

文章编号: 1008-2786-(2013)3-314-13

# 论山地灾害链

钟敦伦<sup>1</sup>, 谢洪<sup>1</sup>, 韦方强<sup>1,2\*</sup>, 刘洪江<sup>3</sup>, 汤家法<sup>4</sup>

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041;

3. 云南财经大学城市与环境学院, 云南 昆明 650221; 4. 西南交通大学地球科学与环境工程学院, 四川 成都 610031)

**摘 要:** 山地灾害链是具有灾变条件的山地环境, 在致灾因素的作用下, 一种山地灾害发生后, 引起其他种类山地灾害也相继或滞后发生的灾变现象。通常由泥石流、山洪、滑坡、崩塌、冰崩、雪崩、堰塞湖和水土流失等灾种及其相关灾变现象构成, 种类繁多, 结构复杂, 危害严重。根据山地灾害链的致灾因素不同将其划分成地球内营力作用、外营力作用和人为作用致灾 3 种类型, 并进一步将其划分成 8 个亚类和 128 种灾害链形式。分析了山地灾害链的成因, 认为山地灾害链是山地灾害的物质、能量和信息在特定条件下相互作用、相互渗透、相互传递和相互转化的结果。通过对山地灾害链的致灾因素、活动地域与结构特征分析和综合分析显示: 山地灾害链的防治难度虽然很大, 但除分布在高山和极高山区域、由冰雪崩塌和消融水引发的山地灾害链仅可预防, 尚难治理外, 其他山地灾害链都是可防、可治的。

**关键词:** 山地灾害; 山地灾害链; 致灾因素; 灾害链结构; 灾害链防治

**中图分类号:** P931.91, X141, X144, X43

**文献标志码:** A

目前, 研究灾害链的学科较多, 如自然灾害链的研究<sup>[1]</sup>, 大气灾害链的研究<sup>[2]</sup>, 广义灾害链的研究<sup>[3]</sup>, 地质灾害链的研究<sup>[4-5]</sup>, 巨灾链的研究<sup>[6]</sup>, 生态环境灾害链的研究<sup>[7]</sup>, 山地灾害链的研究<sup>[8-9]</sup>等。这些研究虽处于初步探索阶段, 但对各自学科的发展、完善和减灾防灾都具有重要意义。

山地灾害链, 是指具有灾变条件的山地环境在致灾因素的作用下, 一种山地灾害发生后, 引起其他山地灾害也相继发生或滞后一定时段发生, 各种山地灾害一环接一环, 环环相扣的灾害现象。可见, 山地灾害链是由多种山地灾害组成的线状或带状灾害; 是山地灾害的物质、能量和信息, 在特定条件下, 相互传递、相互渗透、相互作用和相互转化的结果<sup>[10-11]</sup>。我国是山地大国, 山地灾害(链)危害十分严重, 开展山地灾害链的研究不仅对山地灾害学

的发展和完善的理论意义, 而且对保障国民经济建设和人民生命财产安全, 也具有突出的实用价值。

## 1 山地灾害及其类型

### 1.1 山地灾害

山地灾害是山地特殊的自然环境在演化过程中伴生的, 或在其演化过程中与人类活动共同作用引起的, 对人类的生存、生活活动和人类的居住环境, 甚至对人类自身的生存发展有不利影响的各种灾变事件的总称<sup>[12-13]</sup>。

### 1.2 山地灾害的类型

目前已确定的山地灾害有 8 种类型: 泥石流、山洪、滑坡、崩塌、冰崩、雪崩、堰塞湖、水土流失。这些

收稿日期(Received date): 2012-12-03; 改回日期(Accepted): 2013-01-31。

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑项目(项目编号: 2011BAK12B00)。[National Science and Technology Support Program (2011BAK12B00).]

作者简介(Biography): 钟敦伦(1937-), 男, 四川宜宾人, 研究员, 主要从事泥石流及其防治研究。[Zhong Dunlun (1937-), male, born in Yibin of Sichuan, professor, majoring on debris flow research.]

\* 通信作者(Corresponding author): 韦方强(1968-), 男, 汉族, 山东临沐人, 研究员, 博士, 主要从事山地灾害及其减灾技术研究。[Wei Fang-qiang (1968-), male, undertaking research on theory and technology of mountain disasters mitigation.] E-mail: fqw@imde.ac.cn

灾害虽同为山地特殊的自然环境在演化过程中伴生,或在演化过程中与人类活动共同作用引起,但它们都各有独立的特征。

### 1.2.1 泥石流

泥石流是水体和土体及土体中部分空气(极少量,可忽略不计)相互充分作用后,以固相物质的重力为主要动力,沿沟谷或坡面运动的流体。其中,沿坡面运动的泥石流,称为坡面泥石流或山坡泥石流;沿沟谷运动的泥石流,称为沟谷泥石流。由于坡面和沟谷各自具有独特的特征和动力状态,因此坡面泥石流和沟谷泥石流也各自具有独特的特征和性质。因而,坡面泥石流和沟谷泥石流是泥石流的两个亚类。基于此,在山地灾害链组合时,将二者作为相对独立的灾种。

泥石流暴发突然,运动快速、历时短暂、危害严重,其既具有水体的性质,又具有土体的性质<sup>[14-19]</sup>,为一种特殊的流体。

### 1.2.2 山洪

山洪是发生在山区的流动快速、规模很大、暴涨暴落的沟谷或河川径流<sup>[17-20]</sup>,往往含有大量泥沙。根据其重度( $\gamma$ )可分为两个亚类:挟沙山洪( $\gamma \leq 10.8 \text{ kN/m}^3$ )和高含沙山洪( $10.8 \text{ kN/m}^3 \leq \gamma \leq 12.8 \text{ kN/m}^3$ )。挟沙山洪和高含沙山洪尽管均为牛顿流体,但后者的含沙量比前者大许多,因此二者的动力状态和对沟床与沟岸的侵蚀能力及造成的危害有明显的差异,因此在山地灾害链组合时,把二者均作为相对独立的灾种。

### 1.2.3 滑坡

滑坡是指构成斜坡的岩土体在重力作用下失稳,沿着一个或几个滑动面(带)发生剪切而整体下滑的现象<sup>[10,17-18,21]</sup>。滑坡是岩土体的一种块体运动形态,以沿着自身下部的滑面(带)作整体运动为主要特征。

### 1.2.4 崩塌(含滑塌、碎屑流、撒落和落(滚)石)

崩塌是高陡斜坡上的岩土体在重力作用下发生断裂,被裂缝分离而脱离母体的岩土体发生坠落、倾倒或滑塌,沿途发生跳跃、滚动,最终堆积在坡脚(沟谷)的地质事件<sup>[10,17,21]</sup>;崩塌以坠落、滑塌,或以自身下部的压碎带为轴线发生倾倒等为主要特征。

