

公路工程 地质灾害与防治

单 炜 刘红军 于 玲 王黎明 编著



GONGLU GONGCHENG
DIZHI ZAIHAI YU FANGZHI

东北林业大学出版社

公路工程地质灾害与防治

单 炜 刘红军 于 玲 王黎明 编著

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

公路工程地质灾害与防治/单炜等编著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005.7

ISBN 7-81076-757-7

I. 公… II. 单… III. 道路工程-地质灾害-防治 IV. U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 074780 号

责任编辑: 朱成秋

封面设计: 彭 宇



NEFUP

公路工程地质灾害与防治

Gonglu Gongcheng Dizhi Zaihai Yu Fangzhi

单 炜 刘红军 于 玲 王黎明 编著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路26号)

东北林业大学印刷厂印装

开本960×787 1/16 印张19.25 字数300千字

2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

印数1—2 000册

ISBN 7-81076-757-7

U·46 定价: 35.00元

前 言

我国幅员辽阔,人口众多,气候多变,地形地貌和地质条件复杂,地质灾害类型多、分布广、频次高,是世界上地质灾害最严重国家之一。

在各类工程建设中,公路是遇到地质灾害危害最严重的工程建筑之一。一条公路的修建常常需要跨越不同的地貌单元,会遇到各种各样复杂的地质问题,如崩塌、滑坡、泥石流、岩溶等特殊的地质灾害。随着我国经济快速发展,为满足经济发展的要求,近20年来我国的公路建设的规模和等级不断提高,随之而来的是在公路工程建设和使用过程中产生地质灾害的频率和规模逐年增加,对地质灾害的预防及治理的费用占工程造价的比例也越来越高。因此,在道路选线的过程中应尽量避免不良地质地段,由于地质条件所限和公路本身的要求有时不得不将路线选在地质灾害多发地带。但为了保证施工的顺利进行及正常通车运行,对不良的地质地段要进行防治,这就要求我们应具备一些地质灾害方面的基本知识。但是,目前系统地介绍公路地质灾害方面的交通专业技术出版物并不多见,为满足各类工程的要求,特别是满足公路工程技术人员的要求,我们总结归纳了现场施工中所遇到的地质灾害现象及处理办法,有关公路地质灾害课题的研究成果及多年从事教学的经验,在收集相关资料的基础上,编著了《公路工程地质灾害与防治》一书。主要包括:各类地质灾害对公路工程及其他各类工程的危害,各类地质灾害的产生条件、稳定性影响因素和分析方法,各类地质灾害的调查方法,各类地质灾害预防和治理措施等。该书内容丰富,实用性强,对从事工程设计、施工管理的技术人员和高等院校的师生有一定的实用意义和参考价值。

全书由单炜、刘红军、于玲、王黎明编著。本书共分十一章。其中,第九章、第十章、第十一章由单炜编写,第五章、第六章、第七章由刘红军编写,第三章、第四章、第八章由于玲编写,第一章、第二章由王黎明编写。最后由单炜统一定稿。

2 公路工程地质灾害与防治

我们衷心希望本书的出版能够成为相关专业的工程技术人员、科研人员以及高等院校师生有用的参考书。由于编著者水平有限，书中难免有不妥与疏漏之处，恳请读者指出。

编著者

2005 年 6 月

目 录

第一章 崩塌与岩堆	(1)
第一节 崩 塌	(1)
一、崩塌的概念	(1)
二、崩塌形成的条件	(1)
三、崩塌的防治	(3)
第二节 岩 堆	(5)
一、岩堆的概念及主要组成物质	(5)
二、岩堆的工程地质特征	(5)
三、岩堆的分类	(6)
四、岩堆的处理原则	(7)
第二章 滑 坡	(9)
第一节 引 言	(9)
第二节 滑坡的形态及分类	(9)
一、滑坡的形态	(9)
二、滑坡的分类	(11)
第三节 滑坡的发育过程及认识方法	(12)
一、滑坡的发育过程	(12)
二、滑坡的认识方法	(14)
三、滑动面的研究	(16)
第四节 影响斜坡稳定性的主要因素	(19)
一、岩土类型和性质	(20)
二、岩体结构及地质构造	(20)
三、地形地貌条件	(21)
四、水的作用	(21)
五、地 震	(23)
第五节 斜坡稳定性分析	(24)
一、定性分析	(24)
二、定量分析	(33)

