

湖北省清江流域滑坡分布规律与减灾对策研究*

肖尚德^{①②} 李智民^② 刘云彪^② 宁国民^②

(^①中国地质大学(武汉)工程学院 武汉 430074)

(^②湖北省地质环境总站 武汉 430034)

摘要 清江流域是湖北省滑坡高易发区,滑坡灾害频发,造成了较大的经济损失,危害大。该区地质环境复杂,地貌形态以中山为主,河谷深切,岸坡陡峭,构造发育,新构造运动表现为大面积间歇性上升运动;区内共发育滑坡 2843 处,其中滑坡 2275 处,崩塌型滑坡 568 处,滑坡以小型为主,主要分布在人类工程活动比较频繁的地带。通过统计分析,清江流域滑坡的空间分布规律主要受控于地质环境条件和动力因素,动力因素包括自然动力因素和人为动力因素,前者以降雨为主,后者以切坡为主且日趋发展;滑坡变形的时间规律主要表现为同发性、滞后性和不稳定的周期性;滑坡的自身活动规律主要表现为继承性、隐蔽性、突发性和差异性;针对性地提出了监测预警、搬迁避让、工程治理和地质环境保护等滑坡减灾对策。

关键词 清江流域 滑坡 分布规律 减灾对策

中图分类号:P642.22 文献标识码:A

DISTRIBUTION LAW AND HAZARD MITIGATION STRATEGIES OF LANDSLIDES IN QINGJING RIVER VALLEY, HUBEI

XIAO Shangde^{①②} LI Zhimin^② LIU Yunbiao^② NING Guomin^②

(^①Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

(^②Hubei Geological Environmental Center, Wuhan 430034)

Abstract The Qingjiang River Valley is the high susceptible area of landslide in Hubei Province, where the landslides have caused a great deal of economic loss and have great threats to local people. The geological environment of the studying area is complicated. There are deep rivercut valleys and steep bank slopes. The geological structure is developed. There were large-scale intermittent ascending motions in the aspect of neotectonic movement. There are 2843 landslide hazards in the studying area. They include 2275 landslides and 568 collapse-landslides. Most of the landslides are small-scale and are mainly distributed at the region with frequent human activities. According to the statistics analysis, the space distribution law of the landslides in the Qingjiang River Valley depends on the geological environmental and dynamic factors. The dynamic factors include natural dynamic factors and human dynamic factors. The former is mainly the rainfall. The later is the increasing cutting slope work by human activities. The time law of the landslides is synchronous, hysteresis and unstable period. The self-action law of landslides is inheritance, concealment, burstiness and diversity. Based on the investigation on the geological environmental conditions and the basic characteristics of the landslides in the studying area, the mitigation strategies for landslide hazards in the studying area are proposed correspondingly. They include monitoring and early warning, relocation and movement, engineering improvement, and geological environment protection.

Key words Qingjiang river valley, Landslide hazards, Distribution law, Mitigation strategy

* 收稿日期: 2011-06-30; 收到修改稿日期: 2011-11-24.

基金项目: 中国地质调查局西部地区复杂山体滑坡成灾机理研究项目(1212011014029).

第一作者简介: 肖尚德, 主要从事工程地质、环境地质调查评价与地质灾害防治勘查设计工作. Email: xsd001@126.com

1 引言

清江为湖北省西南长江南岸最大支流,全长423km,流域跨越11个县(市),总面积31100km²[1]。清江流域在我国地势上处于第二级阶梯与第三级阶梯的过渡地段,地形地质条件复杂,加之降雨丰沛,人类工程活动强烈,是湖北省地质灾害高易发地区之一,历史上发生过多次重大地质灾害,造成了严重的损失,如2007年6月15日巴东县大堰塘滑坡,因涌浪造成5人死亡,3人失踪[2,3]。因此,有必要研究滑坡的分布规律,探讨减灾对策,科学地指导防灾减灾工作。

2 地质环境条件

地处亚热带,属季风性山地湿润气候。冬少严寒、夏少酷暑、雾多潮湿、雨量充沛。受地形高差影响,各地降水量分布不均,多年平均降水量从清江河

谷内向南北两岸至山顶上不断增加。清江发源于齐岳山东麓于宜都城区汇入长江,干流全长423km,总落差1430m。河道坡降大,平均坡降3.38‰。河口多年平均流量442m³·s⁻¹。

清江流域地处云贵高原北东方向的延伸部分,地形起伏大。地貌形态以中山为主,低山较少。清江自西向东横贯全区,两侧众多支流构成树枝羽状水系,河谷深切,岸坡陡峭[4]。

区域构造上处于扬子准地台八面山台褶带,断裂主要为北东向及北西向断裂,受新构造运动的控制,地壳呈大面积间歇性上升运动。地层岩性较齐全,分布最广、厚度最大的为震旦系上统至奥陶系、石炭系至三叠系下统的碳酸盐岩地层,占67.5%;其次为震旦系下统、志留系与泥盆系、三叠系中统之碎屑岩,分布面积8582km²,占27.3%;中生界红层碎屑岩分布面积1677km²,占总面积的5.2%(图1)。

