

文章编号:1004-4116(2021)03-0076-06

天水市秦州区白家堡子滑坡特征与治理措施探析

许 泰^{1,2}, 蒋兴波³, 朱秀兰², 张巨峰², 杨峰峰², 张 卓¹,
彭 强¹, 先巴吉¹, 徐春霞¹, 谢丽倩¹

(1. 陇东学院 能源工程学院, 甘肃 庆阳 745000; 2. 青海师范大学 地理科学学院 青海省自然地理与
环境过程重点实验室, 青海 西宁 810008; 3. 甘肃省地质环境监测院, 甘肃 兰州 730050)

摘 要:以天水市秦州区白家堡子滑坡为研究对象,利用已有资料和野外实地勘察对其发育特征和物质组成进行系统的分析。明确了白家堡子滑坡属牵引式中厚层黄土—泥岩滑坡,滑体主要组成物质是黄土及部分全—强风化泥岩堆积层,滑体分上下两层滑面,滑面位于黄土—泥岩界面或泥岩中,滑体缺少约束条件,较易变形失稳,长期处于活动状态。最后,根据白家堡子滑坡的特征,结合该区域的城市详细建设规划,初步提出白家堡子滑坡治理措施,为后期相邻滑坡的治理提供参考。

关键词:滑坡特征;滑体;物质组成;治理措施;白家堡子;甘肃天水

中图分类号:P642. 22 **文献标志码:**A

天水市秦州区属于黄土高原地区,在漫长的地质历史发展过程中,本区经历了多期(次)构造运动,地质构造活动十分复杂而又强烈,导致以滑坡为主的地质灾害频发,且灾害损失惨重,被环境地质界戏称为“中国滑坡之乡”^[1-3]。随着人类工程活动的增加以及可能发生的地震活动,目前处于稳定状态的滑坡可能再次复活,对周围建筑及居民的生命财产安全带来巨大的威胁^[4-5]。

白家堡子滑坡位于秦州区绿色市场北侧、白家堡子村所在的斜坡体上。西侧与椒树湾滑坡相接^[6-8],东侧以军分区机械所及泰山庙所在的平台西侧陡坎为界,后缘位于坡体北侧的洪斌驾校前缘陡坎处。由于持续降雨和坡体排水不畅,雨水渗入坡体,致使斜坡土体力学强度降低,坡体内应力结构发生变化,造成白家堡子滑坡在本世纪初发生局部变形,后缘出现拉张裂缝,前缘延伸至坡体坡脚绿色市场(图1)。

本文选取天水市秦州区白家堡子滑坡作为调查对象,在野外地质调查、野外钻探的基础上,剖析白家堡子滑坡物质组成及变形破坏特征,在调查研究过程中,发现白家堡子滑坡属于天水地区典型的黄土—泥岩接触面滑坡类型,滑坡区内地形起伏显著,坡体上有明显错台及陡坎,这对进一步探讨天水地区该类滑坡的基本特征和成因机制奠定基础,并且根据对白家堡子滑坡特征提出了具体可行的治理措施,这将为后期天水地区该类滑坡防治和监测预警提供科学依据。

1 地质背景

滑坡区位于天水市秦州区玉泉镇,处于秦州区北部黄土梁峁沟壑区与基岩低山过渡地段。东部和南部古老地层褶皱隆起形成山地,北部受红、黄土层沉积形成黄土丘陵,受纬向构造带的断裂影响,经第

收稿日期:2021-01-24

基金项目:甘肃省青年科技基金计划项目(20JR10RA140);甘肃省教育科学‘十三五’规划2019年度一般课题《新工科背景下基于“双向”能力导向的采矿工程专业实践教学体系构建》(GS[2019]GHB2126);甘肃省‘十三五’教育规划课题《基于“中国制造2025”产教融合育人模式研究》(GS[2019]GHB2119)

