

黄河中游  
多沙粗沙区  
小流域综合  
治理模式  
及其评价

常德  
田杏芳

赵光耀  
李建牢  
编著



河 水 利 出 版 社

# 黄河中游多沙粗沙区小流域 综合治理模式及其评价

常茂德 赵光耀 田杏芳 李建牢 编著

黄河水利出版社

(豫)新登字 010 号

黄河中游多沙粗沙区小流域综合治理模式及其评价

常茂德 赵光耀 田杏芳 李建半 编著

---

责任编辑: 雷元静

出 版: 黄河水利出版社

(地址: 河南省郑州市顺河路黄委会综合大楼 12 层)

邮 编: 450003

印 刷: 黄河水利委员会印刷厂

发 行: 黄河水利出版社

开 本: 787mm×1092mm 1/16

版 别: 1997 年 2 月 第 1 版

印 次: 1997 年 2 月 郑州第 1 次印刷

印 张: 9.625

印 数: 1—1000

字 数: 222 千字

---

ISBN 7-80621-122-5/TV·90

定 价: 24.80 元

# 前 言

黄河中游地区水土流失面积约 43.4 万  $\text{km}^2$ ，是世界水土流失面积最大、流失程度最严重的地区。据统计，其中年侵蚀模数大于  $500\text{t}/\text{km}^2$  的面积为 34 万  $\text{km}^2$ ，大于  $1000\text{t}/\text{km}^2$  的面积为 29 万  $\text{km}^2$ ，大于  $5000\text{t}/\text{km}^2$  的面积为 15.62 万  $\text{km}^2$ ，大于  $10000\text{t}/\text{km}^2$  的面积为 7.7 万  $\text{km}^2$ 。黄河的粗泥沙（粒径大于  $0.05\text{mm}$ ）的 90% 以上来自于年侵蚀模数大于  $5000\text{t}/\text{km}^2$  的区域。这一区域主要分布在黄河中游河口镇至龙门区间以及北洛河和泾河上游地区。重点加强这一地区的小流域综合治理，是黄河中下游防洪减淤的根本途径。同时，该地区煤炭、石油、天然气资源极为丰富，已列为国家能源重点开发区，将建成我国最大的能源重化工基地。资源开发给当地社会与经济发展带来了极好的机遇，矿区开发、修路及其他配套建设又将加重水土流失。因此，如不加强水土保持工作，煤田开发建设将会带来新的环境问题，可能导致生态环境进一步恶化，大量增加入黄泥沙。强化该地区的沟道小流域治理，预防和制止水土流失，进一步总结、探索该地区的小流域综合治理模式，不仅对该地区国土整治、资源开发和群众脱贫致富奔小康具有重要的作用，而且对黄河中游多沙粗沙区的综合治理、探索减少入黄泥沙的途径以及正确制定黄河开发治理战略具有十分重要的意义。

黄河中游多沙粗沙区十分不利的自然环境和社会经济因素决定了水土保持治理的长期性和艰巨性。尽管该区的小流域综合治理取得了很大成绩，但仍然存在不少问题。

(1) 砒砂岩地区的治理仍未找到根本措施。砒砂岩地区面积约 2 万  $\text{km}^2$ ，年侵蚀模数高于  $3\text{万 t}/\text{km}^2$ ，既是粗泥沙的主要来源区，也是土、水、粮的严重缺乏区。近年来，在黄土覆盖区种植沙棘，在沟壑中筑坝淤地已取得一定成绩和经验，但治理面积较小，在裸露区尚无治理良策。

(2) 边治理、边破坏现象仍然相当严重。在一些地方还有生态环境进一步恶化的趋势，增加了治理难度。

(3) 科研工作薄弱。一些基础数据的监测如径流小区观测，大都处于半停顿或简单维持状态，缺乏基本资料，加之科研投入不足，严重影响了对一些重大问题的解决。

(4) 治理投入不足，已治理的地方需要巩固提高，未治理的地区治理难度更大。同时，如何建立以开发促治理、以治理保开发的运行机制，建立巩固与发展水土保持治理成果相结合的“造血”机制等，都是需要认真研究解决的问题。

为了从全局上和宏观上总结、评价黄河中游地区的水土保持小流域综合治理，从不同类型区的水土保持实践中科学地总结出符合自然社会实际的小流域综合治理模式，探索具有一定针对性、系统性和适应性的小流域综合治理的规律，黄河流域水土保持科研工作协调小组在 1988 年设立了水土保持科研基金课题“黄土高原地区不同类型区水土保持综合治理模式研究与评价”，并由黄委会黄河上中游管理局主持，于 1992 年完成了课题研究工作。该项研究从黄土高原地区特殊的自然条件和战略地位出发，对小流域综合治理模式的概念和内涵进行了深化，研究探讨了小流域综合治理模式的结构及建造技

