

基于 GIS 的西藏林芝地区泥石流易发与危险区分析

胡桂胜^{1,2}, 陈宁生¹, 邓虎¹

(1. 中国科学院 山地灾害与地表过程重点实验室,

中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 西藏林芝地区是我国泥石流灾害最为严重的地区之一, 特别是近年来受全球气候变化的影响, 冰川融化速度加快, 冰川融水型泥石流灾害频频发生, 危害严重。自 2011 年 6 月中旬开始, 对该地区泥石流做了系统调查, 并以遥感与 GIS 作为数据获取与分析处理的技术手段。首先分析了地质、地貌、冰川活动、气候、地震单因子对林芝地区泥石流易发区的影响并给出了相应的易发区划结果; 其次, 以主导因素分析原则对单因子进行综合叠加得到该地区泥石流易发区分区结果; 最后, 在易发区的基础上考虑区域内的威胁对象进行空间运算叠加得到该区域泥石流危险区, 并针对性地提出了区域泥石流防灾减灾的建议。

关键词: 西藏林芝; GIS; 易发区; 危险区; 泥石流

中图分类号: P694; P642. 23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)03-0195-05

Analysis of Debris Flow-prone and Dangerous Area in Nyingchi of Tibet Based on GIS

HU Gui-sheng^{1,2}, CHEN Ning-sheng¹, DENG Hu¹

(1. Key Lab of Mountain Hazards and Surface Processes, Chinese Academy

of Sciences, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences,

Chengdu, 610041; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Nyingchi is one of the most dangerous regions threatened by debris flows in China. Under the influence of globe warming, the melting rate of glacier has accelerated, leading to the frequent initiation of glacier-melting debris flow, which is severely hazardous. Since the middle of June, 2011, the authors had carried out systematic investigation about debris flow in Nyingchi, and took remote sensing and GIS as the technical methods for the acquisition of data. First of all, it is analyzed that the individual factors including geology, geomorphology, glacial actions, climate, and earthquake had the important influence on debris flow-prone area, and homologous result was gotten. Secondly, we obtained debris flow-prone area result of Nyingchi through superimposing individual factors according to principle-leading factor analysis. At last, we obtained dangerous area through spatial operation based on debris flow-prone area considering threat object in Nyingchi, based on specific advice on disaster prevention which we proposed.

Key words: Nyingchi of Tibet; GIS; debris flow-prone area; dangerous area; debris flow

西藏林芝地区是我国泥石流灾害最为严重的地区之一, 笔者通过对林芝地区实地调查并结合相关已有研究资料发现该地区泥石流灾害最为严重的村庄主要有米林县的色岗、帮宗, 林芝县的拉月、排龙, 波密县的索通、松绕、林琼、易贡茶场一队, 察隅县的沙琼、洞冲, 墨脱县的地东、阿苍、波东^[1], 工布江达县的四章、琼巴, 朗县的生木。自 2007 年 9 月以来, 该地区境内连续发生数次泥石流灾害, 造成了严重的经济损失和社会影响^[1-2]。20 世纪 90 年代中国科学院成

都山地灾害与环境研究所与中国科学院兰州冰川冻土研究所对西藏川藏公路山地灾害^[3-4] (主要是泥石流灾害)、西藏泥石流^[5] (主要集中于藏东南地区) 进行过系统的调查与研究。这些已有的工作为研究西藏林芝泥石流奠定了良好的基础, 但在这些已有的工作中系统的研究林芝地区泥石流易发区与危险区较少。林芝地区泥石流灾害频繁发生, 据统计, 泥石流灾害 430 余处, 威胁人员 2 万余人、威胁资产 13.19 亿元 (资料来源, 西藏国土资源厅), 且该地区泥石流类

收稿日期: 2011-11-24

修回日期: 2011-12-13

资助项目: 国家科技部科技支撑计划课题 (2008BAB42B06)

