

顺层边坡松动岩层工程特性及工程处治措施

张国辉^{1,3}, 冯志秀^{2,3}, 汤 华⁴

(1. 云南省公路开发投资有限责任公司, 云南 昆明 650200;

2. 云南公投建设集团有限公司, 云南 昆明 650034;

3. 云南小磨高速公路改扩建工程建设指挥部, 云南 景洪 666100;

4. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071)

摘 要: 通过对松动岩层的形成机制和工程特性深入分析, 显示松动岩层和原岩层有本质区别, 由于松动岩层孔隙张开、泥质充填等不利因素, 其抗剪强度和原岩层相比差异显著; 通过极限平衡方法对工程实例中的松动岩层滑坡进行反分析, 结果表明松动岩层充分泥化后强度大幅下降, 不能简单通过原岩强度折减得到。勘察阶段应将其作为特殊岩体对待, 有条件的情况下应进行现场槽探, 弄清松动岩层具体情况。边坡开挖后, 松动岩层易于软化而导致大面积滑动, 因此建议在边坡开挖前采用抗滑桩预先加固、开挖坡面后采用锚杆(锚索)框架加固坡面、并做辅以坡体截排水的综合工程处治措施。

关键词: 顺层边坡; 松动岩层; 滑坡; 泥化; 工程处治措施

中图分类号: TU457

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)02-0166-04

Engineering Characteristics and Treatment Measures of Disturbed Rock Strata in Bedding Rock Slope

ZHANG Guohui^{1,3}, FENG Zhixiu^{2,3}, TANG Hua⁴

(1. Yunnan Provincial Highway Investment and Development Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650200, China;

2. Construction Group of Yunnan Highway Development and Investment Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650034, China;

3. Yunnan Xiaomo Expressway Extension Project Construction Headquarters, Jinghong, Yunnan 666100, China;

4. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China)

Abstract: The formation mechanism and engineering characteristics of disturbed rock strata are analyzed. There are essential differences between disturbed rock strata and original rock strata. Because of the unfavorable factors such as pore openings and shale filling of disturbed rock strata, the shear strength is significantly lower than that of original rock strata, which cannot be determined simply by strength reduction of original rock strata. It should be treated as a special rock in engineering survey, trench exploration should be carried out if it is possible. Large area of landslide often occur in disturbed rock strata after slope excavation. It is suggested that the anti-slide pile should be pre-reinforced before slope excavation, bolt (or anchor wire) frame and cutoff drainage should be taken after slope excavation.

Keywords: bedding slope; disturbed rock strata; landslide; argillation; engineering treatments

隧道或地下洞室开挖时, 原岩经爆破施工, 由于应力释放、围岩变形调整, 往往形成松动岩石圈。与此类似, 在高陡峡谷地区, 顺层岩质边坡在临空条件下, 岩体易于发生时效变形^[1-6], 形成松动岩层。目

前在边坡松动岩层的研究中, 人们更多地把目光对准了工程开挖造成的边坡或隧道岩体松动^[7-12], 而很少关注自然坡在历史演化过程中本身形成的松动岩层, 实际上, 边坡历史演化过程中形成的松动岩层

可能对自然坡开挖后的稳定性有着更重要的影响,本文所提出的松动岩层即是这一概念。

就顺层松动岩层形成机制而言,其内因是岩体为非连续的地质体,被各种地质结构面切割,外因是历史演化过程中的风化、侵蚀等作用在历史演化过程中产生时效变形,从而形成顺层松动岩层,这已经被近年来工程实践所证实^[1,4,6]。

当前边坡工程实践中,常将松动岩层作为强或弱风化岩层对待。在进行此类边坡开挖时,发生很多以松动岩层为滑动面的滑坡,有些在工程开挖初期就发生滑坡,有些在上部边坡防护后进行坡脚加固开挖出现整体滑坡,使上部建(构)筑物受到威胁,同时使工程本身受到重大损失^[13]。因此,通过对松动岩层的形成机制和工程特性深入分析,有助于加深对松动岩层的认识,在此基础上制定合理的工程处治措施,避免或减少因松动岩层滑坡带来的工程损失。

