

首都师范大学

硕士学位论文

基于GIS的北京山区地质灾害风险评价研究

姓名：李岩

申请学位级别：硕士

专业：地图学与地理信息系统

指导教师：李小娟;赵文吉

20080523

## 摘要

地质灾害是由于自然或人为诱发的对人民生命和财产安全造成危害的地质现象。北京地区的地质灾害主要有崩塌、滑坡、泥石流、采空塌陷、隐伏岩溶塌陷和砂土液化。随着城市的发展、人口的剧增、各种社会经济活动和工程建设的发展,地质灾害程度日益加重。北京市是我国的首都,全国的政治文化中心,崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害不断发生已经引起社会的广泛关注。为满足对地质灾害的防治与预测的要求,地质灾害评价已成为辅助决策过程的重要工具之一。针对北京地质灾害的特点,在 GIS 技术的支持下,研究北京山区地质灾害的特点、分布并进行风险评价,有助于更好地认识北京地质灾害的发生、发展过程,从而更有效地进行防灾减灾,对保护人民的生命和财产安全具有十分重要的理论和现实意义。

本文研究的地质灾害主要是崩滑塌和泥石流,研究区域为北京有山地分布的十个区县,自北向南分别是延庆县、怀柔区、密云县、昌平区、平谷区、门头沟区、海淀区、石景山区、丰台区和房山区,研究区总面积约 12878 平方公里,占全市面积的 78.6%。研究目的是从地质灾害形成的基本条件、诱发条件等分析入手,判明哪些区域最容易发生崩滑塌、泥石流,以及发生地质灾害的概率等。研究方法主要是通过地质灾害形成因子分析,在 GIS 技术支持下,采用因子叠加和数理统计等定性或定量的方法,结合地质灾害实地调查结果,判断北京山区地质灾害发生的概率,即进行地质灾害风险评价。主要研究内容与研究成果如下:

(1) 研究了北京山区地质环境条件和地质灾害的现状,分析了其发生、发展过程。在分析共性的基础上,提取北京发生地质灾害的影响因子。

(2) 初步建立了适合北京市山区的地质灾害风险评价指标与分级标准,包括泥石流危险性评价指标与分级标准、崩滑塌危险性评价指标与分级标准、地质灾害易损性指标。

(3) 研究了北京山区地质灾害指标因子的提取技术和方法,结合遥感和 GIS 技术得到了评价指标因子图,对提取的过程中的问题和难点进行了讨论。

(4) 应用层次分析法对北京山区地质灾害进行了评价,很好地反映了北京

山区地质灾害风险程度。

本文初步尝试了对北京山区地质灾害进行风险评价，评价结果表明北京大部分山区地质灾害风险为低风险区，高风险区主要分布在怀柔中部和平谷北部地区。

关键词：GIS 地质灾害 危险性评价 易损性评价 风险评价 北京山区

## Abstract

Geological Hazards is the geological hazard phenomenon on the people's lives and property safety due to natural or human-induced. Rockfall, slides, mudslides, surfaces collapse, hidden karst collapses, and Sand Liquefaction are the main form of Beijing geological disasters. Urban development, population increase, various socio-economic activities and the development of construction projects increase the degree of geological disasters. Beijing is the capital of China, the country's political and cultural centre. Geological disasters such as collapses, landslides, mud-rock flow have occurred continuously and caused widespread concern in society. Risk assessment of geological disasters in supporting the decision-making process has become one of the important tools to meet the prevention and forecast requirements of the geological disaster. Studying geological disasters in Beijing on the characteristics, distribution and risk assessment according to the mountainous areas with GIS technology, contributed to a better understanding of the chance and the development process of the geological disasters in Beijing, in order to carry out disaster prevention mitigation more effectively. There is of great theoretical and practical significance for the protection of the people's life and property safety.

Rockfall, slides and landslides on a mountainous region of Beijing for the 10 districts and counties are studied in this paper. They are Yanqing County, Miyun County, Huairou District, Changping District, Pinggu District, Mentougou District, Haidian District, Shijingshan District, Fengtai District and Fangshan District from north to south. The total study area is about 12,878 square kilometers, accounting for 78.6 percent of the city's area. Purpose of the study is the formation of geological disasters from the basic conditions for the analysis of induced conditions, which can identify the most vulnerable to collapse regional slump, mud-rock flows, as well as the probability of occurrence and other geological disasters. Our aim is to judge the probability of the occurrence of geological disasters in Beijing mountain areas in the GIS technical support through the formation of factor analysis of geological disasters

and a factor superposition and mathematical statistics, qualitative or quantitative methods with the findings of geological disasters in the field, namely, Risk Assessment of Geological Hazards. The main Research and its main results are as follows:

(1) The geological environment conditions and the status of geological disasters in Beijing mountain areas are studied, the analyzing its occurrence and development process. The impact factor of geological disasters in Beijing is distilled on the basis of the common analysis.

(2) Beijing risk evaluation index and classification criteria of the geological disasters in mountainous areas are for the initial establishment, including risk assessment of debris flow indicators, classification standards, collapsing slump risk evaluation index, classification standards and geological disasters vulnerability indicators.

(3) Extraction techniques and methods of indicators of geological disasters in Beijing mountain are studied. The problems and difficulties on the extraction process were discussed, combining remote sensing and GIS technology to evaluate indicators of maps.

(4) Degree of risk of geological disasters in the mountain areas in Beijing is reflected perfectly, With the application of Analytic Hierarchy Process on the mountain of geological disasters for the evaluation.

Risk assessment of a preliminary geological disasters in mountainous areas of Beijing is attempted in this paper . The results show that most of the mountains of geological disasters in Beijing risks as low-risk, and high-risk areas are mainly distributed in the central of Huairou and in the northern region of Pinggu.

**Keywords:** GIS, geological hazards, hazard assessment, vulnerability assessment, risk assessment, Beijing mountain area

图目录

图 1.6.1 研究思路流程图..... 11

图 2.3.1 北京市山区地质灾害分布图..... 15

图 4.1.1 北京山区岩性评价指标图..... 24

图 4.1.2 北京山区 DEM 数据..... 25

图 4.1.3 泥石流坡度评价指标图..... 26

图 4.1.4 崩滑塌坡度评价指标图..... 26

图 4.1.6 北京山区 NDVI 图像..... 29

图 4.1.7 北京山区植被覆盖度评价指标图..... 30

图 4.1.8 北京 8-9 月最大日降雨量指标评价图..... 31

图 4.1.9 多年平均 8-9 月月均降雨量指标评价图..... 32

图 4.1.10 泥石流沟床纵比降指标评价图..... 33

图 4.1.11 泥石流流域面积指标评价图..... 33

图 4.1.12 泥石流相对高差指标评价图..... 34

图 4.1.13 泥石流松散物动储量指标评价图..... 34

图 4.1.14 崩滑塌节理发育度指标评价图..... 35

图 4.1.15 崩滑塌人类活动指标评价图..... 35

图 4.1.16 崩滑塌相对高差指标评价图..... 36

图 4.2.1 泥石流危险性评价递阶层次结构图..... 37

图 4.2.2 崩滑塌危险性评价递阶层次结构图..... 40

图 4.2.3 北京山区泥石流危险性评价图..... 44

图 4.2.4 北京山区崩滑塌危险性评价图..... 44

图 4.3.1 泥石流易损性评价图..... 47

图 4.3.2 崩滑塌易损性评价图..... 48

图 4.4.1 泥石流风险评价图..... 49

图 4.4.2 崩滑塌风险评价图..... 51

## 表目录

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 表 3.1.1 泥石流危险性评价指标分级与赋值标准.....    | 17 |
| 表 3.1.2 崩塌(滑塌)危险性评价指标分级与赋值标准..... | 18 |
| 表 3.1.3 地质灾害易损性评价分级标准.....        | 19 |
| 表 3.2.1 判断矩阵标度及其含义.....           | 21 |
| 表 3.2.2 平均随机一致性指标.....            | 22 |
| 表 4.2.1 泥石流危险性评价指标权重.....         | 39 |
| 表 4.2.2 崩滑塌危险性评价指标权重.....         | 42 |
| 表 4.2.3 地质灾害危险性等级划分标准.....        | 43 |
| 表 4.3.1 建筑物新老程度折减系数 .....         | 46 |
| 表 4.4.1 地质灾害风险分级标准.....           | 49 |

### 首都师范大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

李岩

日期：2008年5月6日

### 首都师范大学学位论文授权使用声明

本人完全了解首都师范大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或其指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅。有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

学位论文作者签名：

李岩

日期：2008年5月6日

# 第一章 前言

## 1.1 研究背景

北京市是我国的首都，全国的政治文化中心，是国家重点设防城市。北京的山区地质灾害主要是崩塌、滑坡、泥石流、采空塌陷、隐伏岩溶塌陷和砂土液化，具有分布广泛，发生频繁，成灾快速等特点。这些灾害通常不像地震、洪涝、飓风或其他自然灾害那样范围巨大、损失巨大，但它们多年来分散且广泛分布的特点所造成的财产损失和社会影响是十分巨大的。国土资源部 2000 年下发了《县（市）地质灾害调查与区划基本要求》的文件<sup>[1]</sup>，北京市按照要求对全市各个区县的地质灾害进行了调查，并且在《北京城市总体规划（2004 年-2020 年）》的总体规划中明确提出：“采取综合治理措施，做好封山育林、保持水土工作，控制和减少泥石流、矿山地面沉陷、滑坡、崩塌、地面沉降等地质灾害。”<sup>[2]</sup>。

随着地质灾害的危害逐渐被人们认识，越来越多的人开始对地质灾害的危险进行研究，有关地质灾害的研究也成为防灾减灾研究的重点之一。20 世纪 70 年代开始人们关注地质灾害的危险性评价，研究区也多是在地质灾害频发的地区。地质灾害具有双重属性，即自然属性和社会经济属性。自然属性是指地质灾害现象，社会经济属性是指地质灾害对人类生命财产、物质财富和人们赖以生存发展资源、环境的破坏。从 20 世纪 80 年代人们开始加入地质灾害对社会经济属性影响的评价，即易损性评价。联合国人道主义事务部与 1992 年公布了自然灾害风险的定义，风险评价包括危险度评价和易损度评价。

基于以上背景，本文以北京市教委科技重点项目“北京市西、北部山区矿山地质环境灾害调查与生态修复方案”研究为基础，选择研究的地质灾害为崩滑塌和泥石流，研究区域为北京有山地分布的十个区县，自北向南分别是延庆县、怀柔区、密云县、昌平区、平谷区、门头沟区、海淀区、石景山区、丰台区和房山区，研究区总面积约 12878 平方公里，占全市面积的 78.6%。在前人的基础上，分析地质灾害的影响指标因子，选择适合北京山区地质灾害评价的指标，建立评价指标及标准，并在 GIS 技术支持下完成指标提取，采用层次分析法确定权重，从而完成地质灾害风险评价。

## 1.2 研究意义

北京是一座人口众多、经济发展迅猛的大都市。随着人口的增长、社会经济的发展,人类对资源、环境的利用越来越强,对地质环境的破坏也是越来越严重,地质环境问题将日益突出,地质灾害也越来越多,严重制约着社会经济可持续发展。开展基于 GIS 的北京山区地质灾害风险评价研究,从区域上预测、预防地质灾害,对做好减灾防灾工作,保护国家人民的生命财产安全,实现人与环境和谐相处、和谐发展具有重要的现实意义。

地质灾害风险评价是当前地质灾害研究的重要问题之一,是合理解决人类活动与地表自然地质体平衡关系的关键问题之一。北京山区地质灾害风险评价是首次完整对全市范围内地质灾害进行评价的一次尝试,在评价指标、研究精度、技术方法、数据采集、技术流程方面做了一定的探索和研究。通过遥感图像获取地质环境评价指标信息,在 GIS 技术的支持下快速处理、分析成图,缩短了评价的时间,提高了精度。在一定程度上丰富了地质灾害理论、方法,提高了地质灾害研究水平,可以为其他地区地质灾害风险评价工作提供重要的参考,开展基于 GIS 的北京山区地质灾害风险评价研究具有重要的理论意义。

## 1.3 研究主要内容

本次研究,以北京十个区县为研究区,在 GIS 技术的支持下,以北京各区县地质灾害调查数据、2007 年野外调查数据、遥感数据等为基础开展地质灾害风险评价,主要研究内容如下:

(1) 对北京山区地质环境条件和地质灾害的现状进行了调查汇总,分析其发生、发展过程。在分析共性的基础上,提取北京发生地质灾害的影响因子。

(2) 初步建立适合北京市山区的地质灾害风险评价指标与分级标准,包括泥石流危险性评价指标与分级标准、崩塌危险性评价指标与分级标准、地质灾害易损性指标。

(3) 结合遥感和 GIS 技术,研究了北京山区地质灾害指标因子的提取技术和方法,对提取的过程中的问题和难点进行讨论。

(4) 应用层次分析法对北京山区地质灾害进行了评价。

## 1.4 基本理论

### 1.4.1 地质灾害定义与其基本内涵

地球是宇宙中已知的唯一具有生命的星球,在漫长的历史演化过程中,地质灾害作为一种地质过程存在于地球的历史中,在改造地球、物质循环、孕育生命的过程中起到了十分重要的作用。例如,地震和火山的大型地质灾害改造着地球的面貌,但可以将地球内外物质进行着循环。一般大的板块地带都蕴藏着丰富的矿藏和地热资源。此外,水、土、气的变化也会引发沙暴、洪水,在山区会引发崩塌、泥石流等地质灾害,但这些作用又是地表物质更新的重要途径,可以补给土壤的养分。地质过程对人类的生活既微妙又显著、既有益也有害。人类不合理的开山、修路、采矿等活动加剧了地质过程的变异,这种变异又影响了人类的生产生活。为了人类的可持续发展,研究地质灾害和防治已成为地球科学领域的一门重要学科。

地质灾害的定义:

联合国减灾组织 (United Nation Disaster Reduction Organization, UNDR0) 给灾害下的定义是:“an event, concentrated in time and space, in which a community undergoes severe danger and incurs such losses to its members, their property and belongings that the social structure is disrupted and the fulfillment of all or some of the essential functions of the society is prevented.”<sup>[3]</sup> 即:一次在时间和空间上较为集中的事故,事故发生期间当地的人类群体及其财产遭到严重的威胁并造成巨大损失,以至于家庭结构和社会结构也受到不可忽视的影响。

潘懋等认为地质灾害是指在地球的发展演化过程中,由各种自然地质作用和人类活动所形成的灾害性地质事件<sup>[4]</sup>。

段永侯等认为,所谓地质灾害,就是在自然和人为因素的作用或影响下形成的,对人类生命财产、环境造成损失的地质作用(现象)。按致灾速度可分为突变性和缓变性两大类:前者如崩塌、滑坡、泥石流等,是习惯上的狭义地质灾害;后者如水土流失、土地沙化等,又称环境地质灾害<sup>[5]</sup>。

罗元华、张梁等认为地质灾害是在地质作用下,地质自然环境恶化,造成人

类生命财产损毁或人类赖以生存与发展的资源、环境发生严重破坏的过程或现象，是对人类生命财产和生存环境产生损毁的地质事件<sup>[6]</sup>。

《地质灾害防治条例》总则中对地质灾害这样定义：本条例所称地质灾害，包括自然因素或者人为活动引发的危害人民生命和财产安全的山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地质作用有关的灾害<sup>[7]</sup>。

从上述地质灾害的定义可以看出，尽管各家表述不一，但是实质内容并无太大的差别。大致可以这样理解，地质灾害的内涵是对人类生命财产造成损失的地质作用。外延包括地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、水土流失等等，并且这种地质作用有特殊性，它是造成了人员伤亡和经济损失的地质作用。这里强调的是，只有对人类生命财产和生存环境产生影响或破坏的地质事件才是地质灾害。如果某种地质过程仅仅是使地质环境恶化，并没有破坏人类生命财产或影响生产、生活环境，只能叫做灾变。

1.4.2 地质灾害风险评价的基本理论

关于风险的定义，不同专业的不同学者有不同的认识。韦伯字典将风险定义为“面临的伤害或损失的可能性”。早期 Devin 等涉及的风险表达式为“易损性=风险×敏感性”<sup>[8]</sup>。Blaikie 等提出的风险表达式为“风险=危险性+易损性”<sup>[9]</sup>。联合国人道主义事务部于 1992 年公布了自然灾害风险的定义：风险是在一定区域和给定时段内，由于特定的自然灾害而引起的人民生命财产和经济活动的期望损失值，并采用了“风险度（R）=危险度（H）×易损度（V）”的表达式，

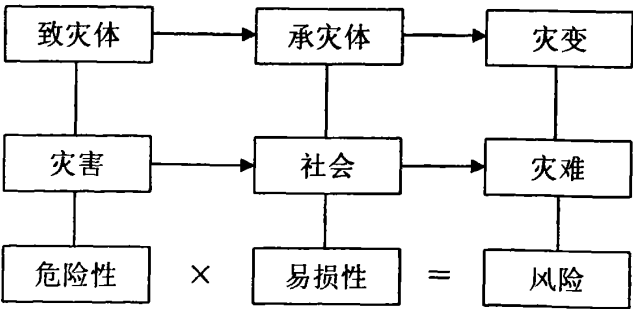


图 1.4.1 自然灾害风险定义框图

如图 1.4.1 自然灾害风险定义框图。Shook 进一步解释了风险表达式中为何危险

度和易损度只能相乘而不能相加问题<sup>[10]</sup>。设想某地的易损度存在某一数值,但该地区不存在可能遭受泥石流灾害,即这个地区的泥石流危险度为 0,如果两者相加就会产生某一大于 0 的数值,意味着这个地区仍可能遭受泥石流灾害损失,存在泥石流风险,显然这是不合逻辑的,两者相乘就排除了出现这一问题的可能<sup>[11]</sup>。

