

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2017.0043

WEN Lei, LIU Changjun, YU Congrong, et al. Development of hydrological model considering the coal mined-out area special underlying surface and its application in small basins of Shanxi Province[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(2): 375-383. [文磊, 刘昌军, 庾从蓉, 等. 构建考虑煤矿采空区特殊下垫面的水文模型并在山西省小流域应用[J]. 冰川冻土, 2017, 39(2): 375-383.]

构建考虑煤矿采空区特殊下垫面的水文模型 并在山西省小流域应用

文 磊¹, 刘昌军², 庾从蓉^{1*}, 周 剑³, 张顺福²

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038;
3. 中国科学院 西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 随着中国经济的快速发展, 能源需求的增加, 作为中国最主要的煤矿开采省份, 山西省的煤矿开采量也一直在增加。但长期以来不合理和不科学的煤层开采, 导致全省许多地区出现了煤矿采空区和伴生的地表裂隙。同时山西省内许多流域观测资料显示河道径流明显减少, 水库存储量下降。认识煤矿开采, 这一重要人类活动对水文过程影响, 并在此基础上发展考虑煤矿采空区特殊下垫面的水文模型意义重大。收集山西省几个典型小流域的煤炭开采、遥感、水文资料, 经过调查和分析发现煤炭采空区引起的裂隙和塌陷在山坡上会增加地表优先流, 在河道上会导致明显渗漏现象。基于以上对煤炭开采对水文过程影响的认识, 发展了考虑煤矿采空区特殊下垫面的水文模型, 并在山西芦庄小流域进行了模型验证与应用研究。此研究方法对认识人类活动可能引起水文过程的变化有一定的借鉴意义, 发展的模型也可以推广到具有类似水文过程的地区, 对由于不合理的煤炭开采受到影响的流域进行水文分析和预报。

关键词: 山西省; 煤矿开采; 水文过程; 人类活动; 水文模型

中图分类号: P334⁺.92 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2017)02-0375-09

0 引言

山西省煤炭资源存贮丰富, 含煤地层面积约占全省总面积的 40%, 已查明保有煤炭储量 2 694.96 亿吨, 无论是探明储量, 还是开采量均属全国首位。从 1949 年到 2015 年, 山西省共开采煤炭 140 多亿吨, 保证了中国的经济发展的能源需求。由于长期以来高强度、不科学的煤炭开采, 山西全省范围内已形成 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 煤矿采空区, 占全省总面积的 $1/8$ ^[1]。粗放式的煤矿开采, 不仅造成煤矿采空区大面积发生, 而且裂隙带和地面沉陷范围也随之扩大(图 1)。同时从 20 世纪 90 年代开始, 陆续在大同十里河, 怀仁小峪河, 朔州七里河, 阳泉桃河, 孝义兑镇河, 左权清漳河, 晋城长河等流域出现河

川径流逐年减少、地下水或泉水流量下降或断流、水库存储量下降的现象。煤矿能源的开采已经在一定程度上改变了山西省的流域水文过程, 并可能加剧山西省地表水资料的短缺^[2-3]。

水文模型是水文科学研究的重要工具, 已被广泛应用于水资源管理与调配、城市防洪、山区洪水预警预报, 气候变化等等问题。未来的水文模型发展趋势主要集中在流域尺度的水文过程及相关过程的耦合(比如生态, 经济)、考虑人类活动和气候变化的水文过程模拟、社会经济与水文模型的耦合、遥感与水文模型的深度耦合、机器学习和深度学习技术在水文过程模拟中的应用等方面^[4-14]。山西煤矿采空区是在流域尺度的上显著影响了自然条件下的水循环过程的人类活动。研究其对水文过程的

收稿日期: 2017-01-06; 修订日期: 2017-03-05

基金项目: 山西省煤矿采空区特殊下垫面的下渗机制研究及采空区产汇流成果应用项目(JZ0203A422015); 中央高校科研基金项目(B14020167); 基于地貌水文响应单元的时空变元混合产流模型研究与示范应用(SHZH-IWHR-73)资助

作者简介: 文磊(1992-), 男, 贵州遵义人, 2014 年在河海大学获学士学位, 现为河海大学在读硕士研究生, 从事水文水资源研究。

E-mail: wenlei1225@163.com

* 通讯作者: 庾从蓉, E-mail: cryu@hhu.edu.cn.



图1 山西煤炭采空导致地面裂缝和沉降

Fig. 1 Ground fissures and subsidence caused by coal mined-out area in Shanxi

影响机理,并纳入到水文模型中,对评估不合理煤炭开采的水文影响以及山洪的预报分析,将具有重大意义。

本研究在山西省选取芦庄小流域作为典型研究流域,基于长期观测数据研究煤矿开采对山区小流域地表产流、河道汇流、采空区蓄排水等自然水文过程的影响,发展基于煤矿采空区特殊下垫面下渗、产流、地下水库蓄滞和河道渗流的计算方法,将人类活动对自然水文过程的影响引入到传统的水文模型中,创建适用于煤炭采空区特殊下垫面的水文模型。

1 研究区概况

芦庄流域位于山西省原平市(图2),流域面积739.8 km²。地处华北黄土高原,在大陆性季风气候总的前提下,气候兼具山地性气候的特征,表现为春季少雨干旱多风沙,夏季高温多暴雨,东南风带来的暖湿气流是形成降水的主要水汽来源,秋季温和晴朗,冬季漫长干寒,西北风盛行,降水少;山地气候垂直变化十分明显。

