

鲁中山区地质灾害的气候特征分析

高晓梅¹, 秦增良¹, 王令军¹, 陈林祥², 马守强¹, 杨可栋¹

1. 潍坊市气象局, 山东潍坊 261011

2. 诸城市气象局, 山东诸城 262200

摘要 利用 1950—2010 年鲁中山区的地质灾害资料, 对 61a 来鲁中山区地质灾害的气候特征进行了分析。结果表明, (1) 鲁中山区发生地质灾害主要集中在 7 月中旬至 8 月中旬, 其中 7 月中旬出现频数最高, 是发生地质灾害的主要旬份, 鲁中山区地质灾害主要以暴雨型地质灾害为主; (2) 鲁中山区出现泥石流、滑坡多发区在鲁中山区南部和西部一带, 其中尤以南部为最多, 鲁中山区的泥石流滑坡在 6—8 月有逐月向北推进的趋势; (3) 鲁中山区发生地质灾害的年代际变化明显, 20 世纪 60 年代和 90 年代为地质灾害多发生期, 80 年代和 50 年代为地质灾害少发生期, 近 61a 来鲁中山区存在显著的 10—15a 的年代际尺度和 3—6a 年际尺度的周期变化; (4) 鲁中山区中南部在大暴雨情况下发生地质灾害的可能性大, 西南部、中东部在大雨以上情况下发生地质灾害的可能性大。降水时间、空间分布与地质灾害关系密切, 发生地质灾害日不同雨量等级与前期降水条件的相关性较大。

关键词 地质灾害; 气候特征; 年际; 年代际; 周期变化

中图分类号 P458

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.04.008

The Climatic Characteristics of Geological Calamity in the Mountainous Area of the Middle Part of Shandong Province

GAO Xiaomei¹, QIN Zengliang¹, WANG Lingjun¹, CHEN Linxiang², MA Shouqiang¹, YANG Kedong¹

1. Weifang Meteorological Bureau, Weifang 261011, Shandong Province, China

2. Zhucheng Meteorological Bureau, Zhucheng 262200, Shandong Province, China

Abstract Based on the geological calamity data in the mountainous area of the middle part of Shandong Province from 1950 to 2010, the climatic characteristics of geological calamity are analyzed. Main results are as follows: (1) The geological calamity in the mountainous area of the middle part of Shandong Province occurs from the middle of July to August, mostly in the middle period of July. The geological calamity is mainly of rainstorm type. (2) Frequently-occurring areas of the debris flow and landslide are located in the south and the west of the middle mountainous area of Shandong Province, mostly in the south. There is a trend that the location of the landslide monthly moves from the south to the north in June—August. (3) Its inter-decadal variation is obvious. The period that more geological calamities would occur is in the 1960s and the 1990s and the period that less geological calamities would occur is in the 1980s and the 1950s. The marked periodic variation of every 10—15 years and 3—6 years is found. (4) There is a great possibility for the geological calamity occurring if it is a severe heavy rain in the middle-south, a heavy rain or even just a rainfall of over 30mm may trigger a landslide in the southwest and the middle-east of the middle mountainous area of Shandong Province. Besides, the rainfall distribution in time and space is intimately related with the geological calamity. The intensity of the rainfall in the day that the geological calamity occurs is closely related to the preceding-rainfall.

Keywords geological calamity; climatic characteristic; inter-annual; inter-decadal; periodic variation

0 引言

中国地质环境复杂, 自然变异强烈, 是世界上地质灾害

较为严重的国家之一, 每年因此而造成的经济损失占各种自然灾害的 1/5 到 1/4^[1]。崩塌、滑坡和泥石流的分布范围约占国

收稿日期: 2011-06-03; 修回日期: 2012-01-20

基金项目: 山东省气象局重点课题(2005sdqxz26)

作者简介: 高晓梅, 高级工程师, 研究方向为天气与气候预报分析, 电子信箱: wfmeizi@126.com

土面积的 44.8%。地质灾害给经济建设、社会发展和人民生命财产造成了巨大的损失。据统计,仅 1995—2003 年,滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等突发性地质灾害造成了 10499 人死亡或失踪,575 亿元财产损失。目前,全国有地质灾害隐患点 16 万处,威胁人口 1150 多万人,威胁财产超过 2000 亿元^[2]。一些地区和县(市)的地质灾害已成为制约地方社会发展的重要因素,对中国社会经济可持续发展战略的实施造成了严重影响。地质灾害的形成受气象条件影响很大,据统计由局地暴雨引发的泥石流滑坡等灾害占这类灾害总数的 95%和 90%以上^[3]。许多地质工作者和气象工作者都在滑坡泥石流等地质灾害预报中作了很多研究^[4-8]。

