

不同土壤含水量的动态临界雨量拟定方法研究

陈瑜彬, 杨文发, 许银山

(长江水利委员会水文局 长江水文情报预报中心, 湖北 武汉 430010)

摘要:由于资料缺乏和对临界雨量分析不足等问题,部分山洪防治地区山洪预警效果不佳。基于流域降雨径流关系,结合流域土壤含水量和前期实测降雨量,计算了河道洪峰流量达到安全泄量所需的下一时段降雨量(临界雨量);并以最小二乘法准则拟合前期实测降雨与临界雨量之间的函数关系,建立了不同土壤含水量等级下的动态临界雨量计算函数。依据试验流域隽水 1964~2014 年共 38 场具有代表性的典型洪水过程资料,对所建立的动态临界雨量计算函数进行检验,并开展山洪预警试验,合格率达到 94.7%。表明该方法用于山洪预警在技术上是可行的。

关键词:土壤含水量;动态临界雨量;降雨径流;山洪预警

中图法分类号: P343.2

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.12.006

近年来,全球气候变暖,极端天气事件频发,局地暴雨造成的山洪、泥石流等灾害时有发生。自 2006 年以来,国家防总和水利部就在全中国范围内实施了山洪灾害防治工作,组织开发了县级山洪灾害预测预警平台系统,并以临界雨量为山洪预警指标开展了山洪预警实践,取得了一定的经验和成效。然而,在实际工作中部分山洪防治地区由于资料缺乏和对临界雨量分析不足等问题,导致山洪预警实际效果不佳。因此,加强对临界雨量拟定方法应用的探讨很有必要。

目前,国内有关预警标准的研究基本集中在数理统计法和历史灾害分析法方面^[1-2],但这些方法存在一定的局限性,例如,因资料局限性(无法对山洪灾害进行巨细无遗的监测),临界雨量统计归纳法得出的临界雨量很可能并非“真正的”临界雨量,而且大多没有定量考虑前期雨量影响(仅以定性为主)。国内外的相关研究表明,以水文水力学拟定临界雨量的分析方法效果更优。国内,刘志雨等提出了一种推求动态临界雨量的简单方法^[3],将所有场次洪水前 24 h 的时

段最大雨量及其对应的土壤饱和度组成状态空间,采用合适方法给出一条判别曲线,根据对应洪水流量是否超警将状态空间分为两部分,这条曲线就是该时段的动态临界雨量线。但该方法未进一步考虑前期不同土壤含水量条件动态变化对临界雨量拟定的影响,以及结合流域山洪的传播时间差异等因素。国外在这方面最具代表性的方法是 FFG (flash flood guidance) 法^[4-5],FFG 直译为山洪指导,实际上就是临界雨量,FFG 方法由美国水文研究中心(HRC)较早提出,一直在持续改进,最近将 FFG 与分布式水文模型结合,但存在所拟定临界雨量精度差异大和要求输入资料条件高等不足。

本文基于流域降雨径流关系,提出综合考虑不同土壤含水量以及前期实测降雨量(文中“前期实测降雨量”是从山洪起涨时刻开始统计的累计降雨量)等变化,拟定动态临界雨量的方法,并选取山洪易发的隽水上游(陆水崇阳以上流域)作为应用试验流域,开展实例山洪动态临界雨量拟定研究。研究结果显示,该

收稿日期:2015-03-20

基金项目:水利部公益性行业专项科研经费项目(201201063)

