

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.04.008

普格县重点城镇斜坡结构类型划分 及破坏模式探讨

李浩宾¹, 冯文凯¹, 葛华², 徐伟², 吴刚¹

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要: 基于对该区域的岩组详细划分, 结合高分辨率 Worldview2 卫星影像, 使用 ArcGIS 软件生成 1:10 000 大比例尺的斜坡结构分布图和灾害点的分布规律图, 进行叠加分析, 对典型滑坡的破坏模式进行详细剖析, 研究表明: 碎屑岩和第四系堆积物易引发地质灾害, 其破坏模式以滑移-压裂或滑移-拉裂为主; 斜坡结构为土质斜坡易引发地质灾害, 土质类型斜坡主要沿基覆界面或松散堆积物中最软弱面滑下, 其破坏模式多为牵引-推移, 滑带多呈圆弧形, 岩质斜坡结构规律不明显; 通过对姚家山滑坡破坏模式进行详细剖析, 得知该滑坡破坏机制是牵引-推移模式, 并提出了该类型滑坡防治建议。

关键词: 山区重点城镇; ArcGIS; 斜坡; 结构类型; 破坏模式

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2015)04-0040-05

Discussion on the Classification of Slope Structure Types and Different Failure Modes in the Key Towns of Puge County

LI Haobin¹, FENG Wenkai¹, GE Hua², XU Wei², WU Gang¹

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection,

Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: Based on the detailed classification of rock groups and high-resolution satellite footage of Worldview2, the 1:10000 large-scale slope map and hazard distribution chart were generated by adopting ArcGIS. According to the overlaying analysis, the failure modes of typical landslide were discussed in detail. The results indicate that: fragmental rocks and Quaternary deposits cause geological disasters easily, and the main failure mode is slip-fracturing or slip-crack; on terms of the slope structures, the soil slopes are prone to geological disasters, they mainly slide down along the weakest plane of the base interface or loose deposits, and the failure mode is usually traction passage, the main slip surface is circular arc, and the rock slopes do not follow any obvious law; through detailed analysis of Yaojiashan landslide, it is drawn that the failure mode is traction lapse, and some prevention recommendations are put forward regarding to this kind of landslides.

Keywords: key towns in mountainous area; ArcGIS; slope; structure type; failure mode

普格县位于四川省西南部, 凉山彝族自治州东部, 在东经 102°26'—102°46', 北纬 27°13'—27°31' 之间。普格县境是横断山脉南段高山峡谷的一部分。

县境内乌科梁子与螺髻山东、西对峙, 中梁子纵贯其间。地貌轮廓是三山夹两谷, 峡谷相间, 南北走向, 南低北高。在中梁子两侧, 东有西洛河、西有则木河

收稿日期: 2015-04-19

修稿日期: 2015-05-14

基金项目: 国家自然科学基金(41172278); 四川省教育厅重点项目(12ZXA010); 中国地质调查局地质调查工作项目-西南山区重点城镇地质灾害调查联合资助(12120113010300)

作者简介: 李浩宾(1988—), 男, 河北邢台人, 硕士研究生, 研究方向为工程地质、水文地质及环境地质。E-mail: 294445035@qq.com

由北向南流至中梁子南段汇合而成黑水河,地震基本烈度为Ⅷ度,地震动峰值加速度为 $0.20 g$ 。而凉山州普格县作为全国滑坡灾害极高危险性等级区,具有极高易损性,属自然灾害危险性最高等级第5级,产生了不少滑坡、泥石流等地质灾害,因其分布广泛,爆发频率高,突发性强,持续危害性大等特点,严重制约着该地区的经济发展,给人类的生命和财产造成极大损害,揭示该地区地质灾害的规律及破坏模式有其迫切的现实性和必要性。

