

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.04.03

三峡库区秀龙村反倾岩质边坡变形破坏机理分析

易 武^{1,2,3}, 赵宏渠^{1,2,3}, 黄海峰^{1,2,3}, 邓永煌^{2,4}, 闫国强^{1,2,3}

(1. 三峡大学土木与建筑学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 湖北长江三峡滑坡国家野外科学观测研究站, 湖北 宜昌 443002; 3. 三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心, 湖北 宜昌 443002; 4. 三峡大学科技学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 由于岩质边坡在长期的地质历史环境中接受改造, 形成很多结构面(如层面、裂隙面、节理面), 这些“预制的”结构面控制着边坡的变形与发展。在调研工程区域地质条件的基础上, 研究了边坡开挖特征、边坡病害发生情况。对秀龙村边坡的节理裂隙开展了调查分析工作, 基于玫瑰花图和赤平投影, 结合边坡面产状, 得到边坡潜在的破坏模式。以过程机制分析法为基础, 分析秀龙村反倾岩质边坡的变形破坏的基本规律, 追溯边坡演变的全过程, 为库区节理岩质边坡地质灾害防治, 提供借鉴依据。

关键词: 结构面; 赤平投影; 破坏模式; 过程机制分析法

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)04-0013-05

Failure mechanism of the rock slope at Xiulong, the Three Gorges area

YI Wu^{1,2,3}, ZHAO Hongqu^{1,2,3}, HUANG Haifeng^{1,2,3}, DENG Yonghuang^{2,4}, YAN Guoqiang^{1,2,3}

(1. College of Civil Engineering & Architecture of Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China; 2. National Field Observation and Research Station of Landslides in Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River, Yichang, Hubei 443002, China; 3. Collaborative Innovation Center for Geo-Hazards and Eco-Environment in Three Gorges Area, Yichang, Hubei 443002, China; 4. College of Science and Technology of Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China)

Abstract: Due to rock slope accept the transformation in the long geological history environment, forming a lot of structural plane (Like: level, fracture surface, joint surface), This “prefabricated” structural plane controls the deformation and development of the slope. On the basis of regional geological conditions in the research project, studied the slope excavation characteristics, disease occurrence. The Investigation and analysis work of joint fissure surface of Xiu Long slope was carried out, based on rose diagram and stereographic projection, combined with slope surface occurrence, obtained the potential failure mode of the slope. On the basis of the method of process mechanism analysis, analysis of the basic law of the deformation and failure of the Xiu Long anti dip rock slope, traced back the whole process of slope evolution. For the prevention and control of geological hazards of jointed rock slope, provide reference basis.

Keywords: structural plane; stereographic projection; failure model; process mechanism

收稿日期: 2016-03-12; 修订日期: 2016-09-07

基金项目: 国家自然科学基金(41172298, 41302260); 湖北省自然科学基金创新群体项目(2012FFA040); 湖北重大科技支撑计划项目(2015BCE070)

第一作者: 易 武(1966-), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向为边坡稳定性及其预测预报。E-mail: 397745802@qq.com

通讯作者: 赵宏渠(1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事地质灾害防治研究工作。E-mail: 785095698@qq.com

0 引言

节理是岩石在漫长的地质演化过程中,经过多次地质构造运动作用所形成的面、缝、层等软弱地质界面^[1]。岩体内大量节理裂隙的存在大大地改变了岩体的破坏与失稳方式,岩体的破坏与失稳总是伴随着原有节理裂隙的演化、扩展和贯通,且强烈地受到内部裂隙面性状及其分布的影响、制约、控制^[2-4]。从力学性质上说,节理裂隙的存在与扩展导致岩体力学性质产生了显著“弱化”和强烈各向异性^[5]。

节理岩质边坡作为一种常见的岩体结构,内部往往包含大量随机分布的节理裂隙,它们构成了边坡岩体的结构面和软弱面,这些软弱面的分布、发育程度以及结构面的物理力学性质,控制着边坡变形、强度和稳定性^[6-8]。大量的工程实践表明,几乎所有的边坡失稳都不是一开始就出现的,通常是由于工程活动导致边坡体内应力重分布,使边坡岩体变形在某些结构面或其中的软弱部位逐渐增长发展,或者由于地质条件的恶化,导致边坡岩体中的断续结构面不断蠕变、演化、进而造成岩体的宏观断裂并产生新的滑移贯通面,最终演变为岩石边坡的整体滑移失稳破坏。因此认识岩质边坡节理面的物理力学特性及其演化规律。对边坡的稳定、变形破坏及治理,具有理论和现实意义。

