

小型河流泛滥平原生态蓄洪措施设计

贾宁凤¹, 王雪¹, 王晓军², 王嘉维²

(1. 山西大学 黄土高原研究所, 山西 太原 030006; 2. 山西大学 环境与资源学院, 山西 太原 030006)

摘要: [目的] 在保证防洪和尽量不影响现有土地利用和水工设施的前提下, 设计一系列措施将洪水重新引入泛滥平原, 促进泛滥平原蓄集洪水, 使得水资源配置更加合理。[方法] 结合当前的河流整治工作, 通过影像分析、实地调查等方法, 依据生态学的理论进行生态蓄洪设计研究。[结果] 以山西省宁武县恢河的一个泛滥平原为例, 提出泛滥平原分洪网的生态蓄洪设计, 具体包括浅滩深潭序列渠、池塘链分洪渠、分洪出入口等措施, 将河道中的洪水引入泛滥平原并蓄集下来, 尽可能地恢复泛滥平原的蓄水功能, 调节河流流量、消洪减灾。[结论] 泛滥平原分洪网设计符合河流生态系统自然规律, 在保证经济、社会发展的前提下, 最大程度地发挥小型河流泛滥平原的生态效益, 重视发挥小型河流的生态蓄水功能, 恢复健康的河流和流域。

关键词: 泛滥平原; 分洪网; 生态设计; 洪水利用

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2016)04-0041-05

中图分类号: TV85, X171.4

文献参数: 贾宁凤, 王雪, 王晓军, 等. 小型河流泛滥平原生态蓄洪措施设计[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 41-45. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.008

Ecological Floodwater Storage Design for a Floodplain of a Small River

JIA Ningfeng¹, WANG Xue¹, WANG Xiaojun², WANG Jiawei²

(1. Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China;

2. College of Environment & Resource, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

Abstract: [Objective] Designing a series of measures to bring the floodwater back to the floodplain on the premise of guaranteeing flood control, no destroy to current land use and hydraulic facilities in order to accelerate storing floodwater on the floodplain and make the water resource allocation more reasonable. [Methods] According to the ecological theories, the ecological floodwater storage design was carried out on the base of current river improvement work by image analysis and field investigation. The design core was floodplain water diversion net for a floodplain of Huihe river in Ningwu County of Shanxi Province. [Results] It contains measures such as pool & riffle sequences, chain of ponds and passageways of flood diversion. It can bring the floodwater into the floodplain and store the water under the ground to recover the water storage function on floodplain as far as possible, and to adjust the river discharge and weaken the flood. [Conclusion] Floodplain water diversion net design conforms to the natural law of the river ecosystem. It can give furthest play to ecological benefits on the premise of economic and social development, to protect the ecological water storage function for small rivers, and to recover healthy rivers and watersheds.

Keywords: floodplain; water diversion net; ecological design; floodwater storage

中国北方包括山西省在内的一些地区, 人均水资源低于 500 m³ 严重缺水线, 在这些地区, 流域中水资源的蓄集显得尤为重要^[1]。较大强度的降雨形成的雨洪, 造成江河水量增加, 水位上升, 虽然会给人民的

生产生活带来严重危害, 但也给整个流域带来了丰富的水资源^[2]。在区域景观中, 生态健全的水系构成绿色通道网络, 最具有蓄洪、缓解旱涝灾害的能力^[3], 其中的泛滥平原是整个网络中分洪、蓄水的主要场

收稿日期: 2015-08-05

修回日期: 2015-08-31

资助项目: 国家自然科学基金青年项目“黄土高原荒溪近自然治理的土壤—植被水文生态作用研究”(41201277)

第一作者: 贾宁凤(1966—), 女(汉族), 山西省原平市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土地资源管理方面的研究。E-mail: jianf@sxu.edu.cn.

通讯作者: 王晓军(1968—), 男(汉族), 山西省绛县人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事自然资源管理方面的研究。E-mail: xjwang@sxu.edu.cn.

