

# 青海红土山滑坡工程的治理方案选择

韩 琨, 高安民, 周维钰

(煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054)

**摘要:**概述了青海省省道 S101 线改建工程红土山段滑坡体的地形地貌及地层岩性, 滑坡体变形特征以及变形原因分析; 计算滑坡推力, 并依据滑体推力计算值选择滑坡治理方案; 对治理方案技术参数以及同类项目选择治理方案应注意的问题进行了描述。

**关键词:**青海红土山滑坡; 滑坡治理; 变形原因; 推力计算; 设计原则; 治理措施

**中图分类号:** U418.5<sup>+</sup>2    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1672-7428(2007)07-0040-04

**Choice of Treatment Scheme on Landslide in Hongtu Mountain of Qinghai/HAN Kun, GAO An-min, ZHOU Wei-yu**  
(Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an Shanxi 710054, China)

**Abstract:** The paper outlined the topography, geomorphology and stratigraphic lithology of landslide in Hongtu Mountain Section in reconstruction of S101 in Qinghai Province, characteristics of sliding mass deformation and analysis of deformation causes; landslide thrust was calculated and the treatment scheme was selected according to the calculation. Some technical parameters and problems in treatment scheme were described.

**Key words:** landslide in Hongtu Mountain in Qinghai Province; landslide treatment; deformation cause; calculation of thrust; design principle; treatment measures

## 1 工程概况

青海省省道 S101 线同德至大武段改建工程河北乡至红土山(K320~K370)段位于青海省南部青藏高原山区, 穿越地处阿尼玛卿山东部黄河断陷盆地, 地形地貌复杂多变、地层岩性不良、地质构造复杂, 褶皱和断裂破碎带较为发育, 新生代(K<sub>z</sub>)以来又是新构造运动最为活跃的地区, 沿线滑坡等地质灾害频发, 造成该段路线多处因滑坡而产生路基滑移下陷、塌滑, 甚至造成路线中断, 严重影响了线路的安全运营。

## 2 工程地质及水文地质概况

红土山段为一高原 V 形沟谷谷坡地貌。河谷下切侵蚀强烈, 边坡上陡下缓, 在边坡下部坡脚, 坡角一般小于 20°, 风化堆积体发育; 边坡上部, 坡角大于 50°或形成陡崖, 有小型崩塌分布, 属易崩区。东面为一深沟。

地层由新至老主要为: (1) 第四系堆积层(Q<sup>dl+el</sup>), 主要分布于山坡表层; (2) 第三系渐新统贵德群(E<sub>3g</sub>); (3) 白垩系下白垩统河口群(K<sub>1h</sub>) 红色砂岩、砂砾岩, 主要分布于滑坡区南部, F<sub>3</sub> 断裂以南, 滑坡体上未见分布。

滑坡区属黄河水系, 地下水类型有以下 2 种:

(1) 松散堆积层上层滞水, 赋存于冲积层、洪积层、残坡积层等土体中, 以冲积层、洪积层最富, 坡积层次之, 高阶地由于渗透性好, 相对较差, 水位随气候、季节等的变化而变化;

(2) 基岩裂隙水, 孔隙度较高, 裂隙较发育, 裂隙水及孔隙水是其类型及赋存方式, 富水性不均衡, 泥岩多构成隔水层, 在其间碎屑岩可形成相对赋水层。

## 3 滑坡主要变形特征及滑坡推力计算

### 3.1 红土山 0 号滑坡

0 号滑坡滑坡体主要由第四系堆积层粘砂土以及第三系泥岩组成, 在滑坡体中部、公路内侧和滑坡体下部出露第三系渐新统贵德群(E<sub>3g</sub>) 紫红色、暗红色泥岩, 构造节理发育, 泥岩为半成岩状, 胶结程度低, 抗水性差, 持水性强, 在水的作用下易风化而强度降低, 在工程扰动条件和堆积层富水条件下, 沿稳定岩层顶面和强风化带产生滑动, 并形成多级错落弧形张拉裂缝。

