

# 黄土滑坡灾害特征及 防治对策

HUANGTU HUAPU ZAIHAI TEZHENG JI  
FANGZHI DUICE

陈新建 王勇智 宋飞 赵法锁 著



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

# 黄土滑坡灾害特征及 防治对策

陈新建 王勇智 宋 飞 赵法锁 著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2013

## 内 容 提 要

本书以吴起县为例,具体阐述了吴起县的自然地理概况,地质环境条件,地质灾害发育类型,黄土滑坡特征和形成机理,地质灾害区划与分区评价以及防治对策等内容;采用定性与定量相结合的方法划分吴起县地质灾害易发区和危险区,对地质灾害进行危害程度评价,提出了地质环境保护、防治原则和措施,为防灾减灾和制定区域防灾规划提供了基础依据。

本书可供从事地质灾害研究和黄土地区工程建设科研、勘查、设计、施工单位的技术人员学习参考,也可供相关专业高年级本科生和研究生阅读使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

黄土滑坡发育特征及防治对策/陈新建等著. —北京:冶金工业出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-5024-6421-9

I. ①黄… II. ①陈… III. ①黄土区—滑坡—研究 IV. ①P642. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 242038 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjpbs@cnmip.com.cn

责任编辑 徐银河 美术编辑 杨 帆 版式设计 杨 帆

责任校对 郑 娟 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6421-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京慧美印刷有限公司印刷

2013 年 10 月第 1 版, 2013 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 13.5 印张; 263 千字; 207 页

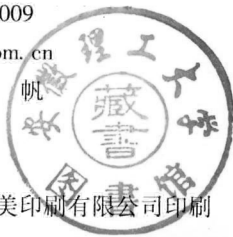
39.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)



## 前 言

中国是世界上黄土分布最广泛的国家，在黄河中游地区厚层黄土连续覆盖，形成蔚为壮观的黄土高原。黄土层厚而结构较疏松，空隙度大，柱状节理发育，易被侵蚀剥离，形成滑坡、崩塌、泥石流等区域地质灾害。黄土高原的地质灾害给人民生命财产和国民经济发展带来严重影响，对灾害的预防和治理具有非常重要的意义。

本书以陕西省延安市吴起县为研究对象。吴起县素有“陕北西藏”之称，自然条件差，基础设施薄弱，抵御自然灾害能力较低，尤其是近年来吴起县石油工业和交通发展迅猛，虽然退耕还林效果显著，但在脆弱的黄土地上施工极易诱发滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害。

吴起县处于黄土高原腹地，介于毛乌素沙漠和洛川黄土塬之间的黄土梁峁区，黄土滑坡发育广泛，具有典型发育机理和滑动特征。该地区不仅滑动类型齐全，而且滑动机理具有黄土地区的代表性。因此，吴起县已成为黄土滑坡研究的重要地区，具有较高的学术研究前景。本书的研究将有助于推动黄土滑坡的深入研究，从宏观、微观两方面探讨黄土滑坡的剪切滑动特征，对黄土滑坡的精细研究有一定的借鉴参考价值。

本书依托“陕西省延安市吴起县地质灾害详细调查”项目（吴起县，项目编号为1212010814023），具体阐述了黄土滑坡的自然地理概况，地质环境条件，地质灾害发育类型，黄土滑坡特征和形成机理，

地质灾害区划与分区评价以及防治对策等内容，对地质灾害进行了危害程度评价，提出了地质环境保护、防治原则和措施，为防灾减灾和制定区域防灾规划提供了基础依据。

囿于作者水平，书中不足之处，敬请广大专家和读者批评指正。

作 者  
2013年7月

# 目 录

1 绪论 .....	1
1.1 黄土滑坡研究现状 .....	1
1.2 黄土滑坡一般分类 .....	3
1.2.1 基本分类 .....	3
1.2.2 工程分类 .....	4
1.2.3 其他分类 .....	5
1.2.4 新类型 .....	6
1.3 黄土滑坡机理 .....	9
2 自然地理概况 .....	12
2.1 自然地理与社会经济发展概况 .....	12
2.1.1 自然地理与交通 .....	12
2.1.2 社会经济发展概况 .....	12
2.2 环境地质现状与地质灾害概况 .....	15
2.3 以往地质调查工作程度 .....	17
2.4 投入工作量及主要成果 .....	19
2.4.1 投入的工作量 .....	19
2.4.2 取得的主要成果 .....	21
3 地质环境条件 .....	23
3.1 地形地貌 .....	23
3.1.1 地形 .....	23
3.1.2 地貌 .....	25
3.2 气候水文 .....	30
3.2.1 气候 .....	30
3.2.2 水文特征 .....	33
3.3 地层岩性 .....	35
3.4 地质构造 .....	38

