

基于水库调洪演算模型的朱芦沉陷区 蓄滞洪预测模型初探

郑佳重¹, 朱梅², 周婷², 王振龙³

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 安徽农业大学 工学院, 安徽 合肥 230036;
3. 安徽省 水利部淮河水利委员会水利科学研究院, 安徽 蚌埠 233000)

摘要: 利用地理信息遥感技术, 模拟 1987-2013 年间朱芦沉陷区的蓄滞空间历史演变过程。基于水库调洪演算模型, 尝试建立采煤沉陷区蓄滞洪预测模型, 通过预测模型模拟沉陷区在未来不同沉陷情景下对不同频率洪水过程的调蓄效果, 并将蓄洪削峰量程序化展现。结果显示: 朱芦采煤沉陷区在 2015、2020、2030 三种沉陷情景下对 5、10、20、50 年一遇的洪水洪峰的削减量从 0.7% 到 41.4% 不等。结果可为科学制定采煤沉陷区调洪蓄洪政策方案以及水资源的综合利用及管理提供一定参考。

关键词: 采煤沉陷区; 蓄滞洪; 水库调洪演算模型; 采煤沉陷区蓄滞洪预测模型

中图分类号: TV697.13 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2016)04-0139-06

Research on prediction model of flood storage and detention in Zhulu subsidence area based on model of reservoir flood routing

ZHENG Jiazhong¹, ZHU Mei², ZHOU Ting², WANG Zhenlong³

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Engineering Department of Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 3. Water Resources Research Institute of Huaihe River Commission of Anhui Province and MWR, Bengbu 233000, China)

Abstract: Using the remote sensing technology of geographic information, the paper simulated the evolution process of storage space at Zhu-Lu subsidence area from 1987 to 2013. Based on the model of reservoir flood routing, it built the predict model of flood storage and flood detention of coal mining subsidence area and simulated the process of different frequency flood and calculate the detention of flood in different level years in the future according to the prediction model. The result showed that the reduction volume of flood peaking of once in 5, 10, 20 and 50 years in 2015, 2020 and 2030 can be cut from 0.7% to 41.4%. The result can provide reference for the establishment of policy and the comprehensive utilization and management of water resources in coal mining subsidence areas.

Key words: coal mining subsidence area; flood storage and detention; model for reservoir flood routing; prediction model for flood storage and detention of coal mining subsidence area

1 研究背景

朱仙庄-芦岭采煤沉陷区(以下简称“朱芦采煤沉陷区”)位于安徽省宿州市埇桥区,是安徽省第三大因煤炭开采而形成的塌陷区。2007 年开始,就有学者从不同的角度对安徽最大的采煤沉陷区(安徽淮南潘

谢采煤沉陷区)进行了相关研究。如:徐良骥等(2007)^[1]对潘集采煤沉陷区的地质环境和沉陷类型进行了探讨;徐良骥等^[2]和张辉等(2008)^[3]、胡云虎等^[4]和刘劲松等(2009)^[5]对淮南采煤沉陷区不同深度、不同地形地貌进行了分区水质监测,并分析相应理化性质;童柳华(2009)^[6]通过概率积分法对淮南采

收稿日期:2016-03-17; 修回日期:2016-04-25

基金项目:国家自然科学基金项目(51509001);水利部公益性行业科研专项(201101010);安徽农业大学 2016 年优秀青年人才支持计划重点项目(gxyqZD2016040);安徽省高等学校省级质量工程水利学科卓越工程师项目