2 公路工程地质灾害与防治

三、土坡稳定分析的几个问题	(57)
第六节 滑坡的预测、预报	(60)
一、滑坡的预测	(60)
二、滑坡的预报	(62)
第七节 滑坡的防治	(65)
一、工程地质勘测要点	(65)
二、防治原则	(65)
三、防治措施	(66)
第三章 泥石流	(69)
第一节 泥石流的形成条件	(69)
一、地形条件	(69)
二、地质条件	(70)
三、气象水文条件	(71)
第二节 泥石流的分类	(71)
一、按泥石流物质成分分类	(71)
二、按泥石流物质状态分类	(71)
三、按泥石流流域的形态特征分类	(72)
第三节 泥石流的分类特征	(72)
一、泥石流的密度	(72)
二、泥石流的结构	(72)
三、泥石流的流态	(75)
四、泥石流的直进性	(75)
五、泥石流的脉动性	(75)
第四节 泥石流的预测、预报	(76)
一、泥石流空间预测	(76)
二、泥石流时间预报	(77)
三、泥石流基本特征的确定	(78)
四、泥石流爆发危险度的判定	(80)
第五节 泥石流的防治	(81)
一、泥石流勘测要点	(81)
二、泥石流的防治原则	(81)
三、泥石流的防治措施	(82)
第四章 岩溶(喀斯特)	(85)
第一节 岩溶的主要形态、形成条件和发育分布规律	(85)

一、岩溶的主要形态	(85)
二、岩溶形成的条件	(87)
三、岩溶的发育与分布规律	(88)
第二节 影响岩溶发育的因素	(90)
一、碳酸盐岩岩性的影响	(90)
二、气候的影响	(91)
三、地形地貌的影响	(91)
四、地质构造的影响	(92)
五、新构造运动的影响	(93)
第三节 岩溶地基稳定性问题	(95)
一、岩溶地基变形破坏的主要形式	(95)
二、地表塌陷成因及分布特征	(95)
三、岩溶地基稳定性评价	(97)
四、岩溶地基稳定性定量分析	(98)
第四节 岩溶地基的防治	(100)
一、勘测要点	(100)
二、选线原则	(100)
三、防治措施	(101)
第五章 地 震	(102)
第一节 地震的概念及成因分类	(102)
一、地震的概念及危害	(102)
二、地震的成因类型	(102)
第二节 震源、震中及地震波	(104)
一、震源与震中	(104)
二、地震波及其传播	(105)
第三节 地震的震级与地震烈度	(106)
一、地震震级	(107)
二、地震烈度	(107)
三、震级与地震烈度的关系	(109)
第四节 地震效应及建筑场址的选择	(110)
一、振动破坏效应	(110)
二、地面破坏效应	(114)
三、斜坡破坏效应	(115)
四、建筑场地的选择	(115)

第六章 砂土地震液化	(117)
第一节 概 述	(117)
第二节 砂土地震液化的机理	(118)
第三节 影响砂土地震液化的因素	(120)
一、土的类型及性质	(120)
二、饱和砂土的埋藏分布条件	(122)
三、地震动的强度及历时	(122)
第四节 砂土地震液化的判别方法	(125)
一、标准贯入击数法	(125)
二、剪应力对比法	(125)
三、综合指标法	(127)
第五节 砂土地震液化的防护措施	(128)
一、振冲法	(128)
二、排渗法	(130)
三、强夯法	(130)
四、爆炸振密法	(131)
五、板桩围封法	(131)
六、换 土	(131)
七、增加盖重	(131)
第七章 渗透变形	(132)
第一节 概 述	(132)
一、渗透变形的概念及工程危害	(132)
二、渗透变形的类型及特点	(133)
第二节 渗透变形产生的条件	(134)
一、渗流的动水压力及临界水力梯度	(134)
二、影响土的抗渗强度因素——结构特征	(135)
第三节 渗透变形的预测	(139)
一、判断渗透变形的可能性及类型	(139)
二、确定坝基各点的实际水力梯度	(140)
三、确定临界水力梯度和允许水力梯度	(142)
第四节 渗透变形的防治	(144)
一、建筑物基坑及地下巷道施工时流砂的防治措施	(145)
二、抽水井防止管涌措施	(146)
三、水工建筑物(土石坝)防治渗透变形的措施	(146)

