

# 庆阳市地质灾害状况及气象预报探讨

张天锋<sup>1</sup>, 王位泰<sup>1,2</sup>, 王锡稳<sup>3</sup>, 邱宁刚<sup>1</sup>, 赵建厚<sup>4</sup>

(1. 甘肃省庆阳市气象局, 甘肃 庆阳 745000 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020;  
3. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020 4. 甘肃省镇原县气象局, 甘肃 镇原 744500)

**摘要** 通过分析庆阳市地理气候特点, 地质灾害的类别及其时空分布特征, 探讨地质灾害与降水的规律, 依据地质灾害与气象条件的定量关系, 采用判别和经验分析的方法建立了庆阳市地质灾害的气象监测、预报模型。

**关键词** 气象; 地质灾害; 预报; 方法

中图分类号: P694

文献标识码: A

## 引言

地质灾害是自然变异和人为作用导致的地质环境或地质体发生变化给人类和社会造成的危害。地质灾害种类繁多, 除地震灾害外, 崩塌、滑坡、泥石流灾害最为严重, 具有分布广、突发性破坏性强、隐蔽性及容易链状成灾等特点, 每年都造成了巨大的经济损失和人员伤亡<sup>[1]</sup>。

庆阳市特殊的深厚黄土层构造自然条件决定了境内崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害分布广泛、活动频繁、危害严重<sup>[2]</sup>。近年来, 由于经济社会的发展、人口增长与人类不合理工程、经济活动的加剧, 地质环境质量趋于下降, 地质灾害发生的频率有所提高, 造成人员伤亡越来越多, 财产损失越来越大。据不完全统计, 自1959~1999年, 由滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害造成人员死亡131人, 受伤130人, 造成的直接经济损失年均2510万元以上, 而造成的环境恶化、自然资源损失目前尚无法估量。2003年庆阳市暴雨场次多, 强度大, 连阴雨时间长, 降水特多, 部分县(区)年降水量超过历史极值, 地质灾害严重, 造成10人死亡, 经济损失巨大。

崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的发生与气象条件紧密相关。如山体崩塌、滑坡、泥石流等都有先兆, 往往与连续性及大降水有关。王志禄等<sup>[3]</sup>对陇南地质灾害气象预报及预警进行了研究, 分析了地

质灾害的特征、成因并进行了分区, 提出了气象预报预警方法。殷志有等<sup>[4]</sup>对商洛山地质灾害分布及诱发成因进行了研讨, 指出降水条件是直接诱发和催化各类地质灾害形成的主要原因, 没有气象条件的外因作用, 大规模的滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害就很难发生。吴红等<sup>[5]</sup>对兰州市区地质灾害与暴雨强度进行了研究, 指出降雨是导致山洪灾害的最主要因素, 降雨量、降雨强度的控制指标即临界雨量或临界雨强, 是实时山洪灾害预报预警业务中诊断山洪灾害是否可能发生, 并及时采取相应预防措施的关键性指标。这里通过分析庆阳市深厚黄土层地质条件及地理气候特点, 地质灾害的类别及其时空分布特征, 探讨地质灾害与降水的规律, 建立了庆阳市地质灾害的气象监测、预报模型, 对庆阳市地质灾害防治具有积极意义。

## 1 庆阳市地质灾害地理分布特点

### 1.1 地理特点

庆阳市地处黄河中上游陕、甘、宁黄土高原区, 地势自东南向西北升高, 地形地貌可分为中南部黄土高原沟壑区、北部黄土丘陵沟壑区和东部黄土低山丘陵区3个区。主要由塬地、丘陵山地、河流滩地和河谷组成。

