

# 黄河中游 粗泥沙集中来源区界定研究

徐建华 林银平 吴成基 喻权刚 左仲国 等 编著



黄河水利出版社

# 黄河中游 粗泥沙集中来源区界定研究

徐建华 林银平 吴成基 喻权刚 左仲国 等 编著

黄河水利出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

黄河中游粗泥沙集中来源区界定研究/徐建华等编著.  
郑州:黄河水利出版社,2006.11

ISBN 7-80734-147-5

I. 黄… II. 徐… III. 黄河-中游-粗泥沙-来源-研究 IV. TV152

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 119222 号

组稿编辑:雷元静 电话:0371-66024764

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:河南第二新华印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:31.75

字数:733 千字

印数:1—1 500

版次:2006 年 11 月第 1 版

印次:2006 年 11 月第 1 次印刷

---

书号:ISBN 7-80734-147-5/TV·479

定 价:96.00 元

## 前言

“堤防不决口,河道不断流,河床不抬高,污染不超标”,是黄河健康生命的重要标志。其中,河床不抬高的关键是减少输入黄河的泥沙,特别是粗泥沙。

众所周知,长期以来,由于黄土高原地区严重的水土流失,带来黄河下游泥沙的严重淤积,使得每年有 16 亿 t 泥沙进入黄河,其中约有 1/4 淤积在下游河道,使下游成为“地上悬河”。特别是近 20 年来,由于自然因素和人类活动因素共同的影响,使黄河的水沙关系极不协调,造成黄河下游主河槽泥沙淤积加重,河道内又出现了 3~5m 高的“悬河中的悬河”,呈现出“槽高于滩,滩又高于背河地面”的局面,称之为“二级悬河”。

现已初步查明,1960 年前三门峡水库未建成的“自然”水沙情况下(淤积物取样分析得知,后同),下游河道主槽淤积物中, $d \geq 0.05\text{mm}$  和  $d \geq 0.10\text{mm}$  的粗泥沙分别达 76.1% 和 50.7%。如此之多的粗泥沙主要来自黄河中游的多沙粗沙区,特别是位于河口镇至龙门区间右岸的皇甫川、窟野河、秃尾河、佳芦河、孤山川等 5 条支流,产生的  $d \geq 0.05\text{mm}$  和  $d \geq 0.10\text{mm}$  的泥沙分别占到河龙区间相应沙量的 50.0% 和 87.0%。强烈的水土流失使该地区生态环境进一步恶化,不仅严重制约着当地的经济发展和人民生活水平的提高,而且大量的泥沙输入下游,使下游河道淤积抬高,形成潜在的洪水灾害,直接威胁着黄河下游两岸人民生命财产的安全。因此,在倡导维持河流健康生命的今天,加强这一特殊地区的治理与合理开发研究,对区域经济的可持续发展和下游河槽减淤都具有重要的意义。

1996 年,黄河水利委员会将“黄河中游多沙粗沙区区域界定及产沙输沙规律研究”列为水土保持科研基金项目,1997 年水利部科技司(科技项[1997]29 号)将其确认为水利部科技计划项目(SR9727)。其研究目的是:明确对黄河三门峡库区及下游河道淤积危害最大的泥沙即粗泥沙,界定黄河中游多沙粗沙区的范围,并根据该区内部的地面组成物质和侵蚀强度的差异进行亚区划分,提出治理开发方略。2000 年该项目完成。研究得到的结果是:黄河中游多沙粗沙区面积为 7.86 万  $\text{km}^2$ ,占河口镇至桃花峪区间总面积的 22.8%,年均可产生的泥沙达 11.82 亿 t,占中游年均输沙量的 69.2%,其中粗泥沙量( $d \geq 0.05\text{mm}$ )达 3.19 亿 t,占中游总粗泥沙量的 77.2%。由此说明,黄河下游淤积泥沙主要来自 7.86 万  $\text{km}^2$  的多沙粗沙区。因此,加强该区域的水土流失治理,是减少黄河下游河道泥沙淤积的关键所在。

找到了 7.86 万  $\text{km}^2$  的多沙粗沙区,初步明确了黄土高原水土流失治理的重点。但要清醒地认识到,多沙粗沙区不仅是黄土高原水土流失最严重的地区,而且也是生态系统最为脆弱的地区,同时又是治理难度最大、需要治理投入最多的地区。鉴于当地的经济水平,在国家投入主导治理资金时,地方提供配套治理投资的能力较弱,致使该地区治理的投入强度相对不足。由此看来,相对于国家的投入强度和当地的经济水平而言,要对 7.86 万  $\text{km}^2$  的多沙粗沙区实施高强度的集中治理,面积仍显偏大。并且,在多沙粗沙

区内,粗泥沙产沙强度也十分不均衡,以  $d \geq 0.10\text{mm}$  的粗泥沙输沙模数为例,最高的地区可高达  $10\,000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  以上,低的地区只有  $350\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  左右。因此,应在现有的  $7.86$  万  $\text{km}^2$  多沙粗沙区面积的基础上,进一步界定泥沙颗粒直径大且侵蚀模数也大的水土流失区域,以便更加突出治理重点,一方面缩小范围,便于集中治理;另一方面,又可使黄河干流三门峡、小浪底水库和黄河下游河道尽快见到中游拦减粗泥沙的治理效果。

2004 年初,水利部黄河水利委员会(以下简称黄委)主任李国英代表中共黄委党组提出应进一步缩小范围,确定对下游河道主槽淤积危害最大的产粗泥沙更多的地区,即粗泥沙集中来源区,作为当前在国家不可能大量增加投资的情况下,应首先治理的区域,并遴选出粗泥沙集中来源区中的重点治理支流,为规划设计和水土流失治理实践服务。

2004 年 10 月,黄委以黄规计[2004]197 号文批准了“黄河中游粗泥沙集中来源区界定研究”项目。随着研究的深入和黄河治理开发的需要,2005 年 3 月 29 日,黄委主任专题办公会议又提出了新的研究内容,并以黄委黄水保[2005]009 号文追加了补充研究内容,根据项目任务书和后来的要求,分下列专题进行了研究。

