

降雨诱发下的晋城地质灾害气象风险等级研究

宋军芳, 刘强军, 赵 珺, 马 龙, 牛晨煜

晋城市气象局, 山西 晋城

收稿日期: 2023年6月1日; 录用日期: 2023年6月27日; 发布日期: 2023年7月5日

摘 要

本文首先根据晋城境内实际地质地形和历史灾害情况, 绘制晋城辖区范围内的地质灾害潜在危险度分布图和易损度分布图, 然后利用晋城气象区域站网布局, 建立晋城地区有效雨量致灾概率拟合方程, 最后确定预报点地质灾害气象风险度和等级。研究结果为降雨型地质灾害气象风险预报预警业务提供技术依据, 对指导地方政府应急决策具有积极作用。

关键词

地质灾害, 危险度, 易损度, 气象风险

Research on Meteorological Risk Levels of Geological Hazards Induced by Rainfall in Jincheng

Junfang Song, Qiangjun Liu, Jun Zhao, Long Ma, Chenyu Niu

Jincheng Meteorological Bureau, Jincheng Shanxi

Received: Jun. 1st, 2023; accepted: Jun. 27th, 2023; published: Jul. 5th, 2023

Abstract

Based on the actual geological topography and historical disasters in Jincheng, this paper first draws the Potential Risk Degree Distribution map and Vulnerability Degree Distribution map of geological disasters within the jurisdiction of Jincheng, then uses the layout of Jincheng meteorological regional network to establish the effective probability fitting equation of rainfall disaster in Jincheng, and finally determines the meteorological risk degree and grade of geological disasters of the prediction point. The research results provide technical basis for the rainfall induced geo-

logical disasters and meteorological risk prediction, and have a positive role in guiding local government emergency decision-making.

Keywords

Geological Hazards, Risk, Vulnerability, Meteorological Risk

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地质灾害是众多自然灾害中的一个最主要的类型之一，在自然灾害中占据着非常重要的地位。地质灾害的发生会严重影响人类的生活，其对人们生活的影响和危害程度仅次于地震，是人类社会广泛遭遇、深受其害的自然灾害之一。随着极端强降水事件频繁出现，地质灾害出现的频次也越来越多。地质灾害的发生是多重因素导致的结果。它既与当地的地形地貌和地质环境条件有关系，也与当地的降雨有关[1]。是地形地貌、地质环境条件与降雨等因素相互作用导致的结果。据统计，2021年，全国共发生地质灾害4772起，直接经济损失32亿元，由强降水引发的泥石流、滑坡等地质灾害占这类灾害总数的90%以上。近年来，我国的许多专家学者针对地区的地质灾害预警预报方面，采用不同的方法，进行了一些研究。一方面是通过地区的地质灾害进行精密监测，另一方面是针对地区宏观的进行前兆预警。章诗芳等对中国地质灾害的时空变化及影响因素进行了分析[2]，王剑南等基于地质主导作用对地质灾害的类型进行了研究划分[3]，周静静等对陕西省的地质灾害有所阐述[4]，关凤峻等在研究全国地质灾害防治的基础上进行趋势预测[5]，杨竹云等则对邵通市的地质灾害建立了气象风险预警模型[6]。然而对于山西太行山山地环境的地质灾害，由于其地理位置较为复杂，对地质灾害的影响因素甚多，目前为止，地质灾害预报预警工作进展比较缓慢。

晋城市位于太行山南麓，具有典型山区特征，境内地形地貌复杂多变，高山盆谷兼有，海拔高低悬殊，主要地貌类型包括山脊、山谷、盆地、山坡等；海拔高度在300~2322米之间，最高点在中条山舜王坪，最低点在丹河、沁河下游河谷地。晋城降水主要集中在夏季，局地性和突发性强，天气系统叠加局地气候和地形因素影响，多短历时局地暴雨。由于境内煤矿资源丰富，采空区较多，山区地形加上山区气候，晋城境内极易发生崩塌、泥石流、滑坡、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等地质灾害。地质灾害的防范与治理关乎人民群众的生命财产安全，加强降雨、强对流天气下晋城地质灾害气象风险等级的研究，对于气象灾害的监测和预防具有非常重要的意义。

