

硬质岩边坡‘ 坠覆 ’变形机理探讨

朱红雷

(浙江省水利水电勘测设计院 ,浙江 杭州 310002)

摘要 :介绍发现于三叠系中统巴东组(T_2b)软弱碎屑岩地层之中、人们在三峡库区库岸稳定研究过程中所提出的斜坡变形破坏形式——“ 坠覆体 ”——的概念。通过对浙江省中部某近坝库岸的大范围堆积体进行初步研究 ,结果表明 ,裂隙发育的硬质岩高陡边坡 ,由于受卸荷松动和风化作用的综合影响 ,也会产生“ 坠覆体 ”堆积。探讨该“ 坠覆体 ”堆积的形成机理。对软、硬岩层的坠溃变形情况进行了对比和分析。

关键词 :硬质岩边坡 ;裂隙岩体 ;斜坡变形 ;岩层坠溃 ;坠覆体

中图分类号 :TU31 ;TV697 文献标识码 :A 文章编号 :1006-764X(2007)05-0069-03

Discussion on down-slope overlapping deformation of hard rock slope//ZHU Hong-lei(Zhejiang Design Institute of Water Conservancy and Hydro-electric Power , Hangzhou 310002 , China)

Abstract :Down-slope overlapping , which was found in weak clastic rocks of middle triassic Badong group (T_2b) , is a slope deformation failure form proposed during the stability study of the reservoir bank of the Three Gorges Project . The analysis of an old landslide near a reservoir dam in the middle Zhejiang Province shows that the down-slope overlapping accumulation may occur on high hard rock steep slope with fissure development due to the unloading relaxing and weathering . Moreover , the mechanism of down-slope overlapping accumulation was discussed , and the collapse-induced deformation of soft and hard rocks was compared and analyzed .

Key words : hard rock slope ; fissured rock ; slope deformation ; rock collapse ; down-slope overlapping

1 问题的提出

“ 坠覆体^[1-3]”是崔政权在长期从事三峡库区库岸稳定研究过程中最早提出来的。所谓“ 坠覆体 ”,是指“ 坠溃 ”作用及其堆积物 ,是一种新的斜坡失稳形式 ,主要出现在三叠系中统巴东组(T_2b)地层岸坡中。这种岸坡的变形破坏机理是 ,软弱碎屑岩地层在历次构造应力场作用下出现密集裂隙 ,后随河谷下切而松弛风化 ,形成松动域 ;而后松动域下沉、弯曲并出现局部性剪滑、倾倒、崩塌及旋转 ,最后以“ 雪崩式 ”坠溃 ,形成坠覆体^[1-4]。崔政权认为坠溃现象主要集中于三叠系中统巴东组(T_2b)的软弱碎屑岩地层中 ,硬质岩地区并未发现这种现象。笔者对发生在浙江省中部的某近坝库岸的大范围堆积体进行初步研究 ,结果表明类似的坠溃现象也可能发生于硬质岩的裂隙岩体中。

2 基本地质条件

堆积体位于浙江省中部括苍山高中山区 ,河谷

两岸山势陡峻 ,以陡壁为主 ,岩面大都裸露。基岩主要为侏罗系上统高坞组(J_3g)、西山头组(J_{3x})、九里坪组(J_{3j})的火山碎屑岩 ,主要为晶屑玻屑熔结凝灰岩、凝灰岩、角砾熔结凝灰岩等块状坚硬岩石 ,局部夹沉凝灰岩、凝灰质砂岩、砂砾岩等。

大地构造属于华南褶皱系浙东南褶皱带 ,温州—临海拗陷的黄岩—象山断拗东部。区内断裂主要受北北东向温州—镇海等大断裂影响 ,北东向、北西向断裂也较发育。新构造运动主要表现为大面积间歇性整体性抬升 ,区内地震主要受东南沿海地震带的影响 ,地震活动强度和频度均较低 ,属低烈度地区 ,地震动峰值加速度小于 0.05 g 。

堆积体所处河段上游河流呈“ ζ ”字形弯曲 ,堆积体河段较顺直 ,长度约 500 m ,河谷底宽 80 ~ 100 m。堆积体位于左岸 ,左岸山顶高程 236 m ,山坡坡度一般 25° ~ 30° ,局部约 40° ~ 50° ,略有起伏。

