

# 浙江省泥石流形成及成灾特点

岳丽霞

( 浙江省地质矿产研究所 ,浙江 杭州 310007)

**摘 要:** 浙江地处我国东南沿海 ,近几年频繁遭受泥石流等山地灾害的危害。由于所处地理地质和气候环境 ,发育的泥石流有其独特的地域特征。从泥石流的发育特征、形成过程等探讨了浙江泥石流形成的机理 ,分析了其成灾特点。结果表明 ,浙江省泥石流为滑坡、崩塌转化型泥石流 ,泥石流的形成机理及过程主要为:强降雨下滑坡、崩塌发生 ,持续强降雨使得滑坡、崩塌松散物液化从而形成泥石流。滑坡、崩塌转化型泥石流在流域特征上表现为形成区坡度大 ,易发滑坡、崩塌 ,水力条件充分等。泥石流灾害具有低频性、群发性、并发性、突发性、夜发性、危害大等特点。

**关键词:** 泥石流; 滑坡、崩塌转化型; 低频性

**中图分类号:** P642. 23

**文献标识码:** A

浙江地处我国东南沿海 ,地形以中低山和丘陵盆地为主 ,降雨兼受台风雨、梅雨交替变化的影响 ,出露岩石以火山碎屑岩、沉积岩为主。独特的地形、地质及降雨条件使得泥石流的形成发育有其独特的地域特征。如在流域特征上表现为流域面积小( 一般  $< 1.0 \text{ km}^2$  ) ,流程短( 一般  $< 800 \text{ m}$  ) ,相对高度小( 一般介于  $100 \sim 600 \text{ m}$  ) 等; 泥石流的年内分布跟暴雨的年内分布基本一致 ,呈现明显的双峰现象 ,6—9 月的泥石流数量明显偏多<sup>[1-2]</sup>。

据调查 ,区内绝大多数泥石流的形成是在高强度持续局地性降雨下 ,沟谷中上游坡面失稳引发滑坡、崩塌等转化而成。本文主要从泥石流形成特征研究其形成机理 ,分析其成灾特点。

## 1 滑坡、崩塌转化为泥石流

据不完全统计 ,截止 2009 年 ,浙江省总共发育 350 条沟谷泥石流 ,从流域特征来看 ,近 80% 的泥石流流域具有沟床比降大、相对高度小、两侧山坡坡度大、主沟流程短、流域面积小的特征。从典型泥石流

的形成过程来看 ,多数泥石流的形成是沟源区土体及固体碎屑物质在前期降水、径流的浸润渗透和浸泡下 ,含水量逐渐增加 ,自身重力增大 ,导致堆积碎屑物的内摩擦角和内聚力不断减小 ,堆积的碎屑物在持续的强降水下迅速液化、失稳 ,继而沿剪切脆弱面滑动形成滑坡或崩塌。在滑坡、崩塌体下滑过程中 ,在持续降雨下继续液化、流化 ,经过一段时间和一段距离的混合搅拌 ,形成具有特定结构的泥石流体。调查发现 ,浙江省内 80% 的泥石流的形成有这种明显的先发生滑坡、崩塌 ,再转化为泥石流的形成过程特征。2009 - 08 - 10 受“莫拉克”台风降雨引发的泰顺泥石流 ,即为滑坡产生后在持续强降雨下直接转化为泥石流 ,致 6 人死亡、1 人重伤。

浙江地层以江绍断裂为界 ,分为浙西北以沉积岩为主和浙东南以火山岩为主两大地层区<sup>[3]</sup>。地质环境条件决定两区泥石流的形成过程有所差别 ,沉积岩地层区松散物源启动主要为软硬相间岩层的滑坡、崩塌; 东部火山岩分布区启动则以风化残坡积浅层土质滑坡为主。

