

# 陕南河流泥沙输移比问题<sup>\*</sup>

吴成基 甘枝茂

( 陕西师范大学地理系 西安 710062 )

**提 要** 通过分析陕南河流泥沙的输移比现状、输移比的时空变化及发展趋势, 指出在特定的自然地理条件下, 泥沙中推移质比例较大, 致使该区泥沙输移比远小于 1, 这是陕南河流泥沙运移的重要特征; 输移比在空间上有明显差异并且沿程逐渐增大。从时间上看, 自 50 年代以来, 输移比有不断减小的趋势, 今后一段时间, 随着区内河流流量的减少和人为侵蚀作用的加剧, 泥沙输移比仍会减小。

**关键词** 陕西 河流泥沙 输移比 推移质 悬移质

**分类号** 中图法 P333.4

陕西秦岭以南分属于商洛地区、安康地区和汉中市, 简称陕南, 秦岭山脉纵贯本区北部和中部, 大巴山脉在其南部东西向延伸, 地质构造和岩性复杂, 岩浆活动强烈, 以石质中山地貌为主, 山大沟深。汉中盆地、安康盆地和商丹盆地是三个较大的盆地, 低山丘陵展布在盆地周围。区内水系众多, 除商洛地区洛河流域外, 均属长江流域, 汉江和丹江是两大主要河流(图 1)。

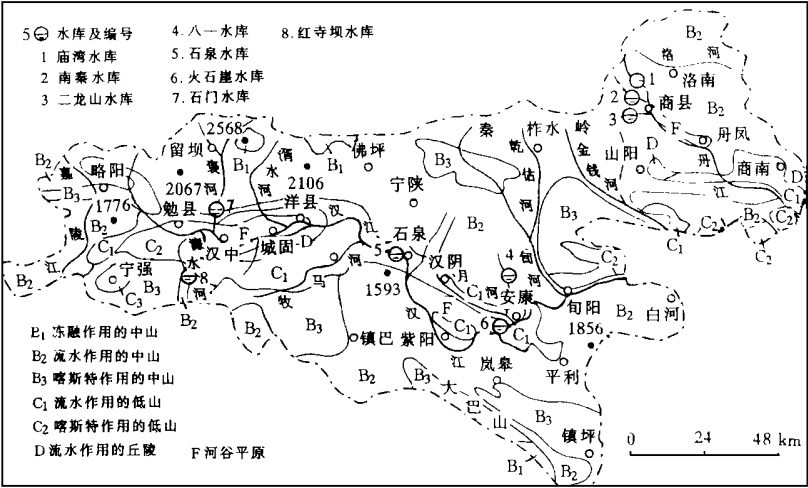


图 1 陕南地貌和主要水系图

Fig. 1 Geomorphology and main water system in South Shaanxi

<sup>\*</sup> 本文为陕西省自然科学基金项目“陕西省长江流域水土流失及防治研究”中的部分内容。文章撰写中引用了陕南三个地区及部分县的水保区划报告中的有关数据, 特此致谢。

第一作者简介: 吴成基, 男, 1944 年生, 副教授, 水文工程地质专业。

收稿日期: 1996- 07- 15; 改回日期: 1997- 03- 10

特殊的地质地貌条件和频发的暴雨、洪水、泥石流及日益频繁的人类各种不良工程活动,使区内水土流失正在加剧。由于侵蚀物质较粗,常作为推移质被流水搬运并沿程沉积,这样就使根据河流输沙量确定出的侵蚀模数值常常偏小。为了正确认识陕南的土壤侵蚀问题,给防治水土流失提供科学依据,有必要研究河流泥沙的输移比,以深刻揭示侵蚀产沙与河流泥沙运移沉积的规律。

