长江三峡工程库区

# 滑坡与泥石流研究

杜榕桓　刘新民　袁建模　李天池　编著

中国科学院成都山地灾害与环境研究所
中国科学院西南资源环境综合研究中心

四川科学技术出版社

A STUDY ON LANDSLIDE AND DEBRIS-FLOW IN THE RESERVOIR AREA OF THE THREE GORGES PROJECT

# 长江三峡工程库区

# 滑坡与泥石流研究

A STUDY ON LANDSLIDES AND DEBRIS-FLOWS
IN THE RESERVOIR AREA OF THE
THREE GORGES PROJECT

杜榕桓　刘新民　袁建模　李天池

（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）
（中国科学院西南资源环境综合研究中心）

四川科学技术出版社

1990· 成都

责任编辑：孙　特
封面设计：朱德祥
技术设计：康永光
责任校对：王初阳

**长江三峡工程库区滑坡与泥石流研究**

杜榕桓　刘新民　[illegible]模　李天池编著

四川科学技术出版社出版发行　（成都盐道街三号）
新华书店重庆发行所经销　四川科技出版社资中印刷厂印刷

开本　787×1092mm 1/16　印张　13.625　插页　21　字数　310　千
1991年4月第一版　1991年4月第一次印刷　印数　1—3540　册

ISBN7-5364-1348-3/P·21　定　价：　8.95　元

# 前　言

正在论证中的长江三峡水利枢纽（以下简称三峡工程），其规模之巨大、位置之重要、影响之深远，都将是我国水利建设史上前所未有的。三峡工程既具有发电、防洪和航运等多方面的显著效益，但它亦会对沿江地带乃至全流域的生态与环境带来一系列的影响，故此，引起了国内外各界人士的普遍关注。近年来国内外不少实例表明，大型水利工程对生态与环境的影响是错综复杂的，是人类经济活动对地表作用的生动反映。作为生态与环境重要组成部分的环境地质诸因素，对三峡工程的反映亦甚为敏感。水库蓄水后对环境地质的直接影响表现在：库区滑坡、崩塌、泥石流等山地灾害活动的增强或减弱和岸坡稳定性的变化，坡面侵蚀的加剧或缓和及泥沙来量的多寡、水库诱发地震的大小，以及这些地质灾害的相互影响对水库的反作用；水库工程对环境地质的间接影响，将通过库区城镇迁建、移民安置、矿山开采和开渠筑路等一系列人为经济活动而显示出来。三峡库区位处川鄂交接的山地峡谷区，其现状是山多坡陡，地少人密，垦牧过量，植被稀疏，生态失衡，环境恶化，水土流失严重，滑坡、山崩、泥石流等山地灾害频起，长江干流和支流泥沙来量日趋增加，干旱和洪涝灾害有增无减，所有这些已成为威胁库区环境、干扰移民搬迁、抑制经济开发的严重障碍。三峡工程的兴建和库区人类经济活动的发展，必将进一步加剧上述灾害的活动范围和危害程度。因此，从生态与环境的角度，剖析三峡库区人地关系的历史、现状和未来，综合分析这些灾害的来龙去脉和发展趋势，探寻防治对策，在实践上和理论上都是至关重要的。

我们有幸参加了由国家科委下达、由中国科学院负责主持的三峡工程前期重大科研项目“长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究”，该项目分设11个二级课题和64个三级课题[1]，我们承担了其中的“三峡工程与库区环境地质的相互影响及对策研究”二级课题的研究任务。本二级课题由8个三级课题组成，它们是：①三峡库区滑坡对水库的影响研究、②三峡工程库岸滑坡体对大坝和库区影响的计算、③三峡工程与泥石流相互影响的预断评价和对策、④三峡工程对危岩体和边坡稳定的影响评价、⑤三峡库区及周围地区土壤侵蚀对库区泥沙来源的影响及其对策、⑥三峡库区泥沙来源及演变趋势、⑦三峡水库诱发地震可能性研究、⑧三峡工程库区及邻近区重力场和形变场的研究等。参加研究的单位除本书署名者外，还有中国科学院测量与地球物理研究所、武汉岩土力学研究所、南京土壤研究所、成都分院数理研究室和国家地震局地震研究所等。通过三年(1984—1986)的考察、典型区调查、

1）中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组编，1987，长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集，第1115—1126页，科学出版社。

重要江段或沟坡的定位观测和动态监测，并辅以室内试验分析，取得了大量珍贵的资料和数据，按合同与计划要求，提交了相应的专题研究报告。我们的初步成果，得到了中国科学院三峡科研项目专家评审组的认可和好评，报告提供的资料、数据、结论和对策意见，对三峡工程的宏观决策和各类灾害的防治，均有重要的参考价值。三峡库区滑坡泥石流研究，荣获中国科学院1988年度科学技术进步二等奖。

本书（只含滑坡和泥石流两个专题）系在完成上述课题任务和专题报告的基础上进一步深入总结的科研成果。基本上按各自的学科特点和考察所得，全面系统地总结了三峡库区滑坡和泥石流的形成、分布、运动、特征、趋势及其与三峡工程的相互影响，提出了相应地防治对策，并就生态与环境的有关问题进行了讨论。在总结过程中，我们注重了如下几方面的结合，即：宏观与微观、定性与定量、静态与动态、自然与社会、理论与应用等的结合，并重视了对环境地质诸因子之间，以及环境地质与生态、环境诸因子之间相互关系的综合分析。这些研究成果和学术报告，有的填补了该区研究上的空白，有的在以往工作的基础上取得了突破性的进展。本书主要反映以三级课题为单元的研究成果和他们各自得出的结论，并进而在三峡工程与环境地质诸因子之间相互影响的利弊得失方面，也各自提出了明确的回答和量化的科学数据。我们汇众家于一集，基本上保持各原作者的意见，不强求观点上的一致，以利百家争鸣，兼听有益。

综观当前国内外资料，可以认为，就一项大型水利工程而言，对包括环境地质灾害在内的生态、环境问题与水库的相互影响，开展如此广泛而深入的系统研究，在国内外均属罕见。三峡库区发育有数百处滑坡岩崩和泥石流，这些活动性的山地灾害，每年将大量泥沙石块拥向库区，是库区推移质的主要供给者；库区以上约100万平方公里的流域内，因坡面侵蚀和重力侵蚀而产生的数以亿吨计的泥沙，源源不断地汇聚于江道之内，是三峡库区悬移质的主要供给者；三峡水库库首区的庙河——香溪库段和巴东附近，是未来水库诱发地震的地段，估计其地震强度约在5.5级左右。这些山地灾害的频起和迭加及其与川东、鄂西暴雨的遭遇，将给未来三峡水库带来巨大的压力和风险。对这些问题的系统研究和综合分析，并有针对性地提出防治对策，是环境地质学科与水利工程实践紧密结合的有益尝试。但由于环境地质灾害涉及的范围广，影响的因素多，国家科委下达此项任务要求高、难度大、时间短，加之主观上限于我们的经验和水平，客观上受经费少、时间短等条件的限制，因而，还有不少工作将有待进一步深入研究，我们的这次总结难免有遗漏和谬误之处，恳望各界人士和广大读者批评指正。

我们的环境地质专题和分专题的考察研究工作以及本书的总结工作，是在中国科学院“长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究”项目领导小组的组织协调下进行的，项目领导小组办公室给予多方面的具体帮助，中国科学院成都山地灾害与环境研究所也对我们的专题工作以多方面的支持；在野外考察工作中，所到之处，还得到三峡库区川、鄂两省各地、县、市有关部门和长江航运部门的大力支持；在本书撰写和出版过程中，中国科学院西南资源环境综合研究中心在经费上惠予资助，又得到四川科学技术出版社和喻瑞卿、孙特等同志的热情帮助；中国科学院成都山地灾害与环境研究所程康、段金凡同志协助本书英文的译校工作。对于他们的支持和帮助，统志于此，谨致谢忱。

杜榕桓

1989.6.20于成都

# 内 容 简 介

本书旨在围绕长江三峡工程的兴建方案，从滑坡与泥石流专题进行论证的科学总结，系在1985—1987年实地考察的基础上，辅以室内实验研究而写就。全书共分三个部分，全面系统地阐述了长江三峡工程库区及上游自然环境背景、人类经济活动对滑坡与泥石流灾害等产生和发展的影响；剖析了滑坡、泥石流的形成机理、活动特点、发育模式、发展趋势，以及水库兴建对它们的影响；结合三峡工程不同蓄水方案，提出了水库蓄水与滑坡和泥石流的相互影响及其整治对策；最后还就环境地质中各不利因素的相互作用及其与三峡工程的利弊关系进行了讨论。该书资料丰富，内容充实，观点明确，对深入研究三峡工程和长江的综合开发均有参考价值。

本书可供环境地质、山地灾害、国土整治、流域开发、水利工程、生态环境、水土保持工作者和有关大专院校师生参考。

# 目　录

**前言**

**第一部分　三峡库区滑坡研究**

三峡库区自然环境概述……3
三峡库区滑坡分布特征及其分类……11
三峡库区历史上的滑坡灾害……21
三峡库区地质环境因素对滑坡发育的敏感性分析……25
三峡库区可变自然环境因素对滑坡发育的影响……32
三峡库区人类经济活动对滑坡发育的影响……44
三峡库区滑坡形成机制及发育模式……50
三峡库区滑坡崩塌危险地带预测……64
三峡库区滑坡崩塌产生的环境效应分析……71
三峡库区滑坡防治对策……77
遥感技术在三峡水库滑坡研究中的应用……83

**第二部分　三峡库区泥石流研究**

三峡库区泥石流综述……94
三峡库区泥石流形成的自然环境……110
三峡库区泥石流的动态监测……115
三峡库区泥石流流量分析计算……121
物理化学因素对三峡库区泥石流活动的影响……142
三峡库区泥石流堆积的某些特征……158
三峡库区泥石流与水库相互影响的评价……163
三峡库区泥石流防治对策……167
奉节县地理环境与泥石流初探……170
三峡库区泥石流沟一览表……177

**第三部分　滑坡泥石流和其它环境地质因素与三峡工程相互影响的综合分析**

三峡江段系古滑坡岩崩多发区，近年来岸坡失稳和古滑坡岩崩体复活迹象明显，巨型滑崩现象频起，酿成重灾，对三峡库区环境有严重影响……190
三峡江段现阶段泥石流活动属中度偏轻程度，但因生态与环境的恶化，泥石流灾情有加重趋势，对未来三峡库区的影响不容低估……192
三峡库区及长江上游区域，地表重力侵蚀和水力侵蚀日益严重，泥沙来量增大的趋势在短期内难以逆转，水库蓄水将加速泥沙淤积，泥沙问题将是三峡工程成败的关键所在……195
三峡库区生态环境脆弱，人地关系紧张，环境地质各不利因素的相互影响和综合作用，将会对未来三峡工程和库区社会环境带来麻烦……198
几点建议……203

# CONTENT

Preface

Part I Researeh on Landslides in the reservoir area of the Three Gorges Project

A general outline of the physical environment in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 3

Distribution features and classification of landslides in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 11

Disasters caused by landslides in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 21

Analysis of the sensitivity of geological and environmental factors to the development of landslides in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 25

Impacts of variable physical and environmental factors upon the development of landslides in the reservoir area of the Three Gorges project ..... 32

Impacts of economic activities of human being upon the development of landslides in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 44

Formative mechanisms and development models of landslides in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 50

Prediction of danger zones of landslides and falls in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 64

Analysis of the environmental effect of the occurrence of landslides and falls in the reservoir area of the Three Gorges project ..... 71

Prevention measures against landslides in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 77

Application of remote sensing technique to the research on landslides in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 83

Part Ⅱ Research on Debris flows in the reservoir area of the Three Gorges Project

A general outline of debris-flows in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 94

Physical environment of the formation of debris-flows in the reservoir

area of the Three Gorges Project ..... 110
Dynamic monitoring of debris-flows in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 115
Analysis and calculation of discharges of debris-flows in the reservoir Parea of the Three Gorges Project ..... 121
Impacts of physical and chemical factors upon debris-flow activities in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 142
Some deposition features of debris-flows in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 158
Assessment to the interaction between the reservoir and debris-flows in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 163
Prevention measures against debris-flows in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 167
An initial study on the geographical environment and debris-flows in Fuling County, Sichuan province ..... 170
A list of debris-flows in the reservoir area of the Three Gorges Project ..... 177

Part Ⅱ Discussions on the Topics Concerned
Discussion on the interaction between landslides and debris-flows and the Three Gorges Project ..... 190

第 一 部 分

# 三峡库区滑坡研究

# 三峡库区自然环境概述*

## 一、区域地质构造轮廓

库区跨越川鄂中低山峡谷及川东平行岭谷低山丘陵区，北屏大巴山脉，南依川鄂高原。地质构造上包括新华夏构造体系第三沉降带之川东褶皱带，第三隆起带之川黔湘鄂隆起皱褶带及大巴山弧形褶皱带和淮阳山字型构造体系的盾地和祖柱。据区域资料，巨大的晋宁运动使库区及其外围的前震旦系普遍发生褶皱和变质，并伴以大规模的岩浆活动，从而奠定了川东鄂西地质构造发展的基础。印支运动结束了川东鄂西的海洋环境，并继续沿中生代沉降带接受巨厚的陆相红色沉积。燕山运动是区内一次规模巨大的造山运动，它使震旦系以来的沉积盖层发生强烈褶皱和断裂，同时又改造和干扰、破坏了前震旦系古老的地质构造形态，并结束了四川盆地和秭归盆地的沉积历史。燕山运动以后，区内表现为大面积间歇性差异抬升，地壳日趋稳定。

1．川东褶皱带，展布于库区七曜山背斜以西，由一系列底平翼陡宽度大的屉状向斜和紧凑狭长的高背斜相间排列，组成隔档式构造。构造总体方向在重庆—带约东15°北，涪陵、丰都—带北15°—40°东，至忠县襄渡场以东，由北北东逐渐转变成近东西向，消失于七曜山背斜北西翼巴东组地层内。

2．川鄂湘黔隆起褶皱带，展布于七曜山背斜以东至湖北巴东县。构造线总体方向为北北东，于黄陵背斜南部，秭归向斜的西部转为近东西向。其形迹以斜列褶皱为主，北端逐渐收敛，过秭归盆地后，褶皱微弱，与淮阳山字型西翼反射弧发生重接复合。

3．淮阳山字型西翼反射弧，分盾地和祖柱两部分。盾地—秭归向斜构造盆地，构造形迹微弱，构造轴向北10°—20°东，由于受新华夏系构造的干扰，轴线发生“S”变形。祖柱—黄陵背斜，轴向北东17°，全长120公里，东西宽85公里，南北两端倾没角小于15°。据现今长江河谷两岸发育有10级阶地和近期水准测量资料，黄陵背斜一直处于间歇性抬升，其上升速率约2—4毫米/年。

4．大巴山弧形褶皱带，位于库区东段北部。褶皱轴线为近东西向或北西向，弧顶向南突出，轴面多向北和北东倾斜，南翼岩层倾角可达30°—45°。

奉节瞿塘峡背斜以东至巫山巴东一带为上述四大构造体系交汇复合的部位，历史上就是滑坡、崩塌作用强烈的地带。

---

*执笔人：刘新民、李娜（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

## 二、地层及岩性

三峡库区出露地层较齐全，大致以四川奉节为界分东西两区。西区为中生代侏罗系红色碎屑岩类所组成，局部出露三叠系嘉陵江灰岩；东区以古生代、中生代碳酸盐类地层为主，夹红色碎屑岩（秭归盆地）及煤层，黄陵背斜出露震旦系碳酸岩及碎屑岩类，前震旦系变质岩及岩浆岩。库区缺失古生代志留系上统、泥盆系下统、石炭系上统。

库区沿长江两岸的河流阶地或山麓平台有零星分布的第四系冲洪积、坡崩积、风化残积层、古滑坡、古崩塌堆积层。据新滩、马家坝、鸡扒子等地钻孔揭露最大厚度达80米以上。

与崩塌滑坡有关的软弱夹层是高阶地灰白粘土层（$Q_p$）；侏罗系砂泥岩互层中的泥岩层（$J_1$—$J_3$）；三叠系须家河组的页岩夹煤层（$T_3$）；巴东组（$T_2b$）泥灰岩，砂岩夹泥岩；二叠系（P）炭质页岩夹煤层；志留系（S）页岩等。

## 三、河谷地貌

库区长江干流河谷受地质构造、岩性等因素的控制，形成各种不同类型的河地貌景观，以奉节白帝城为界，东西两段截然不同。

东段：河谷长160余公里，除坝址至庙河为结晶岩组成的低山丘陵宽谷外，绝大部分的河段是以碳酸盐岩为主组成的中低山峡谷与砂岩、粘土岩组成的较宽缓河段呈藕节状相间出现。碳酸盐组成的峡谷（即举世闻名的三峡），两岸峭壁对峙，谷坡高达1000余米以上，江面宽200—250米，而位于宽谷段，两岸地势开阔，江面宽300—400米左右，谷坡高300—500米，而河谷两岸时有阶地分布。

西段：长约440公里，主要是侏罗系、碎屑岩组成的低山丘陵宽谷地形，奉节—涪陵之间长江干流河谷沿宽缓的向斜核部发育。江面开阔，一般宽400—1000米，坡高150—300米，河谷两岸阶地比较发育。涪陵至重庆间，长江干流横切多个狭窄背斜和宽缓向斜，呈现宽谷夹短小峡谷地貌景观。

据区域资料，中生代末期的燕山运动造就了现今川东鄂西褶皱山地的地貌骨架，并由此揭开了地貌发育史的序幕。燕山运动以后，地壳趋于长时间的间歇性抬升，区域地貌经历几个发育阶段，相应的形成多级夷平面，即传统地貌学上称之为鄂西期夷平面和山原期夷平面。

在四川盆地东部称之为盆地期和盐井口期。每一期夷平面按其形态，分布海拔高程及形成时代的不同，划分出两个亚期。

早更新世末一全新世之初地壳又一次强烈抬升，抬升中有间歇性特点。原始长江归槽定位，在最低一级夷平面的基础上迅速下切（即三峡期）原始长江所经背斜山地之处形成深切峡谷，经向斜山地之处形成6—10级宽缓阶地。时至今日，这种作用并没有平息下来，它反

映在早期夷平面之间和各阶地之间折坡陡坎地带，地裂缝在扩张，老滑坡在复活，新滑坡在发育，最终酿成谷坡后退，冲洪积扇向前延伸。

由于川东鄂西山地塑造地貌形态的各历史阶段，内外动力存在明显的差异，因此各夷平面及阶地的分布高程形成时代也不尽相同，现就川东鄂西各地质历史阶段地貌形成时代及分布高程列表于后（表1—1）

**夷平面时代及高程对比**

（表1—1）

| 位置 | | 四川盆地东部 | | 位置 | | 三峡地区 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 分期 | | 夷平面形成时代 | 分布海拔(米) | 分期 | | 夷平面形成时代 | 分布海拔(米) |
| 期 | 亚期 | | | 期 | 亚期 | | |
| 盆地期 | 第一亚期 | 白垩纪末期 | 1200—1300 | 鄂西期 | 第一亚期 | 白垩纪末期 | 1800—2000 |
| | 第二亚期 | 早第三纪末 | 1200—1250 | | 第一亚期 | 早第三纪末 | 1300—1600 |
| 盐沟期 | 第一亚期 | 晚第三纪末至早更新世 | 900—1000 | 山原期 | 第一亚期 | 晚第三纪末至早更新世初 | 1000—1200 |
| | 第二亚期 | 早更新世 | 650—750 | | 第二亚期 | 早更新世 | 800—900 |
| 峡谷期 | | 早更新世末至今为各级阶地形成时期 | 600以下 | 三峡期 | | 早更新世末至今为各级阶地形成时期 | 800以下 |

## 四、新构造活动特征及地震

库区及其外围新构造活动是以大面积间歇性差异抬升为特征的。主要表现如下：

1．两级古夷平面的存在和多达5—10级河流阶地；

2．河流阶地在云阳以下开始隆升，级差增大；以奉节、巫山为最高点，向东向西逐步下降；云阳以上的阶地级差相对较小，抬升幅度亦小；

3．云阳以下山体相对高差达1000米以上，“V”形谷、障谷、隘谷随处可见，山麓平台重力堆积物俱存。云阳以西，地势逐渐缓和，地表相对高差逐渐降低，至万县以上相对高差仅200—300米，河谷开阔，河曲发育。

4．历史上库区少有破坏性地震记载，但是近代地震的频度和强度有所增加，1979年5月22日秭归县龙会关发生了5.1级地震。云阳以上最大的地震莫过于1983年12月5日万县新田地震，震级3.8级。

据国家地震局地震资料记录，库区以弱小震活动为主（表1—2）。

值得指出的是，据《归州志》记载：公元1029年（天圣七年）地震，秭归山崩，堵江二

三峡库区及外围近20年来地震资料一览表

（表1—2）

| 编号 | 发震时间 | 震中位置 | 震级($M_S$) | 编号 | 发震时间 | 震中位置 | 震级($M_S$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1961年3月8日 | 宣都潘穹 | 4.9 | 9 | 1977年3月7日 | 秭归泄滩 | 1.9 |
| 2 | 1969年1月2日 | 康马良坪 | 4.8 | 10 | 1977年3月23日 | | 2.1 |
| 3 | 1970年10月14日 | 钟　祥 | 4.0 | 11 | 1979年5月22日 | 秭归龙会关 | 5.1 |
| 4 | 1971年7月17日 | 远安瓦仓 | 3.2 | 12 | 1981年7月5日 | 当阳峡口 | 3.8 |
| 5 | 1971年7月14日 | | 3.1 | 13 | 1983年2月5日 | 荆门罗集 | 2.9 |
| 6 | 1972年3月13日 | 秭归周坪 | 3.3 | 14 | 1983年8月12日 | 万源附近 | 4.2 |
| 7 | 1973年10月10日 | 荆　门 | 3.9 | 15 | 1983年12月5日 | 万县新田乡 | 3.8 |
| 8 | 1974年8月3日 | 远安祥坪 | | 16 | 1983年12月13日 | 重庆巴县之间 | 3.4 |

十余年才疏通。黔江县志记载，1856年6月10日距黔江32公里的黔江断裂带与建始彭水断裂带之间发生5.5级地震，因地震诱发大路坝滑坡堵江，形成著名的小南海保存至今，蓄水7000万立方米。上述文献资料是我们研究库区地震滑坡的响导。

## 五、库区气象水文特征

库区长达600公里的范围内，属亚热带季风气候。总的特点四季分明，日照少，湿度大，夏季炎热多雨，且多以暴雨形式出现，冬春多雾。由于受长江深切河谷的影响，区内各气象要素存在着明显差异性，形成川东鄂西立体气候。在长江河谷地带，多年平均气温17.9℃，极端最高气温43.5℃（丰都1972年8月26日），极端最低气温—1.2℃（万县1974年2月8日）。据巫山气象资料，巫山地区每增高100米，年均温递减0.66℃。

库区多年平均降雨量1131.03毫米。年内降雨量分配不均，11、12月至次年1、2月降雨量少，占年降雨量25—30%，3—9月占全年总降雨量的60—70%，年最大降雨量1752.6毫米（云阳），年最小降雨量623.4毫米（秭归），见（表1—3）。最大与最小相差1129.2毫米。年均降雨量在长江河谷，由重庆至秭归（下游）有减小的趋势，特别是进入三峡深谷以后，年均降雨量在1100毫米以下，降雨量由长江河谷向两岸谷坡逐渐增大。据巫山气象站资料，海拔每增高100米，年均降雨量增加55毫米，如巴东县黄土坡站（长江河谷）的年均降雨量为1080毫米，南部绿葱坡站最高达2640毫米，北部的堆子站为1351毫米。

库区异常的暴雨、久雨天气形式比较突出。据巫山县气象局资料，1951—1981年的31年内，共出现暴雨（日雨量大于50毫米的）95次，平均每年3.06次，其中出现在5—9月的占暴雨总数的94%，全年一日最大降雨量达141毫米（1964年5月24日）。1984年6月12日—14日，48小时内降雨166.1毫米，日暴雨量普遍大于50毫米（表1—4）

## 库区降雨量统计表

（表1—3）

| 站名 | 期限（年） | 月平均降雨量（毫米） 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 多年平均降雨量（毫米） | 最大平均降雨量 / （年） | 最小平均降雨量 / （年） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 重庆 | 1965—1976 | 22.80 | 21.90 | 39.20 | 91.10 | 171.70 | 150.40 | 172.10 | 141.50 | 199.70 | 113.30 | 55.20 | 25.10 | 1204.30 | 1378.30 / 1968 | 783.20 / 1961 |
| 长寿 | 1971—1980 | 19.10 | 15.60 | 45.10 | 135.70 | 185.10 | 196.70 | 99.90 | 162.20 | 151.70 | 102.70 | 48.50 | 25.50 | 1157.80 | 1329.90 / 1972 | 967.60 / 1976 |
| 涪陵 | 1971—1980 | 13.10 | 16.20 | 49.10 | 143.60 | 180.80 | 193.60 | 111.50 | 96.60 | 145.00 | 117.60 | 50.90 | 22.60 | 1140.20 | 1363.40 / 1973 | 955.70 / 1976 |
| 丰都 | 1971—1980 | 11.90 | 16.90 | 58.70 | 131.20 | 169.90 | 177.70 | 106.90 | 92.40 | 139.10 | 100.00 | 50.80 | 19.10 | 1074.60 | 1250.50 / 1980 | 883.40 / 1976 |
| 忠县 | 1966—1980 | 16.70 | 23.30 | 61.10 | 132.00 | 170.60 | 174.60 | 151.00 | 114.30 | 164.90 | 99.40 | 59.90 | 24.20 | 1172.10 | 1471.10 / 1975 | 913.40 / 1978 |
| 万县 | 1972—1980 | 11.70 | 15.50 | 58.30 | 118.20 | 185.90 | 238.50 | 186.80 | 129.70 | 201.00 | 98.70 | 44.40 | 21.20 | 1309.90 | 1674.40 / 1979 | 840.00 / 1975 |
| 云阳 | 1957—1979 | 9.90 | 11.80 | 50.30 | 107.50 | 171.60 | 158.50 | 171.00 | 142.40 | 168.20 | 91.00 | 41.60 | 18.00 | 1149.30 | 1752.60 / — | — |
| 奉节 | 1953—1979 | 12.20 | 19.90 | 56.10 | 110.20 | 172.60 | 145.40 | 147.10 | 112.50 | 148.50 | 87.70 | 43.80 | 20.30 | 1077.30 | 1407.60 / 1979 | 721.60 / 1953 |
| 巫山 | 1960—1979 | 7.70 | 19.30 | 53.80 | 89.00 | 161.20 | 133.00 | 153.80 | 123.90 | 153.00 | 87.40 | 48.80 | 26.30 | 1059.40 | 1351.60 / 1979 | 761.50 / 1962 |
| 巴东 | 1937—1966 | 14.90 | 26.40 | 53.80 | 89.90 | 148.90 | 159.10 | 178.30 | 145.90 | 126.00 | 76.30 | 42.60 | 18.20 | 1080.00 | 1954.00 / 1937 | 694.80 / 1966 |
| 秭归 | 1955—1963 | 15.10 | 25.80 | 50.20 | 91.70 | 134.80 | 148.30 | 167.30 | 131.20 | 101.10 | 71.80 | 39.90 | 19.80 | 996.70 | 1428.60 / 1963 | 623.40 / 1936 |

1986年7月14日凌晨2时—16日14时，秭归县沙镇溪狭西营一带，60个小时内降雨173毫米，其中15日20时—16日8时，计13个小时内的暴雨量达133.6毫米。由于降雨时间长，雨量集中，至使马家坝古滑坡全面复活。因暴雨滑坡而造成的经济总损失449.24万元。

1982年7月中—下旬，奉节县所属各区普降暴雨。7月10日上午—7点，1小时降雨量为58.5毫米，7月15日晚—18日白天，奉节县除芝麻田，平皋一小块暴雨量为106—169毫米外，其余各区虽降雨量均200毫米以上，其中公平、朱衣、吐祥、安坪等区达250毫米，安坪最大达334.7毫米，羊市乡竟达432毫米。这次降雨16日白天至晚上强度最大，雨量在110毫米以上。羊市乡16日晚上12小时降暴雨196.8毫米，24小时暴雨量252.7毫米，7月20—24日，该县以竹园为中心雨量为303.6毫米，其中20日的雨量为195.7毫米，20日下午2—8时仅6小时降雨108毫米。7月26日晚上至29日白天，全县除城关外，降雨量均在100毫米以上。

巫山县历年各月和全年一日最大降雨量

（表1—4）

| 月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 全年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 一日最大降雨量(毫米) | 17.9 | 32.8 | 39.2 | 63.9 | 141.4 | 65.0 | 97.5 | 82.0 | 85.2 | 59.4 | 39.3 | 24.6 | 141.4 |
| 出现年 | 1971 | 1960 | 1966 | 1968 | 1964 | 1968 | 1979 | 1974 | 1973 | 1977 | 1963 | 1965 | 1964 |

全月除平皋，芝麻田局部地区雨量在450毫米以外，其余各区月降雨量均在540毫米以上，其中竹园、公平、朱衣、茅草坝等在700—740毫米之间，相当于全年降雨量的一半以上，与历史上年降雨量最少的1953年721.6毫米相接近。

这次特大暴雨过程，造成历史上未曾有过的特大洪灾。大小溪河水位陡涨，长江洪水位7月31日达124.5米。全县出现滑坡塌山达11582处。

除上述三峡地区外，在川东沿河谷两岸暴雨也相当强烈。据忠县水土保持规划资料的统计自1951—1980年的30年内，日降雨量大于50毫米的暴雨达109次，年均3.6次，其中大于100毫米的12次，平均两年半一次。1979年9月22日的日最大降雨量197.1毫米而形成特大洪灾和暴雨滑坡，全县伤亡160余人。

三峡库区以长江为主干，支流水系也相当发育，有大小溪流200余条，总的呈树枝状、羽毛状、格子状。长江由西向东绕四川盆地南缘，穿越十多个背斜山地，形成峡谷与宽谷相间的地貌景观，峡谷最窄处仅100余米，如瞿塘峡、巫峡、西陵峡，宽谷两岸地势开阔，丘陵起伏。河谷最宽处达2000余米。据沿江12个水文站资料统计，洪水期多出现在6—9月，最大洪峰流量（巴东）70600立方米/秒，最小枯水流量仅2780立方米/秒（奉节），枯洪流量对比相差42800立方米/秒。水位变幅22.5—54.3米，平均水位变幅39.53米（表1—5、表1—6）。

历年最大、最小洪峰流量对比表

（表1—5）

| 站名 | 重庆 | 涪陵 | 忠县 | 万县 | 奉节 | 巴东 | 月份 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最大洪峰流量（$m^3$/秒） | 657000 | 64360 | 69500 | 69500 | 69500 | 70600 | 6—9 |
| 出现时间（年、月） | | 54.8 | 74.8 | 74.8 | 74.8 | | |
| 最小枯水流量（$m^3$/秒） | 2780 | 2940 | 2790 | 2770 | 2730 | 5500 | |
| 出现时间（年、月） | | 52.3 | 74.3 | 74.3 | 78.3 | | |

长江最大水位变幅对比表

（表1—6）

| 站名 | 重庆 | 涪陵 | 忠县 | 万县 | 奉节 | 巫山 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 最大水位变幅（米） | 22.5 | 28.0 | 44.41 | 37.88 | 49.99 | 54.43 |

综上所述，长江河谷地带，降雨量丰富，降雨集中，时有暴雨出现，是区内触发崩塌、滑坡产生的重要因素。长江河谷深切，水系发育，河流水网的剧烈切割，为库岸崩塌滑坡的

发生创造了良好的地貌临空条件。长江水位变幅大，每一洪峰期的水位涨落所产生的动水压力及旁蚀岸坡的作用，无疑是加速了库岸崩塌、滑坡的发育进程。

## 六、区域水文地质条件

三峡库区区域水文地质条件严格受长江自身的发育史控制。在背斜轴部，背斜倾没端、断层带、几组构造或断裂交接复合的部位；夷平面或阶地之间的折坡陡坎地带；第四系松散堆积层与基岩交界接触带是地下水富集的场所。现将与崩塌滑坡有关的地下水类型分述如下：

**1．河谷潜水**

河谷阶地潜水分布于长江及其支流两岸的Ⅰ—Ⅱ级阶地，直接接受大气降水补给，迳流于河谷阶地砂卵石层之中，排泄在长江。其水位、水量极不稳定，一般雨季水位上涨，水量增大；旱季水位下降，水量明显减少。这种周期性地下水位的涨落，对库岸滑坡、崩塌的发育产生了巨大的影响。据调查统计，滑坡的剪出口绝大多数在河谷潜水排泄区附近。

**2．坡崩积层潜水**

坡崩积层潜水分布于沿江Ⅲ级阶地以上（包括Ⅲ级阶地），直至剥夷面的折坡地带，这些部位重力崩塌作用强烈，其下又以阶地面或侵蚀平台为堆积场所，故堆积物较厚，一般可达10—20米。在鄂西山地这类堆积物可达70—80米。在坡崩积层与基岩面接触的部位往往是地下潜水云集的地方。这类地下水运动于块石风化粘土之间，多以孔隙储水为主。在漫长的地质历史时期中，天然流路早已形成，以泉的方式排泄于长江或其支流两岸，对坡体失稳不存在重大影响。但是，坡体因重力失稳，产生变形挤压或拉裂时，含水层遭受破坏，地下水流路受阻，水压会突然上升，从而将产生巨大的超孔隙水压力，使滑坡的发展进程加快。如1985年的新滩滑坡。临滑前因挤压变形，在姜家坡坡脚一带出现地下水喷射，水头高达“三丈”（约10米）多。又如1986年的马家坝滑坡，在临滑前曾有泥浆挤出。

**3．坡积残积潜水**

坡积残积潜水主要分于川东高阶地的台阶后缘及斜坡低洼处，含水岩性为风化粘土、粘土砾石。如重庆松林坡粘土砾石层，涪陵师专、万县沙河子中学等，其中以灰白色粘土含水层最具有滑坡成因意义。这类含水层的持水能力强，透水能力差。水位、水量随季节变化。每当雨季、大量降雨渗入，使灰白色粘土层强度指标迅速下降，构成坡体的软弱结构面，最易引起坡体失稳而导致滑坡的产生。如涪陵师专因游泳池施工，开挖后灰白色粘土暴露地面面引起滑坡。

**4．基岩裂隙潜水**

（1）风化带网状裂隙潜水

主要分布于长江两岸斜坡地段。含水层由三迭系、侏罗系砂泥岩组成。地貌上呈丘陵台地。因受历次构造变动作用轻微，砂岩泥岩产生一定深度的风化裂隙带，风化带深度10—30米。有利于地下水的富集。这类地下水受季节性变化影响特别大，多以泉水方式出露在台地边缘的砂岩、泥岩接触地带上。往往在这些风化带网状裂隙含水层上有部分第四系坡残积、

坡崩积层覆盖，容易产生基岩风化带连同上覆堆积层一起滑动的滑坡（如鲤鱼沱滑坡）。

（2）构造裂隙水

主要分布于川东鄂西，背斜向斜的两翼，地貌上呈现单面山、方山、低山丘陵。含水层为砂泥岩互层，一般近背斜轴部构造裂隙发育，易于大气降水补给，沿砂岩泥岩交界面上以泥岩作隔水底板，向下运动，排泄于坡体两侧或坡体前缘深切割的溪河沟谷之中。其水位，流量多不稳定。这类含水层受构造控制，在近背斜或单面山中上部，裂隙发育，是含水层接受大气降水补给的良好通道，加之川东鄂西降雨具有随海拔高度的增高而增大的特点，所以一般在坡体中上部易崩塌，易产生由后向前的推移式基岩顺层滑坡。

**5．岩溶潜水**

库区奉节以下至庙河以上，碳酸盐类地层分布广泛，构造上属于大巴山弧、川东褶皱带与鄂西隆起带交接复合部位，因此这些地带构造复杂，裂隙发育，岩溶地貌普遍。主要有岩溶洼地、溶洞、落水洞、溶隙等，地下水赋存其间。由于岩性的不同，岩溶水的大小及运动特征各异。就水量而言，灰岩＞白云质灰岩＞泥灰岩。这些岩溶水经漫长地质年代的溶蚀，起着分割完整基岩的作用。特别是在峡谷岸坡重力卸荷作用下，加速了岩溶化过程，从而促进了岩溶崩塌、陷落的发展。如新滩后山的黄岩、九盘山溶蚀崩塌，野猫面溶蚀重力崩塌等。

上述几种地下水在各自不同的形成条件下，差异甚大，但都以大气降水就地补给为主，水量不大，水动态特征随季节的变化。其中尤以坡崩积层及坡残积层含水层对坡体失稳的影响为最大。坡崩积层含水层分布面广，在通常情况下流路通畅，一般对滑坡发育影响不大。但当滑坡启动后，含水层通道破坏，流路堵塞，由此产生巨大的动水压力和静水压力，促进滑坡的发育过程；残积灰白色粘土含水层，分布局限，含水而弱透水。尽管地形坡度很缓，但只要人工开挖后，在雨季则极易引起滑坡。基岩风化带裂隙潜水的水量、水位变幅较大，易产生基岩带动上复松散堆积物一起滑动的滑坡。基岩裂隙水多发生于砂泥岩互层组成的中生代红层岩层内。当摩擦角大于地形坡角时，易产生与地下水流动方向一致的基岩顺层滑坡。河谷砂卵石层潜水多出现在现代河床与岸坡的交界处，组成岸坡各类地下水统一的排泄区。地下水交替循环作用强烈，使绝大多数滑坡剪出口都与河谷潜水的排泄区相一致。

应当指出，在长江河谷岸坡中上部，特别是一些由宽缓背斜组成的单面山近轴部地带，风化裂隙发育，易于接受大气降水补给，加之川东鄂西山地暴雨有随海拔的增高而加大的特点，故坡体中上部易产生崩塌。这是沿长江两岸的滑坡绝大多数驱动力来自坡体中后部，以推移式滑坡为主的基本原因之一。

# 三峡库区滑坡分布特征及其分类*

## 一、滑坡崩塌分布特征

### （一）滑坡崩塌概况

从拟建大坝三斗坪至重庆市，长约600公里的长江河谷两岸，计有滑坡崩塌214个，占据面积50余平方公里，滑坡崩塌体总量达13.52亿立方米，其中崩塌47个，体积1.173亿立方米，滑坡167个，体积12.35亿立方米。崩塌占崩滑总数的21.96%；占崩滑总体积的8.6%。滑坡占崩滑总数的78.04%；占崩滑总体积的91.4%（表1—7）。河谷平均每公里有滑坡0.36个，体积225.32万立方米。

**滑坡崩塌统计表** （表1—7）

| 区间 | 河谷长（公里） | 滑坡 | | 崩塌 | | 滑坡累计 | | 崩塌所占百分比 | | 滑坡所占百分比 | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 数（个） | 体积（亿立方米） | 数（个） | 体积（亿立方米） | 总数（个） | 总体积（亿立方米） | 总数（%） | 体积（%） | 总数（%） | 体积（%） | |
| 重庆—三斗坪 | 600 | 167 | 12.35 | 47 | 1.173 | 214 | 13.52 | 21.96 | 8.6 | 78.04 | 91.4 | |

上述统计表明库区长江河谷岸坡破坏的形式是以滑坡为主。为了便于讨论，将岸坡滑坡崩塌按规模大小划分出7个等级（表1—8）

**滑坡崩塌规模分级统计** （表1—8）

| 区间 | 河谷长（公里） | 类型 | 单位 | 规模区间（万立方米） <50.00 | 50—99 | 500—100 | <1000 >500 | 3000—1000 | <5000 >3000 | ≥5000 | 累计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 重庆—三斗坪 | 600 | 崩塌 | 个 | 31.00 | 7 | 5 | 0 | 3 | 0 | 1 | 47 |
| | | | 体积 | 290.50 | 492 | 1250 | 0 | 3700 | 0 | 6000 | 1.173亿立方米 |
| | | 滑坡 | 个 | 93.00 | 13 | 21 | 8 | 20 | 5 | 7 | 167 |
| | | | 体积 | 1138.20 | 893 | 4330 | 5950 | 38150 | 21500 | 51500 | 12.35亿立方米 |

*执笔人：刘新民、李娜、乔建平（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

从表中可以看出：50万立方米以下的滑坡崩塌点最多（124个，约占滑坡崩塌总数的57.90%），而崩滑体总量最少（1428.70万立方米，约占崩滑体总量的1%）。1000万立方米以上的大型特大型崩塌4个，体积9700万立方米；1000万立方米以上的滑坡32个，体积达7.59亿立方米，约占崩塌滑坡总体积的56.14%，其中5000万立方米以上的特大型滑坡达7个，滑体总体积5.15亿立方米，占滑坡崩塌总体积38%这表明现在岸坡以滑坡为主的破坏形式中又以特大型大型滑坡最为活跃。

现将长江干流河谷中以及可能受水库影响的支流中的36个1000万立方米的滑坡崩塌点列表如（见表1—9）。

大型特大型滑坡崩塌统计 （表1--9）

| 编号 | 位置 | 岸别及距大坝（公里） | 类型 | 分布海拔（米） | 体积（万立方米） | 地层代号 | 构造部位 | 发生时代 | 稳定性 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 36 | 丰都桃园 | 右 441 | 崩塌 | 140—300 | 1000 | $J_{2s}$ | 丰都向斜南翼转折端 | 历史 | 不稳 |
| 48 | 丰都陈家吊崖 | 右 425 | 堆积层滑坡 | 140—250 | 2000 | $Q_4/J_{2s}$ | 丰都向斜南翼近轴部 | 历史 | 不稳 |
| 51 | 丰都龙王庙 | 左 420 | 同上 | 130—300 | 1000 | $Q_4/J_{2s}$ | 同上 | 古 | 不稳 |
| 57 | 丰都猫须子 | 右 420 | 基岩顺层滑坡 | 130—360 | 3000 | $J_{2p}$ | 同上 | 古 | 不稳 |
| 80 | 万县后槽 | 右 314 | 同上 | 110—280 | 3500 | $J_1$—$_{2z}$ | 忠县向斜东端翘起端 | 古 | 较稳 |
| 98 | 万县凤凰岩 | 右 283 | 堆积层滑坡 | 230—380 | 1600 | $Q_4/J_{2s}$ | 万县向斜南翼近轴部 | 历史 | 稳定 |
| 101 | 万县沙河子中学 | 左 289 | 基岩顺滑坡 | 145—400 | 5000 | $J_{2s}$ | 万县向斜北西翼 | 古 | 不稳 |
| 102 | 万县草街子 | 左 285 | 同上 | 145—500 | 1500 | $J_{2s}$ | 同上 | 古 | 稳定 |
| 104 | 万县市高升堂 | 左 283 | 基岩崩塌 | 150—380 | 6000 | $J_{2s}$ | 同上 | 古 | 较稳 |
| 105 | 万县刘家院子 | 右 282 | 基岩顺层滑坡 | 110—520 | 7000 | $J_{2s}$ | 万县向斜南翼转折端 | 古 | 稳定 |
| 107 | 万县市玉凰观 | 左 282 | 基岩切层滑坡 | 180—300 | 600 | $J_{2s}$ | 同上 | 古 | 较稳 |
| 109 | 万县铺垭口 | 左 272 | 基岩顺层滑坡 | 105—200 | 1500 | $J_{2s}$ | 万县向斜轴部 | 古 | 较稳 |
| 123 | 云阳兴隆滩 | 左 240 | 同上 | 100—500 | 4500 | $J_{2p}$ | 故陵向斜北西翼 | 1896年 | 稳定 |
| 126 | 云阳旧县坪 | 左 234 | 同上 | 105—400 | 7000 | $J_{2s}$ | 同上 | 古 | 较稳 |
| 133 | 云阳城西 | 左 226 | 同上 | 120—500 | 2500 | $J_{2p}$ | 同上 | 古 | 不稳 |

续表

| 编号 | 位置 | 岸别及距大坝(公里) | 类型 | 分布高程(米) | 体积(万立方米) | 地层代号 | 构造部位 | 发生时代 | 稳定性 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 134 | 云阳城东 | 左 235 | 同上 | 110—450 | 4500 | $J_3P$ | 同上 | 古 | 较稳 |
| 135 | 云阳鸡公子 | 左 224 | 同上 | 110—100 | 2000 | $J_3P$ | 同上 | 古 | 较稳 |
| 136 | 云阳宝塔 | 左 223 | 同上 | 35—530 | 7500 | $J_3P$ | 同上 | 古 | 较稳 |
| 138 | 云阳罗家湾 | 左 208 | 同上 | 90—320 | 1500 | $J_3p$ | 背斜[illegible] | 古 | 较稳 |
| 146 | 奉节新场 | 右 180 | 同上 | 80—290 | 4500 | $J_{3s}$ | 背斜向斜东翼[illegible] | 古 | 不稳 |
| 148 | 奉节王家子 | 左 170 | 同上 | 15—320 | 1000 | $J_{1z}$ | 同上 | 古 | 不稳 |
| 150 | 奉节百炼坪 | 右 172 | 同上 | 100—500 | 2000 | $J_3$ | 同上 | 古 | 较稳 |
| 154 | 奉节黄草沱 | 右 166 | 同上 | 90—240 | 1650 | $T_2L$ | 向上 | 古 | 较稳 |
| 156 | 奉节白农佬 | 左 164 | 同上 | 160—500 | 2800 | $P_2b$ | 干溪沟向斜北西翼 | 古 | 不稳 |
| 165 | 巫山刘家屋场 | 右 146 | 同上 | 100—500 | 1600 | $T_2b$ | 铁石沟背斜北西翼 | 古 | 较稳 |
| 170 | 巫山水竹园 | 左 141 | 基岩顺层滑坡 | 100—400 | 1900 | $T_2b$ | 向上 | 古1935年复活 | 不稳 |
| 184 | 巫山鸭浅湾 | 右 117 | 基岩滑坡 | 80—500 | 1700 | $P_1j$ | 铁石沟背斜北西翼 | 古 | 不稳 |
| 186 | 巫山曹家湾 | 右 116 | 同上 | 80—700 | 1000 | $P_1j$ | 同上 | 古 | 不稳 |
| 196 | 巴东左右沱 | 右 83 | 堆积层滑坡 | 140—700 | 1500 | $Q_4/T_1b$ | 同上 | 古 | 不稳 |
| 197 | 巴东火焰石 | 右 | 基岩顺层滑坡 | 700—400 | 1600 | P | 同上 | 历史 | 不稳 |
| 198 | 巴东西襄口 | 左 | 同上 | 100—280 | 1400 | $T_2b$ | 背斜转折端 | 历史复活1951年 | 不稳 |
| 199 | 巴东黄腊石 | 左 | 堆积层滑坡 | 80—700 | 1600 | $T_2b$ | 秭归向斜北翼西缘 | 正在发展中 | 不稳 |
| 201 | 秭归范家坪 | 右 | 基岩顺层滑坡 | 100—600 | 1亿 | $J_1$ | 同上 | 古 | 较稳 |
| 212 | 秭归马家坝 | 左 | 堆积层滑坡 | 180—400 | 3000 | $Q_4/J_{2s}$ | 同上 | 古复活1986年 | 不稳 |

| 编号 | 位置 | 岸别及距大坝(公里) | 类型 | 分布高程(米) | 体积(万立方米) | 地层代号 | 构造部位 | 发生时代 | 稳定性 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 213 | 秭归楚王城 | 右 | 基岩顺层滑坡 | 57—350 | 1200 | $J_{s_c}$ | 同上 | 1561.5 | 较稳 |
| 221 | 秭归新滩 | 左 | 堆积层滑坡 | 70—900 | 3000 | $Q_4/s$ | 黄陵背斜西翼 | 1985.6复活 | 不稳 |

从以上36个大型特大型滑坡崩塌在地域上的分布特点上看，具有明显的差异。(图1—1)。大体以万县市为界，分东西两段。万县市以西为西段，万县市以东为东段(包括万县市在内)。西段滑坡崩塌分布稀疏，滑坡崩塌体积相对较小，东段分布密集，滑坡崩塌体积相对较大。西段河谷长317公里，占总河谷长的52.8%，特大型大型滑坡崩塌仅5个，滑坡崩塌体总量1.05亿立方米，平均63.4公里有大型特大型滑坡崩塌1个，平均每公里有33.12立方米的滑坡崩塌堆积物。东段干流河谷长283公里，占总河谷长47.2%，计有大型特大型滑坡崩塌31个，总体积7.51亿立方米。平均每9.12公里河谷内有大型或特大型滑坡崩塌1个，平均每公里内，有滑坡崩塌体积265.37万立方米(表1—10)。

1000万立方米以上滑坡崩塌分布对比表 (表1—10)

| 项目 | 西段(万县市以西) | 东段(包括万县市、万县以东) |
|---|---|---|
| 河谷长 (公里) | 317.00 | 283.00 |
| 占总河谷长度的百分数(%) | 52.80 | 47.20 |
| 滑坡崩塌 (个) | 5.00 | 31.00 |
| 平均每个崩、滑点占河谷长(公里/个) | 63.40 | 9.12 |
| 滑坡崩塌体积(亿立方米) | 1.05 | 7.51 |
| 平均每公里河谷占崩、滑体积(万立方米/公里) | 33.12 | 265.37 |

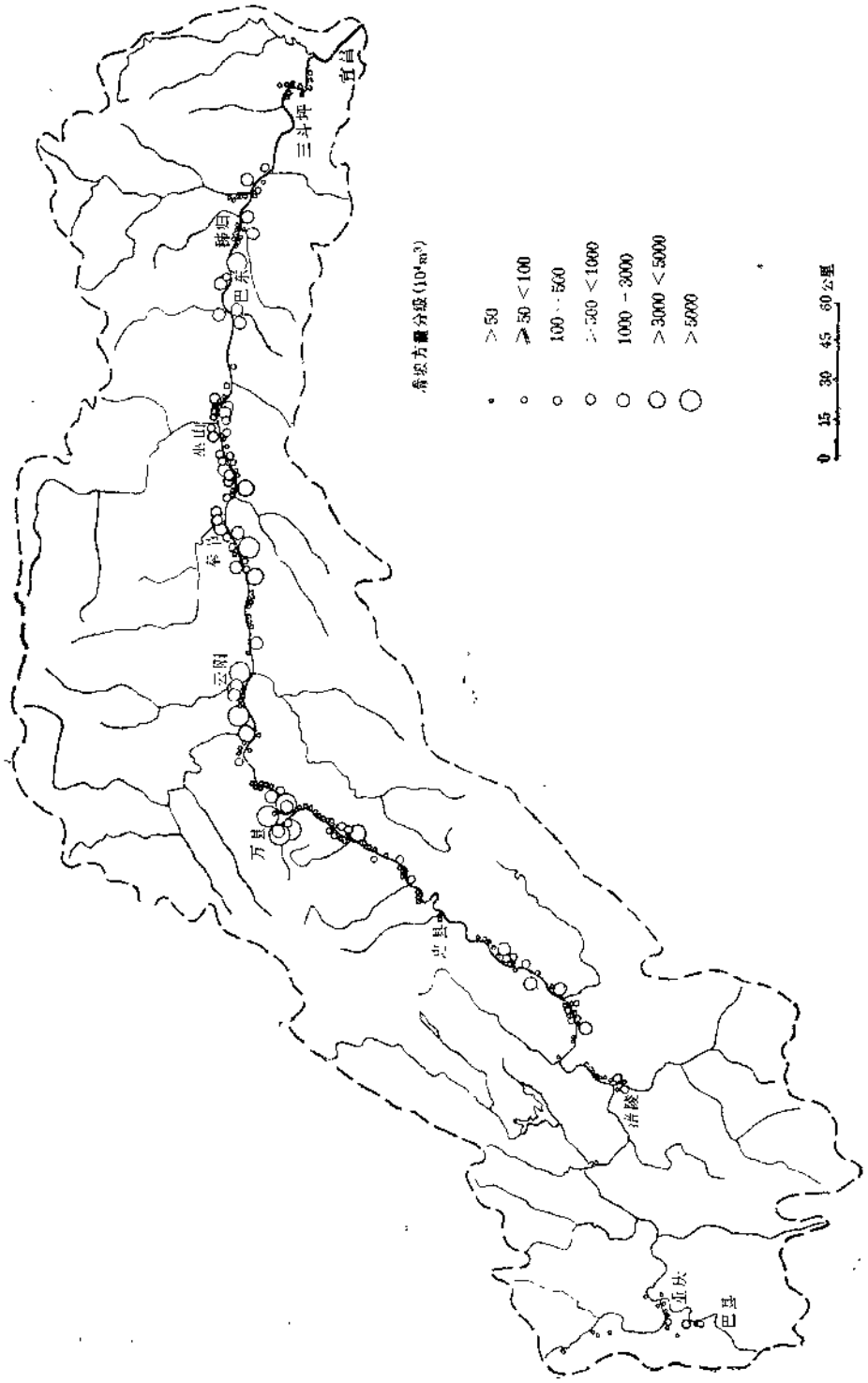



图1—1 三峡库区滑坡分布图

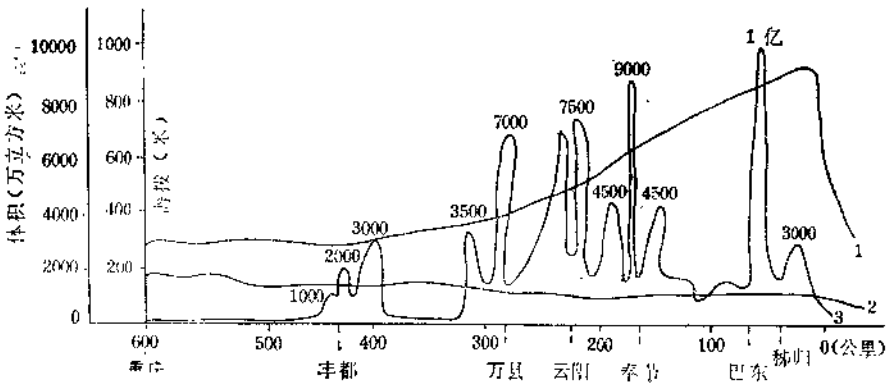



图1—2　崩塌滑坡规模地域变化曲线

1、滑坡后缘高程；2、滑坡前缘高程；3、滑体方量

从大型特大型滑坡崩塌分布的海拔高程看，有由西向东增高的趋势。在四川盆地内部滑坡体后缘分布海拔250—360米，向东至万县一带增至海拔500米左右，云阳宝塔滑坡后缘海拔达530米；奉节、巫山一带500—700米；新滩滑坡后缘海拔高达900米。滑坡前缘分布海拔绝大数与当地侵蚀基准面保持一致，部分略低于当地侵蚀基准面或高于当地侵蚀基准面。

从滑坡崩塌的规模上看，也有由西向东逐渐增大的趋势。重庆一涪陵，基本上没有大型特大型滑坡崩塌，均以小型（小于50万立方米）为主；最大的猫须于滑坡也不过3000万立方米；万县云阳、奉节一带崩滑体规模4000—6000万立方米，其中百换坪滑坡达9000万立方米；在秭归境内的范家坪滑坡体积达1亿立方米（图1—2），马家坝古滑坡的范围竟达10平方公里，推测古滑坡体积最少在2亿立方米以上，为三峡地区滑坡之冠。

## （二）滑坡崩塌分布规律

1、河谷大型特大型滑坡崩塌多集中分布于构造急剧转弯的部位，背斜倾没端、向斜翘起端，几组构造线交叉复合的地段，构造盆地的边缘以及新构造活动相对强烈上升区。现分别例举如下：

（1）大型特大型滑坡崩塌集中分布在构造线急剧转弯的部位，最为典型的例子是万县市附近。该处构造上属新华夏系川东褶皱带，构造线总体方向，由北北东转为近东西向，成为向北北西突出的弧形褶皱带，并挟持在铁峰山背斜和方斗山背斜之间，组成现今万县向斜之北西翼近轴部。岩层十分破碎，区域性的节理裂隙比较发育，一组走向北40度东，倾向13°度，倾角50度，另一组走向北40度西，倾向230度，倾角56度。裂隙宽度5—10厘米，裂隙效率可达1—3%。

万县市附近河谷长不到16公里的范围内，有5000万立方米以上的滑坡崩塌4处，1000万立方米以上，5000万立方米以下的滑坡3处（见滑坡崩塌分布图）。滑坡崩塌体总量达3.1亿立方米。这一段河谷长度仅占干流河谷总长2.7%，而滑坡崩塌体总量却占全部滑坡崩塌体的22%。

（2）大型特大型滑坡崩塌，多集中分布于向斜翘起端。如奉节县境内的故陵向斜东段翘起端，该处河谷长度不过10公里，分布有大小滑坡8个，其中新铺滑坡（146号）体积为4500万立方米，三磴子滑坡的体积为1500万立方米，百换坪滑坡的体积为9000万立方米，

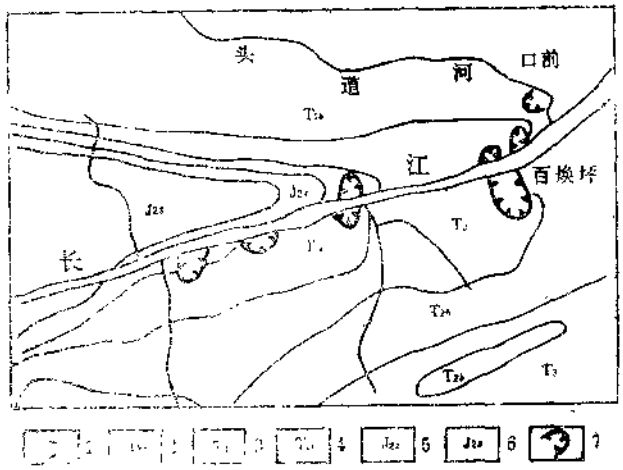



图1—3 古陵向斜东段翘起端滑坡分布

1、地层界线；2、巴东组；3、须家河组；4、珍珠冲组；5、自流井组；6、新田—下沙镇庙组；7、滑坡；

方米。该段河谷长仅占总干流河谷长度8.6%，滑坡崩塌体积占全部滑坡崩塌体积的15.83%，其中范家坪滑坡体积为1亿立方米。

（4）大型特大型滑坡崩塌还多集中分布于新构造活动相对剧烈的地段。最典型的新实例是滩链子崖一带的滑坡及危崖崩滑体。这一带岸坡挟持于仙女山和九湾溪活动断裂带之间（图1—4）。历史上曾发生多次山崩、滑坡灾害，有地震引起山崩，使长江断航的记载。1985年新滩古滑坡复活，其体积达2000万立方米，现今对岸的链子崖危险崩滑体体积达350万立方米。

2．滑坡分布受地层岩性组合的控制。凡是上部坚硬的碳酸盐岩或碎屑岩，下部较弱的泥岩、页岩、炭质页岩及煤层，且下复较弱层直接暴露地表或接近地表的地层组合地段，都是滑坡崩塌集中分布地段。现以瞿塘峡背斜和横石溪背斜峡谷段为例对比论述如下（图1—5）。

横石溪背斜核部出露志留系页岩（图1—3），这一段累计滑体总量约1.53亿立方米。河谷长度仅占总干流河谷长度的1.7%，而滑体却占总滑坡崩塌体积的11.28%。

（3）大型特大型滑坡集中分布于不同构造线交叉复合的部位，最为典型的实例是巴东左右沱口下游至香溪镇，该段构造上属鄂西隆起带向北东收敛，向东转折并与秭归向斜构造盆地边缘交接的地带（传统地质学上称巴东复向斜）。这一段河谷长51公里，有大小滑坡崩塌15个，（见图1—1）其中大于1000万立方米的7个，大小滑坡崩塌体总量约2.14亿立

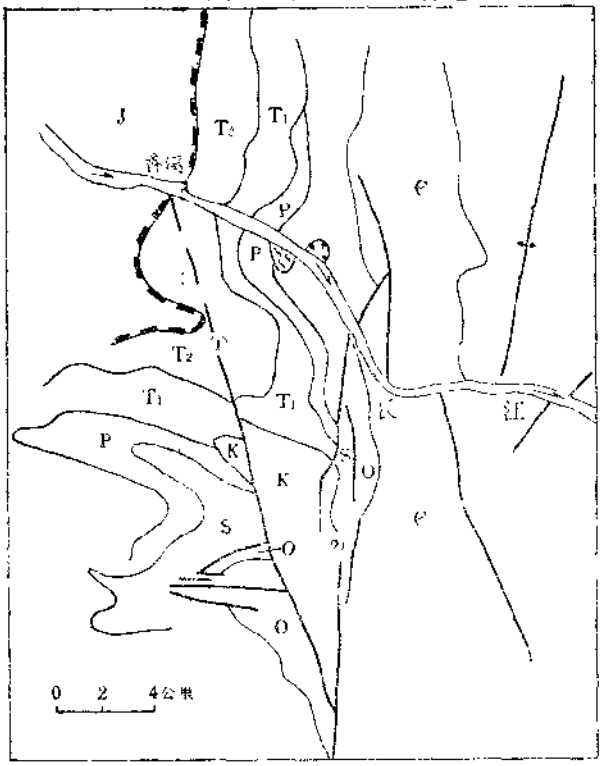



图1—4 活动断裂与滑坡关系

1、盆地边界；2、仙女山活动断裂；3、九湾溪活动断裂；4、地层界线；5、性质不明断层；6、白垩系；7、侏罗系；8、三叠系；9、二叠系；10、志留—奥陶系；11、寒武系；12、背斜；13、危岩变形体；14、滑坡；

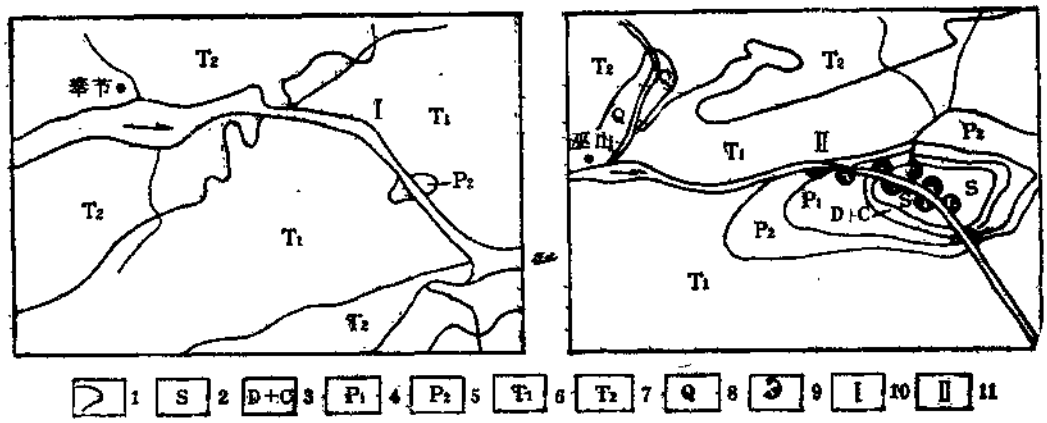



图1—5 瞿塘峡巫峡崩塌滑坡分布对比

1、地层界线；2、志留系；3、泥盆—石炭系；4、二叠系下统；5、二叠系上统；6、二叠系下统；7、三叠系中统；8、第四系；9、滑坡；10、瞿塘峡背斜；11、巫峡背斜；

及二叠系炭质页岩夹煤层，其上覆盖二叠系白云质灰岩、灰岩，三叠系灰岩，组成上硬下软的地层结构，因此在这一峡谷地带不过4公里长，出现滑坡崩塌11处，滑坡崩塌总体积达4374万立方米，其鸭浅子湾崩塌体1700万立方米，曾中家弯崩塌体1000万立方米。奉节东侧的瞿塘峡，全长8公里，同样是背斜深切峡谷，也同样是上硬下软的地层结构，只因下复软弱层没有直接暴露地表，中上部坚硬灰岩直接插入背斜两侧河谷，起支撑作用，故从峡谷进口至峡谷出口基本上见不到大型滑坡崩塌形迹。即使在同一背斜构造部位，也只因软弱夹层暴露的空间位置不同，反映在大型滑坡崩塌的规模和分布的密集程度上也不尽相同。以兵书宝剑峡为例，该峡全长5公里，进口3公里一段为三叠系嘉陵江灰岩和大冶灰岩，而出口2公里一段，上复坚硬的二叠系灰岩夹煤层，下部大面积的志留系页岩出露，两段同属活动断裂带的范围，同属黄陵背斜西南倾没端，只因峡谷上游进口段的软弱层未直接暴露，故基本上无崩塌、滑坡分布，两岸虽然呈悬崖绝壁，但岩体都十分稳定。峡谷下游出口段，只因煤层暴露于厚层灰岩之下，出现了新滩滑坡和链子崖崩滑危险体。

3．大型特大型基岩顺层滑坡，集中分布于屏形向斜的两翼。如云阳古陵向斜，核部为侏罗系上统，岩层倾角较平缓。而两翼靠背斜岩层倾角急剧变陡。因此，在这一带岩层倾角上陡下缓。近河谷地段的缓倾角地层，组成强大的水平抗阻段，有利高陡岸坡能量的积累，使之不易于因为外界因素的少许变化使岸坡失稳，客观上为大型滑坡产生创造条件。如兴隆滩、旧县坪、云阳城西城东、鸡扒子、宝塔滑坡等。云阳鸡扒子滑坡，近翼部岩层倾角陡达45°，中部20°—25°；核部仅6°—10°。这一段长江河谷岸坡的变形均以大型特大型滑坡为主。如兴隆滩滑坡的体积达4500万立方米，旧县坪滑坡7000万立方米；云阳城关滑坡7000万立方米；鸡扒子滑坡2000万立方米；宝塔滑坡7500万立方米；这一段河谷长不过17公里，1000万立方米以上的滑体总量达2.75亿立方米。河谷长占总河谷长度的2.8%，滑坡却占总滑坡崩塌体积的20.34%（表1—11）。

必须指出，上述地段，旧县坪以下，云阳城西滑坡以上的地段，长约7公里，因长江逼

兴隆滩—宝塔滑坡统计 （表1—11）

| 区间 | 岸别 | 河谷地貌 | 岩坡岩层倾角 后部 | 中部 | 前部 | 河谷长（公里） | 大型特大型滑坡（个） | 滑坡体积（亿立方米） | 占河谷总长度的（%） | 占总滑坡崩塌体积的（%） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 宝塔—兴隆滩 | 左 | 屉形向斜谷 | 50—30° | 25—20° | 10—5° | 17.00 | 6.00 | 2.75 | 2.80 | 20.34 |

近屉形向斜翼部，近河谷一带的岸坡缺乏明显的水平抗阻段（图1—6）。近翼部的岩层倾角陡，直接插入谷底，不利于高陡岸的积累，所以只产生小型滑坡6个，累计滑坡体积仅34万立方米。这一段反而成为滑坡分布规模小的地段，说得更确切一点，基本算无滑坡分布区。

4．大型特大型滑坡多集中分布于峡谷之间的宽谷缓坡地段，特别是有多级台阶状谷坡地段，这些地段岸坡受软硬相间地层的影响，或受新构造活动间歇性抬升的影响以及受外动力作用形成多级平台，每一级平台都十分有利于岸坡物质的积累，为大型特大型滑坡创造了十分有利地形地貌条件。当岸坡物质积累到一定程度的时候，就以滑坡的形式向河谷卸荷。如丰都向斜宽缓谷坡的陈家吊崖、龙王庙，江湾等滑坡，该段河谷长23公里，累计滑体6000万立方米；又如瞿塘峡和巫峡之间的刘家屋场滑坡，水竹园滑坡，滑体体积分别为4500万立方米，1900万立方米。

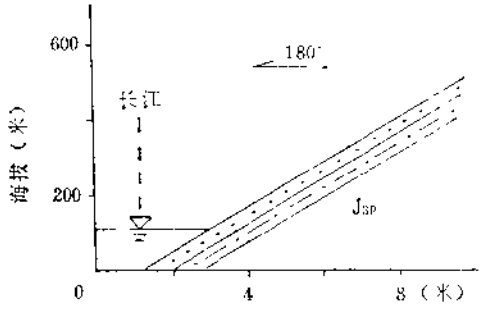



图1—6 踏江子单斜陡倾河谷剖面

特别要引起注意的是这些宽谷缓坡段，往往人们对它发生滑坡的可能性估计不足而造成判断失误。如鸡扒子滑坡、马家坝滑坡。这两起滑坡，临滑前都没有任何迹象，一场暴雨之后，突然性的出现滑坡，给人们带来了深重的灾难。大型特大型滑坡崩塌集中分布地段（表1—12）。

大型特大型滑坡崩塌集中地段统计表 （表1—12）

| 位置 | 地质地貌部位 | 河谷长（公里） | 崩滑体（个） | 体积（亿立方米） |
|---|---|---|---|---|
| 万县市 | 汇东褶皱带弧形转折部位 | 16 | 7 | 3.1 |
| 云阳 | 故陵向斜翘起端 | 10 | 3 | 1.14 |
| 巴东—秭归 | 归东、马鹅、大巴山弧复合部位 | 51 | 7 | 2.14 |
| 新滩—链子崖 | 活动断裂带 | 2 | 2 | 0.34 |
| 云阳 | 故陵向斜屉形谷段 | 17 | 6 | 2.75 |
| 总计 | | 96 | 25 | 9.86 |
| 占总河谷长度的百分比 16% | 占崩塌总数的百分比 | 11.7% | 占崩滑总量的百分比 | 72% |

## 二、滑坡崩塌分类

据统计，三峡工程库区长江干流河谷中，100万立方米以上的滑坡崩塌70个，总体积13.28亿立方米，其中滑坡61个，体积12.14亿立方米，崩塌9个，体积1.10亿立方米。滑坡数量占滑坡崩塌总数的87.15%，占总体积的91.73%，崩塌数量占滑坡崩塌总数的12.85%，占总体积的8.27%。

100万立方米以上的滑坡，按岩性划分出基岩滑坡和第四系松散堆积层滑坡两大类。其中基岩滑坡按滑动的空间位置分顺层和切层滑坡两大亚类，其结构式表达如下：

$$\left\{\begin{array}{l}\text{崩塌}\\ \text{滑坡}\left\{\begin{array}{l}\text{基岩滑坡}\left\{\begin{array}{l}\text{基岩顺层滑坡}\\ \text{基岩切层滑坡}\end{array}\right.\\ \text{松散堆积层滑坡}\end{array}\right.\end{array}\right.$$

基岩顺层滑坡（100万立方米以上的）29个，累计体积达9.12亿立方米；基岩切层滑坡个，累计方量0.68亿立方米。基岩顺层滑坡占滑坡崩塌总数的41.42%，累计体积占100万立方米以上的滑坡崩塌总体积的68.89%。基岩切层滑坡崩塌总数的2.85%，占总体积的5%。

第四系松散堆积层滑坡（100万立方米以上的）30个，体积2.35亿立方米。松散堆积层滑坡占滑坡崩塌总数的42.85%，占总体积17.73%。

从上述分类统计，表明河谷岸坡破坏的方式以基岩顺层滑坡为主，次为第四系松散堆积层滑坡；基岩切层滑坡少许，崩塌也不多（表1—13）。

100万立方米以上的滑坡崩塌分类统计表　　（表1—13）

| 类型 | | 个数 | 占崩滑总数(%) | 体积(亿立方米) | 占滑、崩总体积(%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 基岩滑坡 | 顺层 | 29 | 41.42 | 9.12 | 68.89 |
| | 切层 | 2 | 2.85 | 0.68 | 5.00 |
| 第四系松散堆积滑坡 | | 30 | 42.85 | 2.35 | 17.73 |
| 崩塌 | | 9 | 12.85 | 1.10 | 8.38 |
| 总计 | | 70 | 100.00 | 13.24 | 100.00 |

# 三峡库区历史上的滑坡灾害*

拟建三峡工程库区长江干流河谷两岸，在历史上曾多次发生滑坡和崩塌，给长江航运和当地居民的生活带来严重影响。现据历史文献，择其重点综述如下：

## 一、新滩地段历史上发生的滑坡和崩塌

（一）据沈云骏《归州志》卷九乔拱壁新滩重凿碑文记载："晋太元二年（公元377年）山又崩，当急之日，水逆流百余里，涌起数十丈"。文献中明确了山崩的位置是在新滩。从"水逆流百余里"来看，当时是堵塞了长江，并形成水库，估计当时回水已到现今火焰石、作揖沱一带，堆积坝前水深可达80余米。但坝体不大，其结构比较松散，堵江很短时间就被江水漫顶冲开了，这可以从堵江下游段没有任何溃坝洪水史料记载得到证实。虽然堆积坝被冲开了，但河床抬高仅能空船而过。

（二）据《兴地纪胜·归州》记载，北宋天圣四年（公元1026年）新滩山崩。吴省钦《新滩》中说"天圣间一壮崩六鳖，塞江不流"。又据沈云骏《归州志》卷9乔拱壁重凿新滩碑文记载："北宋天圣七年（公元1029年）地震、狮归山崩、石塞江心、水流不通，害舟不可胜记，堵江二十余年，直得皇佑三年（公元1051年）才疏通"。上述记载说明，从公元1026年至1029年的三年之中发生过两次大的山崩，第一次山崩的原因不详；第二次山崩是由于地震触发的，但震中位置在何处？震级多高？烈度多大？这些问题至今还不清楚，值得进一步研究，或许会对水库地震及其引起的地面破坏的研究有所帮助。

（三）据《归州志》卷四记载："明嘉靖二十一年（公元1542年）六月二十日（农历），归州新滩北岸，山源涌出泥潭，山势长裂，居民惊骇逃避，顷之山崩5里，巨石腾壅、闭塞江流、压居民100余家、舟楫不通"。这一段记载明确了崩塌发生的时间是1542年农历六月二十二日，位置系新滩北岸。"山势长裂、山源涌出泥潭"可理解为首先出现地裂缝，尔后挤压变形，改变了地下水天然流路，地下水受压连同泥浆一起挤出地表。当时居民见到上述现象惊骇逃避，因此仅压民舍百余家。这和1985年新滩滑坡滑动时的情况相似，看来是个缓慢渐进的滑动过程。"山崩5里"，推测是指纵向（斜向）上的长度。这是因为从江边至后

*执笔人：王淑毓（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

面九盘山陡崖的长度恰是2400余米（约5华里），基本上和上面叙述的相吻合。《归州志》卷十记载，明嘉靖二十一年，上沱下沱相继而崩，舟行尤甚，往返必虚其舟，辗转拔涉，艰辛万状，莫可奈何。上、下沱的位置是在现今上孝村对岸至龙马溪以东500米的长江左岸长约1700米的地段。现今的下沱已叫下滩沱，这也反映出经滑坡作用之后深沱变浅滩的滩沱之变（当地人说深水为沱，浅水为滩）。总之据上所述，这次古滑坡发生的位置是在现今新滩

**秭归新滩滑坡、崩塌史料年表** （表1—14）

| 序号 | 时间 | 位置 | 运动方式 | 前后两次滑坡崩塌或的间隔 | 堵江和碍航 | 灾害 | | 触发因素 | 资料来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 房屋和船只 | 人员伤亡 | | |
| 1 | 公元100年（东汉永元十二年） | 新滩 | 崩塌 | | 堵江 | | 死亡100余人 | | 《续汉书·五行志》、《东观汗记》 |
| 2 | 公元377年（东晋太元二年） | 新滩 | 滑坡 | 277年 | 堵江、水逆流百余里 | | | | 《水经注》江水卷十三 |
| 3 | 公元1026年（北宋天圣四年） | 新滩 | 滑坡 | 649年 | 堵江碍航 | | | | 《兴地记胜·归州》 |
| 4 | 公元1029年（北宋天圣七年） | 新滩 | 崩塌 | 3年 | 堵江碍航 | 害舟不计其数 | | | 《归州志》卷九 |
| 5 | 公元1542年（明嘉靖二十一年） | 新滩东 | 滑坡 | 513年 | 堵江碍航 | 毁100多户人家的房屋 | | | 《归州志》地兴志祥异 |
| 6 | 公元1558年（明嘉靖三十七年） | 新滩 | 崩塌 | 16年 | | 数十间 | 300人 | | 《文献通考》异物八 |
| 7 | 公元1609年（明万历三十七年） | 广家崖 | 崩塌 | 51年 | | 毁民房 | 压死居民 | | |

镇以东。滑坡上限是在广家崖九盘山陡崖脚，长2400米，宽1700米的河段。

据沈云骏《归州志》卷一祥异志记载，这次堵江成滩至天启五年（公元1625年）按察史赵公璧凿平之。由此可推算出此次堵江碍航长达82年之久。

（四）据郑乔《归州志》卷四灾异记载，明嘉靖三十七年（公元1558年）夏，新滩又崩，颓民房数十间，压死300余人。从“压死300余人”的数字分析，属快速崩塌无疑，而“颓民房数十间”，很可能是在居民集中的新滩镇。这次崩塌未涉及到堵江问题，因此规模和危及范围不大。

（五）1924年、1935年、1958年、1964年、1977年、1980年、1981年、1982年、1983年新滩及其后山的广家崖一带都曾出现过不同规模的滑坡和崩塌，但规模都比较小。

新滩地段滑坡和崩塌的发生有一定的周期性和继承性。为便于研究兹将较大的滑坡和崩塌列入表（表1—14）。

从表1还可以看出，新滩地段滑坡和崩塌具有一定的周期性和继承性。滑坡的前兆比较明显，居民易逃避，但一般滑坡规模较大，堵江碍航严重。崩塌则突然发生，易造成居民伤亡，但一般规模不大，不易堵江和碍航。从新滩地段滑坡和崩塌的发育史还可以看出，滑坡和崩塌的地点有从东向西逐渐扩展的趋势。

## 二、楚王城滑坡

楚王城为明代秭归县城所在地，距三峡枢纽大坝38公里的长江右岸。据万历《归州志》祥异记载，明嘉靖四十年（公元1561年）润五月十二日，淫雨浹旬，楚王城发生滑坡，使当时官府及民舍1000余家遭受严重破坏，大部房屋倾没倒塌（没有人伤亡的记载），因此又将县城迁回到秭归县城所在地归州镇。据现场残存的古滑坡体判断，该滑坡为一基岩顺层滑坡。现今在海拔240—260米的楚王井村，是从海拔350余米处滑下来的。现今滑坡残体虽然重心位置偏低，水库回水后仍然可能引起残存滑坡体复活，但不会造成多大影响。

## 三、兴隆滩滑坡

兴隆滩滑坡位于云阳县城上游14公里处长江北岸。据《云阳县志》记载，光绪二十二年（公元1896年），自七月积雨至八月（农历），黄官漕山半崩裂，土石推移，广袤数百丈，直移入江，壅江流，与江中石梁相逼，水石冲激，巴楚商泊上下停滞，列樯待运延袤数里。滑坡之处原是荒凉的地方，仅几个星期，那里纤夫和挑夫就达万人之多。为此当时云阳政府在这里设立管理机构，因一时生意兴隆，取名为兴隆滩。据重庆《海关十年报告书》记载，滑坡宽约半英里，而坼痕延入陆岸三倍以上。土石滑落之处的山壁形成了约800英尺高立陡岩。当地滑坡体之上的农民在前一天听到的不祥的轰隆和折裂之声，所以有时间迁避。而在其下的一个谷地的居民却未搬迁，结果60多人埋没于土石之中。滑落的土石在河床上形成一个山岬（在以前名叫“龙中湾”的一个平静水湾）恰与原来靠近南岸的暗礁相遇，航道全部阻塞，形成一大险滩。江水被压缩在76米宽的过水断面中汹涌而过，其状如一个大的瀑布，给航运造成极大困难。下行船不知此滩者，被吞没者无数。据当时知县估计，在最初的三个月时间内生命损失已过千人。为消除航行障碍，北洋政府曾派军队和专家炸滩。由于缺乏必要的机具，成效不大。后于1898年邀请外国专家协助进行治理，削掉北岸江边部分滑坡，炸掉航道中大的礁石，航行状况有所改善。后因战争频繁外国专家撤走，工程又停了下来。在此以后又经过20多年的继续整治，才通航无阻。现今兴隆滩滑坡仅残留少部分滑体堆积在江边。根据现在滑坡周界和恢复原岸坡线计算，此次滑坡总体积约4500万立方米。

## 四、蒿子坪山崩

据《峡江滩险志》记载，牛口西距巴东30里，北岸溪流两道各积为碛，清嘉庆年间（公元1796—1820年），蒿子坪山崩，溪流洪大，碎石随流横铺，突增宽广，二碛遂连为一，共