收稿日期( Received date) : 2010 - 05 - 20; 改回日期( Accepted) : 2011 - 06 - 11。

基金项目( Foundation item) : 浙江省国土资源厅“浙江省小流域泥石流综合研究”重大项目资助。[Supported by Project of Zhejiang Province land and resources government department “Synthesizes research of the small river basin debris flow disaster in Zhejiang Province”. ]

作者简介( Biography) : 岳丽霞( 1977 - ) ,女( 汉) ,硕士 ,地质工程师 ,主要研究方向为山地灾害。[Lixia Yue ( 1977 - ) ,female( Han nationality) , Master , Geology engineer ,majoring on mountain hazards research. ] E - mail: yuelx@126. com

### 1.1 浙西北软硬相间沉积岩区小型岩质滑坡、崩塌转化为泥石流

浙西北碎屑岩和碳酸盐岩广泛分布,岩性主要为砂岩、粉砂岩、泥岩和碳酸盐岩等,岩石多呈块状、碎裂状结构,裂隙发育,岩层软硬相间,厚薄不等,岩石的完整性和抗风化能力差异大,力学强度差异较大,物理和化学风化作用强烈,导致岩体易崩解,形成块石、碎石和砂砾<sup>[4]</sup>。

滑坡、崩塌转化为泥石流的过程:流域上游山体陡峭,雨水沿易于风化的软弱岩层下渗,使得表层岩体含水基本达到饱和,岩土软化。在持续强降雨作用下,雨水沿薄弱带或裂隙下渗达到基岩面时形成相对不透水层,使上层岩体处于一个相对不排水、大荷载作用的环境,上层岩体抗剪强度迅速降低,坡体的自重、静水压力和动水压力增大,同时,薄弱带或裂隙下渗的雨水对裂缝两侧壁产生较大的侧向压力,伴随岩体裂缝或张裂倾倒变形,裂缝不断加宽,岩体向临空方倾斜,使滑坡、崩塌迅速启动。在特大暴雨持续袭击下,强大的水动力作用使滑坡、崩塌物质运行至坡脚,并继续液化,在较大沟床坡降条件下转化为高速块石、沙、泥汇集的碎屑流,大量的洪流在巨大的水力条件下加大了冲刷力,沿途侵蚀沟坡薄弱地带,补充碎屑物质,进而形成泥石流(图1)。一个流域内由于下垫面条件的适宜,在降雨条件满足的情况下,往往多处发生类似的小型滑坡、崩塌,一并参与滑坡、崩塌转化为泥石流的过程。

如浙北临安市昌化泥石流的物源区为古生代泥岩、泥质灰岩以及中生代凝灰岩、泥质粉砂岩,均为易风化或者工程地质条件比较差的岩层;萧山发生的泥石流物源区岩性主要为凝灰岩,虽然呈坚硬块状,抗风化能力较强,风化带浅,但该类岩石分布区剥蚀作用强烈,地势陡峻,受区域性断裂的影响,节理发育,在长期风化作用和地表水侵蚀下,已发生楔形体崩落,这些崩落物堆积在斜坡或坡脚,成为泥石流的潜在物源。

### 1.2 浙东南火山岩区风化残坡积浅层滑坡转化为泥石流

浙东南区广泛分布火山岩,构造发育,使得该区具有较厚的岩石全-强风化层<sup>[5]</sup>,风化残坡积厚度一般1~5 m。

火山岩风化残坡积浅层滑坡转化为泥石流形成过程:残坡积土和风化火山岩的渗透性和储水能力较下层基岩好,在一定的降雨情况下,很容易达到饱和,同时加快孔隙水压力的降雨响应时间,在一定程度上增大孔隙水压力。在较强的降雨的情况下,风化残积层和坡积层内部残余的软弱夹层以及下伏的中等和轻微风化层经常构成滑动面,深度一般不超过2 m。当雨强达到一定程度,浅层滑坡形成。该区域发育的滑坡以残坡积层和全风化层组合的小型浅层土质滑坡为主。

