

## 长江上游侵蚀、滑坡和泥石流典型区 土体特性及微形态学研究

何毓蓉, 廖超林

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 长江上游地区的侵蚀、滑坡和泥石流发生普遍而严重。选择典型区对侵蚀、滑坡和泥石流土体的微形态及与之紧密相关的土性进行比较研究, 有重要意义。在贡嘎山东坡、川中丘陵盐亭、三峡库区云阳、云南东川蒋家沟分别采集代表性侵蚀、滑坡和泥石流土体剖面进行了研究。主要取得下述研究结果: (1) 不同侵蚀强度的研究区土体特性有所不同, 但共同特征是发育浅、颗粒粗、易分散等, 有利于侵蚀形成; 也相应形成一些侵蚀土体的微形态特征, 如粗骨颗粒聚积状微形态、细土物质微区淋蚀现象、埋藏土层微形态特征等。(2) 在滑坡土体, 发现一些有利于滑坡形成的土体特性和微形态特征, 如骨骼颗粒细化和蚀圆化、吸水性强的指纹状微结构等。在滑塌面上形成特殊的土体微形态, 如拉张微裂隙、强光性定向粘粒集合体、玻璃质形成物、铁锰分离物等。(3) 泥石流土体土性特殊, 并形成了一些特殊的土体微形态特征, 如淤泥状基质、骨骼颗粒泥质包裹体、错断微裂隙等。结果表明: 在不同的环境条件下, 三类土体的土性和土体微形态也有异同。对侵蚀、滑坡和泥石流的形成机制、活动性等都有一定的诊断意义。

**关键词:** 侵蚀; 滑坡; 泥石流; 土性; 土壤微形态; 长江上游

**中图分类号:** S152.2+1; S157.1; P64.222; P642.23

**文献标识码:** A

长江上游地区的生态环境问题早已引起我国甚至国际上的关注。该地区是我国西部高原和东部平原的过渡带, 高山、中低山和丘陵是其主要的地貌特征。亦是我国水土流失最严重的区域之一。侵蚀、滑坡和泥石流是该地区发生最普遍和严重的山地灾害。

关于该区侵蚀、滑坡和泥石流的形成环境、过程和机制、预测预报, 以及防治等都开展了较多的研究, 也取得了很多成果和进展<sup>[1-5]</sup>。该地区的侵蚀、滑坡和泥石流问题十分复杂, 需要从多学科、多层面、多角度上开展研究。特别是一些基础研究还需要深化和突破, 才能更深入地揭示该区的环境演化机制和寻求更科学有效的生态环境保全对策。

目前, 我国已经加快了该地区的生态环境恢复进程。正在开展的“天然林资源保护工程”和“退耕

还林还草建设工程”两项生态工程就是其标志。对该区生态建设和保护意义重大。但是, 这两项生态工程能否取得成效, 关键在于能否遏止对该区生态环境最有影响的侵蚀、滑坡和泥石流问题。在一定意义上说, 相关基础研究薄弱或滞后, 将影响这些国家战略性生态环境措施的效果。因此加强该区侵蚀、滑坡和泥石流基础研究和成果的积累非常必要。

土壤微形态学是土壤学分支学科<sup>[6]</sup>。重点是应用原状土壤薄片, 以偏光显微镜进行土壤微观形态观察研究。迄今, 将土壤微形态学应用于土壤形成和分类、土壤肥力和培肥, 土壤退化和治理等方面, 已经很成熟, 并显示了具有直观性、准确性、简捷性等优点<sup>[7]</sup>。但目前在生态环境研究上应用还很少见。特别是综合、系统地对侵蚀、滑坡和泥石流土体进行微形态学比较研究尚未见报道。本文选择长江

收稿日期(Received date): 2006-07-14。

基金项目(Foundation item): 国家杰出青年基金(40025103)和中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-330)资助。[Supported by National Science Foundation of Outstanding Youth of China(No. 40025103) and the Knowledge Innovative Program of CAS(No. KZCX3-SW-330)]

作者简介(Biography): 何毓蓉, 男, 四川成都人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤地理与微形态研究 [He Yurong, male, from Chengdu, Sichuan province, Professor, main research interest in pedogeography and soil micromorphology. E-mail: yrh@imde.ac.cn]

上游典型区,对这三类土体代表性剖面的特性和微形态特征进行研究。

## 1 样区概况和实验方法

### 1.1 样区概况

长江上游典型研究样区分别选定:贡嘎山东坡海螺沟地区(简称贡嘎山区)、川中丘陵区盐亭(简称川中区)、云南东川蒋家沟泥石流源区的典型侵蚀土体及泥石流土体(分别简称蒋家沟泥石流源区和蒋家沟泥石流体)、三峡库区云阳鸡扒子滑坡土体(简称三峡滑坡体)。

样区的地理位置如图1。贡嘎山区、川中区、三峡滑坡体和蒋家沟泥石流源区等4个样区的自然环境概况分别见文献[3-5、8、9]。在上述样区分别按不同海拔高度或坡位调查土体剖面,并采原状土样和混合土样。

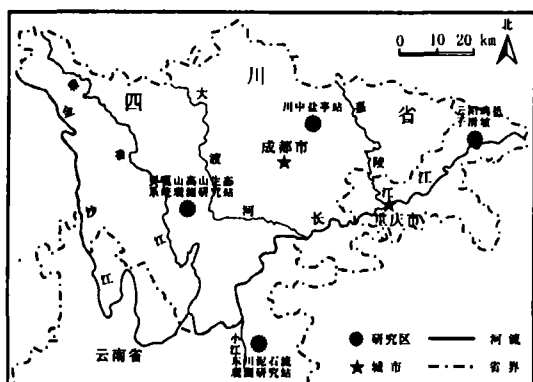


图1 研究样区位置

Fig. 1 Plot of sampling region

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 土体微形态实验

取原状土样制作薄片,采用改进的“环氧树脂—三乙醇胺—低温固化—502 胶粘片制片法”制取标准薄片,以偏光显微镜观察研究土体微形态。另取原状土样干燥、喷金镀膜后在扫描电镜(SEM)下观察研究土体超微形态。按现有文献通常采用的方法进行土壤微形态和超微形态学的特征和分类鉴定<sup>[10-15]</sup>。

#### 1.2.2 矿物分析

以偏光显微镜鉴定骨骼颗粒(>0.02 mm)中的原生矿物。采用X—射线衍射分析法,鉴定土体粘粒的次生矿物。以吸管法提取<0.002 mm粘粒,用

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>除有机质;Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>法去除游离氧化铁;震荡分散后,以MgCl<sub>2</sub>溶液制成镁饱和试样等处理。涂片以X—射线衍射仪测试。先后再在涂片上滴加甘油,以及加热至550℃等,分别再进行X—射线衍射分析,并进行粘土矿物鉴定。

