

# 皇甫川流域侵蚀产沙特征及成因分析

张平仓 刘玉民 张仲子

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

## 提 要

该文论述了皇甫川流域侵蚀与产沙的过程及其危害的严重性,并分析了府谷天桥电站对该流域下游河床淤积,以及皇甫川流域对天桥电站、黄河干流府谷段泥沙淤积的影响。同时笔者还对该流域主要侵蚀产沙方式,土壤侵蚀加剧的原因进行了分析。指出:人类开垦,是土壤侵蚀加剧的重要原因。降水偏少,且多暴雨及强烈风化的特殊基岩,是该流域成为黄河中游剧烈侵蚀地区的关键所在。因而“保护现存黄土,增加草灌覆盖,加强沟道防护工程”是目前皇甫川流域综合治理的根本措施。

关键词:皇甫川流域 侵蚀产沙 砒沙岩

## The Features of Sediment Production and the Analysis of Genesis by Erosion in Huangfuchuan Watershed

Zhang Pingcang Liu Yumin Zhang Zhongzi

(The Northwestern Institute of Soil and Water Conservation  
Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,  
Yangling, Shaanxi 712100)

### AbStract

This paper deals with the process of sediment production by erosion and severity of its damages in Huangfuchuan watershed. Also, this paper analysed the effects of Tianchao hydraulic power station in Fugu upon the sedimentation of the downstream river bed in this watershed, and the effects of Huangfuchuan watershed upon Tianchao hydraulic power station and sediment deposition of each river section of trunkstreams of the Yellow River in Fugu. At the same time, the authors analysed the sediment production by erosion, and causes of intensified soil erosion, and further pointed out that land reclamation by human beings is the important cause to intensify soil erosion. Also, less rainfall with more rainstorms and strong weathering special bedrocks are the main links in the strongly-eroded areas in the middle reaches of the Yellow-River. Therefore, conserving the existing loess, increasing grass and shrub coverage, and strengthening protection engineering structures in gullies can be the fundamental measures at present for comprehensive control over Huangfuchuan watershed.

Key words Huangfuchuan watershed sediment production by erosion  
arsenic sandy rock

## 一、流域侵蚀产沙概况

皇甫川是黄河中游上段的一级支流，发源于内蒙古准格尔旗北部点畔沟。经纳林、沙镇至陕西府谷道坎坪汇入黄河。全长125km，流域面积3 246km<sup>2</sup>。全流域人口约80 000人，人口密度约25~30人/km<sup>2</sup>。

皇甫川是一条多沙粗沙河流，多年平均输沙量为6 120万t，输沙模数平均为1.91万t/(km<sup>2</sup>·a)，其中50%以上地区输沙模数在2.1万t/(km<sup>2</sup>·a)以上，局部地区个别年份高达3~5万t/(km<sup>2</sup>·a)以上。大于0.05mm的粗泥沙占总沙量的61.3%，粗泥沙模数为1.2万t/(km<sup>2</sup>·a)，是黄河中游地区的剧烈侵蚀中心和粗泥沙主要来源地之一。

## 二、土壤侵蚀的主要危害

(一) 严重的坡面侵蚀，导致土地生产力下降，土壤更加贫瘠 流域内砒沙岩土层仅20~30cm，黄土层略厚，但多为粉沙质。经过一个春秋，就可使坡地砒沙石土平均剥蚀4.4mm，黄土层剥蚀1.9mm（见表1）。流域内土壤有机质含量普遍低于1.0%，黄土为0.5%~1.0%，砒沙石土约0.2%~0.6%。然而一次暴雨就可流失有机质0.22%~0.32%（见表2）。为了提高土地生产力，增加作物产量，就必然要施用大量化肥，从而使投资增大。（见表3）。

表1 五步进沟坡面小区土壤侵蚀量（1983—1984年平均值）

| 小区号 | 土 壤  | 坡度<br>(°) | 地 类  | 6~9月降雨<br>量 (mm) | 径流量<br>(m <sup>3</sup> /ha) | 侵蚀量<br>(kg/ha) | 侵蚀深度<br>(mm) |
|-----|------|-----------|------|------------------|-----------------------------|----------------|--------------|
| 1   | 黄 土  | 17        | 弃耕荒地 | 406.8            | 424.2                       | 27 746         | 1.9          |
| 5   | 砒砂石土 | 17        | 弃耕荒地 | 406.8            | 604.7                       | 64 812         | 4.4          |

表2 五步进沟坡面小区一次暴雨土壤养分流失量（1984年6月14日测）

| 小区号 | 降雨量<br>(mm) | 平均雨强<br>(mm/min) | 侵蚀量<br>(kg/ha) | 有 机 质<br>(×10g/kg) | 碱 解 氮<br>(mg/kg) | 速 效 磷<br>(mg/kg) | 速 效 钾<br>(mg/kg) |
|-----|-------------|------------------|----------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1   | 44.6        | 0.05             | 2 436          | 0.32               | 31               | 3.3              | 92               |
| 5   | 44.6        | 0.05             | 26 500         | 0.22               | 21               | 2.0              | 50               |