北部黄土丘陵沟壑区: 包括环县和华池北部, 地貌特征是丘陵起伏, 沟壑纵横, 山多川少; 河流冲刷

收稿日期: 2005-06-08 改回日期: 2005-08-16

基金项目: 甘肃省气象局2005年青年科技基金项目“地质灾害分析与预报方法研究”(2004201)资助

作者简介: 张天锋(1969-), 甘肃庆阳人, 工程师, 主要从事气象业务管理工作。

切割严重,沟谷多呈V型发育,割切深度50~100 m以上,水土流失严重。

中南部高原沟壑区地貌单元有塬面、残塬、梁峁、沟坡、沟谷、河川。以塬为主体地貌,地形起伏小,开阔平坦,塬边向沟谷倾斜,塬与塬之间为河谷和沟谷所分割。因受水力和风力长期侵蚀,塬面受到严重破坏,被切割成狭窄塬面的称为残塬,呈不连续的零散分布,面积小、坡度大,约有100多条。沟坡是塬面与沟谷之间的倾斜面,坡度在20~50°之间,经人为开垦整修,阳坡多为梯田,阴坡多为草地。沟谷是沟线到流水线之间的陡坡地,沟谷中常有悬崖陡壁出现,呈树枝状分布。

东部子午岭中低山丘陵区:该区包括华池的东南小部、合水的大部、宁县和正宁的东部。子午岭系乔山山脉的支系,是泾河、洛河的分水岭,南北长147 km,东西宽16~40 km,海拔最高的调令关为1756 m。地形以梁峁为主,两侧多沟谷,短小狭窄,沟谷间有梁峁状黄土丘陵分布。区内地形起伏大,植被覆盖度大,水土流失少,是一个水源涵养林区。

1.2 地质灾害的类别及区域分布

如图1所示,受区域地质构造、岩石结构、地形地貌及气候等因素控制和影响,庆阳市境内发育的

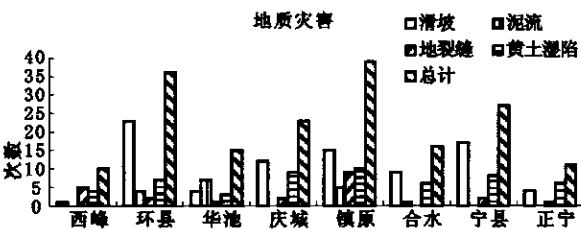


图1 庆阳市地质灾害类型与地域分布

Fig. 1 The type and zone distribution of geological calamity in Qingyang city

地质灾害主要有崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、黄土湿陷等,其中滑坡的次数最多,地域分布以环县、镇原、庆城、宁县较多,与地形条件密切相关。如图2所示,按照庆阳市地形地貌、地质构造、地层岩性和地质灾害出现频数进行区划,可分为2大区,即地质灾害易发区(I)、基本无地质灾害区(II)除子午岭林区和环县荒漠化西北部基本无地质灾害发生外,其余广大地区均为地质灾害易发区,其中董志塬区、早胜塬区和北部丘陵区为轻度易发区(I1),其余区域黄土丘陵河谷沟壑区为强烈易发区(II2)。

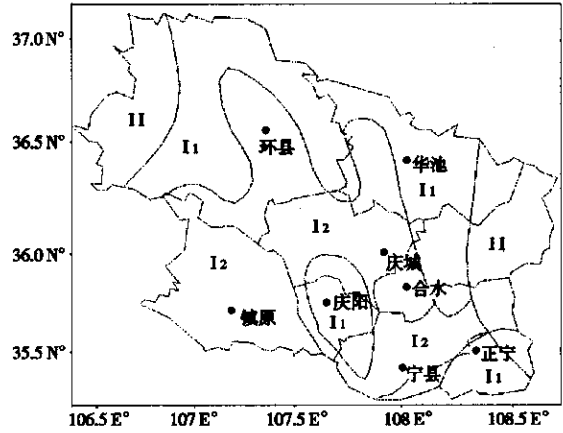


图2 庆阳市地质灾害分区

Fig. 2 The geological calamity sub-zone in Qingyang city

1.2.1 滑坡、崩塌

由图1可见,庆阳市滑坡灾害7县1区均有分布,发生频率高,直接危害较严重,自20世纪(下同)80年代起,共发生较大规模滑坡47起。从滑坡分布的地域上看,多数分布在基底平缓的塬、梁、峁的边坡地带和河谷阶地斜坡,大多成群出现。据调查,79%的黄土滑坡分布于河谷的南坡和西坡,区域分布的基本规律是:北部滑坡、崩的密度大于南部,西部多于东部,其中环县、庆城、镇原、宁县的滑坡次数较多。