成一至大碛。上述文献记载了现今秭归县与巴东县接壤地段的长江北岸蒿子坪一带发生的一起巨型山崩堵沟，并转化为泥石流把崩积物带到牛口一段的长江河道中，进而形成著名的牛口滩的全过程。“北岸溪流两道”系指现今的上溪沟、下溪沟。“溪流洪大、碎石过流横铺”表明崩塌堵沟后溃决，转化为强大的泥石流，铺在牛口一段的长江河床内。“二碛逐连为一，共成一大碛”有两层意思，一是在嘉庆年间以前的若干历史阶段，上、下溪沟碛滩早已存在，可理解为早期崩塌物经泥石流搬运所致。这从上、下溪沟近源头一带的崩塌遗迹可找到证据。但上、下溪沟口的碛滩是各自单一的碛滩；二是经清嘉庆年间的这次山崩后；下溪沟的堆积物向上溪沟一侧扩张，上溪沟口的滩向下溪沟一侧延伸，上下溪沟的碛逐渐互相连在一起组成一大碛，形成长江在牛口段的急流险滩。就牛口滩的形成来看，虽然是以泥石流的形式出现的，但其根源还在山崩。蒿子坪清嘉庆年间的这次崩塌，使牛口一带的长江河段形成急流险滩，以牛滩上下游的河床底线为基准，与牛口滩这一带河床底线相比，算出这崩塌—泥石流使河床普遍垫高25米左右。现今实测牛口滩段河宽1200米，算出这次崩塌堆积在河谷中的体积约750万立方米，加上被流水带走的细粒碎块在内，估计崩塌体可达1000万立方米以上。

上述滑坡和山崩史实说明，滑坡和崩塌曾给长江航运和当地居民的生命财产安全造成巨大的危害。同时也可以看出巨型的滑坡和山崩的发生有其地段性，主要分布在湖北秭归县和四川云阳县境内，乃由于其独特的地质地貌环境所决定的。

# 三峡库区地质环境因素对滑坡发育的敏感性分析*

库区滑坡发育受地层、构造、谷坡形态等基本地质地貌因素的控制，下面就这些基本环境因素对滑坡发育的敏感性分别进行分析。

## 一、地层对滑坡发育的敏感性

库区地层出露较齐全（白垩系、第三系、第四系地层分布零星），从前震旦系到侏罗系均有出露，各种地层中的滑坡发育情况各不相同。

### （一）侏罗系（J）

侏罗系为一套内陆河湖相红色碎屑岩，分布在库区奉节以西的川东平行岭谷区和秭归盆地。该地层在河谷两岸共长约940公里，约占全部库岸长度的74%。它的最大特点是较硬的砂岩与软弱的泥岩或页岩相间，强度指标相差甚远。

三峡库区由侏罗系组成的长江干流河谷谷坡的变形方式主要有滑坡、崩塌、崩滑等几种，共近100处，占库区全部滑坡、崩塌、崩滑的60%以上。

**1．滑　坡**

由于岩性强度较低，又软硬相间，侏罗系的变形方式以滑坡为主，10万方以上的滑坡约占50%。库区干流河谷中，60%的大型滑坡发育在侏罗系，云阳宝塔、东西城区，旧县坪、兴隆滩滑坡为典型代表。

**2．崩　滑**

崩滑，指的是坚硬岩层沿陡倾裂隙崩落，堆积在江边或缓坡上，随着碎石土的堆积及粘土在底部富集，逐渐发育成滑坡。

库区侏罗系中发生崩滑24处，80%以上发生在顺向坡。丰都县城至上游立石镇两岸的上沙溪庙组地层（$J_{2s}$）是崩滑最发育的地方。80%以上的侏罗系崩滑集中在这里。这里的崩滑、滑体较薄，滑速不大。

**3．崩　塌**

*执笔人：王治华（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

塌仅占全部坡岸变形的4％，大都发生在厚层砂岩组成的切向坡，规模相对较小。

**4．地裂缝**

地裂缝是侏罗系岸坡变形的另一种方式，云阳、万县之间的栈溪沟、小周溪、白林湾以及丰都县城对岸的李家坡等地的厚层砂岩中均有与江平行或斜交的裂缝发育。

### （二）三 叠 系 （T）

三叠系为海相－陆相过渡地层，分布于秭归构造盆地的边缘及背斜的轴部和翼部。长江干流河谷两岸由该地层组成的谷坡约250公里。由于三叠系上、中、下统岩性变化较大，其变形特征也明显差异。

三叠系下统大冶组及嘉陵江组灰岩构成的谷坡比较稳定，很少有滑坡、崩塌发育、谷坡变形率仅为2％。

中统巴东组地层库岸由于含大量泥质岩层（粘土岩、页岩、泥灰岩），稳定性较差。坡岸线变形率达20％以上，其中85％以上为滑坡。黄腊石、西襄口、刘家屋场，白衣庵、茨草沱等为该地层滑坡的代表。该地层滑坡特点是：顺层滑坡与切层滑坡均很发育。数量上，它们在库区的分布约各占一半。顺层滑坡常沿巴东组地层中的泥岩、页岩与泥灰岩界面滑动，往往发育成千万方以上的大规模滑坡，如刘家屋场等。切层滑坡则由顺坡向的裂隙面构成滑动带，其规模相对较小，如巫山县城附近的滑坡。有时，该地层切向边坡形成千万方以上的大滑坡，如黄腊石、大坪等。

三叠系上统的须家河组虽在库区出露仅20余公里，但发育有五个顺层滑坡，线变形率达17.3％。沿着煤层表面滑动的百换坪滑坡，其体积达一亿方左右。

### （三）二 叠 系 （P）

二叠系由一套滨海—浅海相的碎屑岩、碳酸盐岩组成，在横石溪背斜轴部及翼部等处出露。占库区干流河谷岸坡约19公里长。

二叠系，尤其是上统地层，岩性稳定、坚硬，在库区形成高陡的悬崖峭壁，不易产生滑坡，但该地层裂隙十分发育，地层下部又有煤层，故常产生崩塌，是库区大型崩塌发育的主要地层，如火焰石、作揖沱、新滩链子崖、黄崖等著名崩塌均产生于该地层。二叠系库岸长度的50％以上发生崩塌。

二叠系中的地裂缝十分发育，在链子崖、黄崖、向家湾、横石溪、鸭浅湾、李子坪等地均有大量大规模裂缝发育。

### （四）石炭系和泥盆系（C、D）

石炭系为一套海相的碳酸盐岩相地层，泥盆系为一套滨海相—浅海相的碎屑岩—碳酸盐相地层。主要岩性为石英砂岩、灰岩等，由于其在库区分布比零星，难以了解与滑坡的关系，这里暂不加讨论。

### （五）志 留 系（S）

志留系为一套滨海—浅海相的碎屑岩建造。在库区中前段与石炭—泥盆系一起出露。二

**三峡库区各地层滑坡崩塌统计表** （表1—15）

| 地层划分 | | 代号 | 占岸坡长度（公里） | 滑坡 | | 崩塌 | | 崩滑 | | 总计 | | 变形率 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| （系） | （统组） | | | 数量（个） | 占岸坡长度（公里） | 数量（个） | 占岸坡长度（公里） | 数量（个） | 占岸坡长度（公里） | 数量（个） | 占岸坡长度（公里） | 总变形（公里）/地层坡长（公里） |
| 侏罗系 | 蓬莱镇组 | $J_{3p}$ | 165.4 | 17 | 11.8 | 1 | 0.5 | | | 18 | 12.3 | 7.4% |
| | 遂宁组 | $J_{3s}$ | 222.4 | 18 | 12.0 | 2 | 0.5 | | | 20 | 12.5 | 5.6% |
| | 上沙溪庙组 | $J_{2s}$ | 357.8 | 20 | 15.85 | 19 | 8.85 | 2 | 2.2 | 41 | 26.9 | 7.5% |
| | 下沙溪庙组 | $J_{2xs}$ | 68.0 | 2 | 1.5 | 1 | 0.6 | | | 3 | 2.1 | 3.1% |
| | 新田沟组 | $J_{2x}$ | 59.6 | 6 | 6.6 | 1 | 0.6 | 1 | 0.5 | 8 | 7.7 | 13% |
| | 白流井组 | $J_{2z}$ | 39.2 | | | | | | | 0 | | 0 |
| | 珍珠冲组 | $J_{1z}$ | 30.9 | 9 | 8.0 | | | | | 9 | 8.0 | 25.9% |
| 三叠系 | 须家河组 | $T_{3xj}$ | 21.4 | 5 | 3.7 | | | | | 5 | 3.7 | 17.3% |
| | 巴东组 | $T_{2b}$ $T_{2l}$ | 134.4 | 42 | 23.55 | 4 | 2.4 | 3 | 1.1 | 49 | 27.05 | 20.1% |
| | 嘉陵江组 | $T_{2j}$ $T_{1j}$ | 77.8 | 2 | 1.35 | 1 | 0.25 | | | 3 | 1.6 | 2.1% |
| | 大冶组 | $T_{1d}$ | 22.9 | | | | | 1 | 0.55 | 1 | 0.55 | 2.4% |
| 二叠系 | 上统 | $P_2$ | 7.0 | | | | | 6 | 3.85 | 6 | 3.85 | 55% |
| | 下统 | $P_2$ | 11.9 | | | | | 1 | 0.6 | 1 | 0.6 | 5.0% |
| 二叠系石炭系泥盆系志留系 | | P+C+D+S | 8.8 | | | 4 | 2.65 | 3 | 4.0 | 7 | 6.65 | 75.6% |
| 奥陶系寒武系 | | $\in-O$ | 15.6 | | | | | 1 | 0.5 | 1 | 0.5 | 3.2% |
| 震旦系 | | Z | 3.6 | | | | | | | | | 0 |
| | | Anδ | 32.8 | | | | | | | | | 0 |

叠、石炭、泥盆、志留系在巫峡中的金盔银甲峡及西陵峡中的兵书宝剑峡下段同时出露，构成约九公里库岸。坚硬的灰岩及砂岩组成500—1000米以上的高陡岸坡，与志留系砂页岩组成的缓坡相邻，形成高陡岸坡几面临空、孤立无靠的状态。加之，二叠灰岩下伏软弱煤

层，这样，该类坡岸更处于不稳定状态，裂缝、崩塌、滑坡大量发生，库岸线变形率达到75%以上，是库区线变形率最高的地层组合。如巫峡两岸的向家湾及鸭浅湾，沿江约2.5公里地段发生大片崩塌，崩塌物堆在志留系砂页岩缓坡上，发育成大规模堆积层滑坡。在崩塌壁后缘发育有平行于长江的深长大裂缝，预示崩塌将不断发展，崩塌物质堆积将不断增加，滑坡将周期性暴发。类似的情况也发生在新滩及链子崖地区。原新滩镇西侧，泥盆、石炭、二叠系灰岩、石英砂岩组成的黄崖山体，不断沿着北东、北西向裂隙崩塌，崩塌物质堆积在志留系缓坡上，积累到一定时期便发生滑动。1985年6月12日的大崩滑便是其中的一次。对岸的链子崖山体，从历史记载以来崩塌便不断发生，目前坡体上发育有12条大致顺长江延伸的裂缝。由于下复煤层大面积采空，裂隙在逐渐发展，所切割的山体可能向江运动。

（六）其它地层（O、∈、Z、An、δ）

黄陵背斜轴部及西翼的前震旦系变质岩、花岗岩、震旦系灰岩、寒武—奥陶系灰岩、页岩组成坝址及库首段的稳定坡岸。除在寒武系天河板组灰岩构成的顺层坡—野猫面发生一处崩塌外，未见其它大规模坡岸变形。

（七）各地层对滑坡发育的敏感性比较

将各地层中发生的滑坡、崩塌、崩塌情况汇总于表（1—15），由表（1—15）可以看出，各种地层对三种变形发育的敏感性是不一样的。

二叠系下统与石炭、泥盆、志留系合在一起所构成的谷坡，由于其陡缓相邻、软硬相间而成为库区最不稳定的边坡。其库岸线变形率高达75%以上。其岩性组合特征又决定了所发育的崩塌及滑坡一般规模较大，速度较高。

三叠系巴东组地层组成的岸坡也是不稳定的，如表（1—15）所示，其线变形率超过20%，该地层中发育十多个千万立方米以上的大型滑坡，有些滑坡稳定性较差，如黄腊石等。

位于库区中后段的侏罗系地层，是库区岩性较软弱，强度较低的一种地层，其库岸平均线变形率约7.4%。大规模顺层滑坡是该类地层的典型破坏形式，但该地层滑坡的滑速一般不会很高。

## 二、构造对滑坡发育的敏感性

滑坡发育的方式、分布的疏密与构造线的方向及部位有密切关系。

（一）构造线方向

由图6可见，三峡库区河谷各段的滑坡、崩塌分布是不均匀的。库区首尾分布很少，中段明显增多。首段河谷，从三斗坪坝址到秭归上游对岸的沙镇溪，约47公里长，库岸变形率约3.4%。

库区尾段，从涪陵到重庆朝天门约120公里河谷段，发育9处滑坡与崩塌，共占岸坡长度6.6公里，库岸线变形率约2.8%。

以涪陵和沙镇溪为界，滑坡分布发生突变，它们之间的河谷段，滑坡、崩塌共占河谷岸坡长度约103公里，平均岸坡变形率为11.4%，是首尾段的三倍以上。

这种区域性分布的不均匀是河谷走向与区域构造线方向的交角不同所造成的。库区首

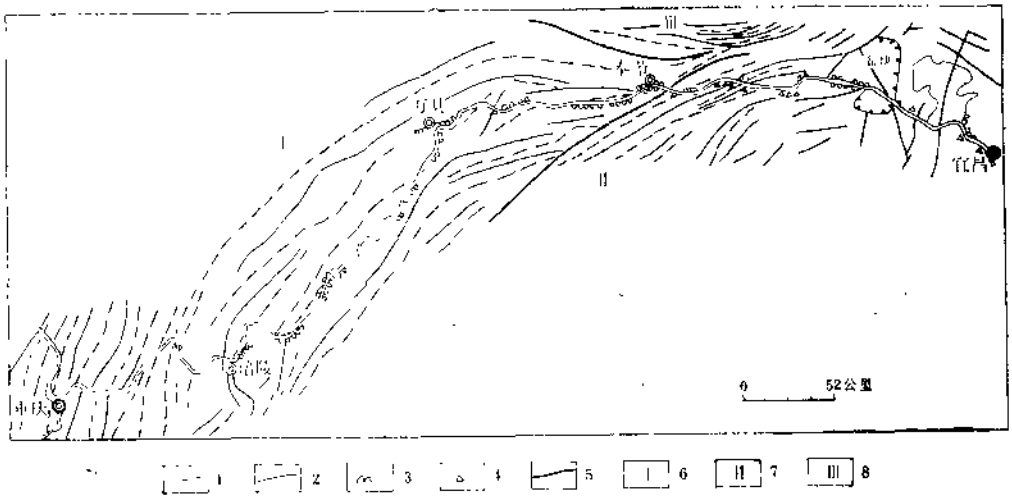



图1—7 构造与滑坡发育关系

1．向斜；2．背斜；3．滑坡；4．崩塌；5．构造体系分界线；6．川东褶皱带；7．川鄂隆起带；8．大巴山弧形褶皱带

段，长江河谷与区域构造线方向垂直或近于垂直（图1—7），在尾段，涪陵以西的长江河谷同样与北北东向展布的川东褶皱带呈大角度相交。涪陵与沙镇溪之间的长江河谷则沿着新华夏系的四川沉降褶带及川鄂湘黔隆褶带的一系列褶皱的走向发育，河谷走向与构造线走向基一致。

构造线方向，即构造形态走向，反映了形成构造形态时的构造应力状态。构造应力方向总是垂直于受其作用的地层所形成的构造形态的走向。当然，地层由于应变产生的与原构造应力方向相反的应力也是与构造形态走向垂直的。当长江河谷走向与构造线方向垂直时，河谷走向与构造应力方向一致，也即谷坡受到的有效应力（与斜坡面垂直的应力）为零；反之，当河谷走向与构造线方向线一致时，谷坡受到的有效应力最大。同时，该区域构造应力又与河流切割山体所产生的与谷坡面垂直的卸荷应力叠加，使作用于谷坡的有效应力加大。坡岸便易于向临空面方向—长江，变形破坏，滑坡、崩塌就大量发育。

当区域构造应力方向与河谷附近局部的，次一级的构造应力方向不同时，次一级构造应力将对谷坡变形起主要作用。同时，由于不同方向的应力互相抵消，面减弱了作用于坡岸的有效应力，所以坡岸变形破坏减弱。如图1—7中所示的云阳—万县之间的西段（盘石镇至小周溪口），其河谷走向与区域性构造—川东褶带的弧形褶皱段（铁峰山背斜）方向一致，但是与二个次一级的褶皱—黄柏溪向斜及新场背斜的方向近于垂直。在这两种不同方向应力的作用下，该河谷段虽处于易滑的蓬莱镇组（$J_3p$）及遂宁组（$J_3s$）地层，但两岸很少见到滑坡及崩塌发育，成为三峡库区河谷较稳定的地段之一。

## （二）构造部位

位于不同构造部位的谷坡，其滑坡发育情况不同，在如下几种构造部位，谷坡变形比较严重，滑坡、崩塌比较发育，以下分别叙述。

**1．几种构造体系复合、相交部位**

安坪下游至巫山约70余公里河谷段是三峡库区河谷岸坡变形最严重，滑坡、崩塌分布最密集的地段，岸坡线变形率达23.5%左右。为什么该段谷坡变形这样严重？重要原因之一是因为它处于川东褶带、川鄂湘黔隆褶带以及大巴山弧形褶皱带的交接，复合部位。燕山运动以来，这里受几组应力的共同作用，应力集中的情况从构造形迹反映得非常清楚。由图1—7可见，该处的褶皱组合形态明显较周围紧密，挤压程度也高。从卫星象片上还可看到安坪—奉节以及巫山县城西侧的长、短线形迹较周围密集，反映该处大型裂隙十分发育。据统计，位于构造复合部位的奉节县城附近，虽然地处软弱的巴东组地层，但裂隙仍然强烈发育，平均裂隙率约3%。

应力集中，谷坡地层受多组裂隙强烈切割，便造成该段坡岸变形严重，滑坡、崩塌发育。

**2．向斜河谷**

滑坡、崩塌、崩滑的80%以上发生在向斜谷。向斜河谷是岸坡变形相对严重，容易发生滑坡的部位。但向斜谷并非各处变形同样严重，在顺向坡、翘起段滑坡比较发育。

向斜河谷的顺向坡（包括逆向坡，以下同）岸坡变形状况差别很大，这个特点在奉节以西的河谷段表现特别明显。以故陵向斜河谷为例，兴隆滩至云阳约20公里河谷，北岸顺向坡，岸坡变形严重，著名的大型滑坡—兴隆滩、旧县坪、云阳东、西城、宝塔等均发育在这里，岸坡线变形率达到42.8%，其南岸逆向坡，竟未发现一处滑坡发育，岸坡线变形率为零。该段河谷下游，自故陵镇至三沱湾，南岸为顺向坡，发育滑坡为12处，岸坡线变形率达28%；同样侏罗系遂莱镇组及遂宁组地层的北岸逆向坡，也未发现一处滑坡发育，坡岸线变形率为零。

三峡库区发育在向斜河谷的100多处滑坡与崩滑中，顺层的占88%，切层滑坡及崩滑基本发育在奉节以东河谷，极少在奉节以西河谷见到，所以说，在川东沉褶带，滑坡基本上发育在向斜河谷的顺向坡；在奉节—巫山河谷段，几种构造体系复合部位，顺向坡和切向坡都有滑发生，其机率大致相等。

此外，凡位于向斜起翘段的坡岸，均有滑坡及崩塌发育。

三峡库区河谷的背斜河谷段比较稳定，由于背斜轴部大多由坚硬的二叠系，三叠系灰岩构成，这里的应力又比较集中，所以裂隙十分发育，位于背斜轴部附近的二叠系灰岩的裂隙率可达1.3%以上。河谷位于背斜轴部附近时容易发生滑塌，作揖沱、火焰石、鸭浅湾、向弯、横石溪等大崩塌均发生在背斜轴部附近。

此外，在背斜倾没端也容易发生滑坡与崩塌。

综上，控制区域性滑坡、崩塌发育、分布的最基本的构造因素是构造线走向，当河谷走向与构造线方向垂直时，岸坡比较稳定，较少分布滑坡与崩塌。当河谷走向与构造线方向一致时，处于向斜河谷的顺向坡是滑坡发育敏感的部位；几种构造体系复合，交接部位的向斜河谷则是滑坡、崩塌发育均敏感的部位。

## 三、地貌环境对滑坡发育的敏感性分析

### （一） 河谷切割深度

奉节以下，长江切割中低山区而成的峡谷地区，即著名的长江三峡河谷段。该段河谷主要由三叠系灰岩组成，间夹砂页岩，几个构造体系在此交接、复合。燕山运动以来，地壳处于大幅度上升。在长江及其支流的长期侵蚀切割下，切割深度和密度都较大。一般切割深度为700—800米，巫峡河谷段达1500米以上。

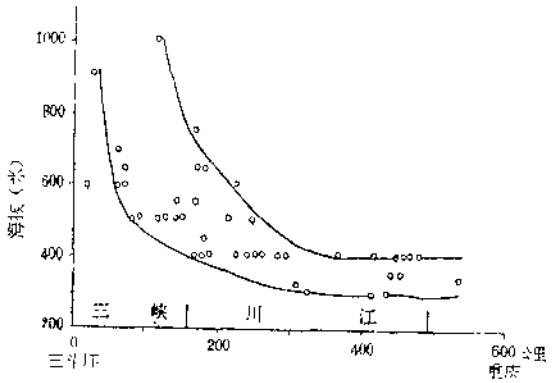



图1—8 滑坡后缘高程分布

奉节以上，长江切割川东低山丘陵地区。由于新构造活动微弱，地壳抬升幅度较小，所以切割深度和密度都较小。一般切割深度为200—400米，个别河段达500米以上。

地层岩性及河谷切割深度控制着谷坡的高度，从而控制滑坡及崩塌的后缘高程。如图1—8所示，三峡河谷段，滑坡及崩塌的后缘高程在500—1000米范围之内，大部分在600米上下；川江河谷段，该高程逐渐下降至300—400米之间。三峡与川江河谷交接地段，滑坡和崩塌的高程在400—600米之间。

### （二） 谷坡坡度

三峡库区主要滑坡、崩塌体的平均坡度随岩性的不同而变化。三峡河谷段滑坡的平均坡度在10°—30°之间，川江河谷段则在10°—20°以下（图1—9）。

河谷谷坡坡度对滑坡的敏感性主要由岩性决定的。坚硬岩层组成的高陡谷坡，如峡谷段的二叠系、三叠系灰岩谷坡，虽呈70°—80°的陡壁仍安然无恙。软弱地层的谷坡，甚至在10余度时也可能发生滑坡。

巴东组地层的谷坡坡度大都在20°—40°之间，滑坡体的平均坡度为20°，说明巴东组地层在20°附近的坡度是稳定的；据统计当斜坡大于24°时，就容易发生滑坡。

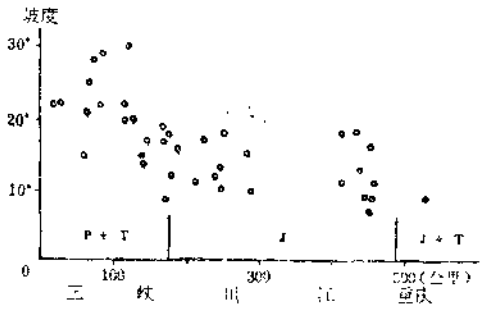



图1—9 滑坡体平均坡度变化

大部侏罗系地层的地层谷坡在10°—30°之间。该地层中的滑坡体的平均坡度为13°，坡度大于13°的顺向坡就容易发生滑坡。坡度大于50°的切层坡则易崩塌。

志留系与二叠系、石炭系和泥盆系在谷坡同时出露时，其上的崩塌积体平均坡度大于22°时就容易发生滑坡。

# 三峡库区可变自然环境因素对滑坡发育的影响*

库区固有的地质地貌环境，在不同库段显示出明显的差异，它反映在谷坡山体结构的坚实和脆弱的两个方面也不尽相同。库区每一可变自然环境因素的变化，都将给库区滑坡发育带来深刻的影响。

## 一、库水对滑坡发育的影响

三峡工程修建后，库水淹没坡体的范围较大，对其影响不可低估。库水对岸坡的作用有四个方面，即浪蚀作用、流水作用、浮力减重和动水压力作用，浸泡软化作用。

### （一）浪　蚀

对于三峡库区边岸来说，风浪击碎边岸和搬运作用并非主要问题，因为三峡库区出现四级以上大风的天数极少，且库岸多系基岩组成，风浪的作用仅能引起局部掉块，对于大型滑坡的诱发作用不大。

### （二）流　水

流水作用，受库水长期浸泡的坡体，在水位下降时，会产生流水冲刷，由此面引起坡面变形或发生滑坡，这一问题应引起重视。

### （三）浮力减重和动水压力

浮力减重和动水压力作用是导致规模较大的滑坡和老滑坡复合的主要作用之一。

库水位较大幅度的下降，坡体中地下水水力坡度会增大。在较大的渗透作用下，会造成坡体中细颗粒的冲移，从而引起库岸地表变形或诱发滑坡产生。这类现象，在河流洪水过后，于堆积层岸坡处时有发生，在三峡库区堆积层库岸分布处，这类影响应引起重视。至于砂、泥岩互层组成的基岩边坡，当坡体中前部已出现明显开裂变形或岩体结构破碎时，库水

*执笔人：乔建平、吴其伟、李天池（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

的动水压力效应不能忽视，它会使坡体的渐进性破坏向深处发展，从而导致规模较大的滑坡产生。国外文献资料中介绍，当坡体受库水位变幅影响范围达到30%时，应特别加以重视。

当库水水位到达150或180米高程，库区两岸大多数岸坡水下淹没深度可达50—100米，边坡受水影响的范围很大，对于堆积层岸坡或已发生滑坡变形的基岩岸坡，库水的浮力减重作用是不容忽视的。在180米高程水位时，鸡扒子滑坡堆积物，被库水浸没的断面达9000平方米，横宽按500米算，库水的浮力减重相当于库岸前部抗阻段挖方225万立方米，损失的抗滑阻力约85万吨。如果鸡扒子滑体堆积物的空隙比按4%计算，则1982年7月暴雨引起的动水压力和浮力减载作用所增大的滑体下滑力约20万吨，仅相当于库水作用的1/4，无疑库水诱发滑坡复活的可能性很大。对于具有和鸡扒子滑坡相似滑坡，即具有前缓后陡滑面的老滑体，都有同样的影响。

### （四）浸泡软化

库区出露的泥岩，系古、中生代的软质泥岩。据有关实验资料表明，蓬莱镇组紫红色泥岩，属粉质或砂质粘土颗粒成分。其中粉粒含量约占50%，碎屑矿物以石英为主，长石次之，其它如白云母、黑云母、电气石、绿帘石等矿物偶见。粘土矿物以伊利石为主，另有绿泥石和高岭石。在岩体完整，胶结结构未破坏时，单轴抗压强度可达到150Mpa，能维持高边坡的稳定。毕竟这类岩土的抗风化力弱，耐水性差，经风化后岩块的单轴抗压强度可衰减至0.2$M_{pa}$，产生强烈的软化。在水的长期作用下，可泥化成土。据有关滑带土的试验资料表明，饱水状态下凝聚强度C可低至0·010—0·025$M_{pa}$，φ值仅在10°—12°之间。库区出露泥岩的这种易改造性，为库水的浸泡软化作用提供了有利的条件。在坡体中前部已出现松弛变形开裂或岩体结构较破碎的情况下，库水的浸泡软化作用将加速坡体形状的改变和渐进性破坏向深处发展。

库水的上述作用和影响，对于三峡库区不同库段岸坡将是不同的。其效应同库水水位高程、库岸的组成物质、坡体的结构特征、坡形坡高和其前期的变形开裂现状有关。

## 二、暴雨对滑坡发育的影响

湖北西部山区是我国暴雨中心之一。最近几十年最大的暴雨是1935年7月暴雨。1935年6月30日至7月5日连续降7昼夜，最大一日降雨量600毫米以上，最大三日降雨量达1000毫米以上。此次暴雨触发了难以数计的滑坡和崩塌，其中体积10立方米以上的就400处之多。长江岸边的莲沱镇滑入长江，新滩镇附近的姜家坡发生了柳林滑坡，泄镇也产生滑坡。1975年8月8日至10日秭归县降暴雨300多毫米，其中9日暴雨量79.3毫米。此次暴雨也诱发了大量滑坡，其中产生严重危害的就有876处。1982年7月15日至30日，川东地区连降特大暴雨，在万县地区各县触发滑坡和崩塌8.1万多处，其中沿江的忠县29930处，奉节县1152处，云阳县2万多处。著名的鸡扒子滑坡也是这次暴雨触发的。1986年7月14日至16日14时，秭归县马家坝附近降雨173毫米，使马家坝老滑坡复活。上述几例说明暴雨是拟建三峡工程库区及

其外围地区触发滑坡和崩塌的最重要因素。据我所对1982年7月暴雨滑坡和崩塌的调查研究和近几年在库区调查的资料，发现降雨历时暴雨强度和累计降雨量对滑坡和崩塌的发生有重要影响，而滑坡和崩塌的数量、规模也受地质地貌的影响。

### （一）滑坡和降雨历时的关系

在1982年7月暴雨触发的80多个典型的滑坡的发生时间和降雨历时的统计分析之后发现在暴雨开始之后10—12小时就开始出现滑坡，在暴雨开始之后24小时内产生滑坡约占总数的16%，在暴雨开始之后28—30小时出现大量的滑坡，而且一些大型和巨型的滑坡开始出现。在降雨开始之后43小时内产生的滑坡约占77%，在72小时以内产生的滑坡约占其总数的85%。同时还发现，滑坡的密度和时间序列也受雨型的影响，暴雨触发滑坡的密度大，时间序列较为集中。久雨型（即阴雨或绵绵雨）滑坡发生的密度低，时间上较为分散。

### （二）滑坡和累积降雨量及降雨强度的关系（表1—16）

1982年7月暴雨触发滑坡的特征值　　（表1—16）

| 降雨量 \ 地点 | | 丰都 | 忠县 | 万县 | 开县 | 云阳 | 奉节 | 巫山 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 滑坡开始发生时的降雨量 | 累积雨量（毫米） | 99.0 | 139.0 | | 53.4 | | 113.7 | |
| | 日降雨量（毫米） | 88.0 | 139.0 | | 51.4 | | 47.9 | |
| 出现较多滑坡时的降雨量 | 累积雨量（毫米） | 249.7 | 357.3 | | | 217.0 | 166.8 | |
| | 日降雨量（毫米） | 158.7 | 112.7 | | | 158.4 | 11.7 | |
| 滑坡大量发生时的降雨量 | 累积雨量（毫米） | | 289.7 | | 280.8 | 277.7 | 218.9 | |
| | 日降雨量（毫米） | | 138.2 | | 153.8 | 205.6 | 0.1 | |

表1—16是库区沿江各县1982年7月暴雨触发滑坡的降雨特征值。表1—17是沿江各县典型的暴雨触发的滑坡。从表1—16和表1—17可以看出，在拟建三峡库区累积降雨量在50—100毫米、日降雨量在50毫米以上时就有小型的浅层滑坡发生；当累积降雨量在150毫米以上，日降雨量大于100毫米时，随着降雨量的增加，滑坡的数量也增多，中等规模的堆积层滑坡和破碎岩石滑坡开始出现；当一次暴雨过程的累积降雨量在250毫米至300毫米以上，日降雨量大于105毫米以上时，滑坡即开始大量发生，一些大型和巨型滑坡也大量出现，同时也会产生基岩的首次性滑坡，如忠县的易家滑坡等。

图1—10为1982年7月15—30日四川东部沿长江两岸各县滑坡发生的代表性的降雨曲

沿江各县典型的暴雨触发滑坡表 （表1— 7）

| 滑坡名称 | 所在县 | 发生时间（年·月·日） | 滑坡体积（万米³） | 滑坡类型 | 滑坡发生时降量 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 累计雨量（毫米） | 日降雨量（毫米） |
| 南竹坝 | 丰都 | 82.7.16 | 70 | 基岩滑坡 | 90.0 | 88.0 |
| 闪口滑坡 | 忠县 | 82.7.17 | 1800 | 基岩滑坡 | 310.8 | 171.8 |
| 易家滑坡 | 忠县 | 82.7.17 | 280 | 基岩滑坡 | 310.8 | 171.8 |
| 鸡扒子滑坡 | 云阳 | 82.7.18 | 1500 | 堆积层滑坡 | 331.0 | 134.1 |
| 天宝滑坡 | 云阳 | 82.7.17 | 620 | 堆积层滑坡 | 283.0 | 101.6 |
| 革岭滑坡 | 云阳 | 82.7.17 | 950 | 堆积层滑坡 | 345.7 | 94.9 |
| 白果滑坡 | 奉节 | 82.7.16 | 120 | 堆积层滑坡 | 138.3 | 58.5 |
| 胡家岩滑坡 | 巴东 | 80.7.25 | 6 | 堆积层滑坡 | | 50.7 |
| 马家坝滑坡 | 秭归 | 86.7.16 | 3000 | 堆积层滑坡 | 154.0 | 79.3 |

线。从该图中不仅可以找出滑坡发生时间和降雨历时的关系，也可以看出滑坡和降雨强度的关系。多数滑坡都发生在降雨强度最大的时候，其平均暴雨强度为每小时7毫米。

此外，1986年我们在巫山县调查发现18处滑坡发生时的平均降雨强度为16.4毫米/小时1986年7月湖北秭归马家坝滑坡发生时的降雨强度为每小时11毫米。

### （三）关于触发滑坡的临界降雨强度

如前所述，暴雨触发滑坡不仅受降雨历时、降雨量和降雨强度的控制，也受当地地质地貌条件的影响。因为不同的地质地貌条件有不同的渗透性和不同的排泄能力，因此不能一概而论。

综合库区现有的暴雨滑坡的降雨调查资料，可以初步给出不同类型滑坡的临界降雨强度如下表（表1—18）

暴雨触发滑坡的临界降雨强度 （表1—18）

| 临界值 / 降雨因素 / 滑坡类型 | 降雨强度（毫米/小时） | 日降雨量（毫米） | 一次降雨过程累积雨量（毫米） |
|---|---|---|---|
| 浅层堆积层滑坡 | 6 | 30 | 50—100 |
| 中厚层堆积层滑坡和破碎岩石滑坡 | 10 | 120 | 150—200 |
| 厚层大型堆积层滑坡和基岩滑坡 | 13 | 150 | >250—300 |

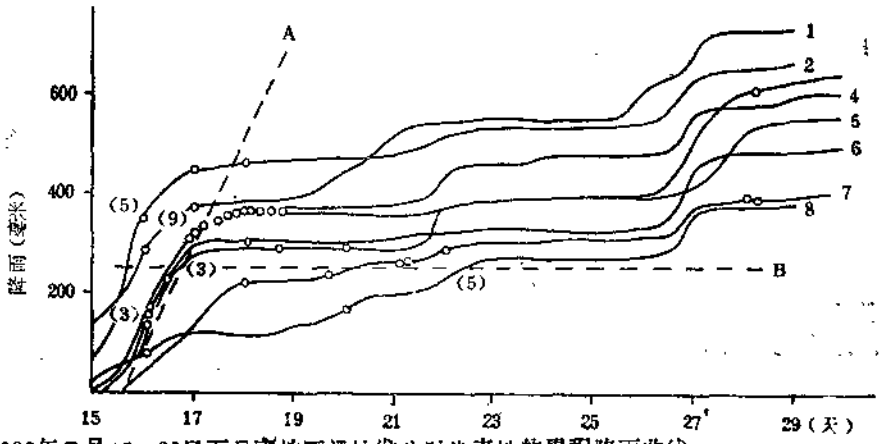



图1—10 1982年7月15—30日万县市地区滑坡发生时代表性的累积降雨曲线

1、开县站；2、龙角站；3、福山站；4、云阳站；5、忠县站；6、西河站；7、奉节站；8、芝麻站；A、触发大量滑坡时的雨强，接近每小时6.8毫米。B、触发大量降雨时的累积降雨量（接近25毫米）。·单个滑坡（括号中的数字表示滑坡个数）

## 三、地震对滑坡发育的影响

### （一）历史及近代地震活动

历史上三峡地区地震震级小频度低，处于较低的地震水平，100公里范围内没有大于6级的地震。历史上虽有少数地震引起大规模崩塌滑坡的破坏性强震记载，但就该区地震水平来看还难以确信，有待进一步研究核实。

近代三峡地区地震活动主要指1959年仪器记录以来的情况。根据地震活动的空间分布及其与地质构造的关系，可将三峡地区分为三个地震区：南漳—荆门地震区，秭归—渔洋关地震区，巴东—黔江地震区（图1—11）该区共发生4.7—5.5级地震9次，其中5次分布在南漳—荆门震区，2次发生于巴东—黔江震区，2次分布于秭归—渔洋关震区。1959年以来共记录到M≥2.0级地震130余次，其中约80%的地震集中分布在上述三个地震区内。而分布在上述三个地震区内的2级以上地震中，约20%发生在南漳—荆门地震区内，约20%左右发生在巴东—黔江地震区内，约10%发生在秭归—渔洋关地震区内。从震中分布图上（图1—11）可见三峡地区地震活动明显受到北北西向区域断裂构造控制，其次受到北东向构造带控制。

三峡地区自有历史记载以来，出现过两次地震活动相对活跃期：第一活跃期，自1407年至1603年，其最大震级为5.5级，该活跃期仅在南漳—荆门地震区重复发生过2次5级和一次5.5级地震，其余两个地震区内并无中强地震发生；第二次活跃期，自1856年至今，最大震级为5.5级。近代三峡地区的地震频度和强度有明显的提高，尤其是本文研究区内的龙会观1979年5月22日5.1级地震，较历史最高水平有所增加。

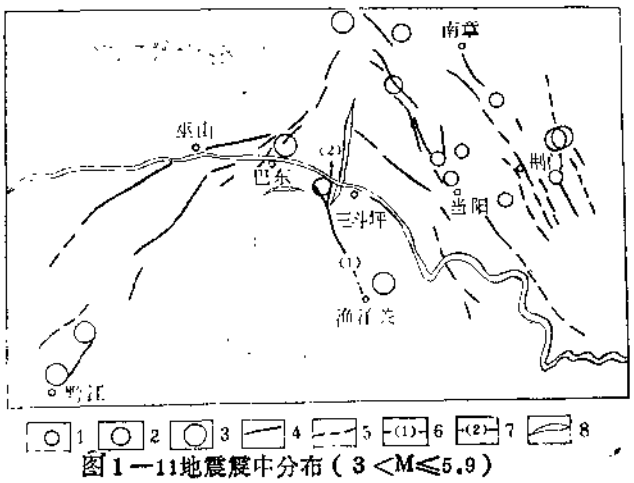



图1—11地震震中分布（3＜M≤5.9）

1、M=3.0—3.9；2、M=4.0—4.9；3、M=5.0—5.9；4、断层；5、推测断层；6、仙女山断层；7、九湾溪断层；8、向斜

（二）未来水库地震

水库诱发地震是长江三峡水电工程库区环境研究中人们关注的问题，目前有关学者一致认为三峡地区的仙女山断裂，九湾溪断裂具有水库地震的诱发可能性。处于大坝上游的秭归—巴东—兴山及香溪、九湾溪主要水体部位发生水库诱发地震的条件具备，成为水库诱发地震的主要地段，但发生地震的震级一般不会超过6级以上。两处主要发震断裂如下：

**1．仙女山断裂带地裂活动性**

仙女山断裂自燕山运动形成以来经历了多期活动，新近仍有明显的继承性活动表现，其南北两端已先后发生过4.9级（1961年3月8日）和3.3级（1972年3月18日）地震，是西陵峡地区主要的发震构造（图1—11）。根据断裂新近活动情况，结合区域地震活动水平和整个仙女山断裂带地震活动特征，预计断裂带北段发生如同南端潘家湾5.2级地震可能性是不能排除的。主要孕震地段在荒口—周坪一带。

**2．九湾溪断层的地震活动性**

九湾溪断层位于三峡水利枢纽坝址上游十余公里的峡谷内，并穿过长江（图1—11）。九湾溪断层最近有一些活动迹象，从历史地震和20年的测震资料分析，该断层现代活动比较明显，但其强度较弱。九湾溪断层带的地质环境、地貌和新构造运动特征与国内外诱发地震的水库地质条件和水力条件具有一定的相似性，初步判定九湾溪断层有诱发水库地震的内在因素和外界条件，也可能成为库区水库地震的主要部位。

此外，位于瞿塘峡出口段的齐耀山—郁江断裂带。以及秭归盆地边缘接合部都存在水库诱发地震的可能性。在齐耀山—郁江断裂带南端的四川省黔江县境内，1856年6月10日的一次5级左右地震致使“山崩十余里，压杀左右民数百家，山麓故有小河、河为山石所堆、水逆行淹没地方20里，溢为池，广约6—7里”形成今天著名黔江小南海。该湖长3000多米、最宽处900米、面积2.87平方公里、最深处50米，平均30米，总蓄水量为7020万立方米。地震湖的700米天然大坝就是当年地震触发的崩塌、滑坡所筑成。现在湖内的地震滑坡、崩塌遗迹历历在目，形态犹新，不失为研究区域地震滑坡、崩塌的典型实例。

### （三）水库地震触发滑坡、崩塌的环境条件

水库地震只是滑坡、崩塌的触发因素，研究水库地震滑坡、崩塌的首要问题是库区是否存在滑坡、崩塌的地质环境基础。根据前人和我们调查的结果，三峡部分库区具有较好的水库地震滑坡、崩塌的地质环境基础。三峡库区的滑坡、崩塌主要集中在巴东和秭归一带（图1—12）。这两处滑坡、崩塌密集段无论从地层岩性、还是地形以及构造条件都是孕育滑坡、

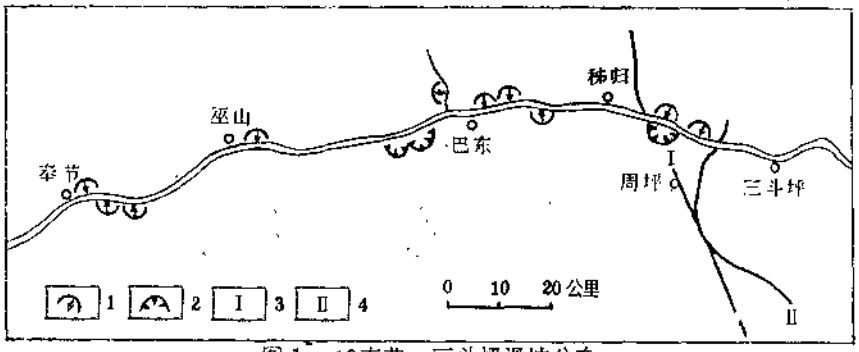



图1—12奉节—三斗坪滑坡分布

1、滑坡；2、崩塌；3、仙女山断裂；4、九湾溪断裂

崩塌的场址，同时与库区的地震构造带距离很近，所以作者认为应该成研究的重点。

**1．巴东段不稳定边坡**

巴东段至上到下游沿长江两岸分布的大型滑坡、崩塌有作揖沱崩塌、火焰石崩塌、西溪口滑坡，黄腊石滑坡、大坪滑坡、范家坪滑坡（表1—19、图1—12），其中比较典型的黄腊石滑坡，它有该段滑坡的一般规律。滑坡体由砂岩、泥岩、泥灰岩碎块石夹粘土组成，滑床坡角在35°左右，崩塌积物（Qcol+Qdl）平均厚度20—40米，最大厚度达70米。

**巴东段滑坡崩塌统计表** （表1—19）

| 编号 | 地点 | 破坏方式 | 方量（万立方米） | 前缘标高/后缘标高（米） |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 作揖沱 | 崩塌 | 1600 | 140/700 |
| 6 | 火焰石 | 崩塌 | 1600 | 70/400 |
| 7 | 西溪口 | 滑坡 | 1400 | 100/280 |
| 8 | 黄腊石 | 滑坡 | 1600 | 80/700 |
| 9 | 大坪 | 滑坡 | 800 | 280/540 |
| 10 | 范家坪 | 滑坡 | 1亿 | 100/600 |

下伏基岩为三叠系中统巴东组泥岩、砂岩（Tj）及灰岩（$T_2b$）构成逆向坡，坡角20—40度据调查黄腊石滑坡目前有活动迹象。1979年5月22日龙会观5.1级地震时未受到整体变形影响，坡体上的房屋、以及陡坎处有局部震动破坏。

**2．秭归新滩不稳定段**

该段分布有新滩滑坡，链子崖崩塌危岩体、野猫面滑坡（表1—20），以及尚待研究中的

猴子岭崩积斜坡。该段的滑坡，崩塌直接受到仙女山断裂、九湾溪断层发震构造的控制，成为库区地震触发滑坡、崩塌的研究重点。

新滩滑坡地处黄陵背斜西缘，仙女山断裂和九湾溪断层之间。滑坡体由广家崖崩落的崩积块石夹粘土组成。基岩为二叠系（P）灰岩和石炭系（C）、泥盆系（D）、志留系（S）

新滩段滑坡统计表 （表1—20）

| 编号 | 地点 | 破坏方式 | 方量（万立方米） | 前缘标高/后缘标高（米） |
|---|---|---|---|---|
| 11 | 新滩 | 滑坡 | 3000 | 70/90 |
| 12 | 链子崖 | 危岩体 | 350 | 90/320 |
| 13 | 马鞍山 | 滑坡 | 900 | 70/500 |

的砂页岩五层，其中含煤系地层。滑动面平均倾角17°。新滩滑坡历史上多次发生过崩积—滑动—崩积的循环过程。记载中还发生过滑坡引起堵江断航。1985年6月12日，新滩滑坡再次发生大规模复活，产生了3000万立方米的大型滑坡，是水库地震可能触发的主要滑坡。

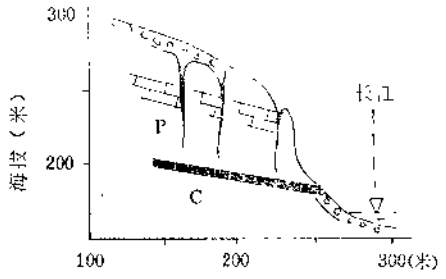


图1—13 链子崖剖面

链子崖被近东西和南北向两组构造裂隙发育而成的12条大型裂缝切割成陡崖，具有良好的临空面，形成大型崩塌危岩体。危岩体重力卸荷形变严重，每年雨季有小规模崩塌发生。危岩体地层自下而上为中石炭统灰岩和白云质灰岩(C)，下二叠统栖霞组马鞍山段煤系地层、和灰岩中厚层灰岩夹数层页岩(图1—13)，预测危岩体发生破坏的情况有两种。一是沿煤系地层顶部产生岩体滑移；二是在下伏软岩面之上产生岩墙，沿大型裂缝形成崩塌，也可能是这两种破坏同时交替产生。

（四）库区水库地震滑坡、崩塌的可能性预测

**1．水库地震触发滑坡、崩塌的判别条件**

天然地震触发边坡破坏与水库地震触发边坡破坏虽然都是以地震动的形式对地面产生震动破坏而造成，但是它们也还存在一定差别。

天然地震触发边坡破坏的一般特点是：

〈1〉地震强度高、能量大。根据统计得出，天然地震震级$M_s \geqslant 4.7$都可能触发山地灾害，但一般引起边坡严重破坏的震级为$M_s \geqslant 6$。

〈2〉震动方式多为瞬发型。天然地震是以一次强震为代表对边坡产生震动破坏，在短时期内同样强震频度不高，弱前震和弱余震引起的边坡破坏极少。

水库地震触发边坡破坏的一般特点是：

（1）地震强度并不是很高。引起地震山地灾害的水库地震震级为$3 \leqslant M_s$，相反$M_s > 6$的水库地震触发边坡破坏的报道很少。如瓦依昂水库地震滑坡的震级一般在$1 \leqslant M \leqslant 3$。

（2）地震震动方式为高频度震动，震动次数最高时可以达到平均几天一次，并且随着库水位的变化而变化，有一定规律性可循。

（3）震源深度浅。现有资料介绍的水库地震震深度h≤10km，所以能对地面产生强烈的破坏效应。

分析水库地震触发滑坡、崩塌的可能性，必须要求满足以下一些因素条件：

$I_1$——具有边坡破坏的山地地质环境

$I_2$——具有发生水库地震的可能，且震级$M_s \geqslant 3$，或高频震动，震源深度$h \leqslant 10K_m$。

$I_3$——危险边坡的震中距li必须小于最大地震滑坡，崩塌震中距$L_0$，即$L_0 > L_i$。

$I_4$——危险斜坡的临界地震加速度ai必须小于随震中距衰减的地震加速度ao，即$ao > a^i$

$I_5$——具有地震滑坡、崩塌史。

$I_6$——伴随其它破坏因素，如降雨、流水淘蚀、人为活动等。

$I_7$——具有长周期地震动，较长的持续震动时间。

将这些条件表示成判别式：

$$b = (I_1 \times I_2)(I_3 + I_4 \cdots\cdots Ii) \qquad (1)$$

（1）式的意义是将各种条件当作一系列因素进行逐项叠加，参加叠加的因素越多说明产生破坏的可能性越大。

判别式中的前一项（$I_1 \times I_2$）称为判别条件，如果其中某一因素不成立，$I_1 = 0$则整个判别式不成立$b = 0$。判别的结果必果必须是$b \geqslant 2$，才可以认为存在水库地震触发边坡破坏的可能。影响因素中的$I_3$，$I_4$应该成为主要因素，迭加时首先要对这两项因素进行估算。三峡地区库岸稳定性将采用（1）式做预测。

**2．三峡库岸水库地震触发滑坡、崩塌的可能性预测**

三峡地区尽管不是强震区，但从有限的记载资料中可以看出该地区曾发生过地震触发的山地灾害，如：

公元318年“东晋元帝大兴元年四月，西陵地震山崩”

公元1030年，宋天圣七年，地震，秭归山崩、石壅江心，水流不通，害舟不可胜计，堵江二十余年；直到公元1051年才疏通。

公元1738年，“乾隆三年九月地震山崩”。

虽然这些地震的具体位置难以查对，但对研究该地区的地震次生灾害还是提供了有价值的参考依据。

近代地震活动引起的山地灾害比较明显。如1979年5月22日巴东龙会观5.1级地震时，龙会观地震诱发的陡坡悬岸上部拉裂缝可达170米长，3米宽；基岩中裂缝可加宽至1米。沿江的大坪等滑坡体处于Ⅳ度影响区、此次地震后逐年下沉，至1983年一次暴雨中普遍发较大规模滑坡。

不仅如此，从1968年5月三次爆破试验资料表明，链子崖的局部裂缝每次爆破后微有增宽，且随药量的增加裂缝宽度也随之增宽。

以上事实证明，三峡地区存在地震危害库岸稳定的可能性。

下面分别对判别（1）式中的$I_3$、$I_4$估算。

$I_3$：最大滑坡，崩塌震中距，指发生地震时可能触发滑坡，崩塌的最大范围。根据我们统计的规律得到经验公式：

$$\lg Lo = (0.51 \pm 0.03) M_s - (2.25 \pm 0.21) \qquad (2)$$

式中Lo—最大滑坡、崩塌震中距，Ms—震级。预测三峡水库地震滑坡、崩塌也采用(2)式估算可能触发的最大范围。

$I_4$：对地震加速度的判别，均是从最不利的角度假设水库诱发地震时危险边坡都处于临界状态，求出斜坡的临界加速度，使估算的结果提高保险系数。

临界加速度按斜坡单位面积计算，即

$$ai/g=\frac{\cos\alpha\cdot tg\phi-\sin\alpha+c}{\cos\alpha+\sin\alpha\cdot tg\phi} \qquad (3)$$

式中：g—重力加速度，$\phi$—内摩擦角，c—凝聚力，$\alpha$—斜坡角。

随震中距衰减的地震加速度选用：Donolan统计的600多个地震得到经验公式：

$$a_i=1.10e^{0.5*Ms}(R+25)^{-1.32} \qquad (4)$$

式中：Ms—震级，R—震中距。

本文预测的滑坡、崩塌危险性系指已查明的古、老、新滑坡崩塌危岩体是否存在复活，或出现新破坏，对其它体积小而危害不大的滑坡、崩塌未作评价。

（1）新滩段边坡稳定性预测

前面章节已证明该段库岸满足判别式（1）中的$I_1$和$I_2$条件。该段库岸边坡稳定性须按两方面预测。

1），以仙女山断裂北段荒口—周坪间为发震位置。

利用（2）、（3）、（4）式计算$I_3$、$I_4$，结果如表（1—21）。

以仙女山断裂为发震位置计算$I_3$、$I_4$ （表1—21）

| | 滑坡地点 / 计算项目 | | 新滩 | 链子崖 | | 野猫面 | 猴子岭 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 实测震中距Li(Km) | | 6.2 | 6 | | 9 | 6 |
| $I_3$ | 计算震中距与实测震中距相比较 | Ms=5.6 $L_0$=5.9(km) | $L_1\approx L_0$ | $L_2\approx L_0$ | | $L_3>L_0$ | $L_4\approx L_0$ |
| | | Ms=6 $L_0$=9.7(km) | $L_1<L_0$ | $L_2<L_0$ | | $L_3<L_0$ | $L_4<L_0$ |
| $I_4$ | 斜坡临界加速度ai(单位g) | | 0.16 | 0.71（滑） | 0.19（崩） | 0.32 | 0.35 |
| | 衰减加速度ao(单位g) | Ms=5.6 | 0.18 | 0.18 | | 0.14 | 0.18 |
| | | Ms=6 | 0.23 | 0.21 | | 0.20 | 0.23 |

表（1—21）说明：

a、新滩滑坡计算是以1985年6月滑动之后的最陡滑坡堆积体为准。

b、链子崖危岩体的未来发展趋势按两种情况计算，一种是滑移，另一种是崩塌。滑移的临界加速度0.79显然与实际不符，故产生崩塌的可能性更大。

取（1）式中各因素Ii=1，判别结果如表（1—22），再考虑因素$I_5$、$I_6$，将暴雨等不利因素同时叠加，结果如表（1—22）。

判别结果说明，新滩滑坡危险度最高，链子崖、有一定性危险。该段库岸若遇5.6级地

以仙女山断裂为发震位置的判别表 （表1—22）

| | 滑坡名称 | 新滩 | 链子崖 | 野猫面 | 猴子岭 |
|---|---|---|---|---|---|
| 只考虑的$I_3$、$I_4$的判别 | Ms=5.6 | $b_1=2$ | $b_2\approx2$ | $b_3=0$ | $b_4=2$ |
| | Ms=6 | $b_2=2$ | $b_2\approx2$ | $b_3=1$ | $b_4=1$ |
| 考虑$I_5I_6$的判别 | Ms=5.6 | $b_1\geq4$ | $b_2\geq3$ | $b_3=1$ | $b_4=2$ |
| | Ms=6 | $b_1>4$ | $b\geq3$ | $b_3=2$ | $b_5=2$ |

震将会遭到破坏。

2）以九湾溪断层为发震位置

目前对九湾溪断层可能发生水库地震的具体位置尚在研究之中，故此作者只能将断层分段假设震中位置进行讨论。

假设九湾溪断层为南北发震带，南端发震震中距库岸较远，当震级Ms＜6，一般不会造成边坡破坏。现仅考虑北段发震造成的影响，判断结果如表（1—23）。

以九湾溪断层为发震位置的判别统计表 （表1—23）

| | 计算项目 \ 滑坡地点 | | 新滩 | 链子崖 | 野猫面 | 猴子岭 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_3$ | 实测震中距li(Km) | | 5 | 5 | 4 | 5 |
| | 计算震中距与实测震中距相比较 | Ms=5.4 $L_0$=4.6 (Km) | $L_1\approx L_0$ | $L_2\approx L_0$ | $L_3<L_0$ | $L_4\approx L_0$ |
| | | Ms=6 $L_0$=9.7 (Km) | $L_1<L_0$ | $L_2<L_0$ | $L_3<L_0$ | $L_4<L_0$ |
| $I_4$ | 斜坡临界加速度ai（单位g） | | 0.16 | 0.19 | 0.32 | 0.35 |
| | 衰减加速度ao（单位g） | Ms=5.4 | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.17 |
| | | Ms=6 | 0.24 | 0.24 | 0.25 | 0.24 |
| 判别b | Ms=5.4 | | $b_1=2$ | $b_2\approx2$ | $b_3=1$ | $b_4=1$ |
| | Ms=6 | | $b_1=2$ | $b_2=2$ | $b_3\approx2$ | $b_4=1$ |
| | Ms=6（选加因素$I_5$、$I_6$） | | $b_1\geq4$ | $b\geq3$ | $b_3\approx3$ | $b=2$ |

当九湾溪断层诱发水库地震时，引起边坡破坏的震级小于仙女山断裂的地震震级。除新滩滑坡、链子崖处于不利状态外，野猫面滑坡在震级M=6时也有遭到破坏的可能。所以九湾溪断层一旦诱发水库地震将对库岸和大坝带来最坏的影响。

**2．巴东段滑坡、崩塌预测**

巴东段也满足判别（1）式中的$I_1$和$I_2$条件，但是难以按照新滩段的方式进行预测。因为巴东段库岸未来可能受秭归盆地边缘发生的水库地震影响，而盆地边缘的发震位置也存在难以确定的问题，所以本文仅能以1979年5月22日龙会观5.1级地震震中位置为据、并提出震级进行试算。其方法同上。判别结果如表（1—24）。

巴东段以龙会观为震中判别统计表 （表1—24）

| | 滑坡、崩塌地点 / 计算项目 | | 火焰石 | 西瀼口 | 黄腊石 | 大 坪 | 范家坪 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 测震中距R(Km) | | 19 | 17 | 9 | 8 | 6 |
| $I_3$ | 计算震中距与实测震中距相比较 | Ms=5.2 $I_0$=3.6 | $L_1>L_0$ | $L_2>L_0$ | $L_3>L_0$ | $L_4>L_0$ | $L_5>L_0$ |
| | | Ms=5.6 $I_0$=5.9 | $L_1>L_0$ | $L_2>L_0$ | $L_3>L_0$ | $L_4>L_0$ | $L_5\approx L_0$ |
| | | Ms=6 $I_0$=9.7 | $L_1<L_0$ | $L_2<L_0$ | $L_3<L_0$ | $L_4<L_0$ | $L_5<L_0$ |
| | 斜坡临界加速度ai（单位g） | | 0.20 | 0.26 | 0.27 | 0.17 | 0.40 |
| $I_4$ | 衰减加速度ao（单位g） | Ms=5.2 | 0.10 | 0.10 | 0.14 | 0.14 | 0.15 |
| | | Ms=5.6 | 0.11 | 0.11 | 0.15 | 0.15 | 0.17 |
| | | Ms=6 | 0.14 | 0.15 | 0.20 | 0.21 | 0.23 |
| 判别b | Ms=5.2 | | $b_1=0$ | $b_2=0$ | $b_3=0$ | $b_4\approx 1$ | $b_5=0$ |
| | Ms=5.6 | | $b_1=0$ | $b_2=0$ | $b_3=0$ | $b_4\approx 1$ | $b_5\approx 1$ |
| | Ms=6 （迭加因素$I_3$,$I_4$） | | $b_1=0$ | $b_2=0$ | $b_3\approx 2$ | $b_4\approx 2$ | $b_5=1$ |

判断结果中$M_s=5.2$与1979年5月22日龙会观发生5.1级地震情况是相吻合的。当时巴东段的库岸边坡均未受到大的影响。如黄腊石滑坡体上仅出现房上掉瓦，房屋[illegible]小的破坏。判别式未出现b＞1的情况。虽然大坪滑坡1983年发生过局部滑塌，[illegible]震后期效应，与地震没有直接关系，属于我们曾定义过的地震后发型滑坡。

若以龙会观仍为未来发震震中位置，当地震震级M≥6时才能对巴东段库岸边坡造成威胁。其中黄腊滑坡、大坪滑坡危险度最高。造成其它边坡破坏的可能性很小。

## 结 论

1．三峡库区水库地震触发滑坡、崩塌的危险库岸主要位于香溪河口至牛肝马肺峡段，其次为巴东附近库岸。最容易遭到地震破坏的滑坡、崩塌有新滩滑坡、链子崖危岩体，香溪河口滑坡群、大坪滑坡、黄腊石滑坡。

2．一般情况下，三峡地区水库地震震级$M_s\leqslant 5.4$时不会对库岸边坡造成太大威胁。但九湾溪断层发震位置如果位于过江处，情况有所不同，地震震级$M_s=5$也可能造成库岸边坡破坏。这种情况还有待于地震部门对震中位置作出进一步准确预报后加以研究。

3．未来水库地震的频度、振动周期、以及持续振动时间对库岸边坡的影响，本文没有涉及，因为这些问题只有在水库地震研究进一步深入的基础上才有可能讨论。就地震对边坡破坏的结果来看，地震加速度并不是唯一能够反映问题的因素。应该将整个地震震动过程的有关物理量同时考虑进去方能比较准确作出所需的预报。

# 三峡库区人类经济活动对滑坡发育的影响*

近30年来，沿库区长江两岸，由于城乡人口的增加，人类经济活动的加剧，对岸坡的稳定性已产生了愈来愈明显的影响，在一定程度上削弱了岸坡对大自然的抵抗能力，自然因素的微弱变化，都非常敏感地通过山崩、滑坡等反映出来。

## 一、森林过伐对环境的影响

森林过伐，导致地表覆盖率下降，出现童山秃岭。稀疏的植被失去涵养水源的能力，使江河溪流、洪峰更洪，枯期更枯，岸坡沟蚀、溯源侵蚀加剧，为崩塌、滑坡的发育创造或加深了地貌临空条件。据巫山县水土保持规划报告统计，巫山县解放初期森林面积104.5万亩，而现今已减少到55.42万亩，降低了46.97%。覆盖率从23.4%降低到12.4%。沿长江、大宁河、官渡河、抱龙河两岸35个乡，覆盖率小于2%。随着森林植被的减少，崩塌滑坡、泥石流等山地灾害在城镇乡村都不同程度的发生。仅在1983—1984年统计，全县共发滑坡2119处，面积7788亩，影响到2120户、10354人、3309间房的安全。1982年因滑坡造成的三无户（无地、无房、无用具）达138户。铜鼓乡有5个村子先后出现滑坡18处，面积108亩，崩垮山坪塘4口。钱家乡有6个村先后发生滑坡7处，毁房85间，毁地44亩。据我组考察资料，在巫山县境内的长江两岸50公里的范围内有滑坡21处，滑体总量达1亿立方米，崩塌14处，体积3727万立方米。从崩塌滑坡发生时间上看，虽然绝大部分属全新世初的古滑坡、古崩塌体。然而从复活的动态上看、大部分处于不稳定或次稳定状态。仅80年代初明显复活的有5处。据访查建平乡跳石崩塌群在本世纪初至60年代只发生过两次（1925、1945年），平均35年出现一次。到了70年代缩短到8年一次。80年代几乎年年有崩塌发生，仅崩塌平台顶部毁坏农田达130余亩。

奉节县，森林覆盖率由1957年的24.3%下降到15.6%（1985年），而（大片的）长江低山河谷仅8%左右，全县水土流失面积为2848平方公里，占幅员总面积的70%左右。其中以

*执笔人：李　娜（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

崩塌、滑坡的形式表现得更为突出，又以梅溪河中下游、石笋河下游、朱衣河、草堂河、新民河、甲高河全流域以及长江两岸分布最多。仅1982年，全县出现滑坡崩塌11582处，涉及到79个乡、6887户、32400人，垮塌房1.5万间，危房1.43万间。因灾无房住、无口粮、无承包地的1449户、6772人，死亡75人、重伤608人、失踪8人。新民乡白庄滑坡使6个村50户208人受威胁，滑坡面积达250亩，已垮房85间，现有8户40人无家可归。朱依乡双碾、大瓦两村滑坡、长200米，宽150米，下滑60米，滑坡堵塞了朱依河300米，后疏通，方使朱家坝2000余亩良田免受损失。地处长江河谷的甲高乡、赵云村全村250亩坡耕地中、大于25度的占73%，年均（沟蚀、面蚀、崩塌、滑坡、泥石流）带走的表土达5300吨，亩平均21.2吨，侵蚀模数达31800吨/公里·年，高于全县平均水平的3倍。该村1958年一般亩产玉米300斤，现在连收种子都困难。马驿乡塘房、张家两村5000亩森林被毁开荒后，种田两年就变成了基岩石板坡，两村农民失去了赖以生存的土地，只好搬家。涪陵地区的石柱、丰都县境内、森林植被的破坏更为突出，沿长江两岸覆盖率仅在5%以下。每当暴雨之后，可见到沿责任田的界沟加深10—20厘米，加宽30—40厘米。一些杂草丛生，已消灭的古冲沟，又开始新的刨蚀作用，崩塌堵沟的现象随处可见。1982年7月15日—17日，石柱县长江右岸的中兴乡后湾村发生滑坡，使20户、83人、31间房受到威胁和危害，同时在龙河上游左岸沙岭村形成1000万立方米大型堆积层滑坡，使53户农民受灾、毁地1000余亩。滑体堵断了河床，形成天然拦水坝，蓄水200万立方米，水库回水淹没7户住房和200余亩耕地，并对上下游两岸居民和耕地造成威胁。1982年7月28日黔江县观音岩古滑坡的复活，也与森林植被的破坏密切相关，据统计该滑坡上游地段的流域面积1.9平方公里。这里历史上山青水秀。这次考察在观音岩峡谷底部的淤泥层中见到古代所埋藏的松、桦、柏树等，直径均在1米以上。据当地老年人口述：本区原始森林的破坏是从抗日战争时期，川湘、川鄂公路修通以后才开始的，公路修到那里树就砍到那里，即使这样，到解放初期还有成片的原始森林，虎豹豺狼还经常出没伤人。近30年来，三次森林大砍伐，这里就变成了童山秃岭。据县水电局资料，平均覆盖率在10%以下。在观音岩滑坡区范围内的斜坡地带，左岸全部开辟为耕地，右岸基岩石山裸露，从坡脚到坡顶，连灌木丛的影子也见不到。由于森林的过渡采伐，失去了涵养水源的能力，1982年7月暴雨之后，大量洪水夹持着大量泥沙、块石，在短时间内汇集，产生巨大的冲击刨蚀能力，观音岩峡谷一次性加深13米，使本身就脆弱的两岸山体结构失去横向支撑而出现古滑坡复活，构成对黔江县城的重大威胁。

全国著名的鸡扒子滑坡、马家坝滑坡都因洪水刨蚀沟床，出现崩塌堵沟，最后酿成整体滑移的滑坡灾害。

上述实例表明，仅管库区两岸的崩塌滑坡绝大多数是由暴雨洪水触发，然而根子却系森林植被破坏所致。

## 二、矿山开采失控、破坏山体稳定平衡

据统计，库区有小煤窑1000余个，绝大部分是最近十多年才兴建起来的，都未经过规划

勘探、开采设计和可行性论证，特别是缺少开采过程中环境保护措施的论证，属盲目开采。湖北宜昌地区盐池河磷矿，1969年开始建井至1980年的十年间已采原矿58万吨，采空区面积达6.4万平方米。1981年6月3日发生空前规模的大滑坡，崩塌体总量在100万立方米以上。磷矿所有设备、房屋埋于滑体之下，287名职工家属全部丧生。巫山县1981年普查86个小煤矿中，有40个属盲目开采，如长梁乡的莲花煤矿，处于大溪河深切峡谷，近十多年来不断在岩下采煤，使近100米厚的石灰岩悬空，山体在自重压力下沉降开裂，崩塌滑坡年年发生，造成奉巫公路多次中断。巫山县城郊秀峰乡有5个村开山采石，20多个采石场的石渣就地堆积，仅圣泉村一个采石场，从1984年以来，每下暴雨，洪水冲刷面出现崩塌滑坡，使毗邻6个机关单位十多户居民蒙受重大损失。福田、五龙两乡开小煤矿48个，不但附近残存的树木被砍光，而且矿渣任意堆放沟谷河边，1985年7月，一次暴雨，山洪爆发矿渣崩塌，伴随洪水一起，产生巨大的冲击力，冲垮河堤1000余米，淹没农田500余亩。巴东县长江南岸火焰石重力蠕滑体，岩层倾向长江，由厚层二叠系灰岩夹煤层组成一套上硬下软的有利于滑坡发育的岸坡结构。1965年红旗煤矿在陡岩掘进5个窑洞采煤，当时采用大药量放炮掘进，因震动而引起山崩地裂，矿上机房被毁，一崩积孤石击中民房9间，坡体中前部出现地裂缝三条，裂缝宽10—20厘米，煤矿被迫停产。1984年又开始采煤，现今坡体上的地裂缝已发展到3—5米宽了，已构成对长江航道的严重威胁。据火焰石村一组居民杨发进老人（75岁）口述：火焰石后山一带经常有崩塌发生，早在抗日战争时期，“同德马”船曾撞击崩入长江的孤石发生沉船事件（图1—14）。

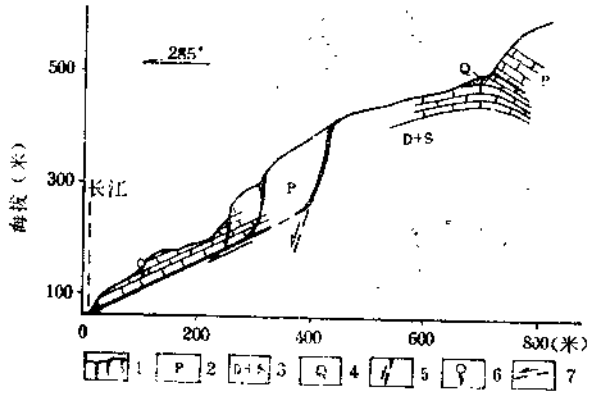



图1—14 杨家棚村滑坡剖面

1．地裂缝；2．二叠系；3．泥盆—志留系；4．第四系 5．推测断层；6．泉水；7．推测滑面

横石溪煤矿，有煤窑洞三个，均布置在横石溪陡崖之下，其上有厚达100米以上二叠系灰岩，煤矿开采10年后的1979年10月的一个凌晨，方圆10华里内的居民听到了崩塌滑坡发出的巨大响声。据现场考察崩滑体长300米，宽200米，曾堵断了横石溪，积水成湖，后属自然消失。1981年停止采矿（煤），但多组裂缝仍然在向

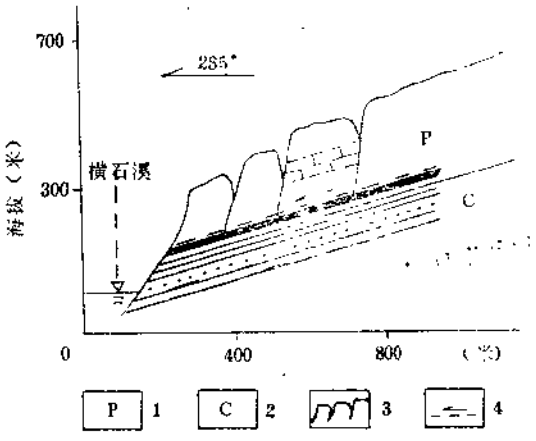
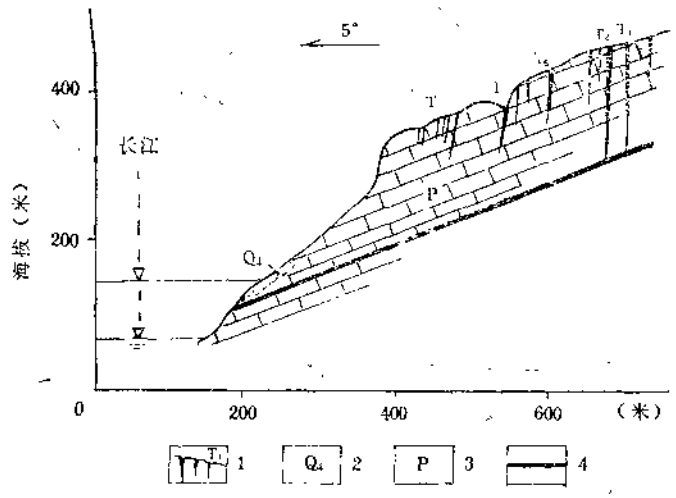



图1—15 横石溪滑坡剖面

1．二叠系灰岩夹煤层；2．石炭系砂页岩互层；3．地裂缝；4．推测滑面及滑动方向




图Ⅰ—16 链子崖崩滑危险体剖面

1．地裂缝及编号；2．第四系；3．二叠系；4．煤层

后扩张，形成阶梯状错台，错台之间的相对高差1—3米；裂缝宽3—5米；裂缝长100—300米；大有向横石溪滑移之势（图1—15）。

全国著名的链子崖崩滑危险体，位于长江右岸兵书宝剑峡出口。岩体结构分上下两部分，上部为二叠系厚层灰岩（约100余米），下部为二叠系马鞍山煤组，组成上硬下软，岩层倾向长江的岸坡结构。据访查，链子崖崩滑危险体，共发育有地裂缝30余条，其中$T_0$—$T_7$裂缝地段有12条，$T_8$—$T_{12}$裂缝地段有18条，裂缝走向近北西西向，裂缝在平面上展布东宽、西窄，剖面上反映出上宽下窄，深达100米左右，至煤层消失。值得注意的是$T_{12}$地裂缝，在垂向上反映上窄下宽。裂缝在地表的宽度一般0.1—1.5米，最宽5米（$T_2$），最长170米。上述地裂的出现和扩张，除自然地质因素外，主要是在陡崖脚长期开采煤矿，在地裂缝展布的范围内，开采面积达20万平方米，取出煤炭30余万吨，采空区面积达12万平方米。致使原始构造裂缝，岸坡重力卸荷裂隙、在巨厚岩体的自重压力下产生拉裂扩张，变形加剧。特别是近10年来为查明链子崖地裂缝性质，进行了大量槽探和硐探，现所有地裂缝的发展更加活跃，其中$T_1$、$T_6$下沉最大为5.2—25毫米，$T_2$、$T_6$、$T_8$裂缝增宽最多为14.8—52毫米（图1—15、1—16）。并时有崩塌掉块出现。1978年，$T_{11}$、$T_{12}$裂缝交汇处，平均下沉量为14.66毫米，1979年$T_{12}$南7000方岩体下滑。上述现象表明链子崖危险体的变形在加剧，整个岸坡以煤层顶板为滑面、处于全面贯通阶段，特别是$T_{12}$地裂缝逐渐趋于闭合（上窄下宽），陡崖时有掉块和小的崩滑。

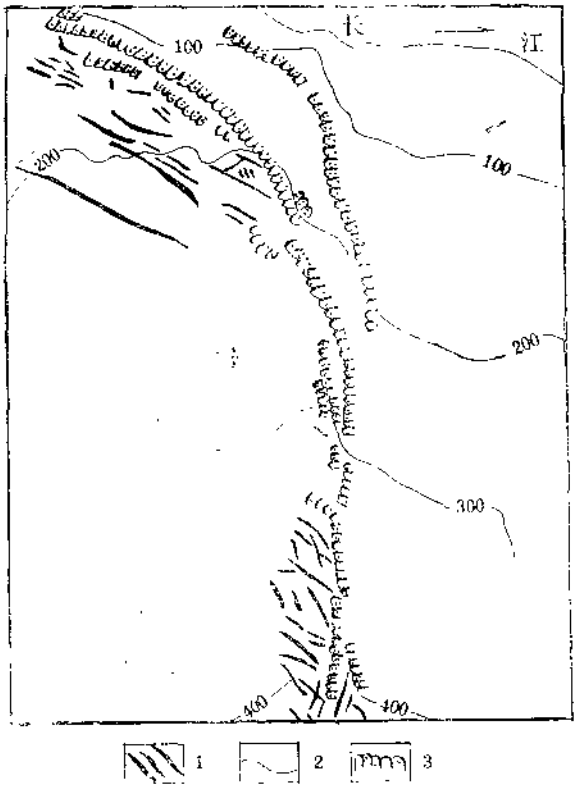



图1—16 链子崖地裂缝平面

1．地裂缝；2．地形等高线；3．陡崖

除上述典型实例外，1983年奉节县梅溪河左岸因在三叠系须家河组中，共有9个煤洞采煤。在采掘过程中出现塌陷，煤洞被堵，尔后酝酿成滑坡，面积1.5平方公里，四个村112户，受滑坡影响的96户，水田普遍漏水，土坎拉裂错位30—50厘米。1977年曹家弯跳石村金鸡崖因采煤引起崩塌，崩塌物一直奔落到江边。1958年农历二月新滩后部的鲤鱼山局部崩塌，将乡办煤窑洞塌平，死亡2人。

综上所述，库区二叠系马鞍山煤组及三叠系须家河煤组的开采，对岸坡作用不可低估。介于煤层在库区分布仅限于奉节新铺三磴子以东的长江两岸，尤以横石背斜、秭归盆地边缘最为突出，因此，它是未来三峡工程库岸失稳的重要影响因素之一。

## 三、兴修水利和道路对地表的影响

水利工程和交通线路近十年来在库区两岸发展较快，这些工程的特点是依山傍水，呈线状展布，挖方、填方多、施工中不同程度破坏了自然斜坡的稳定性，以致在运行期出现不少崩塌滑坡问题。特别是水库及渠道运行初期，渠道渗漏或库水位升降引起这类崩塌滑坡问题屡见不鲜。据统计，奉节县36条公路、817公里，1981年7月，发生滑坡894处，平均每公里有滑坡1个以上。磨溪公路上的大树崩塌体达40万立方米；全县公路仅城区42公里可以通车，造成山区急需物品（食盐、化肥、煤油等运不进；山区鲜货、土特产品运不出的被动局面）。忠县全县有公路830公里，每年用于治理滑坡的费用近10万元。1981—1982年，用于治理公路滑的费用高达50—60万元。丰都县全县省、县、乡道共40余条，总长640公里。1982年7月，被洪水冲毁、崩塌、滑坡而断道的32条、计51公里。其中丰都—石柱公路的南江到鱼箭口段约20公里基本上没有路面，道角一三王沱看不到路影。因崩塌滑坡损坏路基40余条，土石方量达11万立方米，垮塌保坎214处，长9139米。王家渡—江池的公路，全长62.4公里，塌方130余处，土石达7万余立方米，崩垮保坎127处，长7085米。龙河大桥桥头发生滑移变形。1984年雨季巫山县境内的4条主要公路干线，只有巫山至奉节的公路维持通车。因公路被洪水、崩塌、滑坡所毁的共计1116处，长达28.7公里，其中内边坡崩塌的土石方量5.5万立方米。造成该县运输瘫痪。1986年7月，秭归县境内出现国家列养公路塌方120余处。全县乡村公路69条，总长440公里，出现大小崩塌滑坡达1363处，城乡交通中断达三个月之久。

近十多年来，随着水利化程度的提高，岸坡旱地改水田的面积扩大，坑塘、堰库渠道、稻田水长期渗入，对岩土进行侵泡软化，不断削弱岸坡岩土的抗剪强度，从而加速了崩塌滑坡的发育进程（据鸡扒子滑坡岩土试验资料，天然含水量与饱和含水量状态下比较，滑带土的残余抗剪强度C值下降15%，$\phi$值下降30%）。最为典型的例子是1986年7月，发生在秭归县马家坝滑坡，该滑坡区范围内，70年代以前、多以旱地为主，当地居民从未听说过滑坡塌山之事。自70年代初，水田10余公顷，堰塘11口。该滑坡系暴雨触发，但从滑坡运动特征上分析，该滑坡运动39分钟以后，一方面暴雨接近尾声，另一方面滑坡运动自上而下要克服抗阻力大的燕窝槽平台对运动带来极为不利的条件，滑坡运动本应就此休止。介于当时整个

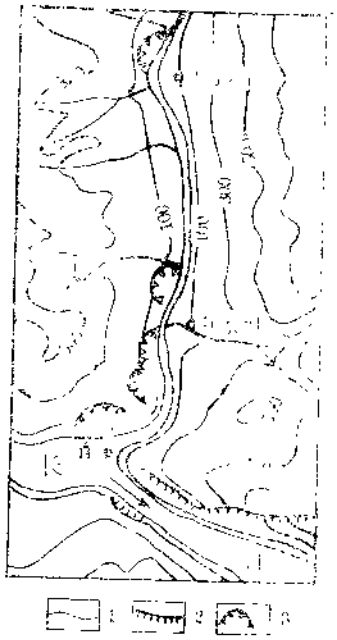


图1—18 香溪八字门滑坡平面
1．地形等高线；2．陡崖；3．滑坡

坡体已拉裂，40余公顷稻田、14口堰塘渗水，突然因裂缝出现而疏干，全部转入地下，推动力又得到新的补充，继续把抗阻力大的灰岩槽平台推向前进。1982年7月，奉节县因暴雨洪水，渠道、水库渗漏引起崩塌滑坡，报废小型水库一座，病害水库23座，毁渠286公里，毁清水堰472公里，影响灌溉面积9万亩，占全县有效灌溉面积的40%，经济损失达510万元。丰都县毛林沟电站，东羊角电站、白家沟电站等的引水渠道因渗漏出现大量的崩塌滑坡。丰都—高家镇的公路出现大量滑坡也因电站引水渠道渗漏所致。全县65座水库病害工程中，因滑坡问题的占12座。