鲁中山区地处山东省中部,区内山高坡陡、沟壑密布,是山东省地质灾害最严重、受威胁人口较多的地区,主要地质灾害有崩塌、滑坡、泥石流、矿山采空引起塌陷等。每年由于降水而引发的地质灾害都造成了一定的人员伤亡和财产损失,一定程度上制约着鲁中地区经济的发展。但过去对鲁中山区地质灾害全面系统的气候分析研究工作很少。本文利用 1950—2010 年的鲁中山区地质灾害资料对 61a 来鲁中山区地质灾害的气候特征进行分析,旨在通过对地质灾害的气象条件研究,为减轻地质灾害所造成的损失,保障人民生活安全、促进国民经济可持续发展具有重要的意义。

1 资料来源

本文使用的鲁中山区地质灾害资料是由山东省气象局信息中心提供,选取时间为 1950—2010 年共 61a。本文统计了鲁中山区地质灾害发生的初、终日期、频数、季节、地域分布、灾害发生日的降水量及前期降水等资料,进行气候分析(因该资料量太大,故不能全部列出)。

2 鲁中山区地质灾害分布特征

2.1 初、终日期分析

对 1950—2010 年鲁中山区发生地质灾害各年最早、最晚出现日期、地点(略)的分析可以看出,鲁中山区发生地质灾害最早出现在 4 月 23 日,发生地为潍坊临朐,最晚出现在 9 月 12 日,发生地为临沂沂水。鲁中山区发生地质灾害的初日出现几率最大的时段在 6 月第 3 候,集中时期主要在 7 月第 3 候至 8 月第 3 候。每年初日发生几率最高的是在博山,为 25%,主要集中地发生在博山至淄川一带山区。鲁中山区发生地质灾害终日出现几率的最大时段在 8 月第 2 候,集中期在 8 月第 2 候,其次在 8 月第 6 候到 9 月第 1 候。其中终日发生几率最高的是在沂水,为 21%,主要集中发生在沂水至枣庄一带山区。

2.2 季节分布

统计 1950—2010 年鲁中山区发生地质灾害频数的季节分布(图 1)可以看出,4—9 月鲁中山区会发生地质灾害,以 7 月最多,占总数的 36%,8 月次之,占总数的 30%,其余 4 个月

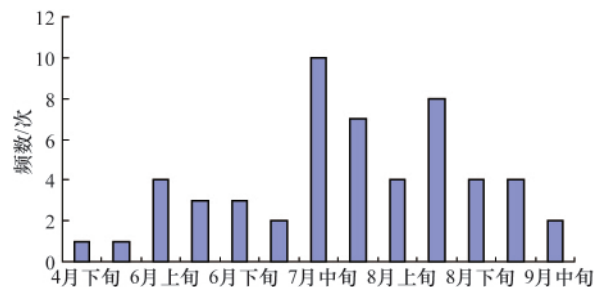


图 1 鲁中山区地质灾害发生频数的季节分布

Fig. 1 Seasonal distribution of frequencies for geological calamities in the mountainous area of the middle part of Shandong Province

份偶有出现。鲁中山区所发生的地质灾害主要集中在 7 月中旬至 8 月中旬,约占总数的 55%,其中尤以 7 月中旬出现频数最高,达到 10 次。这说明 7 月中旬是鲁山区中发生地质灾害的主要月份。统计鲁中山区的降水发现,每年降水也主要集中在 7 月中旬至 8 月中旬,可见地质灾害发生与降水关系十分密切,降水是引发地质灾害的重要原因和充分条件。鲁中山区地质灾害主要以暴雨型地质灾害为主,如 1963 年 6 月 13 日夜,泰安市徂徕山太平顶南侧 2h 降雨量高达 200mm,并发生 500m³ 的山崩,强劲的固体径流从整个发生区、流过区到沉积区总长约 4000m,流过区长达 1500m;1966 年 7 月 14—15 日,淄博市境内淄河上游发生特大暴雨,日雨量达 300mm,山洪暴发,淄河流量达 2030m³/s,水位 33.02m,为历史最高记录,造成全市死亡 189 人,伤 15 人。