国内外学者对斜坡结构类型和地质灾害分布规律方面及斜坡变形破坏模式做了大量研究:例如冯文凯^[1]初步分析了斜坡震裂变形的基本形成机理,系统总结了斜坡震裂变形的发育特点和分布规律;殷跃平^[2]系统研究了三峡库区边坡结构类型,划分为顺层边坡、平缓软硬岩层互层边坡、滑崩堆积体边坡、溶塌角砾岩边坡、层状碎裂岩体边坡等,并对典型边坡开挖前后变形破坏过程进行了研究;杨淑贤^[3]对湖北及邻区的斜坡类型及变形、破坏机理进行了深入研究,提出了不同地貌条件下的斜坡类型及其变形破坏机理;祁生文^[4]对汶川地震极重灾区地质背景及次生斜坡灾害空间发育规律,地震次生斜坡灾害的发育规律表明,地震斜坡灾害的发生沿活动构造呈带状展布,主要受构造影响,同时也受场地条件如岩性、地形地貌等因素的控制,柴波^[5]等以巴东城区为例,分析了岩体结构控制下的斜坡变形特征;陈剑^[6]对三峡库区滑坡的时空分布特征与成因进行了探讨,认为区滑坡的发育演化明显受到新构造运动和气候变化耦合作用的控制;陈喜昌^[7]对河谷岸坡类型的划分原则与方法进行了研究;张卓元^[8]等对四川西部水电建设中的主要工程地质问题进行了研究并提出了典型岸坡的破坏模式;英国 Benfield Greig 灾害研究中心的 Kilburn^[9]等人对当前滑坡、崩塌与泥石流等地质灾害的研究方法进行了系统的分析总结;Pradhan B^[10]等人利用马来群岛的 Cameron 丘陵地带遥感数据,结合 Logistic 回归模型,运用 GIS 系统图层叠加处理对研究区的崩塌灾害做了定性分析;从工程地质的角度,分析控制或影响地质灾害发育的各类因素对系统稳定性的贡献,将其按照一定的数学方法组合、叠加;判断地质体危险性,实现地质灾害危险程度分区^[11-13]。

本文在收集普格县地质灾害资料、开展区域地质调查及对重点城镇斜坡和河谷岸坡 1:10 000 地质灾害详细调查的基础上,对普格县重点区进行了岩组划分及斜坡类型分类。

1 重点区斜坡工程地质岩组划分

通过野外调查,结合重点调查区的地质情况,在工程地质岩组类型的划分中首先将岩土体划分为岩质和土质 2 大类,然后再进行二级划分。对于岩质,按其建造类型或地质成因,又分为岩浆岩建造、变质岩建造、碎屑岩建造和碳酸盐建造 4 种类型,根据对普格县重点区的斜坡调查,可将重点区岩组划分为岩浆岩建造、碎屑岩建造和碳酸盐岩建造类型,对于碎屑岩建造和碳酸盐建造按照岩性组合特征、岩石原生结构特征和物理力学性质又进行了三级划分,划分出(4)个类。而对于第四系松散堆积层,则是按其成因划分成 5 类,即残坡积土、滑坡堆积、人工堆积、崩坡积土和冲洪积土(表 1)。

通过野外对斜坡的详细调查总结得出:斜坡岩性建造类型主要以第四系堆积物、碎屑岩建造为主;其次为岩浆岩建造、碳酸岩建造(图 1)。

按斜坡下伏基岩情况,对不同岩组地层发育的面积进一步统计分析:碎屑岩建造发育 936.13 万 m^2 ,占岩浆岩建造发育 247.86 万 m^2 ;碳酸岩建造发育 191.72 万 m^2 。

按照发育的斜坡数量统计分析:碎屑岩建造发育 50 个;岩浆岩建造发育 6;碳酸岩建造发育 7 个。

统计表明,不管从面积还是从个数碎屑岩建造都是该区域主要建造类型;定量评价了该区域上地质灾害发育类型,以滑坡与泥石流为主,崩塌基本不发育。

2 斜坡结构类型划分

斜坡结构类型的划分对于分析斜坡变形破坏特征、形成机制、稳定性都具有十分重要的意义。但影响斜坡稳定性和演化机制的因素是多种多样的,常因斜坡所处的环境不同而变化,但在众多因素中必有主要的和起控制作用的因素。通过调查分析,并借鉴前人工作经验,认为对斜坡类型划分可采用如下方法:首先根据岩土体结构将斜坡划分为岩质斜坡和土质斜坡两大类;然后对于岩质斜坡根据斜坡岩体主要层状结构面倾向、倾角与斜坡倾向、倾角之间的关系,不同岩性组合的岩体力学强差异等方面进行亚类划分(图 2)。对于土质斜坡亚结构类型的划分主要根据组成土质斜坡的物质成份、成因及结构特征将工作区划分为三类:冲洪积土质斜坡;崩坡积土质斜坡;残坡积土质斜坡。