3.4.1	构造格局与岩层节理	38
3.4.2	新构造运动与地震	40
3.5	岩土体类型及特征	41
3.5.1	软硬相间层状碎屑岩	41
3.5.2	密实红黏土	42
3.5.3	风积黄土	43
3.5.4	冲洪积砂卵石土	44
3.6	水文地质	45
3.7	植被生态	46
3.8	人类工程活动	47
3.8.1	农林牧业活动	47
3.8.2	城镇与农村建设	47
3.8.3	公路与水利等基础设施建设	48
3.8.4	矿产资源开发	49
4	地质灾害发育类型及其特征	50
4.1	地质灾害类型	51
4.1.1	滑坡	52
4.1.2	崩塌	53
4.1.3	不稳定斜坡	54
4.1.4	泥石流	54
4.2	地质灾害发育特征	54
4.2.1	滑坡发育特征	55
4.2.2	崩塌发育特征	72
4.2.3	不稳定斜坡发育特征	80
4.2.4	泥石流发育特征	85
4.3	地质灾害稳定性与危害性	86
4.3.1	地质灾害稳定性分析	86
4.3.2	地质灾害危害性评估	93
4.4	地质灾害分布规律	104
5	地质灾害形成机理	111
5.1	地形地貌与地质灾害	111
5.1.1	宏观地形地貌与地质灾害的关系	111
5.1.2	微观地形地貌与地质灾害的关系	111

5.1.3	河流与沟谷发育期	120
5.2	地层及岩土体结构与地质灾害	123
5.2.1	容易发生灾害的地层	123
5.2.2	岩土体结构	123
5.3	水与地质灾害	125
5.3.1	大气降水	125
5.3.2	地表水	125
5.3.3	地下水	126
5.4	植被与地质灾害	127
5.5	人类工程活动与地质灾害	128
5.5.1	人类活动对植被的影响	128
5.5.2	斩坡建窑	128
5.5.3	修路筑坝	129
5.5.4	油场建设与采矿	129
5.6	典型地质灾害机理分析	129
5.6.1	典型滑坡	130
5.6.2	典型崩塌	142
5.6.3	典型不稳定斜坡	144
5.6.4	典型泥石流	147
6	地质灾害区划与分区评价	149
6.1	滑坡、崩塌易发区划分及分区评价	149
6.1.1	滑坡、崩塌高易发区(Ⅰ)	155
6.1.2	滑坡、崩塌中易发区(Ⅱ)	156
6.1.3	滑坡、崩塌低易发区(Ⅲ)	158
6.2	地质灾害危险区划分与评价	159
6.2.1	地质灾害危险区划分	160
6.2.2	地质灾害危险区分区评价	164
6.2.3	乡镇地质灾害危险区划分与评价	167
7	地质灾害防治对策	171
7.1	地质灾害防治措施	171
7.1.1	地质灾害防治原则	171
7.1.2	地质灾害防治措施	172
7.2	应急搬迁避让新址	175



---

7.2.1 应急搬迁避让新址工程地质区划 .....	177
7.2.2 重要灾害点应急搬迁避让新址建议 .....	179
7.3 地质灾害气象预警区划 .....	183
7.3.1 临界降雨量确定 .....	184
7.3.2 地质灾害气象预警级别 .....	186
7.3.3 地质灾害气象预警 .....	186
7.4 地质灾害防灾预案及防治规划 .....	189
7.4.1 地质灾害防灾预案建议 .....	189
7.4.2 地质灾害防治规划建议 .....	189
<b>8 结论与展望 .....</b>	<b>201</b>
8.1 结论 .....	201
8.2 展望 .....	202
<b>参考文献 .....</b>	<b>204</b>