#### 1.2.3 土壤理化分析

活性有机质(丘林法)、土壤酸度pH(电极法)、土壤机械组成(吸管法)。

## 2 结果和讨论

### 2.1 侵蚀土体的基本特性

长江上游代表性侵蚀剖面及其土体特性如表1。贡嘎山区代表弱度侵蚀区,川中区代表中度侵蚀区,蒋家沟泥石流源区代表强度侵蚀区。

#### 2.1.1 贡嘎山区侵蚀土体剖面

一般都有2~3 cm厚的枯落物层;A<sub>1</sub>层土色深暗;表层和表下层的有机质含量很高,A<sub>1</sub>层为26.3~287.8 g/kg;土壤反应几乎都偏酸性;土体沙粒组成比例高,多在47.95%~85.95%;粘粒组成比例较低,最低的仅有2.41%。贡嘎山区的代表性剖面有较好的生态环境状况,土壤有丰富的有机质来源和积累,多属弱度侵蚀。但从土体颗粒组成的粗颗粒化特征,以及有的剖面(GG01)出现侵蚀掩埋层(BA层)等特征,说明原来曾发生过强烈侵蚀。因此土壤一旦失去保护,仍有可能再现原强侵蚀的状态。

#### 2.1.2 川中区侵蚀土体剖面

表层较薄、粗骨性、土壤剖面不发育等特征,都与该地侵蚀作用较强有关。不同地形部位相对比较,从坡上到坡下,侵蚀由冲刷剥蚀特征为主到搬运沉积特征为主。坡中、上部一般为中度侵蚀,坡下一般为弱度侵蚀。土体均无A<sub>0</sub>层,A<sub>1</sub>层较薄,多<15 cm;剖面土色均同紫色母岩,层次土色分异亦不明显;有机质含量,A<sub>1</sub>层为24.0~26.0 g/kg;土壤反应偏碱性;土体沙粒组成比例高,多在65.63%~75.83%。

#### 2.1.3 蒋家沟泥石流源区侵蚀土体剖面

在坡上部剖面(DC02)和临坡脚的剖面(DC04),差别较大。前者土层分化明显,雏形层较发育,有机质含量A<sub>1</sub>层29.2 g/kg,粘粒占37.31%。但有表蚀现象,有中度侵蚀特征。而后者,土层无分化和发育,有机质含量A<sub>1</sub>仅7.7 g/kg,粘粒仅7.92%,沙粒高达71.36%,粗骨性明显,有强侵蚀特征。

### 2.2 滑坡和泥石流土体的基本特性

#### 2.2.1 滑坡土体特性

表 1 代表性侵蚀剖面的特征  
Table 1 Characteristic of typical erosive profiles

剖面号 <sup>1)</sup>	环境简况	土层	深度 <sup>2)</sup> (cm)	土色(干态)	有机质 (g/kg)	pH (1:5)	颗粒组成(粒径:mm,组成:%)		
							0.02~2	0.02~0.002	<0.002
CG	海拔3 100.5 m,坡积物,	A <sub>1</sub>	2~22	灰黄棕 10YR 5/2	287.8	4.74	65.87	19.90	14.23
01	成熟冷杉林,弱侵蚀	AB	22~35	亮黄棕 10YR 6/8	136.1	5.21	47.95	27.20	24.85
		BA <sup>2)</sup>	35~43	棕 10YR 4/4	202.7	5.786	3.492	2.22	14.29
GG	海拔2 998.8 m,坡积物,	A <sub>1</sub>	2~22	浊黄 2.5Y6/3	26.3	6.16	67.22	12.22	20.56
02	冷杉中幼林,弱侵蚀	AC	22~33	浊黄 2.5Y6/4	14.1	7.27	85.95	11.64	2.41
GG	海拔1 871.4 m,沉积物	A <sub>1</sub>	3~16	暗棕 10YR3/4	95.1	5.62	58.16	23.14	18.70
06	(Q <sub>4</sub> ),灌草,弱侵蚀	B <sub>w</sub>	16~38	亮黄棕 2.5YR 3/4	46.9	5.33	63.41	22.31	14.28
YT	海拔480 m,紫色岩(J <sub>3p</sub> ),	A <sub>1</sub>	0~12	亮红棕 5YR5/8	25.0	7.91	66.56	18.77	14.67
01	坡顶,林草,中度侵蚀	AC	12~30	亮红棕 5YR5/6	14.0	8.12	68.83	20.25	18.76
YT	海拔455 m,紫色岩(J <sub>3p</sub> ),	A <sub>1</sub>	0~10	亮红棕 5YR5/8	24.0	7.80	68.87	15.57	15.56
02	坡中,农地,中度侵蚀	AC	10~30	亮红棕 5YR5/6	16.0	8.32	75.83	8.02	16.15
YT	海拔420 m,紫色砂页岩,	A <sub>1</sub>	0~15	亮红棕 5YR5/8	26.0	8.23	65.63	16.63	17.74
03	坡下,农地,中—弱侵蚀	AB	15~32	亮红棕 5YR5/6	15.0	8.15	65.83	12.23	21.94
DC	海拔2 200 m,坡积物,坡中	A <sub>1</sub>	0~22	浊黄橙 10YR6/3	29.2	6.28	28.83	33.86	37.31
02	部,灌草地,中度侵蚀	B <sub>w</sub>	22~41	亮黄棕 10YR6/6	24.0	5.39	24.84	45.76	29.40
DC	海拔1 500 m,坡积物,临	A <sub>1</sub>	0~18	浊黄 2.5Y6/3	7.7	7.56	71.36	20.72	7.92
04	坡下,果园,强侵蚀	AC	18~39	浊黄 2.5Y6/4	5.8	7.46	70.81	23.66	5.53

注:1)GG:为贡嘎山区剖面,YT:为川中区剖面,DC:为蒋家沟泥石流源区剖面;2)侵蚀作用形成的埋藏A层,暂用BA表示;3)凡表层深度不为0-的均有枯枝落叶层(A<sub>0</sub>)。

三峡滑坡体是在侏罗系蓬莱镇组(J<sub>3p</sub>)砂泥岩上形成的。滑坡中、后(中、上)部为该母岩母质发育的紫色土,下部为第四系(Q<sub>4</sub>)黄色沉积物。不同部位的剖面特征和土体特性如表2。滑坡前(下)部剖面(YY01)厚达3~4 m的黄色沉积物,其土体土色偏黄、有机质含量较低。滑坡上部剖面(YY04)系紫色母岩上发育,在形态、土体特性等方面,都与川中区侵蚀土体相近。但滑塌面(YY05)土体有一定

差异。主要是有机质含量很低,粘粒组成占19.28%~25.24%,沙粒占49%,质地相对较粘重等。

2.2.2 泥石流土体特性

蒋家沟泥石流体上、中下段剖面在土体特性上没有明显的差异(表2)。主要特点是,土色都为淡灰,有机质含量低,在5.9~8.9 g/kg;碱性强,pH在8.47~8.98;粘粒成分较低,仅占6.36%~11.62%,粗颗粒比例较高。

