

陇东黄土区地质灾害气象预警方法与应用 ——以泾川县为例

丁伟翠¹, 杨强^{2*}, 王爱军², 高幼龙², 杨秀元², 李强²

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 保定 071051)

摘要: 在地质灾害详细调查的基础上, 基于 GIS 平台以地质灾害点密度为依据生成初步地质灾害易发性区划图。从诱发地质灾害的内部因素出发将地层岩性、地形坡度、地貌类型、植被覆盖率、多年降雨量分级后, 叠加到初步易发性区划图中, 生成了地质灾害气象预警区划基图。以降雨作为诱发地质灾害的主导外在因素, 重新对泾川县进行了地质灾害气象预警区划, 在重点预警区及次重点预警区采用临界日综合有效过程降雨量模型判据法, 开展地质灾害气象预警预报研究。通过实际发布预警信息的检验结果来看, 从总体上取得了较好的预报效果, 该方法符合该区的实际情况, 简捷、实用、有效, 为进一步研究陇东黄土区地质灾害气象预警提供科学依据。

关键词: 陇东黄土区; 地质灾害; 气象预警; 临界降雨量判据

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00811

1 引言

陇东黄土地区地质环境十分脆弱, 人类工程活动比较频繁, 区内地质灾害频发, 社会经济发展与地质灾害的矛盾日益突出, 如何有效预防地质灾害的发生并最大限度减少地质灾害给人类生活及经济发展造成的损失, 正在引起全社会的广泛关注^[1-3]。区内地质灾害发育具有突发性, 主要诱发因素为降雨, 特别是强降雨、持续降雨或暴雨过后往往会造成突发性的地质灾害, 其表现为发生时历时短, 速度快, 危害性大等特点, 容易造成人员伤亡及财产损失^[4-5], 地质灾害气象预警研究有待于进一步开展。因此, 在区内以泾川县为例开展陇东黄土区地质灾害气象预警研究工作, 找出一套适合陇东黄土高原区(市)级地质灾害气象预报预警的方法, 是有效避免突发性地质灾害造成人员伤亡, 减少经济损失的有效手段之一, 对进一步研究陇东黄土区的地质灾害气象预警具有重要的研究价值, 同时对陇东黄土地区减灾防灾具有很强的指导意义。

泾川县位于甘肃省平凉市东部, 总面积1 464 km², 地形西高东低, 海拔 930~1 462 m, 属陇东黄土高原

地貌, 主要地貌类型有黄土梁峁沟壑、黄土低山丘陵、黄土残塬和河谷川地。交通以公路为主, 经济发展以农林牧业为主。区内属暖温带半干旱大陆性季风气候, 冬长夏短, 气候干燥, 年平均气温 10℃, 年平均降水量 555 mm。地层出露以第四系黄土及河流相堆积物覆盖为主, 白垩系志丹群罗汉洞组和泾川组地层呈近水平产状出露于河谷坡脚和沟谷下游, 地层结构相对简单。泾河干流由西向东贯穿县域全境, 县域南部分布有汭河、黑河等支流, 北部分布有红河、蒲河等支流。地下水根据赋存特征可分为第四系松散岩类孔隙水与前第四系碎屑岩类裂隙水两种类型。

通过 1:50 000 地质灾害详细调查, 查明泾川县境内地质灾害点共 505 个, 其中滑坡 321 处、崩塌 29 处、泥石流 5 处、不稳定斜坡 147 处、地裂缝 3 处, 地质灾害十分发育^[6]。滑坡、崩塌和不稳定斜坡, 主要分布于黄土残塬边及黄土丘陵沟壑区。滑坡均为老滑坡, 物质成分以中、上更新统黄土为主。崩塌多为黄土崩塌, 有少量基岩崩塌, 规模以小型为主。不稳定斜坡均为黄土斜坡, 多是由于人工削坡建窑、建房引起, 只有极少数为自然斜坡。

收稿日期: 2011-06-30; **修回日期:** 2011-12-07.

