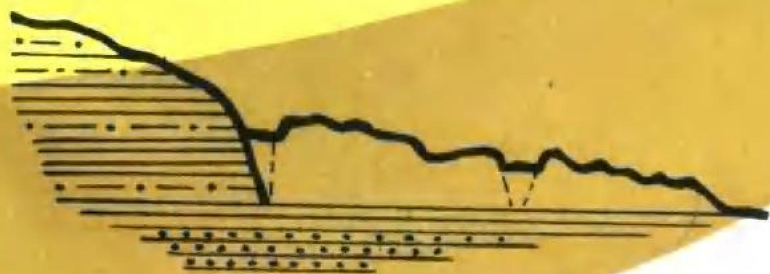


# 滑坡文集

(第九集)



中国铁道出版社

# 滑 坡 文 集

(第 九 集)

滑坡文集编委会 主编

中 国 铁 道 出 版 社

1992年·北京

(京) 新登字063号

### 内 容 简 介

本文集选稿20篇, 主要包括: 煤矿采空引起坑口电站滑坡及水电站厂房高边坡等的稳定性评价; 西南地区滑坡灾害的调查及整治经验; 滑坡动态观测的配套设施及滑坡发生地区的预测方法; 滑坡勘测技术的完善等。

这些内容反映了我国近期在滑坡的稳定性评价、防治工程、动态观测及滑坡发生区域预测方面的新进展。

本文集可供工程地质研究及土建工程设计者参考。

### 滑 坡 文 集

(第九集)

滑坡文集编委会 主编

\*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 张苍松 封面设计 翟 达

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 9 插页: 1 字数: 220 千

1992年7月 第1版 第1次印刷

印数: 1—2000册

ISBN7-113-01150-0/TU·250 定价: 6.00元

# 目 录

## 一、滑坡稳定性分析

1. 采煤对坑口电站——韩城电厂滑坡的影响·····徐邦栋 潘恒涛 (1)
2. 运用地球动力观点鉴别某矿露天边坡失稳原因·····张家祥 (10)
3. 七七一工程南山滑坡稳定性的工程地质评价·····王和章 钟侠文 (17)

## 二、滑坡灾害及防治措施

4. 金龙沟滑坡整治工程·····周静修 何 斌 (24)
5. 大型钢筋混凝土抗滑桩施工技术的两项改革·····周岳杲 叶逸民 (32)
6. 川东89.7暴雨过程中的红层滑坡·····孔纪名 陈自生 (36)
7. 四川省山崩滑坡灾害及防灾对策·····刘新民 (43)
8. 云南省山崩滑坡堵江灾害及其对策·····李 娜 (50)

## 三、滑坡预测及动态观测设施

9. 易滑坡岩组概率统计特征与预测·····晏同珍 (56)
10. 膨胀土边坡坍塌预测·····韩会增 唐永富 郑黎明 (61)
11. HP-2型滑坡遥测系统 ·····胡康宁 安 宁 (72)
12. 金龙山滑坡观测实验站简介 ·····李 沛 (77)

## 四、滑坡勘测技术及其它

13. 电测深在滑坡勘探中的应用 ·····徐峻龄 马曾伦 (78)
14. 从梅七线的三段改线谈滑坡地区的铁路选线 ·····孙全德 (86)
15. 杭州湾的水下滑坡 ·····袁迎如 (92)
16. 大型水库滑坡研究的几个问题 ·····王成华 (97)
17. D.J.伐恩斯的斜坡移动(广义滑坡)分类方案 ·····陈自生 (103)

## 五、译 文

18. 日本、法国的滑坡及其防治·····钟采元 王恭先 编译 (110)
19. 乌兹别克斯坦的滑坡预报·····〔苏〕P.A.尼扬佐夫 钟采元 编译 (121)
20. 用桩结构稳定滑坡·····〔苏〕L.K.京伯格 刘光代 译 (125)
- 英文提要 ····· (130)

# PROCEEDINGS OF LANDSLIDES

## Volume Nine

### I. The Analysis of Landslide Stability

1. The influence of coal mining on the landslide of Hancheng power station.....Xu Bangdong, Pan Hengtao (1)
2. Analysis about the instability reason of a slope of an open mine with the theory of the earth dynamics .....Zhang Jiaxiang (10)
3. The engineering geological evaluation of landslide stability in the 771 project..... Wang Hezhang, Zhong Xiawen (17)

### II. The Disaster and the Controlling Measure of Landslides

4. Remedial works of Jinlonggou landslide.....Zhou Jingxiu, He Bin (24)
5. Two innovations in construction techniques of large-scale reinforced concrete antislides pile.....Zhou Yuegao, Ye Yimin (32)
6. Landslide in red rock-stratum during the rainstorm in east Sichuan in July, 1989 .....Kong Jiming, Chen Zisheng (36)
7. Disaster of collapses and landslide and their control in Sichuan.....Liu Xinmin (43)
8. Protection of collapses and landslides resulting in riverblocking in Yunnan province .....Li Na (50)

### III. The Methods of Predicting Landslide and Dynamic Observe Installations

9. Statistical possibility characteristics and pronoses of rock groups prone to slide..... Yan Tongzhen (56)
10. Collapse forecast for slopes of expansive soil.....Han Huizong, Tang Yongfu, Zheng Liming (61)
11. Model HP-2 landslide telemetry system.....Hu Kangning, An Ning (72)
12. Brief introduction about Jinlongshan landslide observation station.....Li Pei (77)

### IV. The Survey Technology of Landslide and others

13. Application of electrical sounding in surveying of landslide.....Xu Junling, Ma Zenglun (78)
14. Talking about railway selection in slide area based on relocating three sections along Mei—Qi railway line .....Sun Quande (86)
15. The underwater slumps in Hangzhou estuary.....Yuan Yingru (92)
16. Some problems of landslide research in large

|                                                                                                      |                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| reservoir .....                                                                                      | Wang Chenghua (97)                 |
| 17. Principal division of D.J. Voarnes' classification of slope<br>movement types and processes..... | Chen Zisheng (103)                 |
| <b>V. Translation</b>                                                                                |                                    |
| 18. Landslides on the Japan and France and their<br>control.....                                     | Zhong Caiyuan, Wang Gongxian (110) |
| 19. Prediction of landslides on the Uzbekistan<br>.....                                              | (R.A.Niensov) ,Zhong Caiyuan (121) |
| 20. Stabilization of landslide slopes by pile structures<br>.....                                    | (L.K.Ginzburg) ,Liu Guangdai (125) |
| <b>Appendix: Abstract in English .....</b>                                                           | <b>(130)</b>                       |