表 2 代表性滑坡和泥石流剖面特征  
Table 2 Characteristic of landslide and debris flow profiles

剖面号	环境简况	土层	深度 (cm)	土色(干态)	有机质 (g/kg)	pH (1:5)	颗粒组成(粒径:mm,组成:%)		
							>2	0.002~2	<0.002
YY01	海拔95 m,滑坡下部 Q <sub>4</sub> 沉积物,荒地,	A <sub>1</sub>	0~20	浊黄橙 10YR7/4	12.4	7.42	37.12	34.30	28.58
		C	50~120	浊黄橙 10YR6/4	-	-	-	-	-
YY04	海拔340 m,滑坡上 部,紫色岩(J <sub>3p</sub> )	A <sub>1</sub>	0~20	亮红棕 5YR5/6	5.6	8.28	51.36	22.95	25.69
		C	40~160	亮红棕 5YR5/8	-	-	-	-	-
YY05	海拔342 m,滑塌面, 紫色岩(J <sub>3p</sub> ),渍水	C <sub>1</sub>	0~2	亮红棕 5YR5/6	2.9	8.04	49.73	25.03	25.24
		C <sub>3</sub>	10~20	亮红棕 5YR5/6	-	-	48.95	31.77	19.28
DC05	海拔1 520 m,蒋家沟 上段泥石流堆积物,	AC	0~2	淡灰 7.5Y7/2	5.9	8.93	53.33	35.46	11.21
		C <sub>2</sub>	40~80	淡灰 7.5Y7/2	6.1	8.98	55.34	34.46	10.2
DC09	海拔1 490 m,蒋家沟 中段泥石流堆积物	C <sub>1</sub>	0~20	淡灰 7.5Y7/2	7.0	8.47	51.47	37.12	11.41
		C <sub>2</sub>	20~40	淡灰 7.5Y7/2	7.1	8.56	55.31	38.33	6.36
DC13	海拔1 470 m,蒋家沟 下段泥石流堆积物	C <sub>1</sub>	0~20	淡灰 7.5Y7/2	7.1	8.83	67.95	24.87	7.18
		C <sub>2</sub>	2~40	淡灰 7.5Y7/2	8.9	8.87	49.40	38.98	11.62

2.3 土体的矿物组成特征

原生矿物主要采用薄片偏光显微镜鉴定法,粘土矿物采用X—射线衍射谱法,比较了4个研究区的代表性剖面诊断层>0.02 mm的颗粒(简称粗颗粒)原生矿物组成和<0.002 mm粘粒的粘土矿物组成特征。

2.3.1 侵蚀土体的矿物组成

1. 贡嘎山区的侵蚀土体中,坡积物母质上发育

的剖面,表下层一般粗颗粒的矿物成分很丰富。除石英外,最多量的原生矿物是斜长石(包括部分微斜长石)、白云母、绢云母,还有白云石、辉石和角闪石等(照片1)<sup>1)</sup>。在冰积物和泥石流堆积物上发育的土体也有上述矿物,但数量明显减少。在冲积物上发育的土体几乎都为石英。粘粒的粘土矿物组成(表3),除石英外,都含较多伊利石和绿泥石,个别剖面含较多蒙脱石和多量蛭石。

表3 土体粘粒X—射线衍射分析的粘土矿物组成和丰度<sup>1)</sup>  
Table 3 Composition and enrichment of clay mineral determined by X-ray diffraction

样号/土层	石英 Q	蒙脱石 M	绿泥石 CH	伊利石 I	蛭石 V	高岭石 K	方解石 CaCO <sub>3</sub>	针铁矿 FeO(OH)	赤铁矿 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	埃洛石 Hi
GG01AB	+	+	+	+	+					
GG04B <sub>W</sub>	+	+	+	+	+	+				
GG06B <sub>W</sub>	+	+	+	+	+					
YT01A	+	+	+	+		+	+			
YT02A	+	+	+	+		+	+			
YT03A	+	+		+		+	+		+	
DC02B <sub>W</sub>	+	+	+	+	+	+		+	+	+
DC04A	+	+		+	+					
YY02AC	+	+	+	+	+		+	+		
YY04AC	+	+	+	+	+	+	+		+	
YY05C	+	+	+						+	
DC05C <sub>1</sub> <sup>2)</sup>	+	+	+	+	+	+		+	+	

注:1)丰度表示:++++很多,+++多,++较多,+少;2)土壤粉末样品X—射线衍射谱分析结果。3)\*14Å矿物中或含有。

2. 川中区侵蚀土体由蓬莱镇组(J<sub>3p</sub>)紫色母岩上发育,各剖面粗颗粒的原生矿物组成都相似。石英为主体,但也含一定数量的云母,其次是正长石和微斜长石(照片2)。另外还含较多的碳酸钙颗粒。粘粒的粘土矿物组成(见表3),除次生石英外,都含较多的伊利石和高岭石,多数剖面含较多的蒙脱石,都含少量方解石。

3. 蒋家沟泥石流源区侵蚀土体,坡中上(DC02)剖面粗颗粒主要的原生矿物几乎都为大颗粒、量少的石英。粘粒的粘土矿物(见表3),除含很多次生石英外,含多量伊利石和高岭石;另含多量针铁矿,含少量云母—蒙脱石混层矿物。坡下部剖面(DC04)粗颗粒中原生矿物除石英外,含少量白云母和绢云母;另有多量的千枚岩。粘粒的粘土矿物(见表3),除含多量石英外,仅含多量伊利石。所含粘土矿物单一,表明风化和成土过程很微弱。

2.3.2 滑坡土体的矿物组成

三峡滑坡体的中、上部(YY04)所发育的母岩母质同川中区侵蚀土体,其粗颗粒的原生矿物组成和粘粒的粘土矿物特点也与川中区基本类同。但滑(塌)面(YY05)的矿物组成有较大的变化。其一是粗颗粒原生矿物几乎仅有石英;其二是在粘粒中粘土矿物组成除次生石英外,仅有少量的绿泥石和赤铁矿(表3)。有矿物组成趋同化特征。滑坡下部(YY02)是Q<sub>4</sub>黄色沉积物母质发育土体,因母质先天风化强烈,在>0.02 mm粗颗粒中的原生矿物多为大小均匀细小的石英和有较多的钙质颗粒。在粘粒中的粘土矿物,除含多次生石英外,还有较多方解石;有少量伊利石、绿泥石、蒙脱石、蛭石和针铁矿(见表3)。

2.3.3 泥石流土体的矿物组成

蒋家沟泥石流土体的粗颗粒原生矿物主要为石

1)本文照片见图版I、II、III。

英,少量玉髓、白云岩,以及千枚岩等。粘粒的粘土矿物组成(见表3),含多量次生石英,还含多量伊利石,较多的高岭石和蒙脱石。另外有少量  $14\text{\AA}$  矿物(粉末样 X—射线衍射谱鉴定,未能区分是绿泥石或蛭石等)。无论原生矿物或次生矿物都较混杂。反映了泥石流土体多种母岩母质来源堆积物的特点。

## 2.4 土体的微形态特征

根据土壤微形态学的原理和鉴定方法<sup>[10-15]</sup>,分别从细粒物质(基质)、骨骼颗粒、微垒结、微结构和形成物等方面,分析了典型区侵蚀、滑坡和泥石流土体的微形态特征。

