

# 四川省华蓥市赵子秀山变形体的成因机制研究

伍保祥, 沈军辉, 沈中超, 崔杰, 王兰生

(成都理工大学地质灾害防治国家重点实验室, 成都 610059)

**摘要:** 赵子秀山变形体位于华蓥市西北部, 变形体一旦失稳将直接对华蓥市造成威胁。本文从斜坡地质结构、变形破裂特征、地貌演化及人类工程活动(采煤)入手, 结合数值模拟的方法研究变形体的变形机制。研究表明变形体的形成是下部含煤层的中倾角反向层状结构斜坡在河谷下切过程中发生倾倒-拉裂变形所致, 同时, 后期的采煤活动对拉裂变形的发展有较大影响。

**关键词:** 赵子秀变形体; 裂缝; 结构特征; 成因机制; 数值模拟

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

文章编号: 1009 3665(2008) 03 0023 05

## 1 引言

赵子秀山变形体位于四川省华蓥市瓦店乡红岩村西北部杨家河右岸赵子秀山近山顶部位。变形体一旦失稳将直接威胁其下厂矿及居民的安全, 甚至堵塞杨家河, 造成泥石流二次地质灾害, 威胁杨家河沿河居民及下游华蓥市的安全<sup>[1]</sup>。本文通过分析变形体的地质结构、变形破裂特征, 从斜坡地貌演化及采煤与斜坡近期变形的相关性分析角度, 阐述了变形体的成因机制, 并用数值模拟手段再现了这一变形过程。研究成果对变形体的整治工程设计具有重要的实际意义。

## 2 变形体结构及环境地质条件

### 2.1 地形地貌

变形体所在斜坡走向  $N3^{\circ}E$ , 总体上具上、下陡, 中部相对缓的地貌特征。变形体发育于近坡顶部部位的陡坡一带, 高程 775~900m, 强烈变形区域总体坡度  $43^{\circ}$ , 其南北两侧可见两级陡崖, 上部陡崖高达 60m, 下部陡崖高度约 7m。

### 2.2 地层岩性及斜坡地质结构

变形体位于华蓥山复式背斜北西翼, 岩层产状为  $112^{\circ} \angle 40^{\circ}$ , 为含煤层中倾反向层状结构斜坡<sup>[2]</sup>, 从坡脚至坡顶主要出露如下地层: 石炭系中统黄龙组( $C_2h$ )灰、棕色灰岩、含燧石灰岩及白云质灰岩, 二叠系下统梁山组( $P_1l$ )泥岩、栖霞组( $P_1q$ )灰岩、茅口组( $P_1m$ )厚

层含燧石结核灰岩夹砂质及钙质泥岩; 二叠系上统龙潭组( $P_2l$ )煤层、长兴组( $P_2c$ )中厚层含燧石结核灰岩夹薄层钙质泥岩; 三叠系下统飞仙关组( $T_1f$ )中薄层钙质泥岩。斜坡主要发育 3 组裂隙: ①  $110^{\circ} \angle 34^{\circ}$ , 顺坡发育; ②  $170^{\circ} \angle 75^{\circ}$ , 陡倾坡内发育; ③  $270^{\circ} \angle 87^{\circ}$ , 垂直坡体发育。

### 2.3 采煤历史简介

变形体下部共有 3 个煤矿, 包括 1 个下部开采的国营煤矿和 2 个上部开采的私人小煤窑。国营煤矿井口位于变形体前缘近谷底 350m 高程处。1993 年开始开采至今, 主要采掘二叠系龙潭组 L1 煤层, 煤层厚 0.83~4.17m, 平均厚 2.82m。采空区位于变形体正下方深部, 采空率约 53.63%<sup>[3]</sup>。I 号私人煤窑井口位于变形体前缘, 高程为 722m, 于 1996 年开始开采, 主要采掘二叠系龙潭组 L2 煤层, 煤层平均厚度为 2.7m, 采出煤近 5 000t, 采空区位于变形体正下部。II 号私人煤窑井口位于变形体前缘, 高程 786m, 主要采掘二叠系龙潭组 L6 煤层, 煤层厚 0~0.46m, 始采于 2002 年, 采出煤近 200t 后停止开采, 采空区位于变形体南侧。

