

边坡稳定性分析与防治

陈晓峰

深圳市勘察测绘院(集团)有限公司

摘要:我国幅员辽阔,地形复杂,有大部分地区是山地,尤其是我国南方地区,地形地貌变化较大,地质构造比较复杂,其岩体的结构也是千变万化,以至于在道路建设施工中对于岩质边坡的支护措施问题就显得非常突出。根据以往相关类似工程经验可知,顺层边坡属于失稳最严重,危害性最强的边坡之一,容易造成工程施工及财产损失,甚至会危及生命。如今还缺乏对于顺层岩不稳定情况的分析以及加固防治方面的设计研究。这是我国目前道路施工建设中最需要解决的难题。本论文以某岩质顺层边坡为基础进行研究,并对稳定度和防范策略加以全面论述。

关键词: 道路工程; 地形复杂; 顺层岩质; 岩体结构

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.08.054

一、工程概况及地质条件

(一) 工程的基本概况

深圳龙岗区某工程施工场地的边坡,其地质结构的主要成分是风化花岗岩。而这个工程建设路段正处于整体式的一段切方开挖路基上,路基宽度实测是26m,而左侧的顺层挖方最高为26m,测得单级的高度是10m。根据工程勘探证实,该顺层边坡实际坡率是1:0.5,根据对比可知,该顺层边坡属于顺向岩质的顺层边坡。根据在公路建设中对所受不同因素影响进行综合分析,对其工程面坡使用柔性网与生物性相结合加以防范,对边坡导致塌陷等危害加以防治^[1]。曾在2014年的10月份,这个路段的左侧发生局部边坡滑塌,之后又在同一部位相继出现散体和倒塌,而后又接连向右侧路段延伸,最后该路段因为被阻断而暂停通车。

(二) 工程地质条件

根据对工程进行的控查可知,该工程顺层边坡的底层属于泥质白云岩及红黏土组合而成。其厚度大约在0~1m之间,颜色为黄褐色。另外,在白岩层表面附有局部层泥膜状软弱结构的夹层,其岩体节理的裂缝已发育完成,并且有溶蚀现象。该路段顺层边坡的岩层结构为水平样,而滑塌部位的岩层状呈 $35^\circ/10^\circ$ 。

在这段工程建设项目中顺层边坡的岩体裂缝已持续发展成了两组,其中一组岩体裂缝的节理状态呈 $135^\circ/85^\circ$,之间的相隔间距是2.5~3.5m;另一组岩体裂缝的节理状态呈 $70^\circ/80^\circ$,之间相隔的间距是2.0~2.5m。如今,这项道路工程顺岩边坡已形成的裂缝最大开张度是5~20cm,在裂缝中还有许多较长的延伸裂隙被泥质所填充,而且岩层已被裂缝切穿,被切穿裂隙的表面或高或低起伏不定、粗糙不光滑。并且,这种顺层边坡部位的地下水一般都是由自然降雨后渗入补

给的,其中也包括岩溶通道水和岩溶裂隙水。当这片地区遇到降雨时,裂缝就会顺着岩层纵向不断发展,并垂直向下渗透,然后再顺着裂隙及其管道方向继续转移发展,最后聚集在较为软弱的夹层顶部,在地表露出后,表现为一种类似泉点状的形式^[2]。

二、影响边坡稳定性的因素

对顺层边坡的稳定性构成影响的因素很多,其中最重要的影响因素是岩层的倾角和地层的基本岩性以及结构面情况等不同因素。此外,对边坡稳定性造成影响的还有地下水以及边坡的自身高度、开挖的坡角大小、爆破产生的震动作用、地震产生的连锁效应等多种因素。

(一) 岩层的倾角

研究发现,岩层开挖的倾角对于顺层边坡自身稳定性和产生变形或是造成破坏具有非常重要的作用。在对路堑进行开挖之后,会构成有效的一个临空面。此时因为岩层的基本走向和坡面或是线路的发展方面相同,所以岩层软弱夹层一旦从堑坡面上出露,就很容易顺着软弱岩层进行滑动,从而形成破坏。通常情况下,如果岩层的开挖倾角比较平缓,那么岩体所承受的下滑力就会比较小,开挖时边坡就会处于比较稳定的状态。排除非常罕见的弱面特别低的抗滑力,及其受到地下水作用的边坡会产生蠕滑性的顺层滑坡以外,大部分顺层边坡所形成的变形破坏都属于普通型,表现为普通的破坏型特征,最主要的表现是由于受到节理裂隙和层面作用的影响而产生小范围的失稳,甚至是滑动;如果开挖的倾角为中等角时,那么不稳的岩体所承受的下滑力就要增加,这时边坡具有破坏的形式主要是顺层滑动;如果开挖的倾角为较大角时,那么开挖的坡面角就等同岩层的倾角了,由于边坡的岩体不存在下滑余地,边坡的稳定性较好,它容易出现变形的主要破坏因素是,当各种条件具备的情况下顺层弯曲形成破坏^[3]。