表3 准格尔旗农牧业生产力变化情况（表中各项为10年平均）

| 项 目        | 1951~1960 | 1961~1970 | 1971~1980 |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| 人口 (万人)    | 12        | 16        | 20        |
| 耕地面积 (万亩)  | 163       | 158       | 124       |
| 粮食总产量 (kg) | 3 500     | 4 000     | 4 900     |
| 增长率 (%)    |           | 22.9      | 14.0      |
| 化肥施用量 (t)  | 17        | 484       | 7 161     |
| 增长倍数 (倍)   |           | 27.5      | 102.9     |

(二) 强烈的沟蚀使平坦地面缩小, 生活空间变得狭窄 皇甫川流域沟蚀强烈, 沟头前进、溯源侵蚀、沟坡重力侵蚀、沟坡扩展极其发育, 从而使沟间地平坦地面迅速缩小, 生活空间愈变愈窄。金争平等应用1957年和1988年两期航片, 对照分析该流域内五分地沟, 30年沟壑面积扩大 $0.41\text{km}^2$ , 占流域面积 $3.2\text{km}^2$ 的12.9%, 平均每年有7.5亩较平坦地面被蚕食。目前该流域沟谷密度多在 $3\sim 7\text{km}/\text{km}^2$ , 沟壑面积占30%~50%以上。虽然人均占有土地在65亩以上, 但其中有一半几乎无法利用。50年代准格尔旗耕地面积163万亩; 70年代下降为124万亩; 人均耕地由13亩左右降为6.2亩。

(三) 大量洪水泥沙造成河道淤积, 淹埋冲毁农田和水电设施 皇甫川流域不仅以多沙有名, 而且以粗沙著称, 剧烈的地表侵蚀产生了密集而陡峭的沟道, 汛期大量泥沙沿支沟倾入干流, 并汇入黄河, 对黄河干流府谷天桥电站构成了严重的威胁。天桥电站距离皇甫川入黄处约20 km。两者相互影响, 相互作用, 彼此威胁对方。

1. 府谷天桥电站对皇甫川下游泥沙淤积影响。天桥电站的建成, 使皇甫川流域下游入黄处局部基准面抬高, 加之汛期库区洪水回水, 导致该流域下游泥沙大量淤积, 尤其是如遇流域内降水不均, 特别是当暴雨中心位于中上游地区, 则出现大量高含沙洪水下泄下游淤积。据野外实地调查, 皇甫川下游河床在个别年份局部河段可一次抬高50cm以上, 导致河床摆动, 使河道边滩地无法常年耕作利用, 加上洪水泛滥频繁, 灾害连年发生, 又因干流河床抬高, 反对其下游支流洪水产生顶托作用, 造成下游支流淤积, 带来危害。如麻镇西沟1986年一场洪水使沟道下游淤积泥沙厚达1 m, 沟内仅有0.5亩台地被全部淹埋。府谷县魏家畔水库, 控制面积 $5.3\text{km}^2$ , 仅4年就淤满报废, 淤积量达 $30\text{万m}^3$ 。

2. 皇甫川洪水泥沙对府谷天桥电站的影响。皇甫川是天桥电站库区产沙量最大的河流, 大量泥沙、污草淤积水库, 对电站正常运行造成严重威胁, 如1981年7月24日至25日, 皇甫川流量达 $1\ 070\text{m}^3/\text{s}$ , 含沙量 $1\ 140\text{kg}/\text{m}^3$ , 黄河干流流量达 $1\ 770\sim 2\ 200\text{m}^3/\text{s}$ , 含沙量 $12.9\sim 20.7\text{kg}/\text{m}^3$ , 由于淤积沙草堵塞, 使1号机组拦污栅压差高达6 m多, 造成拦污栅被压断掉入蜗壳, 停机3个月, 对工农业生产及人民生活等造成巨大损失。

3. 皇甫川洪水泥沙对黄河干流泥沙淤积的影响。皇甫川流域是天桥电站最主要的沙源, 汛期大量泥沙倾入库区, 造成严重的泥沙淤积。为保证库区电站正常运行, 往往需要排沙, 而通过库坝排出来的大量粗沙, 堆积库坝下游府谷段, 使该段河床不断抬高。自建国到1983年黄河干流河床抬高2 m, 平均每年抬高 $6\sim 7\text{cm}$ , 迫使该县防洪河堤一再加高, 长期下去将给县城的安全构成严重威胁。

### 三、侵蚀产沙特征

(一) 地表侵蚀的主要类型 皇甫川流域地处黄土高原风蚀、水蚀交错地带<sup>[1]</sup>, 地表侵蚀方式复杂多样, 按侵蚀营力主要划分为水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀, 潜溶侵蚀等。

1. 水力侵蚀。水力侵蚀是皇甫川流域最主要的侵蚀方式。水力侵蚀包括雨滴溅蚀、坡面流水侵蚀和沟谷流水侵蚀。由于地面组成物质、地形等因素的限制, 雨滴溅蚀在流域内不十分强烈, 因而研究得也比较少。坡面水力侵蚀较为强烈, 主要形式有片蚀、细沟侵蚀。主要发生部位在坡面开垦耕地、坡脚风化碎屑堆积物、片沙及流域东南部黄土丘陵坡面。坡面侵蚀是土壤流失的一种主要方式, 对农业生产危害极大。沟蚀在流域极其发育, 是流域最主要的侵蚀产沙方式, 其产沙量约占流域总产沙量的70%以上, 沟蚀主要有两种, 坡面沟蚀和沟道侵蚀。前者如切沟、悬沟等, 后者多形成冲沟、干沟、河沟以及河流等, 前者是后者的形成阶段, 后者是前者的发展