作者简介:郑佳重(1987-),男,安徽马鞍山人,博士研究生,研究方向为水资源演变机理与高效利用。

通讯作者:朱梅(1977-),女,安徽怀远人,副教授,博士后,硕士生导师,主要从事水文水资源、流体力学及农田水利研究。

煤沉陷区对周边水系的影响进行了预测,并预测降水量的变化趋势;丁瑶(2012)^[7]对淮南潘集采煤沉陷区的生态价值进行了评价。

迄今为止,对安徽宿州朱芦采煤沉陷区的相关研究还比较少,而对该地区特有的采煤沉陷区蓄滞洪效果方面的定量研究还是空白。之前,相关水资源方面的专家、学者主要集中在对安徽淮南、淮北采煤沉陷区的水资源综合利用研究。如:王振龙等(2009)^[8]对淮北市的采煤沉陷区作为备用水源的可引、可供水量及蓄水的可行性进行了研究;许士国等^[9]和张树军等(2010)^[10]研究了淮北临海童湖采煤沉陷区的非常规水资源综合利用效果;直到2013年,中国水科院的李金明^[11-12]以淮南潘谢煤矿为例,初步定量研究了淮南采煤沉陷区的蓄滞洪效果。

因此,对于宿州朱芦采煤沉陷区在汛期作为蓄滞洪控制工程,在非汛期作为非常规备用水源的研究是具有重要意义的。本文从国内外研究现状和地域概况入手,通过对沉陷区研究范围内的典型年洪水进行分析,分别从沉陷区面积、深度、库容对沉陷区的蓄滞空间历史演变过程展开研究。基于水库调洪演算模型尝试建立采煤沉陷区蓄滞洪预测模型,通过参数率定、模型校正,分别模拟在2015、2020、2030年3种不同沉陷情景下,朱芦沉陷区对5、10、20、50年一遇的汛期洪水过程的蓄滞洪效果,并输出相应参数,定量得出经过沉陷区调蓄后洪水过程的变化量。

2 研究区域及空间历史演变过程

2.1 研究区域

研究区域位于淮北平原,东经117°06'~117°12',北纬33°30'~33°36'区域内,南临沱河,北依新汴河。目前,随着矿井的不断开采,地表沉陷面积和深度持续增加,相应的积水面积也发生进一步变化。随着时间的推移,这两个沉陷区正逐渐合并成为一个大面积的采煤沉陷区,其每年约以2%的速率逐年扩大。

2.2 空间历史演变过程

由于矿区开采而造成土地塌陷,在地表移动盆地、裂缝及塌陷坑等灾害现象形成的过程中改变了地表原有的形态,引起了地表高低、坡度及水平位置的变化,从而对位于影响范围内建筑物和生态环境都带来不同程度的影响和破坏^[13-15]。影响主要表现为地面塌陷、道路高低不平、地表变形、路面破碎等。

为了研究沉陷区在未来不同沉陷情景下的变化情况,因此需要了解沉陷区蓄滞空间的历史演变过程。本文通过收集、提取研究区内相关地理信息系统数据,对1987、1995、2000、2005、2010、2013年6个代表年份沉陷区的蓄滞空间历史演变过程进行研究(图1~2)。注:图1~2中白色和红色线条即为2013年朱芦沉陷区塌陷水体边界线。

