

资源枯竭型城市的地质环境治理研究——以云南东川为例

王军¹, 王海帆^{2*}, 温钦舒¹ (1. 云南东川区地质灾害防治中心, 云南东川 654100; 2. 云南林业职业技术学院, 云南昆明 650224)

摘要 通过近1年的调查研究, 获取了东川区深沟、尼拉姑沟、大桥河沟、田坝干沟、腊利河沟5条对城区危害最为严重的泥石流沟地质环境的详细资料及数据, 概述了5条泥石流沟的情况, 分析了该区域的地层岩性、地质构造与地震、水文地质条件、不良地质现象, 根据不同实际情况提出了不同治理方案。

关键词 东川; 资源枯竭; 泥石流; 治理

中图分类号 X32 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)03-0064-04

Study on the Geological Environmental Governance in Resource-exhausted Cities—Taking Dongchuan District Yunnan Province as an Example

WANG Jun¹, WANG Hai-fan^{2*}, WEN Qin-shu¹ (1. Geological Disaster Prevention Center of Dongchuan District, Kunming, Yunnan 654100; 2. Yunnan Forestry Technological College, Kunming, Yunnan 650224)

Abstract Based on the investigation and research in the past one year, the detailed information and data of geological environment of the debris flow gullies which are the most serious harm to the city, including Shen gully, Nilagu gully, Daqiaohe gully, Tianba gully and Lali gully, were obtained. The general situation of the above debris flow gullies were reviewed, formation lithology, geological structure and earthquake, hydrogeological condition, bad geological phenomenon in Dongchuan District were analyzed. According to the actual situation, different control schemes were proposed.

Key words Dongchuan; Resource exhaustion; Debris flow; Governance

云南省昆明市东川区地处滇东北小江流域。小江发源于云贵高原, 是金沙江的一级支流, 全长138.2 km, 流域面积3 043.45 km²。小江河谷发育在小江深大断裂带上, 构造形迹错综复杂, 新构造运动强烈, 属强地震区, 加之2 000余年人类开矿弃渣活动的影响, 严重破坏了生态环境, 致使地质灾害活跃, 成为我国泥石流最发育的地区之一^[1]。东川城市的发展历史是一部矿山资源开发及人与地质灾害斗争的历史。东川从唐代开始炼铜, 到清代达到鼎盛时期。新中国建立以来, 东川铜矿开采项目就被列为我国第一个5年计划156个项目之一。1999年东川撤市建区以前, 是全国唯一一个贫困地级市, 东川也是全国第一个因为矿产资源枯竭、经济发展停滞而被降级的城市。2001年东川经济发展陷入低谷, 登记城镇失业率超过40%, 社会不稳定因素突出, 引起各级政府的高度重视^[2]。2009年3月, 国务院批准东川区为“第二批资源枯竭型城市”。

因过度开采矿产资源而加剧的泥石流活动给当地造成严重的灾害成为影响该区人民生存和经济发展的一大隐患。2011年经排查, 全区共有401个地质灾害隐患点, 特大型地质灾害隐患点3个, 分别为城市后山5条泥石流沟、落雪泥石流沟、因民红山村魏家冲沟。据初步统计, 近30年来遭受泥石流灾害27次, 毁坏农田0.21万hm², 死亡170人, 伤60人。公路铁路均受到泥石流的严重影响, 总经济损失达1.3亿元。小江河道年淤积量达4 000余万t, 注入金沙江约1 000万t, 在小江入金沙江汇口处形成巨大的冲积扇。泥石流使得生态环境退化, 山坡和河谷的“荒漠化”和“砂石化”过程明显。泥石流等地质灾害成为制约当地经济发展的主

要因素之一。因此, 笔者以云南东川为例, 研究了资源枯竭型城市的地质环境, 为我国山区城镇泥石流沟谷的综合治理提供可靠的参考依据。

1 研究地概况

东川主城区建立在牯牛山西侧的山前泥石流堆积扇上, 是一座被泥石流包围的城市。城区附近由北向南依次发育规模较大的是大桥河沟、田坝干沟、深沟、尼拉姑沟、石羊沟、腊利河沟6条主要的泥石流沟(图1)。其中, 大桥河沟和田坝干沟位于城北, 腊利河沟位于城南, 深沟、尼拉姑沟和石羊沟正对东川主城区。6条泥石流沟从东向西穿过城区, 流入小江上游大白河。直接威胁主城区的深沟、石羊沟, 是东川城区最主要的危险源^[3]。目前, 除大桥河沟和石羊沟已建有相对完善的泥石流防治工程外, 深沟、尼拉姑沟、田坝干沟和腊利河沟只有局部的泥石流防治工程, 防护标准偏低, 工程措施薄弱, 亟需对这些泥石流开展相应的系统治理工作。

