

云南滑坡

YUNNAN HUAPU NISHILIU YANJIU

唐川 朱静 等著

泥石流研究



商务印书馆

云南滑坡泥石流研究

唐川 朱静 等著

商务印书馆

2003年·北京

图书在版编目(CIP)数据

云南滑坡泥石流研究/唐川等著. - 北京:商务印书馆, 2003

ISBN 7-100-03594-5

I. 云… II. 唐… III. ①滑坡-研究-云南省 ②泥石流-研究-云南省 IV. P642.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 097147 号

所有权利保留。
未经许可,不得以任何方式使用。

云南滑坡泥石流研究

唐川 朱静 等著

商 务 印 书 馆 出 版

(北京王府井大街36号 邮政编码100710)

商 务 印 书 馆 发 行

北 京 冠 中 印 刷 厂 印 刷

ISBN7-100-03594-5/P·6

2003年5月第1版 开本 787×1092 1/16

2003年5月北京第1次印刷 印张 12 1/8

定价:32.00 元

内 容 简 介

《云南滑坡泥石流研究》是作者长期对云南省滑坡泥石流灾害区域性考察和分析研究的成果。

全书共七章三十二节,全面分析了云南省滑坡泥石流形成的环境背景,阐述了云南省滑坡泥石流灾害现状、活动特征、区域分布规律;探讨了云南省滑坡泥石流风险评价的基本原理,应用 GIS 空间分析技术完成了风险评价的基础信息分析、危险体评价、危险区划、易损性评价和风险评价等工作;提出了云南省滑坡泥石流空间信息系统的内容、功能和结构系统;建立了全省 5 039 个滑坡泥石流灾害点的基本信息系统,存储了与滑坡泥石流形成环境密切相关的环境背景和社会经济特征的空间数据库(层)。通过对全省 127 个气象台 35 年的逐日降水资料的统计,探讨了云南大雨、暴雨的时空分布、活动规律,并进行了大雨、暴雨的成因分析,计算出云南省 2001 ~ 2005 年各县逐日降水的预测值。在全面分析云南省滑坡泥石流区域活动规律基础上,结合云南省滑坡泥石流活动史、发育现状,进行了滑坡泥石流时间序列险情预测、用年(季)降水量预报灾害发生年份强度预测和区域灾情严重性预测,最后提出了减灾对策。

本书内容丰富,研究手段先进,可供从事地质灾害科研技术人员,以及从事环境保护、资源开发的管理工作者参考,亦可作为大专院校和减灾培训的教学参考书。

Landslide & Debris Flow in Yunnan, China

Abstract

Yunnan is one of the provinces seriously suffering from landslide and debris flow hazards, which are widely distributed and frequently occurred. They have a serious risk and long history. Therefore, the government and scientific departments pay more attention to the disaster mitigation and control of landslides and debris flows. To satisfy the increasingly urgent demand for prediction of natural disasters, hazard and risk assessment is one of the fundamental tools for helping the decision-making processes. This book focuses its research to regional zonation and long-medium term prediction for landslide and debris flow hazards. The purposes of the study are to make clear of prone areas and probability of landslide and debris flow occurrence based on analyses of basic formation condition and triggering dynamics of landslides and debris flows. The study methods were applied to justify probability and risk of landslide and debris flow occurrence in different zones of a certain region, such as analyses of specific factors in regional environment, mathematical statistics and factor overlay by using GIS. Through data collection, technical preparation, field survey, map digitations and integrated analyses, author completed the study of hazard and risk assessment as well as long-medium term prediction for landslides and debris flows in Yunnan.

In chapter one, author discussed environmental background for landslide and debris flow formation in Yunnan. Environmental characteristics and hazardous situation of 16 prefectures of Yunnan Province were further discussed. On the basis of the field survey, data collection, present situation, activity characteristics, type systems and regional distribution laws of landslide and debris flow hazards were discussed in chapter two. The basic principles and systematic methodology for zonation of landslide and debris flow hazards were approached and the frames for multiple objection and integrated assessment of Four Levels systems were established in this study. Basic information analysis, assessment of danger, hazard, and risk were also studied by the application of GIS. According to statistics of day by day precipitation data of 35 years in 127 meteorological stations of Yunnan province, author approached the distribution and activity laws of heavy rains of Yunnan, analyzed their causes, and computed their prediction values of day by day precipitation of all counties of Yunnan for the years of 2001 – 2005. Based on comprehensive analyses to regional activity laws of landslides and debris flows in Yunnan, Regional critical index of slope angle, rain amount, seismic intensity for landslides and debris flow occurrence were in detail discussed. Author also approached the prediction for landslide and debris flow occur-

rence by using following methods: hazardous situation of time series and annual intensity of disaster status based on annual precipitation forecast. In order to establish spatial information systems of landslides and debris flows, their function and structures were put forward for this system. Contents of the systems include inventory systems and spatial data base. The basic information systems stored data of 5 039 landslides and debris flows and natural environment, economic and social background in relation to formation of landslides and debris flows. At last countermeasures against hazards were put forward.

