

应用 GIS 技术对甘肃省灵台县 地质灾害气象预警的研究

丁伟翠¹ 杨 强² 王爱军² 高幼龙² 张俊义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, 河北 保定 071051)

摘要:地质灾害经常对人民生命和财产造成重大损失,因此研究地质灾害的预测预报具有现实意义。本文以甘肃省灵台县为例阐述了应用 GIS 进行地质灾害预警研究和预测预报取得的良好效果。本研究从引发黄土区地质灾害的内因和外因入手,首先对灵台县进行了地质灾害的易发性区划研究(内因);在此基础上,充分考虑降雨对地质灾害发生的影响(外因),对灵台县进行了地质灾害气象预警区划研究,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,取得了较好的预报效果,说明该方法实用、有效,可为黄土区进一步研究地质灾害气象预警提供科学依据。

关键词:甘肃省灵台县;地质灾害;气象预警;临界降雨量判据

中图分类号:P694 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)04-1199-09

随着人类活动的日益加强,人类对生态环境的破坏愈发严重,地质灾害频繁发生。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]。地质灾害的发生除与特殊的地形和地质条件有关外,暴雨是诱发地质灾害的重要因素。暴雨所造成的危害较普通强降水更大。连阴雨是引起滑坡灾害一个重要因素,当连续降雨达到一定强度会造成部分山体坍塌,山体滑坡,交通中断。典型的夏、秋季连阴雨是造成地质灾害的直接动力条件,整月的连阴雨可造成比较严重的地质灾害^[2]。灵台县地处陇东黄土地区,降雨是诱发地质灾害的主导因素,因此开展灵台县地质灾害气象预警研究工作能有效避免突发性地质灾害造成人员伤亡,减少损失的有效手段之一,具有重要的理论意义和现实意义。

中国地质灾害气象预报预警工作是近几年才开展起来的,国土资源部中国地质调查局与中国气象局国家气象中心联合,率先在全国各省陆续开展地质灾害(包括滑坡)气象预报预警工作,在沿海和各

个重点县市也相继开展了相关工作。灵台县地质灾害气象预警研究是在灵台县 1:50 000 地质灾害调查成果资料整理的基础上,采取内因和外因相结合的方法进行的。首先在网格剖分与易发性袭扰系数取值原则的基础上,对各网格建立属性数据库,并制作了灵台县崩塌、滑坡、泥石流易发性区划图,然后以此为基础主要考虑降雨对地质灾害发生的影响,制作了灵台县地质灾害气象预警区划图,分析了历年地质灾害发生的时间和借鉴前人地质灾害气象预警的成果对应的有效降雨量,提出以暴雨预报结果和前期的连续降雨相结合的有效降雨量,来确定地质灾害气象预警图,并确定各个分区不同预警等级的临界降雨量值,以此方法来进行地质灾害气象预警。

1 研究区的基本情况

灵台县位于陇东黄土高原南缘,总面积 2 038 km²,地势西北高、东南低,海拔 890~1 520 m,属黄土梁峁沟壑区。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 8.6℃,年平均降水量 654.4 mm。该区出露地层主要为白垩系泥岩、粉细砂岩与棕红色砂质泥岩,新近系棕红色粘土,第四系午城、离石、马兰黄土。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。

根据灵台县 1:50 000 地质灾害详细调查资料,灵台县地质灾害有滑坡 286 个、崩塌 29 个、泥石流 8 个、不稳定斜坡 73 个。威胁居民、公路、水库等地质灾害隐患点有 109 个,其中滑坡 12 个、崩塌 20 个、不稳定斜坡 73 个、泥石流 8 个。灾害多发生在人居密集和人类工程活动频繁的川台区。