## 1 输移比现状

输移比是指流域实测输沙量与流域侵蚀总量之比。当流域侵蚀物质愈是以悬移质状态被流水搬运时,所测得的输沙量与流域侵蚀量相差愈小,此时,河流泥沙输移比愈接近 1,如在黄河中游的大部分地区输移比就属于这种情况<sup>[1]</sup>。但是陕南参与侵蚀的物质远较黄河中游地区复杂多样,而且粗碎屑物质所占比例很大,一般小于 1 mm 的泥沙以悬移质的形式被流水搬运,而大于 1 mm 的泥沙则以推移质形式被流水搬运,这部分推移质在河流全沙中的含量一般可达到或超过悬移质量,现据陕南水文泥沙及水保资料将部分流域悬移质与推移质之比及输移比汇编、估算列于表 1。

表 1 陕南部分流域泥沙输移比估算表

Table 1 Estimation about the silt delivery ratio in the part of drainage basin in South Shaanxi

| 流域或地区   | 悬移质:推移质  | 输移比   | 流域或地区   | 悬移质:推移质  | 输移比   |
|---------|----------|-------|---------|----------|-------|
| 丹江沿岸丘陵  | 1: 1. 7  | 0. 37 | 安康月河流域  | 1: 1. 5  | 0. 40 |
| 商县二龙山水库 | 1: 0. 9  | 0. 53 | 汉阴县     | 1: 1. 04 | 0. 49 |
| 商县杜家沟   | 1: 1. 7  | 0. 37 | 宁陕县     | 1: 1. 27 | 0. 56 |
| 商县庙湾水库  | 1: 0. 9  | 0. 53 | 石泉县     | 1: 3. 17 | 0. 24 |
| 商县南秦河上游 | 1: 1. 37 | 0. 42 | 南郑红寺坝水库 | 1: 1. 22 | 0. 45 |
| 山阳金钱河流域 | 1: 1. 49 | 0. 40 | 略阳嘉陵江流域 | 1: 0. 7  | 0. 59 |
| 镇安县     | 1: 1. 41 | 0. 42 | 略阳沮水河流域 | 1: 0. 7  | 0. 59 |
| 安康地区    | 1: 0. 82 | 0. 55 | 留坝县     | 1: 1. 65 | 0. 37 |

由表 1 可知,该区河流泥沙的输移比普遍远小于 1,这是陕南河流泥沙运移中的一个重要特征。河流泥沙的推移质量和悬移质量也不是固定不变的,随水动力和地貌等条件的变化可以互相转化。作为推移质,既可以被流水以推移的方式向下游输送,也可在相应条件变化时沿程沉积;作为悬移质,在适当的条件下,也可成为推移质甚至沿程沉积。

## 2 推移质的产生

陕南地质地貌复杂,在各种地质作用影响下,岩石风化破碎,形成大面积分布的易侵蚀岩土,包括第四纪各种成因的松散堆积物(如主要由基岩风化物形成的山地石渣土等)、前第四纪抗蚀力弱的粘土岩类、部分砂岩、片岩、板岩、千枚岩及风化的岩浆岩等。大量的风化碎屑物成为推移质丰富的物质来源,其中 0. 1~ 0. 25 mm 者成为悬移质的主要来源,> 0. 25 mm 特别是 0. 5~ 5 mm 者成为沙质推移质的来源。

由于地形高差悬殊,陡坡峭壁比比皆是,夏秋之际,暴雨频频,使得重力侵蚀的泥石流作用成为泥沙推移质最重要的产出方式。重力侵蚀表现为以下三种形式:一是在中高山区一些陡峭临空的坚硬半坚硬岩类如碳酸盐岩、碎屑岩类和火山岩类分布区,岩石性脆,裂隙发

育, 风化破碎岩块在重力作用下骤然崩落, 形成崩塌; 二是在疏松的花岗岩、闪长岩、砂岩等陡坡常有风化物沿坡面向下滚动形成泻溜侵蚀; 三是各种松散岩类和石质岩类滑坡。在区内强暴雨的作用下, 上述脱离母岩的碎屑物又常以泥石流和坡面流水的形式由山坡或支沟搬运至河流, 最终成为河流推移质。