2. 研究内容

晋城市夏季多暴雨、短时强降水天气，每年雨季来临，特殊的地形地貌加上资源开采，极易发生地质灾害。本文首先根据晋城境内实际地质地形和历史灾害情况，绘制晋城辖区范围内的地质灾害潜在危险度分布图和易损度分布图，然后利用晋城气象区域站网布局，建立晋城地区有效雨量致灾概率拟合方程，最后确定预报点地质灾害气象风险度和等级。研究结果为降雨型地质灾害气象风险预报预警业务提供技术依据，对指导地方政府应急决策具有积极作用。

3. 资料来源及处理方法

根据晋城市自然资源局 2021 年调查统计见表 1, 晋城市地质灾害类型主要是崩塌、滑坡、地面塌陷、泥石流。其中崩塌占灾害类型的 49%, 滑坡占灾害类型的 27%, 地面塌陷占灾害类型的 22%, 泥石流占灾害类型的 2%。据不完全统计, 有 50% 的地质灾害事因降雨导致发生, 另有 50% 的地质灾害因人为采煤所导致。

Table 1. Special investigation of hidden dangers of geological disasters in Jincheng city in 2021

表 1. 晋城市 2021 年地质灾害隐患专项排查情况表

晋城市 2021 年地质灾害隐患专项排查情况汇总表					
	崩塌(处)	滑坡(处)	地面塌陷(处)	泥石流(处)	小计
城区	4	2	7	0	13
泽州	51	16	28	0	95
高平	35	9	7	9	51
阳城	33	44	34	1	112
陵川	68	28	9	6	111
沁水	26	22	12	0	60
总计	217	121	97	7	412

以晋城市地质灾害分布图为蓝本, 将晋城市地质灾害防治规划区和晋城市地质灾害易发区按不同的权重比例, 配合晋城市 144 个乡镇雨量点的分布进行定位、分类、计算、融合, 根据晋城境内实际地质地形和历史灾害情况, 绘制晋城辖区范围内的地质灾害潜在危险度分布图和易损度分布图, 建立晋城地区有效雨量致灾概率计算公式, 最后确定预报点地质灾害气象风险度和等级。

4. 采用的技术方法

将《暴雨诱发的地质灾害气象风险预警等级》对晋城地质灾害气象风险等级进行本地化研究, 地质灾害风险度 R 的计算公式:

$$R = H \times V = P_e \times P_h \times V$$

其中, H ——危险度; V ——易损度; P_e ——有效雨量致灾概率; P_h ——潜在危险度。

有效雨量致灾概率 P_e 、潜在危险度 P_h 、易损度 V 取值均介于 0 和 1 之间, 分别按 0、0.2、0.4、0.6、0.8 划分为五个等级区间, 地质灾害气象风险度 R 按照三者等级划分阈值的乘积值来划分等级, 即用 0~0.008、0.008~0.064、0.064~0.216、0.216~0.512、0.512~1 分别表示地质灾害气象风险极低、有一定风险、较高、高和很高。在地质灾害气象风险预警服务中不考虑极低风险, 只考虑有一定风险, 风险较高、高和很高四种级别。

1) 根据晋城市地形地理因子和地质环境因子建立晋城市地质灾害易发区数据库, 然后通过气象信息综合系统空间分析功能绘制晋城辖区范围内的地质灾害潜在危险度 P_h 分布图和易损度 V 分布图。

2) 有效雨量致灾概率 P_e 拟合方程: $P_e = a + bE_r + cE_r^2 + dE_r^3$ 。有效雨量 E_r 计算公式为 $E_r = \sum_{k=0}^n 0.8^k r_k$, n 为地质灾害发生前总天数, 取值 15 天, r_k 为逐日雨量。

