

黄河治理科普读物

科技治河

主编 刘晓燕 吴致尧 姚传江



黄河水利出版社

黄河治理科普读物

科技治河

主编 刘晓燕 吴致尧 姚传江

黄河水利出版社

黄河治理科普读物

科技治河

主编 刘晓燕 吴致尧 姚传江

责任编辑：陈同善 雷元静

特邀编辑：张美丽

责任校对：何新华

责任印制：常红昕

出版发行：黄河水利出版社

地址：河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 12 层

邮编：450003

印 刷：郑州文华印刷厂

开 本：850mm×1168mm 1/32

版 别：1997 年 9 月 第 1 版

印 次：1997 年 9 月 郑州第 1 次印刷

印 张：6

印 数：1—3000

字 数：150 千字

ISBN 7-80621-024-5/TV·23

定 价：13.00 元

序

黄河是中华民族的摇篮，是中国五千年文化的发祥地，但同时也是一条多灾多难的河流。据统计，在1947年黄河归故以前的2500多年间，黄河下游决口泛滥达1592次，改道26次，其中大的改道9次，给下游广大平原的人民生命财产造成巨大灾难和损失。因此，自古以来黄河的治理一直是人们十分关注的大事。几千年的治黄实践，涌现出了很多治黄专家，从西汉贾让的“治河三策”、宋代王安石的“引黄放淤”、明代潘季驯的“束水攻沙”到民国时期李仪祉、张含英的“上中下游并重，防洪、航运、灌溉、水电等统筹兼顾”的治黄方针，使治黄思想和方略不断发展创新，积累了十分宝贵的治黄经验。但由于社会条件和科技发展的限制，大规模、系统深入的治黄研究和实践则始于新中国成立以后。

50年代初黄河水利委员会就先后组织了几十次黄河干支流查勘，并于1950年开始了水文气象资料收集整理。其中，1953年成立的黄河资料研究组整编了几十篇黄河查勘、调研报告和大量水文泥沙基本资料，1954年由多部门、多学科组织的黄河查勘，全面系统地考察了干支流水电开发、引黄灌区、中游水土流失和下游堤防滞洪工程，详细听取并研究了沿黄有关地方政府对治黄的意见和要求，对黄河规划的关键问题特别是一期工程问题基本统一了认识。

三门峡水利枢纽是1955年黄河规划选定的一期工程。由于对黄河水沙规律、人多地少的国情认识不足，对水土保持形势估计过于乐观，致使工程一投入运行就暴露出一系列严重问题，到1964年10月，库区泥沙淤积达47亿t，库容损失40%，引起潼

关高程的累积性抬高，严重威胁关中平原。为此，黄河水利委员会在国务院和水利部领导下，组织全国治黄科技人员开展了大规模、长期艰巨的科技攻关。到1974年，成功地完成了三门峡枢纽的改建。所探索出的“蓄清排浑、调水调沙”水库运行方式和水沙调节理论标志着我们对黄河水沙规律的认识有了新的飞跃，丰富和发展了泥沙科学，创建了多泥沙河流上水库运用的成功模式。1989年以来通过汛期浑水发电试验，探索出的抗高含沙水流磨损材料在水轮机及过流建筑物上的应用技术，为多泥沙河流水电开发提供了成功的经验。

随着人们对黄河泥沙规律的不断探索和认识的逐步深化，以及对下游防洪减淤措施、河道整治技术、水土保持措施、水资源开发及保护、水利水电开发等专项问题研究的深入，逐步形成了一套科学的治黄方略，即依靠“上拦下排、两岸分滞”，解决下游的防洪问题，依靠“拦、排、放、调、挖综合治理”，解决黄河的泥沙问题。并在此基础上，于1997年完成了《黄河治理开发规划纲要》的编制修订工作，这是几代科技人员工作的结晶。

洪水测报是保障黄河安全渡汛的耳目。自50年代初开展的水文历年资料整编、水旱灾害调查、黄河冰凌和洪水预报方案到80年代以来的洪水预报模型、防洪决策支持系统、防洪调度系统以及水文数据库的建立等专项研究，使洪水预报方法由简单的洪峰相关到流域洪水模型，冰情预报方法由粗略的经验相关到冰情模型，形成了黄河洪水、冰情预报水文系统网络，缩短了洪水预见期，提高了洪水预报精度，加快了防汛指挥现代化进程。近年来，适于多沙河流的水文仪表的研制开发，以及国外先进水文仪器的引进、电子计算机和现代通信技术的应用，使黄河水文系统的数据采集、传输、接收和处理技术基本实现自动化。