# 1 绪 论

## 1.1 黄土滑坡研究现状

黄土是一种具有特殊物质成分、形态和性质的多孔隙弱胶结的松散沉积物，第四纪以来广泛分布在世界上许多国家和地区。我国黄土覆盖面积广阔，约为  $63.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，主要分布于陇中东、陕北、蒙西南、晋、豫西北以及鲁西等地。黄土集中分布的陕西、甘肃、山西以及宁夏等省区，被称为“中央黄土高原”。黄土往往假整合覆盖于阶地以及新近系、白垩系、侏罗系等老地层的风化剥蚀夷平面上，形成蔚为壮观的黄土高原地貌景观。第四纪以来，黄土高原随地壳运动间歇性上升的同时，黄土也在不断沉积加厚；另一方面，黄土高原被各级河流不断侵蚀、下切河谷和冲沟，黄土“悬覆”于基岩之上。“此消彼长”的作用在河谷和沟谷两岸形成绵延不断的黄土斜坡，由于这种作用依然持续，那些遭受强烈自然营力作用的斜坡仅维持在临界平衡状态。近年来，伴随着人类经济与工程活动的加剧，黄土滑坡灾害发生频率呈现增加的趋势，对人民群众的生命和财产安全构成严重的威胁，甚至造成重大群死群伤灾难。

大量调查和分析表明，黄土滑坡具有以下一些共同特征：

- (1) 多数滑坡滑动速度快，瞬间启动、高速滑动，迅速达到新的“暂稳”状态。
- (2) 大型滑坡多数滑面埋深超过 20m，甚至切穿整个黄土层，使得古夷平面上的黄土层全部滑动、搬运至坡脚。
- (3) 滑动带受新近系红色黏土（或古土壤）控制，黄土与红土（或砂岩）界面构成主滑面。
- (4) 滑坡后缘拉裂，多形成陡坎；滑坡产生显著的滑动前兆（如地面变形、地面裂缝发生和发展），这些前兆与滑坡体内部大变形有关。
- (5) 受水影响大，往往发生于强降雨期间（包括短时间大雨、暴雨等强降雨和连续多日长时间的中雨、小雨等淋雨），还有一部分滑坡与冻融有关（即地下水位升高）。
- (6) 部分滑坡转化为泥石流，在更大范围内形成灾害。
- (7) 往往与工程开挖、农业灌溉、削坡建房等人类活动有关。

黄土滑坡的实质是黄土剪切破坏，因此，黄土剪切特征是国内外广泛研究的

重点。早期剪切试验是以黏土为研究对象 (Hvorslev, 1960; 今井秀喜等, 1963; Skepton, 1966) 的。近年来, 许多学者进行了非饱和黄土和饱和黄土的剪切试验, 对黄土滑坡剪切带的形成机制、临界条件以及剪切带物性变化等开展了大量的研究工作。非饱和黄土研究主要集中在传统的三轴和直剪测试以及少量非饱和三轴和极少的环形剪切试验研究, 重点关注了含水量对剪切行为的影响; 在饱和黄土研究中, 使用三轴和大型环形剪切装置系统研究了动态循环加载条件下黄土的液化行为, 静态加载的饱和黄土的剪切行为主要集中在三轴试验上。

