前　言

联合国国际减灾十年（IDNDR）委员会在1991年提出的《国际减轻自然灾害十年的灾害预防、减少、减轻和环境保护纲要方案与目标》中，把灾害评估作为IDNDR要具体实现的三项目标中的第一项，说明开展灾害评估工作具有极为重要的意义。国际范围内如此高度重视灾害评估，是由于这项工作不仅是深入认识灾情状况的基础，而且是制定防治对策，规划防治区域，实施防治措施以及优选防灾项目，进行项目管理的基础。

我国在一些领域进行的灾害评估，已经在减灾、防灾中发挥了重要作用。例如我国在一些区域或城市完成的洪水灾害评估、地震灾害评估等，不但为国家经济规划和工程建设提供了重要依据，而且直接指导了减灾工作。然而，除地震以外的地质灾害由于还没有进行系统的评估研究，所以，迄今还没有建立科学实用的评估方法，对有关灾情的认识和对地质灾害可能造成的损失基本上采用经验比拟或简单统计方法进行估算，不同部门或不同学者对同一灾害得出的结果往往相差悬殊，因此影响了有关管理部门的科学决策和加强地质灾害的监测与有效防治工作。因此，进行地质灾害风险评估研究既具有理论意义，也具有重要的实用价值。

我国幅员辽阔，人口众多，气候多变，地形地貌和地质条件复杂，地质灾害类型多，分布广，频次高，是世界上地质灾害最严重的国家之一。为了对地质灾害进行有效的防治，国家设立了专门的资金渠道。自1991年开始，已对100多处重要灾害点进行勘查治理工作。但是，我国毕竟是一个发展中国家，由于财力和技术水平的限制，不可能对所有地质灾害同时进行全面治理，必须在研究地质灾害灾情的基础上，弄清哪些灾害危害最严重，需要优先治理？实施治理的技术可行性和经济效益如何？只有这样才能使有限的资金用在刀刃上，发挥最大的社会经济效益。因此，为了地质灾害综合防治的管理需要，由中国地质矿产经济研究院牵头，联合中国地质科学院562综合大队等单位开展了“地质灾害灾情评估”课题研究工作，并于1997年底取得了较好的工作成果，获得同行专家的好评。本书以该成果为基础，主要对地质灾害评估理论方法部分进行提炼、改编，重点是论述地质灾害风险评估的理论基础和方法体系，提出地质灾害危险性评估、易损性评估、破坏损失评估和防治工程效益评估的基本方法。

本书可供从事地质灾害防治工作的专业技术人员、管理工作者及有关科研人员，大专院校的研究人员、教师和学生参考使用。

地质灾害风险评估是一项全新的跨学科领域，本书提出的方法观点尚需不断探索和实践，加上编著者水平有限，存在错漏和不当之处，敬请读者指正。

目　录

前　言

第一章　国内外自然灾害风险评估现状与发展 …… (1)

第一节　国外自然灾害风险评估研究概况 …… (1)

第二节　国内自然灾害风险评估研究概况 …… (2)

第三节　国内外自然灾害风险评估进展和趋势 …… (4)

第二章　地质灾害风险评估的理论基础 …… (6)

第一节　地质灾害的基本属性 …… (6)

第二节　地质灾害的分类 …… (9)

第三节　地质灾害的分级 …… (12)

第四节　地质灾害动力学原理 …… (14)

第五节　地质灾害经济学原理 …… (22)

第三章　地质灾害风险评估体系 …… (23)

第一节　地质灾害成灾过程与灾情构成 …… (23)

第二节　地质灾害灾情基本要素和风险评估的主要任务 …… (24)

第三节　地质灾害风险评估类型 …… (25)

第四章　地质灾害危险性评价 …… (28)

第一节　地质灾害危险性评价指标体系 …… (28)

第二节　地质灾害危险性评价方法 …… (37)

第五章　地质灾害易损性评价 …… (53)

第一节　社会经济易损性构成及评价内容 …… (53)

第二节　地质灾害破坏效应及受灾体类型划分 …… (54)

第三节　地质灾害受灾体价值分析 …… (56)

第四节　受灾体损毁等级划分及价值损失率确定 …… (68)

第六章　地质灾害破坏损失评价 …… (76)

第一节　地质灾害破坏损失构成 …… (76)

第二节　地质灾害破坏损失评价方法 …… (77)

第七章　地质灾害防治工程效益评价 …… (88)

第一节　地质灾害防治基本原则及措施 …… (88)

第二节　地质灾害防治工程效益评价基本方法 …… (96)

第八章　地质灾害管理与风险评估的实施 …… (102)

第一节　地质灾害管理的主要内容和手段 …… (102)

第二节　地质灾害减灾项目管理与风险评估的实施 …… (105)

第三节　地质灾害风险评估的基础信息图表体系 …… (106)

第四节　地质灾害管理信息系统 …… (111)

主要参考文献 …… (114)

第一章　国内外自然灾害风险评估现状与发展

国内外对灾害的研究历史非常久远，但灾害风险评估作为灾害研究领域中一门新的边缘学科，仅是近几十年来随着灾害损失的日益严重和相关学科理论与技术的迅速发展而兴起的，所以尚没有形成完整的理论与方法。尽管如此，已有的自然灾害风险评估工作取得了重要进展，不但为减灾发挥了重要作用，而且为灾害风险评估逐步走向成熟奠定了基础。

第一节　国外自然灾害风险评估研究概况

60年代以前，自然灾害研究主要限于灾害机理及预测研究，重点调查分析灾害形成条件与活动过程。70年代以后，随着自然灾害破坏损失的急剧增加，促使人类把减灾工作提高到前所未有的程度。--些发达国家首先拓宽了灾害研究领域，在继续深入研究灾害机理的同时，开始进行灾害评估工作。美国首先对加利福尼亚州的地震、滑坡等10种自然灾害进行了风险评估。该项工作于1969年由土地保护部（Conservation）提出，由该部的矿山地质处执行，从1970年7月1日至1973年6月30日，分三个阶段完成。研究内容包括：区域内现实和潜在的城市发展——地质环境冲突的识别；政府和私人部门责任的评判；建议优先项目以及立法和组织要求。最终项目报告作为州和地方政府以及私人部门决策的基础。通过该项研究，得出1970～2000年加利福尼亚州10种自然灾害可能造成的损失为550亿美元；如果采取有效的防治措施，生命伤亡可减少90%，经济损失也可以明显减少。

1970～1976年，美国内务部地调所（USGS）和住房与城市发展部的政策发展与研究办公室，联合支持旧金山海湾地区环境与资源计划研究。这项研究的目的是推进地球科学信息在区域计划和决策中的应用。在由海湾地区行政管理联合会的Laird等人完成的《土地潜力数学分析》报告中，初次使用了一种新的方法来评价土地利用方案。这种方法要求估价与地质和水文特征相关的成本；这些成本可能是减灾措施成本，也可能是未来损失概率成本或损失机会成本。由于可用现值表示，所以此成本提供了一个评价和比较不同土地使用和不同灾害制约因素以及资源的共同基础。与此同时，美国的一个多学科专家小组开展了自然灾害风险评价与减灾政策研究，其目的是提高对自然灾害危害水平的认识，探讨各种减灾政策的有效性，分析减灾政策制定体系的各种制约因素，从而为联邦、州和地方政府提出一系列建议或可行的措施。研究小组选择了洪水、地震、台风、风暴潮、海啸、龙卷风、滑坡、强风、膨胀土等9种自然灾害，对美国各县发生的灾害建立起一套预测模型，在此基础上估算9种灾害到2000年的期望损失值。

进入80年代，对各种自然灾害的研究得到了更加广泛而又深切的关注。1989年由美国国家科学院的全国研究理事会（NRC）及联邦所属科学和减灾机构召集，由17位成员组成的国家委员会分工协作，制定了减灾十年计划。该计划把自然灾害评估列为研究的重要内

容，提出在以下三个方面深化研究：引起自然灾害的物理过程和生物学过程；社会可以调用的减轻自然灾害物理效应的技术能力；人类相互作用系统的特征及对灾害事件的反应。与此同时，继续开展了单项的或者综合的灾害风险评估工作，全国研究理事会地震损失评估专家小组在1989年提交了《未来地震的损失评估》报告。日本、英国等一些国家则进行了地震、洪水、海啸、泥石流、滑坡等灾害评估，并且在有关的减灾法规（如日本的《灾害救助法》、《地震保险法》等）中强调灾情调查、统计、评价以及据此确定的减灾责任与救助措施。

为了推进广泛的国际间协调与合作，联合国在1987年通过决议，确定在本世纪最后十年开展“国际减轻自然灾害十年”活动。1991年，联合国国际减灾十年（IDNDR）科技委员会提出了《国际减轻自然灾害十年的灾害预防、减少、减轻和环境保护纲要方案与目标》(PREEMPT)。在规划的三项时事中的第一项就是进行灾害评估，提出：“各个国家对自然灾害进行评估，即评价危险性和脆弱性。主要包括：①总体上哪些自然灾害具有危害性；②对每一种灾害威胁的地理分布和发生间隔及影响程度进行评价；③估计评价最重要的人口和资源集中点的易灾性。”把自然灾害评估纳入实现减灾目标的重要措施。国际减灾活动得到许多国家的积极响应，使灾害研究空前发展。具体表现在：研究机构和人员不断壮大，灾害学术刊物不断增加，专业会议频频召开，灾害研究领域迅速扩大，人类对灾害的认识不断丰富和深化。美国的《自然灾害观测者》、《科学事件快报》，英国的《灾害管理》、《灾害研究和实践》，日本的《自然灾害科学》，瑞典的《意外事件、自然灾害研究委员会通讯》等刊物相继问世。1980年在美国召开了“国际灾害预防会议”，1984年在中国台湾召开了“减轻自然灾害国际讨论会”，1985年在马德拉斯召开了“印度——美国减轻风灾会议”，1988年在美国召开了“地质灾害讨论会”，1991年在中国北京召开了“国际地质灾害研讨会”，1992年在加拿大温哥华召开了“地质技术与自然灾害研讨会”。同时还召开了多次“国际自然和人为灾害会议”：第一届会议1982年在美国夏威夷召开，第二届会议1986年在加拿大里木斯基举行，第三届会议1988年在墨西哥的因森达举行，第四届会议1991年在意大利的培卢基举行，第五届会议1993年在中国青岛举行。此外，1994年5月在日本横滨召开了“世界减灾大会”。这些会议的主题内容虽然不同，但灾害评估始终是会议关注的重要方面；而且随着时间的发展，有关的成果越来越丰富，在世界范围内的重视程度也越来越高。

为了推动国际减灾目标的实现，一些国际组织提出了重大自然灾害评估的国际合作计划。如90年代联合国国际减灾十年科技委员会批准“全球地震危险性评估计划（Global Seismic Hazard Assessment Program）”。该计划将推进全球和区域的广泛协调，争取在本世纪结束前对各国地震危险性予以评估，使世界范围的地震研究达到一个新的水平。

第二节　国内自然灾害风险评估研究概况

我国是世界上记录灾害历史最悠久，史料最丰富的国家。新中国成立以后，国家特别重视减灾工作，为了有效地防灾、救灾，特别加强灾情调查评估，取得了显著成绩。但由于历史的局限，早期的灾情研究主要局限于灾害事件现象和破坏损失情况的统计描述。80年代以后，随着灾害对社会经济影响的日益严重和国际灾害研究的迅速发展，我国灾害评

估研究开始兴起，并得到蓬勃发展；虽然至今尚没有形成独立的学科体系，但许多内容达到国际领先水平，取得的成果不但有力地支持了我国的减灾事业，而且推动了世界灾害研究水平的提高。

我国比较系统深入的灾害风险评估当属地震灾害。其代表性的工作成果首先是由国家地震局先后完成的三代《中国地震烈度区划图及使用规定》。该图在对全国区域地震危险性评估基础上，确定了不同地区一般场地条件下在未来一定期限内可能遭遇超越概率为10%的烈度值，即地震基本烈度。与此同时，国家地震局震害防御司等先后进行了“中国地震灾害损失预测研究”、“未来地震损失评估方法”等研究。通过这些工作，建立了地震灾害评估指标体系，基本完善了评估内容，初步形成了比较系统的灾害评估理论和方法。为了指导全国地震灾害灾情统计和评估工作，国家地震局制定了《地震灾情上报暂行规定》、《地震重点监视防御区震害预测工作指南（试行稿）》等文件，出版了《地震灾害预测和评估工作手册》，使我国地震灾害灾情统计和评估初步走上科学化、规范化道路。

对其它一些灾害也开展了不同程度的灾害风险评估研究。水利、农林、气象等部门和一些专家分别对一些区域性洪水灾害、森林灾害、台风灾害等进行了风险分析或灾情预测评估，编制了风险图，提出了灾情评估或风险评价的方法和技术。虽然这些工作还比较肤浅、零散，但对指导行业减灾，提高灾害风险管理水平发挥了一定作用。

在地质灾害领域，风险评估开始兴起。80年代以前，地质灾害研究主要局限于对灾害分布规律、形成机理、趋势预测等方面的分析，基本依附于水文地质、工程地质和有关的研究工作。80年代以后，地质灾害研究开始突破传统的研究模式，研究水平不断提高，研究内容日益丰富，开始向新的独立学科发展，随之，灾害风险评估开始起步。

近年来，在国家支持下，有关部门先后进行了100多项崩塌（危岩）、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、海水入侵等重大地质灾害的专门勘查工作，并对危害严重，特别是对直接危及大中城市，县级以上城镇的灾害体组织实施防治工程。在实施灾害勘查、防治项目的同时，有关部门和专家也开始注重地质灾害评估方面的工作。例如，1992～1994年由国家计委国土地区司和地质矿产部地质环境管理司共同组织的全国地质灾害现状调查，对全国地质灾害损失程度和分布情况进行了估算评价；张业成、张梁等在对中国近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；刘希林等根据大量调查统计资料，提出了判断泥石流危险程度和评估泥石流泛滥堆积范围的方法；胡瑞林等将计算机技术应用于地质灾害评价，初步提出了地质灾害评价的计算机模型预测系统与应用方法；罗元华、张梁、孟荣等在借鉴国外和国内其它领域研究成果的基础上，根据环境经济理论，对地质灾害评估与经济损失分析的理论基础进行了探讨等等。所有这些，不但为地质灾害防治提供了依据，而且从理论上和实践上为地质灾害风险评估提供了有益的经验。

在进行专业灾害评估研究和实践的同时，不少专家对自然灾害风险评估理论和方法进行了日益深入的探讨和总结。例如：于光远在1987年全国灾害经济学讨论会上，对自然灾害经济理论进行了阐述，提出了灾害经济学属于守业经济学，减灾的经济效果表现为“负负得正”的经济效益的看法；马宗晋于1988年提出了用“灾度”表示自然灾害破坏损失规模的意见；高庆华于1991年提出了建立自然灾害评估系统的总体构想；张梁、张业成等(1994)根据环境经济学理论，初步论证了地质灾害的属性特征和风险评估的经济分析方法；

马宗晋、高庆华、张业成等在对中国自然灾害风险分析基础上，进行了灾害保险风险研究；黄崇福等（1994）提出了自然灾害风险评价的模型体系；李永善、张显东、于庆东、罗云等分别对自然灾害经济损失、防治工程效益等评价方法进行了探讨。

近10年来，国内还召开了多次有关自然灾害风险评估的学术会议，对灾害风险评估的理论、方法、实践成果进行了比较频繁的总结交流。如：1987年、1990年、1991年先后三次召开了全国灾害经济学学术讨论会；1988年召开了全国森林灾害经济学学术讨论会；1992年和1997年召开了全国地质灾害经济学术研讨会；1991年召开了全国水利经济效益研讨会；1991年和1992年两次召开云南省灾害经济损失评估座谈会；1991年召开了全国灾害经济损失评估学术讨论会；1996年召开了全国首届灾害风险评估研讨会。这些活动促进了部门之间、地区之间以及不同学科之间的交流，对灾害风险评估起到了重要的推动作用。

总之，经过近20多年的发展，我国自然灾害风险评估工作，在理论和实践方面都取得了丰富成果，虽然目前尚没有形成系统完善的理论与方法，但已有的工作为今后的深入研究奠定了重要的基础。

第三节　国内外自然灾害风险评估进展和趋势

综观近几十年来自然灾害风险评估发展，取得的进展主要表现在以下几个方面。

1. 自然灾害风险评估得到越来越广泛的重视

在自然灾害评估刚刚萌发的时候，只是个别部门和专家认识到它对减灾的重要意义和广阔的发展前景，随着减灾活动的深入，这些认识逐渐变为多数部门和专家的共识。这种变化的主要表现是：越来越多的灾害管理部门注重开展专门的灾害评估研究，并越来越强调其成果的应用；投入这方面研究的专家越来越多，不但有自然科学的专家，而且不少从事社会经济研究、方法研究、新技术研究的专家也投入这一领域，极大地促进了灾害风险评估的发展；学术活动越来越频繁，研究成果越来越丰富。

2. 研究内容越来越广泛

越来越多的学科融入自然灾害风险评估，使其研究内容日趋广泛深入。最突出的表现是强化了社会经济研究。除了对灾害活动强度（危险性）的分析日益定量化外，对受灾体易损性的分析不断加强；而且这种分析不仅局限于受灾体个体分析，而且逐渐扩展到评价区域社会经济易损性研究。从而使灾害风险评估从单纯的自然科学研究，逐渐扩大到社会经济等多学科、多领域研究。

3. 研究的方法手段越来越丰富

随着风险评估研究的发展，研究方法日益丰富，除了灾害动力学分析方法外，开始融入多种数理分析和社会经济评价方法。如：概率分析、相关分析、趋势分析、聚类分析、数值分析、系统分析、层次分析、工程分析、价值分析等。与此同时，计算机技术得到越来越广泛应用。因此，使灾害风险评估不断向模型化、定量化、现代化方向发展。

近年来国内外自然灾害评估虽然得到迅速发展，但由于这方面工作是一个新的领域，而且它所涉及的内容广泛，不仅包括自然科学，而且包括社会科学，所以已有的研究远没有形成系统完善的科学体系，已有的应用水平也远不能满足社会经济发展和减灾需要。存在

的主要薄弱环节主要有以下几个方面。

1. 研究发展很不平衡

在地区研究方面，只有我国以及美国、日本等少数国家发展较快，而多数国家非常薄弱，甚至属于空白；在灾种方面，地震灾害评估起步早，方法比较完善，而且在我国得到广泛实践应用，其它灾害则比较薄弱；在研究内容方面，对灾害活动要素的分析基础比较充分，评价方法比较成熟，分析结果可靠性高，但对受灾体及决定受灾体分布的社会经济要素的分析比较薄弱，还没有形成成熟的评价方法。

2. 理论研究非常薄弱

自然灾害风险评估既涉及自然科学理论，又涉及社会经济理论；根据灾害风险评估的需要，应将有关的理论融合在一起，形成相对独立的理论体系，使灾害风险评估具有坚实的基础。已有的评估成果虽然对有关理论进行了探讨，但这些探讨是零散的、初步的。在当前，灾害风险评估研究从萌芽阶段向发展阶段转化时期，尤其需要理论的支持，促进其发展。

3. 灾害风险评估成果没有得到充分的实践应用

由于社会对灾害风险评估的作用缺乏充分的认识，加上目前评估方法不够完善，应用性不充分，所以目前在减灾活动中灾害风险评估成果还没有得到广泛应用，这种状况不但影响了减灾效果，而且也不利于进一步提高与发展。

由于减灾事业发展的需要和社会对灾害风险评估认识的提高，为了更加科学有效地防范自然灾害，今后，自然灾害风险评估必将得到进一步发展。主要趋向表现在下列方面。

1. 研究内容进一步扩展，将逐渐形成跨学科、跨领域的相互交叉的综合研究体系。

2. 研究方法和手段进一步丰富、先进。除计算机技术得到更广泛应用、发挥更大作用外，遥感技术、卫星定位技术等多种高科技手段也将为灾害风险评估所利用。

3. 关注和参加的部门和专家进一步扩展。除政府减灾管理部门、灾害专业研究部门外，保险和防灾治灾的产业部门等也将在更大程度上关注或直接参与灾害风险评估工作。

4. 国际间交流合作将进一步发展，特别是在理论、方法、技术方面的交流合作将会有较大发展。

5. 理论研究将得到较大提高，逐步形成自身的理论体系。

6. 与减灾规划、防治工程及其它社会经济的结合越来越紧密，实用性越来越强。

第二章　地质灾害风险评估的理论基础

第一节　地质灾害的基本属性

灾害是人类社会的共同敌人。在联合国灾害管理培训教材中把灾害定义为：自然或人为环境中，对人类生命、财产或活动等社会功能的那种严重的破坏，它引起普遍的人类、物质或环境损失，这些损失超出了受影响社会只利用它本身的资源加以应付的能力。韦氏字典将灾害定义为：一个突然发生的，造成巨大物质破坏、损失以及危难的不幸事件。灾害管理手册的定义是：灾害是一种突发的或逐渐积累的自然或人为事件，它的侵害是如此之严重，以至于受影响的社会必须对它采取专门的对策。

灾害可概略地分为自然灾害和人为灾害两大类。自然灾害是指主要由自然动力活动或自然环境的异常变化对人类造成危害的现象。自然灾害的种类繁多，它们的空间活动范围和表现形式各异，但是它们的形成必须具备两方面条件：一是具有灾害现象的起源，即自然动力活动或自然环境的异常变化；二是具有受灾害危害的对象，即人类生命财产以及赖以生存与发展的资源、环境。在一个灾害事件中，前者可称为灾害体，后者可称为承灾体或受灾体，二者相辅相成。我们对灾害的研究评价，既要认识灾害体，又要分析受灾体，应对两方面的条件并重考虑，而不可或缺与偏度。

地质灾害是自然灾害的一种。这类灾害与地质动力活动直接相关；即在地质作用下，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。这些现象或过程称为地质灾害。

地质作用是指促使组成地壳的物质成分、构造形式、表面形态和能量传输交换等不断变化和发展的各种作用，包括内动力地质作用、外动力地质作用和人为地质作用。这些地质作用造成的灾害都可归属于地质灾害，因此，其种类很多。

地质灾害是对人类生命财产和生存环境产生损毁的地质事件。而那些仅仅是使地质环境恶化，但并没有直接破坏人类生命财产和生产、生活环境的地质事件，我们则称其为某种地质现象或环境地质问题，而不能称其为地质灾害。例如发生在荒无人烟地区的崩塌、滑坡、泥石流，没有直接造成人类生命财产的损毁，所以不应称为灾害；而同样的崩塌、滑坡、泥石流等发生在有人类社会经济活动的地区，造成了不同程度的人员伤亡和财产损失，就构成了灾害。

根据地质灾害定义分析，地质灾害既是一种自然现象，又是一种社会经济现象。因此它既具有自然属性，又具有社会经济属性。自然属性是指围绕地质灾害的动力过程表现出的各种自然特征，如地质灾害的规模、强度、频次以及灾害活动的孕育条件、变化规律等。社会经济属性主要是指与成灾过程密切相关的人类社会经济特征，如人口、财产、工程建设活动、资源开发、经济发展水平、防灾能力等。由于地质灾害是自然动力活动与人类社

会经济活动相互作用的结果，二者是一个统一的整体，所以尽管将地质灾害的属性特征分为自然属性和社会经济属性，但实际上地质灾害不少特征是二者的联合体现。

1. 地质灾害的必然性和可防御性

从根本上看，地质灾害是地球运动的产物。它是由于地壳能量不均衡，导致能量转移或地壳物质运动而引起的。从地球形成以来，这种运动一直持续进行。从灾害事件的动力过程看，在灾害发生后，能量和物质得到调整，达到了平衡，但是这种平衡是暂时的、相对的，在实现平衡过程中，新的不平衡又在同时产生，一次新的灾害又开始孕育发展，因此不但造成灾害此起彼伏，而且在同一个地区还常常出现断续发生或周期性活动特点。地质灾害活动是伴随地球运动，与地球共存的自然现象；这种活动自人类出现以后一直伴随着人类，影响着社会经济发展，因此，地质灾害是与人类社会共存的自然现象，具有其必然性。

地质灾害都是在一定条件下形成发展的，所以通过研究灾害的属性特征，认识灾害的形成条件和活动规律，可以通过监测，预报和防治措施，在一定程度上控制灾害活动，保护受灾体，减少和避免灾害造成的破坏损失因此地质灾害具有可防御性。例如，我国成功地预报了海城地震、新滩滑坡，从而大大地减轻了灾害破坏损失。在一些城镇和交通干线修建了防治滑坡、岩崩、泥石流等工程设施，有效地防止了这些灾害的发生，从而保护了工程设施的安全。随着社会经济发展和科学技术水平的提高，灾害的可防御性相应不断提高。

2. 地质灾害的随机性和不规则的周期性

地质灾害活动是在多种条件作用下形成的，它既受地球动力活动控制，又受地壳物质性质、结构和地壳表面形态等因素影响；既受自然条件控制，又受人类活动影响。因此，地质灾害活动的时间、地点、强度等具有很大的不确定性，因此，也可以说地质灾害活动是复杂的随机事件。

地质灾害的随机性，一方面是自然特征的表现，另一方面也是人类对地质灾害认识程度的反映。随着科学技术的发展，人类对自然的认识水平不断提高，可以揭示更多自然现象的规律，扩大自由王国的领域，缩小随机事件的不确定性程度。

在这种背景下，人们发现地质灾害在具有随机性的同时，还有其周期性特点。这种特性既可以由一个具体的灾害体活动得到反映，也可以由地区或区域灾害活动得到反映。例如，滑坡、泥石流灾害具有一年到几百年的不同时间尺度的周期性活动规律，因此形成波浪起伏的灾害—时间序列。如云南省小江流域的蒋家沟，一般规模的泥石流活动每年都要发生一次或几次，大规模的泥石流活动 4～6 年发生一次。

3. 地质灾害的群发性和区域性

地质灾害多以灾害点、灾害群的形式发生。就个别而言，这种现象有其偶然性和局限性。但从总体看，它们并不是孤立的，而是受区域地质构造条件、暴雨、地震、地形等条件的制约，具有群发性和区域性。与此同时一次大的自然灾害还常常诱发出一连串的次生灾害，从而形成灾害链。

就各种地质灾害的内部关系而言，它们都是受一定区域性条件控制。中国的地质构造轮廓最突出的特点是：南北分区，东西分带，交叉成网，这一构造格局对区域性地质灾害的分布起着重要的制约作用。中国的地形从西向东依次降低，形成三个显著的阶梯：第一

阶梯青藏高原；第二阶梯中部山地，崩塌、滑坡、泥石流等山地地质灾害90%发育在这一带；第三阶梯东部平原，地面沉降、地裂缝、胀缩土、海水入侵等地质灾害多发育在这一带。人口密度和社会经济发展亦有西、中、东部分区的差异，这种灾害的区域性分布与经济区域的划分，城市、工厂、铁路、桥梁、水坝等工程设施分布密度，使灾害造成的经济、生命财产损失有很大的不同，呈现出区域性差异的特点。这种区域性特征为地质灾害风险区划研究奠定了基础。

4. 地质灾害突发性和渐变性

地质灾害有突发性地质灾害和渐变性地质灾害两大类。突发性地质灾害如地震、火山、崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等。渐变性地质灾害如地裂缝、地面沉降、海水入侵、膨胀土等。突发性地质灾害往往来势凶猛，历时短，直接危害人类生命安全，同时造成重大经济损失；渐变性地质灾害属地质环境恶化型，灾害的发生往往有一个长期的不断累进过程，即环境恶化到一定程度后逐渐转化为灾害，因此其主要是造成经济损失，但其危害范围一般较大，且持久性强，所以灾害一旦发生，治理难度较大，投入高，见效慢。

5. 地质灾害与社会的同步性

人类社会的早期，人口稀少，生产能力低下，缺乏改造自然的能力，主要是顺乎自然以求生存，对自然界改造与破坏的程度不大。因此，地质灾害对人类社会直接危害相对较小。但随着人口的增多，科学的进步，特别是社会组织功能的发挥，人类改造自然的能力愈来愈大，对地球表面环境系统的作用也愈来愈强。为了满足人口增长和社会经济发展的需求，人类无节制的向自然索取土地、生物矿产、淡水等资源，并将各种废料遗弃在地球表层，加之人类工程-经济活动对自然环境的改造和破坏，使地球生态日益恶化，这是灾害丛生的一个重要原因。纵观人类的发展历史，一方面人类不断进步，生产力水平不断提高，社会财富持续增多；另一方面，灾害也不断增强，损失亦愈来愈严重。就地质灾害来说，80%都是人类工程-经济活动诱发的，随着社会经济的发展，其严重程度将继续增长。当今世界人口、资源、环境、灾害形势已进入了“黄牌警告”阶段，因此，要抑制社会与自然向恶性循环方向发展，就必须强化对灾害与社会同步性的认识，依靠社会的共同努力，从自然与社会两大方面，制定相应的人口政策、资源政策、环境政策、减灾政策，谋求社会-自然综合系统的改善，使资源、环境、人口与经济协调发展。

6. 地质灾害的破坏性与“建设性”

自然灾害对人类的主导作用是造成多种形式的破坏。但在它们产生破坏的同时，往往也会抑制其它某些灾害对人类的威胁，或者给人类创造某些有益的发展机会。例如，洪水泛滥在威胁人民生命财产，破坏耕地的同时，又提供了新的耕地资源。地质灾害也同样具有一定的“建设性”特点。如我国西北地区的黄土滑坡，常常堵塞沟谷，形成被当地人称为“聚湫”的具有蓄水拦泥功能的天然设施，对于有效地利用天然水资源和水土保持具有积极作用。此外，黄土滑坡活动虽然暂时性破坏耕地，但从长远看，它对黄土沟梁进行夷平，形成耕作条件较好的沟塌地，从长远看对农业发展具有积极作用。

根据地质灾害破坏性与“建设性”共存特点，在灾害防治中，应力求控制其破坏性，发挥其“建设性”，尽可能变害为利，或变大害为小害，因势利导，取得最大的减灾效益。

7. 地质灾害经济分析的“负经济学”特性

一般经济学研究的着眼点是现有社会生产力的发挥与新的社会生产力的获得，其任务

一是从客观方面考虑社会生产关系与社会生产力相适应的可能性与必然性，二是从主观方面探讨改善、改革社会生产关系，使之与社会生产力相适应。它们研究的基本出发点和归宿都是积极的、“正”的经济效益。而灾害经济学研究的是灾害时已经获得的社会经济效益与已经形成的资产或资源的破坏和损害，其基本出发点和归宿都是如何减少不可抵抗的灾害给社会经济和环境带来的破坏与损害，以及如何在灾害造成的损害发生后，努力去谋求恢复与补偿。因此，灾害经济学研究的是减少“负”的经济效益，灾害统计也是“负”的经济效益的统计。在灾害经济分析工作中，我们必须十分明确地认识到灾害经济的这种“负经济学”或“消极经济学”特性。

8. 地质灾害防治的社会性

地质灾害除了造成人员伤亡，破坏房屋、铁路、公路、航道等工程设施，造成直接损失外，还破坏资源和环境，给社会经济发展造成广泛而又深刻的影响。特别是在我国，严重的崩塌、滑坡、泥石流等灾害主要分布在山区，那里自然条件差，交通闭塞，经济基础薄弱，至今许多地区仍属于贫困地区。在这种情况下，严重的地质灾害进一步阻碍了这些地区的资源开发和工程建设活动，不但阻碍了这些地区脱贫开发、经济发展的步伐，而且加重了国家和其它较发达地区的负担，影响全国经济发展宏伟目标的实现。因此有效地防治地质灾害不但对保护灾害区人民生命财产安全具有重要的现实意义，而且对于促进地区经济和全国经济发展具有广泛而又深远的意义。防治地质灾害是一项全民性的社会公益事业和产业活动，不仅需要政府的领导和政策支持，而且需要社会的广泛参与。我国目前经济还比较落后，国家每年只能拿出有限的资金用于重点防治；即使国家经济比较发达以后，也不可能花费巨大资金实施全面治理。无论是现在还是将来，除政府负责主导性的防治外，需要企业、民众广泛参与抗灾、防灾事业，才能取得充分的减灾效果。因此，从这个意义上说，地质灾害的减灾事业是关系地区、国家乃至世界可持续发展的全民事业。