下游河道整治和防汛抢险技术研究始于50年代。其中，“引黄淤背固堤”是在治黄实践中总结出来的重大科技成果，该技术

具有可利用泥沙加宽加固堤防、淤筑相对地下河，提高堤防的抗洪能力，减少河道淤积，少挖农田等优点。目前，该技术已经成为下游堤防加固的主要措施之一。锥探灌浆是 50 年代研究开发的另一重大科技成果，该技术的应用、推广和改进，为下游千里堤防的隐患探查和处理提供了行之有效的手段。目前，电法探测隐患技术和组合压力灌浆技术又取代了锥探灌浆，从而大幅度提高了堤防隐患探测和加固的效率和质量。进入 80 年代以后，防汛抢险的新技术、新结构和新材料研究成为人们关注的热点。各种形式的沉排坝（包括化纤编织袋沉排坝、长管袋充填泥浆沉排坝、铅丝笼沉排坝、网护根坝、褥垫式沉排坝、柳石枕沉排坝、绞链式混凝土模袋沉排坝、挤压块沉排坝、粘结大块石坝、潜坝等）、混凝土透水桩坝等新坝型在坝岸工程中得到应用。研制了诸如捆枕器、打桩机、机编铅丝网等抢险机具和根石探测、堵漏洞等抢险新技术，这些成果的应用，取得了明显的效果。河道整治工程的规划设计也从单纯依靠经验发展到治沙理论配合物理模型试验与经验相结合的模式。黄河下游防洪减灾系统的建设以及防汛调度系统、专家决策支持系统等高新技术成果使黄河防汛自动化程度有了很大提高。

水土保持科研工作始于民国后期，并于 1941 年建立了天水陇南、西安关中水土保持试验区，进行小区径流观测、改良农业技术试验研究。新中国成立后，黄河水利委员会建立了绥德、西峰、天水水土保持科学试验站，在黄委会黄河水利科学院设置了水土保持研究室。随后，流域内各省（自治区）、中国科学院也相继成立了水土保持科研机构。目前，流域内共有水土保持科研机构 37 个，科技人员 1 200 多名，取得了上千项科技成果，其中有 20 多项获得国家级奖励。

水土流失规律研究始终是水土保持科研的重点之一。在多年观测、试验、总结、分析的基础上，摸清了不同侵蚀类型区的径

流、泥沙来源和规律，以及各种水土保持措施的减水减沙效益，为治理措施的合理配置提供了科学依据。在沟壑中修坝拦淤地是黄土高原水土保持的主要工程措施，而水坠法筑坝技术的开发推广加速了治沟骨干工程建设的进程。机修梯田、飞机播种林草和植物优良品种的选育为减轻水土流失提供了有效途径。50年代开始的小流域综合治理试验研究为不同类型水土流失区提出了不同的治理方向，现已成为国家治理水土流失重点推广技术之一。80年代，各地又将遥感技术、系统工程和计算机模拟等新技术用于水土保持，同时更注意单项与综合、微观与宏观、战术与战略研究的结合，从而更进一步促进了水土流失治理的进程。

在水利水电及其他工程建设中，黄河水利委员会科技人员结合工程实践，攻克了一个个技术难关。特种深水钢围堰、大孔径多功能潜水钻机、定向爆破技术、孔板洞洞内消能技术、大规模现掺粉煤灰技术、地下混凝土连续截渗墙等一系列重大科技成果丰富了建筑工程技术宝库。在小浪底水利工程中，由泥沙和高速水流而导致的泄水建筑物进口淤堵和消能问题、建筑物及其设施的磨损问题、洞室群围岩稳定问题、深覆盖层的防渗处理问题、大跨度地下厂房和进出口高边坡的设计问题、水轮机的抗磨设计问题，均堪称世界级难题，因此，小浪底工程的开工标志着我们对在多泥沙河流、复杂地基上修建大型水利水电工程的综合技术有了新的重大突破。

对黄河水资源开发利用的研究虽起步较晚，但发展迅速。其主要成果表现在流域内用水状况和预测分析、黄河流域水资源经济模型的研究、水资源利用经济效益分析、黄河水资源影子价格研究、水资源开发对河道演变的影响、水资源的调度与管理、水质污染监测技术及防治措施等，这些研究成果的应用对黄河水资源的开发利用具有重要意义。