第八章 冻 土	(149)
第一节 多年冻土的概念	(149)
一、多年冻土	(149)
二、多年冻土的上限和下限	(149)
三、多年冻土的分类	(150)
四、多年冻土地区的类型	(151)
五、多年冻土地区的地下水	(151)
六、我国的多年冻土分布	(152)
第二节 冻土的工程性质与工程分类	(153)
一、冻土的工程性质	(153)
二、冻土的工程分类	(157)
第三节 多年冻土地区的特殊筑路问题	(160)
一、厚层地下冰	(160)
二、冰丘和冰椎	(161)
三、热融滑坍与热融沉陷	(162)
四、冻胀与翻浆	(163)
五、沼泽与沼泽化湿地	(164)
第四节 冻土上限深度的确定积多年冻土地区的选线原则	(164)
一、冻土上限深度的确定方法	(164)
二、多年冻土地区的选线原则	(165)
第九章 软 土	(167)
第一节 软土的形成	(167)
第二节 软土的物理力学性质	(168)
一、天然含水量高、孔隙比大	(168)
二、透水性低	(169)
三、高压缩性	(169)
四、抗剪强度低	(169)
五、触变性	(170)
六、流变性	(170)
第三节 软土地基的计算	(173)
一、软土地基的承载力	(173)
二、软土地基的变形计算	(175)
第四节 软土地基的处理方法	(176)
一、换填法处理软土地基	(177)

6 公路工程地质灾害与防治

二、袋装砂井法	(183)
三、塑料排水板法	(198)
四、夯实扩底灌注桩法	(203)
五、粉喷桩法	(217)
六、挤密桩法	(232)
七、土工合成材料处理软土地基	(240)
八、固化土的原理及其应用	(249)
九、强夯法	(254)
十、反压护道法	(265)
第十章 膨胀土	(266)
第一节 膨胀土的特性	(267)
一、野外特征	(267)
二、矿物成分	(268)
三、物理、力学特性指标	(268)
四、主要工程特性指标	(268)
五、影响胀缩变形的因素	(270)
第二节 膨胀土地基上建筑物的变形	(273)
一、建筑物的变形	(273)
二、建筑物变形的特点和影响因素	(273)
第三节 膨胀土场地与地基的评价	(274)
一、膨胀土判别	(274)
二、膨胀土的膨胀潜势	(274)
三、膨胀土的建筑场地	(275)
四、膨胀土地基的胀缩等级	(275)
第四节 膨胀土地基计算	(275)
一、地基土的膨胀变形量	(275)
二、地基土的收缩变形量	(276)
三、地基土的胀缩变形量	(277)
四、膨胀土地基承载力	(277)
五、膨胀土地基变形量	(278)
第五节 膨胀土地基处理	(278)
一、换土垫层	(278)
二、砂石垫层	(278)
三、桩基础	(278)

四、其他方法	(279)
第十一章 湿陷性黄土	(280)
第一节 黄土的湿陷性特征及其在我国的分布	(280)
一、湿陷性黄土的特性	(280)
二、湿陷性黄土的分区	(280)
三、湿陷性黄土的物理力学性质	(280)
四、黄土地层的划分	(281)
五、黄土湿陷性的原因	(281)
第二节 黄土湿陷性的测定方法	(282)
一、室内浸水侧限压缩试验	(282)
二、现场注水载荷试验	(283)
三、现场试坑浸水试验	(284)
第三节 黄土地基湿陷性评价	(284)
一、黄土湿陷性判别	(284)
二、建筑场地的湿陷类型	(285)
三、湿陷性黄土地基的湿陷等级	(285)
第四节 湿陷性黄土地基计算	(287)
一、地基承载力	(287)
二、黄土地基沉降计算	(289)
第五节 湿陷性黄土地基处理	(290)
一、建筑物的类别	(290)
二、建筑工程的设计措施	(291)
三、各类建筑对地基处理的要求	(291)
四、常用的地基处理方法	(292)
参考文献	(294)