9. 地质灾害防治工程的时效性、风险性

实施必要的工程措施是有效防治地质灾害的重要途径。但是防灾工程不同于其他工程的一个重要特点是，防灾工程方案一经确定，必须保证及时付诸实施，工程不得偷工减料，不得半途而废。因为在工程设计是建立在一定时段内，以一定保证程度（如抗御若干年一遇的灾害）为依据的，实施的工程如未达到设计要求，即可能前功尽弃，甚至反而进一步加重灾害活动；如未按设计时间要求进行，可能造成费工费力，甚至达不到工程效果。在防灾工程实际中，由于以上原因，留下了不少教训。

由于地质灾害是一种随机事件，虽然灾害活动有一定的规律性，但灾害发生的时间、强度、危害范围、破坏程度等都具有很大的不确定性，因此地质灾害防治工程具有不同程度的风险性。基于这种情况，深入分析地质灾害的活动规律，研究承灾财产的易损性，核算灾害的期望损失，综合评价灾害风险程度，在此基础上规划和设计防治工程，可以最大限度地降低防治工程造价，保障以较小的减灾投入，取得较好的减灾效益，这正是进行地质灾害风险评估的初衷和追求的基本目标。

第二节　地质灾害的分类

目前，对地质灾害所包括的灾种范围有许多不同的认识。主要意见之一是认为凡是与

地质作用或地质条件有关的自然灾害都划为地质灾害。包括：地震、火山、崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降，地裂缝、水土流失、土地沙漠化、土地盐渍化、海水入侵、海岸侵蚀、地下水水质污染、地下水水位上升、水土环境异常与地方病、矿井突水突泥、矿井热害、岩爆、煤瓦斯突出、煤自燃、水库淤积、水库及河湖塌岸、水库渗漏、特殊岩土、冷浸田等近30种灾害。也有不少人提出以岩石圈自然地质作用为主导因素而形成的自然灾害，才称为地质灾害。主要包括：地震、火山、崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、海水入侵、特殊岩土等十几种灾害。

由于对地质灾害应包括范围认识不一，不同研究人员根据需要从不同角度对地质灾害提出多种分类方案。根据造成地质灾害的动力来源，分为内动力地质灾害（主要包括构造地震、火山、构造地裂缝、岩爆等）；外动力地质灾害（主要包括泥石流、水土流失、水库淤积、水库及河湖塌库等）；人为动力地质灾害（主要包括因抽水等人为活动引起的地面沉降、地面塌陷、水库地震、水质污染等）。根据地质灾害分布区域自然地理条件和空间特征，分为山地地质灾害（主要包括崩塌、滑坡、泥石流）；平原地质灾害（主要包括地面沉降等）；海岸地质灾害（主要包括海水入侵、海岸侵蚀等）；海底地质灾害（主要包括海底滑坡等）；矿井及人类工程地质灾害（主要包括岩爆、突水突泥、煤瓦斯突出、地下热害等）。根据地质灾害活动的时间特点，分为突发性地质灾害（主要包括地震、火山、崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等）；缓发性或累进性地质灾害（主要包括地裂缝、地面沉降、海水入侵、水土流失、土地沙漠化、土地盐渍化、水库渗漏等）。

以上各类地质灾害，在我国都有分布，从对国民经济和社会发展的危害程度，尤其是对人类社会财产相对集中的城镇地区的影响来看，以地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降、海水入侵、特殊岩土等地质灾害的威胁最大，考虑到地震灾害有其专业管理部门，并有不少研究成果，故本书对其不做专门的研究，主要考虑以下灾害：

1. 崩塌

崩塌是指陡峻斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离母体，迅速崩落，而后堆积在坡脚的现象。根据崩塌活动强度，分为剥落、坠石、崩落三种形式。其中剥落为最低程度的小规模崩塌，是风化剥落的较小岩块在重力作用下沿山坡滚落，最后堆积在坡脚的现象。坠石为中等程度的崩塌，是由于风化、构造作用形成的较大块岩土体突然坠落的现象。崩落为最严重的崩塌，是风化和构造作用形成的巨大体积的岩土体突然大规模塌落的现象。根据崩塌岩土类型，分为岩崩、土崩两大类。岩崩是发生在坚硬岩体中的崩塌，是崩塌——特别是大型崩塌的主要类型。土崩是指发生在黄土或黄土状土等松散土类中的崩塌，其规模和破坏一般比较小。

2. 滑坡

滑坡指岩体或土体在重力作用下沿一定的软弱结构面整体下滑的现象。它和崩塌都是斜坡失稳现象，属于斜坡变形灾害，而且形成条件和成灾特点基本一致。二者的根本区别是崩塌体完全脱离母岩，可以是整体崩落，亦可能是破碎后分散崩落，其垂直位移量远大于水平位移量；滑坡体则很少脱离斜坡母体，常有一部分残留在滑床之上，位移表现为整体位移，水平位移量一般大于垂直位移量。从不同角度可以对滑坡作出多种分类：按照滑坡物质组成分为堆积层滑坡、黄土滑坡、粘土滑坡、基岩滑坡；按照滑坡体厚度（或滑床深度）分为浅层滑坡（<6 m）、中层滑坡（6～20 m）、深层滑坡（20～50 m）、极深层滑坡

124434

(>50 m)；按滑动面与斜坡岩层层面关系分为顺层滑坡、切层滑坡。

3. 泥石流

山区沟谷中，由大量而又急促地表径流激发的含有大量泥沙、石块等固体物质，并具有很大冲击力的特殊洪流。它和一般洪水急流的区别是水流中挟带有大量泥沙石块，其体积含量最少为15%，最高可达80%左右，因此具有很强冲击力和淤埋作用，对房屋、铁路、公路等工程设施及耕地造成严重破坏。泥石流和崩塌、滑坡都属于山地地质灾害，它们的形成条件有许多共同点，所以区域分布规律相近。目前对泥石流特征研究日益深入，因此从不同方面将泥石流分为多种类型。根据发育泥石流的流域特征，将泥石流分为标准型泥石流、河谷型泥石流、山坡型泥石流；根据泥石流的物质组成，分为泥石流、泥流、水石流；根据泥石流性状和成分，分为粘性泥石流（结构型泥石流）、稀性泥石流（紊流型泥石流）；根据泥石流的激发条件，分为暴雨型泥石流、冰川型（融雪型）泥石流；根据泥石流发育阶段，分为发展期泥石流、旺盛期泥石流、衰退期泥石流、停歇期泥石流。

4. 岩溶塌陷

岩溶塌陷是地面塌陷的主要类型。是指在可溶岩发育地区，岩溶洞隙上方的岩土体在自然或人为动力作用下发生形变破坏，向下陷落后，在地面或地表浅层形成塌陷坑洞的现象。从不同角度把岩溶塌陷进一步分为多种类型。根据发生塌陷的岩石性质，分为碳酸盐岩塌陷、钙质碎屑岩塌陷、蒸发岩塌陷；根据激发塌陷活动的直接诱发原因，分为因降雨、洪水、干旱、地震等引起的自然塌陷和因抽水、排水、蓄水等引起的人为塌陷。在各种类型塌陷中，以碳酸盐岩塌陷最为多见，以抽水引起的人为塌陷成灾机会最多。

5. 地面沉降

地面沉降是指在自然因素和人为因素下形成的地表垂直下降现象。导致地面沉降的自然因素主要是构造升降运动以及地震、火山活动等，人为因素主要是开采地下水、油气资源以及局部性荷载改变等。自然因素所形成的地面沉降活动，范围大，速率相对较小，在目前生产力水平下，人类无法控制。人为因素引起的地面沉降活动一般范围较小，但速率和幅度都比较大，它的发生、发展与人类活动密切相关，可以通过一定途径和措施加以控制和防治。基于上述特点，一般把自然因素引起的地面沉降归属于地壳形变或构造运动的范畴，作为一种自然动力现象加以研究，而将人为因素引起的地面沉降归属于地质灾害现象进行研究和防治。

6. 地裂缝

地裂缝是地表岩土体在自然因素或人为因素作用下，产生开裂并在地面形成一定长度和宽度的裂缝的现象。根据地裂缝的多方面特征，可以将地裂缝划分为多种类型。根据地裂缝的成因，将地裂缝分为构造地裂缝、非构造地裂缝以及混合成因的地裂缝；根据地裂缝形成动力性质，分为压性地裂缝、扭性地裂缝、张性地裂缝等。

7. 海水入侵

目前对海水入侵还没有公认的定义和解释。国外文献一般称之为盐水入侵（salinity intrusion），国内文献除称之为海水入侵外，见到的名称还有海水浸染、海水内浸、海水地下入侵、咸水入侵、咸水浸染、卤水浸染等。根据环境水文地质学理论和近年来海水入侵研究实践，把海水入侵定义为：由于自然或人为原因，滨海地区水动力条件发生变化，使滨海地区含水层中的淡水与海水之间的平衡状态遭到破坏，导致海水或与海水有直接动力联

系的高矿化地下咸水沿含水层向陆地方向扩侵，使淡水资源遭到破坏的现象或过程。因此形成的灾害称为海水入侵灾害。根据海水入侵水源，分为海水入侵和盐水入侵两种类型：前者是指滨海地带地下水水位下降后，海水向淡水含水层扩侵，使地下淡水资源遭到破坏的现象；后者是指滨海地带地下淡水水位下降后，淡水体下部或旁侧与海水有一定联系的地下咸水体上升扩展，使地下淡水资源遭到破坏的现象。在多数地区，这两种入侵活动常常是混合发生或连续发生，因此不易区分。按含水层性质可把海水入侵分为三种类型：孔隙水海水入侵，其发生机会最多；岩溶水海水入侵，其发生机会较多；裂隙水海水入侵，其发生机会较少。按海水入侵方式分为三种类型：直接入侵，滨海地区水位下降后，地下水与海水补排关系发生逆转，海水或深部咸水体向陆地方向移动扩侵，使地下淡水咸化；潮流入侵，在潮汐作用下海水沿滨海河道上溯过程中，从河流两侧渗入补给地下水，使地下水咸化；减压顶托入侵，滨海地区地下淡水水位下降后，倾伏在下部的高矿化咸水向上发生顶托或越流扩侵，使地下淡水咸化。

8. 膨胀土胀缩灾害

膨胀土是以亲水性很强的蒙脱石、伊利石等矿物为主要成分的粘性土。它最主要特征是在不同状态下结构和物理力学性质会发生很大变化：在天然状态下，其结构致密，具有较大的容重和干容重，土体处于硬塑或坚硬—半坚硬状态，压缩性比较小，抗剪强度、无侧限强度和弹性模量一般都比较高；遇水后，发生膨胀，强度显著下降，工程地质性质变坏；失水干燥后，土质虽然恢复坚硬，但发生收缩变形，产生明显的张开裂隙。由于这些特性，膨胀土不但有很高比率的胀缩变化，而且常常随着环境变化反复交替进行，因此可造成建筑地基变形，甚至沉陷开裂，发生不同程度的破坏作用。根据膨胀土的胀缩能力，将膨胀土分为强膨胀土、中等膨胀土、弱膨胀土。

以上 8 类地质灾害，在我国分布广，危害严重，且属较为典型的地质灾害，本书以上述这些灾害为重点，进行分析、评价。

第三节　地质灾害的分级

地质灾害分级是根据灾害体和受灾体的主要特征指标，划分级次，以此反映灾害程度。其分级主要包括灾变分级和灾度分级。

灾变分级主要根据灾害活动程度来划分，灾害活动程度主要指灾害活动强度（或规模）、活动频次。灾害活动是自然环境变异的结果。自然环境变异程度越高，灾害活动越强烈，破坏能力越大。在灾害风险评价中，我们把灾害活动程度称为灾变强度，把对灾害活动程度的分级称为灾变分级。

目前国内外对地质灾害灾变分级还没有比较一致的意见和标准。本书提出，根据灾害活动规模，将崩塌（危岩）、滑坡、泥石流、岩溶塌陷、地裂缝、地面沉降、海水入侵、膨胀土等灾害划分为特大型、大型、中型、小型 4 个等级（表 2-1）。

灾度分级主要是根据灾害活动造成的破坏损失程度来划分。一般以灾害事件所造成的死亡人数和经济损失额为灾度指标，马宗晋先生等提出将自然灾害分为巨灾、大灾、中灾、小灾、微灾等 5 个灾度等级（表 2-2）。

灾度等级反映的是灾害事件发生后可能造成的破坏损失程度的级次。地质灾害和洪水、

表 2-1 地质灾害灾变等级划分

灾种 \ 灾变等级 指标		特大型	大型	中型	小型
崩塌（危岩）	体积/10^4m^3	>100	100～10	10～1	<1
滑坡	体积/10^4m^3	>1000	1000～100	100～10	<10
泥石流	堆积物体积/10^4m^3	>50	50～20	20～1	<1
岩溶塌陷	影响范围/km^2	>20	20～10	10～1	<1
地裂缝	影响范围/km^2	>10	10～5	5～1	<1
地面沉降①	沉降面积/km^2	>500	500～100	100～10	<10
	累计沉降量/m	>2.0	2.0～1.0	1.0～0.5	<0.5
海水入侵	入侵范围/km^2	>500	500～100	100～10	<10
膨胀土	分布面积/km^2	>100	100～10	10～1	<1

①地面沉降灾变等级的两个指标不在同一级次时，按从高原则确定灾变等级。

表 2-2 自然灾害灾度等级

灾度等级	死亡人数/人	财产损失/元
巨灾（A 级）	$>10^4$	$>10^9$
大灾（B 级）	10^3～10^4	10^8～10^9
中灾（C 级）	10^2～10^3	10^7～10^8
小灾（D 级）	10～10^2	10^6～10^7
微灾（E 级）	<10	$<10^6$

地震、台风、风暴潮等自然灾害相比，由于其成灾范围和规模要相对较小，所以造成的破坏损失显著低于其它自然灾害，为了能够反映不同种类、不同强度的地质灾害的成灾差异，根据一次灾害事件所造成的死亡人数和直接经济损失额，可将地质灾害分为特大灾害、大灾害、中灾害、小灾害 4 个灾度等级（表 2-3）。

表 2-3 地质灾害灾度等级划分

灾度等级	死亡人数/人	直接经济损失/10^4 元
特大灾害	>100	>1000
大灾害	100～10	1000～100
中灾害	10～1	100～10
小灾害	0	<10

注：灾度的两项指标不在一个级次时，按从高原则确定灾度等级。

同马宗晋先生提出的自然灾害灾度等级相比，地质灾害的特大灾害相当自然灾害的中灾或大灾、巨灾，大灾害相当其小灾，中、小地质灾害相当其微灾害。

几十年来，在灾害管理和研究工作中，一些部门或专家对地震、洪水、森林火灾、风

暴潮等灾害的成灾等级进行了划分，它们与地质灾害灾度等级对比关系列于表 2-4。

表 2-4　地质灾害与地震、洪水等成灾等级划分对比

灾害种类	成灾等级划分						来　源
地质灾害	灾度等级		特大灾害	大灾害	中灾害	小灾害	本文
	划分指标	死亡	>100 人	100～10 人	10～1 人	0 人	
		损失	>1000 万元	1000 万～100 万元	100 万～10 万元	<10 万元	
地震灾害	成灾等级		特大破坏性地震	严重破坏性地震	中等破坏性地震	一般破坏性地震	国家地震局（1991）
	划分指标	死亡	万人以上	数百到数千人	数十到数百人	数人到数十人	
		损失	30 亿元以上	5 亿～30 亿元	1 亿～5 亿元	1 亿元以下	
洪水灾害	成灾等级		巨灾	重灾	中灾	轻灾	弱灾	王劲峰等（1993）
	划分指标	死亡	>1 万人	1 万～1000 人	1000～100 人	100～10 人	<10 人	
		损失	>10 亿元	1 亿～10 亿元	1 亿～1000 万元	1000 万～100 万元	<100 万元	
风暴潮灾害	成灾等级		特大潮灾	较大潮灾	一般潮灾	轻度潮灾	杨华庭等（1993）
	划分指标	死亡	千人以上	数百人	数十人	少量	
		损失	数亿元	1 亿～0.2 亿元	千万元	数百万元以下	
森林火灾	成灾等级		Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级	林业部（1995）
	划分指标	损失	100 万元以上	50 万～100 万元	50 万～10 万元	10 万元以下	

第四节　地质灾害动力学原理

据力学理论，一个物体静止不动，是其各方向受力均势的结果。如果其中某一方面或几方面的力发生变化，物体的均势遭到破坏，就要发生相应的移动，即从原来的位置以不同的方式运动到新的位置，并形成新的均势，这就是均衡理论或均势理论。下面分别论述几种主要地质灾害变形破坏的力学原理。

一、崩塌

崩塌活动是在各种动力作用下，岩土体发生变形崩落的现象。它的形成可分为三个阶段：第一阶段为不稳定因素积累阶段；第二阶段为重力崩坠阶段；第三阶段为平衡恢复阶段。

第一阶段：岩土体在长期的地质营力作用下，产生节理、裂隙或断裂，完整性受到破坏，甚至破裂分割成支离破碎的块体，为崩塌活动奠定了基础。此阶段历时长短随岩石性质与结构、构造活动程度、边坡形状、外营力强度等而不同。第二阶段是崩塌体脱离母岩，沿最大重力梯度方向急剧而猛烈地崩落，然后堆积于坡麓。第三阶段平衡恢复阶段，同时又是下一次可能崩塌的准备阶段，如此周期变化。

崩塌活动受多种因素影响，其主要发生在雨季。而软硬相间岩层，由于差异风化，坚

硬岩体突出，由结构面切割或重力蠕变，坚硬岩体就会产生崩塌、落石。地质构造发育使完整岩石被分割成割裂体，割裂体在诱发因素下失稳而形成崩塌，因此构造越发育，岩体越破碎，越易产生崩塌、落石。人为影响主要是开挖坡脚，改变应力场，使坡体内积存的弹性应变能释放而造成应力重新分布，岩体产生卸荷裂隙，它们多张开且平行边坡面，并使原有裂隙扩展和张开，由其所切割的岩体，可能失稳而形成崩塌。

崩塌活动的主要特征参数除崩塌体体积外，主要为崩落体的运动速度和沿斜坡的弹跳距离。若忽略声能，认为崩塌、落石的势能只转变为动能及克服摩擦作功（热能），并设初速度为零，据功能原理，则崩落体运动速度：

$$v=\sqrt{2gh\ (1-f\cdot\cot\alpha)}$$

其中：

$$f=\left[1-\frac{L^2}{\cos^2\alpha}\cdot\frac{1}{4h\ (h-\frac{1}{L\cdot\tan\alpha})}\right]\tan\alpha$$

$$a=g\ (1-f\cdot\cot\alpha)\ \cdot\sin\alpha$$

式中：v——崩落体沿斜坡运动的速度（m/s）；

g——重力加速度（m/s²）；

f——斜坡平均阻力系数；

α——斜坡坡角（度）；

h——坡顶到坡底的垂直高度（m）；

a——崩落体沿斜坡运动的加速度（m/s²）。

崩落体沿斜坡的弹跳距离：

$$s=\frac{2v^2}{g\cdot\cos\alpha}\ (\tan\alpha\cdot\sin^2\beta-\frac{1}{2}\sin^2\beta)$$

其中：崩落体的弹跳抛射角：

$$\beta=\frac{200+2\alpha\ (1-\frac{\alpha}{45})}{\sqrt[3]{v}}$$

式中符号同前。

二、滑坡

1. 滑体变形功率理论

滑坡滑带塑性区的发育和发展过程是滑坡灾变的力学过程。当滑带岩土渐近破坏或滑带塑性区逐渐扩展，滑带全部贯通并达到极限破坏时，于是滑坡发生。根据塑性力学理论导出：

$$\int_v F_i^p V_i^p \mathrm{d}v \geqslant \int_v F_i v_i \mathrm{d}v$$

$$\int_v F_i^p V_i^p \mathrm{d}v = \int_{S_D} K(v_i)\mathrm{d}S_D$$

式中：F_i——滑坡体积力；

v_i——滑坡变形速度场；

K——滑面剪切屈服极限；

V_i^p——斜坡刚塑性体上真实破坏时的位移速度场；

S_D——滑动面面积；

v_i——滑面上的速度间断；

F_i^f——斜坡刚塑性体上真实破坏时的滑坡体积力。

公式表明，在斜坡变形破坏过程中，在任意速度场上体力所做功的功率都不大于斜坡极限破坏时体力在其相应速度场上所做功的功率。并且破坏时的功率对某具体滑坡而言是一个定值，该值可由数值计算方法模拟斜坡破坏求得。$\int_v F_i V_i \mathrm{d}v$ 为变形功率，$\int_v F_i^f V_i^f \mathrm{d}v$ 为破坏功率，比较二者的相对大小，即可进行滑坡变形阶段预测。

滑坡坡体变形过程中所做的功：

$$\int_0^t \int_v F_i V_i \mathrm{d}v \cdot \mathrm{d}t = \int_v F_i S_i \mathrm{d}v$$

式中符号同前。

根据滑坡变形破坏的特点，其变形（位移）功必须满足渐进破坏准则，并最终达到某一峰值才能导致滑体整体下滑。

2. 极限平衡理论

即在建立的地质概念模型和滑坡发生的影响因素分析、变形破坏机制分析基础上，建立力学分析模型计算滑坡稳定系数。

条间推力的求解：

$$E_{Ni} = \{E_{Ai}[\cos(\beta_{i-1}-\alpha_i)-\sin(\beta_{i-1}-\alpha_i)\tan\varphi_i]+W_i\sin\alpha_i-W_i\cos\alpha_i \cdot \tan\varphi_i - C_i L_i\} /$$
$$[\cos(\beta_i-\alpha_i)-\sin(\beta_i-\alpha_i)\tan\varphi_i]$$

式中：E_{Ni}——条间推力（是 E_{Ai}的反作用力）；

E_{Ai}——第 $i-1$ 条块对 i 条块的作用力；

W_i——由第 i 条块自身重量引起的重力；

β_{i-1}——E_{Ai}的作用线与水平面的夹角；

β_i——E_{Ni}的作用线与水平面的夹角；

α_i——第 i 条块底面对水平面的倾角；

φ_i——第 i 条块底部土体的内摩擦角；

C_i——第 i 条块底部土体的粘聚力；

L_i——第 i 条块底面长度。

以上是采用以牛顿定律为根据的“矢量力学”的极限平衡法所得到的结果，因方程中同时含有两个变量（E_{Ni}，β_i），故求不出 E_{Ni}和 β_i 的具体值。研究证明，凡是处于稳定平衡的位置，弹性系数的势能具有极小值。推而广之，一切系统的总势能都趋向于达到最小的状态，这就是经典的最小势能原理。对于位移和变形都很小的弹性系统，可将最小势能原理表述为：在所有能满足几何边界条件的位移中，使系统的势能为最小的位移乃是能够满足平衡条件的位移，因而是真实的位移。也就是说，在所有能满足几何边界条件的力中，使系统势能最小的力乃是能够满足平衡条件的力，因而是真实的力。

如图 2-1 所示，将条块 i 看作一个受力物体，它将受到来自条块 $i-1$ 的条间力 E_{Ai}的作用，由 E_{Ni}、E_{Ai}、W_i 的共同贡献而形成平衡。W_i 是恒量，E_{Ni}必将随着 E_{Ai}的增大而增大。最小势能原理告诉我们，凡处于稳定平衡的位置，系统的势能具极小值，一切系统的总势

能都趋向于达到势能最小的状态，因而趋向于稳定态。对于条块 i 来讲，在所有能够满足边界条件的力中，使该条块处于势能最小状态的力才是作用于该条块上真实的力。由图 2-1 和平衡公式均可看出，E_{Ai}越小，越有利于条块 i 的稳定，从而使条块 i 趋向具有最小势能。最小的 E_{Ai}将最有利于条块 i 的稳定，使其达到势能最小值，因此 E_{Ai}的极小值才是作用于条块 i 上的真正条间推力。

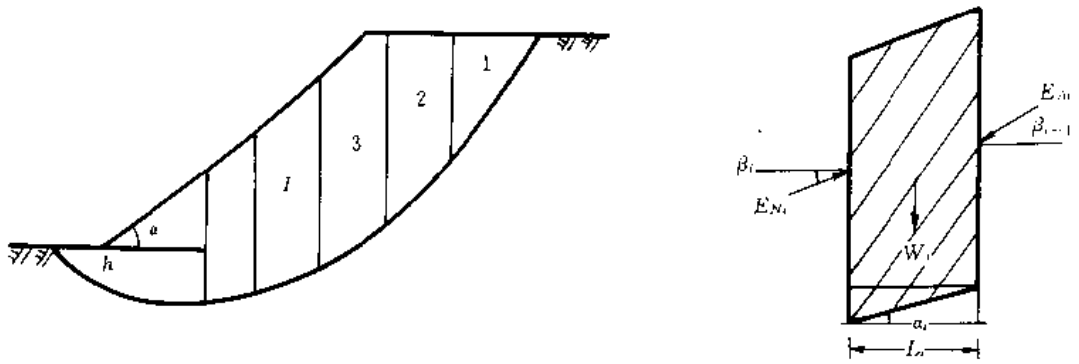


图 2-1　极限平衡法计算条间推力示意图

$$\beta_i = \alpha_i - \varphi_i$$

若已知初始条件 E_{A1}、β_0，则通过上两个公式求出各条块间的相互作用力；若求出的 E_{Ni} 为负值，说明从第 i 条块开始无推力作用。

三、泥石流

泥石流是小流域（流域面积 30～300km²）和特小流域（<30km²）内的高浓度泥沙输移现象。流域中生态环境严重恶化，水土流失达到灾变程度的称为泥石流流域。泥石流形成的土水融合过程，主要在形成区和流通区，是坡面和沟道的重力侵蚀现象而不是一般的流域汇流过程。该过程中物质补给数量大，时间短，以集中补给、高浓度输沙为特点。主要补给来源为崩塌、滑坡体补给和沟床质补给，补给方式可归纳为土体失稳产生流变模式、饱和沟床物质起动模式和坝库溃决冲刷模式。

包为民从动力学成因角度分析泥石流灾害的形成机理，提出泥石流起动的动力学临界条件通式：

$$K = \frac{f \cdot W \cdot \cos\alpha + (K_0 - K_1\theta)A_s}{W \cdot \sin\alpha}$$

式中：K—— 稳定性系数；

f—— 摩擦系数；

W—— 准泥石流体自身重力，$W = S + V \cdot \theta \cdot \gamma$（准泥石流体的固体重量 S，体积 V，准泥石流体含水率 θ，水的比重 γ）

α—— 沟坡角度；

K_0—— 最大单位面积内聚力；

A_s—— 准泥石流体与坡面母体接触面积，$A_s = V/H$（准泥石流体积 V，平均泥深 H）。

准泥石流体起动临界式的三个常系数（f、K_0、K_1），可以通过实测资料来确定。云南蒋家沟流域 $f=0.558$，$K_0=0.0457$ (t/m²)，$K_1=0.107$ (t/m²)。公式表明，如果 $K>1.0$，起动力小于抗动力，准泥石流体稳定不运动；如果 $K<1.0$，则准泥石流体失稳而发生运动；$K=1.0$ 则为起动的临界条件。

泥石流爆发有两个必要条件：一是充足的松散堆积物；二是丰富的水流补给来源。据有关资料，四川省日降水量≥50 mm，且具有充足松散堆积物的沟谷就有可能爆发泥石流。

李后强等在分析研究多种观察资料的基础上，提出泥石流爆发的“自组织临界（SOC）理论”，建立了泥石流发育的渗流模型。由此得到泥石流爆发的临界值：

$$p_c = \frac{d}{z(d-1)}$$

其中，d 是欧氏空间维数；z 是配位数。

根据广义 *Fibonacci* 数列，得到临界状态时的分形维数：

$$D_f(p \cdot q) = \ln N / 2\ln\left(\frac{p+\sqrt{p^2+4q}}{2}\right)$$

其中 $p \cdot q$ 是与人类活动、环境因素有关的参数。

四、岩溶塌陷

1. 压强差效应

压强差是指被盖层封闭的岩溶管道开口端 A，当出口端 B 地下水头下降时，通过岩溶管道传递，在 A 处形成压强差 Δp_A，如图 2-2。

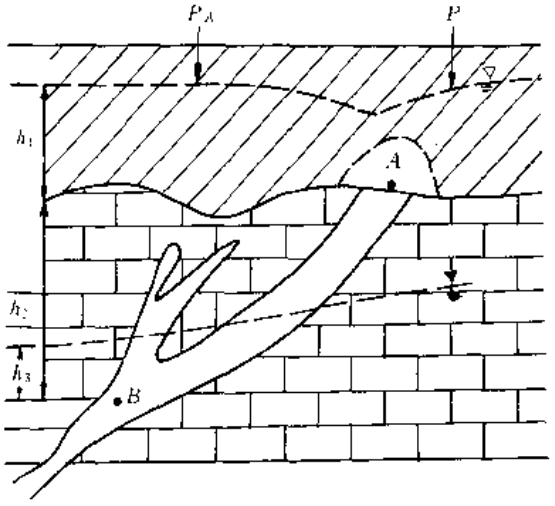


图 2-2　压强差形成示意图

$$\Delta p_A = p'_A - p_A = -\gamma_w(h_1+h_2+h_3)$$

式中：Δp_A——A 点的压强差（cm 水柱）；

p'_A，p_A——水位变动前后 A 点的压强值；

γ_w——水的容重（g/cm³）；

h_1——水位变动前 A 点的水头（cm）；

h_2——A、B 两点间的高差（cm）；

h_3——水位变动后 B 点的水头（cm）。

压强差 Δp_A 的值相当于出口端 B 点的水头降。考虑传递的阻力水头 h_w 时，前式为：

$$\Delta p_A = -\gamma_w(h_1 + h_2 - h_3 - h_w)$$

同理，当 B 点地下水位上升（即 $h_3 > h_1 + h_2$），对 A 点的压力方向将由水位下降时水、气下吸变为上顶作用，压强差的大小则为：

$$\Delta p_A = \gamma_w(h_3 - h_1 - h_2 - h_w)$$

压强差增至足够大时，产生塌陷。其机理主要表现为两方面的力学作用：一是压强差作用于盖层，使土体直接承受相应的水、气压力；二是当压强差作用于盖层时，使土体中的水、气在孔隙中运动，形成水、气动力，对土体产生潜蚀和气蚀作用。因此压强差效应并非单一的真空负压或潜蚀，而是既包括压强差作用，又有由此而产生的潜蚀和气蚀作用。

采用多元逐步回归，求得致塌时的临界压强差：

$$\Delta p = 7.057 + 3.921 \times 10^{-3}E_s - 2.439 \times 10^{7}K + 0.3556h/d + 0.6183\tau$$

式中：Δp——盖层土体开始塌落时的临界压强差（kPa）；

E_s——土体的压缩模量（kPa）；

K——土体的渗透系数（cm/s）；

h/d——土体的厚度与溶洞开口处直径之比；

τ——土体的抗剪强度（kPa）。

致塌时波动源点的临界地下水位降深 ΔH 则可根据 Δp 求得：

$$\Delta H = 10\Delta p/\gamma_w + h_w$$

式中：ΔH——波动源点临界水位降深（cm）；

γ_w——水的容重（g/cm^3）；

h_w——沿程阻力水头（cm）。

2. 垂直渗压效应

雨水或地面水向土体渗透并使其饱和后，其渗透压力值就相当于渗透时的水头损失。当水流以相反方向由上向下垂直渗透时，渗透压力将与土体自重叠加共同作用于土拱，合力大于土拱抗塌力时，便产生塌陷。

3. 其它效应

①土体强度降低。降雨入渗后，土体含水量增加，其内聚力（c）及内摩擦角（φ）减小，导致土体抗剪强度降低，土拱抗塌力减小。

②附加荷载。建筑物、积水、振动等对盖层产生的静、动附加荷载，使塌力增大、促进和诱发塌陷。

③浮力与自重。地下水位下降时，水对盖层的浮托力随之减小，土体重量则相应增大。对于不同厚度的盖层，在同一水位降深时，减少的绝对浮力值相近，但影响有别。土体厚度大者影响小。同时降雨入渗后，盖层饱和容重比干容重一般增加 30%～40%，使土拱承受更大的重量。

五、地面沉降

经过世界各地对地面沉降的长期调查研究，普遍认为地面沉降主要是开采天然气、石油、地下水而引起的。根据分层沉降标的观测资料，粘土层的压缩程度最大，因此，粘土排水固结的理论是解释地面沉降的基本原理。

过度抽取地下水时，含水层得不到充足的补给，使地下水位迅速下降，在隔水层顶板和含水层接触面上产生水力坡度，不仅造成粘土层中的水相应地进入含水层中还造成粘土层中的孔隙水压力降低，有效压力增加，进而引起土层压密；如果这种粘土层压缩性强，厚度又较大时，其压密的结果就会引起地面沉降。在地面沉降过程中，地下水位下降是矛盾转化的主要方面，要控制地面沉降，首先要控制地下水位下降。为了达到这一目的，世界上提出的控制地下水位的措施大体有以下几个方面：