### 3.2 红土山 1 号滑坡

1 号滑坡滑坡体上冲沟发育, 弧形裂缝发育, 裂

收稿日期: 2007-01-10; 改回日期: 2007-05-25

作者简介: 韩琨(1977-), 女(汉族), 陕西人, 煤炭科学研究总院西安研究院工程师, 建筑工程专业, 从事岩土工程方面的设计及施工工作, 陕西省西安市雁塔北路 52 号, hankune@tom.com。

缝发育较晚,并形成 3 条主要的裂缝,中部表层土体坍塌严重,并在路基上部范围局部形成湿地,表层土体的滑移,使得路基上侧原挡墙挤裂,在滑坡体上由于张拉裂缝引起的错动台坎多见。滑坡主轴经过滑坡体后缘裂缝最高处、中部以环形裂缝错动最大处,并经过滑坡前缘最远处,该滑坡属于浅层顺层岩石滑坡。

采用理正岩土工程系列软件对该滑坡  $c$ 、 $\varphi$  值进行反算,结合详勘阶段试验得出岩土体力学参数,按照滑坡安全系数  $K = 1.15$  (考虑 8 度抗震),用传递系数法对滑坡进行推力计算(参见图 1):

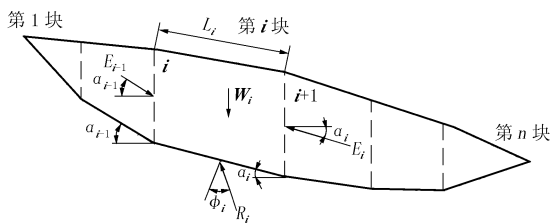


图 1 滑坡推理计算简图

$$E_i = Kw_i \sin \alpha_i + \psi_i E_{i-1} - W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i - c_i L_i$$

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i$$

式中:  $E_i$ ——第  $i$  块滑体剩余下滑力;  $E_{i-1}$ ——第  $i-1$  块滑体剩余下滑力;  $\psi_i$ ——传递系数;  $W_i$ ——第  $i$  块滑体的质量;  $c_i$ ——第  $i$  块滑体滑面上岩土体的粘聚力;  $L_i$ ——第  $i$  块滑体的滑面长度;  $\varphi_i$ ——第  $i$  块滑体滑面上岩土体的内摩擦角;  $\alpha_i$ ——第  $i$  块滑体滑面的倾角;  $\alpha_{i-1}$ ——第  $i-1$  块滑体滑面的倾角。

计算结果为:主滑段强度指标  $c = 14 \text{ kPa}$ 、 $\psi = 16.5^\circ$ ,治理后稳定系数  $K = 1.15$ ,滑坡剩余下滑力为 892 kN。

### 3.3 红土山 2 号滑坡

红土山 2 号滑坡中部宽度为 116 m,滑坡体长度为 211 m,前部相对较缓,滑坡前部发育 3 级平台,滑坡南北两侧深切沟发育。目前滑坡已产生变形,牵引局部路基产生分裂、下沉,造成混凝土路面悬空,悬空最大约 50 cm。

滑坡体后缘弧形裂缝发育,地表形态上可见数条环形张裂缝和由于土体滑动形成的平台,并在滑坡体的下部形成 2 条冲沟,冲沟深度 2~5 m。HT2 号-2 和 HT2 号-3 滑坡上新裂缝发育,地貌形态错乱。滑坡主轴方向经过滑坡后缘最高处、滑坡体中部平台和滑坡体下部平台中部。

采用理正岩土工程系列软件对该滑坡  $c$ 、 $\psi$  值进行反算,结合详勘阶段试验得出岩土体力学参数,用传递系数法对滑坡进行推力计算(考虑 8 度抗震)。

其计算结果为:主滑段强度指标  $c = 15 \text{ kPa}$ 、 $\psi = 16.5^\circ$ ,治理后稳定系数  $K = 1.15$ ,滑坡剩余下滑力为 1498 kN。

## 4 滑坡变形原因分析

(1) 岩性不良是产生坡体病害的主要原因,病害区地层岩性为第三系贵德群泥岩,为半成岩状态,胶结和固结程度都较低,抗水性差,持水性强,被水浸泡易膨胀软化,在水的作用下,易风化而强度降低。

