

# 澜沧江中下游滑坡泥石流分布规律与危险区划\*

唐 川

(南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室, 南京 210093)

朱 静

(云南省地理研究所, 昆明 650223)

**提 要** 澜沧江中下游地区滑坡泥石流灾害分布广泛, 通过调查, 研究区发育滑坡泥石流灾害点 1 152 处, 严重影响航道畅通、水利水电建设和城镇发展。本文分析了滑坡泥石流灾害分布规律、影响滑坡泥石流形成发展的静态环境因素组合和动态因素组合。开展滑坡泥石流危险区划评价, 是为了进一步认识该地区滑坡泥石流活动规律和发展趋势, 为流域区域开发提供科学依据。本文应用因子叠置法、极差分析法和模糊数学理论对研究区滑坡泥石流危险度进行综合区划, 划分出高、中、低危险区和危险江段, 为制定澜沧江中下游地区滑坡泥石流减灾防灾中长期规划提供科学依据。

**关键词** 澜沧江 滑坡 泥石流 区域分布 控制因素 危险区划

澜沧江是一条跨国河流, 出境后称为湄公河, 发源于青藏高原唐古拉山北麓, 横贯中国、缅甸、老挝、泰国、柬埔寨和越南 6 国, 干流全长 4 880 km。研究区位于澜沧江(云南省境内)中下游, 介于  $20^{\circ}\text{N} \sim 10^{\circ}25'40''\text{N}$ ,  $99^{\circ}10'\text{E} \sim 101^{\circ}50'\text{E}$ , 区内干流总长 672 km, 流域面积约 57 530  $\text{km}^2$ 。该段是水能资源开发利用的最优地区, 目前已兴建了漫湾电站, 并规划修建小湾电站、大朝山电站等, 对中国的经济建设与发展至关重要。由于该地区地形险峻, 地质构造复杂, 新构造运动活动强烈, 地震频繁, 降水充沛且多大雨和暴雨, 加之人为工程活动强度大, 因此, 滑坡泥石流活动严重影响了该区的水利水电资源的开发利用、城镇建设和航道畅通。进行滑坡泥石流危险区划的目的是进一步认识该地区滑坡泥石流的成因机制、活动规律和危险程度, 为合理开发利用自然资源提供科学依据。

## 1 滑坡泥石流分布与控制因素

### 1.1 滑坡泥石流区域分布特征

澜沧江中下游滑坡泥石流灾害具有分布广泛、类型复杂、活动频繁、危害严重的特点。据地面调查和航片解译分析, 初步查明研究区分布有滑坡泥石流灾害点 1 152 处, 其中滑坡 490 处, 发育泥石流沟 662 条(图 1), 滑坡泥石流的空间展布具有不均匀性和分段群集性。研究区北部是滑坡泥石流高发区, 数量多, 规模大; 南部滑坡泥石流数量相对较

\* 国家自然科学基金项目及“九五”重点项目(49861001/49631020) (Supported by the key Project of the National Natural Science Foundation of China, No. 49861001/49631020).  
来稿日期: 1999-01-10; 收到修改稿日期: 1999-04-05.

少，且呈散状分布。滑坡泥石流的群集性主要表现为大型滑坡泥石流呈带状相对集中分布。沿主流两岸是大型滑坡分布最密集地带，据 1990 年航运部门资料，澜沧江自景云桥至国境全长 541 km，分布有大小险滩 133 处，这些险滩都是由于滑坡泥石流强烈活动而形成的，给航道开通带来严重的影响。初步调查发现距小湾电站坝址上游 10 km 内的岸坡有

