

长江上游干支流悬移质含沙量的变化及其原因

许炯心¹, 孙 季²

(1 中国科学院地理科学与资源研究所; 中国科学院水循环与地表过程重点实验室, 北京 100101;

2 西南科技大学, 四川 绵阳 621000)

摘要: 河流含沙量的变化是流域自然与人文因子变化的反映。以长江上游干支流 1956~2000 年的水沙和降水资料为基础, 运用时间系列分析和统计分析方法进行研究。研究发现, 干流宜昌站和 4 条主要支流含沙量的变化不是同步的, 4 条主要支流含沙量的变化呈现出复杂变化图形。流域面平均年降水量的变化, 仅能解释含沙量变化的 15.86%~37.21%, 说明气候因素的变化不是长江干支流含沙量变化的主要原因。运用双累积曲线分析方法, 研究了人类活动(如水库修建, 交通、矿山和城市建设, 水土保持, 植被破坏和恢复等)对含沙量变化的影响。人类活动影响在不同的流域有较大差异。与 4 条主要支流相比, 长江干流宜昌站含沙量的变化较小, 反映了尺度效应的影响。多元回归分析表明, 屏山、高场、北碚、武隆 4 站的年均含沙量变化对宜昌站年均含沙量变化的贡献率分别为 28.5%、12.6%、44.2% 和 14.7%。

关键词: 悬移质含沙量; 水沙变化; 水土保持; 长江上游

文章编号: 1000-0585(2008)02-0332-11

人类活动影响下的侵蚀产沙和河流输沙过程的变化, 是河流地貌学的重要理论问题, 在国际上受到广泛的关注^[1~5]。含沙量是最重要的河流特征变量之一, 是河流输沙特性和径流特性的综合反映。河流的悬移质含沙量及其变化决定了河流的冲淤特性及其变化, 从而决定了冲积河流的河床演变行为。同时, 含沙量及其变化又反映了河流的侵蚀产沙特性和产流特性及其变化。河流中的污染物常常被悬移质泥沙吸附而迁移, 故悬移质含沙量的变化与水质的变化息息相关。因此, 含沙量变化, 特别是人类活动所导致的河流含沙量的变化, 是一个有重要科学意义的问题。在我国, 对于黄河的水沙变化已进行了深入的研究^[6~10], 对于长江水沙变化也已有大量成果发表^[11~16]。但是, 对于人类活动所导致的河流含沙量的变化, 尚需要深入研究。本文以长江上游干支流的资料为基础, 着重研究悬移质含沙量的变化及其与降水变化和人类活动的关系。

1 研究区概况与资料来源

宜昌以上为长江上游, 流域面积为 100.5 万 km², 横跨我国宏观地貌格局的第一级阶梯和第二级阶梯。其主要水沙来源区位于由青藏高原、云贵高原和秦岭山地向四川盆地的过渡区。石鼓-屏山之间(除雅砻江以外)的金沙江下游, 流域面积占宜昌站以上流域面积的 14.4%, 其来水量只占宜昌站的 13.2%, 但来沙量却占宜昌站的 39.4%; 嘉陵江流域面积只占全上游的 15.5%, 其径流量占全上游的 14.7%, 但其来沙量占全上游的

收稿日期: 2007-06-11; 修订日期: 2008-04-25

基金项目: 国家重点基础研究规划项目(2003CB415202); 水利部公益性行业科研专项(2007SHZ1-34)

作者简介: 许炯心(1948-), 男, 四川人。研究员。主要从事河流地貌、侵蚀产沙研究。E-mail: xujx@igsnnr.ac.cn

30 5%。故石鼓- 屏山之间 (除雅砻江以外) 的金沙江下游和嘉陵江流域, 是长江上游的两个重点产沙区。其余地区, 主要包括雅砻江、岷江、沱江和乌江等支流, 其流域面积占全上游的 71 1%, 但来沙量只占全上游的 30 1%, 来水量却占全上游的 72 1%。

为了研究长江上游干支流悬移质泥沙含沙量的变化, 我们利用了金沙江屏山站、岷江高场站、乌江武隆站、嘉陵江北碛站和长江宜昌站的悬移质含沙量和相关的水文资料, 均来自上述水文站。由于缺乏推移质泥沙资料, 本文所指的含沙量, 均为悬移质含沙量。为了着眼于人类活动影响对悬移质含沙量的变化原因进行解释, 我们还收集了流域内水利工程、水土保持措施等反映人类活动影响的资料。以降水量来表示可能对含沙量产生影响的气候因子。所涉及的降水资料, 来自中国气象局的全国基本气象站资料, 以此为基础求出流域面平均年降水量 (面雨量)。三峡水库修建以后, 宜昌站的输沙量、含沙量都会发生根本性的变化, 本文只讨论三峡水库修建前的变化, 故资料年限为 1956~ 2000 年。

2 悬移质含沙量的时间变化

图 1 中点绘了长江上游干支流 5 个代表站即金沙江屏山站、岷江高场站、乌江武隆站、嘉陵江北碛站和长江宜昌站的悬移质含沙量随时间的变化。图中分别给出了拟合直线, 以反映含沙量变化的大致趋势。各图中的变化均体现出不同的阶段, 与人类活动变化的阶段性有关 (详见后文)。为了突出变化的阶段性, 图中按不同阶段分别用直线来