2.3 地域分布

由对 1950—2010 年鲁中山区出现地质灾害的分布图(图 2)看到,(1) 泥石流、滑坡多发区在鲁中山区南部和西部(潍坊西部—济南、临沂—枣庄)一带,其中尤以鲁中山区南部为最多。山洪暴发、泥石流、滑坡多发中心区在博山、沂水,分别出现 12 次和 13 次;(2) 鲁中山区有接近一半(46%)的县有可能发生泥石流、滑坡。

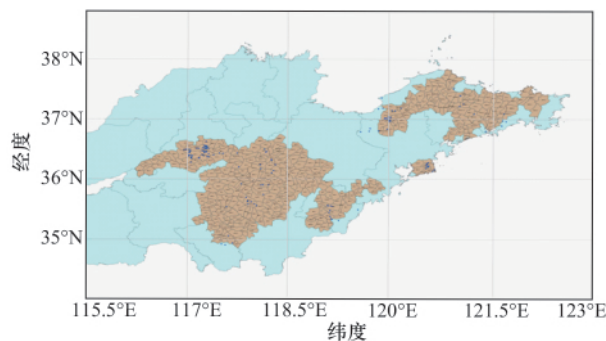


图 2 鲁中山区滑坡、泥石流灾害点分布图

Fig. 2 Distribution of calamity location for landslide and debris flow in the mountainous area of the middle part of Shandong Province

由 1950—2010 年各月鲁中山区出现泥石流、滑坡日数分布图看出(图略), (1) 鲁中山区泥石流滑坡在 6—8 月有逐月向北推进的趋势, 6 月份主要在鲁中南部, 7—8 月份主要在鲁中中部和西部; (2) 出现泥石流、滑坡地域分布最广的月份是 7 月份, 占鲁中山区泥石流、滑坡出现总区域的 57%; 6 月份次之, 为 45%。

2.4 地质灾害发生频次的年代际变化

据 1950—2010 年的资料统计, 鲁中山区共发生 53 次地

质灾害, 即平均每年发生 0.87 次地质灾害(图 3)。鲁中山区发生地质灾害最多的年份是 1962、1963 和 1990 年, 都达到 4 次, 有 29 个年份未发生地质灾害。从图 3 还可以看出, 地质灾害发生频率趋于增高。其频率趋于增高原因除气候因素外, 改革开放后人类工程经济活动的加剧, 特别是交通建设、切坡建房的加快也是导致滑坡频率增高的一个重要原因。

从图 4 可以看出, 鲁中山区发生地质灾害的年代际变化很明显, 20 世纪 60 年代和 90 年代为地质灾害多发生期, 60

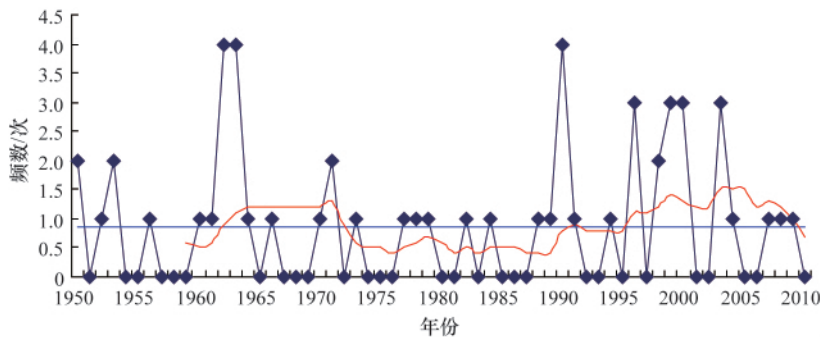


图 3 历年鲁中山区发生地质灾害的频次

Fig. 3 Frequencies of geological calamities in the mountainous area of the middle part of Shandong Province every year

注: 直线为多年平均值; 光滑曲线为 10 年滑动平均值。

Notes: straightline, multi-year mean; smooth curve, moving average of 10 years.

