

文章编号: 1006-6616 (2016) 03-0695-11

成渝经济区南部城市群孕灾条件 与地质灾害发育特征

王东辉¹, 陈绪钰¹, 朱德明², 田 凯¹

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都 610081;

2. 西藏地质二队, 拉萨 850000)

摘 要: 通过资料分析与实地调查相结合, 对成渝经济区南部城市群孕灾条件和地质灾害空间分布特征进行了区域对比分析。研究表明, 城市群由南而北、自西向东在地形地貌、地质构造、地层岩性等孕灾地质背景及降雨、地震活动、人类工程活动等诱发因素方面均有明显不同, 进而导致地质灾害空间分布及发育特征的差异。西部中高山峡谷区地层岩性及地质构造极为复杂, 地形起伏大, 活动断裂发育且地震活动较为频繁, 地质灾害具有规模大、泥石流相对发育、沿构造线和河流线状分布的特点; 南部低中山及岩溶发育区地形起伏较大, 地质构造及岩性较复杂, 碳酸盐岩极为发育, 采矿活动强烈, 以地面塌陷相对发育为主要特点; 北部红层丘陵区地质构造及岩性简单, 地形起伏小, 人类工程活动强烈, 地质灾害类型单一、数量多、规模小, 分布上具有面上松散分布、局部相对集中的特点。

关键词: 地质灾害; 孕灾条件; 发育分布; 南部城市群; 成渝经济区

中图分类号: P642.2; P694

文献标识码: A

0 引言

南部城市群为成渝经济区区域规划中的四大城市群之一, 辖自贡、内江、宜宾、泸州4市全域及乐山市沐川、犍为、井研、马边和峨边5县, 国土面积 $4.36 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是重要的人口、城镇、产业聚集区, 自然条件优良, 交通体系完整, 人力资源丰富, 在成渝经济区社会发展中具有重要的战略地位。随着《成渝经济区区域规划》和《成渝经济区南部城市群发展规划(2014—2020年)》的实施, 南部城市群社会经济快速发展, 有望于2020年实现全面建成小康社会的目标。

区内环境地质问题主要有地震活动、红层风化、地质灾害, 以地质灾害(含矿山地质灾害)问题最为突出, 城市、场镇、居民点、公路、铁路、库区、矿山、风景名胜、输电线路等均不同程度受地质灾害威胁^[1~8]。据34个区(县)地质灾害调查与区划(及补充调

收稿日期: 2016-04-17

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(12120113004300、121201010000150015)

作者简介: 王东辉(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事地质灾害及城市环境地质方面的调查研究。E-mail: 16216813@qq.com

查与区划)成果,南部城市群地质灾害类型主要有滑坡、崩塌、不稳定斜坡、地面塌陷和泥石流,共发育地质灾害4011处,造成982人死亡、直接经济损失 1.4×10^8 元。近年来,部分地质灾害已经得到了成功治理,防灾体系进一步完善,但现有地质灾害仍威胁 18.7×10^4 人,威胁财产近 90×10^8 元(据四川省地质环境管理信息系统,截止2015年7月15日)。

南部城市群由南而北、自西向东跨越山地、台地、丘陵、平坝等不同地貌单元,其间构造形迹齐全、岩性及结构复杂、力学性质差异悬殊,降雨、地震活动等区域性差异明显,加之矿山开采、工程建设等人类工程活动的类型与强度不同,导致地质灾害发育特征及主要控制因素在空间分布上均有明显不同。依据地质灾害孕灾地质条件和诱发因素的空间分布差异,将南部城市群划分为西部中高山峡谷地区、南部低中山及岩溶发育区和北部红层丘陵区。

本文重点从地质灾害孕灾地质条件、诱发因素的地域差异及由此而引起的地质灾害发育特征、空间分布差异进行剖析,探讨不同地质背景、诱发因素条件下地质灾害的发育规律,以为南部城市群重大工程及基础设施建设与规划布局提供依据。

1 地质灾害概况与总体发育特征

1.1 地质灾害概况

南部城市群共发育地质灾害4011处,类型和规模如表1所示。从类型来看,滑坡2238处、崩塌1180处、泥石流36处、不稳定斜坡421处、地面塌陷136处,类型以滑坡、崩塌为主。就地质灾害规模而言,小型地质灾害3172处,特大型6处,大型172处,中型661处。大型以上地质灾害以滑坡为主,崩塌、泥石流、不稳定斜坡、地面塌陷无特大型。

表1 南部城市群地质灾害类型与规模统计表

Table 1 Type and magnitude of geological hazards

规模	滑坡	崩塌	泥石流	不稳定斜坡	地面塌陷	合计
特大型	6	0	0	0	0	6
大型	99	35	2	26	10	172
中型	395	153	2	99	12	661
小型	1738	992	32	296	114	3172
合计	2238	1180	36	421	136	4011

成渝经济区南部城市群滑坡平剖面形态具有较大差异性,且与滑坡规模关系密切。大型及特大型滑坡以不规则形为主,小型滑坡以舌形和半圆形为主;大型及以上滑坡剖面形态以阶梯形、凸形为主,小型滑坡剖面形态则以直线形为主。成渝经济区南部城市群崩塌规模普遍较小,危岩体岩性以砂岩为主,其次为砂泥岩互层或砂岩夹泥岩。不稳定斜坡破坏方式有滑坡、崩塌、撒落、滚石等,以滑坡为主。地面塌陷包括采空型、土洞型和岩溶型,以岩溶型为主,且互有交叉。区内泥石流不发育,且规模较小。

