

黄河中游淤地坝工程可持续减沙途径分析

冉大川¹, 李占斌², 罗全华³, 李 鹏², 田世民¹

(1. 黄河水利委员会 黄河水利科学研究院, 郑州 450003;

2. 西安理工大学, 西安 710048; 3. 黄河水利委员会 西峰水土保持科学试验站, 甘肃 庆阳 745000)

摘 要:黄河中游地区淤地坝的减洪减沙作用十分显著,但 20 世纪 80 年代以后呈降低趋势,如何实现淤地坝的可持续减沙作用值得探讨。以黄河中游淤地坝工程最多的黄河二级支流大理河流域为例,采用“水保法”计算了梯田、林地、草地、坝地四大水土保持措施的减洪减沙量,分析了淤地坝减沙总量及其变化过程,探讨了淤地坝工程实现可持续减沙的技术途径。结果表明,大理河流域平均每淤 1 hm² 坝地需要泥沙 75 000 t;要达到 1 km² 流域面积发展坝地 3.33 hm² 的目标,需要 17 a 左右的时间;实现淤地坝可持续减沙作用的布坝密度为 2.5 座/km²;未来大、中、小型淤地坝的配置比例为 1 : 2.5 : 5.5;进行坝系建设时应尽量采用自下游向上游的建坝时序。要实现黄河中游淤地坝的可持续减沙作用,应从坝地发展速度、布坝密度与大、中、小型淤地坝配比、建坝时序及坝体加高 5 大技术途径方面进行综合分析和实施。同时,还应从淤地坝的后续建设、坡沟兼治、预防超标准洪水、明晰产权制度和加强管理养护等方面,完善并制订相应的政策措施。尤其要重视淤地坝建设的相关科学研究,努力提高其科技含量。

关键词:淤地坝;可持续;减沙途径;大理河

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)03-0001-05

Approaches of Sustainable Sediment Reduction of Warping Dams in the Middle Reaches of the Yellow River

RAN Da-chuan¹, LI Zhan-bin², LUO Quan-hua³, LI Peng², TIAN Shi-min¹

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China; 2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 3. Xifeng Soil and Water Conservation Experimental Station, Yellow River Conservancy Commission, Qingyang, Gansu 745000, China)

Abstract: The significant effects of the warping dams on flood and sediment reduction in the middle reaches of the Yellow River have been evident since 1980s. So the researches are necessary to figure out the sustainability of the sediment reduction of the warping dams. Dali River, the secondary branch of the Yellow River, is selected as the study area for the most warping dams in this basin. The total amount of flood and sediment reduction of terraces, forest lands, grasslands and warping dams is obtained by the soil conservation method. The sediment reduction amount and processes of warping dams are related, and the technical approaches for the sustainability sediment reduction are dealt with. The results indicate that 75 000 t deposit may overlap 1 hm² farmland of warping dam and it will take 17 years to increase the farmland of warping dam to 3.33 hm² per square kilometer in Dali River basin. Various factors such as development rate, density, scale, construction sequence, and dam height should be taken into consideration for realizing the sustainable sediment reduction. The density of warping dams should be increased to 2.5 ind/km² and the proportion of large dams, middle dams and little dams should be set as 1 : 2.5 : 5.5. The warping dams should be constructed from downstream to upstream. On the other hand, the other measures including follow-up construction, treating the slope and gully synchronously, preventing from the super flood, clarifying the rights, management and maintaining, scientific researches on the dam construction also should be paid more attention to and emphasized.

Key words: warping dams; sustainability; technical approaches of sediment reduction; Dali River

收稿日期:2012-10-22

修回日期:2012-12-21

资助项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2011CB403303);黄河水利委员会“十五”重大治黄科技项目(2002SZ08)

作者简介:冉大川(1964—),男,甘肃镇原人,工学博士,教授级高级工程师,客座研究员,主要从事黄河中游水沙变化和水土保持科学研究。
E-mail: xfrdc@sohu.com