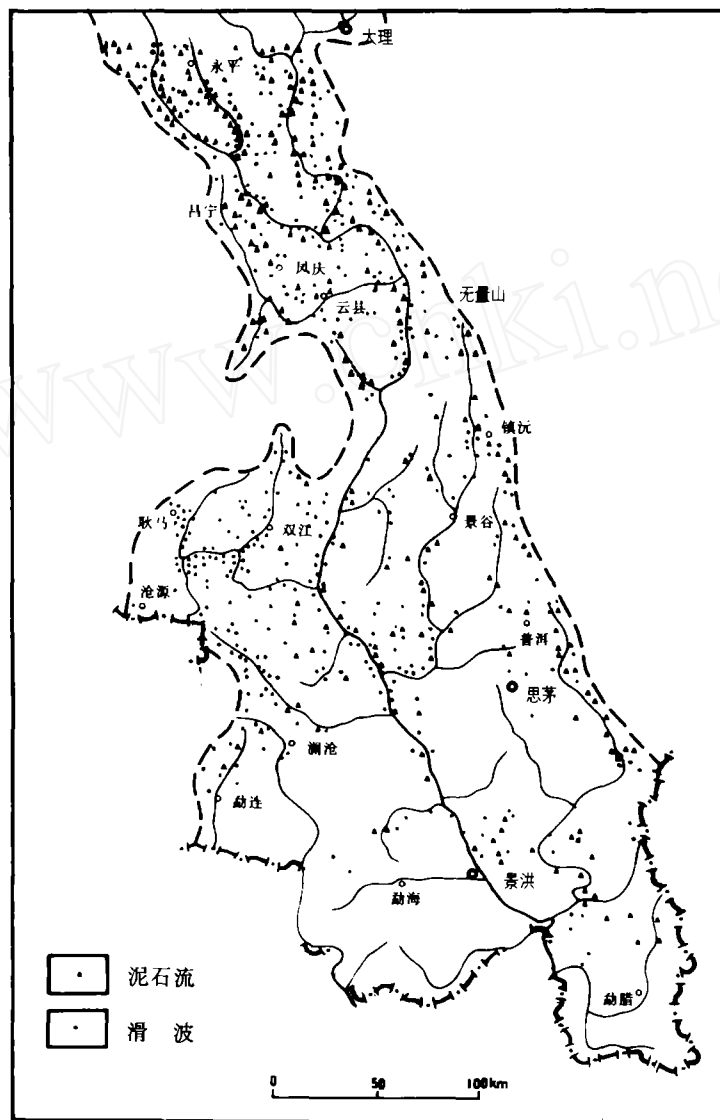


图 1 澜沧江中下游滑坡泥石流灾害分布图

Fig. 1 Distribution of landslide and debris flow hazards in the middle - lower reaches of the Lancang River

$100 \times 10^4 \text{ m}^3$  以上的大型滑坡 4 处，最靠近坝址的滑坡仅 3 km，距坝址上游 10 km ~ 20 km 范围内的岸坡还有大型滑坡 15 处。沿一些支流滑坡泥石流也表现出明显的分段群集性分

布特点,例如沿小黑江河流两岸分布有地震诱发的中小型滑坡 200 多处;沿迎春河、北桥河分布有暴雨泥石流 71 条、滑坡 59 处,从整个研究区滑坡泥石流空间展布看,滑坡泥石流主要分布在孟连—澜沧—景谷一线的北部地区,这是由于该地区的相对临空高差大、新构造运动强烈、病害岩类分布面大和人类工程活动强烈所致。近年来,澜沧江中下游岸坡变形破坏突出,古崩塌滑坡复活迹象明显,工程滑坡危害日趋严重,泥石流活动转而旺盛,使该地区滑坡泥石流灾害点有不断增多的趋势。

## 1.2 滑坡泥石流发育的控制因素

滑坡泥石流分布规律严格受地层岩性、构造、地形、降雨、人类活动等综合因素的控制,澜沧江流域面积广,跨越许多不同的地质、地貌、水文等单元,斜坡地质环境极其复杂,差别较大,表明在滑坡泥石流分布上的地域分带性。