从图1和图2中可以看出,对照2013年的采煤沉陷区塌陷水体边界线,6个代表年的沉陷区水体面积逐年增大,并且增长速度也较快。

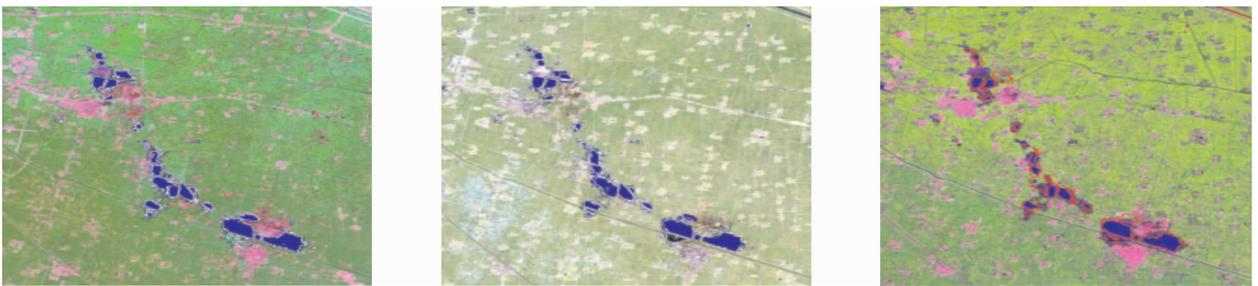


图1 2013年水体边界分别叠加2010、2005年TM图

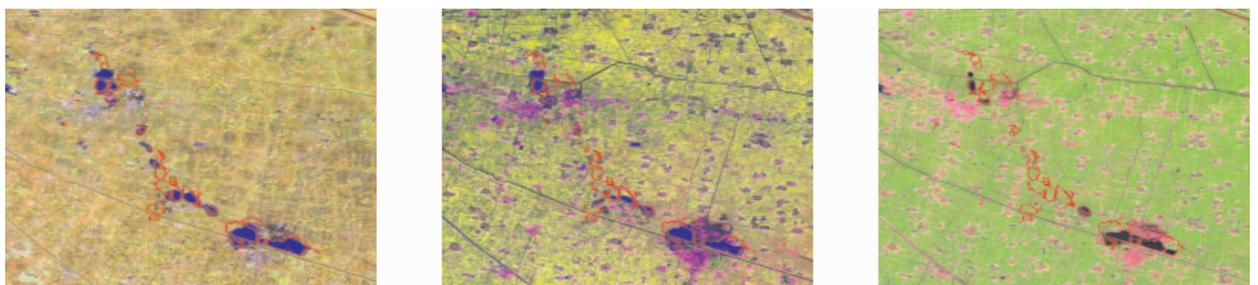


图2 2013年水体边界分别叠加2000、1995、1987年TM图

通过对 6 个典型年份沉陷区蓄滞空间历史演变过程的分析,依据 2011 年安徽省·水利部淮委水利科学研究所对朱芦采煤沉陷区面积的预测,可以得知朱仙庄沉陷区和芦岭沉陷区在 2020 和 2030 年已经合并成为一个巨大的朱芦采煤沉陷区。现状及未来情景下朱芦采煤沉陷区的沉陷面积、沉陷深度及蓄水能力分别如表 1~3 及图 3 所示。

表 1 不同年份沉陷面积统计表 hm^2

沉陷区	2015 (现状)	2020 (已合并)	2030 (已合并)
朱芦沉陷区	754.15	806.87	1 398.75

表 2 2015、2020、2030 年沉陷深度预测表 m

沉陷区	2015 (现状)	2020 (已合并)	2030 (已合并)
芦岭沉陷区	14.86	14.86	17.03
朱仙庄沉陷区	11.97		

表 3 朱芦沉陷区 2015、2020、2030 年蓄水能力表 10^4 m^3

沉陷区	2015 (现状)	2020 (已合并)	2030 (已合并)
芦岭沉陷区	4 576.94		
朱仙庄沉陷区	2 666.01	8 943.87	16 236.48
合计	7 242.95		

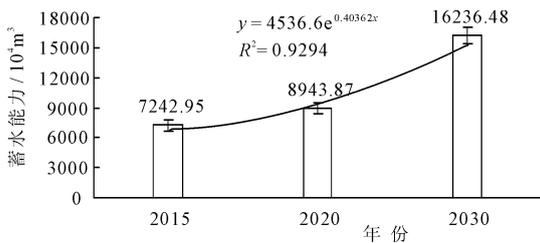


图 3 朱芦沉陷区 2015、2020、2030 年蓄水能力趋势图

(1) 沉陷区蓄水

当 $q_r \leq q_f$ 时,沉陷区不起蓄河道内来水,沉陷区理论下泄量不为零

$$\text{沉陷区蓄水} \begin{cases} \text{若 } V_y + Q_r - Q_f - Q_u > V_{\max} \text{ 时,则 } V_t = V_{\max} - V_y \\ \text{若 } V_y + Q_r - Q_f - Q_u \leq V_{\max} \text{ 时,则 } V_t = Q_r - Q_f - Q_u \end{cases} \quad (2)$$

(2) 沉陷区理论下泄

当 $q_r > q_f$ 时,沉陷区起蓄河道来水,沉陷区理论下泄量为零

$$\text{沉陷区理论下泄} \begin{cases} \text{若 } Q_f - Q_r \leq V_y - V_{\max} - Q_u \text{ 时,则 } Q_o = Q_f - Q_r \\ \text{若 } Q_f - Q_r > V_y - V_{\max} - Q_u \text{ 时,则 } Q_o = V_y - V_{\min} - Q_u \end{cases} \quad (3)$$