1.2 总体发育特征

滑坡主要集中于威远—荣县一线以西的威远隆起山区、犍为—沐川一线以西中高山区向低山区的地形过渡地带和峨边县一带的高山峡谷地带;崩塌则在威远隆起山区的山前地形陡变地带及南广河、大渡河、金沙江沿岸等地易发(见图1)。需要注意的是在泸州西部方山一带、江安—纳溪及长宁以东一带的台状、坪状高丘-低山地区地形陡变地带极易形成下部

陡坡滑坡、上部陡崖崩塌的组合特征。城市群主要中心城市及县城周边、重要交通干线沿线等人类工程活动强烈区亦为滑坡、崩塌灾害高易发地区,规模普遍较小。泥石流为区内最不发育的地质灾害类型,仅36处,主要在峨边县官料河、马边县马边河及屏山县金沙江3条河流的部分松散物源丰富的支沟易发。地面塌陷主要表现为岩溶塌陷和采空塌陷,两者亦有交叉,在长江以北的泸县、隆昌、富顺、威远等地三叠系条形低山区及西部马边、犍为等地采矿区易发采空塌陷,城市群南部高县、珙县、筠连县、兴文县、叙永县、古蔺县等地在自然条件下易发岩溶塌陷。由于采矿活动较为剧烈,采空塌陷时有发生。

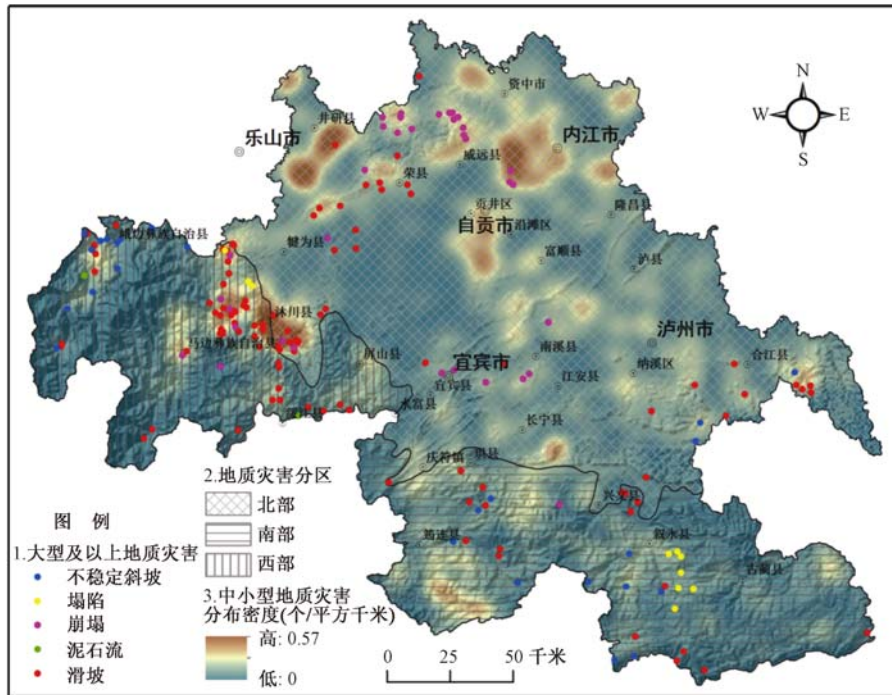


图1 成渝经济区南部城市群地质灾害空间分布

Fig. 1 Distribution of geo-hazards in the southern urban agglomeration of Chengdu-Chongqing Economic Zone

2 西部中高山峡谷区地质灾害发育特征

西部中高山峡谷区包括岷江以南、沐川—屏山—宜宾一线以西的地区,面积7595.73 km²,占城市群总面积的17.4%,为南部城市群地质条件最为复杂的地区,从元古界至白垩系均有出露。岩性复杂多样,以砂岩、泥岩、页岩等碎屑岩类为主。灰岩、白云岩等碳酸盐岩类呈南北向条带状出露于马边县西部地区,中酸性岩浆岩和变质岩地层主要在峨边县西部及东部大渡河沿岸分布,而二叠系峨眉山玄武岩呈带状出露于马边县以西、峨边县以南地区。本区构造极为发育,总体以北北西向为主,其中马边县西部地区构造形迹呈向南扩散的帚状,荣经—马边活动断裂带纵贯全区^[9],发生多次破坏性地震^[10]。区内地形变化剧烈,以中—深切割中山峡谷地貌为主,“V”型谷、峡谷峭壁地形普遍,高差达3500 m,斜坡坡度多在30°以上,切割深度普遍大于300 m,尤其是大渡河沿岸峡谷陡崖高数百米。复杂的地质背

景及陡峻的地形条件为滑坡、崩塌、泥石流地质灾害发生提供了有利条件。

本区共发育地质灾害 576 处（见表 2），占城市群地质灾害总数的 14.36%。由表 2 可知，大型及以上地质灾害点达 70 处，占城市群大型及以上地质灾害点总数的 39.33%，远高于小型地质灾害点所占比例（10.56%）。城市群仅有的 6 处特大型地质灾害点均位于本区。发育泥石流 27 条，占城市群泥石流总数的 75%，具有地质灾害规模大、泥石流相对发育的特点。