3) 潜在危险度 P_h 采用信息量方法进行综合评价。

- 4) 地质灾害气象风险预报点即以 144 个乡镇雨量站站点为预报点。
- 5) 为便于后期本地化运用, 所有的资料处理和出图均用晋城市气象信息系统。

4.1. 绘制晋城市地质灾害潜在危险度图

晋城市国土与自然资源局绘制的晋城市地质灾害分布图(图 1), 将晋城市地质灾害易发区分为三类: 地质灾害高易发区、地质灾害中易发区、地质灾害低易发区。根据晋城市的地质特征, 涵盖了晋城市的多种地质灾害类型, 包括崩塌隐患、地面塌陷隐患、滑坡隐患、泥石流隐患、不定斜坡隐患等, 同时也将地质灾害防治区域按重点、次重点和一般三个等级进行划分, 在此基础上, 定位晋城市 144 个乡镇雨量站(图 2)的具体位置, 对应晋城市地质灾害分布图上的易发等级和防范等级, 将 144 个站点进行等级分类, 赋予不同的值, 取值介于 0 和 1 之间, 最高值为 0.8, 最低等级为 0.2, 然后录入其经纬度, 用既有的气象信息综合系统绘制晋城市潜在危险度分布图(图 3)。地质灾害潜在危险分布图以极低危险、低危险、较高危险、高危险和极高危险表示。



Figure 1. Distribution map of geological disasters in Jincheng city
图 1. 晋城市地质灾害分布图

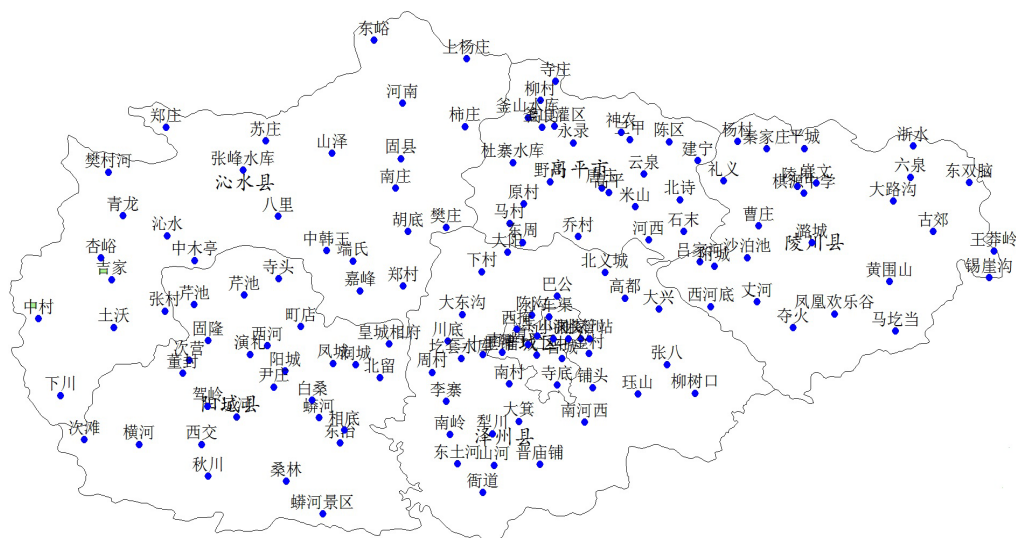


Figure 2. Distribution diagram of rainfall stations in Jincheng city
图 2. 晋城市雨量站点分布图