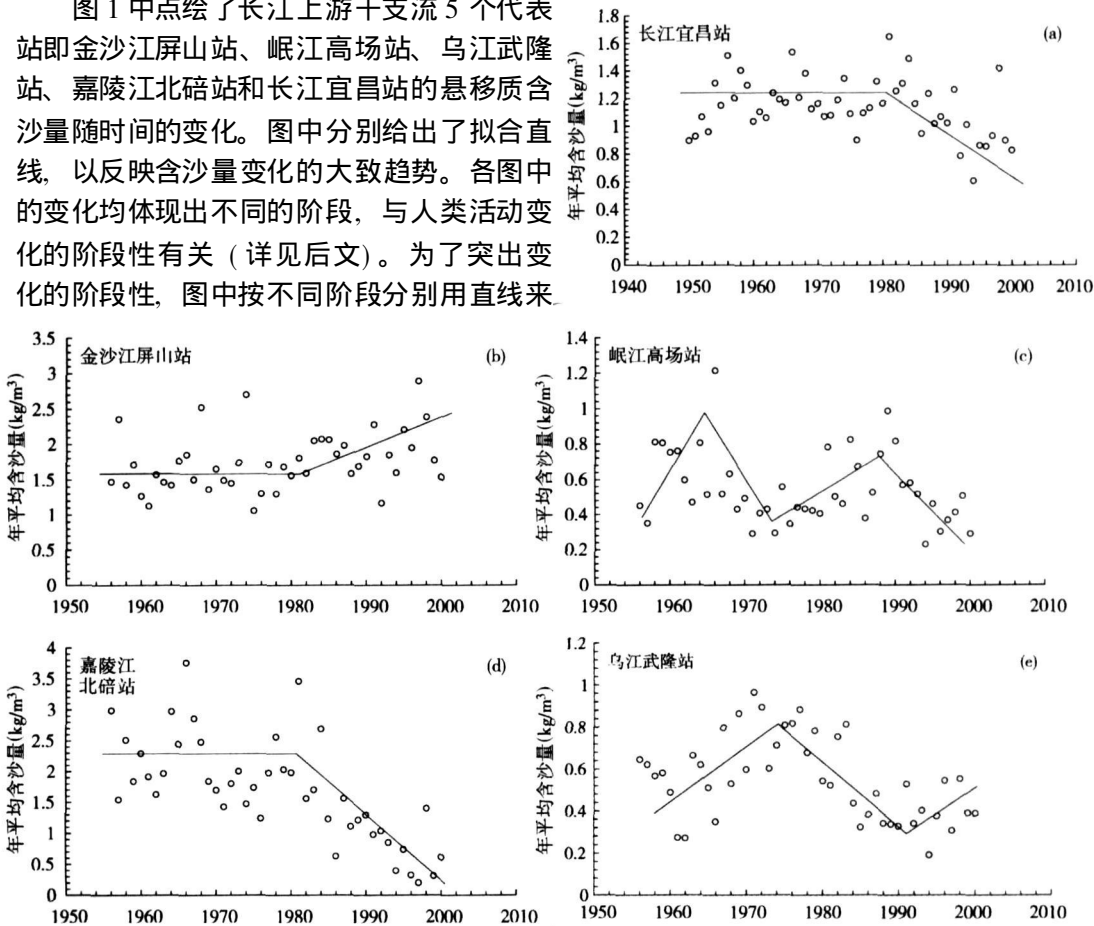


图 1 宜昌站、屏山站、高场站、北碛站、武隆站的悬移质含沙量随时间的变化

Fig 1 Temporal variation in suspended sediment concentration at Yichang station on the Changjiang River, Pingshan station on the Jinsha River, Gaochang station on the Minjiang River, Beibei station on the Jialing River and Wulong station on the Wujiang River

拟合。拟合直线是目估的，没有采用计算来拟合，以便在揭示宏观趋势的基础上，更好地结合人类活动变化的阶段性来解释其成因。

图 1 中显示，干流宜昌站和 4 条主要支流含沙量的变化不是同步的，4 条主要支流含沙量的变化呈现出复杂变化图形。宜昌站 1982 年以前含沙量无趋势性变化，1982 年以后呈减小趋势。屏山站 1982 年以前含沙量无趋势性变化，1982 年以后呈增大趋势。高场站 1960~1974 年含沙量呈减小趋势，1975~1989 年呈增大趋势，1989 年以后又呈减小趋势。北碚站含沙量的变化趋势与宜昌站相似，1982 年以前含沙量无趋势性变化，1982 年以后呈减小趋势。武隆站含沙量 1975 年以前呈增大趋势，1975 年以后呈减小趋势。在以下各节中，我们将对含沙量复杂变化趋势的成因进行探讨。

3 降水量变化的影响

图 2 中分别给出了各站的年均悬移质含沙量与流域面平均年降水量的关系。图中显示，年均悬移质含沙量与流域面平均年降水量之间的相关系数的平方 (r^2)，干流宜昌站为 0.1586，金沙江屏山站为 0.2107，岷江高场站为 0.3721，嘉陵江北碚站为 0.2167，乌江武隆站为 0.1863。虽然都不是很高，但相关显著性水平仍然