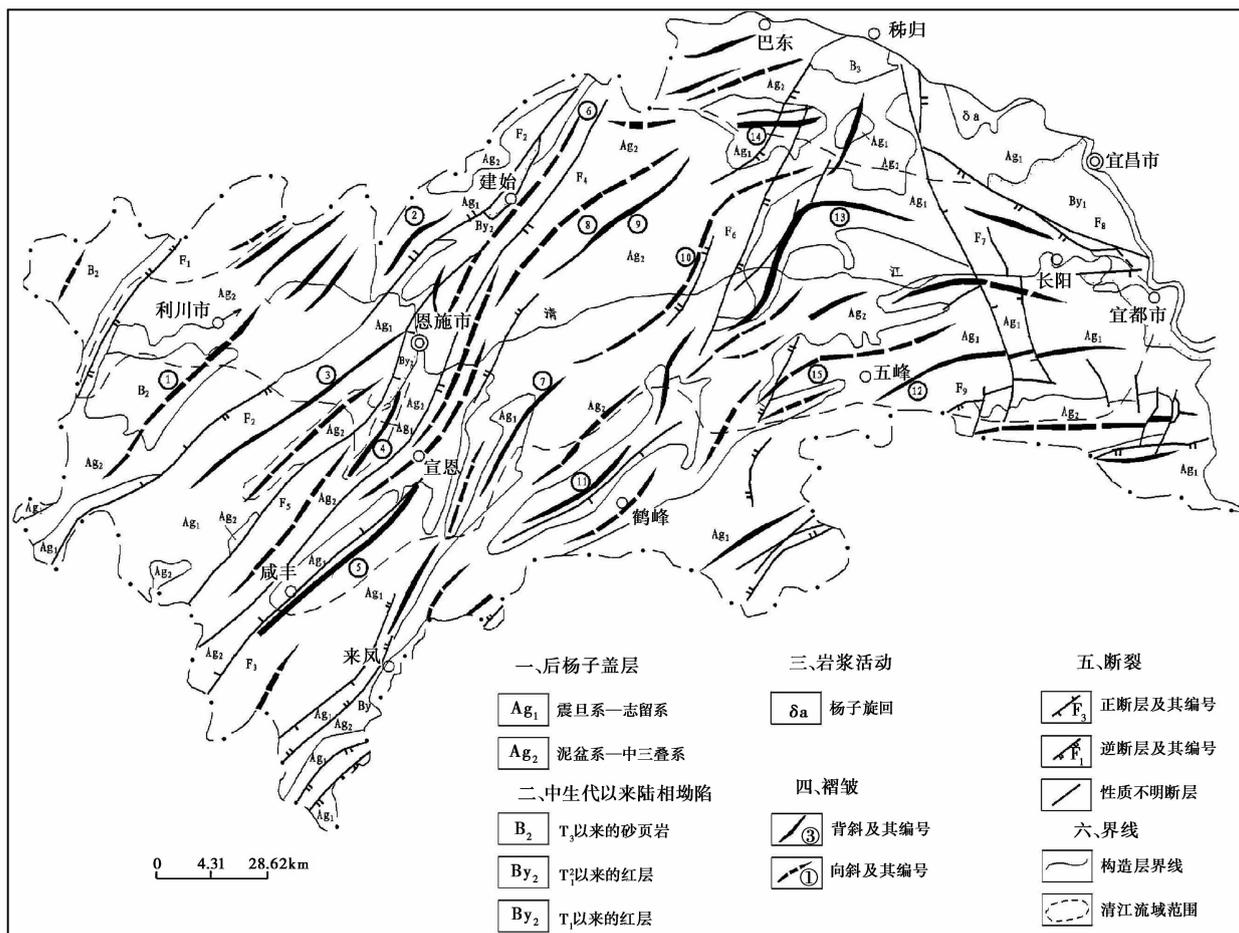


图1 清江流域地质构造略图

Fig. 1 Sketch map of geological structure in the Qingjiang river valley

3 滑坡的基本特征

3.1 滑坡类型

根据“国际地科联滑坡工作组”的定义,滑坡是“指大量的岩石、土或岩屑顺斜坡而下的运动”,即广义的滑坡。

通过近几年的调查研究和前人研究成果^[5-10],清江流域滑坡的地质结构主要有6种类型,即:上硬下软陡崖型滑坡,软硬互层顺向型滑坡,高位浅覆盖型滑坡,高位裂隙型滑坡,深厚堆积型滑坡,膨胀岩土型滑坡(如咸丰县朝阳寺滑坡群)。

如上硬下软陡崖型滑坡发生于近于直立的陡崖部位,工程地质结构特征表现为坚硬岩中夹有厚度不大的软弱夹层,且软层多位于陡崖的下部。典型者如五峰县与长阳县交界的赵家岩崩塌(图2)。

