

丹东地区地质灾害气象预警系统

李慧琳 宫焕盛 韩卫东

(丹东市气象局, 丹东 118000)

摘要:利用1974—2003年凤城、宽甸地区地质灾害实地调查资料和同期常规气象资料,分析了丹东北部山区地质构造特点及各类地质灾害发育的一般规律,讨论了强降雨尤其是暴雨对地质灾害发生的影响,在此基础上提取了相关因子,应用多元线性回归方法,建立了丹东地区地质灾害预报方程和丹东市地质灾害气象预警系统。通过2004年汛期的初步试用,证明该系统具有较好的预报能力。

关键词:地质灾害;降水;气象预警系统

1 引言

地质灾害是指在自然因素或人为活动作用下引发的,使生态环境遭受破坏、人类生命财产安全受到危害的一种与地质作用有关的灾害。丹东地区地处辽宁东南部,是辽东山地丘陵的一部分,地势由东北向西南逐渐降低。按其地形特征可划分为北部中低山区、南部丘陵区 and 南缘沿海平原区三类规模较大的地貌单元^[1]。各类地质灾害多发生于凤城市和宽甸县境内山区,以泥石流、滑坡、塌陷等为主。据丹东市国土资源局普查统计,1974—2003年全区共发生滑坡、泥石流等地质灾害5000余处,死亡人数235人,失踪1人。地质灾害直接由自然原因(主要是强降雨)诱发的占70%以上,而且主要集中发生在汛期。在对全市地质灾害隐患点进行调查和区划的基础上,从气象原因入手,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,建立了地质灾害气象预警系统。

该项目的实施不仅需要多部门的协作,而且需要多学科的合作,包括地质、地理、水文、气象、计算机等学科的交叉研究和综合应用^[2]。本文通过分析丹东北部山区地理环境和地质特征,找出各类地质灾害发生的气象预警指标,进而建立地质灾害气象预警系统。

2 资料与方法

采用由丹东市国土资源局提供的1974—2003年地质灾害野外调查表作为研究个例(一日内出现多处地质灾害按照一个个例计算);同期常规气象资

料由丹东市气象台提供。

分析方法主要采用多元线性回归,进行地质灾害易发程度分区时采用了袭扰系数(R)法。

3 地质灾害发育规律及其与强降雨的关系

3.1 地质灾害发育的一般规律

地质灾害的主要特征是突发性、群体性、关联性和周期性^[3]。地质灾害的时空分布及强度分布受控于地质环境因素,主要有地质结构特征、地形地貌条件、气候水文及人文活动等因素。一次地质灾害的发生是内、外营力共同作用的结果(图1)。所谓内营

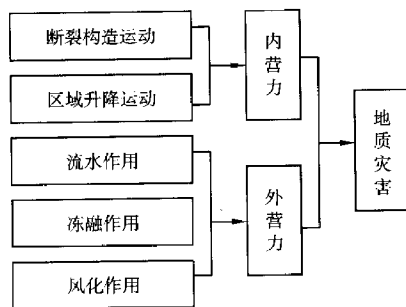


图1 地质灾害的产生

力,是指地球内在的物质及其作用力,如组成地球的地质基础,包括地质构造、岩性以及地壳构造运动等。内营力作用指各种地球内部力量所带来的地形演变过程,能量主要来自地球内部的岩浆。外营力一般指作用于地球的外部力量,如风、霜、雨、雪、流水、冰川等因素。外营力作用指各种影响或改变地球表面形态的自然演变过程,能量主要来自太阳辐射及地心吸力。内营力塑造地球表面的基本地形地

