



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.02.026

李彬, 李果, 郭志学, 等. 变坡陡比降河道泥沙淤积逆向发展速度的试验研究[J]. 2016, 14(2): 148-151, 182.

LI Bin, LI Guo, GUO Zhi xue, et al. Experimental study on speed of sediment deposition reversible transmission in steep slope river[J]. 2016, 14(2): 148-151, 182. (in Chinese)

# 变坡陡比降河道泥沙淤积逆向发展速度的试验研究

李彬, 李果, 郭志学, 陈日东, 张斌

(四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都 610065)

**摘要:** 针对山区性河流上陡下缓的比降特点, 通过变坡陡比降水槽采用单因素控制法, 研究了强输沙状态下加沙强度、流量及泥沙粒径对泥沙淤积逆向发展速度的影响。试验结果表明: 上游陡坡河道的强输沙水流, 进入下游略缓的陡坡时, 在床面可发生淤积, 该淤积影响向上游传播的速度与加沙强度、流量及泥沙粒径有关。上游加沙强度越大、来流流量越小或加沙粒径越大, 泥沙淤积逆向发展速度越快。泥沙逆向淤积发展的速度还与河床比降有关, 总体上, 比降越小, 逆向淤积发展速度越快。

**关键词:** 陡比降; 强输沙; 变坡; 淤积; 逆向传播; 速度; 流量; 粒径

**中图分类号:** TV 142.2   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2016)02-0148-04

## Experimental study on speed of sediment deposition reversible transmission in steep slope river

LI Bin, LI Guo, GUO Zhi xue, CHEN Ri dong, ZHANG Bin

(State Key Laboratory of Hydraulic and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** In view of mountainous river characteristics, the effects of sediment concentration, flow and diameter on sediment deposition transmission were studied by variable and steep slope flume with single factor controlling theory. The results showed that due to the slope becoming gentle, sediment would be deposited in the middle or lower reach firstly. The higher the sediment concentration, the lower flow or the larger diameter was, and the faster speed of sediment deposition transmission would be. At the same time, the speed was also related to slope of flume. The steeper the slope, the faster the speed would also be.

**Key words:** steep slope; high concentration; variable slope; sediment deposition; reversible transmission; speed; flow; sediment gradation

我国是一个洪水灾害多发的国家, 洪水一直是我国的心腹大患。近年来, 我国各流域洪灾普遍出现“小流量, 高水位”现象, 灾害影响范围越来越广。1991年, 长江大洪水时, 嘉陵江虽然水小, 但由于长江重庆河段比降较大, 大量卵石推移质泥沙在重庆电厂取水河段落淤, 泥沙淤积厚度达7 m, 重庆电厂取水口被淤堵, 被迫停产2个月, 给重庆工业造成巨

大损失; 波罗电站位于四川省马边彝族自治县的挖黑河与先家普河汇合口处, 于1992年2月建成发电, 2001年发生特大暴雨时(7.28洪水)<sup>[1]</sup>, 在交汇区水流的顶托作用下, 造成局部泥沙淤积并快速向上游河床发展, 造成水位显著抬高, 最终使洪水漫过防洪堤进入厂房, 给电站带来毁灭性灾害。目前, 已有大量学者对泥沙淤积进行过研究。姜乃森<sup>[2]</sup>、韩

收稿日期: 2015-01-05   修回日期: 2015-09-17   网络出版时间: 2016-04-14  
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1441.012.html>

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAB05B02); 国家自然科学基金项目(50949057)

Fund: National Science and Technology Key Program(2012BAB05B02); National Natural Science Foundation of China(50949057)

作者简介: 李彬(1990), 男, 重庆梁平人, 主要从事港口、海岸及近海工程研究。E-mail: 1217266021@qq.com

通讯作者: 陈日东(1984), 男, 福建仙游人, 讲师, 主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: chenridong1984@163.com