浅层滑坡转化为泥石流的过程大致有五个阶段:第一阶段为风化残积层和坡积层沿基岩接触界面滑动,滑动过程受坡积层中张裂隙和孔隙水压力所控制;随着滑体的继续滑动,坡体内部剪切导致坡积物强度降低而出现塑性变形,土体剪胀,张裂隙中的水渗入剪胀土体,进一步导致土体的弱化和解体,构成第二阶段;第三阶段,土体开始沿地表流动;当土体继续沿地表流动时,速率加快,侵蚀融入更多碎屑物质,因而在第四阶段形成泥石流,第五阶段由于坡度减缓,碎屑物质在坡底或缓坡区堆积(图2)。

例如2004-08-13“云娜”台风引发的乐清群发性泥石流,即是由于降雨导致的岩体风化壳饱和,沟源地带坡面泥石流或浅层滑坡启动,一定的高程条件下滑坡体使势能转化为动能,下行滑坡逐渐液化、流化,并在形成区域由于较高的坡度开始加速运动,携带沟床的松散固体物质进一步增大流量形成较大规模的泥石流。据统计已经发生的14条沟谷泥石流都是在沟源地带浅层滑坡、小型崩塌的启动下形成的。

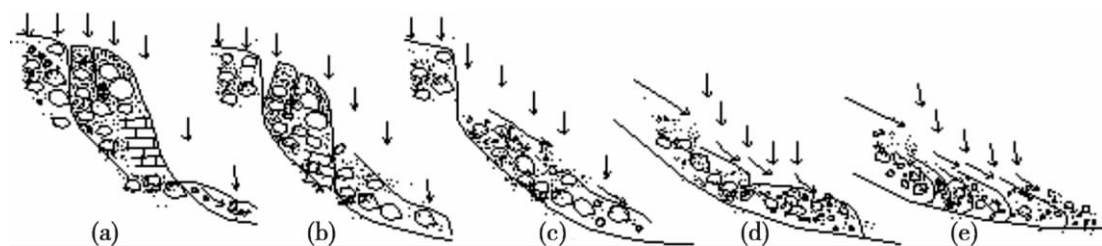


图1 碎屑、岩质滑坡、崩塌转化为泥石流过程

Fig.1 The pocess of clastic rock ,rocklandslide and collapses changing into debris flow



图 2 浅层滑坡转化为泥石流过程 (Howard<sup>[6]</sup>)

Fig. 2 The process of the shallow landslide changes to debris flow

(a) 滑坡体剪张破坏; (b) 应变软化滑动; (c) 滑动加速解体; (d) 滑坡流化; (e) 缓坡堆积

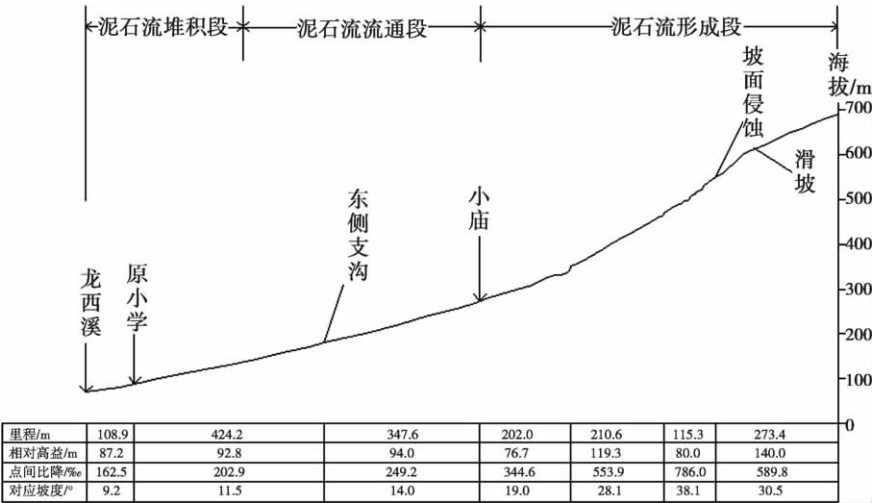


图 3 乐清龙西仙人坦泥石流沟纵剖面示意图

Fig. 3 Grooves section sketch map of Xianrentan debris flow at Longxi country in Yueqing