### 《滑坡文集》征稿启事

《滑坡文集》是一本主要介绍国内滑坡的勘测与防治技术的文集，来稿要求内容新，技术性强。稿件请用稿纸誊写清楚，并附插图的底图、腊图各一份。来稿请寄：甘肃省兰州市民主东路219号《滑坡文集》编委会收，邮政编码：730000

# 采煤对坑口电站——韩城电厂滑坡的影响

铁道部科学研究院西北研究所 徐邦栋 潘恒涛

## 提 要

本文介绍某坑口电站因其后山基底煤坑坍塌、导致上覆岩体松弛，引起了侵蚀基准面以上80余米厚的深层岩石滑坡。在抗滑抢险及综合整治过程中，取得了缓解滑动和阻止滑动的经验。

文中根据5年来的监测资料分析，验证采煤对滑坡的形成及其对电厂安全的影响，从而得出新建电站的场址不宜与采煤区在同一个地貌、构造的小单元内的结论。

## 一、情况介绍

韩城电厂位于濂水河左岸Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级阶地上（图1）。厂坪所在阶地南北长近500m，东西宽约400m，呈梯状分3级向西递降。阶地东侧紧靠横山坡脚，西邻濂水河岸边，河流弯曲略呈W形，水流方向大致由北而南。电厂厂区各主要建筑物多按NE15°成排布置。东边（横山脚）辟为铁路站场，中部建立生产系统的各主要设施，西端设露天装置。厂坪及横山底部160~260m深处有煤层分布。厂区南端紧邻象山煤矿，电厂用煤由象山矿在横山底部煤田开采供给。

自1976年电厂建成投入生产，于1982年12月开始对厂区地基及主要建筑物进行沉陷观测，至1983年7月发现3~6mm的微量上升，从1983年7月以后，3号炉、4号炉、烟囱及4号冷水塔等地基上升明显加大。与此同时，厂坪东侧山坡上下出现多处裂缝，并有由东而西向电厂方向位移迹象。此外，在厂坪上还有3道长数十米至百余米的滑坡出口反向裂缝。对上述现象，有关单位曾先后到现场调查了解，并提出煤坑岩层冒落、地基变异、山体局部蠕动变形等分析意见。至1985年5月中旬，我所应水电部邀请参加专家组至现场调查分析，并指出电厂厂坪上鼓、建筑物变形，山坡位移系煤坑坍塌引起的滑坡微量位移造成的。并建议组织力量进行勘察、抢险、整治和一系列滑坡监测工作。经过近5年的施工实践，基本上防止了滑坡滑动，保证了电厂正常运行。下面根据几年来的监测资料，分析、验证采煤对滑坡的形成及其对电厂安全的影响。

## 二、地层岩性及构造条件与滑坡的关系

### （一）地层岩性与滑坡的关系

电厂厂坪及其附近出露的地层有：

1. 二迭系上石盒子组（P<sub>2</sub>）砂岩、砂质泥岩及泥岩互层，厚约230m，下伏为下石盒

子组 ( $P_1$ ) 完整的砂、泥岩互层, 厚约50m。在 $P_1$ 之下为上石炭 ( $C_3$ ) 煤系地层, 其中共有3层可开采煤层, 分别为3号、5号及11号煤层。

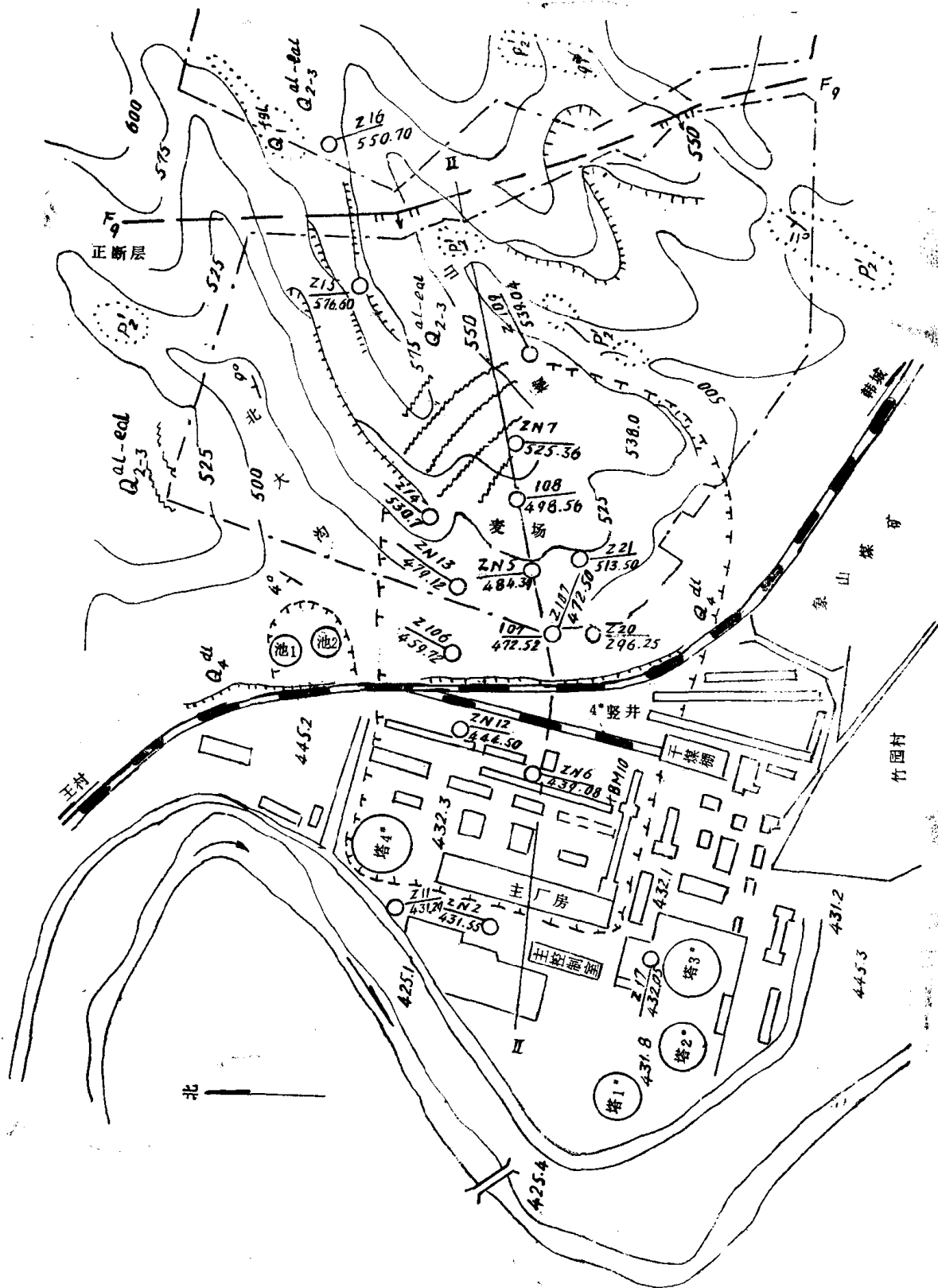


图1 工程地质平面缩图 (1:5000)