对于反倾岩质边坡,边坡变形、失稳的控制界面是反倾向节理裂隙。受坡体表面覆盖层影响,节理发育的反倾边坡通常状态下很难被察觉,尤其在边坡开挖后,稳定性进一步降低,随时可能发生崩滑破坏。受多组节理切割,在三峡库区香溪河公路逆向边坡开挖,多处发生失稳滑动。本文基于岩质边坡的节理结构与边坡失稳内在关联机制,展开深入而全面的研究。

1 研究区地质概况

兴山县峡口镇秀龙村边坡位于香溪河右岸,祝溪墓河汇入香溪河的入口位置。边坡为砂泥岩互层逆向斜坡,坡面向北东倾斜,坡角约 42° ,边坡南侧边界受控于山脊,北侧以及后缘边界主要受控于节理裂隙的发育。边坡分布高程 190 ~ 237 m,东西向斜长约 42 m,南北向平均宽度约 170 m,面积约 $7.14 \times 10^3 \text{ m}^2$,最大高差约 58 m。根据边坡表面覆盖层以及下伏基岩的构造条件将边坡划分三个区域(图 1)。

I 区主要覆盖第四系崩坡积物,厚度约 0.2 ~ 1 m,砂岩内部节理裂隙颇为发育,中后部可见多处沿基岩节理面顺滑形成的倒坎,并且多处有危岩体及孤

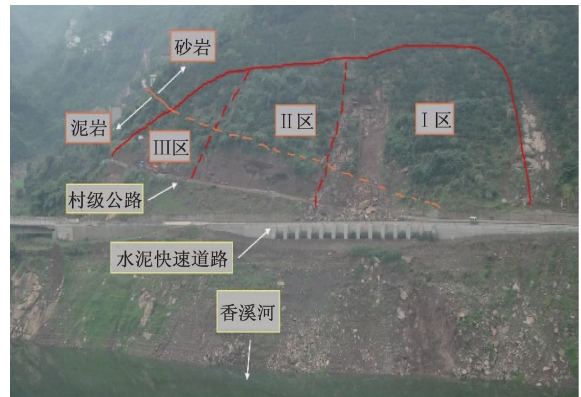


图 1 秀龙村边坡分区示意图

Fig. 1 The schematic diagram of Xiu Long slope division

石分布,体积约 $0.125 \sim 8 \text{ m}^3$ 不等。

II 区主要覆盖第四系崩坡积物,厚度约 0.2 ~ 1 m,下部为强风化泥岩,中上部为砂岩,裂隙发育较短,岩体相对较完整,区内多处有危岩体及孤石分布,体积约 $0.125 \sim 8 \text{ m}^3$ 不等,最大可达 12 m^3 。

III 区主要覆盖第四系滑坡堆积物,厚度约 1 ~ 3 m,局部发生土体坍塌。

2014 年 8 月 31 日,受持续强降雨影响,I 区北侧以及南侧发生小规模岩土体崩滑直接导致下方村级公路被破坏、峡口镇与平邑口之间香溪河右岸水泥硬化道路被迫中断。近段时间以来,该不稳定边坡南侧后缘出现拉张裂缝,并且有逐渐贯通趋势,由于边坡前缘扩建村级公路,边坡被进一步切脚,不利于该边坡的稳定。

根据边坡实地调查,I 区岩层内节理裂隙颇为发育,II 区基岩相对完整,并量测得若干组节理面,见表 1,绘得边坡走向节理玫瑰花图(图 2)。

表 1 节理统计

Table 1 Joint survey

方位间隔	节理数目	平均走向	方位间隔	节理数目	平均走向
$0^\circ \sim 9^\circ$	3	0°	$270^\circ \sim 279^\circ$	2	271.5°
$10^\circ \sim 19^\circ$	3	11.3°	$280^\circ \sim 289^\circ$		
$20^\circ \sim 29^\circ$	3	23.7°	$290^\circ \sim 299^\circ$		
$30^\circ \sim 39^\circ$			$300^\circ \sim 309^\circ$	1	308°
$40^\circ \sim 49^\circ$	1	40°	$310^\circ \sim 319^\circ$	2	312°
$50^\circ \sim 59^\circ$			$320^\circ \sim 329^\circ$		
$60^\circ \sim 69^\circ$			$330^\circ \sim 339^\circ$	1	330°
$70^\circ \sim 79^\circ$			$340^\circ \sim 349^\circ$	1	342°
$80^\circ \sim 89^\circ$			$350^\circ \sim 359^\circ$	5	354.2°

