

典型地质灾害链式机理研究^{*}

李明^{1,2}, 唐红梅¹, 叶四桥^{1,2}

(1. 重庆交通大学 岩土工程研究所, 重庆 400074; 2. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 滑坡、泥石流与危岩是典型的地质灾害, 每年由其造成的损失占到所有地质灾害的一半以上, 针对典型地质灾害的链式规律进行深入研究, 对于防灾减灾具有重大意义。从典型地质灾害的形成、发展过程入手, 将灾害过程视为链式过程, 将人为的工程防护治理措施视为断链过程。一个完整的链式过程包括致灾环、激发环、损害环和断链环。致灾环主要是由地质构造而形成的地质因素构成, 激发环主要是由暴雨、地震、冰雪融水等非地质因素构成, 损害环是由灾害发生后形成的灾害损失构成, 断链环则是指工程治理与防护措施。

关键词: 地质灾害; 链式规律; 灾害环; 断链措施

中图分类号: P642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)01-0001-05

0 前言

地质灾害 (Geologic Disaster) 是指对人类生命财产构成威胁的非线性地表演化过程, 包括滑坡、泥石流、危岩、地面沉降、岸坡再造、沙漠化、石漠化、岩溶等 20 余种。我国是世界上地质灾害最严重的国家之一, 日趋严重的地质灾害, 直接危害着人民的生命财产, 直接影响我国社会经济的可持续发展, 我国每年因地质灾害造成数千人死亡、直接经济损失千亿元。据统计, 其中比较典型的地质灾害 (滑坡、泥石流、危岩) 造成的损失占到全部的一半以上, 针对其治理与防护的费用更是惊人, 因此有必要加强对典型地质灾害的形成和发展规律进行深入研究。

将地质灾害的形成与发展视为一个链式过程, 其是一个内因与外因综合作用的灾害链式过程。所谓灾害链, 就是由于受外界影响而发生的地质灾害, 进而启动另外一种或多种地质灾害损失的过程。这里将地质灾害发生前形成灾害启动要素和激发的过程称为灾害启动环, 把由于地质灾害产生后带来的直接或间接损失过程成为损害环, 阻止或预防地质灾害启动因素的形成和地质灾害形成后的工程治理视为断链过程。当前对于比较典型的滑坡研究与防治已有较大进展。但对泥石

流和危岩的研究有待于进一步研究, 对地质灾害形成的链式关系与演绎规律研究则更为薄弱, 对各种典型地质灾害的广泛性断链研究也少见探讨。

进入 20 世纪以来, 人类的工程活动进一步加剧, 特别是对自然资源的索取更加巨大, 掠夺性开采和不合理的土地利用, 道路、桥梁、房屋、水工结构和地下结构等的大量修建, 复杂、多变、危害甚大的工程地质灾害问题已经得到广泛关注。对各种灾害发育过程和成灾机理、工程预防、预警预报和处治措施等各自形成了一套技术, 为国家挽回了巨大的经济损失, 避免了大量的人员伤亡事故的发生, 创造了良好的经济效益和社会效益。但是, 随着经济活动的快速发展, 典型地质灾害有进一步加剧的趋势, 并且与其它灾害伴发, 情况更为复杂, 危害更大。因此, 对地质灾害不断发生、发展、演变的过程进行深入研究, 认识其各个阶段的链式规律和演绎过程, 认真分析研究并掌握这些规律, 采取有效断链措施, 对于减少经济损失和提高理论研究水平具有重大意义。

1 典型地质灾害链式规律研究

1.1 滑坡形成的链式关系研究

滑坡的形成与地质因素、岩土性质与构造、

^{*} 收稿日期: 2007-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50678182); 重庆市自然科学基金重点项目 (2005BA7008); 西部交通建设科技项目 (200332822047) 资助

作者简介: 李明 (1978-), 男, 河南南阳人, 讲师, 在读博士, 主要从事地质灾害治理与防护、公路隧道健康与复原技术研究。

E-mail: lijianming7805@126.com

人为工程因素和集中的强降雨等诸多因素有关,另外有资料显示,地震区是滑坡多发地带。在受到大地震、土方工程、水坝蓄水及异常的大量降雨、融雪等冲击时,容易发生滑坡。滑坡内的软弱结构带是导致滑坡的内因之一,与其诱导因素产生的其它地质灾害一起将会产生相应的链式关系(图1)。

