

陕西延安杨崖滑坡的形成机理及其致灾分析

王佳运, 魏兴丽, 薛 强

WANG Jia-yun, WEI Xing-li, XUE Qiang

中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054

Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要:不合理的人类工程活动是陕北黄土高原地区滑坡、崩塌等地质灾害的主要诱发因素之一, 延安市杨崖滑坡是一个典型的多期人为诱发的滑坡。通过对杨崖滑坡力学变形破坏模式和形成因素的分析, 认为杨崖滑坡为拉裂-压致滑移式变形过程, 是先牵引、后推移的发育破坏过程, 滑体的多次强烈扰动与老滑坡滑面的存在为滑坡形成的控制因素, 不合理的削坡和人工削坡加载是其形成的诱发因素; 对致灾原因进行了分析, 选址不当、防灾避灾意识不强和治理措施不当是造成滑坡灾害的主要原因。

关键词:延安市; 杨崖滑坡; 形成因素; 控制因素; 诱发因素; 致灾

中图分类号: P694

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2008)08-1230-05

Wang J Y, Wei X L, Xue Q. Formation mechanism and hazard causes of the Yangya landslide in Yan'an City, Shaanxi, China. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(8):1230-1234

Abstract: Unreasonable engineering activity is one of the main factors inducing geohazards such as landslides and rockfalls in the loess plateau of northern Shaanxi. The Yangya landslide in Yan'an City is a typical multi-stage, human-induced landslide. According to the failure model and forming factor of the Yangya landslide, it can be concluded that the Yangya landslide occurred through a process of extensional rupture-compressional slip deformation, i.e. a process of development and failure of dragging before pushing. The controlling factors of landslide formation are multiple intense disturbance and existence of the previous slide surface, and the triggering factors include unreasonable excavation, cutting and loading by mankind. Based on the analysis of the disaster causes, the authors think that improper selection of the site, poor consciousness of hazard prevention and incorrect control measures are the main causes of the disaster.

Key words: Yan'an City; Yangya landslide; forming factor; controlling factor; triggering factor; disaster cause

延安市地处黄土高原, 地形破碎, 水土流失严重, 沟壑密布, 为滑坡、崩塌等地质灾害的多发区^[1-2]。受地形条件所限, 居民大多在斜坡坡脚、冲沟沟口等地进行开挖、斩坡, 修建居住场所, 居住环境较恶劣。随着经济的发展及城镇建设规模的扩大, 建筑用地需求量大大增加, 斜坡开挖、斩坡等工程活动日益增多, 工程活动诱发老滑坡复活、新滑坡发生的可能性大大增加^[1-3]。前人在该地区主要是针对古老滑坡的形成因素或机理进行研究, 随着时间的推移及经济

的发展, 人为诱发的滑坡灾害数量不断增加, 造成的危害程度也在逐年加强, 相应的研究却没有跟上, 缺乏人类活动诱发滑坡灾害的相关研究资料。杨崖滑坡位于陕西省延安市宝塔区西北部的枣园镇杨崖村, 由于人类工程活动强烈, 分别于2004年、2006年2次人为诱发滑坡复活。其中, 2006年由于村民削坡加载, 造成杨崖村滑坡于2006年6月15日复活, 将2栋3层居民楼错断, 成为危楼, 涉及8户47间房屋, 损失严重, 是典型的人为诱发滑坡灾害。本文欲从人类工程

收稿日期: 2008-06-02; 修订日期: 2008-06-30

地调项目: 中国地质调查局项目《陕西省延安市宝塔区地质灾害详细调查》(编号: 1212010541106-3)资助。

作者简介: 王佳运 (1978-), 男, 硕士, 从事地质灾害研究工作。E-mail: wjy311_2000@sohu.com

活动的角度出发,拟对杨崖滑坡的形成因素及其致灾原因进行分析,以期为进一步研究延安地区滑坡灾害的形成机理及减灾、防灾提供基础依据。

1 滑坡形成的地质环境

1.1 地形地貌

滑坡区位于陕北黄土高原中部地区,属于典型的继承型和继承、侵蚀混合型的黄土梁峁沟壑地貌^[1-7]。黄土广覆于下伏起伏不平的基岩古地形之上,在新构造运动的影响下,由于延河及其支流的长期侵蚀切割,形成梁峁起伏、沟谷深切的地形^[3-4]。杨崖滑坡位于延河支流西川河北岸的黄土斜坡上,斜坡海拔标高在980~1080 m之间,高差约100 m。受沟谷的侵蚀切割作用,坡体前部形成陡坡临空面,为滑坡提供了滑动的空间条件。