表 1 普格县重点调查区斜坡岩组划分

岩土类型	建造类型	工程地质岩组	工程地质特征	易发灾害	代号
岩质斜坡	岩浆岩建造	坚硬块状玄武岩为主岩组	工程地质问题构造和风化作用下,岩体倾倒、剥落或剥离	崩塌	P_3em
	碎屑岩建造	坚硬厚层状石英砂岩、粉砂岩	受结构切割	崩塌	T_3bg, J_1-2Y, J_2x
		软硬相间层状粉砂岩、泥岩旋回层	泥质或钙质胶结,岩组结构疏松,遇水易崩解、软化	滑坡 泥石流	T_3bg, J_1-2Y, J_2x
碳酸岩建造	软硬相间层状碳酸盐	碳酸岩纯度不高,岩溶发育,夹碎屑岩和变质岩,软弱夹层容易诱发滑坡	滑坡	P_2y, S_1d, P_1^{q+m}	
土质斜坡		残坡积堆积	基岩经风化破碎,未经搬运	滑坡泥石流	Q^{del}
		滑坡堆积	重力,地表水流及地下水作用下,松散碎屑物经搬运-沉积或岩快滑动,崩滑形成的沉积物	滑坡 泥石流	Q^{del}
	第四系堆积物	人工堆积	人类的工程活动,修建房屋,工程弃土,随机回填,松散沉积物	滑坡 泥石流	Q^{ml}
		崩坡积堆积	分布于斜坡顶部及坡麓平缓地带表层	滑坡泥石流	Q^{col}
		冲洪积土	中山向河谷过渡的山前斜坡-阶地-宽缓河谷地貌	滑坡 泥石流	Q^{al}

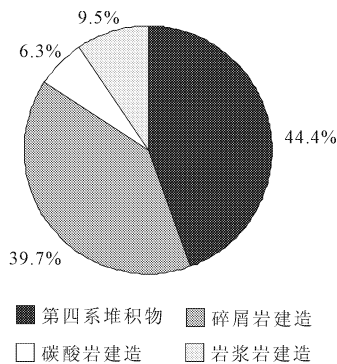


图 1 各岩组所占比例

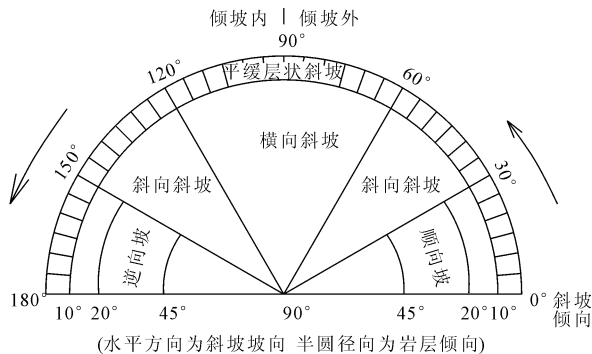


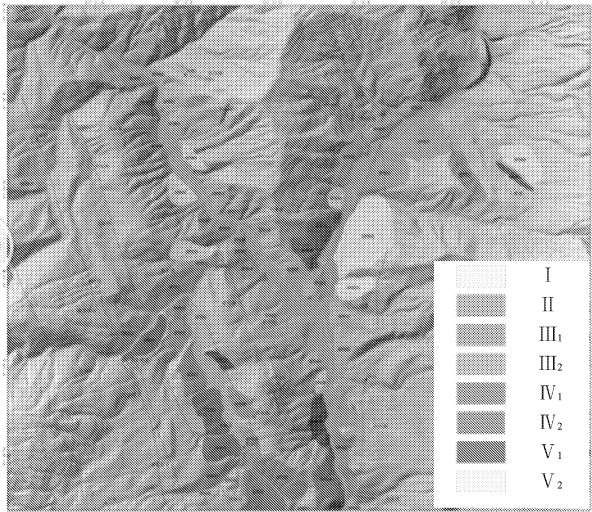
图 2 斜坡结构型划分图(据刘汉超等有修改)

