

文章编号:1673-9469(2009)04-0040-05

地震灾区应急洪水预报方案建立研究

温立成^{1,2}

(1.河海大学水文水资源学院,江苏南京 210098;2.水利部海委水文局,天津 300170)

摘要:提出了一种建立地震灾区应急洪水预报方案的方法,即在划分基本类的基础上,建立每类的应急雨量站和面雨量的回归方程,并提出了时段面雨量计算方法,结合现有的经验预报方案,实现地震灾区洪水预报,用以满足灾后应急洪水预报的需要。该方法不依赖于流域内全部测站的降雨信息,可有效解决灾后流域内雨量站缺测的应急洪水预报问题。实例应用表明,该方法预报结果令人满意。

关键词:地震;基本类;回归分析;应急雨量站;洪水预报

中图分类号: P338

文献标识码: A

Complication of Emergency flood forecasting scheme in Disaster Areas by Earthquakes

WEN Li-cheng^{1,2}

(1. Hydrology and water resources institute Hohai University, Nanjin, Jiangsu Nanjing 210098, China;

2. Hydrology Bureau of Hai River Water Conservancy Commission, M. W. R, Tianjin 300170, China)

Abstract: To avoid the flood secondary disasters caused by the earthquake, the department which has the task of flood forecasting set up emergency flood forecasting scheme to provide scientific basis for earthquake relief in earthquake-prone areas. A method of forecasting emergency flood in earthquake areas is provided in the paper. The logistic equations of each kind of emergency rainfall station and area rainfall are set up by dividing the basic classes in the method. The computation method of acquiring time-area rainfall is also deduced. Combined with the available experience forecasting project, the method could implement flood forecasting to satisfy the earthquake relief in earthquake areas. The method does not depend on the rainfall information in all rainfall stations and could solve the problems of lacking of observation data in disaster areas effectively. The application example shows the forecasting result of the method is satisfactory.

Key words: earthquake; basic class; regression analysis; emergency rainfall station; flood forecasting

地震是自然界10大灾害之一,带给社会和人们的是破坏和毁灭。中国是一个地震灾害多发国家,2008年5月12日四川汶川特大地震,形成了大面积堰塞湖泊。使得社会对水文工作有了更加深刻的认识。地震造成的洪水次生灾害主要有堰塞湖溃坝和“常规”洪水造成的灾害。因此震后水文部门发布的洪水预报成果成为抢险救灾指挥部科学决策避免洪水次生灾害的重要依据之一。但由于地震的影响,水文站网和通讯受到一定的破坏,雨量数据无法正常采集、传递,信息的缺失将

导致灾区发生降雨时无法实施准确的产汇流预报。Homberger等^[1]、许继军等^[2]的研究已经证明,因河道阻塞,流量站水位流量关系发生改变,根据水位无法推求流量,常规的上下游相关洪水预报方案无法使用。本文以潘家口水库以上流域为例,结合预报节点以上流域测站分布,选择交通便利、位于县城和集镇附近便于震后恢复的雨量站点,选出应急测站。在分析历史降雨资料的基础上,按累积面雨量大小划分了四个基本类,在基本类内,通过多元回归分析方法,建立应急测站和流

收稿日期:2009-09-22

基金项目:国家自然科学基金(50479017),淮河流域气象开放研究基金;教育部长江学者和创新团队发展计划(IRTO717)

作者简介:温立成(1970-),男,河北唐山人,高级工程师,博士生,从事水文预报、水库调度。

域面雨量的累积回归方程,提出了时段面雨量新算法。该方法弥补了雨量信息减少的欠缺,减少水文预报的不确定性。

1 应急测站选择及启用

1.1 应急测站的选择

应急测站应遵循以下原则选择:(1)测站靠近交通便利的城镇,便于震后的恢复和报汛;(2)测站尽可能均匀分布于预报流域的上游、中游和下游,具有较好区域代表性。

1.2 应急测站的启用

当地震发生后,首先尽快修复应急雨量站,对于没有修复条件的用简易测量手段,比如在原站址附近用脸盆、水缸等储水器具配合计时工具,粗略计算降水量和降水时间。

震后灾区面临着断水、断电、断路的困难,原有的常规通信设备可能无法使用,观测人员应和当地救灾指挥部取得联系,利用救灾指挥部的通讯系统向有预报能力的地区和省级水文部门报汛。