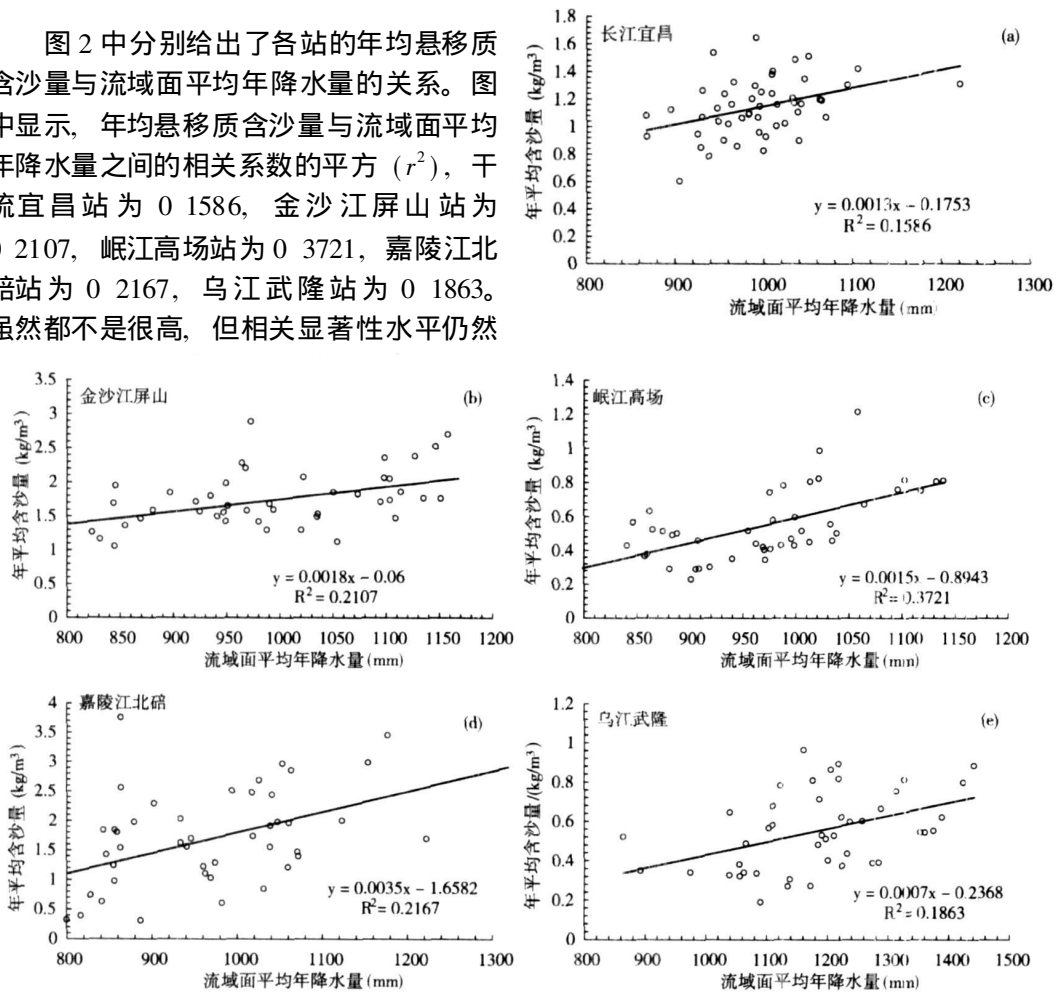


图 2 宜昌站、屏山站、高场站、北碚站、武隆站的悬移质含沙量与流域面平均年降水量的关系

Fig. 2 Relationships between suspended sediment concentration and area averaged annual precipitation at Yichang station on the Changjiang River, Pingshan station on the Jinsha River, Gaochang station on the Minjiang River, Beibei station on the Jialing River and Wulong station on the Wujiang River

为 $p < 0.05$ ，说明年降水的变化是导致含沙量变化的因素之一。由于 r^2 表示因变量变化中能被自变量的变化解释的百分比，故可以指出，流域面平均年降水量的变化，仅能解释含沙量变化的15.86%~37.21%，其中以岷江为最高，宜昌以上的长江干流为最低。这说明，气候因素的变化不是长江干支流含沙量变化的主要原因。

4 双累积曲线分析

4.1 含沙量与流域面平均年降水量的双累积曲线

图1中所显示的含沙量随时间的变化，是降水变化和人类活动影响共同作用的结果。为了从中消去降水变化的影响，更好地体现人类活动影响导致的结果，可以采用双累积曲线的分析方法。为此，我们绘制了各个站点的含沙量与流域面平均年降水量的双累积曲线（图3）。如果含沙量的变化只受到降水变化的影响，则双累积曲线应该是一条直线。如果双累积曲线发生

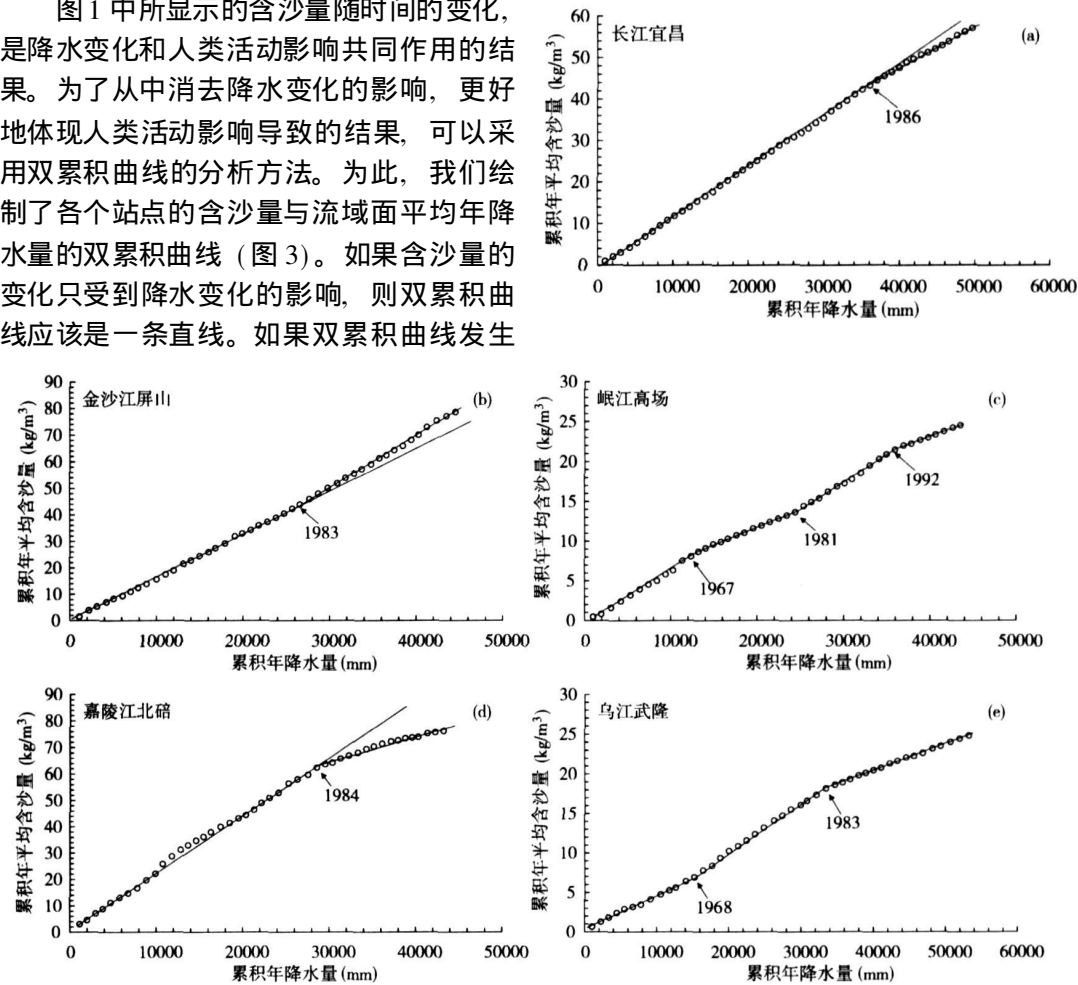


图3 宜昌站、屏山站、高场站、北碛站、武隆站的悬移质含沙量与流域面平均年降水量的双累积曲线

Fig 3 Double-mass plots between suspended sediment concentration and area averaged annual precipitation at Yichang station on the Changjiang River, Pingshan station on the Jinsha River, Gaochang station on the Minjiang River, Beibei station on the Jialing River and Wulong station on the Wujiang River