### 2.4.1 侵蚀土体的微形态特征

1. 贡嘎山区土体的主要微形态特征:(1)细粒物质含量都偏少,多数剖面  $A_1$  层有较多的各腐解阶段的有机质(照片3),有灰褐色和暗棕色腐殖质—粘土基质形成,有的呈明显絮凝状(照片4)。同时有暗棕~黑褐色腐殖质—矿质复合体形成(照片5)。表下层土体多为普通粘土基质。(2)骨骼颗粒粗大,从矿质颗粒的多色性、干涉色、双晶现象等特征可以看出其矿物的种类多样性突出(照片1);颗粒多无蚀圆特征,棱角尖锐(照片6),具有物理风化为主和未经搬运的特征。(3)微垒结以碎屑聚积状和沙质聚积状为主,有少量斑晶嵌埋状微垒结(照片6);(4)在剖面中表层微结构主要为多孔状微结构和海绵状微结构(照片7);有的剖面中发现多级微团粒微结构(照片8)。(5)形成物中多见腐殖质颗粒和碳化颗粒(照片3、9)。(6)与侵蚀有关的其他土体微形态特征:在所有剖面土层中都可发现有局部非母质成因的粗骨骼颗粒聚积的粗骨骼颗粒聚积状微形态(照片10、11);其次在剖面下层土体中常常可发现一般仅见于表层的腐殖质类有机质或团聚体的埋藏土层微形态特征(照片12);另外有的剖面也可观察到原应充填细粒物质,但因侵蚀作用而大多流失的空隙,仅在骨骼颗粒表面有少量细粒物质残留的“细土物质微区淋蚀”的微形态特征<sup>[13]</sup>。

2. 川中区土体的主要微形态特征:(1)土壤细粒物质多为棕色~灰棕色普通粘土基质和灰色~灰棕色钙质—粘土基质。后者一般都可见到伴有碳酸钙颗粒及在基质中有微晶方解石分布(照片13)。总体上细粒物质含量较少。在低地形剖面表下层有少量红棕色铁质—粘土基质(照片14)。b、大量的骨骼颗粒多为  $0.02 \sim 0.2\text{ mm}$  的颗粒,大小比较均匀,显然是因为紫色砂、泥岩互层母岩岩性的影响。

同时骨骼颗粒中的矿物也以石英为主,但仍保留较多的长石(正长石和斜长石)、云母等可风化物及较多大小不均的碳酸钙颗粒(照片2、15)。骨骼颗粒中的泥岩碎屑也较多,正不断风化碎裂,并可直接风化为粘粒,成为基质(照片16)。(3)土体的微垒结主要为松结碎屑聚积状和紧实聚积状垒结(粉沙质);以及紧实斑晶嵌埋状微垒结(沙—粉沙质)(照片17、18),有的有弱定向特征(照片19),说明是侵蚀沉积形成,也是易蚀的内在原因之一。(4)大多剖面土层的孔隙都不发育,因此土体主要为无结构特征。但近几十年来当地采取了恢复生态、施有机肥改土等措施,土壤结构有一定改善,已可见到有的剖面  $A_1$  层有较多的孔隙发育,且多生物活动影响(照片20),也有一定的初级微团聚体和多孔状微结构形成(照片21)。(5)形成物中可见到土体中有方解石结晶,系来源于母岩中的碳酸钙颗粒溶出后再结晶的产物(照片13)。在低地形剖面表下层中,发现少量腐殖质—铁质凝团,表明在耕作熟化条件下,土壤肥力特性向高肥转化的特征(照片22)。(6)与侵蚀有关的其他微形态特征:在坡中和坡下剖面下层土体中可见到埋藏土层微形态特征。坡上土层中常可观察到粗骨骼颗粒聚积状微形态和细土物质微区淋蚀现象。

3. 蒋家沟泥石流源区土体的主要微形态特征:(1)不同海拔高度剖面细粒物质特征有较大差别。坡中上部侵蚀土体(DC02)以普通黄色粘土基质为主,并有黄色~棕色铁质—粘土基质形成,含量较多(照片23)。坡下部(DC04)主要为浊黄色普通粘土基质,且量很少。(2)坡中上部土体的骨骼颗粒多较细,多为  $<0.02\text{ mm}$  的骨骼颗粒。同时也有很少量大小差别较大的侵入性粗骨骼颗粒,即是由坡上部侵蚀搬运或泻溜而来的岩屑颗粒。坡下部侵蚀土体几乎充满骨骼颗粒。骨骼颗粒大小差别较大,形状各异,一般棱角锋锐,呈菱形、长方或柱状、多角状;也有极少量亚圆球形骨骼颗粒。显然其粗大的骨骼颗粒多系坡上部同类母岩风化碎屑崩塌搬运沉积下来的。骨骼颗粒中可鉴定的可风化物却很少,也是本区骨骼颗粒的普遍特点(照片24)。(3)坡中上部剖面土体的微垒结,表层多见紧实状胶凝微垒结(照片23)和紧实状斑晶嵌埋微垒结(粉沙—细粒质或细粒质)(照片25),而在其表下层则还有斑晶胶凝状、粘实状斑晶嵌埋微垒结或紧实状胶凝微垒结(细粒粉沙质)。坡下部土体无论表层或下

层土壤微垒结类型非常单一,多为松结状或碎屑聚积状微垒结(照片26),不稳定的粗空隙特别多,空隙中多无细粒物质充填。在蒋家沟泥石流源区剖面都能够观察到“细土物质微区淋失”现象(照片26),说明这一地区的侵蚀都较严重。(4)土体表层除局部紧实属无结构外,一般都富含孔隙,但从孔隙形态特征分析,多为堆积骨骼颗粒间的不稳定性孔隙。虽然仍属多孔状微结构,但其结构质量较低(照片24、26)。在有的剖面(DC02)侵蚀影响小的局部,也有质量较高的基质内亚稳定孔隙形成的多孔状微结构(照片27),但镜检量很少。(5)形成物中,坡中上剖面有较多的铁锰颗粒形成物(照片23)。(6)与侵蚀有关的其他微形态特征是所有剖面土层中均可观察到较多的细土物质微区淋蚀现象(照片26)。

#### 2.4.2 滑坡土体的微形态特征

1. 滑坡体中、后(中、上)部为滑坡的主体,主要土体微形态特征与川中区有较多的相似处。(1)剖面土层细粒物质主要为棕色~灰棕色普通粘土基质,细粒物质呈片状,不连续分布,除粘土成分外无其他物质浸染或胶结。(2)骨骼颗粒大小,在总体上都较细,细沙和粉粒占大多数。细骨骼颗粒所占比例在50%以上。粗骨骼颗粒中多紫色母岩风化泥岩碎屑,一般都为棱角清晰、无包被特征,但有较多的泥岩碎屑也多蚀圆(照片28)。(3)剖面土体的微垒结主要为斑晶嵌埋状微垒结:紫色母岩土体的主要特征是混合的岩屑和矿粒骨骼颗粒嵌埋于紧密的基质中(照片28),其次为紧实胶凝状微垒结,细粒物质含量多(多>80%),骨骼颗粒含量少,颗粒间紧密结合。局部有聚积状沙粒微垒结,为紫色砂岩中的矿物颗粒风化形成,呈紧实状聚积。(4)土体微结构以无结构为主,局部还有具同方向伸展的微龟裂分布的龟裂状微结构(照片29),另有很少量的多孔状微结构。(5)形成物中,在下层土体中有少量准铁锰胶膜形成物(照片30)。(6)其他特别的微形态特征是在囊水的剖面中,常可观察到指纹状微结构(照片31),是土体滞水特征,对滑坡形成有重要作用。

