

长江流域滑坡分布与环境关系的探讨

聂世平 王志旭

(地质矿产部成都水文地质工程地质中心)

提 要

长江流域现已研究过的滑坡有1,203处,主要分布在上游西部地区,数量多,规模大,其次是中部地区,规模多为中小型,但涪陵—南津关的长江两岸斜坡部分地区有上千万立方米的大型和特大型滑坡;东部区滑坡分布更少,规模以几万到几十万立方米居多。这是由于新构造活动、岩土体稳定性、斜坡形态、降雨强度、河流侧向侵蚀和人为活动对斜坡变形的影响所致。随着经济和工程活动增多,流域内的滑坡有急剧发展趋势。

滑坡是一种重要的常见的山地环境地质灾害,它常危及人民的生命财产和各项建设事业的安全。为了认识和征服滑坡灾害,前人对滑坡做了许多研究。前几年,为了长江流域的综合利用规划,地质矿产部组织流域内各有关地质单位编制了长江流域环境地质图系,其中有关图件的部分内容都涉及到滑坡灾害的研究。我们仅依据对这方面所了解的资料及西南山地灾害资料,就长江流域滑坡分布与环境的关系做一些分析研究,目的在于寻找长江流域滑坡的区域分布规律。

一、滑坡分布区域

长江是我国第一大河流,全长6,300公里,位于北纬 $24^{\circ}27'$ — $35^{\circ}54'$,东经 $90^{\circ}33'$ — $122^{\circ}19'$ 之间,面积180万平方公里。由江源到江口跨越了我国大陆地貌三级巨大阶梯区(图1),即甘肃武都—云南小江一线以西为西部高原高山区(简称西部区);甘肃武都—云南小江一线以东至宜昌—都匀一线以西为中部中低山丘陵区(简称中部区);宜昌—都匀一线以东为东部丘陵平原区(简称东部区)。这三大阶梯区的自然环境差异极大,滑坡的分布受其地域控制非常明显,现已研究的1,203处滑坡,主要分布在以下的区域:

- 1、西部区的金沙江、雅砻江、大渡河等中下游段,岷江、涪江和嘉陵江支流白龙江等上游段。
- 2、中部区的嘉陵江上游段、长江干流的涪陵—南津关段、汉水西段。
- 3、东部区的沅水和资水的上游地区及赣江的中上游地区。

二、滑坡分布规律

(一)长江流域的滑坡主要在西部区,数量多,规模大;中部区的滑坡数量比西部区少,规模多为中小型,但涪陵—南津关的长江两岸斜坡的少数地段有上百上千立方米的滑坡;东部区的滑坡分布数量比中—西部区更少,且规模较小,几万至几十万立方米居多。