黄河中游地区淤地坝的减洪减沙作用十分显著,主要表现在拦泥、减蚀、蓄洪、减洪等几个方面。20世纪70年代黄河中游淤地坝减沙能力达到高峰,此后不断衰减,成为制约多沙粗沙区水土保持减沙效益持续发挥的重要因素。根据陕西省水土保持局1993年对陕北地区淤地坝数量和质量进行的调查研究,20世纪60—70年代,陕北地区大、中、小型淤地坝数量增加很快,70年代达到高峰;80年代除兴修93座骨干坝以外,新修淤地坝数量锐减。淤地坝的拦沙效益也随着时间的延续而降低,其拦沙寿命仅为10a左右。70年代所建的淤地坝,到90年代初库容淤损率已高达77%,大部分已淤满或成为病险坝,其有效拦沙作用已大部分消失,因此,90年代淤地坝拦沙量大幅度减少。调查表明,除大型骨干坝质量完好以外,中小型坝的质量状况令人担忧。病险坝数量占到总数的75.8%,完好坝不足1/4^[1]。

以往众多学者对黄土高原淤地坝进行了持续研究。如聂兴山和杨才敏^[2]对晋西多沙粗沙区坝系建设的相关问题进行了研究,认为合理确定坝控规模、建坝密度、建设时序和大中小型淤地坝的比例,是保证沟道工程安全、充分发挥坝系群体最佳效益的关键;朱连奇等^[3]以黄河中游多沙粗沙区为例进行研究认为,农业人口密度是该区影响淤地坝建设最主要的地理要素;许炯心和孙季^[4]对无定河流域淤地坝拦沙措施的时间变化进行了分析,建议在今后水土保持综合治理中加强淤地坝建设,以实现其持续拦沙效应;常文哲等^[5]则探讨分析了甘肃环县城西川流域坝系建设规模及工程布局问题;曹文洪等^[6]对黄土高原地区淤地坝坝系相对稳定问题进行了研究;景可和焦菊英^[7]以陕北安塞县为例,基于水土保持效益具有多重性、连动性、交叉性和利弊互动性的特点,对水土保持措施与效益评价进行了新的探索。总体而言,以往研究对黄河中游淤地坝工程可持续减沙途径分析研究不够深入,所选流域的代表性也有一定的局限性。因此,如何实现淤地坝的可持续减沙作用值得继续探讨,而在黄河中游地区选择具有代表性的典型研究流域尤为重要。

大理河是无定河的最大支流,干流全长170 km,流域面积3 906 km²。全流域共设有青阳岔、李家河、曹坪和绥德4个水文站,其中青阳岔水文站位于干流上游河源区,控制面积662 km²;李家河水文站为支流小理河出口站,控制面积807 km²;曹坪水文站为支流岔巴沟出口站,控制面积187 km²;绥德水文站为大理河流域出口站,控制面积3 893 km²,实测多年平均(1960—2002年)径流量14 530万 m³,多年平均

输沙量3 820万 t。大理河流域主要水土流失类型区为黄土丘陵沟壑区,位于流域中下游,面积3 244 km²,占流域总面积的83.1%。该区内梁峁起伏,沟壑纵横,沟壑密度为5~6 km/km²,沟深可达100~150 m,地形破碎,土质疏松,沟蚀、重力侵蚀活跃,治理前多年平均输沙模数在16 000 t/(km²·a)以上,是流域的主要产沙区,也是淤地坝建设的重点地区。

大理河流域水土保持措施比较齐全,坝库系统相对比较完善。据调查,截至2008年,流域共有淤地坝3 600余座,是黄河中游河口镇至龙门区间(简称河龙区间)淤地坝工程最多的黄河二级支流,也是开展坝库工程实现可持续减沙作用途径研究比较合适的流域。

1 水土保持措施减洪减沙量分析

根据“水保法”计算结果,大理河流域1970—2002年水保措施年均减洪2 280万 m³,减洪效益24.5%;年均减沙1 860万 t,减沙效益36.6%。显然,水保措施减沙效应相对更为明显。从各年代计算结果看,20世纪70,80和90年代四大水保措施(梯田、林地、草地、坝地)年均减少洪水量分别达到1 820万 m³、1 560万 m³和2 960万 m³,减洪效益分别为18.1%、22.5%、28.7%;年均减沙量分别达到1 360万 t、1 230万 t和2 450万 t,减沙效益分别为26.2%、38.4%、40.1%。21世纪初期,四大水保措施减洪量和减沙量分别为3 970万 m³和3 640万 t,减洪效益34.4%,减沙效益49.1%,减洪减沙效益均为各年代中最大值,说明水土保持措施减洪减沙效益依年代递增^[8-9]。自2000年开始实施的水土保持生态工程建设的减沙作用尤为显著。