2 回归方程的建立

面雨量是整个区域内单位面积上的平均降水量,能较客观地反映整个区域的降水情况。目前一般采用在特定区域内,依据各单点雨量经数学运算得到能够代表该区域平均降水量的计算方法。计算面雨量的常用方法有算术平均法、加权平均法、泰森多边形法等等^[3,4]。在日常的洪水预报中,当流域内雨量站降雨资料缺测时,通常是借用临近站或应用数学内插方法插补出缺测站点雨量后再进行面雨量计算。面雨量的计算误差往往和缺测站的数量有关。应急测站启用后测得的降水量为点雨量,一般只能代表观测点及其周围较小范围的降雨情况,由于受地震影响,应急测站站数较少,为了提高面雨量的拟合精度,本文提出了基于应急测站雨量资料计算面雨量的方法。具体思路如下:根据选择的应急雨量站,在划分基本类的基础上,利用多元回归分析的方法,建立应急雨量站和预报流域面雨量的回归方程。

2.1 基本类的划分

基本类划分的基本原理是利用聚类分析的方

法,按照流域面平均雨量的大小划分基本类。参照气象部门降水量级的划分标准,将流域面平均降水量划分为小雨、中雨、大雨及大雨以上4个基本类,具体的基本类划分见表1。

表1 雨量基本类划分表

Tab.1 Classification of rainfall mm				
基本类	小雨	中雨	大雨	大雨以上
对应量级	0~9.9	10.0~24.9	25.0~49.9	≥50

2.2 回归方程的建立

多元逐步回归方法的主要目的是在回归方程中尽可能包含所有对因变量 y 影响显著的自变量,而不包含对 y 影响不显著的自变量的回归方程^[5]。它的主要思路是:将全部自变量按其对于 y 的作用大小,程度大小或者说贡献大小,逐步将对 y 作用显著的变量引入回归方程,而那些对 y 作用不显著的变量可能始终不被引入回归方程。另外,已被引入回归方程的变量在引入新变量后也可能失去重要性,而从回归方程中剔除。

在进行逐步回归计算前要确定检验每个变量是否显著的 F 检验水平,以作为引入或剔除变量的标准。

判断各个变量的作用是否显著,一般情况下可分别查看不同显著标准($\alpha=0.10$ 、 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.01$)的临界 F 值。用 $\alpha=0.10$ 表查出的 F 临界值叫 $F(0.90)$,是“稍显著”标准;用 $\alpha=0.05$ 表查出的 F 临界值叫 $F(0.95)$,是“显著”标准;用 $\alpha=0.01$ 表查出的 F 临界值叫 $F(0.99)$,是“极显著”标准。

本文在基本类内,根据历史场次降雨资料,利用多元逐步回归的方法建立每场雨应急测站累积点雨量和流域累积面雨量的回归方程。以应急雨量站累积降水资料为自变量,以对应时间的预报流域累积面雨量为因变量,以 F 值所对应的 P 值的大小作剔除变量的准则,选择用 $\alpha=0.05$ 作为选入变量的显著性水准,对回归方程检验时,若 $P \leq 0.05$,则该变量被选入方程,建立不同类对应的应急雨量站和预报流域面雨量之间的逐步回归方程。

