

# 路堑滑坡特征与治理对策研究

申 杰

山西晋城公路规划勘察设计有限公司 山西 晋城 048000

**摘 要:** 本文以沁樊公路杨河桥至里必段工程为例,对在建设过程中,路堑开挖引发滑坡问题进行了研究。该滑坡具大型堆积体特征,变形显著,空间分布受开挖深度、地下水位等因素影响。经分析,滑坡主要由开挖卸荷与降雨共同作用诱发。研究评估了滑坡在多种工况下的稳定性,针对性地提出了包括抗滑桩支挡、截排水系统构建及裂缝夯填等在内的综合治理对策,为今后设计提供一点借鉴。

**关键词:** 路堑; 滑坡特征; 治理对策

引言: 路堑开挖作为公路建设中的常见工程活动,易引发山体滑坡等地质灾害,对工程安全及周边环境构成严重威胁。沁樊公路杨河桥至里必段在建设过程中,路堑开挖诱发了滑坡问题,其变形特征复杂,治理难度大。本研究旨在深入分析该路堑滑坡的形成机理、变形特征及稳定性,探索科学有效的治理对策,为类似工程提供借鉴与参考,保障公路建设的安全与顺利进行。

## 1 工程背景与滑坡变形特征

### 1.1 工程概况

沁樊公路杨河桥至里必段工程线路起点位于县城公交首站东侧,与杨河桥至庙沟段城市主干道相接,全长8.66km。该工程按一级公路标准建设,路基宽24.5m,双向四车道,设计速度80km/h。其中,K2+980~K3+820段线路布设于杨河南岸山麓斜坡,路基多以挖方路堑的形式穿越,堑坡最大开挖高度25.6m,由三级坡放坡构成,放坡坡率一、二级坡为1:0.75,三级坡为1:1.00,各级坡高按8m控制,期间马道宽度2m。堑坡于2019年9月开挖至设计路面高程。

### 1.2 滑坡变形过程

2019年9月中下旬,受开挖扰动作用影响,K2+980~K3+240区间堑坡(整体为三级坡)率先产生卸荷滑移变形,堑坡顶对应自然坡面形成数道“圈椅状”下错拉裂缝,最大延伸长度达100m。裂缝控制滑体横向宽度250m,纵向长度90m,滑体体积约 $38.25 \times 10^4 \text{m}^3$ ,滑动方向与线路近垂直。2019年10月上旬,受连续降雨进一步作用,K2+980~K3+240区间堑坡变形量迅速增大,后缘主裂缝最大张开量达40cm,下错量30cm,可见最大深度1m,牵引变形范围扩大趋势明显。受线路开挖卸荷作用及10月中下旬连续降雨的进一步影响,K2+980~K3+820区间右侧(靠山侧)开挖堑坡分区段产生了不同程度的卸荷滑移变形和坡面渗透溜滑变形。

### 1.3 滑坡变形特征

#### 1.3.1 整体变形特征

K2+980~K3+240段堑坡开挖深,已形成滑坡体:剪出口在堑坡底,横向宽250m、纵向长90m、平均厚17m,体积约 $38.25 \times 10^4 \text{m}^3$ ,依规范属大型滑坡,对工程实施及运营威胁大。此滑坡为施工卸荷诱发的工程牵引式堆积体滑坡,变形主发育于小里程侧,坡面有圈椅状裂缝,2019年10月27日监测最大下错4.8cm、水平位移10.5cm;大里程侧变形小。后缘周界裂缝基本贯通,呈持续牵引变形,平面为“簸箕”状,具“一面两级两块”特征。

