广西宁明膨胀土胀缩活动带特征及滑坡破坏模式研究

刘龙武，郑健龙，缪 伟
（长沙理工大学公路工程学院，湖南 长沙 410076）

摘 要：通过对南（宁）友（谊关）高速公路宁明下第三系湖相风化泥岩及其残积土路堑边坡的系统地质调查、现场监测，对比研究了膨胀土自然边坡和路堑边坡胀缩活动带的含水率、地温、收缩系数及50 kPa下膨胀量随深度的变化特征，结合对边坡胀缩裂隙与滑坡体形态要素的相关性分析，提出了胀缩活动带滑坡的半定量破坏模式，为有效进行工程处治提供了依据。

关键词：膨胀土；路堑；胀缩活动带；破坏模式
中图分类号：TU443 文献标识码：A 文章编号：1000－4548(2008)01－0028－06

作者简介：刘龙武(1962－)，男，副教授，博士研究生，从事地质和岩土工程研究。E-mail: cscullw@163.com。

Researches on characteristics of swell and shrinking active zone of expansive soil and failure mechanism of landslides

LIU Long-wu, ZHENG Jian-long, MIAO Wei
(School of Highway Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: Through geological investigation and field monitoring of Ningming tertiaryi limnic weathered mudstone and residual soil cut slopes of Nanning-Youviguan, Express the characteristics of water content, temperature, shrinking coefficient, swelling quantity variation under 50 kPa with depth of natural slopes and cut slopes in swell and shrinking active zone of expansive soil were studied. In connection with the correlation analysis between swell and shrinking fissure of slopes and behavior of landslides, a half-quantitative failure model for landslides of swell & shrinking active zones was proposed. It could provide reference to effective engineering treatment.

Key words: expansive soil; cut slope; swell and shrinking active zone; failure mechanism

0 引 言

膨胀土具有胀缩性、裂隙性和超固结性的工程性质。由于富含膨胀性岩土矿物，随水分变化产生显著的干缩湿胀变形，使得膨胀土工程问题与水损害作用密切相关。地表气候作用引起膨胀土路堑边坡浅表层土体水分发生干湿循环变化，并引发土体的反复胀缩活动，从而形成膨胀土边坡的胀缩活动带。许多学者就气候干湿循环作用对膨胀土边坡浅表层的影响开展了研究，廖世文[1]系统阐述了膨胀土边坡风化带的地质特征及大气影响深度的确定方法，石庆华[2]对湖北荆门地区膨胀土进行了为期10 a的观测研究，提出了膨胀土活动带的概念，并取长期观测下含水率变化幅度为1%的深度为活动带深度。黄绍铿等[3]在南宁郊区开展了天然膨胀土场地基质吸力和土层变形综合观测研究，发现南宁地区气候影响深度超过4.5 m。本文通过开展对南友路宁明盆地膨胀土路堑边坡胀缩活动带土体工程性质和滑坡破坏特征的研究，提出胀缩活动带滑坡半定量破坏模式，以便为工程处治提供依据。

1 工程地质和气候条件

宁明盆地为典型的膨胀土地区，盆地受东西向构造断裂控制，地貌呈垄岗式低丘，浅而宽的沟谷，地形坡度平缓，一般为8～15°，无明显的自然陡坎。膨胀土按其成因可大致归纳为3类[4]：①冰川泥砾及上覆的洪积土；②那读组风化的残积－坡积土；③明江一、二级阶地的冲积物。据区域地质资料及工程勘察，该区膨胀土属下第三系始新统那读组湖相黏土岩的残积－坡积土。采用工程地质对比法对全线膨胀土路堑边坡剖面的层状宏观结构面（土层分界面、风化带界面和地下水界面）的空间分布特征进行现场直接观测，将统计分析结果制成分布模式剖面图如图1。

宁明县地处广西南部，属于典型的南亚热带海洋型季风气候，4月～10月为夏季，平均气温23～28℃；11月～次年3月为冬春季，平均气温13～19℃。年平

基金项目：交通部西部交通科技资助项目（2002-318000）
收稿日期：2007－02－05

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

均气温 22.1℃，年平均降雨量约 1200 mm。项目组在 2004 年 7 月～2005 年 6 月间对工地降雨量和蒸发量等气候要素进行了观测，结果如图 2 所示。据此资料参照规范方法[5]估算得到该地区边坡土的湿度系数为 0.529，大气影响深度为 5.51 m，大气影响急剧层深度为 2.48 m。

