

长武王东沟滑坡成因分析

武春龙

中国科学院
(水利部水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘要 该文主要研究了长武王东沟古滑坡分布和分类,以及现代滑坡的发育条件。通过现代滑坡的典型实例调查,系统分析了地形条件、新构造应力场、黄土地层、大气降水与地下水运动,以及人类活动对滑坡发育的影响。

关键词: 长武王东沟 滑坡成因 地下水 人类活动

Study on Landslide Development of Wangdong Gully in Changwu County, Shaanxi Province

Wu Chunlong

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi, PRC)

Abstract The development, distribution and classification of paleo-landslide of Wangdong gully in Changwu county, Shaanxi province are mainly studied. According to typical investigation and systematical analysis, the result shows that it is the factors of geological structure, geomorphological forms, neotectonic stress fields, the movement of underground water and human-being action that affect the development of modern landslide.

Keywords Wangdong gully in Changwu county, Shaanxi province; landslide development; underground water; human-being action

1 引言

黄土高原沟壑区塬面宽阔平坦,塬边周围沟壑密布,现代沟缘线以下多为陡坡立壁。长期以来,居住生活在塬区边缘的居民,为了生活之便,将住宅修建在塬边沟头附近。随着社会经济的发展,人口密度的增加和现代侵蚀沟的活跃发育,特别是村庄道路等硬地面集水径流的下切,侧蚀和沟头的溯源侵蚀现象的急剧发展,促进了塬边崩塌和滑坡的频繁发生。塬边滑坡重力侵蚀不仅蚕蚀塬区土地,而且还会使居住在塬边及沟头附近的居民遭受自然灾害的突然袭击。因此,探索和揭示滑坡分布规律和成因,开展预测预报和综合治理,减缓或防止对当地居民的危害,无疑是急需研究的课题,它对黄土高原沟壑区土地合理利用和控制水土流失具有十分重要的意义。

2 王东沟地理概况

长武王东沟地处东经 $107^{\circ}40'30''\sim 42^{\circ}30''$, 北纬 $35^{\circ}12'\sim 16'$, 流域面积 8.12km^2 , 属于典型的黄土高塬沟壑地貌景观。地形面总趋势自北向南倾斜, 正负地貌分异明显, 南北方向发育有4条沟谷, 由东向西分别为回朝沟、王东沟、干沟和柳杨沟。沟谷溯源溯村侵蚀不仅蚕蚀塬面、破坏村庄道路, 而且给居住在沟边塬边的村民带来危害。据调查王东村的堡子沟从1956年到1974年, 2年沟头延伸了80m, 每年平均延伸3.3m, 扩宽约40m, 切断了南北道路的通行, 村民只得绕着沟头而过, 目前陡直的崖坡地段上临空面高度达几十米, 直接影响着王东村大队部和沟边居民的安全。

王东沟试验区沟谷地总面积 233.9hm^2 , 占土地总面积的28.8%, 沟谷地边坡黄土陡崖直立, 一般高差为20~50m, 高者可达100m以上, 主要发生滑坡、崩塌、泻溜等重力侵蚀过程。王东沟沟口海拔高程946m, 塬面最高点海拔高程为1226m, 相对高差280m。王东沟平均比降为5.47%, 其中上游比降为14.7%, 中游比降为2.8%, 下游比降为2.0%。王东沟试验区沟间地面面积为 578.1hm^2 , 占土地总面积的71.19%。从北向南地貌类型演化系列是塬面——平顶梁——梁峁, 东西向地貌类型演化系列是塬面——塬坡(古代谷坡)——坡麓(古代谷底)——现代侵蚀沟谷。