作者简介: 胡桂胜 (1984—), 男, 江西九江人, 博士研究生, 主要从事山地灾害与工程研究。E-mail: hgsjx@163.com

型较为齐全并具有一定代表性,主要类型有降雨型、冰川降雨型、冰崩雪崩型、冰湖堰塞湖溃决型^[6]。本研究基于 2011 年 6 月中旬对林芝地区泥石流进行的较为系统的野外调查,并结合遥感与 GIS 数据处理技术手段,对地质、地貌、冰川活动、气候、地震单因子及叠加综合因子对该区泥石流易发区的影响进行分析,并在此基础上对该区泥石流危险区进行区划,为相关部门更好地掌握该区泥石流灾害分布及规律,对林芝地区和西藏其它地区泥石流灾害的研究与防治提供理论依据。

1 研究区域概况

1.1 社会经济概况

林芝地区位于西藏东南部,辖林芝、米林、工布江达、墨脱、波密、察隅、朗县 7 个县,55 个乡镇,615 个行政村,聚居着汉、藏、回、门巴等多个民族,总面积 11.79 万 km²,总人口 20.4 万人。在广东、福建两省对口扶贫下,林芝地区经济得到迅速发展,地区 GDP 连续 10 年保持了 15% 以上的增长速度。近年来,林芝地区各行业实现了较快发展,318 国道林芝至拉萨的黑色路面工程于 2000 年底完工,全地区通车里程达 3 186.24 km,货运总量 30.96 万 t。全地区现有电站 77 座,装机容量 25 450 kW,发电量 1 233 万 kW·h。林芝至拉萨、林芝至波密至察隅、林芝至米林至朗县的光缆工程已经完成,实现了数字移动电话覆盖。

1.2 地形地貌条件

区域北部为念青唐古拉山,南部属喜马拉雅山东段,西北部为冈底斯山余脉,东部系横断山脉,前三大山脉为东西走向,后者多为南北走向。海拔 4 800 m 以上的地区现代冰雪地貌发育;海拔 3 800~4 800 m 的地区,以冻土和冰缘地貌为主;海拔 3 800 m 以下的地区主要为流水侵蚀和堆积地貌,滑坡、泥石流等灾害发育。由于境内山脉海拔高,沟谷切割深,极大的相对高差造成地貌上的垂直分带现象明显,不同高程地带地貌类型组合也不相同。

区内最高点是喜马拉雅山东端米林县与墨脱县交界的南迦巴瓦峰,海拔为 7 782 m;最低点在雅鲁藏布江下游墨脱县巴昔卡,海拔为 155 m,相对高差达 7 627 m。全境发育有典型的高山峡谷与山地河谷地貌,山脉之间是宽窄相间的河流谷地,规模较大的是喜马拉雅山和冈底斯山之间的雅鲁藏布江谷地及其支流尼洋河、帕隆藏布和察隅谷地。整个研究区的地貌类型有冰川地貌、高山峡谷地貌,河流堆积地貌特征、岩溶地貌和湖泊地貌。

1.3 地质条件

区域从上古生界到第四系地层均有发育,三叠系地层分布最广。地层以海相沉积为主,陆相多见于白垩系与第三系地层中。岩体除新生界外均受区域变质作用和热动力作用的强烈影响而变质。地层走向受构造影响,在波密以东呈北西向展布;波密以西呈正东西向展布。

区域南岩基带以早白垩世闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩为主,为一套深源同熔型花岗岩岩浆演化系列,构成冈底斯岩浆弧南部构造岩浆带的主体。北岩基带为晚白垩世—始新世似斑状二长花岗岩,为一套 IS 过渡型到 S 型重熔花岗岩,在冈底斯主脊及其以北呈东西向展布。林芝县—波密县川藏公路沿线泥石流十分发育,主要的火成岩岩体分别为燕山期和喜马拉雅期的黑云二长花岗岩、黑云花岗闪长岩、黑云石英闪长岩和石英闪长岩。在通麦附近广泛分布有大量的元古代的花岗片麻岩、变粒岩等;在波密—然乌则广泛分布有燕山、喜马拉雅山(J—K)的花岗岩和闪长岩。