人们最关心的葛州坝工程峻工后，水库回水对库岸坡体失稳是否有影响？并以此来推断拟建三峡工程对库岸的稳定性。我们考察了香溪镇及新滩滑坡。距大坝85公里的香溪镇八字门滑坡，起始于葛州坝回水之后，滑坡前缘标高60米，后缘标高120米，滑舌已伸入香溪河床（图1—18、1—19）。滑体中部的一所学校因变形拉裂而报废，居民郑炳昌的住房几经加固，裂缝仍在扩大加深，李九元的住房1981年迁到公路上方，门窗错位，墙壁拉裂而成危房，县变电站铁塔已倾斜3°—5°。

据香溪镇移民局介绍长办已认可为葛州坝回水影响所致，并赔偿了损失费。

1985年发生的新滩滑坡，其前部力坡崩积块石夹粘土，具较强的坚实性。1983年6—7月新滩一带持续降雨161.8毫米，使广义崖脚下1300万立方米的坡崩积层沿基岩面下滑，下陷和局部垮塌，但并未推动姜家坡以下的包括新滩镇在内的坡体前进。而1985年发生滑坡前的两次降雨过程累计不到200毫米，姜家坡以上的1300万立方米土体却推动了其下1700万立方米土体滑移至长江，这可能和葛州坝回水，新滩一带经长期浸泡，强度指标有了一定程度的降低有关。




图1—19 香溪八字门滑坡剖面
1．上侏罗统；2．滑坡堆积；3．三叠系；4．滑面及滑动方向

注：图1—18、1—19、[illegible]

# 三峡库区滑坡形成机制及发育模式*

库区滑坡的形成，是在第四世纪漫长的地质历史进程中，地壳内外营力相互作用的结果。其中地质地貌为滑坡发育提供了必要的边界条件，特别是岩体中的软弱夹层的存在及空间展布特点，是控制坡体稳定或酿成滑动面最终导致滑坡产生的基础。而现今残存的滑体结构特征，滑面形态，客观上反映了滑坡发生的规模大小、运动过程、发育模式及稳定状态。暴雨洪水是区内诱发滑坡最活跃的因素，客观上起加速滑坡发育进程的作用。

基于上述认识，将长河谷中总的地质地貌背景下出现的大型特大型滑坡，按其残留滑面形态及滑体结构特征，重建典型滑坡形成的几个历史阶段，进而划分出如下几种模式，以此来分析研究滑坡形成机制。

## 一、台阶形滑面的挤压—推移—分级转动式滑坡

这一种滑坡，在长江河谷岸坡上分布极为普遍，如新滩、土风岩—马家坝、三磴子，白依庵、新铺滑坡等。共同的特点是滑面呈台阶形，滑体呈叠瓦状。推力来自坡体中后部，滑速不均不高。滑动过程中显示出分块特点，每一个台阶前隆后陷；滑体前部以滑舌形式伸入河谷；就发育过程上看大体要经历长时间的缓慢变形滑移，变形滑移加剧，整体滑动等几个阶段。整体滑移之后不会马上制动，还有调整性的滑后均衡阶段。这类模式的滑坡另一特征，是滑体的绝大部分不脱离滑床，堆聚于坡体中前部，有可能短期内再次复活。典型实例如下：

### （一）新滩滑坡

1985年6月12日发生的新滩滑坡，位于拟建三峡工程大坝上游27公里的长江左岸，滑坡前后缘高程为70—900米，相对高差800余米。滑体总量约3000万立方米，其中200万立方米以滑舌的形式伸入长江，占据江面宽度约100米（图1—20、图1—21）。这次滑坡激起的涌浪将对岸（海拔90米）一座浆砌条石（二楼一底）仓库卷入长江。涌浪传到上游4公里的香溪镇浪高7米，14公里的秭归县浪高1米；下游7.5公里的九湾溪附近浪高2米，27公里的三斗坪附近浪高不足1米。

---

*执笔人：刘新民、李天池（中国科学院成都山地环境研究所）

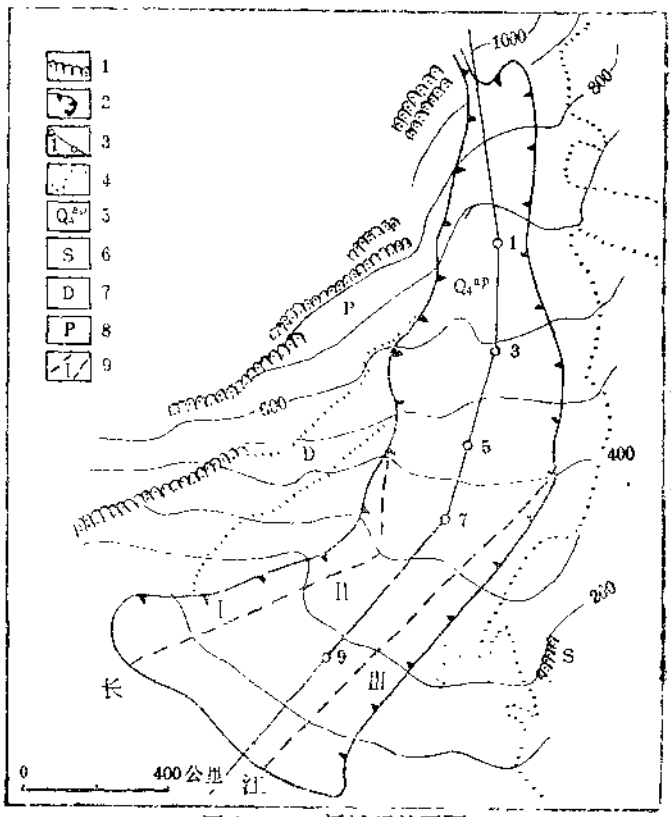



图1—20 新滩滑坡平面

1．陡崖；2．滑坡周界；3．古孔及编号；4．地层界线；5．滑坡堆积物；6．志留系；7．泥盆系；8．二叠系；9．滑坡分块界线及代号

新滩滑坡就其性质而论，是历史上古滑坡的一次全面复活，是一个以志留系页岩夹砂岩组成的台阶状基岩侵蚀面为滑床，以其上巨厚古滑坡堆积物为滑体的坡崩积层滑坡。1985年全面复活是该区滑坡具有周期性活动规律的反映。它是一个渐进性的过程大体，经历了以下三个阶段。

**1．缓慢变形阶段（1935—1983年）**

早在1935年（农历六月初三），坡体东侧姜家坡至柳林曾发生过100万立方米古滑坡部分复活，将柳林村0余户居民推入长江。它虽然未牵扯到整个新滩镇后山的坡体变形，但是必竟削弱了坡体东侧近长江边一带的抗滑力，为新滩滑坡的全面复活扫清了部分障碍。1985年广家岩一带出现小规模的崩塌两次。1964年秋季广家崖一带出现暴雨，再次发生崩塌，与此同时，姜家坡西侧的古滑体上出现与坡体倾斜方向一致的地裂缝，长450米，宽0.1米；姜家坡平台后部（靠西侧），海拔600米左右也相出现长达270米，宽0.5米的地裂缝。这两条地裂缝经历了1977、1981、1982年多次岩崩的冲击加载之后，逐渐加宽，但裂缝扩张缓慢，直到1983年7

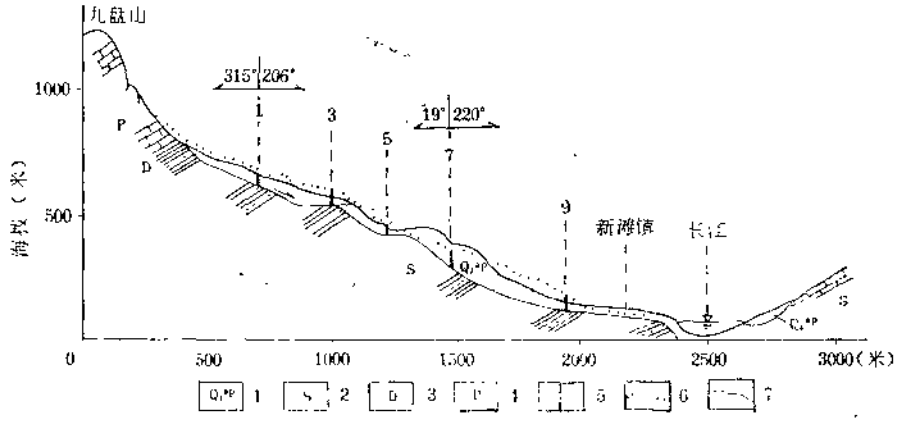



图1—21 新滩滑坡剖面

1．滑坡堆积；2．志留系；3．泥盆系；4．二叠系；5．古孔及编号；6．滑前地面线；7．滑后地面线

注：图1—20、1—21系采用南江地质队资料修改而成。

月历时48年，为缓慢变形阶段。

**2．变形加剧阶段（1983年6月—1985年6月）**

1983年6月24日—7月13日，新滩一带降雨461毫米，原有的两条地裂缝不断扩大加深；姜家坡东侧也出一条长达1000米的新裂缝，裂缝最宽处可达0.5米。整个姜家坡—广家岩脚1300万立方米的堆积体出现下座，下陷和局部垮塌，坡体后缘的弧形拉张裂缝已相互连通。这可以从姜家坡坡脚出现的挤压鼓张裂缝得到证实。姜家坡以上坡体中的滑面全面贯通以后，本应出现快速移动，只因前缘受姜家平台巨厚堆积物的阻挡，大部能量消耗于克服姜家坡堆积物的抗阻力，滑坡活动暂时削弱，直至1985年6月8日，姜家坡附近普遍出现岩块翻滚，发出似闷雷的响声。6月10日晚上，姜家坡西侧坡脚听到哗哗的流水声，沿坡脚一带见银灰色的气雾，普遍出现地下水喷射，水头高达10余米。当日晚上10点，西侧出现70万立方米的古崩塌体下滑。上述事实表明，姜家坡以上的堆积物经挤压变形之后，土体结构遭到破坏，使其地下水挤压喷射地表，形成强大动水压力和超孔隙水压力；滑面摩擦力得到最大限度降低，于是姜家坡以上滑体就向前滑移。这一变形阶段历时达2年之久。

**3．整体快速滑移阶段（1985年6月12日3时45分—4时10分）**

姜家坡以上的滑体启动之后，把强大的挤压推力传递给姜家坡以下至长江边一带，约1700万立方米的堆积物，形成了上下坡体的一次式整体滑动。这一阶段的特点是时间短暂（计25分钟），滑动时，地声增大。距滑坡区1公里的龙江镇居民有强震感。整体滑动过程中，滑坡解体成东西中三块。西块受西侧深切冲沟的影响，加之地下水比较丰富，形成塑流型滑坡；东块受早期柳林古滑坡的影响，滑体结构已遭破坏，岩块普遍出现翻滚，并以滑舌形式伸入长江；中块滑体结构相对完整，原岩崩调查处的房子微向坡体内反倾3°—5°，姜家坡陡崖脚一带出现陷落洼槽约40米，毛家院一带出现隆升约20—30米。这一现象表明滑坡在运动过程中受阻后出现转动。以剧滑时间、滑体入江的宽度和滑体上残房、果树在滑动前后的相对位置计算，整体滑移时的最大速度为10米/秒左右。

新滩西北侧由二叠系灰岩组成的垂直陡壁，节理裂隙发育，易崩塌。而东侧姜家坡一带基底由志留系页岩夹砂岩组成的台阶状缓坡，有利于岸坡物质积累，前者为后者提供大量的崩塌物质，后者为前者提供堆积的场所。正是这种台阶状缓坡地貌，使堆积物不致于在短期内失稳，这是新滩滑坡规模巨大，滑速不高的原因。

### （二）马家坝滑坡

1986年7月16日7时30分发生的马家坝滑坡，位于湖北省秭归长江右侧支流马道子河左岸，距长江7.5公里。滑坡分布于海拔175—700米，相对高500余米。滑体总量达3000万立方米。

滑坡区附近，地貌上属低山丘陵区的顺向缓坡。古滑坡复活前的地表天然平均坡度10—12°，仅坡体前部zk102孔以下稍陡，约18°—22°，滑坡体两侧为近东西向的两条冲沟，整个古滑体置于其间（图1—22）。

从复活的古滑坡结构上看（图1—23），它仍然保持着台阶的特点，每一台阶前隆后陷，台阶前沿出现反翘。往往后一级台阶的首部置于前一级台阶的尾部之上，首尾相连组成迭瓦状的整体滑坡结构，靠近南北冲沟两侧的滑坡结构已遭受破坏，中部相对完整。

这些总的滑坡结构特征，反映出这次古滑坡复活是追踪古滑移面，由上而下，经挤压推

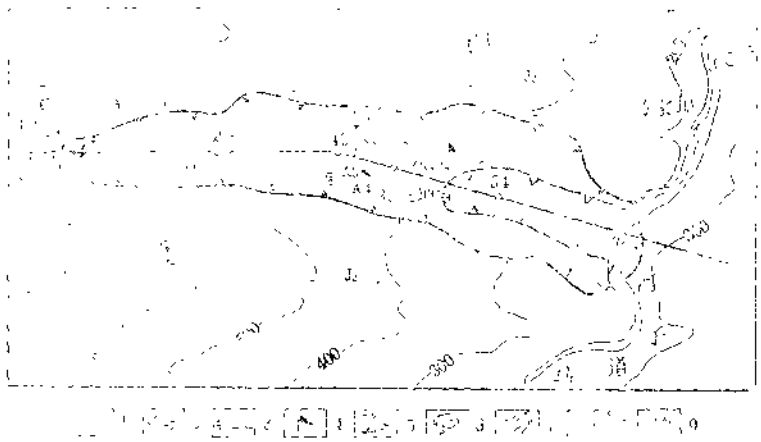


图1—22 马家坝滑坡平面

1．地形等高线；2．坡扩；3．古孔编号及剖面线；4．长观孔；5．滑坡复活边界；6．1975年复活边界；7．地裂缝；8．侏罗系；9．滑坡堆积物

移一分级转动的过程。大体可划分出四个阶段：

**1．缓慢变形阶段（1975—1986年）**

据访问马家坝古滑坡近百年来没有复活迹象。后山土风岩出现的两条古地裂缝早已存在，村民王长孝老人（86岁）口述，他12—13岁时跳香到这两条地裂口子，当时一步可跨过去，直到这次滑坡前夕都没有多大变化；古地裂缝前后农舍都有几百年的历史，从来没有听说过滑坡危害。

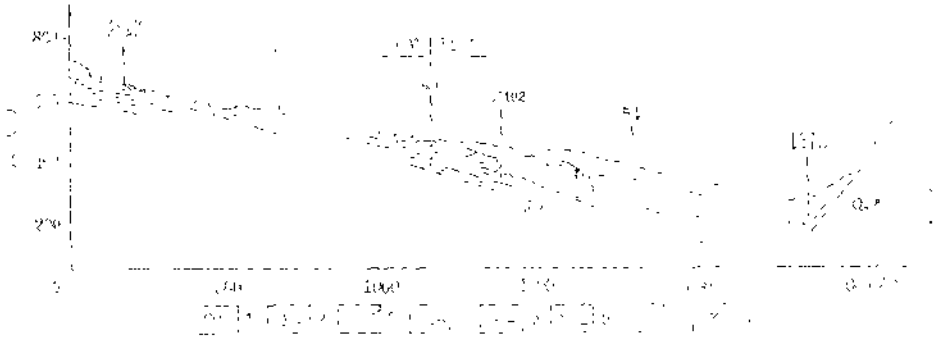


图1—23 马家坝滑坡剖面

1．滑坡堆积物；2．侏罗系；3．滑前地面线；4．滑后地面线及裂缝；5．孔号及气动高程；6．历史古滑坡江靖滩线；7．历史古滑坡过河残留体边界；8．古孔及编号

1975年8月9日，马家坝古滑坡前中部出现了部分复活。据秭归县气象资料，当年6月23日—7月6日，连续降雨14天，总降雨量111毫米，之后于8月9日又降大暴雨。由暴雨引起江河水位陡涨，山洪泥流暴发。马家坝古滑坡前缘，被强大的山洪泥流冲击旁蚀，出现了部分复活，虽未牵扯上中上部古滑体的松动，但它毕竟削弱了整体中前部的抗滑能力，为本次古滑坡全面复活扫清了部分障碍。自此以后，马家坝古滑坡前缘沿通往河—带至下线公路，经常都出现小的崩塌，延续时间达11年之久。

**2．顶部土层卷一软质遇崩滑阶段（1986年7月16日7时30分—8时30分）**

滑坡区后缘海拔650—700米，有相对高差140—50米的陡崖，陡崖脚有古崩塌堆积物，

厚10—20米；陡坡之上为一基岩侵蚀平台，平台前缘地裂缝两条，长达80—100米，走向北东45°—60°与岩层倾向近于一致。如前所述这两条地裂缝早已存在，直至滑坡前夕都没有什么变化。古滑坡中前部的各级平台，也未出现地裂缝，房舍倾斜等现象。上述事实表明，古滑坡复活前的坡体是相对稳定的。

马家坝古滑坡是在连续降雨42小时之后，又连续降暴雨11小时30分，暴雨达到高峰时才出现的。由于滑坡启动前连续降雨53小时30分，土体已经达到完全饱和程度，岩土强度指标大为降低，据鸡扒子滑坡资料，天然含水量与饱和含水量状况下比较，滑带土的残余抗剪强度指标，C值下降40%，$\phi$值下降50%。在这种状况下，又连续降暴雨11小时，都还不足以使滑坡启动，关键在于南沟被堵，洪水位升高，横向贯入土凤岩一带的基岩裂缝和古崩塌体内，特别是洪水位升高溃决后，上线公路桥被堵涵，洪水翻越公路注入坡体后缘的坡崩积层中，产生巨大动水压力，从而推动坡体向前滑移。这一论点，从滑坡启动前有气浪推人之感得到证实，这一气浪感，正是土石裂缝中的空气被水挤压排出的结果。古滑坡由后向前推移中要克服多级平台的抗阻段，因而滑速时快时慢，运动特征上显示出比起彼复，地貌上呈隆陷相间。往往后一级滑体的首部凌架于前一级平台的尾部，首尾相连，组成叠瓦状的整体滑坡结构。

**3．缓慢滑移挤压段（16日8时30分—14时）**

当第一阶段滑移1小时后（16日8时30分），一方面暴雨接近尾声，另一方面滑体运动中要克服坡体中部宽厚的燕窝槽平台的抗阻力，对运动带来的不利条件。但随着挤压变形的加剧，地表裂口增多，坡体上14口堰塘，600余亩水田的水，全部疏干而转到坡体内，滑坡驱动力又得到新的补充，加之南北两条冲沟被滑坡堵塞后，沟内积水又源源不断渗入滑体内部，滑坡又开始启动，不断对燕窝槽平台施加压力，并推动平台向前缓慢移动。据杨家岭6组居民王祖衡同志介绍，他的住房（燕窝平台前缘），第一天滑动50米远（时间是早晨8时—16时）。据此估算出这一阶段的平均滑速为6.25米/时（0.0017米/秒）。

**4．调整性的整体蠕滑阶段（7月16日14时—7月25日）**

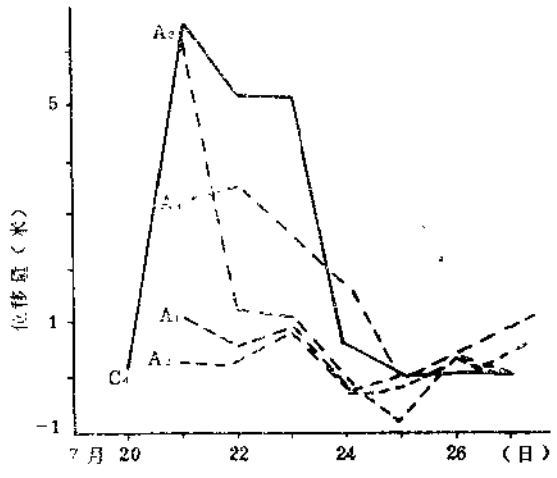



图1—24 滑坡位移量与时间关系

滑坡运动克服燕窝槽宽大浑厚的持力段后（水平抗阻段），降雨已基本结束，推动力缺乏后劲，不能顺利的把燕窝槽以至马道子河谷的古滑体推向前进，整个滑坡运动陷入缓慢的蠕动滑移阶段。沿沟附近的滑体，因含水量增加而解体呈塑流状态的滑坡，从马道子河谷上下两侧有黄色泥浆显示而得到证实。还可以从7月20日以后的观察资料中找到更直接的证据（图1—24）。从图1—24中可以看出7月24日滑坡活动趋于稳定，以后靠两侧冲沟的$A_1$，$A_4$点的位移量又有所回升，这恰是两侧冲沟附近，滑坡体含水量增加，滑速快的反映。

## （三）黄腊石滑坡

黄腊石滑坡位于距大坝54公里的长江北岸，是一个正在发展中的滑坡，估计滑体方量可达1600万立方米。

介于该段长江河道窄，斜坡上堆积物厚度大，且近年来坡体有明显变化迹象，所以一向被有关专家学者重视。本次拟从以下三个方面探讨该滑坡的形成机制及发育模式。

**1．黄腊石附近的自然地质环境及山体结构特征**

黄腊石附近，出露地层为三叠系巴东组（$T_2b$）砂泥岩互层。岩层倾向北西，倾角40度。整个谷坡呈反向坡。基岩之上为第四系松散堆积层组成的多级平台，厚10—25米，海拔350米的一级平台，厚度可达70米左右。地表天然平均坡度28—37度；海拔700米以上有厚层砂岩组成的垂直陡壁。

**2．斜坡变形的历史过程及变形性质的判定**

1983年雨季，海拔630米坡崩积层与基岩交界地带，出现平行于河谷的裂缝长100—300米，宽30—40厘米；海拔530米附近，从西侧冲沟向东至宝塔河后山一带长达3公里的范围内，断续出现地裂缝；海拔450米附近，地裂缝长达100余米；海拔350米税家湾5组，地裂缝长100米左右，垂直下错0.3—0.5米；海拔160米的斜坡左侧，出现与长江平行的拉张裂缝，长300米，宽0.5—1.0米；海拔115米出现弧形拉张裂缝长100米，宽0.5—1.0米，下错0.3—1.5米。

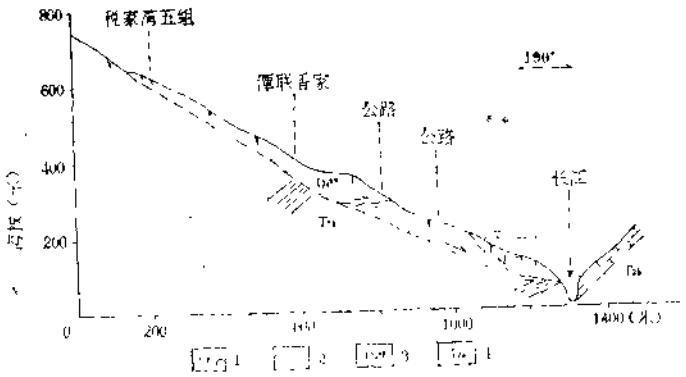



图1—25 黄腊石滑坡剖面

1．滑坡地裂缝；2．推测滑面及滑动方向；3．滑坡堆积物；4．三叠系巴东组

上述地裂缝，按其受力性质大致可以分两类，以海拔160米为界，以上属挤压裂缝，以下属拉张裂缝，两者尚无前因后果的联系。这一事实表明黄腊石斜坡变形过程中尚未形成统一的滑面，性质上属酝酿中的滑坡（图1—25）。

**3．滑坡形成机制及发育模式的推测**

从黄腊石附近的地层岩性看，属巴东组泥岩夹砂岩，其上堆积物巨厚，两者之间的界面是地下潜水活动的场所，有可能沿这一界面发展成滑面的基础；黄腊石地表天然平均坡度陡达28°—37°，为滑坡发育创造了良好的地貌临空条件。

总之，台阶状的自然斜坡，其上堆积物累积到一定厚度时，因重力卸荷，首先在坡体中上部出现地裂缝，尔后逐渐向前发展成推移式滑坡，这已经是库岸坡崩积层滑坡发生的普遍规律。如近几年出现的新滩滑坡、鸡扒子、马家坝滑坡等（表1—25）。从表中可以看出，鸡扒子、马家坝滑坡，临滑前的自然平均坡度平缓，滑体上没有地裂缝显示。惟有新滩滑坡，临滑前的自然斜坡陡达27度且地裂缝已发展达24年之久。其根本原因是前者系暴雨触发，后者是重力加载触发。现今黄腊石的天然斜坡已累积到28°，地裂缝大规模的在坡体中

典型滑坡坡度对比表 （表1—25）

| 滑坡名称 / 基本要素数 | 鸡扒子 | 马家坝 | 新滩 | 黄腊石 |
|---|---|---|---|---|
| 滑坡前的自然斜坡坡度 | 15° | 14° | 27° | 28° |
| 滑坡后的自然斜坡坡度 | 10° | 11° | 24° | |
| 触发因素 | 暴雨 | 暴雨 | 重力加载 | |
| 裂缝出现的年限 | 无 | 无 | 1964—1985年（共22年） | 1983—迄今（仅4年） |

上部出现已有4年之久，和新滩滑坡非常类似。这些地裂缝的进一步扩张，予示着近期有发生大规模的滑坡的可能。如果发生滑坡有两种情况：①长江水位陡涨旁蚀前缘海拔160米以下的岸坡，使坡体前缘失去支撑而产生牵引式滑坡；②海拔500米高程以上降特大暴雨（或地震），暴雨沿早期发育的几条地裂缝渗入坡体内部，于是坡体中上部强大的动水压力推动下滑移，很可能在海拔350米，宽厚后平台前缘剪出并对以下的滑坡施加压力，导致挤压—滑移—转动的滑坡模式出现。

除上述两种可能外，如长江水位陡涨，坡体中上部又时逢大暴雨，则坡体前缘的滑面向后扩展，坡体后部挤压开裂，中部快速剪断形成一次式整体剧冲型高速滑坡。

## 二、弧形滑面的挤压—推移—转动滑坡

这种模式的滑坡发生在库岸屈状向斜谷坡的两侧，最大的特点是滑面呈弧形，上陡下缓，近滑面前部的缓倾滑面，构成谷坡的水平抗阻段，为酝酿成大型特大型滑坡，创造雄厚的物资基础。如范家坪滑坡，滑体达1亿立方米，云阳宝塔滑坡达7500万立方米，旧县坪滑坡7000万立方米，云阳县城滑坡（城东、城西）7000万立方米。正是由于坡体前部有水平抗阻段存在，所以这类滑坡一般滑速不高，滑动过程中出现转动反翘。滑体结构相对完整。现举例论述形成机制。

### （一）范家坪滑坡

范家坪滑坡位于湖北省秭归县境内的长江南岸，距三斗坪坝址57公里。滑坡海拔为100—600米，滑体约1亿立方米，滑坡以三叠系须家河组（$T_3xj$）厚层砂岩为滑体，以下卧的煤层及炭质页岩为滑面，构成巨型基岩顺层滑坡。据现场考察，滑体结构完整，可见到滑动时留下的挤压弯曲、褶皱。滑动后的岩层保持着原始层面的连续性，基本上无间断。滑坡前部岩层反倾翘起，可见到垂直于岩层层面的鼓张裂缝（图1—26、1—27），滑面倾角上陡下缓，坡位12°—15°。

上述现象表明该滑坡的形成是一个累进性的破坏过程。

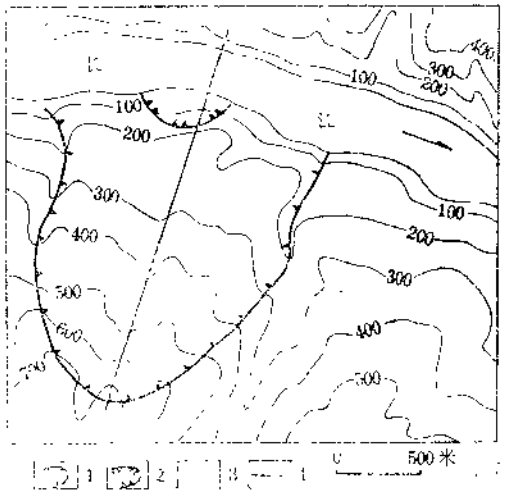



图1—26 范家坪滑坡平面

1．古滑坡边界；2．古滑坡局部复活边界；3．地形等高线；4．剖面线

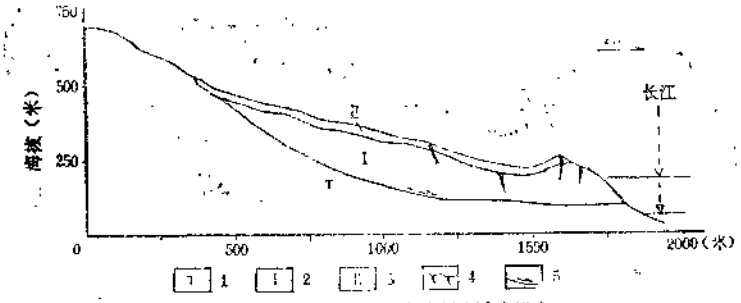



图1—27 范家坪滑坡剖面

1．三叠系须家河组；2．完整基岩滑体；3．破碎基岩滑体；4．地裂缝；5．滑面及滑动方向

据范家坪现今残留的滑体结构特征，判定该滑坡具有长时间的挤压变形阶段和缓慢的滑移阶段。

## （二）宝塔滑坡

宝塔滑坡位于云阳城东1.5公里的长江北岸，属基岩顺层滑坡。现今滑坡残存体总量700万立方米。如若包括1982年鸡扒子复活体在内，滑坡达9000余万立方米。

滑坡区附近的地层为侏罗系遂宁组（$J_3s$）和蓬莱组（$J_3p$）红色砂泥岩互层。构造上属故陵向斜的北西翼，岩层倾角上陡下缓，坡体中上部（向斜翼部）桐子岭一带47°、中部25°、坡体前缘8°—10°，整个岩层层面似弧形。

长江由西北向东南流经滑坡区前缘，滑坡西以石板沟为界，东以大河沟为界。整个滑坡体置于三面临空一面依山的扉形向斜谷坡上。

宝塔滑坡的滑面依附于基岩层面。滑体结构特征，据南江队占孔揭露，垂直剖面上分三个带，表层为黄色亚粘土，含钙质结核；中部为扰动块石夹粘土，深部为结构相对完整的块石。

宝塔滑坡的形成是和该区地质地貌背景和长江河谷发育史密切相关。上陡下缓的扉形向斜谷，下部岩层缓倾，组成了整个坡体的水平抗阻段，有利于高陡岸坡的稳定，为宝塔特大

型滑坡孕育提供了充足的时间因素。晚更新世末至全新世初，强烈的新构造活动，使长江不断深切（一级阶地侵蚀期），谷底水平抗阻段不断削弱，最终导致了宝塔滑坡的发生。

1982年鸡扒子滑坡的复活，仅仅是宝塔滑坡的一少部分。滑体总量2000万立方米（图1—28）。这次古滑坡的部分复活（鸡扒子），依附于古滑移面向前推移（图1—29），就其

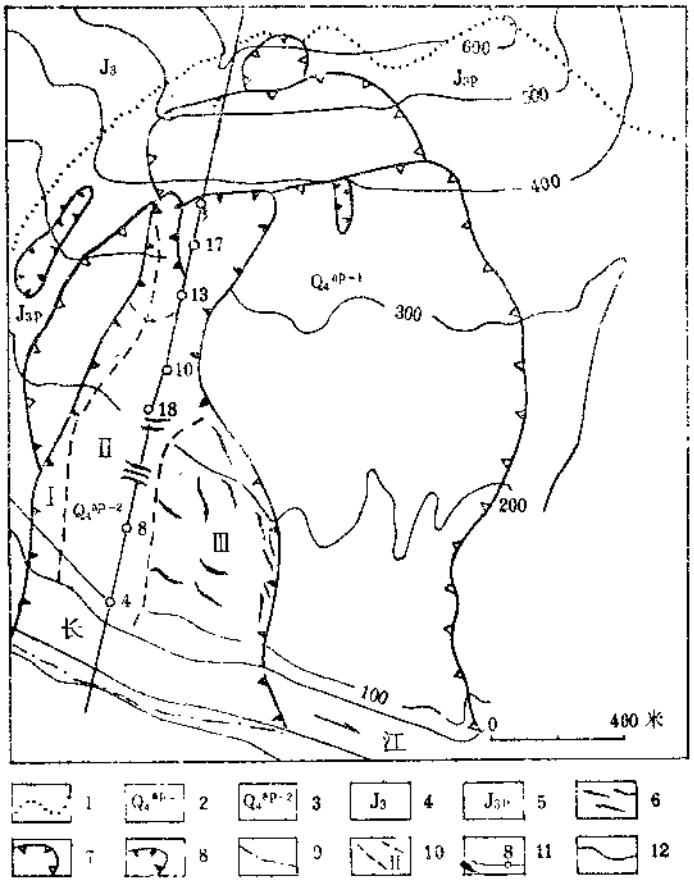



图1—28 鸡扒子滑坡平面

1．地层界线；2．古滑坎堆积；3．古滑坡复活堆积；4．遂宁组；5．蓬莱镇组；6．地裂缝；7．古滑坡边界；8．复活体边界；9．古滑坡复活体前锋线；10．复活体分区界线及编号；11．占孔编号及剖面线；12．地形等高线

发展演化过程来看，大体经历了以下几个阶段：①前期缓慢变形阶段，这一阶段自古滑移面形成之后，古滑坡堆积物前缘不断遭受长江洪水的旁蚀，对滑坡前缘的不断减载，使现今鸡扒子一带的古滑坡体追踪古滑移面进行由前至后的扩张，以致石板沟上游一带，曾出现局部垮塌和拉裂（据当地居民介绍），但就整个宝塔古滑体来说是相对稳定的。②剧烈变形阶段：自1982年7月17日凌晨4时—18日2时，海拔250米左右因暴雨促使崩塌，石板沟被堵，大量水体横向贯入桐子林以下的古滑体内，并在海拔200米左右的坡体中见到地下水涌出地表，水头高达3—4米。整个鸡扒子一带，从第一阶段的由前至后的滑面发展，突然转为由后至前的扩张，坡体中上部普遍出现岩块松动拉裂，逐渐向前推移。③整体快速滑移阶段：7月18日2时15分至18日3时滑体由坡体中上部，紧接着第二阶段的缓慢启动，逐渐加速发展向

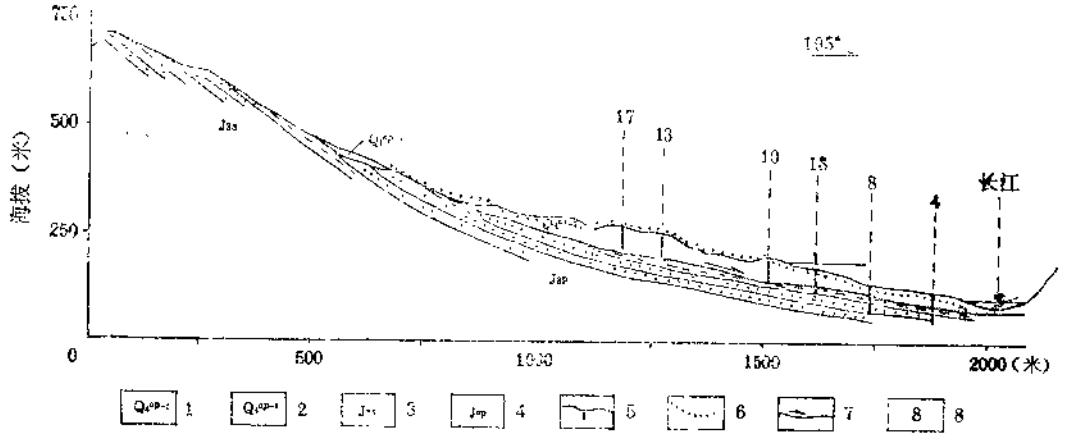



图1—29 鸡扒子滑坡剖面

1．古滑坡残留体；2．复活体；3．遂宁组；4．蓬莱镇组；5．复活后的地面线；6．复活前的地面线；7．钻孔及移动方向；8．古孔及编号

前推移。滑坡在运动过程中，因各部位含水量的不同，滑速各异，使得复活体横向上解为三区，西侧滑体含水量高，发展呈塑流型滑坡。据地物滑移前后的相对位置对比，滑程约200米；中部整体滑移区，主要驱动力来自坡体中上部的孔隙水压力，推动各级古滑体向前滑移。如果以剧烈滑动之后，滑舌进入长江为整体滑移的开始（18日2时15分），又以滑体前部冷冻厂滑入长江（18日3时）为整体滑移时间，滑程为190余米，初步估算平均滑速为4.2米/分。滑坡东侧含水量低，属大范围的扰动滑移区，它是在中部滑体启动后才出现的，愈接近东侧边界，滑坡运动速度愈慢。

### （三）兴隆滩滑坡

兴隆滩滑坡是1896年发生的一起基岩顺层滑坡。它位于云阳县城上游20公里的长江左岸。滑坡区地层为侏罗系上沙溪庙组（$J_2^2s$）厚层砂岩夹泥岩，岩层倾向南东，倾角上陡下缓，分别为21°、15°。整个层面似弧形。滑坡发生前的地面天然平均坡度16°左右（图1—30）。

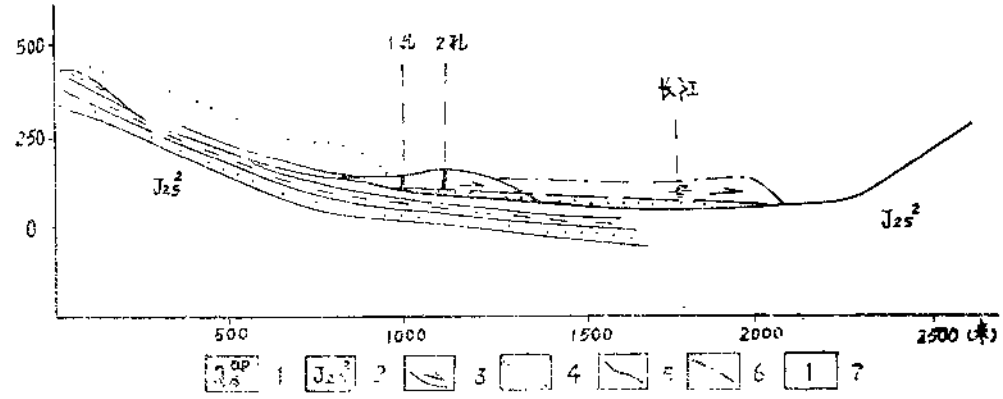



图1—30 兴隆滩滑坡剖面

1．古滑坡体；2．侏罗系中统；3．滑面及滑动方向；4．推测原始地面线；5．现今地面线；6．推测滑坡堵江线；7．古孔及编号

注：图1—28、1—29系根据前江地质队资料修改而成。

兴隆滩滑坡附近，构造上属故陵向斜的转折端。区域性的节理裂隙以北北西、北东东两组最发育，两组裂隙互相切割，控制了滑坡两侧和后缘边界。据现场考察，滑坡主滑方向为南东130°，与岩层倾向一致。滑体的绝大部已脱离滑床，残留体的尾部置于河漫滩阶地之上。据$Zk^1$钻孔揭露表层22.49米为滑体（砂岩块），其下为河漫滩阶地粉细砂。现今信号台至江边一带，可见到原始结构保存尚好的滑体碎裂岩。据现今残留的滑体和基岩滑床，该滑体总量4500万立方米。据滑面剪出口至长江河道中的石梁位置测得滑坡滑程约500米。

这次历史上大规模的基岩顺层滑坡，是以侏罗系蓬莱镇组厚层砂岩为滑体，以下覆泥岩软弱层面为滑床的一次整体滑动，滑面依附上陡下缓的弧形层面。其滑动机制与宝塔滑坡类似，不同的是长江水域更接近褶形向斜翼部。这就使得兴隆滩滑坡的水平抗阻段远小于宝塔滑坡，因面滑坡在运动过程中阻力不大。反映在运动特征上是滑速快、滑程远、滑体的绝大部分脱离滑床。

## 三、直线形滑面的挤压--扩张--平推式滑坡

这类滑坡在库区西段分布极为普遍，多发生在缓倾角的谷坡。它们共同的特点是滑面为一缓倾斜的直线，滑速低、滑体规模不大。滑坡起始于坡体中上部的地裂缝，经挤压扩张（水压），缓慢向前蠕动。暴雨洪水之后，滑速减缓迅速终止，滑体后部形成梯形或矩形的扩张凹槽。如奉节的罗家沱滑坡，万县小周溪滑坡，重庆镇江寺滑坡等，实例如下：

### （一）罗家沱滑坡

罗家沱滑坡位于奉节县以上17公里的长江南岸。为一基岩顺层滑坡，滑体约70万立方米。

滑坡区地质构造上属古陵向斜东段翘起端。地层为三叠系须家河组（$T_3$ Jx）厚层长石石英砂岩，下卧灰绿色粘土岩。基岩倾向北东50°，倾角10°，地貌上显示出单面山。

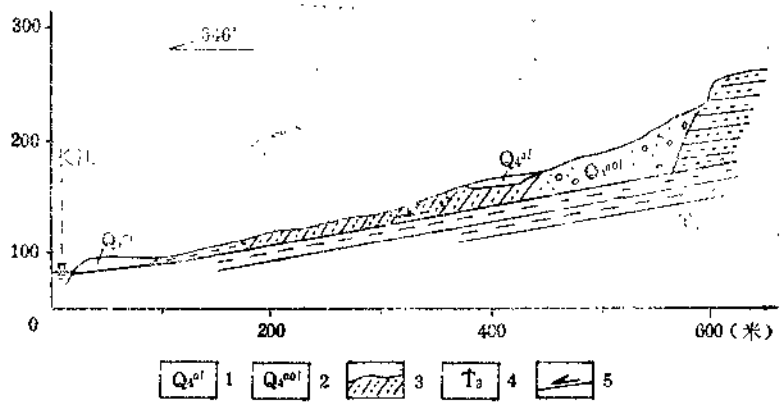



图1—31 罗家沱滑坡剖面

1．冲积层；2．崩动层；3．基岩滑体；4．滑面及滑动方向

该滑坡是以厚达80余米的砂岩为滑体，以下卧的粘土岩为滑床的基岩顺层滑坡。据现场考察，滑床上擦痕明显、滑坡堆积物（整体基岩）残留在近江边一带的岸坡上，后缘拉裂壁高达80余米。残留体与后缘拉裂壁之间形成的深槽似鄂形，其间被后期崩塌物所填（图1—31）据残存滑体与后缘拉裂的位置，测得滑程130米。据残留体之上，覆盖连续的江北砾石层判定，该滑坡发生于晚更新世末期至全新世初期。

## （二）小周溪滑坡

该滑坡位于万县东22公里的长江北岸，构造上属于黄柏溪向斜之西北翼。地层为侏罗系上统遂宁组（$T_3s$），岩性为紫红色钙质粉砂岩、粉砂质泥岩，岩层倾向北西310°，倾角6°—10°，区域性的节理裂隙以北东40－60°一组最为发育。

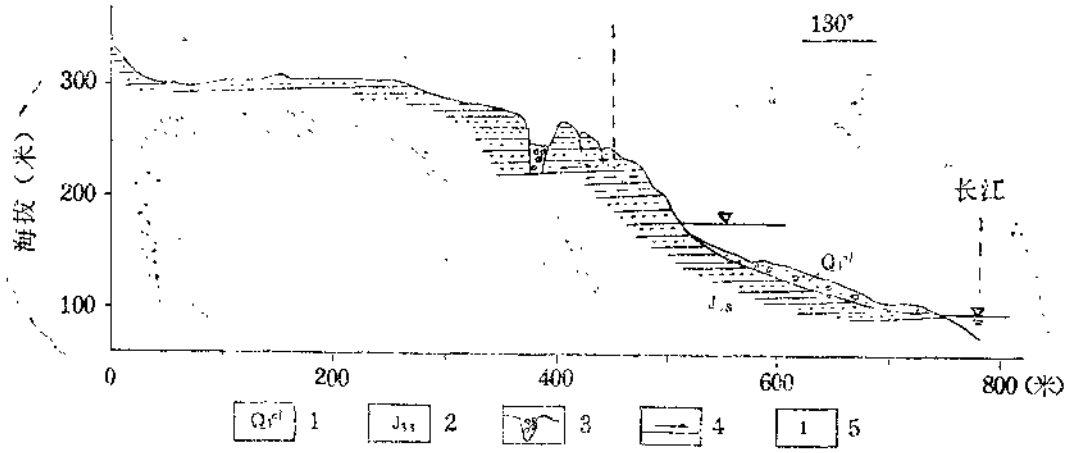



图1—32 小周溪滑坡剖面

1．冲积层；2．遂宁组；3．地裂缝；4．滑面及滑动方向；5．古孔及编号

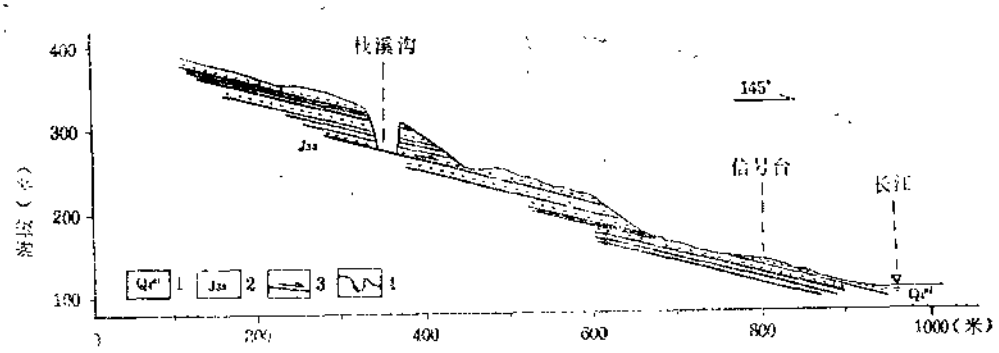



图1—33 栈溪沟滑坡剖面

1．冲积层；2．遂宁组；3．滑面及滑动方向；4裂缝

1982年7月16日—18日，川东地区普降暴雨，小周溪后山海拔283米左右出现沿北东60度走向的地裂缝。据小周乡负责人骆同志介绍，地裂缝出现在早晨8时，开始见裂缝被水充满后逐渐扩大，11户41间房屋陷入裂缝中，至上午10点，历时两小时，暴雨结束，滑坡活动减弱，逐渐休止。我们实测地裂缝长500米，宽25米，深25—30米，滑坡垂直位移量不大，水平位移约30米，前缘剪出口在海拔240米左右（图1—32）

据近几年观察资料，除前缘崩塌体还在继续下落外，整个滑坡已停止活动。这类滑坡产生的原因，主要是暴雨沿裂隙深入岩体内部，由强大的瞬时水压，促使岩体沿泥岩软弱层面向前滑移，降水结束，水压削弱，滑坡活动就终止。像这类滑坡在下游10公里的栈溪沟滑坡亦属此类型（图1—33）。

栈溪沟滑坡，据访查，迄今已100多年了，近期没有活动迹象。

### （三）重庆市镇江寺滑坡

镇江寺滑坡位于长江与嘉陵江的汇合口附近。滑坡地区地层为侏罗系中统（$J_2s$）沙溪庙组，由砂泥岩互层组成，岩层倾向北西330°，倾角5°—10°。该滑坡系历史古滑坡。1981年特大洪水消落之后，滑坡开始复活，滑体上居民集中区的房普遍变位倾斜，有50户近2000人，受滑坡复活的威胁。（图1—34）

现将库岸典型滑坡发育阶段列表（1—26）于下：

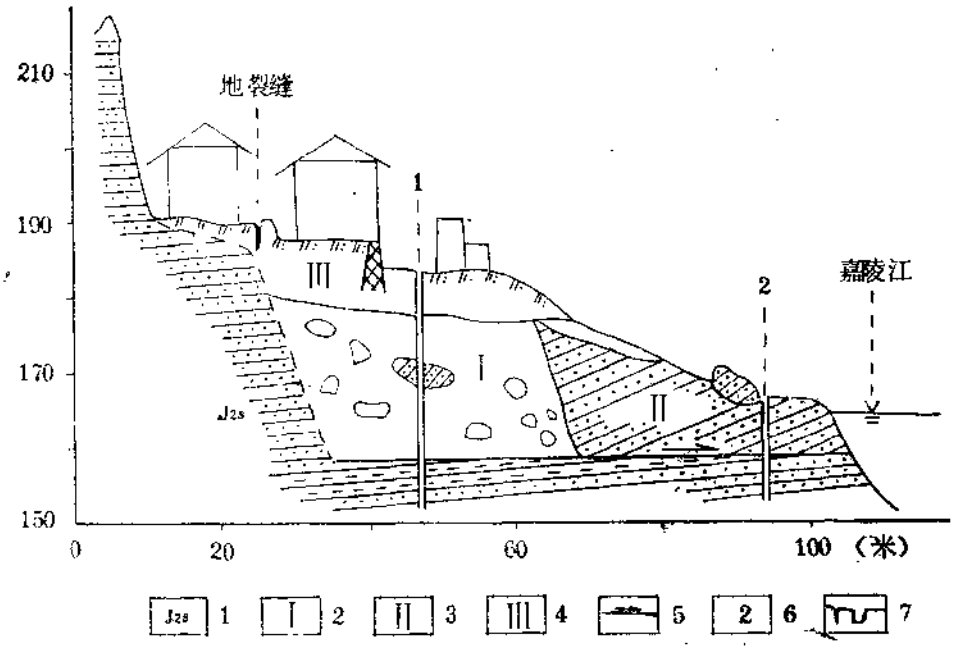



图1—34 镇江寺滑坡剖面

1．侏罗系中统；2．崩积层；3基岩滑体；4弃土；5．滑面及滑动方向；6．占孔及编号；7．裂缝

典型滑坡发育阶段统计表 （表1—26）

| 滑坡名称 | 变形阶段 | 变形特征 | 变形起止时间 | 变形累计时间 |
|---|---|---|---|---|
| 新滩滑坡 | 缓慢变形阶段 | 1958，1964、1977、1982年、局部垮塌、掉块、地裂缝出现、 | 1935—1983年 | 48年 |
| | 变形加剧阶段 | 裂缝扩大、加深、岩块翻滚、地下水喷射、 | 1983年6月—1985年6月 | 2年 |
| | 整体滑移阶段 | 地声增大，建筑群破坏，地表出现隆陷相间、 | 1983年6月12日3点45分—4点10分 | 25分钟 |
| 马家坝滑坡 | 缓慢变形阶段 | 古滑坡前部出现局部复活、 | 1975—1986年 | 11年 |
| | 后部快速崩塌阶段 | 古滑坡后部快速崩塌 | 1986年7月16日7点30分—8点30分 | 1小时 |
| | 缓慢滑移阶段 | 地表裂缝扩大逐级向前推移 | 1986年7月16日8点30分—14点 | 5小时30分 |
| | 滑移调整阶段 | 滑体运动时快时慢趋向稳定。 | 1986年7月16日14点—7月25日 | 2000小时 |
| 鸡扒子滑坡 | 缓慢滑移阶段 | 洪水旁蚀古滑坡前部 | 1986年以前 | |
| | 剧烈变形阶段 | 古滑体普遍松动位移 | 1982年7月17日4时—18日2时 | 22小时 |
| | 整体滑移阶段 | 坡体快速滑移分解 | 1982年7月18日2点15分—18日3点 | 45分 |

# 三峡库区滑坡崩塌危险地带预测*

三峡工程150米水位库长500多公里，180米水位库长600多公里。沿岸座落有秭归、巴东、巫山、奉节、云阳、万县、忠县、丰都、涪陵、长寿、重庆等十余个城市。人口稠密，民用建筑和工业交通设施较多。同时，川江航道又是将西南同华中、华东地区联结起来的重要水路要道。水库按150米或180米蓄水之后，水深增加50至100米，在长江河谷两岸形成1000多公里的岸岸线。新形成的库岸稳定性如何，哪些库岸容易出现滑坡？危险性有多大？这对于三峡枢纽工程、城镇迁建、沿岸居民生命财产的安全都有重要意义，因此有必要对沿岸的危险性进行预测。

## 一、预测的原理和方法

预测的方法采取滑坡的成因分析和环境条件类比法。其原理是类似的环境条件可以产生类似的滑坡。当然这里讲的环境是指地质地貌环境。包括固有的基本条件和可变的因素。固有的条件主要是地层岩性。不连续结构面及斜坡要素。可变的因素主要是指降雨，水位变动，库水的浸泡软化、地震等；在预测时还遵循地质历史规律，长江河谷现有滑坡、崩塌的分布和发育规律，包括滑坡发展过程中的时空序列，滑坡的多期性和继承性等。

## 二、滑坡和崩塌危险地带的划分

用综合统计分析，将主要的环境条件叠加，再结合触发滑坡的可变因素的影响。对库岸进行综合评价。根据滑坡、崩塌危险的不同，将水库蓄水之后形成的库岸分成四级。A级为基本上无滑坡、崩塌危险地带；B级为滑坡、崩塌危险较轻的地带；C级为滑坡、崩塌危险严重的地带；D级为滑坡、崩塌危险最严重的地带。各级地带的主要特征和分布如下：

人：李天池、 新民、李 卿（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

（一）基本上无滑坡和崩塌危险的地带

该级库岸的主要环境条件的特点是

1．由结晶岩类岩石组成的缓坡库岸；

2．由不夹软弱夹层（煤层和粘土页岩等）的灰岩组成的陡立岸坡，其坡度一般在40°以上；

3．由软硬相间的层状碎屑岩类组成的纵向河谷的逆向坡库岸，以层面为主的不连续结构面倾向坡内。岸坡的坡度在35°—45°左右。

4．由软硬相间的层状碎屑岩组成的横向或斜向谷的岸坡。

5．从地质历史的观点看，过去没有发生较大的滑坡和崩塌。

三斗坪至庙河之间两侧库岸，皆为结晶岩组成。岩体单一，无较大的不连续结构面。两岸谷坡平缓。一般在15°—30°之间；奉节县同乐桥至云阳县凤花岩之间由层状碎屑岩组成的纵向河谷的逆向坡，以层面为主的不连续结构面向谷坡内部倾斜。奉节县瞿塘峡、秭归县金盔银甲峡、兵书宝剑峡西段等陡立库岸段，为基本上无软弱夹层的灰岩组成。两岸陡立达70°以上。这些库岸段不致因水库蓄水后环境条件的改变而产生较大的滑坡和崩塌，不会产生滑坡的危害。在左岸该类坡有5段，长189公里；右岸有7段，长239公里。两岸合计此类库岸总长达428公里。表（表1—27）

基本上无滑坡和崩塌危险的地带　　表（1—27）

左岸

| 序号 | 库岸区间 | 距坝里程（公里） | 段长（公里） |
|---|---|---|---|
| A—1 | 三斗坪——庙河 | 0——16.0 | 16 |
| A—2 | 新滩西——香溪河口 | 28.0——31.0 | 3 |
| A—3 | 铁滩——白帝城 | 151.0——158.0 | 7 |
| A—4 | 同乐桥——凤花岩 | 177.0——222.0 | 45 |
| A—5 | 白岩寺——磁窑沟口 | 482.0——600.0 | 118 |

右岸

| 序号 | 库岸区间 | 距坝里程（公里） | 段长（公里） |
|---|---|---|---|
| A—1 | 三斗坪——上易家湾 | 0——16.0 | 16 |
| A—2 | 核桃背——西陵峡进口 | 28.0——31.5 | 3.5 |
| A—3 | 大溪——风牛石 | 151.0——158.0 | 7 |
| A—4 | 王家码头——老泡子 | 213.0——268.0 | 55 |
| A—5 | 四家河——鸡扒沟 | 340.5——389.0 | 48.5 |
| A—6 | 沿坡——澳门口 | 482.0——518.0 | 36 |
| A—7 | 背岩——长江与支流香溪汇合处 | 527.0——600.0 | 73 |

（二）滑坡和崩塌危险较轻的地带

此类库岸段在水库两岸也比较多，其主要的环境条件是：

1．由软硬相间的层状碎屑岩或碳酸盐类岩石组成的纵向河谷的逆向坡段或斜向坡段。不连续结构面向岸坡内部倾斜或与它斜交，或者各种不连续结构面近于水平。

2．岸坡岩体中与河谷平行的纵向裂缝和X型节理比较发育。

3．岸坡坡度在25°—45°左右，在基岩顶面之上局部有不厚的滑坡、崩塌堆积物。

4．从地质历史的观点看。岸坡上过去没有发生过大的滑坡和崩塌；或者曾发生过较大的滑坡和崩塌，但其堆积物已残存不多，滑坡形态也不明显，或者老滑坡的前缘高出库水位或者大部分在库水位以下。

**滑坡和崩塌危险较轻的地带** 表（1—28）

水 库 左 岸

| 序 号 | 库 岸 区 间 | 距坝里程（公里） | 段长（公里） |
|---|---|---|---|
| B—1 | 香 溪——王家祠堂 | 31.0——44.0 | 13 |
| B—2 | 东襄口——官渡口 | 69.0——79.0 | 9.5 |
| B—3 | 黑石子——何家湾 | 87.0——114.0 | 27 |
| B—4 | 横石溪——大宁河口 | 116.0——125.0 | 9 |
| B—5 | 大宁河口——林家湾 | 125.0——137.0 | 12 |
| B—6 | 兴隆滩——太公沱 | 242.0——251.5 | 9.5 |
| B—7 | 乌马桥——白岩寺 | 285.0——482.0 | 197 |

水 库 右 岸

| 序 号 | 库 岸 区 间 | 距坝里程（公里） | 段长（公里） |
|---|---|---|---|
| B—1 | 范家坪——长渡河 | 58.0——79.0 | 21 |
| B—2 | 楠木园——老鼠错 | 87.0——114.0 | 27 |
| B—3 | 跳 石——三堆石 | 119.5——128.0 | 8.5 |
| B—4 | 刘家屋场——大溪 | 147.0——151.0 | 4 |
| B—5 | 固牛石——羊安渡 | 158.0——163.0 | 5 |
| B—6 | 老院子——土地梁 | 268.0——309.5 | 41.5 |
| B—7 | 范家河——大溪边 | 409.5——432.0 | 22.5 |
| B—8 | 潜冒石——涪陵 | 442.0——482.0 | 40 |
| B—9 | 铁门口——槽房 | 518.0——527.0 | 9 |

预侧该类岸坡在回水后可能会产生小的滑坡，但危险性不大。在左岸此类岸坡有7段，长277公里；在右岸有9段，长178.5公里。两岸总计长455.5公里（表1—28）

### （三）滑坡和崩塌危险严重的地带

凡具有下述地质地貌环境条件的库岸地带，我们都列为有滑坡和崩塌危险的地带。

1．库岸由软硬相间的层状碎屑岩类岩石组成，岸坡上都是坚硬的砂岩，下部是较软的粘土岩。

2．岸坡中的各种不连续结构面倾向长江河谷或斜交。

3．岸坡具有下缓（20°—30°）上陡（>45°）的台阶状地形。在灰岩组成的峡谷地区，谷坡高度700米以上。在碎屑岩构成的宽谷地带，坡高400—500米。

4．岸坡过去曾发生过较大的滑坡和崩塌。现在这些滑坡和崩塌堆积物虽然稳定，但滑坡、崩塌堆积物前缘较陡，堆积物的剖面重心位置较高，前后缘高差较大。

这类库坡中比较有代表性的地段为野猫面附近由灰岩组成的岸坡，夹有泥灰岩的软弱夹层。坡形上陡下缓，不连续结构面向外倾斜，蓄水后可能会产生崩塌。奉节城西至三磴子一段，岸坡由三叠系巴东组紫红色粘土岩、砂岩和泥灰岩组成，岩体较破碎，不连续结构面倾向长江河谷或与河谷斜交。一些老滑坡前部较稳定。但后部变形明显。因此预测蓄水后老滑坡局部复活，也可能会产生新的岩石滑坡。

万县市区沿苧溪河两岸，在长4公里的地带滑坡成群分布。有些滑坡现在稳定性较好，如高笋塘滑坡。有些滑坡如易家湾、草街子、沙河镇中学等现在就不稳定，预测蓄水后会出现大量的滑坡和库岸的严重变形，危及未搬迁的建筑物和居民的安全，应引起高度重视。此类库岸在左岸有5段，长85公里，在右岸有6段，长116公里，两岸估计201公里(表1—29)。

### （四）滑坡和崩塌危险最严重的地带

具有下述地质地貌环境条件的地带，列为滑坡和崩塌危险最严重的地带。

1．岸坡由夹有煤层的碳酸盐岩类组成，或下部出露有粘土页岩等软弱岩层。具有上硬下软的岩性组合。如兵书宝剑峡的新滩链子崖地段，巫峡的火焰石—左右沱、向家湾跳石等地段。

2．由层状碎屑岩类组成的岸坡，其上部是厚层砂岩，下部为粘土页岩或泥灰岩，岸坡基岩面上有较厚的老的崩塌滑坡堆积物。如巴东的大坪、黄腊石等地段。

3．岸坡中的软弱夹层和以层面为主的各种不连续结构面倾向河谷，组成对滑坡发育十分有利的上陡（>40°）下缓（10°—25°）的空间结合。如云阳故陵镇附近及云阳宝塔—旧县坪一带，岸坡上部岩层倾角40度以上，下部岩层倾角10°—20°，成弧状的空间组合，大型滑坡集中发育，一些未发生滑坡的地段也具有类似的结构，是潜在滑坡的部位。

4．岸坡的坡度在10°—30°之间，大于不连续结构面的倾角。不连续结构面的倾斜系数在0.25米至0.85米。

5．以大型滑坡和崩塌堆积物组成的库岸段，特别是那些滑坡崩塌的地貌形态明显，重心位置较高，蓄水之后淹没三分之一以上的滑坡体的地方危险性更大，此类库岸在左岸有5段，长49公里。在右岸有6段，长66.5公里，两岸总计长113.5公里（表1—30）。

**滑坡和崩塌危险严重的地带** 表(1—29)

| 水库左岸 | | | |
|---|---|---|---|
| 序号 | 库岸区间 | 距坝里程(公里) | 段长(公里) |
| C—1 | 庙河——龙江 | 16.0——26.0 | 10 |
| C—2 | 王家祠堂——牛口镇 | 44.0——58.0 | 14 |
| C—3 | 官渡口——黑石子 | 79.0——87.0 | 8 |
| C—4 | 白帝城——同乐桥 | 158.0——177.5 | 19.5 |
| C—5 | 太松沱——乌马桥 | 251.5——285.0 | 33.5 |

| 水库右岸 | | | |
|---|---|---|---|
| 序号 | 库岸区间 | 距坝里程(公里) | 段长(公里) |
| C—1 | 上易家湾——上孝 | 16.0——26.0 | 10 |
| C—2 | 西陵峡进口——沙镇溪 | 31.5——46.0 | 14.5 |
| C—3 | 邓家码头——王家码头 | 183.0——213.0 | 30 |
| C—4 | 土地溪——欧家河 | 309.5——340.5 | 31 |
| C—5 | 鱼洞溪——范家河 | 389.0——409.5 | 20.5 |
| C—6 | 大溪边——浩霄石 | 432.0——442.0 | 10 |

**滑坡和崩塌危险最严重的地** 表(1—30)

| 水库左岸 | | | |
|---|---|---|---|
| 序号 | 库岸区间 | 距坝里程(公里) | 段长(公里) |
| D—1 | 龙江——新滩西 | 26.0——28.0 | 2 |
| D—2 | 牛口——东襄口 | 58.0——69.5 | 11.5 |
| D—3 | 何家湾——横石溪 | 114.0——116.0 | 2 |
| D—4 | 林家湾——铁滩 | 127.0——242.0 | 14.0 |
| D—5 | 叫花岩——兴隆滩 | 222.5——242.0 | 19.5 |

综合上述的材料，可以看出在三峡工程蓄水之后从坝址至重庆之间形成的水库库岸中，基本上以没有滑坡崩塌危险和危险较轻的地带最长。两岸总计883.5公里。占水库库岸长的73.3%；滑坡和崩塌危险严重和最严重的地带较短，两岸总计长316.5公里，占总库岸长的26.7%(见表1—30和图1—35)

| 水库右岸 | | | |
|---|---|---|---|
| 序号 | 库岸区间 | 距坝里程（公里） | 段长（公里） |
| D—1 | 上孝——核桃背 | 26.0——28.0 | 2 |
| D—2 | 沙镇溪——范家坪 | 46.0——58.0 | 12.0 |
| D—3 | 长渡河——楠木园 | 79.0——87.0 | 8.0 |
| D—4 | 老鼠错——跳石 | 114.0——119.5 | 5.5 |
| D—5 | 三堆石——刘家屋场 | 128.0——147.0 | 19.0 |
| D—6 | 羊渡溪——邓家码头 | 163.0——183.0 | 20.0 |

**库岸滑坡和崩塌各级危险地带长度表** 表（1—31）

| 库岸类别 / 库岸长和百分比 / 危险程度 | 左库岸 | | 右库岸 | | 总计 | 百分比 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 段长（公里） | 百分比（1） | 段长（公里） | 百分比（2） | | |
| 基本上无滑坡和崩塌危险的地带 | 189 | 31.5 | 239 | 39.83 | 428 | 35.67 |
| 滑坡和崩塌危险较轻的地带 | 277 | 46.17 | 178.5 | 29.75 | 455.5 | 37.90 |
| 滑坡和崩塌严重的地带 | 85 | 14.17 | 116 | 19.33 | 201 | 16.75 |
| 滑坡和崩塌最严重的地带 | 49 | 8.16 | 66.5 | 11.08 | 115.5 | 9.62 |

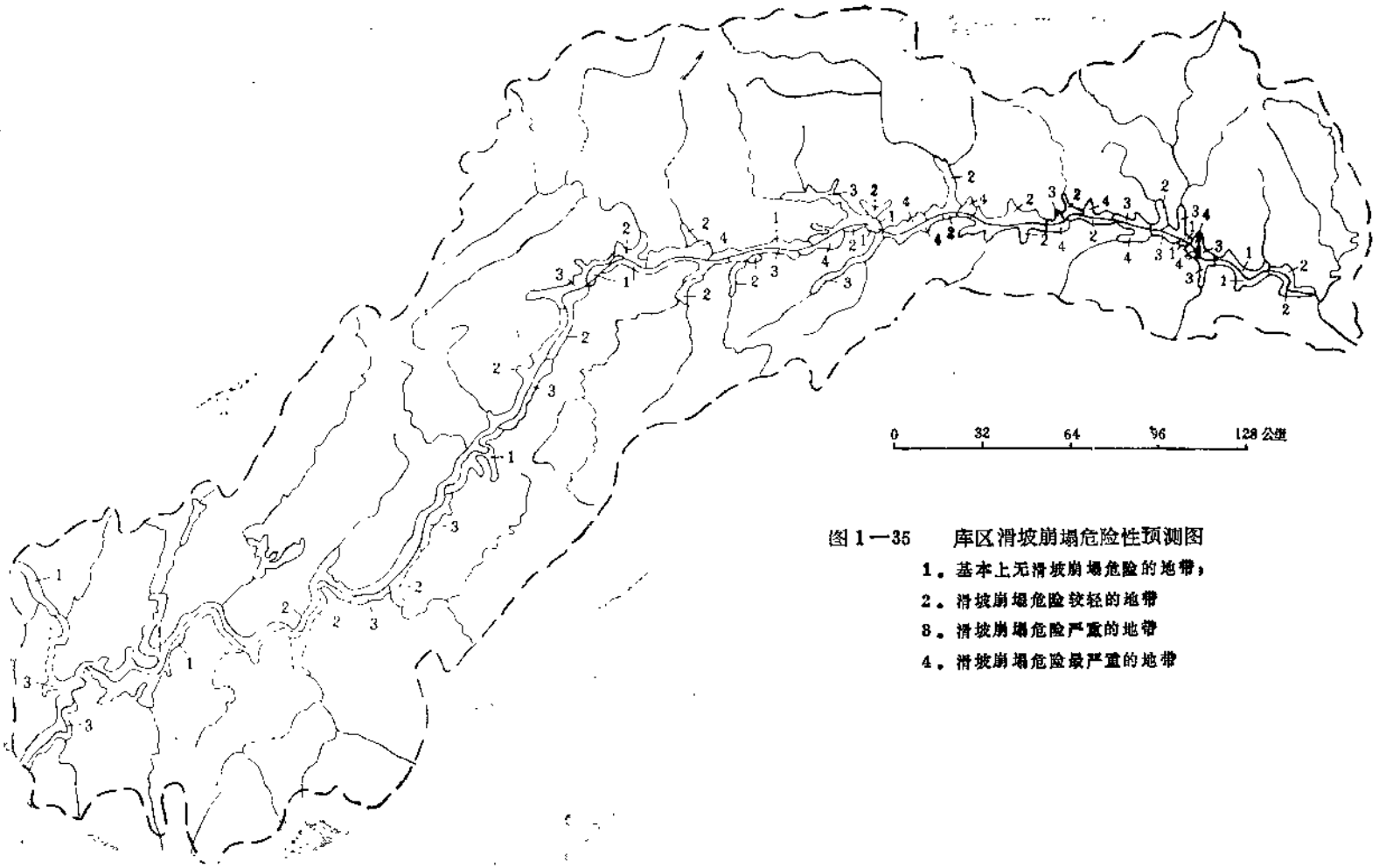



图 1—35　库区滑坡崩塌危险性预测图

1．基本上无滑坡崩塌危险的地带；

2．滑坡崩塌危险较轻的地带

3．滑坡崩塌危险严重的地带

4．滑坡崩塌危险最严重的地带

# 三峡库区滑坡崩塌产生的环境效应分析*

滑坡和崩塌是河谷中一种常见的地质地貌现象。虽然它们不因是否兴建三峡工程而发生或者消亡，但兴建大型工程所造成的环境条件的改变则可能促进它们的发生或发展，从而对三峡工程和环境带来一定影响。这种影响可能是全局、局部或地区性的。

## 一、滑坡崩塌对三峡水库枢纽工程建筑物的影响

经多次调查证明，三斗坪坝址至庙河之间16公里范围内，是由结晶岩石组成的低山丘陵宽谷河段，两岸无大的滑坡和崩塌。

因此不存在滑坡和崩塌直接危及三峡工程大坝等建筑物的安全问题，从这方面看不存在全局性的影响。

1985年6月12日姜家坡—新滩发生了约3000万立方米的大滑坡，其前部200多万立方米的土石滑入江中，激起54米高的涌浪，在其下游27公里的三斗坪坝址附近涌浪高达1米。该滑坡现在虽然已稳定，但只是暂时的相对的稳定，因为滑坡体的重心在滑动后降低不大，位能释放得不多。在暴雨或长期绵雨的激发之下，不仅存在着继续滑动的可能，也可能形成泥石流。现在计算出的下滑速度是每秒10米，在三斗坪附近涌浪高1米，如果滑速更大，入江土石更多，则滑坡涌浪会更高。

与新滩滑坡隔江对峙的链子崖危岩体崩滑入江形成的涌浪是对围堰施工的另一主要威胁。这一带是天然构造地震和水库诱发地震均可能出现的地段，在九湾溪和仙女山断裂的中段发生5.5级地震时新滩滑坡会复活，链子崖可能产生大崩塌。同时又是鄂西暴雨区，如遇到1935年的暴雨和5.5级以上地震相叠加的情况，将可能出现更大规模的滑坡和崩塌。由于其地形比姜家坡—新滩地段更陡，所以其崩滑入江的速度必然会更快，涌浪会更快，因此对大坝的安全不可忽视。尤其需要指出的是，三峡施工期长，围堰库容接近100亿立方米，坝下游有葛州坝、宜昌、沙市、荆江大堤等重要工程和城市，若在施工期发生滑坡和崩塌的极端情况，围堰是否会漫顶，这种危险性必须给予高度重视，一定要保证万无一失。现在的滑坡崩塌涌浪的试验与计算的结果和1985年6月姜家坡—新滩滑坡造成的涌浪相距甚大（表

*执笔人：李天池、王少东（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

1—32）。由表可以看出，虽然涌浪的高度在三斗坪附近接近一致，但入江土石量和入江的速度比1985年新滩滑坡的滑入土石量和入江速度都大几倍，因此应继续做深入细致的研究工作。

## 二、对航运的影响

据调查在库区内现在长江的一些碍航的急流险滩是早期滑坡形成的。现在迹象比较清楚的是云阳兴隆滩、云阳旧县的端公滩、罗家湾的庙基子滩、刘家层场油榨滩、范家坪滑坡附近的牛口滩和八斗滩等等。在历史上滑坡堵江成滩，影响航运的事也屡见不鲜（表1—33）。云阳鸡扒子滑坡180万立方米的土石滑入长江和秭归县新滩滑坡200多万立方米的土石滑入长江都能造成碍航的事例说明，象长江这样一条大江，滑坡阻碍航运也不是十分困难的事。但新滩滑的事例也说明，若不是葛州坝水库使新滩附近的水位由原来的50米提高到65米左右的话，要想在枯水位时继续通航恐怕也是不可能的。可见水库蓄水水位提高对航运有利。从表（1—34）枯水位（当地零水位）和150米水位时滑坡崩塌入江碍航对比中可以看出，在新滩附近，200万立方米的土石滑入长江，就基本上可以淤满枯水期的河床。而在150米水位时，需要1629万立方米的土石滑入长江河谷才能得到同样的效果。在黄腊石滑坡处枯水期水下断面0.78万平方米。以入江宽度500米计算，103万立方米的土石滑入江中，可以基本上淤

滑坡涌浪试验和计算成果与1985年6月滑坡涌浪对比表　　表（1—32）

| 滑坡涌浪 | 组次 | 试验条件：水位（米） | 滑体入江方量（万立方米） | 入江速度（米/秒） | 坝址下泄流量（万立方米/秒） | 滑坡处涌浪 | 三斗坪浪高（米） | 资料来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 试验成果 | 1 | 150 | 1600 | 41.4 | 3 | | 0.63 | 长科院水工室试验报告 |
| | 2 | 150 | 500<br>1600 | 64.5 | 3 | | 0.5<br>1.0 | |
| | 3 | 130 | 500<br>1600 | 67.5 | 3 | | 0.75<br>1.50 | |
| | 4 | 75 | 500<br>1600 | 72.4 | 1.6 | | 0.75<br>1.38 | |
| 涌浪计算成果 | | 125<br>150 | 1600<br>500 | 100<br>35 | | 115<br>86 | 1—1.5<br><1.2 | 长科院水工室 |
| 1985年新滩滑坡涌浪 | | 65± | 200 | 10 | | 54 | ① | 实地调查 |

满河床，造成断航；在150米水位时，水下断面4.75万平方米，需1407万立方米的土石滑入长江才会影响航运。据统计，在宽缓岸坡入江量占总体积的$\frac{1}{10}$—$\frac{1}{14}$，在陡坡地带占$\frac{1}{5}$—$\frac{1}{6}$。按此数字计算，在150米水位时，现有大型滑坡蓄水后复活滑入长江，将不会对航运带来严重的影响；在180米水位时，滑坡入江就更不会对航运产生严重的影响。

**滑坡崩塌堵塞长江河谷和航运受阻年表** 表（1-33）

| 年代（公元） | 地点 | 滑入方量（万立方米） | 河谷堵塞和航运受阻情况 |
|---|---|---|---|
| 100年 | 新滩一带 | 不详 | 不详 |
| 377年 | 新滩一带 | 2600* | 水逆流百余里，涌起数十丈，估计滑坡堆积坝在百米左右 |
| 1029年 | 新滩一带 | 1500* | 塞江不流，30里河段不能通航，影响航运22年 |
| 1542年 | 新滩一带 | 860* | 阻塞长江2旦，影响航运82年 |
| 1896年 | 兴隆滩 | 600* | 形成险滩，影响航运近10年 |
| 1982年 | 鸡扒子 | 18万 | 形成险滩，设交滩居劫航 |
| 1985年6月 | 新滩 | 2×万 | 在天然河道情况下断航，巴东水电站坝高水位十余米，故没有大的阻航 |

*—为估算数字

## 三、滑坡崩塌对库容的影响

三峡工程150方案，正常蓄水位150米以下库容196.9亿立方米，死库容（130米以下）枯水位和150米水位滑坡入江阻碍航行对比表 表（1—34）

| 滑坡或崩塌出现的地点 | 入江方式 | 入江速度 | 入江长度（米） | 枯水位（当地零水位） | | 150米水位 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 水下断面（万平方米） | 阻塞碍航滑入土石方（万立方米） | 水下断面（万平方米） | 阻塞碍航滑入土石方（万立方米） |
| 新滩 | 滑入 | 中速 | 500.0 | 0.40 | 200.0 | 10.80 | 1629.0 |
| 链子崖 | 崩入 | 快速 | 200.0 | 0.85 | 76.0 | 4.40 | 610.0 |
| 黄蜡石 | 滑入 | 中快速 | 500.0 | 0.78 | 103.0 | 4.75 | 1407.0 |
| 火焰石 | 滑入 | 快速 | 300.0 | 0.82 | 112.0 | 4.73 | 1220.0 |
| 白焕坪 | 滑入 | 慢速 | 600.0 | 0.57 | 150.0 | 3.30 | 1044.0 |
| 罗家湾 | 滑入 | 慢速 | 700.0 | 0.24 | 240.0 | 2.15 | 1729.0 |
| 宝塔 | 滑入 | 慢速 | 500.0 | 0.43 | 266.0 | 3.11 | 2120.0 |
| 兴隆滩东 | 滑入 | 慢速 | 600.0 | 1.94 | 600.0 | 8.66 | 2460.0 |
| 后槽 | 滑入 | 慢速 | 800.0 | 0.37 | 420.10 | 2.50 | 1424.0 |

注：表中除新滩滑坡外，其余阻塞碍航滑入土石方量均为估算数字。

103.3亿立方米。按150米方案，三斗坪至长寿之间有滑坡、崩塌196个，总体积约13.5亿立方米。照最不利情况设想，即使现有的滑坡和崩塌体全部滑入江中，这些滑坡和崩塌仅占150米以下库容的6.8%，占死库容的13.06%。从这两个数字看所占比例都不大。若按180米方案，库容更大，滑坡和崩塌堆积物所占库容比例更小。因此可以说滑坡和崩塌对库容的影响不大。

## 四、滑坡崩塌对城镇迁建的影响

三峡工程150米方案受水库回水影响，需要全迁或部分迁移的沿江市、县级城镇有秭归、巴东、巫山、奉节、云阳、万县、万县市、忠县、丰都、涪陵等10个。如果用180米水位方案，长寿县、重庆市和巴县的一部分将受回水的影响。

上述这些市县级城镇是当地经济、政治、文化的中心，其选址迁建工作是三峡工程中的重要组成部分。若选址不当，在建迁后或建设过程中受到重大的滑坡危害，其后果不堪设想。在历史上因选址不当，县城被滑坡所毁灭的也不乏其例。在长江沿岸的城镇中历史上秭归县城的频繁迁移就是最好的事例。据史料记载，秭归县城最初在现在的归州镇，南宋端平年间（1234—1236年）迁建到江南的屈沱，后又迁到新滩、白沙、南浦等地。明代洪武初年（1368年）迁到丹阳，洪武四年（1371年）又迁到长宁（即旧称的楚王城）。嘉靖四十年（1561年）5月12日楚王城发生大规模的滑坡，城内的官府民舍大部分被毁，因此又迁回今天的秭归县城所在地归州镇。从上述几处县城旧址的地质地貌条件来看，多数都是属滑坡地形。因此县城的迁移和滑坡的关系很大。现县城所在地归州镇于1986年6月发生四处小滑坡。目前仍属不稳状态。