3 古滑坡分布

王东沟试验区沟谷地中古滑坡十分发育。我们通过野外实地调查, 摸清了滑坡的分布规律和形态特征。在室内解译和野外航片(航摄时间为1987年6月8日, 比例尺为1:1万彩红外航片)调绘的基础上, 编绘了古滑坡分布解译图(图1)。量算了每个滑坡的面积, 并估算了滑坡体体积。王东沟共发育古滑坡30处, 滑坡密度为3.6处/ km^2 。根据滑坡体体积大小, 对古滑坡作了分类, 分别为巨型滑坡, 其滑坡体体积大于100万 m^3 ; 大型滑坡, 其滑坡体体积为50~100万 m^3 ; 中型滑坡, 其滑坡体体积为10~50万 m^3 ; 小型滑坡, 其滑坡体体积小于10万 m^3 。调查和制图结果表明, 小型滑坡共发育13处, 占滑坡总数的43%, 其滑坡体总体积约80万 m^3 , 占王东沟试验区滑坡总体积的4%, 平均每处滑坡体积约6万 m^3 。中型滑坡发育7处, 占滑坡总数的23%, 其总体积约为230万 m^3 , 占滑坡总体积的12%, 每处平均体积约33万 m^3 。大型滑坡发育4处, 占滑坡总数的13.0%, 其总体积约为300万 m^3 , 占滑坡总体积的15.0%, 每处平均体积约为75万 m^3 。巨型滑坡发育6处, 占滑坡总数的20%, 其总体积约为1340万 m^3 , 占滑坡总体积的69%, 每处滑坡平均体积约220万 m^3 。王东沟试验区古滑坡总体积约为1950万 m^3 。平均滑坡体积密度为240万 m^3/km^2 。古滑坡发育具有滑坡体积小, 处数多, 滑坡体体积大, 处数少的特征。

王东沟试验区发育的古滑坡是典型的黄土型滑坡, 滑坡体组成物质主要为离石黄土和马兰黄土。图1显示滑坡体主要分布在沟谷的上游。王东沟上游共发育滑坡19处, 其中巨型滑坡4处, 大型滑坡3处, 中型滑坡6处, 小型滑坡6处。干沟上游发育4处小型滑坡, 中型滑坡和巨型滑坡各1处, 回潮沟和杨柳沟上游共发育滑坡4处。滑坡后壁陡直, 高差约几十米, 出露地层中夹有多层古土壤。巨型和大型滑坡体后缘均有泉水溢出, 后缘壁上常发生强烈的崩塌和泻溜侵蚀, 前缘被水力侵蚀切割深达10余m, 通常在侵蚀沟两侧由于多种重力侵蚀的复合作用形成“醉树”。

王东沟自1972年开始进行了大规模的综合治理, 使沟谷滑坡的森林覆盖率达80%以上, 对

减少沟道产沙量起到了重要作用。坡度 30° , 土壤容重为 $1.24\text{g}/\text{cm}^3$, 植被盖度达 85% 的滑坡体刺槐林径流小区, 在降水量为 709.1mm 的丰水年条件下, 年侵蚀模数仅为 $28.68\text{t}/\text{km}^2$, 充分说明了森林的蓄水保土功能。

4 百子沟滑坡

百子沟滑坡发生在 1989 年 7 月 13 日 2 时左右, 位于王东沟砖厂东侧的百子沟沟头, 地理坐标为北纬 $35^\circ 14' 30''$, 东经 $107^\circ 41' 15''$ 。滑坡总体滑动方向为北东 75° , 滑坡后壁高约 45m , 长约 130m , 坡度约为 75° , 垂直裂缝 15m 左右。滑坡体长约 130m , 宽约 100m , 垂直高差约 115m 。百子沟滑坡滑动面积约 $1.328 \times 10^4\text{m}^2$, 粗略估算滑坡体体积为 $20 \sim 27\text{万 m}^3$ 。根据 A. E. Scheidegger 的滑坡摩擦模型, 估算滑坡速度为 $20 \sim 25\text{m}/\text{s}$, 滑动时间约为 $8 \sim 10\text{s}$ 。

百子沟滑坡损失塬边 0.22hm^2 的宽地, 掩埋 0.67hm^2 的沟谷中的人工刺槐林。根据 1971 年 4 月拍摄的 1:3 万全色黑白航片和 1987 年 6 月拍摄的 1:1 万彩色红外航片的对照分析, 刺槐林覆盖率由 40% 上升到 90% 。1989 年 7 月 18 日暴雨之后对滑坡体土壤侵蚀调查结果表明, 在降雨量为 68.4mm , 平均降雨强度为 $9.7\text{mm}/\text{h}$ 的侵蚀动力条件下, 整个滑坡体上的侵蚀量为 193.4t , 侵蚀模数为 $14544\text{t}/\text{km}^2$ 。这次降水过程的王东沟洪水输沙量占全年输沙量的 94.9% 。可见滑坡侵蚀在流域产沙中起着重要的作用。