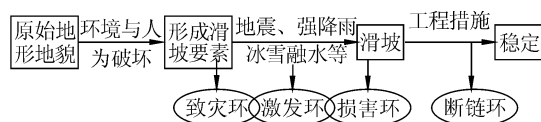


图1 滑坡链式关系规律

在原始地貌的基础上,由于地质作用和人为活动,或环境因素的影响,产生了滑坡灾害或具备了形成滑坡要素的条件,经过暴雨、地震、冰雪融水、崩塌等诱导因素的激发,滑坡经过工程措施的治理与维护以后,形成了稳定的工程体。在这一完整的链式过程中,形成滑坡要素之前就有可能形成一个完整的灾害链式过程,如古滑坡复活^[1-4]等,后期发生的滑坡则是这一链式过程的继续。由人类不当工程活动和地震引起的滑坡^[4-10]形成的链式关系则更为明显。滑坡发生后或阻止与减少形成滑坡因素而采取的工程措施和环保绿化措施等则是打断滑坡形成链的断链过程。从图1中可以看出,在滑坡要素形成之前就采取有效措施进行人工干预,则造成的损失和治理费用将会达到最低。从图1中还可以看出,致灾环本身就包含一个完整的滑坡过程。因此,滑坡的形成和发生过程其实并不是一个单一的链式过程,而是在一个大的链网中由多个小型链组合而成的复合链。

1.2 泥石流形成的链式关系研究

泥石流(Debris flow)是高浓度水砂砾复合异相混合流,是颗粒大小差异很大的固体(岩土体)和液体(水)的联合运动,其中沙、砾主要按滚动及跃动状态迁移。在小流域内,滑坡和泥石流通常相伴而生、互为因果,具有强烈的冲击、破坏作用。泥石流属于典型的灾害地貌现象及地貌过程,是山丘地区公路建设过程中普遍存在且破坏作用极其强烈的公路水毁类型,是毁损穿越泥石流沟的公路路基、路面及相应防治结构物的重要外在动力机制^[11]。

通过研究,可以把泥石流形成的链式规律总结为图2。泥石流形成的致灾环是丰富的松散物质源、陡峭地形与大坡降,激发环则是强降雨或冰

雪强烈消融等形成的充沛水源,泥石流发生后带来的灾害性损失就形成了损害环。致灾环和激发环本身就是泥石流形成的三个必要条件^[11-13]。激发环形成以后,经过诱发因素的激发而形成了泥石流,造成巨大的经济和人员损失。泥石流物质源的主要供应来源于岩体风化剥蚀、滑坡堆积体和工程弃渣等,这些物质一旦形成物质供应源,在适当的条件下必然发生泥石流灾害。

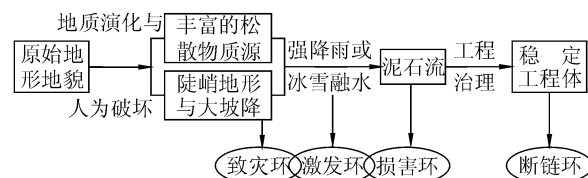


图2 泥石流链式规律

对于泥石流的断链措施,主要采用的方法除了合理安排人类工程活动以外,在灾害环形成以前最好的方法就是保持泥石流流域和泥石流沟内良好的植被,其可以弱化岩体风化剥蚀过程,延缓径流汇集,防止坡面冲刷,保护坡面。在山区土木工程建设中,避免滥伐山林,破坏地表植被,将延缓泥石流的形成与发育。在泥石流沟内由于矿山剥土、工程弃渣处理不当,也是导致发生泥石流的主要原因之一。

泥石流灾害本身造成损失滞后效应在近几十年以来有加剧的趋势。在原来泥石流基础上形成的新滑坡^[14]与新泥石流等频发。保持良好的植被与工程环境、加强泥石流链式关系研究势在必行。

1.3 危岩形成的链式关系研究

危岩是指位于陡崖或陡坡上被岩体结构面切割且稳定性较差的岩块,是世界各国山丘地区主要的地质灾害类型之一,其具有分布面广、稳定性差、致灾严重等特性^[15-17]。随着区域经济建设的需求,人类活动大量伸及危岩发育的地质脆弱地带或地区。