(2) 地质构造因素。该路段南临断陷盆地边界纳合乔盖断裂( $F_3$ ),受其影响,岩体中节理、裂隙发育,岩体破碎,北接  $F_2$  军功断裂,岩体主构造面受军功断裂的控制,岩体的产状与军功断裂的产状近乎一致,节理、裂隙发育为地表水的下渗提供了通道,地表水沿裂隙面下渗,在相对隔水段富集,软化构造面,并在主构造面和岩土体的物理力学性质双重控制下诱发滑坡。

(3) 气象环境因素。冬季浅层粘性土及泥岩在地表水下渗后冻胀,翌年夏初消融,使粘性土及泥岩产生泥化,粘聚力降低,促使表层向下蠕动,至冬季重新冻结,周而复始,滑体不断蠕动下滑。另外,暴雨和地震也是诱发滑坡滑动的主要因素之一。

(4) 本区属构造活动地区,第三纪以来本区不断抬升,形成高达百余米的斜坡地形,高边坡由于重力卸荷而产生松弛变形。

## 5 滑坡治理设计原则

(1) 根据各滑坡的地形、工程地质条件、水文地质条件、滑坡特征等,采用不同的防治方案和措施对 3 个滑坡进行一次根治,不留后患,以保障公路安全运营。

(2) 在确保安全可靠的前提下,采取技术先进、经济合理的治理和防护措施,并兼顾美观。

(3) 遵循对生态的保护和恢复原则,注重环保,不破坏有限的高原草场,维持或改善高边坡及滑坡区现有自然环境条件。

(4) 治理工程措施应方便施工,使工程尽快发挥功效。

(5) 滑坡治理和高边坡防护工程在保证安全通车的情况下进行,路基下挡以支挡工程和坡体排水工程为主,结合路基改造加固措施综合治理。

(6) 合理布设变形监测系统,掌握坡体变形动态,既保证施工安全,又可检验滑坡防治效果。

### 6 滑坡治理工程措施

#### 6.1 红土山 0 号滑坡

红土山 0 号滑坡治理措施分为路基上挡治理措施和路基下挡治理措施(见图 2)。

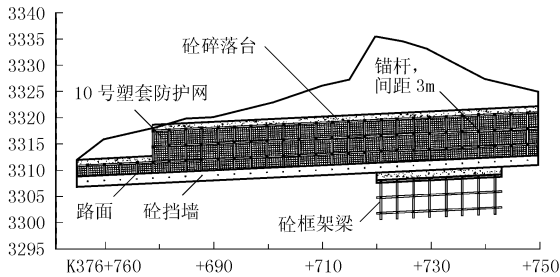


图 2 红土山 0 号滑坡治理立面图

##### 6.1.1 路基上挡治理措施

路基上挡治理措施为锚拉式砼框架梁结合锚拉式砼挡墙支护。挡墙高度 2 m,沿现有线性布置,挡墙位置间隔 6 m 布置  $\text{Ø}90$  mm 仰斜排水孔,深度 6 m。挡墙上部做锚拉式框架梁,挡墙上和框架梁节点处布置锚杆,锚杆长度 8 m,横向间距 3 m,纵向垂直间距 3 m。框架梁底部压 10 号塑套防护网(50 mm  $\times$  50 mm)防止落石。

##### 6.1.2 路基下挡处理

路基下挡治理措施为锚拉式框架梁。框架梁节点处布置锚杆,锚杆长度 15 m,横向间距 3 m,纵向垂直间距 3 m。

框架梁顶部均布置 1 m 高砼碎落台。

##### 6.1.3 排水措施

沿路线内侧修缮设置砼排水沟。

#### 6.2 红土山 1 号滑坡

红土山 1 号滑坡采用锚索抗滑桩结合路面树根桩进行治理(见图 3)。

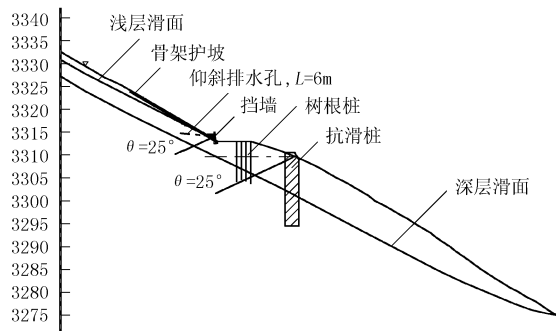


图 3 红土山 1 号滑坡治理剖面图

##### 6.2.1 锚索抗滑桩

滑坡下挡布置一排锚索抗滑桩,抗滑桩共 14 根,间距 6 m,桩截面 2 m  $\times$  3 m,桩深 14、16 m;抗滑

桩桩顶布设一根 7  $\times$   $\text{Ø}15.24$  mm 的预应力锚索,锚索长  $L=20$  m,单根锚索设计抗拔力 1000 kN,施加预应力 700 kN。