以调整决定性系数 $R^2 > 0.7$ 作为方程可取的判别标准^[6],调整决定性系数是根据方程中自变量的多少对决定性系数 R^2 进行调整,以避免偏性,按照下式计算

$$R_a^2 = R^2 - \frac{p(1-R^2)}{N-p-1}$$

式中 R^2 —决定性系数; N —样本量; p —自变量个数。

3 时段面雨量的推求

回归方程是建立在日降水量的基础上的,考虑洪水预报模型的时段要求,本文提出了基于不同类的回归方程,推求时段面雨量的方法如下:

1) 从流域降水开始起,分别计算各应急雨量站第 1 个时段雨量 P_{11} , 1~2 个时段面雨量之和 P_{12} , …, 1~ n 个时段雨量之和 P_{1n} 。

2) 分别计算各时段应急雨量站累积雨量的算术平均值, 即 $\overline{P}_j = \frac{\sum_{i=1}^m p_{ij}}{m}$
式中 p_{ij} —第 i 个应急雨量站 j 时段的累积雨量值;
 m —应急雨量站个数; \overline{P}_j — j 时段末的累积雨量算术平均值。

3) 参照表 1 基本类的划分标准, 根据 \overline{P}_j 的大小, 判断该时段末累积雨量属于哪个基本类。

4) 选用该基本类对应的回归方程, 计算累积面雨量, 即: $R_1, R_2 \cdots R_n$ 。

5) 计算各时段面雨量 $R'_1, R'_2 \cdots R'_n$, 即

$$R'_1 = R_1; R'_2 = R_2 - R_1; R'_3 = R_3 - R_2; R'_n = R_n - R_{(n-1)}$$

4 灾区洪水预报

考虑地震灾区的特殊条件, 建议选择对计算机和数据库依赖程度较小的经验预报方案。本文中产流预报方案选择 $P + Pa \sim R$ 模型, 汇流预报方案选择 10mm 净雨经验单位线。这种经验相关关系, 参数物理意义明确、制作简易、要求资料不多, 容易取得成果^[7]。所以该方法是灾区应急预报方案的首选。

5 实例应用

潘家口水库位于河北省唐山市与承德地区的交界处。坝址以上控制面积为 33 700 km², 占全流域面积的 75%。预报方案编制区域为: 滦河上游干流三道河子站和最大支流伊逊河入干流韩家营站以下, 包括干流左岸的武烈河、老牛河、瀑河; 右岸的柳河, 预报流域面积为 10 039 km²。潘家口水

库以上流域设有 21 个雨量站, 大约每 500km² 有一个雨量报汛站。流域雨量站分布如图 1 所示。结合本流域雨洪特性, 挑选了汛期降水偏多的 12 年降雨资料(2006、1997、1995、1994、1992、1984、1983、1978、1976、1969、1964、1962)。根据应急雨量站的选择条件, 甩掉深山区的 14 个雨量站, 保留交通便利、靠近城镇的 7 个测站作为应急雨量站, 这 7 个测站分别为兴隆(31218)、三道河(31253)、下板城(31428)、承德(31464)、宽城(31507)、平泉(31551)、潘家口(31651)。

