

望霞大斜坡地质灾害链形成过程分析

陈小婷^{1,2}, 黄波林²

(1. 成都理工大学 地质灾害与环境保护重点实验室, 成都 610059; 2. 武汉地质矿产研究所, 武汉 430223)

摘 要:望霞大斜坡位于重庆市巫山县巫峡北岸横石溪背斜核部。由于软硬相间的地质结构,望霞大斜坡发育危岩体、滑坡多处。根据地质灾害历史和崩滑体的空间分布,该区域存在崩塌—滑坡链式地质灾害。从望霞大斜坡地貌演化过程来看,其变形改造一方面与河流下切密切相关,另一方面与自身的地质结构相关,而后者在第四纪以后起着主导作用。现今受采矿及水库蓄水的影响地貌改造进程会加速。通过坡形对比,望霞大斜坡存在的直接地质灾害问题是危岩体崩塌,间接地质灾害问题是因崩塌而产生的滑坡。通过调查,该大斜坡长期稳定性差。目前桐心村危岩体变形剧烈,一旦失稳造成的后果较为严重。基于这些认识,建议该区域进行生态移民,对桐心村危岩体进行工程治理,并加强向家湾滑坡后缘陡崖危岩的监测。

关键词:望霞大斜坡; 链式地质灾害; 斜坡地貌过程; 稳定性分析

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)01-0082-05

Wangxia Slope Stability Analysis Based on Slope's Geomorphic Evolution

CHEN Xiao-ting^{1,2}, HUANG Bo-lin²

(1. National Professional Laboratory of Geological Hazards Prevention and Geoenvironment protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Wuhan Institute of Geology and Mineral Resource, Wuhan 430223, China)

Abstract: Wangxia slope is located in the core of Hengshixi Anticline in the north side of Changjiang River in Wushan County, Chongqing City. Because of its soft-hard interbed structure, there develops many dangerous rockmass and landslides. According to local geohazard history and geohazard spacial distributing, there presences rockfall-landslide chain geohazard in this region. From the geomorphic evolutionary process of Wangxia slope, Wangxia Slope's deformation rebuilding is related with stream trenching. On the other side, it is related with its geological structure, the latter may be the principal factor after Quaternary. Nowadays, mining and reservoir impounding accelerates slope geomorhpic evolution. Compared with slope form, the direct geohazard is rock falling, the indirect geohazard is landslide, the slope long-time stability is bad. In short time, Tongxintun Dangerous rockmass deforms seriously, its stability is bad, which will results seriously consequence. Based on these ackownledge, this paper suggests the local move to somewhere safety, and some engineering measurement should be made to Tongxincun Dangerous rockmass, also monitoring should continues to do the cliff of Xiangjiawan landslide tail shirt.

Key words: Wangxia slope; chain geohazard; slope geomorhpic evolution; stability analysis

斜坡失稳地质灾害是斜坡地貌在短期内发生了剧烈变化的表现形式,其地貌灾变过程表现为滑坡、崩塌^[1]。从地貌过程的角度来看,山区河谷斜坡的现状只是山地河谷斜坡形成发展中的一个阶段,是河谷两岸斜坡不断后退,坡体物质从突变再蠕变的坡体过程;其将来形态应该向发展较完备、相对均衡的斜坡形态靠拢^[2]。利用山区河谷斜坡这一地貌发展过程

来演绎将来,结合地质理论与地貌过程理论,可以准确定位斜坡未来的发展趋势,较准确地把握地质灾害的发展趋势及其长期稳定性。

望霞大斜坡位于重庆市巫山县巫峡北岸,距巫山新县城 8 km,该坡体上现居住约 550 人,为地质灾害发育密集区。地质灾害不仅威胁坡体上的居民,而且由于该段水面狭窄,其涌浪造成的危害也不容忽视。

本文将立足于工程地质理论,结合地貌过程分析方法,对望霞大斜坡地质灾害稳定性进行分析。

1 望霞大斜坡概况

望霞大斜坡东以横石溪为界,西以大型冲沟为界,最高点高程为1 300 m。构造上该斜坡位于横石溪背斜的核部(图1),坡体出露最老地层为志留系罗惹坪组,两翼由泥盆系—三叠系组成。该背斜顶部产状较平缓,一般几度至十几度,向两翼变陡至 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。轴面直立,轴向 $N70^{\circ}E$,为一直立开阔的箱式褶皱。背斜东部长江边发育NE向逆冲断层,受其影响该处背斜南东翼地层直立或倒转。背斜核部为马脚里—向家湾一线^[3]。

