

福建省建瓯市地质灾害发育特征及形成机制

王 姣, 万军伟, 左 帅, 周 勇, 童晓荣, 黄 琨

(1. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 2. 福建省地质工程研究院, 福建 福州 350000)

摘要: [目的] 分析建瓯市地质灾害发育特征及成因, 以便进一步做好建瓯市地质灾害防灾减灾工作。[方法] 在区域地质灾害详细调查的基础上, 分析建瓯市地质灾害的发育类型、规模、分布以及危害性等特征, 总结区内地质灾害的发育规律。针对地质灾害的地形条件、地层岩性以及典型致灾土体的土工试验研究, 结合对典型灾害点的讨论分析, 确定建瓯市地质灾害的形成机制及土体抗剪强度特征。[结果] (1) 建瓯市地质灾害以小规模滑坡为主, 数量众多, 普遍表现为表层堆积土顺基岩面滑塌的发育特点; (2) 区内地质灾害多发的原因是由于多期次构造运动导致岩体破碎, 易构成不稳定结构面组合, 加之表层风化土体抗剪强度较低, 在人为切坡及强降雨条件诱发下, 导致了斜坡的变形破坏。[结论] 建瓯市地质环境条件较差, 不合理的切坡易诱发滑坡。

关键词: 地质灾害; 发育特征; 形成机制

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)03-0267-06

中图分类号: P694

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.055

Development Characteristics and Formation Mechanism of Geological Disasters in Jian'ou City, Fujian Province

WANG Jiao, WAN Junwei, ZUO Shuai, ZHOU Yong, TONG Xiaorong, HUANG Kun

(1. China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Geological Engineering Institute of Fujian Province, Fuzhou, Fujian 350000, China)

Abstract: [Objective] To analyze the development characteristics and formation mechanism of geological disasters in order to improve the prevention and control of geological disasters in Jian'ou City, Fujian Province. [Methods] Based on the detailed investigation on geological disasters, through the analysis of the geological disaster development type, scale, distribution and damage features of Jian'ou City, the development rule of geological disasters was summarized in the area. According to the formation conditions and inducing factors of geological hazards, with the analysis of typical disaster, the formation mechanism and different shear strength characteristics were identified. [Results] (1) The characteristics of the disaster which developed in a large numbers of small scale landslide were summarized, and general performance of the soil collapsed along the bedrock surface; (2) The causes of geological disaster include the following points: firstly, the frequent tectonic movements resulted in a broken rock mass in the area which contained unstable structural plane combinations. Secondly, due to the low shear strength of soil on the surface of the slope, slope destruction would be easily induced under artificial cut slope and rainfall conditions. [Conclusion] The condition of geological environment in Jianou City is poor, and unreasonable cutting slope is easy to induce landslide.

Keywords: geological disasters; development characteristics; formation mechanism

地质灾害是自然灾害的一个重要灾种, 不仅给人类生命安全带来威胁, 而且对环境、资源、财产等均具有破坏性^[1]。因此, 研究区域地质灾害的发育特征对防灾减灾工作具有重要意义。李明辉等^[2]根据地质灾害调查成果, 研究了丹巴县各类地质灾害发育特点

与成因; 张洪信等^[3]结合自然因素和人类活动特征, 对贵州省安龙县地质灾害成因进行了分析, 并提出了针对性防治建议。本文在建瓯市野外地质灾害详细调查的大量数据基础上, 进一步统计分析、总结建瓯市的地质灾害发育特征, 并对其成因进行探讨, 希望

收稿日期: 2014-03-13

修回日期: 2014-04-18

第一作者: 王姣(1989—), 女(汉族), 四川省雅安市人, 硕士研究生, 主要从事地质灾害方面研究。E-mail: guoigo@163.com。

通信作者: 黄琨(1984—), 男(汉族), 湖南省衡阳市人, 博士, 副教授, 主要从事水文地质与工程地质方面研究。E-mail: cugdr_huang@163.com。

对该地区地质灾害防灾减灾工作起到一定指导和参考作用。

1 区域自然地理及地质环境概况

建瓯市地处闽北腹地,辖区面积 4 233 km²,属亚热带海洋性季风气候,每年 3—8 月为雨季,年降雨量在 1 600~1 800 mm,主要河流为建溪,发育有 3 条支流。区内以丘陵地貌为主,东北高西南低,东北部为中低山区,西南部为低山、丘陵区,中部以河流阶地、平原为主。在新构造作用影响下,山体剥蚀和河谷下切侵蚀作用强烈,V 型峡谷发育、河流两侧山体陡峭。

