



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.01.006

苑希民, 张建伟, 田福昌. 宁夏山洪灾害雨量预警值计算[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(1): 33-38, 48.
YUAN Xi min, ZHANG Jian wei, TIAN Fu chang. Calculation of early warning value of rainfall for torrential flood disasters in Ningxia[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(1): 33-38, 48. (in Chinese)

宁夏山洪灾害雨量预警值计算

苑希民, 张建伟, 田福昌

(天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 随着山洪灾害监测预警非工程措施建设和全国2013年-2015年度山洪灾害防治建设的推进, 宁夏全区防洪减灾综合能力得到了显著改善和全面提升。但现阶段尚没有科学、系统、定量的分析研究突发暴雨、洪水、积涝、滑坡、泥石流等山洪灾害预警指标, 突发性洪涝灾害的应急避灾、紧急处置和抢险救助仍旧十分困难。结合宁夏水系分布与防洪工程建设实际情况, 在参考已有临界雨量推求方法的基础上, 综合应用暴雨等值线和 $P-\dot{Q}$ 频率曲线表反推不同量级洪水对应的雨量值作为山洪灾害预警值。该方法简单易操作, 计算成果对宁夏防洪减灾工作具有重要意义。

关键词: 宁夏; 山洪灾害; 临界雨量; 暴雨等值线; $P-\dot{Q}$ 频率曲线表; 预警值

中图分类号: TV 877 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)01-0033-06

Calculation of early warning value of rainfall for torrential flood disasters in Ningxia

YUAN Xi min, ZHANG Jian wei, TIAN Fu chang

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: With the implementation of non engineering measures on flood monitoring and early warning and the nationwide flood disaster prevention construction from 2013 to 2015, the comprehensive ability of the entire Ningxia region in flood control and disaster reduction has significantly improved. But, currently there is no early warning index for scientific, systematic and quantitative analysis of flood disasters such as rainstorm, flood, water logging, landslides, and mudslides, making it difficult to conduct emergency disaster relief, emergency response and emergency rescue in sudden flood disasters. In light of the actual river distribution and flood control project construction in Ningxia, based on the existing methods of ascertaining critical rainfall, we used the rainstorm isoline and $P-\dot{Q}$ frequency curve table to estimate the rainfall value corresponding to different flood magnitudes, and used the value as the early warning value for flood disasters. This method is simple and easy to operate. The calculation results have important significance to flood prevention and disaster reduction in Ningxia.

Key words: Ningxia; torrential flood disaster; critical rainfall; rainstorm isoline; $P-\dot{Q}$ frequency curve table; early warning value

山洪灾害是指由于降雨在山丘区引发的洪水灾害及山洪诱发的泥石流、滑坡等对国民经济和人民生活财产造成损失的灾害^[1]。山洪灾害的形成是气候、地形地貌、降雨和下垫面条件等多种因

素综合作用的结果^[2], 其中降雨是最活跃、最主要的因素。临界雨量是目前山洪灾害预警预报的关键指标^[3-6], 是山洪灾害防治工作的中心内容。临界雨量是指一个流域或区域某一时间段内降雨量

收稿日期: 2016-04-07 修回日期: 2016-05-29 网络出版时间: 2017-01-03
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170103.2041.007.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51209158); 高等学校学科创新引智计划资助(B14012)

Fund: National Natural Science Foundation of China (51209158); Program of Introducing Talents of Discipline to Universities (B14012)

作者简介: 苑希民(1968-), 男, 江苏徐州人, 教授, 博士, 主要从事防洪减灾及水利信息化方面研究。E-mail: yxm@tju.edu.cn

通讯作者: 张建伟(1991-), 男, 山西朔州人, 主要从事防洪减灾方面研究。E-mail: jianwei_td@163.com

达到或超过某一量级和强度时,该流域或区域将发生山洪、泥石流、滑坡等山洪灾害,这时的降雨量或降雨强度就是该流域或区域的临界雨量。宁夏自然地理特殊,降雨集中,暴雨突发性强、历时短、起洪快,山洪灾害频繁发生。山洪灾害防治是宁夏防洪减灾工作的重点与难点,而临界雨量预警值的确定又是其薄弱环节,因此合理计算确定山洪灾害临界雨量对宁夏山洪灾害防治有着重要的意义。