根据计算,1970—2002年大理河流域四大水保措施年均减洪量分别占减洪总量的6.9%、18.7%、0.5%、73.9%;四大水保措施年均减沙量分别占减沙总量的10.0%、25.9%、0.7%、63.4%。因此,大理河流域水土保持措施减洪减沙作用占比从大到小依次为坝地、林地、梯田、草地;其中坝地减洪占比高达74%,减沙占比也高达63%;坡面措施减洪占比仅为26%,减沙占比也只有37%。根据调查统计,截至1990年,大理河流域淤地坝单位流域面积库容为7.72万 m³/km²,大、中型淤地坝的淤积比分别为0.51和0.64。研究表明,淤地坝是流域蓄水拦沙的首选措施,保持单位面积库容(一般应在6.0万 m³/km²以上)是关键^[10]。根据减洪减沙作用所占比重大小,大理河流域水土保持生态工程建设措施配置模式应该为“坝地+林地+梯田+草地”;“沟道打坝

“十坡面造林”为水土保持措施首选配置模式。淤地坝是水土保持措施减洪减沙的首选工程措施。

2 淤地坝减沙总量及其变化

根据计算,1960—2002年大理河流域淤地坝年均减洪1 840万 m^3 ,年均减沙1 290万t,其中年均拦泥量1 250万t,占淤地坝年均总减沙量的96.9%;年均减蚀量40万t,占淤地坝年均总减沙量的3.1%。淤地坝的减蚀作用不可忽略。20世纪60年代至80年代,流域淤地坝年均减洪减沙量均呈直线下降趋势,减洪减沙能力衰减很快;80年代中期以后淤地坝年均减洪减沙量急剧上升;90年代中后期至2002年,流域淤地坝年均减洪减沙量呈缓慢上升趋势,总体变化平稳,减洪减沙能力提高幅度不大,这与流域90年代后期以来降水量增大密切相关。因此,流域仍需继续开展淤地坝“亮点”工程建设,以实现其可持续减沙作用。

此外,对大理河流域淤地坝减沙量历年变化过程线进行分析可知,1970年以前淤地坝减沙量很大,70年代呈减少趋势,80年代最小;1989年以后淤地坝减沙量增大趋势十分明显,但1994年以后却明显下降,2000年以后又有上升。1960年至今,大理河流域淤地坝减沙量具有上升→下降→最小→上升→再下降→波动上升的特点。

3 淤地坝工程实现可持续减沙途径分析

根据统计,大理河流域多年平均降水量439.5 mm,汛期(5—9月)降雨量355.0 mm,占年降水量的80.9%;有效降雨量(汛期内日雨量 ≥ 10 mm的累计值)270.8 mm,占年降水量的61.6%。降雨集中于汛期、洪水泥沙均出现在汛期是大理河流域产流产沙的重要特点。大理河流域多年平均洪水输沙量与洪水量的统计回归幂函数关系式为

$$W_{\text{HS}} = 0.028W_{\text{H}}^{1.3112} \quad (1)$$

式中: W_{HS} ——洪水输沙量(万t); W_{H} ——洪水量(万 m^3)。式中相关系数 $r = 0.946 > r_{0.01}(n-2=41) = 0.389$,说明流域洪水与输沙关系非常密切,相关性十分显著。由于洪水与输沙关系为指数大于1的幂函数关系,因此,只要坝库工程能有效拦蓄洪水,即可有效拦沙,进而实现可持续减沙。

张胜利和赵业安^[11]提出,实现淤地坝持续减沙的核心是如何稳定其持续拦沙能力。要想实现淤地坝的持续减沙,应在适当预估坡面减沙的环境下,在淤地坝规划建设期满后,继续根据相应的拦泥能力要求,增加一定的建坝数量或扩大拦泥库容。汪习

军^[12]认为,要实现淤地坝的持续减沙作用,就要使淤地坝与大型拦泥库相结合,人工治理与自然恢复相结合,建设以淤地坝为主体,工程措施、生物措施和农业耕作措施相结合的综合防护体系,最终实现减少入黄泥沙、改善生态环境和发展区域经济的目标。笔者研究认为,要把林草措施作为淤地坝建设的配套工程,以淤地坝建设巩固退耕还林成果,工程措施、生物措施和耕作措施并举,最终达到综合治理的目的。实施淤地坝建设的“亮点”工程,坡面治理也不能放松,必须坡沟兼治^[13]。

