

滑坡文集

(第十三集)



中国铁道出版社

滑 坡 文 集

(第十三集)

滑坡文集编委会 主编

中 国 铁 道 出 版 社

1998年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本集选文 23 篇,主要内容涉及滑坡的监测预报、综合研究、滑坡的原因分析与防治措施、滑坡模型试验等方面。文集最后附有每篇文章的英文提要,以便国际交流。

本文集可供工程地质工作者和土建工程设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

滑坡文集 第十三集/滑坡文集编委会主编. —北京:中国铁道出版社,1997.8

ISBN 7-113-02783-0

I. 滑… II. 滑… III. 滑坡-文集 IV. P642.22-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 19588 号

中国铁道出版社出版发行

(100054,北京市宣武区右安门西街8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刷

开本:787×1092 1/16 印张:12 插页:1 字数:296千字

1998年2月 第1版 第1次印刷

印数:1—1000册

ISBN 7-113-02783-0/TU·563 定价:23.10元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

滑坡文集编辑委员会

(甘肃省兰州市民主东路 365 号 730000)

名誉主任委员:李 嘉 徐邦栋(铁道部科学研究院西北分院)

主任委员:王恭先(常委 铁道部科学研究院西北分院)

委 员:(以姓氏笔划为序)

马 骥(铁道部科学研究院西北分院)

于济民(铁道部科学研究院西北分院)

王少东(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所)

王传仁(交通部第一公路勘察设计院)

叶宗荣(铁道部第三勘测设计院)

刘光代(常委 铁道部科学研究院西北分院)

刘祥海(西南交通大学)

池淑兰(常委 西南交通大学)

安鸿逵(常委 中国铁道出版社)

陈自生(常委 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所)

陈德基(水利部长江水利委员会综合勘测局)

陆玉珑(常委 铁道部第二勘测设计院)

余正祥(铁道部第二勘测设计院)

孟英喆(常委 铁道部第一勘测设计院)

居怀扬(常委 上海铁道大学)

张苍松(中国铁道出版社)

徐凤鹤(铁道部第四勘测设计院)

徐峻龄(常委 铁道部科学研究院西北分院)

晏同珍(中国地质大学 武汉)

责任编辑:刘光代 徐峻龄

秘 书:廖小平(铁道部科学研究院西北分院)

目 录

一、滑坡的监测预报

黄茨大型滑坡的监测预报	徐峻龄 廖小平 李荷生(1)
长江三峡库区黄腊石滑坡监测与防治	严应征 杨天民 陈德基(24)
滑坡活动时空结构的分形特征及其意义	易顺民 晏同珍(33)
滑坡和崩塌区段预测及稳定度评判的数学地质方法	徐峻龄 摘编(38)
陕西省滑坡分布图与滑坡灾害预测图的编制	靳金泉(48)

二、滑坡综合研究

环境因素控制论及其在滑坡灾害研究中的应用	居恢扬(53)
抗滑支挡建筑物的发展动向	王恭先(60)
多排抗滑桩与滑坡相互作用的计算	励国良(65)
抗滑桩的桩间土拱和临界间距问题探讨	常保平(73)
黄土锚固技术的实验研究	王全才 金培杰 于 贵(79)
深圳市区周边斜坡病害的初步探讨	马惠民 曹玉立(86)

三、滑坡的原因分析及防治措施

从成昆铁路北段地质灾害看灾害防治	吴宗俭(96)
工程滑坡的发生与防治	陆玉珑(102)
曲靖车站货物线路堤滑坡原因分析与整治措施	史国安(109)
建筑物变形观测分析方法与运营线滑坡调查	王振铎(116)
长江三峡巴东县城三道沟滑坡成因研究	喻学文 吴永锋(121)
陕北黄土地区塑流—拉裂型滑坡地质特征及形成机理分析	陈广波(128)
成昆铁路林场滑坡工程治理	张 霖 赵文恺 郭洪江(139)
滑坡及高边坡病害生成与治理的研究	宋学安(144)
骊山北坡坡体病害的综合勘察与整治	马惠民 侯殿英 马曾伦 王安福(149)
深圳市罗沙公路西岭山深壑滑坡整治工程施工	王慧莺 朱本珍 关 莹(158)

四、滑坡模型试验

滑坡模型试验中重现的滑带(面)土的变形特征	刘光代(164)
茅台斜坡模型试验及其有限元分析	廖小平(168)

PROCEEDINGS OF LANDSLIDES

Volume Thirteen

Contents

I Monitoring and Predicting for Landslides

- Monitoring and Predicting for Huangci Landslide
 Xu Junling, Liao Xiaoping & Li Hesheng (1)
- Monitoring and Treatment of Huanglashi Landslide in the Yangtze Three Gorges
 Reservoir Area Yan Yingzheng, Yang Tianmin & Chen Deji (24)
- The Fractal Characteristic of the Temporal and Spatial Structure of
 Landslide Activities and Their Significance Yi Shunmin & Yan Tongzhen (33)
- Section Prediction for Landslides and Rockfalls and Mathematical
 Geological Method for Stability Assessment Xu Junling (38)
- Compilation for Landslide Distribution Map and Landslide Hazard Prediction
 Map in Shaanxi Province Jin Jinqian (48)

II Comprehensive Research on Landslides

- Environmental Factors Control Theory and Its Application in Landslide
 Disaster Research Ju Huiyang (53)
- The Developmental Trend of Anti-sliding Retaining Structures
 Wang Gongxian (60)
- Calculation of the Interaction between Multi-row Stabilizing Piles
 and Landslide Li Guoliang (65)
- A Study on Soil Arch between Stabilizing Piles and Critical Span
 Chang Baoping (73)
- The Experimental Research for Anchor Technology in Loess
 Wang Quancai, Jin Peijie & Yu Gui (79)
- Initial Research on Slope Disasters around Shenzhen Special Economic Zone
 Ma Huimin & Cao Yuli (86)