### 1.2.5 冰崩

冰崩是分布在陡急斜坡上的冰川,在重力作用下沿着冰川内部的某一剪切破裂面或脆弱面,脱离母体而迅速倾倒或滑塌、坠落的现象。冰川通常分

布在高山与极高山和高纬度地区,冰崩也发生在这些地区,其中发生在高山和极高山地区的冰崩,属于山地灾害。冰崩体在坠落和解体时以水的固态形式活动,具有类似崩塌的特征,但在摩擦热作用下或到达气温 $>0^\circ\text{C}$ 的地区时,便迅速融化为液态水。

### 1.2.6 雪崩

雪崩是分布在陡急斜坡上的积雪,在重力作用下,沿着积雪体内部的某一剪切(破裂)面或脆弱面脱离母体而迅速倾倒、坠落或滑塌的现象。积雪通常分布在高山与极高山和高纬度地区,雪崩便发生在这些地区,其中发生在高山和极高山地区的雪崩,属于山地灾害。雪崩体虽然也是水的一种固态形式,但其一旦倾倒、下坠或滑塌,便迅速崩解为雪粒或雪球。雪粒在斜坡陡而长的条件下,可因摩擦生热或进入气温 $>0^\circ\text{C}$ 的地区而融化为液态水;在斜坡陡而短的状态下,雪粒可在条件适宜的地方形成松散的雪堆。

### 1.2.7 堰塞湖(由崩塌、滑坡、泥石流形成)

大规模的崩塌、滑坡、泥石流进入河流或沟谷后,由于其体积庞大,往往形成壅塞体,冰川退缩留下的终碛也在谷内形成壅塞体,壅塞体阻水也可形成堰塞湖。堰塞湖不仅淹没河流(沟谷)上游沿岸较低处,而且当壅塞体在湖水的作用下溃决时,其上游因退水迅速,岸坡应力快速调整,往往在两岸形成数量众多、规模大小不等的崩塌和滑坡;在其下游形成规模巨大的山洪,甚至形成泥石流,对两岸造成强烈冲刷,并在河底造成严重淤积。人类工程活动也往往形成壅塞体,如弃土、尾矿库和水库的大坝等。它们虽由人类工程活动形成,但与自然壅塞体具有相同的属性和作用。

### 1.2.8 水土流失

水土流失是指土壤中的水、土和土中养分被水冲走或被风吹走的一种自然现象<sup>[22]</sup>。这里所指的水土流失是指因山地斜坡的存在而形成的土壤中水、土、肥流失的现象,不包括风蚀,因为风蚀在平坦的大荒原也可存在。作为山地灾害之一的水土流失与其他类型的山地灾害相比,是唯一的一种不具突发性特征的山地灾害。

## 2 山地灾害链的类型与结构

山地灾害发育的环境复杂,致灾因素有地球的内营力、外营力和人为作用等多种,因此山地灾害种

类多,由其构成的山地灾害链的类型也多种多样。

2.1 地球内营力作用致灾的山地灾害链的类型与结构

地球内营力作用主要包括构造(造山)运动、地震和火山活动等。

2.1.1 构造运动致灾形成的山地灾害链

构造(造山)运动在地表形成相对高度后,位于高位的岩土体就具有较高的位能,在山高坡陡和具备激发因素的条件下,位能能迅速地转化为动能,并启动岩土体形成山地灾害链的首环、次环、……,进而形成山地灾害链。构造(造山)运动致灾形成的山地灾害链的类型众多、结构复杂,主要有 30 种形式(表 1)。

2.1.2 地震致灾形成的山地灾害链

地震具有巨大的能量,当其发生在高山深谷的山区时,常形成山地灾害链。以地震致灾灾种为链首的山地灾害链也十分丰富,有 18 种形式(表 2)。

2.1.3 火山致灾形成的山地灾害链

火山喷发出的火山灰和火山碎屑,若形成深厚的覆盖层,一旦遭遇暴雨,便可形成规模巨大的山洪和泥石流;火山喷发时,若火山口及熔岩流附近有冰川和积雪大量融化,也可形成规模巨大的山洪和泥石流。二者均可构成山地灾害链(表 3)。

2.2 地球外营力作用致灾的山地灾害链的类型与结构

地球的外营力主要是指太阳辐射导致、发生在地

表 1 构造(造山)运动致灾的山地灾害链

Table 1 Mountain hazards chains caused by Tectonic (orogenic) movement

序号 No.	链首灾种 Hazard of chain first	灾害链形式和结构 Type of hazards chain and its structure	环数 Number of rings
1	崩塌	崩塌-坡面泥石流灾害链	2
2	崩塌	崩塌-沟谷泥石流灾害链	2
3	崩塌	崩塌-沟谷泥石流-挟沙山洪灾害链	3
4	崩塌	崩塌-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	4
5	崩塌	崩塌-堰塞湖-堰塞湖(坝堤)溃决-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	6
6	滑坡	滑坡-坡面泥石流灾害链	2
7	滑坡	滑坡-坡面泥石流-沟谷泥石流-挟沙山洪灾害链	4
8	滑坡	滑坡-坡面泥石流-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	5
9	滑坡	滑坡-沟谷泥石流灾害链	2
10	滑坡	滑坡-沟谷泥石流-挟沙山洪灾害链	3
11	滑坡	滑坡-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	4
12	滑坡	滑坡-堰塞湖-堰塞湖(坝堤)溃决-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	6
13	崩塌+滑坡	崩塌+滑坡-堰塞湖-堰塞湖(坝堤)溃决-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	6
14	坡面泥石流	坡面泥石流-挟沙山洪灾害	2
15	坡面泥石流	坡面泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	3
16	坡面泥石流	坡面泥石流-沟谷泥石流灾害链	2
17	坡面泥石流	坡面泥石流-沟谷泥石流-挟沙山洪灾害链	3
18	坡面泥石流	坡面泥石流-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	4
19	沟谷泥石流	沟谷泥石流-挟沙山洪灾害链	2
20	沟谷泥石流	沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	3
21	冰崩	冰崩-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	4
22	冰崩	冰崩-冰湖(坝堤)溃决-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	5
23	冰崩	冰崩-冰湖(坝堤)溃决-高含沙山洪-崩塌+滑坡-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	7
24	雪崩	雪崩-挟沙山洪-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	5
25	雪崩	雪崩-挟沙山洪-高含沙山洪-崩塌+滑坡-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	7
26	冰崩+雪崩	冰崩+雪崩-冰湖(坝堤)溃决-高含沙山洪-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	6
27	冰崩+雪崩	冰崩+雪崩-冰湖(坝堤)溃决-高含沙山洪-崩塌+滑坡-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	7
28	水土流失	水土流失-挟沙山洪灾害链	2
29	水土流失	水土流失-挟沙山洪-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	4
30	水土流失	水土流失-挟沙山洪-高含沙山洪-崩塌+滑坡-沟谷泥石流-高含沙山洪-挟沙山洪灾害链	7

