

# 雅砻江右岸某巨型滑坡变形机理及稳定性分析

吴超凡<sup>1,2</sup>, 邱占林<sup>1</sup>, 肖树焯<sup>3</sup>, 林金洪<sup>3</sup>

(1. 龙岩学院 资源工程系, 福建 龙岩 364012; 2. 中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 江苏 徐州 221008; 3. 华东勘测设计研究院 福建华东岩土工程有限公司, 福州 350003)

**摘要:** 某滑坡位于雅砻江流域内拟建卡拉水电站水库右岸单斜构造带内, 呈方形展布, 为方量  $1.22 \times 10^8 \text{ m}^3$  顺层巨型滑坡, 主滑方向为 NE 向。滑坡变形表现在中下部的局部表层蠕滑变形, 其机理为蠕滑-拉裂-滑移式。据野外调查和勘探成果, 并结合该滑坡所处地质环境条件, 运用弹性有限元方法对其进行数值模拟。结果表明, 该滑坡在天然状态下稳定性较好, 最大剪应力集中在滑带附近, 其值约 0.27 MPa。滑体中下部主要为水平位移, 且滑体在重力作用下对力的约束最为敏感; 上部则表现为以竖向位移为主。

**关键词:** 滑坡; 变形机理; 稳定性; 有限元数值模拟

**中图分类号:** P642.22; TV221.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)06-0110-04

## Deformation Mechanism and Stability Analysis of a Giant Landslide at the Right Bank of the Yalong River

WU Chaofan<sup>1,2</sup>, QIU Zhanlin<sup>1</sup>, XIAO Shuxuan<sup>3</sup>, LIN Jinhong<sup>3</sup>

(1. School of Resource and Engineering, Longyan University, Longyan 364012, China;

2. State Key Laboratory of Geomechanics and Deep Underground Engineering,

China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;

3. East China Investigation and Design Institute, Fujian Geotechnical Engineering Co., Ltd, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** A landslide is located in the monoclinical structural zone at the right bank of the proposed Kala hydropower station in the Yalong River Basin, and it has a square distribution and a volume of  $1.22 \times 10^8 \text{ m}^3$  with a main slide in NE direction. The local surface creep deformation occurs in the middle and lower parts of the landslide, and its deformation mechanism is the peristalsis-cracking-sliding type. Based on the field geological investigation and exploration results, the elastic finite element method was used to simulate the landslide deformation in consideration of the geological conditions of the landslide. The results showed that (1) the landslide is stable under natural conditions, and the maximum shear stress is located around the sliding zone with a value of about 0.27 MPa; (2) the horizontal displacement is dominated in the middle and lower parts of the landslide, and the landslide is sensitive to the constraints of force under the action of the gravity; and (3) the vertical displacement is dominated in the upper part of the landslide.

**Key words:** andslide; deformation mechanism; stability; finite element numerical simulation

近年来,随着电力需求的增大,各种级别的水电站建设发展迅速,但由此也遇到一系列的工程地质问题,拟建坝址滑坡稳定性就是典型问题之一。许多学者为此开展了大量的研究工作,黄栋等<sup>[1]</sup>在考虑渗流场和稳定场耦合的条件下,综合极限平衡分析法得出了库岸滑坡稳定性系数计算方法,并对晒网坝滑坡稳定性进行了分析;王志军等<sup>[2]</sup>运用剩

余推力法对三峡库区秭归县头道河0号滑坡不同工况下的稳定性做了分析和评价;吉锋等<sup>[3]</sup>在研究雅砻江中游某特大型滑坡基本特征的基础上,分区分析了其稳定性;孙娟等<sup>[4]</sup>通过对不同工况下滑坡稳定性计算,分析了四川安县高川乡政府滑坡稳定性;卞建宁等<sup>[5]</sup>基于构建滑坡稳定性分析模型,利用推力法计算了四川地震灾区三兴庙滑坡稳定性;王