2 基于 GIS 的地质灾害易发性区划研究

选取袭扰系数法和空间信息系统分析法结合信息量法的思路^[3-6],在 1:50 000 地质灾害详细调查结果基础上,对研究区进行了 500 m×500 m 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,并根据判别原则给每个网格赋予地质灾害易发性袭扰系数;根据每个网格的地质灾害易发性袭扰指数在 MAPGIS6.7 平台上生成初步的地质灾害易发性区划图;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地质灾害评价指标,对各个影响因素确定易发性分级标准,对每个影响因素进行分级区划,并对每个分区赋予地质灾害易发性指数;采用专家打分的原则确定每个影响因素的权重;最好以初步的地质灾害易发性区划图为基图,将各个影响因素灾害性分级图叠加到基图中,生成了最后的灵台县的地质灾害易发性区划图,局部进行修整、合并,生成最终的灵台县易发性区划图。易发性区划影响因素叠加流程见图 1。对生成的易发性区划图进行最后的修整,对易发性指数进行重新分级,得出最终的灵台县地质灾害易发性区划图(图 2)。

该区划图反映了该县的地质灾害现状,从图中可以很容易找出高易发、中易发、低易发、不易发不同区域的准确位置,为地质灾害气象预警研究打下了坚实的基础。

3 地质灾害气象预警方法研究

国内相关研究表明:滑坡等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,尤其是与暴雨频次具有很好的一致性。地质灾害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^[7-12]。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,综合考虑前期降雨过程、降雨类型、累积雨量和预报雨量,借鉴前

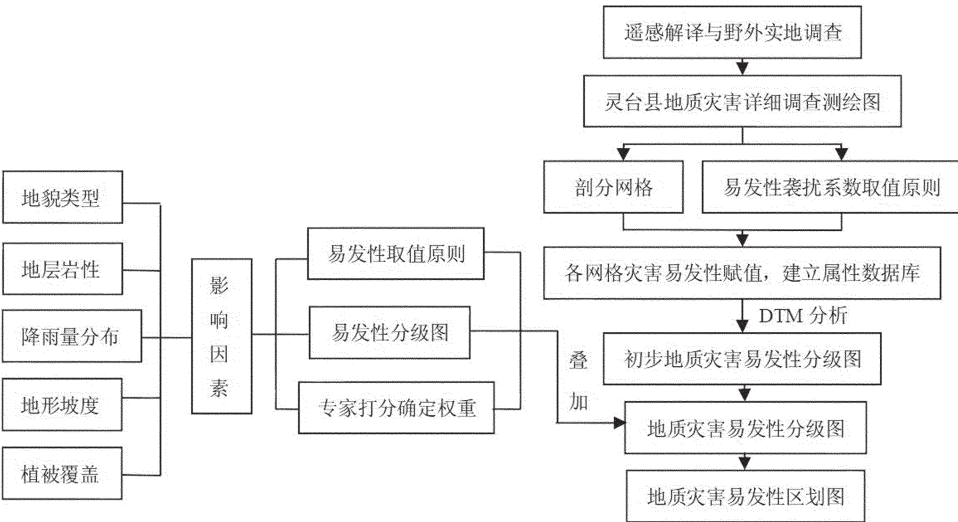


图 1 易发性区划影响因素叠加流程图

Fig.1 Flow chart of superimposed affecting factors on geological hazards liability zoning