第一章

崩塌与岩堆

第一节 崩 塌

一、崩塌的概念

在陡峻的斜坡上,巨大岩块在重力作用下突然而猛烈地向下倾倒、翻滚、崩落的现象,称为崩塌。崩塌经常发生在山区陡峭山坡上,有时也发生在高陡的路堑边坡上。

规模巨大的山坡崩塌称为山塌。斜坡的表层岩石由于强烈风化,沿坡面发生经常性的岩层顺坡滚落现象,称为碎落。悬崖陡坡上个别较大岩块的崩落称为落石。

崩塌是山区公路常见的一种病害现象。它来势迅猛,常可摧毁路基和桥梁,堵塞隧道洞口,击毁行车,对公路交通造成直接危害。有时因崩塌堆积物堵塞河道,引起壅水或产生局部冲刷,导致路基水毁。

崩塌可以由自然因素激发产生,也可以由人为因素激发产生。如云南昆明至畹町公路某段的路堑边坡,雨后不久发生崩塌达 1.7 万 m^3 ,严重阻碍了交通。

二、崩塌形成的条件

崩塌虽发生比较突然,但有它一定的形成条件和发展过程。崩塌形成的基本条件归纳起来主要有以下几个方面。

(一) 地形条件

斜坡高、陡是形成崩塌的必要条件。调查表明,规模较大的崩塌一般多产生在高度大于 30 m 、坡度大于 45° 的陡峻斜坡上。

斜坡的外部形状,对崩塌的形成也有一定的影响。一般在上缓下陡的凸坡和凹凸不平的陡坡上易于发生崩塌(图 1-1)。

(二) 岩性条件

坚硬的岩石(如厚层石灰岩、花岗岩、砂岩、石英岩、玄武岩等)具有

2 公路工程地质灾害与防治

较大的抗剪强度和抗风化能力，能形成高陡的斜坡，在外来因素影响下，一旦斜坡稳定性遭到破坏，即产生崩塌现象（图 1-2）。所以，崩塌常发生在由坚硬性脆的岩石构成的斜坡上。此外，由软硬互层构成的陡峻斜坡，由于差异风化，斜坡外形凹凸不平，因而也容易产生崩塌（图 1-3）。

（三）构造条件

如果斜坡岩层或岩体的完整性好，就不易发生崩塌。实际上，自然界的斜坡经常是由性质不同的岩层以各种不同的构造和产状组合而成的，而且常常为各种构造所切割，从而削弱了岩体内部的联结，为产生崩塌创造了条件。一般来说，岩层的层面、裂隙面、断层面、软弱夹层或其他的软弱岩性带都是抗剪性能较低的“软弱面”。如果这些软弱面倾向临空且倾角较陡时，当斜坡受力情况突然变化时，被切割的不稳定岩块就可能沿着这些软弱面发生崩塌。图 1-4 为两组与坡面斜交的裂隙，其组合交线倾向临空，被切割的楔形岩块沿楔形凹槽发生崩塌的示意图。

