

黄河中游风水两相作用对侵蚀产沙地域分布的影响*

许炯心

中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

摘要 着眼于风力、水力两相作用, 对黄河中游风沙—黄土过渡带高强度侵蚀的形成机理进行了研究, 并提出用某一地点年降水量 P_m 与年均沙尘暴日数 D_{ss} 之比 P_m/D_{ss} 来定量表达风力、水力两相作用, 称为风水两相作用指标。研究表明, 风水两相作用通过对泥沙供应条件的调节, 来控制悬移质泥沙的粗细颗粒搭配关系, 并进而实现最优组合, 从而使水沙两相流的输沙能力得到强化, 地表物质抗蚀性和植被对地表物质保护作用的地域分布均与风水两相作用有密切的关系, 因而形成了不同的地域类型; 进而划分了风力作用主导类型、风水两相作用主导类型和水力作用主导类型等3种类型; 认为产沙模数与年降水量、年沙尘暴日数和风水两相作用指标之间存在着非线性关系, 在这3个关系中, 均表现出一个产沙模数的峰值区, 与之相对应的年降水量为350—450 mm, 年均沙尘暴日数为5—15 d, 风水两相指标值为30—80 mm·d⁻¹。这些成果丰富了著名的Langbein-Schumm关系的内涵, 为其形成机理提供了一个新的解释。

关键词 侵蚀 产沙 风水两相作用 黄河中游

黄河中游流域以其居于世界首位的高强度侵蚀产沙, 备受国内外研究者的关注。对于这种高强度侵蚀产沙过程形成机理的研究, 已有大量的成果问世^[1-8]。前人的研究表明, 黄河中游产沙模数表现出鲜明的地域性分布规律, 在中游支流窟野河上中游、秃尾河中游、佳芦河中游、无定河上中游、泾河上游支流马连河流域、渭河支流散渡河、葫芦河流域, 存在着一系列的产沙模数高值区, 该处的产沙模数等值线形成闭合的高值中心^[9]。这些高值中心从东北向西南呈现规律性的分布。与此同时, 黄河中游地区年降水量和年沙尘暴日数也表现出有规律的分布, 年降水等值线和年沙尘暴日数等值线大致平行, 年降水量从西北向东南递增, 年沙尘暴日数则按同一方向递减。上述产沙强度中心区所在的

位置, 大致在年降水量等值线350—550 mm之间和年降沙尘暴日数15—5 d之间。这一范围已是水力、风力交互作用的地区。侵蚀产沙中心区与水力—风力交互作用区具有相同的空间分布, 这种空间上的重合是否意味着某种成因上的关联性? 对于黄土高原风力水力交互作用区的侵蚀过程, 前人已进行了一些研究, 并提出了风力—水力两相侵蚀产沙过程的概念^[10]。本文将从侵蚀动力和产沙强度的宏观地域分布的相关性入手, 对此进行进一步研究, 以寻求黄河中游多沙、粗沙区高强度侵蚀产沙作用的成因机制。

1 研究区概况、资料来源与研究方法

本研究涉及黄河的40余条支流, 主要位于中

2006-02-17 收稿, 2006-05-31 收修改稿

* 中国科学院地理科学与资源研究所延伸支持项目(批准号: CXIOG-A04-08)、国家自然科学基金(批准号: 40271019)、国家自然科学基金委员会和水利部黄河水利委员会联合基金(批准号: 50239080)项目
万方数据
E-mail: xjx@igsnrr.ac.cn

游河口镇至龙门区间，包括了所有进行过系统的悬移质泥沙测验的支流。研究区位于风蚀—水蚀交错带，在自然地理上为风沙—黄土转换带，即从干旱区荒漠（沙漠）向半干旱区和半湿润区的过渡带。从西北向东南，年降水量由200 mm增加至600 mm，年均大风日数由40 d减少到10 d以下，沙尘暴日数由25 d减少到5 d以下。研究区的地表组成物质除受地质条件控制外，与风力作用有密切联系，从西北向东南，依次由风成沙变成沙黄土、典型黄土和粘黄土。在风沙区与沙黄土区之间，还分布着盖沙黄土过渡区，即沙黄土以上覆盖着不连续的、呈斑块状分布的风成沙。作为黄河泥沙特别是粗泥沙主要来源区的多沙粗沙区即位于本区。按1954—1995年间资料的统计，黄河三门峡站大于0.05 mm粗泥沙的来量为每年 2.4519×10^8 t，而来自风蚀—水蚀交错带的窟野河、无定河、秀尾河、黄甫川、孤山川5条河的年粗泥沙量即达 1.2928×10^8 t^[4]，占全河的52.7%。