收稿日期: 2013-03-21 修回日期: 2013-08-02 网络出版时间: 2013-10-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20131010.1029.039.html>

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划课题资助项目(2011BAK07B02); 福建省自然科学基金资助项目(2010J01262); 福建省教育厅资助项目(JA10261)

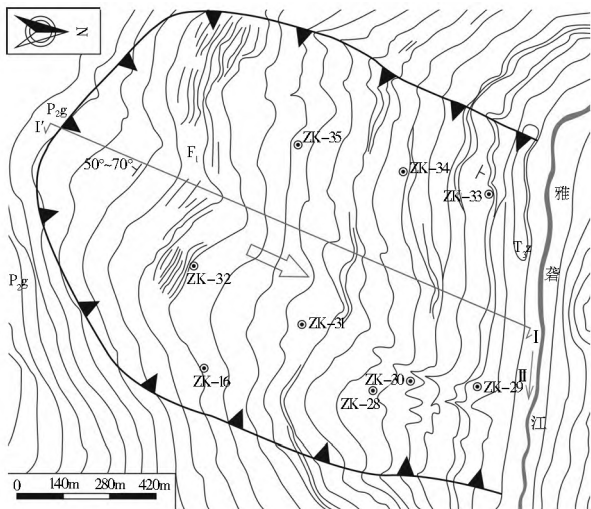
作者简介: 吴超凡(1964), 男, 福建仙游人, 副教授, 硕士, 主要从事工程地质与灾害防治的教学与研究工作。E-mail: cf6606@163.com

湘锋等<sup>[6]</sup>运用传递系数法评价了成都市大邑县干岩子滑坡稳定性;邹小虎等<sup>[7]</sup>基于地质分析和简化毕肖普法分析了雅砻江甲西滑坡成因机制及其稳定性;黄达等<sup>[8]</sup>采用FLAC数值模拟软件分析了某公路滑坡稳定性;刘涛等<sup>[9]</sup>则采用传统和数值模拟两种方法对贵州水城曾家包包大型基岩滑坡稳定性进行了综合性评价;李会中等<sup>[10]</sup>在工程地质详查的基础上,以宏观分析和数值计算相结合的手段系统研究了乌东德水电站右岸拱肩槽边坡稳定性。此外,还有学者根据宏观现象监控与地表位移监测来研究唐家山滑坡及其堰塞体的整体稳定性<sup>[11]</sup>,以及利用GPS监测,通过FLAC3D对三峡库区某滑坡位移矢量变化情况进行数值模拟,进而研究该滑坡的变形特征<sup>[12]</sup>。

本文根据雅砻江右岸某巨型滑坡所处的地质环境条件,结合滑坡基本特征,分析了滑坡变形机理及形成过程,并运用弹性2D block软件有限元数值模拟方法对该滑坡的稳定性进行了初步分析。

## 1 滑坡概况

雅砻江右岸某滑坡周边地形陡峻,属高山峡谷地貌,地质条件复杂。岸坡位于雅砻江右岸单斜构造带内,岩层总体向左岸倾且偏下游。滑坡体平面上呈方形展布,前后缘长约1500 m,上下游宽约1150 m,高差约830 m,分布面积170.6万m<sup>2</sup>,平均厚度71 m,其中最大垂直揭露厚度173.5 m,总方量为1.22亿m<sup>3</sup>,属巨型滑坡,见图1。该滑坡体近南北展布,地形南陡北缓,主滑方向为NE16°。滑坡体两侧各发育有一条较大冲沟,边界较为清楚,前缘因江水下切于上游侧江边有基岩裸露,两侧边界均可见有基岩,后缘则被后期崩坡积物覆盖。区内出露的地层主要为上三叠统杂谷脑组第三段(T<sub>3z</sub><sup>3</sup>)深灰色中厚层状变质砂岩夹大理岩或砂质板岩,为软硬相间的地层。其中板岩作为抗风化能力弱、力学强度低的软弱夹层,是滑坡体形成的底滑面。岩层产状一般为N20°~30°W/NE∠35°~50°,层面与坡面以小角度相交,属层状同向顺层结构边坡,见图2。