作者简介:许泰(1987~),男,甘肃华池人,博士研究生,讲师,主要从事区域地质调查、灾害风险评估、环境地表过程与生态响应。

E-mail:xutai871113@163.com



图1 白家堡子滑坡和椒树湾滑坡

Fig. 1 View of Baijiapuzi landslide and Jiaoshuwan landslide

四纪河流侵蚀堆积,中部小部分地区形成渭河地堑^[9-10]。滑坡区地处祁吕贺兰山字型构造体系前弧西翼与秦岭纬向构造体系的复合部位,同时受到陇西旋卷构造体系和西秦岭北东向构造带的影响^[11],导致一系列NW向的断裂控制着北山滑坡、黄土崩塌、泥石流分布。研究区内出露的地层主要为新近系软质泥岩,以及第四系全新统松散堆积物。广泛分布的马兰黄土与离石黄土垂直节理发育、土质疏松、具湿陷性,在自然和人为因素的共同影响下,区内植被覆盖率低,绝大部分地表土体裸露,坡体面流沿黄土垂直裂隙渗入坡体,局部形成软弱面,易发生崩解和湿陷,为岩土体的变形破坏提供了有利条件。

2 白家堡子滑坡发育特征

2.1 滑坡形态特征

白家堡子滑坡位于椒树湾滑坡东侧,整个滑坡区平面上呈“簸箕状”、“敞口状”(图1)。滑坡体前缘坡脚最低海拔1182 m,宽度达250~270 m,后缘最高海拔1240 m,宽150~170 m,前后缘相对高差58 m,平面面积 $3.71 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。滑坡东西宽度不等,南北长170 m,高差达到40 m。经地表调查及根据后壁走向,前缘抵达绿色市场北侧,坡脚陡崖高出操场地面4~6 m,滑动方向为SE 20°,滑体厚度20~25 m,体积约 $90 \times 10^4 \text{ m}^3$,主滑段倾角14°。

经过多年的剥蚀和人工改造,滑坡横向平面前部宽而后缘略收敛,后缘呈弧形,自东侧泰山庙起,向北延伸至军分区机械所,北侧洪斌驾校,至西侧与椒树湾滑坡相交。中铁西北院研究资料表明,两个滑坡周界出现相交迹象,但是现场调查发现,两个滑坡体周界相交特征并不明显,因此将白家堡子滑坡与椒树湾滑坡周界分开。现场调查发现,坡脚陡崖之前



图2 白家堡子滑坡ZKB-05钻孔岩芯(31.0 m)

Fig. 2 Core sample from ZKB-05 drilling hole in Baijiapuzi Landslide(31.0 m)

修筑了浆砌块石护坡,护坡完整性相对较好。

2.2 滑坡物质组成及结构特征

2.2.1 滑体

在白家堡子滑坡区布置钻孔6个,钻孔深度30 m左右,均钻入滑体以下一定深度并穿过强风化层,但未揭穿泥岩,浅井揭露至上层滑面。地质编录表明,黄土及部分全一强风化泥岩堆积层是滑坡体主要组成物质(图2)。

老滑坡体前部物质经后期人类工程活动的填挖、夷平等改造,黄土层基本被剥离夷尽,残留厚度小。从滑体上部到底部,黄土披覆在泥岩之上,地表局部有人工填土,厚度相对较薄,黄土和泥岩经扰动后与原岩岩土体相比,结构和力学性质有所变化。黄土厚度前缘0~5 m,后缘厚度可达10 m,由前缘到后缘逐渐增大,黄土颗粒以粉粒为主,粘粒次之,垂直节理发育,结构疏松,孔隙度高,通常多在37.0~42.3,平均39.3,硬塑—可塑状,稍密—中密,强度降低;泥岩厚5~16 m,按颜色大致可分为棕红色(褐红色)、灰褐色(灰色)、灰绿色(黄绿色)、青灰色(蓝青色)四类,风化程度高,原岩结构不明显,节理裂隙发育,软弱夹层增多,大多被结构面分割成块体状,结构面上可见淋滤和氧化膜,呈铁锈、灰绿等色,钻孔岩性破碎成短柱或瓦片状,地下水作用使得含水量增加,手捻及锤击易碎,在滑带(面)可见镜面擦痕或揉皱折弯等痕迹。