其为<sup>[3]</sup>、田海涛<sup>[4]</sup>、刘孝盈<sup>[5]</sup>等对水库泥沙淤积问题进行了研究;马逸麟<sup>[6]</sup>、姜加虎<sup>[7]</sup>、李景保<sup>[8]</sup>、虞邦义<sup>[9]</sup>等对湖泊泥沙淤积特性进行了研究;李义天<sup>[10-11]</sup>、胡向阳<sup>[12]</sup>、李琼芳<sup>[13]</sup>、王兆印<sup>[14]</sup>许炯心<sup>[15]</sup>等对长江中游的泥沙输移问题进行了相关研究;陈建<sup>[16]</sup>、邓春艳<sup>[17]</sup>、郭志学<sup>[18]</sup>、郭维东<sup>[19]</sup>等运用数学模型对泥沙淤积进行了分析计算。然而迄今为止,未见文献通过水槽试验来对变坡陡比降河段的泥沙淤积过程进行研究的文献。本文把流量、加沙强度和加沙粒径作为影响因子,研究了各因素对泥沙淤积向上游传播发展的影响。

### 1 试验布置及方法

试验在四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室变坡水槽中进行。水槽采用有机玻璃制作,水槽宽度 20 cm,深 30 cm,上游段设计坡度为 5%(长 3.2 m),下游段坡度设计为 2%(长 3.8 m)。考虑到入口加沙后局部混掺影响,设置了 0.6 m 的过渡段,有效试验段为水槽出口以上 6.4 m 范围。上游由量堰供水,加沙机进行加沙,加沙强度范围为 0~0.45 kg/s,出口采用自由出流。试验水槽每间隔 20 cm 设置一条带刻度的标尺。试验变坡水槽见图 1。试验主要记录各断面的淤积锋面到达时间,当淤积发展到有效试验段末端后停止供水供沙,试验过程中,对淤积锋面传播过程进行全程摄像。试验首先采用 1.5 mm 粒径泥沙控制 3 组水流强度(流量),在同一水流强度下分别进行不同加沙强度的试验(A 组),然后分别采用粒径 0.5 mm 和 1.5 mm 均匀沙控制 3 组水流强度,在同流量同加沙强度下分别进行试验研究(B 组)<sup>[20]</sup>。试验工况见表 1。

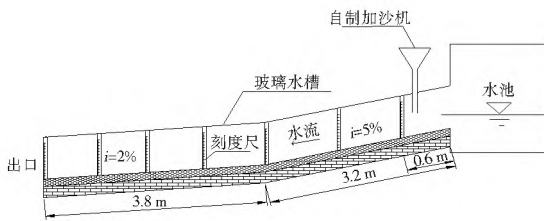


图 1 变坡水槽示意图

Fig. 1 The sketch of variable slope flume

## 2 试验现象及成果分析

### 2.1 试验现象

试验初始时刻变坡点上下游水流较平稳,见图 2(a);当上游加入泥沙后,在下游 2% 坡度段后首先

表 1 陡坡河道泥沙逆向淤积试验工况表

Tab. 1 Parameters of different experimental conditions

试验组次	流量/(L·s <sup>-1</sup> )	加沙强度/(kg·s <sup>-1</sup> )	泥沙粒径/mm
A1	1.72	0.093	1.5
A2	1.72	0.118	1.5
A3	1.72	0.178	1.5
A4	2.8	0.178	1.5
A5	2.8	0.230	1.5
A6	2.8	0.343	1.5
A7	3.6	0.343	1.5
A8	3.6	0.428	1.5
B1	1.6	0.118	1.5
B2	1.6	0.118	0.5
B3	2.6	0.230	1.5
B4	2.6	0.230	0.5
B5	3.6	0.387	1.5
B6	3.6	0.387	0.5

出现淤积,水位开始壅高,见图 2(b);初始淤积时刻床面淤积厚度较小,随着时间的推移,床面迅速的淤高,淤积前锋伴随着水跃向上游不断发展;在进入 5% 坡度水槽时,淤积的逆行发展和水位壅高均过渡平稳,并进一步向上游发展,见图 2(c)、(d)。