III Analysis on Causes of Landslides and Their Control Remedial Measures

- Prevention and Treatment for Geological Disasters in the Northern
 Section of Chengdu—Kunming Railway Wu Zongjian (96)
- Occurrence and Treatment of Engineering Landslides Lu Yulong (102)
- Analysis and Treatment for the Embankment Landslide on the Waybank of
 Goods in Qujing Railway Station Shi Guoan (109)
- Observing and Analyzing for the Deformation of Buildings and Investigating
 for Landslides along Railway Lines Wang Zhenduo (116)

A Study on the Mechanism of Sandaogou Landslide in the Township of Badong County	Yu Xuewen & Wu Yongfeng(121)
Geological Feature and Forming Mechanism Analysis of the Plastic Flow- Tension Fission Slope in the Loess District of North Shaanxi Province	Chen Guangbo(128)
Rehabilitation Project of Linchang Landslide along Chendu—Kunming Railway Line	Zhang Lin,Zhao Wenkai & Guo Hongjiang(139)
Applied Study on Occurrence and Treatment of Landslides and High Slope Diseases	Song Xuean(144)
Comprehensive Survey and Treatment for the North Slope Disaster of Lishan Mountain	Ma Huimin,Hou Didnyin, Ma Zenglun & Wang Anfu(149)
Construction of the Landslide Controlling Engineering of Deep Cutting of Xinling Mountain in Luosha Road of Shenzhen	Wang Huiying,Zhu Benzhen & Guan Ying(158)
IV Model Test of Landslides	
Deformation Characteristics of Slipped zone Soil in Landslide Model Test	Liu Guangdai(164)
Stability Analysis on Maotai Slope by Model Test and FEM	Liao Xiaoping(168)

黄茨大型滑坡的监测预报

徐峻龄 廖小平 李荷生

(铁道部科学研究院西北分院 兰州 730000)

提 要

黄茨滑坡位于甘肃省永靖县境内,规模巨大,地形复杂。我们采用多种监测手段对其进行多方位的全面监测,在大量监测数据的基础上,依据滑体变形功率理论和岩土蠕变理论,提出了一套预报滑坡剧滑时间的系统理论和方法,对黄茨大型滑坡剧滑时间做出了准确的预报,不仅把我国的滑坡预报水平推到了世界前列,而且得到了许多有益的结论和启示,可供今后进行滑坡预报工作参考。

关键词:滑坡 监测 预报

一、前 言

铁道部科学研究院西北分院黄茨滑坡监测组依据半年(1994.8 ~ 1995.1)来获得的大量调查、监测资料,通过数次分析计算,认为体积近 600 万 m^3 的黄茨大滑坡即将于 1 月 31 日至 2 月 7 日整体下滑。为保证滑坡可能到达范围内村民生命财产的安全,把滑坡灾害可能造成的损失减少到最低限度,遂于 1995 年 1 月 27 日~29 日向镇、县、省各级政府发出正式险情报告。

1995 年春节(1 月 31 日)前夕,1 月 30 日凌晨 2 时 30 分,在融融的“过年”气氛中,黄茨滑坡突然发出轰隆隆的巨响,孕育已久的滑动开始了,滑体整体下滑。

位于滑坡前缘的水渠于 3 时断流,3 时 15 分供电线路被破坏,全村突然一片漆黑。在寒冷的冬夜中,村民们不得不点燃一堆堆篝火取暖。一直没有搬迁的公路以北尚存的近 10 户居民则忙着抢运家中的重要物资。

至凌晨 4 时,再也听不到土石运动的声响,滑动停止。整个滑动历时 90min。

天亮以后,情况逐渐明朗:

前缘东西宽 300m、后缘东西宽近 500m、南北长 370m、体积近 600 万 m^3 的黄茨滑坡整体滑动;

后缘下错最大达 10m 左右,位于台缘做为滑坡后部的四级阶地的一部分——东西长 200 余米,南北宽 50 余米——整体下错约 2~6m。滑坡前缘运动距离较小,最大仅 30m,但将原山坡脚的水渠抬高 5m 左右;

由于西山梁这部分滑体突然滑动时的冲击力,其前面的地裂缝及由此引起的房屋开裂一直延伸到百米外的公路边;

主要由于滑坡运动距离较近,而且滑坡和公路间 60 余户居民绝大部分已搬迁,故没有造成人员伤亡;

滑坡实际滑动时间较预报时间仅提前 21h30min,预报成功。

在我国,这是第一例依据位移动态数据准确做出的滑坡临滑预报,在世界范围内也不多见。

二、黄茨滑坡的环境背景及地质条件

(一)黄茨滑坡所在地——黑方台的自然条件及地质灾害类型

在兰州市中心以西近 70km 处,由青海西来的湟水注入黄河的八盘峡库区。在黄河和湟水之间的黄河左岸,除黄河桥附近一短小的地段外,均为宽阔的黄河二级阶地,农业发达,人口密集。高出二级阶地面百米许,有一辽阔而平坦的台地,此即由黄河四级阶地构成的所谓黑方台。盐锅峡化工厂东侧的虎狼沟将其分为两部分,沟西边较小的那一块称之为方台,沟东边较大的那一块称之为黑台。黄茨滑坡即位于黑台南缘,滑坡前缘直抵黄茨村。