结果。沟蚀不仅由于沟谷的发展而产生大量泥沙,而且沟道又是洪水泥沙的主要通道,沟道侵蚀极为强烈。另外还导致重力侵蚀的发生。

2. 风力侵蚀。皇甫川流域的风力侵蚀主要表现为两种形式,一种为风积作用;另一种为风蚀作用,二者互为因果和对象。正因为如此,使得流域的风蚀作用表现得十分复杂,风积物同时又是风蚀的对象,风蚀地区又随时可能成为风积地区。目前流域作为风积作用的结果,片沙主要分布于流域北部毛乌素,库布齐沙漠的东缘和南缘,张平仓等<sup>[2]</sup>采用1/5万地形图,实地填图量算流域片沙覆盖面积为283km<sup>2</sup>,占流域总面积的8.7%。同时进一步研究得出,作为流水侵蚀对象之一的片沙其相对产沙量占河口悬移质泥沙总量的0.12%,一年产沙总量达7.1万t,风蚀在流域分布比较普遍,并可作用于任何一种地面组成物质,如基岩、黄土、风积片沙等。风蚀作用首先使地表养分含量较高的细粒物质被吹扬,使土壤变粗变薄、变瘠,加之风积沙的淹埋作用,因而风力侵蚀对农业危害极大。此外,风蚀作用还往往造成树根出露,种籽吹扬,幼苗受损等危害。还有,风蚀往往造成大量飞沙直接进入河流,成为河流泥沙的来源。杨根生等<sup>[3]</sup>计算皇甫川流域因风力侵蚀作用入河沙量年达430万t,是流水侵蚀作用片沙产沙量60多倍。金争平等在五分地沟试区测算流域风蚀模数达0.45~1.8万t/(km<sup>2</sup>·a),风蚀深度每年达0.5~2.8cm。

3. 重力侵蚀。重力侵蚀是皇甫川流域沟谷扩展的主要原因,同时又是流域产沙的主要方式之一。重力侵蚀在流域主要表现为泻溜、散落、坍塌、崩塌,及各种小型滑坡(以浅层滑坡为主)。由于构造、岩性、温差、暴雨和地形的作用,使得流域重力侵蚀发育特别活跃,从上游狭窄的切沟到中下游较为开阔的冲沟、河沟,重力侵蚀亦有程度不同的普遍发育性。重力侵蚀的产沙方式,有直接与间接两种。泻溜、散落、小型浅层滑坡则是直接的、大量的产沙方式;坍塌、崩塌等各种下塌物堆积于坡脚,是充足的沙源,在流水中崩解而成为粗泥沙,是间接产沙方式。重力侵蚀产沙量,目前由于重力侵蚀物质与沟蚀物质常混在一起,使得难以精确估算,根据流域内黄土丘陵区五分地沟试区资料,重力侵蚀最大模数值达7.3万t/(km<sup>2</sup>·a),最小仅389.5t/(km<sup>2</sup>·a),相差悬殊,难以平均,重力侵蚀产沙量占流域总产沙量的1/3以上。在砒砂岩分布区,肯定还要高出此值。

(二) 侵蚀产沙的时空分布特征 流域侵蚀方式类型的时空分布特征,甘枝茂等<sup>[4]</sup>曾作过一般性论述,现结合我们的野外实地考察资料,讨论如下:

1. 在时间上,土壤侵蚀四季发生,但泥沙搬运以夏秋为主。冬春两季,流域寒冷干燥,风力强盛,侵蚀主要表现为各种冻融侵蚀,风蚀、重力侵蚀及雪融水引起的各种流水侵蚀等,此间由于无暴雨,不会形成强大的径流,强烈的水力侵蚀难以发生,泥沙搬运也相当困难,所发生的各种侵蚀只是为河流准备了相当一部分等待搬运的物质堆积于坡面、沟道及河床两岸。冬春两季的土壤侵蚀量约占全年土壤侵蚀总量的20%左右<sup>[4]</sup>。

夏秋两季是流域的汛期,此间,暴雨经常发生,径流集中,流水侵蚀,重力侵蚀异常剧烈,是流域集中产沙阶段。同时又是泥沙搬运的主要季节。由暴雨产生的洪水几乎将流域全年侵蚀的所有物质搬运到沟道,河流的中下游以至到黄河,洪水搬运的泥沙可占全年总泥沙搬运量的90%以上。例如:1972年7月19日,皇甫川一次洪水量9 600万m<sup>3</sup>,泥沙量8 600万t,分别占当年径流、泥沙总量的69.3%和96.1%。

2. 土壤侵蚀空间分布不均匀、强度差异很大。皇甫川流域由于地形及地面物质组成的空间差异很大,无论是土壤侵蚀强度(见表3),还是土壤侵蚀类型,在不同地区,不同地形部位都表现出比较大的差异。干流纳林川沙镇站以上控制面积占皇甫川站以上总面积的42.55%,是所谓的砒砂岩裸露地带,境内青砂露面,黄土零星分布,厚度仅1m左右。沟间地平缓,多在20°