术,提出了黄土高原不同类型区定性、定量、定位、定序多功能水土保持综合治理模式系统。1992~1995年,国家“八五”科技攻关课题“黄河中游多沙粗沙区快速治理模式研究及试点”专题又设立子专题,开展了“黄河中游多沙粗沙区小流域综合治理模式研究”,这是在以往研究基础上进行的补充和深化研究。按照专题要求,本子专题研究的主要内容为:小流域综合治理的现状模式评价,小流域综合治理模式评价方法研究,评价指标体系及其标准研究,典型小流域生态经济系统建设分析和六道沟治理模式研究及试点。现状治理模式评价和评价方法研究是建立评价指标体系的基础,典型小流域分析是评价指标体系的应用和实践,六道沟治理模式研究及试点旨在为风沙盖沙区这一特定的区域提供一种普遍、适用、快速的小流域综合治理模式。本项研究的创新和关键是在总结多沙粗沙区已有综合治理模式的基础上,提出一套完整的小流域综合治理经济、社会和生态效益评价指标体系、标准和评价方法,用于面上小流域综合治理成果的评价,以推动面上的治理工作向“两高一优”方向发展;深入研究多沙粗沙来源区小流域系统人粮平衡、燃料平衡、草畜平衡、肥料平衡四个动态平衡,加速建设“两高一优”小流域,为改善生态环境、提高环境人口容量、减少入黄泥沙和当地增产脱贫致富奔小康服务。

该项研究主要采用了调查研究、总结分析与试验示范相结合,宏观研究与典型解析相结合的技术途径,以多沙粗沙区试点小流域和重点小流域综合治理与农业经济发展为实践基础,以生态学、经济学、社会学以及与之相关的自然科学为理论基础,在总结分析多沙粗沙区小流域综合治理模式的基础上,提出了一套水土保持小流域综合治理经济、社会和生态效益评价的指标体系,并采用新技术、新方法来扩充指标的实际内涵,提高评价指标的运算速度以及科研成果的水平。

该项研究由黄委会黄河上中游管理局常茂德、赵光耀主持,参加研究工作的主要人员还有黄委会黄河上中游管理局田杏芳、王正杲、吴明山、王俊峰、雷颖奇、裴新富,中国科学院、水利部西北水土保持研究所唐克丽、候庆春、王斌科、汪有科、张平仓、查轩、张小卫、杨光,黄委会绥德水土保持科学试验站张金慧、慕振莲、徐立青,黄委会西峰水土保持科学试验站赵安成、白文瑗,黄委会天水水土保持科学试验站李建牢、周小玲、张满良、师明州等。本书稿是在上述研究工作的基础上完成的,主要由常茂德、赵光耀、田杏芳、李建牢等4人执笔撰写,附件一、附件二、附件三、附件四分别由王正杲、唐克丽、李建牢、张金慧等执笔撰写,全书最终由常茂德、赵光耀统稿。

研究项目的执行过程中得到了“黄河中游多沙粗沙区快速治理模式研究及试点”专题组及其专家组、黄委会黄河上中游管理局科技处等有关领导和专家的关心与指导,黄河上中游管理局综合治理处及典型小流域所在的地方水土保持部门也为本项研究工作提供了丰富的资料,刘万铨、阎文哲、赵诚信、甘枝茂、吴成基等84位水土保持科研、教学、治理和管理部门的专家、学者和水土保持实际工作者,参加了本项研究中为确定评价指标权重而组织的专家答卷工作,在此深表感谢!

作者

1996年3月

# 目 录

## 前 言

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 第一章 多沙粗沙区的基本情况            | (1)  |
| 1 地理范围                    | (1)  |
| 2 自然概况                    | (1)  |
| 3 社会经济概况                  | (4)  |
| 4 水土流失状况                  | (5)  |
| 第二章 多沙粗沙区的小流域综合治理概况       | (11) |
| 1 综合治理阶段及其特点              | (11) |
| 2 综合治理成就及经验               | (12) |
| 3 新形势下水土保持工作的特点           | (14) |
| 第三章 多沙粗沙区小流域综合治理模式及其发展    | (16) |
| 1 小流域综合治理模式的内涵及其分类        | (16) |
| 2 典型小流域的选择及其代表性分析         | (18) |
| 3 典型小流域的综合治理模式及其分析        | (19) |
| 4 黄丘一副区两条典型小流域综合治理模式的对比分析 | (23) |
| 5 对多沙粗沙区快速治理模式的认识         | (24) |
| 6 多沙粗沙区小流域综合治理模式的完善与提高    | (26) |
| 第四章 风沙盖沙区小流域综合治理模式实例      | (31) |
| 1 六道沟小流域概况                | (31) |
| 2 综合治理试点的目标与任务            | (32) |
| 3 试验研究和综合治理成果             | (33) |
| 4 综合治理模式                  | (34) |
| 第五章 小流域综合治理效益评价方法研究       | (37) |
| 1 环境人口容量评价方法              | (37) |
| 2 土地资源利用模式的评价方法           | (39) |
| 3 经济评价方法                  | (44) |
| 第六章 小流域综合治理效益评价指标体系及其标准   | (51) |
| 1 建立评价指标体系及其标准的可行性        | (51) |
| 2 建立评价指标体系及其标准的原则         | (51) |
| 3 评价指标及其标准的确定方法           | (52) |
| 4 评价指标权重的确定               | (53) |
| 5 评价指标体系及其标准              | (57) |
| 6 评价指标分值计算及系统发展阶段评价       | (59) |
| 7 评价指标及其标准的内涵             | (59) |

**第七章 典型小流域综合治理效益评价** ..... (64)

    1 环境人口容量评价..... (64)

    2 土地利用模式分析..... (65)

    3 经济分析..... (67)

    4 综合治理效益评价..... (68)

