

• 土木工程学术前沿丛书 •

SNS BIANPO ROUXING ANQUAN FANGHU XITONG
GONGCHENG YINGYONG

SNS边坡柔性安全防护系统 工程应用

李 念 编著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

土木工程学术前沿丛书

SNS 边坡柔性安全防护系统工程应用

李 念 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

SNS 边坡柔性安全防护系统工程应用 / 李念编著. —成都: 西南交通大学出版社, 2009.3
(土木工程学术前沿丛书)
ISBN 978-7-5643-0237-5

I. S… II. 李… III. 边坡—防护工程 IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 038973 号

土木工程学术前沿丛书

SNS 边坡柔性安全防护系统工程应用

李 念 编著

*

责任编辑 李 涛

特邀编辑 杨 勇

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 170 mm×230 mm 印张: 13.875 插页: 3

字数: 255 千字

2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0237-5

定价: 28.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

作者简介

李念，男，1975 年 5 月出生，四川眉山人，硕士。

自参加工作以来一直从事工程技术管理，先后参与或组织了多个交通、土建工程建设。2003 年至今一直从事 SNS 防护技术工作，此间一直致力于 SNS 防护技术工程应用体系的建立和完善。

联系方式：LN001@SINA.COM



前 言

我国是个多山的国家,全国各地每年都有大量的坡面地质灾害发生,给人们的生产和生活带来极大的威胁甚至是伤害,特别是2008年5月12日发生的汶川特大地震,深刻地向国人显示了地质灾害的巨大危害性。所幸的是,近年来随着我国国力逐渐壮大,人们的安全及环保意识也极大提高,对地质灾害的防治也越来越重视。

通过广大工程技术人员长期的探索和实践,针对边坡地质灾害的防治现已建立了以护、顶、锚喷、拦截为主,以排水、土石体改良、植被绿化等为辅的多样化的工程防治工艺,而在这些工艺中 SNS 防护技术以其突出的性能和优势,已成为边坡地质灾害治理工程领域中的主流防护工艺之一。

目前国内关于 SNS 防护工艺的专著和论文不多,且多是针对 SNS 防护技术的理论和实践进行的论述,而针对于 SNS 防护产品的工程应用进行全面、系统论述的文章还没有。笔者依据多年从事 SNS 工程技术管理的经验,通过本书的写作,力求在这方面进行完善,为从事 SNS 工程技术应用的广大工程技术人员提供一个实用、全面的参考,以便大家更好地应用 SNS 技术产品,对地质灾害进行有效的治理,同时也不失为一个系统了解 SNS 技术体系的平台。

本书主要内容共分9章。在绪论与第一章中对 SNS 防护系统作了简要介绍,在第二章中介绍了 SNS 防护工程设计应用的经验,并在附录一中举出了一个 SNS 防护系统工程设计范例,在第三章至第八章中系统介绍了 SNS 防护工程施工环节应用的经验,其中包括 SNS 防护系统构成及其施工安装、施工组织设计、工程施工质量的验收、竣工资料的编制以及 SNS 防护系统工程的预算及清单报价等,并在附录二中举出了 SNS 柔性防护网施工组织设计范例,在第九章中介绍了 SNS 防护系统使用过程中的维护事项。全书是以 SNS 防护系统的工程应用为脉络展开论述的。

作为一项相对新兴的地灾防治技术, SNS 技术在1995年被引进中国以前还极少有人听说过它,而在短短10多年的时间里,广大的工程界人士逐渐认识、接受并广泛地应用了这项“舶来”的技术,解决了众多的地质灾害防治问题。这都主要归功于布鲁克(成都)工程有限公司的广大技术人员,作为目前国内

该领域的先行者，他们通过对该技术的研究消化和大量的工程实践，在理论认识上达到了较高的程度，同时也取得丰硕的技术成果，可以毫不夸张地说他们就是目前该领域的技术权威。在本书的编写过程中，笔者参考了很多布鲁克（成都）工程有限公司的学术成果，可以说本书的写作就是站在这位巨人的肩膀上取得的一点进步。因此，笔者对这些 SNS 技术的先行者们所作出的巨大贡献深表敬意！在编写本书的过程中，笔者得到了布鲁克（成都）工程有限公司领导和同事们的大力支持，在此也深表谢意！借此机会，也一并感谢多年来在柔性防护技术的工程应用中给予过笔者大力支持的所有专家、学者和工程技术人员，以及本书所列参考文献的作者！相信本书里也有各位的智慧。