从黄河中游河龙区间淤地坝减沙的总趋势来看,其拦泥减沙能力是逐步下降的。要实现淤地坝的可持续减沙作用,应从坝地发展速度、布设密度与大、中、小型淤地坝配比、建坝时序及坝体加高五大技术途径方面进行综合分析,同时完善并制订相应的政策措施。兹以大理河流域为例进行分析。

3.1 坝地发展速度

根据典型调查,大理河流域单位面积坝地淤积泥沙量平均为75 000 t/ hm^2 。由此推算,大理河流域平均每淤1 hm^2 坝地需要泥沙75 000 t。大理河流域治理前多年平均洪水输沙模数为1.484万t/ km^2 ,即每1 km^2 流域面积的洪水来沙量为1.484万t;如将流域洪水期的来沙全部拦蓄,则每1 km^2 流域面积的洪水来沙量可淤地0.2 hm^2 。依此推算,根据水利部2003年编制的《黄土高原地区水土保持淤地坝规划》要求,要达到1 km^2 流域面积发展坝地3.33 hm^2 的目标,需要17 a左右的时间。

3.2 布坝密度与淤地坝配比

流域布坝密度及大、中、小型淤地坝的配置比例与流域地形、坡面治理程度、水土流失强度和社会经济情况等密切相关。根据研究,截至2008年大理河流域布坝密度为0.93座/ km^2 ,现状取得最大减沙效益的淤地坝配置比例为1:1.25:2.75^[8]。根据典型调查,结合对黄河中游多沙粗沙区其他流域布坝密度的分析,确定大理河流域实现淤地坝可持续减沙作用的布坝密度可在现有基础上扩大3倍左右,即2.5座/ km^2 ;未来大、中、小型淤地坝的配置比例应提高为1:2.5:5.5,即在现状取得最大减沙效益的淤地坝配置比例的基础上,以大型淤地坝为基数,中、小型淤地坝配置比例翻倍,进一步实现淤地坝“小多成群有骨干”的配置与布局。

3.3 建坝时序

目前,黄河中游黄土丘陵沟壑区小流域淤地坝系的形成主要有两种方式:自下游向上游建坝;自上游向下游建坝。根据聂兴山和杨才敏^[2]对晋西离石区

王家沟流域建坝时序的分析,自下游向上游建坝和自上游向下游建坝,虽然工程投资基本接近,但从拦泥效益、生产效益、净效益和益本比来看,前者皆优于后者。此外,近年来黄河中游各支流来水来沙锐减,导致新建的许多淤地坝淤积速度缓慢,有的甚至成了“空壳坝”^[14]。因此,为了合理用洪用沙,充分拦蓄泥沙,加快淤积,建议黄河中游各流域今后在进行坝系建设时尽量采用自下游向上游的建坝时序。

大理河流域面积大于100 km²的支流有小理河、卧牛城河、清水河、驼耳巷沟、马义河、岔巴沟、磨石沟、砖庙沟和槐树岔河9条,其中,面积在30~100 km²之间的支流有29条,面积在10 km²以下的支流有2100多条。小理河等9条面积大于100 km²的支流应为大理河流域今后淤地坝建设的重点支流。在这9条支流中,可按照流域面积小于10 km²时自上而下、先干沟后支沟的顺序建坝;流域面积为10~30 km²且下游已淤成坝地的小流域,可采取自下而上、先支沟后干沟的建坝顺序;流域面积大于30 km²时,则以干沟和支流划片,分段建坝;干沟上根据地形条件修建骨干坝,支毛沟中修建中小型淤地坝,以有效控制上游洪水,确保整个淤地坝系安全运行^[2]。

3.4 坝体加高

目前,大理河流域多数小流域和支毛沟的淤地坝,坝体较低,库容较小,3~5 a即可淤满利用。为了持续减沙,扩大坝地面积,对中小型淤地坝进行培厚加高十分必要。根据坝系相对稳定优化设计的有关研究成果^[2],对于大理河流域已经达到或基本达到相对稳定状态的淤地坝系,可每隔7~8 a将坝体加高1 m,以保证坝地持续减沙并维持水沙的动态平衡。

