

# 柔性防护技术在泥石流防护中的应用及研究进展

贺咏梅<sup>1,2</sup>, 成 铭<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059;

2. 布鲁克成都有限公司, 成都 611731; 3. 吉林省交通科学研究所, 长春 130012)

**摘要:**在简要介绍柔性防护技术防治小型泥石流的原理、特点的基础上,着重介绍了国内外在柔性防护技术防治泥石流方面开展的试验和研究,包括泥石流在发生、发展过程中对柔性网的冲击特性、柔性网在受冲击过程中的变形特征、泥石流所产生的冲击破坏能量计算、数值模拟研究等研究情况。

**关键词:**柔性防护;泥石流;柔性网;试验研究

中图分类号:P642.23

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)03-0292-03

## Research on the Application of Flexible System to Mitigation of Mudflow

HE Yong-mei<sup>1,2</sup>, CHEN G Ming<sup>3</sup>

(1. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Georugg Co., Chengdu, 611731, China;

3. Jilin Communication Scientific Research Institute, Changchun 130012, China)

**Abstract:** On the basis of an initial introduction of the principle and specification of the flexible system applying to mitigate the small scale mudflow, the tests and researches of application of the flexible system to mitigation of the mudflow at home and abroad were presented, including the barrier characteristic of mudflow impacting the barrier in the process of its originating and moving, the deformation of the barrier during impacted by mudflow, the calculation of impacting energy caused by mudflow as well as the numerical simulation.

**Key words:** flexible system; mudflow; barrier; test and research

柔性防护技术是瑞士布鲁克集团于上个世纪 50 年代开发的一种边坡地质防治技术,其早期的开发目的或防治对象主要是针对各类斜坡坡面崩塌落石、风化剥落和雪崩等灾害现象,并根据不同的灾害特征逐渐形成了以钢丝绳网、高强度钢丝格栅和环形网等高强度柔性网所构成的被动拦截、主动加固和围护等结构形式。该项技术自 1995 年引入国内以来,已在国内铁路、公路、水电站、矿山、市政等建设领域的落石拦截、危岩及边坡加固、坡面围护等方面得到了广泛应用。

柔性防护技术在泥石流防护上的应用尝试开始于上个世纪末。布鲁克的工程师们在对澳大利亚、美国、日本等国的多处柔性防护工程回访中,发现一些用于拦截落石的柔性防护系统成功地经受了泥石流的冲击。受这些偶然事件的启发,布鲁克的工程师们开始思考柔性防护技术用于泥石流防护的可能性,并从 1996 年开始对泥石流在冲击防护系统时的力学机理以及在冲击过程中柔性网的变形特征等进行深入的研究。国内于 1997 年也开始尝试性地开展泥石流柔性防护的应用。作为泥石流防护的一种新的技术方法,泥石流柔性防护技术尚处于发展初期。

### 1 泥石流柔性防护技术的原理和特点

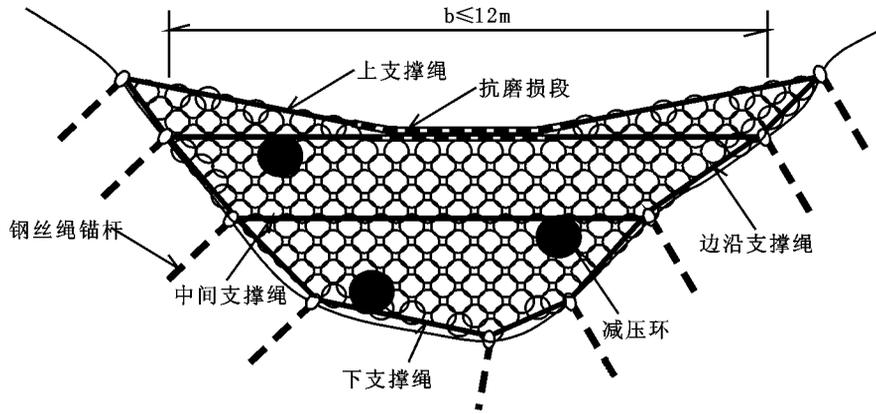
泥石流柔性防护系统是在用于落石拦截的被动防护系统(常称拦石网)基础上改进发展起来的,除早期的部分试验工程采用了钢丝绳网外,主要采用的是自身柔性或抗冲击力较强的环形网,如图 1 所示。

泥石流柔性防护系统根据其结构形式,可以分为两种类型,即 VX 型(图 1a)和 UX 型(图 1b),其主要区别在于结构的中部是否有钢柱,并适用于不同宽度的泥石流沟。当泥石流沟较窄时(通常  $b < 12$  m),一般采用 VX 型结构,系统中部不设置钢柱;当泥石流沟较宽时,一般采用中部设有钢柱的 UX 型结构。

