

青藏高原东缘中段地质灾害空间分布特征分析

孟 晖¹ 张岳桥² 杨 农²

(1. 中国地质环境监测院 北京 100081
2. 中国地质科学院地质力学研究所 北京 100081)

摘要:利用调查获得的滑坡数据资料,结合野外实地考察,对川西高原岷江、大渡河和安宁河流域滑坡发生的海拔高程、地形坡度和坡高等参数进行了统计分析,并将这些统计结果与深切河谷地貌特征进行对比分析。结果表明,岷江上游、安宁河流域的滑坡高程主要集中在1 500~2 000 m,大渡河流域滑坡主要发生在海拔高程1 000~1 500 m和1 500~2 000 m。滑坡发生的地形坡度主要分布在15°~35°,岷江流域有45.21%滑坡发生在地形坡度35°~55°处;大渡河和安宁河流域滑坡主要集中在地形坡度15°~45°之间。分析指出,川西高原绝大部分滑坡主要发生在河流“V”型谷地中,并受深切河谷地形地貌形态特征的控制。晚第四纪时期青藏高原快速隆升主导了河谷的深切作用,成为青藏高原东缘群发性地质灾害发生和分布的主要内动力控制因素。

关键词:滑坡;岷江上游;大渡河;安宁河;深切河谷

中图分类号:P694 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2004)02-0218-07

青藏高原东缘是中国最重要的地势陡变带,也是新构造运动和外动力营力作用极其活跃的地带^[1-3]。调查表明,青藏高原东缘是群发性地质灾害的高发地带,尤其沿地貌边界带中南段,是中国滑坡、崩塌和泥石流等突发性地质灾害最严重的地区之一^[3-6],四川省历史上地震滑坡和大型滑坡堵江事件多发生在这些地区^[5-6]。

地质灾害的形成受多种因素的控制^[7-9],而气象条件、内动力地质作用、外动力地质作用等这些因素的相互耦合成为群发性地质灾害发生的主要原因。本文以川西龙门山地区滑坡地质灾害现象的相关参数统计分析为基础,以深切河谷地形地貌特征分析作为切入点,以岷江上游、大渡河和安宁河流域为基本单元,讨论滑坡发生的空间分布特征,探讨研究区滑坡发生的地形地貌控制因素及其与青藏高原东缘新构造运动的内在联系。

研究区有较多正在建设或规划的重要水利工程,如紫坪铺、溪洛渡水利工程等,研究滑坡发生的空间分布特征,可以为当地水利工程建设或水库蓄水前后滑坡危险性评价提供依据,具有重要的现实意义。

1 滑坡空间分布特征分析

笔者利用了2个地质灾害数据资料库:一个是中国科学

院20世纪90年代建成的滑坡数据库系统^[9],另一个是国土资源部2002年底以前完成的“县市地质灾害调查”项目中的地质灾害调查与信息系统成果。图1展示了研究区滑坡地质灾害点分布。由此可以看出,严重滑坡发育地区有岷江上游松潘—汶川县、大渡河康定—金口河区、雅砻江下游区、安宁河冕宁—攀枝花的攀西地区等。

通过滑坡发育环境——地层岩性、地质构造、地形、植被以及外部触发因素的描述,可加强滑坡形成对环境选择性的认识^[9]。对于区域性群体滑坡,其易滑地层,多发构造部位,多发地形组合,以及植被覆盖度等,将会得到很好的体现。笔者主要对下列地形参数进行了统计分析:原始坡度、原始坡高、滑坡高程等。原始坡度是指发生滑坡前斜坡的地形坡度;原始坡高是斜坡的地形坡高;滑坡高程是滑坡后缘顶或滑坡冠的海拔高程。

1.1 岷江上游

岷江上游地处川西高原东北边缘。岷江河谷深切岷山、龙门山、邛崃山等,向西与若尔盖高原相邻。该区山峰海拔4 500~5 000 m,主峰雪宝顶5 588 m,四姑娘山6 250 m,霸王顶5 551 m。岷江上游最大的地貌特点是山高、谷深。深切河谷边坡陡峭,为滑坡、崩塌等地质灾害的发生提供了必