(二) 地层的岩性

对于不同的岩体,在力学特性及变形功能等方面都存在较大的差别,从而组成的边坡也具有不同的稳定性。通常情况下,质地坚硬型的岩石能够构成比较高陡型的边坡,具有较好的整体结构稳定性,不太容易出现较大范围的破坏;对于质地较弱的岩石就不太容易构成比较高的边坡,就算能形成,那么在稳定方面也会较差,极易产生滑坡^[4]。特别如泥岩那种软弱质地的岩石种类,因为没有较强的抵御风化的能力,所以连坡产生变形的可能性比较大。但不同种类的石灰岩、砂岩、白云岩都属于抗风化性能非常强的边坡类型,由于被风化的程度比较低,所以边坡就比较稳定。

(三) 结构面

在岩体内部明显含着或是隐现着各种不同的结构面，比如说节理和断层以及层面和夹层等。对于岩体的重要特征体现在它被软弱的岩层结构面分割为不连续的体系。因为这种软弱的结构面导致岩体在物理及力学中的不连续性，造成岩体自身强度显著降低。对顺层边坡的稳定性造成影响的结构面原因主要有以下方面：

1. 关于结构面上实际倾向及倾角。通常情况下，关于那些缓倾或是中等程度的倾角，其顺层边坡软弱结构面形成倾角的程度越缓，那么边坡就越是稳定，如果边坡的倾角程度越陡，那么它的稳定性就越差。

2. 关于结构面的具体走向。对于结构面的实际走向与边坡的坡面走向关系，也就是岩层与边坡之间的走向关系，决定着失稳边坡自由运动的程度。

3. 关于结构面发展倾向。因为对顺层边坡进行研究是本文的主要内容，由此可知边坡的倾向和结构面的倾向相同，通常情况下，同向坡的稳定性与反向坡的稳定性相比要差些。

4. 关于结构面实际组数及数量。当边坡遇到一组软弱岩层结构面的切割与遇到多组软弱岩层结构面的切割，所造成稳定性影响的程度有所不同，虽然顺层边坡的岩体只存在一组优势明显的结构面，可是其余结构面也会对边坡的自身稳定性造成影响，若是顺层边坡遇到多组软弱岩层结构面的缝隙切割时，不只是整个岩体产生变形的自由空间更大，相应的滑动面和切割面以及临空面的数量也会有所增加，那么能够构成滑动的岩层块体机会也就更多^[5]。

5. 关于结构面显现的连续性。如果顺层边坡的岩体构成面表现连续、贯通时，则边坡的稳定程度就比较弱，但如果结构面不是贯通的，而是被陡坎导致错开时，那么就会增强边坡的稳定性。

6. 关于岩层软弱结构面在表面上的表现形态。岩层结构面形成的表面形态其实质就是结构面在空间所展现的几何特征，对于这种结构面表现可以根据其规模的大小区分成两种类型，分别是起伏度类型与粗糙度类型。其中起伏度基本表面特点为大规模式的起起伏伏，在结构面上具有一定的起伏度，若是结构面彼此接触或是镶嵌，当出现移位剪切的时候，结构面就不会被剪切，而是出现膨胀现象^[6]。

7. 关于岩层软弱结构面表现的基本特征。岩层结构面所表现的基本特征指的是填充性特征，主要指的是其结构面实际填充的物质以及填充的实际厚度等方面。其中在结构面的内部形成的填充物主要分为两种类型，分别是胶结型和非胶结型。在胶结型的填充面上所能达到的强度基本同岩体自身强度差不多，所以，这种结构面不属于岩层软弱面，对于胶结型填充物主要分为四种类型，分别是钙质类、硅质类、铁质类、岩脉等具体类型。

（四）水的影响

研究证明水对于顺层边坡的岩体自身稳定程度具有一定影响，所产生的影响作用不但涉及多个方面，而且

特别活跃。通过大量的建设施工实例可知，大部分顺层边坡的岩体遭到破坏，最主要的原因都和水的作用有着直接关系。每当雨季来临，最容易发生滑坡类事故，可以充分说明水对边坡型岩体的稳定程度会造成影响，是影响安全的关键性因素。通过研究可知，水会对边坡的稳定性能产生影响，主要在以下方面体现：