1. 另外寻求供水水源、减少或停止抽用地下水，以控制地下水位下降。

2. 在外援水源未开始供水之前，只准抽吸深层地下水。

3. 向含水层中注入压缩空气，以恢复自由水的压力。

4. 人工补给地下水，以提高地下水位等。

六、地裂缝

地裂缝是地壳表层介质的断裂，是由地质动力作用及人类活动等因素所引起的地表介质完整性的破坏。按地裂缝成因可分为地震地裂缝、构造地裂缝和非构造地裂缝。

地震地裂缝是指由地震活动引起的地表破裂现象，一般当地震达到一定烈度时开始出现，并且地裂缝的发育程度与地震震级多呈正比例关系，地震烈度越强，地震地裂缝的规模及其破坏作用越大。究其原理，地震是活断层的构造运动致灾过程的一种表现形式，地震地裂缝应属于构造地裂缝的一种特殊类型，与其它类型的构造地裂缝相比，只不过致灾过程的速度要快得多。

以构造运动为其主要成因的地裂缝称为构造地裂缝。按其构造运动的方式可分为火山地裂缝和蠕滑地裂缝。火山地裂缝是由火山喷发时上涌的岩浆从地壳深部以较高的压力作用于浅层地壳介质，从而形成以火山口为中心的辐射状或带状地裂缝。蠕滑地裂缝是由断裂构造的长期蠕滑运动所产生的地裂缝，其影响范围取决于活断层的规模，其活动时间与断裂的活动时间相一致。构造地裂缝具有三维运动特点：即垂直差异运动、水平张裂运动及水平剪切运动。在三维运动位移量中，以垂直位移量最大，扭动位移量最小，水平引张量居中，它们的客观标志为破裂段或破裂点的错断和张裂。构造型地裂缝一般都做正断层式运动，其上盘总是相对于下盘下滑，从而造成地表形态的升降现象。各条地裂缝不同区段上垂直差异运动的速率都有区别。垂直差异运动是地裂缝的主，水平张裂运动次之。具有双向扩张运动的特点，一般先在Ⅰ级主裂缝中部开始破裂，然后向两端扩展，最先出现破坏的地点，积累的形变位移量最大。构造地裂缝的发生发展受区域构造运动控制，其活动时间和程度取决于当地的构造地质条件及其对构造运动的响应程度，同时受各种人为因素的制约和影响。因此，其破坏延展速度在时间上常呈跳跃式变化，在空间上分段活动差异明显。

非构造地裂缝主要有四种类型：

（1）崩滑型地裂缝

此种地裂缝以斜坡的失稳移动为成因的地裂缝。可分为滑坡型地裂缝和崩塌型地裂缝。崩滑型地裂缝及其扩展常成为斜坡失稳的前兆，崩滑型地裂缝常与崩塌、滑坡灾害共存。

（2）沉降型地裂缝

此种地裂缝以地表介质沉降为成因的地裂缝。可分为地下油、气、水被过量抽取而形成的地面沉降型地裂缝和与各种成因形成的地下空穴有关的断裂沉陷型地裂缝。地面沉降

型一般在地面沉降区的边缘部位形成环状分布的地裂缝，多在过量抽取地下流体的地区发生。断裂塌陷型常在局部地点产生急速扩展的地裂缝并引起快速的断裂塌陷，多发生在各种固体矿产的采空区。

（3）土壤物性地裂缝

此种地裂缝以地表土层的特殊物理性质为成因的地裂缝。其特点是地裂缝分布在该土层的厚度内且都与地表水有关。包括黄土湿陷型地裂缝和胀缩型地裂缝等。

（4）气象地裂缝

此种地裂缝与气象因素密切相关的地裂缝。包括洪涝地裂缝、干旱地裂缝、渗蚀地裂缝、冻融地裂缝等。与其它类型地裂缝相比，这一类地裂缝的规模较小，危害也相对不大。

七、海水入侵

造成海水入侵的主要原因有以下三个方面。

1. 咸淡水密度差

由于水的压强 $p=\rho g h$，使咸淡水界面两侧相距很近的两点上咸水和淡水具有相等的压头 h，但咸淡水具有不同的密度 ρ，故这两点上的咸水和淡水具有不同的压强 p，这个压强差使咸水向陆地渗流。

2. 咸淡水中盐分的浓度差

咸水在扩散过程中由于介质通道不均一性引起力学弥散，因此造成咸淡水界面的过渡带和入侵海水向大海的回流。

3. 滨海地带咸淡水体的水位差

海水入侵不会无限发展，因为除上述两个动力外，还有一个阻力，即咸淡水水位高程差引起的淡水向海渗流。一般情况下，淡水位高于海水位，淡水向海渗流，对海水入侵起到抗衡与抵御作用，使入侵和反入侵之间达到平衡。海水入侵发展全过程的本质，就是这个平衡的破坏和重建。

在滨海地带，海水入侵的天然过程与人为过程相复合。海水入侵已经存在并有变化，根据海水入侵的静力学理论，对比海水入侵的动力——向陆渗流和阻力——向海渗流得到公式：

$$Z=\frac{\rho_f}{\rho_s-\rho_f}h_f$$

式中：Z——海水入侵时咸淡水界面上任一点在海平面下的深度；

h_f——淡水面高度；

ρ_f——淡水的密度；

ρ_s——咸水的密度。

潜水含水层单宽排泄入海量：

$$q=\frac{K\cdot H^2}{2L}\cdot\frac{1+\delta}{\delta_z}-\frac{W\cdot L}{2}$$

承压含水层单宽排泄入海量：

$$q=\frac{K}{2\delta L}(M^2-d^2)$$

式中：$\delta=\frac{\rho_f}{\rho_s-\rho_f}$；

K——渗透系数；
H——潜水含水层厚度；
L——海水入侵距离；
M——承压水含水层厚度；
W——潜水水位；
d——承压水水位。

第五节　地质灾害经济学原理

地质灾害经济学是研究与地质灾害有关的各种经济现象、经济活动、经济事物及其相互联系，揭示地质灾害与社会经济的发展规律，评价防灾、减灾所付出的经济代价和可能得到的经济效益的科学。地质灾害经济学的服务目标是帮助人们认识灾害经济规律，更科学地进行减灾活动，取得充分的减灾效益，最大限度地减少灾害损失。

地质灾害同其它自然灾害一样，对人类社会具有广泛而又深刻的影响。从直接作用看，它造成人员伤亡和财产损失，使生产力遭到严重破坏；从深层次看，地质灾害破坏经济环境和社会环境，从而影响经济发展和社会发展。因此，地质灾害风险评估不仅要与地质灾害机制研究相结合，更重要的是与灾害破坏、损失的工程和经济分析相结合。也就是说，地质灾害风险评估必须从灾害发生机理，灾害造成的破坏，造成经济、社会损失及防灾、减灾效益的全过程去分析研究。

灾害经济是守业经济。实施防灾、减灾措施，是通过对已有人民生命财产和资源环境的保护，减少损失并产生新的价值，因此，防灾工程的投入特点是“以负换正，减负得正、负负得正”，即通过防灾投入数“负”效益的作用，抗御灾害的发生，保护受灾体，以期减少或防止灾害损失；这减少或避免的损失部分就是经济效益。在人类发展的任何阶段，不可能完全消除灾害的破坏，只能采取力所能及的措施尽可能使灾害的破坏损失降低到最小，所以灾害经济学所强调的不是保证资源和财产免遭损失而不惜付出任何代价，而是尽可能地减少灾害引发的经济损失。基于这一原则灾害经济学所强调的目标是：一般情况下为守业而投入的追加劳动（即防灾、减灾投资）必须小于或等于由此而减少的因灾害而引发的活劳动和物化劳动的损失（灾害损失）。

防灾成本投入实现的防灾价值，主要通过防灾功能来实现。根据价值工程理论，价值是功能与成本的综合反映，也是功能与成本的比值。防灾工程的价值＝防灾功能/防灾成本，即防灾价值是单位成本所获得的防灾功能。可以看出关键是要研究清楚防灾的功能。防灾功能定义为通过防灾工程所实现的防灾系统所具有的灾害防御效能。

防灾工程所实现的灾害防御系统，具有两大基本功能：第一，灾害防御工程系统能减轻、甚至免除灾害给人类社会和自然造成的损害，实现保护人类的生命安全与健康，减少和消除社会经济的破坏损失，以及避免和减轻环境与生态恶化的功能。第二，防灾的同时还能保障和维护人类的生活和生产活动，促使人类劳动价值的增值（财富增值），实现其间接地为人类社会增值或创值的功能。这两方面功能发挥的作用越大，防灾价值也就越大，减灾效益也就越好。

第三章　地质灾害风险评估体系

第一节　地质灾害成灾过程与灾情构成

地质灾害的形成必须具备致灾体和受灾体两方面条件，前者是由地质自然动力作用引起的灾害活动；后者是人和人类劳动创造的物质财富以及自然界提供给人类直接开发利用的资源和环境，只有这两方面条件同时具备时，才能出现灾害过程，形成灾害后果，即形成灾害。这两方面条件不但决定了灾害是否发生，而且决定了成灾规模的大小。通常情况下，灾害活动或致灾体的规模越大，受灾体密度和价值越高，对灾害的抗御能力和可恢复性越差，成灾越严重。因此，地质灾害的致灾体与受灾体是成灾的基本条件，它们相互作用过程所造成的破坏损失后果，是地质灾害的集中表现，因此是灾情的核心内容。

毫无疑问，无论是致灾体，还是受灾体，都不是凭空产生的。从地质灾害的成灾过程看，地质灾害活动实际上是地球（主要是岩石圈和水圈）能量聚积和释放的过程，而这个过程又都是在一定的具有比较广泛而又深刻的背景下出现的。受灾体的种类很多，既有自然资源也有人类创造的物质财富，而这些物质财富都是在一定社会经济条件下各种劳动的结晶。因此，一定的自然条件和社会经济条件是地质灾害形成的背景因素，它们影响了致灾体的规模和受灾体的易灾程度。所以，对于地质灾害灾情来说，虽然无需对灾害的背景条件进行全面详尽的调查和分析，但对其中与成灾后果产生直接影响的关键要素进行研究是不可缺少的。

同任何现象一样，一个完整的地质灾害事件，在经过一定的孕育阶段和发生过程以后，进入灾后阶段，这阶段属于灾害的恢复时期。从自然动力过程看，灾害发生后，能量得到释放，达到暂时平衡，同时新的下一次灾害活动又开始孕育；从受灾体方面看，在灾害活动的同时和停止以后，人类采取各种力所能及的措施进行抗灾、救灾和灾后恢复重建，把灾害的破坏损失减少到最小程度。由于这一阶段的情况对于灾害的成灾程度会产生一定的影响，所以尽管不是灾情的核心要素，但也是一项不可缺少的内容。

综合上述，可以把地质灾害的全部过程概括为灾前孕育阶段→灾害活动阶段→灾后恢复阶段。对于突发性的地质灾害，其灾害活动阶段往往非常短暂。这类灾害的评估主要是灾前的风险评估和灾后损失评估，从防灾减灾工作角度，为了争取主动，防范于未然，灾前风险评估尤为重要，是我们工作和研究的重点。对于缓发性地质灾害，灾前孕育阶段和灾害活动阶段往往是渐变的，与灾后恢复工作也难以界定，这类灾害是渐进性或积累性的，不进行有效的治理，灾情一般会愈来愈重，因此，灾害评估工作主要是灾害过程中的风险评估，其目的是为实施减灾工程提供决策依据。

第二节　地质灾害灾情基本要素和风险评估的主要任务

根据地质灾害的成灾过程和灾情构成，可把地质灾害灾情基本要素归纳为以下五个方面。

（1）成灾背景要素

反映地质灾害形成的自然条件和社会经济条件。其中自然条件主要包括地质条件——地层、岩性、地质构造与新构造、地壳稳定性等因素；地形地貌条件——地貌类型、海拔高程、地形高差或切割深度等因素；气候条件——气候类型、降水量、降雨强度等因素；水文条件——所属水系、水位、流量、水温、水质等要素及其动态变化因素；植被条件——植被类型、覆盖程度等因素。社会经济条件主要包括人口数量、密度；城镇及重要企业、工程和基础设施等的分布；工农业产值、国民生产总值及社会经济发展水平；防灾工程及减灾能力等。

（2）致灾体活动要素

反映地质灾害活动程度，亦称为灾变要素。主要包括：灾害种类、灾害活动规模、强度、频次、密度、成灾范围、灾变等级等。

（3）受灾体特征要素

主要包括受灾体类型、范围、数量、价值、密度、对不同灾害的承御能力和灾后的可恢复性等。

（4）破坏损失要素

主要包括地质灾害的破坏效应和损失构成；受灾体种类、损毁数量、损毁程度、价值；灾害造成的经济损失、人员伤亡等。

（5）防治工程要素

主要包括地质灾害防治工程措施、工程量、资金投入、防治效果与预期减灾效益等。

以上的地质灾害灾情基本要素，是开展地质灾害风险评估工作的基础。只有通过系统调查、统计、分析各项基本要素，才可能做好灾害风险评估工作。

从一般意义上说，灾害风险评估的范围应该包括灾害全部过程和各个方面的情况。即灾前风险评估和灾后损失评估。为不同目的的灾害风险评估工作，其侧重点不同。为灾害防治工程决策服务的灾前风险评估工作，其主要内容是确定可能造成破坏损失情况，进而与防治工程投入成本比较分析，确定最优方案。这些分析评价，自然不能孤立地进行，它必须在分析灾害背景条件基础上，深入调查和研究灾害的活动强度以及受灾体破坏损失情况，才能核算灾害经济损失，确定灾度等级或风险等级，进行效益分析。

根据以上分析，可将地质灾害风险评估分为以下四个方面，一是危险性评价，其基本任务是分析地质灾害的活动条件，确定灾害活动强度（规模）、频度、密度、危害范围；二是易损性评价，其基本任务是划分受灾体类型，统计分析可能受灾损毁数量、损毁程度、并核算价值；三是破坏损失评价，其基本任务是核算人员伤亡和经济损失程度，评定灾度等级和风险等级；四是防灾工程效益评价，其基本任务是分析地质灾害的可防治性，评价防治工程的经济效益和社会效益、环境效益。以上4个方面的评价工作中，危险性评价和易损性评价是灾害风险评价的基础，破坏损失评价是灾害风险评估的核心，防治工程效益评

价是灾害风险评价的应用。

地质灾害危险性评价、易损性评价、破坏损失评价和防治工程效益评价构成地质灾害风险评价系统，它们的相互关系可由图 3-1 表示。

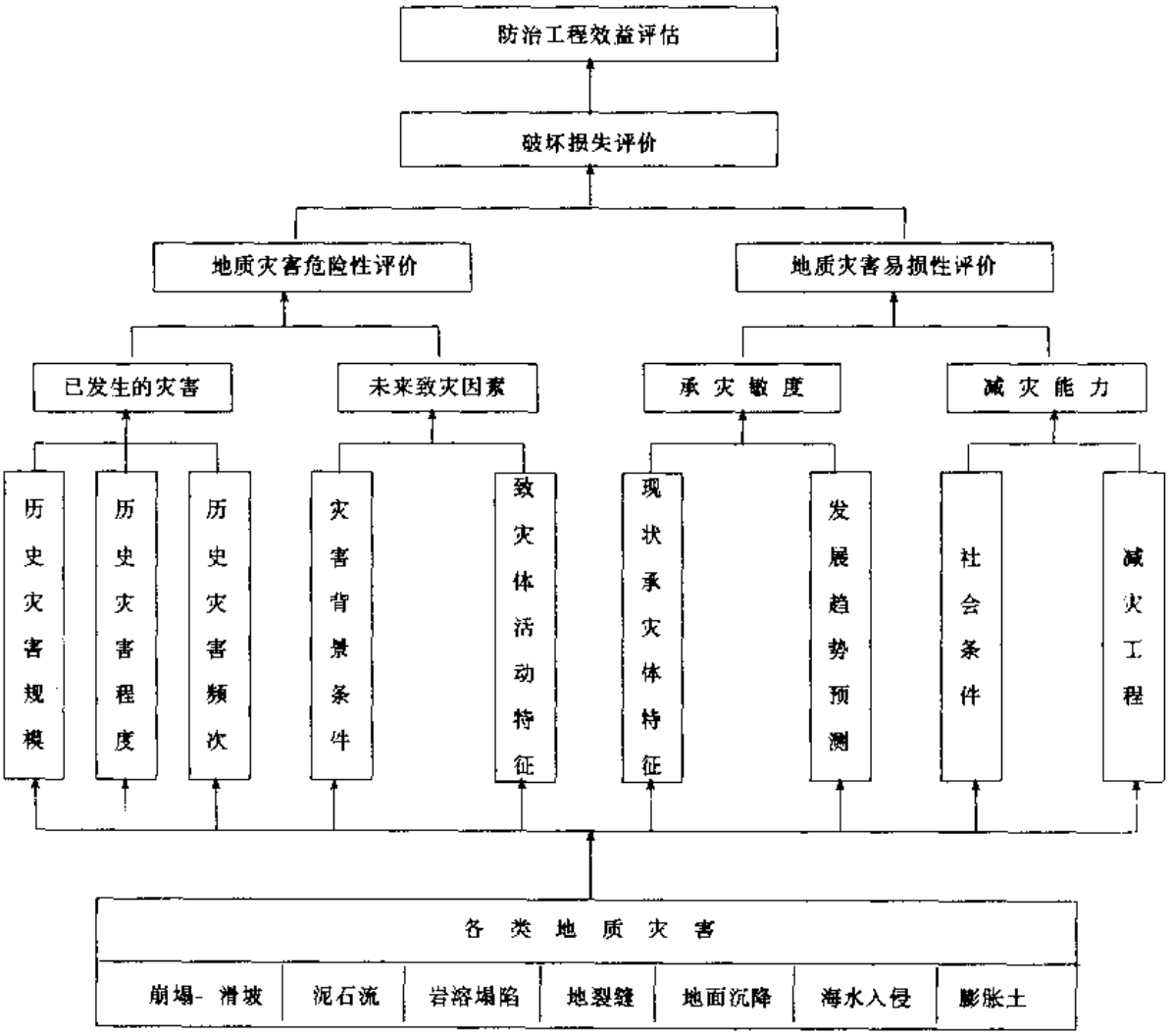


图 3-1　地质灾害风险评估系统结构示意图

第三节　地质灾害风险评估类型

地质灾害风险评估有多种类型。根据地质灾害风险评估时间，分为灾前（即灾害风险评估）评估、灾中的跟踪评估、灾后总结评估。它们的评估目标虽然基本相同，但评估的特点和方法不完全一致。

灾前风险评估，是对一个地区或一个潜在的地质灾害事件的危险程度和可能造成的破坏损失程度及防治工程效益进行预测性评价，其带有一定的风险性，它的目的除了为减灾决策和防治工程提供依据外，还可以对地区经济发展规划、城市建设规划以及土地资源合理开发利用等提供参考依据。由于地质灾害，特别是崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害是具有很大不确定性的随机事件，所以一般采用风险分析方法核算灾害的期望损失，据

此评价灾害的风险水平。具体方法和过程是，在分析地质灾害历史活动程度和形成条件的基础上，通过危险性评价，确定地质灾害事件的发生概率和成灾范围；通过易损性评价，核算危害区内各种受灾体的数量和可能损毁程度；通过破坏损失评价，核算灾害的期望损失，划分风险等级；通过防治工程效益评价，分析灾害的可防治性和可能效益，提出防治灾害的最优方案。

灾中跟踪评估和灾后总结评估，都是在灾害发生以后，对已经出现的灾情进行调查、统计、分析，其主要目的是为及时，有效地进行救灾、抗灾提供依据。灾中跟踪评估是对那些规模巨大、破坏严重、成灾活动有一定时间过程的地质灾害进行适时评估。其基本要求是，在灾害发生后的一定时限内，迅速对灾情作出首次评估后，随着灾害的发展，每隔一段时间，及时将最新灾情作出适时评估，直至最后灾害过程结束。灾后总结评估是指在灾害过程结束以后，对灾害情况进行的全面评估。灾中跟踪评估和灾后总结评估的基本方法是调查、统计，对于灾害规模较小，成灾范围有限的地质灾害，一般通过全面调查，获得灾情要素；对于成灾范围较大，受灾体数量很多的地质灾害，可以采用抽样调查统计方法实现灾情评估。

根据地质灾害风险评估范围或面积，将地质灾害风险评估分为点评估、面评估、区域评估。

点评估是指对一个地质灾害体或一个具有相同活动条件和特征的相对独立的灾害群的灾情或风险程度进行的评估。如一个滑坡或滑坡群、一条泥石流沟或同地区紧邻发育的泥石流群等。点评估的范围一般不超过几十平方公里，行政区范围一般不超过几个乡（镇）或一个县（市）。面评估是对一个具有相对统一特征的自然区域或社会经济区域（如一个小流域或一个城市）进行的地质灾害灾情评估。评价区面积一般从几十平方公里到几千平方公里，行政范围一般为一个县（市）或几个县（市）。由于进行面评估的地区都是地质灾害危害比较严重的地区，所以地质灾害一般有几十处或几百处，而且常常不是一种地质灾害，而是几种地质灾害的综合评估。区域评估是指跨流域、跨地区的大面积的地质灾害风险评估，评估范围为一省或几省乃至全国区域，面积达几万到几百万平方公里。评估区内灾害点成千上万，常常难以准确计数，涉及的灾种几乎包括所有类型的地质灾害。

不同范围地质灾害灾情评估的目的、基础、途径和方法不尽一致。点评估的对象是具体的单一的灾害体或灾害事件，通过评估要比较准确地量化它的损失水平和风险程度，为具体的防治工程提供依据。点评估是在对灾害活动条件和受灾体易损性进行深入研究基础上进行的，其基本手段除了专门性调查统计外，还需要进行必要的测试和试验。它所使用的各种指标以及得出的不同层次的评价结果，基本上达到绝对的量化程度。面评估的目标是认识一个有限地区的地质灾害的破坏损失程度或风险水平，其意义除了指导灾害防治工程外，还将为地区规划和资源开发提供依据。面评估的基本内容与点评估基本一致，仍然是危险性评价、易损性评价、破坏损失评价和防治工程评价，但所采取的调查方法一般限于全面调查统计，辅以必要的重点深入调查，所使用的指标和各层次的评价结果虽然达到绝对量化程度，但精度要低于点评估。区域评估的目标是对大面积区域性地质灾害的破坏损失或风险程度进行评价，它的意义是为宏观减灾决策和区域经济规划提供依据。区域评估仍以“四评价”为中心内容，采取的基本方法是区域性调查和相应的统计分析，所使用的指标和各层次的评价结果一般达到相对的量化程度，所取得的评价结果主要体现在风险

区划上。

综合上述，将点评估、面评估、区域评估的基本特点总结于表 3-1。

表 3-1 地质灾害评估范围分类及其特征表

评估类型	点评估	面评估	区域评估
评价对象	灾害体或灾害群灾情与风险	地区地质灾害综合灾情与风险	区域地质灾害总体灾情与风险
评价面积	一般不超过几十平方公里	几十到几千平方公里	几千到几百万平方公里
评价范围	一般不超过一个县	一个县到几个县	几个县到全国
评价意义	为抗灾、救灾和实施防治工程提供依据	为布置防治工程和地区规划提供依据	为宏观减灾决策和制定区域规划提供依据
评价手段	专门调查统计和必要的观测、试验	专门调查统计	区域调查统计
评价精度	绝对量化	以绝对量化为主	相对量化

总之，地质灾害风险评估工作，按评估时间，可划分为地质灾害风险评估（灾前评估）、灾中跟踪评估、灾后总结评估（灾情评估）；根据地质灾害评估范围分为点评估、面评估、区域评估；各种类型评估的基本内容为危险性评价、易损性评价、破坏损失评价、防治工程效益评价。这些结合在一起，构成了立体的地质灾害评估体系。

本书根据这一评估体系，进一步探讨地质灾害评估的理论基础，以“四评价”为基本内容，进行崩塌-滑坡、泥石流、岩溶塌陷、地裂缝、地面沉降、海水入侵、膨胀土等地质灾害的点评估、面评估以及综合地质灾害的区域评估。鉴于灾中跟踪评估和灾后总结评估基本上是属于灾情统计范畴，可以应用一般统计原理和方法进行分析评价，所以本书重点研究灾害风险评估的理论与方法。

第四章　地质灾害危险性评价

第一节　地质灾害危险性评价指标体系

地质灾害的危险性和灾害区易损性是决定地质灾害破坏损失的两方面基础条件。其中地质灾害危险性主要是地质灾害自然属性特征的体现，它的核心要素是地质灾害的活动程度。

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。

地质灾害危险性分为历史灾害危险性和潜在灾害危险性。历史灾害危险性是指已经发生的地质灾害的活动程度，潜在灾害危险性是指具有灾害形成条件，但尚未发生的地质灾害的可能的活动程度。二者的危险性标志不同。

历史地质灾害活动对地质灾害潜在危险性具有一定影响。这种影响可能具有双向效应：地质灾害发生以后，能量得到释放，灾害的潜在危险性削弱或基本消失；具有周期性活动特点的地质灾害，历史上的灾害活动并没有使不平衡状态得到根本解除，新的灾害仍在孕育，在一定条件下将继续发生，甚至更加频繁和强烈。

地质灾害活动条件的充分程度是控制地质灾害潜在危险性的最重要因素。从总体上说，地质条件、地形地貌条件、气候条件、水文条件、植被条件、人为活动条件是控制所有地质灾害活动的基本条件。但这些条件在不同类型地质灾害中的主次地位和作用方式不尽相同；对于有不同精度要求的点评估、面评估、区域评估，对各种条件和要素分析的详略程度也不尽一致，所以评价指标各异。基于这些差别，对不同种类地质灾害的成灾特点和形成条件，进行深入论述是很有必要的。

一、不同类型地质灾害形成条件

1. 崩塌-滑坡形成条件

崩塌-滑坡是严重的斜坡变形现象。它的发生一方面取决于斜坡自身的基础条件，另一方面与斜坡受到的营力作用有关，因此将崩塌-滑坡形成条件分为基础条件和外界条件两类。

(1) 基础条件

地貌是形成崩塌-滑坡的最基础条件。从区域地貌条件看，崩塌-滑坡形成于山地、高原地区，通常情况下，地形高差越大，切割越剧烈，崩塌-滑坡越发育。从局部地形看，要有适宜的斜坡坡度、高度和形态，形成便于岩体崩落、滑动的临空面，这些对崩塌-滑坡形成具有最直接的作用：崩塌多发生在坡度大于55°、高度大于30 m、坡面凹凸不平的陡峻斜坡上；滑坡多发生在15°以上的斜坡。

岩土体是崩塌、滑坡的物质基础，它的性质和结构对崩塌-滑坡活动具有决定性作用。一

般情况下，性质坚硬，结构完整的岩石，抗剪强度大，抗风化能力强，斜坡整体性好，不容易发生崩塌-滑坡；相反，岩性松软，结构不完整，特别是裂隙发育，斜坡岩土体中存在软弱夹层时，容易失稳变形，发生崩塌-滑坡。

地质构造是崩塌-滑坡活动的重要影响因素。断裂构造不但使斜坡岩土体发育大量裂隙，甚至使斜坡变得支离破碎，而且促进了斜坡岩土体的风化作用和地下水活动，降低了斜坡的稳定性，增加了产生崩塌滑坡活动的可能。

（2）外界条件

外界条件是导致崩塌、滑坡活动的诱发因素。主要包括由于暴雨、洪水、融雪、水库渗漏，人工灌溉或排水等原因，使大量地表水或地下水进入斜坡，岩石抗剪强度急剧下降，诱发崩塌、滑坡；地震、人为爆破、工程开挖、填弃碴土等原因改变斜坡应力状态，也会引起斜坡失稳。

2. 泥石流形成条件

泥石流是突发性很强的山地地质灾害，它同崩塌、滑坡一样，也是在一定的基础背景下，由某些突发性的因素激发而形成的。

（1）基础条件

泥石流是含有大量泥沙、石块的特殊洪流，因此急促的水流和充分的松散固体物质是泥石流形成的物质基础。急促水流主要来自暴雨，其次来自冰川积雪融水、河湖水库溃决等。因此，气候条件是影响泥石流的重要因素。其突出特点是，降水充沛，暴雨多发地区泥石流最发育。松散固体物质除一部分来自矿山废碴和工程弃土外，主要来源是各种成因的堆积物——断裂破碎物，岩土风化后形成的残积物、坡积物，崩塌体、滑坡体，洪积碎屑物、冲积碎屑物等。这些碎屑物的形成又与地质条件有一定关系：断裂构造发育，现今构造运动强烈的地区，山坡稳定性差，岩体结构不完整，风化作用强烈，岩石破碎，崩塌、滑坡发育，松散碎屑物质来源充分，最容易发生泥石流。

地形地貌条件是形成泥石流的又一个重要基础条件。从区域地貌条件看，在海拔高程较大，切割剧烈的山地高原地区，泥石流最发育。从局部地形条件看，泥石流一般要具有比较充分的汇纳水流和碎屑物的形成区、足够坡度的流通区、比较宽敞的堆积区。因此流域面积越大，地形坡度较大，越有利于泥石流的形成。

此外，植被条件对泥石流形成也有比较重要的作用。实践表明，在天然植被稀少，或由于人类过渡放牧、垦殖以至滥砍乱伐等原因使植被严重破坏后，常常造成严重的水土流失，因此为泥石流活动提供比较充分的物质条件，促进泥石流的发生发展。

（2）激发条件

泥石流最常见的激发条件是暴雨。在具有充分松散固体物质条件和适宜的地形条件下，只要出现暴雨，就会激发泥石流；而且暴雨强度越大，泥石流活动规模也越大。除暴雨外，冰川积雪的迅速消融，河堤、水库、冰湖溃决等暴发的急促洪流也会引起泥石流活动。

3. 岩溶塌陷的形成条件

同其它地质灾害一样，岩溶塌陷也是多种因素综合作用的结果。其形成条件也归纳为基础条件和诱发因素。

（1）基础条件

①可溶岩及岩溶发育程度

岩溶洞隙发育的可溶岩是岩溶塌陷的最根本的基础条件。我国发生塌陷活动的可溶岩除部分地区的晚中生界、第三系、第四系富含膏盐芒硝或钙质的砂泥岩、灰质砾岩及盐岩外，主要是古生界、中生界的石灰岩、白云岩、白云质灰岩等碳酸盐岩。碳酸盐岩的岩溶类型分为3种：裸露型岩溶——碳酸盐岩基本上直接出露地表，没有或者很少被第四系松散沉积物覆盖；覆盖型岩溶——碳酸盐岩大部分被第四系松散沉积物覆盖，覆盖率一般在7%以上，仅局部出露地表，覆盖层厚度一般小于30 m；埋藏型岩溶——碳酸盐岩被很厚的第四系松散沉积物或其它非可溶岩覆盖，埋藏深度数十米以上。大量实践表明，岩溶塌陷主要发生在覆盖型岩溶和裸露型岩溶分布区，部分分布在埋藏型岩溶分布区。

除可溶岩岩性和岩溶类型外，碳酸盐岩的岩溶发育程度和岩溶洞穴的开启程度是决定岩溶塌陷的直接因素。从岩溶塌陷形成机理看，可溶岩洞隙一方面造成岩体结构的不完整，形成局部不稳定地带，另一方面为容纳溶蚀陷落物质和地下水的强烈活动提供了充分条件。因此，一般情况下，可溶岩的岩溶越发育，岩溶洞隙的开启性越好，岩溶塌陷越严重。

根据碳酸盐岩岩溶发育程度和有关特征，将岩溶发育程度分为强、中、弱三个等级（表4-1）。

表4-1 碳酸盐岩岩溶发育程度分级标志

岩溶发育程度	特征	参考性指标				
		地表岩溶发育密度 个/km²	钻孔岩溶率 %①	钻孔遇洞率 %	泉流量 L·s⁻¹	单位涌水量 L·(m·s)⁻¹
强	碳酸盐岩岩性较纯，连续厚度较大，出露面积较广。地表有较多的洼地、漏斗、落水洞，地下溶洞发育。多岩溶大泉和暗河，岩溶发育深度较大	>6	>10	>60	>100	>1
中	以次纯碳酸盐岩为主。地表有洼地、漏斗、落水洞发育，地下洞穴通道不多。岩溶大泉数量较少，暗河稀疏。深部岩溶不发育	5～1	10～3	60～30	100～10	0.1～1
弱	以不纯碳酸盐岩为主，多间夹型或互夹型。地表岩溶形态稀疏发育，地下洞穴较少，岩溶大泉及暗河少见	<1	<3	<30	<10	<0.1

