湖北省宜昌市猇亭区人类工程活动与城市地质灾害

王孔伟，李春波，胡志宇，胡安龙，魏 东，常德龙
（三峡大学 三峡库区地质灾害教育部重点实验室 土木与建筑学院，湖北 宜昌 443002）

摘 要：[目的] 探讨人类工程活动与城市地质灾害之间的因果关系，为城市规划以及城市建设提供理论依据。[方法] 采用现场地质环境调查方法（地质勘查、地质测绘），对湖北省宜昌市猇亭区人类工程活动形成的地质灾害进行调查研究，探讨城市建设过程中地质灾害形成的主要内、外在因素。[结果] 人工填土是猇亭区滑坡地质灾害形成的主要原因，且后期都具有转变成坡面泥石流的可能性；人工开挖是猇亭区潜在滑坡型不稳定斜坡地质灾害形成的主要原因；猇亭区区内与膨胀性黏土岩有关的地质灾害同样与人类工程活动密切相关，按照出露地表浅埋藏以及深埋藏形成不同的变形破坏类型；路面开挖以及路堑开挖造成膨胀性黏土岩大面积临空，在水的作用下形成塑性变形膨胀，引起路面和陡倾坡面变形破坏。[结论] 人类工程活动是城市地质灾害形成发展主要外在因素，同时宜昌市猇亭区所具有的水平（平缓）—层状—松散的岩土体结构类型是造成城市地质灾害的主要内部原因，膨胀性黏土岩的分布进一步加剧了地质灾害形成。

关键词：城市地质灾害；工程填方；工程开挖；膨胀性黏土岩
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2017)01-0297-07 **中图分类号**：P694

文献参数：王孔伟，李春波，胡志宇，等. 湖北省宜昌市猇亭区人类工程活动与城市地质灾害[J]. 水土保持通报，2017，37(1)：297-303. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.052；Wang Kongwei，Li Chunbo，Hu Zhiyu，et al. Engineering activities and urban geological disasters at Xiaoting District in Yichang City，Hubei Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2017，37(1)：297-303. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.052

Engineering Activities and Urban Geological Disasters at Xiaoting District in Yichang City, Hubei Province

WANG Kongwei, LI Chunbo, HU Zhiyu, HU Anlong, WEI Dong, CHANG Delong
(*Key Laboratory of Geological Hazards on Three Gorges Reservoir Area of Ministry of Education, College of Civil Engineering & Architecture, China Three Gorges University, Yichang* 443002, *China*)

Abstract: [Objective] The aim of the study is to investigate the relationships between engineering activities and urban geological disasters, and provide help for the urban planning and construction. [Methods] Based on the on-site geological environment survey(geological exploration, geological surveying and mapping), we studied the geological disasters caused by engineering activities at Xiaoting District in Yichang City, Hubei Province and probed into the internal and external factors causing these disasters. [Results] Artificial excavation was the main cause of potential landslides on unstable slopes. Artificial refilling is the main cause of landslides with a potential to develop into debris flow. Geological disaster related to the expansive clay soil are also closely related to engineering activities. The excavation in road construction leads expansive clay soil to be unstable and to swell under the impact of rainfall, thus causing the road and steep slope deformation and failure. [Conclusion] The engineering activities are the main external factors causing the geological disasters. The flat, laminated and loose structure of the rock and soil mass, and the distribution of expansive clay soil are the internal factors of geological disasters.

Keywords: **urban geological disasters; engineering filling; engineering excavation; expansive clay rock**

收稿日期：2016-05-16 **修回日期**：2016-06-13
资助项目：水利部公益性行业科研专项经费项目“岸坡安全生命周期诊断评价与防护新技术示范”(201401029)；国家自然科学基金重点项目“复杂条件下库岸边坡变形破坏机理及其防护”(51439003)；三峡大学研究生科研创新资助项目(2015CX021)
第一作者：王孔伟(1966—)，男(汉族)，山东省临朐县人，博士，副教授，主要从事地质灾害成因机理研究。E-mail：wangkongwei@126.com。
通讯作者：胡志宇(1978—)，男(汉族)，湖北省宜都市人，硕士，讲师，主要从事地质灾害成因机理研究。E-mail：7588867@qq.com。

近年来，随着城市基础建设的进行和人类工程活动的加剧，城区也渐渐成为地质灾害的高发地。根据前人研究成果资料显示[1-3]，发生在城区的地质灾害大部分与人类的挖、填等工程活动相关，同时也与特殊岩土体的自身性质相关。该类地质灾害的发育特征和破坏机理与自然状态下的滑坡失稳破坏存在较大差异。