芦庄流域有7个气象站和1个水文站(图2)。1974-2008年的年径流以及降水数据序列(图3)显示,1995年以前,年降水和年径流几乎呈正相关的变化,1995年之后,在降水略有增加的趋势下,平均年径流、最大、最小年径流量均在逐年减小。1974-1995年年平均降水量为417.7 mm,年平均

流量为1.54 m³·s⁻¹,最大年平均流量为2.18 m³·s⁻¹(1995年),最小年平均流量为1.14 m³·s⁻¹(1993年);1996-2008年年平均降水量为440.7 mm,年平均流量为1.18 m³·s⁻¹,最大年平均流量为2.14 m³·s⁻¹(1996年),最小年平均流量为0.81 m³·s⁻¹(2006年)。

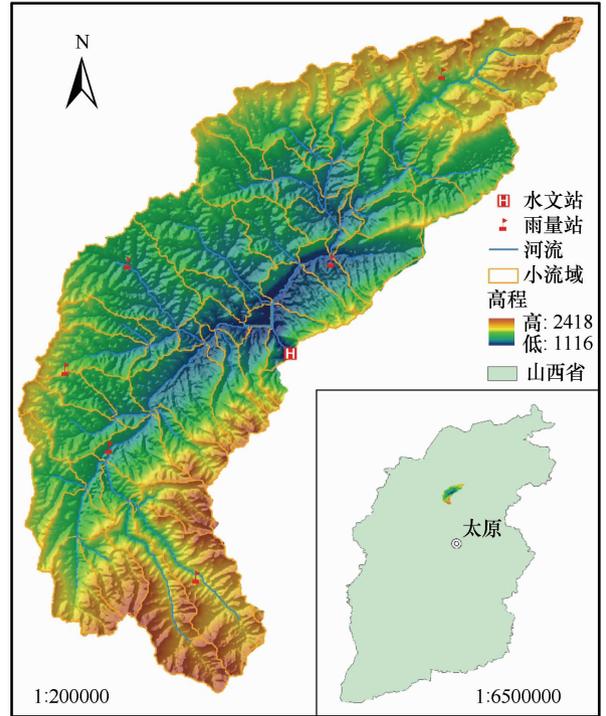


图2 芦庄流域地理位置

Fig. 2 The sketch map of Luzhuang basin in Shanxi

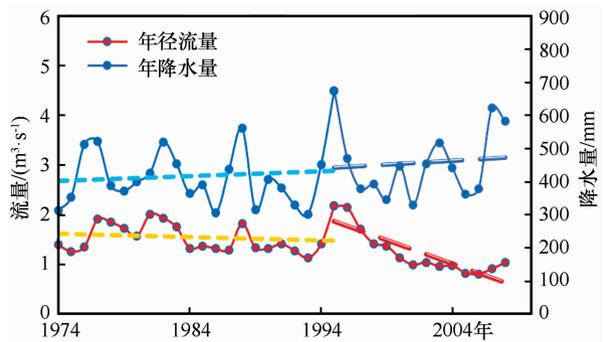


图3 芦庄流域年降水量、年径流量关系曲线

Fig. 3 Annual rainfall-runoff curve in Luzhuang basin

同时,在山西省煤炭地质水文勘察研究院的帮助下,本研究收集了芦庄流域不同时期的煤矿采空区分布图和大小。芦庄流域有六个煤矿开采区,分别是车道沟、焦家寨、刘家梁、六亩地井田、石豹沟和西梁煤矿,其空间分布如图4所示。研究发现采空区从1990年开始出现,并且采空区面积呈逐年增加的趋势。经过与采空区出现之后降雨、径流

