

文章编号: 1008-2786-(2016)4-451-09

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000150

孙水河流域地质灾害链类型结构与断链对策

倪化勇, 王德伟, 白永健, 刘小霞

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘 要: 孙水河流域地质环境条件复杂, 人类工程活动强烈, 崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害发育, 水土流失问题严重。地质灾害在形成与发展演化过程中呈现出明显的链式效应。采用野外调查、遥感解译和综合分析相结合方法, 查明了孙水河流域地质灾害链的主要诱发因素: 强降雨、人类工程活动及其共同作用; 基于灾害链激发环、灾害链演化环、灾害链损害环分别论述了孙水河流域境内强降雨、人类工程活动及两者共同作用下诱发地质灾害链的类型结构和成灾特征; 从监测预警网络建设、防灾减灾体系完善、地质灾害综合治理实施以及地质环境保护和植被恢复推进等方面, 提出了孙水河流域地质灾害链的断链对策。

关键词: 地质灾害链; 类型结构; 成灾特征; 断链对策; 孙水河流域

中图分类号: P642.2 X43

文献标志码: A

地质灾害链一般是指由成因上相似并呈线性分布的一系列地质灾害体组成的灾害链, 或者是由一系列在时间上有先后, 在空间上彼此相依, 在成因上相互关联、互为因果, 呈连锁反应依次出现的几种地质灾害组成的灾害链^[1], 一旦形成, 极易借助自然生态系统之间相互依存、相互制约的关系, 产生连锁反应, 由一种地质灾害引发出其他灾害, 从一个地域空间扩散到另一个更广阔的地域空间^[2], 灾情和危害往往比地质灾害本身更加严重。因此, 近年来地质灾害链问题备受关注, 成因与诱发因素^[3-6]、类型与特点^[1-2, 7]、演化及其临界过程^[8]、断链对策与优化防治^[9]等已成为当前研究的热点。

然而, 由于孕灾条件及地质灾害形成、演化的复杂性, 地质灾害链往往呈现出多样性和差异性。本文以孙水河流域地质灾害链为例, 通过灾害链激发环、演化环和损害环等相关环节演化过程的划分, 探讨了不同诱发条件下地质灾害链的类型结构与成灾特征, 并提出了断链对策, 以期增强流域地质灾害链

演化规律的认识, 同时为孙水河流域开发、地质环境保护和灾害防御提供地质基础依据。需要说明的是, 广义的地质灾害按致灾地质作用的性质和特征可分为 30 余种^[10], 而根据孙水河流域地质灾害类型和特征, 仅涉及到崩塌、滑坡、泥石流以及水土流失 4 种。

1 孙水河流域地质灾害链的诱发因素

1.1 地质环境条件与地质灾害特征

孙水河是安宁河中游左岸最大的一条支流, 位于 102°11'~102°42'E, 27°54'~28°29'N, 主河道长约 110 km, 流域面积 1 618 km²。流域地貌以中高山为主, 最高高程 3 040 m, 最低海拔 1 616 m, 高差达 1 424 m, 河床平均坡降比 12.94‰。流域内地质构造复杂(图 1), 主要出露有前震旦系、震旦系、三叠系、侏罗系、白垩系和第四系地层, 其中流域中上游以陆相红色碎屑沉积为主要特征, 岩性主要包括砂

收稿日期(Received date): 2014-08-13; 改回日期(Accepted): 2014-10-31。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41102226) 科技基础性工作专项(2011FY110100-1) 国土资源调查项目(12120113010600)。

[Supported by the National Science Foundation of China(41102226), the Project of Basic Work of Science and Technology of China(2011FY110100-1) and Project of Investigation and Research on Land and Resources from China Geological Survey(12120113010600).]