除秭归县城外，其他一些城市在历史上也都遇到滑坡和崩塌的危害。其中影响比较突出的万县市。在一百多年前，万县市的城区仅限于苧溪河右岸，现在的闹市区是在近百年来才发展起来的新城区，而在此之前则是由太白崖—高笋塘老崩滑体组成的一些荒坡。胜利路一带因排水不畅和苧溪河洪水涨落的影响至60年代末出现滑坡。万县市百货公司、邮电大楼、剧院、新华书店均在滑坡体以上或在其影响范围之内。由于滑坡的影响，地基下沉，房屋变形，被迫拆除的危房达3万多平方米，损失数百万元，由于路基的沉降和变形，交通中断，因此万县市胜利路滑坡一度成为万县市人民生命财产的安全及对进出万县港货物运输的一个严重威胁。后对滑坡进行治理，历时3年，耗资200多万元。大桥至面粉厂一带三马路滑坡的治理费用也花了几百万元。万县沙河镇一带滑坡的危害也比较严重。如万县沙河镇中学教学大楼1958年修建。1960年开裂，现在已不能使用。万县县委老办公楼解放后修建，后房屋变形开裂，于60年代初被迫搬迁。

在从万县市到万县县城所在地之间的苧溪河两岸，新老滑坡成群分布，覆盖面积约4平方公里，总体积约2亿立方米。现在一些滑坡已缓慢活动，将来水库蓄水之后在库水的浸泡软化和水位变动的影响之下，必将产生较大规模的滑坡和库岸变形。因此万县市和万县城区均不宜作就近后靠的方案，而被迫选择龙宝和五桥作为新址，从而使该市成为沿江分布的狭

长的带状城市。

云阳县城座落在古滑坡体上，古滑坡面积约1.2平方公里，体积2600万立方米。由于冲沟的切割，该滑坡被分成两部分，即东城滑坡和西城滑坡。近年来古滑坡有局部活动。东城滑坡后缘出现宽0.3—0.5米的裂缝。西城滑坡的裂缝比较明显，海拔250米附近的变电站地裂缝长达40米。园艺场、县医院附近发展新又、宝塔也是古滑坡，县城对岸山体虽然稳定，但地形陡峻。因而县城新址只好选在距现在城址上游30公里的双江镇。

奉节县城属全淹城镇。城郊分布有关庙沱、向家湾、白衣庵、二溪沟等滑坡和崩塌体，给新城选址很大困难。新铺方案虽然地形条件较好，但滑体问题严重，难以回避，所以最好选定草堂方案。草堂方案新址内大部分基岩出露，靠长江及草堂河的斜坡地带多为反向坡，但岩层较破碎，而且还存在有关庙沱，宝塔坪等滑坡问题。在建设过程中仍需处理。

巫山县城属于全淹城镇。城内有四道桥，田家沟滑坡，城郊场地狭窄，河谷切割深，密度大，岩石破碎，地质条件不良。因此，新城选址比较困难，滑坡问题难以避开。现在新城地址位于大宁河两岸，有苟安、下西坪等滑坡存在，今后在建设过程中仍需处理。

涪陵市是属于部分淹没城市。历史上有多个小型滑坡出现。涪乌江右电石厂、东泥厂、海陵厂和师专都曾遭受不同程度的滑坡危害。其中电石厂1975年建厂，1985年元月出现地裂缝并逐渐向乌江方向滑移，为治理此滑坡已花费30余万元，占建厂投资的$\frac{1}{10}$。

巴东县旧城未见有滑坡的危害。在新城选址区也未见有大的滑坡。但是巴东县城新址地区有部分堆积层岸坡，水库蓄水后会出现岸边塌滑现象。此外，新址在黄腊石滑坡对岸上游约2公里处，黄腊石滑坡下滑入江造成的涌浪将会给县城造成重大影响。

长寿县地质条件较好，历史上未见有滑坡现象，仅有小规模岩崩（如袁家沱、银梁沱和青滩崩塌体）等存在。巴县的地质条件也较好，而且地形开阔，历史上亦未见有滑坡现象。预计将来三峡工程采用180米水位方案时，该两县城所在地不致出现大的滑坡问题。

据统计现在重庆市区有小规模滑坡25处，多数位于嘉陵江及长江岸坡地带。其中17处属于城市建设过程中产生的工程滑坡，8处属于规模较小的自然滑坡，只有大渡口重庆钢厂附近滑坡规模较大。由于多数滑坡在人口密集地区，所以小的滑坡也会造成重大的影响，如菜园坝火车站后山的长江路，因1954年修建电车道弃土引起滑坡，于1982年采用抗滑桩6个，盲洞4个进行整治，1983年施工完毕后滑坡活动停止。1985年因下水道渗漏又引起已稳定的滑坡重新复活，毁102户300余间住房。估计三峡工程采用180米方案时，岸坡上的滑坡将会加剧发展，但不致于对城市的主要建筑产生重大影响。

综上所述，长江两岸的滑坡不仅在历史上对一些县城造成重大影响，也影响现在的城镇选址迁建及其布局，增加了迁建的投资。

## 五、滑坡崩塌对移民搬迁的影响

库区沿岸新老滑坡和崩塌较多，大型的滑坡和崩塌地带地形开阔，而且地下水也较丰富，

适宜农作，所以其下往往有居民。象前面所述的万县市西城区（苧溪河右岸部分）。万县的沙河镇，云阳县城所在地的云阳镇等都在老滑坡上发展起来的。除此之外，还有云阳县的故陵镇（部分）。秭归县的香溪镇和上孝镇等。据初步统计，在沿岸新老滑坡和崩塌体上居住的居民有80500人左右。在150米水位方案的移民搬迁和工民用建筑的赔偿统计工作中，基本上是以回水淹没线为界的。在回水线以上的不稳或次稳的老滑坡、崩塌体上居住的居民及其房屋并未统计在内。按现在的标准，在80500居民中，只有68000人列入移民之列，尚有一万多人未统计在内。由于回水的影响，老滑坡的复活必将危及其上的居民及房屋的安全，从而要造成二次移民和财产损失赔偿问题。在采用180米水位方案时，移民的统计工作也应考虑在回水线以上的居民，否则二次移民不可避免。

由上述可以看出，滑坡和崩塌对三峡工程和枢纽建筑物没有直接的影响，但新滩、链子崖滑坡和崩塌所造成的涌浪可能会对围堰工程带来很大的影响，应做进一步的研究工作。在自然情况下，滑坡和崩塌对长江航运有较大的威胁，淤塞航道并不困难。蓄水位150米时，从最不利情况进行估算分析也不存在对航道的严重威胁。就对库容的影响而言，从极端情况下估计，也仅占死库容的13.06%，影响不大。滑坡和崩塌对沿岸城镇迁建和布局有较大的影响，无疑将增加迁建的投资，增加移民数量和赔偿损失。

# 三峡库区滑坡防治对策*

拟建三峡工程库区沿长江河谷两岸滑坡崩塌多达200多个，崩滑体总量达13亿多立方米，而且滑坡崩塌的绝大部分处于不稳定或次稳定状态。三峡水库蓄水后，有可能诱发和加剧滑坡的活动，为此库区滑坡的防治就显得特别重要。

## 一、库区以往滑坡防治工程效益分析

库区沿长江河谷两岸的滑坡防治，已往仅限于城市人口稠密区和各港口、码头、交通要道、重点厂矿所在地区的中小型浅层滑坡。从防治效益上，多数滑坡因情况不明进行盲目治理，结果收效甚微。如重庆市区有小型浅层滑坡20多个，其中50%处于不稳定状态。重庆市王家坡滑坡系1954年修长江路。在坡体前缘堆积弃土而引起的。1982年进行治理，采用抗滑桩6个，排水盲洞4个，1983年施工完毕，滑坡活动停止。由于下水道渗漏，1985年又导致滑坡复活，使102户居民遭受严重损失。重庆钢铁公司为治理滑坡，1962年曾在滑坡前缘抛石填江，耗资800万元，迄今滑坡尚未完全稳定。涪陵市电石厂滑坡是1984年新建机修车间取土引起的。当时采用重力式挡墙抗滑。因挡墙基础未砌置在完整基岩内，坡体至今仍不稳定；为治理滑坡已耗资30万元，占建厂总投资的十分之一。万县市胜利路滑坡从50年代末开始变形，一直到70年代初期经勘探查明情况后，采用抗滑桩及排水系统进行治理，才日趋稳定下来。全国著名的鸡扒子滑坡，尽管滑体多达1500万立方米。但经采用排水工程及生物措施治理以来，已初见成效，耗资不超过100多万元，由于鸡扒子滑坡治理工程投资少效益好。对沿江其它大型堆积层滑坡有重要的参考价值。所以将该滑坡的治理工程详细介绍如下：

在该滑坡上部高程490米、430米及390米上设置三道横向拦山堰使后山大量汇集的雨水能通过拦山堰排入两侧的沟谷之中。

在新滑坡体上恢复石板沟、新塘沟、新桥沟及中心沟等主要纵向排水沟，并在石板沟上增设五道斜向排水支沟，使滑坡上的地表和地下积水能较快地排除。

对石板沟侧壁进行加固，使之对滑坡体两侧基岩上的陡壁起一定的维护和支挡作用。

对滑坡东侧岩石陡壁采用局部削坡减载的方法，以消除局部失稳的可能性。

---

*执笔人：王少东（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

对滑坡体后缘基岩上的陡壁除进行局部削坡外，又在高程349—390米处设置三道抗滑挡墙维持坡体后方的稳定性。

在滑坡体后部植树造林，防止水土流失。

上述各项工程已于1983—1984年两年内完成。经四川省组织有关专业人员验收合格。经过1985年雨季考验。滑坡体上未出现裂缝、坍塌等现象。滑坡基本上是稳定的，现在需继续做较长时间的滑坡动态监测工作。

## 二、库区滑坡防治的初步设想

根据目前国内外水库滑坡防治经验和技术水平、结合三峡库区滑坡的类型、规模和滑面埋深等情况，提出下述两种防治方法和对策。

### （一）工程制止法

主要通过在滑坡前缘设置支挡工程来抵抗滑坡推力，辅以相应的排水措施或滑坡主滑段卸土减载工程来制止滑坡的发展。这种方法工程投资费用高。仅限于在城市建设或其它重要工程建设中使用。已有的成功经验多限于中、小型浅层滑坡，个别应用于中型滑坡，在万县市及重庆市都有这方面的成功事例。

### （二）自然触发因素控制法

对于长江沿岸各种自然因素触发的深层滑坡（包括岩层滑坡及堆积层滑坡），由于滑坡规模大，滑动面埋置比较深，采取工程制止法难以完全奏效，而且耗资巨大。因此建议采用控制滑坡触发因素的方法来减缓滑坡的发展，降低滑坡灾害的影响。

### （三）各类滑坡的防治对策

**1．堆积层滑坡的防治对策**

从滑体的结构上看堆积层滑坡占库区滑坡的绝大多数，而且滑体厚度在10米以内的浅层滑坡较少，滑体厚度在10—30米之间的中层滑坡较多，厚度大于30米的深层滑坡为数较少，大部分堆积层滑坡下部具有稳定可靠的基岩面。限制了滑坡面向深处发展，这为滑坡防治设置支挡工程提供了较稳定的支承面。

对于堆积层滑坡的防治，一般采用简易排水工程，减少滑坡区及其周围地表水的影响，改善坡体的物理力学性质，以减少滑坡体滑动变形。但当滑坡处于重要的工程部位，且不容许滑坡有微小变形时，则仅只采用一般排水工程，往往难以奏效，尚需根据滑体厚度情况，参照表1—35采用支挡工程处理，支挡建筑物必须砌置或深入到下伏基岩层内，以保证有足够的锚固深度和抗滑能力。采用支挡工程时，应进行必要的地质勘探工作，查明滑坡区的地质情况。提出设计，施工方案，进行经济分析比较，以取得理想的整治效果及工程效益。

滑体厚度及宜采取的支挡工程对比表 表（1—35）

| 滑坡体厚度 | 宜采用的支挡工程类别 |
|---|---|
| 10米内 | 抗滑挡墙 |
| 10—30米 | 挖孔抗滑桩 |
| 30米以上 | 钻孔抗滑桩 |

排水工程一般包括地面排水明沟、地下排水盲沟、排水隧道、竖向疏水管及倾斜疏水管等。根据以往已有的典型工程防治经验，排水工程投资费用远较支挡工程低，特别是对中型浅层滑坡一般不需要做复杂的地下排水工程，仅采用地面排水，其投资费用更低。

**2．岩石滑坡的防治对策**

岩石滑坡一般规模较大，多是由各种自然因素触发引起的自然滑坡。要采用工程制止法来治理这类滑坡，勘探费用及治理工程费用均甚巨大，因此宜采用触发因素控制法进行整治。国外在水库中应用控制水位升降速度的方法，来维持岸坡的稳定。水库水位变动时一面观测滑坡体的变形运动状态，一面调节水位变动速度，使水位变动速度控制在岸坡稳定性容许的范围以内。

除上述防治措施之外，无论是堆积层滑坡或是岩石滑坡，在当前经济技术条件下。采取在滑坡上大面积植树造林，以防止流水的侵蚀和稳定性的恶化影响仍不失为一条普遍行之有效的办法。

## 三、对规划中半淹没城镇及新城选址、迁建中的滑坡防治意见

我们对三峡工程库区拟迁建的市、县级城镇的新选城址进行了实地考察，对可能出现的滑坡提出了基本的防治对策，作出了防治工程投资额的估计，其基本情况如表1—36所示：

拟建城镇新址稳定性判别和防治对策 表（1—36）

| 序号 | 城镇名称 | 旧城淹没情况 | 搬迁方案 | 新城址斜坡稳定性 | 滑坡防治对策及投资额估计 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 涪陵市 | 淹至10—30% | 迁建区分为三片：(1)江南片：位于长江以南，乌江以西；(2)江东片：位于长江右岸，乌江以东；(3)江北片：位于长江以北 | 三个片均不致产生大规模滑坡，但有局部边坡失去稳定的可能性 | 可采取一般排水支挡措施，工程投资估计约占城市建设造价的10—15%左右 |
| 2 | 丰都县（名山镇） | 全淹 | 全迁到长江对岸的王家渡 | 基本稳定 | 采取护岸措施，防止江水对边岸的冲刷估计工程投资占城市建设费用的5—10% |

续表

| 序号 | 城镇名称 | 旧城淹没情况 | 搬迁方案 | 新城址斜坡稳定性 | 滑坡防治对策及投资额估计 |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 忠 县<br>(忠州镇) | 淹40% | 充分利用旧区向东就地后靠发展新区 | 基本稳定 | 在新建设中注意边坡稳定问题，防止工程滑坡出现，估计边坡支挡处理费用占城市建设费用5—10% |
| 4 | 万 县 市 | 淹40% | 充分利用旧城区，在龙宝发展新区 | 不具备产生大的滑坡的地质条件，由于沟谷较发育可能会出现小的滑坡问题 | 万县市及万县老滑坡较多。在老城的利用中要采取一定的工程措施避免老滑坡复活，估计此项工程费用以千万元计 |
| 5 | 万县县城<br>(沙河镇) | 淹40% | 旧城位于滑坡区，新城选在五桥百岗坝 | 拟建区为平缓顺向坡，地表覆盖层很薄，将来不会出现大的滑坡 | 在新城的建设中要注意边坡稳定问题，采取维护边坡稳定的工程措施。估计投资占城市建设费用的10—15% |
| 6 | 云阳县<br>(云阳镇) | 淹大部分 | 全迁到旧城上游30公里处的双江镇附近 | 基本稳定 | 新城建设中，注意做好开挖边坡的支挡及排水工程。估计投资占城市建设费用的5—10% |
| 7 | 奉节县<br>(永安镇) | 全 淹 | 全迁至旧城下游4公里处的草堂附近 | 在新城附近有关庙沱滑坡、下关城滑坡等。蓄水后稳定性较差 | 靠近滑坡影响地区内不可设置房屋建筑，此外在长江岸边应采取护岸措施防止坍岸，估计投资占城市建设费用的10—20% |
| 8 | 巫山县<br>(巫峡镇) | 全 淹 | 全迁至大宁河两岸的西坪、堰坡沟、石牌楼一带 | 有四道桥、下西坪等滑坡存在，地质地貌环境对滑坡发育有利 | 1，对滑坡可采用工程制止法处理。<br>2，在边坡开挖中注意及时支挡，估计投资占城市建设费用的20—30% |
| 9 | 巴东县<br>(信陵镇) | 全 淹 | 全迁至旧城3公里处的黄土坡 | 边坡基本稳定，但受黄腊石滑坡涌浪的威胁 | 在新城建设边坡开挖中注意做好支挡及排水工程，估计投资占城市建设费用的5—10% |
| 10 | 秭归县<br>(归州镇) | 全 淹 | 全迁至旧城下游约40公里处的银杏沱 | 稳定性较好 | 在新城建设中注意做好排水及支挡工程，估计投资占城市建设费用的5%以下 |

## 四、几个大型滑坡的防治对策

### （一）鸡扒子滑坡

鸡扒子滑坡1982年7月发生后，经1983年至1984年两年的治理和其滑体自身的调整和压密之后，现在已暂时稳定下来。但是该滑坡稳定性的发展趋势如何？在什么样的情况下还会继续活动？这是人们所关注的问题。据南江队的勘探资料，我们进行了分析计算。

**1．关于鸡扒子滑坡的稳定性**

根据几种不同情况，分析结果如下：

当长江上游和滑坡区同时有较大暴雨，且坡体上的排水工程失效时，滑坡体的稳定系数K=0.8287—0.8785，因此滑坡是不稳定的。

当长江上游和滑坡区同时有较大暴雨。滑坡体上的排水设施能够发挥良好作用时，滑体的稳定性系数较前提高33.8—44.7%即K=1.7034—1.2720之间。滑坡是基本稳定的。

当长江上游有暴雨、滑坡区无雨。滑坡体的稳定系数K=1.1057—1.3281之间。滑坡的稳定性有进一步改善，滑坡处于稳定状态。

上述所列滑坡体稳定系数（K）值都是依据1982年当地长江最高洪水位（132米）算出来的。如果长江水位有所提高。则滑坡体的稳定系数（K）将会下降。根据已有计算成果，大约长江水位每提高10米，鸡扒子滑坡稳定系数下降2.2—3.6%。

1983年至1984年滑坡整治后，虽经1985年雨季动态观测是基本稳定的，但是由于1985年雨季长江上游以及滑坡区雨量较少。估计鸡扒子滑坡当时所处的外界条件接近前面所述的最后一种情况。如果今后遇到前述第二种情况，则滑坡的稳定性是不完全可靠的。据长江水文历史记载，云阳地区长江一百年一遇的洪水位是163.81米。长江三峡工程150米水位方案对云阳县迁建规划及新建项目最低安置高程是174米。这两个高程较1982年当地长江洪水位高出31.81—42米，以这两个水位进行衡量滑坡体是不稳定的，鸡扒子滑坡可能重新滑动。

**2．预防鸡扒子滑坡再次复活的措施**

根据该滑坡已有的防治工程效果，经济效益分析及鸡扒子滑坡可能复活的情况，在整个滑坡体上应进一步加强排水工程，增设排水明沟及排水盲沟，降低三峡水库水位升降对滑体内可能出现的高孔隙水压力的影响。在鸡扒子滑坡现有动态监测的基础上，扩大观测范围，控制整个宝塔古滑坡及其周围的变形规律，加强雨季及三峡水库水位变动时坡体的变形观测，并及时进行滑坡险情预报。以上新增滑坡防治工程估计投资额在500万元以内。

### （二）新滩滑坡

新滩滑坡是三峡工程建设中的一个重要问题。1985年6月新滩3000万立方米的大滑坡发

生之后中外震惊。目前有关单位正在进行详细的工程地质勘探工作。因此现在仅能根据我们考察所得到的资料提出初步的防治对策。

根据鸡扒子滑坡的防治经验，建议采取投资小，效益大当前可行的治理工程。

对现有滑坡体进行坡面整平。加强地面排水工程，做好整个滑坡区的纵向及横向排水工程。

采取生物措施在坡体上广泛植树造林，防止水土流失，维持坡体的稳定性。这项工程估计费用在800万元左右。

经过上述措施可以改善坡体的稳定条件，但不能根除滑坡的隐患因而建议不在坡体上进行工程建设和居住。

此外，鉴于新滩滑坡的发生与广家崖一带不断崩塌加载有密切的关系。因此应进一步注意广家崖一带可能产生的崩塌对滑坡变形的影响，应加强监测工作，及时进行险情预报。

# 遥感技术在三峡水库滑坡研究中的应用*

随着遥感技术的发展及其在环境地质领域里日益广泛深入的应用，这门技术已成为区域性滑坡研究中必不可少的有效手段。在研究三峡库区滑坡过程中，我们采用了遥感图象解释结合野外实地调查的方法，取得了良好的效果。根据遥感技术的特长，我们力求在如下几方面做一些工作：了解滑坡发育的地质地貌环境；进行滑坡分布、分类及规模估算；研究滑坡发育与地貌环境之间的关系等。

本次研究中采用的遥感图象有：1955年、1957年摄1：5万黑白航片，1980年摄1：1.5万黑白航片，1983年摄1：3万黑白航片，1985年摄1：6.7万彩红航片及美国陆地资源卫星LANDSAT—3 MSS—4·5·7波段合成彩红外图象（以下简称为MSS图象或卫片）。

研究工作分以下步骤进行：野外踏勘、收集资料、航、卫片解释、野外验证、室内总结。

解释工作以目视判读为主，重点地物在东德制ZEIS INTERPRETOSKOP C型判读带上进行判释并进行定量计算。

曾用“增强”、“比值”、“线性、非线性扩展”等几种功能，在图象处理系统上，将CCT磁带进行计算机处理，以突出与滑坡有关的信息，未能取得理想效果。

## 一、三峡水库地质地貌环境解释

### （一）地　层

地层岩性的确定，主要依赖于1/20万的区测图及上述比例尺的航空象片。在MSS图象上，除三斗坪坝址附近的库首段外，其余库岸沉积岩特征明显，如成层走向、厚薄相间、岩性硬度不一引起的不同层状等。

三峡库区地层出露较全，除白垩系、第三系分布零星外，从前震旦系到侏罗系均有出露。

主要地层影象特征如下表（表1—37）：

---

*执笔人：王治华（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

三峡库区主要地层影象特征　　表(1—37)

| 地层时代 | 岩性及图象特征 | 分布地点 | 占库岸长(两岸) |
|---|---|---|---|
| 侏罗系 | 砂岩、页岩、泥岩。<br>裸岩以黄色为主、夹青色、灰色。<br>以云阳——万县一带最典型，风化土壤有植被或作物时呈浅红。表现为低山、丘陵、开阔的河谷形态。 | 奉节以西的大部分河谷及秭归盆地。 | 943公里 |
| 三叠系 | 灰岩、砂岩、粘土岩、页岩、泥灰岩。青色、青灰色、灰色。植被发育处呈红色。<br>中低山、狭谷、宽谷相间 | 各背斜轴部、翼部及秭归向斜边缘。 | 256公里 |
| 二叠系 | 灰岩、砂岩。<br>灰色、青色。<br>呈陡峻谷坡。 | 横石溪背斜轴部、翼部，七曜山背斜轴部少许 | 19公里 |
| 二叠系<br>石炭系<br>泥盆系<br>志留系 | 灰岩、硬质砂岩、砂页岩。以灰色、青色为主、有时呈白色。<br>构成陡、缓相邻的谷坡。 | 巫峡及西陵峡下游 | 9公里 |
| 奥陶系<br>前震旦系 | 变质岩、花岗岩、灰岩，页岩。灰白、青色及浅红色相杂呈块状。 | 三斗坪坝址附近 | 19公里 |

## (二)地质构造

在MSS彩红外图象上，三峡库区的地质构造轮廓表现特别清楚，黄色絮状混合的浅色宽条带表现向斜；品红、深红色隆起条带为背斜。库区首段的环状或团块状构造也十分清晰。由这些影象特征可以看出，三峡库区及附近共有属于三大构造体系的五个构造单元；库区西部的新华夏系川东褶皱带；中部及南部的新华夏系川鄂湘黔隆褶皱带；库区东部的淮阳山字型构造反射弧抵柱秭归向斜和盾地黄陵背斜以及库区北面的大巴山弧形褶皱带。

**1．川东褶皱带**

在MSS图象上可见，川东褶皱带结构简单，重庆至奉节河谷段，库区范围内有背斜、向斜各12条，长条形背斜狭窄，两端尖灭，向斜宽阔平缓，向斜宽度为背斜的1～3倍。构造线走向在万县上游为NE10°～20°，至忠县之间呈弧形向东拐弯，在万县为NE40°～45°，云阳以后，川东褶皱带呈近东西走向，直至奉节。

**2．川鄂湘黔隆褶皱带**

奉节至巴东河谷段。在MSS图象上显示，该褶皱带较川东褶皱带形态有较大变化，整体隆起，背斜宽阔，核部平坦显箱形，向斜狭窄。构造线走向与川东褶带相似，从NE20°至近东西。

**3．秭归向斜**

巴东下游，在MSS图象上量测，南北延伸约60公里，东西最宽处约30公里，向斜轴扭曲呈S形，总体走向近南北。

**4．黄陵背斜**

秭归向斜以东。在MSS图象上量测，轴向约北东15°，长轴方向延伸约120公里，短轴方向约60公里，三斗坪坝址于其轴部。

**5．大巴山弧形褶皱带**

库区北面。在MSS图象上可见该褶皱带由一系列弧状线型褶皱组成，其轴线自西向东由北西转向近东西，再转向北东，弧顶南凸略偏西，在云阳以东至巫山以西河谷段与川东褶皱带相接。褶皱紧密，整体隆起。

三峡库区各构造单元互相关联的特征在MSS图象上表现十分清楚，奉节、巫山之间及其附近上、下游，川东沉褶皱带、川鄂湘黔隆褶皱带、及大巴山弧形褶皱带在此复合，受南北隆起构造带的影响，川东褶皱带从云阳开始逐渐收缩，在奉节、巫山附近，收缩最为强烈，在巴东附近消失。

### （三）地貌形态

由航片及MSS图象可见，以奉节为界，上、下游河谷地貌有明显差别。上游为相对宽阔平缓的川江河谷；下游为河道狭窄，谷坡陡峻的三峡河谷。

川江河谷。重庆至涪陵段主要由侏罗系构成，长江大致垂直于构造线走向，穿过一系列的背、向斜，穿过背斜时形成短而窄的狭谷；在向斜部位，河谷长而宽阔，故该段河谷呈藕节状。涪陵以东至奉节，长江沿着川东沉褶皱带走向在侏罗系中发育，两岸呈低山丘陵，河谷宽阔平缓，长江平均宽度约1公里，河床摆动较大，从MSS图象上看，该段有30余处河曲，10余处沙洲。切割深度一般在200—400米，河岸坡度约在10°—30°之间。

三峡河谷段。奉节以下至巴东，长江发育在川鄂湘黔隆褶皱带的如上所述三个构造单元复合部位。分布侏罗系、三叠系、二叠系等。该段河谷，宽窄相间，平均宽度约500米，无沙洲发育。由库区航片对比，可见奉节、巫山一带的大面积隆起特征十分明显，隆起自云阳起至巴东止，与川东褶皱带收缩范围一致。该处平均切割深度在700—800米之间，巫峡附近达1500米以上（航片1，见图版Ⅰ图1—51）。

巴东以下至三斗坪，长江穿过秭归向斜黄陵背斜西部。分布侏罗、三叠、二叠、石炭、泥盆、志留系及奥陶、寒武、震旦系。库首段分布前震旦系、变质岩、花岗岩。

视不同的地层部位，三峡河谷谷坡在20°—80°范围变化。

## 二、三峡库区的滑坡解释

### （一）分布与类型

经航片判释结合重点地区野外调查，查明长江三峡库区干流两岸有滑坡163处，占库岸长度约113公里。

以上本文提及的滑坡，泛指由于斜坡变形，被分割的块体向下运动，它包括斜坡变形的多种形式，如滑坡、崩坍、崩滑等，它们的运动方式、分布特征、对水库的影响是不同的，在遥感图象上的判释标志也是各不相同的。以下分别叙述。

**1．滑　坡**

在航片上，主要是根据不同的灰阶或不同色调、阴影、条纹、形态所表现的滑坡壁（后壁、侧壁）及滑坡堆积体二大滑坡要素以及由该二要素所反映的，可能存在的滑床或滑动面来识别的。对于大比例尺航片及大规模滑坡，我们可以识别这二大要素中的一些细节。

滑坡是三峡库区最主要的库岸变形方式。库区干流共有大于20万立方米的滑坡115处，其中60%发生在岩性软弱、强度较低又软硬岩相间的侏罗系地层。其余大部发生在三叠系地层。

将航片上判释确定的滑坡标在MSS图象上三峡库区两岸，可以看出，滑坡明显集中分布在以下构造部位：

A、长江河谷走向与区域构造方向一致的部位。85%以上的滑坡发育巴东至藕峻，长江走向与区域性构造线方向一致的库区中段。

B、向斜河谷的顺向坡

在三峡库区，长江穿过的背斜、向斜条数太多轴部等，但78%的滑坡发生在向斜谷，其中的93%发生在顺层坡。在向斜翘起段，背斜倾没端滑坡也比较发育。

C、几种构造体系复合交接部位

如上述，奉节、巫山之间是三个构造单元复合交接部位，构造应力集中，库岸破碎，该段的70公里有51个滑坡发育。

**2．崩坍**

在航片上，主要表现为陡峻的基岩后壁及壁下的崩坍堆积。堆积物形态不规则。崩坍主要发生在三叠系、二叠系灰岩、砂岩等岩性坚硬、裂隙发育的背斜河谷及几种构造体系复合交接处。库区干流共有崩坍18处，约80%发生在背斜轴部或翼部。

**3．崩滑**

指的是崩坍物在江边或者缓坡上堆积，随着碎石土的堆积及粘土在底部富集，逐步发育或滑坡。从不同时相的航片对比，能清楚地看出它们的如下特征：崩坍堆积物是滑坡的物质来源；滑坡是搬运崩坍堆积物的主要方式；崩坍与滑坡活动交替进行；滑坡与崩坍共生。就判读标志而言，它们兼有崩坍与滑坡的影象特征。以新滩崩滑体为例。（航片2，见图版Ⅰ

图1—52），斜坡后缘（北面）及西侧缘为约30°—70°的基岩陡坡，有四处新鲜基岩面，显示最近发过的崩坍。崩坍壁下，大约从700米高程至江边，为崩坍堆积物—滑坡体，坡体平缓，平均坡度约22°，表面有起伏，大约可分为三级平台与陡坎相间的台阶，有三处局部滑动现象，显示了滑坡体分级分块的特征。

**4、地裂缝**

指的是地表可见，并向地下延伸一定深度的大规模裂缝。这是航片上能够判释的又一种岸坡变形方式。根据裂缝特征及其附近地质地貌状况判释，三峡库区的地裂缝可分为如下几类：a首次滑坡的初期阶段，如新滩链子崖上坍的裂缝。b崩塌的早期阶段，如广家崖、向家湾等处的裂缝。c古滑坡复活及滑坡体上局部活动前兆，如新滩滑坡等。d由于斜坡前部滑坡减载，在坡体后部形成的裂缝，如栈溪沟、小周溪滑坡等后部山坡。其它还有如卸荷裂隙、缓倾地层层间错动，沿节理面拉开形成的裂隙等。

## （二）规　模

借助视差杆及判读仪利用航片估算各种地物覆盖面积是遥感技术的特长。在查明滑坡分布并如上述确定类型后，在INTERPRETOSKOPC型判读仪上求得各自的面积（图1—36）。库区干流滑坡、崩坍、崩滑总面积约72平方公里。其中，面积在2平方公里以上的有10处，约占总数的6%，规模最大的是离三斗坪坝址约170公里的百换坪滑坡，面积达3.4平方公里。面积为1平方公里以上的有18处，约占总数的11%。面积在0.04—0.1平方公里的占7%。面积在0.1—0.8平方公里范围内的形变占库区全部形变的82%。

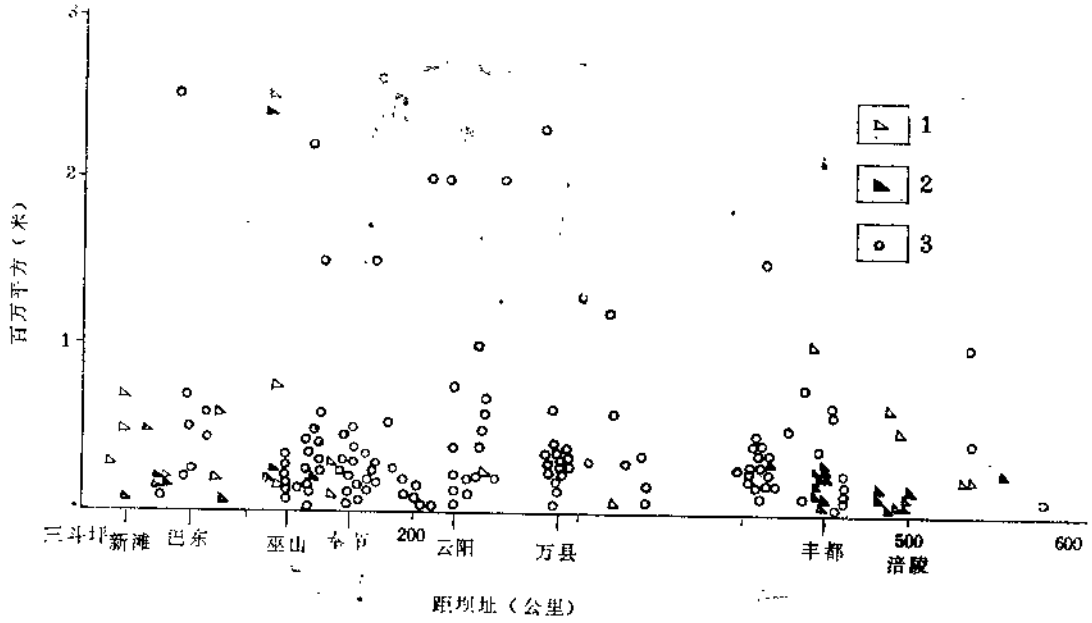



图1—36　库区滑坡崩塌崩滑分布

1、崩塌；　2、崩滑；　3、滑坡

用同样方法可在航片上求得地裂缝的延伸长度及宽度，以云阳、万县之间的栈溪沟裂缝为例。使用航片：1：3万黑白航片，1983年摄，焦距：153.58，航高：4600米。

裂缝发育在侏罗系上统遂宁组泥岩夹砂岩中。裂缝位置在江面以上280米高程处，离江水平距离约550米，所在斜坡度约18°，裂缝走向NE60°，大致与该段长江走向一致，裂缝延伸270—370米，宽度20—36米，沟深23—40米。裂缝内有砂土充填，裂缝以上为一汇水洼地，求得该汇水洼地面积为0.1平方公里，洼地将水排入裂缝，加速裂缝发展（图1—37）。

如上述，利用航卫片图象解释结合重庆地区的野外调查，可以查明库区滑坡分布、类型、规模以及这些滑坡发育的地质地貌环境。这就使我们得以研究滑坡发育与地质地貌环境之间的关系，了解滑坡发育最敏感和最不敏感的地层，构造、地貌部位，为水库岸坡稳定性评价及区划服务。

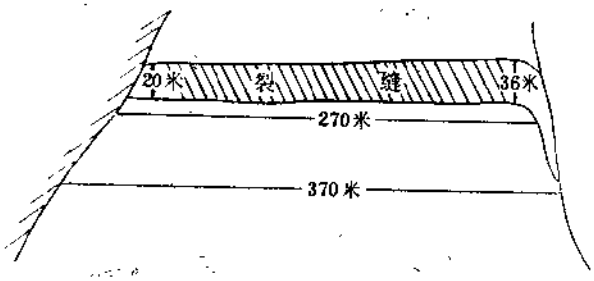



图1—37 栈溪裂缝示

# 参考文献

〔1〕沈玉昌，长江中上游河谷地貌，科学出版社，1965。
〔2〕《工程地质手册》编写组，工程地质手册，中国建筑工业出版社，1975。
〔3〕山田刚二、渡正亮、小桥澄治著，滑坡和斜坡崩塌及其防治，科学出版社，1980。
〔4〕张倬元、王士天、王兰生，工程地质分析原理，地质出版社，1981。
〔5〕潘家铮，建筑物的抗滑稳定和滑坡分析，水利出版社，1980，
〔6〕刘新民等，新滩滑坡灾害及发展趋势，水土保持通报，1985，5期。
〔7〕刘新民等，观音岩滑坡险情告急及防治途径，水土保持通报，1986，4期。
〔8〕刘新民、王淑敏等，土风岩—马家坝古滑坡复活机制及发展，水土保持通报，1986，5期。
〔9〕邱洁华等，西南山区特大崩塌、滑坡、泥石流灾害综述，水土保持通报，1986，4期。
〔10〕H·K·古普塔，水坝与地震，地震出版社，1980。
〔11〕金永铖，长江三峡地区的地震活动，地震研究VOLT。NO5，云南人民出版社，1984。
〔12〕乔建平，川西南滇北接壤地带地震滑坡概述，山地研究，5（3），1987。
〔13〕F、F、萨宾（美），遥感原理及解释，地质出版社，1981。
〔14〕熊继平，湖北地震史料汇考，地震出版社，1986。

# ABSTRACT

The reservoir area of the proposed Three Gorges Project has been seriously end angered by landslides and collapses in history. It has been confirmed after field in vestigations in recent years that there are more than 214 landslides and collapses with a total volume of 1.35 billion cubic meters in the area. Among which there are 47 collapses with 0.117 billion cubic meters and 167 landslides with 1.235 billion cubic meters. The overwhelming majority of these landslides and collapses are unstable or less stable, while quite a few of them are stable.

No large-scale landslide has been found in the portion between Sandouping and Miaohe, and the portion from Fuling to Chongqing and whereas large-scale landslides and collapses are relatively concentrated in the central nregio of the reservoir area in the portion between Wanxian and Zigui.

The formation of landslides and collapses in the reservoir area is mainly controlled by such prone-to-slide strata as Jurassic mudstones, Permian and Triassic calcareous shales and mudstones, and Silurian shales. On the certain condition of lithological characters, geological structures play a considerade important role, i.e., landslides and collapses are more developed at end portions of the structural anticlines and synclines, nearby limbs of the box synclines, along rims of the structural basins and in vinicity of the active fractural zones.

Among main variable factors that may trigger landslides and collapses are rainstorms, floods and engineering activities of human being as well. There has been a relativcly less probability of landslides and collapses triggered by the earthquake activity in the reservoir area.

Three development modes of landslides have been concluded in the reservoir area, namely: a) shear-displacement-multiple rotational slip with a terraceform sliding surface, b) shear-displacement-rotational slip with an arc-shape sliding surface, and c) shear-failure-translational slide with a linear sliding surface.

The most serious portions that are endangered by the landslides in the reservoir area include 5 sections of 49 km in length on the left bank of the Yangtze River and 6 sections of 66.5km on the right bank, respectively.

It appears that the dam proposed to be built for the Three Gorges Project is not directly endangered by the large-scale landslides and collapses in the reservoir area. However, the possible sudden activation of the Xintan landslide and/or the Lianziya collapse might block the Yangtze River, obstruct the river navigation

and seriously threaten the interception of water during the construction of the dam. After storing water in the reservoir in terms of a 150m high dam scheme, landslides and collapses in the area will not bring about serious influences over the river navigation and the reservoir capacity, whereas they may lead to greater impacts on the moving and the site selection of cities and towns as well as the accompanied immigration. That means that more than 10000 people should be immigrated above the immigration line of 150m water level.

Three countermeasures against landslides in the reservoir area are recommended as follows:

a ) engineering measures should be made to control landslides in cities and towns along with drainage and preventing water from infiltration.

b ) methods such as drainage in combination with afforestation should be adopted to cure landslides along the two banks of the river and other places.

c ) monitoring and warning systems should be set up on the large-scale land -slide deforming quickly so that precautions can be taken against calamity.

第 二 部 分

# 三峡库区

# 泥石流研究

# 三峡库区泥石流综述*

## 一、库区泥石流分布概况

### （一）泥石流的分布

实地调查表明，三峡库区的泥石流主要分布在下川东的巫山、奉节、云阳和鄂西的巴东县境内（表2—1、附表），泥石流在此区的长江干流两岸和各大支流中成群分布，灾害较重。在库首方向宜昌及秭归县境内，和库尾方向的万县、忠县、丰都、涪陵、长寿和重庆境内，则未发现有灾害性泥石流直接进入库区，沿江各支沟以水石流及山洪方式入库较多，只是在离水库较远的库周山地才有灾害性泥石流出现。

从表2—1可见，三峡库区共存在泥石流271处（图2—1），其中有99处分布在长江沿岸（左岸53处，右岸46处），另有172处分布在草堂河、朱衣河、大宁河及乌江等17条支流水系中（表2—1）。

库区泥石流分布总况见附表，该表列出了各泥石流沟至坝址的距离，所属县区、流域面积、沟床纵比降和设计流量等。表中编号最前面的数字代表各沟在长江干流上的排列顺序，中间的数字代表一级支流内各沟的排列顺序，后面的数字代表二级支流内各沟的排列顺序。到坝址距离（$L_b$）是以现在未建坝前的长江中泓线来量测出的。各沟的纵比降，是用PC—1500计算机来逐沟绘制其纵比降剖面曲线图，计算中使用的高程是吴淞口高程。附表中，库区干流及各支流的180米水位淹没区内的泥石流沟，是通过详查而列出的全部沟名。而各支流内180米淹没线以上流域内的泥石流沟，如大宁河内龙溪以上，小江的开县以上及乌江的江口镇以上等，则只着重列出了灾害性泥石流沟。

三峡库区泥石流的分布总况汇集于表2—2。表中对长江河段的划分是以泥石流分布实况为依据的。第一段包括宜昌县与秭归县所属长约60公里河段范围；第二段包括巴东县、巫山县、奉节县及云阳县所属长约204公里的河段范围；第三段包括万县、忠县、丰都县、涪陵市、长寿县到重庆市所属长约338公里的河段范围。

---

*执笔人：袁建模、兰肇声、冯光扬（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

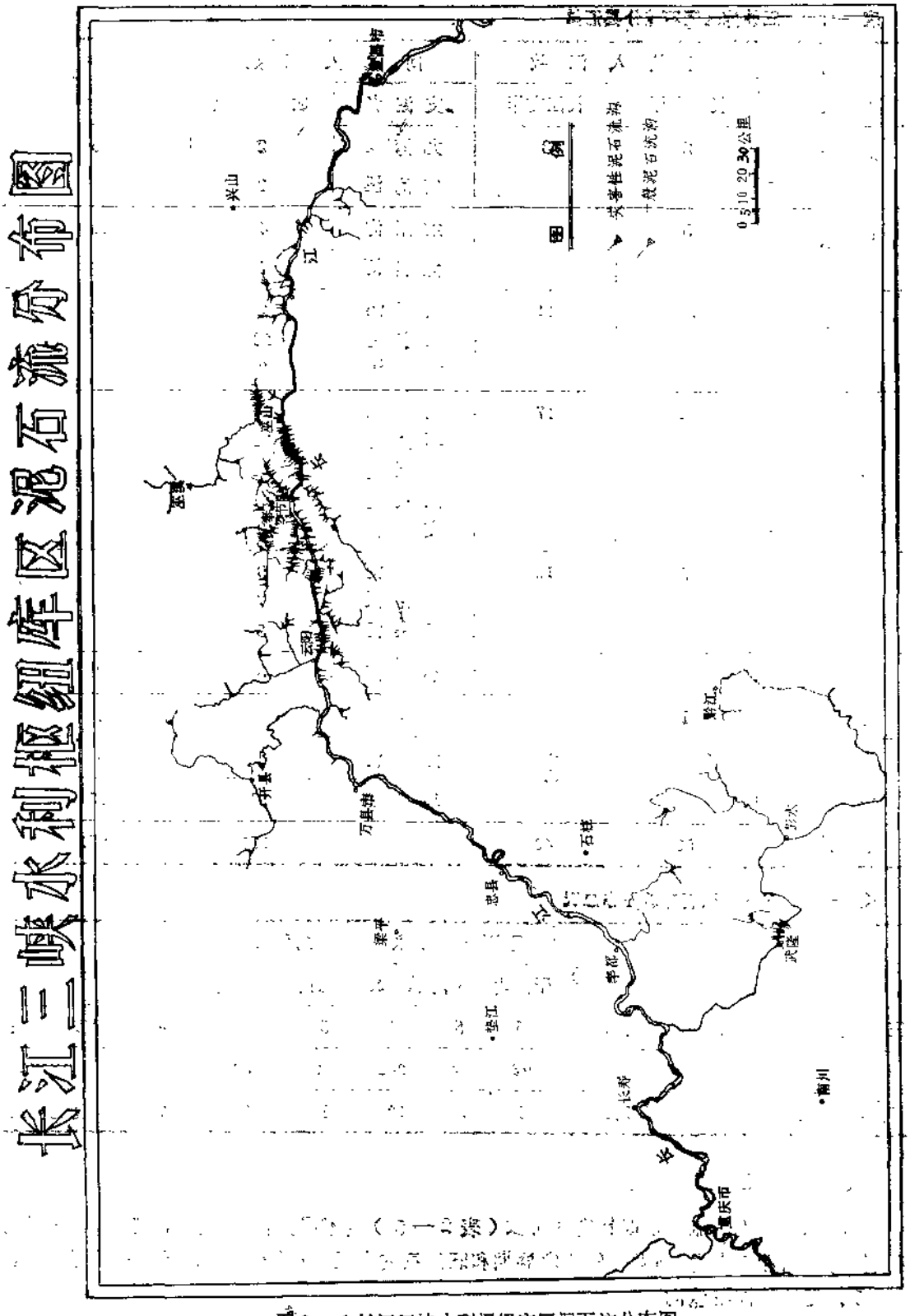



图2—1 长江三峡水利枢纽库区泥石流分布图

表2—1 三峡库区泥石流分量汇总

| 县属地段 | 直接入江数 | | 间接入江数 | | 小计 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 长江左岸 | 长江右岸 | 支流名 | 数量 | |
| 秭归 | 2 | 3 | 九湾溪 | 2 | 10 |
| | | | 窑湾溪 | 3 | |
| 巴东 | 5 | | 紫阳沟 | 4 | 10 |
| | | | 龙船河 | 1 | |
| 巫山 | 22 | 14 | 横石溪 | 2 | 64 |
| | | | 大宁河 | 23 | |
| | | | 大溪 | 3 | |
| 奉节 | 16 | 17 | 大溪 | 14 | 125 |
| | | | 草堂河 | 32 | |
| | | | 梅溪河 | 22 | |
| | | | 朱衣河 | 21 | |
| | | | 安坪河 | 3 | |
| 云阳 | 7 | 12 | 石芦河 | 9 | 40 |
| | | | 磨刀溪 | 7 | |
| | | | 汤溪河 | 5 | |
| 开县 | | | 小江 | 3 | 3 |
| 万县 | 1 | | | | 1 |
| 丰都 | | | 龙河 | 1 | 1 |
| 涪陵 | | | 乌江 | 17 | 17 |
| 总计 | 53 | 46 | | 172 | 271 |

表2—2 三峡库区泥石流分布总况

| 河段 | 分段 | 长度（公里） | 泥石流数量 | | | 占百分比（%） | | | 危害评价 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 干流内 | 支流内 | 总数 | 干流内 | 支流内 | 总数 | |
| 三斗坪至秭归 | 第一段 | 60.4 | 5 | 5 | 10 | 5 | 3 | 4 | 轻度危害段 |
| 巴东至云阳 | 第二段 | 204.4 | 93 | 149 | 242 | 94 | 86 | 89 | 严重危害段 |
| 万县至重庆 | 第三段 | 337.8 | 1 | 18 | 19 | 1 | 11 | 7 | 轻度危害段 |

## （二）泥石流的类型

三峡库区的泥石流沟依据其发育阶段（表2—3）的不同，对水库危害的性质，可归纳为活动性与间歇性二大类。前者一般为发展期和旺盛期的泥石流；后者一般为衰退期的泥石流。

**1．活动性泥石流沟**

它是处在活动发展期的泥石流沟，通常每年都有暴发或数年暴发一次，它们的一般特征是：泥石流沟的形成区内山坡坡度较大，山坡裸露，地表侵蚀严重。森林植被的覆盖面积较邻近非泥石流沟要小。滑坡、崩坍等不良地质形迹多处出现。补给区的松散固体物质储量较丰富，每平方公里流域可在40—50万立方米以上。泥石流流通区及形成区的沟床纵比降较大，三峡库区各沟内多为200—400‰。沟床内往往不甚畅通，有时出现阻塞地段，沟床横剖面常为V形。沟内冲淤变动很大，沿沟道两侧植物不易生存。泥石流堆积区的扇形地不稳定面易于变化，扇面及沟口地带由于常暴发泥石流，无树丛覆盖。扇面组成物常是泥沙石块混杂，其原因在于江水一时尚难完全带走扇面上的细粒物质。

泥石流对水库的影响，主要是进入水库的固体物质，可根据形成泥石流的固体物质来源的不同，而将活动性泥石流沟再分出四种成因型：崩坍滑坡型、坡面侵蚀型、搬运再生型及人为破坏型。

（1）崩坍滑坡型：一些危害最重的泥石流沟多属此类型，如巫山河段长江北岸的张家大沟等。它们集中出现在岩性松软的巴东组地层出露区内，泥石流形成区内常有大量的崩坍滑坡体存在，有丰富的固体物补给。泥石流进入水库时多呈粘性状态。

（2）坡面侵蚀型：库区多数的泥石流沟属此类型。此类泥石流沟的形成区内，明显的崩坍滑坡体极少，泥石流的固体物补给来源以坡面冲刷和沟床侵蚀为主。沟内局部地区基岩裸露，土壤侵蚀严重，植被稀少。这类泥石流进入水库时多呈稀性。

（3）搬运再生型：一些较大支流的树枝状水系中多此种泥石流沟。通常在它们的二级或三级支流中发育有泥石流沟，其中最近河口的一些支沟中暴发泥石流时，泥石物质可直接进入长江主河谷中。但更多的支沟都距河口较远，泥石物质要经多次搬运方可进入长江，而具有"再生"的特征，例如奉节草堂河。它们对水库的危害性，不亚于那些直接入江的泥石流沟。

表2—3　库区泥石流沟的发育阶段

| 发育分期 / 指标 | 发展期 | 旺盛期 | 衰退期 |
|---|---|---|---|
| 活跃性质 | 初具活动性 | 活动性为主 | 间歇性为主 |
| 危害程度 | 轻度 | 严重 | 轻度 |
| 泥石流性质 | 稀性与粘性 | 粘性为主 | 稀性为主 |
| 固体物质补给方式 | 以沟岸崩坍及坡面侵蚀为主 | 以大型崩坍、深层滑坡等为主 | 以老滑坡前缘崩坍及坡面侵蚀为主 |
| 沟谷形态 | 主沟横断面呈V形，冲沟发育 | 主支沟横断面多呈V形 | 沟谷横断面多呈U形 |
| 堆积扇形态 | 扇面较小，多呈锥形，扇面新鲜无植被 | 扇面大，淤高快，常形成溪口险滩 | 扇面小，并向沟内回淤，扇面上多植被 |
| 堆积扇组成 | 泥沙石块杂乱 | 泥沙石块杂乱交错，扇面不平整，无固定沟槽 | 泥沙被江水带走留下砾石堆积扇，扇面较平整，有固定流水沟槽 |

（4）人为破坏型：人类活动破坏了自然环境而形成人为型泥石流，在三峡库区呈零星分布。不合理的开矿弃渣及筑路弃石，以及任意滥伐森林和陡坡开荒，还有水库堤坝的溃决等，都是形成这类泥石流的直接原因。

**2．间歇性泥石流沟**

这类泥石流沟也可称为衰退性泥石流沟。它是继泥石流旺盛活动期之后，处在暂时停歇阶段的泥石流沟，但并未完全停止活动，通常是停歇数十年或数百年后偶有暴发。它们的一般特征是：形成区内地表裸露面积较小，地表侵蚀程度低，滑坡、崩坍及重力堆积等不良地质现象不多，只呈零星分布。松散固体物质储量不大。流通区的沟道较顺直和通畅，沟床断面多呈U形，沟床各段的纵比降较均一，很少有地形突变地段。泥石流沟口的扇形地较稳定，扇面上植被覆盖较好，水流有固定沟槽。泥石流沟入江的堆积扇形态较小，由于细粒物质被江水带走，扇面多为巨砾组成。

间歇性泥石流沟的形成区内，固体物质储备量不大，积累周期长。但若具备一定的触发条件，如特大暴雨、地震、山崩等因素的影响，就会重新复活，这将会给人们带来意外的灾害。这类泥石流的堆积扇较稳定，上面已出现耕地与村舍，但其间常散布有巨石（例如草堂河内的黄木岭沟）。这种泥石流沟，一般生长有良好的植被。

### （三）库区各河段泥石流的特征

**1．三斗坪至秭归段**

范围是自三斗坪坝址到秭归县与巴东县交界处的牛口，共长60.4公里的长江河段，分属于宜昌与秭归二个县。此河段上直接入江的泥石流沟共5处（表2—1及附表），其中左岸2处，右岸3处。此外，还有通过一级支流九湾溪与窑湾溪间接入江的泥石流沟有5处。

本河段内的几处泥石流，主要发育在秭归向斜中的中三叠系巴东组、中侏罗系沙溪庙组和上志留系地层内，它们主要由泥岩、砂质泥岩、粉砂岩及砂质页岩所组成，这类岩石的岩性松软，易于风化而形成泥石流。九湾溪内有几处泥石流，这是库区泥石流的最东分布界线，它们的出现还与仙女山断裂带有关。因为，断层破碎带，特别是活动性断层的破碎带上，总是泥石流经常出现的地方。

这几处泥石流多属活动性泥石流沟，但因其规模较小，一般尚不致造成重大灾害。距三斗坪坝址最近的较大支流是茅坪溪，通过实地调查，该支流内未发现泥石流活动的痕迹。

本河段属库首地段，水库蓄水后的淹没深度也最大，若照180米方案来计算，此段水深应上升120—140米。这时除干流两岸外，分布在支流内的少数泥石流沟也将程度不等地受淹。

**2．巴东至云阳段**

范围是自秭归县与巴东县交界处的牛口到云阳县与万县交界处的三龙桥，共长204.4公里的长江河段，分属于巴东、巫山、奉节、云阳等四个县。此河段上直接入江的泥石流共93处（表2—1及附表），其中左岸50处，右岸43处。此外，还有通过紫阳沟、龙船河、横石溪、大宁河、大溪、草堂河、梅溪河、朱衣河、安坪河、石芦河、磨刀溪、汤溪河、小江等库区较大支流，面间接入江的泥石流沟共149处。

泥石流沟主要分布在巫山向斜、巴务河向斜和故陵向斜所在的长江主河道，及其较大支流中。发育泥石流的地层，在多数地区属中三叠系巴东组，部分地区还有中侏罗系沙溪庙

组、上侏罗系蓬莱镇组与遂宁组等。巴东组主要是泥质灰岩、泥岩、页岩及石英粉砂岩等；沙溪庙组、遂宁组等则为砂质与粉砂质泥岩、石英砂岩构成。这类岩石结构松散，易于风化崩解，风化物中含有大量的粘土物质。它们的透水性差，亲水性强，遇水软化后抗剪强度很低。在此地段上，由于构造、岩性等地质条件和气候条件的有利组合，每当雨季便有泥石流发生，因而泥石流密集。在一些较大的一级支流内，其二级或三级支流上也有泥石流发生，如奉节县草堂河及开县小江等等。

本河段是泥石流分布最集中的地方（图2—1），泥石流沟的数量占库区总数的38%，而且多活动性泥石流沟。泥石流灾害较频繁，多数灾害性泥石流沟，如长江岸边的垮岩子沟、宝子滩（张家大沟）、庙基子滩（岩湾溪），草堂河内的甘沟子，朱衣河内的汪家沟等都在此地段上。水库蓄水后，本河段的水深可上升100—120米左右，能淹没各泥石流沟现有的堆积扇及部分泥石流沟的流通区。

**3．万县至重庆段**

范围自云阳与万县交界处的三龙桥到库尾的重庆市，共长337.8公里的长江河段，分属于万县、忠县、石柱、丰都、涪陵、长寿及重庆七县市。此河段上直接入江的泥石流只1处，它出现在万县以下河段上。通过丰都龙河、涪陵乌江等库区较大支流间接入江的泥石流沟有18处。在乌江，180米方案的淹没线可达武隆江口镇以上，故江口镇以上乌江流域的泥石流，只着重作了灾害性泥石流的调查（表2—1，附表）。

本河段长江干流上泥石流很少出现。其原因在于，此区东部所处的丰都—忠县向斜、万县向斜及西部的川东褶皱带内，虽地层多属中侏罗系沙溪庙组，上侏罗系遂宁组与蓬莱镇组，但地貌已属四川盆地范围，山势较盆周山区的下川东各县要低，暴雨也较少。因此，形成泥石流的机会不多。沿江两岸的一级支沟，在暴雨时多以水石流及普通山洪方式入长江。但它们有时也会造成灾害，如万县壤渡场对岸的大溪口及忠县的石槽溪等，都曾有过暴雨山洪冲毁石桥及民房的事件。

在此河段的沿江支沟中，出露的地层多为侏罗系的蓬莱镇组、沙溪庙组、新田沟组及自流井组构成。这些沟的沟床中杂乱无章的大块砾石大量出现，若从航片上看似为泥石流物质。例如，忠县城对岸的白家河，忠县与石柱县县界附近的水杨溪、洋渡溪、大山溪，忠县西界沱下游的石槽溪等等。但经实地踏勘证实，由于前述各地层中，多中厚层的石英砂岩及长石砂岩，它们在沟床的狭窄地段上极易崩落，坠入沟床形成岩崩堆积物，由于大块砾石的岩性和岸边基岩一致，未经过搬运作用而使其磨圆度较差，据此易于把它和泥石流搬运物区别开来。这些沟虽然在暴雨山洪时，能毁桥或毁房，但各沟沟底较低位置上都保存着树龄较大的乔木，这也易于和泥石流作用区别开来。

本河段上，巴东组地层出露很少。但在库区最大支流乌江上的武隆县境内，巴东组地层出露的地方有较多的泥石流发生，如城区附近的油坊沟等。

库周山区的一些泥石流沟，如丰都县茶元区的严家湾，黔江县楠山乡的垮岩湾，彭水县普子区的砂五沟和旋天沟等等，那里形成泥石流的岩性是志留系或者寒武系的砂岩与粉砂岩类，由于地处盆周低山、中山区，山势陡峻，降水强度大，也能出现灾害较强的泥石流。

## 二、库区的灾害性泥石流

### （一）库区沿江的灾害性泥石流

对库区泥石流危害程度的分级，按表2—4的指标来区分。沿长江两岸的灾害性泥石流有13处，列于表2—5，现择其主要的几处详述于后。

**1．泄滩沟**

泄滩沟位于秭归县长江左岸，距三斗坪坝址47.7公里，它地处秭归向斜带上。沟内地层由上侏罗系沙溪庙组、遂宁组及蓬莱镇组的泥岩、砂岩与粉砂岩类组成。

据调查此沟在解放前曾暴发过泥石流。1961年7月，一场大暴雨之后泥石流突然暴发，正在种红苕的农民目睹着洪流带着砂石及漂砾倾泻而下，冲走了现区公所下的石桥栏杆和旁侧的食品加工房，还冲走了两个背猪的行人。此后处于间歇状态，再未出现过大型泥石流。据长航估计，此沟下游沟床中有20万立方米的堆积物。

表2—4　　库区泥石流危害程度分级表

| 名称 | 固体物质补给方式 | 泥石流性质 | 泥石流容重（吨/米³） | 固体物质贮量（万米³/公里²） | 沙石输出量（万米³/公里·年） | 可能出现的泥石流最大流量（米³/秒） | 泥石流危害特点 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 灾害性泥石流沟 | 具有较大滑坡和集中崩坍的补给区 | 粘性为主 | ＞1.8 | ＞50 | ＞3 | ＞80 | 过去历史上曾毁房舍耕地，并有人员伤亡，今后仍有再发生的可能 |
| 中等危害性泥石流沟 | 有局部中小滑坡及崩坍的补给区 | 粘性或稀性 | 1.5—1.8 | 10—50 | 1—3 | 20—80 | 过去及今后，无大灾害情况出现 |
| 轻微危害性泥石流沟 | 物源以坡面侵蚀为主，兼有少量崩坍滑坡补给 | 稀性为主 | 1.3—1.5 | ＜10 | ＜1 | ＜20 | 泥石流一般无直接危害 |

泄滩是长江三峡历史上有名的险滩，泥石流形成的溪口滩与沟口的暗礁组合起来使险象倍增。自清代至解放后，几百年来曾进行过多次整治。解放后险情基本消除，自葛洲坝蓄水后，沟口扇形地已被淹没，航道畅通无阻。

**2．糖房沟和石桥沟**

该二沟沟口紧邻，沟口有牛口镇，入江处称牛口滩，糖房沟属秭归县辖，石桥沟的西半部则属巴东县。二沟发育在长江北岸的侏罗系泥岩、粉砂岩与砂岩地层中。

石桥沟在1981年夏季暴雨时发生过灾害性泥石流，冲毁了沟口的石桥及部分耕地。它的

表2—5　　直接入江的危害性泥石流沟

| 序号 | 沟名 | 县属 | 坝址距离（公里） | 流域面积（平方公里） | 主沟长度（公里） | 灾害情况 | 沟口滩名 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 泄滩沟 | 秭归 | 47.70 | 87.81 | 17.85 | 1961年7月，冲走沟口镇公所下方的石桥栏杆及粮食加工房，卷走行人2名 | 泄滩 |
| 2 | 糖房沟 | 秭归 | 60.02 | 11.35 | 4.45 | 解放前，泥石流曾埋一家三口人，毁石桥一座。该沟内在清嘉庆年间山崩而成泥石流和沟口险滩 | 牛口滩 |
| 3 | 石桥沟 | 巴东 | 60.40 | 19.52 | 6.15 | 1981年夏，泥石流冲毁沟口小桥及部分耕地。 | 牛口滩 |
| 4 | 纸厂沟 | 巴东 | 79.70 | 26.02 | 7.25 | 解放前有较大泥石流灾害 | |
| 5 | 下马滩沟 | 巫山 | 131.37 | 50.65 | 12.10 | 多次暴发，以1969年5月3日最大，长航在沟口筑有导流堤一座 | 下马滩 |
| 6 | 垮岩子沟 | 巫山 | 139.48 | 0.42 | 1.40 | 多次暴发，以82年7月最大。因常暴发， | |
| 7 | 绞滩沟 | 巫山 | 139.78 | 18.52 | 9.63 | 常设绞滩般而得名 | |
| 8 | 张家大沟 | 巫山 | 141.60 | 9.13 | 6.11 | 暴发频率高，以1975年7月底及1982年7月为最大，沟口建有导流堤工程 | 宝子滩 |
| 9 | 油榨碛沟 | 巫山 | 147.00 | 5.52 | 4.39 | 1963年暴发。滩体长230米。多年来过船需绞滩，现已整治 | 油榨碛 |
| 10 | 十里铺沟 | 奉节 | 167.72 | 2.24 | 2.70 | 常暴发。1961年5月冲走水磨坊、轧花机及水田。1974年及1982年夏，又有大暴发 | |
| 11 | 司家码头 | 奉节 | 182.26 | 4.76 | 3.98 | 1982年7月大暴发时，泥石流龙头高10米，卷走煤厂工人二名。淤埋稻田十余亩 | |
| 12 | 三塘河 | 奉节 | 185.94 | 37.65 | 13.05 | 多次暴发，长航在沟内建有拦挡坝二处 | 喇叭滩 |
| 13 | 岩湾溪 | 云阳 | 210.45 | 59.94 | 13.95 | 1947年埋20余户人家。1982年使数十户人迁居，毁坏房舍及堰塘 | 庙基子滩 |

固体物源主要来自中游地带。沟内筑有盘山渠道，由于渠道渗水及暴雨冲刷，1981年夏形成了一处崩坍体，渠水亦被阻断。此后崩坍范围日益扩展，近几年泥石流亦时有暴发。糖坊沟在解放前曾暴发过泥石流，推走水磨坊一座，并埋掉一家三口人。

牛口滩的成滩历史较久远。据《峡江滩险志》载："清嘉庆年间，鸢子坪山崩，溪流洪大，碎石随流横铺，突增宽广，二碛遂连为一，共成一大碛"。鸢子坪位于糖房沟内约2公里处，此滩始于嘉庆年间（1796—1820年）的山崩，以后逐步发展，使牛口滩成为溪口险滩。

### 3．下马滩沟

位于巫山县城以上6.5公里的长江左岸。流域中下游为巴东组地层，上游为嘉陵江组灰岩。全流域呈一掌形，上游分成数条并排的支沟，崩坍滑坡体多在流域中游，新老都有。

支沟及主沟沟床中泥石流物质较多，多粗大石块。沟口的下马滩与江对岸的将军滩相对挟持长江航道，过去碍航较重。

历史上下马滩曾暴发过泥石流，现在仍在活动。据记载，1969年5月3日，奉节县实测降水量108.8毫米，最大1小时降水量达62.9毫米，暴雨时泥石流突然暴发，直冲出沟口，倾刻间使滩体向长江江心伸展了23米，约10多分钟始停积下来。由于滩势突然变劣，使随后的东方红105号客轮过滩时，在船头涌起大浪，十分吃力。据长航资料，这次泥石流把下马滩滩体上段（73米高程以上）冲刷了22500立方米，滩体下段（71米高程以下）淤积了21384立方米，后者未计入水下及江水带走量。下马滩滩体未清理时的年增长量为6000—10000立方米。最大年增长量为22000立方米。嗣后，长航局第一工程处曾对它加以工程治理。

**4．垮岩子沟**

位于巫山县城上游14公里的长江右岸，它与左岸的绞滩沟遥相对峙，挟持着长江航道。该沟全流域皆处于巴东组地层内，流域面积虽小，但具备完整的泥石流形态，形成区、流通区和堆积扇十分清楚。沟内雨季时有流水，平时干涸，仅在沟底有泉水出露，形成区内崩坍体多处可见，十分严重，冲沟较发育。沟床流通区两侧也有不少崩坍体，参与物质补给。流通区下部有老泥石流侧碛垄及泥石流龙头分布，龙头部分大石块相对集中，沟内有直径2米多的漂砾，并有泥石流堆积物中常见的石背石现象。

垮岩子沟在历史上多次暴发泥石流，而留下现在的“瓢状”集水区地形。1982年川东大暴雨时，沟内源头区产生崩坍，暴雨汇流后起动了沟床堆积物而形成泥石流，泥石流龙头切开了老堆积扇滩体，直入长江。

**5．张家大沟**

张家大沟即宝子滩沟，属巫山县秀峰区曲尺乡所辖。该沟的源头山区为嘉陵江组石灰岩组成，最高海拔为1867.8米。沟的中下游有巴东组地层，局部地段覆有须家河组砂岩，巴东组的粘土类岩层上覆有须家河组砂岩类的风化物时，最易出现滑坡与崩坍。该沟口海拔为83.85米，沟口的堆积扇叫宝子滩（图2—2）。

沟的上段自柑子园（海拔600米）以上，到分水岭为清水汇流区。自柑子园以下，为一大型的多级复合式老滑坡体，泥石流的固体物质主要由此滑坡体所补给。这些滑坡崩坍体主要有沟右岸的柑子园、张家屋场、陈家屋场、水竹园，左岸的木子坪、二坪子等处，目前最大的崩坍区在柑子园。这个老滑坡体在过去漫长的历史时期内曾多次滑动，形成三到四级较大的滑坡台阶，滑坡后壁十分清晰，由于后壁坡度较陡（一般在35°以上），目前多覆盖着松林。伴随着多次泥石流活动，沟床内物质不断被带走，沟岸崩坍日益严重，促使老滑坡体复活。目前，柑子园及木子坪一带，每逢暴雨都要崩坍。据调查近60年中较大的崩坍有三次，其中以1982年7月川东特大暴雨时最严重，在柑子园老滑坡体前缘，纵断面长300米，方量约12万立方米的土石体在暴雨径流参与下突然下滑，以粘性泥石流形式出现，淤埋稻田50余亩，至今不能恢复耕种，布满大块石的舌状龙头堆积物尚在。柑子园滑坡体上，有二十余户房舍开裂，靠沟边的住户甚至倒坍。由于滑体上裂隙出现，使稻田开裂并被错断成阶梯状。这时在柑子园滑体前缘的主沟内，因阻塞而形成了泥石流，在沿沟运动过程中，又挟带来自主沟两岸的崩坍补给物，增大了泥石流流量。这次泥石流在沟床中下段至沟堆积了大量砾石，数吨重的大漂砾留在沟内各处。沟左岸木子坪原有稻田及旱地在50亩以上，因逐年崩

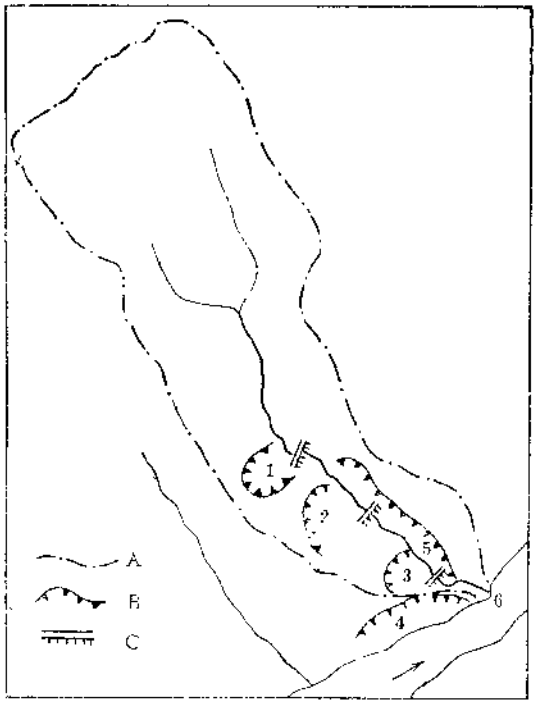



图2—2 张家大沟（宝子滩）泥石流（1：5万）
A—流域界线 B—滑坡崩塌体 C—计划的拦挡坝位置
1、柑子园 2、张家屋场 3、陈家屋场
4、水竹园 5、二坪子 6、宝子滩

落，现余耕地不足十亩，农民亦被迫迁居他处。

沟口上游侧为水竹园滑坡体，它是张家大沟多级复合式滑坡体的最低部位。1975年7月，暴雨促使该滑坡前缘崩坍，大量的土石体连同其上的乌桕林、桔林一起滑落入长江，这次整体滑动的沿江长度约600米，高出江面为100—200米。水竹园一带房屋大量倒坍及迁走，江边原停泊一艘绞滩船，也因滑坡而被迫开走。

当时沟口尚未建导流工程，张家大沟内发生泥石流时，径直冲入长江，泥沙石块进入江中，大块石因江水带不走而停积下来，形成急流险滩。由于沟内泥石流及沟口外水竹园滑坡的影响，通航不便，在滩边一直设有绞滩船。长航局第一工程处曾于1977年在宝子滩沟口筑导流堤工程。

**6．油榨碛**

油榨碛是长江三峡段著名溪口滩之一。它在1963年前是一处碍航不大的溪口滩，自1963年起，由于暴雨泥石流的影响，沟内来石量增大，滩体快速发展而成碍航险滩，该泥石流堆积扇长度曾达230米，上下皆为深潭，滩体上巨石累累，水势险恶，后经航道部门炸滩与检滩，现滩体巨石留存不多。目前由于碍航较重设有绞滩船，每年需绞滩次数最多，一个枯水期达五、六百艘次。

**7．十里铺大沟**

十里铺大沟位于奉节城西五公里的长江北岸，它因南岸的木瓜溪、无名小沟两条泥石流洪积扇，构成对长江航道的挟持之势。沟内泥石流的固体物质主要来自流域中游岩上村附近的滑坡。1982年川东特大暴雨期间，滑坡与泥石流造成了灾害，滑坡体上民房倒坍，居民被迫搬迁。奉节至朱衣的公路通过该沟中部，筑路挖方弃土加上农民开山取石，大量废石被倾入沟内，也是形成现在泥石流的重要原因。

据调查，1961年5月初，泥石流来势较猛，泥位高达2丈，地面为之颤动。泥石流冲走了沟口的磨坊、榨菜坊及水田。1974年又发生过一场较大的泥石流。1978年县物资局炸药库为确保厂区安全，曾在沟内修建拦挡坝一道以及防洪堤、丁坝等工程。1982年7月川东特大暴雨时，该沟暴发的泥石流来势迅猛，沟下段淤积很盛，过去堤坝顶部至沟底有1丈深，被一次泥石流就淤平了。物资局炸药库正位于弯道处，沟内又有卡口，泥石流还漫过堤坝，淤埋了该机关院子。若今后再有较大泥石流时，有可能发生堵塞和漫堤，将会影响沟内房舍安全。

**8．司家码头（新铺大沟）**

该沟位于奉节县安坪区的长江南岸，靠新铺滑坡很近。沟口外的泥石流堆积扇较发育，多大块漂砾，最大者直径在3米以上。泥石流固体物源于沟上游藕塘村的山崩。

据调查，该沟在1982年7月川东特大暴雨时发生过大型泥石流。泥石流来势很猛，龙头泥位高度在10米以上。泥石流有大冲大淤现象并循直线前进，遇低矮弯道处就翻越而过，淤埋了沟底稻田十余亩并卷走了煤厂工人二名。现沟内淤有不少大石块，泥沙石块堆积物厚达10米以上。该泥石流冲入长江时卷起了大浪，沟口原来的堆积扇并不大，自1982年暴发泥石流后有扩大。据七十多岁老人介绍，此沟在60年前（即本世纪20年代）暴发过泥石流，其后一直处于间歇停顿状态，说明该沟暴发频率较低。

**9.三塘河（喇叭滩）**

三塘河位于奉节县朱衣区所辖的长江北岸，江南岸为安坪镇。三塘河流域面积较大，包括一个乡（三江乡），十余个自然村。该流域泥石流及山洪危害较重，固体物源以坡面侵蚀为主，有二条支沟内可见小型崩坍滑坡体，因清水汇流区面积大，当支沟内有泥石流时，进入主沟则被稀释成为水石流或山洪。据调查，泥石流到来时响声很大，石块相互撞击或与沟床摩擦，发出震耳的隆隆声，地皮也在抖动。1982年7月暴雨时，流域中游的塘河村发生崩坍，暴发过泥石流，三塘河入江形成的溪口滩叫喇叭滩，多年来碍航较大。

为防治三塘河的泥石流，长航局修建了拦挡坝群，十年来效果良好，泥石流带下来的大块砾石，全被拦阻在库内，越坝进入下游河床的石块减少，而使喇叭滩不再发展了。

**10.岩湾溪（庙基子滩）**

岩湾溪位于云阳县境的长江北岸，流域面积大，沟内有多处崩坍滑坡。1947年夏流域中游的向阳村发生大滑坡，泥石流埋了二十几户人家。1982年7月川东特大暴雨时，此沟又发生大规模滑坡及泥石流，使向阳村数十户人家被迫移居它处，该村的部分房屋及堰塘亦被破坏。

据访问，岩湾溪内有多条支沟，在历史上都出现过泥石流，沟口的庙基子滩是长江航道上著名险滩之一，成滩历史较久远。据《云阳县志》载："庙矶子滩在县东45里，系枯水极险之滩……"。现在滩头设有绞滩船一只。据资料，该滩每年的绞滩次数居第二位，仅次于油榨碛。

## （二）库周山地的灾害性泥石流

库周山地内的灾害性泥石流，它们对水库的危害程度不如库区沿江的泥石流，因工作时间受限，未作详查，现仅择其中19处重点叙述于后（表2—6）。

**1.甘沟子**

该沟在奉节县草堂河内，距白帝城约15公里。在历史上就是一条暴发频繁、危害严重的泥石流沟，1870年（同治九年）农历6月，川东一带发生罕见的特大暴雨，出现了千年一遇的特大洪水。该年泥石流灾害也最严重，形成了甘沟子老泥石流堆积扇，面积达28.7万平方米，厚约12米，体积达344万立方米。解放以后，有记录的较大型泥石流共出现6次，即1954、1959、1962、1977、1979和1982年。32年间，共覆盖耕地14万平方米。其中又以1982年那次最大，这次泥石流共淹埋田土420亩，其中水田有380亩，损失严重，而小型泥石流则几乎连年不断。

**库周山地未直接入江的灾害性泥石流**

表2—6

| 编号 | 沟名 | 所属县区 | 所属水系 | 流域面积（平方公里） | 主沟长度（公里） | 灾害情况 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 浑水河 | 巫山县福田区 | 大宁河 | 19.63 | 7.65 | 1982年因滑坡形成泥石流，沿河下流约10公里，淹地1000多亩 |
| 2 | 前河 | 巫溪县宁厂区 | 大宁河 | 3.58 | 3.13 | 1982年7月大暴发 |
| 3 | 甘沟子 | 奉节县草堂区 | 草堂河 | 2.55 | 3.90 | 1870年(同治九年)首次暴发。此后1954、1959、1962、1977、1979及1982年均有较大暴发<br>1982年曾毁田420亩 |
| 4 | 廖家沟 | 奉节县草堂区 | 草堂河 | 17.43 | 6.94 | 1878年(光绪4年)开始暴发，该泥石流在本世纪30年代较严重，曾垮山死亡50多人 |
| 5 | 竹坪溪 | 奉节县草堂区 | 草堂河 | 12.67 | 5.18 | 1982年7月，泥石流淹没土地60多亩 |
| 6 | 李子园 | 奉节县平安区 | 梅溪河 | 8.88 | 5.70 | 1983年7月5日晚，泥石流带着100多万方土石，流动2公里多进入梅溪河 |
| 7 | 汪家沟 | 奉节县朱衣区 | 朱衣河 | 2.06 | 2.62 | 1982年7月21日夜2点钟，垮山形成泥石流，死十人，冲毁房舍近80间，破坏耕地130多亩 |
| 8 | 相似沟 | 奉节县朱衣区 | 朱衣河 | 7.51 | 5.58 | 1960年开始暴发，近年以1982、1984、1985年最严重 |
| 9 | 望江溪 | 奉节县安坪区 | 安平河 | 15.76 | 7.83 | 1982年7月，垮山形成泥石流，并堵望江溪成水深5—6米的水库 |
| 10 | 革岭沟 | 云阳县风鸣区 | 永兴河 | 2.78 | 4.69 | 1982年7月17日，因滑坡形成泥石流，沿河流动数百米，毁田577亩 |
| 11 | 蛟湾 | 开县中和区 | 小江 | 0.66 | 1.99 | 一百多年前开始暴发，1965年7月泥石流冲走4人，1983年冲走石桥一座，死一人 |
| 12 | 巨坪 | 开县渠口区 | 小江 | 1.62 | 2.50 | 1982年暴雨时，滑坡造成泥石流 |
| 13 | 口泉 | 开县岩水区 | 小江 | 0.20 | 0.84 | 1981年8月8日，局地大暴雨形成泥石流，毁民房八家，死3人，毁耕地200余亩 |
| 14 | 严家湾 | 丰都县茶元区 | 龙河 | 0.52 | 1.52 | 1981年6月26日，泥石流覆盖了十余万平方米地面，埋4户人家，死16人，伤2人，毁田50余亩 |
| 15 | 垮岩湾 | 黔江县城厢区 | 乌江 | 0.79 | 1.45 | 1982年7月28日及1985年11月8日，都暴发大泥石流，破坏农田206亩，毁房77间 |
| 16 | 砂五沟 | 彭水县普子区 | 乌江 | 16.38 | 7.84 | 二沟紧邻，在1962年一起暴发毁田700余亩 |
| 17 | 旋天沟 | 彭水县普子区 | 乌江 | 1.43 | 2.64 | |
| 18 | 罩子沟 | 武隆县巷口区 | 乌江 | 34.66 | 11.08 | 1965年走蛟，毁公路桥一座 |
| 19 | 油坊沟 | 武隆县巷口区 | 乌江 | 4.55 | 3.32 | 滑坡形成泥石流，泥石流经导流渠道后引入乌江，该泥石流切穿武隆县城而过，常有危害 |

全流域内为巴东组的紫红色泥岩及页岩组成。森林植被已被破坏殆尽，仅存局部稀疏树丛，水土流失严重。在沟内有多处崩坍滑坡体，冲沟十分发育，多达20余条，在强大暴雨的激发下，易于形成泥石流。

在该泥石流的出山口地带，新的堆积扇切开了老堆积扇，构成大扇套小扇的二级扇面。新堆积扇上还可见不同年份的粘性泥石流龙头多处，呈舌状及垄岗状，最大漂砾达2.5立方米。该泥石流堆积扇还在逐年淤高，沟口左侧的农民夏家，在1952年土改搬来时，门口全是水田，比屋基低3—5米，现在门口已被泥石流逼近而垒成石堤，水田已消失，堆积扇高度已快与屋基齐平，将来有埋过屋基之势。