This study results show that availability of geographic information systems helps in proposing pertinent methods for the mapping of such risk, even though individual components of landslide and debris flow hazard can be difficult of access. The results of the study has also demonstrated how large amounts of disparate information can be effectively integrated and analyzed by GIS to provide an output which delineate landslide and debris flow risk and hazard classes and produce zonation maps. The proposed method for landslide risk assessment by geomorphologists is significant to provide planners and engineers with valuable tool for regional planning and construction work.

前 言

滑坡、泥石流是在多种内外自然因素共同作用下,在地壳表层以复杂突变形式演化形成的坡地发育过程,当其造成人民生命财产损失时就成为一种自然灾害。人类不合理的经济活动在一定程度上加剧了滑坡、泥石流的发展,从而使人类自身的生命财产安全和自身的经济活动受到日益严重的威胁。滑坡、泥石流已成为全球山地的主要自然灾害之一。虽然这类灾害通常不像地震、大洪水、飓风或其他自然灾害那样“壮观”或“影响巨大”,但它们却分布更广泛、发生更频繁,成为在大多数山地国家和地区造成经济损失和人员伤亡比任何其他灾种更大、更多的自然灾害,因而受到全世界的广泛关注。

云南省是一个多山的省份,其山地面积占 94%,且地形陡峻、切割破碎;加之地层岩性复杂,历次构造运动多变,地震活动频繁,降水集中,生态环境脆弱,是我国遭受滑坡、泥石流灾害最严重的省份之一。特别是 20 世纪 80 年代以来,云南山区建设开发速度加快、规模加大,导致滑坡、泥石流灾害发生频率和强度日趋增大。据 1949~1999 年的不完全统计,云南全省因滑坡、泥石流灾害死亡达 9 200 人,造成直接经济损失已高达 90 亿元;近 20 年来,滑坡、泥石流几乎平均每年造成 200 人死亡和 2 亿元以上的财产损失。根据“九五”期间我们建立的云南省滑坡、泥石流灾害数据库系统的资料,全省现有灾害性的滑坡、泥石流点 5 039 个,其中滑坡灾害点 2 018 处、泥石流沟 2 496 条、崩塌 525 处。这些灾害点直接危害或威胁全省 35 个县(市)、160 多个乡镇、3 000 多个自然村、150 余个大中型厂矿、480 公里铁路、3 000 多公里公路。1986 年以来,因严重的滑坡、泥石流灾害,撤销了碧江县制,搬迁了耿马、元阳、镇沅、西盟 4 个县城。

面对云南省日益突出的滑坡、泥石流灾情,云南省各政府部门、科研和生产部门都积极行动起来,开展滑坡、泥石流区域调查、评价

预测和综合防治研究。云南省科学技术厅十分重视自然灾害的科学研究,从“七五”到“九五”都将滑坡、泥石流灾害研究列入科技攻关计划,使云南省滑坡、泥石流灾害研究不断深入,水平不断提高,应用领域不断扩大,在减灾防灾工作中发挥出越来越重要的作用。

本书系云南省“九五”科技攻关计划和云南省中青年学术技术带头人培养项目资助课题的研究总结。本书的执笔编撰人员:

唐川:前言,第一章,第二章,第三章 § 3.1 ~ § 3.3 和 § 3.6 ~ § 3.8 节,第五章,第七章 § 7.4 节;

朱静:第三章 § 3.4 和 § 3.5 节,第四章,并负责本书涉及的 GIS 空间数据库建立、空间分析等技术工作以及本书的图件编制和有关统计工作;

段旭:第六章 § 6.1 节;

王峰、王裁云:第六章 § 6.2 节;

林海、施晓辉:第六章 § 6.3 节;

谭万沛:第六章 § 6.4 和 § 6.5 节;

唐晓春:第七章 § 7.1 ~ § 7.3 节;

张翔瑞、许新惠等参加了地形、地质、土地利用等图件数字化的基础工作。

在课题收集资料和分析工作中,始终得到了云南省政府抗灾救灾办公室、云南省计划委员会国土资源与整治办公室、云南省防洪抗旱指挥部办公室、云南省国土资源厅、云南省民政厅、云南省统计局、云南省土地局、云南省公路局、云南省农业厅、云南省地震局、云南省灾害防御协会、中国科学院成都山地灾害与环境研究所,以及各地州县政府和有关部门的大力支持和帮助。在出书之际还得到云南大学和云南省科技厅领导的鼓励和支持,在此谨向所有关心支持本书研究工作的单位和个人表示衷心的感谢和崇高的敬意。