本文拟结合宜昌市猇亭区城区建设过程中最常见的挖、填工程造成对地质环境的影响，对此类工程活动以及特殊岩土体性质所形成的地质灾害类型、特征以及形成机理进行研究，以期掌握城市建设过程中地质灾害成因、特征以及破坏机理，指导今后城市规划以及城市建设工作。

1 宜昌市城区地质背景

宜昌市城区位于江汉盆地与鄂西山区的交界部位，江汉盆地是一个白垩—第三纪裂陷型沉积盆地，面积 360 km^2。

在构造单元上，该盆地位于扬子准地台上，被秦岭褶皱系和江南台隆带所夹持。在江汉盆地内部，包括 12 个次级凹陷，其中宜昌主城区就位于枝江凹陷斜坡构造部位，俗称宜昌斜坡[4]。

宜昌斜坡上出露的地层主要为白垩系和老第三系，其中白垩系与前白垩系之间为超覆角度不整合接触，呈北东走向、倾向南东的单斜层，成带状展布；老第三系与白垩系也为超覆角度不整合接触，主要分布于龙蟠河以东地区，其内部缺失晚始新世—中新世地层。研究区分布的特殊岩体为具有一定膨胀性的黏土岩岩层，主要分布于老第三系中。整体上宜昌斜坡上老第三纪到第四纪地层系统划分如下[5]：

(1) 老第三系：从下至上为分水岭组(E_{fn})或洋溪组，方家河组(E_f)或梅子溪组。

(2) 新第三系：与下伏地层为角度不整合接触，称为掇刀石组(N_d)。

(3) 第四系：呈角度不整合接触关系覆盖在以前的地层之上。

在研究区的魏家湾村和七里冲地区通过布置钻孔，以及新修公路开挖剖面沿线调查，揭露研究区老第三系到第四系特征如下：① 第四系粉质黏土层，厚度 2～10 m；② 第四系卵石层，厚度 5～12 m；③ 老第三系细砂岩层，厚度 2～4 m，局部缺失；④ 老第三系黏土岩层(具膨胀性)，厚度 1～9 m，局部存在剥蚀现象；⑤ 老第三系砂泥岩互层，厚度 3～20 m；⑥ 老第三系砂砾岩层，未钻底，揭示厚度最厚 20 m 左右。

研究区老第三系岩层成岩程度表现为弱固结状态，产状近水平，大部分地区与第四系地层呈平行不整合接触，局部地区呈现微角度不整合接触，岩层倾角在 10°以内，岩土体整体表现为水平(平缓)—层状—松散的结构特征。

2 工程填方造成的地质灾害

宜昌市猇亭区位于山区向平原的过渡地段，地貌组合表现为低山丘陵—宽谷，相对高差为 20～50 m，地势较为平缓，是宜昌城区建设主要规划区。近几年随着城区扩建，也带来了人为地质灾害问题，其中与人工填土相关的地质灾害目前存在 4 处，主要表现为人工填土形成的滑坡灾害，其中魏家湾滑坡规模最大，危害最严重。

2.1 魏家湾滑坡概况

该滑坡位于长江支流龙盘湖河流的左岸，北纬 30°34′39.97″，东经 111°26′28.35″，所处区域属于宜昌斜坡老第三系、第四系分布区，位于长江河谷 4 级阶地之上，地形平缓，相对高差在 20～50 m。原始特征为沟谷纵横的侵蚀丘陵地貌。自 2010 年以来，该地块作为工业厂区用地，进行了大量土方回填，回填厚度最大达 30 m，并形成两级平台结构，分别为 162 m平台和 142 m 平台，回填区域边部形成两个陡倾人工边坡，魏家湾滑坡就是 142 m 平台边部陡倾人工边坡局部大面积下座形成的滑坡。为了查明滑体整体情况，分析评价魏家湾滑坡稳定性，在魏家湾滑坡布设了 5 个钻孔，进尺 179.1 m，取 4 组土样进行室内物理力学试验。

该滑坡目前状态表现为平面上呈舌形，剖面上呈凹形(图 1)，后缘高程 148 m，前缘高程 120 m，坡高 28 m，地形坡度 6°～13°，滑坡坡向 292°。滑坡顺坡向长 319 m，宽 165 m，滑坡平均厚度 9.3 m，面积 5.30 $\times10^4 m^2$，总体积 5.03$\times10^5 m^3$。滑坡物质主要由第四系人工填土所构成，物质成分为黏土和卵石，具有杂乱—松散结构特征。

从魏家湾滑坡横剖面可以看出，2 号钻孔(WZK_{02})原始地形为一沟谷，地表出露老第三系砂泥岩互层，缺失老第三系黏土岩，黏土岩被剥蚀，表明魏家湾滑坡的主体物质就是回填于 2 号钻孔(WZK_{02})沟谷处的人工填土堆积层(图 2)，滑坡两侧边界为原始地形冲沟两侧局部山梁。