晋城市地质灾害潜在危险度分布图

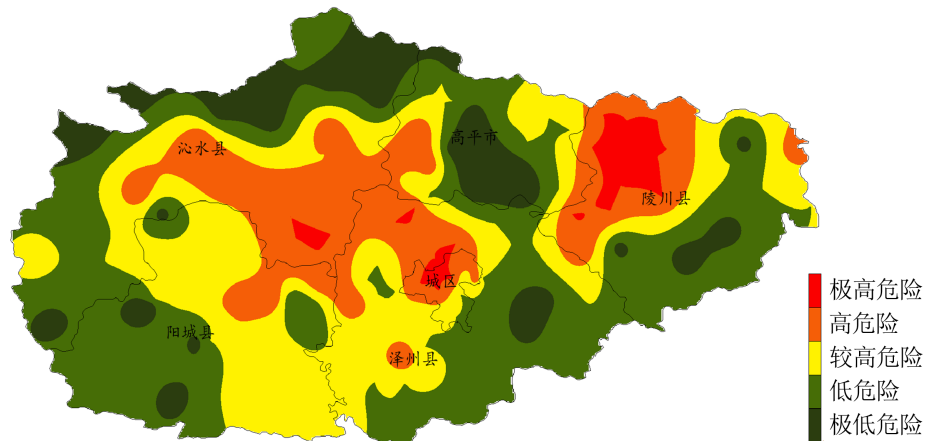


Figure 3. Distribution diagram of the potential hazards of geological disasters in Jincheng city
图 3. 晋城市地质灾害潜在危险度分布图

晋城市易损度分布图

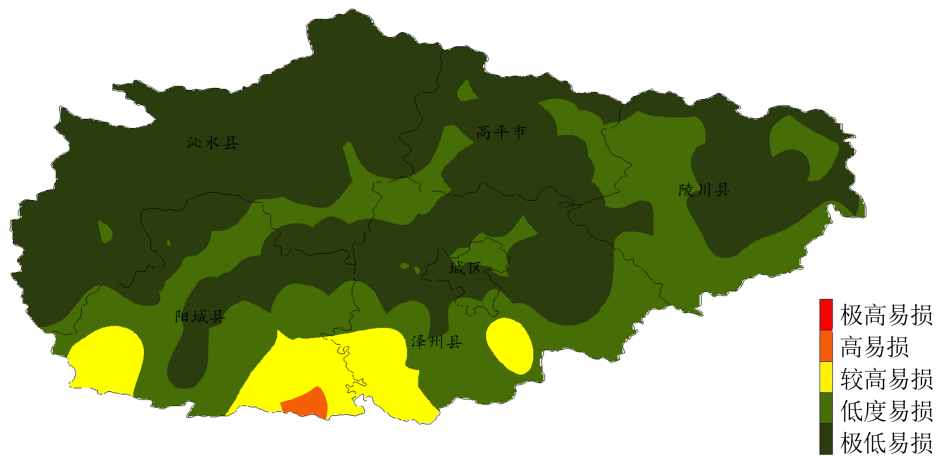


Figure 4. The vulnerability map of geological disasters in Jincheng city
图 4. 晋城市地质灾害易损度图

4.2. 绘制晋城市地质灾害易损度分布图

采用区域简易地质灾害易损性评价估算晋城市地质灾害易损度，统计分析晋城市多年地质灾害，根据地质灾害发生情况，以及晋城市的土壤类型、地形地貌、定位晋城市 144 个乡镇雨量站的具体位置，对 144 个站点进行分类、赋值，取值介于 0 和 1 之间。然后录入其经纬度，用既有的气象信息综合系统绘制晋城市地质灾害易损度分布图(图 4)。地质灾害易损度分布图分别以极低易损、低度易损、较高易损、高易损和极高易损表示。

4.3. 计算晋城市有效雨量致灾概率 P_e

依据中国地貌格局、地质环境特征和气候背景特征，可将全国划分为九大环境相异的地质灾害气象风险预警分区(图 5)，分别为西北地区、东北地区、青藏高原区、黄土高原区、秦岭大巴山区、华北地区、云贵高原区、中南地区、东南地区。

