

文章编号:1004-4116(2021)02-0054-05

# 管式渗沟对小型浅层堆积层滑坡的防治效能探讨

张磊<sup>1,2</sup>,刘欣童<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃省地质环境监测院,甘肃 兰州 730050;2. 甘肃省地下水工程及地热资源重点实验室,甘肃 兰州 730050)

**摘要:**陇南地区小型浅层基覆界面滑坡频发且数量众多。该类滑坡一般规模小、滑床浅,多为基覆界面滑动,水的作用是滑坡发生的主要诱因,其中又以松散岩类孔隙水的作用最为明显。主要破坏方式以蠕滑为主,多为坡体前缘受侵蚀,从而带动整个坡体变形。管式渗沟通过设置排水层、反滤层与封闭层,采用渗透方式将地下水汇集于沟内,并通过沟底布有泄水孔的管道将影响土体力学结构的水排出坡体外,改善土体力学性质,可以从根本上消除或减弱该类滑坡的主要诱发因素,结合挡土墙等简单防护工程,达到保持坡体稳定的目的。

**关键词:**管式;渗沟;堆积层滑坡;松散岩类孔隙水;治理探讨

**中图分类号:**P642. 22;X43

**文献标志码:**A

滑坡作为主要地质灾害类型的一种,对人类生产、生活构成极大危害<sup>[1]</sup>。甘肃省陇南地区山大沟深,特殊的地形条件使得土地资源稀缺,房屋以及道路均需要依坡而建,从而开挖坡体,在各种不利因素的共同作用下易导致坡体失稳,形成滑坡。该类由人类活动引起的滑坡,共同特点是,规模较小、多为浅层,沿堆积层和基岩接触面滑动,主要威胁对象是乡村,摧毁农田、房舍、伤害人畜、毁坏森林、道路等,有时甚至给乡村造成毁灭性灾害。降雨条件下,浅层堆积层滑坡因土体饱和而产生滑坡,因此,水是此类滑坡的主要引发因素<sup>[2]</sup>。目前,滑坡的治理措施较多,针对不同灾害形成条件以及诱发因素,选择合适的工程治理措施,不但可以简化工程设计,也可以节约分项治理经费,优化整体防治工程布局<sup>[3]</sup>。排水措施是治理小型堆积层滑坡的有效手段,在国内外广泛应用<sup>[4]</sup>,但在陇南地区滑坡治理中则应用较少。本文以西和县太石河乡罗家坡社为例,分析管式渗沟对小型浅层堆积层滑坡的防治效能,为该地区同类滑坡的治理提供借鉴。

## 1 滑坡区工程地质背景

太石河乡位于西和县西南部,属陇南山区,属于侵蚀构造中山区。境内海拔1 500~2 500 m;相对高差500~1 000 m,山头多呈尖顶状,坡度一般大于30°,冲沟多呈“V”字型。该区植被良好,覆盖率达40%。罗家坡社坐落于太石河乡以北约10.6 km豹子沟中游右岸山体中上部相对低洼平缓区域。该处为村庄上部山坡小冲沟汇流集中下泄区域,地势低洼,原地貌为山体发育的大型冲沟的沟脑位置(图1)。

区内主要出露地层为第四系和三叠系。三叠系西坡组(Tx)岩性为板岩、灰岩,构成了整个山体斜坡的基底,部分地段直接出露,地层产状 $352^\circ\angle 35^\circ$ ,与上覆黄土呈不整合接触。第四系主要为马兰黄土(Q<sub>3<sup>ml</sup></sub>)分布于山坡及山梁处,披覆于三叠系西坡组之上,分布厚度随基岩面起伏变化,一般在5~10 m之间;全新统残坡积物(Q<sub>4<sup>el+dl</sup></sub>)分布于山体斜坡表层,厚度较薄,一般在3~5 m之间,岩性主要为粉质黏土,大部分区域的残坡积物已被人工翻耕垦殖改造较强烈。罗家坡地处于秦岭构造带东沿部分断裂构造为北东东向,控制了第三系地层的分布。调查区地震活动强烈,地震设防烈度为Ⅷ度,地震基本动峰值加速度为0.20 g。