## 3 变形体的变形破裂特征

赵子秀山变形体共发育 2 个裂缝带(I 号、II 号)、1 个陷落坑(图 1)。I 号裂缝带发育于二叠系长兴组含燧石结核灰岩中, 高程为 860~870m, 总体走向  $N16^{\circ}E$ , 延伸长度约 112m, 表面拉裂宽度为 0.3~1m, 下错最大约 0.6m, 一般发育深度 20~25m, 最大发育深度可达 40m, 裂缝带宽度 10~20m。裂缝沿层面和陡倾坡外的结构面发育, 倾角  $50^{\circ} \sim 81^{\circ}$ 。在空间上, I 号裂缝带南北两侧方向上均为陡崖地貌(图 2)。II 号裂缝带发育于二叠系长兴组含燧石结核灰岩中, 由 4 个近平

收稿日期: 2007-06-04; 修订日期: 2007-09-13

作者简介: 伍保祥(1982), 男, 硕士研究生, 主要从事地质灾害方面的研究。

E-mail: wubx 125@ 163. com

行的裂缝带和多个陷落坑构成, 高程 818~ 842m, 裂缝带总体走向  $N4^{\circ}E$ , 单条裂缝最大延伸长度约 110m, 表面拉裂宽度约 0.5m, 下错约 0.5m。裂缝壁可见深达 25cm 的溶沟, 少数裂缝壁新鲜; 裂缝发育部位呈陡坎地貌, 裂缝沿陡坎底部及顶部平行延伸, 在陡坎下部覆盖层发育部位主要表现为陷落坑的形式; 裂缝南北两侧延伸方向与陡坎相连。陷落坑位于高程为 745m 的崩坡积中, 位于小煤窑采空区上部。陷落坑呈椭圆形, 长度约 1.5m, 宽度约 1m, 深度约 0.8m。

