

袁丽侠 著

宁夏地震

诱发黄土滑坡

The Loess Landslide Caused By Earthquake In Ningxia



宁夏人民出版社

宁夏地震

诱发黄土滑坡

The Loess Landslide Caused By Earthquake In Ningxia

袁丽侠 著



宁夏人民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

宁夏地震诱发黄土滑坡 / 袁丽侠著. —银川: 宁夏人民出版社, 2005. 9
ISBN 7-227-03010-5

I. 宁... II. 袁... III. 地震危险区 - 滑坡 - 研究
- 西吉县 IV. P642.22

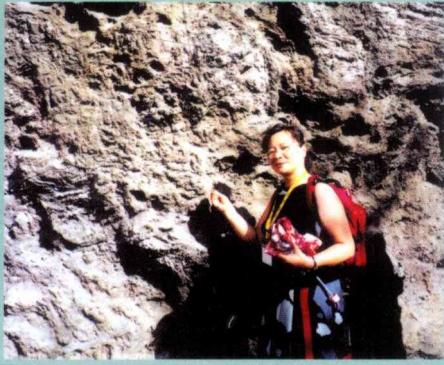
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 097189 号

宁夏地震诱发黄土滑坡

袁丽侠 著

责任编辑 何玲涛 杨旭红
装帧设计 林 莉
出版发行 宁夏人民出版社
地 址 银川市北京东路 139 号出版大厦
经 销 新华书店
印 刷 宁夏施尔福印刷有限公司
开 本 880×1230mm 1/16
印 张 6.75
插 页 8
字 数 150 千
版 次 2005 年 9 月第 1 版
印 次 2005 年 9 月第 1 次印刷
印 数 1000 册
书 号 ISBN 7-227-03010-5/S·160
定 价 50.00 元

版权所有 翻印必究



袁丽侠，宁夏中卫人，1954 年出生，宁夏大学研究员、地质灾害与工程防治专业博士。宁夏回族自治区青联四届、五届委员、六届常委。1975 年毕业于西北大学地质系，2001 年在西北大学攻读博士学位。独立主持完成的工程勘查、试验项目近百项，有在高等院校试验教学、管理和科研工作。1996 年赴墨西哥参加第十一届国际地震工程大会并与该国专家合作研究软土对地震波的反应，2004 年赴意大利佛罗伦萨参加第 32 届国际地质大会，其有关宁夏地震诱发黄土滑坡的研究成果得到与会专家的赞誉。发表论文《场地土对地震波的放大效应》等十余篇论文，获国家省部级自然科学优秀论文一等奖、二等奖、三等奖。主持国家科委国际合作项目、国家自然科学基金、宁夏自然科学基金、宁夏教育厅等项目的研究。

责任编辑：何玲涛

杨旭红

装帧设计：林 莉

前 言

在对宁夏海原 1920 年 8.5 级地震引发的数千个大规模黄土滑坡的背景资料进行深入研究的基础上,对海原大地震极震区东南部的海原、固原、西吉县境内的地震滑坡的类型进行了形态划分,对地震诱发黄土滑坡的综合致灾机理进行了分析。

(一)深入到西吉县滑坡重灾区进行黄土滑坡地面调查,对该区分布的滑坡进行了分类,对比沿湟泥河左右两岸滑坡在地形地貌、规模、滑距、坡度及平面、剖面特征,阐明沿西吉湟泥河流域的右岸是缓坡、高速、长滑距巨型滑坡的集中发育地带。绘制相应的区域滑坡分布图、滑坡剖面图和典型滑坡的平、剖面图。

(二)西吉县位于陇西旋卷构造的弧形转折端处、北北西向的海原断裂带东端与近南北向六盘山断裂带的交汇部位,恰恰位于海原大地震地应力调整场内弹性应变能积累和储备的枢纽地带,此处是地震能量施放最大和应力集中部位。在北东-北东东向主压应力的控制下,北西-北北西向的张应力为该区大规模斜坡位移和滑坡扩展提供了空间,在强烈的新构造运动的作用下,位于海原大地震极震区东南部的西吉成为 1920 年海原大地震诱发黄土滑坡最发育、规模最大的地区。构造应力场的作用是西吉地震诱发黄土滑坡的形成机制之一。