1 滑坡边界; 2 主滑方向; 3 河流及流向; 4 钻孔及编号; 5 二叠系上统冈纳组; 6 三叠系上统杂谷脑组; 7 产状符号; 8 剖面线及编号

图1 工程地质平面图

Fig. 1 Plan view of the engineering geology

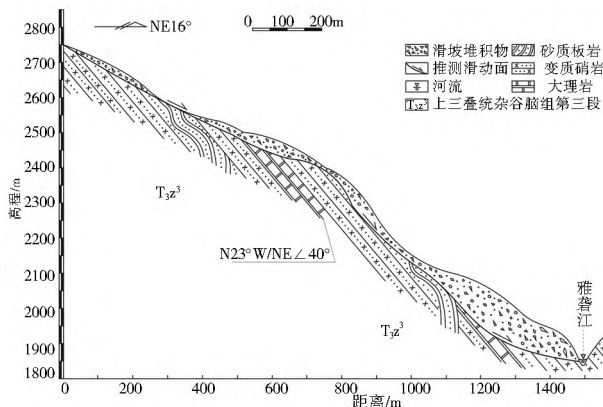


图2 典型工程地质剖面图

Fig. 2 Cross section view of the engineering geology

区内构造较为简单,主要发育三组节理: 1 N0°~30°E/NW(SE)∠70°~90°,延伸长度2~10 m,间距一般20~50 cm,基本闭合,少数局部张开; 2 N65°~85°W/SW∠20°~60°,延伸长度>7 m,间距一般10~50 cm,基本闭合,少数局部张开; 3 N60°~90°E/NW∠80°~90°,延伸长度4~10 m,间距一般0.5~2.0 m,基本闭合,少数局部张开,张开度5~15 mm。

区内地下水多为受大气降水补给的孔隙潜水和裂隙潜水。

## 2 滑坡变形机理及形成过程

### 2.1 变形机理

滑坡的发生是多种因素综合作用的结果。

(1) 区域构造运动因素。本区自中更新世晚期以来,伴随地壳抬升运动,河谷强烈下切,两岸边坡急剧抬升。在这一过程中原始构造应力逐渐释放,从而在浅表层发生差异卸荷回弹作用,特别是沿软硬层面交界部位卸荷回弹变形比较明显,剪应变增大,剪应力集中,最终在此部位发生剪切破坏。同时,卸荷回弹在浅表部岩体中产生拉张裂隙,形成新的表生结构面,为降雨、地表水的入渗以及地下水的渗流提供了良好通道,促使坡体内地下水水位升高。由于滑带及其上覆黏土颗粒阻滞了坡体地下水的排泄,引起孔隙水压力增大,降低了滑带抗剪强度,促进了滑坡的发生。另外,由于滑区内岩层倾角大于大部分原始坡角,河谷下切及河流侧蚀作用为顺层边坡的滑移失稳及边坡岩体的变形破坏提供了临空面。

(2) 地质结构因素。存在软硬相间岩性组合的边坡易失稳。该滑坡区内板岩抗风化能力弱,遇水易软化,为力学强度低的软弱夹层,是形成滑面的物质基础。另外,该滑坡体基岩中存在三组对滑坡边界起控制作用的节理,其中1组节理为滑坡形成的优势节理。这些不良结构面有利于降雨入渗和风化作用的进行,为岩体的变形破坏提供了基础。

(3) 降雨因素。作为滑坡形成过程中最积极、最活跃的诱发因素,降雨不但会使岩土体饱水增重,而且能增加滑面动水压力和孔隙水压力,减小抗滑力,增大下滑力,因此往往成为边坡失稳的决定性因素。研究区降雨丰沛,强降雨集中,滑坡发生的机率较高。

