

# 被动柔性防护网结构性能分析

徐建平, 宋道国, 唐黎明

(四川金洪源金属网栏制造有限公司, 四川 成都 610000)

**摘要:**滑坡、落石、崩塌等地质灾害在我国山区经常发生,特别是在我国中西部地区,这种地质灾害更为常见。它危害山区内人民的生命安全,妨碍人们经济活动的进行,因此需要及时对崩塌、落石等自然灾害进行防护。在与其他防护结构的比较下,被动柔性防护网的结构在安全、经济、环保等各个方面都具有显著的优越性,它的各个组成部分结构简单、成本低廉,目前已在我国各个山区具有设置防护。本文通过查阅资料、结合冲击试验与有限元分析,进一步阐述被动柔性防护网并对其结构性能进行分析,综合其优缺点,为我国危岩落石防治工程的研究做出贡献。

**关键词:**防护网;山川;落石;崩塌结构性能

**中图分类号:**U216

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-7344(2021)04-0171-02

我国地势广袤,幅员辽阔,拥有无数的名山大川、崇岭险峻。为了经济快速发展、人民更好的生活,也为了减小贫富差距,实现共同富裕的目标,我国一直致力于贫困山村地区的开发,特别是我国西部地区,并在近年来取得了较大成果。然而,随着基础设施的建造开发,一个个问题也开始逐渐浮出水面:过度开发导致山区植被破坏造成水土流失加剧,基础设施的建设与生态环境不协调导致生态失衡,特别是公路、铁路等民生工程的建设,它们与自然环境十分密切相关,同时规模大、涉及面广,因此十分容易造成生态环境被破坏的问题。再加上西部地区本就是多山多石的地域特征,又因近年来大气污染严重,气候日益变暖,地质灾害更是频频发生,对该区域人类的生产生活、生存发展都造成了恶劣的影响。但是人们无法阻止地质灾害的发生,只能尽可能提前做好预防工作,减少损失程度。

近年来,我国开始逐步采用被动柔性防护网来进行铁路、公路、山体等区域防护,该防护系统比起其他防护模式,具有施工周期短、成本低的优点,而且对环境的破坏性小,同时兼顾了人们的视觉,使人们不会感到突兀,且由于其特殊的制造工艺,以及耐腐蚀性强、防锈力高的特点,使得它拥有较长的寿命周期,长时间使用,从而使得它经济性高,满足人们在经济方面的要求的同时又符合现代社会追求环保的理念。目前,国外已经开展了大量有关被动柔性防护网的研究,逐渐趋向成熟,而国内有关这方面的探索也正在逐步进行中。

## 1 被动柔性防护网定义阐述

### 1.1 柔性防护网结构

防护网的结构主要由耗能件、金属网、钢柱和拉锚绳等构件组成,在落石冲击防护网结构时,各个构件分别承担了不同的任

务,发挥不同的作用。

耗能件是整个防护网结构的主要耗能构件之一,在防护网拦截崩塌落石冲击时起着至关重要的作用。现在常用的耗能件主要由钢丝绳、钢管以及铝管套筒组成。在边坡防护工程中,先将钢丝绳的一端固定住,再将另一端连接在防护网结构上,通过钢管与铝管套筒的摩擦以及钢管的大变形来耗散冲击动能,实现其耗能作用以及对防护网结构的过载保护作用。目前市面上防护网的种类繁多,如:边坡防护网、主动防护网、被动防护网、SNS被动防护网等,这些防护网的结构、材料、质地不尽相同,但主要都是用来分散落石带来的巨大冲击力,预防或者降低落石崩塌造成的危害程度。

### 1.2 被动柔性防护网

被动柔性防护网的结构主要由柔性网、减压环、固定系统和钢柱四部分组成,它利用构件与构件之间的拉力平衡,形成弱张力集成体系,以拦截的形式防治落石灾害,降低危害损失。

表1为目前研发的各被动柔性防护网的型号。被动柔性防护网在发生崩塌落石等地质灾害时,能起到很好的拦截作用。如果有大块的岩石或泥土堆积物下坠到防护网上,该系统的柔韧性好、灵活性强、强度高,可以很好地接受和分散四处下落的岩石冲击动能,被动柔性防护网在安装过程中应该要适应地形地势的特征,保证标准化且系统化。

## 2 被动柔性防护网中的关键构件

### 2.1 金属柔性网

我国学者在进行实验和有限元分析的基础上,对金属柔性网的抗冲击性能进行了探索,为金属柔性网在防落石冲击的防治项目中提供了借鉴意义。研究表明,适度倾角的金属柔性网能将

表1 被动柔性防护网型号

	RX-025	RX-050	RX-075	RXI-025	RXI-050	RXI-075	RXI-100	RXI-150	RXI-200
网型	DO/08/250	DO/08/200	DO/08/150	R5/3/300	R7/3/300	R7/3/300	R9/3/300	R12/3/300	R19/3/300
上/下支撑绳	φ12 双绳, 每跨各 1 个减压环(共 3 个)	φ16 双绳, 每跨每根各 1 个减压环(共 6 个)	φ18 双绳, 每跨每根各 1/2 个减压环(共 10 个)	φ18 单绳	φ22 单绳	φ16 双绳, 每跨每根各 1 个减压环(共 6 个)	φ18 双绳, 每跨每根各 1 个减压环(共 6 个)	φ22 双绳, 每跨每根各 1 个减压环(共 6 个)	φ22 双绳, 每跨每根各 1/2 个减压环(共 8 个)
上拉锚绳	φ16 单绳, “1”字形布置, 每根 1 个减压环	φ14 单绳, “1”字形布置, 每根 1 个减压环	φ16 单绳, “1”字形布置, 每根 2 个减压环	φ16 单绳	φ18 单绳	φ14 单绳, “人”字形布置, 每根 1 个减压环	φ16 单绳, “人”字形布置, 每根 1 个减压环	φ18 单绳, “人”字形布置, 每根各 1 个减压环	φ18 单绳, “人”字形布置, 每根各 1 个减压环
侧拉锚绳	φ12 单绳	φ16 单绳	φ18 单绳	φ16 双绳	φ18 单绳	φ14 单绳	φ16 双绳	φ18 双绳	φ18 双绳
下拉及中间加固拉锚绳	φ12 单绳	φ16 单绳	φ18 单绳	φ16 单绳	φ18 单绳	φ14 单绳	φ16 单绳	φ18 单绳	φ18 单绳
缝合绳	φ820	φ8	φ8	φ8	φ8 单绳	φ8	φ12	φ12	φ14