这一地区存在着特殊的风力、水力两相作用。就同一地点而言，风力作用和水力作用在时间上互相交替，即冬季、春季以风力作用为主，夏季进入雨季和汛期以后，则以水力作用为主^[9]。在地域上，由于风力作用从西北向东南减弱，而年降水量从西北向东南增强，故两者的搭配关系表现出一定的地域差异，西北部风力作用在风水两相作用中居于主导地位，而东南部水力作用在风水两相作用中居于主导地位。在宏观上，我们以年平均降水量(P_m)来表征水力作用，而以年平均沙尘暴日数(D_{ss})和年平均大风日数(D_w)来表示风力作用。风沙的输移不仅取决于风力强度，也取决于地表状况，特别是地表是否具有疏松易蚀的沙物质。只有前者而无后者时，常常不能形成风沙的输移。而频繁发生的沙尘暴，则意味着上述两个条件均存在，故本文中以 D_{ss} 来表示风力作用的强度及其后果。

在研究区中，黄河水利委员会和有关各省布设了密度较大的水文站和雨量站，各县则设有气象站，其中有大风和沙尘暴的观测项目。本文中所使用的年降水和年沙尘暴的资料，均来自上述雨量站和气象站，资料时段为1950—1985年。各流域的多年平均降水量和多年平均沙尘暴日数，是在上述资料的基础上求得的，年降水量采用了按面积加权

平均的方法，沙尘暴日数则采用算术平均的方法。本文所涉及的悬移质泥沙输沙量、输沙模数、含沙量及悬沙粒度资料，均来自流域有关支流水文站，包括中值粒径 D_{50} ，大于0.05 mm百分比($r_{\geq 0.05}$)、小于0.01 mm百分比($r_{< 0.01}$)以及多年平均含沙量(C_{mean})、多年平均年最大含沙量(C_{max})和有观测记录以来的断面平均最大含沙量($C_{max,s}$)。水文资料的时段为1950—1970年。这一时段中，人类水土保持活动尚未大规模开展，故人类活动对河流水沙过程的影响相对较小。

如前所述，在研究区中，从西北向东南，年平均降水量逐渐增大而年平均沙尘暴日数逐渐减少，故两者之间存在着一定的负相关关系（图1），即年降水量小的地方，沙尘暴发生频率高，反之亦然。为了用一个单一而简便的指标来表示风力水力作用的组合类型，引进风水两相作用指标 $I_{ws} = P_m / \bar{D}_{ss}$ ，即用某一地点年降水量 P_m 与年均沙尘暴日数 \bar{D}_{ss} 之比 P_m / \bar{D}_{ss} 来表示 I_{ws} 。

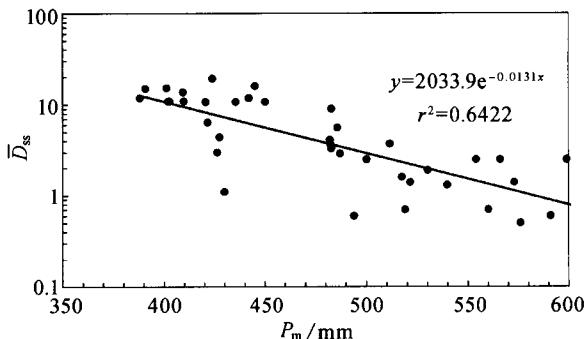


图1 年平均降水量与年平均沙尘暴日数的关系

在以下各节中，我们将以上述各项指标和资料为基础，运用数理统计方法，揭示风力水力两相作用与黄河支流侵蚀产沙特性之间的内在联系。

2 作为泥沙“运载工具”的高含沙水流与风水两相作用的关系

高含沙水流是黄土高原河流中普遍存在的现象。对这一地区年均含沙量和历年记录到的最大含沙量空间分布的分析表明，含沙量也表现出一系列的高值中心，与产沙模数高值中心出现的位置基本上相同。高含沙水流既是高强度侵蚀的产物，而它一旦形成之后，又表现为一种强有力的侵蚀、搬运

动力, 成为泥沙的“运载工具”. 高含沙水流是一种固体、液体两相流, 水与细颗粒泥沙形成的准均质“浆液”是两相流的液相, 较粗的泥沙颗粒则作为固相悬浮在上述液相之中向前运动. 进入高含沙水流范围之后, 液相具有比清水更大的浮力, 可以更有效地使粗颗粒泥沙进入悬浮状态而被搬运, 使挟沙水流所作的悬浮功减少, 因而水流能耗减少、阻力减小, 较粗的泥沙可由推移质变为悬移质, 故挟沙水流可以用较小的水流强度运输具有较大含沙量的泥沙. 这就是高含沙水流作为一种强有力的泥沙运载工具的物理力学实质.