所^[4]。健康流域中的泛滥平原的蓄水能力通常远高于同等面积下人工水库的蓄水量,是巨大的“天然水库”^[5-6],其蓄水功能对于河流系统有着不可替代的重要作用^[7]。然而随着社会的不断发展,人们修建了许多工程化措施来加速排走洪水,泛滥平原被大面积的侵占,泛滥平原无法发挥其分洪蓄水的功能,河流系统也无法达到最佳的状态,河流健康经受严峻考验^[8-9]。中国的雨洪调蓄研究和实践还处于起步阶段,多限于城市,以工程设施为主,突出应用,相对缺乏以雨洪调蓄的机理的雨洪管理研究。已有学者^[10]开启了整体和多目标解决雨洪问题的尝试,也有学者^[11]从小流域的河流、河塘等调蓄结构对雨水的蓄积量方面进行了研究。本研究以山西省宁武县境内恢河的一个泛滥平原为例,针对目前由于土地利用压力增大造成的河道行洪区面积大大缩减、河流季节性变异加大、洪水灾害和河道干枯等问题,依据生态学的理论,在保证防洪和尽量不影响现有土地利用和土工设施的前提下,设计一系列措施将洪水重新引入泛滥平原,促进泛滥平原蓄集洪水,使得水资源配置更加合理^[12],具有很强的实践价值。

1 泛滥平原生态蓄洪设计理念

1.1 泛滥平原的蓄水原理

泛滥平原是由河流沉积作用形成的平原地貌。河流从上游侵蚀了大量泥沙,到了下游这些泥沙便沉积下来,泥沙不断沉积逐渐形成泛滥平原。泛滥平原上蓄水的主要结构是风化层。在地质学上,风化层是陆地表面经各种风化作用而形成的疏松堆积层,从基岩而上,直到地表,其物质包括土壤层和风化母质。风化层是流域中可以贮存、排出并供给生命之水的水陆生态结构的基础,表现出一些基本的生态功能^[13-14]。从垂直断面来看,泛滥平原风化层蓄集的水自上而下分别为不饱和水和饱和水。流域风化层水储存不饱和时,可以通过蓄水减小河流洪峰流量;当风化层水储存达到饱和状态时,一些无压潜水会通过泉水形成洁净健康的地表径流,支持全流域生态系统功能的发挥^[15-16]。也即饱和水通过不饱和水得到补充,而不饱和水则通过雨洪得到补充。从时间尺度上来看,风化层中水分蓄集或排泄表现出一定的季节规律(图1)。在平水期,河流水面与风化层潜水水面基本持平,水分进行着微弱的交换运动。到了洪水期,雨洪形成的地表径流汇入河流,河流水位急剧上涨开始对风化层进行水分输入,泛滥平原风化层如同巨大的海绵,调节和蓄存雨洪,缓解雨洪的危害。而到了枯水期,泛滥平原风化层中的水由于水位较高反渗并

补充河流水^[17]。泛滥平原风化层是重要的雨洪调蓄结构,河流生态系统功能的发挥在很大程度上依赖于泛滥平原风化层的雨洪调蓄结构,因此认识并利用泛滥平原风化层的雨洪调蓄结构及其水分为具有很高的生态学意义。