进入20世纪以来,铁路部门对于铁路沿线的危岩给予了高度重视,积累了丰富的工程经验和资料^[18,19],随后其它领域也得到了重视和发展,取得了一定的进展,尤其是位于长江三峡的链子崖危岩体的研究^[20]。陈洪凯教授针对危岩的研究取得了突破性进展^[15-17,21],并且对危岩的断裂链式规律进行了深入研究^[22]。

通过研究,危岩体一般存在于高陡边坡及陡崖上,至少一面存在凌空,主要是由于地质构造的原因而形成的。图3是比较典型的危岩多结构面

模型。软硬相间的地层组合是形成危岩的主要地层组合特征, 陡峻的地形是危岩发育的地貌特征, 大量存在的岩体结构面是危岩发育的地质构造特征, 裂隙水及地震等是危岩发育的动力因子, 也就是激发危岩形成的诱导因素。危岩体从根部底层沿裂隙结构面失稳、运动而形成崩塌, 在危岩体上部及其它部位形成大的裂隙, 在暴雨、地震等激发下进而形成更大的崩塌体, 这是比较典型的链式机理。成为山丘地区常见的地质灾害类型之一。其链式规律见图 4。

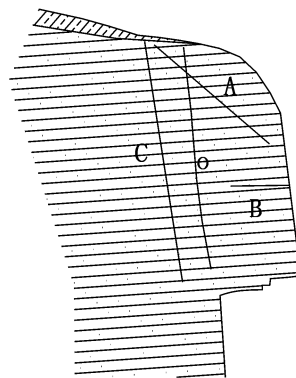


图3 危岩多结构面模型

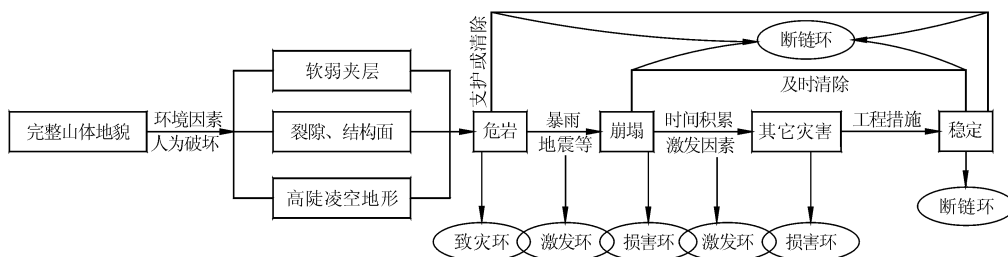


图4 危岩链式规律

危岩崩塌形成以后, 并不是危岩这种地质灾害的终止, 如果及时处理, 将会产生更大或其它的地质灾害。著名的新滩滑坡, 从严格意义上来讲, 应该是由崩塌加载冲击失稳、多期复活继承性的推挤型堆积层滑坡^[4], 滑坡从其潜伏发育阶段(1964 年以前)至滑坡破坏阶段(1985 年 6 月 9 日至 12 日凌晨), 由于崩塌堆积物和冲击的反复作用, 经历了大约 21 年以上的时间。因此, 在危岩形成阶段或危岩形成以后, 及时的采取有效的工程措施加以预防或支护, 将会大大减少危岩造成的危害与经济成本。

2 地质灾害联合作用链式规律初探

地质灾害的产生, 往往不是单一的形式, 而是由两种以上的灾害一起作用发生的。一种地质

灾害的发生, 往往伴生其它的地质灾害或在滞后过程中成为新的地质灾害的致灾环。在泥石流与滑坡的伴生过程中最为明显: 泥石流形成的主要因素之一就是松散物质源的供应, 滑坡的形成正好满足这种条件, 并且两者形成的主要诱导因素都是强降雨, 都有丰沛的水源供应, 因此, 在松散物质覆盖层较厚的山区, 发生泥石流的同时, 一般都伴随有滑坡的发生; 泥石流堆积扇区是巨厚层堆积层, 在地质和人为工程因素的影响下, 具备了滑坡的要素, 因此, 有许多的滑坡就是在泥石流的基础上形成的, 康家嘴滑坡就是其中的一个^[14]。前面讲述的新滩滑坡, 是由于危岩崩塌冲击加载, 长期堆积的结果。另外, 由于崩塌而引起的碎屑流滑坡亦是滑坡现象中的一种, 在我国宜昌盐池河磷矿山崩事件, 就是一个例子^[4]。具体的链式规律可以归纳为图 5。