滑坡岩土体在上述各种因素的长期作用下发生缓慢而

持续的变形。当潜在滑面与后缘拉张裂缝贯通时,“锁固段”<sup>[13]</sup>将被剪断,产生指向坡外的驱动力,引起后缘牵引的发展,从而导致整体滑移的发生。因此,该滑坡是在不利的地形地貌、软弱的岩性以及不良的结构面组合等条件下,经降雨触发所引起的蠕动-拉裂-滑移式巨型滑坡。

### 2.2 形成过程

据野外地质调查,该滑坡体的变形破坏迹象表现为局部表层蠕滑变形和冲沟垮塌。其中蠕滑变形区主要分布于 2 300 m 高程以下的滑坡体中下部临江岸坡和深切冲沟两侧,其形成过程主要包括‘斜坡岩层蠕动-拉裂变形-滑移-趋于稳定’等 4 个阶段,经过了长期的发展演变。

(1) 蠕变剪切阶段。上覆岩体由于在斜坡坡脚处受到河流切蚀冲刷作用,强度降低,导致重力作用下岩土逐渐向河谷方向产生蠕变剪切。

(2) 拉裂变形阶段。第一阶段之后拉应力逐渐起主导作用,从而在滑坡后缘区形成拉张裂缝,同时也加剧了第 0 组基岩节理(N 65° ~ 85° W / SW ∠ 20° ~ 60°)的变形,对滑坡的形成和发展造成影响。

(3) 滑移阶段。斜坡下部的下伏板岩向河谷方向发生蠕变剪切或破坏,导致斜坡外的板理面上的剪切应力增大,最终使上覆岩体沿此结构面产生滑移。

(4) 拉裂扩展趋于稳定阶段。因斜坡存在陡倾坡内的板理面,故随着上覆岩层的滑移,势必在这些板理面上内形成拉应力。当应力超过岩体强度时,就会产生拉裂破坏,拉裂缝最终与滑移面贯通,形成蠕动-拉裂-滑移式滑坡。

## 3 滑坡稳定性分析

本文采用日本软脑株式会社开发的弹性 2D block 软件进行滑坡稳定性分析。此软件可以模拟不同性质岩体在各种边界条件下的应力应变趋势,以及开挖、加固等工况下应力、应变特性和塑性破坏情况,也可以建立二维计算模型来模拟滑坡体位移场、应力场和应变分布场的特征。

### 3.1 建立计算模型

雅砻江右岸某滑坡形成时代较早,在成坡过程中斜坡构造应力已释放殆尽,应力场形成于成坡阶段完成之后。根据边坡结构的实际情况,运用弹塑性本构方程对其变形特征进行描述,并按平面应变问题进行处理。

#### 3.1.1 模型与边界条件

此次计算选取  $\bar{N} - \bar{N}_c$  剖面来建立二维有限元计算模型,剖面可以分成上部滑坡堆积体、中部滑带和下伏基岩三部分。模型长 1 700 m,高 1 100 m,主要采用八节点四边形二次单元将整个计算模型离散化为 2 908 个节点,390 个单元,见图 3。为了减小边界条件对计算结果的影响,模型底部及前后缘部分均有一定延展。计算中模型基本保留了实际边坡的地质结构特征。

模型边界条件假定如下: a. 边界只考虑自重应力作用,不考虑水平构造应力作用;重力场决定河谷应力场,忽视其他次要因素; b. 模型计算中剔除或抑制了滑坡周界的影响; c. 边界取在山脊,即地形正对称处,对称面上剪力为零,底部则以不影响应力场重分布为原则; d. 左、右边界取底部约束

