

黄土滑坡滑带土的物理特性研究

龙建辉¹, 李同录¹, 雷晓锋², 杨社强³

(1. 长安大学地质工程系, 陕西 西安 710054; 2. 西安公路研究所, 陕西 西安 710064; 3. 山西省第六地质工程勘察院, 山西 运城 044004)

摘要: 以陕西泾阳县泾河沿岸 4 个典型黄土滑坡为研究对象, 通过现场勘察和采样试验, 探寻滑带土的物理特性和结构特征差异, 以期在实践中为确定滑动面位置提供可靠依据。研究结果显示: 黄土滑坡滑带土的主要物理性质指标、电阻率特性、细观结构特征、微观结构特征与滑坡体及滑床有显著差异, 在实践中可作为鉴别滑动面的标志; 而滑带土的矿物、化学成分没有明显的差异变化。

关键词: 黄土滑坡; 滑带土; 电阻率; 物理特性

中图分类号: X705; TU411

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2007)02-0289-05

作者简介: 龙建辉(1972-), 男, 湖南沅江人, 博士研究生, 主要从事岩土工程滑坡勘察、监测与预测预报方面的研究及生产工作。E-mail: longjianhui@163.com。

Study on physical properties of soil in sliding zone of loess landslide

LONG Jian-hui¹, LI Tong-lu¹, LEI Xiao-feng², YANG She-qiang³

(1. Department of Geological Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Xi'an Highway Institute, Xi'an 710064, China;

3. Shanxi No. 6 Institute of Geo-engineering Investigation, Yuncheng 044004, China)

Abstract: How to distinguish the sliding zone from a loess landslide relied on the technician's experience in-site. 4 typical loess landslides located in Jingyang County along Jinghe River, named Dongfeng landslide, Shutangwang landslide, Xiuchidu landslide and Taiping landslide were studied through in-situ measurement and sample tests to identify the sliding zone. It was shown that the physical property, electric resistivity and microstructure of soil in the slide area were different from those in the slope, and could be used to determine the slip zone, while the mineral ingredient and chemical composition could not be used generally to identify the slip zone.

Key words: loess landslide; soil of sliding zone; electric resistivity; physical property

0 引言

滑动带(或滑动面)的确定是滑坡勘察、评价和治理设计的关键环节。但实践中对于滑动面的鉴别和判定缺乏统一的标准和具体指标,具有一定的随意性,目前多由现场技术人员凭自己的经验来判别。特别对于黄土滑坡,现在的勘察技术手段(主要是指钻探手段)不能准确确定其滑动面位置。虽然通过探井、探槽或探坑可以揭露滑动带,进行现场辨认,但也只限于在滑坡周界布置,很难揭露到主滑面。针对这一现状,为了能够准确判定滑动带位置,探寻有效的滑动面鉴别标志,我们对黄土滑坡滑带土的物理特性进行了研究。

研究对象位于陕西泾阳县城南泾河沿岸,为 4 个新近滑动的黄土滑坡——东风滑坡、舒唐王滑坡、修池渡滑坡及太平滑坡。它们均具有典型黄土滑坡的形态特征:规模大,滑距远,滑面陡,后壁高,且滑带土定性特征不明显。

1 宏观细观特征

滑坡滑动之前均会表现出明显的宏观运动迹象。对于黄土滑坡其典型的宏、细观特征有如下几个方面。

(1) 后缘拉裂与侧缘错裂

黄土滑坡因垂直节理发育,滑坡后缘的节理面或软弱的结构带常是储水构造或因重力影响出现张拉变形,表现为滑坡后缘发育有落水洞或出现拉裂现象,它是滑动面发育的外在表现。

(2) 积水冒水

滑带一般为隔水层,当水遇到止水土层时,就积聚并顺某一土层面向下渗,在坡脚处多形成泉水或有水冒出。地下水出露处,滑动面埋深不大,所以发现坡脚积水或冒水是寻找滑动面位置的一个重要信息。