断裂构造遍布全区,地层呈条带状或片状沿主要构造线北东向(NE)和北北东向(NNE)展布,岩体支离破碎,结构面发育。地层以前震旦系变质岩为主,主要岩性为黑云石英片岩,经历多期次构造后,岩体层理、片理发育;其次为燕山期花岗岩,呈巨厚层状构造,局部区域由于构造作用岩体碎裂;其他岩性包括凝灰岩、粉砂岩等均有不同范围的分布。结合调查区工程地质岩组的特征,将岩土体划分为 6 种类型(附

图 12)。区内岩石风化强烈,普遍形成上部土体、下部基岩的二元结构斜坡或单层土质结构斜坡。

2 地质灾害发育特征

2.1 地质灾害类型及规模

区内地质灾害极为发育,呈现小型、多样的基本特征,而且类型亦较多。根据表 1 中统计结果可以看出,滑坡是区内最主要的地质灾害,其次为不稳定斜坡,发育规模均以小型为主。以下主要针对滑坡、崩塌及不稳定斜坡 3 类地质灾害进行讨论。全市目前共发现滑坡隐患点 78 处,占灾点总数的 57.35%,按滑坡的物质组成、滑床深度进行统计分析(如图 1 所示),表现出以下几方面特征。

(1) 滑坡规模以小型滑坡居多,占滑坡总数的 94.0%,其中以小一型(1~10⁵ m³)和小二型(0.1~10⁴ m³)为主;中型滑坡(10~10⁶ m³)仅发育 5 处。

(2) 滑坡体组成成分类型大部分为土质,多为浅层滑坡,表层残积土体是主要致灾体;滑坡产生的位置多为房前屋后,多由于人为因素诱发,主要是人工边坡的不合理开挖产生的牵引式滑坡。

表 1 建瓯市各类地质灾害类型规模

灾害类型	大型/处	中型/处	小型/处			合计/处
			小一型	小二型	小三型	
滑坡	0	5	22	36	15	78
崩塌	0	1	11	3	0	15
潜在不稳定斜坡	0	0	41	41		
泥石流	0	2	0	2		

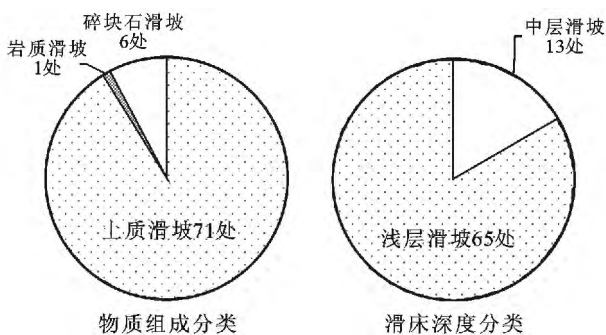


图 1 建瓯市滑坡类型分布

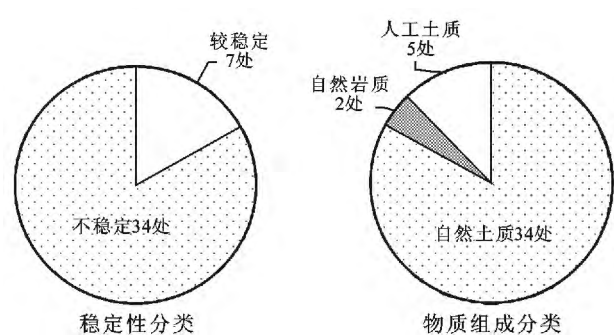


图 2 建瓯市不稳定斜坡类型分布

全市共查明不稳定斜坡 41 处,与滑坡相似,多由于前缘不合理人工切坡引起斜坡变形。具有以下发育特征:多发生在土质斜坡中,潜在致灾体主要为表层残积土,厚度约 3~6 m,规模全部为小型(面积 < 1.00×10⁴ m²);如图 2 所示,斜坡稳定性普遍较差,大部分处于不稳定状态,并在近 5 年来普遍出现斜坡面鼓胀变形、斜坡开裂、后缘拉张裂缝等变形特征。

区内共发育崩塌隐患点 15 处,其中以土质崩塌为主,发育 12 处,岩质崩塌 3 处,规模均较小,仅 1 处为中型(10~10⁴ m³)外,其他全部为小型(< 10⁴ m³)。

2.2 地质灾害时、空间分布特征

在时间分布特征方面,建瓯市地质灾害发生的数

量与降雨量之间表现出一定的一致性。如图 3 中所示,灾害主要发生于特大暴雨集中的月份,以 5—7 月份暴雨季节地质灾害发生频率最高。

地质灾害的空间分布主要与 2 个因素相关,一是自然地质环境条件的控制,二是受人类工程活动的影响。在地理位置分布上(如图 4 中所示),除建安街道外,各乡镇均有灾点分布,其中瓯宁、芝山、迪口、南雅、房道等乡镇灾点分布密度最大。

