

喜马拉雅山地区重大滑坡灾害及其与地层岩性的关系研究*

刘春玲^① 祁生文^② 童立强^① 安国英^① 李小慧^①

(^①中国国土资源航空物探遥感中心 北京 100083)

(^②中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

摘要 位于青藏高原南部的喜马拉雅山地区,是高原隆升最快的地方,这里内外动力作用异常活跃,是我国重大滑坡灾害最严重的地区之一,重大滑坡灾害对国民经济和社会发展带来了极大危害。本文在对研究区的地质、地理背景进行了详细分析的基础上,利用遥感解译和实地调查相结合的手段,研究了该区重大滑坡灾害的分布及其与地层岩性的关系,将本区地层岩性大致划分为 13 个工程地质岩组:松散岩组、软弱岩组、软弱岩夹较软弱岩组、软弱岩夹较坚硬岩组、较软弱岩组、较软弱岩夹较软弱岩组、较软弱岩夹较坚硬岩组、较软弱岩夹坚硬岩组、较坚硬岩与软弱岩互层岩组、较坚硬岩夹软弱岩岩组、较坚硬岩夹较软弱岩组、较坚硬岩组、坚硬岩组,发现重大滑坡更容易发生在软弱岩组、较硬岩夹较软弱岩组以及坚硬岩组中,而软弱岩夹较软弱岩组、较软弱岩夹较坚硬岩组中无重大滑坡灾害分布。重大滑坡灾害的上述分布特征,反映出地层岩性与重大滑坡灾害之间的复杂关系,一方面岩性软弱,比较容易发生滑坡灾害;另一方面,岩性越坚硬,地形越高陡,也容易发生重大滑坡灾害。

关键词 喜马拉雅山 滑坡 遥感 GIS

中图分类号: TU457 **文献标识码:** A

GREAT LANDSLIDES IN HIMALAYA MOUNTAIN AREA AND THEIR OCCURRENCE WITH LITHOLOGY

LIU Chunling^① QI Shengwen^② TONG Liqiang^① AN Guoying^① LI Xiaohui^①

(^①China Aerogeophysics and Remote Sensing Centre, Beijing 100083)

(^②Key Laboratory of Engineering Geomechanics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The Himalayan region, locating in the south of Qinghai-Tibet Plateau, is characterized with the fastest uplifting and actively dynamic motion. This area is one of the worst areas hit by landslides in China. The serious landslide disasters have brought great harm to the national economic and social development. With the aid of imagery interpretation and field investigation, the paper studies the distribution of the serious landslide disasters and its relationship with lithology. It divides the lithology in the region into 13 engineering geology rock groups as follows: (1) loose rock group, (2) soft rock group; (3) soft rock mixed with secondary soft rock group; (4) soft rock mixed

* 收稿日期: 2010-08-16; 收到修改稿日期: 2010-08-20.

基金项目: 受中国地质调查局水环部“喜马拉雅山地区重大地质灾害调查与动态监测”与国家自然科学基金(No. 40772188)资助.

第一作者简介: 刘春玲, 遥感工程地质. Email: valley1@sohu.com

with secondary hard rock group; (5) secondary soft rock group; (6) secondary soft rock mixed with soft rock; (7) secondary soft rock mixed with secondary hard rock group; (8) secondary soft rock mixed with hard rock group; (9) double-layer with secondary hard rock and secondary soft rock group; (10) secondary hard rock mixed with soft rock group; (11) secondary hard rock mixed with secondary soft rock group; (12) secondary hard rock group; (13) hard rock group. Then the paper concludes that the great landslides prompt to occur in the groups (2) (11) and (13). However, there is few great landslides occurred in the groups (3) and, (7). The distribution characteristics of the great landslides have indicated the complicated relationship between the formation lithology and occurrence of the great landslides. On the one hand, the soft rock area is too weak to slide. On the other hand, the steep and high area dominated with hard rock often tends to slide.

Key words Himalaya Mountains, Landslide, Remote sensing, GIS

1 引言

喜马拉雅山地区位于青藏高原的南部,是高原隆升最快的地方,近几十年来中外地质学家在喜马拉雅山地区开展了大量的地质研究与调查工作^[1]。该区是我国重大滑坡灾害最严重的地区之一。重大滑坡灾害对该区的国民经济和社会发展带来了极大的危害,每年造成的直接经济损失达亿元以上,制约了西藏喜马拉雅山地区经济的正常发展,破坏了区域生态环境平衡,同时喜马拉雅山地处边疆,重大滑坡灾害甚至波及邻邦。2004年6月22日,西藏自治区札达县曲松乡楚鲁松杰村上游帕里河发生山体崩塌,造成河流堵塞形成堰塞湖;2005年6月8日,堰塞湖左岸山体再次发生崩塌,堵塞原坝溢流口,湖面水位快速上升;6月26日10时,堰塞湖坝体发生溃决,下泄洪水量达2420余万立方米,给楚鲁松杰村带来了巨大的损失,并且灾害波及到印度境内帕里河流域的安全,印度反映强烈;2005年7月国务院总理温家宝、副总理曾培炎指示采用卫星遥感技术调查西藏帕里河堰塞湖水面变化及滑坡情况^[2]。2000年4月9日晚,西藏林芝地区波密县易贡藏布河发生巨型高速滑坡,造成河流堵塞形成堰塞湖,6月8日产生溃决,60m高的洪峰持续6个小时,造成易贡藏布,帕龙藏布和雅鲁藏布大峡谷地域所有桥梁被冲毁;而据法新社报道:“印度布推马普特推河沿岸各邦遭遇特大洪水灾祸,94人死亡,250万人无家可归,局部公路、铁路交通中断瘫痪。”^[3]