2. 在滑坡后部形成的滑(塌)面主要的微形态特征与同母岩发育土体间有较多共同之处,主要如细粒物质特征、骨骼颗粒组成等都接近。但在土体微形态上也发生了较大的变化,如观察到片状分离的粘土基质,大量属无结构特征的微结构。特别是可观察到较多的特殊微形态特征,如拉张微裂隙

(照片32)、强光性定向粘粒集合体(照片33、照片35)、融离性铁锰分离物(照片34)、玻璃质形成物(照片35,定向黑色液滴状物,有的内部还残存石英)、指纹状微结构(照片31)等。在扫描电镜(SEM)下,可观察到片状定向特征(照片36),挤压微结构(照片37),印模微结构(照片38),滑擦痕特征(照片39)等。关于这些土体微形态的成因和意义作者已有过报道<sup>[16]</sup>。

#### 2.4.3 泥石流土体的微形态特征

1. 细粒物质主要特征是在低倍下(<30×)颗粒形态模糊不清,大小很均匀,粒间排列致密。属灰黄~浊黄色普通粘土基质(照片40),多见粘土基质中有收缩微裂隙,或呈分枝状(照片41),与含蒙脱石、绿泥石等粘土矿物有关。

2. 骨骼颗粒主要可发现以下特征:(1)在部分碎岩块粗骨骼颗粒中,可观察到短的、不连续的、相互平行的微裂隙(照片42),表明了土体内有不均匀剪切力的作用。总体上骨骼颗粒粒径大小差别较大,大的多>0.5 mm,细的一般都<0.02 mm,符合泥石流土体无分选的真实状况。(2)细骨骼颗粒都为石英,明显是深度风化作用下形成的。粗骨骼颗粒形态各异,镜检多为沉积岩、变质岩和少量岩浆岩(花岗岩)的岩屑,具有多来源、多形态、多类型特征,显示了泥石流土体多样性物源的特点(照片43)。(3)有较多的骨骼颗粒存在显著滚圆(磨圆)的特征,甚至出现球形磨圆(照片44)。

3. 泥石流土体基本的微垒结有:(1)紧实胶凝状微垒结:几乎都为细粒物质胶结成片和块体,或有极少量的细骨骼颗粒并与细粒物质紧密结合(照片40)。(2)细斑晶嵌埋状微垒结:较多量的极细的骨骼颗粒<0.01 mm,嵌埋于细粒物质中,可分辨骨骼颗粒为石英或细岩屑(照片43)。(3)包埋状微垒结:粗骨骼颗粒部分表面,被泥质包裹(照片43)。(4)局部可观察到细粒物质定向微垒结(照片45),是泥石流搬运过程中细颗粒受同方向应力作用下形成。(5)填充状微垒结:粗骨骼颗粒间被细粒物质所填充(照片46)。

泥石流土体基本微结构有:(1)无结构:只有细粒物质和骨骼颗粒,完全没有微空隙(包括孔道、孔隙、微孔隙、裂隙等)。(2)龟(碎)裂状微结构:在致密的细粒物质中有一定数量的微裂隙分布,微孔隙形态不规则(照片47)。(3)平行裂隙碎裂状微结构:在致密的细粒物质中有一定数量的平行的微裂

隙分布(照片 42)。泥石流土体裂隙的多样性特征主要由于含膨胀类粘土矿物,土体有一定的胀缩性。

4. 泥石流土体特殊微形态特征:(1)骨骼颗粒裂隙错位微结构:在一些较粗的骨骼颗粒中,有微裂隙断裂发生错位的特征(照片 48)。这可能系泥石流运动产生的不均匀切变力作用,使骨骼颗粒发生断裂。(2)微刻痕微结构:在薄片条件下很难发现这种土壤微形态特征。这说明骨骼颗粒刻痕较深,以致能够在薄片上发现(照片 49)。(3)网络状微结构:暗棕色网状,类似红壤下层的网纹(照片 50 右)。形成原因尚不清楚。(4)湖泥状形成物和骨骼颗粒泥质包裹体:湖泥状形成物为泥岩风化产物,在泥石流运动条件下,其细粒物质受到高压搅拌作用,形成了致密的结构,颜色多呈灰黑色,干燥后有不规则微裂隙形成(照片 37、46、47)。有的骨骼颗粒周围包被了湖泥状基质,形成了泥质包裹体(照片 46)。(5)局部可观察到光性定向粘粒集合体特征(照片 45),与滑坡滑面光性定向粘粒集合体的光性特征相比较微弱,说明其应力作用较滑坡弱。(6)在 SEM 下观察,最多见的是石英颗粒表面的撞击坑(照片 51)、微刻槽痕(照片 52)和应力微断裂(照片 53),粘土片定向特征(照片 54)等。这些微形态特征都是在泥石流流体运动过程中形成的。

### 3 小结

通过对长江上游典型区侵蚀、滑坡和泥石流土体的代表性剖面的土性和土体微形态比较研究,初步取得以下结论:

1、不同侵蚀强度的研究区土体特性有所不同。但共同特征是发育浅、颗粒粗、易分散等,是在侵蚀作用下形成的。也相应形成一些侵蚀土体的微形态特征,如粗骨颗粒聚积状微形态、细土物质微区淋蚀现象、埋藏土层微形态特征等。

不同研究区比较,在生态环境保护较好的贡嘎山东坡地区,剖面出现了一些好的特性和微形态特征,如 A<sub>0</sub>层的发育、土壤有机质丰富、矿物中多含富于养分的可风化矿物等;以及出现絮凝状腐殖质—粘土基质、多级微团粒、海棉状微结构等优良的土体微形态特征等。

在川中丘陵区的剖面,因侵蚀作用,表层较薄、粗骨性、土壤发育程度低等特征明显,但土体偏壤性、矿物组成较丰富;因人为改善生态环境和耕作熟

化,使土体特性和微形态有所转化,如有机质含量提高,初级微团聚体结构增多,出现腐殖质凝团、生物活动微孔隙等。同时不同坡位土体侵蚀过程不同,坡上部以冲刷剥蚀为主,坡下部以搬运沉积为主。因此土体特性和微形态特征也有不同的特点。

在环境状况较差的东川泥石流源区侵蚀土体,土性和微形态较其他地区要差。如表蚀现象严重,生物活动弱、有机质贫乏、矿物组成简单,微团聚和微结构单一,细土物质微区淋蚀特征普遍和严重等。说明该区侵蚀作用强烈、土体脆弱,是其沟道泥石流形成的重要物源。

2、在滑坡土体,发现一些有利于滑坡形成的土体特性和微形态特征,如出现骨骼颗粒细化和蚀圆化、吸水性强的指纹状微结构等。在滑(塌)面上形成特殊的土体微形态,如拉张微裂隙、强光性定向粘粒集合体、玻璃质形成物、铁锰分离物等,以及 SEM 观察的片状定向特征、挤压微结构、印模微结构、摩擦痕等特征。

