

喜马拉雅山地区 重大地质灾害遥感调查研究

童立强 祁生文 安国英 刘春玲 著



科学出版社

北京

喜马拉雅山地区重大地质灾害 遥感调查研究

童立强 祁生文 安国英 刘春玲 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了西起阿里地区札达县、葛尔县,东侧以雅鲁藏布江为界,北界为雅鲁藏布江大断裂,南至国界的广大喜马拉雅山地区的重大地质灾害遥感调查成果。从遥感信息源、图像处理、地质灾害分类、地质灾害遥感解译等方面详细介绍了地质灾害遥感调查技术路线;从气候环境特征、地形地貌环境特征、植被类型及盖度、土地利用特征等方面详细分析了区内地质灾害发育的区域环境特征;从断裂特征、地层与岩性、工程地质岩组、新构造运动与地震等方面详细分析了区内地质灾害发育的区域地质特征;根据遥感调查结果分析了地质灾害分布特征;从10个方面分析了滑坡区域发育规律,从18个方面分析了泥石流区域发育规律,从5个方面分析了崩塌区域发育规律;详细介绍了区内溃决冰湖分布情况和产生的灾害情况,总结分析了冰湖溃决影响因素;详细介绍了区内重大地质灾害隐患分布及可能影响区域;建立了区域地质灾害易发性评价和危险性评价数学模型。本书可为西藏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。

本书可供从事工程地质、水文地质、环境地质、区域地质等相关领域的本科生、研究生以及生产、科研人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

喜马拉雅山地区重大地质灾害遥感调查研究 / 童立强等著. —北京: 科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-036763-1

I. ①喜… II. ①童… III. ①遥感技术-应用-地质灾害-调查研究-西藏
IV. ①P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 035800 号

责任编辑: 韩 鹏 张井飞 / 责任校对: 李 影

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100017

<http://www.sciencep.com>

北京天利彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2013年2月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013年2月第一次印刷 印张: 16 3/4

字数: 395 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

喜马拉雅山位于我国的西南边陲、青藏高原的西南，是世界上最大、最高、最年轻的山脉，世界第一高峰珠穆朗玛峰就坐落在这里。其上发育了许多规模巨大的现代冰川，冰斗、角峰、刃脊等冰川地貌分布广泛。雪线以下数千米范围内遍布冰塔林，相对高度为 40~50m。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，构成一道巨大的天然屏障，拦截印度洋西南季风，降水充沛，雪线较低。这里地质构造复杂，地震活动频发，新构造运动强烈，内外动力地质作用异常活跃，是我国地质灾害最严重的地区之一。近年来，伴随着全球气候变暖、生态环境恶化，喜马拉雅冰川正以平均每年 10~15m 的速度退缩，成为全球退缩最快的冰川之一。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。重大地质灾害的影响已经超越国界，殃及邻国。由于自然地理环境极度恶劣，高寒缺氧、地形切割极大、山峰多为冰川所覆盖，大部分地区人迹罕至，常规的以地面调查为主的区调方式难以开展，研究调查程度极低。

21 世纪以来，高新技术迅猛发展，遥感技术日新月异，大量的多时相、高精度遥感数据使得遥感手段逐渐成为地质灾害监测调查的先锋和主力军，这使得恶劣环境地区的地质灾害遥感调查成为可能。为此，中国地质调查局安排了“喜马拉雅山地区重大地质灾害调查与动态监测”项目，要求开展喜马拉雅山地区 1:25 万重大地质灾害遥感调查，指出重大灾害隐患部位，并初步探讨其稳定性及发育的地质环境背景。

项目从 2006 年开始实施，到 2009 年年底结题，历时 4 年。参加本研究的成员有童立强研究员、祁生文副研究员、安国英高工、刘春玲高工、丁富海高工、李小惠工程师、李丽工程师、张晓坤助工、李曼助工、程洋助工等。4 年来，项目组成员雨雪无阻、风餐露宿，爬高山、跨大河、越荒漠，克服高寒缺氧等种种困难，穿越线路累计 40 000km，取得了大量第一手资料，完成 1:25 万灾害与地质环境遥感解译图 170 000km² 以及 1:5 万地质环境遥感解译图 6000km²。

本书是该项目成果的升华和总结，是第一部系统研究喜马拉雅山地区地质灾害的专著，填补了区域研究的空白。全书共分 8 章，包括四大部分：第一部分是遥感地质灾害调查理论与方法（第 1 章，第 2 章）；第二部分是喜马拉雅山地区地理地质环境（第 3 章，第 4 章）；第三部分是喜马拉雅山地区重大地质灾害发育特征及隐患分布（第 5 章，第 6 章，第 7 章）；第四部分是喜马拉雅山地区地质灾害易发性划分及危害研究（第 8