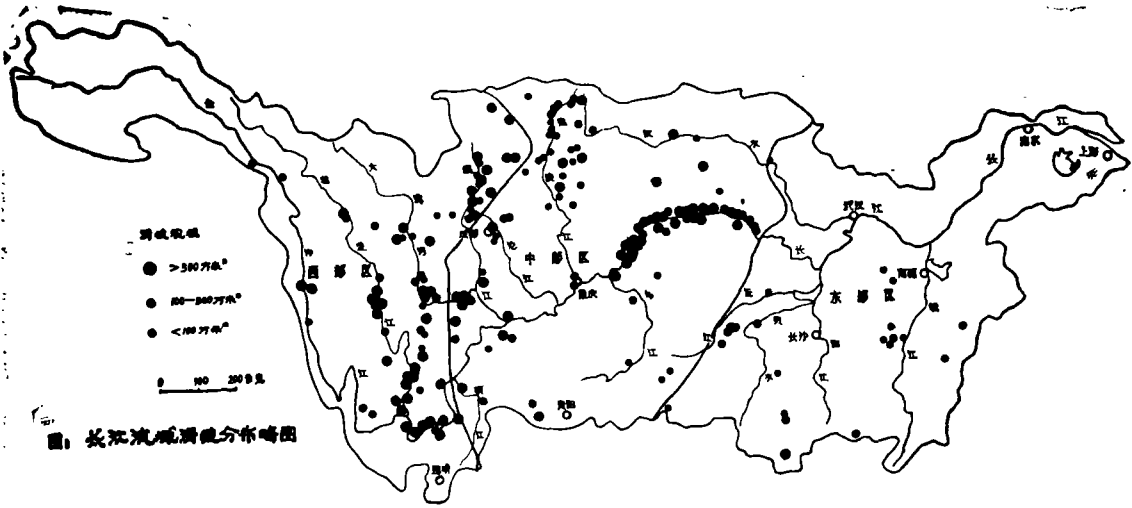
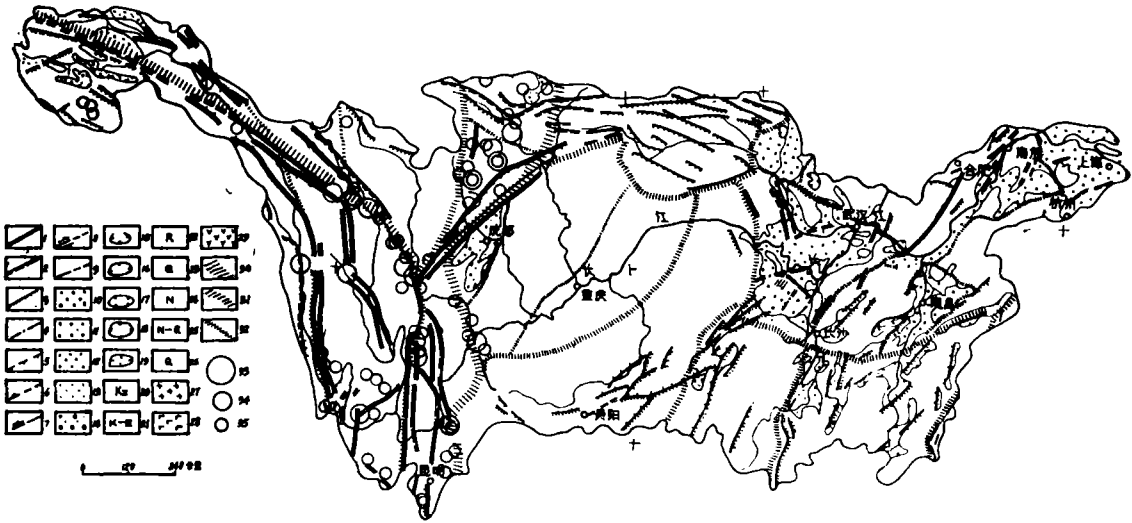


图1 长江流域侵蚀分布图



1.第四纪活动的断裂 2.晚第三纪以来活动的断裂 3.新生代以来活动的断裂 4.活动的隐伏断裂 5.推覆活动的隐伏断裂 6.逆断裂 7.平移断裂 8.正常断裂 9.活动性质不明的断裂 10.新构造盆地 11.同断盆地 12.强差异性盆地 13.宽缓盆地 14.发育尚不明显盆地 15.双字型盆地 16.断陷型盆地 17.拗陷盆地 18.复合型盆地 19.结构不明盆地 20.新生代盆地 21.白垩纪至早第三纪盆地 22.第三纪盆地 23.早第三纪盆地 24.晚第三纪盆地 25.晚第三纪至第四纪盆地 26.第四纪盆地 27.新生代花边带 28.晚第三纪至第四纪花岗岩 29.晚第三纪至第四纪花岗岩及辉长岩 30.一级构造单元界线 31.二级构造单元界线 32.三级构造单元界线 33.震级>8.0 34.震级7.0-7.9 35.震级6.0-6.9 (据国家地震局资料)

图2 长江流域新构造图

(二) 滑坡越发育的地区, 滑坡多相对密集呈带状分布; 滑坡不太发育的地区, 滑坡相对呈零散分布。根据现有资料, 滑坡密集带分为:

西部区:

1、金沙江中下游滑坡密集带 (包括干流及龙川江、普渡河、小江、黑水河、西溪河、渗鱼河、普隆河等支流的岸坡区)。此带范围大, 滑坡发育, 大型至特大型规模的滑坡多, 如禄劝普福山崩, 体积达4.5亿立方米。

2、金沙江上游白玉—德荣干流滑坡较密集带。

3、雅砻江支流木里河上游无量河 (即理塘地区) 滑坡较密集带。

4、雅砻江、雅江—麦地龙干流滑坡密集带，上千万立方米大型滑坡居多，如唐古栋滑坡达6,800万立方米。

5、雅砻江、金江—南坝干流滑坡密集带，大于10万立方米有157处，100万立方米以上10处。

6、雅砻江支流鲜水河的炉霍—道孚滑坡密集带，长135公里有222处滑坡，其线密度1.6个/公里，规模小，5万立方米以下占80.2%。

7、雅砻江支流安宁河下游滑坡较密集带，规模多为小型。

8、大渡河丹巴—泸定滑坡密集带，其规模多为中小型，部分有达1,000万立方米以上。

9、大渡河汉源—峨边滑坡密集带，现有40—60处，规模达数百万至上千万立方米。

10、大渡河支流牛日河甘洛—普雄滑坡密集带，在76公里成昆铁路线路内，有滑坡38处，线密度高达0.5个/公里。规模大于10万立方米的18%，最大的是630万立方米。