1.2 气象

区内属湿润半干旱大陆性季风气候,多年平均降水量为562.1 mm,最大为871.2 mm,最小为330 mm,近20年来多年平均降水量496.2 mm。受季风影响,降水量年内分配很不均匀。6—9月份平均降水量占全年降水量的70%左右,且多以雷阵雨形式为主。大暴雨多出现于7—10月,3—6月短期阴雨较多,7—10月以中期阴雨为主,连续降水量可高达152.9 mm,常诱发滑坡等地质灾害。

1.3 岩土体特征

滑坡区岩土体划分如下:

(1)全新统滑坡堆积物(Q_4^{del}):由粉土、粉质粘土组成,颜色杂乱,灰黄、浅黄、黄褐色混杂,土质疏松,可塑—硬塑,滑塌节理发育,工程地质性质差。

(2)晚更新统黄土(Qp^3):浅黄色,结构疏松,孔隙发育,天然状态下垂直节理十分发育,遇水显强湿陷性,强度显著降低。

(3)中更新统黄土(Qp^2):黄褐色,结构致密,垂直节理发育,无层理,夹数层古土壤层,湿陷系数小于0.015,为非湿陷性黄土,抗剪强度较高。

(4)侏罗系岩层(J_2y):由砂岩、泥岩组成,呈灰白—灰色,泥岩抗风化能力弱,遇水易软化,抗剪强度低,力学指标 $C=16.7\sim71.1$ kPa, $\varphi=21\sim35^\circ$ 。砂岩坚硬,抗剪强度高,力学指标 $C=3.9\sim4.6$ MPa, $\varphi=40.0\sim43.5^\circ$ 。岩层产状近水平,由于透水性的差异性,形成相对隔水层,易诱发滑坡。

2 滑坡的基本特征与发育过程

杨崖村老滑坡位于杨崖村后渠沟西侧的黄土斜坡上。老滑坡在平面上为近似簸箕状,后壁高15 m,坡度 55° 。滑体冲沟发育,灌木及蒿草茂盛;北侧以冲沟为界,南侧至西川河岸坡,前缘至冲沟边缘,全貌见图1。老滑坡体东西长150 m,南北宽350 m,面积 5.25×10^4 m²,滑体平均厚度15 m,体积约 78.75×10^4 m³,主滑方向 120° ;滑体在剖面形态上呈凹形,平均坡度 25° 。由于开挖等工程活动,坡体形成前、后部陡峻,中部较缓的地形。滑床后部切穿黄土,前部沿土—基岩接触面剪出,为黄土—基岩接触面滑坡^[8],剖面见图2所示。

2002年因修建枣园大道,在老滑坡体北部持续切坡取土,造成北部滑坡体前部临空,滑体稳定性不断降低,并于2004年10月失稳,形成滑坡。新滑坡体在平面上呈簸箕状,周壁可见滑体下错形成的陡坎,前缘至冲沟外缘,全貌见图1所示。滑体长100 m,宽80 m,面积 0.8×10^4 m²,滑体平均厚度10 m,体积 8×10^4 m³,主滑方向 135° ,与老滑坡主滑方向呈 15° 夹角。滑体呈前后部陡峭、中部稍缓的剖面形态,总体平均坡度 40° ,剖面见图3所示。滑坡是因前部斩坡导致出现失稳、破坏,牵引后部土体滑动形成的,同时,导致老滑坡后壁处土体出现牵引破坏,属于典型的牵引式滑坡。滑坡滑面在后部切穿老滑坡滑体,向下延伸发育,与老滑坡滑面相接,并沿老滑坡滑面滑动剪出。

2004年杨崖村因修建高速公路拆迁安置,在老滑坡体南部修建了三排居民楼。同时,由于北部新滑



图1 2004年杨崖村新老滑坡全貌

Fig. 1 Full view of new and old Yangya landslides in 2004

坡体稳定性较差,村民对滑体前部进行了削坡治理,形成高约15 m、坡度约 55° 的人工边坡临空面(图1)。削坡治理后,坡体开始出现变形破坏迹象。2005年调查时发现变形迹象十分明显,滑体前部受挤压出现多条鼓胀裂隙,在前部坡体牵引下滑体后部形成一条拉张裂缝,并持续扩张,最宽达0.5 m,拉张裂缝向下延伸至滑体中前部,几乎贯穿整个滑体,滑坡体稳定性极差,随时有失稳的危险。剖面见图4所示。