1. 大量地下水被存于岩质坡体内，这其一可以减少岩体中 c （岩体作用系数）、 f （岩体作用力）值，其二能够增加边坡岩体具有的重量，同时产生缝隙的水压力及缝隙的水动力，在这种等同条件中，其岩体自身抵御滑坡的能力就有所降低，在同等条件中，岩体抵御滑坡的能力降低，则发生滑动的可能性就越高，滑坡的破坏发展趋势显著增加，其稳定性就会随之下降。

2. 水对连坡岩体具有显著的化学作用，通常情况下，若岩石的结构物质吸收和丢失水分子，就会出现水化反应和脱水反应，那么岩体在吸收水分子或是丢失水分子的时候就会出现水化反应作用和脱水反应作用，岩体在进行吸水和脱水时，就会产生矿物体膨胀和收缩，当岩体进行吸水和脱水的时候，都会造成岩体出现松散和破碎甚至会令原有矿物成分发生改变，尤其是在水中富含气体的时候，表现出水化学的溶解性及潜蚀的性能大大增强^[7]。

3. 水对于岩体具有显著的物理反应作用。在渗透岩体缝隙的水发生结冰时，对导致岩体出现较大的膨胀，导致岩体顺其原有的结构裂缝继续裂开或是分解。

（五）其他的因素

1. 开挖的坡角与边坡的高度对稳定性影响

开挖坡角和开挖坡高所执行的标准不同，对结构稳定性造成的影响也就不同。开挖边坡的坡角及坡高使用标准的大小和高低，关键取决于边坡结构的基本特征、边坡之间的关联性、边坡处于何种境地等三个方面因素。据研究，如果边坡的坡度变得越陡，那么其张力值与涉及范围就会越来越大，其坡脚所遭受的最大应力也就越来越大^[8]。

2. 地震效应

地震力给边坡造成的破坏机理和爆破基本相同，主要表现的是给岩体的基本结构造成破坏以及动力反应所带来的影响。一般在超过VI度的易震区进行工程建设，都会对边坡进行防护方面的设计，以有效提高边坡稳定性，为建设工程提供安全保障。

3. 风化作用

由于一些顺层边坡的岩体长时间暴露于地之上，不停的受到气候变换和水文侵蚀、冲刷等影响，逐渐出现物理及风化作用，产生各种变化。比如说形成次生类矿物、导致节理不断张开、缝隙不断扩大、产生新裂缝、岩体基本结构遭到破坏、物理性特征降低、容量变小等多种反应，都会在不同程度上促进边坡结构改变。

4. 时间效应

在工程建设中边坡出现变形或是遭到破坏，大部分都和岩体内软弱结构夹层的蠕变的时效特征相关，它的

抗剪性会随着时间的延长而逐渐减弱，如果剪力的强度比层面时效剪切的强度低或是保持相等时，边坡就会处于比较稳定的状态；如果说剪力的强度比层面时效剪切的强度高时，连坡就会处于不稳定状态，导致最终出现蠕变加快，甚至是边坡发生剧滑等现象^[9]。

三、工程区顺层岩质边坡稳定性分析

(一) 变形破坏特征

以深圳龙岗区某建设工程为例，它的顺层边坡岩体属于出块裂状型结构，表现节理颖隙发育，同时存在岩屑及生泥的填充，当对岩体进行开挖后，岩体被切割为2.5m~3.5m大小岩块。此时，进行边坡跛脚的开挖，在这种块裂状的岩体会出现大片区域的顺层滑动现象。据勘测，它的顺层边坡发生滑塌的位置在边坡前端，并且滑体达到的横宽和纵长在40m~50m之间，滑体塌陷厚度达到10m，体积达到3000m³。

(二) 失稳破坏模式分析

在以上建设工程中顺层边坡发育形成三组结构面，详情见表1内容。在对该工程顺岩边坡具有的几何特点和结构优势进行分析研究后，计算绘制出极射赤平投影，据此可知，该滑塌体在层面1和裂缝1的岩层结构面上同边坡坡面形成36°角相交，而且它的交棱线组是合产状为46°∠10°；在层面1和缝隙2上同顺层坡面形成29°角的相交，而交棱线组合产状的角度341°∠6°。与顺层边坡形成的坡角比较，这两处交棱线组合倾角比较小些。