收稿日期:2003-08-22;改回日期:2003-12-23

基金项目:国土资源十五重点基础研究项目(20010202)资助。

作者简介:孟晖,女,1962年出生,教授级高级工程师,主要从事地质灾害调查和评价研究工作;E-mail:mengh@mail.cigem.gov.cn。

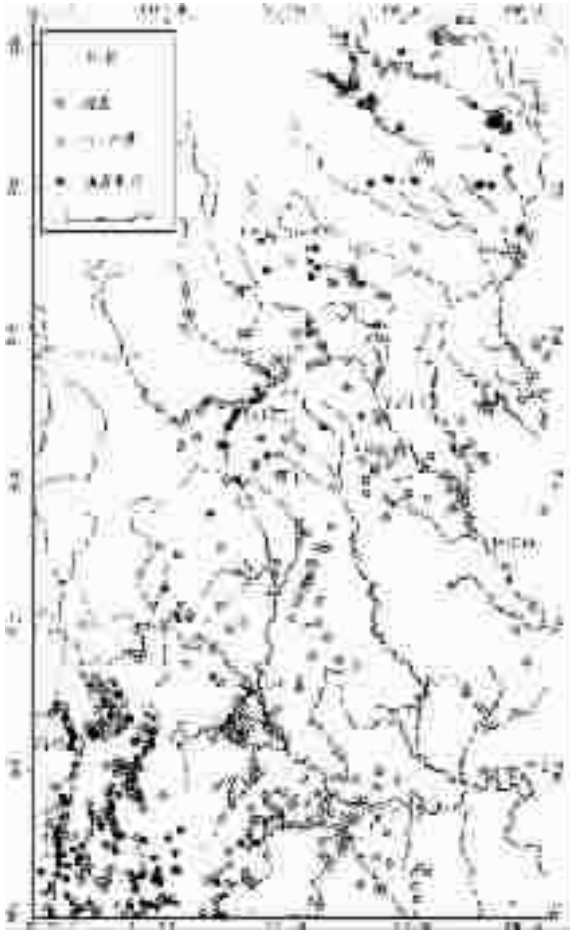


图 1 研究区滑坡分布图

Fig. 1 Distribution of Landslides in the studied area

要的临空面条件。

岷江上游山地由浅变质砂岩、板岩、千枚岩、灰岩、花岗岩、变质杂岩等组成,地质构造复杂。新构造运动使大部分地区强烈隆升,河谷深切。气候、植被明显垂直分带,地貌类型及其形态特征也呈现垂直分带现象。约以海拔 3 800 m 线为界,上下地貌类型截然不同。在海拔 3 800 m 以上,以发育冰川地貌为主,冰斗、槽谷、角峰、石海等比比皆是。3 800 m 以下,以线状侵蚀地貌为主,线沟、细沟、冲沟等密集排列。居民点主要分布在深切河谷之上的缓山坡地带或深切河谷的谷地中。地质灾害主要发生在陡峻的谷坡地带,严重的滑坡段有汶川—映秀段、茂县迭溪段、黑水河下游段、杂谷脑河米亚罗以下地段等。

自都江堰市至松潘岷江上游 330 km,其一级支流有杂谷脑河和黑水河。统计结果表明(表 1),流域内有滑坡(崩塌)362 处。其中规模最大的是汶川县南新乡凤毛村岷江左岸周仓坪滑坡,滑塌体的体积达 3 000 万 m^3 ,它多次滑动,对岷江沿岸的公路交通影响极大。滑坡密集区主要分布在岷江主干流汶川—较场段,该段长 100 km,发生滑坡、崩塌 194 处,平均 2

处/km,滑坡、崩塌的总体积量达到亿 m^3 ,平均 150 万 m^3 /km。1933 年 8 月 25 日茂县叠溪发生的 7.5 级地震诱发的大规模崩塌、滑坡群分布在这个区段内,其中规模最大的是叠溪滑坡,南北长 2.5 km,东西宽 1.8 km,滑坡后壁高 100 m,体积约 1.5 亿 m^3 ,在后部形成深 15 m、宽 50 m 的滑坡洼地。该滑坡使 5 000 余人的叠溪古镇被埋于卵石之中,崩入岷江,形成长 800 m、宽 170 m、高 160 m 的大海子拦江大坝,至今水深 98 m,库容量 7 300 万 m^3 。岷江上游的滑坡次密集区主要是岷江支流杂谷脑河流域,从河口至理县的河流两岸及支沟中分布有滑坡、崩塌 29 处,其中有 1989 年 6 月发生在理县农家乐乡日底寨村杂谷脑河右岸的 50 万 m^3 滑坡,该滑坡位于泥盆系危岩群碳质千枚岩地层中,造成 7 人死亡,20 人受伤,毁坏公路 300 m。岷江上游的滑坡低密集区在黑水河流域,有较大规模崩塌、滑坡 11 处,主要分布于上游的毛儿盖河及小黑水河中下游段,其中较大规模者有 1991 年 8 月 23 日发生在白溪乡的崩塌,其崩塌量达到 10 万 m^3 。

