

## · 岩土工程 ·

## 崩塌的形成机理与防治方法

骆银辉<sup>1,2</sup>, 胡 斌<sup>2</sup>, 朱荣华<sup>2</sup>, 普兴如<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 &lt;北京&gt; 工程技术学院, 北京 100083; 2. 云南地质工程第二勘察院有限公司, 云南 昆明 650051)

**摘 要:** 陡峻边坡崩塌主要受控于节理裂隙和结构面的组合, 其活跃程度取决于卸荷裂隙的扩张与扩展。层状结构岩体的岩层面和构造裂隙面在崩塌的形成中普遍起到控制作用, 因而水平岩层、顺向岩层、逆向岩层、块状岩体陡峻边坡崩塌的形成条件不同, 崩塌表现出不同的扩展特点。在对边坡崩塌的防治工作中, 只有对形成边坡崩塌的具体条件, 如岩石结构面和各类节理裂隙面进行充分调查研究, 分析崩塌的形成机制和扩展趋势, 才能有针对性地采取有效防治措施。结合工程实践提出对崩塌防治的基本方法。

**关键词:** 崩塌; 形成机制; 扩展特征; 防治方法

**中图分类号:** TU431 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004—5716(2008)12—0001—03

崩塌是一种极为普遍和直观的地质灾害现象。许多工程技术人员认为, 崩塌无非是不同的结构面和裂隙面的组合与切割导致危岩体脱落而形成; 认为对崩塌的防治就是加固危岩体, 因此对崩塌的形成机理和防治加固依据的认识都较为简单。其实崩塌具有自身的形成机理, 并且相同结构的岩体, 其崩塌的形成和演化特征具有共同性。因此崩塌的形成和演化仍然具有规律性。治理滑坡, 要根据滑坡的形成条件与活动特征找准关键点布置抗滑工程。同样, 治理崩塌也要在认识崩塌形成机理和演化规律基础上, 找准关键点, 结合防治目的, 才能找到有效的防治方法。就对不同结构的岩体崩塌的形成机理与扩展特征进行研究与总结, 并提出对崩塌防治的理论依据和基本方法。

### 1 崩塌的形成的一般机理

崩塌是指陡峻斜坡上的危岩体在重力作用下脱离母体的崩落现象, 是高山峡谷地区普遍发育的地质灾害之一。崩塌一般发生在坚硬岩地区高陡边坡, 其形成机制是, 河流切割或人工开挖形成的高陡边坡, 由于卸荷作用, 应力重新分布后在边坡卸荷区内形成张拉张裂缝, 并与其它裂隙和结构面组合, 逐步贯通形成危岩体, 在地震或爆破震动、降水等外力触发作用下, 导致危岩体突然脱离母体, 翻滚、坠落下来, 散堆于坡脚。卸荷区内危岩崩塌一般由边坡前缘向后呈牵引式扩展。一般边坡中下部及边坡前缘地带即为卸荷裂隙扩展的牵引带。不同结构的岩体崩塌形成机制和扩展特征不尽相

同。这里结合云南省高陡斜坡崩塌的发育特点和工程实例, 分析水平岩层、顺向岩层、逆向岩层、块状岩体等不同结构类型边坡崩塌的形成机理与扩展特征。

### 2 不同结构类型边坡崩塌的形成机理与扩展特征

#### 2.1 水平岩层(倾倒崩塌、错裂崩塌)

(1) 在边坡卸荷作用下, 卸荷裂隙一般在构造裂隙的基础上继承发展, 在危岩体压应力作用下, 层面垂向裂隙贯通后危岩体底部发生剪切破坏, 形成崩落。崩塌区由边坡前缘向后扩展(图 1)。如果危岩底部含有软弱或破碎夹层, 软弱夹层的蠕变和超前风化, 或者危岩底剪切带发育优势结构面或裂隙面, 将加速危岩体底部的剪切破坏。有的底部软弱岩层超前风化, 还形成悬挑式危岩体。

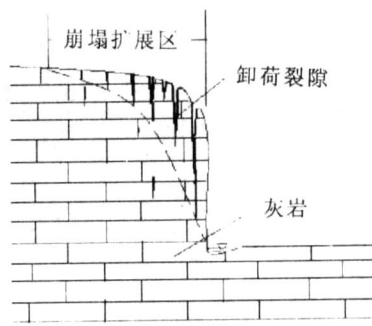


图 1 水平岩层错裂型崩塌

(2) 如果危岩底部不易被剪切破坏,危岩体在垂向裂隙中降水水压,或充填物的水平推力作用下,卸荷裂隙向深部发展的同时,危岩体逐步向外倾斜,在地震等外力作用下产生倾倒崩塌(图2)。