作者简介(Biography): 倪化勇(1979-), 男, 山东临朐人, 副研究员, 主要从事泥石流灾害预测预报、评价与灾害地貌研究。[Ni Huayong(1979-), male, associate professor, mainly engaged in forecasting, assessment on debris flow and geomorphology of geological hazards.] E-mail: nihuyong@126.com

成的灾害链,如构造(造山)运动、地震、火山等地球内营力作用致灾形成的地质灾害链;外动力地质灾害链是由地球外营力作用致灾的灾害链,包括强降雨导致的地质灾害链、气温变化导致的地质灾害链等;人类工程活动地质灾害链往往由人类在资源开发、工程建设等不合理活动中诱发的灾害链。

调查发现,孙水河流域地质灾害链诱发因素主要包括强降雨和人类工程活动两种因素,因此,本文重点论述孙水河流域境内强降雨、人类工程活动及两者共同作用下诱发地质灾害链的类型结构和成灾特征。

2 降雨诱发地质灾害链的类型结构与成灾特征

2012-08-31,四川凉山州喜德县遭遇 200 a 一遇的特大暴雨,孙水河上游米市镇(图 1)监测当日最大降雨量达到 149.2 mm。结合本次强降雨过程导致的地质灾害及其演化特征,可将孙水河流域降雨诱发地质灾害链的类型结构进一步归纳为 8 个方面,灾害链激发环、灾害链演化环、灾害链损害环以及灾害链环数分别见表 1。

2.1 降雨→滑坡、坡面泥石流→水土流失、环境破坏
坡面型泥石流由固体碎屑物、水和气体组成混合流体,介于块体运动和挟沙水流之间,是坡面土体和水体相互作用的结果,它的形成与坡面土体的渗透变形或液化密切相关。孙水河流域内滑坡与坡面

泥石流往往相互依存,在降雨→滑坡→坡面泥石流灾害链的形成过程中,降雨与水体入渗过程是重要的激发环,滑坡与坡面泥石流则构成了主要的灾害链演化环。

“8·31”强降雨,导致了大量浅层滑坡和坡面泥石流的发生。根据实地调查和遥感解译结果,强降雨诱发了 351 处浅层滑坡和坡面泥石流点。据测量,降雨诱发的滑坡、坡面泥石流灾害链一般发生在坡度在 30°以上的斜坡地带,残坡积层厚度一般较小(<5 m),雨水入渗使得斜坡残坡积岩土体饱和和软化,土体含水量高达 28% 以上,粘聚力和内摩擦角都发生急剧降低。调查表明,孙水河流域内降雨诱发的滑坡、坡面泥石流灾害链多以浅表层平移式和旋转式滑动方式破坏为主,无恒定地域与明显沟槽,只有活动周界,轮廓呈保龄球形或条带状。

从成灾特点来看,孙水河流域内降雨诱发的滑坡、坡面泥石流灾害链规模小,但分布广,发生地点多,成灾速度快,突发性强。在降雨→滑坡、坡面泥石流→水土流失、环境破坏灾害链成灾过程中,大部分滑坡和坡面泥石流造成了水土流失、植被和环境破坏。2012-08-31 强降雨发生后,在孙水河流域两河口以上流域的山坡多处可见浅层滑坡和坡面泥石流(图 2),大量植被被破坏,对生态环境影响比较严重。

2.2 降雨→滑坡、坡面泥石流→沟谷泥石流→单沟损害+水土流失+环境破坏

“8·31”强降雨发生后,该灾害链在孙水河流域

表 1 降雨诱发地质灾害链
Tab. 1 Geo-hazard chains induced by rainstorm

序号	激发环	演化环	损害环	环数
1	降雨	→滑坡、坡面泥石流	→水土流失+环境破坏	3
2	降雨	→滑坡、坡面泥石流→沟谷型泥石流	→单沟损害+水土流失+环境破坏	4
3	降雨+径流侵蚀	→崩塌、滑坡→沟谷型泥石流	→单沟损害+水土流失+环境破坏	4
4	降雨+径流侵蚀	→崩塌、滑坡→沟谷型泥石流	→孙水河中、下游损害(抬高河床、淤埋农田、冲毁路基和桥梁、中断交通)	4
5	降雨+径流侵蚀	→沟谷型泥石流→崩塌、滑坡	→水土流失+环境破坏	4
6	降雨+径流侵蚀	→滑坡→水土流失	→孙水河中、下游损害(抬高河床、淤埋农田、冲毁路基和桥梁、中断交通)	4
7	降雨+径流侵蚀	→滑坡→堰塞湖→堰塞坝溃决	→孙水河中、下游损害(抬高河床、淤埋农田、冲毁路基和桥梁、中断交通)	5
8	降雨+径流侵蚀	→沟谷型泥石流→挤压主河→侧蚀崩塌→卷入洪水	→孙水河中、下游损害(抬高河床、淤埋农田、冲毁路基和桥梁、中断交通)	6