最后，衷心感谢笔者的家人，在笔者从事工程技术工作的这些岁月里一直给予理解和支持，并在本书写作过程中为笔者付出很多！

有句话说：“当技术完美实现其功能时，它就升华为艺术。”本书的写作初衷是希望帮助广大工程技术人员将 SNS 防护技术方便、有效地转化为工程产品，为我国地质灾害防治作出贡献，但是笔者清醒地认识到，由于自身知识结构、认识水平和经验的限制，书中难免存在错漏不妥之处，在此恳请读者批评指正，以利笔者不断改进。

李 愈

2008 年 12 月 30 日

目 录

绪 论	1
第一章 SNS 防护系统简介	7
第一节 SNS 防护系统的工程特点	7
第二节 SNS 防护系统的分类及其防护原理	12
第三节 SNS 防护系统的结构特征及其性能比较	21
第二章 SNS 防护工程的设计选型	29
第一节 斜坡稳定系统工程的设计选型	30
第二节 落石拦截系统的选型与计算	43
第三节 围护系统的选型	49
第四节 SNS 防护工程设计选型的一般经验	50
第五节 SNS 防护工程现场的合理化布设	55
第六节 常见 SNS 防护产品的标准布置图	61
第三章 斜坡稳定系统、围护系统的构成及其施工安装	63
第一节 斜坡稳定系统、围护系统的构成	63
第二节 斜坡稳定系统、围护系统的施工安装	68
第四章 落石拦截系统的构成及其施工安装	77
第一节 落石拦截系统的构成及其特点	77
第二节 落石拦截系统防护工程的施工工序	81
第五章 SNS 防护工程的施工组织设计	93
第一节 SNS 防护系统工程施工组织设计的结构	93
第二节 SNS 防护系统工程施工组织设计的具体内容	94
第六章 SNS 防护工程施工质量的验收	111
第七章 SNS 防护工程竣工资料的编制	123
第八章 SNS 防护系统工程预算及清单报价	141

第九章 SNS 防护系统的维护..... 152

附录一 SNS 防护系统工程设计范例..... 161

附录二 SNS 柔性防护网施工组织设计范例..... 186

参考文献 212

绪 论

我国是个幅员辽阔的国家,在 960 万平方公里的领土上大小山脉遍布,除少数几个地处平原的地区外,其余地方山地丘陵众多,这些地方每年四季受各种气候条件、地壳运动和人为活动的影响,各种坡面地质灾害如崩塌落石、泥石流、溜坍、溜滑、塌落和风化剥落等层出不穷,对人民的生命财产安全和正常的生活、工作需要造成危害,在 2008 年 5 月 12 日发生的汶川特大地震中,由于地震引发的坡面地质灾害就夺去了数以万计的生命,同时也给受灾地区带来了巨大的财产损失。另外,在工程建设的各领域中,由于天气影响和人为干扰导致的坡面地质灾害发生频率也非常高,同时造成的威胁和损失也非常大,尤其在铁路、公路这样的线状工程沿线最为严重,其灾害的发生可以说具有点多、面广、线长等特点,在有限的资源条件下进行灾害防护治理是件非常困难甚至防不胜防的事,这已成为临坡工程所必须克服的困难之一。

近年来随着我国经济的高速增长、西部大开发政策的深入,国家投资进行了大量的基础设施建设和能源工程建设,随着此类工程的开展,各个工程行业都更多地面临边坡灾害防治问题:公路方面,中西部地区进行了大量的高级公路建设,而高级公路在设计和施工中强调道路的线形,这和过去在低等级公路建设中常用的遇山绕避、上下大坡道等方式完全不同,必然会出现一些人工高边坡或从一些高陡的自然山坡下经过;市政方面,随着房地产行业的兴旺,城市土地日渐变成稀缺的资源,有山的城市就会出现临山而建的工程;其他方面,如新建山区铁路、水电站、矿山等由于工程本身的特点,都不可避免地要临山而建或靠山而建,这些工程都面临高陡边坡地质灾害治理的问题。