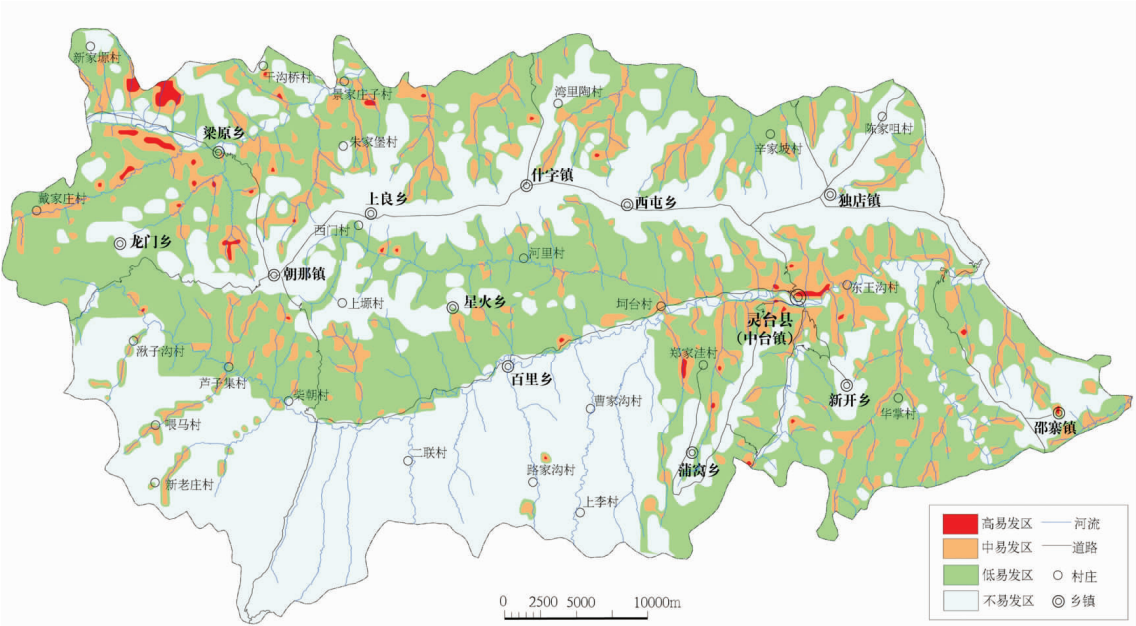


图 2 灵台县地质灾害易发性区划图

Fig.2 Geological hazards liability zoning map of Lingtai County

人的研究成果^[13-20],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。

3.1 地质灾害气象预报预警的思路

灵台县地质灾害气象预报预警的思路是：①在地质灾害易发程度区划图(地质灾害诱发内因)的基础上,进行地质灾害气象预警分区,同时确定地质灾害气象预报预警的分级；②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；③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；④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；⑤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。

3.2 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,根据实际需求,基于气象条件作为诱发因素,结合灵台县地质灾害发生的可能性和考虑其发生的影响程度,将甘肃省灵台县地质灾害气象预报划分为如下 5 个等级(表 1)。

采用主要有以前期雨量、有效雨量、日雨量与预

表 1 甘肃省灵台县地质灾害气象预报等级划分				
Table 1 Geological hazards meteorological early-warning grade of Lingtai County, Gansu Province				
等级	地质灾害可能性	发生情况	是否发布	等级表达
一级	很小	天气以无降水为主,或小于 5 mm 的降水	否	蓝色
二级	较小	由 5~20 mm 的稳定性降水引起,或遇年久的房屋或工程	否	绿色
三级	较大	由大于 20 mm 混合性降水引起,造成交通中断,部分山体滑坡,造成一定损失	是	黄色
四级	大	暴雨、强对流天气造成山体滑坡、局地引发泥石流等地质灾害,经济损失严重,有人员伤亡	是	橙色
五级	很大	由局地特大暴雨引发的巨大灾害,造成人员伤亡和特大的经济损失(发布 3~6 h 的地质灾害天气警报)	是	红色

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^[13,20-21]计算发生地质灾害的临界有效降雨量。采用计算公式为:

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

其中, R_k 为前 k 天实测雨量,包括当日最新实测雨量($k=0$)。 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。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。

3.3 地质灾害气象预警分区

地质灾害气象预警分区原则是以灵台县地质灾害易发性区划图为基础,以降雨诱发地质灾害作为分区的主导因素;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,对灵台县进行地质灾害气象预警区划,将灵台县分为 4 个地质灾害预警区(图 3),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级预警区为地质灾害一般预警区,Ⅳ级为地质灾害次一般预警区。Ⅲ级预警区为黄土塬,是非居民居住区,

基本无人类工程活动;Ⅳ级预警区多为林场、宽阔的河谷,工程地质条件比较好,降雨对其影响不大,不易发生地质灾害。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。

将图 3 与地理底图与行政区划图叠加,并进行统计分析,得出灵台县地质灾害预警分区表(表 2)。

Ⅰ级预警区为重点地质灾害气象预警区,区内工程地质条件较差,地形地貌复杂,坡度较陡,植被发育差,人口密集,人类工程活动频繁,是地质灾害高发区,遇到强降雨或者连续降雨要加强气象预警工作,完善群测群防体系,对重点地段要及时的巡查和预警,以便更好地减灾防灾。Ⅱ级预警区为次重点地质灾害气象预警区,广阔分布在黄土梁峁丘陵区,区内工程地质条件相对较差,局部黄土层风化严重,节理、裂隙发育,地形地貌复杂,是地质灾害相对高发区,建立好群测群防工作体系,在暴雨及连阴雨等天气要加强地质灾害气象预警工作,重点地段做好巡防和监测工作,以便出现险情及时处理。