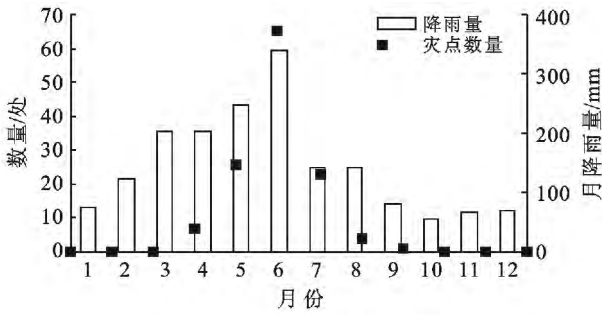


图 3 建瓯市地质灾害分布与月份、月降雨量关系

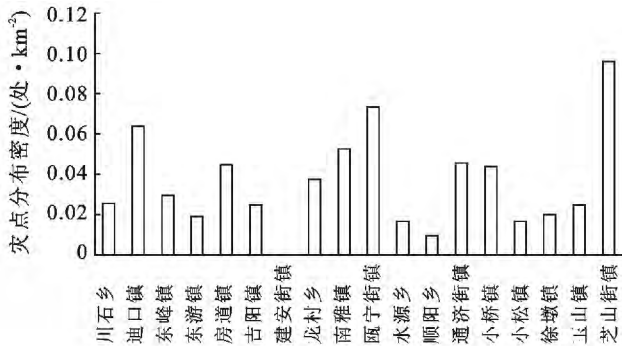


图 4 建瓯市各乡镇地质灾害点密度

在岩性空间分布特征方面,灾害点的分布与母岩岩性间体现出了明显的相关性,主要分布于节理裂隙发育、风化强烈变质岩区域内,分布密度达 0.046 处/km²,高于岩浆岩、沉积岩区域(见表 2)。

表 2 地质灾害与母岩关系

灾害点	母岩岩性			合计
	变质岩类	岩浆岩类	沉积岩类	
总数/处	88	31	15	134
密度/(处·km ⁻²)	0.046	0.028	0.015	0.032

总体来讲,本区灾点的分布特点可大致分为以下 2 类:一类集中分布于中低山区域,河流深切,地形起伏陡峭,山体坡度一般大于 30°,并且边坡常具有上部土体、下部基岩的二元结构,在极端气候条件下易诱发边坡失稳形成地质灾害,例如房道、迪口、龙村等乡镇,地形、地质条件较差,是导致地质灾害发生的主要

因素;另一类集中分布在地形较缓的丘陵和平原地区,灾害点常分布于斜坡高约 20~50 m,坡度 25°~35°的凸形或直线坡中,并且有 93% 的斜坡坡脚存在人工切坡现象,虽自然条件相对较好,但开挖边坡建房、修建高速公路等使斜坡稳定性发生改变,例如瓯宁、芝山、通济街道等区域,人类活动形成大量的人工边坡,加之暴雨的诱发,是该区地质灾害多发的主要因素。

3 地质灾害成因分析

3.1 内部因素

地质灾害的形成是地质作用与不合理人类活动共同作用的结果,其影响因素可分为内部因素和外部因素两类^[2]。影响建瓯市地质灾害产生的内部因素主要包括斜坡岩体结构与地质构造、土体类型以及地形地貌 3 个方面。

3.1.1 岩体结构与地质构造 斜坡岩体结构与构造作用是决定斜坡抗滑力、稳定性的根本因素,岩体的工程性能强度以及抗风化能力等,多数是受岩体性质及结构面控制。

软硬相间的层状变质岩是本区出露面积最广的岩体,由前震旦系建瓯群松源组(AnZs)、大岭组(AnZdl)、龙北溪组(AnZl)组成,其岩性主要为黑云石英片岩,多呈层状、片状构造,部分透镜体状,在吉阳、房道、迪口等地区均有出露。变质岩抗风化能力较低,由于地层时代老,区内变质岩风化程度高;区域构造运动强烈,多期次构造运动导致断裂、裂隙发育,发育多组不同方向结构面,结构面间距通常小于 1 m,大大降低了岩体的完整性及力学强度,一旦坡脚切割形成临空面,则易构成不稳定的结构面组合。同时当构造面与坡向相同时,则易产生顺向不利结构面,从而易形成地质灾害。

块状坚硬岩浆岩岩组作为本区次要出露岩类,主要为燕山期(γ_5)和加里东期(γ_3)花岗岩,结构完整,岩体强度较高,常形成中低山陡峭地貌。但在构造影响剧烈的断层破碎带,岩石风化强烈,强风化带常呈土状或碎裂状,稳定性较差,易引起小规模岩质崩塌。

