

# 哈拉沟煤矿滑坡成因分析与治理设计

杨明武, 王 宁

中煤科工集团北京华宇工程有限公司, 北京

收稿日期: 2022年1月30日; 录用日期: 2022年2月21日; 发布日期: 2022年2月28日

## 摘 要

本文以哈拉沟煤矿滑坡为背景, 分析了场地工程地质与水文地质条件和周边环境等影响因素, 指出了滑坡产生的成因机理。通过现场工程地质调绘、勘察和滑坡体整体稳定性分析, 提出了以抗滑桩为主、地表排水为辅的滑坡综合治理方案。

## 关键词

滑坡, 稳定性, 滑坡治理, 抗滑桩, 排水

# Cause Analysis and Treatment Design of Landslide in Halagou Coal Mine

Mingwu Yang, Ning Wang

CCTEG Beijing Huayu Engineering Co., Ltd., Beijing

Received: Jan. 30<sup>th</sup>, 2022; accepted: Feb. 21<sup>st</sup>, 2022; published: Feb. 28<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Taking the landslide in Haragou Coal Mine as the background, this paper analyzes the engineering geological and hydrogeological conditions of the site and the surrounding environment and other influencing factors, and points out the genesis mechanism of the landslide. Through on-site engineering geological mapping, survey and overall stability analysis of the landslide mass, a comprehensive landslide control plan is proposed, which is mainly based on anti-slide piles and supplemented by surface drainage work.

## Keywords

Landslide, Stability, Landslide Control, Anti-Sliding Pile, Drainage

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

哈拉沟煤矿位于陕西省神木市大柳塔镇哈拉沟村, 南距大柳塔镇 4 公里。2019 年 12 月初, 哈拉沟煤矿工业广场 35 KV 变电站东侧山体产生滑坡, 滑坡对哈拉沟煤矿工业广场建筑物和煤矿安全生产及滑坡体上侧的大石公路交通安全均产生了不利影响, 急需查明滑坡成因, 并采取有针对性的治理措施[1]。

## 2. 滑坡规模与特征

### 2.1. 滑坡规模

经现场勘测可知, 滑坡体南北长约 70 m、东西宽约 70 m, 滑坡底部地面标高在 1103.15~1104.21 m 之间, 滑坡体顶部地面标高在 1136.44~1137.50 m 之间, 滑坡体最大相对高差约 35 m; 滑面深度在 5.0~10.0 m 之间, 滑动面倾角在 10°~13°之间; 滑坡土体积约 30,000 m<sup>3</sup>, 属小型中浅层牵引式堆积层滑坡[2]。

### 2.2. 滑坡特征

滑坡场地整体呈马蹄状地形, 沿滑坡主滑方向由西向东呈下陡中缓上陡的阶梯形状, 滑坡后缘边界不是很清晰, 滑坡中前部滑坡标志与特征十分明显[3]。

大石公路下方山坡上小的树木多已倾斜、呈醉汉林状; 滑坡体前缘有鼓胀裂隙、坡脚处有大量地下水流出, 滑坡体中部有滑坡台阶, 地形出现明显错落, 落差 1.0~1.5 m; 滑坡体上可见多条垂直主滑面方向的拉张裂缝; 在大石公路上还可看见 3 条平行主滑面方向的剪切裂缝; 另外, 在滑坡体北部的岩石边坡上也可看见小的裂隙。

综上所述, 本滑坡为小型牵引式浅层滑坡[2]。

## 3. 区域地质背景

### 3.1. 地形地貌

滑坡所在区域地处鄂尔多斯高原的毛乌素沙漠区东缘, 属侵蚀风积型地貌, 地面沟系发育, 风积沙广布, 间有黄土覆盖和基岩出露。地形总体呈北高南低、西高东低, 海拔一般为 1000~1300 m, 平均海拔在 1200 m 左右。滑坡所在区域地貌单元以风沙滩地地貌和黄土丘陵沟壑区地貌区为主。

#### 3.1.1. 风沙滩地地貌

地表形态主要表现为较平坦的滩地, 四周被沙丘包围, 形成不规则带状, 地下水多不能外泄, 只能向低洼处汇集, 因而潜水位埋藏较浅。滩地内多由湖积沙、粘性土组成。这里夏季水草丰茂, 绿树成行, 是主要农作物耕作区。