（据康彦仁等，1990）

①指地表下100 m或基岩面下50 m以内孔段统计数；对于孔深100 m以上全孔岩溶率，指标减半。

可溶岩岩溶发育程度主要受地质构造、水文地质条件和气候条件影响。一般情况下，断裂构造发育、新构造运动强烈、地下水循环交替强烈、雨量充沛的碳酸盐岩分布区，岩石结构比较破碎，节理、裂隙发育，地下水溶蚀、潜蚀作用强烈，最容易发生岩溶塌陷。

②覆盖层厚度、结构、性质

岩溶塌陷除发生在裸露型岩溶分布区外，还广泛发生在覆盖型岩溶分布区。这种塌陷不仅仅是覆盖在第四系松散堆积物下面的可溶岩洞穴的陷落，有相当数量的塌陷是由于溶洞和上覆土层中土洞陷落所造成的。除此而外，覆盖层情况还影响了地下水活动，对岩溶塌陷也产生一定的影响。因此覆盖层是影响岩溶塌陷的重要因素。

覆盖层厚度对岩溶塌陷形成具有决定性作用。据大量调查统计结果。覆盖层厚度小于10 m 塌陷发生的机会最多，10～30 m 可发生少量塌陷，30 m 以上可发生零星塌陷。

覆盖层岩性结构对岩溶塌陷也具有一定作用。一般情况下，覆盖层为比较均一的沙性土最容易产生塌陷，夹砂砾石的层状非均质土、均一的粘性土或者覆盖层底部发育有稳定层状粘性土的非均质土，发育塌陷的机会较少。此外，当覆盖层中有土洞时，容易发生塌陷；土洞越发育，塌陷越严重。

③地下水活动

岩溶发育地区，一般地下水活动都比较强烈。强烈的地下水活动，不但促进了可溶岩洞隙的发展，而且是形成岩溶塌陷的重要动力因素。它的作用方式包括：溶蚀作用，改变岩土体物理性质和力学性质，导致土的含水量上升，容重增加，使粘性土塑性状态发生坚硬状态→可塑状态→流塑状态的变化；浮托作用；侵蚀及潜蚀作用；搬运作用等。因此岩溶塌陷多发育在地下水活动强烈地带，且多发生于地下水动力条件剧烈变化的时候。

（2）动力条件

①水动力条件的急剧变化，使岩土体平衡状态遭到严重破坏，诱发岩溶塌陷。引起水动力条件急剧变化的原因主要有降雨、水库蓄水、井下充水、灌溉渗漏以及严重干旱、井下排水、高强度抽水等。

②天然地震和人为振动。

③附加荷载。

④废液导致的酸碱液溶蚀活动。

4. 地裂缝形成条件

如前所述，地裂缝分为构造地裂缝和非构造地裂缝两类，它们具有不同的形成条件。

构造地裂缝主要是伴随地壳构造运动产生的地裂缝。地壳构造运动的方式是极其复杂的，它除了引起突发性地震活动，并形成地震地裂缝外，在更多情况下是在广大地区发生缓慢的构造应力积累作用。伴随这种作用，常常发生构造蠕变活动，因此形成地裂缝。这种地裂缝分布广，规模大，危害最严重。非构造地裂缝的形成原因多样，主要包括崩塌、滑坡、塌陷引起的地裂缝；黄土湿陷、膨胀土胀缩、松散土渗蚀引起的地裂缝；干旱、冻融引起的地裂缝等。实践表明，许多地裂缝并不是单一成因的地裂缝，而是以一种原因为主、同时又受其它条件影响的综合成因的地裂缝。因此，在分析地裂缝形成条件时，还要具体现象具体分析。不过就总体情况看，控制地裂缝活动的首要条件是现今构造活动程度，其次是崩塌、滑坡、塌陷等灾害动力活动程度以及水动力活动条件等。

5. 地面沉降形成条件

如前所述，地面沉降可由多方面活动引起，主要包括地壳沉降活动、松散沉积物的自然固结压实、人类开采地下水或油气资源引起的土层压缩沉降。从灾害研究角度所说的地面沉降是指人类活动引起的沉降，或者是以人类活动为主，以自然动力为辅助作用引起的沉降活动。基于这种概念，地面沉降的形成条件也主要由两方面构成。一是地面沉降的基础条件，主要是具有一定厚度压缩性较高的松散沉积物。这类沉积物主要发育在沿海平原、内陆盆地及河谷平原地区，这些地区一般又都是地壳沉降地区，所以这些地区的地面沉降活动不仅与人类活动密切相关，而且持续的地壳沉降也起到了“雪上加霜”的作用。影响地面沉降的人为动力条件主要是长时期超强度开采地下水，使含水层和临近非含水层中的

孔隙水压力减小，土的有效应力增大，发生压缩沉降。

6. 海水入侵形成条件

通常情况下，滨海地带地下水水位自陆地向海洋方向倾斜，陆地地下水向海洋排泄。在这种条件下，滨海地带比重较小的地下淡水浮托在比重较大的海水或咸水之上，二者间形成宽度不等的过渡带或临界面。在咸淡水平衡状态下，这个过渡带或临界面基本稳定。然而，这种平衡状态一旦被破坏，咸淡水临界面就要移动，以建立新的平衡；如果地下淡水压力降低，临界面就要向陆地方向移动，于是就发生了海水入侵。

导致滨海地带咸淡水平衡状态破坏的外因，除气候干旱，地下水天然补给来源减少等自然原因外，主要是人为活动对天然水资源的破坏作用。近年来，我国沿海地区，水资源供需矛盾愈来愈尖锐，许多地区长期超量开采地下水，在滨海地带形成低于海平面的地下水位负值区，因此使海水沿含水层侵入淡水区，发生海水入侵。此外，辽宁、河北、山东一些沿海地区，在发展人工养殖、扩建盐田等经济活动中，常将海水用明渠提引到距离海边 5～15 km 的地方，因此扩大了咸水的分布范围。解放以后，在大小河流上游修建了大量水库、塘坝、使河流入海水量普遍减少；加上经常在河口地区大量挖沙，使河床标高降低，因此造成潮水上溯，使河流两侧发生海水入侵。

导致海水入侵的内因是陆地地下淡水与海水之间存在密切的水力联系。一些滨海平原地区，第四系含水层导水能力强，与海水之间缺乏稳定的隔水层而互相连通；还有一些地区，发育有裂隙岩溶水，含水岩层的裂隙、孔洞与海域直接连通，当陆地地下水水位下降到海平面以下时，海水就通过含水层迅速向内陆入侵。

7. 膨胀土灾害影响条件

膨胀土的主要危害是破坏房屋、铁路、公路等工程建筑地基，使之变形，进一步造成建筑物沉陷开裂。这种破坏对于轻型建筑物尤其严重，有时即使加固了基脚或打桩穿过了膨胀土层，但仍能使地基发生位移，因此导致桩基变形或错断。

膨胀土的破坏作用主要源于它的剧烈的而且是反复交替的胀缩变化。因此膨胀土的发育情况和性质是决定膨胀土危害程度的基础条件。膨胀土的发育情况主要包括膨胀土的发育厚度、深度和膨胀土性质两项要素。浅埋藏的膨胀土厚度越大，危害越严重。膨胀土的胀缩能力由自由膨胀率等指标表示，据此，可以将膨胀土分为强膨胀土、中等膨胀土、弱膨胀土 3 个等级（表 4-2）。

影响膨胀土危害程度的外部条件主要是降雨、干旱等气候变化和排水等人类活动，这些因素使膨胀土饱水或失水而发生胀缩变化，从而导致灾害。

二、历史地质灾害危险性评价指标

历史地质灾害危险性的标志是地质灾害的强度或规模、频次、分布密度等。这些要素决定了地质灾害的发生次数、危害范围、破坏强度，从而进一步影响地质灾害的破坏损失程度。历史地质灾害危险性要素，一般可通过实际调查统计获得。

不同种类的地质灾害，危险性要素指标不完全一致（表 4-3）。

由于崩塌-滑坡、泥石流、岩溶塌陷、地裂缝、地面沉降、海水入侵等灾害是伴随不同地质动力活动而不断发展的具有动态变化特征的灾害现象，所以在灾害危险性评价中，除灾害体积、数量、幅度等指标外，还有灾害发生频次或发展速率指标。膨胀土灾害与其它灾害有明显差异，它是一种客观存在的，不具动态特征的潜在灾害体，只有在膨胀土发育

表 4-2　膨胀土胀缩性等级划分标准

类型	划分标准		分级		
			弱膨胀土	中等膨胀土	强膨胀土
一类和二类	判别指标	液限 W_L/%	40～43	43～57	>57
		自由膨胀率 F_s/%	40～50	50～60	>60
	参考判别因素	膨胀力 $p_p/10^5$Pa	0.20～0.35	0.35～0.65	>0.65
		建筑物损坏程度	轻微，少量中等	轻至中等，个别严重	中等至严重
		工程地质特征	河流相堆积，竖向裂隙发育	河湖相堆积，竖向、斜向裂隙发育	湖相沉积，斜交剪切裂隙发育，有浅层滑坡与地裂
三类	判别指标	液限 W_L/%	57～74	>74	浅层滑坡与地裂危害严重的房屋损坏严重
		自由膨胀率 F_s/%	24～33	>33	
	参考判别因素	膨胀力 $p_p/10^5$Pa	0.05～0.35	>0.35	
		建筑物损坏程度	轻微，少量中等	轻至中等，个别严重	
		工程地质特征	竖向裂隙发育	斜向斜交剪切裂隙发育，有浅层滑坡与地裂	

（据褚桂棠，1988）

注：表中一类指分布在丘陵、盆地边缘的膨胀土；二类指分布在河流阶地的膨胀土；三类指分布在岩溶地区准平原谷地的膨胀土。

表 4-3　历史地质灾害危险性构成及指标

灾害种类	灾害活动强度或规模	灾害活动频次	灾害分布密度	灾害危害面积	灾害危害强度
崩塌-滑坡	灾害体体积/10^4m^3	平均频度/次·年$^{-1}$	平均密度/处·km^{-2}	km^2	根据灾害体规模和受灾体破坏程度划分等级
泥石流	流速/m·s^{-1}、流量/m^3·s^{-1}和堆积物体积/10^4m^3	平均频度/次·年$^{-1}$	泥石流危害面积占评价区比例/%	km^2	根据泥石流冲击力、淤埋程度和受灾体破坏程度划分等级
岩溶塌陷	塌陷数量(处)及影响范围/km^2	平均频度/次·年$^{-1}$	平均密度/处·km^{-2}	km^2	根据分布密度和受灾体破坏程度划分等级
地裂缝	数量(条、带)、长度/m、宽度/m	活动速率/m·a^{-1}	地裂缝危害面积占评价区比例/%	km^2	根据密度和受灾体破坏情况及活动速率划分等级
地面沉降	累计沉降量/m、沉降面积/km^2	沉降速率/mm·a^{-1}	沉降面积占评价区比例/%	km^2	根据累计沉降量和受灾体破坏情况划分等级
海水入侵	海水入侵面积/km^2和地下水咸化程度(Cl^-含量、矿化度)	发展速率/km^2·a^{-1}和mg·a^{-1}	海水入侵区面积占评价区比例/%	km^2	根据Cl^-含量、矿化度和水资源破坏情况划分等级
膨胀土	埋藏深度/m、厚度/m、胀缩率/%	—	膨胀土分布面积占评价区面积比例/%	km^2	根据埋藏深度、厚度和膨胀土性质划分等级

区进行某些工程建筑时，才有可能发生灾害，所以其危险性评价中不存在灾害活动的频次或速率指标。

在各种危险性指标中，危害强度所指示的是灾害活动所具有的破坏能力。灾害危害强度是灾害活动程度的集中反映。危害强度是一种综合性的特征指标，它不能像其它指标那样，用不同量纲的数字反映指标的高低，只能用等级进行相对量度。对于已经出现的地质灾害，它对于各种受灾体所造成的破坏损失情况——破坏损失数量、破坏损失程度，是对灾害危害强度最直接的显示。根据对不同类型地质灾害破坏效应的实际调查分析，可将地质灾害危害强度分为强烈（严重）破坏（A 级）、中等破坏（B 级）、轻度破坏（C 级）、轻微破坏（D 级）4 个等级。实践证明，不但不同种类、不同规模的地质灾害危害强度不同，而且在同一灾害事件中，评价区内不同部位所遭受的危害强度也发生很大的变化。一般规律是从灾害活动中心（崩塌-滑坡体及前缘地带、泥石流沟谷及沟口附近、地裂缝中心地带、地面沉降中心区等）向边缘逐渐减弱，直至没有发生破坏的安全区。认识这种规律除了可以深化历史地质灾害灾情分析外，对于在地质灾害风险评估中，划分灾害危险区，进而核定受灾体损毁率和经济损失具有十分重要的意义（表 4-4）。

表 4-4　地质灾害危害强度分级特征表

危害强度等级	受灾体损毁程度	一般分布位置
强烈（严重）破坏（A 级）	80%以上的受灾体发生严重损毁	灾害中心地带
中等破坏（B 级）	80%以上的受灾体发生中等以上损毁	灾害影响区中间地带
轻度破坏（C 级）	50%以上的受灾体发生轻度损毁	灾害影响区外围地带
轻微破坏（D 级）	50%以下的受灾体发生轻度损毁	灾害影响区边缘地带

注：表中受灾体损毁程度划分标准参见本报告易损性评价的有关内容。

三、地质灾害潜在危险性指标

地质灾害潜在危险性指未来时期将在什么地方可能发生什么类型的地质灾害，其灾害活动的强度、规模以及危害的范围、危害强度有多大。地质灾害潜在危险性受多种条件控制，具有很大的不确定性。

1. 地质灾害潜在危险性指标的确定原则

地质灾害的形成条件异常复杂，因此在分析地质灾害潜在危险性时，所涉及的内容非常广泛。在这种情况下，如果将所有反映地质灾害形成条件的要素都纳入潜在危险性分析之中，不但不可能，而且也是不必要的。为了使分析指标适应潜在危险性分析需要，应按下列原则确定分析指标。

（1）分主次原则

将那些对地质灾害潜在危险性具有重要作用或直接关系的要素指标纳入潜在危险性分析，舍去次要的、间接性要素指标。例如，影响滑坡潜在危险性的地质因素很多，但其中最直接、最重要的因素是岩体中的软弱结构面，而其它因素则都是次要的因素；在影响岩溶塌陷活动的诸多地质条件中，最重要的因素是可溶岩的岩溶发育程度，其次是断裂构造及新构造活动程度，其它因素为次要因素。再如，植被条件对泥石流活动具有一定影响，可作为分析泥石流潜在危险性的指标，但对于其它地质灾害的影响不大，可不纳入评价指标；

以降水为主要标志的气候条件对泥石流和崩塌、滑坡活动具有重要作用，是评价其潜在危险性的指标，但对地裂缝、膨胀土等影响不大，不纳入评价指标。分清主次关系，合理地确定评价指标，可以使潜在危险性分析更加科学，更加明了。

(2) 分层次原则

潜在危险性分析的目的是评价地质灾害的发生概率、可能形成的规模和破坏范围，为破坏损失评价或风险评价提供基础。因此，灾害活动概率、规模、破坏范围是潜在危险性分析的终极目标，称为目标指标。但是这些指标是在分析地质灾害活动条件充分程度的基础上才能获得，因此称这些对地质灾害活动具有直接影响的要素指标为分析指标。地质灾害活动条件又是在一定的自然环境和社会经济条件下出现的，所以将反映区域自然环境和社会经济条件的指标称为背景指标，它对于地质灾害活动具有区域性控制作用。于是地质灾害潜在危险性指标的层次系统为背景指标－分析指标－目标指标。

(3) 共性与个性兼顾原则

地质灾害风险评估涉及不同的灾种，而且又有点评估、面评估、区域评估等不同类型。它们既具有许多共同特点，又具有多方面差异，因此，在建立地质灾害潜在危险性评价指标时，既要充分反映它们的共性特征，又要表现出它们的个性差异。从不同种类地质灾害潜在危险性评价来说，它们都与地质条件、地形地貌条件、气候水文条件、人类活动等有关，但这些条件对不同地质灾害的作用程度以及具体要素不同，因此，既需要考虑评价指标的统一性，又要照顾各自的特点和差异。对于不同范围的潜在危险性评价来说，基本指标类型一致，但精度要求不同。例如，在点评估中，滑坡、泥石流灾害的地貌条件，采用地形坡度、沟谷长度、比降等指标，在面评估，特别是区域评估中，则采用海拔高程，地貌类型等宏观指标。

2. 地质灾害潜在危险性指标

根据上述原则，将评价地质灾害潜在危险性指标分为背景指标、分析指标、目标指标和点评估指标、面评估指标、区域评估指标（表 4-5）。在三种范围的灾害评估中，背景指标和目标指标基本一致，不同灾种稍有差异；分析指标不仅对不同范围的灾害评估有一定差异，而且对不同灾种也有显著不同（表 4-6）。

表 4-5 地质灾害潜在危险分析总体指标简表

评估类型	点 评 估	面 评 估	区域评估
目标指标	灾害危害范围、危险性分区、灾害活动概率或速率、灾害规模	危险性分区、潜在灾害数量与密度、危害范围、活动概率	潜在危险性指数、危险性区划、不同危险区灾害危害面积比率
分析指标	历史灾害规模、频次、周期； 地质条件——地质构造与新构造运动、岩性及岩体结构、地下水活动； 地形条件——高程、高差、坡度、坡降、坡形、沟谷形态； 气候条件——气温、降水、暴雨程度； 植被条件——覆盖率； 人类活动——资源开发、工程建设、防治工程	历史灾害数量、密度、频次； 地质条件——地质构造与新构造运动、岩性及岩体结构、水文地质特征； 地貌条件——地貌类型、高程、高差、沟谷特征； 气候植被条件——降水分布、森林覆盖率； 人类活动——资源开发、工程建设、防治力度	历史灾害分布密度；区域地质构造单元及水文地质单元；地貌类型；气候类型；社会经济类型
背景指标	区域构造单元、地貌类型、气候类型、社会经济类型		

表 4-6　不同地质灾害潜在危险性分析指标简表

评估类型	点　评　估	面　评　估	区域评估
崩塌-滑坡	历史活动规模、频次；潜在灾害体规模；岩石性质（类型、密度、容重、含水量、内聚力、内摩擦角、内摩擦系数、抗剪强度）、岩石结构（节理裂隙发育程度、软弱结构面）；断裂规模、性质、产状；地震活动及现今构造活动程度；地应力；地下水类型、静水压力、动水压力、浮托力、渗透系数、天然动态及人工动态；斜坡高度、坡度、形态、临空面特征；年降水量、暴雨频次与强度；人工爆破、振动、开挖、排水、堆弃	历史活动数量、规模、频次；潜在灾害体数量、密度、危害面积；岩石类型、风化程度；断裂发育程度；现今构造活动程度；地貌类型、高程、切割深度；年降水量、暴雨强度；人类工程活动	历史灾害数量、平均密度；区域构造单元、新构造运动；区域地貌类型；区域气候类型与暴雨强度；区域社会经济类型、人口密度、城镇密度、耕地密度
泥石流	历史活动规模、频次、周期；泥石流流域面积，相对高差、坡度、坡形、沟谷长度、形态、比降，沟谷顺畅程度，沟口地貌；岩石类型；断裂发育程度；新构造运动，崩塌、滑坡发育程度；松散堆积物类型、厚度、储量；年降水量，暴雨（洪水）频度、强度；植被或森林覆盖率；人为防治工程及对植被、斜坡保护程度	历史活动数量、规模、频次；流域面积；泥石流沟数量、规模、面积、类型；岩石类型、断裂和新构造运动、崩塌、滑坡发育程度；松散堆积物类型与分布情况；年降水分布、暴雨（洪水）频度、强度；植被覆盖率；人为防治工程及对植被保护程度	历史灾害数量、平均密度；区域构造单元、新构造运动；区域地貌类型；水土流失强度；气候类型、年降水量、暴雨（洪水）强度；区域社会经济类型、人口与城镇密度
岩溶塌陷	历史活动规模、频次、周期；可溶岩类型，岩溶类型、发育程度，覆盖层类型、厚度、结构、物理力学性质（密度、容重、含水量、内聚力等）、土洞发育程度；地下水类型、静水压力、动水压力、天然动态与人工动态；断裂构造、新构造运动、地震活动；地下水疏干或开采强度、超采率、人工振动、加荷	历史塌陷数量、密度；可溶岩类型、分布范围，岩溶类型、发育程度，覆盖层厚度、类型；地下水类型、天然动态与人工动态；断裂构造、新构造运动、地震活动；地下水开采强度与超采率	历史灾害数量、平均密度；可溶岩类型、区域分布情况，岩溶类型及分布情况；区域地下水类型；区域构造单元及新构造运动强度；区域社会经济类型、地下水开采强度
地裂缝	历史地裂缝数量、规模、危害范围；岩石性质，断裂性质、产状、规模，新构造运动、现今构造运动、地震活动，地应力变化；地面沉降活动；地下水开采强度	同点评估	历史地裂缝数量、规模；区域构造单元、活动性构造发育程度、新构造运动程度
地面沉降	历史沉降范围、幅度、速率；松散沉积层类型、厚度、物理力学性质（密度、孔隙比、容重、含水量、压缩系数、压缩模量）；地下水类型、孔隙水压力、天然动态、开采强度、超采率、人工动态、水位降落漏斗；构造沉降速率	同点评估	历史沉降范围、幅度、速率；区域构造单元；构造沉降类型及区域地形变速率；松散沉积物类型、厚度；地下水开采强度
海水入侵	历史海水入侵范围、速率、咸化程度；评价区距海岸或滨海河流距离；含水层性质、断裂、岩溶、孔隙发育程度，地下水类型、含水系统结构、补给条件、与海水或滨海高矿化地下咸水的水力联系，地下水开采程度、超采率、天然动态与人工动态，负水位区位置、范围及发展速率	同点评估	历史海水入侵分布情况及发展速度；滨海地区地下水类型及与海水水力联系程度，地下水区域开采强度；潜在海水入侵区数量、密度、面积
膨胀土	膨胀土类型，物理力学性质（矿物成分、密度、容重、天然含水量、胀缩率），发育厚度，分布范围，埋藏深度；地下水动态，降水时间变化、人为排水	同点评估	膨胀土发育、分布情况；社会经济类型及城镇分布

这些指标是进行危险性评价和整个灾害风险评估的基础依据，因此获取这些指标值是地质灾害风险评估调查和地质灾害勘查工作的重要内容。

第二节　地质灾害危险性评价方法

地质灾害危险性评价是灾害风险评估的基础。其主要内容是评价地质灾害的活动程度，反映地质灾害的破坏能力。

如前所述，地质灾害危险性是由各种危险性要素体现的。对于历史地质灾害可以通过调查统计比较容易地获取这些数据。对于潜在地质灾害（或未来地质灾害）则需要通过一系列分析过程才能获取这些数据，因此是危险性评价研究的主要内容。

不同范围地质灾害风险评估的精度要求不同，指示地质灾害活动程度的要素不同，所以评价的内容不完全一致。点评估主要是对潜在灾害体或已经出现的灾害现象预期灾情或风险程度进行分析评价，它要求给出今后这种灾害发生或进一步发展的概率或速率有多大，可能的规模和危害范围有多大，在危害范围内灾害活动的程度以及与此密切相关的破坏强度如何分布。因此，点评估危险性评价的基本目标或主要内容是确定灾害活动概率或发展速率，确定成灾范围以及不同强度的危险区。面评估是对一个地区某一类地质灾害（个别情况下是对几类地质灾害）的活动程度进行分析评价，它要求给出评价区今后可能发生多少次或多少处灾害活动，它们活动的强度、规模、危害范围以及在不同地区所具有的破坏能力有多大。因此，面评估的基本目标或主要内容是分析评价灾害活动数量、发生概率或发展速率、危害面积以及划分危险区。区域评估是大面积的多种地质灾害活动程度的综合分析评价，它主要通过危险性区划方式，显示区域灾害活动水平。所以区域评估的基本目标和主要内容是根据地质灾害危险性构成，进行危险性区划。

一、地质灾害发生概率及发展速率的确定方法

地质灾害发生概率是评价崩塌-滑坡、泥石流、岩溶塌陷等突发性地质灾害危险性的重要指标，地质灾害发展速率是评价地裂缝、地面沉降、海水入侵等缓发性或累进性地质灾害危险性的基础指标。

1. 地质灾害发生概率确定方法

崩塌-滑坡、泥石流等突发性地质灾害，属于随机性事件，在不同条件下，它们发生的机率和成灾程度不同：灾害形成的条件越充分，发生灾害的可能性越大，出现的机率越高，造成的破坏损失越严重。如前所述，地质灾害具有重复性、周期性特点，即一个地区或一个灾害体的活动常常并非经过一次活动永远停歇，而是随着外界条件的变化而反复活动。因此，可以采用灾害活动的重现期，用灾害频率代替活动概率，并分为高频、中频、低频、微频等 4 个等级（表 4-7）。

表 4-7　突发性地质灾害频率等级

频率等级	发生频次	发生概率（频率）
1. 高频灾害	每年一次或多次	1
2. 中频灾害	1～5 年一次	1～0.2
3. 低频灾害	5～50 年一次	0.2～0.02
4. 微频灾害	50 年以上一次	<0.02

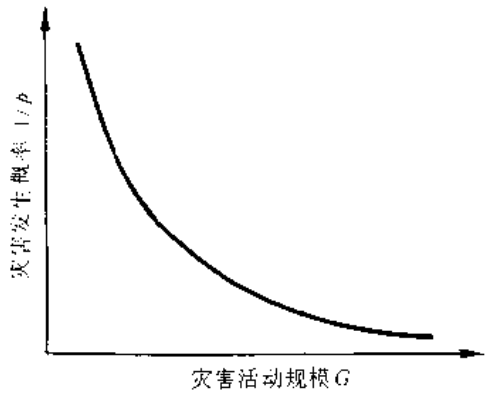


图 4-1　地质灾害活动规模-发生概率关系图

通常情况下，地质灾害活动强度或规模(G)与地质灾害活动概率——发生频次的倒数$\left(\frac{1}{P}\right)$呈反向相关关系（图 4-1）。

地质灾害发生概率可通过多种途径确定。根据灾害风险评估特点，可根据具体情况，采用下列比较简便的方法确定。

(1) 经验法

对于那些活动频繁，而且又有较长时间观测记录或充分研究资料的灾害，可以建立比较系统的灾害时间序列，据此可进一步分析不同时间尺度的灾害周期性变化规律，确定不同规模灾害事件的发生频率或灾害活动概率。例如，杜榕桓、康志成等(1987)根据云南省小江流域蒋家沟泥石流活动记录，对1965年以来的泥石流频次-强度进行了分析研究，据此可以直接确定蒋家沟不同规模泥石流活动的发生概率。金德山(1992)[1] 系统分析了云南省历史崩塌、滑坡、泥石流事件的历史活动规律，建立了超长周期($>10^3$a)、长周期($10^2\sim10^3$a)、中周期($10^1\sim10^2$a)、短周期(<10a)的地区性灾害活动时间序列。张健文等(1995)根据辽宁省东部地区泥石流活动历史，建立了长达几百年时间序列的泥石流与洪水、地震对比的强度分布图，显示了不同强度泥石流活动的同期性规律。类似这些研究成果，为确定灾害活动概率提供了直接依据。

(2) 灾害活动的动力分析与条件分析方法

进行灾害危险性评价的对象，都是具有一定活动危险的潜在灾害体。它们的基本特点是，有的虽然在历史上经过反复活动，但并没有进入完全稳定阶段，仍再继续活动；有的虽然没有发生过活动（或者没有历史活动记录），但已具备灾害的雏形，甚至出现早期形变或其它先兆，预示着今后在某些条件激发下可能发生灾害性活动。因此，对这些潜在灾害体的动力状态和形成条件进行分析，就可以认识它们目前的稳定程度，进而判断它们活动的可能，间接地确定它们的发生概率。

①滑坡活动概率分析

在各种地质灾害中，滑坡动力机制研究最为深入。它应用岩土力学的理论与方法，通过力学平衡计算，得出稳定系数（K），用来指示斜坡失稳的可能性。

不同类型斜坡稳定系数的计算方法不完全一致。

当滑移面为平面或可简化为平面时，稳定系数按下式计算：

$$K=\frac{\tan\varphi}{\tan\alpha}$$

式中：K——斜坡稳定系数；

φ——土的内摩擦角；

α——斜坡坡角。

当滑移面为弧形或可以简化为弧形时，先采用条分法将滑体划分成若干个等宽的条体，

[1] 金德山，1992，云南省崩塌滑坡泥石流活动的旋回性。云南滑坡泥石流防治研究。内部刊物。

然后根据各条体的自重、粘聚力、内摩擦角等参数按下式计算斜坡的稳定系数：

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i \cos\alpha_i \tan\varphi + C \cdot L}{\sum_{i=1}^{n} W_i \sin\alpha_i}$$

式中：W_i——单元条体自重；

$C \cdot L$——粘聚力；

其它符号同前。

当斜坡由物理力学性质差异较大的非均质土组成时，滑移面有时不是简单的平面或规则的弧形，而是呈现折线形状，此时可采用逐段计算的方法确定稳定系数。其计算式为：

$$K = \frac{\sum W_{i抗} \sin\alpha_i + C_{粘} \cdot \sum l_i}{\sum W_{i下} \sin\alpha_i}$$

式中：$\Sigma W_{i抗}\sin\alpha_i$——抗滑地段各块抗滑力投影之和；

$\Sigma W_{i下}\sin\alpha_i$——下滑地段各块下滑力投影之和；

$W_{i抗}$——抗滑地段每块滑体的重量；

$W_{i下}$——下滑地段每块滑体的重量；

l_i——下滑和抗滑地段各段的滑面长度；

α_i——各段滑面与水平面的交角。

从理论上讲，稳定系数大于1时，斜坡才能保持稳定，数值越高，稳定程度越高；小于1时，斜坡就会失稳滑动。

由于稳定系数所反映的是由斜坡内在因素控制的现状环境下的斜坡稳定程度，对于今后斜坡状态只是其变化的基础。所以在计算现状环境下斜坡稳定系数的同时，应根据今后可能出现的情况，（如暴雨、人为排水、挖坡以及实施防治工程等）设定相应的参数，计算稳定系数，从而确定导致斜坡失稳的都有那些因素，这些因素出现的频率有多大，进而可以确定灾害发生概率。

②崩塌活动概率分析

对于崩塌（危岩）动力机制的研究虽然远不像滑坡那样充分，但也初步建立了崩塌体发生平动崩落和转动崩落的极限平衡方程。

平动极限平衡方程：

$$(P + W \cdot k_c) \cdot \cos\beta \geqslant [W \cdot \cos\beta - \mu + (P + W \cdot k_c) \cdot \sin\beta] \cdot \tan\varphi + W \cdot \sin\beta + C \cdot L$$

转动极限平衡方程：

$$P \cdot \left(\frac{2}{3} - l \cdot \sin\beta\right) + W \cdot k_c \cdot \frac{b}{2} + u \cdot \frac{2}{3}L \geqslant W \cdot \frac{a}{2} - b_s$$

式中：k_c——水平地震系数；

φ——层面摩擦角（度）；

β——层面倾角（度）；

b_s——软弱岩层凹进深度（m）；

C——层面内聚力（9806.65Pa）；

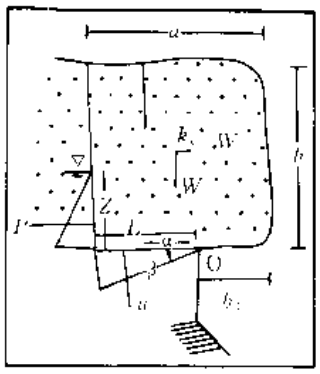


图 4-2　崩塌块石岩体结构模型

z——危岩体后部裂隙水水柱高度（m）。

其它符号见图 4-2。

据上述平衡方程，可以计算不同条件或状态下危岩的稳定程度，进而确定发生崩塌的概率。

③泥石流活动概率分析

泥石流灾害动力机制十分复杂，很难通过动力分析确定灾害发生的概率，只能根据灾害发生条件的充分程度，判断灾害活动的可能性，概略地确定发生概率。

泥石流活动概率分两步确定：第一步根据泥石流形成的基础条件——地貌条件、地质条件中主要要素的临界值，界定评价对象是否是泥石流沟。表 4-8 是根据大量调查统计结果给出的判定标志。第二步是在此基础上，根据泥石流激发条件，评定泥石流活动的可能性；并根据这些激发条件出现的概率，确定泥石流的发生概率。