2.2 魏家湾滑坡形成机理

魏家湾滑坡的形成受人类工程活动影响和控制，主要表现在：① 大规模无序人工填土形成高陡临空面，发生破坏的高陡临空面主要位于 142 m 平台前

缘,现已形成缓倾斜坡;② 人工填土过程没有碾压,土体结构松散,地表水渗流强烈;③ 场地在堆填过程中未修建相应的排水系统,造成原有沟谷虽被后期人工填土所掩埋,但地下仍然是汇水区域,造成该处水动力强度增大,在降雨作用下,回填土方发生下座滑移形成滑坡。④ 魏家湾滑坡下部地层岩性特点也有一定的影响,从滑坡的横剖面图中可以看到 4,5 号钻孔(WZK$_{4,5}$),Q_2 下面存在有老第三系黏土岩,中间 2 号钻孔(WZK$_2$)人工填土下面的黏土层已被剥蚀。上部人工填土层透水性较强,降雨时,雨水将直接通过该层达到下部黏土层。由于黏土层作为隔水层,地下水横向运动汇聚于原始冲沟 2 号钻孔(WZK$_2$)部位,导致人工填土部位土体迅速饱和,土体强度降低,水压力增大,进而发生下座—滑移破坏。

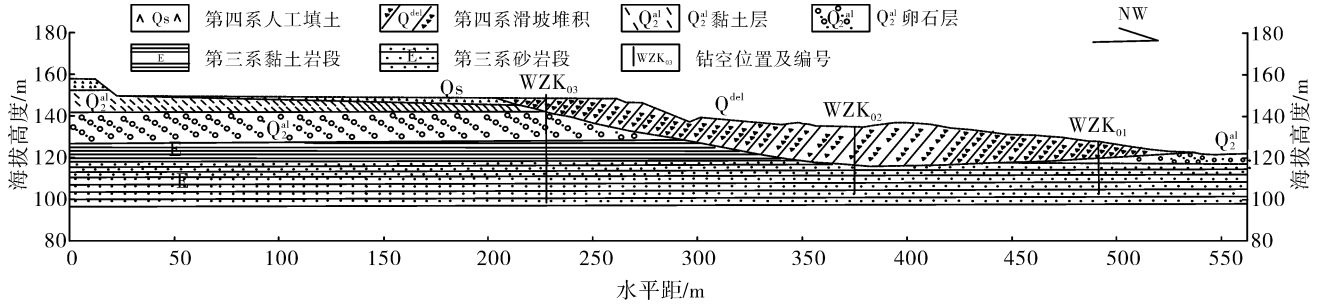


图 1　魏家湾滑坡纵剖面

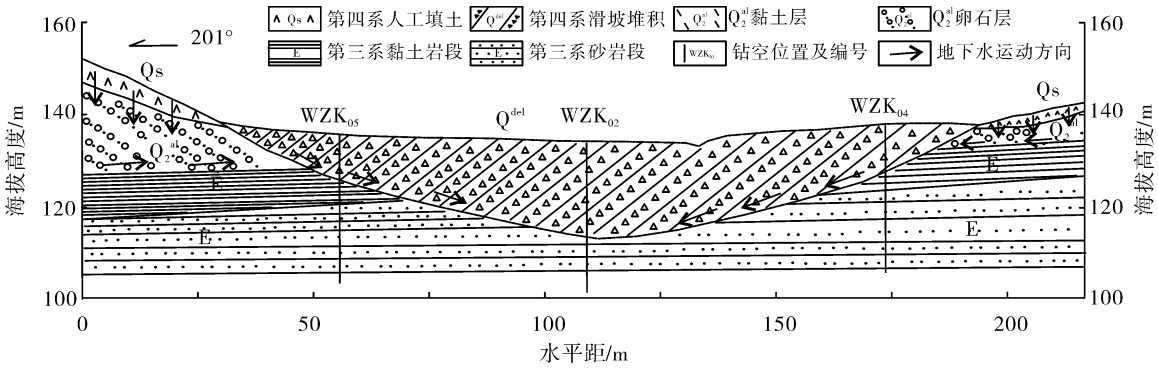


图 2　魏家湾滑坡横剖面

在 142 m 平台处的陡坎下座—滑移破坏过程中,滑体不断向西推移,沿途房屋及各类基础设施、挡墙、公路路面均遭到破坏,滑坡堆积物前移并覆盖 Q_2 地层之上,整体形态出现轻微反翘,初步判断,滑坡前缘再次发生破坏以及发生整体破坏的概率较低,但位于滑坡中后部 168 m 平台与 142 m 平台陡坎处发生局部破坏的可能性较大。

