

# 广西膨胀岩滑坡地质灾害特性与整治技术研究

吴福<sup>1</sup> 朱真<sup>2</sup> 徐炳连<sup>2</sup>

(1. 广西壮族自治区地质环境监测总站, 广西桂林 541003; 2. 广西地矿建设集团有限公司, 广西南宁 530023)

**【摘要】** 膨胀岩滑坡的治理,在地质工程范畴中是一个复杂的技术问题,通过收集广西典型膨胀岩滑坡勘查、设计资料,总结了广西膨胀岩边坡的变形破坏模式,提出了不同工况下力学指标的取值原则,对膨胀岩滑坡的治理提出可行的技术思路。

**【关键词】** 膨胀岩;滑坡;地质灾害

**【中图分类号】** TU 443;P642.22

**【文献标识码】** A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2018.01.011

## Study on the Geological Hazards Features and Remediation Techniques of Swelling Rock Landslides, Guangxi, China

Wu Fu<sup>1</sup> Zhu Zhen<sup>2</sup> Xu Binlian<sup>2</sup>

(1. Guangxi Geological Environment Monitoring Station, Guilin 541003, Guangxi, China;

2. Guangxi Geological Construction Group Co., Ltd, Nanning 530023, Guangxi, China)

**【Abstract】** Remediation of landslides in swelling rocks is one of the extreme complexities in the field of geological engineering. The patterns of slope deformation and the consequent destructions are summarized based on the data of investigations and designs aiming at remediation for landslides in the typical swelling rocks, and the principle of the mechanical index determination in various application conditions are put forward as well, which would greatly facilitate the feasibilities in the remediation of landslides in swelling rocks.

**【Key words】** swelling rocks; landslide; geological hazards

### 0 引言

鉴于广西膨胀岩滑坡的治理无可借鉴的有效岩土参数,本文在收集广西膨胀岩滑坡治理工程项目的基礎上,通过分析广西膨胀岩边坡的变形破坏模式、破坏特点及破坏机理,总结了广西膨胀岩边坡综合防治措施,应以“缓边坡宽平台、坡脚支挡、坡面防护、长期监测”的技术路线为指引,做好边坡排水工程后,采取以坡脚支挡为主,坡面防护、绿化、监测相结合的系统治理为研究方向。

### 1 膨胀岩的基本物理特性

广西是我国典型的膨胀岩分布地区,其主要分布于南宁、百色、平果及宁明盆地,岩性以第三系泥岩、粉砂质泥岩为主。据收集上述地区 43 份典型膨

胀岩滑坡勘查资料,天然含水量为 12.4%~45%,密度为 1.66~2.27 g/cm<sup>3</sup>,孔隙比为 0.36~1.14;液限为 22.4%~62.6%,塑限为 13.3%~37.2%,塑性指数为 6.0~29.5,液性指数为 -1.05~0.69。一般情况下,天然状态下的膨胀岩呈硬塑坚硬态,其天然含水量小于塑限,液性指数接近或小于 0。膨胀岩常具有天然含水量高,孔隙比大,密度小等特点。膨胀岩的胀缩特性是产生裂隙的最主要因素,当地下水或大气降水沿裂隙贯入时,极易形成软弱结构面,这是导致膨胀岩边坡不稳定的主要因素。

### 2 膨胀岩边坡变形破坏机理及影响因素

#### 2.1 变形破坏机理

膨胀岩含水量的反复变化会引起岩体产生湿胀

干缩循环效应,致使岩体裂隙发育,强度降低。当边坡的前缘、中部及后缘产生裂缝时,就为地表水的贯入提供了通道,给边坡岩体强度的衰减提供了条件,进而使边坡前缘先行产生蠕动至滑动的过程。经过反复渐进性变形破坏<sup>[1]</sup>,各滑动面相互贯通,最终形成牵引式滑坡。

从所收集的广西膨胀岩滑坡工程实例分析可知,膨胀岩滑坡具有浅层性,浅层牵引式滑坡(滑动面深度小于5 m)约占调查总数的75%;且多发生在雨季,特别是长期干旱后的第一个雨季。

