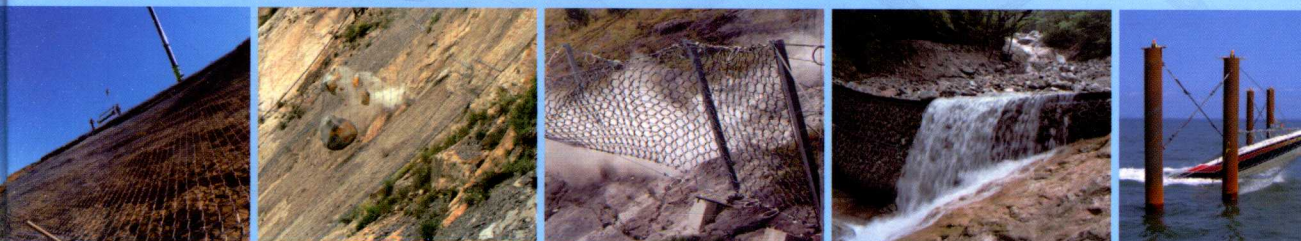


柔性防护系统

及其工程设计与应用

阳友奎 原振华 杨 涛 著



科学出版社

柔性防护系统及其工程设计与应用

阳友奎 原振华 杨 涛 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书构建了柔性防护系统的理论与技术体系,以边坡加固和落石防护等坡面地质灾害柔性防护系统为主线,系统地阐述了柔性防护系统的作用原理、结构与构件特征、设计选型方法、施工安装与运营维护原则。全书共十章,前七章主要阐述了坡面地质灾害及其工程防护措施、柔性防护技术的防护理念及其发展历程、柔性防护系统的标准化体系、常用柔性防护系统的基本构成与作用原理、现有定型化柔性防护系统的基本配置、柔性防护工程设计方法及其施工安装与维护原则、柔性防护系统应用中的常见问题等,后三章主要介绍了柔性防护系统在泥石流防护、雪崩防护、安防工程等其他领域的应用及其基本形式,展示了柔性防护技术在不同应用领域的独特优势。本书在内容和著述方式上综合考虑了理论与实践的结合,重点突出了相关问题的基本原理或原则以及应如何正确应用柔性防护系统的论述,对促进柔性防护技术及其系统产品的进一步发展,规范防护工程的设计与应用都具有重要的指导意义。

本书可供从事边坡地质灾害及其防治工作的科研、设计、管理和施工人员,以及专门从事柔性防护技术及其产品研究与开发的相关人员使用和参考,同时也可供相关高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

柔性防护系统及其工程设计与应用/阳友奎,原振华,杨涛著. —北京:科学出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-03-044696-1

I. ①柔… II. ①阳…②原…③杨… III. ①地质-自然灾害-灾害防治-研究 IV. ①P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 124205 号

责任编辑:张井飞 韩 鹏 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:肖 兴 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 6 月第一次印刷 印张:18 3/4

字数:450 000

定价:158.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

从事岩土工程相关教学科研工作数十年，见闻过的大型崩塌、滑坡、泥石流类地质灾害不少，但与落石、浅表层局部失稳滑动以及小规模泥石流等灾害相比，就显得极其少见了。这类地质灾害虽然规模较小，单次造成的损失可能也不大，也难以成为公众关注的新闻事件和学术研究的主要课题，但不可忽视的是，只要有山的地方，就可能有这类灾害发生，具有广泛性和频发性，在这些年来兴建的大量山区道路、资源和能源开发工程中，尤其是“5·12”汶川地震灾后重建的道路工程中，更是几乎随处可见，所造成的累积性损失不可谓不大。面对可能发生这类灾害的边坡，过去的治理手段是非常有限的，且出于经济性考虑，常常并未得到全面治理，而柔性防护系统在国内的应用，则给我们提供了一种快捷、环保并能适应各种复杂边坡环境的有效治理手段。