2.3　魏家湾滑坡稳定性及今后发展趋势

根据实测纵剖面图作为稳定性计算剖面,采用传递系数法[6-7]和搜索最危险滑动面法[8-9],运用 Slope 软件对魏家湾滑坡稳定性进行模拟计算。

计算过程中的参数选取依据实地勘察、室内试验和反演综合取值[10]进行确定,计算参数见表 1,计算结果见表 2。

计算结果表明魏家湾滑坡基本上不会发生整体性破坏,前缘再次发生局部破坏的可能性也不存在,后援 162 m 平台发生局部破坏可能性较大。考虑到该滑坡实际地形地貌条件、特殊岩土体结构特征以及地下水径流条件,2 号钻孔(WZK$_{02}$)原始冲沟上覆人工填土极有可能在暴雨条件下形成坡面泥石流,魏家湾滑坡后期转变成坡面泥石流可能性是存在的。

表 1　滑坡稳定性计算参数选取

模型分带	容重	c/kPa	φ/(°)	取值方法
滑体	23.5	18	14	反演综合取值
滑带	22.0	16	12	试验、反演综合取值
滑床	25.0	40	40	试验、反演综合取值

采用单沟泥石流危险度评价模型,对魏家湾滑坡后期发展趋势进行分析。单沟泥石流危险度评价模型是由刘希林[11-13]提出,该模型主要考虑泥石流规模(m)、泥石流频率(f)、泥石流面积(S_1),主沟长度(S_2),流域相对高差(S_3),流域切割密度(S_6),不稳

定沟床比(S_9),共 7 个评价因子,其中前 2 个为主要因子,其他 5 个为环境因子,5 个环境因子的值可从流域地形图上查到。单沟泥石流危险度评价模型的计算公式为:

$$H=0.29M+0.29F+0.14S_1+0.09S_2+0.06S_3+0.11S_6+0.03S_9 \quad (1)$$

式中:H——单沟泥石流危险度;M,F,S_1,S_2,S_3,S_6,S_9——m,f,s_1,s_2,s_3,s_6,s_9的转换值,转换函数见表 3。

表 2 滑坡整体稳定性计算成果表

工 况	整体稳定状态			前缘稳定状态			162 m 平台前缘稳定状态		
	稳定系数	安全系数	稳定状态	稳定系数	安全系数	稳定状态	稳定系数	安全系数	稳定状态
天然工况	2.85	1.10	稳定	2.54	1.10	稳定	1.11	1.10	基本稳定
暴雨工况	2.22	1.10	稳定	2.24	1.10	稳定	0.96	1.10	不稳定
全饱和工况	2.09	1.10	稳定	2.54	1.10	稳定	0.92	1.10	不稳定

表 3 单沟泥石流危险度评价因子转换函数

评价因子转换值	转换函数
泥石流规模 $M/10^3\,m^3$	$M=0$ ($m\leqslant1$); $M=\lg m/3$ ($1<m\leqslant1\,000$); $M=1$ ($m>1\,000$)
泥石流发生频率 $F/\%$	$F=0$ ($f\leqslant1$); $F=\lg f/2$ ($1<f\leqslant100$); $F=1$ ($f>100$)
流域面积 S_1/km^2	$S_1=0.245\,8s_1^{0.349\,5}$ ($0\leqslant s_1\leqslant50$); $S_1=1$ ($s_1>50$)
主沟长度 S_2/km	$S_2=0.290\,3s_2^{0.537\,2}$ ($0\leqslant s_2\leqslant10$); $S_2=1$ ($s_2>10$)
流域相对高差 S_3/km	$S_3=2s_3/3$ ($0\leqslant s_3\leqslant1.5$); $S_3=1$ ($s_3>1.5$)
流域切割密度 S_6/km^{-1}	$S_6=0.05s_6$ ($0\leqslant s_6\leqslant20$); $S_6=1$ ($s_6>20$)
不稳定沟床比例 $S_9/\%$	$S_9=s_9/60$ ($0\leqslant s_9\leqslant60$); $S_9=1$ ($s_9>60$)

泥石流物源总量确定是泥石流危险性评价的关键问题,由于该区域地形坡度在 6°~13°,且冲沟内的物质较为单一,均为人工填土,可直接按照人工填土体积进行计算。评价因子转换值分别为:$M=0.901$,$F=0$,$S_1=0.911$,$S_2=0.266$,$S_3=0.1$,$S_6=0.05$,$S_9=0.3$。代入公式(1)计算,坡体所在冲沟内发生泥石流的危险度为 0.434。单沟泥石流危险度按布拉德福定律中分为 5 个等级(表 4),该区域属于中度危险,具有较大概率发生泥石流灾害。