1.4 地质构造与地震

林芝地区位于阿尔卑斯—喜马拉雅巨型造山系的东段,处于横跨西瓦里克陆内俯冲带和雅鲁藏布江缝合带,经历和记录了雅鲁藏布江的生成、俯冲、闭合和印度板块—欧亚板块陆陆碰撞以及碰撞后内汇聚阶段的逆冲、伸展、隆升、走滑、变质、熔融等地质作用,是喜马拉雅造山带中最活跃的地区之一,也是目前青藏高原上隆升和剥蚀速率最快的地区。本区发育东西向深大断裂和同向花岗岩体,纵贯东西向的工布江达断裂与拉萨断裂,控制了本区构造线的展布。

新构造运动引发的地震对区域的影响较大。频繁的地震不仅直接造成滑坡、崩塌、溜砂坡发育,大量边坡失稳,还可导致雪崩断道堵河以及现代海洋性冰川的冰舌前端失稳,使冰湖溃决引发洪水和泥石流,危害更加严重。区域地处念青唐古拉山和喜马拉雅山二大山脉的交接部位,位于印度板块和欧亚板块碰撞形成的东部构造结外围,地震比较频繁。据林芝地区地震资料统计,1950 年至今区内发生 4 级以上的地震 391 次,1995 年至今发生 3 级以上的地震 396 次。

1.5 气候条件

区域南部邻近印度洋,属海洋性季风气候,总体上气候差异不大,水热条件好。地区内喜马拉雅山气候带谱发育,如南坡气候带变化依次为热带、亚热带、暖温带、温带、亚寒带、寒带。按照热量等级与干湿类型组合及地貌类型,林芝地区气候带可以分为山地热

带气候区;亚热带湿润峡谷气候区;高原温带、半干旱河谷气候区;温带亚寒带湿润高山森林气候区;亚寒带、寒带半湿润、湿润高山草甸荒漠气候区。

林芝地区由于北部高山阻挡,北方冷空气不易侵入,南部孟加拉湾暖湿气流沿河谷北上,冬季气温明显偏高,春夏云雨多,降水充沛,光照少,气温偏低,各地平均气温 $6\sim 17^{\circ}\text{C}$,最热月平均气温 $16\sim 19^{\circ}\text{C}$,最冷月平均气温 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。除南部墨脱外,其余地区均无明显夏季。林芝地区境内水汽充沛,持续时间长,降水充足。受地形的影响,各地差异较大,雅鲁藏布江谷地较为干旱,降水量不足 500 mm ,喜马拉雅山南麓墨脱县降水量达 $2\,000\text{ mm}$ 以上,大部分地区年平均降水量 $500\sim 1\,000\text{ mm}$ 。

2 林芝地区泥石流易发区区划分析

2.1 区划原则与方法

(1) 区划原则。以泥石流易发程度作为分区的原则,参照已有研究资料^[7-8],采取主导因素分析原则。主导因素分析^[9]是将多个要素化为少数综合指标的一种统计方法。即综合分析地质、地貌、冰川活动、气候和地震因素对林芝地区泥石流易发区形成的影响程度来进行分区。

(2) 区划方法。根据地质、地貌、冰川活动、气象、地震等对泥石流易发程度的影响,在GIS环境下利用数字地图制图方法,划分单因子条件下的影响程度分区图,然后将单因子条件下的影响程度分布图叠加,得到综合考虑地质、地貌、冰川活动、气候、地震等因子下的综合影响程度分区图。

2.2 林芝地区泥石流易发区单因子分析

(1) 地质环境因子。丰富的松散堆积物是泥石流形成必不可少的三大条件之一,而地质条件决定着泥石流形成的松散物质来源。在以砂泥岩、变质板岩、千枚岩和花岗岩等易风化岩石为主要岩性的地区,泥石流的物源十分丰富,多为泥石流暴发的高危地带。根据西藏自治区地质调查院提供资料及区域已有研究资料可知^[10-11],林芝地区的花岗岩、砂岩、板岩等十分发育,其风化产物为泥石流的形成提供充足的物源,有利于泥石流暴发。如波密古乡沟和培龙沟的岩性以花岗岩为主,含砾石英砂岩及板岩。