**2.廖家沟**

廖家沟流域上部为须家河组地层，中下游则为巴东组地层出露，流域中部银洞山有崩坍滑坡体，宽度约半公里。据调查，崩坍年代距今有五、六十年，即本世纪30年代，垮山时曾死亡50多人，在猫子庙一带毁田一大片，随即出现较大泥石流。沟口外有较宽阔的老堆积扇，现上面已辟为农田，新堆积扇不甚发育，该沟属衰退型泥石流，近期暴发频率较低。廖家沟内有煤矿，开矿弃渣及沟内筑公路时削坡弃石，是形成近期泥石流的重要原因。

**3.李子坪**

李子坪（里坪）泥石流沟在梅溪河左岸支流内，属平垦区黄村乡。1983年7月5日夜暴雨后，当地屋基开裂，几小时以后滑动声有如响雷，100万立方米以上土石体下滑并顺沟流动2.1公里，前端进入梅溪河，属滑坡型泥石流。泥石流宽平均约200米，沿途堆积了大量土石，损毁耕地69亩，影响田地50亩，损坏房屋15户47间。

**4.汪家沟**

汪家沟在朱衣河中上游的右岸，属朱衣区双碾村。沟内为巴东组的紫红色页岩及粉砂岩地层。1982年7月21日川东特大暴雨期间，汪家沟附近连日降水量达300毫米以上，汪家沟中游的黄泥坪发生滑坡，滑坡下到沟内随即暴发灾害性泥石流。据目睹者称，7月20日下了一整天大雨，晚上降小雨，21日凌晨3时出现滑坡。前头有水，紧接其后是夹有桌面大的巨石、泥沙、石块与水的混合巨流，几丈高的龙头象山一般地冲泻下来，速度快，响声大，几分钟内沿沟的房舍与耕地、树木被一扫而光。倾刻间将陈家老屋10户44间房屋及27间牛栏全部摧毁。泥石流带着120万方以上的土石，流经3公里后冲进沟口外的朱衣河。在这次突发性灾害中，有10人躲避不及而被埋入泥石流，有41人因奔逃及时而幸免于难，共损失耕地130亩，埋没牲畜90头，沟口外公路也中断二个月之久。

该沟历史上曾暴发过更大的泥石流，沟口的古堆积扇上已建有双碾村。目前该沟后山的地面裂缝还大量存在，若再遇大暴雨，将会继续发生灾害性泥石流。

**5.相似沟**

该沟在朱衣河中游左岸，沟的东侧为五显庙，沟内下游为巴东组，中上游则为须家河组、白流井组与沙溪庙组地层组成。相似沟泥石流的暴发频率较高。据调查，1958年以前，相似沟的中上游还有较好的森林和灌丛覆被，沟内水量不大，沟道很窄，是一般洪水沟。自1958年伐去森林大炼钢铁后，水土流失日益严重，沟道也被沙石漫宽到五、六十米。自1960年起，该沟开始暴发泥石流，沟内出现小型滑坡，随后泥石流逐年加重，每隔一、二年就暴发一次泥石流。由于近年沟内修公路及开挖煤矿，更加剧了泥石流活动，1982年7月川东特大

暴雨洪灾时，泥石流最严重，1984及1985年连续发生灾害性泥石流。

为保住朱衣河两岸的农田，当地在相似沟口及朱衣河沿岸都筑有浆砌石堤，但仍被泥石流或山洪冲溃。因泥石流物质源源不断进入朱衣河，自1958年以来该河中游河床已抬高约1米，河道在宽阔的卵石河床中摆动，成为游荡型河流。目前，朱衣河河床仍因泥石流物质淤填而抬高，为保住耕地及开发资源，急需进行全流域的综合治理。

**6.望江溪**

望江溪在安坪河的左岸，距河口约2.5公里，河口西侧即安坪镇，沟内主要为巴东组地层。1982年7月久雨之后，27日晚山体滑落，滑坡体横向长一公里多，上有20余户人家。当时住房随着山体滑落，雨后遍地稀泥，人员撤离不便，采用绳子拉人的办法才撤至安全地带，山体下滑3公里许，堵塞望江溪成一深5—6米的水库，使望江溪断流三天，随后有稀性泥石流出现。目前，仍有继续垮山和出现泥石流的可能。

**7.革岭沟**

革岭沟在云阳县盘石镇的永兴河内，沟内为遂宁组泥岩、粉砂岩与砂岩地层。泥石流由沟内长宽各近1公里，近900万方的滑坡体下落造成。滑坡型泥石流覆盖了山前5个生产队，并沿沟流动，使577亩农田共1033人受灾。这次泥石流灾害发生在1982年7月17日，7月16日离革岭不远的龙角水文站日降雨量高达283.8毫米。

**8.蛟　湾**

蛟湾泥石流在开县中和乡松坪村。它发育在小江二级支流映阳河的左岸，沟口以下半公里为中和场，沟内地层属沙溪庙组，主要是泥岩与砂岩。

该沟历史上就曾“走蛟”（泥石流），故名蛟湾。流域面积较小，平时沟内基本无水或断流。1965年旧历6月5日早上9时，一场较长历时的强暴雨激发了泥石流，冲走了正在沟口的生产队长和社员共四口人，并冲毁沟口下游半公里映阳河上的木石结构桥一座。1975年又有活动。1983年旧历7月20日又暴发了一次较大的泥石流，死亡一人，现在沟口地带有不少直径1—4米的石块停积。沟右岸有一直径约3米的大漂砾横卧在麦地内，上刻有“民国廿一年冬月立，刘××之墓”的字样，推测是民国廿一年（1933年）暴发的大型泥石流，冲毁了此处刘家坟地便刻石为记。

**9.巨　坪**

巨坪在开县澎溪河与普里河交汇处的渠口乡，属滑坡型泥石流。1982年川东暴雨时巨坪出现滑坡，滑坡体积约189万方，滑动面积6万多平方米，沿冲沟形成泥石流泄入小江（澎溪河），阻断了冲沟下方的万开公路，约30天才恢复通车。1985年5月4日巨坪附近的小河等地暴发泥石流，毁坏了煤矿及部分耕地。

**10.口　泉**

口泉村油槽沟位于开县东北的岩水区。1981年8月18日暴发泥石流，先是短暂大暴雨，半小时后，即18日凌晨6时，泥石流挟带着朽木杂草及幼树蒿杆等，以每秒4米以上的速度冲入口泉河。泥石流龙头高2米多，将站在大石包上看水的三个小孩吞没。口泉村学校附近原有一块重15吨的巨石，被泥石流掀离原地10余米。该场泥石流毁坏口泉河沿岸耕地200余亩，民房8家，一座有60多年历史的老石板桥被连基摧毁。泥石流淤埋口泉河，使河面骤然展宽3—5倍。

11．严家湾

该泥石流在涪陵地区丰都县茶园区境内，龙河支流暨龙河的右岸，沟内岩性为泥质粉砂岩、砂质页岩及炭质页岩，属下志留统和上奥陶统。泥质页岩在沟内的风化物呈叶片状，层理发育，裂纹密布，极易崩解破碎。

1981年6月26日出现大暴雨，邻近的石柱县马武雨量站日降水为202.6毫米，其中21—23时三小时降水量为125.1毫米。严家湾的酸枣树沟出现山洪和泥石流，覆盖十余万平方米的面积，泥石流流向落河渡和回龙场，扇形地在河边覆盖宽度为450米左右，大量泥石流物质进入暨龙河。这场泥石流埋没4户，死亡16人，重伤2人。50多亩田和20多亩土毁于倾刻之间，变成一片石海。

12．垮岩湾

垮岩湾在黔江县栅山乡糖坊村梳子坝，川湘公路在沟口外1.5公里处通过。地形形态为典型的瓢状，沟内有四条小支沟，1982年7月28日左侧支沟发生过泥石流。沟内地层属下志留统，以页岩及粉砂岩为主。沟内山坡上植被稀少，附近区域的森林覆盖率在解放初期为33%，现在不到8%。

1985年11月8日，垮岩湾的右侧支沟发生滑坡并形成泥石流，由于前期降雨量不大，使之出现高粘性泥石流，泥石流宽度约100米，流动600余米，流动的土体有5万多方，共使15户人家受灾，毁房77间，破坏良田206亩，其中小部分农田受损，是由泥石流堵塞溪流溃决时淹没农田所致。

## 三、三峡库区泥石流的规律性

从以上有关库区泥石流的分布，库区与库周山地灾害性泥石流分布及危害的资料，可得出这里的泥石流具有如下规律性：

### （一）分布上较为集中

全库区泥石流的总数中，有89%皆集中分布在巴东县至云阳县境内，该库段长度只占库区总长的34%。而三斗坪至秭归和万县至重庆这两个库段，占有库区总长的66%，泥石流沟的数目只占到总数的11%。此外，库区的灾害性泥石流，约有2/3集中在巴东至云阳境内，库周的中低山区，也分布着较多的灾害性泥石流沟。

因此，按库区泥石流的分布及危害特点，可作如下分段（表2—2、图2—3）。

1、三斗坪至秭归县泥石流轻度危害区。本区泥石流出现特点是，泥石流沟数目少（4%），灾情较弱。

2、巴东县至云阳县泥石流严重危害区。本区特点是沿长江两岸及库周山地各较大支流内，都密布泥石流沟，占总数的89%，其中不少是灾害性泥石流沟，成灾较重。

3、万县至重庆市泥石流轻度危害区。特点是沿江两岸泥石流分布少，危害弱。只在库周山区各较大支流中，有灾害性泥石流出现。

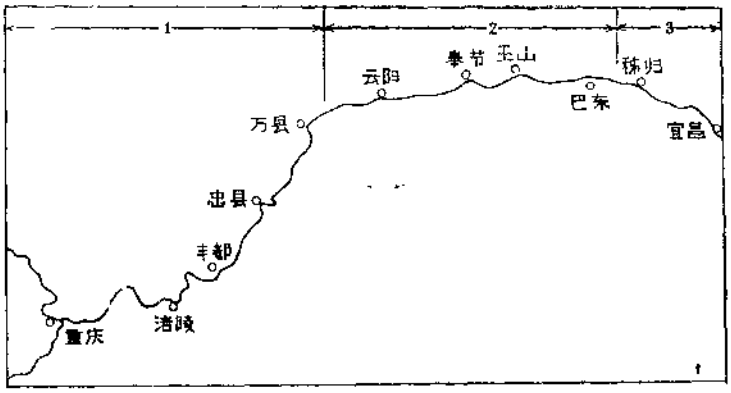



图2—3 三峡库区沿江泥石流危害程度分段

### （二）暴发时间集中在夏季

暴雨是激发本地区泥石流的重要外因。于是每年6、7、8三个月是泥石流暴发的主要季节，间或也有少数出现在5月或9月。一般是出现在连续的暴雨降水过程之时，地表松散物被水分充分饱和后，即行暴发泥石流。因此本地区的泥石流显示明显的季节性。

### （三）库区泥石流的暴发频率不高

多数泥石流沟均属间歇性暴发，一经暴发后，随着补给来源不足而往往停歇，待固体物质逐渐积累，在十余年或数十年后经暴雨、山崩滑坡等激发，才再次暴发或特大暴发（如下马滩沟、汪家沟等等）。而每年或数年都有暴发的中等频率型泥石流沟（如张家大沟、甘沟子等等），数量不多。至于每年有数次数十次暴发的高频率型泥石流沟，在库区从未出现过。

### （四）泥石流危害程度中等

库区的泥石流中，严重危害长江航道的有长江岸边的张家大沟（宝子滩）下马滩沟、垮岩子沟、三塘河（喇叭滩）及岩湾溪（庙基子滩）等处（表2—5）。库周山地有奉节县甘沟子、廖家沟、汪家沟，开县蛟湾、丰都县严家湾、黔江县垮岩湾等处（表2—6）这些泥石流主要危害农田与公路交通，带来人畜伤亡及房舍损失。但在形成规模、危害程度和暴发频率方面，都不及我国西部山区（如川西、川西南及滇东北山地）各处破坏性很强的灾害性泥石流。总之，三峡库区的泥石流危害属中等程度。

# 三峡库区泥石流形成的自然环境*

## 一、地质背景

三峡库区的泥石流沟分布相对集中，主要出现在巴东县至云阳县的长江河段及其较大的支流中。泥石流形成的地质背景，除受地质构造及河谷形态结构等制约之外，主要还在于受这里的岩性控制。库区出露地层有中生界湿热条件下生成的浅海相碳酸岩一碎屑岩沉积及内陆河湖相碎屑岩沉积地层，如巴东组($T_2b$)、须家河组（$T_3X_3$）、珍珠冲组（$J_1Z$）、自流井组（$J_{1-3}Z$）、沙溪庙组（$J_2S$）、遂宁组（$J_3Sn$）及蓬莱镇组（$J_3P$）等。它们的主要岩性有泥质灰岩、泥质页岩、泥质粉砂岩及砂岩等，加上各地陡峻山坡上广为分布的第四系风化层，这些物质结构较松散，易于吸水风化，风化物中含有充足的粉砂粘土类物质。特别是库区泥石流成灾率最高的巴东组地层分布区内，它的主要岩石为泥岩、页岩及泥质灰岩构成，大量的细粉砂粒，增加了此类岩石的脆性，十分有利于薄层理及裂隙的发育。它的风化物中，含有33—62%的膨胀性粘土矿物——蒙脱石，这是蒙脱石类粘土矿物，它的透水性差，亲水性强，遇水随即软化，抗剪强度大为降低。这类岩石的分布区内，一遇暴雨时，极易被冲蚀和整体下滑，为泥石流的形成提供了充足的物源条件。

库区泥石流的集中分布地带，又多是向斜构造带，如巫山向斜、故陵向斜、巴务河向斜、秭归向斜等。这些向斜谷地上，正是上三叠系及侏罗系地层出露的地带，多属易于形成泥石流的岩类。

在库区各背斜山地，如铁峰山背斜、方斗山背斜、齐岳山背斜、横石溪背斜、长梁子背斜等山地上，还大面积地存在着中生界早期下三迭系的滨海—浅海相及浅海—泻湖相碳酸盐沉积岩类，它们主要是大冶组（$T_1d$）及嘉陵江组（$T_1j$），均属以灰岩为主的地层，部分地区间有泥质灰岩、白云灰岩及灰质白云岩。这种碳酸盐类岩石致密坚硬、抗蚀能力较强，它们的分布区内一般不易出现泥石流，暴雨时多山洪、水石流。库区各山地的背斜轴部，还有二叠系及石炭系等更早年代的碎屑岩、灰岩及硅质灰岩等出露，这种岩性分布区也很少有泥石流出现。长江河谷内山高谷深的瞿塘峡、巫峡和支流大宁河上的小三峡以及乌江中的一些峡谷，都是石灰岩发育区。

库区最东部的黄陵背斜地带，由前震旦系的变质岩和岩浆岩类以及震旦系至三叠系的石灰岩，构成这里(包括西陵峡在内)的山地。在此类地层的分布区内，也很少有泥石流出现。

*执笔人：崔建模、兰肇声（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

全库区内的泥石流沟，若物质来源为巴东组、沙溪庙组等的粘土质软性岩石时，较易产生粘性泥石流；而物源为嘉陵江组等的碳酸盐类以及硅质岩类时，产生的泥石流多属稀性。粘土质类岩层的分布区内，多出现活动性泥石流；碳酸盐岩类与硅质岩类的分布区内，则多间歇性泥石流。

## 二、地形条件

库区东段属川鄂中山区，西段属川东低山丘陵区。库区长江水面最低水位高程在39米到160米之间。库周山岭的海拔高度在1000米至2500米之间，最高峰是神农架，海拔3105.4米。本地区的各泥石流沟亦随地形高程的不同，而有暴雨径流补给区、固体物质补给区、泥石流流通区及泥石流堆积区之分。

全库区内的泥石流，按其流域形态可大体归纳为沟谷型及山坡型二类。沟谷型泥石流流域面积较大，一般为数平方公里至数十平方公里，它们的形成、流通及堆积区段较清楚。山坡型泥石流沟流域面积小，多不及1平方公里，沟长在1公里以内，沟道上下都有滑坡崩坍体，形成区与流通区常在同一沟段，分区不明显。

根据沿长江和库周山地的271条泥石流沟的流域面积统计资料（表2—7），面积在10平方公里以下的泥石流沟占85.6%，面积在1—5平方公里的沟最多，占一半以上。通常，流域面积决定着泥石流的性质，面积达20平方公里以下的沟，暴发的泥石流多为粘性；流域面积更大的沟，则以稀性泥石流居多。

库区泥石流沟的流域面积统计表　　表2—7

| 流域面积（公里²） | 0.5—1 | 1—5 | 5—10 | 10—25 | 15—20 | 20—25 | 25—30 | 30—35 | 35—40 | 40—60 | 60—80 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 泥石流沟数 | 41 | 149 | 42 | 16 | 10 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 271 |
| 所占百分比（%） | 15.1 | 55.1 | 15.6 | 5.7 | 3.7 | 1.1 | 1.5 | 0.7 | 0.4 | 0.7 | 0.4 | 100 |

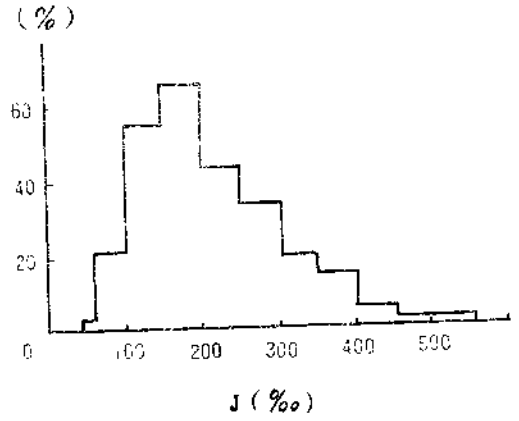



图2—4　三峡库区泥石流的主沟沟床平均纵比降（J）统计

各条泥石流的主沟沟床平均纵比降，出现最多的是200‰左右（图2—4）。流域面积较小的沟，沟床纵比降大，且多为崩坍滑坡补给型式为主的泥石流。流域面积大的沟，纵比降较小，它有较大的汇水面积，水源补给较充足，常产生稀性泥石流或水石流。库区各泥石流沟的山坡坡度，一般在25°—35°左右。

*四川省巫溪、奉节幅地貌类型图说明书，重庆师范学院地理系，1982，8。

长江三峡地区存在着四级夷平面和十级阶地*。阶地大多为侵蚀阶地或基座阶地，阶地间高差通常在100米以内。从各级阶地的延续分布高程来看，自云阳往东开始有较大隆升，其中以奉节与巫山地段的隆升幅度最高，巴东以下又逐渐减小。泥石流集中出现的地区，也正是在此最大隆升地段（巴东至云阳）上，这地段的泥石流数量占库区总数的89%，其中沿长江干流两岸分布的泥石流则占沿江总数的94%（表2—2）。

## 三、降水条件

三峡地区属亚热带湿润季风气候，库区内的多年平均降水量在1000—1400毫米之间。在长江河谷地带为1000—1100毫米左右，其中秭归站为996.7毫米，巴东站1080.0毫米，奉节站1107.5毫米。在库周山区各测站多年平均雨量为1200—1400毫米左右，例如吐祥站为1255.3毫米，建始站1453.4毫米，彭水站为1235.2毫米。库区南北侧的山地，因受地形影响，多年平均降水量都较大。库区北部的暴雨中心大致位置在开县、云阳与巫溪交界的一字梁一带（属大巴山脉），这里的山顶海拔为2200—2600米，多年平均降水量1700毫米。库区南部的中山区，如奉节茅草坝站海拔1700米，多年平均降水量达1951.8毫米；巴东绿葱坡站海拔1819.0米，最大年降水量达2304.6毫米（1963年），最小年降水量为1490.2毫米（1965年）。

库区年内降水分配不均，常集中于5—8月。这四个月的降水量占全年总量的百分比较大，例如巴东站为59%。吐祥站为55%。一般5月多绵雨，这时降水历时较长，雨日平均可达半月以上。7至9月多暴雨，强度较大而历时短。每年出现暴雨的次数，中部低山河谷区较少，南北侧的中山区较多。例如日降水量≥50毫米的暴雨日数，在彭水站多年平均为2.8日，在奉节站为2.6日，奉节北部山地的渡口坝则为4.5日。

暴雨是形成本区泥石流的主要因素之一，但由于地质、地貌、气候等自然地理因素的差异，比之川西山地，须在较大的雨强作用下才能形成泥石流。一般性暴雨（日降雨量50—100毫米）还不常引起泥石流。大暴雨（日降雨量100—200毫米），在库区内的多年平均日数为0.1—0.9日，频率为数年或数十年一遇，这时在暴雨笼罩区内，部分沟谷有泥石流出现。这种局地大暴雨激发的泥石流，几乎在全库区内每年夏季都有所发生，但因雨区中心每年迁移，使泥石流暴发区域分散，每年只在部分沟谷内有泥石流，其余广大区域为普通暴雨山洪。

库区有时出现日降雨量为200毫米以上的特大暴雨，频率为数十年或百年一遇，雨区范围大，这时最易大面积出现泥石流。例如1982年7月26—29日川东特大暴雨，范围波及万县专区全部及涪陵与达县专区的一部分，下川东各县的日降水量多在250毫米以上。这次降水中心在开县、云阳和奉节一带，全过程降水量奉节为700—740毫米，云阳633.3毫米，开县721.1毫米。据调查此暴雨期间，奉节、巫山、云阳、开县等库区各县都暴发了泥石流。

日降水量超过200毫米的特大暴雨出现时，加强了活动性泥石流沟的活跃性，也极易促使处于间歇期的泥石流沟复活，酿成大范围内的严重灾害。奉节、巫山等县一些原为活动性的泥石流沟，如甘沟子、相似沟、十里铺大沟、张家大沟等，在1982年川东特大暴雨期间，无论泥石流的规模及受灾状况都超过往年。其它为数众多的间歇性泥石流沟，例如黔江县梅

子关1982年7月29日24小时降水为479毫米，附近几条沟伴随有泥石流灾害出现。奉节的汪家沟、新铺大沟，云阳的革岭、长棚子沟，开县渠口乡的巨坪等，也都是在川东特大暴雨时低频率型的泥石流沟严重成灾的例子。又如1985年7月19日鄂西州恩施市降下特大暴雨，暴雨中心在红庙区及龙凤镇附近，连续6小时降水量竟达334.7毫米，加之这一带为泥质页岩组成的低山丘陵，多处出现崩坍滑坡，致使吉家湾等多条支沟发生粘性泥石流。位于吉家湾下游的金龙坝流域（流域面积12.6平方公里），发生几十年不遇的暴雨山洪。全市仅受灾农田达11.88万亩，给恩施市酿成大灾。

## 四、人类活动

森林植被的人为破坏，不合理的开矿弃渣、筑路弃石以及陡坡垦荒等，均能促使生态环境恶化，加剧三峡库区泥石流的活动。

历史上的川东鄂西地区，森林茂密，植物种类丰富，是水杉、银杉等珍稀植物的发源地。但由于长期以来滥砍乱伐、毁林垦荒，使原始森林区日益减小，目前仅残存在交通闭塞的边远山区。据统计万县专区在解放初全区森林覆盖率为26.6%，由于1958年的过度砍伐，全区森林覆盖率降至18.9%，到1975年森林资源普查时，又再度下降至10.1%，且分布不均。特别是沿长江两岸的低山河谷区，森林覆盖率仅7.8%，甚至还要低。

三峡库区生态环境恶化的典型实例，首推奉节县草堂河流域。草堂河原名东壤水，河口在白帝城下，因有杜工部（杜甫）草堂遗址而更名。此河在草堂区公所以上分东西两支，东支石马河，西支草堂河，两河交汇处谷地开阔，历史上称东屯。据《奉节县志》载："东壤水洽东十五里……公孙述（东汉时曾割据巴蜀）于此垦稻田号东屯。"诗人杜甫曾主管过东屯公田百余顷，杜甫留有诗"东屯稻畦一百顷，北有涧水通青苗。晴浴狎鸥分处处，雨随神女下朝朝"。南宋时夔州通判于衡在《东屯少陵故居记》一文中描述了当时草堂河中下游一带的环境："峡中多高山峻谷，地少平旷。独东屯距白帝五里，而近稻田，水畦延袤百顷。前带清溪而后枕崇岗，树林葱茜，气象深秀，称高人逸士之居……"。现在的草堂河内，水土流失严重，泥石流沟密集分布，几乎中下游的条条支沟皆有泥石流活动。历史上曾盛产稻谷的东屯，即现今的草堂区公所一带，那一百顷（约合1500亩）稻田早已不复存在。谷底的溪流（曾名浣花溪）已全部被淤埋成长约10公里，宽约400—800米的卵石河床。

据《奉节县志》载："光绪四年（1878年）六月十三日大雷雨，县东北七十五里岩湾走蛟，里人胡胜彩所居地倏忽下陷，屋宇将倾，仓皇迁去，地遂陷数丈。"岩湾即现草堂区岩湾乡一带，累遭山崩并形成泥石流，当地俗称走蛟。又据资料，1938年8月暴雨中，"溪水水头十余丈……，草堂河猛发蛟水，河内顷刻成为砂石乱滩"。当前，河床仍在被泥石流填高和淤宽，草堂河中下游已成为游荡型河道。夏季每降暴雨，山洪汹涌，泛滥改道，即可成灾。昔日"无边落木萧萧下，不尽长江滚滚来"的幽境，现在只留得秃岭和浊流在人间了。

除森林植被破坏的原因外，开矿弃渣亦是人为造成泥石流暴发的原因之一。奉节县朱衣河上游的黄井乡煤矿等小煤窑较多，年产煤七万吨，生产过程落后，大量的煤矸石、废土石

倾入沟床内导致泥石流。朱衣河下游从口前村至冉家沟约10公里，有石膏矿点。开采石膏时采用爆破法造成大量废石，冉家沟泥石流暴发较频繁即与开采石膏有关。

人工开挖渠道引水灌田也是造成滑坡与泥石流的人为原因。如宝子滩泥石流沟中游的柑子园村一带为大型老滑坡，在1982年7月川东特大暴雨时前沿崩滑，沟内出现黏性泥石流，柑子园滑坡体上20余户房屋开裂甚至倒塌，田块断裂下坐。除暴雨作用外，当地村民在村后滑坡体后壁下缘、村前滑坡体前缘和滑坡堆积体上，开挖三道不同高度的灌溉渠，长期引水灌田及用于生活供水，渠道未作任何防渗处理，渠水长期下渗，浸润滑动面，每当暴雨难免立即成灾。

# 三峡库区泥石流的动态监测*

三峡库区内，泥石流集中分布在云阳、奉节与巫山县境，其中以张家大沟（宝子滩沟）危害较为典型，我们以多时相动态监测的方法，追溯与量测了该沟多年间的动态特征，计算出了26年中，直接输入长江的泥石流固体物质量**。这些资料，对评价三峡库区泥石流的危害，及治理对策研究等方面，均有重要意义。

## 一、 监 测 区 概 况

张家大沟位于巫山县城上游16公里。该沟流域面积9.13平方公里。监测区面积41.6平方公里。柑子园上游段为嘉陵江灰岩的山地，是泥石流形成区的清水汇流地带，因该段很少有崩塌滑坡发生，为此，只重点监测了该沟中下游的动态变化。

## 二、 监 测 方 法

在该沟流域外布设五秒边角网与导线网为监测变化的首级控制。选择1957年及1983年（时相区间为26年）的两期航摄透明正片，作监测的基础资料。使用Theo 010经纬仪、AGA 112测距仪等仪器设备，施测首级控制网与联测两期航摄象对的全体象控点，分别在F型精密测图仪、C130解析测图仪和ORTHOCOMP $Z_2$解析正射投影系统等仪器上量测制图，比例尺为1∶5000。

**1．监测规范及要求：**

监测内外业工作中，按国家测绘总局1979年10月版《1∶1万航空摄影测量外业手册》、1974年4月版《航空摄影测量外业及内业规范》、国家测绘总局国家地质总局1978年2月版《1∶1000、1∶2000、1∶5000地形测量、地质勘探工程测量规范》及1974年8月版《1∶1000、1∶5000地形图图式》等的规定，为动态监测的技术指南；并严格要求监测采样点（立体量测点）的精度，应满足规定中的地物点精度。

---

*执笔人：孙思智、寇建模（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

**（1）工作中得到国家测绘局第三大地测量队，武汉测绘科技大学航测系的帮助，特致谢忱。

**2．监测方法：**

多时相动态监测的准确性，关键在于解决配准问题。所以，在监测方法中，采取了“三统一”的方法，基本满足了配准的要求。即：

①统一控制 —以监测区域西南角上的一个首级控制点(该点必须处于稳定的地段上)，为多时相监测控制系统的起算原点。其起算数据分别为：

$S_{1-2}=559.854$米；$\alpha_{1-2}=12°27'24.7''$；$H_0=500.000$米；$X_0=5000.000$米；$Y_0=5000.000$米。并以9个点组成边角网与导线网。又将1957年、1983年的两期航摄象对，按单模型法分别布设标准象控点，且在重要监测部位增设监测用检查点。这些点一并归同一的边角网及导线网发展求出。这样，两期象控点与检查点(计31点)的控制系统达到了统一。

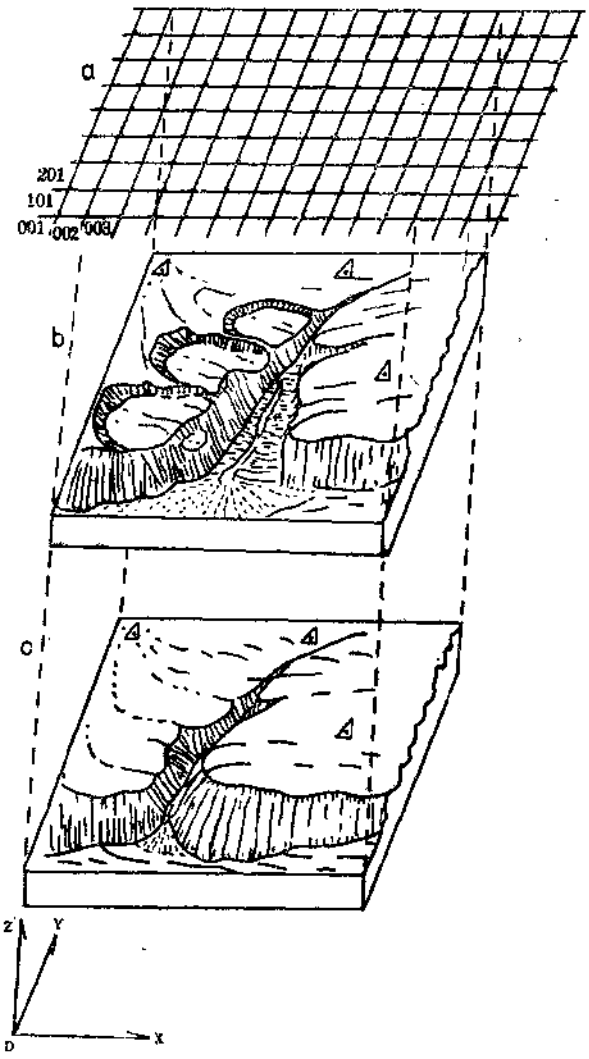



图2—5 “三统一”配准量测方法示意图

图注：a——等量步进量测的公用格网；
b、c——分别为1983年、1957年两期的立体模型；
△——控制点
D——统一共用的控制系统。

②统一量测比例尺——在控制系统满足统一的条件下，两期立体象对即可依靠专业量测仪器，在同一种量测比例尺的图版上，达到比例尺统一进行量测。由于象控点的制约，两期立体模型分别以不同的传动比，靠已展入两期象控点的一个公用图版，完成分期分次的立体量测模型定向工作（相对定向与绝对定向）。这样，不同摄影比例尺的两期象对上，相互对应的部位必然因量测比例尺的强制吻合而重合。

③统一量测格网[1]——在控制系统、量测比例尺一致统一的前提下，将公用图板按毫米等间隔制成量测格网（在18×18立体坐标量测仪上即可采取X、Y定向等量步进方式量测)，当分期分次立体量测时，按格网上预先选定的监测范围，以X、Y方向的排列分别编定名号，逐排逐列量测（立体切割地表），使其动态变化在一般测图仪上，能够在相同空间位置上，同位、同名地量测不同期的地表点，这些点上对应的量测值之差，即是变化量的数据。我们在实际量测中，以4毫米的等间距（相当于实地每20米一个监测点）获取了7万余个

变化量，在CROMEMCO Ⅱ型计算机的帮助下，达成纵、横断面与其它动态特征值的量测格网等量步进量测的统一条件，这为揭露相同的部位在多年间有无动态变化，奠定了可靠的基础（如图2—5）。

## 三、监测结果

监测工作中，除了收集到1957年与1983年两期的飞行资料，按常规航空摄影测量进行选点、插点、刺点与观测求出象控点外，且分期调绘出动态变化要素；同时于野外建立监测区范围的首级控制系统(五秒边角网与Ⅰ级导线网)。使用仪器有：蔡司010经纬仪(测角中误差为±2″)，AGA 112红外测距经纬仪（测边中误差为±5mm+3PPm·D)，F型精密测图仪与C130解析测图仪，以及ORTHOCOMP $Z_2$解析正射投影系统（定向误差均为<0.06mm)；还采用CROMEMCO Ⅱ计算机联接JHT—129数控绘图机（对点误差<0.02mm)。在前述“三统一”方法的基础上，依靠专用仪器与设备，按实地20米×20米的等间距步进、定方向量测出已发生变化与再度发生着变化的动态范围内，在空间定位格网上的同位、同名而不同时期的对应变化量。运用这些基本数据，按研究需要进行监测设计[2]，分别获得了该沟26年间的周期动态特征值（如表2—8)；同时还可绘制出系列动

张家大沟26年间的某些动态特征值　　表2—8

| 年际周期<br>动态变化特征值 | 1957年前<br>(已发生的变化) | 1983年止<br>(再度发生的变化) |
|---|---|---|
| 崩塌面积(公里²) | 0.198 | 0.467 |
| 总侵蚀量(万米³) | 设为0 | 743.4 |
| 入江总量(万米³) | 设为0 | 587.3 |
| 年平均入江量(万米³) | 设为0 | 22.6 |

态变化分析用图件。如：同位横断面线上的地表变化图（见图2—6)，以及张家大沟26年间动态变化图（见图2—7）等等。由此量测、绘制出的典型动态资料，在库区泥石流危害性分析中，因心中有数，对正确评估与对策方案的拟定，给予了较大的帮助。

从满足应用出发，监测中还考虑了如下的的实际问题：

**1．施测精度：**

施测精度与多时相原始资料的质量、比例尺、量测仪器的能力；以及施测区域高差、地区类别等等因素有关，就该沟上述情况所限，我们根据实际需要，重点顾及了外业施测与内业量测的作业精度，按《规范》中1∶5000的细则要求进行设计与施测；使监测中各项精度（见表2—9）均满足了技术要求，同时，使“三统一”方法监测的精度也得到了衡量。

**2．伪变化处理：**

泥石流沟多时相资料中，往往因拍摄月份差异，出现某些部位的变化难以对比。如各

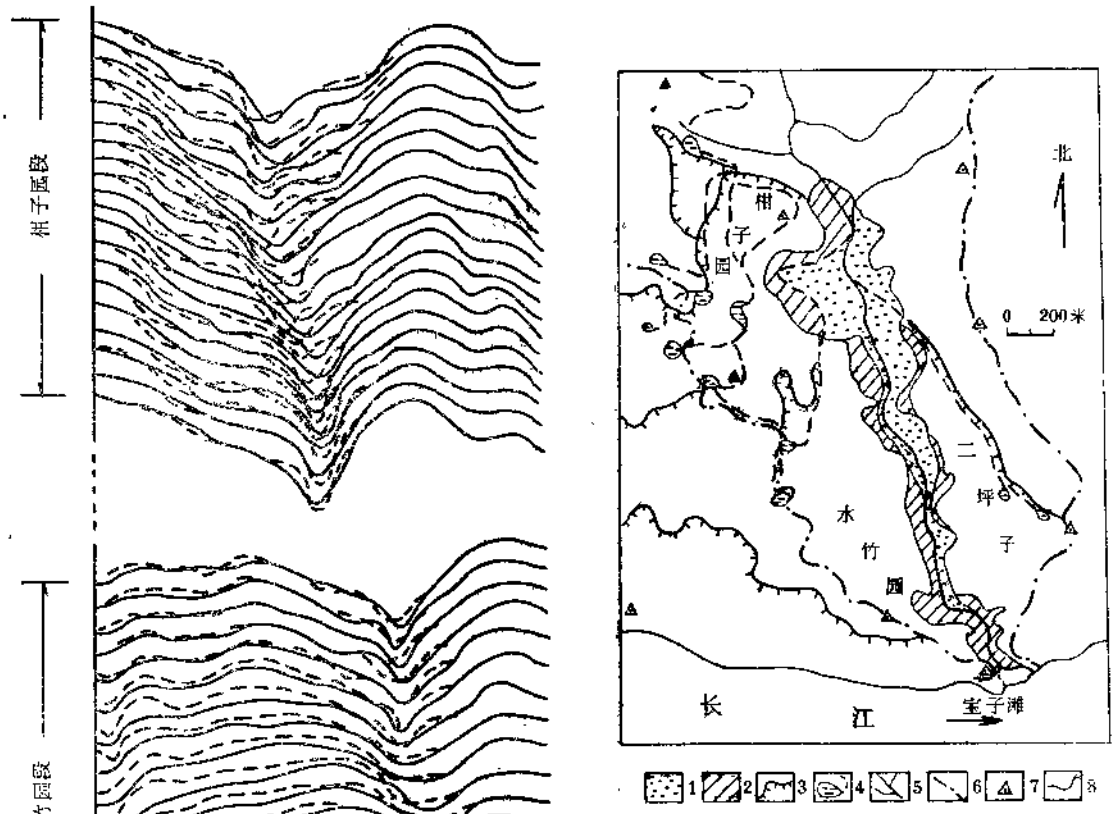



图2—7 张家大沟26年间的动态变化图

1—老崩塌面 2—新崩塌面
3—滑坡界线 4—水塘
5—沟 6—流域界线
7—配准控制点 8—界线

图2—6 张家大沟26年间在各同位横断面线上的地表变化图

年、期江（河）水位线高度不会一致，堆积扇常被自然或人为改造，使立体量测出的数据与现实真象不符，为此，应在沟口稳定地段（常年水位线以上岸边）增布高程控制点作配准点予以监测，避免特征值中含有伪变化数据而影响准确性。若确需专题量测堆积扇变化，一般可采取常规大平板仪单独补测，分别与多时相资料匹配获得这一特征值。我们以宝子滩沟口右岸基岩上的点作两期起始配准断面线，避开了对特征值精度的影响。

## 四、固体物质量计算

工作中，为取得张家大沟的固体物质迁移变化量，需求得动态特征值。使用1957年与1983年两个时相的原始资料，采取逐排逐列的群点量测，以同名同位对中点上的仪器测标切

施测与量测精度汇总表　　表2—9

| 精度 / 项目 | 最大值 | 平均值 | 允许值 |
|---|---|---|---|
| 测角中误差 | | ±3″.20 | ±5″.00 |
| 基线测量相对中误差 | 1/20万 | | 1/6万 |
| 最弱边相对中误差 | 1/2.28万 | | 1/2万 |
| 多角高程导线闭合差 | ±0.036 M | | ±0.11M |
| 象控点平面位置中误差 | | ±0.08mm | ±0.10mm |
| 象控点高程中误差 | | ±0.14M | ±0.50M |
| 平面定向误差 | | ±0.5mm | ±1.0mm |
| 高程定向误差 | | ±0.33M | ±0.75M |
| 监测格网点平面对中误差 | | <±0.2mm | ±1.0mm |
| 监测格网点最大高程误差 | | ±0.3M | ±1.0M |
| 正射影象平面位移最大误差 | | ±0.2mm | ±0.5mm |
| 各项动态变量的量测误差 | | ±0.3M | ±1.0M |
| 动态特征值相对误差 | 3% | 2% | 5% |

读值为依据，取位至厘米。切读误差为±0.06毫米。量测格网等间距为4毫米，即相应于地面每20米取一个量测点。取得的数据，输进CROMEMCO Ⅲ计算机，按平行剖面法公式[3]求出相邻各个断面之间的固体物质迁移方量V及其总量

$$V=\frac{S_1+S_2+\sqrt{S_1\cdot S_2}}{3}\cdot L(米^3)$$

式中，$S_1$及$S_2$分别代表两相邻断面的面积（平方米），L代表断面间距离（米）。在折合方量的计算中，侵蚀区的松散系数与堆积区的松散系数各取1∶1.3及1∶1.2。用平行剖面法计算土石方量时，相对误差小于±5%。

工作中，又于JHT—129数控绘图仪上，分别绘制了1957年与1983年两期的数字地形模型（DTM）。在ORTHOCOMP $Z_2$解析正射投影系统上，制作了两期正射影象地图和正射影象动态分析图，供动态研究用。成图比例尺均为1∶5000。

根据以上资料，求得1957年到1983年这26年中，张家大沟输进长江河道的泥石流固体物质总量为5873145.73立方米。即26年内年平均入江的固体物质量为22.6万立方米/年（表2—8）。因此，该沟的侵蚀模数高达6.68万吨/平方公里·年。沟内目前尚存有固体物质量约2000万立方米，按其正常暴发状况计，尚可活动百年之久。

# 参 考 文 献

〔1〕〔苏〕B. ф. 杰依涅科,1960年,航空摄影测量学,测绘出版社译并出版,第267页。

〔2〕陈昱,1980年,现代地图学发展中专题地图的特征,中国地理学会、中国测绘学会制图事业委员会编,测绘出版社出版,第35页。

〔3〕〔苏〕Г. Д. 阿日吉烈等,1957,矿产普查勘探方法,地质出版社译并出版,第401页。

# 三峡库区泥石流流量分析计算*

长江三峡水利枢纽工程库区（简称三峡库区）地处鄂西、川东，自三斗坪坝址至重庆市沿干流伸展700余公里。库区内有271条泥石流沟，分布于奉节、巫山、云阳、巴东、秭归、万县等县境内，见附表（164—170页）。

## 一、水文气象概况

三峡库区西端为四川盆地，东接鄂西山地，北为大巴山脉，南邻云贵高原。库区内气候除受付热带高压和热带天气系统控制外，还受西风环流、高纬度冷空气和局部地形影响。夏季东南风可吹入库区，南方湿热气流越云贵高原下沉；而冬季由于大巴山屏障作用北方寒流不易入侵。因此，库区属亚热带气候，具有夏热、冬暖、春旱、多秋雨、霜少与雾多的特点。

### （一）年降水与年内分配

三峡库区秭归、巴东、巫山、奉节、云阳、万县气象站多年平均降水量及年内分配见表2—10。库区多年平均降水量在996.7毫米至1148.6毫米之间，多年平均日降水量大于或等于0.1毫米的日数在124至143日之间。

秭归等六县多年年平均降水量及年内分配表　　表2—10

| 月 / 百分比 / 县 | 一 | 二 | 三 | 四 | 五 | 六 | 七 | 八 | 九 | 十 | 十一 | 十二 | 4—10月 | 5—9月 | 年降水量（毫米） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 秭　归 | 1.5 | 2.6 | 5.0 | 9.2 | 13.5 | 14.9 | 16.8 | 13.2 | 10.1 | 7.2 | 4.0 | 2.0 | 84.9 | 68.5 | 996.7 |
| 巴　东 | 1.5 | 2.4 | 5.0 | 8.3 | 13.5 | 14.8 | 16.5 | 13.6 | 11.7 | 7.1 | 3.9 | 1.7 | 85.5 | 70.1 | 1080.0 |
| 巫　山 | 0.7 | 2.2 | 5.8 | 8.7 | 16.7 | 11.1 | 15.0 | 11.9 | 12.9 | 7.9 | 5.1 | 2.0 | 84.2 | 67.6 | 1023.3 |
| 奉　节 | 1.1 | 1.8 | 5.3 | 9.4 | 16.5 | 13.1 | 13.6 | 10.1 | 14.1 | 8.6 | 4.4 | 2.0 | 85.4 | 67.4 | 1107.5 |
| 云　阳 | 0.9 | 1.6 | 4.7 | 9.2 | 16.2 | 11.6 | 14.2 | 14.1 | 13.8 | 8.1 | 4.0 | 1.6 | 87.2 | 69.9 | 1138.5 |
| 万　县 | 1.0 | 1.7 | 5.0 | 9.3 | 14.2 | 13.0 | 15.3 | 14.2 | 12.4 | 7.2 | 4.6 | 2.1 | 85.6 | 69.1 | 1148.6 |

*执笔人：冯光扬（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

秭归等六县历年最大一日降水量Hc表　　单位：毫米　　表2—11

| 秭归 | | 巴东 | | 巫山 | | 奉节 | | 云阳 | | 万县 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 年·月 | Hc | 年·月 | Hc | 年·月 | Hc | 年·月 | Hc | 年·月 | Hc | 年·月 | Hc |
| 1965·6 | 49·4 | 1952·9 | 129·5 | 1962·7 | 79·9 | 1957·5 | 71·8 | 1959·6 | 39·9 | 1955·7 | 79·5 |
| 1966·5 | 56·6 | 1953·8 | 53·4 | 1963·9 | 52·3 | 1958·8 | 78·7 | 1960·7 | 60·6 | 1956·6 | 96·1 |
| 1967·6 | 91·1 | 1954·7 | 141·5 | 1964·5 | 141·4 | 1959·9 | 56·5 | 1961·7 | 87·7 | 1957·6 | 108·8 |
| 1968·7 | 78·7 | 1955·6 | 102·8 | 1965·8 | 60·0 | 1960·7 | 58·2 | 1962·10 | 68·8 | 1958·8 | 116·8 |
| 1969·7 | 67·5 | 1956·8 | 88·5 | 1966·4 | 46·1 | 1961·5 | 76·0 | 1963·9 | 81·4 | 1959·9 | 74·0 |
| 1970·5 | 41·8 | 1957·6 | 57·6 | 1967·5 | 90·5 | 1962·8 | 73·8 | 1964·5 | 83·6 | 1960·7 | 63·8 |
| 1971·9 | 104·3 | 1958·8 | 74·0 | 1968·7 | 68·5 | 1963·5 | 54·4 | 1965·7 | 62·1 | 1961·7 | 62·1 |
| 1972·6 | 62·2 | 1959·9 | 55·3 | 1969·9 | 71·0 | 1964·5 | 121·4 | 1966·9 | 73·6 | 1962·7 | 112·0 |
| 1973·7 | 111·1 | 1960·5 | 96·1 | 1970·7 | 62·4 | 1965·8 | 88·6 | 1967·5 | 77·8 | 1963·9 | 88·9 |
| 1974·5 | 64·3 | 1961·7 | 61·4 | 1971·5 | 73·1 | 1966·10 | 37·7 | 1968·9 | 90·9 | 1964·9 | 103·1 |
| 1975·8 | 69·5 | 1962·7 | 193·3 | 1972·8 | 81·6 | 1967·7 | 70·1 | 1969·9 | 78·0 | 1965·9 | 78·6 |
| 1976·8 | 43·0 | 1963·8 | 92·6 | 1973·9 | 85·2 | 1968·9 | 71·9 | 1970·5 | 73·6 | 1966·8 | 56·3 |
| 1977·10 | 53·7 | 1964·7 | 77·4 | 1974·8 | 82·2 | 1969·5 | 108·8 | 1971·8 | 74·3 | 1967·8 | 66·7 |
| 1978·5 | 56·9 | 1965·7 | 45·8 | 1975·7 | 83·0 | 1970·6 | 84·1 | 1972·6 | 48·2 | 1968·8 | 191·1 |
| 1979·9 | 74·2 | 1966·5 | 48·5 | 1976·9 | 78·0 | 1971·5 | 97·8 | 1973·7 | 83·0 | 1969·7 | 90·1 |
| 1980·8 | 91·2 | 1967·6 | 104·4 | 1977·10 | 59·4 | 1972·6 | 57·5 | 1974·7 | 69·2 | 1970·9 | 128·3 |
| 1981·8 | 74·4 | 1968·7 | 75·3 | 1978·8 | 57·6 | 1973·9 | 66·9 | 1975·6 | 80·5 | 1971·9 | 93·7 |
| 1982·9 | 84·3 | 1969·5 | 84·2 | 1979·7 | 93·5 | 1974·8 | 45·7 | 1976·6 | 68·2 | 1972·9 | 102·7 |
| 1983·7 | 91·4 | 1970·9 | 53·2 | 1980·8 | 82·1 | 1975·6 | 103·2 | 1977·8 | 82·4 | 1973·7 | 67·9 |
| 1984·6 | 104·0 | 1971·6 | 111·4 | 1981·8 | 124·7 | 1976·7 | 56·7 | 1978·6 | 56·8 | 1974·5 | 65·5 |
| 1985·6 | 49·4 | 1972·9 | 55·1 | 1982·9 | 104·0 | 1977·10 | 50·1 | 1979·9 | 84·3 | 1975·6 | 163·5 |
| | | 1973·8 | 63·2 | 1983·9 | 101·6 | 1978·6 | 71·9 | 1980·6 | 77·5 | 1976·5 | 65·4 |
| | | 1974·5 | 53·1 | 1984·6 | 151·6 | 1979·9 | 106·7 | 1981·5 | 91·5 | 1977·8 | 96·7 |
| | | 1975·8 | 151·1 | 1985·6 | 79·9 | 1980·5 | 71·8 | 1982·7 | 278·9 | 1978·8 | 54·7 |
| | | 1976·5 | 41·5 | | | 1981·8 | 56·3 | 1983·7 | 60·3 | 1979·9 | 197·1 |
| | | 1977·10 | 67·1 | | | 1982·9 | 110·3 | 1984·8 | 74·8 | 1980·5 | 74·1 |
| | | 1978·8 | 56·7 | | | 1983·10 | 96·1 | | | 1981·8 | 90·2 |
| | | | | | | 1984·6 | 113·2 | | | 1982·7 | 199·3 |
| | | | | | | 1985·6 | 95·9 | | | 1983·7 | 125·4 |
| | | | | | | | | | | 1984·6 | 86·2 |
| | | | | | | | | | | 1985·8 | 77·0 |

秭归等六县四月至10月降水量占全年降水量的84.2至87.2%，5月至9月降水量占全年降水量的67.4至70.1%。秭归、巴东、万县全年降水中，七月份降水量最多占全年的15.2至16.8%，元月份最少占全年的1%至1.5‰。而奉节、云阳，巫山全年降水中，五月份降水量最大，占全年的16.2至16.7%，元月份最少占全年的0.7至1.1%。

### （二）暴雨

三峡库区入夏以来，东南太平洋上的季风带来大量水气，温高湿重，加之西风带不断调整，库区处于南北冷暖气流交绥带，为暴雨天气提供了有利条件。同时，库区内大巴山、巫山、齐耀山、方斗山等，山岭重叠。并有许多由西南向东北走向的平行峡谷，这样的地形有利于水气输送和辐合抬升。因此，形成了四川地区三大暴雨中心之一的大巴山暴雨区。

大巴山暴雨中心位于奉节县梅溪河上游与云阳县汤溪河上游一带。梅溪河与汤溪河为长江左岸支流。秭归、巴东、巫山、奉节、云阳、万县气象站历年最大一日降水量见表2—11。由此表看出，历年中库区内最大一日降水量多出现在5月至9月，个别年份出现在4月或10月；历年中库区内最大一日降水量的极大值为云阳县龙角站1982年7月16日的278.9毫米，极小值为奉节站1966年10月的37.7毫米。表2—12中，多年平均最大一日降水量$H_c$在72.4至96.3毫米之间，最大一日降水量变差系数$C_V$在0.31至0.52之间，偏态系数$C_S$与变差系数$C_V$的比值采用3.5，秭归等六县百年一遇P=1%最大一日降水量$H_1$与甘年一遇P=5%最大一日降水量$H_5$见表2—12。

表2—12　　秭归等六县最大一日降水量Hc统计特征值表

| 项目 \ 县 | 秭　归 | 巴　东 | 巫　山 | 奉　节 | 云　阳 | 万　县 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Hc（毫米） | 72.5 | 82.7 | 83.7 | 77.6 | 81.1 | 96.3 |
| Cv | 0.31 | 0.52 | 0.35 | 0.31 | 0.50 | 0.42 |
| Cs/Cv | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| $H_1$（毫米） | 142.2 | 232.4 | 175.7 | 162.4 | 246.9 | 229.9 |
| $H_5$（毫米） | 115.3 | 167.3 | 139.3 | 150.9 | 221.2 | 174.8 |

注：表中Hc为多年平均最大一日降水量，Cv为最大一日降水量的变差系数，Cs为最大一日降水量的偏态系数，$H_1$为百年一遇P=1%的最大一日降水量，$H_5$为甘年一遇P=5%的最大一日降水量，降水量单位为毫米。

## 二、清水流量分析计算

### （一）设计标准

三峡库区淹没标准是：重庆市城区为百年一遇P=1%洪水迴水水面线，万县市城区为50年一遇P=2%洪水迴水水面线，县城、集镇、农村为20年一遇P=5%洪水水面线。结

含库区泥石流具体情况，三峡库区271条泥石流沟的清水流量$Q_b$和泥石流流量$Q_c$按二个设计标准分别进行分析计算：百年一遇P＝1％和20年一遇P＝5％。

### （二）泥石流沟流域特征值

泥石流沟的流域特征值是：流域面积F、沟长L，沟床平均纵比降J。

首先在5万分之一航测图上，分别勾绘每条泥石流沟的流域分水线，量测泥石流沟沟床上相邻等高线之间的间距$D_L$毫米。然后，在每条泥石流沟流域分水线内，用求积仪围量流域面积，求积仪读数为$M_i$，每条沟围量三次，相邻两次之差应小于百分之三。最后，用“流域特征值计算”程序与PC—1500计算机分别计算打印三峡库区内271条泥石流沟的流域特值F、L及J，并绘制沟床纵剖面图，271条泥石流沟的F、L、J见附表。（164—170页）。征“流域特征值计算”程序用BASIC语言按式（1）至式（4）编写。

$$F=\frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3}(M_i-M_{i-1}) \tag{1}$$

$$h=H_i-H_O \tag{2}$$

$$L=\sum_{i=1}^{n}(D_L)_i \tag{3}$$

$$J=\frac{h_1(D_L)_1+(h_1+h_2)(D_L)_2\cdots\cdots(h_{n-1}+h_n)(D_L)_n}{L^2} \tag{4}$$

式中：$H_O$—泥石流沟沟口的沟床高程

$H_i$—沟床高程

$D_L$—沟床上相邻等高线的间距

### （三）设计最大一日降水量

三峡库区271条泥石流沟的泥石流量$Q_c$采用雨洪修正法分析计算。首先计算泥石流沟的清水流量$Q_b$（即洪峰流量），然后计算泥石流流量$Q_c$。271条泥石流沟都属于无水文资料地区，泥石流沟清水流量$Q_b$采用暴雨分析洪峰流量的方法。而每条泥石流沟都无气象站，因此，泥石流沟暴雨资料借用该沟所在县的县气象站资料。暴雨资料主要是历年最大一日降水量、暴雨衰减指数$n_1$及$n_2$。

用PC—1500计算机“设计最大一日降水量”程序及表2—11的历年最大一日降水量，分别计算打印秭归、巴东、巫山、奉节、云阳、万县气象站的统计参数及百年一遇最大一日降水量$H_1$、廿年一遇最大一日降水量$H_5$（见表2—12）。

**1．统计参数**

首先，采用对分法将历年最大一日降水量统计系列$H_i$从大至小进行排队。然后，按式（5）至式（7）分别计算经验频率P、均值$H_c$及变差系数$C_v$。

$$P=\frac{i}{n+1} \tag{5}$$

$$H_c = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} H_i \qquad (6)$$

$$C_v = \frac{1}{H_c}\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(H_i - H_c)} \qquad (7)$$

式中：i —统计系列排队序号

n —统计系列年数

H —最大一日降水统计系列

$H_c$—最大一日降水量的多年平均值

$C_v$—变差系数

**2．优选C 值**

用0.618法优选由式7计算的$C_v$值，达到差值平方和最小。已知统计参数$H_c$、$C_v$及C $C_v$之比值，求差值平方和D最小时的$C_v$值。

$$W = \sqrt{\frac{2}{3+\sqrt{5}}} \qquad (8)$$

$$R = 1 - W$$

$C_v$的上限$C_4 = 1.3C_v$，$C_v$的下限$C_3 = 0.9C_v$。22个频率依次为0.001，……，99。

$$C_1 = RC_4 + WC_3 \qquad (10)$$

$$C_2 = RC_3 + WC_4 \qquad (11)$$

由$H_c$、$C_1$及C /$C_v$值计算双个频率的$H_i$，再由式12计算$C_1$的差值平方和$D_1$。

$$D = \sum_{i=1}^{22}(H_i - H_c)^2 \qquad (12)$$

同理可计算$C_2$值的差值平方和$D_2$。

若$D_2 > D_1$时则区间缩小在$C_3$至$C_2$之间，这时$C_4 = C_2$，$C_2 = C_1$，再由式10计算$C_1$，式12计算$D_1$。

反之$D_2 < D_1$时则区间在$C_1$至$C_4$之间，这时$C_3 = C_1$，$C_1 = C_2$，再分别由式11与式12计算$C_2$及$D_2$。

当$C_4 - C_3 < 0.01$时则优选的变差系数$C_v = \frac{1}{2}(C_4 + C_3)$，这时差值平方和D最小。

否则继续计算$C_1$、$D_1$、$C_2$、$D_2$直至满足条件为止。

**3．几率格纸**

在几率格纸上点绘经验点据及理论频率曲线、理论频率曲线与经验点据适线从而确定最佳理论频率曲线。几率格纸纵坐标为十格，每格45步，纵比例由程序计算确定。几率格纸横坐标为13条竖线，每条线表示频率P，13个频率依次为0.01，0.1，……，95，99。其频率P的横坐标U由近似公式16计算。式15中的系数$a_i$共11个。

$$U_i = \begin{cases} 0 & \text{当}P = 0.5\text{时} \\ -U_2 & \text{当}P < 0.5\text{时，}Y_i = P \\ U_2 & \text{当}P > 0.5\text{时，}Y_i = 1 - P \end{cases} \qquad (13)$$

$$Y_2 = -L_1[4Y_1(1-Y_1)] \quad (14)$$

$$U_2 = \sqrt{Y_2 \sum_{j=0}^{10} (a_i Y_2^i)} \quad (15)$$

$$U = 34.73(U_1 + 3.719) \quad (16)$$

**4．理论频率曲线**

理论频率曲线上每点的横坐标U由式16计算，纵坐标$H_p$由式17计算。

$$H_p = (1 + FC_v)H_c \quad (17)$$

式中：F —离均系数

$H_p$—频率P的最大一日降水量

离均系数F由$C_v$及$C_s/C_v$插值计算。即程序中已经置入偏态系数$C_s$的离均系数E，由已知$C_v$及$C_s/C_v$计算$C_s$，则可由相邻$C_s$的E中计算式17中的离均系数F。

## （四）清水流量

库区每条泥石流沟由推理公式分析计算两个设计标准P＝1与P＝5的清水流量$Q_c$（见附表）。

首先，由式18与式19分别计算最大24小时雨量$H_b$与雨力S，再由式21计算泥石流沟产流时间$T_c$。

然后，由暴雨衰减指数$n_2$分析清水流量$Q_2$。联解方程式22与式24，求解洪峰径流系数D。若$T_c$小于汇流时间T时。则D为所求；反之$T_c \geqslant T$时，联解式22与式23，求解洪峰径流系数D。当$T > 1$时，将计算的洪峰径流系数D代入20式中求清水流量$Q_b$。因此，暴雨衰减指数$n_2$的清水流量$Q_2 = Q_b$。

由$n_2$分析清水流量$Q_2$的过程中，若$T \leqslant 1$时，则应由衰减指数$n_1$分析清水流量$Q_1$。联解方程式22与式24，求解D；若$T_c < T$时D为所求；反之$T_c \geqslant T$时，联解方程式22与式23求解D。这时，若$T \leqslant 1$时将计算的洪峰径流系数D代入式20求$Q_b$。所以，衰减指数$n_1$的清水流量$Q_1 = Q_b$。

由$n_1$分析清水流量$Q_1$的过程中，若$T > 1$时，则泥石流的清水流量$Q_c = \frac{1}{2}(Q_1 + Q^x)$。

假设洪峰径流系数为Z，由式22计算汇流时间T，并由式24计算洪峰径流系数D。若假设值Z与计算值D相对误差的绝对值Y小于或等于千分之一时，则D满足式22与式24。为所求。否则，重新假设Z，直至满足条件为止。

$$H_b = 1.16H - \mu \quad (18)$$

$$S = 24^{z-1} H_b \quad (19)$$

$$Q_b = \frac{1}{3.6T^n} DSF \quad (20)$$

$$T_c = \left[(1-n_2)\frac{S}{E}\right]^{\frac{1}{n_2}} \quad (21)$$

$$T=\left[\frac{10}{3.6^{\frac{3}{4}}\ J^{\frac{1}{3}}\frac{m}{L}(SF)^{\frac{1}{4}}}\right]^{\frac{4}{4-n}} Z^{\frac{1}{n-4}} \tag{22}$$

全面汇流$T_c \geqslant T$时

$$D=1-\frac{E}{S}T^n \tag{23}$$

部分汇流$T_c < T$时

$$D=n\left(\frac{T_c}{T}\right)^{1-n} \tag{24}$$

$$Y=\frac{2(D-Z)}{D+Z} \tag{25}$$

巫山、云阳、奉节、万县泥石流沟清水流量$Q_c$的汇流参数m与平均入渗率E按“四川省水文手册”推荐的四川省盆缘山区公式计算：

$$G=\frac{10L}{J^{\frac{1}{3}}F^{\frac{1}{4}}} \tag{26}$$

$1<G<30$时，$m=0.318G^{0.204}$ (27)

$30<G<300$时，$m=0.055G^{0.72}$ (28)

$$E=3.6K_pF^{-0.19} \tag{29}$$

$$n_1=a_1+b_1\lg P \tag{30}$$

$$n_2=a_2+b_2\lg P \tag{31}$$

式中：$H_{-B}$—设计最大一日降水量（毫米）

$H_b$—设计最大24小时降水量（毫米）

S—雨力（毫米/小时）

$n_2$—$T\geqslant 1$ 小时的暴雨衰减指数

$n_1$—$T<1$ 小时的暴雨衰减指数

n—分析中采用的$n_1$或$n_2$

$T_c$—产流时间（小时）

T—汇流时间（小时）

Z—假设的洪峰径流系数

D—由式23或式24计算的洪峰径流系数

F—流域面积（平方公里）

L—泥石流沟沟长（公里）

J—泥石流沟沟床平均纵比降（‰）

m—汇流参数

E—平均入渗率（毫米/小时）

P—频率（%）

$K_p$—模比系数，四川省盆缘山区$C_v=0.23$，$C_s/C_v=3.5$。$K_p$由$C_v$、$C_s/C_v$及P查皮—Ⅲ型曲线模比系数表。

$a_1$、$b_1$—T＜1　小时暴雨参数

$a_2$、$b_2$—T≥1　小时暴雨参数

巫山、云阳、奉节、万县的$a_1$、$b_1$、$a_2$、$b_2$查“四川省水文手册”。

## 三、泥石流流量分析计算

### （一）判别泥石流沟

首先利用库区航空照片结合库区地形、地质初步判别泥石流沟。然后，在库区奉节等1多个县境内对泥石流沟进行全面考察，了解泥石流沟的泥石流历史，调查泥石流沟的形成区、流通区及堆积区。最后，结合泥石流沟流域面积F与沟床平均纵比降I综合判断库区271条泥石流沟。每条泥石流沟所在江岸、所在县区、至坝址的距离、流域面积、沟长、纵比降、设计标准的清水流量与泥石流流量见附表（见164—170页）。

### （二）泥石流容重与砂石容重

三峡库区泥石流容重$r_c$与砂石容重rH通过试验分析提供。砂石容重$r_H$都是2.7吨/立方米，泥石流容重$r_c$见表2—13。表2—13中6条泥石流沟的位置见附表，6条泥石流沟的泥石流流量$Q_c$按$r_H$与表2—13中$r_c$计算。三峡库区其余泥石流沟的泥石流流量$Q_c$按$r_H$与甘沟子泥石流容重$r_c$=1.66吨/立方米计算。

库区6条泥石流沟泥石流容重rc表　　表2—13

| 泥石流沟 | 甘沟子 | 张家大沟 | 垮岩子沟 | 许家大沟 | 培福沱 | 老青滩 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| rc（吨/米³） | 1.66 | 2.11 | 2.28 | 1.97 | 2.19 | 2.30 |

### （三）泥石流流量$Q_C$计算

三峡库区每条泥石流沟的泥石流流量$Q_c$采用雨洪修正法计算。首先，计算每条沟设计标准的清水流量$Q_b$，然后由式32与式33计算泥石流沟设计标准的泥石流流量$Q_c$。

$$C_a = \frac{r_c - 1}{r_H - r_c} \qquad (32)$$

$$Q_c = (1 + C_a) KQ_b \qquad (33)$$

式中：K为三峡库区泥石流堵塞系数，K＝1。

## 四、典型泥石流沟分析计算

张家大沟泥石流沟位于长江左岸的巫山县曲尺乡，沟口距三峡坝址三斗坪141.6公里。

我们选择张家大沟作为典型泥石流沟进行分析计算。

（一）张家大沟流域特征值

计算张家大沟流域特征值的已知条件见图2—8中的小体字。航测图比例尺S=50000，航测图黄海系统与吴淞系统的换算系数K=1.76，计算打印流域面积F的控制变量B$为字用Y，求积仪换算系数E=0.02，流域内最高高程$H_m$=1867.8米，河口的河床高程$H_.$=83.85米，河床上等高线高程H米，相邻等高线的间距$D_L$毫米，其H～$D_L$数组及M数组见图2—8中的小体字。起始求积仪读数$M_0$=2，第1次读数$M_1$=451，……。以上为黄海高程系统。

打印的流域特征为图2—8中的大体字和图2—9。打印结果的高程为吴淞系统。$H_{max}$与$H_{min}$分别为流域内最高与最低高程米，泥石流沟沟长L公里，沟床平均纵比降J‰，流域面积F平方公里，$D_L$为相邻等高线的间距米，等高线至河口的距离$L_a$米，高程H米。最后，绘制河床纵剖面图H～$L_a$。

（二）巫山县最大一日降水量计算

张家大沟泥石流沟位于巫山县中和区曲尺乡。因该泥石流沟属于无水文资料地区、同时该沟也无气象观测资料，故借用巫山县气象站最大一日降水量系列（见表2—11）进行频率计算。

张家大沟百年一遇最大一日降水量为175.7毫米，20年一遇最大一日降水量为139.3毫米，最大一日降水量$H_c$、$C_v$、$C_s/C_v$见表4的“巫山”列。

（三）张家大沟清水流量$Q_b$

我们以百年一遇P=1为例叙述张家大沟清水流量$Q_b$与泥石流流量$Q_c$的分析计算方法，同时用手算结果和PC—1500机计算结果（图2—10）比较，略去20年一遇P=5的$Q_b$与$Q_c$计算。

已知：张家大沟F=9.13平方公里，L=6.105公里，J=188.35‰，P=1，$H_1$=175.7毫米，$R_c$=2.11吨/立方米，$R_n$=2.7吨/立方米，K=1，查“四川省水文手册”$a_1$=0.356，$b_1$=0.01，$a_2$=0.7，$b_2$=0.005

$$G=\frac{10L}{J^{\frac{1}{3}}F^{\frac{1}{4}}}=6.127$$

$$m=0.318G^{0.204}=0.4602$$

由$C_v$=0.23、$C_s$=3.5$C_v$、P=1查“皮尔逊Ⅲ曲线模比系数$K_p$值表”可知$K_p$=1.60

$$E=3.6K_pF^{-0.19}=3.93\text{毫米/小时}$$

$$H_{24}=1.16\times H_1=203.81\text{毫米}$$

$$n_1=a_1+b_1\lg P=0.356$$

$$n_2=a_2+b_2\lg P=0.7$$

$$S=24^{n_2-1}H_{24}=78.55\text{毫米/小时}$$

A=50000 K=1.76 B=Y E=0.02
Hm=1867.8 H0=83.85

| NO | H(m) | DL(mm) |
|---|---|---|
| 0 | 83.85 | 6 |
| 1 | 120.00 | 4 |
| 2 | 140.00 | 6.3 |
| 3 | 200.00 | 6 |
| 4 | 240.00 | 6 |
| 5 | 280.00 | 5.8 |
| 6 | 340.00 | 6 |
| 7 | 380.00 | 6 |
| 8 | 400.00 | 2 |
| 9 | 420.00 | 4 |
| 10 | 440.00 | 8 |
| 11 | 520.00 | 9 |
| 12 | 500.00 | 10 |
| 13 | 660.00 | 2 |
| 14 | 700.00 | 2 |
| 15 | 740.00 | 2 |
| 16 | 800.00 | 6 |
| 17 | 940.00 | 6 |
| 18 | 1060.00 | 8 |
| 19 | 1320.00 | 2 |
| 20 | 1400.00 | 2 |
| 21 | 1460.00 | 4 |
| 22 | 1560.00 | 7 |
| 23 | 1700.00 | 2 |
| 24 | 1720.00 | |

| NO | n |
|---|---|
| 0 | 2 |
| 1 | 451 |
| 2 | 908 |
| 3 | 1372 |

Hmax=1869.56
Hmin=85.61
L=6.105(KM)
J=188.35(‰)
F=9.13(KM)∧2

图2—8 张家大沟流域特征值打印结果（1）

| NO | DL(m) | La(m) | H(m) |
|---|---|---|---|
| 0 | 300 | 0 | 85.61 |
| 1 | 290 | 300 | 121.76 |
| 2 | 315 | 590 | 141.76 |
| 3 | 300 | 815 | 201.76 |
| 4 | 300 | 1115 | 241.76 |
| 5 | 290 | 1415 | 281.76 |
| 6 | 300 | 1705 | 341.76 |
| 7 | 300 | 2005 | 381.76 |
| 8 | 100 | 2305 | 401.76 |
| 9 | 200 | 2405 | 421.76 |
| 10 | 400 | 2605 | 441.76 |
| 11 | 450 | 3005 | 521.76 |
| 12 | 500 | 3455 | 581.76 |
| 13 | 100 | 3955 | 661.76 |
| 14 | 100 | 4055 | 701.76 |
| 15 | 100 | 4155 | 741.76 |
| 16 | 300 | 4255 | 801.76 |
| 17 | 300 | 4555 | 941.76 |
| 18 | 400 | 4855 | 1061.76 |
| 19 | 100 | 5255 | 1321.76 |
| 20 | 100 | 5355 | 1401.76 |
| 21 | 200 | 5455 | 1461.76 |
| 22 | 350 | 5655 | 1561.76 |
| 23 | 100 | 6005 | 1701.76 |
| 24 | | 6105 | 1721.76 |

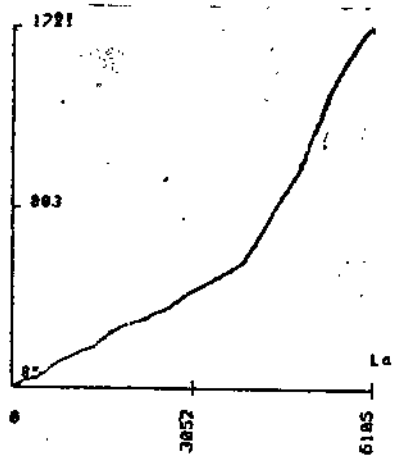



图2—9 张家大沟流域特征值打印 结果（2）

$$T_c=\left\{(1-n_2)\frac{S}{E}\right\}^{\frac{1}{n_2}}=12.94\text{小时}$$

由$n_2=0.7$分析清水流量$Q_2$。假设t=0.7，代入式22得T=2.136，将T代入式24得D=1.201，误差Y=0.52，故继续假设Z，判断Y。共假设4次Z，最后一次Z=1.267，T=1.784，D=1.268，Y=0.0008。由于T<Tc，上述D=1.268不为所求，重新联立式22与式23求解D=0.9197，T=1.966（小时），$Q_b$=114.13秒立米。联立式22与23过程见表2—14。因为T>1小时，且Tc>T，故Qb=114.13秒立米为所求的清水流量$Q_2$。

张家大沟清水流量叠代表　　表2—14

| 序号I | 假设Z | T(小时) | 计算D | 误差Y |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.7 | 2.136 | 0.9149 | 0.2662 |
| 2 | 0.9149 | 1.9695 | 0.9196 | 0.0051 |
| 3 | 0.9196 | 1.9664 | 0.9197 | 0.0001 |

$$Z=0.9196,T=\left[\frac{10}{3.6^{\frac{3}{4}}J^{\frac{1}{3}}\frac{m}{L}(SF)^{\frac{1}{4}}}\right]^{\frac{4}{4-n_2}}Z^{\frac{1}{n_2-4}}=1.966\text{小时}$$

$$D=1-\frac{E}{S}T^{n_2}=0.9197$$

$$Q_b=\frac{1}{3.6T^{n_2}}DSF=114.13\text{秒立米}$$

$$M=\frac{Q_b}{F}=12.5\text{秒立米/平方公里}$$

手算结果与PC－1500机计算结果（图2—10）一致。

（四）张家大沟泥石流流量Qc

已知张家大沟泥石流容重$r_c$=2.11吨/秒立米，砂石容重rn=2.7吨/秒立米，K=1，求Qc。

$$Ca=\frac{r_c-1}{rn-r_c}=1.88$$

$$Qc=(1+Ca)KQ_b=328.69\text{秒立米}$$

P=1
T=1.96
Tc=12.94
n=0.7
E=3.93
m=0.46
D=0.92
Qb=114.14
M=12.5
Qc=328.87

P=5
T=2.11
Tc=11.46
n=0.703
E=3.36
m=0.46
D=0.91
Qb=85.89
M=9.41
Qc=247.43

图2—10　张家大沟pc—1500打印Qb与Qc结果

图2—10中P、T、Tc、n、E、m、D、$Q_b$、M、Qc的物理意义与单位见“二(四)”一节。

# 五. 库区各县泥石流流量计算

## （一）奉　　节

奉节县境内有125条泥石流沟，主要分布于草堂区、朱衣区、新民区、城关区、平皋区及公平区。

奉节气象站建于1953年，先后三次迁移站址；现站址位于奉节县新城乡李子园，观测年限是1957年至今。因此，采用奉节县气象站1957年至1978年共29年最大一日降水量进行频率分析计算，求P＝1与P＝5设计标准的最大一日降水量$H_1$与$H_5$。奉节县29年最大一日降水量见表2—11，最大一日降水量统计特征值见表2—12。

从表2—15可以看出，历年中最大一日降水量多发生在五月份，其次是六、八、九月份。

奉节县历年中各月出现H-日统计表　　表2—15

| 月　份 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 全年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 出现次数 | 8 | 5 | 3 | 5 | 5 | 3 | 29 |
| 百分比(%) | 27.6 | 17.2 | 10.4 | 17.2 | 17.2 | 10.4 | 100 |

奉节县最大一日降水量频率计算打印结果见图2—11、2—12。统计系列为连续系列n＝29，历史洪水个数a＝0，实测系列中的特大值个数L＝0，偏态系数与变差系数比值$C_s/Cv=3.5$，统计系列H（I）从大至小排队Hn（I）及经验频率Pn，多年平均最大一日降水量Hc，计算的Cv＝0.291，0.618法优选Cv＝0.307，绘制机率格纸、点绘经验点据、绘制理论频率曲线，P～$K_p$～$H_p$表中P为频率、Kp为模比系数、Hp为设计最大一日降水量。

查“四川省水文手册”$a_1=0.356$，$b_1=0.015$，$a_2=0.7$，$b_2=0.05$。然后，用程序计算125条泥石流沟的F、L、J、$Q_b$、$Q_c$，计算结果见附表。

## （二）巫　　山

巫山县境内有64条泥石流沟，主要分布于中和区、大庙区及福田区。

巫山县气象站建站于1959年，迁移站址二次，1961年9月至今一直在巫山县城西门外下西坪观测。因此，采用巫山县气象站1962年至1985年共24年的最大一日降水量进行频率计算，求出设计标准最大一日降水量$H_1$与$H_5$，巫山县历年最大一日降水量见表2—11，而最大一日降水量统计特征值见表2—12。

从表2—16可以看出，24年中最大一日降水量多发生在八月和九月，其次是五月和六月。

巫山县最大一日降水量频率计算PC—1500机打印结果见图2—13、2—14。频率计算为连续系列，因此N＝n＝24，a＝0，L＝0，$C_s/Cv=3.5$，最大一日降水量系列H(I)，H（I）从大至小的排队表Hn（I），经验频率Pn，多年平均最大一日降水量$H_c$，计算的Cv＝0.312，0.618优选法的Cv＝0.348。

N=29 a=0 n=29 L=0 Cs/Cv=3.5

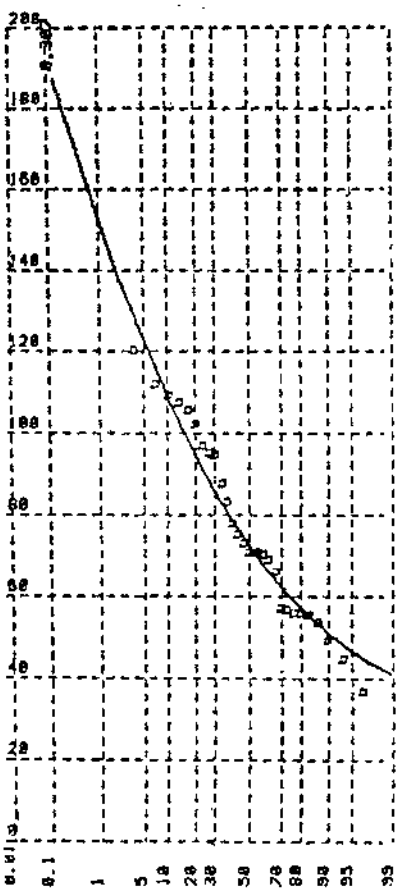
| I | H(I) |
|---|---|
| 1 | 71.8 |
| 2 | 78.7 |
| 3 | 56.5 |
| 4 | 58.2 |
| 5 | 76 |
| 6 | 73.8 |
| 7 | 56.4 |
| 8 | 121.4 |
| 9 | 88.6 |
| 10 | 37.7 |
| 11 | 70.1 |
| 12 | 71.9 |
| 13 | 108.8 |
| 14 | 84.1 |
| 15 | 97.8 |
| 16 | 57.5 |
| 17 | 66.9 |
| 18 | 45.7 |
| 19 | 103.2 |
| 20 | 56.7 |
| 21 | 50.1 |
| 22 | 71.9 |
| 23 | 185.7 |
| 24 | 71.3 |
| 25 | 56.3 |
| 26 | 110.3 |
| 27 | 96.1 |
| 28 | 113.2 |
| 29 | 95.9 |

—*—*—*—

| I | Hm(I) | PM(%) |
|---|---|---|
| 1 | 121.4 | 3.33 |
| 2 | 113.2 | 6.66 |
| 3 | 110.3 | 10.00 |
| 4 | 108.8 | 13.33 |
| 5 | 106.7 | 16.66 |
| 6 | 103.2 | 20.00 |
| 7 | 97.8 | 23.33 |
| 8 | 96.1 | 26.66 |
| 9 | 95.9 | 30.00 |
| 10 | 88.6 | 33.33 |
| 11 | 84.1 | 36.66 |
| 12 | 78.7 | 40.00 |
| 13 | 76 | 43.33 |
| 14 | 73.8 | 46.66 |
| 15 | 71.9 | 50.00 |
| 16 | 71.9 | 53.33 |
| 17 | 71.8 | 56.66 |
| 18 | 71.8 | 60.00 |
| 19 | 70.1 | 63.33 |
| 20 | 66.9 | 66.66 |
| 21 | 58.2 | 70.00 |
| 22 | 57.5 | 73.33 |
| 23 | 56.7 | 76.66 |
| 24 | 56.5 | 80.00 |
| 25 | 56.3 | 83.33 |
| 26 | 54.4 | 86.66 |
| 27 | 50.1 | 90.00 |
| 28 | 45.7 | 93.33 |
| 29 | 37.7 | 96.66 |