2006年5月3日至6月14日,村民在老滑坡体顶部进行削坡,并将弃土全部堆放于滑体中部,诱发滑坡再次复活,将其侧部的居民楼错断(图5)。滑坡在平面上近似“舌”型,前缘至冲沟前缘。滑体长约150 m,宽约100 m,面积 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^2$,平均厚度10 m,体积 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$,主滑方向 135° 。由于滑坡沿老滑坡滑面复活,而居民楼地基建于老滑坡体之上,因此,滑坡滑动导致地基被错动,造成居民楼被错断。滑坡剖面见图6。

3 滑坡破坏模式与诱发因素

3.1 滑坡破坏模式

杨崖滑坡的变形破坏始于前部的人工削坡,在自重力的作用下坡体向下蠕动,产生拉应力,于滑坡后缘形成拉张裂缝。在拉张裂缝不断扩张的同时,向坡体深部延伸发展。由于坡体上下土体物理力学性质的差异,在高倾角压剪应力的作用下,出现相应的微应变状态,发生局部的应力集中,产生剪切破坏,并沿最大剪应力方向持续破坏^[9],最终与老滑坡滑面相接。在坡脚处最大主应力与最小主应力的应力差达到最大值,出现最大的剪应力集中,形成最大剪应力增高带^[10]。人工削坡加载形成巨大的压应力,导致坡体剪应力不断增大,并在超过土体抗剪强度时,坡体沿老滑坡滑面滑动、剪出,形成滑坡。根据力学变形过程,杨崖滑坡为拉裂-压致滑移式破坏。

杨崖滑坡的前期破坏过程是前部削坡,抗滑力下降,坡体重心前移,牵引后部土体变形、破坏;后期在人工削坡加载的作用下,坡体的下滑力增大,推动

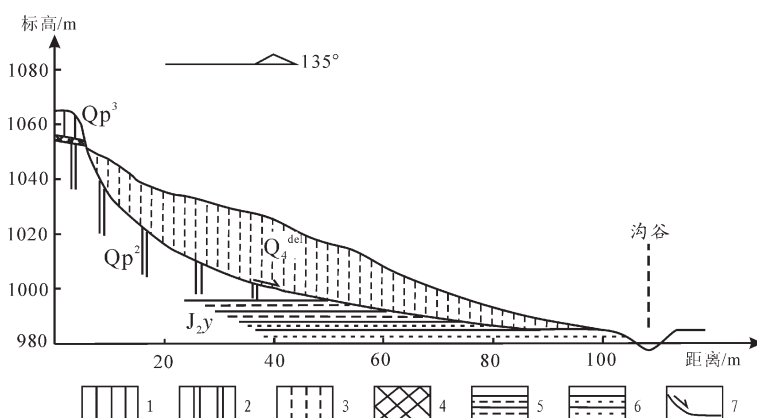


图2 杨崖老滑坡剖面

Fig. 2 Profile of the old Yangya landslide

1—上更新统黄土(Qp³);2—中更新统黄土(Qp²);3—粉质粘土(滑坡堆积体, Q₄ᵈᵉˡ);4—古土壤;5—侏罗系中统延安组泥岩(J₂y);6—侏罗系中统延安组砂岩(J₃y);7—滑动面及滑向

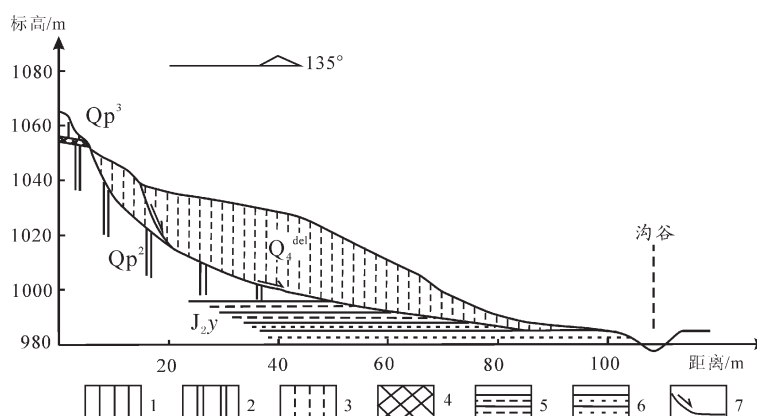


图3 2004年杨崖滑坡剖面

Fig. 3 Profile of the Yangya landslide in 2004

1—上更新统黄土(Qp³);2—中更新统黄土(Qp²);3—粉质粘土(滑坡堆积体, Q₄ᵈᵉˡ);4—古土壤;5—侏罗系中统延安组泥岩(J₂y);6—侏罗系中统延安组砂岩(J₃y);7—滑动面及滑向