在对风险的认识上,可以认为风险是对不确定性结果的一种度量,所谓不确定性就是一个问题的结果存在两个或者更多的选择。可见,风险是针对不确定性事件而言的。地质灾害是不确定性事件,因此也就有了地质灾害风险和地质灾害风险分析的问题。罗奇峰认为灾害风险分析是对一定时期内某种灾害在某一地区可能发生的概率和这一灾害发生时它对人们的生命财产构成的危害做出评价,并强调风险评估应是动态变化的<sup>[12]</sup>。唐少卿等认为自然灾害的风险评估是对某一区域一种或多种尚未发生、但可能发生的自然灾害,一旦发生,将对社会经济及人员造成危害的评估。地质灾害风险包含两个主导因素,即某种灾害事件的发生概率和事件的后果<sup>[13]</sup>。

地质灾害风险具有客观性和不确定性。

(1) 客观性:地质灾害风险是客观存在的,不以人类的意志为转移,这是由于地质灾害的形成、发展、致灾过程中多种不确定性因素的客观存在而决定的。人类只能认识这些不确定性因素,但却没有办法根除这些不确定性因素,这些不确定因素的运动具有随机性。一方面人类采取预防措施,有可能消弱或减少一些不确定因素,另一方面,人类不合理的工程经济活动,则有可能诱发和加大这些不确定性因素,是地质灾害风险增大。

(2) 不确定性:地质灾害风险是地质灾害发生并造成一定损失的不确定性。地质灾害的发生是有一系列因素(条件)促成的,这些因素的变化受地形地貌条件、地质构造、岩性条件、水文气象条件、人类工程经济活动条件所制约,这些条件的变化具有不确定性。同样强度的灾害造成的损失也有很大的不确定性。受险对象的类型、时空分布、价值和易损性等都是不确定性因素。

地质灾害发生和危害的不确定性是导致地质灾害存在风险的主要原因。因此,地质灾害风险是地质灾害发生及造成损失的可能性或不确定性,是地质灾害风险可能发生地的数量、价值、脆弱性以及人类社会防灾减灾能力、管理水平、

政策实施等主要因素的综合作用的产物。地质灾害风险评价是对这种不确定性进行的定量评估和制图,一般包括风险源(可能发生地质灾害)的危险性评价和受险对象(可能的受到地质灾害)的易损性评价。

地质灾害危险性是地质灾害自然属性的体现,评价的核心要素是地质灾害的活动强度。从定性分析看,地质灾害的活动强度越高,危险性越大,灾害的损失越严重。地质灾害危险性分为历史灾害危险性和潜在灾害危险性。前者指已经发生的地质灾害活动强度,评价要素为灾害的类型、规模、活动周期以及研究区内灾害的分布密度;后者指具有灾害形成条件但尚未发生的地质灾害的潜在可能性,评价要素包括地质条件、地形地貌条件、气象水文条件、植被条件和人为活动条件等。

地质灾害易损性评价的主要对象是受险对象,其目的是分析现有经济技术条件下人类对地质灾害的抗御能力,确定不同社会经济要素的易损性参数,为地质灾害破坏损失评价提供基础。对危险区内的主要建筑物、结构类型、其他固定设备和建筑物内部财产;危险区内人口数量、分布、质量;土地利用类型和经济发展水平等进行评价。评价内容包括:划分受险对象类型,调查统计各类受险对象数量及其分布情况,核算受险对象价值,分析各种受险对象遭受不同类型、不同强度地质灾害危害时的破坏程度及其价值损失率。

在上述地质灾害危险性和易损性评价的基础之上,本文地质灾害风险分级参考澳大利亚和新西兰风险管理标准(Risk Management, AS/NZS 4360:1999)<sup>[14]</sup>。该标准是澳大利亚和新西兰于 1995 年共同制定的,并于 1999 年修订,实用范围广泛,为各行业各部门的风险管理提供了一个共同的框架,在世界范围内影响较大,被国际标准组织(ISO)认可为国家性标准。

## 1.5 研究现状与问题

### 1.5.1 国内外地质灾害风险评价研究现状

国外自 20 世纪 30 年代起就开始关注自然灾害的风险分析。美国于 1993 年成立了田纳西河流域管理局(TVA),全面负责该流域的规划、开发、管理工作。其中重要的一项就是对流域自然灾害进行风险分析<sup>[15]</sup>。20 世纪 70 年代以后,欧

洲一些地质灾害频发的国家开始制定法律以确保本国人民生命财产安全,降低灾害损失。例如,瑞士 1979 年颁布了联邦政府土地管理法,规定:“受自然灾害,如雪崩、滑坡、崩塌、洪水威胁的土地,在未得到专家评估、充分论证或危险排除之前,禁止在灾害危险区进行任何建筑活动”。法国在 1977 年也制定了城市发展规划法,规定:“洪水、水土流失、滑坡、雪崩等灾害危险区的建筑必须受到严格限制”。在规定的同时,分别开展了地质灾害调查和区划分析的研究工作。此外,联合国于 1987 年 12 月 11 日第 42 届联合国大会通过第 169 号决议,决定把 1990 年到 2000 年十年定为“国际减轻自然灾害十年”(International Decade for Natural Disaster Reduction, INDNDR)。许多国家政府和学术团体参与其中,使得研究自然灾害、地质灾害的研究机构和人员不断壮大,学术期刊不断增加,相应的研究成果越来越多。

国外尤其发达国家将 GIS 应用于地质灾害研究方面已做了很多工作。从 80 年代至今,GIS 技术的应用也从数据管理,多源数据数字化输入和绘图输出,到 DEM 或 DTM 模型的使用,GIS 结合灾害评价模型的扩展分析,到 GIS 与决策支持系统(DSS)的集成,网络 GIS,逐步发展深入应用。1986 年美国 Brabb Earl E 在加利福尼亚 San Mateo 地区进行了地质灾害研究;1987 年美国的 Wentworth Carth M. 和 Ellen Stephen D. 利用 GIS 对区域工程地质作了进一步分析;1989 年美国的 Finney Michael A. 和 Bain Nancy R. 运用 GIS 技术分析滑坡灾害;1989 年 Peter Douglas C. 运用 GIS 对工程数据就进行评价,他们主要利用 GIS 的数据处理、数据管理、绘图输出等基本功能。1990 年印度的 R. P. GUPTA 和 B. C. JOSHI 用 GIS 方法对喜马拉雅山麓的 Ramganga Catchment 地区进行滑坡灾害危险性分带,主要是利用 GIS 的存储、更新、网格化、空间叠加分析功能及很强的面积量算能力。1990 年荷兰 ITC 的 Van Westen C. J. 和哥伦比亚 IGAC 的 Alzate Bonilla J. B. 对山区地质灾害的分析,基于 GIS 开发了斜坡稳定性分析模型,开发了山区落石滚落速率计算模型,主要利用 GIS 空间定位及空间数据库管理功能,GIS 数字高程模型(DEM)。1991 年美国 Campbell R. H. 利用 GIS 空间分析功能对滑坡灾害进行空间预测。1993 年加拿大的 Chung C. F. 和 Fabbri A. G. 等将 GIS 应用在滑坡灾害分区的多因素综合分析;1994 年美国的 MARIO MEJIA-NAVARRO 和 ELLEN E. WOHL 在哥伦比亚的麦德林地区,用 GIS 进行地质灾害和风险评价,并

进行了灾害分区,他们都是基于 GIS 的专业模型扩展分析。1995 年美国的 DANIEL J. MILLER 采用 GIS 中的 DEM 模型,模拟出滑动面的位置与形态。采用 GIS 的数字地形模型,将 GIS 与力学模型结合评价深层滑坡灾害。1996 年美国的 MARIO MEJIA-NAVARRO 等运用 GIS 及工程数据模型建立灾害及风险评价的决策支持系统并应用在科罗拉多州的 Glenwood Springs 地区。1997 年加拿大的 TREVOR J. DAVIS 和 C. PETER KELLE 基于 GIS 用模糊分类方法及可视化技术真实再现斜坡形态。2000 年加拿大的 Desjardins R 等人,基于 GIS、DEM 信息和二进位的地图绘制,掌握了魁北克的 Charlevoix 的地质断陷线和地质构造。2002 年意大利的 Canuti Paolo 和 Casagli Nicola 等人利用 GIS 的 LAHARZ (一个半经验模型) 和 FLO-2D (一个用 FLO 软件的水力模型) 对厄瓜多尔首都基多火山泥石流进行了模拟比较。2003 年印度的 Jaigwal R. K. 和 Mukherjee S 等人利用遥感收集的数据,基于 GIS 模型确定印度地表水和地下水的适用性。2005 年 Sigrid Roessner 等用 Landsat-ETM, ASTER, MOMS-2P 和雷达 ERS-1/2 影像多中亚吉尔吉斯斯坦地区进行了滑坡灾害的评价<sup>[16-26]</sup>。

我国的地质灾害研究在 20 世纪 80 年代以前主要在灾害的分布规律、形成机理、趋势预测方面的分析,大多是依附于水文地质、工程地质等有关的研究工作。80 年代以后,地质灾害研究开始出现新的形式,研究内容日益丰富,开始向独立的学科发展,随之,灾害风险评价开始发展。近 20 年来,伴随着国际“国际减轻自然灾害十年”在我国工作的开展和从 2000 年国土资源部开展的全国县市地质灾害大调查的实施,大量人力物力的投入,使得地质灾害理论更加丰富,提高社会对灾害的抗御能力,并将原来对灾害的简单防御转向为对灾害风险的综合管理。

张业成、张梁、罗元华等在对我国近 40 年地质灾害灾情分析的基础上,运用 AHP 法分析评价了中国地质灾害的危害程度,进行了全国范围的危险性区划;对四川重庆崩塌、滑坡灾害进行了等级划分及分区。对云南东川市泥石流灾害进行评价分区<sup>[27-31]</sup>。

柳源提出了地质灾害(滑坡、崩塌、泥石流为主)危险性分析的步骤与方法。针对常规的地质灾害危险性分析评价模型,对致灾作用的各种影响因素采用主观赋予权重方法<sup>[30]</sup>。

在泥石流风险研究中,刘希林等根据大量调查统计数据,对单条泥石流沟、区域泥石流风险评价做了许多细致的工作,发展了一套泥石流风险评价的原理和方法,建立了区域泥石流危险度、易损度、风险度的评价公式,对我国云南省、四川省地质灾害多发区做了具体的研究<sup>[32-37]</sup>。

在结合 GIS 技术研究中,也取得了一些成果。我国 GIS 的发展是从 80 年代初迅速发展起来的,虽然起步比世界先进国家晚了 20 年,但在近些年来出了令人瞩目的进展。GIS 技术在地质灾害区划研究方面正得到快速发展,并且结合各种数学方法运用到地质灾害评价中,例如统计分析法、模糊评判法、层次分析法、主成分分析法、神经网络法、信息量法和因子叠加法等,以 GIS 软件为技术平台的地质灾害的危险性、易损性和风险评价系统研究,正逐步成为本领域研究的发展方向之一。黄润秋、许强、向喜琼等针对西南地区的滑坡等地质灾害做了研究,开发了基于 MAPGIS 和 Access 数据库的地质灾害危险性评价系统 (GHGIS),选择了典型的试验区——金沙江溪洛渡水电站工程库区和长江三峡新滩到巴东段库区进行研究实验<sup>[38, 39]</sup>。刘传正等针对泥石流、滑坡灾害提出了基于 GIS 的地质环境空间分析预警理论方法,通过计算预警区的滑坡泥石流灾害“发育度”、“潜势度”、“危险度”和“危害度”来实现<sup>[40, 41]</sup>。朱良峰,殷坤龙等尝试用信息量模型对地质灾害进行风险分析<sup>[42, 43]</sup>。王国良运用层次分析法对地面沉降危险性程度指标进行了量化分级<sup>[44]</sup>。

在对城市灾害的研究中,喻凤莲等针对矿业城市攀枝花市产生的矿山地质环境问题,在 GIS 的支持下采用层次分析法建立了评价模型<sup>[45]</sup>。郑彦华等分析了唐山市平原区及沿海区典型地质灾害的现状、地质背景及影响因素,并应用模糊数学综合评价方法对唐山市地质灾害危险性做出了定量化评价<sup>[46, 47]</sup>。吴红等对兰州市区地质灾害的分布、成因、特点进行了分析,着重研究了兰州市区山洪灾害和强度暴雨的时空分布、产生强度暴雨的天气系统以及山洪灾害和暴雨强度之间的关系,确定了临界降雨量指标<sup>[48]</sup>。罗培等以 GIS 工具软件为平台开发了重庆市地质灾害评估应用系统 (GHAIS),可以实现灾害评估、易损性评估、破坏损失评估等功能<sup>[49]</sup>。

在北京的地质灾害研究中,张春山对北京北山地区泥石流灾害进行了研究,并运用灰色关联分析的方法,对本区泥石流活动的危险性进行了定量化分析,建

立了区域泥石流危险性评价的数学模型, 据此对北京北山的 11 个小流域进行了危险性评价<sup>[50]</sup>。杜涛从统计学的角度阐述了北京地区的地质灾害具有的特点<sup>[51]</sup>。韦京莲等进行了北京市地质灾害发育区及治理区的划分, 并提出了灾害治理及防治的原则与措施<sup>[52]</sup>。张有全等运用 GIS 空间分析功能对延庆县地质灾害做了易发性区划<sup>[53]</sup>。

## 1.5.2 存在的问题

对于北京的地质灾害调查, 现在按照国土资源部《县(市)地质灾害调查与区划基本要求》已经作了一定的工作。但是从全市范围的地质灾害风险分析还没有, 特别是结合遥感和 GIS 技术的研究还比较少, 在实际的工作中, 还多采用传统手段。

## 1.6 研究思路及组织结构

本文通过对北京市山区已有地质灾害和 2007 年实测数据, 结合北京市地质环境特点, 提出本次评价的主控因素和诱发因素, 建立评价指标体系, 研究思路流程如图 1.6.1 研究思路流程图。由于受常规手段的限制和人为不可控制的因素的影响, 其中植被覆盖度指标采用 2006 年 8 月 27 日 TM 影像从中提取, 坡度指标采用 1:10 万 DEM 数据提取, 地层指标采用数字化后的北京 1:10 万基础地质图提取。指标数据提取完成后, 分别代入已建立的危险性评价和易损性评价指标体系。危险性评价标准采用层次分析确定危险指数。在 GIS 空间分析叠合的基础上, 得到北京市山区地质灾害的风险区划图, 并提出地质灾害防治对策。

论文组织结构如下:

### 第一章 前言

介绍了课题研究的背景、研究意义、研究主要内容、有关地质灾害的基本内涵、评价的基本理论及国内外研究现状、发展趋势。

### 第二章 北京市环境地质条件与地质灾害特点

介绍了北京地理位置、地形地貌、地质构造、岩性水文等内容, 从整体上对北京山区地质环境情况有所掌握。

### 第三章 北京市山区地质灾害风险评价指标体系与评价方法

本章首先根据前人的研究成果及北京的地质环境特点，建立北京山区泥石流、崩塌危险性评价指标分级与赋值标准、北京山区地质灾害易损性分级标准。然后，选用层次分析法，对指标体系进行专家打分，权重分析。

第四章 北京山区地质灾害风险评价

本章介绍了评价指标的提取分析，利用 GIS 平台，根据建立的指标体系，生成评价指标因子图，通过 GIS 空间分析，得到北京山区地质灾害风险分布图。

第五章 结论与展望

总结了本论文的理论与实践成果，并对研究内容做了展望。

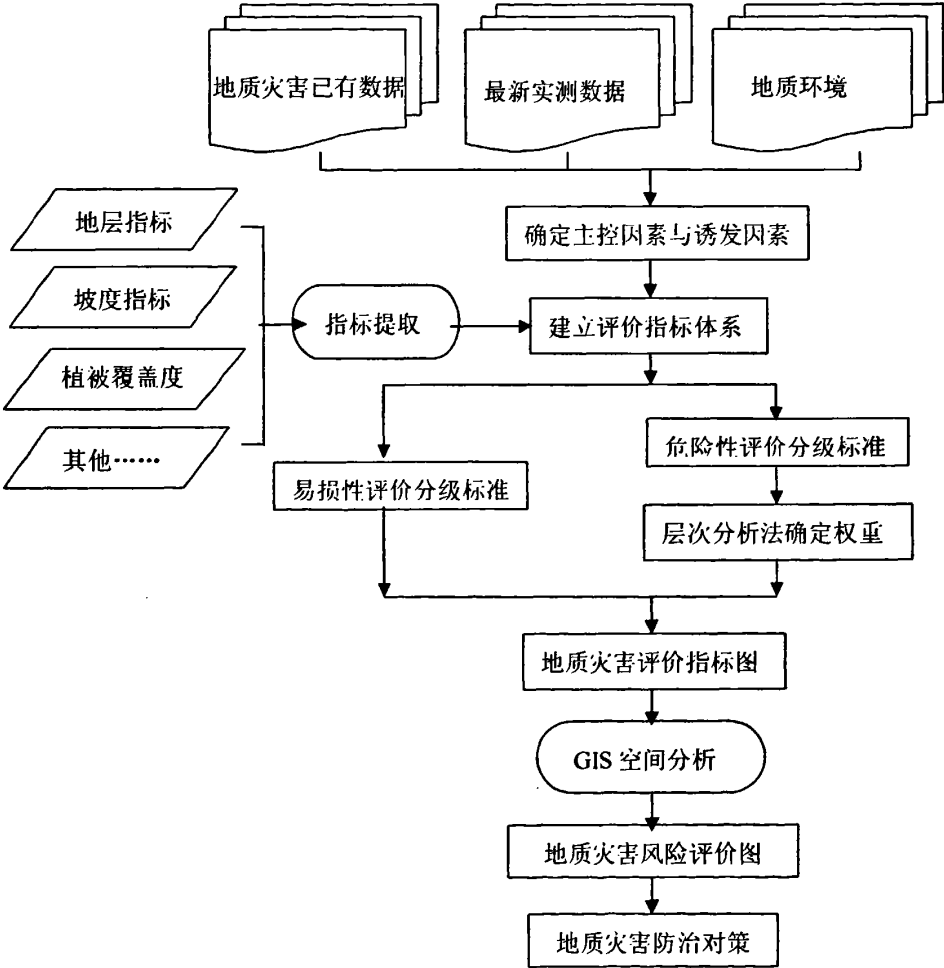


图 1.6.1 研究思路流程图

## 第二章 北京地质环境条件与地质灾害特点

### 2.1 北京山区自然地理及经济概况

北京山区分布在北京市的西部和北部, 介于北纬  $39^{\circ} 12'$  到  $41^{\circ} 05'$  和东经  $115^{\circ} 25'$  至  $117^{\circ} 30'$  之间。总面积约 1.03 万平方千米, 占全市总面积的 61.29%。跨有房山、门头沟、石景山、海淀、昌平、延庆、怀柔、平谷、顺义等 10 个区县的一部分或全部。