著者

2002 年春节

目 录

前言	1
第一章 云南省区域环境特征	1
§ 1.1 自然环境特征	1
§ 1.2 社会经济环境	12
第二章 云南省滑坡泥石流灾害区域特征	14
§ 2.1 滑坡泥石流危害历史与现状	14
§ 2.2 滑坡泥石流活动特征	17
§ 2.3 滑坡泥石流分类系统	18
§ 2.4 滑坡泥石流区域分布特征	21
§ 2.5 云南省滑坡泥石流灾情综述	25
第三章 云南省滑坡泥石流灾害风险评价	47
§ 3.1 研究目的	47
§ 3.2 研究基础	48
§ 3.3 基本原理和层次分析	51
§ 3.4 评价指标	53
§ 3.5 基础数据分析	60
§ 3.6 滑坡泥石流危险度评价	61
§ 3.7 滑坡泥石流风险评价	67
§ 3.8 结论与讨论	74
第四章 云南省滑坡泥石流灾害空间信息系统研究	76
§ 4.1 系统目标	76
§ 4.2 系统内容和功能	77
§ 4.3 系统结构体系	80
§ 4.4 系统设计	83
§ 4.5 系统建设内容	88
第五章 云南省滑坡泥石流灾害损失评估方法	90
§ 5.1 滑坡泥石流灾害分类与等级划分标准	90
§ 5.2 滑坡泥石流灾害损失评估方法	94
§ 5.3 滑坡泥石流灾害调查与统计	98
第六章 云南省滑坡泥石流中长期趋势分析	101
§ 6.1 云南省大雨暴雨活动规律及成因	102
§ 6.2 云南省大雨暴雨的区域分布及年度概率分配	114
§ 6.3 云南省近 20 年和未来 5 年降水趋势分析	126

§ 6.4	云南省滑坡泥石流区域活动规律	137
§ 6.5	云南省滑坡泥石流灾害中长期趋势预测	147
第七章	云南省滑坡泥石流防治及其模式	165
§ 7.1	云南省滑坡泥石流防治现状	165
§ 7.2	云南省滑坡泥石流防治原则与方案	167
§ 7.3	云南省滑坡泥石流防治主要模式	171
§ 7.4	云南省滑坡泥石流减灾对策与建议	180
参考文献		182

第一章 云南省区域环境特征

§ 1.1 自然环境特征

云南省位于中国西南部,地处北纬 $21^{\circ}8'32''\sim 29^{\circ}15'8''$,东经 $97^{\circ}31'39''\sim 106^{\circ}11'47''$ 之间。其西部、西南部与缅甸为邻;南部与老挝、越南交界;西北、北部和东部则分别与西藏、四川、贵州、广西等四省(区)接壤。全省土地面积38.4万平方公里,2000年全省人口4280万人。云南省位于中国大陆西部世界屋脊青藏高原东南缘与西南部云贵高原的结合部位,是一个低纬度、高海拔、以山地高原为主的边疆内陆省份,大部分地区海拔在1000米以上。受诸多因素的制约影响,云南省自然环境的基本特点是:①地貌、陆地水、气候、生物区系等都具有明显的过渡色彩;②纬度和海拔高度同向叠加,由于非地带因素作用,自然生态环境复杂多样,堪称全国自然环境的缩影;③高差悬殊、地形复杂,自然生态环境的垂直变化异常明显;④自然带幅窄,自然生态系统容量小,自我调节能力弱,易受外界干扰,自然灾害频繁。

1.1.1 地形地貌

云南省地势北高南低,由西北向南与东南呈阶梯状下降。省内地形起伏,高差悬殊。最高点为滇西北与西藏交界处的太子雪山主峰卡格博峰,海拔6740米;最低点为滇东南河口县南溪河与元江交汇处,海拔仅76.4米。两地直线距离仅约842公里,高差达6663.6米。云南省地形以山地和高原为主,新生代初(约7000万年前),云南省为一准平原,后地壳上升成为高原。西部受河流切割成为陡峭山地,但保存有平坦高原面遗迹;东部经差异性抬升,形成北高南低的多山高原。全省山地和高原约占总土地面积的94%,坝子(山间盆地),包括湖泊在内,仅占6%。据统计,全省面积在1平方公里以上的坝子有1442个,总面积约2.4万平方公里。云南省地貌类型复杂多样,除具有褶皱、断层地貌、火山地貌、风化重力地貌、河流地貌、喀斯特(岩溶)地貌、冰川地貌外,还有各种特殊地貌。如火山熔岩地貌、砂岩地区的丹霞地貌、松散或胶结欠佳的沉积土层中形成的土林和沙林地貌、由地下水沉积物形成的泉华等。云南省地貌和山河分布大体受深大断裂带控制,形成从北西向东、南、西南三面展开的帚状格局。全省以红河、小江为界,分为滇西横断山、滇中红色高原和滇东喀斯特高原三大地貌区域。横断山北段为南北走向的高山、极高山峡谷,南段为北东—南西走向的滇西山原与北西—南东走向中山山地;滇中为紫色砂页岩组成的丘状高原;滇东为碳酸岩组成的喀斯特高原。