通过ArcGIS分析工具提取林芝地区花岗岩、千枚岩、板岩、砂泥岩合片麻岩的分布图可见,在尼洋河以南至雅鲁藏布,易贡藏布和帕龙藏布以北,贡日嘎布曲和察隅河以西以及桑曲中下游分布着极为广泛的花岗岩、千枚岩、板岩、砂泥岩和片麻岩,它们的风化产物为泥石流形成提供良好的物源,岩性所在区域

属于泥石流形成高易发区(附图9),即地质环境因子高影响区,其他区域界定为泥石流低影响区。

(2) 地貌因子。泥石流形成的地貌条件,主要是泥石流沟床比降、沟坡坡度、坡向、集水面积和沟谷形态^[12-13],而沟谷内沟谷坡度的陡缓直接影响到泥石流的规模和固体物质的补给方式与数量。唐邦兴等^[14]统计了西部100条各类泥石流沟,发现在西部山区坡度为 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 泥石流形成的百分比为71.9%,海拔在 $3\,000\text{ m}$ 和 $5\,000\text{ m}$ 左右十分有利于泥石流的形成。依据这些已有的研究成果,通过ArcGIS空间分析工具对区域内坡度在 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$,小流域河谷、高原地区、区域西部数据分别进行空间提取与分析,得到地貌因子对泥石流易发区影响分区图(附图10)。从附图10可见,在尼洋河工布江达—林芝段,雅鲁藏布扎堆一派镇,易贡藏布,帕龙藏布易贡—莫格,贡日嘎布曲中下游,察隅河下游和桑曲沿线均为泥石流易发区高影响区。

(3) 冰川活动因子。林芝地区的高山地带为典型的海洋性冰川区。海洋性冰川受海洋性季风气候影响大,冰川累积和消融速度快。海洋性冰川分布在受降水丰沛的海洋湿润气流控制和影响地区。这一地区冰川“收入”多,“支出”也多,活动性强。冰雪融水能把冰川作用区的冰碛物等物质携带到非冰川作用地区堆积。如培龙沟源头是一条海洋性冰川,冰川长 8.2 km ,宽 0.3 km ,厚约 50 m ,水源相当丰富,加之沟谷两侧有数米厚的古冰碛台地,曾在1983年、1984年、1985年、1986年连续4a在夏季冰雪消融及暴雨共同激发下发生特大泥石流灾害。

根据1988年和2001年的遥感影像解译获得冰川的覆盖面积,通过计算得到冰川面积的变化情况,根据冰川面积变化的大小对其泥石流易发程度进行划分。划分原则为:在 10 km^2 区域内,冰川变化面积大于 2 km^2 的区域划分为高易发区;小于 2 km^2 大于 0.08 km^2 的区域划分为中易发区,小于 0.08 km^2 的区域划分为低易发区。在冰川变化图层上,变化大的区域可能存在一些变化面积极小的区域,在ArcGIS软件环境下,用领域窗口合并碎小多边形操作,得到冰川活动因子对泥石流易发区影响分区图(附图11)。

(4) 气候因子。降雨对泥石流暴发起重要作用。降雨作用使土体的容重增加,粘聚力和内摩擦力降低,促使土体发生滑动^[15]。除此之外,降雨还为泥石流提供动力条件。降雨条件可作为泥石流是否暴发的判别条件, 1 h , 24 h 临界雨量与泥石流暴发有很大关系。从林芝地区年均降雨等值线图(图1—2)可以

看出,林芝地区的降雨可以分为三个典型的降雨区,林芝—米林—易贡以西的少雨区,年降雨量少于 1 000 mm,米林—林芝—波密以南,察隅以西的典型多雨区,年降雨量超过 2 000 mm,多数地区达 2 500 mm,察隅以西—波密以北区域为少雨区,年降雨量低于 1 000 mm。除林芝以西的工布江达和朗县以及林芝以东靠近然乌的地带降水量偏低,年均降水量仅为 600 mm 甚至更低,其他地方降水量普遍较高,基本上均能满足泥石流启动的降水条件。