3.4 预警预报指标的确定和预警判据模式研究

根据历史地质灾害资料、降雨资料和灾害易发性综合分析,并借鉴国内外研究应用成果,建立基于临界日综合有效累积降雨量的地质灾害预报预

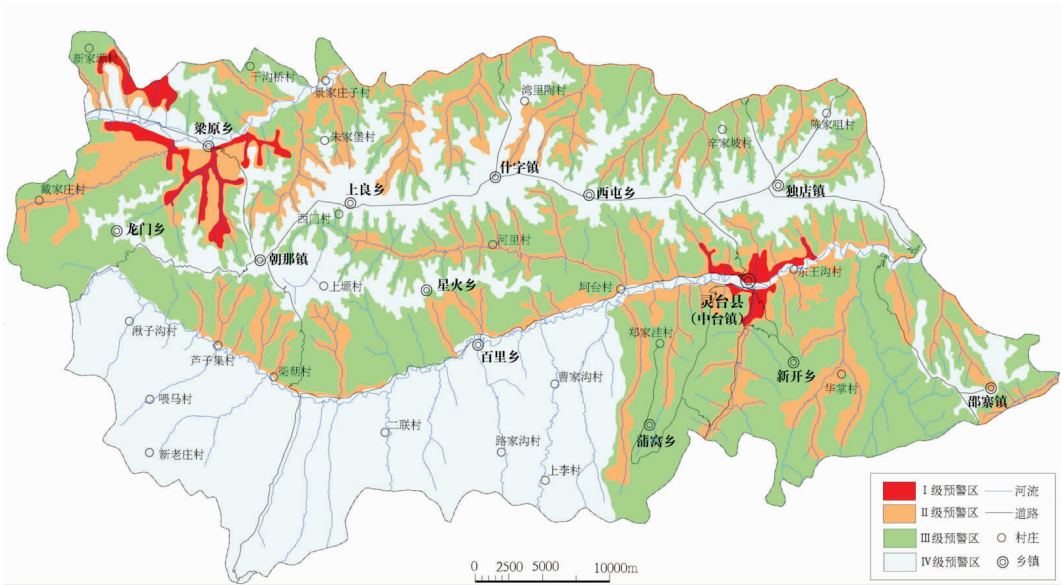


图 3 灵台县地质灾害气象预警分区图

Fig.3 Geological hazards meteorological early-warning zone map of Lingtai County

表 2 甘肃省灵台县地质灾害预警分区表

Table 2 Geological hazards meteorological early-warning zone table of Lingtai County

等级	面积/km ²	占总面积/%	涉及乡镇
I 级	123.43	6	梁原乡、朝那镇、中台镇、新开乡、蒲窝乡、龙门乡
II 级	881.56	43.02	梁原乡、上良乡、什字镇、独店镇、朝那镇、中台镇、 新开乡、蒲窝乡、龙门乡、星火乡、西屯乡
III级、 IV级	1044	50.98	梁原乡、上良乡、什字镇、独店镇、朝那镇、百里乡、 龙门乡、星火乡、西屯乡、邵寨镇

警模型。结合地质灾害易发程度,内因外因相结合确定地质灾害预报等级对应的降雨量临界值。根据甘肃地质灾害气象预报预警指标临界值^[22-23],结合灵台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要弱的多,基本可以忽略。

预警模型选定灵台县地质灾害发生时的 1 日、2 日、3 日、4 日、5 日、6 日、7 日过程日综合有效降雨量等 7 个数据进行统计分析,采用公式(1)进行有效降雨量的计算,根据现有的诱发了滑坡崩塌泥石流灾害的降水资料,结合甘肃灵台地区的实际情况,取日综合有效降雨量均方差与日综合有效降雨量最大之商最小作为目标函数,经过优化求得 $a=0.7$ 。通过上述方法对发生在 I、II 级预警区的历史地质灾害进行相关性统计分析得出每个地质灾害临界降雨量值,并结合该预警区的地质环境、生态环境和人类活动方式、强度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,确定地质灾害在这一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。