1.1 深沟和尼拉姑沟 深沟和尼拉姑沟位于东川北面城区, 是横穿东川城区最主要的灾害性泥石流沟道, 流域面积31.77 km², 主沟长13.55 km, 源头高程3 900 m, 沟口高程1 140 m, 高差2 760 m, 主沟床平均比降20.3%, 可移动量61.07万m³。流域范围内总人口6万余人, 固定资产100余亿元。深沟沟口现已建成森林公园, 是城区居民主要的休闲娱乐区。尼拉姑泥石流沟流段已建成东川城市居民区, 成为城镇居民主要的栖息地。历史上, 曾数次暴发大型泥石流, 给东川人民生命财产造成过惨重的损失。

1.2 大桥河沟 大桥河沟是位于东川北面城区的一条大型泥石流沟道, 从东北向西南方向经烂草街注入小江。最高海拔4 017 m, 最低海拔1 120 m, 流域面积57.49 km², 沟长15.25 km, 由于地质条件差及受人为活动的影响, 岩层破碎, 崩塌、滑坡等不良地质现象分布较广, 松散固体物质大量堆积于河床中, 历史上曾多次暴发泥石流, 大片农田被毁。经

基金项目 云南省林业科技创新项目([2014]CX05)。

作者简介 王军(1962—), 男, 云南东川人, 高级工程师, 从事水土保持研究。*通讯作者, 助教, 硕士, 从事林学研究。

收稿日期 2016-11-11



图1 东川城区泥石流位置分布

Fig.1 Distribution of debris flow gullies in Dongchuan

过前期的修复治理,烂草街一带的泥石流堆积区已开发成数以千亩农田。虽然早年进行过综合治理,修建了拦砂坝和排导槽,种植了防护林,但是防护能力不足,曾有泥石流体翻越排导槽淤埋农田的事件发生。

1.3 田坝干沟 田坝干沟是对东川北部城区危害较大的一条泥石流沟道,全流域面积 19.32 km^2 ,跨过东川城区 1.76 km^2 。

田坝干沟流域在 100 余年前森林茂密,古木参天,但由于东川历史上的采矿炼铜活动,大片森林遭砍伐,原始森林已被破坏殆尽,现有的林木均为次生林或人工林,且大部分为疏林和幼林,森林覆盖率为 11.2%,郁闭度低,水土流失严重,两岸崩塌体松散,固体物质丰富,为泥石流的发生提供了有利条件,一旦发生将直接危害下游城镇居民的生命财产安全。

1.4 腊利河沟 腊利河沟位于东川南面城区,是影响城市、交通安全的又一条灾害性泥石流沟道,流域面积为 27.97 km^2 ,主沟长 12.9 km ,河床平均比降 18.5%,流域内最高高程 3607 m ,最低高程 1217 m ,流域内有 995 户人家,人口为 5099 人。受地质及人为活动的影响,近年来水土流失加剧,并形成多条冲沟及大滑坡体,在东川城镇化建设过程中产生的大量建筑垃圾和渣土堆积于腊利河沟泥石流沟道下游。20 世纪 80 年代腊利河沟曾多次暴发大规模泥石流,冲毁了水渠、公路、铁路,淤埋了大量农田,给东川人民带来了惨重的生命财产损失。

2 调查方法

根据《云南省财政厅、云南省国土资源厅关于下达 2010 年资源枯竭型城市矿山地质环境治理重点工程项目预算的通知》(云财建[2010]529 号)及《云南省国土资源厅关于做好 2010 年度资源枯竭型城市矿山地质环境治理重点工程项目实施工作的函》(云国土资函[2010]177 号)的文件要求,以北京地质研究所为主,于 2014 年 10 月至 2015 年 8 月利用 GPS、3S 等技术手段对东川区域的地质环境进行了实地勘察(图 2)。