转折，则可以认为是其他的影响因素发生趋势性变化所导致的结果。

图3显示，宜昌站的含沙量-流域面雨量双累积曲线在1986年向右发生偏转，说明在不受降水变化影响的情况下，宜昌站的含沙量1986年以后呈减小趋势。金沙江屏山站

的含沙量-流域面雨量双累积曲线在 1983 年向左发生偏转,说明在不受降水变化影响的情况下,金沙江下游的含沙量 1983 年以后呈增大趋势。岷江高场站的含沙量-流域面雨量的变化比较复杂。双累积曲线在 1967 年向右发生偏转,说明岷江的含沙量有所减小;在 1981 年向左发生偏转,说明岷江的含沙量有所增大;在 1992 年再度向右偏转,说明岷江的含沙量又有所增大。嘉陵江北碛站的含沙量-流域面雨量双累积曲线在 1984 年向右发生显著偏转,说明在不受降水变化影响的情况下,嘉陵江的含沙量 1984 年以后呈显著增大趋势。在乌江武隆站的含沙量-流域面雨量双累积曲线上可以看到两次偏转,第一次是向左偏转,发生在 1968 年,说明在不受降水变化影响的情况下,含沙量有所增大;第二次是向右偏转,发生在 1983 年,说明含沙量有所减小。对于这些变化,可以用人类活动的影响来解释。

4 2 年径流量、年产沙量与流域面平均年降水量的双累积曲线

年均含沙量等于年均输沙量除以年均径流量,故年均含沙量的变化既取决于径流量的变化,又取决于侵蚀产沙量的变化。在这里,我们通过双累积曲线的分析,分别讨论径流量和产沙量的变化。

图 4 中给出了宜昌、屏山、高场、北碛和武隆 5 个站的年径流量与流域面平均年降水量的双累积曲线。值得注意的是,在各图中,年径流量与流域面平均年降水量的双累积关系均呈直线,说明在不受降水

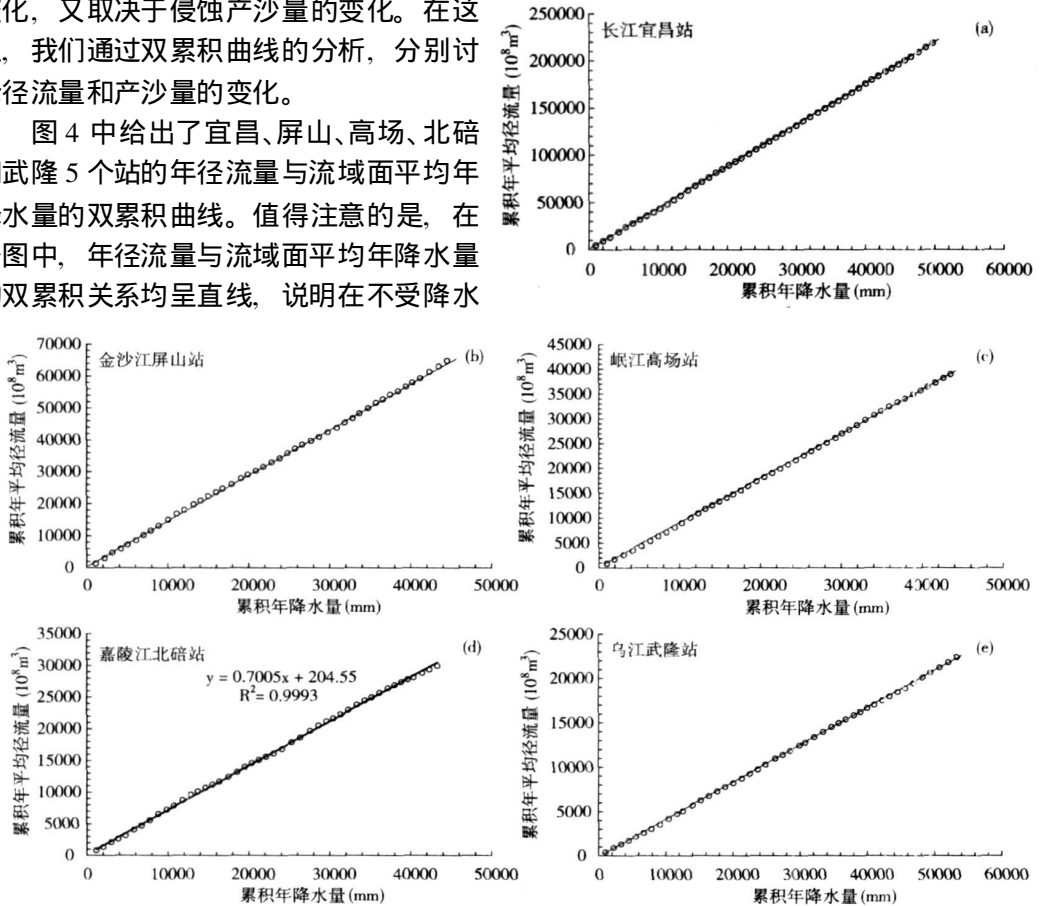


图 4 宜昌站、屏山站、高场站、北碛站、武隆站的年径流量与流域面平均年降水量的双累积曲线
Fig 4 Double-mass plots between annual water yield and area averaged annual precipitation at Yichang station on the Changjiang River, Pingshan station on the Jinsha River, Gaochang station on the Minjiang River, Beibei station on the Jialing River and Wulong station on the Wujiang River

变化影响的情况下，年径流量无趋势性变化。换言之，年径流只随年降水而变化，人类活动对年径流变化的影响可以忽略。因此，可以认为，长江上游干支流含沙量的变化，主要是人类活动影响流域侵蚀产沙的结果。