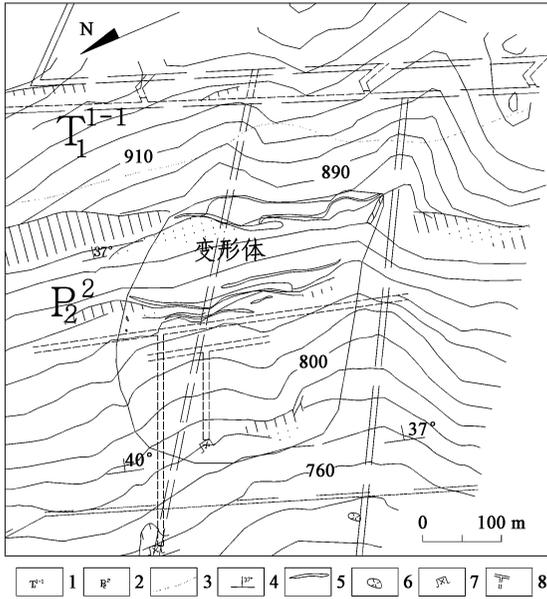


图 1 赵子秀山变形体平面图

Fig. 1 A plan of the Zhaozixiu deformed body

1—三叠系下统飞仙关组; 2—二叠系上统长兴组; 3—地层界线; 4—岩层产状; 5—裂缝; 6—陷落坑; 7—矿井; 8—采空区

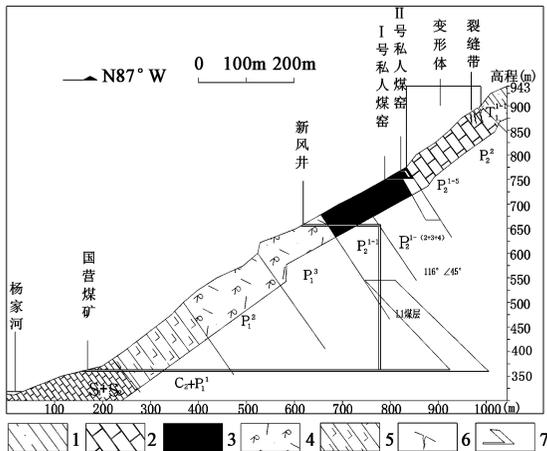


图 2 赵子秀山变形体剖面图

Fig. 2 Section of the Zhaozixiu deformed body

1—泥岩; 2—灰岩; 3—煤层; 4—含锰结核灰岩; 5—白云质灰岩; 6—裂缝; 7—采空区

上述裂缝发育特征表明, 裂缝主要发育于陡坎坡顶和坡脚处, 多追踪倾向坡内的岩层面及一组陡倾坡外裂隙呈折线形发育, 具拉裂下错特征; 裂缝壁的强烈溶蚀表明其为早期形成, 自 1999 年被发现以来, 裂缝拉裂和下错均有逐年增大的变形特征。

#### 4 变形体成因分析

分析表明, 赵子秀山变形体的形成是含煤层中倾角反向层状结构斜坡在地貌演化过程中发生倾倒拉裂变形所致(图 3), 近期的采煤活动对变形体的进一步发展起了极为重要的作用<sup>[4]</sup>。

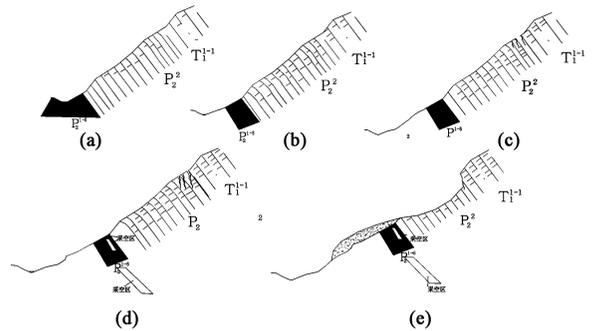


图 3 赵子秀山变形体弯曲拉裂变形演进图

Fig. 3 Evolution picture of bend rip of the Zhaozixiu deformed body

(a) 卸荷回弹及倾倒弯曲拉裂裂缝产生; (b) 煤层压缩蠕变上部倾倒弯曲拉裂裂缝进一步发育; (c) 弯曲拉裂裂缝进一步发展并沿岩层面及顺坡陡倾角裂隙产生拉裂; (d) 采煤后拉裂裂缝增大; (e) 拉裂裂缝贯通形成滑坡

本段斜坡为含煤层的中倾角反向层状结构斜坡, 具有发生倾倒拉裂变形的结构条件, 尤其是下部二叠系上统龙潭组含煤系地层, 相对上覆地层为一软弱基座, 在自然状态下, 软弱的煤系地层(基座)在重力的作用下, 易发生压缩蠕变, 更有利于上部斜坡岩体倾倒拉裂的发生。故随着河谷的下切斜坡临空条件的改善, 边坡表面产生卸荷回弹, 岩体在自重弯矩的作用下, 向临空方向作悬臂梁弯曲, 造成弯曲的板梁(岩层)相互错动, 并沿岩层面及一组陡倾坡外的裂隙发生拉裂。裂缝表面的强烈溶蚀现象及裂缝带与南北两侧斜坡破坏所形成的陡崖地貌在空间上的对应性均说明了变形体是在斜坡地貌演化过程中形成的<sup>[5]</sup>。

新裂缝的出现及老裂缝的进一步拉裂, 陷落坑的产生及赵子秀山泉水的消失与上部私人煤窑的开采在时间上有较好的关联性, 在空间上与上部小煤窑采空区具有很好的对应关系。表明上部小煤窑的开采对

变形体近年来变形的加剧有极大的影响。下部国营煤矿的开采由于深度较深,对变形体变形加剧无影响。

## 5 变形体形成演化机制的数值模拟分析

### 5.1 计算模型及方案

采用美国 Itasca 顾问有限公司开发的 FLAC<sup>3d</sup> 程序,模拟了斜坡在自重应力状态和采煤后边坡位移的分布<sup>[6]</sup>。其中采煤共分为下部国营煤矿开采和上部小煤窑开采两步。计算模型长 1 036.5m,高 975m,宽 500m,共 9 652 个单元,2 254 个节点(图 4)。模型中不同的地层参数见表 1。