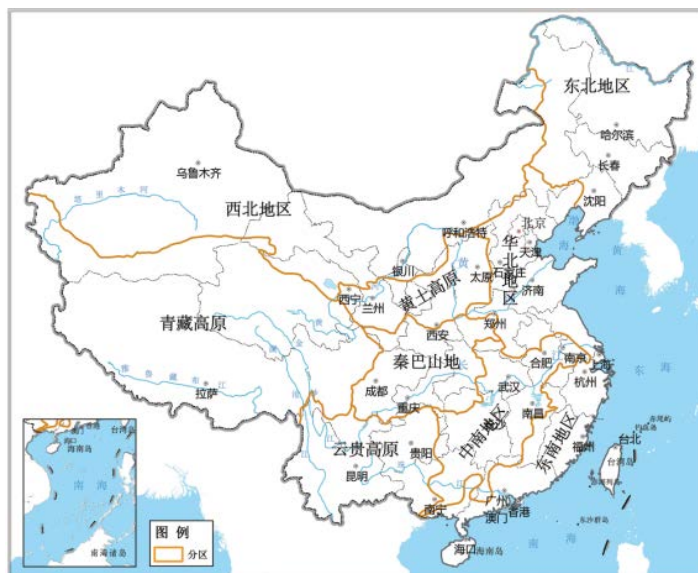


Figure 5. National geological disaster and meteorological risk early warning zone
图 5. 全国地质灾害气象风险预警分区

有效雨量致灾概率拟合方程的系数

区域名称	有效雨量临界值 R_c mm	方程系数	
		$E_r \leq R_c$	$E_r > R_c$
西北	31.15	$a = 0.0423, b = 0.0875,$ $c = -0.0038, d = 0.00006158$	$a = 0.673, b = 0.008,$ $c = 0, d = -0.0000007172$
东北	146.69	$a = 0.024, b = 0.018,$ $c = -0.00014, d = 0.0000003933$	$a = 0.6451, b = 0.0023$ $c = -0.000003631, d = 0$
青藏	41.81	$a = -0.102, b = 0.032,$ $c = -0.00022, d = -0.0000002156$	$a = 0.1087, b = 0.0239,$ $c = -0.00016055, d = 0$
黄土高原	53.46	$a = 0.0078, b = 0.04216,$ $c = -0.000787, d = 0.00000057$	$a = 0.642, b = 0.006,$ $c = -0.00003292, d = 0.00000005757$
秦巴山地	132.43	$a = 0.006, b = 0.014,$ $c = -0.00009258, d = 0.0000002532$	$a = 0.495, b = 0.004,$ $c = -0.00001293, d = 0.00000001254$
华北	115.72	$a = 0.025, b = 0.018,$ $c = -0.00017, d = 0.0000006261$	$a = 0.415, b = 0.004,$ $c = -0.000009349, d = 0.00000000771$
云贵高原	114.12	$a = -0.047, b = 0.0156,$ $c = -0.00006131, d = 0$	$a = 0.531, b = 0.0057,$ $c = -0.00002295, d = 0.00000003033$
中南	121	$a = -0.007, b = 0.0154,$ $c = -0.0001158, d = 0.0000003602$	$a = 0.4, b = 0.0046,$ $c = -0.00001163, d = 0.000000009564$
东南	182.33	$a = 0.001457, b = 0.00933,$ $c = -0.00004052, d = 0.00000007596$	$a = 0.34437, b = 0.003716,$ $c = -0.000006807, d = 0.000000003875$

Figure 6. Table of fitting equation coefficient of effective rainfall in each region of the country
图 6. 全国各区域有效雨量致灾概率拟合方程系数表

计算区域内历史地质灾害点有效雨量,统计历史地质灾害发生概率(频次),以此作为该区域有效雨量致灾概率 P_e ,各区域的有效雨量致灾概率 P_e 拟合方程简化公式为:

$$P_e = a + bE_r + cE_r^2 + dE_r^3$$

式中: P_e ——有效雨量致灾概率,当计算的 P_e 为负值时,取 P_e 为 0; E_r ——有效雨量,单位为毫米(mm); a 、 b 、 c 、 d ——系数,数值见图 6。