11、岷江上游汶川—镇江关滑坡密集带，滑坡特别发育，汶川至茂汶仅43公里，出现的滑坡有20多处。

12、岷江支流黑水河中下游滑坡较密集带。

13、岷江支流杂谷脑河中下游滑坡较密集带。

14、岷江支流马边河上游滑坡较密集带。

15、涪江上游平武滑坡密集带。

16、嘉陵江支流白龙江中下游滑坡密集带。

中部区：

1、龙泉山背斜两翼滑坡较密集带，在238公里的渠道两侧产生滑坡360余处，滑坡体积多在1万立方米以下，少数体积较大。

2、长江涪陵—南津关干流滑坡较密集带，在530余公里内，统计的滑坡127处，规模较大，有半数大于100万立方米，上千万立方米有20多处。

3、嘉陵江上游支流西汉水西礼盆地滑坡较密集带。

4、嘉陵江上游阳平关—凤县滑坡较密集带，宝成铁路线155公里内就有滑坡63处，规模小，多在1万立方米以下。

5、嘉陵江支流东河滑坡较密集带。

6、渠江上游南江—通江滑坡较密集段。

7、汉江中游宁强—石泉滑坡较密集带。

8、汉江上游紫阳—白河滑坡较密集带，安康至白河有滑坡30多处，多为中小型规模。

9、汉江上游支流的城口—高观寺滑坡较密集段。

10、乌江下游彭水—黔江滑坡较密集段。

11、川黔铁路线的重庆—碁江滑坡较密集段，重庆市滑坡达40多处，28%在10万立方米以上。

12、川黔铁路线的遵义—贵阳滑坡较密集段，在130公里内，有滑坡51处。

13、湘黔铁路线的小龙洞—刘家山滑坡较密集段，在68公里线路内有滑坡25处，规模小，数百至上千立方米。

东部区：

滑坡密集带（或段）少，除少数铁路线段和中山区有密度稍大一点外，其余均零散分布。

1、湘黔铁路新店—望江滑坡较密集带，在83公里线路内有滑坡34处，近半数在10万立方米

以上。

2、枝柳铁路周安坝—施榕溪滑坡较密集段，在22公里线路内，有滑坡10多处，规模多在数十万立方米以上。

3、武功山滑坡较密集区。

(三)多数滑坡密集带分布与山地深切河谷斜坡带、软土软岩、活动断裂、地震、暴雨等区带的展布相一致，小数滑坡较密集带分布与山地铁路、过水渠道等人类工程活动一致。

(四)在自然的滑坡中是以岩质滑坡为主，大约占60%，土质滑坡占40%，而人为的滑坡是以土质滑坡为主，大约占70%。

(五)滑坡体积绝大多数在100万立方米以下，约占总数的74%；而大于100万立方米的大型滑坡主要分布在西部高山和中部区的北部中山峡谷区，约占70%。

(六)西部区的泥石流沟的后缘多数是滑坡分布区，为泥石流提供了丰富的物质来源。

三、滑坡分布与环境的关系

(一)滑坡分布与自然环境的关系。滑坡是山体斜坡变形破坏的一种类型。山体斜坡无疑是产生滑坡的先决条件，平坦的地形上是不可能出现滑坡的。斜坡是地壳表层具有侧向临空面的地质体，是人类从事山区经济和工程活动所涉及的地质环境的重要组成部分，可称为“斜坡环境”。滑坡的产生与“斜坡环境”直接相关，研究滑坡分布实质上是研究“斜坡环境”，研究斜坡体的稳定性及斜坡失稳后的危害性。斜坡体稳定与否是直接受斜坡体的应力状态控制，如果斜坡体的下滑力大于抗滑力，那么斜坡体必然产生下滑。斜坡体的应力状况是在地形(即临空条件)、岩(土)体性质、构造活动以及与暴雨、地震、人为工程活动等因素的制约下而变化。滑坡的产生和发展，是受诸因素的综合作用的结果。长江流域面积广，跨越了许多地质、地貌、气象、水文等不同单元，“斜坡环境”极其复杂，差别悬殊，才出现了长江流域滑坡分布的地域性与分带性。用下面的一些基本情况就可以说明，长江流域西部、中部和东部滑坡分布与这些环境条件的关系。