黑方台地区处于 7 度和 8 度震区交接地带,属温带半干旱气候,干旱少雨。

据永靖县气象台资料,1970~1994 年年平均降水量为 275.3mm,雨季(6~9 月)降水量为 205.5mm,占全年降水量的 74.7%。1994 年降水量为 249.6mm,雨季降水量为 227.0mm,占全年降水量的 91%。年蒸发量达 1689mm。年平均气温 9℃左右,最大冻结深度 92cm。

由于黄河和湟水的切割,黑方台为一向偏东方突出的半岛形台地,尤其黑台,加上虎狼沟及其北侧的磨石沟的切割,台地高出周围地形,基本上杜绝了周围地表水和地下水的补给。

四级阶地面广袤而平坦,但从湟水桥至盐锅峡大坝长逾 10km 的台地边缘均为陡坡和陡崖。

四级阶地上部为厚 40 余米的冲积黄土。黄土又分为两层:上部 20~30m 是上更新世(Q_3)的淡黄色黄土,质地均一,结构疏松,粉砂感较强。下部 10m 左右是中更新世(Q_2)的棕黄—棕红色黄土,可见鲜明水平层理,结构较致密。在崖边可见黄土中有较发育的垂直节理。

黄土下边是数米厚的卵石层。

四级阶地陡坎(坡)最下部为暗红色白垩系泥岩夹泥质砂岩,多成单斜状,以 10°~20°倾向 SE 方向。风化较严重,节理较发育。

没有大的区域构造通过黑方台地区。主要受新构造运动影响,四级阶地形成以后,地壳迅速抬升,致使三级阶地缺失。

高达百米的四级阶地陡崖、陡坡及前述地层条件显然不利于台地边缘的稳定,老滑坡的遗迹随处可见。

1967 年以前,黑方台为无人居住的旱塬。由于修建刘家峡水库和盐锅峡水库,四千余库区农民(另有部队农场一个)移居台上。经到提灌站查询得知,通常每年提灌 5 次,5 月为春灌,11 月为冬灌,其间还有三次苗灌。含人畜用水及渗漏损失,平均每亩地浇水约 600t。冬灌水量较大,约占全年浇灌量的 25%。

经过近 30 年的大面积超量漫灌,虽然台塬上的耕地平均亩产已达 302kg^[1],开辟了一个新的农作区,但引起的危害也是突出的,主要表现在两个方面:

1. 地面下沉

台塬地面普遍下沉。据调查访问,已下沉 2~3m 左右或更多。由于地面下沉,导致房屋开裂,许多农民不得不一而再、再而三的搬迁,重建家园。

据有关文献^[1]介绍,黑方台地面下沉主要受三个因素控制:

(1)黄土的湿陷性;

(2)黄土的相对可蚀性;

(3)黄土的透水性。

据测定,黑方台荒地内表层黄土的水平渗透系数平均值与垂直渗透系数平均值非常接近,在深 10~20m 处二者近似相等。

2. 台缘滑坡

西北地区的黄土台塬,由于其特定的地形、地质及水文地质条件,塬边很容易产生滑坡。譬如著名的宝鸡峡引渭总干渠 98km 塬边渠道区段内,就有形成于不同时代的滑坡 170 个,平均每公里 1.7 个。黑方台不例外,据调查^[1],在长达 10km 的台缘,大小滑坡约有 40 个。

黑方台台缘滑坡的形成主要受以下三方面因素的制约:

(1) 由于三级阶地缺失,台缘为高达百米的陡坎,不少地段坡度达 60°以上,更有一些地段,尤其上部 40~50m 左右的黄土近于直立,形成了高陡的巨大临空面;

(2) 黑方台的地层从上到下可分为三层或四层,已如前述;

(3) 这样的地质条件就确定了渗水(疏松多孔的淡黄色黄土)、相对隔水(比较致密的棕红色黄土)、渗水(卵石层)、相对隔水(白垩系红层)这种特殊的水文地质条件。台缘边缘的基岩顶面多有地下水渗出。也有一些地段地下水循裂隙渗透到基岩中,而后在基岩中顺层面渗流。大面积长期灌溉之后,这种现象更为严重。这样的水文地质条件极有利于在适当部位形成软弱面或软弱带。

除上述形成条件外,诱发因素则以灌溉为主。灌溉(毛)水量每亩每年为 600t,而年平均降水量仅 300mm 左右,如不考虑蒸发和地表径流,则相当于每年每亩地接受 12~13t 降水。所以,灌溉是黑方台滑坡的主要诱发因素。还没有地震引起该地发生滑坡的记载。

据不完全统计,1987 年以来发生大小滑坡 20 次左右,尤其 1989 年以来滑坡活动日趋频繁,其中又以黑台东端的焦家村滑坡群为最。

这一带的滑坡有两种类型,主要受下部白垩系红层走向与临空面走向夹角大小的控制。虽然黑方台边缘出露的红层产状有些变化,但总的来看,大多数地段的岩层走向为 NEE,并以 10°~20°角倾向 SSE。

当台缘走向近南北向时,如自湟水桥至野狐沟一带,多发生黄土沿基岩顶面的滑动,以焦家村滑坡群为代表;当台缘走向接近东西向时,如野狐沟以西地段则多发生上覆黄土连同下伏部分基岩的滑动,由泥岩夹泥质砂岩组成的白垩系红层刚好以 10°~20°角倾向临空方向,因而常形成沿泥岩顶面的顺层滑动,黄茨滑坡是其典型代表。