#### 3.1.2. 黄土丘陵沟壑区

区内沟谷纵横交错, 梁峁相间分布, 地形支离破碎, 沟谷陡峻狭窄。其特点是黄土覆盖于老地层之上, 厚度较大, 一般 50~100 m, 由于受外力作用, 形成一系列特殊的黄土地貌, 地形复杂, 沟壑纵横, 坎陡沟深, 地表侵蚀强烈, 有疏密不等的短小冲沟, 现代地貌作用以流水侵蚀为主, 植被稀少, 水土流失严重, 基岩裸露于沟谷两侧, 塬上半固定沙丘屡见不鲜。

### 3.2. 区域地层

区内地表西部大部被现代风积沙及萨拉乌苏组沙层所覆盖, 北部和东部地表大部出露第四系黄土及新近系红土, 基岩零星出露于沟谷两侧。区内地层种类较多, 主要地层描述如下:

1) 全新统风积砂(Q<sub>4</sub>): 主要为粉砂和细砂, 黄~褐黄色, 质纯, 局部黄褐~褐灰色, 粘粒含量较高, 松散~密实, 稍湿~很湿, 风积成因。矿物成份以石英、长石为主, 含少量云母及暗色矿物。分布于风砂区、黄土丘陵沟壑区的局部表层。

2) 全新统冲洪积砂、砾石层(Q<sub>4</sub>): 主要为细砂、中砂及圆砾。砾石磨圆度中等, 分选性差; 砂土层矿物成份以石英、长石为主, 含少量云母及暗色矿物。主要分布于乌兰木伦河、束会川河等河谷区。

3) 上更新统黄土(Q<sub>3</sub>): 风积、冲洪积成因, 土性以粉质粘土、粉土为主, 局部夹粘土, 褐黄~褐色, 稍~中密, 含钙线, 具孔隙、垂直节理, 一般具湿陷性, 湿陷程度轻微~中等。主要分布于黄土丘陵沟壑区及风砂区的下部。

4) 中更新统黄土(Q<sub>2</sub>): 风积、冲洪积成因, 褐色~红褐色, 稍湿~湿, 土性主要为粉质粘土、粉土, 含钙质结合、具锈斑, 局部夹粘土, 冲、洪积成因, 不具湿陷性。主要分布于黄土丘陵沟壑区及风砂区的下部。

5) 中侏罗统延安组地层(J<sub>2y</sub>): 岩性主要为泥岩、泥质粉砂岩, 粉砂岩, 细砂岩等, 灰色、灰黄色, 强风化~中风化, 细粒结构, 块状构造, 泥质和钙质胶结。

### 3.3. 水文地质条件

区内地下水按赋存条件可分为孔隙潜水和基岩裂隙水两类; 孔隙潜水含水层主要是第四系风积、冲洪积物, 分布在乌兰木伦河、束会川河槽和两侧的山谷中; 基岩裂隙水含水层主要为砂岩、细砂岩和粉砂岩, 主要分布在乌兰木伦河与束会川分水岭以东, 靠近束会川一带, 水位埋深不稳定。

#### 3.3.1. 孔隙潜水

1) 补给条件: 地层出露地表, 直接接受大气降水的垂直补给。

2) 径流条件: 呈条带状分布在河谷内的砂砾石颗粒粗大, 渗透性能强, 地下水运移条件好, 径流方向单一, 与河谷走向相一致。粉细砂孔隙性小, 具一定持水性, 因而渗透性能小于砂砾石, 径流条件不如砂砾石地层那样畅通, 径流方向在不同的部位, 有不同的变化。

3) 排泄条件: 粉细砂层中的地下水以泉水排泄为主, 在乌兰木伦河、束会川东西两岸, 常形成线状排泄的泉群, 此外, 在公捏尔盖沟、母花海、考考赖沟、大水沟等大的沟谷, 则形成大流量泉水, 集中排泄地下水。蒸发作用也是该区一个持久、经常的排泄方式。

#### 3.3.2. 基岩裂隙水

1) 补给条件: 潜水区地下水补给来源一为大气降水, 二为上伏粉细砂含水层的渗透补给; 承压水区地下水补给来源较为单一, 主要为上游径流补给, 由于隔水顶板局部被破坏, 可接受上层粉细砂含水层的下渗补给。

2) 径流条件: 岩层渗透性能较差, 径流较为缓慢; 局部地下水流向又受地形控制, 径流方向较为复杂。

3) 排泄条件: 有两种排泄方式, 径流排泄和泉水直接排泄, 区内气候干旱, 蒸发排泄也是一个不可忽视的因素。

### 3.4. 地下水动态

区内地下水流场受地形地貌条件所制约, 孔隙潜水的径流受古地形及地貌条件影响, 一般由分水岭

向两侧沟谷潜流, 流向具多向性, 总的流向是由西北往东南方向; 浅层地下水则由地形较高处往河谷运移, 以下降泉或径流的形式排泄。基岩裂隙水的径流主要是受区域地形构造所控制, 基本是沿基岩裂隙顺层运动, 以径流形式排泄。