$v = 0$ , 水平约束  $u = 0$ 。

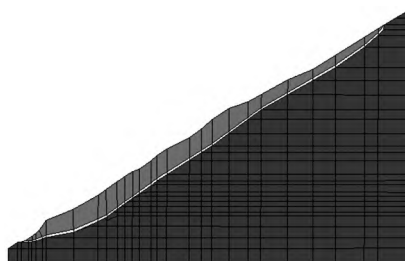


图 3 某滑坡体有限元计算模型

Fig. 3 Finite element calculation model of the Xiatianzhen landslide

### 3.1.2 介质及其力学参数

根据计算要求和滑体出露的地层、岩体风化特征,将模型分为 3 种介质类型(滑床基岩、滑带及滑坡堆积体)。不同介质的物理力学参数是基于各介质室内与室外结构类比确定的。各介质参数取值见表 1。

表 1 介质物理力学参数取值

Table 1 The physical and mechanical parameters of the landslide

材料类型	重度 /(kN · m <sup>-3</sup> )	泊松比	弹性模 量/MPa	抗拉强 度/kPa	内聚力 /kPa	内摩擦 角(°)
滑床基岩	26	0.25	20 000	1 000	27.2	39
滑带	23	0.35	700	0	19.5	31
滑坡堆积体	22	0.30	1 000	0	19.3	30.5

### 3.2 结果分析

基于 Mohr-Coulomb 屈服准则和理想塑性模型,应用平面应变思想处理上述模型的非线性数值问题(计算所得的应力场遵循弹性力学的约定,张为正,压为负)。对滑坡体的位移场、应力场以及应变分布场的分析结果如下(图 4、图 5)。

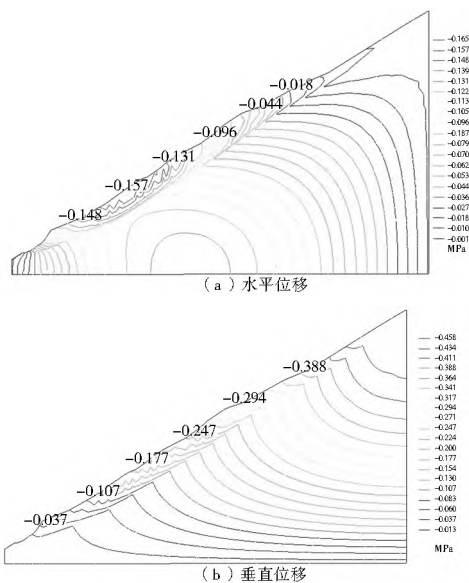


图 4 某滑坡体位移等值线

Fig. 4 Displacement contour of the Xiatianzhen landslide

由图 4(a)可知,滑体中下部水平位移较大,最大值达 0.165 m;越靠近滑坡体上部,水平位移逐渐变小;位移值在潜在剪出口附近呈现突变现象。这是由于重力作用造成上

部滑体向前的推力集中引起的,且与极易发生的水平蠕动有关。由图 4(b) 垂直位移等值线图来看,滑体后缘竖向位移较大,最大值为 0.458 m,愈靠近滑体下部,位移值愈小,可见在重力作用下,上部坡体主要表现为向下运动,而下部则因临空面组合条件表现为水平运动。对比图 4(a) 和图 4(b) 可知,各点的垂直位移较水平位移值偏大,说明经较长的地质历史时期,各点变形场均已基本稳定。