宋克强等以关中地区黄土滑坡为原型制作了 1:150 比例尺的模型, 分别模拟均质土滑坡和有软弱带的滑坡, 证实了边坡变陡时坡顶拉应力增大、坡脚剪应力增大。卢全中等对大尺寸裂隙性黄土进行了直剪试验, 结果显示在不同正应力作用下的剪应力-剪切位移曲线具有弱硬化型特点, 裂隙张开、闭合程度对抗剪强度有直接影响。张照亮等对注浆黄土进行原位剪切试验, 结果显示注浆可以较大幅度地提高土体的抗剪强度。陈志敏等通过分别考虑新老土层结合面及圆弧滑面含水量、液性指数、塑性指数等, 提出黄土滑坡最不利滑面综合分析方法。周永习等对原状黄土的大量不排水剪切试验结果表明, 饱和黄土表现出了两种不同的典型剪切特性: 稳态特性和准稳态特性。王松鹤、骆亚生对杨凌黄土进行三轴剪切蠕变试验, 建立了适合杨凌地区黄土的经验蠕变模型。张帆宇通过非饱和黄土的排水环形剪切试验、饱和黄土的不排水环形剪切试验, 解释了非饱和黄土斜坡的演化机制和没有触发条件下的自发式失稳, 以及黄土液化高速长距离移动和灌溉诱发的黄土滑坡季节性复活机理。张茂花等通过增湿剪切试验表明黄土的极限强度是围压和初始含水量的二元函数; 党进谦、李靖等通过直剪实验成果提出非饱和黄土抗剪强度公式; 李如梦通过三轴不固结不排水剪切试验, 探讨含水量对兰州黄土剪切强度特性的影响, 提出了黏聚力、内摩擦角与含水量的关系表达式。龙建辉从蠕变角度解释黄土滑坡滑带土的物理特性; 袁晓蕾则从统计角度解释黄土滑坡的滑带土强度试验参数的取值方法; 潘春雷测试了黄土滑坡滑带土的物理特性、强度特性、蠕变特性; 扈胜霞测试了非饱和黄土的直剪强度, 探讨了吸力与黄土强度的关系。李瑞娥从宏观变形破坏特征、微观结构特征系统论述了黄土滑坡滑带土的变形破坏模式。雷胜友、唐文栋等利用 CT 扫描分析原状黄土损伤破坏过程。邵生俊、李宏儒、胡再强等对黄土进行真三轴试验, 研究黄土的剪切破坏过程。崔向美等研究了黄土在动扭剪条件下的力学特性, 分析了动荷作用下黄土动本构关系、动模量、动强度等。吴志刚、蔡东艳研究了黄土的结构特性与剪切之间的关系。焦黎杰、沈珠江、胡再强等引入破损力学开展实验, 研究黄土剪切破坏结构演化机理, 建立黄土二元剪切本构模型。房江锋通过人工切割黄土模拟节理, 探讨了黄土节理的抗剪强度, 揭示出黄土节理表面形态对抗剪强度参数  $c$ 、 $\phi$  值的影响规律, 黄土节理的摩擦角随含水量的增加呈二次曲线变化。

以上研究从不同角度探讨了黄土的剪切特性, 显示出黄土的抗剪强度与围压、含水量、结构性等有关, 其中初始含水量及其在剪切过程的变化是被关注的重点, 黄土中广泛发育的节理裂隙和非饱和性也是黄土剪切中的两个关键问题, 尚待进一步的研究。

## 1.2 黄土滑坡一般分类

黄土滑坡是黄土地区最为常见的地质灾害, 不仅产生于特定环境, 而且具有其特定的发生、发展、演化乃至消亡的动态过程和规律; 更因其具有频发性、广布性、复杂性、灾难性而威胁人民生命财产和水电、交通等工农业设施安全, 成为黄土地区一种典型的、至今仍不能有效根治的灾害现象。对黄土滑坡进行合理的分析分类是认识、分析、研究滑坡机理过程的重要手段, 因此有必要梳理一下黄土滑坡的类型。

### 1.2.1 基本分类

吴玮江、王念秦按黄土高原地区物质组成将黄土滑坡分为广义黄土滑坡和狭义黄土滑坡。狭义黄土滑坡是由纯黄土组成的。广义黄土滑坡是指发生在黄土地区的主要由黄土或黄土和下伏中、新生界红黏土岩组组成的滑坡。根据滑坡体物质组成及滑面的发育位置, 将其进一步划分为黄土层内滑坡、黄土接触面滑坡、黄土-红黏土顺层滑坡和黄土-红黏土切层滑坡 4 种基本类型, 各种类型黄土滑坡的基本特征见表 1.1。黄土滑坡基本分类示意图如图 1.1 所示。

表 1.1 黄土滑坡基本分类及特征

滑坡类型		滑动面位置	基本特征	变形破坏的地质力学模式
狭义黄土滑坡	黄土层内滑坡	主滑面发育在相对均匀的黄土层内, 沿古土壤层面滑动	滑体基本全由不同时代黄土及黄土状组成。滑动面近似圆弧形, 光滑, 后部受垂直节理控制, 较陡直。多具崩滑特征	多为滑移-拉裂型
	黄土接触面滑坡	主滑面位于含水量高或饱水的黄土-红黏土接触面处	滑体主要由马兰黄土组成, 常带动少量红黏土顶部强风化层, 滑动面较平直, 倾角多在 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。剪出口常见黄色和红色混杂土	滑移-拉裂型或塑流-拉裂型
广义黄土滑坡	黄土-红黏土顺层滑坡	主滑面沿倾向向坡外的岩层中软弱层面及夹层发育, 上部黄土中滑面为拉裂面	滑体主要由离石黄土和中、新生界岩层组成。主滑面平直, 受岩层产状控制, 倾角一般为 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$	滑移压致拉裂型或滑移-拉裂型