基金项目: 中国地质调查局地调项目陇东地区地质灾害详细调查(1212010814012); 中国地质调查局项目“中国地质构造区划与区域地质调查综合集成”(1212011120115)。

作者简介: 丁伟翠(1982-), 女, 山东烟台人, 博士, 主要从事地质制图与 GIS 应用研究。E-mail: dingweicuigis@163.com

* **通讯作者:** 杨强(1980-), 山东淄博人, 工程师, 主要从事地质灾害调查、监测及预警方面的研究。

E-mail: yang5359535@sohu.cn

泥石流中多是小到中型泥流,其沟谷侵蚀强烈,冲刷深度较大,在各种外力作用下,沟谷两侧产生严重的垮塌、坍方,遇强降雨较易形成泥流。地裂缝多是由于黄土本身的湿陷性和降水入渗引起,长度在几十到几百米,宽度为十几到几十厘米不等。

2 地质灾害气象预警方法

2003 年国土资源部中国地调局与中国气象局国家气象中心联合率先在全国开展地质灾害(包括滑坡)气象预报预警工作,各个省陆续开展地质灾害气象预警工作,这些地质灾害气象预警工作都是建立于大区域大比例尺的条件下,预警级别的范围都比较大,局部准确性相对较差,进一步开展更加精确的县(市)级地质灾害气象预警研究是发展的趋势,现在仅在沿海和各个重点县市开展了地质灾害气象预警工作,偏远落后地区开展县(市)地质灾害气象预警还是刚刚起步,陇东黄土区县(市)地处偏远的黄土高原区,地质灾害十分发育,地质灾害气象预警研究有待于进一步开展。

2.1 地质灾害气象预报预警的研究思路

地质灾害的发生与前期降雨量、降水强度、降水持续时间及间隔有密切的关系,其发生的规模和类型与降雨量有明显的正相关,而在不同降雨类型下灾害的发生情况也存在明显的差异^[7-9]。陇东黄土区斜坡岩土体的含水量必须达到某一界限值才能在降雨过程中诱发地质灾害,进行地质灾害的气象预警研究必须综合考虑前期降雨过程、降雨类型、累积雨量和预报雨量,经过综合分析后选用临界日综合有效过程降雨量模型判据法,开展地质灾害气象预警预报研究^[10-16]。

陇东黄土区地质灾害气象预报预警的总体思路是:(1)采用袭扰系数法和空间信息系统分析法结合的信息量法,进行地质灾害气象预警基图制作;(2)在泾川县的地质灾害气象预警基图的基础上,进行整理合并,形成地质灾害气象预警分区图,同时确定地质灾害气象预报预警的分级;(3)研究降雨与地质灾害发生的关系,并结合本地地质结构特点,得出各分区发生地质灾害的临界日综合有效降雨量值;(4)确定不同地质灾害气象预警分区不同级别的预报预警指标和预报预警判别模式;(5)根据气象预报确定的降雨范围、降雨强度和前期累

积降水进行有效降雨量的计算,根据预警指标和判别模式图进行判断,从而得出各个地质灾害预警分区的预警等级结果;(6)国土部门、气象部门及传播媒体联合对外发布灾害预警信息。

2.2 地质灾害气象预警基图的 GIS 制作

采用袭扰系数法和空间信息系统分析法结合的信息量法进行地质灾害气象预警基图制作^[3,17-20],首先,在泾川县 1:50 000 地质灾害详细调查成果基础上,对研究区进行了 500m×500m 网格剖分,对跨越河流、沟谷、山脊的网格进行进一步合理化处理;计算出剖分好的每一个单元网格内滑坡、崩塌、泥石流和潜在不稳定斜坡等地质灾害的个数、面密度、体积密度,确定高易发、中易发、低易发的判别准则(表 1),然后,根据判别原则给每个网格赋予地质灾害易发性袭扰系数计算出每个网格的地质灾害易发性袭扰系数,将评价区的易发性分为 4 级,即:高易发、中易发、低易发和不易发,其易发袭扰指数分别给予 4,3,2,1,最后,根据每个网格的地质灾害易发性袭扰指数在 MAPGIS6.7 平台上生成地质灾害易发性区划图(图 1)。

表 1 地质灾害易发性袭扰系数值的取值原则

Tab. 1 The evaluate principles of DCM for geological hazards liability

易发性	袭扰系数取值	点密度 (处/0.25km ²)	面积密度 (m ² /0.25km ²)	体积密度 (m ³ /0.25km ²)
高易发	4	≥3	≥1 250	≥25 000
中易发	3	≥2	400~1 250	4 000~25 000
低易发	2	1	0~400	0~4 000
不易发	1	0	0	0