1 顺层边坡松动岩层形成机制及其工程特性

1.1 顺层边坡松动岩层形成机制分析

自然坡中地表的岩层除经受构造运动形成节理裂隙外,还要经受风化、冰根劈和重力等侵蚀作用。

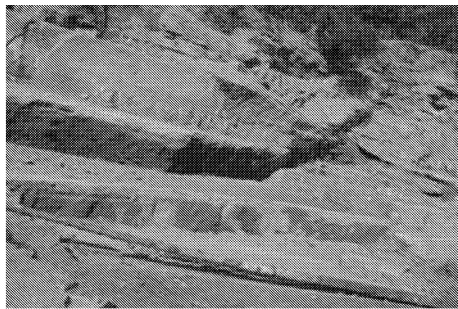


(a) 松动岩层

在这些内、外营力共同作用下,岩层除受节理裂隙分割成块体外,岩层本身存在着松动、移动变形使岩层面产生空隙,降雨入渗带入泥质充填。

松动岩层的形成主要有如下三种方式:(1)与层面大致垂直的节理裂隙通常很发育,在长期的风化、冰劈、根劈等作用,原岩层面松动产生空隙,降雨入渗带入泥质等充填岩层面;(2)坡脚岩土体经过长期风化、侵蚀作用,坡脚被掏空,岩体向临空面蠕变,使得原岩层产生空隙或空隙增大,降雨入渗带入泥质等充填岩层面;(3)原岩成岩过程中的软弱夹层强度和抗风化能力较差,软弱夹层变形后产生空隙。降雨入渗带入泥质等充填岩层面或软弱夹层,使其刚度和强度下降,在历史演化过程中产生时效变形,从而形成顺层松动岩层,典型顺层松动岩层边坡见图1。

自然顺层岩质边坡产生松动岩层的主要岩性有夹薄层頁岩的灰岩层、夹泥岩的泥质粉砂岩层、泥灰岩、頁岩等,岩层倾角在 $18^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 之间,大部分在 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 之间,在这一条件下,岩体在重力和其它外力作用下可产生顺层移动。松动岩层一般为强至弱风化岩体,产状与原岩相近。松动岩层厚度一般不大,受风化、溶蚀、冰劈等作用,坡表以下 $1\text{ m} \sim 5\text{ m}$ 的岩层最易产生松动变形。



(b) 松动岩层内泥质充填

图1 典型顺层松动岩层边坡

1.2 顺层边坡松动岩层的工程特性

松动岩层的工程特性与原岩有较大的差别。松动岩层的层间黏结性能与原岩相比显著下降;层间摩擦性能和层间填充物有关,当层间有大量次生黏土时为泥质填充物所控制,无泥土充填时,为松动脱开的岩层面摩擦特性控制,抗剪强度一般高于表层残坡积土体而明显低于未松动的岩层抗剪强度。泥质充填的岩层面或软弱夹层抗剪强度极低,某高速公路泥岩夹层的室内试验结果为 $\varphi = 22^{\circ} \sim 26^{\circ}$, $c = 30\text{ kPa} \sim 50\text{ kPa}$,充分软化后的室内试验结果仅为 $\varphi = 6^{\circ}$, $c = 6\text{ kPa} \sim 12\text{ kPa}$ ^[14]。我国部分水利工程现

场大剪切试验成果显示:岩体中软弱夹层软化后,摩擦系数 $\tan\varphi$ 下降 $5\% \sim 30\%$, c 值下降 $30\% \sim 80\%$ ^[15]。松动岩层的泥质夹层充分软化后 c 值为 $0\text{ kPa} \sim 15\text{ kPa}$, φ 值为 $4^{\circ} \sim 15^{\circ}$,往往比上部的坡积土体抗剪强度更低,因此有些边坡在残坡积土体开挖时,边坡保持稳定,而开挖至松动岩层时,产生较大规模的顺层滑动^[14]。

2 顺层边坡松动岩层滑坡工程处治措施

高速公路建设过程中边坡开挖使坡脚处的阻滑段被切除,原岩层由于层间未松动,强度较高,高边

坡开挖时适当注意岩层间的加固,基本可满足边坡工程稳定性,而松动岩层在坡脚开挖后极易导致顺层间松动岩层滑坡。工程开挖一方面改变了坡表形态,另一方面也改变了原有的地下水渗透路径,地下水渗出路径的坡率变陡,开挖坡面下部即可出现地下水渗出点,渗透路径一般下移,使潜在滑动的岩体软化范围增加。潜在滑动面的岩层软化后抗剪强度下降,其抗滑力将明显降低,导致松动岩层失稳。工程开挖后降雨入渗对松动岩层软化作用显著。因此,首先要查明松动岩层的分布特征,如厚度、空间范围等,将其作为特殊层位考虑。工程开挖后,若未能及时进行工程处治,将使松动岩层发生卸荷变形,产生新的裂隙,降雨下渗使软弱层发生软化,从而导致顺层松动岩层失稳。

