

三峡库区消落带分区固土护岸模式^{*}

高进长^{1,2} 鲍玉海¹ 贺秀斌^{*,1} 唐 强¹ 钟荣华¹

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所山地表生过程与生态调控
重点实验室,成都 610041; 2. 中国科学院大学,北京 100049)

摘 要:三峡库区消落带是库区陆域与水库之间生态过渡的缓冲带,在生态系统中发挥着极重要的作用,也是生态系统极度脆弱的地区之一。保护三峡水库,使三峡工程有效运转,是该地区生态环境保护的当务之急。本文以消落带为研究对象,依据消落带功能及生态环境特点,论述了植被恢复与重建对消落带固土护岸的重要性,总结了固土护岸的植被技术及其与小型工程措施相结合的治理方法,并因地制宜地提出了消落带分区固土护岸模式,以期促进该模式的推广和应用,从而为长江三峡库区消落带的生态恢复与重建提供经验及技术支撑。

关键词:三峡库区;消落带;植被恢复;固土护岸;分区治理;模式

中图分类号:S157.2 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1006-6055.2014.06.003

Patterns of Soil Conservation and Revetment by District at Water-Level-Fluctuating Zone in Three Gorges Reservoir^{*}

GAO Jinzhang^{1,2} BAO Yuhai¹ HE Xiubin^{*,1} TANG Qiang¹ ZHONG Ronghua¹

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of
Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: As the riparian buffer of ecotone between land and reservoir, the water-level-fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir not only plays a significantly important role in the ecosystem, but also is the serious fragile zone of the ecosystem. It is imperative to protect local ecological environment through preserving the Three Gorges Reservoir and further ensuring the effective operation of the Three Gorges Project. According to the characteristics and functions of the water-level-fluctuating zone, and taking water-level-fluctuating zone as research object, the necessity of restoration and reestablishment of the vegetation to soil conservation and revetment, and further the methods of combining corresponding plantation technique and small engineering measures are studied. Finally, the patterns of soil conservation and revetment adjusted to local conditions are put forward. Concluded above, it is hoped that the ecosystem will be restored and reconstructed in the water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir Area by applying soil and revetment technique.

Key words: Three Gorges Reservoir Area; water-level-fluctuating zone; vegetation restoration; soil conservation and revetment; division harness; patterns

1 引言

三峡水库消落带生态系统的健康是库岸稳定和水库安全运行的重要保障,并直接关系到库区社会经济的持续稳定发展。加强消落带的生态保护是三峡工程正常发挥其效益的前提和基础,也是库区可持续发展的必要条件^[1]。消落带是影响三峡水库生态环境安全的关键区域,而植被是陆地生态系统的主体,也是消落带的重要组成部分。因此,充分合理运用植物措施和小型工程措施,促进植被大面积

快速恢复,发挥植被固土护岸效益,形成可持续的稳定生态系统,对三峡库区的水土流失、非点源污染都有着重要的阻滞和净化作用,更是三峡水库安全的保障^[2-4]。

2 三峡库区消落带的形成及功能

三峡工程建成后,形成从湖北省宜昌市三斗坪到重庆市江津区的三峡水库。为了保持水库的效能,三峡水库采取“蓄清排浑”的运行方案,即水库水位从 1 月开始下降,在每年汛期(6~9 月),将水库水位降至最低的 145 m,集中排沙,而在汛期后期(10 月)开始蓄水,11~12 月将水位升至最高的 175 m,以拦蓄清水,发挥水库效益。消落带就是指库区周边这种因反季节性水位涨落而周期性露于水面的

2014-05-27 收稿,2014-06-25 接受

* 国家自然科学基金(41171222),中国科学院西部行动计划(KZCX2-XB3-09)资助

** 通讯作者, E-mail: xiubinh@imde.ac.cn

土地区域,其落差达 30 m,面积达 349 km²。在成陆期间,面积较大的连片消落带较多,可利用的旱地、水田等耕地面积达 130 km² 以上^[5-7]。

消落带的功能包括三个方面:环境功能、生态功能和经济与美学功能^[8]。环境功能包括截污和过滤、控制沉积和侵蚀、防止水土流失、改善水质等;生态功能包括保持生物多样性和稳定水陆两个生态系统;经济与美学功能包括消落带的合理利用所产生的经济效益及丰富的资源给人们带来的娱乐、美学、教育和科研价值。如果消落带植物茂盛,则既能保持水土,又能保护生态环境,实现生态效益和经济效益的双赢。