斜坡坡体由志留系纱帽组(S_{2s})砂岩粉砂岩、泥盆系云台观组(D_{2y})石英岩、石炭系大埔组(C_{2d})白云岩、二叠系栖霞组(P_{2q})瘤状灰、二叠系茅口组(P_{2m})瘤状灰岩、二叠系孤峰组(P_{2g})泥岩硅质岩、二叠系吴家坪组(P_{3w})结核条带灰岩组成(图1)。

利用HT225回弹仪,在野外实测各高程各岩性的力学强度,表明高陡斜坡坡顶至坡脚,软硬岩组相间出现,即 S_{2s} (软) $\rightarrow D_{2y}$ 、 C_{2d} 、 P_{2q} 、 P_{2m} (硬) $\rightarrow P_{2g}$ (软) $\rightarrow P_{3w}$ (硬)。在 S_{2s} 和 D_{2y} 这两组层内,也是软硬岩组相间出现(图2)。需要指出的是由于坡体中部主要由厚层的白云岩、灰岩组成,从廖家坪后山到庙鸡子厚度约550 m。下部坡体为软(S_{2s}) \rightarrow 硬(D_{2y} 砂岩) \rightarrow 软(D_{2y} 泥质粉砂岩) \rightarrow 硬(C_{2d} 白云岩)、上部山体为软(P_{2g} 、煤层) \rightarrow 硬(P_{3w} 灰岩)。因此,整个坡体来看,斜坡的地质结构为软硬相间模式,但是由于中部厚约550 m灰岩的出现,该斜坡的地质结构模式实际上可分割开来,上部受煤层控制,下部受泥岩夹层控制。

受岩性控制,硬岩形成陡峻的山崖,软岩或堆积物为较缓的坡地。斜坡总体地貌为典型的层状背斜地貌,有如斜切的“洋葱”。

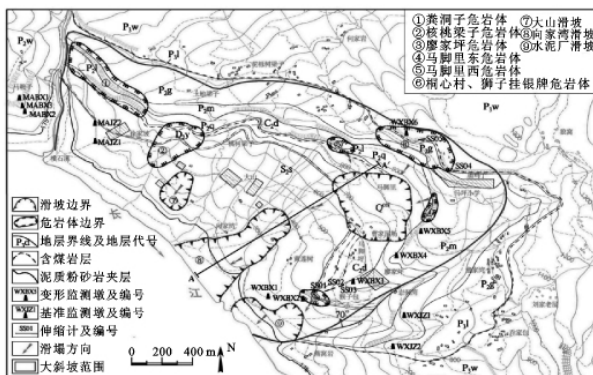


图1 斜坡工程地质图

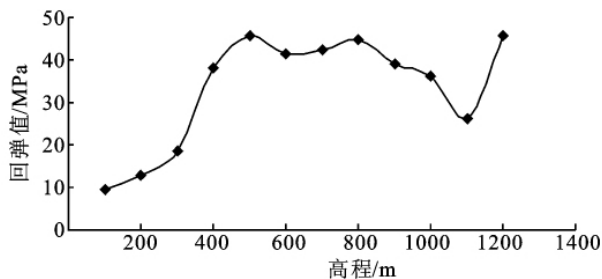


图2 岩性回弹测试值与高程的关系

2 地质灾害发育及链式机理

巫山县志^[4]记载:汉和帝永元十三年(101),巫山崩。晋太元二年(377)又崩,崩塌之日,水逆流百余里,涌起数丈高。1979年10月、1980年9月,望霞发生两次崩塌性滑坡,直接威胁仙女峰电站和长江航道。1984年望霞狮子挂银牌右侧出现危岩体,岩体长15 m,宽20 m,高40 m,下滑约5 m。1999年7月下旬,桐心村危岩体出现严重变形。2007年5月12日,徐家坡后山落石砸中民房一间。因此,历史上该区域就是地质灾害多发区。