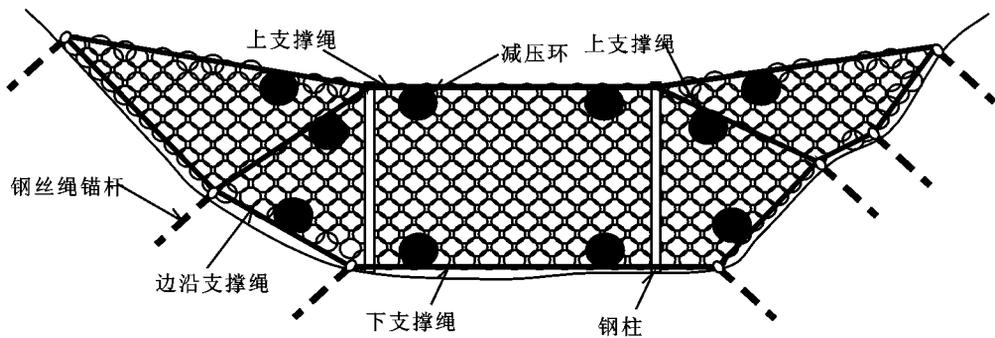
泥石流柔性防护系统在防护功能上类似于格栅坝,所不同的是它具有了高抗冲击能力的柔性特征。柔性网为可渗透结构形式,水和较小颗粒的泥沙被排走,较大的岩块被拦截并沉积下来形成天然的防护屏障。泥石流冲击所具有的动能主要是被柔性网吸收,并将所承受的载荷通过支撑绳、锚杆传递到地层。柔性网有一很显著的特性就是抵抗点状冲击,这种特性对于稀性泥石流防护是非常理想的,因为稀性泥石流中大部分大块物质主要集中于泥石流的前端。

\* 收稿日期:2006-07-03

作者简介:贺咏梅(1965-),女,博士,1986年毕业于成都地质学院水文系工程地质专业,现任布鲁克(成都)工程有限公司经营副总经理,主要从事岩土工程、地质灾害防治研究、技术开发与推广方面的工作。



a. V X 型泥石流防护系统结构示意图



b. UX 型泥石流防护系结构示意图

图 1 泥石流柔性防护系统结构示意图

泥石流柔性防护系统具有明显的柔性特征和开放的结构形式,能够承受更大的冲击载荷,对于泥石流沟地形条件具有极好的适应性,且不构成环境景观的破坏,具有布置灵活、结构美观、安装快捷方便、投资少、便于维护等技术经济优势。但是,由于对泥石流柔性防护系统的研究还不够深入,缺乏相关工程实践的长期经验,因此,目前多将泥石流柔性防护系统的适用范围限制在流域宽度小于 30 m 的中小型泥石流沟内使用,且泥石流固体物质最大体积小于 1 000 m<sup>3</sup>,最大流速不超过 5 ~ 6 m/s。

## 2 国内外研究和应用现状

### 2.1 国外研究现状

国外关于泥石流柔性防护的研究主要集中在模拟试验、现场试验和数值模拟等几个方面。

(1) 模拟试验。在泥石流柔性防护的模拟试验研究方面,最有代表性的是布鲁克美国公司和美国加州交通局开展的一项用柔性防护系统防护泥石流的研究计划。该试验于 1996 年夏天在美国地质局设于俄勒冈的泥石流试验基地进行,采用钢丝绳网和环形网的不同结构形式进行了 6 次试验,如图 2。试验过程中采用了包括流体压力计、激光测速仪、超声波流体深度计以及荷载传感器等手段来监测泥石流特征参数和防护网重要部位的受力状况,并采用摄像机记录泥石流的运动状态以及防护网的受力变形过程;在试验结束后,对泥石流堆积物进行了分析研究。

该试验取得了有关泥石流柔性防护的一系列重要的认识和成果,包括柔性网对泥石流的防护能量及满足防护要求的程度,泥石流的冲击流速、规模及冲击次数对防护网响应特征的影响,防护网的受力变形特征,环形网与菱形网的防

护差异。这些成果为泥石流柔性防护设计提供重要的理论依据。



图 2 美国俄勒冈泥石流柔性防护试验场

(2) 数值模拟研究。瑞士联邦科技大学和瑞士联邦地理研究所在瑞士科技促进委员会(KTI)的支助下开发了一套模拟并研究岩石撞击防护网的计算机软件(Falling Rocks),该软件可以模拟泥石流的冲击过程,如图 3 是模拟演示泥石流撞击 UX 形防护系统的全过程。该模拟假定泥石流仅撞击防护网的中间部分,泥石流先冲击到防护网的底部,然后充满整个系统。