续表 1.1

滑坡类型		滑动面位置	基本特征	变形破坏的地质力学模式
广义黄土滑坡	黄土-红黏土切层滑坡	主滑面斜切岩层, 在斜坡自重作用下沿节理、裂隙等结构面发育	滑体主要由黄土和中、新生界岩层组成。主滑面后部较陡, 易形成大型滑坡	滑移-拉裂-剪断型

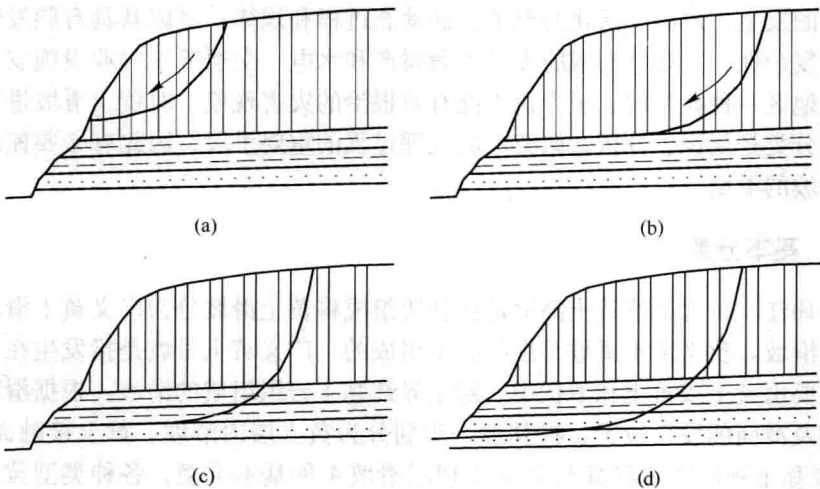


图 1.1 黄土滑坡基本分类示意图

(a) 黄土层内滑坡; (b) 黄土接触面滑坡; (c) 黄土顺层滑坡; (d) 黄土切层滑坡

### 1.2.2 工程分类

工程中常将黄土滑坡分成以下几种类型:

(1) 黄土滑坡按滑体厚度分为: 浅层滑坡 (厚度在 10m 以内)、中层滑坡 (厚度在 10~25m 之间)、深层滑坡 (厚度在 25~50m 之间) 和超深层滑坡 (厚度超过 50m)。

(2) 黄土滑坡按运动形式分为: 推移式滑坡和牵引式滑坡。推移式滑坡上部岩层滑动, 挤压下部产生变形, 滑动速度较快, 滑体表面波状起伏, 多见于有堆积物分布的斜坡地段。牵引式滑坡下部先滑, 使上部失去支撑而变形滑动, 一般速度较慢, 多具上小下大的塔式外貌, 横向张性裂隙发育, 表面多呈阶梯状或陡坎状。

(3) 黄土滑坡按产生原因分为: 自然滑坡和工程滑坡。自然滑坡是由于自然地质作用产生的滑坡, 按其发生的相对时代可分为古滑坡、老滑坡、新滑坡。工程滑坡是由于施工或加载等人类工程活动引起滑坡, 还可细分为工程新滑坡

(由于开挖坡体或建筑物加载所形成的滑坡)和工程复活古滑坡(原已存在的滑坡,由于工程扰动引起复活的滑坡)。

(4) 黄土滑坡按稳定程度分为:活动滑坡和不活动滑坡。活动滑坡是指滑坡发生后仍继续活动的滑坡,其后壁及两侧有新鲜擦痕,滑体内有开裂、鼓起或前缘有挤出等变形迹象。不活动滑坡是指滑坡发生后已停止发展,一般情况下不可能重新活动,坡体上植被较茂盛,常有建筑物,俗称死滑坡。

(5) 黄土滑坡按发生年代分为:新滑坡、老滑坡和古滑坡。新滑坡是指现今正在发生滑动的滑坡。老滑坡是指全新世以来发生的、现今整体基本稳定的滑坡。古滑坡是指全新世以前发生滑动的、现今整体稳定的滑坡。