2.3 地质灾害气象预警内因评价指标分析

选取地貌类型、地层岩性、降雨量分布、地形坡度、植被覆盖度 5 个地质灾害主要影响因素作为诱发地质灾害的内因评价指标,对各个影响因素进行地质灾害诱发分析,统计每个影响因素的不同条件下地质灾害发生的数量,确定诱发分级标准(表 2);对每个影响因素其进行分级区划,并对每个分区赋予地质灾害诱发性指数(见图 2-6);采用层次分析法确定每个影响因素的权重,最终确定初步地质灾害易发性分区权重为 0.307,地貌类型权重为 0.200,地形坡度权重为 0.165,地层岩性权重 0.158,多年降水量权重为 0.083,植被覆盖权重为 0.087;以初步的地质灾害易发性区划图为底图,将

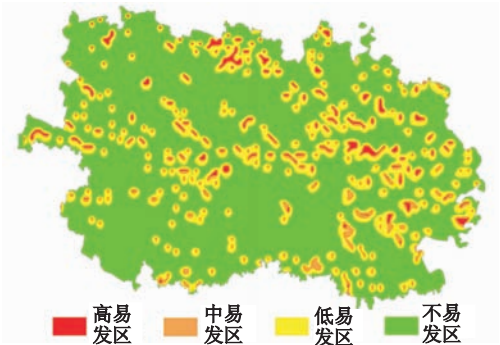


图1 初步地质灾害易发性区划图

Fig. 1 The primary geological hazards lability zoning map

各个影响因素灾害性分级图叠加到底图中,局部进行修整、合并后生成了泾川县的地质灾害气象预警内部因素影响基图(图7)。

表2 地质灾害气象预警内部影响因素分级标准

Tab. 2 The evaluation criteria of geological hazard influence factors for the lability zoning

影响因素	评价标准			
	高易发(4)	中易发(3)	低易发(2)	不易发(1)
地貌类型	黄土梁峁 丘陵	黄土低山 丘陵	河谷两侧 低缓阶地	河谷宽阔区 及黄土平原
地形坡度	>25°	15~25°	5~15°	<5°
地层岩性	上、中更新 统黄土层	上更新统马 兰黄土层	白垩系泥 岩、砂岩	午城黄土及 砂土、卵砾石
降雨量(mm)	>600	550~600	500~550	<500
植被覆盖度	<0.1	0.1~0.15	0.15~0.2	0.2~1.0