章)。全书由童立强研究员、祁生文副研究员、安国英高工、刘春玲高工执笔，最后由童立强研究员、祁生文副研究员统稿完成。

本书的完成得到了中国地质调查局、中国国土资源航空物探遥感中心、西藏地质环境监测总站领导的大力支持和指导，得到了中国科学院地质与地球物理研究所的通力协作，在此表示衷心的感谢。感谢科学出版社韩鹏编辑的出色工作，他为本书的出版付出了巨大的努力，他中肯的意见、近乎苛刻的审校使得本书增色不少。

以遥感为手段研究地质灾害的热潮方兴未艾，系统地以遥感为手段研究地质灾害的专著寥若晨星。本书的内容是作者科研工作的一些总结和体会，希望它的出版能对这方面的工作有所推动，起到抛砖引玉的作用。由于作者水平所限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章	绪言	1
第 2 章	地质灾害遥感调查理论与方法	7
2.1	遥感信息源及图像处理	7
2.2	地质灾害分类及标准	8
2.3	地质灾害遥感解译方法及步骤	11
2.4	地质灾害遥感解译标志	12
2.5	区域地貌制图	16
2.6	区域坡度制图	17
2.7	地形坡向制图	17
2.8	区域绿度制图	17
2.9	综合分析编图	20
2.10	野外调查验证	20
2.11	地质灾害遥感调查执行标准	22
第 3 章	喜马拉雅山区域地理环境分析	23
3.1	概况	23
3.2	气候环境特征	24
3.3	地形地貌环境特征	24
3.4	植被类型及盖度	32
3.5	土地利用特征	34
第 4 章	喜马拉雅山地区区域地质环境分析	36
4.1	断裂特征	36
4.2	地层与岩性	39
4.3	岩浆岩与混杂岩	45
4.4	工程地质岩组划分	46
4.5	新构造运动与地震	54
第 5 章	喜马拉雅山地区地质灾害遥感调查	58
5.1	地质灾害的遥感调查概况	58
5.2	滑坡遥感调查	60
5.3	泥石流遥感调查	80
5.4	崩塌遥感调查	112
5.5	喜马拉雅山地区溃决冰湖遥感调查研究	112

第 6 章 喜马拉雅山地区潜在重大地质灾害隐患	125
6.1 滑坡灾害隐患分布	125
6.2 泥石流灾害隐患分布	137
6.3 河流堵塞隐患	139
6.4 喜马拉雅山地区冰湖溃决灾害隐患分布	148
第 7 章 喜马拉雅山地区重大斜坡地质灾害发育规律及其特征	181
7.1 滑坡发育特征研究	181
7.2 泥石流发育特征	192
7.3 崩塌发育特征	208
第 8 章 喜马拉雅山地区斜坡地质灾害易发性划分及危害研究	212
8.1 区域斜坡地质灾害易发性分析的层次分析模糊数学 (AHP-FUZZY) 方法	212
8.2 研究区斜坡地质灾害易发性分析的确定性系数 (CF) 方法	234
8.3 研究区斜坡地质灾害的风险评价	246
结束语	250
参考文献	253
附表 1 滑坡野外调查表	257
附表 2 泥石流 (潜在泥石流) 调查表	259

第 1 章 绪 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,这里地质构造复杂,地震活动频发,新构造运动强烈,内外动力地质作用异常活跃,是我国地质灾害最严重的地区之一,地质灾害对国民经济和社会发展带来了极大危害,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。

据不完全统计,西藏全区呈个体分布的溃决冰湖有 17 个,多散布在海拔 5000m 左右的现代冰川附近,绝大部分分布在喜马拉雅山地区。尽管大多数冰川湖面积小,蓄水量也不大,但一经溃决,其溃决水流的冲毁力是不可低估的。冰湖溃决往往造成突发性洪水和泥石流,给下游居民的生命财产造成巨大损失。1954 年 7 月 16 日,年楚河上游康马县桑旺错冰湖溃决形成稀性泥石流洪水,造成下游康马县、江孜县、白朗县及日喀则市两万多人受灾、死亡约 400 人、淹没农田 5733hm²、毁坏农田约 866.7hm² 的特大灾害。1981 年 7 月 11 日,聂拉木县次仁玛错冰湖溃决造成泥石流,水头高达 25m,摧毁 1 座跨度为 20m 长的钢筋混凝土桥梁——友谊桥,附近的建筑物包括友谊亭、邮件交换房、守桥部队营房及岗楼均被冲毁,并冲毁中尼国家公路,进入尼泊尔,酿成严重灾祸,死亡人数 200 余人。