滑坡区地处陕北黄土高原北部, 鄂尔多斯高原毛乌素沙漠的东南缘, 地貌形态中部为黄土梁峁丘陵陵区, 沟壑纵横, 地形支离破碎, 南部和北部为风沙地, 沙丘连绵, 地形波状起伏。由于风积砂地貌广泛分布, 且该区降雨较集中因此非常有利于大气降水的入渗, 为地下水补给创造了有利条件。

区内地下水水位及泉水, 流量变化与大气降水密切相关。在雨季地下水得到补给, 地下水位逐渐抬升, 但一般要滞后 1~2 个月, 枯水季节地下水逐渐排泄, 地下水位下降达到最低峰值, 雨季来临, 又得到降水入渗补给, 地下水位又开始抬升。地下水动态变化, 表现在雨季水位迅速上升, 旱季水位逐渐下降。雨季八、九月份水位上升到最高值。三月份冰雪融化, 水位有微小回升, 随后继续下降, 至四月底, 五月初为水位最低值。

## 4. 滑坡成因[1][2][4]

### 4.1. 地形、地貌

滑坡场地处于山前斜坡地带, 为风成砂丘地貌, 地表植被十分发育; 滑坡所在区域呈现东边、南边和北边都高、而西边低之势, 其中滑坡北侧山顶标高 1153~1156 m、滑坡南侧山顶标高 1151~1153 m、滑坡东侧山顶标高 1161~1163 m, 滑坡区域南北两侧均为较陡的岩质山坡, 场地由西向东呈现下陡中缓上陡的形状, 坡顶到挡墙底的高差约 70 多米, 这样的马蹄形环状地形、且滑坡体又位于较大区域汇水(面积)的出口处, 地形条件容易在堆积层中或沿基岩面产生滑坡。

### 4.2. 地质条件

场地上部为风积成因的粉细砂层, 松散~中密, 承载力低, 均匀性差, 吸水饱和后, 土体重度会大幅增加, 同时粘聚力会降低、内摩擦角会变小, 地震时易液化, 当山坡较陡时容易产生滑坡和泥石流, 根据勘察钻孔和搜集到的钻孔资料可知, 山坡顶部风积砂堆积层的厚度在 20~50 m 之间, 从岩土性质来说, 为滑坡创造了有利条件。

场地下部为基岩, 以侏罗系中侏罗统延安组煤系地层为主, 岩性以砂质泥岩为主, 为矿区煤层的顶板, 在水文地质中起着隔水层的作用, 这样的受水构造为地下潜水在基岩面和砂层中富集创造了有利条件; 由于基岩面附近的泥岩多为强风化, 泥质胶结, 岩土较破碎, 属极软岩, 暴露易风化、遇水易软化, 吸水饱和后粘聚力大幅降低, 容易在基岩面附近形成结构软弱面(带), 在地下水的润滑作用下, 致使上部的松散堆积层顺着基岩面滑动, 成为滑坡体的滑床。

### 4.3. 气候条件

近年来, 由于气候的变化, 陕北地区降雨量明显增加, 榆林地区的大部分沙漠已经由黄色变成绿色, 大量的降水在植被根系保水的作用下, 赋存于山体中, 对区域地下水的补给逐渐增大。

### 4.4. 地表水

滑坡东侧山顶公园建有三个蓄水湖, 滑坡顶部离最近的蓄水湖不到 400 米, 因山顶公园绿化的需要, 每天会有大约 7000 立方米的矿井水排到三个蓄水湖中, 作为山顶植物灌溉用水, 由于采用大水漫灌的灌溉方式, 会使大量地表水渗入地下, 同时湖水也可能渗漏, 这些都为山体上部富水创造了有利条件, 增大区域地下水的垂向补给, 致使山体地下水水位大幅升高。