(三)西吉黄土是位于黄土高原六盘山以西过渡地带黄土堆积中最独具特色的黄土。其黄土显微结构类型、颗粒排列、胶结物类型、颗粒成分、孔隙率及孔隙类型等三维空间结构有其自身的特点,大孔-支架,支架-镶嵌结构、小桥式连接、胶结程度低等特性,是造成该区黄土具有大孔隙、疏松、低含水量、强湿陷性和强震陷性等独特物理力学性质的内因,同时是西吉黄土在强震时所表现出的瞬间崩溃和地震高易损性的内因。本论文所建立的西吉黄土电子显微结构图像将为建立六盘山以西黄土显微结构的标准版图积累可贵的科学资料。因此,黄土显微结构特征是西吉地震诱发黄土滑坡的形成机制之二。

(四)特殊的黄土微地形地貌、厚层黄土覆盖、地处西吉盆地等地质背景条件,造成海原大地震时,地震波能量在西吉地区被激化、放大的灾害后果。黄土梁、峁的顶部及边部、厚层黄土覆盖区常造成黄土的强度分异界面,使黄土场地地面运动周

期增长、强震地面运动的低频成分增加、高烈度异常、使黄土层总体刚度减弱或消失。盆地效应使地震波在盆地边缘和不同介面处反射、聚焦并耦合后放大地震波。地震时瞬间高附加地震应变能的产生,使上述特殊地段成为附加应力场能量不断积聚场所,地震波在尖端部位的聚集、释放造成迎着地震波传播方向的黄土斜坡面首先受到地震波能量的袭击,黄土强度瞬间崩溃,滑坡是黄土流释放应力的方式。研究认为:西吉县地震诱发黄土滑坡的主滑面和主滑方向是与地震波的传播方向相反的。因此,地震波的放大效应是西吉地震诱发黄土滑坡的形成机制之三。

(五)根据1920年海原大地震前出现的包括地下水异常在内的震前宏观灾异群发现象,探讨地应力的集中和松弛与气象场变化间的关系、地气耦合的结果与震前宏观异常群发的相关性、及震前水异常与黄土液化引发滑坡的关系。从地震引起黄土液化的角度论证:在地震动应力和震时突发水异常的共同作用下,由于黄土液化形成了高速、长滑距巨型黄土滑坡。黄土液化不同于砂土液化的机理在于黄土的不完全饱和、可溶盐的溶解、大中孔隙的崩溃及微小孔隙充水形成对孔压的消散作用以及低抗震性和高流动性是黄土液化的特点。因此,震时地应力集中、突发地下水异常而导致的黄土液化是西吉地震诱发黄土滑坡的形成机制之四。

围绕上述四个方面的基本研究,本论文还开展了相关支持研究内容。如本论文对研究区黄土层位进行首次划分,为建立六盘山西麓过渡区黄土标准剖面提供基础科学资料。并通过地面调查工作和典型黄土滑坡标准剖面的划分,证明研究区有中更新世和早更新世的黄土出露,对1:50万宁夏回族自治区第四纪地质说明书(1983年12月)中有关宁夏黄土丘陵区缺失早更新世和中更新世黄土的结论提出了质疑。另外,根据研究内容编绘了22个相关研究内容的图件等。

本论文上述有关研究方面是前人没有涉足过的领域,其认识上的重要突破和进展使本研究能系统、全面、开创性地论述西吉地震诱发黄土滑坡的形成机制,取得了突破性的进展,为黄土高原强震区地震诱发黄土滑坡的深入研究、防震减灾提供了可靠的科学依据。

本论著在研究过程中,得到国家自然科学基金、宁夏回族自治区自然科学基金、宁夏回族自治区财政厅的资助,受到宁夏回族自治区政府主席的关注。宁夏教育厅、宁夏大学给予有力的支持。我的导师雷祥义教授对本文进行了精心指导,岳乐平、王家鼎、谢定义、邵生俊教授对本文的研究工作提供了试验和测试便利。对此,作者一并表示最诚挚的衷心感谢!