Hc=77.6 Cv=0.291

Ho=77.64 Cv=0.307 Cs/Cv=3.5




Hc=77.64 Cv=0.307 Cv/Cz=3.5

| P(%) | Kp | Hp |
|---|---|---|
| 0.001 | 3.329 | 258.4 |
| 0.01 | 2.884 | 223.9 |
| 0.1 | 2.426 | 188.3 |
| 0.2 | 2.471 | 191.9 |
| 0.33 | 2.177 | 169.0 |
| 0.5 | 2.092 | 162.4 |
| 1 | 1.943 | 150.9 |
| 2 | 1.791 | 139.0 |
| 5 | 1.580 | 122.7 |
| 10 | 1.411 | 109.6 |
| 20 | 1.229 | 95.4 |
| 30 | 1.113 | 86.4 |
| 40 | 1.022 | 79.4 |
| 50 | 0.946 | 73.4 |
| 60 | 0.876 | 68.0 |
| 70 | 0.808 | 62.8 |
| 75 | 0.774 | 60.1 |
| 80 | 0.739 | 57.3 |
| 90 | 0.658 | 51.1 |
| 95 | 0.503 | 46.8 |

图2—11、2—12 奉节H-P频率计算打印结果

N=24 a=0 n=24 L=0 Cz/Cv=3.5

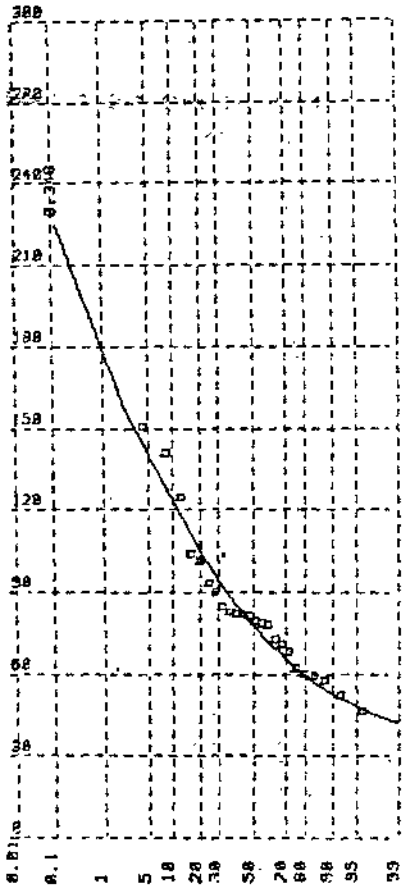
| I | H(I) |
|---|---|
| 1 | 79 |
| 2 | 52.3 |
| 3 | 141.4 |
| 4 | 60 |
| 5 | 46.1 |
| 6 | 90.5 |
| 7 | 66.5 |
| 8 | 71 |
| 9 | 62.4 |
| 10 | 73.1 |
| 11 | 81.6 |
| 12 | 85.2 |
| 13 | 82.2 |
| 14 | 83 |
| 15 | 78 |
| 16 | 59.4 |
| 17 | 57.8 |
| 18 | 93.5 |
| 19 | 82.1 |
| 20 | 124.7 |
| 21 | 104 |
| 22 | 101.6 |
| 23 | 151.6 |
| 24 | 79.9 |

—*—*—*—

| I | Hn(I) | Pn(%) |
|---|---|---|
| 1 | 151.6 | 4.00 |
| 2 | 141.4 | 8.00 |
| 3 | 124.7 | 12.00 |
| 4 | 104 | 16.00 |
| 5 | 101.6 | 20.00 |
| 6 | 93.5 | 24.00 |
| 7 | 90.5 | 28.00 |
| 8 | 85.2 | 32.00 |
| 9 | 83 | 36.00 |
| 10 | 82.2 | 40.00 |
| 11 | 82.1 | 44.00 |
| 12 | 81.6 | 48.00 |
| 13 | 79.9 | 52.00 |
| 14 | 79 | 56.00 |
| 15 | 78 | 60.00 |
| 16 | 73.1 | 64.00 |
| 17 | 71 | 68.00 |
| 18 | 66.5 | 72.00 |
| 19 | 62.4 | 76.00 |
| 20 | 60 | 80.00 |
| 21 | 59.4 | 84.00 |
| 22 | 57.8 | 88.00 |
| 23 | 52.3 | 92.00 |
| 24 | 46.1 | 95.00 |

Ho=83.7 Cv=0.312

Hc=83.70 Cv=0.348 Cv/Cz=3.5




Hc=83.70 Cv=0.348 Cv/Cs=3.5

| P(%) | KP | HP |
|---|---|---|
| 0.001 | 3.796 | 317.8 |
| 0.01 | 3.247 | 271.8 |
| 0.1 | 2.685 | 224.7 |
| 0.2 | 2.652 | 222.0 |
| 0.33 | 2.382 | 199.4 |
| 0.5 | 2.279 | 190.7 |
| 1 | 2.099 | 175.7 |
| 2 | 1.915 | 160.3 |
| 5 | 1.664 | 139.3 |
| 10 | 1.465 | 122.6 |
| 20 | 1.253 | 104.9 |
| 30 | 1.119 | 93.7 |
| 40 | 1.017 | 85.1 |
| 50 | 0.931 | 77.9 |
| 60 | 0.854 | 71.5 |
| 70 | 0.781 | 65.3 |
| 75 | 0.744 | 62.3 |
| 80 | 0.707 | 59.2 |
| 90 | 0.623 | 52.2 |
| 95 | 0.560 | 47.6 |

图 2—14

图2—13、2—14 巫山县H-P频率计算打印结果

查“四川省水文手册”$a_1=0.356$，$b_1=0.018$，$a_2=0.7$，$b_2=0.005$。然后，应用程序计算64条泥石流沟的F、L、J、$Q_b$、$Q_c$，计算结果见附表。

巫山县历年中各月出现H-日统计表　　表2—16

| 月　份 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 全年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 出现次数 | 1 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 1 | 24 |
| 百分比(%) | 4.2 | 12.5 | 8.3 | 20.8 | 25 | 25 | 4.2 | 100 |

## （三）云　阳

云阳县境内有40条泥石流沟，主要分布于故陵区、红狮区、龙角区、云硐区及江口区。

云阳县气象站于1957年至1958年9月在云安镇江家菜园观测，1958年10月至1973年12月在南溪鱼塘坝观测，1974年1月至今在云安镇较场坝观测。云阳气象站从1957年，多次迁站址，资料一致性较差，而1974年至今资料又太短，所以采用云阳县龙角乡张家村的龙角水文站的气象资料。龙角站建于1959年，观测至今。龙角站1959年至1984年共26年的最大一日降水量见表2—11，最大一日降水量统计特征见表2—12。

龙角站26年中，最大一日降水量多发生于七月和六月，其次是九月和五月。各月出现最大一日降水量的次数见表2—17。

云阳县历年中各月出现H-日统计表　　表2—17

| 月　份 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 全年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 出现次数 | 4 | 6 | 7 | 3 | 5 | 1 | 26 |
| 百分比(%) | 15.3 | 23.1 | 26.9 | 11.5 | 19.2 | 4 | 100 |

云阳县龙角站最大一日降水量频率计算Pc—1500机打印结果见图2—15，2—16。频率计算为连续系列，故N = n = 26，a = 0，L = 0，Cs/Cv = 3.5，26年最大一日降水量统计系列H（I），H（I）从大至小的排队表Hn（I）及经验频率Pn，多年平均值Hc，计算的Cv = 0.521，0.618法优选的Cv = 0.498，绘制机率格纸、经验点据、理论频曲线，打印P～$K_p$～$H_p$表。

查“四川省水文手册”$a_1 = 0.356$，$b_1 = 0.018$，$a_2 = 0.71$，$b_2 = 0.005$。然后，应用程序计算云阳40条泥石流沟的F、L、J、$Q_b$、$Q_c$，计算结果见附表。

## （四）巴　东

三峡库区巴东县境内有10条泥石流沟，主要分布于东壤区和官渡区。

巴东县气象站位于城关镇，我们采用该站1952年至1978年共27年最大一日降水量（表2—11）分析计算10条泥石沟的泥石流流量。巴东县27年中最大一日降水量多发生在八、七月，其次是五、六、九月。各月出现最大一日降水量的次数见表2—18。

巴东县气象站最大一日降水量频率计算PC—1500机打印结果见图2—17、2—18。统计系列为连续系列，故N = n = 27，a = 0，L = 0，Cs/Cv = 3.5，27年最大一日降水量系列H（I），H（I）从大至小排队表Hn（I）及经验频率Pn，计算的Cv = 0.446，0.618法优选的Cv值为0.517。

N=26 s=0 n=26 L=0 Cs/Cv=3.5

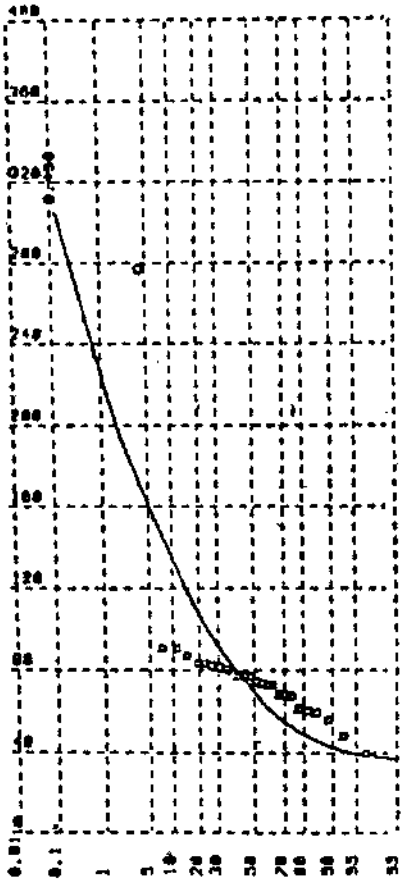
| I | H(I) |
|---|---|
| 1 | 39.9 |
| 2 | 60.6 |
| 3 | 87.7 |
| 4 | 68.8 |
| 5 | 81.4 |
| 6 | 83.6 |
| 7 | 62.1 |
| 8 | 73.6 |
| 9 | 77.8 |
| 10 | 90.9 |
| 11 | 78 |
| 12 | 73.6 |
| 13 | 74.3 |
| 14 | 48.2 |
| 15 | 83 |
| 16 | 69.2 |
| 17 | 80.5 |
| 18 | 80.2 |
| 19 | 82.4 |
| 20 | 56.8 |
| 21 | 84.3 |
| 22 | 77.5 |
| 23 | 91.5 |
| 24 | 278.9 |
| 25 | 60.3 |
| 26 | 74.8 |

| I | Hn(I) | Pn(%) |
|---|---|---|
| 1 | 278.9 | 3.70 |
| 2 | 91.5 | 7.48 |
| 3 | 90.9 | 11.11 |
| 4 | 87.7 | 14.81 |
| 5 | 84.3 | 18.51 |
| 6 | 83.6 | 22.22 |
| 7 | 83 | 25.92 |
| 8 | 82.4 | 29.62 |
| 9 | 81.4 | 33.33 |
| 10 | 80.5 | 37.03 |
| 11 | 78 | 40.74 |
| 12 | 77.8 | 44.44 |
| 13 | 77.5 | 48.14 |
| 14 | 74.8 | 51.85 |
| 15 | 74.3 | 55.55 |
| 16 | 73.6 | 59.25 |
| 17 | 73.5 | 62.96 |
| 18 | 69.2 | 66.66 |
| 19 | 68.8 | 70.37 |
| 20 | 68.2 | 74.07 |
| 21 | 62.1 | 77.77 |
| 22 | 60.6 | 81.48 |
| 23 | 60.3 | 85.18 |
| 24 | 56.0 | 88.88 |
| 25 | 48.2 | 92.59 |
| 26 | 39.9 | 96.29 |

Hc=81.0 Cv=0.521

Hc=81.07 Cv=0.498 Cv/Cs=3.5

图 2—15



Hc=81.07 Cs=0.498 Cv/Cs=3.5

| P(%) | Kp | Hp |
|---|---|---|
| 0.001 | 5.841 | 473.5 |
| 0.01 | 4.812 | 390.1 |
| 0.1 | 3.776 | 306.1 |
| 0.2 | 3.462 | 280.6 |
| 0.33 | 3.250 | 261.8 |
| 0.5 | 3.045 | 246.9 |
| 1 | 2.728 | 221.2 |
| 2 | 2.409 | 195.3 |
| 5 | 1.984 | 160.8 |
| 10 | 1.657 | 134.3 |
| 20 | 1.324 | 107.3 |
| 30 | 1.124 | 91.1 |
| 40 | 0.979 | 79.4 |
| 50 | 0.863 | 70.0 |
| 60 | 0.766 | 62.1 |
| 70 | 0.679 | 55.1 |
| 75 | 0.639 | 51.8 |
| 80 | 0.600 | 48.6 |
| 90 | 0.522 | 42.3 |
| 95 | 0.480 | 38.9 |

图 2—16

图2—15、2—16 云阳县H-日频率计算打印结果

巴东县历年中各月出现H—日统计表　　表2—18

| 月　份 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 全年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 出现次数 | 5 | 4 | 6 | 7 | 4 | 1 | 27 |
| 百分比(%) | 18.6 | 14.8 | 22.2 | 25.9 | 14.8 | 3.7 | 100 |

N=27　a=0　n=27　L=0　Cs/Cv=3.5

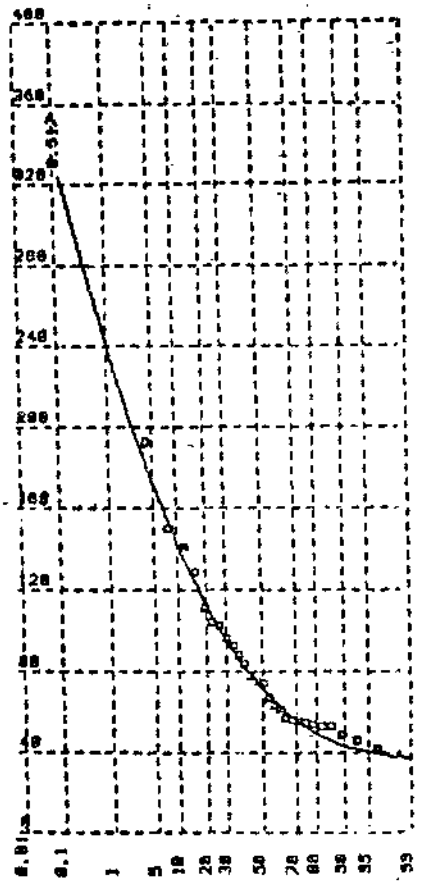
| I | H(I) |
|---|---|
| 1 | 129.5 |
| 2 | 53.4 |
| 3 | 141.5 |
| 4 | 102.8 |
| 5 | 88.5 |
| 6 | 57.6 |
| 7 | 74 |
| 8 | 55.3 |
| 9 | 96.1 |
| 10 | 61.4 |
| 11 | 193.3 |
| 12 | 92.6 |
| 13 | 77.4 |
| 14 | 45.8 |
| 15 | 48.5 |
| 16 | 104.4 |
| 17 | 75.3 |
| 18 | 84.2 |
| 19 | 53.2 |
| 20 | 111.4 |
| 21 | 55.1 |
| 22 | 63.2 |
| 23 | 53.1 |
| 24 | 151.1 |
| 25 | 41.5 |
| 26 | 67.1 |
| 27 | 56.7 |

| I | Hn(I) | Pn(%) |
|---|---|---|
| 1 | 193.3 | 3.57 |
| 2 | 151.1 | 7.14 |
| 3 | 141.5 | 10.71 |
| 4 | 129.5 | 14.28 |
| 5 | 111.4 | 17.85 |
| 6 | 104.4 | 21.42 |
| 7 | 102.8 | 25.00 |
| 8 | 96.1 | 28.57 |
| 9 | 92.6 | 32.14 |
| 10 | 88.5 | 35.71 |
| 11 | 84.2 | 39.28 |
| 12 | 77.4 | 42.85 |
| 13 | 75.3 | 46.42 |
| 14 | 74 | 50.00 |
| 15 | 67.1 | 53.57 |
| 16 | 63.2 | 57.14 |
| 17 | 61.4 | 60.71 |
| 18 | 57.6 | 64.28 |
| 19 | 56.7 | 67.85 |
| 20 | 55.3 | 71.42 |
| 21 | 55.1 | 75.00 |
| 22 | 53.4 | 78.57 |
| 23 | 53.2 | 82.14 |
| 24 | 53.1 | 85.71 |
| 25 | 48.5 | 89.28 |
| 26 | 45.8 | 92.85 |
| 27 | 41.5 | 96.42 |

Hc=82.7　Cv=0.446

Hc=82.74　Cv=0.517　Cv/Cs=3.5

图 2—17



Hc=82.74　Cv=0.517　Cv/Cs=3.5

| P(%) | Kp | Hp |
|---|---|---|
| 0.001 | 6.121 | 506.5 |
| 0.01 | 5.024 | 415.7 |
| 0.1 | 3.921 | 324.4 |
| 0.2 | 3.588 | 296.8 |
| 0.33 | 3.341 | 276.5 |
| 0.5 | 3.145 | 260.2 |
| 1 | 2.809 | 232.4 |
| 2 | 2.472 | 204.5 |
| 5 | 2.022 | 167.3 |
| 10 | 1.679 | 138.9 |
| 20 | 1.331 | 110.1 |
| 30 | 1.123 | 92.9 |
| 40 | 0.973 | 80.5 |
| 50 | 0.854 | 70.6 |
| 60 | 0.755 | 62.4 |
| 70 | 0.667 | 55.2 |
| 75 | 0.627 | 51.9 |
| 80 | 0.588 | 48.7 |
| 90 | 0.513 | 42.4 |
| 99 | 0.473 | 39.1 |

图 2—18

图2—17、2—18　巴东县H-日频率计算打印结果

查“湖北省水文手册”（1970版）$n_1=0.56$，$n_2=0.72$。巴东县位于四川大巴山边缘，汇流参数m采用四川盆缘山区m值，而平均入渗率E采用秭归县陕西营站E～I关系曲线内插计算，I为雨强。然后，应用程序分别计算巴东县10条泥石流沟的F、L、J、$Q_b$、$Q_c$，计算结果见附表。

### （五）秭　归

秭归县境内有10条泥石流沟，主要分布于窑湾区、莲花区、周坪区及泄滩区。

秭归县气象站位于县城城郊，我们采用该站1965年至1985年共21年最大一日降水量H-日（表2—11）分析计算10条沟的泥石流流量。秭归县21年中H-日多发生在五月份，其次是六、七、八月份。各月出现H-日的次数见表2—19。

秭归县历年中各月出现H-日统计表　　表2—19

| 月　份 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 全年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 出现次数 | 5 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 21 |
| 百分比(%) | 23.85 | 19.05 | 19.05 | 19.5 | 9.5 | 9.5 | 100 |

秭归县气象站最大一日降水量频率计算PC—1500机打印结果见图2—19、2—20。统计系列为连续系列，N=21，n=21，a=0，L=0，Cs/Cv=3.5，最大一日降水量系列H（I），H（I）从大至小排队Hn（I）及经验频率Pn，计算的Cv=0.284，用0.618法优选的Cv=0.312。

查“湖北省水文手册”（1970版）$n_1=0.50$，$n_2=0.65$。平均入渗率E用该县陕西营站E～I关系曲线内插计算，I为雨强。因该手册无汇流参数m资数，故借用四川盆缘山区m资料。最后，应用程序分别计算秭归县10条泥石流沟的F、L、J、$Q_b$、$Q_c$，计算结果见附表。

### （六）万　县

万县大周溪泥石流沟位于天成区。万县龙宝气象站建于1955年，我们采用该站1955年至1985年共31年最大一日降水量H-日（表2—11）分析计算大周溪泥石流沟的泥石流流量。万县31年中H-日多发生于七月，九月，其次是五月和六月。各月出现H-日的次数见表2—20。

万县历年中各月出现H—日统计表　　表2—20

| 月　份 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 全年 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 出现次数 | 4 | 4 | 8 | 7 | 8 | 31 |
| 百分比(%) | 12.9 | 12.9 | 25.8 | 22.6 | 25.8 | 100 |

万县龙宝气象站H—日频率计算PC—1500机打印结果见图2—21、2—22统计系列H-日为连续系列，N=31，n=31，a=0，L=0，Cs/Cv=3.5，统计系列H-日用H（I）表示，H（I）从大至小排队表Hn（I）及经验频率Pn，计算的Cv=0.376，用0.618法优选的Cv值为0.419。

N=21 s=0 n=21 L=0

| I | H(I) |
|---|---|
| 1 | 49.4 |
| 2 | 56.6 |
| 3 | 91.1 |
| 4 | 78.7 |
| 5 | 67.5 |
| 6 | 44.8 |
| 7 | 104.3 |
| 8 | 92.6 |
| 9 | 111.1 |
| 10 | 64.3 |
| 11 | 60.5 |
| 12 | 43 |
| 13 | 53.7 |
| 14 | 56.9 |
| 15 | 74.2 |
| 16 | 91.2 |
| 17 | 74.4 |
| 18 | 84.3 |
| 19 | 91.4 |
| 20 | 104 |
| 21 | 49.4 |

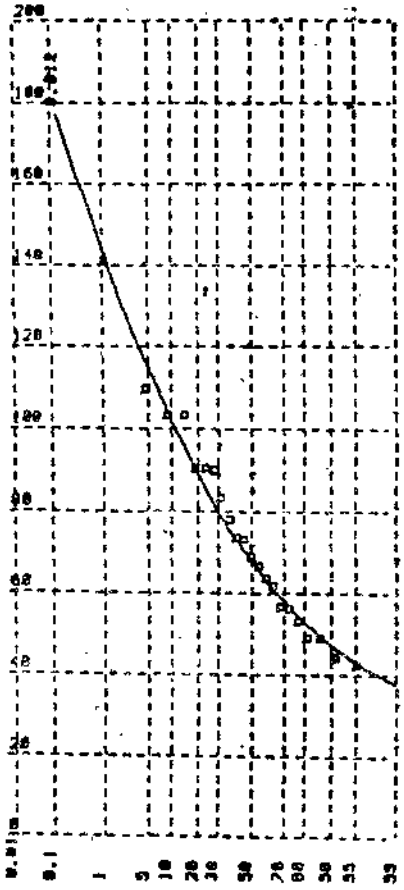
—*—*—*—

| I | Hn(I) | Pn(%) |
|---|---|---|
| 1 | 111.1 | 4.54 |
| 2 | 104.3 | 9.09 |
| 3 | 104 | 13.63 |
| 4 | 91.4 | 18.18 |
| 5 | 91.2 | 22.72 |
| 6 | 91.1 | 27.27 |
| 7 | 84.3 | 31.81 |
| 8 | 78.7 | 36.36 |
| 9 | 74.4 | 40.90 |
| 10 | 74.2 | 45.45 |
| 11 | 69.5 | 50.00 |
| 12 | 67.5 | 54.54 |
| 13 | 64.3 | 59.09 |
| 14 | 62.6 | 63.63 |
| 15 | 56.9 | 68.18 |
| 16 | 56.6 | 72.72 |
| 17 | 53.7 | 77.27 |
| 18 | 49.4 | 81.81 |
| 19 | 49.4 | 86.36 |
| 20 | 44.8 | 90.90 |
| 21 | 43 | 95.45 |

Hc=72.4 Cv=0.284

Hc=72.49 Cv=0.312 Cv/Cz=3.5

图 2—19



Hc=72.49 Cv=0.312 Cv/Cz=3.5

| P(%) | Kp | Hp |
|---|---|---|
| 0.001 | 3.385 | 245.3 |
| 0.01 | 2.928 | 212.2 |
| 0.1 | 2.457 | 178.1 |
| 0.2 | 2.494 | 180.8 |
| 0.33 | 2.202 | 159.6 |
| 0.5 | 2.116 | 153.3 |
| 1 | 1.962 | 142.2 |
| 2 | 1.806 | 130.9 |
| 5 | 1.596 | 115.7 |
| 10 | 1.418 | 102.8 |
| 20 | 1.232 | 89.3 |
| 30 | 1.114 | 80.7 |
| 40 | 1.022 | 74.1 |
| 50 | 0.944 | 68.4 |
| 60 | 0.873 | 63.3 |
| 70 | 0.805 | 58.3 |
| 75 | 0.771 | 55.9 |
| 80 | 0.735 | 53.3 |
| 90 | 0.653 | 47.4 |
| 95 | 0.598 | 43.4 |

图 2—20

图 2—19、2—20 秭归县H-B频率计算打印结果

N=31　　a=0　　m=31　　L=0　　Cs/Cv=3.5

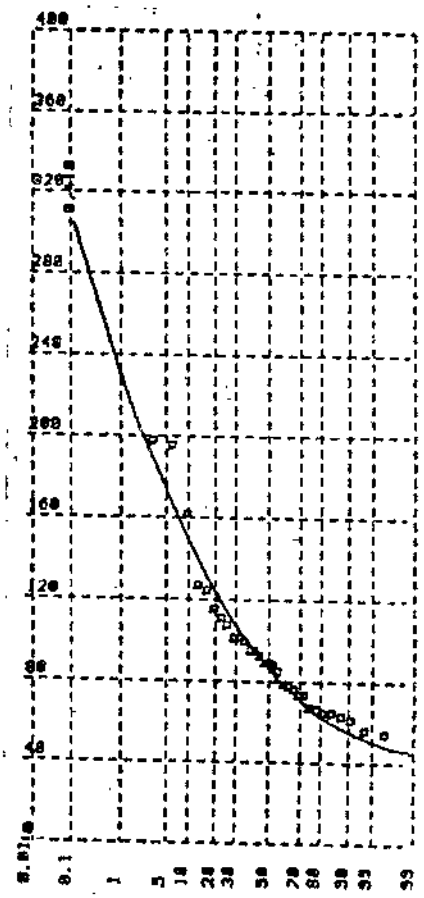
| I | H(I) |
|---|---|
| 1 | 79.5 |
| 2 | 96.1 |
| 3 | 108.5 |
| 4 | 116.5 |
| 5 | 74 |
| 6 | 83.5 |
| 7 | 82.1 |
| 8 | 112 |
| 9 | 88.9 |
| 10 | 103.1 |
| 11 | 78.5 |
| 12 | 86.3 |
| 13 | 66.7 |
| 14 | 101.1 |
| 15 | 90.1 |
| 16 | 128.5 |
| 17 | 93.7 |
| 18 | 102.7 |
| 19 | 87.9 |
| 20 | 68.5 |
| 21 | 163.5 |
| 22 | 85.4 |
| 23 | 96.7 |
| 24 | 54.7 |
| 25 | 197.1 |
| 26 | 74.1 |
| 27 | 80.8 |
| 28 | 199.3 |
| 29 | 125.4 |
| 30 | 86.2 |
| 31 | 77 |

| I | Ho(I) | Pm(%) |
|---|---|---|
| 1 | 199.3 | 3.12 |
| 2 | 197.1 | 6.25 |
| 3 | 163.5 | 9.37 |
| 4 | 128.5 | 12.50 |
| 5 | 125.4 | 15.62 |
| 6 | 116.5 | 18.75 |
| 7 | 112 | 21.87 |
| 8 | 108.5 | 25.00 |
| 9 | 103.1 | 28.12 |
| 10 | 102.7 | 31.25 |
| 11 | 101.1 | 34.37 |
| 12 | 96.7 | 37.50 |
| 13 | 96.1 | 40.62 |
| 14 | 93.7 | 43.75 |
| 15 | 90.2 | 46.87 |
| 16 | 90.1 | 50.00 |
| 17 | 88.9 | 53.12 |
| 18 | 86.2 | 56.25 |
| 19 | 79.5 | 59.37 |
| 20 | 78.5 | 62.50 |
| 21 | 77 | 65.62 |
| 22 | 74.1 | 68.75 |
| 23 | 74 | 71.87 |
| 24 | 67.9 | 75.00 |
| 25 | 66.7 | 78.12 |
| 26 | 65.5 | 81.25 |
| 27 | 65.4 | 84.37 |
| 28 | 63.5 | 87.50 |
| 29 | 62.1 | 90.62 |
| 30 | 56.3 | 93.75 |
| 31 | 54.7 | 96.87 |

Hc=96.3　　Cv=0.376

Hc=96.30　　Cv=0.419　　Cv/Cs=3.5

图 2—21




Hc=96.30　　Cv=0.419　　Cv/Cs=3.5

| P(%) | Kp | Hp |
|---|---|---|
| 0.001 | 4.696 | 452.5 |
| 0.01 | 3.942 | 379.8 |
| 0.1 | 3.175 | 305.7 |
| 0.2 | 2.960 | 285.0 |
| 0.33 | 2.764 | 266.4 |
| 0.5 | 2.627 | 253.0 |
| 1 | 2.387 | 229.9 |
| 2 | 2.144 | 206.5 |
| 5 | 1.815 | 174.8 |
| 10 | 1.559 | 150.1 |
| 20 | 1.291 | 124.3 |
| 30 | 1.126 | 108.4 |
| 40 | 1.002 | 96.5 |
| 50 | 0.901 | 86.8 |
| 60 | 0.813 | 78.3 |
| 70 | 0.731 | 70.4 |
| 75 | 0.692 | 66.7 |
| 80 | 0.653 | 62.9 |
| 90 | 0.570 | 54.9 |
| 95 | 0.520 | 50.1 |

图 2—22

图 2—21、2—22　万县H-Ⅲ频率计算打印结果

查“四川省水文手册” $a_1=0.356$，$b_1=0.018$，$a_2=0.73$，$b_2=0.005$。然后，应用程序计算打印大周溪泥石流沟的F、L、L、$Q_b$、Qc，打印结果见附表。

### （七）其 他 县 份

武隆县有14条泥石流沟，开县有3条泥石流沟，彭水县有2条泥石流沟，丰都县和黔江县各有一条泥石流沟，共计21条泥石流沟。上述县份21条泥石流沟，分别计算打印泥石流沟的F、L、J，打印结果见附表。因未搜集到近年降雨资料，未计算21条泥石流沟的清水流量$Q_b$和泥石流流量$Q_c$。

# 物理化学因素对三峡库区泥石流活动的影响*

长江三峡地区地势险要、山高、坡陡、松散固体物质丰富，雨量充沛、集中，为泥石流的形成提供了有利条件，其中尤以云阳、奉节、巫山、巴东和秭归一带沿江两岸泥石流沟分布广泛，并且常常暴发成灾。

泥石流是山区常见的一种严重自然灾害〔1〕、〔2〕，破坏力量巨大，就水库而言，它可以摧毁坝体和各种水工设施，减少库容，阻碍航道；大坝建成蓄水后，会提高库岸的地下水位，增加空气湿度；由于城镇搬迁、工农业发展、人口密集，会破坏植被和污染水质；并使雾期增长、酸雨加剧，这些物理化学因素都将综合地直接或间接地对现有泥石流区产生不同程度的影响。这种影响的综合效应会加速还是会减缓泥石流的发生呢？为此，我们选择了奉节县城与巫山县城之间的一条粘性泥石流沟——垮岩子沟作代表，取样在室内进行了比较系统的研究。

## 一、垮岩子沟和取样情况简介

垮岩子沟位于四川省巫山县曲尺乡的长江右岸，流向由南向北并与长江干流直接汇合，沟口高程为85.04米（按吴淞高程系计），流域最高高程641.75米，全长为1.4公里，流域总面积为0.42平方公里。该沟全流域均由巴东组的粘土类岩石组成。表层第四系风化物非常发育，水土流失严重，据当地农民介绍每年雨季都有泥石流发生。该沟的物质补给，除来自源头崩塌区外，还来自沟内沿途两岸的山坡崩塌。

所取土样和水样具体位置见图2—23、图2—24和表2—21。样4、样5、样6和样7分别为崩落体、老泥石流堆积物、坡中部和坡顶部土样，它们基本上可以代表该泥石流沟固体物质的补充源。故在此着重研究它们的物理化学力学性质以及周围环境因素变化对它们的工程性质的影响。

此外为了摸清该沟的水质情况同时取了一个水样进行全面分析。

---

*执笔人：罗鸿禧、程昌炳；参加此项研究工作的还有徐昌伟、康哲良、谭罗荣、花莉莉、周芳琴、刘金英、张文敏、谢福敏等（以上中国科学院武汉岩体土力学研究所）

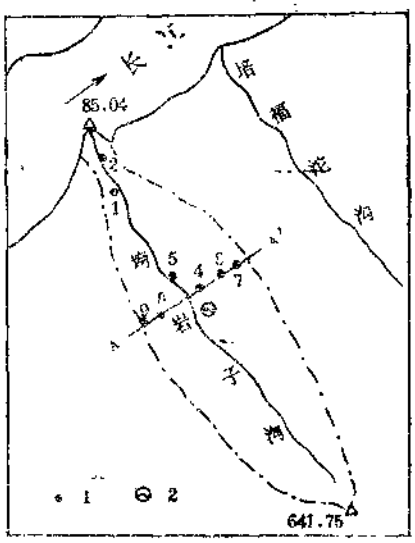



图2—23 垮岩子沟及取样点的位置

·————取土样位置
⊖————取水样位置

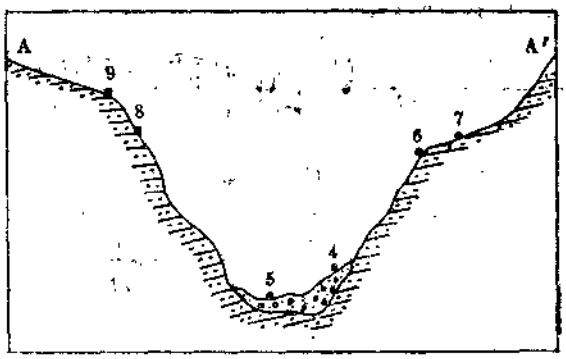



图2—24 垮岩子沟A—A′剖面上的取样点位置

试样的简单描述 表2—21

| 样号 | 位置 | 简单描述 |
|---|---|---|
| 1 | 东坡底 | 泥岩顶部风化物 |
| 2 | 沟底 | 亚砂土 |
| 4 | 东坡底 | 碎石土，东坡崩落体 |
| 5 | 沟底 | 老泥石流堆积物 |
| 6 | 东坡中部 | 泥岩残积土夹碎石 |
| 7 | 东坡顶 | 泥岩残积土夹碎石 |
| 8 | 西坡中部 | 泥岩残积土夹碎石 |
| 9 | 西坡顶 | 泥岩残积土夹碎石 |
| 水样 | 垮岩子沟中部 | 无色，无味，无臭 |

## 二、泥石流沟中土的物理化学力学特性

### 1．矿物成分

我们对全部试样进行了X—射线衍射分析和差热与热重分析，分析结果表明该泥石流沟

中全部土样的粘土矿物主要为伊利石和蛭石或蛭石和伊利石，非粘土矿物主要为方解石和石英或石英和方解石。根据各矿物的X—射线衍射强度（见图2—25）估测了它们的相对含量，见表2—22。

泥石流中土的矿物成分和含量　　表2—22

| 成分＼含量%＼样号 | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 伊利石 | 10 | 17 | 16 | 13 | 15 | 14 | 14 | 21 |
| 方解石 | 60 | 5 | 34 | 55 | 55 | 33 | 50 | 35 |
| 石英 | 25 | 43 | 37 | 25 | 22 | 27 | 20 | 30 |
| 蛭石 | 5 | 16 | 13 | 7 | 8 | 23 | 16 | 14 |
| 长石 | | 10 | | | | | | |
| 白云石 | | 7 | | | | | | |
| 高岭石 | | | | | | 3 | | |

表2—22的结果表明，作为泥石流的“胶结剂”和“润滑剂”的泥—粘土矿物中含有膨胀性粘土矿物—蛭石，且含量很高，占粘土矿物总量的33.3—62.2%，蛭石是蒙脱石类粘

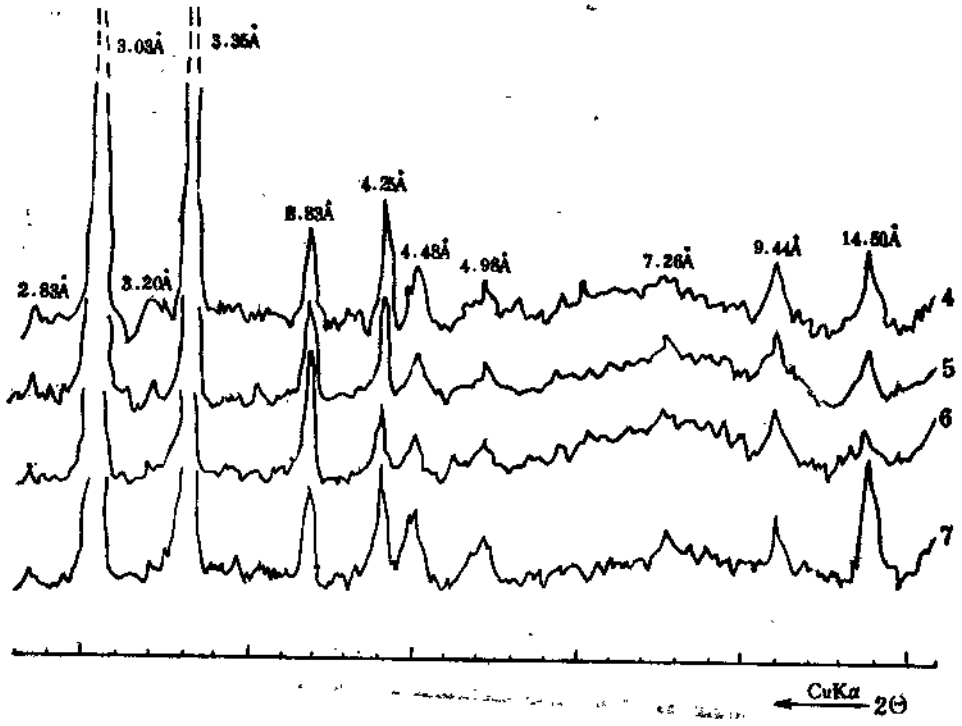



图2—25　X—射线衍射图谱

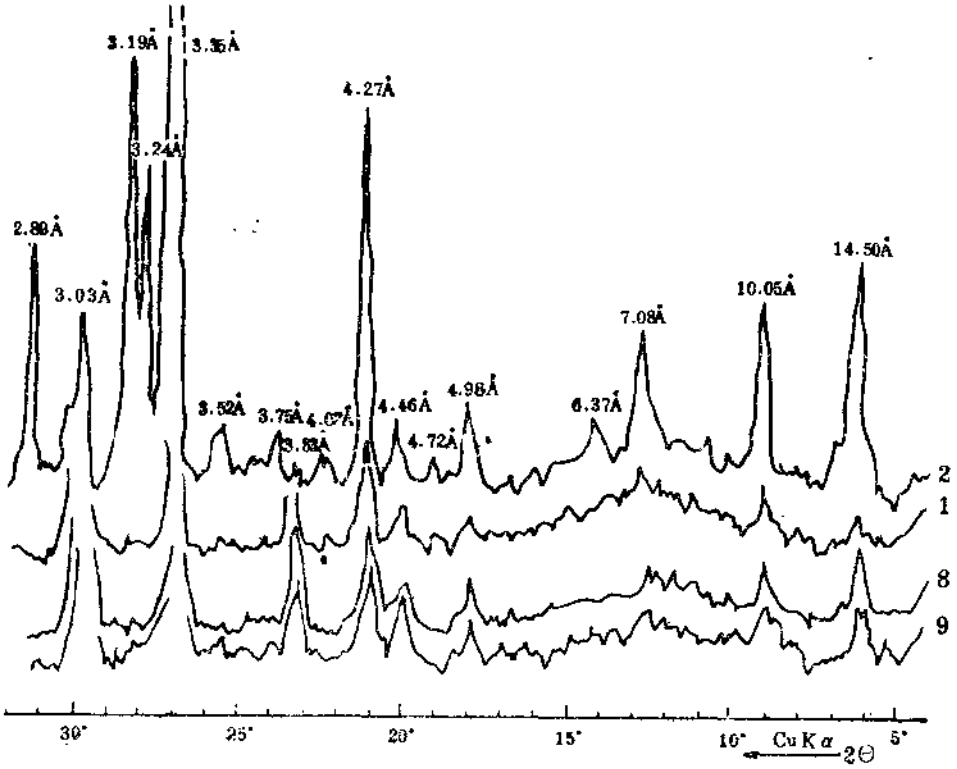



图2—25 （续）

土矿物，从岩土工程的角度来看，无论是物理力学性质、物理化学性质以及水理性质都比较差并且容易随周围的环境因素变化而变化。

**2．物理力学性质**

试样的物理指标见表2—23，表中表明，试样的粒径范围分布很宽，其中样4、样5、样7以粗粒为主，其余试样以细粒为主。按液限和塑性指数分类均属于粉质粘土或轻亚粘土。

考虑到试样中粗粒含量较高和很不均匀，直剪试验结果会很分散，故采用不排水单剪，由于试样系属塑性破坏，峰值不明显以及受应变式单剪仪的变形范围所限，很难测出它们的破坏强度，故采用屈服值作为力学强度进行比较，所测得的屈服强度见表2—24。

从表2—24的结果可以看出，试样的屈服强度很低，饱水后明显下降，值得指出的是样4饱水后其强度反而提高，这可能是由于试样不均匀性所造成的假象。

**3．物理化学性质**

试样的易溶盐、中溶盐、难溶盐、有机质、游离氧化物等胶结物质以及总表面积、阳离子代换量及其组成、氧化——还原电位、pH值等物理化学性质的分析结果见表2—25。从表2—25可以看出：

（1）无中溶盐，易溶盐含量很低，它们的变化对土性的影响甚微。

（2）难溶盐含量很高，除样2含量为8.55%外，其余均大于44.89%，最高者达69.79%这与矿物鉴定结果一致，并证明它们主要为方解石，个别样还含有白云石。方解石

泥石流沟中土的物理性指标　　表2—23

| 项目 \ 样号 | | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 颗分（筛分法）% | >40mm | | | 4.0 | 8.0 | | | | |
| | 20—40mm | | | 5.0 | 10.7 | | 2.5 | | 20.0 |
| | 10—20mm | | | 10.7 | 21.4 | | 7.5 | 1.0 | 5.2 |
| | 5—10mm | | | 15.1 | 21.6 | | 12.5 | 3.2 | 7.6 |
| | 2—5mm | 3.7 | 0.6 | 18.1 | 11.1 | | 20.4 | 3.5 | 6.4 |
| | 1—2mm | | 0.5 | 15.1 | 11.4 | | 25.1 | 2.8 | 4.1 |
| | 0.5—1mm | | 0.5 | 11.8 | 8.1 | | 13.3 | 2.0 | 3.8 |
| | 0.25—0.5mm | | 0.2 | 5.8 | 4.2 | | 8.2 | 1.8 | 2.6 |
| | 0.1—0.25mm | 5.2 | 6.5 | 8.9 | 1.6 | | 5.8 | 2.1 | 4.8 |
| | <0.1mm | 91.1 | 91.7 | 5.5 | 1.9 | 100 | 4.7 | 83.6 | 45.5 |
| 流限 % | | 32.2 | 27.6 | 33.2 | 22.8 | 28.3 | 36.4 | 32.7 | 38.4 |
| 塑限 % | | 16.4 | 15.8 | 18.2 | 12.3 | 16.1 | 19.6 | 15.8 | 18.8 |
| 塑性指数 | | 15.8 | 11.8 | 15.0 | 10.5 | 12.2 | 16.8 | 16.8 | 19.6 |
| 天然含水量 | | / | / | 13.1 | 7.6 | 14.5 | 18.0 | / | / |
| 比重（<0.5mm部分） | | / | / | 2.707 | 2.737 | 2.718 | 2.710 | / | / |
| 容重g/cm³ | | / | / | 1.88 | 1.96 | 1.83 | 1.87 | / | / |
| 孔隙比 | | / | / | 0.629 | 0.500 | 0.562 | 0.687 | / | / |
| 饱和含水量% | | / | / | 20.5 | / | 29.2 | 31.8 | / | / |

试样的屈服强度　　表2—24

| 样号 \ 强度指标 \ 数据 \ 样品状态 | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C kg/cm² | ϕ 度 | C kg/cm² | ϕ 度 | C kg/cm² | ϕ 度 | C kg/cm² | ϕ 度 |
| 原状样 | 0.0070 | 0.33 | 0.0050 | 0.57 | 0.0150 | 0.67 | 0.0070 | 0.57 |
| 原状样饱水 | 0.0083 | 0.47 | — | — | 0.0041 | 0.72 | 0.0055 | 0.33 |

和白云石等碳酸盐在中性和碱性条件下溶解度非常小，但在酸性环境下可以迅速分解。

（3）有机质、游离氧化锰、游离氧化硅和游离氧化铝的含量除个别试样外均小于1%，对泥石流中土的工程性质影响不大。

（4）游离氧化铁的含量比较高，其含量在1.27—3.01%之间，且主要为结晶态氧化铁，无定形氧化铁含量很少，它们有一定的胶结作用，它们的变化对土的工程性质会产生一定影响。[3]、[4]

（5）试样中粘土矿物含量较低但其全样的比表面积和阳离子代换总量仍然较高，可见它们中间土的表面活性较高，易受环境因素的影响。代换性阳离子主要由钙、镁离子组成。

物理化学特性总表　　表2—25

| 项目 \ 数据参数 | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 易溶盐(%) | 0.0294 | 0.0327 | 0.043 | 0.033 | 0.030 | 0.033 | 0.0327 | 0.0378 |
| 中溶盐(%) | / | / | 无 | 无 | 无 | 无 | / | / |
| 难溶盐(%) | 60.12 | 8.56 | 44.89 | 5807 | 69.79 | 48.56 | 56.11 | 52.73 |
| 有机质(%) | 0.11 | 0.19 | 0.26 | 0.16 | 0.20 | 0.27 | 0.27 | 0.28 |
| 游离氧化铁(%) | 2.04 | 2.16 | 1.78 | 1.43 | 1.29 | 3.01 | 1.97 | 2.19 |
| 结晶态氧化铁(%) | / | / | 1.67 | 1.46 | 1.22 | 2.96 | / | / |
| 无定形氧化铁(%) | / | / | 0.11 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | / | / |
| 游离氧化硅(%) | 0.36 | 0.66 | 0.74 | 0.35 | 0.39 | 1.06 | 0.63 | 0.87 |
| 游离氧化铝(%) | 0.13 | 0.35 | 0.39 | 0.45 | 0.16 | 0.47 | 0.34 | 0.49 |
| 游离氧化锰(%) | / | / | 0.042 | 0.030 | 0.018 | 0.036 | / | / |
| 总比表面积(米²/克) | 58.56 | 65.60 | 107.6 | 57.2 | 66.8 | 159.5 | 84.12 | 95.48 |
| 阳离子代换总量(m·e/100克土) | 5.80 | 7.94 | 11.08 | 5.20 | 8.17 | 22.36 | 10.34 | 10.05 |
| 代换分量 $K^+$(m·e/100克土) | / | / | 0.42 | 0.20 | 0.30 | 0.81 | / | / |
| 代换分量 $Na^+$(m·e/100克土) | / | / | 0.86 | 0.33 | 0.49 | 1.74 | / | / |
| 代换分量 $Ca^{++}$(m·e/100克土) | / | / | 6.35 | 2.79 | 5.61 | 14.53 | / | / |
| 代换分量 $Mg^{++}$(m·e/100克土) | / | / | 0.56 | 0.80 | 0.40 | 1.60 | / | / |
| 氧化—还原电位(mV) | / | / | 341 | 371 | 321 | 361 | / | / |
| PH 值 | 8.50 | 9.05 | 8.25 | 8.75 | 9.75 | 8.70 | 8.65 | 8.85 |

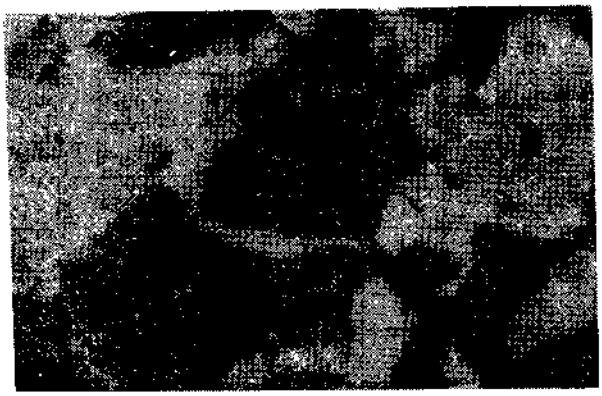
（6）水提取液的pH值为8.25—9.75，碱性比较强，在碱性条件下其氧化还原电位为321—361mv，若校正到pH 7 时的氧化——还原电位相应为416—486mv，可见体系处在弱氧化环境。

**4．结构特性**

为了搞清泥石流固体物料的结构特性，进行了偏光显微镜和扫描电子显微镜观察和拍



样4（风干） 25×



样5（风干） 25×



样7（风干） 25×

图2—26 泥石流试样的偏光显微镜照片

照，图2—26是偏光显微镜照片，图2—27是扫描电子显微镜照片。

从图2—26可见样4、5、7均为灰岩碎屑夹泥，结构疏松，孔隙大，碎屑粒径大小不等约在0.01—16毫米的范围内。



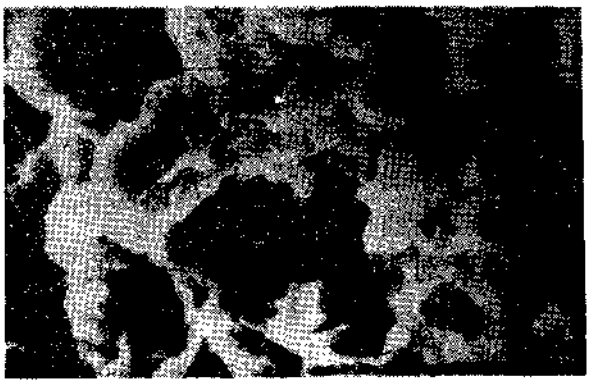
样4（风干） 3000×

从扫描电镜照片（见图2—27）同样可以看出，试样中碎屑矿物很多，粘土矿物很少，结构松散，颗粒排列无明显的方向性，孔隙大，胶结不良。

综上所述，垮岩子泥石流沟土的结构松散，胶结不良，物理性能差，力学强度低，并且含有蒙脱石类膨胀性粘土矿物——蛭石，阳离子代换总量和比表面积相对而言较高，其物理力学性质易随周围环境因素的变化而变化。



样6（风干） 3000×



样7（风干） 3000×

图2—27 泥石流沟试样的扫描电子显微镜照片

## 三、泥石流的水质特性

垮岩子泥石流沟地下水清彻透明、无色、无味、无臭，化学分析结果见表2—26。

地下水的化学成分和pH值　　表2—26

| 项　　目 | 毫克当量/升 | 毫克/升 |
|---|---|---|
| 烘干残渣 | / | 213 |
| Na | 0.0739 | 1.70 |
| K | 0.0176 | 0.689 |
| Mn | 0.000182 | 0.0050 |
| Mg | 0.419 | 5.09 |
| Ca | 1.722 | 34.49 |
| Fe | 0.0143 | 0.266 |
| Cr | 未检出 | 未检出 |
| Cd | 未检出 | 未检出 |
| $CO_3''$ | 0.150 | 4.50 |
| $HCO_3'$ | 2.44 | 148.6 |
| $SO_4''$ | 0.155 | 7.44 |
| $Cl'$ | 0.071 | 2.52 |
| pH | 8.20 | |

表2—26结果表明，垮岩子沟地下水为低矿化度的$HCO_3^-$—$Ca^{++}$型水，无侵蚀性二氧化碳，从工程角度看水质良好，有利于增加土粒间的连结力。

## 四、环境因素对泥石流沟土样特性的影响

根据国内外对已建水库的调查[5][6][7]，水库建成后对生态与环境都有一定影响，影响范围和产生明显变化的时间也各不相同，目前尚无统一的规律可循，针对三峡库区的具体情况和现有气象学、水化学，环境学等方面的知识，估计三峡库区的物理化学环境可能有如下几个方面的变化：

1．因水库蓄水，水域增宽，周围空气的湿度可能增加，地下水位升高，库岸周围土的含水量相应增加。

2．因水库蓄水大量植物被淹没，氧化—还原电位下降，水中有机质含量增加。

3．大坝修成后，库区人口密度增加，生活和工业排污增多，水质和土都将受到污染。

4．大坝建成后，雾期增长，工业发展，使川东地区的酸雨加剧[8]，导致植被减少，表层土壤受到侵蚀。

上述环境因素变化都将对泥石流的活动性产生影响，为了便于比较和系统研究上述环境因素变化对泥石流中土性的影响，我们采用垮岩子泥石流沟重塑土样进行模拟研究。

土样的制备方法是将土样用木锤在橡皮板上轻碾过筛，取小于2mm的土料磨至小于0.5mm，加入适量的水並和均、击实，使其含水量和容重接近于天然状态，其基本物性指标见表2—27。

重塑土的基本物性　　表2—27

| 样号 / 数据 / 物性 | 重塑4号土 | 重塑5号土 | 重塑6号土 | 重塑7号土 |
|---|---|---|---|---|
| 含水量 (%) | 17.2 | 10.1 | 17.2 | 21.4 |
| 容重 (克/厘米³) | 1.85 | 1.93 | 1.87 | 1.87 |

## （一）环境因素对泥石流中土的力学性能的影响

为了研究这个问题我们首先测定了上述重塑样的快剪强度，以此值作为相对的标准，再测定这些重塑样饱水、饱pH为2的硫酸液、饱5‰的腐殖酸液、饱5‰的洗衣粉液的快剪强度，然后将这些值与前者进行比较以了解环境因素的影响。

模拟试验结果见表2—28和图2—28

模拟的环境因素对重塑泥石流沟坡带样抗剪强度的影响　　表2—28

| 强度参数 / 原样号 / 影响方式 | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C Kg/cm² | ϕ | C Kg/cm² | ϕ | C Kg/cm² | ϕ | C Kg/cm² | ϕ |
| A重塑样 | 0.32 | 20° | 0.30 | 25° | 0.28 | 20° | 0.27 | 15° |
| B重塑样饱水后 | 0.10 | 18° | 0.03 | 22°30′ | 0.10 | 19° | 0.09 | 14°30′ |
| C重塑样饱硫酸液 | 0.06 | 12°30′ | 0.01 | 19° | 0.02 | 22° | 0.03 | 15°30′ |
| D重塑样饱腐殖酸液 | 0.03 | 18° | 0.12 | 18° | 0.05 | 22° | 0.12 | 15°30′ |
| E重塑样饱洗衣粉液 | 0.10 | 12°30′ | / | / | 0.05 | 22° | 0.08 | 13° |

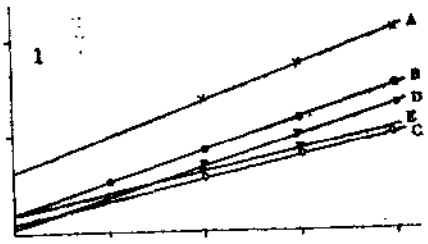



图2—28—1 重塑4号样抗剪强度与垂直压力的关系

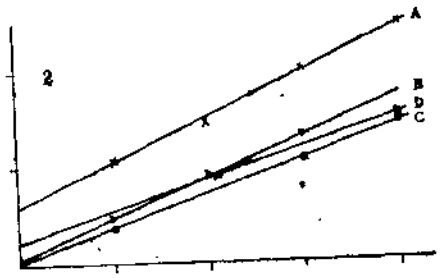



图2—28—2 重塑5号样抗剪强度与垂直压力的关系

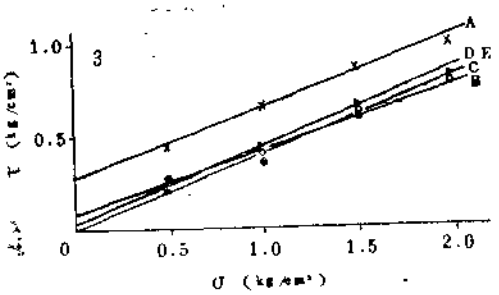



图2—28—3 重塑6号样抗剪强度与垂直压力的关系

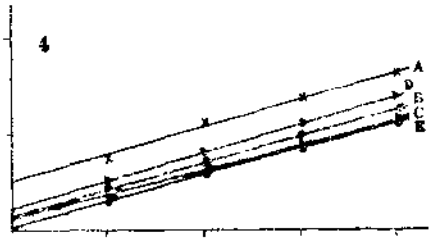



图2—28—4 重塑7号样抗剪强度与垂直压力的关系

（图中A、B、C、D、E表示的意义与表2—28相同）。

从图2—28—1至图2—28—4可以直观地看出泥石流沟坡带土样受上述诸因素的影响后，强度明显降低，为了分析降低的原因我们测定了重塑样受模拟环境因素作用后的含水量、有机质、碳酸盐含量的变化，其结果见表2—29。

重塑样饱水后含水量大量增加，强度降低很容易理解，不在此讨论。

重塑样饱硫酸溶液后碳酸盐含量下降、含水量增加（见表2—29），显然试样的强度降低是由于碳酸盐的溶蚀和含水量升高所造成的。在所研究的试样中碳酸盐原来含量很高，这些碳酸盐中颗粒很细，分布在粘土颗粒表面和连接处的，对粘土颗粒有胶结和防水作用，这部分碳酸盐在硫酸作用下极易溶失，同时土中的其它胶结物质为游离氧化物也会受到硫酸的侵蚀和破坏，此外硫酸对颗粒较大的碳酸盐也会产生不同程度的侵蚀作用，使原来表面粗糙並具有尖锐棱角的碳酸盐变得光滑、平整，所有这一切都将使试样的强度降低。

重塑样饱5‰腐殖酸溶液后有机质含量明显增加，其含量由天然样中的0.20—0.27%增加到0.30—0.39%，力学强度有所降低，我们认为这一方面是饱腐殖酸液后含水量增加，另一方面也是有机质含量增加的影响，因为有机质的增加会增加土的分散性，会降低土的氧化—还原电位，使起胶结作用的游离氧化铁还原为亚铁，胶结能力减弱。

重塑样饱5‰的洗衣粉溶液后含水量增加，有机质含量增加，强度下降，其下降的原因除与饱腐殖酸液的作用相同外，同时也会发生钠离子取代钙离子的阳离子交换反应，使土粒

泥石流沟坡带重塑样某些含量受环境因素影响表　　表2—29

| 含量变化类别 / 样号 / 含量 / 影响方式 | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 含水量% | 有机质% | 碳酸盐% | 含水量% | 有机质% | 碳酸盐% | 含水量% | 有机质% | 碳酸盐% | 含水量% | 有机质% | 碳酸盐% |
| A重塑样 | 17.2 | 0.26 | 44.89 | 10.1 | 0.16 | 58.07 | 17.2 | 0.20 | 69.79 | 21.4 | 0.27 | 48.56 |
| B重塑样饱水后 | 21.1 | | | | | | 24.3 | | | 26.7 | | |
| C重塑样饱硫酸液后 | | | 41.92 | 17.1 | | | 25.1 | | 62.85 | 27.3 | | 46.96 |
| D重塑样饱腐殖酸液后 | 23.0 | 0.36 | | 17.8 | 0.20 | | 23.4 | 0.30 | | 25.2 | 0.39 | |
| E重塑样饱洗衣粉液后 | 25.1 | 0.38 | | | | | 0.24 | 0.18 | | 26.1 | 0.37 | |

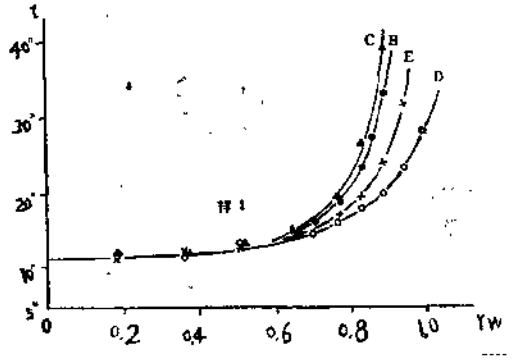
间的斥力增加，强度下降。

总之泥石流沟坡带的土样在上述模拟的环境因素影响下还会使已经很低的强度进一步降低，这就意味着有利于泥石流的暴发。

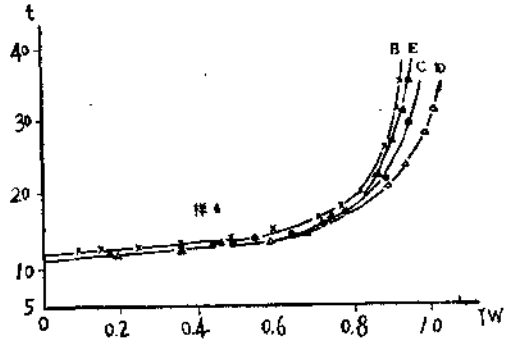
（二）环境因素对泥石流中土的粘度的影响

泥石流是大量的水夹带大量的泥、砂、石在有利地形上发生的宏观流动，其流动性和破坏性均与土水体系的粘度有关，环境物理化学因素变化又会直接对土水体系的粘度产生影响，为此我们采用漏斗粘度计研究了纯水、pH为2的稀硫酸溶液，5‰的腐殖酸溶液、5‰的洗衣粉溶液对小于2mm的不同容重的泥石流土样粘度的影响，实测结果见图29。

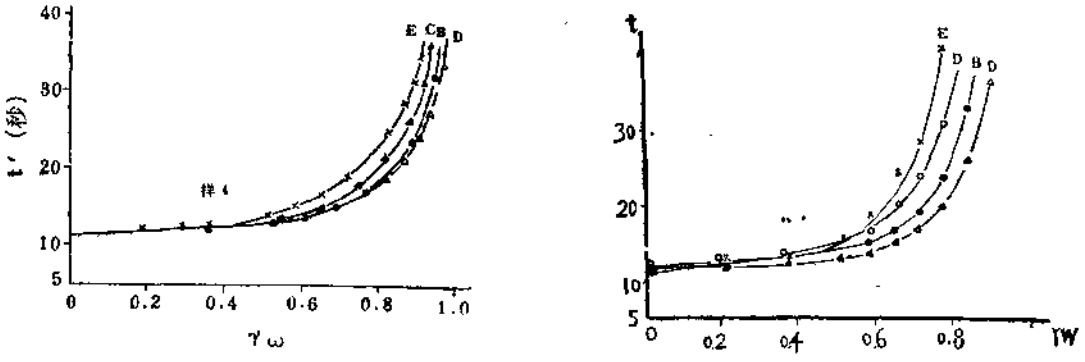
从图2—29可见，当泥浆的容重Yw非常小时，水质不同对泥石流土样的粘度没有什么影响，只有容重加大到一定程度时才有影响，样1、4、5大约在泥浆的容重在0.5克干土/厘米$^3$时才显示出粘度随容重的增加而增加，样4则在容重为0.4克干土/厘米$^3$时显示出来，由于样品不同对水的亲和力不同，容重对粘度影响的敏感程度也不同。从图2—29还可以看出，水质不同对土样的粘度的影响也不相同，有的使粘度增加，有的使粘度减小，似乎具随机性。




2—29—1




2—29—2




2—29—3　　2—29—4

图2—29　环境因素对泥石流沟坡土的粘土的影响

t—流经粘度计所需时间（秒）
Yw—泥浆的容重（克干土/厘米³）
B、C、D、E、—意义同表28

我们认为这是土料本身性质所决定的，样品不同土样的矿物成分不同，吸附性阳离子成分不同，颗粒大小和形状也不相同等等，所以在同样水质条件下其粘度的变化趋势也各不相同。看来由不同环境因素引起泥石流粘度的变化对泥石流的发生是有利还是有碍尚无简单的规律性，尚待进一步研究。

### （三）湿度变化对泥石流沟中土的吸湿量的影响

三峡大坝修成后，由于水域增宽空气湿度会有所增加，这种变化对土的吸湿量的影响如何呢？为此我们作了如下的研究：首先配制一系列饱和蒸汽压基本恒定的饱和溶液，让过0.1mm筛的样品在这种饱和蒸汽压下平衡，测出平衡后试样的吸湿量，有关数据见表2—30。

从表2—30可见，泥石流沟中土对湿度变化还是比较敏感的，总趋势是空气湿度增大其

不同湿度下土的含水量变化表　　表2—30

| 饱和液类别 / 吸湿量与饱和蒸汽压 / 样品名称及干样含水量 | | $P_2O_5^*$ | $ZnCl_2$ | $Ca(NO_3)_2$ | NaCl | KCl | $K_2SO_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 10—25 | 56—63 | 76—78 | 86—88 | 92—99 |
| 4 | 2.43 | 0 | 0.49 | 2.20 | 2.96 | 3.44 | 6.18 |
| 5 | 1.05 | 0 | 0.21 | 0.94 | 1.24 | 1.53 | 3.11 |
| 6 | 1.31 | 0 | 0.43 | 1.19 | 1.52 | 1.80 | 3.51 |
| 7 | 3.58 | 0 | 1.74 | 3.53 | 4.29 | 5.01 | 8.58 |

吸湿量也随之增加，空气湿度下降其吸湿量也会随之下降。我们知道土中含水量增加其力学强度会相应下降，但由于试样的天然含水量（见表2—23）已超过最大吸湿量，因此库区湿度变化对泥石流暴发的影响甚微。

### （四）去胶结铁对土的性能的影响

前面我们已经提到泥石流沟中土样的游离氧化物含量相对而言较高並具有一定的胶结作用，为了弄清它的胶结作用的大小，将样4、5、6、7磨细过0.1mm筛，用EDTA—连二亚硫酸钠选择溶解法除去土中的游离氧化铁，然后风干，研细过筛分别进行颗粒分析、比表面积和阳离子代换量的测定，其结果见表2—31。

去游离氧化铁前、后性质对照表　　表2—31

| 样号 | 总比表面积 米²/克土 | | 阳离子代换总量 m·e/100克土 | | 颗粒分布 % | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 去胶结铁前 | 去胶结铁后 | 去胶结铁前 | 去胶结铁后 | 去胶结铁前 | | 去胶结铁后 | |
| | | | | | <5μ | <2μ | <5μ | <2μ |
| 4 | 107.6 | 132.38 | 11.08 | 12.1 | 65.9 | 54.4 | 68.7 | 57.0 |
| 5 | 57.2 | 84.71 | 5.20 | 6.6 | 88.5 | 86.8 | 68.4 | 58.1 |
| 6 | 66.8 | 70.64 | 8.17 | 5.4 | 53.1 | 48.4 | 62.3 | 47.0 |
| 7 | 159.5 | 147.6 | 22.36 | 14.3 | 68.5 | 52.6 | 64.1 | 59.2 |

从表2—31中我们发现试样除去游离氧化铁后其总比表面、阳离子代换总量和颗粒的分散性均变化不大，有的略增，有的略减，因此环境因素变化即使游离氧化铁全部损失，整个体系的稳定性不致产生明显的恶化。

### （五）环境因素对泥石流沟中土的孔径分布的影响

岩土的孔径分布特征与其力学特性、渗透特性关系密切，因此在探讨环境因素对泥石流活动性的影响时，我们用2000系列压汞仪研究了环境因素对孔径分布的影响，测定结果见表2—32。

从表2—32可以看出7号重塑样每立方厘米中含孔体积350.52mm³，其分布特征是大孔为主达总孔体积的60.00%，中孔次之占总孔体积的36.03%，小孔最少为总孔体积的3.97%。该样受上述模拟环境因素作用后其孔总体积均增加，增的体积主要分布在大孔区、中、小孔区所占的比例相对下降，只腐殖酸液饱和的重塑样例外，它的孔径分布是大孔区略下降，中孔区上升，小孔区下降。由此可见泥石流沟中土，当受到环境因素的影响后其孔隙比会增大，容重降低，土的强度下降，将有利于泥石流的暴发。

环境因素对孔径的影响　　表2—32

| 样号 | 影响方式 | 孔隙总量 $V_{总}$ $mm^3/cm^3$土 | 大孔（>1000 Å） | | 中孔(1000－100Å) | | 小孔(<100Å) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $V_{大}$ | $\frac{V_{大}}{V_{总}}$(%) | $V_{中}$ | $\frac{V_{中}}{V_{总}}$(%) | $V_{小}$ | $\frac{V_{小}}{V_{总}}$(%) |
| | 无 | 350.52 | 210.3 | 60.00 | 120.30 | 36.03 | 13.92 | 3.97 |
| 重塑7号样 | 硫酸液饱和 | 383.93 | 244.2 | 63.61 | 125.44 | 32.67 | 14.29 | 3.72 |
| | 腐殖酸液饱和 | 377.22 | 223.0 | 59.12 | 143.60 | 38.07 | 10.62 | 2.82 |
| | 水饱和 | 355.82 | 240.0 | 67.45 | 113.30 | 31.84 | 2.52 | 0.71 |
| | 洗衣粉液饱和 | 353.91 | 222.0 | 62.73 | 118.00 | 33.34 | 13.91 | 3.93 |

## 五　结　　论

垮岩子泥石流沟中土样疏松，粗颗粒含量高，粒径大小不等且分布很不均匀，胶结程度差，天然强度极低，易于被水冲走而为泥石流提供大量固体物料。该沟土样中含有膨胀性的粘土矿物——蛭石。表面能高，化学特性较活跃，在大坝建成后可能出现的环境条件影响下，它会受到不同程度的物理化学侵蚀使土粒间的连结力减弱，其力学强度进一步降低。因此，三峡库区类似垮岩子沟这类粘性泥石流，建坝后有可能暴发更多更大的泥石流。但环境因素综合影响的速度和深度到底如何，还有待进一步的深入研究。

# 参 考 文 献

〔1〕中国科学院成都地理研究所，泥石流论文集，科学技术文献出版社重庆分社，1981年。

〔2〕中国科学院成都地理研究所图书情报室，山地世界（日本国土开发与山地灾害研究专辑），1984年第三期。

〔3〕罗鸿禧、陈守义，湛江灰色粘土的工程地质特性，水文地质工程地质，1981年第5期。

〔4〕罗鸿禧、周芳琴，郧县胀缩土的矿物成分及微观结构的研究，工程勘察，1981年第5期。

〔5〕I. Z. Kinawy, O. A. El-Ghamary Some effects of the high dam on the environment, 11th. International Congress on Large Dams, Madrid, 1973.

〔6〕D. Jovanovic, Some effects on the environment of the building of dams, 11th. International Congress on Large Dams, Madrid, 1973.

〔7〕F. Budweg, Effects of the environment on reservoirs and dams in South America, 12th. International Congess on Large Dams, Mexico, 1976.