作者简介:陈瑜彬,男,工程师,主要从事流域水文预报技术应用及研究工作。E-mail: chenyb@cjh.com.cn

通信作者:杨文发,男,教授级高级工程师,主要从事长江流域水文气象预报工作。E-mail: yangwf@cjh.com.cn

方法可用于有一定资料条件的流域拟定临界雨量,为开展山洪预警提供了一种科学合理的技术手段。

1 研究方法

从文献[3]可以看出,山洪流量大小除了与降雨量和降雨强度有关外,还与流域下垫面条件(土壤含水量)密切相关。国内外文献研究表明,同样的降雨量(面雨量),不同的前期土壤含水量,在控制断面所形成的洪峰流量也有差异,若仅采用雨量作为预警指标,必然存在较大的不确定性。鉴于此,本文综合考虑降雨量和土壤含水量因素,将其作为山洪预警指标,通过分析流域前期土壤含水量 P_a 、前期实测降雨量 $\sum_0^i P_i$ 与基于 $(P_a, \sum_0^i P_i)$ 条件的河道洪峰流量恰好达到安全泄量所需的下一时段降雨量 P_{t+1} 之间的关系,并采用最小二乘法建立了不同土壤含水量等级下的动态临界雨量计算函数,分析拟定动态临界雨量。该方法主要涉及平均降雨量、土壤含水量、降雨径流模型构建及动态临界雨量计算等内容。

1.1 平均降雨量计算

由雨量站实测雨量记录,计算试验流域平均降雨量(流域面雨量),常用方法有算术平均法、垂直平分法(又称泰森多边形法)及等雨量线法3种。本文从简单、易行、实用方面考虑,采用算术平均法计算平均降雨量。文中前期实测降雨量、临界雨量是指流域的面平均值。

1.2 土壤含水量计算

采用前期雨量指数 P_a 代表流域的土壤含水量指标,反映流域的干湿程度。一般采用下式(1)~(4)经验递推公式计算。

若前一个时段有降雨量,即 $P_{t-1} > 0$ 时,则

$$P_{a,t} = k(P_{a,t-1} + P_{t-1}) \tag{1}$$

若前一个时段无降雨量,即 $P_{t-1} = 0$ 时,则

$$P_{a,t} = kP_{a,t-1} \tag{2}$$

但必须控制

$$P_{a,t} \leq I_m \tag{3}$$

k 值可按下式计算:

$$k = 1 - \frac{\bar{E}_p}{I_m} \tag{4}$$

式中, k 为土壤含水量衰减系数; $P_{a,t-1}$ 、 $P_{a,t}$ 分别为前一个时段和该时段的前期雨量指数; P_{t-1} 为前一个时段流域平均降雨量; \bar{E}_p 为月平均蒸发能力; I_m 为流域最大蓄水量(或最大初损值)。 $P_{a,t}$ 、 P_t 、 \bar{E}_p 、 I_m 单位均为 mm。

1.3 降雨径流模型构建

模型构建采用常用的降雨径流 API 模型^[6],主要包括产流计算和汇流计算两部分,其中,产流计算采用降雨径流三变数相关图,汇流计算采用单位线法。一般地,降雨径流三变数相关图的绘制方法是以样本点为基础,采用传统的目估定线方式制作,往往受主观意识影响较大。基于便捷、客观原则,对此进行了改进完善,完全借助计算机自动拟定完成绘制。主要是采用蓄满产流计算公式,即下式(5)~(8),设定参数 b (常数,反映流域下垫面不均程度)、 WMM (流域土壤平均含水量的取值范围及计算步长,然后按下式(7)、(8)分别计算出在不同土壤初始含水量 W_0 (按等差序列设定,如 0, 10, 20, 30, ..., 120 mm 等; W_0 反映前期土壤含水程度,即 P_a) 和流域平均雨量 P 下的径流量 R ,将计算得到的 (P, P_a, R) 组合,绘至坐标图上即可得 $R = f(P, P_a)$ 三变相关图,然后以样本代入检验,若其精度满足《水文情报预报规范》(SL250-2000),则计算结束;否则,参数 b 与 WMM 需重新取值并计算,直至所绘制的降雨径流相关图满足精度要求为止。