近年来,国内外许多学者在推求临界雨量方面进行了探索,并取得了丰硕成果。在国内,由《国家防办山洪防御预案编制大纲》提出的基于统计归纳法的临界雨量在国内应用较为广泛,指导思想是利用历史资料进行统计分析得出该地区发生山洪的降雨临界条件,通过天气预报与降水实际情况,以临界雨量为依据,确定山洪发生的可能性^[7]。牛二伟^[8]基于产流模型和汇流模型对流域进行产汇流模拟分析,根据警戒流量,反推能产生相应洪水的雨量作为临界雨量;罗堂松^[9]等采用水位/流量反推法计算浙江省大塘镇的临界雨量;刘志雨^[10]等基于分布式流域水文模型考虑前期土壤饱和度,提出以动态临界雨量为指标的山洪预警预报方法;江锦红^[11]等从河道安全泄量出发,提出最小临界雨量与临界雨力的概念和计算方法,并以此构建暴雨临界曲线作为山洪预警的标准;赵然杭^[2]等基于单站临界雨量分析法和 P- ϕ 型频率分析法,研究了雨量预警指标确定方法;段生荣^[12]以黄河流域某支流为例,对比分析了灾害实例调查法、灾害降雨同频率法、产流分析法等各种方法的优缺点;谢会云^[13]等利用等流时线和 GIS 相结合,制作 GIS 专题图,实时展现了各等流时线上流量的大小,为预警决策提供了依据。在国外,山洪灾害研究开展较早,方法较为成熟,典型代表为美国国家气象局水文研究中心研发的山洪预警指南系统(Flash Flood Guidance, FFG)^[14-17]。其思路是以小流域上已发生的降雨量,通过水文模型计算分析,得到流域实时土壤湿度,并反推出流域出口断面洪峰流量要达到预先设定预警流量值所需的降雨量,这个降雨量称之为动态临界雨量值。当实时或预报降雨量达到该雨量值时,即发布山洪预警或警示。该方法分别被 Daniele Norbiato^[18]和 Georgakakos^[19]等应用于意大利东北部山区以及中部美洲地区;Efrat Morin^[20]等在干旱的北海

地区利用雷达测雨开展山洪预报预警研究。

以上所述有关国内外山洪灾害预警雨量计算方法适用角度各有不同,本文将根据宁夏地理特征及行政区划对全区进行山洪灾害典型区划分,在已有较为成熟的临界雨量计算方法基础上,采用简易实用的水文推算法推求雨量预警值,即运用 P- ϕ 频率曲线表,并结合宁夏暴雨等值线图求得已划定典型区的临界雨量值,为宁夏山洪灾害预报预警提供参考和技术支持。

1 宁夏概况及其山洪灾害特点

宁夏回族自治区位于中国西北部,东经 $104^{\circ}17' - 107^{\circ}39'$,北纬 $35^{\circ}14' - 39^{\circ}23'$;东西相距约 250 km,南北相距约 456 km,东、南部与陕西、甘肃为邻,西、北部与内蒙古自治区毗连。所辖银川市、石嘴山市、吴忠市、中卫市、固原市五个地级市,常住人口 661.54 万人。宁夏全区总面积为 6.64 万 km^2 ,其中山地、丘陵和草原分别占 12.3%、29.7% 和 20.9%。自南而北有六盘山地、宁南黄土丘陵、中部间山盆地、黄河冲积平原和贺兰山地等地貌单元。地势南高北低,海拔均在 1 000 m 以上。全区主要河流有黄河干流及其支流,流域面积大于 100 km^2 的河流有 98 条,大于 1 000 km^2 的河流有 15 条,雨季易发生山洪与地质灾害。

宁夏山洪灾害具有鲜明的特点:一是季节性强,宁夏的汛期在 5 月初至 9 月底,主汛期集中在 6 月-8 月份,这段时间也是宁夏山洪灾害的多发期;二是灾害区域特征明显、易发性强,山洪主要发生在北部的贺兰山东麓,滑坡是宁南黄土丘陵沟壑区分布最广、危害最严重的灾害形式,泥石流在南部黄土丘陵沟壑区、中部丘陵台地区比较发育;三是山洪突发性强、预报预测预防难度大,宁夏山洪沟众多,比降大,汇流迅速,致灾突然,难以进行准确的预报和有效防治;四是破坏性强、损失大,山洪灾害造成河流改道,耕地受淹,民房倒塌,人死畜亡等;五是灾后恢复困难,山洪灾害对水利、交通、电力、通信等基础设施的破坏几年甚至几十年都难以恢复。