滇东喀斯特高原是以喀斯特地貌为主的高原,位于小江深大断裂以东地区,包括昭通、曲靖、红河、文山等地州市,海拔2000~4000米。山地呈南北走向,主要有乌蒙山、药山、牛首山等。河谷下切较深,断陷盆地发育,较大盆地有曲沾、罗平、师宗、路南、陆良等。

高原面上大面积出露上古生界及三叠系碳酸盐岩,占高原面积的 60%。喀斯特地貌十分发育,以溶斗、溶蚀洼地、断陷溶蚀盆地、石芽、石林、峰丛峰林、溶洞等为主。享有盛誉的石林、阿庐古洞等景观即分布在此高原上。

滇中红色高原是由紫色砂页岩组成的丘状高原。其位于小江深大断裂带以西、红河深大断裂及大理、剑川一线以东地区,包括大姚、楚雄、元谋、易门、昆明、安宁、玉溪等县市。由于三叠、侏罗系紫色砂页岩广布,故有“红色高原”之称。高原面保存较好,相对平坦,主要山地有大白草岭、小白草岭、三台山、拱王山等,呈南北走向,最高峰为拱王山主峰雪岭,海拔 4 344 米,平均海拔 2 000 米。山间盆地和断陷湖泊广布,主要坝子有嵩明坝、禄丰坝、楚雄坝、南华坝、姚安坝、玉溪坝、昆明坝;著名的高原湖泊有滇池、抚仙湖、杞麓湖、阳宗海等。

滇西横断山是云南西部南北走向的平行岭谷,位于元江谷地和大理、剑川宽谷一线以西。因山脉夹持江河连绵南下,交通横断,故名。北起青藏高原,南抵中南半岛,由压缩紧密的山地组成,岭谷平行相间。在宽约 150 公里的区域内,自西向东有高黎贡山、怒江、怒山、澜沧江、云岭、金沙江。山体高大,平均海拔 3 500 米以上,属高山、极高山区,发育有现代冰川。地势西北高、东南低,峡谷深壑将整个高原面切割成山原区。三江相距最近处在北纬 27°30′附近,直线距离 65 公里。怒江、澜沧江和金沙江三江江面,自西向东呈阶梯上升,海拔依次为 1 600 米、1 900 米和 2 100 米,水道狭窄,两岸陡峻,属典型“V”型深切峡谷,构成著名的国家级“三江并流”风景区。该区地质背景复杂,与板块活动有关的各种矿床类型均有显示,矿产资源丰富,构成举世闻名的滇西成矿带。滇缅边境腾冲地区,新生代火山活动比较强烈,火山地貌及地热资源闻名国内外。

1.1.2 地质构造

云南大地在漫长的地质年代中,由于地球相邻板块经纬向交替挤压、滑移,经历了多次地质构造运动,以及由此产生海陆变迁、岩浆活动、区域变质和褶皱、断裂等复杂的地质构造过程。大地构造位置处于特提斯—喜马拉雅构造带与滨太平洋构造带的复合部位。在长期地质发展过程中,经历了造山、造陆、海浸、海退等不同时期的演化阶段。在距今 8.5 亿年前的元古代晚期震旦纪,已发生以褶皱为主的晋宁运动、澄江运动,出现了高黎贡山古岛。古生代期间,地壳相对稳定,因振荡运动,海水时进时退,古陆台有所扩大。至距今 2.85 亿年的晚古生代二叠纪时,海浸范围扩大,云南普遍沉积了巨厚的碳酸岩;二叠纪末发生大规模玄武岩喷出,沿澜沧江断裂有大量花岗岩侵入。距今 2.5 亿年前中生代三叠纪的印支运动,基本上结束了云南地槽发展的历史,全境海退抬升为陆地。距今 1.4 亿年前的白垩纪燕山运动中,滇中一带凹陷盆地广泛沉积了巨厚的红色碎屑岩(滇中红层)、“禄丰恐龙”化石即发现于该地层中。距今 7000 万年至 4000 万年的新生代第三纪,产生差异性抬升,形成云南高原雏形;滇中产生了一系列断陷盆地并演化为湖泊和坝子;滇西发生强烈褶皱断裂,形成南北向横断山地。第四纪新构造运动,由于不等量差异抬升,云南高原在强烈抬升的同时向东南倾斜呈阶梯状下降,高原面解体;滇东高原面虽保存较好,但边缘地带受河流深切也形成了高差巨大的断块山和陷落盆地,盆地中沉积物较厚,“元谋人”化石即发现于更新世的地层内。新构造运动广泛控制着云南的岩浆活动、地