近年来, 在陕南经济发展的同时, 人类工程活动造成的侵蚀也愈演愈烈, 采矿、修路、建厂产生的大量废渣废石随意倾倒沟底、河床, 其中一部分也成为河流推移质。

总之, 重力侵蚀作为陕南最重要的土壤侵蚀方式, 与人为侵蚀结合, 产出大量的粗粒物质, 使推移质在河流泥沙中所占比例较大。

### 3 输移比的变化

#### 3.1 输移比的空间差异

就输移比区域分布而言, 区内自然地理条件的差异决定了不同地区输移比的差异。影响输移比的因素很多, 岩性、地貌、水动力条件、河流纵比降以及土壤侵蚀方式、水库修建等都对其有影响, 而且是一种综合的影响。区内中高山风化的岩浆岩、变质岩分布区, 虽然河床比降较大, 但由于风化物质较粗、较多, 河流挟沙能力相对降低, 常产出大量的推移质, 输移比一般较小, 但是, 当侵蚀物较坚硬, 产沙少时, 河流的挟沙能力相对较强, 强大的水动力亦可使某些粗粒成为悬移质下泄, 输移比将会变大。低山丘陵及盆地周边一些砂、页岩、黄土分布区, 则主要产出悬移质泥沙, 输移比有所增大。某些河流因库坝等各种水利工程的拦蓄, 部分悬移质转化为推移质, 因而, 输移比较小。在泥石流频发的支沟, 虽产出各种较粗的碎屑物质, 但在强大的水动力条件下, 常倾泻而下, 输移比也较大, 但在泥石流沟口, 由于河道比降减缓, 大量悬移质转化为推移质并发生堆积, 输移比又变小。

输移比沿一条河流从上游到下游的变化称为沿程变化, 实质上是推移质和悬移质、搬运与沉积在流速、流量和河流比降等诸多变量影响下的相互转化的过程。

区内输移比的一般变化过程可概括如下: 各种岩石风化产物, 在崩塌、泻溜、滑坡及坡面暂时性流水等侵蚀作用影响下, 首先就近堆积于坡麓或支沟底部, 山区支沟纵比降大, 沟道窄, 在雨季常形成洪流或泥石流, 把大量固体物质搬运至支流、溪沟出口处的低洼较平坦地带, 成为大河上游固体物质的主要来源, 由于搬运物质颗粒较粗, 悬移质少, 一般较大河流上游的输移比较小, 并且有部分粗粒物质在河滩或河床发生沉积, 愈向下游河段, 由于河水流量的增加以及进入该段河流的粗粒物质的相对减少, 悬移质相对增多, 因此, 使泥沙输移比向下游呈逐渐增大的趋势。

实际上, 区内输移比的沿程变化是很复杂的, 愈大的河流愈复杂, 汉江、丹江等大河流更是如此。下面以丹江和汉江的输移比沿程变化来说明:

丹江流经商洛地区为其上游段。河源至商县二龙山水库段, 岩性坚硬, 河谷狭窄, 谷坡陡峭, 比降大(5‰~10‰), 洪水流速大, 挟沙能力强, 部分较粗泥沙亦可呈悬移质形式输送, 推移质量略小于悬移质量, 输移比为 0.53。二龙山水库以下河段, 主要分布的是风化严重的红砂岩和花岗岩, 产出的粗泥沙多, 推移质量大于悬移质量, 使输移比减小到 0.42<sup>①</sup>。

根据陕南主要水文站的悬移质泥沙量观测数据和水库淤积量资料, 结合对产沙量的估

① 长江流域水土流失综合调查队陕甘川小组. 商县泥沙专业调查报告. 1981. 11.