(二)黄茨滑坡的形成条件及诱发因素

如前述,黄茨滑坡(见图 1)位于盐锅峡镇黄茨村北侧黑方台南缘,从坡脚到台塬顶面高差百米许,坡脚是一常年流水的水渠,紧靠水渠南侧即为人口密集的居民区。距坡脚百米之遥是兰州通往盐锅峡化工厂和盐锅峡水电站的公路,滑坡与公路之间原有居民 63 户,300 余人。

据地表形迹判断,黄茨滑坡主滑方向为 SE30°左右。下边分析其形成条件和诱发因素。

1. 地形

黄茨滑坡不仅规模巨大(体积近 60Mm³)而且地形复杂,中前部是由白垩系红层组成的三条 SSE 走向的山梁,即所谓西山梁、中山梁和东山梁。东山梁东侧和西山梁西侧是两条常年有地下水淙淙而出的自然沟,构成滑坡的东、西边界。滑坡中后部是黄土构成的陡坡和台塬——四级阶地之一部。台塬边缘走向 NEE。台塬前方是相当宽阔的二级阶地。

2. 地层

为了查明地层情况,我们曾在西山梁及其后部四级阶地上钻孔3个(具体位置见图1)。

据位于台塬上的Z3孔所见:

黄土层厚42.67m,其中上部的淡黄色黄土厚36.40m,下部的棕红—棕黄色黄土厚6.27m。前者具肉眼可见的大孔隙,结构疏松,粉砂感强,后者粘粒含量较多,结构较致密。31.73~40.90m为厚达9m的软塑层,40.90~42.67m为可塑状态。

卵石层厚近8m(42.67~50.25m),夹有少部分粗砂,潮湿。

卵石层以下是白垩系岩层,为暗红色泥岩夹泥质砂岩。另可见少量薄层绿色砂岩。

根据地表调查:

黄土中有较发育的垂直节理,各冲沟中几乎均有串珠状分布的黄土陷穴(见图1)。卵石层顶面有数厘米厚微胶结的砂层。白垩系红层呈单斜构造,代表性产状为 $N50^{\circ}\sim 60^{\circ}E/13^{\circ}\sim 15^{\circ}S$ 。局部可见 $N62^{\circ}E/6^{\circ}S$ 、 $N75^{\circ}E/15^{\circ}S$ 、 $N40^{\circ}\sim 50^{\circ}E/11^{\circ}\sim 14^{\circ}S$ 。节理比较发育,在东山梁的厚层砂岩中见到两组: $N65^{\circ}E/72^{\circ}N$ 和 $N25^{\circ}W/65^{\circ}S$ 。此外,还零星可见其他产状的节理。

3. 水文地质条件

如前述,四级阶地顶部厚近43m的黄土层底部有厚达9m的软塑层和厚2m的可塑层,厚近8m的卵石层也是呈潮湿状态。后在深孔测斜过程中发现,位于台塬上的Z3孔在54m深处已形成稳定水位。可以认定,自软塑黄土至卵石层底面为厚18m左右的含水、持水层。

除东山梁东坡地下水顺一层面渗流(判断这是滑面位置,后挖探揭示,此处有5cm厚的饱水软塑粘土)外,滑坡体其他部位(前缘、西侧出露的滑面、斜坡上出露或未出露的卵石层底面及各冲沟中的串珠状黄土陷穴)均未见地下水出露,滑后亦未见。但东、西两沟的沟头部位均有地下水从基岩中渗出。

4. 诱发因素

前文已述,滑坡前方有相当宽阔的二级阶地,不存在河岸冲刷问题。原坡脚的水渠流量甚微,且水渠多半顺坡脚填筑而成,亦构不成对坡脚的冲刷。

从我们进点工作到滑坡下滑的半年内,1994年10月10日青海省共和发生了一次5.3级地震。据说黄茨村极个别农民有感,据我们搜集到的地震资料,除上述青海共和(距盐锅峡镇直线距离约240km)发生的5.3级地震外,一直到1995年1月底,在以盐锅峡镇为中心的数百公里范围内并未发生5级以上地震,仅1995年1月27日曾在东经 $102^{\circ}05'$ 、北纬 $39^{\circ}13'$ 处(阿拉善右旗东北方,距盐锅峡直线距离约390km)发生3.0级地震。故而可以认为,1995年1月30日凌晨下滑的黄茨滑坡并非地震引起。

据前文所述,大量灌溉水是黄茨滑坡的主要诱发因素。

由于灌溉产生了许多台缘滑坡,所以若干年来已禁止在台缘百余米宽度内灌溉。这样一来,便在靠近灌区的非灌区中产生了不少外高内低的灌溉引起的沉降裂缝,通常平行于灌区边界分布,常有多条,形成一沉降裂缝带。

灌溉对斜坡稳定性的危害可以从以下几个方面去认识:

(1)地下水通过卵石层渗透到基岩中某一隔水的泥岩层面或某一软弱夹层后,将使其软化,抗剪强度降低,在庞大的后部土体自重推动下,岩土体可沿其滑动。

(2)加大了滑体后部自重。黄茨滑坡的后部是40~50m厚的黄土及卵石层构成的四级阶地,降水的垂直渗透,尤其是灌溉水的水平渗透使构成滑体的这部分黄土下部饱水软塑,从而增加了本来就相当重的滑体后部的重量。

(3)灌区黄土在下沉压缩的同时,会产生一定的侧向推挤力,这也是条件适宜时产生黄土

沿基岩顶面滑动的原因之一。

(三)黄茨滑坡的变形历史及现状

1. 黄茨滑坡的变形历史

黄茨滑坡并不完全是一个新生的滑坡,在历史上它经历过不只一次滑动,实际上是一个老滑坡。

非常明显的证据有以下几点:

(1) 西山梁从上到下有三个平台,相应的,卵石层也有三个不同的标高(图2)。这显然是老滑坡作用的结果,亦即西山梁曾经产生两级滑坡,造成了黄土层,卵石层及部分红层的滑动。

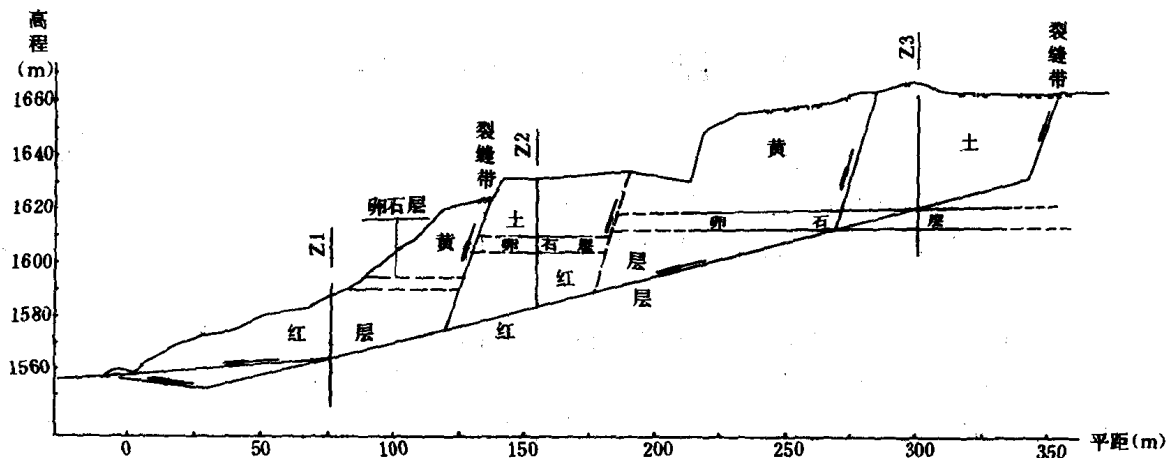


图2 黄茨滑坡 I—I 地质断面图

(2) 东山梁最前缘也有黄土覆盖的小山包(图1),这也是老滑坡搬运的结果。

(3) 在中山梁西坡可见中山梁前部的岩层产状紊乱,与中后部红层的产状不能连为一体,但又没有断层迹象,也应是老滑坡作用造成的,从东西方向看,其位置与东、西山梁前部黄土覆盖的小山包大体相当。

从东山梁和中山梁之间以及中山梁和西山梁之间的沟头来看,黄土、卵石层及下伏白垩系岩层的产状是连续的,三条山沟间没有相互错动的现象。

由此可做出如下判断:黄茨滑坡曾有两级滑动,但在东山梁和中山梁上,这两级滑坡顶部的黄土被剥蚀殆尽,仅西山梁保存尚好;老滑坡可能是分条的,大体分为东、中、西三条,现有的山沟即可能在此基础上演化形成;老滑坡的滑面不太深,从东、西山梁来看,红层的层面从前缘的坡脚到后部的沟头是完全连续贯通的,老滑坡的滑面可能就是现在的滑坡赖以滑动的滑面;产生老滑坡的主要诱发因素可能是当时黄河的旁蚀作用。

黄茨滑坡下滑后,西山梁中部平台后缘出现了覆有钙膜的老滑面,部分证实了上述判断。

2. 黄茨滑坡空间范围确定

1994年7月我们第一次看到黄茨滑坡时,其平面范围已大体显现出来,后经调查及挖探,最后圈定了如图1所示之滑坡周界。

滑动后的事实证明,原判断完全正确。仅对中、西山梁前缘反翘滑出,将水渠抬高数米估计不足。

3. 关于黄茨滑坡滑体的空间结构

前文已述,黄茨老滑坡是分级的,也可能是分条的,现状又如何呢?经详尽调查后认为:

(1)不会分条滑动。

(2)貌似不分层的分层滑动。由于红层走向与山坡走向并不完全一致,二者间夹角10余度,所以,东、西山梁所见滑面并非一个地层层位,只不过露头条件不好,宏观上给人一个不是分层滑动的假象罢了。

(3)分级和分块。根据裂缝出露情况及发展趋势,黄茨滑坡除其主体而外还可划分出三小块(图1):西山梁前部一块,东、西沟头各一块。前者即老滑坡的第一级。

以上所述是黄茨滑坡滑动前对其历史及现状的分析和认识,滑动以后的调查证实,这些判断,尤其是对现状的分析完全正确。总的来讲黄茨滑坡确乎是一次性整体滑动的,没有分条、没有分级。但若仔细分析,上述三块各有自己独立活动的特点。

三、各种监测设备的布设及其效果

在黄茨滑坡开展工作的主要目的是采用综合监测手段做出准确的临滑预报。为此,我们共设置了8种监测设备,其中电子记录式位移计和声发射仪属试验性质。

现将各种监测设备布设原则及在此次监测中的作用和效果分述如下:

(一)地面监测网

该滑坡规模巨大,地形复杂,属于滑坡范围的宽近百米的四级阶地上裂缝很多(近20条),尽管工作伊始就在后缘裂缝上设置了4台机械式自记位移计,但并未控制所有裂缝。为了更可靠地监测滑坡的动态变化,后又设置了用经纬仪监测的地面监测网,根据实际地形条件,设置了3条呈辐射状的监测线,共设10个监测桩,每次观测到的桩的位移方向与其所在监测线垂直。3条监测线上桩的位移方向与滑坡主滑方向(SE30°)的夹角依次为6°,2.5°,12.5°,若将其位移值换算到主滑方向上,相差极小可略而不计,监测数据可直接使用。图3所示是这10个地面监测桩的S-t曲线。从该图可以看出:

1. 它们表现了大体相同的动态过程,主要有以下几点。

(1)10~12月初,或近似匀速,或缓慢加速,或在加速、减速中波动。日均位移量在1~5mm之间,多数为3mm左右;

(2)冬灌后的12月中、下旬,大部分桩均呈现加速状态。日均位移量达1.9~7.1mm,多数为4~6mm;

(3)12月底到1月初或1月中旬,除C4而外,其余9个监测桩均出现一明显减速段;

(4)1月中旬开始显著加速运动,直至破坏。1月14~25日,日均位移量达7.3~12mm,多数为7.4~9.3mm。1月25~27日,日均位移量达8.5~25.5mm,多数为10~19.5mm。

2. 从开始监测到滑体下滑,只有地面监测桩监测到的位移量才反映了滑体在这一阶段的总位移量,从1994年10月1日到1995年1月27日,各桩的总位移量如表1所列,均达500mm左右。

表1

桩号	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C1-1
位移 (mm)	511	521	510	485	560	499	473	525	489	550

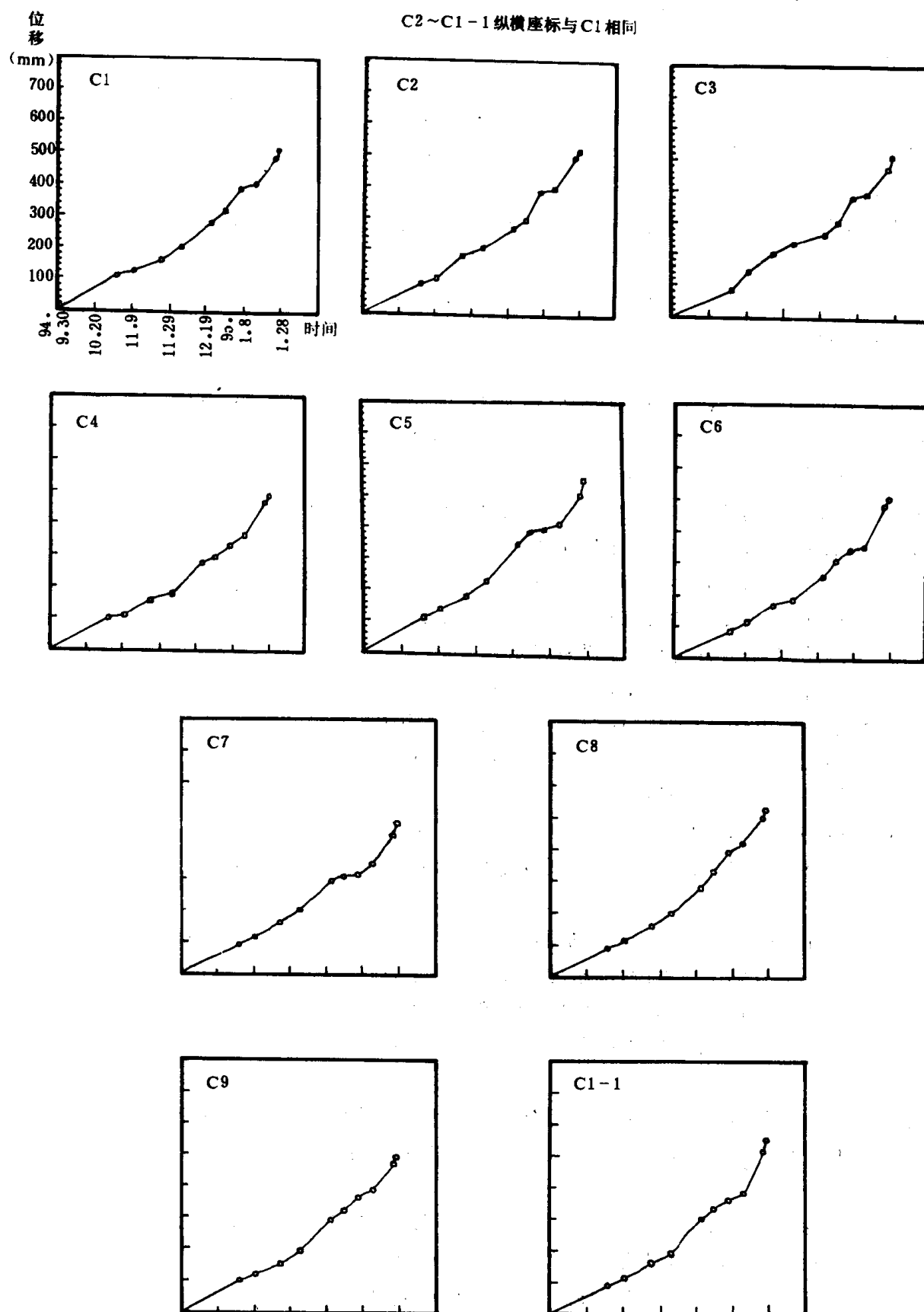


图 3 10 个地面监测桩的 $S-t$ 曲线

3. 从这 10 条 $S-t$ 曲线还可以看出, 它们的同步性愈到后期表现愈明显。其实, 这也是进行滑坡预报的重要依据之一。

(二) 机械式自记单点位移计

共设置了 6 台机械式单点位移计, 其中 A1、A2、A3、A4 设在后缘主裂缝上, A6 设在西山梁前部那一块滑坡的后缘裂缝上, A7 设在西沟头块的后缘裂缝上。由于后缘裂缝带较宽, A2 和 A3 采用了“接力”方式(见图 1)。