3.5 政策措施

根据本次对大理河流域淤地坝建设的调查和以往的研究成果,从黄河中游地区淤地坝建设的宏观角度考虑,要实现淤地坝的可持续减沙作用,还应从淤地坝的后续建设、坡沟兼治、预防超标准洪水、明晰产权制度和加强管理养护等方面,完善并制订相应的政策措施。尤其要重视淤地坝建设的相关科学研究,努力提高其科技含量。

3.5.1 加强淤地坝后续建设 淤地坝减沙作用的持续发挥依赖于时间的延续,且随时间而衰减。就单个淤地坝而言,其拦沙作用是不可持续的。因此,应该不断地进行淤地坝的后续建设,以空间上的可持续性来弥补单个淤地坝时间上的不可持续性。同时,应该完善淤地坝建设规划,以骨干坝为重点,大、中、小配套,形成完整的体系;一次规划,分期实施。在前一期淤地坝最佳拦沙期尚未过去时,即着手下一期淤地坝

的施工,以实现“接力式”的、可持续的拦沙效益。要高度重视淤地坝的施工质量与后期管护,延长其使用寿命。目前陕北一些地方实行的淤地坝使用权拍卖,对于实现淤地坝的有效管护起到了良好的作用,应予以推广^[1]。

3.5.2 注重淤地坝建设与坡面治理的有机结合 以小流域为单元,综合治理,坡沟兼治。在造林种草的效益尚未发挥时,应多拦泥淤地;在沟道中建成坝系后,通过林草措施效益的发挥,减轻坝系的洪水威胁,提高坝地保收率;坡面治理措施的减沙滞洪作用,可以缩小坝系建设规模,节约工程投资。因此,黄河中游地区治沟与治坡应统筹兼顾,协调统一。

3.5.3 在坝地一岸布设排洪渠,以预防超标准洪水

要根据黄土高原地区暴雨洪水的特点,预测可能出现的超标准洪水,防止其毁坏堤坝,淹没农田,对坝系的稳定带来不利影响。为了确保淤地坝的可持续利用,防止超标准洪水进入坝地,一定要在坝地一岸布设排洪渠。

3.5.4 明晰淤地坝产权制度 以骨干坝和淤地坝产权制度改革为突破口,采取租赁、承包、拍卖等多种形式,有期限地出让工程使用权,放开工程建设权,落实管护责任主体,鼓励农民和社会力量参与淤地坝建设经营。其中,明晰产权、完善机制是实现淤地坝可持续发展的重要保证。要建立合理的资金筹集和投入机制,保证国家、地方和农户的投入比例适当,用户参与管理机制明确,淤地坝(包括配套设施)和坝地产权、使用权明晰,管理体制健全。为了实现淤地坝建设的可持续发展,可以从淤地坝的收益中拿出一部分用于管护。完全由国家投资建设的骨干坝所形成的坝地,其收益的一部分应用于维修和滚动建设新的淤地坝。

3.5.5 加强淤地坝的管理养护 淤地坝建设不是一劳永逸的工程,尚未完全控制的流域,洪水泥沙还可能对淤地坝造成危害,坝系农业也需要洪水漫地,因此坝地每年都将淤积抬高,库容将逐渐损失,年复一年,不增加库容就会变成险坝。另一方面,坝系长期经受风吹雨打,天长日久就会出现裂缝、冲沟、洞穴等隐患,严重影响坝体及其他设施的安全。因此,要加强坝地管理和养护,防患于未然。

3.5.6 开展淤地坝建设相关科学研究 淤地坝建设特别是小流域坝系建设,是一项复杂的系统工程,技术要求高。通过多年的实践与发展,淤地坝建设积累了一些成功经验,取得了一批科研成果,但尚未形成支撑区域性大规模开展淤地坝建设的系统、完善的技术体系。要加快小流域水沙运行规律,小流域坝系建

设规模、布局、配置和建设时序,坝系配套与施工技术,坝系监测评价指标体系等重大问题与关键技术的研究、创新和推广应用;在沟道侵蚀机理和沟坡治理耦合机理尚未弄清,沟道工程布局设计缺乏可靠理论的情况下,开始侵蚀模拟及坝系布局的实体模型试验和数学模型研制,尽快建立黄土高原沟道坝系建设的技术体系,为大规模淤地坝建设提供技术支撑。同时开展砒砂岩改性筑坝技术研发,通过砒砂岩改性技术研究,形成黄河中游粗泥沙集中来源区淤地坝筑坝材料制造新技术;通过施工工艺研究,形成砒砂岩改性筑坝技术。通过以上研究,着力提高淤地坝建设的科技含量。此外,大规模淤地坝建设开展后的防洪安全,特别是大中型淤地坝的防洪安全已经成为一个非常突出的问题,必须采用高新技术手段,加强安全监测及系统调控,从技术上保证淤地坝的防洪安全。