2 计算思路

宁夏地形地貌复杂,小流域分布较为分散,且各小流域上已建的防洪工程标准不同,沟道治理情况、沟道行洪能力差别很大,因此各小流域可以抵御的

洪水量级也不尽相同,不同时段下的临界雨量阈值已无法满足宁夏当地的山洪灾害预警需求。例如,汝箕沟、大小风沟、归韭沟都位于石嘴山市大武口区,属于贺兰山东麓山洪沟,三条沟暴雨洪水特性相似,但由于各山洪沟已建防洪工程的防洪标准不同(汝箕沟防洪标准为20年一遇,大小峰沟和归韭沟防洪标准均为50年一遇),当贺兰山东麓遭遇50年一遇洪水时,汝箕沟会发生漫溢,而大小峰沟和归韭沟则不会发生漫溢。

本文立足宁夏山洪灾害防治的实际需求,有针对性的提出适用于宁夏地区的山洪灾害监测预警值计算方法,从宁夏雨洪同频的角度出发,采用不同历时分洪水量级的临界雨量值作为宁夏山洪灾害的预警值,即在同一典型区同一时间段内,根据设计洪水反推设计暴雨,继而获得不同量级洪水对应的降雨量值,将该雨量值作为山洪灾害的预警值。

3 临界雨量的分析计算

3.1 临界雨量计算历时确定

宁夏暴雨历时短,多在6h左右,主雨历时一般在3h以内,适宜的洪水计算雨型为同频内包雨型,产流历时主要在1h以内。区域发生12h和24h暴雨的情况不多,而且多由二或三场6h的雨型构成,历时虽长,但主雨历时强度不大,洪水计算时多采用概化雨型和典型雨型,与同频内包雨型计算的

洪水成果相比,12h和24h计算的洪峰流量偏小、洪水总量偏大。因此,重点区域洪水风险预警预报时适宜采用短历时雨量作为参考依据,本文最终确定临界雨量值主要研究历时为30min、1h、3h和6h。

3.2 临界雨量计算典型区分区

(1) 典型区划分原则。

典型区划分遵循的一般原则为:选择山洪与年降雨量、暴雨极值分布基本一致的区域作为分区单元;区域内地质条件和气象条件相差不大,具有典型山洪灾害地理特征;典型区内的流域应保持其完整性,尽量避免将小流域分割开^[7]。

(2) 典型区划分方法和步骤。

a. 根据宁夏气候类型和降雨分布,初步将宁夏全区自南向北进行降雨分区:暖湿带半湿润区、中温带半干旱区、干旱区。

b. 遵循典型区内地形地质条件一致原则,将宁夏全区自南向北进行地形地质分区:宁夏南部黄土丘陵沟壑区、宁夏中部干旱草原区、宁夏中北部平原区、宁夏北部贺兰山地区。

c. 将完成的降雨分区和地形地质分区进行叠加,综合分析叠加区内山洪沟道地理分布和山洪灾害易发区的实际情况(图1),并结合宁夏行政区划,遵循流域和行政区域的完整性原则,划分各个典型区。