表 2 地震活动致灾的山地灾害链  
Table 2 Mountain hazards chains caused by earthquake

序号 No.	链首灾种 Hazard of chain first	灾害链形式和结构 Type of hazards chain and its structure	环数 Number of rings
31	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流灾害链	2
32	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	4
33	崩塌	崩塌 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
34	崩塌	崩塌 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
35	崩塌	崩塌 - 堰塞湖 - 堰塞湖(坝堤)溃决 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
36	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流灾害链	2
37	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
38	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
39	滑坡	滑坡 - 堰塞湖 - 堰塞湖(坝堤)溃决 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
40	崩塌 + 滑坡	崩塌 + 滑坡 - 堰塞湖 - 堰塞湖(坝堤)溃决 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
41	坡面泥石流	坡面泥石流 - 挟沙山洪灾害链	2
42	坡面泥石流	坡面泥石流 - 沟谷泥石流灾害链	2
43	坡面泥石流	坡面泥石流 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
44	坡面泥石流	坡面泥石流 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
45	沟谷泥石流	沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	2
46	沟谷泥石流	沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	3
47	沟谷泥石流	沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
48	沟谷泥石流	沟谷泥石流 - 堰塞湖 - 堰塞湖(坝堤)溃决 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	5

表 3 火山活动致灾的山地灾害链  
Table 3 Mountain hazards chains caused by volcanic activity

序号 No.	链首灾种 Hazard of chain first	灾害链形式和结构 Type of hazards chain and its structure	环数 Number of rings
49	挟沙山洪	挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	5
50	挟沙山洪	挟沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	5

球表层的各种外动力,其中与山地灾害链关系密切的主要有降水和气温两大要素。

2.2.1 降水致灾形成的山地灾害链

降水,尤其是暴雨,常导致山地灾害链的形成。以降水致灾灾种为链首的山地灾害链种类繁多,结构复杂,共有 23 种形式(表 4)。

2.2.2 气温致灾形成的山地灾害链

气温增高引起高山和极高山冰雪体大量消融,常导致以挟沙山洪和冰崩、雪崩等为链首的山地灾害链的发生。气温致灾的山地灾害链有 10 种形式(表 5)。

2.2.3 降水与气温共同致灾形成的山地灾害链

降水和气温升高同时发生,能共同导致高山和极高山冰雪融化,形成以挟沙山洪和冰崩、雪崩等为链首的山地灾害链,有 10 种形式(表 6)。

2.3 人为作用致灾的山地灾害链的类型与结构

2.3.1 人类过度利用资源致灾形成的山地灾害链

人类过度利用资源致灾形成的山地灾害链,其链首复杂,往往为水土流失、崩塌、滑坡和坡面泥石流等,共有 18 种灾害链形式(表 7)。

2.3.2 人类工程活动致灾形成的山地灾害链

人类不合理的工程活动致灾形成的山地灾害链,其链首的灾种也多种多样,往往为崩塌、滑坡、泥石流、山洪和人工堰塞湖坝堤溃决等,主要有 16 种灾害链类型(表 8)。

3 山地灾害链的成因

由于构成山地灾害链(以下简称灾害链)的基本单位是山地灾害,因此探讨灾害链的成因,主要就是探讨各种山地灾害如何通过其形成条件的共同性与差异性,以及能量、物质和信息的传递、渗透与转

化的互动性 从而构成灾害链的原因。

巨大的地形高差 ,陡峻的山坡 ,深切的河(沟)谷 这是各类山地灾害形成的必要条件之一——能量和能量转化条件。

3. 1 构成灾害链的各种山地灾害的同一性

3. 1. 1 能量条件的同一性

表 4 降水致灾的山地灾害链  
Table 4 Mountain hazards chains caused by precipitation

序号	链首灾种	灾害链形式和结构	环数
No.	Hazard of chain first	Type of hazards chain and its structure	Number of rings
51	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流灾害链	2
52	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	4
53	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	5
54	崩塌	崩塌 - 滑坡 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	4
55	崩塌	崩塌 - 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	5
56	崩塌	崩塌 - 堰塞湖 - 堰塞湖( 坝堤) 溃决 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
57	滑坡	滑坡 - 坡面泥石流灾害链	2
58	滑坡	滑坡 - 坡面泥石流 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	4
59	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流灾害链	2
66	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
61	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
62	滑坡	滑坡 - 堰塞湖 - 堰塞湖( 坝堤) 溃决 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害	6
63	崩塌 + 滑坡	崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链 <sup>[13]</sup>	4
64	崩塌 + 滑坡	崩塌 + 滑坡 - 堰塞湖 - 堰塞湖( 坝堤) 溃决 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
65	坡面泥石流	坡面泥石流 - 挟沙山洪灾害链	2
66	坡面泥石流	坡面泥石流 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
67	坡面泥石流	坡面泥石流 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
68	沟谷泥石流	沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	2
69	沟谷泥石流	沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	3
70	沟谷泥石流	沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
71	水土流失	水土流失 - 挟沙山洪灾害链	2
72	水土流失	水土流失 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
73	水土流失	水土流失 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7

表 5 气温致灾的山地灾害链  
Table 5 Mountain hazards chains caused by air temperature

序号	链首灾种	灾害链形式和结构	环数
No.	Hazard of chain first	Type of hazards chain and its structure	Number of rings
74	挟沙山洪	挟沙山洪 - 冰湖( 坝堤) 溃决 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
75	挟沙山洪	挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
76	冰崩	冰崩 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
77	冰崩	冰崩 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7
78	冰崩	冰崩 - 冰湖( 坝堤) 溃决 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7
79	雪崩	雪崩 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
80	雪崩	雪崩 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7
81	冰崩 + 雪崩	冰崩 + 雪崩 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
82	冰崩 + 雪崩	冰崩 + 雪崩 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7
83	冰崩 + 雪崩	冰崩 + 雪崩 - 冰湖( 坝堤) 溃决 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7

表 6 气温与降水共同致灾的山地灾害链

Table 6 Mountain hazards chains caused by air temperature and precipitation

序号 No.	链首灾种 Hazard of chain first	灾害链形式和结构 Type of hazards chain and its structure	环数 Number of rings
84	挟沙山洪	挟沙山洪 - 冰湖( 坝堤) 溃决 - 高含沙山洪 - 沟谷泥石流 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	8
85	挟沙山洪	挟沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	5
86	冰崩	冰崩 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
87	冰崩	冰崩 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
88	冰崩	冰崩 - 冰湖( 坝堤) 溃决 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7
89	冰崩	冰崩 - 沟谷泥石流 - 堰塞湖 - 堰塞湖溃决 - 挟沙山洪灾害链	5
90	雪崩	雪崩 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
91	雪崩	雪崩 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7
92	冰崩 + 雪崩	冰崩 + 雪崩 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
93	冰崩 + 雪崩	冰崩 + 雪崩 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7
94	冰崩 + 雪崩	冰崩 + 雪崩 - 冰湖( 坝堤) 溃决 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7

表 7 人类过度利用自然资源致灾的山地灾害链

Table 7 Mountain hazards chains caused by human over-exploitation of natural resources