庆阳市黄土滑坡的发育与分布受多种因素影响。内在因素有地层岩性、地形地貌和地下水,外部因素主要是降雨、人类活动等。尤其离石黄土厚度较大,具有倾斜的剥蚀面和粘性较大的古土壤层,自身的节理和裂隙广泛发育,有利于降水的下渗,为滑坡的形成提供了决定性有利环境条件<sup>[2]</sup>。

1.2.2 泥石流

庆阳市泥石流灾害致灾最为严重的为镇原县、环县城区、华池县及宁县的一些村镇也受到过泥石流危害。泥石流均由暴雨引发,一般沟内平时无水,在暴雨期间,坡面径流和塬面径流迅速汇集在沟道中,冲蚀滑坡、崩塌等不良地质土体形成泥流,冲出沟口。由于固体物质补给不甚集中,爆发频率高,多以稀性泥流出现<sup>[6]</sup>。

1.2.3 地面塌陷、地裂缝特征

庆阳市还有少量的黄土湿陷、地裂缝、地面塌陷等地质灾害,与降水也有一定关系,特别是连续降水累计量较大,或者出现暴雨和大暴雨时,都可能造成黄土湿陷、地裂缝、地面塌陷等灾害发生。

## 2 地质灾害与气象条件的关系

根据庆阳市地质灾害调查区划报告,突出探讨分析庆阳市地质灾害与气象条件之间的关系。

### 2.1 地质灾害的年际分布与年降水的关系

如图 3 所示,分析 1971~1998 年地质灾害的发生次数和暴雨站次的关系,其相关系数  $R$  为 0.39,

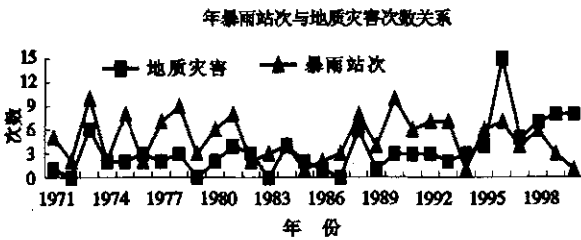


图 3 地质灾害与暴雨站次年际变化

Fig. 3 The yearly change of geological calamity and stations ( times ) with heavy rain

通过了  $\alpha$  为 0.05 的显著性水平检验。值得注意的是 1998 年以后虽然有些年份降水并不多,但地质灾害发生的次数却显著增加,表明由于经济社会的发展、人口增长与人类不合理工程、经济活动的加剧,地质环境质量趋于下降,地质灾害发生的频率明显提高。

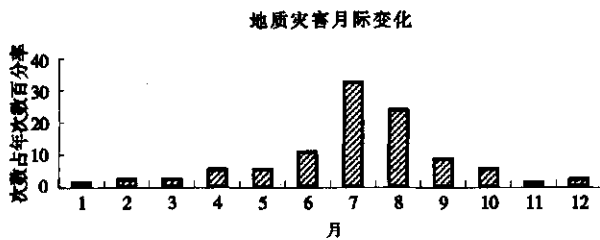


图 4 庆阳市地质灾害逐月分布直方图

Fig. 4 The frank - square figure of geological calamity monthly distribution in Qingyang city