作为特殊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,大部分地区人迹罕至,研究调查程度低。几十年来中外地质学家在喜马拉雅山地区开展了一些地质研究与调查工作,同时,西藏自治区也在该区开展了水文地质调查工作,特别是近几年也开展了相应的生态环境调查,概括起来有以下 3 项主要工作。

(1) 基础地质调查。西藏自治区地质工作始于 20 世纪 30 年代,50 年代有较大发展。主要有:原地质局综合普查大队、西藏地质矿产局区域地质调查大队等单位在 20 世纪 70 年代对喜马拉雅山地区进行了 1:100 万地质调查与编图,主要工作内容为传统区域调查和地质填图,以找矿和基础地质编图为目的,并对该区进行了小比例尺构造编图。重点区开展了以找矿为直接目的的 1:5 万地质填图;1993 年西藏自治区地质矿产局编制完成的《西藏自治区区域地质志》;1999 年开始新一轮国土资源大调查以来,中国地质调查局对这一地区部署了喜马拉雅山地区 1:25 万的区域地质调查,到 2008 年大约完成了 75% 的面积;并针对一些重要成矿区带分别进行了不同比例尺的地质调查工作,如雅鲁藏布江成矿带矿产资源调查评价;在工作程度极低地区,部署开展了战略性矿产勘查远景调查。上述区域普查工作对区内自然地理、地层岩性、地质构造、矿产等方面进行了研究。

(2) 前期遥感解译与调查。为了配合空白区 1:25 万区域地质调查工作,特别是在喜马拉雅这种特殊的地区,在开展区调之前,对这一地区进行了相应比例尺遥感解译与调查,因为在这一地区基本没有开展 1:50 万的地质填图工作,很多地区的地面是根本

无法达到的。利用遥感技术,辅以适当的野外调查,以遥感影像单元为单位进行遥感解译与编图,为区调设计和连图提供服务。

(3) 生态地质环境调查。西藏生态环境脆弱,大规模开发建设势必给生态环境带来巨大压力。由于西藏生态环境不断恶化,近几年来,中国地质调查局在这一地区展开了相应的生态地质环境调查,由中国国土资源航空物探遥感中心承担的“青藏高原生态地质环境遥感调查与监测”项目取得了阶段性成果,显示:①青藏高原的冰川面积 30 年来减少 4420.78km^2 , 20 世纪 70 年代为 $48\,859.18\text{km}^2$, 到 21 世纪初为 $44\,438.40\text{km}^2$, 冰川面积平均每年减少 147.36km^2 , 总减少率达 9.05%。绝大部分冰川的冰舌处于退缩状态,大部分的雪线在上升,上升最多处有几百米;②青藏高原冰川消减程度依山系、位置不同而不同。帕米尔高原、喜马拉雅山、冈底斯山和喀喇昆仑山的冰川消减最为严重;③青藏高原的荒漠化总体面积虽然变化不大,但程度却明显加大。20 世纪 70 年代荒漠化面积为 $467\,331.72\text{km}^2$, 到 21 世纪初为 $506\,074.79\text{km}^2$ 。30 年来,荒漠化面积增加了 $38\,743.07\text{km}^2$, 增长率为 8.3%;④青藏高原分布有大型-超大型崩塌、滑坡、泥石流地质灾害点 2118 处,其中崩塌 192 处、滑坡 380 处、泥石流 1546 处,灾害大多发生在地形复杂、坡度大、切割深的高山峡谷地段,大致以拉萨—西宁一线为界,北西部分以泥石流为主,东南部分崩塌、滑坡、泥石流共存。中国地质科学院地质力学研究所对青藏高原生态地质环境两年多的遥感调查与监测,调查结果确认青藏高原河流湖泊生态地质环境正在恶化。河流径流量总体持续减少,这意味着我国水资源将日益匮乏。20 多年来雅鲁藏布江径流量减少了 22.2%, 澜沧江减少了 10.1%, 雅砻江减少了 9.6%, 金沙江减少了 6.7%, 减少幅度远大于西北内陆河。湖泊环境恶化主要表现在天然湖泊总体呈萎缩趋势,湖泊干涸,湖水咸化,含盐量增加,湖泊沼泽化,有的湖泊已消亡。部分新增扩张的湖泊缘于冰山融化,雪线退缩。喜马拉雅山东绒布雪线 2005 年比 2002 年垂直距离退缩 50m, 比 40 年前斜距退缩 2000m, 冰雪融化导致湖泊扩张是生态地质进一步恶化的标志。