**附件一 典型小流域综合治理现状模式及其评价** ..... (71)

**附件二 神木县六道沟小流域综合治理模式研究及试点** ..... (81)

**附件三 典型小流域系统环境人口容量分析与评价** ..... (96)

**附件四 典型小流域土地利用优化模式研究**..... (113)

**参考文献**..... (147)

# 第一章 多沙粗沙区的基本情况

## 1 地理范围

多沙粗沙区是近几年来黄土高原研究文献中出现的一个新的泥沙区域概念。所谓多沙粗沙区,是指进入黄河泥沙多的区域和进入黄河泥沙粒径粗的区域相互叠加复合的部分,用数学上集合的概念可以表示为多泥沙区与粗泥沙区的交集,其至少应包括两个方面的内容:一是这个区域进入黄河的泥沙比邻近区域多,二是这个区域所产泥沙的粒径比较粗。本项研究基于黄委会黄河上中游管理局在编制《黄河流域多沙粗沙严重水土流失区水土保持规划》时所圈定的多沙粗沙区范围,其地理位置大约在东经  $101^{\circ}24' \sim 112^{\circ}36'$ 、北纬  $34^{\circ}34' \sim 40^{\circ}56'$  之间。本区总面积  $21.22 \text{ 万 km}^2$  (包括插花区面积  $2.12 \text{ 万 km}^2$ ),其中水土流失面积  $17.65 \text{ 万 km}^2$ ,侵蚀模数大于  $5000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  的面积  $15.62 \text{ 万 km}^2$ 。从行政区划看,本区涉及陕西、山西、内蒙古、甘肃、宁夏、青海、河南 7 省(区)的 31 地(盟、市),125 个县(旗、市),1980 个乡(镇),25260 个行政村(详见表 1-1)。从黄河水系看,本区主要分布在黄河河口镇到龙门区间及泾河、洛河和渭河的上游;还有威胁黄河干流大型水库的一些支流,如湟水、祖厉河、清水河、洛河等。本区面积大于  $1000 \text{ km}^2$  的支流有 37 条。其中,河龙区间直接入黄支流有皇甫川、孤山川、窟野河、秃尾河、佳芦河、无定河、清涧河、延河、汾河、仕望河、红河、杨家川、偏关河、县川河、朱家川、岚漪河、湫水河、三川河、屈产河、湟水等 21 条;泾、洛、渭上游有:泾河上游干流、洛河上游干流、渭河上游干流、散渡河、葫芦河、蒲河、马莲河、田河等 8 条;其他入黄支流有:湟水下游、青海黄河两岸、祖厉河上游、清水河上游、洛河、河南黄河两岸、汾河水库上游等 8 条。

## 2 自然概况

### 2.1 地质和地貌

该地区一般岩石的岩体为三叠纪砂质、泥质页岩,较大支流沟床岩石裸露,节理发育,层状分布比较明显。岩层上被黄土覆盖,黄土具有明显的不同地质层次的剖面构造,最下层为午城黄土( $Q_1$ ),厚 100 余米,夹有 17~18 层红色粘土层和一层砂质黄土层;其上为离石黄土( $Q_2$ ),厚 50~100m,夹有 13~14 层红褐色粘土层和两层砂质黄土层;再上为马兰黄土( $Q_3$ ),淡灰黄色,疏松,厚 10~30m;最上层为现代沉积物( $Q_4$ ),厚 2~5m,已不属黄土范围。全区地形破碎,包括黄土地貌、风沙地貌和土石山区三种地貌类型。黄土地貌按照成因类型和现代地貌过程特点,可分为黄土侵蚀地貌和黄土堆积地貌。属于黄土堆积地貌的主要有黄土塬、黄土梁、黄土峁、黄土河谷平原以及分布在大的沟谷中的黄土堆积体;黄土侵蚀地貌主要是各种侵蚀沟,如河沟、坳沟、悬沟、冲沟、切沟和浅沟等。按其组合类型,则分为黄土丘陵沟壑区、黄土高原沟

壑区等。黄土丘陵沟壑区按主导地貌特点可进一步分为峁状丘陵沟壑区、梁状丘陵沟壑区、梁峁丘陵沟壑区、平岗丘陵沟壑区等。风沙地貌由沙丘、沙梁和滩地组成，沙梁、沙地有流动、半流动及固定之分，滩地处于沙梁和沙丘之间，地势平坦，地下水位浅，植被一般较好。土石山区主要分布于丘陵区周边和黄河沿岸的部分地段，山高、坡陡、谷深、岩石裸露，地面坡度大部分在  $15^{\circ}$  以上， $25^{\circ}$  以上的占  $60\% \sim 70\%$ 。

表 1-1 黄河中游多沙粗沙区涉及政区情况表

| 省(区)  | 涉及县(旗、市)名                                                                                                      | 面积<br>(万 $\text{km}^2$ ) |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 陕 西   | 府谷、佳县、吴堡、米脂、子洲、绥德、清涧、神木、榆林、横山、靖边、子长、延川、延长、吴旗、志丹、延安、宜川、长武、安塞、韩城、定边、彬县、旬邑                                        | 4.97                     |
| 山 西   | 河曲、偏关、保德、五寨、神池、岢岚、兴县、临县、柳林、离石、中阳、石楼、右玉、永和、隰县、大宁、吉县、宁武、静乐、岚县、方山、交口、平鲁、汾西、蒲县、芮城、平陆、乡宁                            | 2.69                     |
| 内 蒙 古 | 清水河、准格尔旗、东胜、伊金霍洛旗、托克托、和林格尔、凉城、乌审旗、鄂托克前旗                                                                        | 1.55                     |
| 甘 肃   | 环县、华池、庆阳、合水、镇原、天水、秦安、通渭、静宁、庄浪、永靖、东乡、会宁、泾川、宁县、平凉、兰州、陇西、漳县、武山、甘谷、张家川、清水、临夏(积石山)、广河、临夏、康乐、和政、临洮、靖远、榆中、定西、崇信、灵台、渭源 | 4.82                     |
| 宁 夏   | 彭阳、固原、隆德、海原、同心、盐池、西吉                                                                                           | 0.67                     |
| 青 海   | 西宁、湟中、平安、乐都、互助、民和、化隆、循化、尖扎、贵德                                                                                  | 0.56                     |
| 河 南   | 义马、三门峡、陕县、灵宝、渑池、洛宁、宜阳、伊川、新安、嵩县、孟津、巩县                                                                           | 0.36                     |