收稿日期:2006-02-28;修订日期:2006-07-20。

基金项目:辽宁省气象局“丹东地区地质灾害气象预警指标的研究”项目资助。

作者简介:李慧琳,女,1981年生,助理工程师,主要从事天气预报工作,E-mail: cadie@sina.com。

貌,而这些基本外貌会不断被外营力所改变,造成更复杂的地形地貌,伴随这一过程就有可能发生各类地质灾害。

3.2 地质灾害与强降雨的关系

内营力的作用形成了地区自身的地质构造,而外营力则是地质灾害发生的诱发因素,包括自然因素和人为因素。人为因素主要与人类工程活动有关,而自然因素则主要是强降雨,尤其是暴雨。

3.2.1 时间上的一致性与滞后性

从理论上说,强降雨是地质灾害最主要的外界诱发因素。地质灾害发生的数量、规模与降雨强度、持续过程都有十分明显的关系。强降雨对地质灾害形成的作用主要是通过补给地下水、土壤水,增大岩土体容质量,减小滑动面摩擦力来实现的。概括而言,强降雨是泥石流形成的诱发因素和泥石流组成的水分来源,也是滑坡形成的动力条件。

根据实际统计,丹东地区年平均降水量为 800—1 200 mm,年降水量之多为我国北方地区之冠。尤其是宽甸、凤城北部山区年降水量均在 1 200 mm 或以上。并且全区降水季节分配不均,年降水集中在夏季 7—8 月(图 2)。图 3 为 1974—2003 年各月地

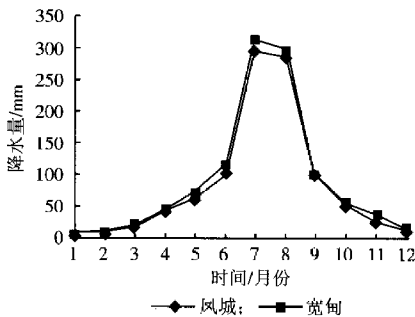


图 2 1974—2003 年丹东地区各月月平均降水量

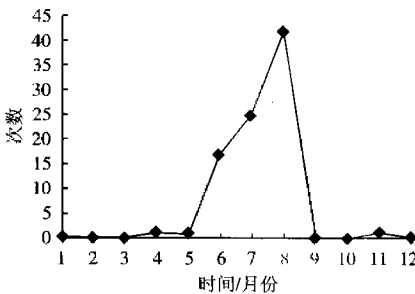


图 3 1974—2003 年丹东地区各月地质灾害发生次数统计。从图 3 中可明显得出,6—8 月为各类地质灾害的高发期,占全年各类地质灾害发生次数的 96%,而这 3 个月份为丹东地区汛期。仅 7 月和 8 月地质灾害发生次数就占全年总次数的 77%。丹东地区主汛期的时间恰好为每年的 7 月下旬—8 月上旬,与地质灾害的发生在时间上有很

好的一致性。

图 2 与图 3 对比不难看出,7 月平均降水量大于 8 月平均降水量,但是地质灾害发生的次数却少于 8 月,这是因为各类地质结构由于强降雨所导致的能量积累有一个形成过程。通过对 1974—2003 年地质灾害资料及同期气象资料统计发现,一次地质灾害的发生并不是必须由一次强降雨过程所激发,通常是能量积累达到一定程度而触发的。强降雨是地质灾害的诱发因素。但这种诱发因素是建立在一定时间能量积累的基础上。因此,就地质灾害发生时间而言,相对于强降雨的发生在时间上存在一定的滞后性。

3.2.2 地质灾害与暴雨的关系

特别指出的是,泥石流、滑坡、塌陷等地质灾害的发生除具备一定的地形地貌、岩土体条件外,地震、采矿、修路、强降雨等诱发因素也是必不可少的,暴雨所造成的危害更大。

将 1974—2003 年地质灾害发生的个例按降水量进行分类。各种地质灾害与降水量的关系如表 1

表 1 各种类型降雨引发地质灾害

24 h 降水量 /mm	地质灾害发生次数/次	百分率
≥ 50	49	61
25—49	18	22
0—24	9	11
无明显降水	5	6

所示。当日暴雨(降水量大于等于 50 mm)引发地质灾害的占 61%,是丹东各类地质灾害发生的首要诱发因素。丹东是我国北方地区的暴雨中心,暴雨期长和暴雨频繁,均为北方之冠。因此,暴雨这一气象因子在丹东地区地质灾害气象预警中有着极其重要的地位。