堆积体的基底岩石主要为侏罗系上统西山头组(J_{3x})浅灰绿色、灰紫色流纹质含角砾熔结凝灰岩、含角砾凝灰岩 ,岩石块状、坚硬。基岩的断裂构造发

育 堆积体下游侧分布有北东向压性断裂,沿河北侧还有北西向的张扭性断裂分布。受上述断裂构造的影响,基岩节理发育,岩体的完整性较差,发育的节理主要为两组,其产状分别为: $NW300^{\circ} \sim 320^{\circ}$, $SW \angle 50^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 和 $NW300^{\circ} \sim 340^{\circ}$, $NE \angle 60^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。节理产状近平行边坡走向,主要为顺倾和反倾边坡。

调查显示,该堆积体分布高程自河床基岩面 85 m 高程起,直至山顶约 230 m 高程,平面上基本覆盖了整个山体的临河一侧,直至山顶,总分布面积约 6 万 m^2 ,总方量约 100 万 m^3 。根据其物质组成的差异可分为 I 区和 II 区两个分区。I 区分布于高程 85 ~ 195 m 间,平面上呈三角形分布。上下游平面(投影)底宽约 235 m,分布面积约 3.2 万 m^2 ,总方量约 50 万 m^3 。山坡地形总体较平缓,山顶呈混圆形,多有巨大块石遗留山坡。

II 区分布于 I 区以上及下游延伸区,分布高程 85 ~ 230 m,分布宽顶部约 200 m、下部约 70 m,面积约 3.0 万 m^2 ,总方量约 50 万 m^3 (含土石)。浅表岩体较风化破碎,深度约 20 m 范围以内,下部岩体完整,未见明显的位移错动。II 区岩体因受 I 区变形产生牵引及陡峻地形产生的重力影响等,导致岩体破碎、裂隙发育,风化作用强烈,局部已发生变形。其西北侧曾发生小规模浅层滑动,该带内岩土体与 I 区边界呈过渡型(见图 1)。

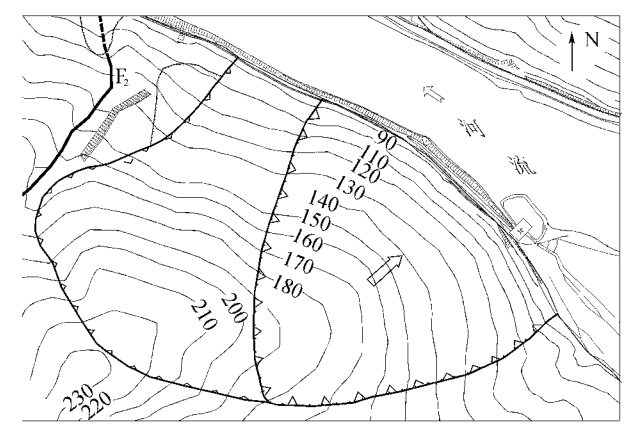


图 1 堆积体分布示意图

3 堆积体的成因分析

浙南地区普遍为硬质岩山区,新构造运动不强烈,主要表现为大面积间歇性整体性抬升,河流总体上下切作用强烈,普遍形成高陡的岸坡。由于岩质较好,大规模的崩滑现象并不经常发生,多以中小规模为主,崩滑一般具有较明显地形和微地貌特点。但从该堆积体的地形地貌看,不同于常见的滑坡形态,其后缘直至山顶无明显边界,山背侧则基岩裸露,完整性尚好,堆积体两侧边界也无明显地形反

映,仅前缘河道及岸边残留有零星巨石,反映出堆积体前缘曾被冲蚀改造的迹象。整个堆积体物质组成有较明显的上细下粗分带现象,在坡脚和前缘有巨块石堆积,长径数米至十数米,山坡上可见大片孤石出露,至坡顶一带则鲜有大块石分布。堆积体最大厚度 40 余 m,断面上呈现上尖中粗下细的纺锤形斜靠在山坡之上。

堆积体块石大小凌乱,岩性与母岩一致,堆积较松散,堆积体内钻孔时产生严重坍塌,孔内有微风冒出,且钻井液均流向河床,出溢于下游约 60 m 处的河床岸边,钻孔在未穿过底面时均呈干孔状态。堆积体的底部与基岩并无明显的界限,总体上呈现自上而下块体变大、夹泥渐少的状况,直至堆积体下部岩体才逐渐转好。