此外,Richenmann 等学者还采用流变力学的数学模型来分析和预测泥石流冲击柔性防护网的情况。通过经验公式计算获得泥石流规模、峰值流量、峰值流速、峰值厚度、泥石流流体密度、冲击持续时间等参数。

(3) 现场试验。瑞士布鲁克集团分别在日本和瑞士与当地研究机构合作进行了泥石流柔性防护的现场试验,其试验研究内容在覆盖前述模拟研究内容的基础上有了更大的深

入,在泥石流发生时,对泥石流特征和防护系统的受力变形特征等均进行了监测和分析研究,如图 4 所示。

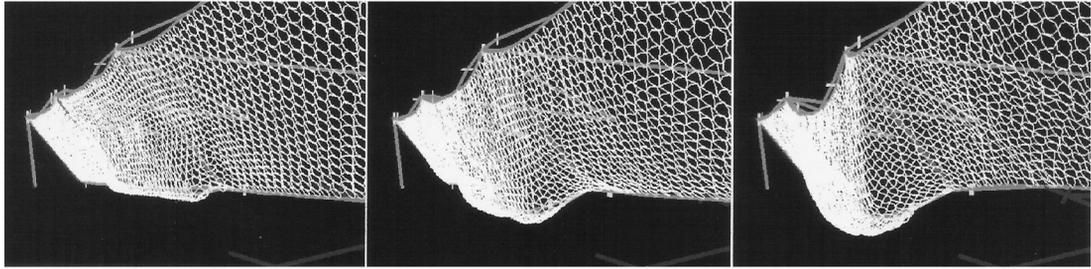


图 3 泥石流冲击防护网的数值模拟过程



图 4 泥石流柔性防护现场试验

### 2.2 国内应用现状

国内最早采用泥石流柔性防护技术的试验性工程实例是 1997 年在四川西昌东河,东河泥石流防护系统网宽 70 m,高 5 m。支撑采用是刚性结构,拦截系统为柔性的菱形钢丝绳网,如图 5,是一种刚柔结合的特殊结构。但是,在运行一年后,发现该工程刚性支撑结构发生破坏,柔性钢丝绳网仍然完好。现场调查分析发现,其主要原因正是由于刚性支撑结构的抗变形能力较差所致,即在拦挡坝拦截堆存了大量泥石流固体物质后,后续泥石流翻坝的强烈冲刷使结构基础裸露悬空,且有部分发生了移位,致使上部钢支架发生扭

曲变形破坏。

自 2003 年以来,南昆铁路柳州局管段内对多条泥石流沟采用了柔性防护方法(参加图 6),沟宽多在 10~20 m 间,UX 和 VX 型系统均有采用,系统高度在 2~5 m,且在部分泥石流沟内采用了分及布置的多道防护网。这些柔性防护网的采用,给该铁路沿线的泥石流整治带来了非常好的效果,迄今一直运行良好。

泥石流柔性防护系统在国内应用处于尝试阶段,较为遗憾的是尚未见有系统开展在试验和研究。



图 5 四川西昌东河泥石流柔性防护工程



图 6 南昆 K368 泥石流柔性防护工程  
方面取得了可喜的进展和成果。这些研究为泥石流柔性防护系统的设计、参数获取、更好地实现防护泥石流的功能提供了重要依据。但是,相对于落石来讲,泥石流现象要复杂

### 3 结论与展望

泥石流柔性防护系统虽然应用的时间较短,但已经引起工程技术人员的关注,并在模拟试验、现场试验、和理论研究

(下转第 299 页)

县级的实际情况,将各类数据库在 ArcView GIS 3.2 软件的基础上进行系统集成,开发石棉县林业 GIS,实现林业资源信息化。

## 6.2 系统功能实现

### 6.2.1 基本功能

ArcView GIS 功能强大,以它为平台的系统将会继承其基本功能,如显示功能(放大、缩小、移动),查询功能(空间对属性、属性对空间、热链接),编辑功能(空间数据编辑、属性数据修改),输出功能(制图、报表),计算功能(面积、周长等),空间分析功能(叠加分析、缓冲区分析等)。这些功能能够满足林业部门的日常办公管理需要,如实现林业档案管理计算机一体化,实现数据、图形一体化查询,实现数据、图形一体化更新和输出等等<sup>[3]</sup>。

### 6.2.2 高级功能

林业上需要的各类基础数据库已经建立起来,在 GIS 的支持下,这些数据将会发挥更加强大的作用。借助该系统,可以基于遥感和全球定位系统技术进行森林资源的动态监测、数据的更新;进行林业规划设计,如天保工程作业设计、退耕还林工程作业设计、自然保护区规划与设计;在森林防火决策支持中,进行防火了望站台规划布局、进行森林火灾损失评估系统。该系统将会大大提高石棉县林业管理部门管理与决策的效率。