北京山区西南段属太行山系, 组成北京西部山区, 统称西山。东北段属燕山山系, 组成北京北部山区, 统称北山。整个山区从西南向东北绵延近 200 千米, 山幅宽一般约 50 千米。境内山峦起伏, 沟壑纵横, 很多山峰海拔千米以上, 分布在西北边境上的东灵山海拔 2303 米、百草畔海拔 2035 米、海坨山海拔 2234 米。从山区东南侧山麓海拔 100 米算起, 到西北边境的高峰, 垂直幅度在 2000 米左右。全山区海拔 800 米以上的中山面积 2289.33 平方千米, 占山区总面积的 22.2%; 海拔 800 米以下的低山和丘陵面积 5983.9 平方千米, 占山区总面积的 58.1%。

北京山区的气候属暖温带半湿润大陆性季风气候。由于跨越的经纬度范围不大, 气候上水平方向变化不大。但地形对气候的影响却很大, 垂直的变化和阴阳坡的变化都十分明显。从平均温度看, 位于山区东南侧的山麓及丘陵, 因海拔较低又背风向阳, 气温普遍较高。年平均温都在  $11^{\circ}\text{C}$  多, 最冷月 1 月平均气温介于  $-6.5$  到  $-4.1^{\circ}\text{C}$  之间, 最热月 7 月平均温都在  $26^{\circ}\text{C}$  左右。但山区内部, 因海拔高度升高, 气温明显降低。如位于海拔 1000 米以上的佛爷顶, 年平均温  $4.8^{\circ}\text{C}$ , 1 月平均温  $-10.6^{\circ}\text{C}$ , 7 月平均温  $19.1^{\circ}\text{C}$ 。海拔 2000 米以上的东灵山、海坨山, 年平均气温仅在  $2^{\circ}\text{C}$  左右。

从降水看, 山区降水受地形影响很大, 年平均降水量等值线走向大致与山脉走向相一致。年降水量一般介于 450 到 660 毫米之间, 自东南向西北逐渐减少。东南部山区以房山区的漫水河、怀柔区的八道河、平谷区的将军关等为中心分别形成多雨区, 年降水量均在 700 毫米以上。而位于该山带的西北背风侧, 降水明显减少。特别是处于山间地带的清水河谷地、延庆盆地、白河谷地, 年降水量仅

400 到 500 毫米。降水的季节分配极不均匀,以夏雨为主,夏半年(4-9 月)的降水量占年降水量的 90%以上,尤其集中于 7、8 两月,这两个月的降水量要占夏半年降水量的 84%,而且往往集中在几次暴雨或连阴雨过程中。降水的年际变化也很大,最多年降水量为 1406 毫米(1959 年)。最少年降水量为 242 毫米(1869 年),最少年降水量不足常年降水量的一半。

步入新世纪,北京市的经济发展迅猛。2005 年,全市实现地区生产总值 6886.3 亿元,其中第一产业增加值 95.5 亿元,第二产业增加值 2026.5 亿元,第三产业增加值 4764.3 亿元。完成地方财政收入 919.21 亿元,比上年增长 23.5%,地方财政支出 1058.31 亿元,增长 17.8%<sup>[55]</sup>。北京市统计局公布,2006 年北京市实现地区生产总值 7720.3 亿元,同比增长 12%。按北京市的常住人口计算,2006 年人均 GDP 达到 49505 元(折合 6210 美元),比 2005 年增长 8.8%。自 2001 年北京申奥成功以来,为奥运会举办进行的与之有联系的,具有经济效果或经济价值的各类活动也在带动首都经济的发展,奥运经济效应显著。

此外,北京山区的矿产资源种类多,赋存条件和储量在世界各国首都中是少见的。北京市已发现各类矿产 126 种,已探明储量矿产有 68 种,矿产地 363 处。在已探明储量矿产地中,大型矿产地 30 处,占 8.6%;中型矿产地 106 处,占 30.6%;小型矿产地 96 处,占 27.6%;矿点 115 处,占 33.2%。主要矿产包括煤炭、铁矿、金矿、钼矿、水泥用灰岩、冶金用白云岩、熔剂用灰岩、制灰用石灰岩、大理岩、透辉石、建筑用砂等<sup>[56]</sup>。分布比较集中且分区明显是北京市矿产资源的一个重要特征。如铁矿主要分布在东北部山区;煤矿大部分产于西山地区;有色金属矿则主要分布在北山一带;各类用途的石灰岩则分布于山区与平原交界的西部及北部山前一带;地下水、地热和矿泉水主要分布于平原区。固体矿产规模小,以中小型为主、大型及重要矿产地较少,贫矿较多且综合矿多,这又是另一重要特征。

## 2.2 北京山区地质背景

北京地区属华北地层分区,除普遍缺失震旦系、奥陶系上统、志留系、泥盆系、石炭系下统、白垩系上统及第三系古新统外,从太古界的古老变质岩系直到第四系都有代表<sup>[57]</sup>。

太古宙变质岩是本区出露最老地层，主要分布于北京东北部的密云县、怀柔区和平谷区，少量分布在昌平区德胜口—南口、延庆县红旗甸及房山区周口店一带。太古宙变质岩大部分为变质程度高、原生结构、构造已基本消失的古老变质侵入体；表壳岩系称密云岩群，经区域变质与变形作用改造，地层层序严重破坏，多为小面积分散孤立产出在古老变质侵入体中。

中一新元古界分布广泛，发育齐全，厚度巨大，约占北京山区面积的三分之一；此外，也见于平原新生代沉积物之下的基岩中。厚度约 6000 米。岩石类型为滨海—浅海相富镁碳酸盐岩、碎屑岩和粘土岩，夹少量碱性玄武岩系列火山岩。产叠层石、微体及微古植物化石等。十三陵剖面为华北地区中一新元古界重要的层型辅助剖面之一。

寒武系—奥陶系属稳定地台型沉积，主要分布于西山地区，其次为北山和京东地区。发育陆表浅海碳酸盐岩及少量泥砂质岩，地层总厚度 1300 米左右，沉积稳定，横向变化小。三叶虫、头足类、腹足类、牙形石等动物十分昌盛，其中三叶虫为划阶的标准化石。

上石炭统一三叠系亦为地台型沉积，主要分布于京西门头沟区和房山区，向东延续，被掩埋在平原地区新生代沉积物之下，为一套海路交互—陆相含煤碎屑岩与红色碎屑岩沉积，产蜓（上竹下蜓）类、腕足类、双壳类等海相生物化石及典型华夏植物群化石，厚度约 700 米。

侏罗系—白垩系为产于陆相火山沉积盆地内的一套复杂多变的火山沉积岩系，广泛分布于北京西山、北山的向斜构造及断陷盆地内。侏罗系从早期的基性火山岩、含煤碎屑岩发展为中、晚期的中性火山岩—火山碎屑沉积岩，含有著名的门头沟植物群及门头沟双壳动物群化石；下白垩统早期发育中性、酸性火山岩—火山碎屑岩沉积，以后发育河、湖相砾岩与泥、砂岩沉积，含著名的热河生物群及房山生物群化石。总厚度约在 7700 到 12000 米左右。

新生界主要分布于平原区及各大水系与山麓地带，属华北平原新生代大型裂谷堆积的一部分。第三系以河流相泥砂质堆积为主，间夹玄武岩层，局部含油、含褐煤层，厚度 1100 到 3400 米。第四系沉积物类型多样，有河、湖相的冲积、洪积、淤积，洞穴堆积，黄土、风成沙丘和冰川遗迹等等，厚度从几米至数十米不等。新生代是高等哺乳动物和高等被子植物发展的时代，北京更有驰名中外的

古人类文化遗迹，为北京猿人的发现地。

## 2.3 北京山区地质灾害概括

北京地区的地质灾害主要有崩塌、滑坡、泥石流、采空塌陷、隐伏岩溶塌陷和砂土液化。在山区的地质灾害主要是泥石流、崩滑塌和采空塌陷。泥石流是北京山区最严重的地质灾害之一，其突发性强、危害大、损失严重。1949 年以来已造成 502 人死亡、7534 间房屋被毁，其中一次致使死亡 10 以上的恶性泥石流 9 次，其中 2 次死亡人数超过 100 人<sup>[51]</sup>。北京山区的崩滑塌灾害分布广泛，其规模大小不等，一般几到几十立方米，最大可达几百立方米。初步统计，解放后因崩滑塌已造成 70 多人死亡、200 多间房屋被毁<sup>[51]</sup>。崩滑塌不仅直接形成灾害，其固体物质往往成为泥石流的土石来源，调查发现，北京地区的泥石流 80%是由崩滑塌触发沟床物质形成的。

本文研究的地质灾害主要是泥石流和崩滑塌，具体分布如图 2.3.1 北京市山区地质灾害分布图。此次调查的地质灾害隐患点共计 451 个，其中泥石流灾害隐患点 251 个，崩滑塌灾害隐患点 200 个。从图中可以看到地质灾害隐患点分布，北部山区以延庆县、怀柔区居多；西部山区则以房山区居多。

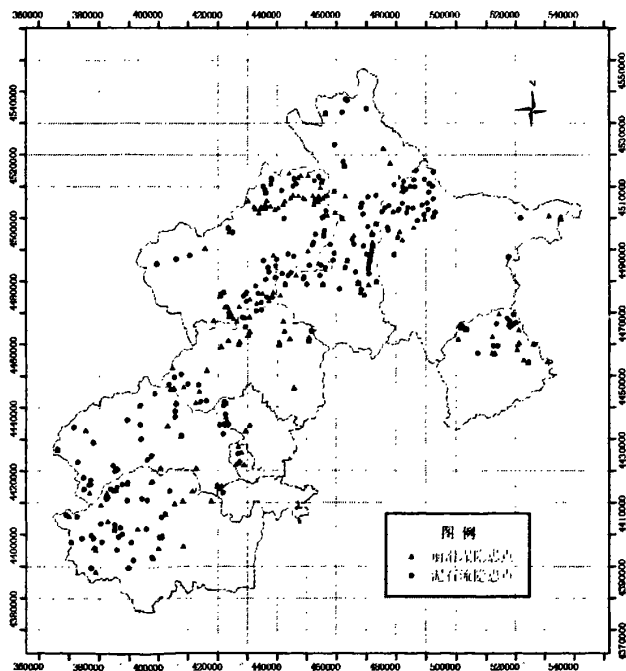


图 2.3.1 北京市山区地质灾害分布图

## 第三章 北京山区地质灾害风险评价指标体系与评价方法

### 3.1 地质灾害风险评价指标体系的建立

#### 3.1.1 地质灾害危险性评价指标体系

地质灾害危险性评价指标体系是评价的依据。从定性分析看,地质灾害的活动程度越高,危险性越大,可能造成的灾害损失越严重。从定量化评价的要求看,地质灾害的危险性需要通过具体的指标予以反映。根据灾害地质体的特征、地质环境条件,充分考虑北京夏季致灾因素的变化特点,综合分析判别其演变趋势,将地质灾害危险性分为 A 级(极低)、B 级(低)、C 级(中等)、D 级(高)和 E 级(极高)五级评价。

采用定性分析与定量预测相结合的综合评价法。定性分析是以《县(市)地质灾害调查与区划基本要求》中地质灾害危险性分级为依据,对已有地质灾害历史、现状的资料分析,结合本次实地调查成果,尤其是考虑北京汛期是突发性地质灾害易发期这一特点,实地进行风险源危险性识别。定量预测是采用层次分析法,计算地质灾害危险性指数,从而获得危险性预测结论。二者相结合进行对风险源发生灾害的危险性进行评价。

根据北京山区泥石流、崩塌、滑坡地质灾害活动特点及发育规律,并参考有关研究成果,分别提出上述各灾种参评指标的分级和赋值标准,参见表 3.1.1,表 3.1.2。

表 3.1.1 泥石流危险性评价指标分级与赋值标准

| 评价指标           |                                             | 分级        |                         |                                   |                                  |                                         |
|----------------|---------------------------------------------|-----------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|
|                |                                             | 极低<br>(A) | 低<br>(B)                | 中等<br>(C)                         | 高<br>(D)                         | 极高<br>(E)                               |
| 地形<br>地貌<br>条件 | 流域面积 (km <sup>2</sup> )                     | >10       | 10~5                    | 5~1                               | 1~0.5                            | <0.5                                    |
|                | 流域相对高差 (m)                                  | <200      | 200~300                 | 300~400                           | 400~500                          | >500                                    |
|                | 沟床纵比降 (%)                                   | <50       | 50~100                  | 100~150                           | 150~200                          | >200                                    |
|                | 山坡坡度 (°)                                    | <15       | 15~25                   | 25~35                             | 35~45                            | >45                                     |
| 地质<br>条件       | 松散物动储量<br>(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ) | <0.1      | 0.1~1                   | 1~3                               | 3~5                              | >5                                      |
|                | 地层岩性                                        | 其它岩体      | 硅、铁质胶结、质地致密、矿物成分硬度大的沉积岩 | 钙质胶结、质地较紧密、矿物成分硬度中等的沉积岩，侵入岩中的中酸性岩 | 质地较紧密、矿物成分硬度一般的沉积岩，侵入岩中的碱性岩、偏碱性岩 | 泥质胶结、质地疏松、矿物成分硬度小的沉积岩，侵入岩中的中性岩、酸性岩和基性岩； |
| 降水<br>植被<br>条件 | 8-9 月最大日降雨量 (mm/d)                          | <100      | 100~200                 | 200~300                           | 300~400                          | >400                                    |
|                | 多年平均 8-9 月均降雨量 (mm/h)                       | <50       | 50~80                   | 80~110                            | 110~140                          | >140                                    |
|                | 植被覆盖度 (%)                                   | >80       | 60~80                   | 40~60                             | 40~20                            | <20                                     |
| 等级赋值           |                                             | 1         | 3                       | 5                                 | 7                                | 9                                       |

表 3.1.2 崩塌(滑塌)危险性评价指标分级与赋值标准

| 评价指标           |                              | 分 级                               |                                             |                                                           |                                                          |                                                                     |
|----------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                |                              | 极低<br>(A)                         | 低<br>(B)                                    | 中等<br>(C )                                                | 高<br>(D)                                                 | 极高<br>(E)                                                           |
| 地形<br>地貌<br>条件 | 相对高差 (m)                     | <50                               | 50~100                                      | 100~150                                                   | 150~200                                                  | >200                                                                |
|                | 坡度 (°)                       | <30                               | 30~40                                       | 40~50                                                     | 50~60                                                    | >60                                                                 |
|                | 植被覆盖度<br>(%)                 | >80                               | 60~80                                       | 40~60                                                     | 40~20                                                    | <20                                                                 |
| 地质<br>条件       | 地层岩性                         | 其它岩体                              | 硅、铁质<br>胶结、质<br>地致密、<br>矿物成分<br>硬度大的<br>沉积岩 | 钙质胶结、<br>质地较紧<br>密、矿物成<br>分硬度中等<br>的沉积岩，<br>侵入岩中的<br>中酸性岩 | 质地较紧<br>密、矿物成<br>分硬度一般<br>的沉积岩，<br>侵入岩中的<br>碱性岩、偏<br>碱性岩 | 泥质胶结、<br>质地疏松、<br>矿物成分硬<br>度小的沉积<br>岩，侵入岩<br>中的中性<br>岩、酸性岩<br>和基性岩； |
|                | 节理发育度                        | 无不连续<br>结构面，<br>节理、裂<br>隙发育极<br>少 | 不连续结<br>构面较<br>少，节理、<br>裂隙少                 | 不连续结构<br>面少，节理<br>裂隙发育一<br>般                              | 裂缝裂隙发<br>育切割较<br>深，形成了<br>较不稳定的<br>结构体，不<br>连续结构面        | 裂缝裂隙发<br>育切割深，<br>形成了不稳<br>定的结构<br>体，连续结<br>构面                      |
| 诱发<br>条件       | 8-9 月最大日<br>降雨量 (mm/d)       | <100                              | 100~200                                     | 200~300                                                   | 300~400                                                  | >400                                                                |
|                | 多年平均 8-9<br>月月均降雨量<br>(mm/h) | <50                               | 50~80                                       | 80~110                                                    | 110~140                                                  | >140                                                                |
|                | 人类活动                         | 无或微弱                              | 较微弱                                         | 一般                                                        | 强烈                                                       | 极强烈                                                                 |
| 等级赋值           |                              | 1                                 | 3                                           | 5                                                         | 7                                                        | 9                                                                   |