与流域蓄水量 W 相对应的纵坐标为

$$a = WMM[1 - (1 - \frac{W}{WMM})^{\frac{1}{1+b}}] \tag{5}$$

$$WM = \frac{WMM}{1+b} \tag{6}$$

当 $a + P - E < WMM$ 时,

$$R = (P - E) - (WM - W) + WM(1 - \frac{a + P - E}{WMM})^{1+b} \tag{7}$$

当 $a + P - E \geq WMM$ 时,

$$R = (P - E) - (WM - W) \tag{8}$$

1.4 动态临界雨量计算

为了准确判断山洪灾害的发生并及时通知受保护地区的人员转移,山洪预警指标需要考虑两个因素:① 临界雨量。一个流域或区域某一时间段内降雨量达到或超过某一量级或强度时,该流域将发生山洪灾害,此时间段降雨量即称为临界雨量,本文重点采用水文水力学方法推求。② 预警响应时间。一般是指从山洪预警信息发出到山洪暴发供受保护地区人员安全转移的时间。因此,本文对动态临界雨量的计算主要包括2个内容,即确定与预警响应时间密切相关的计算时段长 Δt (Δt 越大,预警响应时间越长,否则,预警响应时间越短)和计算不同时刻、土壤水汽条件下的临界雨量指标,即为动态临界雨量的确定。其中, Δt 视流域实际情况选取,一般大于雨量数据采集间隔,而小于流域的平均汇流时间,但 Δt 不宜太大,以免失去预警

意义,一般由该流域历史山洪资料分析确定,因篇幅所限,本文在此不作赘述。对于动态临界雨量,通过建立不同土壤含水量下的动态临界雨量计算函数,供山洪灾害预测预警所用,具体方法步骤如下。

(1) 确定控制断面的安全泄量(一旦洪水流量大于此流量即发生洪灾),根据水位流量关系由成灾水位反推得到。成灾水位(即河道水位超过这一水位将发生洪灾),一般根据当地规定的防洪标准(如取警戒水位作为成灾水位),或采用频率分析法确定,可视实际情况调整。当水位流量关系发生变化时需及时作出调整。

(2) 按照前述降雨径流模型构建方法建立降雨径流模型。

(3) 根据降雨径流模型,采用试错法分别计算出不同土壤含水量 P_a 与前期实测降雨量 $\sum_0^i P_i$ 组合条件下河道计算洪峰流量恰好达到安全泄量所需要的下一时段降雨量 P_{i+1} (P_{i+1} 为所求临界雨量),得到 $(P_a, \sum_0^i P_i, P_{i+1})$ 组合样本,其中, P_a 与 $\sum_0^i P_i$ 均按等差序列设定(如取 0, 10, 20, 30, ..., 120 mm)。

(4) 由降雨径流 API 模型的计算原理可知,在确定前期实测降雨量 $\sum_0^i P_i$ 时,临界雨量值随土壤含水量 P_a 增加而减小,且临界雨量值变幅较小。以 $P_a = 10$ 代表 $0 \leq P_a < 10$ 这一土壤含水量等级的临界雨量值是偏安全且合理的。据此,可将计算得到的 $(P_a, \sum_0^i P_i, P_{i+1})$ 组合样本按不同土壤含水量等级(如 $0 \leq P_a \leq 10, 10 \leq P_a \leq 20, 20 \leq P_a \leq 30, \dots$) 进行分组。

(5) 以最小二乘法准则分别对各组 $(\sum_0^i P_i, P_{i+1})$ 组合样本采用二次三项式拟合,得到以 P_a 等级为约束条件、 $\sum_0^i P_i$ 为变量的二次二元函数(即动态临界雨量计算函数)。若将动态临界雨量计算函数绘制成图,则表现为一簇以前期雨量指数 P_a 作为参变量、前期实测降雨量 $\sum_0^i P_i$ 为 x 轴、临界降雨量 P_{i+1} 为 y 轴的 P_{i+1} 随 $\sum_0^i P_i$ 增加而递减的三变数相关图。

(6) 利用动态临界雨量计算函数,根据前期雨量指数及前期实测降雨量,计算出相应时段的山洪预警临界雨量值。若未来一段时间内,降雨量超过所计算的临界雨量值,则可能会发生山洪,应进行山洪预警;否则,进入下一时段重复计算临界雨量,直至降雨过程结束。