3、泥石流土体土性特殊,并形成了一些独特的土体微形态特征,如湖泥状基质,骨骼颗粒泥质包裹体和错断微裂隙等,以及 SEM 观察的石英表面撞击坑、微刻槽痕和应力微断裂等特征。

4、不同环境条件下,侵蚀、滑坡和泥石流土体特性和微形态有异同。三者的土体特性和微形态特征,可为侵蚀、滑坡和泥石流的形成机制、活动性等的分析提供佐证,并可在预测预报和防治研究中应用。

### 参考文献(References)

- [1] Du Rong-huan, et al. Debris Flow Observation and Research [M]. Beijing: Science Press, 1996. 42 ~ 56, 96 ~ 105 [杜榕桓,等. 泥石流观测与研究 [M]. 北京: 科学出版社. 1996. 42 ~ 56, 96 ~ 105]
- [2] Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences. Selected Papers of Landslide [C]. Chengdu: Sichuan Science and Technique Press, 1989. 1 ~ 357 [中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 滑坡论文集 [C]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989. 1 ~ 357]
- [3] Wu Jishan, Kang Zhicheng. Observation Research of Debris Flow in Jiangjia Ravine of Yunnan Province [M]. Beijing: Science Press, 1990. 1 ~ 310 [吴积善, 康志成. 云南蒋家沟泥石流观测研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1990. 1 ~ 310]
- [4] Du Ronghuan, Liu Xinmin, Yuan Jianmo, et al. A Study on Landslides and Debris-flows in the Reservoir Area of the Three Gorges Project [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technique Press, 1990. 16 ~ 20, 57 ~ 59 [杜榕桓, 刘新民, 袁建模, 等. 长江三峡工程库区滑坡与泥石流研究 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990. 16 ~ 20, 57 ~ 59]
- [5] Zhang Baohua, He Yurong, Xu Peil, et al. Erosion-sediment sections and soil particles fractal dimension of small watershed in Purple

- Hilly Area [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18 (6): 136 ~ 138 [张保华,何毓蓉,徐佩,等.紫色丘陵区小流域侵蚀沉积断面构型及土壤颗粒分形特征[J].水土保持学报, 2004, 18(6): 136 ~ 138]
- [6] Cao Sheng-geng. Soil Micromorphology, Agricultural Encyclopaedia: Soil Issue [M]. Beijing: Agricultural Press, 1996. 390 ~ 392 [曹升庚.土壤微形态学, 中国农业百科全书:土壤卷[M].北京:农业出版社, 1996. 390 ~ 392]
- [7] Zhang Baohua, He Yurong, Zhou Hongyi. Recent development of micromorphology and its application [J]. *World Sci-Tech R&D*, 2002, 24 (4): 93 ~ 96 [张保华,何毓蓉,周红艺.土壤微形态及其应用研究进展[J].世界科技研究与发展. 2002, 24(4): 93 ~ 96]
- [8] He Yurong, Zhang Baohua, Zhou Hongyi, et al. Micromorphological features of soil under subalpine forests on east slope of Gongga Mountain [J]. *Journal of Mountain Science*, 21(3): 281 ~ 286 [何毓蓉,张保华,周红艺,等.贡嘎山东坡亚高山林区土壤的微形态特征[J].山地学报, 2003, 21(3): 281 ~ 286]
- [9] He Yurong, Liao Chaolin, Xu Peiet, et al. Zonal distribution of the erosion-landslide and soil micromorphological features in purple hilly region [J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, 2(1): 42 ~ 49.
- [10] Brewer R. Fabric and Mineral Analysis of Soils [M]. John Wiley, New York, 1964. 1 ~ 150.
- [11] Parifonowa E Y, Yarinowa E A. (translated by Cao shenggeng). Keys to Soil Micromorphology [M]. Beijing: Agricultural Press, 1987. 6 ~ 220 [帕尔芬诺娃 EH, 亚里洛娃 E A. (曹升庚译).土壤微形态研究指南[M].北京:农业出版社. 1987. 6 ~ 220]
- [12] Cao Shenggeng. Micromorphological features of Paddy Soil [A]. In: Li Qingkui. Paddy Soil in China [C]. Beijing: Science Press. 1992, 56 ~ 76 [曹升庚.见:李庆远.水稻土的微形态特征[A].见:中国水稻土[C].北京:科学出版社, 1992. 56 ~ 76]
- [13] Li Zhongming, et al. Purple Soil in China (1) [M]. Beijing: Science Press, 1991. 157 ~ 158 [李仲明,等.中国紫色土(上)[M].北京:科学出版社, 1991. 157 ~ 158]
- [14] He Yurong, et al. Purple Soil in China (2) [M]. Beijing: Science Press, 2003. 141 ~ 159 [何毓蓉,等.中国紫色土(下)[M].北京:科学出版社, 2003, 141 ~ 159]
- [15] He Yurong, Liao Chaolin, Zhang Baohua. A study on pedography of soil on the eastern slope of Mt. Gongga [J]. *Journal of Mountain Science*, 23(6): 651 ~ 656 [何毓蓉,廖超林,张保华.青藏高原东南缘贡嘎山东坡亚高山土壤的土相[J].山地学报, 2005, 23 (6): 651 ~ 656]
- [16] He Yurong, Cui Peng, Liao Chaolin, et al. Micromorphology of landslide soil: Case study on the Jibazi landslide in Yunyang, the Three Gorges Region, China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 3(2): 147 ~ 157

## A Study on Soil Features and Micromorphology in Typical Erosion, Landslide and Debris Flow-Occurred Regions in Upper Reaches of Yangtze River

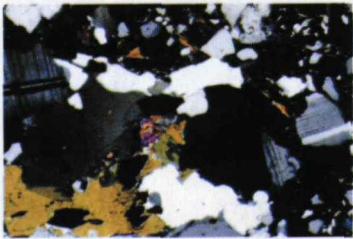
HE Yurong, LIAO Chaolin

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Erosion, landslide and debris flow occurred widespread and severely in upper reaches of Yangtze River. It is very significant to study the soil features and micromorphology of erosion, landslide and debris flow in typical regions. In this paper, the soil profiles of typical erosion, landslide and debris flow from eastern slope of Mt. Gongga, Yanting in hilly region of central Sichuan, Yunyang in Three Gorges as well as Jiangjia Ravine of Dongchuan in Yunnan Province were conducted, the main results are as follow: (1) The soil features are different in the regions with different erosion intensity, however, such features as weak development, coarse particles, easy dispersion are common, which are in favor of the formation of erosion, consequently, some micromorphology of erosive soil formed, for example, micromorphology of coarse skeleton accumulation, micro-spotleaching of fine soil, micromorphology of buried soil horizon etc. (2) The micromorphology and features of favorable landslide formation in landslide soil were observed, e. g., fine and round-eroded skeletons, fingerprint microstructure of favorable attenuating water and so on. Some peculiar micromorphology also was found in landslide bed such as tensile micro-crack, optical beamed clay aggregates, Fe-Mn isolates and glassy materials. (3) The soil of debris flow are very special in features and has peculiar micromorphology, for example, lacustrine muddy-like matrix, rock fragment-coated muddy inclusions, dislocation microstructure and so on. The results revealed that the features and micromorphology of three type of soil are different because of their different environmental condition, which has taxonomic implication for the formation of erosion, landslide and debris flow.