在大多数工程建设中,因为地形条件、建设投资以及工期等因素的制约,在对边坡地质灾害进行治理时,一般都没有要求做到施工和运营期绝对安全,因此很少采用类似大放坡的方式对工程沿线边坡进行处置,以消除全部的边坡隐患,而通常只要求对边坡地质灾害加以治理,以达到“不能因发生地质灾害而危害人们生命财产安全”这一不可缺少的基本要求。因此,在很多边坡中仅设计适当的工程防治措施来对存在的危害隐患加以阻止,以实现工程建设质量

与初期投资、运营质量与运营维护费用间的最佳平衡，从而在整体上实现工程建设最佳的综合效益。

综上所述，作为一项对工程建设的安全性和投资成本都具有重要影响的分支——边坡地质灾害治理就成为一个工程建设中的普遍性问题。

一、传统边坡地质灾害治理工艺简析

长期以来，在边坡坡面地质灾害防治方面，广大岩土工程技术人员积累了大量经验，建立了以护、顶、锚喷、拦为主，以排水、土石体改良、植被绿化等为辅的工程防治措施，尤以浆砌片石或喷混凝土护坡、锚固、浆砌片石拦石墙和简易钢结构栅栏等最为常见。现行坡面地质灾害主要的防治措施及其分类如图 0.1 所示。然而，由于坡面地质灾害本身的复杂性、随机性、区域差异性和多发性，上述以刚性圬工结构为主的传统技术措施还不足以经济而有效地解决各种复杂的坡面地质灾害问题，尤其在防治以高速冲击为主要表现形式的具有极大破坏力的崩塌落石、泥石流类地质灾害方面显得不足。由于技术、经济和认识水平等历史原因，既有山区工程特别是道路工程留下了很多具有地质灾害隐患的边坡，随着时间的推移，自然驱动力将很可能导致灾害的发生，对道路工程的运营安全构成威胁。因此，道路的管理者就不得不重新考虑这些边坡的防治问题，一些山区铁路沿线逐年增多的防护工程就是个明显的例证。

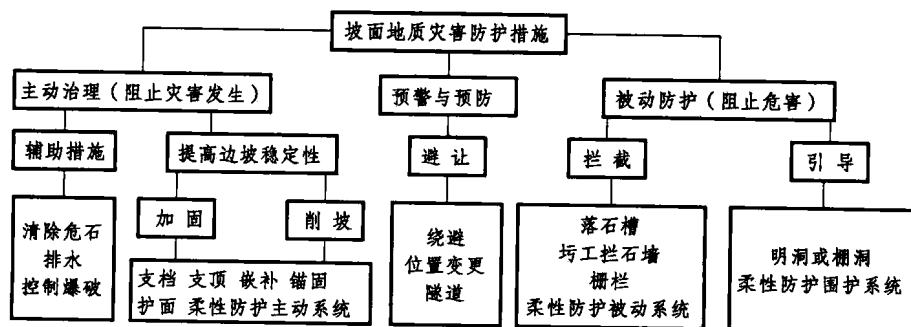


图 0.1 坡面地质灾害常见防治措施及其分类

1. 人工削坡

采用人工削坡，将边坡坡度降至很小甚至削平，这是治理边坡地质灾害一劳永逸的、最彻底的方法，但对新建工程的人工边坡而言，根据地质灾害爆发

的特点来看,设计或修削一个永不发生坡面地质灾害的边坡通常是成本非常高、施工工期也非常长的工作,这对很多工程来说是不可接受的。如大型水电站工程或西藏等高寒地区的道路工程等,这些工程沿线地形复杂且边坡地质灾害丛生,道路或建筑物受到坡面地质灾害的威胁都很大,要彻底根除这些边坡地质灾害隐患,其工程量将十分浩大,实施的可行性几乎为零。对此情况,通常的治理思路为:尽可能采用各种工程措施来治理坡面地质灾害,万不得已才对边坡实施无隐患处置。

2. 传统的护面防护体系

常见的传统护面体系有浆砌片石挡墙、浆砌片石护面墙、喷射混凝土护面墙和框格等。挡土墙的主要功能是提高抵抗边坡运动的阻力,它是治理坡脚应力集中,低矮边坡或较高边坡坡脚溜坍、塌落甚至小规模滑坡等极为有效的工程措施。浆砌石护面墙的主要功能是封闭边坡,防止坡面风化剥落和水土流失等各种坡面地质灾害。