收稿日期:2020-07-31

作者简介:张磊(1983~),男,水工环工程师,从事水工环地质工作。E-mail:leilei30th@qq.com

## 2 滑坡基本特征及诱发因素

### 2.1 滑坡基本特征

滑坡位于罗家坡社西北侧,原地貌为该处所在山体发育的大型冲沟的沟脑位置。受地表水流冲蚀及地下水入渗影响,该区域发育一处小型浅层滑坡体,滑坡体平面形态呈“倒梨”形,滑动方向 124°,滑体长 82 m,前缘宽约 22 m,高差 33 m,滑体厚约 3 ~ 5 m,平均坡度 26°,滑体体积约  $1.7 \times 10^4 \text{m}^3$ ,属于小型浅层牵引式滑坡。滑坡后壁总体呈圆弧形,但个别区域有凹凸,滑坡中下部由于修路开挖大体形成一级平台,滑坡靠近后壁位置人为平整成简易道路宽约 2 ~ 3 m,总体近似两级台阶状(图 2)。

滑体主要为含碎石粉质粘土厚度 1.2 ~ 5.0 m,滑坡中部由于修建道路开挖以及水流冲蚀,部分区域基岩裸露,中部滑体厚度较薄,坡脚及上部坡体较厚。滑带土位于强—全风化基岩与上覆土层接触带,埋深 1.5 ~ 5 m,由于地下水的影响,在基底凹陷的滑带土处于基本饱和状态。滑坡区黄土孔隙裂隙潜水主要分布于马兰黄土中,埋深约 2 ~ 4 m。一般水量贫乏,水质较差。该类水接受大气降水入渗补给,以垂直下渗和蒸发形式排泄。黄土含水层虽呈不连续含水,但由于汛期降水集中,地下水往往富集,地下水在运移过程中软化地层并润滑结构面,并且增加坡体自重,促使斜坡失稳变形。滑床为三叠系西坡组岩组组成,强风化,岩体较为破碎,裂隙发育,下部岩体较为完整,裂隙较发育。滑床在主滑线呈折线状,基岩面平均坡度角约 25°。

### 2.2 诱发因素

滑坡坡脚及中部受开挖修路影响造成临空面大,易于滑坡的形成。降雨形成的水流通过上部土体的垂直下渗,赋存于滑带碎石土层的孔隙中,沿着相对隔水的基岩底座,一直向坡体下部渗流,最终从滑坡中部出露的基覆界面或

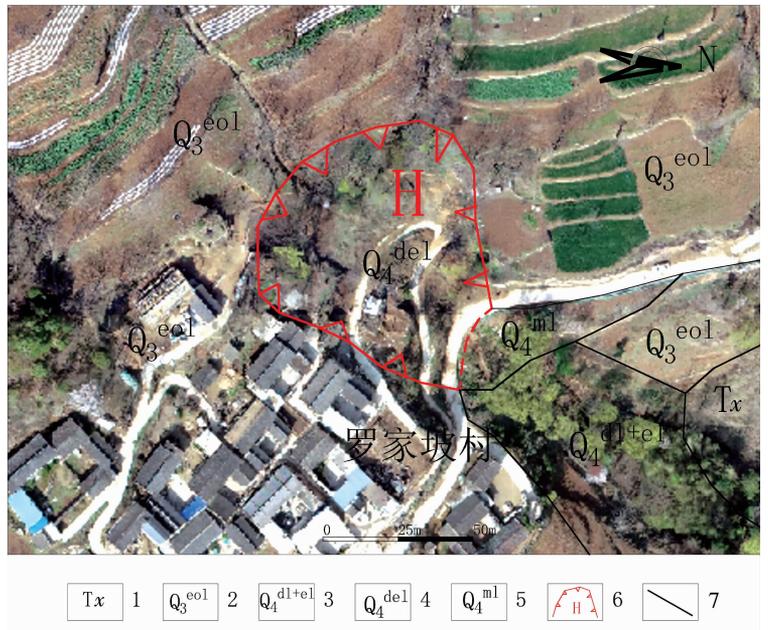


图 1 滑坡分布及地质简图

Fig. 1 Landslide distribution and geological diagram

- 1—三叠系西坡组钙质板岩;2—上更新统风积黄土;3—全新统残坡积粉质粘土;
- 4—全新统滑坡堆积碎石土;5—全新统人工堆积碎石土;
- 6—滑坡界线及编号;7—地质界线