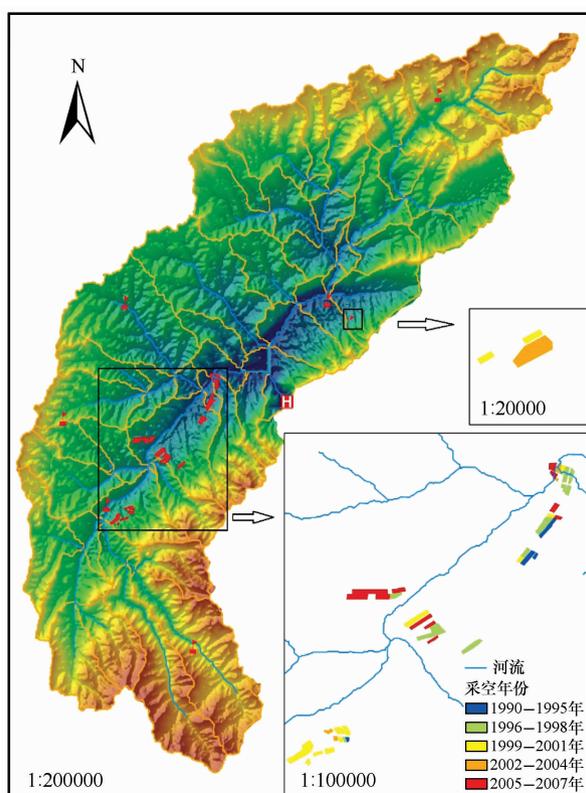


图4 芦庄流域采空区分布

Fig. 4 Distribution map of the coal mined-out area in Luzhuang basin

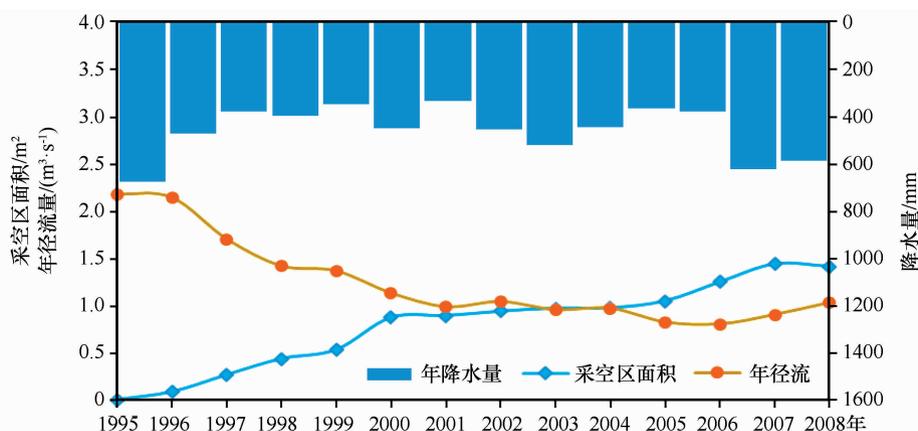


图5 芦庄流域煤矿采空区面积-年径流量-年降水量关系

Fig. 5 The relationship between the annual runoff, annual rainfall and coal mined-out area in Luzhuang basin

在水文模型中引入采空区对降雨径流形成控制因素以及机理。

2.1 坡面产汇流以优先流形式快速下渗补给地下水

传统的三水源水桶模型, 包括地表产流(q_d)、壤中流(q_r)和基流($q_{g,s}$), 在刻画自然物理过程的水库模型的基础上, 引入一个控制系数 $C_{R,d}$ (图7), 表示坡面煤炭采空区产汇流以优先流通道形式快速下渗补给基流的强弱。 $C_{R,d}$ 取值范围在 0 ~ 1

的相关分析, 发现, 1995 - 2008 年期间的年降水量变化不大, 但年径流量和采空区面积呈显著的负相关关系($y = -0.9119x + 1.9846$, $R^2 = 0.8428$), 说明年径流量的减少, 和采空区存在重要的关系(图5)。

2 煤矿采空区特殊下垫面的水文模型

山西的煤矿开采通常距地表有一定的距离, 但随着煤矿开采规模扩大, 导致岩层移动形成地表裂隙发育或直接造成地表塌陷, 增加地表水和地下水的联系, 使得自然条件下的地表产汇流发生改变。当裂隙或者塌陷出现在山坡, 坡面产汇流以优先流通道的形式快速下渗补给地下水; 当裂隙或者塌陷出现在河道, 河道汇流以渗漏的形式快速补排地下水(图6)。总体来看, 煤炭采空区对水文过程有蓄滞作用。目前本概念模型, 从水量平衡角度来看, 前提假设条件为进入到地表以及河道裂隙的水量将滞留与采空区或直接补给地下水。

传统的模型对实际的降雨径流形成过程的描述分为四个部分, 分别为坡面产流、壤中流、坡面汇流及河道汇流。本文考虑到研究区域煤矿采空区下垫面的特殊情况, 对传统的三水源模型进行改进,

之间, 取值以子水文计算单元采空区裂隙和塌陷的发育程度决定。

2.2 河道汇流以渗漏的形式快速补排地下水

当煤矿采空区位于河道附近或者河道下方时, 考虑到河道周围的地质情况, 此时采空区的存在, 可能会对河道流量有着削减作用, 极端地若河道与采空区之间有透水通道, 则河道水量将可直接渗漏至煤矿采空区, 导致河道水量减少, 从而影响河道

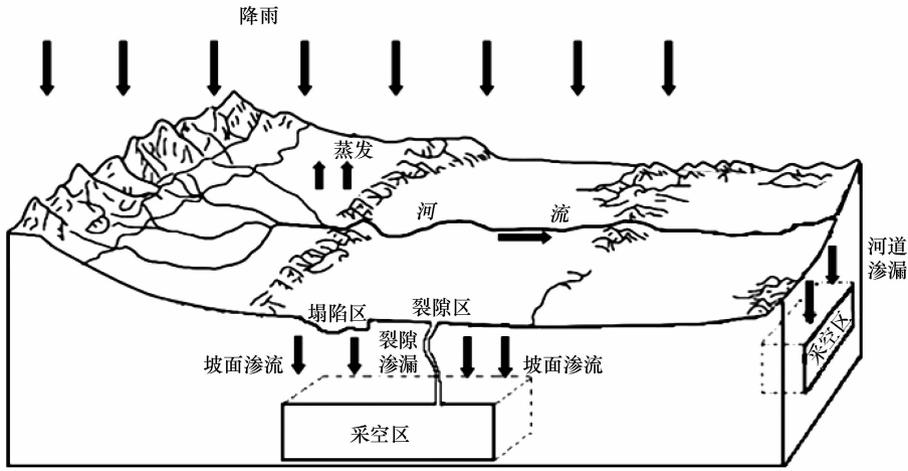


图 6 采空区对水文过程影响

Fig. 6 Impact of coal mined-out area on hydrological process

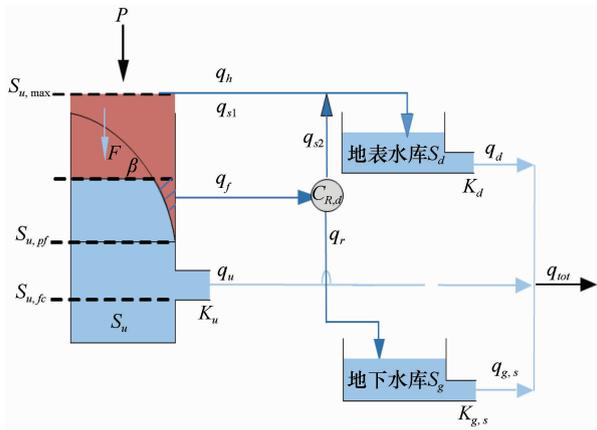


图 7 采空区坡面产汇流计算示意

Fig. 7 Calculation sketch of runoff yield and concentration on coal mined out area