挡土墙工艺技术成熟,简单易行,在土质边坡坡脚加固方面通常是其他措施所不能替代的。在新建工程中,为加快生产进度、降低生产成本,土石方主体工程普遍推行机械化施工,但传统的挡土墙工程对基础的承载力要求较高、结构尺寸较大,土石方开挖、浆砌片石工程量都很大,因此施工工期也比较长,这会在一定程度上影响土石方工程进度。另外,从施工工序的安排来看,边坡挡护工程的施工一般不可能或不宜放在土石方主体施工前进行,在空间上两者难以相容;从施工场地的使用来看,挡土墙施工大量的材料需要堆放,这也会在一定程度上对其他工序造成干扰。这种施工工序安排或时空上的不相适应,使开挖边坡常在非稳定状态下持续暴露较长时间,导致边坡在施工过程中发生破坏,或因未能在最佳时间加以及时处治而恶化,给工程建成后的运营留下隐患。挡土墙庞大的结构在一定程度上会让人产生压抑感,且在边坡较高时对上部坡面上可能发生的变形破坏不起作用,为此通常与上部护面结构结合采用。

浆砌护面墙技术简单,经济实用,较为美观,是低矮边坡和第一级边坡的一种重要护坡手段,它的一个主要优势是能够隔离局部地表水下渗,防止水土流失。但因其封闭地表水下渗的同时也限制了地下水的排泄,一旦存在封闭区域以外的地下水补给,而其自身又排水不畅时,护坡结构本身将可能因为水压力的升高而发生局部垮塌或爆裂破坏,因此在应用于膨胀性或水敏性土质和岩石边坡时应慎重对待;防止水土流失的同时也毁灭了植被或植被生长条件,其灰色单调的“冷面孔”造成一定的环境视觉效果破坏。此外,该方法对坡面条件要求高,因

结构抗力低,存在自身稳定性问题,为此要求边坡不能太陡,单级高度也不能过高,对高度较大的边坡,需分级开挖后分级砌筑,增大了开挖量,一般不适用于高度大于 20 m 的边坡。

喷射混凝土护面墙单就防护效果而言,在多数条件下不失为一种既能抑制坡面进一步风化和水土流失,又能隔离地表水从而稳定边坡的有效防护措施。但是大量的工程实践证明,这类措施的上述作用是有限的或是有条件的,在坡面破碎,有大量的浮土、浮石存在或有水敏性较高的岩石存在时,护面结构与坡面的黏结强度难以保证,即使完工初期能实现良好的黏结,但随着水的渗入和分离作用,护面层容易与坡面剥离,再因局部荷载作用或发生位移而破坏。在隔离地表水下渗方面,封闭体系的作用只是相对的:一方面,地表水完全可以从封闭区域以外的地方以裂隙或地下水的形式进入封闭防护区域;另一方面,封闭结构中预设的排水孔随着时间的推移会逐渐被地下水携带的泥浆沉积作用所堵塞,从而导致坡体内地下水压力增高,恶化边坡稳定性或导致封闭式护坡结构的破坏。大量可见的喷射混凝土局部剥落就证明了该工艺存在上述技术缺陷。近年来,地灾工程界也对喷射混凝土护坡结构只有 5~8 年安全使用寿命这一点有了较统一的认识。喷射混凝土在进行坡面防护时,也会因其封闭特征对坡面植被和植物生长条件带来破坏,而对环境造成影响。基于上述原因,目前在高等级公路建设中已禁止使用喷射混凝土工艺进行护坡处理。

框格结构通过局部的支撑阻止坡面局部坍塌、水土流失,对坡面具有一定的加固功能。其结构形式常有矩形、菱形和拱形等,实施方式有开挖基础沟槽后砌筑浆砌石、浇筑混凝土或安装混凝土预制件、钢构件等形式。其结构简单经济,使用时坡面仅被结构体以条带状局部封闭,还可进行局部绿化,美观性一般均能接受。但该结构强度低,仅适合极浅表层防护,且要求坡面比较平整,一般不适合于坡度较大的上边坡。同时,因设计或施工不当而引起破坏的情况较为常见,而且这种破坏会迅速向上扩展。