1、新构造活动对斜坡变形的作用。长江流域西部和中部的**高山、中山峡谷的滑坡密集带和较密集带地区，新构造活动表现为地壳隆起(或掀斜抬升)的速度和幅度都较大。现今岷江上游，嘉陵江支流白龙江和大渡河、雅砻江、安宁河、金沙江、小江、则木河、鲜水河等，这些南北向、北西向、北东走向滑型的断块活动强烈，断裂带延伸远、规模大，构造应力值高。据一些地震解释的地应力反映，最大主应力多近东西向(局布地段变为北东或北西向)，与南北向的河流直交，斜坡带的残余应力向临空方向回弹，使斜坡应力失衡。这是南北向主干河谷段滑坡、崩塌严重的一个重要原因；在上述活动断裂带上，地震活动时时有发生，震中地震烈度可达9—10度以上(图2图3)，成为地震带。在地震活动中，因地震力的作用，地震动幅值和频谱随地形变化，位于山脊顶部或陡凸坡部位遭受山体共振或山体内体波多次反射，位移、速度、加速度的放大效应增强，触发斜坡体失稳成灾害。所以在地震时，高烈度(大于7度)区产生滑坡多，这种现象在许多地震带反映出来。如1973年2月6日炉霍7.9级强震，地震力作用产生137处滑坡；滑体多小型，在5万立方米以上的约80.2%，10万立方米以上有7处，最大80万立方米，多数为土质滑坡。说明新构造活动带对滑坡密集带的空间和时间起到一定的控制作用。

2、岩(土)体的稳定性对斜坡体的变形作用。滑坡体总是在抗滑力极低的软弱层或软弱面上滑动，这是产生滑坡的物质基础。长江流域西部和中部的**高山、中山和低山丘陵区，大面积地分布着千