本文将划分为20个山洪灾害预警区域,典型区划分结果见表1与图2。



图1 宁夏全区主要山洪沟分布

Fig. 1 Main mountain torrent ditches in Ningxia

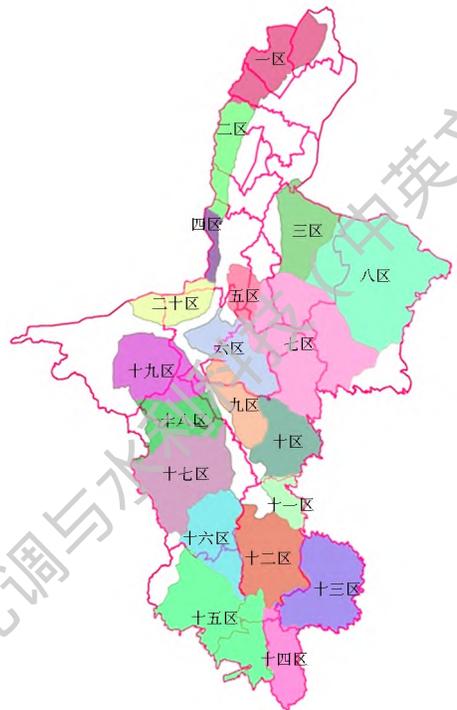


图2 宁夏山洪灾害典型区分布

Fig. 2 Typical areas of torrential flood disaster in Ningxia

表 1 宁夏全区山洪灾害分区及影响县(市、区)

Tab. 1 Partition of Ningxia in terms of torrential flood disasters and affected counties (cities, districts)

分区编号	分区名称	影响县(市、区)	责任市
一区	贺兰山石嘴山区域	大武口区、惠农区、平罗县	石嘴山市
二区	贺兰山银川区域	贺兰县、永宁县、西夏区	银川市
三区	宁东区域	灵武市	银川市
四区	贺兰山青铜峡区域	青铜峡市	吴忠市
五区	牛首山区域	青铜峡市、利通区、中宁县	吴忠市、中卫市
六区	红柳沟区域	红寺堡区、中宁县	吴忠市、中卫市
七区	苦水河区域	红寺堡区、利通区	吴忠市
八区	盐池内陆河区域	盐池县	吴忠市
九区	同心清水河东岸区域	同心县、红寺堡区	吴忠市
十区	折死沟区域	同心县	吴忠市
十一区	双井子沟区域	原州区	固原市
十二区	清水河上游区域	原州区	固原市
十三区	彭阳区域	彭阳县	固原市
十四区	泾河区域	泾源县	固原市
十五区	葫芦河区域	隆德县、西吉县	固原市
十六区	中河杨明河区域	原州区、海原县	固原市、中卫市
十七区	西河区域	海原县	中卫市
十八区	金鸡儿沟区域	海原县、中宁县、同心县	中卫市、吴忠市
十九区	香山区域	沙坡头区、中宁县、同心县	中卫市、吴忠市
二十区	咸沟山区域	沙坡头区、中宁县	中卫市

经分析计算,宁夏 20 个山洪灾害典型区不同历时分洪水量级的临界雨量值计算结果见表 4。

表 2 点雨量均值

Tab. 2 The mean point rainfall

分区编号	mm		
	30 min	1 h	6 h
一区	17.0	22.5	35.0
二区	14.0	20.0	30.0
三区	13.5	16.5	28.0
四区	12.5	15.5	25.0
五区	13.0	16.0	30.0
六区	14.0	16.0	27.5
七区	15.0	19.0	33.0
八区	15.0	20.0	33.0
九区	14.0	18.5	35.0
十区	15.0	20.0	34.0
十一区	17.0	21.0	35.0
十二区	17.0	21.0	35.0
十三区	17.0	22.0	38.5
十四区	17.0	22.0	43.0
十五区	16.0	21.5	35.0
十六区	17.0	21.5	35.0
十七区	15.0	19.0	32.5
十八区	14.0	16.5	29.0
十九区	14.0	16.5	26.0
二十区	12.5	15.0	25.0

3.3 临界雨量计算

由于宁夏雨量站网密度较小,且大部分雨量站为新建站点,山洪灾害统计资料非常有限,结合宁夏实际情况,确定综合采用《宁夏回族自治区暴雨洪水图集》中雨量等值线查询方法和 $P-\dot{O}$ 频率分析法推求计算临界雨量。

a. 根据宁夏不同历时暴雨等值线图查得 30 min、1 h、6 h 点雨量均值,见表 2;查得 30 min、1 h、6 h C_v 值, $C_s = 3.5 C_v$,见表 3。

b. 根据 C_v 和 C_s ,查 $P-\dot{O}$ 频率曲线的模比系数 K_p 值表,得到每个时段下不同频率 P (20%、10%、5%、3.33%、2%、1%) 的模比系数。