## 2.2 土壤植被

本区大部分地区地表为黄土所覆盖，土层厚度为  $50 \sim 100\text{m}$ ，最厚达  $200\text{m}$  以上，表层黄土大部分为粉沙土，粉粒含量为  $50\% \sim 60\%$ ，富含碳酸盐，遇水易溶，有垂直节理，抗蚀性差，遇暴雨极易冲刷流失。红色土大部分在黄土层之下，也有局部地方出露表层。土石山区主要分布有褐色土、黑褐色土等，土层浅薄，一般土层厚  $0.3 \sim 0.5\text{m}$  之间，局部地方在  $0.3\text{m}$  以下，甚至已无土层。另外，陕西与内蒙古交界地带分布有风沙土，粒径  $1 \sim 0.05\text{mm}$  的沙粒占  $90\%$  左右，结构松散，遇风易流动，常造成严重的风蚀，湮没农田。

本区由西北向东南，跨温带干旱草原、温带森林草原和温带落叶阔叶林地带，植被资源丰富，类型多样。现有草本植物 530 多种，木本植物 260 多种（乔木 100 多种，灌木 130 多种，藤本 30 多种），其中可利用的主要有刺槐、山杨、油松、侧柏、辽东栎、

沙棘、沙柳、柠条、狼牙刺及苹果、梨、桃、杏、核桃、红枣、葡萄、海红子等，由于长期受人类不合理活动的影响，目前本区除靠近吕梁山、子午岭、乔山、黄龙山林区和部分土石山地区有少量天然林以外，其他大部分地区为光山秃岭。区内有小片天然林草约41.94万 $\text{hm}^2$ ，占总面积的2.7%，人工林草面积253.36万 $\text{hm}^2$ ，占总面积的16.2%，林草覆盖率为18.1%。东南部人多地少，以农为主，草地数量较少；西北部人少地多，以农为主，牧业占有一定比例，草地数量相对较多。由于干旱少雨，积温较低，除东南部水热条件稍好的河川、沟边、“四旁”适宜乔木林生长外，大部分地区及山坡都适宜种植灌木和草类。

### 2.3 气象水文

本区属于干旱、半干旱地区。暴雨集中，风暴频繁，干旱和水土流失严重，生态环境十分脆弱，是我国自然条件最恶劣的地区之一。区内具有大陆季风气候的特点，空气干燥，云量少，光热资源可利用潜力很大。年日照时数为2000~3000小时，全年太阳辐射总量为544~670 $\text{J}/\text{cm}^2$ ，是我国辐射能源高值区之一。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温2500~4500 $^\circ\text{C}$ ，而且雨热同季，气温大于 $10^\circ\text{C}$ 期间，降水量200~400mm，约占年降水量的80%，能够比较充分发挥光、热、水等资源的生产作用，日温差在 $10\sim 25^\circ\text{C}$ 之间，有利于植物干物质和有机质的形成，有利于薯类与果类糖分的积累，提高其质量。

本区年降水量大部分在350~550mm之间，一般从东南到西北逐渐递减。降水年际分布与年内分布极不均匀，汛期的6~9月份降水量占到全年降水量的60%~70%，冬春少雨，3~6月份降水中小于5mm的无效降水占同期降水量的13%~60%，故易发生春旱；多雨年降水量为少雨年降水量的3~4倍，甚至更大。汛期有50%~60%的降水以暴雨形式出现，其强度大，历时短，一般强度大于每分钟1mm，历时几分钟到十分钟的暴雨都能造成水土流失，有的甚至形成洪水灾害。本区多年平均气温西北部 $6\sim 7^\circ\text{C}$ ，东南部 $9\sim 14^\circ\text{C}$ ；年无霜期西北部100~130天，东南部200~240天；多年平均蒸发量为1500~2000mm，为年降水量的3~4倍，是形成干燥和旱灾频繁的主要原因；区内冬春多大风，大部分地区每年在10次以上，各地每年都有不同程度的霜冻和冰雹灾害发生。

### 2.4 水及矿产资源

从总体看该地区水资源比较贫乏。全区多年平均降水量东南部600mm，西北部300mm，人均河川径流量一般只有400~600 $\text{m}^3$ ，与全国人均2700 $\text{m}^3$ 相比差距很大。径流含沙量高，连续枯水年持续时间长，利用难度大。

该地区矿产资源十分丰富，煤碳占全国已探明储量的70%，铁占14%，铝占50%，钼占40%，天然碱占50%，石膏居全国首位，另外还有铜、铅、锌、铬、硫磺、云母、磷、石棉、食盐、芒硝、石油、天然气都有相当储量，特别是约5万 $\text{km}^2$ 的晋、陕、蒙接壤地区，煤层稳定，储量大，煤质优，是世界上少有的高级动力煤和良好的化工用煤，已列入国家能源重化工基地，煤矿的开发将带动当地工农业生产和社会经济较快发展，同时也给环境、水土保持提出了新问题及新要求。