第一专题:三门峡库区淤积物粒径分析

第二专题:黄河下游河道淤积物粒径分析

第三专题:基于自然地理背景的粗泥沙集中来源区宏观判析

第四专题:黄河中游严重水土流失区侵蚀土壤粒径分布研究

第五专题:粗泥沙集中来源区界定研究

第六专题:粗泥沙集中来源区中重点支流特性深化研究

第七专题:黄河中游多沙粗沙区治理分区划分研究

第八专题:多沙粗沙区各治理分区水资源量评价

第九专题:多沙粗沙区各治理分区经济社会指标调查与评价

以上 9 个研究专题的负责单位及参加人员如下:

第一专题,由黄委水文局负责,主要参加人员为:徐建华、林银平、金双彦、张水平、和晓应、任松长、胡跃斌、张长江、郭相秦、牛万红、蒋昕晖、陈志凌、郝国占、周鸿文、李梅、刘伟、郭宝群、赵淑饶、刘社强、王西超、田捷、傅延红、王生雄、单伟、刘东、张双慧、杨春杰。

第二专题,由黄委水文局负责,主要参加人员为:金双彦、王志勇、高亚军、孙广平、徐建华、王玉明、胡跃斌、周鸿文、陈志凌、朱小勇、任松长、李梅、田捷、傅延红、龙虎、吴强、张春岚。

第三专题,由陕西师范大学负责,主要参加人员为:吴成基、徐建华、郭力宇、林银平、高亚军、孙虎、赫晓慧、刘护军、王志勇、薛滨瑞、宋瑞鹏、陶盈科、孟彩萍、陈晓军、尹进虎。

第四专题,由黄河水利科学研究院和黄委水文局共同负责,主要参加人员为:高亚军、左仲国、徐建华、张彦军、王玉明、王笑冰、王志勇、李静、汪艾卓、和瑞莉、康玲玲、李海晓、王金花、孟宪颖、杨剑峰、毛利强、王生雄。

第五专题,由黄委水文局负责,主要参加人员为:林银平、李雪梅、徐建华、王志勇、朱小勇、吴成基、赫晓慧、蒋昕晖、周鸿文、赵帮元、王玉明、王宝华、高亚军、宋瑞鹏、吴强、毛利强。

第六专题,由黄委黄河上中游管理局负责,主要参加人员为:赵帮元、喻权刚、马宁、王

志勇、马国力、罗万勤、梁剑辉、张香娟、李志华、马红斌、陈志凌、李雪梅、林银平、金双彦、王玉明、王宏乾。

第七专题,由黄委水文局负责,主要参加人员为:徐建华、王志勇、高亚军、周鸿文、金双彦、宋瑞鹏、蒋昕晖。

第八专题,由黄委水文局负责,主要参加人员为:林银平、王玉明、潘启民、任松长、王宏乾、李雪梅、高亚军、周鸿文、刘东旭、王宝华、张小军、吉海富、蒋秀华、梁海燕。

第九专题,由黄委黄河上中游管理局负责,主要参加人员为:喻权刚、薛顺康、赵帮元、罗万勤、马宁、魏涛、尤代强、梁剑辉。

由于本研究项目涉及内容广、难度大,因此联合了有关科研院所和高等院校进行协作攻关。在黄委水土保持局的组织协调下,参加单位有黄委水文局、黄河水利科学研究院、黄河上中游管理局、陕西师范大学等,参加研究的科技人员 70 余人。在黄委主任李国英和有关专家的指导下,经过全体科研人员的共同努力,充分发挥各学科、各部门的优势,协作攻关,取得了预期的研究成果,为确定黄河中游粗泥沙集中来源区并进行治理开发提供了新的科学依据和系列基础资料。

本书是在上述研究成果基础上编写而成的。各章编写人员是:第一章,由徐建华、吴成基、林银平、喻权刚、李雪梅、左仲国、潘启民、王玉明、金双彦、王志勇、王宏乾编写;第二章,由周鸿文、陈志凌编写;第三章,第一节至第三节由朱小勇编写,第四节和第五节由陈志凌编写,第六节和第七节由任松长编写,第八节和第九节由徐建华、林银平、金双彦、李雪梅、周鸿文、王志勇、潘启民、王玉明编写;第四章,由吴成基、高亚军编写;第五章,由高亚军、左仲国编写;第六章,第一节由周鸿文编写,第二节至第四节由王宝华编写,第五节和第六节由徐建华、林银平、周鸿文、王志勇编写;第七章,由赵帮元、喻权刚、马宁、梁剑辉编写;第八章,由高亚军编写;第九章,第一节和第二节由周鸿文编写,第三节由任松长编写,第四节和第五节由王宏乾编写,第六节至第八节由王宝华编写,第九节由王宏乾编写;第十章,由马宁、喻权刚、赵帮元、梁剑辉编写;第十一章,由喻权刚、梁剑辉、赵帮元、马宁编写;附录由王志勇编写。全书由徐建华、林银平、吴成基、喻权刚、左仲国统稿。

由于书稿资料量大,编撰时间较短,我们的写作水平有限,书中难免有欠妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编著者

2006 年 5 月

## 目 录

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 第一章 绪论                    | (1)   |
| 第一节 研究背景                  | (2)   |
| 第二节 相关研究动态及成果简述           | (5)   |
| 第三节 研究目标及研究内容             | (7)   |
| 第四节 研究方法和技术路线             | (11)  |
| 第五节 主要研究成果                | (14)  |
| 第六节 研究特色与创新点              | (32)  |
| 第二章 三门峡库区淤积物粒径分析          | (34)  |
| 第一节 三门峡水库淤积情况             | (34)  |
| 第二节 三门峡库区淤积物粒径分析(河床质法)    | (35)  |
| 第三节 三门峡库区淤积物粒径分析(钻孔法)     | (47)  |
| 第四节 三门峡库区淤积物粒径分析(平衡法)     | (62)  |
| 第五节 三门峡库区淤积物粒径组成成果分析      | (68)  |
| 第六节 小浪底水库运行与淤积情况简介        | (69)  |
| 第七节 小结                    | (71)  |
| 第三章 黄河下游河床淤积物粒径分析         | (73)  |
| 第一节 黄河下游河床淤积情况            | (73)  |
| 第二节 黄河下游河床质钻孔取样断面布置和计算方法  | (77)  |
| 第三节 黄河下游滩槽淤积物粒径对比分析       | (81)  |
| 第四节 黄河下游河道淤积物粒径分析(钻孔法)    | (110) |
| 第五节 不同时段黄河下游河道淤积物粒径组成分析   | (117) |
| 第六节 黄河下游河道淤积物粒径分析(平衡法)    | (132) |
| 第七节 三门峡库区及下游河道淤积物粒径综合分析   | (143) |
| 第八节 粗泥沙集中来源区界定研究中粗泥沙界限的初选 | (145) |
| 第九节 小结                    | (148) |
| 第四章 基于自然地理背景的粗泥沙集中来源区宏观判析 | (150) |
| 第一节 区域地质构造                | (150) |
| 第二节 地貌                    | (153) |
| 第三节 地层与产沙                 | (158) |
| 第四节 岩性与产粗泥沙的关系            | (161) |
| 第五节 侵蚀产沙营力对产沙的影响          | (167) |
| 第六节 植被盖度与产粗泥沙             | (168) |
| 第七节 气象水文与产粗泥沙             | (169) |