对于黄土高原河流而言, 存在着一个最优的粗颗粒和细颗粒泥沙的搭配关系, 使得高含沙水流的含沙量达到最大值^[11,12]. 如果有大量的粗颗粒供应而缺乏细颗粒, 则两相流中的液相不发育, 粗颗粒泥沙难以悬浮而被搬运; 如果有大量的细颗粒供应而粗颗粒泥沙较少, 则两相流的液相发育较好, 可以作为“运载工具”而“承运”粗泥沙, 但却得不到可以供搬运的粗泥沙. 在上述两种情况下, 均不能出现最大含沙量. 显然, 只有泥沙的供应处于上述两种极端之间的某种中间状况, 才会出现最大含沙量. 位于风沙—黄土转换带的若干支流, 如窟野河、秃尾河、佳芦河、无定河等, 冬天、春天盛行西北风, 将大量粗颗粒的风成沙吹入沟道中, 河道中和河漫滩上, 并暂时存贮在那里; 进入雨季和汛期之后, 流水作用居于主导地位, 来自黄土覆盖区的暴雨洪水进入沟道、河道, 其中含有大量细颗粒泥沙, 构成固液两相流的液相, 并使前期存贮于沟道和河道中的粗颗粒风成沙作为固相进入水沙两相流, 向下游运动^[10]. 很显然, 这一地区高含沙水流的最优粒度组成与风力—水力两相作用有密切的关系.

为了证明上述论断, 在图2中以所研究河流的资料为基础, 点绘了悬移质泥沙中大于0.05 mm粗泥沙和小于0.01 mm细泥沙百分比与风水两相作用指标之间的关系. 图中显示, 悬移质泥沙中的粗颗粒百分比和细颗粒百分比随风水两相作用指标 I_{ws} 而变化; 随着 I_{ws} 的增大, 0.05 mm百分比减少而粒径小于0.01 mm百分比增大. 这意味着由于风力作用和水力作用组合方式随不同的流域而变化, 使得挟沙水流中粗细泥沙的搭配关系也随之变化. 这种

自然界的组合方式和调节机制有可能导致高含沙水流悬移质泥沙最优粒度组成的出现.

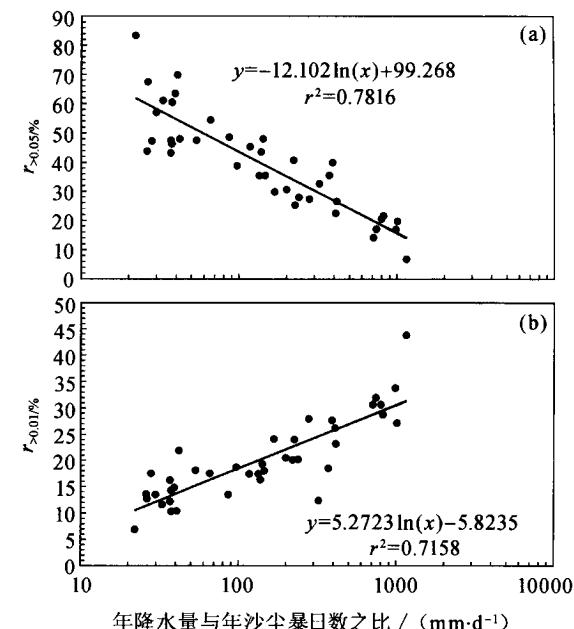


图2 悬移质泥沙粒度与风水两相作用指标之间的关系^[12]
(a) 大于0.05 mm粗泥沙百分比; (b) 小于0.01 mm细泥沙百分比

图3中点绘了平均含沙量、年最大含沙量的平均值和水文记录中的最大含沙量随风水两相作用指标的变化. 可以看到, 随着风水两相作用指标值的增大, 上述3个含沙量也增大, 并达到峰值, 然后再减小. 因此, 图2和图3中的关系证明, 风水两相作用通过对泥沙供应条件的调节, 来控制悬移质泥沙的粗细颗粒搭配关系, 并进而实现最优组合, 从而使挟沙水流的输沙能力得到强化.