从高程分布上来看(图1),高程400 m以下,坡体上从西北至东南依次发育三个滑坡,大山滑坡、向家湾滑坡、水泥厂滑坡(80万 m^3)。高程400~600 m,坡体上从西北至东南依次发育有粪洞子、核桃梁子、廖家坪危岩体群。高程900~1 000 m,发育有马脚里东、马脚里西危岩体群。高程1 000~1 250 m,发育有桐心村、狮子挂银牌等危岩体群。这些危岩体大致分布在横石溪背斜的轴线两侧,而核部附近的危岩体发育最密集。

望霞大斜坡密集发育崩塌(危岩体)和滑坡是由于其地质结构的特殊性决定的。经过详细调查研究表明,危岩体变形的诱发因素有两种:采矿诱发和软弱层风化(图3)。高程1 100~1 250 m的危岩体均属于采矿诱发型。危岩体由二叠系孤峰组(P_{2g})和二叠系吴家坪组(P_{3w})组成,坡体内有吴家坪组底部 K_2 煤层被人工开采。在该斜坡上发育有塌陷和岩体开裂两种类型的变形现象。塌陷坑大量发育在平缓的坡脚和坡顶处,新旧塌陷坑均有发育。1.5 km的陡崖沿线裂隙极发育,形成了众多危岩体。这些塌陷坑及岩体开裂区与采空区有较好的对应关系,根据工程地质类比法^[2-10],崖下挖煤采空诱发的地面变形占主导地位。在狮子挂银牌危岩体的右侧崖底发现年代不祥的裂隙(图4),产状 $83^{\circ}\angle 80^{\circ}$,稍有起伏,上至山顶,深不见底,通过燧石条带对比发现,岩体下沉31 cm,向西56.5 cm,向南20 cm,其相对运动方向为 250° ^[5]。

软弱层风化形成的危岩体包括有马脚里两侧的危岩体、廖家坪危岩体及核桃梁子危岩体。危岩体结构模式上部为硬质岩石(灰岩、砂岩或白云岩),下部为厚度不等的软岩(泥岩、粉砂岩、泥灰岩或页岩等)。由于软岩的风化速度快,使软岩后退形成岩腔(图 5)。随着硬岩底部岩腔的形成以及坡体应力的重分布及集中作用,其上覆呈悬臂状的硬岩发生拉裂等变形破坏^[6](图 6)。但是,危岩崩塌形成以后,并不是危岩这种地质灾害的终止,如果持续发展,将会产生更大或其它的地质灾害。著名的新滩滑坡、茅坪滑坡,从严格意义上来讲,应该是由于崩塌加载冲击失



图 3 采矿区山体开裂



图 4 危岩体根部裂隙近照



图 5 石英砂岩下伏粉砂岩风化凹腔



图 6 石英砂岩危岩体

稳、多期复活继承性的推挤型堆积层滑坡^[4]。新滩滑坡从其潜伏发育阶段(1964 年以前)至滑坡破坏阶段(1985 年 6 月 9 日至 12 日凌晨),由于崩塌堆积物和冲击的反复作用,经历了大约 21 a 以上的时间。而 2009 年 6 月 5 日武隆鸡尾山崩塌初始总量约为 150 万 m^3 ,垮塌后滑体顺着岩层高速往下斜冲,在巨大的推力作用下形成了大约有 600 多米长的巨大的滑坡体。国土资源部专家根据航拍资料测算,重庆武隆山体滑塌约有 1 200 万 m^3 。一种地质灾害的发生伴生其它的地质灾害或在滞后过程中成为新的地质灾害的致灾环,那就形成了地质灾害链^[7-8]。

而从剖面上来看(图 7),望霞大斜坡存在这种向家湾滑坡体为马脚里两侧危岩体及桐心村附近危岩体崩塌落石的运动通道和堆积地,滑坡体上的块石从巨型的块石到碎石均有分布,最大的块石高约 3 m,总体上滑体碎石含量约 70%。水泥厂滑坡体为廖家坪危岩体崩塌落石的运动通道和堆积地,滑体上的块石从巨型块石到碎石均有分布,最大的块石高约 2 m,总体碎石含量超过 80%,在滑体中后部基本就是崩塌碎石堆积物,基本无黏土填充。大山滑坡体为核桃梁子危岩体崩塌落石的运动通道和堆积处,滑体上的块石以小型碎石为主,总体碎石含量约 40%,土体以残坡积红色黏土为主。