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| 第八节 前人对有关强烈侵蚀产沙区域的研究·····             | (174)        |
| 第九节 小结·····                           | (178)        |
| <b>第五章 黄河中游严重水土流失区侵蚀土壤粒径分布研究·····</b> | <b>(179)</b> |
| 第一节 取样点的布设及取样方法·····                  | (179)        |
| 第二节 侵蚀物粒径分析·····                      | (181)        |
| 第三节 小结·····                           | (193)        |
| <b>第六章 粗泥沙集中来源区界定研究·····</b>          | <b>(195)</b> |
| 第一节 黄河中游输沙模数图的绘制·····                 | (196)        |
| 第二节 界定指标的确定·····                      | (207)        |
| 第三节 不同输沙模数级粗泥沙区域分布及产沙量分析·····         | (208)        |
| 第四节 不同输沙模数级粗泥沙来源区支流分布·····            | (217)        |
| 第五节 粗泥沙集中来源区的确定·····                  | (221)        |
| 第六节 小结·····                           | (226)        |
| <b>第七章 重点支流特性深化研究·····</b>            | <b>(228)</b> |
| 第一节 重点支流的遴选·····                      | (228)        |
| 第二节 重点支流特性分析的内容及方法·····               | (232)        |
| 第三节 重点支流特性分析·····                     | (238)        |
| 第四节 重点治理支流信息表现·····                   | (331)        |
| 第五节 小结·····                           | (333)        |
| <b>第八章 黄沙中游多沙粗沙区治理分区研究·····</b>       | <b>(335)</b> |
| 第一节 历史上部分有关黄河流域(中游)分区(带、片)研究成果简述····· | (335)        |
| 第二节 多沙粗沙区治理分区的划分·····                 | (345)        |
| 第三节 分区结果合理性论证·····                    | (348)        |
| 第四节 小结·····                           | (349)        |
| <b>第九章 多沙粗沙区各治理分区水资源量评价·····</b>      | <b>(351)</b> |
| 第一节 概述·····                           | (351)        |
| 第二节 水资源分区·····                        | (354)        |
| 第三节 降水、蒸发·····                        | (359)        |
| 第四节 地表水资源量·····                       | (384)        |
| 第五节 地下水资源量·····                       | (406)        |
| 第六节 水资源总量·····                        | (419)        |
| 第七节 泥沙·····                           | (430)        |
| 第八节 多沙粗沙区来水来沙对黄河水沙的影响·····            | (440)        |
| 第九节 小结·····                           | (444)        |
| <b>第十章 多沙粗沙区治理分区经济社会调查评价·····</b>     | <b>(446)</b> |
| 第一节 调查评价指标的遴选·····                    | (446)        |
| 第二节 调查评价的方法·····                      | (447)        |
| 第三节 经济社会调查结果与分析·····                  | (447)        |

---

|      |                                             |       |
|------|---------------------------------------------|-------|
| 第四节  | 水土保持与经济社会发展的关系分析·····                       | (473) |
| 第五节  | 小结·····                                     | (475) |
| 第十一章 | 结论与建议·····                                  | (476) |
| 第一节  | 结论·····                                     | (476) |
| 第二节  | 建议·····                                     | (479) |
| 参考文献 | ·····                                       | (480) |
| 附录   |                                             |       |
| 附录一  | 构筑控制黄河粗泥沙的“三道防线”·····                       | (482) |
| 附录二  | 专题会议纪要(2004年8月5日)·····                      | (485) |
| 附录三  | 专题会议纪要(2004年9月24日)·····                     | (486) |
| 附录四  | 专题会议纪要(2004年12月9日)·····                     | (487) |
| 附录五  | 专题会议纪要(2005年3月29日)·····                     | (489) |
| 附录六  | 水利部黄河水利委员会关于黄河中游粗泥沙集中来源区界定<br>研究任务书的批复····· | (490) |
| 附录七  | “黄河中游粗泥沙集中来源区界定研究”课题阶段成果专家咨询意见<br>·····     | (492) |
| 附录八  | “黄河中游粗泥沙集中来源区界定研究”(补充完善)部分专家咨询意见<br>·····   | (494) |
| 附录九  | “黄河中游粗泥沙集中来源区界定研究”项目验收意见·····               | (495) |
| 附录十  | “黄河中游粗泥沙集中来源区界定研究”专家鉴定意见·····               | (496) |
| 后记   | ·····                                       | (497) |

# 第一章 绪 论

黄河难治,根在泥沙,泥沙淤积是加重黄河下游洪水危害的根本原因。黄河下游河道的现状是河床高出背河地面  $4 \sim 6\text{m}^{[1]}$ ,比两岸平原高出更多,称为淮河和海河的分水岭,是举世闻名的“地上悬河”。黄河下游从桃花峪至河口段,除右岸东平湖至济南区间为低山丘陵外,其余地区全靠堤防挡水,历史上堤防决口频繁,现在依然严重威胁着黄淮海平原地区的安全,是中华民族的心腹之患。