下部坡脚处渗出。滑体地下水主要接受大气降水的入渗补给,据现场调查走访,该滑坡坡脚在旱季无水渗出,如遇降雨,渗水现象可自降雨后持续 4 ~ 6 天。由于受到降雨补给的地下水入渗以及地表汇流作用,坡体前缘处于间断性缓慢蠕动变形之中,随着汇水对坡脚的冲蚀,滑坡前缘土体逐渐失稳发生蠕滑,从而导致变形范围不断向后扩大,该滑坡为

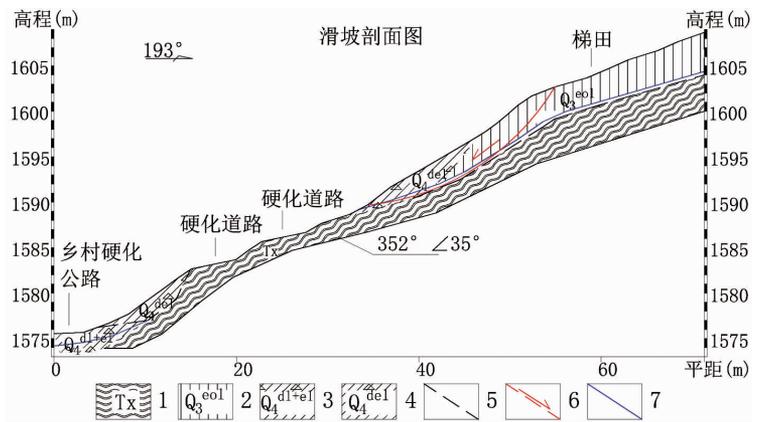


图 2 滑坡剖面图

Fig. 2 Longitudinal section of landslide

- 1—三叠系西坡组钙质板岩;2—上更新统风积黄土;3—全新统残坡积粉质粘土;
- 4—全新统滑坡堆积碎石土;5—全新统人工堆积碎石土;
- 6—推测滑面;7—地下水位

牵引式滑坡。主要诱发因素为水的作用和人类工程活动。

### 3 治理工程措施

#### 3.1 治理工程的选择

根据滑坡特征及诱发因素,在受到人类工程活动影响的前提下,水的作用是促使滑坡发生的主要原因,其中黄土孔隙裂隙潜水所起的作用尤为重要。因此,在该治理工程措施中,主要应该针对地下水采取措施。

管式渗沟布设于滑坡后缘位置(图3),将该区域上部的地下水截留,并通过排水渠排出坡体外,治理措施从根本上阻止主要滑坡诱发因素的产生,通过排水,改善土体的力学性质,从而提高整体稳定性。

#### 3.2 管式渗沟设计及验算

根据勘探工程揭露地层,管式渗沟布设方向与滑坡主剖面垂直,设计深4.1 m,宽0.8 m,底部为现浇C15砼底座厚0.1 m,透水管采用φ110PVC-U管,PVC管与粗砾接触部位布孔,纵向间距为75 mm,孔径为7 mm。回填粗砾(碎石)高3.05 m用双层土工布包裹,上部夯填粘土,顶部联合布设截排水渠用于截留地表水(图4)。

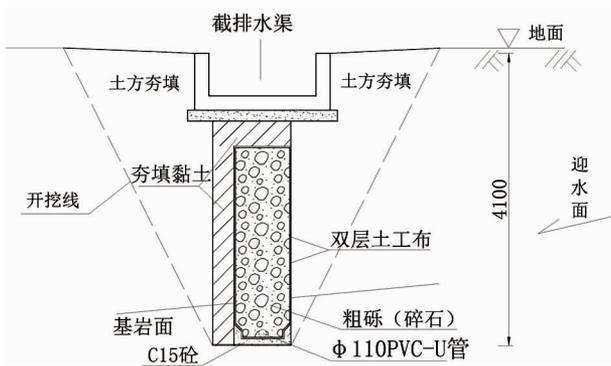


图4 管式渗沟设计简图

Fig. 4 Schematic drawing of tubular infiltration trench design

地下水渗流流量计算公式如下:

$$Q_s = K A i$$

$Q_s$ —渗透流量,单位为立方米每天( $m^3/d$ );

$K$ —渗透系数,单位为米每天( $m/d$ ),取值  $10^{-5} cm/s$ ;

