

李政国, 薛强, 张茂省, 等. 陕西省延安市地质灾害气象预警信息系统研究——以“7.3”暴雨为例[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 69–73, 83. [Li Zhengguo, Xue Qiang, Zhang Maosheng, et al. Study on the Meteorological Early-warning Information System of Geological Disasters in Yanan City of Shaanxi Province——Taking the Rainstorm of “7.3” as an Example[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 69–73, 83.]

陕西省延安市地质灾害气象预警信息系统研究 ——以“7.3”暴雨为例*

李政国^{1,2,3}, 薛强^{2,3}, 张茂省^{2,3}, 隋立春¹

(1. 长安大学, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;
3. 国土资源部黄土地质灾害重点实验室, 陕西 西安 70054)

摘要: 基于降雨在黄土地质灾害发生过程中的关键作用, 在集成地质、地理等基础数据, 以及降雨等实时数据的基础上, 设计并开发了延安市地质灾害气象预警系统。以 Client/Server 和 Browser/Server 模式建立系统的框架, 利用信息量模型进行延安市地质灾害易发分区评价, 设定三类降雨预警指标实现延安市地质灾害气象预警分级系统, 应用系统的预警分析模块计算全区气象预警级别, 并发布预警信息。经 2013 年“7.3”暴雨过程期间进行的汛期灾害调查结果验证分析, 预警准确率达到 94.3%, 证明了系统的可靠性和准确性, 该系统可作为合适的地市级地质灾害预警平台予以应用。

关键词: 延安; 地质灾害; 气象预警; “7.3”暴雨

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2016)02–0069–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2016.02.014

陕西省延安市位于黄土高原中部, 区内黄土结构疏松, 地形破碎, 人类工程活动强烈, 是黄土地质灾害高易发区, 而汛期更是地质灾害高发期, 2013 年 7 月因强降雨过程引发的黄土地质灾害多达 8 000 余处^[1]。刘传正指出“约 2/3 的突发性地质灾害是由于大气降雨直接诱发或与气象因素相关, 开展地质灾害气象预警工作则抓住了问题的关键^[2]”。地质灾害气象预警主要是根据有效的大气降水数据, 研究降雨量、降雨强度和降雨过程与地质灾害发生的空间、时间上的对应关系, 建立地质灾害时空分布与降雨过程的统计关系, 以达到预警预报的目的^[3]。目前, 在国内外地质灾害预警研究中, 美国^[4]、瑞士^[5]、巴西^[6]和中国^[7]等国家, 以及中国香港地区^[8]对预测技术的研究有较大进展, 能够预报主要的地质灾害的发生^[9], 但预警整体缺乏系统性, 在实践中出现了一些偏差^[10]。本文从实用性出发, 综合整个延安地区的地质灾害、气象、地质、地理等数据, 建

立预警分析模型, 结合预警预报方法, 建立了延安市地质灾害气象预警信息系统, 通过 2013 年延安“7.3”暴雨过程的验证分析, 证明整个系统能够进行高精度的地质灾害预警分析。利用延安市地质灾害气象预警信息系统开展地质灾害气象预警预报, 可为延安市全区的地质灾害减灾、防灾、救灾等工作提供重要的决策依据和技术支撑。

1 陕西省延安市地质灾害气象预警信息系统框架设计

“陕西省延安市地质灾害气象预警信息系统”采用 C/S (Client/Server)、B/S (Browser/Server) 模式, 分为 web 端应用、客户端应用、服务器端和数据库端 4 部分, 其中客户端分为外网(公网)客户端、内网(局域网)客户端 2 部分, 分别适用于公网注册用户和部门局域网用户, 系统整体架构设计如图 1 所示。

* 收稿日期: 2015–08–10 修回日期: 2015–10–13

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41372330); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2012JM5003); 中国地质调查局项目(1212011140018, 1212010814037, 12120114035701, 1212011220031, 12120113004800, 121201140001); 国土资源部黄土崩塌灾害—陕西延安野外科学观测研究基地