第一次接触柔性防护技术是十多年前的一次学术会议，当时就倍感其方法的独特性与新颖性。虽然一直未能深入了解，但看到遍布全国各地铁路、公路、水电站、矿山等大量边坡上日渐增多的各种柔性防护工程，也就感受到了其实用性和经济性已得到了广泛接受。老实说，在考察“5·12”汶川地震灾后重建的一些边坡防护工程时，看到不少柔性防护系统被毁坏场景，一度曾怀疑过其可靠性，与相关人员讨论后得知，问题的关键不在于技术的本身，而在于是否得到了正确应用，与时间抢进度的灾后重建工程尤其是一些急迫的道路保通工程，发生这样的问题也就在所难免。最近，阳友奎博士送来了即将出版的新著《柔性防护系统及其工程设计与应用》书稿，并希望我为该书作序，几天翻阅下来，更进一步体会到了全面深入理解柔性防护系统的内涵对正确应用的重要性，而其中最为重要的是它的基本原理、基本构成要求甚至一些细节处理，以及在认识和应用方面可能存在的一些误区。

初识阳友奎博士是二十多年前参与其博士论文评审和答辩时的事，之后在一些学术会议等场合也有过多次接触，得知其在专门从事柔性防护技术的开发研究和推广应用，并已主持编著过一本相关专著，今天看来，他事实上已成为国内该领域主要的技术推动者和学术引领人，再次主持编著这样一本新著应是该领域的一大幸事。该书向我们全景式地展现了与柔性防护系统方方面面相关的现有技术状态和应用水平，以及未来需要关注和解决的问题，不仅涉及了现有柔性防护系统本身的基本构成与功能，以及有关工程设计、施工安装、后期维护、标准化建设和质量控制等应用性问题，也涉及了与技术和产品开发设计相关的方法和原理原则问题，还通过严谨而简单的计算示例揭示了柔性防护系统的相关原理，并从应用技术研究必须适应实践需要的角度对相关学术研究现状进行了客观的评述。最为难能可贵的是，在论及相关问题时，作者并不仅仅是简单的叙述，而是还剖析了其之所以如此的原因或原理，并客观地评价了其中可能存在的风险、

有待解决的问题和解决这些问题的可能性，预判了解决相关问题的可行方法和前景等，比如，在论及工程设计时，除给出一般性方法外，还指出了常会遇到的问题和易被忽视的细节，在论及标准化建设的同时，还论述了不同层级标准的适用范围和建立的可能性，在论及质量控制时，在基本流程和控制要素外还警示了包括施工安装和产品质量的常见问题及其后果，并提出了有效控制这些问题的方法，在评述数值模拟方法并加以肯定的同时，也揭示了必须优先解决的问题的实质，并前瞻性地提出了可能的解决途径，等等。

客观地说，该书论及内容的广度和深度都超出了我起初的预想，其极具专业性的独到见解和深入浅出的论述常常让人耳目一新，对从事该领域学术研究、技术和产品研发、工程设计和施工管理等各方面的人员都是一本极其难得的参考书。对工程应用而言，它可以让我们通过对柔性防护系统的深入了解来实现防护工程的经济有效并降低工程风险，对研发而言，它可以让我们知道如何少走弯路地实现系统产品的进一步优化，并通过对每一个细节的关注来把潜在的风险消除在研发阶段，对学术研究而言，它可以让我们清晰地认识到实际应用的需要和亟待解决并可以解决的问题所在，从而使学术研究有的放矢而不脱离实际甚至无功而返。

看完该书书稿，给我留下最深刻印象的是，以如此方式在如此篇幅内深入论述与柔性防护系统相关的各个方面，实属不易。可以预见，该书完全可能成为柔性防护领域未来技术发展和学术研究的一个新起点。以上就是我此时所想到的，权作该书之序。

中国工程院院士

郑颖人

2015年3月

前 言

十年前，曾主持编著了《坡面地质灾害柔性防护的理论与实践》一书，在国内柔性防护技术及其应用才兴起不久的当时，其主要目的自然地是对一种新技术及其产品具体应用方法的介绍和推广，在内容和形式上无疑会侧重于对柔性防护系统区别于传统工程防治措施的功能原理、结构特征和实施方式等的一般性阐述，对相关问题的论述必然地也局限于对当时已在国内得到应用的柔性防护系统的认识。自那以后的十年来，无论是柔性防护系统产品的更新，还是在相关问题的研究和认识方面，柔性防护技术本身都有了较大的发展。更为重要的是，经过这十年的发展，柔性防护系统在国内已成为了与众多传统方法并驾齐驱的坡面地质灾害通用防护措施，尤其是2008年“5·12”汶川地震后的近几年中，每年的柔性网使用面积都达到了数百万平方米，各种新型柔性防护系统的应用日渐增多，一些技术上相对落后的系统形式也逐渐淘汰。然而，稍加留意就不难发现，在庞大应用数量的背后，良莠不齐的产品质量、随意拼凑的防护系统、频遭毁坏的防护工程等各种问题也大量存在，究其原因，很大程度上都与对柔性防护系统及其技术特性缺乏足够的认识直接相关，而对于以安全为目的的灾害防护工程来讲，这类问题的存在，可能会因人们对防护工程的信任而疏忽了潜藏的风险，使得灾害发生时的后果比不做防护更为严重，致使花费了不小投资的防护工程在效果上完全背离了它的初衷。为此，以更广阔的视野总结柔性防护系统的最新技术状态，阐述柔性防护系统的技术特性，构建涵盖柔性防护系统作用原理、功能特性、结构与构件特征、工程设计选型方法、施工安装与运营维护原则在内的理论与技术体系，便成为了本书最主要的著述目的，而针对目前存在的一些问题，阐明应如何正确认识和应用柔性防护系统，探讨各种认识误区和不当应用的可能后果，则成了本书论述相关问题时最基本的指导思想。