根据边坡结构特征以及走向节理玫瑰花图可知,边坡近南北方向和近东西方向为节理面主要走向,结合实地调查,确定两组优势节理面:① $100^\circ \angle 40^\circ$;②

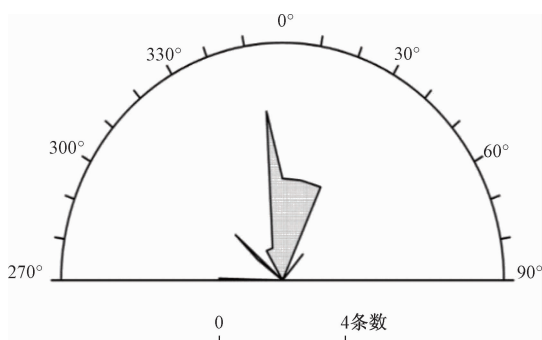


图2 秀龙村边坡节理走向玫瑰花图

Fig. 2 The rose diagram of the joint trend, Xiulong slope

270°∠59°。

2 边坡变形破坏模式及机制分析

2.1 平移滑动破坏模式

平面滑动破坏是指一部分岩体沿着某一结构面,如层面、断层、裂隙、节理面的滑动,其特点是块件运动沿着平面滑移^[9]。

秀龙村 I 区边坡砂泥岩互层,地岩层产状为 280°∠36°,为反倾岩质边坡。由于反倾边坡沿层面没有滑动变形空间,一般情况下是稳定的。反倾岩质边坡的稳定状态取决于岩体总体强度和结构面特征^[10]。

为了直观分析 I 区边坡的稳定性,采用赤平极射投影的方法。依据边坡结构特征以及两组优势节理面,绘制平投影见图 3。

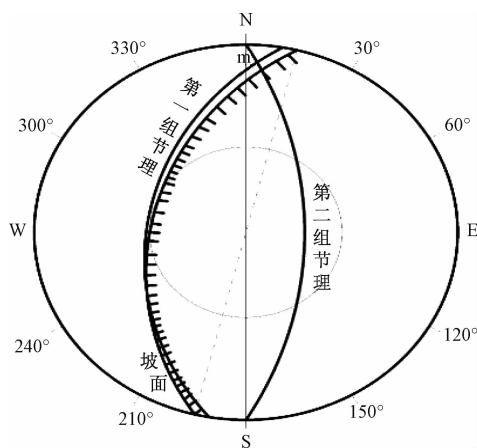


图3 秀龙村边坡节理面赤平投影图

Fig. 3 The stereographic projection of the joint surface, Xiulong slope

由赤平投影分析可知,两组节理相交得到的组合交线落于边坡投影弧同一侧,说明组合交线倾向与边坡产状一致,而组合交点落在下伏基岩坡度范围的小圆外部,说明组合交线倾角小于基岩倾角(图 4)。

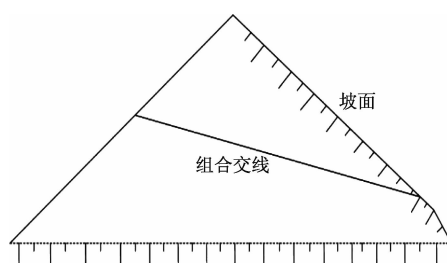


图4 秀龙村边坡节理及组合交线示意图

Fig. 4 The schematic diagram of the joint and the combined intersection

岩质边坡的稳定性首先取决于岩层的产状,当岩层为逆倾时,边坡的失稳受控于节理裂隙的切割,因此,仅从边坡主要节理裂隙切割关系来看,该边坡处于不稳定状态。

岩体被与斜坡近于平行的裂隙(100°∠40°)与斜坡近于直交的裂隙(270°∠59°)的两组优势节理切割,其中顺坡向发育节理面(100°∠40°),成为了边坡平移滑动失稳的潜在控制面。

由于受多组节理切割,岩体碎裂程度较高,形成大小不等的分离块体(图 5)。



图5 I 区边坡南侧崩滑体

Fig. 5 The southern collapse slip of area (I) slope

结构面的密度控制着岩体的完整性和岩块的块度。一般来说,结构面发育愈密集,岩体的完整性愈差,岩块的块度愈小,进而导致岩体的力学性质变差,渗透系增强^[11]。另外,根据调查测量,节理裂隙宽度 5~20 cm,平均间距 50~200 cm,裂隙控制深度 30~150 cm 主要由风化碎石及黏土充填。由于结构面张开且被外来物质充填,则其强度将主要由充填物决定。