#### 1.3.2 空间变形特征

K2+980~K3+240段路堑滑坡空间变形,受堑坡开挖深度、地下水位及堆积层紫红色粉质黏土分布控制。现状剪出口在坡脚,后界至后缘拉裂微裂缝,除浅表层坍塌溜滑,大规模滑体分前、后级。前级由施工卸荷诱发,滑面依附早期地下稳定水位线,与后级滑面连续贯通,倾角 $9^\circ \sim 10^\circ$ ,控制滑体厚度10~18m,前缘从坡脚剪出,部分剪出口呈 $-5^\circ$ 反翘;横向滑带埋深一致,厚度均匀。后级由前级变形卸荷诱发,滑面依附稳定地下水位中的粘土层等,多在紫红色土层顶部,附近岩性黏粒含量高、呈软塑状。仅4号孔12.6m深度粘土夹角砾层(紫红色土层顶部)发现光滑镜面、揉皱状构造。

## 2 水文地质条件

### 不同区域水文地质特征

现状场地内主要分布于杨河河谷阶地、河漫滩砂砾卵石及山坡残坡积、滑坡积成因堆积体中。

河谷阶地及河漫滩砂砾卵石中含水量丰富,多呈饱和状,含水层厚度为10~15m,单井出水量700~1650 $\text{m}^3/\text{d}$ ,水位埋深0.7~8.3m,水化学类型 $\text{HCO}_3-\text{Ca}$ 型,矿化度为0.22g/l~0.28g/l,PH值7.5~8.0。主要受河水的补给,在下游区再次补给地表水,含水量较稳定。

坡体内残坡积、滑坡积地层中松散岩类孔隙水的补给以降雨和高地势区的基岩裂隙水为主,降水时雨水迅速下渗,一部分在紫红色粘性土层顶部形成滞水,一部分继续下渗形成大规模的松散岩类孔隙潜水。同时高地势区基岩裂隙水的补给是其另一种重要补给来源,高地势区岩体浅埋,面积广泛,基岩裂隙水在由高向低的径流过程中,将源源不断地渗入到厚层的上覆堆积体中。老滑坡区地势起伏差较小,后缘滑坡平台更是近水平,更有利于雨水的汇集和下渗。该类水排泄途径一种以潜流的形式向低地势区渗流,一种直接下渗补给基岩裂隙水。

### 3 滑坡变形机理与诱发因素

#### 3.1 滑坡变形机理

结合线路施工、堑坡岩土体结构、水文地质、平面变形特征及钻探结果,区间堑坡变形模式为线路开挖诱发的牵引式堆积体边坡滑移与渗透破坏,启动变形机理主要有五点:(1)线路大开挖卸荷使高堑坡前部失稳,边坡体内应力重分布,浅层形成圆弧形应力形态,经层内上层滞水软化形成最不利软弱面,引发浅表层滑塌。K2+980~K3+240区间前级滑体、堑坡面圆弧形滑移,及K3+240~K3+350、K3+600~K3+820区间堑坡浅层变形均由此诱发。(2)K2+980~K3+240与K3+600~K3+820区间挖方揭穿地下稳定水位,坡脚出现连续渗水泉眼。稳定水位面附近土体经浸泡软化,为大规模边坡滑移提供依附面,且渗透变形增大滑体下滑力,加剧坡体失稳。(3)在K2+980~K3+240区间前部滑体变形卸荷基础上,上述软弱滑移面滑动,形成该区间后级滑体。后缘裂缝受主动变形破坏控制,逐渐向后缘牵引,当前滑坡后缘微裂缝即近期牵引与主动破坏共同作用形成。(4)2019年10月初连续强降雨导致大量雨水下渗,地下潜水位、上层滞水位骤升,坡体内形成强径流,堑坡一级坡面出现大量渗水泉眼,坡面表层因渗透作用发生不同程度溜滑。K2+980~K3+240、K3+240~K3+350、K3+600~K3+820区间一级堑坡面溜滑变形均源于此。(5)坡体以老滑坡堆积碎块石土为主,级配不连续,粗细土粒径差异大。渗流作用下,堑坡浅表层细粒土易管涌流失,地表形成塌陷土洞,破坏坡体整体稳定,K2+980~K3+240区间堑坡顶塌陷土洞即由此形成。