近年来,由于全球温室效应作用,气温上升导致冰川溶化加快,喜马拉雅冰川随着全球变暖正以平均每年10~15m的速度退缩,成为全球退缩最快的冰川之一。伴随着生态环境的进一步恶化,局部降水量的增加,气温上升冰川融化,尤其近几年喜马拉雅

山地区滑坡、泥石流、崩塌和冰湖溃决等地质灾害有加速发生趋势^[4,5]。

作为特殊的地理条件的喜马拉雅山地区,由于高寒缺氧、地形切割深、山峰多为冰川所覆盖等,大部分地区人迹罕至,因此调查研究程度低,针对以地质灾害为主的地质环境的调查研究更远远不够。而地质调查的比例尺偏小,多以1:25万为主,甚至还是1:50万的成果,只能宏观上对喜马拉雅山地区进行分析与评估,对地质环境恶化的分析多出自于气候变化单一因子。对地质灾害体本身的空间分布、形态、规模及其稳定性状况没有进行系统调查;对喜马拉雅山地区地质灾害的空间分布规律、成灾机理缺乏认识。

童立强等人在2006年对喜马拉雅山东南地区的地质灾害发育规律进行了初步研究^[1]。本文则进一步对整个喜马拉雅山地区的自然地理背景、区域地质背景进行了分析,对全区的地质岩性进行工程地质岩组的划分,并在此基础上探讨了地质灾害的发育与工程地质岩组的关系,研究成果可以为喜马拉雅山地区减灾防灾工作提供基础数据和科学决策依据。

2 研究区自然地理背景

喜马拉雅山地区位于青藏高原南部,其主要部分在我国与印度、尼泊尔的交界线上(图1)。研究区东侧以雅鲁藏布江为界,其西部至我国控制区边界线,不包含印控区(即我藏南地区),包含林芝地区、日喀则地区以及山南地区,含葛尔、扎达、普兰、仲巴、林芝、墨脱、米林、萨嘎、吉隆、加查、朗县、曲松、隆子、康马、扎西雄、浪卡子、措美、聂拉木、定日、洛扎、错那、定结、岗巴、亚东等24县(区)(部分县城只有部分地区在研究区),约合总面积