3.1.2 地质灾害易损性评价指标体系

地质灾害易损性是指在给定地区和给定时段内，由于潜在自然灾害而可能导致的潜在总损失<sup>[35]</sup>。地质灾害易损性评价的主要对象是受险对象，其目的是分析现有经济技术条件下人类社会对地质灾害的抗御能力。易损性评价受风险源性质、风险承受能力和控制能力等要素的综合影响。地质灾害规模越大，造成的损失就越严重，灾害作用客体的风险承受能力和控制能力越强，损失就越小。

地质灾害易损性评价主要包括人员伤亡，以及房屋建筑、公路、铁路等受灾体的经济损失。在参照《县（市）地质灾害调查与区划基本要求》的“地质灾害灾情和险情分级标准”后，结合北京自身特点，本次地质灾害易损性评价以受威胁人数、直接经济损失作为评价指标，将地质灾害易损性分五级，即特别重大级、重大级、较大级、一般级和影响很小级（见表 3.1.3）。

表 3.1.3 地质灾害易损性评价分级标准

| 易损性等级 | 易损性程度 | 受威胁人数<br>(人) | 直接经济损失（万<br>元） |
|-------|-------|--------------|----------------|
| 1     | 小     | <10          | <50            |
| 2     | 中     | 10-100       | 50-100         |
| 3     | 大     | 100-1000     | 100-500        |
| 4     | 重大    | 1000-5000    | 500-1000       |
| 5     | 特别重大  | >5000        | >1000          |

注：灾害易损性指标不在一个级次时，按从高原则确定灾害易损性等级

3.2 本文的评价方法

在地质灾害风险评价中，评价方法较多，有模糊数学综合评判法、神经网络方法、灰色系统理论、信息量法等等，不论什么方法都各有其优缺点。本文选用评价过程中较常用的层次分析法作为本文的评价方法。

### 3.2.1 层次分析法的基本原理

层次分析法是美国运筹学家T. L. Saaty于20世纪70年代中期提出的一种定性与定量相结合的决策分析方法,其基本原理是把复杂系统分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策。它把人的决策思维过程层次化、数量化、模型化,并用数学手段为分析、决策提供定量的依据,是一种对非定量事件进行定量分析的有效方法,特别是在目标因素结构复杂且缺少必要的数据情况下,需要将决策者的经验判断定量化时该法非常实用。

该方法适用于多准则、多目标或无结构特征的复杂问题的决策分析,广泛应用于管理评价、经济发展比较、资源规划分析、事故致因分析、人员素质测评及安全经济分析等方面。

### 3.2.2 层次分析法的基本步骤

运用层次分析法建模,大体上可按下面4个步骤进行:

#### 1. 明确问题,建立递阶层次结构模型

分析问题所包含的因素及其相互关系,将有关的各个因素按照不同的属性自上而下地分解成若干层次,同一层次的诸因素从属于上一层的因素或对上层因素有影响,同时又支配下一层的因素或受下一层因素的作用。层次结构通常分为目标层(顶层)、准则层(中间层)和措施层(地层)。

#### 2. 构造判断矩阵

在层次结构中,对于从属于(或影响)上一层的每个因素的同一层诸因素进行两两比较,比较其对于准则的重要程度,并按事前规定的标度定量化,构成矩阵形式,即判断矩阵。判断矩阵中各元素的数值一般采用1-9位标度法确定(如下表 3.2.1),主要是通过专家评价或由历史(经验)数据得出。

表 3.2.1 判断矩阵标度及其含义

| 标度                     | 含 义                         |
|------------------------|-----------------------------|
| 1                      | 表示两个因素相比，具有相同的重要性           |
| 3                      | 表示两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要     |
| 5                      | 表示两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要     |
| 7                      | 表示两个因素相比，一个因素比另一个因素强烈重要     |
| 9                      | 表示两个因素相比，一个因素比另一个因素极端重要     |
| 倒数                     | 因素i与因素j相比得bij，且j与i比判断为1/bij |
| 2, 4, 6, 8分别为上述相邻判断的中值 |                             |

3. 计算权向量

就是计算每一个判断矩阵各因素针对其准则的相对权重。判断矩阵A对应于最大特征值  $\lambda_{\max}$  的特征向量W，经归一化后即为一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权值。计算权重有和法、根法、幂法等。

4. 层次单排序及一致性检验

为避免其他因素对判断矩阵的干扰，在实际中要求判断矩阵满足大体上的一致性，需进行一致性检验。只有通过检验，才能说明判断矩阵在逻辑上是合理的，才能继续对结果进行分析。对判断矩阵进行一致性检验，计算：

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

(3.2.1)

式中，CR(consistency ratio)为一致性比例。当CR <0.10时，认为判断矩阵的一致性是可以接受的，否则应对判断矩阵作适当修正。CI(consistency index)为一致性指标，按下式计算：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

(3.2.2)

式中， $\lambda_{\max}$  是判断矩阵的最大特征根；  
n是成对比较因子的个数；  
RI(random index)是随机一致性指标，可查表确定，如表 3.2.2所示。

表 3.2.2 平均随机一致性指标

| 阶数 | 1 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|----|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0.58 | 0.89 | 1.12 | 1.26 | 1.36 | 1.41 | 1.46 | 1.49 | 1.52 | 1.54 |

$\lambda_{\max}$  常用的就算方法有方根法和和积法，本文选用方根法，方根法的计算步骤如下：

(1) 就算判断矩阵每一行元素的乘积

$$M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij} (i=1,2,\cdots,n) \tag{3.2.3}$$

(2) 计算  $M_i$  的  $n$  次方根

$$\overline{W}_i = \sqrt[n]{M_i} (i=1,2,\cdots,n) \tag{3.2.4}$$

(3) 将向量  $\overline{W} = [\overline{W}_1, \overline{W}_2, \cdots, \overline{W}_n]^T$  归一化

$$W_i = \overline{W}_i / \sum_{i=1}^n \overline{W}_i (i=1,2,\cdots,n) \tag{3.2.5}$$

则  $W_i = [W_1, W_2, \cdots, W_n]^T$  即为所求的特征向量。

(4) 计算最大特征根

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \tag{3.2.6}$$

式中的  $(AW)_i$  为向量  $AW$  的第  $i$  个分量。

5. 层次总排序及一致性检验

为了评价层次总排序的计算结果的一致性，类似于层次单排序，也需要进行一致性检验。为此，需要分别计算下列指标

$$CI = \sum_{j=1}^m a_j CI_j \tag{3.2.7}$$

$$RI = \sum_{j=1}^m a_j RI_j \tag{3.2.8}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{3.2.1}$$

式中的CI为层次总排序的一致性指标； $a_j$ 最上一层总排序已经完成得到的权重值 $a_1, a_2, \dots, a_m$ ； $CI_j$ 为与 $a_j$ 对应的下一层次中判断矩阵的一致性指标；RI为层次总排序的随机一致性指标， $RI_j$ 为与 $a_j$ 对应的下一层次中判断矩阵的随机一致性指标；CR为层次总排序的随机一致性比例。同样，当 $CR < 0.10$ 时，则认为层次总排序的计算结果具有令人满意的一致性；否则，就需要对本层次的各判断矩阵进行调整，直至层次总排序的一致性检验达到要求为止。

## 第四章 北京山区地质灾害风险评价

### 4.1 评价指标提取

#### 4.1.1 岩性指标的提取

北京地区属华北地层分区，除普遍缺失震旦系、奥陶系上统、志留系、泥盆系、石炭系下统、白垩系上统及第三系古新统外，从太古界的古老变质岩系直到第四系都有代表。依据北京市岩石地层划分表对岩性进行分类赋值。

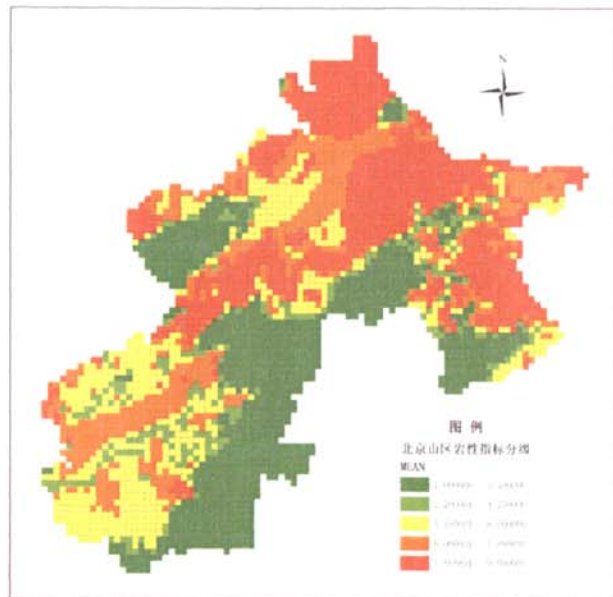


图 4.1.1 北京山区岩性评价指标图

岩性指标的提取的数据源是北京 1:10 万地质图。分析过程大致分为以下几个步骤。

1. 按照泥石流和崩滑塌的危险性分级标准分别对已提取的数据进行重分类 (Reclassify)。
2. 重分类的图像按照统计的格网大小为 2 千米×2 千米大小进行面统计 (Zonal Statistics)，统计结果赋值到北京山区 2 千米×2 千米格网图上，可以得到北京山区岩性评价指标图，如图 4.1.1。

### 4.1.2 坡度信息的提取

地质灾害发生通常在地形坡度较大、地形切割密度大的区域,这也是北京市地质灾害形成成因最重要的因素之一。通过分析北京山区的坡度图,分辨率大小为 50 米×50 米,统计分析后得到坡度 $<15^{\circ}$ 的面积是 6542.93 平方千米,占北京山区总面积的 50.81%;坡度 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的面积是 2921.04 平方千米,占北京山区总面积的 22.68%;坡度 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 的面积是 2264.6 平方千米,占北京山区总面积的 17.59%;坡度 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的面积是 930 平方千米,占北京山区总面积的 7.22%;坡度 $>45^{\circ}$ 的面积是 219.43 平方千米,占北京山区总面积的 1.7%。山坡坡度的大小直接影响着地质灾害发育的松散物质的分布和聚集,凡是地质灾害发育的地区,山坡坡度都比较陡。特别是在 $<45^{\circ}$ 的山坡,风化的松散物质易于堆积,在 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 斜坡上的松散物质的内摩擦角大致与山坡坡度相同,多处于极限平衡状态,一旦遇到强降水天气,极易形成崩塌泥石流等地质灾害。

坡度指标的提取的数据源是北京 1:5 万 DEM 数据。分析过程大致分为以下几个步骤。

1. 利用 ArcMap 空间分析 (Spatial analyst) 的提取坡度 (Slope) 功能从 DEM 数据 (如图图 4.1.2) 中提取坡度数据。

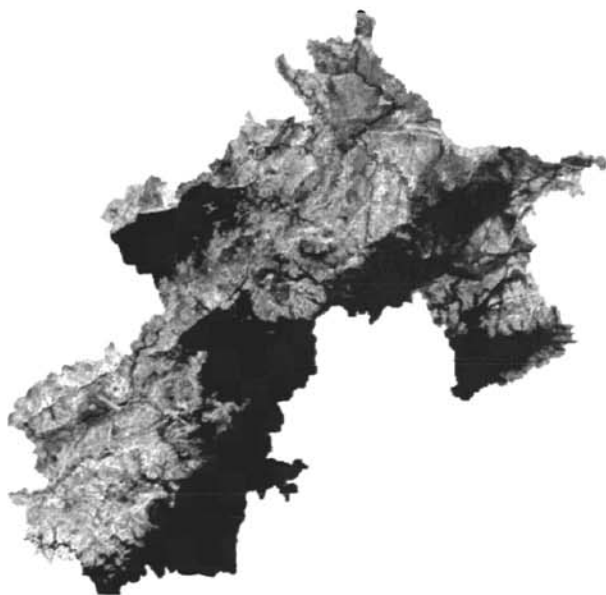


图 4.1.2 北京山区 DEM 数据

2. 按照泥石流和崩滑塌的危险性分级标准分别对已提取的数据进行重分类

(Reclassify)。

3. 重分类的图像按照统计的格网大小为 2 千米×2 千米大小进行面统计 (Zonal Statistics)，统计结果赋值到北京山区 2 千米×2 千米格网图上，可以分别得到泥石流坡度评价指标图和崩滑塌坡度评价指标图，如图 4.1.3 和图 4.1.4。

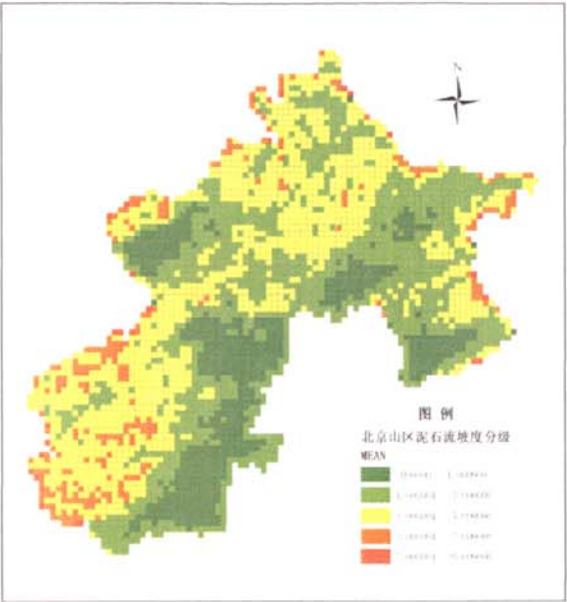


图 4.1.3 泥石流坡度评价指标图

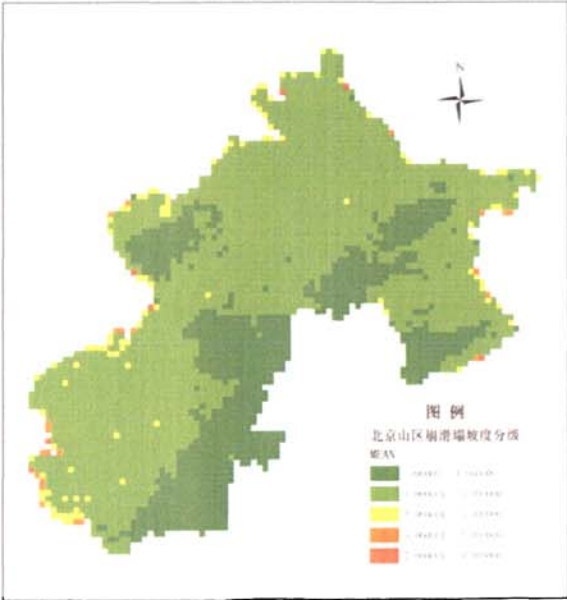


图 4.1.4 崩塌滑塌坡度评价指标图

### 4.1.3 植被覆盖度信息的提取

有关植被覆盖度的信息提取方法很多<sup>[58-63]</sup>，大多数是通过遥感图像的计算归一化植被指数（NDVI），再得到植被覆盖度。本文选择了 2006 年 8 月 27 日的一景北京 TM 影像，通过分析该图像，得到北京植被覆盖度，提取流程图如图 4.1.5。

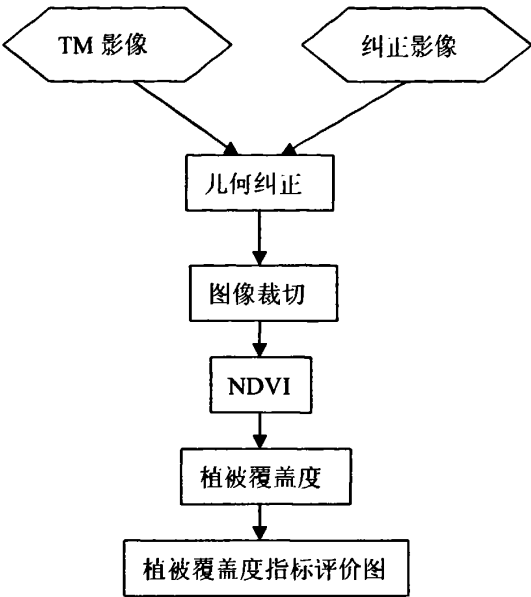


图 4.1.5 植被覆盖度提取流程图

1. 遥感图像几何纠正。本文所用的影像只经过了辐射校正和系统几何校正，因此在使用遥感影像之前先要对图像进行几何精校正，即地面控制点校正，从而实现各评价因子图层的整合叠加。图像处理在 PCI 软件中进行。

首先，要选取地面控制点（GCPs），TM 影像与以纠正的图像进行校正，选择控制点是最重要的一步。地面控制点的数量、分布和精度直接影像几何纠正的效果，因此选取地面控制点有以下几个基本要求：

- (1) 地面控制点上的地物应不随时间而变化，应该尽量避免选择河流的交叉点等容易改变的点。
- (2) 地面控制点在图像上有明显的、清晰的定位识别标志，如道路的交叉点、建筑物边界，在山区特别注意山峰和隘口。
- (3) 地面控制点应该均匀分布在整幅图像内，要尽量均匀。

其次，建立多项式纠正模型。地面控制点确定后，要在图像与纠正好的图像

上分别读出控制点在图像上的像元坐标  $(x, y)$  和纠正好的图像  $(x, y)$ 。然后选择坐标变换函数，建立二者之间的多项式纠正模型。

最后，图像进行重采样。重新定位后的像元在图像中的分散，即输出图像像元点在输入图像中的行列号不是或者不全是整数关系。因此需要感觉输出图像上的各像元在输入图像中的位置，对原始的图像按一定规则重新采样，进行亮度值的插值计算，建立新的图像矩阵。常有的内插方法有：最近邻法 (Nearest Neighbor)、双线性内插法 (Bilinear Interpolation)、立方卷积内插法 (Cubic Convolution)。