c. 将 30 min、1 h、6 h 点雨量均值乘以不同频率 (20%、10%、5%、3.33%、2%、1%) 的模比系数,得到 30 min、1 h、6 h 不同频率 (20%、10%、5%、3.33%、2%、1%) 的临界雨量。

d. 由于《宁夏回族自治区暴雨洪水图集》没有收录 3 h 的点雨量均值及其对应的 C_v 值,因此采用《宁夏回族自治区水文手册》中计算短历时暴雨的公式(见式(1))计算 3 h 临界雨量值:

$$H_p = \frac{1}{24} \times H_{24P} \times t^{1-n} \quad (1)$$

式中: H_p 为重现期为 P , 历时为 t 的暴雨 (mm); t 为暴雨历时 (h); n 为 h 的暴雨递减指数; H_{24P} 为重现期为 P 的 24 h 暴雨 (mm)。

表 3 $P-\dot{O}$ 频率分析计算参数Tab. 3 Parameters for $P-\dot{O}$ frequency analysis and calculation

分区编号	30 min		1 h		6 h	
	C_v	C_s	C_v	C_s	C_v	C_s
一区	0.63	2.21	0.70	2.45	0.70	2.45
二区	0.70	2.45	0.73	2.56	0.75	2.63
三区	0.73	2.56	0.73	2.56	0.68	2.38
四区	0.73	2.56	0.73	2.56	0.68	2.38
五区	0.73	2.56	0.73	2.56	0.68	2.38
六区	0.70	2.45	0.69	2.42	0.68	2.38
七区	0.73	2.56	0.70	2.45	0.65	2.28
八区	0.68	2.38	0.78	2.73	0.70	2.45
九区	0.65	2.28	0.67	2.35	0.63	2.21
十区	0.65	2.28	0.65	2.28	0.64	2.24
十一区	0.60	2.10	0.63	2.21	0.64	2.24
十二区	0.63	2.21	0.63	2.21	0.58	2.03
十三区	0.60	2.10	0.60	2.10	0.58	2.03
十四区	0.58	2.03	0.60	2.10	0.55	1.93
十五区	0.63	2.21	0.63	2.21	0.57	2.00
十六区	0.65	2.28	0.63	2.21	0.58	2.03
十七区	0.66	2.31	0.67	2.35	0.63	2.21
十八区	0.68	2.38	0.68	2.38	0.64	2.24
十九区	0.69	2.42	0.69	2.42	0.68	2.38
二十区	0.75	2.63	0.75	2.63	0.69	2.42

表4 宁夏山洪灾害典型区临界雨量计算成果

Tab.4 Calculation results on critical rainfall for typical areas of torrential flood disaster in Ningxia