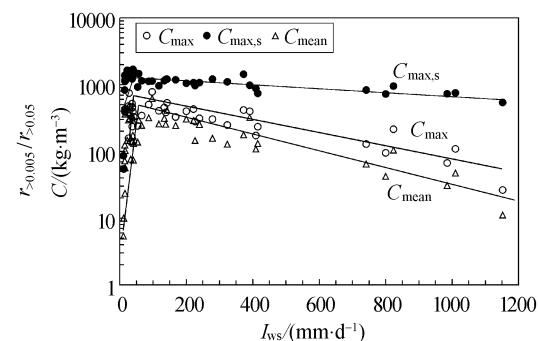


图3 年均含沙量 C_{mean} 、年最大含沙量的平均值 C_{max} 和水文记录中的最大含沙量 $C_{max,s}$ 随风水两相作用指标的变化

3 风水两相作用与地表抗蚀性空间分布的关系

地表抗蚀性可以分为地表物质的抗蚀性和植被对地表物质的保护作用。在黄土高原，这两方面特性的地域分布均与风水两相作用有密切的关系，因而形成了不同的地域类型。

3.1 风水两相作用对地表物质分异的控制作用

黄河中游多沙粗沙区河流泥沙中粒径大于0.05 mm的粗颗粒，一部分来自风成沙，另一部分则来自沙黄土和基岩风化物中较粗的部分。黄土地层是黄土高原河流泥沙的主要来源，黄土的分布和粒度变化对于这一地区的侵蚀产沙过程有深远的影响。作为一种风成堆积物，黄土是在过去的漫长岁月中，由风力从区外搬运到黄土高原的粉尘物质沉积而形成的。由于风力的作用自西北向东南逐渐减弱，使得风力输送并沉积下来的黄土物质在粒度上按这一方向逐渐变细，其中粒径大于0.05 mm的粗颗粒逐渐减少，而粒径小于0.005 mm的黏土颗粒逐渐增多。同时，由西北向东南降水量增多，生物成土作用加强，有利于化学风化和黏土颗粒的形成，也有利于地表黄土物质进一步变细。因此，本区的风水两相作用，对地表黄土物质的粒度组成有一定的控制作用。本文作者曾以黄土高原50多个县的资料为基础，点绘了黄土物质中粒径大于0.05 mm的百分比、粒径小于0.005 mm百分比与风水两相作用指标的关系，发现随着 I_{ws} 的增大，即风力作用减弱，水力作用增强，黄土中粒径大于0.05 mm的百分比减小而粒径小于0.005 mm的百分比增大^[13]。

黄土物质的粒度组成与其抗蚀性有密切关系，黄土中粒径小于0.005 mm细颗粒为黏土粒级，抵抗水蚀的能力较强，同时也可以作为一种黏结物质，使土壤颗粒形成团聚体，因而增加抗蚀性。如果黄土性土壤中以粒径大于0.05 mm的粉沙颗粒为主而粒径小于0.005 mm的黏颗粒较少，则土壤中不易形成团聚体，因而抗性较弱。因此，也可以用黄土中粒径小于0.05 mm的百分比与大于0.05 mm的百分比之比来表示其抗蚀性。图4中点绘了这一指标与风水两相作用指标的关系，两者之间具有明显的正相关^[13]。结果表示，风水两相作用可以通

过对地表黄土物质抗蚀性的影响来影响侵蚀产沙过程。

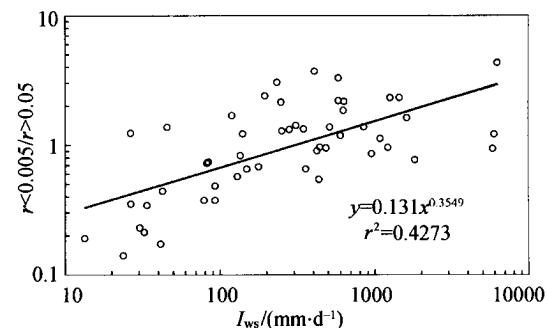


图4 黄土粒径小于0.005 mm的百分比与大于0.05 mm的百分比之比与风水两相作用指标的关系

3.2 风水两相作用与植被分布的关系

如前所述，黄土高原地区不同地点的沙尘暴日数与年降水量之间存在着密切的负相关。由于植被状况与气候的干湿程度密切相关，故风力水力两相作用的地域分布与天然植被状况的地域分布之间也有比较密切的联系。图5中点绘了黄土高原地区280余县的森林覆盖率与风水两相作用指标的关系，可以看到，两者表现出一定的正相关，相关系数 $r=0.41$ ，显著性概率小于0.01。由于目前所研究地区的森林植被，大多数是人为破坏之后的天然次生林或人工次生林，故点子的分布相当分散；但正相关关系的存在表明，在人为因素影响下的森林分布，在总体趋势上仍然受到自然因素的控制。