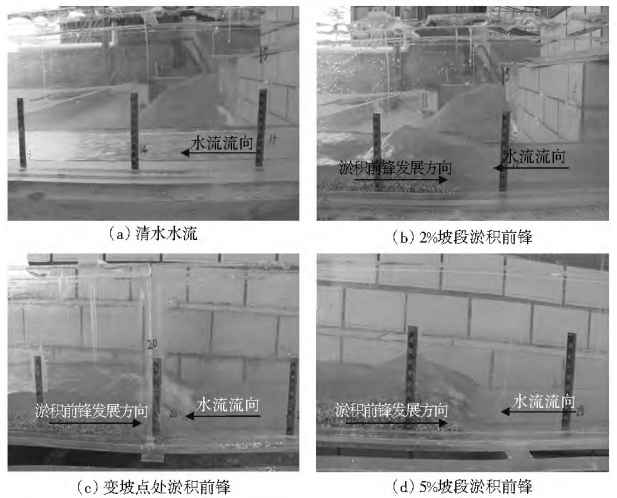


图 2 淤积前锋在各坡段的发展情况

Fig. 2 Development circumstances of deposition in different slope sections

### 2.2 淤积前锋对水位激增的影响

淤积前锋向上游发展过程中,常伴有大量泥沙淤积和水跃作用,其所到之处水位会陡然增高。以变坡点位置为例,图 3(a)~ 3(d) 绘出了各工况条件下该处在淤积锋面传来前后的水位变化关系。由图可知,总体上,在淤积锋面未到达之前,水位较平稳,当淤积锋面传达之时水位首先会出现陡然升高,随后水位会稍加回落,然后又渐渐抬高,最后趋于平

稳, 平稳之后的水位远高于之前平稳水位。出现这一现象的原因在于淤积前锋以沙波的形式向上游发展, 沙峰首先到达变坡处, 泥沙淤积和水跃作用共同导致该处水位激增, 随着时间的推移, 沙峰和水跃作用继续向上游推进, 至沙谷发展到该处时, 该处水位又会出现稍加回落, 待沙谷向上游发展之后, 该处床面淤积较平整, 水位又会渐渐趋于平稳。

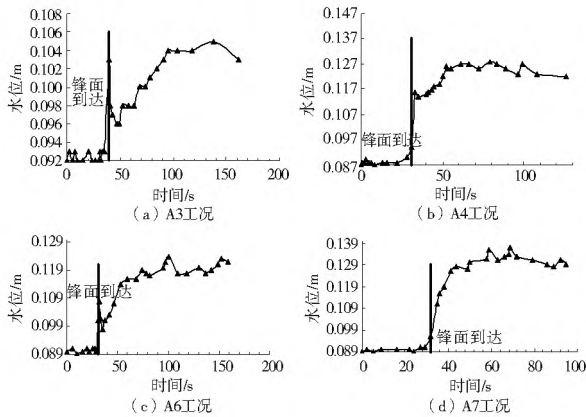


图 3 各工况下变坡点在淤积前锋传来前后的水位变化  
Fig. 3 Effect of deposition on the change of the water level at slope change point under different conditions

### 2.3 淤积锋面逆向发展速度的研究

试验研究发现, 水位激增是从淤积锋面传来之时开始的。淤积锋面逆向发展一方面可能会使洪水漫过堤防, 更而严重的是淤积前锋伴随的水跃还可能冲击、淘刷两岸堤防; 另一方面还会使洪水推进速度明显减慢, 使之持续时间增长。因此有必要对淤积锋面的发展规律进行相关研究。

#### 2.3.1 加沙强度对淤积锋面逆向发展速度的影响

淤积的产生、发展与上游加沙强度密切相关。当来沙处于饱和状态时, 下游一旦有泥沙落淤, 锋面位置的挟沙能力将始终小于上游来沙强度, 淤积将会向上游持续发展; 当上游含沙强度小于下游发生扰动(比降调缓、泥沙淤积阻水等)后的水流挟沙能力时, 淤积不会发生, 更不会发生水跃现象; 当上游来沙强度大于下游发生扰动后的水流挟沙能力时, 泥沙就会在下游发生淤积, 淤积厚度会逐渐增大, 随着淤积锋面的加高, 锋面位置会产生急流水跃。为研究加沙强度对陡坡河道发生淤积时的淤积发展速度影响, 对比了同流量同粒径但不同加沙强度泥沙加入后, 淤积锋面的逆向发展过程, 见图 4(a) - 图 4(c)。图中平距以水槽出口为 0 点, 指向上游; 前锋时间是指淤积发展过程中, 从淤积前锋出现至其发展到相应位置时的时间。