本文处理图像过程中，选用的双线性内插法，即用双线性方程和  $2 \times 2$  窗口计算输出像元值。在图像上大致采地面控制点约 50 个，地面控制点的精度中误差 (RMS Error) 控制在 1 以内，从而可以保证纠正图像的精确度。

2. 在 ERDAS9.0 图像处理软件的支持下，用北京山区的矢量边界转化为感兴趣区 (AOI) 将纠正好的 TM 影像进行裁切 (subset)。

3. NDVI 计算。植被指数是根据植被反射波段的特征计算出来的反映地表植被生长情况、覆盖情况、生物量情况和植被种类情况的间接指标。其中归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子。NDVI 的计算公式为：

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (4.1.1)$$

式中的 NIR 为近红外波段，对应 TM 影像是第四波段；R 为红色波段对应 TM 影像为第三波段，因此上式可以改写为：

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM3 + TM4) \quad (4.1.2)$$

在 ERDAS9.0 软件中，运用软件中的 Model Maker，根据上述公式计算得到北京山区 NDVI 图像，如图 4.1.6。

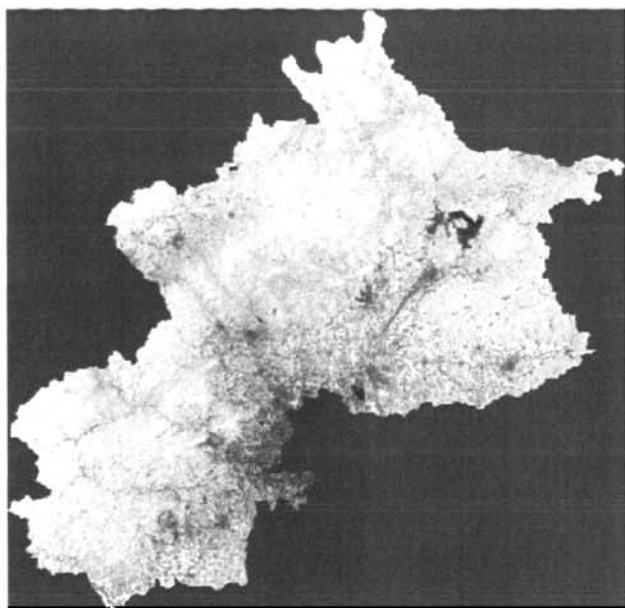


图 4.1.6 北京山区 NDVI 图像

4. 植被覆盖度计算。植被覆盖度指的是植被冠层的垂直投影面积与土壤总面积之比。陈晋等对 TM 像元为非均一混合像元的特点，提出了基于土地覆盖分类的综合运用“等密度模型”和“非等密度模型”计算植被覆盖度的方法<sup>[58]</sup>。计算过程中采用通用的植被覆盖度计算公式，如下：

$$f = (NDVI - NDVI_0) / (NDVI_{\infty} - NDVI_0) \quad (4.1.3)$$

其中， $f$  为植被覆盖度； $NDVI$  为归一化植被指数； $NDVI_0$  为裸土对应的  $NDVI$  值，也即  $NDVI$  最小值； $NDVI_{\infty}$  为高垂直密度植被对应的  $NDVI$  值，也即  $NDVI$  最大值。在 ERDAS9.0 的 Model Maker 中，根据公式  $f = (NDVI - NDVI_0) / (NDVI_{\infty} - NDVI_0)$  (4.1.3) 可以得到北京山区植被覆盖度图。

5. 生成植被覆盖度评价指标图。在 ArcMap 中，将北京山区植被覆盖度图按照评价体系进行重分类 (Reclassify)，使得图像的灰度值为评价指标的等级赋值，最后将图像进行面统计 (Zonal Statistics)，统计的格网大小为 2 千米×2 千米，统计结果赋值到北京山区 2 千米×2 千米格网图上，得到地质灾害风险评价的植被覆盖度评价指标图，如图 4.1.7。

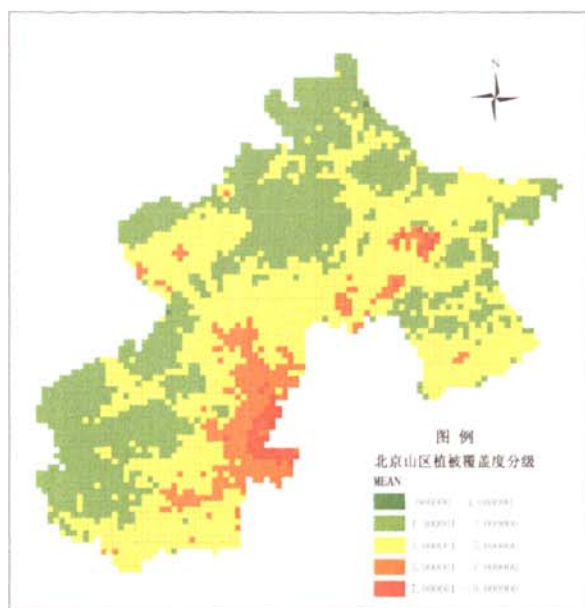


图 4.1.7 北京山区植被覆盖度评价指标图

#### 4.1.4 降雨信息的提取

降雨是泥石流、崩滑塌发生的主要激发和诱发因素，是泥石流、滑坡发生的一个非常重要的外在动力条件。降雨对地质灾害的影响表现在降雨的冲蚀和入渗，改变岩土体应力状态，降低坡体稳定性。尤以暴雨与连阴雨对斜坡稳定性的影响最为严重。暴雨降水强度大，历时短，大量雨水往来不及入渗便顺坡流走。由于部分地段表层岩土体风化强烈，节理裂隙发育或者局部有松散物质堆积，在暴雨的冲蚀下，极易发生泥石流、崩滑塌等地质灾害。而连阴雨虽然降水强度不大，但历时较长，雨水多渗入坡体，使得坡体内地下水位不断增高，增大了斜坡内部动水压力和静水压力，降低了斜坡抗剪强度，从而导致斜坡失稳，形成地质灾害。

北京山区的气候属暖温带半湿润大陆性季风气候。地形对气候的影响却很大，垂直的变化和阴阳坡的变化都十分明显，降雨时空分布不均匀。山区降水受地形影响很大，年平均降水量等值线走向大致与山脉走向相一致。降水的年际变化也很大，最多年降水量为 1406 毫米(1959 年)。最少年降水量为 242 毫米(1869 年)，最少年降水量不足常年降水量的一半。因此，在降雨条件上，本文选择了北京 2001 至 2004 年的降雨台站数据，在 ArcMap 平台下分析得到北京 8-9 月最

大日降雨量指标评价图和多年平均 8-9 月月均降雨量指标评价图（如图 4.1.8，图 4.1.9）。具体步骤如下：

1. 处理站点数据，形成评价的点图层。
2. 对点数据进行空间插值，插值方法选择反距离权重法（Inverse Distance Weighted, IDW）。
3. 插值图像按照评价标准进行重分类，这里的标准选择的是自然分类法（Natural Break）进行分级。这种分类方法是利用统计学的 Jenk 最优化法得出的分界点，能够使各级的内部方差之和最小。
4. 分级后的图像按照北京山区的评价单元网格进行面统计（Zonal Statistics），分别得到北京 8-9 月最大日降雨量指标评价图和多年平均 8-9 月月均降雨量指标评价图。

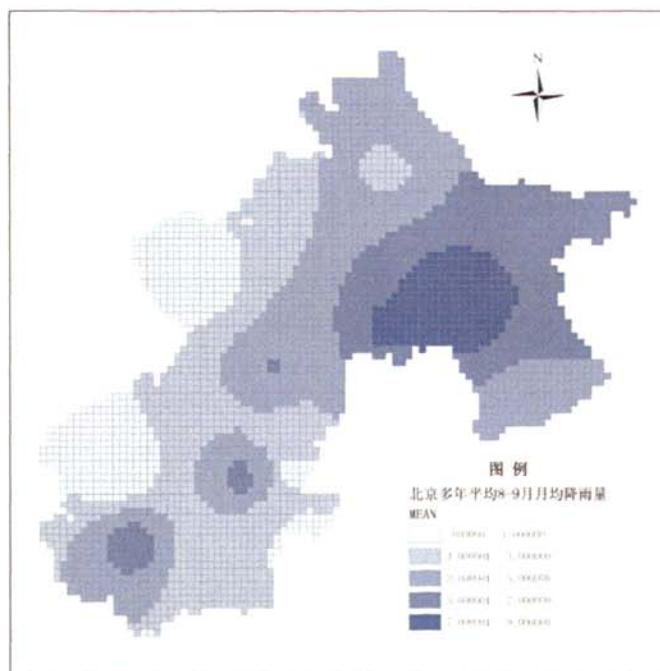


图 4.1.8 北京 8-9 月最大日降雨量指标评价图

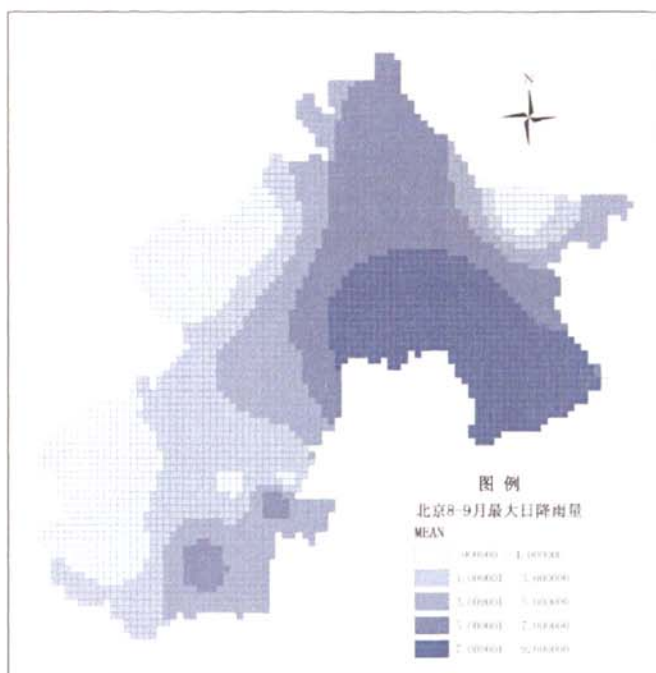


图 4.1.9 多年平均 8-9 月月均降雨量指标评价图

#### 4.1.5 其他评价指标信息的提取

北京山区泥石流、崩滑塌等地质灾害的发生，除了与岩性、植被覆盖度、降水等因素有关外，还受流域面积、相对高差、节理发育度等因素的影响。为了更好地反映北京山区地质灾害的形成，对灾害进行评价，将北京山区地质灾害野外数据进行整理，分别对泥石流评价指标和崩滑塌评价指标进行分析，得到相关的评价指标图。具体步骤如下：

1. 整理、分类、录入野外数据，形成 shp 格式点状图层。
2. 依据评价指标体系，对点图层进行分类。
3. 点图层与北京山区 2 千米网格图进行相交（intersect）处理，以 ID 为关键字。
4. 根据 ID 对相交图层再进行融合（dissolve）处理，分析得到每个评价指标的平均值。
5. 北京山区 2 千米网格图与评价指标平均值点图层，按照关键字 ID 进行连接（Join），得到相关的评价指标图（如图 4.1.10 到图 4.1.16）。



图 4.1.10 泥石流沟床纵比降指标评价图

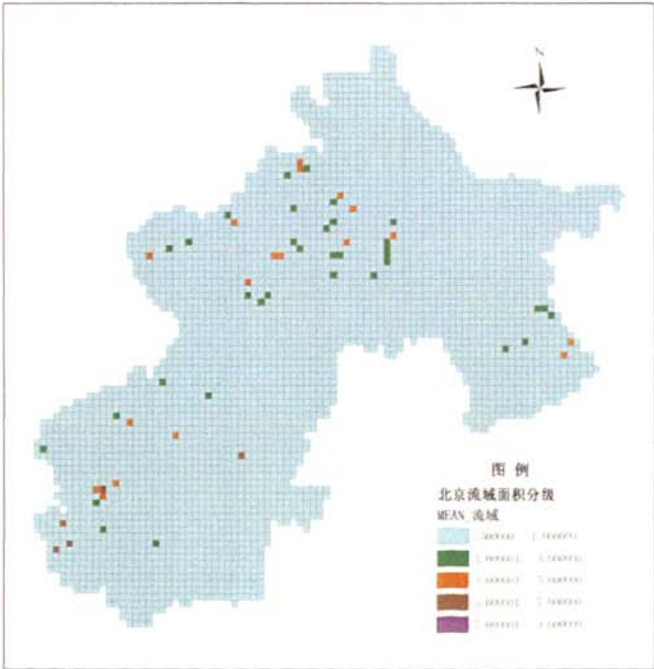


图 4.1.11 泥石流流域面积指标评价图

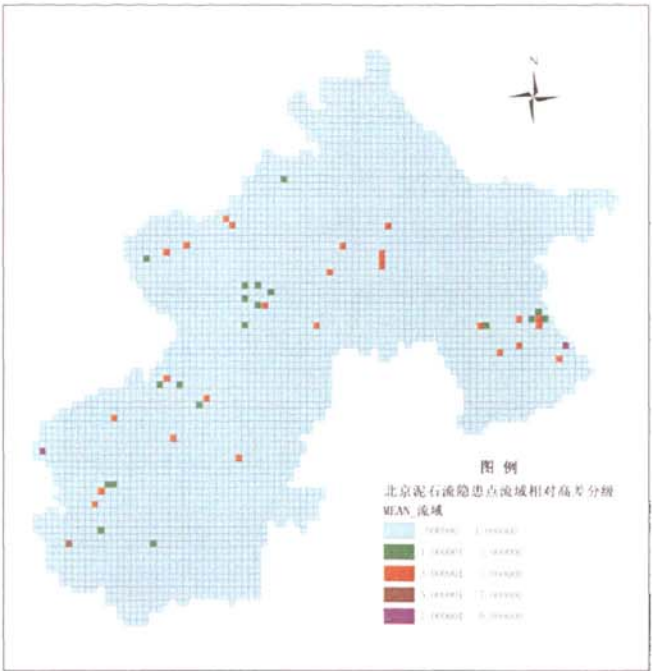


图 4.1.12 泥石流相对高差指标评价图

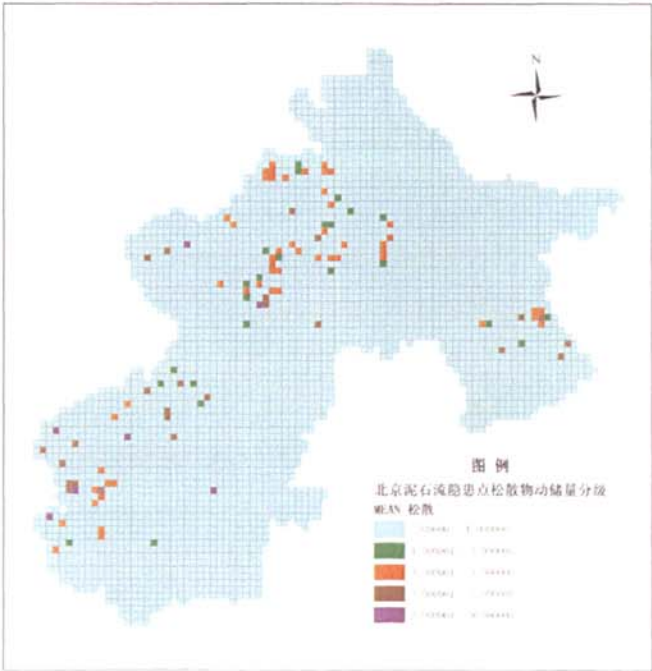


图 4.1.13 泥石流松散物动储量指标评价图

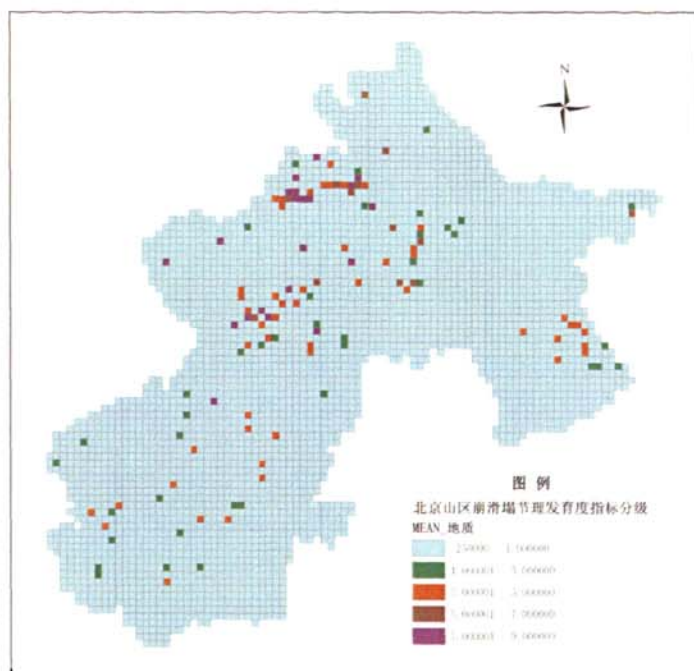


图 4.1.14 崩滑塌节理发育度指标评价图

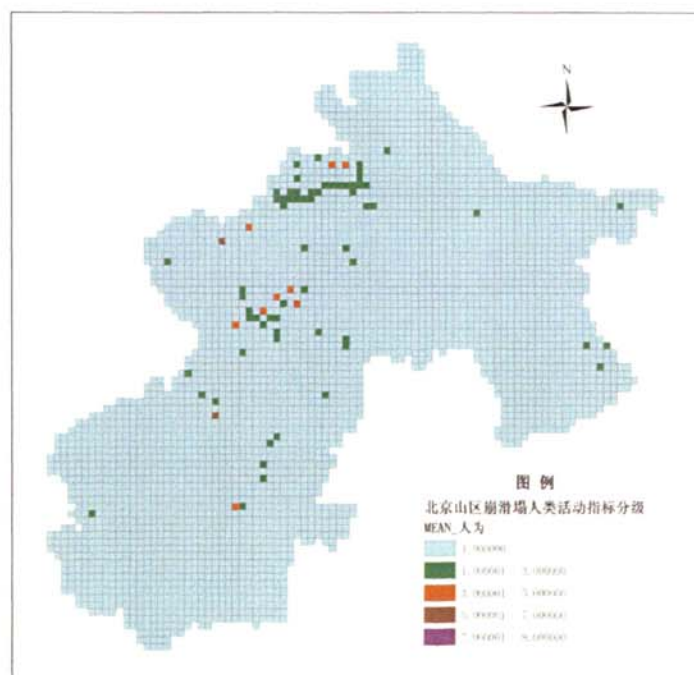


图 4.1.15 崩滑塌人类活动指标评价图



图 4.1.16 崩塌相对高差指标评价图

## 4.2 地质灾害危险性评价

各因素指标对地质灾害危险性的作用程度不同，在地质灾害危险性评价计算时，必须把因素的这种作用程度进行量化。本文采用层次分析法通过对两两指标的对比来确定指标间的重要性，并逐层比较多种关联指标，最后确定各指标的权重大小。