(6) 黄土滑坡按滑体体积分为:小型滑坡(体积方量小于 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ )、中型滑坡(体积方量为 $10 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4 \text{m}^3$ )、大型滑坡(体积方量为 $100 \times 10^4 \sim 1000 \times 10^4 \text{m}^3$ )和特大型滑坡(体积方量为 $1000 \times 10^4 \sim 10000 \times 10^4 \text{m}^3$ ),体积方量大于 $10000 \times 10^4 \text{m}^3$ 则称为巨型滑坡。

(7) 黄土滑坡按人类活动营力因素分为:水利灌溉工程引起的黄土滑坡、工程开挖卸载造成的黄土滑坡、工程堆载引起的黄土滑坡和地下采矿活动引起的黄土滑坡。

(8) 黄土滑坡按所在位置分为:黄土塬边滑坡、黄土梁侧滑坡、黄土梁端滑坡、黄土崩坡滑坡以及黄土阶地滑坡。

(9) 黄土滑坡按诱发因素分为:1)水软型黄土滑坡,包括降雨型黄土滑坡、灌溉型黄土滑坡、冻融型黄土滑坡、库岸型黄土滑坡;2)工程型黄土滑坡,包括堆载型黄土滑坡、削坡型黄土滑坡、采空型黄土滑坡、地下工程型黄土滑坡、振动型黄土滑坡和其他工程型黄土滑坡;3)地震型黄土滑坡。

### 1.2.3 其他分类

黄土滑坡是黄土地区经常性发生的一种表生地质灾害,从各自的研究目的出发,不同的学者对黄土滑坡的分类各不相同。

(1) 中国铁道科学研究院西北分院根据滑体物质组成和厚度将黄土滑坡分为:1)洪积老黄土滑坡;2)洪积、风积黄土滑坡;3)风积、坡积黄土滑坡;4)极深层黄土滑坡、中层黄土滑坡和浅层黄土滑坡。

(2) 乔平定也从不同角度对黄土滑坡进行了分类:1)按滑体厚度分为:巨厚层滑坡( $H > 50\text{m}$ )、厚层滑坡( $H = 20 \sim 50\text{m}$ )、中层滑坡( $H = 6 \sim 20\text{m}$ )和浅层滑坡( $H < 6\text{m}$ );2)按滑坡产生时代分为古滑坡、老滑坡、新滑坡和新生滑坡;3)按力源分为:推动式滑坡和牵引式滑坡;4)按剪出口与坡脚的关系分为坡基滑坡和坡体滑坡;5)按诱发因素可分为自然因素滑坡和人为因素滑坡。

(3) 王成华等从水与融冻角度提出如下分类:1)崩塌推移型,包括暴雨崩

塌推移型、融冻崩塌推移型、溶蚀潜蚀崩塌推移型和地震崩塌推移型；2) 错落转动型，包括暴雨错落转动型、融冻错落转动型和潜蚀错落转动型；3) 蠕动平移型，包括融冻蠕动平移型和溶、潜蚀蠕动平移型。

(4) 雷祥义按照人类触发黄土滑坡的工程经济活动的性质及作用的地貌部位，将黄土高原人为黄土滑坡划分为5种类型：1) 灌溉型黄土滑坡（塬面）；2) 挖空型黄土滑坡（坡脚）；3) 毁林毁草型黄土滑坡（坡面）；4) 加荷型黄土滑坡（坡顶）；5) 采空型黄土滑坡（坡底）。

(5) 李同录等建立了黄土滑坡的运动学类型：1) 错落式滑坡：多发生在被厚层黄土覆盖的高阶地上，斜坡坡脚处的基岩在河流的侵蚀侧出露地表；2) 高速远程滑坡：常发生在有开阔临空面的高陡黄土塬边，为纯黄土滑坡，往往具有很高的滑速和很远的滑距，坡顶灌溉或降水是滑坡发生的主要诱发因素；3) 低速缓动滑坡：黄土与红黏土或砂岩接触类滑坡，坡体前部以水平位移为主，以地表隆起、挤压为主要变形形式，滑体后部以垂直位移为主，常产生拉裂、陷落等变形，形成一系列弧形拉裂缝；4) 滑坡泥流：滑坡滑动后迅速转化为泥流。