滑坡点参数统计结果表明(图 2),位于灌县以北的岷江上游地区,滑坡、崩塌等地质灾害主要分布在深切河谷地段。滑坡一般发生在河谷斜坡坡度 $15^\circ\sim 35^\circ$ 和 $35^\circ\sim 55^\circ$ 地段,占滑坡总数的 90.8%,在斜坡坡度 $15^\circ\sim 35^\circ$ 范围内最发育,占总数的 49.3%(图 2); 90% 以上的滑坡发生在海拔高度 1 500~3 000 m,并以海拔高程 1 500~2 000 m 的滑坡最频繁,大于 3 000 m 高程的地方没有滑坡点记录。这种滑坡点高程分布特征不仅反映了滑坡主要受深切河谷地形地貌的控制,同时也可能对高海拔高程的滑坡缺乏相应的调查和记载。滑坡坡度反映了滑坡个体特征,多集中在 $25^\circ\sim 40^\circ$,占总数的 67.1%,其中有 32.9% 滑坡坡度在 $35^\circ\sim 40^\circ$ 。

1.2 大渡河

大渡河发源于川西高原邛崃山—大雪山地区,干流由北向南流经至石棉折向东,构成“L”字型。根据河床纵坡降比和河谷两侧构造地貌发育特征,将大渡河分为上、中、下 3 段。上段是典型的“V”字型侵蚀河谷,沿河谷很少有堆积地貌发育,河床海拔高度 1 500~2 000 m。中、下段分别对应南北和东西向河谷段,河谷呈 V 字型,海拔高程 2 000 m,谷深为 700~1 400 m,谷地中发育 6 级河流阶地^[9-10]。大渡河干流中段沿大渡河断裂带发育,这是一个地形地貌陡变带,它构成了青藏高原的东部边界。以西地区为高山区,平均海拔高度大于 5 000 m,笔架山为 6 070 m,贡嘎山 7 556 m,河谷与山顶面之间高差大于 4 500 m。东部地区为大相岭中高山区,平均海拔 3 500 m,最高峰 4 021 m,河谷与山顶面之间的相对高差 3 000 m。

大渡河上游山地由浅变质砂岩、板岩、千枚岩、灰岩、花岗岩、变质杂岩等组成,下游山地主要由灰岩、变质岩、玄武岩、砂岩等组成。大渡河及其主要支流的深切河谷地段成为滑坡、崩塌等地质灾害的主要场所。

统计结果显示(表 2),大渡河流域内滑坡有 273 处,累计方量 11.3 亿 m^3 。主要集中在康定—石棉、汉源、甘洛—越西和乐山段。巨型滑坡主要发生在支流牛日河,其他地区以

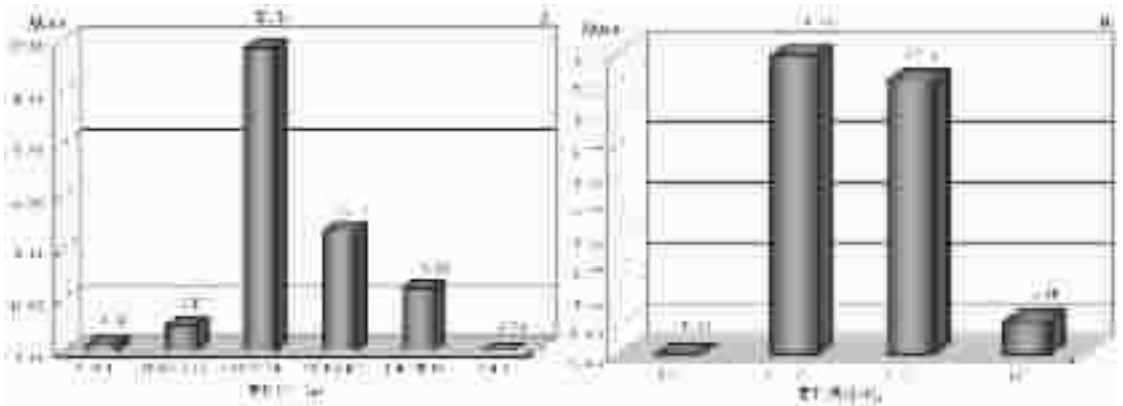


图2 岷江上游滑坡发生的海拔高程(A)和原始坡度(B)统计

Fig. 2 Histograms of the elevations above sea level (A) and original slopes (B) of the landslides along the upper reaches of the Mingjiang River

表1 岷江上流滑坡(崩塌)规模分布与地貌条件^①

Table 1 Number and size of landslides (collapses) and morphological conditions along the upper reaches of the Minjiang River