“黄河治理与水资源开发利用”是以黄河水利委员会为主承

担的“八五”国家重点科技攻关项目，该研究项目围绕黄河下游防洪关键技术、泥沙利用及淤筑相对地下河、下游河道演变基本规律和减缓河道淤积措施、中游多沙粗沙区治理、水资源合理利用与保护、河口治理等重大技术问题开展了多部门、多学科协作攻关，取得了丰硕成果。

同时，科技管理也从松散管理，发展到从科技立项、成果评审到成果奖励和推广等功能完善、紧密的科技管理体系，建立和完善了一整套科学的科技管理办法。

总之，科学技术为滔滔黄河 50 年安澜、两岸人民安居乐业、沿黄经济蒸蒸日上作出了重要贡献，功不可没。

为了贯彻中共中央、国务院关于实施“科教兴国”战略的决定以及关于科学普及的精神，使广大治黄职工和关心治黄事业的各界同仁对治黄科技工作的进展有一个深入浅出的了解，黄河水利委员会科技外事局在总结了多年来治黄科技成就的基础上，组织编写了这本从治黄工作的主要侧面反映当代治黄科技进步状况的小册子。我衷心希望能通过这本小册子，使热心的读者与我们分享黄河已知王国的乐趣，并与我们共同探索黄河未知的领域。

陈敦国

1997 年 7 月 15 日

目 录

序	陈效国 (1)
黄河治理开发研究在“八五”期间取得重大进展 ——“八五”国家重点科技攻关项目“黄河治理与水 资源开发利用”成果介绍	(1)
黄河中下游河道淤积状况及治理措施	(18)
黄河下游河道整治及堤防工程新技术介绍	(29)
黄河下游堤防抢险的基本经验	(46)
黄河水文测验和预报技术的进展与展望	(57)
黄河下游洪水演进与洪水预报	(69)
黄河防汛及水量调度	(79)
黄河水资源规划研究	(89)
黄河的水资源	(96)
黄河水资源的管理	(102)
黄河流域水污染及其防治	(116)
黄河上中游的水土流失与防治措施	(132)
黄河水利水电枢纽工程技术进展	(151)
计算机技术在黄河治理开发中的应用	(159)

黄河治理开发研究在“八五”期间 取得重大进展

——“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”成果介绍

“黄河治理与水资源开发利用”(85-926)项目共设7个课题、22个专题、92个子题,参加攻关研究的有水利部、中国科学院、地质矿产部的几十个科研单位、技术部门和十多所高等院校的数百名科技人员。经过广大科技人员3年的攻关,于1996年3月全面完成了国家下达的科技攻关任务。经专家委员会鉴定,该项目22个专题中有2个专题成果总体上达到国际领先水平;8个专题成果总体达到国际先进水平,部分研究成果达到国际领先水平;9个专题成果总体达到国际先进水平;3个专题成果总体达到国内领先水平,部分研究成果达到国际先进水平。这些成果的应用将会对黄河的治理开发产生深远的影响。本文将按课题、专题对攻关成果作一简要介绍。

一、黄河下游防洪关键技术研究

1. 黄河防洪防凌决策支持系统

该专题研究工作以黄河多年防洪防凌经验为基础,系统地、科学地总结出防洪防凌决策工作的流程、各阶段的工作内容和需要得到的支持方案,明确了决策支持系统在黄河防洪防凌中的地位 and 作用。在此基础上,制定出符合实际、切实可行的系统结构和功能设计,以及系统的开发原则和策略,妥善解决了开发该系统的有关问题,成功地完成了系统框架总体设计和原型开发。由

于我们的工作起步较早，具有开创性，为国内开发类似系统提供了借鉴。

黄河防洪防凌决策支持系统由信息查询、暴雨洪水预报、防洪调度、灾情估计与减灾对策、防凌决策支持等五部分组成，现已在黄河防汛计算机网络上运行。该系统包括了黄河防洪防凌决策过程的各个主要工作环节，可以为会商决策提供水、雨、工情等全面的信息服务；可以接收处理水情、气象信息，作出黄河中下游短期暴雨定性预报和龙门一河口几十个重要控制水文站的洪水预报；可以根据决策要求制定多种可行的调度方案，并进行模拟仿真和后果评估；可以根据实测和预报的洪水过程、航空遥感影像快速评估淹没损失，提供分滞洪区迁安咨询；可以进行气温和冰情预报，编制水库防凌调度方案。该系统功能齐全，实用性强，已在黄河下游防洪防凌调度中得到使用，效果良好。