作者简介: 李政国(1979–), 男, 吉林敦化人, 工程师, 在读博士研究生, 主要研究方向为地质灾害信息系统、遥感调查、图像分割及信息提取。E-mail: zhengguo_li@163.com

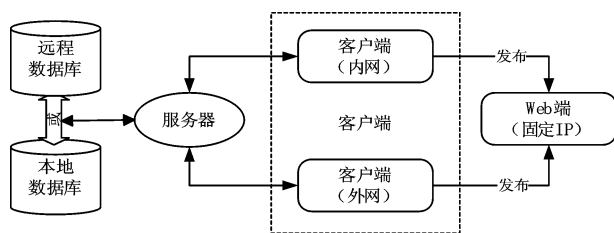


图1 延安市地质灾害气象预警信息系统框架结构图

数据库端集成了所有的数据，包括空间数据、灾害数据、专业监测数据以及气象数据等，为保证数据的安全性，建立远程数据库和本地数据库，相互备份确保系统在任何时候能够检测到需要的数据。服务器端作为整个系统的基础，以后台服务的形式运行，其集成了气象预警模型，主要作用是处理输入的数据，并计算出预警结果反馈给客户端。客户端提供了对延安市地质灾害点、监测点信息，专业监测点信息，气象预警信息等进行浏览、查询、管理、编辑、输出等功能，是专业用户进行气象地质灾害预警预报的操作平台。Web端接收客户端传送的预警结果，非专业用户可直接通过固定IP地址访问并获得即时的地质灾害气象预警信息。

2 陕西省延安市地质灾害气象预警信息系统客户端模块化开发

系统的客户端整合了延安地区的地质灾害数据和专业监测数据并进行可视化管理，在此基础上实现地质灾害气象预警预报功能。整个系统分为四个综合性模块，分别是基础地理信息模块、地质灾害数据管理模块、专业监测数据模块、预警分析模块，每个模块又细分为若干子模块实现不同的功能(图2所示)。

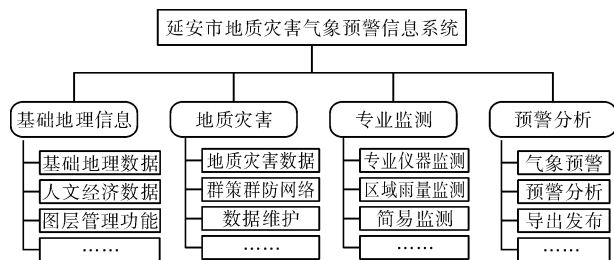


图2 延安市地质灾害气象预警信息系统模块

2.1 基础地理信息模块

基础数据模块集成了系统运行所需要的地理数据、经济数据，并依靠服务器进行查询、检索、量测、漫游、空间分析等功能。

2.2 地质灾害数据管理模块

包括地质灾害数据和群策群防数据功能模块，系统集成地质灾害的详细调查表并可对其进行编辑维护、查询审计、统计分析。群策群防模块管理群策群防数据，可将预警预报结果直接发送到群策群防联系人，形成高效的预警信息传输网络。

2.3 专业监测数据模块

为了对地质灾害进行有效的监测，在高危险滑坡崩塌泥石流发生地段安装了专业型的地质灾害监测仪器，其监测数据实时传输到系统数据库。降雨量数据作为黄土地质灾害触发的重要因素之一，也作为专业数据集成到系统，并可实时观察整个延安地区的降水状态。

2.4 预警模块

预警模块包括气象预警、预警分析、数据发布等功能模块。它是系统的核心模块，应用延安市灾害数据、降雨数据等，利用预警模型计算全区的预警级别，并对数据进行综合分析后，予以发布。

3 气象预警模型

把地质灾害易发性分区与诱发地质灾害的实况雨量和预报雨量进行叠加，得到地质灾害预警初步结果，预警结果与地质灾害详细信息进行交叉，生成预警综合信息(预警结论、报表和制图等)，经过会商后公开发布预警信息。地质灾害气象预警总体流程如图3所示。