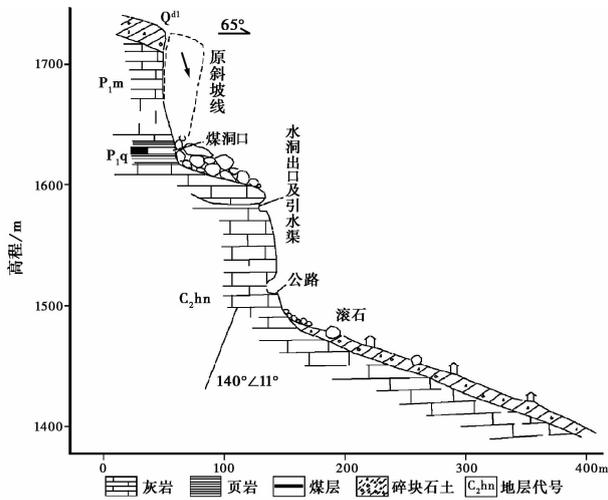


图2 赵家岩崩塌剖面图

Fig. 2 Profile of Zhaojiayan rock fall

再如深厚堆积型滑坡多发生于后凹前凸、上缓下陡的斜坡部位,工程地质结构特征表现为黏性土和碎石类土分布不均,形成“鸡窝状”饱水带,且排泄不畅。典型者如巴东县清太坪镇木竹坪滑坡(图3)。

3.2 滑坡分布概况

清江流域共发育滑坡2843处,其中滑坡2275处,崩塌型滑坡568处。分别占总数的80%和20%。滑坡遍布流域内各县市(图4),除宜都市姚家店镇1个乡镇目前尚未发育滑坡外,其他所有乡镇均不同程度发育(图5)。

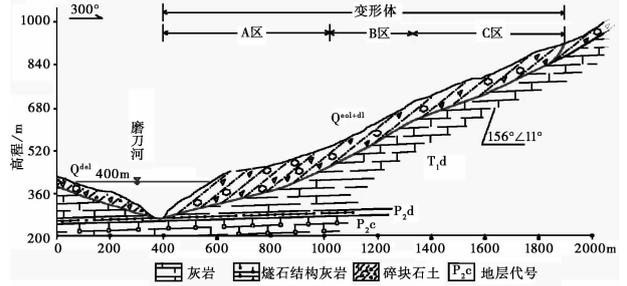


图3 木竹坪滑坡剖面图

Fig. 3 Profile of Muzhuping landslide

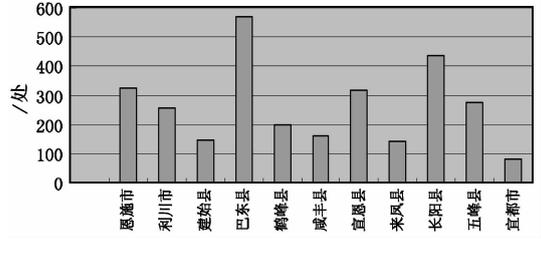


图4 清江流域各县市滑坡灾害发育直方图

Fig. 4 Histogram of the development of landslide in the Qingjiang river valley

3.3 滑坡分布特点

区内滑坡主要分布在人类工程活动比较频繁的地带,如城镇及大型居民点、公路沿线、水利工程库区等,在时间上则以发生在20世纪80年代以后至今的30a间为主。

区内主要集镇有134个,另有集中居民点数百处,发育滑坡有428处。

区内线路工程主要有沪蓉高速公路、宜万铁路、209国道、318国道、省道与乡村公路等。公路与铁路沿线共发育滑坡523个,其特点为滑坡规模较小,以浅层滑坡为主。

清江及其支流两侧由于河流下切与库水位的反复波动,两岸形成了155个古滑坡与现代滑坡,滑坡规模比较大。

区内滑坡从时间上分为2个时期:第1个时期为中、晚更新世时期,滑坡主要分布于清江干流与大型的冲沟附近;第2个时期为近代,其又分为2个阶段:第1阶段为20世纪80年代以前,滑坡以自然因素引起的为主;第2阶段为20世纪80年代以后,随着经济快速发展,人类工程活动日趋强烈,由此引起的滑坡也随之逐渐增多。