表 4-8　泥石流沟判断表

因素	项目 \ 河沟类别 \ 类目界限			泥石流沟			非泥石流沟
				界限值	界限值	界限值	界限值
地貌因素	流域面积/km²			0.2～0.5	2～5	5～100 和<0.2	>100
	相对高差/m			>500	500～300	300～100	<100
	山坡坡度			>32°（0.625）坡面冲沟发育	32°～25°（0.625～0.466）	25°～15°（0.466～0.268）	<15°（0.268）
	植被	覆盖率及类型		<10%，秃山	10%～30%，草地	30%～60%，幼林	>60%，壮林
	河沟扇形地貌	扇形发育情况	完整性	1. 扇形完整，有舌状堆积 2. 前缘被大河切割，扇形不完整	1. 扇形完整，舌状堆积明显 2. 大河切割，前缘不突出	扇形不完整，无舌状堆积	无沟口扇形地，仅有一般河道的边滩、心滩
			扇面坡	>6°	6°～3°	<3°	0
			发育程度	沟口扇形地发育，新老扇形地清晰可辨，扇形地规模大	沟口有扇形地，新老扇形地规模不大	沟口扇形地不发育，间或发生淤积	无
		挤压大河程度	大河河型	对岸如为非岩石岸壁，河型受扇形地控制发生弯曲或堵塞断流	河型无较大变化	河型无变化	河型无变化
			大河主流	主流明显受扇形地挤压偏移	主流受阻偏移	主流大水不偏，低水偏	主流不偏

续表

因素	项目	类目界限	泥石流沟			非泥石流沟
		河沟类别	界限值	界限值	界限值	界限值
河沟因素	产沙区主沟横断面特征	断面形态	V形谷或下切U型谷，谷中谷	拓宽U型谷	平坦型	平坦型
		泥沙堆积特征	沟岸多为不稳定土质，沟心有厚层冲积洪积物	沟岸不很稳定，沟心有冲积洪积物	沟岸平滑，沟心有冲积洪积物	沟岸稳定，沟心为洪积物
	纵断面特征	纵断面形态	沟内有乱石堆、跌水等，形成锯齿形剖面	沟内有少量乱石堆，跌水等，纵剖面局部成锯齿形	沟内无跌水，纵剖面陡缓相间，接近圆滑曲线	纵剖面圆滑
		主沟平均纵坡	>12° (213‰)	12°～6° (213‰～105‰)	6°～3° (105‰～52‰)	<3° (52‰)
	沟内冲淤变形	冲淤特点	沟岸、沟床均不稳定，纵横向均有明显冲淤变化	沟岸、沟床均不稳定，纵向冲淤变化较小，多横向扩展	冲淤变幅均较小	沟床略有冲淤变化
		冲淤变幅/m	>2	2～1	1～0.2	<0.2
	堵塞情况	堵塞系数/% (堵塞长/沟长)	>10	10～2	<2	0
		堵塞程度	严重	中等	轻微	无
	泥沙补给长度比	泥沙补给河段长度/主河长度(%)	>60	60～30	30～10	<10
地质因素	岩石类型		黄土软岩，风化严重的花岗岩	软硬岩相间、风化较重的花岗岩	节理发育的硬岩	硬岩
	构造特征	抬升沉降	强抬升区	抬升区	相对稳定区	沉降区
		构造特征	构造复合部，大构造带，地震活跃带，六级以上地震区	构造带，地震带，四至六级地震区	构造边缘地带，地震影响带，四级以下地震区	无构造影响或很小
		断层、节理	断层破碎带，上千断裂带，风化节理严重发育	顺沟断裂，中小支断层，风化节理发育	过沟断裂，小断裂或无断裂，风化节理一般	无
	不良地质现象	崩塌、滑坡	崩塌、滑坡等重力侵蚀严重，多深层滑坡和大型崩塌	崩塌、滑坡发育，多浅层滑坡和中小型崩塌	有零星崩塌、滑坡	无或轻微
		沟槽侵蚀	沟槽中泥沙再搬运严重，沟内多冲积洪积物	沟槽侵蚀中等	沟槽侵蚀轻微	一般泥沙搬运
	覆盖层平均厚度/m		>10	10～5	5～1	<1
	松散物储量	一次可能来量/$10^4m^3\cdot km^{-2}$	>0.5	0.5～0.2	0.2～0.1	<0.1
		单位面积量/$10^4m^3\cdot km^{-2}$	>10	10～5	5～1	<1.0
		年平均侵蚀模数/$10^4m^3\cdot km^{-2}$	>1.5	1.5～0.5	0.5～0.1	<0.1

（据周必凡等(1991)修改、补充）

在泥石流的多种激发因素中，最关键的是水量。据大量调查统计资料，泥石流形成的临界水量与泥石流性质有关：土力类泥石流（泥流、泥石流）的容重值一般为 1.80～2.53 t/m³，据此推算泥石流内水量的上下限分别为泥石流容积的 0.10～0.53 倍，即水体补给量小于泥石流容积的 10%和大于泥石流容积的 53%时，不能产生泥石流，或产生的泥石流为水力类泥石流；水力类泥石流（水石流）的容重值一般为 1.30～1.80 t/m³，据此推算泥石流内水量的上下限分别为泥石流容积的 0.53～0.82 倍，即水体补给量为泥石流容积的 53%～82%时可形成水力类泥石流。

泥石流水量的主要来源是降雨形成的洪流。根据激发泥石流活动的水量临界值和不同地区的实际观测结果，可以得到导致泥石流活动的始发雨量和始发径流量，据此可以根据不同程度的降雨频率和沟谷径流频率，确定泥石流活动概率。

泥石流始发雨量可采用日雨量为指标。中国不同地区泥石流始发雨量变幅很大，一般为 10～300 mm。如：云南东川蒋家沟为 20～50 mm，云南盈江浑水沟为 10～20 mm；云南喜德东沟为 30～50 mm；四川凉山黑沙河流域为 50～60 mm，贵州一些山区为 150 mm；广西资源山区为 200 mm；重庆地区为 200 mm；北京西山地区为 100 mm 左右；甘肃一些地区为 20 mm；西藏波密加马其美沟为 10 mm（表 4-9）。

表 4-9　某些地区泥石流激发的雨量值与雨强值

地　名	沟　名	一次雨量 mm	10′雨量 mm	雨强 mm·min⁻¹	资料来源
中国四川	黑沙河	>50	8～10	0.8～1.0	观测
中国西藏	加马其美沟	>10	1.4～2.0	0.1～0.2	观测
中国云南	大沟	>7	1.5～2.3	0.2～0.3	观测
中国云南	浑水沟	>30	1.8～5.0	0.2～0.5	刘汇
中国四川	三滩沟	48	9.8～12.2	1.0～1.2	谭万沛
中国甘肃	火烧沟	>20	8～10	0.8～1.0	曾思伟
日本	上上冲沟	>282	8～10	0.8～1.0	奥田节夫
格鲁吉亚	沙维杜鲁得日河	>60	7～10	0.7～1.0	Г. М. 别鲁加维里

（据吴积善等，1993）

泥石流的始发径流量也因地而异。据观测研究，四川凉山黑沙河和汶川七盘沟等地稀性泥石流始发径流量约为 40 m³/s；西藏波密加马其美沟粘性泥石流为 20～40 m³/s；云南东川黑山沟粘性泥石流为 70 m³/s 左右；东川蒋家沟干流粘性泥石流为 3 m³/s。

④岩溶塌陷活动概率分析

目前对岩溶塌陷动力过程的研究尚处于探索阶段，一些专家结合部分地区的实践，对重力致塌模式进行了分析，在此基础上建立了平衡计算公式（表 4-10）。

表 4-10 中，W 为稳定性系数，$W<1$ 时土体不稳定，$W=1$ 时土体处于极限平衡状态，$W>1$ 时土体稳定；F 为土体摩擦力；N 为水浮托力；G 为土体自重力；P 为水位变化引起的吸力；D 为塌陷体直径；y 为土层厚；H 为水位；ΔH 为水位变幅；γ、γ_1 分别为土的天然容重、饱和容重；γ_w 为水比重；C 为内聚力；ϕ 为摩擦角；v 为土体崩解速率；v_1 为土

表 4-10　岩溶塌陷稳定平衡计算公式

预测模型	计　算　公　式
水位在土层中的预测	$W=\dfrac{F+N}{G}$　$F=\pi D\int_0^{\left(y-vt-\frac{H-vt}{I_0+1}-M\right)}\left(\dfrac{1-\sin\psi}{1+\sin\psi}\tan\psi\gamma h+1000C\right)\mathrm{d}h+\pi D\int_{\left(y-vt-\frac{H-vt}{I_0+1}-M\right)}^{y-vt}1000C\,\mathrm{d}h$ $N=\dfrac{\pi D^2\gamma_w(H-vt-\Delta H)}{4}$ $G=\dfrac{\pi\gamma\left[(y-vt)-\left(\dfrac{H-vt}{I_0+1}+M\right)\right]D^2+\pi\gamma_1\left(\dfrac{H-vt}{I_0+1}+M\right)D^2}{4}$
水位在土层下的预测	$W=\dfrac{F}{G+P}$　$F=\pi D\int_0^{(y-v_1t)}\left(\dfrac{1-\sin\psi}{1+\sin\psi}\tan\psi\gamma h+1000C\right)\mathrm{d}h$ $G=\dfrac{\pi\gamma D^2(y-v_1t)}{4}$ $P=\dfrac{\pi D^2\Delta H\gamma_w}{4}$

（据康彦仁等，1990）

体剥落速率；t 为时间；h 为积分变量；I_c 为起始水力坡度；M 为毛细高度；$\dfrac{H-v_1}{I_0+1}+M$ 为 t 时刻的饱水带厚度。

应该指出，这是一种静力平衡计算，没有考虑动力因素的影响，同时塌陷体直径（D），即地下开口溶洞的直径参数的取得十分困难，在一个地区往往只能靠经验，因此实际应用上有一定的局限性。

根据塌陷形成条件分析灾害发生概率需大致分为两步进行：第一步根据岩溶塌陷形成的基础条件，判断评价区或评价点是否有发生塌陷的可能；第二步根据岩溶塌陷发生的动力条件，判断发生塌陷机会的多少，即灾害发生概率的大小。

如前所述，决定岩溶塌陷的基础条件比较多，其中最关键的要素是岩溶类型、岩溶发育程度、覆盖层厚度与结构等。目前虽然还不能形成这些要素的准确的临界指标，但根据大量实际资料，可以得出判定可否形成岩溶塌陷的指标范围（表 4-11）。

表 4-11　岩溶塌陷活动程度判定表

塌陷活动可能性		岩溶类型	岩溶发育程度	覆盖层厚度/m	覆盖层结构
会形成塌陷	特别容易形成	裸露型岩溶和覆盖型岩溶	特别发育：地表岩溶密度＞100 个/km²；钻孔岩溶率＞10%	＜10	结构不均，且土洞特别发育的非均质土
	较容易形成		较发育：地表岩溶密度（5～10）个/km²；钻孔岩溶率 5%～10%	10～30	结构不均，土洞比较发育的非均质土
	不容易形成		不发育：地表岩溶密度（1～5）个/km²；钻孔岩溶率 1%～5%	30～80	结构不太均匀，土洞不发育的土
不会形成塌陷		埋藏型岩溶	极不发育：地表岩溶密度＜1 个/km²；钻孔岩溶率＜1%	＞80	厚度较大，结构均一的粘性土

诱发岩溶塌陷的动力因素也很多，但最重要、最常见的是强烈开采地下水引起的地下水水位大幅度下降。不同地区导致岩溶塌陷活动的水位下降幅度的临界值很不一致，但多数岩溶塌陷在地下水由承压状态转为无压状态时发生，即岩溶地区的地下水水位下降到基岩面以下，上部土层失去地下水的浮托力，下伏岩溶空腔出现负压作用时，最容易发生塌陷。因此，把低于基岩面算起的地下水水位降深称为有效水位降深，当出现有效水位降深时就标示可能发生岩溶塌陷；有效水位降深越大，或者地下水位反复频繁变化，有效水位降深时现时没，发生岩溶塌陷的可能性更大。基于上述分析，可根据地下水天然动态和人工动态变化情况，判断有效水位降深出现的机会，进而评价岩溶塌陷活动的可能，确定岩溶塌陷的发生概率。

为了使上述定性分析、判断进一步量化，可采用多元回归方法，首先评判各种要素与岩溶塌陷活动的相关性，建立回归方程，然后根据评价目标的具体条件，选择评价要素，确定危险程度的量化标准，评判塌陷的可能程度。

(3) 根据历史频数分布确定灾害发生概率

如前所述，一些地质灾害在历史上频繁活动，对此进行统计，可以得出不同规模灾害活动分布的直方图和曲线图。根据曲线类型可以确定灾害活动规模（G）与灾害发生频率（即发生概率 P）的函数关系，即 $G=f(P)$，由此得出灾害活动概率。

初步统计结果表明，地质灾害活动规模分布有时符合泊松分布，有时符合指数分布。但至今无论是哪种灾害都没有建立典型分布模型。除此而外，对于绝大多数评价目标来说，要取得系统充分的历史记录是十分困难的，所以这种方法的应用受到很大限制。

对比上述三种确定灾害活动概率方法，经验法虽然比较粗糙简单，但非常便于应用，可是它只适用于那些反复发生活动，并且有长期观测的评价目标。利用灾害动力分析和条件分析方法确定灾害发生概率，几乎适用于所有评价目标，所以应用最广。根据灾害频数分布确定灾害发生概率，具有充分的数理统计基础和很高的精度，但适用条件比较苛刻，难以广泛应用。因此，在地质灾害危险性评价中，根据评价区具体条件选择某一种或几种方法确定灾害活动概率。

2. 地质灾害发展速率确定方法

地质灾害发展速率是地质灾害风险评价的重要基础指标。它除了分析岩溶塌陷发展趋势外，主要应用于地裂缝、地面沉降，海水入侵等缓发性地质灾害的危险性评价。实践表明，这些灾害属于持久型累进性灾害，对它们进行风险评估的对象多是已经发生灾害活动的地区，其评价内容主要是今后地质灾害的活动程度和成灾水平，因此其危险性要素不是灾害发生概率，而是灾害活动的发展速率。其评价方法主要有下列两种。

(1) 约束外推法

约束外推法是指分析一个系统的大量随机现象的变化规律，求得控制系统发展的约束条件，然后假定控制系统的条件基本不变，依照已有规律推断该系统未来发展状况的方法。

约束外推预测的具体方法比较多，主要包括德尔菲法、单纯外推法、趋势外推法、移动平均法、指数平滑法、时间序列法等。常用的为单纯外推、趋势外推和时间序列分析。这些方法的基本过程是首先根据历史灾害活动记录，建立灾害活动规模（如地面沉降的面积与幅度，地裂缝的长度，海水入侵的面积与氯离子含量等）与时间的关系，依照所形成的自然趋势外延，预测未来不同时期灾害活动规模，并计算灾害发展速率。对于历史灾害活

动比较复杂，用简单外推难以判断变化趋向和发展速率的评价目标，可通过时间序列分析、辨析历史灾害活动的组成成分——长周期成分、短周期成分、非周期成分，在此基础上建立目标-时间模型，依此预测未来灾害活动规模，确定灾害活动的发展速率。

约束外推方法简便，对于那些有长期灾害活动记录，且灾害活动条件比较单一发展变化比较稳定的评价目标最为适用。

（2）模拟模型方法

此类方法是根据“同态性原理”建立评估对象预测的同态模型，采用数学形式反映这些模型，然后根据“边界性原理”确定评估对象的边界条件，从而使模型具体化，依此分析未来状态与现实状态之间评价目标的数量关系，从而得出未来预测情况下的目标值。

模拟模型的具体方法繁多，主要有因子分析法、判别分析法、回归分析法、联立方程法、弹性系数法以及数值模拟等方法。其中回归分析应用得最为普遍。其应用的基本过程是，首先分析地质灾害活动的影响因素，根据实际观测统计资料进行相关分析，确定控制地质灾害活动的影响因子及它们的作用程度，在此基础上，分析这些因子的变化特征，认证哪些是动态因子，哪些是非动态因子，在此基础上，通过一元回归或多元回归，建立动态因子（自变量）与灾害活动规模（因变量）的数量关系式，然后依据未来动态因子的可能变化情况，预测相应条件下灾害活动规模，确定灾害活动的发展速率。在岩溶塌陷、地面沉降和海水入侵分析中，把影响灾害活动的地质要素、地貌要素等看作是非动态因子，把地下水开采强度或地下水位看作是动态因子，通过相关分析和回归分析，建立岩溶塌陷数量、地面沉降速度、海水入侵速度与地下水动态的数量关系，实现概略的灾害活动预测。

例如，有的专家在对大量实例调查统计基础上，采用多元回归方法，建立了岩溶塌陷活动的临界压强差与临界地下水位降深以及岩土主要相关因素之间的统计关联式：

$$\Delta H = \frac{10\Delta p}{\gamma_w + h_w}$$

$$\Delta p = 7.057 + 3.921 \times 10^{-3} E_s - 2.439 \times 10^{7} K + 0.3556 \frac{h}{\alpha} + 0.6183\tau$$

式中：ΔH——致塌时动源点的临界地下水位降深（m）；

Δp——盖层土体开始塌落时的临界压强差（kPa）；

γ_w——水的容重（g/cm³）；

h_w——沿程阻力水头（cm）；

E_s——土体的压缩模量（kPa）；

K——土体的渗透系数（cm/s）；

h/d——土体厚度与溶洞开口直径比值；

τ——土体的抗剪强度（kPa）。

还有的专家根据矿山岩溶塌陷统计资料，提出了岩溶塌陷数量（m）、塌陷速率（Δv）与地下水位降深（s）相关的经验公式：

$$m = 3.07s - 8.558$$

$$\Delta v = 0.101s - 0.19769$$

伴随计算机技术的广泛应用，在风险评估中还可以采用数值模拟技术预测灾害活动发展速率和不同条件下灾害活动规模。这类方法是结合灾害形成的动力机制，把灾害动力分

析、相关分析、统计分析有机地结合起来，运用数学原理，建立在一定初始条件、边界条件下灾害活动的动态模型，依此确定不同条件下灾害活动发展速率，预测灾害规模。

例如，在地面沉降研究中，许多专家探讨地面沉降预测方法，虽然至今尚没取得成熟成果，但提出的一些方法为风险评估中确定地面沉降的发展速率，预测未来地面沉降范围和幅度提供了途径。一些专家把地面沉降视为一个有限体系，其活动过程包括了孕育、成长、成熟、衰退、消亡等阶段，因此借助于泊松旋回和威布尔分布原理，建立了反映沉降旋回阶段的预测模型。以宁波市地面沉降为例，根据监测数据建立的地面沉降速度预测方程为：

$$v = 2.1414 + 0.0778t^5e^{-t}$$

式中：t——预测时间（年）。

还有的专家以灰色系统理论为基础，根据地面沉降动态监测资料，建立了反映上海市地面沉降速率发展的 GM 模型。还有的专家根据固结理论和地沉的叠加原理，把地面沉降分解为定值下降、线性上升、周期变化三部分，建立这些分量与地下水位下降值、水压变幅、静水压力及压缩层厚度、性质相互关系的数学模型，依此确定沉降发展速率，进行沉降预测[1]。

在海水入侵活动评价中，采用有限单元法，建立水动力弥散型水质模型，模拟评价区地下水水动力渗流场和盐分浓度场的动态变化过程，反映不同地下水介质条件下，地下水压力（水位）与地下水咸化标志成分（氯离子含量、矿化度、Na/Cl 等）的变化关系，依此确定不同条件下海水入侵发展速率，预测海水入侵规模。

上述各种方法在理论上和技术上具有普遍意义，可以应用于地质灾害危险性评价。但各种方法又都有一定的局限性，即有一定的适用条件，因此应结合不用灾种特点以及评价区具体情况，选择最适宜的方法。与此同时，上面提出的一些统计模型或经验公式，其评价途径具有普遍参考意义，但要素项目以及参数要依照具体情况选定。

二、地质灾害危害范围的确定

地质灾害危害范围是决定地质灾害灾情和风险程度的基本要素。地质灾害危害范围的大小，主要取决于地质灾害活动规模和活动方式。不同种类地质灾害危害范围的评价方法不同。

崩塌、滑坡、泥石流灾害的危害范围一般包括三部分：发生活动的灾害体发育范围——崩塌体、滑坡体、泥石流形成区和流动区；灾害体活动范围——崩塌体崩落区、滑坡体滑动区、泥石流泛滥堆积区；个别情况下，危害范围还包括因崩塌、滑坡、泥石流活动造成溃堤、溃坝、堵江等引起的次生灾害的危害区。在这三种灾害危害范围组成中，灾害体分布范围可以通过专门地质勘查直接圈定。次生灾害发生的机会比较少，而且情况十分复杂，只能因事而异地逐一界定。灾害体运动范围则可以根据灾害动力因素进行分析，得出具有普遍意义的确定方法。

决定崩塌、滑坡灾害运动范围的最基本要素是危岩崩落的距离和滑坡体滑动的距离。其中危岩崩落距离都不大，一般不超过几百公尺，可根据危岩体积和临空高度进行估算。滑坡体滑动距离与垫滑层摩擦系数、垫滑层高差、坡度及水平距离、滑坡体剪出初始速度等

[1] 顾小芸等，1990，上海地面沉降的定量研究。全国地质灾害地面变形学术讨论会文集。内部刊物。

因素有关。其计算式为：

$$L_{max}=\frac{v_{max}^2\cos^2\alpha}{2g(f\cdots\sin\theta)}+d$$

$$v_{max}=\sqrt{2g(H-f\cdot L)+v_0^2}$$

式中：L_{max}——滑坡体运移最大距离（m）；

v_{max}——滑坡体最大滑速（m/s）；

g——重力加速度（m/s²）；

H——垫滑层高差（m）；

f——垫滑层动摩擦系数；

L——垫滑层水平距离（m）；

v_0——滑坡体剪出时初始速度（m/s）；

α——最大滑动方向与垫滑层夹角（°）；

θ——垫滑层坡度（°）；

d——滑动后重心到堆积物前缘距离（m）。

在求出滑坡体滑动距离以后，再根据滑坡体规模确定出滑坡体影响宽度，就可以比较容易地算出滑坡活动的危害范围。

泥石流活动区分为形成区、流通区、泛滥堆积区。形成区和流通区地形高差剧烈，山高坡陡，一般人烟稀少，耕地贫瘠，所以在这些地区虽然也造成一定破坏，但通常损失较低，而且这些地区的范围一般通过地面调查就可以比较容易地划定。泥石流主要危害区在泛滥堆积区，这里一般地势开阔低平，常常是山区人口聚集的城镇、企业以及交通设施所在地，所以泥石流活动常造成比较严重的损失。刘希林等通过对大量泥石流的调查统计，应用多元回归建立了核算泥石流堆积扇面积以及泥石流堆积扇长度、宽度、最大幅角的经验公式，可用来确定泥石流堆积活动的危害范围：

$$S=\frac{2}{3}L\cdot B-\frac{1}{12}B^2\cot\frac{1}{2}R$$

$$L=0.7523+0.0060A+0.1261H+0.0607D-0.0192G$$

$$B=0.2331-0.0091A+0.1960H+0.0983D+0.0048G$$

$$R=47.8296+8.8876H-1.3085D$$

式中：S——泥石流堆积扇面积（m²）；

L——泥石流堆积扇最大长度（m）；

B——泥石流堆积扇最大宽度（m）；

R——泥石流堆积扇最大幅角（°）；

A——泥石流流域面积（m²）；

H——泥石流沟相对高度（m）；

D——泥石流主沟长度（m）；

G——泥石流沟平均坡度（°）。

在一定岩土条件下，岩溶塌陷范围主要与地下水位降落程度有关。一些专家根据实际调查资料分别提出了塌陷区半径与有效水位降深及地下水降落漏斗的相关性经验公式：

$$L = \eta \frac{QS_0}{M} t$$

式中：L——塌陷区半径（m）；

η——与土层性质有关的系数（砂、砂砾石、亚沙上为 0.1～0.05，亚粘土、风化砂岩、风化页岩为>0.01，粘性土<0.01）；

Q——地下水开采量（m^3/h）；

S_0——基岩面以下的有效水位降深（m）；

M——覆盖层厚度（m）；

t——抽水时间（h）。

塌陷区半径与地下水降落漏斗半径比值为 0.29～0.97，平均值为 0.63。

地面沉降的危害范围基本上与沉降区一致。海水入侵的危害范围除在少数情况下因入侵区地下水水质恶化影响入侵区外的供水水源外，一般危害范围也与入侵区一致。基于这种情况，同时考虑未来灾害活动的发展，将这两类灾害的危害范围用下式表示：

$$S = S'_0(1 + \Delta S')^t$$

式中：S——地面沉降、海水入侵危害范围；

S'_0——现状地面沉降、海水入侵活动范围；

$\Delta S'$——地面沉降、海水入侵活动发展速率；

t——时间。

地裂缝危害范围受地裂缝发育长度和影响带宽度控制。单一的地裂缝影响宽度一般为 3～8 m，少数形变强烈的地裂缝影响宽度达 10～30 m；当主干地裂缝两翼同时发育有雁列的羽状低序次地裂缝时，影响宽度加大，最大达 200 m 左右。根据这种实际情况，同时考虑地裂缝发展情况，其危害范围可按下式计算：

$$S = L_0(1 + \Delta L)^t \cdot B$$

式中：S——地裂缝危害范围；

L_0——现状地裂缝长度；

ΔL——地裂缝发展速率；

t——时间；

B——地裂缝影响宽度。

膨胀土危害范围与它的发育范围一致，即在膨胀土发育区内进行工程建筑，就可能受到它的危害。

在点评估中，可以参考上述方法核算不同种类地质灾害的危害范围。在面评估中，可在全面调查或重点调查（抽样调查）基础上，按下式核算地质灾害危害范围。

$$S(m) = \sum_{i=1}^{n} S(d)_i$$

$$S(b) = \frac{S(m)}{S(P)}$$

式中：$S(m)$——评价区地质灾害活动危害范围；

$S(d)_i$——单个地质灾害点危害范围；

$S(b)$——评价区地质灾害活动危害面积比；

$S(P)$——评价区总面积。

三、地质灾害危害强度分区

在地质灾害危害范围内，不同地区地质灾害的破坏能力不同，因此受危害强度大小不一。根据地质灾害破坏能力大小，将危害区划分为若干等级，称为危害强度分区。这项工作的意义在于显示地质灾害活动破坏能力的地区分布，为确定不同地区、不同类型受灾体的破坏程度，进而核算灾害经济损失提供依据。因此，这项工作是地质灾害点评估和面评估的一项重要内容。

在一次地质灾害事件中，其破坏能力分布的一般规律是灾害活动中心地区破坏能力最强，向边缘地区持续减弱。但不同种类的地质灾害活动特点不同，具体分布情况不完全一致。

崩塌活动一般危害范围较小，而且在危害范围内的破坏能力差别不大，所以一般不必划分危害强度区。滑坡危害强度变化比较复杂，一般规律是滑坡体及前沿地带破坏强度最大，向边缘地带强度降低。泥石流的危害强度除了在泥石流沟地带最严重外，在泥石流泛滥堆积区，一般自堆积扇顶部向前缘、自中心向两侧泥石流的冲击力和淤埋深度变小，危害强度降低。典型的泥石流堆积扇分为无扩散带、建设带、即定带，其危害强度逐次降低(图 4-3)。地裂缝活动的危害强度分布一般自地裂缝中心向两侧降低。岩溶塌陷危害强度在一个塌陷坑影响范围内难以区分，在由多个塌陷坑组成的塌陷区内，危害强度主要与塌陷

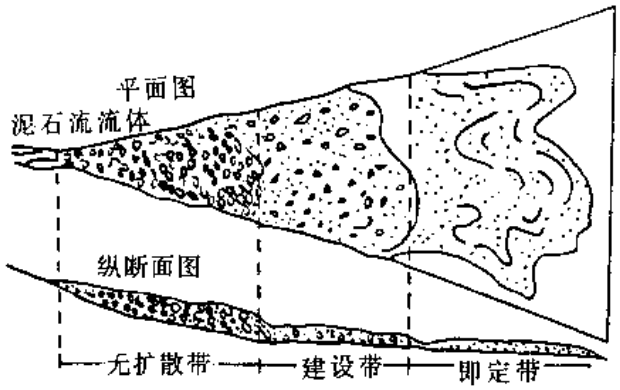


图 4-3　典型泥石流堆积模式

(据刘希林，1992)

发育程度有关。塌陷密度和分布面积越大，危害强度越高。地面沉降活动的危害强度主要取决于沉降幅度，通常情况下，自沉降中心向沉降边缘，累积沉降量逐渐减小，危害强度随之降低。海水入侵灾害危害强度主要取决于地下水咸化程度，通常情况下，自滨海向内陆，地下水咸化程度不断降低——地下水氯离子含量、矿化度、Na/Cl 等特征水化学指标不断降低，灾害危害强度随之减小。膨胀土危害强度除了与膨胀土的沉积厚度和埋藏深度有一定关系外，主要与膨胀土的成分、颗粒组成和与这些特征密切联系的胀缩性有关。

根据上述一般规律，结合一些地质灾害事例调查资料，给出不同地质灾害危害强度分区的参考性方案（表 4-12）。

四、区域地质灾害危险性区划及危险性基本要素的确定

1. 区域地质灾害危险性区划的目的与作用

表 4-12　地质灾害危害强度分区

灾害种类	主要分区标志	危害强度分区及标志		
		强烈危害区	中等危害区	轻微危害区
崩塌	无显著变化，不分区	—	—	—
滑坡	相对位置	滑坡体及中心的前沿地带	滑坡运动的主影响地带	滑坡运动的边缘影响地带
泥石流	相对位置及泥石流流速、泥深	泥石流沟和无扩散带，流速＞5m/s，泥深＞1m	建设带，流速 1～5m/s，泥深 0.5～1m	即定带，流速＜1m/s，泥深＜0.5m
岩溶塌陷	塌陷面积比率	塌陷面积比率＞1/3	塌陷面积比率 1/10～1/3	塌陷面积比率＜1/10
地裂缝	相对位置	中心地带—地裂缝两侧 3 m 以内	两翼地带—地裂缝两侧 3～10 m	边缘地带—地裂缝两侧 10 m 以外
地面沉降	相对位置及累计沉降量	沉降中心地带，累计沉降量＞1.5 m	沉降中心外围地带，累计沉降量 0.5～1.5 m	沉降边缘地带，累计沉降量＜0.5 m
海水入侵	相对位置及地下水咸化程度	入侵中心地带，氯离子含量＞1000 mg/L	入侵中心外围地带，氯离子含量 500～1000 mg/L	入侵边缘地带，氯离子含量 250～500mg/L
膨胀土	自由膨胀率	＞60%	50%～60%	＜50%

在进行地质灾害点评估和面评估的时候，可以在广泛深入勘查基础上，采用不同的量化分析方法确定地质灾害活动的数量、密度、危害范围、活动频率、发展速率等要素，从而在灾害活动的时间频度和空间范围两个方面为进一步评价灾害期望损失提供基础。然而对于大面积的区域性灾害风险评估来说，要进行如此全面深入的勘查和计算显然是不可能的。它只能采用典型勘查和抽样调查方法，取得代表性参数，然后再进行区域灾害风险评价。区域地质灾害危险性区划正是为了满足这种需要而实施的一项工作。它的基本内容和作用是，根据区域历史地质灾害活动程度和地质灾害形成条件的充分程度，结合区域自然条件和社会经济条件，评价区域地质灾害危险程度及其分布规律，划分危险性等级。通过这些工作，把条件复杂，危险性程度参差不齐的大面积评价区，划分成若干地质灾害活动条件和危险程度相对一致的单元，作为确定抽样样本，确定评价参数，并实现全区评价的基础。