〔8〕湖北省环境保护研究所情报室，酸雨及其环境影响研究（专辑），1983年

# 三峡库区泥石流堆积的某些特征*

## 一、泥石流堆积扇形态

在汛期，江水上涨，含沙量剧增，具有强大位能的泥石流倾入被江水淹没的堆积区，从而使其泥石流产生水下堆积。流动的江水使泥石流流体剧烈消能和逐渐改变运动方向，形成弧形堆积扇。泥石流在堆积的同时，被江水淹没部分因受到江水的冲蚀，使泥石流堆积扇纵坡发生变化，堆积扇上部（未淹部分）纵坡一般在3—5度左右，而堆积扇下部（被淹部分）纵坡一般在8—15度。

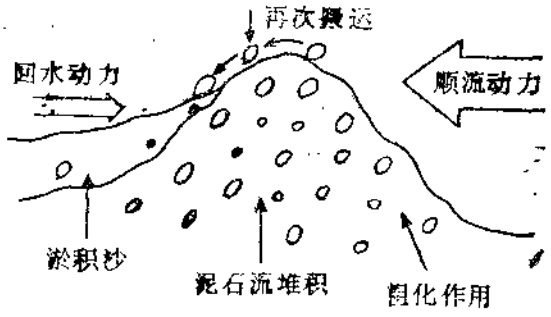



图2—30 水下堆积剖面示意图

泥石流堆积扇两侧，由于受水动力影响不同而产生差异：上游因受江水动力作用影响较大，固体颗粒遭受冲蚀，普遍加大了边坡；而下游则由于受弧形堆积扇的屏蔽，多形成回水湾，水动力较弱，江水中的大量悬移质在此处转化为推移或淤积，使堆积扇边坡变小；（如图2—30所示）

## 二、泥石流堆积物中的颗粒运动

含泥砂的流体在运动中，是一种剪切运动，维持这种运动的力就是沿着流体运动方向的分力，任何形式的运动必将克服某种形式的阻力而消耗能量。颗粒在运动时相互碰撞而产生离散力，使流体具备了良好的动力条件，从而改变了颗粒的运动方式。根据公式：

颗粒重力：$G=\frac{1}{6}\pi D_x^3 \cos\theta(\gamma_s-\gamma_c)$

---

*执笔人：朱平一、罗贵生（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

上举力：$F_y=\frac{1}{8}C_y\pi D_x^2\gamma_c gV^2$

式中：θ为流动坡度（度）；

$\gamma_c$为流体容重（吨/立方米）；

V为流体平均流速（米/秒）；

$\gamma_s$为颗粒比重（吨/立方米）；

g为有效重力；

$D_x$为颗粒直径；

$C_y$为上举系数；

在垂向上的能量平衡式为：$G=F_y$　即：

$$\frac{1}{6}\pi D_x^3\cos\theta(\gamma^s-\gamma_c)=\frac{1}{8}\pi D_x^2 C_y\gamma_c gV^2$$

整理后为：$D_x=\frac{3}{4}C_y\gamma_c gV^2/(\gamma_s-\gamma_c)$

该式说明：当$D_x>\frac{3}{4}C_y\gamma_c gV^2/(\gamma^s-\gamma_c)$时，直径$D_x$的颗粒为推移或不动；当$D_x\leqslant\frac{3}{4}C_y\gamma_c gV^2/(\gamma_s-\gamma_c)$时，直径$D_x$的颗粒为悬移运动，为了取得不沉粒径与流体容重的关系，进行了悬移颗粒实验。该实验用一定的容器（25×25×35厘米），盛不同容重的人工泥石流流体，经人工充分搅动后，使流体发生运动，当运动达到某一相同程度时，采取容器上部浆体，进行颗粒级配分析，根据试验结果，证明这个规律是存在的（见表2—33）。

不沉粒径测试表　　表2—33

| 样号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 容重 $\gamma_c$（吨/立方米） | 1.19 | 1.21 | 1.24 | 2.30 | 1.30 | 1.39 | 1.45 |
| 不沉粒径 $D_{max}$（毫米） | 0.053 | 0.10 | 0.38 | 1.50 | 2.00 | 4.25 | 3.00 |
| 样号 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | 13 |
| 容重 $\gamma_c$（吨/立方米） | 1.57 | 1.65 | 1.79 | 1.80 | 1.85 | | 1.90 |
| 不沉粒径 $D_{max}$（毫米） | 8.80 | 11.50 | 15.00 | 20.00 | 60.00 | | 93.00 |

以试验数据，按$\gamma_c\sim D_{max}$绘在半对数纸上后，可将该曲线的形态分为三个区间（如图2—31所示）

一区间：流体容重$\gamma_c\leqslant 1.3$吨/立方米，最大不沉粒径$D_{max}\leqslant 2$毫米，流体容重与最大不沉粒径的相关式为：

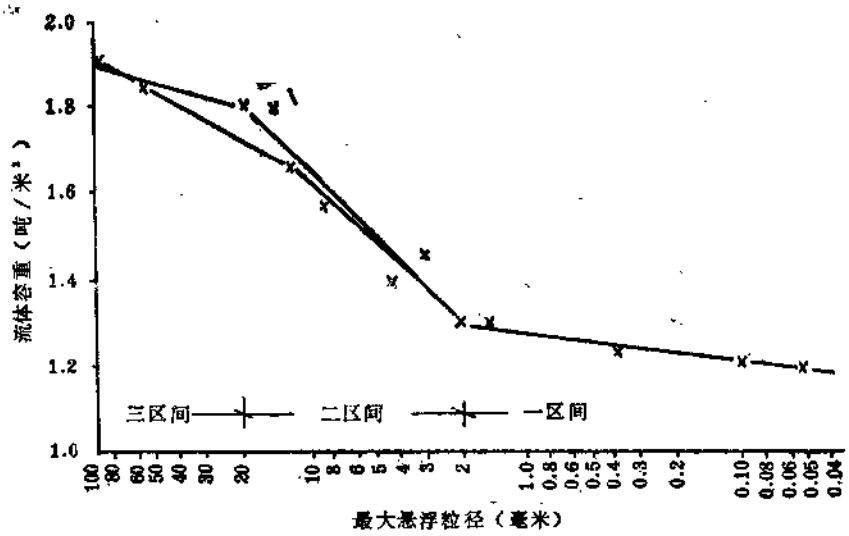



图2—31 $\gamma_c$ —$D_{max}$ 相关图

$D_{max}=4.4/10^{[8.611(\gamma_s-\gamma_c)-11.098]}$，　　$\gamma=0.973$

二区间：流体容重$\gamma_c$=1.3～1.8吨/立方米，流态具有一定复杂性，最大不沉粒径$D_{max}$=2～20毫米，其相关式为：

$$D_{max}=10^{\left(\frac{2.254}{\gamma_s-\gamma_c}-1.203\right)}，\quad \gamma=0.948$$

三区间：流体容重$r_c$>1.8吨/立方米，最大不沉粒径$D_{max}$>20毫米，其相关式为：

$$D_{max}=10^{\left(\frac{2.748}{\gamma_s-\gamma_c}-1.625\right)}，\quad \gamma=0.961$$

在水下堆积的泥石流，由于江水的剧烈稀释，随着时间或空间的变化，不沉粒径$D_{max}$逐渐减小，使泥石流堆积横剖面下游产生重力分异现象。根据初步试验测定，泥石流堆积过程中的颗粒运动可分为：

**1．紊流堆积**：对于容重大于1.8吨/立方米的泥石流，由于受江水的剧烈稀释作用，一般在500米左右转为过渡型，即直径大于20毫米的颗粒搬运距离为500米左右。

**2．过渡堆积**：当流体容重在1.3～1.8吨/立方米时，由于江水的稀释作用继续进行，一般在1000米左右过渡到层流（浊流），即直径为2～20毫米的颗粒搬运距离为1000米左右。

**3．层流堆积**：在搬运的同时，仍然继续受江水的稀释作用，流体容重小于1.3吨/立方米，面且$D_{max}$<2毫米，就流体本身面言，为层流流态，但在水体中，已属异重流类型。由于异重流具有不恒定性，其含砂浓度（容重）和悬移质粒径也是非恒定的，这种不恒定性随时间而逐渐衰减。

## 三、堆积物组构与泥石流的关系

组成泥石流固体物质的颗粒值变化很大，从粒径10多米（或更大）至胶体微粒。根据静力学原理和皮里的试验，得到起主要物理作用的有效粒径表达式：

$$d_w = \frac{1}{h}$$

式中：dw为综合粒径（毫米）；

h为毛管吸水高度（毫米）；

用不同成因和颗粒级配的固体物质进行试验，发现＜2毫米的$d_{50}$（重量百分比含量为50%的颗粒径）与$\frac{1}{h}$变化不大，故认为可以＜2毫米中的$d_{50}$代表综合粒径$d_w$来研究泥石流堆积物的物理特征（如图2—32所示）。

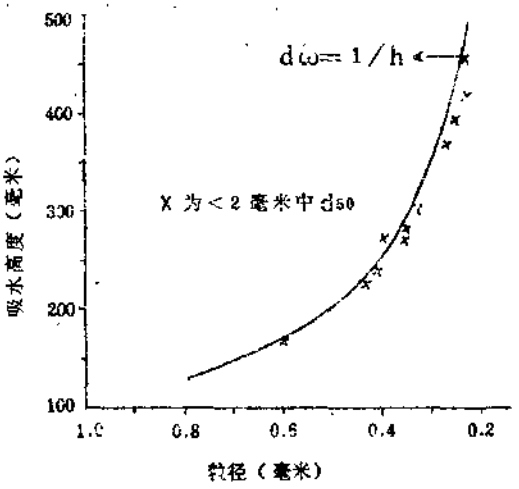


图2—32 小于2毫米d50与dw对比图

泥石流体是由固体物质和水组成。它在产生堆积作用时，流体中含水量$C_H$大于固体体系内颗粒允许的最大天然含水量$C_{max}$，至出现重力水。在重力水通过颗粒之间的孔隙渗透的同时，大量的细颗粒也随之被夹带走，使泥石流在堆积过程中，细颗粒含量减少，而最大天然含水量$C_{max}$也随之降低。流失的最大颗粒粒径等于孔隙直径。即，

$$D'_{max} = D_{\delta}(1.741C_H - 0.099)$$

式中：$D'_{max}$为最大流失粒径；

由于细颗粒的不断减少，使泥石流堆积物的综合粒径$D_w$不断加大。通过试验（表2—34）得到其相关式：

$$C_H = 0.013 + 0.345kc \qquad r = 0.94$$

式中：kc为含水比$C = Co/C_{max}$；

Co为泥石流补给物的最大天然含水量；

$C_{max}$为泥石流堆积体的最大天然含水量；

$C_H$为泥石流含水量；

用：$C_H = \frac{\gamma_s - \gamma_c}{\gamma - 1}$　　$\gamma_s = 2.68$吨/立方米

$$kc = \frac{0.159 - 0.156\lg Do}{0.159 - 0.156\lg Dw}$$　　代入

得：$$\gamma_c = 2.658 - 0.58\frac{0.159 - 0.156\lg Do}{0.159 - 0.156\lg Dw}$$

式中：$\gamma_c$为泥石流体容重（吨/立方米）；

Do为补给体中＜2毫米的$d_{50}$（毫米）；

Dw为堆积体中＜2毫米的$d_{50}$（毫米）；

$k_c=\frac{Co}{C_{max}}=\frac{0.159-0.156\lg Do}{0.159-0.156\lg Dw}$ 为试验统计表达式。现将三峡重点考察的泥石流沟容重计算如下（表2—35）。

泥石流堆积流失试验表　　表2—34

| 试验样号 | 泥石流（吨/米³） | 含水量 $C_H$（%） | ＜2毫米 $D_{50}$（毫米） | 最大含水量 $C_{max}$（%） | 含水比 Kc | 流失粒径 $D'_{max}$（毫米） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 50—1 | | | 0.080 | 33.0 | | | 滑坡物 |
| 50 | 2.26 | 25.9 | 0.080 | 33.0 | 1.000 | | 堆积无渗流 |
| 51 | 2.22 | 28.2 | 0.080 | 33.0 | 1.000 | | 堆积无渗流 |
| 52 | 2.02 | 40.0 | 0.120 | 30.3 | 1.089 | 0.072 | 堆积出现渗流 |
| 53 | 1.80 | 52.9 | 0.300 | 24.1 | 1.369 | 0.247 | 堆积发育渗流 |
| H | | | 0.050 | 36.2 | | | 滑坡物 |
| H—1 | 2.29 | 22.1 | 0.050 | 36.2 | 1.000 | | 堆积无渗流 |
| H—2 | 2.03 | 37.8 | 0.110 | 30.9 | 1.172 | 0.062 | 堆积出现渗流 |
| H—3 | 1.81 | 51.1 | 0.270 | 24.8 | 1.460 | 0.213 | 堆积发育渗流 |
| H—4 | 1.70 | 57.8 | 0.430 | 21.6 | 1.676 | 0.390 | 堆积发育渗流 |

重点泥石流沟容重表　　表2—35

| 沟名 | Do（毫米） | Dw（毫米） | kc | $C_H$（%） | $r_c$（吨/立方米） |
|---|---|---|---|---|---|
| 甘沟子 | 0.009 | 0.45 | 2.244 | 78.7 | 1.36 |
| 宝子滩 | 0.06 | 0.32 | 1.483 | 52.5 | 1.81 |
| 垮岩子 | 0.02 | 0.06 | 1.211 | 43.1 | 1.98 |
| 许家大沟 | 0.042 | 0.42 | 1.716 | 60.5 | 1.67 |
| 培福沱 | 0.042 | 0.10 | 1.346 | 47.7 | 1.89 |
| 老青滩 | 0.042 | 0.09 | 1.161 | 41.4 | 2.00 |

# 三峡库区泥石流与水库相互影响的评价*

## 一、建库前的影响

### （一）对泥沙淤积的影响

三峡库区泥石流的分布地区较为集中，主要分布在巫山、奉节、云阳、巴东和秭归各县，灾害较重。而在库首段的宜昌至秭归区间和库尾段的万县至重庆区间，泥石流则呈零星散布，灾害轻微。已查明，三峡库区长江干流两岸共有99处泥石流沟（左岸53处，右岸46处）；沿江两岸的草堂河、朱衣河、梅溪河、大宁河等16条较大的支流水系中，还有172处泥石流沟。库区泥石流对水库的主要影响，是在于它带进水库的固体物质。

工作中，我们选定了巫山县张家大沟（宝子滩）作典型，使用多时相动态监测方法，以测定其中长周期的动态变化，和量算它每年输进长江的固体物质数量。采用的是张家大沟地区1957年及1983年的航片与控制成果。通过外业测量与内业成图计算，求得1957年到1983年这26年时相区间中，张家大沟输进长江河谷的固体物质总量为5873145.73立方米。即26年内年平均入江的固体物质量为22.6万立方米/年。因此，该沟的侵蚀模数高达6.68万吨/（平方公里·年）。沟内目前尚存有固体物质约2000万立方米，按其正常暴发状况计，尚可活动百年左右。

我们以该沟资料为典型，进一步推算出库区各泥石流沟平均每年总计可产生1080万吨左右的泥沙石块进入长江，其中包括库周山地各泥石流沟的沙石来量。

### （二）对水利枢纽建筑物的影响

当近坝处有灾害性泥石流沟时，泥石流带来的石块物质对泄洪闸底板及水轮机转轮有磨蚀作用。但在三峡库区，此种作用甚微。调查表明，库区内的泥石流，若物质来源为巴东组、沙溪庙组等等的粘土质软性岩石时，才较易暴发，产生破坏。但在库首东部的黄陵背斜地带，是由前震旦系的变质岩与岩浆岩类以及震旦系至三叠系的石灰岩构成这里（包括西陵峡在内）的山地。在这类地层分布区内，不可能发育较大的灾害性泥石流沟。

*执笔人：袁建模（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

在远坝处的库区中游和库周山地区，虽有较多的泥石流沟出现，但它们经江水长距离运送至三斗坪时，已在沿途被磨蚀变细。

因此，泥石流对大坝建筑物的安全，不会有破坏性的影响。

### （三）对航运的影响

目前川江航道上，为消除碍航作用而设立的25处绞滩站中，多数均设在因泥石流暴发而形成的“溪口滩”上。其中较大碍航的有巫山县宝子滩、下马滩，奉节县蜡叭滩及云阳县庙基子滩等等，这是泥石流暴发时，冲入长江的水下倒石堆，多为巨石泥沙堆积。各滩在每次泥石流暴发时均有增长，用炸滩及检滩等方法清理甚难。其它的由大型滑坡、岩崩或基岩出露而构成的一些险滩，由于它们一旦形成后不易再增长，都比泥石流滩容易清理。

沿江的一些较大支流，如巫山县大宁河、奉节县梅溪河及朱衣河等，由于各支流流域内部泥石流沟密集发育，使支流与长江交汇处形成规模较大的堆积扇，而且有增无减（如扇子碛、臭盐碛等）。这种碛坝，在冬季严重防碍长江航运。

### （四）对城镇建设的影响

奉节县及武隆县等目前城镇的部份街区，都曾遭受过泥石流的破坏。奉节县城北山的干沟、罗家沟、杨家沟等三条冲沟，在历史上曾多次随暴雨而暴发泥石流，危害县城安全。

奉节、巫山、巴东等县城的拟扩建与迁建新址区，都有着泥石流活动的历史，目前都程度不等地发育有小型泥石流沟。均需在扩建与迁建城市时对各泥石流沟加以改造治理，避免今后出现泥石流破坏。

## 二、建库后的影响

### （一）150米方案蓄水后的影响关系

**1．泥沙物质来量略增**

水库蓄水后，一般不会加剧或减弱泥石流沟固有的自身活动性。各泥石流沟每年输进长江的固体物质数量，仍将保持与蓄水前大致相等的水平或稍有增加。

就150米蓄水方案看，奉节、巫山等地泥石流较集中的河段上，水位将比目前升高60—70米，云阳河段升高40—50米，巴东河段升高70—80米。这时，库区沿江泥石流沟的堆积扇将全部被淹没。但这淹没线通常只达各泥石流沟的部份流通区，而库区内所有泥石流沟形成区的高程，皆大大超过150米淹没线的位置。由于泥石流的形成、发生和发展的生命过程，基本上受制约于形成区内的固体物质及水源条件。但水库蓄水后，并不会使各形成区内的自然面貌发生重大的改变。因此，水库修建后，并不会对各泥石流沟的生命活动产生重大的加速或衰减作用。除非对泥石流沟施以人为的整治，才能改变其固有的自身活动性。建库与蓄水之后库区的泥石流仍会按建库前的状况延续活动。水库蓄水后，由于水面扩大，与支流中

的泥石流沟群得以直接接触，因此，每年输进库区的泥石流物质将会有所增加。在丰水年或遇特殊灾变（山崩、地震、特大暴雨等）的年份，泥石流固体物质来量将会更多些。

在目前天然河道的状态下，各泥石流沟堆积扇上的就地淤积量，占泥石流总量的10%左右，90%的固体物质皆可被江水带向下游。因此目前沿江各泥石流堆积扇的发育形态，都比正常形态偏小。但蓄水后，库内水流变缓，水动力条件减弱，使江水对泥石流固体物质的搬运能力大为降低。按150米方案蓄水，将使库区的泥石流堆积扇淹没在水下，新来的泥石流固体物质不易被水流冲带而就地淤积。这样，新的泥石流堆积扇将会叠加在老堆积扇之上，并逐渐露出水面。可以预断，在水库蓄水后，即使泥石流暴发规模与蓄水前保持同一水平，泥石流固体物质也将会加速库容的淤积过程。

为此，建议对库区内的一些活动较强的灾害性泥石流沟，如巫山县下马滩沟、张家大沟（宝子滩），奉节县三塘河沟（喇叭滩），云阳县岩湾溪（庙基子滩）等，尽快进行综合治理。除在沟口设立导流工程外，还可在一些沟内建造小型的拦挡工程，使这些主要的砂石来量，就地被拦蓄在江岸二侧的支沟中，以减少对库容的压力。

**2．对坝体安全无直接影响**

随着蓄水后水位上升，库内水流速度相应变缓。泥石流带入江心的石块巨砾，也随着江水搬运能力的减弱而以就地淤积为主，不易被江水向坝体方向推移。加上坝区地带又无灾害性泥石流沟活动。因此，建坝后泥石流对水利枢纽建筑物没有直接影响。

**3．对航运有利**

按150米方案蓄水后，江面展宽，水深增大。例如泥石流分布甚为密集的巫山县城至大溪镇，长为30余公里的宽谷河段，水面宽将从现在的300—400米扩展到500—700米，水深也比现在加大60—70米。

这时，各处由泥石流形成的溪口滩皆被淹没于水下，船只经过时不再需绞滩。这些泥石流堆积扇，虽就地淤积量增大，并可能逐渐露出水面，但不致于重新造成碍航。随着水库蓄水，泥石流的碍航作用将被基本消除。

**4．对城镇建设不利**

库区在城镇迁建中遇到的灾害性泥石流沟，活动性有增无减。必须逐沟进行研究，提出治理对策。

例如，奉节县城拟迁的草堂河新址，沿河中下游各沟在古代和目前皆有泥石流活动痕迹。这些沟的形成区，都处于150米蓄水方案水面线以上位置，水库蓄水后，泥石流的灾害不会减弱。而且随着城镇建设，道路交通工程等的发展，开挖弃石量大增，各种人为活动加剧，必将大大促进这些泥石流沟的活动性。给新建城镇带来不利影响。

因此，在新建与扩建城镇的规划设计中，必须充分考虑到泥石流的灾害现状和潜在威胁，统筹安排泥石流的防治工作。

**5．移民后靠促使泥石流活动加剧**

随着淹没线的上升，可资利用的农业土地面积愈益缩小，大量的库区移民就地搬迁后靠结果，必将加剧山区高坡地的垦荒与采伐活动。这样，生态与环境将更加恶化，从面使水土流失与泥石流活动愈益剧烈。

**6．污染及酸雨会促进泥石流活动**

随着水库蓄水，淹没线上升，库区环境的水热条件发生改变，污染作用加强，将会局部促进某些泥石流的活动性。

水库蓄水后，对泥石流地区的自然环境带来的可能变化有：因水位升高和空气湿度加大而使土层含水量增加；水库蓄水作用增加库区有机物和加大土壤的浸渍程度，使土壤有机质含量增高；库区人口增长，大量的生活和工业用水排污使土壤受到污染，酸雨作用使土层受到酸的腐蚀等。

为研究这些环境因素与泥石流的影响关系，我们采用重塑土样在饱水、饱酸液、饱腐殖酸液及饱洗衣粉液状况下，进行了抗剪强度、粘度、吸湿量、孔隙比等力学及物理化学性质变化的实验。发现泥石流区的地表土层物理化学性质较活跃，表面能较高。在水库蓄水后可能出现的环境条件影响下，它还会受到不同程度的物理化学力的侵蚀，使土体的凝聚力明显下降，而导致其力学强度进一步降低。因而，在各泥石流沟的形成区内，一旦前述的酸雨及污染等因素出现时，将会局部促进泥石流的活动性，但其影响的速度及深度如何，有待进一步研究。对这些破坏性的影响，应有长远的对策考虑。

### （二）180米方案蓄水后的影响关系

库区内各泥石流沟形成区的高程，多数位置是在海拔200米至1200米之间。蓄水水位从150米升高至180米，也不致达到众多泥石流沟的形成区。因此，180米方案蓄水后，水库与泥石流的相互影响关系仍与150米方案大体一致。

但是，由于180米方案淹没范围扩大，城镇迁建移民安置量大大增加，由此而造成的环境压力也相应加大。这些都将直接或间接地加剧泥石流的局部活动。因此，180米方案将比150米方案更显得不利。

# 三峡库区泥石流防治对策*

## 一、沿江重点泥石流沟的治理

沿江泥石流沟的危害重点是形成溪口滩阻碍航道，威胁某些城镇的安全。治理原则应是抓住要害，突出重点，因害设防，因地制宜。

**1．沟谷型泥石流沟治理：**此类泥石流沟流域面积较大，多数1—50平方公里。流体性质为稀性泥石流或山洪，沟内来石量多，溪口滩滩体发展快，在长江三峡段对航道影响严重。如巫山县下马滩、宝子滩和油榨碛，奉节县三塘河口的蜘蛛滩、十里铺大沟、新铺大沟，云阳县岩湾溪口的庙基子滩，秭归县的泄滩、牛口滩等。此类泥石流沟治理应以工程措施为主，工程与生物措施相结合，方能尽快见成效。

沟口采用导流工程，改变泥石流的流向。如宝子滩、下马滩，沟口两基岩出露，地质基础好，可修建混凝土导流坝，堵塞住原沟槽，开新渠通向滩体下方，即用导流的办法，避免泥石流或山洪从正面直冲长江航道。1970年，长航局第一工程处在下马滩沟口建了一道混凝土拱坝导流，控制住滩体发展，改善了航道状况。其它沟谷有类似情况的即可采用导流工程。

三峡区域大多数沟谷型泥石流沟的中下游都有崩塌滑坡体，特别是巫山的曲尺乡、奉节的安坪乡、三江乡一带，崩滑体体积达几百万甚至几千万方。如将来水库一旦蓄水后，回水壅上升，某些溪沟内的崩滑体位置较低，即便在自然状态下，稳定系数会大大下降。如有人对1982年7月云阳鸡扒子滑坡进行了稳定计算：当时长江洪水位122米，稳定系数为1.39，如土暴雨骤降至0.97，如将来江面升到156米三峡水库回水位，稳定系数降为1.14。此数值接近滑动临界状态，若是遇到暴雨，滑坡失稳下滑的可能性更大。经调查1982年7月暴雨期间，崩塌滑坡体直接为沟谷泥石流提供大量固体物，或者崩塌体滑入沟谷堵塞构道而后溃决形成泥石流，此两种形成机制都曾出现过。因此稳住滑坡，乃是减少泥石流固体物质的关键。

例如，宝子滩沟内有丰富的泥石流固体物质补给源，中游有柑子园，沟口有冰竹园两个大型崩滑体。对这类大型滑坡目前条件只能以预防为主，尽可能减轻其危害。措施是：1、修建钢轨格栅式拦石坝群，在沟谷中下段海拔约190米、250米和320米卡口处，规划三道钢

*执笔人：兰肇声（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

轨格栅坝（见图2）。一则栏石泄洪，控制沟口滩体发展；再则坝内回淤反压滑坡剪出口，有稳定滑坡脚的作用；三是减缓沟床纵比降，防止沟床下切和拓宽。2、柑子园崩滑体上目前修有三条灌水渠引水种植水稻，渠水渗流增强了崩滑体内的动水压力，因此崩滑体上渠道要进行防渗处理。3、全流域山坡上封山育林和营造水保林，增加森林被覆。

**2．山坡型泥石流治理**：山坡型泥石流流域面积小，多数不及0.5平方公里。流体性质为稀性或粘性泥石流，来石量有限，对航道影响不大；但因山坡型泥石流数量较多，无论三峡大坝是否兴建，此类泥石流都会造成严重淤积。如奉节县城北山毗邻的三条小泥石流沟——干沟、杨家沟和罗家沟，汇水面积共约1.5平方公里，多次发生稀性泥石流危害县城。成灾原因是过流断面窄和建筑物堵塞，泥石流排泄不畅。防治措施是：1、排洪道采用暗沟形式通过，加宽凿深过流断面；2、设置报警器，当泥石流或山洪出现时，提前使居民疏散至安全地带；3、上游莲花寺附近应采取生物措施和治坡工程。

秭归城江南岸的三条泥石流沟，巫山县的垮岩子、灯盏窝等也属山坡型泥石流。在这些沟内，因沟床纵比降大，不宜建造拦石坝，而以水保工程和生物措施为主，可在沟床中下段修建谷坊群以稳坡固床；上中游山坡采用治坡工程，营造水保林和封山育林。

## 二、区域泥石流的综合防治

区域泥石流的防治即指大片泥石流区域面上的防治。防治原则是从大环境着眼，小流域入手，全面规划，以防为主，防治结合。应将防灾同发展生产脱贫致富有机地结合起来，达到经济效益、社会效益和生态效益的统一。区域泥石流防治的组织领导应以地市县为主，包括有下列措施。

1．法令性措施：国家及省内颁布的与防治山地灾害有关的法规有：《森林法》、《环境保护法》、《水土保持细则》、《江河管理条例》和《四川省绿化暂行条例》，还包括市、县政府防治山地灾害的有关布告等。应严格按法规办事，对这些法规一要广泛宣传，二要严格执行。用“法治”恢复森林植被，用“法治”来逐步改变大环境，抑制泥石流环境的恶化。

2．合理利用土地资源，按生态规律安排农业、长江三峡一带的秭归、巴东、巫山、奉节和云阳等县属中山、低山区，人平农耕地约1亩，农耕地只占幅员面积的14%，耕地之外尚有大量的林地、草山草坡及宜林荒山，人平7.6亩。广大山区尽管耕地面积有限，却具有“大农业”的优势。

海拔1000米以下的低山丘陵与河谷区：土地利用以耕作业和经济林为主。沿长江及各大支流谷地内有小片的阶地、平坝与丘陵分布。海拔400米以下，热量和水分条件较好，宜种植水稻，建立稳产高产农田。按“柑桔气候区划”，三峡一带属柑桔最适宜栽培区，在缓坡及丘陵区域宜大量发展。海拔400米以上广大低山区以旱作农业为主，经济林以油桐、乌桕、桑树为主，陡坡地营造水保林、用材林。

海拔1000米以上的中山区：主要指各县南北部中山，土地利用以林为主，农林牧副结

合，特别宜于发展生漆、木耳、五棓子等林土特产及中药材。

3．规划基本农田，按科学规律办事：大于25°的陡坡地应逐步退耕还林还牧，按照既不放松粮食生产，也要努力搞好多种经营的原则，规划各县的基本农田。珍惜现有的稳产高产田，平地、缓坡地、25°以下的斜坡地，凡宜于耕种的土地均要规划为基本农田。三峡区域陡坡地所占比重大，首先将45°以上的急坡地退耕还林还牧，封山育林，消灭“挂坡地”。25°以上的陡坡地先搞林粮间作，逐步退耕。

三峡水库兴建后还将淹没大片沿江阶地及丘陵，若是移民就地后靠，土地矛盾更形突出，势必会加重泥石流等山地灾害。三峡库区合理的环境容量和人口容量等问题急需进行研究。

4．全面规划，开展小流域治理：三峡区域开展小流域治理比较早的是云阳县水市乡的二道河流域，流域面积27.7平方公里，水土流失严重，也有小型的滑坡和泥石流分布。此乡原是云阳县最穷的一个乡，1981年开始治理，1986年验收，从头三年情况看无论生态效益和经济效益都初步见到成效：森林覆盖率由治理前12%上升至21.2%，强中度水土流失面积由占总面积的60%下降至14.8%，原先枯竭的泉眼，有23处又恢复出水，人平年收入由1980年61.2元上升到1984年的120余元。

对于泥石流沟分布集中的小流域，如奉节县的梅溪河、草堂河、朱衣河、三塘河，巫山县的大溪、东坪河，巴东县的东壤河等，可在县的领导下，全面规划，区乡两级组织群众开展流域治理。小流域治理以生物措施为主，工程措施为辅。生物措施采用人工造林和封山育林结合，在流域上游、分水岭源头大造用材林、水源涵养林。树种选用乡土树，如青杠、马尾松、杉木、枫香等。在中下游山坡上种植油桐、乌桕、桑树、柑桔，实行林粮间作，旱地种农作物，地埂栽经济林。沟渠两岸种护岸林，选用耐水湿的麻柳、柳树、慈竹等。工程措施以简易的水保工程为主：治坡工程有结合农田规划兴修梯地，改田改土。在山坡上修背水沟、沉沙凼、引水堰、平塘，起到引水归槽拦蓄泥沙的作用。治沟工程有谷坊群和防洪堤。

小流域治理应采取民办公助的办法：即国家给予适当补助，主要由地方自筹资金，分级承包，任务到户，谁治理谁受益。把治理水土流失、改善生态环境和山区脱贫致富结合起来，更利于调动广大群众的积极性。

5．沿长江三峡两岸低山区建设“三峡风景林带”：长江三峡风光（包括大宁河小三峡及附近风景点）国内外闻名，被列为全国十大风景名胜区之一，旅游业具有发展前景。但是目前沿长江三峡两岸林木稀疏，陡坡裸露，森林覆盖率低，土壤侵蚀严重，与雄伟的江峡风光很不协调。建议沿长江三峡两岸营造“三峡风景林带”，现在云阳县已将沿江陡坡营造成柏木林带，经过一二十年的努力已初具规模。关于“三峡风景林带”的建设，建议由中央林业部拨专款，各县林业部门主管，在陡坡地营造针叶和常绿阔叶混交林，恢复昔日森林面貌。针叶树为马尾松、柏木、水杉、杉木，阔叶树为青杠、枫香、木荷、桤木等。林下灌木选用映山红、马桑等。沿江丘陵缓坡地、土层深厚，建成柑桔林带。

# 奉节县地理环境与泥石流初探*

## 一、奉节县的地理环境与泥石流形成

奉节县隶属四川省万县专区，幅员面积4041平方公里，人口82.9万。县境绝大部分为中山和低山，为川东山地之一部。全县地势南北高，中间低，长江横贯县境中部达54公里。奉节县的山地灾害频繁，1982年7月川东发生特大暴雨洪水，伴随发生大量的滑坡、岩崩和泥石流，该县境内发生的滑坡、岩崩和泥石流多达7007处，广布于79个乡，占全县88个乡的90%，共损坏耕地6.58万亩。特别是泥石流，据实地调查全县共有泥石流沟125条，无论数目、分布范围及危害情况都居川东各县之首（表2—36）。泥石流的形成与当地的地质、地貌、降水等条件以及从古至今环境演变密切相关。

### （一）地质地貌条件

奉节县地貌可分为三大部分：北部为大巴山南缘，大部分为石灰岩组成的低中山、中山地貌，河流侵蚀及剥蚀作用盛行，山顶海拔800—1500米，相对高差500—800米。梅溪河上游竹园区一带是峰丛洼地地貌，岩溶发育，无泥石流沟分布。梅溪河中游的公平、平棠、康乐等地，岩性为遂宁组和巴东组砂岩、泥岩和页岩，地形呈岭脊状中山地貌，谷坡陡峻。从公平以下即有泥石流沟分布，特别是康乐一带，泥石流沟较为集中。

表2—36

| 河流名称 | 泥石流沟数 |
|---|---|
| 长江干流 | 32 |
| 草堂河 | 34 |
| 朱衣河 | 22 |
| 梅溪河 | 18 |
| 脉溪河 | 16 |
| 安坪河 | 3 |
| 总计 | 125 |

县境南部及东部被巫山和七曜山所环绕，为一系列北东—南西走向的狭长山脉，山岭海拔1200米以上，三叠系嘉陵江组石灰岩分布较广，岩溶地貌发育，有峰丛洼地、天坑、溶洞等。只有吐祥至新民沿脉溪河两岸为向斜谷地，岩性为须家河组和巴东组的砂岩、泥岩和页岩，呈单斜中山地貌。脉溪河两岸的水土流失严重，有泥石流沟分布。

中部长江谷地（包括两侧支流的全流域或中下游）为低山河谷区，海拔在1200米以下。岩性为巴东组泥岩、泥灰岩、砂岩及页岩。长江两岸及梅溪河下游、草堂河、朱衣河

*执笔人：兰继声（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

等流域内，有部分的阶地和平坝。谷底海拔100—150米，岭谷相对高差大，约1000米，山坡陡峻。低山河谷区的森林植被稀疏，水土流失严重，泥石流沟分布密集（见图33）。

总的特点是：1．奉节县泥石流分布与地质条件（主要为岩性）关系密切。泥石流分布在碎屑岩区域，其面积约占全县幅员面积的49.6%。碳酸岩质地较软或软硬相间，以物理风化为主。其中巴东组的泥岩、页岩区域，泥石流沟分布较密集；须家河组及遂宁组的砂岩、页岩及砾岩区域，泥石流沟较稀少。石灰岩地区约占全县幅员面积的50.4%，石灰岩质地坚硬，以化学风化和溶蚀作用为主，基本上无泥石流沟分布。

2．松散固体物质不及川西山地丰富。泥石流松散固体物的补给量除取决于岩性外，还受地质构造所制约。奉节的地形构造上受三条褶皱带所控制，即大巴山弧、川东褶皱带和川鄂湘黔隆起褶皱带。背斜向斜多，断层不发育，更无川西山地那样的深大断裂，也不属于强地震带，岩层未受到强烈的挤压和松动。因而，相对地说松散固体物的积累较慢。一条沟暴发一次泥石流后，要间隔几年、十几年甚至几十年才又暴发一次泥石流。

### （二）降水条件

奉节县的泥石流全部由暴雨激发形成的，为暴雨型泥石流。该县多年平均降水量为1078.9毫米，年内降水分配不均，年际变化也较大。降水常集中在5月、6月、7月和9月，一般5月份为阴雨，降水历时较长；7月和9月多暴雨，强度较大而历时较短。奉节位于大巴山暴雨中心和湖北清江暴雨中心之间，降水分布是南北中山区较大，中部低山河谷区较小，每年出现的暴雨次数，北部南部较多，中部较少。

泥石流的暴发频率主要取决于当地的暴雨频率与松散固体物质的组合。由于地质、降水等方面的原因，奉节山地松散固体物质积累的周期较长。所以，每年出现的一般性暴雨（日降雨量50—100毫米，多年平均日数2.6）不足以形成泥石流。大暴雨（日降雨量100—200毫米，多年平均日数0.1）为中尺度的天气系统所引起，几年或十几年一遇；只在暴雨笼罩区内，部分沟谷能够形成泥石流。日降雨量200毫米以上的特大暴雨，属于大尺度的天气系统，雨区范围广，为几十年一遇或百年一遇。如1982年7月26日—29日川东特大暴雨，范围波及万县专区的全部，涪陵和达县专区之一部。奉节县全过程暴雨量大至700—740毫米，相当于该县年平均降雨量的2/3，最大日降雨量达350毫米，最大时降雨量58.8毫米，属百年一遇的特大暴雨。该年的泥石流是多沟齐发，面广面量大。中频率的，如甘沟子、相似沟、十里铺大沟等当时发生了大型泥石流；低频率的泥石流沟，如汪家沟、新铺大沟等，此期间也暴发了泥石流，而且异常猛烈。

总之，奉节县的泥石流暴发频率较低，间歇期较长，没有象川西山地的高频率泥石流（如雅砻江下游下荒田沟每逢大雨必来粘性泥石流，每年暴发十余次）。这里以低频率的泥石流沟为主，中频率的泥石流沟是少数。

### （三）土壤侵蚀条件

奉节县为山区，基带土壤主要为黄壤和紫色土，分布于海拔600米以下，其上有山地黄壤、山地黄棕壤和山地棕壤。长江两岸低山河谷区主要为黄壤和紫色土。此两种土壤易遭侵蚀，加之低山河谷区森林植被破坏严重，森林覆盖率低，更加剧了水土流失。当地黄壤的成土

母质为黄色石灰土，有的文献称“巫山黄土”，形成于上更新统，系较干冷气候环境下的风积物。这类黄色石灰土广泛分布于川东一带长江两岸，奉节、巫山长江两岸多级阶地上的覆盖物，即此类黄色石灰土，分布高程150—280米。土内富含钙质砂姜石，有强石灰反应，结构疏松，易遭侵蚀，是奉节县泥石流细颗粒物质的主要来源。

表2—37

| 坡地类型 | 坡度 | 占耕地面积% |
|---|---|---|
| 极缓坡及平地 | 10°以下 | 18.0 |
| 缓坡地 | 10°—15° | 20.1 |
| 斜坡地 | 15°—25° | 23.9 |
| 陡坡地 | 25°—45° | 23.3 |
| 急坡地 | 45°以上 | 14.7 |

如前所述，奉节县地形相对高差大，山高坡陡，尤其中部低山河谷区，陡坡地居多（表2—37）。全县有耕地面积92.9万亩，人均约1亩。耕地中陡坡地所占比例大，坡度大于25°的旱坡地占总耕地面积的38%。奉节县人多地少，平地更少，陡坡垦殖严重，甚至45°以上人们难以立脚的坡地，即所谓“挂牌地”还在耕种。土地利用不合理是造成该县土壤严重侵蚀，多泥石流沟的原因之一。

河流切割密度与土壤侵蚀关系密切。全县的河流切割

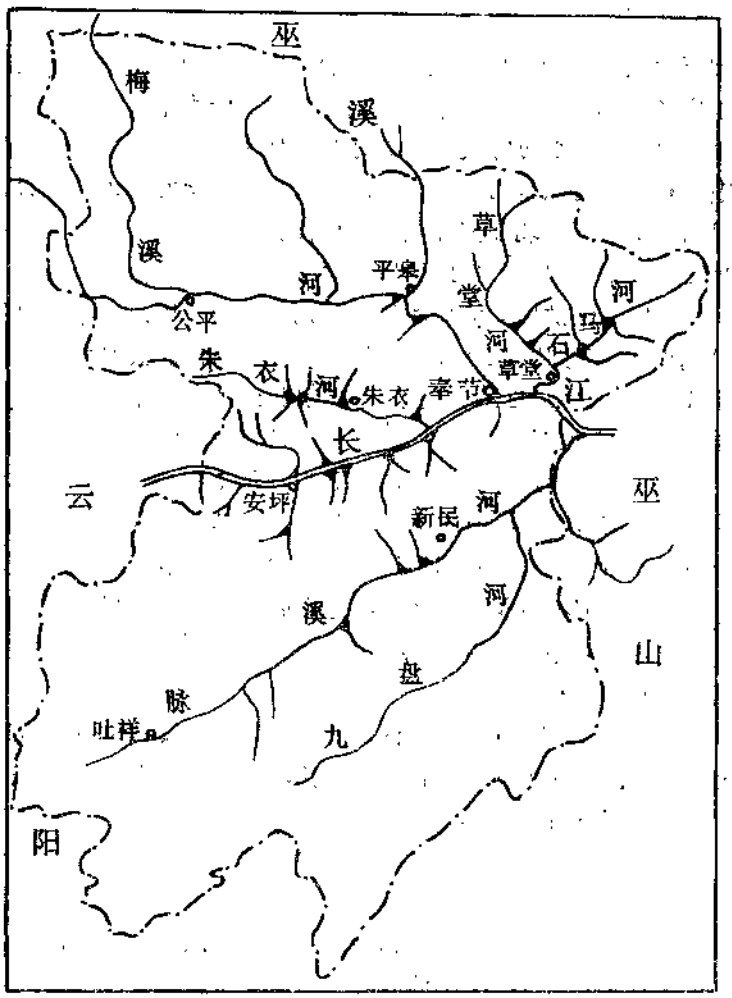



图2—33 奉节县泥石流分布简图

密度平均为0.43公里/平方公里，碎屑岩区域切割密度较大，如草堂河流域为0.83公里/平方公里；石灰岩区域切割密度较小，如九盘河流域仅0.13公里/平方公里。奉节县碎屑岩区域的土壤侵蚀量明显大于石灰岩区域。

草堂河流域的土壤侵蚀严重，据该县水利部门调查，侵蚀模数为2879吨/公里²年，年侵蚀量为113.66万吨/年。按水电部的土壤侵蚀强度分级指标，草堂河流域属于中度侵蚀（2500—5000吨/公里².年。然而泥石流固体物质的补给更为复杂，既有流水侵蚀，也包括重力侵蚀（滑坡、岩崩）。草堂河流域为泥石流沟密集分布区，多滑坡、岩崩，综合各种指标，应属强度侵蚀区。

## 二、古今地理环境的演变与泥石流

### （一）森林植被破坏，生态环境失调

奉节县广大低山区自然植被属偏湿性亚热带常绿阔叶林，到中山区过渡为常绿阔叶、落叶阔叶混交林。树种多为壳斗科、樟科、金缕梅科及其它针叶树种，如木荷、擦木、栲树、枫香、杉木、柏木、马尾松等。历史上奉节一带森林茂密、藤萝丛生、猿猴出没、子规（又名杜鹃鸟）声鸣。对这样的环境，许多古代诗人诗句中有生动描述，如唐代李白的“两岸猿声啼不住”，杜甫“无边落木萧萧下”，“枫林橘树丹青合”，明代杨慎的“江头秋色换春风，江上枫林青又红”等。

奉节县山地多，平地少，古代生产力低下，毁林开荒，刀耕火种相当严重。古代将毁林开荒叫“畲田”。唐代诗人刘禹锡和南宋诗人范成大曾在奉节为官，目睹过畲田并有细致的描写：“何处好畲田？团团缦山腹。占龟得雨卦，上山烧卧木。惊鹿走且顾，群雉声咿喔。红焰远成霞，轻煤飞入郭。风引上高岭，猎猎度青林。青林望靡靡，赤光低复起……”。“峡农生甚艰，砍畲大山颠。赤殖无土膏，三刀财一田。颇具穴居智，占雨先燎原……”。这样，茂密的天然常绿阔叶林逐渐被毁掉了，伴林栖息的兽类、鸟类也失去生存之地，环境即随之恶化。猿猴属森林动物，从唐代至清代，许多诗人的诗句中都有“猿啼”的描写，而到清末民国初年，已是“如今两岸猿声少”（见诗人赵熙《过夔州》一诗）。现在长江三峡区域已无天然常绿阔叶林，更见不到猿猴的踪影。

现今全县的森林植被以人工林为主，中山区马尾松林居多，低山区经济林木较普遍，树种有油桐、乌桕、漆树和柑桔，天然常绿阔叶树仅有零星分布。建国之初，全县尚有森林面积149.61万亩，主要为次生的马尾松林，占到森林面积的81%，全县森林覆盖率为24.3%。到1958年森林资源急剧减少，现在尚存森林96.26万亩，主要分布于南两西部的中山区域，森林覆盖率降至15.6%。长江两岸低山河谷区森林最稀疏，覆盖率仅7.8%甚至以下。这里除了陡坡旱地，即是灌丛草坡，有的地段土壤遭强度侵蚀，只剩下红色裸岩。森林资源的锐减，导致生态环境失调，无疑是造成奉节县泥石流、滑坡等山地灾害丛生的重要原因。

## （二）草堂河等流域地理环境的演变与泥石流

奉节县境的长江支流有梅溪河、草堂河、朱衣河和脉溪河，各流域的大部分属巴东组泥岩、页岩及泥灰岩区。这些流域历史上地理环境又是怎样呢？草堂河开发历史悠久，县志及其它有关文史资料中有记载，现以草堂河为例，探讨流域地理环境演变与泥石流发生的关系。

草堂河河长33.3公里，流域面积394.8平方公里，平均流量7.51立方米/秒，年径流量2.369亿立方米。全流域为一个区（草堂区），地貌类型为低山河谷。草堂河原名东壤水，所谓“壤”，当地将山间河流通江者叫“壤”。草堂河中下游一带，石马河与草堂河交汇处，谷地开阔，东汉建武年间（公元25—56年）公孙述曾在此屯田，故名“东屯”，盛产水稻。县志上有“东壤水治东十五里……公孙述于此垦稻田号东屯”的记载。

唐代诗人杜甫曾流寓奉节二年有余，在壤西（现奉节县城永安镇）、东屯、西阁住过，主管过东屯公田百余顷。现草堂区公所附近有杜工部草堂遗址，并有石碑。县志载“杜工部所买田产及所营高斋俱在此。”因有杜工部草堂，所以东壤水更名为草堂河。杜甫有诗记云“东屯稻畦一百顷，北有涧水通青苗。晴浴狎鸥分处处，雨随神女下朝朝。”

南宋夔州通判于衡在庆元三年（1197年）写了《东屯少陵敞居记》，描述了当时草堂河的环境：“峡中多高山峻谷，地少平旷。独东屯距白帝五里，而近稻田，水畦延袤百顷。前带清溪，后枕崇冈，树林葱茜，气象深秀，称高人逸士之居……”。清光绪19年编修的《奉节县志》记载：“东壤水俗名草堂河，河之上四十里有老龙洞源泉潴出四时不竭，其上有天池坝、罗家坝山溪河水注之……草堂河灌两岸水田约出谷二万余石……”。

由上述记载说明从东汉直至清代，草堂河内地理环境变化不大，东屯一带有稻田一百顷，灌溉便利，溪水清沏，四时不竭；山上林木葱郁，水土流失较弱。在这段相当长的时期内，生态系统基本上是平衡的，其间虽有毁林垦荒、森林火灾、山地灾害等各种事件发生，但处于生态系统自动调节的允许范围内，未造成生态系统的失调。

现在草堂河流域土壤侵蚀严重，泥石流沟分布密集，多达34条，中下游几乎条条支沟皆为泥石流，其中暴发较频繁，危害较大的有甘沟子、上坝沟、戈家沟、炭窑沟和竹坪溪。例如甘沟子，流域面积2.6平方公里。此沟为老泥石流沟，1870年（清同治九年）农历6月，川东一带发生罕见的特大暴雨，形成千年一遇的特大洪水，泥石流也最为严重，将原老堆积扇扩为大型堆积扇（即现在上坝村）。甘沟子泥石流暴发较为频繁，建国后有六年曾发生规模较大的泥石流，即1954，1959，1962，1977，1979，1982，其中以1982年那次最大，冲毁淹埋田土420亩（其中水田380亩）。现代泥石流已冲开了老泥石流堆积扇。堆积扇面积28.7万平方米，最厚处达12米，体积344.2万立方米。从1952年至现在，堆积扇淤高了3米，即平均每年淤积近10厘米。

历史上曾盛产稻谷的东屯，现在那100顷（折合1500亩）稻田已不存在，谷底平川全部已淤埋成宽阔的河漫滩。由县志资料推算，东屯的稻田大量被淤埋始于清朝末年，后来年复一年，东屯的千余亩肥沃稻田就被泥石流山洪蚕蚀完。如民国年间的一段历史资料记述：“1938年8月淫雨，溪水水头十余丈，真是山崩地裂，浊流数日不停，草堂河猛发蛟水，两岸顷刻变成砂石乱滩”。现在草堂河中下游稻田少旱地多，更不能自流灌溉。原来“树林葱茜、气象深秀”的低山丘陵，已变成童山濯濯，沟蚀严重的红色山丘。

梅溪河、朱衣河和脉溪河中下游，泥石流沟分布较密集，近年来梅溪河中游的张家沟、郭家沟，朱衣河上的汪家沟、相似沟等都发生过泥石流灾害。河床淤积快速，建国三十余年，全县河流普遍淤积抬高1—2米，某些河道达4米，普遍加宽5—30米。如脉溪河上的幸福桥（奉节—恩施公路桥），1964年建成，目前桥孔已淤高了3米，阻塞了大半，平均每年1.5厘米。

草堂河、朱衣河中下游，梅溪河中游康乐乡一带为宽谷河段，两侧的泥石流堆积扇能充分发展，河流呈游荡型，泥石流及山洪经常改道。如竹坪溪1984年5月山洪时突然改道，一下就冲毁该村农田60余亩。草堂河、朱衣河上多次修筑堤防工程，但防不胜防，经不住泥石流和山洪改道的冲蚀，多处堤防已溃决，残缺的堤坝在两河中下游比比皆是。

### （三）泥石流与航道险滩

奉节县有直接注入长江的泥石流沟32条（北岸17条，南岸15条）。较大型的泥石流沟有三塘河，新铺大沟和十里铺大沟，历史上或现在都曾泄带出大量固体物质，在长江主航道上形成溪口滩，对航道产生一定影响。

三塘河流域面积37.65平方公里，沟长13公里。流域面积较大，全流域即为一个乡（三江乡），有十余个自然村。泥石流固体物质主要来至中游塘河村的崩坍滑坡体，历史上多次暴发山洪和泥石流，最近一次发生于1982年7月川东特大暴雨时。大量石块、漂砾被泄带入长江，在沟口形成溪口滩伸入江心，名叫喇叭滩。该滩是长江奉节段航道上的一大险滩，水势凶恶，小船过滩时有覆舟的危险，过去设有绞滩船。三塘河泥石流经过整治，长航局从1971—1977年在沟道中下段先后修建一道混凝土重力坝和两道格栅坝，工程经1982年7月暴雨山洪泥石流的考验，坝体稳固，防治效果良好，粗大石块漂砾全部拦在坝内，坝下游沟床内固体物质明显减少，已侵蚀到基岩。整治后的喇叭滩江段，滩势平缓了，航道得到改善。

新铺大沟于1982年7月川东特大暴雨中产生过较大规模的泥石流，固体物质主要来至中游藕塘村一带山崩滑坡体。据访问60多年前（本世纪20年代）暴发过泥石流，这中间从未产生过。据现场目睹者说，原来沟口的堆积扇不大，那场泥石流发生时，堆积扇体向长江内推移了十多米，泥石流物质冲入长江时卷起大浪，大石头未能立即被带走，在江中又停了很久。现在沟口堆积扇上尚有大漂砾（成分为砾岩）十余块，最大者直径达3米。

梅溪河全长103公里，发源于巫溪县文峰区。1953年由省内河局投资，成立了“梅溪河整治委员会”领导过几次整治。但由于两岸滑坡、岩崩和泥石流等山地灾害严重，有泥石流的溪沟多达18条，暴雨时节，两岸冲出大量泥沙石块，河道淤塞，浅滩多，梅溪河最终还是不能通航。

## 三、人为工程活动与泥石流

所谓人为工程活动，不包括从古至今的农业生产活动，而单指现代各部门开矿、筑路、修水利等对废碴、废土石处理不当，工厂的废气污染环境等，促成泥石流。奉节县矿产

资源比较丰富，重要的有煤、石膏和硫铁矿。除国营矿山外，还有不少乡镇和农民个体集资办的小矿山、小煤窑，都与泥石流发生有关。

朱衣河流域面积153.6平方公里，河长31.4公里，流域内泥石流相当活跃，除地质岩性等原因外，开矿地点多，矿碴处理不当是重要原因。据在区公所调查，朱衣河上游黄井乡，煤矿及小煤窑多，年产煤7万吨，生产过程落后，大量的煤矸石、废土石倾倒在沟道内，每逢大暴雨即产生多处小型泥石流。朱衣河中下游从口前村至冉家沟约10公里有石膏矿，开采石膏采用爆破法造成大量废石，冉家沟泥石流暴发较为频繁，与开采石膏矿有关。

奉节县十里铺大沟泥石流的复活则与修筑公路有关。十里铺大沟距奉节城十里，长江北岸，原为一条老泥石流沟，现代泥石流又趋于活跃。沟床内固体物质储备较丰富，一部分来至流域中游岩上村附近的崩坍滑坡体；另外奉节至朱衣区的公路经过该沟中游，修筑公路开山炸石，大量土石体弃入沟内；农民在沟内开采石料，也将大量废石弃于沟内。1961，1974和1982年都产生过规模较大的泥石流。1982年7月的泥石流来势迅猛，淤积旺盛，沟口炸药厂的堤坝顶高出沟床1丈余，被泥石流即刻淤平，并漫过堤坝淤埋了该厂院坝及鱼池。沟口新老堆积扇发育，和江南岸的泥石流堆积扇共同形成挟持之势，对长江航道具有潜在影响。

奉节还是我省重要的硫磺产地，有青龙磺厂、奉节磺厂和红岩磺厂。据报道，硫磺厂大量排放二氧化硫，污染大气或形成酸雨，使该县96万亩森林受到灾害的达57万亩，最严重的芳草坝林场有90%以上的林木死亡。森林的大量枯死，会直接加重水土流失和泥石流灾害。

附表　　三峡库区泥石流沟一览表

| 编号 | 所在江岸（支流） | 距离坝址 $L_b$（公里） | 沟名 | 所在县、区 | 流域面积 F（公里²） | 沟长 L（公里） | 纵比降 J（‰） | P=1（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=1（%） 泥石流流量 $Q_c$（米³/秒） | P=5（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=5（%） 泥石流流量 $Q_c$（米³/秒） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1—1 | 右岸（九湾溪） | 18.86 | 熊家沟 | 秭归、周坪 | 5.85 | 3.72 | 157 | 52.3 | 85.5 | 39.1 | 63.9 |
| 1—2 | | | 凉亭子 | | 6.28 | 3.83 | 119 | 58.0 | 94.8 | 43.2 | 70.7 |
| 2—1 | 右岸（窑湾溪） | 32.96 | 谭家嘴 | 秭归、窑湾 | 32.67 | 6.45 | 103 | 268.4 | 438.7 | 199.0 | 325.2 |
| 2—1 | | | 李槐坪 | | 8.45 | 6.44 | 205 | 64.6 | 105.5 | 47.7 | 77.9 |
| 2—3 | | | 放银场 | | 0.93 | 2.12 | 511 | 13.0 | 21.2 | 9.8 | 16.1 |
| 3 | 右岸 | 38.25 | 贺家大沟 | 秭归、蓬花 | 3.65 | 3.12 | 171 | 37.2 | 60.9 | 27.9 | 45.6 |
| 4 | | 39.00 | 许家大沟 | | 1.12 | 1.98 | 281 | 14.8 | 24.2 | 11.2 | 18.3 |
| 5 | | 40.50 | 八磴湖 | | 2.02 | 2.68 | 272 | 22.7 | 37.1 | 17.0 | 27.9 |
| 6 | 左岸 | 47.70 | 泄滩 | 秭归、泄滩 | 87.61 | 17.85 | 47 | 325.6 | 532.2 | 225.4 | 368.4 |
| 7 | | 60.02 | 糖房沟 | | 11.35 | 4.45 | 176 | 114.7 | 187.6 | 85.9 | 140.4 |
| 8 | | 60.40 | 石桥沟 | 巴东、东壤口 | 19.52 | 6.15 | 93 | 362.0 | 591.8 | 233.5 | 381.7 |
| 9 | | 69.40 | 宝塔河 | | 3.88 | 3.63 | 213 | 99.1 | 162.0 | 64.6 | 105.6 |
| 10—1 | 左岸（紫阳沟） | 70.60 | 刘家沟 | | 2.73 | 3.06 | 173 | 68.9 | 112.6 | 44.9 | 73.4 |
| 10—2 | | | 对窝坪 | | 6.53 | 3.46 | 141 | 168.4 | 275.3 | 109.8 | 179.5 |
| 10—3—1 | | | 红岩沟 | | 14.08 | 6.80 | 92 | 227.3 | 371.5 | 145.7 | 238.2 |
| 10—3—2 | | | 母猪河 | | 4.18 | 4.39 | 169 | 87.0 | 142.3 | 56.4 | 92.2 |
| 11 | 左岸 | 72.67 | 弃川桥 | | 2.56 | 3.48 | 223 | 61.9 | 101.2 | 40.3 | 65.8 |
| 12 | 左岸 | 73.87 | 草坊河 | | 5.14 | 3.25 | 184 | 141.6 | 231.4 | 92.5 | 151.2 |
| 13—1 | 左岸（龙船河） | 77.40 | 黄土坡 | 巴东、官渡口 | 9.38 | 3.20 | 79 | 237.1 | 387.6 | 154.5 | 252.6 |
| 14 | 左岸 | 79.70 | 纸厂沟 | | 26.02 | 7.25 | 48 | 380.7 | 622.3 | 243.0 | 397.1 |
| 15—1 | 左岸（锁石溪） | 116.50 | 岩口子 | 巫山、秀峰 | 13.75 | 5.88 | 118 | 171.2 | 279.8 | 128.9 | 210.7 |
| 15—2 | | | 李家沟 | | 2.54 | 3.28 | 121 | 34.7 | 56.8 | 26.1 | 42.7 |
| 16 | 左岸 | 123.72 | 下沱 | | 5.13 | 4.78 | 95 | 57.5 | 94.0 | 43.1 | 70.5 |
| 17—1 | 左岸（大宁河） | 125.00 | 窑厂沱 | | 16.69 | 7.03 | 144 | 199.0 | 325.3 | 149.9 | 244.9 |
| 17—2 | | | 黄家湾 | | 1.96 | 2.98 | 108 | 26.5 | 43.3 | 19.9 | 32.5 |
| 17—3 | | | 鱼泉湾 | | 0.94 | 1.88 | 386 | 19.9 | 32.6 | 15.5 | 25.4 |
| 17—4 | | | 庙坪 | | 0.56 | 1.83 | 436 | 11.5 | 18.8 | 8.9 | 14.7 |
| 17—5 | | | 朱家寨 | | 2.87 | 2.45 | 338 | 61.2 | 100.0 | 47.8 | 78.1 |
| 17—6 | | | 后风溪 | | 3.56 | 3.50 | 153 | 52.6 | 86.1 | 39.7 | 64.8 |
| 17—7 | | | 牛老壳 | | 1.34 | 1.58 | 450 | 31.7 | 51.9 | 24.9 | 40.7 |
| 17—8 | | | 白腊园 | | 2.91 | 3.33 | 397 | 54.4 | 88.9 | 41.1 | 67.2 |
| 17—9 | | | 何家坪 | | 1.86 | 2.43 | 215 | 34.5 | 56.3 | 26.0 | 42.6 |
| 17—10 | | | 黄家屋基 | | 4.98 | 3.30 | 161 | 83.5 | 136.5 | 63.1 | 103.1 |
| 17—11 | | | 孟家湾 | | 2.29 | 1.98 | 441 | 52.9 | 86.4 | 41.4 | 67.7 |
| 17—12 | | | 赖家坪 | | 1.58 | 3.20 | 475 | 28.0 | 45.8 | 21.1 | 34.6 |
| 17—13 | | | 候家湾 | | 2.68 | 2.75 | 231 | 49.6 | 81.0 | 37.5 | 61.3 |
| 17—14 | | | 王家湾 | | 2.60 | 2.48 | 215 | 50.8 | 83.0 | 38.4 | 62.8 |
| 17—15 | | | 石头湾 | | 0.96 | 2.70 | 531 | 17.9 | 29.3 | 13.5 | 22.1 |
| 17—16 | | | 申家坡 | | 0.52 | 1.35 | 383 | 11.6 | 19.0 | 9.1 | 14.8 |
| 17—17 | | | 花里坪 | | 10.62 | 3.82 | 169 | 188.4 | 308.0 | 142.7 | 233.3 |

续表1

| 编号 | 沟在江岸距离坝址 | $L_b$（公里） | 沟名 | 所在县、区 | 流域面积 F（公里²） | 沟长 L（公里） | 纵比降 J（‰） | P=1（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=1（%） 泥石流量 $Q_c$（米³/秒） | P=5（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=5（%） 泥石流量 $Q_c$（米³/秒） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17—18 | | | 纸厂沟 | | 12.52 | 6.10 | 251 | 179.3 | 293.0 | 135.3 | 221.2 |
| 17—19 | | | 下纸场 | | 1.70 | 2.25 | 244 | 33.7 | 55.1 | 25.5 | 41.7 |
| 17—20 | | | 花场沟 | | 5.65 | 4.23 | 236 | 88.4 | 144.6 | 66.8 | 109.1 |
| 17—21 | | | 洋水河 | 巫山、福田 | 19.63 | 7.65 | 90 | 202.4 | 330.8 | 152.0 | 248.5 |
| 17—22 | | | 野子口 | | 21.50 | 9.79 | 73 | 177.4 | 290.0 | 132.6 | 216.7 |
| 17—23 | | | 前河 | 巫溪、宁厂 | 3.58 | 3.13 | 321 | | | | |
| 18 | 右岸 | 127.92 | 落家嘴 | 巫山、秀峰 | 2.28 | 2.24 | 447 | 50.5 | 82.6 | 39.5 | 64.6 |
| 19 | 左岸 | 128.78 | 洪田沟 | | 1.84 | 3.40 | 145 | 23.9 | 39.0 | 17.9 | 29.3 |
| 20 | | 129.30 | 周家岸 | | 4.03 | 4.62 | 106 | 53.6 | 87.6 | 40.2 | 65.7 |
| 21 | 右岸 | 129.40 | 木子湾湾 | | 3.88 | 4.12 | 350 | 63.7 | 104.0 | 48.1 | 78.5 |
| 22 | 左岸 | 129.90 | 小下马 | | 1.13 | 2.12 | 187 | 20.2 | 33.0 | 15.2 | 24.9 |
| 23 | | 131.37 | 下马滩 | | 50.65 | 12.10 | 76 | 432.2 | 706.6 | 324.2 | 530.0 |
| 24 | 右岸 | 131.37 | 大龙洞 | | 5.56 | 4.15 | 271 | 91.5 | 149.6 | 69.2 | 113.1 |
| 25 | 右岸 | 132.10 | 小弯梁子 | | 0.76 | 1.64 | 325 | 16.2 | 26.5 | 12.6 | 20.6 |
| 26 | 右岸 | 132.85 | 大弯梁子 | | 0.72 | 1.51 | 362 | 15.9 | 26.0 | 12.4 | 20.3 |
| 27 | 左岸 | 132.90 | 小龙洞 | | 6.73 | 4.48 | 204 | 101.5 | 165.9 | 76.6 | 125.2 |
| 28 | 右岸 | 134.00 | 蜈蚣泡沟 | | 5.48 | 3.87 | 146 | 81.3 | 132.9 | 61.3 | 100.3 |
| 29 | 左岸 | 134.80 | 铜岗嘴 | | 3.58 | 3.35 | 205 | 58.9 | 96.3 | 44.5 | 72.7 |
| 30 | 右岸 | 135.08 | 灯盏窝沟 | | 1.56 | 2.27 | 180 | 28.0 | 45.8 | 21.2 | 34.6 |
| 31 | 左岸 | 135.50 | 王家沟 | | 5.37 | 4.48 | 238 | 80.4 | 131.4 | 60.6 | 99.1 |
| 32 | 右岸 | 135.92 | 张家村 | | 7.83 | 5.33 | 185 | 104.6 | 170.9 | 78.8 | 128.7 |
| 33 | | 136.72 | 拖肚子 | | 0.42 | 1.28 | 315 | 9.1 | 14.9 | 7.1 | 11.6 |
| 34 | | 137.10 | 大块子 | | 0.69 | 1.64 | 229 | 14.0 | 22.9 | 10.7 | 17.5 |
| 35 | | 137.60 | 独树子沟 | | 2.67 | 2.90 | 189 | 45.2 | 73.9 | 34.1 | 55.8 |
| 36 | | 137.70 | 饮水观 | | 1.86 | 2.73 | 195 | 30.8 | 50.4 | 23.2 | 38.0 |
| 37 | 左岸 | 138.47 | 东瓜包 | | 1.36 | 1.58 | 178 | 29.1 | 47.5 | 22.7 | 37.1 |
| 38 | 右岸 | 138.82 | 培福沱 | | 1.22 | 2.25 | 249 | 22.7 | 75.7 | 17.2 | 57.2 |
| 39 | | 139.48 | 垮岩子沟 | | 0.42 | 1.40 | 358 | 10.0 | 33.3 | 7.6 | 28.3 |
| 40 | 左岸 | 139.78 | 纹滩沟 | | 18.52 | 9.63 | 150 | 180.0 | 294.2 | 135.0 | 220.6 |
| 41 | | 140.70 | 陈家沟 | | 3.48 | 3.55 | 199 | 54.2 | 88.6 | 40.8 | 66.8 |
| 42 | | 141.60 | 张家大沟 | | 9.13 | 6.11 | 188 | 114.1 | 328.9 | 85.9 | 247.5 |
| 43 | 右岸 | 142.10 | 窑厂坪 | | 0.42 | 1.19 | 395 | 9.6 | 15.7 | 7.5 | 12.3 |
| 44 | | 142.30 | 水净湾 | | 0.79 | 1.79 | 357 | 16.6 | 27.1 | 12.9 | 21.1 |
| 45 | | 143.10 | 曲尺盘 | | 1.52 | 3.65 | 317 | 21.9 | 35.8 | 16.4 | 26.9 |
| 46 | 左岸 | 143.30 | 方场背 | | 2.12 | 3.50 | 222 | 30.9 | 50.5 | 23.2 | 38.0 |
| 47 | | 145.55 | 庙家沟 | | 7.76 | 5.33 | 178 | 102.3 | 167.3 | 77.1 | 126.0 |
| 48 | | 147.00 | 油榨碛 | 巫山、大昌 | 5.52 | 4.39 | 191 | 79.9 | 130.6 | 60.2 | 98.5 |
| 49 | 右岸 | 147.75 | 铁滩沟 | | 4.30 | 4.01 | 144 | 58.9 | 96.3 | 44.3 | 72.4 |
| 50 | 左岸 | 148.00 | 曾家沱沟 | | 0.68 | 1.62 | 304 | 14.3 | 23.3 | 11.1 | 18.2 |

续表2

| 编号 | 所在江岸（支流） | 距离坝址 $L_b$（公里） | 沟名 | 所在县、区 | 流域面积 F（公里²） | 沟长 L（公里） | 纵比降 J（‰） | P=1（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=1（%） 泥石流流量 $Q_c$（米³/秒） | P=5（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=5（%） 泥石流流量 $Q_c$（米³/秒） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 51 | 右岸 | 149.25 | 老青溪沟 | | 10.72 | 7.94 | 142 | 105.9 | 173.2 | 79.4 | 129.7 |
| 52 | 左岸 | 150.05 | 红石沟 | | 3.08 | 2.91 | 371 | 63.1 | 103.2 | 47.9 | 78.2 |
| 53—1 | 右岸（大溪） | 152.00 | 上岩坪沟 | 巫山、中和 | 2.05 | 2.43 | 273 | 41.0 | 67.1 | 31.0 | 50.7 |
| 53—2 | | | 后坪沟 | 奉节、城关 | 2.13 | 2.18 | 278 | 46.1 | 75.3 | 35.9 | 58.7 |
| 53—3 | | | 八溪湾 | 巫山、中和 | 3.74 | 3.31 | 202 | 62.5 | 102.1 | 47.2 | 77.1 |
| 53—4 | | | 碗厂沟 | | 0.74 | 1.73 | 269 | 15.1 | 24.7 | 11.7 | 19.1 |
| 53—5 | | | 檀木树沟 | 奉节、新民 | 1.18 | 1.73 | 247 | 25.0 | 40.9 | 19.5 | 31.9 |
| 53—6 | | | 黄石板沟 | 奉节、城关 | 4.77 | 3.28 | 190 | 83.1 | 135.8 | 62.8 | 102.7 |
| 53—7 | | | 银窝子沟 | 奉节、新民 | 1.76 | 2.62 | 257 | 31.9 | 52.1 | 24.0 | 39.3 |
| 53—8 | | | 沙家湾 | | 21.00 | 8.60 | 82 | 196.3 | 320.9 | 147.2 | 240.6 |
| 53—9 | | | 土地湾 | | 4.70 | 4.42 | 163 | 62.9 | 102.9 | 47.3 | 77.4 |
| 53—10 | | | 龙王洞 | | 5.86 | 3.27 | 168 | 103.5 | 169.1 | 78.3 | 127.9 |
| 53—11 | | | 肖家湾 | | 8.46 | 4.63 | 132 | 117.3 | 191.8 | 88.4 | 144.6 |
| 53—12 | | | 道路湾 | | 7.75 | 4.68 | 127 | 103.6 | 169.4 | 78.1 | 127.6 |
| 53—13 | | | 秦家湾 | | 7.42 | 5.52 | 145 | 89.7 | 146.7 | 67.5 | 110.2 |
| 53—14 | | | 百杨树沟 | | 9.38 | 3.40 | 256 | 194.8 | 318.4 | 148.1 | 242.0 |
| 53—15 | | | 道子梁沟 | | 2.72 | 3.58 | 226 | 40.5 | 66.1 | 30.5 | 49.8 |
| 53—16 | | | 庙坝子沟 | | 1.70 | 3.38 | 240 | 24.8 | 40.5 | 18.6 | 30.4 |
| 53—17 | | | 中岭沟 | | 11.50 | 5.90 | 148 | 145.1 | 237.2 | 109.3 | 178.6 |
| 54—1 | 左岸（草堂河） | 159.00 | 白门沟 | 奉节、草堂 | 2.92 | 3.48 | 166 | 34.6 | 56.5 | 26.9 | 43.9 |
| 54—2 | | | 二溪沟 | | 1.32 | 2.25 | 130 | 17.2 | 28.2 | 13.4 | 21.9 |
| 54—3 | | | 来兴田 | | 1.00 | 2.55 | 123 | 10.9 | 17.9 | 8.5 | 13.8 |
| 54—4 | | | 陈家沟 | | 3.62 | 3.40 | 122 | 42.2 | 69.9 | 32.8 | 53.6 |
| 54—5—1 | | | 茶盘山 | | 0.59 | 1.95 | 143 | 7.4 | 12.3 | 5.7 | 9.3 |
| 54—5—2 | | | 玉皇观 | | 1.51 | 2.22 | 124 | 20.3 | 33.1 | 15.8 | 25.8 |
| 54—5—3 | | | 大河沟 | | 3.25 | 3.45 | 164 | 39.5 | 64.5 | 30.7 | 50.2 |
| 54—5—4 | | | 青 龙 | | 8.72 | 5.83 | 137 | 83.9 | 137.1 | 65.1 | 106.4 |
| 54—5—5 | | | 柑子园 | | 1.49 | 3.80 | 176 | 14.3 | 23.4 | 11.0 | 18.1 |
| 54—5—6 | | | 相因沟 | | 2.48 | 3.95 | 154 | 25.1 | 41.0 | 19.4 | 31.8 |
| 54—5—7—1 | | | 马 口 | | 1.83 | 2.25 | 336 | 32.0 | 52.4 | 25.5 | 41.6 |
| 54—5—7—2 | | | 竹坪溪 | | 12.67 | 5.18 | 147 | 146.9 | 240.0 | 114.2 | 187.0 |
| 54—5—7—3 | | | 赵家湾 | | 4.85 | 3.06 | 154 | 69.2 | 113.1 | 54.0 | 88.3 |
| 54—5—8 | | | 窦家沟 | | 14.30 | 6.74 | 99 | 126.0 | 206.0 | 97.8 | 159.8 |
| 54—5—9 | | | 樊家沟 | | 0.91 | 1.80 | 234 | 15.1 | 24.7 | 11.8 | 19.3 |
| 54—5—10 | | | 锄厂沟 | | 1.42 | 2.35 | 381 | 23.1 | 37.8 | 18.0 | 29.5 |
| 54—5—11 | | | 谭家湾 | | 3.69 | 3.35 | 219 | 50.7 | 82.8 | 39.5 | 64.6 |
| 54—5—12 | | | 楠树梁 | | 2.12 | 2.76 | 261 | 31.3 | 51.2 | 24.2 | 39.9 |
| 54—5—13 | | | 普安寺 | | 11.30 | 4.75 | 128 | 131.9 | 215.5 | 102.7 | 167.9 |
| 54—6—1 | | | 欧家湾 | | 0.40 | 1.25 | 229 | 7.0 | 11.4 | 5.6 | 9.1 |
| 54—6—2 | | | 丁家包 | | 0.82 | 1.33 | 221 | 15.1 | 24.7 | 12.1 | 19.8 |
| 54—6—3 | | | 甘沟子 | | 2.55 | 3.90 | 157 | 26.4 | 43.1 | 20.4 | 33.4 |
| 54—6—4 | | | 邵家坟 | | 1.23 | 2.90 | 274 | 15.8 | 25.8 | 12.2 | 20.0 |
| 54—6—5 | | | 白虎包 | | 0.73 | 2.00 | 224 | 10.5 | 17.2 | 8.2 | 13.4 |

续表3

| 编号 | 所在江岸（支流） | 距离坝址 $L_b$（公里） | 沟名 | 所在县、区 | 流域面积 F（公里²） | 沟长 L（公里） | 纵比降 J（‰） | P=1（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=1（%） 泥石流流量 $Q_c$（米³/秒） | P=5（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=5（%） 泥石流流量 $Q_c$（米³/秒） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 54—6—6 | | | 大湾 | | 2.92 | 2.95 | 219 | 42.0 | 68.6 | 32.8 | 53.5 |
| 54—6—7 | | | 花坟园 | | 0.68 | 2.20 | 310 | 9.8 | 16.0 | 7.6 | 12.4 |
| 54—6—8 | | | 单家湾 | | 2.04 | 3.65 | 228 | 23.3 | 38.1 | 18.1 | 29.6 |
| 54—6—9 | | | 大木厂 | | 1.38 | 2.43 | 314 | 21.5 | 35.2 | 16.8 | 27.4 |
| 54—6—10 | | | 廖家沟 | | 17.43 | 6.94 | 124 | 165.9 | 271.2 | 128.9 | 210.7 |
| 54—6—11 | | | 茶叶坪 | | 1.56 | 2.73 | 302 | 22.6 | 37.0 | 17.6 | 28.8 |
| 54—6—12 | | | 黄木岭 | | 5.13 | 4.95 | 179 | 53.3 | 87.2 | 41.4 | 67.7 |
| 54—6—13 | | | 段家沟 | | 0.58 | 1.90 | 273 | 8.7 | 14.3 | 6.8 | 11.1 |
| 55 | 左岸 | 160.57 | 关庙沱 | 奉节、城关 | 0.92 | 2.12 | 239 | 14.5 | 23.7 | 11.3 | 18.4 |
| 56 | | 161.47 | 泡桐树 | | 0.72 | 1.90 | 240 | 11.0 | 17.9 | 8.5 | 14.0 |
| 57 | 右岸 | 161.70 | 黑塘沟 | | 1.80 | 3.38 | 265 | 22.1 | 36.1 | 17.2 | 28.1 |
| 58—1 | 左岸（梅溪河） | 162.87 | 和尚包 | | 0.35 | 1.34 | 376 | 6.2 | 10.2 | 5.0 | 8.2 |
| 58—2 | | | 谢家湾 | | 1.28 | 2.28 | 212 | 18.7 | 30.5 | 14.5 | 23.7 |
| 58—3 | | | 邹家沟 | | 18.79 | 8.05 | 101 | 154.1 | 251.9 | 119.5 | 195.3 |
| 58—4 | | | 龙潭沱 | | 1.93 | 2.80 | 317 | 29.1 | 47.5 | 22.7 | 37.0 |
| 58—5 | | | 铁佛寺 | 奉节、平泉 | 2.09 | 2.80 | 332 | 32.4 | 52.9 | 25.3 | 41.3 |
| 58—6 | | | 下河坝 | | 1.89 | 2.90 | 349 | 28.3 | 46.2 | 22.0 | 36.0 |
| 58—7 | | | 落水壁 | | 3.44 | 3.20 | 294 | 51.9 | 84.8 | 40.5 | 66.2 |
| 58—8 | | | 唐家湾 | | 14.16 | 5.30 | 129 | 159.8 | 261.2 | 124.5 | 203.5 |
| 58—9 | | | 石龙庵 | | 3.14 | 3.35 | 161 | 38.6 | 63.0 | 30.0 | 49.0 |
| 58—10 | | | 团包 | | 0.86 | 2.03 | 174 | 11.9 | 19.5 | 9.3 | 15.2 |
| 58—11 | | | 李子坪 | | 8.83 | 5.70 | 157 | 90.3 | 147.7 | 70.2 | 114.7 |
| 58—12 | | | 鹅颈项 | | 1.96 | 2.70 | 277 | 29.4 | 48.1 | 22.9 | 37.5 |
| 58—13 | | | 红砂梁 | | 0.38 | 1.05 | 447 | 7.6 | 12.4 | 6.1 | 10.0 |
| 58—14 | | | 楼子磅 | | 1.06 | 3.60 | 222 | 23.7 | 38.7 | 18.4 | 30.0 |
| 58—15 | | | 石王庙 | | 4.04 | 4.35 | 169 | 43.4 | 70.9 | 33.7 | 55.0 |
| 58—16 | | | 下平阜 | | 1.24 | 2.00 | 162 | 16.5 | 30.2 | 14.4 | 23.6 |
| 58—17 | | | 雷打树 | | 1.16 | 2.00 | 298 | 19.9 | 32.5 | 15.5 | 25.4 |
| 58—18 | | | 放牛坪 | | 3.30 | 3.70 | 175 | 38.7 | 63.3 | 30.1 | 49.2 |
| 58—19 | | | 大堰沟 | | 7.64 | 5.83 | 152 | 78.6 | 128.4 | 61.0 | 99.8 |
| 58—20 | | | 高屋 | | 2.62 | 3.30 | 281 | 34.3 | 56.1 | 26.7 | 43.7 |
| 58—21 | | | 廖家坪 | 奉节、公平 | 3.30 | 3.55 | 198 | 41.3 | 67.5 | 32.1 | 52.5 |
| 58—22 | | | 打烂沟 | | 2.00 | 2.75 | 352 | 31.6 | 51.6 | 24.6 | 40.3 |
| 59 | 左岸 | 164.8 | 白衣庵 | 奉节、城关 | 1.27 | 1.72 | 189 | 22.0 | 36.0 | 17.4 | 28.4 |
| 60 | 右岸 | 165.61 | 羊安渡 | | 3.21 | 4.26 | 148 | 32.1 | 52.5 | 24.9 | 40.7 |
| 61 | 左岸 | 165.77 | 营盘包 | | 1.41 | 2.11 | 199 | 21.9 | 35.8 | 17.1 | 28.0 |
| 62 | | 166.74 | 五里铺 | | 1.11 | 2.47 | 217 | 14.8 | 24.2 | 11.5 | 18.8 |
| 63 | | 167.72 | 十里铺 | | 2.24 | 2.70 | 192 | 31.5 | 51.5 | 24.6 | 40.2 |
| 64 | 右岸 | 170.10 | 刘家湾 | | 2.77 | 4.07 | 134 | 27.1 | 44.3 | 21.0 | 34.3 |
| 65 | 左岸 | 170.36 | 木瓜溪 | 奉节、新民 | 12.94 | 6.25 | 79 | 111.8 | 182.7 | 88.6 | 141.6 |
| 66—1 | 左岸（朱衣河） | 171.20 | 匡家湾 | 奉节、朱衣 | 3.74 | 4.15 | 146 | 39.5 | 64.5 | 30.6 | 50.0 |

续表4

| 编号 | 所在江岸（支流） | 距离坝址 $L_b$（公里） | 沟名 | 所在县、区 | 流域面积 F（公里²） | 沟长 L（公里） | 纵比降 J（‰） | P=1（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=1（%） 泥石流流量 $Q_c$（米³/秒） | P=5（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=5（%） 泥石流流量 $Q_c$（米³/秒） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 66—2 | | | 枇杷湾 | | 3.55 | 4.48 | 147 | 35.0 | 57.2 | 27.1 | 44.3 |
| 66—3 | | | 放牛坪 | | 6.34 | 5.56 | 129 | 57.9 | 94.7 | 44.9 | 73.4 |
| 66—4 | | | 燕儿窝 | | 2.85 | 3.90 | 154 | 30.1 | 49.2 | 23.3 | 38.1 |
| 66—5 | | | 周溪沟 | | 1.29 | 2.80 | 105 | 13.3 | 21.8 | 10.3 | 16.8 |
| 66—6 | | | 韩家场 | | 3.53 | 2.57 | 163 | 54.5 | 89.1 | 42.6 | 69.6 |
| 66—7 | | | 杨家湾 | | 2.05 | 3.06 | 200 | 26.0 | 42.5 | 20.2 | 33.0 |
| 66—8 | | | 石客湾 | | 2.26 | 2.14 | 180 | 37.4 | 61.2 | 29.2 | 47.8 |
| 66—9 | | | 相似沟 | | 7.51 | 5.58 | 125 | 70.6 | 115.4 | 54.8 | 89.5 |
| 66—10 | | | 白岩湾 | | 0.97 | 2.66 | 234 | 12.1 | 19.7 | 9.4 | 15.3 |
| 66—11 | | | 三台湾 | | 1.54 | 2.48 | 194 | 21.4 | 35.0 | 16.7 | 27.3 |
| 66—12 | | | 龙洞湾 | | 2.24 | 2.30 | 235 | 37.4 | 61.2 | 29.2 | 47.8 |
| 66—13 | | | 炭厂湾 | | 4.00 | 3.95 | 190 | 47.6 | 77.7 | 37.0 | 60.5 |
| 66—14 | | | 汪家沟 | | 2.06 | 2.62 | 236 | 30.7 | 50.2 | 24.0 | 39.2 |
| 66—15 | | | 白蜡溪 | | 4.33 | 3.45 | 200 | 58.8 | 96.1 | 45.8 | 74.9 |
| 66—16 | | | 流沙溪 | | 4.03 | 3.20 | 200 | 57.1 | 93.1 | 44.5 | 72.8 |
| 66—17 | | | 常家沟 | | 7.48 | 4.15 | 145 | 91.4 | 149.4 | 71.2 | 116.4 |
| 66—18 | | | 核桃湾 | | 2.23 | 2.58 | 198 | 32.7 | 53.5 | 25.5 | 41.7 |
| 66—19 | | | 周家湾 | | 1.16 | 1.98 | 294 | 19.9 | 32.6 | 15.6 | 25.6 |
| 66—20 | | | 灰包槽 | | 3.99 | 3.76 | 170 | 48.4 | 79.2 | 37.7 | 61.6 |
| 66—21 | | | 梁家旁 | | 2.28 | 2.40 | 207 | 35.9 | 58.7 | 28.0 | 45.8 |
| 67 | 左岸 | 172.4 | 观武镇 | 奉节、新民 | 16.50 | 6.17 | 96 | 159.6 | 260.8 | 124.0 | 202.7 |
| 68 | | 172.4 | 大坪子 | 奉节、朱衣 | 0.36 | 0.90 | 413 | 7.5 | 12.2 | 6.0 | 9.8 |
| 69 | 右岸 | 173.0 | 杨家包 | | 1.24 | 2.80 | 170 | 14.4 | 23.6 | 11.2 | 18.3 |
| 70 | | 173.7 | 百换坪 | | 1.28 | 2.76 | 182 | 15.5 | 25.3 | 12.0 | 19.6 |
| 71 | | 173.9 | 周家湾 | | 1.18 | 1.90 | 287 | 20.5 | 33.6 | 16.4 | 26.7 |
| 72 | | 176.27 | 罗家沱 | 奉节、新民 | 26.72 | 9.65 | 76 | 191.4 | 312.8 | 148.0 | 242.0 |
| 73 | 左岸 | 176.70 | 三登子 | 奉节、朱衣 | 0.51 | 1.70 | 310 | 8.4 | 13.7 | 6.5 | 10.7 |
| 74 | | 179.93 | 卷洞桥 | | 3.29 | 3.27 | 168 | 42.0 | 68.7 | 32.7 | 53.5 |
| 75 | 右岸 | 180.22 | 岩湾 | 奉节、安坪 | 4.40 | 4.22 | 191 | 50.9 | 83.2 | 39.6 | 64.7 |
| 76 | 左岸 | 181.40 | 大树溪 | 奉节、朱衣 | 3.88 | 3.95 | 143 | 42.6 | 69.6 | 33.1 | 54.1 |
| 77 | 右岸 | 182.26 | 司家码头 | 奉节、安坪 | 4.76 | 3.98 | 172 | 57.1 | 93.3 | 44.4 | 72.6 |
| 78—1 | 右岸（安坪河） | 185.70 | 磁江溪 | 奉节、安坪 | 15.76 | 7.83 | 91 | 123.6 | 202.0 | 95.7 | 156.4 |
| 78—2 | | | 半边月 | | 17.91 | 5.09 | 120 | 214.6 | 353.9 | 167.4 | 273.7 |
| 78—3 | | | 中坝 | | 2.61 | 2.62 | 126 | 33.0 | 53.9 | 25.7 | 42.0 |
| 79 | 左岸 | 185.94 | 三塘河 | 奉节、朱衣 | 37.65 | 13.05 | 52 | 208.0 | 339.9 | 160.2 | 261.7 |
| 80 | 右岸 | 189.60 | 黑石溪 | 奉节、安坪 | 2.01 | 3.22 | 277 | 26.5 | 43.4 | 20.6 | 33.7 |
| 81 | | 190.15 | 黄石嘴 | | 5.22 | 4.35 | 185 | 60.6 | 99.0 | 47.1 | 77.0 |
| 82 | 左岸 | 190.90 | 肖家湾 | 奉节、朱衣 | 2.59 | 2.88 | 275 | 39.2 | 64.1 | 30.6 | 50.0 |
| 83 | 右岸 | 191.40 | 流水沟 | 奉节、安坪 | 14.57 | 6.10 | 108 | 142.4 | 232.8 | 110.7 | 180.9 |
| 84 | 左岸 | 191.82 | 王家湾 | 奉节、朱衣 | 1.66 | 2.70 | 308 | 25.1 | 41.0 | 19.5 | 31.9 |

续表5

| 编号 | 所在江岸（支流） | 距离坝址 $L_b$（公里） | 沟名 | 所在县、区 | 流域面积 F（公里²） | 沟长 L（公里） | 纵比降 J（‰） | P=1（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=1（%） 泥石流流量 $Q_c$（米³/秒） | P=5（%） 清水流量 $Q_b$（米³/秒） | P=5（%） 泥石流流量 $Q_c$（米³/秒） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 85 | 右岸 | 193.00 | 楠树湾 | 奉节、安坪 | 0.66 | 1.50 | 359 | 12.0 | 19.7 | 9.6 | 15.8 |
| 86 | | 193.32 | 碑石梁 | | 0.82 | 2.13 | 360 | 13.1 | 21.4 | 10.2 | 16.7 |
| 87 | 左岸 | 193.40 | 小沟 | 奉节、朱衣 | 1.38 | 2.57 | 288 | 20.2 | 33.0 | 15.7 | 25.7 |
| 88 | 右岸 | 193.60 | 枣子园 | 奉节、安坪 | 0.33 | 1.30 | 414 | 5.0 | 8.7 | 4.8 | 7.8 |
| 89 | 左岸 | 194.37 | 大沟 | 奉节、朱衣 | 5.82 | 4.00 | 194 | 74.7 | 122.0 | 58.2 | 95.1 |
| 90 | 右岸 | 194.55 | 母猪沱 | 奉节、安坪 | 1.21 | 2.85 | 319 | 16.3 | 26.6 | 12.6 | 20.7 |
| 91 | | 198.13 | 潘家沟 | 云阳、故陵 | 3.48 | 3.50 | 232 | 30.0 | 130.8 | 54.0 | 88.3 |
| 92 | | 200.10 | 刘家沟 | | 2.21 | 2.80 | 254 | 56.0 | 91.5 | 37.8 | 61.8 |
| 93—1 | 右岸（石芦河） | 207.50 | 磨子沟 | | 26.96 | 6.90 | 97 | 454.6 | 743.1 | 306.7 | 501.3 |
| 93—2 | | | 双店子 | | 2.85 | 2.75 | 289 | 78.0 | 127.5 | 53.7 | 87.8 |
| 93—3 | | | 碓窝塘 | | 1.38 | 1.88 | 330 | 40.6 | 66.4 | 28.7 | 46.9 |
| 93—4 | | | 庙坪 | | 6.98 | 5.23 | 133 | 119.4 | 195.2 | 80.2 | 131.1 |
| 93—5 | | | 田湾 | | 2.11 | 2.65 | 253 | 55.5 | 90.6 | 37.5 | 61.3 |
| 93—6 | | | 唐家湾 | | 2.92 | 1.85 | 224 | 88.7 | 144.9 | 62.8 | 102.7 |
| 93—7 | | | 菜园沟 | 奉节、安坪 | 4.10 | 3.69 | 213 | 91.8 | 150.0 | 61.9 | 101.2 |
| 93—8 | | | 香树沟 | | 10.12 | 6.15 | 141 | 167.9 | 274.4 | 112.8 | 184.4 |
| 93—9 | | | 周家湾 | | 4.07 | 2.60 | 78 | 91.8 | 150.0 | 62.0 | 101.3 |
| 94 | 左岸 | 210.45 | 岩湾溪 | 云阳、红狮 | 59.94 | 13.95 | 53 | 607.4 | 992.8 | 405.5 | 662.8 |
| 95 | 右岸 | 211.10 | 姜家沱 | 云阳、故陵 | 5.61 | 4.50 | 166 | 108.5 | 177.3 | 73.0 | 119.4 |
| 96 | | 213.60 | 枣树垭 | | 1.52 | 2.59 | 255 | 37.9 | 62.0 | 25.6 | 41.8 |
| 97 | | 214.40 | 石灰沱 | | 5.10 | 3.56 | 184 | 117.9 | 192.7 | 79.7 | 130.3 |
| 98 | | 214.86 | 金竹湾 | | 4.80 | 4.20 | 160 | 93.9 | 153.4 | 63.2 | 103.3 |
| 99 | 左岸 | 216.45 | 东洋子 | 云阳、红狮 | 54.48 | 10.90 | 64 | 679.8 | 1111.2 | 456.3 | 745.9 |
| 100 | 右岸 | 216.70 | 陶家码头 | 云阳、故陵 | 3.42 | 3.17 | 199 | 81.2 | 132.7 | 54.8 | 89.6 |
| 101 | | 218.00 | 作坊沟 | | 1.38 | 1.68 | 332 | 42.2 | 69.0 | 29.9 | 48.8 |
| 102 | 左岸 | 218.30 | 三道沟 | 云阳、红狮 | 1.46 | 2.95 | 230 | 31.9 | 52.2 | 21.5 | 44.5 |
| 103 | 右岸 | 219.27 | 桐子湾 | 云阳、故陵 | 1.21 | 1.75 | 353 | 36.3 | 59.3 | 25.7 | 41.9 |
| 104 | 左岸 | 219.27 | 瓦房沟 | 云阳、红狮 | 8.06 | 5.04 | 116 | 140.9 | 230.4 | 94.8 | 154.9 |
| 105 | | 221.36 | 猪房沟 | | 1.73 | 2.36 | 252 | 46.9 | 76.6 | 32.0 | 52.3 |
| 106—1 | 右岸（磨刀溪） | 222.90 | 衙头溪 | 云阳、故陵 | 9.85 | 7.56 | 92 | 125.0 | 204.3 | 83.3 | 136.2 |
| 106—2 | | | 觅牛沱 | | 5.52 | 4.21 | 146 | 108.2 | 176.9 | 72.9 | 119.1 |
| 106—3 | | | 丁家沟 | 云阳、龙角 | 1.64 | 2.27 | 286 | 45.5 | 74.2 | 31.9 | 52.1 |
| 106—4 | | | 茨竹溪 | 云阳、故陵 | 4.37 | 2.80 | 196 | 118.6 | 193.8 | 80.5 | 131.6 |
| 106—5 | | | 石板沟 | | 9.42 | 7.34 | 90 | 120.4 | 196.8 | 80.2 | 131.2 |
| 106—6 | | | 陈家沟 | | 7.50 | 6.40 | 112 | 107.2 | 175.3 | 71.7 | 117.2 |
| 106—7 | | | 施板沟 | 云阳、龙角 | 8.32 | 4.74 | 121 | 154.9 | 253.1 | 104.3 | 170.5 |
| 107 | 左岸 | 224.60 | 三溪口 | 云阳、云硐 | 11.36 | 8.59 | 85 | 132.3 | 216.2 | 88.0 | 143.8 |
| 108—1 | 左岸（汤溪河） | 226.30 | 杜家沟 | 云阳、红狮 | 2.10 | 2.20 | 115 | 51.8 | 84.6 | 34.9 | 57.1 |

续表5

| 编号 | 所在江岸（支流） | 距离坝址 $L_b$（公里） | 沟名 | 所在县、区 | 流域面积 F（公里²） | 沟长 L（公里） | 纵比降 J（‰） | P=1（%） 清水流量 $Q_b$ | P=1（%） 泥石流流量 $Q_c$ | P=5（%） 清水流量 $Q_b$ | P=5（%） 泥石流流量 $Q_c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | （米³/秒） | | | |
| 108—2 | | | 马廖溪 | | 3.32 | 3.10 | 137 | 72.6 | 118.6 | 48.9 | 80.0 |
| 108—3 | | | 大堰沟 | | 2.53 | 3.05 | 125 | 51.9 | 84.8 | 34.9 | 57.0 |
| 108—4 | | | 长棚子沟 | 云阳、南溪 | 1.94 | 2.76 | 282 | 49.7 | 81.3 | 33.6 | 54.9 |
| 108—5 | | | 竹林沟 | 云阳、江口 | 0.55 | 2.17 | 352 | 13.8 | 22.6 | 9.3 | 15.2 |
| 109 | 右岸 | 231.35 | 太阳沟 | 云阳、云阳 | 5.23 | 3.88 | 160 | 111.6 | 182.4 | 75.3 | 123.0 |
| 110 | 右岸 | 233.50 | 康家沟 | | 4.76 | 4.23 | 154 | 91.6 | 189.9 | 61.6 | 100.7 |
| 111 | 右岸 | 245.60 | 革岭沟 | 云阳、风鸣 | 2.78 | 4.69 | 106 | 40.3 | 65.9 | 26.8 | 43.8 |
| 112—1 | 左岸（小江） | 253.00 | 巨坪 | 开县、渠口 | 1.62 | 2.50 | 208 | | | | |
| 112—2 | | | 蛟湾 | 开县、中和 | 0.66 | 1.99 | 291 | | | | |
| 112—3 | | | 口泉 | 开县、岩水 | 0.20 | 0.84 | 307 | | | | |
| 113 | 左岸 | 256.90 | 沈溪沟 | 云阳、双江 | 6.44 | 4.25 | 88 | 114.4 | 186.9 | 76.9 | 105.5 |
| 114 | | | 大溪 | 万县、天成 | 4.39 | 5.29 | 100 | 70.7 | 115.5 | 50.1 | 82.0 |
| 115—1 | 右岸（龙河） | | 严家湾 | 丰都、茶元 | 0.52 | 1.52 | 254 | | | | |
| 116—1 | 右岸（乌江） | | 油坊沟 | 武隆、巷口 | 4.45 | 3.32 | 106 | | | | |
| 116—2 | | | 梓桐溪 | | 24.36 | 14.03 | 80 | | | | |
| 116—3 | | | 南溪沟 | | 4.13 | 4.85 | 111 | | | | |
| 116—4 | | | 大堰沟 | | 27.25 | 10.54 | 92 | | | | |
| 116—5 | | | 夜老水沟 | | 1.49 | 2.33 | 294 | | | | |
| 116—6 | | | 鼓机台 | | 0.98 | 2.00 | 292 | | | | |
| 116—7 | | | 黄家沟 | | 5.34 | 4.88 | 118 | | | | |
| 116—8 | | | 广子林 | | 0.92 | 1.81 | 174 | | | | |
| 116—9 | | | 磨子溪 | | 0.53 | 1.66 | 295 | | | | |
| 116—10—1 | | | 烂泥沟 | 武隆、火炬 | 3.08 | 2.99 | 129 | | | | |
| 116—10—2 | | | 龙堂溪 | | 1.09 | 1.75 | 259 | | | | |
| 116—10—3 | | | 大水沟 | | 0.48 | 1.68 | 232 | | | | |
| 116—11 | | | 小治村 | 武隆、巷口 | 2.56 | 3.19 | 111 | | | | |
| 116—12 | | | 犁子沟 | | 34.66 | 11.08 | 122 | | | | |
| 116—12—1 | | | 砂五沟 | 鼓水、普子 | 16.38 | 7.84 | 116 | | | | |
| 116—12—2 | | | 旋天沟 | | 1.43 | 2.64 | 195 | | | | |
| 116—13 | | | 坳岩湾 | 黔江、石会 | 0.79 | 1.45 | 169 | | | | |

# Debris—Flows in the Reservoir Area of the three Gorges Hydracelic Engineering and their Impacts upon the Reservoir

It has been confirmed after investigations that there are totally 271 debris-flow gullies in the Three Gorges Reservoir area, in which, 99 gullies including 13 catastrophic debris-flow gullies are distributed along the two banks of the Yangtze River, and the rest including 19 catastrophic gullies in the tributary watersheds of the surrounding mountains. Most of debris-flow gullies in the reservoir area are concentrated in the portion of the Yangtze River between Badong and Yunyang, which makes up 94 percent of debris-flows along the two banks of the river and does more serious damages to the reservoir. The debris-flow gullies in the portion between Sandouping and Zigui and the portion between Wanxian and Chongqing amount only to 5 percent and 1 percent of total numbers respectively, which do slight damages to the reservoir.