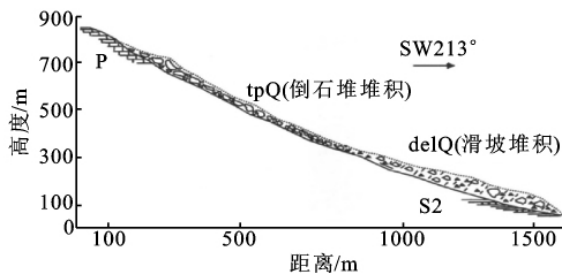


图 7 A—A'工程地质剖面图^[9]

从望霞大斜坡上的滑坡组成物质可知,由于崩塌的发生,碎石和岩块在坡体上部逐渐积累,在崩塌堆积物不断增加的荷重、地下水等共同作用下,在相当长的时期中渐渐发展成滑坡。据历史记载,望霞斜坡发生过多次大型崩塌滑坡,1979 年是向家湾滑坡最近的一次。因此,望霞大斜坡存在着明显的崩塌—滑坡地质灾害链。

望霞大斜坡上的这种崩塌—滑坡地质灾害链与

新滩滑坡及茅坪滑坡的链式机理极其相似,其滑坡的活动性与后缘侧缘的崩塌加载息息相关。这一灾害链在时间上有先后,在空间上彼此相依,在成因上相互联系、互为因果,呈连锁反应依次出现。其特点是前一种灾害作为后一种灾害的激发因素依次出现,属于时空地质灾害链的范畴^[7]。

3 望霞地质灾害链的地貌演化过程

三峡地区自燕山运动结束以来,间歇性抬升明显,巫峡段发育有鄂西期、山原期和三峡期夷平面或阶地。鄂西期夷平面高程 1 300~1 600 m,主要分布于横石溪背斜顶部,由台原型峰丛洼地组成。山原期夷平面高程 800~1 200 m,与鄂西期夷平面常以陡坡陡崖形式过渡,形成时间为上新世末—早更新世。河流阶地形成于三峡期,剥夷面高程在 800 m 以下^[3]。

当长江河床下切到横石溪背斜二叠纪孤峰组(P_{2g})的页岩、煤层以下时,在卸荷作用等条件下,上覆的吴家坪组燧石条带灰岩发生崩塌,形成陡崖。这形成了现今吴家坪组陡崖壁的雏形。当长江河床下切至高程 800 m 左右时,在横石溪核部切穿了梁山组泥岩及煤层,上覆的栖霞组与茅口组灰岩发生一系列崩塌,这形成了横石溪背斜核部缺口的雏形。由于长江的长期侵蚀冲刷,大量的崩塌堆积物被河流带走。在三峡期,河流逐步切穿了志留系的纱帽组,形成了现今地貌的雏形。

坡体经过一系列重力作用后,从高而陡的极不稳定坡逐渐演化成低而缓的不稳定坡,由垂向运动为主体的崩塌逐渐转变为以水平运动为主体的滑坡。就

坡体的演化过程来说,平行下降、平行后退可能交替出现。平行下降说的特点是坡体在演化过程中,早期以崩塌破坏为主,后期以滑坡为主;在间冰期温暖、降雨量充沛的气候条件下坡体多为此演化规律。平行后退说的特点是坡体在演化过程中,崩塌、滑坡在坡体演化过程中一直相伴生,在冰期干旱、降雨量稀少的气候条件下坡体多为此演化规律^[9]。

以地貌过程角度来分析,由于背斜核部软岩为最先切穿的对象,背斜核部节理发育,因此斜坡的破坏多从核部开始。整体斜坡地貌突变演化的进程应是从核部开始崩塌,然后两翼,随着河流的下切,逐步崩塌形成了斜坡两侧缘为喇叭形陡崖。由于望霞斜坡上部受煤层控制,下部受泥岩夹层控制,因此崩塌形成了硬岩阶梯形斜坡地貌。河流切穿纱帽组后,由于纱帽组泥岩透水性差,易风化,形成了缓坡。崩塌体堆积于缓坡上,在崩塌块石不断增加的荷重、冲击力、地下水等共同作用下,渐渐发展成大型深部滑坡,这造成核部部分斜坡为凹形地貌。