3.4 滑坡规模特征

据《滑坡崩塌泥石流灾害调查规范(1:5万)》

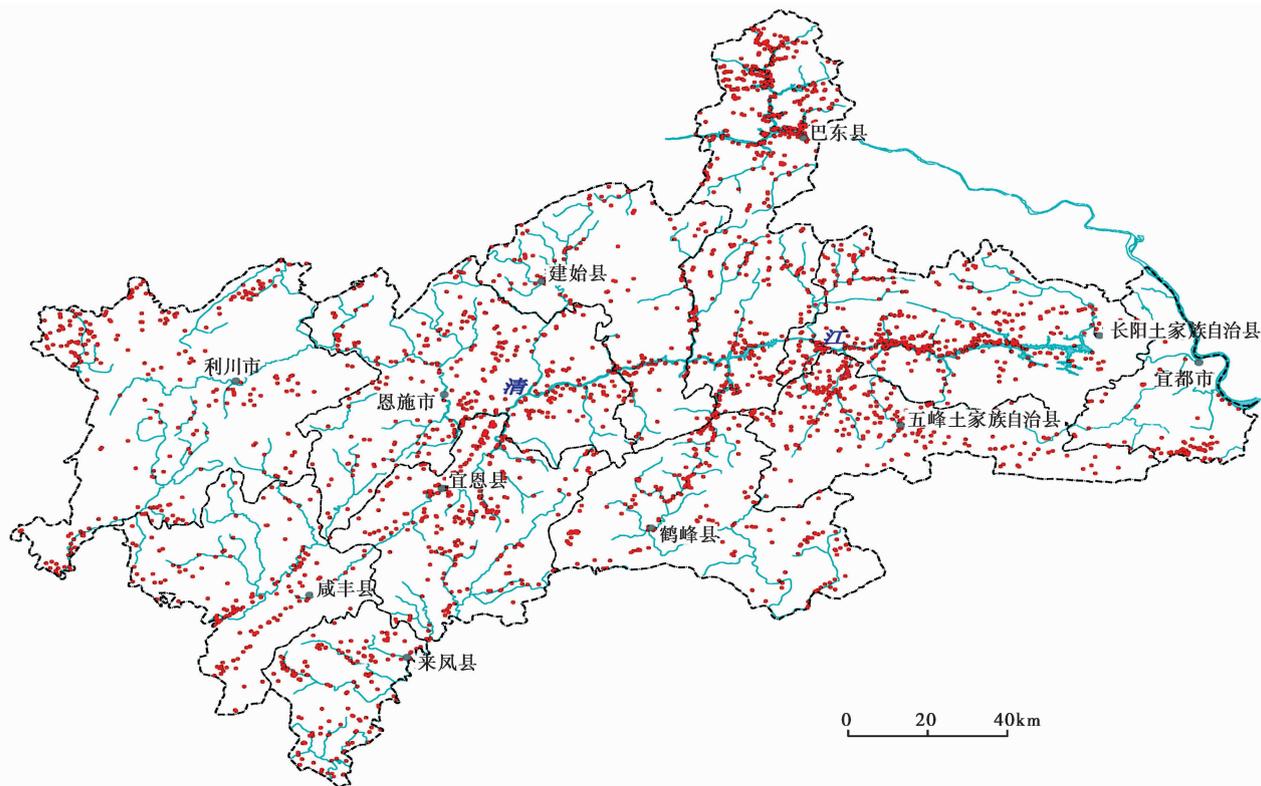


图5 清江流域滑坡分布图

Fig. 5 Distribution map of the landslides in Qingjiang river valley

(DD2008-02)规模分级标准,区内滑坡以小型为主,2275个滑坡中巨型滑坡3个,特大型滑坡52个,大型滑坡252个,中型滑坡674个,小型滑坡1294个;568个崩塌以中、小型规模者居多,其中中型196个,小型242个。

4 滑坡分布规律

清江流域滑坡的区域性分布规律,可概略的分为滑坡的空间分布规律、滑坡变形的时间规律和滑坡的自身活动规律。

4.1 滑坡的空间分布规律

4.1.1 滑坡成因与地层岩性之间的关系

地层岩性、岩土工程地质条件是影响斜坡变形的主要因素。区内岩性不同,其滑坡的发育程度及类型不同,松散土体中分布滑坡2102个(占总数的74%),碳酸盐岩类中分布滑坡509个(占总数的18%),碎屑岩类中分布滑坡286个。

统计分析表明,本区滑坡发育率高的易滑岩组主要为第四系松散土体,志留系龙马溪组(S_{11})和罗

惹坪组(S_{11r})较坚硬至软弱至中厚层状页岩、粉砂岩,二叠系的坚硬中厚层灰岩、瘤状灰岩结核灰岩夹软弱薄层状炭质、泥质页岩及煤层及三叠系巴东组(T_{2b})泥岩、粉砂岩。其中,母岩为软弱岩石的残坡积、崩坡积物中的土质滑坡多,如三叠系中统巴东组(T_2b)一套泥质粉砂岩、粉砂质泥岩软质岩岩组中有433个土质滑坡(图6)。

4.1.2 滑坡成因与地质构造之间的关系

褶皱轴部是地应力较集中的部位,构造裂隙发育,岩体相对破碎,易产生滑坡。区内褶皱轴部附近发育有749处滑坡,占总数的26%;在断裂带附近,岩体遭受强烈破坏,构造结构面发育,岩石破碎,风化强烈,常伴有较强的地下水作用,为滑坡的形成提供了有利的地质构造环境。区内主要断裂带附近发育滑坡464处,占总数的16%。

4.1.3 滑坡成因与地形地貌之间的关系

依据区内剥夷面高程分布情况,斜坡可划分4个高程段,即4级地貌单元,第1级和第四级高程段分别为 $>1500m$ 和 $<500m$,相对高差小,斜坡段较短,地势相对宽缓,灾害相对少;第三级剥夷面高程在 $1000 \sim 500m$,斜坡段相对较长,冲沟密集纵切坡体,多形成高陡临空面,易发生滑坡,该段高程斜坡上发