近年来,进入黄河下游的泥沙虽然减少了,但由于上中游来水大幅度削减,三门峡水库汛期集中排沙,再加上下游大量引水,使下游河道输沙能力大大降低,挟带的泥沙绝大部分淤积在主槽内,造成河道萎缩,排洪能力降低。1996年8月5日发生的 $7\,860\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水,虽然属于2~3年一遇的中常洪水,却造成了新中国成立以来洪水水位最高、漫滩淹没范围最大、灾害损失最严重的一年。这主要是长期泥沙淤积、河床抬升和河道萎缩、排洪能力下降的结果。另外,黄河干支流兴建的水库,因入库泥沙量大,库容丧失迅速,大大缩短了其使用年限,从而不能长期发挥其综合效益,三门峡水库的被迫改建,便是一个明显的例证。小浪底水库建成投入运用后,虽然预留了泥沙淤积库容,但相对上游的来沙而言还是有限的。随着水资源的开发利用,黄河沿岸各省(区)每年引用黄河水300亿 $\text{m}^3$ 左右,占黄河年均天然径流量的一半以上;每年的引沙量约为2亿t,仅占黄河下游多年来沙量的 $1/8 \sim 1/6^{[2]}$ 。对黄河下游而言,来水量的减少远大于来沙量的减少,使得黄河水沙矛盾更加突出,因而加重了黄河下游河道主槽的淤积。20世纪60年代,下游平滩流量为 $6\,000 \sim 7\,000\text{m}^3/\text{s}$ ,到2002年,部分河段 $2\,000\text{m}^3/\text{s}$ 左右的流量就可出现严重漫滩<sup>[3]</sup>。特别是近20年来,由于自然因素和人类活动因素共同的影响,使得黄河下游的水沙关系极不协调,造成主河槽泥沙淤积加重,河道内又出现了3~5m高的“悬河中的悬河”,呈现出“槽高于滩,滩又高于背河地面”的局面,称之为“二级悬河”。黄河中游严重的水土流失和下游河道的淤积严重制约着黄河的治理开发。因此,在新时期的黄河治理理念中已将“河床不抬高”作为“维持黄河健康生命”的重要标志之一。

黄河流域自然地理特性十分复杂,水沙来源的地区分布很不均匀,存在水少沙多、水沙异源和时空分布不均等特点。黄河水量主要来自河口镇以上的上游地区,占进入下游总水量的54%,但沙量仅占进入下游泥沙总量的10%左右;河口镇至龙门区间两岸支流是下游泥沙的主要来源区,沙量占总沙量的56%左右,而水量仅占总水量的15%左右。通过对黄河下游多场洪水的来水来沙及河道冲淤情况分析发现,来自黄河中游多沙粗沙区的洪水几率虽然只有10%左右,但造成的淤积量占全部洪峰淤积量的40%~60%;来自少沙区的洪水则对下游河道发生冲刷,在一定程度上对下游河道的淤积起到制约作用<sup>[2]</sup>。由此看出,黄河中游多沙粗沙区的洪水泥沙是造成黄河下游严重淤积的主要原因。

通过对三门峡库区及下游河道滩槽淤积物的粒径组成分析发现,不同粒径泥沙的淤积量有较大差别,主槽淤积物中  $d \geq 0.05\text{mm}$  的粗泥沙占多数,库区约为 66.2%,下游河道约为 67.1%;主槽中  $d \geq 0.10\text{mm}$  的粗泥沙也不少,库区约为 37.6%,下游河道约为 33.5%;特别是在 1960 年前无三门峡水库影响的自然情况下,黄河下游河道主槽淤积物中  $d \geq 0.05\text{mm}$  和  $d \geq 0.10\text{mm}$  的泥沙各占 76.1% 和 50.7%;1960 年以后,下游主槽淤积物中  $d \geq 0.05\text{mm}$  和  $d \geq 0.10\text{mm}$  的泥沙各占 51.5% 和 20.4%,百分比下降很多,但三门峡库区龙门至潼关全断面淤积物中,  $d \geq 0.05\text{mm}$  和  $d \geq 0.10\text{mm}$  的泥沙各占 70.3% 和 43.6%,主槽中相应粒级的泥沙含量为 77.0% 和 47.1%。说明粗泥沙是三门峡库区和下游河道主槽淤积物的主要物质组成,危害最大。据有关成果分析,中游河口镇至龙门区间拦减 1 亿 t 泥沙,下游河道可减淤泥沙 0.5 亿 ~ 0.7 亿 t;吴堡以上减少 1 亿 t 较粗泥沙,下游可减淤泥沙 0.7 亿 ~ 0.9 亿 t<sup>[4]</sup>。因此,为了有效地减少库区及下游河道的淤积,应在水上流失区的源头——黄土高原做文章,尤其是要在中游寻找粗泥沙集中来源区,并有效拦截其粗颗粒泥沙。

## 第一节 研究背景

泥沙问题是黄河诸多问题的症结。减少和处理黄河泥沙,特别是粗泥沙,是维持黄河健康生命、实现黄河长治久安的需要。为使黄河泥沙治理收到事半功倍的效果,减少和处理黄河泥沙必须把拦截粗泥沙作为突破口和关键目标,构筑控制黄河粗泥沙的三道防线。

黄河是世界大江大河中输沙量最大、水流含沙量最高的河流。据 1919 ~ 1960 年实测资料统计,黄河三门峡(陕县)水文站多年平均输沙量约 16 亿 t,多年平均含沙量  $35\text{kg}/\text{m}^3$ ,实测最大含沙量  $911\text{kg}/\text{m}^3$  (1977 年),其中约 1/4 的泥沙淤积在下游河道,使黄河下游河道成为举世闻名的“地上悬河”。近 20 年来,由于自然因素和人类活动因素共同的影响,使得黄河下游的水沙关系极不协调,造成主河槽泥沙淤积加重,河道内又出现了 3 ~ 5m 高的“悬河中的悬河”,呈现出“槽高于滩,滩又高于背河地面”的局面,称之为“二级悬河”(见图 1-1)。目前,黄河下游河道已全部为“二级悬河”,其中较为严重的河段达 300km。在这些河段,河道横比降大于纵比降,由于主河槽已呈“浅碟子”状,即使发生中常洪水,主槽也难以容纳,出槽后必然造成重大河势变化,极易出现“横河”、“斜河”和“滚河”,增大了堤防冲决和溃决的危险。可以说,黄河复杂难治的症结在于泥沙。表 1-1 是黄河下游河道及三门峡库区淤积物粒径组成分析结果,从表中可以看出,主槽淤积物中  $d \geq 0.05\text{mm}$  的粗泥沙占了 2/3,可以说,粗泥沙是导致河道及库区淤积的根本原因。如果控制了粗泥沙就会大大减缓黄河下游河道主槽淤积。