序号 No.	链首灾种 Hazard of chain first	灾害链形式和结构 Type of hazards chain and its structure	环数 Number of rings
95	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流灾害链	2
96	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
97	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
98	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流 - 高含沙山洪 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	5
99	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流 - 高含沙山洪 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
100	滑坡	滑坡 - 坡面泥石流灾害链	2
101	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
102	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
103	崩塌 + 滑坡	崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
104	坡面泥石流	坡面泥石流 - 挟沙山洪灾害链	2
105	坡面泥石流	坡面泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	3
106	坡面泥石流	坡面泥石流 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
107	坡面泥石流	坡面泥石流 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	6
108	沟谷泥石流	沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	2
109	沟谷泥石流	沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	3
110	水土流失	水土流失 - 挟沙山洪灾害链	2
111	水土流失	水土流失 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	3
112	水土流失	水土流失 - 挟沙山洪 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	7

3. 1. 2 固相物质条件的同一性

地层岩性的差异,复杂的地质构造作用、活跃的新构造运动和频繁的地震与火山活动,以及强烈的不合理的人类活动所形成的岩土体破坏及其产生的数量巨大的松散碎屑物质,是各类山地灾害形成的必要条件之二——固相物质条件(物质条件之一)。

3. 1. 3 液相物质条件和激(触)发条件的同一性

丰富的水源(包括大气降水、冰雪消融形成的地表水、地下的渗流水、地下涌出(渗出)地表的水,人工水库和天然湖泊溃决的地表水等),是各类山地灾害形成的必要条件之三——水源条件(物质条件之二)和各类山地灾害形成的充分条件——激(触)

表 8 人类不合理的工程活动致灾的山地灾害链

Table 8 Mountain hazards chains caused by irrational human engineering activities

序号	链首灾种	灾害链形式和结构	环数
No.	Hazard of chain first	Type of hazards chain and its structure	Number of rings
113	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流灾害链	2
114	崩塌	崩塌 - 坡面泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
115	崩塌	崩塌 - 沟谷泥石流灾害链	2
116	崩塌	崩塌 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
117	崩塌	崩塌 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链 <sup>[14]</sup>	4
118	滑坡	滑坡 - 坡面泥石流灾害链	2
119	滑坡	滑坡 - 坡面泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
120	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流灾害链	2
121	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
122	滑坡	滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
123	崩塌 + 滑坡	崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	4
124	沟谷泥石流	沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链	3
125	水库溃决	人工堰塞湖( 水库坝堤) 溃决 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链	3
126	尾矿库溃决	人工堰塞湖( 尾矿库坝堤) 溃决 - 沟谷泥石流 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 沟谷泥石流 - 挟沙山洪灾害链 <sup>[23]</sup>	8
127	引水渠溃决	人工( 引水) 渠堤溃决 - 挟沙山洪 - 坡面泥石流灾害链 <sup>[16]</sup>	3
128	挟沙山洪	挟沙山洪( 人工掘进掘开地下水主要通道) - 沟谷泥石流 - 堰塞湖 - 堰塞湖( 坝堤) 溃决 - 高含沙山洪 - 挟沙山洪灾害链 <sup>[23]</sup>	6

发条件。

3.2 构成灾害链的各种山地灾害的差异性

3.2.1 能量条件的差异性

深丘及山地地形提供的能量,能满足泥石流的形成,其中高山深谷区提供的能量,最有利于泥石流的形成;20°~80°山坡提供的能量,能满足崩塌的形成,其中45°~60°陡坡和极陡坡提供的能量,最有利于崩塌的形成;15°~50°山坡提供的能量,能满足滑坡的形成,其中25°~45°陡坡和极陡坡提供的能量,最有利于滑坡的形成,但在特定条件下,3°~15°缓坡提供的能量,也能满足滑坡的形成;雪线附近及以上有冰雪覆盖的高山和极高山提供的能量,能满足冰崩和雪崩的形成;主河相对平缓、山坡坡度和支沟沟床比降大的高山深谷区提供的能量,能满足堰塞湖的形成;5°及以上坡地提供的能量,能满足水土流失的形成;凡能为上述灾种形成提供能量的区域,均能为山洪的形成提供足够的能量。可见,不同种类山地灾害的形成对能量的要求,存在着明显的差异性。

3.2.2 固相物质条件的差异性

泥石流的形成要求有大量的松散碎屑物质存在;山洪的形成则要求有强大的地表径流和一定量的泥沙参与;崩塌的形成要求斜坡存在受裂隙或层

面切割的破碎岩(土)体;滑坡的形成要求斜坡有破裂的岩土体和贯通(或逐渐贯通)的、物质破碎和摩阻力小的滑动面(带);冰崩、雪崩的形成要求有足够的冰雪体及其体内有重力裂缝存在;堰塞湖的形成要求崩塌、滑坡、泥石流和冰川等提供大量壅塞物质;水土流失要求坡面有裸露的土体,岸坡有可冲刷的土层。可见,不同种类的山地灾害对固相物质的要求是不同的。

3.2.3 液相物质条件和激(触)发条件的差异性

液相物质既是泥石流形成的物质成分、动力条件,又是泥石流形成的激发因素,因此泥石流形成往往要求有大量液相物质的参与;多数情况下,崩塌、滑坡的发生需要有足够的液相物质参与,因为斜坡内的破裂面或滑动层(带)需要被液相物质饱和使其摩擦阻力降低,同时增加坡体自重,达到下滑力>抗滑力或斜坡崩解破坏;山洪的形成,要求有大量的地表径流;冰崩、雪崩,只需液态降水或在较高气温条件下形成的冰雪融水独自或联合注入冰雪体的重力裂缝,导致裂缝贯通,或形成地表径流掏蚀冰雪体坡脚;堰塞湖的形成和溃决,需要在壅塞体阻塞河流(沟谷)后,其上游有大量的流水进入;水土流失发生,需要有足够大的雨滴和强劲的坡面径流与沟(河)谷洪流。可见,各种山地灾害对液相物质和激

发条件的要求也存在明显的差异。

### 3.3 构成灾害链的各类山地灾害的互动性

山地灾害的形成条件具有同一性,由此导致处于同一环境的各种山地灾害发生的空间和时间大致相同;山地灾害的形成条件又具有差异性,导致各种山地灾害虽发生在同一空间,但发生的地貌部位却不尽相同,发生的时间也略有先后。地貌部位的不同和发生时间的先后,为山地灾害的相互影响、相互作用、相互渗透和相互转化创造了有利条件;同时,山地灾害之间又往往互为因果,在适宜的条件下,只要一种山地灾害发生,就可引起另一种或另数种山地灾害的相继发生或滞后一定时段发生。

上述分析说明,山地灾害形成的共同性、差异性和互动性,是多种山地灾害相继或滞后一定时段发生的纽带。它们使山地灾害紧密地联系在一起,并形成山地灾害链。

## 4 山地灾害链的实例及危害

在自然界中,山地灾害链屡屡发生,并且危害严重,但过去对其研究不多,认识有限。随着研究的进展,山地灾害科技人员已逐渐把目光转移到山地灾害链这一决不可忽视的现象上来,并掌握了不少的实例。