3 消落带固土护岸的必要性

三峡水库消落带具有以下生态环境特征:一是消落带水位涨落季节反自然枯洪规律,土层浅薄、有机质含量低、结构水稳性弱、抗蚀力和抗冲力较弱,受波浪淘蚀和降雨径流冲刷的共同作用,易发生严重的土壤侵蚀、滑坡及崩塌;二是库岸周边经济社会发展水平落后,人类活动与消落带的相互作用频繁

与强烈,地面植被和土壤结构被严重破坏,使土壤质量降低,影响消落带植被恢复,破坏拦沙截污的生态服务功能,影响水库水环境安全;三是农村居民点分散,生活废弃物随意堆放、畜禽粪便直接排放等,且还受到长江上游的工业废水、生活污水和大范围的面源污染影响,威胁着水库水质安全。消落带作为库区泥沙、有机物、化肥、农药和污染物等进入水库的最后一道生态屏障,受到严重威胁^[5,6,9-12]。

三峡水库两岸沟壑纵横、地形陡峻、相对高差大,长期淹水引起消落带地表植被大面积消亡,消落带坡面上的植被和土壤结构被破坏,成陆初期降雨及径流直接作用于裸露土壤,加重土壤侵蚀^[11]。水库蓄水后,由于库岸两侧岩土周期性地浸泡在水中,浸泡软化作用和浮力作用导致岩土抗剪强度降低,引起岩土自重及动、静水压力变化,加上库区风成浪和船行波形成的涌浪对库岸不间断冲刷淘蚀,使两岸坡地稳定性减弱,从而诱发滑坡、崩塌等重力侵蚀,严重威胁库区安全(图 1a、b)^[13]。