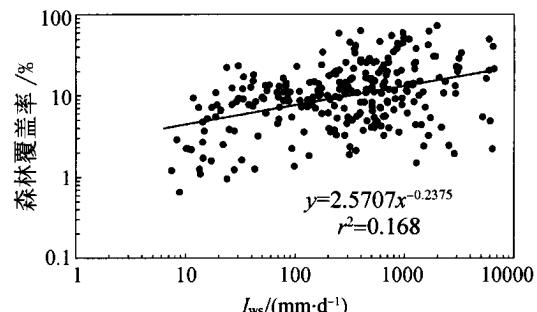


图5 黄土高原地区280余县的森林覆盖率与风水两相作用指标的关系

图5显示，在风水两相作用指标值较低，以风力作用占优势时，森林覆盖率很低；随着风水两相作用指标值的增高，逐渐过渡为以水力作用占优势

时, 森林覆盖度显著增大。森林覆盖率可以用来表示植被对地表物质保护作用的大小。故由图 5 可知, 在风力水力作用组合方式不同的地区, 植被对地表物质保护作用也表现出不同的水平。

4 基于风水两相作用的自然因素组合方式的地域类型

从上文中对风力、水力作用和受其影响而形成地表黄土物质和植被覆盖状况的讨论可知, 在风力、水力作用的地带性变化的影响下, 其他自然地理要素也表现出一定的地域分异特征。这种地域分异特征, 既导致了高含沙水流粗细颗粒供应条件和液相、固相发育程度的差异, 也导致了不同地点降雨侵蚀力与地表物质和植被抵抗侵蚀能力对比关系的差异。依据上述差异, 从西北向东南可以划分出 3 种类型:

4.1 风力主导

位于本区西北部, 包括年降水量小于 300 mm, 年均沙尘暴日数大于 25 d 的地区。风水两相作用指标值为 $30 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 以下。地表物质以风成沙为主, 抗蚀力弱; 地表植被为荒漠灌丛, 植被稀疏, 抗蚀力很弱。另一方面, 降水量小, 降雨侵蚀亦弱; 地表物质渗透性强, 不易产流, 地表径流模数很低。显然, 在这样的自然条件下, 侵蚀强度很低。同时, 由于黄土物质的缺失, 水流中细颗粒泥沙含量很低, 虽然风力将大量粗颗粒泥沙吹入河道, 但固体、液体两相流中的液相不发育, 不能形成高含沙水流, 故河道水流的输沙能力很低。因此, 这一地区河流的侵蚀产沙强度很低, 表现为低值区。

4.2 风水两相作用主导

由风力主导的地区即风沙区向东南, 进入风沙黄土转换带, 地表物质为盖沙黄土、沙黄土, 东南侧则出现典型黄土。年降水量为 350—500 mm, 年均沙尘暴日数为 15—5 d, 风水两相作用指标值为 $30—80 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。地表植被类型由干旱草原向东南过渡为森林草原, 森林覆盖度低, 地表黄土物质中 0.05 mm 含量较高而粒径小于 0.005 mm 含量较低, 故黄土物质对水力作用的抗蚀能力较低。由于风力作用和水力作用都较强, 故风水两相作用占优势。风力作用将大量的风成粗颗粒泥沙带入沟道、河

道, 成为两相流中的固相; 水力作用则将黄土物质输送入河道, 其中的粗颗粒增加了两相流中的固相组分, 细颗粒则形成了两相流的液相, 故高含沙水流在本区极为发育, 成为侵蚀和输运泥沙的强大动力。因此, 可以预期, 侵蚀产沙强度将在本区达到峰值, 从而导致若干重要的侵蚀产沙高值区和中心区的出现。

4.3 水力作用主导

位于风水两相作用区主导区的东南侧和南侧, 年降水量增加到 500 mm 以上, 年均沙尘暴日数减少到 5 d 以下。地表黄土类型为典型黄土和黏黄土, 黄土物质中粒径大于 0.05 mm 含量较低而小于 0.005 mm 含量较高, 故地表物质抗蚀性大大增强。水分条件较好, 有利于植被生长, 处于主导地位的天然植被类型为落叶阔叶林。降雨侵蚀力强, 但因为地表物质和植被的抗蚀力均较强, 可以抵消降雨的作用而有余。同时, 由于风力作用较弱, 不能将粗颗粒泥沙带入河道; 典型黄土和黏黄土中粒径大于 0.05 mm 粗颗粒含量亦低, 故固体、液体两相流中固相不发育。尽管有大量细颗粒泥沙的供应来形成液相, 但缺乏可供搬运的固相, 故高含沙水流所能达到的含沙量要显著地低于前一类型区。因此, 此区侵蚀产沙强度不高, 形成了另一个低值区。