地段	数量及规模										地形地貌条件	
	滑坡(处)					崩塌(处)						合计
	巨型	大型	中型	小型	小计	巨型	大型	中型	小型	小计		
都江堰—映秀 —玉龙	2	6	18	1	27	3	7	9	3	22	49	龙门山前中低山向高中山区过渡,河谷逐渐深切,谷坡陡峭,达30°以上 呈不对称宽谷,谷宽300~500m,两侧岸坡,西坡坡度36°~39°,东坡沟谷发育谷坡18°~27°
汶川—茂县	27	50	28	18	123	3	3	11	8	25	148	
石大关—较场 —水塘	4	7	2	3	16	8	1	16	5	30	46	呈对称的“V”型河谷,谷宽100m,两岸谷坡40°~55°,迭溪地震形成的海子至今存在
杂谷脑河理县 上游	4	6	8	1	19	2	2	4	2	10	29	杂谷脑河呈对称的“V”型河谷,谷宽200m,谷坡40°~50°
黑水上游、水塘 —松潘—漳腊	12	22	4	13	51		1	14	22	37	88	岷江河谷逐渐从峡谷变为蛇曲,谷坡从40°~50°变为10°~20°
合计	49	91	60	36	236	16	14	54	42	126	362	

注:滑坡规模巨型为>1000万m³,大型为100~1000万m³,中型为10~100万m³,小型为<10万m³。

大中型滑坡为主。其中灾情较严重的有汉源大树镇新村三组的新村滑坡,该滑坡位于大河沟右岸斜坡前缘,滑床为上新世至早更新世昔格达组半固结的泥质粉砂岩、泥岩、粉砂质泥岩,粉砂岩互层,滑坡后缘标高1080m,前缘为一深大断裂。受到降雨诱发,现仍处于不稳定状态。

人类活动引起的滑坡有石棉县迎政乡前进村滑坡群,它位于前进村文桥沟右岸,1989年7月第一次活动以来,每年雨季都有不同程度的活动。1997年8月2日下午,暴雨诱发500m³滑坡体。该滑坡发育于侏罗系下统白果湾组,滑体下的煤层厚0.3~0.4m,有7家小煤窑进行井硐开采。调查表明,滑坡边界范围与地下采空区基本一致。

根据现实调查获得的滑坡资料数据统计结果(图3),沿大渡河深切河谷发育的滑坡,其原始斜坡坡度集中在15°~35°,占滑坡体总数的78.3%;滑坡发生的海拔高度主要

集中在1000~1500m和1500~2000m,海拔大于3000m的滑坡体数量极少。大部分滑坡发生的原始坡高小于300m,少部分在400~700m。

大渡河干流滑坡显示不对称分布特征。据县市地质灾害调查,在石棉县滑坡大多发生在右岸,左岸相对较少,178处地质灾害中有126处分布于右岸,占总数的70.79%,而左岸的地质灾害共计52处,占总数29.21%。

1.3 安宁河

安宁河发育于攀西地区大凉山—螺髻山,是金沙江重要支流。根据河谷形态和阶地发育特征,安宁河干流河谷分为南北3段。冕宁以北的上游段河谷深切康滇地轴基岩之中,河谷谷地海拔高度2000~2200m,与东侧分水岭小相岭山顶面之间的相对高差2500~2700m,与西侧分水岭山顶

①四川省地质矿产局成都水文地质工程地质队,岷江上游水文地质工程地质综合调查报告,1990。

面之间高差达 2 500 m。在冕宁地区,河流发育 5 级阶地^[11-12],其中 I、II 级为堆积阶地,拔河高度分别为 5~7 m 和 15~20 m,IV、V 级为基座阶地,拔河高度分别为 55~75 m 和 110~130 m。V 级阶地基座为昔格达组地层,阶地上沉积有红色砂砾层。中游段位于冕宁与德昌之间,河床发育在平坦的谷地之中,谷地中间宽,两头窄,最宽处 8~10 km,一般 3~5 km,谷地海拔高度 1 400~1 700 m,河床纵坡降比 3‰,与东西两侧分水岭之间平均相对高差 2 300 m,最大高差位达 3 000 m。发育 5~6 级阶地,I、II 和 III 级为堆积阶地,拔河高度分别为 2~5 m、12~20 m 和 35~50 m;IV、V、VI 为基座阶地,拔河高度分别为 60 m、100~120 m 和 170 m,基座为昔格达组地层。位于德昌以南的下游段河谷形态不规则,下切侵蚀作用强烈,堆积作用弱,谷地狭窄,海拔高程为 1 100~1 300 m,河床纵坡降比 3‰,与东侧分水岭之间的高差为 2 400~2 600 m。河流发育 5~