### 4.1 中国山地灾害链及其危害的实例

#### 4.1.1 西藏易贡藏布的山地灾害链及其危害

2000-04-09,西藏自治区雅鲁藏布江支流易贡藏布左岸的扎木弄巴沟源发生冰崩,并引起巨大的山体崩滑,崩滑体以极高的速度冲入易贡藏布河谷,形成一个长、宽各约2500m,高约60m的壅塞体,堵断河流;河流来水聚集在壅塞体上游,致使水位迅速抬高48.23m,形成一个蓄水量高达 $29.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的堰塞湖;壅塞体在湖水动、静压力和扬压力的作用下,于6月10日溃决。溃决初始阶段在壅塞体河段形成泥石流;随着溃口的扩大,湖内水体大量涌出,流体泥沙含量迅速减小,演化成高含沙山洪,高含沙山洪规模巨大,冲刷河谷坡脚引起崩塌、滑坡,并冲毁沿途各种设施,随后逐步演化为挟沙山洪。对这次山地灾害链的结构和危害分析如下。

##### 1. 灾害链的结构

1) 致灾因素:重力(内营力)+冰雪融水动力(外营力)。

2) 灾害链构成:冰崩-崩塌+滑坡-堰塞湖-

壅塞体溃决-泥石流-高含沙山洪-崩塌+滑坡-挟沙山洪灾害链。

##### 2. 危害

###### 1) 破坏环境

扎木弄巴冰崩、崩塌、滑坡发生后,雪线以下沟谷两岸及山坡上的植被随崩滑体一同冲入易贡藏布河谷,造成大片森林被毁坏,并堵断河谷,使原有的易贡湖水位上升,湖面扩大,淹没湖岸的牧场和耕地及茶园;同时,崩滑体高速冲向易贡藏布对岸,其引起的前端气浪将河对岸山坡的树木折断(图1);壅塞体溃决时,形成规模巨大的泥石流和高含沙山洪,强烈侵蚀河谷两岸和各种人工建筑物。由于水流强烈下蚀拉槽,河床被冲蚀得低于原河床,使已存在近百年的美丽的易贡湖因泄水至空而消失(图2);河水冲刷河岸引起的崩塌、滑坡摧毁沿河公路(图3)。

###### 2) 破坏基础设施

易贡藏布壅塞体溃决后冲毁其下游的G318线通麦大桥和14.5km公路,造成巨大的直接经济损失;G318线是内地通往西藏的重要通道之一,其断道给西藏人民的的生活和经济建设带来严重危害,间接经济损失难以估量。此外,溃决洪水汇入雅鲁藏布江后造成江水暴涨,灾害延续到江下游(布拉马普特拉河)的印度境内(平原),导致洪水泛滥,数百万人受灾。

#### 4.1.2 云南个旧火谷都山地灾害链及其危害

20世纪70年代,云南个旧锡业公司火谷都尾矿库规模巨大,但基础坝设计标准较低,施工质量欠佳,在暴雨径流作用下,尾矿库溃决,超过 $1000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的尾矿沙和巨量水体破坝而出,形成规模巨大的矿山沙质泥石流。泥石流进入第一峡谷后,强烈冲刷谷底,在两岸形成大量崩塌、滑坡,导致大量砾质土进入流体,使流体内粗粒物质增多、规模加大;泥石流进入宽谷段后,由于沟道展宽变缓,流体中的粗粒物质发生沉积,接着细粒物质也相继沉积,形成第一个泥石流堆积区;经过沉积,泥石流变性为高含沙山洪,并进入第二峡谷,强烈冲刷谷底,导致两岸形成大量崩塌、滑坡,大量砾质土进入流体,高含沙山洪演化为偏稀的过渡性泥石质泥石流;通过第二峡谷后,流体进入平坝区,形成第二次堆积,粗粒物质堆积在山口一带,细粒物质堆积在粗粒物质的左侧和下游,规模巨大;第二次御荷后的泥石流演化为挟沙山洪汇入主河<sup>[23]</sup>。下面就火谷都山地灾害链的结构和危害做一讨论。





图 1 扎木弄巴冰崩 - 崩滑体堵河堆积物及被气浪折断顶部的树木

Fig. 1 Zhamunongba ice avalanches-collapsed blocking river debris and top was air waves break in woods



图 2 易贡湖水泄至空

Fig. 2 Yigong Lake water had been emptied



图 3 溃决洪水冲刷河谷坡脚引发崩塌滑坡毁坏公路

Fig. 3 Outburst flood erosion valley triggered collapses and landslides

### 1. 灾害链的结构

1) 致灾因素: 暴雨(外营力) - 尾矿库基础坝堤质量欠佳(人类经济活动)。

2) 灾害链构成: 人工堰塞湖(尾矿库坝堤)溃决

- 泥石流 - 崩塌 + 滑坡 - 泥石流 - 高含沙山洪 - 崩塌 + 滑坡 - 泥石流 - 挟沙山洪灾害链。

### 2. 危害

#### 1) 危害环境

火谷都尾矿库溃决形成的山地灾害链,在其下游的两个峡谷地段,强烈冲刷沟底和岸坡坡脚,使两岸谷坡遭到崩塌和滑坡的强烈破坏而成为劣地;在其下游的一个宽谷地段和平坝区的部分地区因遭到泥沙石块的强烈淤积而成为劣地。

#### 2) 危害云南锡业公司的工业场地

火谷都尾矿库是云南锡业公司堆放尾矿的场所,为重要的工业场地。尾矿库溃决后,给采矿,尤其是给选矿带来极大的危害。

#### 3) 危害农业及其他

火谷都山地灾害链沿途冲毁和淤埋乍甸、鸡街平坝高产良田约 100 hm<sup>2</sup>,不仅使当年颗粒无收,而且使肥沃的良田成为劣地;其还淤埋民房,破坏水利设施和铁路、公路与航道等。

### 4. 2 国外山地灾害链及其危害的实例

#### 4. 2. 1 哥伦比亚鲁依斯山地灾害链及其危害

1985 - 11 - 13,哥伦比亚鲁依斯火山喷发,巨大热力导致山上积雪融化,形成强大的坡面径流和沟谷洪流,剧烈冲刷火山灰等物质,演化成坡面泥石流和支沟泥石流。部分坡面泥石流直抵坡麓,部分坡面泥石流与支沟泥石流共同汇集于主沟(河),形成规模巨大的泥石流。泥石流出山后,由于地形变平缓,泥石流一边前进、一边御荷,逐渐演化为高含沙山洪;高含沙山洪在继续前进中,因地形(河床)进一步变缓,部分固相物质继续沉积,流体演化为挟沙山洪而进入下游。

### 1. 灾害链的结构

1) 致灾因素: 火山喷发( 内营力) 。

2) 灾害链构成: 挟沙山洪 – 泥石流 – 高含沙山洪 – 挟沙山洪灾害链。

### 2. 危害

鲁依斯山地灾害链危害农田、村庄和城镇,使阿美罗城成为废墟,致死2.5万人、15万头家畜,使13万人无家可归,直接经济损失达50亿美元<sup>[12-24]</sup>。