汇流。对于一个特定的流域，流域的采空区情况在短时间内假定是不变的，那么可以假定河道采空区渗漏量与河道流量呈线性关系。

$$S_i = kQ_i t_i \quad (1)$$

式中： t_i 为计算时间步长(T)； S_i 为 t_i 时段内渗漏到采空区的水量(L³)； k 为渗漏系数(-)； Q_i 为采空区所在位置的上游来水流量(L³·T⁻¹)。

3 模型应用

分两种方案构建以子流域为计算单元的分布式水文模型。

方案一，构建不考虑采空区影响的水文模型，三水源水桶模型计算产流^[15-16]；SCS 单位线法计

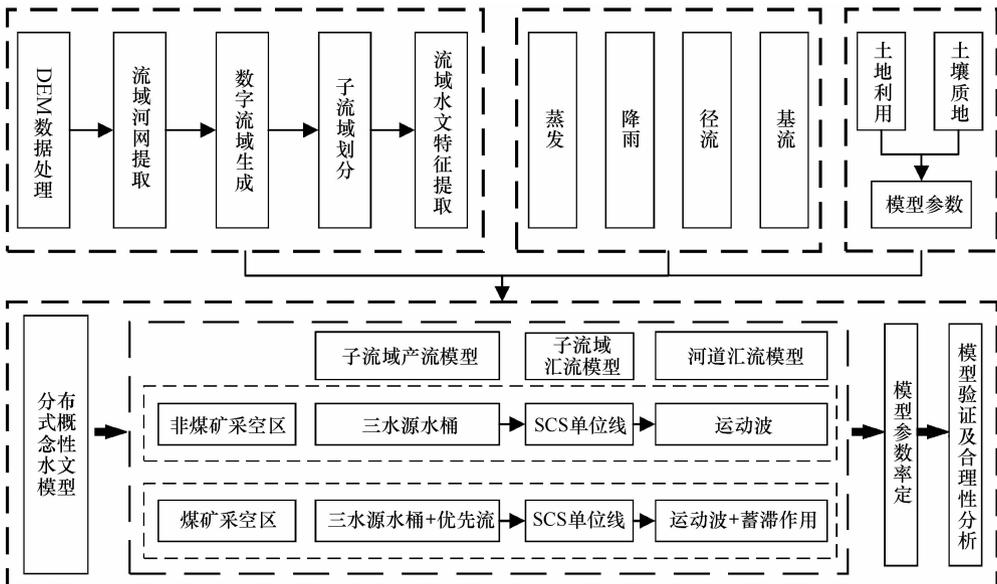


图 8 技术流程图

Fig. 8 Technical flow chart

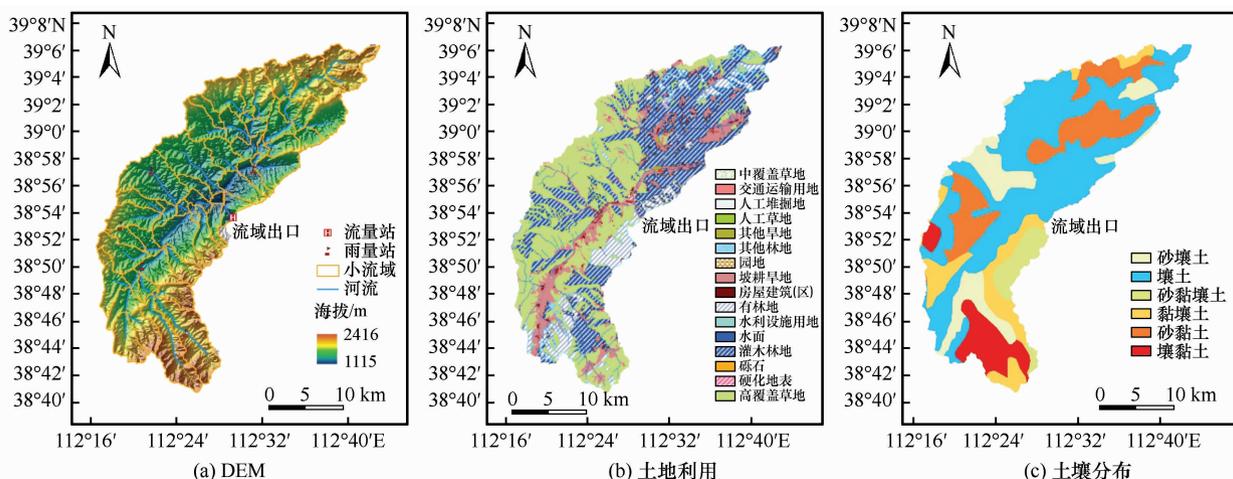


图9 芦庄流域 DEM、土地利用和土壤分布信息

Fig.9 DEM, land use and soil texture information of Luzhuang basin

算坡面汇流^[17]; 运动波计算河道汇流^[18-19]。

方案二, 构建考虑采空区影响的水文模型, 改进的三水源水桶模型计算产流, SCS 单位线法计算坡面汇流; 考虑河道渗漏作用的运动波计算河道汇流。

模型计算的技术流程如图 8 所示, 基于 DEM 数据划分子流域并提取流域特征; 根据流域土地利用和土壤质地数据提取模型计算的初始参数; 收集气温、降雨、径流数据, 准备模型的输入^[8,14]。