## 4.5. 地下水

山体基岩面附近会有孔隙潜水, 这层水会顺着基岩面向西边河流的方面流动, 由于滑坡体位于区域汇水面积的出口处, 地下水径流方面和滑坡方向一致, 大量的地表水和地下水在基岩面附近的汇集, 还会产生动水压力, 使地下水顺着基岩面向下快速流动, 为滑坡滑动面的形成与贯通创造了有利条件。根据哈拉沟煤矿 35 kv 变电站东侧公路山坡 S1~S6 号水文孔水位观测数据可知, 山顶湖水排出后, 山顶水文观测孔水位出现大幅下降, 水位标高由初始的 1119.35~1152.58 m 之间, 下降到勘察时 1119.58~1140.68 m 之间, 水位降幅在 1.56~25.12 m 之间, 最大水位降幅高达 25 m, 可见山上地下水水位大幅升高是本次滑坡产生的主因。

## 4.6. 其他因素

大石公路从滑坡体的中上部通过, 由于公路上常年有大型重载货车通过, 车辆的动荷载也是饱和砂土产生滑坡的主要诱因, 这一点也可从大石公路下方坡体产生较大的错落得到验证, 同时滑坡体上的活荷载也会加剧边坡的破坏, 使山体产生局部滑动。

## 4.7. 滑坡成因分析[1] [2] [4]

通过上述对滑坡产生影响的因素分析可知, 山坡上存在厚度的第四系松散堆积物是滑坡产生的内因; 地表水渗漏和生态灌水的长期入渗是滑坡产生的外因, 对滑坡的稳定性具有重要影响; 在长期雨水、地表水和地下水的一同作用下, 植被发育的滑坡区域山体, 已经富水饱和, 粉细砂层重度增加, 泥岩层表面软化, 致使滑坡体粘聚力变小, 下滑力变大; 地下水的顺层流动产生的动水压力又为滑坡软弱面(带)的形成与贯通创造了有利条件; 再加上公路汽车动荷载的作用加剧了对坡体的破坏, 因此, 在这些内在因素与外在诱因的共同作用下, 最终导致了本次山体滑坡的产生。

## 5. 滑坡稳定性分析[1] [2] [4]

### 5.1. 稳定性分析方法

本次滑坡属浅层堆积层滑坡, 滑动面分布在粉细砂层中, 滑坡稳定性分析采用“理正岩土边坡稳定性分析软件”按圆弧滑动法, 计算滑坡的稳定性系数。圆弧滑动法计算模型如下图 1:

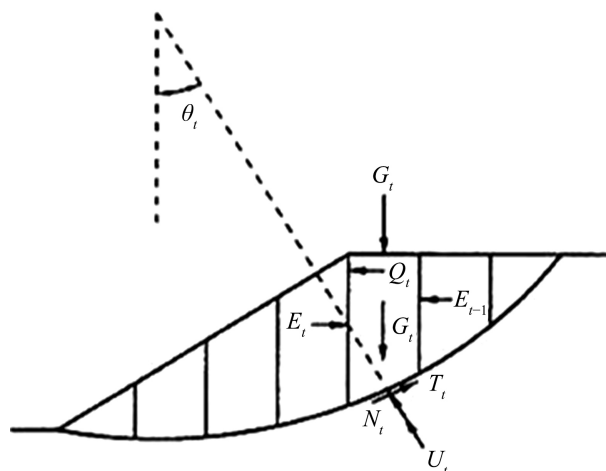


Figure 1. Schematic diagram of calculation of arc slide slope  
图 1. 圆弧形滑面边坡计算示意图

假定滑坡滑动面为圆弧形, 把滑动面上呈圆弧形的滑动土体分成若干条块, 分别计算出每个条块的下滑力、法向力, 取其总和, 最后以滑动土体对其圆心的总抗滑力矩与总滑动力矩之比为安全系数(Fs)的土体稳定计算方法。

## 5.2. 滑动面分析

通过现场调查和监测资料可知, 挡墙顶监测点的水平位移很小, 滑坡前缘的挡墙没有看见变形和破坏; 挡墙顶部坡面有裂缝鼓起, 且有地下水顺裂缝流出, 从而确定了滑坡体滑动面前缘的出口位于挡墙顶部的隆起处。

由于滑坡坡体地层以粉细砂为主, 在地下水渗流的作用下, 滑动面处的粘性土和细颗粒物质已被水流带走, 滑动面的埋深很难确定; 因此, 在确定滑动面前缘出口的前提下, 按圆弧滑动法推测潜在滑动面的后缘位置, 推测的 3 个后缘位置见图 2。通过构建各个潜在滑动面的数值计算模型, 来分析和评价现状边坡的稳定性。