(3) 沉陷区供水调节

从图 3 中可以看出,2015 年朱芦沉陷区的蓄水能力为 $7 242.95 \times 10^4 \text{ m}^3$,预计到 2020 年,蓄水能力将达到 $8 943.87 \times 10^4 \text{ m}^3$,到 2030 年蓄水能力将为 $16 236.48 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。并且继续增长的趋势也较明显。

3 沉陷区蓄滞洪模型初建

3.1 模型建立的意义及背景

将采煤沉陷区作为调节水库,在汛期调蓄洪水方面的定性、量化研究很少^[16-18]。因此,结合水文及水资源学科的相关理论,将分析研究同地区实情结合,尝试建立蓄滞洪数学预测模型,实现量化沉陷区蓄洪削峰效果。为建立动态、科学、有效的防洪调度体系,缓解区域洪涝灾害提供一定参考。

首先通过沉陷区上游的水文站对洪水的规模进行预报,当汛期来水超过河道调蓄控制水位的时候,打开连接沉陷区和河道的进闸($Q_{进}$),将汛期洪水蓄入沉陷区内,与此同时关闭用于供给生活用水的闸门($Q_{用}$),待沉陷区内的水位和库容即将达到最高水位和对应的库容时,打开沉陷区连接河道下游的控制闸($Q_{出}$)。这样类似“平原型水库”的调蓄方式可以有效地调蓄洪水,蓄滞洪峰。

当洪峰过境时,关闭($Q_{进}$)和($Q_{出}$),打开($Q_{用}$),将沉陷区内的蓄水有序供给生活生产所用,在下一个洪峰到来之前科学调度调节库容,以备拦蓄洪峰^[19-21]。

3.2 数学模型的初建及预测模型程序的编制

综合朱芦沉陷区库容的变化规律,基于水库调洪演算模型^[22-23],利用沉陷区的库容对汛期河道洪水进行调蓄。

数学模型共有 4 个模块组成,分别是:沉陷区蓄水模块、沉陷区理论下泄模块、沉陷区供水调节模块、沉陷区库容调节变化模块。

$$Q_r = q_r \cdot t \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} & \left\{ \begin{aligned} & \text{当 } q_r \leq q_f \text{ 时, } \left\{ \begin{aligned} & \text{若 } V_y - V_{\min} - Q_{mu} \geq 0 \text{ 时, 则 } Q = Q_{mu} \\ & \text{若 } V_y - V_{\min} - Q_{mu} < 0 \text{ 时, 则 } Q = V_y - V_{\min} \end{aligned} \right\} \\ & \text{当 } q_r > q_f \text{ 时, } \left\{ \begin{aligned} & \text{若 } Q_r - Q_f \geq Q_{mu} \text{ 时, 则 } Q = Q_{mu} \\ & \text{若 } Q_r - Q_f < Q_{mu} \text{ 时, 则 } \left\{ \begin{aligned} & \text{当 } Q_r - Q_f + V_y - V_{\min} \geq Q_{mu} \text{ 时, } Q = Q_m \\ & \text{当 } Q_r - Q_f + V_y - V_{\min} < Q_{mu} \text{ 时, } Q = Q_r - Q_f + V_y - V_{\min} \end{aligned} \right\} \end{aligned} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(4) 沉陷区库容调节变化