3. 传统拦挡结构

传统的拦石结构有浆砌片石拦石墙和废旧钢轨或型钢栅栏等形式,多见于铁路工程系统,前者能实现较高的防冲击能力,后者虽较经济但防护能力很小。落石危害的主要特征是具有强大的冲击破坏力,以刚性结构去抵抗动力冲击,从原理上就存在“事倍功半”的弊端。而浆砌片石拦石墙为了有效拦截落石就必须有庞大的体积,因此需要在坡面寻找恰当位置并开挖庞大的基础,同时需要搬运大量的建筑材料上到坡面,这种工程施工进度缓慢,劳动强度大,

安全程度低,施工干扰大,甚至可能在被落物冲击破坏之后成为新的落石来源。所以,在进行落石拦截时应考虑“以柔克刚”的思路,以缓冲和消能的方式来滞留高速冲击落石。

4. 其 他

支顶是加固大块危岩突起体或倒悬体的特种结构,其主要作用在于利用支顶结构的支承作用来平衡危岩的坠落、错落或倾倒趋势,提高危岩的稳定性。常见的结构形式有由圬工砌筑或型钢构成的墩式或框架式两类,按与危岩下部坡面关系,可分为与坡面无接触的直立墩式结构和直接依附于坡面的扶壁式结构两类。支顶结构在山区铁路沿线和山区城市比较多见,它是加固巨型倒悬或外悬危岩体的最佳方法,技术简单适用,具有不可取代性。但支顶结构自身体积和重量一般较大,需要有很好的基础,否则其自身稳定性将存在问题,设计和施工都必须谨慎处理。此外,结构材料用量一般较大,由此而来的材料搬运量、劳动强度、施工难度和风险等一般都较大。

嵌补是对外悬或坡面凹腔形成的危石采用浆砌片石、混凝土或水泥砂浆填筑,以提高危石稳定性的一种方法,其本质与扶壁式支顶并无差别,技术简单易行。同支顶方式一样,嵌补结构也必须要有稳定的基础,且必须与坡面紧密结合。此外,当坡面危石较多时,圬工工作量大,且要进行大量的局部开挖,以给嵌补结构提供基础平台,环境破坏性较大,也不美观。特别是当边坡陡峻时,嵌补可能是难以实施的,或者实施后很难达到效果。

锚固方法是边坡防治工程中的一种常用手段,对可确定的危石加固是一种较好的选择,其技术成熟,结构简单,不明显改变环境。但是,要完全查清坡面危石事实上是很难的,特别是对极破碎的岩石边坡,较为稳妥的做法是采用系统锚固,即便如此,也难以保证将每块危石都可靠地锚固起来;而对松散的土石体边坡来讲,单独采用锚固措施通常是不合适的。另外,在采用锚固措施来加固危石时,必须注意这样一个操作,即在危石上进行的钻孔锚固作业,钻机的振动作用将可能危及危石稳定,特别是对已与母岩分离的孤石或浮石,人为扰动更是灾害导致因素,施工风险十分大。

二、边坡地质灾害新的护坡防护思路

近年来,我国在工程建设领域大力推行 ISO: 14000 环保标准,“以人为本”的人性化设计或人性化工程思想得到了越来越多的重视。越来越多的呼声要求

改变过去随处可见的灰色单调、千篇一律的边坡防护方法，推行新的工艺，使得防护工程在施工的同时又不破坏绿树青草、天然协调的自然环境。大家相信：改变防护观念，也就是在改善日后的生存环境。

通过前面的论述，不论是从现有坡面地质灾害防治技术本身的不足，还是从各类与岩土工程有关的基础设施建设步伐的加快、规模和等级的提高以及相关施工技术水平的提高上，都迫切要求优化坡面地质灾害的防治工作，寻求一种施工简单易行、技术先进、安全可靠、环保效果好、经济合理的防治新技术，而作为一项坡面地质灾害防治新技术，必须尽可能满足以下几个具体要求：

(1) 一般说来，在坡面地质灾害问题严重的地方，由于位置偏远或工点处山高坡陡，将建筑材料运到施工现场是非常困难的，而施工时材料二次转运更为困难，因此，所用建筑材料应尽可能轻便且便于搬运。