滑坡体前缘沟床运动约 220m , 形成表面高低起伏的蛇形堆积体, 组成物质为离石和马兰黄土, 仅在滑坡前舌处发现少量午城黄土。在滑坡体北侧沟谷陡崖坡角处发现了午城黄土与离石黄土交界标志层——沙质黄土层, 其出露海拔高度约为 1115m , 沙质黄土层之上分布有 13 层古土壤。滑坡后壁上清晰可见离石黄土上部和离石黄土下部的分界标志层——红三条。王东沟中黄土与洛川标准黄土地层剖面可对比。沙质黄土层厚约 5m , 其天然含水量明显高于上层离石黄土, 并有泉水溢出, 砂质黄土层下的午城黄土胶结紧密, 粘土含量高, 透水性能差, 为地下水隔水层, 它对沙质黄土层贮水起了重要的作用。综上所述我们推测百子沟滑坡的滑动面处于离石黄土与午城黄土交界的沙质黄土层, 滑坡出口高程约为 1100m (图 2), 并认为百子沟滑坡属沙质黄土层滑动面快速中型黄土滑坡类型。

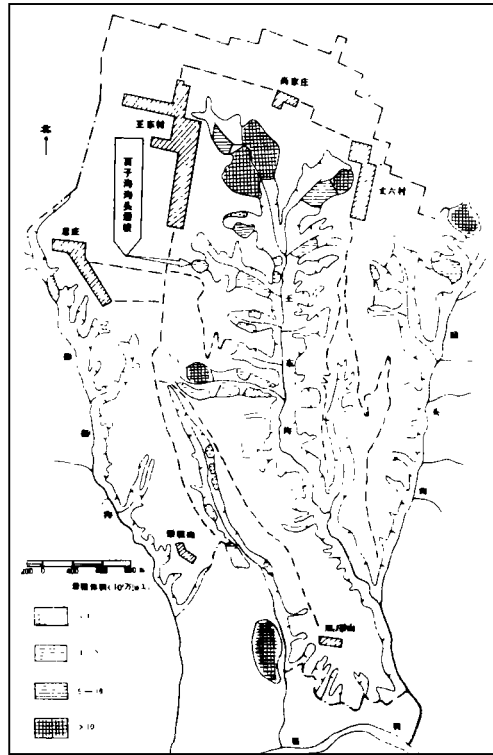


图 1 长武王东试验区彩色红外航片滑坡解释图

5 百子沟滑坡成因分析

5.1 地形条件的影响

百子沟走向近东西向,滑坡体为沟头塬坡,塬坡坡度近 30° ,塬面与沟底高差为 110m,平均坡度为 41° 。沟坡实际上是古滑坡的后壁,高差约 50m,水平距离为 40m,平均坡度 51° ,围椅状形态明显,古滑坡体具簸箕形平面形态。根据航片和地形图分析得知,塬坡南北两侧均有切沟形成。南侧为一大切沟,走向为北东 50° ,沟头为半圆柱形,沟长 150m,沟宽 20m,沟深 15m,为“U”字型切沟。塬坡北侧为延伸方向北东 85° 的小切沟,沟长 70m,沟宽与沟深 10m 左右。

百子沟滑坡体正处在两切沟中间,大切沟和古滑坡后壁形成滑坡发育必要的地形临空面。

塬坡上修建有水平梯田,共有 14 阶梯田面,上部 3 阶种植农作物,其余阶种植紫穗槐。利用 1:1 万地形图量算了百子沟集水区的高程面积关系曲线(图 3),其高程积分值为 0.573,判断百子沟地貌处于壮年期地貌发育阶段。壮年期地貌的证据为沟谷深切约 60m,沟谷边坡陡峻,沟床狭窄,呈“V”字型沟谷,沟壁重力侵蚀活跃。

5.2 村庄道路硬地产流的影响

百子沟分布在王东村的南方低洼地,为村庄径流的排泄通道。若没有外加径流的汇入,在塬区是不会形成如此大规模的冲沟。村庄道路和滑坡体西侧塬面砖厂的径流汇聚加剧了塬坡侵蚀沟的形成,破坏了塬坡的完整性,而且还因汇集的径流从数十米高处跌落产生强烈的水力冲刷能量,使沟道下切增加陡坡立壁临空高差面。