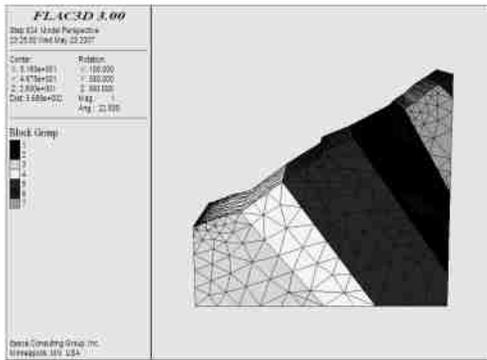
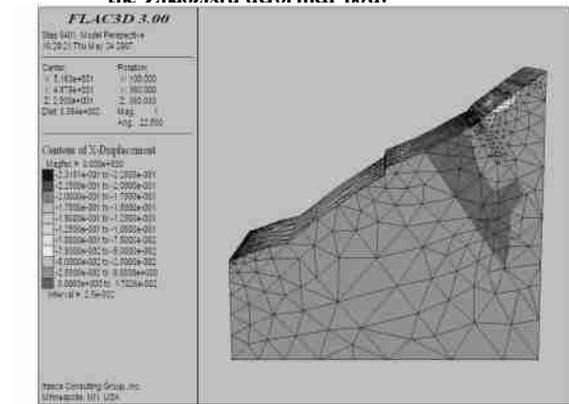
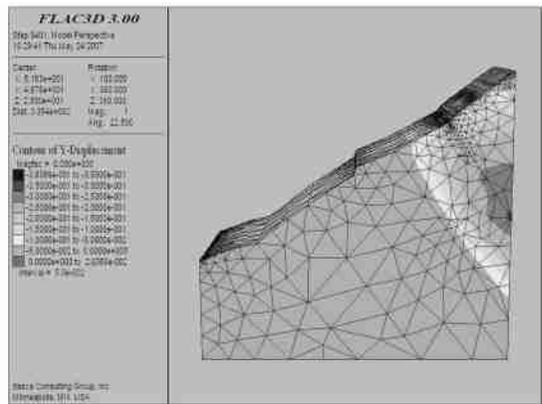


图 4 赵子秀变形体变形分析模型  
Fig. 4 Deformation analysis model of the Zhaozixiu deformed body



(a) X 方向



(b) Y 方向

图 5 初始应力状态下位移等值线

Fig. 5 Isoline of X(a) and Y(b) displacement under original stress condition

## 6 结论与建议

赵子秀变形体发生在含煤层的中倾角反向层状结构斜坡中,地质分析与数值模拟分析表明,变形体是在河谷地貌演化过程形成,其变形破裂方式主要是倾倒拉裂型,上部小煤窑的开采是变形体近期拉裂变形的

表 1 模型的岩层参数

Table 1 The parameter of terrane in the model

地层代号	弹性模量 (MPa)	泊松比	重度 (N/m <sup>3</sup> )	粘聚力 (MPa)
S <sup>1</sup> + S <sup>2</sup>	6 000	0.34	2 700	1
C <sup>2</sup> + P <sub>1</sub> <sup>1</sup>	5 500	0.34	2 700	1.3
P <sub>1</sub> <sup>2</sup>	8 000	0.32	2 600	1.2
P <sub>1</sub> <sup>3</sup>	8 000	0.30	2 400	0.8
P <sub>2</sub> <sup>1-5</sup>	4 000	0.23	2 200	0.6
P <sub>2</sub> <sup>2</sup>	5 000	0.36	2 500	0.4
T <sub>1</sub> <sup>1-1</sup>	5 000	0.3	2 500	1.2