表 4 单沟泥石流危险度评价标准

极低危险	低度危险	中度危险	高度危险	极高危险
$0\leqslant H<0.2$	$0.2\leqslant H<0.4$	$0.4\leqslant H<0.6$	$0.6\leqslant H<0.8$	$0.8\leqslant H\leqslant1$

魏家湾滑坡是宜昌市猇亭区典型因人类工程活动诱发的地质灾害,初次破坏主要表现为人工填土形成局部下座破坏造成的土质滑坡,目前整体及前缘稳定性较好,162 平台边缘处于不稳定状态,在暴雨条件下可能失稳。

针对该滑坡后期演化趋势研究表明,该滑坡后期转化成坡面泥石流可能性较大,具有较大概率发生泥石流灾害。

3 工程开挖造成的地质灾害

宜昌市猇亭区在近几年的城市建设中,大量开挖土石方,形成众多人类工程开挖陡倾边坡,由于这些边坡的开挖造成自然状态下平衡体系失稳,衍生出大量与人类工程活动相关的地质灾害。猇亭区共计 60 处地质灾害点,其中 46 处与人类工程开挖活动密切相关。

猇亭区主要城区皆位于老第三系和第四系分布区,区内地层近水平,老第三系岩石成岩程度较低,大多处于弱固结状态,第四系土体主要为 Q_2 的亚黏土层和卵石层,具有水平结构。岩土体整体上表现为水平(平缓)—层状—松散结构特点。在自然状态下经历长期演化过程,坡体整体表现为平缓(坡角一般小于 20°)、相对高差不大的特征,处于一种平衡状态,地质灾害少见。随着人类工程活动的加剧,工程建设开挖坡脚(如图 3 所示),这种平衡被打破,地质灾害数量呈快速增长趋势。

发育于水平(平缓)—层状—松散结构岩土体中地质灾害其形成机理类似于西北地区的土崩,破坏形式表现为逐级下座,其形成过程与开挖形成的陡倾临空面密切相关,同时也与大气降雨关系密切,其崩滑面主要为松散岩土体的饱水界面或者为局部上层滞水的顶界面(如图 4 所示)。直至形成与原始斜坡坡角相近的缓坡结构。破坏类型主要表现为滑坡和潜在滑坡型不稳定斜坡为主。其扩展方式表现为以破坏点为基础逐渐向两侧扩展,在不及时治理的情况下将引起更大范围的破坏。

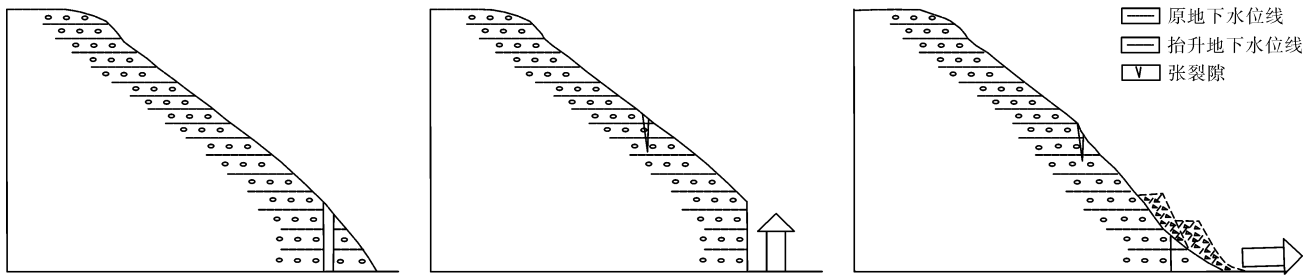


图 3　松散岩土体层状斜坡滑坡人工开挖破坏机理示意图

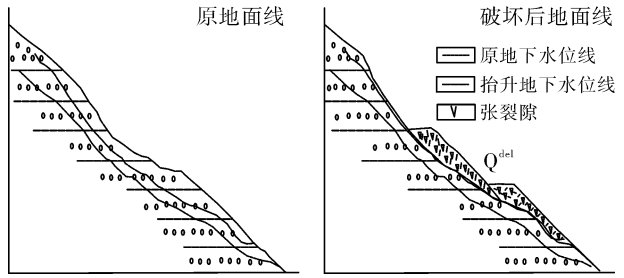


图 4　松散岩土体层状斜坡滑坡地下水位抬升破坏机理示意图

3.1　对坡顶或坡角建筑物造成危害的潜在滑坡型不稳定斜坡

水平(平缓)—层状—松散结构岩土体在人工开挖过程中,由于存在层状水平结构,伴随开挖过程立刻形成大规模破坏可能性较小,这也是人们长期忽视坡面保护的原因之一。随着时间的推移,破坏首先从一点或多点开始,逐渐扩展,坡顶破坏宽度随之不断加大,最终形成整体坡面破坏,对坡顶或坡角建筑物造成危害。