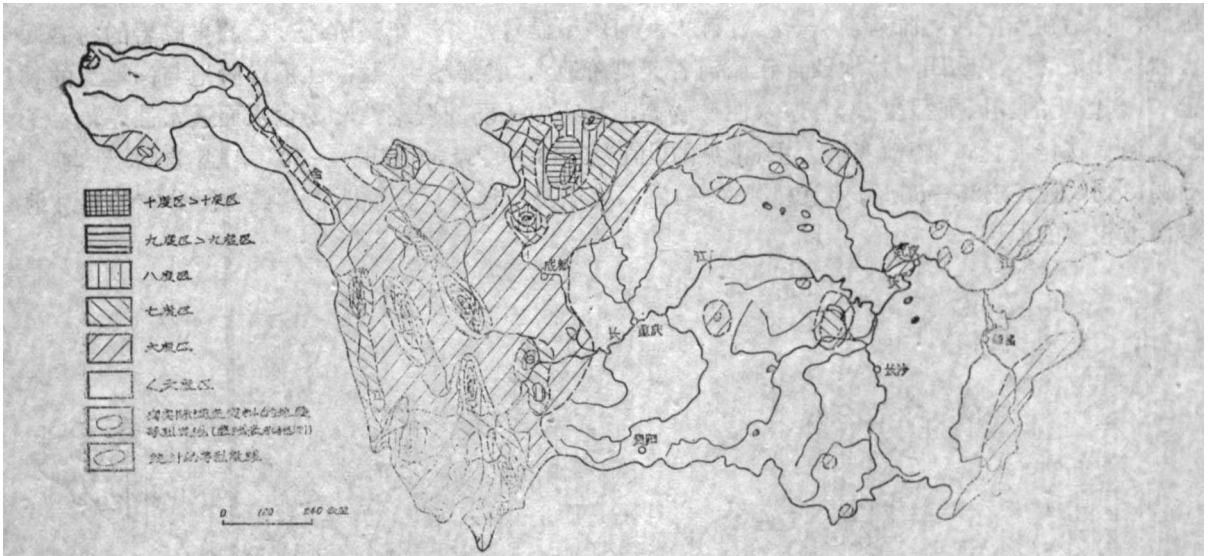


图3 长江流域历史地震烈度分布图

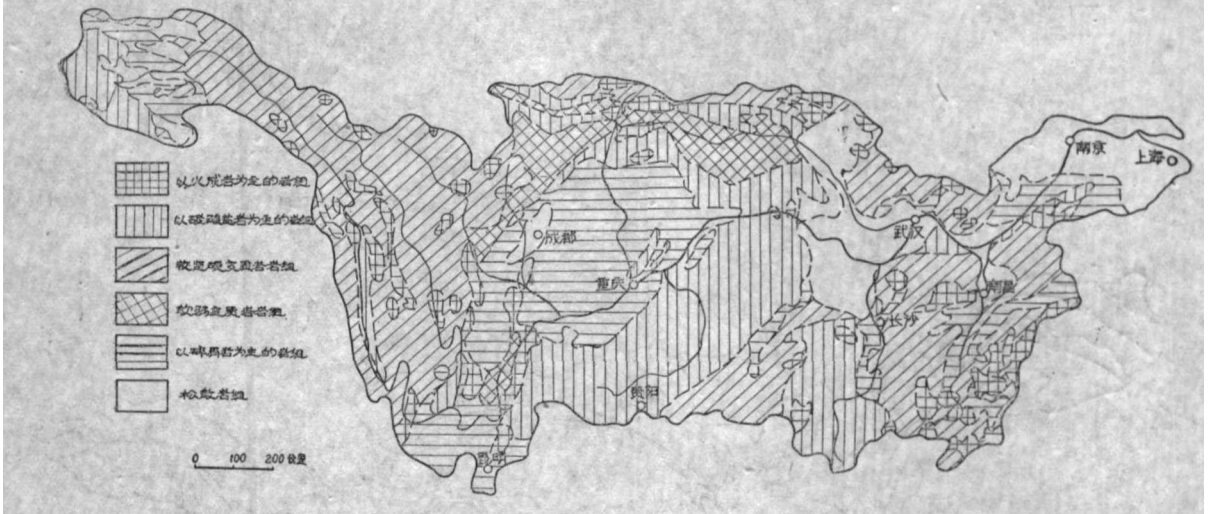


图4 长江流域工程地质岩(化)体类型分布略图

枚岩、砂板岩、“红层”砂泥岩及砂页岩等岩类(图4)。岩层走向常常与斜坡走向一致或交角较小(是因为褶皱构造和顺层断裂控制岩体走向的缘故)。上述岩类含泥质或云母质较高,层理和节理发育,岩石强度低,易于风化和被水软化。坡体中的平缓软弱面对应力传播起着明显的阻隔作用,成为应力相对集中带。层理(或节理)及软弱泥化夹层(特别是倾向河谷时)易成为滑带,所以这是产生基岩滑坡的基本条件,如雅砻江、大渡河和长江涪陵—南津关等滑坡密集带就多属这种情况;泥质岩类、千枚岩类的风化层较厚,加之断裂作用,斜坡上的岩体破碎,常在斜坡坡脚或阶地后缘堆积较厚的残坡积碎石土。因母岩的关系,这类碎石含泥质或云母质成分高,含水性好,力学性质差(在滑带上取土试验,内聚力和摩擦角都较低, C 、 ϕ 值分别在0.19和 8° 以下),易沿土内部剪切面或基岩面滑动,如岷江、雅砻江上游这种情况较多,更新世形成的胀

缩土，包括在安宁河、雅砻江、金沙江和大渡河中下游等河谷局布高阶地分布的半成岩的粉砂质泥岩“普格达”组和四川盆地西部丘陵河谷区高阶地上“成都粘土”及汉江沿岸阶地与岗地上的粘土等。这些土的成因类型复杂，含亲水性矿物高，具有中—弱的胀缩性，易含水而透水性差，易干裂及遇水软化泥化，以塑性变形为主，常见的C值为0.18—0.8， ϕ 值 16° — 30° ，当含水量增加5%，则C值衰减25—55%， ϕ 值衰减20—42%，属于易滑地层。这说明在这类土所分布的斜坡地带滑坡较多的原因。