坡体沿老滑面滑动。因此,杨崖滑坡的破坏过程先为牵引式破坏,后为推移式破坏,即为先牵引后推移的破坏过程。

3.2 滑坡的形成因素分析

杨崖滑坡的形成是多种因素造成的,既有自然的控制因素,又有外在的人为诱发因素。

杨崖滑坡是在老滑坡体的基础上复活形成的。由于前期滑坡的多次滑动,造成土体受到强烈扰动,疏松破碎,节理、裂隙发育,为坡体破坏提供了条件^[11],同时,老滑坡滑面的存在,为斜坡失稳、滑

动提供了有利条件。杨崖滑坡的2次失稳复活即是沿老滑坡滑面产生滑动形成的。因此,坡体的多次强烈扰动及老滑坡滑面的存在,是杨崖滑坡形成的控制因素。

人为诱发因素是滑坡形成的主导因素,包括滑体前部削坡与人工削坡加载。

在滑体前部削坡,形成高陡临空面,造成坡体抗滑力减小、坡体稳定性降低、滑体前部出现鼓胀裂隙及后缘出现拉张裂缝等变形破坏迹象,随时有失稳的危险。

村民在滑坡后缘削坡,将大量弃土全部堆放于滑体之上,相当于给坡体增加了外荷载,增大了坡体的下滑力,导致滑坡体失稳,形成滑坡灾害。

因此,杨崖滑坡是由于多次强烈扰动造成土体结构破坏,土体疏松,在不合理的削坡及人工削坡加载条件的诱发下,沿老滑坡滑面复活形成的,是内在控制因素与外在人为诱发因素共同作用的结果,人为诱发因素占主导作用。

4 滑坡致灾分析

杨崖滑坡造成了巨大的财产损失,分析其原因主要有下几个方面。

(1)选址不当。在选择居民安置楼的场址时,缺乏基本的地质灾害知识,不能正确识别地质灾害体,将建筑新址选择在滑坡体的前部,存在安全隐患。

(2)防灾避灾意识不强。新址侧部的新滑坡体稳

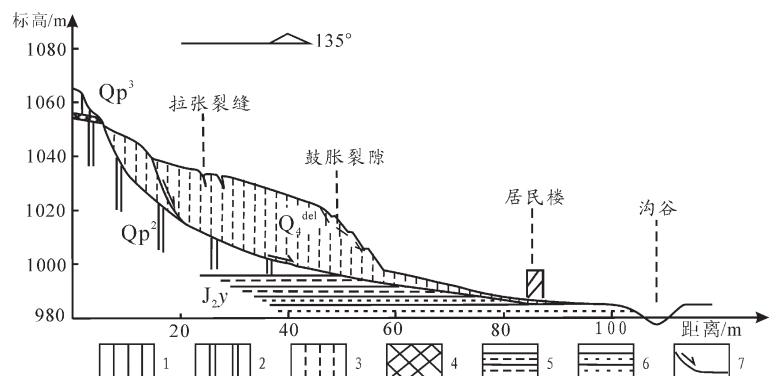


图4 2005年调查时的杨崖滑坡剖面

Fig. 4 Profile of the Yangya landslide in 2005

1—上更新统黄土(Qp^3);2—中更新统黄土(Qp^2);3—粉质粘土(滑坡堆积体, Q_4^{al});4—古土壤;5—侏罗系中统延安组泥岩(J_2y);6—侏罗系中统延安组砂岩(J_2y);7—滑动面及滑向