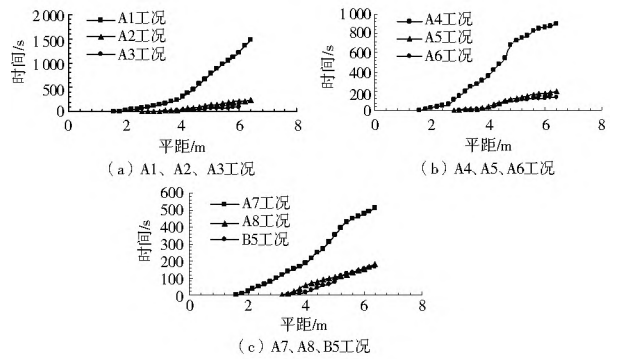


图 4 加沙强度与淤积前锋发展速度关系

Fig. 4 Effect of sediment concentration on deposition transmission speed

由图可知淤积锋面的逆向发展速度与加沙强度有关, 总体上, 上游加沙强度越大, 淤积逆行发展速度越快。产生这一现象的原因在于当水流挟沙浓度越高, 发生淤积时单位时间内可落淤的泥沙就越多。对比不同比降段淤积发展速度可以发现, 整体上 2% 比降段的淤积发展速度高于 5% 比降段。这主要是因为比降越陡, 水动力越大, 水流挟沙能力越大, 越不利于泥沙淤积, 所以逆向发展速度也就越慢。

#### 2.3.2 流量对淤积锋面逆向发展速度的影响

流量的大小不但会影响水流的含沙浓度, 还会对水流的挟沙能力产生影响。为了研究流量对泥沙淤积逆向发展的影响, 共进行了两组同加沙强度及粒径但不同流量条件下的对比试验, 见图 5(a) - 图 5(b)。

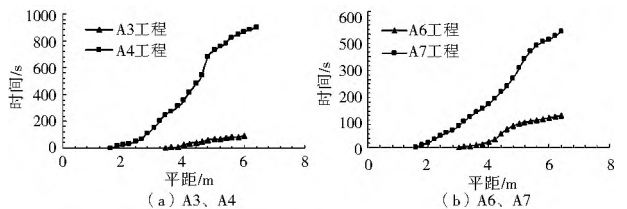


图 5 流量与淤积前锋发展速度关系

Fig. 5 Effect of flow on deposition transmission speed

由图可知, 在水流初始含沙浓度相当时, 流量越小, 淤积逆向发展速度越快。产生这一现象的原因在于, 水流的挟沙能力与流量的高次方成正比, 当流量越大, 水流的挟沙能力也越大, 同时, 当上游加沙强度相当时, 流量越大, 水流的含沙浓度越低, 欠饱和度越高。所以流量越大, 在淤积锋面位置, 单位时间可落淤的泥沙量也就越少, 限制了泥沙的发展速度。