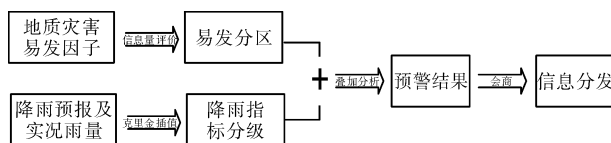


图3 延安市地质灾害气象预警流程

3.1 基于信息量模型的延安市易发区评价

易发分区是作为预警过程中相对稳定的输入数据参与运算，对延安市全区以信息量评价为基础进行地质灾害易发性易发分区。信息量模型把可度量的地质灾害影响因素转化为信息量值，即地质灾害的发生(y)受多种因素组合($x_i, i=1, 2, \dots, n$)的影响，综合考虑各种影响因素的类别及其组合，得到综合信息量。信息量模型理论计算公式为：

$$I(y, x_1, x_2 \cdots x_n) = \ln \frac{P(y, x_1, x_2 \cdots x_n)}{P(y)} \quad (1)$$

式中： $I(y, x_1, x_2 \cdots x_n)$ 为因素组合 $x_1 x_2 \cdots x_n$ 对地质灾害发生所提供的信息量； $P(y, x_1 x_2 \cdots x_n)$ 为因素 $x_1 x_2 \cdots x_n$ 组合条件下地质灾害发生的概率； P

(y) 为地质灾害发生的概率。

根据条件概率运算，式(1)可进一步写成：

$$I(y, x_1x_2\cdots x_n) = I(y, x_1) + I_{x_1}(y, x_2) + \cdots \\ I_{x_1x_2\cdots x_{n-1}}(y, x_n)。$$
 (2)

式中： $I_{x_1}(y, x_2)$ 为评价因素 x_1 存在时，评价因素 x_2 对地质灾害发生所提供的信息量。

式(1)、(2)是信息量的理论模型，在实际计算时，可使用样本频率计算信息量，即：

$$I(x_1, H) = \ln \frac{N_i/N}{S_i/S}。$$
 (3)

式中： $I(x_1, H)$ 为评价因素 x_i 对地质灾害发生提供的信息量值； S 为研究区评价单元总数； S_i 为研究区内含有评价因素 x_i 的单元数； N 为研究区内含有滑坡分布的单元总数； N_i 为滑坡落在评价因素 x_i 内的单元数。

计算单个评价单元内 n 种因素组合情况下，提供滑坡发生的总的信息量 I_i ，即：

$$I_i = \sum_{i=1}^n I(x_i, H) = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S}。$$
 (4)

将总的信息量值 I_i 的大小作为该评价单元影响滑坡发生的综合指标，单元信息量值越大越有利于地质灾害的发生，则该单元的滑坡易发性越高。

选取坡度、破向、坡高、坡型、斜坡结构类型、植被与道路距离七个独立因子进行分类并计

算其信息量，结果如表 1 所示，根据各因子信息量值，延安市以 1：50 000 比例尺进行地质灾害易发区划，将全区分为易发性很高、易发性高、易发性中以及易发性低四级(图 4 所示)。

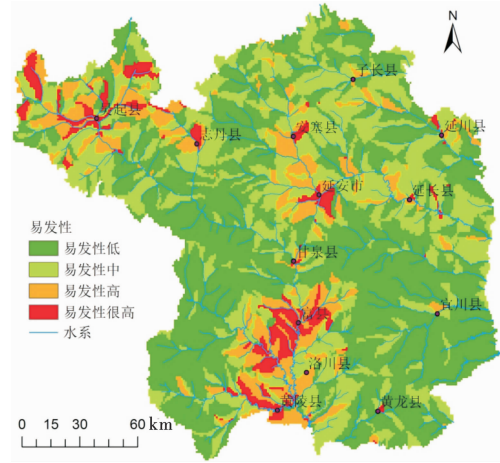


图 4 延安市地质灾害易发分区图

3.2 陕西省延安市地质灾害气象预警分级系统

气象站观测降雨量及气象台预报降雨量经插值运算后，作为地质灾害的触发因子参与模型计算，系统设定三类降雨预警指标，第一类预警指标 R_0 为当日降雨量，其临界值为 10 mm、30 mm、50 mm；第二类预警指标 R_c 为当日预报雨量及前