### 2.2 膨胀岩边坡失稳的影响因素

通过分析研究膨胀岩滑坡的变形特征,其变形滑动主要受膨胀岩的膨胀性及多裂隙性、水文地质因素、人类工程活动等内、外因素的影响。

1)膨胀岩的岩性特征为滑坡的形成提供了物质基础。膨胀岩中大量存在的裂隙破坏了边坡岩体的连续性,岩体遇水膨胀软化,强度急剧降低,加剧边坡岩体裂隙的发展形成软弱结构面,软弱结构面的相互贯通最终形成膨胀岩边坡的滑动面,导致边坡失稳。

2)人类工程活动是滑坡形成一个主要因素。在修建建筑或道路时,进行削坡平整场地,改变了原有

的地形地貌,使坡高增加,坡度变陡,破坏了山体的自然稳定条件,并使膨胀岩暴露于大气中,为滑坡的形成创造了人为条件。

3)水是诱发滑坡发生的重要因素。由于泥岩的特殊性,遇水软化膨胀,失水开裂,都将使其强度降低,加之水的入渗使滑体重度增加,滑带强度降低,并对滑动面起到润滑作用,是诱发边坡滑动的直接原因。

### 3 膨胀岩边坡稳定性计算参数的选择

广西膨胀岩多表现为透水性差的泥岩,滑坡的滑动面主要发育在岩土分界面及软弱夹层,滑动面的形式为圆弧形或折线形,滑带土在不同工况下抗剪强度参数的确定是边坡稳定性分析的关键。

岩土体的抗剪强度值,应由室内剪切试验、现场剪切试验、反算法以及工程地质类比法等综合分析确定。广西膨胀岩土体抗剪强度统计分析见表1、表2。表1、表2的数值可作为推荐滑带土及泥岩抗剪强度经验值时参考。

滑带抗剪强度指标取值原则:整体暂时稳定的滑坡取滑带土峰值强度、变形滑动的滑坡取滑带土残余强度、未形成滑带的变形体取滑体土峰值强度。

表1 广西膨胀土地区滑坡滑带土抗剪强度取值统计表

统计	天然		饱和	
	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$
最大值	26.00	12.00	18.00	10.38
最小值	8.00	6.00	7.00	5.00
平均值	11.37	8.43	9.82	7.13
组数	32	32	32	32

表2 广西膨胀土地区边坡工程岩土体抗剪强度统计表

土类	统计	天然直剪		残余剪		现场天然大剪		现场饱和大剪		饱和快剪	
		c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$
粉砂	最大值	16.00	25.00	13.00	24.00						
	最小值	8.00	15.00	5.00	19.00						
	平均值	12.13	22.87	8.25	21.00						
	组数	15	15	15	15						
细砂	最大值	14.00	25.00	10.00	22.00						
	最小值	8.00	19.00	5.00	17.00						
	平均值	11.00	21.90	8.00	20.80						
	组数	15	15	15	15						
黏土	最大值					17.20	13.28				
	最小值					3.70	3.97				
	平均值					10.24	7.33				
	组数					15	15				

续表

土类	统计	天然直剪		残余剪		现场天然大剪		现场饱和大剪		饱和快剪	
		c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$
粉质黏土	最大值					32.00	6.00				
	最小值					20.00	3.00				
	平均值					24.86	4.14				
	组数					15	15				
泥炭	最大值							9.09	7.02		
	最小值							8.13	6.19		
	平均值							8.61	6.61		
	组数							15	15		
泥岩	最大值	127.00	24.60							51.24	17.33
	最小值	40.80	3.30							24.53	7.00
	平均值	82.31	16.07							32.39	10.41
	组数	15	15							15	15

#### 4 膨胀岩边坡的防治

膨胀岩边坡的治理,应以“缓边坡宽平台、坡脚支挡、坡面防护、长期监测”的技术路线为指引,首先做好排水工程,采取以坡脚支挡、坡面防护和监测工程相结合的系统治理思路。

##### 4.1 膨胀岩滑坡预防

膨胀岩滑坡的预防,应始终贯彻勘察、设计直至施工阶段,减少滑坡所造成的经济损失。在勘察阶段,应通过充分的勘察手段查明工程建设场地内岩土体的工程地质特性,对于可能产生的膨胀岩边坡应进行稳定性分析及评价,如果存在大型滑坡的可能性时,应进行多方案比选,采取绕避原则。在进行膨胀岩边坡的治理设计时,应充分了解膨胀岩边坡的滑坡变形机理及影响因素,采取有效的防治措施,不能单纯靠削坡减载治理膨胀岩边坡。在施工过程中,应防止施工不当造成边坡岩土体含水量的变化,应尽量选择早季施工。同时施工过程中应合理安排排水、开挖、支挡等工程施工的先后顺序。