以下, 但沟壑众多, 沟谷陡峭, 多在 $45^\circ$ 以上, 组成谷坡的砒沙岩, 由于成岩性差, 风化强烈, 沟蚀极度发育, 重力侵蚀屡见不鲜, 是剧烈的侵蚀地带, 这一地区集中了全流域径流总量的47.95%, 超过了该区面积的百分数, 然而泥沙更为集中, 占流域总泥沙量的57.19%, 侵蚀模数一般超过 $2.5 \text{万 t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 最高达 $5.79 \text{万 t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  (1980年输沙模数值)。而以黄土及第三纪红土为主要组成物质的十里长川流域, 由于地形上多具有黄土丘陵沟壑区的特征, 土壤面状侵蚀表现得比较突出。该流域长滩站以上控制面积占总面积的16.50%, 径流量仅占流域总径流量的8.53%, 说明黄土的渗透能力强于砒沙岩, 泥沙量占总输沙量的11.04%, 1978~1980年3年平均输沙模数为 $1.71 \text{万 t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 不及纳林川的1/2。

表4 皇甫川流域各测站水文特征

| 测 站            | 控制面积<br>( $\text{km}^2$ ) | 占总面积<br>的百分数<br>(%) | 平均流量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 径流量<br>( $\text{亿m}^3$ ) | 占径流量<br>百分数<br>(%) | 平均含<br>沙 量<br>$\text{kg}/\text{m}^3$ | 平均最大<br>含沙量<br>$\text{kg}/\text{m}^3$ | 平均输<br>沙 量<br>( $\text{万t}/\text{a}$ ) | 占总输沙<br>量百分数<br>(%) | 输沙模数<br>( $\text{万t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ) |
|----------------|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|--|
| 纳林川沙镇          | 1 351                     | 42.55               | 2.34                              | 1.27                     | 47.95              | 349.49                               | 1 215.8                               | 4 640                                  | 57.19               | 3.43   |
| 长川长滩           | 524                       | 16.50               | 0.85                              | 0.23                     | 8.53               | 316* *                               | 1 070.7                               | 895.8                                  | 11.04               | 1.71   |
| 沙镇+长滩          | 1 875                     | 59.05               | /                                 | 1.50                     | 56.48              | /                                    | /                                     | 5 535.8                                | 68.23               | 2.95   |
| 皇 甫            | 3 175                     | 100                 | 5.27                              | 2.65                     | 100                | 314.1                                | 1 297                                 | 8 113.3                                | 100                 | 2.56   |
| 皇甫一(沙镇<br>+长滩) | 1 300                     | 40.95               | /                                 | 1.05                     | 43.52              | /                                    | /                                     | 2 577.5                                | 31.77               | 1.98   |

注: 本表测值仅按长滩站1978、1979、1980年3年取同步系列而得, 流量、含沙量除长滩站外为长系列。

\* \* 仅为1978年值。

#### 四、侵蚀产沙的原因

皇甫川流域地处黄土高原和鄂尔多斯高原的过渡地带, 又是风蚀水蚀的交错地带<sup>(1)</sup>, 自然条件具有过渡性和复杂性, 生态环境脆弱, 这是该流域地表侵蚀产沙特别强烈的根本原因。构造运动、地形、风、温差, 疏松的地面, 组成物质等是流域侵蚀产沙的基础。而暴雨、地表裸露、地面入渗能力差又是流域侵蚀加剧的重要因素。

(一) 气候特征 影响流域侵蚀产沙的气候因素主要包括降水、温度和风, 而最主要的是暴雨。

1. 降水。皇甫川流域的平均降水量为 $309.5 \sim 414.9 \text{mm}$ , 由于地形、暴雨中心位置的不同, 流域内各地降水特征值明显不同 (见表5)。该区地处鄂尔多斯高原东南坡, 受气压地形等因素的综合影响, 使该区成为暴雨区, 暴雨一般发生在6~9月, 暴雨量占全年总降水量的80%以上, 年均暴雨5次 (见表6)。其中30~60min的暴雨出现1.85次, 占37%, 10min暴雨出现1.85次, 占37%。最大一日暴雨量为 $52.8 \text{mm}$ , 30天降雨总量 $175.6 \text{mm}$ 。典型黄土丘陵沟壑区的大理河流域最大一日暴雨量 $48.8 \text{mm}$ , 30天暴雨量 $166.5 \text{mm}$ , 均小于皇甫川流域 (见表7), 这是皇甫川流域侵蚀产沙剧烈的重要因素之一。

2. 温度。温度对土壤侵蚀的影响, 主要表现为剧烈的温度变化对土壤及岩石的冻融风化作用。皇甫川流域属于温带大陆性干旱型气候, 温度变化剧烈, 温较差大 (见表8)。流域中上游地区准格尔旗年平均气温在 $6.2 \sim 8.7^\circ\text{C}$ , 1月份最冷为 $-10.8 \sim -12.9^\circ\text{C}$ , 极端最低气温为 $-32.8^\circ\text{C}$ ; 7月最热为 $21.8 \sim 24.8^\circ\text{C}$ , 极端最高为 $39.1^\circ\text{C}$ , 极端气温年较差从南向北为 $68.7 \sim$