2 滑坡崩塌转化型泥石流成因及成灾特点

滑坡、崩塌转化型泥石流是由松散体在整个连续运动过程中先发生滑坡、崩塌,后泥石流两个阶段组成。兼具滑坡和泥石流的一些特征。它是一种超强度高速输移泥沙石块的过程,具有速度快、冲击力强、破坏性大等特点<sup>[7]</sup>。

2.1 成因

2.1.1 坡体及沟道

区内发生的泥石流,其流域有一个共同的特征:沟床平均坡降大、两侧山坡坡度大、主沟流程短等。尤其,流域有个明显的特征,即流域后缘一般坡度骤升,往往形成 $>35^\circ$ 的陡坡;上游沟床坡降一般达到35%或以上,下游沟床的坡降一般5%~10%,在流通区的中游段,沟床坡降10%~35%。这种地形使得滑坡、崩塌体前方具有较好的临空条件,使斜坡处于不稳定状态,易于在水力条件下失稳,滑坡、崩塌直接转化为泥石流。

以2004年发生的乐清龙西乡仙人坦泥石流流域特征为例说明之(图3)。其沟道上游地形陡峻,局部坡度超过 $35^\circ$ 。

2.1.2 降雨

浙江省受台风和梅雨影响下的局地性强降雨频繁,短历时持续强降雨资源丰富。每年5月、6月梅雨集中,8—10月沿海地区又常受台风袭击。据气象部门统计,影响浙江省的台风,平均每年3.3次,常出现台风暴雨。据气象资料,平均暴雨日数为4.4d,最多年份暴雨日数7~21d。据实测,浙江最大10min雨量一般达20~35mm。实测最大60min暴雨超过120mm,最大24h雨量 $>600$ mm,最大3d暴雨量可达700mm以上。据统计,约有90%以上的泥石流发生在6—9月,约80%的泥石流是在短历时强降雨下滑坡、崩塌转化形成。

温州市有统计数据的13次泥石流中,有11次发生时最大1h降雨量60mm;有2次泥石流发生时最大1h降雨量100mm;13次泥石流中有11次发生时最大3h降雨量超过了128mm。2004—08—13发生在乐清龙西乡的群发泥石流,附近礅头雨

量站记录 3 h 降雨量达到 209.6 mm, 最大 24 h 降雨量达到 864 mm。

据不完全统计,截止 2008 年底,发生在 7—9 月台风期的泥石流,占统计泥石流总数约 81%,历史有台风诱发因素的泥石流数量 146 处,且发生时间集中在近几年的几次强台风过境时,据统计,在 2004—2007 年发生的台风泥石流就有近 120 处。

### 2.1.3 植被的影响

以通常的认识,植被较好的区域不利于滑坡、崩塌、泥石流的发育,是因为植被根系发达,会增加土体的粘聚力而减少土体的拉张破坏,同时,根系深度大的植被往往会对斜坡土体起到深层锚固作用,从而加固土体强度及土体斜坡稳定性<sup>[8-9]</sup>。但在浙江省,植被对斜坡稳定性也有其不利方面,主要表现在:1. 植被覆盖好,坡体截水能力强,大量的降水不容易以坡面径流的形式排除,雨水沿地表裂缝或植被根系大量渗入坡体,使基岩以上的松散碎石土呈饱和状态,使斜坡力学强度降低,土体自重下滑力、斜坡静水压力、动水压力均增大,打破了坡体临界平衡状态,促成斜坡变形破坏。2. 浙江植被多灌木类和浅根乔木类,灌木类植被根系影响深度一般  $< 0.4$  m,而浅根乔木类根系影响深度一般  $< 1.0$  m,根系相对不发达,而区内残坡积层浅层滑坡或崩塌等破坏面深度一般  $0.5 \sim 2.0$  m,因此,根系一般没有伸展到破坏面以下,植被根系在对滑坡破坏有重要影响的深度内并不影响土体的强度,而且在水力及风力作用下,植被自身的平衡受到影响,摇摆力反而会加速破坏斜坡土体的稳定性,往往出现滑坡或泥石流区域植被在降雨浸润及风力作用下常常连根拔起的现象(图 4),这也是常常植被较好的流域滑坡、崩塌、泥石流灾害照发不误的原因。