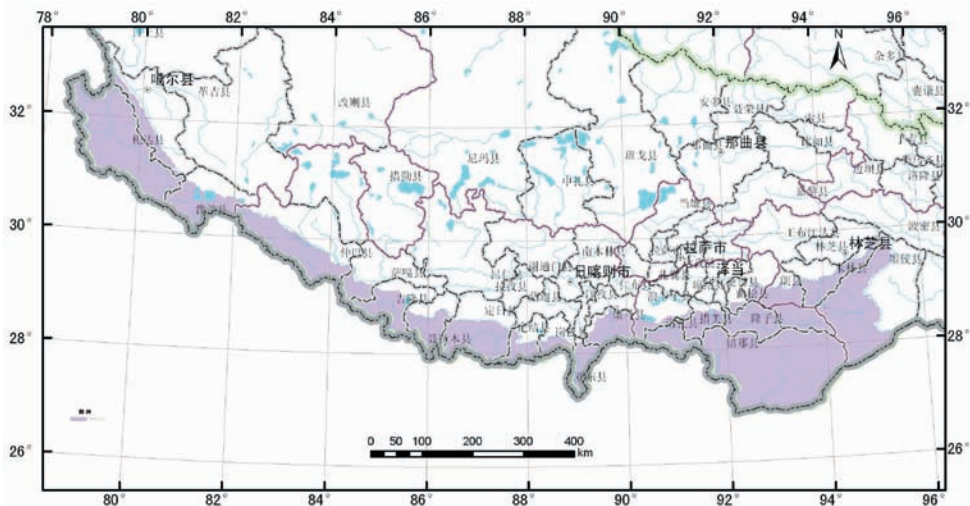


图1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of the studied area

168278.4km²。

喜马拉雅山是一条近似东西向的山系,由许多平行的山脉组成,它是世界上最大、最高、最年轻的山脉,全长2400km,宽约200~300km,平均海拔6000m以上,超过7000m的高峰有50多座,8000m以上的山峰有11座,其中8848.13m的珠穆朗玛峰是世界第一高峰。喜马拉雅山区发育有许多规模巨大的现代冰川,冰斗、角峰、刃脊等冰川地貌。雪线以下数公里范围内遍布冰塔林,相对高度可达40~50m。喜马拉雅山脉南坡陡峻,北坡较平缓。南斜面高出恒河、印度河平原6000~7000m以上,构成一道巨大的天然屏障,拦截印度洋西南季风,降水充沛,山上雪线较低。区内地势总体西高东低、北高南低。由西向东,呈阶梯式递降,西部平均海拔5000m以上,东部平均海拔4700m左右。由北而南波状起伏,地形比较复杂,但分带性比较明显。

研究区内主要有两大水系,即雅鲁藏布及朗钦藏布。雅鲁藏布发源于喜马拉雅山北麓仲巴县境内的杰马央宗冰川,全长2057km,流域面积约 2.4×10^5 km²,流域平均海拔4500m左右,是世界上海拔最高的大河。朗钦藏布主要在札达县境内。此外,其它还有经普兰流入尼泊尔的孔雀河,经吉隆流入尼泊尔的吉隆藏布,经聂拉木流入尼泊尔的波曲,从定日、定结、岗巴流入尼泊尔的澎曲,从亚东流入不丹的康布麻曲,从洛扎、措美流入印度的洛扎雄曲,经错那流入印度的达旺河,东喜马拉雅山南坡的卡门河,发源于隆子县流入印度的苏班西里河等水系。

3 区域地质环境分析^[6~9]

3.1 大地构造

研究区是一个经历了多期、多层次复杂构造变形的年轻造山带,在大地构造位置上属冈瓦纳北缘特提斯构造域,晚古生代—中生代冈底斯—喜马拉雅构造区,印度陆块、印度河—雅鲁藏布江结合带和拉达克—冈底斯—拉萨—腾冲陆块三个二级构造单元。带内断裂构造发育,岩石脆性变形强烈(图2)。

3.2 地层岩性

研究区包括我国境内喜马拉雅山脉全域及其北侧的部分地区,北以雅鲁藏布江结合带南界断裂为界,南至国界。根据国土资源大调查青藏高原填图计划17幅1:25万区域地质调查结果和1:50万地质图数据库(印控区部分遥感解译修编结果)的资料整理,本区地层发育齐全,以大面积出露前寒武系变质岩和发育从奥陶纪至新近纪基本连续的海相地层为特色,显生宙沉积地层总厚达12500m。全区从南到北可划分低喜马拉雅区、高喜马拉雅区、北喜马拉雅南带区、康马—隆子区、雅鲁藏布江区、拉萨—察隅区及冈科布斯坦—达拉克7个构造—地层分区(图3)。

3.3 岩浆岩与混杂岩

研究区内岩浆岩活动较强烈,具有活动期次多、类型多样,阶段性强的特点。侵入岩主要为花岗岩类,以元古代及奥陶纪花岗岩和中新世淡色花岗岩

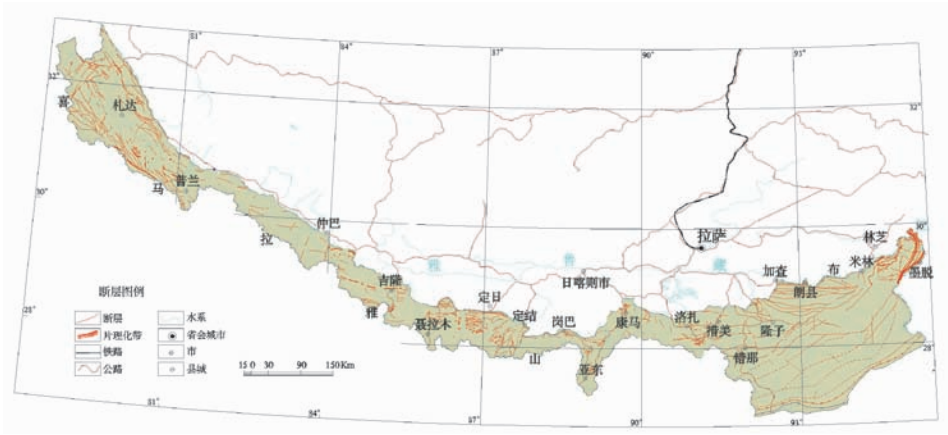


图2 喜马拉雅山断层分布图(据文献[7~9])

Fig. 2 Fault system distribution in the studied area by [7~9]