分区 编号	P						时间	分区 编号	P						时间
	20%	10%	5%	3.33%	2%	1%			20%	10%	5%	3.33%	2%	1%	
一区	23	31	38	43	49	57	30 min	十一区	23	30	37	42	47	54	30 min
	31	43	54	61	70	83	1 h		29	38	48	53	60	70	1 h
	36	50	64	72	82	97	3 h		41	53	66	73	83	95	3 h
	48	66	84	95	109	129	6 h		48	64	80	90	102	118	6 h
二区	19	26	34	38	44	52	30 min	十二区	23	31	38	43	49	57	30 min
	27	38	49	56	65	77	1 h		29	38	48	53	60	70	1 h
	33	46	58	65	75	89	3 h		44	55	67	75	84	95	3 h
	41	58	75	86	99	118	6 h		47	61	76	84	94	109	6 h
三区	18	26	33	38	44	52	30 min	十三区	23	30	37	42	47	54	30 min
	23	32	41	46	53	63	1 h		30	39	48	54	61	70	1 h
	31	42	55	61	70	82	3 h		46	58	70	77	86	98	3 h
	38	52	66	75	85	100	6 h		52	68	83	92	104	119	6 h
四区	17	24	31	35	40	48	30 min	十四区	23	30	37	41	46	53	30 min
	21	30	38	44	50	59	1 h		30	39	48	54	61	70	1 h
	29	40	52	58	67	80	3 h		46	57	68	75	83	94	3 h
	34	47	59	67	76	90	6 h		58	74	90	100	111	128	6 h
五区	18	25	32	36	42	50	30 min	十五区	22	29	36	40	46	53	30 min
	22	31	40	45	52	61	1 h		29	39	49	54	62	72	1 h
	29	40	51	57	66	77	3 h		36	46	56	62	69	79	3 h
	41	56	71	80	92	107	6 h		47	61	75	83	93	107	6 h
六区	19	26	34	38	44	52	30 min	十六区	23	31	39	44	50	58	30 min
	22	30	38	43	49	58	1 h		29	39	49	54	62	72	1 h
	31	42	53	60	69	80	3 h		42	55	67	75	84	97	3 h
	38	51	65	73	84	99	6 h		47	61	76	84	94	109	6 h
七区	21	28	36	40	46	54	30 min	十七区	20	28	35	39	45	52	30 min
	26	36	46	52	59	70	1 h		26	35	45	50	57	67	1 h
	35	47	59	66	76	88	3 h		35	45	58	63	71	82	3 h
	45	60	76	85	97	113	6 h		44	59	74	82	93	108	6 h
八区	21	29	37	42	49	57	30 min	十八区	19	26	33	37	43	50	30 min
	27	39	51	59	68	82	1 h		23	31	39	44	50	59	1 h
	35	50	66	75	88	104	3 h		31	41	51	57	64	75	3 h
	45	62	80	90	103	121	6 h		40	53	66	74	84	98	6 h
九区	19	26	32	36	41	48	30 min	十九区	19	26	33	38	43	51	30 min
	25	34	44	49	56	65	1 h		23	31	39	45	51	60	1 h
	33	43	54	60	69	79	3 h		31	42	55	61	71	84	3 h
	48	63	79	89	101	117	6 h		36	48	62	69	79	93	6 h
十区	20	27	35	39	44	51	30 min	二十区	17	24	31	36	41	49	30 min
	27	37	46	52	59	69	1 h		21	29	38	43	50	59	1 h
	28	50	63	70	80	93	3 h		29	40	52	59	69	81	3 h
	46	62	78	87	99	115	6 h		34	47	60	67	77	91	6 h

宁夏北部的贺兰山东麓地区和南部的六盘山林区是全区暴雨的两大高值区,暴雨的强度、次数及历时为全区最高,中部地区为干旱半干旱带,降雨较少。由表 4 分析可知,位于贺兰山东麓的一区、二区和位于六盘山林区的十三区、十四区、十五区的临界雨量相差不大,均多于其他山洪灾害典型区的临界雨量,而且临界雨量总体由两个高值区向中部地区逐渐减小,与降雨强度的实际分布基本吻合。

4 结语

立足于宁夏防洪减灾工作的实际需求,宁夏山洪灾害临界雨量预警值的计算研究,包括计算历时选定、典型区分区、雨量计算方法选用等均充分考虑了宁夏地形地貌、沟道治理与灾害监测实际情况,计算方法简便易行,计算结果能够直观反映 20 个典型区不同历时临界雨量对应的洪水量级,可为山洪灾害的预测预报提供科学依据。在今后的实际运用中,尚需根据实际降雨与其致灾情况,进一步修正临界雨量值,以便为防汛部门提供更加科学合理的技术参考。

本文给出的临界雨量计算方法在推求大范围乃至全省、全国的临界雨量方面同样具有一定的参考价值,特别是对于山洪灾害资料严重缺乏的地区,实用性较强。

参考文献 (References):

- [1] 谈昌莉,徐成剑,刘晖.山洪灾害防治效益评价指标及其计算方法[J].水利经济,2007(1):1-4.(TAN Changli, XU Chengjian, LIU Hui. Mountain torrent disaster prevention benefit evaluation index and its calculation method[J]. Water Conservancy Economy, 2007(1): 1-4. (in Chinese))
- [2] 赵然杭,王敏,陆小蕾.山洪灾害雨量预警指标确定方法研究[J].水电能源科学,2011,29(9):49-53.(ZHAO Ranhang, WANG Min, LU Xiaolei. Research on determination method for rainfall warning indexes of torrential flood disaster[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(9): 49-53. (in Chinese))
- [3] 程卫帅.山洪灾害临界雨量研究综述[J].水科学进展,2013,24(6):1-8.(CHENG Weishuai. A review of rainfall thresholds for triggering flash floods[J]. Advances in Water Science, 2013, 24(6): 1-8. (in Chinese)) DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2013.06.012
- [4] 李昌志,孙东亚.山洪灾害预警指标确定方法[J].中国水利,2012(9):54-56.(LI Changzhi, SUN Yadong. Determination of flood warning index for mountain flood[J]. China Water Resources, 2012(9): 54-56. (in Chinese))
- [5] 陈桂亚,袁雅鸣.山洪灾害临界雨量分析计算方法研究[J].人民长江,2006,36(12):40-43.(CHEN Guiya, YUAN Yaming. Research on critical precipitation amount computation method