在横山范围 $P_2$ 岩组共分12层, 其中 $P_2^{1-5}$ 共5层埋于濂水河河床以下, 无临空面, 不具滑动条件, 而且构成濂水河河床的 $P_2^{1-5}$ 层为中细粒长石石英砂岩, 厚层状, 坚硬, 完整,

无反缓倾裂面, 层厚 7~9 m, 不易剪断翘出。位于河床以上具临空面的  $P_2^{1-6} \sim P_2^{1-12}$  各层中与滑坡关系密切的是  $P_2^{1-6}$ 。它为中厚层状的砂质泥岩, 夹少量中薄层状粉、细砂岩及含炭泥岩, 其底部为薄层泥岩, 质软, 潮湿, 极易滑动。该层厚约 75m, 其顶部在铁路附近高出铁路站坪 26m 左右, 底部低于铁路站坪 26m 左右, 因此在濠水河侵蚀基准面附近及其以上的岩土构成向濠水河方向滑动的主滑带, 只能产生于  $P_2^{1-6}$  以砂质泥岩为主、倾向河的多层裂面之中。其次在  $P_2^{1-7}$  及其以上各层, 虽可滑动, 因  $P_2^{1-7}$  含砾砂岩 (厚 7~9 m) 无缓裂面, 滑动出口均在铁路堑顶以上, 不能形成威胁电厂安全的深层滑动, 故不考虑。

2. 第四系地层有: 下更新统 ( $Q_1^{1-2}$ ) 冰水沉积的卵漂石层, 分布于横山顶, 为 V 级阶地砾石层, 其上有风积黄土, 此层因胶结无水, 故沿其顶底不可能产生滑动。中上更新统 ( $Q_2^{1-3}$ ) 黄土及砂卵石层, 为 IV 级阶地。上部的黄土以冲洪积为主, 最大厚度达 60m。下部卵石层冲积形成, 分布于横山梁上, 一般厚 2~3 m, 此层充填密实, 无水, 故不易沿之产生滑动。全新统 ( $Q_4^{1-1}$ ) 黄土状土及砂卵石夹漂石层, 分布在电厂厂坪 I、II、III 级阶地上。黄土状土以冲洪积为主, 夹有 0.3~0.6m 的粉细砂层透镜体及薄砂层, 位于滑坡前部时浸水后易于沿之滑动。下部的砂卵石夹漂石层, 在受山坡横向推力作用下, 位于滑坡前部时易沿漂石层底滑动。勘测时, 在铁路北端 III 级阶地下曾挖出具滑痕的漂石, 漂石层中的砂砾有曾受挤的迹象。

## (二) 构造条件

横山一带岩层为单斜构造, 走向北北东倾向西, 倾角自山顶  $30^\circ$  降至濠水河为  $0 \sim 4^\circ$ 。

影响横山岩体结构的断层, 主要是象山  $F_9$  断层。该断层系张扭性正断层, 宽 10~20m, 其走向由北而南为北西  $25^\circ \sim 20^\circ$ , 倾角  $50^\circ \sim 55^\circ$ , 上盘在西, 下错 10~15m, 愈向南错距愈大。在 3 号煤层中该  $F_9$  断层走向为北西  $10^\circ \sim 20^\circ$ , 倾向西, 倾角  $70^\circ \sim 80^\circ$ , 长约 800m, 破碎带宽 10~20m, 西盘下错 3~5 m。  $F_9$  断层自地表切穿  $P_2$ 、 $P_1$  岩组至  $C_3$  煤系地层, 在横山梁上为唯一的深部断层, 它将横山岩体截成东西两大块, 西块对电厂的安全威胁巨大, 与滑坡的生成和稳定有直接关联。

## (三) 当地水文地质条件变化与滑坡的关系

在横山一带由于表层覆盖了巨厚的黄土, 其下伏的砂卵石层或为半胶结的  $Q_1$  冰水沉积层, 或为砂砾和少量土质充填密实的  $Q_{2-3}$  冲积层, 隔水性能较好, 而  $P_2$  岩组中以完整、厚层的泥岩居多, 故在正常条件雨水下渗量不大。但是, 自 1983 年在横山底部 3 号煤层采空区坍塌后, 造成了  $P_2$  岩组各层中裂面松弛, 导致了雨水下渗量增大和基岩中裂隙水的分布产生变化。

当地基岩裂隙水多分布在厚层砂岩之下的砂质泥岩顶面。1983 年地表未出现变形前, 横山一带曾见数处泉水出露点, 分别位于北大沟沟头的  $P_2^{1-12}$  砂岩底、 $P_2^{1-10}$  中细粒长石砂岩底和北大沟南壁的  $P_2^{1-7}$  含砾砂岩底。其中  $P_2^{1-7}$  流出的三眼泉水流量达  $0.1 \sim 0.21/s$ , 为竹园村农民的生活用水。从调查看, 各层基岩裂隙水的水量并不丰富, 未形成层状水, 仅在局部地段 (横山北侧) 成为带状水或脉状水。这些泉水自象山矿大面积采煤以来 (1984 年) 多数突然干涸, 说明采空区坍塌引起了上覆岩土的松弛, 也改变了基岩裂隙水的分布。

据 1985 年勘探了解, 厂区一带地下水埋深 9~25m; 山坡上 59~85m。从铁路山侧坡脚一带抗滑桩坑中所见的各层滑带看, 它们基本上均处于潮湿至饱和状态, 这说明在渐进破坏中地下水沿滑带不断活动。因此, 主滑带与抗滑带的抗剪强度必须按饱水条件取值。

### 三、开采3号煤层对滑坡和电厂安全的影响

横山滑坡的形成,主要是由于象山矿对3号煤层的开采形成采空区,导致上覆岩层坍塌和山体松弛,在增加地面水下渗和基岩中裂隙水的变动下,引起临空的岩土沿倾向濂水河的构造裂面推挤滑动;其次是当地岩体结构具有倾向河的各种构造裂面,在裂面松弛过水后沿隔水岩石的顶板形成软层而具备了滑带生成的条件。此外,在修建铁路专用线时,开挖坡脚削弱了山体的支撑能力,助长了滑坡的形成。以下从3号煤层的开采过程来分析电厂厂坪和横山滑坡变形的关系。

