

程海断裂永胜段灾害链研究

闭绍林

云南省有色地质局三一〇队 云南 大理 671000

【摘要】：程海断裂为云南滇西一带重要的构造断裂，受断裂影响形成的断陷盆地，三川、程海、期纳、涛源、片角5个盆地，断陷盆地周边往往因断裂抬升形成陡峭的山地，与盆地内部形成显著的地形高差，盆地边界以断裂带为界，断裂活动持续或间歇性发生，导致周边山体岩石破碎、节理发育，易形成松散碎屑物质，加之该区域为易崩易滑的侏罗系红层，红层具有遇水崩解和膨胀、高吸水性、低粘结性、易风化等特性，以及强降雨的影响，发育密集的泥石流和滑坡灾害，形成了易崩易滑地层—构造影响的地形-滑坡泥石流灾害链的高度耦合区，对当地人民的生存以及发展带来了严重的影响，解决滑坡泥石流灾害链的意义深远且多元，不仅直接关系到人民生命财产安全，更对区域生态保护、经济发展、社会稳定乃至国家综合防灾减灾能力建设具有关键支撑作用。

【关键词】：程海断裂；滇西红层；滑坡-泥石流灾害链

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.050

1 引言

1.1 研究背景与意义

受程海断裂的控制，永胜县域形成了多个一字型串珠状高原盆地，在强降雨条件下，盆地两侧的斜坡区的原生砂岩，泥岩等红层，极易形成滑坡-泥石流的灾害链，对当地人民生命财产安全带来严重威胁，深入研究地质灾害链具有极其重要的现实意义。从降低灾害损失的角度来看，通过对地质灾害链形成与演化机制的研究，可以提前识别潜在的危害风险点，制定针对性的防范措施，减少人员伤亡和财产损失。

当前，滇西红层区正处于乡村振兴与基础设施建设加速期，人类工程活动与自然地质环境的相互作用愈发强烈，灾害链风险进一步加剧。因此，开展滇西红层区地质灾害链专项研究，揭示其独特的形成机理与演化规律，建立针对性的风险评估方法与防治体系，对于保障区域人民生命财产安全、维护生态屏障稳定、支撑高质量发展具有重要的理论价值与实践意义。

1.2 国内外研究现状

国外在地质灾害链的研究方面起步较早，在理论模型和监测预警技术等方面取得了一系列重要成果。在理论模型构建上，部分学者从系统论的角度出发，将地质灾害链视为一个复杂的系统，其中各灾害要素相互作用、相互影响。通过建立数学模型和物理模型，对地质灾害链的形成、发展和演化过程进行定量描述和分析。美国学者运用复杂网络理论，构建了地震-滑坡-泥石流灾害链的网络模型，通过分析网络中的节点和边的关系，揭示了灾害链中不同灾害之间的关联强度和传播路径，为灾害链的预测和评估提供了新的思路。

意大利瓦伊昂水库滑坡-涌浪灾害链：1963年10月9日，意大利瓦伊昂水库左岸约 2.7×10^8 立方米的顺层滑坡以约25m/s的速度整体下滑，激起250m高的涌浪，翻越坝顶，冲

毁了坝下游的兰加隆镇和附近5个村庄，死亡1925人。众多学者开展了滑带地质力学特征、孔隙水压力促滑机理、高速运动机理、涌浪灾害等方面的研究，推动了高位远程地质灾害机理和防灾减灾的发展。

1987年我国地震学家郭增建首次提出灾害链的理论概念：“灾害链就是一系列灾害相继发生的现象”。随后1994年文传甲又把灾害链定义为：“一种灾害启动另一种灾害的现象”，即前一种灾害为启动灾环，后一事件为被动灾环，更突出强调了事件发生之间的关联性。1996年史培军将灾害链定义为由某一种致灾因子或生态环境变化引发的一系列灾害现象，并将其划分为串发性灾害链与并发性灾害链两种。2006年肖盛燮等人从系统灾变角度将其定义为：“灾害链是将宇宙间自然或人为等因素导致的各类灾害，抽象为具有载体共性反映特征，以描绘单一或多灾种的形成、渗透、干涉、转化、分解、合成、耦合等相关的物物流信息过程，直至灾害发生给人类社会造成损坏和破坏等各种链锁关系的总称”。

2 程海断裂一带地质灾害链概述

2.1 灾害链概述

地质灾害链是指在特定地质环境条件下，由于一个主要触发因素（如地震、暴雨、人类工程活动等）的作用，引发一种或多种初始地质灾害，这些初始灾害又作为后续灾害的触发条件，进而引发一系列具有因果关联的地质灾害的象。这种由多种地质灾害相互关联、依次发生所形成的链式反应，构成了复杂的地质灾害链系统。