$$\text{当 } q_r \leq q_f \text{ 时, } \left\{ \begin{aligned} & \text{若 } V_y - V_{\min} - Q_o \geq Q_{mu} \text{ 时, } V = V_y - Q_{mu} - Q_o \\ & \text{若 } V_y - V_{\min} - Q_o < Q_{mu} \text{ 时, } V = V_{\min} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\text{当 } q_r > q_f \text{ 时, } \left\{ \begin{aligned} & \text{若 } Q_r - Q_f - Q_u \geq 0 \text{ 时, } \left\{ \begin{aligned} & \text{当 } Q_r - Q_f - Q_u \geq V_{\max} - V_y \text{ 时, } V = V_{\max} \\ & \text{当 } Q_r - Q_f - Q_u < V_{\max} - V_y \text{ 时, } V = V_y + Q_r - Q_f - Q_u \end{aligned} \right\} \\ & \text{若 } Q_r - Q_f - Q_u < 0 \text{ 时, } \left\{ \begin{aligned} & \text{当 } Q_r - Q_f + V_y - V_{\min} - Q_u \geq 0 \text{ 时, } V = V_y + Q_r - Q_f - Q_u \\ & \text{当 } Q_r - Q_f + V_y - V_{\min} - Q_u < 0 \text{ 时, } V = V_{\min} \end{aligned} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

综合水量平衡原理以及沉陷区蓄水、理论下泄、供水调节、库容调节变化等一些列规律后得到,经过沉陷区调蓄后的河道下泄量公式如下:

$$Q_{re} = Q_r - Q_u - (V_l - V_y) \quad (7)$$

式中: q_r 为河道天然来水流量, m^3/s ; Q_r 为河道天然来水洪量, $10^4 m^3$; V_l 为当日沉陷区蓄水量, $10^4 m^3$; V_y 为上一日沉陷区蓄水量, $10^4 m^3$; Q_u 为沉陷区当日用水量, $10^4 m^3$; Q_{mu} 为沉陷区当日最大用水量, $10^4 m^3$; V_{\min} 为沉陷区死库容量, $10^4 m^3$; V_{\max} 为沉陷区最大库容量, $10^4 m^3$; q_f 为河道防洪汛限水位对应天然来水流量, m^3/s ; Q_f 为河道防洪汛限水位对应天然来水洪量, $10^4 m^3$; Q_{re} 为河道下泄量, $10^4 m^3$; Q_o 为沉陷区下泄量, $10^4 m^3$ 。

通过编制的“采煤沉陷区蓄滞洪预测模型”可以将经过沉陷区调蓄后的不同频率下的洪水过程更加快捷、直观地展现出来,实现从“基础数据-模型建立-软件模拟”全过程智能化^[24](图4)。



图4 程序计算示意图

4 模型验证与参数率定

(1) 模型验证区域。本文研究的沉陷区蓄滞洪预测模型验证区域位于淮北市临涣工业园内,东经

$116^{\circ}77' \sim 116^{\circ}80'$, 北纬 $33^{\circ}92' \sim 33^{\circ}95'$ 区域内。该区域内有安徽省第二大采煤沉陷区,临海童湖采煤沉陷区。该区域沉陷区已经过多年治理,相关水利配套设施建设完备,便于本文沉陷区预测模型的验证和参数的率定。

(2) 模型验证和参数率定控制性工程。临海童湖采煤沉陷区由临涣沉陷区、海孜沉陷区、童亭采煤沉陷区组成。范围内有浍河临涣闸、香顺沟闸、孟沟闸等水利工程。本文模型率定控制性工程采用浍河临涣闸。

(3) 率定验证内容。河道天然来水量、当日沉陷区蓄水量、上一日沉陷区蓄水量、沉陷区当日用水量、沉陷区当日最大用水量、沉陷区死库容、沉陷区最大库容、河道防洪汛限水位对应天然来水量、河道下泄量。

(4) 率定期与模型验证结果。率定期选择2007年,当年浍河临涣闸出现20年一遇的洪水。将验证区域内洪水经过临涣闸调蓄前后河道下泄量变化情况与模型预测模拟沉陷区蓄滞洪情况进行比较验证(表4)。

从表4可以看出预测模型的误差率为2.64%,符合建立要求,参数率定的结果也可以使用,因此模型建立可靠可行。

通过率定和验证后的预测模型,将朱芦采煤沉陷区在不同沉陷情景下对不同频率洪水的蓄滞洪效果模拟出来(图5~8)。从图5~8中可以看出,5年一遇的洪水过程峰值较高但是单次洪峰持续时间短;10年一遇的洪水过程峰值最高,且较5年一遇洪水过程单次洪峰持续时间要长;20年一遇的洪水过程峰值也较高、洪峰出现次数多过程多且单次洪