具有较强的代表性,其的前期演化同降雨诱发的上述滑坡、坡面泥石流地质灾害链一样。然而,在灾害链演化的过程中表现出差异性:1. 部分滑坡、坡面泥石流灾害链发生后,沿斜坡拉出一条沟槽或冲沟(图3),沟口形成明显堆积扇,因此,滑坡、坡面泥石流发生后,逐渐演化为沟谷型泥石流,能够进行形成区、流通区和堆积区的划分;2.) 在本身为泥石流沟流域内,由于两岸或上游斜坡地带滑坡、坡面泥石流的发生,直接诱发沟谷型泥石流的发生。可见,根据灾害链所形成的结构,该灾害链属于典型的串联型灾害链。

从成灾特征来看,该类型灾害链存在着不断发生发展的趋势,沟谷型泥石流发生频率将提高,并且溯源侵蚀等地貌演化不断呈现,容易导致水土流失与生态环境恶化。

2.3 降雨+径流侵蚀→崩塌+滑坡→沟谷型泥石流→单沟损害

该灾害链是孙水河流域内最常见的地质灾害链,在灾害链形成过程中,灾害链激发环是降雨及其形成的径流,灾害链演化环包括降雨入渗土体液化或径流侵蚀作用下导致沟谷岸坡发生崩塌、滑坡现象,崩塌、滑坡堆积体进而被席卷形成沟谷型泥石流,即体现了灾种的转化,也体现了沟谷型泥石流的形成过程,因此该灾害链的实质是崩塌、滑坡转化与沟谷泥石流形成的过程。

从分布上来看,该灾害链在整个孙水河流域均有出现,尤其以孙水河流域中上游红层砂泥岩地区分布最广。从灾害链的形成过程来看,崩滑转化为泥石流的过程可存在两种情形:1. 与土体液化密切相关的流态化过程,反映了土体和水体强烈相互作用的过程(图4)。2. 与水力相关的侵蚀过程,反映了坡脚掏蚀与坡体失稳过程(图5)。对比发现,孙水河流域内,该灾害链的形成多以第二种情形为主。

从成灾过程来看,该灾害链具有规模大、破坏力强和致灾严重的特点。在孙水河流域内,居住在沟口泥石流堆积扇的群众常受到该类灾害链的威胁。

2.4 降雨+径流侵蚀→崩塌+滑坡→沟谷型泥石流→孙水河中、下游损害

该灾害链同上述灾害链3中崩塌、滑坡转化形成沟谷型泥石流的演化过程基本相同,但在孙水河流域,由崩滑补给沟谷型泥石流形成的灾害链除上述单沟危害之外,大量堆积在沟口的泥石流堆积物,被主河源不断携带至孙水河干流及其中下游,成

为了孙水河沙石的最主要来源。据估算,孙水河洪水中高达60%的沙石来自流域内支沟发生的泥石流。在孙水河两河口以下段,沟谷开阔,大量沙石堆积,河床普遍抬高3~5 m(图6),导致大量农田被淤埋,多处路基和桥梁被冲毁,交通中断。抬高的河床影响到了喜德县城(图7),造成大量房屋被淹。

2.5 降雨+径流侵蚀→沟谷型泥石流→崩塌+滑坡→水土流失、环境破坏

除降雨+径流侵蚀→崩塌+滑坡→沟谷型泥石流灾害链外,泥石流的下切侵蚀和侧蚀同样导致了崩塌、滑坡的发生,从而形成了链式循环过程。因此,两者同属混链型灾害链,这种灾害链现象往往发生在孙水河流域内面积较大的支沟内,如波振沟、米市河以及热柯依达沟等地泥石流的形成、演化及其破坏过程均属于该灾害链类型。