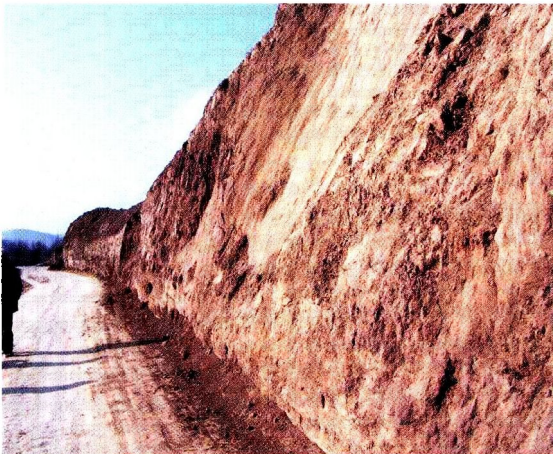
1.党家岔巨型滑坡堵塞河道形成倾斜的堰塞湖坝体



2.党家岔堰塞湖 (镜向 206°东经 105°27'19.″ 北纬 35°50'23.″)



3.城关镇李家沟黄土滑坡在垓的顶部形成的联垓现象及其下的堰塞湖 (镜向 90°东经 105°38'04.″ 北纬 35°56'20.″)



4.城关镇下庄里滑坡体前缘长达 300 米的横切面



5.城关镇下庄里滑坡及滑坡体堵塞的堰塞湖



6.城关镇何家庄滑坡及滑坡体堵塞形成的堰塞湖



7.苏堡乡下马达子长舌状滑坡



8.苏堡乡四方沟波浪状黄土滑坡体 (镜向 45°东经 105°35'50," 北纬 35°53'21")



9.苏堡乡张撒脑巨型滑坡侧缘及滑坡堰塞湖 (镜向 120°东经 105°32'09," 北纬 35°52'43")



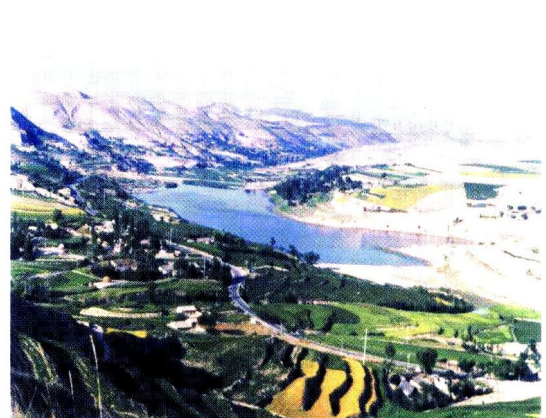
10. 湟泥河流域左岸的苏堡乡王坪陡坡短滑距滑坡及堰塞湖 (镜向 60°东经 105°29'56.7" 北纬 35°51'57.7")



11. 城关镇夏家大路左岸深切、高陡、短程滑坡



12. 苏堡乡党家岔左右两岸地形地貌的差异对比



13. 西吉夏家大路深切、高陡、短程滑坡 (左) 西吉上堡子村低缓、高速、长程滑坡。 (右) (雷祥义摄)



14. 苏堡乡孟家湾黄土滑坡前缘反推至对面山腰



15. 苏堡乡芦子滩大滑坡



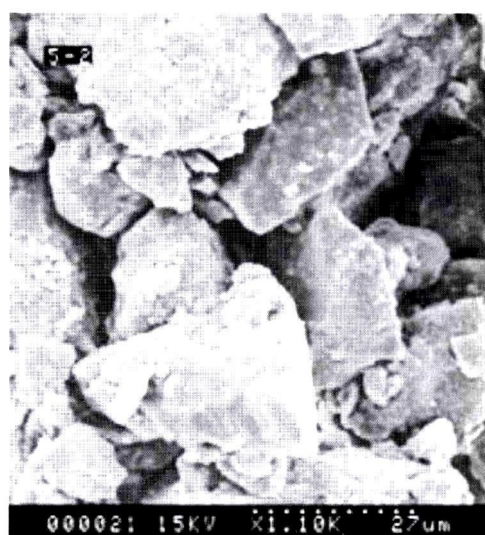
16. 苏堡乡芦子滩滑坡及滑坡体堵塞形成的堰塞湖 (镜向 130°东经 105°32'09," 北纬 35°52'43")