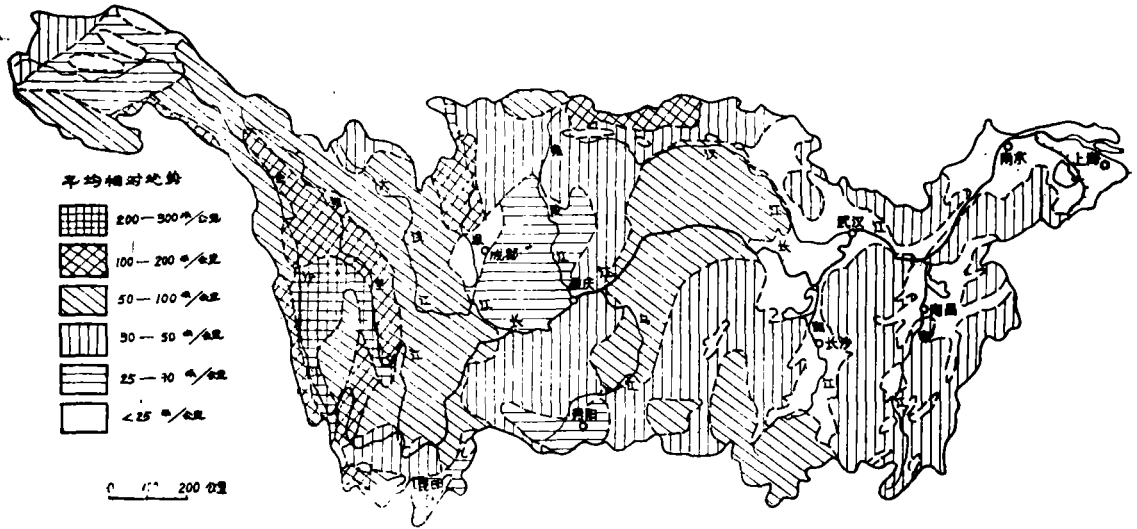


图5 长江流域相对地势变化略图

注：摘自《中国地质地貌学新图》

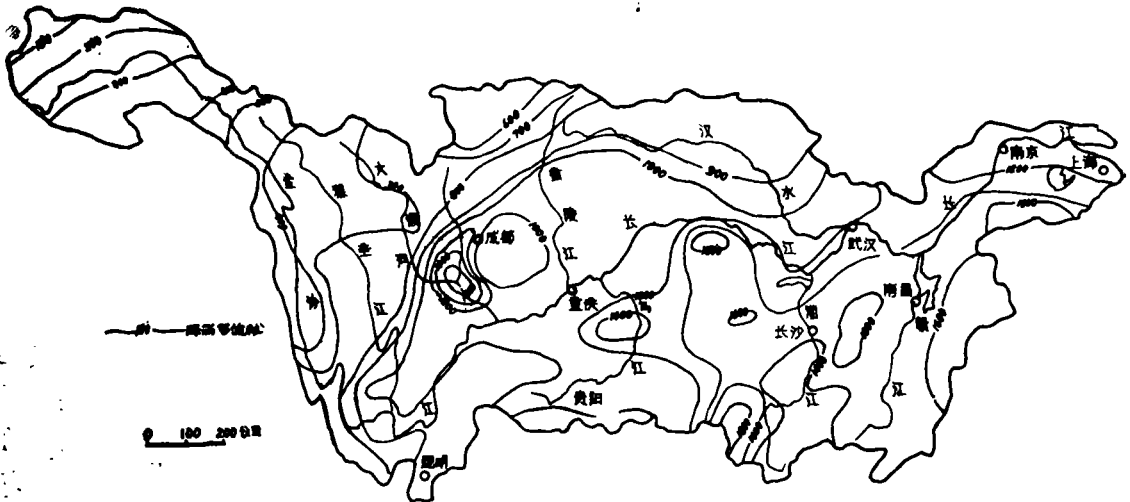


图6 长江流域年降雨等值线略图

3、斜坡形态对斜坡变形的影响。不同的斜坡形态，影响斜坡变形的程度和变形方式就有所不同，较平缓的斜坡不易变形，而较陡的斜坡就容易变形，其根本的原因在于不同的斜坡形态，

坡体的临空面附近的应力场的变化不同。据1970年斜茨、斯特西等人用有限单元法计算，斜坡体的临空面周围，因坡体有弹性应变能释放而产生卸荷回弹，引起斜坡带的应力重新分布。愈靠近临空面，最大主应力接近平行于临空面，最小主应力则与之直交，坡高增高。这种特性愈强，坡脚和坡缘不一样，坡脚附近最大主应力显著增高，且表层愈高，而最小主应力明显降低乃至为零，甚至转为拉应力，形成一最大剪应力增高带（当谷底宽度小于0.8倍坡高时，坡脚最大剪应力随着底宽度缩小而急剧增大）。这是坡体中最容易产生变形和破坏的部位，所以出现与坡面或坡底面平行的压制拉裂面；坡缘附近，坡面的径向应力和坡顶面的切向应力可转为拉应力（大致出现在离坡脚2/3坡高处），形成一张力带（随坡角变陡，张力带的范围有所扩大）。故这些部位的坡体易被拉裂，形成与坡面近于平行的拉裂面。可见坡形对斜坡变形起着极其重要的制约条件。根据这个道理，长江流域西部和中部的滑坡密集带和较密集带地区的斜坡形态，有利于斜坡变形。因属于高山和中山峡谷地形，地壳抬升高，使河谷下切深，斜坡高度大，几百米乃至上千米。坡度陡，达30°以上，一般都在40°、50°，河谷的底宽很窄，多呈“V”字形。河床纵坡降大，为5—10%，反映了地形起伏大，一般变化率达50—100米/公里，甚至200—300米/公里（图5）。另外，由于受南北向和北西向活动断裂带的控制，大型主干河流多沿南北向及北西向发育，易于受东西向应力作用。由于这种有利变形的坡形状态，西部高山和中部中山的峡谷区出现滑坡等山地自然地质灾害相当严重。