(1) 地层岩性组合。统计分析表明,研究区滑坡泥石流形成的最敏感的岩类组合有:砂页岩组、含煤砂页岩组、粘性土岩组、砂砾泥岩组、薄层灰岩、泥灰岩组、千枚岩、片岩组成的变质岩组、含凝灰岩或凝灰质碎岩夹层的玄武岩组和风化强烈的花岗岩组等。从滑坡泥石流分布与地层岩性组合关系的共同规律看,地层内易滑岩层(即软弱夹层)的存在是滑坡泥石流产生和发育的必要条件。

(2) 构造—结构面组合。构造—结构面组合既包括区域性断层、褶皱的宏观控制,也涉及到岸坡岩体结构面的影响,前者常控制滑坡泥石流群带发生,后者则控制单体滑坡发育类型和规模。影响研究区滑坡泥石流集中分布的地质构造主要有:活动性强的构造及不同构造单元的交接带、大断层影响带、褶皱轴部、与区域主要构造线平行的公路线、地震震级较高的地区。结构面组合也是斜坡稳定性的重要影响因素,据统计,澜沧江中下游地区滑坡发生在顺坡向、斜坡向和横坡向的比例分布为 56%、28% 和 16%,而且,滑坡主要发生在陡、缓倾外型斜坡结构面类型中,崩塌则主要发育在陡、高陡倾外型斜坡结构面类型中。

(3) 斜坡几何形态组合。几何形态组合包括斜坡高度,方位和坡度及边坡形态等地形参数。区域斜坡相对高差是控制研究区滑坡泥石流分布的最显著的要素,特别是中等至深切切割的峡谷区,是滑坡的主要分布带。山间盆地边缘区起伏平缓的丘陵地形、由河流阶地或平缓斜坡组成的宽谷地段以及峡谷陡坡地段的局部缓坡区都是滑坡泥石流集中发育的地区。边坡形态也是重要控制因素,大量调查发现,双面临空构成的双面坡比单面坡更容易发生滑坡。研究区许多滑坡分布于支流与主流的交汇处就说明了边坡形态对滑坡发育的影响。

(4) 水文地质条件组合。研究区滑坡泥石流的发育状况与水文地质结构、地表水冲蚀和地下水作用密切相关。滑坡软弱带和滑坡带及构造结构面多为隔水层,其上部岩土体相当于地下水渗流层或含水层。因此在多雨季节,大量地下水沿隔水层向坡体前缘排泄,当这种水运动受阻或不畅时,强大的水压力将驱动岩土体顺坡滑坡,这是研究区大雨暴雨期滑坡泥石流频繁发生的原因所在。具地下水补给构造或储水构造的斜坡都易形成滑坡;许多大型堆积土滑坡多发生于具有汇集地下水埋藏古沟槽条件下。此外,地表水渗入风化破碎岩层内(基岩裂隙水)并在下伏隔水岩层顶面聚积,是产生层面岩石滑坡和构造面破碎岩石滑坡的条件之一。

(5) 动态因素组合。动态因素组合包括暴雨和地表水流状态,地下水波动变化,各种

振动和人类规模工程活动等。研究区年降雨量多在 1 000 mm 以上, 且降雨时间分配变化大, 大部分在夏季风盛行时期 (5 月~9 月), 往往一个月的降雨量可占全年降雨量的 1/4 到 1/2, 而一个月的降雨又往往分配到几次降雨过程, 在一些地区形成暴雨中心, 直接控制滑坡泥石流发生的时空分布。产生滑坡泥石流的临界降雨强度随着地形、岩土体性质等的不同, 其临界值有差异。在雨季河水的侧向冲刷强烈, 常导致斜坡的变形破坏, 这个因素在上述沿主河两岸滑坡泥石流分布密集带中也反映出其影响程度。