#### 1.2.4 新类型

典型的滑坡由三部分组成，即滑动体、滑动面（带）和滑床。通常黄土滑坡的滑动体主要由黄土组成，其滑动带可能是：

(1) 黄土中黏粒含量高的土层。

(2) 黄土与滑床风化物的混杂体。

(3) 某种岩层中的软弱夹层。

近年来对黄土的深入研究，揭示出陕北黄土高原较大范围内地层缺失下更新统午城黄土（ $Q_{p1}$ ），张宗桔（1983）在研究中国黄土地层时描述了吴起县白豹镇土佛寺地区的一个剖面：自赤顶至沟谷底部连续出露第四纪及新近纪地层，剖面上部为第四系黄土堆积。之后，张宗桔等（1989）又进一步提出，白于山南部的吴起地区在新近纪末至第四纪中期存在一个面积约200km<sup>2</sup>的大型古湖盆（“吴起盆地”），其中沉积了厚达百米的湖相沉积物，含有早更新世的动物化石。值得注意的是，文中还指出，白于山南北两侧第四纪以来的古环境完全不同；北侧的盆地基底由新生代之前的地层构成，古盆地内的河湖相堆积主要是晚更新世萨拉乌苏的地层，其下往往不见新近纪地层而直接覆盖于白垩纪砂岩之上，吴起盆地中的这一套第四纪早期湖相沉积物在白于山以北并未发现；而在南侧构成古地形面的主要是晚新近纪地层，新近纪红黏土及河湖相沉积是主要地层，其下大部分为湖相堆积。

朱照宇、丁仲礼指出上新世时期，黄土高原区具有准平原化过程中分散的辐聚状水系格局，以内陆河湖为主；至更新世早期，之前的大型湖盆此时已急剧收

缩, 仅在陇西、陕北地区分布有几十个孤立的小型湖盆, 水系格局仍以零星分散的内流河为主; 从沉积角度来看, 黄土地层与河湖相地层是同期异相的两套相互关联的沉积系列, 只是由于所处的地貌位置不同才显示出不同的接触关系。

孙蓓、岳乐平等利用岩石磁学及古地磁年代学方法并结合多种气候指标对代表“吴起古湖”的土佛寺剖面(见图 1.2)进行了初步研究, 结果表明湖相沉积物中特征剩磁的载体主要为磁铁矿和赤铁矿, 由此推断“吴起古湖”的演化大致经历了以下三个阶段:

(1) 古湖形成时期: 时间为 3.0 ~ 2.5 Ma B. P. (此时正是新近纪末第四纪初过渡期), 水体相对较深。

(2) 古湖消退时期: 时间为 2.50 ~ 2.05 Ma B. P. (此时正是下更新统午城黄土形成期), 受古气候变化的影响湖水明显变浅。

(3) 古湖消亡时期: 时间为 2.05 ~ 1.20 Ma B. P., 古湖中仍有一定的水体存在, 但随后逐步缩小并最终消亡。该地区气候条件在 1.2 Ma B. P. 左右的恶化是导致吴起古湖消亡的主要因素, 区域构造活动引起的北洛河溯源侵蚀并切穿湖盆可能也是原因之一。

以上说明全新世早期在吴起小区域内存在湖相沉积层。该层上部为灰白色、灰绿色泥质-粉砂质沉积物, 混有棕红、棕黄色黄土质沉积物; 下部为棕黄、浅棕红色黏土、粉土质沉积物, 含白色钙质颗粒; 该层以粉质黏土为主。作者在吴起县薛岔川中发现出露有厚层状砂砾石层, 并取得湖相沉积的粉质黏土(见图 1.2)。根据在吴起县的地质灾害调查, 可以划分新的黄土滑坡类型, 即沿着湖相沉积层接触面滑动来划分。

黄土滑坡受地层结构影响显著, 地层既是构成斜坡的基础, 也是控制滑坡发育的重要基础, 同时又是揭示滑坡滑动机理的介质, 故而从滑动地层角度划分滑坡可以对比说明滑动前后的变化。这种分类方案有利于黄土地区滑坡规律的认识和灾害防治, 反映了黄土滑坡的主控因素, 各类滑坡活动特征明确。根据上述最新分析, 将黄土滑坡分为以下几种类型:

(1) 黄土层内滑坡。发生在黄土内部, 常见于厚度较大的黄土塬边、黄土梁侧, 沿黄土层面(古土壤层面)顺层滑动或错动黄土层(古土壤层)