区内还出露软硬相间的层状沉积岩岩组,白垩系下统沙县组(K_{1s})、三叠系上统大坑组(T_{3d})以及侏罗系下统梨山组(J_{1l})等地层组成,岩性主要为泥岩、粉砂岩夹泥岩、含砾砂岩等。由于岩组普遍具有层面裂隙和构造裂隙双重结构面,岩层软硬相间,又以软质岩居多,常见发育有层间错动面,较易使边坡产生崩塌、滑坡。

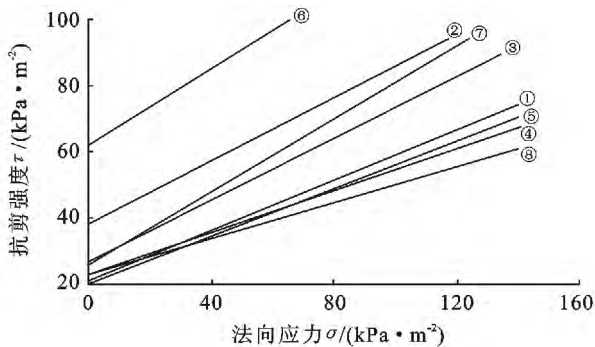
3.1.2 土体类型与性质 由于独特气候条件及构造条件,基岩风化强烈,自然斜坡表层为全风化残积粉质黏土、砂质黏土,土层厚度 2~10 m 不等。尤其在变质岩区域,由于节理裂隙发育,局部区域土层厚度大于 20 m,土体下层为基岩强风化带,常呈土状或碎裂状,一般厚度 3~5 m,这种上层土体、下层基岩的二元结构斜坡接触面普遍发育为顺坡向结构面,土体与下伏岩石的分界面构成陡倾角下硬上软的易滑结构,常沿接触面产生滑动,是导致变质岩区域地质灾

害多发的重要原因之一。

根据统计,区内致灾体多为表层残坡积土,而土体黏聚力 C ,内摩擦角 ϕ 值是表征土体抗剪强度的重要参数,为了查明区内各类型土体的力学性质,选取 8 个发育于不同岩性区域内的典型灾害点(见表 3)共取 48 个原状土样采用反复直剪和饱和快剪 2 种方法,分别求取土体在天然状态和饱和状态下的 C, ϕ 参数,并根据参数绘制土体抗剪强度 τ 和法向应力 σ 关系曲线(如图 5—6 所示)。

表 3 土工试验野外取样基本信息

编号	母岩时代	母岩岩性	风化层土体类型	取样位置
①	AnZl	石英片岩	残积砂质黏性土	瓯宁街龙山滑坡
②	J ₁ l	石英砂岩	坡积粉质黏土	南雅镇桔园滑坡
③	γ_3	花岗岩	残积砂质黏性土	南雅镇石坑不稳定斜坡
④	AnZdl	石英片岩	残积砂质黏性土	南雅镇杉溪滑坡
⑤	AnZs	石英片岩	残积砂质黏性土	龙村乡龙溪滑坡
⑥	K ₁ s	粉砂岩	坡积粉质黏土	瓯宁街溪口滑坡
⑦	γ_5	花岗岩	残积砂质黏性土	徐墩镇东边滑坡
⑧	J ₃ n	凝灰岩	残积砂质黏性土	水源乡王厝不稳定斜坡



注:图中①—⑧为土样编号,表示意思同表 3。下同。

图 5 不同岩性土体天然条件下抗剪强度 τ 与法向应力 σ 的关系

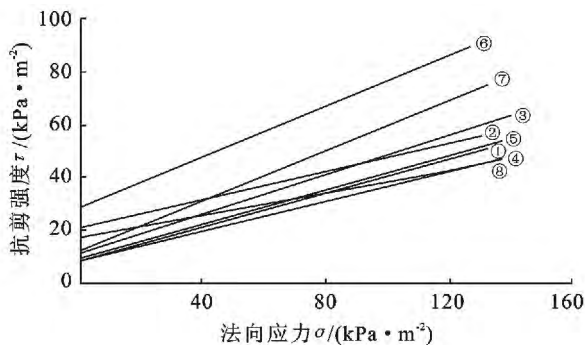


图 6 不同岩性土体饱和条件下抗剪强度 τ 与法向应力 σ 的关系

从表 3 中可以看出,各类基岩残积土体主要以砂质黏土为主, C 值小,黏聚力低,同时渗透性好,雨水

易于入渗并在土岩接触界面汇聚、渗流,进一步导致接触界面土体软化变形;通过对比图 5 不同岩性土体天然强度包线可知,3 类变质岩 AnZl(①)、AnZdl(④)、AnZs(⑤)以及火山岩 J₃n(⑧)风化土体,其抗剪强度包线相对区内其他土体较小,土体抗剪强度相对较差,而砂岩 K₁s(⑥)以及 J₁l(②)风化形成的坡积粉质黏土,强度均比其他残积砂质黏土高;通过对比图 5—6 土体强度包线发现,饱和条件下,抗剪强度与天然情况相比大幅降低, C 值大约减小一半,其中变质岩 AnZl(①)、砂岩 J₁l(②)、侵入岩 γ_3 (③)风化土形成的斜坡体在暴雨工况与天然工况下相比, C 值受降雨影响作用较大,而火山岩 J₃n(⑧)风化土体 C 值受降雨影响较小。