表 2 西部中高山峡谷区地质灾害发育特征

Table 2 Characteristics of geo-hazards in western middle and high mountain canyon area

规模	滑坡	崩塌	不稳定斜坡	地面塌陷	泥石流	小计（处）/ 密度（处/100 km ² ）
特大型	6	0	0	0	0	6/0.08
大型	41	6	12	3	2	64/0.84
中型	130	17	16	6	2	171/2.25
小型	254	43	12	3	23	335/4.41
小计（处）/密度（处/100 km ² ）	431/5.67	66/0.87	40/0.53	12/0.16	27/0.36	576/7.58

侏罗系、白垩系红层砂岩、泥岩工程地质性质软弱，耐风化能力差，所处斜坡部位多形成厚度较大的残坡积或崩坡积层，易沿土岩接触面发生滑动。如峨边县勒乌镇勒乌热罗滑坡即发育于中侏罗统新村组中，斜坡上覆厚 1.8~16.2 m 的崩坡积含碎石粉质黏土及碎块石（见图 2、图 3），在坡脚冲刷、公路开挖等条件下，形成平均长 500 m、宽 588 m、厚度 12 m、体积 $352.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的中层大型滑坡。此外，三叠系炭质页岩夹板岩和煤系地层易发生沿煤系地层顶底面的顺层滑坡，为本区易滑地层（见图 4）^[11]。受多期北东向、北北东向构造运动及地震活动影响，玄武岩、碳酸盐岩、砂岩等硬质岩类节理裂隙较为发育，大渡河两岸一般裂隙率可达 0.72%~3.94%，易发生崩塌。大渡河、马边河等主河两侧支沟发育、水网较为密集，部分支沟内矿山堆渣、堵塞沟道等现象较为突出，易发泥石流灾害，如峨边县蒋沟即为典型矿渣型泥石流。采矿-洗矿-输沙等一系列矿业活动导致蒋沟流域生态环境恶化，早期矿渣的开放式、露天式堆放为泥石流的发生提供了大量物源，泥石流频发，具有大雨大冲、小雨小冲的特点。



图 2 峨边县勒乌热罗滑坡影像
Fig. 2 Image of Lewureluo landslide

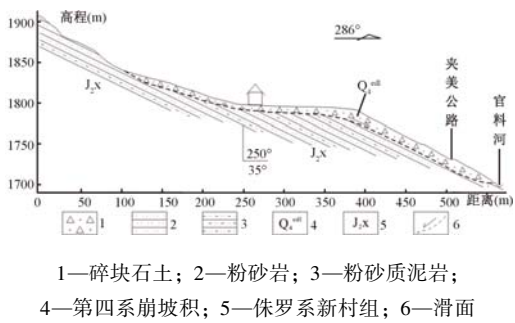


图 3 峨边县勒乌热罗滑坡剖面示意图
Fig. 3 Geological section of Lewureluo landslide

将滑坡发育的地形坡度以 5°分带进行统计分析发现，滑坡发育坡度主要集中于 15°—45°，发育滑坡 370 处，占本区滑坡总数的 85.85%，其中以 20°—35°数量最多，达 233 处，占总数的 54.06%。分析不同规模滑坡发育的地形坡度，可以看出，中型以上规模滑坡坡度

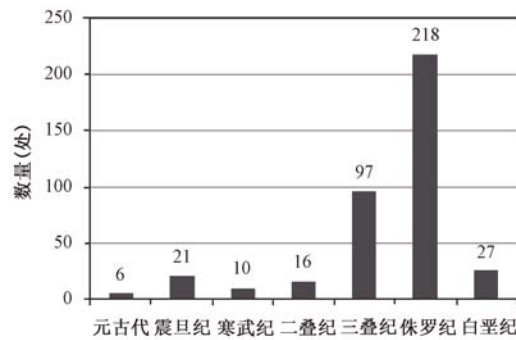


图4 西部中高山峡谷区不同地层时代滑坡崩塌发育数量

Fig. 4 Distribution of landslides and rock-falls in different stratigraphic ages in western middle-high mountain and valley areas

主要集中于 20° — 25° ; 小型滑坡坡度主要集中于 25° — 35° (见图5), 存在随坡度增加, 滑坡规模越小的趋势。中型以上崩塌地形坡度集中于 60° — 70° (见图6), 具有以 60° — 70° 为中心, 向两侧崩塌发育随坡度变化规模变小的趋势。