该系统在开发过程中，进行了大量、细致的调查研究和资料采集工作，建立了水文、气象、工情、冰情和地理、社会、经济信息的数据库，为系统运行提供了坚实的基础。

2. 黄河下游滩区及分滞洪区风险分析和减灾研究

该系统针对黄河下游河道及滩区的水沙演进、分洪闸上下游冲淤变化及分洪预报调度、分滞洪区洪水演进、滩区和分滞洪区洪灾损失评估及减灾措施等长期难以解决的问题，采取科研与生产单位相结合的方法，开展联合攻关，取得了实用性好的科研成果。

开发了能反映黄河下游滩区水沙运动规律的二维非结构网络的水沙运动数学模型，并在验证的基础上，进行了多种洪水方案的风险预测，其成果已被黄河防汛总指挥部办公室在制定防洪预案中采用。研制的北金堤滞洪区分洪后洪水演进的数学模型，能够较好地反映该滞洪区内渠堤、公路等阻水影响及内河的导水作用。模型的运行速度快，可以用于实时预报预测。分别研制的黄

河下游孙口—艾山河段、东平湖分洪闸附近局部河段及东平湖湖内洪水演进等几个数学模型，为拟定东平湖湖区分洪方案提供了有效手段。建立了上述地区的社会、经济数据库，这是一个十分繁琐细致的工作，由山东、河南两河务局的广大治黄职工参与。建立了符合上述地区的人口、经济增长预测和洪水灾害评估模型，与泥沙运行模型相结合，可快速评估洪水灾情，提出可行的减灾对策。

3. 黄河下游游荡性河段整治

黄河下游宽河段河道游荡多变，整治措施困难复杂。该专题系统整理分析了大量的航片、卫片及主流线套绘资料，吸取了动床模型试验成果，对游荡成因、河型转化及“横河、斜河”的发生机理等取得新认识。在系统总结黄河下游河道整治经验的基础上，论证了微弯型整治方案的可行性及合理性，确定中水流路进行游荡性河道整治，明确提出必须根据规划治导线和工程位置线修建工程，并及时配套，才能控导水流，稳定河势。深入研究了整治工程对本河段及下游河段的冲淤影响，科学地阐明了河道冲淤过程中的二滩滞沙和嫩滩调沙的作用。

该专题通过类比分析和模型试验，对小浪底水库拦沙期下泄清水对该河段河势变化影响进行了全面研究，对现有整治工程的适应性进行了预测，提出了加速游荡性河道整治的建议，已为制定“九五”计划所采用。在进行游荡性河道整治动床模型试验中，提出的高含沙动床模型相似律的研究成果有重大突破，已获水利部科技进步二等奖。

4. 堤防工程新技术研究

该专题取得了三项主要成果。

在堤防隐患探测技术的理论和实践方面取得了突破性成果。提出了边界聚流作用的新认识，修正了半无限理论空间的异常体深度计算公式，建立了直流电法探测堤防较小异常体的理论基

础。引入高密度电阻率法,改进了裂缝、空洞探测技术,使探测精度大幅度提高,裂缝探测深度超过 10m。空洞的洞径与中心深度之比的分辨率超过 1:10,堤防老口门探测深度可达 30m 以上,分辨率可达 1m~2m,还可提供分层土的动力参数。由于改进了仪器,测试速度提高 1 倍以上。

在整治工程新材料的试验研究方面,全面分析总结了黄河上 40 多座土工织物沉排坝及透水桩坝的建设和运行经验,提出了减少丁坝抢险的有效措施,研究建成了一道铰链式模袋混凝土沉排坝,在工程结构和施工技术范围内属于首创。

建成了总体设计合理、开发原则正确、收集资料齐全、运行规范可靠的黄河下游防洪工程数据库,可为防汛调度决策、工程建设管理和科学研究工作快速、准确地提供黄河下游防洪工程基本资料。在我国大江大河防洪工作中,建成如此规模宏大的工程数据库,尚属首例。