### 4.2.2 哈萨克斯坦伊克塞山地灾害链及其危害

1963年哈萨克斯坦的伊克塞河暴发特大规模泥石流,冲入并填满具有2000a历史,长约2km、宽600~800m、深57m的伊克塞湖,被挤出的湖水冲决湖泊坝堤,形成规模更大的泥石流(最大流量达1000m<sup>3</sup>/s)。流体冲出山口后,毁坏农田、村庄和城镇;流体通过伊克塞镇时发生强烈淤积,并演化成高含沙山洪;高含沙山洪回归河槽后,因河道变缓,较粗颗粒部分落淤,逐渐演化为挟沙山洪。

### 1. 灾害链的结构

1) 致灾因素: 暴雨( 外营力) – 冰雪融水( 外营力) 。

2) 灾害链构成: 泥石流 – 湖泊( 堰塞体坝堤) 溃决 – 泥石流 – 高含沙山洪 – 挟沙山洪灾害链。

### 2. 危害

伊克塞湖风光秀丽,区域环境优美,是著名的风景旅游区,被泥石流冲蚀殆尽后,旅游价值基本消失;伊克塞镇是伊克塞地区的政治、经济中心,也是旅游基地,其数条街道被冲毁,不仅给当地造成重大的危害,也给伊克塞地区的旅游造成重大损失<sup>[12-25]</sup>。

## 5 山地灾害链的防治途径

山地灾害链的研究尚处于起步阶段,虽然当前对其的防治研究较少,但科技工作者也探索出了一些防治方法,如孕源断链减灾法<sup>[3-9]</sup>、链中易控灾种防治断链减灾法<sup>[10]</sup>等;加之,目前对山地灾害单灾种的防治研究,尤其是对泥石流、滑坡、崩塌、山洪和水土流失等灾种的防治研究较深入,并取得了很多实效,这为山地灾害链的防治研究和实践,奠定了坚实的基础。下面就山地灾害链的防治途径进行讨论。

### 5.1 从致灾因素探索山地灾害链的防治途径

山地灾害链由山地灾害有序组成,因此其链首,

即首环山地灾害的致灾因素即为山地灾害链的致灾因素。

### 5.1.1 从地球的内营力探索山地灾害链的防治途径

地球内营力致灾并形成山地灾害链50种。引起山地灾害链的地球内营力作用包括构造运动、地震和火山活动等,欲通过调控或削弱地球内营力作用的强度来达到控制山地灾害链的目的,在当前显然是人力所不能及的。

### 5.1.2 从地球的外营力探索山地灾害链的防治途径

地球外营力致灾并形成山地灾害链44种。引起山地灾害链的地球外营力作用主要包括降水、气温和降水与气温的共同作用等,要想在大范围内通过调控或削弱地球外营力作用的强度来达到控制山地灾害链的目的,在当前显然也是人力所不能及的。

### 5.1.3 从人类不合理的经济活动探索山地灾害链的防治途径

人类不合理的经济活动致灾并形成山地灾害链34种。人类不合理的经济活动,包括过度利用资源和不合理的工程活动等。不合理的经济活动致灾,在山地灾害链三大致灾因素中,是唯一可以通过调控人类的活动方式和强度来达到防治灾害链形成这一目的的,因此人类应当充分检讨自身的活动行为,切实做到合理利用自然资源和尽可能减少不合理的工程活动。如果这样,这34种灾害链是可以得到有效控制的,即通过人类自身的约束,三大致灾因素就几乎可以减少为两大致灾因素,这对山地灾害链的防治具有重要意义。

由上述分析可知,人类不合理的经济活动致灾而形成的山地灾害链,是可以由人类的活动方式和强度来实现防治的,因此这类灾害链属于易防治的;而由地球的内、外营力致灾形成的山地灾害链,当前人类是无力通过调控致灾因素来控制其形成的,因此要确定其的防治难易程度,还需作进一步分析。

### 5.2 从活动地域探索山地灾害链的防治途径

山地灾害链活动的场所与灾害链的防治有密切关系。如分布在高山和极高山地区的以冰崩、雪崩和冰崩+雪崩为链首的与因火山活动、气温升高或气温升高与液态降水共同作用导致冰雪消融引起的以挟沙山洪和冰崩、雪崩为链首的21#~27#、49#~50#、74#~94#(见表1、表3、表5、表6)等30种灾害

链,因活动地域山高坡陡、空气稀薄、气候严寒,当前虽可预防,但尚不具备治理的条件,应划为难防治山地灾害链。

### 5.3 从结构探索山地灾害链的防治途径

山地灾害链的结构无论多复杂,它的链首(首环)和次环在链中都起着决定性的作用,尤其是链首,其作用更为强大。当然其他各环也都各有其自身的作用,但与首环和次环相比,尤其是和首环相比,作用显然要小很多。据此,按构成链首和次环山地灾害灾种的防治难易程度,将山地灾害链划分为难防治、较难防治和易防治三类山地灾害链。

为了有效而又准确地划分山地灾害链防治的难易程度,这里将构成灾害链的灾种划分为两类:难防治的和易防治的。前者包括崩塌、滑坡(滑坡中约一半属易防治的,为了简化,这里不再区分)、崩塌+滑坡、坡面泥石流、冰崩、雪崩、冰崩+雪崩、堰塞湖(人工堰塞湖和自然堰塞湖)溃决等;后者包括沟谷泥石流、山洪和水土流失等。

应当指出,“难防治灾种”与“易防治灾种”是相比较而言的。实际上“易防治灾种”的防治难度也是很大的,而“难防治灾种”中的多数也是可防治的,只不过防治难度更大。

#### 5.3.1 从链首探索山地灾害链的防治途径

链首(首环)受致灾因素直接作用而形成,在山地灾害链的形成和治理中占有举足轻重的地位。若灾害链的首环为易防治的山地灾害,那么就能通过治理链首,从源头切断山地灾害链的形成,因此这类山地灾害链应划为易防治灾害链;若首环为难防治的山地灾害,必然难于通过防治链首来切断灾害链的形成,因此这类山地灾害链应划为难治或较难治灾害链。在剔除人为作用致灾的34种和分布在高山、极高山区域的30种灾害链后,尚有64种灾害链需通过链首和次环的灾种来划分其防治的难易程度。根据统计分析结果,在这64种灾害链中:49种为难防治和较难防治的,15种为易防治的。通过链首探索山地灾害链的防治,其意义重大。这与部分灾害链研究工作者提出的孕源断链减灾法是近似的<sup>[39]</sup>。

#### 5.3.2 从次环探索山地灾害链的防治途径

链首为山地灾害难治灾种的49种山地灾害链,属于难防治和较难防治的。这部分山地灾害链,应根据次环灾种的防治难易程度进行再划分:次环为难防治灾种的,应划为难防治的;次环为易防治灾种