2.2.2 滑带(面)与滑床

钻孔和探井揭露表明,1#滑坡体在垂向上发育2层滑动面,成上下叠置状。浅部的上层滑面,是1#滑

坡前段(级)滑体的位移面,形状为近似“圆弧形”,从后至前由下滑段的圆弧状渐变为主滑段的弧形曲线,倾角 $13^{\circ} \sim 40^{\circ}$,呈后陡而前缓的态势,滑面埋深自坡脚向后递增,为5~8 m,平均6 m,剪出口在其坡脚坡口线和下部小平台的转折处,且每年的丰水期有泉水渗出;深部的下层滑面是1#滑坡整体变形滑移的结构面,纵向延伸范围较上层滑面长,倾角变化基本一致,埋深5~12 m,平均9.5 m。上下两层滑带(面)均处在老滑坡堆积物中,滑带厚度0.5~0.8 m不等,属于滑坡堆积物中的软弱层,岩性为强风化泥岩,受多期次位移运动,滑带土结构性很差,虽然呈现成层性,但已被挤压或搓揉至土状,钻孔内表现为具光滑擦痕的片状结构面或潮湿可塑的结构层,色泽较深、富集有水溶或氧化作用而成的黄绿及锈红薄膜或条痕,力学性质类似粘土,强度低(图3)。

3 滑坡变形机理分析

3.1 滑坡影响因素分析

3.1.1 坡体结构

根据钻孔岩心揭露的地层,滑动面分为上、下为两种不同的岩性,滑坡体上部为黄土,滑面埋深14~15 m,下部为泥岩,滑面埋深24~25 m,滑面存在于表层黄土与深部红色新近系泥岩地层交界处,属于明显的黄土—泥岩接触面滑坡。黄土—泥岩接触面结构相对均一,固结程度较高,天然条件下呈半坚硬状态,强度较高,隔水性好,但遇水易崩解软化,强度降低,常形成一个软弱结构面,这为黄土—泥岩接



图3 分布黄绿薄膜岩芯和强风化状岩芯

Fig. 3 Cores sample with yellow-green film(left) and strongly weathered core sample(right)

触面滑坡的发育奠定了基本的地形地貌和有利的地质结构。上部黄土垂直渗透系数大,透水致使粉质黏土与泥岩交界面土体软化,易于滑移,下部泥岩却相对隔水或弱透水,顺黄土节理下渗的地表水被下伏泥岩阻挡,蓄积于泥岩表面,引起地下水位上升;泥岩表面经水浸泡,迅速软化,大大降低了接触面的抗剪能力,加速了斜坡的破坏,软弱面的存在为滑坡的形成提供了良好的地质环境。这与天水地区黄土—泥岩接触面滑坡的滑面(带)通常是由坡顶向下一定深度内的拉裂破坏区域以及坡脚向上延伸的剪切破坏区域贯通而成基本是一致的。

3.1.2 降雨因素

研究区年均降雨量为 32.9 mm,主要集中在 6~10 月,该时段为滑坡发生的高峰期。在白家堡子滑坡区存在多条拉张裂缝,降雨可直接沿裂缝进入滑体或至滑坡土岩接触带(滑面),雨季长时段、中强度以上的持续降雨沿黄土层中的垂直节理裂隙渗入坡体,在增加坡体自重的同时,减弱了软弱结构面的抗剪强度,降低土体的强度而失稳,形成不稳定体,甚至能冲刷土体而产生崩塌。由于黄土和泥岩渗透的差异,对滑体产生浮托力,对坡体整体稳定性造成影响。调查发现,蠕滑变形和大部分地面裂缝形成都集中在雨季,而大量的裂缝为降雨直接入渗补给地下水创造了有利条件,随着地下水位上升,静水压力增大,降雨对滑体变形和复活的影响越来越明显。