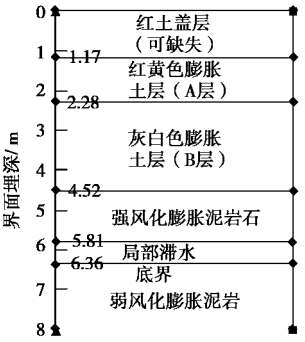


图 1 宁明盆地风化带与膨胀岩土分布模式柱状图

Fig. 1 Weathered zone in Ningming basin and profile of expansive soil column

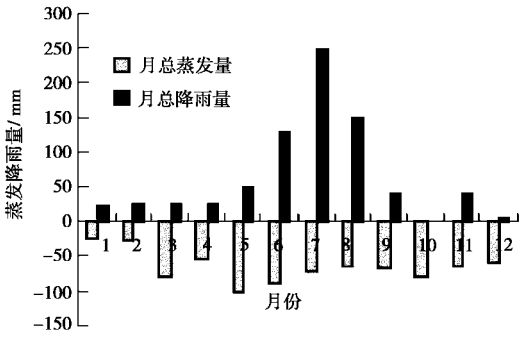


图 2 宁明地区月蒸发量和降雨量分布情况

Fig. 2 Monthly distribution of evaporation and rainfall quantity in Ningming

2　胀缩活动带的双层结构特征分析

2.1　土体温度变化特性

为得到开挖边坡的温度场变化特征，在 AK0 路堑边坡顶部施工了 2 个钻孔，在 3，5 m 处分别埋设了 4 个温度传感器，并在新开挖的坡面顶部 3 处挖坑，按深度 0.15，0.5，1.0 m 依次埋设了 9 个温度传感器，观测工作从 2004 年 4 月～2005 年 3 月，共观测 70 余次，观测结果见图 3。从图中可以看到，路堑边坡土体的温度随时间的变化的规律是：夏季温度梯度很小，冬季由表及里温差较大，5 m 深度处全年温度变化已趋于平缓。统计分析得到各个深度温度的年变幅及平均温度，地温变幅随深度增加迅速衰减的趋势，以变幅 70%为剧烈变化，则地温剧烈变化层的厚度约为 1.8 m。由于 5 m 深度地温仍存在一定的变幅，因此地温变化深度大于 5 m。

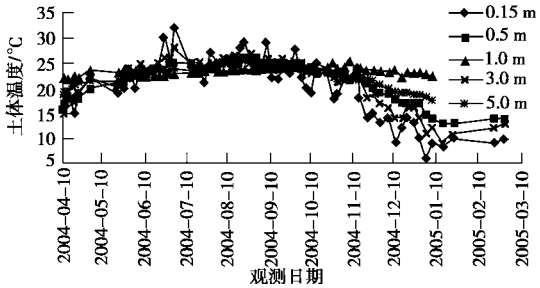


图 3 不同深度土体温度随时间变化

Fig. 3 Varation of soil temperature with time at different depths

2.2　天然含水率变化特征

2004 年 4 月对南友路 K135 和 K138 天然边坡和 2005 年 3 月对 K133 路堑边坡进行钻探取样，所测得的含水率变化情况如图 4 所示：其中可见两个主要特征点，水分的变幅在 6 m 以后趋于平缓，在 2 m 出现第一个均衡段。