#### 参考文献:

- [1] 郭宏俊,郭峰,陈士银. 3S 技术及其在林地管理中的应用[J]. 农业现代化研究,2003,24(1):75-78.
- [2] 吴信才. 地理信息系统原理与方法[M]. 北京:电子工业出版社,2002.4-5.
- [3] 林中大,魏安世,刘惠明. 广东省县级林业地理信息系统(GIS)的建立和应用[J]. 广东林业科技,2003,19(1):27-31.
- [4] 王东军,彭松波. 全国森林资源管理县级地理信息系统的分析与设计[J]. 中南林业调查规划,2004,23(4):40-44.
- [5] 庄晨辉,陈铭潮,潘俊忠. 林业资源管理地理信息系统的研制与开发[J]. 福建林学院学报,2005,25(1):1-4.
- [6] 娄全胜,张慧霞,武苏里,等. 基于网络的县级林业专题地理信息系统的研建[J]. 林业资源管理,2005,(1):67-69.
- [7] 牟怀义. GIS 在南方集体林区森林经营中的应用研究[J]. 林业资源管理,1999,(3):64-69.
- [8] 肖胜. 林业地理信息系统的建立、管理及分析方法[J]. 福建林业科技,1998,25(3):46-50.
- [9] 王静,张百顺. “数字林业”建设的现状与思考[J]. 长春大学学报,2003,13(2):25-28.
- [10] 石棉县林业志编纂委员会. 石棉县林业志[M]. 成都:四川辞书出版社,2004.
- [11] 范爱民,景海涛. 地图数字化质量问题研究[J]. 测绘通报,2003,(4):1-3.
- [12] 吴信才. MAPGIS 地理信息系统[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [13] Kang - tsung Chang. 地理信息系统导论(Introduction to Geographic Information System)[M]. 陈健飞,等译. 北京:科学出版社,2003.
- [14] 郭庆胜,王晓超. 地理信息系统工程设计与应用[M]. 武汉大学出版社,2003.
- [15] 商瑶玲,王东华,李莉. 论全国 1:25000 数据库的建立与更新[J]. 地理信息世界,2003,1(2):16-21.
- [16] 胡鹏,黄杏元,华一新. 地理信息系统教程[M]. 武汉大学出版社,2002.
- [17] 王东华,吉建培,刘建军,等. 国家基础地理信息数据库 1:5 万 DEM 的设计与实现[A]. 地理空间信息技术与应用[C]. 成都:成都地图出版社,2002.334-343.

(上接第 294 页)

得多,其分析研究,特别是其运动参数的确定也困难得多,迄今的理论和经验计算都未能达到适合普遍的防治工程设计水平。目前国外开展的研究和试验较多,国内虽有工程实例,但在理论研究和试验方面还很少,作为一种泥石流防护

#### 参考文献:

- [1] 阳友奎,等. 坡面地质灾害柔性防护的理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [2] De Natale J S, et al. Response of the Geobrug cable net system to debris flow loading[R]. Report by California Polytechnic State University,1996.
- [3] Rickenmann D. Empirical relationships for debris flows[J]. Natural Hazards, 1999,19(1):47-77.

## 7 结语

林业 GIS 是“数字林业”的基础<sup>[9]</sup>。林业 GIS 一旦建立并不断维护和更新,那么从中受益将是一个长期的过程<sup>[3]</sup>。随着社会经济快速发展和信息化要求提高,森林资源的开发、利用和保护需要随时跟上经济发展的步伐,随时掌握资源动态变化,及时做出决策就显得非常重要。常规的森林资源监测,从资源清查、数据整理成册,到最后制定经营方案,需要较长的时间,使制定的经营方案和现实情况不相符,势必出现经营管理的滞后现象,造成无法估量的损失<sup>[3]</sup>。利用 GIS 技术就可以有效地解决这些问题,及时掌握森林资源在空间、时间上的变化特征,制定合理的经营方案,提高林业管理决策的效率。

目前,已在该系统上进行了退耕还林小班作业设计、制作了石棉县 1998~2003 年天保工程、退耕还林工程效益评价图、评估了某水电站的淹没损失。实践证明,石棉县林业 GIS 的建立大大提高了石林业管理与决策的效率,充分展示了传统方法无法比拟的技术优势。

致谢:感谢邓小菲、张瑞、邓丽丽、程熙、王小燕、饶亚熙、贾月江在数据采集中所做的工作;感谢石棉县林业局的大力支持!