3.1.3 地下水及地表水作用

白家堡子滑坡体上部黄土的渗透性较好,其黄土的一般渗透系数为 $2 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-4}$ cm/s,且水

平渗透系数远远小于垂直渗透系数。上部黄土垂直节理是大气降水入渗滑坡体内部的快速通道,下部泥岩的渗透系数为 $5 \times 10^{-6} \sim 8 \times 10^{-6}$ cm/s,说明泥岩为隔水层,阻断了雨水通向地下,这种坡体结构对降水入渗非常有利。滞留在黄土层中的水体持续向深处入渗,在黄土和泥岩相交处的低洼部位比较容易汇集雨水而形成地下水,并沿着接触面向地势低的地方流动。入渗水体使接触面长期处于过湿软塑—饱和状态,大大降低了泥岩的抗剪强度,从而形成上部黄土沿此滑动的软弱结构面。雨季时,入渗补给量增大,地下水位上升,地下水侵蚀范围扩大,同时也会产生一定的孔隙水压力和动水压力,促使滑坡发生。

3.1.4 人类工程活动

实地调查发现,人类活动是触发滑坡的一个重要因素。白家堡子滑坡体变形迹象主要分布在后缘一带,坡面上建筑房屋、修筑公路等人类工程活动导致坡体局部临空面增多,破坏了坡体稳定状态。人类工程活动造成坡面多处受拉张应力影响,以武警支队教导队院内最为突出。位于第 4 级平台上的多数房屋墙体上,出现数条不等的拉张裂缝,裂缝长 5~5 m,宽 5~5 cm,在 3、4 两级平台通行的台阶上,分布 4~5 条规模不等的裂缝,台阶变形严重(图 4),这是坡面上张应力进一步发展、增大的佐证。同时房屋前地面也出现下沉现象,平台前缘砖砌围墙亦变形明显,原因为地表水沿白家堡子滑坡后缘发育多条拉裂缝渗入坡体,沿结构面向下渗流,由坡体中部渗出地表,弱化软化黄土—泥岩接触带力学性质,黄土—泥岩接触带及强风化泥岩局部贯通



图 4 房屋墙体与台阶上分布的裂缝

Fig. 4 Cracks on the walls of the house and steps

将使坡体形成新的潜在滑动面。目前,白家堡子滑坡体整体仍处于蠕滑变形阶段,如遭遇强降雨或地震作用仍存在发生滑坡的危险。

3.2 滑坡演化过程

白家堡子滑坡前部地形地势低,发育有高陡边坡,临空条件充足,剪出口位置高,滑体缺少约束条件,较容易变形失稳,由此导致后部失去支撑而错位跟进下滑,致使滑坡长期处于活动状态。垂向上分为上部黄土层和下部泥岩层,滑坡前缘部分段可见破

碎泥岩出露,裂隙发育、结构松散。根据野外实地调查,白家堡子滑坡滑体表面特征明显,且存在新变形的迹象。白家堡子滑坡纵向上坡表呈多级宽缓台阶分布,中部为多级较宽缓平台,从滑坡体前缘到滑坡后缘大体可分为4个平台,第1级平台整体具有一定坡度,其上为白家堡子村,平台宽60~70m;第2级平台高程为1216~1218m,宽20~30m;第3、4级平台之上为武警支队教导队厂房,规模相仿,在一定程度上受人类工程活动影响明显,宽约20m(图5)。