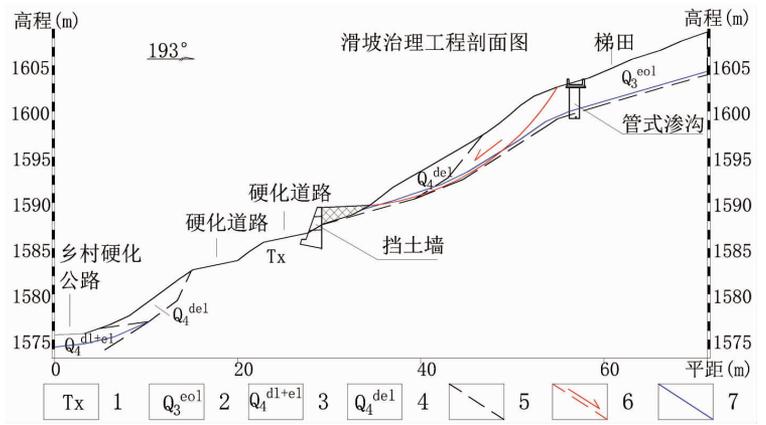


图3 管式渗沟布设简图

Fig. 3 Schematic diagram of pipe trench layout

1—三叠系西坡组钙质板岩;2—上更新统风积黄土;3—全新统残坡积粉质粘土;  
4—全新统滑坡堆积碎石土;5—地层界线;6—推测滑面;7—地下水位

$A$ —渗流断面面积,单位为平方米( $m^2$ ),取值  $415.5 m^2$ ;

$i$ —水力梯度。

计算地下水渗流流量为  $1.42 m^3/d \approx 0.016 L/s$

单位长度内渗沟由沟壁一侧流入沟内的流量按照下式计算:

$$Q_s = \frac{k(h_c^2 - h_g^2)}{2 L_s}$$

$Q_s$ —单位长度渗沟由一侧坑壁渗入的流量,单位为立方米每秒·米 [ $m^3/(s \cdot m)$ ];

$k_h$ —含水材料的渗透系数,取  $0.0001 m/s$ ;

$h_c$ —为含水层内地下水的高度,取  $0.3 m$ ;

$h_g$ —渗沟内的水深,取  $0.1 m$ ;

$L_s$ —地下水受排水影响而降落的水平距离,根据  $h_c, h_g, I_0$  计算得  $6 m$ ;

$I_0$ —地下水降落曲线的平均坡度,由公式按渗透系数估算取  $0.033$ 。

设计管式渗沟长  $102 m$ ,根据单位长度内流入沟内的流量  $Q_s = 6.67 \times 10^{-4} L/s \cdot m$ ,设计渗沟沟壁一侧流入沟内的流量  $Q_{s总} = 102 \cdot Q_s = 0.068 L/s$ 。

圆形管沟管的的泄水能力计算式,由于管身开孔的原因,充满度  $a = 0.5$

$\phi 110PVC-U$ 管泄水能力  $Q_c = 10 L/s > 0.068 L/s > 0.016 L/s$ ,符合设计要求。

渗沟埋置深度  $h_2$ 按下式计算:

$$h_2 = Z + p + \varepsilon + f + h_3 - h_1$$

$h_2$ —渗沟埋置深度,单位为米( $m$ );

$Z$ —冻土深度,取  $0.5 m$ ;

$p$ —冻结地区沿中线处冻结线至毛细水上升曲线间距,取 0.25 m;  
 $\varepsilon$ —毛细水上升高度,取 0.6 m;  
 $f$ —路基范围内水落曲线的最大高度,取 3 m;  
 $h_3$ —渗沟底部的水柱高度,取 0.3 m;  
 $h_1$ —自路基顶高计算的边沟深度,取 0.6 m。  
 经计算,管式渗沟的埋置深度  $h_2 = 4.05 \text{ m} \approx 4.1 \text{ m}$ 。

### 3.3 坡体治理前后稳定性验算

为了对比治理前后坡体稳定性,取土样经过岩土实验及经验数据类比物理力学参数,并结合现状条件反算土体的物理力学参数指标,确定斜坡稳定性计算参数取值(表 1)。

表 1 斜坡岩土体物理力学参数取值表

Table 1 Physical and mechanical parameters of slope rock and soil

项 目	重度 (kN/m <sup>3</sup> )	粘聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
含碎石粉质粘土	排水后	20.7	3.2
	饱和	21.5	2.6
板岩	天然	25.0	45
	饱和	25.3	39