从灾害风险评估的角度来说，区域地质灾害危险性区划具有上述直接作用，从更广泛意义上说，地质灾害危险性区划，还可为区域减灾决策和区域经济规划提供重要的参考依据。

2. 区域地质灾害危险性区划的基本方法

(1) 区域地质灾害危险性区划的基本途径

区域地质灾害危险性区划所反映的是不同地区地质灾害危险性的相对程度；采用的基本指标是危险性指数。一个地区地质灾害危险程度受众多条件影响，主要包括地质条件、地貌条件、气候条件、水文条件、植被条件、人为条件等，每类条件中又包含多种要素。地

质灾害危险性区划的基本途径是：将评价区按行政区、自然区或经纬度划分成若干单元；把控制地质灾害活动的各方面要素转化成可以量化对比的指数，根据它们对地质灾害的控制方式和作用程度，建立核算地质灾害危险性指数的数学模型，根据各单元危险性指数分布特点，结合自然地理和社会经济条件，划分单类地质灾害或综合地质灾害危险区、亚区、显示危险程度的分布与组合关系，为进一步进行风险评估提供基础。

（2）地质灾害危险性指数的计算方法

如果评价区范围较小，条件比较简单，可在相关分析的基础上，采用灰色聚类分析以及模糊综合评判、信息熵评判等方法计算危险性指数，分析评价区危险性程度。

在众多方法中，灰色聚类分析应用最广，而且其方法也具有典型性。采用该方法计算危险性指数的基本过程是：划分评价单元——单元形式为等面积方格、经纬度、行政区、自然地理单元等，单元数量和单元多少依勘查程度和评价精度要求确定；根据危险性影响因素选取聚类指标；采用专家评判或其它方法给出聚类白化数，并确定灰类白化权函数；建立评判模型，逐单元计算危险性指数。

大区域地质灾害危险性影响因素更多，其危险性指数分布更加复杂多变。针对这一特点，把区域地质灾害活动看作是一个复杂的，具有一定层次性和不确定性的系统，根据系统分析理论，应用层次分析方法计算危险性指数。

层次分析法（analytic hierarchy process）简称为 AHP 法。它是由美国著名运筹学家 T. J. Saaty 在 70 年代初提出来的，近年来在许多领域得到广泛应用，取得了显著成果。其基本方法是对于一个包括多方面因子而又难以准确量化的复杂系统进行分析评价时，可以根据各种因子之间的关系，理顺组合方式和层次，据此建立系统评价的结构模型和数学模型；对模型的各种模糊性因子，根据它们对于影响对象或作用目标的影响程度，通过专家评判确定量化指标或者标度指标，然后根据评价模型的需要，通过判断矩阵逐项或逐层得出各方面因子的作用权重或指标数值，最后计算出最高层次的评价目标值。据此建立的危险性指数计算模型为：

$$W_j = \sum_{i=1}^{n} \theta_i \cdot Q_i$$

式中：W_j——j 单元危险性指数；

θ_i——控制地质灾害危险程度的 i 类因素作用权重；

Q_i——控制地质灾害危险程度的 i 类因素的指数。

从前面有关分析内容中可以看出，控制地质灾害危险程度的基本条件分为地质条件、地貌条件、水文条件、气候条件、人为条件等，每类条件中又包含多种要素。在计算危险性指数时，一是要根据不同地区、不同灾害特点进行选取，二是要分层次地核算这些条件的指数值。利用层次分析法计算危险性指数的过程与灰色聚类分析步骤大致相同。

（3）地质灾害危险性区划原则

地质灾害危险性区划的原则与指标，是地质灾害危险性区划的基础。只有区划的原则和指标是科学可信的，其区划方案才是可靠的或基本可靠的。因此，认真研究危险性区划的原则和指标对进行损失评价计算是极其重要的。为此在区划时需遵循下列原则：

①发生学原则

地质灾害的发生取决于多种因素，而不同的灾害又有不同的因素。在进行地质灾害分

区时，应把发生条件相同或相近的区域划入一个区，把发生条件不同的区域划入不同的区。根据发生学条件分区，既要考虑地质灾害的区域发展历史，又要考虑地质灾害的区域现状特征以及潜在的危险性，才能在区划研究中具有可靠性基础。

②主导因素原则

影响地质灾害危险性的因素尽管很多，但其中总有一个或几个是主要的、起主导作用的，它们在较大程度上决定了地质灾害的组合特征和危险程度，因此采用主导因素作为分区的原则之一是具有重要意义的。

③相对一致性原则

它是指划分的危险区，内部要相对地保持一致性，使同一区内地质灾害的种类、数量、密度、危害面积比、损失模数等没有大的差异。当然，不同级别的分区有不同的一致性指标。一般来说，分区级别越高，一致性相对越差，分区级别越低，一致性相对越好。

④综合分析原则

构成地质灾害危险性的因素是多种多样的，为此，必须全面考虑危险性本身及构成危险度各因素的相似性与差异性，进而选择一些相互联系的指标或标志作为危险性分区标志。

⑤相对完整性原则

虽然危险性界限具有模糊性，但在划界时，应力求保证其相对独立性，以保证风险评价的精度。

⑥类型分区与综合分区相结合原则

类型分区显示不同单元的危险程度，是危险性区划的基础。在进行类型分区的同时，必要时亦可参考地质灾害危险性的区域自然背景和社会经济背景，进行综合分区，以反映危险性组合关系和分布规律。根据评价区危险性指数的变幅和众数值，划分危险等级，级次一般为 3～5 级。综合分区一般二级或三级分区，即区、亚区或域、区、亚区。

3. 区域地质灾害危险性基本要素的确定方法

在区域地质灾害危险性评价中，危险性指数和危险性分区所标示的只是不同地区地质灾害相对危险性程度，对于以期望损失为核心的风险评估来说，这种相对量化的评价只是一种基础性的工作，要满足风险评估的需要，还必须确定那些具有绝对量化意义的危险性要素。

这些具有绝对量化意义的危险性指数主要包括单元地质灾害的数量与密度；在一般水平下单元内每一年可能发生活动的地质灾害的数量、密度、危害范围、危害面积比率。如前所述，对于大面积的区域地质灾害风险评估来说，全面调查分析各地区（单元）的这些参数是不可能的，因此首先进行危险性区划，以此为桥梁，提供不同等级、不同条件的典型样本，对其进行系统调查分析，取得各种组别的代表性数据，然后采用比拟的方法，获得所有地区（单元）的这些参数。典型样本地区的危险性参数采用点评估或面评估的危险性评价方法进行分析判断。

第五章　地质灾害易损性评价

第一节　社会经济易损性构成及评价内容

易损性是指受灾体遭受地质灾害破坏机会的多少与发生损毁的难易程度。如前所述，地质灾害是灾害体作用于受灾体的结果。地质灾害的成灾程度一方面取决于致灾体条件，另一方面取决于受灾体条件。在灾害风险评估中，通过危险性分析评价致灾体条件，通过易损性分析评价受灾体条件。

在受灾体条件中，影响成灾结果的直接要素是：评价区（或灾害危害范围内）受灾体的种类、数量，不同受灾体对不同种类、不同强度地质灾害的承灾能力和可能损毁程度以及灾后的可恢复性。在同等灾害规模条件下，受灾体的数量越多，受灾体对灾害的抗御能力和可恢复性越差，灾害造成的破坏损失越严重。易损性所要表征的正是这些对成灾结果具有直接影响的受灾体特征。

然而，这些受灾体特征又都是一定社会经济条件的反映。有的受灾体特征要素可以通过专门调查统计直接获得，有的受灾体特征要素则无法直接进行调查统计；特别在大范围的区域风险评估中，主要的要素指标只能根据社会经济统计指标间接地进行分析核算。因此评价区的社会经济条件是易损性的背景要素。社会经济状况对地质灾害成灾程度具有双向影响：社会经济发达，地区人口、城镇密集、工业化程度高的地区，受灾体数量多，密度大，价值高，地质灾害的危害范围广，破坏机率高，造成的人口伤亡和经济损失大；但这些地区经济发达，防灾抗灾能力和灾后恢复能力强，因此减灾效益高。社会经济比较落后地区则与此相反。二者对比，前者灾害造成的绝对损失额和损失密度大，但相对损失率小，防治效益高；后者与之相反，灾害绝对绝失额和损失密度较小，但相对损失率高，防治效益低。

根据上述分析，社会经济易损性由社会经济条件和受灾体直接条件两方面基本要素构成。既反映了社会经济条件的背景要素主要包括人口分布、城镇分布、土地资源分布、水资源分布、交通设施分布、大型企业分布、产值分布等又反映了受灾体条件的直接要素主要包括受灾体类型、数量、价值、遭受不同强度灾害危害时的损毁程度与价值损失率。

在灾害风险评估中，易损性评价的基本目标是获取各方面易损性要素参数，为破坏损失评价提供基础。根据易损性构成，易损性评价的主要内容包括：划分受灾体类型，调查统计各类受灾体数量及分布情况，核算受灾体价值，分析各种受灾体遭受不同种类、不同强度地质灾害危害时的破坏程度及其价值损失率。

在点评估和范围较小的面评估中，获取这些要素的基本方法是专门性勘查。即通过全面调查，统计受灾体数量，按照资产评估方法核算受灾体价值，并根据受灾体分布情况绘制受灾体类型分布图和受灾体价值分布图；根据历史调查统计、实地观测和模拟试验等方

法，确定受灾体破坏程度，建立不同类型受灾体与不同种类、不同强度地质灾害的相关关系，确定受灾体损失率。

在区域评估和范围较大、社会经济条件比较复杂的面评估中，无法对受灾体进行全面调查，此时首先进行易损性区划，在此基础上，通过对不同等级易损区的典型抽样调查，确定易损性的直接要素。易损性区划方法将在本章后面内容中介绍。

第二节　地质灾害破坏效应及受灾体类型划分

一、地质灾害破坏效应

分析地质灾害破坏效应，是界定受灾体范围、划分受灾体类型、分析受灾体易损性的基础。

不同地质灾害的破坏效应不尽相同，概括起来主要有以下几方面。

1. 威胁人类生命安全，造成人员伤亡

地质灾害和地震、洪水等自然灾害相比，虽然对人类生命安全的威胁程度比较低，但崩塌、滑坡、泥石流灾害突发性强，有时也会造成一定程度的人员伤亡。据统计，一次灾害事件造成的人员死亡数量多达几百人，一般几人到几十人。

2. 破坏城镇、企业及房屋等建筑设施

主要成灾灾种是崩塌、滑坡、泥石流，有时会对山区城镇、企业、居民区造成毁灭性破坏。此外，岩溶塌陷、地裂缝、地面沉降、膨胀土灾害，虽然不像崩塌、滑坡、泥石流那么猛烈，但也会造成各类工程建筑位移、沉降、开裂、变形，甚至倒塌。

3. 破坏铁路、公路、航道以及桥梁、涵洞、隧道、码头等交通设施，威胁交通安全

主要成灾灾种是崩塌、滑坡、泥石流，可掩埋、冲毁道路设施，阻塞航道，其次是岩溶塌陷及地裂缝、地面沉降、膨胀土灾害，可使交通设施沉陷、变形、开裂、位移。这些破坏效应给交通设施造成隐患或直接破坏，不但增加了施工费用和修复费用，而且经常造成交通线路受阻，形成更严重的间接损失。

4. 破坏生命线工程

主要包括供水排水系统、供电系统、通信系统、供气系统。主要成灾灾种是崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝、地面沉降，可使这些设施淤埋、错断，不但造成直接经济损失，而且影响人民生活和工农业生产以至更广泛的社会活动，造成严重的间接破坏。

5. 破坏水利工程

主要成灾灾种为崩塌、滑坡、泥石流、岩溶塌陷、地裂缝。这些灾害可使大坝、堤防、电站、机井等设施淤埋、开裂、变形、沉陷，导致水库、河塘漏水，甚至溃决，因此不但造成直接经济损失，而且有时会导致洪水灾害，形成灾害链，造成更为严重的灾害损失。

6. 破坏农作物以及森林、树木

主要成灾灾种是泥石流。可冲毁、淤埋农作物、树木、森林等。

7. 破坏土地资源

崩塌、滑坡、泥石流以及岩溶塌陷可使耕地被冲毁、淤埋、陷落积水，导致耕地难以耕种，甚至无法耕种。除这种直接破坏作用，地质灾害活动还降低了土地的开发利用价值，特别是在城镇和经济开发区，受地质灾害威胁的土地不适宜商贸、住宅等开发项目，其价

值明显低于无灾害威胁地区。

8. 破坏水资源

主要成灾灾种为海水入侵。它导致地下水水质恶化，造成人民生活和工农业生产用水困难。

9. 破坏机械、设备和各种室内财产

主要成灾灾种是崩塌、滑坡、泥石流。这些灾害突发性强，在破坏建筑设施的同时，可冲毁、淤埋各种室内物品和仓储物资，增大灾害的损失。

二、地质灾害受灾体类型划分

由于地质灾害受灾体特别繁杂，所以在风险评估中，不可能逐一评价它们的易损性，只能将受灾体划分为若干类型，然后分类进行统计分析，进而获得各项易损性参数。

划分地质灾害受灾体类型的依据和原则主要是：根据地质灾害破坏效应，属于直线破坏充分考虑不同受灾体的共性和个性特征，同类型受灾体的性能、功能、破坏方式以及价值属性和核算方法基本相同或相似。

根据上述原则，将地质灾害受灾体大致划分为以下 15 类。

1. 人口

包括城镇人口、农村人口；长住人口、流动人口。除了人口密度和数量外，还应考虑人口组成；特别注意儿童、老人、残病等特殊的脆弱人口情况。

2. 房屋建筑

包括城镇居民住宅、农村住宅、宾馆、饭店、公寓、商厦、学校、医院、机关、部队营房、工业厂房、仓库等各种房屋建筑。

房屋种类繁多，特征各异。影响房屋抗灾性能、决定其使用年限的主要是结构特征。据此进一步将房屋分为 4 类。

(1) 钢结构房屋

房屋的梁柱、屋架等承重构件用钢材制作，其它构件用砖、钢筋混凝土等制作。钢结构房屋整体性好，构件强度高，正常使用年限长，抗灾能力强，单位价值高。城市中个别高层宾馆、饭店、商厦等采用该结构。

(2) 钢筋混凝土结构房屋

梁柱、承重墙以及楼板、屋面板等用钢筋混凝土制作，非承重墙和其它构件用砖或其它材料制作。整体性较好，构件强度较高。部分城镇住宅、宾馆、饭店、商厦、公寓、办公楼、实验室、体育馆、车站、码头、医院、营房、厂房等采用该结构。

(3) 砖结构房屋

包括砖混结构、砖木结构房屋。墙、柱用砖砌筑，其它构件用木材或钢筋混凝土制作。该类房屋抗灾能力一般，单位价值较低。部分住宅、商店、厂房、仓库、营房、车站等采用此结构。

(4) 简易结构房屋

墙、柱、屋顶用砖、石、土、木、草等制作的房屋。包括砖石结构、砖土结构、土木结构、土石结构的砖柱土坯房、砖柱碎石房、木架石棉瓦房、土坯房、石条房、卵石房、木板房、竹木房以及草寮、土窑洞等。其正常使用年限短，抗灾能力差。主要是农村住宅和部分乡镇企业和个体企业厂房。

3. 公路

包括路面、路基、涵洞及防护工程。

4. 铁路

包括轨道、路基、涵洞、防护设备、通信设备等。

5. 航道

包括水道及航道人工设施。

6. 桥梁

包括铁路桥、公路桥以及立交桥、高架桥等。

7. 生命线工程

包括供水管线、排水管线、输变电线路、供气管线、供暖管线、通信线路等。

8. 水利工程

包括水库、大坝、堤防、渠道、机井等。

9. 生活与生产构筑物

包括水塔、烟囱、窑炉、贮油罐、化工容器、井架等。

10. 室内外设备及物品

包括飞机、机车、汽车、拖拉机、船舶、机械、仪器仪表、工具、商储物资、材料、办公与生活用品等。

11. 农作物

包括小麦、稻谷、玉米、棉花、大豆、花生、烟草、蔬菜以及果树等农业培植的作物。

12. 林木

包括天然的和人工播种的森林、树木。

13. 土地资源

根据不同用地类型及相应的开发利用价值，分为城市土地、农村宜耕土地、农村宜林、宜牧土地、荒原荒漠土地。其中城市土地进一步分为中心区土地、一般城区土地、近郊区土地、远郊区土地。

14. 地下水等矿产资源

15. 其它

包括机场、发射场、钻井平台、海岸工程、古建筑、珍稀树木等。

第三节　地质灾害受灾体价值分析

地质灾害风险评估的核心目标是定量化评价地质灾害的破坏损失程度。要实现这个目标，不仅要反映各种受灾体遭受破坏的数量和程度，更重要的是将各种受灾体的破坏效应转化成货币形式的经济损失。要完成这项工作，除了调查分析评价区受灾体类型和分布情况外，还必须在此基础上统计分析受灾体的价值及其分布情况，然后根据它们遭受灾害损失的机会核算价值损失。因此地质灾害受灾体价值分析是研究社会经济易损性的重要内容。

地质灾害受灾体价值分析的中心工作就是调查统计受灾体的分布情况，核算受灾体的价值，并以单元价值额或价值密度等为指标，反映评价区受灾体价值分布。

一、地质灾害受灾体价值核算方法

以上划分的14类地质灾害受灾体，虽然它们的功能各异，但除了人的生命健康难以用货币价值衡量外，其它类受灾体都可以用货币形式反映它们的价值。这些受灾体的价值类型可以归结为两类：房屋、铁路、公路、桥梁、设备、室内财产等，是人类劳动创造的有形财富，它们的价值属于资产价值；土地、地下水等是人类生存与发展的基础，它们的价值属于资源价值。

1. 资产价值核算

资产价值可采用资产评估方法进行核算。在各种资产类受灾体中，除个别受灾体需考虑效益价值外，大部分受灾体价值为成本价值或成本价值叠加利润价值，即市场价值。核算的基本途径有两种：对固定资产实行统一财会管理的部门和单位，可根据账面反应的固定资产的净值确定固定资产价值；对于没有会计核算的固定资产，可根据资产项目的实际性状评估价值，或者根据资产项目原值、使用年限及相应折旧率核算资产净值。

资产实际性状主要指资产外观、结构、整体完整性和稳定性、性能完好程度等。不同资产的具体表现不同，例如评估房屋价值时，主要依据房屋结构——地基基础、承重构件、非承重构件性状；装饰部分——门窗、顶棚等完好程度；设备部分——上下水设备、卫生设备、照明设备等的完好程度评定新旧成数，据此进一步核算房屋价值（表5-1、5-2、5-3）。

除现场调查评估外，可根据资产实际使用年限与寿命年限的比值大致估算资产净值。表5-4、5-5、5-6给出了房屋、部分构筑物和通用设备的寿命参考值，供评估使用。

资产原值指新置资产的价值。由于受灾资产的购制时间不同，受物价因素影响，同币额资产实际价值不同，所以应根据价格指数将评价区所有受灾资产价值折算成同一年份的可比价值。

因资产购制时间久远或其它原因，难以确定资产原值时，可根据评价区当年物价水平，采用重置成本方法或市场价值类比方法核算资产现值。所谓重置价值是指在现实技术设备、工艺水平和材料价格、人工费用条件下，重新建造或制造与评估对象相同结构、质量、性状的建筑物、构筑物、设备、工具、仪器、仪表等物品所需的费用。所谓市场价格类比方法是以市场上类似的资产交易价格为参照物确定评估对象的资产价值。如果考虑受灾体的折旧和灾后的残值，评估对象的现值按下式核算：

$$受灾体现值=重置价格\times[(1-残值率)\times成新度+残值率]$$

残值率是指建筑物及其它受灾体遭受灾害破坏后所剩余的残留价值与受灾体造价的比值。不同受灾体的残值率不同，我国对建筑物等的残值率已有技术规定，如钢结构建筑为0%，砖混结构为27%等。没有专门规定的可比照同类物体确定残值率。成新度指的是评估对象的新旧程度，其中房屋可参照表5-1、5-2、5-3取值，其它受灾体可参照国家标准或比照同类物体标准确定成新度。

遭受地质灾害危害的资产种类十分繁多，其中大部分资产可采用上述通用方法核算价值，但还有一些具有特殊性质的资产，采用上述方法评估其价值时需要进行适当的变通，甚至采用其它一些方法进行价值核算。对于在建工程，不存在原值与净值以及折旧的核算问题，其资产价值为已经形成的建制成本。对于库存原材料、燃料、低值易耗品、在产品、产成品、半成品等资产价值，可根据不同情况采用历史成本法、现时重置成本法、清理变现

价值法核算价值。其中清理变现价值法是按库存物资目前可变现净值估算其价值。对于企业的大型、精密稀有设备，可根据国家物资部门或工业主管部门的相应价值目录（如《机电产品价格目录》、《纺织机械行业出厂基准价目录》等）核算其价值。对于某些难以找到可靠依据的特殊资产，可采用定性分析与定量分析相结合的方法，即以相近似资产价值为参考，并征求有关技术经济专业人员意见，然后核算其价值。

表 5-1　钢筋混凝土结构房屋新旧程度参考标准

十成	最长不超过五年的新建房屋（特殊情况例外）
九成	1. 结构部分 地基基础：有足够承载能力，无不均匀沉降。承重构件：完好牢固。非承重墙：砖墙完好坚固；预制墙板节点牢固；拼缝处密实。屋面：不渗漏。防水层、隔热层、保温层完好，排水畅通。楼地面：整体面完好平整、硬木楼地面平整坚固，油漆完好，块料面层完整牢固。 2. 装饰部分 门窗：完好无损，开关灵活，油漆完好。内外粉刷：完整无损（风裂除外）。顶棚：完好牢固，无变形。 3. 设备部分

续表

三成	稍好于下列二成条件者为三成
二成	1. 结构部分 地基基础：强度不足，有明显不均匀沉降，影响上部安全使用。承重构件：有明显下挠，倾斜、裂缝，变形，混凝土剥落，露筋锈蚀严重。非承重墙：砖隔墙严重开裂，倾斜腐蚀、门隔立筋松动，断折，面层破坏严重。屋面：严重漏雨，保温层、隔热层严重损坏。楼地面：整体面层严重起沙剥落，硬木楼地面破损腐朽。 2. 装饰部分 门窗：普遍开关不灵，木材腐朽，钢门窗锈蚀变形。内外粉刷：严重空鼓、剥落。顶棚：基层下垂翘裂严重，木质腐朽、面层破损，脱落严重。 3. 设备部分 水卫：下水管道严重堵塞，卫生器具严重残缺。电照：照明装置陈旧残缺，电线普遍老化。特种设备：严重破坏。

（据吕发钦，1993）

表 5-2　砖结构房屋新旧程度参考标准

十成	建筑期最长不超过五年的新建房屋（特殊情况例外）
九成	1. 结构部分 地基基础：有足够承载能力，无不均匀沉降。承重构件：砖墙（柱）、层架完好牢固。非承重墙：墙体完好无损。屋面：不渗漏、基层平整完好，排水畅通。楼地面：整体面层完好平整。 2. 装饰部分 门窗：完好无损，开关灵活。油漆粉刷：完整无损（风裂除外）。顶棚：完好牢固，无变形。 3. 设备部分 水卫：上、下水管道畅通无阻，各种卫生器具完好，零件齐全。电照：线路、各种照明装置完好无缺，绝缘良好。特种设备：现状良好，使用正常。
八成	部分符合上列九成条件者为八成
七成	1. 结构部分 地基基础：有承载能力，有少量不均匀沉降。承重构件：墙、柱、梁基本完好，屋架各部件、节点基本完好。非承重墙：轻微裂缝，面层破损。屋面：局部渗漏，排水设施基本畅通。楼地面：整体面层基本完好。 2. 装饰部分 门窗：少量开关不灵、玻璃、五金少量残缺、油漆尚好。内外粉刷：稍有空鼓、裂缝、风化。顶棚：少量面层破裂、缺损，少量压条脱钉。 3. 设备部分 水卫：上、下水基本畅通，各种卫生器具基本完好，个别零件缺损。电照：线路和各种照明装置基本完好。特种设备：现状基本完好、使用正常。
六成	部分符合上列七成条件者为六成
五成	稍好于下列四成条件者为五成

续表

四成	1. 结构部分 地基基础：有一定强度，局部有较大不均匀沉降、对上部结构已产生一定影响。承重构件：墙、柱产生下沉开裂，屋架有局部变形、腐朽、锈蚀。非承重墙：部分裂缝，间隔墙面层局部损坏，失修严重。屋面：局部漏雨，平屋面隔热层、防水层破损较重，板屋面基层局部有腐朽变形，排水设施破坏严重。楼地面：整体面层部分空鼓、脱落。 2. 装饰部分 门窗：部分开关不灵，局部破缺，油漆老化、剥落。内外粉刷：部分空鼓、裂缝、剥落，勒角严重侵蚀。顶棚：面层损坏较大，有明显下垂变形。 3. 设备部分 水卫：上水管锈蚀，下水管道不够畅通，卫生器具个别滴漏损坏严重。电照：电线老化，照明装置残缺。特种设备：不能正常使用。
三成	稍好于下列二成条件者为三成
二成	1. 结构部分 地基基础：强度不足，有较大不均匀沉降，且仍继续发展，严重影响住房安全。承重构件：承重墙（柱）严重损坏，有明显倾斜变形。屋架端节点腐朽、锈蚀严重，有下挠变形。非承重墙：严重开裂、倾斜，墙立筋松动、断折，面层破损。屋面：严重漏雨，平屋面防水隔热层都严重破损，板屋面基层腐烂变形、排水设施严重锈烂。楼地面：整体面层严重剥落，木楼地面腐烂破损。 2. 装饰部分 门窗：普遍开关不灵，朽烂。内外粉刷：严重风化剥落。顶棚：基层破烂，面层损缺。 3. 设备部分 水卫：下水管道严重堵塞，卫生器具严重残缺。电照：电线普遍老化，零乱，照明装置陈旧，不符绝缘要求。特种设备：严重损坏。

（据吕发钦，1993）

表 5-3　简易结构房屋新旧程度参考标志

十成	建筑期最长不超过五年的新建房屋（特殊情况例外）
九成	1. 结构部分 承重构件：竹、木构件及节点牢固，无断裂、腐朽、蛀蚀。非承重墙：围护墙完好无破损。屋面：不漏雨，屋面平整牢固，面层完好，排水无阻。地面：平整、密实。 2. 装饰部分 门窗：开关灵活，完整无损。粉刷：完好无损。顶棚：完整牢固。 3. 设备部分 线路、照明符合用电安全要求。
八成	部分符合上列九成条件者为八成

续表

七成	1. 结构部分 承重构件：竹木构件及节点较牢固，有少数蛀蚀、铁件锈蚀。非承重墙：墙体有少量破损。屋面：稍有漏雨、翘曲，瓦块有风化、破损，油毡、芦席屋面有少量破漏。地面：表面不平整。 2. 装饰部分 门窗：部分开关不灵，玻璃、五金不齐全。内外粉刷：稍有裂缝、剥落。顶棚：面层少量破损。 3. 设备部分 临时电线照明简单使用。
六成	部分符合上列七成条件者为六成
五成	稍好于下列四成条件者为五成
四成	1. 结构部分 承重构件：竹木构件节点个别松动，材料开裂、蛀蚀、腐朽、局部变形。非承重墙：砖墙风化严重，芦席、板条、竹笆墙糟朽严重。屋面：局部漏雨，基层腐朽变形，瓦面局部风化。地面：磨损，有坑洼。 2. 装饰部分 门窗：部分翘裂、腐朽、开关不灵，玻璃破坏严重，五金锈蚀残缺。内外粉刷：部分空鼓、剥落。顶棚：面层损坏，多眼。
三成	稍好于下列二成条件者为三成
二成	1. 结构部分 承重构件：竹木构件节点大部分松动、折断、腐朽变形。非承重墙：围护墙大部破损腐朽、蛀蚀。屋面：严重漏雨，瓦片破乱、油毡、芦席大部冻鼓、破裂。地面：坑洼积水，高低不平。 2. 装饰部分 门窗：大部分残缺不全。内外粉刷：严重剥落。

（据吕发钦，1993）

表 5-4 房屋寿命年限

房屋分类	寿命年限/年	房屋分类	寿命年限/年
1. 钢结构		受腐蚀生产用房	30～35
其中：生产用房	50	受强腐蚀生产用房	15
受腐蚀生产用房	30	非生产用房	50～60
受强腐蚀生产用房	15	3. 砖结构	
非生产用房	55	其中：生产用房	30～40
2. 钢筋混凝土结构		非生产用房	40
其中：生产用房	40～50	4. 简易结构	10

（据吕发钦，1993）

表 5-5　部分构筑物寿命年限

建（构）筑物分类	寿命年限/年	建（构）筑物分类	寿命年限/年
1. 管道		8. 蓄水池	30
其中：长输油管道	16	9. 污水池	20
长输气管道	16	10. 储油罐、池	20
其他管道	30	11. 水井	30
2. 露天库	20	其中：深水井	30
3. 露天框架	30	12. 破碎场	20
4. 冷藏库	30	13. 船厂平台	20
其中：简易冷藏库	15	14. 船坞	30
5. 烘房	30	15. 修车槽	30
6. 冷却塔	30	16. 加油站	30
7. 水塔	30	17. 水电站大坝	60
		18. 其他构筑物	30

（据吕发钦，1993）

表 5-6　主要通用设备寿命年限

设备分类	寿命年限/年	设备分类	寿命年限/年
机械设备		运输设备	
1. 普通金属切削机床	18	1. 载货汽车 50 万公里	12
2. 锻压设备	17	2. 汽车挂车 50 万公里	12
其中：锻锤设备	14	3. 载客汽车 70 万公里	14
3. 起重设备	19	4. 载客电车 70 万公里	14
4. 铸造设备	14	5. 特种汽车	
5. 其他机械设备	18	其中：矿区生产用	
		特种车 40 万公里	10
动力设备		其他特种车 55 万公里	13
1. 锅炉及附属设备	20	6. 铲车、电瓶车	12
其中：快装锅炉	16	7. 其他运输设备 55 万公里	13
2. 发电机组	23	自动化控制及仪器仪表	
3. 空气压缩设备	19	1. 自动化控制设备	10
4. 空调设备	18	2. 半自动化控制设备	12
其中：小型空调器	15	3. 电子计算机	8
（700×4186.8J 以下/时）		4. 通用测试仪器及设备	10
5. 其他动力设备	20	5. 其他自动化控制及仪器仪表	12
传导设备		工业炉窑	

续表

设备分类	寿命年限/年	设备分类	寿命年限/年
1. 电器设备	18	1. 熔铸炉	13
2. 输电设备	28	2. 加热炉	13
3. 电讯设备	30	3. 热处理炉窑	15
4. 输电线路	35	4. 干燥炉	16
5. 其他传导设备	35	5. 电子专用炉	10
工具及其他生产用具		6. 其他工业炉窑	15
1. 成套工具	18	非生产用设备及器具	
2. 一般工具	18	1. 管理部门的设备工具	22
3. 电镀设备	12	2. 卫生医务部门的设备工具	20
4. 电焊机	16	3. 教育部门的设备工具	22
5. 其他及生产用具	18	其中：电视机	8
		4. 生活福利部门的设备工具	20
		5. 其他非生产用设备及器具	22

（据吕发钦，1993）

2. 资源价值核算

（1）自然资源的基本属性与价值核算的基本方法

地质灾害对自然资源具有多方面破坏作用，但最主要的是破坏土地资源和地下水资源，因此在风险评估的易损性评价中，主要分析这两种资源价值核算方法。

自然资源是人类生活资料和生产资料的基本来源，是人类赖以生存和发展的基础。自然资源是一种物质，它和其它物质一样对人类具有两种属性：一是实物属性，供人类各种活动的物质消耗；二是环境属性，各种自然资源与人类结合在一起，营造了人类生存发展的环境。因此，自然资源在社会经济中具有两方面作用：一是为人类提供物质原料，二是影响人类的环境质量。

自然资源可以分为有限资源和无限资源。有限资源可进一步分为可再生资源和不可再生资源。对于有限资源来说，无论是不可再生资源还是可再生资源，它们都不是取之不竭用之不尽的。特别是随着地球人口数量的迅速增长和经济活动的持续发展，人类对各种资源的需求数量和开发程度不断提高，有限资源的“有限”性特征越来越鲜明。土地资源和地下水资源是对人类有直接关系的重要资源，它们虽然都属于可再生资源，但它们遭受破坏以后的再生恢复过程不但需要一定的自然环境和不同方式的人为良化再造，而且需要一定的时间周期。因此，土地资源和地下水资源的破坏，不但降低或者丧失了它们的利用价值，而且在恢复中还需要投入必要的再造成本。