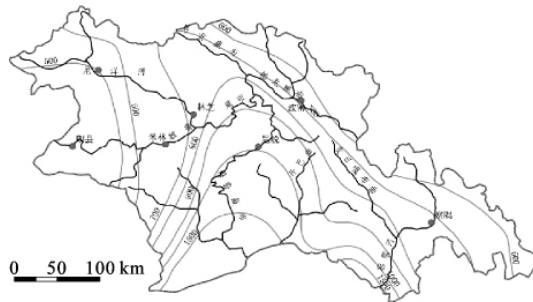


图 1 林芝地区年均降雨等值线

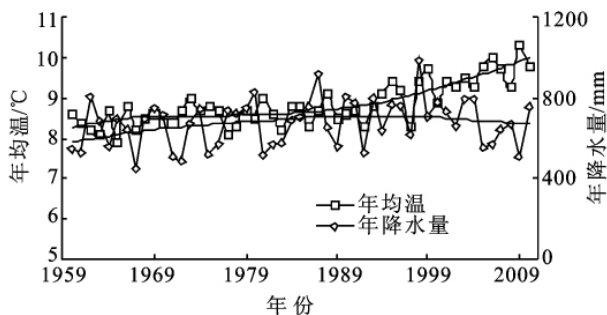


图 2 1959—2009 年林芝地区年均温及年降雨变化

气温也极大地影响着泥石流的发生。从林芝地区年均气温变化图可以看出(资料来源于林芝地区各县气象局),林芝地区的年均气温呈逐年增加的趋势,在过去的 30 a 间,气温上升超过 1℃。温度的升高促使冰川大量消融,消融的冰川为泥石流形成提供良好的水源条件。根据遥感解译,1988—2001 年,林芝地区气温上升值约为 1℃,消失冰川面积为 31.7%,新增冰川面积 24.2%,相当于冰川总面积减少 7.5%。

通过 ArcGIS 分析工具作出《气候因子对泥石流易发区影响分区图》,由附图 12 可见,在雅鲁藏布江流域及其支流,易贡藏布和帕龙藏布及其支流流域,墨脱察隅的大部分地带均为气候影响下泥石流形成的高危地带。

(5) 地震因子。地震可以显著降低地球表层岩土体的强度,破坏自然斜坡的稳定性。地震所激发的崩塌、滑坡等是地震力对斜坡变形的直接效应,7 级以上的强度还可产生大量地震断层,这些都能增加泥石流活动的可能性。林芝地区断裂发育,地震活动强

烈,其地震活动周期是 35~40 a,7 级以上地震活动的周期在 50 a 以上。

根据林芝地区 1950 年以来的地震分布图(附图 13,资料来源西藏地震局),在林芝地区建立 5 km × 5 km 的格网,统计出每个格网中对应的地震点的数目,依据地震点的数目把格网数据转化为栅格数据。由于地震影响到邻近区域,数据处理中对栅格数据图层做求和的窗口分析,获得每一点位受影响的地震点个数,然后进行分级:小于 15 个点的为低影响区;15~32 为中影响区;大于 32 的为高影响区(附图 14)。

2.3 综合因子分析

综合考虑地质、地貌、冰川活动、气候、地震因子对泥石流易发区的影响,同时考虑林芝地区地质灾害集中分布于 318 国道沿线,人类活动工程主要影响沿途的崩塌和滑坡。泥石流的形成区海拔高、地势险,人类活动对泥石流形成的影响较小,故在林芝地区泥石流易发分区时不考虑人类活动的影响。将 5 个单因子作用下的影响程度分区图进行叠加,得到综合因子的泥石流易发区影响分区图(图 3)。由图 3 可见,林芝地区泥石流的高易发地带位于尼洋河工布江达—巴河段、百巴—林芝段,雅鲁藏布米林段以西地带及其大拐弯段,易贡藏布和帕龙藏布的易贡—波密段,贡日嘎布曲哈拉贡巴—下察隅镇段。