### 4.2.1 泥石流危险性评价指标权重的确定

采用层次分析法分析泥石流危险性权重的步骤如下：

#### 1. 明确问题，建立递阶层次结构模型

泥石流危险性评价指标体系分为地形地貌条件、地质条件和降雨植被条件。评价指标有流域面积、流域相对高差、沟床纵比降、山坡坡度、松散物动储量、地层岩性、8-9 月最大日降雨量、多年平均 8-9 月月均降雨量和植被覆盖度，共计 9 个评价指标。递阶层次结构图如图 4.2.1。

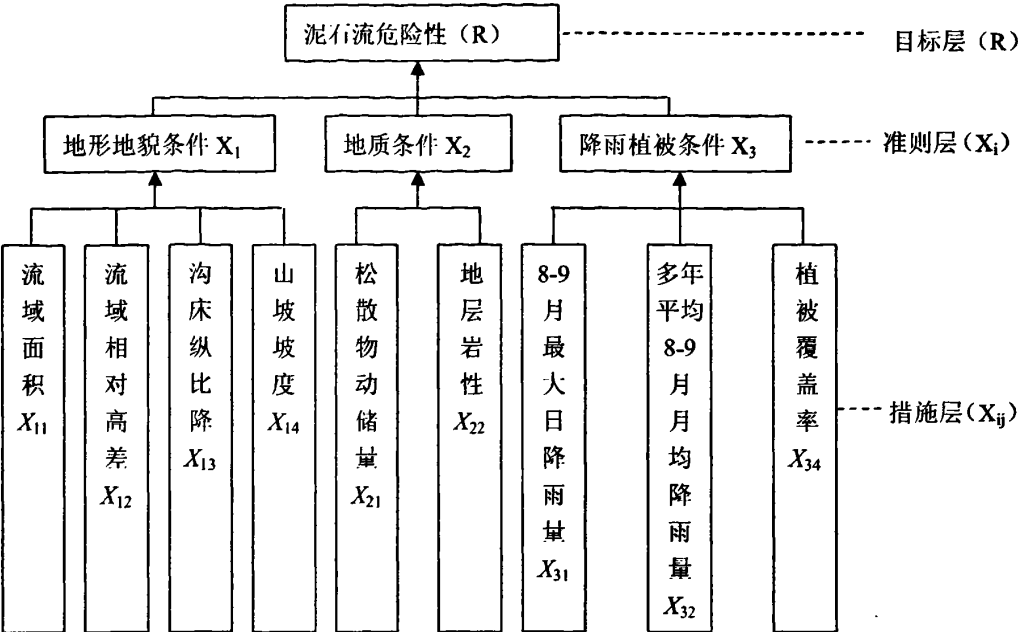


图 4.2.1 泥石流危险性评价递阶层次结构图

2. 构造判断矩阵，进行一致性检验

本文共请了 10 名地质灾害方面的专家进行打分，将专家评分表格进行分析，构造判断矩阵。判断矩阵必须进行一致性检验，检验不合格的专家再重新打分。矩阵先进行层次单排序，然后进行检验。现以一个专家打分的矩阵为例。

(1) R 与 X 构造矩阵及层次单排序

| R              | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | W      |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| X <sub>1</sub> | 1.0000         | 3.0000         | 0.5000         | 0.3090 |
| X <sub>2</sub> | 0.3333         | 1.0000         | 0.2000         | 0.1095 |
| X <sub>3</sub> | 2.0000         | 5.0000         | 1.0000         | 0.5815 |

$\lambda_{\max}=3.004, CI=0.002, CR=0.003<0.10$

(2) X<sub>1</sub> 与 X<sub>11</sub>、X<sub>12</sub>、X<sub>13</sub>、X<sub>14</sub>构造矩阵及层次单排序

| X <sub>1</sub>  | X <sub>11</sub> | X <sub>12</sub> | X <sub>13</sub> | X <sub>14</sub> | W      |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| X <sub>11</sub> | 1.0000          | 0.2000          | 0.1429          | 0.1111          | 0.0403 |
| X <sub>12</sub> | 5.0000          | 1.0000          | 0.3333          | 0.1429          | 0.1185 |
| X <sub>13</sub> | 7.0000          | 3.0000          | 1.0000          | 1.0000          | 0.3632 |
| X <sub>14</sub> | 9.0000          | 7.0000          | 1.0000          | 1.0000          | 0.4780 |

$\lambda_{\max}=4.204, CI=0.068, CR=0.076<0.10$

(3)  $X_2$  与  $X_{21}$ 、 $X_{22}$  构造矩阵及层次单排序

| R        | $X_{21}$ | $X_{22}$ | W      |
|----------|----------|----------|--------|
| $X_{21}$ | 1.0000   | 7.0000   | 0.8750 |
| $X_{22}$ | 0.1429   | 1.0000   | 0.1250 |

$\lambda_{\max}=2, CI=RI=0$

(4)  $X_3$  与  $X_{31}$ 、 $X_{32}$ 、 $X_{33}$  构造矩阵及层次单排序

| $X_3$    | $X_{31}$ | $X_{32}$ | $X_{33}$ | W      |
|----------|----------|----------|----------|--------|
| $X_{31}$ | 1.0000   | 5.0000   | 1.0000   | 0.4545 |
| $X_{32}$ | 0.2000   | 1.0000   | 0.2000   | 0.0910 |
| $X_{33}$ | 1.0000   | 5.0000   | 1.0000   | 0.4545 |

$\lambda_{\max}=3, CI=0, CR=0<0.10$

3. 层次总排序，进行一致性检验

上面得到的是一组指标对其上一层指标的权向量，最终要得到各指标特别是最低层中各指标对于总目标的排序权重，需要进行总排序。总排序权重要自上而下地将单准则下的权重进行合成。对于影响泥石流地质灾害指标进行总排序，如下表所示：

| R        | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | W      |
|----------|-------|-------|-------|--------|
|          | 0.309 | 0.110 | 0.581 |        |
| $X_{11}$ | 0.040 | 0.000 | 0.000 | 0.0124 |
| $X_{12}$ | 0.119 | 0.000 | 0.000 | 0.0366 |
| $X_{13}$ | 0.363 | 0.000 | 0.000 | 0.1122 |
| $X_{14}$ | 0.478 | 0.000 | 0.000 | 0.1477 |
| $X_{21}$ | 0.000 | 0.875 | 0.000 | 0.0963 |
| $X_{22}$ | 0.000 | 0.125 | 0.000 | 0.0138 |
| $X_{31}$ | 0.000 | 0.000 | 0.455 | 0.2641 |
| $X_{32}$ | 0.000 | 0.000 | 0.091 | 0.0528 |
| $X_{33}$ | 0.000 | 0.000 | 0.455 | 0.2641 |

对总排序结果进行一致性检验， $CR=0.0342<0.1$ ，因此认为该专家的层次总排序结果具有满意的一致性，达到要求。分析十位专家的结果，都具有满意的一

致性。最后将权重值取平均值得到表 4.2.1:

表 4.2.1 泥石流危险性评价指标权重

| X               | $X_{ij}$                 | 总权重    |
|-----------------|--------------------------|--------|
| 地形地貌条件<br>$X_1$ | 流域面积 $X_{11}$            | 0.0324 |
|                 | 流域相对高差 $X_{12}$          | 0.0648 |
|                 | 沟床纵比降 $X_{13}$           | 0.1275 |
|                 | 山坡坡度 $X_{14}$            | 0.1085 |
| 地质条件<br>$X_2$   | 松散物动储量 $X_{21}$          | 0.1768 |
|                 | 地层岩性 $X_{22}$            | 0.0458 |
| 降雨植被条件<br>$X_3$ | 8-9 月最大日降雨量 $X_{31}$     | 0.2479 |
|                 | 多年平均 8-9 月月均降雨量 $X_{32}$ | 0.0473 |
|                 | 植被覆盖度 $X_{33}$           | 0.1490 |

4.2.2 崩滑塌危险性评价指标权重的确定

采用层次分析法分析崩滑塌危险性权重的步骤如下:

1. 明确问题, 建立递阶层次结构模型

崩滑塌危险性评价指标体系分为地形地貌条件、地质条件和诱发条件。评价指标有相对高差、山坡坡度、植被覆盖度、地层岩性、节理发育度、8-9 月最大日降雨量、多年平均 8-9 月月均降雨量和人类活动, 共计 8 个评价指标。递阶层次结构图如图 4.2.2 崩滑塌危险性评价递阶层次结构图。

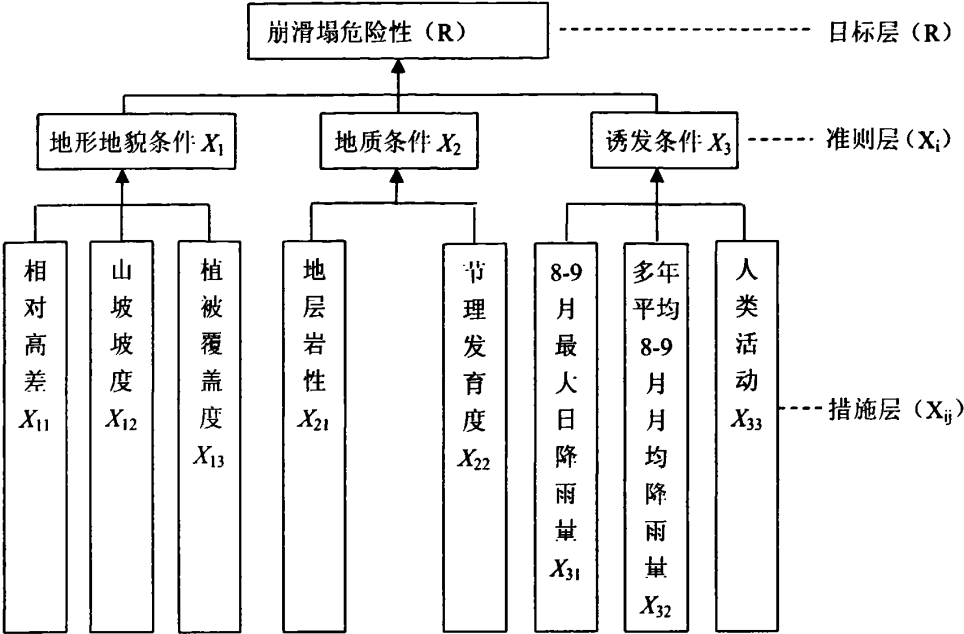


图 4.2.2 崩塌危险性评价递阶层次结构图

2. 构造判断矩阵，进行一致性检验

与泥石流危险性权重计算相似，也由 10 名地质灾害方面的专家进行打分，将专家评分表格进行分析，构造判断矩阵。判断矩阵必须进行一致性检验，检验不合格的专家再重新打分。矩阵先进行层次单排序，然后进行检验。现以一个专家打分的矩阵为例。

(1) R 与 X 构造矩阵及层次单排序

| R              | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | W      |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| X <sub>1</sub> | 1.0000         | 0.5000         | 0.5000         | 0.2000 |
| X <sub>2</sub> | 2.0000         | 1.0000         | 1.0000         | 0.4000 |
| X <sub>3</sub> | 2.0000         | 1.0000         | 1.0000         | 0.4000 |

$\lambda_{\max}=3, CI=RI=0$

(2) X<sub>1</sub> 与 X<sub>11</sub>、X<sub>12</sub>、X<sub>13</sub>、X<sub>14</sub>构造矩阵及层次单排序

| X <sub>1</sub>  | X <sub>11</sub> | X <sub>12</sub> | X <sub>13</sub> | W      |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| X <sub>11</sub> | 1.0000          | 1.0000          | 2.0000          | 0.3669 |
| X <sub>12</sub> | 1.0000          | 1.0000          | 5.0000          | 0.4979 |
| X <sub>13</sub> | 0.5000          | 0.2000          | 1.0000          | 0.1352 |

$\lambda_{\max}=3.094, CI=0.047, CR=0.081<0.10$

(3)  $X_2$  与  $X_{21}$ 、 $X_{22}$ 、构造矩阵及层次单排序

| R        | $X_{21}$ | $X_{22}$ | W      |
|----------|----------|----------|--------|
| $X_{21}$ | 1. 0000  | 1. 0000  | 0. 500 |
| $X_{22}$ | 1. 0000  | 1. 0000  | 0. 500 |

$\lambda_{\max}=2, CI=RI=0$

(4)  $X_3$  与  $X_{31}$ 、 $X_{32}$ 、 $X_{33}$ 构造矩阵及层次单排序

| $X_3$    | $X_{31}$ | $X_{32}$ | $X_{33}$ | W       |
|----------|----------|----------|----------|---------|
| $X_{31}$ | 1. 0000  | 3. 0000  | 0. 5000  | 0. 3090 |
| $X_{32}$ | 0. 3333  | 1. 0000  | 0. 2000  | 0. 1094 |
| $X_{33}$ | 2. 0000  | 5. 0000  | 1. 0000  | 0. 5816 |

$\lambda_{\max}=3. 004, CI=0. 0018, CR=0. 003<0. 10$

3. 层次总排序，进行一致性检验

上面得到的是一组指标对其上一层指标的权向量，最终要得到各指标特别是最低层中各指标对于总目标的排序权重，需要进行总排序。总排序权重要自上而下地将单准则下的权重进行合成。对于影响崩滑塌地质灾害指标进行总排序，如下表所示：

| R        | $X_1$   | $X_2$   | $X_3$   | W       |
|----------|---------|---------|---------|---------|
|          | 0. 200  | 0. 400  | 0. 400  |         |
| $X_{11}$ | 0. 3669 | 0. 0000 | 0. 0000 | 0. 0734 |
| $X_{12}$ | 0. 4979 | 0. 0000 | 0. 0000 | 0. 0996 |
| $X_{13}$ | 0. 1352 | 0. 0000 | 0. 0000 | 0. 0270 |
| $X_{21}$ | 0. 0000 | 0. 5000 | 0. 0000 | 0. 2000 |
| $X_{22}$ | 0. 0000 | 0. 5000 | 0. 0000 | 0. 2000 |
| $X_{31}$ | 0. 0000 | 0. 0000 | 0. 3090 | 0. 1236 |
| $X_{32}$ | 0. 0000 | 0. 0000 | 0. 1095 | 0. 0438 |
| $X_{33}$ | 0. 0000 | 0. 0000 | 0. 5816 | 0. 2326 |

对总排序结果进行一致性检验， $CR=0. 0291<0. 1$ ，因此认为该专家的层次总排序结果具有满意的一致性，达到要求。分析十位专家的结果，都具有满意的一致性。最后将权重值取平均值得到表 4. 2. 2 崩滑塌危险性评价指标权重：

表 4.2.2 崩滑塌危险性评价指标权重

| X               | $X_{ij}$                 | 总权重    |
|-----------------|--------------------------|--------|
| 地形地貌条件<br>$X_1$ | 相对高差 $X_{11}$            | 0.0424 |
|                 | 山坡坡度 $X_{12}$            | 0.0568 |
|                 | 植被覆盖度 $X_{13}$           | 0.0375 |
| 地质条件<br>$X_2$   | 地层岩性 $X_{21}$            | 0.0993 |
|                 | 节理发育度 $X_{22}$           | 0.1916 |
| 诱发条件<br>$X_3$   | 8-9 月最大日降雨量 $X_{31}$     | 0.2724 |
|                 | 多年平均 8-9 月月均降雨量 $X_{32}$ | 0.0738 |
|                 | 人类活动 $X_{33}$            | 0.2262 |

4.2.3 地质灾害危险性指数计算

地质灾害风险源灾害危险性程度采用危险性指数来表示。危险性指数越高，未来发生灾害的概率就越大，也就是灾害的风险可能性越大。某类地质灾害风险源危险性性指数的数学计算模型如下：

$$F = \sum_{j=1}^m R(j) \cdot X(i, j)$$

(4.2.1)

式中： $F$  为某类地质灾害风险源危险性性指数； $m$  为参评指标总数； $R(j)$  为各评价指标的权重值； $X(i, j)$  为各评价指标原始数据按灾害指标分级标准得到的赋值数据。

将某类地质灾害风险可能性评价指标的权重代入式(4.2.1)即可得到该类地质灾害危险性指数计算式。

泥石流灾害危险性指数  $F_n$  按下式计算：

$$F_n = 0.0324X_{11} + 0.0648X_{12} + 0.1275X_{13} + 0.1085X_{14} + 0.1768X_{21} + 0.0458X_{22} + 0.2479X_{31} + 0.0473X_{32} + 0.1490X_{33}$$