山西省大部分区域划分在黄土高原区,晋城市正好卡在黄土高原区与华北地区分界线上,通过对黄土高原区域的拟合方程和华北地区的拟合方程进行计算,对比历年暴雨诱发的灾害落区,结合同期乡镇雨量站逐时实况降水数据,经过大量的模拟计算,结合历年晋城市灾害分布特征,最后以有效雨量 84.59 mm 为界,构建晋城地区 2 个有效雨量致灾概率计算公式。

当有效雨量 $E_r \leq 84.59$ mm 时,有效雨量致灾概率拟合方程 P_e 计算公式为:

$$P_e = 0.025 + 0.018E_r - 0.00017E_r^2 + 0.0000006261E_r^3$$

当有效雨量 $E_r > 84.59$ mm 时,有效雨量致灾概率拟合方程 P_e 计算公式为:

$$P_e = 0.642 + 0.006E_r - 0.00003292E_r^2 + 0.00000005757E_r^3$$

有效雨量 E_r 作为地质灾害气象致灾因子,用有效雨量致灾概率 P_e 来衡量降水致灾危险度。

有效雨量 E_r 估算公式为:

$$E_r = \sum_{k=0}^n 0.8^k r_k$$

式中: n ——地质灾害发生前总天数,其值宜取 15 天; r_k ——逐日雨量,单位为毫米(mm)。

其中, r_0 、 r_1 、 \dots 、 r_n 分别为地质灾害发生当天、前 1 天、前 2 天、 \dots 、前 n 天逐日降水量。

4.4. 晋城市地质灾害风险度 R

当采用逐时降水数据建立有效雨量致灾概率拟合方程后,当天日降水日 r_0 用未来 24 小时降水预报值,可建立起应用于本地逐时滚动的地质灾害气象风险预警业务。

最后,确定预报点地质灾害气象风险度和等级。预报点地质灾害气象风险度 R 计算采用公式 $R = H \times V = P_e \times P_h \times V$ 。

5. 总结和展望

根据晋城境内实际地质地形和历史灾害情况,绘制晋城辖区范围内的地质灾害潜在危险度分布图和易损度分布图,然后利用晋城气象区域站网布局,建立晋城地区有效雨量致灾概率计算公式,最后确定预报点地质灾害气象风险度和等级。

地质灾害气象风险等级研究在晋城尚未有人涉足,本研究可以运用到天气预报的实际工作中,填补晋城地质灾害气象风险等级研究的空白,为夏季地质灾害的预报及防治工作提供了参考依据。对指导地方政府应急决策气象灾害具有积极作用。

由于晋城市地质灾害数据资料短缺,灾害发生的致灾因素分类并不十分明确,因此数据的相关性分析受限;144 个雨量站点稀疏,代表性较差,通过融合计算,所代表的就是一个乡或者镇,不能细致的代表到某一个灾害点,但一定程度上也给出了降雨诱发下不同等级地质灾害发生的区域。

后期将基于已有的研究成果,继续搜集相关资料,深入挖掘地质灾害与降水之间的相关性,不断提高和细化研究的精度和深度,完善模型中易损点和潜在风险度的权重系数,进一步细化与这两个要素相关的预报指标,为预报地质灾害提供参考依据,为晋城市降雨诱发下的地质灾害预报与防治工作提供更

好的气象服务保障与决策依据。

参考文献

- [1] 李淼. 山西省地质灾害控灾因素分析[J]. 能源与环保, 2018, 40(10): 55-59.
- [2] 章诗芳, 王玉芬, 贾蓓, 等. 中国 2005-2016 年地质灾害的时空变化及影响因素分析[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(12): 1567-1574.
- [3] 王剑男, 刘钰洋, 潘懋. 基于地质主导作用的地质灾害类型划分[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(17): 1-8.
- [4] 周静静, 赵法锁, 李辉, 等. 陕西省地质灾害与影响因素相关性研究[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 228-234.
- [5] 关凤峻, 沈伟志. 全国地质灾害防治分析研究与趋势预测[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(1): 1-3.
- [6] 杨竹云, 李华宏, 胡娟, 等. 昭通市地质灾害特征及气象风险预警模型研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2019, 41(4): 753-764.