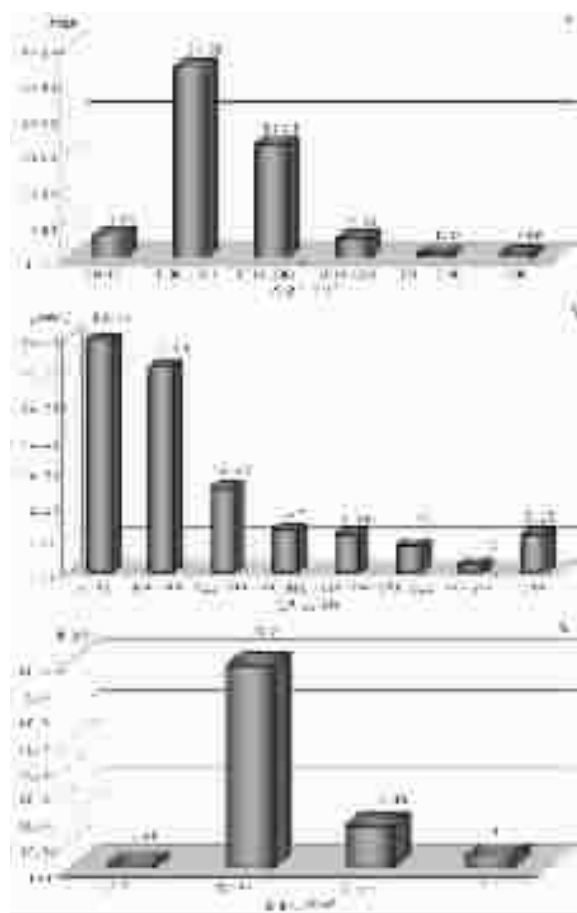


图 3 大渡河流域滑坡发生的海拔高度和地形参数统计
A—滑坡高程统计;B—滑坡原始坡高统计;C—滑坡原始坡度统计

Fig. 3 Histograms showing the main topographic parameters and elevations above sea level of the landslides along the Dadu River

A—Elevations above sea level of the landslides; B—Height of the original slopes of landslides; C—Original slope of the landslides

表 2 大渡河流域滑坡规模统计
Table 3 Statistics of the size and number of landslides along the Dadu River

	巨型	大型	中型	小型	小计
乐山		5	6	22	33
甘洛—越西	25	62	26	1	114
汉源	1	21	49	19	90
石棉	26	5	11	20	36
合计		93	92	62	273

表 3 安宁河流域滑坡规模分布
Table 4 Statistics of the number and size of landslides along the Anning River

	巨型	大型	中型	小型	小计
冕宁	4	31	15	25	75
西昌		6	12	19	37
德昌	4	10	5		19
米易	7	26	6	1	40
合计	15	73	38	45	171

6 级阶地,除了个别地点以外,大部分阶地为基座阶地,基座为变质岩、花岗岩或昔格达组地层,拔河高度分别为 7~22 m、20~30 m、45~50 m、75~85 m、100~130 m 和 160 m。

安宁河流域地质灾害发生与深切河谷地貌特征和断裂活动性关系密切。流域滑坡多发生在河谷两岸,沿水系网络分布,滑坡规模巨大,其方量可达数亿立方米,在国内外罕见(表 3)。

安宁河流域滑坡 171 处,累计方量 6.99 亿 m^3 ,分布密度较大。其中规模较大的有冕宁县城厢镇刹叶马村冷渣沟滑坡碎屑流,总方量达 4 500 万 m^3 。它先在照壁山坡中上部发生高位岩质特大型滑坡(滑坡后缘高程 2 300 m),之后部分滑体破碎分解进入冷渣沟,在惯性和重力的作用下,顺沟向下高速运动,演化成碎屑流,冲入安宁河,使安宁河河道堵断并形成 80 万 m^3 的积水。

根据现实调查资料,规模较大的米易县四坊乡黄草坪村黄草坪滑坡,1986 年 8 月 1 日由降雨和地震诱发,滑坡后缘高 1 700 m,体积 384 万 m^3 ,发育于上三叠统白果湾组砂泥岩,原始斜坡坡度 26°,坡高 600 m,毁坏耕地 500 亩、房屋 200 间、公路 200 m。

滑坡资料数据统计结果显示(图 4),滑坡集中发育在原始坡度 15°~35°地段;滑坡发生的海拔高程主要在 1 000~2 000 m,其次为 2 000~3 000 m,大于 3 000 m 的滑坡没有记录;滑坡发生的原始坡高在小于 200 m 和 300~600 m。