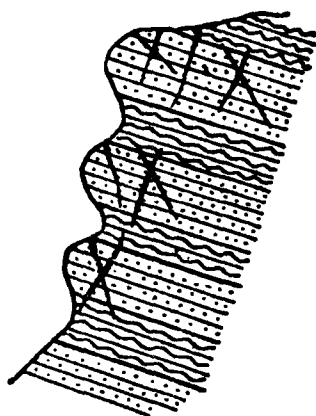


图 1-1 软硬岩互层形成的锯齿状坡面

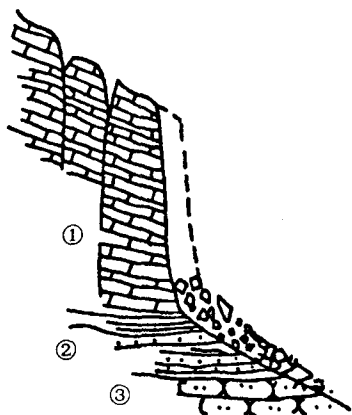


图 1-2 坚硬岩石组成的斜坡前缘卸荷裂隙导致崩塌示意图

①灰岩；②砂页岩互层；③石英岩

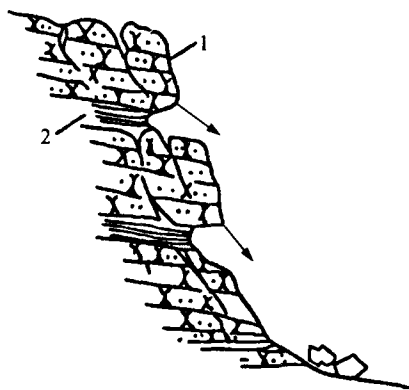


图 1-3 软硬岩互层的陡坡局部崩塌示意图

1. 砂岩；2. 页岩

(四) 其他自然因素

岩石的强烈风化、裂隙水的冻融、植物根系的楔入等，都能促使斜坡岩体发生崩塌现象。但大规模的崩塌多发生在暴雨、久雨或强震之后。这是因为降雨渗入岩体裂隙后，一方面会增加岩体的重量，另一方面能使裂隙中的充填物或岩体中的某些软弱夹层软化，并产生静水压力及动水压力，使斜坡岩体的稳定性降低；或者由于流水冲掏坡脚，削弱斜坡的支撑部分等，都会促使斜坡岩体产生崩塌现象。地震能使斜坡岩体突然承受巨大的惯性荷载，因而往往能促成大规模的崩塌。例如，1973年2月四川炉霍地震（7.9级），促使城区附近公路沿线及河谷两岸普遍发生崩塌。

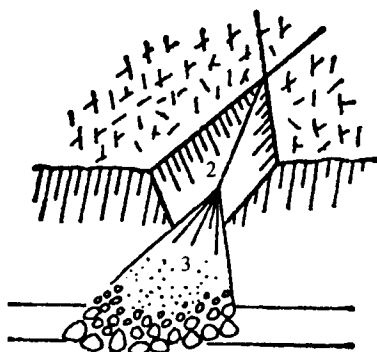


图 1-4 楔形体崩塌示意图

1. 裂隙；2. 楔形槽；3. 崩塌堆积体

上面说的是形成崩塌的基本条件和促使斜坡岩体发生崩塌的一些主要自然因素，但是，人类不合理的工程活动，如公路路堑开挖过深、边坡过陡等，也常引起边坡发生崩塌。由于开挖路基，改变了斜坡外形，使斜坡变陡，软弱构造面暴露，使部分被切割的岩体失去支撑，结果引起崩塌。此外，坡顶弃方荷载过大或不妥当的爆破施工，也常促使斜坡发生崩塌现象。

三、崩塌的防治

(一) 勘测调查要点

要有效地防治崩塌，必须首先进行详细的调查研究，掌握崩塌形成的基本条件及其影响因素，根据不同情况，采取相应的措施。调查崩塌时应注意以下几个方面：

- (1) 查明斜坡的地形条件，如斜坡的高度、坡度、外形等。
- (2) 查明斜坡的岩性和构造特征，如岩石的类型、风化破碎程度，主要构造面的产状以及裂隙的充填胶结情况。
- (3) 查明地面水和地下水对斜坡稳定性的影响以及当地的地震烈度等。

(二) 防治原则

由于崩塌发生的突然而猛烈，治理比较困难而且复杂，特别是对于大型崩塌，所以一般多采取以防为主的原则。

- (1) 在选线时，应注意根据斜坡的具体条件，认真分析崩塌的可能性及其规模。对有可能发生大、中型崩塌的地段，有条件绕避时，宜优先采用绕

4 公路工程地质灾害与防治

避方案。若绕避有困难时,可调整路线位置,离开崩塌影响范围一定距离,尽量减少防治工程,或考虑其他通过方案(如隧道、明洞等),确保行车安全。对可能发生小型崩塌或落石的地段,应视地形条件进行经济比较,确定是绕避还是设置防护工程通过。如拟通过,路线应尽量争取设在崩塌停积区范围之外。如有困难,也应使路线离坡脚有适当的距离,以便设置防护工程。