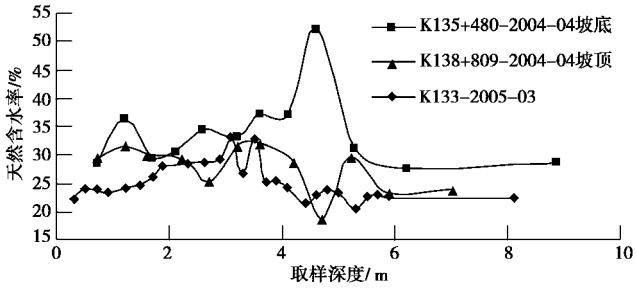


图 4 边坡土体天然含水率随深度变化

Fig. 4 Relationship between natural water content and depth of soil

2.3　胀缩变形性质

为得到膨胀土边坡的胀缩变形特性，分别于 2004 年 4 月和 2005 年 3 月在 K135 和 K138 自然边坡和 K133 开挖边坡进行钻探取样，测试原状土的收缩系数和 50 kPa 下的膨胀率，结果见图 5，6。从图中可以看出，收缩系数和 50 kPa 下的膨胀率随深度的变化曲线都具有以下共同特性：曲线大致成“双峰”型，第一个峰值基本出现在 2 m 附近，第二个峰值在 4.5 m 左右，深度 6 m 以后曲线趋于平缓。

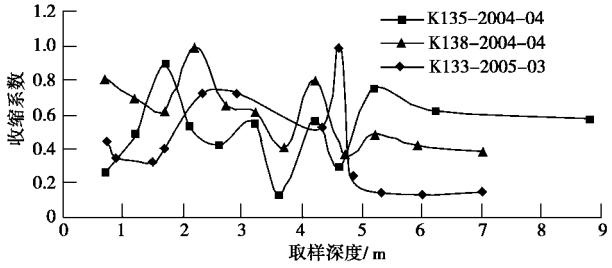


图 5 不同深度土体收缩系数测试结果

Fig. 5 Test results of coefficient of shrinkage for soils at different depths

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 不同参数曲线特征分析

Table 1 Analysis on characterisfics of various parameters

判别标志	测试位置	第一特征点范围/m	第二特征点范围/m	曲线特征描述
天然含水率	K135，K138	2.1	5.3~6.0	双峰曲线，第一特征点取在两曲线的首个重叠段，第二特征点取在曲线尾部平稳段起点
地温	AK0 开挖边坡	1.8	＞5.0	指数衰减型曲线，未得到平稳段，第一特征点取剧烈变化层底界
收缩系数	K133，K135，K138	1.7~2.3	5.3~6.2	双峰曲线，第一特征点取在第一峰值点，第二特征点取在曲线尾部平稳段起点
50 kPa 下膨胀率	K135，K138	1.7~2.1	5.2，>5.9	双峰曲线，第一特征点取在第一峰值点，第二特征点取在曲线尾部平稳段起点

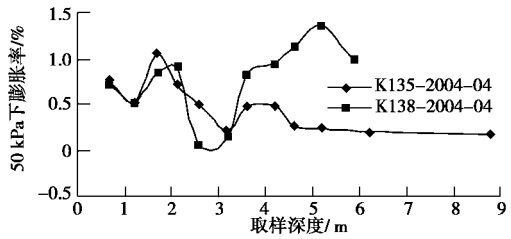


图 6 不同深度土体 50 kPa 下膨胀率测试结果

Fig. 6 Test results of swell vatio of soil under pressure of 50 kPa at different depths

3 胀缩活动带的双层结构特征分析

据钻孔调查结果，按湿度场、温度场及胀缩特性标志对宁明残积膨胀土胀缩活动带土体工程特性做进一步分析，我们可以看到该类边坡胀缩活动带具有二元结构的特征，上部活动带主要发育近地表的 A、B 土层中，下部活动带主要发育在强风化泥岩带中，具体深度范围见表 1。