5 产沙模数与风水两相作用的关系

5.1 相关关系

为了验证上文中所指出的不同组合类型区内侵蚀产沙过程与水力、风力和风水两相作用之间的关系, 以黄河中游支流 45 个站点的资料为基础, 分别点绘了年均产沙模数与年降水量、年沙尘暴日数和风水两相作用指标之间的关系(图 6)。在上述 3 个关系图中, 均可以看到一个峰值区, 与之相对应的年降水量为 350—450 mm(图 6(a)), 年均沙尘暴日数为 5—15 d(图 6(b)), 风水两相指标值为 $30—80 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。这与上文中风水两相作用主导的数值是一致的。在峰值区的两侧, 产沙模数都较低, 表现为低值区。图 6(a)中左侧低值区, 年降水量为 300 mm 以下(图 6(a)), 图 6(b)右侧低值区, 年均沙尘暴日数为 15 d 以上, 图 6(c)中左侧低值区, 风水两相指标值在 $30 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 以下, 均属于风力主

导区。由于上文所述的原因,产沙模数较低。图6(a)中右侧 Y_s 低值区,年降水量在550 mm以上;图6(b)左侧 Y_s 低值区,年沙尘暴日数在5 d以下;图6(c)右侧 Y_s 低值区,风力两相作用指标值在 $80 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 以上,均属于水力作用主导区。由于上文所述的原因,产沙模数亦较低。

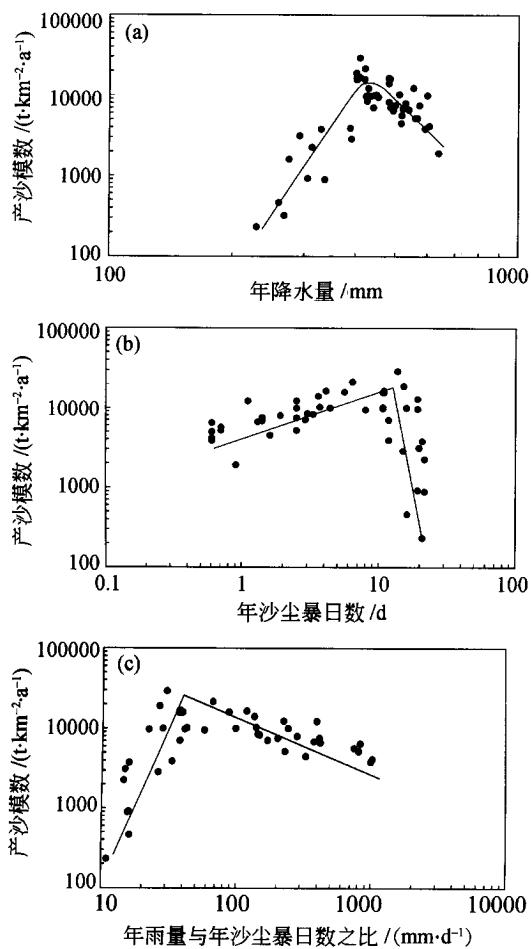


图6 年均产沙模数与影响因素之间的关系

- (a) 年均产沙模数-年降水量(据文献[10], 补充了新数据);
- (b) 年均产沙模数-年沙尘暴日数(据文献[10], 补充了新数据);
- (c) 年均产沙模数-风力两相作用指标

当降水量进一步增大时,产沙模数则减小。其后,这一变化图形得到了世界上不同地区研究成果的证实^[15-17],被称为Langbein-Schumm关系。在Langbein和Schumm对产沙模数-降水量关系的解释中,只是着眼于降雨侵蚀力与植被对地表物质的保护作用对比关系,来解释侵蚀强度随年降水量的变化而出现的复杂变化图形。在干旱地区,虽然地表植被保护作用很弱,但由于降雨很少,故流水侵蚀强度很低。当降雨增多而进入半干旱地区,侵蚀强度急剧增大,并达到峰值。当降雨进一步增多而进入半湿润和湿润地区以后,虽然降雨侵蚀力也增大,但植被的茂密生长可以有效地保护地表物质,故侵蚀强度减弱。这一作用在黄土高原是存在的,可以认为这种解释揭示了产沙模数与年降水之间非线性关系的第一重内涵。