人类工程活动主要对易滑敏感性的斜坡地区的滑坡泥石流形成影响大, 特别是开挖斜坡坡脚、挖空坡体内部、改变斜坡原有应力分布, 最易形成滑坡。例如, 漫湾水电站坝址左岸在一次脚坡施工开挖的爆破后两小时发生大面积滑坡。人类活动对滑坡泥石流发育影响多是由于改变坡体原有水文地质条件有关, 例如, 路堑开挖或河流冲刷, 改变地下水运动条件并增大水力坡度, 促使滑坡产生或复活; 修建水库使水位上涨, 导致岸坡岩土体浸泡软化, 当水位下降时产生动力水压力而影响斜坡稳定性; 水渠、水管的漏水及工农业与民用水的灌入, 都会改变斜坡水文地质条件而诱发滑坡活动。

## 2 滑坡泥石流危险区划

滑坡泥石流危险区划是将区域内产生滑坡泥石流的基础条件、引起滑坡泥石流发生的外界因素、以及滑坡泥石流灾害现状综合分析, 评价区域内滑坡泥石流危险性程度等级。

### 2.1 危险区划的目的和原则

滑坡泥石流危险区划是在一定区域范围内, 将与滑坡泥石流发育相关的因素进行数字化成立后, 按不同危险程度分类, 定出评价的标准或指标范围, 建立较规范、完善、便于通用的量化模式体系; 滑坡泥石流危险区划是在基本掌握澜沧江中下游地区滑坡泥石流灾害分布与活动规律的基础上, 根据滑坡泥石流发生的环境背景和动力因素而进行的高层次科学概括的区域划分, 目的在于更全面系统地认识滑坡泥石流的区域规律和发展趋势, 以便为制定澜沧江中下游地区滑坡泥石流减灾防灾中长期综合规划、山地自然资源的合理开发利用和自然环境保护提供重要的科学依据, 也为山区的水利水电、城镇建设和公路铁路的合理选址布局提供宏观决策意见。

澜沧江中下游地区滑坡泥石流危险区划主要遵循以下原则:

(1) 相对一致性原则。划分出的同级滑坡泥石流危险性类型区内, 滑坡泥石流发育环境背景相对一致, 对社会和经济的危险程度相对一致, 进行预测预报和治理的难易程度相对一致。

(2) 定量指标与定性指标相结合的原则。这是指基础指标一律用定量指标, 而经综合分析、整理和概括和提高后形成的指标可用定性指标, 以保证指标的可靠性和合理性。

(3) 主导因素原则。根据本区划对象的重要性、目的和要求, 选择影响滑坡泥石流发育因素中起重要作用的因子参与区划, 以突出主导因子的影响。

(4) 自然区界与行政区界完整性原则。在进行滑坡泥石流危险度分区时, 保持区域环境条件相似, 即滑坡泥石流成因相似。同时兼顾行政区划方式和自然分区的完整性的有机结合, 使区划成果便于政府部门正确指导减灾工作。

## 2.2 区划指标和权重

澜沧江中下游地区影响滑坡泥石流形成发育因素复杂,由于区划范围涉及面广、地质环境差异大、要求区划的综合性强,所以本研究采取综合危险区划方法,即应用多种区划模型对研究区的滑坡泥石流危险性进行评价,即选取定量和半定量的因子参与危险区划。

参与区划的危险因子的选取综合考虑了以下原则:①区域内滑坡泥石流发育现状及其特征;②滑坡泥石流形成的基本条件因子;③滑坡泥石流发育过程中起主要诱发作用的因子;④按不同等级指标划分的因子,等级划分依据因子在滑坡泥石流发育过程中的作用大小而定。在此原则基础上,本研究初选了10大因子参与区划,考虑到影响研究区滑坡泥石流危险度的内外动力环境因素的复杂性,为了避免个人的主观性,又进行了专家通讯方法优选因子并确定其权重分配,最后确定了岩性、断裂、斜坡坡度、相对临空高差、斜坡结构、地震、降雨和滑坡泥石流分布密度作为本区划的评价因子。采用特尔斐法计算诸因子权重,其计算方法和结果见参考文献[1]。