综观整个堆积体的特点,由于堆积范围直至山顶,后部无可供崩塌滑移的山体,因此碎块石并未发生远距离的运动,而且也未揭示明显的滑动面,直观上看,似乎是这个山体像个散体一样整个向北东侧溃决堆积而成,因此用常规的崩滑理论无法合理解释其成因,笔者认为更类似于“坠覆体”的破坏形式。

若将本堆积体的原地形地貌复原分析,正如硬质岩山区的典型河谷形态,原山坡地形陡峻,河床下切深度大,边坡岩体应力重新调整,产生近乎平行坡面的卸荷裂隙,并追踪裂隙岩体的构造裂隙。在这个变形边坡实例中,由于近平行边坡走向的正、反倾节理的切割,岩体完整性差,节理裂隙发育,岩体本身就像是一堆胶结在一起的“岩块堆积”。在岩体自重和风化作用下,岩体沿结构面和卸荷裂隙进一步松动,产生剪切变位和角变位。在变形位移过程中,形成了以离散、解体、断裂和错位为特点的“散解错位”变形。进而由于风化等的影响,散解的块体进一步分解,其周边刚度也发生变化,进而在重力作用下块石体形成旋转、倾倒、倾滑等多种变形,直至变形源逐步扩大。在降雨、震动等触发因素影响下,堆积体向临空侧发生溃决和坠落,呈现“雪崩”式快速塌落,形成“坠覆体”。变形域的形成和坠溃如图 2 所示。

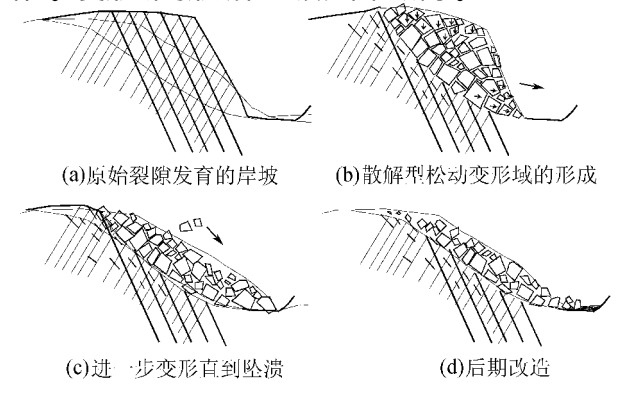


图 2 变形域的形成和坠溃示意图

由于前缘部位河道顺直而且相对狭窄,坠溃作用初次发生时前缘占据了部分河道,水流冲刷前缘的细颗粒物,形成陡坎,导致局部倾覆和局部性滑移,最终在河道内残留了若干的巨石堆积。“坠覆体”经这样的后期改造,河道边坡基本顺直,与下游基岩稳定岸坡基本一致,仅从地形上已很难辨别。

4 硬质裂隙岩体坠覆体的特点分析

根据崔政权针对三峡库区大范围分布的坠覆体及坠溃现象的研究,坠覆体主要具有以下几种表象:

- ①坠覆体后缘近一个单斜坡的坡顶,后缘没有可供大体积滑移的山体,碎块石的运动距离并不大。
- ②在铅直断面上找不到主滑带,偶见类似滑带的界面,但多为不连续或局部的。
- ③在陡倾角地区,无论顺倾或逆倾结构的岸坡,碎块体下部一定深度的岩体向坡外扭曲褶皱^[1]。

本堆积体的特征显示,前两项符合“坠覆体”的特征,但碎块体底部的扭曲褶皱现象并未发现。笔者认为,这是因为硬质岩裂隙岩体本身岩块的强度较高、不易扭曲变形的特点所致,坚硬、脆性和本身存在薄弱面的岩体,更多的是发生断裂、错位和倾倒,其变形域形成的特点可以概括为“散解错位”。也许正是因为这个原因,在硬岩地区发生此类“坠溃”现象比在软岩地区少见而且更不易被认识。

因此,裂隙发育的硬质岩体,如本例,在反倾和顺倾的两组裂隙切割下,切割成块状的边坡岩体,随着卸荷、松动变形和风化作用的进一步加剧,也会形成以“散解错位”为特点的变形域,随着变形的进一步加剧和风化作用的叠加,最终会形成以下坠、溃决为特点,无明显滑动界面的快速变形。这类坠溃现象与三峡地区发生于软弱岩层中的坠溃现象差别主要在于前期变形域的形成和发展,具体可归结为表1。