表 1 因子图层分类及其信息量值

因子图层		各因子图层各类别对应值								
坡度	分类范围/(°)	0 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	25 ~ 30	30 ~ 35	>35		
	分类值	1	2	3	4	5	6	7		
	信息量值	-0.0005	0.0001	0.0126	0.0358	0.0726	0.0945	0.1573		
坡高	分类范围/m	0 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	25 ~ 30	30 ~ 35	35 ~ 40	>40		
	分类值	1	2	3	4	5	6	7		
	信息量值	0.0009	-0.0076	-0.0052	0.0483	0.0924	0.1053	0.2546		
坡向	分类范围/(°)	<0(平)	0 ~ 45	45 ~ 90	90 ~ 135	135 ~ 180	180 ~ 225	225 ~ 270	270 ~ 315	315 ~ 360
	分类值	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	信息量值	0	0.3256	-0.0482	-0.1546	-0.0543	0.1216	0.1348	-0.0255	0.0592
坡型	分类范围 P	< -0.5	-0.5 ~ 0	0 ~ 0.5	>0.5					
	分类值	1	2	3	4					
	信息量值	-0.6426	-0.0253	0.2745	0.4536					
斜坡结构类型	分类范围	薄层黄土 + 基岩型斜坡	平行层状黄土斜坡	厚层黄土 + 基岩型斜坡	黄土 + 红黏土型斜坡	顺坡倾斜层状黄土斜坡				
	分类值	1	2	3	4	5				
	信息量值	-1.8345	-0.9549	2.6342	0.9263	1.5638				
植被	分类范围($NDVI$)	<0	0 ~ 0.2	0.2 ~ 0.4	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8	>0.8			
	分类值	1	2	3	4	5	6			
	信息量值	0.3658	0.2769	0.1582	-0.5838	-1.2676	-2.3648			
到道路的距离	分类范围/m	0 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 500	>500				
	分类值	1	2	3	4	5				
	信息量值	3.5632	4.6852	3.7625	3.4536	-2.6238				

表 2 地质灾害易发级别及可能性

预警指标及临界值		地质灾害易发级别及发生可能性							
		很高 易发区	灾害发生 可能性	高易发区	灾害发生 可能性	中易发区	灾害发生 可能性	低易发区	灾害发生 可能性
第一类指标 R_0 (当日雨量)/mm	≥ 50	I 级	很大	II 级	大	III 级	大	IV 级	较大
	30 ~ 50	II 级	大	III 级	大	IV 级	较大	V 级	较大
	10 ~ 30	III 级	大	IV 级	较大	V 级	较大	VI 级	-
第二类指标 R_c (累计雨量)/mm	≥ 100	I 级	很大	II 级	大	III 级	大	IV 级	较大
	43 ~ 100	II 级	大	III 级	大	IV 级	较大	V 级	较大
	10 ~ 43	III 级	大	IV 级	较大	V 级	较大	VI 级	-
第三类指标 P (滑坡发生概率)	$\geq 75\%$	I 级	很大	II 级	大	III 级	大	IV 级	较大
	50 ~ 75%	II 级☆	大	III 级	大	IV 级	较大	V 级	较大
	25 ~ 50%	III 级	大	IV 级	较大	V 级	较大	VI 级	-

15 日累计雨量，其临界值为 10 mm、43 mm、100 mm；第三类预警指标 P 为滑坡发生概率，其计算公式如下：

$$P = \frac{\exp(-3.169 + 0.105R_1 + 0.119R_2 + 0.038R_3)}{1 + \exp(-3.169 + 0.105R_1 + 0.119R_2 + 0.038R_3)} \quad (5)$$