首先在芦庄流域应用方案一不考虑采空区的影响水文模型。以 1994 年前(采空区出现前)的极端降水径流过程进行模型参数率定, 并计算 1994 年后的极端降水径流过程; 其次对于 1994 年后的极端降水径流过程采用方案二考虑采空区的影响水文模型计算。最后开展模型合理性分析。

3.1 基础资料整理

芦庄流域共有 7 个雨量站和 1 个水文站。水文站系列资料和雨量站点系列资料均为 1966 - 2008 年。降雨和流量数据由山西省水文局提供, 气温资料从中国气象网站下载, 煤矿采空区资料由山西省煤矿总局提供。

芦庄流域 DEM 数据是从地理空间数据云网站下载 30 m 精度的 DEM; 芦庄小流域的土地利用通过我国高分二号光学信息反演获得; 芦庄流域土壤分布通过现场土壤探勘调查结合土壤普查数据获得(图 9)。

3.2 模型验证

3.2.1 无采空区影响

根据 DEM 资料, 将芦庄流域划分为 55 个子流

域, 并通过土地利用和土壤质地资料, 提取每个子流域的初始参数, 利用不考虑采空区的影响水文模型对山西省芦庄流域的洪水过程进行模拟。

1973 - 1994 年期间, 芦庄流域没有煤矿采空区出现, 对此期间选取 6 场极端洪水事件, 其中前 4 场采用 SCEM-UA 算法进行参数率定^[17], 后两场用于验证。6 场极端降水过程模拟结果均很理想(图 10)。如表 1 所示, 6 场洪水模拟径流深与实测径流深的相对误差百分比绝对值都 < 15%, 模拟洪峰流量与实测洪峰流量相对误差百分比也都 < 15%, 洪峰出现时间差均在 1 h 以内, 确定性系数均 > 0.75, 由此可以说明, 产流采用三水源水桶模型^[15-16], 坡面汇流采用 SCS 单位线^[17], 河道汇流采用运动波构建的不考虑采空区的影响分布式水文模型, 在山西省芦庄流域的适用性很好, 对山西省芦庄流域的极端降水径流过程模拟精度较高。

3.2.2 采空区影响

对山西省芦庄流域 1995 年以后的洪水分别用方案一和方案二进行模拟, 结果如图 11 所示, 在不考虑采空区的影响下, 模拟的洪峰较实测洪峰偏大, 且峰现时间均提前。表 2 对比了模型中考虑采空区和不考虑采空区影响的计算值和实测值。模型中考虑了采空区的影响后, 模拟洪水过程与实测洪水过程更加吻合。洪峰流量与洪峰出现时间的模拟误差有了显著提高。模型考虑采空区的影响后, 模拟的径流深和实测径流深相对误差百分比的绝对值均 < 20%, 模拟洪峰流量与实测洪峰流量相对误差百分比绝对值也 < 20%, 模拟洪峰出现时间也更加接近实测洪峰出现时间, 峰现时间差均 < 1 h。模