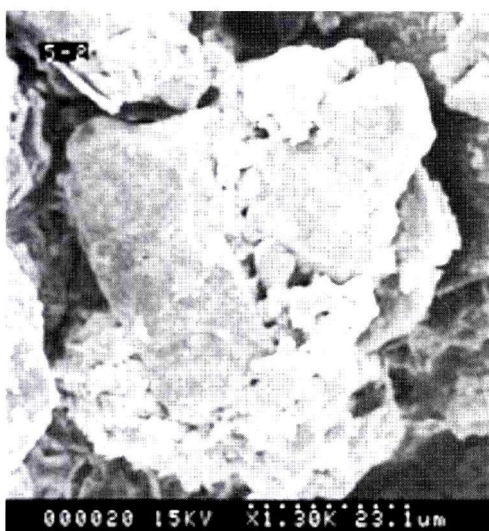
17. 城关镇李家沟缓坡、长滑距滑坡及其堰塞湖 (镜向 90°东经 105°38'04," 北纬 35°56'20")



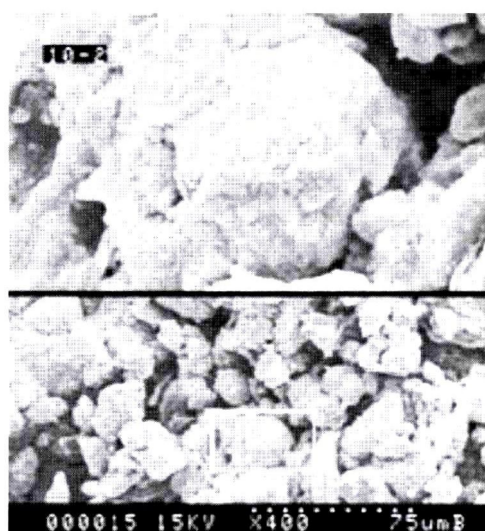
18. 表面干净,棱角圆滑的骨架颗粒及支架接触结构 ($P_x Q_1$) 及支架孔隙