#### (一) 横山底部采掘3号煤层与斜坡和电厂场坪变形关系

象山矿在横山下开采3号煤层的规划,由东而西共布置6个工作面。在象山F<sub>0</sub>断层以东为302\*、304\*、306\*和308\*4个工作面(其中306\*及308\*工作面靠南侧部分在断层以西);在F<sub>0</sub>断层以西有310\*、312\*2个工作面。铁路范围及其以西电厂场坪底部不采煤,以保证铁路和电厂的地基稳定。采煤的顺序由东而西,对每一工作面则由北向南开采。如图2。

3号煤层自1979年1月开始从302\*、304\*工作面采掘以来,于1982年采至308\*工作面的南段(在F<sub>0</sub>断层以西)时,韩城电厂的地基和建筑物开始产生变形。1983年采煤全面进入F<sub>0</sub>断层以西的310\*工作面,1984年开采临近铁路的312\*工作面,至1985年4月3号煤层已全部采空。电厂厂坪及建筑物的变形相当严重,有的已危及生产。根据1982年12月至1985年4月的观测资料分析,其中1982年12月至1983年7月间升降值变化较小,一般只上升3~6mm,个别点达10.5mm,表明采煤进入F<sub>0</sub>断层以后才引起上述变形。从1983年7月以后,在3号炉、4号炉、烟囱、除尘器和4号冷水塔东部的地基显著上升,至1985年4月中旬累计上升量最大达58.1mm(表1)。从采煤与变形两者的密切对应分析,地面变形与采煤后采空区陷落具有一定的因果关系。当时,已发生主厂房的平台与B排柱之间的槽钢弯曲、干燥棚柱身倾斜、桥抓被迫停运、4号进煤线的混凝土路基底被剪断、使路基产生严重下沉不能进车等。至于横山坡及厂坪上的地表裂缝,在1985年5月勘察现场时,横山梁上就有地裂缝数十条,经形迹分析后知这些裂缝有下述几类性质。

1. 位于象山与横山相交的东端山顶处的裂缝平行且相对倾斜,属煤坑坍塌裂缝性质。
2. 象山F<sub>0</sub>断层至滑坡后缘四环地裂缝之间,其裂缝有向东反倾者,所以仍属向煤坑采空区的陷落裂缝。
3. 自四环裂缝直达铁路堑顶之间,只见向西陡倾裂缝,无向东反倾裂缝,应视作向西滑动为主的变形。上述四环裂缝系由一组近南北的陡倾裂面与走向北西20°、向河倾的一组裂面组成,其中北西20°的一组实际是滑坡后缘裂面,它指出滑体的后部是向南西70°移动。
4. 在横山脚的铁路挡墙上产生的两条横向裂缝(南高北低)和八字形纵向裂缝以及在墙前的管道支柱上被剪断的迹象等分析,它们位于斜坡上浅层滑坡的前缘,属出口破坏性质。因1984年开采312\*工作面逼近铁路促使原已稳定的浅层滑坡复活所致。
5. 自铁路站坪至主厂房之间,在厂坪上产生了3条北东15°与主要建筑物平行的隆起带,均具明显的滑坡出口剪出裂缝,长60~100m。其分布位置:一在铁路4号进煤线混凝

土路堤西侧坡脚，使其附近各刚性建筑物多产生破坏裂纹；二在烟囱至材料库门前小路东侧排水沟一带，地裂缝呈云朵状向西凸出，地面向东反倾，烟囱除向东倾外，其基础上有放射状裂缝；三在主厂房西部的电缆沟中，使沟墙和沟底产生大量垂直与水平裂缝和建筑物破坏现象。上述种种迹象表明，三个隆起带均属于深层滑坡在前部的破坏现象，并表明深层主滑带非单一的、而是多层性质的。