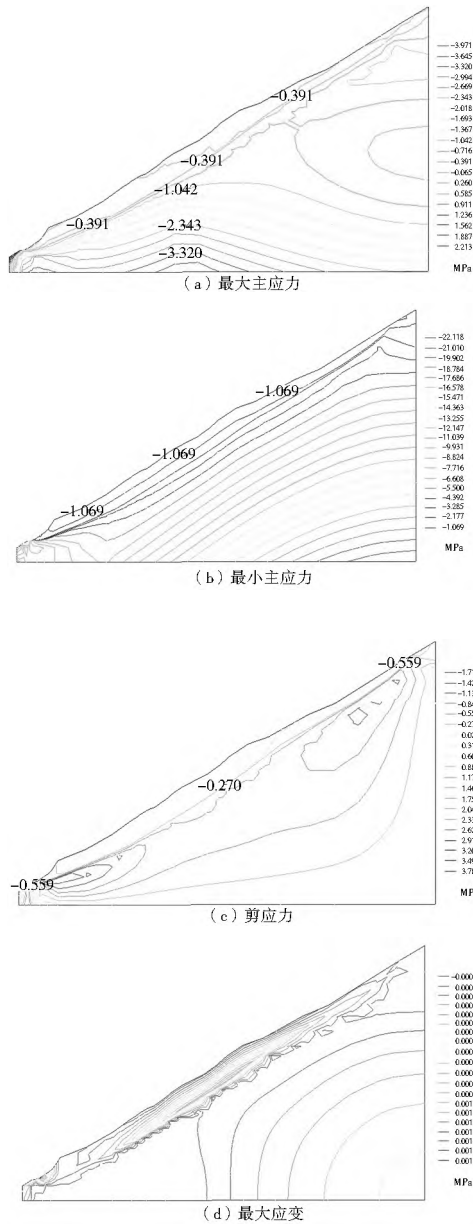


图 5 某滑坡体应力与应变等值线

Fig. 5 Contour of stress and strain of the Xiatiangzhen landslide

从图 5(a) 可以看出,最大主应力主要表现为重力产生的竖向应力,应力梯度均匀;从滑体至滑带,应力逐渐从由拉应力转化为压应力,并且在滑带附近及坡脚处形成应力集中带。这是滑坡的应力重分布与应力分异作用的结果。图 5(b) 显示,滑坡体最小主应力值明显比滑床基岩的应力值低,即愈靠近底部,其应力值愈大;主应力力学性质均以压应力为主。此外,从图 5(c) 剪应力等值线图可知,滑体内剪应力( $\tau_{xy}$ )均匀分布于滑带中部附近,平均约为 0.27 MPa,而

在后缘和坡脚形成应力集中区,其值高达 3.787 MPa。说明在坡脚和后缘处易发生变形破坏(后缘拉裂和前缘滑移剪出),且最大、最小主应力在坡脚处的滑带上均出现明显的应力集中区,与理论上拐角应力集中效应相吻合。图 5(d) 显示,与应力集中带相对应(图 5(a)、图 5(b)、图 5(c)),愈靠近滑带,相对变形愈为集中,坡脚的应变值也较高,变形较为强烈。但由于滑体安全储备普遍较高,在天然状态下滑坡体仍然有着较好的整体稳定性。

#### 4 结论及建议

(1) 雅砻江巨型滑坡变形机理属蠕动—拉裂—滑移式,其形成过程主要包括“蠕变剪切、拉裂变形、滑移和拉裂扩展趋于稳定”等 4 个阶段。

(2) 该滑坡体中下部以水平位移为主,上部以竖向位移为主,且中下部的滑体在重力作用下对力的约束最为敏感,应力变化幅度较大。因此,在今后的工作中应加强此段位移变化情况的监测和预报。

(3) 滑体内主要为重力产生的梯度均匀的竖向应力,且剪应力集中出现在滑带附近,其值约 0.27 MPa。即该滑坡体目前处于较低的应力状态,在天然状态下,有利于某滑坡体的长期稳定,局部仅存少量的浅表崩塌破坏现象。

#### 参考文献(References):

[1] 黄栋,乔建平,张小刚.库水位变化对库岸滑坡稳定性影响的预测研究[J].长江科学院院报,2012,29(9):103-106.(HUANG Dong, QIAO Jian ping, ZHANG Xiao gang. Prediction of Landslide Stability of Reservoir Bank under the Influence of Water Level Fluctuation[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(9): 103-106. (in Chinese))

[2] 王志军,李云平,段会升,等.三峡库区秭归县头道河 0 号滑坡特征及稳定性评价[J].中国煤炭地质,2012,24(1):35-40.(WANG Zhi jun, LI Yun ping, DUAN Hui sheng, et al. Toudaohe Landslide 0 Features and Stability Assessment in Zigui County, the Three Gorges Reservoir Area[J]. Coal Geology of China, 2012, 24(1): 35-40. (in Chinese))

[3] 吉锋,钟湖平.雅砻江中游某特大型滑坡基本特征及稳定性初步分析[J].南水北调与水利科技,2010,8(5):92-166.(JI Feng, ZHONG Hu ping. Characteristics and Stability of a Large Landslide in the Yalong River[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(5): 92-166.