如图 4 所示,庆阳市地质灾害各个季节都有发生,但大多数发生在 5~9 月,统计表明现有的滑坡中 85% 以上产生于雨季,1980 年以来发生滑坡 47 起,有 26 起发生于 6~9 月。此外,滑坡的产生不仅与当日雨量有关,还与前期土壤体含水量有着密切关系,1996~1998 年是庆阳市暴雨多发年,也是滑坡、崩塌地质灾害的多发年。

庆阳市出现泥石流 11 次,均出现在 7、8 月,出现黄

土湿陷 23 次,其中 19 次出现在 6、7、8 月,地裂缝、地面塌陷出现 20 次,记载有具体日期的 11 次均在夏半年。

庆阳市年平均降水量 409~608 mm,空间分布自东南向西北递减,正宁最多,其次是宁县,环县最少。中南部相对较容易出现滑坡、崩塌地质灾害。夏半年(4~10 月)降水量占年降水量的 90% 左右,地质灾害次数占总次数的 91%,特别是盛夏 7~8 月暴雨多发期地质灾害占总次数的 56%,是开展地质气象预报预警的重点。

### 2.2 地质灾害与降水强度的关系

(1)统计庆阳市日降水量中雨( $10 \text{ mm} \leq R < 25 \text{ mm}$ )、大雨( $25 \text{ mm} \leq R < 50 \text{ mm}$ )、暴雨( $50 \text{ mm} \leq R < 100 \text{ mm}$ )、大暴雨( $R \geq 100 \text{ mm}$ )次数与同级别降水天气出现的地质灾害次数,由于出现次数绝对数值过大,采用了级别次数与总次数的百分比(下同),如图 5 所示,随着日降水量的增大,地质灾害次数明显增多,大值出现在暴雨天气里,由于大暴雨天气次数出现少,对应的地质灾害次数亦少,但大暴雨天气出现时产生地质灾害的可能性远比暴雨天气要大得多。

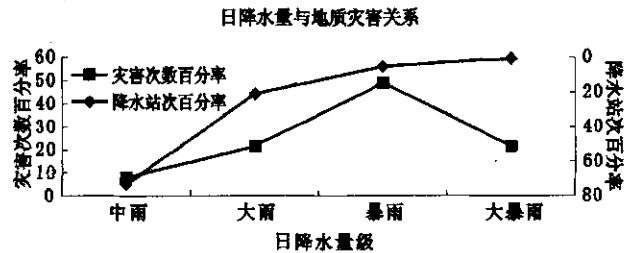


图 5 地质灾害与各级降水之间的统计关系

Fig. 5 The statistical relation between geological calamity and each grade precipitation

(2)统计分析 1 h 降水量与同级别降水天气出现的地质灾害的关系,如图 6 所示,随着降水强度的增大,出现地质灾害的次数明显增加,特别是泥石流

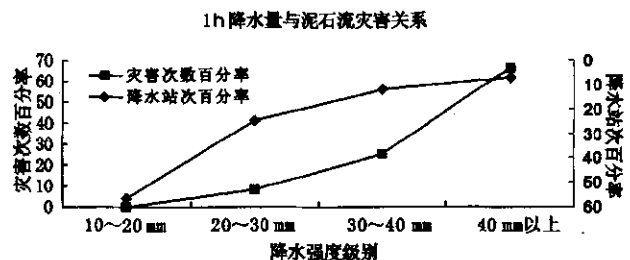


图 6 泥石流灾害与降水强度之间的统计关系

Fig. 6 The statistical relation between mud - rock flow disaster and precipitation intensity

灾害均出现在 1 h 降水量 >30 mm 的天气。因此可以得出日雨量 >50 mm, 地质灾害危险点可能发生滑坡、地裂缝、地面下陷等灾害; 日雨量 >50 mm 且 1 h 雨量 >40 mm, 一般可以造成泥石流易发区的泥石流灾害。