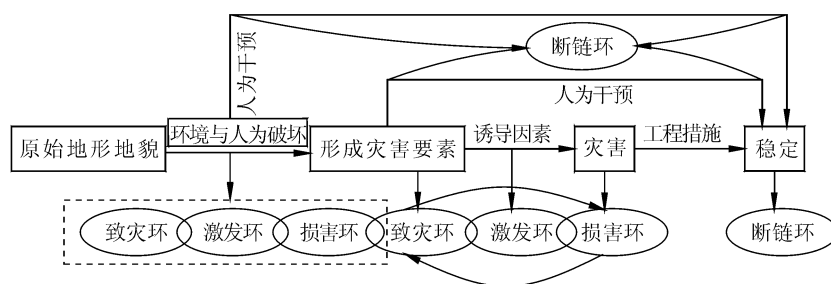


图5 地质灾害联合作用链式规律

3 滑坡工程实例——重庆市开县康家嘴滑坡链式演绎过程

康家嘴滑坡^[14]位于开县县城北约 5 km 的东河左岸边,跨越东华镇和丰乐镇地界,滑坡中心地理座标为 31°13′30″N, 108°25′40″E。滑坡区有简易公路与开县县城相通,东河对岸为省道渝巫线,东河在雨季可通航,滑坡区交通较方便。

康家嘴滑坡是在其老滑坡泥石流的前缘堆积扇体中形成的新的滑动变形,目前处于滑坡的蠕变变形期。具体的演绎过程如下:在原始地貌的基础上经过环境和人为因素的综合影响,形成了老滑坡,形成了本滑坡灾害的初始阶段,致灾环形成;由于地质和暴雨的原因,在老滑坡的基础上形成了泥石流灾害,在该阶段完成了完整的灾害过程。在老滑坡中后部为带状冲沟,在形态上是泥石流沟,发育方向 270°左右;前缘呈弧形带状分布于东河的左岸,在形态上类似泥石流堆积扇体,总体呈“喇叭”形。紧接老滑坡泥石流堆积扇的中部平台前缘,南侧深切冲沟,北侧与崩坡积块碎石土为边界形成了新滑坡强变形区。以前缘陡坎变形为界,后缘及两侧均为老滑坡泥石流堆积体边界形成了新滑坡后部变形体。形成本滑坡的孕源,即灾害环形成。

针对目前的现状,康家嘴滑坡的孕源基本形成,一旦有适当的诱发因素作用,将发生大的滑坡。三峡水库提前蓄水,一旦发生大规模的滑动,其后果将不堪设想,因此对其进行治理已刻不容缓。在该阶段直接采取断链措施加以治理,将会带来很大的社会和经济效益,目前,相关单位已经制定了治理预防措施,符合前述的滑坡链式规律和断链机制,因此是适时的、可行的。

4 结语

由以上的典型地质灾害的链式规律可以看出,影响地质灾害并促使其发生的原因主要是由起主导作用的地质因素,非地质因素只是其诱导或激发因素。应该强调指出,地质灾害的形成条件及影响因素是非常复杂的,非单因素影响的结果,而是在各种因素作用下的综合效应。十分明显,地质因素是形成地质灾害的基础,非地质因素是诱导或触发条件,加速地质灾害的发展过程。因此,在地质灾害分析与危害评价、支护与防护措施

的制定时,应该首先把握占主导地位的地质因素,而对各种诱导或触发因素进行具体情况具体分析。

将地质灾害的形成、发展视为一个连续链式环,地质因素都居于主导地位,是致灾环,也是治理中最重要的一环;各种诱导或激发因素则是诱导环,占主要地位的是强降雨与地震,其它因素对不同的地质灾害影响有所不同;地质灾害发生后造成损失,形成了损害环;损害环节不加以及时处理,有可能成为下一个灾害链的致灾环,如此循环,造成的损害将持续下去。如果在有害的地质因素形成之前就采取有效措施加以避免或延缓,也就是首先在致灾环就采取措施,将会使经济费用达到最低,这在康家嘴滑坡的治理中得到了明显体现^[14]。灾害形成以后而采取被动措施加以处理,不但费时、费力,而且也不经济。