通过野外详细调查收集资料,结合高分辨率 Worldview2 卫星影像,做出普格县重点区斜坡结构类型 DEM 分布图(图 3),共标识斜坡 63 个,其中土质斜坡 33 个,岩质斜坡 28 个(图 4),岩土复合斜坡 2 个。从图 3 中看出斜坡主要分布在则木河、西洛河及黑水河及省道 212 公路两侧,其分布结构类型,

从中看出横向斜坡主要分布在图幅的下方,黑水河两侧,沿穿过县城 S212 省道两头零星分布,逆向层状斜坡主要分布在则木河左岸,西洛河右岸一段及西洛河与则木河交汇处,对其又进行了分类,分为中倾内逆向层状斜坡、缓倾内逆向层状斜坡。斜向层状岸坡主要零星分布在工作区域内,无规律性,又将其分为斜向倾内层状斜坡,斜向倾外层状斜坡。顺向岸坡主要分布在则木河右岸,西洛河左岸零星分布,又将其分为缓倾外顺向层状斜坡、中倾外顺向层状斜坡。

3 普格县重点区地质灾害分布规律

通过野外详细调查收集资料,结合高分辨率 Worldview2 卫星影像,将研究区内经过实地调查的 39 个灾害点的位置、形状、边界、面积等进行了标识,使用 ArcGIS 软件^[14-15]生成了 1:10 000 大比例尺的研究区灾害类型分布图(图 5)。从图 5 中可以看出:重点区域发生地质灾害主要以滑坡、泥石流为主,不稳定斜坡,崩塌发育较少,地质灾害发生主要分布在花山乡的友谊村、红星村、联合村,普基乡的顺河村、正街村、新农村,向阳乡的康复村、森科洛村、流租脚村,永安乡洛乌村、三坝村等,主要分布在花山乡、普基乡一带;从小区域构造特征上看主要沿则木河断裂、黑水河断裂及西洛河断裂展布;从地貌特征上看主要沿河流发育,分布在河流两侧,其中滑坡发育 33 处,泥石流发育 5 处,不稳定斜坡发育 1 处。



I - 土质斜坡; II - 横向斜坡; III₁ - 缓倾外顺向坡; III₂ - 中倾外顺向坡; IV₁ - 缓倾内逆向坡; IV₂ - 中倾内逆向坡; V₁ - 斜向倾内斜坡; V₂ - 斜向倾外斜坡