降雨过程代表数据的选定按照中国气象局系统对日降雨量(Q)的预报标准是按每日 20 时到次日 20 时计算的,而地质灾害事件可能发生在此 24 h 的任一时段。若灾害事件在接近 24 时发生,则基本可对应 1 日(即当日)过程降雨量;若灾害事件在次日 0 时以后的夜间发生,则对应前 1 日(2 日)过程降雨量史符合实际。因此,选定的数据代表时段 T (日;24 h)是:

每日过程降量: $0 \leq T_1 \leq 1, 1 < T_2 \leq 2, 2 < T_3 \leq 3, 3 < T_4 \leq 4, 4 < T_5 \leq 5, 5 < T_6 \leq 6, 6 < T_7 \leq 7$ 。

通过公式(1)计算出灵台县城关镇西陶湾滑坡、

白峪村多家庄闲子沟泥石流流等 50 多处地质灾害发生时对应的临界降雨量。根据计算出的灵台县地质灾害和临界降雨量的相关关系,进行了归类分析、研究总结。在 I、II 级预警区,选取有代表性的地质灾害点(不同降雨天数发生)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^[17],为了确定某区未来 2, 3 ……nd 内气象预报各个等级的降雨量区间值(n 在这里取 7 d),首先

建立预警判据图,如 I 级预警区图(图 4);发现散点集中成带分布,其上界可用线表示,下界可用线 β 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), $\alpha \sim \beta$ 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 4~5)。图中 A 区为不发布预报区;B 区为预报发布区;C 区为警报发布区; α 线为预报临界线(3、4 级分界线); β 线为警报临界线(5 级分界线)。

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 4 和图 5 的地质灾害气象预警预判判据模式图来确定 I、II 级预警区的预警级别,根据级别,进行地质灾害气象预警预报,重点地段进行巡查和加强监测,以便更好地达到减灾防灾的目的。

3.5 预警产品制作与发布

每天 15:00 前,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 24 h 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

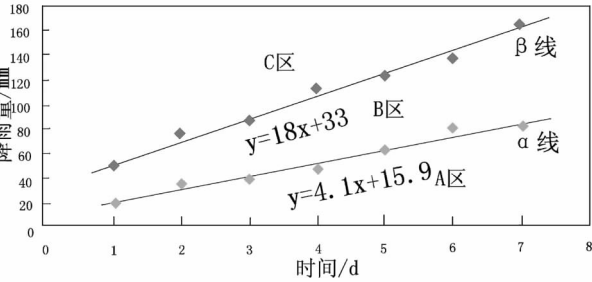


图 4 灵台县Ⅰ级预警区地质灾害气象预警预判判据模式图
Fig.4 Geological hazards meteorological early-warning criteria chart of Grade-I warning zone in Lingtai County

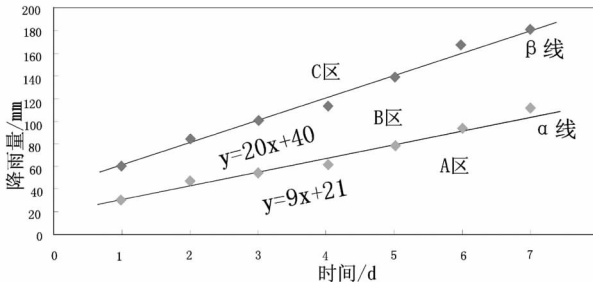


图 5 灵台县Ⅱ级预警区地质灾害气象预警预判判据模式图
Fig.5 Geological hazards meteorological early-warning criteria chart of Grade-II warning zone in Lingtai County

境内在未来 24 h 发生地质灾害等级进行初步分析和判定,同时进行会商。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质环境部门审批签发,此项工作需在 16:20 前完成;每天 16:30 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,发送给灵台县电视台。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相关人员,并做好地质灾害防范措施。地质灾害气象预警工作

流程见图 6。
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。

4 预报预警模型的应用

2008 年 6 月 13 日-2008 年 6 月 15 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 49 mm,14 日当天的降雨量达到了 40 mm,根据预警预判模式图Ⅰ、Ⅱ预警区同时