式中： R_1 为前 1 d 降雨量， R_2 为前 2 d 降雨量， R_3 为前 3 d 降雨量，其临界值分别为 25%、50%、75%。

根据易发区划和预警指标临界值大小的对比关系设定预警级别，共设定 6 级（表 2）：I 级，表示极有可能发生黄土滑坡并由此带来很大的危害，需要最强的预警；II 级，表示很有可能发生黄土滑坡并由此带来大的危害，需要强预警；III 级，表示较有可能发生黄土滑坡并由此带来较大的危害，需要较强的预警；IV 级，表示在不利情况下可能发生黄土滑坡并由此带来一定的危害，需要预警；V 级，表示在较不利情况下可能发生黄土滑坡并有危害，需要一定的预警；VI 级，表示在最不利的情况下可能发生地质灾害并有轻微危害。

以地质灾害发生的可能性大小发布预警结果（表 2，图 5）：I 级预警结果发布为可能性很大；II 级和 III 级预警结果发布为可能性大；IV 级、V 级预警结果发布为可能性较大；VI 级预警结果不发布。

4 陕西省延安市地质灾害气象预警发布

预警结果的发布需要专业的气象预报人员与地质灾害专家会商后进行发布。专业人员可通过客户端浏览预警过程及结果。公众可通过 IP 地址访问系统的 Web 端，获得最终的预警信息。群测群防人员通过手机接收预警信息，并通知受威胁的群众采取预防措施。

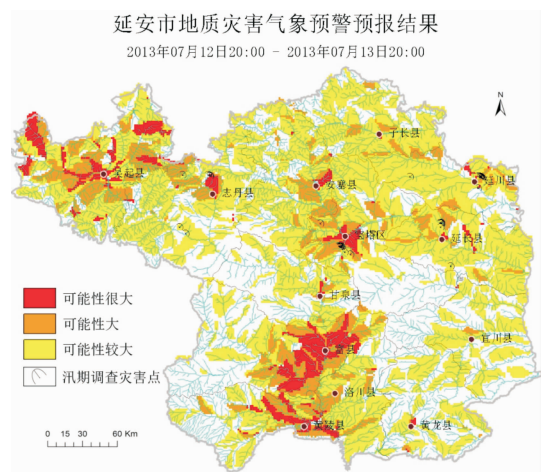


图 5 “7·3”暴雨预警结果与调查点对比验证图

5 陕西省延安市“7.3”暴雨预警实例检验分析

5.1 2013 年延安“7.3”暴雨简析

2013 年 7 月，延安市 13 区县全部遭遇持续性强降雨，本次强降雨是延安市自 1945 年有气象记载以来降雨过程最长、强度最大的一次降雨（简称“7.3”暴雨），安塞县、宝塔区、甘泉县、吴起县、宜川县、志丹县的降雨量至少达到了年降雨量的 80% 以上，其中安塞县、延川县 7 月降雨量已经超过了年均雨量（表 3）。2013 年延安全区 7 月平均降雨量 405.19 mm，是历年全区 7 月平均降雨量 112.10 mm 的 3.6 倍，2013 年延安全区 7 月日平均降雨量 13.97 mm 是历年全区 7 月日平均降雨量 3.62 mm 的 3.9 倍，安塞县达到了 5.5 倍。持续性高强度降雨是诱发大量地质灾害的最直接的因素，据统计，本次降雨过程引发地质灾害多达 8 000 余处，死亡 42 人，直接经济损失达 102.7 亿元^[1]。

表 3 延安各区县降雨量统计表

地区	2013 年 7 月份 降雨量/mm	历年年均 降雨量/mm	2013 年 7 月份降雨量占历年 年均降雨量的百分比/%	2013 年 7 月延安各 区县日均降雨量/mm
安塞县	581.00	562.10	103.36	20.03
宝塔区	553.30	572.30	96.68	19.08
富 县	316.00	529.60	59.67	10.90
甘泉县	441.30	550.50	80.16	15.22
黄陵县	253.70	630.90	40.21	8.75
黄龙县	261.70	567.00	46.16	9.02
洛川县	345.80	628.10	55.05	11.92
吴起县	417.00	475.60	87.68	14.38
延川县	567.30	561.90	100.96	19.56
延长县	334.50	514.80	64.98	11.53
宜川县	425.70	512.90	83.00	14.68
志丹县	460.90	472.00	97.65	15.89
子长县	309.30	514.70	60.09	10.67
延安市	405.19	598.70	67.68	13.97