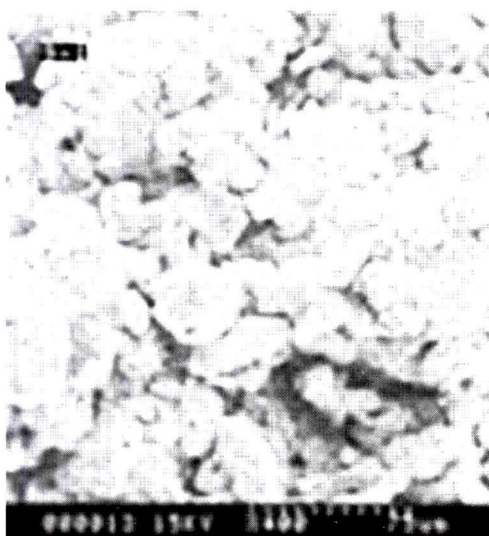
19. P_x-L_3 土层支架—支架镶嵌接触结构



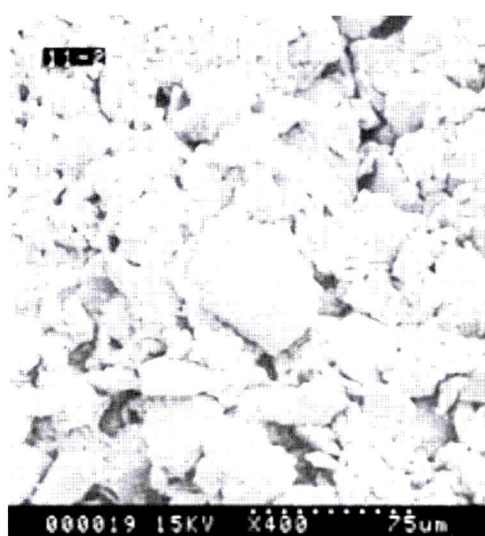
20. P_x-L_3 土层中的整体集粒



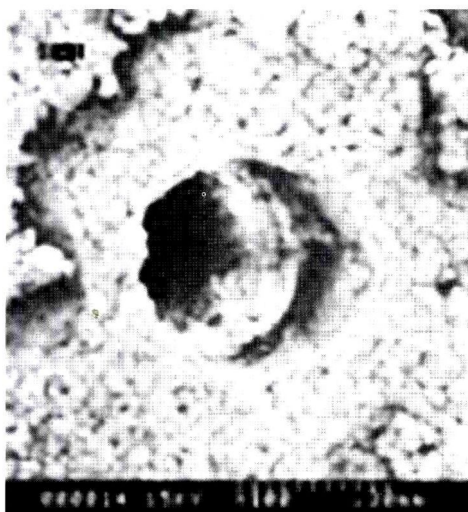
21. 球状集粒呈骨架支撑作用 P_x-Q_2



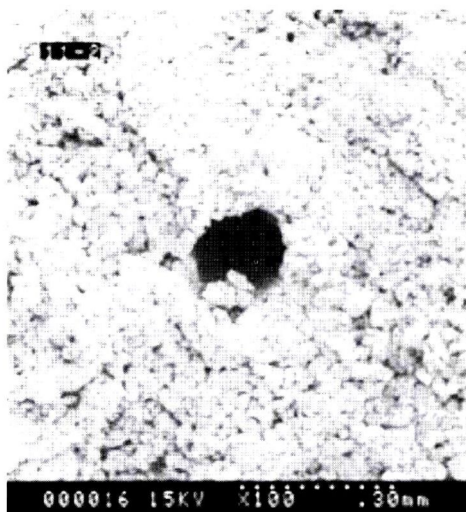
22. 镶嵌—支架接触结构为主 (P_x-L_3)



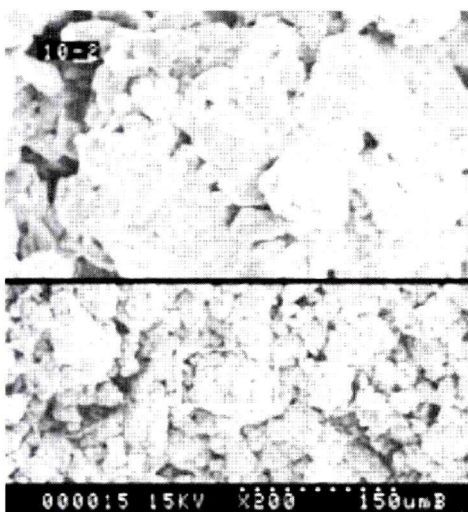
23. 胶结物呈分散分布 (P_x-Q_1)



24. 由植物根系形成的孔洞 (P_x-L_3)



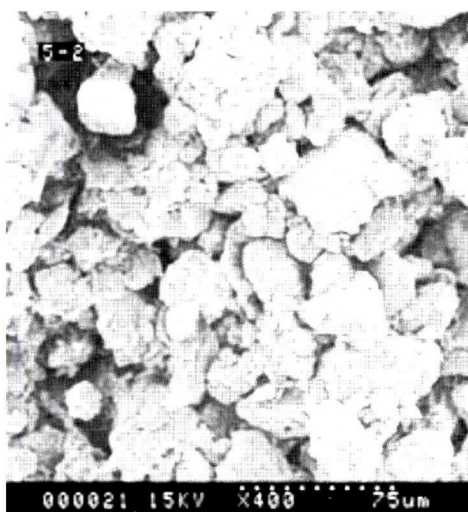
25. 次生虫孔 (P_x-Q_1)



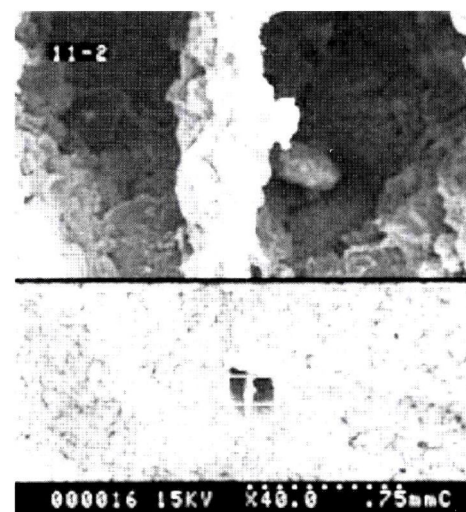
26. 呈云朵状的粘粒胶结物集粒
(P_x-Q_2) (P_x-Q_3)