表1 软、硬岩层的坠溃变形对比

岩 层	地质条件	变形特点
巴东组(T ₂ b) 软弱碎屑 岩地层 ^[1]	水平地层 岩性软弱,产 状近水平,岸 坡高陡	下沉、压密、扭曲、 折断,进而形成旋 转、倾倒、倾滑等 变形
	反倾向地层 岩性软弱,岩 层反倾,岸坡 高陡	下沉、压密、扭曲、 折断,进而形成旋 转、倾倒、倾滑等 变形
裂隙发育的坚硬岩体	岸坡陡峻,岩 石坚硬,块状 或巨厚层状, 结构面发育, 岩体切割呈 块状	松动、散解、折断, 进而形成错位、旋 转、倾倒等变形 (散解错位)

值得一提的是,“坠覆体”在前期变形域的形成过程类似于“蠕动-滑移”模式的“蠕动”阶段或者“蠕动变形边坡”模式^[6-7]。不论此“蠕动”是塑流、扭

曲、压密所致还是倾倒、松动、散解成因,均与变形域的成因有机理上的类似。笔者的理解是,这两种模式一个是侧重于长期蠕动变形后沿一个相对连续的面滑移,另一个则是边坡岩体发生长期缓慢变形,是微小变位的长期积累所致,这两种都是常见的斜坡变形形式。但是“坠溃”模式侧重于突变阶段“坠”和“溃”的特点,既不是一次性沿连续面的下滑,也不是基本在原位的松动变形。“坠溃”模式与“蠕动-滑移”模式存在的最大差异是是否有一个连续的滑动面。很明显,一个连续稳定的不连续面更容易诱发整体的滑动。

5 关于“坠覆体”的稳定性

由于“坠覆体”的底面不连续,大小不一的岩块交错在一起,因此崔政权认为:“坠覆体”的二次改造基本上是前缘的局部性滑移、地形陡变处的倾覆和土石流等形式,而不是沿基岩面的整体滑移^[1]。若定为坠覆体,坡体的变形、失稳将直接受控于临空面的高度,即坠覆体岸坡的变形、失稳控制面(带)是跟随坡高而变的“随机”面,其整体表象是“主动土压力”,而不是整体滑动,库岸再造形式是碎石流兼有浅层崩滑。所以,坠覆体岸坡的治理,其核心是对坡体主动土压力的抗衡,库岸再造部位,基本整治方针是“护(坡)挡(墙)防冲”,而不是抗滑^[15]。

根据笔者的理解,上述结论是基于“坠覆体”在一个相对比较长的地质历史时期内,周边环境并未发生严重的不利变化,也没有较强的外因触发情况之下,如果环境的改变和外因的变化超出预期,其稳定问题还是会比较突出。例如本例的“坠覆体”位于拟建水库的近坝库岸,本身分布高差不足150m,而水库蓄水将抬高水位约70m,致使该“坠覆体”约50%的高差和近2/3的体积浸没于水下,因此其周边环境发生了巨大的变化,在土体浸水饱和、降雨、爆破和库水消落淘刷、涌浪冲刷等触发因素的影响下,其稳定问题仍然较为突出和值得担忧,由于距离大坝较近,即使是局部的稳定问题都会对大坝安全造成影响,因此从大坝安全考虑其处理方式应以部分清挖和支挡保护的方式为宜。

6 结 语

对于裂隙发育的硬质岩高陡边坡,由于其卸荷松动和风化作用的综合影响,会产生以“散解错位”为特点的松动和一定范围的松动域,并在一定的触发因子触发下发生崩溃、坠落等为特点的变形,进而形成“坠覆体”堆积。发生在硬质岩地区的这类变形由于其地貌上鲜有明显的特征,因此在未进行(下转第79页)