峰时间持续时间较长;50 年一遇的洪水过程峰值较高、洪峰出现次数最多且密集,说明洪峰过程迅猛,危害性最大。

此外,从图 5~8,表 5、6 中可以看出,朱芦采煤沉陷区对不同频率洪水均有一定的蓄洪削峰作用。沉陷区在 2030 年对 10 年一遇洪水削峰作用最为明

显,可达到 41.4%。

表 4 2007 年模型参数的率定与预测验证结果 m^3/s

率定期 实际流量	临涣闸 调控前流量	预测模型流量 验证结果	误差率/ %
205	143.8	142.4	2.64

表 5 不同调蓄情景下沉陷区削峰能力表

不同调蓄情景		5 年一遇(1973 年)	10 年一遇(1996 年)	20 年一遇(2008 年)	50 年一遇(2003 年)
沉陷区调蓄前流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$		442	545	526	470
沉陷区调蓄后 流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$	2015 年沉陷情景	423.3	515.6	464.6	470.0
	2020 年沉陷情景	414.9	514.5	463.5	466.5
	2030 年沉陷情景	398.9	319.2	368.9	463.9
削减效果/%	2015 年沉陷情景	4.2	5.4	11.7	
	2020 年沉陷情景	6.1	5.6	11.9	0.7
	2030 年沉陷情景	9.8	41.4	29.9	1.3

表 6 不同沉陷情景下沉陷区蓄洪能力表

年份	5 年一遇			10 年一遇			20 年一遇			50 年一遇		
	无调蓄	有调蓄	蓄滞水量	无调蓄	有调蓄	蓄滞水量	无调蓄	有调蓄	蓄滞水量	无调蓄	有调蓄	蓄滞水量
2015	3.53	3.12	0.41	3.53	3.32	0.21	4.71	4.27	0.44	6.26	5.92	0.34
2020	3.53	2.99	0.54	3.53	3.18	0.35	4.71	4.12	0.59	6.26	5.87	0.39
2030	3.53	2.59	0.94	3.53	2.78	0.75	4.71	3.69	1.02	6.26	5.74	0.52