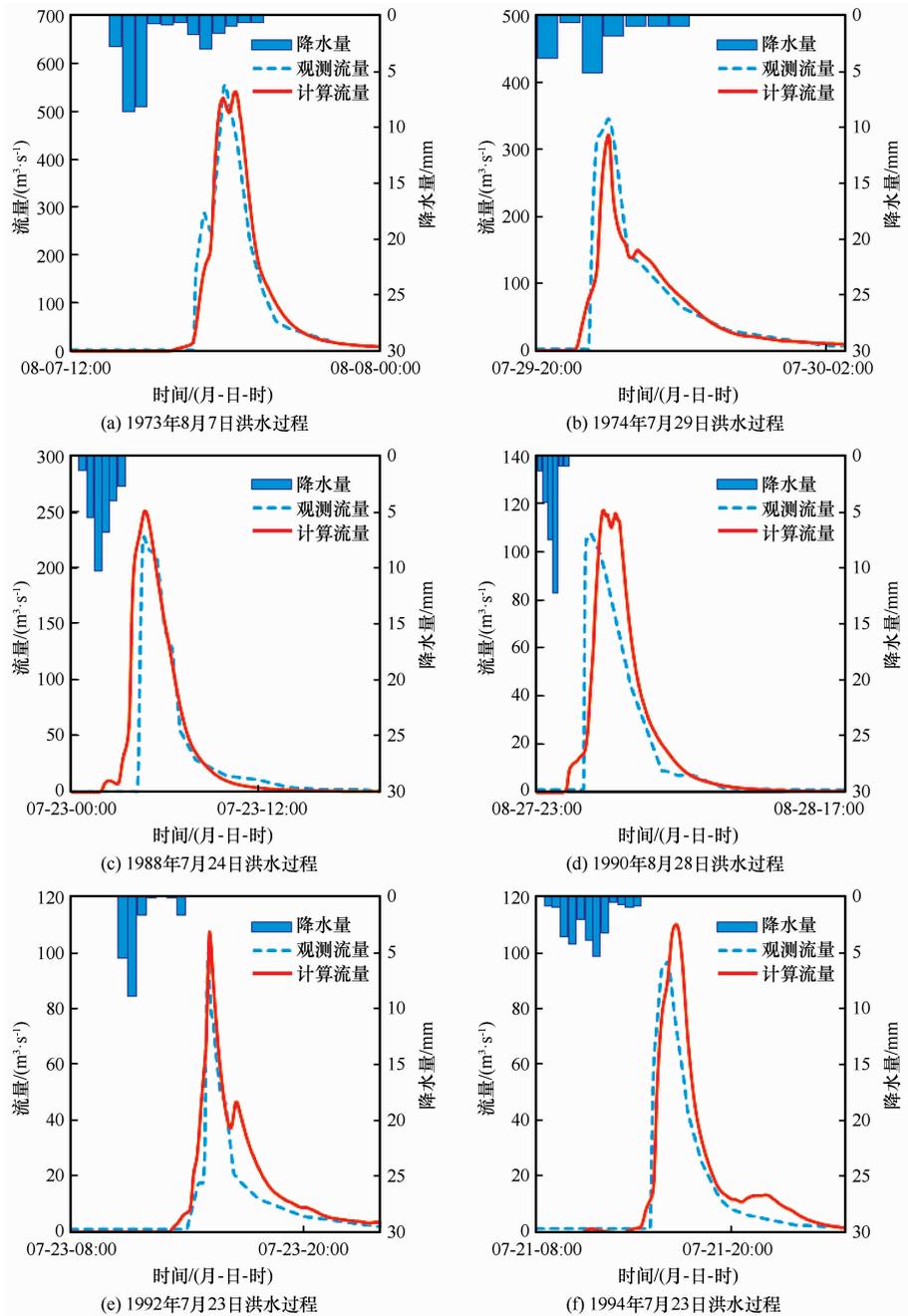


图 10 山西省芦庄流域 1973 - 1994 年 6 场洪水模拟结果

Fig. 10 Observation and simulation results of 6 flood events in 1973 - 1994 in Luzhuang basin, Shanxi

表 1 1973 - 1994 年 6 场洪水模拟结果统计表

Table 1 Statistical simulation results of 6 flood events in 1973 - 1994

洪水场次 /yyyy-mm-dd	降雨量 /mm	实测径流深 /mm	计算径流深 /mm	径流深相对误差 /%	实测洪峰流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	模拟洪峰流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	洪峰相对误差 /%	峰现时差 /h	确定性系数
1973-08-07	30.6	4.96	4.96	0.00	556.6	540.7	-2.86	-0.42	0.900
1974-07-29	14.4	2.05	1.91	-6.83	346.0	320.0	-7.51	0.08	0.883
1988-07-24	31.1	2.88	3.00	4.17	227.7	250.4	9.97	-0.08	0.784
1990-08-28	27.3	1.65	1.70	3.03	107.0	117.3	9.63	-0.83	0.800
1992-07-23	17.8	1.01	1.07	5.94	100.0	106.9	6.90	-0.17	0.827
1994-07-23	27.9	1.29	1.46	13.18	96.4	109.8	13.90	-0.50	0.784