从成灾过程来看,该灾害链在造成泥石流规模、动力增大的同时,导致大量水土流失出现以及植被与生态环境的破坏(图8)。

2.6 降雨+径流侵蚀→滑坡→水土流失→孙水河中、下游损害

喜德县水利局监测数据表明,“8·31”强降雨导致孙水河产生超100 a一遇的洪水,流量达到 $2400\text{ m}^3/\text{s}$,洪水携带大量沙石,侵蚀能力增强,下泄过程中,沿途对岸坡进行侵蚀诱发了大量滑坡(如炭山村滑坡等),松散的滑坡体增大了洪水的含沙量和侵蚀能力,导致水土流失严重。该灾害链的发生,使孙水河中、下游城镇、交通、农田等损害严重。

2.7 降雨+径流侵蚀→滑坡→堰塞湖→堰塞坝溃决→孙水河中、下游损害

该灾害链主要体现在柯依达沟上游左岸采蔬组滑坡→堰塞湖灾害链。“8·31”热柯依达乡采蔬组发生大规模滑坡,体积约 $1.9 \times 10^6\text{ m}^3$,形成高52 m、宽200~320 m、长80~120 m的堰塞堆石坝^[11],热柯依达沟断流8 d,形成堰塞湖(图9),回水2.5 km,水位上涨10~32.8 m,库容约 $120 \times 10^4\text{ m}^3$ 。由于坝体结构松散,在超静孔压的产生和超静孔压水流侵蚀作用下,存在发生破坏坝体溃决并进而形成大规模泥石流的可能^[11],一度威胁下游9个乡镇与县城约1.29万人的生命财产安全。

2.8 降雨+径流侵蚀→泥石流→挤压主河→侧蚀崩塌+滑坡→卷入洪水→孙水河中、下游损害

该灾害链在孙水河流域广泛分布,调查和遥感解译表明,孙水河流域内多处泥石流存在挤压或堵



图 2 滑坡 - 坡面泥石流灾害链及其环境破坏
Fig. 2 Landslides and slope-type debris flows triggered
by 2012 - 8 - 31 rainstorm and environment damage



图 3 滑坡→坡面泥石流→沟谷泥石流灾害链
Fig. 3 Disaster chain of landslide-slope-type debris
flow-gully-type debris flow

塞沟床的情形。“8·31”强降雨导致流域中上游米市镇至额尼乡 泥岩、砂岩互层等软弱地层区大量沟谷发生泥石流 泥石流堆积体向主河推进、扩展,导致孙水河上游主河及其支沟河道遭受严重挤压、堵塞或改道(图 10)。洪水强烈侵蚀泥石流沟对岸斜坡 产生崩塌、滑坡 增大了孙水河主河含沙量,使得孙水河中、下游城镇、交通、农田等损害严重。

3 人类工程活动诱发地质灾害链的类型结构与成灾特征

孙水河流域内人类工程活动主要表现为矿山开采、公路修建等,这些人类工程活动触发了大量崩塌、滑坡和泥石流等灾害。反之,地质灾害对资源开



图 4 土体液化→滑坡→沟谷型泥石流灾害链
Fig. 4 Disaster chain of liquefaction-landslide-debris flow

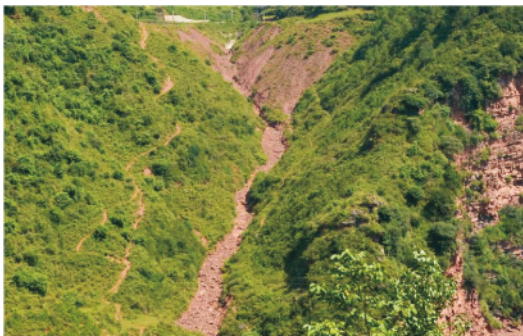


图 5 沟谷侵蚀→滑坡→沟谷型泥石流灾害链
Fig. 5 Disaster chain of erosion-landslide-debris flow



图 6 被抬高的孙水河河床
Fig. 6 Uplifted beds along Sunshui River



图 7 抬高后的河床使得喜德县城洪水泛滥
Fig. 7 Xide city threatened by uplifted beds and flood



图 8 沟谷型泥石流 - 沟床侵蚀 - 崩塌 + 滑坡 - 水土流失 + 环境破坏灾害链

Fig. 8 Disaster chain of gully-type debris flow-gully erosion-collapse and landslides-environment damage