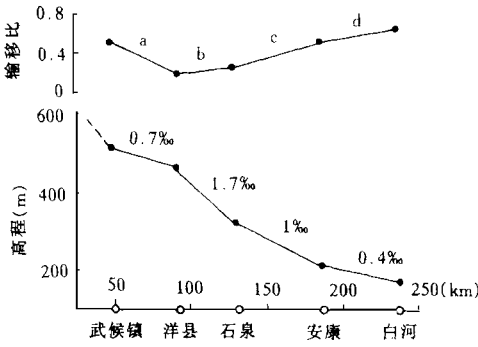


图2 汉江沿程输移比变化及与河流比降关系曲线

Fig. 2 The curve about the change of delivery ratio and the relation with river gradient along the Hanjiang River

算,我们绘制了汉江干流的输移比沿程变化曲线(图2)。

从图中可看出,总的趋势是愈向下游方向,输移比沿程在增大,并与河流的纵剖面比降有一定的对应关系,为说明这种关系,按测站将输移比曲线和纵剖面比降曲线分为a、b、c、d四段。

a段为武侯镇至洋县段。武侯镇以上为中山区,输移比0.53,悬移质与推移质比为1:0.89,推移质绝对量较小的原因是因河流主要流经略阳东部的封山育林区,林地面积高达71.3%,岩性为较坚硬的火山岩类及变质岩,重力侵蚀及泥石流等主要产粗碎屑的侵蚀方式不甚发育之故。武侯镇以下,汉江进入汉中盆地,河流比降减小至0.7‰,河谷展宽,流速减小,不仅发生淤积,且

悬移质向推移质转化,遂使输移比向下游洋县方向呈减小趋势,至洋县站为0.20。

b段为洋县至石泉段。汉江进入峡谷与宽谷相间段,以黄金峡最著名,峡谷深切300~400 m,河面最窄处仅30 m,比降达1.7‰,流速较大,流水的挟沙能力较前增大,输移比本应增加较大,但因石泉水库影响,在回水区流速减小,除推移质外,部分悬移质亦沉积,使该段淤积严重,至石泉站,由于悬移质的比例减小,输移比也随之减小,但其代数和仍呈增加之势,图中曲线开始上升。

c段为石泉至安康,虽坡度较b段减小,比降1‰,但无大的水库淤积(火石崖水库90年代初始建成),输移比较前段有所增加,图中曲线明显上升。d段为安康至白河,坡度减缓,比降0.4‰,但产流量大,水动力强,低山丘陵广泛发育黄泥巴土,粒径较细,悬移质大增,输移比呈增大之势,但终因河道比降小,仍有部分淤积,故图中输移比的增大曲线较c段要缓。

### 3.2 输移比的时间变化

主要受降水和水动力条件的影响,同一流域不同时期的输移比也在变化。一般说,当河流的径流量减小时,将会使河流的挟沙能力减弱,大量的推移质沉积,遂使此时输移比减小,反之,输移比将增大。

因区内未进行这方面观测统计(图3)<sup>①</sup>,现仅以汉江干流白河站为例,通过

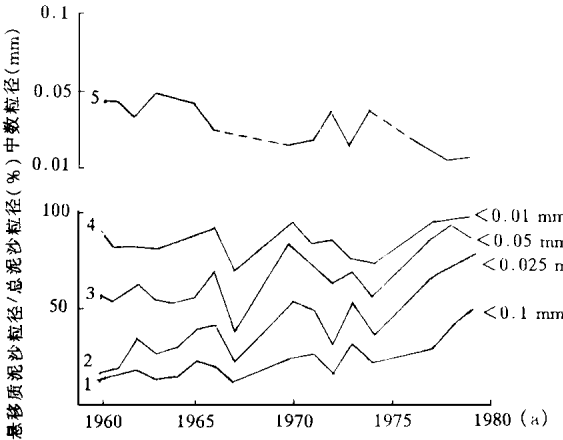


图3 汉江白河站逐年悬移质颗粒级配及中数粒径变化曲线

Fig. 3 The curve about yearly suspended load grain grade distribution and the change of medium grain size in Baihe station of the Hanjiang River

① 图3依据下列资料绘制:长江水利委员会长江流域水文泥沙资料. 1950~1970, 陕西省水文总局. 陕西省水文统计(第一册). 1928~1980.