27. 颗粒之间密切接触,呈镶嵌排列的
缝隙状孔隙



28. 镶嵌接触结构 (P_x-L_2)



29. 黄土中孔隙的钙质堆积 (P_x-Q_1)



前言	1
1 绪论	1
1.1 选题依据及科学意义	2
1.2 国内外研究现状及存在问题	5
1.3 本文主要研究内容及技术路线	7
2 1920 年海原大地震概况	11
2.1 震前灾异群发现象	11
2.2 有关海原大地震的情况记载	13
2.3 地震造成的破坏	14
3 西吉县地震诱发黄土滑坡特征	20
3.1 西吉地貌地质环境特征	20
3.2 西吉地震诱发黄土滑坡的类型	32
3.3 西吉地震诱发黄土滑坡的分布特征	38
4 新构造运动	39
4.1 区域构造应力场特征	39
4.2 新构造运动的旋回性	43
4.3 新构造运动特征	45
4.4 西吉、海原地区地震历史概况	46
4.5 新构造运动对西吉环境的影响	47

5 黄土显微结构特征及物理力学性质.....	50
5.1 黄土显微结构.....	50
5.2 黄土物理力学性质特征.....	62
6 西吉地震诱发黄土滑坡发育特征与地震波传播的耦合性.....	64
6.1 海原大地震等震线与烈度分布特征.....	64
6.2 海原大地震地震波传播的特征.....	66
6.3 西吉地震诱发黄土滑坡分布特征与地震波传播方向的关系.....	67
6.4 地震诱发黄土滑坡的耦合机制分析.....	69
7 西吉地区地下水与低角度高速远程滑坡的关系.....	76
7.1 震前地下水异常的表现.....	76
7.2 地下水异常的特点.....	77
8 地震诱发黄土滑坡的防治措施.....	89
8.1 西吉黄土滑坡易发区分布及灾害隐患评价.....	89
8.2 西吉黄土滑坡的重点防治区域.....	92
8.3 防治措施.....	94
9 结论与讨论.....	97
结论与讨论.....	97
参考文献.....	101

绪 论

我国是一个多地震国家,地震诱发滑坡灾害造成的损失往往比地震直接造成的损失还要大,仅上个世纪,地震滑坡已经造成了数万人丧生和几十亿美元的损失,其巨大的致灾力已引起政府和科学技术界的广泛关注。地震引起的崩塌、滑坡自北向南由宁夏的中宁、中卫经甘肃六盘山两侧,天水、武都一线,沿川西、滇东直到滇越边界附近,主要集中在中国的南北向地震带上,总延伸长度在 1600km 以上。位于这一地震带区域内发生的地震频次多、强度大,加之该区新构造运动造成的强烈差异性升降使复杂的地形地貌更有利于滑坡、崩塌的发生。1920 年 12 月 16 日发生在位于该地震带北端的宁夏海原 8.5 级地震,触发了滑坡、崩塌、地裂缝、水系湖泊迁移等地质灾害在内的严重地表形变,规模巨大的地震诱发的黄土滑坡成为该次大地震引发的最典型地质灾害之一。

宁夏南部黄土丘陵区属黄土高原的一部分,区内地形复杂、地貌多样,新构造运动强烈,地震活动频繁,是欧亚大陆上一个引人注目的地震区。研究区属中国著名的强震发生带—南北向地震带北端的六盘山地震带,区内及周边地区是强震多发地带^[1]。据统计:截至 1976 年,在黄土高原及相邻地带共记载到 6 级以上的破坏性地震 51 次。其中 7 级以上的强震 22 次,8 级及大于 8 级的特大地震 6 次,1920 年宁夏海原 8.5 级地震是其中之一。^[2]

1920 年宁夏海原 8.5 级地震诱发的黄土滑坡主要分布在该次大地震极震区 IX 度~X 度区内的海原、西吉、固原县境内,严重的地表形变破坏,造成了世界上类型全、规模大、形态多样的地震诱发黄土滑坡。图 1-1 是卫星照片显示出的沿西吉县滥泥河流域分布的串珠状地震堰塞湖(党家叉堰塞湖和李家沟堰塞湖)。