### 2.5 主要灾害

本区属干旱、半干旱地区。暴雨、风暴、干旱、冰雹及霜冻等频繁出现，干旱是制

约农业发展的主要因素。由于水资源贫乏,降水量少,蒸发量大,且降水的年际与年内分配极不均匀,干旱每年都有不同程度发生,特别是春旱更为严重,大旱之年颗粒无收,故有“十年九旱”之说。其次是暴雨及由此造成的水土流失。本区降水少而集中,汛期7~8月份降水约占年降水的50%以上,一般以暴雨形式出现,其强度大,历时短。暴雨产生的洪水,洪峰流量大,涨落水历时短,一次暴雨产沙量往往为全年总产沙量的60%以上。大暴雨造成的损失是十分严重的,对人民生命财产的安全造成巨大威胁。第三是大风。本区冬、春季节多有大风出现,大部分地区每年在10次以上,风沙区更为严重,每年风暴日数在20~30天以上,风力达7~8级,春季播种出苗时间的一场大风,可以使部分农地连种籽带肥料被刮走,埋压其他土地,对作物的捉苗影响很大,造成的损失比较严重。除此之外,本区每年均有不同程度的霜冻和冰雹灾害发生,冰雹出现在汛期,正是作物生长茂盛或成熟的季节,严重的使作物颗粒无收;霜冻对农作物产量及颗粒成色有极大的影响。

### 3 社会经济概况

#### 3.1 人口

据统计,截止1990年底,该区总人口约2223.6万人,农业人口1942.6万人,总户数529.4万户,农业户数444.2万户;总劳动力778.3万个,农业劳动力680万个。各省人口密度相差很大,按总人口计每平方公里71.6~426.4人,平均每平方公里116人;按农业人口计每平方公里62~388.3人,平均每平方公里101.4人。

#### 3.2 土地利用

该地区总土地面积15.62万 $\text{km}^2$ ,1992年有农耕地546.8万 $\text{hm}^2$ ,林地265万 $\text{hm}^2$ ,牧地30.1万 $\text{hm}^2$ ,水域19.62万 $\text{hm}^2$ ,荒山荒坡448.87万 $\text{hm}^2$ ,非生产用地251.43万 $\text{hm}^2$ ,分别占到总土地面积的35%、17%、1.9%、1.3%、28.7%和16.1%;各业总收入130.78亿元,其中种植业收入75.03亿元,林业收入19.52亿元,牧业收入18.02亿元,工副业收入18.11亿元,渔业收入0.1亿元,分别占到总收入的57.4%、14.9%、13.8%、13.8%和0.1%。农林牧用地比例为1:0.49:0.06,种植业比重大,土地利用结构极不合理。从农、林、牧业内部看,存在三个方面的问题:一是农耕地中水地、坝地、梯田等基本农田的面积仅占17.9%,坡地面积占到82.1%,今后必须通过坡改梯治理;大力发展基本农田,改善农业生产条件,提高单位面积产量,通过引进优良品种,增加投入,逐步发展集约化经营,为还林还牧创造条件;二是林地面积中经济林面积仅占5.6%,乔木林和灌木林面积(包括天然林)占94.4%,稳定甚至增加经济林面积,调整经济林结构,提高果品品质今后仍然是增加群众经济收入的一个重要途径;三是草地面积小,草畜供求矛盾突出,必须通过扩大草地面积,提高饲草产量,改善畜群结构来促进畜牧业的发展。

#### 3.3 群众生活

该地区群众生活比较贫困,缺粮缺钱一直是群众生活中的一大问题。由于水土流失和干旱灾害非常严重,过去粮食经常要从区外调入。虽然目前人均占有粮食水平已达到379kg,群众的吃饭问题初步得到解决,但是以高粱、玉米、糜谷和豆类等杂粮为主的

食物结构远未改变, 局部地区的群众吃粮问题也没有彻底解决。1992 年全区人均收入 825.5 元, 其中 57% 来自于种植业, 人均收入中的现金收入仅为 401.5 元。部分地区人畜饮水困难, 分布较集中的有甘肃省定西地区、宁夏固原地区、陕西定边和靖边两县等地, 同时因群众一般居住在塬面或高坡上, 正常情况下的下沟取水高度约 200m, 水平距离约 500m, 有的下沟取水往返一次约 5km, 增加了人畜饮水的困难, 遇到干旱, 困难尤甚。

## 4 水土流失状况

### 4.1 多沙粗沙区的亚区划分

#### 4.1.1 分区指导思想

该地区不但土壤侵蚀量大, 而且侵蚀方式多样, 侵蚀强度的空间差异很大。不同地区的侵蚀强度相差几倍, 甚至数十倍。为了能够分区分类指导水土保持工作, 做到“因地制宜”、“因害设防”, 多沙粗沙区的区域划分本着“为指导小流域综合治理实践服务”的基本宗旨, 在吸收历次分区经验和方法的基础上进行。通过区域划分, 力求比较清楚地反映多沙粗沙区的地域分异规律和不同区域小流域综合治理的基本差异, 探讨小流域综合治理中的水土保持措施配置体系和小流域农业经济发展的途径, 以及土地利用的类型和特点, 从而满足小流域综合治理宏观指导的需要。

#### 4.1.2 分区原则

分区遵循 5 条原则:

(1) 相似性原则。同一区域内在水土流失特征、自然资源条件、社会经济条件, 特别是在小流域综合治理的类型上具有相似性。

(2) 集中连片原则。区域分布相对集中连片, 不允许存在小片间隔和插花区。

(3) 综合平衡原则。按照主导因素和其他因素之间的层次制约关系, 综合考虑和权衡所有影响小流域综合治理方式、方法的诸多因素的影响。

(4) 尊重实践原则。区域划分力求深入浅出、简明扼要、特点突出, 其等级、层次、命名等要立足于治理实践的需要。水土流失特点相近, 但治理方法、措施配置形式以及需要解决问题的侧重点不同, 其划分归类应有所区别。

(5) 根据资料确定区划单位。本次区域划分的最小单元为县级水土保持区划单位, 个别地区因资料限制, 取地区级水土保持区划单位。

#### 4.1.3 分区指标的确定

通过资料采集和指标筛选, 决定采用以下 8 项指标:

(1) 控制(主导)性地形地貌形态。地形地貌形态不仅影响水土流失的方式、形态、程度, 而且影响小气候、土壤、植被的分布, 以及土地利用状况。根据多沙粗沙区控制性地形地貌特点, 可将其概化为: 高塬沟壑类型、残塬沟壑类型、崩状丘陵类型、长梁丘陵类型、梁间丘陵类型、平岗丘陵类型、黄土盖沙片沙丘陵类型、风沙丘陵类型和河谷川道类型等 10 种类型。

(2) 沟道密度。沟道密度反映了地面切割破碎程度, 是区域地貌特征的最重要标志之一, 它是气候、地形、岩性和植被等因素综合影响的反映。同时, 沟道密度的大小对

治理方法、治理措施的类型和比重也产生很大影响。

(3) 侵蚀模数。土壤侵蚀模数是各种土壤侵蚀因素及其组合方式的集中表现,反映了一定区域内水土流失的程度。

(4) 人口密度。人口密度间接地反映了人类在土地上活动的强弱程度,它是土地利用结构发生变化和相互调整配比的主导因素之一。

(5) 耕垦指数。耕垦指数是人类活动强度的反映,超出一定限制的耕垦,是导致和加剧水土流失的主要原因之一,耕垦指数,特别是坡面耕垦指数在一定程度上反映了人粮关系问题。

(6) 年降雨量和年均气温。水热条件关系到熟制类型、农作物布局和栽培品种等,是区域生产发展方向的主导影响因素。

(7) 林草覆盖率。地面的植被情况不仅反映了区域内水热条件、土地资源条件、人口分布状况、土地利用结构及农业生产特点,而且也是水土流失程度的宏观标志。

(8) 主导性水土保持措施组合类型。主导性水土保持措施组合类型是区域内地形地貌形态、气候条件、土壤资源条件、适宜治理手段和方法相互作用后,小流域综合治理模式一个侧面的集中展现。借鉴中国科学院黄土高原科学考察队的研究成果,其组合类型可分为:①水平埝地(水平条田)+水平梯田+乔木林;②水平梯田+水平埝地+乔木林;③水平梯田+坝地+乔灌木;④水平梯田+坝地+水平埝地+乔灌木;⑤水平梯田+坝地+经济林;⑥水平梯田+河谷水地+乔灌木;⑦水平梯田+坝地+坝地+灌木林;⑧砂田+河谷水地+隔坡梯田+灌木林;⑨林网田+灌木林。

#### 4.1.4 分区方法及数学原理

本次区域划分采用主导因素和模糊聚类相结合的分区方法。主导因素主要应用于控制性地形地貌形态和主导性水土保持措施类型组合,在这两个定性指标的获取和评价中,主要是吸取前人的分区方案和研究结果,并加以综合。模糊聚类主要用于指标的数学处理和理论聚类,其数学模型建立步骤如下:

(1) 分段评分。由于分区指标包括定性指标和定量指标两种,指标量纲又不尽相同,所以首先对96个样本的2个定性指标和7个定量指标进行分段评分。评分采用十分制,分区指标评分等级标准见表1-2。评分等级表制定的原则是:①对侵蚀强度级别影响愈大,得分相应愈小;②光热水资源条件愈好,得分愈大,量级划分参考《水土保持技术规范》(SD238-87)降雨标准:<200mm,干旱区;200~450mm,半干旱区;450~650mm,半湿润区;≥650mm,湿润区为量纲控制级;③地形地貌及主导水土保持措施组合类型按相对应的自然条件和治理方法进行分级编级,生产力水平愈高,得分愈多。

(2) 数学原理。包括数据标准化、建立模糊矩阵、建立模糊等价矩阵、模糊聚类、比较分类等过程。

①数据标准化。采用下列公式

$$X_{ij}^I = \frac{X_{ij}^I - X_j^I}{S_j^I} \quad (i = 1 \cdots n, j = 1 \cdots m)$$

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - X_j)^2}{N-1}} \quad X_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X_{ij}$$

式中:  $X_{ij}$  表示第  $i$  个样本的第  $j$  项指标原始值;  $X_j$  表示第  $j$  项指标样本的平均值;  $S_j$  表示第  $j$  项指标的标准差;  $X'_{ij}$  表示第  $i$  个样本第  $j$  项指标的变化值。