1990 年,原地矿部九一五水文地质工程地质大队编制完成的 1:100 万《拉萨幅-错那幅区域水文地质普查报告》。青藏高原研究所于 2004 年对纳木那尼峰、格拉丹冬进行了冰川考察和冰芯钻探工作;2003 年西藏自治区地热地质大队开展了《西藏自治区洛扎冰湖调查》;2005 年 6 月,西藏自治区地质环境与灾害防治科学研究所开展了《西藏自治区聂拉木县冰湖调查》。上述工作对喜马拉雅山地区冰川及冰湖溃决泥石流灾害的研究具有很好的参考价值。

近年来,先后开展了米林县、洛扎县、聂拉木县、朗县、亚东县的地质灾害调查与区划工作,在聂拉木县樟木镇开展了地质灾害综合勘察评价、专项治理工作。上述工作对了解喜马拉雅山地区地质灾害发育特征、危害方式及地质灾害的防治提供了一些成功的经验。

此外,近年来西藏自治区国土资源厅组织专家先后在喜马拉雅山地区开展了以下工作:①聂拉木县冲堆河上游冰湖溃决泥石流灾害应急调查;②定结县琼孜乡强木河(给曲)发源地的皮达湖、龙巴萨巴湖溃决险情两次应急调查及冰湖动态监测;③隆子县加玉乡伦巴村特大滑坡地质灾害应急调查并采取了避让搬迁措施;④洛扎县贡祖沟冰湖溃

决泥石流应急调查；⑤阿里地区札达县曲松乡发生山体崩塌堵塞帕里河形成堰塞湖之后发生溃决的应急调查和遥感分析。

另外，在中国地质调查局统一部署下，1:100 万区域重力调查、1:100 万航磁概查、1:50 万~1:20 万区域化探、1:50 万~1:25 万区域水文和生态环境地质调查等工作陆续开展，在水文地质环境地质调查评价方面以干旱缺水区和地质灾害严重地区为重点，先后部署开展了一些水文地质、环境地质和地质灾害调查与治理工作，地质环境与灾害调查评价取得显著成效。先后完成了 11 个县（市）地质灾害调查与防治区划，系统查明了这些县突发性地质灾害的发育现状、分布、潜在危害程度等。共调查地质灾害点 845 处，地质灾害隐患点 1331 处。与地方政府一道，部署地质灾害勘查与治理工程 12 项，避免了灾害体可能影响范围内的城市基础设施、道路交通、居民生命和财产损失。完成了西藏地区 1:50 万区域环境地质调查工作，初步查明了西藏地质环境状况以及在自然和人类工程活动作用下地质环境的演化趋势。系统调查了青藏铁路沿线活动断层与地质灾害，为优化青藏铁路设计施工方案提供了重要依据。同时，发现了若干灾害隐患，并提出相关的防灾建议。正在建立青藏铁路沿线活动断裂的综合监测系统，对保障青藏铁路顺利建设和安全运营具有重大意义。

近几年来，伴随着温室效应，气温上升使得冰川融化变快，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，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。

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（图测坐标位置，39°19′13″N、78°44′03″E），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 m³，给楚鲁松杰村带来了巨大的损失，灾害波及印度境内帕里河流域；印度反应强烈，曾几次为帕里河堰塞湖事件照会中国外交部；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。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 高的洪峰连续 6h，造成易贡藏布、帕隆藏布和雅鲁藏布大峡谷地域全体桥梁被冲毁。另据法新社报道：“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。”

为此中国地质调查局非常及时地安排了“喜马拉雅山地区重大地质灾害调查与动态监测”项目。所谓重大地质灾害，根据中国地质调查局《崩塌滑坡泥石流灾害详细调查规范》（1:5 万审定稿）地质灾害危害程度分级标准，对可能发生的地质灾害危害程度的预测分级为重大级以上的称为有重大地质灾害隐患，即受威胁人数大于 100 人，或者受威胁经济大于 500 万的地质灾害隐患。

项目要求利用遥感卫星数据，开展喜马拉雅山地区 1:25 万重大地质灾害遥感调查，初步查明滑坡、崩塌、泥石流、冰川湖和堰塞湖等重大地质灾害分布状况，指出重大灾害隐患部位，并初步探讨其稳定性及发育的地质环境背景。在此基础上，开展重点