自然资源的可利用性决定了自然资源是有价值的。由于自然资源的价值表现十分复杂，所以目前国内外对自然资源价值的认识还很不完全。特别是在我国，长期以来片面强调只有人类劳动创造的成果才具有价值，忽视自然资源的价值属性。不但在有关研究领域基本

处于空白，而且在社会生活中基本上是无偿地占有和使用各种自然资源，所以普遍缺乏资源价值观念，更没有资源价值核算方法。

从一般意义上说，自然资源价值的高低主要取决于三个方面：资源与人类的相关程度或可利用程度；资源的丰度或稀缺程度；资源开发利用条件和再生恢复的难易程度。根据上述特点，自然资源价值主要包括两部分：一是自然资源本身的价值，它是资源所固有的、具有“内在”性质的价值，故暂称为内在价值或固有价值；二是人类为开发利用自然资源所投入的人力、物力、财力成本，它是非自然的，具有“成本”性质的价值，故暂称为成本价值。对两种价值分析的基础不完全相同：前者可根据地租理论进行研究核算；后者可根据生产价格理论进行研究核算。具体核算时可参考国际上比较流行的市场定价法、净价法（逆算法）、成本法等进行分析评价。

自然资源价值核算实质上是对自然资源定价。自然资源定价可根据自然资源再生产过程中的价值构成进行定性分析和定量计算。如上所述，为人类开发利用的自然资源的再生产过程是自然再生产过程和社会再生产过程的结合。按照生产价值理论，在对自然资源定价时，必须考虑自然资源价值的这两方面构成，即按完全生产价格等于地租加成本再加利润的原则来确定资源价格。基于这种认识，在考虑地租、社会投入、平均利润、资源稀缺程度（供求关系）、资金时间价值等因素基础上，建立了确定自然资源价值（价格）的基本理论公式：

$$P_t = \frac{(1+i)^t}{i}\left[\alpha R_0 + \frac{A}{N \cdot Q}(1+\rho)\right]\frac{Q_d \cdot E_d}{Q_s \cdot E_s} \tag{1}$$

或者

$$P_t = \frac{(1+i)^t}{i}(\alpha R_0 + C + V + m)\frac{Q_d \cdot E_d}{Q_s \cdot E_s} \tag{2}$$

式中：R_0——自然资源基本租金或基本地租；

α——代表自然资源丰度和开发利用条件，即地区差别、品种差别和质量差别的等级系数；

A——支付在该自然资源上的人财物投入总额（折成资金）；

Q——受益自然资源总量；

N——受益年限；

ρ——平均利润率；

Q_d——自然资源需求量；

Q_s——自然资源供给量；

E_d——需求弹性系数，$E_d=\frac{\Delta Q_d}{Q_d}\Big/\frac{\Delta P}{P}$，即需求量变化率与价格变化率的比值；

E_s——供给弹性系数，$E_s=\frac{\Delta Q_s}{Q_s}\Big/\frac{\Delta P}{P}$，即供给量变化率与价格变化率的比值；

i——平均利息率或贴现率；

P_t——自然资源第 t 年的价值（或价格），设 P 为现值，其关系是 $P_t=P(1+i)^t$；

$(C+V+m)$ 代表该自然资源每年因社会投入所产生的价值，它相当于 $\frac{A}{N \cdot Q}(1+\rho)$。

可以认为，式（1）、（2）这两个自然资源的基本价值（价格）公式，包含了决定自然

资源价值（或价格）的几项主要因素，其他有关影响因素，均可在这两个公式的基础上加以考虑，对公式进行扩展或修正。

当然，要将这两个公式付诸实际应用，需根据统计数据、实际经验，或通过实验确定有关参数，如 α、R_0、Q_s、Q_d、E_s、E_d等，而这些都是可以做到的。

(2) 土地资源价值核算

上面给出的基本公式可应用于土地资源价值（价格）核算。应该说明的是，无论是点评估、面评估还是区域评估，土地类型不同，土地资源价值不一。因此，首先要根据评价区实际情况，划分土地类型，或者将评价区先分成若干评价单元，并使每个单元内的土地类型和价值相对一致。在此基础上，确定参数，进行计算；亦可根据实际情况，对公式进行修改，增删要素项目，然后进行计算。

需要说明的是，应用理论公式虽然能够科学地核算土地资源价值，但公式中不少参数不容易准确地确定，所以应用时难免有一定的困难。特别是我国资源经济研究刚刚起步，目前对这些参数的定义和取值范围还缺少相应的标准和参考数值，因此应用于实际仍然是一种探索性的实践。鉴于这种情况，除了采用理论公式计算土地价值外，还可以根据评价区现行土地使用费或土地出让价，直接确定土地资源价格，这不失是一种简便而又实用的方法。

近些年来，随着我国改革开放的日益深入，地产业逐渐兴起发展。在城镇和许多经济技术开发区，对于行政划拨土地实行逐年收取土地使用费或土地使用税，对外资企业划拨土地实行收取场地使用费或一次性收取土地开发费的办法。为此全国有数百个城镇对土地进行了分等定级，并结合土地估价试点和土地管理需要，评估了当地的基准地价和标定地价修正系数。这些城镇包括北京、上海、天津、广州、南京、合肥、青岛、西安、重庆等大城市或特大城市，还包括泰安（山东）、德州（山东）、厦门（福建）、永安（福建）、营口（辽宁）、锦州（辽宁）、广汉（四川）等中小城市和一些县城、乡镇。此外，自 1987 年下半年深圳率先采取协议、招标、拍卖方式出让国有土地使用权以来，我国土地使用权制度改革又有了新的进展，以国有土地使用权出让、转让、出租、抵押和以土地使用权入股参与联建联营等为主要形式的地产经营活动日益活跃，因此土地的市场价格开始逐渐形成。在哈尔滨、重庆、长春、沈阳、大连、天津、秦皇岛、上海、烟台、青岛、南通、连云港、宁波、厦门、汕头、海南等一批城市和少量乡镇，以不同形式陆续成交了土地出让或转让交易。所有这些为城镇土地价格提供了最直接的依据。在城镇土地管理使用办法改革的同时，农村土地以及荒原、荒山、沙漠等土地管理使用办法也出现重大改革，一些地区开始试行长期有偿使用、转让、出租，因此也开始萌发了土地市场，形成了相应价格，从而为确定非城镇土地价格提供了最直接的依据。

在地质灾害风险评估的易损性分析中，如果评价区内各类土地已有政府部门制定的地价标准，可直接用于土地价格核算；如果评价区内的土地没有地价标准，可通过与其它地区同类土地地价标准类比方法核算土地价格；如果在类比中土地资源条件不完全相同，可根据土地资源条件采用修正系数进行调整。城镇土地资源条件主要包括区位条件与社会环境、交通环境、供水系统、动力系统、景观环境等（表 5-7）。农村和山区土地资源条件主要包括自然地理环境（海拔高度、地形高差、气候等）、交通环境、资源条件、地区经济水平与产业发展前景等。修正调整土地价格的一般模型是：

$$Y(j)_p = k \cdot y(j)_b$$

$$k = \sum_{i=1}^{n} Q_i \frac{p_i}{b_i}$$

式中：$Y(j)_p$——评价区单位面积土地价格；

k——修正系数；

$y(j)_b$——已有定价标准的其它地区同类土地的单价；

i——影响土地价格的因素；

Q_i——影响土地价格因素的作用权重；

P_i——评价区影响土地价格的某种因素的评判分值；

b_i——已有定价标准地区决定同类土地价格的某种因素的评判分值。

对于既没有土地价格参考信息，又难以通过比拟修正确定价格的土地，可根据土地的收益大致估算土地资源的价值。这种方法是把土地可能为人类创造的经济收益作为它的价格。土地收益由现实收益和潜在收益两部分组成。现实收益主要指依赖这块土地取得的各种产业收益和直接的环境收益。潜在收益主要指这块土地未来时期进一步开发利用可能取得的收益。各种收益可按我国一般长期租让土地的年限——40～50 年核算。

（3）地下水资源价值核算

表 5-7 城镇用地地价调整基本要素

用途	考 虑 因 素	权重
住宅用地	1. 景观环境：绿化美化、山水花鸟、视野、卫生、小区布局、市容、噪音、空气	0.2
	2. 交通环境：道路、停车场、公共交通工具、交通线路、交通建设规划、距市商业中心的交通方便程度	0.2
	3. 人文环境：学校、幼儿园、图书馆、博物馆、艺术馆、影剧院、体育场馆、娱乐场、公园、医院、保健室、活动场地	0.3
	4. 社区环境：人行道、煤气、热力、给排水、垃圾处理、消防、商店、粮店、生活服务点、菜场	0.3
生产用地	1. 运输设施：干线道路、港口、铁路等建设情况	0.25
	2. 电力、供水、排水系统	0.25
	3. 关联产业的相关位置	0.1
	4. 劳动力的来源及其交通状况	0.3
	5. 与生产紧密相关的土地自然因素：地质、水文、地形、地貌	0.1
营业用地	1. 地块条件：临街长度、深度、角地、地质、地貌	0.25
	2. 街道条件：街道宽度、与其他街道的相关位置	0.25
	3. 交通条件：交通设施、车站	0.10
	4. 商业群体：综合吸引力、竞争状态	0.3
	5. 顾客条件：顾客来源、流动人口、购买力	0.2
	6. 规划和管理规定：容积率、覆盖率、建筑密度、建筑高度	0.1

（据吕发钦，1993）

地下水资源价值核算是评估海水入侵灾害的重要内容。水是人类不可缺少的重要资源。不同地区水资源的丰欠程度和地下水资源的开发利用条件有很大不同，所以地下水资源价值相差悬殊。

根据需求定价和全成本定价原理，理论上水资源价值（价格）的核算公式为：

$$Y(j) = Y(j)_b - Y(j)_1$$

式中：$Y(j)$ ——评价区水资源价；

$Y(j)_b$ ——评价区水资源市场价；

$Y(j)_1$——供水成本及正常市场利润。

这个模型虽然在理论上是成立的，但目前在我国还难以普遍应用。这是因为现在我国不但没有形成水资源市场和相应的水资源价格体系，而且在全国范围基本上是无偿开发使用水资源，即使在实行水资源收费地区，水费价格特别低廉，远脱离水资源的实际价值。例如根据国家统计局公布的1994年几十个城市或地区的现行水价为0.2～0.8元/m^3、平均水价仅为0.59元/m^3；更多的地区至今还没有水价标准。

基于上述实际情况，可采用目标效益法和替代水资源开发成本法核算地下水资源价值（价格）。

目标效益法是根据评价区的经济规划，假设将地下水资源最充分、最合理地应用于产业活动所产生的效益称为目标效益；然后再假设评价区没有或失去相应的地下水资源条件下核算产业活动的可能效益；二者的差值再减去为获取效益增值而投入的其它方面成本，代替地下水资源价值（价格）。所谓最充分、最合理的开发利用地下水资源，是指对地下水资源得到最充分的开发，使评价区人民生活以及一产、二产、三产得到平衡发展，同时又能保障水资源环境质量基础上的地下水开发活动。

替代水资源开发成本法是假设评价区没有或者失去地下水资源情况下，为了保障现状水资源条件下人民生活和产业发展需要，采用替代水资源所需要增加的开发成本以及因此造成的其它损失。所谓替代水资源包括地表水资源或异地水资源等。可作为替代水资源的基本条件必须是可保障水源，即替代水源的水量充足，水质合格，用其替代评价区的地下水资源不至影响新的替代水资源开发地区的正常生活和社会经济发展，不会造成水资源环境恶化。

基本核算模型为：

$$Y(j) = (B_t - B_p) \cdot Q_m \cdot M_p$$

式中：$Y(j)$——评价区地下水资源价；

B_t——替代水资源开发利用成本；

B_p——评价区地下水资源开发利用成本；

Q_m——评价区地下水资源开采模数；

M_p——评价区面积。

不同核算方法可因地制宜选用，亦可采用几种方法相互补充验证。

二、受灾体密度与价值分布分析

受灾体数量密度与价值密度是指单位面积（每平方公里或等面积的一个评价单元）受灾体数量或受灾体价值。它们是标示受灾体密集程度的基本指标。

如前所述，在一般情况下，灾害危害范围内受灾体越多，价值越高，灾害的破坏损失

越严重。因此，在灾害风险评估中，不仅要统计受灾体的数量和价值，而且要分析它们的分布情况，这项工作乃是易损性评价的基础内容。

受灾体数量采用分类方法进行调查统计。在点评估和范围较小的面评估中，首先根据评估的精度要求，将评价区划分成面积相等的评价单元，然后采用全面实际调查或专项调查与抽样调查相结合的方法，统计各类受灾体数量，并计算受灾体密度。在此基础上，采用比较适宜的核算方法计算统计单元受灾体价值或单位面积的受灾体价值密度，并编制评价区受灾体价值分布图，直观地反映受灾体密度分布情况。

在范围较大的面评估和区域风险评估中，依据社会经济统计资料和专门性调查结果，首先进行受灾体分布区划。具体步骤是：以行政区域经纬度将评价区划分为若干评价单元；采用系统层次分析和灰色聚类分析等方法，确定分析指标，建立分析模型，计算单元受灾体密度指数；根据评价区密度指数变化幅度，划分指数等级，进行受灾体密度区划。在此基础上，在不同等级单元中选取典型样本进行抽样调查统计，核算其价值密度，并比拟到其它同类单元，反映全评价区的价值分布。

如前所述，15 种受灾体可归为三大类：人、资产、资源。在评估时，可根据实际需要进一步进行分类分析和综合分析。

第四节　受灾体损毁等级划分及价值损失率确定

一、受灾体损毁等级划分

1. 受灾体损毁等级划分的目的和原则

受灾体遭受灾害危害后所出现的破坏表现千差万别，在风险评估中，为了规范和统计受灾体破坏程度，根据不同受灾体的典型破坏表现，以等级的方式标志受灾体的损毁程度。受灾体损毁等级是对各类受灾体破坏程度的归类分析量化，借此可进一步确定受灾体价值损失率和灾害经济损失。

基于上述目的，划分受灾体损毁等级的基本原则是：

(1) 符合地质灾害破坏特点；

(2) 符合多数受灾体特点，便于不同受灾体之间的对比；

(3) 等级多少适宜，级差合理，便于操作；

(4) 不同等级与相应价值损失率具有比较普遍合理的对应关系。

2. 受灾体损毁等级划分标志

根据上述原则，将上节所列的 15 类受灾体的损毁程度均划为 3 级：其中人的生命健康分为轻伤、重伤、死亡；其它受灾体分为轻度损坏、中等损坏、严重损坏；为了论述方便将这 3 级损坏分别称为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级损坏。

各种受灾体不同损毁等级的基本标志如下。

(1) 人口伤亡

Ⅰ级轻伤：因灾受伤，但经专门治疗后基本痊愈，并恢复生产能力的人。

Ⅱ级重伤：因灾受伤，或致残，永久失去生产能力的人。

Ⅲ级死亡：因灾害直接造成死亡的人。

各级受灾人口中，既包括常住人口，也包括流动人口。

(2) 房屋损毁

Ⅰ级轻度损坏：个别承重构件损坏，部分非承重构件和附属构件发生不同程度的破坏，或房屋堆积少量崩滑流碎屑物，经一般性整修仍可正常使用。

Ⅱ级中等损坏：局部基础或部分承重构件损坏，大量非承重构件和附属构件破坏，堆积大量崩滑流碎屑物，但仍保持整体外形，需专门大修或部分翻修后才能继续使用。

Ⅲ级严重损坏：基础或50%以上的承重构件以及大量非承重构件严重破坏；严重开裂或倾斜；部分倒塌或全部倒塌；被大量崩滑流碎屑物掩埋，无法修复或修复费用达到重建费用。

(3) 公路损毁

Ⅰ级轻度损坏：路基出现小规模冲沟或发生局部下沉，路面出现少量裂缝，或局部被薄层崩滑流碎屑物覆盖，涵洞、防护工程及沿路设施局部损坏，一般车辆仍能行驶，经小规模整修可恢复正常使用。

Ⅱ级中等损坏：路基出现大量冲沟或发生严重下沉，路面出现大量裂缝、沉陷，或1/3以上宽度的路面被崩滑流碎屑物掩埋；涵洞、防护工程、沿路设施大量损坏，一般车辆无法正常通行，经专门修复后才能恢复使用。

Ⅲ级严重损坏：路基发生严重坍塌，路面严重开裂、陷落，或1/3以上宽度路面被大量崩滑流碎屑物掩埋；涵洞、防护工程、沿路设施严重损坏，各种车辆无法通行，交通完全中断，需要进行大规模的专门修复才能恢复使用。

(4) 铁路损毁

Ⅰ级轻度损坏：局部路基微量下沉，路堤边坡局部溜坍，轨道轻微变形，排水沟局部堵塞，电力设备、通信设备部分轻微损坏，涵洞及防护设施局部开裂、变形，但都未超出技术规范允许范围，机车仍能行驶，但需减速或减载，经一定规模维修后可完全恢复正常使用。

Ⅱ级中等损坏：路基下沉陷落，路堤、路堑滑坡，轨道变形，局部钢轨悬空，被大量崩滑流碎屑物掩埋，涵洞变形、开裂，电力设备、通信设备等严重损坏，机车不能行驶，铁路运输中断，但在48小时内能抢修恢复使用。

Ⅲ级严重损坏：路基、路堤、路堑垮塌，轨道严重变形或悬空，或被大量崩滑流碎屑物掩埋，涵洞、电力设备、通信设备等严重损坏，机车不能行驶，铁路运输中断，48小时以内无法修复恢复通车。

(5) 航道受阻

Ⅰ级轻度损坏：局部航道被崩滑流碎屑物淤塞，航道人工设施部分遭受破坏，正常航行受到影响，但未造成断航，经小规模清理修复可达到正常功能，恢复正常通航。

Ⅱ级中等损坏：航道被崩滑流碎屑物堵塞，形成险滩，人工航道设施大量破坏，一般船只不能通行，需经小规模清理修复才能恢复正常通航。

Ⅲ级严重损坏：航道被大量崩滑流碎屑物严重堵塞，形成大规模险滩，大量航道设施严重破坏，所有船只不能通行，需经特大规模清理修复才能恢复正常通航。

(6) 桥梁损毁

Ⅰ级轻度损坏：桥面、梁体、墩台发生轻微下沉、开裂、变形，或被少量崩滑流碎屑物覆盖，但一般车辆减速或减载后仍能通行，经小规模修复后可恢复正常使用。

Ⅱ级中等损坏：桥面、梁体、墩台发生下沉、开裂、变形，或被大量崩滑流碎屑物覆盖，或桥梁强度、稳定性降低到规范允许值以下，需经过大规模专门修复整治才能达到正常使用要求。

Ⅲ级严重损坏：桥面、梁体、墩台等严重开裂、沉陷、变形，垮塌或部分垮塌，难以修复，或修复费用达到重建费用。

(7) 生命线工程损毁

Ⅰ级轻度损坏：线杆、塔架等倾斜，管线位移，功能稍有下降或局部受阻，经小规模检查修理可恢复正常使用。

Ⅱ级中等损坏：线杆、塔架等倾斜或倒伏，输电线局部拉断，地下管线明显位移、变形、开裂或局部错断，功能受损，供水、排水、供电、供气、通信受阻或中断，经专门检查修理后才能正常使用。

Ⅲ级严重损坏：线杆、塔架等大量倾倒，输电线严重拉断，地下管线严重位移、变形、开裂、错断，功能严重受损或完全丧失，供水、排水、供电、供气、通信中断，需经大规模的专门检查修复或重建后才能恢复。

(8) 水利工程损毁

Ⅰ级轻度损坏：堤坝出现少量小规模裂缝，总体上无明显沉降，功能基本正常，渠道、机井稍有变形或淤塞，经小规模修复可完全恢复功能。

Ⅱ级中等损坏：堤坝出现大量裂缝，局部发生沉降、陷落、凸起，发生小规模渗漏、散浸，但没发生垮落、溃决；渠道、水井发生变形、淤塞，需进行较大规模的专门修复才能恢复使用。

Ⅲ级严重损坏：堤坝基础失稳，主体出现大量裂缝或严重变形，整体发生沉降、陷落、凸起，出现严重渗漏、鼓水或发生垮落、溃决；渠道、水井严重变形或严重淤埋，功能严重受损或基本丧失，难以修复或修复费用达到重建费用。

(9) 生活与生产构筑物损毁

Ⅰ级轻度损坏：基础基本完好，个别构件或部件发生破坏，整体功能或性能基本完好，经一般维修仍可继续正常使用。

Ⅱ级中等损坏：基础发生轻微变形，部分构件或部件发生变形、开裂等破坏，但构筑物整体基本完整，功能或性能受到明显损害，需要进行较大规模的专门维修或部分翻修、重建、更换后才能恢复使用。

Ⅲ级严重损坏：基础发生严重变形、沉陷，大部分构筑物或部件破坏，或发生严重倾斜、折断以至倒塌，无法修复或者修复费用达到重建费用。

(10) 室内设备及物品损毁

Ⅰ级轻度损坏：机械设备、仪器、仪表、工具、物品的外观和性能局部受损，但整体外观和性能基本完好，经小规模维修后仍可正常使用。

Ⅱ级中等损坏：机械设备、仪器、仪表、工具、物品外观严重损坏，部分重要构件(零件)破坏，功能或性能明显受损，需经过专门性维修才能恢复使用。

Ⅲ级严重损坏：机械设备、仪器、仪表、工具、物品外观和大部分构件(零件)严重破坏，功能或性能严重受损或基本丧失，难以修复或修复费用达到重置费用。

(11) 农作物受损

Ⅰ级轻度受损：农作物生长受到一定影响，估计减产比率5%～30%。

Ⅱ级中等受损：农作物生长受到明显影响，估计减产比率30%～70%。

Ⅲ级严重受损：农作物生长受到严重影响，估计减产比率大于70%。

(12) 林木受损

Ⅰ级轻度受损：少量树木被冲毁、折断、淤埋，受损率5%～30%。

Ⅱ级中等受损：部分树木被冲毁、折断、淤埋，受损率30%～70%。

Ⅲ级严重受损：大量树木被冲毁、折断、淤埋，受损率大于70%。

(13) 土地资源损毁

Ⅰ级轻度受损：因灾害造成耕地凹凸不平或局部积石淤沙；土地现实价值或潜在价值损失5%～30%。

Ⅱ级中等受损：因灾造成耕地严重凹凸不平，或大量积石淤沙；土地现实价值或潜在价值损失30%～70%。

Ⅲ级严重受损：因灾使耕地变为荒滩，土地现实价值或潜在价值损失70%以上。

(14) 地下水资源受损

Ⅰ级轻度受损：地下水水质稍有劣化，但仍可供人畜饮用和农业灌溉及一般工业供水。

Ⅱ级中等受损：地下水水质明显恶化，人畜不能饮用，尚可供某些农作物灌溉和某些企业供水。

Ⅲ级严重受损：地下水水质严重恶化，人畜不能饮用，亦不能供农业灌溉和工业供水，基本丧失开发利用价值。

(15) 其它受灾体受损

比照上述同类受灾体划分损毁等级。

二、受灾体价值损失率及其与地质灾害危害强度的依存关系

受灾体价值损失率是指受灾体遭受灾害破坏损失的价值与受灾前受灾体价值的比率。在实际评估中，受灾体价值损失率是核算期望损失的重要数据，因此是易损性评价的重要内容。

受灾体价值损失是由于受灾体构件（零件）、性能（功能）发生破坏而产生的。在灾害发生以后的灾情评估中，我们可以通过对受灾体的调查，根据受灾体的实际损毁程度，评估核算受灾体的价值损失额和价值损失率。但在以期望损失为基本目标的灾害风险评估中，只能根据受灾体遭受某种强度的地质灾害危害时可能发生的破坏程度，分析预测受灾体的价值损失额和价值损失率。

在上面我们把受灾体划分为15种，并将它们的损毁程度均划分为轻度损坏、中等损坏、严重损坏三个等级。划分受灾体损毁等级的目的是进一步确定受灾体损毁程度与价值损失率的关系，从而使对受灾体破坏程度的定性描述转化为定量的价值标志。这种分析虽然在地质灾害评估中还无前例，但在地震灾害、洪涝灾害等评估中已进行了大量尝试。这些研究成果表明，受灾体价值损失率与受灾体损毁程度（等级）呈不同形式的正相关关系。结合地质灾害特点，根据有关研究成果对房屋、铁路、公路、桥梁等主要受灾体损毁价值损失率进行的统计分析，同时参考其它自然灾害的研究成果，初步建立了地质灾害受灾体损毁程度与受灾体价值损失率的对应关系：完好与基本完好，价值损失率0；轻微损坏，价值损失率0～30%，平均15%；中等损坏，价值损失率30%～70%，平均50%；严重损坏，

价值损失率70%～100%，平均85%。这些数据可作为灾害评估的参考值，具体应用时可根据实际情况在区间内取值，或者作必要的修正；在难以获取实际资料情况下，可采用平均值。

受灾体损毁程度和价值损失率除了与受灾体抗破坏能力有关外，主要受地质灾害危害强度控制，二者呈明显的正相关关系：地质灾害的危害强度越高，受灾体损毁越严重，价值损失率越高。

在地质灾害危险性评价中，我们把各种地质灾害危害强度划分为轻度危害区、中等危害区、严重危害区。很显然，不同危害区内受灾体的损毁程度和价值损失率不同。分析它们的依存关系，就可以在危险性评价的基础上，大致界定不同地区受灾体的价值损失率，进而核算评价区地质灾害的期望损失。

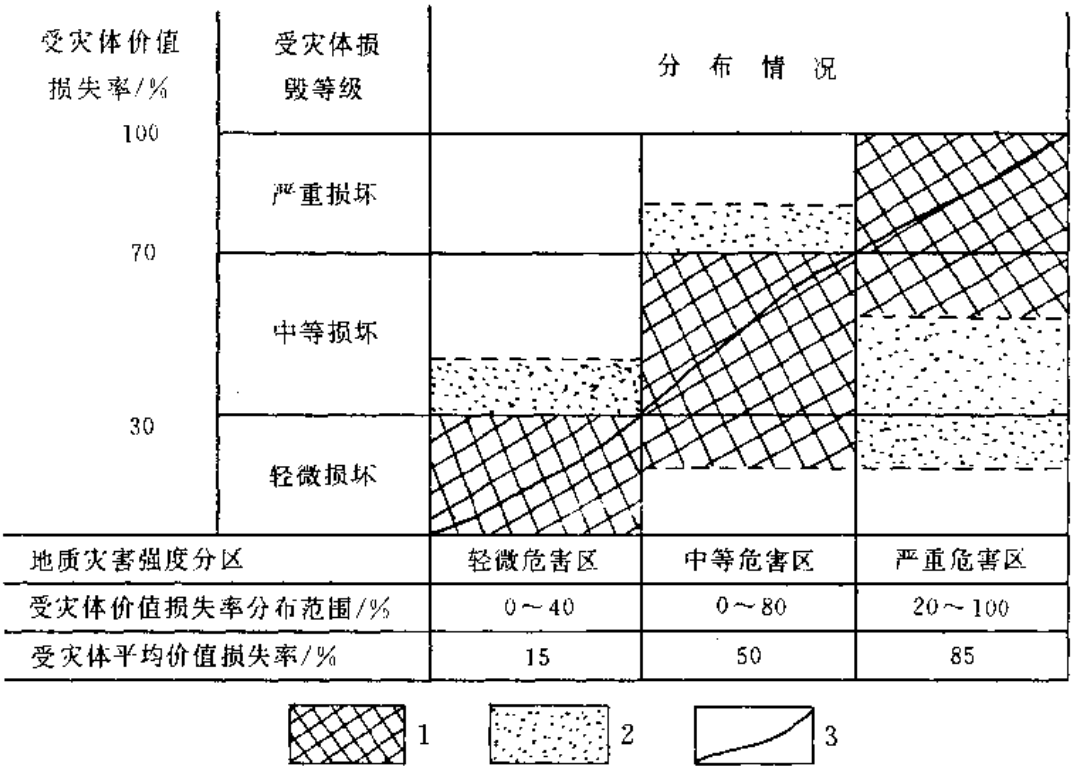
基于上述目的，根据对典型评估实例的研究和对大量地质灾害历史灾例的统计分析，主要受灾体损毁等级、价值损失率与地质灾害危害强度的对应关系，可以大致分为以下4种类型。

第一类是“标准”型。受灾体损毁程度及价值损失率与地质灾害危害强度同级次递变。地质灾害安全区（非危害区）对应于受灾体完好或基本完好；轻度危害区对应于轻度损坏；中等危害区对应于中等损坏；严重危害区对应于严重损坏。相应的受灾体平均价值损失率分别为0、15%、50%、85%。房屋、铁路、公路、桥梁、生命线工程、水利工程、构筑物损毁程度与崩塌-滑坡、泥石流危害强度之间，地下水资源破坏程度与海水入侵灾害危害强度之间基本属于这种类型。

第二类是非标准的不等级递变型。受灾体损毁程度及价值损失率与地质灾害危害强度呈同向变化，但二者级次并不严格对应，通常受灾体损毁程度等级低于地质灾害危害强度等级，因此各级次地质灾害危害强度分区的受灾体平均价值损失率低于相应的“标准值”。房屋、铁路、公路、桥梁、生命线工程、水利工程、构筑物损毁程度与地裂缝、岩溶塌陷、膨胀土灾害危害强度之间属于这种关系、根据实际调查统计，这些灾害的轻度危害区、中等危害区、严重危害区对上列受灾体所形成的平均价值损失率大致分别为2%、15%、30%。农作物损毁程度与崩塌-滑坡、泥石流灾害危害强度之间也属于这种关系，这些灾害对轻度危害区、中等危害区、严重危害区对农作物所形成的平均价值损失率大致分别为5%、25%、50%。

第三类是不完全确定型。受灾体损毁程度及价值损失率虽然随着地质灾害危害强度的升高而加大，但由于受灾体价值损失程度除了受地质灾害危害强度控制外，还与其自身的条件以及其它一些因素有很大的关系，所以受灾体价值损失的变化非常复杂，很难找出它与地质灾害危害强度的普遍性对应关系，只能根据评价对象的具体情况进行具体分析。属于这种类型的受灾体主要是土地资源及航道破坏与价值损失，其次是种类繁多，性状各异的设备、物资、室内财产的破坏程度及价值损失，它们很难用相对统一的模式或数值反映它们的受灾情况。

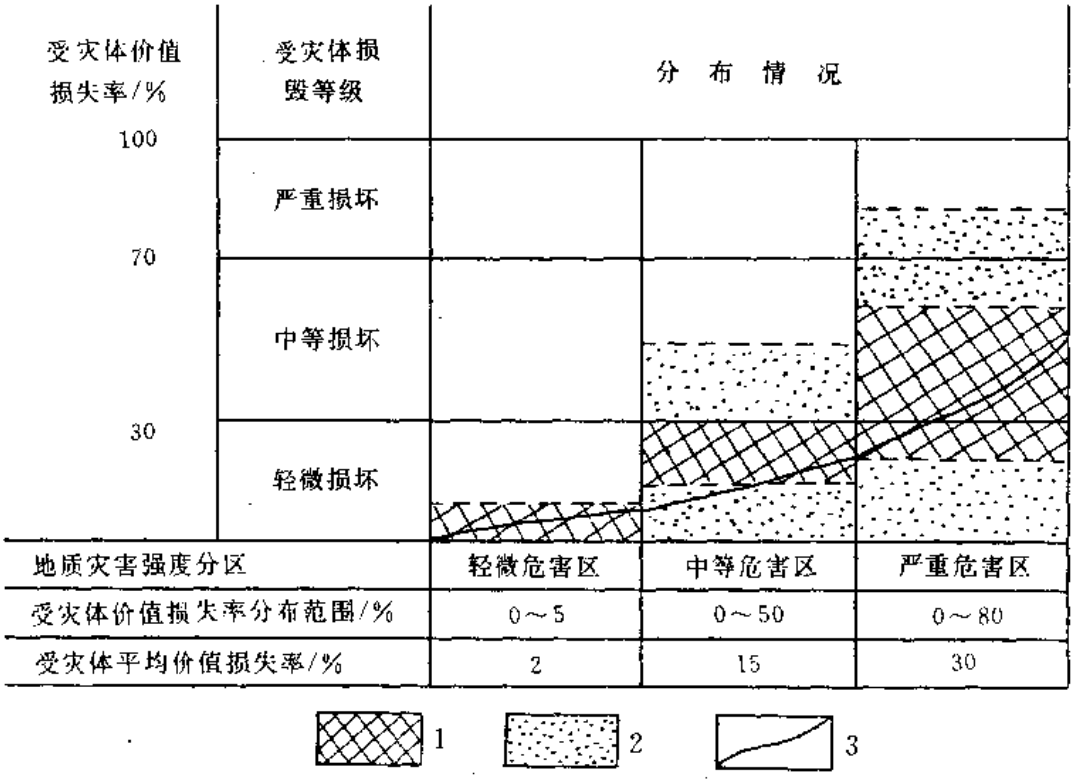
第四类是基本无关型。即某类受灾体基本不会受到某种地质灾害的危害。该类型包括的范围比较广泛。主要有：房屋、铁路、公路、桥梁、生命线工程、水利工程、构筑物等各类工程设施与海水入侵；农作物、林木与地裂缝、地面沉降、膨胀土；地下水资源与海水入侵以外的其它地质灾害等基本属于这种类型。