柔性防护系统的应用已遍布全球多数国家和地区，但其技术的创新和发展则主要集中在瑞士、法国、意大利和奥地利等几个欧洲国家，尽管不同机构和制造商所开发和生产的柔性防护系统在具体结构和构件形式上稍有不同，但其基本构成和作用原理并无本质上的差异，且在具体形式上也日渐趋同。因此，与十年前的著作一样，本书在介绍和论述柔性防护系统的相关问题时，仍然以开创并一直引领柔性防护技术发展的布鲁克体系为基础。全书在内容结构上包括了三个组成部分，前两章概述了柔性防护系统的主要防护对象、防护理念、相关基本概念与发展历程，从中可以形成对柔性防护技术的基本了解与认识；第3到第7章为本书的核心，也是柔性防护技术的核心，涉及了边坡加固和落石防护这两大类常见坡面地质灾害柔性防护系统从产品、工程设计到施工安装与维

护的各个环节；最后三章简要介绍了柔性防护系统在泥石流与浅表层滑动体拦挡、雪崩防护、巷道与隧道支护、安防工程等其他领域的应用及其基本形式，从另一个侧面展示了柔性防护技术在不同应用领域的独特优势。

本书基本上保持了十年前著作的内容框架，但并不是对它的简单修订和新型系统的堆砌式增补，而是一次全新的改版和升级，论及内容的广度和深度都有较大不同，具体表现在以下几个方面：①更深入、全面、系统地阐述了包括近年出现的新型系统在内的各类柔性防护系统的基本构成与作用原理，对同类系统的创新目的与效果进行了详细解读，并在此基础上详细论述了柔性防护系统尤其是被动防护系统的结构与构件设计原理；②考虑到柔性防护系统的技术特性以及柔性防护工程的特殊性，专门讨论了柔性防护系统的标准化体系建设问题；③完善了柔性防护工程的设计方法体系以及施工安装与维护应遵循的基本原则；④评述了诸如柔性防护系统的承载特性、落石运动分析等主要问题的学术研究现状，指出了亟须解决的关键问题和可能的解决途径；⑤讨论了柔性防护系统在国内应用中存在的主要问题及其可能后果。

作为以柔性网为主要构成特征并主要用于地质灾害防护的柔性防护系统，其防护能力一方面取决于系统结构本身的承载响应特性，另一方面则取决于系统与灾害性岩土体的相互耦合作用方式与过程，所涉及的诸如柔性网状结构的大变形与不同构件间的非线性接触、落石的运动特征、岩土体的变形破坏过程等复杂问题，在目前乃至将来相当长的时期内，相关力学理论乃至数值计算方法都还不可能给出它们的准确解答，这就决定了柔性防护技术还不可能成为一门精确的科学，本书所构建的理论与技术体系也必然地还不可能完善。然而，几十年的应用实践表明，柔性防护系统以其独特的柔性和高强度特征以及对复杂地形的灵活适应性，又具有了其他防护方法常常难以企及的功能和应用优势，从这个角度讲，它又是一门有效的、实用性极强的应用科学技术，而基于大量实践经验、现场试验和一些简化理论方法而建立起来的柔性防护系统理论与技术体系，对于正确理解和认识它的本质特征和各种不确定因素，正确选用可靠而合适的防护类型，预估和规避可能的防护工程风险等都具有非常重要的实际意义。另一方面，对于由众多构件积木式构成的柔性防护系统，一个最基本的常识便是其承载能力往往由其最薄弱的环节所决定，即柔性防护技术还必须是一门非常精细而系统化的应用科学技术，它无可回避地要关注每一个细节，尤其是一些关键的或者易被忽视的细节。客观认识柔性防护系统的上述三方面技术特性，是柔性防护系统的开发研究、工程设计、施工安装和质量控制过程中应树立的基本观念，实际上也是本书对相关问题的立论基础，也因为此，限于作者知识结构、认识水平和经验的不足，书中难免存在内容缺失、论述不清甚至是错误之处，恳请专家、读者给予批评指正，以共同推进柔性防护技术的不断发展。