监测工作应贯穿勘察、设计、施工和治理后的维护阶段,及时对滑坡的发生、发展状况进行预报。

##### 4.2 膨胀岩边坡的主要防治措施

###### 4.2.1 排水工程

膨胀岩土滑坡防治工程均应布置排水系统。排水工程设计,应在滑坡防治总体方案基础上,结合工程地质、水文地质条件及降雨条件,制定地表排水、地下排水或二者相结合的方案。地表排水工程的设计标准,应根据防护对象等级所确定的防洪标准予以确定,并依此确定排水工程建筑物的级别、安全超高及

安全系数。当滑坡体上存在地表水体,且应保留时,应进行防渗处理,并与拟建排水系统相接。地下排水工程,应视滑动面状况、滑坡所在山坡汇水范围内的含水层与隔水层水文地质结构及地下水动态特征,选用隧洞排水、钻孔排水或盲沟排水等方案。有明显开裂变形的坡体,应及时用黏土或水泥浆填充裂缝,整平积水坑、洼地,使降雨能迅速沿排水沟汇集、排走。

为消减岩土体的胀缩性,排水沟底部和侧壁需垫中粗砂 100~200 mm,并在垫层上设置厚度 100 mm 的 C10 混凝土。

###### 4.2.2 放坡、坡面防护与绿化

滑坡整体稳定但其坡面岩土体易风化、剥落或有浅层滑塌、滑落及掉块等时,应进行坡面防护。滑坡坡面防护工程应在稳定滑坡上设置。对不稳定的或存在不良地质因素的滑坡,应先进行滑坡治理后进行坡面防护与绿化。滑坡坡面防护应根据工程区域气候、水文、地形、地质条件、材料来源及使用条件,采取工程防护和植物防护相结合的综合处理措施,并应考虑下列因素经技术经济比较确定:

- 1) 坡面风化作用;
- 2) 雨水冲刷;
- 3) 植物生长效果、环境效应;
- 4) 膨胀、收缩、干裂作用;
- 5) 坡面防渗、防淘刷等需要;
- 6) 其他需要考虑的因素。

膨胀岩土滑坡一般不宜采用放坡法治理,当地有放坡条件及运土等工作条件时,才考虑放坡治理法。对于膨胀岩土滑坡采用放坡治理时应进行整体稳定性

验算,当场地条件及土料来源条件允许时,放坡后裸露的膨胀岩土边坡可采用非膨胀黏性土回填“包盖”的方法进行治理,必要时可配合加筋进行回填。

植草宜选用易成活、生长快、叶茎矮或有匍匐茎的多年生当地草种;草种的配合、播种量等应根据植物的生长特点、防护地点及施工方法确定;应尽量选种抗逆性强、耐旱品种。铺草皮适用于需要快速绿化的滑坡;草皮应选择茎矮叶茂耐旱草种,不宜采用喜水草种,严禁采用生长在泥沼地的草皮。植树树种应选用根浅及耐旱不喜水的低矮灌木及乔木类。膨胀岩不宜直接种植植被,建议喷洒生态土壤稳定剂,并且选择抗逆性强的植被混播,尽量均匀撒种。

#### 4.2.3 抗滑桩支挡

经调查广西成功的膨胀岩滑坡治理工程可知,抗滑桩在治理工程中最常用。采用抗滑桩进行坡脚支挡,能平衡滑面以上的下滑力,工程实践表明,采用抗滑桩最有效,多用于大、中型滑坡的治理。分析膨胀岩边坡抗滑桩治理成功案例,抗滑桩的设计与施工应遵循以下原则<sup>[3]</sup>:

1) 采用抗滑桩对滑坡进行分段阻滑时,每段宜以单排布置为主,若弯矩过大,应采用预应力锚拉桩。

2) 抗滑桩桩长宜小于 35 m。对于滑带埋深大于 25 m 的滑坡,采用抗滑桩阻滑时,应充分论证其可行性。

3) 抗滑桩间距(中对中)宜为 2~6 m。抗滑桩嵌固段应嵌入滑床中(见图 1),如果滑动面位于大气影响急剧层深度范围内,有效嵌固段长度从大气影响急剧层深度算起,大气影响急剧层深度从桩前坡面点计。为了防止滑体从桩间挤出,应在桩间设钢筋混凝土挡板、锚喷等方法。

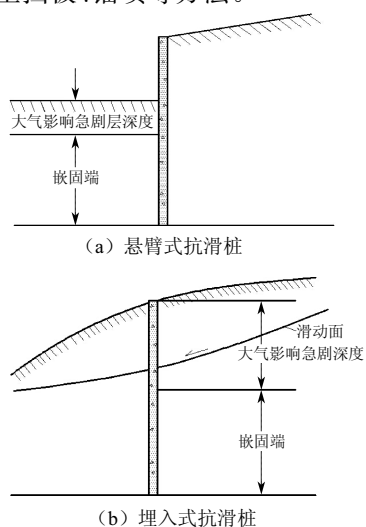


图 1 抗滑桩嵌固端深度示意图

#### 4.2.4 格构锚固

格构锚固技术是利用浆砌块石、现浇钢筋混凝土或预制预应力混凝土进行坡面防护,并利用锚杆或锚索固定的一种滑坡综合防护措施。格构锚固护坡适用于较陡的边坡,锚杆(索)宜短、密,即滑动面较浅;当滑动面较深,锚杆(索)需要很长时,支护效果不佳。

格构技术应与美化环境结合,利用框格护坡,并在框格之间种植花草,达到美化环境的目的。同时,应与市政规划、建设相结合,在防护工程前沿,可规划为道路、广场或其他建设用地,在护坡工程体内,可预留管网通道。

根据滑坡结构特征,选定不同的护坡材料;当滑坡稳定性好,但前缘表层开挖失稳,出现坍塌时,可采用浆砌块石格构护坡,并用锚杆固定;当滑坡稳定性差,且滑坡体厚度不大,宜用现浇钢筋混凝土格构+锚杆(索)进行滑坡防护,应穿过滑带对滑坡阻滑;当滑坡稳定性差,且滑坡体较厚,下滑力较大时,应采用混凝土格构+预应力锚索进行防护,并应穿过滑带对滑坡阻滑。

在进行格构锚固的设计及施工时,锚杆自由段的长度必须穿过滑动面,并且要满足超过大气影响深度,使锚固体置于比滑动面更深的稳定地层上,保证整个边坡的稳定性。广西南宁地区的大气影响深度为 8~10 m。锚杆(索)必须干钻施工,且严格控制地表水及地下水(裂隙水和孔口入水)的影响,减少因膨胀岩软化而对锚杆(索)受力的影响。

## 5 结 论

本文在收集、调查研究广西膨胀岩地区各种边坡、滑坡的勘查、设计资料基础上,首先统计分析膨胀岩的物理力学特性,给出了滑带土及泥岩抗剪强度等的推荐经验值,并分析总结出广西膨胀岩边坡的变形破坏模式、破坏特点及破坏机理,最后结合膨胀岩边坡治理的成败经验,总结出膨胀岩边坡综合防治措施,得出以下结论:

1) 膨胀岩边坡的变形破坏模式主要表现为浅层渐进性牵引式,多发生在雨季。

2) 通过分析研究膨胀岩滑坡的变形特征,认为膨胀岩的岩性特征为滑坡的形成提供了物质基础,人类工程活动和水的作用是滑坡的形成诱发因素。

3) 滑带抗剪强度指标取值原则:整体暂时稳定的滑坡取滑带土峰值强度、变形滑动的滑坡取滑带土残余强度、未形成滑带的变形体取滑体土峰值强度。

4) 膨胀岩边坡的治理,应以“缓边坡宽平台、坡脚支挡、坡面防护、长期监测”的技术路线为指引,做好边坡排水工程后,采取以坡脚支挡为主,坡面防

护、绿化、监测相结合的系统治理方案。

### 参 考 文 献

[1] 范秋雁. 膨胀岩与工程[M]. 北京: 科学出版社,

2008: 18-44.