从表 1 可以看出：①各种标志随深度的变化均明显存在两个特征范围，第一个为 1.7～2.3 m，第二个为 5.2～6.2 m，两者分别对应于宁明膨胀土大气剧烈影响深度和影响深度范围。从本质来看，表中所列的几种标志随深度和时间的变化确实与气候密切相关。②边坡土体的天然含水率表征了土体的湿度场特征，两曲线的首个重叠段表明在边坡表层一定深度存在一个湿度均衡层，其实质是在该深度处水分蒸发和入渗的速率都显著下降，使得该处出现一个相对稳定点，因此可以作为划分边坡上部活动带的依据。收缩系数和 50 kPa 下膨胀率是边坡土体的胀缩变形特性，其大小与土中亲水矿物含量、微观结构和天然湿度、密度状态相关，第一个峰值是由于峰值上部的表层土体长期受到强烈的物理和化学风化作用，削弱了其胀缩特性，使得相对稳定点处土体的胀缩性比表层相对大一些。因此第一个特征深度可认为是边坡的上部胀缩活动带范围的底界。③第二个特征深度已接近气候所能影响的极限，该深度范围以下，土体的天然含水率、地温、收缩系数及 50 kPa 膨胀率等都一一趋于平稳，将其作为边坡的下部活动带底界是不难理解的。④对比分析自然边坡和开挖边坡的胀缩活动带土体的含水率、收缩系数及 50 kPa 膨胀率随深度变化特征，发现开挖边坡含水率出现整体偏低（图 4），2～5 m 段收缩系数偏高（图 5），50 kPa 膨胀率整体大幅提高（图 6）。这说明开挖对膨胀土路堑边坡活动带最为重要的影响是表层蒸发作用和风干失水，失水导致活动带土体的收缩开裂，并大幅提高了活动带土体的 50 kPa 膨胀率，使得路堑边坡活动带的胀缩活动活化。开挖卸荷、风干及近地表强烈的干湿循环等作用激活了路堑边坡活动带的胀缩特性，这是路堑边坡和自然边坡活动带的最大差异。

4 胀缩活动带裂隙特征的地质调查

4.1 收缩裂缝特征的现场调查

笔者对南友路开挖边坡胀缩活动带的胀缩裂缝进行了现场统计测量，根据膨胀土路堑边坡稳定性分析的力学特征及边坡水文地质条件，重点调查了倾角大于 50 ° 的急倾斜竖向裂隙和倾角小于 30 ° 的缓倾斜水平向裂隙两类裂隙，结果见表 2。

表 2 胀缩裂隙延伸长度统计

Table 2 Extended length of swell and shrink fissure m

统计部位	上层土急倾斜裂隙	下层土急倾斜裂隙	上层土缓倾斜裂隙	下层土缓倾斜裂隙
平均值	3.58	1.41	1.55	17.49
均方差	0.5	0.55	0.63	9.8
变化幅度	3.08~4.08	0.86~1.96	0.88~2.18	7.69~27.29
变异系数	0.14	0.39	0.41	0.56
样本容量	58	58	58	46

从表 2 中可见，边坡活动带中上层土体（A 层和 B 层土）及下层土体（强风化泥岩）的竖向裂缝开裂深度平均值分别为 3.58 m 和 1.55 m，反映了上部土层受气候干湿循环引起的破坏深度远比下层土体大。如果将开挖边坡竖向裂隙开裂深度作为自然边坡胀缩活动强度的一种量度标志值，同时假定该标志值随土层距地表的深度呈线性衰减，则开裂为零的土层所处深

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

度可认为是边坡活动带的底界，据此，可推断自然边坡胀缩活动强度的底界距地表的深度为 6.65 m。另一方面，从水平向裂缝延长平均值来看，上部土层仅为 1.41 m，远小于下层土的 17.49 m，这与上面的讨论明显矛盾，其实不难理解。据笔者的研究[6]，宁明膨胀土边坡水平向胀缩裂缝主要是追踪原生层状结构面发展的结果，上层土追踪残积土中残余层理构造发展的，而下层土是追踪土岩界面、强弱风化带界面及强风化岩中层理面等宏观结构面发展的结果，残余层理比风化泥岩中的层理更能抵抗胀缩活动。因此，虽然在自然边坡条件下，边坡 6.65 m 以下深处温度场、湿度场、地下水活动均已处于相对稳定状态，但是一旦边坡开挖后，这种稳定状态就被打破了，开挖卸荷、地层界面的释水疏干及近地表强烈的干湿循环等作用，对土岩界面、强弱风化带界面的激活，使得这些界面活化成路堑边坡中最为重要的胀缩活动带。