3.2　对公路铁路造成潜在危害的不稳定斜坡

在宜昌市猇亭区,正在修建的紫云铁路以及城区公路开挖路堑,形成众多高陡边坡,这些高陡边坡多为潜在滑坡型不稳定斜坡,局部已经发生破坏,对公路以及铁路运行安全构成威胁。

总之,宜昌市猇亭区在城市扩建过程中形成了大量人工开挖高陡边坡,已经采取坡面防护工程的边坡不足 20%,松散岩土体下座滑移引起的地质灾害现象普遍存在。

4　特殊岩土体性质造成的地质灾害

宜昌市猇亭区特殊的岩土体类型主要指分布于老第三系内部的黏土岩层,具有一定的膨胀性。在自然条件下坡体经过长期演化形成了一种自然平衡状态,膨胀性黏土岩所引起地质灾害并不多见,一旦这种平衡被打破,特别是人类工程活动的加剧,黏土岩膨胀性特点所引起的地质灾害呈现多发的特征。

宜昌市猇亭区现有地质灾害 60 处,其中与膨胀性黏土岩相关的地质灾害 22 处,占地质灾害总数的 36.7%,全部与人类的工程活动相关,地质灾害类型表现为潜在滑坡型不稳定斜坡。

4.1　宜昌市猇亭区黏土岩分布范围

本次研究以调查膨胀性黏土岩分布范围为首要目标,以地质点调查为主要技术手段,辅助人工开挖地质剖面,建立老第三系具有膨胀性黏土岩剖面特征,确定分布层位,建立横向对比标准。通过钻井勘察,进一步查实老第三系黏土岩整体分布特征,建立黏土岩垂向上与其他岩性的过渡关系,并与地表开挖剖面进行对比,形成膨胀性黏土岩空间分布特征和平面相变特征的认识。钻孔勘察揭露黏土岩主要分布于老第三系的顶部层位,厚度变化较大,最厚位于魏家湾 3 号钻井(WZK_3),厚 9 m;魏家湾 4 号钻井(WZK_4)钻遇黏土岩厚度为 5.9 m;5 号钻孔(WZK_5)钻遇黏土岩厚度为 3.8 m;魏家湾 1 号(WZK_1)和 2 号钻井(WZK_2)由于剥蚀造成黏土岩缺失。

七里冲地区的 1,2 和 5 号钻井没有钻遇黏土岩层,为其下伏砂泥岩互层和砾岩层,层位局部存在剥蚀现象;3 和 4 号钻井钻遇黏土岩层,厚度分别为 3.8 和 5.0 m。

通过老第三系黏土岩垂向以及横向分布的特征,运用地质填图工作方法绘制出老第三系膨胀性黏土岩在区内的平面分布。区内膨胀性黏土岩平面分布特征具有北宽南窄的特点,最宽处位于宜昌市猇亭区鸡山村 9 组处;老第三系膨胀性黏土岩最南端分布范围已经超越宜昌市猇亭区进入到宜昌市高新区白洋镇善溪冲村,该处老第三系黏土岩厚度在 0.8～1 m,相比北部宜昌市猇亭区六眼冲村和黄龙寺村所见此层厚度明显减薄。

4.2　黏土岩物质成分及膨胀性分析

现场采取样品送中国地质大学国家重点实验室

进行了 X-射线衍射分析和自由膨胀率检测，X-射线衍射分析表明老第三系膨胀性黏土岩的矿物质成分以蒙脱石为主(70%)，其次是伊利石(10%)和绿泥石(2%)，同时含有一定量的矿物碎屑成分，分别为石英(15%)和长石(2%)。

根据自由膨胀率评价标准[14](表 5)和研究区野外露头及钻孔取样自由膨胀率分析结果(表 6)，表明老第三系黏土岩膨胀性表现并不一致，主要表现为弱膨胀性，局部试样表现为中高膨胀性，其中膨胀性最高的黏土岩分布于彬亭区高家村到宜昌三峡机场一带。自由膨胀率由高家村到三峡机场沿线的 84%～128%(中高膨胀性)降低为张家湾路附近的 55.5%～64.5%(低膨胀性)。黏土岩上下层位的粉砂质黏土岩自由膨胀率明显下降仅为 17.0%～44.5%。

表 5 自由膨胀率划分标准

自由膨胀率(δ_{ef})	膨胀潜势
$40 \leqslant \delta_{ef} < 65$	弱
$65 \leqslant \delta_{ef} < 90$	中
$90 \leqslant \delta_{ef}$	强