对粗泥沙的治理,黄委主任李国英提出了“三道防线”的治理策略<sup>[6]</sup>,首先是黄土高原治理水土流失,做到“先粗后细”,其次是小北干流放淤,做到“淤粗排细”,最后是小浪底水库等干流水库拦沙,做到“拦粗泄细”。每道防线都要围绕对黄河下游“地上悬河”淤积最严重的粗泥沙做文章。对黄土高原水土流失区的治理须突出重点区域进行集中治理,宜

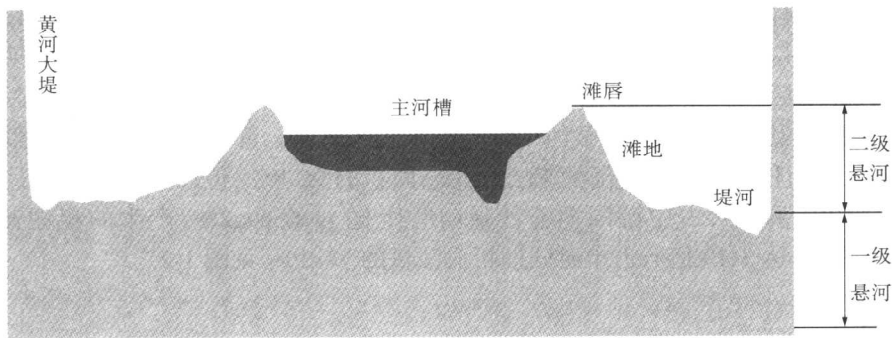


图 1-1 “二级悬河”示意图<sup>[5]</sup>

表 1-1 三门峡库区及下游河道淤积物粒径组成分析

| 河段名           | 时段<br>(年·月)            | 部位  | 总淤积量<br>(亿 t) | 大于等于某粒径的沙重百分数(%) |        |        |        |       |       |
|---------------|------------------------|-----|---------------|------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
|               |                        |     |               | 0.025mm          | 0.05mm | 0.10mm | 0.25mm | 0.5mm | 1.0mm |
| 三门峡<br>库区     | 1960.5<br>~<br>2003.10 | 主槽  | 34.25         | 85.9             | 66.2   | 37.6   | 8.2    | 0.9   | 0     |
|               |                        | 滩地  | 59.21         | 69.3             | 40.3   | 19.2   | 6.3    | 1.4   | 0     |
|               |                        | 全断面 | 93.45         | 75.4             | 49.8   | 25.9   | 7.0    | 1.2   | 0     |
| 铁谢<br>—<br>利津 | 1950.7<br>~<br>2004.10 | 主槽  | 22.53         | 83.2             | 67.1   | 33.5   | 1.9    | 0.0   | 0     |
|               |                        | 滩地  | 62.81         | 71.7             | 42.2   | 13.4   | 2.4    | 0.4   | 0     |
|               |                        | 全断面 | 85.34         | 74.7             | 48.8   | 18.7   | 2.3    | 0.3   | 0     |

注：三门峡库区淤积物容重取 1.35t/m<sup>3</sup>；铁谢至利津淤积物粒径组成系 1998 ~ 2004 年 6 次钻孔取样级配平均值。

“先粗后细”，即以粗泥沙集中来源区为重点先行强化治理，而后扩展到其他泥沙来源区的治理。小北干流河道宽阔，地势低洼，其地理位置正好处于晋陕峡谷与干流三门峡、小浪底水库的连接部位，在这里处理黄河泥沙不仅有必然的要求（控制泥沙不要进入水库），而且具备客观的条件。在这个防区内，对泥沙的处理主要是放淤，通过工程措施，借助水力自然分选，实现“淤粗排细”，即把对下游河道淤积影响最严重的粗泥沙沉淀在淤区，把细泥沙回归黄河。小浪底水库处于控制黄河下游水沙的关键部位，可作为控制黄河下游河道泥沙的第三道防线。在其 126.5 亿 m<sup>3</sup> 的总库容中，拦沙库容 75 亿 m<sup>3</sup>，可拦蓄泥沙 100 亿 t。拦沙初期水库蓄水体相对较大，粗泥沙拦在库区，细泥沙通过异重流形式排出库外。在小浪底水库运行的后期，蓄水体相对较小，含沙水流进入后基本呈明流输沙状态，通过控制运用可实现“拦粗泄细”。“三道防线”互为联系，构成控制黄河下游河道泥沙淤积的立体防御系统。

本项目就是在寻找近期构筑黄河粗泥沙的第一道防线的切入点即黄河中游粗泥沙集中来源区。

为了找出对下游泥沙淤积危害最大的产沙区，1996 ~ 2000 年，由黄委水文局、黄河水

利科学研究院、陕西师范大学、中国科学院地理研究所、内蒙古自治区水利科学研究所和黄委绥德水土保持科学试验站等单位联合完成了黄委第二期水土保持科研基金项目“黄河中游多沙粗沙区区域界定及产沙输沙规律研究”。通过该项目的研究,找出了对三门峡库区及下游河道淤积危害最大的黄河中游多沙粗沙区区域。黄河中游多沙粗沙区面积为 7.86 万  $\text{km}^2$ ,该面积仅占河口镇至桃花峪区间总面积的 22.8%,但产生的泥沙多达 11.82 亿 t(1954~1969 系列),占中游同期输沙量(18.81 亿 t)的 69.2%,产生的粗泥沙( $d \geq 0.05\text{mm}$ )量更多,达 3.19 亿 t,占中游同期粗泥沙量的 77.2%(见图 1-2)。