(2) 基于环保理念和工程美学考虑，其实施应尽可能不破坏或少破坏原有地形地貌、植被和植被生长条件，与建筑物周边环境没有明显反差。

(3) 由于边坡表面常常是凹凸不平的，加之对其开挖可能导致稳定性恶化而无法进行大量平整，这就需要新技术对各种地形具有极强的灵活适应性，实施中尽可能地减少开挖或不开挖。

(4) 由于常为高山峡谷区内的野外高空作业，施工环境条件极为艰巨且复杂多变，新技术必须具有非常高的可实施性，即施工要简单易行，施工机具尽可能简单化、轻型化，需要的作业人员尽可能少。

(5) 为避免坡面灾害的进一步恶化以及随时可能发生的危害，施工安装时要尽可能做到快捷化，这在作为抢险工程时尤其重要。

(6) 具有足够的工作寿命，无需或仅需少量维护，且维护工作简单易行。

(7) 由于常在既有建筑物附近，以后期防护方式实施或与主体工程平行作业，应尽可能不干扰建筑物的主体工程施工或正常运营。

边坡柔性防护系统与其他防护措施相比，具有明显优势，它全方位满足了这些需求，因此，边坡柔性防护系统也能有效地满足大多数的边坡地质灾害的防治需要。

第一章 SNS 防护系统简介

坡面柔性安全防护系统的英文名字为 Safety Netting System, 简称 SNS 防护系统。它是 1950 年出现的, 以高强度的金属网(钢丝绳网、环形网、高强度钢丝格栅以及高强度钢丝网)作为主要系统构件制作的柔性金属防护网结构, 是通过表面覆盖加固、对坡面进行覆盖以控制落物运动状态和在落物的运动路途中加以拦截这三种主要方式来防治各类斜坡浅表层地质灾害的工程措施。这些斜坡浅表层地质灾害包括崩塌落石、风化剥落等。同时, 该系统也可以进行雪崩、岸坡冲刷、爆破飞石、坠物等灾害防治。SNS 防护系统在中国习惯性地被称为柔性防护系统。

SNS 防护系统自 1995 年引入中国以来, 其新颖而巧妙的防护理念和综合技术经济优势被业内人士迅速而广泛地接受, 经过 10 多年的推广, 目前该技术已成功地应用于国内铁路、公路、水电站、矿山和市政工程上的几千个边坡防护工程, 解决了大量传统防治措施难以解决的难题, 并以良好的防护效果赢得了市场的青睐, 很快成为边坡防护市场的一种主流产品。

第一节 SNS 防护系统的工程特点

一项工程技术是否为市场所接受并成为市场的主流产品, 这要取决于该技术的可行性和可靠性, 同时还取决于它自身所具有的工程的适应性、施工安装的便捷性以及相对的经济性。SNS 防护系统从研发思路上有别于传统的刚性防护结构, 它利用柔性网的易铺展性和金属材料的高防冲击能力, 来实现对坡面地质灾害的防治, 从结构形式上实现了轻型化, 同时充分利用技术成熟、性价比良好的金属涂层防腐技术, 对系统中重要受力构件钢丝绳和钢丝采用热镀锌或锌铝合金涂层工艺进行处理, 确保系统具备较长的防腐工作寿命, 因此, 它不仅具备以圪工为代表的传统方法对坡面地质灾害的防治功能, 而且还具有其他方面的优势。

一、良好的工程适应性

SNS 防护系统在中国几千例的工程实践中，常常因其新颖的防护形式和良好的工程适应性，在传统的边坡防护工艺无法或者很难实施的工程防护中解决棘手的防护难题，发挥独到的防护效果。SNS 防护系统的工程适应性体现在下述几点。

1. 柔性和整体性

SNS 防护系统的首要特征就是其主要构件及系统具有足够的柔性，这对边坡加固系统来说十分重要。作为主要使用在边坡上的一种防护技术，由于边坡地形的复杂多样性，这就要求各种构件的安装必须能很好地适应这种复杂的环境，否则会带来实施困难或实施成本增高的问题，有时甚至不得不部分牺牲其防护功能。目前 SNS 防护系统所采用的各种金属编织网均具有良好的易铺展性，即便是在要求紧贴坡面的边坡加固系统中，它也很容易实现在凹凸不平坡面的安装。