区雅鲁藏布江大峡谷入口直白段、隆子县伦巴乡地区、札达县香孜曲下游底雅乡段、定日县扎果乡及岗嘎镇以东的中尼公路段（G318）、聂拉木县门布以西的中尼公路段（G318）、朗县的朗镇、拉多乡、金东乡地区和措美县德穷以下曲惹曲段、洛扎县洛扎雄曲的中麦至扎嘎段以及危险冰湖（包括洛扎县鲁惹错、白马错，康马县桑旺错、白湖、雅拉错、钟勤错、查朵贡巴错、藏玛桑错，亚东县养莫可朗错、朗错、日阿戈错，岗巴县洛奔强嘎错，定结县直习错、金错、虾错，定日县玛朗错，聂拉木县查玛曲旦错、帕曲错、郭骆错、郭骆强错、拉曲错）等重大地质灾害 1:5 万遥感调查。

工作区如图 1-1 所示位于西藏自治区南部的喜马拉雅山地区，西起阿里地区札达县、葛尔县，东侧以雅鲁藏布江为界，北界为雅鲁藏布江大断裂，南至国界，经纬度范围 $78^{\circ}\sim 95^{\circ}30'E$ ， $26^{\circ}\sim 33^{\circ}N$ ，东西长约 1700km，南北宽约 60~250km。从西到东包括葛尔、札达、普兰、仲巴、萨嘎、吉隆、聂拉木、定日、定结、岗巴、亚东、康马、浪卡子、洛扎、措美、错那、隆子、曲松、加查、朗县、米林、林芝、墨脱等 23 县，总面积 168 278.4km²。表 1-1 是各县在研究区的面积一览表。

表 1-1 各县城在研究区面积一览表 (单位: km²)

县名	在研究区面积	县名	在研究区面积	县名	在研究区面积	县名	在研究区面积
葛尔	5300.5	札达	24 703.5	普兰	8003.0	仲巴	11 760.5
定结	3395.8	岗巴	2035.1	亚东	4126.4	萨嘎	2942.4
隆子	9664.5	曲松	434.5	加查	642.3	吉隆	6251.5
朗县	3051.6	米林	5099.1	林芝	131.6	洛扎	4791.3
墨脱	17 688.2	康马	4811.4	浪卡子	2140.4	聂拉木	4794.2
定日	8500.5	措美	3072.6	错那	35 137.6		

根据总体目标和工作内容要求及以往同类工作经验，喜马拉雅山地区重大地质灾害遥感调查工作，不同调查精度采用不同的影像数据，以 ENVI 为图像处理的软件平台，以 MAPGIS 作为专题因子遥感解译提取的软件平台。调查以遥感解译为主，实地核查为辅，从宏观到微观，从小比例尺到中比例尺，逐步深化，室内综合研究与实地调查相结合的技术路线（图 1-2）完成工作任务。本研究采用了如下 5 个步骤。

(1) 全面收集区域自然地理情况、生态环境、地质灾害、地质构造背景及地貌与第四纪地层的系统研究资料，包括地质测绘资料、遥感影像资料、气象雨量资料、地形地貌条件、土地利用资料、区域地质构造、区域地层岩性、地壳运动历史、河谷发育历史、冰川发育史、地质灾害以及地震稳定性成果等，基本弄清本区地质历史。