表5 皇甫川流域降水特征值

| 项 目            | 乌兰沟               | 德胜西              | 纳 林               | 沙 镇              | 西营子              | 古 城              | 长 滩               | 海子塔               | 皇 甫               |
|----------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 年平均降水量 (mm)    | 365.8             | 410.4            | 309.5             | 389.8            | 334.3            | 381.6            | 347.5             | 399.1             | 414.9             |
| 7~9月降雨量 (mm)   | 289.7             | 297.2            | 268.4             | 264.7            | 239.4            | 267.1            | 235.8             | 274.0             | 286.2             |
| 占年降水量百分数 (%)   | 79.2              | 72.4             | 72.6              | 67.9             | 71.6             | 70.0             | 67.9              | 68.6              | 69.0              |
| 年平均降水天数 (天)    | 57                | 55               | 53                | 67               | 48               | 55               | 43                | 63                | 68                |
| 一日平均最大降雨量 (mm) | 49.1              | 58.7             | 61.3              | 52.8             | 48.3             | 49.2             | 47.8              | 50.9              | 55.5              |
| 资料年限 (年)       | 1974—<br>1983(10) | 1976—<br>1983(8) | 1967—<br>1980(14) | 1967—<br>1983(6) | 1976—<br>1983(8) | 1976—<br>1983(8) | 1967—<br>1983(14) | 1967—<br>1983(17) | 1967—<br>1983(17) |

表6 皇甫川流域暴雨统计 (准旗气象站1963~1982年资料)

| 暴雨标准 (min) | 5    | 10   | 30  | 60   | 180  | 360  | 720  | 1 440 | 合 计 |
|------------|------|------|-----|------|------|------|------|-------|-----|
| 暴雨次数       | 7    | 37   | 26  | 11   | 8    | 2    | 2    | 6     | 100 |
| 年平均暴雨次数    | 0.35 | 1.85 | 1.3 | 0.55 | 0.40 | 0.10 | 0.10 | 0.30  | 5   |

表7 皇甫川与大理河流域水文特征比较表

| 河 流 | 流域控<br>制面积<br>(km <sup>2</sup> ) | 降水量 (mm) |       | 径 流<br>(亿m <sup>3</sup> ) | 泥 沙<br>(亿t) | 洪水含沙量 (kg/m <sup>3</sup> ) |         |      |         |       |         |       |         |       |         |
|-----|----------------------------------|----------|-------|---------------------------|-------------|----------------------------|---------|------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
|     |                                  | 全年平均     | 汛 期   |                           |             | ≥500                       |         | ≥800 |         | ≥1000 |         | ≥1200 |         | ≥1400 |         |
|     |                                  |          |       |                           |             | 次数                         | 占总<br>% | 次数   | 占总<br>% | 次数    | 占总<br>% | 次数    | 占总<br>% | 次数    | 占总<br>% |
| 皇甫川 | 3 199                            | 429.8    | 320.8 | 2.045                     | 0.607       | 126                        | 85.1    | 99   | 66.9    | 77    | 52.0    | 38    | 25.7    | 3     | 2.0     |
| 大理河 | 3 893                            | 469.1    | 320.5 | 1.742                     | 0.605       | 138                        | 93.2    | 94   | 63.5    | 27    | 18.2    | 2     | 1.4     | 0     | 0       |

注: 1. 此表资料来源于黄委会张胜利《皇甫川来沙未见明显减少的原因分析》一文; 2. 降水量泥沙量资料年限为1954~1970年; 洪水含沙量资料年限为1954~1980年的次洪水; 汛期降雨量资料年限为1954~1984年; 3. 两个流域相比较, 大理河偏南335.3km, 其流域形状相似。

71.1℃, 日较差从南向北为14.1~12.5℃。气温的年内变化影响土层温度变化(见表9), 主要表现为土层的冻融作用, 流域内10cm土层冻结初始日平均出现在11月份, 解冻日出现在3月份。一般年份土层最大冻结厚度为90~110cm, 极端冻结最厚在150cm以上。每年在秋末春初, 土层一冻一消, 加速了土层及岩体的机械风化, 野外实测, 流域内基岩风化厚度在1m以上。完全风化(物理风化)在5~15cm, 其风化壳特别疏松, 静水崩解速度为15~30s, 这些强烈风化的岩体, 降大暴雨即产生严重的土壤侵蚀。而处于半风化状态的岩体, 受冻融作用的影响, 体内裂