4.2　胀缩活动带滑坡体形态要素现场调查

通过对南友路全线路堑边坡胀缩活动带滑坡破坏进行近一年的跟踪调查，分析得到了典型滑坡体的形态要素，见表 3 和图 7。

从表 3 中可见：滑坡破坏的规模沿路线前进方向（表中长度）远大于坡面方向；单个滑坡体的厚度不大，发生在上部（5.0 m 以上）土层的破坏平均值为 3.6 m，下部（5.0 m 以下）的为 5.0 m；初次滑动的剪出口部位主要受土岩界面和泥岩风化带界面和局部滞水控制（参见图 1），发生在上部（5.0 m 以上）土层的破坏剪出口平均埋深为 4.0 m；下部（5.0 m 以下）的为 7.1 m。从滑坡体形态素描图（图 7）中可见，胀缩活动带滑坡具有浅层、牵引、双层滑动和逐次发展的特点。

对全线路堑边坡小型坍滑破坏体也开展了相应的调查，其形态要素统计平均值如表 4。

表 3 滑坡体形态要素统计分析

Table 3 Statistical analysis of morphological parameters of landslides

桩号	破坏类型	平面规模(长×宽)/m	初滑剪出口埋深/m	单个滑块厚度/m	素描编号	滑动面位置
K132+30—348	滑坡	48×18	4.2	3.1	1	土岩界面+强风化泥岩
K132+32—348	滑坡	28×20	6.0	3.6	2	土岩界面+弱风化泥岩
K133+10—152	滑坡	52×18	3.1	3.1	3	土岩界面+强风化泥岩
K133+92—980	滑坡	80×20	6.0	5.5	4	土岩界面
K134+00—100	滑坡	100×25	4.5	5.0	5	土岩界面+强风化泥岩
K133+90—940	滑坡	40×30	5.0	4.4	6	弱风化页岩
K135+13—360	大型滑坡	230×80*	9.0	6.7	7	微风化页岩
K136+040—200	滑坡	160×30	4.0	3.7	8	土岩界面+强风化泥岩
K136+200—290	滑坡	90×40	6.0	4.3	9	强风化泥岩
K137+320—360	坍塌	40×25	18.0*	3.1*	10	弱风化泥岩
K136+290—360	坍塌	60×10	4.0	3.1	11	坡积土膨胀土层
K137+850—960	大型滑坡	110×70*	5.0	7.7	12	土岩界面+强风化泥岩
K138+480—660	大型滑坡	180×90*	10.0	7.6	13	弱风化泥岩
K140+360—525	坍塌	175×40	4.0	3.5	14	土岩界面
K141+020—120	坍塌	100×20	10.0	4.4	15	土岩界面+强风化泥岩
AK0+110—180	坍塌	80×20	8.0	2.6	16	土岩界面+强风化泥岩
E0+0—160	坍塌	160×18	6.0	3.1	17	土岩界面
平均值（不含带*者）		80×24（不含大型滑坡）	5 m 以上 4.0 5 m 以下 7.1	5 m 以上 3.6 5 m 以下 5.0		

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

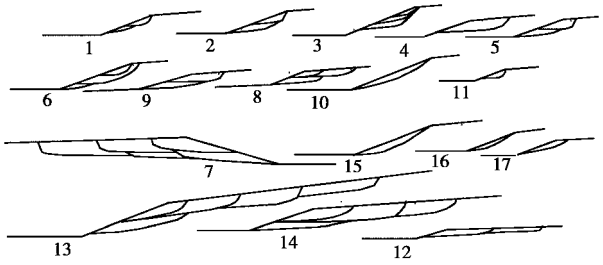


图 7 滑坡体形态素描图

Fig. 7 Landslide shape

表 4 小型坍滑破坏面的深度范围

Table 4 Depth of slide with small damage

项目	统计数	平均值/m	备注
平面规模（长×宽）	13	21.2×3.7	破坏部位主要在B层土，顺层顺坡发展，受胀缩节理和土层界面控制
破坏面埋深	13	4.5	

从表 4 中可以看出，膨胀土路堑边坡的小型破坏主要为坍滑，受上层胀缩活动带控制，也就是说，气候剧烈影响深度范围的土体的剧烈胀缩活动是导致边坡坍滑等小型破坏的根本原因。

4.3 胀缩裂隙延展与滑坡破坏活动的相似性分析

进一步观察发现，胀缩裂隙活动与滑坡破坏之间存在紧密的联系。提取胀缩裂隙延伸长度和滑坡体形态要素进行相似性分析，结果见表 5。

表 5 裂隙活动与滑坡破坏活动相似性分析

Table 5 Comparability analysis between fissure and landslide failure

项目	单个滑块厚度/m	竖向裂隙延伸深度/m	滑坡底界深度/m	据裂隙推断的活动带底界深度/m
大小	3.6	3.58	7.1	6.65
相似比		1.0		1.1