图 3 研究区 1:10 000 斜坡结构类型图

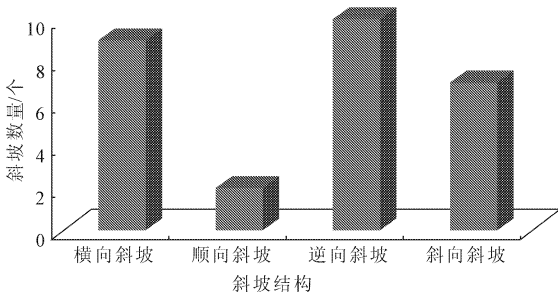


图 4 不同斜坡结构类型下斜坡数量统计表

4 重点区斜坡易失稳岩组建造类型及破坏模式

4.1 重点区域斜坡易失稳岩组建造类型与结构类型

根据斜坡地质灾害分布图与岩组类型、斜坡结构叠加分析,斜坡灾害多发生在建造类型为第四系堆积物和碎屑岩建造;土质类型斜坡是斜坡易发结

构,由于该地区岩质斜坡发生灾害数量较少,岩质斜坡结构规律不明显。

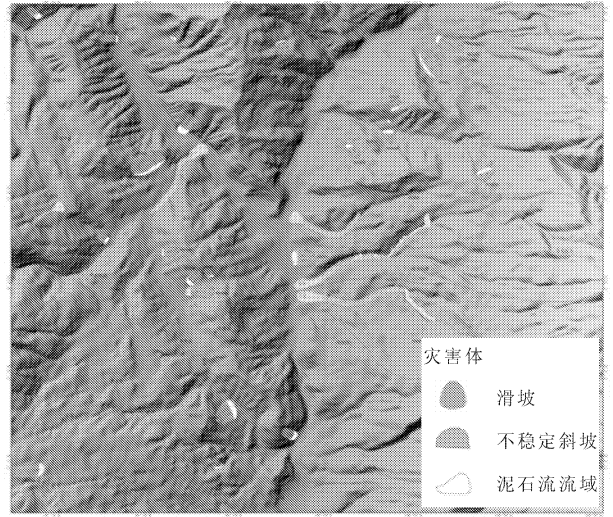
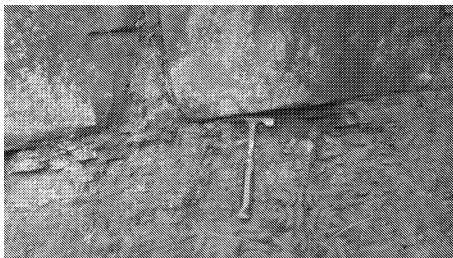


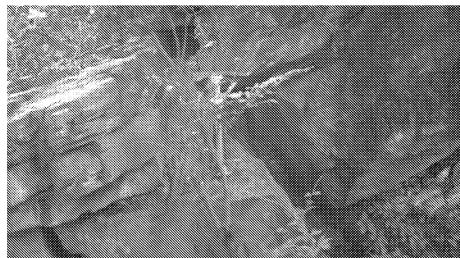
图 5 研究区 1:10 000 地质灾害分布

4.2 易滑地层破坏模式探讨

重点区域多数滑坡发生在软硬相间的层状斜坡和土质斜坡中,原因主要是碎屑岩层状斜坡由于构造的影响,抗风化、抗侵蚀能力差,其稳定性较差,加上软弱岩层(白果湾组泥岩夹层)或裂隙为滑坡提供滑动面。层状结构发育地段,地下水溶蚀风化后形成的软弱面(图 6(a)),演化过程依次为,最软弱结构面滑移与嵌合点开始破坏,阶梯状裂面自下而上发展直至贯通,相互嵌合的突出部分累计性破坏,或由自下而上,直至贯通(图 7)。破坏模式多呈滑移-压裂或滑移-拉裂,如图 6(b)所示。第四系堆积物或碎石土层,由于河流深切,坡脚冲刷,坡度较陡,坡顶加载等,外营力作用下,导致斜坡失稳。由于第四系堆积物为均质体,无起主导作用的软弱结构面,滑带呈圆弧形破坏模式多数为牵引-推移,如姚家山滑坡(图 8)。