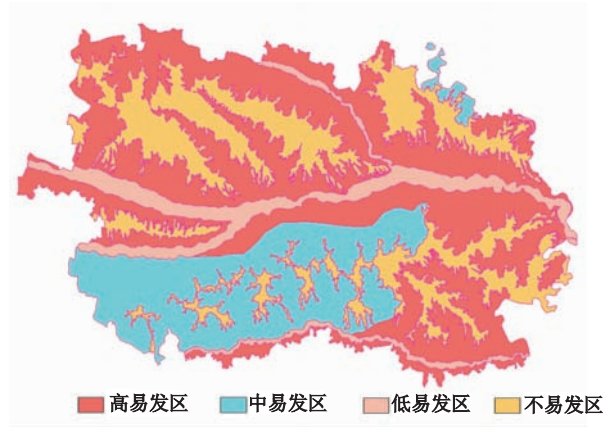


图2 地貌类型对地质灾害发生影响分区

Fig. 2 The zoning map of geomorphologic type impact on the geological hazards

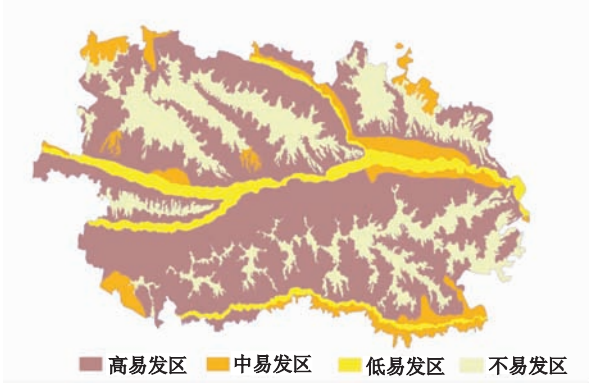


图3 地形坡度对地质灾害发生影响分区

Fig. 3 The zoning map of slope impact on the geological hazards

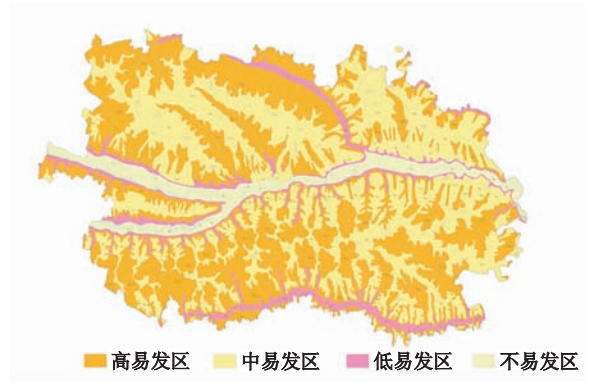


图4 地层岩性对地质灾害发生影响分区

Fig. 4 The zoning map of lithology impact on the geological hazards

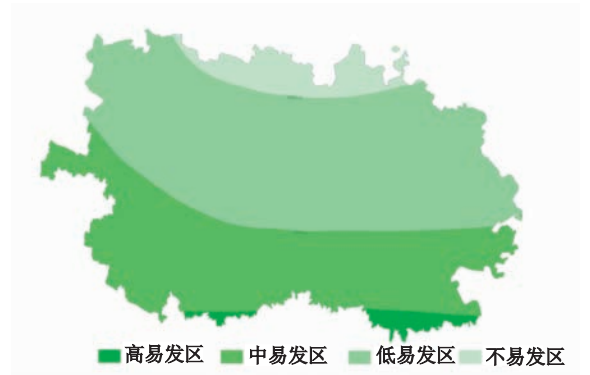


图5 降雨量对地质灾害发生影响分区

Fig. 5 The zoning map of rainfall impact on the geological hazards

2.4 地质灾害气象预警分区图制作

地质灾害气象预警分区原则是以泾川县诱发

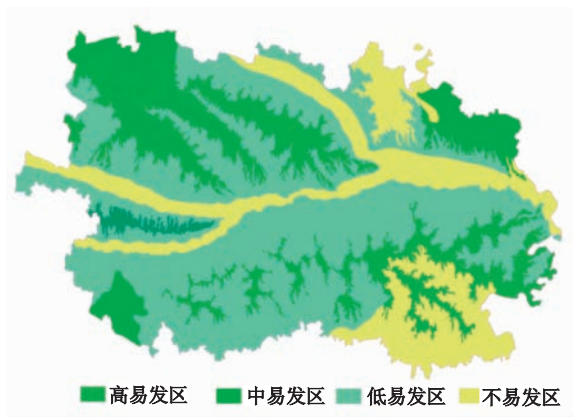


图 6 植被覆盖度对地质灾害发生影响分区
Fig. 6 The zoning map of vegetation impact on the geological hazards

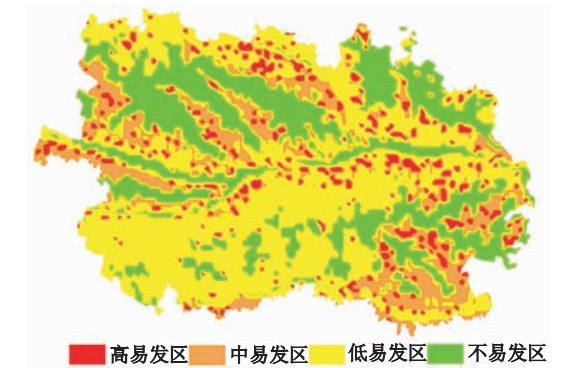


图 7 地质灾害气象预警基图
Fig. 7 The geologic hazards meteorological early-warning base map

地质灾害内部因素制作的地质灾害气象预警基图为基础,以降雨作为诱发地质灾害发生的外部主导因素;定性和定量相结合,以定性为主;突出重点,统筹兼顾;对地质灾害资料缺乏地区,根据“区内相似、区间相异”原则,把相似的地质环境划入同一区域。

根据上述地质灾害预警区划原则,以泾川县地质灾害气象预警基图为基础,对泾川县进行地质灾害气象预警区划,分为 4 个地质灾害预警区(见图 8),Ⅰ级预警区为地质灾害重点预警区,Ⅱ级预警区为地质灾害次重点预警区,Ⅲ、Ⅳ级预警区为地质灾害一般预警区。Ⅲ、Ⅳ级预警区为黄土塬区、林场、宽阔的河谷,工程地质条件比较好,降雨对地质灾害发生影响不大。Ⅲ、Ⅳ级预警区地质灾害气象预报预警等级一般达不到 3 级,因此,对Ⅲ、Ⅳ级预警区不进行地质灾害气象预警预报,仅对Ⅰ级预