2 滑坡发生的控制因素分析

川西是新构造运动强烈的地区。晚新生代以来,尤其是晚第四纪以来高原快速抬升使地貌边界带河流发生深切作用,为群发性地质灾害的发生提供了地形空间基础;而暴雨、地震等内外动力作用成为地质灾害发生的主要诱发因素。下面主要从深切河谷的地形地貌特征和谷地中沉积物类型等

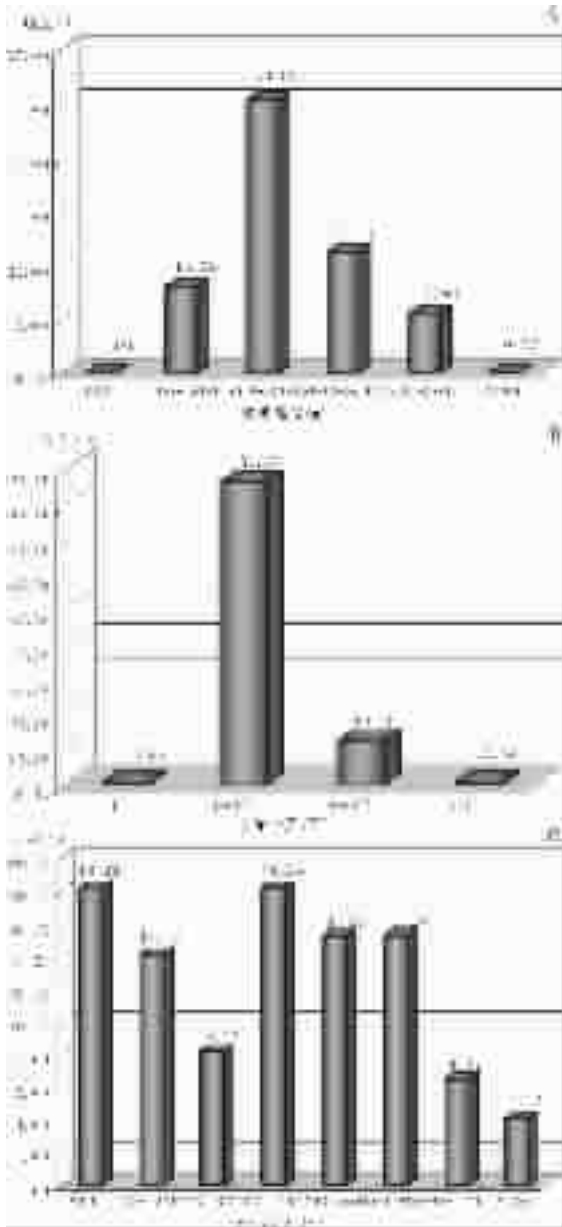


图4 安宁河流域滑坡发生的地形参数和海拔高度统计
A-滑坡高程统计;B-滑坡原始坡高统计;C-滑坡原始坡度统计

Fig. 4 Histograms showing the main topographic parameters and elevations above sea level of the landslides along the Anning River
A-elevations above sea level of the landslides; B-heights of the landslides; C-slopes of the landslides

探讨滑坡发生的控制因素。

2.1 深切河谷地形地貌对滑坡的控制作用

根据川西高原3大流域(岷江上游、大渡河、安宁河)滑坡资料的初步统计结果,结合深切河谷地形地貌特征分析,绝大部分滑坡发生的海拔高程受深切河谷地形和地貌的控

制,“V”字型深切河谷成为川西滑坡发生的最重要场所。图5展示了这3条河流干流的横切地形剖面。可以看出,“V”字型河谷肩部之上为宽阔的坡谷带,河流下切深度较浅,发生滑坡的频率和规模大大小于“V”字型河谷内。区域研究表明,“V”字型河谷的海拔高度,沿岷江上游中南段位于2500和3000m之间,沿大渡河段在2500m和2000m之间,沿安宁河则小于2000m;“V”字型河谷切割深度,沿岷江上游中南段为1000~1500m,沿大渡河中下游段为700~1400m,沿安宁河段为300~600m。可以说,深切河谷地形地貌特征控制滑坡的发生是川西高原、尤其是青藏高原东缘地区滑坡现象的普遍规律。

另一方面,“V”型河谷段不仅是河流侵蚀、堆积最活跃的地段,地形坡度较陡,边坡稳定性差,有利于滑坡等地质灾害的发育;同时这个地貌单元也是人类居住和活动的最主要场所,水利工程建设和道路建设频繁,这样更加剧了滑坡等地质灾害的发生。