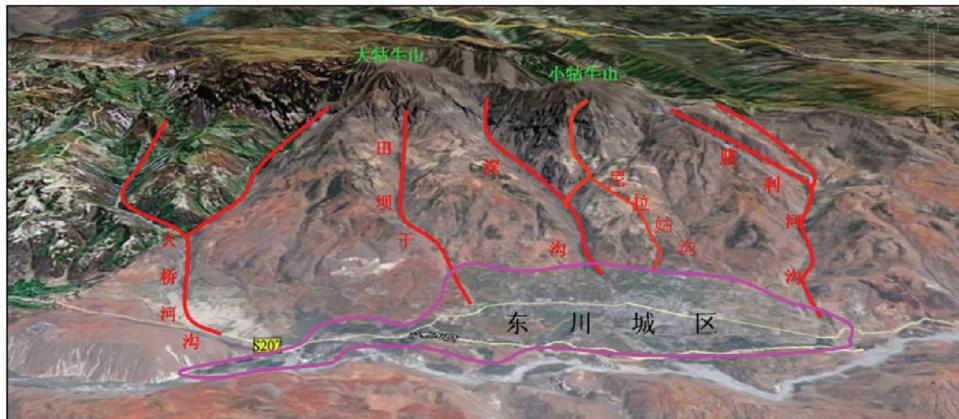


图2 调查区域分布

Fig.2 Distribution of survey area

3 调查结果

3.1 地层岩性 城市后山出露的地层较多,基岩地层从老到新依次为震旦系上统灯影组(Z2dn)白云岩,寒武系下统筇竹寺组($\epsilon 1q$)、沧浪铺组($\epsilon 1c$)砂页岩,泥盆系中统海口组(D2h)、上统宰格组(D3zg)砂岩、灰岩,石炭系下统大塘组(C1d)和摆佐组(C1b)、中统(C2)、上统(C3)灰岩,二叠系下统梁山组(P1l)砂岩、栖霞组(P1q)和茅口组(P1m)灰岩白云岩及上统玄武岩组(P2 β)玄武岩等。此外,在大菜园尚有加里东期花岗岩岩体($\gamma 3$)出露。

地层分布由于受褶皱和构造断层的影响显得较为复杂。分布最广的是震旦系上统灯影组(Z2dn)和二迭系上统玄武岩组(P2 β),呈较大的片状或条带状分布,前者主要分布在中上游,后者主要分布于各沟源头和中下游;其次是寒武系下统筇竹寺组($\epsilon 1q$)和泥盆系上统宰格组(D3zg),二者主要出露在各沟的中游,呈条带状分布;其他地层分布面积较小,一般呈狭条状延伸分布在中上游。松散堆积层从老到新依次为第四系中更新统洪积层(Q2pl)、上更新统洪积层(Q3pl)、全新统洪积层(Q4pl)和冲积层(Q4al)。此外,在流

域范围内还散布着第四系坡残积层(Qel + dl),大部分系全新统(Q4el + dl)。

3.2 地质构造与地震 深沟、尼拉姑沟、田坝干沟、腊利河沟流域区所处的地质构造单元,按“多旋回槽台学说”为扬子准地台(一级)滇东台褶皱带(二级)会泽台褶皱束(三级),按“地质力学”观点为川滇南北向(即经向)构造带东部的小江断裂束。小江断裂束由多条断裂组成,最宽达20 km,是一束有明显控制性的长期活动断裂,早在元古代晋宁亚期就已形成锥形,古生代、中生代直到新生代均处于活动状态,是该地区重要的古地理边界和岩相变化带。

小江断裂从蒋家沟沟口的泥得坪向南分成东西2支,西支为乌龙河断裂,东支为大白河断裂。大白河断裂由1~7条断层组成,在城市后山一带为6条。其中,西部3条隐伏在第四系堆积层之下,东部3条均发育在深沟、尼拉姑沟、田坝干沟、腊利河沟流域区内的中上游。此外,还有一些北东向的断层。大白河主干断裂分支复合较多,形成新村断陷盆地。该主干断裂显示压性结构,糜棱岩、碎粉岩带宽达100~500 m,其余断裂为压性张扭性,呈断阶状构成新村断陷盆地东部的高山,即牯牛岭断块山^[4]。城市后山4条泥石流沟正是处于新村断陷盆地、牯牛岭断块山及其二者之间的过渡带。