此外,山洪防治区流域面积一般较小,流域出口断面基流较小,相对于河道安全泄量基本可忽略不计,因此在本研究中不考虑基流对临界雨量的影响。

2 实例研究

2.1 试验流域与资料介绍

隽水属于长江的一级支流,地处湖北省咸宁市境内,在武汉市上游约 157 km 的陆溪口(洪庙)注入长江。整个流域位于北纬 $29^{\circ}05' \sim 29^{\circ}50'$ 及东经 $113^{\circ}40' \sim 114^{\circ}10'$ 之间,东南面以幕阜山与鄱阳湖水系修水分界,西南面与洞庭湖水系相邻,干流全长 183 km。属亚热带季风气候区。流域内雨量丰沛,多年平均降雨量 1 550 mm,雨量一般集中在 4~7 月,尤以 5、6 月更为集中。隽水上游为雨洪补给的山溪性河流,河槽坡降大,流域调洪能力弱,径流易于集中,而且洪水传播速度快、历时短,易于形成较大洪峰,造成洪涝灾害。试验对象为隽水上游(崇阳站以上)流域,共分布有崇阳、通城、麦市、施家墩、北港、大沙坪、高视铺及黄土塆 8 个雨量站以及崇阳水文站(见图 1)。崇阳水文站以上流域面积 2 170 km²,除去青山水库控制面积 441 km² 外,仅有集水面积 1 729 km²,站网密度约为 192 km²/站。本研究采用资料为 1964~2014 年崇阳以上流域内 8 个雨量站降雨观测资料和崇阳水文站流量、蒸发资料。以雨洪对应较好且洪峰流量大于 1 000 m³/s 为选样准则,选取了 1964~2014 年共 38 场具有代表性的洪水资料,进行动态临界雨量拟定分析计算,所选各场次洪水历史特征值见表 1。



图 1 隽水上游(崇阳站以上)流域站网分布

2.2 降雨径流模型参数率定

根据降雨径流模型构建的方法,计算时段长 Δt 取为 1 h,以前面所选取 38 场洪水样本中 1964~1999 年(除降雨较大年份 1966、1967、1969 年及 1973 年资料留作动态临界雨量应用检验外)共 19 场洪水资料,建立崇阳降雨径流 API 模型,其中,土壤含水量衰减系数(k)取值为 0.996,流域最大蓄水量(或最大初损值)取值为 80 mm,降雨径流相关图和单位线参见图 2~3。

表 1 隽水上游控制站崇阳历史洪水样例特征值

编号	开始时间 / (年月日时)	起涨流量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	峰现时间 / (年月日时)	洪峰流量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	编号	开始时间 / (年月日时)	起涨流量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	峰现时间 / (年月日时)	洪峰流量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
1	1964062403	33.7	1964062601	3070	20	1983070901	96.0	1983070922	1980
2	1966062503	25.2	1966062600	1230	21	1995060203	470.0	1995060302	1760
3	1966062709	141.0	1966062921	2690	22	1995062509	340.0	1995062520	2050
4	1966070715	46.5	1966071222	1350	23	1995070103	18.0	1995070202	2680
5	1967052815	20.0	1967053019	4110	24	1996060203	163.0	1996060308	1640
6	1967061902	375.0	1967062004	2330	25	1996071703	270.0	1996071720	2040
7	1967062321	160.0	1967062418	5330	26	1999042403	42.0	1999042420	3050
8	1969051109	10.0	1969051203	1330	27	1999052121	66.0	1999052314	1440
9	1969051903	21.7	1969052002	1480	28	1999082903	390.0	1999083002	2100
10	1969062309	21.7	1969062422	1920	29	2002051309	34.0	2002051403	2050
11	1969070503	106.0	1969070518	2150	30	2002072403	156.0	2002072602	1480
12	1969071509	139.0	1969071706	2470	31	2010042103	53.4	2010042117	1090
13	1969082503	20.6	1969082523	1270	32	2010071403	210.0	2010071420	1360
14	1973051603	405.0	1973051720	2150	33	2011061000	47.9	2011061013	3420
15	1973061913	27.3	1973062314	2620	34	2012043010	184.0	2012043022	1090
16	1975042503	46.1	1975042523	2130	35	2013050712	81.3	2013050803	1400
17	1975081315	29.6	1975081418	1280	36	2014051000	46.9	2014051104	1380
18	1983052920	39.4	1983053016	1790	37	2014070405	174.0	2014070420	2530
19	1983070509	96.0	1983070602	1570	38	2014071518	130.0	2014071618	1770