本书共分十章，第3章的第3节由杨涛和阳友奎共同撰写，第2、9、10章由原振华撰写，其余各章节由阳友奎撰写，全书由阳友奎负责修订、统稿和总审。

作者要感谢长期以来对柔性防护技术的发展和应用给予大力支持和关注的所有专

家、学者、工程技术人员和相关防护工程的决策与管理者，是他们推动了国内柔性防护技术的不断发展和广泛的应用实践，才使得本书的编著出版具有了现实意义。感谢中国工程院院士郑颖人教授在百忙之中为本书作序。感谢为本书的撰写提供了大量技术和图片资料的瑞士布鲁克集团及其属下的工程技术人员，对他们在柔性防护技术发展上的开创性工作和长期努力深表敬意。最后，我们要感谢布鲁克（成都）工程有限公司为本书的编著和出版所给予的各种支持，也要感谢工作在我们身边的同事和我们的家人在本书撰写过程中所给予的理解与支持。

阳友奎

2015年4月

目 录

序

前言

第 1 章 柔性防护系统概论	1
1.1 柔性防护的对象与方法——从坡面地质灾害及其传统防护措施谈起	1
1.1.1 坡面地质灾害及其危害特征	1
1.1.2 坡面地质灾害的防治	7
1.1.3 坡面地质灾害防治所面临的挑战	16
1.1.4 现有柔性防护系统的防护对象与方法	18
1.2 柔性防护理念及其技术体系	18
1.2.1 柔性防护理念	18
1.2.2 柔性防护技术体系	22
1.3 柔性防护系统的基本概念	23
1.3.1 柔性防护系统的相关术语	23
1.3.2 柔性防护系统分类	26
第 2 章 柔性防护系统的发展历程	29
2.1 系统主要构件和结构形式的演变	29
2.1.1 概述	29
2.1.2 系统主要构件的演变	30
2.1.3 系统结构形式的演变	33
2.2 柔性防护系统的应用领域	34
2.2.1 雪崩防护	34
2.2.2 落石防护	35
2.2.3 泥石流防护	35
2.2.4 边坡加固	36
2.2.5 安全防护	36
2.2.6 地下巷道与隧道内壁支护	37
2.3 系统研发及其标准化	37
2.3.1 理论与试验研究	37
2.3.2 系统的标准化	41

第3章 柔性防护系统的标准化体系	43
3.1 标准化体系的建立	43
3.1.1 标准化体系的可能形式	43
3.1.2 柔性防护系统标准化体系的适宜形式	45
3.1.3 坡面地质灾害柔性防护系统标准化体系大纲	48
3.2 现有标准化体系及其定型系统	58
3.2.1 拦石网认证指南	59
3.2.2 柔性防护系统的产品标准	61
3.2.3 工程应用技术规范	62
3.3 系统构件及其技术要求	64
3.3.1 构件表述	64
3.3.2 构件特性与系统功能的关系	65
3.3.3 钢丝与钢丝绳及其简单加工构件	66
3.3.4 柔性网	67
3.3.5 消能件	69
3.3.6 钢筋锚杆与锚垫板	70
3.3.7 钢柱及其基座	70
3.3.8 构件防腐	71
第4章 主动防护系统	72
4.1 主动系统的类型与特征	72
4.1.1 主动系统的结构形式与类型	72
4.1.2 主动系统的构成特征	73
4.1.3 主动系统的功能性特征与适用范围	79
4.2 主动系统的结构承载特性	81
4.2.1 力学模型与计算方法	81
4.2.2 计算模型与方法的可靠性验证	83
4.2.3 不同工况条件下主动系统的承载特性	85
4.2.4 主动系统的极限承载状态条件	90
4.2.5 支撑绳的承载特性	91
4.3 浅表层加固的防护作用机理	94
4.3.1 浅表层失稳模式	94
4.3.2 矩阵式锚固系统浅表层加固作用机理及其失效模式	95
4.3.3 梅花形锚固系统浅表层加固作用机理及其失效模式	97
4.3.4 柔性网性能参数的确定	103
4.3.5 锚杆间局部滑动模型的试验验证	106