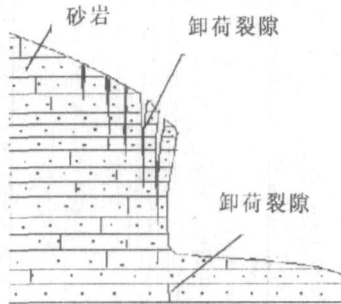


图2 倾倒崩塌

工程实例:云南省祥云—临仓高等级公路 K112 + 500 内边坡。岩层为灰黄色浅变质砂岩,岩层水平,岩层普遍发育垂直层面的张拉裂隙(呈不规则状),并夹薄层泥岩。边坡开挖后,卸荷裂隙沿构造张拉裂隙发展,在重力作用下,卸荷裂隙切穿岩层面形成柱状危岩体,柱状危岩体中泥岩夹层强度低,容易破坏,形成崩塌。卸荷裂隙由坡肩前缘向后扩展。

## 2.2 顺向岩层(滑落崩塌)

云南各类岩层都经历过强烈挤压作用,构造裂隙比较发育,并且普遍发育垂直岩层面的张拉裂隙。在边坡开挖或河流切割产生的卸荷作用下,卸荷裂隙一般在层面垂向构造裂隙的基础上继承发展,危岩体沿岩层面滑落而形成崩塌。崩塌区由内边坡坡肩前缘向后扩展(图3),直至边坡重新趋于稳定。

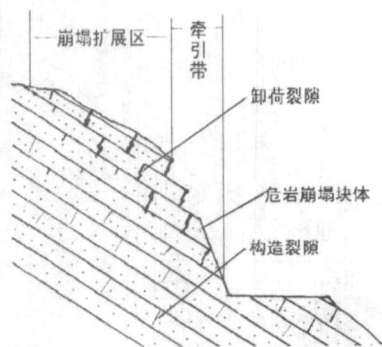


图3 顺向岩层滑落崩塌

工程实例:云南省祥云—临仓高等级公路 K112 + 200 开挖内边坡。岩层为灰黄色浅变质砂岩,岩层倾向

与坡向一致,岩层倾角  $45^\circ$ ,坡角  $70^\circ \sim 75^\circ$ ,岩层普遍发育垂直层面的张拉裂隙(呈不规则状),和平行层面的压剪性裂隙(裂隙面具错滑痕迹)。边坡开挖后,卸荷裂隙沿张拉裂隙发展,在卸荷裂隙和岩层面、层间压剪裂隙的分割下,形成沿岩层面和层间压剪裂隙面滑落的危岩体,在重力和降水入渗渗透压力等外力作用下,危岩体坠落,形成崩塌。

## 2.3 逆向岩层(错裂崩塌)

在边坡开挖卸荷作用下,卸荷裂隙一般在构造裂隙的基础上继承发展,在危岩体压应力作用下,垂向裂隙面贯通后形成崩落。崩塌区由内边坡中下部向上、向后扩展(图4)。

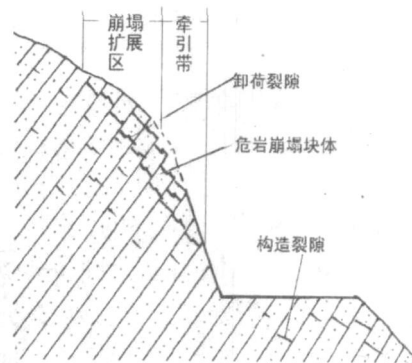


图4 逆向岩层崩塌

工程实例:云南省祥云—临仓高等级公路 K112 + 350 内边坡崩塌。岩层为灰黄色浅变质砂岩,岩层倾向与坡向相反,岩层倾角  $40^\circ \sim 45^\circ$ ,坡角  $70^\circ \sim 75^\circ$ ,岩层普遍发育垂直层面的张拉裂隙(呈不规则状),和平行层面的压剪性裂隙(裂隙面具错滑痕迹)。边坡开挖后,卸荷裂隙沿构造张拉裂隙继承发展,卸荷裂隙切穿岩层面形成危岩体。在重力等外力作用下,危岩体坠落,或向外凸落,形成崩塌。崩塌由边坡中下部向上和向后、由表及里扩展。

## 2.4 块状岩体

以火成岩为代表的块状岩体的特点是岩体结构均匀,强度高。内边坡开挖后卸荷裂隙一般沿岩石的结构面、节理和构造裂隙发育,如沿玄武岩的柱状节理裂隙、花岗岩的结构裂隙,以及受区域构造应力作用形成的构造裂隙发育。卸荷裂隙在重力和降水入渗水压作用下由表层向深部发展,由于岩体强度高不容易破坏,容易形成高大危岩体,产生的崩塌危害性较大。卸荷裂隙一般自坡肩前缘由外至里,由上至下扩展(图5)。