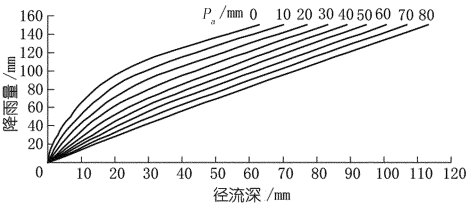


图 2 崇阳站降雨径流关系

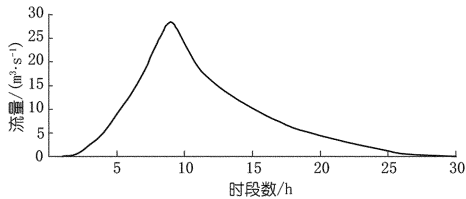


图 3 崇阳站单位线

2.3 动态临界雨量拟定函数

在分析隽水上游平均汇流时间(约为 3~6 h)的基础上,取计算时段长为 1 h,根据动态临界雨量拟定方法,采用所建立的降雨径流 API 模型,分别计算出在不同的前期雨量指数 P_a 和前期实测降雨量 $\sum_0^t P_i$ 下,且计算洪峰流量恰好达到河道安全泄量(根据当地防汛部门提供,此处河道安全水位约为 58.5 m,其相应安全泄量取 $2\,550\text{ m}^3/\text{s}$,该值依据实际情况可调整)的模型所需输入降雨量 P_{t+1} 。针对隽水上游流域特性,将土壤含水量分为 8 个等级,同时将样本按土壤含水量等级分为 8 组,并以最小二乘法准则分别对各组($\sum_0^t P_i, P_{t+1}$)组合样本采用二次三项式拟合,建立崇阳动态临界雨量计算函数。下式分别为不同土壤含水量

等级条件下的动态临界雨量计算函数。图 4 为崇阳动态临界雨量三变数相关图。

$$\begin{aligned} y &= -0.0039x^2 - 0.0596x + 196.86 \quad (0 \leq P_a \leq 10) \\ y &= -0.0038x^2 - 0.028x + 189.65 \quad (10 < P_a \leq 20) \\ y &= -0.0038x^2 - 0.1355x + 184.01 \quad (20 < P_a \leq 30) \\ y &= -0.0035x^2 - 0.2693x + 178.47 \quad (30 < P_a \leq 40) \\ y &= -0.0033x^2 - 0.3695x + 171.24 \quad (40 < P_a \leq 50) \\ y &= -0.0029x^2 - 0.5041x + 164.51 \quad (50 < P_a \leq 60) \\ y &= -0.002x^2 - 0.6699x + 157.29 \quad (60 < P_a \leq 70) \\ y &= -0.0011x^2 - 0.8345x + 149.44 \quad (70 < P_a \leq 80) \end{aligned}$$

式中, x 为前期实测雨量, y 为计算的临界雨量, P_a 为土壤不同含水量条件。

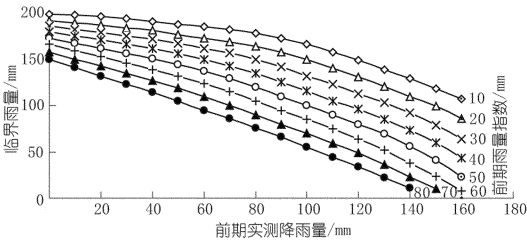


图 4 隽水崇阳站以上流域 1 h 动态临界雨量三变数相关图

观察崇阳动态临界雨量计算函数及崇阳动态临界雨量三变数相关图可知,在前期实测降雨量一定时,前期雨量指数越大,土壤越饱和,产生径流越大,河道达到安全泄量所需的临界雨量就越小。在同一前期雨量指数(土壤初始含水量相同)下,前期实测降雨量越大,产生径流亦越大,则河道达到安全泄量所需的后续