边坡开挖后,松动岩层易于软化而导致大面积滑动。因此,在边坡开挖前进行预先加固显得极其重要。在具体加固方式设计时,应结合现场地形地貌、松动岩层厚度和分布范围、加固力大小、加固费用等多种因素后综合确定。建议采用抗滑桩加固,开挖坡面后再采用锚杆框架(或锚索框架)加固。

若设计不当导致松动岩层滑坡,对失稳后的边坡应采取合理的工程处治措施,避免损失扩大。由于通常情况下松动岩层在地表面积较广,对松动岩层进行顺层清坡的工程量较大,同时也将大量地破坏植被或耕地。鉴于松动岩层厚度通常不大,上部一般覆盖有坡积土体,加起来厚度也不过十几米,虽然滑坡面积较大,但整体下滑力不大,且下滑推力靠近地表,在切坡面上可采用抗滑桩(断面为 1.2 m ~ 1.8 m 圆桩或方桩)和锚杆(锚索)框架进行加固,并辅以坡面截排水处理措施,一般可满足工程稳定性要求。

3 工程实例分析

以某高速公路发生的顺层岩质滑坡为例进行分析。由于勘察时对松动岩层没有引起足够重视,边坡设计时将其视作风化岩层,导致边坡开挖时产生滑坡。

边坡地层主要有第四系坡积层,厚度 1 m ~ 4 m,主要为褐黄色粉质黏土夹灰岩、泥灰岩块石,结构松散;顺层松动岩层以奥陶系泥质灰岩为主,厚度 2 m ~ 5 m,层间和裂缝间有地表水下渗带入的黏土层,黏土层厚度 1 mm ~ 20 mm;坡体底部为弱—微风化灰岩。该段自然山坡略缓于岩层倾角,延伸较远,汇水面积大,降雨极易下渗至松动岩层。

边坡开挖至坡积层时,坡体变形明显,但基本稳

定,当开挖至松动岩层时,迅速产生大面积滑坡。若将松动岩层作为坡积层看待,边坡将产生近似圆弧滑动,但圆弧滑动范围有限,和实际滑坡范围不符。松动岩层与下伏岩层具有一致的产状,且层面相对脱开、充填次生黏土夹层,沿松动岩层滑动和实际滑坡情况相符。边坡失稳后,采取压脚回填的应急处理措施,使坡体变形得到抑制,这表明滑面未通过下部岩层,不是深层滑动。滑坡失稳后在坡体上不同部位的测斜结果表明滑动面深度为 5 m ~ 8 m,均处在松动岩层内,且处于同一层位,据此可确定滑面底界,根据滑坡后勘察结果,确定边坡的地质概化模型,见图 2,据此建立极限平衡分析模型,见图 3。根据滑坡后滑面岩体的试验结果确定松动岩层的强度参数取值范围为: $c = 10 \text{ kPa} \sim 30 \text{ kPa}$, $\varphi = 10^\circ \sim 18^\circ$,反分析边坡失稳时(安全系数为 0.96 ~ 0.98)的松动岩层强度^[16],得到: $c = 15 \text{ kPa}$, $\varphi = 14^\circ$ 。采用松动岩层强度对开挖前自然坡进行稳定性分析,边坡沿松动岩层滑动的安全系数为 1.14,和自然坡保持稳定相一致。

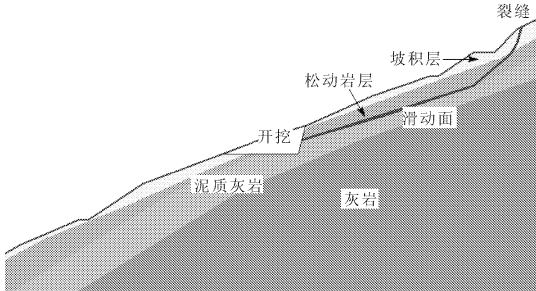


图 2 边坡地质模型

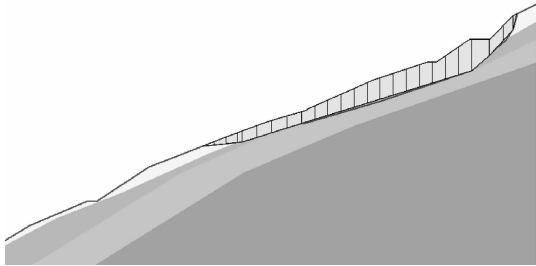


图 3 自然坡稳定性分析模型

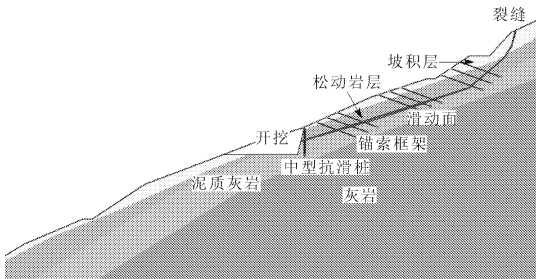


图 4 边坡加固设计模型

边坡失稳时的松动岩层强度仅为: $c = 15 \text{ kPa}$, $\varphi = 14^\circ$, 这个强度值不仅远低于风化岩层的强度, 也低于坡积层强度, 因此绝不能将其看作风化岩层, 应在勘察中引起足够重视。