## 2.2 成灾特点

暴雨,尤其台风暴雨影响下的泥石流具有低频性、群发性、灾害并发性等特征,在时间上具有夜发性等;泥石流低频的隐蔽性导致泥石流具有突发性,灾小害大等成灾特点。

### 2.2.1 低频性

浙江省泥石流物质来源基本有两种,一种是松散物源来自长期累积的第四系松散残坡积物,在百年不遇的强降雨下发生泥石流,此类泥石流一旦发生,需经过长期的松散物积累过程且遇超强降雨,因此发生的频率极低;另一种是强降雨下引发的沟谷上游滑坡、崩塌形成的松散物源形成泥石流,此种



图 4 泥石流揭露的浅根植被

Fig. 4 The tree roots that the mud-rock flow uncovered

物源类型的泥石流需要充足的物源,即必须在同时发生崩滑或有大量前期崩滑物的累计过程。在流域面积小,流域内的松散物源储量有限情况下,一次泥石流发生往往带走已存在的松散物源,之后,松散物源的积累要经过很长的时间,因此,发生泥石流的频率低。据不完全统计,有记载的复发泥石流仅 10 处,约占泥石流总数的 2%,即约 98% 的泥石流沟历史上只发生过一次泥石流。因此,总体而言,浙江泥石流基本属于低频泥石流。

### 2.2.2 群发性

由于浙江省暴雨的强度及分布范围常常具有集中性,往往局部大暴雨笼罩一个或几个小流域,尤其台风降雨,常引发流域内及附近多条沟道同时发生泥石流,群发性泥石流的区域与强降雨区域基本吻合。例如,庆元县内已发 19 条沟谷泥石流中有 17 条发生在 2006—08—10—11 的“桑美”超强台风期间。当时庆元受台风过境影响,在影响范围内的岭头、荷地、左溪等县域东部乡镇持续普降特大暴雨,致使泥石流大范围发生。

### 2.2.3 灾害并发性特征

在降雨条件一致的情况下,泥石流与崩塌、滑坡、山洪等灾害在一个区域内往往同时遭遇,相伴而生。有些滑坡、崩塌在启动之后在合适的条件下直接转化为泥石流,使得滑坡、崩塌和泥石流形成一个连续过程;有的滑坡、崩塌形成后没有合适的地形和降雨条件,是一个独立过程,但他们有个共同的促发因素,充足的水源条件。尤其对于滑坡、崩塌转化型泥石流,地形条件、地质条件、水源条件等触发因素及启动机制跟单个滑坡、崩塌基本相同。因此,滑