降雨(临界雨量)越小,这均符合流域产汇流规律及实际情况。

2.4 检验分析

以降雨较大年份 1966、1967、1969、1973 年及近年 2002~2014 年共 19 场洪水资料进行应用检验。

根据动态临界雨量计算函数,对每个洪水过程,逐时计算各时段的临界雨量,并与下一个时段的实测降雨量进行比较,以此作出是否需要山洪预警;最终根据实际流量是否达到河道安全泄量来检验本次山洪预警是否正确。若没有达到预警条件,则重复滑动进行下一时段的临界雨量计算,直至本次降雨过程结束。

若计算至本次降雨过程结束,没有出现计算临界雨量值小于或等于下一个时段降雨时,则本次降雨过程没有预警,检验成果详见表 2。

从表 2 中可以看出,19 场洪水样本中,基于所计算推求的临界雨量开展山洪预警,对比实况发现,共有 18 场洪水预警正确,仅 1 场洪水预警错误,山洪预警合格率达到 94.7%。对于实际发生山洪的洪水场次(表中的 3 号、5 号、7 号、15 号及 33 号),均能正确预警,且在河道实测流量达到安全泄量之前 3~6 h 就已发出了预警,为山洪抢险提供了足够的响应时间。错误预警的洪水场次(表中的 12 号),前期实测降雨量较大,但实际并没有发生山洪,出现了空报现象,初步分析原因可能是,流域雨量站代表性不够,这几场降雨

只发生在雨量站附近而无监测区域无雨,造成前期实测降雨量值偏大。然而,从预警效果检验总体来看,精度相对较高,说明考虑前期土壤含水量及前期实测降雨量的动态临界雨量拟定方法是可行的。

3 结论与讨论

本文主要探讨了基于降雨径流关系的不同土壤含水量等级下动态临界雨量拟定方法,并以隽水上游为研究流域,拟定了该流域动态临界雨量计算函数,对其进行了检验分析。

(1) 基于水文水力学方法,研究了一种与传统统计方法不同的,综合考虑前期土壤含水量、已发生降雨量及流域出口控制断面安全泄量等关系的动态临界雨量计算方法。该方法具有较好的物理机理和理论推导过程,对资料条件要求较高。主要体现在对包括降雨、下垫面条件以及洪水等资料等都有相应要求,而且都还应与具体的流域和山洪场次相对应。该方法继承了水文水力学方法的优点,但也存在一些不足,主要表现在:① 山洪易发地水文资料短缺,建模和验证困难;② 山丘区雨量站网布设密度有限,很难满足山洪预警要求;③ 仅适用于湿润或半湿润半干旱地区,不适用于干旱地区。

(2) 依据隽水上游 1964~2014 年的 38 场具有代表性的洪水过程资料,建立了动态临界雨量计算函数

表 2 崇阳站动态临界雨量检验成果

编号	洪水				动态临界雨量检验						
	开始时间 / (年月日时)	底水(起 涨流量)/ (m ³ ·s ⁻¹)	峰现时间 / (年月日时)	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	预警时间 / (年月日时)	前期雨量 指数/ mm	累降雨 量/ mm	临界雨 量/ mm	降雨 量/ mm	是否 预警	是否 正确
2	1966062503	25.2	1966062600	1230	1966062513	53	85.4	100.3	6.5	否	√
3	1966062709	141.0	1966062921	2690	1966062907	68	159.6	0.0	4.7	是	√
4	1966070715	46.5	1966071222	1350	1966071214	45	110.9	89.7	1.7	否	√
5	1967052815	20.0	1967053019	4110	1967053004	41	175.9	4.1	12.4	是	√
6	1967061902	375.0	1967062004	2330	1967061919	80	67.9	87.7	6.6	否	√
7	1967062321	160.0	1967062418	5330	1967062410	76	147.2	2.8	9.6	是	√
12	1969071509	139.0	1969071706	2470	1969071703	65	160.0	0.0	4.6	是	×
14	1973051603	405.0	1973051720	2150	1973051713	78	140.2	10.8	3.9	否	√
15	1973061913	27.3	1973062314	2620	1973062315	32	190.8	0.0	1.8	是	√
29	2002051309	34.0	2002051403	2050	2002051319	50	109.4	91.3	9.1	否	√
30	2002072403	156.0	2002072602	1480	2002072519	59	101.2	83.8	4.4	否	√
31	2010042103	53.4	2010042117	1090	2010042113	70	57.3	112.3	3.3	否	√
32	2010071403	210.0	2010071420	1360	2010071419	72	57.5	97.8	3.2	否	√
33	2011061000	47.9	2011061013	3420	2011061005	59	174.8	0.0	14.5	是	√
34	2012043010	184.0	2012043022	1090	2012043020	72	68.4	87.2	3.3	否	√
35	2013050712	81.3	2013050803	1400	2013050721	59	52.6	130.0	1.3	否	√
36	2014051000	46.9	2014051104	1380	2014051100	48	110.8	89.8	1.9	否	√
37	2014070405	174.0	2014070420	2530	2014070413	79	88.0	67.5	3.0	否	√
38	2014071518	130.0	2014071618	1770	2014071613	73	82.5	73.1	2.5	否	√