图5中给出了宜昌、屏山、高场、北碚和武隆5个站的年输沙量与流域面平均年降水量的双累积曲线。我们将基于图5和图3中的各条曲线的比较，来揭示人类活动对长江上游干支流含沙量变化的影响。

4.2.1 金沙江下游 图3(b)显示，屏山站的含沙量自从1983年以后呈减小趋势；图5则显示，屏山站的输沙量自从1983年以后

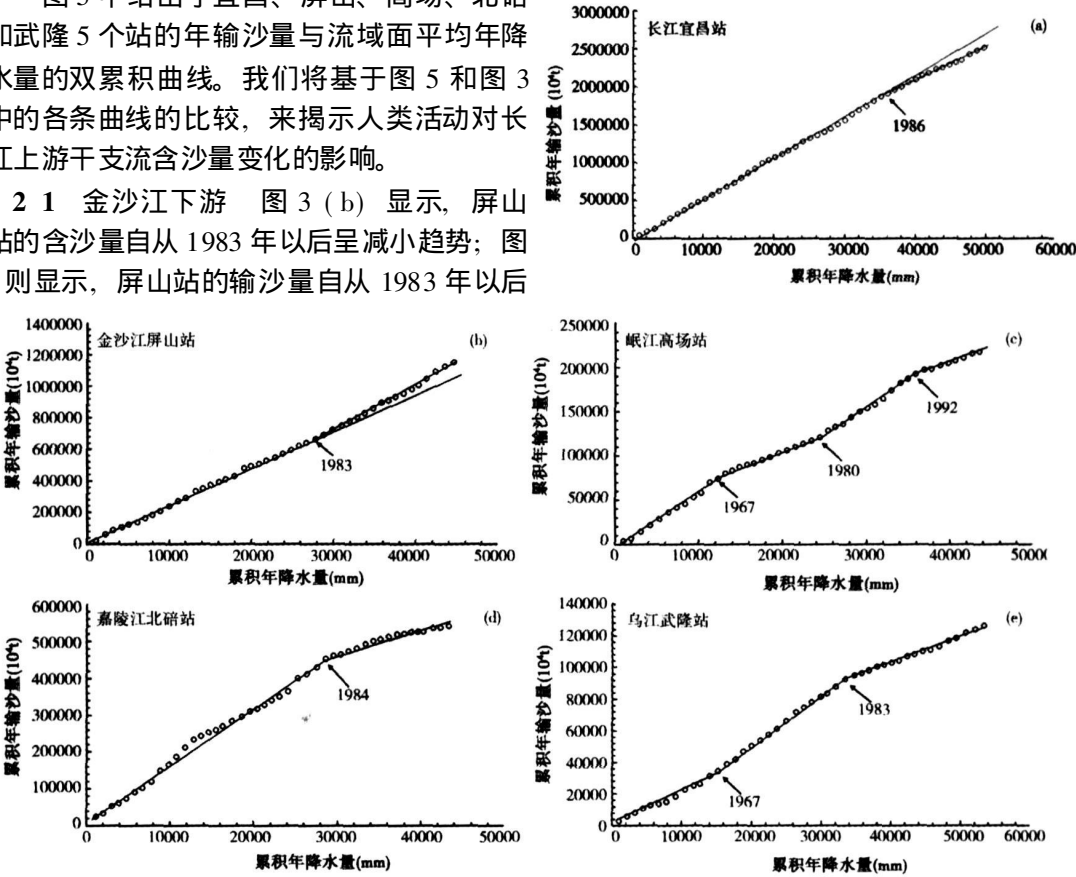


图5 宜昌站、屏山站、高场站、北碚站、武隆站的年输沙量与流域面平均年降水量的双累积曲线
Fig 5 Double-mass plots between annual suspended sediment load and area averaged annual precipitation at Yichang station on the Changjiang River, Pingshan station on the Jinsha River, Gaochang station on the Minjiang River, Beibei station on the Jialing River and Wulong station on the Wujiang River

也呈减小趋势，二者间有成因上的联系。在金沙江重点产沙区中，实际上泥沙主要来源于攀枝花至屏山区间内，其面积仅占宜昌站的78%，但产沙量却占宜昌站的35.5%^[17]。据研究，滑坡、泥石流十分发育，使大量泥沙补给到河道中，是这一地区对长江上游产沙量贡献率很高的主要原因。该河段长782km，即有泥石流沟258条入江，已查明的崩塌、滑坡达687处，已变形的土体体积达31亿m³^[17]。由于这一地区人口密度不如四川盆地大，加以地形崎岖，坡耕地面积亦不大，故来自农耕地的泥沙量不如嘉陵江流域大。上世纪60年代来，特别是80年代以来，大规模的矿山和钢铁基地的建设在这一地区开展，建立了从采矿、选矿、炼铁到炼钢为一体的攀枝花钢铁基地，形成了金沙江峡谷中的中型工业城市。这一过程还伴随着大规模的铁路、公路的建设。在交通、矿山和城市的建设中，

不但有大量的岩土碎屑排入金沙江及其支流之中,而且也导致了前期贮存在流域内的大量滑坡、泥石流堆积体稳定性的下降,一遇暴雨,便会有大量滑坡、泥石流物质发生再运动并进入河道。在道路边坡的治理中,为了确保工程安全,使原来泥石流沟直接与河道相通;原来可以堆积在沟口扇体上的物质,现在绝大部分直接排入河道,这一因素也大大增加了产沙量。尽管水土保持措施在这一地区也有所开展,但上述过程的增沙量超过了水土保持措施的减沙量,使得屏山站的年输沙量自 1983 年以来呈增大的趋势,因而年均含沙量也呈增大趋势。