热分布和构造变形,同时还伴随着强烈的地震与火山活动,这对研究云南的地质地貌和矿产的形成均具有重要的意义。

云南地质构造复杂,历经历了多次构造运动。晋宁运动是最早的一次构造运动,滇东表现最为突出。加里东和华里西运动波及全省,其表现形式是升降运动。印支运动极为重要,滇西和滇东南地区在地层关系上反映明显,并伴有大规模岩浆侵入。燕山运动的表现形式是褶皱、断裂和岩浆活动等。喜马拉雅运动滇西尤甚,其地震活动频繁,并伴有岩浆喷发。根据地质力学观点,云南构造形迹主要有纬向、经向、山字型、歹字型、环状旋扭、华夏系和新华夏系等构造体系。纬向构造发育零散,大致分为:东川—渡口—鹤庆带,曲靖—武定—下关带和靖西—思茅带;纬向构造体系的褶皱紧密、翼角陡斜,多片理,具压性特征。经向构造在省内分布广泛,地貌特征显著,三江隆起带、川滇隆起带和黔桂隆起带及其间夹持的两个沉积带属之;著名的小江断裂、普渡河断裂、汤朗—易门断裂、元谋—绿汁江断裂、程海断裂、澜沧江断裂和怒江断裂等为经向构造体系的主要断裂构造。山字型构造占据本省中北部,它的官厅、石屏—建水、通海和晋宁四道前弧,由束状断裂和褶皱组合一起,向南突出;弧顶位置在东经 $102^{\circ}40'$,东翼发育八大河、黄泥河,兔场和威宁等四道反射弧,西翼反射弧为其他构造所切,形态残缺、脊柱挺立于昆明以北,部分脊柱断裂与经向构造重接复合;山字型的弧顶及脊柱部位岩石破碎,角砾岩和节理极为发育。

青藏滇缅巨型歹字型构造途经云南省西部,几乎占据全省一半面积,构造形迹极为醒目;金沙江—红河断裂带、石鼓—苍山—哀牢山构造带、羊拉—石钟山断裂带、安定断裂及变质带、思茅—兰坪构造带、崇山—勐海构造带、泸水—瑞丽断裂带、高黎贡山—盈江弧型构造带等,都属于这一体系,它们组合成北端紧束,向南撒开的帚状。华夏和新华夏系构造出现于滇东、滇东北地区,由一系列北东、北东向构造带组成;一般每个构造带的东北段褶皱发育,南西段断裂多,结构面属压性、压扭性均以反时针扭动为特征。

从板块构造观点看,云南处于亚洲板块与印度板块相接、活力最强的地带,也是亚洲大陆地质构造最复杂的地区。境内亚洲板块与印度板块相对运动,在边缘形成转换性古滑动断层,其规模巨大,长度可延展到千公里,其深度可达到地幔,属深大断裂性质。除上述印度板块和亚洲板块两个板块相对运动作用外,亚洲板块内的一些小板块也发生相互碰、滑动、引张、挤压、嵌合,形成一系列的大断裂,有的大断裂在云南境内延伸百余公里,深入地壳 10 多公里。

从上述构造体系可知,云南省地质构造运动再现强烈,断裂构造发育,特别是以经向构造和歹字型构造最为突出,它们不仅控制着云南现代地貌的发育,而且也基本控制了云南省滑坡、泥石流的发育和区域分布。深大断裂构造的破碎带及影响带可达几百米至数公里,沿断裂带软弱构造面发育,岩石破碎,形成了糜棱岩、破裂岩和角砾岩等动力变质岩,为形成滑坡、泥石流创造了有利条件。尤其是在两条以上断裂的交汇部位,例如小江断裂带、元谋—绿汁江断裂、红河断裂、怒江断裂、南江河断裂、程海断裂、澜沧江断裂、大盈江断裂等活动性断裂带都是云南省滑坡、泥石流密集、活动频繁的部位,普福滑坡、宁蒗长坪子滑坡、东川蒋家沟泥石流、大白泥沟泥石流等大型山地灾害就是受断裂构造影响而发育的。

1.1.3 新构造运动与地震

1. 新构造运动

云南新构造运动强烈,全区地形隆起速度快,垂直差异抬升显著,在地貌、地质、火山、地震、温泉等方面均有显示。其主要有以下特征:第一,晚近时期,云南处于掀升性隆起过程,其幅度不等,滇西大于滇东,北部大于南部;第二,具间歇性,隆升过程中有停顿,形成宽广的夷平面和数级剥蚀面;第三,具继承性,活动性断裂中较大者都是在老构造基础上发展起来的;第四,具补偿性,即断块差异运动形成的盆、岭地形间的调整关系;第五,新断层性质以高角度冲断层和正断层居多。按新构造运动的性质,全省可分为四种类型:

(1)掀斜抬升:云南属于大面积抬升,但抬升量不等,呈掀斜式抬升。滇西北抬升幅度大于3 000米,为强度隆升区,滇东北及滇西中部地区隆起幅度中等,滇南边境地区抬升幅度小于500米,隆升轻微,并有相对沉降发生。