4.4 孤危石加固的防护作用机理	107
4.4.1 孤危石块体与主动系统间的相互作用	108
4.4.2 孤危石块体加固系统的失效模式及其安全条件	110
4.4.3 大块孤危石块体加固的辅助措施	112
第5章 落石防护系统	114
5.1 被动系统的基本构成与作用原理	114
5.1.1 被动系统的基本构成	114
5.1.2 被动系统的冲击作用原理	116
5.1.3 被动系统的功能性指标——防护能级	131
5.2 被动系统的结构与构件设计	134
5.2.1 钢柱及其基座	135
5.2.2 连接结构与构件	136
5.2.3 柔性网	139
5.2.4 消能件	141
5.3 定型化被动系统及其演进特征	148
5.3.1 被动系统的定型化特征	149
5.3.2 钢丝绳网类被动防护系统(RX系列)	150
5.3.3 单跨式布置的环形网类被动防护系统(RXI系列)	151
5.3.4 多跨式布置的环形网类被动防护系统(RXI-A系列)	153
5.3.5 采用U形消能件和链式绞织网的被动防护系统(GBE系列)	155
5.3.6 采用U形消能件和环形网的被动防护系统(RXE系列)	158
5.3.7 低能级被动防护系统	159
5.4 其他类型的落石防护系统	160
5.4.1 围护系统	160
5.4.2 缓冲系统	164
5.4.3 柔性棚洞	167
第6章 边坡柔性防护工程的设计	171
6.1 工程设计的基本方法与流程	171
6.1.1 边坡柔性防护工程设计的基本方法	171
6.1.2 工程设计流程	172
6.2 工程现场条件的调查	174
6.2.1 落石形成条件	174
6.2.2 落石历史	176
6.2.3 落石特征	177
6.2.4 边坡特征	178

6.2.5 施工环境	179
6.3 落石运动分析	179
6.3.1 落石运动特征确定方法的基本类型	180
6.3.2 落石运动的物理力学过程及其模拟方法简述	182
6.3.3 落石运动特征参数的计算机模拟实现	194
6.4 设计选型的基本原则	197
6.4.1 系统类型的选择	197
6.4.2 主动系统的选型	202
6.4.3 被动防护系统的选型	203
6.5 边坡柔性防护工程的设计与检算	205
6.5.1 主动防护系统的工程设计	205
6.5.2 被动防护系统的工程设计	208
6.6 构件的防腐工作寿命	212
6.6.1 大气环境腐蚀性分类	212
6.6.2 热浸镀锌与锌铝合金的防腐能力比较	213
6.6.3 构件防腐工作寿命估算方法	215
第7章 柔性防护系统的施工安装与维护	218
7.1 通用事项与施工安全	218
7.1.1 施工准备	218
7.1.2 施工放线与锚杆定位	219
7.1.3 锚杆作业与绳夹安装	219
7.1.4 施工安全	220
7.2 主动系统的施工安装	221
7.2.1 施工工序与过程控制	221
7.2.2 完工检查与局部完善	225
7.3 被动系统的施工安装	226
7.3.1 关键工序环节的控制	226
7.3.2 完工检查与局部完善	230
7.4 柔性防护系统的维护	231
7.4.1 检查周期与时机	231
7.4.2 日常检查	231
7.4.3 专项检查与评价	232
7.4.4 维护作业的安全	235
7.5 柔性防护系统应用中的常见问题	236
7.5.1 问题的根源	236