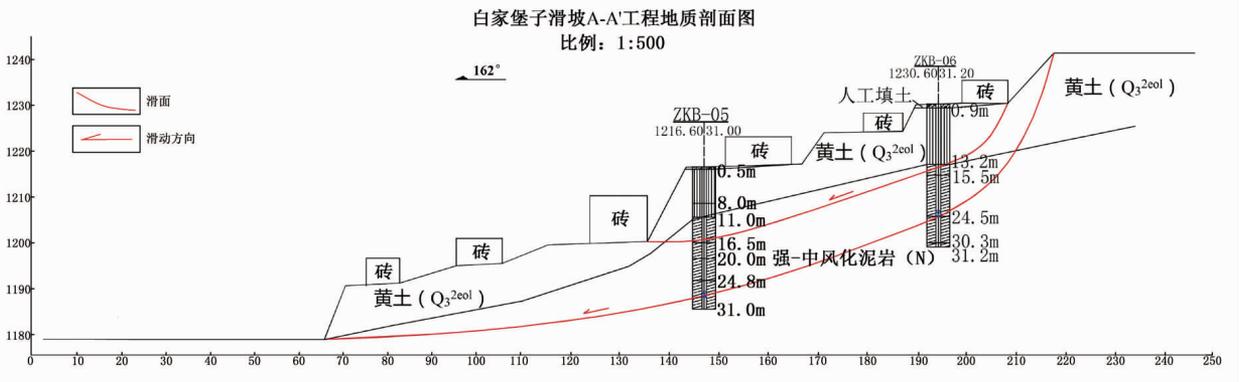


图5 白家堡子滑坡剖面图

Fig. 5 Cross section of Baijiapuzi landslide

整个滑坡体上部由黄土组成,降水在地表径流的过程中顺着垂直节理下渗,改变了粉土的工程性质。在降水开始和降水期间,处于地下水位以上的滑坡体属于非饱和状态,而随着降水持续或者降水过后,一部分降水沿着裂隙入渗补给地下水导致地下水位上升,一部分降水存储在上部非饱和区,使非饱和区含水量逐渐增大,局部趋于饱和,与此同时,负孔隙水压力逐渐减小致使滑坡体整体抗剪强度减弱。地下水的长期软化和侵蚀,使软弱结构面贯通,形成了滑坡的必要贯通性滑移面。因此,在上部岩土体的自重、渗透水压力及外力作用下,不稳定斜坡将沿软弱结构面失稳变形,最终形成滑坡。此外,人类经济活动致使坡体前缘形成临空面,为加剧滑坡变形和复活创造了条件。

4 治理措施

通过前文对白家堡子滑坡发育、形态特征以及滑坡物质组成的研究,发现滑坡体受坡体结构、降雨、地下水及地表水、人类工程活动等影响明显。根据该滑坡的地质背景、岩土体工程地质特性及成因

和变形机理等综合分析,进一步结合天水市秦州区北山详细建设规划,考虑经济成本,建议治理工程采用“抗滑桩+回填反压+地下盲沟+地表排水+绿化”的综合治理方案进行防治,具体工程措施如下。

(1)抗滑桩。在坡脚剪出口附近布设一排抗滑桩,支挡抗滑,稳固坡体。抗滑桩布设充分考虑结合城区北山规划建设,抗滑桩布设在高程为1200m左右的前缘陡坎附近。对抗滑桩上部进行土石方回填反压,形成两级斜坡;并在滑坡中部设置两条地下盲沟,将地下水引至抗滑桩泄水孔处顺利排出。

(2)预应力锚索肋板式挡墙。在白家堡子滑坡浅层滑面剪出口布设预应力锚索肋板式挡墙,肋板式挡土墙依据地形分为东西两段,并在滑坡中部设置两条地下盲沟,将地下水引至抗滑桩泄水孔处顺利排出。

(3)地表截排水。在滑坡体外围布设截排水渠,对降雨进行截排,疏导地表水体,防止水体下渗,造成坡体失稳。排水渠起点位于滑坡后缘与驾校相接的道路上,采用预埋式盖板排水渠。排水渠顺道路延

