

大别山区山洪灾害预警模型的建立与应用^{*}

周后福^{1,2}, 吴文玉^{1,2}, 江双五³, 冯 妍¹, 王海波³

(1. 安徽省气象科学研究所, 安徽 合肥 230031; 2. 安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室, 安徽 合肥 230031;
3. 安徽省大气探测技术保障中心, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 根据近年来大别山区高密度雨量站资料, 利用 GIS 技术形成的更为精细的栅格点坡度和高度数据, 得出雨量与山区坡度和高度的具体关系, 并由此推算出两个子流域发生山洪灾害的雨量阈值; 实时通过数据服务器获取前期逐时雨量资料, 形成 24 h 和 6 h 雨量, 根据雨量关系式求算面雨量, 与山洪灾害雨量阈值进行比较, 给出是否发生山洪灾害的预警信息; 及时发布预警信息, 将山洪灾害的预警信息在淮河流域气象中心进行实际应用。

关键词: 山洪灾害; 预警模型; GIS 技术; 大别山区; 安徽

中图分类号: P842. 23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2012)02-0049-05

0 引言

山洪灾害是指山丘地区子流域由强降雨引发的洪水及由山洪诱发的泥石流、滑坡等对国民经济和人民生命财产造成损失的危害^[1]。其形成的内因是: 松软的地质结构, 岩石、土壤为分离、不连续的地质构造, 一定坡度的地形地貌; 外因包括降雨、融雪、地震等。多由持续性高强度大暴雨所致, 称雨洪灾害; 又因发生在山丘地区, 故称山洪灾害。它不同于一般洪水, 常发生在山区、流域面积较小的溪沟或周期性的荒溪中, 历时较短, 且极易诱发泥石流、崩塌、滑坡等灾害, 具有突发性、破坏力大特点, 往往导致房屋、道路、桥梁毁坏和水坝、山塘溃决, 甚至造成人员伤亡。由于山洪灾害所造成的局部损失严重, 因此进行预警技术的研究, 对于有效防范和减轻灾害损失具有很好的现实意义。

1 国内外山洪研究概况

有关山洪灾害监测的研究成果很多。对于山洪灾害监测方案, 马东恒等^[1]从雨量、水位、水文监测技术上提出非工程措施的监测方法。叶勇等^[2]曾提出以水位反推法计算临界雨量, 其方案简单实用。Marco Borga 等^[3]对意大利的阿尔皮

斯山山洪灾害进行水文气象学分析。随着 3S 技术发展和 DEM 技术应用, 水文预报向分布式模型、数字水文模型发展, 基于高精度 DEM 的分布式水文模型代表了流域水文模型的发展方向^[4]。白美兰等^[5]利用 GIS 技术建立地理信息参数与汛期雨量的关系模型, 解决雨量资料分布不均匀的问题, 实现松嫩流域面雨量的实时动态监测。可见, 面雨量的计算和临界雨量的确定等往往成为山洪灾害的重要监测指标。

在山洪灾害预警预报方面, 国内外也取得一系列成果。Charles 等^[6]研究应用强降雨速率制作山洪暴雨灾害的潜势预警, Jonathan 等^[7]使用国际天气服务网对美国洪涝灾害监测预报进行过研究。国内的周金星等^[8]对山洪泥石流灾害的预报预警技术做出述评。高煜中等^[9]认为, 山洪暴发前 3 h 和 24 h 的降雨量对山洪暴发的影响很大, 预报着眼点从大尺度环流形势变化特征与造成山洪暴雨的中小尺度天气系统特征两个方面把握。张铁军等^[10]提出开发基于地理环境、地质特征和气象条件下山洪地质灾害的预警预报系统模型, 作为常规工作投入基本业务。郭良等^[11]研究了基于分布式水文模型的山洪灾害预警预报系统并将其推广应用。张雅斌等^[4]基于地质灾害与雨量相关特征分析后, 得到雨量的精细估计, 实现乡镇地质灾害逐日自动预报预警。何健等^[12]建立 6 min 累积雨量与雷达回波之间的回归关系, 借助 GIS 技术

^{*} 收稿日期: 2011-10-18

基金项目: 安徽省科技攻关重点项目(07010202058); 淮河流域气象业务服务协调委员会开放研究基金(HRM200907)