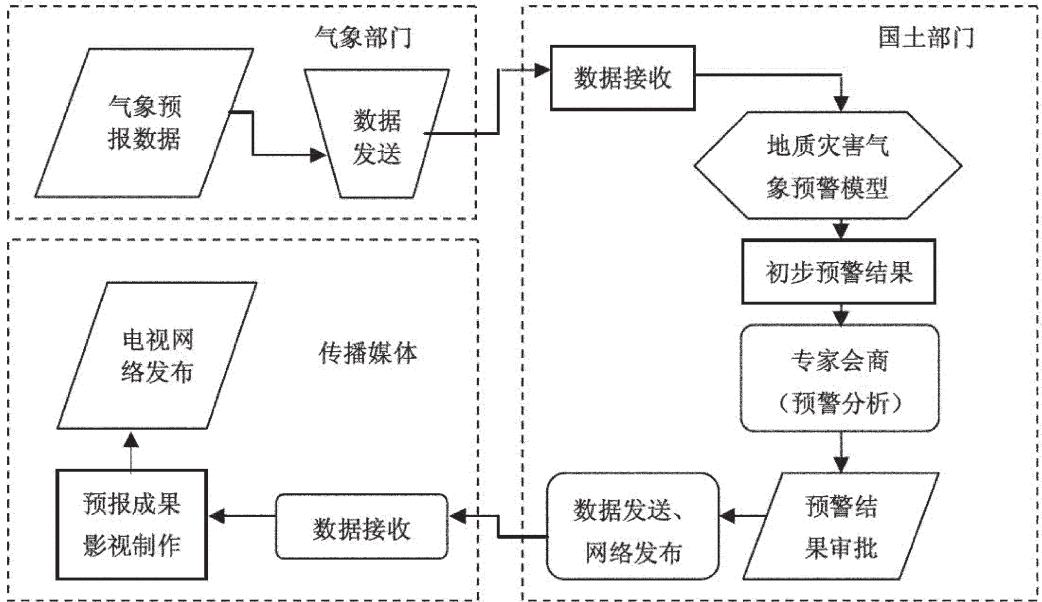


图 6 地质灾害气象预警工作流程图

Fig.6 Flow chart of geological hazards meteorological early-warning

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,景庄子西公路崩塌、灵雷公路坡里山段崩塌、灵雷公路东王沟村段崩塌、梁龙路西门段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,其中梁龙路西门段崩塌和景庄子西公路崩塌比较严重,塌方及掉落堆积物堵塞了公路,经过清理才保证了道路的畅通。华掌村簸箕湾滑坡出现轻微活动迹象,西陶湾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伤亡及经济损失,对局部路面进行了清理即恢复了道路畅通。

2008 年 7 月 21 日,预报降雨量为 55 mm,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,在此次降雨过程中佟家坡南路旁崩塌、云翔面业公司路南崩塌等 12 处崩塌均出现了不同程度的局部塌方及掉块。梁龙路西门崩塌段、景庄子西公路崩塌段、干沟桥西公路崩塌段局部严重阻碍了交通。多处滑坡的后缘出现了崩塌,多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 6 月 13 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,预警预报模型系统具有一定的可靠性,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深一步的补充和完善。

5 结论与建议

灵台县是地质灾害发育严重的黄土区,建立地质灾害气象预报预警系统,是发挥群测群防作用,避免突发性地质灾害造成人员伤亡,减少损失的有效手段之一。通过对研究区域进行地质灾害易发性区划,在此基础上对研究区进行了地质灾害气象预警区划,对重点及次重点预警区域采用临界日综合有效过程降雨量进行模型判据法实现了灵台县的地质灾害气象预报预警研究,从发布的地质灾害气象预警实例检验结果来看,该预警预报模型系统具有一定可靠性,取得了一定的成果,具有重要的现实意义,有必要进行进一步的研究和完善。

地质灾害气象预警是一项为政府防灾抗灾决策

和指导地质灾害群测群防服务的公益事业,同时也是一项开创性、探索性工作,其涉及面广、技术难度大,现在预报工作刚起步,科学依据、基础资料和工作经验等方面都有欠缺,预警预报精度有待提高,为了进一步提高预警水平,设想与建议如下:

(1)在地质灾害 I、II 级预警区内补充建立雨量监测站,增加降雨量监测密度,提高降雨预报准确度,将实际降雨量的统计与降雨预报的时段统一起来,以便对比分析,提高预报准确度;

(2)根据地质灾害气象预警的效果,进一步细化预警分区,使分区更加合理和准确;

(3)完善国土部门和气象部门的信息共享机制。建立专门的信息通道,保证信息传输的及时性和可靠性;

(4)建立地质灾害预警预报会商制度和信息反馈制度;提高预报工作精度,增强预警工作针对性和减灾效果;

(5)建立完善的群测群防体系,组织开展地质灾害气象预报预警理论和方法研究,提高预报水平;

(6)深入开展预警区野外调研工作,采集地质灾害灾情、降雨强度、持续时间、引发因素等相关资料,加强综合研究工作,进一步完善预报模型,提高预报的准确率。

参考文献(References):

- [1] 常国存,王立春,李虹. 2005 年吉林省地质灾害气象预报预警分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2006, (1):61-63.
Chang Guochun, Wang Lichun, Li Hong. An analysis of the forewarning of geologic hazards of Jilin Province in weather Forecast (2005) [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2006, (1):61-63 (in Chinese with English abstract).
- [2] 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.
Wang Xiwen, Zhang Tiejun, Feng Jun, et al. Study of the geological calamity meteorological grade prediction in Gansu Province [J]. Arid Meteorology, 2004, 22(1):8-12 (in Chinese with English abstract).
- [3] 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.
Fu Weidong. Liability Zoning Study and Countermeasure of Geological Hazard [D]. Wuhan:China University of Geosciences, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [4] 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.
Ruan Shenyong, Huang Runqiu. Application of GIS -based

- information model on assessment of geological hazards risk [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28 (1):89-92 (in Chinese with English abstract).
- [5] 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.
- Guang Lei. Application of the GIS-based information acquisition analysis in assessment of landslide hazards [J]. Geology and Resources, 2005, 14(3):231-233 (in Chinese with English abstract).
- [6] 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.
- Cui Aiping. Geological hazard zoning in Lueyang by information system spatial analysis and harassing coefficient method [J]. Journal of Catastrophology, 2004, 19 (2):51-55 (in Chinese with English abstract).
- [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.
- Lin Xiaosong, Guo Yue. A study on coupling relation between landslide and rainfall [J]. Journal of Catastrophology, 2001, 16(2): 87-92 (in Chinese with English abstract).
- [8] 杨强, 孙秀娟, 王爱军, 等. 甘肃省灵台县地质灾害特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(4):45-49.
- Yang Qiang, Sun Xiujuan, Wang Aijun, et al. Situation and prevention measures of geological hazards in Lingtai County, Gansu Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009, 20(4): 45-49 (in Chinese with English abstract).
- [9] 杜容恒. 长江三峡库区: 滑坡与泥石流研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1991:33-36.
- Du Rongheng. The Reserch of Landslide-debris Flows in Three Gorges Reservoir Area [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science & Technology, 1991:33-36 (in Chinese).
- [10] 罗靖筠, 杨强, 高幼龙. 浅析陇东地区泥石流特征和成因及防治对策[J]. 山西建筑, 2009, 35(24):127-128.
- Luo Jingjun, Yang Qiang, Gao Youlong. Initial analysis on debris flow characteristic and cause and prevention countermeasures in Longdong Area [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(24):127-128 (in Chinese with English abstract).
- [11] 陈百炼, 帅士章, 吴战平. 贵州省地质灾害气象预警系统 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3):111-113.
- Chen Bailian, Shuai Shizhang, Wu Zhanping. The meteorologic early-warning system of geological hazards in Guizhou [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(3): 111-113 (in Chinese with English abstract).
- [12] 张晨辉, 罗碧瑜, 廖仕湘, 等. 梅州市地质灾害气象预报方法初探[J]. 广东水利水电. 2008, 1:19-21.
- Zhang Chenhui, Luo Biyu, Liao Shixiang, et al. Some methods of geologic hazard weather forecast in Meizhou City [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2008, 1:19-21 (in Chinese with English abstract).
- [13] 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(4):4-7.
- Chen Bailian. Research on effect for meteorologic early-warning method of geological hazards after precipitation [J]. Journal of Guizhou Meteorology, 2002, 26(4):4-7 (in Chinese).
- [14] 刘传正. 中国地质灾害气象预警方法与应用 [J]. 岩土工程界, 2004, 7(7):17-18.
- Liu Chuazheng. The method and application of geological hazards meteorologic early-warning in China [J]. Geotechnical Engineering World, 2004, 7(7):17-18 (in Chinese).
- [15] 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.
- Liu Chuazheng, Wen Mingsheng, Tang Can. Meteorological early warning of geo-hazards in China based on raining forecast [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23 (4): 303-309 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陈百炼, 杨胜元, 杨森林, 等. 基于 GIS 的地质灾害气象预警方法初探[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(4):93-96.
- Chen Bailian, Yang Shengyuan, Yang Senlin, et al. A case study on the meteorologic early-warning of geological hazards based on GIS [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(4):93-96 (in Chinese with English abstract).
- [17] 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]. 北京: 中国地质环境监测院, 2003.
- Liu Chuazheng, Tang Can, Wen Mingshen, et al. The Implement Program of Meteorologic Early-warning of Geological Hazards in China [R]. Beijing: China Institute of Geo-Environmental Monitoring, 2003 (in Chinese).
- [18] 刘传正. 区域滑坡泥石流灾害预警理论与方法研究[J]. 水文地质工程地质, 2004, 3:1-6.
- Liu Chuazheng. Study on the early warning methods of landslide-debris flows [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2004, 3:1-6 (in Chinese with English abstract).
- [19] 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.
- Wu Shuren, Jin Yimin, Shi Jusong, et al. A primary study on landslide warning criterion——An example from the reservoir region of the three Gorges [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(4):596-600 (in Chinese with English abstract).
- [20] 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.
- Shan Jiusheng, Liu Xiufen, Wei Li, et al. Rainfall characteristics analyses on landslide in Jiangxi Province [J]. Meteorological Monthly, 2004, 30(1):13-15 (in Chinese with English abstract).
- [21] 苗爱梅, 郝寿昌, 武捷, 等. 山西省诱发地质灾害的气象因素特征分析[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(1):39-42.
- Miao Aimei, Hao Shouchang, Wu Jie, et al. Characteristics of geological disaster events induced by meteorological factor in Shanxi Province [J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2009, 32(1):39-42 (in Chinese with English abstract).
- [22] 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.