伸,在军分区机械所西侧大门口拐弯,沿军分区机械所南侧小道延伸,至泰山庙门前空旷地,由南侧斜坡而下,最终与原有巷道排水系统相接。在修整好的坡面上实施绿化工程。

5 结语

白家堡子滑坡与西侧的椒树湾滑坡界限并不十分明显,属中厚层黄土—泥岩滑坡。滑坡主要组成物质为黄土和部分全—强风化泥岩堆积层,滑坡特征明显,由于缺少约束条件,较容易变形失稳,变形迹象主要分布在后缘一带,且有新变形的迹象。滑坡体表面从前缘到滑坡后缘大体可分为4个平台,滑体上部到底部发育上下两层滑面,滑面位于黄土—泥岩交界面或泥岩中。滑坡体受人为活动影响明显,坡体荷载大,综合考虑各方面因素,采取“抗滑桩+回填反压+地下盲沟+地表排水+绿化工程”综合治理措施,不仅适合天水市秦州区北山的建设规划,而且节约成本,对相邻区域的滑坡工程治理具有重要的借鉴意义。

参 考 文 献

- [1] 成玉祥,张骏,杜东菊. 天水地区断裂活动性与地质灾害的相关性研究[J]. 工程地质学报,2007,15(1):33-37
- [2] 李浩,杨为民,黄晓,等. 天水市麦积区税湾地震黄土滑坡特征及其形成机制[J]. 地质力学学报,2016,22(01):12-24
- [3] 吴玮江. 天水市滑坡泥石流灾害[J]. 水文地质工程地质,2003(5):75-78
- [4] 冯学才,陈瑾,白晓华,等. 天水市居民聚居区活动滑坡特征及防灾减灾对策[J]. 甘肃科学学报,1992(3):60-68
- [5] 钟秀梅,王谦,张国信,等. 天水市水眼寨滑坡特征及稳定性分析[J]. 地震工程学报,2014,36(04):887-891
- [6] 李瑞娥,徐郝明,王娟娟. 黄土滑坡滑带土的特点——以天水椒树湾滑坡为例[J]. 煤田地质与勘探,2009,37(01):43-47
- [7] 吴博,赵法锁,王雷,等. 黄土—基岩滑坡滑带土特性及其演化过程[J]. 煤田地质与勘探,2018,46(04):129-134
- [8] 吴玮江,宿星,刘伟,等. 黄土—泥岩接触面滑坡的特征与成因[J]. 冰川冻土,2014,36(05):1167-1175
- [9] 葛肖虹,马文璞,刘俊来,等. 对中国大陆构造格架的讨论[J]. 中国地质,2009,36(5):949-965
- [10] 李永军,霍福臣. 西秦岭东段侵入岩的构造成因类型[J]. 甘肃地质,1996,5(1):30-44
- [11] 杨国林. 基于GIS的秦州区地质灾害危险性分区与评价[D]. 兰州:西北师范大学地理与环境科学学院,2013

ANALYSIS ON CHARACTERISTICS AND TREATMENT MEASURES OF BAIJIAPUZI LANDSLIDE IN QINZHOU DISTRICT, TIANSHUI CITY

XU Tai^{1,2}, JIANG Xin-bo³, ZHU Xiu-lan², ZHANG Ju-feng², YANG Feng-feng²,

ZHANG Zhuo¹, PENG Qiang¹, XIAN Ba-ji¹, XU Chun-xia¹, XIE Li-qian¹

(1. College of Energy Engineering, Longdong University, Qingyang 745000, China;

2. School of Geographical Science, Key Laboratory of Physical Geography and Environmental

Processes of Qinghai Province, Qinghai Normal University, Xining 810008, China;

3. Gansu Geological Environmental Monitoring Institute, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Taking the Baijiapuzi landslide in Qinzhou District of Tianshui City as the research object, the development characteristics and material composition of the landslide are systematically analyzed using existing data and field investigations. The investigation found that the Baijiapuzi landslide is a towed medium-thick loess-mudstone landslide. The main components of the landslide are loess and some weathered mudstone deposits. The sliding body has two upper and lower sliding surfaces. The sliding surface is located at the interface of loess and mudstone or in mudstone, which is easy to deform and lose stability, and it is active for a long time. According to the development characteristics of the landslide, combined with the detailed urban planning of the region, the treatment measures for the Baijiapuzi landslide are initially proposed, which provides a reference for the treatment of adjacent landslides in the later period.

Key words: Landslide characteristics; landslide body; material composition; treatment measures; Baijiapuzi