年代和 90 年代发生的地质灾害占总数的 49.0%, 50 年代和 80 年代为地质灾害少发生期, 50 年代发生的地质灾害仅占总数的 7.6%。为进一步地分析鲁中山区发生地质灾害频数的年代际变化, 采用 *t* 检验方法对地质灾害多发生期和少发生期的频次进行了显著性检验。通过检验, 发现 1960—1964 年和 1994—2000 年为显著的地质灾害多发生期, 1954—1959 年和 1980—1987 年为显著的少发生期, 其中 1994—2000 年通过了 0.05 的显著性检验, 其余的通过了 0.10 的显著性检验。

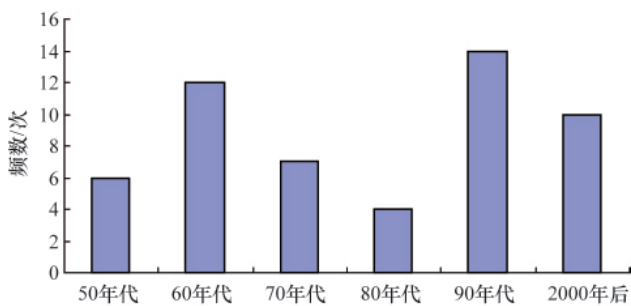


图 4 鲁中山区地质灾害发生频次的年代分布

Fig. 4 Decadal distribution of frequencies for geological calamities in the mountainous area of the middle part of Shandong Province

2.5 地质灾害发生频次的周期变化特征

近 10 余年来, 小波变换方法已在气候趋势诊断及多尺度分析方面取得许多成果, 极大发展了传统的统计判别分析

方法^[9]。下面利用 Morlet 小波分析研究鲁中山区发生地质灾害频数的周期变化特征。图 5 给出了鲁中山区发生地质灾害频数的 Morlet 子波变换图。图中横坐标为年份, 纵坐标为周期。由图 5 上部的小波变换系数实部等值线的分布可以看出, 近 61a 来鲁中山区存在着显著的 10—15a 的年代际尺度和 3—6a 年际尺度的周期变化。以 13a 尺度为中心的 10—15a 周期变化在全时域中都表现出很强的周期性, 强度较大, 正负中心值分别达到 ± 3 以上, 其中表现最明显的时段是 1956—1958 年, 并且有随时间推移, 尺度周期逐渐减小的趋势。

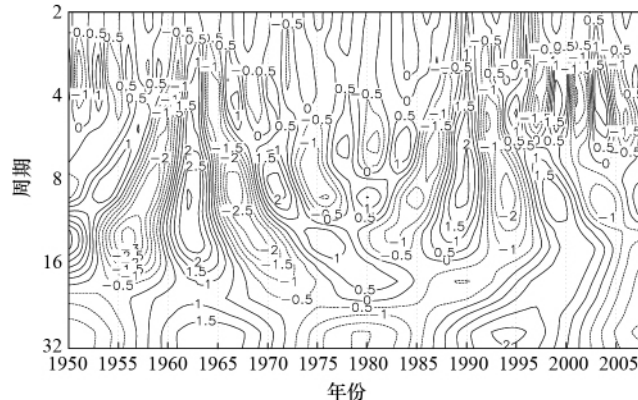


图 5 鲁中山区发生地质灾害频数的 Morlet 小波分析

Fig. 5 Morlet wavelet analysis of frequencies for geological calamities in the mountainous area of the middle part of Shandong Province

3 诱发鲁中山区地质灾害的成因分析

地质灾害的成因复杂,与自然条件、人类活动有密切关系^[9]。它的发生发展受内因和外因控制,内因是指地质灾害体所处的地形环境和地质条件,外因则主要为气象因素。鲁中山区地形起伏较大、山高坡陡,为地质灾害提供了有利的地形条件。另外,鲁中山区主要为碳酸盐岩山区,它的陡崖地貌和固形地貌会形成不稳定斜坡。不稳定斜坡是鲁中山区最主要的地质灾害隐患,断裂及节理是影响其稳定性的首要因素。层状碳酸盐岩类分布的中低山丘陵区,断裂带及其附近陡崖地貌较为多见,相对高差大,由断裂及其伴生的构造节理裂隙(斜交节理和垂向节理)使岩石完整性遭到破坏,从而形成崩塌隐患,且险情一般较大;块状侵入岩、变质岩山区(尤其是鲁中山区南部),则多形成强-中切割的构造侵蚀地形,沟谷以“V”为主,覆盖于陡坡之上松散层形成滑坡隐患。