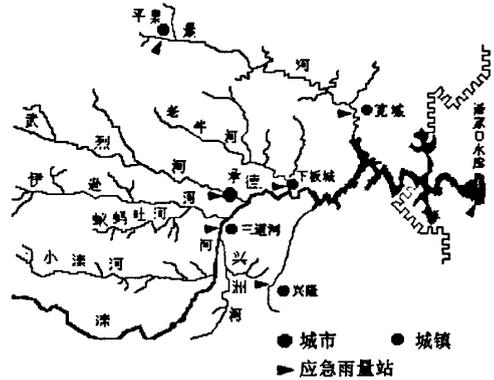


图1 滦河流域雨量站示意图

Fig.1 Schematic diagram of rainfall station in the Luanhe River basin

以上述 7 个站为自变量, 分别对应为 $X_1 \cdots X_7$, 利用原有的 21 个雨量站计算的面雨量为应变量 (Y), 进行逐步回归分析。

由于篇幅原因, 本文仅详细阐述大雨这一基本类的回归过程, 从表 2 可以看出, 在大雨类别情况下, 排除了承德(31464) 即 X_4 、宽城(31507) 即 X_5 、潘家口(31651) 即 X_7 。剩余 4 个自变量, Y 为应变量, 采用逐步回归法建立回归方程。经过 4 次回归, 最终结果显示, 回归方程的相关系数 (R) 为 0.923, 决定系数 (即 R^2) 为 0.851, 调整决定性系数 R_a^2 为 0.837。经方差分析, $F = 60, P \leq 0.05$, 回归方程有效。参考调整决定性系数 (R_a^2), 从第二步开始, 调整决定性系数 $R_a^2 > 0.7$, 回归方程即可取, 可利用的回归方程为

$$\begin{cases} Y = 0.35X_2 + 0.327X_3 + 12.39 \\ Y = 0.105X_1 + 0.316X_2 + 0.282X_3 + 9.746 \\ Y = 0.115X_1 + 0.315X_2 + 0.209X_3 + 0.150X_6 + 6.751 \end{cases}$$

表 2 逐步回归分析成果表(大雨)
Tab.2 Step regression analysis of heavy rain

次数	系数	复相关系数 R	决定系数 R ²	调整决定性系数 R _a ²	F 值	P 值	
1	(Constant)	21.945	0.642	0.413	0.399	31.601	1.1348E-06
	31253	0.390					
2	(Constant)	12.393	0.856	0.732	0.720	60.126	2.59854E-13
	31253	0.350					
3	31428	0.327	0.903	0.816	0.803	63.596	7.48248E-16
	(Constant)	9.746					
	31253	0.316					
4	31428	0.282	0.923	0.851	0.837	60.079	7.9196E-17
	31218	0.105					
	(Constant)	6.751					
	31253	0.315					
	31428	0.209					
	31218	0.115					
	31551	0.150					

表 3 回归方程参数成果表
Tab.3 Parameter in regression equation

类别	常数 C	31218 X ₁	31253 X ₂	31428 X ₃	31464 X ₄	31507 X ₅	31551 X ₆	31651 X ₇	决定性系数 R ²	调整决定性系数 R _a ²
小雨	0.723	0	0.113	0	0.240	0.162	0	0.193	0.722	0.720
	0.62	0.146	0.108	0	0.189	0.163	0	0.155	0.764	0.762
	0.437	0.149	0.107	0	0.177	0.13	0.14	0.146	0.808	0.806
	0.403	0.152	0.084	0.122	0.162	0.114	0.129	0.126	0.829	0.828
中雨	6.49	0.065	0	0	0.179	0.115	0	0.19	0.703	0.700
	6.04	0.07	0.095	0	0.154	0.121	0	0.146	0.727	0.712
	5.142	0.08	0.103	0	0.142	0.101	0.083	0.142	0.754	0.738
大雨	12.39	0	0.35	0.327	0	0	0	0	0.732	0.720
	9.746	0.105	0.316	0.282	0	0	0	0	0.816	0.803
	6.751	0.115	0.315	0.209	0	0	0.15	0	0.851	0.837
大雨以上	13.04	0	0	0	0.941	0	0	0	0.911	0.906
	13.83	0	0.476	0	0.51	0	0	0	0.933	0.926
	4.52	0	0.626	0	0.274	0	0.228	0	0.95	0.941
	3.051	0	0.87	0	0	0	0.299	0	0.944	0.938

不同类别下可取的回归方程系数具体见表 3。从表 3 可以看出,可取的回归方程所需应急雨量站个数不等。因此在进行地震灾区的洪水预报作业时,可根据收集的应急雨量站资料情况,适时选择回归方程,计算流域面雨量和时段面雨量,即可实施洪水预报。

为了检验此方案的预报效果,我们选取了没有参加回归方程的参数进行对比分析。由于滦河潘家口水库以上流域发生洪水场次较少,可供选择检验的洪水较少,在对比分析时,选择 2005 年