7.5.2 设计选型	236
7.5.3 构件质量	237
7.5.4 系统配置	240
7.5.5 施工安装	241
第8章 泥石流与浅表层滑动体拦挡系统	242
8.1 泥石流与浅表层滑动体及其柔性防护系统	242
8.1.1 灾害类型及其主要荷载特征	242
8.1.2 柔性坝的基本构成与分类	244
8.1.3 浅表层滑动体拦挡系统的基本构成与分类	247
8.2 泥石流柔性坝及浅表层滑动体拦挡系统的设计选型与应用	247
8.2.1 柔性坝冲击荷载的确定	248
8.2.2 柔性坝高度的确定	249
8.2.3 浅表层滑动体的冲击荷载	250
8.2.4 泥石流柔性坝的特殊应用	250
第9章 雪崩防护	253
9.1 雪崩灾害简介	253
9.1.1 概述	253
9.1.2 雪崩的特征及其危害性	253
9.1.3 雪崩的发生条件	254
9.1.4 雪崩的控制与防护	255
9.2 雪崩柔性防护系统	257
9.2.1 固雪栅栏	258
9.2.2 拦雪栅栏	261
9.3 固雪栅栏的设计与施工	262
9.3.1 雪崩起始区结构防护指南简介	262
9.3.2 固雪栅栏的设计和施工要点	263
第10章 柔性支护与安防系统	265
10.1 地下矿山及隧道中的柔性防护	265
10.1.1 围岩失稳与支护	265
10.1.2 TECCO 网支护系统	266
10.2 柔性安防系统	268
10.2.1 冲撞防护	268
10.2.2 爆炸防护	272
10.2.3 城市安全防护	272
参考文献	276

第 1 章 柔性防护系统概论

本章开宗明义地简述了柔性防护系统的防护对象、防护理念及其基本类型，简单总结了作为柔性防护主要对象的坡面地质灾害及其传统防治措施，同时也给出了本书将采用的一些主要术语说明。尽管相关内容在后续各章节中还会有不同程度的涉及，但通过本章的概览，对大致了解柔性防护系统及其相关技术领域和有选择地深入阅读后续内容都会有帮助。

1.1 柔性防护的对象与方法——从坡面地质灾害及其传统防护措施谈起

1.1.1 坡面地质灾害及其危害特征

在工程地质和地质灾害防治领域，人们一提到地质灾害或给予了大量研究和关注的地质灾害，通常都是崩塌、滑坡、泥石流这三大地质灾害，并通常简称为“崩、滑、流”。然而，柔性防护系统在地质灾害领域的防护对象并不是一般意义上所说的上述三大地质灾害，而是规模相对较小的或者说是缩小版的“崩、滑、流”，即落石、溜坍或浅表层滑动体、中小型泥石流，并且为了表述方便，将规模较小的崩塌、滑坡和泥石流统称为坡面地质灾害。遗憾的是，即使是对一般意义上的地质灾害，目前仍缺乏统一的、标准的术语或概念，好在从地质灾害的防治这一工程目的来讲，弄清不同地质灾害的孕育和发生机理尤其是其运动和危害特征才是最根本的，而在这方面，尽管迄今还未能从定量上给出任何公认的结果，但在定性认识或描述上是基本统一的。为此，我们必须首先厘清与坡面地质灾害相关的一些基本概念，并简单了解它们的基本特征，详细的发生发展机理和相关理论可参考大量工程地质、地质灾害类论著。

关于地质灾害的概念，国内迄今最权威的定义（尽管是非学术上的，学术上的权威定义目前还不存在）应是我国《地质灾害防治条例》^[1,2]所给出的：由自然因素或者人为活动引发的危害人民生命和财产安全的山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地质作用有关的灾害。在这一定义中，将地质灾害的自然属性解释为一种地质作用现象，同时也指出只有当这些地质作用具备了危害人民的生命和财产安全这一社会属性时才称其为灾害，这种属性上的区分可以让我们非常清晰地明确地质灾害防治的基本思想：阻止或减缓灾害性地质作用的发生，或者避免或减轻其带来的危害。

关于地质灾害的分类，目前还没有统一的标准和方法，根据所讨论问题的出发点不同而采用不同的分类原则，常见的主要有环境分类法、成因分类法和成灾速度分类法三种分类方式，其中环境分类法与本书的叙述体系相适应，它通常按照灾害发生环境的不同将地质灾害细分为表 1.1 所示的 12 类。