根据以上情况可以做出如下预测：该边坡大概率会顺其层面1和缝隙1同层面1和缝隙2的结构面不断发展，由此造成边坡出现开面型的滑动问题。该项目的顺层边坡底部具有滑动剪切面，主要由层面构成，在边坡后部产生的缝隙主要是在裂缝1和裂缝2的共同作用下构成。

表1 优势结构面及坡面产状

结构面及坡面编号	结构面及坡面产状	备注
C1	35° ∠10°	层面
J1	135° ∠85°	裂隙
J2	70° ∠80°	裂隙
P1	10° ∠54°	坡面
P2	10° ∠2°	坡顶面

(三) 稳定性分析与评价

根据顺层边坡失稳状况，能够建立比较稳定的计算模型，在此采取25kN/m³用于白云岩的滑体重量。此时，顺层边坡岩层软弱结构的夹层所形成的抗剪应强度的各项指标分别为：黏聚力和摩擦内角的数值是12.5kPa、7°。根据边坡的稳定性模型以及其相关参数的计算，能够对该工程边坡所具有的稳定程度加以测算，其结果是1.02。据此可知，这项工程边坡的稳定状况不佳。如果再遇到降雨，则该边坡所能达到的稳定系数仅为0.85，属于不稳定的危险状态。通过以上关于稳定性状况的分析和评价可知，对该工程的顺层边坡必须得进行

加固防治，以确保工程安全。

四、顺层岩质边坡稳定性防治措施

(1) 在局部进行清方处理：要全面彻底清理和挖掉边坡的滑塌部分坡体以及变形的部分坡体；(2) 对框架进行锚索处理：对于清理完毕的边坡，可以选择支垛式横梁外加锚索和框架式锚索几种方式连合加固，并且需选择框架式锚索对前缘的边坡进行加固，然后需要安装15根不同类型的锚索，长度分别是29，26，23，20，17m，并且还需对18根锚索进行设置，每根长度为13m。同时，需要对三个A型的框架梁和两个B型的框架梁以及三个C型的框架梁进行安装，另外还需安装五个支垛型横梁。(3) 加装防护网处理：针对此项工程凹腔的两侧边坡，需采取防护网治理措施加以防护。

五、结语

由于顺层边坡因受其地貌、地形、降水、地质结构、外荷载及多种因素的作用影响，以至在力学机理上较为复杂，极易出现失稳及破坏，甚至是造成滑坡给项目工程和日后投入使用造成安全隐患。故此，针对顺层边坡如今以及未来的稳定性安全角度出发，对其进行相关指标及状况的分析研究十分重要。在山区的公路建设项目中，特别是在那些较高等级的公路施工项目中，经常会遇到这类顺层边坡结构，具有倾角的变化大，同时伴有层间距存在较大差异的典型特征，目前进行稳定性测算的主要方法是以数学模型为基础进行，并且在工程加固和防护和在对边坡设计时都会使用这种类比计算法。对于上述顺层边坡的典型特征及现象，本论文在理论上结合实际对边坡的稳定性问题及安全防护措施等方面进行了分析研究，希望能给我国道路工程的建设施工提供有益的借鉴和帮助。

参考文献

[1] 吴学智. 锦屏水电站专用公路高边坡稳定性分析与防治技术研究[D]. 西南交通大学, 2008.
 [2] 周浩东. 平潭地区公路软土地基稳定性分析与防治方案优选[D]. 福建农林大学, 2018.
 [3] 张永明. 泥质红砂岩边坡稳定性分析与防治技术研究[D]. 华南理工大学, 2011.
 [4] 李道明. 顺层岩质边坡稳定性分析与防治研究[D]. 武汉理工大学, 2007.
 [5] 叶武, 章航瑜. 屏都综合新区二期南侧边坡稳定性分析与防治措施[J]. 现代矿业, 2020, 3612: 192-195+198.
 [6] 杨志. 对土钉支护边坡冻胀破坏分析与防治研究[J]. 居业, 2021, 04: 82-83+93.
 [7] 陈永贵, 邹银生, 杨天春. 三峡库区岩质边坡稳定性分析与防治工程设计[J]. 地下空间与工程学报, 2005, S1: 23-26.
 [8] 罗兵. 顺层岩质边坡稳定性分析与防治[J]. 有色金属文摘, 2016, 3101: 196-197.
 [9] 郑鑫轲. 某岩质边坡稳定性分析与防治措施[J]. 四川建材, 2019, 4505: 108-111.