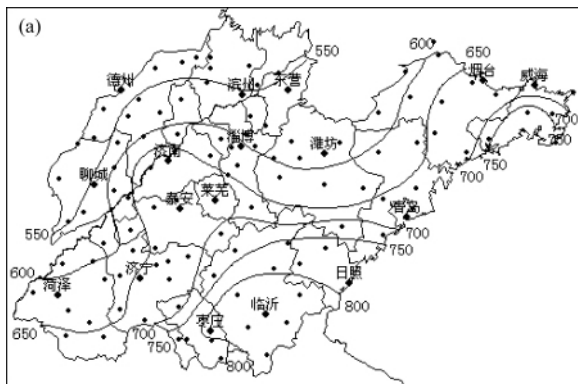
对一般区域,它的地质环境、地貌、地势条件变化极其缓慢,可视为短期内无变化,因此分析鲁中山区泥石流、滑坡等地质灾害的形成机制,绝大多数与气象因素有关。其中降水与地质灾害形成关系最为密切,降水量大小强度、时间长短、降水日数分布等均影响地质灾害的形成程度。据统计,中国

地质灾害 70%以上发生在雨季^[11]。因此,确定地质灾害和降雨的关系成为地质灾害预报的关键问题。以下是对鲁中山区 1950—2010 年内有历史记载(共 42 次)的山洪爆发、滑坡、泥石流等地质灾害发生时的降水特征进行分析,总结出一些规律,为今后开展地质灾害的预警业务提供一些参考。

3.1 降水时间、空间分布特征与地质灾害的关系

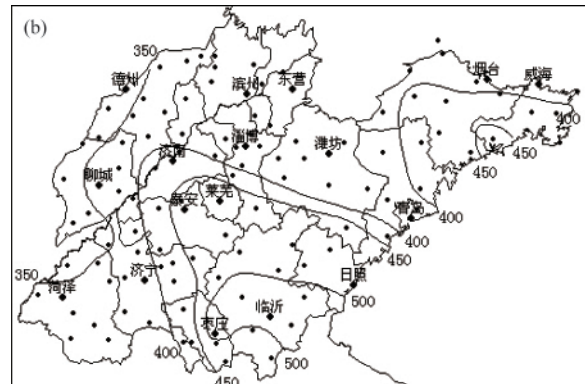
降雨可以诱发滑坡、泥石流等地质灾害,尤其是暴雨是地质灾害活动最重要的触发因素。从山东常年(1971—2010 年,下同)平均降水量分布图(图 6(a))中可以看出,鲁中山区年平均降水量为 580—800mm,而且呈南多北少的趋势。

山东主要的降水集中在夏季,夏季降水量、降水日数和降水强度为一年之最,可引发地质灾害。从山东夏季平均降水量分布图(图 6(b))可以看出,鲁中山区夏季的降水量占全年的 55%—72%,为 380—500mm。与图 2 鲁中山区出现地质灾害的分布情况相比较,泥石流、滑坡多发区在鲁中山区南部和西部(潍坊西部—济南、临沂—枣庄)一带,其中尤以鲁中山区南部为最多。这说明降水量空间分布越多的地区发生地质灾害的可能性越大,即降水量的大小分布与地质灾害有比较好的对应关系。



(a) 山东常年平均降水量分布

(a) Distribution of the annual average rainfall in Shandong Province



(b) 山东夏季平均降水量分布

(b) Average rainfall in summer in Shandong Province

图 6 山东平均降水量分布图(单位:mm);

Fig.6 Distribution of average rainfall in Shandong Province (unit:mm)

从山东各地年平均降水日数分布(图 7(a))可以看出,鲁中山区降水日数为 70—85d。而且降水日数自北向南逐渐增多。从山东夏季(6—8 月)平均降水日数分布(图 7(b))可以看出,鲁中山区夏季降水日数为 30—34d,与年降水日数空间分布较为一致,特别是鲁中山区南部临沂一带降水日数明显偏多。从图 2 可知,鲁中山区南部发生地质灾害的可能性最大,这说明地质灾害的发生与降雨季节有很好的对应关系。

从暴雨量级降水年平均日数分布(图 8)看出,暴雨日数较多的地区与图 2 中出现地质灾害较多的地区有很好的对应关系,即暴雨日数较多的地区发生地质灾害的可能性越大,反之则较小。这说明地质灾害的发生与暴雨日数具有很好的一致性。

3.2 当日降水分析

强降水(特别是暴雨)是产生滑坡、泥石流、山洪暴发的重要诱发因素,滑坡、泥石流的发生数量、规模与持续过程降雨、暴雨量等的关系十分明显^[12-13]。分析每次发生地质灾害时的降水发现,发生山洪爆发、泥石流时绝大多数伴有大范围暴雨、大暴雨,其中伴有暴雨中心(日雨量 $\geq 50\text{mm}$)的占 76.2%,大暴雨中心(日雨量 $\geq 100\text{mm}$)的占 60%,伴有特大暴雨中心(日雨量 $> 250\text{mm}$)的占 21.4%。可见鲁中山区地质灾害是与较大范围强暴雨有密切相关,即发生地质灾害与强降水的诱发、触发作用关系密切。