表 1.1 常见地质灾害的分类

序 号	类 型	常 见 种 类
1	地壳活动	地震，火山喷发，断层错动
2	斜坡岩土体运动	崩塌，滑坡，泥石流
3	地面变形	地面塌陷，地面沉降，地面开裂（地裂缝）
4	矿山与地下工程灾害	煤层自燃，洞井塌方，冒顶，片帮，底鼓，岩爆，高温，突水，瓦斯爆炸
5	城市地质灾害	地基与基坑变形，垃圾堆积
6	河、湖、水库灾害	塌岸，淤积，渗漏，浸没，溃决
7	海岸带灾害	海平面升降，海水入侵，海岸侵蚀，海港淤积，风暴潮
8	海洋地质灾害	水下滑坡，潮流沙坝，浅层气害
9	特殊岩土灾害	黄土湿陷，膨胀土胀缩，冻土冻融，沙土液化，淤泥触变
10	土地退化	水土流失，土地沙漠化、盐碱化、潜育化、沼泽化
11	水土污染与地球化学异常	地下水质污染，农田土地污染，地方病
12	水源枯竭	河水漏失，泉水干涸，地下含水层疏干（地下水位超常下降）

在表 1.1 的地质灾害分类中，并不存在坡面地质灾害这一概念，但是，在大量的文献中我们会发现落石、风化剥落、坍塌等这样一些在人们的概念中似乎并不能称其为崩塌、滑坡的术语，并且相关术语还很多，如碎落、掉块、垮塌、溜坍、坍塌、坍滑、坍方、塌方、塌落、塌滑、滑塌等，那么它们应属于哪一类地质灾害呢？事实上，从这些地质作用的发生机制或岩土体的变形破坏原理来讲，它们与大量文献中所论述的崩塌、滑坡并无本质差别，均属于斜坡岩土体运动范畴，人们之所以不把它们与崩塌、滑坡等同起来，其主要原因在于其发生规模或尺度上存在差别，前者在发生规模、影响范围、单次活动所可能带来的危害程度上都无法与后者相比。此外，我们也会发现在大量的边坡上存在浆砌石或喷射混凝土护面、锚杆（长度多在 5m 以内）这样的边坡防治措施，其结构形式与常用的锚索、抗滑桩等崩塌、滑坡防治结构有着本质的不同，前者在防护或加固能力上与后者不能相提并论，但我们又必须承认后者在应用数量上远不及前者那样广泛，那么这些普遍采用的、人们又不认为它能直接防治崩塌、滑坡的防治措施又是在防治什么地质灾害呢？在人们心目中答案是清楚的，那就是前面所说的相对于崩塌、滑坡来讲规模较小的落石、风化剥落、溜坍等仅涉及坡面或浅表层的斜坡地质灾害。

至此，有必要明确坡面地质灾害这一概念，但真要从地质作用的内在本质上给出一个经得起推敲的定义还很难。因为正如前面所述，从发生机制和原理上讲，上述斜坡地

质灾害都是在特定地质条件下主要由岩土体自身重力作用所引起的变形破坏,并无本质差别,而规模和尺度的差别又是一个模糊的相对概念,很难甚至几乎不可能从定量上加以本质的区分。或许,我们不得不从防治措施的不同来给出其定义,从地质灾害的防治角度讲,这可能更具实际意义。

为此,我们把坡面地质灾害定义为:能借助喷射混凝土或浆砌石护面结构、锚杆、柔性防护系统等轻型结构来加以有效防治的斜坡地质灾害。这包括最为常见的落石、浅表层滑动、碎落、坡面水土流失,我们把这几类可称为狭义坡面地质灾害,它们是本书柔性防护系统的主要防护对象,也是论述柔性防护系统时的基础。此外,作为我们所定义的坡面地质灾害,也包括了泥石流这种特殊的斜坡地质灾害,其相关问题将在第8章做简单介绍,其他章节中不再涉及。

1. 崩塌

崩塌是指陡崖或陡边坡上的岩土体,在重力作用下突然脱离母体顺坡向下高速运动,并最终堆积在坡脚或沟谷的地质作用现象。崩塌体为土体时一般称为土崩,常见的如黄土崩塌,崩塌体为岩石时一般称为岩崩,潜在的岩崩体一般也称作危岩体。

通常所指的崩塌都是规模大、破坏性大的现象,且习惯上还把规模巨大的称为山体崩塌或山崩。崩塌通常在上部堆载、底部开挖切割或自然侵蚀的逐渐恶化作用后而使岩土体失去原有的平衡时突然发生,具有突发性,一般具有结构或破裂控制特征,发生前常可见有陡倾裂缝发育并张开、贯通,一旦发生便一次完成(一定时期后其后缘可能再次孕育并发生崩塌,但不属于同一崩塌体)。崩塌体在运动过程中通常会散裂为大小不等、零乱无序的块体,在坡脚形成锥状堆积或部分散布于陡崖下的缓坡上,前者常称为崩积体,为岩石时常称为岩堆,后者常称为崩塌积物,并成为后期坡面地质灾害的物质源。对于临空较低的危岩(土)体,其变形破坏与上述的崩塌无本质上的差别,但因其运动距离较小,散裂一般不会很充分,在一定程度上呈有序堆积,根据其发生形式的不同常把这类崩塌分别称为错落或倾倒,而错落或倾倒又是高凌空崩塌发生时的主要启动形式。