图 9 采蔬滑坡堰塞坝遥感影像图(来自 Google earth)

Fig. 9 Caishu landsilde and dammed lake (From Google earth)



图 10 泥石流挤压主河导致主河侧蚀产生崩塌、滑坡

Fig. 10 Disaster chain of debris flow-blocking main river-lateral erosion and landslide

发利用和公路运行等构成威胁。流域内人类工程活动诱发的地质灾害链类型结构主要表现为 3 个方面 灾害链激发环、灾害链演化环、灾害链损害环以及灾害链环数分别见表 2。随着西部大开发的不断推进 这种灾害链的危害正在日益严重 应予以高度

重视。

表 2 人类工程活动诱发地质灾害链

Tab. 2 Geo-hazard chain induced by engineering activities

序号	激发环	演化环	损害环	环数
1	公路切坡	→崩塌 + 滑坡	→危害公路运行	3
2	露天采矿	→崩塌 + 滑坡 + 碎屑流	→环境破坏、矿区损害	3
3	地下采矿	→滑坡	→环境破坏、矿区损害	3

3. 1 公路切坡→崩塌 + 滑坡→危害公路运行

调查发现 受地层岩性控制 孙水河流域内崩塌灾害并不发育。但受公路切坡影响 ,多处公路切坡形成的斜坡地段 部分高陡边坡未按标准边坡比进行削坡 ,为崩塌、滑坡的发育提供了优越的临空条件 ,导致崩塌、滑坡密集发育 ,对公路及行车构成威胁。该类地质灾害链主要分布在上游左岸喜德至米市公路沿线以及下游右岸喜德至泸沽镇公路沿线。

3. 2 矿产露采→崩塌 + 滑坡 + 碎屑流→环境破坏、矿区损害

孙水河流域矿产资源主要分布在下流的深沟、冕山、拉克一带 矿产地 40 余处。近年来 孙水河流域下游矿业活动频繁 ,导致了崩滑、滑坡、泥石流等一系列地质灾害问题。其中 ,露天采矿及其弃渣诱发了大量崩塌、滑坡、碎屑流等地质灾害链。该类灾害链主要发育在孙水河下游右岸的深沟流域 ,露天采矿诱发地质灾害的同时 ,破坏了流域生态环境 ,导致生态环境恶化(图 11) ,灾害链对矿产资源开发以及矿区内工人、当地群众生命财产安全保障构成了威胁。

3. 3 矿产洞采→边坡失稳→滑坡、崩塌→环境破坏、矿区损害

在矿产开发过程中 孙水河流域境内洞采矿产



图 11 矿产露采 - 崩塌 + 滑坡 + 碎屑流 - 环境破坏 + 矿区损害

Fig. 11 Mining induced geo-hazards and environment damage

同样诱发了大量滑坡、崩塌等灾害。如拉克铁矿区, 由于开挖引起原有斜坡条件的改变, 从而引起滑坡两处, 最大一处滑坡长 200 m, 宽 400 m。洞采矿产诱发滑坡、崩塌等地质灾害链的同时, 破坏了流域生态环境, 导致生态环境恶化, 灾害链对矿产资源开发以及矿区内工人、当地群众生命财产安全保障构成了威胁。

4 降雨和人类工程活动诱发复合型地质灾害链的类型结构与成灾特征

除上述单因素诱发地质灾害链外, 由降雨和人类工程活动共同作用触发了许多复合型地质灾害链。在孙水河流域, 复合型地质灾害链类型结构主要包括 3 个方面, 激发环、演化环、损害环以及环数分别见表 3。