(2) 制作全测区卫星影像图（最近时相），综合已有资料，进行适当的野外工作，针对测区各灾种的重大地质灾害（包括崩滑流和冰川湖等），建立了较为准确的遥感解译标志。

(3) 以 ETM 数据为基础进行全测区重大地质灾害初步解译，制作本区地质灾害的分布图，建立地质灾害数据库。

(4) 通过遥感资料的解译、对比研究以及大量的前人资料分析，编制工作区地质灾害地质环境图。

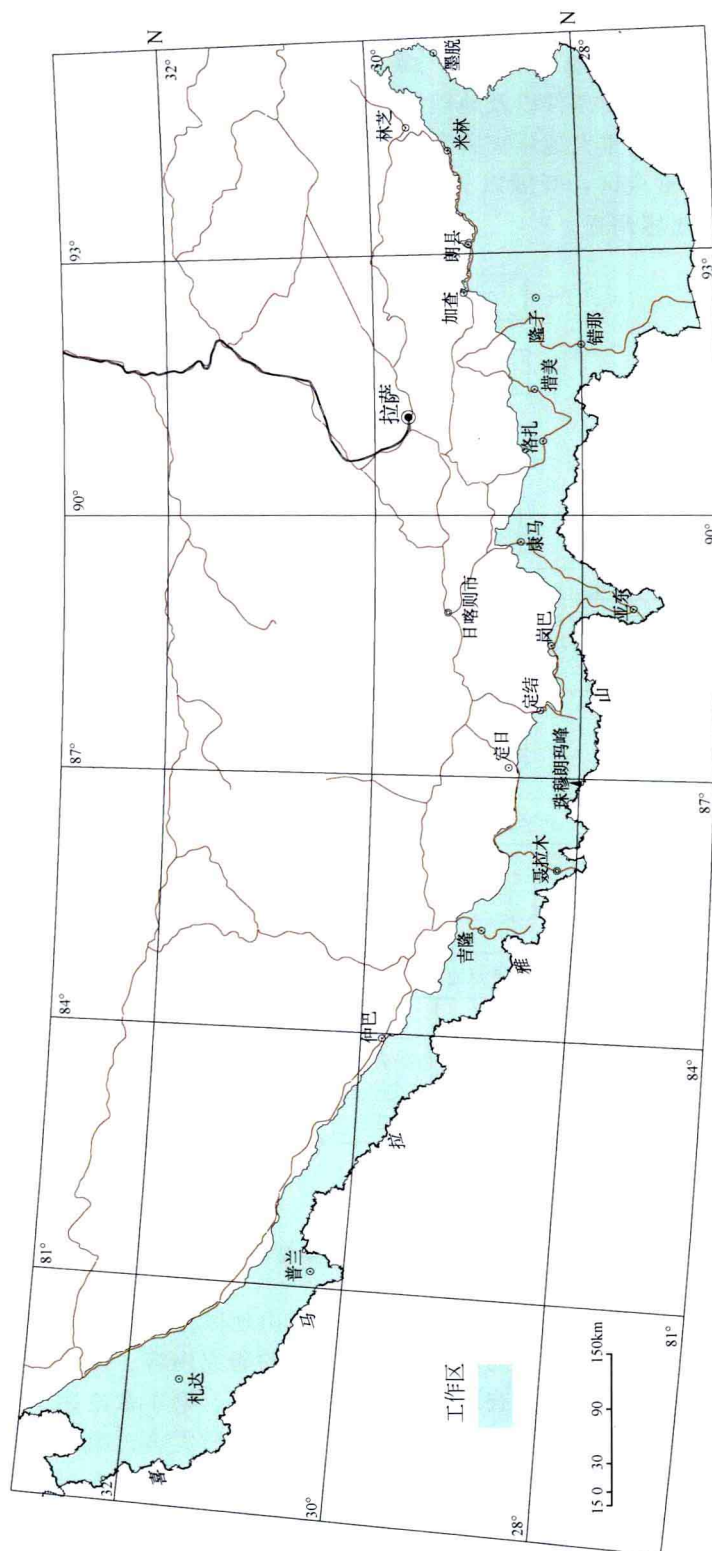


图1-1 工作区位置图

(5) 进一步研究喜马拉雅山地区重大地质灾害的类型、分布范围、规模及其发育规律，分析各灾种与基本地质地理条件如气象水文、地质构造、地层岩性、新构造活动、外动力地质现象、水文地质条件以及地震地质条件等的关系，制作本区地质灾害的易发性遥感预测图。并筛选出重大地质灾害密集区及影响城市基础设施、道路交通、居民生命和财产的地质灾害重点区，开展以 ALOS、SPOT-5 及 QuickBird 等高精度影像数据为信息源的 1:5 万遥感调查。