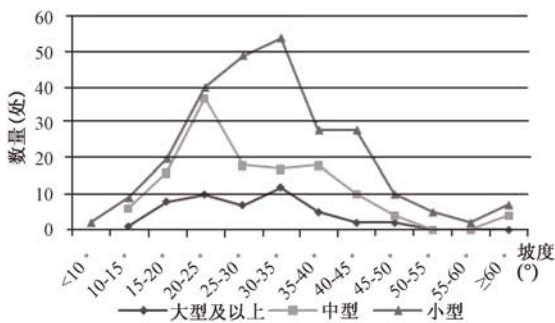


图5 西部中高山峡谷区滑坡与地形坡度

Fig. 5 Landslide vs. slope in the western valley areas

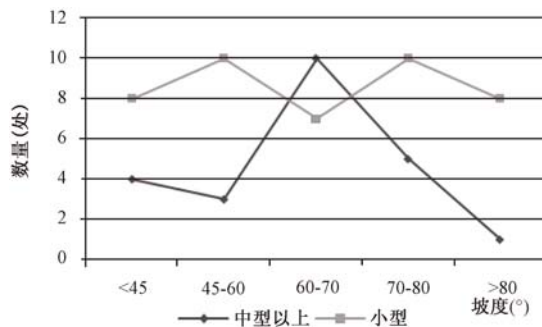


图6 西部中高山峡谷区崩塌与地形坡度

Fig. 6 Rock-fall vs. slope in the western valley areas

从地质灾害空间分布来看, 大渡河、官料河、马边河、金沙江及其支流两岸和马边一带南北向帚状构造及荣经—盐津活动断裂带两侧地质灾害密集, 尤其以帚状构造北部构造密集部位地质灾害最为集中, 具有明显的沿河流、构造带线性集中分布的特征。

3 南部低中山及岩溶发育区地质灾害特征

高县—珙县—兴文—叙永一线以南的地区为低中山及岩溶发育区, 面积 10559.48 km^2 , 占城市群总面积的 24.19% 。该区为近东西向展布的高背斜紧密褶皱带地区, 出露中生界侏罗系、三叠系及古生界的泥岩、砂岩等碎屑岩以及灰岩、泥灰岩等碳酸盐岩。筠连一带岩层倾角多为 40° — 70° , 兴文—古蔺一带岩层倾角多为 10° — 49° 。以碳酸盐岩分布面积最广, 达 8079.76 km^2 , 占本区面积的 76% , 占南部城市群总面积的 24.17% 。属中—深切切割低—中山, 多呈深山峡谷或峰顶岭脊形态, 谷坡陡峻, 坡脚 30° 以上, 切割深度大于 300 m , 局部地区形成陡崖。在碎屑岩分布区, 山体多为长垣状或单斜状、猪背脊状或为岩溶槽谷一侧之垄脊, 碳酸盐岩分布区多为石丘-洼地、峰丛-谷地或槽谷, 山顶海拔标高 $400\sim 1732\text{ m}$,

谷坡坡度 20° — 40° ，多呈“V”型谷。

南部地区具有岩溶发育、采矿活动剧烈、地面塌陷相对发育的特点。碳酸盐岩分布区的主要特征是岩溶化强烈，地下水较丰富，岩溶形态多样；同时，褶皱断裂的紧密展布使刚性石灰岩裂隙发育，在地表、地下水交替活动下，促使裂隙溶蚀扩大，大大降低了岩石整体强度，易发地面塌陷灾害；加之本区地下采矿活动强烈，矿山环境地质问题突出，采空塌陷时有发生。区内发育地面塌陷 96 处，占城市群塌陷总数的 70.6%，分布密度达 0.92 处/100 km²，远高于北部、西部地区（0.11 处/100 km²、0.16 处/100 km²）（见表 3）。据初步统计，现有 96 处地面塌陷中与矿山开采有关的采空塌陷多达 52 处，占 54.17%。典型案例有：1990 年 3 月底，泸州市叙永县大树硫铁矿因地下采矿活动导致顶板变形、塌陷，上覆基岩产生破坏，在地表形成数条地裂缝，造成职工宿舍垮塌 20 余间，100 余户住房出现严重变形，同时尾矿渣不合理堆放亦为泥石流发生提供了充足的物源；1999 年 7 月 16 日下午 4 时，泸州市叙永县震东乡太平村多个小煤矿在进行井下开采过程中因采空区顶板变形引起斜坡变形发生滑坡，造成 4 人死亡、3 人受伤。

表 3 南部低中山及岩溶发育区地质灾害发育特征

Table 3 Characteristics of geo-hazards in southern karst development area

规模	滑坡	崩塌	不稳定斜坡	地面塌陷	泥石流	小计（处）/ 密度（处/100 km ² ）
特大型						0
大型	18	1	10	7	0	36/0.34
中型	41	10	37	5	0	93/0.88
小型	355	130	43	84	8	620/5.87
小计（处）/密度（处/100 km ² ）	414/3.92	141/1.34	90/0.85	96/0.91	8/0.08	749/7.09

区内滑坡多发育于 30° — 40° 的斜坡之上，三叠系、侏罗系砂岩夹页岩、泥岩、砂质泥岩分布区剥落现象严重，斜坡地带松散堆积物较厚，在流水及人工扰动的条件下易发滑坡（见图 7）。赤水河、永宁河等沿岸偶有规模较大的古崩滑堆积体，亦为主要的的人口聚集区，在长期的人工干扰及坡脚河流冲刷作用下，古崩滑堆积体易发生复活。典型的有古蔺县二郎镇滑坡，滑体即为覆于志留系龙马溪组灰岩、泥页岩之上的厚层松散古崩滑堆积体，滑坡区坡度 18° — 32° ，受赤水河冲刷，前缘有效临空，后部公路修建、建筑堆渣等活动使滑坡后缘荷载增加，在地表水、地下水综合作用下于 2007 年发生局部变形，形成长 101 m，宽 197 m，厚 2.6~8.6 m 的滑坡，威胁后部二郎镇安全。三叠系及二叠系的灰岩、砂岩、粉砂岩、玄武岩等岩石质地坚硬，力学强度高，在断裂、褶皱的强烈影响下，裂隙发育且多呈“X”型共轭延展，于地形陡峻地段易形成崩塌灾害（见图 7）。如：宜宾市高县白庙乡芙蓉村芙蓉山出露三叠系飞仙关组砂、泥岩夹薄层泥质灰岩，岩石节理裂隙极为发育，在降雨、采矿活动等综合作用下，于 1994 年 3 月 20 日中午 12 时 10 分发生崩塌地质灾害，形成近 100×10^4 m³ 的碎屑流堆积体（见图 8），造成 18 人死亡、重伤 2 人、轻伤 1 人，直接经济损失超过 390×10^4 元；宜宾市筠连县巡司镇巡司村七组出露二叠系茅口组中厚层状灰岩夹生物碎屑灰岩，受节理面及岩层面控制，岩体被切割成大小不一的块体，于 2003 年 2 月发生崩塌，造成 3 人死亡、1 人轻伤，直接经济损失 200×10^4 元^[12]。