#### 2.3.3 来沙级配对锋面淤积逆向发展速度的影响

水流的挟沙能力与泥沙粒径有关, 为了研究泥沙逆向淤积发展速度与加沙粒径的关系, 试验研究对比了三组同流量、加沙强度不同加沙粒径下的泥

淤积发展过程,见图6(a)–图6(c)。

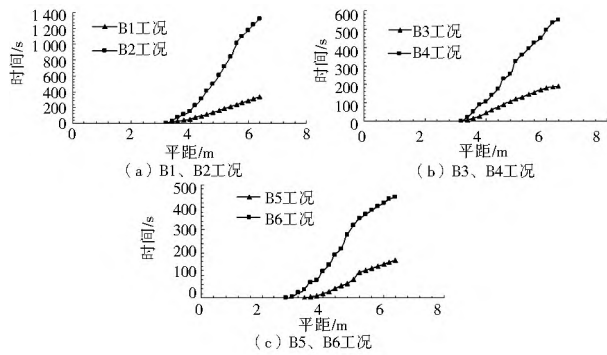


图6 加沙粒径与淤积前锋发展速度关系

Fig.6 Effect of gradation on deposition transmission speed

研究表明,淤积逆向发展速度与加沙粒径有关,总体上,加沙粒径越大,淤积发展速度越快,反之,淤积发展速度越慢。这是因为粒径越大,水流可携带的泥沙量越少,单位时间内可落淤的泥沙量也就越多,淤积发展速度也就越快。同时由于细颗粒泥沙的跟随性较强,淤积前锋面的水跃作用很容易带动细颗粒泥沙,所以细颗粒泥沙落淤需要更多的时间,从而限制了泥沙淤积发展的速度。

### 3 结论

本文通过变坡陡比降水槽试验研究了强输沙水流由陡坡进入相对平缓的下游后的淤积发展规律,得到如下初步认识。

- (1) 陡坡河道强输沙水流一旦在下游发生淤积,泥沙淤积将逆行向上游发展。
- (2) 淤积锋面以沙波的形式向上游发展,其上游水位较平稳,但其到达之处的水位首先会出现陡然升高,随着锋面向上游发展,该处水位会稍加回落,然后又渐渐抬高,最后趋于平稳,但平稳之后的水位远高于之前水位。
- (3) 淤积逆行发展的速度与水流强度、含沙浓度及泥沙级配有关。同流量和加沙级配时,上游加沙强度越高,淤积逆行发展速度越快;相近含沙浓度时,上游来流流量越低,淤积逆行发展速度越快;同流量和加沙强度时,泥沙粒径越大,淤积发展速度越快。
- (4) 淤积逆行发展的速度还与河床比降有关。总体上,比降越大,逆向淤积发展速度越慢。

#### 参考文献(References):

[1] LIU Xing nian, CAO Shu you, HUANG Er. A physical modeling case study on sediment disasters of waterpower station in mountain rivers[J]. Journal of Si chuan University: Engineering Science Edition, 2005, 37(suppl): 1-8.

[2] 姜乃森,傅聆燕. 中国的水库泥沙淤积问题[J]. 湖泊科学,

1997, 9(1): 1-8. (JIANG Nai sen, FU ling yan. Problem s of reservoir sedimentation in China[J]. Journal of Lake Sciences, 1997, 9(1): 1-8. (in Chinese))

[3] 韩其为,杨小庆. 我国水库泥沙淤积研究综述[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2003, 1(3): 169-178. (HAN Qi wei, YANG Xiao qing. A review of the research work of reservoir sedimentation in China[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2003, 1(3): 169-178. (in Chinese))

[4] 田海涛,张振克,李彦明,等. 中国内地水库淤积的差异性分析[J]. 水利水电科技进展[J]. 2006, 26(6): 28-33. (TIAN Hai tao, ZHANG Zhen ke, LI Yan ming, et al. Differences in reservoir sedimentation in Inland China[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(6): 28-33. (in Chinese))

[5] 刘孝盈,吴保生,于琪洋,等. 水库淤积影响及对策研究[J]. 泥沙研究, 2011(6): 37-40. (LIU Xiao ying, WU Bao sheng, YU Qi yang, et al. Research on reservoir sedimentation impact and its countermeasures[J]. Journal of Sediment Research, 2011(6): 37-40. (in Chinese))

[6] 马逸麟,熊彩云,易文萍. 鄱阳湖泥沙淤积特征及发展趋势[J]. 资源调查与环境, 2003, 24(1): 29-37. (MA Yi lin, XIONG Cai yun, YI Wen ping. Sedimentary characteristics and developing trend of sediments in Poyang Lake, Jiangxi province[J]. Resources Survey & Environment, 2003, 24(1): 29-37. (in Chinese))

[7] 姜加虎,黄群. 洞庭湖淤积、围垦对湖区江湖洪水影响的模拟[J]. 长江流域与环境, 2006, 15(5): 584-587. (JIANG Jia hu, HUANG Qun. Imitative study on the effect of silts and cultivation on flooding in Dongting Lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2006, 15(5): 584-587. (in Chinese))