的,应划为较难防治的。分析统计结果,在这49种山地灾害链中:难防治的为22种,较难防治的为27种。

### 5.4 从综合视角探索山地灾害链的防治途径

从综合视角探索山地灾害链的防治途径,就是在全面分析山地灾害链的形成环境、致灾原因、结构特征、相互关系和薄弱环节等因素的基础上,探寻采取综合措施对山地灾害链进行防治的途径。从综合视角对山地灾害链进行防治的主要对象是难防治和较难防治的山地灾害链。下面就其的综合防治途径进行讨论。

#### 5.4.1 难防治山地灾害灾链的综合防治途径

##### 1. 途径一

由两环构成的难防治山地灾害灾链,其链首和次环均为难防治山地灾害灾种,难于通过链首或次环的独立防治来达到减小灾害链的规模和控制灾害链的危害的目的,必须进行综合防治。首先应通过对链首的预防,如减少供给山地灾害形成的物质和能量,削弱链首灾害的活动强度等;在链首灾害活动强度遭到削弱的条件下,再对次环灾害进行防治,以进一步缩小灾害的规模和强度,达到控制灾害危害的目的。削弱链首、治理二环,这就是对由两环组成的难防治山地灾害链的综合防治途径。

##### 2. 途径二

由三环及多于三环构成的难防治的山地灾害灾链,与二环链相比,虽同为难防治山地灾害链,但前者由于环数较多,选择余地稍大,因此防治难度稍小。通常可通过一定的防治措施对链首灾害进行控制,使其不再扩展或恶化;通过一定的防治措施削弱次环灾害的规模和活动强度;在链首灾害得到控制,次环灾害的规模和活动强度遭到削弱的条件下,再对第三环灾害进行防治;通过防治,对由三环构成的灾害链,要达到进一步缩小灾害的规模和控制灾害危害的目的;对三环以上灾害链而言,除要达到进一步缩小灾害的规模和控制灾害的危害外,还要达到断链的目的。

#### 5.4.2 较难防治山地灾害灾链的综合防治途径

较难防治山地灾害链,其链首虽为难防治灾种,但次环为易防治灾种。这与难防治山地灾害链链首和次环均为难防治灾种不同,因为前者次环为易防治灾种,那么第一是能通过次环的治理切断山地灾害链的继续延伸,达到断链的目的;第二是对链首灾害的治理要求较低,只要能控制其危害即可。

由于对危害人类自身和人类劳动成果的几种山

地灾害的防治原理和防治技术比较成熟,这里不再赘述。但需要指出两点: 1. 各灾种治理工程之间的衔接要友好和谐、自然过渡 2. 注意既要充分发挥各灾种治理工程的独立效益,又要充分发挥各灾种治理工程的联合效益,以保障治理的成功。

通过上述致灾因素、灾害活动地域、灾害链的结构和综合视角等分析,探索了山地灾害链的防治途径。在上述 128 种山地灾害链中: 易防治的山地灾害链 49 种,占灾害链总数的 38.3%,其中 34 种人为作用致灾的山地灾害链,可通过人类调控自身的经济活动方式和强度来控制其形成,15 种链首为易防治灾种的山地灾害链,可通过链首的防治切断其形成; 27 种为较难防治的山地灾害链,占灾害链总数的 21.1%,其链首为难治灾种,次环为易治灾种,可通过对链首进行预防,对次环进行治理的综合防治措施,切断灾害链的延续和控制其危害; 52 种为难防治山地灾害链,占灾害链总数的 40.6%,其中 30 种为分布在高山和极高山地区的由冰崩、雪崩和冰雪融水等引起的山地灾害链可以预防,但当前难于治理,通常通过预防即可,22 种链首和次环均为难治灾种的山地灾害链,可通过削弱链首灾害的规模和活动强度、治理次环(由 2 环构成的灾害链)或通过控制链首的危害、削弱和控制 2 环的规模与危害、治理 3 环等综合措施,切断灾害链延续和控制其危害。

## 参考文献(Preferences)

- [1] Zhou Jufang. Natural disaster chain and building of chain-cutting disaster mitigation frame[J]. Shanxi Architecture 2007, 33(6): 196 - 197 [周菊芳. 自然灾害链及其断链减灾框架构建[J]. 山西建筑 2007, 33(6): 196 - 197]
- [2] Wen Chuanjia. On atmospheric disaster China [J]. Journal of Catastrophology 1994, 9(3): 1 - 6 [文传甲. 论大气灾害链[J]. 灾害学 1994, 9(3): 1 - 6]
- [3] Wen Chuanjia. Generalized disaster disaster chain and their prevention and control [J]. Journal of Catastrophology 2000, 15(4): 14 - 19 [文传甲. 广义灾害、灾害链及其防治探讨[J]. 灾害学 2000, 15(4): 14 - 19]
- [4] Li Ming, Tang Hongmei, Ye Siqiao. Research on Chain rule of typical geological disaster [J]. Journal of Catastrophology 2008, 23(1): 1 - 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]
- [5] Han Jinliang, Wu Shuren, Wang Huabin. Preliminary study on geological hazard chains [J]. Earth Science Frontiers 2007, 14(6): 11 - 21 [韩金良, 吴树仁, 汪华斌. 地质灾害链[J]. 地质前缘 2007, 14(6): 11 - 21]
- [6] Wu Jinbing, Guo Anhong. A discussion on catastrophic disaster chains in the north China and its vicinity [J]. Journal of Natural Disasters 2001, 10(1): 12 - 16 [吴瑾冰, 郭安红. 华北及邻近地区的巨灾链[J]. 自然灾害学报 2001, 10(1): 12 - 16]
- [7] Xiao Shengxie. Originality structure sketch on china-styled theory of disaster in eco-environment [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2006, 25( Suppl. 1): 2593 - 2602 [肖盛燮. 生态环境灾变链式理论原创结构梗概[J]. 岩体力学与工程学报, 2006, 25(增1): 2593 - 2602]
- [8] Tian Lianquan. Regional differentiation of the mountain hazard China in southwest China [J]. Mountain Research 1995, 13(2): 116 - 120 [田连权. 西南山地灾链的区域分异[J]. 山地研究(现山地学报) 1995, 13(2): 116 - 120]
- [9] Xu Mengzhen, Wang Zhaoyin, Qi Lijian. Disaster chains initiated by the Wenchuan earthquake [J]. Journal of Mountain Science 2012, 30(4): 502 - 512 [徐梦珍, 王兆印, 漆力健. 汶川地震引发的次生灾害链[J]. 山地学报 2012, 30(4): 502 - 512]
- [10] Wang Shige, Zhong Dunlun, Zhang Xiaogang, et al. Basics of mountain hazards and prevention [M]. Chengdu: Sichuan University Press 2005: 110, 39, 58 - 60, 86 [王士革, 钟敦伦, 张小刚, 等. 山地灾害及防灾减灾基本知识[M]. 成都: 四川大学出版社, 2005: 110, 39, 58 - 60, 86]
- [11] Cui Yun, Kong Jiming, Tian Shujun, et al. The critical role for heavy rainfall in the evolution of the mountain hazards chains [J]. Journal of Mountain Science 2011, 29(1): 87 - 94 [崔云, 孔纪名, 田述军, 等. 强降水在山地灾害链成灾演化中的关键作用控制[J]. 山地学报 2011, 29(1): 87 - 94]
- [12] Zhong Dunlun, Xie Hong, Wei Fangqiang. Mountain disaster prevention and coordinated development of people and land [G]// Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS and Mountain Branch of the Geographical Society of China. The mountain resources development and the continued development. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press 1997: 230 - 237 [钟敦伦, 谢洪, 韦方强. 山地灾害及防治与山区人地协调发展[G]//中国科学院 - 水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国地理学会山地分会. 山地资源开发与持续发展. 成都: 成都科技大学出版社, 1997: 230 - 237]
- [13] Zhong Dunlun, Xie Hong, Cheng Zunlan, et al. A comprehensive prevention study on mountain disasters in low mountain and hilly area in Xiuyan Man Autonomous County [M]. Sichuan Science and Technology Publishing House 1993: 38 - 51, 74 - 76 [钟敦伦, 谢洪, 程尊兰, 等. 低山丘陵区(岫岩满族自治县)山地灾害综合防治研究[M]. 四川科学技术出版社, 1993: 38 - 51, 74 - 76]
- [14] Zhong Dunlun, Yang Qingxi, Yang Renwen. Debris flows in north-west China [J]. Mountain Research 1994, 2(1): 36 - 42 [钟敦伦, 杨庆溪, 杨仁文. 东北地区的泥石流[J]. 山地研究(现山地学报) 1994, 2(1): 36 - 42]
- [15] Zhong Dunlun, Xie Hong, Wang Shige, et al. Debris flow in Beijing mountains. Beijing: The Commercial Press 2004: 1 - 319 [钟敦伦, 谢洪, 王士革, 等. 北京山区泥石流[M]. 北京: 商务印书馆 2004: 1 - 319]
- [16] Institute of Mountain Hazards and Environment Institute, Chinese Academy of Sciences. Debris flow of research and prevention [M].