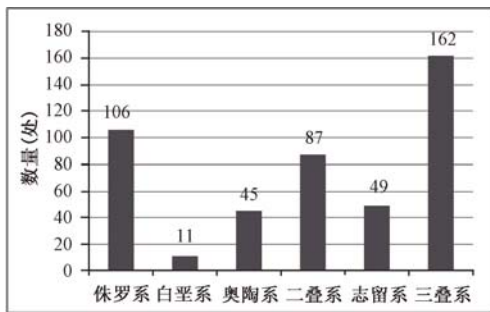


图7 南部低中山及岩溶发育区
不同地层滑坡崩塌发育数量

Fig. 7 Distribution of landslides and rock-falls
in different strata in southern karst area

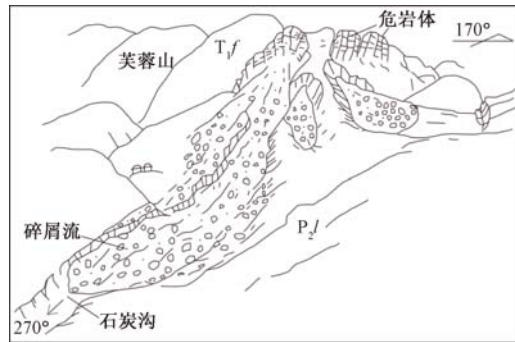


图8 芙蓉山崩塌碎屑流素描图
(据李云贵等^[12], 2004)

Fig. 8 Sketch of Furongshan rock-fall
and debris flow

4 北部红层丘陵区地质灾害发育特征

沐川—宜宾—高县—兴文一线以北的地区属四川盆地红层丘陵区, 面积 25500.96 km², 占城市群总面积的 58.41%。该区以北东向平行展布的系列宽缓向斜、紧闭背斜为主体, 间有北东向、北北东向断裂发育, 区内地形起伏较小, 总体以丘陵及丘间宽谷为主, 间夹北东向近平行延展的串珠状条形低山及台状、坪状低—中山。

侏罗系广布于宽缓向斜组成的丘陵区, 岩性以砂泥岩不等厚互层为主, 岩层褶皱轻微, 向斜部位岩石产状平缓, 一般 5°—10°。背斜翼部压扭性断裂构造较发育, 软弱层间夹有易产生顺层滑动的泥化夹层, 岩层一般倾角 40°—60°。节理裂隙不发育, 仅在砂岩中常见 2 组节理, 一组平行走向, 一组与岩层走向呈大角度相交, 组成“X”型, 倾角大于 75°。泥岩风化呈碎片脱落, 砂岩单层厚 3~20 m, 厚者超过 30 m (沙溪庙组嘉祥寨砂岩), 有的呈透镜体, 岩体较坚硬, 砂泥岩风化均较强烈, 强风化带厚 5~10 m, 具远离谷底而变浅的规律。地貌上多为浅切宽谷, 局部为深切窄谷丘陵, 形态多呈孤丘、平顶丘及斜面丘, 沟谷切割深度 30~80 m 间。资中、内江、隆昌、威远、荣县、沿滩区一带地貌上多为浅切宽谷, 丘间距多大于 100 m, 沟谷切割深度小于 30 m, 呈宽阔“U”型, 缓丘形态以圆丘为主。

白垩系于宽缓向斜区轴部出露, 岩性以厚—巨厚块状长石石英砂岩为主, 夹薄层泥页岩, 岩层倾角 6°—11°, 轴部近水平, 褶皱轻微。岩石风化后沿垂直节理有崩塌发育, 风化带深度一般 30~40 m。地貌上多呈圆丘、平顶丘, 沟谷较为发育, 多呈“U”型, 切割深度 30~40 m, 山顶平缓, 呈台阶状陡坎山坡。砂岩抗风化能力较弱, 强风化带深 30~50 m, 最深可达百余米, 风化呈松散砂砾状, 风化后沿坡撒落, 手捏即成散砂。

三叠系于威远背斜及东部系列条形背斜出露。须家河组厚—巨厚块状砂岩质坚硬, 其间存在泥化夹层 (泥页岩、煤系等), 力学强度显著变差, 软弱夹层塑性变形大, 压缩性大。威远背斜南翼陡, 岩层倾角 6°—14°, 北翼缓, 倾角 3°—6°, 顺轴与横切轴向的 2 组断层发育; 张扭性构造裂隙相伴而生, 以北 50°—60°西、倾角 75°, 北 20°—30°西、倾角 70°, 北 40°—50°东、倾角 70°三组为主, 将砂岩切成大小不等块体, 裂隙在此基础上发育, 形成多种组合结构面, 易发生崩塌或滑坡。东部条形低山地区褶皱紧密, 须家河组岩层倾角 30°—