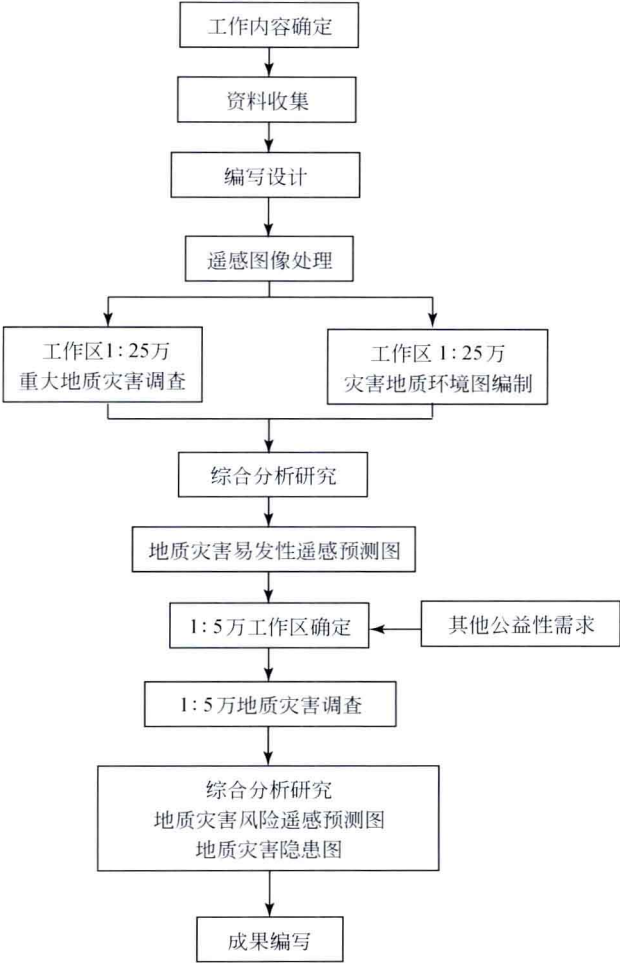


图 1-2 技术路线流程

全书共分 8 章：第 1 章绪言主要论述了喜马拉雅山地区重大地质灾害遥感调查研究的背景、喜马拉雅山地区地质灾害的研究现状，本书的研究内容、研究方法以及章节安排；第 2 章论述了遥感地质灾害调查理论与方法；第 3 章、第 4 章论述了喜马拉雅山地区地理地质环境；第 5 章论述了本次遥感调查所得重大地质灾害；第 6 章分析了喜马拉雅山地区潜在重大地质灾害隐患；第 7 章分析了喜马拉雅山地区重大斜坡地质灾害发育规律及其特征；第 8 章分析了喜马拉雅山地区斜坡地质灾害易发性划分及危害研究。

第 2 章 地质灾害遥感调查理论与方法

2.1 遥感信息源及图像处理

由于需进行不同比例尺、不同范围的遥感调查监测，故采用多种分辨率类型遥感图像。表 2-1 为本书所采用的遥感数据源及其特征。时相第一选择为夏季。

表 2-1 工作使用的遥感数据及特征

卫星类型	波段特征	图像处理	用途
ETM	可见光至红外的 8 个波段	经多光谱合成及融合处理形成 15m 分辨率的多光谱图像	1：25 万调查区，地质灾害调查、地质环境编图
ASTER	可见光 3 个波段，近红外 1 个波段	经多光谱合成 15m 分辨率的多光谱图像	1：25 万、1：5 万调查区，地质灾害调查、地质环境编图
SPOT5	可见光至红外的 4 个波段，1 个全色波段	经多光谱合成及融合处理形成 2.5m 分辨率的多光谱图像	1：5 万调查区，地质灾害调查、地质环境编图
QuickBird	全色及多光谱共 4 个波段	经多光谱合成及融合处理形成 0.6m 分辨率的多光谱图像	溃决灾害风险冰湖调查
OrbView	全色及多光谱共 5 个波段	高精度正射影像	溃决灾害风险冰湖调查
ALOS	多光谱，1 个全色波段	经多光谱合成及融合处理形成 10m 及 2.5m 分辨率的多光谱图像	1：5 万调查区，地质灾害调查、地质环境编图

图像处理的方法有如下 6 种。

(1) 图像坐标系及投影。坐标类型：投影平面直角；椭球参数：北京 54；投影类型：高斯投影，6°分带。

(2) 图像纠正。影像图制作参考《遥感平面影像图制作规范》GB15968—1995 执行。在 1：5 万或 1：10 万地形图（有的地区无 1：5 万地形图）上选取控制点进行正射纠正。为使图像与地理底图精确叠合，在几何变换中选取控制点对在 12~20 对间，点对排布均匀。校正后的图面误差一般小于 0.8mm，最大为 1.6mm。

(3) 图像配准。对于不同时相或者不同卫星的同一工作区影像，先将高分辨率全色图像进行正射纠正之后，再与较低分辨率的多光谱图像进行配准，实现图像的纠正配准。利用图像处理软件的连接和分层交互显示功能，目视检查图像配准精度，主要特征位移小于两个像素即为合格。

(4) 图像镶嵌。为避免镶嵌图像上的明显接缝，在镶嵌过程中采用了曲线接边处理

方法和直方图色彩匹配法，从而保证图像镶嵌质量。

(5) 彩色合成波段选择。由于人眼对色彩的识别能力大大高于对灰度的识别能力，解译基础影像大都采用彩色合成图像，而彩色图像进行合成时，关键是波段的选择。理想的合成波段是相关系数最小，方差最大，此时信息量丰富。相关系数反映了波段相关程度，其值越小，信息的重叠量就越小；方差反映像元亮度值离散度，方差越大，信息量越丰富。根据应用目的不同，波段的选择也各有侧重。根据以往工作经验及卫星数据的波段情况，ETM 多光谱数据采用 7(R)、4(G)、1(B) 三个波段进行彩色合成（图 2-1）；ASTER 多光谱数据采用 2(R)、3(G)、1(B) 三个波段进行彩色合成，ALOS 多光谱数据采用 3(R)、4(G)、1(B) 三个波段进行彩色合成；SPOT5 多光谱数据采用 2(R)、3(G)、1(B) 三个波段进行彩色合成；QuickBird 多光谱数据采用 3(R)、4(G)、1(B) 三个波段进行彩色合成。