根据调查砖厂面积为 2.16hm^2 ,在沟底有大量的砖块碎片,砖厂院内径流对滑坡体有强大的冲刷作用。应及时整治新生滑坡体。滑坡体西侧塬面有一条长 200m,宽 3m 的田间小路,在滑坡上方缓坡低洼处发现有小路集水的汇入痕迹。正是这部分径流沿塬边裂隙裂缝下渗,形成抗滑力小于滑动力的软弱结构面。因此,硬地面产流加速了滑动面的形成。

5.3 黄土地层的影响

百子沟地面组成物质为第四纪黄土,未见基岩出露。滑坡剖面分布有 13 层古土壤,各层以鲜明的不同色泽,碳酸盐淋溶和淀积现象区别于黄土母质层,各层以其特殊的物理性质影响着土壤侵蚀发生发展。马兰黄土和离石黄土具有较好的孔隙和裂隙透水特性,大气降水通过孔隙、裂隙、裂缝等通道,到达离石黄土底层的沙质黄土层,受到透水性差的午城黄土阻滞,形成

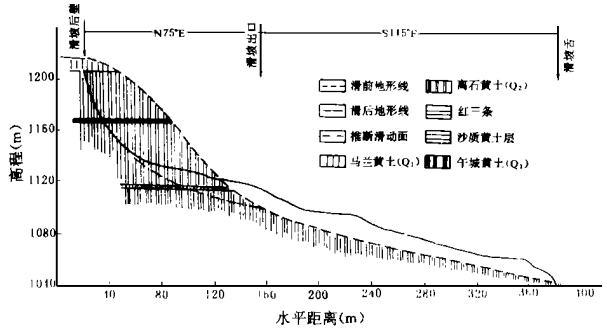


图 2 长武王东试验区百子沟滑坡纵剖面

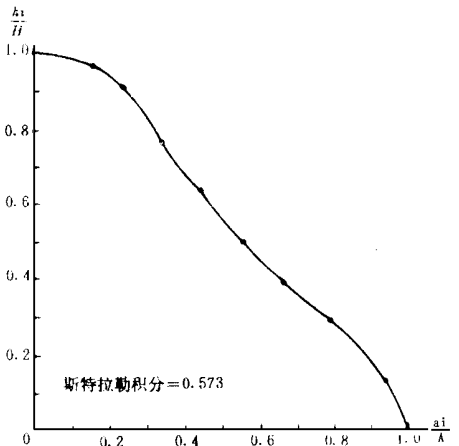


图 3 长武王东试验区百子沟斯特拉勒曲线

地下水,在沟谷陡坎下以泉水形式排泄 黄土地层结构控制了地下水的作用,形成滑坡发育的软弱结构面,为滑坡发育提供基础

5.4 新构造应力场

国内外研究表明,当沟谷、隧道或隧洞与新构造应力场的主压应力方向垂直,或与新构造应力场产生的共轭剪切破裂面方向平行时,其稳定性较差,易于发生重力侵蚀和塌陷 我们在王东沟午城黄土中量测 4 处 X 型共轭构造节理产状,共量测节理面 31 个. X 型构造节理是新构造应力场作用的产物,根据其产状的优势方向可推测新构造应力场特征. 王东沟午城黄土构造节理产状散点图 (图 4) 表明,存在两个优势方向,其一为 $N20^{\circ}E$,其二为 $S120^{\circ}E$ 因此,该区域新构造应力场的主压应力方向为 $N70^{\circ}E$ 有关研究表明,试验区西侧六盘山地区现代地震构造应力场的主压应力方向为 $N75^{\circ}E$ 利用泾河水系反演陇东黄土高原的新构造应力场主压应力方向为 $N68^{\circ}E$,三者基本一致. 百子沟沟头斜坡与新构造应力场的主压应力方向垂直,在构造地应力和黄土斜坡自重应力的共同作用下,斜坡坡脚处产生应力集中,从而使斜坡稳定性系数降低,百子沟沟头易于产生滑坡.