2.2 深切河谷湖相沉积有利于滑坡的发生

沿大渡河和安宁河深切河谷地带,均残留有上新世—早更新世“昔格达组”湖相地层,主要由细砂岩、粉砂岩和泥岩等组成,岩石固结程度较差,大部分遭受后期河流的下切作用,成为河流阶地的基座。“昔格达组”地层在地貌上多呈低缓台地和缓坡,岩性上属半固结易于开挖平场。这两个特点,在城市规划建设中易于成为场址和开挖平场的优选场地,故而它与人类工程建设常有“不解之缘”。越是人类工程建设多的地段,发生滑坡也越频繁。同时,由于昔格达岩土地形坡度低缓,常常构成地形坡度的“变坡点”,这种变坡点也是滑坡容易产生重要地形因素。

2.3 岩性对滑坡坡度的控制因素

岷江上游滑坡发生的地形坡度除与流域山高谷深密切相关外,还与基岩岩性密切相关。岷江流域主要由浅变质砂岩、板岩、千枚岩、灰岩、花岗岩、变质杂岩等组成,滑坡多发生在软硬相间岩组。大渡河流域滑坡主要分布于碎屑岩、三叠系煤系组等、昔格达组等,60%~93%为土质滑坡。而安宁河流域滑坡主要分布于片岩、泥岩、第四纪松散堆积物等软弱岩层中如昔格达组、白果湾组砂泥岩,由于安宁河流域位于强风化区,第四系残、坡积土层厚度大,故滑坡多为土质滑坡,滑坡坡度较岷江流域的小。

3 初步结论

青藏高原东缘是中国大陆最重要的构造地貌阶梯带,也是群发性地质灾害的高发区。通过对岷江上游、大渡河和安宁河流域滑坡地质灾害发生的地形和高程特征参数统计分析表明,绝大部分滑坡受川西高原深切河谷地形地貌的控制,而晚第四纪高原快速隆升主导了深切河谷形成,为群发性地质灾害的发生提供了空间条件。

研究工作得到中国科学院成都山地研究所林立相研究

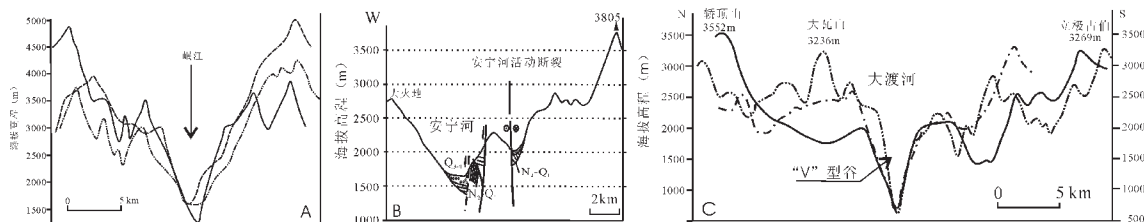


图 5 岷江上游南段(A)、安宁河中段(B)和大渡河下游段(C)深切河谷地形横剖面图

Q₁—下更新统;Q₃₋₄—上更新统至全新统;N₂— Q₁—上新统至下更新统

Fig. 5 Topographic profiles across the deep-incised valleys of the southern segment of the upper reaches of the Minjiang River (A), the middle segment of the Anning River(B)and the lower reaches of the Dadu River (C)

Q₁—Lower Pleistocene; Q₃₋₄—Upper Pleistocene - Holocene; N₂— Q₁—Pliocene-lower Pleistocene

员的帮助,野外考察工作得到四川省环境地质总站的协助,在此一并表示感谢。

参考文献 (References):

[1] 潘桂棠,王培生,徐耀荣,等.青藏高原新生代构造演化[M].北京:地质出版社,1990.1~190.
Pan Guitang, Wang Peisheng, Xu Yaorong, et al. Cenozoic Tectonic Evolution of Qinghai-Xizang Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990.1~190 (in Chinese with English abstract).

[2] 罗志立.龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成和演化[M].成都:成都科技大学出版社,1994.1~564 (in Chinese with English abstract).
Luo Zhili. Uplift of Longmen Mountain Orogenic Belt and the Formation and Evolution of Sichuan Basin [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1994.1~564 (in Chinese with English abstract).

[3] 林立相.中国滑坡标准化编目及应用前景[A].中国泥石流滑坡编目数据库与区域规律研究 [C].成都:四川科学技术出版社,1998.14~20.
Lin Lixiang. Standardized inventory of landslides and its application, catalogue and database [A]. In: Regional Rules of Debris Flow & Landslide [C], Chengdu: Sichuan Sciences and Technology Publishing House, 1998. 14~20 (in Chinese with English abstract).