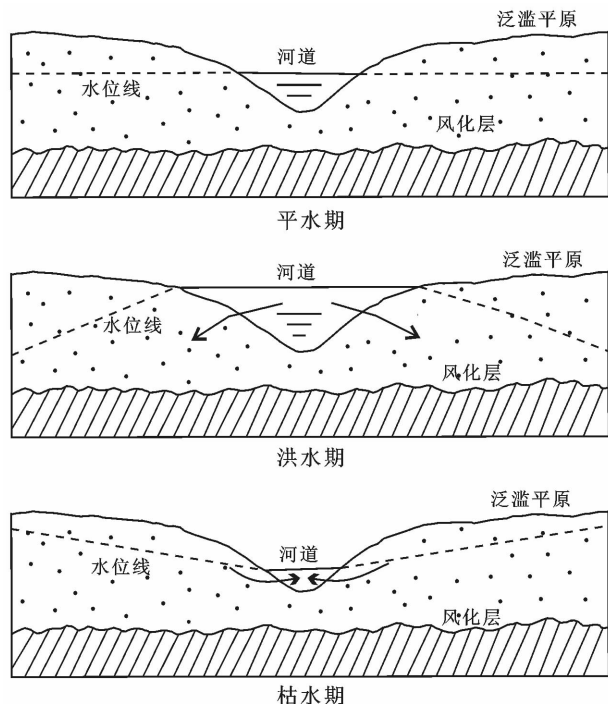


图1 年际不同时期泛滥平原中河水位与潜水位的关系

1.2 问题分析

人类对河道及泛滥平原产生破坏的主要活动包括对自然河流河道的工程化措施以及土地利用对泛滥平原的不合理占用等。现代景观生态学的研究认为,弯曲的河流更有利于消减洪水的灾害性和突发性,而河道工程化措施中的河道渠化、裁弯取直等措施,将原来蜿蜒的天然河流改造成外形归顺的人工河道,削弱了河流及流域抵御洪水的能力。堤岸的阻隔使洪水无法漫上泛滥平原,河道渠化又使洪水快速流走,河床衬底则切断了地下水的补给通道,大片河滩沼泽因缺水而干涸^[18],地下水地位不断下降。社会的发展对土地的需求在不断增加,人类便不断向泛滥平原侵入,占用土地用来耕种、建设居民区等。洪水无法流入泛滥平原,流域蓄水严重不足,河流系统的稳定经受严重考验。这些人类活动不仅影响了河流及泛滥平原蓄水防洪功能的发挥,而且在经济、资源利用以及生态系统服务方面都存在着许多问题。

1.3 解决思路

针对当前状况,提出泛滥平原分洪网的设计。本设计的重点和难点在于将河道洪水分流引入泛滥平

原并充分下渗,蓄积在泛滥平原中。因此,整个设计的核心在于增大分流洪水的下渗量。分洪网设计中的深潭浅滩序列渠、池塘链分洪渠等措施,通过在泛滥平原上开挖过水通道,使引入水道的洪水可以不断地补充泛滥平原地下潜水位,增加风化层蓄水量(图2)。

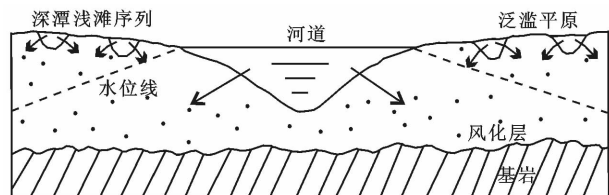


图2 洪水期泛滥平原蓄洪原理示意图

2 研究区概况与数据处理

2.1 研究区概况

研究选取山西省宁武县恢河下游的一个泛滥平原作为设计对象。恢河是北方一条典型的季节性河流,中下游年降雨量小于500 mm,多年平均径流量为1 867万 m^3 。恢河大部分降水集中在6—9月,以洪水下泻,这4个月的降水量占到年降水量的70%~80%。

该泛滥平原位于马家湾村和石湖河村交界处,范围由恢河的一级阶地所确定,呈明显阶梯状。该泛滥平原由石笼堤与河道分割开来,石笼堤高度平均为1.9 m。在每个阶梯的边界有一些废渠和废堤,经过实地调查,这些阶梯是人们在不同时期占用该泛滥平原形成的边界,表现了人类逐渐侵占泛滥平原的历程。该泛滥平原面积约为0.88 km^2 ,最长处约1.79 km,最宽处约0.66 km,土地利用类型主要为旱地和林地,旱地面积约为0.71 km^2 ,林地面积约为0.16 km^2 。

2.2 数据来源与处理

本研究采用Quickbird近期真彩高分辨率(0.61 m)正射影像,1:10 000的土地利用现状图和实测大比例尺(1.0 m)地形图,此外,还收集了《宁武县志》、《宁武水利志》和《宁武县第二次水资源调查评估报告》等辅助资料用于分析研究当地情况。

3 分洪网设计研究

泛滥平原分洪网的设计包括以下几个主要内容:出入口设计(包括分水口和倒虹吸)、深潭浅滩序列渠以及池塘链分洪渠。通过对研究区进行调查,将上述不同的设计措施与研究区实际情况有机结合起来,则可以更好地发挥泛滥平原分洪网的整体优势。