[2] 蒋忠信, 李敏, 牛怀俊, 等. 南昆铁路膨胀泥岩路堑边坡工程试验[J]. 路基工程, 1999, 17(5): 35-42.

[3] 广西壮族自治区质量技术监督局. DB45/T 1250-2015 膨胀岩土滑坡防治工程技术规范[S], 2016.

(上接第40页)

该边坡工程安全等级为二级, 使用年限50年, 边坡稳定性计算工况为自重+暴雨工况, 按有限范围填土计算土压力, 经计算支护完成后边坡整体稳定安全系数1.31, 满足规范要求, 工程竣工已接近4年, 支护结构安全可靠, 沉降变形符合设计要求, 沉降变形情况见图9。

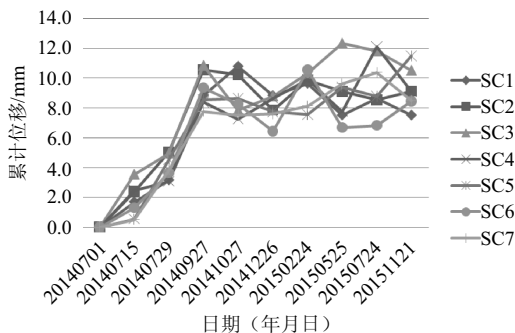


图9 坡顶水平位移累计值监测曲线

## 4 结 论

1) 对于紧邻建筑物的山体, 爆破开挖前, 应确定合理的坡度及坡面形状, 严格控制爆破技术参数, 爆破完成后及时清除坡面残留堆积体, 对含黏土矿物的泥岩等软岩边坡应及时进行支护治理。

2) 边坡卸荷开挖后, 应力重新分布, 坡肩(坡面与坡顶线交界处)附近, 坡面的径向应力和坡顶的切向应力转化为拉应力, 形成张力带, 导致坡顶岩体崩塌体从地面开裂, 向临空面倾倒逐渐脱离母体, 建议边坡爆破开挖后采用预加固方式, 提前对坡体进行处理, 人为限制开挖导致的坡体进一步损伤, 以及可能导致的变形失稳破坏。

3) 无空间的崩塌堆积体滑坡属于牵引式滑坡, 其滑坡治理可采用反压护道的形式, 堆土形成施工平台, 减缓或阻止坡顶裂隙扩张和残留堆积体溃散性下滑, 施工平台以下滑坡体治理采用常规的护坡桩结构, 施工平台以上滑坡体治理可采用施工速度快的柱板墙+锚杆结构, 而后进行坡顶崩塌体卸荷, 严格控制坡率, 选用对坡面形状适应性强的锚杆格子梁进行坡顶崩塌体的治理, 如此既避免了施工扰动可能导致滑坡的风险, 确保了坡底建筑施工安全和进度要求。

### 参 考 文 献

[1] 李波涛, 朱南鸥. 山区高速高边坡防治工程病害研究[J]. 中国水运, 2011(5): 223-225.

[2] 胡斌, 黄润秋. 软硬岩互层边坡崩塌机理及治理对策研究[J]. 工程地质学报, 2009, 17(2): 200-205.

[3] 徐永年, 匡尚富, 李文武, 等. 边坡形状对崩塌的影响. 泥沙研究, 1999(5): 67-73.

[4] 许强, 彭大雷, 为乐, 等. 溃散性滑坡成因机理初探. 西南交通大学学报, 2016(5): 995-1004.

[5] 李承海, 罗庆锋. 降雨对土质边坡稳定性影响分析[J]. 岩土工程技术, 2007: 313-314.

[6] 邵江, 许吉亮. 一种断层影响基岩滑坡的失稳机理和稳定性分析[J]. 岩土工程技术, 2008(22): 299-303.

[7] 吕杰堂, 朱继永, 李钟. 边坡破坏概率分析及其在渔洞河古滑坡稳定评价中的应用[J]. 岩土工程技术, 2000(4): 195-199.

收稿日期: 2017-11-15