4 望霞大斜坡稳定性的地貌过程分析

从望霞大斜坡地貌演化过程来看,其变形改造一方面与河流下切密切相关,另一方面与自身的地质结构相关。而后者在第四纪以后起着主导作用。进入人类社会后,人类工程活动诱发或加剧了斜坡的改造过程。坡体上的煤层该层位煤矿自20世纪50年代开始开采,至20世纪80年代后由于崩塌事件不断发生,该层位煤矿停止开采。90年代又开始进行煤矿开采,现今该斜坡上共有3个开采巷道,预计还将开采20 a。三峡水库蓄水后,库区水位冬季保持在175 m,夏季保持145 m,在库区两岸形成高30 m的水位季节性消落带,消落带周期性处于水下和水上,河流水动力条件改变,库岸岩土体斜坡依存受到不同程度的改变,可能诱导局部斜坡失稳,影响库岸地貌过程^[10]。

因此望霞大斜坡的现今地貌过程受自身的地质结构影响外,还受采矿及水库蓄水的影响。望霞斜坡上部岩体受煤线的影响,不采矿也会产生不均匀沉降而倾倒。人类采矿后,桐心村心村危岩体变形较大,加快了危岩体的这一变形过程。图8为采矿区上覆山体2007年的监测数据,这些数据显示山体出现明显沉降—掀斜现象。由于煤层顶部大面积的平铺下沉造成了顶板的脱层现象(图9),即从层面处拉裂开,同时由于下沉变形向上传递,造成山体向坡外运动倾斜,并在变形块体里侧边缘张应力集中部位产生拉张裂隙形成开裂,于是形成了上部坡体受垂直裂隙

控制,下部坡体受水平层面及煤层控制的变形形式。这种采煤引起的沉陷—掀斜变形现象是以后端采空区边界为支点的悬臂梁力学机制变形形式^[5]。

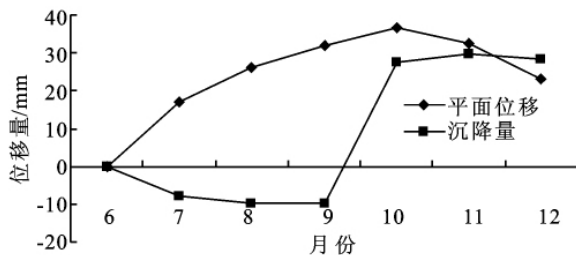


图8 2007年桐心村危岩体监测曲线



图9 危岩体岩层脱层现象

高程在400~600 m附近的危岩体主要受地质结构中的软岩控制,软岩的破坏主要是风化剥蚀后上覆硬岩倾倒破坏^[11]。根据三峡工程生态与环境监测信息管理中心发布的蓄水对自然环境的影响信息,三峡水库蓄水后平均温度、湿度、降雨量均有所增加。自然地理环境的变化改变了原有的风化剥蚀节奏;对加速软岩的破坏起着积极作用。

低于400 m斜坡下部受蓄水影响,塌岸、滑坡等库岸再造现象也较明显(图10—11),加速了滑坡的变形过程。根据工程地质类比法可知,向家湾滑坡、水泥厂滑坡应和茅坪滑坡、新滩滑坡类似,当后缘物质崩塌加载或冲击后,滑坡就会变形;累积加载冲击使得下滑力大于抗滑力,滑坡就会发生大的变形或滑动。而水库的周期性蓄水使得坡角岩土体力学性质下降,降低了滑坡整体抗滑力,使得滑坡更易达到变形或滑动的临界点,滑坡的力学模式也由原来单纯的加载推力式演化为后缘加载推力、前缘牵引的滑坡方式^[10]。



图10 2007年5月18日廖家坪斜坡(库水位135 m)

因此从整体上来看,望霞大斜坡的地貌过程会加速进行,其方向是朝着更加稳定的斜坡形态发展。



图 11 2008 年 12 月 9 日廖家坪斜坡(库水位 172 m)

斜坡的坡形直接反映了在内外营力作用下坡体演变的历史过程;不同坡形所反映着内外营力的均衡差异。理想成熟的坡形(William Morris Davis, 1907)为坡脚凹、坡体直线、坡顶凸的凹—直—凸型坡形。而望霞坡形属于上升速度大于侵蚀速率的不成熟坡形,其坡形(图 12)属于典型的侵蚀地貌^[2]。这种不成熟的坡形由于构造、侵蚀、地层岩性、水动力条件、岩土体运动等因素必然向成熟坡形发展。故而从长期来看,望霞大斜坡极大地存在被改造的可能性,与成熟坡形相比较来分析,差异主要存在于突出的危岩体处。因此该斜坡直接的长期地质灾害问题是危岩体崩塌,间接的地质灾害问题是由于崩塌堆积以及冲击而产生的链式滑坡,其长期稳定性较差,不适合居住。