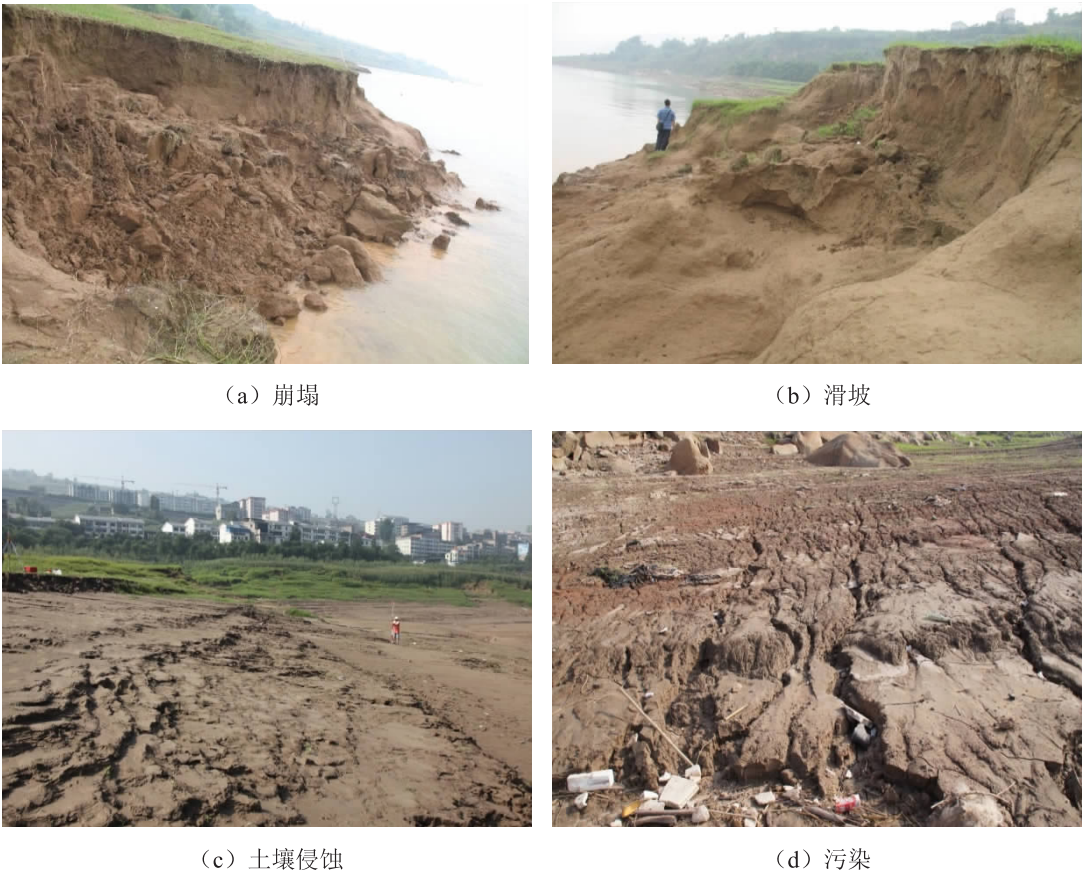


图 1 成陆期消落带被破坏图

Figure 1 Destruction of the water level fluctuating zone during land

三峡库区坡耕地广泛分布,因为土地季节性整理的复杂性,土地利用结构的不合理性,生态条件具有先天的脆弱性,以及人多地少、人类活动频繁、后备可垦土地较少等问题,致使人地矛盾尖锐,当地农民或有关部门会季节性利用消落带。一些学者从移民安置和解决人地矛盾角度进行研究,认为消落带具有很大的经济利用价值,可以通过养殖业、渔业利用,饲草种植,农业耕种等方式,合理开发利用消落带土地,对社会经济起到良性的促进作用^[14,15]。但是,人们自发地无序开垦和不合理利用消落带土地,导致水土、养分等流失,将会严重破坏消落带的生态环境,对水库水质、泥沙淤积、库岸防护产生重大负面影响(图 1c、d)^[12]。

消落带是水域与陆地环境的过渡地带,其生态系统同时受到来自水陆两个界面的污染影响。三峡库区人口密集,两岸人类活动频繁,人类生产、生活产生的大量废物、垃圾和生活污水、工业废水均将影响到消落带并进入水库。夏季水位下降到低水位时,各种污染物将滞留在消落带,此外,经过半年左右浸泡的泥土不易排水,污染伴着垃圾、杂草直接淤积沉淀在消落带表层;高水位时水流缓慢,水体自净能力和稀释能力较小,上游和水库周边排放的污染物滞流库岸,周边土壤侵蚀产生的泥沙及其携带的污染物、库区两岸生产和生活垃圾以及消落带自身土地利用产生的面源污染物均会淤积沉淀。这些污染物难以扩散,易滋生各种病原体、致病菌,特别是在夏季高温高湿的条件下,污染严重的消落带将成为各种病菌、寄生虫的滋生源以及异味和恶臭的散发地,并很可能诱发大规模疫情^[16]。

库区消落带是三峡水电站的重要组成部分,消落带植被的修复、固土护岸不仅直接关系到水库水土流失、泥沙淤积和水质标准,而且直接影响水库的运行和寿命,以及周边城镇经济的发展。因此,进行三峡库区消落带固土护岸是十分必要的。

4 消落带固土护岸途径

按三峡水库调度运行特征,消落带水位高程可被划分为 3 个区段:147 ~ 155 m 区段,10 月至次年 4 月淹水,5 ~ 9 月渐次成陆,出露 150 d 左右;155 ~ 170 m 区段,10 月中旬至次年 3 月淹没,4 ~ 10 月渐次成陆,出露 200 d 左右;170 ~ 175 m 区段,10 月末至次年 2 月淹水,3 ~ 10 月中旬成陆,出露约 300 d 左右^[7,17]。也就是说,三峡水库水位的总体变化特

点是下半年退水,消落带出露的土地面积较大。同时,据观测资料统计^[6],5 ~ 10 月期间,消落带成陆土地能接受到阳光照射的日照时数超过 700 h,降水量超过 700 mm,太阳辐射量在 $2 \times 10^5 \text{ J/cm}^2$ 以上。成陆期间的日均温在 18 ~ 30℃ 之间,活动积温可达 2 200℃ ~ 3 500℃,光热水资源量占全年总量的 60% 以上,光照充足、降水丰沛,能满足许多植物对光热水的需求。由此可见,三峡水库消落带的成陆期与库区光热水资源集中期一致,这为植被的恢复和重建措施,以及消落带固土护岸提供了资源基础。