城市后山东部3条南北向的大白河次级断裂,被后期3条压扭性的次生断层错断。断层附近节理、裂隙密集,岩石破碎不堪,为滑坡崩塌的形成提供了极为有利的条件。此外,有些沟谷沿断层发育,两岸山体极为破碎,如田坝干沟基本上是沿一条次生断层发育,中上游产生了几个大的滑坡体和大面积崩塌。

区域总体上表现为单斜构造,尤其在上游十分明显,地层倾向东至北东,从西向东由地层Z2dn~P2 β 组成,倾角为10~15°。中游一带有2条大白河次级断裂挟持一个轴向近南北、北端扬起、南端倾伏的向斜,核部地层为C、P1m,两翼地层Z2dn~P2 β ,北部转折端附近张性节理发育,利于滑坡崩塌形成,田坝干沟中游的崩塌受到其影响。

小江河谷发育在小江深大断裂带上,构造形迹错综复杂,新构造运动强烈,属强地震区,地震活动频繁且烈度高。自1733年至今,有记载的大于4级的地震共12次,其中6.0~7.5级地震3次。如1733年8月2日云南东川发生地震,震级为7.5级;1833年嵩明发生8级大地震;1966年2月5日发生了6.2、6.5级双核地震,震中在蒋家沟附近。2000年以来,4级以下的地震也发生过几次,最为明显的是2004年8月25日07:06发生的3.5级地震,震中位于城市后山北部蒋家沟流域(东川区和会泽县交界地带)一带,震感强烈;2005年8月5日21:40发生5.3级地震,震中位于巧家和东川交界地带,造成房屋开裂。治理区的地震烈度为IX度。剧烈的构造运动导致了区内岩体破碎,频繁而强烈的地震造成山坡土体松动,易遭受剥蚀和侵蚀,致使流域内不稳定坡面增多、松散碎屑物丰富,崩塌、滑坡、泥石流等山地灾害十分发育^[5]。

3.3 水文地质条件 区域地下水接受大气降水补给,径流、排泄状况明显受构造和地形控制,多沿断裂、裂隙以下降泉

的形式出露于沟谷底部。区内地下水的化学类型为HCO₃-Ca、Mg型,主要含水地层为Z2dn、D3zg、C1d、C1b、C2、C3、P1q、P1m等地层中的灰岩、白云岩,在玄武岩和一些碎屑岩中含有少量基岩裂隙水。泉眼均在断层线附近,均在Z2dn地层中,有2个径流量较大的下降泉,一个在田坝干沟上游,泉水流量为10.0~32.0 L/s;另一个在尼拉姑沟,泉水流量为5.8 L/s。

在松散堆积层中含孔隙水或少量上层滞水,随着松散堆积层的时代和成因不同,其富水性差异极大,流域区内以Q3pl的富水性较强,在该堆积物构成的斜坡上,可见到一些小的地下水露头。

3.4 不良地质现象 研究区域处于金沙江流域的一级支流小江河谷的东侧,北部为大桥河沟,南部为腊利河沟,地貌上属中切割的高、中山峡谷类型,地形上以乌蒙山脉的主峰大牯牛岭向西的小江河床倾斜。最高点为小江流域的大桥河沟、田坝干沟与金沙江的一级支流以礼河分水岭大牯牛岭,海拔4 017.3 m。最低点为大桥河沟与小江的交汇处的三江口河床,海拔1 120.0 m。区域最大高差28 97.3 m。治理区地形坡度一般为20~40°,总体上大致以1 600.0 m海拔为界,以下为断陷冲洪积盆地,沿东与中、高山区形成牯牛岭的山麓缓坡,地形坡度5~15°;以上为中、高山区,在2 500.0 m海拔以下,地形坡度15~40°,局部形成陡坡、陡崖,在沟谷内及2 500.0 m以上的地段,形成坡度大于50°的陡坡、陡崖,地形反差强烈,山高谷深,坡陡流急。治理区的4条泥石流沟横断面均呈“V”型,切割深度在10~800 m。治理区4条泥石流沟由北向南依次为大桥河沟、田坝干沟、深沟(包括尼拉姑沟)、腊利河沟,流向均为由东向西。流域面积最大的是大桥河沟,达57.49 km²,最小的为田坝干沟,面积19.32 km²,堆积区均位于小江河床附近。具体地形特征和参数见表1。