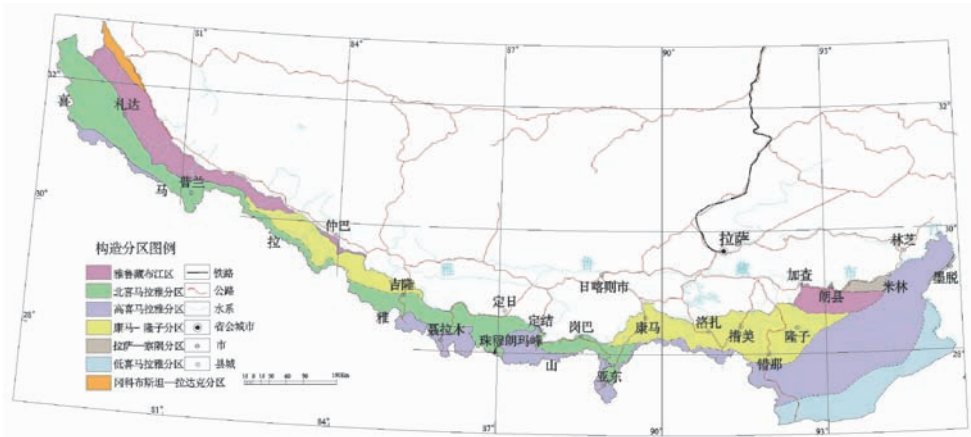


图3 喜马拉雅山脉构造-地层分区图(据文献[7~9]综合整理)

Fig. 3 Zonation for tectonic and strata of the studied area by [7~9]

为主,侏罗纪花岗岩仅出露个别岩体。在分布上多集中于高喜马拉雅带和拉轨岗日带,低喜马拉雅带仅有个别岩体分布,显示了花岗岩时代自南至北由老变新的趋势。此外,还发育有大量的各类岩脉。

元古宙花岗岩主要分布在高喜马拉雅带的中-新元古界聂拉木岩群($Pt_{2,3}$)变质岩系中,岩石类型为片麻状斑状黑云母二长花岗岩;奥陶纪花岗岩;主要为片麻状二长花岗岩主要分布于北喜马拉雅带和高喜马拉雅带;侏罗纪花岗岩;为变质斑状黑云二长花岗岩,仅出露在雅鲁藏布带个别地段,呈明显的侵入接触关系;白垩纪侵入岩主要分布在雅鲁藏布江带拉孜地区,岩性为变质中细粒辉长辉绿岩,侵入体较小,比较分散,与围岩多以脆性断层接触。新生代侵入岩分布广泛,岩体众多、大小不等,呈近东西向带状展布。自北向南可以将其分为拉轨岗日带和高喜马拉雅带。拉轨岗日带主要是二云母花岗岩、片麻状二长花岗岩、黑云母二长花岗岩等以及含

电气石花岗岩类,具片麻状构造。它们分别侵入在中-新元古界、下古生界、石炭系、二叠系、三叠系和侏罗系中。岩体出露的部位常伴随断裂构造。高喜马拉雅带新生代侵入岩呈近东西向展布,主要有片麻状中粗粒二云母花岗岩、中粒黑云母花岗岩、中细粒似斑状二长花岗岩、中细粒似斑状二云母花岗岩、细粒似斑状二云母二长花岗岩。岩体多是顺层出现的小岩床或岩株,围岩一般是早古生代或元古宙地层,接触变质微弱。

研究区火山活动频繁,从中新元古代开始一直持续到第四纪,含火山岩的岩系分布广泛,在地层中有多个火山岩夹层。由早到晚中新元古宇念青唐古拉岩群变质基性火山岩和米里群的中基性火山岩、晚二叠世下拉组酸性火山碎屑岩,早白垩世则弄群火山岩、新生代林子宗群火山岩和日贡拉组火山岩等。其中,新生代火山岩出露面积大、火山机构齐全;中新元古界火山岩和古生代火山岩出露面积

小。此外在研究区内还出露有典型的雅鲁藏布江蛇绿混杂岩。

4 工程地质岩组划分

岩土体是地质灾害产生的物质基础,其类型、性质、结构、构造及分布特征对地质灾害发育有重要影响。大量事实表明,地质灾害与地层岩性关系极为密切。参照国标《工程岩体分级标准》(GB50218-94)的岩石饱和单轴抗压强度 UCS 的五种分类等级^[10],将研究区内 1:25 万或者 1:50 万区域地质填图的岩石地层单元组/群,划分为 13 个工程地质岩组组合类型(表 1),其分布区域和面积见图 4、图