4.1 适宜植物的筛选及培植技术

植物是生态系统的生产者和整个系统物质能量的来源,也是生态系统稳定的基础^[18]。植物修复是消落带生态系统进行恢复与重建最为有效的治理途径之一,可对库区污染物净化、水土保持、维护环境卫生、缓解人地矛盾、促进社会和谐稳定等起到重要作用。充分利用植物功能,构建合理的生态屏障,是三峡水库高效运行的保证。

适宜物种筛选是消落带植被恢复与重建的基础,这些植物宜选择水陆两栖生长的乡土物种为主,生长节律与库区调水节律尽量一致。因为其具有好的耐淹性能,退水后能够很快恢复生长;具有发达的根系,固土效果好,减污截污能力强,并能有效拦截岸坡流向库区的有害化学物质并吸附水体氮、磷等物质;植被景观效果好,耐贫瘠、耐粗放管理,抗病虫害和抗旱能力强^[19]。例如,狗牙根根系发达,耐淹性较强,被淹后能够在次年自然萌发,且由于长期生长在水淹胁迫环境,其耐淹能力得到了进一步强化;双穗雀稗、扁穗牛鞭草、香根草、李氏禾等多年生禾草,均通过了筛选试验,是适宜于三峡水库消落带植被恢复的物种^[19-22]。这些植物在消落带 145 ~ 175 m 区间均可种植(表 1)。此外,芦苇种植在 165 ~ 173 m 区段,可在防止水土流失、水体富营养化、重金属污染、固体废弃物污染、垃圾渗滤液污染和藻类爆发等问题的同时,增加经济收入,加快库区农村的经济建设步伐^[23]。桑树具有耐寒性、耐渍性、抗旱性和抗污染及抗病虫害等特性,在 173 ~ 175 m 范围内桑苗的萌发率在 80% 以上^[24,25]。任雪梅等^[26]从理论上探讨了植被在土质岸坡且坡度较缓的边坡上发挥的减缓滑坡、崩塌功能,加固库岸的稳定性,并建议在 178 m 以上种植果树,在 170 ~ 178 m 易遭受冲击破坏的地带种植柳树,这是因为柳树可以吸收含有硝酸盐和磷酸盐的污染物作为养分,起到净化

表 1 消落区适宜种植植物
Table 1 Suitable plant in the water-level-fluctuating zone

适宜高程/m	植物种类	生活型	栽培方式	功能	文献来源
170 ~ 175	芦苇、芭茅、荷花、菖蒲等	水生多年生	人工种植	经济效益高、拦截净化水分、调控水土流失	[23-25]
155 ~ 170	牛鞭草、双穗雀稗、狗牙根、李氏禾	多年生草本	人工种植、自然恢复	固土护坡、净化水分、减轻污染、拦沙截污	[19-22]
145 ~ 155	牛鞭草、双穗雀稗、狗牙根等	多年生草本	自然恢复	固土护坡、净化污染、拦沙截污	[19-21]

环境的作用。

合理的物种搭配对生态系统的稳定至关重要，在 155 ~ 170 m 之间，多种草本植物混种，可提高生物多样性，使得生态系统更加稳定；在 170 ~ 175 m 之间，坡度平缓地段种植荷花等挺水植物，在提高库岸削浪抗蚀性、改善沿岸地带生态环境的同时，提高经济效益；而在坡度较陡、恢复历时长且自然恢复难度大的区段，可采取乔、灌、草相结合的复合种植方法，将植物多层配置就能形成一道立体的生态防护网，提高土地利用率，增加植被覆盖度，固土护岸，从而充分发挥防治水土流失、稳固坡面的作用，更好地绿化美化流域环境(表 1)。