2.2 研究区概况

据相关数据统计，截至2025年6月沿永胜县程海断裂一带的三川、程海、期纳、涛源、片角五个乡镇，登记为隐患点的泥石流有84条，滑坡为7个，如下表2.2所示，表现为密集的泥石流灾害带，泥石流的数量更是达到整个县域泥石流隐患

点的50%以上,泥石流均为暴雨型,程海断裂形成的串珠状高原断陷盆地,这种构造背景为泥石流提供了“物质基础—动力条件—触发空间”的先天孕灾环境。而滑坡多发育在泥石流物源区的两侧斜坡区。目前主管部门登记为隐患点的数量不多,主要因为泥石流物源区多为无人区,不包括泥石流流通区两侧的风险滑坡点,三川、程海、期纳、涛源、片角五个乡镇作为永胜县的工业、农业较发达的重镇。根据2024年发布的人口统计数据,五个乡镇人口为21.73万,占全县人口的54.18%。

表1 程海断裂一带隐患点统计表

乡镇	隐患点数量(个)		
	滑坡	泥石流	小计
程海镇	6	24	30
片角乡	14	17	31
涛源镇	19	5	24
期纳镇	6	23	29
三川镇	7	15	22
合计	52	84	136

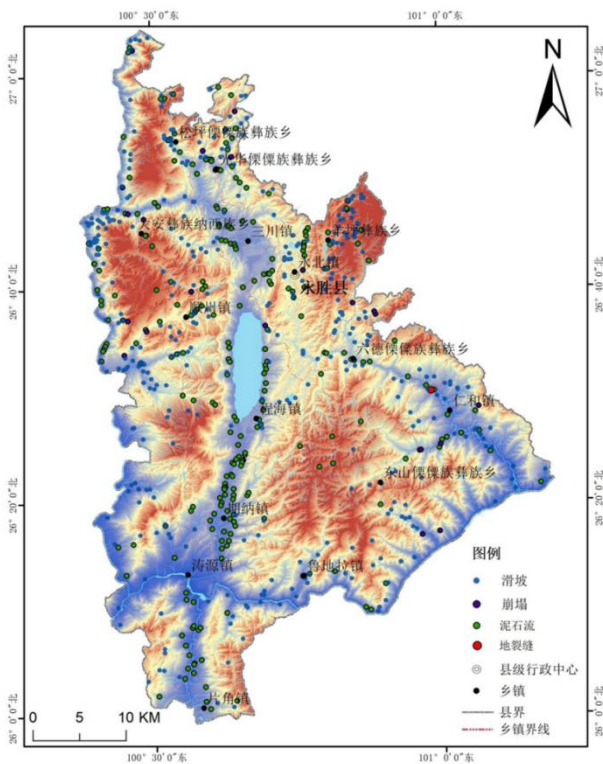


图1 程海断裂一带隐患点分布图

2.3 研究区地质灾害链特征

2.3.1 动态演化性

地质灾害链是一个动态发展的过程,从初始灾害的触发,

到后续灾害的依次发生,整个过程随着时间的推移不断演化。在这个过程中,灾害的类型、规模和影响范围都可能发生变化。在暴雨引发的滑坡-泥石流灾害链中,随着降雨的持续,滑坡的规模可能逐渐扩大,泥石流的流量和流速也会不断增加,对下游地区的威胁越来越大。而且,地质灾害链的演化还受地质条件、气象条件、人类活动等多种因素的动态影响,使得其发展过程更加复杂多变。沿程海断裂一带的泥石流隐患点中,物源区多为主要为侏罗系、三叠系紫红色砂岩、泥岩、粉砂岩,

2.3.2 放大效应

地质灾害链中的灾害损失往往具有放大效应,即后续灾害的危害程度可能远远超过初始灾害。这是因为初始灾害会破坏地质环境和生态系统的稳定性,使得后续灾害更容易发生,且破坏力更强。地震引发的滑坡和泥石流灾害,不仅会直接破坏房屋、道路等基础设施,还可能堵塞河道,形成堰塞湖,堰塞湖一旦决堤,又会引发洪水灾害,对下游地区的生命财产安全造成巨大威胁,灾害损失呈几何倍数增长。

3 研究区的复杂性

地质灾害链的形成和演化涉及多种地质作用、自然因素和人类活动的相互作用,其影响因素众多,包括地形地貌、地质构造、岩土体性质、气候条件、植被覆盖以及人类工程活动等。这些因素相互交织、相互影响,使得地质灾害链的发生机制和发展过程极为复杂。不同地区的地质条件和气候条件差异较大,导致地质灾害链的类型和特征也各不相同,增加了对其研究和防治的难度。