表 1 研究区岩体工程地质岩组划分简表

Table 1 Engineering geology strata grouping for the studied area

编号	岩组	地 层
1	松散岩组	下更新世香孜组、第四纪、全新世、全新世(Qp)、更新世、更新世(Qh)
2	软弱岩组	乌郁组、沃马组、西瓦利克群、土隆群、基塔拉组、底贡组、念青唐古拉岩群、才里群、比拗组、秋乌组、红山头组、色龙群、遮普惹组、那兴组、门卡墩组、雇孜组
3	软弱岩夹较软弱岩组	吕村组
4	软弱岩夹较坚硬岩组	穷果群
5	较软弱岩组	宁日组、宗山组、察且拉组、扎嘎组、拉吾且拉组、涅如组、白定浦组、冈瓦纳群、聂拉木群
6	较软弱岩夹软弱岩组	波曲组
7	较软弱岩夹较坚硬岩组	石器坡组
8	较软弱岩夹坚硬岩组	古错村组
9	较坚硬岩与软弱岩互层岩组	维美组
10	较坚硬岩夹软弱岩组	东山组、互层夹灰色灰岩、亚如那嘎组、亚里组、凉泉组、基龙群、大竹卡组、宋卓组、岗巴群、康马组、德泥塘嘎群、拉弄拉组、拉轨岗日群、日当组、曲门下拉组、曲龙共巴组、甲不拉祖、陆热组
11	较坚硬岩夹较软弱岩组	八拉岩组、哲弄组、奥陶纪、普普嘎组、普次丁组、普鲁组、曲乡岩组、曲嘎组、桑麦混杂岩、江东岩组、沟陇日组、混杂岩、狮泉河蛇绿混杂岩群、甲村组、破林浦组、米里群、聂拉木岩群、聂聂雄拉组、肉切村岩群 A 亚群、肉切村岩群 B 亚群
12	较坚硬岩组	东波寺方辉橄榄岩、先钦组、宗浦组、岗子拉硅质岩、幕霞群、德日荣组、扎郎混杂岩、柳区组、比聿组、沙赛组、滚江浦组、肉切村群、邦果日单辉橄榄岩、龙吉混杂岩、南迦巴瓦岩群 a 亚群、南迦巴瓦岩群 b 亚群
13	坚硬岩组	中元古代花岗岩、郎山组、古新世灰岩块、岩浆岩、新第三纪花岗岩

5。从统计图表中可以看出,分布最广的是较坚硬岩夹较软弱岩组、坚硬岩组、较坚硬岩夹软弱岩组,理论上较坚硬岩夹较软弱岩组和较坚硬岩夹软弱岩组及软质岩组为滑坡易发岩组。

5 重大滑坡灾害空间分布

经过遥感解译和实地考察,我们发现本区发育的主要重大滑坡灾害 153 处(需要指出的是,这里的滑坡概念是狭义的滑坡概念,不包括崩塌和泥石流在内)。调查显示,研究区重大滑坡灾害的发育在空间上的分布并非均匀,具有明显的丛集性特点。研究发现:扎达、隆子和朗县的重大滑坡灾害发育最多,这 3 个县解译的重大滑坡均在 20 个以上,约占研究区发育总数的 51.6%,次之为吉隆、措美 4 县,其余各县滑坡发育个数均在 10 个以下,还有几个县未解译出重大滑坡灾害,如葛尔县、仲巴县、萨嘎县、曲松县、康马县、扎西雄、浪卡子县、岗巴县等 8 个县(图 6)。

滑坡规模依据滑坡的体积进行划分。其中小型滑坡体积 $<10^4\text{m}^3$,中型滑坡体积介于 $10^4\sim 10^5\text{m}^3$,大型滑坡体积介于 $10^5\sim 10^6\text{m}^3$,特大型滑坡体积介于 $10^7\sim 10^8\text{m}^3$,巨型滑坡体积 $>10^8\text{m}^3$ ^[11]。由于遥感解译无法解译出滑坡的厚度,因此对滑坡规模的划分我们采用了遥感影像的面积。划分标准采用的是在体积标准的基础上降低一个数量级,即小型滑坡面积 $<10^3\text{m}^2$,中型滑坡面积介于 $10^3\sim 10^4\text{m}^2$,大型滑坡面积介于 $10^4\sim 10^5\text{m}^2$,特大型滑坡面积介于 $10^6\sim 10^7\text{m}^2$,巨型滑坡面积 $>10^7\text{m}^2$ 。

根据以上标准,研究区共解译出 2 个中型滑坡,其余均为大型、特大型和巨型滑坡,无小型滑坡。滑坡总面积为 199.50km²。其中中型滑坡 2 个,大型滑坡共 87 个,特大型滑坡共 62 个,巨型滑坡 2 个,分别占解译出来滑坡总个数的 1.3%、56.9%、40.5% 以及 1.3%,它们的投影面积分别为 0.01km²、44.88km²、132.20km² 和 22.29km²,分别占滑坡总面积的不足 0.1%、22.5%、66.3% 和 11.2%。需要指出的是,这并不意味着研究区不发育小型滑坡,而是因为本次研究主要解译区内重大地质灾害,比例尺小,所用遥感影像精度相对也较低。