(2) 在设计和施工中,避免使用不合理的高陡边坡,避免大挖大切,以维持山体的平衡。在岩体松散或构造破碎地段,不宜使用大爆破施工,以免由于工程技术上的错误而引起崩塌。

(三) 防治措施

(1) 爆破或打楔。将陡崖削缓,并清除易坠的岩石。

(2) 堵塞裂隙或向裂隙内灌浆。有时成为单独的岩坡稳定,可采用铁链锁拌或铁夹,以提高有崩塌危险岩石的稳定性。

(3) 调查地表水流,在崩塌地区上方修截水沟,以阻止水流流入裂隙。

(4) 为了防止风化,可将山坡和斜坡铺砌覆盖起来(图1-5);或在坡面上喷浆。

(5) 筑明洞或御塌棚(图1-6)。

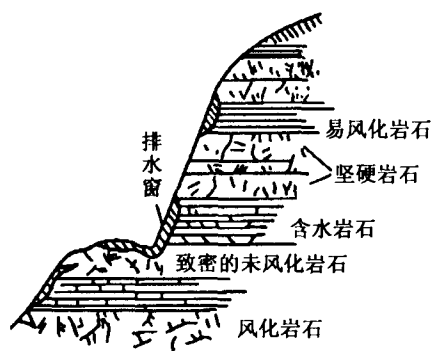


图1-5 用砌石护面防止
易风化岩层风化

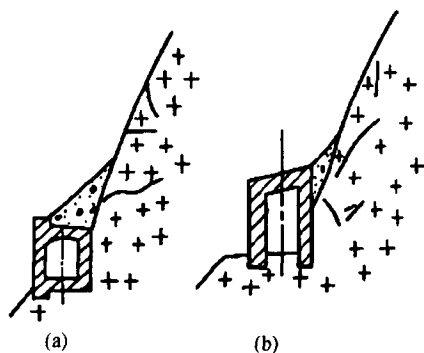


图1-6 明洞和御塌棚
(a) 明洞; (b) 御塌棚

(6) 筑护墙及围护棚(木的、石的、铁丝网),以阻挡坠落石块;及时清除围护建筑物中的堆积物。

(7) 危岩支顶,如用石砌或用混凝土作支垛、护壁、支柱、支墩、支墙等,以增加斜坡的稳定性。

第二节 岩 堆

一、岩堆的概念及主要组成物质

由碎落、崩塌和落石在山坡的低凹处或坡脚形成的疏松堆积体，称为岩堆。

岩堆多见于地质构造作用强烈、气候比较干旱、风化严重的山区或高山峡谷地区。特别是在页岩、千枚岩、板岩、片岩等岩性软弱易风化的岩层分布地区，以及在破碎的花岗岩、石灰岩等组成的山坡和坡脚地带，常有岩堆的分布。岩堆有时互相连接，成片分布，长达几千米至几十千米。岩堆的平面形态是多种多样的，主要取决于局部地形条件。岩堆床纵剖面形态一般呈三种典型形状，如图 1-7 所示。它主要是由岩堆基底、傍依区和搬运区组成。

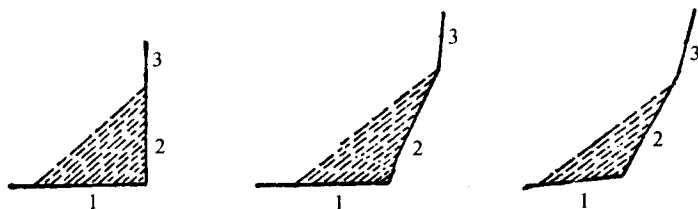


图 1-7 岩堆床纵剖面组成示意图

1. 岩堆基底；2. 傍依区；3. 搬运区

发育在峡谷地区的岩堆，上为陡壁，下为急流，其本身又处于极限平衡状态，具有一定的活动性，常给选线和路基设计造成很大困难，其影响程度决定于岩堆的工程地质特征。

二、岩堆的工程地质特征

(1) 岩堆大部分为近期堆积，其表面坡度接近于其组成物质在较干燥状态下的天然休止角，浸水后容易发生局部或整体的移动。岩堆的天然休止角与组成物质的岩性（表 1-1）、粒径（表 1-2）和表面粗糙程度有关，一般介于 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 之间。