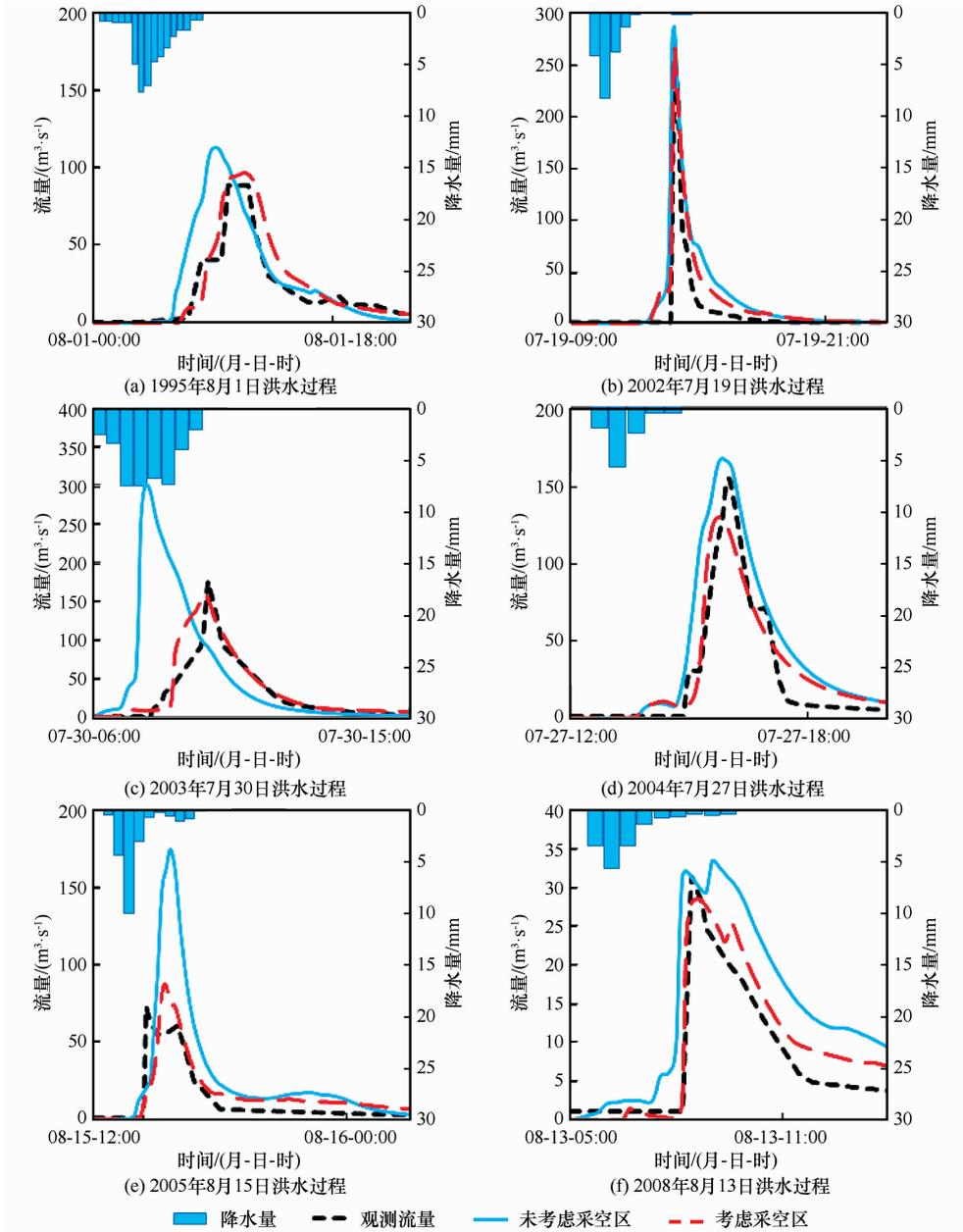


图 11 山西省芦庄流域 1995 - 2008 年 6 场洪水模拟结果

Fig. 11 Observation and simulation results of 6 flood events in 1995 - 2008 in Luzhuang basin, Shanxi

表 2 1995 - 2008 年 6 场洪水模拟结果统计表

Table 2 Statistical simulation results of 6 flood events in 1995 - 2008

洪水场次 /yyyy-mm-dd	实测值			不考虑采空区计算值						考虑采空区计算值					
	降雨量 /mm	径流深 /mm	洪峰流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	计算径 流深 /mm	径流深 相对误 差/%	模拟洪 峰流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	洪峰相 对误差 /%	峰现 时差 /h	确定性 系数	计算径 流深 /mm	径流深 相对误 差/%	模拟洪 峰流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	洪峰相 对误差 /%	峰现 时差 /h	确定性 系数
1995-08-01	45.3	2.38	88.0	3.18	33.6	112.1	27.4	1	0.250	2.78	16.8	96.1	9.2	0	0.815
2002-07-19	17.5	1.10	242.2	2.00	81.8	287.8	18.8	0	0.022	1.28	16.4	265.9	9.8	0	0.819
2003-07-30	41.8	1.66	175.0	2.99	80.1	299.8	71.3	2.17	-3.580	1.92	15.7	160.0	-8.6	1.00	0.799
2004-07-27	11.3	1.04	153.8	1.80	73.1	167.2	8.7	0.25	0.286	1.20	15.4	129.3	-15.9	0.33	0.899
2005-08-15	22.5	1.10	71.5	1.98	80.0	174.2	143.6	-1.17	-1.728	1.22	10.9	82.5	15.4	-1.00	0.791
2008-08-13	17.2	0.46	31.2	0.77	67.4	32.1	2.9	1	0.154	0.42	-8.7	28.5	-8.7	-0.17	0.873

型考虑采空区的影响后,6场极端降水径流事件的确定系数均 >0.75 。考虑采空区的影响水文模型对1995年后的极端降水径流模拟更合理,能够较好地反应采空区对水文过程的影响。

4 结论

山西省煤炭开采,已经逐渐对自然条件下的流域地表产汇流过程造成影响,煤炭开采对山西水文过程的长远影响,仍需要加以关注。

本文考虑到煤矿采空区下垫面的特殊情况,通过在传统的水文模型上增加考虑采空区的人为活动控制因素的方法,将人类活动对自然水文过程的影响引入到传统的水文模型中,创建适用于煤炭采空区特殊下垫面的水文模型,并在山西芦庄流域开展验证与应用研究,结果显示模型通过引入人类活动对水文过程的影响,明显提高了传统水文模型模拟极端降水径流过程的模拟精度。同时,发展模型的思路和方法,对其他人类活动引起水文过程的影响研究也有一定的借鉴意义;发展的模型可以用于煤炭开采影响流域的水文分析和预报。

参考文献 (References):