冲击下来的落石弹出安全区域, 防止落石落在金属柔性网上造成破坏及泥土石块污染, 从而实现它的自清洁功能。研究还表明, 当金属柔性网的倾角分别为 15°、30°和 45°时, 落石撞击后的弹跳效果更好, 其中, 效果最好的是 45°倾角时, 此时落石冲击力下降的最为明显, 防护性能最好<sup>[2]</sup>。

## 2.2 减压环

减压环是柔性拦截结构中重要的耗能构件, 在消能和过载保护中起着重要作用。本文通过借鉴其他学者分别对 gs-8002 单减压环和减压环组进行了准静态拉伸试验、动态跌落试验和足尺冲击试验, 分析了减压环在不同试验条件下的变形和应力特性。试验结果表明: 在动载荷作用下, 随着启动载荷的增加, 并联减压环组的增幅最大; 减压环的张力曲线具有明显的脉冲特性, 串联减压环组的脉冲效应更为突出, 减压环在整个系统侧的变形较大, 而靠近固定端侧的变形较小, 平行减压环组和单个减压环的脉冲效应相似<sup>[3]</sup>。

## 3 研发更为经济高效的新型耗能件

金属柔性网是被动柔性防护网结构中主要的耗能构件, 但在实际工程中经常出现其被破坏的情况, 因此, 应基于金属柔性网的力学性能和耗能特性进行研究, 为金属柔性网的创新升级提供一定的借鉴参考<sup>[4]</sup>。

由于现有耗能件耗能方式的局限性, 当耗能件出现变形现象后, 就必须要进行更换, 这就导致它的利用率不高、经济性不高, 从而造成被动防护网整体的维护费用较高的缺陷。因此, 为克服耗能方式的局限性, 我国应拟研发新型高效、结实的耗能件, 使耗能件的使用更加具有经济性。通过参数分析的方法, 可以进行新型耗能件的启动荷载、变形特点、耗能性能、破坏形态和破坏机制的研究, 并且通过改变新型耗能件的参数进行控制变量的动力试验方法, 对其进行基于动力试验结果的性能优化, 进而提出更适应与承受动力作用的耗能件, 即为经济性大大提高的新型耗能件。结合冲击试验和有限元分析, 拟合出新型耗能件的启动荷载、失效荷载、耗散能量的计算公式, 用于耗能件的工程设计, 从而实现耗能件的升级, 提升其经济性。

## 4 结语

我国是一个山体资源十分丰富的国家, 对于山体灾害也是自

古就一直寻找防护措施。现代以来, 随着科技的不断进步发展, 并逐渐借鉴国外成熟的防护知识, 我国研发了多种对于崩塌落石灾害的防治措施, 其中被动柔性防护网以其结构轻巧、经济性好、环保卫生、施工简便、适应性强、生产标准化等特点广泛应用于现场的各个工程中, 而且逐渐取得了广泛好评。但不可否认的是, 被动柔性防护网也存在一定的缺陷, 而目前大多数的崩塌落石的预防工程中都普遍只采用单一的柔性防护网, 这会导致主动网的防护区域大、造价高, 或者被动网的钢柱高度有限、防护高度不足等弊端。结合我国多年来利用防护网防止崩塌落石的经验教训, 发现可以采用将主动网、被动网、刚性格栅等等综合起来应用于危岩落石治理的方法, 并在施工过程中采用被动网作为临时性防护措施, 这种多种柔性边坡防护网组合防护的模式, 能在保证崩塌落石防护效果的前提下, 降低工程的难度, 节省人力物力等防护成本<sup>[5]</sup>。总而言之, 我国对于防护网的研究正在趋向成熟完善, 但仍有很长的道路要走。

### 参考文献

- [1] 韦小丹. 柔性防护结构中环形网片的试验和有限元研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- [2] WANG G H, SUN Y H, ZHANG A, et al. Study on the Impact Resistance of Metal Flexible Net to Rock fall[J]. Shock and Vibration, 2020.
- [3] 齐欣, 许浒, 余志祥, 等. 柔性拦截结构中减压环动态力学性能试验研究[J]. 工程力学, 2018, 35(9): 188-196.
- [4] 许城杰. 被动柔性防护网结构中金属柔性网力学性能及耗能研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2019.
- [5] 周永洪. 柔性防护网在边坡危岩落石防治中的组合应用[J]. 路基工程, 2017(5): 157-163.

科研项目: 四川省科技厅科研项目“防护网结构耗能件的动力性能试验研究”(2017JY0034)。

收稿日期: 2020-12-14

作者简介: 徐建平(1962-), 男, 汉族, 四川德阳人, 副研究员, 本科, 主要从事工程地质、边坡柔性防护网研究工作。