同治理理论是适合时代特征的理论 ,它反映了企业的契约性质及当今时代人力资本地位提升的要求 ,对于我国水电开发企业治理结构的健全发展具有重要的指导意义。

参考文献：

[1] 王文珂 . 国外水电开发企业公司治理机制研究 [J]. 人民长江 , 2006 (4) : 106-108 .
[2] 贾生华 , 陈宏辉 . 利益相关者的界定方法述评 [J]. 外国经济与管理 , 2002 (5) : 13-18 .
[3] 王唤明 , 江若尘 . 利益相关者理论综述研究 [J]. 经济问题探讨 , 2007 (4) : 11-14 .
[4] FREEMAN R E , EVAN W M . Corporate governance : A stakeholder interpretation [J]. Journal of Behavioral Economics , 1990 , 19 : 337-359 .
[5] BLAIR M M , LYNN A S . Response to peter c . kostant ' s " exit , voice and loyalty in the course of corporate governance and

counsel ' s changing role " [J]. Journal of Socio-Economics , 1999 , 28 (3) : 251-253 .
[6] 杨瑞龙 , 周业安 . 论利益相关者合作逻辑下的企业共同治理机制 [J]. 中国工业经济 , 1998 (1) : 38-45 .
[7] 李维安 , 王世权 . 利益相关者治理理论研究脉络及其进展探析 [J]. 外国经济与管理 , 2007 (4) : 10-17 .
[8] 陈宏辉 . 企业的利益相关者理论与实证研究 [D]. 杭州 : 浙江大学 , 2003 .
[9] 张莉 . 论公用事业型企业治理模型的选择 [J]. 企业活力 , 2004 (10) : 18-19 .
[10] DONALDSON T , PRESTON L E . The stakeholder theory of the corporation : Concepts , evidence , and implications [J]. Academy of Management Review , 1995 , 20 (1) : 85-91 .
[11] 叶林 . 公司利益相关者的法学分析 [J]. 河北学刊 , 2006 (4) : 165-170 .
[12] 董哲仁 . 对于怒江开发与保护的思考 [J]. 水利发展研究 , 2005 (8) : 7-11 .

(收稿日期 : 2006-04-14 编辑 : 高建群)

(上接第 71 页) 细致的工作时易被忽视 ,进而给工程建设带来不利的影响。

参考文献：

[1] 崔政权 , 李宁 . 边坡工程——理论与实践最新发展 [M]. 北京 : 中国水利水电出版社 , 1999 : 40 .
[2] 崔政权 . 滑坡牵动域是滑坡研究领域里的重要内容 [J]. 岩土工程界 , 2003 (6) : 66-68 .
[3] 刘传正 . 长江上游川峡二江续接地段岸坡演变过程探讨 [J]. 中国地质灾害与防治学报 , 2000 (11) : 50-55 .

[4] 崔政权 . 长江三峡工程库区主要环境地质问题 [C] / 中国科学技术协会学会工作部 . 中国减轻自然灾害研究 (全国减轻自然灾害研讨会论文集) . 北京 : 中国科学技术出版社 , 1998 .
[5] 刘传正 . 长江三峡工程库区“ 新城运动 ” 中地质环境开发问题与对策 [环境地质研究 (四)] [M]. 北京 : 地震出版社 , 1999 : 1-6 .
[6] 金德谦 . 中小型水利水电工程地质勘察经验汇编 [R]. 杭州 : 浙江省水利水电勘测设计院 , 1995 : 66-70 .
[7] SL55—93 , 中小型水利水电工程地质勘察规范 [S] .

(收稿日期 : 2007-02-28 编辑 : 高建群)

· 书讯 ·

《高油压水轮机调速器技术及应用》出版发行

高油压水轮机调速器面世 10 年来 ,显示了强大的生命力 ,成为现代调速器的发展趋势 ,代表了调速器升级换代的方向。选用高油压调速器 ,水电站即可取消高压气系统 ,节约的投资和运行费足以购置高油压调速器。目前 ,高油压调速器技术及产品发展很快 ,国内已有数台投入运行 ,且已远销国外。但迄今尚未见到有关高油压调速器的技术专著。

长江出版社 2007 年 4 月出版了由郭建业等编著的《高油压水轮机调速器技术及应用》。该书总结了高油压水轮机调速器问世以来的技术成果 ,详述了各类高油压水轮机调速器的原理结构、性能特点、调整维护及运行操作方法 ;具体介绍了高油压水轮机调速器采用的各类液压阀和液压缸 ,阐述了高油压水轮机调速器的选型计算、安装布置及试验要点 ;系统总结了高油压水轮机调速器常见故障及其分析处理方法。此外 ,对高油压水轮机操作器、高油压阀门控制装置及液压油也作了适当介绍。本书可作为水电站运行检修人员的自学或培训教材 ,大中专院校水电相关专业的参考教材 ,也可作为水电设计、制造、安装单位专业人员的参考用书。

(本刊编辑部供稿)