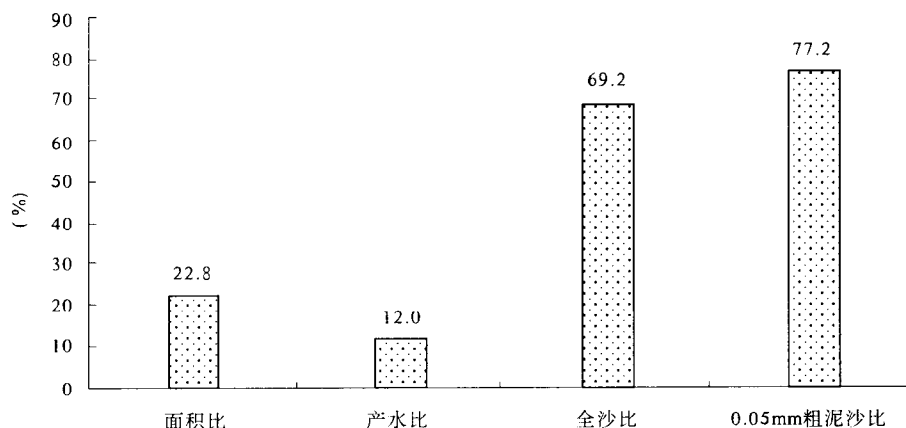


图 1-2 黄河中游多沙粗沙区水量、沙量占黄河中游地区水量、沙量的百分比

黄河中游多沙粗沙区范围的确定,为黄河泥沙的快速治理提供了有力的技术支持。该区域相对于 45.4 万  $\text{km}^2$  的黄土高原水土流失区范围更为集中,可以说,找到了 7.86 万  $\text{km}^2$  的多沙粗沙区,初步明确了黄土高原水土流失治理的重点。但要清醒地认识到,多沙粗沙区不仅是黄土高原水土流失最严重的地区,而且也是生态系统最为脆弱的地区,同时又是治理难度最大、需要治理投入最多的地区。鉴于当地的经济水平,在国家投入主导治理资金时,地方提供配套治理投资的能力较弱,致使该地区治理的投入强度相对不足。由此看来,相对于国家的投入强度和当地的经济水平而言,7.86 万  $\text{km}^2$  的多沙粗沙区仍显偏大<sup>[5]</sup>。并且,在 7.86 万  $\text{km}^2$  的多沙粗沙区内,粗泥沙产沙强度也十分不均,以  $d \geq 0.10\text{mm}$  的粗泥沙输沙模数为例,高的地区可达  $10\,000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  以上,小的地区才  $350\text{t}/\text{km}^2$  左右,水土流失的分散治理效果尤其对下游河道的减淤效果并不明显<sup>[6]</sup>,因此,必须突出重点区域进行集中治理,即在多沙粗沙区范围内,寻找粗泥沙来源更为集中的区域,以此作为近期水土流失治理规划及投资的重点区域,是减少入黄粗泥沙、减轻下游河道泥沙淤积危害的关键,是水土流失治理的重中之重,是“维持黄河健康生命”中实现“河床不抬高”的重要措施之一。只有这样,才会起到在投资力度有限的条件下达到使治理的面积相对较少,拦减粗泥沙相对较多的效果。

2004 年 8 月 5 日,黄委召开了“黄河中游粗泥沙集中来源区界定研究”专题办公会,李国英主任提出了构筑控制黄河粗泥沙的“三道防线”的重要方略。8 月 25 日,黄委召开了

“黄河中游粗泥沙集中来源区界定研究”项目任务书的审查会,正式立项开展研究。

## 第二节 相关研究动态及成果简述

早在 20 世纪 50 年代,钱宁教授到黄河下游花园口滩地查看一座施工挖掘出的唐墓时发现,墓坑立面上,历史淤积的泥沙要比黄河河床床面上的泥沙粗得多。此后,他又通过广泛搜集各处河床质钻孔的资料(见表 1-2),同样发现,淤积在河床深处的泥沙都比表层的泥沙粗,绝大部分都是大于 0.05mm 的颗粒。按照 20 世纪 50 年代的水文资料统计,这种粗泥沙的多年平均来量为 3 亿~4 亿 t(见表 1-3),占黄河下游总沙量的 1/5。由此,钱宁教授首次提出,防止黄河下游河道淤积恶化,应着重于控制这部分粗泥沙<sup>[7]</sup>。

表 1-2 黄河下游滩槽物质组成

(%)

| 站名  | 泥沙粒径分类<br>(mm) | 主槽部分表层以下 |      |      | 滩地部分表层以下 |      |      | 资料说明                                                                                                                |
|-----|----------------|----------|------|------|----------|------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                | 0~1.5m   | 1~3m | 3~5m | 0~1.5m   | 1~3m | 3~5m |                                                                                                                     |
| 花园口 | >0.025         | 93.5     | 94.5 | 98.1 |          |      |      | 主槽部分花园口及朱口、刘庄资料最多,中牟、柳园口、东坝头水文站仅有个别钻孔资料。主槽中有些嫩滩组成过细,未包括在内。<br>从修防段钻孔资料看出,东坝头至高村滩地 $d \geq 0.05\text{mm}$ 的泥沙约占 40%。 |
|     | >0.05          | 82.7     | 85.8 | 94.6 |          |      |      |                                                                                                                     |
| 中牟  | >0.025         |          | 89.0 | 99.0 | 86.0     | 75.0 | 72.4 |                                                                                                                     |
|     | >0.05          |          | 60.0 | 97.0 | 69.0     | 55.0 | 66.3 |                                                                                                                     |
| 柳园口 | >0.025         | 88.0     | 98.0 |      |          | 83.0 | 59.5 |                                                                                                                     |
|     | >0.05          | 63.0     | 96.0 |      |          | 40.0 | 50.5 |                                                                                                                     |
| 东坝头 | >0.025         |          |      | 98.5 |          |      |      |                                                                                                                     |
|     | >0.05          |          |      | 97.0 |          |      |      |                                                                                                                     |
| 朱口  | >0.025         | 85.0     | 70.5 | 94.0 | 64.8     | 45.3 | 73.1 |                                                                                                                     |
| 刘庄  | >0.05          | 50.0     | 50.5 | 90.0 | 34.3     | 23.4 | 46.2 |                                                                                                                     |
| 伟那里 | >0.025         |          | 93.0 | 97.0 | 85.0     | 91.0 | 95.0 |                                                                                                                     |
|     | >0.05          |          | 82.3 | 90.0 | 40.0     | 70.0 | 92.0 |                                                                                                                     |
| 平均  | >0.025         | 88.8     | 89.0 | 97.3 | 79.6     | 73.6 | 75.0 |                                                                                                                     |
|     | >0.05          | 65.2     | 75.0 | 93.7 | 47.0     | 47.0 | 63.8 |                                                                                                                     |