##### 6.2.2 路基加固处理

1 号滑坡范围 K376 + 750 ~ 870 段路基变形下沉,在该段路基半幅布置树根桩,树根桩深入滑面以下 2 m,在加固路基的同时对滑移面注浆填充。

K376 + 824 ~ 867 段路基下挡墙适当向现有路边缘外放 2 m 左右设置,挡墙基础深入稳定岩层 500 mm,挡墙平均高度 5 m,布置 2 排 3  $\times$   $\text{Ø}15.24$  mm 预应力锚索,锚索长度 15 m,施加预应力 200 kN。

##### 6.2.3 坡面防护

在路基的上挡做锚拉式砼挡墙。挡墙上部滑坡体上做人字形浆砌片石骨架,防止地下水动力作用下土体的流失。

##### 6.2.4 排水措施

在滑坡后缘裂缝 3 m 外设置环形截水沟,截水沟出口连接路面排水边沟,沿路线内侧修缮设置砼排水沟。

#### 6.3 红土山 2 号滑坡

红土山 2 号滑坡采用锚索抗滑桩结合路面树根桩进行治理(见图 4)。

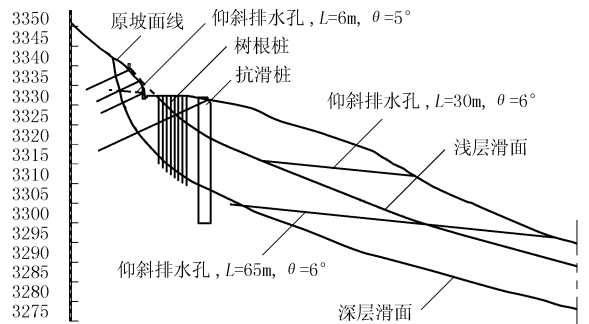


图 4 红土山 2 号滑坡治理剖面图

##### 6.3.1 锚索抗滑桩

滑坡下挡布置一排锚索抗滑桩,抗滑桩共 15 根,间距 6 m,桩截面 2 m  $\times$  3 m,桩深 35、32 m;抗滑桩桩顶布设 2 根 12  $\times$   $\text{Ø}15.24$  mm 的预应力锚索,单根锚索设计抗拔力 1500 kN,施加预应力 1000 kN。

##### 6.3.2 树根桩

2 号滑坡范围全幅路面布置树根桩,2 号滑坡次级滑坡上部半幅路面布置树根桩,树根桩深入滑面以下 2 m,在加固路基的同时对滑移面注浆填充。

##### 6.3.3 锚拉式支护

滑坡上挡采用锚拉式砼框架梁结合锚拉式砼挡

墙进行支护。挡墙高度 2 m,沿现有线路外放 2 m 布置,挡墙位置间隔 6 m 布置  $\varnothing 90$  mm 仰斜排水孔,深度 6 m。挡墙上部做锚拉式框架梁,挡墙上和框架梁节点处布置锚杆,锚杆长度 15 m,横向间距 3 m,纵向垂直间距 3 m。框架梁底部压 10 号塑套防护网(50 mm × 50 mm),防止落石。

#### 6.3.4 排水措施

为使滑坡体内水能尽快排出,在滑坡体上布设 2 排仰斜排水孔,长度深入滑面以下 1 m,横向间距 2 m。沿路线内侧修缮设置砗排水沟。

#### 6.3.5 谷坊坝

2 号滑坡体北侧发育一个次级滑坡,在该滑坡后缘有一条冲沟,冲沟在地表水的集中冲切下逐渐变深,危及次级滑坡的稳定,进而危及该段路基的稳定性。因此在该冲沟自上而下布置 5 道三七灰土谷坊坝,减轻地表汇水对冲沟进一步冲切。