[8] 李景保,尹辉,卢承志,等. 洞庭湖区的泥沙淤积效应[J]. 地理学报, 2008, 63(5): 514-523. (LI Jing bao, YIN Hui, LU Cheng zhi, et al. Impact of Sedimentation on Dongting Lake[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(5): 514-523. (in Chinese))

[9] 虞邦义,郁玉锁. 洪泽湖泥沙淤积分析[J]. 泥沙研究, 2010(6): 36-41. (YU Bang yi, YU Yu suo. Sediment deposition in Hongze Lake[J]. Journal of Sediment Research, 2010(6): 36-41. (in Chinese))

[10] 李义天,孙昭华,邓金运,等. 泥沙输移变化与长江中游水患[J]. 泥沙研究, 2004(2): 33-39. (LI Yi tian, SUN Zhao hua, DENG Jin yun, et al. Variation of sediment transport and flood disaster in the middle reach of Yangtze River[J]. Journal of Sediment Research, 2004(2): 33-39. (in Chinese))

[11] 李义天,李荣,邓金运. 长江中游泥沙输移规律及对防洪影响研究[J]. 泥沙研究, 2000(3): 12-20. (LI Yi tian, LI Rong, DENG Jin yun. A study on sediment transport and flood control in the middle reach of Yangtze River[J]. Journal of Sediment Research, 2000(3): 12-20. (in Chinese))

[12] 胡向阳. 近50年来长江中游泥沙输移变化[J]. 长江科学院院报, 2007, 24(4): 5-9. (HU Xiang yang. Changes of sediment transport in middle reach of Yangtze River in recent 50 years[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2007, 24(4): 5-9. (in Chinese))

(下转第182页)

- [6] 张炜. 基于模糊综合评价法的中小水利水电工程施工质量评价[J]. 水电能源科学, 2014, 32(1): 157-160. (ZHANG Wei. Construction quality evaluation of medium and small water conservancy and hydropower project based on fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Water Resources and Power, 2014, 32(1): 157-160. (in Chinese))
- [7] 孟令星, 谢广采, 付建明. 基于 AHP 与熵权的钢筋混凝土工程施工质量评价[J]. 工程建设, 2012, 44(5): 69-73. (MENG Lingxing, XIE Guangcai, FU Jianming. Evaluation on construction quality of the reinforced concrete engineering based on AHP and entropy weight[J]. Engineering Construction, 2012, 44(5): 69-73. (in Chinese))
- [8] 颜红艳, 张飞涟. 可拓物元模型的国际工程总承包项目成功度评价[J]. 求索, 2011(8): 29-32. (YAN Hongyan, ZHANG Feilian. The International engineering general contracting project success degree evaluation based on extension matter-element model[J]. Search, 2011(8): 29-32. (in Chinese))
- [9] SI Churdi, FENG Yang, ZHANG Yongman. Highway traffic safety evaluation based on evidence fusion and extension matter-element model[J]. Metallurgical and Mining Industry, 2015, 7(3): 136-144.
- [10] ZHANG Xinjie. Research on economic benefit evaluation of transportation enterprise based on extension matter-element model[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 287-289, 2063-2067.
- [11] LI Curbin, YANG Yang, CHEN Werrjun, et al. Engineering project risk rating based on matter-element model and extension analysis[J]. ICIC Express Letters, Part B: Applications, 2011, 2(6): 1333-1337.
- [12] 贾斌. 我国工程施工项目质量管理评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012. (JIA Bin. Engineering construction quality management and evaluation study in China[D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese))
- [13] 杨杨. 溪洛渡水电施工项目质量管理体系研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013. (YANG Yang. Research on Quality Management System of Xiluodu Hydropower Construction Project[D]. Changsha: Central South University, 2013. (in Chinese))
- [14] 韩可林. 碾压混凝土大坝工程的施工质量管理研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学研究生院, 2008. (HAN Kelin. Research on Construction Quality Control of Roller Compacted Concrete Dam Project[D]. Changsha: Graduate School of National University of Defense Technology, 2008. (in Chinese))
- [15] 张晔. 基于熵权可拓物元模型的湖南省土地市场成熟度评价[J]. 资源科学, 2015, 37(1): 45-50. (ZHANG Ye. Development stage evaluation of land markets in Hunan Province based on an entropy weight and matter element model[J]. Resources Science, 2015, 37(1): 45-50. (in Chinese))
- [16] 郑霞忠, 邵波, 陈玲, 等. 基于 Euclid 理论的水电工程施工安全熵评价[J]. 中国安全科学学报, 2014, 6(24): 38-43. (ZHENG Xiazhong, SHAO Bo, CHEN Ling, et al. Safety entropy evaluation of hydropower construction based on Euclid theory[J]. China Safety Science Journal, 2014, 6(24): 38-43. (in Chinese))
- [17] 刘邦贵, 李永强, 王浩, 等. 基于物元分析法的区域水资源安全评价[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(5): 100-103. (LIU Bangui, LI Yongqiang, WANG Hao, et al. Evaluation of regional water security based on matter element analysis[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(5): 100-103. (in Chinese))