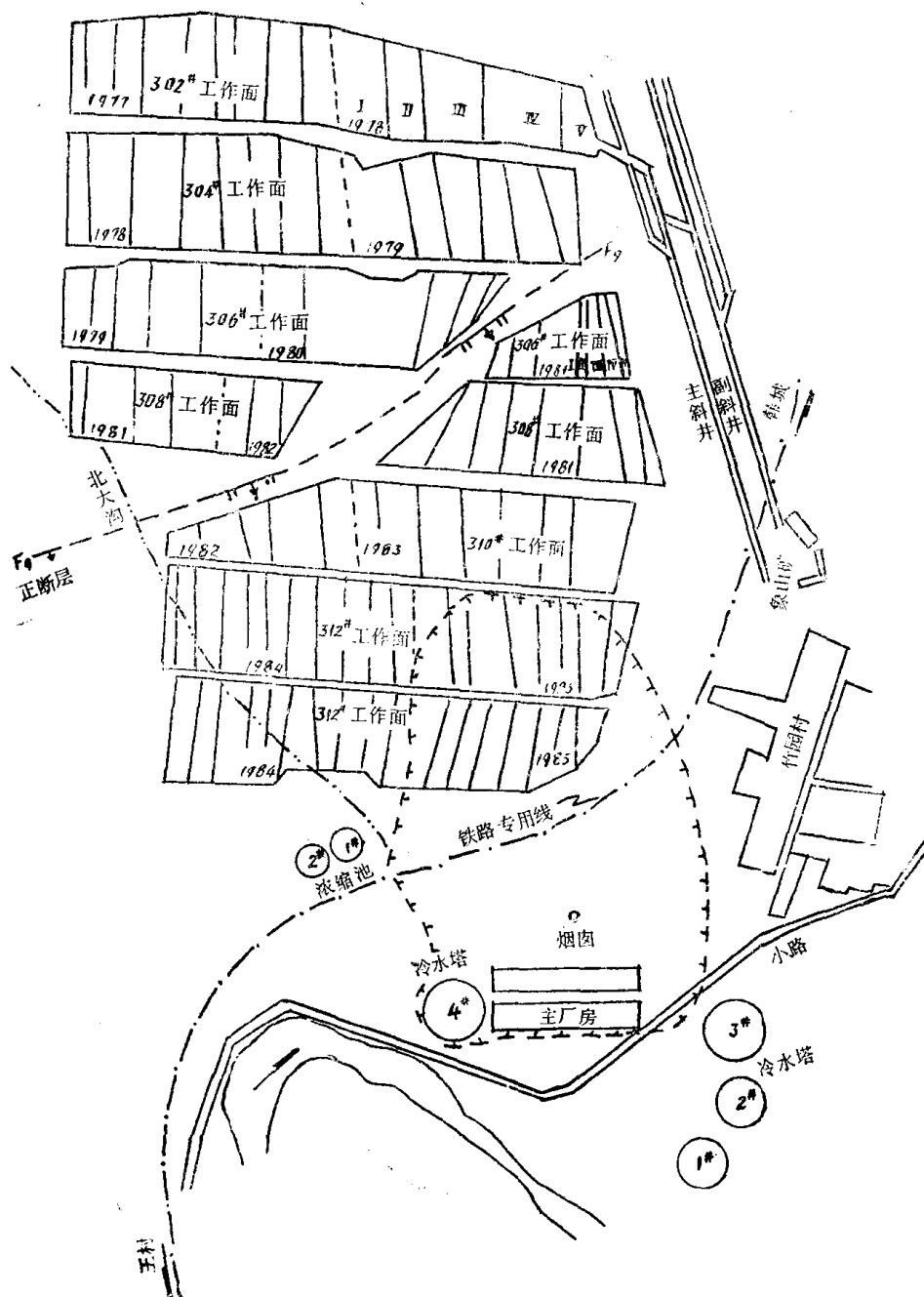


图2 3#煤层与滑坡关系图 (约1:3000)

(二) 在整治以前 (1982年12月至1985年4月) 对横山和电厂建筑物变形分析。

从升降观测和铁路堑顶小路旁设置的5号基点的位移值 (744mm)，横山坡和电厂坪建筑物的变形有下述规律：

1. 采煤愈向西进，山坡及建筑物的变形量愈显著。

1982年12月至1985年4月厂区主要建筑物升降观测资料

(表中所列为升降值最大者)

表 1

| 建筑物名称 | 点 号  | 第一次<br>(标高)<br>82年12月 | 第二次<br>(升降值)<br>83年 7 月 | 累 计<br>(mm) | 第三次<br>(升降值)<br>84年 8 月 | 累 计<br>(mm) | 第四次<br>(升降值)<br>84年11月 | 累 计<br>(mm) | 第五次<br>(升降值)<br>85年 4 月 | 累 计<br>(mm) |
|-------|------|-----------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| 主 厂 房 | C—2  | 432.58                | + 3.8                   | + 3.8       | + 8.0                   | + 11.8      | + 16.0                 | + 27.8      | + 7.2                   | + 35.0      |
|       | C—11 | 432.41                | + 2.9                   | + 2.9       | + 6.2                   | + 9.1       | + 15.9                 | + 25.0      | + 6.4                   | + 31.4      |
| 4 号锅炉 | 炉—1  | 432.23                | + 5.7                   | + 5.7       | + 16.8                  | + 22.5      | + 25.8                 | + 48.3      | + 9.8                   | + 58.1      |
|       | 炉—2  | 432.38                | + 7.2                   | + 7.2       | + 15.9                  | + 23.1      | + 25.1                 | + 48.2      | + 9.9                   | + 58.1      |
|       | 炉—6  | 432.37                | + 5.9                   | + 5.9       | + 14.6                  | + 20.5      | + 25.8                 | + 46.3      | + 10.4                  | 56.7        |
| 3 号锅炉 | 炉—24 | 432.43                | + 6.5                   | + 6.5       | + 11.8                  | + 18.3      | + 20.0                 | + 38.3      | + 11.3                  | + 49.6      |
|       | 炉—28 | 432.30                | + 5.2                   | + 5.2       | + 9.6                   | + 14.8      | + 20.3                 | + 35.1      | + 8.3                   | + 43.4      |
|       | 炉—33 | 432.49                | + 6.2                   | + 6.2       | + 9.7                   | + 15.9      | + 22.9                 | + 38.8      | + 8.9                   | + 47.7      |
| 除 尘 器 | 尘—19 | 439.13                | + 10.5                  | + 10.5      | + 17.7                  | + 28.2      | + 19.5                 | + 47.4      | + 2.6                   | + 50.3      |
|       | 尘—26 | 438.95                | + 7.1                   | + 7.1       | + 13.5                  | + 20.6      | + 25.4                 | + 46.0      | + 8.6                   | + 54.6      |
|       | 尘—28 | 438.88                | + 6.0                   | + 6.0       | + 12.4                  | + 18.4      | + 23.8                 | + 42.2      | + 8.3                   | + 50.5      |
| 烟 囱   | 囱—1  | 439.79                | + 3.8                   | + 3.8       | + 6.2                   | + 10.0      | + 11.2                 | + 21.2      | + 2.8                   | + 24.0      |
|       | 囱—2  | 439.51                | + 6.2                   | + 6.2       | + 8.9                   | + 15.1      | + 16.8                 | + 31.9      | + 5.6                   | + 37.5      |
|       | 囱—3  | 439.49                | + 6.4                   | + 6.4       | + 10.3                  | + 16.7      | + 18.0                 | + 34.7      | + 6.7                   | + 41.4      |
| 4 号水塔 | 水4—1 | 432.08                | + 0.7                   | + 0.7       | + 2.20                  | + 2.9       | + 5.9                  | + 8.8       | + 6.0                   | + 14.8      |
|       | 水4—2 | 432.08                | + 3.7                   | + 3.7       | + 10.1                  | + 13.8      | + 17.4                 | + 31.2      | + 9.1                   | + 40.3      |
|       | 水4—3 | 432.07                | + 4.6                   | + 4.6       | + 9.0                   | + 13.6      | + 15.9                 | + 29.5      | + 10.3                  | + 39.8      |
|       | 水4—4 | 432.09                | + 4.3                   | + 4.3       | + 12.50                 | + 16.8      | + 20.1                 | + 36.9      | + 11.3                  | + 48.2      |

2. 自1982年起即开始有微量变形,先产生在铁路南段,与1981年、1982年先挖F<sub>9</sub>断层以西的306\*及308\*两工作面的南段一致;1984年及1985年变形严重,移动速率增大,与开挖F<sub>9</sub>断层以西310\*及312\*两工作面对应。

横山地表位移、变形及厂区建筑物地基隆起是随采煤自1983年全面进入F<sub>9</sub>断层以西而加剧;采煤越靠近铁路,地基等的变形迹象越显著。所以在论断横山深层滑坡的生成与发展,要以“在横山下采3号煤层至象山F<sub>9</sub>断层以西后所导致上覆岩体的松弛”为主要原因,其他如当地地质构造、岩体结构、水文地质条件的变化、降水及融雪、修铁路切割坡脚和红旗渠渗漏等,对滑坡的生成和促进有一定的作用,但非直接原因和主要因素。