### 2.3 地质灾害和连阴雨天气

统计连阴雨天气与同级别降水天气出现的地质灾害关系, 如图 7 所示, 随着降水总量的增加和连

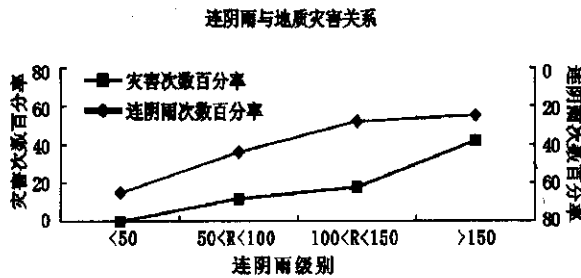


图 7 地质灾害与连阴雨降水量之间的统计关系

Fig. 7 The statistical relation between geological calamity and precipitation in successive raining days

续阴雨天数的延长, 出现地质灾害的次数明显相应增多, 降水累计量较大和连续阴雨天数较长时, 可能出现滑坡、黄土湿陷和地裂缝等地质灾害, 造成山体坍塌、交通中断。一般 5 d 累计雨量 >50 mm 或者 10 d 累计雨量 >100 mm 均有可能造成类似灾害。

## 3 地质灾害的气象预报

### 3.1 地质灾害气象预报报警标准

根据国土资源部和中国气象局联合划分的标准, 地质灾害气象预报划分为 5 个等级 (1、2 级影响轻微可不发布, 3 至 4 级为预报发布, 5 级为警报)。1 级为可能性很小, 2 级为可能性较小, 3 级为可能性较大, 4 级为可能性大, 5 级为可能性很大; 其中 3 级在预报中为注意级, 4 级为预警级, 5 级为警报级。

### 3.2 地质灾害短期预报

#### 3.2.1 地质灾害预警临界指标

根据以上分析, 前期和未来降水量大小是产生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的关键诱发因素, 因此预报思路主要是统计各地实时降水资料及对未来降水量级的预报估计, 综合考虑季节、降水性质、伴见天气现象如雷暴、大风等。通过计算、判别和经验分析可能出现的地质灾害类别和县域分布, 初步划分等级, 与地质部门会商后对结论进行订正, 最终确

定发布灾害类别及其级别。

经过统计分析, 综合考虑前期降水总量和未来 24 h 降水量、降水性质等, 初步提出了庆阳市地质灾害气象预报预警模型:  $R_z = C \times R_{24} + 0.7 \times R_5 + 0.3 \times R_{10}$ , 其中  $R_z$  为地质灾害综合降水量预警指标,  $R_{24}$  为未来 24 h 降水量, 预报小雨取值 10 mm, 小到中雨 15 mm, 中雨 20 mm, 中到大雨 30 mm, 大雨 35 mm, 大到暴雨 50 mm, 暴雨 75 mm, 暴雨到大暴雨 100 mm, 大暴雨 150 mm,  $R_5$  为前 5 d 累计雨量,  $R_{10}$  为前 6~10 d 累计雨量, 其权重由历史数据统计得到。C 的取值主要考虑降水性质, 根据经验普雨取值 0.8, 阵雨取值 1.0, 雷阵雨取值 1.3。

根据综合降水量条件与地质灾害对应的实际关系, 综合分析得出庆阳市各种地质灾害等级预报预警临界值 (表 1), 并考虑了地质构造、地貌等因素。

表 1 庆阳市各种地质灾害等级临界值一览表  
Tab. 1 The critical values of all kinds of geological calamity grade in Qingyang city

项 目	区 域	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
泥 石 流	泥石流灾害极易发区	15	25	35	50	100
	泥石流灾害易发区	25	35	50	75	150
	其他区域	35	50	75	100	200
滑 坡	地质灾害危险点	25	35	50	100	150
地 裂 缝	地质灾害极易发区	30	50	75	120	180
塌 陷 等	地质灾害易发区	50	75	100	150	210
	其他区域	75	100	120	180	240