通过现场地质调查,砂岩中发育的区域性裂隙,由于泥岩质软,区域性裂隙未揭穿泥岩。但由于修筑道路,泥岩大部分被开挖掉,边坡开挖后,坡体的变化一方面是坡体卸荷,在坡体自重作用下,坡体应力场的改变及坡体表面应力场的重分布,打破了原本稳定的坡体。另一方面是产生了临空面^[12]。

边坡变形破坏的演变过程见图 6。顺坡向发育的节理裂隙是坡体发生平移滑动的控制界面,边坡开挖产生临空面,使得坡体在顺坡向的优势节理面存在的情况下,沿着优势节理面,向临空面产生变形。组合节

理切割加剧了岩体的破碎程度,破碎的岩体有利于雨水的流动,且裂隙空隙被风化碎石及黏土填充,填充物遇水软化,从而强度降低,在边坡的自重作用下,导致边坡发生平移滑动破坏。

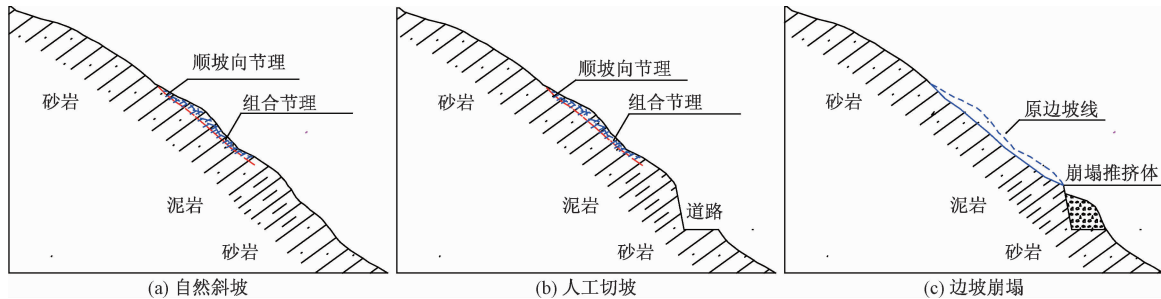


图 6 I 区边坡结构及破坏模式

Fig. 6 Counter layer slope structure and failure

2.2 压缩倾倒

压缩倾倒是指(中陡倾角的)在上硬下软型(V类边坡)的反向坡中,由于下部软弱基座发生不均匀压缩变形,使得上部坡体微弱倾倒(下沉)的一种变形模式。从某种程度上,这种变形是一种复合模式^[13]。

砂岩、泥岩互层是三峡库区地质体典型的不利的地质结构,这种最致命的地质缺陷直接控制着边坡自形成至变形失稳等整个生命期的全过程。

Ⅱ区边坡为逆向坡,基层岩性:中上部为砂岩,下部为强风化泥岩,岩性上硬下软,基岩产状 $280^{\circ} \angle 36^{\circ}$ 。Ⅱ区裂隙发育较短,岩体相对较完整。

但边坡开挖后,泥岩与砂岩形成差异分化,前缘形成内凹地形(图 7)。



图 7 Ⅱ区前缘泥岩内凹地形

Fig. 7 The leading edge mudstone inside notch terrain of area (II)

加之强降雨或连续降雨入渗基岩裂缝,软化边坡下部泥岩,强度降低,且上部砂岩对边坡中下部泥岩形成强烈挤压,致使边坡中下部泥岩部分发生挤压破碎变形导致边坡上部出现拉张裂缝变形(现Ⅱ区后缘)(图 8)。

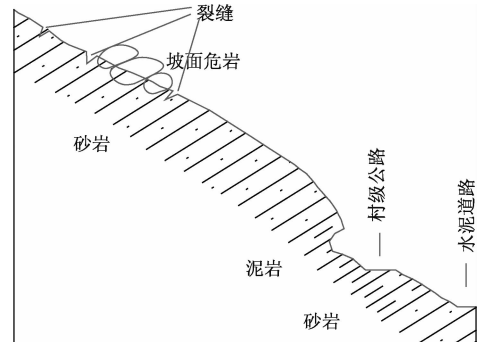


图 8 Ⅱ区边坡结构及破坏模式

Fig. 8 Counter layer slope structure and failure

另外,Ⅱ区内多处有危岩体及孤石分布,体积约 $0.125 \sim 8 \text{ m}^3$ 不等,最大可达 12 m^3 。边坡出现的拉张裂缝,雨季雨水入渗裂缝,产生静水压力,推动危岩体及孤石发生倾倒失稳,危及道路行车及过往行人的安全。