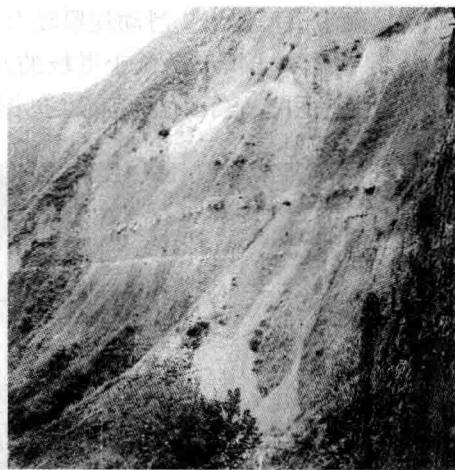


图 1.2 吴起县白豹镇土佛寺剖面(孙蓓, 2010)



切层滑动；当临空面陡直时滑坡伴随崩塌一起发生，属纯黄土滑坡，可划归为均质土滑坡。顺层滑坡常发生在斜坡中上部，滑出后坠落于坡脚附近，规模不大；切层滑坡常错断部分乃至全部离石黄土层，伴随崩塌，规模较大。滑动面近似圆弧形，光滑，后部受垂直节理控制，较陡直。

(2) 黄土-红黏土滑坡。黄土与红黏土接触面为主要滑面段，中上部滑面依然在黄土内，属错断黄土层。主滑面由黄土-红黏土接触带浸水泡软的泥化层组成。滑动面埋藏较深，滑坡规模较大。多数情况下滑坡沿红黏土面顺层滑动，少数错动红黏土层切层滑动。滑坡前缘（滑坡舌）可见黄色土体与红色土体的混杂现象。

(3) 黄土-砂卵石层滑坡。当地下水位很浅，阶地砂卵石层含水量很高甚至饱和的情况下，阶地上马兰黄土（含类黄土）与砂卵石层接触面为滑动面。滑坡规模一般不大，但滑距较大并具有多级滑动特征。不合理开采阶地砾石和沙料使高阶地卵石层在河谷两岸一些地区有所出露，导致上覆坡体悬空，形成高陡的临空面。另外，阶地上降水、生活用水及灌溉水长期渗入水敏性和湿陷性极强的黄土中，严重破坏了天然斜坡的稳定性，这些都是导致阶地滑坡发生的主要因素。最为典型的黄土阶地滑坡为甘肃永靖黑方台和陕西泾阳南塬滑坡。

(4) 红黏土-砂岩滑坡。滑坡切穿红黏土层，由风化砂岩面剪出，滑面埋深大、滑坡规模大。当滑面中近水平段较长时表现为蠕变滑动为主，局部坍塌、垮塌；当滑面中近垂直段较长、近水平段较短时表现为剧动高速滑坡。

(5) 黄土-粉质黏土滑坡。由于沉积原因，黄土披覆在湖相沉积层上（以粉质黏土为主，局部发育砂卵石层），黄土携裹部分湖相沉积物一起滑动，于湖相沉积层接触带滑动剪出，滑动规模较大。

黄土-粉质黏土滑坡是黄土滑坡的新类型。湖相沉积的粉质黏土，夹在离石黄土和红土中间，呈条带状展布（见图 1.3），是红土上一层新的滞水层，增湿

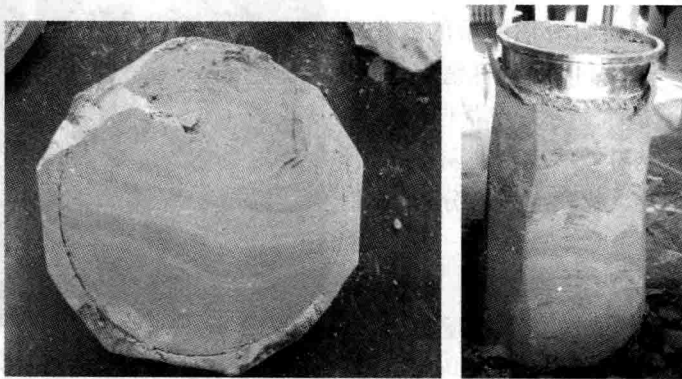


图 1.3 试样中的粉质黏土（湖相沉积，吴起）