3.1.3 地形地貌 地形地貌对斜坡稳定性的影响主要表现在其坡面的应力分布和汇流作用的不同,本区地貌类型主要为丘陵和中低山地貌,由于新构造运动影响,坡体陡峭,丘陵区坡度一般 30°左右,中低山区斜坡坡度 30°~45°之间,普遍大于土体的天然休止角,加之沟谷纵横,切割深度大,在天然条件下斜坡岩土体一般已达到或接近极限平衡状态,因此在强降雨条件下,通过斜坡的汇水作用,易形成坡面径流,冲刷改造斜坡,导致斜坡失稳。

另一方面,地形特征也一定程度上决定了灾害体的发育规模,由于区内主要为丘陵地区,山体规模小,

斜坡内部应力分布相对于高山、中山区域的值较小,加之汇水面积及提供的动力条件有限,因而其一旦变形、破坏,岩土体滑塌产生的冲击力相对于连绵起伏的高山地貌也较小。因此,建瓯市地形地貌条件也决定了本区内地质灾害规模小,危害性较小的特点。

3.2 外部因素

外部因素包括人为因素、地表水和大气降水作用等,当其破坏地质体内部的平衡状态时,容易诱发地质灾害。

3.2.1 人类活动 建瓯市与地质灾害密切相关的人类工程活动主要包括削坡建房、竹林开发、道路修建 3 方面。建瓯市属农业城市,随着农村人口和农民收入的不断增加,适宜建房用地不足,因此村民依山建房、削坡建房(屋后)现象十分普遍。据调查,91%的地灾点斜坡前缘存在着人工削坡行成的高陡临空面,削坡高度大多为 5~12 m,切坡坡度达 60°以上,坡脚与房屋的距离往往在 2 m 以内,甚至将边坡作为房屋后墙,边坡未采取支护措施。而同时建瓯市为著名的“笋竹之城”,屋后往往是不利于固土护坡的毛竹林,这些都是造成边坡不稳定的因素。

另一方面随着建瓯市经济的发展,道路建设需求增加,但由于资金、技术、时间等原因,公路修建过程中不合理切坡现象大量存在,在两侧形成大量高陡边

坡,又未及时采取有效的防治措施,造成不稳定边坡隐患,在持续强降雨等情况下经常出现各类不同规模的滑塌溜方,从而严重影响正常的交通运输。

3.2.2 降雨 降雨是触发各类地质灾害的重要因素,主要是通过地表水及地下水对斜坡土体及不利结构面的作用对斜坡的稳定性产生影响^[5]。其包括以下几方面:软化作用,降雨使岩土体强度降低,尤其是对于土质斜坡,其对土体强度的改变更为明显,随着土体含水量的增加,土体抗剪强度降低, C, ϕ 值下降,抗剪强度大大降低;冲刷作用,地表水对坡脚和临空面的冲刷,为滑坡的发生提供了条件;动水压力、静水压力、浮托力等,降低了滑体的抗滑能力,并使有效应力减小。因此,降雨对滑坡等灾害的产生具有重要的影响。

3.3 典型案例分析

如前文 2.2 中所述,建瓯市地质灾害主要发育特征体现 2 类特点,第一类主要是由于地形、地质条件本身较差限制,在降雨作用下诱发灾害,如房道、迪口、龙村等乡镇;而第二类灾害点本身自然地质条件良好,但由于不合理的人类活动导致斜坡稳定性改变,从而诱发灾害,如瓯宁、芝山、通济街道等区域。下面选取龙村乡龙溪滑坡以及瓯宁街溪口滑坡作为 2 种类型的典例进行分析,滑坡基本力学参数如表 4 中所示。

表 4 滑坡基本参数概况

滑坡名称	滑体特征	重度/(kPa·m ⁻³)		抗剪强度			
		天然	饱和	天然状态		饱和状态	
				C/kPa	$\Phi/(^\circ)$	C/kPa	$\Phi/(^\circ)$
龙溪	残积砂质黏土,厚约 4 m	15.8	16.2	20.00	19.7	8.7	18.10
溪口	含碎石粉质黏土,厚约 6 m	15.9	16.5	61.92	30.1	27.7	25.77