#### 3.2 滑坡诱发因素

依据线路前期勘察资料、现场调查及钻探成果,勘察堑坡变形的地质背景与诱发因素有六点:(1)地形地貌:勘察区位于杨河右岸中低山山麓斜坡带,地形起伏大,山坡坡度 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ,为路堑边坡大规模变形提供有利地形。且老滑坡后缘呈洼槽或平台状,利于雨水汇集,

为雨水下渗提供充足水源。(2)地质构造:勘察区处于沁水坳块(向斜)南翼,纵向上基岩整体向杨河倾斜,属单斜构造区。在节理切割等因素共同作用下,老滑坡产生,为路堑边坡提供易滑、易渗透变形物质<sup>[1]</sup>。(3)地层岩性:勘察区以老滑坡堆积块碎石土为主,地表覆盖5~15m厚粉质黏土层。粉质黏土及块碎石土中的粉黏粒遇水易软化、管涌,导致堆积体力学强度下降,形成易滑地层,不利于路堑边坡稳定。(4)水文地质:勘察区地下水发育,存在稳定地下水位与上层滞水。一方面,浸泡软化使上层滞水区及稳定水位附近形成软弱区;另一方面,地下水径流增大坡体下滑力,严重威胁坡体稳定<sup>[2]</sup>。(5)开挖卸荷:为坡体变形直接诱发因素。开挖导致堑坡失撑,原有应力平衡破坏,经地应力重新调整,产生向坡面的不利应力,迫使坡体变形。同时,开挖揭穿地下水位,坡脚形成稳定渗水点,诱发大体积滑坡。(6)降雨软化:为坡体变形主要诱发因素。在地形、岩性、构造条件基础上,连续降雨使坡体含水量增加,岩土体重度与渗透力上升,下滑力增大;同时软化坡内黏土,堆积体抗剪强度降低,抗滑力减弱,导致变形持续发展、范围扩大。

### 4 滑坡稳定性分析

#### 4.1 现状稳定性判断

现状条件下,K2+980~K3+240区间堑坡已形成大体积滑坡,在降雨的进一步软化及渗流作用下,变形范围将不断扩大,存在彻底滑移破坏的可能。特别在近期持续雨水条件下,坡体变形速率较大。

目前滑坡是在特定的地质背景条件下由开挖卸荷和降雨入渗软化作用共同诱发生成的。小里程侧坡面浅表层滑塌体周界裂缝全部贯通,下错拉裂量大,结合1-1断面监测成果,现状条件下,稳定性系数分布于1.00~1.05之间,处于欠稳定状态。大里程侧坡面浅表层滑塌变形一般发育,变形迹象不明显,现状条件下,稳定性系数大于1.05,处于基本稳定状态。

两块前级滑体周界裂缝均较发育,小里程块周界裂缝基本贯通,裂缝最大张开宽度达40cm,下错量30cm,大里程块右侧界基本贯通,张拉量1~3cm,右侧界发育不明显。综合判断,现状条件下前级滑体处于欠稳定状态,稳定性系数分布于1.00~1.05之间<sup>[3]</sup>。

后级滑体的变形同样体现在小里程侧,后缘周界数道裂缝变形量大,且牵引微裂缝发育,过渡至大里程侧裂缝逐渐歼灭,无明显的贯通性张拉裂缝。综合判断,现状条件下后级滑体整体处于欠稳定~基本稳定状态,稳定性系数处于1.05左右。

#### 4.2 不同工况稳定性分析

经过计算结果表明,在自然工况下K2+980~K3+240区间滑坡前级滑体处于欠稳定状态,暴雨工况下稳定性整体降低,呈不稳定~临界稳定状态,破坏概率增大,滑动破坏的可能性大,地震工况下,处于欠稳定状态。