对于Ⅲ区边坡覆盖层相对较厚,地形坡度变缓,边坡稳定性较好,不会发生大规模变形破坏,这里不再探讨Ⅲ区边坡的局部土体变形。

3 结论及建议

三峡库区峡口镇秀龙村不稳定边坡野外现场踏勘的基础上,进行了节理裂隙详细的调查测量和数据分析处理工作。利用玫瑰花图分析节理裂隙分布规律及边坡变形破坏特征,得出以下结论:

(1) I 区边坡节理裂隙发育,利用玫瑰花图和赤平投影分析可知, I 区边坡处于不稳定状态。

(2) 顺坡向发育的节理裂隙是 I 区边坡发生平移滑动失稳的潜在控制面。组合节理切割,加剧了岩体

的破碎程度,导致岩体的力学性质变差,渗透系增强。

(3) 裂隙空隙被外来物质充填,填充物遇水软化,强度降低,且边坡开外为坡体变形提供了临空面,在坡体重力作用下,发生破坏。

(4) II区边坡节理裂隙发育较短,岩体完整,坡脚开挖后,没有像I区边坡那样发生破坏。II区边坡中上部为砂岩,下部为强风化泥岩,岩性上硬下软,泥岩与砂岩形成差异分化,前缘形成内凹地形。下部软弱基座发生不均匀压缩变形,使得上部坡体微弱倾倒。建议及时对II区边坡进行防护加固处理

(5) III区边坡只是局部土体发生变形,不影响,危害性较小,建议对已发生土体坍塌处进行清坡处理。

参考文献:

- [1] 高峰,钟卫平,黎立云,等. 节理岩体强度的分形统计分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004,21:3608-3612.
GAO Feng, ZHONG Weiping, LI Liyun, et al, Fractat and statistical analysis of strength of jointed rocks[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004,21: 3608-3612.
- [2] Amusin B Z. 1979. Mechanical Characteristics of Rock in Place in Analytical Calculations on Rock Pressure Phenomena in Workings. Sov. Min. Sci. 15.
- [3] Bandis B C, et al. 1983. Fundamentals of Rock Joint. Int. J. Rock Mech. Sci & Geomech, Abstr. 20(6): 203-212.
- [4] Barton N. 1973. Review of a New Shear Strength Criterion for Rock Joints. Engineering Geology, 7.
- [5] 张强勇,向文,朱维申. 节理岩体能量损伤本构模型与工程应用[J]. 工程地质学报, 1999(4): 310-314.
ZHANG Qiangyong, XIANG Wen, ZHU Weishen. Constitutive model for energy damage of jointed rockenmass and its engineering application [J].

Journal of Engineering Geology, 1999 (4): 310-314.

- [6] 凌建明. 节理岩体损伤力学及时效损伤特性的研究 [D]. 上海: 同济大学, 1992.
LING Jianming. Some problems on damage mechanics of jointed rock mass [D] Shanghai: Tongji University, 1992.
- [7] 刘东燕. 二向应力作用下断续节理岩体的强度特性研究 [J]. 贵州工学院学, 1991 (20): 92-98.
LIU Dongyan. Characteristics of rock mass with bidirectional intermittent cross joints [J]. Journal of Guizhou Institute of Technology, 1991 (20): 92-98.
- [8] 许万忠. 节理裂隙边坡稳定性及锚注加固效应研究 [D]. 湖南: 中南大学, 2006.
XU Wanzhong. Study on the stability of jointed slope and the effect of bolting and grouting reinforcement method [D]. Hunan: Central South University, 2006.
- [9] 罗缙锦. 岩质边坡破坏模式初探 [J]. 广东公路交通, 2001 (S1): 11-14.
LUO Zanjing. Study on failure modes of stratified rock slopes [J]. Guangdong Highway Communications, 2001 (S1): 11-14.
- [10] 刘佑荣, 唐辉明. 岩体力学 [M]. 武汉: 中国地质出版社.
LIU Yourong, TANG Huiming. rock mechanics [M]. Wuhan: China Geological Publishing House.
- [11] 杨显文. 开挖边坡稳定性分析及变形破坏机理研究 [J]. 铁道建筑技术, 2015 (2): 100-103+112.
YANG Xiangwen. Analysis of the excavation slope stability and research on the slope deformation Failure Mechanism [J]. Railway Construction Technology, 2015 (2): 100-103+112.
- [12] 苏立海. 反倾层状岩质边坡破坏机制研究 [D]. 西安理工大学, 2008.
SU Lihai. Study on losing stability mechanism of flare rock slopes [D]. Xian University of Technology, 2008.