8.12 洪水、1998 年 7.6 洪水两场洪水。将利用全部 21 个站的雨量资料和利用应急雨量测站回归方程所求的面雨量资料推求的洪水预报成果进行对比,时段面雨量推求成果见表 4,预报洪水对比情况见表 5。

通过对三日洪量、洪峰流量以及峰现时间的对比,可以看出,应急预报方案结果较常规预报结果在洪量和洪峰上,差别均在 5% 以内,峰现时间相同(都滞后 2 个时段),和实测流量相比均在误差允许范围内。所以在发生地震时,可根据收集

表4 雨量推求过程表

Tab.4 Solving process

洪号	时段	应急雨量站累积 算术平均值	应用的回归 方程类别	应急站推求 累计面雨量	应急站推求 时段面雨量	常规站推求 时段面雨量
20050812	8	0		0		0
	11	21.65	中雨	15.98	15.98	23.71
	14	53.82	大雨	54.48	38.50	27.54
	17	74.37	暴雨	71.45	16.97	25.54
	20	85.46	暴雨	78.63	7.18	8.04
合计				78.63	84.83	
19980706	17	0		0		0
	20	1.12	小雨	1.011	1.011	1.01
	23	3.53	小雨	1.263	0.252	2.02
	2	14.12	中	13.104	11.841	10.89
	5	26.36	大	24.838	11.734	11.53
	8	63.89	暴雨	67.701	42.863	39.26
合计				67.70	64.71	

表5 洪水预报成果对比表

Tab.5 Comparison of flood forecast

洪号	预报方案	面雨量	洪峰	3日洪量	峰现时间	3日洪量 误差/%	洪峰误差 /%	峰现时间 误差(时段)
20050812	常规预报	84.83	2 360	2.24	13日8时	-4%	-5%	-2
	应急预报	78.63	2 250	2.15	13日8时	-8%	-10%	-2
	实测成果		2 490	2.35	13日2时			
19980706	常规预报	64.71	2 084	1.97	7日8时	-14%	-2%	-2
	应急预报	67.70	2 200	2.06	7日8时	-10%	+4%	-2
	实测成果		2 120	2.29	7日2时			

的应急雨量站的情况,适时选择对应不同应急站的回归方程,计算流域面雨量和时段面雨量,实施洪水预报。

6 结论

1)在全部或部分应急测站恢复运行的前提下,用本方法可以有效解决地震等自然灾害后,流域内雨量站缺测情况下的洪水预报问题。

2)对自然灾害多发区有预报任务的水文部门的应急预报方案制定具有一定的指导意义。

3)该方法不仅可以为降雨资料短缺地区的洪水预报提供参考,同时可以为水文站网规划时雨量站的布设提供参考。

参考文献:

[1] HORNBERGER C M, BEVEN K J, COSBY B J, *et al.*

Shenandoah water shed study : calibration of a topography based. Variable contributing area hydrological model to a small forested Catchment [J]. *Water Resources Research*. 1985, 21(2): 1842 - 848.

- [2] 许继军,杨大文,蔡治国,等.基于分布式水文模拟的三峡区间洪水预报(I)模型构建及验证[J].*水文*, 2008, 28(1): 32 - 37.
- [3] 金新芽,邵学强,马志鑫,等.浙江省暴雨定点定面关系分析[J].*浙江水利科技*, 2003(2): 7 - 8.
- [4] 野晓雷,张志军.北方平原城市雨水系统设计中的几个问题[J].*河北科技大学学报*, 2008, 29(2): 169 - 172.
- [5] 王孝仁,王松桂.实用多元统计分析[M].上海:上海科学技术出版社,1990.
- [6] 陈平雁. Spass 统计软件应用教程[M].北京:人民卫生出版社,2008: 176 - 185.
- [7] 庄一鹤,林三益.水文预报[M].南京:河海大学出版社,1995.

(责任编辑 刘存英)