SNS 防护系统还有一个重要的特点是在承受荷载作用时系统整体的受力，它强调系统的整体性而非单一构件的性能。在系统结构方面，SNS 防护系统是由多构件组合而成的结构体系，其主要受力构件采用特定形式的金属柔性网，配合柔性钢丝绳锚杆、支撑绳、拉锚绳、缝合绳的采用，以及被动防护系统中钢柱与基座间的活动铰接方式等的应用，保证了整个系统的柔性匹配，从整体上成为高强度柔性结构。从力学功能需要考虑，柔性结构具有“以柔克刚”的优势，这在被动防护系统中表现得尤为突出，同时，柔性防护系统具有非常好的荷载扩散传递功能，能够避免过多和过大的局部应力集中，通过系统整体功能的充分调动，实现“局部受载，整体作用”的防护效果。

由于系统采用积木式的组合安装来构筑其结构，各种半成品化的功能构件在现场进行积木式安装时就着了一定的灵活性，它可以在不影响系统防护功能的前提下根据地形变化灵活布置。同时，柔性防护产品在研发定型之初就考虑到不同的应用环境，在结构设计上允许系统尺寸根据现场布置需要作一定幅度的调整。

2. 美观与环保

近年来随着我国经济的高速发展、人们生活水平的不断提高，人们对环保的要求也越来越高。在边坡地质灾害防治领域，过去由于经费和技术水平有限，治理理念只是注重对灾害的防治，而很少关注工程行为对环境的破坏。如今，在环保观念深入人心的时代，工程技术措施的环保性要求已成为工程设计与施工中不可或缺的组成部分。与传统的圬工防护措施比较而言，柔性防护系统在这方面具有下面一些优势特征：

柔性防护系统具有开放性,因而在工程实施时不仅保护了原有植被及其生长条件,同时也未改变原有的地下水循环系统,对既有地貌起到了良好的保护作用,这不仅使得既有坡面植被可以继续的自然生长发育,同样对无绿化坡面也保留了进行后期人工绿化的条件。

柔性防护系统工程措施具有相当的环保性,具体体现为两方面:一是所用的系统材料基本上不发生分解和老化,不会对大气、土壤和地下水环境造成污染,而少量使用的基础混凝土或砂浆可能对环境带来影响,但这个影响的程度十分轻微;二是工程施工过程中对环境造成的破坏很小,在这方面,柔性防护系统具有良好的地形适应性,它的实施不需要对坡面进行额外开挖、削坡,从而对既有地貌和坡面植被具有良好的保护作用。所以,柔性防护系统的环保优势主要体现在工程应用中对环境造成的破坏最小化。

柔性防护系统的景观效果也相对较好。从工程美学的角度来讲,工程景观自然化是一个认识统一的、美的标准。当为了边坡安全必须采取某种工程措施时,柔性防护系统就能尽可能地保护自然景观,将工程治理与环境保护和改造融为一体。当然,任何一种工程措施都可能带来对原景观的视觉干扰,但由于柔性防护系统结构小型化及具有的开放性,其通透性视觉效果将对带来的视觉干扰尽可能地减小。

3. 特殊环境的适应性

由于边坡防护工程实施地点大多处于野外偏远地区,需治理的坡面高矮不一,坡度或陡或缓,坡面地形地貌凹凸有别、千奇百怪,加之此类工程的施工条件相对较差,因而对防护工艺的适应性也提出较高的要求。

对于高边坡的防护,一般不宜采用清削边坡的处理方式,因为那样产生的土石方工程量将十分巨大,会对工程的工期和造价造成很大的影响;也不宜采用需要搭设脚手架作施工平台的防护工艺,如喷射混凝土、大孔径钻机成孔,否则因为脚手架搭设而产生的工程措施费用很大,工程工期也将因此延长,特别是那些坡脚不具备脚手架搭设条件的边坡如河岸等更是难以实施。柔性防护系统具有很好的坡面适应性,实施过程中坡面清削的工程量仅限于危及施工安全的坡面危石,而系统标准设计采用的锚杆长度一般不超过 3 m,锚杆孔径也仅为 42 mm,施工时用小型风钻即可完成锚杆成孔工作,兼顾系统材料在坡面运输和安装的快捷,柔性防护系统的高空作业通常采用安全绳作牵引和防护,省去了脚手架等施工辅助措施,节约了施工成本。

对于坡度较陡的边坡防护工程,除需考虑施工措施之外,还应考虑防护工