龙溪滑坡发育于北部中低山区域,作为第一类灾害点的典例,由于斜坡本身形态特征,应力在坡肩、坡脚处已接近或达到极限状态。表层土体为 AnZs 全风化残积砂土,其黏聚力小,抗剪强度低,使得斜坡在坡肩处产生剪切裂缝,表层土体沿底部软弱基座向斜坡前缘发生蠕变,导致坡脚民房墙体变形外鼓(见图 7)。根据表 4 中试验参数,利用理正岩土软件,采用传递系数法对滑坡稳定性进行稳定性计算分析。通过计算得:斜坡在天然情况下稳定系数为 1.013,处于欠稳定状态;暴雨工况下稳定性系数为 0.913,处于不稳定状态。可见斜坡本身稳定性已较差,在暴雨条件下,土体饱和抗剪强度明显减小,达到不稳定状态。因此,自然地质环境条件差,加之降雨影响,是这类滑坡失稳的主要原因。

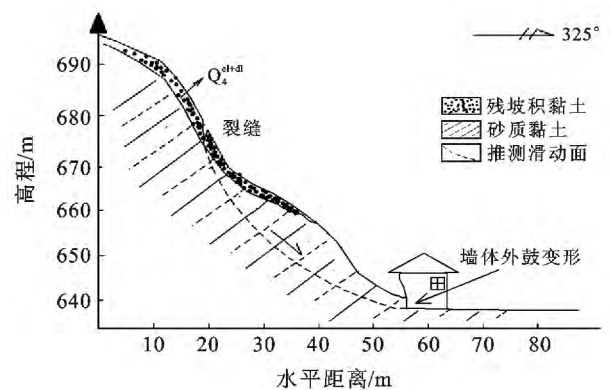


图 7 龙溪滑坡剖面示意

溪口滑坡位于地形地貌条件相对较好的市区内河谷地貌区域,作为第二类典例,本身坡形结构较稳定,同时 K1s 风化土体天然抗剪强度相对于其他类型

土体较高,天然条件良好。但斜坡前缘由于削坡建房形成了高约 7 m 的临空面,使斜坡的结构发生了改变(如图 8 所示),斜坡在 2012 年 6 月失稳产生滑坡。同样对斜坡进行定量计算得:斜坡切坡前,天然稳定系数为 1.361,处于稳定状态;暴雨工况稳定系数为 1.308,处于稳定状态;斜坡切坡后,在天然情况下稳定系数为 1.033,处于欠稳定状态;暴雨工况下稳定性系数为 1.002,处于不稳定状态。

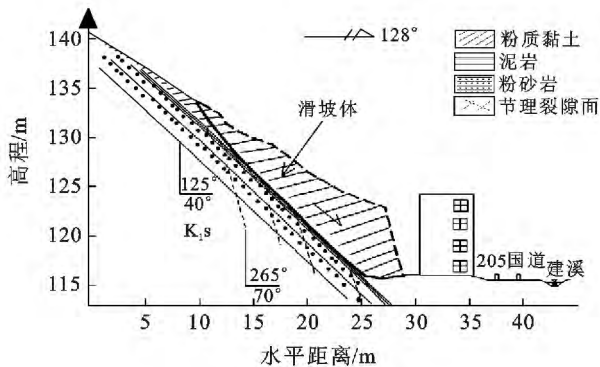


图 8 溪口滑坡剖面

可见,倘若不存在人为削坡影响,溪口滑坡的斜坡天然稳定性好,不会发生破坏,而前缘削坡使其稳定性发生了质的改变,处于欠稳定状态;另一方面,同等条件下,降雨对稳定系数造成的变化值,与同等工况下切坡前后稳定系数的变化值相比,降雨虽有影响但远比不上前缘切坡的作用。因此可见,人为切坡是溪口斜坡稳定性变化,最终产生滑坡的直接原因。