作者简介: 周后福(1965-), 安徽无为, 人, 博士生, 高级工程师, 主要从事灾害天气预报研究。E-mail: zhfh_ahqx@sohu.com

其对雨量的地理订正,构建雷达图上特定行政区域的面雨量计算模型,并对格点拟合雨量进行空间分辨率的精细化反演,得到雷达图上特定行政区域的面雨量图。张洪江等^[13]将 Bayes 判别分析法引入山区小流域山洪泥石流预报模型的建立中,通过分析影响山洪泥石流发生的条件,选择前15 d 实效降雨量和当日降雨量作为预报模型因子,分别建立3种不同流域面积范围的预报模型。由此可见,有多种方法可以做出山洪灾害的预警预报。

大别山地区山洪灾害预警模型的建立,是基于山区雨量与海拔高度和坡度的关系,利用历史雨量资料和 GIS 技术得到大别山区的具体关系式,并由此计算大别山区子流域的面雨量,确定面雨量的阈值;根据实时雨量数据库,考虑到山洪灾害与前期不同时段雨量有密切关系,因此需要前期 24 h、6 h 的实时雨量,获得子流域的 24 h、6 h 面雨量值;依据面雨量阈值,确定是否对山洪灾害做出预警;将每天逐时获得的山洪灾害预警结果通过网络共享方式,向淮河流域气象中心实时发布,进行实际的业务应用。

2 资料来源

本文在建立山洪灾害预警模型时所用到的历史资料有 2006–2010 年山洪灾害资料,来源于气象部门的报表和民政部门的灾害调查。大别山北麓地区暴雨山洪灾害计有 6 次,2006 年有 1 次,为 7 月 26–27 日;2007 年有 2 次,一次是 7 月 8–9 日,一次是 7 月 13–14 日;2008 年有 1 次,是 7 月 31 日–8 月 1 日;2009 年有 2 次,一次是 6 月 29–30 日,一次是 8 月 6 日;2010 年有 1 次,过程较长,为 7 月 8–13 日。考虑到山洪灾害是局地性的,因此不是针对大别山北麓地区,而是针对其 2 个子流域的。

所用到的历史雨量资料来源于 2006–2010 年高密度雨量站点的雨量。有的是小时雨量,有的是分钟雨量,都整理成为需要的时间段雨量;实际应用时所用到的雨量资料来源于安徽省大气探测技术保障中心提供的分钟雨量,所有的雨量资料实时保存到 Server 数据服务器中,由 SQL Server 查询语句获得并经过加工成最近 6 h 或 24 h 雨量。

3 山洪灾害预警模型的确定

山洪灾害预警模型包括 5 km 栅格点数据的形成、大别山区雨量关系的确立、面雨量及其阈值的计算、预警模型的确定几个步骤。为了清楚地

展示山洪灾害预警模型的建立及其预警发布,先行介绍预警技术流程。

3.1 预警技术流程

山洪灾害预警方法的技术流程见图 1。由图 1 可见,大体上可以分为历时雨量获取、面雨量计算、面雨量阈值确定、实时雨量获取、24 h 和 6 h 面雨量计算、与面雨量阈值比较、山洪灾害预警信息发布等几个步骤。24 h 和 6 h 面雨量的计算及其阈值的确定稍有不同,24 h 栅格点雨量是在利用 GIS 拼接和转换技术形成 5 km 栅格点高度、坡度后,根据雨量关系得到 5 km 栅格点雨量。经过 GIS 技术插值后的雨量点资料是不插值的近 5 倍。6 h 面雨量是采用平均法的。在获得每天实时 24 h 和 6 h 面雨量后,根据面雨量阈值来确定是否对山洪灾害做出预警,并及时发布预警信息。