(3) 滑动面有擦痕

收稿日期: 2005-11-29

通过对滑坡探井、探槽揭露观察,滑动面处可见明显的指向滑动方向的擦痕,还多见光滑凹面且上窄下宽指向滑动方向,并且滑带土多呈饼、片状,而其他部位无此现象,这是因滑面承受上部土体的摩擦挤压所制,故滑动面的细观标志充分反映出滑坡运动发展在某个滑面的外在特征。

(4) 物质分异现象

首先表现在物质成分的差异上,如物质颗粒粗细,孔隙大小均有不同;其次为土的颜色不同。这是因为滑带土层多为隔水层,含水率较高,土的颜色较深,多为暗褐色、棕红色、褐红色等。

2 微观特征

黄土滑坡的滑动面主要反映在滑带土土体结构的改变,因而滑动面的鉴别还要看黄土的原生结构是否发生变化,这就需要研究滑带土的微观结构变化特征。我们对黄土滑坡滑带土现场直接取原状样,利用扫描电镜观察其微观结构。

为了使所取土样能客观表征滑动面特征,我们按图1模型^[1]采取滑带土样。再根据滑动面与扫描表面相互关系,分3种情况制样:①横切滑动面制样,编号为XX-1;②顺切滑动面制样,编号为XX-2;③纵切滑动面制样,编号为XX-3。

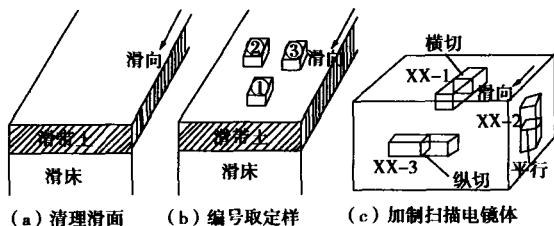


图1 滑带土取样模型图

Fig. 1 Model of soil sampling in slip zone

每个滑坡按顺滑坡方向、侧面垂直滑坡方向和断面垂直滑坡方向各取一组试样,并对每组土样按50、100、200、500、800、1000倍率进行电镜扫描观察。

结果显示:对于黄土滑坡,顺切和纵切滑向(编号为XX-2和XX-3的样品)在低倍率下显鳞片状擦痕(图2(b)),高倍率下微观结构有明显的定向性(图2(e)、2(f));横切滑向断口明显(图2(d)),同等倍率下与原状土对比,有明显挤、压密现象(图2(a)、(d)).图2选取的是太平滑坡中一组不同倍率下的扫描电镜成果,照片显示了黄土滑带土在上覆重力下滑移运动后其微观结构的变化特征。

3 物理指标差异

滑带的具体位置首先反映在滑带土物性指标的差异上,为了定量说明滑带土的物性指标变化,我们在探槽中以滑带为中心,依滑体、滑床两侧每10 cm等距离对称采取土试样,滑带土取1件,滑体和滑床各取5件,共计11件,对其进行了物性指标的测定和计算。其结果如表1。

滑带土多为隔水层,故滑带土层含水率较高,试验结果很好的反映了这一事实,因此,通过探槽中各土层含水率的变化特征,找出含水率高的土层埋藏情况,就为准确找出滑动面提供了理论依据。塑限指标整体上在滑带出现低值,但也有偏高值出现,这与滑带土的土性有关。滑带土中塑性指数均出现明显的峰值,特别是舒唐王滑坡中,其相邻差异变化达158%以上,足见塑性指数可作为确定滑动面的重要物理指标。液限与含水率具相似规律,在滑带中出现峰值。不同的是,液限在滑体和滑床中比较平稳,数值变化不大,而在滑带中发生明显增高变化。滑带土中的液性指数均要明显的比滑床土中的值要高,可以作为区分滑带与滑床的参考标志。由于挤压摩擦作用,滑带土土颗粒往往具有较之滑体和滑床土更细的粒径和磨圆度。东风滑坡无此规律是因为其滑床土为粒径很细的黏质黄土。图3为各实验指标对应的曲线。