- [1] Wang Fang. Research on the influence of Shanxi coal mining on water resources [J]. Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion, 2015(19): 50-51. [王芳. 山西煤炭开采对水资源的影响研究[J]. 河南水利与南水北调, 2015(19): 50-51.]
- [2] Kong Taisen, Zhao Songlin. Land destruction and treatment of coal mining area [J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Nature Science Edition), 1995, 15(3): 270-273. [孙泰森, 赵松林. 煤矿采空区的土地破坏及治理[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 1995, 15(3): 270-273.]
- [3] Li Tao, Wang Sujian, Deng Zengshe, et al. Water storage condition and hydrological process of shallow buried coal seam in Northern Shaanxi [C]. Academic Annual Meeting of Coal Society of Shaanxi Province, 2013. [李涛, 王苏健, 邓增社, 等. 陕北浅埋煤层采空区储水条件及水文过程[C]. 陕西省煤炭学会学术年会, 2013.]
- [4] Wang Zhonggen, Zheng Hongxing, Liu Changmin, et al. Research on distributed hydrological model and its application in the typical watershed of the Yellow River [J]. Science in China Series E Technological Sciences, 2004, 34(S1): 49-59. [王中根, 郑红星, 刘昌明, 等. 黄河典型流域分布式水文模型及应用研究[J]. 中国科学: D辑 技术科学, 2004, 34(S1): 49-59.]
- [5] Shi Jiaozhi, Chen Xiaohong. Situation in the research on watershed hydrologic models [J]. Journal of China Hydrology, 2006, 26(1): 18-23. [石教智, 陈晓宏. 流域水文模型研究进展[J]. 水文, 2006, 26(1): 18-23.]
- [6] Xiong Lihua, Guo Shenglian, Hu Caihong. Application and studies of TOPMODEL in runoff simulation on different watershed [J]. Journal of China Hydrology, 2002, 22(5): 5-8. [熊立华, 郭生练, 胡彩虹. TOPMODEL 在流域径流模拟中的应用研究[J]. 水文, 2002, 22(5): 5-8.]
- [7] Rui Xiaofang, Jiang Chengyu, Zhang Jincun. Development of watershed models [J]. Journal of China Hydrology, 2006, 26(3): 22-26. [芮孝芳, 蒋成煜, 张金存. 流域水文模型的发展[J]. 水文, 2006, 26(3): 22-26.]
- [8] Ren Liniang. A study on digital hydrological modeling [J]. Journal of Hohai university (Nature Sciences), 2000, 28(4): 1-7. [任立良. 流域数字水文模型研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2000, 28(4): 1-7.]
- [9] Rui Xiaofang, Huang Guoru. The present situation and future of distributed hydrological model [J]. Development of water conservancy and Hydropower Science and technology, 2004, 24(2): 55-58. [芮孝芳, 黄国如. 分布式水文模型的现状与未来[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(2): 55-58.]
- [10] Chen Rensheng, Kang Ersi, Yang Jianping, et al. Research review of hydrological modeling [J]. Journal of desert research, 2003, 23(3): 221-229. [陈仁升, 康尔泗, 杨建平, 等. 水文模型研究综述[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 221-229.]
- [11] Kang Ersi, Chen Guodong, Lan Yongchao, et al. Application of conceptual hydrological model in the runoff forecast of a mountainous watershed [J]. Advances in Earth Sciences, 2002, 17(1): 18-26. [康尔泗, 程国栋, 蓝永超, 等. 概念性水文模型在出山径流预报中的应用[J]. 地球科学进展, 2002, 17(1): 18-26.]
- [12] Liao Fuquan. HEC-HMS Building and application in flooding forecasting of Gongcheng River basin [D]. Nanning: Guangxi University, 2014. [廖富权. HEC-HMS 模型构建及其在恭城河流域洪水预报中的应用[D]. 南宁: 广西大学, 2014.]
- [13] Guo Niang, Tang Xuezhe, Kong Fanzhe. Studies on mountain flood warning system based on distributed hydrological model and its application [J]. China water resources, 2007(14): 38-41. [郭良, 唐学哲, 孔凡哲. 基于分布式水文模型的山洪灾害预警预报系统研究及应用[J]. 中国水利, 2007(14): 38-41.]
- [14] Wang Zhonggen, Liu Changming, Wu Xianfeng. A review of the studied on distributed hydrological model based on DEM [J]. Journal of natural resources, 2003, 18(2): 168-173. [王中根, 刘昌明, 吴险峰. 基于 DEM 的分布式水文模型研究综述[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 168-173.]
- [15] Jun Wang. Study on tank model test and soil-slope permeability characteristics of rainfall [D]. Chongqing: Chongqing University, 2014. [王俊. 降雨条件下水箱模型试验及边坡渗透特性分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.]
- [16] Wen Nie, Runqiu Huang, Yulong Chen, et al. Optimization of groundwater 1D multi-tank model based on physical experiments [J]. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 19: 8827-8841.
- [17] Li Li, Wang Jiahu, Hao Zhenchun, et al. Distributed application of SCS model to flood simulation in middle reaches of Yellow River [J]. Journal of Hohai University (Nature Sciences), 2012, 40(1): 104-108. [李丽, 王加虎, 郝振纯, 等. SCS 模型在黄河中游次洪模拟中的分布式应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(1): 104-108.]
- [18] Ye Aizhong, Xia Jun, Wang Gangsheng. Distributed kinematic wave confluence model based on dynamic wave [J]. Yellow River, 2006, 28(2): 26-28. [叶爱中, 夏军, 王钢胜. 基于动力网络的分布式运动波汇流模型[J]. 人民黄河, 2006, 28(2): 26-28.]
- [19] Gu Chao. Research and implementation of mountain flood warning in improved SCEM-UA algorithm and Xin'anjiang model

[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2014. [顾超. 改进 SCEM-UA 算法和新安江模

型在山洪预警中的研究与实现[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2014.].

Development of hydrological model considering the coal mined-out area special underlying surface and its application in small basins of Shanxi Province

WEN Lei¹, LIU Changjun², YU Congrong¹, ZHOU Jian³, ZHANG Shunfu²

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Along with the rapid economic development of China, and the increasing energy demand, the volume of coal mining in Shanxi Province, that is the most important coal mining area of China, is growing rapidly. Due to the longtime irrational and unscientific coal mining activity, coal mined-out area and associated surface fissure appeared in many areas of Shanxi Province. At the meantime, watershed hydrological observation data showed that the channeled runoff decreased obviously and the stored water volume in reservoirs declined as well. It is important and meaningful to develop a hydrological model considering the impact of the coal mined-out area special underlying surface, based on the knowledge of the impact of human activity as coal mining on hydrological process. This study collected the information of coal mining production, remote sensing and hydrological data in several typical small basin. After thorough investigation and analysis, it was found that the coal mined area could enhance the surface preferential flow in the overland flow through the associated fissure and collapse, as well as lead to obvious leakage in the river channels. Based on the knowledge of the impact of coal mined-out area on hydrological process, the study developed a hydrological model considering the coal-mining area special underlying surface, and carried out model verification and application research in Luzhuang basin in Shanxi Province. The approach used in this study has certain reference significance for research related to the human activity impact on hydrological process, and the developed model can be expanded to the hydrological analysis and prediction in areas with similar hydrological process which is significantly influenced by irrational coal mining activity.

Key words: Shanxi Province; coal mining; hydrological process; human activity; hydrological model

(本文编辑: 周成林)