70°, 有压性断裂, 地貌上呈长垣状狭窄山垅, 多单面山, 沟谷切割深度 50 ~ 100 m, 厚层块状中细粒长石石英砂岩质坚硬, 节理裂隙发育, 抗风化能力强。背斜核部出露中三叠统雷口坡组及下三叠统嘉陵江组灰岩、白云岩及泥灰岩, 岩层单层厚 0.5 ~ 5.0 m 不等, 表层被第四系覆盖, 岩溶不发育, 溶洞、落水洞小而少。

北部地区具有地质条件相对简单、人类工程活动强烈, 地质灾害数量多、规模小、类型单一的特点。侏罗系及白垩系红层斜坡多为砂岩、砾岩、粉砂岩等硬质岩与泥岩、粉砂质泥岩、泥页岩等软质岩互层。由于岩石矿物组分、胶结方式、物理力学性质等不同, 边坡破坏模式多样^[13-14], 在剧烈人类工程活动作用下, 极易发生滑坡、崩塌。该区共发育地质灾害 2686 处, 占城市群总数的 66.97%, 以滑坡、崩塌为最, 达 1393 处、973 处, 分别占城市群总数的 62.24% 和 82.46%, 地面塌陷和泥石流不发育 (见表 4)。小型地质灾害占城市群小型地灾总数的 70.1%, 中小型地质灾害数量均占全区总数的 60% 以上, 大型地质灾害点占城市群同等规模地质灾害总数的 41.86%。

表 4 北部红层丘陵区地质灾害发育特征

Table 4 Characteristics of geohazards in northern red layer and hilly areas

规模	滑坡	崩塌	不稳定斜坡	地面塌陷	泥石流	小计 (处) / 密度 (处/100 km ²)
特大型						
大型	40	28	4			72/0.28
中型	224	126	46	1		397/1.56
小型	1129	819	241	27	1	2217/8.69
小计 (处) / 密度 (处/100 km ²)	1393/5.46	973/3.82	291/1.14	28/0.11	1/0.004	2686/10.53

大型滑坡、崩塌主要发育于须家河组及蓬莱镇组中 (见图 9), 发育密度达 1.37 处/100 km² 和 0.89 处/100 km², 远高于其本区平均发育密度 (0.28 处/100 km²), 这与该 2 组地层所处地形地貌及构造部位密切相关。上三叠统须家河组主要出露于紧闭背斜所形成条形低山向宽缓向斜所形成丘陵过渡的坡脚部位, 多形成顺向高陡斜坡, 其岩性以砂岩夹炭质页岩为主, 且垂向节理较为发育, 易形成沿页岩顶底面破坏的滑坡, 典型的有宜宾市翠屏山滑坡。蓬莱镇组主要出露于向斜近核部台状低山斜坡上, 其上覆白垩系多形成陡崖地貌, 蓬莱镇组多形成陡坡地貌, 斜坡上崩坡积物厚度较大, 节理裂隙发育, 极易形成上部陡崖崩塌 + 下部陡坡滑坡的地质灾害组合形态。宜宾市思坡乡高岩滑坡为该类型地质灾害的典型代表, 滑坡区上部窝头山组厚层砂岩、下部蓬莱镇组泥岩组成“上部陡崖、下部陡坡”的地貌形态, 陡崖长期风化剥蚀形成的崩坡积物不规则覆于下部陡坡之上, 陡坡坡脚受冲沟及人工改造影响, 形成有效临空面, 后部陡崖岩体垂向节理裂隙发育利于地下水运移, 下部泥岩为隔水层, 地下水易沿泥岩顶面排泄, 2013 年 7 月 31 日, 因持续多日降雨引发长 150 m、宽 100 m、厚约 5 m 的岩质滑坡 (见图 10、图 11)。此外, 在泸州市方山周边地带亦存在此类滑坡, 地质灾害均体现易发、群发、规模较大的特点。

本区人口密集, 公路、铁路及城镇建设等人类工程活动强烈, 不合理的切坡、加载、挖填方等活动致使滑坡、崩塌等地质灾害频发。据粗略统计, 区内 1393 处滑坡中, 有人类工程活动参与的滑坡达 1141 处, 占 81.91%, 由不合理人类工程活动引发的滑坡达 317 处, 占 22.76%, 均高于城市群平均水平。矿山开采活动除条石、建筑用砂卵石等天然建筑材料的开采外, 在威远、泸县、隆昌一带亦有开采三叠系煤层活动, 偶有采空塌陷发生。

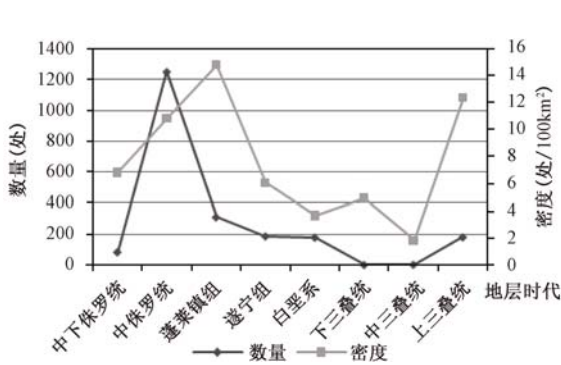


图9 北部红层丘陵区不同地层中大型滑坡崩塌发育数量

Fig. 9 Distribution of medium-large landslides and rock-falls in different strata in the northern area