### 5.2 计算结果分析

斜坡在自重应力状态下变形量总体较小,仅局部近山顶部位即赵子秀山变形体发育部位变形量较大,其中 X 方向的变形量为 23.1cm, Y 方向的最大变形量为 38.3cm(图 5)。下部国营煤矿采煤后变形量较小, X 方向上基本没有变形, Y 方向上下错变形量为 1cm(图 6)。上部私人煤窑开挖则对变形体的影响较大,其中 X 方向上的变形为 22.7cm, Y 方向下错变形为 12.8cm(图 7)。

上述模拟结果与地质分析有很好的一致性。表明赵子秀山变形体是在河谷下切过程中发生倾倒拉裂所致,上部小煤窑的开采是变形体近期拉裂变形加剧的主要原因<sup>[6]</sup>。

主要原因,而下部国营煤矿对变形体无影响。

鉴于该变形体已处于潜在不稳定状况,一旦失稳将危及下部厂矿及沿河居民,进而影响华蓥市的安全。建议对其采用锚索加固为主,设置排水沟和对小煤窑的采空区进行支撑为辅的治理方案,对上部危岩体,采取清除或挂锚杆的治理措施,为确保工程的施工安全

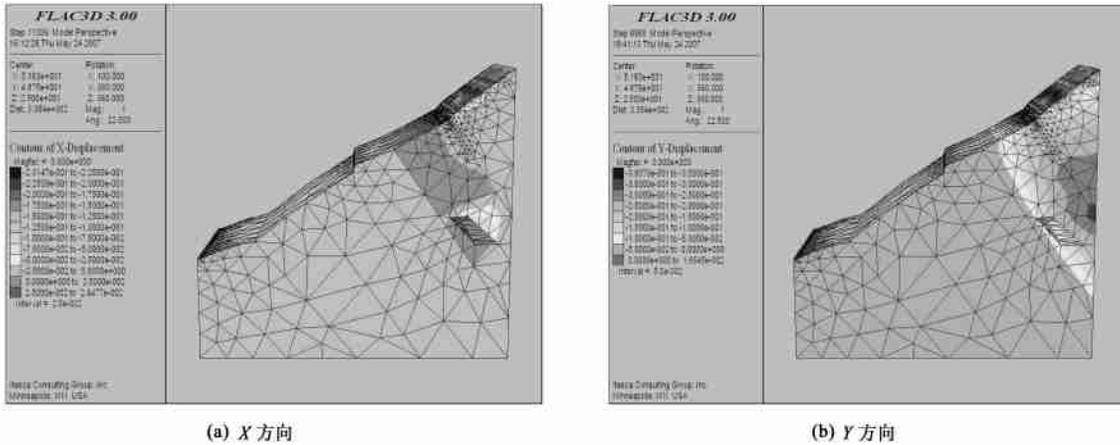


图 6 下部国营煤矿开挖下位移等值图

Fig. 6 Isoline of X(a) and Y(b) displacement after the underside state coal mine excavation