地貌过程分析了斜坡其演绎过程,它分析了长期稳定性问题。而从短期来看,部分库岸再造强烈,但其影响危害有限。危岩体变形不一,以桐心村危岩体变形最为强烈。另外桐心村危岩体势能最大(高差达 1 000 m),其下方向家湾滑坡也可能在它失稳的冲击及堆积下失稳,这一崩塌—滑坡链式地质灾害产生的涌浪将产生巨大危害。

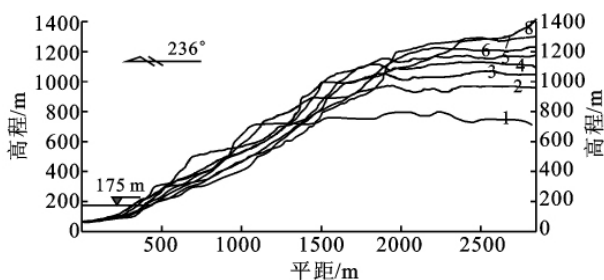


图 12 斜坡顺河坡形变化 1—8 为斜坡自东向西不同位置的 236°方向剖面坡形

5 结论与建议

(1)经过地质灾害调查,望霞大斜坡存在崩塌—滑坡的地质灾害链,滑坡活动性与崩塌事件息息相关。

(2)从望霞大斜坡地貌过程来看,其变形改造一

方面与河流下切密切相关,另一方面与自身的地质结构相关,而后者在第四纪以后起着主导作用。

(3)望霞大斜坡的现今地貌过程受采矿及水库蓄水的影响,其进程会加速。

(4)通过坡形对比发现,望霞大斜坡存在的直接地质灾害问题是危岩体崩塌,间接地质灾害问题是因崩塌而产生的滑坡。因此其长期稳定性较差,建议该斜坡区域进行生态移民。

(5)短期来看,值得关注的是桐心村危岩体,其稳定性较差,造成的后果较为严重,建议对其进行工程治理,并加强向家湾滑坡后缘其他危岩体的监测。

致谢:本文在形成思路及成文过程中,得到中国地质大学李长安教授、武汉地质矿产研究所黄长生博士后、金维群教授级高级工程师及常宏高级工程师的启发、指导及帮助,野外工作得到了刘广宁、董好刚等同志的帮助,一并致谢。

参考文献:

- [1] Norbert R, Morgenstern C, Derek M. Landslides: Seeing the ground[C]. Landslides and Engineered Slope, London: Taylor & Francis Group, 2008:3-23.
- [2] Abramson L W, Thomas S L, Sunil S, et al. Slope Stability and Stabilization Methods[M]. California: A Wiley-interscience Publication John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [3] 地质图说明书:巫山县幅[M]. 宜昌:宜昌地质矿产研究所, 2001:57-60.
- [4] 四川省巫山县志编纂委员会. 巫山县志[M]. 成都:四川人民出版社, 1991:85-86.
- [5] 黄波林, 陈小婷, 刘广宁, 等. 巫山县望霞乡桐心村危岩体变形破坏机制分析[J]. 工程地质学报, 2008, 16(4): 459-464.
- [6] 黄波林, 陈小婷, 彭轩明. 三峡库区巫山县廖家坪危岩体倾倒机制数值模拟分析[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(5): 24-27.
- [7] 韩金良, 吴树仁, 汪华斌. 地质灾害链[J]. 地学前缘, 2007, 14(6): 11-23.
- [8] 王文俊, 唐晓春, 王建力. 灾害地貌链及其临界过程初探[J]. 灾害学, 2000, 15(1): 41-46.
- [9] 王孔伟, 张帆, 林东成, 等. 三峡地区新构造活动与滑坡分布关系[J]. 世界地质, 2007, 26(1): 26-32.
- [10] 徐永辉, 杨达源, 陈可锋, 等. 三峡水库蓄水后对库区岸坡地貌过程的影响[J]. 水土保持通报, 2006, 26(5): 23-25.
- [11] Hoek E, Bray J W. 岩石边坡工程[M]. 卢世宗, 译. 北京:冶金工业出版社, 1983:183-186.