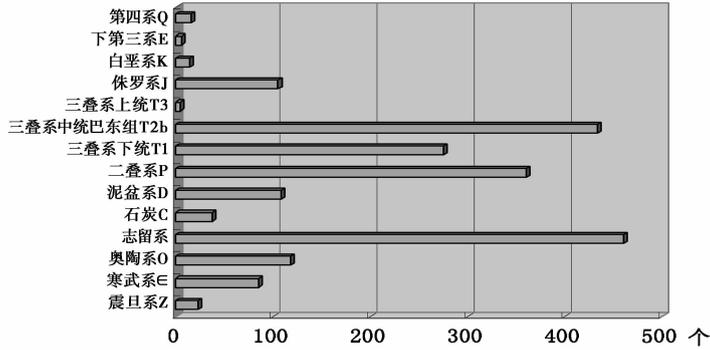


图6 不同母岩中发育的滑坡个数直方图

Fig. 6 Histogram of the landslide number in different kinds of mother rock

生的滑坡 1487 处,占灾害总数的 52.3%。

滑坡多产生于坡度在 $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 的斜坡上,共有滑坡 1900 处,占总数的 66.8%。在小于 20° 或大于 50° 的斜坡地段,滑坡较少;崩塌型滑坡一般发生在坡度大于 50° 的斜坡地段。

4.1.4 滑坡生成与地震的关系

地震时斜坡的变形破坏和地震震级、震源深度、离震中的距离有关,即受控于地震烈度。区内由地震引发的最大的滑坡为 1856 年 6 月 10 日 8 时许(清咸丰六年夏五月初八辰时)咸丰县大路坝滑坡。据湖北省地震史料汇考编辑室 1980 年考察结果^[11],此次地震震级为 6.5 级,地震烈度 9 度,震源深度 8km,产生较多的崩塌和滑坡,其中巨型崩塌、滑坡 25 处。箭子岭、轿顶山发生巨型地震岩质滑坡,堆积为 1 条长 1.5km、高 70m 的堰坝,阻截向东流的老窑溪,形成库容 $6.7 \times 10^7 \text{m}^3$ 的地震堰塞湖-小南海。

4.1.5 滑坡生成与人类工程活动的关系

区内滑坡的形成受人类工程活动影响明显。随着经济建设的迅速发展,人类经济工程活动日渐增强,主要表现为城镇建设、交通建设、居民建房、水利水电开发及矿产资源开发等。区内与人类工程活动有关的地质灾害点 1816 处(表 1),占地质灾害点总数的 63.8%。

从表 1 可以看出,城镇、公路建设切坡诱发的滑坡最多,其次是水利水电工程诱发滑坡,其他人类活动诱发的滑坡相对较少。一般情况下,切坡诱发的滑坡规模小而数量多,而水库诱发的滑坡规模较大。如清江水布垭库区木竹坪滑坡,2007 年 5 月 10 日,当库水蓄至 289m 高程时,第四系堆积体较大范围发生地面变形,一次性塌滑入江约 $500 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

4.1.6 滑坡生成与降雨强度的关系

降雨是清江流域滑坡的主要动力因素和激发因

表 1 滑坡数量与人类工程活动关系统计表

Table 1 Statistics data of the quantity of landslide and the human engineering activities

人为因素	灾害类型		
	滑坡/个	崩塌/个	合计
切坡	1038	115	1153
水库蓄水	366	21	387
水渠渗漏	54	0	54
矿山开采	7	71	78
人为加载	60	0	60
植被破坏	84	0	84

素,滑坡的生成和驱动明显受降雨强度的控制。根据清江流域的降雨资料和历史滑坡相关资料,通过回归统计分析得出,滑坡的发生与降雨强度和持续时间有一定的相关性,即:滑坡与 1 个月和 2 个月的累计降雨量相关性差,滑坡与 5d 累计降雨量最相关;滑坡与特大暴雨和暴雨最相关。

在地质灾害不易发区,无论雨量多大,滑坡点密度几乎都为 0;地质灾害低易发区在降雨量较大时,滑坡点密度才有所增大,增幅较小;而在地质灾害中、高易发区随着雨量的增加,滑坡点密度逐渐增大。同时,当日降雨量为 30mm、90mm 和 150mm,有效降雨量为 75mm、150mm 和 225mm 时,高易发区和中易发区滑坡点密度都有明显的增加(图 7)。

4.2 滑坡变形的时间规律

滑坡变形破坏的时间规律,主要表现为同发性、滞后性和不稳定的周期性^[12]。

4.2.1 同发性

在外界强动力驱动下,滑坡与驱动力几乎同时发生,这一特性称之为同发性。清江流域以降雨型滑坡表现最为突出,通过对区内有较准确发生时间

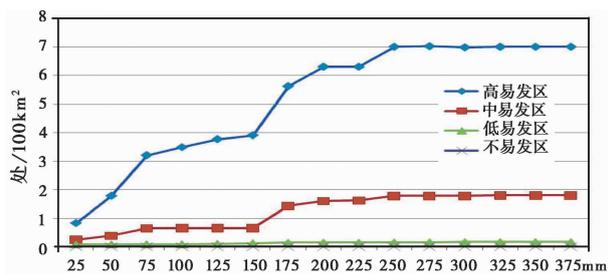


图7 有效降雨量与滑坡点密度的关系曲线

Fig. 7 Relationship curve of effective precipitation and concentration degree of landslide sites