4.1 公路切坡 + 降雨 → 崩塌 + 滑坡 → 危害公路运行
同上述由公路切坡单因素人类工程活动诱发的地质灾害链相比, 多数与公路切坡相关的地质灾害链是在降雨等外界因素作用下发生的。换句话说, 由公路切坡人类工程活动和降雨自然因素复合作用下形成的地质灾害链危险性更大。孙水河流域多处公路存在公路切坡 + 降雨 → 崩塌 + 滑坡灾害链, 对公路及行车构成威胁。同上述由公路切坡单因素人类工程活动诱发的地质灾害链一样, 该类复合地质灾害链主要分布在喜德至米市公路沿线以及喜德至泸沽镇公路沿线, 其危害对象主要为公路的安全运营。

4.2 沟道弃渣 + 降雨 → 沟谷型泥石流 → 环境破坏、矿区损害

调查发现, 孙水河流域内大量道路修建弃渣、矿山开采弃渣、建筑和生活垃圾弃渣的堆放问题成为了一个突出的山区环境问题。堆放不合理的弃渣为泥石流发生提供了大量的物源, 该类由不合理堆放弃渣所引发的泥石流被称为弃渣型泥石流。对于不同泥石流沟, 弃渣补给并参与泥石流的方式不尽相

同, 其形成机理也存在较大差异^[12]。根据孙水河流域内弃渣泥石流发生情况和启动机理, 可将弃渣型泥石流分为弃渣面蚀型、弃渣揭底型、弃渣侧蚀型、弃渣溃决型 4 类。

盐井沟发育于铁矿山矿区和大顶山矿区之间, 是孙水河流域内典型的矿渣型泥石流沟。盐井沟长仅 7.9 km, 但相对高度达 1 802.3 m, 主沟道纵坡变化大, 该沟原即为一古老的泥石流沟。1960 年代以来, 由于人为活动失控, 逐渐成为一条活动日趋频繁、规模不断增大的灾害性泥石流沟。泥石流的物源, 一方面是矿区地表岩石的松散破碎; 另一方面, 矿山自 1966 年生产建设至今, 有大量废渣排入沟内, 据统计^[13], 从 1966 年到 1985 年 20 a 间, 矿山排入沟内的废渣 $592.67 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。1970 - 05 - 26, 暴雨激发矿渣型泥石流, 造成 104 人死亡, 并中断昆铁路、泸沽 - 喜德公路, 经济损失巨大; 在其后的 1971、1972、1977、1980、1984 年中都相继暴发过泥石流, 以 1970 年和 1972 年规模最大, 泥石流流量为 $240 \sim 280 \text{ m}^3/\text{s}$, 总量可达 $20 \times 10^4 \sim 25 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

4.3 陡坡耕地 + 降雨 → 滑坡 + 坡面泥石流 → 环境破坏、多种损害

孙水河流域内土地稀缺, 除少数河流阶地及泥石流堆积扇用于开发耕地外, 多数居民地位于残坡积斜坡上, 坡度多在 20° 以上。区内由于陡坡耕地现象普遍, 农业耕种导致坡脚变形破坏、地表水持续不断的渗入坡体, 软化土体, 引发斜坡变形, 产生滑坡、坡面泥石流等灾害。如热柯依达乡依呷组滑坡、光明镇沙洛组不稳定斜坡等的主要诱发因素都是陡坡耕地开发, 导致雨水入渗, 诱发坡体变形。

从成灾过程来看, 该灾害链除导致环境破坏外, 诱发的滑坡或坡面泥石流等还可能成为沟谷泥石流的物源, 导致其他多种地质灾害。

5 地质灾害链的断链对策

1. 建立和完善监测预警网络, 掌握孙水河流域地

表 3 人类工程活动与降雨诱发复合型地质灾害链
Tab. 3 Composite disaster chain induced by both rainfall and engineering activities

序号	激发环	演化环	损害环	环数
1	公路切坡 + 降雨	→ 崩塌 + 滑坡	→ 危害公路运行	3
2	沟道弃渣 + 降雨	→ 沟谷型泥石流	→ 环境破坏、矿区损害	3
3	陡坡耕地 + 降雨	→ 滑坡 + 坡面泥石流	→ 环境破坏、多种损害	3