警区和Ⅱ级预警区进行预警预报。

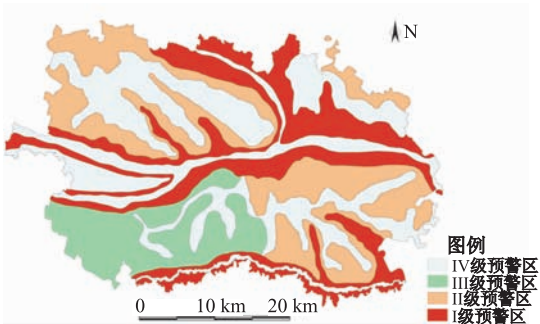


图 8 泾川县地质灾害气象预警分区图
Fig. 8 The geologic hazards meteorological early-warning zoning map

2.5 预警预报等级和临界有效降雨量的确定方法

根据“国土资源部和中国气象局关于联合开展地质灾害气象预报预警工作协议”,地质灾害气象预报预警分为 5 个等级,以降雨作为诱发因素,结合泾川县地质灾害发生的可能性,将泾川县地质灾害气象预报划分为如下 5 个等级(见表 3)。

表 3 泾川县地质灾害气象预警等级划分
Tab. 3 The geologic hazards meteorological early-warning grade

等级	地质灾害可能性	是否发布	等级表达
一级	很小	否	蓝色
二级	较小	否	绿色
三级	较大	是	黄色
四级	大	是	橙色
五级	很大	是	红色

采用主要有以前期雨量、有效雨量、日雨量与预报雨量作为地质灾害预警指标,采用日综合有效累积雨量的预警计算模型^[14-16]计算发生地质灾害的临界有效降雨量。采用计算公式为:

$$R_a = \sum_{k=0}^N (R_k \times a^k) + R_y \quad (1)$$

其中, R_k 为前 k 天实测雨量,包括当日最新实况雨量($k=0$), R_y 为预报雨量, a 为前期降雨影响时间衰减系数,取值 0~1 之间。根据不同的灾害气象预警等级和灾害易发育等级,两者共同确定某一综合有效累积雨量值为该易发区内该预警等级的指标临界值。

2.6 地质灾害气象预警模型的建立

对以往地质灾害发生时降雨资料进行统计分析,内、外因相结合确定地质灾害预报等级对应的降雨量临界值,建立基于临界日综合有效累积降雨量的地质灾害气象预警模型。根据甘肃地质灾害气象预报预警指标临界降雨量值^[21-22],结合泾川县的地质环境和发生地质灾害的降雨资料,经过综合分析得出灾害发生前7天的降雨对地质灾害发生影响较大,而超过7天以上的前期降雨对地质灾害的影响可以忽略。

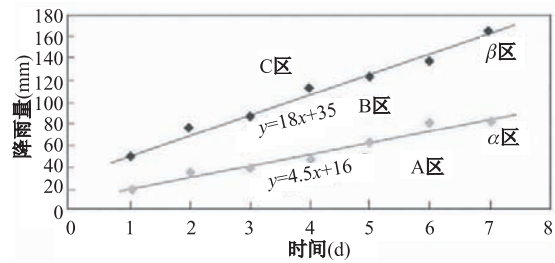
预报预警模型选定泾川县地质灾害发生前7日内过程日综合有效降雨量进行统计分析,采用公式(1)进行有效降雨量的计算,选取日综合有效降雨量均方差与日综合有效降雨量最大值之商最小值作为目标函数,经过优化求得 $a=0.68$ 。对发生在Ⅰ、Ⅱ级预警区内历史地质灾害进行相关性统计分析,得出每个预警区的临界降雨量值;并结合该预警区的地质环境背景、人类工程活动、居住分布状况等指标进行综合判断,分别建立每个预警区的地质灾害事件与临界降水量与过程降水量的统计关系图,确定地质灾害在该预警区域发生时的不同降雨过程临界值(低值、高值),作为预警判据。

降雨过程代表数据按照中国气象局系统对日降雨量(Q)的预报标准按每日20时到次日20时计算的,选定的数据代表时段(日:24h)是:1日过程降雨量: $0 \leq Q_1 \leq 1, 1 < Q_2 \leq 2, 2 < Q_3 \leq 3, 3 < Q_4 \leq 4, 4 < Q_5 \leq 5, 5 < Q_6 \leq 6, 6 < Q_7 \leq 7$ 。

通过公式(1)计算出泾川县水泉村砖厂滑坡、甘家沟村大沟泥石流等60多处地质灾害发生时对应的临界降雨量。根据计算出的泾川县地质灾害和临界降雨量的相关关系,进行了归类分析、分析研究。在Ⅰ、Ⅱ级预警区,选取有代表性的地质灾害点与其对应的临界有效降雨量值,制作出Ⅰ、Ⅱ级预警区的地质灾害与不同时段临界有效降雨量关系散点图。