的1811处滑坡统计分析,滑坡一般集中发生在6~7月,其中6月份480处,7月份614处,这2个月发生的滑坡占总数的60.5%,而每年的6~7月份正好是降雨最为集中的2个月,表明滑坡的发生与降雨的强度具显著的同发性。

4.2.2 滞后性

滑坡变形破坏的滞后性规律,在渗漏型、降雨型滑坡中有一定程度的表现,据滞后时间可分为短滞后型和长滞后型2种。

短滞后型指滞后期在半年以内,主要包括降雨型和人工渗漏型滑坡。统计分析表明,区内人工渗漏型滑坡,其滞后期均在半年之内,并与渗漏相伴生,占该类滑坡总数的100%;降雨型滑坡滞后期一般在1个月之内,其中滞后期在5d以内的滑坡占降雨型滑坡的70%以上,5d至1个月滞后期的占近30%。

长滞后型指滞后期为半年以上者,该类滑坡一般为人工开挖形成的各类边坡,应力的重新调整过程相对比较缓慢,滞后期相对较长。据统计分析,区内1100处人工开挖边坡形成的滑坡中土质滑坡大多属此类型,占该类滑坡总数的89%;开挖型岩质滑坡中,属长滞后型的占开挖型岩质滑坡总数的65%。

4.2.3 周期性

滑坡有其自身的形成、演变过程,在其变形史上,变形的间隔期具韵律特征则称之为周期性。周期性是继承性在时间上的反映。清江流域土质滑坡周期性变形表现明显,有1092处,占土质滑坡总数的53.9%。岩质滑坡周期性变形则相对弱一些。

土质滑坡的周期性明显受降雨周期的控制,变形周期1a者共425个,占据周期性变形土质滑坡的38.9%,变形周期多年者的达417个,占据周期性变形土质滑坡总量的38.2%。

4.3 滑坡的自身活动规律

4.3.1 继承性

继承性系指滑坡空间上的承袭性,已经产生过变形的滑坡,往往有重复变形的特点,有的甚至多次复活,复活后的变形与以往的变形有较程度的相似^[13,14]。据统计分析,清江流域重复(复活)多次变形的滑坡共1253个,占滑坡总数的55.1%。

4.3.2 隐蔽性和突发性

滑坡变形的隐蔽性主要针对变形宏观效应而言,滑坡变形大多从蠕滑变形开始,蠕动的变形单元是微量位移和扭转,区内大部分滑坡表现为地面裂缝,真正产生大规模位移的并不多,蠕滑变形很难引起人们察觉;突发性主要指变形的速度快、爆发突然,历时甚短、且变形破坏较为彻底,区内突发型岩质滑坡90个,占岩质滑坡总数的39.4%;突发型土质滑坡505个,占土质滑坡总数的24.9%。

4.3.3 差异性

滑坡发育的差异性,主要表现为散布性和相对集中性。统计表明,散布性表现在区内134个乡镇中除清江入口的宜都市姚家店镇尚未发现滑坡以外,其他所有乡镇均有不同程度发育;相对集中性的分布特点除与其形成条件密切相关外,还表现在与人类工程活动日趋强烈息息相关,如清江水电开发、高速公路、铁路建设、采矿活动等。如清江干流建始县景阳段,该段为水布垭库区,全长约15km,产生滑坡28处,点密度为 $1.8 \text{ 处} \cdot \text{km}^{-2}$,约为建始县滑坡点密度的30倍(图8)。

5 防灾减灾对策

5.1 防灾减灾原则

针对清江流域滑坡点多面广成因复杂等特点,结合社会经济状况,提出以下防灾减灾原则:(1)预防为主,避让与治理相结合;(2)重点治理与监测预警相结合;(3)统筹兼顾,因地制宜,长远规划,逐步实施;(4)把滑坡防治与工程建设、资源开发、生态环境保护相结合;(5)把滑坡防治与其他地质灾害和自然灾害防治相结合。