4 治理措施

4.1 深沟泥石流治理 在深入了解深沟地质灾害形成、运动和活动等特征的基础上,因地制宜地布置拦挡、固床工程,稳固泥石流固体松散物源,尽可能减少泥石流的下排,确保工程实施后对下游城区及堆积区农田等的保护。整条沟道以拦挡、固床为主,结合适当的排导工程及植物工程,采用综合治理的方式控制泥石流物源区松散固体物源的运动,同时对下游的排导槽进行清淤。治理措施建议分为工程措施和植物措施,分述如下:

4.1.1 工程措施。①主沟:主要考虑以拦挡为主,主沟布置拦挡坝(7座)及谷坊群、固床坝等工程,减少沟内松散物质的搬运移动量。②支沟(白云洞沟):根据泥石流特征及受支沟施工条件限制,布置谷坊坝7座,加强沟道内松散物源稳定。③4条泥石流支沟:作为主沟泥石流重要物源,泥石流支沟内布置谷坊群,分级拦挡,共布置谷坊坝37座。④清淤已建排导槽及现有彩虹桥以上库区,其中,彩虹桥以上长1.1 km,以下长2.38 km,清淤弃渣应运至沟口位置处堆渣区,距离7.00 km。⑤尼拉姑沟:布置护岸堤,共计680.0 m,确保洪峰顺利通过,不启动沟床堆积物。

表 1 调查区泥石流沟地形地貌特征

Table 1 Topographic features of debris flow gullies in survey area

沟名 Gully	流域面积 Basin area km ²	地形要素 Topographic features			岸坡 Bank slope °	沟谷岸坡要素 Valley slope factor		
		最高海拔 Highest elevation//m	最低海拔 Lowest altitude m	最大高差 Maximum difference//m		沟谷横断面形态 Gully cross- section	平面形态 Plane shape	切割深度 Cutting depth m
深沟 Shen gully	31.77	3 900.0	1 140.0	2 760.0	20 ~ 40	V、U 型	树枝状	100.0 ~ 700.0
尼拉姑沟 Nilagu gully	3.40	2 216.7	1 056.0	1 160.0	15 ~ 35	V、U 型	葫芦状	10.0 ~ 300.0
大桥河沟 Daqiaohe gully	57.49	4 017.3	1 120.0	2 897.3	20 ~ 40	V、U 型	葫芦状	150.0 ~ 800.0
田坝干沟 Tianba gully	19.32	4 017.3	1 130.0	2 887.3	15 ~ 40	V、U 型	树枝状	100.0 ~ 800.0
腊利河沟 Lalihe gully	27.97	3 607.5	1 217.5	2 390.0	15 ~ 40	V、U 型	树枝状	50.0 ~ 600.0

沟名 Gully	主沟长 Main gully length//km	沟床纵坡降 longitudinal slope//‰	物源区 Provenance region				沟谷形态 Gully form
			面积 Area km ²	长度 Length km	纵坡降 Longitudinal slope//‰	相对高差 Relative elevation//m	
深沟 Shen gully	13.55	196.31	29.01	2.62	541.98	1 420.0	V 型
尼拉姑沟 Nilagu gully	5.11	194.07	3.09	3.51	251.20	881.7	V 型
大桥河沟 Daqiaohe gully	15.25	171.15	50.71	5.02	370.52	1 860.0	V 型
田坝干沟 Tianba gully	11.85	239.66	16.16	5.37	441.34	2 370.0	V 型
腊利河沟 Lalihe gully	12.90	185.27	24.38	6.19	277.87	1 720.0	V 型