二、黄河下游河道演变规律及减淤措施研究

该课题在黄河攻关项目中是一个理论性较强的研究课题,参加单位有黄河水利科学研究院、中国水利水电科学研究院、清华大学、武汉水利水电大学等 10 个科研单位、大专院校,又与生产管理单位紧密结合,使其研究成果既有一定的理论水平,又能解决黄河下游治理中的一些关键性技术问题。下面分 4 个专题介绍。

1. 黄河下游河道演变基本规律

该专题首先系统修正了三门峡以下干支流花园口等 6 个水文站 1960 年~1990 年 30 年的悬移质输沙率及颗粒级配资料,改正了以往采用输沙平衡法计算河道冲淤的不合理性,搞清了黄河下游河道粗细泥沙冲淤的合理分布状况,为正确分析研究黄河下游粗细泥沙输移特性及河道冲淤变化奠定了可靠基础。

提出高含沙水流在河道运动中的演变规律,阐明了高含沙洪水在游荡性河段传播过程中发生水位陡涨陡落、流量沿程增大等异常现象的产生机理,并通过模型试验得到定性验证,对黄河下游洪水预报及防洪具有重要意义,揭示了高含沙洪水演进过程中产生河床断面形态变化、淤滩刷槽、颗粒分选和沿程细化等现象。

分析了1855年以来黄河现行河道演变的历史,下游河道纵剖面发育过程,指出黄河下游河道尚未达到均衡纵剖面。研究了不同水沙条件下黄河下游河道横剖面的变化规律,指出黄河水沙减少引起的河道萎缩,对黄河下游河道治理与防洪有指导意义。

系统分析了三门峡、刘家峡、龙羊峡三大水库的丰富实测资料,得出了在黄河上修建大型水库,调水调沙,对其下游冲积性河道影响的初步定量分析成果,为今后修订治黄规划提供了可靠依据。

2. 减缓下游河道淤积措施研究

该专题根据对黄河主要支流和下游不同河段大量的高含沙洪水实例资料的分析和输沙机理的研究,提出高含沙水流可以在宽浅河道里塑造窄深河槽;在黄河下游河道中当流量大于 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,窄深河槽具有较强的长距离输送高含沙洪水的特性,为利用小浪底水库进行水沙多年调节、研究水库运用新方案奠定了理论基础。

提出了利用小浪底水库实行泥沙多年调节,平枯水年蓄水拦沙,丰水期泄空冲刷产生高含沙洪水,并利用高含沙洪水改造宽浅河道为窄深河槽,实现输沙入海的新的调水调沙运用原则。用数学模型进行多方案对比计算分析,论证了新的调度方案可以大幅度地减缓下游河道淤积,减少输沙用水量,优于原定的“蓄清排浑”运用方式。该项研究成果提出了小浪底水库调度运用的新方案,开辟了多沙河流水库水沙调节新思路。

首次进行了黄河中游碛口、三门峡、小浪底梯级水库群不同组合的联合水沙调度方案的研究, 得出对下游河道具有明显减淤效果的成果, 为充分发挥小浪底等多库的联合调度指明了方向。

通过对近 20 年来黄河下游机淤资料的分析研究, 首次提出了机械吸泥淤背对艾山以下河道减淤的定量分析成果, 认为这一方法可作为减缓艾山以下河道淤积的一种途径。

3. 黄河口演变规律及整治研究

该专题系统地分析了 1976 年黄河改走清水沟 20 年来的资料, 总结了黄河河口段河道发育演变规律, 提出了口门外强潮流区随河口延伸而增加的量值, 在海洋动力因素综合作用下河口泥沙的运移方向, 河口延伸和蚀退条件, 指出清水沟河口延伸对尾间淤积的影响范围较短, 从而对黄河口演变规律的认识取得了重要进展。在预估黄河今后水沙变化的基础上, 进一步论证了经过整治清水沟流路还可以使用 50 年以上。

建立了包括径流、海潮流、风成流、波浪、絮凝及动床阻力等诸多因素模拟的黄河口泥沙运动的平面二维数学模型, 采用了适应黄河口岸线变化剧烈的动边界模拟技术, 经过验算和多种方案计算, 得出了河口海域流场及泥沙冲淤的平面分布, 为黄河口治理规划提供了有效手段。

对黄河河口段现有整治工程进行了分析评价, 提出了河口整治方向和措施, 指出西河口水位抬升主要受东大坝及其下游整治工程的影响, 对今后河口整治提供科学依据。

在广泛收集水文及卫星照片等资料的基础上, 对黄河口拦门沙的演变机理和规律进行了较系统地分析研究, 进一步阐明了黄河口拦门沙发生的部位、形成的过程、演变的特性和对河道的影响, 为黄河口治理与疏浚提供了科学依据。