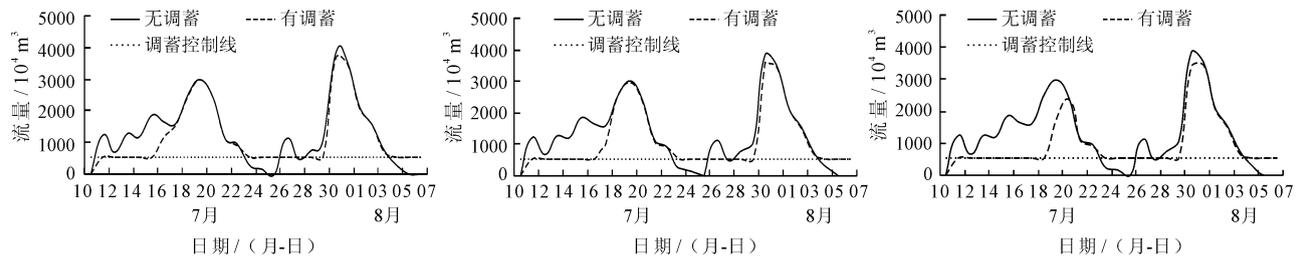


图 5 1973 年不同频率下朱芦沉陷区对宿县闸 5 年一遇洪水调节过程

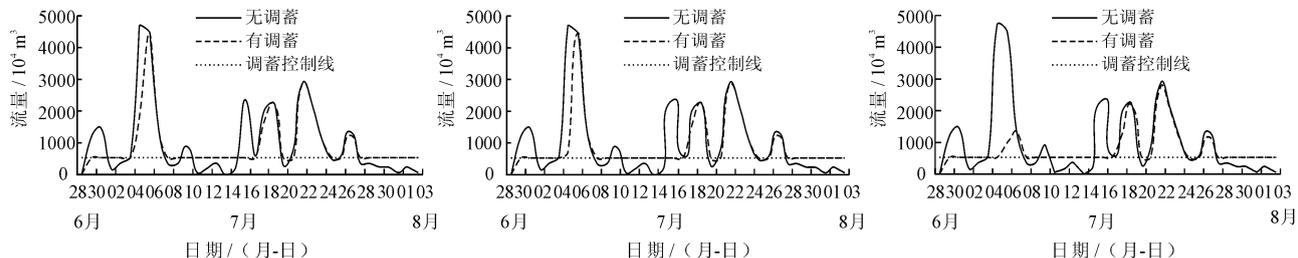


图 6 1996 年不同频率下朱芦沉陷区对宿县闸 10 年一遇洪水调节过程

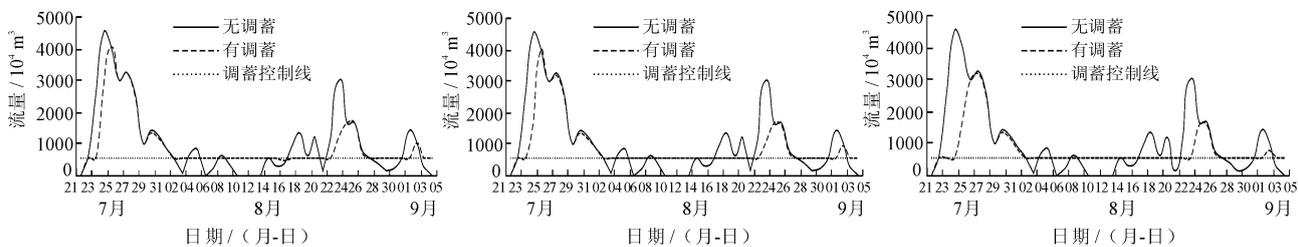


图 7 2008 年不同频率下朱芦沉陷区对宿县闸 20 年一遇洪水调节过程

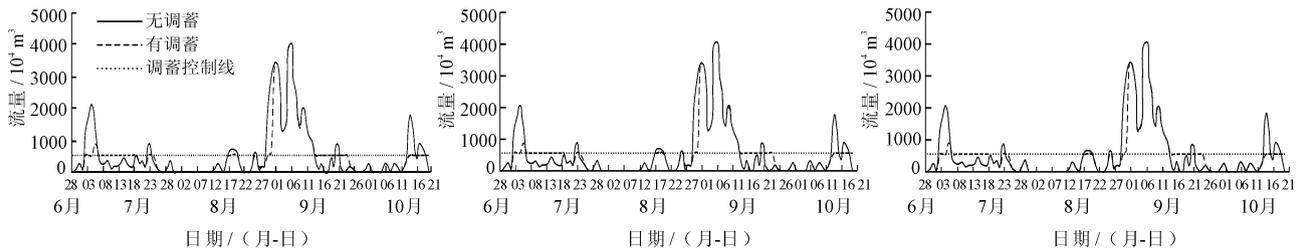


图8 2003年不同频率下朱芦沉陷区对宿县闸50年一遇洪水调节过程

5 结论

通过尝试建立采煤沉陷区蓄滞洪数学预测模型,并将模型运用于淮北临涣采煤沉陷区进行参数率定和模型验证,验证合理后用该模型模拟了朱芦采煤沉陷区在3种沉陷情景下,对不同频率洪水过程的蓄洪削峰效果。结果显示:朱芦采煤沉陷区在2015、2020、2030 3种沉陷情景下对5、10、20、50年一遇的洪峰削减量分别为4.2%、5.4%、11.7%、0%、6.1%、5.6%、11.9%、0.7%、9.8%、41.4%、29.9%、1.3%。

可以得出以下结论:

(1)在蓄洪能力方面,2030年沉陷情景下,朱芦采煤沉陷区对10年一遇洪水的蓄洪削峰效果最好,而且随着沉陷区库容的逐渐增加,到2030年,朱芦采煤沉陷区对50年一遇的较大洪水也将有一定的拦蓄能力;

(2)朱芦采煤沉陷区在汛期对洪水的拦蓄以及在非汛期对雨洪等非常规水资源的综合利用实现了淮河下游防洪控制工程科学调度、联调联试、综合管理又一新模式的尝试;

(3)通过预测模型建立以及程序编制,实现采煤沉陷区蓄洪削峰效果定量化展现及相应成果的输出。

参考文献:

[1] 徐良骥,严家平,高永梅. 安徽两淮矿区地质环境治理技术[J]. 煤田地质与勘探,2007,35(6):37-39.