若在边坡开挖前采用断面 1.5 m 的圆型抗滑桩进行预先加固(见图 4), 边坡安全系数达到 1.21 , 可避免开挖后边坡失稳。开挖坡面后再用锚杆框架加固, 边坡安全系数达到 1.28 , 满足工程稳定性要求。此外, 对地表水进行排截: 在坡体设置截排水沟、引水沟, 避免降雨入渗软化松动岩层造成不利影响。

4 结 语

本文提出了不同于工程开挖造成的岩石松动区的松动岩层概念, 定义其为岩质边坡在地质历史演化过程中, 在内外营力作用下, 由于时效变形而产生的工程性质较差的岩层。对松动岩层的形成机制和工程特性进行了分析, 通过工程实例分析结果表明, 松动岩层与原岩性质差别极大, 提出应采取预先加固的工程处治措施。主要结论如下:

(1) 传统上, 工程地质勘察将松动岩层视作风化岩体, 其抗剪强度按原岩强度进行适当折减, 而松动岩层抗剪强度是由层间或层间夹层抗剪强度控制, 与风化岩体的抗剪强度相差极大。因此在工程勘察时, 应将其作为特殊岩体对待。有条件的情况下应进行现场槽探, 弄清松动岩层厚度、分布范围、层间错开和填充情况, 如层间是否有泥质填充、脱开或原生软弱夹层等, 以便合理进行边坡设计。

(2) 工程开挖边坡时, 在降雨入渗作用下, 松动岩层间抗剪强度大幅下降, 极易发生大面积浅层顺层滑坡。建议在边坡开挖前采用抗滑桩进行预先加固, 开挖后采用锚杆(锚索)框架及时加固坡面, 并做好截排水措施, 避免造成开挖后的大面积滑坡。

参考文献:

- [1] 黄润秋. 岩石高边坡发育的动力过程及其稳定性控制[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(8): 1525-1544.
- [2] 任 刚, 邢 民, 荆艳会, 等. 受控于结构面的岩质高边坡失稳预测技术研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(6): 48-53.
- [3] 李 舟, 孙书伟. 典型顺层岩石滑坡发生机理与防治对策[J]. 铁道建筑, 2013(2): 78-80.
- [4] 王长军. 岩体结构形成及演化规律在公路边坡的应用[J]. 公路, 2012(5): 47-52.
- [5] 张江伟, 李小军, 迟明杰, 等. 滑坡灾害的成因机制及其特征分析[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(6): 42-49.
- [6] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433-454.
- [7] 孙书伟, 马惠民, 张忠平. 顺层高边坡开挖松动区研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(6): 1665-1668.
- [8] 张新辉, 尹健民, 任贤斌. 爆破开挖过程中厂房围岩松动圈测试与分析[J]. 人民长江, 2015, 46(11): 36-39.
- [9] 刘永胜, 彭 立, 王梦恕, 等. 爆破作用下隧道裂隙围岩破裂范围[J]. 中国公路学报, 2015, 28(10): 83-89.
- [10] 朱桂利. 爆破作用下张河湾水电站岩体松动圈实测研究[J]. 铁道建筑技术, 2011(S1): 262-265.
- [11] 纪洪广, 向 鹏, 张 磊, 等. 开采扰动岩体力学性质变异试验研究与探测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(11): 2352-2359.
- [12] 毕 昆, 王 卫, 张 军. 岩质边坡开挖松动区研究现状[J]. 煤炭科学技术, 2014(S2): 70-73.
- [13] 袁从华, 吴振君, 陈从新, 等. 山区高速公路边坡勘察设计常见问题分析[J]. 岩土力学, 2010, 31(S1): 271-278.
- [14] 万宗礼, 聂德新. 坝基红层软岩工程地质研究与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [15] 赵 森, 黄 磊. 秭归县三分田滑坡成因分析及稳定性评价[J]. 水利与建筑工程学报, 2016, 14(3): 113-117.
- [16] 葛云峰, 唐辉明, 熊承仁, 等. 滑动面力学参数对滑坡稳定性影响研究——以重庆武隆鸡尾山滑坡为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(S2): 3873-3884.