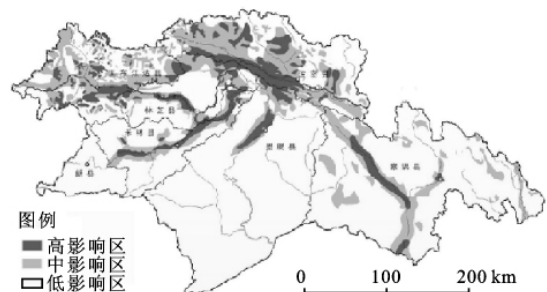


图 3 综合因子对泥石流易发区影响分区

根据各因子作用下的不同影响区域分布图,计算得到各因子影响区域的分布面积占整个林芝地区面积的比例(图 4),图中顺序为高、中、低影响区所占面积比例。

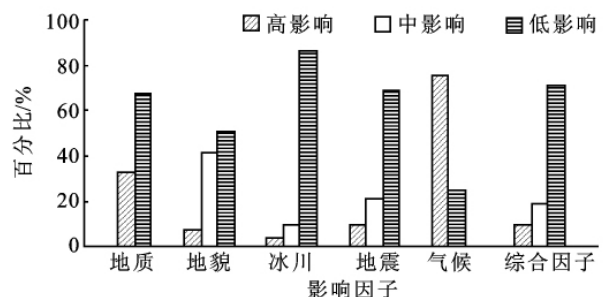


图 4 各因子影响区域面积百分比分布

3 林芝地区泥石流危险区区划分析

泥石流危险区是指受泥石流灾害威胁的区域,一旦发生泥石流将直接造成区内人员伤亡或房屋、设施的破坏。林芝地区泥石流危险区划分是在林芝地区泥石流易发分区的基础上考虑区域内危害对象如:村镇、道路、河流等。对居民点做 2 km 缓冲,对河流和道路各做 5 km 缓冲然后与高易发区做空间运算(主要是叠加、相交)得到高危险区,与中易发区做运算得到中危险区,其他部分为低危险区。

根据 1988 年和 2001 年的遥感影像解译结果并结合实地勘察,对林芝地区泥石流灾害危险区进行划分,并获得不同程度危险区内危害对象(村镇、道路、河流)的数量,危险区统计数据见表 1,林芝地区泥石流灾害危险性分区图(图 5)。

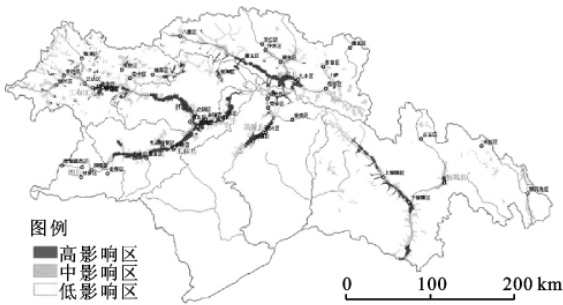


图 5 林芝地区泥石流危险区区划

表 1 林芝地区泥石流危险区统计数据

危险区级别	面积/km ²	所占比例/%	危害村镇/个	危害道路/条	危害河流/条
高危险区	9665.57	8.43	1796	2003	2006
中危险区	21795.18	19.02	545	411	482
低危险区	83134.75	72.55	388	333	455

备注:林芝地区总面积约 114 595.5 km²。

此外,根据已有资料分析和现场复核,考虑到泥石流对当地居民生命安全的威胁,建议以下村庄部分居民搬迁:工布江达县四章村、林芝县东久村、林芝县拉月村、波密县索通村、波密县林琼村、易贡茶场一队、墨脱县的阿苍村和波东村。

4 结论

(1) 加强预防重点防控区的泥石流灾害。林芝地区山地灾害点多面广,突出重点防控区意义重大。

(2) 加强气象预测预报。建议结合现有的气象防灾规划项目、地质灾害监测预警规划与试点项目,争取雨季前增加降雨和泥石流等灾害的监测。增加这一地区雨季的气象卫星遥感监测预报。

(3) 加强林芝地区泥石流灾害成灾规律的研究,

系统进行灾害规划推动监测预警和资源信息共享系统。

本文在野外调查和资料分析的基础上对林芝地区泥石流易发区和危险区提出初步的结果,由于一些客观原因部分地区(如墨脱)缺乏充足的数据(如地质、气候因素),部分结论需进一步深入探讨。

致谢:感谢中国科学院波密地质灾害观测研究站为本文研究提供的相关数据,研究站相关工作人员为本文的野外调查工作提供的帮助,同时感谢西藏地质调查院、地震局、各县水务局、气象局提供的数据及帮助。

参考文献:

[1] 钟祥浩,王小丹,刘淑珍. 西藏高原生态安全[M]. 北京:科学出版社,2008.