A catastrophic debris-flow gully means a gully where the debris-flows have destroyed residential quarters and farming lands with heavy casualties of human being and domestic animals in history, and the similar disasters are still possible to occur in future. In the formation zone of such a debris-flow gully, there are usually some large-scale landslides and relatively concentrated collapse debris and earth that constitute the supplemental source of solid materials, the amount per square kilometer of which is generally over 500,000 cubic meters. Due to the abundant supplemental materials, most of debris-flows in such kind of gullies are viscous flow whose unit weight is commonly over 1.8 ton per cub meter, when a debris-flow takes place, the possible largest discharge to be appeared can reach 80 cubic meters per second. As a result of investigations, more

*Members of this working group include Ronghuan Du, Jianmo Yuan, Zhaosheng Lan, Enzhi Sun, Guan yang Feng, Pingyi Zhu, Guisheng Luo, Xiling Liu, Songlin Zhangand Kang Cheng from Chengdu Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, and Hongxi Luo, Changbing Chen, Changwei Xu, Zheliang Kang and Luoroug Tan from Wuhan Institute of Rock and Soil Mechanic, Chinese Academy of Sciences.

than 32 catastrophic debris-flow gullies as described above have been found in the reservoir area. In additon, most of debris-flow in the rest gullies, which are mainly dilute flows, is not able to bring about the catastrophic disasters in case they occur.

The Zhangjiadagou gully in Wushan county has been selected as a typical catastrophic debris-flow gully in our experiment. An orthophoto map of the gully on a scale of 1 : 5000 has been made with the help of a multiemporal and dynamic monitoring and surveying method. A diagram showing the multi-year dynamic change of the gully bed from 1957-1983 has been drawn, and a 226,000 cubic meters per year solid materials flowing from the gully into the Yangtze River has also been correctly calculated based on a long-term and dynamic monitoring and surveying of the debris-flow gully. Besides,on the basis of different designing standards we have calculated the discharges of solid materials and water for every debris-flow gully in the reservoir area on a PC-1500 mini-type computer.Furthermore, it has been made sure that the pollution of natural environment and acid rain will locally promote the activities of debris-flows in some gullies according to the physical, mechanical and chemical analyses.

After the thorugh investigation and study, the interaction relations between debris-flows and the reservoir in the Three Gorges area can be concluded as follows.

I. Impacts of debris-flows on the area prior to the set-up of the reservoir.

1 )Impact on the deposition of mud and sand: the occurences of debris-flows in the Three Gorges Reservir area are most coneentrated in summer. The occurence frequency of debris-flows in each gully differs with that in others. Most of them are intermitteat-type debris-flows, which means that they take place once in several years, or even one hundred years and over. There are only a few active-type debris-flow gullies where debris-flows take place every year. On an average, debris-flows in these active-type gullies produce about 10,000,000 cubic meters solid materials per year and transport them out of gullies. Among them, 10,800,000 ton debris and earth flow direectly into the Yang-tze River from the two banks, which makes up approximately 35 percent of the total output of sand in the reservoir area.

2 ) Impact on the construction of the hydraulic engineering:there is no catastrophic debris-flow gully found nearby the site where the dam of hydraulic engieering is to be set up. On the other hand, after long distance transportation, the polished and fined solid materials which are originally form debris-flow gullies situated in the places far from the dam are less destructive of abrading the bottom plates of sluice gates for flood discharge and the rotors of hydraulic

turdines. Debris-flows in the reservoir area, therefore, have no destructive impact on the dam to be built.

3 ) Impact on the shipping: at present, there are totally 25 winch stations for winding ships through the shoals on the channel in the reservoir area. Most of them is located on the so-called "shoal at the gully mouth" that is actualy the deposition fan of a debris-flow. These shoals, being increased with the occurence of debris-flows and very difficult to be removed, have serious influence on the shipping in the Yangtze River.

4 ) Impact on the construction of citites and towns: some of streets and quarters of nowaday municipal towns of Fengjie County and Wulong County were destroyed by debris-flows in the past. Moreover, the new sites where municipal towns of Fengjie County, Wushan County and Badong County are due to move are also in varying degrees influenced by some small scale debris-flow gullies, which should be cured in construction to avoid the appearance of destructive disasters in future.

I. Impacts of debris-flows on the area after the set-up of the reservoir.

1. Impacts of debris-flows on the area if a 150m high bam scheme is adopted.

1 ) After the set-up of the reservoir, storing water in the reservoir in general can not obviously strengthen or weaken activities of debris-flows because the level of water to be stored will not reach the altitude where the formation zone of each debris-flow gully is commonly located. The output of solid materials from each debris-flow gully into the Yangtze River at that time will still be equivalent to that prior to storing water. However, after storing water the current velocity of the river will be slower, which will certainly lower the transportation capability of the river. As a result, solid materials of a debris-flow will deposit at the mouth of the gully, which means that the storage capacity of the reservoir will be decreased with the increased deposition. Hence, from a long-term point of view it appears to be necessary to make out some plans for harnessing the main catastrophic debris-flow gullies and the main tributaries where debris-flow gullies are most densely developed.

2 ) After the set-up of the reservoir, the Yangtze River in the Three Gorges area will be widened and deepened. In that case, the original "shoal at the mouth" of each debris-flow gully will eventually be submerged in water, which means that the impact of debris-flow deposition fans upon the shipping will be eliminated, and the shipping conditions will substancially be improved.

3 ) After the set-up of the reservoir, the transportation distance of solid materials carried by debris-flows from the gully into the river will be short while the current velocity of the river is correspondingly slow. At the

same time, because there is no activity of catastrophic debris-flow nearby the site where the dam is to be quilt, it is almost impossible for the solid materials to reach in front of the dam and to destroy the hydraulic engineering.

4 ) Because the altitudes of formation zones in some debris-flow gullies in the new sites where some cities and towns are due to move are all higher than the level of storing water in the reservoir, the disasters from debris-flows will not be weakened by storing water. Moreover, with the development of construction of cities and towns, factories and mines, and highways, the manmade destructions will be intensified, which will locally accelerate activities of debris-flows in these gullies. Each gully, therefore, must be cured and transformed.

5 ) With the rise of submerged level, the area of farming lands capable of being utilized will be reduced, which might bring about the immigration of numbers of local people to the upper part of mountains surrounded where they are to open up virgin soil and to fell trees. As a result, the ecology and environment in the area are much easier to be destructed, which will lead to the serious soil loss, and accelerate activities of debris-flows inthose new sites.

6 )With storing water in the reservoir, the level of water and the humidity in the area will be rising, which can bring about the increase of water containing and the content of organic matters in soil. In addition, a great deal of domestic sewages and industrial waste will pollute soil and acid-rain will strengthen the acid corrosion of soil. All mentioned above will lead to changes of shearing strength, viscosity, hygroscopicity, porosity and other mechanical, physical and chemical properties of the surface soil in debris-flow region, and then will cause obviously the decrease of coacervation capability and mechanical strength of the soil surface, and finally accelerate locally activities of debris-flows in some gullies.

2. Impacts of debris-flows on the area if a 180m high dam scheme is adopted.

After storing water in terms of a 180m high dam scheme, altitudes of most-formation zones of debris-flow gullies in the Three Gorges area are between 200-1800 meters, which are still higher than the level of water even though the latter rises from 150 meter to 180 meter. In that case, the interaction relations between the reservoir and the debris-flow, therefore, are almost the same as that based on a 150m high dam scheme. However, if a 180m high dam scheme is adopted, the submerged area will also be enlarged, which will naturally result in moving of more cities and towns. At the same time, the accompanied immigration will directly or indirectly accelarate activities of debris-flow in the area. Hence, a 180m high dam scheme is more disadvantageous than a 150m high dam scheme.

第三部分

# 滑坡泥石流和其它环境地质因素与三峡工程相互影响的综合分析

# 滑坡泥石流和其它环境地质因素与三峡工程相互影响的综合分析*

以上各部分，详尽地论述了三峡江段滑坡、崩塌和泥石流的现状、趋势及其与未来三峡工程的相互影响，并提出了相应的防治对策。但仅从单因素出发，还不足以全面了解和评价这些不良环境地质因素与三峡工程的依存关系，尚需进行多因素的综合分析和评价，并与三峡工程所处的大范围、大尺度的生态环境因子联系起来，统筹剖析，才能获得比较理想的结果。近代不少水利工程成败的实例表明，大型水利工程的兴建，不仅要着眼于工程本身，而且要着眼于工程所在的江河流域(即上、中、下游和左右岸，以及河口和邻近海域)，着眼于工程所在的生态与环境的多维空间的全面结合，这是人类通过自身的生产实践，从适应自然环境和合理地利用自然资源的发展过程中而获得的宝贵经验。通过近年来的研究〔1〕可知，三峡工程对生态与环境的影响，以及生态与环境的变化对三峡工程的反作用，利弊交错，情况复杂，远非其他中、小型水利工程所能比拟，涉及到三峡库区及长江全流域的各个自然、社会因素的综合。就环境地质方面而论，不仅要全面了解库区滑坡岩崩与岸坡稳定性、泥石流与泥沙来量、土壤侵蚀与水土流失程度、地壳稳定性与水库诱发地震等各个因素的现状、趋势及其与三峡工程的相互影响，更重要地是全面剖析这些环境地质因素的时空分布规律、活动特点、组合关系及其在灾变过程中同时遭遇或相互迭加的可能性，从古今与新老、静态与动态的结合上，综合分析它们可能产生的生态与环境效应，做出灾情预测，及早采取对策，以防患于未然。

三峡江段系古滑坡岩崩多发区，近年来岸坡失稳和古滑崩体复活迹象明显，巨型滑崩现象频起，酿成重灾，对库区环境将有严重影响

长江三峡江段，跨越川东平行岭谷和鄂西山地两大地貌单元，在漫长的地质地貌演变过程中所形成的河谷地貌、坡地地貌、地质构造基底及其软硬相间地层的组合，是制约该区滑坡岩崩形成的基本因素；暴雨洪水、地震等活动是诱发滑坡岩崩灾害的最活跃因素；而人类不合理的经济活动，又在很大程度上加剧了滑坡岩崩的发展。

据周魁一等的调查[1]，三峡地区滑坡岩崩活动由来已久，近2000年来，三峡两岸曾发生过大型滑坡岩崩40多处，达100多次，堵江断航者，不乏其例。从史料记载上可知，该区较早的一次岩崩发生于东汉永元十二年（即公元100年）闰4月，地点在香溪以东的广家崖一带。

---

*执笔人：杜榕桓（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）

1）周魁一、郭涛，1984，长江三峡地区大型岩崩与滑坡的历史与现状初步考察。水利水电科学研究院（油印本）。

新滩是一处历史久远的老滑坡岩崩区，自北宋天胜四年（公元1026年）以来，发生大型滑坡岩崩在10次以上，并多次造成堵江塞流、人畜伤亡事故。三峡其它江段滑坡岩崩亦较发育，诸如位处兵书宝剑峡出口处的链子崖、秭归香溪镇滑坡、楚王城滑坡、范家坪滑坡、巴东黄腊石滑坡、野猫面滑坡、大坪滑坡，巴东火焰石岩崩、左右沱岩崩，巫山水竹园滑坡、鲤鱼沱、彭家老屋滑坡，奉节白衣庵滑坡、新铺滑坡，云阳鸡扒子滑坡、黄瓜漕滑坡等，都是有代表性的大型古滑崩体，是造成岸坡失稳的祸根所在。从史料记载可知[1]，三峡江段曾发生特大型滑坡岩崩堵江碍航者6起：公元377年，巫山山崩，江水逆流百余里，涌高水位数十丈；公元1026年，秭归赞皇山山崩，“蜀江断流，沿溯易舟以行”；公元1542年，新滩北岸山崩五里许，“塞江流二里许”；1896年，云阳黄官漕半匹山崩裂，土石推移，“壅塞径流”；在此期间，三峡江段中小型滑坡岩崩现象更为常见。据调查和资料分析[2]、[3]，从三斗坪至重庆市约600公里的长江河谷两岸，计有滑坡岩崩214处，总体积为13.5—15.0亿立方米，其中50万立方米以下的滑坡岩崩体最多，占总数的57.9%，占滑崩体总量的1.0%。1000万立方米以上的大型滑坡岩崩体32处，体积达7.59亿立方米，约占滑崩体总量的56.14%。5000万立方米以上的特大型滑坡岩崩体7处，体积达5.15亿立方米，约占滑崩体总量的38%。由此可见，三峡江段岸坡是以大型和特大型滑坡岩崩体的活动为最突出的破坏方式。近一二十年来，三峡江段的滑坡岩崩出现了新的活动迹象，从调查所及的214处滑坡岩崩体，处于稳定状态的只是少数，而绝大多数处于不稳定状态。1982年云阳鸡扒子滑坡复活，滑体总量为2000万立方米，其中约1200万立方米物质下滑，滑体前缘部分180万立方米的土石拥入长江，阻塞航道，并给当地造成严重损失，仅修复抢险救灾花费就达1亿多元；1985年6月12日，新滩大型滑坡再度复活，200万立方米的滑体入江，激起54米高的涌浪，将附近的建筑物和船支摧毁，多人丧生；1987年7月16日，秭归县白沙乡土风岩—马家坝古滑坡复活，将波及范围内的公路、桥梁、电讯、乡镇企业的设施及大片农田村舍全部摧毁；1987年9月1日和1988年1月10日，三峡江段的巫溪县，接连发生两起灾害性的滑坡岩崩事件，分别发生于县城附近的南门湾和西宁区下堡乡中阳村，造成128人遇难和生产生活设施、农田村舍被毁的惨剧。仅从上述发生于公元377、1019、1542、1896、1982、1985、1986、1987、1988年的几例大型滑坡岩崩实例中可以看到，三峡江段滑坡岩崩发生频率有明显增加，而两次滑崩体发生的时间间隔也有明显缩短的趋势：1982年以前的时间间隔分别为652年、513年、345年和86年；而1982年以后的时间间隔则分别为3年、1年、1年、4个月。滑坡岩崩体如此急剧加速复活的趋势，对三峡江段岸坡稳定和未来三峡水库库岸稳定的影响，都是不祥之兆。

三峡江段的滑坡岩崩体，不仅具有规模巨大、活动频率增强的特点，而且还有其地区分布相对集中、发生时间相对集中等特点。据实地考察，大体以万县为界，万县以西至重庆江段，两岸滑坡岩崩分布稀疏零散，规模较小，此段河谷长317公里，占三峡江段总长的52.8%，特大型滑坡岩崩体仅有5处；万县以东至三斗坪江段，河谷长283公里，占三峡江段总长的47.2%，两岸滑坡岩崩分布较密，且规模巨大，特大型滑坡岩崩体有31处。总的看来，滑坡多出现在三峡江段的宽谷带，为黄腊石—范家坪滑坡带，安坪—红石梁滑坡带；岩崩多出现在三峡江段的峡谷带，如西陵峡首段的新滩地带，巫峡首段的跳石地带。据文献记载与实地调查可知，三峡江段的滑坡岩崩绝大多数都发生于每年雨季的6—8月份，岩崩多发生在雷

1）周慧一、郭沛，1984，长江三峡地区大型岩崩与滑坡的历史与现状初步考察，水利水电科学研究院（油印本）；

雨或暴雨天气，滑坡多在久雨之后出现。鄂西山区是我国暴雨中心之一。1935年6月30日至7月5日连续降雨7昼夜，最大日降雨量达600毫米以上，三日最大降雨量达1000毫米以上，在此次暴雨中触发的滑坡岩崩仅滑崩体在10万立方米以上的就有400多处。1975年8月8日至10日秭归县降暴雨300多毫米，触发了大量的滑坡岩崩，其中成灾严重的就有876处。1982年7月15日至30日，川东地区连降特大暴雨，仅万县境内就发生滑坡岩崩8万多处，著名的鸡扒子滑坡、马家坝坡滑均为暴雨触发而成。

此外，三峡江段滑坡岩崩的形成发展还与该区洪水侵蚀和地震活动有密切关系，特别是近几十年来，由于人类经济活动的驱使，诸如沿江城镇建设、引水工程、矿山开挖、修筑道路、毁林开荒、陡坡垦殖等，都不同程度地加剧了滑坡岩崩的发展。可以想见，随着三峡江段经济的发展和三峡工程的兴建，人为活动施于该区地表的破坏作用，将有增无减，滑坡岩崩继续发展恶化的趋势是勿容置疑的。

笔者认为有必要强调指出，三峡江段和国内其它山区近年来发生的大型滑坡岩崩的许多实例表明，看来是平静的变化不明显的山坡或河谷岸坡，往往在顷刻之间发生巨变，这是不以人们的意志为转移的；而对一些有危险征兆的滑坡岩崩体，更不能掉以轻心。据此，我们根据实地考察认为，不论三峡工程兴建与否，三峡江段有危险征兆的滑坡岩崩分布区，都须加强灾情监测和防治工作。特别是新滩地区的链子崖危岩体，十多条地裂缝出现了加速变形扩展的迹象，岩体破碎和底部压碎现象都有加剧恶化之势，处于摇摇欲坠，一触即发的危险势态，这里又是天然构造地震和未来水库诱发地震均有可能出现的江段，亦是鄂西山地暴雨多发区，这些异常（极端）情况的同时遭遇是难以排除的，因此，链子崖发生整体或大规模岩崩的结局亦在所难免。与链子崖隔江对峙的新滩大滑坡，将会由于链子崖岩崩所造成的巨大涌浪的冲击而再次复活，出现两岸崩滑体夹击、推波助澜、灾上加灾的严重局面，其后果实难设想。再者，与新滩地区邻近的黄腊石滑坡，位于巴东县城斜对面江岸一侧，为一处多次复活的大型切层滑坡，近年来在暴雨的激发下，滑体地裂缝亦在不断扩大加深，滑坡下部滑体失稳现象时有发生，若出现整体滑动，必将危及巴东县城和附近江道航运的安全。

三峡江段现阶段泥石流活动属中度偏轻程度，但因生态与环境的恶化，泥石流灾情有加重趋势，对未来三峡库区的影响不容低估

据实地考察可知[4]，三峡江段有泥石流沟计271处，其中直接汇入长江的为99处，另有172处分布于沿江两岸较大支流中（如草堂河、朱衣河、大宁河和乌江等16条支流水系）。从地理分布上看，云阳至秭归江段，泥石流沟分布密集，活动较频繁，灾情较重；而库首段的秭归至宜昌间，库尾段的重庆至云阳间，泥石流沟分布零散，灾情轻微。但由于泥石流沟分布集中区，与滑坡岩崩体密集区甚相吻合，而滑崩物质又往往是补给泥石流的固体物质的主要来源，因此，随着滑坡岩崩活动的加剧，该区泥石流活动亦有加剧的趋势。特别是城镇近郊山区，近年来人类经济活动更加频繁，导致环境容量锐减，土地质量下降，地表水力侵蚀和重力侵蚀进一步发展，凡此都是该区泥石流活动愈演愈烈的重要原因。总括起来，三峡江段的泥石流有如下几个特点：

泥石流分布相对集中，暴发时间亦相对集中

据资料统计，三峡江段共有泥石流沟271处，其中约有89%集中分布在云阳至秭归间的沿

江两岸沟谷中，而此段江岸长度只占三峡库区江岸总长度的34%。库首段的三斗坪至秭归和库尾段的万县至重庆，占三峡库区江岸总长度的66%，而泥石流沟仅占总数的11%。三峡江段泥石流沟如此集中分布的特点，究其原因，与这一江段所处的地质地理环境密切相关的。云阳至秭归段，沿江两岸地面高差达几百米至几千米，长江深切，谷坡陡至20°以上，常见泥岩、泥灰岩和粉砂岩出露，这些易风化的岩层，为泥石流提供了富含粘土、粉砂成分的松散固体物质。该区广布的巴东组地层由泥岩、页岩及泥质灰岩组成，这类岩石因富含细砂粉粒，增大了岩石的脆性，有利于薄层理和裂缝的发育，其风化物中含有33—62%的膨胀性粘土矿物——蛭石，属蒙脱石类的粘土矿物，其透水性和亲水性强，遇水软化，抗剪强度骤减，极易被冲蚀而产生整体滑崩，这是导致库区泥石流成灾率高的一个重要原因[6]。

三峡江段泥石流沟密集带，多为向斜构造带，如巫山向斜、故陵向斜、秭归向斜等。这些向斜谷正是上三叠系及侏罗系地层出露的地带，对泥石流的形成是有利的。岩性主要对泥石流的性质类型有所影响，粘性泥石流多发育在巴东组、沙溪庙组等粘土质软性岩类分布区；稀性泥石流多出现于嘉陵江组等碳酸盐岩类及硅酸盐岩类分布区[6]。

新构造运动和地貌组合对泥石流沟发育的影响，也在云阳至秭归江段得到充分的反映：第四纪以来，云阳以东江段地表有较大隆升，其中尤以奉节至巫山间的隆升幅度最大，这一江段水面高程为海拔39—160米之间，而两侧山岭的高度约为海拔1000—2500米之间，泥石流沟密集且活动强烈的均在这一江段。规模大的沟谷型泥石流沟从两侧山地注入长江，跨越不同的海拔高度带，可明显地区分为几个区：沟谷上游和源头是泥石流的清水汇流区和固体物质的补给区，呈盆状或漏斗状地形，散布有高中部位的滑坡、岩崩体或老阶地沉积物；沟谷中游地形收缩，沟床深切，呈箱状或多级V形峡谷，有的切穿基岩，这里为泥石流入江的通道，中低部位的滑坡或岩崩体多散布于此；沟谷下游与长江交汇，形成泥石流堆积扇或水下扇（当地称溪口滩）。由这种地貌组合形成的泥石流沟，流域面积多在5平方公里以上，沟床纵坡多在2%左右，因其汇水面积大，水源丰沛，而流域内固体物质储量较少，除在局部沟道内形成粘性泥石流外，入江的多为稀性泥石流。另一种是规模小的山坡型泥石流沟，属初期发育的泥石流沟，大多在沿江两岸中低部位的滑坡崩塌体上发育而成，流域面积多在1平方公里左右，沟道短小而纵坡陡，沟床尚未切穿滑体物质，无明显的流域形态和流通区，沟内物质丰富而水动力条件不足，多形成小规模的粘性泥石流。据统计资料，三峡江段271条泥石流沟中，流域面积小于10平方公里的泥石流沟，占总数的85.8%，流域面积大于10平方公里的泥石流沟，占总数的14.2%。

三峡江段泥石流活动的时空分布则与该区降水作用密切相关。该区是我国暴雨的多发区，且暴雨集中，历时短、强度大，故而导致泥石流活动有明显的季节性，集中于每年的6—9月。特别是本区每年5月间有长达半个月的霪雨过程，使松散固体物质有充分的前期饱水条件，随后面至的暴雨则对泥石流的产生起着激发和起动作用，从而出现了6—9月的泥石流活动的高潮期。

泥石流暴发频率不高，危害程度中等偏轻

从我国山区泥石流发育情况和危害程度而论，三峡江段及邻近山区的泥石流远不如四川西部山区、云南东北部山区、青藏高原东南部边缘山区和陇南山区活跃[7]，泥石流造成的灾情和对未来三峡水库的影响，亦不如前述滑坡岩崩严重，从全国范围看，该区泥石流活动频

率与成灾程度属中等偏轻。众所周知，泥石流的发生发展，受其固体物质补给、地形条件和水源动力条件的制约，人类经济活动的合理与否，则起加剧或抑制作用。在自然因素中、固体物质的补给是需要一定时间的（即物质积累过程），不论是以滑坡岩崩形式补给，或是以沟床堆积物起动形式补给，或是以人为活动破坏地表物质形式补给，均需要一个积累过程。从实地调查分析，三峡江段及邻近山区泥石流沟的物质补给过程历时十几年、几十年或更长的时间，如张家大沟、甘沟子、下马滩沟和汪家沟等均属此类。而每年暴发多次的高频率泥石流沟，在本区尚不多见。

泥石流类型简单，以稀性泥石流为主

与我国西部山区相比，三峡江段泥石流类型单一，属受东南季风气候影响的降雨类泥石流分布区[8]。所谓降雨类泥石流，是指非现代冰川作用山区的，以降雨为水体来源，以滑坡、崩塌堆积物、风化剥蚀岩屑物等（即非冰川堆积物）为固体物质补给来源而形成的泥石流。降雨类泥石流又可分为暴雨型、台风雨型和绵雨型三个亚类。前二者是指达到暴雨标准的降雨过程或台风雨过境时激发而成的泥石流，而后者是指降雨强度未达暴雨标准，以绵绵久雨诱发而成的泥石流。本区以暴雨型泥石流和绵雨型泥石流为主。

三峡江段属川东鄂西暴雨区，年降水量在1000—1400毫米，但因地形影响，各地降雨量差异较大、云阳、巫溪、奉节等地的暴雨中心，年降水量可达1700毫米、1950毫米至2300毫米左右。总的看来，本区具备有形成泥石流所需的丰沛的水源条件，但因固体物质补给条件和沟床纵坡的限制，在正常年分多出现规模不大的稀性泥石流。然而亦应看到，库区内日降雨量大于200毫米的特大暴雨在历史上曾多次出现过，这是造成灾害性泥石流的主要原因。尽管特大暴雨出现的机率为几十年或更长时间一遇，然一旦出现，则酿成重灾。如1982年7月26—29日，川东特大暴雨波及万县、涪陵、达县一带山区，川东各县的日降雨量多在250毫米以上，而暴雨中心的开县、云阳和奉节一带，全过程降雨量分别达721.1、633.3、700—470毫米，上述各地普遍发生泥石流灾害，造成巨大的财产损失和人员伤亡。由于暴雨中心每年都游移不定，导致该区泥石流活动具有分散性和间歇性的特点。

因受江水作用，泥石流入江物质的堆积形态和组构特征均发生变化

三峡江段在洪水季节，江水猛涨，两岸入江的泥石流物质，因受江水的冲蚀和顶托作用，在堆积形态上和组构特征上，均发生了相应的变化，这种被江水再造作用的泥石流堆积物，表现出不同于一般山麓泥石流的堆积特征。洪水季节，江水含沙量剧增，泥石流入江时，往往被高水位的江水淹没，变成水下堆积，流动的江水迫使泥石流体急剧消能，并使其堆积体向江水下游方向偏转，形成不对称的弧形砾石垅岗（泥石流体入江后，受江水的冲蚀稀释作用，浓稠的泥石流体逐渐解体，粗大石块就近沉积，细粒物质随江水下移），表现在堆积扇的纵向变化上，上部（江水位以上部分）纵坡平缓，约为3°—6°，下部（江水位以下部分）纵坡变大，约为8°—15°。由于江水的顶托和冲蚀作用，泥石流堆积扇在横向变化上表现为：堆积扇临江上游一侧，江水动力作用大，泥石流物质经江水冲蚀、粗化过程，细粒物随江水下移，残留的粗粒物质，其堆积边坡变陡；堆积扇临江下游一侧，形成弧形沙砾垅和回水湾，水动力作用明显减弱，泥石流体中的细粒物和江水中的泥沙在此处落淤，堆积扇边坡变缓。正是由于三峡江段泥石流入江的堆积体，受到江水的再造作用而发生上述变化，故给人们以假象，似乎三峡江段没有泥石流活动，或者不典型。再者，从三峡江段两岸沟谷形

态看，亦显示出某些假象，使人们把沿江两岸众多的泥石流沟误认为清水沟。由于适应于三峡江段长江干流的快速下切，两岸入江沟谷的下游或沟口段，其沟谷横断面多表现为坡面完整的“V”字型或深槽型，以幽深峡谷或悬谷跌水的形式与江水交汇，泥石流物质入江后，或被江水改造而失去原有之堆积特征，或因变成水下堆积，其上加积了江水落淤物而掩埋了真象。通过对两岸沟谷的实地考察发现，这些沟谷的中上游区，其流域形态和水网组合多是树枝状或栉叶状，山坡破碎，滑坡崩塌丛生，加之流域内村舍密集，陡坡垦殖和过度放牧、砍伐等活动均较突出，山坡水土流失和重力侵蚀已十分严重，沟道内泥石流活动留下的痕迹到处可见，与沟口地表形态截然不同。如巫山张家大沟，就是一条由泥石流与滑坡崩塌综合成灾的沟谷，沟口目前仍修筑有排泄泥石流物质的导流堤，两侧谷坡仍保存完整。但沟的中游地段，由多级复合式滑坡组成，沟床两侧崩塌活动频繁，沟中堆满泥石流遗留物和滑崩物，上游为宽广的清水汇流区，水源补给充分，是处于活跃期的泥石流沟，每年沟口测设有绞滩船维持通航。又如草堂河、朱衣河等支流，与长江交口处看不出明显的泥石流活动痕迹，但流域内不仅干流沟道有灾害性泥石流活动，而其支流也多为泥石流沟，近年来屡成灾害，并有明显加剧之趋势。这些支沟的下游区，都将是三峡工程蓄水后的淹没区，当地居民将圈此面就地后靠上迁，今后的人类生产活动也将随此而集中在各支沟泥石流的形成区和流通区，势必进一步加剧山坡的水土流失和重力侵蚀，增大泥沙的入库量，加速库区泥沙淤积，这将是三峡水库一大隐患。三峡两岸受江水再造作用而形成的泥石流沟谷，是该区今后继续成灾的祸根所在，并将因三峡工程的兴建，移民的安置、城镇村舍的迁建而逐步扩大灾情，对于这种环境恶化的趋势，应有足够的重视，及早进行小流域灾情预查，拟制小流域综合开发和综合治理规划，并在当地政府的统一领导下，赶在三峡工程兴建之前，率先进行三峡库区的生态环境建设工程，以便为未来三峡工程的兴建提供一个优化的生态环境。

三峡库区及长江上游广大区域地表重力侵蚀和水力侵蚀日益严重，泥沙来量增大的趋势在短期内难以逆转，水库蓄水将加速泥沙淤积，泥沙问题将是三峡工程成败的关键所在

三峡工程位处长江上游峡谷江段与中、下游平原江段的交接地带，宜昌以上长江河道长约4500公里，汇水面积约100万平方公里，占流域总面积的55%。除长江源头区外，大部分流域属亚热带季风气候。由于该区特殊的地质地貌环境和多变的气候条件，加之长期以来人类生产活动对山区地表的破坏作用，使这里的地表侵蚀过程和泥沙发展演变过程更趋复杂，表现出明显的地域性差异。顾恒岳等已较详尽地论述了三峡水库流域泥沙来源及演变趋势[1]，这不再赘述，仅作如下补充分析：

1，泥沙问题解决与否，关系到三峡工程的成败。因此，在查明三峡库区及库区以上流域的产水产沙和泥沙演变趋势的基础上，要重视并抓好重点产沙区的水土保持工作，以控制本区泥沙来量增长的势头，延长水库寿命。

三峡水库蓄水后，不仅要接纳来自三峡江段两岸支流的大量泥沙，还要接纳来自库区以上长江上游广大区域的大量泥沙，在目前水土流失加剧，泥沙来量日增的情况下，泥沙淤积确系三峡工程急待优先解决的一大难题。据实测资料，近几年来，长江流经宜昌站的多年平均输沙总量为5.33亿吨，但自1978年以来，输沙量有明显增长趋势，1981年由于四川特大洪

灾的影响，宜昌站的当年输沙量达7.28亿吨，1983年为6.22亿吨，1984年为6.72亿吨。以5.33亿吨计，来自金沙江（以屏山站资料）和嘉陵江（以北碚站资料）的年输沙总量为3.83亿吨，占宜昌站长江年输沙总量的72.4%，可见这两条江是三峡水库泥沙的主要来源[12]。重点产沙区包括极强烈输沙区和剧烈输沙区，主要分布在金沙江渡口—屏山区间（不含雅砻江和安宁河），大渡河下游，嘉陵江上中游，涪江上游，渠江下游，以及牛栏江、小江、普渡河和龙川江等流域。这一重点产沙区多年平均输沙模数$\overline{M}$年>1000吨/平方公里，其总面积为13.4万平方公里，多年平均流量571亿立方米，汇水面积和水量仅占宜昌站的13.3%，而输沙量却达2.485亿吨，约占宜昌站的47.7%。亦即说，三峡库区将近一半的泥沙来自这约1/8的流域面积上。该区的最大特点是面积和水量相对较小，而输沙量特大。因此，抓好重点产沙区的水土保持和生态环境建设，是解决三峡工程泥沙问题的关键所在。

2．长江上游地质地理环境特殊，地表外动力过程活跃，有利产沙输沙。

总观长江上游的地质地理环境，具有产生各种水土流失的有利条件，不同海拔高度和气候状况下的各种侵蚀营力，都在加剧地表水土流失、增大泥沙来源过程中发挥各自的作用。大致有如下几种侵蚀营力：

冰冻剥蚀作用：包括冰蚀、雪蚀、寒冻风化、融冻剥蚀和冰雪融水侵蚀等，此类营力作用主要限于海拔4000米以上的高寒山区，由于这里地势高拔，人烟稀少，尚未形成强烈产沙输沙区。

重力侵蚀作用：包括崩塌、错落、滑坡和山崩等，高山峡谷深涧区以大型山崩、岩崩为主，低山丘陵及盆边地区以滑坡、错落、崩塌为主，其发生发展过程受地质地形和岩性的控制，但又与暴雨、地表径流和地下水活动有密切关系，而人类不合理的生产活动亦可诱发或加剧重力侵蚀过程。故此，重力侵蚀是长江上游区分布较广、发生突然、破坏性大而难以防治的一种侵蚀营力或灾害现象，是本区江河粗颗粒物质的提供者，如金沙江中下游段的急流险滩，其中有不少则是由山崩滑坡物形成的。而本区广为分布的泥石流，其固体物质主要是靠滑坡、崩塌和山崩来补给的。在暴雨或地震活动的迭加下，甚至出现以滑坡崩塌活动开始，以泥石流活动告终的多种灾害的连锁反应。由此可见，这种加速地表破坏过程、恶化水土流失、为江河顷泻大量推移质石砾和悬移质泥沙来源的重力侵蚀现象，其分布之广、活动之剧、规模之大和成灾之重，在我国其它山区都是不多见的。由此造成的后果可能对大型工程的影响如何，尚需进行深入的研究。

水力侵蚀作用：这是长江上游流域分布最广泛、对地表侵蚀最活跃、影响范围最大的一种侵蚀类型。根据水力侵蚀的特点及其对地表的塑造作用，可概括为坡面水力侵蚀和沟谷水力侵蚀两种形式。前者是指发生于分水岭或山脊线以下至沟谷谷缘线以上范围的山坡地带的水力侵蚀；后者是指发生于沟谷谷缘线以下至沟床的水力侵蚀。水力侵蚀过程总括为面蚀过程、片蚀过程和沟蚀过程。在每一侵蚀过程的不同阶段，又塑造出不同的水蚀地形形态。水力侵蚀不仅波及到对地表土壤层的侵蚀，还波及到对风化壳和基底母岩的侵蚀。甚至不少重力侵蚀，乃至高寒山区的冰冻侵蚀过程，也都在一定程度上受到水力侵蚀作用的影响。尤其是现代人类经济活动向长江上游流域扩展后，不顾后果的滥伐森林、陡坡垦殖、过度放牧、开矿弃渣等，进一步加速了地表的破坏过程，给水力侵蚀以可乘之机。这种自然营力常态侵蚀和人为活动加速侵蚀的迭加，以更大的破坏强度和更广的破坏范围在加剧本区生态环境恶

化的进程。

泥石流侵蚀作用：这是长江上游流域地表外动力过程最活跃、分布广泛、对自然环境和社会环境影响最大的一种突发性的侵蚀现象。泥石流实质上是水力侵蚀和重力侵蚀以及人为活动综合作用、互为因果的特殊灾变形式，是山区水土流失发展恶化的产物。泥石流既可产生于大小不等的沟谷内，也可产生于较陡的山坡上。前者称为沟谷型泥石流，可以明显地区分出泥石流的形成区、流通区和堆积区，这类泥石流的规模大、流程远，粘性和稀性泥石流兼而有之，交替出现；后者称为山坡型泥石流，无明显的流通区，形成区与堆积区相串联，这类泥石流的规模小、流程短，以粘性泥石流为主。本区泥石流的固体物质，主要来自滑坡、山崩、坍塌物、高山区的古冰碛物，以及江河两岸的高阶地沉积物，物质来源丰富，并多以集中而突然滑崩的形式补给，这是本区泥石流形成过程的一大特点，也是导致本区泥石流暴发频繁而猛烈、规模巨大而危害严重的原因所在。泥石流一旦形成下泄，又对沟床和谷坡进行冲蚀掏挖，引起新的谷坡滑崩坍塌，进一步加剧本区地表的侵蚀过程。泥石流侵蚀过程的往复不止，乃是造成西南山区环境日趋恶化、江河含沙量剧增，河床淤塞、水利工程报废的祸根所在。西南山区地震频繁而烈度高，暴雨集中而强度大，以及人类生产活动的驱使，也是泥石流得以形成发展的重要原因。

金沙江中下游区是长江上游水土流失最严重的地区，从中江街至新市镇约1000公里的沿江两岸，是泥石流的密集区，此段江道有险滩400多处，其中85%是由泥石流带来的砂石巨砾堆积而成，其余是由山崩滑坡堆积物所形成，著名的老君滩长达10公里，就是白沙坡沟内崩塌和泥石流共同作用的结果。

云南东北部的小江是金沙江的支流，小江干流长138.2公里，流域面积3043.5平方公里。三五百年前，小江两岸还是松杉满坡、密林交荫的优美环境。据史料记载，小江流域从唐代开始就有了开矿炼铜的历史。由于历代统治者滥肆开采矿产资源，伐木烧炭炼铜，至清朝中期，，这里已频于“铜尽山荒”的境地，森林砍伐殆尽，水土流失加剧，泥石流接踵而来，出现了山区童山秃岭、河谷砂石遍布的荒凉景象。建国40年来，小江流域工农业生产虽有所发展，但随着人口的猛增（50年代东川地区平均人口密度为57.02人/平方公里，80年代达145.64人/平方公里，而东川市区所在地高达410人/平方公里），人类生产活动进一步加剧了环境的恶化，水土流失面积占流域总面积的60%左右，森林覆盖率由50年代的30%，锐减至80年代的8%，昔日清水淙淙的小江，今日变成了浊流滚滚的“泥江”。泥石流沟由50年代的38条，发展到80年代的107条，泥石流对环境的破坏和影响，已由局部的“点”，发展到大部分的“线”，进而扩展到全流域的“面”。泥石流沟由过去的零星散布发展到目前的成群、成带、成片分布的特点。泥石流灾害对小江流域已构成具有全局性的影响，成为威胁当地经济建设和人民生活安危的严重祸患。众多的泥石流此起彼息、蚕蚀山坡、淤埋谷地，使土地丧失，小江两岸原有河滩地约15万亩，几乎全被泥石流吞噬，变成砂石累累的荒滩，酷似中国大西北的戈壁荒漠景观，可为中国南方山地“砂石化”的缩影[10]。近年来，当地群众拦河造田约6万亩，但治河工程造价昂贵，又不时遭受泥石流的袭击。因此，在泥石流发育的山区河流，对其开发利用，需要综合规划，统筹兼顾。顾此失彼的短期行为是得不偿失的。

此外，嘉陵江上游的白龙江、西汉水、岷江中上游、安宁河、大渡河、雅砻江以及牛栏

江、普渡河和龙川江等流域，都是泥石流的多发区。尤其是巨型山崩、滑坡堵江断流后复而溃决所形成的灾害性更大的泥石流，在这些江河峡谷段多有发生，酿成巨灾。凡此亦是长江上游产水产沙条件更加复杂化、河流泥沙来量增多的重要原因之一。特别是对长江干流航运或水利设施有影响的推移质物质，主要是来自滑坡、山崩和泥石流的堆积物。

3．人类不合理的经济活动，是扩大泥沙来量、加速泥沙淤积的重要原因。

通过近年来的实地考察可知，长江上游流域的生态环境有进一步恶化的趋势，上述自然因素的综合作用，固然是其主导营力，但另一方面，由于人类不合理的经济活动大肆向山区扩展而出现的滥垦、滥伐、滥牧和开矿弃碴、筑路弃石等，导致森林植被覆盖面积锐减，水土流失面积扩大，山崩、滑坡、泥石流等灾害接踵而来。据不完全统计[11]，长江上游森林植被的覆盖率比50年代减少50%以上。水土流失面积与50年代相比，四川琼江流域的8个县扩大了40.4%，甘肃礼县扩大了53.1%，陕西商县扩大了37.8%；白龙江因泥石流活动强烈，最大含沙量高达742公斤/立方米，礼县南部山区的土石流失量达1000吨/平方公里，而云南的小江流域则远大于这个数字。据有关资料，长江流域的土壤侵蚀总量已达24亿吨/年，而三峡宜昌以上流域的土壤侵蚀量达13亿吨/年，占总侵蚀量的54%，长江流经三峡江段的年平均输沙量已占世界各大江河的第四位。因此，合理调整长江上游区人类经济活动，加强环境保护和生态建设，狠抓各种山地灾害的治理和预防，是控制泥沙来量，减缓泥沙淤积的有效途径。应当看到，目前长江上游河道沙情增长的趋势波动之所以不大，这种迹象是维持在已建工程（目前在长江上游各支流已建各类水利工程的总库容为166.74亿立方米）这一脆弱的基础之上的，一旦这些工程的拦沙作用减少或消失，长江上游来沙对三峡水库的威胁将随之迅速增大。因此，可以断言，由于长江上游特殊的自然条件和人为活动，在目前生态环境继续恶化的情况下，该区水土流失加剧，山地灾害有增无减的趋势和长江干流河道泥沙来量继续增大的趋势，在短期内是难以逆转的。因此，三峡水库蓄水后，此段干流水动力条件发生了变化，泥沙在库区加速淤积的趋势也是必然要出现的。目前，国内外的实例表明，泥沙问题解决的好坏，关系到水库建设的成败。三峡工程也同样面临着这一严峻问题。我们认为，以往不少水库工程，大都仅仅注意到入库河道的产沙，而忽视了流域内广大坡面上土壤侵蚀的产沙问题，以至出现了对泥沙来源和产沙量的错误判断和估算，造成水库寿命缩短或被迫对已建水库进行改建的严重失误。我国的黄河三门峡工程、台湾省的石门水库以及埃及的阿斯旺水库和印度的巴克拉水库等，都出现过类似情况。对此，长江三峡工程应引以为戒，在决策之前，做好周密地调查研究，提出行之有效的防治对策，抓好重点产沙区的小流域控制泥沙的科学试点，并重视推广普及，逐步扩大控制水土流失、优化生态环境的地盘，使长江上游的自然地理环境和人为活动环境有根本好转，这样，三峡工程方可立于不败之地。

三峡库区生态环境脆弱，人地关系紧张，环境地质各不利因素的相互影响和综合作用，将会对未来三峡工程和库区社会环境带来麻烦

拟建中的三峡大坝位于三斗坪附近，距长江河口1829公里，距长江源头4471公里，这里属长江中游与上游的交界江段。三峡库区按180米方案，其范围东起湖北宜昌，西迄四川江津，共有20个县市，面积约5.57万平方公里，人口约1636万人，人均幅员面积5.11亩，人均耕地0.9亩。通过实地考察和研究可知，三峡库区生态与环境均已退化到十分脆弱的境地，而人

口的猛增和不合理的生产活动，正在加剧生态与环境的进一步恶化，三峡库区的人口环境容量和土地承载力，均已达到或超过其极限，人地关系已处于紧张状态[13]。总括起来，目前三峡库区的自然环境和社会环境有如下几个特点：

1．山多人多土地少，人地矛盾突出　三峡库区山地和丘陵占库区总面积的95.7%（其中山地占74%，丘陵占21.7%），而平原只占库区总面积的4.3%，为典型的山地区。北部属大巴山区，南部属云贵高原，东部为川鄂山地。三峡江段河谷深切，两岸山峦重迭，地面相对高差悬殊（江面海拔高程为39—160米，两岸山地海拔高程为1000—2500米），地形破碎，地面切割强烈，水土流失严重，土地零碎分布，连片土地很少，其中坡耕地占绝大多数，大于25°的陡坡地占旱地的33%。垦殖系数为41.5%，复种指数已达197%。库区人口高达1636万人，人均耕地只有0.9亩，低于全国人均占有土地的水平。该区农业生产水平较低，平均亩产粮食仅460—540斤，人均粮食680斤，远低于川鄂两省和全国的人均水平。随着库区人口的增长和土地的减少，人地关系紧张的趋势将与日俱增。

三峡库区人口密度高，但分布不均。以目前的人口计，库区每平方公里为314人，但川鄂山地区每平方公里只有140—200人，而川东平行岭谷区，每平方公里达300—600人。其中长江沿岸洪水位以上是人口密集带，每平方公里在800人以上。库区的重庆市、万县市、涪陵市及十多个县城和更多的集镇村庄都散布于沿江的狭窄地带上，其平均人口密度高达每平方公里1000余人。如此高密度的人口，早已超过这个贫瘠山区环境容量的承受能力。因此，长期以来，只好以陡坡垦殖、肆意开采和滥牧滥伐等方式，作为解决众多人口的粮食和其它生活资料来源的途径，其后果是导致库区生态环境的不断恶化，人类赖以生存的地盘越来越小，人地之间的矛盾更加突出，农村约有30%的劳动力过剩。应当指出的是，三峡库区缺少足够的高产农田，据不完全统计，一等地占7.9%，二等地占59.2%，三等地占33%[14]。而三峡水库蓄水后淹没的耕地多属分布在沿江两岸低阶地上的一、二等耕地，这里也是当地农业的精华所在。按180米蓄水方案计，淹没土地129.60万亩，耕地39.71万亩、消落区耕地8.00万亩、柑桔7.90万亩、榨菜晾晒场4.80万亩、成片林3.30万亩，人口76.78万人；按150米蓄水方案计，淹没土地45.00万亩、耕地14.60万亩、消落区耕地3.22万亩、柑桔3.36万亩、榨菜晾晒场3.80万亩、成片林1.20万亩、人口33.04万人。如此巨大的淹没损失和人口动迁，势必造成库区粮食更趋紧缺，经济作物产量大幅度下降，人口与土地的矛盾也将因此更加尖锐化。这不仅会给三峡库区的人民生活、社会安定和经济发展带来不利的影响，而且会加剧三峡库区生态与环境的进一步恶化。

2．自然生态严重失衡，环境恶化日益加剧　三峡库区自然资源不丰富，且以土地资源为主体。但由于山多人多而土地少，垦殖系数已接近其它平原农区的垦殖水平，故土地已处于过度垦殖状态。加之陡坡垦殖严重，水土流失面积已达60%以上，原有森林植被已遭到严重破坏，库区各县的森林覆盖率已由50年代初期的30—50%下降至目前的10%左右，沿江两岸仅有5—7%，稀疏的森林植被已起不到涵养水源、保持水土和调节气候的作用，土地资源的质量和环境质量均明显下降，生态平衡失调，光秃破烂的山体使三峡风光大为减色。

随着森林资源的锐减，库区正面临着森林群落向灌丛→草坡→裸岩的方向退化的趋势，而人类活动的进一步扩展，必将加剧库区的环境恶化，使水土流失面积日益扩大，目前库区水土流失面积中强度侵蚀和极强度侵蚀的面积已达50%以上，库区年产沙量已达1.55亿吨，

入江泥沙量达4000万吨。已查明库区有泥石流沟为271处，每年直接入江的泥石流物质达1100万立方米左右。滑坡崩塌214处，总体积达13.5—15.0亿立方米，这些滑崩体沿三峡库区岸边散布，大多数处于不稳定和次稳定状态，近年来已有多处古老滑坡岩崩复活，数以千百万立方米计的土石入江。以上各种地质灾害活动对地表的破坏过程，正在因生态与环境的恶化而加剧发展，这对当前库区的经济发展和未来三峡水库的影响都是不容忽视的巨大祸患。

3．环境地质各不利因素的相互影响和综合作用，将加剧生态与环境的恶化，对三峡工程的影响，有利有弊，但弊多利少。三峡库区及周围山地，环境地质条件较为脆弱，是我国山地灾害的多发区之一。近百年来，由于人为活动的驱使，山地灾害愈演愈烈，有增无减，几乎每年都因此而造成重大的财产损失和人员伤亡。根据实地调查，库区环境地质各不利因素主要表现在以下几个方面：

（1）三峡及其邻近地区虽属我国的弱震区，但中小地震较为频繁，据近20年来的记录，曾发生过4.7级以上破坏性地震7次，目前尚处于能量加速释放阶段。这些中小地震具有震源浅、震中烈度高、破坏性强等特点。水库蓄水后，水体是诱发地震的最显著因素之一，因此，水库诱发地震并造成一定范围的影响将是难以避免的。

（2）库区沿江两岸滑坡岩崩广为分布，活动频繁，近年来相继发生的新滩、鸡扒子、马家坝、南门湾等大型滑坡岩崩，入江土石达数百万立方米，酿成惨重灾祸。据实地调查分析预测，库区滑坡危险性最严重地段左岸有5段，长49公里，右岸有6段，长66.5公里，兴隆场至宝塔，故陵、百换坪、火焰石附近，黄腊石及新滩南北岸都是危险的部位，一旦遭遇暴雨，极易触发滑坡岩崩。

（3）灾害性泥石流近年来在三峡两岸及支沟中时有发生，毁坏大量村舍和耕地，并有人员伤亡。三峡江段多急流险滩，其中由泥石流入江物质形成的险滩有14处，枯水季节需借助纤滩措施。[15]

（4）水土流失加剧，泥沙来量增大，长江上游水土流失面积已由（50年代）29.95万平方公里，增加至（80年代）35.22万平方公里。三峡库区水土流失面积在此期间也扩大了6.6%，库区5万多平方公里范围内，总沙产量可达1.56亿吨，每年输入江道的泥沙为0.4亿吨、“一年种、二年瘦、三年见石头”乃是三峡库区水土流失严重的生动写照。

基于上述，在如此脆弱的生态环境条件下兴建三峡工程，必须对施工过程中和水库蓄水后可能带来的影响及其与环境地质(特别是山地灾害)的相互关系做出科学的预测，拟订切实可行的防治对策，以期达到社会效益、经济效益、生态环境效益与防灾除害效益的统一，把三峡工程建设成为优质、高效、长寿命的水利工程，既利于当前，又造福于子孙。

通过考察研究，我们认为三峡工程与库区环境地质之间的影响是相互的，利弊兼有，但弊大于利。综合本书前述几部分的研究成果，就三峡工程与环境地质的相互影响及其利弊得失作如下分析：

（1）从诱发地震、滑坡、泥石流和泥沙等单因素分析，除泥沙问题较为突出外，其它不利因素尚不致对三峡工程的兴建带来制约性的影响。特别是不会对大坝所在的三斗坪部位造成直接威胁。

三斗坪坝址的地质稳定性好，岩体坚硬完整，从地震地质构造带背景和水体渗漏储积条件分析，都不具备中强地震产生的条件，库首区仙女山断裂带北端一带，可能诱发有6级地

震，波及到三斗坪的地震强度只有6度左右；从滑坡条件分析，三斗坪坝址至庙河之间16公里范围内，是由结晶岩组成的低山丘陵宽谷河段，两岸无大型滑坡岩崩分布，距坝址最近的新滩链子崖即使崩滑入江，据计算其涌浪高度在坝址附近仅为1—1.5米，不致对大坝及其它建筑物的安全构成威胁。此段沿江两岸亦无灾害性泥石流活动，属安全地段。

三峡工程蓄水后，江面拓宽、江水变深，对改善三峡江段的航运条件有利。据估计，现有大型滑坡在水库蓄水后滑入长江亦不会碍航；泥石流形成的溪口滩都将变成水下滩，如泥石流沟密集的巫山至大溪间长约30公里的江段，蓄水后江面加宽至200—300米，江水加深至60—70米，即使泥石流继续活动，亦不致造成库内碍航；又如，新滩附近在枯水期，若有200万立方米土石入江，基本上就可以淤满河床，阻断航道，而蓄水后即以150米水位论，则需1600万立方米土石入江才能达到同样的结果。

三峡工程对库区环境地质的不利影响远大于上述有利影响，其表现为：水库蓄水后将有利于地震的诱发；库水浸泡软化和水位涨落将促使部分古滑坡岩崩复活或产生新滑坡岩崩；江水水位抬高，对入库泥石流沟起顶托作用，将加速泥石流的淤积，使库区推移质来量增大；蓄水后，三峡急流变成峡谷型水库，江水流速锐减，将加速入库泥沙的淤积；这些库区地质灾害的进一步恶化，将对库区生态环境和人类社会环境造成更多的不良影响。

国内外不少实例表明，水体作用是水库诱发地震极其重要的因素。水库蓄水后，加速了水的渗漏储积，形成附加的水压应力场和超孔隙水压力，从而增大了地震诱发的可能。在一些库段，如庙河西至香溪、牛口至巴东一带，有可能诱发6级以下的地震。

三峡工程修建后，库水淹没岸坡的范围加大，库水的冲刷作用、动力水压作用及浸泡软化作用都将对岸坡稳定产生不利的影响，受库水浸泡的坡体，在水位消落时，会因流水冲刷而产生坡面变形或发生滑坡岩崩；库水位的变动，引起库岸坡体渗透力的改变，造成坡体中细颗粒的冲移，亦会引起岸坡地面变形或发生滑坡。总之，三峡工程在兴建过程中和蓄水后，均将导致滑坡活动的增强。另外，在围堰施工期间，新滩链子崖滑坡和崩塌造成的涌浪，可能给围堰工程带来很大麻烦。

（2）环境地质各不利因素的综合影响、多种山地灾害的迭加，将会对三峡库区造成严重威胁，应当予以高度警惕。

首先，地震、滑坡岩崩和泥石流等与暴雨的迭加。据研究预测，库区诱发地震强度一般不会超过6级，但即使出现6级以下中小地震，由于这种地震震源浅，震中烈度高，虽波及范围小，但破坏性大，在震中附近将会对地表产生强烈影响；地震又是触发激化滑坡、岩崩和泥石流的巨大潜在动力因素，再与历时短、强度大的暴雨同时遭遇，必将酿成极为严重的灾害。这种险情在金沙江、岷江、嘉陵江等山区河流中已多次发生，历史上东晋、宋、清乾隆时期，西陵、秭归等地都有地震山崩的记载。暴雨是库区触发滑坡的主要可变因素，据现有资料分析，新滩附近，牛口至巴东库段，都是可能出现灾害迭加的部位，这些地段既是可能诱发地震的地段，也是滑坡岩崩潜在危险最大的地段，同时又是暴雨的多发区，这些不利因素相互迭加可能出现更大的灾害的局面是难以排除的。计算表明，若以仙女山断裂北段的荒口至周坪间为震中，发生5.5级地震时，则新滩滑坡、链子崖危岩体均将出现险情，庙湾滑坡也将有一定危险性；若以九湾溪断裂北端为发震位置，除上述滑坡发生险情外，临近的野猫面滑坡也将遭到破坏。

其次，滑坡、岩崩和泥石流灾害对未来库区城镇迁建、移民安置和工矿交通等将有较大影响。从前述各部分资料可知，库区滑坡、岩崩和泥石流等山地灾害现象，分布广泛，水库蓄水后，这些灾害活动将有加剧趋势。三峡沿江地带的新老滑坡崩塌体及高部位的泥石流堆积扇上，由于地形开阔平缓，地下水较丰富，自古以来，都是城镇散布之地和农田集中分布区，水库蓄水后，这些地带有的被淹没，有的将因库水的影响而出现新的灾害，均需全部或部分搬迁。此外，在已制定的十几个城镇搬迁方案中，巫山、奉节两县新址仍有多处滑坡存在，奉节县新址草堂河沿岸各支沟曾有泥石流活动，因此，这两个县必须做好前期料研工作，结合城镇迁建和经济发展，拟定滑坡和泥石流防治规划，确保安全，免留后患。巴东县城要考虑黄腊石滑坡可能造成的潜在涌浪的威胁。

第三，要特别重视泥沙淤积对三峡库区的致命危害。三峡库区和长江上游广大区域，基本上属于地表重力侵蚀和水力侵蚀严重的地区，泥沙来量增大的趋势在短期内难以解决。三峡水库蓄水后，由于江水流速减慢，将加速泥沙淤积。应当着重指出的是，与黄河和其它大河相比，长江三峡库区不仅要接纳来自库周山地和长江上游流域的面广量大的细颗粒的悬移质，还要接纳来自滑坡、山崩和泥石流的粗颗粒的推移质，这种沙，石俱来的局面将会对三峡水库寿命和航运带来的严重后果，是令人担忧的。控制泥沙淤积的最佳途径是在全面开展库区和长江上游流域的水土保持工作和生态环境的保护与建设工程的同时，首先抓好重点产沙区的蓄水，固沙保土工作，这是一项涉及自然环境和社会环境的极其复杂的系统工程。而滑坡、山崩和泥石流等山地灾害的防治，则是一项难度更大，投资更多、费时更长的专业化的系统工程，需要密切结合三峡工程和当地生产的急需，统筹规划，分别层次，突出重点地逐步付诸实施。

综上所述，从滑坡、泥石流和泥沙以及其它环境地质因素综合分析的观点，从把三峡大坝和整个库区及库区以上流域作为一个大的环境系统的观点，以及从自然地理环境与城镇迁建和移民安置等人类经济活动相结合的观点来看，三峡工程对环境地质的影响是弊大于利，其中对个别不利因素的影响是严重的，而各种不利因素的相互迭加和综合影响于库区，将对三峡工程造成一定的威胁。因此，我们认为，长江上游地区和三峡库区，在其环境地质条件未得到根本改善之前，又有如此众多的山地灾害集中于库区，加之人口、土地、资源等矛盾的交错，三峡工程与这些不利因素相互影响可能带来的恶果是不容忽视的。在这种环境背景条件下匆忙兴建三峡工程显然是不适宜的。

众所周知，当今世界各国面临着人口增长，资源枯竭，环境恶化三大问题，随之伴生的是全球性的自然灾害的加剧。可以毫不夸张地说，自然灾害已是世界各国人民面临的第四个大问题，自然灾害已成为世界公害。就中国的现状而言，这四大问题显得尤为突出：人口已突破11亿大关，人多地少，劳力过剩，矛盾突出；地大而物不博，不合理的经济活动；仅有的自然资源已遭到掠夺性的开发利用，由于城市建设，城市人口增长和乡镇企业的发展，缺乏严格的科学规划和科学管理，导致环境的破坏和恶化，自然资源的肆意开发，也加剧了环境的破坏和恶化；由于中国特殊的地质地理环境，加之上述诸方面的影响，致使中国各种自然灾害频起，愈演愈烈，已成为阻碍经济发展，威胁人民生活安全的心腹大患。凡此都给我们敲响了警钟，要求我们以科学的态度和清醒的头脑，合理面适度地开发利用自然资源的同时，高度重视对资源环境的保护，保持生态平衡，防止环境的恶化和自然灾害的发生。当

前，国内外的不少实例告戒人们，优化的生态与环境，往往需要经过漫长的地质历史或人类活动历史才能形成；但在异常的自然因素和突发性的自然灾害袭击下，或在人类不合理的经济活动的驱使下，优化的生态与环境，也可在瞬间被破坏，走向它发展演变的反面；而被破坏了的生态与环境，若使其恢复原貌，同样需要一个漫长的复苏和重建过程。简而言之，生态与环境破坏容易重建难。人类对大自然超负荷的掠夺，也可能得到一些暂时的利益，但随之而来的是大自然对人类的残酷而无情的报复。这些血的教训是应当记取的。面对三峡库区和长江上游流域的现实情况，在长江这样一条大江的干流上拦江建造大坝，对库区乃至全流域生态与环境的影响以及环境地质条件对水库的反作用，均非同小可，也远非其它中、小型水利工程所能比拟。因此，我们认为，在对待三峡工程兴建方案的宏观决策上，应持慎之又慎的态度。

## 几 点 建 议

根据以上所述可知，三峡工程对生态与环境的影响以及它与环境地质的相互影响都是利弊交织、错综复杂的。通过近年来的实地考察和研究分析，笔者认为，在长江干流上拦腰筑坝，从生态与环境的现状和发展趋势看，不是上策，应持否定的结论。但由于三峡工程论证决策因素中包括发电、航运、防洪、移民、泥沙、地质与地震、生态与环境等14个大因素，需由更高层次地领导人组织各方面的专家，统筹兼顾，综合分析，权衡利弊，作出最终的决策。这里仅就笔者通过实地工作所触及到的问题，从环境地学的角度，提出几点建议，希望引起有关部门的关注。

1．库区及库区以上流域的环境地质状况应引起高度重视，山地灾害的防治工作亟待加强。

从本书所述和前人的研究成果表明，三峡库区及长江上游流域的环境地质条件比较脆弱，是我国山地灾害的多发区和严重的水土流失区。从当前的生态与环境状况和人类经济活动的趋势分析，如不采取果断有力的措施，其生态失衡、环境恶化将进一步发展，山地灾害和水土流失也将随之加剧。这不仅对计划中的三峡工程是巨大的祸患，对该区人类的生存环境和长江中下游地区也将带来不利的影响。从保护长江、优化人类的生存环境出发，不论三峡工程是否兴建或什么时候兴建，三峡库区及长江上游流域的山地灾害防治和预测，控制水土流失的工作，都必须下大气力抓起来，并在组织领导上层层落实，在人力物力财力上予以保证，把国家的投资真正用到实处，抓出成效来。当务之急是做好以下几件工作：

（1）在三峡库区各种山地灾害险情严重的江段，对水库诱发地震、大型滑坡危岩体进行定点定期研究和监测预报工作，以确保过往船只和城镇居民的安全。

（2）对有危害的滑坡、岩崩和泥石流沟进行动态观测研究，并有针对性地进行工程处理，加强生物防治措施；对新的城镇迁建区和移民安置区，应加强前期研究，拟订区域或流域开发规划和防灾规划，特别要做好重大灾害点的危险区划工作，变以往的灾后抢险救灾为灾前的预测研究，使人们在灾害面前变被动为主动。

（3）三峡库区的水土流失是面广量大而剧烈的，但应首先抓好重中之重，做出成效，逐步推广。因此，应选出少量有代表性的小流域，进行控制水土流失的试验研究，树立生态环境建设的样板，在技术上、投资上、方法上、组织上进行总结提高和普及推广，为彻底变库区环境、优化三峡两岸生态环境奠定基础。

（4）库区以上长江上游区是我国地震灾害和山地灾害的重灾区。地震既是山地灾害的形成条件之一，又是山地灾害的激发因素，地震灾害又往往与山地灾害相伴生，形成灾上加灾的险恶局面。这里的山地灾害又表现为相互依存、互为因果的关系，而人为活动又是带有普遍性的影响因素，因此使得这里的山地灾害更加活跃和复杂化。常态性侵蚀（片蚀、沟蚀等）与突发性侵蚀（泥石流、滑坡等）相互交错；水力侵蚀、重力侵蚀、复合性侵蚀与地震暴雨等相互交织；崩（塌）、滑（坡）、流（泥石流）三位一体，以崩塌滑坡开始，以泥石流活动告终，具有突发、高速、巨型、破坏性大等特点。鉴于此，务需高度重视长江上游区的山地灾害防治和预测预报工作，分层次，有重点地进行整治工作。根据国家的财力和当地建设的需要，结合山地灾害的活动规律和成灾特点，拟订防治总体规划和具体的防治措施[16]。总的防治规划部署应当是：以防为主，以治为辅，防治结合，但要因地制宜，因害设防，区别对待。对已成灾害而今后仍会复活成灾的区段，要以治为主，治与防结合；对有潜在威胁而尚未成灾的区段，要以防为主，防与治结合；在人口和经济设施集中的灾害点，要防与治并重，并要高度重视综合防治体系的建立和完善（含工程防御体系、生物水保体系、预测预报和报警体系、技术管理体系和社会管理体系等），以求达到最佳的防灾效益，确保安全。防灾规划可按三个层次制订，即以城镇（含大的工矿居民点）山地灾害防护为先导，以交通干线和水利枢纽山地灾害防护为重点，以农田村寨山地灾害防护为基础。与此同时，要高度重视并抓好长江上游流域的水土保持工作，首先抓紧治理重点产沙区的水土流失。力争在不太长的时间内使三峡库区和长江上游的地质环境有个根本性的好转，变生态与环境的恶性循环为良性循环，这对三峡建坝和长江流域的开发都是至关重要的。对于上述工作，早做主动，迟做被动，不做后患无穷。

2．三峡工程的兴建，要与全流域、大环境的综合开发利用统筹兼顾，相互呼应，树立大效益观或综合效益观。

长江是我国第一大江，世界第三大川，源远流长，流域广阔，其干流全长6300多公里，有支流3600多条，盘根错节，交织成网，沟通了大江南北，滋润着中华腹地，哺育着历代的炎黄子孙，是中华民族的主要发祥地和文化摇篮。长江流域的面积占全国土地总面积的1/5，人口占全国的1/3，工农业总产值占全国的40%，可供开发利用的水能资源占全国的40%，是我国现代经济、科学、技术和文化最发达的地区之一，自古以来，长江就有“黄金水道”之美称。长江和黄河并驾齐驱，奔泻入海，被世人视为伟大中国的象征。长江的兴衰行止牵动着全国，对其开发利用的合理与否，也同样要影响到全国的经济振兴，对实现四化具有十分重要的意义。计划中的三峡工程，位处长江中、上游交界的三峡峡谷江段，拟建中的三峡大坝将在三斗坪附近的长江干流上截江断流。大坝卡住长江的咽喉，其上控制着100万平方公里的流域面积，承受着来自库区和长江上游的数以亿吨计的悬移质和推移质的淤积，以及生态与环境恶化和人类经济活动不当带来的不良后果；其下，紧接千湖棋布的两湖沃野，鱼米之乡的皖苏平原和美丽富饶的长江河口“金三角洲”，这里人烟稠密，大中小城市云集，

经济繁荣，交通发达，科学技术和文化教育在全国均居于优势地位，是我国当代经济，技术和劳力最发达的地区，也是今后实现经济腾飞的基础条件较有利、实力储备较雄厚、地理位置较优越的地区。由此可见，在这样一条浩荡而复杂的大江上拦腰筑坝，既要背负坝上流域带来的沉重包袱，又要承担坝下地区可能出现的巨大风险。长江干流和其众多的支流，形成了具有内在联系的大的生态系统，而这个大的生态系统又是以长江所处的大环境为基础在不断发展和变化的，特别是长期以来人类活动的参与，又进而促使了这个大的生态系统和大的环境背景的相应变化。基于此，在长江流域内，尤其是在长江干流上兴建任何大型工程，都必须从大环境着眼，从全流域入手，统盘考虑，综合分析，充分论证。三峡工程作为长江开发利用的主体工程之一，地位重要，影响深远，投资浩大，情况复杂，对其决策应在长江流域总体开发利用规划的基础上严格按科学规律办事。对三峡工程的论证，不仅要考虑库区和大坝本身；还要充分考虑对长江上游、中游、下游乃至河口和邻近海域的影响；对左岸和右岸、陆地环境和水域环境的影响；对跨流域调水（如南水北调）的影响；对长江全流域未来开发与全国经济协调发展的影响；以及大坝安全和溃坝可能造成的后果等等。总之，三峡工程影响到自然环境和社会环境的各个方面，它不仅是一个水利问题、工程问题，而是一个包括人口、资源、经济、社会、生态与环境等在内的大的复合系统。因此，对三峡工程的论证和评价，切忌就三峡论三峡，就工程论工程，就水利论水利；三峡工程所追求的目标，不应仅仅考虑发电、航运和防洪（应含库区上、下游的防洪）效益，应当考虑工程与整个流域未来开发的长远利益，考虑对生态与环境的影响，考虑对长江的命运和流域内几亿人口的未来的影响，用经济效益、社会效益、防灾效益和生态与环境效益融为一体的大效益观（或综合效益观），取代单一的、局部的小效益观，使三峡工程成为优质、高效、长寿命的工程，在长江流域的全面开发利用中和国家经济建设中起到承上启下、继往开来的作用。

# 参 考 文 献

〔1〕中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组编，1988，长江三峡工程对生态与环境的影响及对策研究，科学出版社。

〔2〕中国科学院三峡滑坡课题组，1987，三峡工程库区滑坡对水库环境影响的研究，长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集，464—475页，科学出版社。

〔3〕许厚泽、杜榕桓，1988，三峡工程对库区环境地质的影响，长江三峡工程对生态与环境的影响及对策研究，科学出版社。

〔4〕中国科学院三峡泥石流课题组，1987，三峡库区泥石流及其对水库的影响，长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集，488—497页，科学出版社。

〔5〕罗鸿禧、程昌炳，1989，物理化学因素对三峡库区泥石流活动的影响，本书第二部分，第151页，四川科学技术出版社。

〔6〕袁建模、兰肇声，1989，三峡库区形成泥石流的自然环境，本书第二部分，第105页，四川科学技术出版社。

〔7〕杜榕桓，1980，泥石流，中国自然地理（地貌）第十章，第301—312页，科学出版社。

〔8〕杜榕桓等，1983，试论我国泥石流分类，全国泥石流防治经验交流会论文集，第126—132页，科学技术文献出版社重庆分社。

〔9〕顾恒岳等，1987，三峡水库泥沙来源及演变趋势，长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集，第522—541页，科学出版社。

〔10〕杜榕桓等，1987，云南小江泥石流综合考察与防治规划研究，第204—208页，科学技术文献出版社重庆分社。

〔11〕史德明等，1987，三峡库周地区土壤侵蚀对库区泥沙来源的影响及其对策，长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集，第498—521页，科学出版社。

〔12〕顾恒岳等，1987，三峡水库泥沙来源及演变趋势，长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集，第522—541页，科学出版社。

〔13〕徐　琪、刘照光，1988，三峡工程对库区及长江沿岸地区陆地生态的影响及其对策，长江三峡工程对生态与环境的影响及对策研究，第33—61页，科学出版社。

〔14〕刘逸农，佘之祥，1988，三峡库区移民环境容量研究，长江三峡工程对生态与环境的影响及对策研究，第248—250页，科学出版社。

〔15〕李昌华、黄金宝，1988，滑坡崩塌泥石流与川江滩险的关系及其整治对策，全国第三次工程地质大会论文选集（下卷），第768—774页，成都科技大学出版社。

〔16〕杜榕桓等，1987，小江流域泥石流防治规划，云南小江泥石流综合考察与防治规划研究，第267—283页，科学技术文献出版社重庆分社。

# ABSTRACT

The Three Gorges, the river banks within an area where ancient landslides and collapses occurred frequently, have showed odviously that in recent years slopes along the banks are getting unstable and ancient landslid deposits are reviving. Many phenomena of huge and superhuge landslides and collapses happened, which resulted in serious damages. It is of great impact on the environment of current reservoir area and becomes a great hidden danger to the proposed Three Gorges project.

The mountain debris-flows occurred along the river banks of theThree Gorges and around the reservoir belongs to a slight medium degree. However,the sit-fr un teds to be serious,because the ecology and environment haev taken a ationturn for worse and there have been active landslides and collapses. The impacts on the economy and the construction of the Three Gorges Project and the reseroir area should not be underestimated.

In the Three Gorges Reservoir area and a vast area of the upper Yangtze River basin, both gravity and water erosion on land surface are growing considerably day by day. It is difficult to reverse the trend of an increasing sediment discharge there in a short term, and the sediment deposition will be accelerated after the reservoir is set up. Sediment has been a key problem to the success of the Three Gorges Project.

The ecological environment is weak in the Three Gorges Reservoir area, and a conspicuous contradiction between land and population exists there. The interaction and synthesis of various unfavourable factors in the environment and geology will cause trouble to the proposed Three Gorges Project and to the society and environment of the reservoir area.

Considering current situation of the ecological environment and the trend of the mountain disasters mentioned above, we argue that it is not advisable to get the Three Gorges project under way hurriedly. Some constructive projects on ecological environment of the reservoir area and the upper Yangtze River basin should be carried out immediately. By the time that these projects would have been completed and have resulted in obvious benefit and effect,the Three Gorges Project could be under construction.