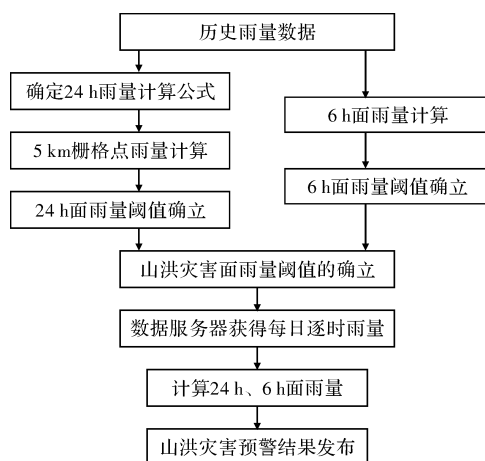


图1 山洪灾害预警方法的技术流程

3.2 5 km 栅格点数据形成

基于 GIS 技术进行插值是将高密度雨量站资料转换为 5 km 的栅格点雨量资料,为此要有 5 km 空间分辨率的坡度和海拔高度。栅格点上的平均坡度和平均海拔高度(高程)是基于 1:25 万国家基础地理信息数据来拼接和转换的。1:25 万国家基础地理信息数据全部分幅、分层存放,在安徽省域范围内有 19 幅。

GIS 数据有矢量和栅格两种方式。

(1) 矢量数据(全部为 E00 格式,是 GIS 软件中间数据格式)全部分层、分幅存放,包括行政边界、河流边界等,还包括矢量格式的等高线数据。具体使用中,矢量分层数据的处理稍显复杂,看似简单,但包含了不少工作量。具体流程有:① 找到包括安徽省范围的图幅编号;② 对图幅范围内的数据选取一个图层(E00)转换成 Coverage、ShapeFile 格式;③ 对所有转换过后的图幅进行拼接处理。

(2) 高程数据全部以栅格文本格式分幅存放,需经 ArcGIS 工具软件将每幅数据转换成 GRID 形式,然后拼接成一个大栅格 GRID,再用省界挖取出全省的高程栅格数据。同时,可对 GRID 数据的分辨率进行抽样处理,抽样成 5 km 格距。

采用拼接和转换技术,形成了 5 km 空间分辨率的坡度和高程数据。对于东淠河流域有 61 个栅格点,西淠河流域也有 61 个栅格点;高密度雨量站点数在东淠河流域有 13 个,西淠河流域有 11 个。利用 GIS 技术插值后的雨量点,东淠河流域是高密度雨量站点数的 4.7 倍,西淠河流域是高密度雨量站点数的 5.5 倍,经过转换后的雨量点数远多于高密度雨量站点数,大约将其雨量点数扩大 5 倍左右。

3.3 大别山区雨量关系的确立

大别山区的高度一般是在最大雨量高度以下,根据雨量随着高度和坡度的变化有如下关系:

$$P_h = P_0 + ah + b \tan \alpha, \quad \text{即} \quad \Delta P = ah + b \tan \alpha. \quad (1)$$

式中: P_h 为一定高度的雨量; P_0 为基准高度处的雨量; ΔP 为两个高度雨量之差; a 为随高度增加的雨量变化率; h 为高度差; b 为坡度增加的雨量变化率; α 为平均坡度。

因此需要确立式(1)中的系数 a 、 b 。

其系数大小用子流域近年来发生山洪灾害的雨量资料来推算。针对大别山区北麓,有 3 个子流域,分别是史河流域、西淠河流域、东淠河流域,由于史河流域近年来没有发生山洪灾害,因此预警模型是基于 2 个子流域进行的,即西淠河流域和东淠河流域。对于西淠河流域,有 2 次山洪灾害过程,一次在 2007 年,一次在 2010 年。对于 2007 年山洪灾害,选择两组高密度雨量站点,即燕子河-道士冲、青山-响洪甸,根据每个站点的雨量、海拔高度数据和两个站点之间所经过的 5 km 栅格点上的坡度数据,由式(1)可以建立两个方程,即:

$$\begin{cases} 268a + 0.329b = 3.4, \\ 84a + 0.422b = 46.7. \end{cases} \quad (2)$$

由该方程组可以解出系数值,分别为 $a = -0.163$, $b = 142.9$ 。

安徽省高密度雨量站点的建设最初是从 2005 年开始,此后陆续投入资金继续布设雨量站点,所以各年的雨量站点并不一致,站点数越来越多。这是导致每次山洪灾害雨量站点组对不同的原因之一。山洪灾害的各个站点雨量并不完全符合随着高度的增加而增加的现象,这种变化规律是针对长期气候特点而言的,时间尺度比较长能够遵