引用预警判据模板图原理^[12-13],为了确定某区未来1,2,3……nd内气象预报各个等级的降雨量区间值(n取7),首先,建立预警判据图,如Ⅰ级预警区图(图9);发现散点集中成带分布,其上界可用β线表示,下界可用α线表示。统一规定α线和β线为2条地质灾害发生的临界降雨量分界线,α线以下的A区为不预报区(等级为1-2级),α-β线之间的B区为预报或预警区(预报等级为3-4级),β

线以上的C区则为警报区(预报等级为5级)。根据上述原理,制作出Ⅱ级预警区的地质灾害气象预警判据模式图(图10)。



A区—不发布预报区;B区—预报发布区;C区—警报发布区;α线预报临界线(3、4级分界线);β线警报临界线(5级分界线)

图9 泾川县Ⅰ级预警区地质灾害气象预警判据模式图

Fig. 9 Geological hazards meteorological early-warning criteria chart of I level warning zone in Jingchuan County

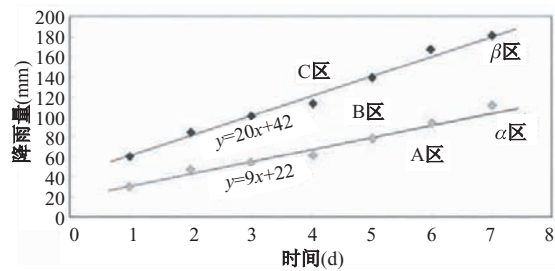


图10 泾川县Ⅱ级预警区地质灾害气象预警判据模式图

Fig. 10 Geological hazards meteorological early-warning criteria chart of II level warning zone in Jingchuan County

根据计算出的当日的综合有效降雨量,对Ⅰ、Ⅱ级预警区采用图9和图10的地质灾害气象预警判据模式图来确定Ⅰ、Ⅱ级预警区的预警级别,根据级别进行针对性的地质灾害气象预警预报。

2.7 预警产品制作与发布

由于全年降雨量偏少,降雨时间相对集中的特点,预报预警针对雨季或特殊降雨天气,在遇到暴雨或者连阴雨时,县气象台将当日12:00实况雨量和当日20:00至次日20:00全县降雨量预报数据资料传输给县国土局地质灾害气象预警预报项目组。接到相关资料后,对未来24h降雨预报资料和前期过程降雨量进行联合分析,根据判据图对全县境内在未来24h发生地质灾害等级进行初步分析和判定,同时会商。根据会商结论,确定Ⅰ、Ⅱ级地质灾害气象预警区的预警级别,并且制作当日的预

警产品。3 级、4 级和 5 级预警均需报县国土资源局地环部门审批签发,此项工作需在 17:00 前完成;每天 17:30 前将地质灾害预报产品(图、文)传输给县气象台,县气象台接受预警产品并取得一致意见后,确定最终预警成果。由县气象预报制作中心将地质灾害气象预警产品与天气预报产品统一制作,发送给涪川县电视台。国土部门业务管理单位直接以电话或传真等方式通知预报地区的地质灾害群测群防人员,并做好地质灾害防范措施。地质灾害气象预警工作流程图见图 11。

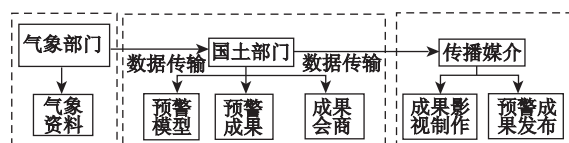


图 11 地质灾害气象预警工作流程图

Fig. 11 Geological hazards meteorological early-warning flow chart

由国土资源、气象和广播电视等部门联合完成的地质灾害气象预警工作是一项社会公益性工作。进行地质灾害预警信息发布,及时采取应对措施,可以有效地减轻地质灾害导致人员伤亡和经济损失,为社会经济和可持续发展提供防灾减灾服务。