4 2 2 岷江流域 图 2(c)和图 5(c)显示,岷江高场站的年含沙量-年降水量与年输沙量-年降水量双累积曲线发生了 3 次明显的转折,发生转折的时间分别为 1967、1981 和 1992 年。1967 年后含沙量和输沙量均减小,1981 后含沙量和输沙量均增大,1992 年后含沙量和输沙量再次减小。这 3 次转折与人类活动的影响密切相关,可以用水库的修建和植被的变化来解释。龚嘴水库 1967 年初建成后,开始拦截泥沙,使得双累积曲线发生显著的右偏,表明年输沙量减少了,含沙量随之减少。随着水库的淤积,有效库容逐渐减小,拦沙作用减弱,双累积曲线在 1981 年向左偏转,意味着高场站的来沙量出现趋势性增大,含沙量也随之增大。由于 1992 年铜街子水库建成并蓄水拦沙,加上生态环境建设使得森林覆盖率大幅度增高,流域侵蚀强度大大减弱,使得双累积曲线在 1992 年又发生右偏,意味着高场站的来沙量显著减少,含沙量也随之减少。由于森林的破坏、恢复和水库的修建拦沙、淤满失效,使得岷江的产沙量和含沙量发生了两次由增大到减少的轮回式变化,这种变化体现了岷江水沙系统对人类活动的复杂响应。

4 2 3 嘉陵江流域 图 3(d)显示,嘉陵江北碛站的含沙量自从 1984 年以后呈减小趋势,图 5(d)则显示,该站的输沙量自从 1984 年以后呈也减小趋势。其原因是:第一,从 20 世纪 80 年代初开始,四川省大量农村剩余劳动力到外省务工,且逐年增加。2003 年,四川转移和输出农村劳动力 1307 万人,实现劳务收入 450 亿元,几乎相当于四川全省财政收入。全省农民人均劳务收入 632 元,占农民人均可支配收入 2108 元的 30%^[18]。大量农村劳动力的转移减轻了人口对土地的压力,加以当地农业生产发展,农民有钱买煤、用电、修沼气池,不再上山砍柴,改变了农村能源的结构,使植被得以自然恢复。这一变化使得嘉陵江流域水土流失减弱,产沙量减少。第二,流域内兴修了水库群。据调查,到 20 世纪 80 年代结束,全流域共修水库 4542 座,其中大型 3 座,即白龙江的碧口水库、川中丘陵区的升钟水库和鲁班水库。中型水库 50 座,其余为小型水库。集水面积总计 40122 km²,总库容 56 10 亿 m³^[19]。据调查,这些水库每年拦沙量平均为 4812 万 m³^[20]。此外还有小于 10 万 m²的塘堰约 31 万座,库容约 19 66 亿 m³^[20],每年也拦截大量泥沙。第三,1988 年国务院批准将长江上游列为国家水土保持重点防治区^[21,22]。1989~1996 年间,嘉陵江流域开展治理的 50 个县,共治理 21361 km²,治理程度为 25 79%^[21]。在治理中,采取工程措施、植物措施和保土耕作措施相结合的技术体系。到 1996 年底,全流域完成坡地改梯田 17 49 万 hm²,水土保持林 53 39 万 hm²,补植经济果木林 22 62 万 hm²,种草 9 65 万 hm²,实施封禁治理 58 57 万 hm²,推行保土耕作措施 51 87 万 hm²。在小型水利水土保持工程方面,修塘堰 70793 座,谷坊 3828 座,蓄水池 94998 座,排灌渠 22787 km,截水沟 9679 km,沉沙池 1567756 个,总工程量 19559 27 万 m³^[22,23]。嘉陵江流域大规模的水土流失治理收到了显著成效,使这一重点产沙区的产沙量大幅度减小,因而含沙量也随之减小。

4 2 4 乌江流域 图 3(e) 和图 5(e) 显示, 乌江武隆站的年含沙量- 年降水量与年输沙量- 年降水量双累积曲线在 1968 和 1983 年发生了两次明显的转折。1968 年以后双累积曲线左偏, 意味着输沙量和含沙量呈增大趋势, 这与流域中植被破坏导致水土流失加剧有关。1983 年后双累积曲线右偏, 意味着输沙量和含沙量呈减小趋势。这与乌江渡水库等的修建有关。水库拦截了大量泥沙, 使得武隆站的年输沙量减小, 含沙量也随之减小。

4 2 5 长江上游干流 与 4 条主要支流相比, 长江干流宜昌站输沙量和含沙量的变化均较小。图 3(a) 和图 5(a) 显示, 宜昌站的年含沙量- 年降水量与年输沙量- 年降水量双累积曲线在 1986 年发生转折, 但幅度不大。宜昌站的含沙量和输沙量变化是各支流含沙量和输沙量变化的结果。由于宜昌站的来沙量主要来自金沙江下游和嘉陵江流域, 来自岷江和乌江流域的泥沙只占很小的比例, 故宜昌站的含沙量的变化主要受金沙江下游和嘉陵江流域含沙量变化的影响, 岷江和乌江含沙量的变化的影响很小。图 2(b) 和图 5(b) 显示, 金沙江下游的输沙量与含沙量在 1983 年以后呈增大趋势, 而图 2(d) 和图 5(d) 显示, 嘉陵江下游的输沙量与含沙量在 1984 年以后呈减小趋势。这两种相反的变化趋势部分地互相抵消, 使得宜昌站含沙量的变化较小。由于 1986 年后, 宜昌站的含沙量呈减小趋势, 说明嘉陵江的减沙作用超过了金沙江下游的增沙作用。还应指出, 葛洲坝水库的拦沙也是宜昌站含沙量减小的原因。据研究, 葛洲坝水库自 1981 年投入运行以来, 库区淤积量到 1992 年已达 1 46 亿 t。三峡工程 1993 年开工以来, 1995 年葛洲坝水库达到最大淤积量为 1 81 亿 t (部分为三峡工程坝区开挖堆填所致)。但受 1998 年大洪水影响, 库区冲刷量达 5340 万 t。故 1981 年至 1998 年, 葛洲坝水库共淤积量为 1 313 亿 t, 平均每年拦沙 730 万 t^[24]。这一因素也导致了宜昌站含沙量的减小。

除了上文中所讨论的原因外, 宜昌站含沙量变化较小原因还与尺度效应有关。流域面积越大, 流域中地势较为低平, 有利于泥沙堆积的场所越多, 因而形成的泥沙存贮也越多。这些泥沙存贮是一个缓冲带, 来沙多而径流相对较少时, 泥沙存贮会增多, 因而产沙量会减小, 径流的含沙量也会减小; 来沙少而径流相对较多时, 原来存贮的泥沙会受到冲刷, 使产沙量增加, 径流的含沙量也会增加。故流域面积越大, 含沙量的年际变化越小。计算表明, 近 50 年来宜昌站含沙量变化的变差系数为 0 184, 屏山站为 0 233, 高场站为 0 377, 北碚站为 0 492, 武隆站为 0 359。干流宜昌站的含沙量变差系数远小于各支流。