(2)穹状隆起:滇中及滇东南新构造运动相对稳定,以穹状隆起为特征。穹隆中心地形崛起,周边水流发育,呈放射状或环形。

(3)断块升降:主要指昆明—曲靖、丽江—大理等地,这些地方随着云南大地的隆升,伴有差异补偿运动,相对下陷,断陷盆地密集发育。

(4)火山活动:腾冲地区曾发生多次火山喷发,近代还有数处基性岩喷溢。区内地震频繁,温泉众多,构造变形现象十分普遍。

新构造运动对滑坡、泥石流的发生和发展有很大的影响。云南省的滑坡、泥石流主要分布在新构造运动的抬升区或垂直差异性抬升地段,特别是垂直差异运动幅度和速度最大的地段滑坡、泥石流最为发育。一般在上升区,重力、流水下切等外动力地质作用强烈;下沉区,则形成巨厚的松散堆积物。由于地形高差增大,水系发育加速,流水侵蚀作用增强,各种不良物理地质现象范围扩大,松散碎屑物增多,为形成泥石流创造了物质条件。滇西北急剧抬升区,被密集的南北向大断裂切割,在河流的强烈侵蚀下,地势高差大、坡度陡,滑坡、崩塌、泥石流发育且分布广泛。滇东北、滇西中部的新构造运动亦很活跃,垂直运动差异性大,地震活动频繁。例如,东川小江断裂为康滇地轴与滇东台凹两构造区的分界线,差异性抬升明显,泥石流发育,分布密集。又如,沿程海断裂,宾川盆地东缘山地隆起幅度大,因而在山前发育一系列泥石流堆积扇。大理西侧点苍山由于山体大幅度抬升,已高出盆地2 000米,发育了苍山十八溪,溪沟内崩塌、滑坡密布,在山麓地带发育了三级套叠的泥石流堆积扇。丽江—大理一带深断裂纵横,新构造运动时期断裂活动较强,呈断块升降,盆地新生界厚度大,盆地边缘山地及深切河谷段山体不稳,因而滑坡、泥石流也很发育,例如金棉河发育的泥石流及其上游的超大型滑坡。大盈江位于腾冲断裂带内,新构造运动活跃,地震频度大,震中密集,山体稳定性极差,因而泥石流、滑坡活动极为强烈。

2. 地震

云南地处地中海—喜马拉雅地带和太平洋地带的过渡地区,在地震区划上属南亚地震系,青藏高原中南部地震区。由于受到印度板块向北推移的强烈影响,处于喜马拉雅弧与缅甸弧相交的部位,应力集中,因而云南省是中国地震活动最频繁、灾害最严重的省区

之一。主要有 6 个地震带(区):即小江地震带,通海—石屏地震带,中甸—大理地震带,腾冲—耿马地震带,思茅—普洱地震区及马边—大关地震带,均呈条带状分布。云南除腾冲附近有火山地震外,其余均属构造地震,震源深度多在 30 公里以内,一般为 10~20 公里,最浅 5~6 公里。云南地震的特点是:①频度高、强度大、有周期性现象。据史料及测定统计,从公元 886 年到 1996 年,云南已发生 $M \geq 5.0$ 级地震共 465 次,平均 2.4 年发生 1 次,其中 1900~1996 年发生 $M \geq 5.0$ 级地震 348 次,平均每年发生 3.5 次; $M \geq 7.0$ 级地震自公元 886 年到 1996 年发生 21 次,其中 1900~1996 年发生 13 次,占 65%,可见云南地震不但频度高且有增大趋势。两次地震间隔时间最长为 20 年,最短仅几分钟。②分布面广。据 1990 年(中国地震烈度区划图)分析,云南全省都有可能遭到地震烈度 VI 度以上的破坏,其中可能遭到地震烈度 VII 破坏的面积占全省总面积的 53.13%;可能遭到 VIII 度破坏的面积占全省总面积的 25.52%;可能遭到烈度 IX 度以上破坏的面积占全省总面积的 5.10%。③灾害损失严重。1970 年 1 月 5 日通海 $M7.7$ 级地震,一个县就死亡 15 621 人,伤 2.5 万余人;1988 年澜沧—耿马 $M7.6$ 级和 7.2 级地震,受灾 5 个地(州)、20 个县(市),共死亡 748 人,伤 7 751 人,震毁房屋 130.8 万间,受损坏 93.48 万间,损坏 10 座中型水库、190 座小型水库、5 454 条引水渠和 115 个小电站,3 464 公里通信线路中断,37 条公路遭到不同程度破坏,直接经济损失 20.5 亿元;1970~1976 年发生 3 次 7 级以上地震,造成 17 129 人死亡,占全国 1949 年 11 月 1 日至 1982 年震害死亡人数的 6.3%。

小江地震带是云南主要活动性地震带,位于云南东部地区,北起巧家,经东川、寻甸、嵩明、宜良到弥勒、华宁一带,东西宽 60~70 公里,南北长 350 公里。该带地震活动强度大、频度高,从 1500~1995 年共发生 6.0~6.9 级地震 11 次,7.0~7.9 级地震 3 次和 8 级地震 1 次;最高烈度是 1833 年 9 月 6 日嵩明杨林发生的 8 级地震,极震区烈度高达 X 度。地震最活跃地段是东川、嵩明、宜良和华宁等地。