4. 黄河泥沙冲淤数学模型的应用

该专题建立和完善了符合黄河特点的水动力学、水文学和水

文水动力学等三类泥沙冲淤一维数学模型,首次实现了水库、河道和河口泥沙冲淤演变配套计算。通过对动床阻力、断面形态调整、不同粒径挟沙能力等进行了深入研究,实现了高含沙洪水、河床断面形态调整、分组粒径冲淤、河床阻力、揭河底和输沙能力灰色关系修正等方面的数值模拟,取得了新进展。为研究黄河水库、河道演变基本规律及治理开发方案提供了有力手段。

收集了黄河干支流 16 个水文站 30 年的水文、泥沙和河道断面等资料,建立黄河泥沙冲淤数学模型专用数据库,为各种数学模型的验算和泥沙研究提供了可靠的基础数据。

在验算考核的基础上,进行了龙羊峡、刘家峡、大柳树、碛口、三门峡、小浪底等大型水库不同运行方式对下游河道冲淤影响共 43 个方案的计算。经专家评议,认为成果基本合理。对于黄河这样一条水沙变幅很大、河道冲淤无常和河床形态调整十分剧烈河流的水沙运动模拟是十分困难的。该专题的研究成果取得了新进展,并为黄河泥沙研究提供了新手段。

三、黄河中游多沙粗沙区治理措施研究

黄河中游河口镇—龙门区间的两岸支流和北洛河、泾河上游地区,是黄河粗泥沙的集中来源区。该区的生态环境脆弱,生产水平低下,人民生活困难。加强这一地区的治理,对改善当地的生态环境,发展生产脱贫致富和减缓下游河道淤积都是十分重要的。该课题的研究基本摸清了 70 年代以来该区水沙变化原因,提出了行之有效的治理措施,定量分析了拦减粗泥沙对黄河河道冲淤变化的影响。

1. 多沙粗沙区水沙变化原因分析及发展趋势预测

该专题收集、整理、核实了大量的基本资料,为研究工作提供了可靠基础。在计算方法研究方面取得新进展,有较好的实用价值。水文法的降雨产流产沙数学模型,划小了时段,划分了不

同的地域单元，能较好地反映降雨和下垫面时空分布不均匀的特点。统计分析法采用了有效雨量和有效雨强概念，更为符合实际。水保法计算采用了“以洪算沙”的方法，克服了以往计算方法的某些缺陷。从计算成果看，80年代多沙粗沙区年减水量35亿 m^3 ，其中人类活动影响约占40%，降雨变化影响约占60%；减沙总量为7.4亿t，用不同方法计算，人类活动影响占42%~53%，降雨影响占58%~47%。这一研究成果为大多数同行专家认可。

考虑到不同治理程度和降水条件，对2000年和2020年水平年多沙粗沙区水沙变化趋势提出了预测成果。

2. 黄河中游多沙粗沙区快速治理研究

通过对黄土丘陵沟壑区坝系建设程度较高的王茂沟、榆林沟、康和沟等6条沟道小流域多年运行情况的系统研究，首次明确提出了沟道坝系相对稳定的具体涵义，即在100年一遇洪水条件下能够保证坝系工程的安全；在10年~20年一遇洪水条件下可以保证高秆作物正常生长；沟道流域的水沙资源能得到充分利用，泥沙基本不出沟；后期的坝体加高维修工程量小，群众可以承担等。根据以上条件，当坝系坝地总面积达到该沟道流域面积的1/10~1/15时，即可达到相对稳定。如计入坡面治理的减洪减沙效益，坝地面积占所在流域面积的比例可相应降低。该研究成果为在黄土丘陵沟壑区以沟道坝系为主体的快速综合治理，提供了科学依据，指明了发展前景，是一项突破性的进展。

在以往研究成果的基础上，制定了新的小流域经济、社会、生态效益综合评价指标体系。该评价体系由14项指标组成，通过专家咨询分别确定其权重，并予以计算赋分。根据累计积分划分为持续稳定协调发展、良性循环、基本良性循环和恶性循环4个等级。经过对不同类型、不同治理程度小流域评定，证明运用该评价体系的评定结果大体上能够恰当地反映小流域治理水平。