5 不同水沙来源区含沙量的变化对宜昌站含沙量变化的影响

从上文的讨论可知, 宜昌站的含沙量与 4 个水沙来源区的水量和沙量有密切关系。可以认为, 宜昌站的年均含沙量由 4 个水沙来源区水流的年均含沙量所决定。因此, 可以以年系列资料为基础, 建立宜昌站的年均含沙量与 4 个水沙来源区年均含沙量之间的多元回归方程, 以评价 4 个来源区含沙量的变化对宜昌站含沙量变化的贡献率。

基于 1956~ 2000 年系列资料的宜昌站年均含沙量 $C_{宜昌}$ 与屏山站的年均含沙量 $C_{屏山}$ 、高场站的年均含沙量 $C_{高场}$ 、北碚站的年均含沙量 $C_{北碚}$ 、武隆站的年均含沙量 $C_{武隆}$ 的相关系数矩阵见表 1。

以 $C_{宜昌}$ 为因变量, 以 $C_{屏山}$ 、 $C_{高场}$ 、 $C_{北碚}$ 、 $C_{武隆}$ 为影响变量, 运用 1956~ 2000 年间的资料, 经计算后得到如下方程:

$$C_{宜昌} = 0.1611 + 0.2413C_{屏山} + 0.2115C_{高场} + 0.1826C_{北碚} + 0.2550C_{武隆} \tag{1}$$

上式的数据组数 $N = 45$, 复相关系数 $R = 0.8934$, F - 检验结果 $F = 39.56$, 显著性概

率 $p = 2.12 \times 10^{-13}$ 剩余标准差 $SE = 0.1010$ 。由于上式中各变量的数量级相差很大, 不能直接根据回归系数的大小来判定各变量贡献的大小。为了定量评价各因素的变化对于 $C_{宜昌}$ 的相对贡献率, 我们对数据进行了标准化, 建立了常数项为 0 的多元回归方程, 并依据各变量回归系数的大小来进行判定其对因变量变化的贡献率。所建立的常数项为 0 的回归方程如下:

$$C_{宜昌} = 0.4581C_{屏山} + 0.2031C_{高场} + 0.7103C_{北碚} + 0.2355C_{武隆}$$

(2)

上式各变量系数绝对值的大小反映该变量对因变量贡献率的大小。 $C_{屏山}$ 、 $C_{高场}$ 、 $C_{北碚}$ 、 $C_{武隆}$ 变化对 $C_{宜昌}$ 变化的贡献率之比依次为 0.4581 0.2031 0.7103 0.2355。由此可求得, 当 4 个变量的总贡献率为 100% 时, 屏山、高场、北碚、武隆 4 站的年均含沙量变化对宜昌站年均含沙量变化的贡献率分别为 28.5%、12.6%、44.2% 和 14.7%。因此, 嘉陵江含沙量变化对宜昌站含沙量变化的贡献最大, 金沙江下游次之, 乌江再次之, 岷江最小。

表 1 $C_{宜昌}$ 、 $C_{屏山}$ 、 $C_{高场}$ 、 $C_{北碚}$ 、 $C_{武隆}$ 的相关系数矩阵

Tab 1 Correlation matrix between $C_{Yichang}$ and $C_{Pingshan}$, $C_{Gaochang}$, C_{Beibei} , C_{Wulong}

	$C_{屏山}$	$C_{高场}$	$C_{北碚}$	$C_{武隆}$	$C_{宜昌}$
$C_{屏山}$	1.00	-0.13	-0.25	-0.20	0.21
$C_{高场}$	-0.13	1.00	0.50	-0.36	0.42
$C_{北碚}$	-0.25	0.50	1.00	0.31	0.77
$C_{武隆}$	-0.20	-0.36	0.31	1.00	0.29
$C_{宜昌}$	0.21	0.42	0.77	0.29	1.00

6 结 论

以长江上游干支流的水沙和降水资料为基础, 研究了悬移质含沙量的变化及其与降水变化和人类活动的关系。干流宜昌站和 4 条主要支流含沙量的变化不是同步的, 4 条主要支流含沙量的变化呈现出复杂变化图形。流域面平均年降水量的变化, 仅能解释含沙量变化的 15.86%~37.21%, 说明气候因素的变化不是长江干支流含沙量变化的主要原因。运用双累积曲线分析方法, 研究了人类活动对含沙量变化的影响。金沙江下游的含沙量 1983 年以后呈增大趋势, 与交通、矿山和城市的建设使大量的岩土碎屑排入金沙江及其支流之中, 并导致了前期贮存在流域内的大量滑坡、泥石流堆积物质发生释放有关。岷江高场站的年含沙量-年降水量与年输沙量-年降水量双累积曲线发生了 3 次明显的转折, 可以用水库的修建和植被的变化来解释。嘉陵江北碚站的含沙量在 1984 年以后显著减小, 是由于嘉陵江流域大规模的水土流失治理收到了显著成效的结果。乌江武隆站的年含沙量在 1967 年后呈增大趋势, 流域中植被破坏导致的水土流失加剧有关; 1983 年呈减小趋势, 与水库的修建有关。与 4 条主要支流相比, 长江干流宜昌站含沙量的变化较小, 反映了流域尺度效应的影响。多元回归分析表明, 屏山、高场、北碚、武隆 4 站的年均含沙量变化对宜昌站年均含沙量变化的贡献率分别为 28.5%、12.6%、44.2% 和 14.7%。

参考文献:

[1] Houben P, Hoffmann T, Zimmermann A, Dikau R Land use and climatic impacts on the Rhine system (Rhein-LUCIFS): Quantifying sediment fluxes and human impact with available data Catena, 2006, 66(1- 2): 42~ 52

[2] Rowan J S, Duck R W, Werritty A(eds) Sediment Dynamics and the Hydromormorlogy of Fluvial Systems