[2] 童立强,祈生文,刘春玲. 喜马拉雅山东南地区地质灾害发育规律初步研究[J]. 工程地质学报,2007,15(6):721-729.

[3] 朱平一,何子文,汪阳春,等. 川藏公路典型山地灾害研究[M]. 成都:成都科技大学出版社,1999.

[4] 罗德富,毛济周. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策[M]. 北京:科学出版社,1995.

[5] 吕儒仁,唐邦兴,朱平一. 西藏泥石流与环境[M]. 成都:成都科技大学出版社,1999.

[6] 胡桂胜,陈宁生,邓明枫,等. 西藏林芝地区泥石流类型及形成条件分析[J]. 水土保持通报,2011,31(2):193-197.

[7] 刘希林,莫多闻. 泥石流风险性评价[M]. 成都:四川科学出版社,2003.

[8] 陈宁生. 泥石流勘察技术[M]. 北京:科学出版社,2010:188-190.

[9] 中国科学院成都山地灾害与环境所. 泥石流研究与防治[M]. 成都:四川科学技术出版社,1989.

[10] 程尊兰,刘晶晶,刘建康. 西藏扎墨公路泥石流特点[J]. 山地学报,2011,29(增刊):13-17.

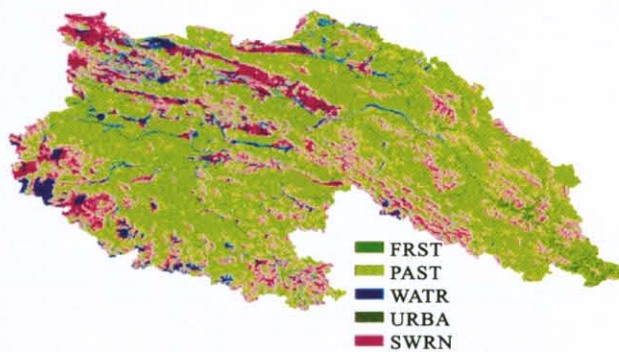
[11] 张明华. 西藏墨脱公路断裂构造遥感分析及信息提取[J]. 国土资源遥感,2006(1):56-61.

[12] 刘希林,唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京:科学出版社,1995:5-26.

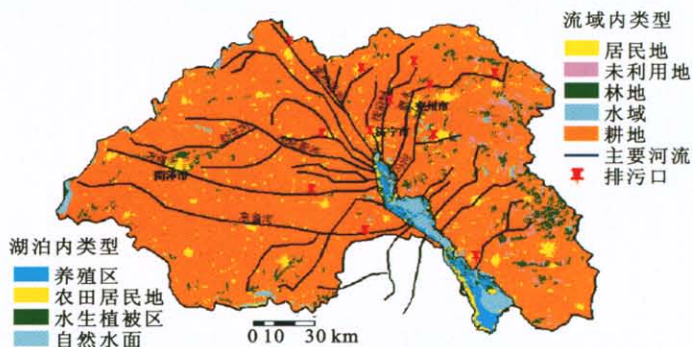
[13] 周必凡. 泥石流防治指南[M]. 北京:科学出版社,1991:10-25.

[14] 唐邦兴. 中国泥石流[M]. 北京:商务印书馆,2000:43-58.