后级滑体自然工况下处于欠稳定~基本稳定状态,暴雨工况下稳定性整体降低,呈不稳定~临界稳定状态,破坏概率增大,滑动破坏的可能性大,地震工况下,处于欠稳定状态。

K3+240~K3+350区间堑坡浅层变形在自然和地震工况处于基本稳定状态,暴雨工况下呈欠稳定状态,滑动破坏的可能性较大。

### 5 滑坡治理对策

#### 5.1 总体治理方案

根据该段滑坡及堑坡的具体情况,治理方案措施主要有:桩+挡土板+挡墙+菱形骨架护坡+仰斜排水孔+截排水系统+裂缝夯填。

K2+980~K3+240区间滑坡根据推力计算结果及治理效果可靠性方面考虑,滑坡抗滑段设抗滑桩,桩背设两块挡土板,坡脚打仰斜排水孔,桩前坡体采用挡墙+菱形骨架护坡防护,桩后留1.8m宽平台设截排水沟并封闭平台,三级坡采用菱形骨架护坡,修复坡顶原有截排水沟,坡面裂缝粘土夯填处理。

#### 5.2 具体治理措施

(1)放坡设计:K2+980~K3+240区间滑坡三级边坡主要以第四系更新统风积黄土、残坡积粉质黏土为主,考虑到放缓坡对坡体防冲刷不利,刷方后易形成坡面坍塌,外加用地红线限制,故采取1:1放坡。(2)抗滑桩支挡:为有效治理开挖路堑边坡引起的滑坡,在边坡二级平台以下两米设一排42根钢筋混凝土抗滑桩,桩间内挂两块挡土板,形成联合支挡体系。其中A型桩39根,B型桩3根。A型抗滑桩长25m,桩宽2.2m,滑动方向长2.6m,桩心距6m,锚固段12m;B型抗滑桩桩长21m,桩宽1.8m,

滑动方向长2.4m,桩心距6m,锚固段11m。桩间挡土板长度4.6m,其中桩后搭接长度0.4m,挡土板厚度0.35m,配筋参照大样图,现场可一次整体浇筑成型。(3)坡脚挡墙:坡脚因地下水及降雨易产生小规模溜坍滑塌,因此在坡脚设混凝土挡墙一道,挡土墙高3.5m。(4)菱形骨架护坡:对裸露的路堑边坡采用菱形骨架护坡防护,内植草木,有效减轻雨水对坡面的冲刷。(5)截排水系统:滑坡前缘出水明显,为有效疏排地下水,在滑坡前缘抗滑桩间靠近地面的位置布置仰斜排水孔,仰斜孔长度30m、20m,仰角5°,将排出的水引入路基排水沟内。抗滑桩顶部平台上设截排水沟一道,阻止三级路堑边坡汇水渗入坡体,在此基础上修复原有坡顶截排水沟,使之形成一套完整的截排水系统<sup>[4]</sup>。(6)裂缝夯填:滑坡坡面裂缝较多,采用黏土分层夯填封闭处理,防止雨水通过裂缝渗入坡体内部,加剧坡体变形。

#### 结束语

通过对沁樊公路路堑滑坡特征的深入研究与系统分析,我们明确了其形成机理、变形规律及稳定性状况,并据此提出了一系列针对性强、切实可行的治理对策。这些措施的实施,不仅有效遏制了滑坡的进一步发展,也保障了公路的安全运营。本研究为类似路堑滑坡的治理提供了宝贵经验,未来我们将继续关注滑坡动态,不断优化治理方案,确保工程安全。

#### 参考文献

- [1]尹学博.公路滑坡地质勘察及治理对策[J].交通世界,2020(30):95-96.
- [2]杨志兵.公路路堑高边坡滑坡及坍塌病害治理施工研究[J].黑龙江交通科技,2020,43(09):38-39.
- [3]胡江龙,王振克.基于市政公路路堑边坡防护治理对策[J].建筑技术开发,2019,46(23):150-151.
- [4]雷星星.公路路堑高边坡施工安全风险评估研究[J].工程技术研究,2020,5(4):172-173.