表8 府谷各月温度变化及日较差

| 项目      | 1月    | 2月    | 3月    | 4月   | 5月   | 6月   | 7月   | 8月   | 9月   | 10月  | 11月   | 12月   | 全年    |
|---------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 平均气温(℃) | -8.4  | -4.3  | 3.4   | 11.1 | 17.9 | 22.4 | 23.9 | 22.2 | 16.6 | 10.1 | 1.2   | -6.7  | 9.1   |
| 平均最高(℃) | -2.6  | 1.4   | 9.8   | 17.9 | 24.7 | 29.0 | 29.9 | 27.6 | 22.3 | 16.1 | 6.8   | -1.4  | 15.1  |
| 极端最高(℃) | 9.1   | 17.2  | 25.7  | 30.8 | 36.7 | 38.9 | 38.0 | 37.0 | 31.2 | 27.2 | 22.5  | 8.7   | 38.9  |
| 平均最低(℃) | -13.2 | -9.5  | -2.1  | 5.0  | 11.6 | 16.2 | 18.9 | 17.6 | 11.7 | 5.0  | -3.3  | -11.1 | 3.9   |
| 极端最低(℃) | -24.0 | -22.8 | -15.1 | -9.2 | 0.9  | 6.2  | 13.1 | 13.1 | 0.4  | -7.0 | -19.1 | -23.1 | -24.0 |
| 日较差(℃)  | 10.6  | 10.9  | 11.9  | 12.9 | 13.1 | 12.7 | 10.9 | 10.1 | 10.7 | 11.1 | 10.0  | 9.7   | 11.2  |

表9 沙镇地区月极端平均地温表

| 地温       | 1月    | 2月    | 3月   | 4月   | 5月   | 6月   | 7月   | 8月   | 9月   | 10月  | 11月  | 12月   | 全年   |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 地面最低(℃)  | -22.5 | -17.6 | -7.6 | -0.1 | 7.1  | 12.1 | 16.4 | 15.2 | 7.9  | 0.1  | -0.7 | -13.8 | -1.4 |
| 地面最高(℃)  | 5.6   | 11.4  | 23.1 | 34.6 | 44.5 | 51.1 | 49.6 | 45.7 | 37.9 | 26.3 | 15.4 | 6.2   | 29.4 |
| 5cm地温(℃) | -9.1  | -4.5  | 2.9  | 11.9 | 19.9 | 25.2 | 27.0 | 25.2 | 18.7 | 10.7 | 1.1  | -7.0  | 10.0 |

隙也逐渐加大,导致一系列的重力侵蚀发生,如黄土,尤其是红土,则发生严重的红土泻溜等等。

3. 风。皇甫川流域受季风影响,晚秋至初春受蒙古高压东南缘及气压环流的影响,整个冬季,西北风强盛,夏季受太平洋副高压影响,偏南、偏东风加强。流域平均风速1.9~3.4m/s,春季平均风速3.2m/s。准旗日平均风速 $\geq 5$  m/s的日数为12~74天, $\geq 8$  m/s的日数为0.8~12.8天;瞬间风速8.17m/s(大风)的日数为13.7~28.6天,最大风速多年平均为23m/s。府谷县从1959年~1982年24年资料统计,出现大风599天(见表10),年平均25天,1976年多达42天,1977年、1978年多达40天。一年春夏两季出现大风占总次数的85%,其中春季占44%。西北风一般可持续2~3天。

表10 府谷1959—1982年大风出现日数

| 项目    | 1月  | 2月  | 3月  | 4月  | 5月  | 6月  | 7月  | 8月  | 9月  | 10月 | 11月 | 12月 | 全年   |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 日数(天) | 7   | 15  | 49  | 103 | 114 | 126 | 76  | 39  | 26  | 17  | 15  | 12  | 599  |
| 平均(天) | 0.3 | 0.6 | 2.0 | 4.3 | 4.8 | 5.3 | 3.2 | 1.6 | 1.1 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 25.0 |
| 频率(%) | 1   | 3   | 8   | 17  | 19  | 21  | 13  | 7   | 4   | 3   | 3   | 2   | 100  |

强大的风力是风蚀的动力。风蚀是冬春两季表现最为明显的一种侵蚀方式。本区风蚀在中上游地区冬春两季表现得十分强烈,德胜西一带,地面个别年份风蚀深度达2~4cm,(根据树根、残土墩量测而得),风积厚度在1~3cm以上,因而淹埋了一些农田和草地,同时也给河流提供了相当一部分待运的泥沙。

(二) 新构造运动和地形特征 皇甫川流域地处鄂尔多斯高原的东南部,又是黄土高原的北部边缘,地质构造属于鄂尔多斯地台拗陷的边缘部分。燕山运动和新构造运动使地台拗隆起成拱状高原,流域正处于高原的东南斜坡上,中上游地区处于白于山至东胜的第四纪抬升中心,近期

抬升约20mm/a, 从而导致流域中上游一带沟谷下切, 溯源侵蚀特别强烈。此外, 受晋陕狭谷黄河下切的影响, 使流域地形起伏差异变大, 并导致中下游地区侵蚀加剧。

皇甫川流域地形特点是深沟大梁, 地形起伏较缓, 呈东南倾向, 上游分水高地与下游河流出口处落差520m。沟间地形似倒扣着的“船”状, 坡面侵蚀比较强烈, 沟深一般多在40~50m, 有的超过100m, 沟坡近乎直立, 一般在40°以上, 沟坡多由基岩组成。流水除具有冲蚀的高势能外, 还具有一定的掏蚀作用, 从而引起崩塌, 沟蚀和重力侵蚀竞相发展。表11归纳了皇甫川下游左岸一级支沟秦寨沟的地貌特征。

由表12皇甫川流域下游坡度组成情况。可以看出36°~55°的坡度占48.19%, 占比例最大, 主要是沟谷谷坡; 沟间地比较平缓, 15°以下占26.87%, 另有11.88%的陡崖。而中上游这种特征更为明显, 地形的差异, 造成土壤侵蚀强弱明显不同, 这是皇甫川流域沟蚀比面蚀严重的根本所在。