4 结论

本文在大量野外地质灾害详细调查工作数据的基础上,对建瓯市区域地质灾害发育类型、规模、分布

特征以及成因进行了研究,主要结论与建议如下。

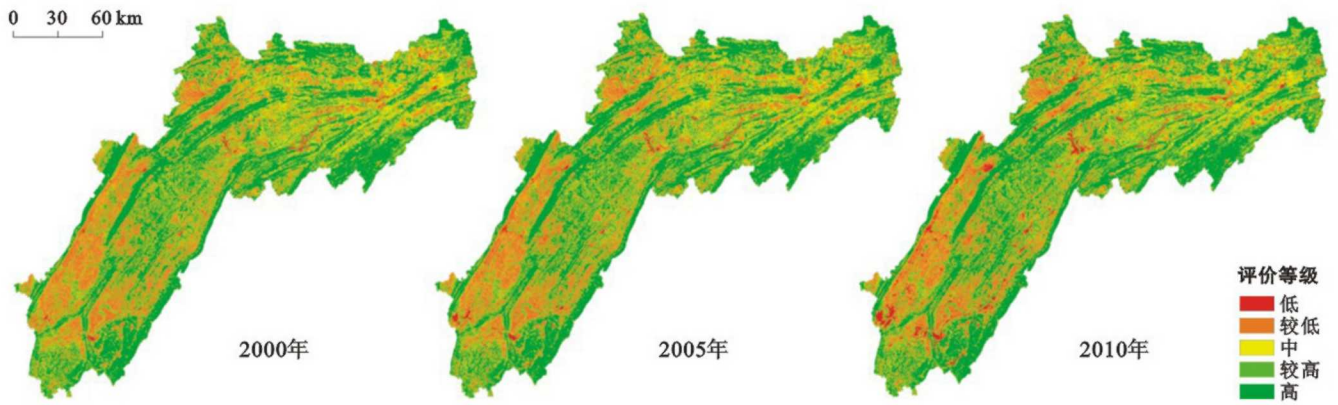
(1) 福建省建瓯市地质灾害发育类型主要为滑坡、不稳定斜坡及崩塌 3 类,其中滑坡是最主要的灾害类型,灾害主要分布于区内西南部,东北部灾点相对较少,发育特征为数量多,规模小,以损毁房屋、堵塞公路为主。

(2) 区内地质灾害成因主要是:多期次构造运动致使岩体节理、裂隙发育,易构成不稳定结构面组合;表层土以残坡积砂质黏土为主, C 值小,黏聚力低;区域地形较陡,天然条件下斜坡岩土体一般已达到或接近极限平衡状态;人为切坡及降雨条件诱发,导致斜坡变形破坏。

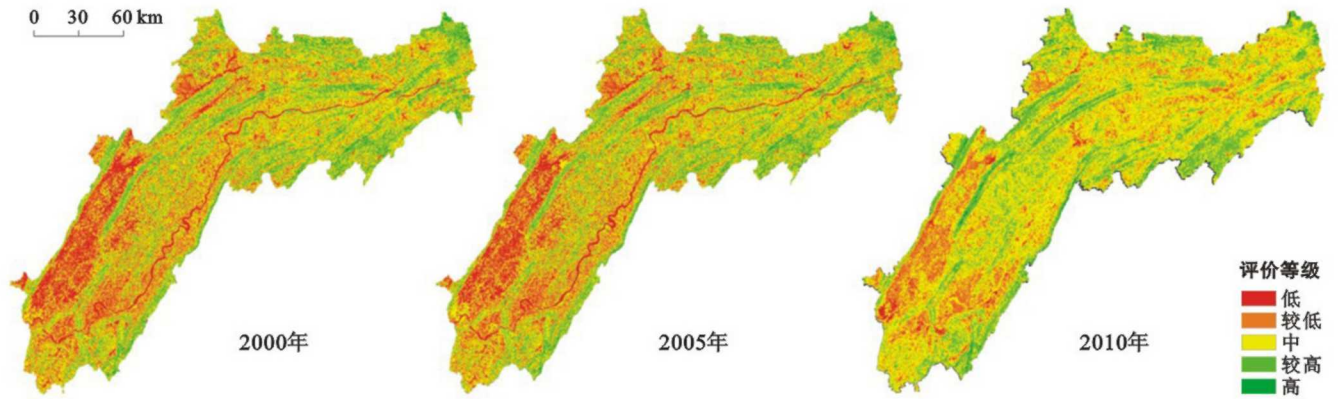
(3) 建瓯市地质灾害成因特征可分为以下 2 类:第一类主要受本身地形、地质条件较差限制,在降雨作用下诱发灾害,如房道、迪口、龙村等乡镇;第二类灾害点本身自然地质条件良好,但由于不合理的人类活动导致斜坡稳定性改变,从而诱发灾害,如瓯宁、芝山、通济街道等区域。研究区灾点成因普遍属于第二类人类活动诱发,建议相关部门完善建设用地的审批管理,同时加强群众防灾意识。

[参 考 文 献]