其逐年悬移质泥沙的颗粒级配和逐年中数粒径变化来间接加以分析。

图 3 显示, 随着时间的推移, 汉江干流小于  $0.05\text{ mm}$  粒径的悬移质泥沙在总泥沙粒径中所占百分比在逐渐上升(曲线 1, 2, 3), 说明悬移质泥沙逐渐变细, 中数粒径的绝对值也在趋于变小, 这不是因为侵蚀物质变细了, 而是河流径流量在减小, 如汉江径流量从五六十年代的  $260\text{ 亿 m}^3$  减至 80 年代的  $228\text{ 亿 m}^3$ , 同期丹江的径流量由  $6.9\text{ 亿 m}^3$  减为  $4.1\text{ 亿 m}^3$ , 从而引起挟沙能力显著下降, 只能将更细的悬移质向下游输送, 换句话说, 就是推移质逐年堆积, 而以前作为悬移质的泥沙也会逐年转化为推移质并进而堆积。

另一方面, 建国以来人为引起的重力侵蚀逐年加剧, 这无疑使推移质在全沙中的比例增加, 也促使输移比减小, 因此, 可以认为, 从五六十年代以来, 陕南河流输移比呈减小趋势。

## 4 输移比研究的实际意义

### 4.1 输移比小所揭示的陕南河流、水库淤积问题

在产沙量仍很大的情况下, 输移比小说明推移质的量大, 推移质在淤积物中比例大是陕南泥沙淤积的一个显著特点, 河床因此而不断加高。如紫阳红椿坝 1979 年 7 月 14 日 19 时至 15 日 13 时降水  $161.7\text{ mm}$ , 引起山洪暴发, 大量推移质堆积河床, 在  $1\text{ km}$  长的河道上, 最大淤高  $3\text{ m}$ , 平均淤高  $1.5\text{ m}$ , 总淤积量近  $10\text{ 万 m}^3$ <sup>[2]</sup>; 在汉江河床城固江湾至龙王庙段, 从 1929~1973 年的 44 年间淤高  $2\text{ m}$ , 1963~1981 年平均每年淤高  $5\text{ cm}$ ; 汉江武侯段河床 12 年(1968~1980 年)淤高了  $0.56\text{ m}$ <sup>[3]</sup>; 丹江河床 50 年代淤高近  $3\text{ m}$ , 进入 60 年代, 每年河床淤高  $10\text{ cm}$  以上<sup>①</sup>; 南郑红寺坝水库 1961~1979 年入库水文泥沙统计, 多年平均淤积量  $22.1\text{ 万 m}^3$ , 其中推移质  $9.1\text{ 万 m}^3$ , 1979 年实测水库淤积达  $420\text{ 万 m}^3$ , 其中推移质淤积近一半<sup>②</sup>。在汉中、安康、商丹盆地, 注入汉江、丹江的不少支流, 由于推移质的大量堆积, 还形成了许多悬河地貌。