质灾害链的演化规律。

孙水河流域内地质灾害链类型结构多样,但与降雨具有密切的关系,降雨渗透于灾害链演化的各个环节。因此,孙水河流域地质灾害链监测预警网络的建设应紧紧抓住灾害链链首,即降雨。另外,应加强对灾害链所涉及的重点地区、重要环节进行监测,包括米市河沿岸、孙水河主河沿岸河床与水位的演化监测、汛期洪水含沙量的监测、重点地质灾害的变形监测等。需要说明的是,孙水河流域监测预警网络可通过先进监测预警技术实现,如高精度遥感等,从而掌握孙水河流域地质灾害链的演化规律,为灾害链的认识和防治奠定基础。

2. 建立和完善综合减灾体系,开展孙水河流域地质灾害链的协同防控。

除降雨外,孙水河流域地质灾害链的形成、发生和演化是多种因素相互作用的结果,各环节存在明显的关联性,其成灾过程往往具有空间的广泛性、时间的动态性以及对象的多样性特征。因此,各级政府、各涉灾管理部门之间建立和完善综合减灾体系,对开展孙水河流域地质灾害链的协同防控具有重要意义。综合减灾体系涉及气象部门关于降雨信息发布与灾害链防范、国土部门关于地质灾害监测、防治、管理以及矿业资源开发与灾害链防范、水利部门关于洪水、输沙监测与灾害链防范、林业部门关于植被恢复与灾害链防范、交通部门关于公路修建与灾害链防范等等。

3. 逐步实施地质灾害综合治理,控制孙水河流域地质灾害链的关键环节。

崩塌、滑坡、泥石流是孙水河流域地质灾害链形成、演化与成灾的重要环节,更是孙水河流域主要环境地质问题。针对孙水河流域内重点地质灾害逐步实施综合治理,可以有效控制流域地质灾害链演化的关键环节。例如,针对波振沟泥石流、米市河主要支沟泥石流、沙马拉达沟及其支沟泥石流、热柯依达沟及其支沟泥石流等关键致灾体进行工程治理,可大幅度控制支沟泥石流向孙水河的输砂问题;针对矿产开采与利用,加强盐井沟矿山泥石流、拉克铁矿区采矿诱发滑坡以及深沟矿渣泥石流的综合治理,可有效控制矿区地质灾害链发展与演化。

4. 逐步推进地质环境保护与植被恢复,消除孙水河流域地质灾害链的孕育条件。

孙水河流域地质环境复杂,流域内陡坡耕地、植被破坏等因素加剧了地质灾害链的形成、发生、发展

和演化,地质灾害链与地质环境恶化之间构成了恶性循环。对此,建议逐步推进地质环境保护与植被恢复,最大程度的消除地质灾害链的孕育条件。如前所述,在孙水河流域上游热柯依达沟流域、米市河流域、中游沙马拉达沟流域及下游右岸支沟深沟流域,大量地质灾害的发生与土体利用、矿产开采密切相关。建议根据地质环境条件选择合适树种,尽快恢复山区植被,提高森林覆盖率,从而减少地质灾害和水土流失等灾害链问题的出现。

参考文献(References)