[2] 徐良骥,严家平,高永梅. 淮南矿区塌陷水域环境效应[J]. 煤炭学报,2008,33(4):419-422.

[3] 张辉,徐良骥,严家平,等. 淮南矿区塌陷水域水质理化特性分析[J]. 煤炭工程,2008(3):73-75.

[4] 胡云虎,高良敏. 淮南老鳖塘与刘岗塘水体的重金属污染研究[J]. 淮南师范学院学报,2009,11(57):100-102.

[5] 刘劲松,严家平,徐良骥. 淮南矿区不同塌陷年龄积水区环境效应分析[J]. 环境科学与技术,2009,32(9):140-143.

[6] 童柳华,严家平,徐良骥,等. 淮南潘集矿区水系分布特点及其恢复治理初探[J]. 煤炭科学技术,2009,37(9):110-112.

[7] 丁瑶. GIS在采煤沉陷区生态价值评价中的应用[J].

地理空间信息,2012,10(1):76-78.

[8] 王振龙,章启兵,李瑞. 采煤沉陷区雨洪利用与生态修复技术研究[J]. 自然资源学报,2009,24(7):1155-1162.

[9] 许士国,刘佳,张树军. 采煤沉陷区水资源综合利用研究[J]. 东北水利水电,2010,28(8):29-31.

[10] 张树军,许士国,高尧,等. 淮北市采煤沉陷区非常规水资源开发利用研究[J]. 水电能源科学,2010,28(7):27-30+117.

[11] 李金明,周祖昊,严子奇. 淮南煤矿采煤沉陷区蓄洪除涝初探[J]. 水利水电技术,2013,44(2):20-23.

[12] 李金明. 淮南中游采煤沉陷区防洪除涝作用研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院. 2013.

[13] 邱汉周,金晓玲,胡希军. 潘集采煤塌陷区的分区规划与生态保护[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(12):75-79.

[14] 林宾,王小勇,何胜勇. 安徽省淮南市大通煤矿地藤塌陷稳定性评价[J]. 安徽地质,2012,22(1):48-53.

[15] 陈小凤,章启兵,王振龙. 采煤沉陷区水资源综合利用研究与水生态修复方案[J]. 中国农村水利水电,2014(2):6-8+12.

[16] 刘佳. 采煤沉陷区水资源综合利用模式研究[D]. 大连:大连理工大学. 2010.

[17] 徐翀,陆垂裕,陆春辉,3等. 淮南采煤沉陷区水资源开发利用关键技术[J]. 中国水能及电气化,2013(8):52-57.

[18] 张秋霞,王芳,陈敏建. 淮北市采煤沉陷区湿地水文过程演变分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2012,10(1):48-52.

[19] 刘云. 蓄滞洪区洪水调度优化和风险分析[D]. 武汉:武汉大学,2005.

[20] 余启辉,要威,宁磊. 长江中下游蓄滞洪区分类调整研究[J]. 人民长江,2013,44(10):48-51.

[21] 陈良柱. 长江中游蓄滞洪区分洪运用方案研究[J]. 水利水电快报,2008,29(8):11-14.

[22] 魏凯,梁忠民,王军. 基于MIKE21的濠津蓄滞洪区洪水演算模拟[J]. 南水北调与水利科技,2013,11(6):16-19.

[23] 曲兴辉. 滞洪型平原水库的洪水资源调控[J]. 东北水利水电,2005(3):27-28.

[24] 吴淑娟,董少春,尹宏伟,等. 基于Google Earth API的采煤沉陷区三维WebGIS平台设计与实现[J]. 实验室研究与探索,2015,34(3):101-107.