面呈现近于平行下切方式调整。这也充分说明了河床粒径与比降综合的作用。

5 在地文学上的意义

通过黄河下游河床比降和纵剖面下凹度指标的定量分析，得出黄河下游河流纵剖面形态多年平均平行抬升的结论，这在地文学上意义是什么呢？大家知道，黄河下游已是一条加积性准平原化的河流，它标志着已发育到了以河口延伸起主要作用的老年期阶段。在此要强调指出，这里提出的加积性准平原化这一术语，目的是要与台维斯的侵蚀旋回图式中的准平原区别开来。台维斯的侵蚀旋回图式是以地壳上升开始的，也就是说，一个地区的

地形演变开始于地层的隆起。在地壳上升的同时,必然伴随着河流的下切和地面剥蚀作用的加强,在为期较短的幼年期内,地面起伏迅速增加。在随之而来的成熟期内,地表起伏最大,并且有各种极其不同的形态。过了一个地表起伏渐次减小的过渡时期后,便是漫长的老年期,这时地势起伏的痕迹已不复明显,只是个别硬岩地段,因抗侵蚀强而保留下来,成为低矮的孤立残丘,任何进一步的改变都进行得极为缓慢。这种长期侵蚀发展所形成的夷平面为准平原。准平原主要为基岩构成的微缓起伏地面,上面可以覆盖不厚的疏松堆积物或风化物,因此,这种准平原与黄河下游地壳长期下沉加积的深厚堆积平原是不同的,黄河下游是负地形的演变模式,我们称这种以下沉为主堆积形成的平原为加积性准平原化,随之其上发育的河流,称之为加积性准平原化的河流,这也是一种老年期河流。

这种河流具有自身的发育和演变特点。自黄河下游发育以来,一直是地壳下沉为特点的沉积环境,由于不断的沉积作用,填平拗陷构造,形成埋藏地貌,如湖泊的淤平、丘陵的沉沦、平原地势的起伏,即黄河由地下河变成地上河,形成了淮、海水系的天然分水岭,这种由河流演变形成的准平原地形,主要由于地壳下沉,并且沉积速度大于下沉速度造成的,不同于台维斯的侵蚀旋回中由于地壳上升长期侵蚀形成的准平原。不管是地壳上升地面剥蚀形成的准平原,还是由于地壳下降形成加积性准平原,其地面坡降都很小,与流经其上的河流比降更小是一致的,同属老年期的河流和地形。

另外,黄河下游河道,因处于加积准平原化的老年期阶段,因此,纵剖面已是一条接近于基面的微微起伏的倾斜面,比降很小。由于黄河下游是一条加积准平原化的河流,基准面变化影响范围大,加之溯源淤积和沿程淤积协调叠加衔接,使得主要河段纵剖面多年平均平行抬升,因此,可以说,黄河下游发育到加积性准平原化的老年阶段,纵剖面以平行的方式调整是必然的结果,为了比较准平原和准平原化河流的特点,列表 5 如下:

表 5 准平原类型的判别

Tab. 5 Distinction for the type of peneplane

河流类型	物造 营力	地形演变 模式	覆盖物 厚度	河流 属性	纵剖面 形态	比降	发育 阶段
准平原河流	上升	正地形侵蚀	薄	地下河	直线式小凹度	小	老年期
准平原化河流	下沉	负地形堆积	厚	地上河	上凹	小	老年期

6 结论

(1) 从黄河下游河床比降和下凹度两个指标显示的信息看,多年平均纵剖面是近于平行抬升,说明河道已进入了老年期阶段,取名为加积性准平原化河流。

(2) 黄河下游河床纵剖面平行抬升,是由于沿程淤积和因河口基面相对抬升而引起的溯源淤积协调叠加衔接动态平衡自动调整的结果,这是老年期河流的重要标志之一。

(3) 对黄河下游来说,加积并不是老年期河流的标志,因为它从发育以来,一直处于加积的环境之中,只有当加积使地下河变成地上河时,才算进入老年期阶段。

(4) 老年期河流一方面意味着在发育史上已到了临界阶段,河床淤积加重,河道萎缩;另一方面抵挡历史大洪水的能力减小,出现大险、大灾的机会更多。

参考文献:

- [1] 张仁. 黄河的淤积形态和黄河下游持续淤积的重要原因. 泥沙研究, 1985, (3): 1~10.
- [2] 尹学良. 黄河下游平衡纵剖面的塑造. 见: 左大康主编. 黄河流域环境演变与水沙运行规律文集. 北京: 地质出版社, 1991. 163~171.
- [3] 王恺忱. 黄河河口与下游河道的关系及治理问题. 泥沙研究, 1982, (2): 1~10.
- [4] 庞家珍, 司书亨. 黄河河口演变Ⅲ 河口演变对黄河下游的影响. 海洋与湖沼, 1982, 13(3): 218~224.
- [5] 庞家珍. 黄河三角洲流路演变及对黄河下游的影响. 海洋湖沼通报, 1994, (3).
- [6] 谢鉴衡. 论黄河下游纵剖面形态及其变化. 人民黄河, 1980, (1): 1~10.
- [7] 贾绍凤, 陆中臣. 冲积河流下游河床持续抬升的数学解释. 见: 王广德, 朱振源. 地理系统研究文集. 大连: 大连出版社, 1991. 147~160.
- [8] 魏合龙, 李广雪, 周永清. 黄河下游沿程冲淤和溯源冲淤的对比研究. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(4): 55~61.
- [9] 叶青超, 陆中臣, 等. 黄河下游河流地貌. 北京: 科学出版社, 1990.
- [10] 贾绍凤. 黄河下游河床纵剖面平行抬升的统计检验. 地理研究, 1994, 13(2): 1~10.
- [11] 陆中臣. 黄河下游清水冲刷阶段河床的调整及其对基准面变化的反应. 地理研究, 1984, 3(2): 35~44.
- [12] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学. 北京: 科学出版社, 1987.
- [13] 陈浩, 周金星, 陆中臣. 黄河中游流域环境要素对水沙变异的影响. 地理研究, 2002, 21(2): 179~187.
- [14] 许炳心. 黄河三角洲造陆过程中的陆域水沙临界条件研究. 地理研究, 2002, 21(2): 163~169.

River bed longitudinal profile morphology of the lower Yellow River and its implication in physiography

LU Zhong-chen¹, ZHOU Jin-xing², CHEN Hao³

(1. Eco-Environment Research Center, CAS, Beijing 100085, China;

2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry Science, Beijing 100101, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: A number of research approaches, such as digital analysis, relationship between river mouth extension and channel evolution, sedimentary analysis, channel topographic map comparison, and hydrologic regime research, have been presented in studying the adjustment processes of the river bed longitudinal profile morphology of the lower Yellow River. Theoretically, it is basically concerned about the evaluation if the role of downward and headward silt-clearing. Comparing the river bed longitudinal profile of different years in terms of the data of water level corresponding to the discharge of 3000 m³/s, Zhang Ren (1985) concluded that the longitudinal profile of the lower Yellow River had been elevated during the 1930s to the 1970s. By means of digital analysis, Jia Shao-feng et al. (1992) have theoretically demonstrated that the retrogressive aggradation due to continual base-level rise was the basic reason for the uniformly elevated channel bed of the lower reaches of the river. On the basis of the change of flood-plain height and the associated river mouth extension, Wang Kai-chen (1982) has also indicated that the river bed longitudinal profile

at downstreams was uniformly elevated. Pang Jia-zheng et al. (1982) and Xian Jian-heng et al. (1980) have shown that the main controls on the lower Yellow River's longitudinal profile were channel extension and course changes, and that the effect of the headward degradation and aggradation declined gradually from downstreams to upstreams and finally was over in Luokou. By the statistical analysis of 5-year water level change with a discharge of $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, Yin Xua-liang(1991) has shown that annual water level change was different and degradation and aggradation should have been caused by downward factors. Wei He-long et al. (1996) have indicated that the downward degradation and aggradation of the lower Yellow River was principally related to the variations of discharge and the silt content and that the headward degradation and aggradation was resulted mainly from base-level change at downstreams which was basically due to change of river length.

To sum up, although for the lower Yellow River a number of research methods were concerned with the self-adjustment of the river bed longitudinal profile morphology, the morphological indexes, gradient and concavity had been paid little attention to. This paper calculated the values of gradient and concavity indexes for the long-term and long-distance river bed longitudinal profile of the lower Yellow River using the least square method and the parabolic partial differential equation. Minor variations in both the gradient index and the concavity index indicate that the entire lower Yellow River has almost uniformly elevated its river bed over a long period of time in the self-adjustment of the river bed longitudinal profile morphology, and that the lower Yellow River has become an aggradational peneplane reach. The nearly uniform elevation of the lower Yellow River may have resulted from downward sedimentation and headward sedimentation caused by relative base-level rise in the river mouth. The aggradational process had introduced underground streams to run on the surface, in such a case, the entire lower Yellow River became an old-stage stream.

The old-stage stream implies that the channel development may have achieved a critical stage which heavy aggradation and channel decline may have occurred. On the other hand, the capability against historical floods may have greatly decreased, and disasters may have frequently happened.

Key words: river bed longitudinal profile; aggradation; downward sedimentation; peneplane; headward sedimentation; old-stage stream