由于滑坡后部的四级阶地表面上有两个裂缝带, 而 A1、A2+A3、A4 仅控制了一个裂缝带, 所以, 它们的监测资料不能全面地真实地反映滑坡的动态。

通过对 C2、C5、C8 三个监测桩的 $S-t$ 曲线和 A1、A2+A3、A4、A6、A7 五台位移计的 $S-t$ 曲线的对比可以看出:

1. 虽然 A1、A2+A3、A4 都是从 1994 年 8 月 1 日开始工作的, 但到 1995 年 1 月 29 日滑坡滑动前夕, A1 和 A2+A3 的总位移量分别为 315.4mm 和 259.1mm, A4 则不足 100mm, 远小于从 1994 年 10 月 1 日开始工作的地面监测桩的位移量。

2. A1 位移计的 $S-t$ 曲线显示: 1994 年 9 月中旬以前先加速后减速; 9 月中旬至 11 月下旬基本呈匀速运动; 11 月下旬起开始缓慢加速; 1994 年 12 月底至 1995 年 1 月上旬位移速度稍有减缓, 而后加速直到破坏。动态特点与地面监测桩大体一致。

3. A2+A3 的 $S-t$ 曲线显示: 1994 年 10 月下旬以前, 时而加速时而减速多有波动; 11 月到 1995 年 1 月上旬, 基本处于缓慢加速状态; 到最后阶段才显著加速。普遍存在于 12 月下旬到 1 月上旬的减速现象在该曲线上几乎没有显示。

4. A4 单点位移计的 $S-t$ 曲线显示: 1994 年 9~10 月, 大体匀速运动; 自 1994 年 11 月中旬起进入减速状态, 其中 12 月上、中旬及 1995 年 1 月中曾出现两次少量加速, 12 月下旬到 1 月初呈现停滞状态。可知, 虽然总位移量小, 加速强度小, 但与主滑体的运动状态还是吻合的。这也从一定程度上说明了黄茨滑坡的整体滑动特点。

5. 除上述而外, 对 A6 和 A7 两台位移计的资料分别另行分析如下:

(1) A6 位移计处仅一条裂缝, 且发展变化最快, 所以, A6 的 $S-t$ 曲线较好地说明了这一块滑坡的动态。

1994 年 8 月 1 日~11 月 15 日, 或加速或减速, 运动态势不大均匀。11 月 15 日以后大体一直处于加速状态, 直到滑体下滑, 加速过程长达两个半月;

从 1994 年 8 月 1 日到 1995 年 1 月 20 日, 总位移量达 520.3mm。1 月 20 日以后, 日位移量均达 10mm 以上。1 月 28 日 11 时到 29 日 17 时, 位移量达 34.0mm, 每小时位移率达 1.13mm;

实际上, A6 位移计测到的位移量是相对的, 因为整个监测装置均设在黄茨滑坡体上, 只不过这一块滑体运动相对较快而已。所以, 由它的 $S-t$ 曲线得出的结论只能做为一种定性的参考。

(2) A7 位移计安设于 1994 年 11 月中旬, 其监测线跨越了西沟头块滑坡后缘裂缝, 所获监测资料可充分说明该块滑坡动态。由 A7 位移计的 $S-t$ 曲线可看出:

从 11 月 15 日到滑体下滑, 总位移量为 173.6mm。11 月 15~30 日大体呈匀速运动, 11 月 30 日~12 月 10 日速度稍减, 12 月 10~25 日基本为加速运动, 12 月 25 日~1 月 5 日为减速段, 1 月 5 日起再次加速直至破坏, 其动态过程也与滑坡主体大体吻合。从而说明, 此块滑坡虽位于西沟头, 前方有较好的临空条件, 后缘已形成独自的弧形裂缝, 但其滑面与黄茨滑坡主

体部分滑面为同一岩层层面,其位移动态仍受主滑体制约。同时,又一次说明了黄茨滑坡的整体位移特点。

6. 根据各位移计连续自动记录的 $S-t$ 曲线,不同部位、不同时段、不同部位的滑体具有不同的运动方式,大略可分为三种:

(1) 铢动式。静止一段时间突然动一下,而后静止一段时间再动一下,如图 4 中的 A4(进口仪器)。

(2) 续动式。静止与位移相交替,形成连续小台阶状,但每次位移并不像铢动式那么突然,有一个渐变过程,整个曲线比较圆滑,不像铢动式曲线那么棱角分明,如图 4 中 A1 位移计在 1994 年 10 月的曲线。

(3) 速动式。滑体不停运动, $S-t$ 曲线基本呈直线状,如图 4 中 A1 位移计在 1995 年 1 月份的曲线。

显然,这与滑体所处的滑动阶段与滑动速度有关。

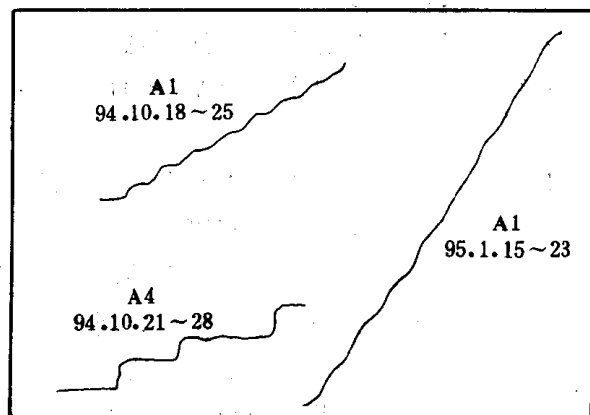


图 4 滑体的三种运动方式

(三) 沉降监测桩

滑坡后部四级阶地上两个裂缝带之间有较明显的沉降现象,为了解沉降情况,1995 年 11 月 30 日在平台上埋设了 13 个沉降监测桩,大部分集中在后缘裂缝带两侧,各沉降监测桩的具体位置见图 1。