表11 秦寨沟流域地貌特征

| 沟谷类型 | 流域面积 (km <sup>2</sup> ) | 落差 (m) | 主沟道长度 (km) | 沟道总长 (km) | 沟壑密度 (km/km <sup>2</sup> ) | 沟间地面积 (km <sup>2</sup> ) | 占总面积 (%) | 沟间地坡度 (°) | 沟谷面积 (km <sup>2</sup> ) | 占总面积 (%) | 沟谷深度 (m) | 沟道比降 (%) | 沟谷坡度 (°) | 支毛沟总数 (条) |
|------|-------------------------|--------|------------|-----------|----------------------------|--------------------------|----------|-----------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 河沟   | 6.5                     | 100    | 5.2        | 14.4      | 2.22                       | 1.43                     | 22       | 3~16      | 5.07                    | 78       | 40~80    | 1.92     | 15~39    | 16        |

表12 皇甫川流域下游坡度组成情况

| 分级       | 7°以下  | 8°~15° | 16°~25° | 26°~35° | 36°~55° | 55°以上 |
|----------|-------|--------|---------|---------|---------|-------|
| 占总面积 (%) | 11.52 | 15.35  | 10.28   | 2.78    | 48.19   | 11.88 |

**(三) 地面物质组织** 皇甫川流域出露的主要地层为中生代陆相碎屑沉积沙岩, 泥岩及其互层; 新生代第三纪的三趾马红土、第四纪沙黄土及片沙。沙岩、泥岩及互层出露面积因侵蚀不断扩大, 目前面积占流域总面积的55.8%, 而黄土因侵蚀, 在不断缩减, 现仅占31.6%<sup>[2]</sup>, 基岩厚度大, 成岩性差, 节理或裂隙极其发育, 加之长期出露地表, 强烈风化, 致使岩体更加疏松, 群众叫“砒砂岩”。以“砒砂岩”分布为主的皇甫川流域渗透率很差, 蒋定生等<sup>(8)</sup>通过研究将其定为入渗一般区, 其它与侵蚀有关的指标如表13。从表13可以看出, “砒砂岩”的抗蚀性指标比黄土还差。由于渗透性差, 加之流域多暴雨, 极易形成超渗产流, 导致强大洪水, 产生剧烈侵蚀, 这是皇甫川流域成为黄河中游剧烈侵蚀中心的最重要、最直接的原因。由表14、表15可知, 在“砒砂岩”分布的地区, 无论是坡面侵蚀, 还是沟谷侵蚀都非常剧烈。这也是皇甫川流域侵蚀强度空间差异的一个原因。据研究表明, “砒砂岩”是流域最主要的产沙物质, 其基岩产沙量占总输沙量的68.5%<sup>[2]</sup>, 而且也是粗泥沙最主要的物质来源, 粗泥沙产沙模数高达1.43万t/(km<sup>2</sup>·a)。

**(四) 人为活动与植被破坏** 植被是生态环境平衡与稳定的主要标志, 对地表侵蚀而言, 植被又是一个强有力的抑制因素, 这已公认。皇甫川流域的研究资料也证明了这一点 (表16、表17)。根据有关资料记载, 皇甫川流域历史上植被较好, 毗邻流域的羊市塔乡有一棵距今约900余年的油松王, 树高25m, 胸径1.34m, 生长良好, 这说明了本区历史上曾是森林草原景观。准格尔旗碑文记载, “西旗在本旗之西偏, 又称准格尔旗者, 盖为全旗所宗也, 相传明朝时, 地多林, 莽、蛇居其中, 人莫敢近……”, 初步推断300年前本区植被还较完好, 西营子乡神山现残



表13 皇甫川流域几类土壤母岩与侵蚀有关的指标

| 土壤母岩 |     | 地质年代           | 容重<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 质地    | 密实程度 | 稳渗速度<br>mm/min | 水中崩解速度 |
|------|-----|----------------|----------------------------|-------|------|----------------|--------|
| 砒砂石土 |     |                | 1.45~1.60                  | 轻壤 沙壤 | 松散   |                |        |
| 砒砂岩  | 泥岩  | T、N            |                            |       | 紧密   | 0.6~1.2        | <30s   |
|      | 砂砾岩 | T、J            |                            |       | 极紧密  |                | >5min  |
| 黄绵土  |     |                | 1.20~1.40                  | 轻壤 中壤 | 较松   | 2.1~2.8        | <5min  |
| 黄土   |     | Q <sub>3</sub> |                            |       | 较紧密  |                |        |
| 风沙土  |     | Q <sub>4</sub> | 1.40~1.50                  | 沙 壤   | 松 散  | 3.0~3.5        |        |