4、降雨强度对斜坡变形的影响。暴雨是斜坡变形产生滑坡的重要触发条件，其原因是暴雨时，使斜坡体中的含水层（或带）水量猛增，地下水位迅速抬高，增大了静水压力、孔隙（或裂隙）水压力和浮托力，改变了暴雨前斜坡体的应力状态，造成降低斜坡体中软弱含水带的抗滑力，增大了下滑力，引起斜坡变形，出现滑坡。长江流域除西部河源和高原区外，其余均受东西季风的影响，年降雨量多在1,000毫米以上（图6）；个别地区，如雅安年降雨达2,000毫米以上，且降雨时间分配变化大，大部分集中在夏季风盛行时期（5—9月），往往一个月的降水量可占全年降水量的1/4—1/2，而一个月的降水量又往往分配到几次降水量的过程中。加上地形和气旋的影响，在一些地区日降雨强度大，常形成暴雨中心。其降雨强度的变化，是四川盆地周边中山—低山区雨强大，高山、高原及丘陵区雨强较小，山脚小而山顶大。所以日最大雨强度：大渡河、雅鲁江、金沙江上游小于50毫米；这些流域的中下游和岷江、嘉陵江上游100—150毫米，接近盆周边缘超过200毫米；湖北西部，从巴东100毫米到鹤峰达165毫米，从兴山93.5毫米到五峰达369.7毫米；汉江宁强146.4毫米，紫阳164毫米。前面叙述的那些滑坡密集带和较密集带也多数分布在降雨强度大的暴雨地带，所以滑坡分布较多。降雨和滑坡的关系，涉及到降雨强度大和降雨持续时间长，容易出现滑坡。产生滑坡的临界降雨强度值随着不同的坡形、岩（土）体性质和滑动面性质，这个临界降雨强度值是不同的。据有关资料初步认为，在大范围内，过程雨大于300毫米，日雨强大于200毫米，时雨强大于20毫米以上，一些滑坡可以启动。所以在1981年至1983年的降雨高峰年中，在川北红层区，岷江、嘉陵江、汉江、青江、涪陵—南津关长江干流等区域，发生了成千上万个滑坡，说明暴雨对斜坡变形是一个不可忽示的趋动因素。

5、河流的倾向侵蚀对斜坡变形的影响。河水的侧向冲刷，谷坡坡脚的坡体遭到破坏而被侵蚀掉，斜坡坡体的应力状况发生变化，坡脚的阻滑力减弱，下滑力增大，使斜坡变形，产生滑坡。这个因素在上述的滑坡密集带或较密集带中，对滑坡的产生起了积极的作用，如岷江上游，雅鲁江、大渡河、川江和三峡等地区所出现的滑坡，多数都有河水冲刷坡脚才出现滑坡。

至于东部地区的滑坡，因东部地区的自然环境不同，表现为地壳差异升降，新活动断裂少，

地震不十分活跃，地形平缓，以低山—丘陵—平原为主，滑坡出现少，但在雪峰山、武功山、武夷山等中低山河谷斜坡地区，因变质和“红层”等岩类的软弱夹层和风化层，若层理节理发育，临空条件好，在暴雨的触发下，也出现了一些小型滑坡体，对岸坡和交通影响极大。

(二) 滑坡分布与人为环境的关系。这主要是在斜坡变形的易滑地段，因采矿与修建铁路、公路、水渠及房屋等人类工程和经济活动，开挖斜坡坡脚或挖空坡体内部（或被水体浸泡）改变斜坡原有应力分布，降低斜坡体的抗滑力，加大了下滑力，使坡体失稳而滑动。这些滑坡包括新的滑坡产生及老滑坡的复活。属于这类性质的滑坡主要在长江流域的中部和东部，因为中部和东部人类开发早，经济发达，工程活动多，人为的营力在斜坡上的作用强，如流域内13条铁路干线区段发育576处滑坡，渡口市的50多处滑坡，重庆市的20多处滑坡，湖北黄陵背斜周边约300平方公里范围内采矿出现30多处滑坡（如远安县盐池河磷矿大崩滑）等，基本上都属人为开挖型滑坡。都江堰人民渠等水库边岸再造出现的滑坡例证也不少。这里说明了滑坡的产生，除了研究自然环境外，还要注意研究人为环境。