3.1 地形地貌

程海断裂在永胜县域中部偏西近南北向贯通,形成的一字型串珠状高原盆地,直接塑造“盆-山”宏观地形,地形地貌是灾害形成的基础,是滑坡泥石流形成、发育与演化的核心动力基础和空间载体,其通过塑造“坡度、高差、沟谷形态、地形切割程度”等关键要素,直接决定了滑坡泥石流的启动条件、运动路径、能量大小及成灾范围。

永胜县中、大型泥石流沟主要分布在程海、期纳、三川及顺州坝子周围,区山地与盆地过渡区段,海拔高差较大,地形陡峻,局部多陡坎,流域内沟谷多深切,“V”形谷发育,两岸山坡陡峻,斜坡多为 30° ~ 60° 的陡坡。沟床纵坡比降介于较大,汇水面积介于较大,为泥石流的形成提供了良好的孕育条件。永胜县境内构造发育,加之地形陡峻,山坡稳定性差,沟谷内较多崩塌、滑坡发育,为泥石流的发育提供了丰富的固体物源。各泥石流沟口多为盆地,地形豁然开阔平坦,泥石流的动能急剧变小,最终沉积下来形成扇形、锥形或带形的堆积体。泥石流堆积扇区由于地形平坦开阔,是境内主要人口密集区及主要的人类工程活动区域,泥石流在该区也往往造成严重地质灾害。图3.1-1为期纳镇东侧泥石流群。

3.2 地质构造

永胜县域范围内最主要断裂构造,位于“康滇古陆”西缘,为逆断层,具活动性,其发育在古生界及中生界地层中,呈近南北向纵贯全区,因第四系覆盖而呈断续分布。其北自宁蒗,南至弥渡,长逾 200km。断裂带南端与红河断裂带、北端与箐河—金河断裂带及鹤庆-小金河断裂带相交接。程海断裂带东西影响宽度 50km 左右。主干断裂分为东西两支:东支经大厂、平川街一线,一般称之为大厂断裂;西支沿程海、期纳、宾川一线,即狭义的程海断裂带。西支远较东支晚近期活动明显。

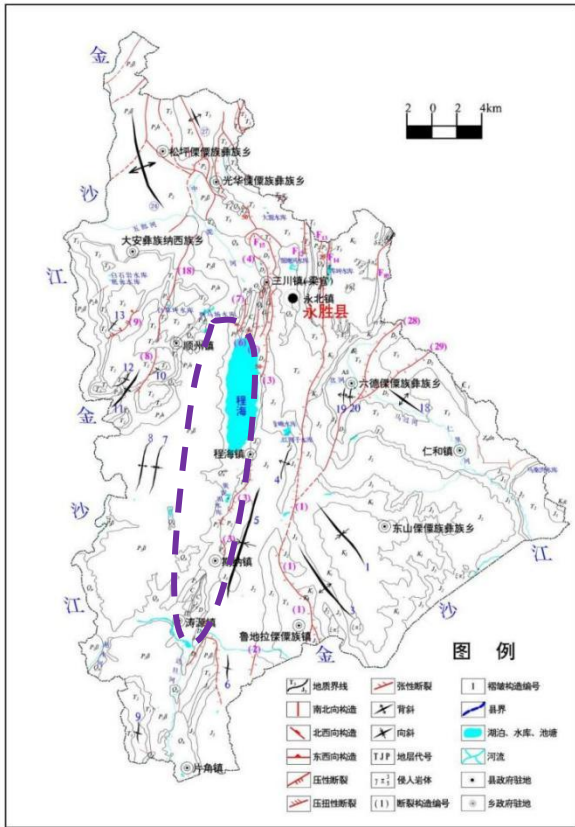


图2 永胜县域范围内构造体系图

南北向构造带:磨房坪断裂 F12、程海断裂带(二道坪断裂 F13、中羊坪断裂 F14、程海断裂 F15)金凤丫口断裂 F85;
(1) 大厂-平川街压性断裂;(2) 麦坪郎压性断裂;(3) 程海压性断裂;(4) 永安东压性断裂;(5) 永安压性断裂;(6) 永安西张性断裂;(7) 鸡冠山压性断裂;(8) 砥当压性断裂;(9) 大黑山张性断裂;褶皱:1 千旦河短轴向斜;3 马桑坪背斜;4 杨坪背斜;5 期纳向斜;6 浪荡梁子向斜;7 拜佛台向斜;8 拜佛台背斜;9 白虎山向斜;10 团街向斜;11 板桥背斜;12 板桥向斜;13 营盘山向斜;18 马过河背斜;19 六德背斜;20 六德向斜;派生断裂:(28) 拉古得压扭性断裂;(29) 毛谷厂压扭性断裂;(30) 大松坪压扭性断裂。