发生山洪暴发、泥石流、滑坡日不同等级日雨量的分布区域情况是:日雨量 $\geq 100\text{mm}$ 的区域主要分布在鲁中山区中

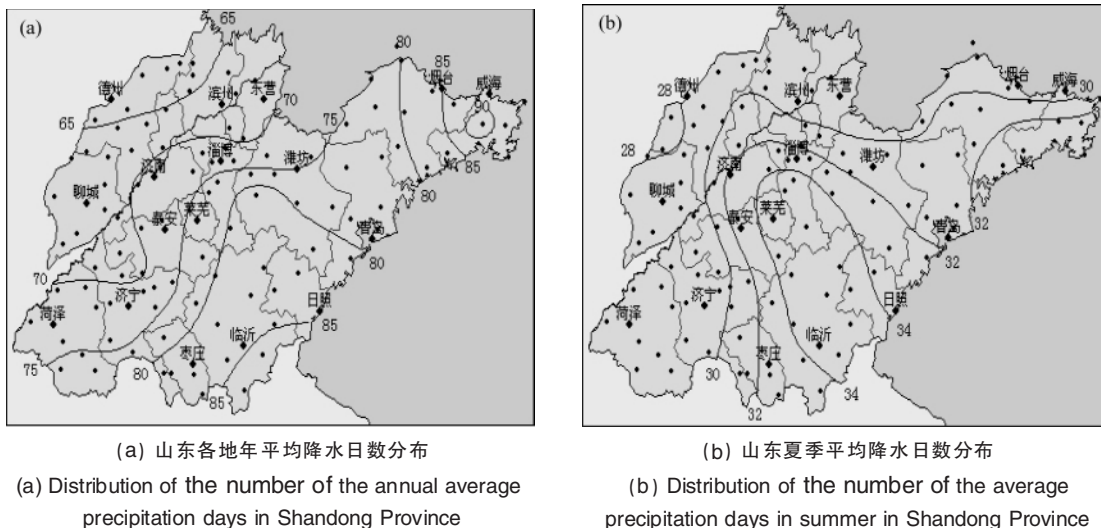


图7 山东各地平均降水日数分布图(单位:日)

Fig.7 Distribution of the number of the average precipitation days in Shandong Province (unit:d)

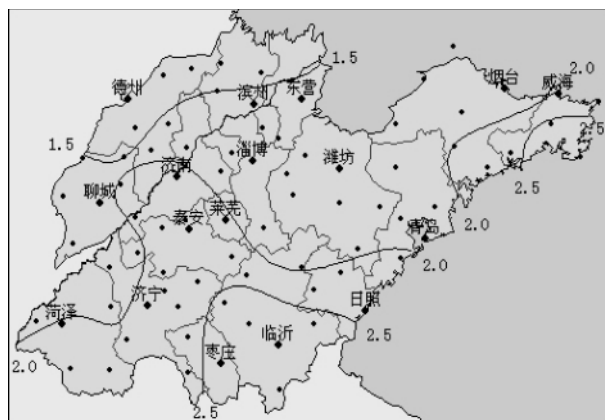


图8 暴雨量级降水年平均日数分布图(单位:日)

Fig.8 Distribution of the number of the annual average rainstorm days (unit:d)

部(占48%),鲁中山区南部(占20%);日雨量 $\geq 50\text{mm}$, $< 100\text{mm}$ 的主要分布在鲁中山区西南部(占50%),鲁中山区中东部(占35%);日雨量 $\geq 30\text{mm}$, $< 50\text{mm}$ 的主要分布在鲁中山区西南部(占70%),鲁中山区中东部(占20%)。由此可以看出,鲁中山区中南部在大暴雨情况下发生地质灾害的可能性最大,鲁中山区西南、中东部在大雨以上降水情况下发生地质灾害的可能性大。鲁中山区1950—2010年地质灾害发生时,当日平均降雨量为166.8mm。降水总量是地质灾害发生的一个不可忽视的因素。6—8月是鲁中山区主要降水期,连续性降水或突发性强降水时常发生,且过程雨量往往较大。发生于6,7,8月的地质灾害数相应的月均降雨量分别是141.5,175.6,195.5mm。因此,如果在6—8月能准确预报出暴雨及强度暴雨的出现时段,对鲁中山区地质灾害的防御具有十分重要的作用。