解译出的巨型滑坡仅分布在札达和普兰两县,分别为 9 个和 4 个。特大型滑坡分布在札达、亚东、聂拉木、墨脱、米林、洛扎、隆子、林芝、朗县、加查、定

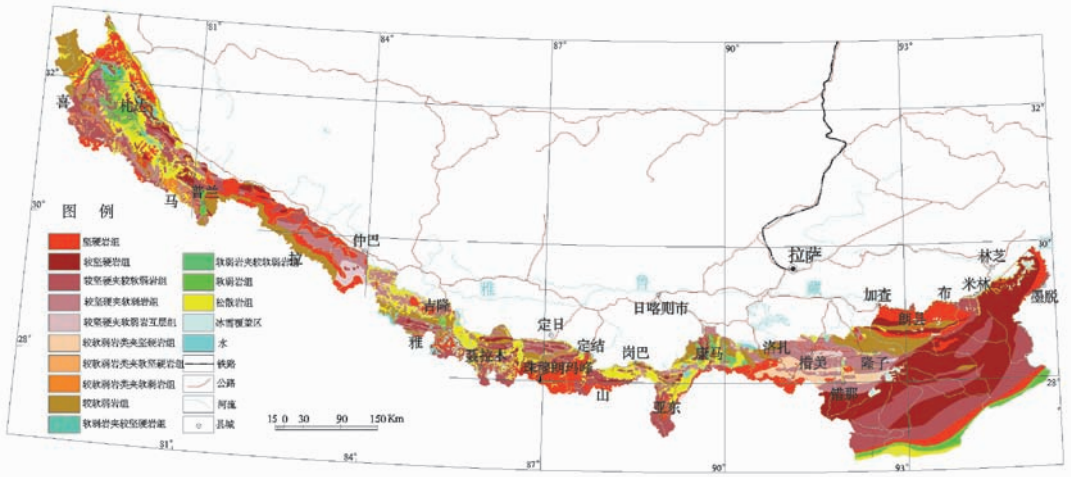


图4 喜马拉雅山地区工程地质岩组分布图

Fig. 4 Distribution of engineering geology strata groups

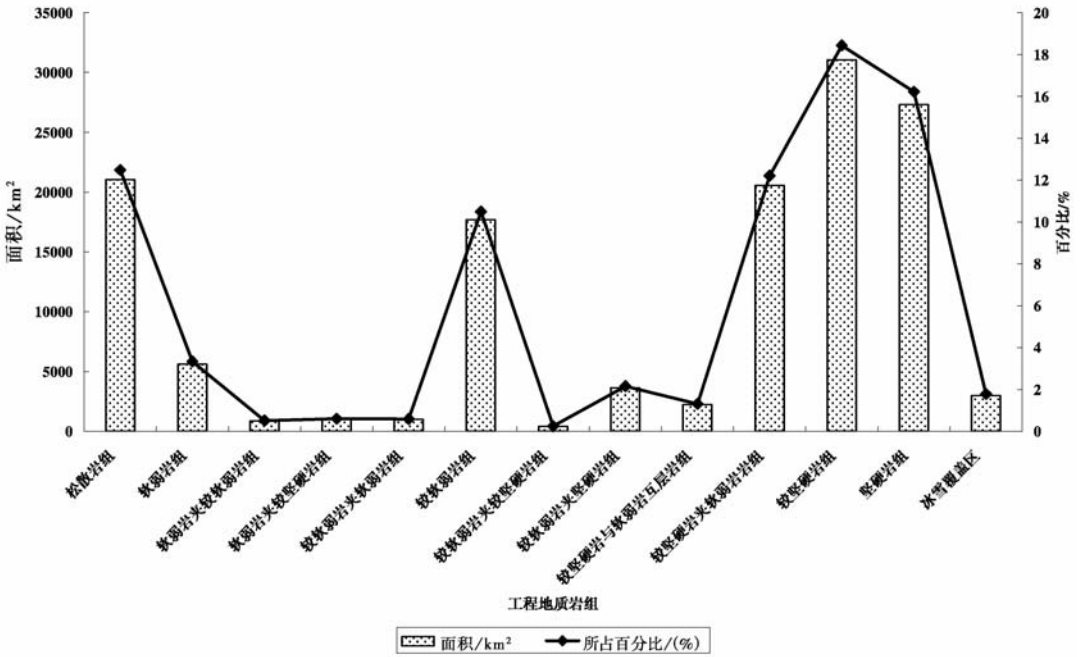


图5 喜马拉雅山地区工程地质岩组分布柱状图

Fig. 5 Histogram of various engineering geology strata groups in the studied area