## (上接第 151 页)

- [13] 李琼芳, 邹振华, 郭瑾, 等. 人类活动对长江泥沙特性的影响[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(4): 364-368. (LI Qiongfang, ZOU Zhenhua, GUO Jin, et al. Human induced alteration in the sediment load of the Yangtze River[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2007, 35(4): 364-368. (in Chinese))
- [14] 王兆印, 黄文典, 李义天. 长江流域泥沙输移与概算[J]. 泥沙研究, 2007(2): 1-10. (WANG Zhaoyin, HUANG Wendian, LI Yitian. Sediment budget of the Yangtze River[J]. Journal of Sediment Research, 2007(2): 1-10. (in Chinese))
- [15] 许炯心. 近 40 年来长江上游干支流悬移质泥沙粒度的变化及其与人类活动的关系[J]. 泥沙研究, 2005(3): 8-16. (XU Jiongxin. Variation in grain size of suspended load in upper Changjiang River and its tributaries by human activities[J]. Journal of Sediment Research, 2005(3): 8-16. (in Chinese))
- [16] 陈建, 李义天, 邓金运. 水沙条件变化对三峡水库泥沙淤积的影响[J]. 水力发电学报, 2008, 27(2): 97-102. (CHEN Jian, LI Yitian, DENG Jinyun. Influence on deposition of the Three Gorges Reservoir caused by the change of water silt conditions[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008, 27(2): 97-102. (in Chinese))
- [17] 邓春艳, 吴卫民, 夏军强. 岩滩水库泥沙淤积计算数学模型[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2013, 46(1): 19-25. (DENG Chunyan, WU Weimin, XIA Junqiang. Numerical modeling of sedimentation process in Yantan reservoir[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2013, 46(1): 19-25. (in Chinese))
- [18] 郭志学, 黄尔, 刘兴年, 等. 电站下游非恒定流清水冲刷水沙运动特性研究[J]. 中国科技论文在线, 2010, 5(7): 549-556. (GUO Zhixue, HUANG Er, LIU Xingnian, et al. Influence on flow and sediment transport caused by scouring of nonuniform flow from upstream water power station[J]. Sciencepaper Online, 2010, 5(7): 549-556. (in Chinese))
- [19] 郭维东, 李晓丽, 胡艳, 等. 河道型水库泥沙冲淤数值模拟分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44(6): 799-804. (GUO Weidong, LI Xiaoli, HU Yan, et al. Numerical simulation analysis of sediment erosion and deposition of river type reservoir[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2013, 44(6): 799-804. (in Chinese))
- [20] 李彬, 郭志学, 陈日东, 等. 变坡陡比降河道强输沙下泥沙淤积与水位激增的试验研究[J]. 泥沙研究, 2015(3): 63-68. (LI Bin, GUO Zhixue, CHEN Riddong, et al. Experimental study on sediment deposition and water level surge under high sediment concentration in variable steep slope river[J]. Journal of Sediment Research, 2015(3): 63-68. (in Chinese))