表 1-2 分区指标评分等级标准表

| 评分标准 | 地形地貌   | 沟道密度<br>(km/km <sup>2</sup> ) | 耕垦指数<br>(%) | 年侵蚀模数<br>(t/km <sup>2</sup> ) | 人口密度<br>(人/km <sup>2</sup> ) | 林草<br>覆盖率<br>(%) | 年降水量<br>(mm) | 年平均<br>气温<br>(℃) | 主导水土保持<br>组合类型         |
|------|--------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|------------------------------|------------------|--------------|------------------|------------------------|
| 1    | 风沙丘陵   | >5                            | >55         | >15000                        | <30                          | <10              | <200         | <6.0             | 林网田 + 灌木林              |
| 2    | 黄土盖沙丘陵 | 4.5~5.0                       | 45~55       | 12000~15000                   | 30~50                        | 10~15            | 200~250      | 6.0~6.5          | 水平梯田 + 河谷水地 + 乔灌木      |
| 3    | 平岗丘陵   | 4.0~4.5                       | 40~45       | 10000~12000                   | 50~100                       | 15~20            | 250~300      | 6.5~7.0          | 砂田 + 河谷水地 + 隔坡梯田 + 灌木林 |
| 4    | 卵状丘陵   | 3.5~4.0                       | 35~40       | 8000~10000                    | 100~150                      | 20~25            | 300~350      | 7.0~7.5          | 水平梯田 + 坝地 + 乔灌木林       |
| 5    | 卵塬丘陵   | 3.0~3.5                       | 30~35       | 7000~8000                     | 150~200                      | 25~30            | 350~400      | 7.5~8.0          | 水平梯田 + 坝地 + 水平地 + 乔灌木林 |
| 6    | 长梁丘陵   | 2.5~3.0                       | 25~30       | 5000~7000                     | 200~250                      | 30~40            | 400~450      | 8.0~8.5          | 水平梯田 + 坝地 + 经济林        |
| 7    | 梁峁丘陵   | 2.0~2.5                       | 20~25       | 4000~5000                     | 250~300                      | 40~50            | 450~500      | 8.5~9.0          | 水平梯田 + 坝地 + 峁地 + 灌木林   |
| 8    | 残塬沟壑   | 1.5~2.0                       | 15~20       | 2500~4000                     | 300~350                      | 50~60            | 500~550      | 9.0~9.5          | 水平梯田 + 水平地 + 乔木林       |
| 9    | 高塬沟壑   | 1.0~1.5                       | 10~15       | 2000~2500                     | 350~400                      | 60~70            | 550~650      | 9.5~10           | 水平地 + 水平梯田 + 乔木林       |
| 10   | 河谷川道   | <1.0                          | <10         | <200                          | >400                         | 70~90            | >650         | >10              |                        |

②建立模糊矩阵。采用下面三种处理方法, 并进行比较:

夹角余弦法

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m X_{ik} X_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m X_{ik}^2 \sum_{k=1}^m X_{jk}^2}} \quad (i = 1 \cdots n, j = 1 \cdots l, k = 1 \cdots m)$$

相关系数法

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (X_{ik} - X_i)(X_{jk} - X_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (X_{ik} - X_i)^2 \sum_{k=1}^m (X_{jk} - X_j)^2}} \quad (i = 1 \cdots n, j = 1 \cdots l, k = 1 \cdots m)$$

绝对差值系数

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & (i = j) \\ 1 - C & (i \neq j) \end{cases}$$

式中:  $C$  为适当常数, 使  $0 < r_{ij} \leq 1$ , (该区划为 0.001)

对夹角余弦法和相关系数法, 为使系数压缩到  $[0, 1]$  区间, 可以令  $Ar_{ij} = 0.5 + \frac{r_{ij}}{2}$ 。

③建立模糊等价矩阵。为了使模糊矩阵具有自反性、对称性和传递性, 对原模糊矩阵通过褶积, 将其改造为模糊等价矩阵。通过计算, 原模糊矩阵通过三次褶积, 在  $R^8$  上获得。

④模糊聚类。将  $r_{ij}$  由大到小依次排列, 从 1 开始, 沿着  $r_{ij}$  自大到小依次取  $\lambda$  值, 并定义:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & r_{ij} \geq \lambda \\ 0 & r_{ij} < \lambda \end{cases}$$

其聚类方法为: 令  $r_{ij} = 1$  为一类,  $r_{ij} = 0$  不并入, 可依次画出其聚类树形图。

⑤比较分类。对各种处理方法进行综合比较, 聚类结果比较满意者, 确定为初步分区方案; 结合分区原则, 对初步方案中个别分散样点, 进行人为合并归类。

经分析比较, 多沙粗沙区综合治理分区系统如下:

黄土丘陵沟壑区: 面积 15.49 万  $\text{km}^2$ , 由蒙晋平岗丘陵沟壑区、陕晋峁状丘陵沟壑区、陕甘宁梁峁丘陵沟壑区、陕甘宁塬丘陵沟壑区、陇中东南部梁状丘陵沟壑区、陇中北部干旱丘陵沟壑区、青海丘陵沟壑区和河南丘陵沟壑区 8 个亚区组成 (后两个亚区未参加计算, 单独画出)。主要分布在河龙区间沿黄两岸及泾、洛、渭河上游, 以及青海、宁夏、河南的部分地区。

黄土高原沟壑区: 面积 2.03 万  $\text{km}^2$ , 由陕甘黄土高原沟壑区和山西黄土残塬沟壑区二个亚区组成, 主要分布在泾、洛河中游西峰、平凉和山西南部的临汾等地。