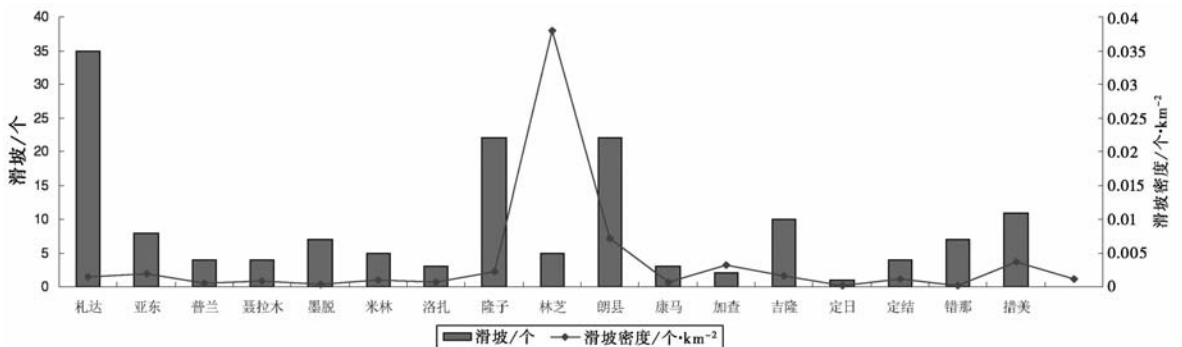


图6 研究区各县城的重大滑坡灾害个数及发育密度

Fig. 6 Histogram of great landslides as well as LC(landslides/km²) in the studied area

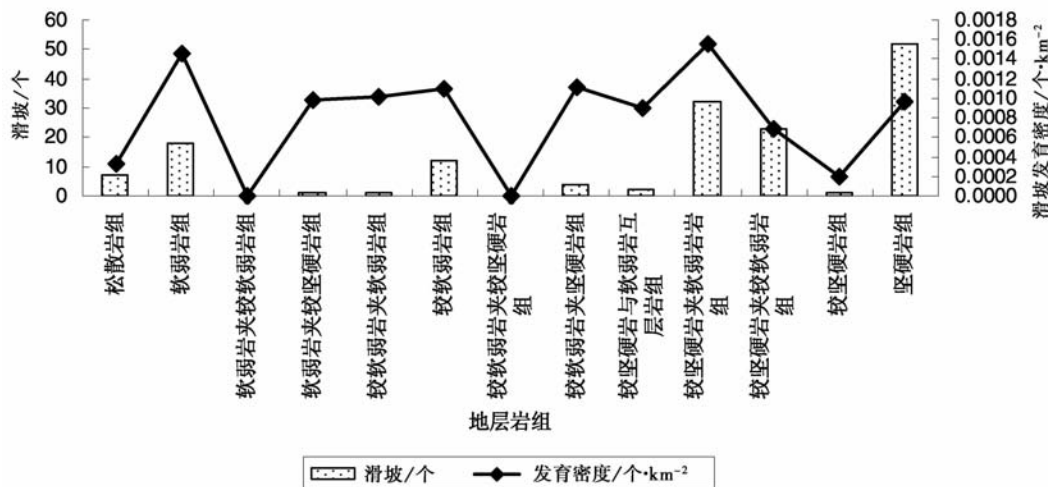


图7 滑坡与工程地质岩组之间的关系

Fig. 7 Great landslides occurred in various engineering geology strata groups

日、定结、错那、措美,其中朗县特大型滑坡达16个、隆子达10个、措美7个。就大型滑坡而言,主要分布在札达、隆子、吉隆、朗县、错那以及亚东,分别为24个、12个、10个、6个、6个以及5个,其余各县城大型滑坡的分布个数均小于5个。

为了衡量重大滑坡灾害的发育密度,我们引进了滑坡发育密度的概念(Landslide Concentration, LC),即每平方公里发育重大滑坡灾害的个数^[12]。从图6可见,就滑坡发育密度而言,位于研究区内的林芝地区部分的滑坡发育密度最高,为0.038个·km⁻²,虽然其重大滑坡灾害的个数仅为5个。除未发现重大滑坡灾害的8个县城外,其余地区滑坡发育密度约为0.005个·km⁻²,差别不大。

6 滑坡灾害与工程地质岩组的关系

图7是滑坡与岩性之间的关系。从图上可以看出,重大的滑坡灾害主要发育在坚硬岩组中,其次为较坚硬岩夹软弱岩组以及较硬岩夹较软弱岩组,再其次为软弱岩组、较软弱岩组。

就滑坡发育密度而言,软弱岩组最高,略高于较硬岩夹较软弱岩组以及坚硬岩组。其次为较软弱岩夹较坚硬岩组、较软弱岩组、较软弱岩夹软弱岩组、较软弱岩夹坚硬岩组、较坚硬岩与较软弱岩互层岩组,拥有几乎相同的滑坡发育密度。其他的岩组发育率低一些,软弱岩夹较软弱岩组、较软弱岩夹较坚硬岩组中无重大滑坡灾害分布。