循该规律,而时间尺度短时不一定符合这种规律。所以在考察站点时要尽量选择基本遵循变化规律的站点组,它也是导致每次山洪灾害雨量站点组不同的原因之一。

同理,对于 2010 年山洪灾害,选择两组高密度雨量站点,即张畈-天堂寨、青山-石家河,解出 2010 年的系数值,分别为 $a = 0.038$, $b = 11.6$ 。

为了获得西淠河流域的唯一一组系数值,以 2007 年和 2010 年山洪灾害时平均雨量值作为权重,如此得出系数值分别为 $a = -0.060$ (mm/m), $b = 75.5$ (mm)。

同理,可以分别求出东淠河流域 4 次山洪灾害时的系数,并对此根据平均雨量值求权重,得到东淠河流域的系数。其中 2006 年的两组站点是太阳-漫水河、上土市-诸佛庵,系数分别为 $a = 7.174$, $b = 280.0$; 2007 年的两组站点是太阳-漫水河、黄尾-黑石渡,系数分别为 $a = 0.331$, $b = 2.5$; 2009 年 6 月的两组站点是上土市-黑石渡、太平畈-单龙寺,系数分别为 $a = 0.210$, $b = -24.4$; 2009 年 8 月的两组站点是诸佛庵-黑石渡、落儿岭-佛子岭,系数分别为 $a = -0.209$, $b = -98.8$ 。考虑到雨量权重,东淠河流域的系数值分别为 $a = 2.025$ (mm/m), $b = 43.0$ (mm)。

3.4 面雨量阈值的计算

子流域面雨量阈值或称临近雨量的确定在叶勇等^[4]的文献中提出通过水力计算断面水深与流量的关系,进行洪水演算,绘制洪水洪峰与暴雨频率曲线,根据水位反推法计算临近雨量。对于气象部门而言,不适合选择该方法推算临近雨量,可以采取计算面雨量,经与实际比较给出临近雨量。

大别山区山洪灾害面雨量的计算是在实时高密度雨量站资料后获得的,24 h 和 6 h 面雨量的计算分别采用不同方法。24 h 面雨量的计算是基于高密度雨量资料,根据山区雨量关系将其插值到每隔 5 km 的栅格点上,再对所有栅格点上雨量进行算术平均,得到其面雨量值;6 h 面雨量则是直接对高密度雨量实施平均。

面雨量阈值的计算过程:针对每个子流域的山洪灾害历史情况,分别得到每次山洪灾害过程的最大面雨量,然后找出其中最小值作为面雨量阈值。24 h 和 6 h 的阈值都是同样步骤。面雨量阈值是针对子流域而言的,经过计算可知,24 h 面雨量的阈值东淠河流域为 39.9 mm,西淠河流域为 42.3 mm;6 h 面雨量的阈值东淠河流域为 28.8 mm,西淠河流域为 30.8 mm。

3.5 预警模型的建立

山洪灾害预警模型的实现考虑到前期雨量的

积累,既有 6 h 雨量也有 24 h 雨量的影响,因此预警模型的建立如下式所示:

$$P = 0.4P_{24} + 0.6P_6. \quad (3)$$

24 h 面雨量的权重系数低于 6 h 面雨量的权重系数,是考虑到越接近灾害发生时的雨量对灾害贡献越大的想法。东淠河流域和西淠河流域的 6 h 雨量阈值和 24 h 雨量阈值都已经得出,由式(3)可以得到 2 个子流域的面雨量阈值,即东淠河流域为 33.2 mm,西淠河流域为 35.4 mm。

4 预警模型应用及其检验

每天通过逐小时采集前期 24 h 和 6 h 雨量,然后进行 GIS 插值,计算子流域的面雨量,根据面雨量大小来判断是否发布山洪灾害的预警。由前期多次山洪灾害的实例,可以算出每次过程的面雨量值,以 33.2 mm(东淠河流域)或 35.4 mm(西淠河流域)作为判断是否出现山洪灾害的预警阈值。形成的结果文件以文本文件形式保存,随时更新和追加。将预警结果文件传送到全省气象部门共享服务器上,每小时发布一次。为了更早地发布预警信息,考虑到高密度雨量观测资料大约在整点之后 15 min 左右收集完成,雨量资料的获取和预警信息的发布也在这个时间内实现。山洪灾害预警结果自动提出并告知淮河流域气象中心。由该单位实施应用,在制作大别山地区暴雨山洪灾害预警时作为一种预警手段参考,实时对外发布大别山地区山洪灾害的预警信息。