[4] 孙娟,郝文辉,贡常青,等.四川安县高川乡政府滑坡特征及稳定性分析[J].中国地质灾害与防治学报,2011,22(4):8-12.(SUN Juan, HAO Wen hui, GONG Chang qing, et al. Characteristics and Stability Analysis of Zhengfu Landslide in Gaochuan Township, An County, Sichuan Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(4): 8-12. (in Chinese))

[5] 卞建宁,邢志斌,李精英.四川地震灾区三兴庙滑坡稳定性评价及治理研究[J].地质学刊,2011,35(3):290-295.(BIAN Jian ning, XING Zhi bin, LI Jing ying. Study on Stability Evaluation and Prevention of Sanxing Temple Landslide in Sichuan Earthquaked Area[J]. Journal of Geology, 2011, 35(3): 290-295. (in Chinese))

(下转第 119 页)

- 分析[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 1989, (4): 63-68. (SHAN Peng-fei. A Systematic Analysis on the Distributional Law of Salt bitter Water, High fluorine Phreatic Water and Geomorphologic Setup in Ningxia[J]. Journal of Ningxia University(Natural Science Edition), 1989, (4): 63-68. (in Chinese))
- [9] 陶书华, 徐继刚. 陕西定边平原高氟地下水的形成、分布及改水途径研究[J]. 陕西地质, 1992, 10, (1): 75-86. (TAO Shu hua, XU Ji gang. Studies of the Formation Distribution and Purifying Methods of High fluoride Underground Water in the Dingbian Plain, Shaanxi Province[J]. Geology of Shaanxi, 1992, 10 (1): 75-86. (in Chinese))
- [10] 窦妍, 钱会. 盐池地区地下水中氟离子的分布及其成因[J]. 西安文理学院学报: 自然科学版, 2007, 10(1): 81-85. (DOU Yan, QIAN Hui. Cause Analysis of Fluorine Ion Distribution of Groundwater in Yanchi, Ningxia Autonomous Region[J]. Journal of Xi'an University of Arts & Science (Nat Sci Ed), 2007, 10(1): 81-85. (in Chinese))
- [11] HOU Guangcai, LIANG yongping, SU Xiaosi, et al. Groundwater Systems and Resources in the Ordos Basin, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(5): 1061-1069.
- [12] 董维红, 苏小四, 侯光才, 等. 鄂尔多斯白垩系地下水盆地地下水水化学类型的分布规律[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(2): 288-292. (DONG Wei hong, SU Xiaosi, HOU Guang cai, et al. Distribution Law of Groundwater Hydrochemical Type in the Ordos Cretaceous Artesian Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37 (2): 288-292. (in Chinese))
- [13] 万玉玉, 苏小四, 董维红, 等. 鄂尔多斯白垩系地下水盆地中深层地下水可更新速率[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(3): 623-630. (WAN Yu yu, SU Xiaosi, DONG Wei hong, et al. Evaluation of Groundwater Renewal Ability in the Ordos Cretaceous Groundwater Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(3): 623-630. (in Chinese))
- [14] 李向全, 祝立人, 候新伟, 等. 太原盆地浅层高氟水分布特征及形成机制研究[J]. 地球学报, 2007, 28(1): 55-61. (LI Xiang quan, ZHU Li ren, HOU Xi r wei, et al. Distribution and Evolutional Mechanism of Shallow High Fluoride Groundwater in Taiyuan Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2007, 28(1): 55-61. (in Chinese))
- [15] 王新娟, 李世君, 周俊, 等. 北京大兴区第四系地下水氟分布特征及成因分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(2): 28-33. (WANG Xi r juan, LI Shi jun, ZHOU Jun, et al. Fluoride Distribution and Its Genetic Analysis in Quaternary Groundwater of Daxing District in Beijing[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(2): 28-33. (in Chinese))