IASH Publication No 306, 2006, 1~ 629

- [3] Walling D E, Probst J L Human impact on erosion and sedimentation Proceedings of a symposium held during the Fifth IAH Scientific Assembly at Rabat, Morocco, April – May 1997, IASH publication 245, 1997, 1~ 312
- [4] James L A, Marcus W A The 2006 Binghamton Geomorphology Symposium on The Human Role in Changing Fluvial Systems Geomorphology, 2006, 79(34): 144~ 147
- [5] Schumm S A, Winkley B R The Variability of Large Alluvial Rivers. New York: ASCE Press, 1994. 1~ 467
- [6] 汪岗, 范昭, 主编 黄河水沙变化研究, 第 2 卷 郑州: 黄河水利出版社, 2003 1~ 576
- [7] 叶青超 主编 黄河流域环境变迁与水沙运行规律研究 济南: 山东科学技术出版社, 1994 1~ 220
- [8] 冉大川, 等 黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化 郑州: 黄河水利出版社, 2000 274
- [9] 徐建华, 牛玉国 水利水保工程对黄河中游多沙粗沙区径流泥沙影响研究 郑州: 黄河水利出版社, 2000 115
- [10] 许炯心, 孙季 近 50 年以来降水变化和人类活动对黄河入海径流通量的影响 水科学进展, 2003, 14(6): 690~ 695
- [11] 府仁寿, 齐梅兰, 方红卫, 等 长江上游工程对宜昌来水来沙变化的影响 水力发电学报, 2006, 25(6): 103~ 118
- [12] 许全喜, 石国钰, 陈泽方 长江上游近期水沙变化特点及其趋势分析 水科学进展, 2004, 15(2): 420~ 426
- [13] 陈进, 黄薇 梯级水库对长江水沙过程影响初探 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 786~ 790
- [14] 张莉莉, 陈进 长江上游水沙变化分析 长江科学院院报, 2007, 24(6): 34~ 37
- [15] 王渺林, 夏军, 刘德春 长江上游卵石推移特性变化及驱动力分析 地理研究, 2004, 23(5): 657~ 666
- [16] 府仁寿, 虞志英, 金镠, 等 长江水沙变化发展趋势 水利学报, (11): 21~ 29
- [17] 柴宗兴 四川省水土保持抗洪减灾体系建设 长江水土保持, 1998, (4): 20~ 22
- [18] 许炯心 农村社会经济因素变化对嘉陵江产沙量的影响 山地学报, 2006, 24(4): 385~ 394
- [19] 水利部长江水利委员会水文局 嘉陵江水土保持措施对长江三峡工程减沙作用的研究 见: 国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙课题专家组, 中国长江三峡工程开发总公司工程泥沙专家组编 长江三峡工程泥沙问题研究(1996~ 2000), 第四卷 北京: 知识产权出版社, 2002 1~ 173
- [20] 国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙课题专家组, 中国长江三峡工程开发总公司工程泥沙专家组编 长江三峡工程泥沙问题研究(1996~ 2000), 第八卷, 长江三峡工程 九五 泥沙研究综合分析 北京: 知识产权出版社, 2002 5~ 8
- [21] 长江水利委员会水文局 嘉陵江水保治理前后水沙变化趋势研究 见: 国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙课题专家组, 中国长江三峡工程开发总公司工程泥沙专家组编 长江三峡工程泥沙问题研究(1996~ 2000), 第四卷, 长江三峡工程 九五 泥沙研究综合分析 北京: 知识产权出版社, 2002 341~ 387
- [22] 郭厚祯, 万彩兵 长治 工程与长江流域跨世纪发展 人民长江, 1998, 29(2): 38~ 39
- [23] 史立人 长江流域水土流失特征、防治对策及实施成效 人民长江, 1998, 29(1): 41~ 43
- [24] 国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙课题专家组, 中国长江三峡工程开发总公司工程泥沙专家组编 长江三峡工程泥沙问题研究(1996~ 2000), 第六卷, 长江三峡工程坝下游泥沙问题 北京: 知识产权出版社, 2002 1~ 35

Temporal variation in suspended sediment concentration of the upper Changjiang River and its tributaries

XU Jiong-xin¹, SUN Ji²

(1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Key Laboratory for Water Cycle and Related Land Surface Processes, CAS, Beijing 100101, China;

2 Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621000, China)

Abstract: Based on water, sediment and precipitation data from the upper Changjiang River and its tributaries, a study has been made of the temporal variation in suspended sediment

concentration in relation with the variation in precipitation and human activities. The variations in suspended sediment concentrations in the main stream and tributaries are not synchronic, and some complicated variation can be seen. The variation in precipitation can only explain 15.86% ~ 37.21% of the variation in suspended sediment concentration, and thus variation in precipitation is not the main cause for the variation in suspended concentration. Using the analysis of double-mass curve, the effect of human activities on the variation in suspended concentration has been studied. The suspended concentration of the lower Jinsha River increased after 1983. This can be explained by the large-scale mining and road and urban construction, which not only disposes huge quantities of soil and rock debris to the river, but also results in the reactivation and releasing of the previously deposited mass-wasting and debris flow materials. The double-mass curve for the Minjiang River shows three breaks, which may be explained by reservoir construction and deforestation and reforestation. The suspended sediment concentration of the Jialing River decreased after 1984 because marked sediment reduction effect has been achieved by soil and water conservation measures. The suspended sediment of the Wujiang River increased after 1967 and then decreased after 1983, the former can be related to the vegetation destruction that enhanced soil erosion and the latter to the construction of reservoirs that trapped sediment. Compared to the 4 tributaries, the suspended sediment of the main stream of the upper Changjiang River shows smaller variation in suspended sediment concentration. As the suspended sediment concentration of the lower Jinsha River increased after 1983 while that of the Jialing River decreased after 1984, they offset each other and thus the variation in the suspended sediment concentration of the Yichang station is much smaller. The results of a multiple regression analysis shows that the contribution percentages of the variation in suspended sediment of Pingshan, Gaochang, Beibei and Wulong stations are 28.5%, 12.6%, 44.2% and 14.7%, respectively.

Key words: suspended sediment concentration; water and sediment changes; soil and water conservation; upper changjiang River