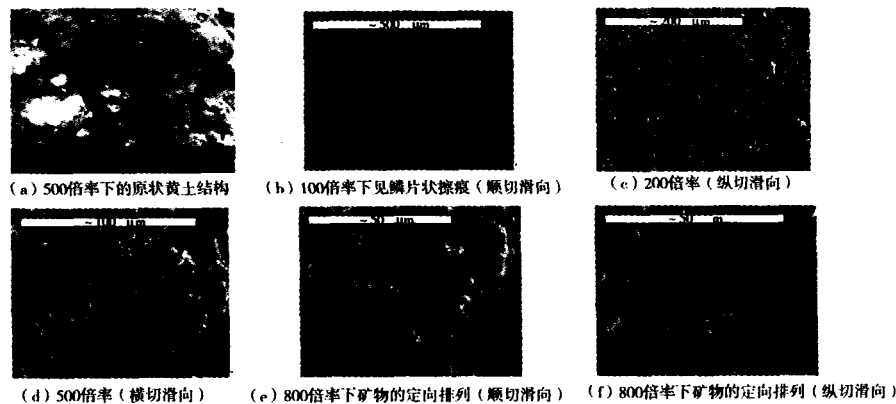


图2 不同倍率下的扫描电镜成果对比图

Fig. 2 Comparison between electron micrographs of the undisturbed soil and the soil in slip zone

表 1 不同取样位置土的物理性质指标

Table 1 Physical properties of soil samples from different sites

实验指标	取样地点	实验参数											
		滑体←滑带→滑床											
		东风	舒唐王	修池渡	太平	东风	舒唐王	修池渡	太平	东风	舒唐王	修池渡	太平
天然含水率 w_0	东风	19.24	21.23	22.65	23.36	22.70	25.34	23.66	22.84	23.33	23.11	23.12	
	舒唐王	14.03	12.71	15.57	16.64	16.89	19.33	19.78	14.62	13.93	13.57	13.35	
	修池渡	19.16	16.92	18.64	18.41	19.69	22.41	18.89	18.68	17.89	17.32	17.80	
	太平	20.64	21.18	21.79	21.80	21.74	22.06	19.61	19.21	17.90	17.68	17.65	
塑限 w_p	东风	19.15	19.70	20.80	18.78	19.44	17.47	20.45	20.89	22.59	21.14	21.34	
	舒唐王	16.73	17.22	17.6	17.02	19.14	15.78	21.18	19.36	18.95	18.89	20.23	
	修池渡	16.86	16.83	16.73	17.62	16.13	18.80	16.24	16.41	16.83	17.82	16.84	
	太平	17.08	17.38	16.22	17.69	16.78	15.32	16.01	15.57	19.32	20.04	20.15	
塑性指数 I_p	东风	10.17	10.70	9.62	11.37	10.20	10.15	9.25	8.59	6.41	8.28	8.03	
	舒唐王	8.75	7.52	7.94	10.13	7.27	18.78	7.96	7.71	5.95	5.98	5.14	
	修池渡	7.09	5.60	9.26	7.42	8.81	11.20	8.44	10.36	9.65	8.29	8.95	
	太平	10.71	6.63	7.50	9.72	10.78	14.70	10.91	11.11	7.32	8.19	7.86	
液限 w_L	东风	29.32	30.4	30.42	30.15	29.64	27.62	29.7	29.48	29.11	29.42	29.37	
	舒唐王	25.48	24.72	25.54	27.15	26.41	34.56	29.14	27.07	24.90	24.88	25.37	
	修池渡	23.95	22.43	25.99	25.04	24.94	30.00	24.68	26.76	26.48	26.09	25.79	
	太平	27.79	23.98	23.72	27.41	27.56	30.02	26.92	26.68	26.64	28.23	28.01	
液性指数 I_L	东风	0.01	0.14	0.19	0.40	0.32	0.78	0.35	0.23	0.12	0.24	0.22	
	舒唐王	-0.31	-0.64	-0.26	-0.04	-0.31	0.19	-0.18	-0.61	-0.84	-0.89	-1.34	
	修池渡	0.32	0.02	0.21	0.11	0.40	0.32	0.31	0.22	0.11	-0.06	0.11	
	太平	0.33	0.58	0.74	0.42	0.46	0.46	0.33	0.33	-0.19	-0.29	-0.32	
颗粒粒径 d_{50}	东风	0.0210	0.0170	0.0165	0.0175	0.0155	0.0105	0.0100	0.0095	0.0095	0.0096	0.0096	
	舒唐王	0.0145	0.0144	0.0145	0.0140	0.0136	0.0097	0.0140	0.0141	0.014	0.0132	0.0140	
	修池渡	0.0145	0.0160	0.0160	0.0155	0.0140	0.0097	0.0150	0.0150	0.0150	0.0140	0.0160	
	太平	0.0170	0.0155	0.0165	0.0150	0.0150	0.0105	0.0135	0.0140	0.0135	0.0136	0.0155	