重大滑坡灾害的上述分布特征,反映出地层岩

性与重大滑坡灾害之间的复杂关系,一方面岩性软弱,比较容易发生滑坡灾害;另一方面,岩性越坚硬,地形越高陡,也容易发生重大滑坡灾害。

7 结论

(1)研究区重大滑坡灾害的发育在空间上的分布并非均匀,具有明显的丛集性特点。研究发现札达、隆子和朗县的重大滑坡灾害发育最多,这3个县解译的重大滑坡均在20个以上;就滑坡发育密度而言,位于研究区内的林芝地区部分的滑坡发育密度最高,为0.038个·km⁻²,虽然其重大滑坡灾害的个数仅为5个。除未发现重大滑坡灾害的8个县城外,其余地区滑坡发育密度约为0.005个·km⁻²,差别不大。

(2)就重大滑坡发育密度而言,软弱岩组最高,略高于较硬岩夹较软弱岩组以及坚硬岩组。其次为较软弱岩夹较坚硬岩组、较软弱岩组、较软弱岩夹软弱岩组、较软弱岩夹坚硬岩组、较坚硬岩与较软弱岩互层岩组,拥有几乎相同的滑坡发育密度。其他的岩组发育率低一些,软弱岩夹较软弱岩组、较软弱岩夹较坚硬岩组中无重大滑坡灾害分布。

参考文献

- [1] 童立强,祁生文,刘春玲.喜马拉雅山东南地区地质灾害发育规律研究[J].工程地质学报,2007,15(6):721~729.
Tong Liqiang, Qi Shengwen and Liu Chunling. Preliminary study of geohazard development pattern in the southeast region of Himalaya

- Mountains, Chinese Journal of Engineering Geology, 2007, **15**(6): 721 ~ 729.
- [2] 王治华, 徐起德, 杨日红, 等. 中印边界附近帕里河上的滑坡灾害遥感调查[J]. 科技导报, 2007, **25**(6): 27 ~ 31.
Wang Zhihua, Xu Qide, Yang Rihong, et al. Remote sensing survey for a landslide disaster in the boundary River between China and India. Science & Technology Review, 2007, **25**(6): 27 ~ 31.
- [3] 吕杰堂, 王治华, 周成虎. 西藏易贡滑坡堰塞湖的卫星遥感监测方法初探[J]. 地球学报, 2002, **23**(4): 363 ~ 368.
Lv Jietang, Wang Zhihua, Zhou Chenghu. A tentative discussion on the monitoring of the Yigong landslide-blocked lake with satellite remote sensing technique. Acta Geoscientia Sinica. 2002, **23**(4): 363 ~ 368.
- [4] 徐宗学, 巩同梁, 赵芳芳. 近40a来青藏高原气候变化特征分析[J]. 热带资源与环境学报, 2006, **1**(1): 24 ~ 32.
Xu Zongxue, Gong Tongliang, Zhao Fangfang. Analysis of climate change in Tibetan Plateau over the past 40 years. Journal of Sub-tropical Resources and Environment. 2006, **1**(1): 24 ~ 32.
- [5] 任贾文, 秦大河, 康世昌, 等. 喜马拉雅山中段冰川变化及气候暖干化特征[J]. 科学通报, 2003, **48**(2): 2478 ~ 2482.
Ren Jiawen, Qin Dahe, Kang Shichang, et al. The characteristics of climatic change and glacier change in the middle of the Himalayas. Chinese Science Bulletin. 2003, **48**(2): 2478 ~ 2482.
- [6] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 2002, **21**(11): 701 ~ 707.
Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Liquan, et al. Preliminary division of tectonic units of Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions. Geological Bulletin of China. 2002, **21**(11): 701 ~ 707.
- [7] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
Bureau of Geology and Mineral Resources of TAR. Lithostratigraphy of TAR. Wuhan: China University of Geosciences Press. 1997.
- [8] 地质矿产部西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
Bureau of Geology and Mineral Resources of TAR. Regional Geology of TAR. Beijing: Geological Publishing House. 1994.
- [9] 中国地质调查局成都地质矿产研究所. 青藏高原及邻区 1: 150万地质图及说明书[EB/OL]. <http://www.ngac.cn/geodata/DigitalProduct/Default>, 2003/2007 ~ 4 ~ 7.
Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey. The Qinghai-Tibet Plateau and its Adjacent Area 1: 1500000 Description and Specification.
- [10] 国家技术监督局, 中华人民共和国建设部. 工程岩体分级标准(GB50218-94)[S]. 北京: 中国计划出版社, 1995.
State Bureau of Technical Supervision, Ministry of Construction of People's Republic of China. Standard for Engineering Classification of Rock Masses (GB50218-94). Beijing: China Planning Press, 1995.
- [11] 许强, 刘传正. 滑坡和危岩体. 中国工程地质世纪成就[M]. 北京: 中国地质出版社, 2004.
Xu Qiang, Liu Chuazheng. Landslide and Dangerous Rock Mass. The Century Achievement of Engineering Geology in China. Beijing: Geological Publishing House, 2004.
- [12] Keefer, D. K. Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution—the 1989 Loma Prieta, California event. Engineering Geology 2000, **58**, 213 ~ 249.