这些都说明了，长江流域的滑坡密集带或较密集带的分布，是受上述诸因素的综合影响结果，对于一个具体滑坡以哪些因素为主，哪些因素为次，得具体分析。

四、长江流域滑坡分布对未来发展的宏观预测

前已述及滑坡的产生总是离不开较高陡的斜坡、斜坡体中的软弱带或软弱面，以及水的渗入与地表水的冲刷侵蚀，地震的震动，人为的开挖等基本条件和触发因素，宏观预测长江流域滑坡分布未来发展，其本质就是分析研究长江流域的自然环境和人为环境的变化。

1、在没有人类的经济和工程活动影响的地区，自然环境中的地质环境变化，如构造活动、地形变化、岩（土）体变质等非常缓慢（但软弱岩石的风化作用较快），较大的地震周期也是在百年以上，对滑坡分布比较快的变迁作用不大。所以前面认定的那些滑坡密集带和较密集带的分布变化不会很大。

2、近年来，全球性的大气层热温效应比较突出，使气候反常，在空间上和时间上的变化明显。这种影响也涉及到长江流域。据有关专家认为，因人类活动愈发展，对大气层的影响就愈加强烈，产生暴雨的周期变短，雨强增大，促使原来滑坡密集带中的滑坡产生，老的滑坡复活，滑坡较密集带可能变成密集带。

3、随着四化建设的加快，长江流域的西部、中部地区的资源开发必然加速，人类的各种各样的经济和工程活动，包括矿产开采、铁路和公路修建、大规模的水坝水库和水渠的修建、山地城市（或集镇）的发展、森林的砍伐等处理不当，改变了山体斜坡形态，造成许多人为滑坡的产生（这种教训不少），这个情况一定要估计到。特别是在四川盆地的周边红层地区、攀西地区、重庆至三斗坪的长江干流地区等，这种情况就会更严重。因此，要加强保护和治理地质环境的措施，减少滑坡等山地灾害的发生。

参 考 文 献

[1] 地质矿产部：《长江流域环境地质图系》，1985年12月。

[8] 地质矿产部“六五”重点科研攻关项目：《西南、西北崩滑灾害山区斜坡稳定性研究》等有关资料，1987年。

[8] 成都地质学院张悼元等人编著：《工程地质分析原理》，地质出版社。

A study on the relation between distribution of landslide and its environment in Yangtze River Valley

Nie Shiping Wang Zhixu

(Chengdu Hydro-geology and Engineering-geology Centre, Geology and Mineral Ministry)

Abstract

Up to now, 1,203 landslides have been researched in Yangtze River Valley. Most of them distribute along with the up reaches of Yangtze River on the western part of this valley in large scale and great number. The others are in the middle part of the valley, the major scales are small to middle, but on the slopes of the two banks of Yangtze River in the section between Fuling and Nanjungan, the large and the largest landslides with a part of volume over thousands cubic meter are distributed. The eastern part is with fewer landslides, its major scales is in 10 to 100 thousands cubic meters. All of those mentioned above is from neotectonic action, stability of rock, shape of slope, rainfall intensity, the side erosion of river and the human activities. As the economy and engineering activity is increasing, the landslide event is tending to develop sharply.

(上接第26页)再扩大,应控制在20%以下。

3、农林牧的综合发展要纵观全局,高瞻远瞩,有利于资源的永续利用。由于该县林牧业基础较差,在本世纪末以前,造林和种草面积的增长速度应分别保持在25%和20%,才不致影响粮食生产,以后应逐步减慢。这样,在本世纪末农林牧的土地利用结构分别调整到37%、17%、46%,2030年控制在40%、30%、30%左右。近期农地退耕速度稳定在1—2%,以免产生系统结构失调和粮食总产下降的逆转趋势。

4、产业结构调整应循序渐进,各业增长速度保持一定比例。从现在到本世纪末,农业总产值平均增长率为10.4%,以后则逐渐减缓降到5.2%,其中副业增长速度为7—9%,且有逐步提高的趋势。农业内部,在“七·五”计划末,种植业比重可降到60%,本世纪末降到40%左右,2030年降到30%以下(图2);副业和林牧业比重相应增高。农业投资在保证粮食生产的前提下适当增加林牧副业投资比重,而投资主要依靠农业本身扩大生产。农业收入中用于扩大生产的投资比例保持在5—7%,这样,国家对农业投资在2000年以前呈31%的增长趋势,以后变为2%的递减趋势。

(下转第54页)