注:表 1-2 和表 1-3 资料摘自《黄河泥沙研究报告选编》(第一集下册,1975)中的“黄河流域不同地区来水来沙对黄河下游冲淤的影响”。

1965 年,钱宁教授随水利部专家组到黄委参加修改 1955 年的黄河治理规划时,被指定负责基本资料组的工作。这时,他怀着对黄河粗泥沙的初步认识和探究兴趣,开始将研究的重点转向黄河中游,并预感到“黄河中游粗泥沙来源区”的研究将有可能成为决定黄河治理全局的大计。因此,他热情高涨地调动各方面的力量协同作战,一方面让水文站的同志重新分析以往的测流取沙资料,把泥沙分成粗细两部分,分别计算它们的年输沙量,

然后再绘制出黄河中游的全沙输沙模数和粗泥沙输沙模数等值线图。另一方面,动员南京大学地理系的二十几位师生,分头到中游黄土高原水土流失区现场调查地表物质组成。就是在这个时候,他第一次现场查勘了黄河中游地区。通过这次现场调查及后来的资料分析,钱宁教授发现,黄河中游确实存在粗泥沙比较集中的产沙区,与下游河道内的淤积粗泥沙相呼应。那么,这二者之间是否有必然的迁移联系呢?

表 1-3 1950 年 7 月 ~ 1960 年 6 月黄河下游多年平均来水来沙及排沙情况

| 时期  | 水量(亿 m <sup>3</sup> ) |       | 粒径级            | 沙量(亿 t)   |      |       |        | 排沙比<br>(%) |
|-----|-----------------------|-------|----------------|-----------|------|-------|--------|------------|
|     | 三 + 黑 + 小             | 利津    |                | 三 + 黑 + 小 | 渠道引沙 | 利津    | 三一利淤积  |            |
| 汛期  | 295.6                 | 298.6 | < 0.025mm      | 8.76      | 0.42 | 7.48  | + 0.86 | 85.4       |
|     |                       |       | 0.025 ~ 0.05mm | 3.83      | 0.16 | 2.60  | + 1.07 | 67.9       |
|     |                       |       | > 0.05mm       | 2.75      | 0.10 | 1.43  | + 1.22 | 52.0       |
|     |                       |       | 全沙             | 15.34     | 0.68 | 11.51 | + 3.15 | 75.0       |
| 非汛期 | 184.0                 | 165.3 | < 0.025mm      | 0.94      | 0.09 | 1.02  | - 0.17 | 108.5      |
|     |                       |       | 0.025 ~ 0.05mm | 0.77      | 0.05 | 0.51  | + 0.21 | 66.2       |
|     |                       |       | > 0.05mm       | 0.90      | 0.04 | 0.18  | + 0.68 | 20.0       |
|     |                       |       | 全沙             | 2.61      | 0.18 | 1.71  | + 0.72 | 65.5       |
| 全年  | 479.6                 | 463.9 | < 0.025mm      | 9.70      | 0.51 | 8.50  | + 0.69 | 87.6       |
|     |                       |       | 0.025 ~ 0.05mm | 4.61      | 0.21 | 3.12  | + 1.28 | 67.7       |
|     |                       |       | > 0.05mm       | 3.64      | 0.14 | 1.60  | + 1.90 | 44.0       |
|     |                       |       | 全沙             | 17.95     | 0.86 | 13.22 | + 3.87 | 73.6       |

带着对这一问题的深深思考,1975 ~ 1977 年,钱宁教授又先后两次带队查勘黄土高原水土流失区,几乎跑遍了所有重要支流,获得了对黄土高原水土流失区更为全面的认识。与此同时,他组织开展了“粗沙多沙来源区洪水对黄河下游淤积的影响”的分析和计算,从而得出:在三门峡水库建库前后 19 年中,黄河下游 103 次洪峰中有 13 次来自粗泥沙产沙区,它们在黄河下游河道中造成的淤积量占全部洪峰总淤积量的 59.8%<sup>[8]</sup>。这就证实,淤积在黄河下游的粗泥沙确定无疑来自中游粗泥沙集中区,他对这个淤积链条做出了成功的揭示。

在此认识的基础上,1979 年,钱宁教授根据 1965 年黄委绘制的黄河中游粗泥沙输沙模数图,首次提出了粗泥沙来源区的研究结论: $d \geq 0.05\text{mm}$  的粗泥沙主要集中在两个区域,其中第一区为皇甫川至秃尾河等各支流的中下游地区,粗泥沙输沙模数达到  $10\,000\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,另一个区域为无定河中下游区(粗泥沙输沙模数为  $6\,000 \sim 8\,000\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  之间)及广义的白于山河源区(粗泥沙输沙模数达到  $6\,000\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  左右)<sup>[8]</sup>。

同年,在钱宁教授这一思想的指导下,龚时旻、熊贵枢根据来沙分配图提出 80% 的全沙和  $d \geq 0.05\text{mm}$  的粗泥沙分别来自  $11\text{ 万 km}^2$  和  $10\text{ 万 km}^2$ ,50% 的全沙和  $d \geq 0.05\text{mm}$  的粗泥沙分别来自  $5.1\text{ 万 km}^2$  和  $3.8\text{ 万 km}^2$ <sup>[9]</sup>。钱宁教授也明确指出应该把这  $5\text{ 万} \sim 10$