#### 四、整治施工后对工程效果的监测分析

经1985年6~10月的勘测设计和7~11月的抗滑抢险、及其以后4年多的施工整治,很快查明横山滑坡是一深层的多滑带的基岩滑坡。其滑带部位多依附于劈理面及层间错动面上的泥化夹层滑动。前者产生在主滑部分,后者产生在抗滑部分。由于P<sub>2</sub><sup>1-6</sup>岩组中劈理组及层间错动面均非单一的裂面,故滑带具多层性质。如图3。

为监测滑坡发展及厂坪地基变化,结合设计施工的需要,在原来升降观测基础上,增加

地面位移观测、深部位移观测、土应变计观测、孔隙水压计量测、声发射量测、地面倾斜盘观测以及报警装置和伸缩装置等,以了解各个部位的变化和掌握各项整治工程的作用。如图4。

#### (一) 对电厂厂坪的高程监测

从1982年12月开始至1989年8月止,自采3号煤进入象山F<sub>2</sub>断层西侧以来,一直在电厂主建筑群范围内存在一个不断上升的隆起带,在1985年7月以前始终上升,且速率不断增大,以隆起中心3号炉为例,由月上升量0.93mm增至2.26mm;1985年7~11月山坡减重后,3号炉的月上升量由2.26mm降至0.42mm。1985年11月至1988年6月应急抗滑桩修筑过程,3号炉地基有升有降,平均月上升量为0.62mm,1988年6~12月由于降雨量增大,厂区地面普遍上升(3号炉月上升量0.82mm),随后上升速率又降落(1988年12月至1989年8月3号炉月上升量0.26mm)。其中1988年6月以后的上升现象,是在建成应急抗滑桩以后产生的,此表明这是 $P_2^{1-5}$ 及其以下 $P_2^{1-4}$ 岩层在横山坡体横向挤压下的弹性压缩变形,对电厂安全并无影响。

#### (二) 地面位移观测

自1985年6月开始布点,至1989年8月共观测21次。1987年底以前的1至15次观测值均在允许误差范围之内,但累计值以向西移动为主,说明临空岩体仍存在向河挤压的现象。从1988年3月第16次观测起,在滑坡主轴断面上由东而西选出卸荷平台2—16、横山西坡D—38、抗滑桩R1—28及R1—29、烟囱—29、主厂房B10—1各点,算出它们自第15次至第21次间(1987年12月至1989年8月)的位移矢量,分析全滑坡的变化如下:

1. 全滑坡在减重以前,向西位移的速率逐年逐月在增大,但自1985年7月开始减重至9月以后位移速率明显减小。在厂区1985年10~12月出现反弹现象;从1986年7月第一批应急抗滑桩建成后,直到1987年12月止,厂区范围的滑动基本停止。位于滑坡中后部的卸荷平台在1987年12月至1989年8月虽有位移134mm,但台上各种裂缝已在挤密过程中全部消失。同样,厂区建筑物的变形至1985年底之后未再向西发展,说明整治工程起到了稳定滑坡的作用。

2. 1988年3月至1989年3月,横山卸荷平台位移速率为7.1~13.8mm/月,在应急桩位处为1.0~2.4mm/月。对比由桩位至烟囱一带的位移速率,在1988年3~12月由2.4mm/月降至零,1988年12月至1989年3月由5.5mm/月降至4.33mm/月;表明自1988年12月以后,桩位至烟囱一带的向河位移是属于 $P_2^{1-5}$ 岩组的压缩变形性质。

3. 自横山卸荷平台至厂区间,观测到的滑动方向与勘测时所确定的主轴方向接近。

#### (三) 滑坡深部位移观测

在滑坡区安装测斜管的钻孔共9个,即卸荷平台上钻7\*、横山西坡钻5\*和钻13\*、站坪上钻39\*、钻12\*、钻19\*,厂区钻6\*、钻2\*、钻24\*。从各钻孔中量测到的几层滑带位置,在 $P_2^{1-5}$ 岩组以上者与勘测时的分析基本一致,证实了滑带位置的可靠性。

关于钻12\*、钻19\*、钻6\*测出在 $P_2^{1-4}$ 泥岩顶面有如下的位移情况:

1. 在钻12\*测出最深层变形位置在孔深42.5m处 $P_2^{1-4}$ 泥岩中,钻6\*在孔深30m处 $P_2^{1-4}$ 泥岩顶面,钻19\*在孔深30m处 $P_2^{1-4}$ 泥岩中。经分析,煤坑坍塌深度在地面下160~260m,由下而上有很多构造裂面可形成软弱的滑带,但在临空面以下者不能产生滑动,故判断上述 $P_2^{1-4}$ 泥岩顶层的位移为弹性压缩变形。

2. 钻2\*在 $P_2^{1-5}$ 岩组及其以下无变形,说明 $P_2^{1-5}$ 岩组变形尚未发展至主厂房以西。

3. 自1988年初以来,上述钻12\*、钻19\*、钻6\*各孔在 $P_2^{1-4}$ 泥岩顶面变形明显,1988年3至11月钻12\*位移11.14mm,钻19\*位移13.76mm,钻6\*位移11.70mm。三孔的位移量基本接近,证实其位移系 $P_2^{1-5}$ 及其以下岩层的弹性压缩变形。

#### (四) 土应变计观测

从观测到的相对位移变化分析如下:

1. 自1985年8月安设土应变计,至1985年11月横山减重 $7 \times 10^5 \text{m}^3$ 后,在4号竖井(中滑带)、2号栈桥、电缆沟分别向西相对位移0.38、0.10、0.20mm,至1986年9月观测值为0.57、0.19、0.28mm;自1986年9月至1988年11月间,4号竖井、2号栈桥、电缆沟分别向西增加位移0.71、1.05、2.68mm,是在 $P_2^{1-5}$ 及其以下的岩层向西压缩生成,距 $P_2^{1-4}$ 泥岩顶面愈近者位移量愈大,表明采空区上覆岩土系由下而上逐渐松弛的。

2. 各观测点的相对位移在1985年8月至1988年2月间有反弹现象,但累计量仍是向西位移;1988年2~11月则全是向西移动。在4号竖井内中滑带位移量较上、下滑带为大,证实了中层滑带活动最大。

3. 从1988年1~11月位移情况看,由于 $P_2^{1-5}$ 岩组的压缩移动量受年降雨量影响,因此必须在采空区及其以上岩土沉实后,向西的挤压力减小至 $P_2^{1-5}$ 岩组的抗力可与之相平衡时,各层滑带的相对位移始可消失。