4.2 植被-工程复合固土护岸技术

植被措施虽然在水土保持方面的效益巨大，但仅有植被措施显然是不够的。工程措施是生态系统恢复与重建最基本的技术措施，尤其是在治理滑坡、崩塌和泥石流等方面，不受季节限制，建好即能起作用，可以拦截、分流雨水，保证植被措施在初期有立足之地并更快更好地发挥生态效益、经济效益和社会效益^[27]。美国森林水文学家 Rechard Lee^[28]从实践中总结出卓有成效的生态环境治理经验，将植被措施与工程结合起来，二者分别起到 40% 和 60% 的作用。刘信安等^[29]利用香根草植被措施和工程措施相结合的技术，治理消落带的水土流失、水体富营养化、重金属污染、固体废弃物污染和垃圾渗滤液污染等生态环境问题。工程措施和植被措施相互结合，以工程措施作保障，以香根草为纽带，乔、灌、草、藤结合起来，多层配置形成立体的生态防护网，从而充分辅助香根草来防治水土流失，稳固坡面和路基。吴长文等^[30]运用生态袋反坡梯地及等高反坡梯地等工程措施，把生态袋与草本植物连接在一起，提高植物成活率，有效防止坡岸冲刷，形成了稳定边坡，植被固土护岸效果较好。戴方喜等^[31]通过对消落带特征及其植被作用的研究，提出了库区消落带梯度生态修复理论，并论述了防冲刷生态型护坡构件、防浪消能高渗透性生态混凝土构件、植被混凝土护坡绿化技术等工程技术措施在三峡库区湿地岩质边

坡生态修复中的作用。熊森等^[32]探讨了基塘工程这一基于三峡水库季节性水位变动和消落带地形特征而设计的湿地生态友好利用途径，从作物产量和生物多样性改变两个方面对基塘工程的生态经济效益进行了针对性研究，认为该模式具有可观的经济效益和极为重要的生态价值。鲍玉海等^[13]采用工程措施与植被措施相结合的方法，即自锁定消浪植生型生态护坡和串珠式消落带柔性护坡(图 2 所示)，铰链式平铺于消落带坡面，在水陆交界面形成一个连续的波浪缓冲带，以增强坡面的抗冲性和稳定性，最大限度地降低波浪冲刷力，保护消落带表层土壤，并在构件植物栽植孔中种植桑树、牛鞭草、狗牙根、野地瓜等水土保持植物，灌木和草本植被茂密的茎叶和根系分布在土壤表层，通过它们的水文效应与力学效应(根系锚固作用)来实现坡面的固土性及稳定性，从而对消落带边坡表层进行防护、加固，使之既能满足对边坡表层稳定的要求，又能恢复遭破坏的自然生态环境，从而对消落带边坡表层进行防护、加固，减少波浪、径流冲刷的能力。由这些实例可见，将植被措施与工程结合起来，有助于治理环境污染、减少水土流失、固土护坡，从而更好地发挥生态效益、经济效益和社会效益。

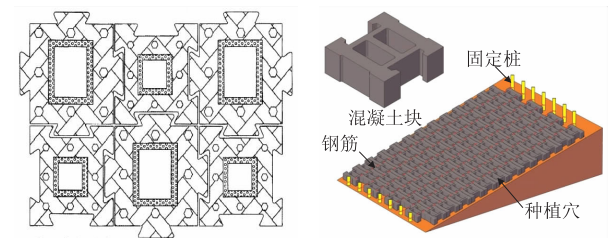


图 2 自锁定消浪植生型生态护坡和串珠式消落带柔性护坡铺设效果示意图
Figure 2 Protection of the slope by self locking and beaded ecological slope protection engineerings

5 消落带分区治理模式

根据三峡库区消落带的实际特征，因地制宜，采取高程梯度分段分区治理(如图 3 所示)。145 m 附近地段，水位停留时间长，易受到波浪侵蚀和坍塌滑

坡,土壤侵蚀最为强烈,为工程加固带,可铺设串珠式消落带柔性护坡构件,此段工程加固带为本区段提供了稳固堤岸,保障植被快速恢复;145~155 m,由于出露时间短,进行人为植物建设会使消落带受到破坏,故选择植被自然恢复,或人工播撒适宜生长草种,加快植被恢复;155~170 m,在水热条件较好的4~10月期间,渐次成陆,出露200 d左右,植物易生长,种植耐淹、耐旱、耐贫瘠的多种多年生草本植物混交种植物,可减少水土流失、减小水污染,发挥固土护坡效益;170~175 m为挺水植物带,因为该区段水淹时间短,在防止水土流失的同时,可以种植经济效益较好的挺水植物,如荷花、香蒲等;在高水位175m左右,波浪影响严重,建立适宜的消浪生态护坡工程,并在构件栽植孔内种植牛鞭草、狗牙根等草本植物,以增强坡面的抗冲性和稳定性,有效发挥植物根系的固土护坡作用,从而实现植被-工程相结合的消落带坡面有效防护;175 m以上为非消落带,但易受到降雨侵蚀,为多功能防护林带,种植柳树、桑树等,林下种植多种根系发达的草本植物、灌木,使植物多层配置,形成一道多种群、多生态位的复合型生态防护林,这是维持三峡库区良好生态环境的关键因素之一。