注:在动态临界雨量计算过程中,所计算的临界雨量值可能出现负值,与实际不符,故当计算为负值时均取值0.0,表示下一个时段只要发生降雨就可能发生山洪。

并进行了应用检验,合格率达到94.7%,可为有一定资料条件的类似流域计算临界雨量及以此开展山洪预警提供应用借鉴。

(3) 本文模拟得出的产汇流关系与流域产汇流规律及实际情况相符。该研究中滑动计算时段的选择和流域出口控制断面安全泄量的确定,对开展山洪预警实际效果有一定影响,应根据该流域产汇流特性和历史安全泄量等资料而定。

参考文献:

[1] 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.
[2] 王仁乔,周月华,王丽,等.湖北省山洪灾害临界雨量及降雨区划

研究[J].高原气象,2006,25(2):330-334.
[3] 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.
[4] Hapuarachchi H, Wang Q J, Pagano T C. A review of advances in flash flood forecasting[J]. Hydrological Processes, 2011, 25(18): 2771-2784.
[5] Norbiato D, Borga M, Dinale R. Flash flood warning in ungauged basins by use of the flash flood guidance and model-based runoff thresholds[J]. Meteorological Applications, 2009, 16(1): 65-75.
[6] 林三益.水文预报[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
(编辑:李慧)

Study of Dynamic Critical Precipitation Drafted Method under different soil moisture content level

CHEN Yubin, YANG Wenfa, XU Yinshan

(Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010)

Abstract: Due to the lack of data and insufficient analysis of the critical precipitation, the pre-warning effect of mountain torrents is poor. Based on the rainfall-runoff relation, by considering the soil moisture and observed antecedent rainfall, the later rainfall (critical rainfall) resulting in the peak discharge just to reach the safe discharge is calculated, and then the calculation functions for dynamic critical precipitation under different soil moisture content level are established using the fitted function relation between antecedent rainfall and critical rainfall by least square method. Using this method, combining with 38 typical flood process in the experimental basin from 1964 to 2014, the calculation function are applied to validate the feasibility. The pre-warning of mountain torrents simulation is carried out and the qualification rate is 94.7%, which indicates that the Dynamic Critical Rainfall Drafting Method is technically feasible for pre-warning of mountain torrents.

Key words: soil moisture content; dynamic critical precipitation; rainfall-runoff; mountain flood warning

(上接第 11 页)

Vibration reduction analysis of hydropower auxiliary house based on disturbance force inversion

ZHANG Wenying¹, YAN Kuixing¹, XIE Changbing¹, LIU Lihua²

(1. Hubei Ecology Vocational College, Wuhan 430020, China; 2. School of Civil & Architectural Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: When the auxiliary house of a hydroelectric station was put into operation for a period, the floor plate adjacent to air compressors began to vibrate strongly. To find out the effective vibration reduction solution, the inversion calculation of disturbance force was conducted by FEM according to the in-situ test. Based on the analysis, a reasonable reinforced solution was proposed and the vibration reduction effect was forecasted. The test results before and after the reinforcement were compared, which proved that the inversion method and vibration reduction solution were correct.

Key words: high pressure air compressor; disturbance force; FEM; vibration reduction; hydropower station auxiliary house