(4.2.2)

式中  $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{13}$ 、 $X_{14}$ 、 $X_{21}$ 、 $X_{22}$ 、 $X_{31}$ 、 $X_{32}$  和  $X_{33}$  分别代表泥石流沟的流域面积、流域相对高差、沟床纵比降、山坡坡度、松散物动储量、地层岩性、8-9

月最大日降雨量、多年平均 8-9 月月均降雨量和植被覆盖度。

崩滑塌灾害危险性指数  $Fb$  按下式计算：

$$F_b = 0.042X_{11} + 0.0568X_{12} + 0.0375X_{13} + 0.0999X_{21} + 0.1916X_{22} + 0.2724X_{31} + 0.0738X_{32} + 0.2262X_{33}$$

(4.2.3)

式中  $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{13}$ 、 $X_{21}$ 、 $X_{22}$ 、 $X_{31}$ 、 $X_{32}$  和  $X_{33}$  分别代表崩滑塌危险性评价指标中的相对高差、山坡坡度、植被覆盖度、地层岩性、节理发育度、8-9 月最大日降雨量、多年平均 8-9 月月均降雨量和人类活动。

按上式计算，泥石流、崩滑塌灾害危险性指数最大值为 9，最小值为 1，这是两个极端情况，事实上上述地质灾害风险源成灾危险性指数均应介于 1-9 之间。结合灾害活动的实际情况，参考国内其他地区灾害的评判标准将上述地质灾害风险危险性指数依由小到大划分为五级，即 A 级—极低，B 级—低，C 级—中等，D 级—高，E 级—极高，其划分标准分别列于表 4.2.3 中。

表 4.2.3 地质灾害危险性等级划分标准

| 灾种  | 指标    | 风险可能性等级   |          |           |          |           |
|-----|-------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|     |       | 极低<br>(A) | 低<br>(B) | 中等<br>(C) | 高<br>(D) | 极高<br>(E) |
| 泥石流 | $F_n$ | <2        | 2~3.5    | 3.5~5     | 5~6.5    | >6.5      |
| 崩滑塌 | $F_b$ | <3        | 3~4      | 4~5       | 5~6      | >6        |

根据地质灾害危险性指数计算公式及地质灾害危险性等级划分标准，在 ArcMap 平台的支持下，对数据进行叠加分析 (Calculate Values)，得到北京山区泥石流危险性评价图和北京山区崩滑塌流危险性评价图（如图 4.2.3 北京山区泥石流危险性评价图）。

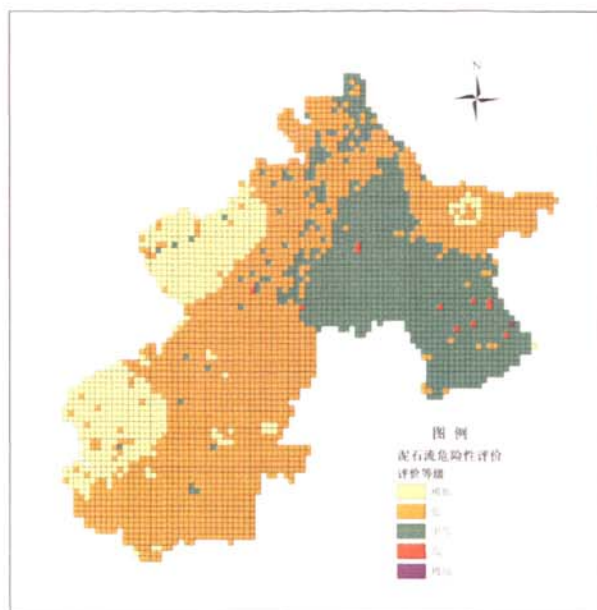


图 4.2.3 北京山区泥石流危险性评价图

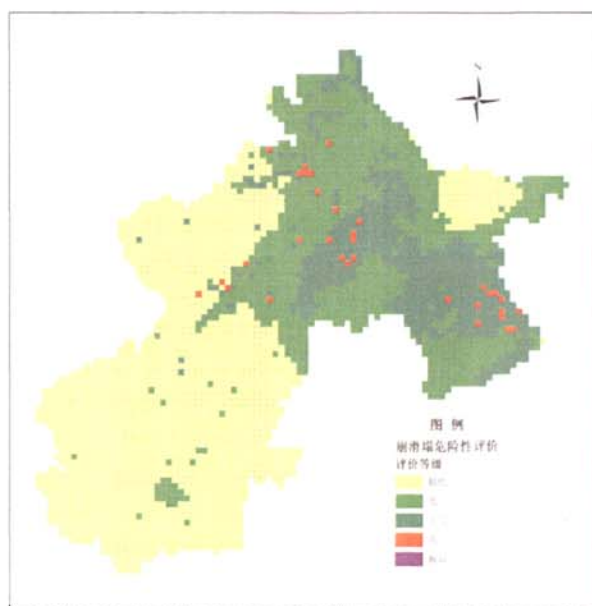


图 4.2.4 北京山区崩滑塌危险性评价图

## 4.3 地质灾害易损性评价

### 4.3.1 易损性的计算方法

根据地质灾害易损性评价分级标准, 需要计算受威胁人数及直接经济损失。具体方法如下:

#### 1、受威胁人数的计算方法

受威胁人数的计算主要取决于风险源附近居住人员多少。对于村庄, 以风险源附近居住的村民为准, 而不是全村人数; 对于旅游景区, 在核算受威胁人数时, 必须综合考虑该景区的可容纳游人数量, 以该人数为准; 对于矿区矿工宿舍, 以工作人员人数为准。

#### 2、经济损失的计算方法

受灾体的直接经济损失可通过核算受灾体价值和灾害导致的损失率, 并考虑受灾体的风险承受能力和控制能力, 建立数学模型进行计算得到。

##### (1) 确定受灾体种类

地质灾害受灾体种类繁多, 在直接经济损失评价中, 不可能逐一核算它们的价值损失, 只能将受灾体划分为若干类型, 然后分类进行统计分析, 获得灾害风险后果评价所需要的直接经济损失。

根据调查, 北京地质灾害主要发生在远郊山区, 其危害对象(受灾体)大致划分为 9 类(除人以外): ①房屋建筑; ②室内财产; ③公路; ④铁路; ⑤生命线工程(输电线路、通信线路等); ⑥农作物; ⑦大牲畜; ⑧耕地; ⑨林地。

##### (2) 受灾体价值核算方法

###### ①房屋建筑价值

各类建筑物总数量是房屋建筑价值损失评价的重要依据。可由两个途径获取资料: 一是房屋建筑及其它设施的总数, 可根据受灾的乡(镇)和居民点, 由有关部门的统计资料中直接查得; 二是住宅房屋面积的总数, 可通过调查取得总户数、户均房屋面积, 由下式计算得到:

$$T = \alpha \cdot A \cdot H \quad (4.3.1)$$

式中:  $T$  为房屋建筑的总面积;  $A$  为户均房屋面积;  $H$  为总户数;  $\alpha$  为考虑公用房屋建筑面积的修正系数, 一般取 1.0-1.2。

建筑物单价应以当地建筑现造价为基础，根据调查结果或与有关部门协商确定，该造价应根据房屋的新老程度做适当折减。建筑的新老程度以建成时间划限，单个建筑的折减系数按表 4.3.1 取值，对每类建筑的平均新老程度折减系数 C 可以按下式计算：

$$C = C_1B_1 + C_2B_2 + C_3B_3, \dots$$

(4.3.2)

式中： $B_1$ 、 $B_2$ 、…… 表示不同建成年限该类建筑所占比例； $C_1$ 、 $C_2$ 、…… 表示单个建筑的折减系数，按下表取值。C 表示该类建筑的平均新老程度折减系数。

建筑物单价按下式计算：

$$W = C \times D$$

(4.3.3)

式中 W 为建筑物单价。

表 4.3.1 建筑物新老程度折减系数

| 建成年限/年 | 折减系数    |
|--------|---------|
| 1-10   | 1.0-0.9 |
| 11-25  | 0.9-0.7 |
| 26-50  | 0.7-0.5 |
| 51 年以上 | 0.5-0.2 |

房屋建筑的总面积与考虑折旧后的建筑单价相乘即为房屋建筑的价值。

② 室内财产价值

室内财产价值主要与户主的经济水平有关，北京市地质灾害危害区大部分在远郊山区，经济发展相对落后，因此在核算室内财产价值时，可根据风险源所在的地区来评估财产价值的大小。为评价方便，房屋的室内财产价值根据其所处地域取 1000～5000 元/间。

③ 公路、铁路和生命线工程价值

公路、铁路和各种生命线工程等单价以单位工程造价计。单位工程造价向有关部门咨询的确定。承灾体总体的计量单位为公里或米。承灾体总体的价值为该受灾体长度与单位造价的乘积。

④ 农作物价值

农作物包括玉米、高粱、豆类等，以各农作物市场价格为单位价格，各农作物总体价值为农作物的产量与该农作物单价的乘积。

### ⑤ 大牲畜价值

大牲畜含马、牛、羊、猪等，从统计年鉴查取各乡镇年末大牲畜存栏头数，再按出栏头数及其相应收入求取平均每头价格，大牲畜价值为大牲畜数量与平均每头价格的乘积。

### ⑥ 耕地和林地价值

北京市地质灾害主要危害的土地资源为耕地和林地。在核算耕地和林地价值时，先对评价风险源所处的耕地、林地面积进行统计，再根据评价风险源所在地区现行土地使用费或土地出让价，直接确定两者的单价。耕地、林地价值为土地面积与土地单价的乘积。

## 4.3.2 地质灾害易损性评价结果

根据上述易损性计算方法及易损性评价指标，得到北京山区地质灾害易损性评价图（如图 4.3.1，图 4.3.2）。

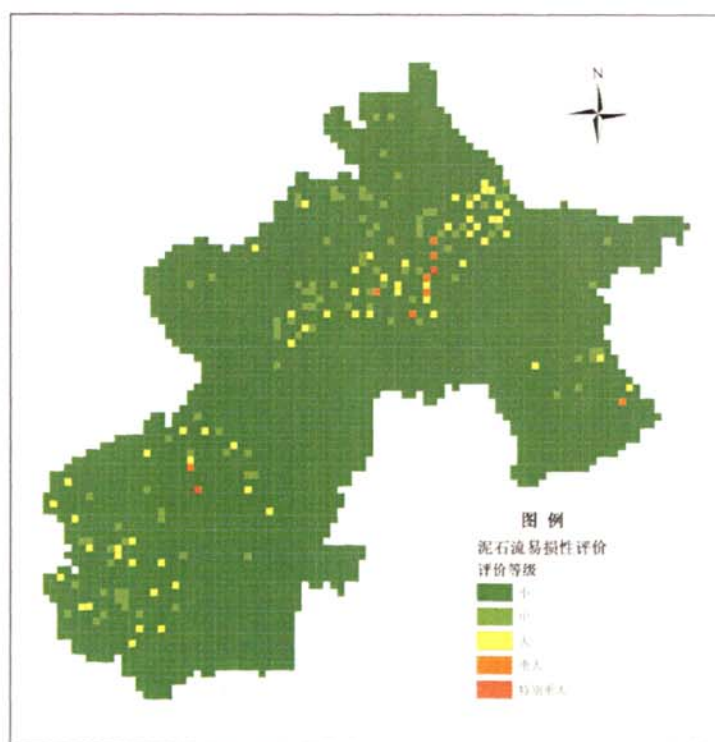


图 4.3.1 泥石流易损性评价图

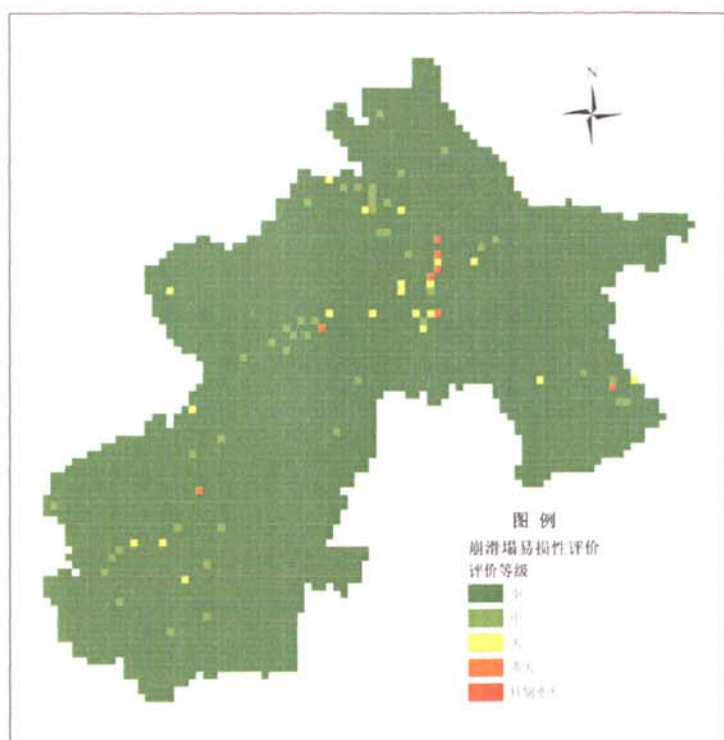


图 4.3.2 崩滑塌易损性评价图

## 4.4 地质灾害风险评价

### 4.4.1 地质灾害风险评价标准

地质灾害风险评价是对风险源发生不同强度地质灾害活动的危险性及其可能对人们的生命财产构成的危害程度进行的定量化分析与评价,它是建立在风险危险性分析与易损性分析的基础上的。地质灾害风险危险性越大,易损性越严重,则风险等级就越高。地质灾害风险评价的目的在于为政府部门制定防灾、减灾、救灾的工作部署提供依据。

本次地质灾害风险分级参考澳大利亚和新西兰风险管理标准(Risk Management, AS/NZS 4360:1999),具体的分级标准如表 4.4.1 所示。表中地质灾害危险性和易损性分为五级,1 为最小,5 为最大。1 到 5 的等级分别对应各灾种危险性及易损性等级。

表 4.4.1 地质灾害风险分级标准

|     |   | 易损性 |   |    |    |    |
|-----|---|-----|---|----|----|----|
| 危险性 |   | 1   | 2 | 3  | 4  | 5  |
|     | 1 | 低   | 低 | 低  | 中  | 高  |
|     | 2 | 低   | 低 | 中  | 高  | 极高 |
|     | 3 | 低   | 中 | 高  | 极高 | 极高 |
|     | 4 | 中   | 高 | 高  | 极高 | 极高 |
|     | 5 | 高   | 高 | 极高 | 极高 | 极高 |

4.4.2 地质灾害风险评价结果

将泥石流及崩滑塌地质灾害的危险性和易损性评价图，根据地质灾害分级标准，在 ArcMap 中进行叠加运算，分别得到泥石流和崩滑塌风险评价图（如图 4.4.1，图 4.4.2）。

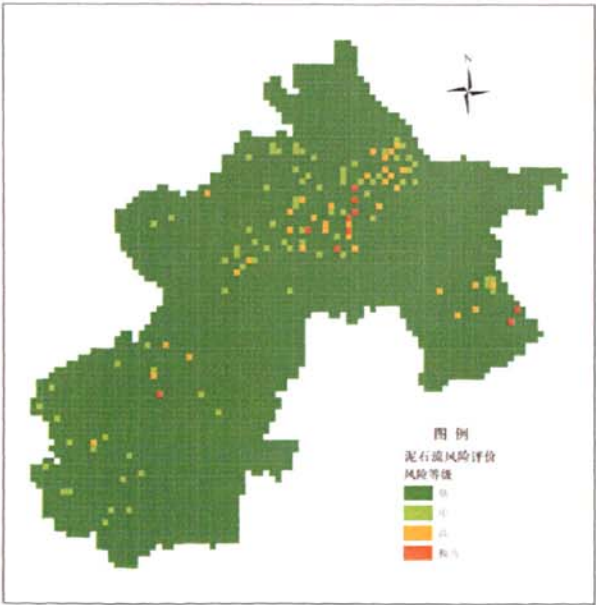


图 4.4.1 泥石流风险评价图

泥石流风险等级灾害点的分布及特征。

### 1. 极高风险区

泥石流的极高风险区共有 10 个, 占北京市山区面积的 0.29%, 主要分布在怀柔的中部, 平谷的东部地区和门头沟京西十八潭景区。大部分地区山高坡陡, 沟谷深切, 地质构造复杂, 岩性多为炭质粉砂岩、炭质页岩和碎屑岩、火山碎屑岩等, 汛期雨量大且日降雨量集中。怀柔中部主要是旅游景区, 雨季游客人数多, 可能造成较大的人员伤亡。平谷东部主要是村庄和耕地, 如将军关村, 55 年就曾发生严重的泥石流灾害, 现在有几十人及百余亩耕地受到威胁, 应立即予以处理, 避免人员财产损失。

### 2. 高风险区

泥石流的极高风险区共有 34 个, 占北京市山区面积的 0.97%, 主要分布在怀柔中部、密云西北部、平谷北部地区、延庆山区、昌平北照台地区、门头沟的苇子水和房山的史家营地区。大部分地区地势较陡, 坡度较大, 沟谷切割较深, 岩性多为较软弱状碎屑岩、粘土岩、页岩、火山碎屑岩等。汛期雨量较大且日降雨较集中。北部山区主要集中在景区和村庄。南部山区主要是植被覆盖度低, 且因采煤有大量松散物质堆积, 为泥石流的爆发提供了物源。同时, 该处经济较发达, 居民点多, 交通干线较密集, 受灾体数量较多, 灾害一旦发生较易受到损失。