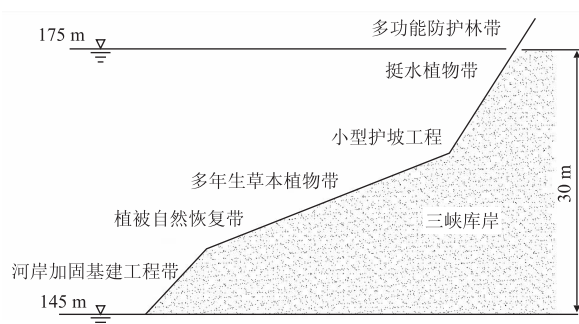


图3 三峡水库消落带生态治理模式示意图

Figure 3 Ecological management mode at the water-level-fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir

6 结论

本文从消落带的形成原因、生态环境特征及功能特点、应用植被修复对消落带固土护岸的必要性角度出发,对消落带植被修复与重建、固土护岸的植物措施和工程措施进行了探讨,详细说明了植被措施在消落带固土护坡方面的运用,并结合小型工程措施与植被措施方法,提出三峡水库消落带分区治理模式,即利用耐淹、耐旱且耐贫瘠的狗牙根、牛鞭草、双穗雀稗等草本植物,荷花、菖蒲等挺水植物及

柳树、桑树等乔木,结合河岸加固基建工程、消浪植生型生态护坡小型工程措施等,增加库岸固土抗浪蚀的能力,改善沿岸地带生态环境,综合发挥堤岸水土保持、处理水体污染、固化和改良土壤。这对科学开展三峡库区消落带生态修复与重建具有重要的实践和指导意义。

参考文献

- [1] 谢德体,范小华,魏朝富. 三峡水库消落区对库区水土环境的影响研究[J]. 西南大学学报(自然科学版),2007,29(1):39-47.
- [2] 王建超,朱波,汪涛. 三峡库区典型消落带淹水后草本植被的自然恢复特征[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(5):603-610.
- [3] 张虹. 三峡重庆库区消落区基本特征与生态功能分析[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(3):374-378.
- [4] 贾志斌,金争平,张占全,等. 不同治理措施植被恢复效果的初步研究[J]. 干旱区资源与环境,2001,15(3):57-62.
- [5] 贺秀斌,谢宗强,南宏伟,等. 三峡库区消落带植被修复与蚕桑生态经济发展模式[J]. 科技导报,2007,25(23):59-63.
- [6] 刁承泰,黄京鸿. 三峡水库水位涨落带土地资源的初步研究[J]. 长江流域资源与环境,1999,8(1):75-79.
- [7] 张虹. 三峡库区消落带土地资源特征分析[J]. 水土保持通报,2008,28(1):46-49.
- [8] 陈治谏,刘邵权,杨定国,等. 长江上游水土流失与防治对策研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):1-5.
- [9] 张建春,彭补拙. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J]. 生态学报,2003,23(1):56-73.
- [10] 徐元刚,孙锐锋,李剑,等. 水库消落区利用研究进展[J]. 人民长江,2008,39(3):102-103.
- [11] 谢红勇,扈志洪. 三峡库区消落带生态重建原则及模式研究[J]. 开发研究,2004(3):36-38.
- [12] 鲍玉海,贺秀斌. 三峡水库消落带土壤侵蚀问题初步探讨[J]. 水土保持研究,2011,18(6):190-195.
- [13] 鲍玉海,唐强,高银超. 水库消落带消浪植生型生态护坡技术应用[J]. 中国水土保持,2010,10:37-39.
- [14] 王炯. 三峡库区消落地的利用与管理问题研究[J]. 西南农业大学学报:社会科学版,2003,1(1):35-38.
- [15] 黄京鸿. 三峡水库水位涨落带的土地资源及其开发利用[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),1994,19(5):528-533.
- [16] 李殿球,孙春霞,蒋建东. 三峡水库消落区土地保护利用规划及其评价[J]. 人民长江,1999,30(11):18-20.
- [17] 谭淑端,王勇,张全发. 三峡水库消落带生态环境问题及综合防治[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(Z1):101-105.
- [18] 黄小辉,刘芸,李佳杏,等. 水分胁迫对三峡库区消落带桑树幼苗生理特性的影响[J]. 林业科学,2012,48(12):122-127.
- [19] 马利民,唐燕萍,张明,等. 三峡库区消落区几种两栖植物的适生性评价[J]. 生态学报,2009,29(4):1885-1892.
- [20] 廖世纯,韦桥现,蒙炎成,等. 4种植物的耐淹耐旱性及在消落带中的应用[J]. 中国水土保持,2009,5:13-14.
- [21] 王强,袁兴中,刘红,等. 三峡水库初期蓄水对消落带植被及物种多样性的影响[J]. 自然资源学报,2011,26(10):1680-