主要由于埋设较晚,观测次数较少。1995 年 1 月 7 日进行初始观测,后于 1 月 14 日、1 月 24 日进行了两次观测。现将各桩的沉降量列表如表 2。

表 2

桩号	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13
沉降量 (mm)	/	63	81	14	-10	63	75	93	-14	161	-4	191	1

由图 1 可知,H5、H9、H11、H13 距后缘裂缝有一段距离,应该不发生沉降。H5、H9、H11 产生少量负沉降(上升),应与冻胀影响有关,H13 应视做没有沉降。

位于后缘主裂缝带前缘的 H2、H6、H8 三个桩在半个月中下沉 60~90mm。位于 A4 位移计附近的 H4,下沉量最小,仅 14mm。结合 A4 的资料,可以认为此处比较稳定。位于 A1 位移计处的 H10 下沉量较大,达 161mm。下沉量最大的是位于西沟头的 H12,达 191mm,日均下沉 13mm,说明西沟头块滑坡活动较强。位于台塬边缘裂缝北侧的 H3、H7 的下沉量与 H2、H6、H8 相当,说明两裂缝带间的地块具有大体相同的下沉速率。

(四) 简易监测桩

所谓简易监测因地制宜有不同的方法。我们为监测地表裂缝,采用打木桩办法,每一排的桩数酌情而定。

这次监测工作中在两个部位埋设了简易监测桩:

1. 台塬边缘裂缝带简易监测桩

前文已说明,在台塬上有两个裂缝带,其中一个位于台塬边缘,这里都是动体,安设单点位移计无大意义,为了解其大略动态,设置了四排简易监测桩,每排含桩数 5 个、6 个不等,即图 1 中 E1、E2、E3、E4。

从1994年8月1日至1995年1月28日,对这些桩整整监测了40次,获得大量(680个)数据。

在这680个数据中有67个为负位移(含发生负位移后的稳定值),约占10%。一次负位移值均为1~2mm。

经历6个月后,各排简易桩的总加长量是:E1—290mm,E2—330mm,E3—247mm,E4—236mm。最大相差近100mm。

这四排桩均位于动体内,其位移数据对滑坡体动态说明不了多少问题,但是,却很好地说明每条裂缝都不在断加宽。所以,地面监测桩的位移不可能全部“传递”到后缘的单点位移上。

如将简易桩以适当密度纵穿整个裂缝带,其监测资料将会有较大意义。

2. 滑坡出口部位的简易监测桩

滑坡前缘的剪出口出现之后,跨越出口裂缝设置了5组监测桩(具体位置见图1),从1994年11月12日至1995年1月28日共观测了73次,获得了365个数据,各组简易桩(E8~12)的总位移量依次为-112,-280,-334,-289,-229mm。西山梁处滑坡出口位置变化较大,故E8的负位移(桩间距缩短)较小,未能真实反映出口处的位移变化。E12受东山梁前缘“较稳定的黄土包”的影响,变化过程也不够典型。

E9、E10、E11三组监测桩的资料比较有代表性,它们表现出如下规律:

(1)1994年11月,绝大多数的监测值显示几乎每天都产生压缩,每一组桩间都产生负位移,其绝对值多为1或2mm,少数达3~4mm。

(2)1994年12月,除第4组之外,其余每天都产生负位移,其绝对值多为3~4mm,少数几次达5~6mm。

(3)1995年1月,滑体加速向前移动,绝大多数的日位移量达5~6mm,1月25日后多大于7mm,1月29日,E10、E11两组桩间的位移绝对值为10mm。

滑坡出口部位的监测桩,虽然桩数不多,监测时间不长,但颇能说明一些问题。

(五)地面倾斜盘

为早日发现和大体确定滑坡出口的可能位置,我们从斜坡坡脚水渠两侧到公路埋设了4排15个地面倾斜盘(D1~D15),第一排在水渠北侧紧靠坡脚,第二排在水渠南侧,第三排在水渠与公路间,第四排靠近公路。具体位置见图1。

经过几个月的观测发现,入冬以前,第三、第四排一直未动,入冬以后,有的倾斜盘稍有倾斜,分析可能与冻胀有关,本欲解冻后再做结论,滑坡下滑失去了这一机会。从滑后滑坡到达位置分析,这两排倾斜盘应该不受滑坡蠕动挤压的影响,故本报告仅对水渠两边的7个倾斜盘的资料加以分析。

由图1可知,D1、D2、D3、D4分布在西山梁前缘两侧,D5位于中山梁前缘,D6和D7位于东山梁前缘。

据所获资料可得到如下信息:

1. 西山梁活动性最强、位于水渠北侧的D1和D3一直保持着强劲的势头,位于水渠南侧的D2和D4也产生较大的倾斜。后来,水渠南侧地表陆续出现裂缝,但这些裂缝出现的时间是滞后于倾斜盘的变化。

2. 从1994年11月1日起,D1一直倾向NE,说明此处将出现反翘。

3. D3也一直倾向NE,说明滑体顺N50°E/13°S的层面滑动,这里受到了一定的程度的推