- [1] 韩金良,吴树仁,汪华斌. 地质灾害链[J]. 地学前缘,2007,14(6): 11-23 [Han Jinliang, Wu Shuren, Wang Huabin. Preliminary study on geological hazards [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(6): 11-23]
- [2] 崔云,孔纪名,吴文平. 汶川地震次生山地灾害链成灾特点与防治对策[J]. 自然灾害学报,2012,21(1): 109-116 [Cui Yun, Kong Jiming, Wu Wenping. Cause characteristics and prevention/control strategies of the secondary mountain disaster chain of the Wenchuan earthquake [J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(1): 109-116]
- [3] 冯自立,崔鹏,何思明. 滑坡转化为泥石流机理研究综述[J]. 自然灾害学报,2005,14(3): 8-14 [Feng Zili, Cui Peng, He Siming. Mechanism of conversion of landslides to debris flows [J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(3): 8-14]
- [4] 陈晓清,崔鹏,冯自立,等. 滑坡转化泥石流起动的人工降雨试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(1): 106-116 [Chen Xiaqing, Cui Peng, Feng Zili, et al. Artificial rainfall experimental study on landslide translation to debris flow [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(1): 106-116]
- [5] 李明,唐红梅,叶四桥. 典型地质灾害链式机理研究[J]. 灾害学,2008,23(1): 1-5 [Li Ming, Tang Hongmei, Ye Siqiao. Research on chain rule of typical geological disaster [J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(1): 1-5]
- [6] 徐文杰,陈祖煜,何秉顺,等. 肖家桥滑坡堵江机制及灾害链效应研究[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29(5): 933-942 [Xu Wenjie, Chen Zuyu, He Bingshun, et al. Research on river-blocking mechanism of Xiaojiaqiao landslide and disasters of chain effects [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(5): 933-942]
- [7] 钟敦伦,谢洪,韦方强,等. 论山地灾害链[J]. 山地学报,2013,31(3): 314-326 [Zhong Dunlun, Xie Hong, Wei Fangqiang, et al. Discussion on Mountain Hazards China [J]. Mountain Research, 2013, 31(3): 314-326]
- [8] 王文俊,唐晓春,王建力. 灾害地貌链及其临界过程初探[J]. 灾害学,2000,15(1): 41-46 [Wang Wenjun, Tang Xiaochun, Wan Jianli. A preliminary study on disaster chain of geomorphology and its critical process [J]. Journal of Catastrophology, 2000, 15(1): 41-46]

- [9] 冯玉涛,肖盛燮. 崩滑流地质灾害链式机理及其优化防治[J]. 灾害学, 2009, 24(3): 22 – 26 [Feng Yutao, Xiao Shengxie. Chain mechanism and optimized control of collapses, landslides and debris flows[J]. Journal of Catastrophology, 2009, 24(3): 22 – 26]
- [10] [吕学军,童立峰. 自然灾害学概论[M]. 吉林: 吉林大学出版社, 2010: 50 – 58 [Lv Xuejun, Dong Lifeng. An introduction on natural disaster science[M]. Jilin: Jilin University press, 2010: 50 – 58]
- [11] 白永健,倪化勇,王运生,等. 喜德采书组“8.31”滑坡工程地质特征及运动过程[J]. 山地学报, 2014, 32(3): 327 – 335 [Bai Yongjian, Ni Huayong, Wang Yunsheng, et al. Engineering geological characteristics and motor process of Caishu landslide in Xide of Sichuan, China[J]. Mountain Research, 2014, 32(3): 327 – 335]
- [12] 倪化勇,铁永波,苏鹏程. 弃渣型泥石流分类与灾害防治体系[J]. 资源与产业, 2011, 13(3): 103 – 109 [Ni Huayong, Tie Yongbo, Su Pengcheng. Classification and disaster prevention system of debris flows induced by waste dumps[J]. Resources and Industries, 2011, 13(3): 103 – 109]
- [13] 罗德富. 成昆铁路盐井沟泥石流特征及治理意见[J]. 铁道工程学报, 1986, 3(4): 172 – 175 [Luo Defu. Characteristics and control advice on Yanjing-gully debris flow along the Chengdu-kunming railway[J]. Journal of Railway Engineering, 1986, 3(4): 172 – 175]

Structure Type and Countermeasures of Geo-hazard Chain Effects in Sunshui River Drainage ,Sichuan ,China

NI Huayong , WANG Dewei , BAI Yongjian , LIU Xiaoxia

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources ,China Geological Survey ,Chengdu 610081 , China)

Abstract: Sunshui River is located at the left bank of Anning River. Affected by the special geological , geomorphological conditions and intensive human activities , geological hazards , such as landslides and debris flows , are widely formed in the Sunshui River drainage. What's more , the evolution of geological hazards takes on an obvious characteristic of chain effect. In this paper , based on field investigation , RS interpretation and comprehensive analysis , the triggering factors of geo-hazard chains were found out. According to the triggering link , evolution link and damaging link , the structure types of geo-hazard chains in the Sunshui River drainage are classified and the corresponding disaster characteristics are summarized systematically. In the end of this paper , chain interruption countermeasures were put forward for disaster mitigation , drainage development and geo-environment protection.

Key words: Geo-hazard chain; Structure type; Disaster characteristics; Chain prevention countermeasures; Sunshui River drainage