**Key words:** erosion; landslide; debris flow; soil features; soil micromorphology; upper reaches of Yangtze River

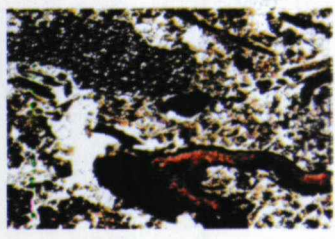




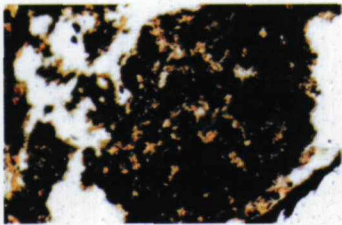
1、GG03-AC, XPL, 5×5



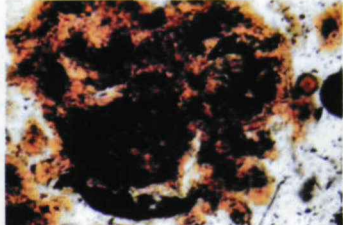
2、YT02-B<sub>z</sub>, XPL, 5×5



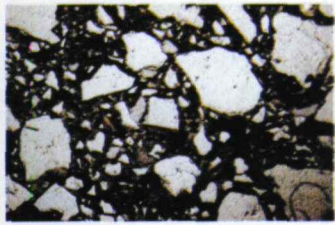
3、GG6-1-A, PPL, 2×5



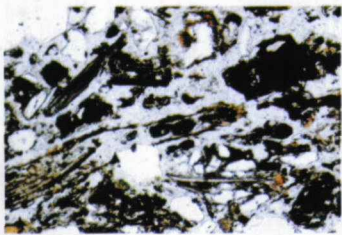
4、GG04-AC, PPL, 8×5



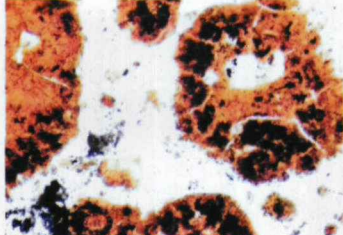
5、GG01-B<sub>z</sub>, PPL, 12×5



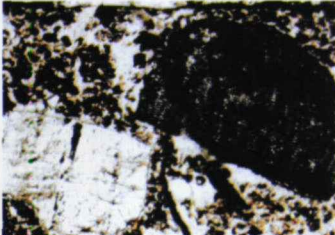
6、GG05-AC, PPL, 5×5



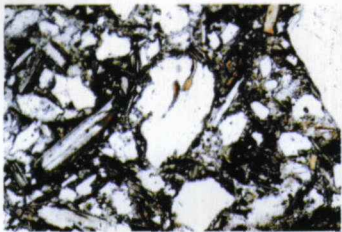
7、GG6-1-A, PPL, 2×5



8、GG01-A, PPL, 8×5



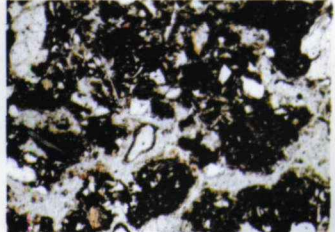
9、GG02-AC, PPL, 5×5



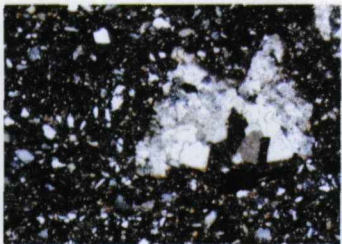
10、GG02-AC, PPL, 5×5



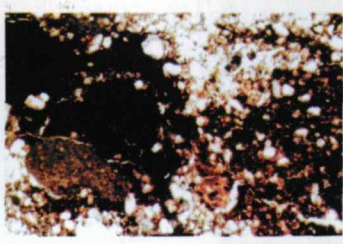
11、GG6-2-AC, XPL, 2×5



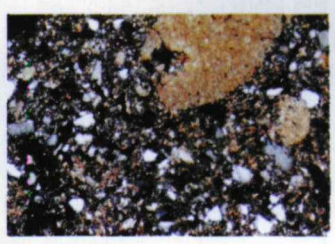
12、GG04-B<sub>z</sub>, PPL, 2×5



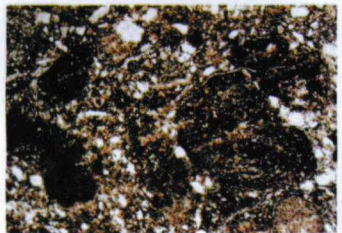
13、YT02-AC, XPL, 2×5



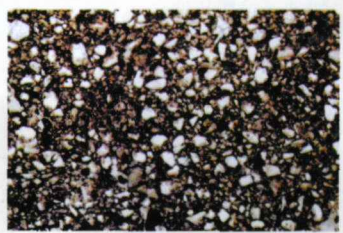
14、YT03-B<sub>z</sub>, PPL, 5×5



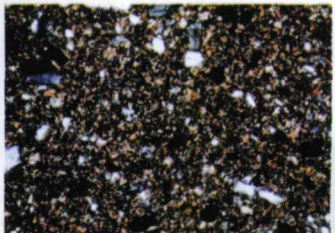
15、YT03-AC, XPL, 2×5



16、YT01-AC, PPL, 2×5



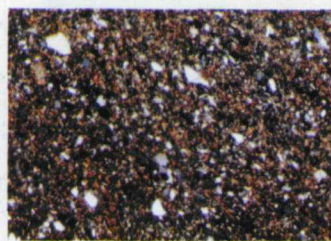
17、YT04-A, PPL, 2×5



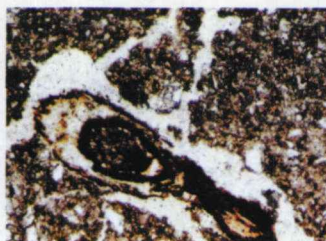
18、YT02-A, XPL, 2×5

注: GG6-1、GG6-2 为贡嘎山东坡海拔 3 650 m 点样品。XPL: 正交偏光, PPL: 单偏光, 倍率: 显微摄影倍数。下同。

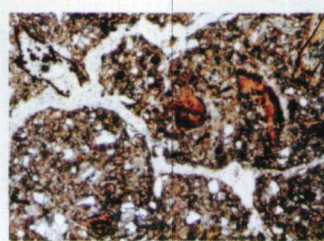




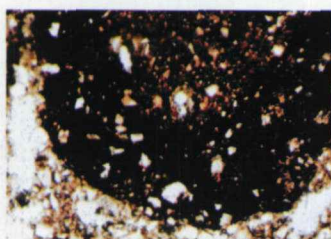
19、YT03-Bs, XPL, 2×5



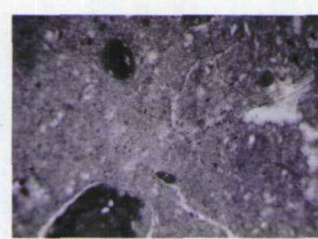
20、YT02-A, PPL, 2×5



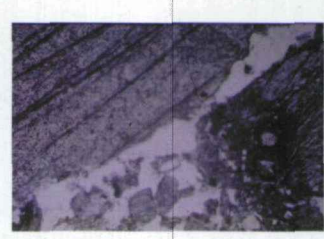
21、YT01-AC, PPL, 2×5



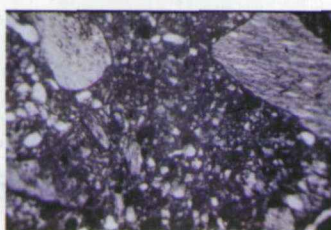