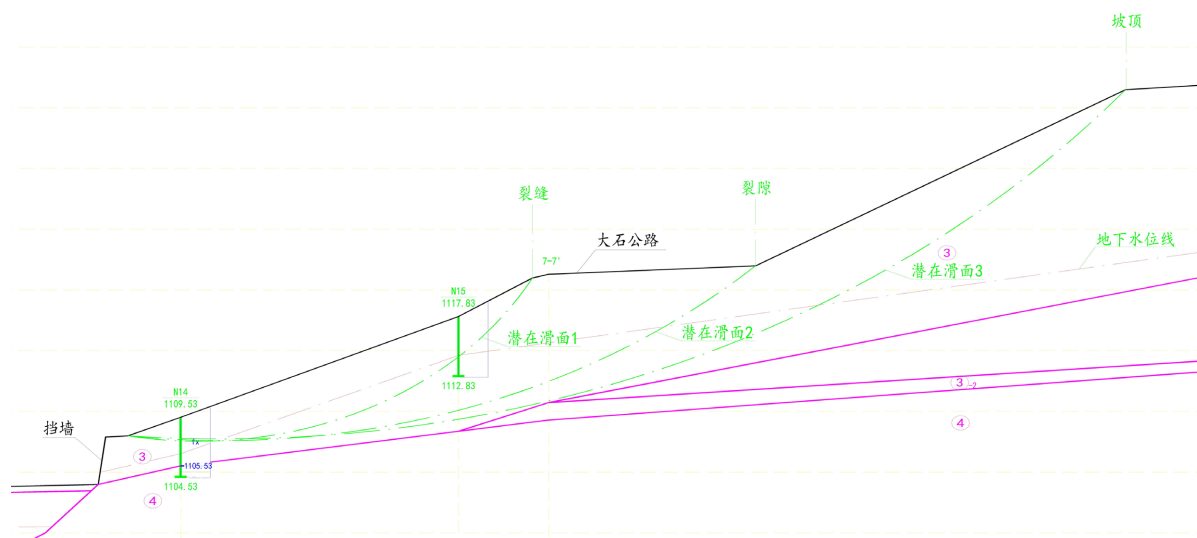


Figure 2. Schematic diagram of the potential slip surface distribution

图 2. 滑坡潜在滑动面分布示意图

## 5.3. 滑坡稳定性分析

### 5.3.1. 滑坡稳定性计算岩土参数

滑坡体地层情况及滑坡稳定性计算所用岩土参数详见表 1。

Table 1. Geotechnical calculation parameters

表 1. 岩土计算参数数据

地层编号	地层名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )	饱和重度 (kN/m <sup>3</sup> )	粘聚力 (kPa)	内摩擦角 (度)	水下粘聚力 (kPa)	水下内摩擦角 (度)
③	粉、细砂	18	20	0	28	0	23
③ <sub>1</sub>	粉、细砂	18	20	0	30	0	25
③ <sub>2</sub>	圆砾、角砾	20	20	0	32	0	30
④	泥岩、砂岩	22.8	24	50	40	50	40

### 5.3.2. 滑坡稳定性分析

稳定性计算采用《建筑边坡工程技术规范》(50330-2013)的圆弧滑动法计算公式, 不考虑地震力的影响, 公路路面荷载强度按挂车 80 考虑、取 40 KPa, 通过指定圆心和滑动半径, 采用有效应力法计算边坡稳定性安全系数, 具体稳定性计算数值见表 2 滑坡稳定性计算数据。

**Table 2.** Landslide stability calculation data

**表 2.** 滑坡稳定性计算数据

序号	滑动面	滑动半径(m)	稳定性系数 $F_s$	稳定性状态
1	潜在滑面 1	25.2	0.985	不稳定
2	潜在滑面 2	52.3	1.004	欠稳定
3	潜在滑面 3	79.2	1.024	欠稳定

通过稳定性分析计算可知, 坡体的稳定性系数  $F_s$  在 0.985~1.024 之间, 滑坡体处于欠稳定状态。

### 5.4. 滑坡发展趋势[1] [2]

通过滑坡稳定性分析计算可知, 滑坡体处于欠稳定状态, 在地震、极端暴雨天气或重载汽车在大石公路通过等特殊情况下, 滑坡还会继续滑动和向上发展, 如不及时对滑坡进行治理, 滑坡势必对大石公路和坡底下的建(构)筑物的安全产生严重影响。

## 6. 滑坡治理方案

### 6.1. 滑坡初期治理措施

滑坡发生后, 我公司会同神东公司和矿方有关人员商讨滑坡的初步治理方案, 减小滑坡对 35 kV 变电站和煤矿安全生产的影响, 具体采取的初期滑坡治理措施如下:

- 1) 排出地表水: 将滑坡体东侧山体上的三个人工湖中的地表水排出, 防止地表水继续渗入地下, 从源头上杜绝下渗水流沿水力通道持续冲刷边坡而造成滑坡体的扩大和发展。
- 2) 坡脚堆载反压: 在 35 kV 变电站挡墙外侧采用砂袋堆载反压措施, 增大抗滑滑力, 防止滑坡的进一步发展, 稳定滑坡。
- 3) 大石公路限流: 在滑坡上部大石公路两侧设置限高杆等安全警示标志, 禁止大型货车和重载运煤车辆通过滑坡体上部的公路, 防止滑坡体上的动荷载对坡体现状产生不利影响。
- 4) 变形监测: 在挡墙、共路和滑坡体上布置变形观测点, 定期的对挡墙、公路和边坡进行变形监测, 并根据坡体变形情况采取合理的应对措施。
- 5) 对滑坡体上形成的裂缝、塌陷坑用灰土进行夯填, 采用裂缝两侧或塌陷坑周围的原土进行平整夯填。

### 6.2. 滑坡治理设计原则[1] [2]

滑坡发生后, 我公司对滑坡场地进行了勘察和工程地质调绘工作, 查明了滑体的范围、滑动面的埋深、滑体的厚度、滑坡的类型和滑坡的特征等信息。通过与矿方相关人员多次沟通与协商, 提出了对滑坡治理要坚持“综合治理, 一次根治, 不留后患, 尽量少占用耕地, 并和自然环境相协调”的滑坡治理原则。

### 6.3. 滑坡综合治理方案[1]

通过对滑坡成因类型、规模和场地工程地质与水文地质条件及周边环境因素等情况的分析,提出了以抗滑桩和地表治水为主,自然放坡和挡墙加固为辅的滑坡综合治理方案,同时做好坡面防护和截排地表水等工作。滑坡具体治理方案如下:

1) 抗滑桩:在大石公路和 35 kV 变电站之间的滑坡体上,设置一排抗滑桩,对滑坡体进行支挡,确保公路与变电站的稳定与安全。

2) 治理地表水:将大石公路东侧山顶公园三个蓄水湖内存水抽干,在湖底重新做防渗措施,防止后期蓄水时出现渗漏,确保上山人工湖水不再渗入地下。

3) 锚索:在抗滑桩顶部设置锚索,锚索穿过潜在的滑动面,进入中风化基岩中,对滑坡体进行锚固。

4) 自然放坡:对抗滑桩上部与大石公路之间的坡体按 1:1.5 进行修坡,坡面采用植草或树木进行防护。

5) 挡墙加固:对变电站东侧现有挡土墙进行加固,确保抗滑桩前场地边坡的稳定与安全。

6) 恢复地貌:整平地表、恢复地貌,将滑坡体内的裂缝、裂隙用灰土进行充填并夯实,减少坡面雨水下渗到滑坡体内。

7) 设置截水沟:在滑坡体的四周设置截水沟,防止滑坡上部山体的雨水和附近地表水流入到滑坡体内。

8) 信息化施工:滑坡治理采用信息化施工,建立信息反馈制度,继续对滑坡体进行监测,出现问题及时反馈,保证施工期间坡体的稳定与安全。

## 7. 结束语

滑坡治理工作于 2020 年 1 月初开始,2020 年 5 月底结束,防治地表水是本次滑坡治理的关键所在,通过治理地表水和在坡体适当位置设置加固措施等综合治理方案,现滑坡治体已经历两个雨季的审查与考验,坡体没有发现新的变形、裂缝、滑移和倾覆等现象,滑坡治理效果良好,为煤矿安全生产运营做出了重要贡献,取得了显著的经济和社会效益;希望本文能为同类滑坡成因分析和治理设计提供借鉴和参考。

## 参考文献

- [1] 杨明武. 常兴煤矿工业场地滑坡成因与治理[J]. 煤炭工程, 2015, 47(3): 26-27+31.
- [2] 常士骠, 张苏民, 等. 工程地质手册[M]. 第四版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 姚晋钢, 冯敬良, 魏放. 山西峙峰山滑坡成因探讨[J]. 路基工程, 2000(4): 24-27.
- [4] 孙秀娟, 杨强. 陇东某黄土滑坡地质灾害成因、特征分析及防治对策[J]. 勘察科学技术, 2010(4): 28-31.