- [16] 王存龙, 庞绪贵, 王红晋, 等. 高密市高氟地下水成因研究[J]. 地球与环境, 2011, 39(3): 355-362. (WANG Cun long, PANG Xu gui, WANG Hong jin, et al. High F Groundwater in Gaomi City Its Genetic Study[J]. Earth and Environment, 2011, 39 (3): 355-362. (in Chinese))
- [17] 韩洪伟, 吴国学, 王永祥, 等. 高氟地下水在内蒙古赤峰地区的分布与形成初探[J]. 世界地质, 2004, 23(4): 376-381. (HAN Hong wei, WU Guo x ue, WANG Yong xiang, et al. Preliminary Study on Formation and Distribution of Groundwater with High Fluorine in Chifeng District, Inner Mongolia[J]. Global Geology, 2004, 23(4): 376-381. (in Chinese))
- (上接第 113 页)
- [6] 王湘锋, 李天斌, 王小群. 成都市大邑县干岩子滑坡成因机制及稳定性评价[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 92-94. (WANG Xiang feng, LI Tian bin, WANG Xiao qun. The Analysis of Formation Mechanism and Stability Assessment for a Landslide in Ganyanzi of Dayi, Chengdu[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(1): 92-94. (in Chinese))
- [7] 邹小虎, 沈军辉, 张进林, 等. 雅砻江江西滑坡成因机制及其稳定性分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2006, 17(4): 39-42. (ZOU Xiao hu, SHEN Jun hui, ZHANG Jin lin, et al. Analysis of Formation Mechanism and Stability of Jiayi Landslide of Yalong River[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2006, 17(4): 39-42. (in Chinese))
- [8] 黄达, 裴向军, 张志刚, 等. 某公路滑坡成因机制及稳定性[J]. 山地学报, 2008, 26(6): 721-726. (HUANG Da, PEI Xiang jun, ZHANG Zhi gang, et al. Study on the Foration Mechanism and Stability of a Landslide of a Highway[J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(6): 721-726. (in Chinese))
- [9] 刘涛, 李渝生, 汪波. 贵州水城曾家包包大型基岩滑坡的成因机制及稳定性[J]. 山地学报, 2005, 23(3): 342-347. (LIU Tao, LI Yu sheng, WANG Bo. Genesis Mechanism and Stability of Large Zengjiabobao Bedrock Slide in Water City of Guizhou[J]. Journal of Mountain Science, 2005, 23(3): 342-347. (in Chinese))
- [10] 李会中, 王吉亮, 黄孝泉, 等. 乌东德水电站右岸拱肩槽边坡稳定性研究[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(8): 83-88. (LI Hui zhong, WANG Ji liang, HUANG Xiao quan, et al. Slope Stability at the Right Abutment of Wudongde Hydropower Station[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(8): 83-88. (in Chinese))
- [11] 李守定, 李晓, 张军, 等. 唐家山滑坡成因机制与堰塞坝整体稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(增 1): 2908-2915. (LI Shou ding, LI Xiao, ZHANG Jun, et al. Study of Geological Origin Mechanism of Tangjashan Landslide and Entire Stability of Landslide Dam[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(Supp. 1): 2908-2915. (in Chinese))
- [12] 杨建国, 晏鄂川, 程温鸣. 滑坡变形特征的 GPS 监测信息识别研究[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(3): 24-28. (YANG Jian guo, YAN E chuan, CHENG Wen ming. Identification of GPS Monitoring Information of Landslide Deformation Characteristics[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(3): 24-28. (in Chinese))
- [13] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433-454. (HUANG Run qiu. Large scale Landslides and Their Sliding Mechanisms in China Since the 20th Century[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(3): 433-454. (in Chinese))