5.2 延安“7.3”暴雨预警实例验证分析

2013 年 7 月 13 日, 延安市地质灾害气象预警信息系统经预警分析, 发布预警结果, 如图 5 所示。7 月 13 日, 在志丹县、延长县、延川县、宝塔区四县区的地质灾害汛期排查工作中, 共计排查地质灾害点 35 处, 预警结果与实际排查灾害点对比验证可知: 落入红色预警区(可能性很大)的排查点有 9 处, 为 25.7%; 落入橙色预警区(可能性大)的排查点有 10 处, 为 28.6%; 落入黄色预警区(可能性较大)有 14 处, 为 40%; 其他区域为 2 处, 占 5.7%。落入预警范围内的地质灾害点计 33 处, 占地质灾害排查点总数的 94.3%。不在预警范围内的两处灾害点, 经分析其原因是易发分区的不准确造成了预警结果的错误。

6 结论

本文介绍了“陕西省延安市地质灾害气象预警信息系统”的设计与实现, 对地质灾害气象预警系统中应用的地质模型、降雨分级系统做了详细的阐述, 并对预警流程进行了说明。延安市地质灾害气象预警信息系统集成了地质、地理等基础数据以及降雨的实时数据, 形成了一个相对动态的预警系统, 在 2013 年 7 月“7.3”暴雨的地质灾害汛期排查工作中检验了系统的可靠性和准确性, 证明该系统适合作为地市级的地质灾害预警平台。但在实际业务应用过程中需要注意以下三点。

(1) 应用信息量模型进行延安市全区的地质灾害易发区划, 仍然存在着调查精度不足的问题, 直接影响到预警的精度, 因此, 需进行更高精度的地质灾害调查工作, 应用更为精确的模型提高分区精度, 最终提升预警的准确性。

(2) 气象预报的准确性对预警结果影响比较大, 降雨与地质灾害的关系模型需要进一步的研

究, 以提高预警有效性。

(3) 目前, 仅有气象数据作为实时监测数据进入系统, 未来的研究工作可在易发分区等方面实现实时输入计算和分析, 使系统成为一个全动态实时预警系统。

致谢: 文中气象资料主要来源于延安市气象局, 在此表示非常感谢!

参考文献:

- [1] 黄玉华, 冯卫, 李政国. 陕北延安地区 2013 年“7.3”暴雨特征及地质灾害成灾模式浅析[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 54-59.
- [2] 刘传正, 温铭生, 唐灿. 中国地质灾害气象预警初步研究[J]. 地质通报, 2004, 23(4): 303-309.
- [3] 马文瀚, 陈建平. 突发性地质灾害气象预警预报研究综述[J]. 地质灾害与环境保护, 2007, 18(1): 6-9.
- [4] Wiczeorek G F. Effector Rainfall Intensity and Duration on Debris Flows in Central Santa Cruz Mountains, California[M]. Reviews in Engineering Geology, vol. VII. Geological Society of America, Boulder, 1987: 93-104.
- [5] G Pedrozzi. Triggering of Landslides in Canton Ticino (Switzerland) and Prediction by the Rainfall Intensity and Duration Method[J]. Bull Eng Geo Environ, 2004, 63: 281-291.
- [6] E S Macedo, A T Ogura, J Santoro. Landslide Warning System in Serra do Mar Slopes, Sao Paulo, Brazil[C]//8th International IAEG Congress, 1998: 1967-1971.
- [7] 刘传正, 刘艳辉, 温铭生, 等. 中国地质灾害气象预警实践: 2003-2012[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2015, 26(1): 1-8.
- [8] Brand E W, Premchitt J, Phillipson H B. Relationship between rainfall and landslide in HongKong[C]//Proceeding 4th International Symposium Landslides, 1984: 377-384.
- [9] David K Keefer, Raymond C Wilson, Robert K Mark, et al. Real-time Landslide Warning During Heavy Rainfall[J]. Science, 1987(238): 921-925.
- [10] 周申立, 廖露, 侯万儒. 基于三元结构的地质灾害预警系统研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2007, 39(5): 31-37.