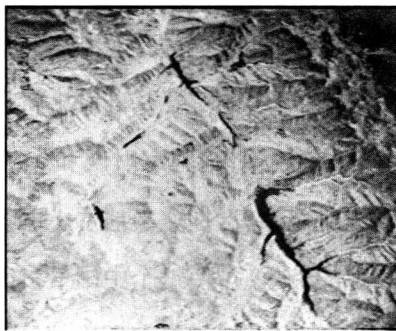


图 1-1 串珠状地震堰塞湖

大规模的地震诱发黄土滑坡为什么在海原大地震极震区烈度为 IX 度~X 度的区域密集分布,而不在烈度为 X 度以上的极震区中心地区?这与极震区等震线长轴南北两侧的地形地貌区域地质构造、应力关系、土质特征、震前宏观水异常等地质背景条件有关,上述特征是控制该区域地震诱发黄土滑坡规模的综合要素。

为了全面、深入、系统地展开海原大地震诱发黄土滑坡的机制研究,本文以 1920 年海原 8.5 级大地震诱发黄土滑坡灾害最发育的西吉县为研究区,从该区地震诱发黄土滑坡的类型、分布、黄土显微结构特性和物理力学性质、构造应力控制下的区域滑坡分布、地震与地下水异常和场地土对地震波的放大效应等五个方面展开研究。

海原地震诱发黄土滑坡主要发生在黄土原始山坡坡度为 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 之间的黄土梁茆地区。前人对区内如此众多的地震诱发黄土滑坡的分布、种类及其成因做过零星的介绍:一种是西吉县境内发育大量层间、顺层和切层大规模滑坡群^[3](图 1-2),另一种是发生在极震区东南部固原县境内清水河Ⅳ级阶地黄土塬边一带的低角度黄土滑坡^[4](图 1-3),这是一种黄土状粉土下伏的细砂层在震时发生饱水液化,导致上覆黄土呈规模巨大的列阵式低角度滑移式滑坡。

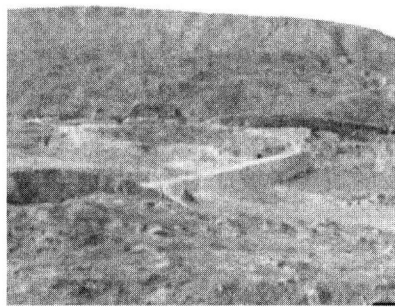


图 1-2 海原蒿内切层大滑坡

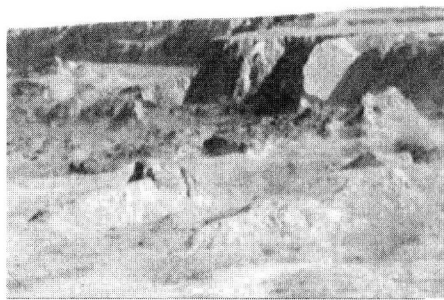


图 1-3 石碑塬黄土低角度滑坡

上述两种类型的滑坡均以其规模的宏大、地表形变现象之奇特、形态的多样而称奇为世界地震诱发黄土滑坡的博物馆。这里由于地处偏僻的大西北内陆腹地山区,如此集多种科学现象为一体的的滑坡奇观,其成因机制一直没有得到深入、系统、科学的研究。

随着我国西部大开发战略布署的推进,中国西北部黄土丘陵区将成为中国经济建设的主战场,有更多的重要基础设施将在这里建设。地震诱发的黄土滑坡灾害使拟建场区地震风险性高、稳定性差,给国家财产和人民生命安全造成极大的威胁,滑坡在以后的降水过程中又逐步形成滑坡隐患,加速当地水土流失、改变地下水循环,使生态环境进一步恶化,引发一系列环境灾害的负效应,使这个中国最贫困的“三西”地区之一,蒙受比其他地区更严重的损失,严重制约了当地社会、经济和环境的可持续发展。因此,开展对宁南黄土丘陵区地震诱发黄土滑坡灾害的研究具有重要的战略性意义,对建设场区地震风险性评估和场区稳定性评价具有极其重要的科学价值。

1.1 国内外研究现状及存在问题

1920 年海原大地震发生后的次年,当时的内务、教育、农商三个部曾派翁文灏、谢家荣、卫