4 地质灾害气象预警模式

4.1 应用袭扰系数法划分丹东地区地质灾害易发区

地质灾害易发区是指容易产生地质灾害的区域。地质灾害易发性分区,是依据地质灾害形成发育的地质环境条件、发育现状(强度,即单位面积内灾害体个数、面积和体积)和人类工程活动强度,以定性评价和信息系统空间分析等方法确定^[4]。

将已发生和可能发生地质灾害的地区按不同级别或程度划分出来,常用的方法为袭扰系数法。袭扰系数法是以反映地质灾害发育密度和规模的袭扰系数值为依据,对调查区地质灾害易发程度进行定

量分析与评价的一种方法。

评价模型的表达式:

$$R = a^2 + b^2 + c^2 \quad (1)$$

式(1)中, R 为反映地质灾害发育密度和规模的袭扰系数, a 为灾害个数密度(个·km⁻²)所对应的强度指数, b 为灾害面积密度(m²·km⁻²)所对应的强度指数, c 为灾害体积密度(m³·km⁻²)所对应的强度指数。

评价方法。首先在本区行政区划图上进行网格剖分, 每个单元面积为 1 km×1 km~3 km×3 km, 形成若干个网格(对地质条件变化不大的地区, 单元面积可取高限; 对地质条件复杂或需要详细研究的地区, 单元面积可取低限)。分别统计每一个网格内

泥石流、滑坡、崩塌的个数、面积、体积密度。将网格中的所有密度值从大到小排序, 再将密度值分为大、中、小三级, 并按大、中、小等级的网格数各占密度值大于零网格数的 15%, 30%, 55% 确定大、中、小密度分级界限值。然后分别计算评价区泥石流、滑坡、崩塌的个数、面积、体积密度; 确定评价因子(a, b, c)的易发指数, 将其分为三级, 即低易发区、中易发区、高易发区, 其易发指数分别赋予 4, 3, 2。对应关系: 低易发区一般指密度界限值小者, 中易发区一般指密度界限值中者, 高易发区一般指密度界限值大者。

地质灾害易发程度分区判别标准见表 2。根据表 2 确定的易发指数, 可求出 R 值, 并得出分区评价结果(表 3)。

表 2 地质灾害易发程度判别标准

判别因子	地质灾害易发程度分区		
	高易发区	中易发区	低易发区
灾害密度/(个·km ⁻²)	>0.1	0.02—0.1	<0.02
灾害点面积密度/(m ² ·km ⁻²)	>10 000	2 000—10 000	<2 000
灾害点体积密度/(m ³ ·km ⁻²)	>100 000	20 000—100 000	<20 000
各因子判别强度指数	4	3	2

表 3 丹东地区地质灾害易发区程度划分

R	高易发区	中易发区	低易发区
		≥48	20—48
乡镇区域	宽甸: 牛毛坞、灌水、大川头、太平哨、下露河、振江、毛甸子、长甸	宽甸: 青山沟、硼海、步达远、石湖沟、大西岔、杨木川	宽甸: 双山子、八河川、青椅山、红石、水甸、虎山、古楼子
	凤城: 青城子、四门子、弟兄山、赛马、阳、刘家河、鸡冠山、宝山、红旗	凤城: 大堡、东汤、白旗、沙里寨、蓝旗、石城	凤城: 边门、凤城市、大兴、通远堡