从表 5 中可见，竖向裂隙的延伸长度值与单个滑坡体的厚度值相似比为 1.0。同时，由裂隙推断的活动带底界深度值与滑坡剪出口埋深值相似比为 1.1。两相似比都非常接近于 1，可以认为胀缩裂隙活动和滑坡破坏受相同因素的控制，即气候干湿循环作用的影响。因此，宁明膨胀土路堑边坡的滑坡属于胀缩活动带的滑坡。

5 胀缩活动带滑坡破坏模式构建

宁明膨胀土自然边坡是由第三系湖相沉积泥岩及其残积土组成的二元结构体系。自然边坡上层土体（主要是灰白色膨胀土层）受气候干湿循环作用的影响，在浅表层温度场和湿度场均存在一个剧烈变化范围，浅表层土体的胀缩特性也明显存在一个特征变化段，因此，边坡开挖后会发生强烈的胀缩开裂及浅层滑坡破坏，这就构成了路堑边坡的上层胀缩活动带，其底界深度范围在 2.3～3.6 m。位于边坡下层的强风化泥岩，在开挖卸荷、释水疏干及近地表强烈的干湿循环作用下，强烈改变了自然边坡条件下相对稳定的温度场、湿度场和地下水赋存状态，尤其是局部滞水的干湿作用激活了风化带界面的胀缩特性，从而形成了新生的路堑边坡下层胀缩活动带，其范围底界距坡顶为 6.65～7.1 m。

根据笔者对南友路进行的滑坡地质调查，路堑边坡滑坡以台阶式滑坡为主[7]，滑坡体后缘一般为一个倾角 75 ° 左右的陡立拉裂面，底部滑动面为倾角 5～15 ° 的缓倾斜界面，结合本文 4.1 节和 4.2 节的分析，可将路堑边坡胀缩活动带滑坡破坏模式概化如图 8。

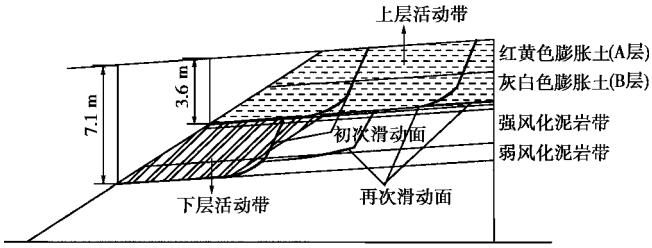


图 8 路堑边坡胀缩活动带滑坡破坏模式

Fig. 8 Landslide failure model of cut slopes in swell and shrinking active zone

本模式最大的特点在于：①首次指出了由于开挖对边坡下部的强弱风化泥岩界面、土岩界面等宏观地质结构面胀缩特性的活化，在上层滞水的干湿活动作用下边坡强风化带中产生了新的胀缩活动带；②由气候剧烈干湿循环作用形成的上部土层胀缩活动带和由开挖激活的下部新生的风化岩层胀缩活动带组成的二元结构活动带，控制了湖相泥岩及其残积土组成的膨胀土开挖边坡的滑坡活动，这是使得该类滑坡具有浅层性、牵引式逐次发展的根本原因。

由于对这种滑坡破坏模式认识不足，长期以来，广西公路建设中在具有类似地质条件的南宁、百色、田东、田阳、上思等地区，依然采用在坡脚设置挡土墙或抗滑桩的方法对这类边坡进行加固，以致处治效果不佳。笔者在本项目研究中将支撑渗沟、柔性挡墙等处治方案付诸工程实践，取得了良好的效果，值得类似情况下参考和借鉴。

6 结 语

（1）通过对宁明膨胀土边坡天然含水率、地温、收缩系数、50 kPa 膨胀率等参数分析发现这些参数随深度变化的关系曲线存在两个特征范围，第一个为 1.7～2.3 m，第二个为 5.2～6.2 m，两者分别对应于宁明膨胀土大气剧烈影响深度和影响深度范围。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（2）开挖卸荷、释水风干及近地表强烈的干湿循环等作用激活了路堑边坡活动带胀缩特性（含水率下降，50 kPa 下的膨胀率大幅提高），因此，开挖边坡胀缩活动带的胀缩活动性比自然边坡更强。