#### (五) 孔隙水压计量测

在铁路东侧应急桩20号、23号和铁路西侧3号、4号竖井内各滑带部位共埋设23个孔隙水压计。自1986年6月至1988年11月的观测结果为:

1. 上层滑带的地下水压力低于中层和下层;应急桩20号、23号的地下水压最大,3号竖井次之,4号竖井最小。从20号与23号桩比较,北段的水压大于南段。这一水文地质规律与厂区变形一致,可反映地下水压力与变形的关系。

2. 从下层滑带地下水压力与降雨量比较,水压力随降雨量增大而增大,说明 $P_2^{1-6}$ 岩组中的地下水主要受大气降水补给。

3. 各层滑带中水压最大值,在1987年1月以前为45kPa,1987年7月达60kPa,1988年2月为70kPa,1988年8月为110kPa(最大);一方面因1988年8月雨量最大(193mm),一方面也因1988年1月全部应急桩竣工而减少了地下水过水面积所致。经换算最大地下水压力仅 $11000 \text{kg/m}^2$ ,对滑坡影响不大。

#### (六) 声发射量测

自1985年5月至1987年12月监测结果总结如下:

1. 当地岩石产生破坏过程:1985年7月先在钻孔19号产生,8月至钻孔6号,10月达钻孔2号,表明滑带的发展系由东而西。

2. 各孔中声发射反映的滑带部位基本上与地质分析一致。

3. 在烟囱附近的钻孔6号,于1988年8月在卵石层顶及 $P_2^{1-6}$ 岩组内下层滑带反翘部位处有破坏反映;而在 $P_2^{1-5}$ 岩组与 $P_2^{1-4}$ 泥岩顶面间虽有受挤反映,但无破坏迹象,它证明系弹性压缩的迹象。

#### (七) 地面倾斜盘观测

在滑坡范围内共设置37个盘,1988年5至12月共观测6次,观测结果为:

1. 在抗滑桩以东的横山坡仍有微量变形,位移指向南西 $80^\circ$ ;

2. 厂坪一带位移量小于横山西坡(倾斜在 $1 \sim 4$ 度间),位移指向南西 $70^\circ$ ;在主厂

房以西基本稳定。证实抗滑工程产生了阻止横山滑动的作用, 但  $P_2^{1-5}$  岩组内压缩变形影响仍存在。

#### (八) 报警

在滑体内外安设12路滑坡自动报警装置, 因未发生大的滑动而无严重变形迹象反映。

上述各项监测成果表明, 勘测时所确定的滑坡性质、范围、各层滑带部位、滑动方向、以及滑坡最大深度定在  $P_2^{1-5}$  硬砂岩以上, 已基本证实无误。从而满足抗滑设计所设想的前提, 即将  $P_2^{1-5}$  岩组视作一完整的楼板, 将其上、下变形隔开。由于该层在当地侵蚀基准面以下, 岩石坚硬, 层厚7~9m, 无缓倾角裂面, 它可阻止  $P_2^{1-5}$  以下的岩层变形剪断该层而挤出地表。这样,  $P_2^{1-5}$  及其以下岩层因无剪出口, 其变形只能是弹性压缩, 在推力减小时会有反弹现象。修桩后, 桩基深入  $P_2^{1-5}$  岩层中, 使  $P_2^{1-5}$  及其以上的滑坡推力将集中由  $P_2^{1-5}$  一层承受。经按滑坡推力检算  $P_2^{1-5}$  及其下伏的  $P_2^{1-4}$  岩层, 今后虽会继续产生压缩变形, 但不能剪断  $P_2^{1-5}$  砂岩层而挤出地表, 故对电厂的安全运转无影响。

通过监测资料对整治前后变形的对比, 可清楚地看出各项整治工程的效果, 都起到了应有的作用。例如: 1. 切断2号皮带房与碎煤机楼之间的刚性联结, 使局部集中的滑坡推力平均分布到横截滑动方向的全断面上, 使厂房原来变形严重的联结处, 因断开而缓解, 达到了预期目的。2. 在横山上对深层滑坡有影响的后部减重  $9 \times 10^5 \text{m}^3$ , 1985年6月底提出设计图纸, 7月初开挖, 11月底基本完成。减载后从观测上已证明达到了全滑坡减缓位移速率和缓解变形的目的。3. 在铁路山侧挡墙前修一排钢轨混凝土抗滑桩, 每桩有效截面为  $3\text{m} \times 5\text{m}$ , 桩长36m, 共41根, 分三批施工, 1985年11月第一批应急桩开始动工, 至1988年1月全部应急桩竣工后,  $P_2^{1-5}$  岩组以上的滑体基本稳定,  $P_2^{1-5}$  及其以下岩组的弹性压缩变形尚未最后停止, 可能要持续十数年之久。

### 整治后的反思

韩城电厂滑坡经抗滑抢险和精心整治, 现已基本稳定。可以说整治是成功的, 主要体现在1985年6月以来近5年的整治过程, 保证了电厂的正常运行, 发电120亿度, 产值8亿元。如果当时电厂未能及时整治而被破坏, 后果是不堪设想的, 即使搬家重建, 也有时间问题。从横山滑坡对电厂所带来的危害反思, 强调坑口电站的厂址如何避开采煤的影响, 是至关重要的问题。假如韩城电厂在建厂时, 将厂址选在潞水河对岸, 避开横山向潞水河倾斜的岩体因底部煤坑坍塌而松弛所形成向河推挤的滑动威胁; 或者对象山  $F_0$  断层以西的煤层在规划时就列入不开采的范围, 从而防止  $F_0$  断层以西的岩体产生滑动。上述两种选择都是要求厂址与采煤区不在同一个地貌、构造的小单元内, 始可避免采煤给电站带来不良后果。

# 运用地球动力观点鉴别某矿露天 边坡失稳原因

核工业部矿冶局 张家祥

## 提 要

西南某露天矿, 于1970年筹建, 1973年剥离完毕。在1972年开始到1980年投产前共发生5次大滑坡, 顶部开裂1.2m, 严重威胁矿山建设和生产, 成为当时有关单位十分关注的大问题。曾聘请专家“会诊”, 投资400多万元做整治工程, 依然形变不止。是上马还是下马, 必须决策; 于是甲方派作者蹲点调查, 并运用地球动力理论发现了许多新情况, 最后同意验收投产。

## 一、地质情况介绍

该矿位于北回归线以南, 属亚热带地区。年均降雨量为1559.33mm, 地形奇特, 相对高差较大, 悬崖陡壁, 沟谷明显, 海拔250~790m, 是峰岳起伏的岩溶区。