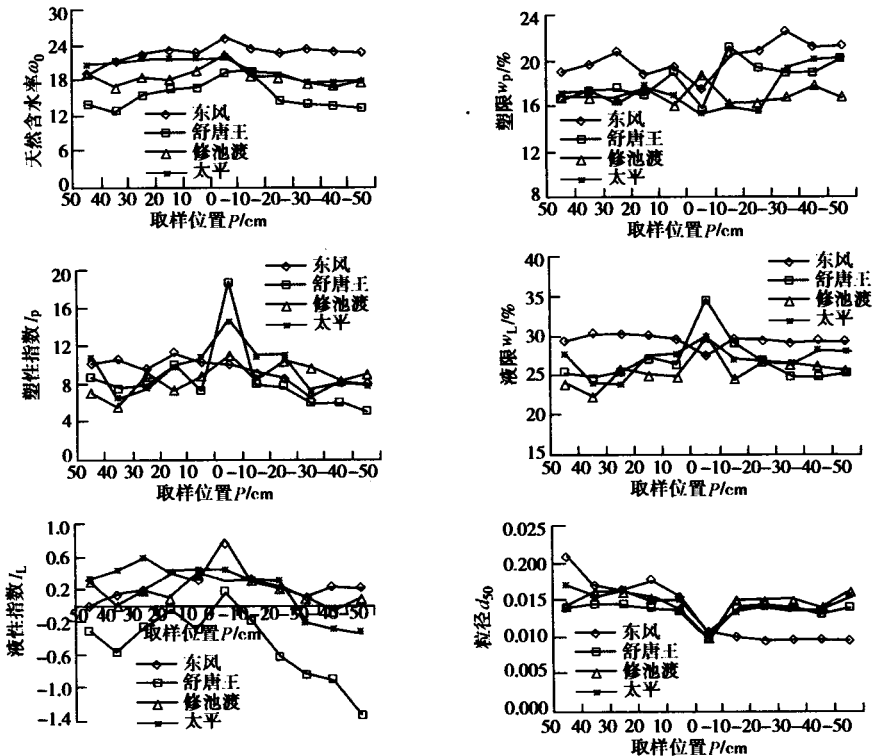


图 3 各物性指标与取样位置关系曲线

Fig. 3 Relationship between the physical properties of soil and their sampling sites

实验结果表明：无论对哪个滑坡，滑带土的物性指标都有异于滑体和滑床土的物性指标。总的实验结果是，对于滑带土，其天然含水率、液性指数、液限、塑性指数均比滑体要高；而粒径 d_{50} 和塑限均比滑体要低；因与滑床在物质组成或在滑动过程中的处于相对不运动状态等的原因，上述物性指标在滑床中具有与滑带土相似或与滑体一致的差异性。故滑带土物理性质差异的客观存在是确定滑动面的重要因素。

4 电阻率特性

土的电阻率与土的基本物理指标有着较好的相关性^[2]。因此，测试滑带土、滑床土与滑体土的电阻值，并进行电阻的差异对比，据此可以反映滑带土的物性差异，为我们准确确定滑动面提供依据。试验采用 WDJ-1 型多功能数字直流激电仪，其主要功能是它可以量测到探槽断面不同位置的电阻值。该仪器主要由数据采集仪、供电装置（电瓶）、4 根电极棒及输送电路等组成。4 根电极棒的布置点间距均为 10 cm，垂直测试对象（滑坡体）纵向排列，其中对称的两端电极作为输入电激，中间两电极作为测量电极，即每 4 个点为一组测试点，得到的数据为正中间 10 cm 土的电阻值。这样就能依次得到整个所测土的电阻值。另外，根据滑坡发生前所处环境的不同，为了确定不同介质对电阻的影响，实验中我们对所测土进行如下的处理：