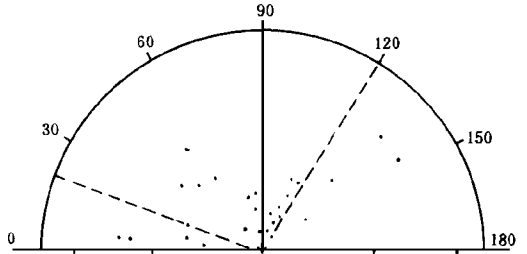


图 4 长武王东试验区午城黄土构造节理产状散点图

5.5 大气降水和地下水

百子沟滑坡发生时没有降雨发生,且附近地区无地震发生,那么滑坡发生的诱导因素是什么?是否与降雨无关?回答是否定的. 滑坡发生前的 1989 年 1 月至 6 月降水量为 195.4mm 比同期年平均降水量 182.2mm 仅多 13.2mm 1988 年降水量为 734.5mm,是多年平均降水量 587.9mm 的 1.25 倍,其中 7 月至 8 月降水量为 405.2mm,是同期年平均降水量 214.9mm 的 1.89 倍,7 月 24 日降雨量 82.6mm 1986 年和 1987 年降水量分别为 448.6mm 和 548.6mm 均小于年均降水量 (图 5)

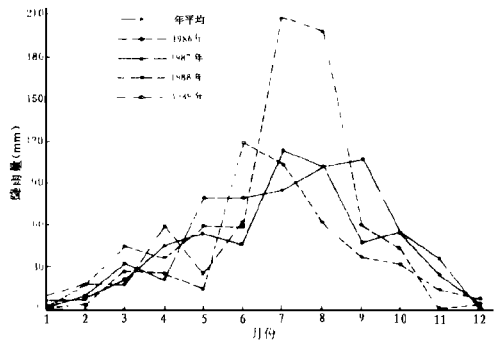


图 5 长武王东试验区百子沟滑坡前期降雨量

滑坡发生时间滞后 1988 年 7-8 月高峰降雨期约 1 年. 我们认为,1988 年 7-8 月的大量降水,特别是 7 月 24 日的大量降水,在滑坡西侧塬面的胡同道路和砖厂造成积水,沿黄土节理和裂隙裂缝下渗至第二沙质黄土层,由于午城黄土的弱透水性,形成地下含水层,经过约 1 年时间,大量地下水运动至塬边下的第二沙质黄土层,导致土体含水量增加,土体软化,土粒间粘结力和摩擦力减少,抗剪强度降低,沿沙质黄土层软弱结构面产生滑动. 因此,百子沟滑坡是降雨通过地下水作用而诱发的.

6 结 语

(1)王东沟试验区古滑坡密度为 3.3处 /km²,滑坡面积占土地总面积的 5.5%,平均滑坡体积密度为 240万 m³ /km²。滑坡体主要组成物质为马兰黄土和离石黄土。在古滑坡体上种植刺槐林,土壤侵蚀强度明显减弱。

(2)黄土高原沟壑区现代滑坡的发育是来源于大气降水的地下水作用诱发的、独特的黄土地层结构,特别是离石黄土底部的沙质黄土层对滑坡发育起着重要的作用。地貌结构、新构造应力场和人类活动对滑坡发育也有明显的影响。

本研究承蒙周佩华研究员和徐国礼高级工程师指导,敬致谢忱。

(上接第 30 页)

3 结 论

通过对该区泥石流成因分析,得出如下结论。

(1)区内谷地海拔高度在 3 600~ 4 300m 之间,现代植被类型以高山草甸和灌丛为主,干旱与半干旱的气候特点明显,地表沉积物疏松,稳定性差,易侵蚀,有利于泥石流发育。

(2)该区处于青藏高原东南前缘地带,广泛分布的断裂谷、断层崖、滑坡、跌水等构造地貌及频繁的地震活动,展现了历次构造运动强烈的特点,为泥石流广泛分布和发育的地质基础与地形条件。

(3)区内年降水量的 90% 分布于夏季,特别是最容易激发泥石流的 10min 短历的降雨强度大,可占 30min 降雨量的 94%,是该区泥石流爆发频次高,危害严重的主要形成条件。

参 考 文 献

- 1 陈家珏.西藏地震史料汇编.拉萨:西藏人民出版社,1982年 期
- 2 马东涛,石玉成.试论地震在泥石流形成中的作用,西北地震学报,1996,18(4)
- 3 李连弟,林毅,张华.论北峪河泥石流特性,第四届全国泥石流学术讨论会论文集.兰州:甘肃文化出版社,1994