### (一) 地质发展史

该区原为海滨相或浅海(湖)相, 加里东期隆起成陆。寒武纪初步褶皱, 泥盆纪开始下沉, 接受沉积。后为陆相及浅海相沉积, 再后海侵直到二迭纪。东吴运动再上升, 后再下降(沉), 直到三迭纪。印支运动回返成陆, 从而结束了本区海盆的历史。在回返过程中, 老地层再度发生褶皱, 由挤压、拉张而产生多种断裂。属正、逆断层和平推断层。这些断层大部分为印支期的, 走向北西。由三迭系复式褶皱、逆冲断层及新生断陷盆地组成。具有多期多次构造运动特征, 第四纪至今全区地壳仍在缓慢上升, 遭受侵蚀、剥蚀形成低山丘陵、岩溶和1~5级河床阶地及溶洞。

### (二) 矿区地质条件

该矿居于准地台的褶皱带上, 属凹断束地垒东北端的上盘。矿体赋存于破碎岩带中。地层属前泥盆系的砂页岩类, 为复式建造, 有轻度变质, 刚性基底。地垒西侧和顶部为中下泥盆系滨海至浅海相沙泥岩系, 质软, 性脆。采场边坡属寒武系地层, 产状平缓, 倾角约20°, 倾向北东。设计边坡角(最终)大体上与岩层倾角平行。

### (三) 当地构造地质

矿区西北20km左右有一条深大断裂, 走向北东80°, 又与北西向构造交叉。在地垒的东北翼有F<sub>2</sub>断层通过矿区, 它控制矿体, 走向近于东西, 北倾30°~80°, 上陡下缓, 长约20km, 宽200~300m, 深500m以上。它被晚近期的北东向构造体系断层等切成碎段, 矿体就赋存在与它平行的破碎带中。因此, 构造与成矿有直接关系, 地质上称为由构造运动形成的

热液矿床。该矿区为沉积岩较厚的火成岩窟窿区，构造运动激烈明显，但火成岩地貌极为少见。另在剥离及削方减载时，还发现了 $F_1$ 断层，它垂直于 $F_2$ ，近于南北走向的直立断层（如图1、图2）。在它附近，往往见到有微细岩脉，岩性坚硬。

## 二、边坡失稳情况

### （一）变形论断

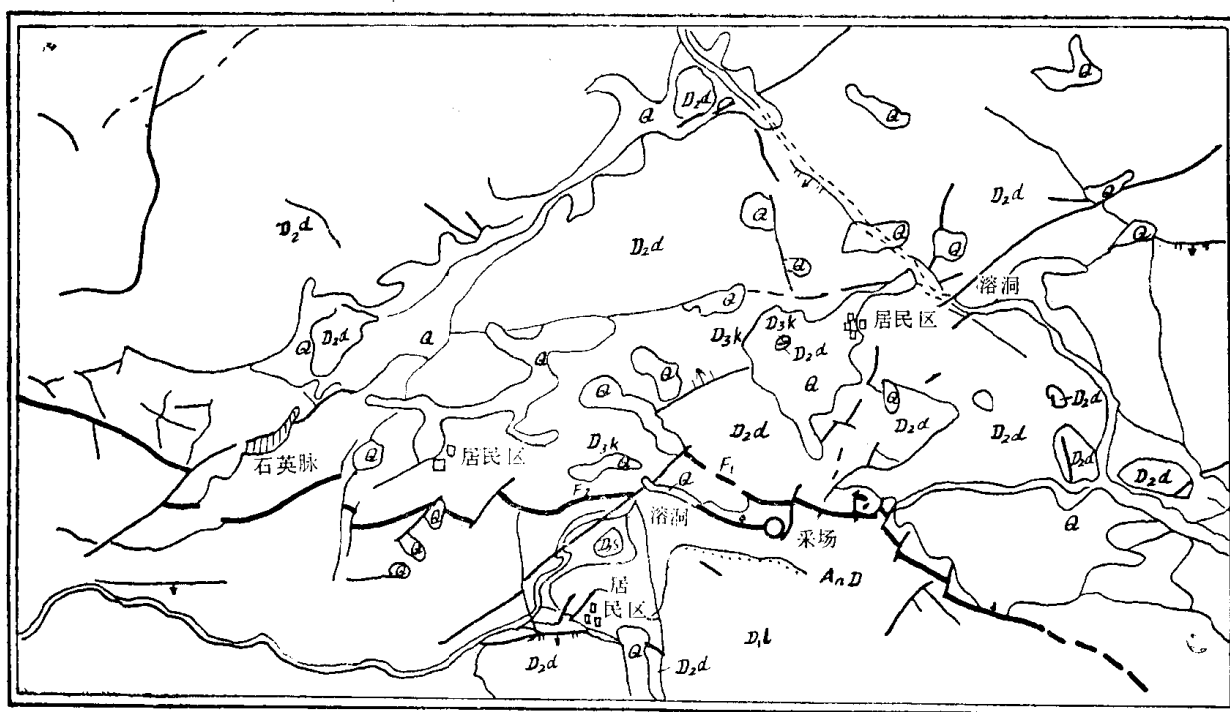


图1 矿区地质构造示意图

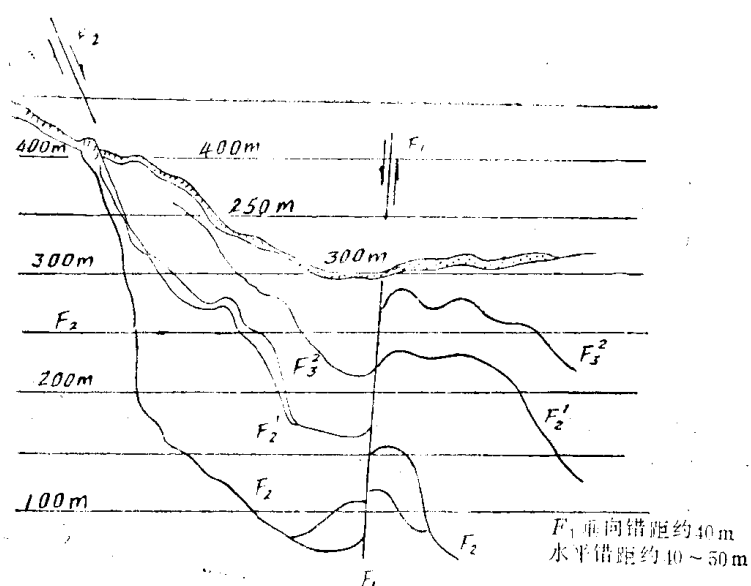


图2 采场1\*剖面线的剖面示意图