### 3. 中风险区

泥石流的极高风险区共有 79 个, 占北京市山区面积的 2.26%, 主要分布在怀柔中部、密云西北部、平谷北部地区、延庆山区、门头沟西部和房山西部。这些地区地势较陡, 沟谷切割程度一般, 大部分地区岩石为中厚层状碎屑岩, 粘土岩、页岩等, 汛期雨量充沛, 植被覆盖度较好。该处经济发展水平一般, 受威胁人数较少, 房屋等受灾体数量较少。

### 4. 低风险区

北京山区大部分为泥石流地质灾害低风险区, 占北京市山区面积的 96.48%。这部分存在泥石流风险的地区中, 大部分地形高差很小, 坡度较小, 岩石较坚硬完整。汛期降雨量相对较小。植被覆盖度高。受威胁人口少, 房屋较少, 对耕地威胁小, 其他受灾体数量较少。

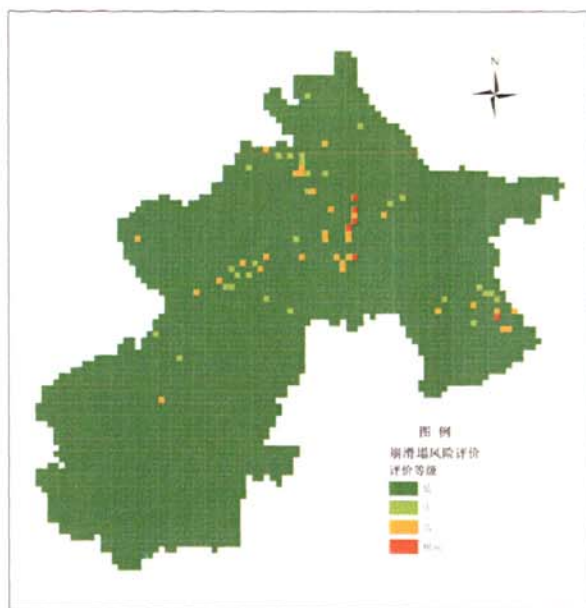


图 4.4.2 崩滑塌风险评价图

崩滑塌风险等级灾害点的分布及特征。

#### 1. 极高风险区

崩滑塌的极高风险区共有 6 个，占北京市山区面积的 0.17%，主要分布在怀柔的中部、平谷的石林峡景区。大部分地区山高坡陡，节理发育度高，岩石破碎，多为炭质粉砂岩、炭质页岩和碎屑岩、火山碎屑岩等，汛期雨量大且日降雨量集中，人类活动频繁。上述地区主要是旅游景区及度假村，夏季游客人数众多，可能造成较大的人员伤亡。

#### 2. 高风险区

崩滑塌的极高风险区共有 31 个，占北京市山区面积的 0.89%，主要分布在怀柔中部、平谷中部地区、延庆西南部、309 市道及门头沟京西十八潭景区。这些地区地势较陡，坡度较大，节理发育度较高，岩石较破碎，汛期雨量较大且日降雨较集中，人类活动较为频繁。大部分地区经济较发达，居民点多，交通干线较密集，受灾体数量较多。部分风险源位于的旅游景点内，夏季旅客数量较多，防灾减灾工程较少，灾害一旦发生，将会造成较严重人员伤亡和经济损失。

#### 3. 中风险区

崩滑塌的极高风险区共有 29 个，占北京市山区面积的 0.83%，主要分布在怀柔中部、延庆东部、平谷北部地区和昌平东部。这些地区地势较陡，节理发育度

小,岩石为中厚层状碎屑岩,粘土岩、页岩等,汛期雨量充沛,植被覆盖度较好,人类活动一般。该处经济发展水平一般,受威胁人数较少,房屋等受灾体数量较少。小部分风险点位于地方级旅游景区内,由于其知名度低,接待游客数量有限。一旦灾害发生,造成的人员伤亡和经济损失一般。

#### 4、低风险区

北京山区大部分为崩滑塌地质灾害低风险区,占北京市山区面积的 98.11%。这部分存在崩滑塌风险的地区中,大部分地形高差一般,坡度较小,岩石较坚硬完整,植被覆盖度高,汛期降雨量相对较小,基本无人类活动或人类活动规范且影响很小。受威胁人口少,房屋较少,对耕地威胁小,其他受灾体数量较少。

### 4.5 北京山区地质灾害防治措施

#### 1. 树立以人为本、统筹城乡协调发展理念

重点针对位于地质灾害易发区内的公园、重要交通沿线、旅游开发沟谷、山区度假村等热点开发地段和重要文物保护单位、山区中小学、工矿以及门城镇等特别重要的城镇开发区和新农村规划地区进行 1:1 万或更大比例尺详查,查清这些地区的突发性地质灾害隐患,并对其发展趋势及潜在风险进行评价,提出减灾对策。

#### 2. 坚持预防为主、预报预警优先原则

在地质灾害调查评价工作的基础上,全面进行地质灾害预警区划,根据不同区域各自灾害特点、潜在危害程度,开展分区域、分级的有针对性的有效的突发地质灾害预警预报。进一步完善群测群防体系,将专业监测与群测群防网络进行有效耦合,形成群专结合的监测网络。

#### 3. 重视治理工作,实施重大工程、重要地段地质灾害综合治理工程

根据地质灾害的发展趋势及潜在威胁程度,按轻重缓急和治理的必要性综合安排治理工程,工程治理与当地的建设开发利用相结合。

对特别危险的崩塌、滑坡地质灾害体直接实施工程处理,消除灾害隐患;对受地质灾害威胁的重要文物保护单位,在保护的基础上,实施工程治理;对既是热点开发地段又是地质灾害隐患点的旅游景区或重要经济建设区,考虑景区开发和经济区建设的特点,结合小流域治理,进行地质灾害的综合工程治理。

#### 4. 树立社会全员参与意识，实施面向社会的服务战略

建立公益性地质灾害咨询机构和面向大众的地质灾害信息平台，为社会和公众提供减灾安全咨询和信息服务。

#### 5. 完善相关法规和制度，有效保障政策实施战略

建立完善北京地质灾害防治法规体系，依靠科技监督管理手段，保障减轻突发性地质灾害对城市安全影响的战略实施。

## 第五章 结论与展望

### 5.1 结论及主要创新点

#### 5.1.1 结论

本文研究的地质灾害主要是崩滑塌和泥石流,研究区域为北京有山地分布的十个区县,研究区总面积约 12878 平方公里,占全市面积的 78.6%。研究目的是从地质灾害形成的基本条件、诱发条件等分析入手,判明哪些区域最容易发生崩滑塌、泥石流,以及发生地质灾害的概率等。研究方法主要是通过地质灾害形成因子分析,在 GIS 技术支持下,采用因子叠加和数理统计等定性或定量的方法,结合地质灾害实地调查结果,判断北京山区地质灾害发生的概率,即进行地质灾害风险评价。

评价结果表明北京大部分山区地质灾害风险为低风险区,存在泥石流和崩滑塌灾害风险区分别占全区面积的 1.89%和 3.52%。泥石流灾害高风险区主要分布在怀柔中部、密云西北部、平谷北部地区、延庆山区,崩滑塌灾害的高风险区分布在怀柔中部、平谷中部地区、延庆西南部、309 市道等地区。

#### 5.1.2 主要创新点

本文初步尝试了对北京山区地质灾害进行风险评价,研究了一条北京地质灾害风险评价的流程,即通过研究北京山区地质环境了解地质灾害的发生、发展条件,建立评价指标体系,运用 GIS 技术提取指标信息,采用评价分析方法,分析北京山区地质灾害风险情况,可作为北京的地质灾害治理提供参考。

### 5.2 展望

本文存在以下二个方面的不足,有待改进:

1. 由于时间和精力有限,只采用了层次分析法对指标进行了评价,没有对其他传统评价方法进行比较研究。
2. 评价过程中采用了大量经验性的结论,虽然结合了野外实际的经验和部

分专家的指导，但仍显不足。

本文对北京山区地质灾害进行风险评价，尝试了一条北京地质灾害风险评价的思路，由于时间和作者水平有限，有些方面还需进一步深入研究，表现在以下几个方面：

1. 完善北京山区地质灾害风险评价指标体系。
2. 提高指标提取的精度。

## 参考文献

- [1] 《县(市)地质灾害调查与区划基本要求》实施细则(修订稿)[Z]. 国土资源部, 2006.
- [2] 北京城市总体规划(2004年-2020年)[Z].  
[http://www.bjpc.gov.cn/fzgh/cszgh/200508/t133\\_13.htm](http://www.bjpc.gov.cn/fzgh/cszgh/200508/t133_13.htm).
- [3] 英国伦敦大学Benfield灾害研究中心[Z].  
[http://www.benfieldhrc.org/resources/C471\\_lectures/2006/GEOL3026.Intro.ppt](http://www.benfieldhrc.org/resources/C471_lectures/2006/GEOL3026.Intro.ppt).
- [4] 潘懋, 李铁锋. 灾害地质学[M]. 北京大学出版社, 2004.
- [5] 段永侯等. 中国地质灾害[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [6] 罗元华, 张梁, 张业成. 地质灾害风险评估方法[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [7] 国土资源部地质环境司等编. 地质灾害防治条例释义[M]. 北京: 中国大地出版社, 2004.
- [8] Devin, LB. and Hobba LJ. Considerations for establishing flood mitigation priorities and appropriate level of adjustment(Australia)[A]. Proceedings of the Floodplain Management Conference [C], Canberra: Australian Government Publishing Service, 1997. 261~266.
- [9] Piers Blaikie, Terry Cannon, Ian Davis, et al. Risk: Natural hazard, people's vulnerability, and Disasters. London: Routledge, 1994. 147~167.
- [10] Shook G. An assessment of disaster risk and its management in Thailand[J]. Disasters, 1997, 21(1): 77-88.
- [11] 刘希林. 泥石流风险评价中若干问题的探讨[J]. 2000, 18(1): 341~345.
- [12] 罗奇峰. 都市灾害风险评估中的几个问题[C]. 全国首届灾害风险评估研讨会论文摘要集, 1996.
- [13] 唐少卿, 全美芳. 略论自然灾害的风险评估[C]. 全国首届灾害风险评估研讨会论文摘要集, 1996.
- [14] 黄安平. AS/NZS 4360风险管理标准评介[J]. 北方经贸, 2003, (10).
- [15] 魏风华. 河北省唐山市地质灾害风险区划研究[D]. 中国地质大学, 2006. 187.
- [16] Sigrid Roessner H W E A. 12. Potential of satellite remote sensing and GIS for landslide hazard assessment in southern Kyrgyzstan(Central Asia)[J]. Natural Hazards, 2005, :

- 395~416.
- [17] 沈芳, 黄润秋, 苗放, 许强. 地理信息系统与地质环境评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11(1): 6~10.
- [18] Mario Mejia-navarro E E W. Geological Hazard and Risk Evaluation Using GIS:Methodology and Model Applied to Medellin, Colombia[J]. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 1994, 31(4): 459~481.
- [19] Gupta R P J B C. Landslide hazard zoning using the GIS approach: a case study from the Ramganga Catchment, Himalayas[J]. Engineering Geology, 1990, 28(1): 119~131.
- [20] Miller D J. Coupling GIS with Physical Models to Assess Deep-Seated Landslide Hazards[J]. Enviroment & Engineering Geoscience, 1995, 1(3): 263~276.
- [21] Mario Mejia-navarro L G. Natural hazard and risk assessment using decision support system, application:Glenwood Springs , Colorado[J]. Enviroment & Engineering Geoscience, 1996, 3(2): 299~324.
- [22] Trevor J Davis C P K. Modelling and visualizing multiple spatial uncertainties[J]. Computer & Geoscience, 1997, 23(4): 397~408.
- [23] Desjardins R, Iris S, roy D W E. Efficacite des donnees de RADARSAT- 1 dans la reconnaissance deslineaments:un bilan(Efficacy of date of RADARSAT - 1 for recognizing lineaments:an appraisal)[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2000, 26(6): 537~548.
- [24] Canuti Paolo, casagli Nicola, catani Filippo E. Modeling of the Guagua Piehincha volcano(Ecuador) lahars[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2002, 27(36): 1587~1599.
- [25] Jaiswal R K, Mukherjee S, Krishnamurthy J E. Role of remote sensing and GIS techniques for generation of groundwater prospect zones towards rural development- An approach[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(5): 993~1008.
- [26] 赵金平, 焦述强. 基于GIS的地质环境评价在国外的研究现状[J]. 南通工学院学报(自然科学版), 2004, 3(2): 46~50.
- [27] 张业成, 张春山, 张梁等. 中国地质灾害系统层次分析与综合灾度计算[J]. 中国地质科学院院报, 1993, 27-28: 139~154.
- [28] 罗元华. 泥石流堆积区灾害破坏损失评价方法[J]. 中国地质矿产经济, 2000, (4): 33~36, 43.
- [29] 张梁, 张业成, 罗元华. 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 2002.

- [30] 柳源. 中国地质灾害(以崩、滑、流为主)危险性分析与区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(1): 95~99.
- [31] 张春山, 吴满路, 张业成. 地质灾害风险评价方法及展望[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 96~102.
- [32] 刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [33] 刘希林. 区域泥石流风险评价研究[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(1): 54~61.
- [34] 刘希林, 王小丹. 云南省泥石流风险区划[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 104~107.
- [35] 刘希林, 莫多闻, 王小丹. 区域泥石流易损性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(2): 7~12.
- [36] 刘希林, 苏鹏程. 四川省泥石流风险评价[J]. 灾害学, 2004, 19(2): 23~29.
- [37] 赵源, 刘希林. 人工神经网络在泥石流风险评价中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2005, 16(2): 135~138.
- [38] 沈芳, 黄润秋, 苗放, 文强. 区域地质环境评价与灾害预测的GIS技术[J]. 山地学报, 1999, 17(1): 338~342.
- [39] 向喜琼, 黄润秋, 许强. 地质灾害危险性评价系统的实现[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(3): 76~78.
- [40] 刘传正. 区域滑坡泥石流灾害预警理论与方法研究[J]. 水文地质工程地质, 2004, (3): 1~6.
- [41] 刘传正, 张明霞, 刘艳辉. 区域地质环境可持续利用评价体系初步研究[J]. 地学前沿, 2006, 13(1): 242~245.
- [42] 朱良峰, 殷坤龙. 基于GIS技术的区域地质灾害信息分析系统研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(3): 79~83.
- [43] 朱良峰, 殷坤龙, 张梁等. GIS支持下的地质灾害风险分析[J]. 长江科学院院报, 2002, 19(5): 42~45.
- [44] 王国良. 层次分析法在地质灾害危险性评估中的应用[J]. 西部探矿工程, 2006, (9): 286~288.
- [45] 喻凤莲, 张成江, 倪师军等. 基于GIS的攀枝花城市地质环境质量分区评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2007, 18(1): 79~82.
- [46] 郑彦华, 李吕存, 王明格. 基于地理信息系统的唐山市地质灾害危险性区划[J]. 河北理工学院学报, 2005, 27(4): 116~120.

- [47] 郑彦华. 唐山地区地质灾害危险性评价[D]. 河北理工大学, 2006. 88.
- [48] 吴红, 邵亮, 陆登荣. 兰州市区地质灾害与暴雨强度[J]. 干旱气象, 2005, 23(1): 63~67.
- [49] 罗培, 况明生, 光磊等. 重庆市地质灾害风险评估信息系统[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(6): 30~35.
- [50] 张春山. 北京北山地区泥石流灾害危险性评价[J]. 北京地质, 1996, (2): 11~20.
- [51] 杜涛. 北京地质灾害概况[J]. 北京地质, 2000, (4): 21~23.
- [52] 韦京莲, 董桂芝. 北京市地质灾害的危害及防治对策[J]. 水文地质工程地质, 2001, (3): 31~34.
- [53] 张有全, 宫辉力, 李巧刚. 基于GIS 的北京市延庆县地质灾害易发性区域划分[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(4): 17~24.
- [54] 黄润秋, 向喜琼, 巨能攀. 我国区域地质灾害评价的现状和问题[J]. 地质通报, 2004, 23(11).
- [55] 首都之窗. <http://www.beijing.gov.cn/rwbj/bjgm/sdjj/t648231.htm>[Z].
- [56] 中国矿山安全网. [http://www.govtv.gov.cn/Article\\_Show.asp?ArticleID=769](http://www.govtv.gov.cn/Article_Show.asp?ArticleID=769)[Z]. 2007.
- [57] 北京市地质矿产局. 北京市区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [58] 陈普, 陈云浩, 何春阳, 史培军. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报, 2001, 5(6): 416~422.
- [59] 郭锐. 植被指数及其研究发展[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 71~75.
- [60] 田静, 阎雨, 陈圣波. 植被覆盖率的遥感研究进展[J]. 国土资源遥感, 2004, 1(59): 1~5.
- [61] 董瑞伶. 基于3S技术灰鹤冬季生境选择研究——以野鸭湖湿地为例[D]. 北京: 首都师范大学, 2006. 41.
- [62] 龚建周, 夏北成. 基于遥感图像的广州市植被覆盖度内部结构与时空变化[J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(4): 25~28.
- [63] 李忠峰, 蔡运龙. 陕北榆林地区土地覆被变化分析[J]. 地理科学进展, 2006, 25(6): 102~107.

## 致谢

本文是在导师李小娟研究员和赵文吉教授精心指导下完成的，两位老师精湛的学术造诣、严谨而务实的治学态度、精益求精的工作作风和坦荡的胸襟使我受益匪浅，为我今后的学习和工作树立了楷模，在此向两位老师表示衷心的感谢！感谢首都师范大学资源环境与旅游学院的全体老师，首都师范大学资源环境与地理信息系统北京市重点实验室的全体同学，中国地质大学工程技术学院和北京市地质研究所的领导、专家和同学的大力支持！也要感谢我的父母及首都师范大学音乐学院刘晓航硕士，三年来他们给我以很大的鼓励与帮助，使我能够顺利完成论文。