如前所述,黄土物质是一种风成沉积,其粒度随风力作用的减小和沙尘暴频率的减小而变细。另一方面,风尘堆积以后的变化还与后期气候与植被条件有关,降水越多,植被越好,则次生的黏土矿物越多,黄土的粒度越细。因此,所研究地区地表物质的区域分异与风力两相作用有密切关系,由黄土粒度所决定的地表物质的抗蚀性表现出随年降水量的地域变化而变化。在年降水量很低、风力作用很强的地区,地表物质粗,颗粒间缺乏黏结力,故可蚀性很低;但降雨侵蚀力也很低,且地表物质渗透性强,不易产流,不足以造成较强的侵蚀,故侵蚀强度很低。随着年降水的增大,降雨侵蚀力增强,与此同时地表黄土物质变细,可蚀性有所降低,但两者相比前者居于主导地位,故侵蚀强度增大并达到峰值。当年降水量进一步增加时,地表黄土物质中粒径小于0.005 mm的黏性成份增多,使可蚀性进一步下降;虽然年降水量增大导致了降雨侵蚀力的增大,但与地表物质可蚀性的减少相比处于次要地位,因而侵蚀强度减小。可以认为,这是产沙模数与年降水之间非线性关系的第二重内涵。

从上文的分析还可以看出,与年降水地域变化相联系的风力两相作用的地域变化还决定了固体-液体两相流发育程度的差异,因而决定了输沙动力的不同。在年降水量很低、风力作用很强的干旱风沙区,缺乏来自黄土的细粒物质来形成液相,不能运载粗颗粒固相物质,故高含沙水流不发育。在降水

5.2 对Langbein-Schumm关系内涵的延伸
通过图6中的3条曲线,可以对Langbein-Schumm关系^[14]的内涵予以延伸。早在1958年,美国学者Langbein和Schumm就以美国中部和东部若干流域的资料为基础,建立了流域产沙模数与年有效降水量之间的关系。该关系表明,随着有效降水量的增加,产沙模数先是增大,并达到峰值;

量中等、风水两相作用占主导地位的地区即风沙黄土转换区和沙黄土区，由于特定的风力、水力作用的季节性组合，固体—液体两相流中的液相和固相都能够得到充分的发育，因而高含沙水流的含沙量达到峰值。当年降水进一步增大，风力作用变弱，地表黄土物质中含有大量细颗粒，但缺乏粗颗粒的供应，故高含沙水流的固相发育程度很低，所能达到的含沙量亦较低。由上述变化所决定的输沙动力随年降水量的变化也导致了产沙模数与年降水之间非线性关系的出现，这可以视为黄河中游产沙模数与年降水量之间非线性关系的第三重内涵。

6 风水两相主导作用对黄河中游多沙粗沙区形成的影响

黄河中游多沙粗沙区的界定，是黄河治理中重大的理论问题，迄今已进行了大量研究。研究发现，由于黄河流域泥沙来源分布极不均匀，对黄河下游河道淤积影响最大的粒径大于0.05 mm粗泥沙，集中地分布于黄河中游的某些特定地区，大致位于河口镇至龙门间诸支流、北洛河以及泾河上游。在这些地区若能集中力量加以治理，可以大大减少入黄粗泥沙量，从而减缓下游河道的淤积。上述地区被称为多沙粗沙区^[18]。黄河水利委员会最近的研究表明，该区面积为 $7.86 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，分布于河口镇与龙门区间，也包括北洛河上游和泾河支流马连河流域^[4]。将多沙粗沙区的范围与年降水量和年沙尘暴日数等值线图加以比较后发现，该区绝大部分面积位于年降水350 mm等值线和500 mm等值线之间，以及年沙尘暴日数15 d等值线和5 d等值线之间。也就是说，多沙粗沙区位于本文所划分的风水两相作用主导区内，这绝不是偶然的现象。风水两相作用主导区内多项自然因子（降水、沙尘暴、地表物质、植被）和自然过程（风力作用、水力作用的侵蚀搬运过程，特别是高含沙水流的形成）的组合，均十分有利于侵蚀产沙过程，因而成为黄土高原地区侵蚀产沙的高值区，这在上文中已经进行了详细讨论。可以认为，本文的研究从风水两相作用的角度，进一步揭示了黄河中游多沙粗沙区的形成机理。基于这一认识，对风水两相侵蚀的治理应该作为多沙粗沙区治理的重要内容。

7 结论

(1) 所研究地区存在着特殊的风力、水力两相作用，本文用某一地点年降水量 P_m 与年均沙尘暴日数 \bar{D}_{ss} 之比 P_m/\bar{D}_{ss} 来定量表达风力、水力两相作用，称为风水两相作用指标。

(2) 风力两相作用通过对泥沙供应条件的调节，来控制悬移质泥沙的粗细颗粒搭配关系，并进而实现最优组合，从而使挟沙水流的输沙能力得到强化。

(3) 地表物质抗蚀性和植被对地表物质的保护作用的地域分布均与风水两相作用有密切的关系，因而形成了不同的地域类型。文中划分了风力作用主导类型、风水两相作用主导类型和水力作用主导类型等3种类型。