表14 三类土壤年侵蚀量比较(1983~1984年平均值)

| 小流域  | 小区坡度<br>(°) | 土壤   | 土地利用方式 | 稳渗速度<br>(mm/min) | 产流降水量<br>(mm) | 径流系数<br>(%) | 侵蚀量<br>(t/ha) |
|------|-------------|------|--------|------------------|---------------|-------------|---------------|
| 五步进沟 | 17          | 砒砂石土 | 弃耕荒地   | 1.04             | 160.3         | 37.7        | 64.81         |
|      | 17          | 黄绵土  | 弃耕荒地   | 2.76             | 160.3         | 26.5        | 27.75         |
| 五分地沟 | 9           | 砒砂石土 | 糜子     | 0.98             | 190.6         | 34.0        | 42.72         |
|      | 9           | 黄绵土  | 糜子     | 2.10             | 190.6         | 21.9        | 21.19         |
|      | 9           | 风沙土  | 糜子     | 3.00             | 190.6         | 7.86        | 4.31          |

表15 纳林川、长川土壤侵蚀比较(1978~1979年平均值)

| 流域  | 水文站 | 控制面积<br>(km <sup>2</sup> ) | 土壤、母岩  | 汛期降水量<br>(mm) | 侵蚀模数<br>(t/(km <sup>2</sup> ·a)) |
|-----|-----|----------------------------|--------|---------------|----------------------------------|
| 纳林川 | 沙镇  | 1 351                      | 砒砂岩    | 492.5         | 48 100                           |
| 长川  | 长滩  | 524                        | 黄土、风积沙 | 486.7         | 28 053                           |

表16 植被与土壤侵蚀的关系

| 项目   | 土壤  | 坡度(°) | 产流雨量<br>(mm) | 径流深度<br>(mm) | 径流系数<br>(%) | 侵蚀模数<br>(t/ha·a) | 覆盖度<br>(%) | 资料年限<br>(年) |
|------|-----|-------|--------------|--------------|-------------|------------------|------------|-------------|
| 裸地   | 砒砂岩 | 9     | 168.3        | 56.7         | 33.7        | 33.65            | <5         | 1984~1986   |
| 紫花苜蓿 | 砒砂岩 | 9     | 168.3        | 19.5         | 11.6        | 1.64             | 60         | 1984~1986   |
| 裸地   | 黄土  | 17    | 147.1        | 33.5         | 22.8        | 22.86            | <5         | 1981~1989   |
| 紫花苜蓿 | 黄土  | 17    | 147.1        | 19.8         | 13.5        | 2.42             | 50         | 1981~1989   |
| 天然牧草 | 沙黄土 | 7     | 105.1        | 16.2         | 16.3        | 1.10             | 40         | 1983~1984   |
| 裸地   | 沙黄土 | 7     | 105.1        | 32.7         | 30.7        | 13.16            | <5         | 1983~1984   |

注：据金争平等资料。

表17 植被覆盖度与径流、侵蚀的关系

| 植被覆盖度 (%)  | 1.9  | 21.0 | 39.3 | 49.0 | 60.3 | 76.3 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| 径流深 (mm)   | 76.1 | 54.9 | 30.8 | 24.4 | 20.5 | 14.8 |
| 径流系数 (%)   | 39.8 | 28.7 | 16.1 | 12.8 | 10.7 | 7.7  |
| 侵蚀量 (t/ha) | 20.3 | 9.3  | 4.5  | 3.6  | 3.0  | 1.4  |

注：据金争平等资料（1987~1989年）。

存数千亩侧柏天然次生林与邻区阿贵庙，塞不拉等地的针阔叶混交天然次生林可作史证。根据准格尔旗文史资料，清朝中叶，准旗边缘地区已开始“雁行”农垦，清末已大片垦殖，40年代初，准旗已有6万人从事农业，1949年全旗耕地达200多万亩，占总土地面积的20%，进入80年代，全旗人口超过20万人，加之本区的农业方式是倒山轮耕，致使大部分土地均被开垦，尤其实行粗放牧业，使植被破坏更加严重，目前森林覆盖率仅4.6%。植被覆盖率仅15%~30%，植被的破坏导致了现代加速侵蚀。由于侵蚀加剧，黄土面积逐渐缩小，基岩出露不断扩大，而且因植被遭受破坏，生态环境日益恶化，暴雨侵蚀力增大，风沙、干旱增加。

破坏植被是容易的，但要恢复植被则是很难的事。我们野外实地考察发现，无论是试区林地，还是野外残留的天然次生林，包括油松王在内，大都生长在有黄土分布的地区。而“砒砂岩”几乎是寸草不生。因此，随着侵蚀的加剧，黄土的不断缩减，“砒砂岩”的再出露，致使治理难度更大。因此，“保护现存黄土，增加草灌覆盖，加强沟道工程”则是皇甫川流域综合治理的根本所在。

#### 参 考 文 献

- 〔1〕唐克丽等。黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径。北京：科技出版社，1990年
- 〔2〕张平仓等。皇甫川流域泥沙来源及其数量分析。《水土保持学报》，1990年，第4期
- 〔3〕杨根生等。黄土高原地区北部风沙区土地沙漠化综合治理。北京：科学出版社，1990年
- 〔4〕甘枝茂。陕晋蒙三角地区土壤侵蚀。《水土保持学报》，1988年，第3期
- 〔5〕Tang Keli and Zhang Pingcang. The Soil erosion characteristics of Water-Wind erosion region in the loess plateau. 《proceedings of ISLPR》1991年
- 〔6〕蒋定生等。黄土高原土壤入渗速率的研究。《土壤学报》，1986年，第4期