本研究的半定量分析对上述因子又进行了归一化处理,采用4级量化指标更简明地反映了各因子的滑坡泥石流危险度,见表1。

表1 滑坡泥石流危险区划因子赋值表

Tab.1 The given value of zonation of landslide and debris flow hazards

等 级	因 子							
	岩性(平均软化系数)	断裂类型	平均斜坡坡度/°	相对临界高差/km	斜坡结构类型*	地震烈度	最大日雨量/mm	滑坡泥石流密度/(个/单元)
无危险 取值1	<0.6	非大断裂	<25	<0.8	可滑性差	<7.0	<110	<2
低危险 取值2	0.6~0.7	次大断裂	25~30	0.8~1.1	可滑性中等	7.0~7.5	110~125	2~4
中危险 取值3	0.7~0.8	大断裂	30~35	1.1~1.4	可滑性强	7.5~8.0	125~140	4~6
高危险 取值4	>0.8	深大断裂	>35	>1.4	可滑性极强	>8.0	>140	>6

\* 斜坡结构类型分级标准为:(1)可滑性差斜坡:完整性块状岩浆岩、变质岩斜坡,横向倾内平缓型厚层碳酸盐岩和碎屑岩斜坡;(2)可滑性中等斜坡:斜向陡倾外型碳酸盐岩和碎屑岩斜坡;(3)可滑性强斜坡:强风化的岩浆岩、变质岩斜坡;(4)可滑性极强斜坡:松散土体斜坡,顺向陡、缓倾外型碎屑岩和碳酸盐岩斜坡。

## 2.3 区划方法

**2.3.1 统计单元划分** 由于研究区的自然斜坡体的多变性和复杂性,采用规划统计单元的划分方法,以便于因子数据采集、处理以及结果使用和检验。我们将研究区(功果桥以下流域,21°10'N~25°40'N,99°10'E~101°50'E,面积57 530 km<sup>2</sup>)按经纬度划分出523个矩形块,每块南北跨纬度约00°05',长约10 km;东西跨经度00°06',宽约11 km,矩形块面积约110 km<sup>2</sup>,以作为区划的基本统计单元。

**2.3.2 区划方法** 为了准确地对研究区滑坡泥石流危险度进行综合分区,本研究采用因子叠置法、极差分析法和模糊综合分析法对研究区滑坡泥石流危险度进行分区;三种方法计算研究区各统计单元的危险度值,按最大隶属度原则,确定其综合定量值,作为区划的

### (1) 因子叠置法

### (2) 极差分析法

$$\begin{aligned} D_1 &= X_{(1,1)} = 1/N \sum X_{(1,1)} n = 1/N (X_{(1,1)} 1 + X_{(1,1)} 2 + \dots + X_{(1,1)} 8) \\ D_2 &= X_{(1,2)} = 1/N \sum X_{(1,2)} n = 1/N (X_{(1,2)} 1 + X_{(1,2)} 2 + \dots + X_{(1,2)} 8) \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \end{aligned} \quad (2-1)$$

$$D_m = X_{(i,j)} = 1/N \sum X_{(i,j)n} = 1/N (X_{(i,j)1} + X_{(i,j)2} + \cdots + X_{(i,j)8})$$

$$X = 1/M \sum D_m = 1/M(D_1 + D_2 + \dots + D_{523}) = 2.25 \quad (2-2)$$
$$\begin{aligned} R_1 &= R_{(1,1)} = \text{Max}X_{(1,1)} - \text{Min}X_{(1,1)} \\ R_2 &= R_{(1,2)} = \text{Max}X_{(1,2)} - \text{Min}X_{(1,2)} \\ \dots\dots\dots &\dots\dots\dots \end{aligned} \quad (2-3)$$

$$R_m = R_{(i,j)} = \text{Max}X_{(i,j)} - \text{Min}X_{(i,j)}$$

$$R = 1/M \sum R_m = 1/M(R_1 + R_2 + \dots + R_{523}) = 2.15 \quad (2-3)$$

$M$ ——统计单元总数(= 523)。

下分界线(LCL) =  $\bar{X} - AR = 1.40$

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

线值见下,并以危险高低依次打分分级:

1	1.40	无危险区
2	1.41 ~ 2.25	低危险区
3	2.26 ~ 2.89	中危险区
4	2.90	高危险区

根据分区划分值,对澜沧江中下游地区 523 个单元作了滑坡泥石流危险度计算和分区,并据此绘出澜沧江中下游地区滑坡泥石流危险区划图。

### (3) 模糊综合评判法

根据广义模糊综合评判模型计算方法,对各因子等级评判范围用函数建立隶属度关系,其计算方法见参考文献<sup>[3]</sup>。在隶属函数分段上,采用了优选值 0.618 法作为分界系数,该法优点在于增加隶属度的陡度,并且排除了等级边界的影响,对传统的隶属度分界方法进行了改进。应用上述方法的计算结果见参考文献<sup>[1]</sup>。

## 2.4 区划结果

根据三种区划模型对研究区滑坡泥石流危险度计算结果,采用最大隶属度原则获得研究区 523 个统计单元 4 级危险度值,由此将澜沧江中下游地区滑坡泥石流危险性划分出高危险区、中危险区、低危险区和无危险区,各危险区的危害含义见表 2。

表 2 各滑坡泥石流危险区的危害含义

Tab.2 The significance of different zones of landslide and debris flow hazards

	水电工程	航运	城镇建设	水库效益	公路交通	居民点
高危险区	无直接危害,有间接影响	有短期严重威胁	严重危害	影响长期效益	破坏严重	易造成人员伤亡
中危险区	无直接威胁,间接影响微小	有短期危害	存在明显危害	影响长期效益	破坏较大	存在生命安全威胁
低危险区	无危害	局部形成危害	局部形成威胁	基本无影响	雨季部分毁坏	基本无威胁
无危险区	无影响	基本无危害	无影响	无影响	基本无毁坏	无影响

(1) 全区的滑坡泥石流危险性由北至南、由西至东有渐好的趋势。高危险、中危险区大致分布于孟连—澜沧—景谷—镇源以北地区,该线以南主要为低危险、无危险区。这反映了地势高差和活动性断裂构造对全区的滑坡泥石流危险性的控制作用。

(2) 高危险区面积约 11 070 km<sup>2</sup>, 占全区面积的 19.3%, 具有呈片状分布特征, 相对集中分布在永平的杉阳盆地、大理的漾濞江、凤庆、云县北桥河和澜沧江两岸。该区自然环境条件较差, 活动性断裂多, 强震频繁, 地势高差大, 斜坡坡度陡, 岩层破碎, 植被条件差, 人为活动强烈, 这是滑坡泥石流活动程度强的原因。

(3) 中危险区面积 15 120 km<sup>2</sup>, 占全区总面积的 26.2%, 部分呈片状分布, 较为集中分布在永平以南的永顺河, 黑惠江下游地区, 耿马、沧源和澜沧等地区, 这些地区地形较陡峻, 岩性条件差, 有强地震活动, 导致斜坡稳性相对较差。

(4) 低危险区面积 14 830 km<sup>2</sup>，占全面积 25.8%，大部分集中分布在景洪以北，思茅以南的部分地区。无危险区面积 16 510 km<sup>2</sup>，占全区总面积的 28.7%，在思茅的普洱河，小黑江一带，景洪的流沙河，南果河一带和勐腊的南腊河等三片集中分布。反映了该地区断裂构造简单，活动性弱，区域相对高差较小，而且多为热带雨林分布，植被覆盖条件好，人为工程活动不强的现状。