Wang Xiwen, Zhang Tiejun, Feng Jun, et al. Study of the geological calamity meteorology grade prediction in Gansu Province [J]. Arid Meteorology, 2004, 22 (1):8-12 (in Chinese with English abstract).

[23]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.

Zhang Tiejun, Wang Xiwen, Wei Wenjuan, et al. The study of early warning weather forecasting technology research of floods and geological disasters in Gansu Province [J]. Gansu Science and Technology, 2008, 24 (16):58-60 (in Chinese with English abstract).

A study of geological hazards meteorological early-warning in Lingtai County of Gansu Province based on GIS

DING Wei-cui¹, YANG Qiang², WANG Ai-jun², GAO You-long², ZHANG Jun-yi²

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

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

Abstract: Geological hazards often cause grave damages to people’s lives and property, and hence the study of the meteorological early-warning for geological hazards has practical significance. With Lingtai County of Gansu Province as an example, this paper elaborates the research on meteorological early-warning based on GIS and the good results obtained. Starting with the intrinsic and extrinsic factors that cause the loess geological hazards, the authors carried out the study of geological hazards liability zoning in Lingtai County (intrinsic factors), and then, with a full consideration of the impact of rainfall on geological hazards (external factors), conducted the geological hazards meteorological early-warning zoning study. The authors employed the critical-day synthesized effective process of the rainfall criteria precipitation method in the key and secondary warning zones of Lingtai County. Good prediction results were obtained, which indicate that, being practical and effective, this method can provide a scientific basis for the further study of geological hazards meteorological early-warning in the loess region.

Key words: Lingtai County; geological hazards; meteorological early-warning; criteria of effective progress precipitation

About the first author: DING Wei-cui, female, born in 1982, doctor candidate, engages mainly in geological mapping and GIS application; E-mail: dingweicuigis@163.com.