- of mountain torrential flood disaster[J]. Yangtze River, 2006, 36(12): 40-43. (in Chinese))
- [6] 叶勇,王振宇,范波芹.浙江省小流域山洪灾害临界雨量确定方法分析[J].水文,2008,28(1):56-58.(YE Yong, WANG Zhenyu, FAN Boqin. An analysis method for ascertain critical rainfall of mountain flood disaster of small watershed in Zhejiang Province[J]. Journal of China Hydrology, 2008, 28(1): 56-58. (in Chinese))
- [7] 全国山洪灾害防治规划领导小组办公室.山洪灾害临界雨量分析计算细则(试行)[Z].2003(Mountain torrent disaster prevention planning leading group office of the country. Mountain torrent disaster critical rainfall calculation rules[Z]. 2003. (in Chinese))
- [8] 牛二伟.山洪灾害防治雨量预警指标计算方法探讨[J].山西水土保持科技,2014(1):14-16,21.(NIU Erwei. Mountain torrent disaster prevention and control of rainfall warning index calculation method discussed[J]. Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi, 2014(1): 14-16, 21. (in Chinese))
- [9] 罗堂松,施征,邱志章.山洪灾害预警指标分析计算-以浙江省诸暨市大唐镇为例[J].中国防汛抗旱,2014(S1):76-78.(LUO Tangsong, SHI Zheng, QIU Zhizhang. Analysis and Calculation of flood warning index for mountain flood Datang town, Zhuji city, Zhejiang province, for example[J]. China Flood & Drought Management, 2014(S1): 76-78. (in Chinese))
- [10] 刘志雨,杨大文,胡健伟.基于动态临界雨量的中小河流山洪预警方法及其应用[J].北京师范大学学报:自然科学版,2010,46(3):317-321.(LIU Zhiyu, YANG Dawen, HU Jianwei. Dynamic critical rainfall based torrential flood early warning for medium small rivers[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2010, 46(3): 317-321. (in Chinese))
- [11] 江锦红,邵利萍.基于降雨观测资料的山洪预警标准[J].水利学报,2010,41(4):458-463.(JIANG Jinhong, SHAO Liping. Standard of mountain flood warning based on the precipitation observation data[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(4): 458-463. (in Chinese)) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2010.04.003
- [12] 段生荣.典型小流域山洪灾害临界雨量计算分析[J].水利规划与设计,2009(2):20-21.(DUAN Shengrong. Computing method for rainfall thresholds of flash flood in typical small catchments[J]. Water Resources Planning and Design, 2009(2): 20-21. (in Chinese))
- [13] 谢会云,付忠良,徐燕,等.基于GIS的等流时线法山洪汇流分析[J].计算机应用,2009,29(S2):348-352.(XIE Huiyun, FU Zhongliang, XU Yan, et al. Runoff concentration calculation using isochrones and GIS[J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(S2): 348-352. (in Chinese))
- [14] Carpenter T M, Sperflage J A, Georgakakos K P, et al. National threshold runoff estimation utilizing GIS in support of operational flash flood warning systems[J]. Journal of Hydrology, 1999, 224: 21-44.