(5) 澜沧江中下游主河道中，滑坡泥石流高危险河段长约 150 km，中危险河段长约 180 km，低危险河段长 160 km，无危险河段 182 km。

(6) 通过对不同危险区滑坡泥石流发生规律的分析，澜沧江中下游地区滑坡泥石流的发生与降雨量有如下关系：①在高危险区也是高频区，日雨量  $\geq (60 \text{ mm} \sim 80 \text{ mm})$ ，或前 5 天累计雨量 100 mm  $\sim$  120 mm，当日雨量  $\geq 40 \text{ mm}$  就会发生滑坡泥石流；②在中危险区，日雨量 81 mm  $\sim$  100 mm，或前 5 天雨量累计为 120 mm  $\sim$  150 mm，当日雨量  $\geq 60 \text{ mm}$  时就会有滑坡泥石流的发生；③低危险区，日雨量  $\geq 100 \text{ mm}$ ，或前 5 天雨量  $\geq 150 \text{ mm}$ ，当日雨量  $\geq 80 \text{ mm}$ ，就会发生滑坡泥石流。泥石流的强度又往往随降雨量的增加而增加。

### 参 考 文 献 (References)

- 1 Zhou Juqian, Tang Chuan. Assessment and prediction of slope instability in the middle - lower reaches of the Lancang River. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1995, 7 (1): 29 ~ 38. (In Chinese) [周钜乾, 唐川. 澜沧江中下游斜坡稳定性评价预测的理论与方法探讨. 云南地理环境研究, 1995, 7 (1): 29 ~ 38.]
- 2 Tang Chuan, Zhou Juqian. Zonation and comprehensive evaluation of slope instability in the middle - lower reaches of the Lancang River. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1995, 7 (1) 39 ~ 47. (In Chinese) [唐川, 周钜乾. 澜沧江中下游斜坡稳定性分区与综合评价. 云南地理环境研究, 1995, 7 (1) 39 ~ 47.]
- 3 Li Hongguang, Wang Qun. The method and application of engineering fuzzy mathematics. Tianjin: Tianjin Scientific and Technical Publishing House, 1991. (In Chinese) [李洪光, 汪群. 工程模糊数学方法与应用. 天津: 天津科学技术出版社, 1991.]

## REGIONAL DISTRIBUTION AND HAZARD ZONING OF LANDSLIDES AND DEBRIS FLOWS IN THE MIDDLE - LOWER REACHES OF THE LANCANG RIVER

Tang Chuan

( State Palot Laboratory of Coustal & Island Exploitation, Nanjing University, Nanjing 210093 )

Zhu Jing

( Yunnan Institute of Geography, Kunming 650223 )

**Key words** landslides, debris flows, regional distribution, controlling factors, hazard zoning, Lancang River

### Abstract

Landslides and debris flows in Lancang river basin have the characters of widespread distribution and



frequent occurrence. The navigation construction of hydroelectric power station and reservoir, cities and towns, as well as mines and farmland in the basin, have been seriously affected. After detailed investigations in detail in recent years, it has been confirmed that there are more than 490 landslides and 662 debris flow ravines in the Lancang Watershed in Yunnan Province. Among them, about 60% of landslides and debris flow ravines concentrate in the middle – lower reaches of Lancang River. Landslides and debris flows in this area are the result of a complex interaction of geological and geographical environments, and have a variety of causes: weak rocks, rugged topography, heavy rainfall, and human activities.

In order to reduce landslide and debris flow disasters, earth – science technology has been applied widely for the prediction. One of the most important work is hazard zoning of Landslides and debris flows, which is concerned with establishing the general probability of slope instability and zones of differing grade of threat by evaluating the triggering factors and recorded landsliding. Therefore, hazard zoning of landslides and debris flows is significant to provide useful information for different applications, such as planning and construction, as well as stabilization and maintenance in the Lancang River. In this paper the author discussed the application of three methods for assessing landslide and debris flow hazards in the study areas. The final zonation results show that the high hazard area takes up 19.3% of total study area of 57 530 km<sup>2</sup>, the middle hazard area is 26.2%, and the low 25.8%.

#### 作者简介

唐川, 男, 1961 年生, 研究员。从事滑坡、泥石流灾害、水文工程地质、地貌学等领域研究工作, 主持承担了云南省“八五”、“九五”科技攻关项目、国家自然科学基金项目等课题 20 余项。已在国内外发表论文 60 余篇。E-mail: tang@public.km.yn.cn.