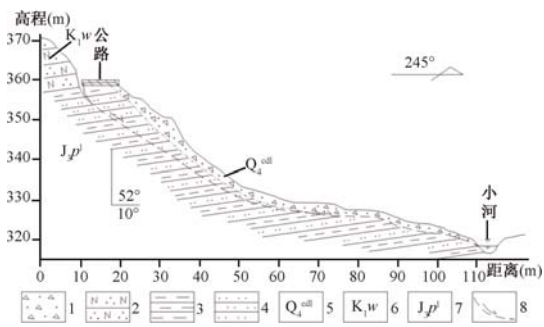


图10 高岩滑坡剖面图

Fig. 10 Geological section of Gaoyan landslide



(a) 陡崖与陡坡地形陡变地带基岩下错



(b) 陡坡上覆崩坡积堆积体滑动

图11 高岩滑坡变形迹象

Fig. 11 Deformation characteristic of Gaoyan landslide

5 结论

南部城市群地质灾害形成的地质背景条件和诱发因素地域性差异明显, 导致地质灾害空间分布及发育特征亦存在较大区别。

依据地质灾害孕灾地质条件和诱发因素的空间分布差异, 将南部城市群划分为西部中高山峡谷地区、南部低中山及岩溶发育区和北部红层丘陵区。

西部中高山峡谷区地质条件极为复杂, 地形起伏大, 活动断裂发育且地震活动频繁; 南部低中山及岩溶发育区碳酸盐岩出露面积积极广, 采矿活动强烈; 北部红层丘陵区地质条件简单, 地形起伏小, 人口密集, 各类人类工程活动极为强烈。

地质背景条件及人类工程活动的明显差异导致地质灾害发育特征空间差异性较大, 西部中高山峡谷区地质灾害发育密度较小、规模较大、泥石流相对发育, 体现沿河谷、构造线性分布的规律; 南部低中山及岩溶发育区以地面塌陷发育为主要特点; 北部红层丘陵区地质灾害发育密度大、类型单一、数量多而规模小, 体现面上松散分布、局部相对集中的特点。

人类工程活动为南部城市群地质灾害发生的主要诱发因素, 在西部中高山峡谷区主要表

现为修路切坡引发的滑坡及崩塌、矿渣无序堆放引发的泥石流；在南部低中山及岩溶发育区主要表现为矿山开采引发的采空塌陷，与矿山开采有关的采空塌陷占地面塌陷总数的 54.17%，此外赤水河沿岸切坡及坡后加载等活动易诱发古崩滑堆积体复活；北部红层丘陵区人类工程活动最为剧烈，有人类工程活动参与的滑坡占总数的 81.91%，直接引发的滑坡占总数的 22.76%。

城市群规划及发展建设过程中需切实加强地质环境保护，西部中高山峡谷区工程建设需重点关注侏罗系红层、三叠系上统须家河组及香溪群等易滑地层，避免过度开挖边坡，大渡河、马边河、金沙江沿岸为崩塌高易发地区；南部低中山及岩溶发育区应以矿山地质环境保护及治理为重点；在北部红层丘陵区应控制不合理切坡行为，陡倾的三叠系须家河组及缓倾的侏罗系沙溪庙组均易在坡脚开挖的条件下形成顺层岩质滑坡，在白垩系与侏罗系地层交界部位易形成上部陡崖崩塌、下部陡坡滑坡的组合特征，需采取综合性的地质灾害防治措施。