5.2 防灾减灾对策

根据上述原则确定最优防治方案,滑坡防治措施主要包括:监测预警、搬迁避让、工程治理、地质环境保护等。

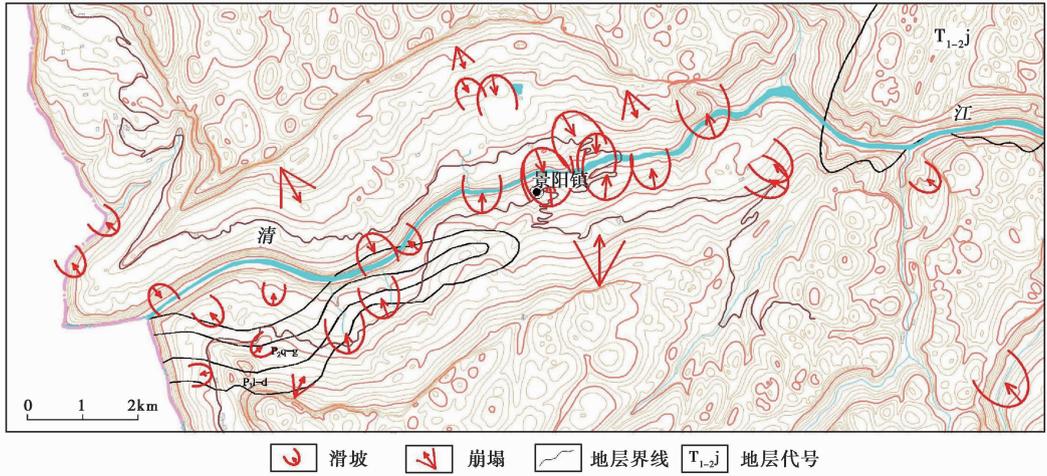


图8 清江干流景阳段滑坡分布图

Fig. 8 Distribution map of the landslides in Jingyang section of the Qingjiang river main stream

(1)监测预警。本着“群测群防、群专结合”的原则,继续大力宣传、普及地质灾害防灾减灾科学知识,增强地方各级人民政府和民众的防灾减灾能力,建立、健全监测预警体系,实施分级管理、各负其责,责任到人。分级管理是按滑坡危害程度分级进行划分,根据滑坡规模、危害程度、稳定性分别确定省级、市级、县级及乡镇级监测点;对已发现的滑坡点,在分析其成因机制的基础上,抓住前兆现象,采取有效的监测手段进行监测预报,及时撤离险区受灾对象^[15-17]。

(2)搬迁避让。结合新农村建设,将受滑坡威胁的分散农户、村落搬迁至生产生活条件较好,地质安全的地带。对高山峡谷、交通不便,人口稀少的地区且滑坡点多、面广、规模小、稳定性差、单点威胁人数及财产不多、经济发展水平不高等地是最为有效的防治方法。

(3)工程治理。对于规模较大、危险性大、威胁人口较多、社会影响较大、不宜实施搬迁安置的滑坡隐患点,通过经济、技术对比,论证可行性,可集中有限资金进行工程治理。工程治理措施主要包括截、排水,支挡工程,坡面减载,坡脚反压,植被防护等^[18]。

(4)地质环境保护。包括限制人类工程活动,尽量避免大挖大填,主要针对目前稳定性较好、危害程度不大的滑坡。由于采取该措施的滑坡点一般处于滑坡发育的初始阶段,所以保护好地质环境,可以有效地避免滑坡继续发展成灾,不仅能够最大限度的节省投资,而且能有效地利用土地。植树造林、水改旱等措施是经济有效值得倡导的方法。

(5)加强城镇规划编制中地质安全评价工作,划分确定适宜开发建设区、限制开发建设区和不宜建设区等,选择安全的地段进行规划建设。

6 结 语

清江流域滑坡的区域性分布规律,可概略的分为滑坡的空间分布规律、滑坡变形的时间规律和滑坡的自身活动规律。

滑坡空间分布规律主要受控于地质环境条件和动力因素,动力因素包括自然动力因素和人为动力因素,前者以降雨为主,后者以切坡为主且日趋发展,使人工型滑坡比重越来越高;滑坡变形时间规律主要表现为同发性,滞后性和不稳定的周期性,滑坡的同发性主要表现为滑坡与降雨几乎同时发生;滑坡的自身活动规律主要表现为继承性、隐蔽性和突发性、差异性等。

从滑坡的区域性发育规律出发,结合环境工程地质条件和动力因素等,提出了本着“以人为本、预防为主、防治结合、综合治理”的原则科学确定滑坡防灾减灾对策,保障人民生命财产安全。

参 考 文 献

- [1] 沈继芳,李焰云,徐瑞春.清江流域岩溶研究[M].北京:地质出版社,1996,5~7.
Shen Jifang, Li Yanyun, Xu Ruichun. Karst Study in Qingjiang River Valley. Beijing: Geological Publishing House, 1996, 5~7.
- [2] 湖北省地质环境总站.湖北清江流域滑坡分布规律研究报告[R].武汉.2011,33~34.