3.1 泛滥平原分洪网的总体布置

将高清正射影像图、土地利用图和地形图在ArcGIS 9.3中叠加得到设计底图,然后对其信息进行研究和分析(包括对研究区的位置、土地利用及地形识别等),结合实地考察,对泛滥平原进行分洪网的设计(图3)。恢河在研究区内的流向是由南向北,因此在泛滥平原的南端设置分水口,从此处将河水引入泛滥平原。洪水分流后,由于有建筑物的阻挡,设计倒虹吸装置将河水引入泛滥平原。水流从倒虹吸出来以后沿着等高线设计的渠道分流,流经不同的深潭浅滩序列,形成分洪网。其中一条深潭浅滩序列经过林地,在林地中设计池塘链分洪渠,可以更好地利用林地蓄水。最后,分洪网的水在泛滥平原北端汇集到一处,由于有公路阻挡,设计另外一个倒虹吸工程将汇集起来的水流引回河道。

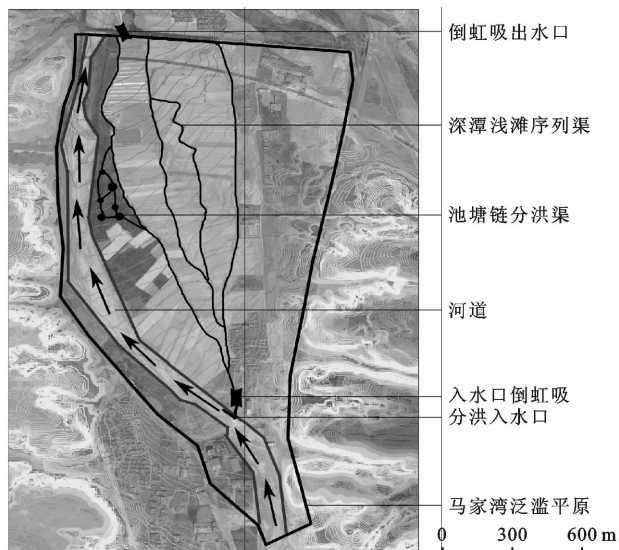


图3 泛滥平原分洪网设计示意图

3.2 分洪出入口

要将河道中的雨洪引入泛滥平原以及从泛滥平原流出的水引入河道,就要进行泛滥平原水的出入口设计。本设计的入口借鉴了都江堰水利工程中的分水鱼嘴的设计,结合地形地势在该泛滥平原南端设计一个分水口,将部分河水分流引入泛滥平原。而出口即将各浅池浅滩序列渠的水汇到一处后引入河道。在入口处和出口处均有建筑或道路的阻挡,因此要在入口和出口分别设计一个倒虹吸装置来将水流引入或引出泛滥平原。倒虹吸装置的原理就是利用上下游的水位差,当渠道与道路或河沟高程接近,处于平面交叉时,使水从路面或河沟下穿过的一个建筑物,与虹吸装置原理相似,但在开始工作时不需要人为制造管中真空环境,具有更强的实践性和可操作。

3.3 深潭浅滩序列渠

自然状态下,许多河流都会包含有一些深潭和浅滩。深潭即一些较深的区域有着相对缓慢的水流;浅滩即较浅的区域有着较快的水流和粗糙的基底。浅滩上有大径砾石或倒木,由于水流作用,会在浅滩前产生深潭^[19]。深潭浅滩序列是增加洪水蓄集量的关键。通过模仿自然河流并结合把现有的土地利用类型,利用自然落差和地形,在该泛滥平原不同时期被侵占的边界处布设一定频度的深潭浅滩序列渠。这些边界有一些历史上留下来的废渠等设施,可以对其进行再利用。浅滩处用砾石堆砌大小不同的卵石,并在其中压上柳树枝条。在柳树生过程中,树根和石头纠缠可将浅滩的卵石固定,形成柳树和卵石交错的小型透水坝。因为泛滥平原较为平缓的,较小的高差使洪水减速,深潭浅滩序列又增加了水流与地面的接触面积,有利于水分下渗并蓄集^[20]。同时,深潭浅滩序列增加的水面面积还补充河流氧气并稀释污染物。