参 考 文 献

- [1] 严福章, 袁兆祥, 盛大凯. 500kV 二滩—自贡输电线路地质灾害及防治之启示 [J]. 电力建设, 2010, 31 (5): 26~29.
YAN Fu-zhang, YUAN Zhao-xiang, SHENG Da-kai. Geo-hazard and prevention for Ertan-Zigong 500kV transmission lines [J]. Electric Power Construction, 2010, 31 (5): 26~29.
- [2] 许向宁, 黄润秋. 金沙江水电工程区 (宜宾—白鹤滩段) 岸坡变形破坏特征及其与赋存环境的相关性 [J]. 地球科学进展, 2004, 19 (增刊): 211~216.
XU Xiang-ning, HUANG Run-qiu. The features of deformation and failure on bank slopes and the pertinence on its environmental effect in hydroelectric development zone [J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19 (Supp.): 211~216.
- [3] 康小兵, 潘国耀. 泸盐路宜宾至南溪段地质灾害危险性评估 [J]. 水土保持研究, 2008, 15 (1): 216~222.
KANG Xiao-bing, PAN Guo-yao. Risk evaluation of geological disaster for Luyan Road from Yibin to Nanxi [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15 (1): 216~222.
- [4] 彭鑫. 泸州某工程边坡稳定性分析及防治措施 [J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2013, 32 (4): 416~418.
PENG Xin. Stability analysis and prevention measures of engineering slope in Luzhou [J]. Journal of Chengdu University: Natural Science Edition, 2013, 32 (4): 416~418.
- [5] 徐争强, 杨秋梅, 张成江, 等. 论四川自贡市的城市地质环境 [J]. 四川地质学报, 2008, 28 (4): 313~315.
XU Zheng-qiang, YANG Qiu-mei, ZHANG Cheng-jiang, et al. On urban geological environment in Zigong City [J]. Acta Geologica Sichuan, 2008, 28 (4): 313~315.
- [6] 周皎, 张成, 江王茜, 等. 四川内江市地质灾害危险性分区评价 [J]. 地质学报, 2009, 29 (1): 62~65.
ZHOU Jiao, ZHANG Cheng, JIANG Wang-qian, et al. Assessment of division of danger of geological hazards in the Neijiang region, Sichuan [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 29 (1): 62~65.
- [7] 朱洪林, 唐小平, 马和平, 等. 四川内江—宜宾高速公路两滑坡的成因分析与治理 [J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11 (3): 242~244.
ZHU Hong-lin, TANG Xiao-ping, MA He-ping, et al. The genesis analysis and controlling of two landslides of Neijiang-Yibin express way [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2000, 11 (3): 242~244.
- [8] 樊建利, 李天斌. 四川省内江市东兴区地质灾害发育特征及控制因素分析 [J]. 中国地质灾害及防治学报, 2007, 18 (4): 24~28.
FAN Jian-li, LI Tian-bin. The developing features and controlling factors of geological hazards in Dongxing District of Neijiang City, Sichuan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007, 18 (4): 24~28.
- [9] 张世民, 聂高众, 刘旭东, 等. 荣经—马边—盐津逆冲构造带运动组合及地震分段特征 [J]. 地震地质, 2005, 27 (2): 221~233.
ZHANG Shi-min, NIE Gao-zhong, LIU Xu-dong, et al. Kinematical and structural patterns of Yingjing-Mabian-Yanjin thrust fault zone, southeast of Tibetan Plateau, and its segmentation from earthquakes [J]. Seismology and Geology, 2005, 27 (2): 221~233.
- [10] 彭云金, 吕加蓉. 荣经—马边—盐津断裂带新活动特征分析 [J]. 四川地震, 2004, (3): 34~36.

- PENG Yun-jin, LÜ Jia-rong. Consideration about the neo-active feature of Yingjing-Mabian-Yanjin fault zone [J]. Earthquake Research in Sichuan, 2004, (3): 34~36.
- [11] 巴仁基, 王丽, 郑万模, 等. 大渡河流域地质灾害特征与分布规律 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2011, 38 (5): 529~537.
- BA Ren-ji, WANG Li, ZHENG Wan-mo, et al. Characteristics and distribution of the geology disasters of the Dadu River in Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2011, 38 (5): 529~537.
- [12] 李云贵, 钟沛林, 杨昶, 等. 四川省矿山地质环境综合调查与评估成果报告 [R]. 成都: 四川省地质环境监测总站, 2004: 40~42.
- LI Yun-gui, ZHONG Pei-lin, YANG Chang, et al. Comprehensive investigation and evaluation of mine geological environment in Sichuan Province [R]. Chengdu: Geo-environmental Monitoring Station of Sichuan Province, 2004: 40~42.
- [13] 杨宗才, 张俊云, 周德培. 红层泥岩边坡快速风化特性研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (2): 275~283.
- YANG Zong-cai, ZHANG Jun-yun, ZHOU De-pei. Study on fast weathering characteristics of red bed mudstone slope [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25 (2): 275~283.
- [14] 李保雄, 苗天德. 红层软岩滑坡运移机制 [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2004, 40 (3): 95~98.
- LI Bao-xiong, MIAO Tian-de. The sliding mechanism of red-mudstone layer landslide [J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2004, 40 (3): 95~98.

FORMATION CONDITIONS AND SPATIAL DISTRIBUTION OF GEO-HAZARDS IN SOUTHERN URBAN AGGLOMERATION OF CHENGDU-CHONGQING ECONOMIC ZONE

WANG Dong-Hui¹, CHEN Xu-Yu¹, ZHU De-Ming², TIAN Kai¹

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China;

2. No. 2 Geological Party of Tibet, Lhasa 850000, China)

Abstract: Based on the data analysis and field investigation, the spatial distribution characteristics of geological hazards in the south urban agglomeration of Chengdu-Chongqing Economic Zone are compared and analyzed. Study result shows that both of the formation conditions (topography, geological structure, lithology) and triggering condition (rainfall, seismic activity, human engineering activities) vary significantly from south to north, from west to East, leading to great difference of spatial distribution and characteristics of geological hazards. In the west part, the formation factors such as lithology and geological structure are very complex, the topography undulates greatly, and the seismic activity is frequent. As a result, the geological hazards take on the characteristics of larger magnitude, more debris flows, and linear distribution along the river and tectonic. In the south part, due to the wide distribution of carbonate rocks and intense mining activity, ground collapse becomes the main type of geological hazard. As far as the north part is concerned, the geological and lithology are simple and the terrain is flat, but the human engineering activities are the most intense of the urban agglomeration of south Sichuan Province, simpler type, larger quantity, smaller scale, wide distribution compose the main features of the geological hazards in this part.

Key words: geological hazards; geo-hazard formation condition; geo-hazard distribution; southern urban agglomeration; Chengdu-Chongqing Economic Zone