[4] 蒋良文,王士天,刘汉超,等.岷江上游干流岸坡主要表生地质灾害分布特征及成因浅析[J].地质灾害与环境保护,2002,13(1):13~17.
Jiang Liangwen, Wang Shitian, Liu Hanchao, et al. Distribution characteristics and origin of surface geological hazards on the slopes of the trunk of the Minjiang River [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2002, 13 (1) :13~17 (in Chinese with English abstract).

[6] 王运生.岷江上游汶川—较场河段环境地质特征及其形成背景[J].工程地质学报,2000,8(增刊):82~84.
Wang Yunsheng. Environmental geology and formation background of the Wenchuan-Jiaochang segment of the upper reaches of the Minjiang River [J]. Journal of Engineering Geology, 2000, 8 (Suppl.): 82~84 (in Chinese with English abstract).

[7] 王运生,李渝生.岷江上游马脑顶—两河口段滑坡、崩塌形成的控

制因素分析[J].成都理工学院学报,2000.6(增刊):205~208.
Wang Yunsheng, Li Yusheng. Analysis on the controlling factor of formation of landslides and avalanches in Manaoding-Lianghekou, upper reaches of Minjiang River [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 6 (Suppl.): 205~208 (in Chinese with English abstract).

[8] 乔建平,赵宇.滑坡危险度区划研究述评[J].山地学报,2001,19(2):157~160.
Qiao Jianping, Zhao Yu. Review on risk degree regionalization of landslide [J]. Journal of Mountain Science, 2001, 19 (2): 157~160 (in Chinese with English abstract).

[9] 陈永波,王成华.滑坡发生的危险边坡判别及预测预报分析[J].山地学报,2000,18(6):559~562.
Chen Yongbo, Wang Chenghua. Discrimination and forecasting of dangerous slopes inducing the occurrence of landslides [J]. Journal of Mountain Science, 2000, 18 (6): 559~562 (in Chinese with English abstract).

[10] 唐荣昌,韩渭宾.四川活动断裂与地震[M].北京:地震出版社,1993.1~368.
Tang Rongchang, Han Weibin. Active Fault and Earthquake of Sichuan [M]. Beijing: Seismological Press, 1993.1~368 (in Chinese with English abstract).

[11] 蒋复初,吴锡浩.青藏高原东南部地貌边界带晚新生代构造运动[J].成都理工学院学报,1998,25(2):162~168.
Jiang Fuchu, Wu Xihao. Late Cenozoic tectonic movement in geomorphologic boundary belt of southeastern Qinghai-Xizang Plateau [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1998, 25 (2): 162~168 (in Chinese with English abstract).

[12] 陈富斌,赵永涛.攀西地区新构造[M].成都:四川科学技术出版社,1988.1~102.
Chen Fubin, Zhao Yongtao. The Neotectonics in Panzhihua-Xichang Region of China [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Publishing House, 1988.1~102 (in Chinese with English abstract).

[13] 张宗祜.川滇南北构造带中段晚新生代地质研究[M].北京:石油工业出版社,1994.1~264.
Zhang Zonghu. Study on Late Cenozoic Geology of the Chuandian N-S Tectonic Belt [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994.1~264 (in Chinese with English abstract).

Analysis of the spatial distribution of geohazards along the middle segment of the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau

MENG Hui¹, ZHANG Yue-qiao², YANG Nong²

(1. *China Institute of Geological Environment Monitoring, Beijing 100081;*

2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract: By using the existing data of landslides obtained in the survey, combined with the field observations, this paper presents the results of statistical analysis of such parameters as elevations, slopes and heights of the landslides documented along the upper reaches of the Minjiang, Dadu and Anning rivers on the western Sichuan Plateau and makes a comparative study of these statistical results and the geomorphological features of deep-cutting river valleys. Study shows that the majority of the landslides occurred at elevations of 1 500–2 000 m above sea level along the upper Minjiang River valley and the Anning River valley, while the landslides in the Dadu River valley mainly occurred at elevations of 1 000–1 500 m and 1 500–2 000 m. The slopes of the landslides in these areas range between 15° and 35° but 45.21% of the landslides in the Minjiang River valley took place on slopes of 35°–55°. The landslides of the Dadu and Anning river valleys mainly occurred on slopes of 15° and 45°. It is pointed out that the great majority of the landslides on the western Sichuan Plateau occur in deep-incised “V”-shaped valleys and are mainly controlled by the morphological features of the river valleys. The Late Quaternary rapid uplift and deep incision of valleys are two main internal dynamic factors for controlling the occurrence and distribution of geohazards on the eastern margin of the eastern Qinghai-Tibet Plateau.

Key words: landslide; upper reaches of the Minjiang River; Dadu River; Anning River; deep-incised valley