22、YT03-Bs, PPL, 10×5



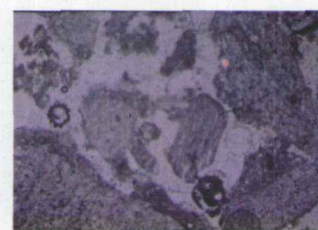
23、DC02-A, PPL, 10×3



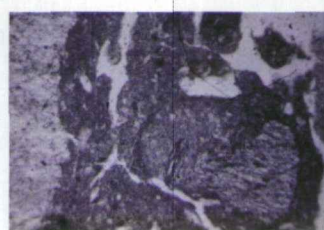
24、DC04-C, PPL, 10×3



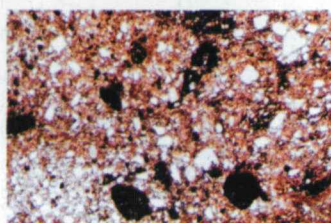
25、DC03-A, XPL, 10×3



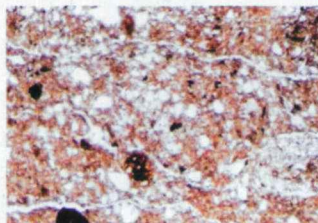
26、DC04-AC, PPL, 10×3



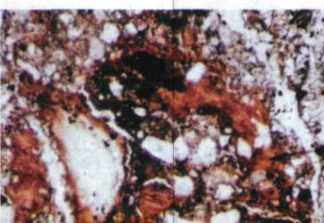
27、DC02-Bs, PPL, 10×3



28、YY04-AC, PPL, 5×5



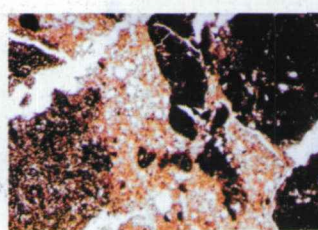
29、YY04-AC, PPL, 5×5



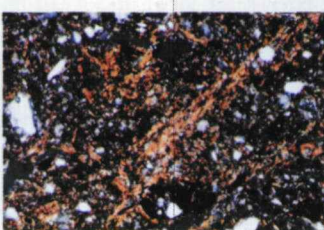
30、YY02-AC, PPL, 10×5



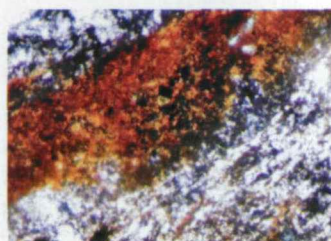
31、YY04-AC, PPL, 10×5



32、YY05-C, PPL, 5×5



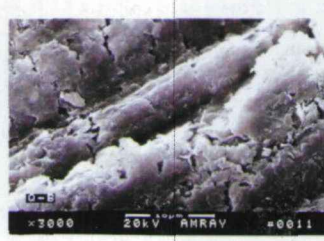
33、YY05-C, XPL, 5×5



34、YY05-C, XPL, 12×5



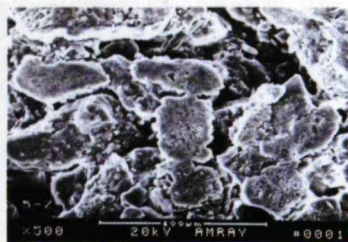
35、QJ03-C, XPL, 8×5



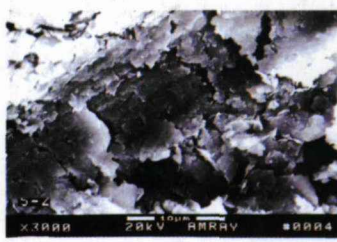
36、YY05-C, SEM, 3000×

注: QJ03-C样品采自三峡千将坪滑坡滑面。

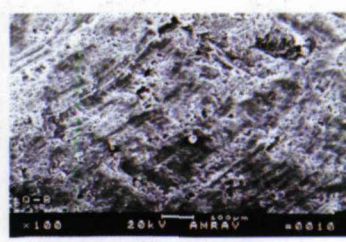




37、YY05-C, SEM, 500×



38、YY05-C, SEM, 3000×



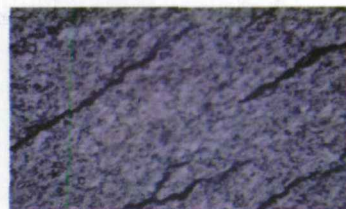
39、YY05-C, SEM, 100×



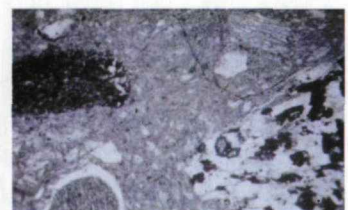
40、DC05-C<sub>1</sub>, PPL, 10×3



41、DC05-C<sub>1</sub>, PPL, 10×3



42、DC05-C<sub>1</sub>, XPL, 10×3



43、DC05-C<sub>3</sub>, PPL, 10×3



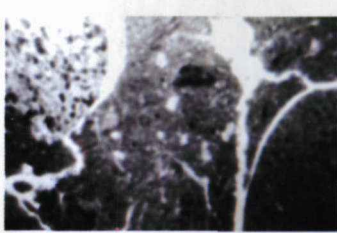
44、DC05-C<sub>3</sub>, PPL, 10×3



45、DC05-C<sub>3</sub>, XPL, 10×3



46、DC05-C<sub>2</sub>, XPL, 10×3



47、DC05-C<sub>2</sub>, PPL, 10×3



48、DC05-C<sub>3</sub>, XPL, 10×3



49、DC05-C<sub>1</sub>, PPL, 10×3



50、DC05-C<sub>2</sub>, PPL, 10×3



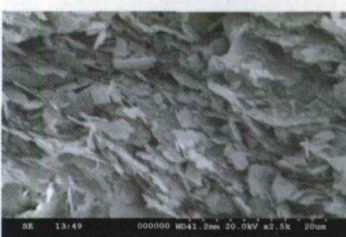
51、DC05-C<sub>3</sub>, SEM, 1000×



52、DC05-C<sub>2</sub>, SEM, 1000×



53、DC05-C<sub>3</sub>, SEM, 1000×



54、DC05-C<sub>2</sub>, SEM, 2500×