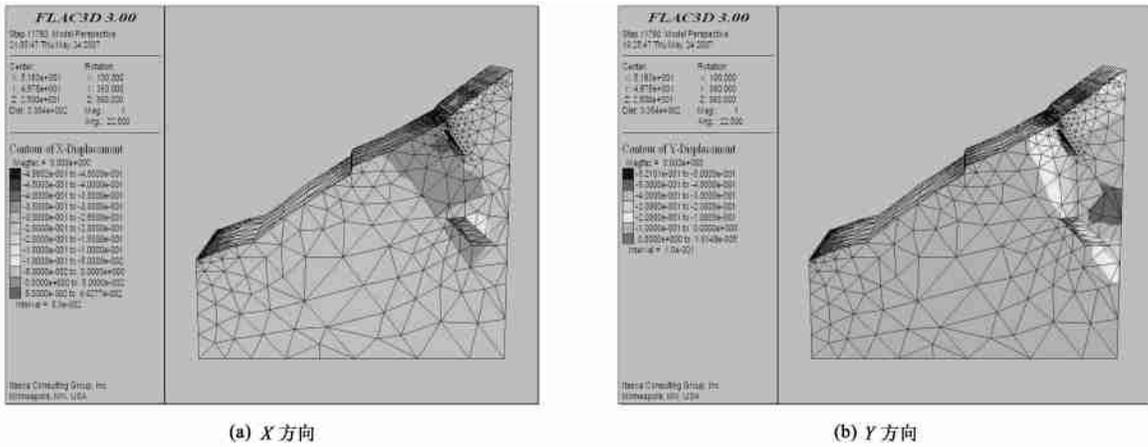


图 7 上部私人煤窑开挖下位移等值图

Fig. 7 Isoline of X(a) and Y(b) displacement after the upside personal coal mine excavation

和获得反馈信息, 建议采取监测手段。

参考文献:

[ 1 ] 成都理工大学东方岩土公司. 华蓥山赵子秀变形体勘察报告[ R ]. 成都: 成都理工大学, 2006.

[ 2 ] 程东幸, 刘大安, 丁恩保, 等. 层状反倾岩质边坡影响因素及反倾条件分析[ J ]. 岩土工程学报, 2005 ( 11 ): 1362- 1366.

[ 3 ] 纪玉石, 申力, 刘晶辉. 采矿引起的倾倒滑移变形机理及其控制[ J ]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 ( 19 ): 3594- 3598.

[ 4 ] 张俾元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[ M ]. 北京: 地质出版社, 1994.

[ 5 ] 黄润秋, 唐世强, 邓辉, 等. 皖南某高速公路四号边坡变形机理及稳定性分析[ J ]. 成都理工大学学报 ( 自然科学版 ), 2006, 33 ( 6 ): 551- 556.

[ 6 ] 卢增木, 左保成. 反倾岩石边坡变形破坏试验及有限元分析[ J ]. 矿业研究与开发, 2006, 26 ( 1 ): 47- 52.

[ 7 ] 刘艳辉, 刘传正, 李铁峰, 等. 三峡库区巴东复杂斜坡系统变形机理数值模拟与稳定分析[ J ]. 水文地质工程地质, 2007, 34 ( 1 ): 47- 52.

## Study of formation mechanism of the Zhaozixiu deformed body of Huaying City, Sichuan Province

WU Baoxiang, SHEN Junhui, SHEN Zhongchao, CUI Jie, WANG Liansheng  
(National Key Laboratory of Geological Hazard Prevention and Geological Protection,  
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The Zhaozixiu deformed body is located in the northwest of Huaying City, and the city will be in danger directly if the deformed body collapses. After analyzing the geological structure, deformation character, geomorphic evolution, human engineering activities in detail, the author has introduced numerical simulation into the article to study the case of formation mechanism of the deformed body. The study indicates that the deformed body has been gradually formed when the middle obliquity reverse slope, which contains coal bed, was bended and ripped during the down cutting of canyon. And human engineering activities, that is, excavating coal, influenced the development of the deformed body to great extent.

**Key words:** Zhaozixiu deformed body in Huaying City; fracture; structure character; formation mechanism; numerical simulation

责任编辑: 张明霞

(上接第 22 页)

## Study on the stability of the Chuandong starch factory landslide of the pebbly silty clay in east Sichuan Province

YAN Yursen<sup>1,2</sup>, LEI Haiyin<sup>2</sup>  
(1. Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430073, China;  
2. China Institute for Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The engineering property of the pebbly silty clay is difficult to determine accurately by the routine soil mechanics experiment because of its structure's complexity. Depending on the Chuandong starch factory landslide, supported by the field test, the laboratory test and the project analogy method, this paper studies the determined method of the pebbly silty clay's shear strength etc indexes, discusses the formation mechanism, the controlling factors and the geological model, and analyses on the stability under the current situation, the rainstorm and the water level dynamic variations in after water storage of three gorges reservoir etc environmental conditions by the limit equilibrium theory. At the same time, the sensitivity analysis of shear strength parameters in pebbly silty clay stability is studied.

**Key words:** pebbly silty clay; landslide; stability

责任编辑: 张明霞