(a) 泥化夹层



(b) 花山乡西洛河左岸不稳定斜坡

图 6

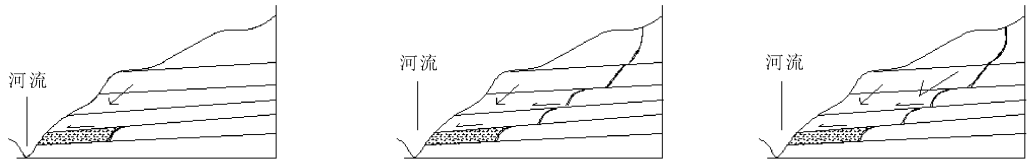


图 7 碎屑岩顺向层状斜坡滑移 - 压裂变形过程

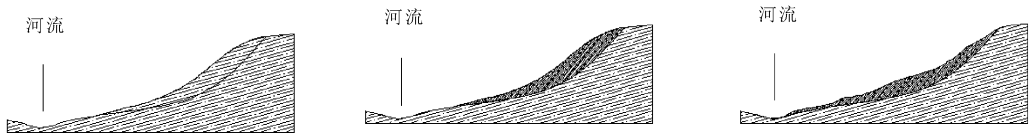


图 8 土质斜坡变形过程

4.3 典型滑坡破坏模式剖析

地质体的稳定性,其实就是一个力的平衡问题,受岩土结构、物质成分及环境因素控制,滑坡环境因素包括内在条件因素和外在因素,内在因素主要是动力作用破坏岩体的完整性,改变其结构和力学性能,外在因素表现为对滑坡岩体的加载、降雨,通常情况下是降低滑坡体的稳定性能。一旦环境因素的变化打破了坡体物质、结构条件共同形成力的平衡,则诱发滑坡产生或复活,以姚家山滑坡为例,对变形破坏经历了四个时期进行剖析:

酝酿期:滑坡位于则木河断裂破碎带内,该断裂为活动断裂,4.7级以上地震频繁发生,复活的断层运动使斜坡应力场不断改变,坡体出现量值和方向不断调整变化的反复拉剪作用,遭受强烈的构造作用和风化作用,基岩必然存在着软的结构面,坡体形成多处拉裂缝,后期拉裂缝继续扩展深化;岩体结构面强度衰减,长期风化后形成坡面堆积较厚的碎石土,残余强度仍可以使斜坡处于稳定状态,未发生滑动。

发展期:处于稳定的斜坡在暴雨作用下,坡体稳定性进一步恶化。一方面,人工对坡面耕地灌溉和暴雨的联合作用下,入渗至坡体内,增加坡体自重,在长期雨水浸泡影响下,使土体软化,强度降低;另一方面雨水沿裂缝下渗,空隙由于排水不畅,可能临时充水达到一定高度,沿空隙及滑动面产生空隙水压力,使斜坡底部产生潜在滑移面,斜坡整体处于欠稳定状态,但未发生明显的滑动。

形成期:在斜坡前缘河流冲刷,前缘坡变陡,坡体原有的平衡被打破,启动了斜坡体上软弱层,诱发了滑坡,其破坏模式为牵引 - 推移。

老年期:滑坡不断蠕滑变形,滑坡形态特征逐渐难以识别,斜坡坡度逐渐变缓并稳定下来。

通过对该类型滑坡形成机制分析,对该类型滑坡提出以下几点防治建议:(1) 斜坡表层旱地退耕还林;(2) 斜坡局部雨季表层土受雨水汇集后冲刷作用强烈,建议修建截排水沟;(3) 对坡脚岸坡进行护坡处理,减少河流强烈的冲刷作用;(4) 采用抗滑桩对滑坡体进行支挡治理。

5 结 论

本文系统研究了普格县重点区域工程地质岩组类型划分;确认重点区域斜坡结构类型主要分为土质斜坡、岩质斜坡和岩土复合斜坡,地质灾害从区域构造特征上主要沿则木河断裂、黑水河断裂及西洛河断裂展布,从地貌特征主要沿河流发育,分布在河流两侧。

根据斜坡地质灾害分布图与岩组类型、斜坡结构叠加分析,斜坡灾害多发生在建造类型为第四系堆积物和碎屑岩建造;土质类型斜坡是斜坡易发结构,由于该地区岩质斜坡发生灾害数量较少,岩质斜坡结构规律不明显。

通过对本区域易发岩组及结构类型的破坏模式进行探讨,软硬相间碎屑岩建造类的层状斜坡破坏主要沿风化后形成的软弱面或裂隙发育面滑动,破坏模式以滑移 - 压裂或滑移 - 拉裂为主;土质类型斜坡主要沿基覆界面或松散堆积物中最软弱面滑下,破坏模式多为牵引 - 推移,滑带多呈圆弧形。

参考文献:

- [1] 冯文凯,黄润秋,许 强.斜坡震裂变形发育分布规律及危险性分析[J].成都理工大学学报,2010,37(6):679-684.
- [2] 殷跃平.三峡库区边坡结构及失稳模式研究[J].工程地质学报,2005,13(2):145-154.