4.2 地质灾害气象预警方程

一次地质灾害的发生既受本区降雨的影响, 又与本地的地质构造密不可分。综合考虑这两方面的影响, 提取相关因子建立数学模型, 即可对各类地质灾害的发生进行预报。

降水对地质灾害的诱发作用, 不仅取决于当日雨量, 而且与前期过程降水量有关; 但前期各日雨量对该日的影响程度又是不相同的, 并且相同的降雨量对不同地质灾害易发程度地区产生的作用也是有差别的。因此, 提取灾情发生当日的 24 h 降水量、灾情发生前 5 d 的降雨量、灾情发生前 6—10 d 的降水量作为降水影响因子。

综合考虑各因子的影响, 建立丹东地区地质灾害气象预警方程:

$$A = C_1 A_1 + C_2 A_2 = C_1 A_1 + C_2 (c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3) \quad (2)$$

式(2)中, A_1 为地质灾害易发程度分区编码, A_2 为降水影响因子。降水影响因子又分为三部分, x_1 为灾情发生当日的 24 h 降雨量编码, 实际预报中采用丹东市气象台 24 h(20 时—次日 20 时)降雨量预报值; x_2 为灾情发生前 5 日的降雨量编码; x_3 为灾情发生前 6—10 d 的降雨量编码; C_1, C_2, c_1, c_2, c_3 均为系数。

利用 1974—2003 年丹东地区 81 个样本个例, 应用多元线性回归方法, 求得各系数的值 $C_1 = 0.2, C_2 = 0.8, c_1 = 0.5, c_2 = 0.3, c_3 = 0.2$ 。各回归方程的复相关系数为 0.70—0.88, 均通过了信度 0.05 的 F 检验。

各因子编码标准见表 4。表 4 中, A 为地质灾害发生概率, 分为 5 级: $A \leq 30\%$ 为 1 级, 灾情发生的可能性很小; $30\% < A \leq 50\%$ 为 2 级, 灾情发生的可能性较小; $50\% < A \leq 70\%$ 为 3 级, 灾情发生的可

能性较大; $70\% < A \leq 90\%$ 为 4 级, 灾情发生的可能性大; $A > 90\%$ 为 5 级, 灾情发生的可能性很大。其

中, 3 级为注意级, 4 级为预警级, 5 级为警报级。

表 4 地质灾害预报因子编码标准

预报因子	A_1		x_1		x_2		x_3	
	条件	编码	条件	编码	条件	编码	条件	编码
	高易发区	1.0	大雨、暴雨	1.0	≥ 100 mm	1.0	≥ 100 mm	1.0
	中易发区	0.5	中雨	0.5	50—100 mm	0.5	50—100 mm	0.5
	低易发区	0.0	小雨	0.0	< 50 mm	0.0	< 50 mm	0.0

5 地质灾害气象预警系统建设

从业务应用角度出发, 在研究预警模型的基础上, 建立地质灾害气象预警系统。首先进行降雨预报的判断。因每日下午发布 24 h 地质灾害预报时无 20 时的 6 h 降雨量统计, 因此在考虑未来 24 h 降水量时要加上当日 14—20 时的降水量作为最后的判断。系统会根据模式自动做出地质灾害预报结论。将得出的结论通过传真、Internet、影视媒体等途径发送给决策部门及公众(图 4)。

带风暴外围云系影响, 全区普降暴雨到大暴雨, 10 日长甸、青山沟等地滑坡达 100 余处。在此次过程中, 通过系统计算显示北部山区地质灾害发生等级达到 4 级, 丹东市气象台于 8 月 9 日向市政府决策部门呈报的重要天气报告中特别强调北部山区发生地质灾害的可能性大, 并通过丹东电视台等媒体向公众发布地质灾害预警。从反馈信息看, 在此次暴雨到大暴雨过程造成的山体滑坡中, 由于预报准确及时, 有关部门提前做好了预防措施, 使人员和财产损失降到了最低。