断裂活动对地质灾害的影响,主要表现为对地层岩性完整

性的破坏,以及降低了岩土体工程地质性质,形成的各种结构面为滑坡、崩塌提供了可能滑面。构造对泥石流的影响主要体现在构造对流域内地层的影响,造成区内岩石破碎,增加泥石流的物源。

受断裂影响,在程海镇青草湾村东侧的山体,斜坡处见断层崖,岩石完整性,岩石破碎,松散,发育有崩塌,崩积物堆积在村庄东侧的沟谷内,在强降雨影响下,可能形成崩塌、滑坡-泥石流,碎石流的灾害链,对居民区造成威胁。

3.3 岩土体性质

岩土体性质是程海断裂永胜段滑坡-泥石流灾害链形成的主要物质基础,研究区广泛分布的侏罗系红层,是侏罗纪晚期形成的陆相沉积地层,下部以紫红色砂岩为主,上部为砖红色砂岩、粉砂岩和灰色砂岩、粉砂岩互层,总体厚度较大,具有明显的易崩易滑性,与滇西红层区其他地区红层特征一致,均为灾害链形成提供了丰富的物质来源。

侏罗系红层的矿物组成主要是石英、长石,少量含黏土矿物(蒙脱石、伊利石)等,黏土矿物的存在使红层有明显的遇水崩解、遇水膨胀、高吸水性、低粘结性等特点。干燥状态下,红层岩土体结构比较完整,有一定的强度;但是当遇到降雨的时候,雨水会迅速渗透到岩土体内部,黏土矿物吸水膨胀,使岩土体颗粒之间的粘结力大大减弱,结构遭到破坏,逐渐变成松散的碎屑颗粒,这些碎屑颗粒在重力作用下很容易沿着斜坡滑动,形成滑坡,或者被雨水冲刷进入沟谷,成为泥石流的固体物源。经现场取样测试可知,研究区红层岩土体饱和抗剪强度仅为干燥状态下的一半左右,遇水崩解时间短,一般在浸泡 12-24 小时后就完全崩解,该特点使研究区斜坡在强降雨下很容易失稳,成为灾害链启动的主要原因。

研究区岩土体的岩性差别也加大了灾害链的复杂程度。程海断裂两侧的红层岩性存在明显的分异,盆地边缘和山地斜坡区以厚层砂岩和薄层泥岩互层为主,砂岩质地较硬,但是节理发育,容易发生崩塌;泥岩质地较软,容易风化、遇水崩解,形成松散堆积物。盆地内部和沟谷底部多为第四纪松散堆积物,主要由红层风化碎屑、滑坡堆积物、泥石流堆积物组成,颗粒分选性差,结构松散,孔隙度大,渗透性强,自身容易发生滑动,还能给泥石流提供大量的松散物源。

4 结语

综上,程海断裂永胜段滑坡-泥石流灾害链的形成是由构造因素、岩土体因素、地形因素和气候因素相互耦合、协同作用所造成的,它的复杂性表现在多因素交织影响、灾害链动态演化 and 损失放大效应上。本研究得到的灾害链形成机理和演化规律,可以给该区域地质灾害风险评价、监测预警以及防治工程的设计提供科学依据,对于保证区域人民群众生命财产安全、支撑乡村振兴和基础设施建设、提高国家综合防灾减灾能力有

着十分重要的意义。研究结果还表明, 后续还需要加强对程海断裂活动性的长期观测, 探究人类工程活动对灾害链的影响, 完善灾害链风险评价体系以及综合防治技术, 从而达到对灾害链精准防控的目的, 促进区域生态保护和经济社会协调发展。

参考文献:

- [1] 李勇.狮子山隧洞穿越 F16 活动断裂带结构防震抗震关键技术[J].中国水能及电气化,2021,(11):7-13.
- [2] 黄小龙,吴中海,吴坤罡.滇西北弥渡地区主要断裂晚新生代发育特征及其动力学机制[J].地质力学学报,2021,27(06):913-927.
- [3] 罗睿洁,吴中海,黄小龙,等.滇西北宾川地区主要活动断裂及其活动构造体系[J].地质通报,2015,34(01):155-170.
- [4] 俞维贤,王彬,毛燕,等.程海断裂带断层泥中石英碎砾表面 SEM 特征及断层活动状态的分析[J].中国地震,2004,(04):25-30.
- [5] 王晋南,皇甫岗.程海断裂尾端侧向迁移与地震的相关性[J].地震研究,1992,(02):180-185.