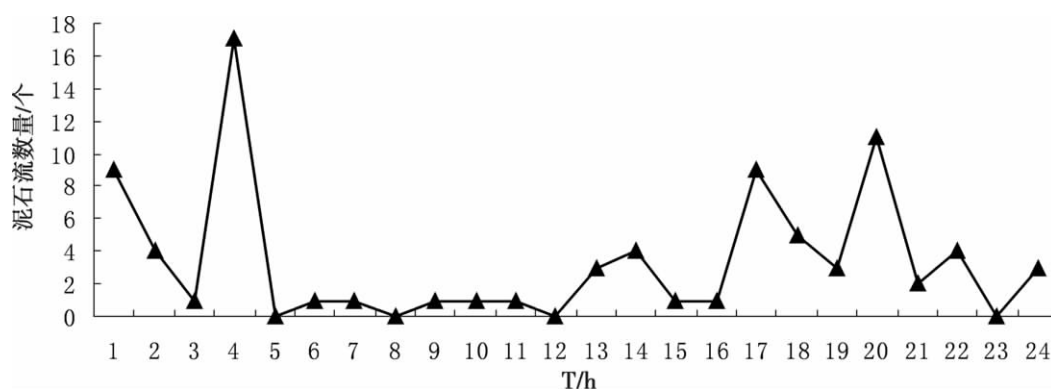


图5 泥石流发生时间统计图

Fig.5 The statistics that debris flow occur time

坡、崩塌、泥石流灾害往往存在并发性。据统计,在崩塌、滑坡等发生数量多的年份,泥石流发生数量也大。如2004-08-12的第14号台风“云娜”就在乐清北部激发滑坡21处,泥石流26处,崩塌16处。

#### 2.2.4 突发性

泥石流具有突发性,是受突发大暴雨、特大暴雨等极端降水的控制。短历时暴雨强度大,再加上沟谷地形陡、流程短等特征,使泥石流暴发突然,流动速度快,历时短,短时间内便形成巨大的灾害。

如2004-08-13 T04:20,“云娜”台风暴雨引发西沟泥石流,历时6—10 min,造成18人死亡和失踪,10间房屋被毁;2007-07-23 T16:55—17:05,10 min内,萧山三联村发生2处泥石流,造成较大的危害。

#### 2.2.5 夜发性

统计发现泥石流暴发的具体时间偏向于夜晚,在傍晚5:00到早上5:00之间发生的泥石流为68处,占统计泥石流的82.9%(图5)。可见,泥石流的发生明显具有夜发性。如2004-08-13的乐清泥石流,发生在T4:00—5:00;1999-09-04温州市区及周边群发泥石流的时间也在T4:00—5:00;2006-08-11庆元荷地镇石木下村一带的群发泥石流时间在T0:00—2:00等<sup>[10-12]</sup>。

#### 2.2.6 危害大

低频泥石流往往有其自身破坏性和隐蔽性的特征及人们防范意识淡薄的原因。由于这些沟谷长期未发生泥石流,当地居民对泥石流灾害的防范意识淡漠,在危险区建房、岸坡耕种、挤占河道等,泥石流突如其来,往往能造成更大灾难性后果。如造成巨大损失的2006年的庆元泥石流、2004年的乐清泥石流,重现期均为百年以上。

### 3 结论

浙江独特的地形、地质及降雨条件使得泥石流的形成及成灾特点有其独特的地域特征。形成一般是在高强度持续局地性降雨条件下,沟谷中上游坡面失稳引发滑坡、崩塌等转化而成泥石流。浙西北和东南地层岩性差异大,浙西北泥石流的形成主要是区域软硬相间沉积岩土质及岩质小型滑坡、崩塌转化而成;浙东南泥石流的形成则主要是火山岩风化残坡积浅层滑坡转化而成。泥石流形成、发育特征主要有:流域上表现为上游形成区坡度陡峻,沟床坡降大,中游流通区短而窄,坡降大,这种临空的流域地形使得滑坡、崩塌易于发生,再加上浙江台风暴雨频繁,短历时强降雨集中、雨量大,使得区域极易启动的小型滑坡、崩塌在强降雨下易于转化为泥石流。浙江泥石流的成灾特点表现为:低频性、群发性、突发性、并发性、夜发性、历时短、危害大等。

#### 参考文献(References)

- [1] Lixia Yue, Shujiao Yu, Xiaoming Tang, et al. The analysis of forming characteristic of Zhejiang' debris flow [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and a Control, 2010, 3(1): 25-29 [岳丽霞, 余淑皎, 唐小明, 等. 浙江省泥石流发育特征[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 3(1): 25-29]
- [2] Lixia Yue, Wang Yong, Shujiao Yu, et al. Types and distribute of debris flow in Zhejiang Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(6): 1-4 [岳丽霞, 王永, 余淑皎, 等. 浙江省泥石流类型及分布特征[J]. 水土保持通报, 2010, 30(6): 1-4]
- [3] Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. Regional geology of Zhejiang Province [M]. Beijing: Geological Press, 1989 [中华人民共和国浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志[Z]. 北京: 地质出版社, 1989]