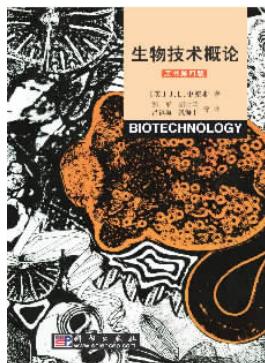
(4) 产沙模数与年降水量、年沙尘暴日数和风水两相作用指标之间存在着非线性关系。在这3个关系中，均表现出一个产沙模数的峰值区，与之相对应的年降水量为350—450 mm，年均沙尘暴日数为5—15 d，风水两相指标值为 $30—80 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。通过本文的研究，可以从风水两相作用对地表物质抗蚀性和对固体—液体两相流的影响两个方面着眼，对Langbein-Schumm关系的内涵予以延伸。

(5) 多沙粗沙区位于本文所划分的风水两相作用主导区内，这绝不是偶然的现象。风水两相作用主导区内多项自然因子（降水、沙尘暴、地表物质、植被）和自然过程（风力作用、水力作用的侵蚀搬运过程，特别是高含沙水流的形成）的组合，均十分有利于侵蚀产沙过程。本文的研究从风水两相作用的角度，进一步揭示了黄河中游多沙粗沙区的形成机理。基于这一认识，对风水两相侵蚀的治理应该作为多沙粗沙区治理的重要内容。

参 考 文 献

- 1 陈永宗, 景可, 蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理. 北京: 科学出版社, 1988, 1—170
- 2 景可, 陈永宗, 李凤新. 黄河泥沙与环境. 北京: 科学出版社, 1993, 1—248
- 3 唐克丽(主编). 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其防治途径. 北京: 中国科学技术出版社, 1990
- 4 徐建华, 牛玉国. 水利水土保持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, 32

- 5 冉大川, 柳林旺, 赵力仪, 等. 黄河中游河口镇之龙门区间水土保持与水沙变化. 郑州: 黄河水利出版社, 2000
- 6 汪 岗, 范 昭(主编). 黄河水沙变化研究. 第1卷, 郑州: 黄河水利出版社, 2003
- 7 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
- 8 许炯心. 黄土高原的高含沙侵蚀研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1): 27—36
- 9 王万忠, 焦菊英. 黄土高原侵蚀产沙强度的时空变化特征. 地理学报, 2002, 57(2): 210—217
- 10 许炯心. 2000. 黄河中游多沙粗沙区的风水两相侵蚀产沙过程. 中国科学, D辑, 2000, 30(5): 540—548
- 11 Xu JX. The optimal grainsize composition of suspended sediment of hyperconcentrated flows in the middle Yellow River. International Journal of Sediment Research, 1997, 12(3): 170—176
- 12 许炯心. 风水两相作用对黄河支流悬移质粒度特征的影响及其意义. 自然科学进展, 2005, 15(8): 958—964
- 13 许炯心. 2005. 风水两相作用对黄河流域高含沙水流的影响. 中国科学, D辑, 35(9): 899—906
- 14 Langbein LB, Schumm. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. Transactions American Geophysical Union, 1958, 39: 1076—1084
- 15 Douglas, I. Man, vegetation and sediment yield of river. Nature, 1967, 215: 925—928
- 16 Walling DE, Webb BW. Patterns and sediment yield. In: Gregory K J (ed.), Background to Palaeohydrology. Chichester: Wiley, 1983, 69—100
- 17 Wilson L. Variations in mean annual sediment yield as a function of mean annual precipitation. American Journal of Science, 1973, 273: 335—349
- 18 钱 宁, 王可钦, 阎林德等. 黄河中游粗泥沙来源区对黄河下游冲淤的影响. 见: 中国水利学会编, 第一次河流泥沙国际学术讨论会论文集, 北京: 光华出版社, 1980, 53—62



科学出版社最新书讯

《生物技术概论(第四版, 翻译版)》

John E. Smith 原著 郑平 胡宝兰 吕镇梅 钱海丰 等译
科学出版社 定价: 30.00 元

在这本经典教科书的第四版中, John Smith 再次深入浅出地释解了生物技术, 特别是基因操作的奥秘, 为学生和普通读者介绍了现代生物技术的历史、技术和应用. 本书涵盖了生物技术的各个方面, 正面介绍了它对人类社会的潜在利益. 在这个版本中, 以更大的篇幅介绍了公众对生物技术的理解以及由此引发的伦理和安全问题.