在今后的地质灾害研究中,灾害链中致灾环的快速、有效识别与判定将会对在次阶段采取有效断链措施,降低防治代价起到至关重要的作用。

参考文献:

- [1] 张晓刚,王成华,孔纪名,等.川藏公路“102”滑坡群的基本特征[J].山地研究,1998,16(2):151-155.
- [2] 邓志斌.古滑坡地段滑坡治理措施[J].中南公路工程,2002,27(3):10-11.
- [3] 莫安儒.贵新高速公路螺丝冲缓动巨型滑坡研究[J].铁道工程学报,2003,(3):76-80.
- [4] 中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会,中国地质学会工程地质专业委员会.中国典型滑坡[M].北京:科学出版社,1998.
- [5] 马新民,霍起元,芮勇勤.抚顺西露天矿西帮人车卷滑坡稳定分析和边坡破坏变形预测[J].煤炭科学技术,1993,21(10):39-42.
- [6] 田家琦,梁明.陕西开采滑坡的特点及其分析[J].陕西煤炭技术,1994,(1):29-34.
- [7] 张玉成,杨光华,张玉兴.滑坡的发生与降雨关系的研究[J].灾害学,2007,22(2):82-85.
- [8] 李树德,任秀生,岳升阳,等.地震滑坡研究[J].水土保持研究,2001,8(2):24-25.
- [9] 王家鼎,张倬元.地震诱发高速黄土滑坡的机理研究[J].岩土工程学报,1999,21(6):670-674.
- [10] 龚习伟,龚志红.我国沿海地区地质灾害现状及宏观防治对策[J].灾害学,2006,21(4):79-83.
- [11] 唐红梅,陈洪凯.公路泥石流研究综述(I)[J].重庆交通学院学报,2004,23(4):37-43.
- [12] 陈洪凯,唐红梅,马永泰,等.公路泥石流研究及治理[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [13] 刘希林,赵源,倪化勇,等.四川泸定县“2005.6.30”群发性

- 泥石流灾害调查与评价[J]. 灾害学, 2006, 21(4): 58-65.
- [14] 重庆市地勘局南江水文地质工程地质队. 开县康家嘴滑坡可研阶段勘察报告[R]. 2005.
- [15] 陈洪凯, 王蓉, 唐红梅. 危岩研究现状及趋势综述[J]. 重庆交通学院学报, 2003, 22(3): 18-22.
- [16] 陈洪凯, 唐红梅, 王蓉. 三峡库区危岩稳定性计算方法及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(4): 614-619.
- [17] 陈洪凯, 欧阳仲春, 廖世荣. 三峡库区危岩综合防治技术及应用[J]. 地下空间, 2002, 22(2): 97-101.
- [18] 谭凤灵. 崩塌落石病害的防治[J]. 路基工程, 1998, (3): 114-116.
- [19] 胡厚田. 崩塌与落石[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1989.
- [20] 陈明东. 链子崖危岩体变形破坏机制及整治对策[J]. 地质灾害与环境保护, 1999, 2(1): 33-42.
- [21] 陈晓清, 崔鹏, 唐邦兴, 等. 峨眉山 5.2 崩塌灾害及防治措施[J]. 灾害学, 2006, 21(3): 42-45.
- [22] 陈洪凯, 唐红梅, 王蓉, 等. 锚固岩体参数的等效方法研究[J]. 应用数学和力学, 2002, 22(8): 862-868.

Research on Chain Rule of Typical Geological Disaster

Li Ming^{1, 2}, Tang Hongmei¹ and Ye Siqiao^{1, 2}

(1. *Institute of Geotechnical Engineer, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074 China;*

2. *School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031, China*)

Abstract: It is of great significance for the disaster prevention to study the chain rule of typical geology disasters, including landslide, debris flow and perilous rock, which result in more than a half of all geological disasters annually. In the paper, commencing from the formation and development process of the typical geological disasters, the disaster process is considered as a chain process and the engineering measures for disaster prevention and control are regarded as a process of breaking chain. An integrity chain includes the disaster formation ring, triggering ring, damage ring and chain breaking ring. The disaster formation ring is mainly made of the geological factors. The triggering ring consists of non-geological factors, such as rain-storm, earthquake, ice snow etc. The damage ring consists of loss after disaster occurrence. The chain breaking ring refers to the countermeasures adopted in engineering.

Key words: geological disaster; chain rule; disaster ring; measures of breaking chain