3.4 池塘链分洪渠

池塘链分洪渠即依据泛滥平原地形起伏自然设置一系列小池塘。这些池塘一般设置在离开主河道的地方,池塘之间通过浅池浅滩的水道连接。在本设计中,将池塘链设置在该泛滥平原现有的林地中,并通过连接水道将其连通起来,实现水的交换和流通。池塘链不仅可以为泛滥平原储蓄丰富的水,还可以作为水流的过滤与净化带,为该地区动植物的生长提供优越的环境、丰富生物多样性。

4 分洪网设计效益分析

4.1 生态效益

泛滥平原分洪网的设计,对洪水具有分流作用,对洪峰具有消减作用。洪水在经过分洪入水口后,河道中约60%的洪水被分流进入分洪网,在流过深潭浅滩序列渠和池塘链分洪渠后,约30%的洪水蓄集下来,剩余部分又流回河道中。这个过程可以减少河道中的洪水水量,使河流流量趋于平稳,在一定程度上控制洪水的强度和规模。如果将本设计应用到全流域的泛滥平原,将会产生更大的蓄水和防洪减灾效益,洪峰流量将会得到明显的降低。另外,泛滥平原在洪水期得到的水分在枯水期反渗到河道中,缓解河道季节性断流现象,水环境的改善则可以增加物种多样性,提高河流生态系统的稳定性。因此,泛滥平原分洪网的设计具有很好的生态效益。

4.2 经济效益

在本设计中,深潭浅滩序列渠、池塘链分洪渠等措施都考虑了与当地自然条件的紧密结合,减少了浆

砌石护堤、水泥封底等传统河道治理中的许多工程性措施,具有明显的成本优越性。另外,本设计将会增加泛滥平原的蓄水量,为耕地上种植的农作物提供更多的水分,有利于提高农作物产量,同时在客观上也会缩减为改善耕地灌溉条件而实施的各项工程的支出。因此本设计具有一定的经济效益。

4.3 社会效益

分洪网的设计会对泛滥平原和河流沿岸的林地、草地等植被生长提供更多的水分,优化河流周边环境,增加的水面也提高了设计的亲水性,这些都将为周边居民提供亲近自然的条件,提高人民的生活质量,带来一定的社会效益。

5 讨论与结论

(1) 泛滥平原分洪网的设计遵循了河流生态系统的自然规律。泛滥平原分洪网中的浅滩深滩序列渠、池塘链分洪渠等设计是遵循河流蓄水的自然规律基础上,因地制宜地模拟自然状态下的泛滥平原的蓄水过程,因此,泛滥平原分洪网是一种符合河流生态系统自然规律的设计。

(2) 泛滥平原分洪网具有良好的生态、经济和社会效益。泛滥平原分洪网设计是一种调节河流流量、消洪减灾的有效方式,有利于维持河流生态系统的稳定、发挥良好的生态效益、经济效益和社会效益,与传统河道治理中的许多工程性措施相比,具有明显的优越性,也是未来需要进一步深入研究的方面。

(3) 泛滥平原的利用应重视生态蓄水功能的保护。泛滥平原的生态蓄水功能以及由其衍生的许多功能都是维持河流生态系统正常运行必不可少的,而人类对泛滥平原的利用也是历史的必然,这种利用应建立在遵循泛滥平原自然规律的基础上,合理规划设计,保护和维持其生态蓄水的基本功能。

[参 考 文 献]

- [1] 王浩. 中国未来水资源情势与管理需求[J]. 世界环境, 2011(2): 16-17.
- [2] 俞孔坚. 建筑与水涝共生: 哈尔滨群力雨洪公园[J]. 建筑学报, 2012(10): 62-69.
- [3] 俞孔坚, 李迪华. 城市河道及滨水地带的“整治”与“美化”[J]. 现代城市研究, 2003, 18(5): 29-32.
- [4] 翟金良, 何岩. 河流—洪泛区环境系统特征的初步研究[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 34-40.
- [5] Haikai T. Habitat and Riparian Management in Rangeland Ecosystems[M]// Victor R Squires ed. Range and Animal Sciences and Resources Management, in Encyclopaedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed

- under the Auspices of the UNESCO. Oxford: Eolss Publishers, 2009.
- [6] Kravčik M. Water for the Recovery of the Climate: A New Water Paradigm[R]. Typo: Typo Press, 2008.
- [7] Haikai T, Sun Tuohuan, Zheng Zhili, et al. Auditing reforested watersheds on the loess plateau: Fangshan Shanxi [J]. *Ecological Indicators*, 2014, 41(6): 96-108.
- [8] 杨朝飞. 善待洪水: 还河流于自然[J]. *环境保护*, 2004(7): 38-40.
- [9] 王文科, 李俊亭, 王钊, 等. 河流与地下水关系的演化及若干科学问题[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2007, 37(2): 231-238.
- [10] 殷学文, 俞孔坚, 李迪华. 城市绿地景观格局对雨洪调蓄功能的影响[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [11] 黄威文, 白晶. 北京山区小流域自然雨洪调蓄系统维护的景观途径: 以沙涧河梁家园支流流域为例[C]//北京: 2012 城市发展与规划大会论文集, 2012.
- [12] 王浩, 王建华, 秦大庸. 流域水资源合理配置的研究进展与发展方向[J]. *水科学进展*, 2004, 15(1): 123-128.
- [13] Haikai T. Landscape ecostructures for sustainable societies: Post-industrial perspectives[J]. *New Zealand Journal of Soil and Health*, 1999, 58(5): 19-21.
- [14] Leo D, Nathan W, Jeff B, et al. Stream-bed and floodplain rehabilitation at Mulloon Creek, Australia: A financial and economic perspective[J]. *The Rangeland Journal*, 2013, 35(3): 339-348.
- [15] 奥尔多·利奥波德. 沙乡年鉴[M]. 侯文惠译. 吉林长春: 吉林人民出版社, 1997.
- [16] Peter E Black. *Watershed Hydrology* [M] 2nd ed; New York: CRC Press, 1996.
- [17] 肖长来, 梁秀娟, 王彪. 水文地质学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [18] 吴保生, 陈红刚, 马吉明. 美国基西米河渠化工程对河流生态环境的影响[J]. *水利水电技术*, 2004, 35(9): 13-16.
- [19] Edward A K. *Environmental Geology*[M]. New York: Macmillan Publishing Company, 1992.
- [20] Roger H C, Peter G C, Sebastien L. Hyporheic zone exchange fluxes and residence times inferred from riverbed temperature and radon data[J]. *Journal of Hydrology*, 2014, 519(9): 1870-1881.

(上接第 40 页)

- [2] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, et al. Rapid Bio-assessment Protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish [M]. Washington D C; EPA841-B-99-002. US. Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999.
- [3] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities [J]. *Fisheries*, 1981, 6(6): 21-27.
- [4] Martin Griffiths. 欧盟水框架指令手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [5] Kim J H, Oh H M, Kim I S, et al. Ecological health assessments of an urban lotic ecosystem using a multi-metric model along with physical habitat and chemical water quality assessments[J]. *International Journal of Environmental Research*, 2013, 7(3): 759-768.
- [6] 曾小琪, 车越, 吴阿娜. 3 种河流健康综合性评价方法的比较[J]. *中国给水排水*, 2007, 23(4): 92-96.
- [7] Wright J F, Sutcliffe D W, Furse M T. Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS, and other techniques[J]. *Blood*, 2000, 99(10): 3493-3499.
- [8] Smith M J, Kay W R, Edward D H D, et al. AusRivAS: Using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia[J]. *Freshwater Biology*, 1999, 41(2): 269-282.
- [9] Wright J F, Armitage P D, Furse M T. Prediction of invertebrate communities using stream measurements [J]. *Regul Rivers: Research & Management*, 1989, 4(2): 147-155.
- [10] 董哲仁. 国外河流健康评估技术[J]. *水利水电技术*, 2005, 36(11): 15-19.
- [11] 唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 河流生态系统健康及其评价[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1191-1194.
- [12] 李成, 吴谦, 胡满. 风险综合评价中指标权重确定方法对比研究[J]. *石油工业技术监督*, 2016, 32(1): 50-53.
- [13] 武俊娴, 毕如田, 刘庚, 等. 基于 DEM 的凉水河流域地表水文特征模拟与分析[J]. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2009, 29(5): 397-399.