地质灾害的发生多与降雨同步,少数是滞后的^[14]。与当日或前期连续降雨量同步发生的占94.6%,滞后降雨发生的占

5.4%,滞后期一般为1—2d。如泰安市徂徕山太平顶南侧,1963年6月7—14日降雨390.0mm,14日降雨327.0mm,14日晚上雨停,15日上午发生500m³的山崩,滞后6h。石块泥水沿45度陡坡倾泻而下,强劲的固体径流沿沟冲垮250座谷坊、一座塘坝和一座小型水库,整个发生区、流过区到沉积区总长约4000m;流过区1500m,有粒径3—5m的巨石在列队,出现3个间歇性石垒;沉积区沿谷地而下,长约2000m,堆积砾石厚3—5m,漂石粒径0.1—0.6m。据在现场的林业队员看到,从上而下,石块碰击冒出的火花像似一条火龙。

3.3 前期降水分析

降水对山洪爆发、滑坡、泥石流等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^[15]。对鲁中山区不同区域发生地质灾害当地气象台站雨量 $\geq 100\text{mm}$ 的前期降水分析(表略)看出:(1)鲁中山区西南部前3d雨量在100mm以上的占68%,在150mm以上的占58%;前3d雨量 $< 15\text{mm}$ 的则有75%,为前30d内雨天较多在16d以上;(2)鲁中山区中西部前3d雨量在100mm以上的占25%,一般前3d雨量较小,前30d雨日 $\geq 16\text{d}$ 的也占50%;(3)鲁中山区中南部前3d雨量在100mm以上的占20%,一般前3d雨量较小;前30d内雨日 $\geq 15\text{d}$ 的占57%;(4)鲁中山区南部前3d雨量在100mm以上的占100%,但未超过150mm,前30d内雨日 $\geq 15\text{d}$ 的占62%。

对鲁中山区不同区域产生地质灾害当地气象台站雨量 $\geq 50\text{mm}$, $\leq 100\text{mm}$ 的前期降水分析看出(表略):(1)鲁中山区西南部前3d雨量 $\geq 40\text{mm}$ 的占65%;(2)鲁中山区中、南部前3d雨量 $\geq 40\text{mm}$ 的较少,占38%,对前3d雨量较小的($< 40\text{mm}$)情况,有60%为前30d雨日 $\geq 16\text{d}$;(3)鲁中山区南部前3d雨量 $\geq 40\text{mm}$ 的占50%,且前30d雨日也较少, $\geq 16\text{d}$ 的只占25%;(4)鲁中山区西北部前3d雨量 $\geq 40\text{mm}$ 的占67%。说明在暴雨情况下,不同区域产生泥石流的前期降水情

况是不同的,但多数前3d雨量 $\geq 40\text{mm}$ 或前30d雨日较多($\geq 16\text{d}$)。由上述分析看出,发生地质灾害日不同雨量等级与前期降水条件是密切相关的。

4 结论

(1) 鲁中山区发生地质灾害最早出现在4月23日,最晚出现在9月12日,所发生的地质灾害主要集中在7月中旬至8月中旬,其中尤以7月中旬出现频数最高,是鲁中山区发生地质灾害的主要月份。鲁中山区地质灾害主要以暴雨型地质灾害为主。

(2) 近61a来鲁中山区出现泥石流、滑坡多发区在鲁中山区南部和西部一带,其中尤以南部为最多。山洪爆发、泥石流、滑坡多发中心区在博山到沂水一带。近61a鲁中山区泥石流滑坡在6—8月有逐月向北推进的趋势。6月份主要在鲁中南部,7—8月份主要在鲁中中部和西部。

(3) 鲁中山区发生地质灾害的年代际变化很明显,20世纪60年代和90年代为地质灾害多发生期,50年代和80年代为地质灾害少发生期。近61a来鲁中山区存在着显著的10—15a的年代际尺度和3—6a年际尺度的周期变化。以13a尺度为中心的10—15a周期变化在全时域中都表现出很强的周期性,强度较大,并且有随时间推移,尺度周期逐渐减小的趋势。