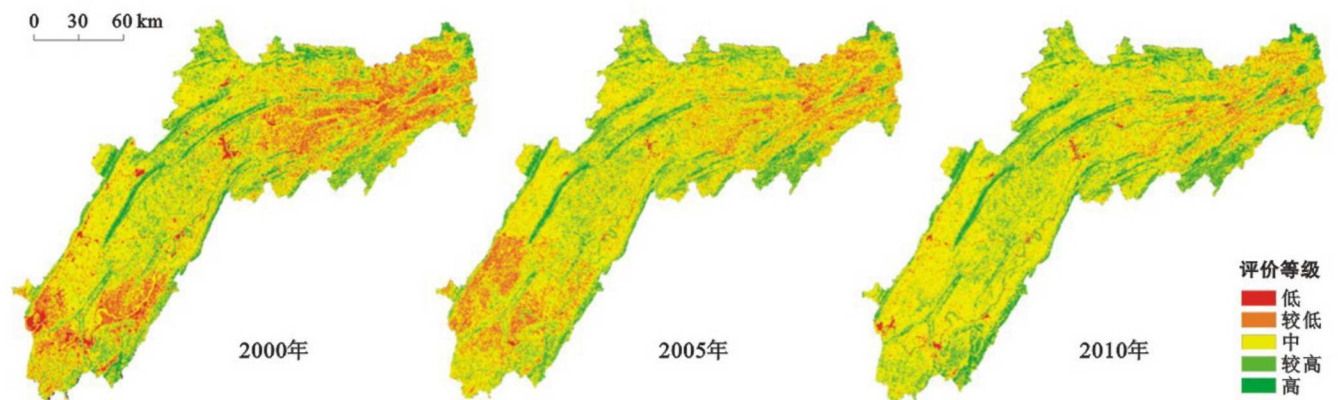
- [1] 殷坤龙,张桂荣. 地质灾害风险区划与综合防治对策. 安全与环境工程[J]. 2003,10(1):32-35.
- [2] 李明辉,郑万模,陈启国. 丹巴县地质灾害发育特征及成因探讨[J]. 自然灾害学报,2008,17(1):49-53.
- [3] 张洪信,罗阳桥,丁俊,等. 贵州省安龙县地质灾害发育特征及成因分析[J]. 地球与环境,2012(3):430-437.
- [4] 唐辉明. 工程地质学基础[M]. 北京:化学工业出版社,2008.
- [5] 方云,林彤,谭松林. 土力学[M]. 北京:中国地质大学出版社,2008.



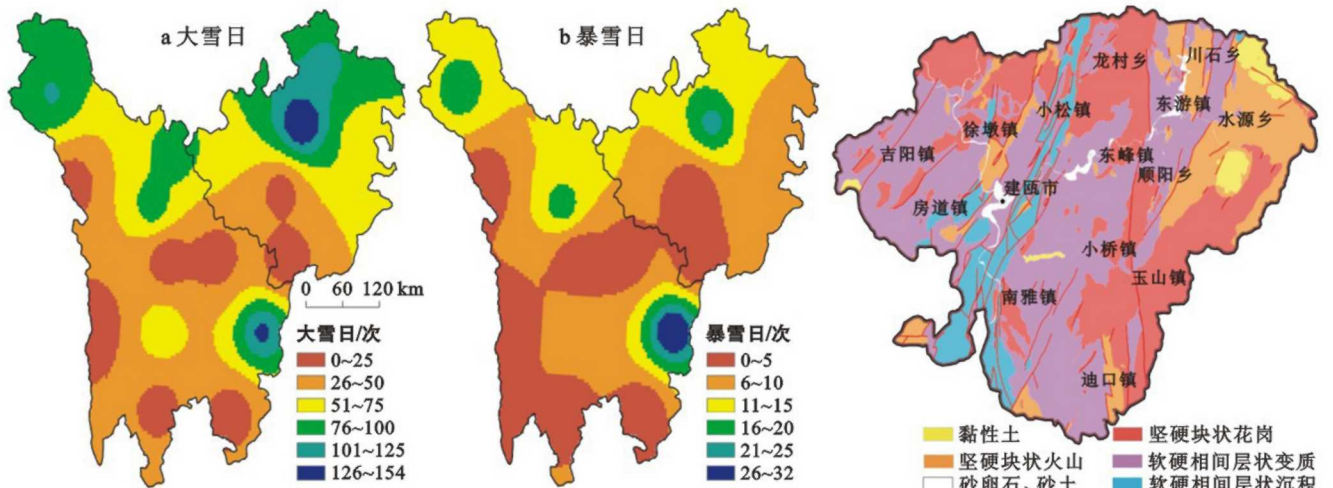
附图8 重庆市三峡库区生物多样性维持功能评价等级分布(259页)



附图9 重庆市三峡库区土壤保持功能评价等级分布(259页)



附图10 重庆市三峡库区重要生态功能区生态系统服务功能评价等级分布(260页)



附图11 1961—2012年川西高原各站点日降水量 ≥ 5 mm的大雪日和日降水量 ≥ 10 mm的暴雪日空间分布特征(263页)

附图12 建瓯市2006—2014年工程地质岩组类型分布(268页)