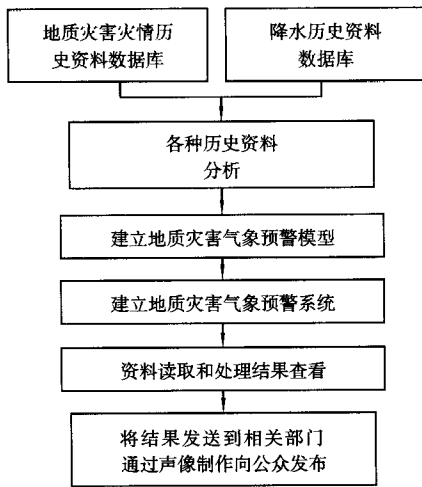


图 4 丹东地区地质灾害气象预警系统结构流程

系统与自动站雨量的应用相结合, 可将预警预报精细化到乡镇, 分别显示每个乡镇的地质灾害预警等级。并且将凤城、宽甸地区近 10 d 降雨量通过柱形图直观地显示出来, 以方便预报员查询和监测预警前期(敏感期)的降水实况。

6 2005 年汛期预警模式应用情况

系统建成后, 于 2005 年汛期投入业务试用。在对 5 月 17 日暴雨的预报中, 应用系统计算出发生地质灾害的等级为 2 级, 即可能性较小, 因此丹东市气象台对外发布了暴雨预报但未发布地质灾害预警。实况为北部山区虽出现暴雨但未出现地质灾害。8 月 8—11 日丹东地区受 9 号台风“麦莎”减弱后的热

7 结论与讨论

丹东地区地质灾害主要集中在 6—8 月的汛期中。前期连阴雨致使雨水大量渗入土层, 土层达到饱和状态, 此时强降雨的发生, 增加了荷重, 降低了抗剪强度, 是地质灾害的主要诱发因素。前期降雨不明显的情况下, 短期内产生突发性强降雨, 日降水量为暴雨以上, 是地质灾害产生的又一特点。系统根据预报的降雨强度和前期降雨情况, 结合该地区的地质结构和环境条件做出地质灾害气象预警预报, 及时发出地质灾害可能发生的警报, 为地方政府和公众采取防御措施提供了科学依据。

另一方面, 在系统的建设中还存在一些问题有待于不断完善。首先, 由于地质灾害实际发生资料的调查收集还不够全面, 故对所发布的预警过程还不能及时检验, 影响了模式的不断改进; 其次, 本区降水量观测空间密度和时间密度不够, 降水过程、降水强度与地质灾害的相关性还只停留在统计分析的基础上, 对其内在的作用过程还需进一步研究。因此, 今后在灾情及时反馈、自动站建设以及暴雨预报的准确率等方面还需进一步完善。

参考文献

- [1] 高明辛. 丹东地区泥石流活动发展趋势及成因分析[J]. 中国水土保持, 1996(3): 12—15.
- [2] 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(4): 4—7.
- [3] 金广涛, 张宝玺. 气候灾害规律与管理评价及防御对策

- [J]. 辽宁气象, 1994(1): 17-20.
- [4] 郑永林, 宁立波, 毛绪美, 等. 浙江省龙泉市地质灾害易发区划分分析[J]. 湘潭师范学院学报(自然科学版), 2004, 26(4): 90-92.

Research on meteorological early-warning system of geologic disaster in Dandong area

LI Huilin GONG Huansheng HAN Weidong
(Dandong Meteorological Bureau, Dandong 118000)

Abstract: According to the examples of the geologic disasters from 1974 to 2003 and meteorological data in the same periods in Dandong area, the geologic structure features and the general laws of geologic disasters development were analyzed in northeastern Dandong. The effects of heavy rainfall on geologic disasters were discussed, especially rainstorm. In term of correlative factors, the geologic disaster prediction method and its meteorological early-warning system were set up with linear regression analysis, which were first applied to the flood season in 2004. The results indicated that this system was suitable to geologic disaster forecast.

Key words: Geologic disaster; Rainfall; Meteorological early-warning system