(6) 数据融合方法。数据融合，是指将不同类型传感器或同一传感器的不同类型数据进行空间配准，将各数据的优势或互补性有机结合起来产生新数据的技术过程。融合的目的有两个：一是用于信息的提取，要求原始数据的处理不得产生光谱扭曲，以利于建立解译标志，减少判读的不确定因素；二是用于背景图制作，要求图像清晰、色彩鲜艳。目前融合的主要方法有 IHS 变换、Brovey 变换、主成分变换、线性加权乘积、加法等。书中使用了 IHS 变换法。

2.2 地质灾害分类及标准

喜马拉雅山地区地质灾害主要有滑坡、泥石流、崩塌、冰湖溃决及堰塞湖溃决灾害。

2.2.1 滑 坡

滑坡系指斜坡物质沿一定的滑动面，整体滑落的变形破坏形式，其产生的基本原理是斜坡的部分岩土体滑动力超过抗滑力的结果。

根据遥感技术特点，依据滑坡的平面面积，我们将滑坡分为巨型、大型、中型以及小型规模进行归类（表 2-2）所示。其中、巨型滑坡平面面积大于 100 万 m²，大型平面面积 10 万~100 万 m²，中型滑坡平面面积 1 万~10 万 m²，小型平面面积小于 1 万 m²。

表 2-2 滑坡、泥石流规模级别类型

级别	滑坡/万 m ²	泥石流/万 m ²
巨型	>100	>5
大型	10~100	2~5
中型	1~10	0.2~2
小型	<1	<0.2



图2-1 喜马拉雅山ETM卫星影像图

也可以根据滑坡的物质组成进行归类，将滑坡分为堆积层滑坡和基岩滑坡，前者包括黏性土滑坡、碎石土滑坡以及风化壳滑坡，后者包括切层滑坡和顺层滑坡，见表 2-3。

表 2-3 滑坡物质成分类型

类型	特征说明	亚类
松散堆积物滑坡	滑坡体组成以第四纪各种不同成因类型（坡积、洪积、冲积和残积）的松散堆积物（包括半胶结的砂砾石层、黄土等）为主，泥、砂、砾大小混杂	黏性土滑坡
		碎石土滑坡
		风化壳滑坡
基岩滑坡	滑坡体组成以基岩为主，岩石类型相对较单一	顺层滑坡
		切层滑坡

2.2.2 泥 石 流

泥石流是松软松散土体和水的混合体在重力作用下沿自然坡面或压力坡流动的现象。这类现象多发生于山地之中，常常给人类社会和自然环境造成危害或灾难。泥石流主要特征为：暴发突然，历时短，一次泥石流过程一般从几分钟至数小时；泥石流破坏力强。

泥石流可以按其水源条件、流域形态和泥石流堆规模大小、发育阶段等 4 类指标进行分类。

根据水源条件，泥石流可以分为以下 4 种类型。

（1）雨水型泥石流：主要以降水作为水源而形成的泥石流。流域最高高程多数小于 5000m。

（2）冰雪（消融）型泥石流：主要以高山冰雪融水作为水源而形成的泥石流。流域最高高程多数大于 5000m。

（3）溃决泥石流：主要以湖、库溃决水作为水源而形成的泥石流。

（4）混合型泥石流：在高山冰川积雪边缘地带，以冰雪融水和降雨两者作为水源而形成的泥石流。混合型泥石流一般规模较大，在高山冰川积雪边缘地带较为常见。

按流域形态，泥石流可以分为两种类型。

（1）沟谷型泥石流：泥石流的发生、运动和堆积过程在一条发育较为完整的沟谷进行，固体物质主要来源于河床和斜坡上的固体物质。按流域形态把沟谷型泥石流分为了长条状和漏斗状。

（2）坡面型泥石流：泥石流运动过程发生在山坡地面或坡上的小冲沟之中，堆积在坡脚或小冲沟出口，固体物质主要来源于小沟两侧的斜坡地带。

因本次工作比例尺小和研究目的是重大地质灾害调查，只调查了可能形成重大地质灾害的沟谷型泥石流，所以未把坡面型泥石流考虑到调查中。

根据遥感技术特点，按泥石流堆积物平面规模将泥石流分为：特大型、大型、中型、小型泥石流（表 2-2）。这里的分类与教科书规模分类有显著的不同，其大小可能不是一次堆积规模的大小，特别是喜马拉雅山地区的泥石流多数是高频的，泥石流堆多为