4 结语

(1) 大理河流域 1970—2002 年水保措施年均减洪 2 280 万 m^3 ,减洪效益 24.5%;年均减沙 1 860 万 t,减沙效益 36.6%。水土保持措施减洪减沙作用占比从大到小依次为坝地、林地、梯田、草地。其中坝地减洪占比高达 74%,减沙占比也高达 63%;坡面措施减洪占比仅为 26%,减沙占比也只有 37%。

(2) 大理河流域 1960—2002 年淤地坝年均减少洪水 1 840 万 m^3 ,年均减沙 1 290 万 t,其中年均拦泥量 1 250 万 t,占淤地坝年均总减沙量的 96.9%;年均减蚀量 40 万 t,占淤地坝年均总减沙量的 3.1%。淤地坝的减蚀作用不可忽略。自 20 世纪 90 年代,流域淤地坝年均减沙量呈现出波动上升的变化趋势。

(3) 大理河流域平均每淤 1 hm^2 坝地需要泥沙 75 000 t;要达到 1 km^2 流域面积发展坝地 3.33 hm^2 的目标,需要 17 a 左右的时间;实现淤地坝可持续减沙作用的布坝密度为 2.5 座/ km^2 ;未来大、中、小型淤地坝的配置比例为 1:2.5:5.5;进行坝系建设时应尽量采用自下游向上游的建坝时序。

(4) 实现黄河中游淤地坝可持续减沙作用的五大技术途径是:坝地发展速度、布坝密度与大、中、小型淤地坝配比、建坝时序及坝体加高。同时,还应从

淤地坝的后续建设、坡沟兼治、预防超标准洪水、明晰产权制度和加强管理养护等方面,完善并制订相应的政策措施。尤其要重视淤地坝建设的相关科学研究。

参考文献:

- [1] 许炯心. 黄河中游多沙粗沙区水土保持减沙的近期趋势及其成因[J]. 中国水土保持, 2004(7):3-6.
- [2] 聂兴山,杨才敏. 晋西多沙粗沙区坝系建设的相关问题[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(2):24-27.
- [3] 朱连奇,史学建,韩慧霞. 影响淤地坝建设的地理要素:以黄河中游多沙粗沙区为例[J]. 地理研究, 2009, 28(6):1625-1632.
- [4] 许炯心,孙季. 无定河淤地坝拦沙措施时间变化的分析与对策[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2):26-30.
- [5] 常文哲,许小梅,刘海燕. 对城川流域坝系建设规模及工程布局的探讨[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2):204-205.
- [6] 曹文洪,胡海华,吉祖稳. 黄土高原地区淤地坝坝系相对稳定研究[J]. 水利学报, 2007, 38(5):606-611.
- [7] 景可,焦菊英. 水土保持措施与效益评价研究:以陕北安塞县为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1):132-136.
- [8] 冉大川,李占斌,李鹏,等. 大理河流域水土保持生态工程建设的减沙作用研究[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2008:130-134.
- [9] 冉大川,张志萍,罗全华,等. 大理河流域 1970—2002 年水保措施减洪减沙效益深化分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1):17-23.
- [10] 冉大川,左仲国,陈江南,等. 黄河中游水土保持措施减沙作用分析与相关问题研究[M]//黄河水利科学研究院. 2006 黄河河情咨询报告. 郑州:黄河水利出版社, 2009.
- [11] 张胜利,赵业安. 黄河河口镇至龙门区间水沙变化近期趋势及治理对策探讨[R]. 黄河水利科学研究院黄河水沙变化及预测分析课题组,黄科技 ZX-2005-10-12, 2005.
- [12] 汪习军. 实施淤地坝建设新战略,为维持黄河健康生命做贡献[J]. 中国水土保持, 2004(9):9-11.
- [13] 冉大川. 黄河中游水土保持措施的减水减沙作用研究[J]. 资源科学, 2006, 28(1):93-100.
- [14] 冉大川,左仲国,吴永红,等. 黄河中游近期水沙变化对人类活动的响应[M]. 北京:科学出版社, 2012.