定性差,在没有采取有效的治理和加固措施的情况下修建居民楼,使居民楼处于滑坡的威胁范围之内。

(3)治理措施不当。由于村民缺乏相应的治理经验,将滑体前部进行削坡,降低了坡体的稳定性,并削坡加载,治理措施不当,直接导致了滑坡灾害的发生。

5 结论与建议

杨崖滑坡造成的损失是较惨重的,但是从中可以吸取一些经验教训。杨崖滑坡主要是由于不合理的工程活动、人为诱发造成的。若采取的措施得当,



图5 2006年6月15日发生的新滑坡全貌

Fig. 5 Full view of the new Yangya landslide that occurred on June 15, 2006

是可以避免灾害发生的。受地形条件及经济条件的制约,场址的选择范围有限,但是通过采取有效的措施,可以改善场址的不良条件。首先是禁止在滑坡体前部切坡取土,避免因滑坡体前部抗滑力下降造成坡体稳定性降低;其次,在滑体中后部进行削坡减载,降低坡体下滑力,并将弃土堆积于坡脚进行反压,增加坡体的抗滑力,提高坡体的稳定性。同时,对滑坡区内的裂缝进行填埋,并在滑坡区内修建排水沟,防止雨水入渗。通过以上措施,不仅可以提高坡体的稳定性,而且减少了坡体发生变形破坏的条件,从而避免了滑坡灾害的发生。

通过对杨崖滑坡的形成机理及致灾因素的分析,得出以下结论。

(1)杨崖滑坡是在老滑坡体的基础上复活形成的,老滑坡体多次出现复活滑动,为多期次滑坡。

(2)杨崖滑坡为拉裂-压致滑移式变形过程,显示先牵引、后推移的发育破坏过程。

(3)滑坡的多次强烈扰动及老滑坡滑面的存在,是杨崖滑坡形成的内在控制因素;不合理的削坡及人工削坡加载是其形成的诱发因素,占主导作用。

(4)杨崖滑坡致灾是选址不当、防灾避灾意识不强及治理措施不当造成的。若采取合理的治理措施,是可以避免灾害发生的。

参考文献:

- [1]刘玉海,张骏,倪万魁,等.延安城市工程地质[M].北京:中国地质大学出版社,1988:6-14.
- [2]雷祥义.黄土高原地质灾害与人类活动[M].北京:地质出版社,

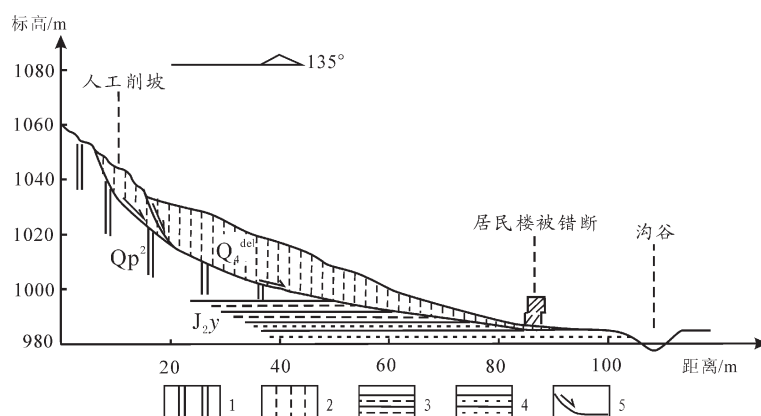


图6 2006年发生的杨崖滑坡剖面

Fig. 6 Profile of the Yangya landslide that occurred in 2006

1—中更新统黄土(Qp²);2—粉质粘土(滑坡堆积体,Q₄ᵃ);3—侏罗系中统延安组泥岩(J₂y);4—侏罗系中统延安组砂岩(J₂y);5—滑动面及滑向

2001:1-37.

- [3]张茂省,校培喜,魏兴丽,等.陕西省延安市宝塔区地质灾害详细调查报告[M].2006:16-18.
- [4]陕西省地质矿产局第二水文地质队.黄河中游区域工程地质[M].北京:地质出版社,1989:70-94.
- [5]彭建兵,李庆春,陈志新,等.黄土洞穴灾害[M].北京:科学出版社,2008:3-10.
- [6]关文章.湿陷性黄土工程性能新篇[M].西安:西安交通大学出版社,1992:10-14.
- [7]孙建中.黄土学[M].香港:香港考古学会,2005:29-45.
- [8]吴玮江,王念秦.黄土滑坡的基本类型与活动特征[J].中国地质灾害与防治学报,2002,(2):36-40.
- [9]王念秦,张倬元.黄土滑坡灾害研究[M].兰州:兰州大学出版社,2005:107-109.
- [10]胡广韬.动力滑坡学[M].西安:陕西科学技术出版社,1988:1-7.
- [11]卿三惠,黄润秋.工程滑坡形成机理及防治对策[J].中国地质灾害与防治学报,2002,(3):1-4.