风沙丘陵滩地区: 面积 2.18 万  $\text{km}^2$ , 分布于长城沿线, 包括陕西省靖边、横山、榆林、神木、府谷和内蒙古自治区伊克昭盟的乌审旗、鄂克托前旗、伊金霍洛旗等 8 个县 (旗)。

## 4.2 多沙粗沙区的水土流失状况

多沙粗沙区自然环境复杂,区域分异明显。由于地表形态、土壤抗蚀性能、植被覆盖程度,以及侵蚀营力(内营力、外营力和人类活动)作用强度与作用时间长短的差异性,导致了土壤侵蚀程度、方式和类型的多样化。水力侵蚀遍布本区,并以面蚀为主,面蚀中又以片蚀为主,细沟侵蚀主要发生在坡耕地上;重力侵蚀和沟道分布相吻合,呈树枝状,其中崩塌多发生在 $60^{\circ}$ 以上的陡崖,滑坡多出现于 $35^{\circ}$ 以上的斜坡,错落多出现于 $45^{\circ}$ 以上的斜坡,泻溜则多见于 $35^{\circ}$ 以上的红土、黄土坡面;风蚀主要发生于风沙区,其中吹蚀主要分布于高地形、迎风坡或顺风谷,磨石主要发生在砂岩分布地区的迎风侧地段,埋压则分布于低地和背风坡地段,多呈现为固定沙丘;冻融侵蚀主要发生在黄土层较厚的缓坡、塬边和沟边径流集中的地方。

### 4.2.1 黄土丘陵沟壑区的水土流失

在内外营力的作用下,坡地发育成梁峁坡、沟谷坡和沟谷底三个各具特征的类型地带,其面积分别占流域总面积的 $40\% \sim 70\%$ 、 $30\% \sim 60\%$ 和 $5\% \sim 10\%$ ,其年土壤侵蚀模数分别为 $5000 \sim 15000\text{t}/\text{km}^2$ 、 $15000 \sim 20000\text{t}/\text{km}^2$ 和 $25000 \sim 30000\text{t}/\text{km}^2$ 。梁峁坡以水力侵蚀为主,其上部侵蚀方式主要为溅蚀、细沟侵蚀和冲沟侵蚀,下部常形成陷穴和漏斗等潜蚀;沟谷坡的水力侵蚀和重力侵蚀都很活跃,主要侵蚀形式有沟谷扩展、沟床下切和沟头延伸,陡坡悬崖滑塌、崩塌、泻溜等重力侵蚀突出;沟谷底的水力侵蚀和重力侵蚀也都很活跃,以侧蚀、下切、溯源侵蚀为主,沟道的上游常常形成多级跌水,有些下游沟床还时有洪积和冲淤相间。

### 4.2.2 黄土高原沟壑区的水土流失

黄土高原沟壑区的侵蚀分区主要由塬面、塬嘴坡和沟谷三部分组成,其面积分别占流域面积的 $35\% \sim 40\%$ (最高达 $60\%$ )、 $20\% \sim 30\%$ 和 $25\% \sim 30\%$ ,其年土壤侵蚀模数分别为 $600 \sim 800\text{t}/\text{km}^2$ 、 $800 \sim 1800\text{t}/\text{km}^2$ 、 $15000 \sim 18000\text{t}/\text{km}^2$ 。塬面主要为水力侵蚀,侵蚀方式以片蚀、细沟侵蚀为主,道路和胡同大部分与沟头相连,是直接汇集塬面径流的主要通道,对沟谷的发展起着重要作用;塬嘴坡也主要为水力侵蚀,其上部侵蚀形式主要为片蚀、细沟侵蚀,下部及邻近沟边地带常有陷穴、漏斗等潜蚀,重力侵蚀开始活跃;沟谷区的侵蚀比较复杂,水力侵蚀和重力侵蚀很活跃,主要形式有沟谷扩展、沟头延伸和沟床下切,侵蚀方式以崩塌、滑塌、泻溜等为主。

### 4.2.3 风沙滩地区的水土流失

风沙滩地区由沙丘和滩地组成,其面积分别占流域(或区域)面积的 $80\% \sim 90\%$ 和 $10\% \sim 20\%$ ,其年土壤侵蚀模数分别为 $200\text{t}/\text{km}^2$ 和 $2000\text{t}/\text{km}^2$ 。沙丘主要由固定、半固定及流动沙丘组成,以风蚀为主,主要形式是沙丘移动形成垄状、格状、堆状、新月型链等形态,固定沙丘坡面切沟密布,流动沙丘向东南推移,形成灾害,流沙可直接进入河道,成为泥沙的主要来源;滩地是沙丘间的低洼地,是多年洪水冲积而成,水蚀、风蚀兼有,既存在风沙埋压侵蚀,又存在梁地山洪的淹没和冲刷。

## 4.3 水土流失危害

本区的水土流失危害主要表现在三个方面:一是流失土壤,削弱地力,蚕食耕地。严重的水土流失不仅使耕地成为跑水、跑土、跑肥的“三跑田”,导致土地日益瘠薄,

而且加剧了干旱等灾害的发生。另外，沟蚀不断蚕食地面，使土地日益减少，沟壑日益扩大，地形日益支离破碎，严重地破坏了土地资源。二是淤塞水库及河道，严重威胁黄河中下游生产建设与人民生命财产安全。除了对中游的水利水电工程和其他拦蓄工程造成直接威胁外，本区每年大约有 14 亿 t 泥沙进入下游河道。三是风沙灾害损失严重。风沙灾害对工农业生产和人民生命财产造成的损失以及沙漠化对土地资源造成的损失都是惨重的。