1 693.

[22]方华,陈天富,林建平,等. 李氏禾的水土保持特性及其在新丰江水库消涨带的应用[J]. 热带地理,2003,23(3):214-217.

[23]冯大兰,刘芸,钟章成,等. 三峡库区消落带现状与对策研究[J]. 生态农业科学,2006,22(4):378-381.

[24]姚芳,倪吾钟,杨肖娥. 桑树的种质资源、生态适应性及其应用前景[J]. 科技通报,2004,20(4):289- 292.

[25]张建军,任荣荣,朱金兆,等. 长江三峡水库消落带桑树耐水淹试验[J]. 林业科学,2012,48(5):154-158.

[26]任雪梅,杨达源,徐永辉,等. 三峡库区消落带的植被生态工程[J]. 水土保持通报,2006,26(1):42 -50.

[27]夏汉平. 论长江与珠江流域的水灾、水土流失及植被生态恢复工程[J]. 热带地理,1999,19(2):124-129.

[28]GRASS V. A Thin Green line Against Erosion[M]. W D C;National Academy Press,1993:113-119.

[29]刘信安,柳志祥. 三峡库区消落带流域的生态重建技术分析[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2004,21(2):60-63.

[30]吴长文,王永喜,付奇峰,等. 深圳城郊水库消涨带植被重建技术[J]. 中国水土保持科学,2009,7(5):43-47.

[31]戴方喜,许文年,刘德富,等. 对构建三峡库区消落带梯度生态修复模式的思考[J]. 中国水土保持,2006,(1):34-36.

[32]熊森,李波,肖红艳,等. 三峡水库消落带生态友好型利用途径探索-以基塘工程为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2010,27(6):23-26.

作者简介

高进长(1984-),男,博士在读,主要研究方向:土壤侵蚀与水土保持。

(上接第 622 页)

5 结束语

厚煤层采煤方法的合理选择是厚煤层开采设计中的一个重要问题,不仅受到煤层赋存条件的限制,更受到人为因素和设备技术水平的影响。针对厚煤层开采的特点,本文建立了基于改进神经网络的厚煤层采煤方法预测模型,在对影响因素的分析的基础上,通过计算机仿真得出:该模型预测厚煤层采煤方法的结果为 100%;工作面单产和工效预测的最大误差分别为 6.95% 和 7.5%。结合现场应用表明,该模型预测合理,解决了厚煤层采煤方法选择多目标非线性问题,有效地将理论知识和专家经验

相结合,能够为厚煤层开采设计提供技术支持。

参考文献

[1]徐永圻. 煤矿开采学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2009.

[2]王金维. 复杂难采厚煤层的采煤方法选择[J]. 水力采煤与管道运输,2013(3):81-83.

[3]姬刘亭. 整合矿井采煤方法选择及设备选型[J]. 煤炭工程,2012,1(7):14-16.

[4]巩文科,李心广,赵洁. 基于 BP 神经网络与专家系统的故障诊断系统[J]. 计算机工程,2007,33(8):199-121.

[5]危胜军,胡昌振,姜飞. 基于 BP 神经网络改进算法的入侵检测方法[J]. 计算机工程,2005,21(13):154-156.

[6]褚辉,赖惠成. 一种改进的 BP 神经网络算法及其应用[J]. 计算机仿真,2007,24(4):75-78.

作者简介

吕文玉(1981-),男,讲师,博士,主要研究方向:计算机在采矿中的应用、采煤工艺。