工程实例:云南省鹤庆县金沙江沿江公路—玄武岩

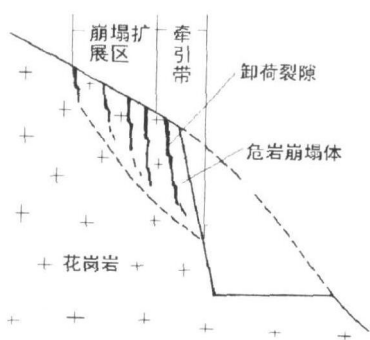


图 5 火成岩崩塌示意图

内边坡,卸荷裂隙基本垂直,由于岩石强度高,无软弱夹层,形成的柱状危岩体高达 30 余米。在地震等外力作用下容易产生崩塌。

### 3 崩塌防治的理论依据与方法

陡峻边坡崩塌主要受控于节理裂隙和结构面的组合,其活跃程度取决于卸荷裂隙的扩张与卸荷裂隙区的扩展。崩塌防治的理论依据就是加固已经形成的危岩体,阻止危岩体脱落,并且阻止或减缓卸荷裂隙的扩张和卸荷裂隙区的扩展,保持边坡的相对稳定性。我们对崩塌的防治总是有目的的,因此必须对形成边坡崩塌的具体条件,如岩石结构面和各类节理裂隙面进行充分调查研究,并分析崩塌的形成机制和扩展趋势,再结合具体防治目的,才能有针对性地对边坡崩塌采取有效防治措施。下面列举几类常用的防治方法。

#### 3.1 锚固与挂网喷护

在裂隙较为密集的卸荷裂隙区和危岩区,在清除部分危岩体的基础上,用锚杆加挂网喷护锚固危岩体,以达到减缓卸荷裂隙的产生和卸荷裂隙区的扩展,以及加固已经形成的危岩体的目的。这是防治崩塌最常用的方法,也是适用性最普遍的方法。在设计加固工程时,要充分考虑边坡岩体的结构与裂隙面特征和卸荷裂隙的扩展特征。将卸荷裂隙扩展的牵引带作为重点加固区布置锚固工程(图 6)。牵引区加固后可以阻止或减缓扩展区卸荷裂隙的扩张以及卸荷裂隙区的扩展。

#### 3.2 支撑加固

对较完整的悬挑危岩体可以采用支撑的方法加固,以保持危岩体的稳定性。这是临时性的防治。

#### 3.3 遮挡避让

对直接加固困难,或加固成本高的高陡危岩边坡,可以采用遮挡避让的方法防治崩塌危害(图 7)。这是针对如铁路和公路等线路工程经过峡谷区,采用的对边

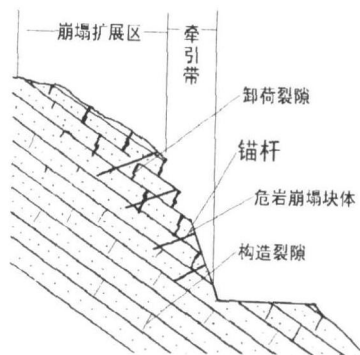


图 6 锚杆加固示意图

坡崩塌的防治方法之一。

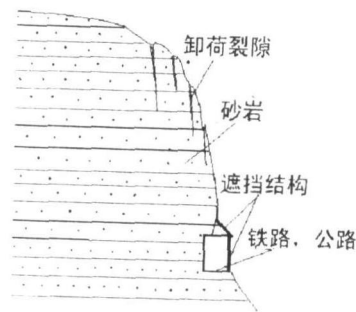


图 7 遮挡避让示意图

### 4 结束语

综上所述,陡峻边坡崩塌主要受控于节理裂隙和结构面的组合,其活跃程度取决于卸荷裂隙的扩张与卸荷裂隙区的扩展。层状结构岩石的岩层面和构造裂隙面在崩塌的形成中普遍起到控制作用。水平岩层、顺向岩层、逆向岩层、块状岩体陡峻边坡崩塌的形成条件不同,崩塌表现出不同的扩展特点。崩塌防治的理论依据就是,加固已经形成的危岩体,阻止危岩体脱落,并且阻止或减缓卸荷裂隙的扩张和卸荷裂隙区的扩展,保持边坡的相对稳定性。在对边坡崩塌的防治工作中,应对形成边坡崩塌的具体条件,如岩石结构面和各类节理裂隙面进行充分调查研究,分析崩塌的形成机制和扩展趋势,再结合具体加固目的,才能采取有效防治措施,具体设计防治加固工程。

#### 参考文献:

- [1] 周维垣. 岩石高边坡的稳定与治理. 岩土工程的回顾与前瞻[M]. 人民交通出版社, 2001.
- [2] 蔡美峰. 岩石力学与工程[M]. 科学出版社, 2002.