- Hubei Geological Environmental Center. Research Report of Distribution Law of the Landslides in Qingjiang River Valley, Hubei Province. Wuhan, 2011, 33 ~ 34.
- [3] 湖北省国土资源厅. 湖北省地质灾害防治规划(2003 ~ 2015年)[R]. 武汉. 2003.
- Department of Land and Resources of Hubei Province. Plan for Prevention and Control of Geological Disaster of Hubei Province (2003 ~ 2015) Wuhan, 2003.
- [4] 王增银, 姚长宏, 周梓良. 鄂西清江的形成与演化讨论[J]. 地质科技情报, 1999, **18**(3): 25 ~ 29.
- Wang Zengyin, Yao Changhong, Zhou Ziliang. Formation and development of Qingjiang river in west of Hubei province. Geological Science and Technology Information, 1999, **18**(3): 25 ~ 29.
- [5] 严福章, 王思敬, 徐瑞春. 清江隔河岩水库蓄水后茅坪滑坡的变形机理及其发展趋势研究[J]. 工程地质学报, 2003, **11**(1): 15 ~ 20.
- Yan Fuzhang, Wang Sijing, Xu Ruichun. Deformation mechanism and development tendency of Maoping landslide after impounding of Geheyan reservoir on Qingjiang river. Journal of Engineering Geology, 2003, **11**(1): 15 ~ 20.
- [6] 杨为民, 徐瑞春, 吴树仁, 等. 清江隔河岩库区天池口滑坡变形机制及稳定性分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, **37**(5): 378 ~ 384.
- Yang Weimin, Xu Ruichun, Wu Shuren, et al. The analysis of deformation mechanism and its stability of Tianchikou landslide in Geheyan reservoir on Qing river. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2007, **37**(5): 378 ~ 384.
- [7] 严福章. 清江隔河岩水利枢纽水库区茅坪滑坡暨白岩危岩体工程地质勘察报告[R]. 宜昌, 1993.
- Yan Fuzhang. Geological Investigation Report of Maoping Landslide and Baiyan Cliff, Geheyan Reservoir, Qingjiang River. Yichang, 1993.
- [8] 赵信文, 金维群, 等. 清江中游隔河岩库区偏山滑坡形成机制及稳定性分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2009, **39**(5): 874 ~ 881.
- Zhao Xinwen, Jin Weiqun, et al. Formation mechanism and stability analysis of the Pianshan landslide in Geheyan reservoir area of the middle reaches of Qingjiang river. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2009, **39**(5): 874 ~ 881.
- [9] 长江水利委员会. 湖北省清江隔河岩水利枢纽水库库岸稳定性的初步调查结果及进一步勘察研究的必要性[R]. 武汉, 1991.
- Changjiang Water Resources Commission. Preliminary Investigation Report and the Necessity for Further Investigation on the Bank Stability of Geheyan Reservoir, Qingjiang River, Hubei Province. Wuhan, 1991.
- [10] 钟式范, 马水山, 张保军. 隔河岩水利枢纽水库蓄水对岸坡稳定性的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 1996, **15**(3): 282 ~ 288.
- Zhong Shifan, Ma Shuishan, Zhang Baojun. Influence of Geheyan reservoir filling on the stability of slope. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1996, **15**(3): 282 ~ 288.
- [11] 湖北地震史料汇考编辑室. 湖北地震史料汇考. 北京:地震出版社, 1985, 78 ~ 81.
- Editorial Group of Hubei Province Historical Seismological Data Compilation and Research. Historical Seismological Data Compilation and Research of Hubei Province. Beijing: Seismological Press, 1985, 78 ~ 81.
- [12] 刘广润. 鄂西山区滑坡区域性发育规律研究[J]. 刘广润院士论文集, 武汉:中国地质大学出版社, 2010, 143 ~ 155.
- Liu Guangrun. Study on landslide development regularities in western Hubei province. In: Selected Papers of Liu Guangrun Academician, Wuhan: China University of Geosciences Press, 2010, 143 ~ 155.
- [13] 邓建辉, 马水山, 张保军, 等. 清江隔河岩水库茅坪滑坡复活机制初探[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, **22**(10): 1730 ~ 1737.
- Deng Jianhui, Ma Shuishan, Zhang Baojun, et al. Preliminary investigation on the reactivation of Maoping landslide, Geheyan reservoir, Qingjiang river. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, **22**(10): 1730 ~ 1737.
- [14] 严福章, 徐瑞春. 湖北清江隔河岩水库蓄水后古滑坡的表现特征[A]. 中国岩石力学与工程学会第六次学术大会论文集[C]. 2000, 543 ~ 546.
- Yan Fuzhang, Xu Ruichun. Deformation behavior of ancientlandslides on Qingjiang river after impoundment of the reservoir. In: Proceedings of the 6th Symposium on Rock Mechanics and Engineering, 2000, 543 ~ 546.
- [15] 王尚庆, 邓兴林, 严学清. 清江隔河岩库区重要滑坡的监测分析及预测模型研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, **11**(2): 89 ~ 93.
- Wang Shangqing, Deng Xinglin, Yan Xueqing. Monitor analysis and study on forecast models of the important landslides in Geheyan reservoir area of Qingjiang river. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, **11**(2): 89 ~ 93.
- [16] 国土资源部地质环境司. 地质灾害防治条例释义[M]. 北京: 中国大地出版社, 2004.
- Environmental Department of Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Interpretation of Regulation for Prevention and Control of Geological Disaster. Beijing: China Land Press, 2004.
- [17] 殷跃平. 汶川地震地质与滑坡灾害概论[M]. 北京: 地质出版社, 2009, 134 ~ 136.
- Yin Yueping. Great Wenchuan Earthquake: Seismal Geology and Landslide Hazards. Beijing: Geological Publishing House, 2009, 134 ~ 136.
- [18] 中华人民共和国国土资源部. 滑坡防治工程设计与施工技术规范(DZ/T0219 ~ 2006)[P]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Specification of Design and Construction for Landslide Stabilization(DZ/T0219 ~ 2006) Beijing: China Standard Press, 2006.