泥沙沉积引起的河床抬高和水库淤积, 使行洪困难, 洪水泛滥, 库容减少, 水库效益降低直至报废, 直接影响农业生产和水土保持工作的开展。

### 4.2 正确估价陕南的土壤侵蚀问题

目前, 陕南许多地方, 一方面由于人为破坏植被及大量的工程活动, 土壤侵蚀在发展, 生态环境趋于恶化, 昔日的青山绿水在许多地方已不复存在, 但另一方面所测得的土壤侵蚀模数却不大, 在人类活动频繁的中低山、丘陵区, 土壤侵蚀模数一般也仅在  $3\ 000\sim 4\ 000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$  左右, 使得土壤侵蚀还未引起人们的足够重视, 这的确是一个矛盾。但是, 通过对输移比的研究可以很好地把二者统一起来, 从而加深对土壤侵蚀的认识。实际上, 陕南各地产沙量还是很大的, 坡面侵蚀是很强烈的, 只是在特殊的侵蚀产沙条件下, 推移质产出比例高, 同时沿程淤积, 输移比小正说明了这一问题。目前测出的河流泥沙只是悬移质量, 在陕南输移比远小于 1 的情况下, 依据悬移质计算的土壤侵蚀模数不能反映真正的土壤侵蚀强度, 数值往往只是实际值的一半甚至不到一半, 显然偏小。这一问题在整个长江上游地区亦具有普遍性。通过区内输移比的研究, 不但可以恢复陕南秦巴山区土壤侵蚀的实际强度, 而

① 商洛地区水电局. 商洛地区水土流失和水土保持工作情况. 陕西省水土保持局. 陕西省长江流域水土保持文件资料汇编. 1982. 59.

② 陈景梁, 等. 红寺坝水库排沙模拟试验研究报告. 陕西省水利科学研究所. 1989. 1~8.

且为有关部门正确认识与防治长江上游的土壤侵蚀,做好水土保持工作也将提供科学而真实的依据。

## 5 输移比今后的变化趋势

目前, 陕南的水土流失仍在加剧, 抑制生态环境恶化的任务十分艰巨, 生态环境的良性循环还需一个较长的时间才能实现。由于推移质的增加使绝对产沙量增加, 悬移质变化不大, 因此, 在一段时期内输移比将有继续变小的趋势, 具体原因如下:

1) 多年来河流径流量的减小使挟沙能力下降的趋势仍在发展, 除推移质继续堆积外, 原先的部分悬移质也可能向推移质转化。从这一意义上来说, 只要河流径流量减小的趋势继续存在, 陕南河流输移比也将随时间而变小。

2) 由于多石质山地、丘陵, 基岩裸露, 多数火成岩、变质岩风化强或较强, 山间盆地周边多出露易侵蚀的沉积岩, 使产生推移质的物质源特别丰富。

3) 人为侵蚀活动愈演愈烈, 随着山区资源的开发, 各种采矿、修路、建厂等工程活动方兴未艾, 开山炸石、乱弃废石废渣、重力侵蚀和泥石流在发展, 将使推移质大量增加。

上述因素的配合, 使区内推移质增加速度超过悬移质增加速度, 推移质量接近或可能超过悬移质量, 使输移比继续变小。深刻认识研究这个问题, 科学地测算土壤侵蚀强度, 必将有力地促进该区水土保持工作的发展。

### 参 考 文 献

- 1 景 可, 等. 黄河泥沙与环境. 北京: 科学出版社, 1993. 154
- 2 陕西师范大学地理系《安康地区地理志》编写组. 安康地区地理志. 西安: 陕西人民出版社, 1986. 266
- 3 杨起超, 等. 陕西省汉中地区地理志. 西安: 陕西人民出版社, 1993. 407, 110

## THE PROBLEM ABOUT THE RIVER SILT DELIVERY RATIO IN SOUTH SHAANXI

Wu Chengji      Gan Zhimao

(*Department of Geography, Shaanxi Teachers, University, Xi'an 710062*)

### ABSTRACT

This paper analyses the present situation of river silt delivery ratio, the delivery ratio change in time and space, and the development trend in South Shaanxi, indicates that under the specific physical geography conditions, the tractional load ratio in the silt is rather great and it made the delivery ratio of this district less than 1. This is a very important character of river silt migration in South Shaanxi; the delivery ratio has an obvious difference in space; generally, it gets bigger along the river flow; considering the time, it has had the trend of decrease since the fifties, and in the coming days, with the decrease of river silt runoff volume and the manmade erosion worsening in this district, the silt delivery ratio will decrease further.

**Key Words:** Shaanxi province; River silt; Delivery ratio; Tractional load; Suspended load