4.3 宜昌市彬亭区膨胀性黏土岩与地质灾害关系

宜昌城区老第三系膨胀性黏土岩中的黏土矿物成份以蒙脱石为主，水稳性极差，当岩体中含水量增加时，强度明显下降，粘聚力下降比摩擦角下降更明显，同时，膨胀性黏土岩中裂隙发育，水进入膨胀性黏土岩层中，不仅增加了重量，使支撑面荷载加大，引起岩层软化，力学强度迅速降低，导致干缩岩体体积增大，堆挤力提高，促进了蠕动速度的加快，一旦形成临空面，变形迅速，引起建筑物变形甚至破坏。

表 6 宜昌彬亭区老第三系黏土岩自由膨胀率检测结果统计

样品编号	取样位置	自由膨胀率 $\Delta\delta_f$/%
5#	宜昌机场黏土岩	84.0
6#	彬亭区汽车城黏土岩	55.5
8#	彬亭高家村李家斜坡黏土岩	128.0
PZK_{4-1}	5.50～5.70 m(粉砂质黏土岩))	40.0
PZK_{4-2}	8.30 m－8.50 m(黏土岩)	60.5
PZK_{4-3}	15.30～15.50 m(粉砂质黏土岩)	38.0
WZK_2	18.60～18.80 m(粉砂质黏土岩)	18.5
WZK_2	19.20～19.40 m(粉砂质黏土岩)	17.0
WZK_4	20.80～21.00 m(粉砂质黏土岩)	37.0
WZK_4	22.00～22.20 m(深粉砂质黏土岩)	44.5
WZK_3	40.20～40.40 m(粉砂质黏土岩)	22.5

宜昌城区彬亭区高家村到黄龙寺村沿线人类工程活动强烈，主要为坡脚开挖建房或者坡顶加载，开挖坡脚改变了原有的地形地貌，使得坡脚临空，从而最终导致该膨胀岩沿临空面变形产生局部破坏形成不稳定斜坡。坡顶加载，在膨胀岩地基没有处理好的情况下，可使建筑地基发生位移，因此导致房屋开裂，公路变形形成地质灾害。

4.3.1 *膨胀性黏土岩分布区加载引起建筑物变形* 根据黏土岩埋藏深度分两类：① 出露地表或浅埋藏，根据对当地居民点的调查显示，当膨胀性黏土岩埋藏深度小于 5 m 的情况下，上覆建筑物将发生程度不同的变形破坏；② 深埋藏，当膨胀性黏土岩埋藏深度大于 5 m 的情况下，上覆建筑物一般不发生变形破坏。

黏土岩出露地表或埋藏较浅，不规范建筑修建，将黏土岩作为了地基持力层，黏土岩膨胀变形导致上覆建筑物开裂。如地基开挖较深，将膨胀性黏土岩挖除，黏土岩下层砂岩或砂砾岩作为地基持力层，未出现房屋开裂现象。

黏土岩埋深在 5 m 以上，地表未出露情况下，黏土岩未能与水接触，即使存在临空面，上部房屋基本不存在变形破坏现象。

4.3.2 *路面变形现象普遍* 区内路面开挖不彻底，残留部分膨胀性黏土层，引起混凝土路面变形破坏，特别是村级公路，资金投入不足，路面变形现象普遍。

路堑开挖形成陡倾人工临空面，黏土岩存在变形空间，在降雨条件下，水体入渗作用情况下，产生临空膨胀变形，造成上覆地层倾倒下座变形破坏。

总之，宜昌市彬亭区膨胀性黏土岩分布范围具有北宽南窄的特点，整体走向近南北向；区内黏土岩矿物成分以蒙脱石为主，其中具有中高膨胀性的黏土岩主要分布于彬亭区高家村到宜昌三峡机场沿线；区内与膨胀性黏土岩有关的地质灾害主要与人类工程活动密切相关，按照出露地表浅埋藏以及深埋藏形成不同的变形破坏类型；同时路面开挖以及路堑开挖造成膨胀性黏土岩大面积临空，在水的作用下形成塑性变形膨胀，引起路面和陡倾坡面变形破坏。

5 结 论

(1) 魏家湾滑坡是研究区典型因人类工程活动造成的地质灾害，初次破坏为人工填土形成的局部土体下座—滑移型滑坡，目前整体及前缘稳定性较好，162 平台边缘处于不稳定状态。该滑坡后期转化成坡面泥石流的可能性较大。

(2) 宜昌市彬亭区在城市扩建过程中形成了大

量人工开挖高陡边坡,已经采取坡面防护工程的边坡不足 20%,松散岩土体下座—滑移引起的地质灾害现象普遍。

(3) 宜昌市猇亭区膨胀性黏土岩分布范围具有北宽南窄的特点,整体走向近南北向;黏土岩矿物成分以蒙脱石为主,其中具有中高膨胀性的黏土岩主要分布于猇亭区高家村到宜昌三峡机场沿线。

(4) 区内与膨胀性黏土岩有关的地质灾害主要与人类工程活动密切相关,按照出露地表浅埋藏以及深埋藏形成不同的变形破坏类型;同时路面开挖以及路堑开挖造成膨胀性黏土岩大面积临空,在水的作用下形成塑性变形膨胀,引起路面和陡倾坡面变形破坏。

[参 考 文 献]

[1] 岳中琦. 香港滑坡灾害防治和社会效益[J]. 工程地质学报,2006,14(5)12-17.