#### 3.2.2 庆阳市地质灾害短期预报业务流程

根据 MICAPS2.0 预报业务人机交互系统及自动站逐小时雨量, 实时计算地质灾害综合降水预警指标, 按照预报模型客观划分地质灾害等级预报临界值, 与国土资源部门会商后, 通过当地电视台发布地质灾害气象预警。

## 4 小 结

(1) 降水是诱发地质灾害的主要原因。由于滑坡地质灾害是大降水及连续性降水造成的自然灾害, 发生灾害的时间并不一定与降水时间有必然的一一对应关系, 有些往往有滞后性, 通过对前期降水情况的跟踪和监测, 结合较准确的短期预报, 对地质灾害发生的危险性做出预报预警, 可以积极防御和减轻地质灾害。

(2) 突发性强对流降水, 历时短、雨强大、局地性强、更容易诱发山洪、泥石流等地质灾害, 而且这

些地质灾害的发生与地质地貌等特征关系密切,由于降水时空分布不均,站点雨量很难反映灾害发生点的雨量,监测预报难度较大。

(3) 每年的7、8月份是地质灾害高发期,是开展地质气象预报预警的重点。

(4) 因部分地质灾害调查记录不具体,除泥石流灾害外,其他灾害能够统计分析的个例很少;另外地质灾害的发生与其他因素也有关系,在实际使用中应当综合分析,地质灾害易发点比较多且分布杂乱,受降水资料限制预报区域划分只能做到县一级,加强对地质灾害易发区和危险点监测非常必要。

(5) 天气预报的准确率和精细化程度对地质灾害的预报警报质量和效果影响很大,特别是局地突发性强降水造成的地质灾害预报警报还需要不断探索。

致谢:庆阳市国土资源局葛春等同志对此项研究工作提供了大力支持和帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 周永康. 我国生态环境形势严峻[J]. 中国三峡建设, 1999, 45(6): 42.
- [2] 尚雪峰, 赵永诚, 樊宪云, 等. 甘肃省庆阳地区地质灾害调查区划研究报告[R]. 庆阳: 庆阳地区地质矿产资源管理局. 2001, 12-27.
- [3] 王志禄, 张燕, 孙畅. 陇南地质灾害气象预报及预警技术研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2005, 16(1): 105-109.
- [4] 殷志有, 周丹, 陈明彬. 商洛山地地质灾害分布及诱发成因探讨[J]. 陕西气象, 2005, 48(1): 9-22.
- [5] 吴红, 邵亮, 陆登荣. 兰州市区地质灾害与暴雨强度[J]. 干旱气象, 2005, 23(1): 63-67.
- [6] 郁淑华. 诱发泥石流灾害的四川盆地大暴雨过程分析[J]. 气象, 2002, 28(8): 30-33.

## The Status and Meteorological Prediction of Geological Calamity in Qingyang City

ZHANG Tian-feng<sup>1</sup>, WANG Wei-tai<sup>1,2</sup>, WANG Xi-wen<sup>3</sup>, QIU Ning-gang<sup>1</sup>, ZHAO Jian-hou<sup>4</sup>

(1. Qingyang Meteorological Bureau of Gansu Province, Qingyang 745000, Gansu, China;

2. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, china;

3. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, china;

4. Zhenyuan County Meteorological Station of Gansu Province, Zhenyuan 744500, Gansu, China)

**Abstract** The geographic character and climatic condition, the sort and spatial-temporal distribution of geological calamity in Qingyang city of Gansu province were analyzed in this paper, and the relation between geological calamity and precipitation there was discussed, and based on that, the meteorological monitoring and forecasting model was established by using discriminant and experience analysis method. Results show that the precipitation is the main reason resulting in geological calamity there, particularly the strong convective rainfall and continued rain events, July and August are the geological calamity high occurring period, and accurate weather forecast combined with the local geological condition will play an important role in geological calamity forecast.

**Key words** meteorology; geological calamity; forecast; method