3 地质灾害气象预报预警模型的应用

2009 年 7 月 18 日-2009 年 7 月 20 日根据天气预报,用日综合有效累积雨量计算公式计算 3 天的有效降雨量达到了 52mm,19 日当天的降雨量达到了 42mm,根据预警预判模式图 I、II 预警区同时达到了 3 级预警,国土部门、气象部门及县电视台联合发布了黄色地质灾害气象预警,在重点地质灾害点及地段进行了重点预警,在 3 天的降雨过程中,董家村后湾社双河公路崩塌、下梁村西沟社双河公路崩塌、双河公路店背后崩塌、水泉寺村五垄山公路旁崩塌等多处崩塌地质灾害点出现了不同程度的塌方和岩石掉落,其中双河公路店背后崩塌和水泉寺村五垄山公路旁崩塌比较严重,塌方及掉落堆积物局部堵塞了公路,经过清理才保证了道路的畅通。阴坡村阴坡社滑坡出现轻微活动迹象,墩台村土后铺滑坡和水泉村砖厂滑坡后缘出现了小面积的崩塌,少数不稳定斜坡局部出现掉块现象。

由于预报及时没有造成人员及经济损失,对局部路面进行了清理即恢复了道路畅通。

2008 年 8 月 7 日,预报降雨量为 55mm,国土部门、气象部门及县电视台联合发布了地质灾害橙色预警,在此次降雨过程中中村一吕家拉村北大路崩塌、云蔡家咀社东南公路崩塌等 17 处崩塌均出现了不同程度的局部塌方及掉块,高平镇双河公路崩塌段、罗汉洞乡北大路崩塌段局部塌方严重阻碍了交通,罗汉洞村西庄社滑坡等十几处滑坡的后缘出现了崩塌,几十处不稳定斜坡表面出现了局部坍塌及掉块,预报及时没有出现人员伤亡及经济损失,对影响地段进行了及时清理,恢复了交通。此次灾害威胁程度要比 7 月 20 日严重,说明地质灾害受暴雨的影响程度较大。

通过两次地质灾害的气象预警的发布及对预报结果的检验来看,预警预报模型系统能准确及时的对预警区内地质灾害的发生情况做出全面的预测预报,同时对地质灾害多发地段和对人民生命财产构成威胁的特殊位置进行重点预警预报,从总体上来看具有可靠性,对陇东黄土区内进行地质灾害的防灾减灾有很强的指导作用,下一步将对预警预报模型进行进一步的验证,根据验证结果进行更进一步的补充和完善。

4 结语

针对陇东黄土区县(市)的雨量站比较少,天气预报局部精度不高的特点,在涪川县 1:50 000 地质灾害调查成果资料整理的基础上,以诱发地质灾害的内因为主体对研究区进行了地质灾害气象预警区划分级,以此为基础主要考虑降雨(外因)对地质灾害发生的影响,借鉴前人地质灾害气象预警的成果,分析了不同预警区历年地质灾害发生的时间和对应的有效降雨量,以此来确定各个预警分区的不同预警等级的临界降雨量值,以降雨预报结果和前期连续降雨相结合来确定有效降雨量,两者相结合建立模型进行地质灾害气象预警预报的有效方法。

从模型的地质灾害预警预报实例来看,该预警预报模型系统具有很强可靠性,能及时有效地对该区内降雨诱发的地质灾害情况进行合理的预警预报,是有效发挥地质灾害气象预报预警作用,避免突发性地质灾害造成人员伤亡,具有重要的现实意义。

陇东黄土区地质灾害气象预警方法研究是一项为当地政府防灾抗灾决策和指导地质灾害群测群防服务的有效成果,特别在起步较晚、地质灾害十分发育的陇东黄土地区仍是一项开创性、探索性工作,其涉及面广、技术难度大,虽然该方法具有相当的可靠性,但某些细节的准确性及各项功能都有必要进行进一步的研究和完善,为了进一步提高预警水平,还有以下几项工作需要完善和深入研究:

(1)建立群策群防体系,对群策群防员进行减灾防灾系统培训,在重要部位安装裂缝报警器等相关地质灾害监测仪器,提高预警预报能力;

(2)调整和细化各级预警预报分区的同时,在区内增设雨量监测站,增加降雨量监测密度,力求能更加准确地计算出各个分区及重点地段的前期的有效降雨量值,以提高预报准确度;

(3)继续完善该区的地质灾害预警预报体系,建立相应制度并邀请相关方面专家参与,以便更好地预警预报,提高预报工作精度,增强预警工作针对性和减灾效果。

(4)继续加强综合研究工作,继续开展地质灾害气象预警预报理论和方法研究,不断收集新生地质灾害相关资料,加强预警预报模型的准确性,提高预警预报的有效性。

参考文献:

- [1] 任春林. 陕北黄土区地质灾害风险评估及综合防治对策研究[D]. 长安大学, 2005.
- [2] 高宇. 基于 GIS 的黄土区滑坡危险性评价研究[D]. 长安大学, 2005.
- [3] 丁伟翠, 薛星桥, 杨强, 等. 基于 GIS 的甘肃省灵台县地质灾害易发性区划研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 32-34.
- [4] 王锡稳, 张铁军, 冯军, 等. 甘肃地质灾害气象等级预报研究[J]. 干旱气象, 2004, 22(1): 8-12.
- [5] 丁伟翠, 杨强, 王爱军, 等. 应用 GIS 技术对甘肃省灵台县地质灾害气象预警的研究[J]. 中国地质, 2010, 8, 37(4): 1199-1207.
- [6] 王洪德, 王爱军, 杨强, 等. 甘肃省平凉市泾川县地质灾害详细调查报告[R]. 2010.
- [7] 林孝松, 郭跃. 滑坡与降雨的耦合关系研究[J]. 灾害学, 2001, 16(2): 87-92.
- [8] 张先发, 李明华. 长江上游暴雨与滑坡崩塌关系[J]. 地理, 1995, 8(3): 102-106.
- [9] 杜容恒. 长江三峡库区: 滑坡与泥石流研究[M]. 成都: 四川科技出版社, 1991, 33-36.
- [10] 丁伟翠, 杨强, 王爱军, 等. 应用 GIS 技术对甘肃省灵台县地质灾害气象预警的研究[J]. 中国地质, 2010, 8, 37(4): 1199-1207.
- [11] 陈百炼. 降水诱发地质灾害的气象预警方法研究[J]. 贵州气象, 2002, 26(04): 4-7.
- [12] 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.
- [13] 刘传正, 唐灿, 温铭生, 等. 全国地质灾害气象预报预警实施方案[R]. 中国地质环境监测院, 2003.
- [14] 刘传正. 区域地质灾害预警的理论与方法研究[J]. 水文地质工程地质, 2004, 3: 1-6.
- [15] 吴树仁, 金逸民, 石菊松, 等. 滑坡预警判据初步研究——以三峡库区为例[J]. 吉林大学学报, 2004, 34(4): 596-600.
- [16] 单九生, 刘修奋, 魏丽, 等. 诱发江西滑坡的降水特征分析[J]. 气象, 2004, 30(1): 13-15.
- [17] 傅卫东. 地质灾害易发性区划研究与防治对策[D]. 武汉: 中国地质大学, 2005.
- [18] 阮沈勇, 黄润秋. 基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(1): 89-92.
- [19] 光磊. 基于 GIS 的信息量法在滑坡危险性评价中的应用[J]. 地质与资源, 2005, 14(3): 231-233.
- [20] 崔爱平. 应用信息系统空间分析和袭扰系数法对略阳县地质灾害易发区的划分[J]. 灾害学, 2004, 19(2): 51-55.
- [21] 王锡稳, 张铁军, 冯军, 等. 甘肃地质灾害气象等级预报研究[J]. 干旱气象, 2004, 22(1): 8-12.
- [22] 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): 58-60.

Study on and Application of Geological Hazards Meteorological Early-warning in the Loess Area: A Study in Jingchuan County in Eastern Gansu Province of China

DING Weicui¹, YANG Qiang², WANG Aijun², GAOYoulong², YANG Xiuyuan², LI Qiang²

(1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China;*

2. *Center for Hydrogeology and Environmental Geology of CGS, Baoding 071051, China*)

Abstract: In this paper, according to detailed investigation of geological disasters, we firstly generated preliminary geological hazard susceptibility zoning based on geological disasters points' density on the GIS platform. Secondly, we classified the internal factors of geological hazards such as lithology, terrain slope, landform types, vegetation coverage rates, and multi-annual rainfall and so on. Then we covered the classification of internal factors to the preliminary geological hazard susceptibility zoning and generated the geological hazards meteorological early-warning based map. And, respect rainfall as the dominant external factors of geological hazards, we rezoned the geological hazards meteorological early-warning map in Jingchuan County. Finally, we employed the critical-day synthesized criterion of precipitation method in the key and secondary warning zones of Jingchuan County. Good prediction results were obtained through the actual test, which indicate that, being simple, practical and effective in the actual situation of the area, it can provide a scientific basis for the further study of geological hazards meteorological early-warning in the Loess Region of eastern Gansu Province.

Key words: the Loess Region of eastern Gansu; geologic hazards; meteorological early-warning; criterion of precipitation