[2] 唐辉明. 地质环境与城市发展研究综述[J]. 工程地质学报,2006,14(6)728-733.

[3] 陈国金,陈海洋,陈秋义. 巴东城区地质安全问题与防灾体系建设[J]. 上海地质,2006,9(4):52-57.

[4] 田蜜,施炜,李建华,等. 江汉盆地西北部断陷带构造变形分析与古应力场演化序列[J]. 地质学报,2010,84(2):159-170.

[5] 向芳,罗来,林良彪,等. 重庆—宜昌地区长江阶地和相关沉积研究及其对三峡研究的意义[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2008,36(5):475-479.

[6] 夏艳华,白世伟. 传递系数法在滑坡治理削坡方案设计中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(S1):3281-3285.

[7] 沈尧亮,侯殿英. 传递系数法的原型与衍生[J]. 工程勘察,2010(S1):477-485.

[8] 祁小辉,李典庆,周创兵,等. 考虑土体空间变异性的边坡最危险滑动面随机分析方法[J]. 岩土工程学报,2013,35(4):745-753.

[9] 朱雷,黄润秋,王小群,等. 基于滑带强度参数动态演化的滑坡稳定性研究[J]. 岩土力学,2015,36(S2):31-438.

[10] 任伟中,金亚兵,冯光平,等. 滑(边)坡稳定性评估探讨[J]. 岩土力学,2010,31(7):2129-2134.

[11] 刘希林,唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京:科学出版社,1995:1-26,62-66.

[12] 刘希林,莫多闻. 泥石流风险及沟谷泥石流风险度评价[J]. 工程地质学报,2002,10(3):266-273.

[13] 刘希林. 区域泥石流风险评价研究[J]. 自然灾害学报,2000,9(1):54-61.

[14] 颜光辉. 成都地区膨胀土力学特性试验研究[D]. 成都:西南交通大学,2013.

(上接第 296 页)

[6] 杨丽标,韩小勇,孙璞,等. 巢湖藻类组成与环境因子典范对应分析[J]. 农业环境科学学报,2011,30(5):952-958.

[7] 邢瑞华. 子牙河流域水环境问题及对策探讨[J]. 河北水利,2005(10):35

[8] 董功强. 浅析子牙河流域水资源管理与保护[J]. 河北水利水电技术,2004(3):10-11.

[9] 李涛. 子牙河流域地表水与地下水联合模拟[D]. 长春:吉林大学,2005.

[10] 中国科学院昆明植物研究所. 中国植物物种信息数据库[EB/OL]. (2010-07-10)[2015-04-07]. http://db.kib.ac.cn/.

[11] 中科院植物研究所. 中国自然标本馆[EB/OL](2010-11-16)[2015-04-07]. http://www.nature-museum.net/.

[12] Davenport A J, Gurnell A M, Armitage P D. Classifying urban rivers[J]. Water Science and Technology, 2001,43(9):147-155.

[13] Hill M O, Gauch Jr H G. Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique[J]. Vegetatio, 1980,42(1/2/3):47-58.

[14] Leira M, Sabater S. Diatom assemblages distribution in catalan rivers, NE Spain, in telation to chemical and physiographical factors[J]. Water Research, 2005,39(1):73-82.

[15] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO[M]. London: Cambridge University Press, 2003.

[16] 刘瑞雪. 丹江口水库水滨带植被特征及其与环境因素的关系[D]. 武汉:华中农业大学,2013.

[17] 庄瑶,孙一香,王中生,等. 芦苇生态型研究进展[J]. 生态学报,2010,30(8):2173-2181.

[18] 王晋萍,董丽佳,桑卫国. 不同氮素水平下入侵种豚草与本地种黄花蒿、蒙古蒿的竞争关系[J]. 生物多样性,2012,20(1):3-11.

[19] 杨允菲,王德利,张宝田,等. 松嫩平原蒙古蒿无性系种群结构的研究(英文)[J]. 草业学报,2003,12(3):8-15.

[20] 高政权,孟春晓. 葎草研究进展[J]. 安徽农业科学,2007,35(31):9982-9984.