- [4] Zhe Jiang Hydrogeology Engineering Geology Group. Hydrological geology of Zhejiang Province[R]. 1995 [浙江省水文地质工程地质大队. 浙江省区域水文地质志[R]. 1995]
- [5] Institute of Geology and Mineral Resources ,Zhejiang Province .Survey and evaluation of geological environment in Zhejiang Province , [R] ,1999 [浙江省地质矿产研究所. 浙江省地质环境调查与评价 [R]. 1999 ]
- [6] Howard T R , Baldwin ,J E , Donley H F. Landslides in Pacifica , California , caused by the storm[C] //S D Ellen & G F Wiczorek. eds. Landslides , Flood , and Marine Effects of the January 3 - 5 , 1982 , in the San Francisco Bay Region , California ,1988: 163 - 184
- [7] Republic of Land and Natural Resources. Debris flow disaster prevention engineering and survey specifications [S]. Beijing: China Standard Press 2006 [中华人民共和国国土资源部. 泥石流灾害防治工程勘察规范[S]. 北京: 中国标准出版社 2006]
- [8] Kang Zhicheng ,Li zhuofen ,Ma Ainai , et al. Debris flow in China [M]. Beijing: Science Press 2004 [康志成, 李焯芬, 马蔼乃, 等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社. 2004]
- [9] Tang Bangxing. Debris flow in China [M]. Beijing: Commercial Press. Beijing 2001. [唐邦兴. 中国泥石流[M]. 北京: 商务印书馆 2001]
- [10] Zhejiang 11th Geological Team. A small basin debris flow survey and evaluation report of Yueqing in Zhejiang Province [R] . 2008 [浙江省第十一地质大队. 浙江省乐清市小流域泥石流地质灾害调查与评价报告[R]. 2008]
- [11] Zhejiang University. A small basin debris flow survey and evaluation report of Yuhang in Zhejiang Province [R] . 2008 [浙江大学. 浙江省余杭区小流域泥石流地质灾害调查与评价报告 [R]. 2008]
- [12] Zhejiang Institute of Geology and Mineral Survey . A small basin debris flow survey and evaluation report of Qingyuan in Zhejiang Province [R] . 2008 [浙江省地矿勘察院. 浙江省庆元县小流域泥石流地质灾害调查与评价报告[R]. 2008]

## Cause and Damaging Characteristic of Debris Flow in Zhejiang Province

YUE Lixia

( Institute of Geology and Mineral Research of Zhejiang Province Hangzhou 310007 ,China)

**Abstract:** Zhejiang is a coastal province in southeastern China , and over the past few years , it is frequently suffered damages caused by mountain hazards such as debris flows and so on. Because of specific geological , geographical and climatic characteristics of the region , debris flow in Zhejiang is different from the ones in western and northern China on the features of watershed , geological environment and water source. This paper looked into the damage pattern of debris flow in Zhejiang Province , and analyzed the mechanism of debris formation according to the development characteristics and process of debris flow. The results showed that the debris flow in Zhejiang Province was transformed from landslide-collapse , which occurred when landslide and collapse took place under the triggering heavy rainfall , and the mass were fluidized into debris flow under the continuous heavy rainfall. The watersheds with highly occurrences of debris flow hazards are always the ones with steep channels , highly occurrences of landslides and collapses , and appropriate hydrological conditions. The characteristics of debris flow include: low frequency , simultaneity , recurrence , outburst , occurrence at night , and severe damages.

**Key words:** debris flow; landslide-collapse changing into debris flow; low frequency depending