①天然状态；②饱水状态；③饱和 NaCl 状态。

图 4 为对应的实验位置 $P-R(\Omega)$ 关系曲线。

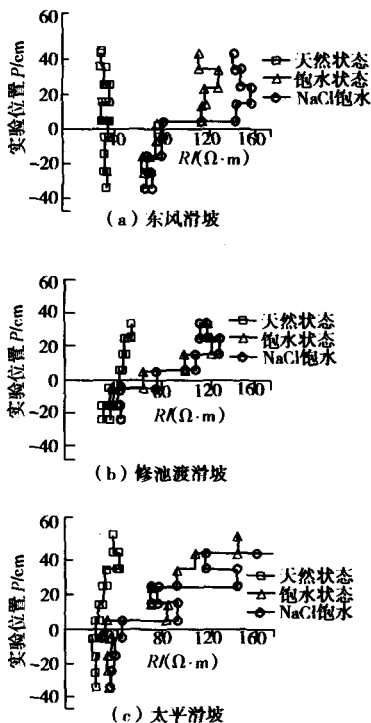


图 4 物探成果 $P-R(\Omega)$ 关系曲线
Fig. 4 Relationship between P and R

图中显示，在天然状态和饱水状态，电阻值在滑带附近均显著降低，但对加入介质 NaCl 饱和后测得土的电阻值无明显的差异性，是因为经 NaCl 饱和后大大改变了土的电阻传递特性，使所测对象电阻差异均衡；而水作为加入介质只降低了物体的电阻率，并不改变物体（黄土）的电阻特性，和天然状态具有一致的差异规律。

对于所测的 3 个滑坡中，天然状态和饱水状态滑带土与邻近的滑体土或滑床土的电阻差异达 54%~127%。其差异规律是组合的：即滑带土和滑体土与滑床土的差异性很明显，或者是滑带土和滑床土与滑体土的差异性很明显，这是因为电阻传递特性既与物质成分有关，也与物质的结构有关。一般情况下因滑体土经扰动后，其电阻值都要偏高，但总的规律是其差异处均在滑动面附近出现。由此可以认为：电阻率测试（电测井法）是黄土滑坡勘察中确认滑带土的一种可行的技术手段和方法。

5 矿物成分分析

组成“滑带土”的力学强度往往较低，内摩擦角较小，特别是浸水以后，强度明显降低。因此，研究滑带土的矿物种类和组合，对确定滑坡的变形强度和形成机制具有重要意义。我们利用 D/MAX-ra 对其中的 2 个滑坡的滑体土、滑带土和滑床土做了 X 射线粉晶衍射分析对矿物含量进行了半定量分析（结果见表 2）。

表 2 滑体、滑带和滑床土矿物成分分析

Table 2 Results of the mineral ingredients of the soil samples from sliding body, slip zone and slip bed

矿物成分	矿物含量 $w_B\%$					
	东风滑坡			舒唐王滑坡		
	滑体	滑带	滑床	滑体	滑带	滑床
伊利石	20	20	30	20	22	18
蒙脱石	5	8	5	7	5	5
绿泥石	16	15	15	12	18	14
高岭石	5			5		5
石英	25	25	28	25	28	25
微斜长石	3			3	5	4
钠长石	13	15	10	11	8	12
方解石	10	12	10	12	12	14
赤铁矿		2		3		
其他	3	3	2	2	2	3

有关研究文献^[3-6]表明：蒙脱石、蛭石和微生物（特别是丝状菌）是滑坡滑动的一个重要因素。X 射线衍射法虽不能直接观察黏土矿物的结构形态，但却能测定黏土矿物的取向排列特征，给出定向度的数量，其测定的结果具有统计的性质。黏土矿物的膨胀性在滑坡中起重要作用，在水的往返作用下，由于黏土矿物