沟名 Gully	流通区 Circulation area					堆积区 Accumulation zone				
	面积 Area km ²	长度 Length km	纵坡降 Longitudinal slope//‰	相对高差 Relative elevation//m	沟谷形态 Gully form	面积 Area km ²	长度 Length km	纵坡降 Longitudinal slope//‰	相对高差 Relative elevation//m	堆积扇 Accumulation fan//km ²
深沟 Shen gully	0.84	8.81	130.53	1 150	U 型	1.92	2.12	42.45	90	0.37
尼拉姑沟 Nilagu gully	0.31	1.60	68.75	110	U 型					
大桥河沟 Daqiaohe gully	0.84	5.21	124.76	650	U 型	5.94	5.02	19.92	100	5.00
田坝干沟 Tianba gully	0.17	2.65	105.66	280	U 型	2.99	3.83	49.61	190	0.56
腊利河沟 Lalihe gully	0.69	2.66	154.14	410	U 型	2.90	4.05	64.20	260	0.92

4.1.2 生物措施。深沟流域种植水保林、经济林、灌木等立体、综合生态体系,改变现有单一的农业生产结构。在不同海拔地区种植不同宜生树种,避免水土流失,稳固流域内冲沟、坡面物源,改善流域内固体松散物源的搬运^[6]。此外,调整现有的产业结构,改变单一的农业耕种、放牧模式,进一步提高经济林木的比重,改善当地群众的生活水平。

4.2 大桥河沟泥石流治理 根据现场实地调查可知,目前泥石流造成的威胁主要是下游已建排导槽右岸农田及上百户村民聚集区,在权衡工程投资及目前灾害威胁的情况下,考虑以下游堆积区农田安全及村民聚集区安全为主的布置工程^[7]。工程措施主要是加固已有工程,即对已建排导槽进行加高,加高高度 1.5 m,总长 4 120 m。

4.3 田坝干沟泥石流治理 限于资金不足及整条沟的运动特征,考虑整条沟道以拦挡为主,以减小下游的压力,控制泥石流物源区松散固体物源的启动。因地制宜地布置拦挡工程,减少泥石流固体松散物源,尽可能减少泥石流的下排。方案主要考虑以拦挡为主,主沟下游 1 390.0 ~ 1 430.0 m 布置拦挡坝 2 座(高分别为 10.0、15.0 m),确保下游沟内松散物质的搬运移动^[8]。

4.4 腊利河沟泥石流治理 下游布置拦挡坝,结合已建排导槽新建排导槽,形成完整的排导系统。因地制宜地布置拦挡工程,尽可能减少泥石流的下排。拦挡工程布置于主沟下

游葫芦口处,拦挡坝 1 座(高 12.0 m),在该段位置具备较大库容的前提下,修建拦挡坝,拦截大量固体松散物源,减轻下游排导负荷。下游在已建排导槽的基础上新建排导槽,对原有排导工程进行改造。

5 结语

资源枯竭城市的地质环境治理研究可促进云南东川区生态环境的改善,确保城市生活环境的安全和谐,减轻对于城区安全极具威胁的泥石流等灾害危害,进一步提升城市的泄流能力,并为今后持续的工程治理提供一定的借鉴和参考。

参考文献

- [1] 萧宁年. 东川地区历史上伐薪烧炭炼铜对森林资源消耗的研究[J]. 林业调查规划, 1988(3): 17-20.
- [2] 贾松伟, 韦方强, 崔鹏. 小江流域土地利用变化及其趋势分析[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 154-157.
- [3] 顾俊周. 昆明市东川区老干沟滑坡泥石流综合治理[J]. 亚热带水土保持, 2006, 18(2): 55-57.
- [4] 张桂香, 王士革. 云南东川小江流域生态环境初探及保护对策[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 50-52.
- [5] 王海帆, 程尊兰. 不同海拔河滩地种植方向的初步研究: 以云南小江河谷为例[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(7): 89-92.
- [6] 王海帆, 王军, 吕志能. 小流域生态环境建设的初步研究——以云南东川陶家小河流域为例[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6): 256-259.
- [7] 王道杰, 崔鹏, 朱波, 等. 蒋家沟高含沙水流泥沙特性与泥石流滩地的改良[J]. 山地学报, 2003, 21(6): 745-751.
- [8] 李泳, 陈晓清, 胡凯衡, 等. 流域特征曲线与泥石流活动[J]. 山地学报, 2006, 24(3): 320-326.