崩塌灾害因其规模大、速度高和突发性,破坏性极大,能够毁灭或掩埋沿途或坡脚的一切建筑物,发生在山谷或河谷时,常形成天然的土石坝而形成堰塞湖,阻断河道或影响江面通航。

2. 滑坡

滑坡是指岩土体在其重力作用下沿特定的软弱面或软弱带(即滑动面或滑动带)顺坡整体向下滑动的现象。在称谓上也有走山、垮山、地滑、土溜等说法,是各类文献中谈论得最多、研究最为深入、工程建设中最为重视的地质灾害形式,在某种程度上它成了斜坡地质灾害的代名词。

同崩塌一样,滑坡通常也是由坡顶堆载、坡脚开挖或自然侵蚀作用所至,只是因地形地貌和地质条件等的不同而表现出特有的岩土体变形破坏和运动形式。滑坡的发生具有突出的天然软弱面或软弱带控制特征,一般存在明显的发育过程,过程中常伴有滑体

开裂、位移和前缘隆起等变形破坏迹象，在一定程度上具有可预测性。

人们常说的滑坡灾害一般都是指规模较大者，通常会摧毁或掩埋其下方的各种建筑物，引起其上侧建筑物的变形、开列或破坏，当滑动直接沿建筑物地基或其下伏岩土体发生时，将导致建筑物的毁灭性破坏。

滑坡的发生有明显的、一般可预测的滑动面或滑动带，滑动体一般维持原状整体移动，发生于陡坡上部时会转化为崩塌。同一滑体的滑动可多次发生，其时间间隔也长短不一，经历长时间后的再次滑动称为古滑坡的复活。滑坡理论研究深入但仍不成熟，易于治理但一般费用较大，有较成熟的治理措施，如抗滑桩、锚索、“砍头压脚”（即推移式滑坡的上部减载和牵引式滑坡的坡脚反压）等。

在学术和工程界，有时对滑坡和崩塌不做区分，但从其变形破坏特征和治理措施存在明显差异考虑，宜对两类灾害予以区别对待，以便针对不同的灾害类型选择相应的治理措施。根据前述特征描述，可将崩塌与滑坡的主要区别列于表 1.2。

表 1.2 崩塌与滑坡的区别与关系

序 号	特征类型	崩 塌	滑 坡
1	破坏后特征	通常散裂为大小不等、零乱无序的块体，在坡脚呈锥状堆积或部分散布于陡崖下的缓坡上	一般为保持原状的整体移动，堆积物中岩土体的层序和结构特征无明显变化
2	与母体关系	完全脱离母体，在异地形成堆积或散布	很少完全脱离母体，部分滑体常残留在滑床上
3	位移特征	铅直位移一般大于水平位移	水平位移一般大于铅直位移
4	运动速度	一旦脱离母体，便不再有来自母体的阻力，运动速度高	滑动过程中有来自滑床、侧壁和前缘的阻力，下滑速度一般比崩塌缓慢
5	变形征兆	主要表现为铅直裂缝的发育或既有竖向裂缝的张开，有时并不存在明显征兆	表面常可见规律性纵横裂缝发育，如上部弧形拉张裂缝、中部两侧的羽状剪切裂缝、前部的放射状张裂缝等；此外，前缘地下水异常、前缘隆起、周边小型坍塌、位移加速等均是明显的临滑征兆
6	地质地貌	陡崖是其先决条件，通常岩土体节理裂隙发育或有明显不利结构面存在	地貌上并不一定存在特定特征，但潜在滑体内通常存在可查明的软弱面或软弱带，或者岩土体本身软弱而又存在坡脚陡坎或开挖活动
7	过程	一次完成，崩塌体本身不再发生二次崩塌（散布于缓坡上的崩积物的再次运动应归入溜坍、落石、滑坡等其他灾害形式）	因滑动阻力的存在有时会暂时停留，具备条件后会发生二次滑动，典型的如古滑坡复活，并且这是工程活动中常见的滑坡形式