检验分为两种,一种是实际预警检验,一种是回代检验。山洪灾害预警模型的建立是利用 2006–2010 年资料,所以可以利用 2011 年资料进行检验。实际预警检验是在向淮河流域气象中心发布预警的时间段内所进行的检验,其时间段为 7 月 28 日–9 月 30 日;回代检验是根据确定的预警模型作出 2011 年前期的预警信息,其时间段为 5 月 1 日–7 月 27 日,将该时间段内的预警情况与实际情况进行对比检验。

(1) 实际预警检验

自 2011 年 7 月 28 日开始制作山洪灾害预警,到 2011 年 9 月 30 日,实际预报检验时段有 2 个多月。2011 年 8 月 23 日 15–19 时东淠河流域有山洪灾害的预警,其他时间都没有出现山洪灾害预警结果。表 1 中列出当日东淠河流域各站雨量,日雨量不低于 44 mm,最大的超过 70 mm。15–19 时逐时加权后的雨量值分别为 38.3、41.2、43.5、39.4、35.7 mm,大于东淠河流域 33.2 mm 的阈值,所以发布预警信息。

表 1 2011 年 8 月 23 日东淠河流域雨量

站点	24 h 雨量/mm	站点	24 h 雨量/mm
单龙寺	65.7	黑石渡	47.2
落儿岭	62.5	白莲岩	48.2
太阳	66.4	磨子潭	65.9
上土市	46.6	漫水河	44.2
大化坪	62.1	诸佛庵	49.3
太平畈	64.9	佛子岭	49.5
黄尾	70.6		

(2) 回代预警检验

西淠河流域 2011 年 6 月 17 日 18–19 时大于阈值,介于 35.7~36.9 mm;6 月 18 日 6 时–11 时大于阈值,介于 36.3~43.0 mm;6 月 18 日 18–19 时大于阈值,为 36.9~38.7 mm;6 月 24 日 12–16 时大于阈值,介于 35.9~40.9 mm。东淠河流域 6 月 10 日 19 时–11 日 01 时大于阈值,介于 34.4~36.8 mm;6 月 17 日 16 时–22 时大于阈值,介于 33.9~43.1 mm;6 月 18 日 7–21 时大于阈值,介于 35.0~53.8 mm;6 月 24 日 10–17 时也大于阈值,介于 34.7~49.2 mm。实际没有接到出现山洪灾害信息,说明预警产品容易造成空报现象。空报现象的出现,是基于灾害预报时遵循“宁空勿漏”的基本指导思想,在确定面雨量阈值中取历史最低值所致。

5 结语

根据大别山地区高密度雨量站近年来的资料,利用 GIS 技术形成的更为精细的栅格点坡度和高度数据,得出雨量与山区坡度和高度的具体关系,并由此推算出 2 个子流域发生山洪灾害的雨量阈值;实时通过全省雨量数据服务器获取前期逐时雨量资料,形成 24 h 和 6 h 雨量,根据雨量关系式求算面雨量,与山洪灾害雨量阈值进行比较,给出是否发生山洪灾害的预警信息;并通过共享方式实时发布预警信息,将山洪灾害的预警信息在淮河流域气象中心加以应用,并对应用情况做出检验。主要结论有如下几点。

(1) 大别山北麓地区的暴雨山洪灾害与各地地形地貌有密切关系,应该根据子流域来进行划分。山洪灾害与前期各种时间尺度的雨量有关,其预警模型的建立由 6 h 和 24 h 面雨量有关。

(2) 利用 GIS 技术并考虑到山区雨量与高度和坡度的关系,获得更为精细的格点雨量资料,有助于得到更细化的雨量点资料,获取更准确的面

雨量值。

(3) 通过山洪灾害预警信息的应用和检验说明, 研发的山洪灾害预警产品不容易造成漏报, 但是容易造成山洪空报现象。

尽管山洪灾害的预警模型具有一定的应用价值, 但是其存在一些缺陷, 主要有:

(1) 所用暴雨山洪灾害个例少。所考察的个例都是在 2006 年以后, 2005 年以前也出现了很多暴雨山洪灾害个例, 由于没有高密度雨量站资料, 因此没有统计在其中。

(2) 没有利用到梯度雨量观测。上世纪曾经在大别山地区各个高度上布设雨量观测点, 有短期的雨量梯度观测值, 就此可以进行各个高度上雨量订正, 做出雨量与高度的拟合, 得到雨量的线性回归方程, 作为雨量插值时的参考。

(3) 在建立雨量与高度、坡度关系时, 会随着雨量站点和雨量时段的选择有很大变数, 仅考察若干个例得出的雨量关系, 可能会有雨量随着高度增加呈现增加的结论, 因此当积累非常多的个例时, 所得到的关系会有较好的代表性。

致谢: 安徽省气候中心的徐光清、钱玉萍提供了大别山区雨量和山洪灾害资料, 谨致谢意。

参考文献:

[1] 马东恒, 张坚, 崔桂霞. 哈尔滨市山洪灾害监测方案的初步

研究[J]. 黑龙江水利科技, 2005, 33(5): 75-76.

[2] 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.

[3] Marco Borga, Paolo Boscolo, Francesco Zanoni, et al. Hydrometeorological analysis of the 29 August 2003 flash flood in the Eastern Italian Alps[J]. J. Hydrometeor, 2007, 8: 1049-1067.

[4] 张雅斌, 杜继稳, 菜蕊, 等. 陕西省精细化地质灾害气象预报预警研究[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 28-34.

[5] 白美兰, 沈建国, 郝润全, 等. 地理信息技术在松嫩流域信息查询和面雨量监测中的应用[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 51-54.

[6] Charles A D III, Harold E B, Robert A M. Flash flood forecasting: an ingredients-based methodology[J]. Weather and Forecasting, 1996, 11: 560-581.

[7] Jonathan J Gourley, Jessica M Erlingis, Yang Hong, et al. Evaluation of Tools used for Monitoring and Forecasting Flash Floods in the US[J]. Weather and Forecasting, 2011, doi: 10.1175/WAF-D-10-05043.1

[8] 周金星, 王礼先, 谢宝元, 等. 山洪泥石流灾害预报预警技术述评[J]. 山地学报, 2001, 19(6): 527-532.

[9] 高煜中, 邢俊江, 王春丽, 等. 暴雨山洪灾害成因及预报方法[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 65-70.

[10] 张铁军, 王锡稳, 魏文娟, 等. 甘肃省山洪地质灾害气象等级预报预警技术研究[J]. 甘肃科技, 2008, 24(16): 58-60.

[11] 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与应用[J]. 对策研究, 2007: 38-41.

[12] 何健, 王春林, 毛夏, 等. 利用雷达回归与 GIS 技术反演面雨量研究[J]. 气象科技, 2006, 34(3): 336-339.

[13] 张洪江, 郑国强, 程金花, 等. 不同面积小流域山洪泥石流预报模型研究[J]. 灾害学, 2011, 26(1): 65-69, 86.

Establishment and Application of Flash Flood Disaster Warning Model in Dabie Mountain

Zhou Houfu^{1,2}, Wu Wenyu^{1,2}, Jiang Shuangwu³, Feng Yan¹ and Wang Haibo³

(1. Anhui Institute of Meteorological Sciences, Hefei 230031, China)

(2. Anhui Key Lab of Atmospheric Science & Satellite Scanning, Hefei 230031, China)

(3. Atmospheric Detecting Technology Security Center of Anhui Province, Hefei 230031, China)

Abstract: According to high density precipitation data of Dabie Mountain in recent years, the specific relationship of rainfall with mountainous slope and height is established by using GIS technique to form more careful grid slope and height. And rainfall threshold of flash flood disaster in two sub-watersheds is calculated. Real-time hourly rainfall data are accessed through the data server, forming 24 hours and six hours rainfall. Warning information of flash flood disaster is given according to rainfall formula calculating area precipitation and comparison with flash flood disaster area rainfall threshold. Warning information is released at real-time, and it is practically applied to Meteorological Center of Huaihe River Basin.

Key words: flash flood; warning model; GIS technique; Dabie Mountain, Anhui