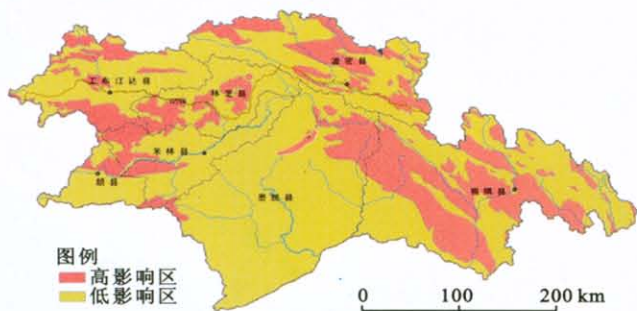
[15] Chen N S, Zhou W, Yang C L, et al. The processes and mechanism of failure and debris flow initiation for gravel soil with different clay content[J]. Geomorphology,2010,121(3/4):222-230.



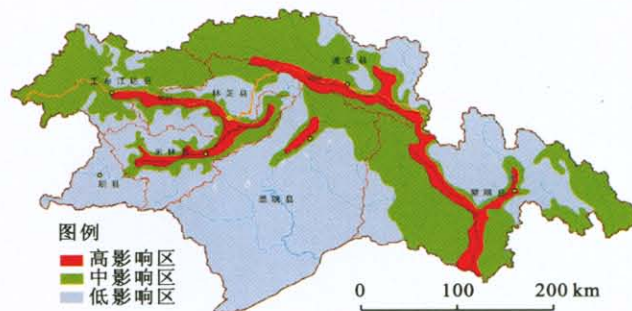
附图7 长江流域2004年土地利用/覆被变化



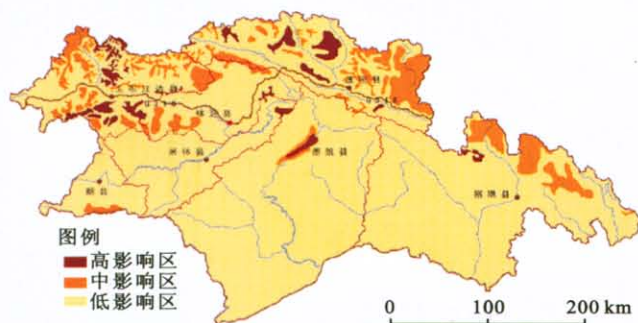
附图8 南四湖地表覆被和土地利用分类



附图9 地质环境因子对西藏林芝地区泥石流易发区影响分区



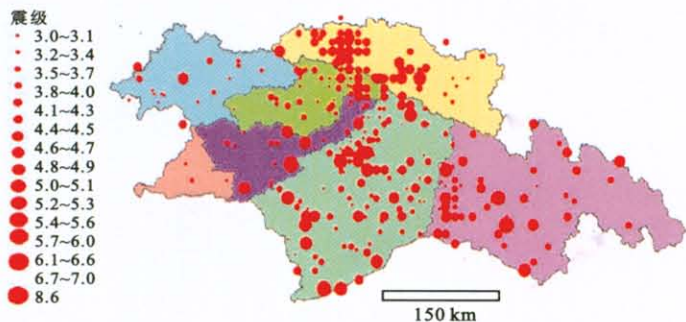
附图10 地貌因子对西藏林芝地区泥石流易发区影响分区



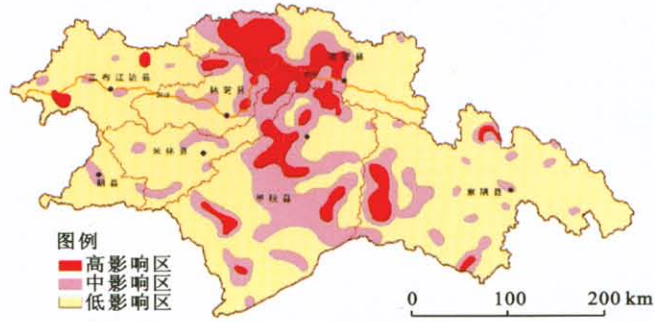
附图11 冰川活动因子对西藏林芝地区泥石流易发区的影响分区



附图12 气候因子对西藏林芝地区泥石流易发区的影响分区



附图13 1950年以来西藏林芝地区地震分布状况



附图14 地震因子对西藏林芝地区泥石流易发区的影响分区