的胀缩性,导致含黏土矿物的土体胀缩变形和抗剪强度的降低,又由于此种土的胀缩具可逆性和循环性,故不断地降低土的强度。当滑带土为黏性土并在结构上具有定向性时,更增加了其胀缩性能。由于黏土矿物的胀缩性及结构上的定向性,在水的往返作用下,会导致滑带土抗剪强度和结构强度的降低,当其不足以抵抗斜坡内部的剪应力时,就会形成滑坡。

从样品的化学成分分析结果来看,黄土有相对独立的物质成分,其矿物成分主要为伊利石、石英、绿泥石、钠长石及方解石等,蒙脱石等黏土矿物含量较少,所以因矿物浸水产生的胀缩作用很弱,故从矿物成分很难确定滑带土的特殊结构特征。但黄土的这种矿物组合利于垂直节理发育,从而易在土体内部形成裂隙,有些裂隙相互贯通,在土体内部会构成软弱结构面,水易随其下渗而造成滑坡。

6 结 论

滑坡灾害的不时发生和工程实践的发展需要,对勘察技术提出了更高的要求,本文通过对黄土滑坡滑带土的物理结构特性的研究,得出了适合黄土滑坡勘察的有益结论。研究结果显示:黄土滑坡滑带土的主要物理性质指标、电阻率特性、细观结构特征及微观结构特征差异明显,在实践中可作为鉴别滑动面的特征指标;而黄土滑带土的矿物化学成分没有明显的差异变化。

参考文献:

- [1] 陈关顺,沙德智.土质滑坡滑带土取样方法的新尝试[J].山地学报,2003,21(3):380. (CHEN Guan-shun, SHA De-zhi. Method attempt of sliding zone's sampling in soil landslide[J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21(3): 380. (in Chinese))
- [2] 刘国华,王振宇,黄建平.土的电阻率特性及其工程应用研究[J].岩土工程学报,2004,26(1):83-87. (LIU Guo-hua, WANG Zhen-yu, HUANG Jian-ping. Research on electrical resistivity feature of soil and it's application[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(1): 83-87. (in Chinese))
- [3] 许强,黄润秋,程谦恭,等.三峡库区泄滩滑坡滑带土特征研究[J].工程地质学报,2003,11(4):354-359. (XU Qiang, HUANG Run-qiu, CHENG Qian-gong, et al. Study on soil properties in sliding zone of xietan landslide on the Three-Gorge reservoir [J]. Journal of Engineering Geology, 2003, 11(4): 354-359. (in Chinese))
- [4] 严春杰,唐辉明,孙云志.利用扫描电镜和X射线衍射仪对滑坡滑带土的研究[J].地质科技情报,2001,20(4):89-92. (YAN Chun-jie, TANG Hui-ming, SUN Yun-zhi. Study on the soil of slipping zone in landslides and its significance by scanning electron microscope and X-ray diffractometer [J]. Geological Science and Technology Information, 2001, 20(4): 89-92. (in Chinese))
- [5] 王洪兴,唐辉明,陈聪.滑带土黏土矿物定向性的x射线衍射及其对滑坡的作用[J].水文地质工程地质,2004(增):79-81. (WANG Hong-xing, TANG Hui-ming, CHEN Cong. Study on X-ray diffraction for the orientability of clay minerals in sliding soil [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2004(S): 79-81. (in Chinese))
- [6] 王洪兴,唐辉明,晏同珍.小浪底库区庙上北滑坡滑带土黏土矿物定向性的X射线衍射研究及其对滑坡的作用[J].矿物岩石,2004,24(2):26-29. (WANG Hong-xing, TANG Hui-ming, YAN Tong-zhen. Study on X-ray diffraction for the orientability of clay minerals in sliding-soil in the miaoshangbei landslide, xiaolangdi reservoir area[J]. J Mineral Petrol, 2004, 24 (2): 26-29. (in Chinese))