通海—石屏地震带北西起南华经楚雄、易门、峨山、通海、石屏和建水一带,主要由北西向南华—楚雄、峨山—通海、石屏—建水等断裂带组成,长约 320 公里,东西宽约 90 公里。发生过 6.0~6.9 级地震 12 次、7.0~7.9 级地震 4 次;最大为 1970 年 1 月 5 日通海 7.7 级地震,震中烈度为 X 度强,是云南 20 世纪以来震级最大、破坏最重、死亡人数最多的一次地震。震灾最重的地段是峨山、通海、石屏、建水等县。

中甸—大理地震带北起中甸、向南经丽江、鹤庆、剑川、洱源、大理至南涧一带,南北长近 600 公里,东西宽约 70 公里。地震活动强度大、频度高,以中强度地震为主,弱震亦有活动。据历史记载: ≥ 4.7 级地震有 40 次,其中 6.0~6.9 级地震 17 次,7.0~7.9 级地震 3 次。中甸—大理地震带构造比较复杂,从洱源到弥渡是一条北西向红河深大断裂带的北端;洱源到剑川是一条北东向深大断裂;中甸到洱源是一条推测深断裂,带内新构造运动具有一致性,除中甸以外,弥渡、大理、洱源、剑川、鹤庆、丽江等地都是断陷盆地,构造运动主要表现为断陷与断块隆起运动,地震发生在断陷盆地边缘或盆地中心地带。

腾冲—耿马地震带是云南 1900 年以来地震强度最大、频度最高的地震带。西北起泸水经腾冲、龙陵、耿马、澜沧至打洛一带,西部包括缅甸一部分,呈北西向展布,全长 550 公里,宽约 170 公里。带内除腾冲一带有历史地震记录外,其余地区从 1923 年后才有较完整的地震记录。从 1929 年至 1995 年的 66 年中,发生 6.0~6.9 级地震 29 次、7.0~7.9 级地震 8 次(含国境外对云南省造成灾害的地震)。其中 1988~1995 年共发生 7.0~7.6 级

地震 3 次, 6.8 级地震 2 次。6.5 级以上强震, 常以强震群和双震类型出现, 如 1929 ~ 1934 年腾冲强震群, 发生 6 级以上 8 次, 1976 年龙陵 7.3 级和 7.4 级双震型, 1988 年澜沧 7.6 级耿马 7.2 级双震型, 极震区烈度皆为 IX 度。震灾较重的地段是耿马、澜沧、沧源、孟连及边界一带。

普洱—思茅地震区无明显带状的地震区。地震集中在普洱、思茅、江城、景洪一带, 分布在长、宽约 150 公里的范围内, 故称地震区。1923 ~ 1995 年共发生 $M \geq 6.0$ 级地震 9 次, 都集中在思茅、普洱, 呈密集团状分布。1965 ~ 1996 年的 30 余年中, 思茅、普洱地区发生 $M \geq 5.0$ 级地震 24 次, 其中 ≥ 6.0 级地震 7 次, 占同期云南 6 级以上地震的 25%。1973 年 3 月 15 日普洱 6.8 级地震, 最大烈度为 IX 度, 其余 IV—VII 度。

大关—马边地震带是川、滇、黔边界主要地震带。东南起贵州望漠经威宁进入云南彝良、大关到四川马边、雷波一带, 主要活动断裂为紫云—垭都断裂及大关至马边断裂, 呈北西向, 长约 210 公里, 宽约 80 公里, 6 级以上地震活动在马边—大关一带。从 1917 ~ 1995 年发生 6.0 ~ 6.9 级地震 6 次, 7 级以上地震 1 次。发生在 1974 年 5 月 11 日大关的 7.1 级地震, 极震区烈度为 IX 度。