(下转第 83 页)

- [2] 李观义. 基于 GIS 的洪灾损失评估技术及其应用[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(4): 97-100.
- [3] 刘敏, 杨宏青. 湖北省雨涝灾情评估模式的研究[J]. 湖北气象, 2001(2): 16-18.
- [4] 扈海波, 张艳莉. 暴雨灾害人员损失风险快速预评估模型[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 30-36.
- [5] 巫丽芸, 何东进, 洪伟, 等. 自然灾害风险评估与灾害易损性研究进展[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 129-135.
- [6] 袭祝香. 吉林省重大暴雨过程评估方法研究[J]. 气象科技, 2008, 36(1): 78-81.
- [7] 韩玉梅. 黑龙江省年降水量时空分布分析[J]. 黑龙江水利科技, 2008, 36(3): 4-5.
- [8] 孙国敏. 黑龙江省年径流地区分布规律浅析[J]. 东北水利水电, 1994, 118(4): 13-17.
- [9] 傅立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学技术出版社, 1992: 191-199.
- [10] 杨仕升. 自然灾害不同灾情的比较方法探讨[J]. 灾害学, 1996, 11(4): 35-38.
- [11] 冯利华. 灾害等级的灰色聚类分析[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(1): 14-18.
- [12] 刘伟东, 扈海波, 程丛兰. 灰色关联度方法在大风和暴雨灾害损失评估中的应用[J]. 气象科技, 2005, 35(4): 563-566.
- [13] 吴哲红, 陈贞宏, 叶帮, 等. 基于灰色关联度的暴雨事件灾害评估和预评估方法[J]. 贵州气象, 2011, 35(6): 6-9.

Disaster Evaluation and Pre-evaluation models on Rainstorm Events in Heilongjiang Province Based on Gray Correlation

Li Yabin¹ and Hu Ruiqing²

(1. Climate Center of Heilongjiang Province, Harbin 150030, China;

2. Shanghai Meteorological Observatory Weather Service Center, Shanghai 200030, China)

Abstract: Based on analysis on historical rainstorm disaster data statistics of Heilongjiang Province during 1984-2013 of each station, using the method of grey correlation, degrees of disaster grades are divided. By studying the relationship between rainstorm disasters and meteorological factors, five single index and comprehensive assessment index reflecting the rainstorm disaster degrees are established. Evaluation and pre-evaluation models are established on the basis of all the above work, and ultimately achieve a quick assessment of rainstorm disaster events. Obvious rainstorm disaster events during 2013-2014 are evaluated by the evaluation model, and the results show that the evaluation results are basically consistent with actual situation; the service needs of the decision could be met in a certain degree.

Key words: rainstorm event; disaster grade; disaster evaluation; disaster pre-evaluation; grey correlation degree; Heilongjiang Province

(上接第 73 页)

Study on the Meteorological Early-warning Information System of Geological Disasters in Yanan City of Shaanxi Province

——Taking the Rainstorm of “7.3” as an Example

Li Zhengguo^{1,2,3}, Xue Qiang^{2,3}, Zhang Maosheng^{2,3} and Sui Lichun¹

(1. Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Xi'an Center of Geological Survey, China Geology Survey, Xi'an 710054, China; 3. Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area, Ministry of Land and Resources, Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on the key role of rainfall in the process of loess geological disasters, integrating the data of geology, geography, and real-time rainfall, a meteorological early-warning system of geological hazard in Yanan is designed and completed. The system framework is established with Client/Server and Browser/Server model, using the Information Model to evaluate the geological hazard susceptibility of Yanan, setting 3 types of rainfall warning indicators as Yanan geological hazard meteorological early-warning classification model, and through the early-warning module of software to determine the early-warning level and release information at last. By 2013, “7.3” continually heavy rain process of flood period geological hazard investigation results verified the early warning accuracy reached 94.3%, proved the reliability and accuracy of the system.

Key words: Yanan City; geological hazard; meteorological early-warning; “7.3” continually heavy rain