(下转第 48 页)

- comparative study of different hydrological model and their application in Broken Catchment[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2011, 36(4): 211-216. (in Chinese) DOI: 10.13718/j.cnki.xsxb.2011.04.007.
- [31] Carpenter T M, Georgakakos K P. Intercomparison of lumped versus distributed hydrologic model ensemble simulations on operational forecast scales[J]. Journal of Hydrology, 2006, 329(1): 174-185. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.02.013.
- [32] 董磊华,熊立华,万民.基于贝叶斯模型加权平均方法的水文模型不确定性分析[J].水利学报,2011,42(9):1065-1074. (DONG Lei hua, XIONG Li hua, WAN Min. Uncertainty analysis of hydrological modeling using the Bayesian Model Averaging Method[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(9): 1065-1074. (in Chinese) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2011.09.002.
- [33] Hoteling J A, Raftery M D, Volinsky A E. Bayesian Model Averaging: a tutorial[J]. Statistical Science, 1999, 14(4): 382-401. DOI: 10.1214/ss/1009212814.
- [34] 夏军,王纲胜,谈戈,等.水文非线性系统与分布式时变增益模型[J].中国科学,2004,34(11):1062-1071. (XIA Jun, WANG Gang-sheng, TAN Ge, et al. Nonlinear hydrological system and distributed time variant gain modeling[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2004, 34(11): 1062-1071. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1674-7240.2004.11.009.
- [35] Schaeffli B, Gupta H V. Do Nash values have value? [J]. Hydrological Processes, 2007, 21(15): 2075-2080. DOI: 10.1002/hyp.6825.
- [36] Pushpalatha R, Perrin C, Le Moine N, et al. A review of efficiency criteria suitable for evaluating low-flow simulations [J]. Journal of Hydrology, 2012, 420: 171-182. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.11.055.

(上接第 38 页)

- [15] Georgakakos K P. Analytical results for operational flash flood guidance[J]. Journal of Hydrology, 2006, 317: 81-103.
- [16] Georgakakos K P. Mitigating adverse hydrological impacts of storms on a global scale with high resolution, global flash flood guidance[A]. In: Abstracts Volume of International Conference on Storms/AMOS-MSNZ National Conference [C]. Australian Meteorological Society, Brisbane, Australia, 2004: 23-30.
- [17] USACE. HEG-HMS hydrologic modeling system user's manual [Z]. US: Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2001.
- [18] Daniele Norbiato, Marco Borga, Silvia Degli Esposti, et al. Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: An assessment for gauged and ungauged basins[J]. Journal of Hydrology, 2008, 362: 274-290.
- [19] Sperfslage J A., Georgakakos K P, Carpenter T M, et al. Central America Flash Flood Guidance (CAFFG) User's Guide. HRC Limited Distribution Report No. 21[Z]. Hydrologic Research Center, San Diego, CA, 2004:82.
- [20] Efrat Morin, Yael Jacoby, Shilo Navon, et al. Towards flash flood prediction in the dry Dead Sea region utilizing radar rainfall information[J]. Advances in Water Resources, 2009, 32(7): 1066-1076.

(上接第 42 页)

- [14] Loague K M, Freeze R A. A comparison of rainfall runoff modeling techniques on small upland catchments[J]. Water Resources Research, 1985, 21(2): 229-248.
- [15] 张建云. 中国水文预报技术发展的回顾与思考[J]. 水科学进展, 2010, 21(4): 435-443. (ZHANG Jian yun. Review and reflection on China's hydrological forecasting techniques[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(4): 435-443. (in Chinese))
- [16] Liu J T, Chen X, Zhang J B, et al. Coupling the Xinjiang model to a kinematic flow model based on digital drainage networks for flood forecasting[J]. Hydrological Processes, 2009, 23(9): 1337-1348.
- [17] Peng D Z, Xu Z X. Simulating the impact of climate change on stream flow in the Tarim river basin by using a modified semi distributed monthly water balance model[J]. Hydrological Processes, 2010, 24(2): 209-216.
- [18] Lin C A, Wen L, Lu G H, et al. Real time forecast of the 2005 and 2007 summer severe floods in the Huaihe river basin of China[J]. Journal of Hydrology, 2010, 381(1/2): 33-41.
- [19] 张东辉,张金存,刘方贵.关于水文学中非线性效应的探讨[J].水科学进展,2007,18(5):776-784. (ZHANG Dong-hui, ZHANG Jir cun, LIU Fang gui. Some comments on nonlinear effect in catchment hydrology[J]. Advances in Water Science, 2007, 18(5): 776-784. (in Chinese))
- [20] 沈永平,王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1065-1076. (SHEN Yong ping, WANG Guo ya. Key finding and assessment results of IPCC WGI fifth assessment report [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5): 1065-1076. (in Chinese))