强地震可显著降低岩土体的强度, 破坏自然斜坡的稳定性。地震诱发崩塌、滑坡、泥石流等灾害过程是地震附加惯性力对斜坡体变形破坏的直接效应。在短暂、突变的地震力反复冲击下, 可产生大量的构造或非构造断裂和地裂缝, 地面受到很大破坏。当斜坡体渐进性破坏变形和力学指标临近斜坡失稳的程度时, 便可能造成失稳形成滑坡或泥石流。地震可使老滑坡复活, 使衰退的泥石流转而旺盛发育。其所酿成的灾害在某些地区远远超过地震本身直接造成的灾害, 这不仅表现在地震当时产生的崩塌、滑坡、泥石流, 而且在于产生的“滞后性”的滑坡、泥石流连绵不断, 时刻影响山区经济建设和人民生命财产的安全, 这在云南山区表现尤为明显。例如, 东川小江地区 1733 年、1833 年强地震后滑坡、泥石流开始发育; 特别是 1966 年 6.5 级地震后, 蒋家沟、大白泥沟等十余条大型泥石流沟内, 两岸山体开裂发生大规模崩塌、滑坡, 形成上千万方的松散固体物质, 使该地区泥石流活动更加频繁和强烈。又如, 1974 年 5 月 11 日永善—大关地区发生 7.1 级地震, 诱发崩塌落石 42 处、滑坡 28 处、泥石流 6 处。1976 年 5 月 24 日, 龙陵、潞西地区发生 7.3 级和 7.4 级强烈地震, 震中烈度 IX 度强, 在随后的两个月内又发生 3 次 6 级以上的强余震, 造成新滑坡 8 处, 体积 136 万方, 老滑坡复活 25 处, 体积 1 953 万方, 新暴发泥石流沟 19 条。1979 年和 1981 年普洱勐先一带先后发生 6.8 级和 5.9 级地震, 沿斜坡产生了大量地裂缝, 沟谷积聚了大量松散固体物质; 1984 年 7 月遇强暴雨过程, 激发了千余处中小型滑坡和泥石流灾害, 据普洱县民政部门统计, 1984 年 7 月灾害造成的经济损失是 1979 年 6.8 级地震直接经济损失的 3.8 倍。1985 年 4 月 18 日禄劝转龙发生 6.1 级地震, 在普渡河六席至大油麦地和黑勒白一带约 22 平方公里范围诱发了 30 多处崩塌、滑坡灾害。1988 年 1 月 6 日澜沧、耿马发生 7.6 级和 7.2 级强地震, 两级地震叠加, 造成大面积崩塌、落石和滑坡。自耿马石佛洞小黑江以东约 6 公里的河谷集中分布有崩塌 50 多处; 在木嘎乡一带, 地震、滑坡有 12 处。此外, 在震中区, 沿公路线还有一定规模的滑坡、崩塌约 20 余处。

1.1.4 地层岩性

云南省地层从元古界至第四系均有出露。下元古界变质岩系呈巨大变质岩带分布,它们是哀牢山群、苍山群、崇山群、大勐龙群、高黎贡山群、苴林群和瑶山群,变质程度较深;中上元古界于滇东、滇西北出露,为昆阳群、澜沧群及石鼓群,前两者较轻微变质,其上覆震旦系地层,是一套陆相—浅海相沉积,为区内第一个盖层。滇东南屏边群和震旦系相当,亦有变质。古生界分布广泛,层序完整,以海相地层为主,碎屑岩、碳酸盐岩均有出露,二叠纪有大量玄武岩喷发,以滇东较为广泛。上古生界中碳酸盐岩厚度颇大,是云南喀斯特发育的主要层位,中生界沉积以碎屑为主,滇东、滇西均有出露。尤其以滇中大姚—楚雄,滇西兰坪—思茅的侏罗、白垩系陆相红色岩系最为发育,内含盐层,分别称为“滇中红层”和“滇西红层”。新生界分布零散。下第三纪古新统为一套陆相碎屑沉积,与上白垩统岩性连续过渡,为云南主要含膏盐地层,习惯上将其与红层一样看待。其上始新统、渐新统为砾岩及砂泥岩沉积。新第三系沉积仅限于山间盆地中,中新统、上新统为含煤建造。第四纪沉积成因类型多变,冲洪积、湖积、冰川以及残坡积均有。

省境内岩浆岩类型繁多,超基性岩、基性岩、中性岩、酸性岩、碱性岩皆有出露。晚古生代和中生代岩浆侵入和中、基性火山喷发最为强烈,规模大,分布广。临沧花岗岩是省内最大酸性岩基,出露于澜沧江断裂两侧,面积达1.7万平方公里。岩浆活动滇西比滇东强烈,腾冲近代仍有火山活动。云南易于产生滑坡、泥石流的岩层主要有以下几类:

1. 新生界地层

为固结性较差的河湖相黏土岩类和各种成因的松散堆积,极易产生崩塌、滑坡和泥石流。例如,南涧县城后山11条泥石流沟就发生在此类地层中。

2. 中生界陆相地层

中生界陆相地层(特别是含膏盐红层),岩层岩石固结性差,抗剪强度低,易软化和泥化,在干湿变化下胀缩作用明显,岩石表层崩解迅速,常形成较厚的碎屑层。该地层常含膏盐,在水的长期作用下,固结力会降低甚至失去;由于软化性大,当其处于边坡位置,特别当产状与坡向一致时,易产生滑坡。在该地层分布区滑坡、泥石流发育。例如,龙川江泥石流密布带,兰坪县拉井盐矿滑坡、镇沅县城滑坡等灾害点都产生于该类岩层中。

3. 煤系地层

煤系地层为砂泥质岩系,黏土岩类强度低,遇水易软化,组成的斜坡易产生滑塌,特别在采煤的影响下,斜坡更易失稳而发生滑坡、泥石流。如祥云鹿鸣河泥石流、镇雄县城滑坡、宁蒗长坪子超大型滑坡就属于此类。

4. 含凝灰岩夹层的玄武岩

玄武岩常夹数层凝灰岩或凝灰碎屑岩,对岩体稳定性影响很大,特别是当其产状顺坡时,边坡地段常见滑动。例如,以礼河三级电站苏家坪顺层滑坡和著名的禄劝普福超大型