### 7 治理效果

该工程设计完成后,经专家评审后投入施工。为了监测滑坡的稳定性,检验抗滑效果,正式施工

前,在滑坡体上布设了地表位移监测点及深孔位移监测孔,建立滑坡监测网,在施工前期、中期以及工程完成后定期对滑坡体进行变形监测。至发稿时,该工程施工完成已有半年时间,变形监测报告显示滑坡体已趋于稳定。

### 8 结语

通过参与该项目的设计以及施工过程中的跟踪服务,笔者对于该类滑坡治理设计有如下心得体会:

(1)地质病害治理要坚持动态设计,依据现场观测及时修改调整设计;

(2)滑坡治理设计要结合截、排水设施,保证排水通畅,防治积水对滑坡体的软化;

(3)滑坡治理施工过程中要注意环保措施的实施,保护高原草场环境、防止水土流失。

### 参考文献:

- [1] 殷跃平,等.长江三峡库区移民迁建新址重大地质灾害及防治研究[M].北京:地质出版社,2004.

## 全国探矿工程新技术、新方法推广应用培训班在京圆满结束

**本刊讯** 为了促进地质调查、地质找矿新方法、新技术研究成果的推广应用,使年青的技术人员和骨干工人尽快掌握并在施工中推广应用探矿工程新技术、新方法,以促进地质钻探整体技术水平迅速回升,保证工程质量与安全,降低成本,缩短找矿时间与周期。中国地质调查局、中国地质学会探矿工程专业委员会于 2007 年 5~6 月在北京联合举办了为期“全国探矿工程新技术、新方法推广应用培训班”。参加培训的学员有来自国内各系统、各地勘单位的探矿科技人员共计 76 人,全国 40 多个地勘单位组织选派了探矿工程专业施工公司经理、总工程师、队长、技术负责人和从事技术工作的技术人员参加了培训。

本次培训班邀请到中国地质科学院勘探技术研究所、北京探矿工程研究所的张金昌、汤松然、许刘万、苏长寿、王年友、向军文等 6 位有着丰富教学经验及丰富实践经验的专家、学者,为学员讲授了国内外先进的探矿工程新工艺、新技术和新设备等方面内容。培训前编印了培训教材,使培训班的培训质量和培训效果得到有力保证,具体培训内容如下:

- (1)金刚石绳索取心钻进技术及应用;
- (2)液动潜孔锤钻进技术及应用;
- (3)定向钻进技术(螺杆马达、定向孔设计、造斜工具、测斜仪器等);对接井钻进技术应用;
- (4)多工艺空气反循环钻进技术及应用;
- (5)国内外岩心钻探设备的发展及应用现状;

(6)复杂地层钻探泥浆技术。

参加培训的学员反映:通过参加此次培训班的学习,收获颇丰,了解了我国探矿工程的一些前沿技术,其培训内容非常适合一线的技术人员,并建议今后多举办满足不同层次需求的培训班,如:针对专业技术人员的新技术推广应用培训班、侧重于实际操作的机班长培训班;还要多举办定向钻进技术、液动潜孔锤钻探技术、绳索取心钻探技术、水文水井钻探技术等专项技术培训。培训时间要选在钻探生产的淡季,可以有更多人参加。学员们感到不定期地举办此类培训班是非常有必要、急需的。

通过举办探矿工程新技术、新方法推广应用培训班,希望达到以下 3 个目的:

(1)使大家了解国内外钻探新技术、新设备的发展现状及动态;

(2)唤起地质钻探技术管理人员对新技术、新设备推广应用的紧迫感和责任感;

(3)为参加培训的学员搭建一个学习交流的平台,也为今后进一步加强技术交流建立了纽带。

施工单位在今后的实际工作中如遇到任何技术难题,都可以通过学会建立与有关专家、有关部门的联系,从而获得技术上的支撑,通过学会这一渠道可获得国内外最新探矿工程技术发展信息,达到共同进步、共同提高的目的,使我国的探矿工程技术接近或达到国际先进水平。