（3）竖向裂隙的延伸长度统计平均值与上部土层单个滑坡体的厚度统计平均值一致（两者比值 1.0），说明上部土层胀缩活动带对浅层滑坡破坏作用的控制性；胀缩活动带底界与滑坡剪出口埋深一致（两者比值 1.1），说明滑坡活动与大气干湿循环作用密切相关。

（4）首次分析了宁明膨胀土路堑边坡二元结构胀缩活动带的特征。上部残积土层胀缩活动带受气候剧烈影响深度（2.48 m）和土层界面（2.3 m）控制，根据胀缩裂隙竖向延伸长度统计结果，其深度范围底界为 3.6 m；下部开挖激活的新生风化泥岩胀缩活动带受局部滞水赋存深度（5.81 m）及土岩界面（4.52 m）、强弱风化泥岩带界面（6.36 m）等控制，根据发生在下部风化泥岩中的滑坡剪出口埋深统计资料，其深度范围底界为 7.1 m。

（5）湖相泥岩残积型膨胀土开挖边坡的滑坡破坏活动受二元结构活动带控制。初次滑动可能发生在上部残积土层活动带或下部风化泥岩活动带，再次滑动主要是沿上部残积土层活动带发展，大规模的滑坡一般是由二元结构活动带控制的双层滑坡。因此，湖相泥岩残积型膨胀土开挖边坡的滑坡具有浅层、牵引、双层滑动和逐次发展的特点。

（6）根据宁明膨胀土胀缩活动带滑坡模式特征，治理这类滑坡，采用挡土墙、抗滑桩等传统边坡加固方法其适宜性要慎重考虑。

参考文献：

[1] 廖世文. 膨胀土与铁道工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社，1984. (LIAO Shi-wen. Expensive soil and railway engineering[M]. Beijing: Ministry of Construction of Peoples Republic of China, 1984. (in Chinese))

[2] 石庆华，许年金. 膨胀土活动带及其运动规律[C]//全国首届膨胀土科学研讨会论文集. 成都: 西南交通大学出版社, 1990. (SHI Qing-hua, XU Nian-jin. Active zones of expensive soil and its motion law[C]// Collected Paper of the First National Science Seminar of Expensive Soil. Chendu: Southwest Jiaotong University Press, 1990. (in Chinese))

[3] 广西大学. 天然膨胀土场地地基基质吸力和土层变形综合观测研究报告[R]. 南宁：广西大学，1995. (Guangxi University. Reports of comprehensive observation and research on matric suction of site foundation and soil layer deformation in nature expensive soil area[R]. Lanning: Guangxi University, 1995. (in Chinese))

[4] 李生林. 中国膨胀土工程地质研究[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. (LI Sheng-lin. Study on the engineering geology of expansive soil in China[M]. Nanjing: Jiangsu Science & Technology Press, 1992. (in Chinese))

[5] GBJ112－87 膨胀土地区建筑技术规范[S]. (GBJ112－87 Architectural technical code of expansive soil area[S]. (in Chinese))

[6] 刘龙武，郑健龙. 膨胀土干湿循环显著影响区及其勘察方法研究[R]. 长沙：长沙理工大学，2007. (LIU Long-wu, ZHENG Jian-long. Remarkable affected area of cyclic drying and wetting of expensive soil and study on its investigation method[R]. Changsha: University of science and technology, Research Programs in West China Sponsored From Ministry of Communications, 2007. (in Chinese))

[7] 刘龙武，郑健龙，周桂成. 膨胀土台阶式滑坡破坏模型及处治措施[C]//第二届全国非饱和土学术研讨会论文集（657－662），杭州，2005. (LIU Long-wu, ZHENG Jian-long, ZHOU Gui-cheng. Model and treatment measures for stepped landslide failure of expensive soil[C]// Collected Papers of the Second National Symposium on Unsaturated Soil(657—662), Hangzhou, 2005. (in Chinese))

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net