滑坡为基覆界面滑动,滑面为折线形采用传递系数法隐式解计算。

折线滑动面:

$$P_n = 0$$

$$P_i = p_{i-1}\psi_{i-1} + T_i - R_i / F_s$$

$$\psi_{i-1} = \cos(\theta_{i-1} - \theta_i) - \sin(\theta_{i-1} - \theta_i) \tan\psi_i / F_s$$

$$T_i = (G_i + Gb_i) \sin\theta_i + Q_i \cos\theta_i$$

$$R_i = c_i l_i + [(G_i + Gb_i) \cos\theta_i - Q_i \sin\theta_i - U_i] \tan\psi_i$$

式中:

$P_n$ —第  $n$  条块单位宽度剩余下滑力(kN/m);

$P_i$ —第  $i$  计算条块与第  $i + 1$  计算条块单位宽度剩余下滑力(kN/m);当  $P_i < 0 (i < n)$  时取  $P_i = 0$ ;

$T_i$ —第  $i$  计算条块单位宽度重力及其他外力引

起下滑力(kN/m);

$R_i$ —第  $i$  计算条块单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力(kN/m);

$\psi_{i-1}$ —第  $i-1$  计算条块对第  $i$  计算条块的传递系数。

本次治理工程设计安全系数:现状条件  $K \geq 1.20$ ,暴雨工况  $K \geq 1.05$ ,地震工况  $K \geq 1.05$ ,验算结果见表 2。

表 2 斜坡稳定性验算

Table 2 Slope stability check

滑 坡	稳定性	设计安全系数
滑坡治理前	0.887(不稳定)	1.2
滑坡治理后	1.590(稳定)	

## 4 结 论

对于小型浅层堆积层滑坡,如若其主要诱发因素为松散岩类孔隙水,且滑床较浅的情况,可以采用管式渗沟的工程方案进行治理,该工程布设简单、施工难度小,结合挡土墙保护坡脚,上述工程共同实施对该类滑坡防治效果明显。

但应注意该类施工需要避开雨季,开挖后尽快回填,否则开挖的断面受到降雨影响,水流汇集在基坑中,同时开挖加大临空面,更宜引发灾害的发生。

## 参 考 文 献

[1] 陈志超,罗旋,柳侃,等. 碎石土滑坡渗流系统特征及防治措施研究[J]. 岩土力学,2016,37(03):813-818 + 849  
 [2] 卓万生. 雨强对安溪县尧山村滑坡地下水渗流系统及稳定性的影响研究[J]. 工程地质学报,2020,28(06):1311-1318  
 [3] 徐则民,黄润秋,范柱国. 滑坡灾害孕育—激发过程中的水—岩相互作用[J]. 自然灾害学报,2005(01):1-9  
 [4] 魏丽敏,何群,林镇洪. 考虑地下水影响的滑坡稳定性分析[J]. 岩土力学,2004(03):422-426

# CONTROL EFFECTIVENESS OF TUBULAR SEEPAGE DITCH ON SMALL-SCALE SHALLOW ACCUMULATION LANDSLIDE

ZHANG Lei<sup>1,2</sup>, LIU Xin-tong<sup>1,2</sup>

(1. Gansu Provincial Geological Environment Monitoring Institute, Lanzhou 730050, China;

2. Key Laboratory of Groundwater Engineering and Geothermal Resources in Gansu Province, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Small-scale shallow base-cover interface landslides are frequent and numerous in Longnan area. This type of landslide is generally small in scale and shallow in slide bed. Most of it is the sliding of the base cover interface. The effect of water is the main cause of the landslide. Among them, the effect of loose rock pore water is the most obvious. The main failure mode is creeping, and most of the slope front edge is eroded, which drives the entire slope deformation. The pipe-type infiltration ditch collects groundwater in the ditch by setting drainage layer, filter layer, and sealing layer, and uses the infiltration method to collect the groundwater in the ditch. The mechanical properties of the body can fundamentally eliminate or weaken the main inducing factors of this type of landslide, combined with simple protection projects such as retaining walls, can achieve the purpose of maintaining the stability of the slope.

**Key words:** landslide; sewer; loose rock pore water