(4) 鲁中山区发生地质灾害与较大范围强降水的诱发、触发作用关系密切。鲁中山区中南部在大暴雨情况下发生地质灾害的可能性大,西南部、中东部在大雨以上降水情况下发生地质灾害的可能性大。降水量的大小空间分布、降雨季节、暴雨日数与地质灾害有较好的对应关系。在暴雨情况下,不同区域产生泥石流的前期降水情况是不同的,即发生地质灾害日不同雨量等级与前期降水条件是密切相关的。

参考文献 (References)

- [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.
Zhou Yongkang. *The Construct of the Three Gorges in China*, 1999, 45(6): 42.
- [2] 段永侯. 中国地质灾害[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
Duan Yonghou. *Geological calamity in China* [M]. Beijing: China Construction Industry Press, 1993.
- [3] 罗元华. 我国滑坡泥石流崩塌灾害分布与经济损失评估[J]. 国土开发与整治, 1994, 4(1): 49-55.
Luo Yuanhua. *Territorial Development and Management*, 1994, 4(1): 49-

55.

- [4] 刘广润, 徐开祥. 三峡工程的地质勘察研究与地质灾害防治 [J]. 科技导报, 2005, 23(10): 12-16.
Liu Guangrun, Xu Kaixiang. *Science & Technology Review*, 2005, 23(10): 12-16.
- [5] 许冲, 戴福初, 姚鑫. 汶川地震诱发滑坡灾害的数量与面积[J]. 科技导报, 2009, 27(11): 79-81.
Xu Chong, Dai Fuchu, Yao Xin. *Science & Technology Review*, 2009, 27(11): 79-81.
- [6] 邹强, 张文君, 税伟, 等. 基于 ArcEngine 的县域地质灾害数据采集与分析系统[J]. 科技导报, 2011, 29(34): 54-58.
Zou Qiang, Zhang Wenjun, Shui Wei, et al. *Science & Technology Review*, 2011, 29(34): 54-58.
- [7] 周之栩. 潮州市诱发地质灾害的气象要素分析 [J]. 科技通报, 2011, 27(4): 507-510.
Zhou Zhixu. *Bulletin of Science and Technology*, 2011, 27(4): 507-510.
- [8] 陈伟, 许强. 地质灾害降雨预警基准研究[J]. 地球与环境, 2011, 39(3): 393-398.
Chen Wei, Xu Qiang. *Earth and Environment*, 2011, 39(3): 393-398.
- [9] 江静, 钱永甫. 南海地区降水的时空特征 [J]. 气象学报, 2000, 58(1): 61-62.
Jiang Jing, Qian Yongfu. *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, 58(1): 61-62.
- [10] 郁淑华. 四川盆地泥石流、滑坡的时空分布特征及其气象成因分析 [J]. 高原气象, 2003, 22(增刊): 85.
Yu Shuhua. *Plateau Meteorology*, 2003, 22(suppl): 85.
- [11] 杜惠良, 钮学新, 殷坤龙, 等. 浙江省滑坡、泥石流气象条件分析及其预报研究[J]. 热带气象学报, 2005, 21(6): 642.
Du Huiliang, Niu Xuexin, Yin Kunlong, et al. *Journal of Tropical Meteorology*, 2005, 21(6): 642.
- [12] 周国兵, 马力, 廖代强, 等. 重庆市山体滑坡等级预报研究[J]. 气象科学, 2005, 25(1): 105-109.
Zhou Guobing, Ma Li, Liao Daiqiang, et al. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2005, 25(1): 105-109.
- [13] 刘艳辉, 唐灿, 李铁锋, 等. 地质灾害与降雨雨型的关系研究[J]. 工程地质学报, 2009, 17(5): 656-661.
Liu Yanhui, Tang Can, Li Tiefeng, et al. *Journal of Engineering Geology*, 2009, 17(5): 656-661.
- [14] 丁力, 彭九慧, 谭国明. 承德市地质灾害气象预报方法初探 [J]. 气象科技, 2006, 34(6): 750-753.
Ding Li, Peng Jiuhui, Tan Guoming. *Meteorological Science and Technology*, 2006, 34(6): 750-753.
- [15] 薛建军, 徐晶, 张芳华, 等. 区域性地质灾害气象预报方法研究[J]. 气象, 2005, 31(10): 24-27.
Xue Jianjun, Xu Jing, Zhang Fanghua, et al. *Meteorological Monthly*, 2005, 31(10): 24-27.

(责任编辑 张军, 岳臣)