万  $\text{km}^2$  的多沙粗沙区作为水土保持工作的重点。这些概念和数据的提出,对黄河泥沙研究和中游水土流失治理起到了很大的推动作用。

1979 年以后,黄河中游多沙粗沙区吸引了更多方面的关注和研究。但由于对多沙粗沙区的认识、研究资料的系列和精度以及具体的分析方法不同,许多学者对黄河中游多沙区、粗沙区以及多沙粗沙区的范围仍存在较大分歧。多沙区面积大到 21 万  $\text{km}^2$ ,小到 5.1 万  $\text{km}^2$ ,粗沙区的面积也在 3.8 万 ~ 21 万  $\text{km}^2$  之间<sup>[10]~[16]</sup>。这使黄河治理方略的决定存在着很大困难,也反映出了黄河基础理论研究和治理科技水平上的创新要求。

1996 年,黄委提出了“黄河中游多沙粗沙区区域界定及产沙输沙规律研究”的水土保持科研项目,该项目并被纳入水利部科技计划项目(SR9727)进行实施。该研究项目由黄委水文局、黄河水利科学研究院、陕西师范大学地理系、中国科学院地理研究所、内蒙古自治区水利科学研究院以及黄委绥德水土保持科学试验站等单位承担,并组成 50 多名科技人员参加的项目组,在以往工作的基础上,协同攻关,开始了黄河中游多沙粗沙区探索研究的新征程。

研究过程中,项目组在研究方法上多措并举,综合采用利用现有资料、实地考察、综合分析、实验测试、地理制图等多种方法,定性分析与定量分析相结合,大量引进并积极应用计算机处理、遥感图像分析、 $^{137}\text{Cs}$  分析等先进技术手段。在研究内容上,通过悬移质输沙量平衡法和淤积物取样分析法相结合,对粗泥沙粒径的界限进行了全面论证;通过分析黄土、基岩、风沙各自产粗泥沙量及产沙输沙规律,进一步研究了多沙粗沙区的区域特征,首次划分出能反映多沙粗沙区区域差异,并具个性特色的不同亚区,增加了成果的实用性。同时,这次研究在基础资料整理分析上,对所有泥沙观测系列和颗分资料进行同步分析处理,提高了基础资料的一致性和可靠性。

通过大量采用新技术、新方法,经过长达 4 年的潜心研究,项目组克服了问题复杂、研究难度大、基础工作薄弱等重重困难,于 2000 年 5 月提交了研究结果:以三门峡库区及黄河下游主河槽淤积物占多数的观点,确定了黄河“粗泥沙”的界限为 0.05mm。用输沙模数指标法界定了黄河中游多沙粗沙区面积为 7.86 万  $\text{km}^2$ 。同时研究了多沙粗沙区的产沙输沙规律,根据地面组成物质和侵蚀强度进行了亚区划分,并探讨了多沙粗沙区及其亚区的治理方略。

2000 年 5 月,以中国工程院院士徐乾清为组长的专家组对这项成果作出了鉴定,鉴定结果表明,该成果具有国际先进水平。2000 年 11 月,这项成果作为治黄基础数据向社会发布了公告,7.86 万  $\text{km}^2$  的多沙粗沙区面积也先后在 2002 年 7 月 14 日国务院批复的《黄河近期重点治理开发规划》、2003 年水利部三大亮点工程之一《黄土高原地区水土保持淤地坝规划》中被采用。该项研究成果获得首届大禹水利科学技术二等奖。

### 第三节 研究目标及研究内容

#### 一、研究目标

本项目的研究目标为:

(1)明晰三门峡水库以及下游河道淤积物粒径组成,特别是 1960 年前无三门峡水库

影响的“自然”水沙情况下下游河道主槽淤积物中“贡献”最大的泥沙粒级。

(2)从暴雨、洪水、泥沙、地质、地貌、地面物质组成、侵蚀方式以及沟壑分布特点等角度宏观判析粗泥沙集中来源区的大致位置。

(3)在水土流失严重地区进行侵蚀物钻探取样,分析侵蚀物粒径分布规律,搜寻粗泥沙集中来源区的可能位置,为重点治理支流的遴选和深化研究服务。

(4)在多沙粗沙区内部,利用不同粒径级的分级输沙模数指标值,界定粗泥沙集中来源区。

(5)在粗泥沙集中来源区中,遴选出当前急需治理的重点支流,分析重点支流上、中、下游及左右岸地形、地貌、土壤、植被、土地利用、水土流失和治理现状等指标的差异,为粗泥沙集中来源区水土保持治理规划服务。

(6)为快速减少入黄粗泥沙,按照治理面积相对较少,拦减粗泥沙量相对较多的原则将多沙粗沙区进行治理分区。

(7)分析出多沙粗沙区中各治理分区中的水资源量,说明产水的贡献小于产沙的危害。

(8)对多沙粗沙区中各治理分区的经济社会指标进行调查评价,分析减沙与经济社会的关系。

## 二、研究内容

本项目的研究内容包括以下九个方面,即分为9个研究专题。

### 专题一 三门峡库区淤积物粒径分析

一是利用钻探资料和历年河床质资料,分析三门峡库区淤积物中各粒径级泥沙百分含量;二是利用输沙率资料,分析淤积物中各粒径级泥沙百分含量以及各粒径级泥沙的淤积比和排沙比。

### 专题二 黄河下游河道淤积物粒径分析

一是利用1998年以来的下游河道淤积物钻孔取样资料,分析淤积物中各粒径级泥沙百分含量,重点分析1960年前无三门峡水库影响的“自然”水沙情况下下游河道主槽淤积物粒径组成;二是利用输沙率资料,分析各粒径级泥沙淤积百分含量以及各粒径级泥沙的淤积比和排沙比。

### 专题三 基于自然地理背景的粗泥沙集中来源区宏观判析

查明区内地质、地貌、气象、水文、植被背景,并重点分析其与侵蚀产沙的关系及区域差异,宏观判析粗泥沙集中来源区的大致位置。

### 专题四 黄河中游严重水土流失区侵蚀土壤粒径分布研究

以粒径0.05mm为粗泥沙界限,且粒径0.05mm的粗泥沙输沙模数大于 $2\,500\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 为指标圈定的区域为重点,按照每 $0.4^\circ$ 的经纬网交叉点和0.05mm的粗泥沙输沙模数大于 $5\,000\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 范围内适当加密的原则,布设56个点取样,分析侵蚀物粒径分布规律,为宏观判析粗泥沙集中来源区的可能位置、重点支流的遴选和深化研究服务。