- Chengdu: Sichuan Science and Technology Publishing House ,1989: 1-2 ,18-87 [中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 泥石流研究与防治[M]. 成都: 四川科学技术出版社 ,1989: 1-2 ,18-87]
- [17] China's State Flood Control and Drought Relief Headquarters ,Institute of Mountain Hazards and Environment Institute ,Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources. Flash floods ,debris flow ,landslides and their prevention [M]. Beijing: Science Press ,1994: 2-3 ,77 242-244 270 [国家防汛抗旱总指挥部办公室, 中国科学院-水利部成都山地灾害与环境研究所. 山洪泥石流滑坡灾害及防治[M]. 北京: 科学出版社 ,1994: 2-3 ,77 242-244 270]
- [18] Institute of Mountain Hazards and Environment Institute ,Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources ,Chinese Mountain Dangerous Engineering Training Project Group. China mountain disaster prevention projects [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Publishing House ,1997: 34-35 [中国科学院-水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国山地危险工程综合培训项目组. 中国山地灾害防治工程[M]. 成都: 四川科学技术出版社 ,1997: 34-35]
- [19] Zhong Dunlun ,Li Deji ,Luo Defu et al. Guide on debris flow prevention [M]. Beijing: Science Press ,1991: 1-2 [周必凡, 李德基, 罗德富 等. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社 ,1991: 1-2]
- [20] Xu Zaiyong. Flash floods and its prevention [M]. Beijing: Water Conservancy Press ,1981. [徐在庸. 山洪及其防治[M]. 北京: 水利出版社 ,1981.]
- [21] Qian Jianping. Theory and practice of landslide disaster mitigation [M]. Beijing: Science Press ,1997: 1-5 [乔建平. 滑坡减灾理论与实践[M]. 北京: 科学出版社 ,1997: 1-5]
- [22] Cai Zongxin ,Liu Suzeng ,Qing Taiming. Soil erosion and soil and water conservation techniques [M]. Chengdu: Sichuan Publishing Group ,Sichuan Science and Technology Publishing House 2009: 1-53 [柴宗新, 刘淑珍, 卿太明. 水土流失与水土保持技术[M]. 成都: 四川出版集团, 四川科学技术出版社 2009: 1-53]
- [23] Zhong Dunlun. A preliminary study on mine debris flow [G]// Chengdu Institute of Geography ,Chinese Academy of Sciences. Collected papers on debris flows (No1.). Chongqing: Science and Technology Literature Press Chongqing Branch Office ,1981: 43-49 [钟敦伦. 初论矿山泥石流[G]//中国科学院-水利部成都山地灾害与环境研究所. 泥石流论文集(1). 重庆: 科技文献出版社重庆分社 ,1981: 43-49]
- [24] Wu Jishan ,Tiang Lianquan ,Kang Zhicheng et al. Debris flow and its comprehensive control [M]. Beijing: Science Press ,1993: 1 [吴积善, 田连权, 康志成 等. 泥石流及其综合治理[M]. 北京: 科学出版社 ,1993: 1]
- [25] Fleischman C M. Translated by Yao Deji. Debris flow [M]. Beijing: Science Press ,1986: 1-2 [弗莱施曼 C M 著, 姚德基译. 泥石流[M]. 北京: 科学出版社 ,1986: 1-2]

## Discussion on Mountain Hazards Chain

ZHONG Dunlun<sup>1</sup> ,XIE Hong<sup>1</sup> ,WEI Fangqiang<sup>1 2</sup> ,LIU Hongjiang<sup>3</sup> ,TANG Jiafa<sup>4</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment ,Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy ,Chengdu 610041 ,China;

2. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes ,Chinese Academy of Sciences ,Chengdu 610041 ,China;

3. School of Urban and Environment ,Yunnan University of Finance and Economics ,Kunming 650221 ,China;

4. Geosciences and Environmental Engineering ,Southwest Jiaotong University ,Chengdu 610031 ,China)

**Abstract:** The mountain hazards chain is a catastrophic phenomenon of one mountain hazards triggering other mountain hazards under the action of inducing disaster factors in mountain region. It is often consist of two or more kinds of mountain hazards including debris flow ,flash flood ,landslide ,collapse ,ice avalanche ,snow avalanche ,barrier lake and water loss and soil erosion etc. The mountain disaster chains are classified by the inducing disaster factors into 3 types ( induced by earth endogenic force ,induced by earth exogenic force and induced by human activity) 8 subtypes and 128 hazard chains. According to the genetic analysis of these hazards chains ,the mountain hazards chain is the result of mass transfer and energy conversion of mountain hazards. The analysis of inducing disaster factors ,activity location and structure of mountain hazards chains shows that although the mountain hazards chain is difficult to prevent ,most of mountain hazards chains can be prevent except mountain hazards chains induced by ice avalanche ,snow avalanche and meltwater in high mountain regions.

**Key words:** mountain hazards; mountain hazards chain; factor of inducing hazards; structure of hazards chain; prevent of hazards chain