地质灾害强度分区	轻微危害区	中等危害区	严重危害区
受灾体价值损失率分布范围/%	0～40	0～80	20～100
受灾体平均价值损失率/%	15	50	85

图 5-1 房屋、铁路、公路、桥梁、生命线工程、水利工程、构筑物价值损失率与崩塌-滑坡、泥石流灾害危害强度依存关系图

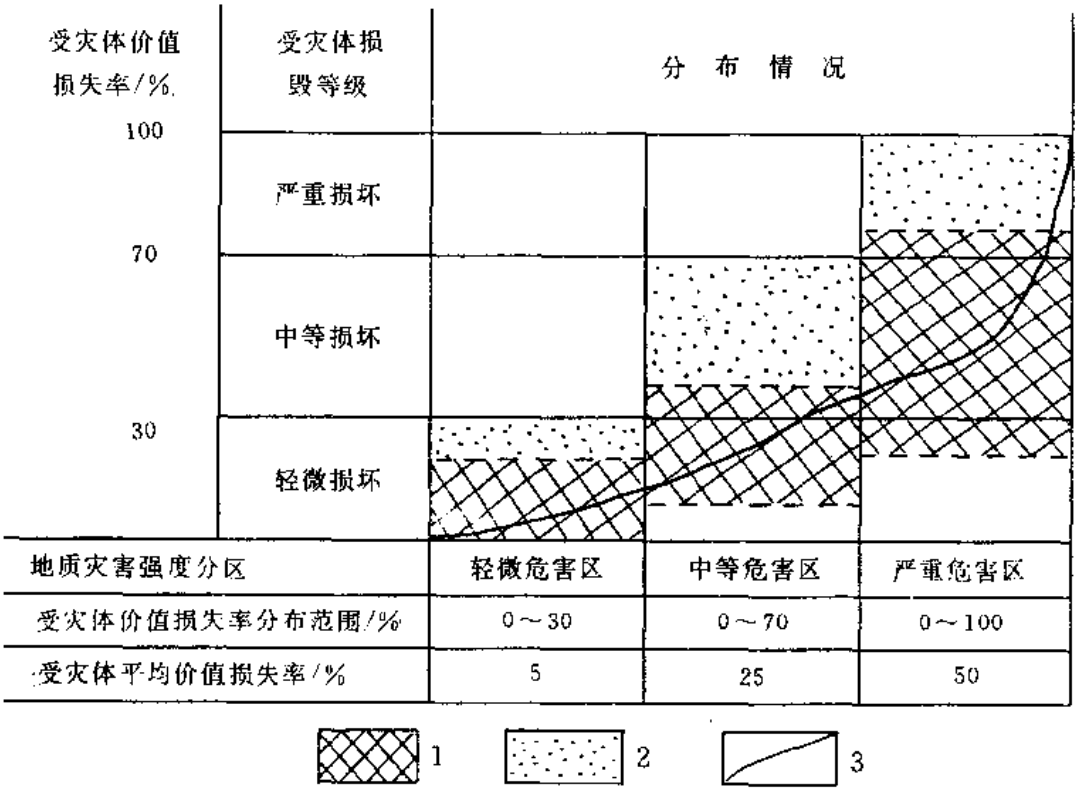
1—大量分布；2—少量分布；3—相关曲线



地质灾害强度分区	轻微危害区	中等危害区	严重危害区
受灾体价值损失率分布范围/%	0～5	0～50	0～80
受灾体平均价值损失率/%	2	15	30

图 5-2 房屋、铁路、公路、桥梁、生命线工程、水利工程、构筑物价值损失率与岩溶塌陷、地裂缝、膨胀土灾害危害强度依存关系图

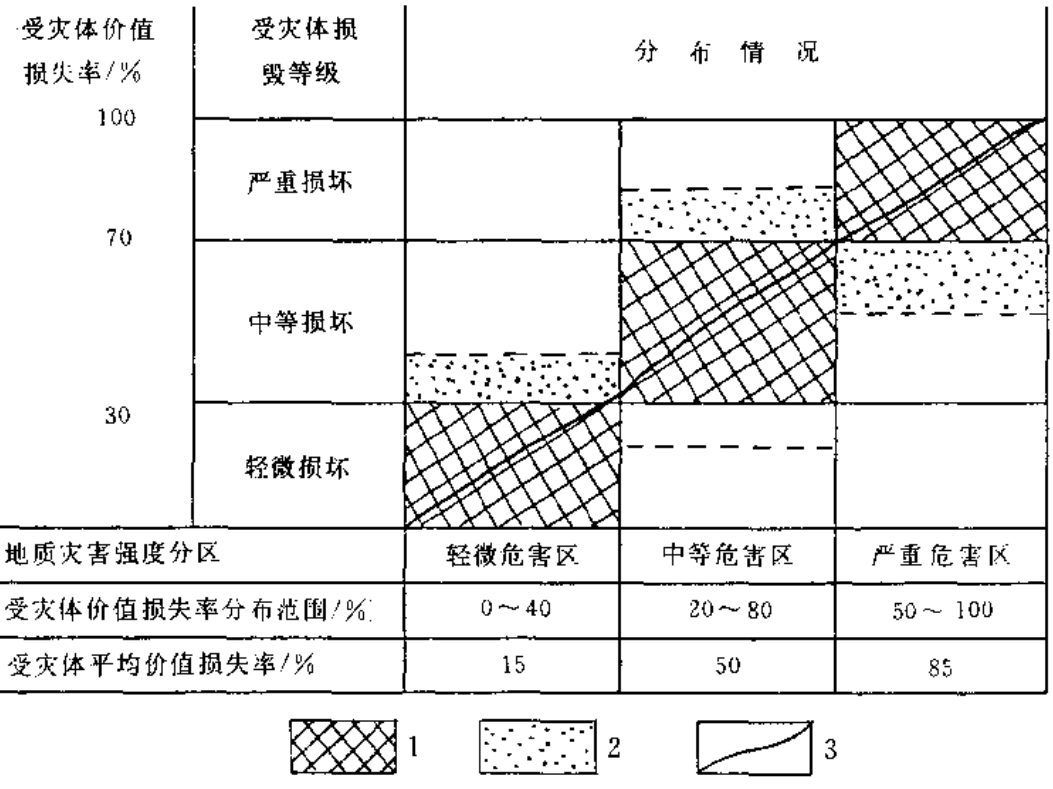
1—大量分布；2—少量分布；3—相关曲线



地质灾害强度分区	轻微危害区	中等危害区	严重危害区
受灾体价值损失率分布范围/%	0～30	0～70	0～100
受灾体平均价值损失率/%	5	25	50

图 5-3　农作物价值损失率与崩塌-滑坡、泥石流灾害危害强度依存关系图

1—大量分布；2—少量分布；3—相关曲线



地质灾害强度分区	轻微危害区	中等危害区	严重危害区
受灾体价值损失率分布范围/%	0～40	20～80	50～100
受灾体平均价值损失率/%	15	50	85

图 5-4　地下水资源价值损失率与海水入侵灾害危害强度依存关系图

1—大量分布；2—少量分布；3—相关曲线

受灾体的损毁情况十分复杂，要想准确地界定各类受灾体在遭受不同灾害破坏情况下的价值损失率，需要进行大量的灾例分析和相应的统计工作。本书提出部分受灾体的价值损失率的参考值（图 5-1、5-2、5-3、5-4），在实际应用时，应根据具体情况确定损失率。

第六章　地质灾害破坏损失评价

第一节　地质灾害破坏损失构成

随着人类科学技术水平的提高和社会经济的发展，人类活动范围和领域不断扩大，自然灾害对人类的影响也越来越广泛。概括起来归结为4个方面：对人类生命产生影响，即造成人口死亡、肢体受伤、精神和心理受到伤害；对经济产生影响，使人类创造的财产以及各种生产活动遭到破坏；对社会产生影响，妨碍社会进步，甚至影响社会安定；对资源与环境产生影响，破坏土地资源与环境，破坏水资源与水环境，破坏生态资源与环境等。基于这些表现，自然灾害的破坏损失由各种破坏效应所组成，即生命损失、经济损失、社会损失、资源与环境损失（图6-1）。

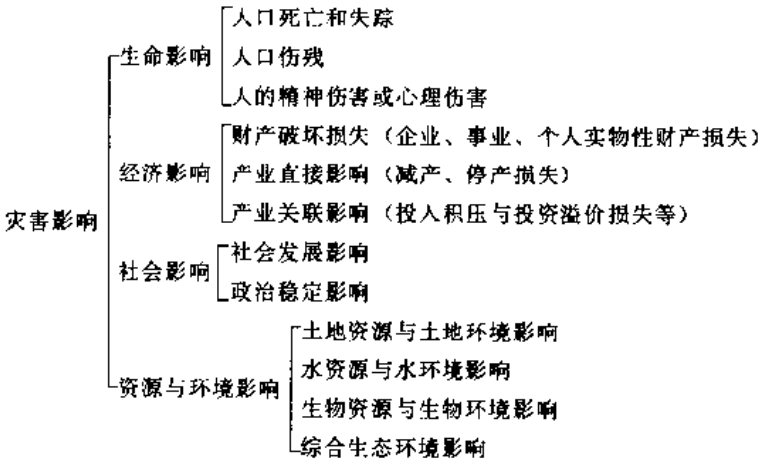


图6-1　自然灾害对人类的影响

地质灾害是自然灾害的重要组成部分。自然灾害的4类破坏损失在地质灾害身上都有不同程度的体现。因此，从广泛意义上说地质灾害的破坏损失也由生命损失、经济损失、社会损失、资源与环境损失构成。

从地质灾害的这几种损失与人类的关系程度和它们的可量化程度看，生命损失和经济损失对人类不但具有最直接的关系，而且比较容易进行量化统计评价，社会损失和资源与环境损失虽然对社会经济发展也具有重要作用，但主要表现为间接作用，而且这两种损失目前还难以进行量化统计评价。

与其它自然灾害相比，地质灾害虽然也可以造成一定的生命损失，但较洪水、地震等灾害要轻微得多，而且随着今后地质灾害防治力度和监测预报水平的提高，地质灾害伤亡人数还将减少。基于上述认识，我们将经济损失作为评估的主要内容，其它方面的破坏损

失，能直接转化为经济损失的亦纳入评估范围。

自然灾害经济损失是指用货币形式量度的自然灾害对人类所造成的破坏损失程度。目前对自然灾害经济损失的范围有多种看法，有人认为自然灾害的4方面破坏作用都可以用货币形式进行量度，所以都属于经济损失；有人认为除社会影响外，其它灾害破坏效应都可以用货币形式进行量度，所以属于经济损失；有人认为自然灾害的社会影响和资源环境破坏都难以用货币形式量度，所以这两方面破坏损失都不属于经济损失；有人认为人类生命健康是无价之宝，不能用货币形式进行量度，所以也不属于经济损失；有人认为自然灾害经济损失分为直接经济损失和间接经济损失——受灾体受灾害直接破坏后所形成的经济损失为直接经济损失，如房屋、铁路、公路等工程设施破坏所造成的经济损失等；因受灾体发生破坏进一步造成的关联性损失为间接经济损失，如因房屋、铁路、公路、设备等破坏造成企业停工停产所形成的经济损失等。

由于不同地质灾害的破坏对象不同，所以经济损失构成不同：崩塌-滑坡、泥石流破坏范围最广，几乎涉及各类受灾体；地裂缝、岩溶塌陷、地面沉降灾害经济损失主要表现为工程设施和土地价值损失；海水入侵灾害经济损失主要为地下水资源价值损失；膨胀土经济损失主要为工程设施增加的基础成本（图6-2）。

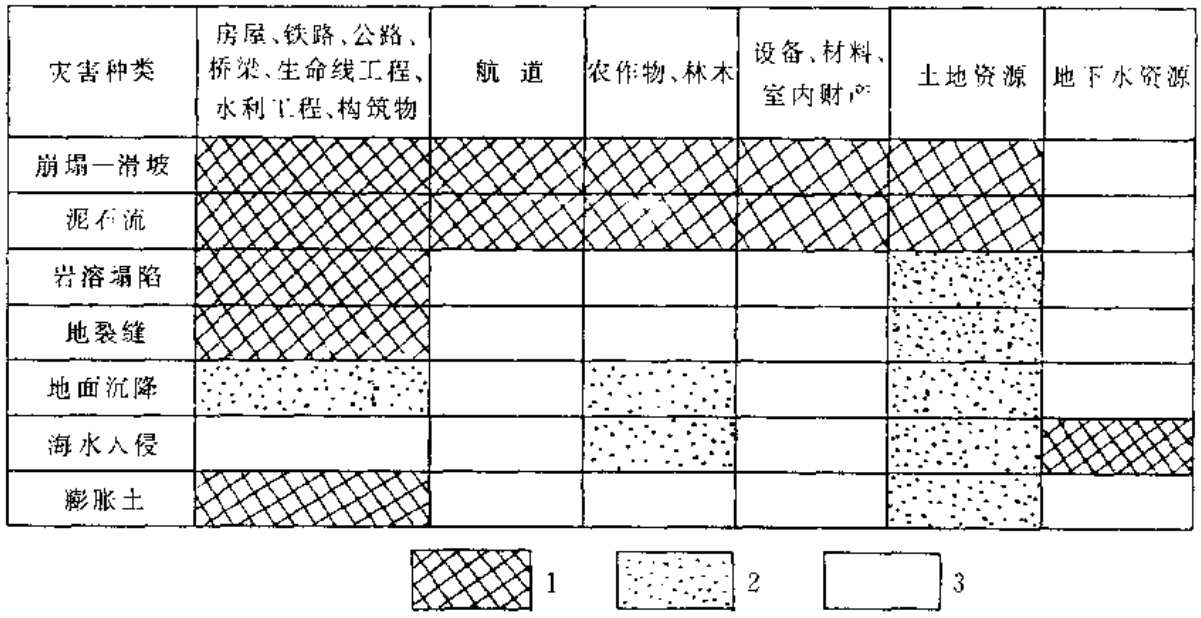


图6-2 地质灾害经济损失构成示意图

1——明显损失；2——一般损失；3——基本无损失

第二节 地质灾害破坏损失评价方法

一、地质灾害破坏损失评价内容

基于上述认识，把定量化分析地质灾害经济损失程度的过程称为地质灾害的破坏损失评价。它是在地质灾害危险性评价和易损性评价基础上进行的，即在地质灾害活动概率、破

坏范围、危害强度和受灾体损毁程度分析基础上，进一步研究地质灾害的经济损失构成，分析经济损失程度和分布情况。

表征地质灾害经济损失的基本指标是用货币形式反映的绝对损失和相对损失。绝对损失是指一次事件或一个地区某时段内地质灾害活动所造成的经济损失。其量度单位除了元、万元、亿元外，为了便于不同地区之间的对比，还采用损失模数或损失强度（即单位面积的损失额）反映地质灾害的经济损失程度，其量度单位为元/m^2、万元/km^2、亿元/km^2等。相对损失是指一次灾害事件或一个地区某一时段内地质灾害所造成的经济损失与同地区同类财产价值的比值，或者是灾害造成的经济损失与同地区年度生产总值（或财政收入）的比值，其量度单位为小数或百分数。

地质灾害破坏损失评价的直接目标就是核算上述指标值，并且分析和评述这些指标在评价区内的分布情况。

二、地质灾害破坏损失评价方法

1. 受灾体价值损失核算

地质灾害经济损失主要是由受灾体价值损失形成的，所以核算受灾体价值损失是地质灾害破坏损失的基础。

由于不同受灾体遭受灾害破坏后的价值损失形式不同，所以价值损失核算的途径不同，大致可分为三种方法。

（1）成本价值或修复成本价值损失核算

以受灾体成本价值为基数，根据其灾损程度或者修复成本、防灾成本投入核算受灾体的价值损失。房屋、铁路、公路、桥梁、生命线工程、水利工程、构筑物、设备及室内财产等绝大多数受灾体均适宜采用该方法核算价值损失。核算的基本模型为：

$$\text{受灾体价值损失} = \text{受灾体成本价值} \times \text{受灾体价值损失率} \tag{1}$$

$$\text{受灾体价值损失} = \text{受灾体修复成本} \tag{2}$$

$$\text{受灾体价值损失} = \text{实施有效防御措施情况下的受灾体成本价值} - \text{无灾害防御情况下同一受灾体的成本价值} \tag{3}$$

公式（1）适用于已经建成的而没采取专门性防灾措施的工程和已经制造的设备、物品的价值损失核算，式中的受灾体成本价值为受灾前的现实价值。

公式（2）适用于那些灾损程度较低，且易于修复的受灾体的价值损失核算。在这里，用修复成本代替受灾体价值损失。应该说明的是，有的受灾体遭到灾害破坏后，经过修复可基本恢复灾前的性状和功能，此时，修复成本即相当于受灾体价值损失。而有的受灾体受某种程度的灾害破坏后，经过维修只能部分恢复性状和功能，此时其价值损失除维修成本外，还应包括维修后因没有恢复原有性能而形成的价值损失。

公式（3）适用于两种情况：一是已经建成的并采取了专门防灾措施而且保障能达到防灾效果的工程设施、设备、物品等的价值损失核算；二是没有建设或制造的工程设施、设备、物品。运用该式核算出的受灾体价值损失实质上是为有效防灾而增加的建设生产成本或防灾的专门投入。对于已建工程或已有物品，式中的成本均为现实成本，对于尚没有建造的工程或物品，式中的成本均为影子成本。影子成本价值损失主要适用于具有明显潜在破坏作用的灾害活动的经济损失评估，其中以膨胀土灾害最为典型。如前所述，膨胀土主

要危害工程设施，但只要查明建筑场地的工程地质条件，采取一定措施，就可以有效地避免它的危害。因此，在评价膨胀土灾害损失时，以防治措施的投入代替因灾害造成的损失；对于没有实际形成的工程建筑，则根据建设可能，假设在一定规模工程条件下，采取影子工程价值法核算防灾投入，并用其代替膨胀土灾害损失。

(2) 收益损失核算

以受灾体的可能收益为基数，根据其灾损程度核算受灾体价值损失。该方法主要适用于农作物等价值损失核算。如农作物受灾后的直接表现是受到挫折或者死亡、毁灭，其最终后果是农作物减产或绝收。由于农作物生长严格受时令季节的影响，所以农作物受灾后不仅使农民已经投入的成本受到损失，而且更重要的是耽误农时，使农作物收益受到损失。因此在灾害评估中，以农作物收益损失代替灾害所造成的经济损失。一般核算模型为：

农作物价值损失＝无灾情况下农作物收益价值×农作物减产比率

(3) 成本-收益价值损失核算

以受灾体的成本和收益价值为基数，根据其灾损程度核算受灾体价值损失。该方法主要适用于土地资源和地下水资源价值损失核算。如前所述，这两种受灾体都属于自然资源，目前在我国还没有形成产业市场，所以目前还没有完善的科学方法核算它们的价值和价值损失。在这种情况下，如同在易损性评价中核算土地资源和地下水资源价值一样，采取某些变通的方法核算其价值损失。

如前所述，土地价值的高低主要取决于自然条件和社会经济条件。在自然条件中，灾害威胁程度是决定性因素之一。实践表明，在同一城镇或地区，由于地质灾害危险性程度不同，土地的开发条件和利用价值相差巨大。在崩塌（危岩）、滑坡、泥石流以及地裂缝、岩溶塌陷发育区，不适宜商贸、住宅等建设，只能用于绿化用地；在海水入侵区不适宜住宅建设和企业建设以及其它建设，因此土地利用价值受到很大影响。在不同城镇或地区，地质灾害活动程度除了影响工程建设和资源开发、经济发展外，直接影响内外资金的吸收和地价水平。在地质灾害多发城镇和地区，投资风险大，开发项目受到很大限制，所以地价水平明显低于无灾害威胁的同类城镇或地区的地价水平。基于这种情况，可采用地价差值代替地质灾害所造成的土地价值损失。即根据评价区的现行地价（基准地价或出让、租用地价）与其它同类条件但无灾害威胁地区（地段）地价相比较，以二者的差值作为土地价值损失。不同地区的土地价值实质上是其成本价值和效益价值的综合体现。其成本价值包括为建设交通、能源、通讯设施等投入的费用；其效益价值包括可能的商贸效益、工业效益、农业效益、旅游效益等。地质灾害所造成的土地价值损失，则是这些价值损失的综合结果。

地下水资源价值损失则根据其成本价值损失和效益价值损失直接进行核算。成本价值损失是假设因地质灾害（海水入侵灾害）使地下水资源遭到破坏后，从其它途径为获取等量的与灾前同质量水资源所需要增加的开发成本作为地下水资源的价值损失。或者以地下水资源因海水入侵灾害而遭到破坏后，在农业、工业等方面减少的收益作为地下水资源的价值损失。

2. 历史灾害破坏损失评价

历史灾害破坏损失评价是指对已经发生的地质灾害的经济损失进行统计分析。评价的基本方法是调查统计。对于成灾范围较小，受灾体数量较少的地质灾害事件，可以对所有

受灾体进行实际调查，评估灾前价值，并根据其实际破坏情况，逐一确定损毁程度和价值损失率，然后按下式核算灾害经济损失：

$$S(l) = \sum_{i=1}^{n} J_i J_{si}$$

式中：$S(l)$ ——灾害事件经济损失；

J_i——某个受灾体灾前价值；

J_{si}——该受灾体因灾价值损失率。

如果成灾范围比较大，受灾体数量比较多，难以对受灾体进行逐个调查时，可采用分类调查统计或抽样调查统计方法核算灾害事件的经济损失。具体步骤是：根据易损性给出的分类标准，划分受灾体类型，通过全面调查或抽样调查，统计不同类型、不同损毁程度的受灾体灾前价值和损毁数量，然后按下式核算灾害事件的经济损失：

$$S(l) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} J(d)_i \cdot L_{ij} \cdot J_{sij}$$

式中：$S(l)$——灾害事件经济损失；

$J(d)_i$——i 类受灾体灾前平均单价；

L_{ij}——i 类受灾体发生 j 级损毁的数量；

J_{sij}——i 类受灾体发生 j 级损毁时平均价值损失率；

i——受灾体类型；

j——受灾体损毁等级。

一个地区某一时段内地质灾害经济损失相当于该地区该时段内各次地质灾害事件经济损失之和。即：

$$S_{区} = \sum S_{次}$$

式中：$S_{区}$——评价区地质灾害经济损失；

$S_{次}$——地质灾害事件经济损失。

以上核算得出的是地质灾害的经济损失额，即是以货币单位量化的绝对损失。

为了更加全面地反映地区地质灾害的损失程度和损失分布情况，可以行政区为单元，调查统计灾害经济损失，然后按下式计算出损失模数：

$$S_m = \frac{s}{m}$$

式中：S_m——损失模数（万元/km²）；

s——损失额（万元）；

m ——面积（km²）。

在此基础上可编绘评价区地质灾害损失模数分布图，直观地显示地质灾害损失的区域分布情况。

为了反映地区地质灾害的相对损失程度，可以计算全评价区及区内行政单元的地质灾害损失比，其值相当于地质灾害经济损失与同区域国民生产总值（或财政收入）的比值，在此基础上可编绘评价区地质灾害相对损失分布图，直观地反映地质灾害相对损失的分布情况，间接地显示评价区抗灾能力和可恢复能力。

3. 地质灾害期望损失评价

为了有效地防治地质灾害，减灾管理部门不仅需要及时掌握已经发生的灾害事件的灾情，而且需要了解本地区灾害损失水平和未来的发展情况。因此，地质灾害评估除了要对历史灾害经济损失进行统计分析外，而且应该对评价区未来时期地质灾害的损失程度作出分析评价。

如前所述，从总体上看，地质灾害属于随机事件，无论是已经发生活动的灾害体还是尚未发生活动的潜在灾害体，未来时期会不会发生活动，活动的频次和规模如何，所造成的破坏损失多大等都具有很大的不确定性，所以对未来灾害可能造成的经济损失只能在危险性评价和易损性评价基础上核算灾害可能损失的平均值，即期望损失，并根据期望损失的空间变化，分析评价区期望损失的地区分布特点。

(1) 点评估地质灾害期望损失评价

不同地质灾害的成灾过程和损失构成不同，期望损失的评价方法不一。可划分为下列三种。

①应用概率方法核算突发性地质灾害期望损失

这里所说的突发性地质灾害指的是崩塌-滑坡、泥石流、岩溶塌陷。进行评估的对象都是那些已经具备灾害活动的基础条件，或者已经出现潜在灾害体的雏形，甚至在历史上发生频繁活动的灾害点。这些对象今后发生活动的可能性主要取决于灾害基础条件的进一步成熟和激发因素的出现。因此把这些灾害活动看作是一种概率事件，应用概率预测方法核算灾害期望损失。基本步骤是：根据历史地质灾害活动规律以及地质灾害基础条件和激发条件的充分程度，分析地质灾害的活动频率以及不同频率下的地质灾害的可能危害范围和危害强度；按照易损性评价中提出的方法核算受灾体价值以及不同强度危害下受灾体的价值损失率；然后按下式计算灾害期望损失：

$$S(q) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} G_{ij} \cdot J_{sij} \cdot J(d)_i \cdot L_{ij}$$

式中：$S(q)$——灾害事件期望损失；

i——受灾害事件危害的受灾体类型；

j——受灾体损毁程度等级；

G_{ij}——评价区（或评价单元）第i类受灾体遭受一定强度灾害危害后发生j级破坏的概率；

J_{sij}——i类受灾体发生j级破坏情况下的价值损失率；

$J(d)_i$——i类受灾体平均单价；

L_{ij}——i类受灾体发生j级破坏的数量。

各种参数按照危险性评价，易损性评价中提供的分析方法确定。

②应用趋势预测方法核算缓发性地质灾害的期望损失

这里所说的缓发性地质灾害指的是地面沉降、海水入侵和地裂缝灾害等。与崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害相比，它们不但发生过程缓慢，而且成灾活动具有长期性、累进性特点。这些灾害的评估对象几乎都是已经发生一定规模的灾害分布区，评估目的除了认识现状灾害损失外，重要的是评价今后伴随灾害活动的进一步发展所造成的可能损失。

从灾害活动特征看，地面沉降等缓发性地质灾害虽然也是具有一定的随机性，但不属于概率事件。这是因为它们一方面活动时间漫长，另一方面这些灾害活动及其破坏损失程

度不仅受自然条件影响，而且强烈地受人为活动或社会经济条件的约束。在这种情况下，未来灾害损失可能出现不同的趋向：现状约束条件下的历史自然趋势；目标约束条件下的控制趋势。

现状约束条件下的自然趋势是指评价区自然条件和人为条件不发生显著变化情况下灾害损失的发展可能。对此可以在对历史灾情进行调查统计基础上采用自然趋势预测方法评价灾害的期望损失。其基本原理是假设在未来预测时段内，评价区的灾害损失基本上沿袭历史损失的变化趋向与速率稳定发展，因此在对历史灾情调查统计后，可绘制灾害损失与时间变化曲线，根据曲线类型，判断二者的依存关系，建立相应的预测模型，然后进行灾害损失预测，评价灾害期望损失。

灾害损失与时间变化的最简单情况是灾害破坏损失随时间以均匀速率持续增长。此时的预测模型为：

$$S(q)=\frac{\sum_{t=1}^{n}S(t)_0(1+\Delta S_t)^t}{t}$$

式中：$S(q)$ —— 预测时段灾害期望损失；

$S(t)_0$——现状条件下预测起始年灾害经济损失；

ΔS_t——现状条件下年均灾害经济损失变化速率；

t——预测时段年限。

该模型是采用现状经济损失为基础，直接预测评价灾害经济损失。当预测灾害活动变化区与现状灾害危害区财产分布或价值密度相差较大时，应将该经济损失预测模型首先变换成灾害危害范围预测模型，然后再根据预测范围内的受灾体价值分布及预期损失率核算灾害期望损失。

当然，并不是所有的灾害都具有等速发展规律，灾害与时间之间除了线性关系外，还可能有指数增长关系以及 S 增长关系、累计增长关系等多种形式，对此可分别采用不同的方法或模型进行预测评价，最终得到灾害的期望损失。

预测评价的具体方法不同，但基本步骤一致：首先对历史灾情进行调查统计，绘制灾害损失（或面积）与时间关系曲线；判断相关类型、建立预测模型，必要时进行坐标变换，使模型简化；确定有关参数，进行灾害预测；根据灾害预测结果，计算灾害期望损失，评价期望损失构成。

目标约束条件下的控制趋势是指那些主要由人为活动引发的地质灾害，为了控制或预防灾害活动的发生或发展，根据防治目标，采取相应的措施，使灾害活动沿着一定的目标趋势发展的现象。在这种情况下，采用控制趋势分析评价灾害期望损失。

控制趋势预测是相对于自然趋势预测而言的。它应用于那些已经实施或者规划实施灾害防治措施的损失评估。其应用的对象主要是地面沉降和海水入侵灾害的期望损失评估。例如评价区将采取压缩地下水开采量等措施，使某一时期内地面沉降速率或海水入侵速率降低到某一控制范围内，这种情况下采用控制趋势分析方法进行灾害损失预测，并进而评价期望损失。其基本方法与自然趋势分析方法大体一致，所不同的有两点：一是评估模型中的灾害变化速率不是自然速率，而是防治目标中的控制速率；二是在预测损失中除了灾害的直接损失外，还应包括控制灾害发展的投入或者因此而失去的可能效益即机会成本。用

下式表达上述评价方法：

$$S(q)=\frac{\sum_{t=1}^{n}S(t)_0(1+\Delta S'_t)^t}{t}+\frac{S(F)}{t'}$$

式中：$\Delta S'_t$——目标约束条件下灾害经济损失变化速率；

$S(F)$——为实现控制目标而投入的费用；

t'——实现控制目标费用的有效年限；

其它符号同前。

为实现控制目标而投入的费用主要指为防治灾害发生、发展而采取的工程措施和非工程措施的成本费用。其有效年限指这些措施的正常使用年限。对于已经形成的控制费用，按实际数额核算；对于尚没形成的预期控制费用，可根据控制目标和防治规划，采用影子工程法核算控制费用。

同自然趋势预测一样，现状灾害水平和未来灾害变化速率除采用现状经济损失和经济损失变化速率外，还可采用现状灾害危害范围和灾害危害面积变化速率，据此计算出未来预测条件下灾害的危害范围，并划分危害强度，然后根据未来预测期的受灾体分布情况，进行易损性预测，最后评估预测经济损失，计算期望损失，分析损失构成与损失分布特点。

③用影子工程法评价膨胀土灾害期望损失

在各种地质灾害中，膨胀土灾害具有特殊的成灾条件，它不像其它灾害那样，不断地发展变化，对人类产生“主动”而又广泛的破坏效应。它长期稳定地“潜伏”在某一个地区，既不存在活动概率，也不存在发展速率，它的破坏作用和损失程度决定于在膨胀土发育区是否进行工程建设以及从事何种类型的工程建设。因此，我们采用影子工程法评价膨胀土灾害的期望损失。

所谓影子工程法是采用假设的工程费用代替灾害的经济损失。这种假设的工程有两种：一是对膨胀土发育区内已有受危害建筑物实施加固、修复工程，其费用相当于修复成本或重建成本。在这种情况下膨胀土灾害的期望损失为：

$$S(q)=\frac{S_x}{t}$$

式中：$S(q)$——膨胀土灾害期望损失；

S_x——受膨胀土危害建筑物的修复、加固成本费用；

t——修复、加固工程的有效年限。

二是膨胀土发育区内拟建的受危害建筑物的防灾工程。其费用相当于为防治膨胀土危害而增加的防治工程费用或为防治膨胀土危害而增加的工程成本投入。这里所说的拟建工程根据评价区规划确定；受危害工程根据膨胀土危害范围确定，主要是各种轻型建筑物，如平房、大跨度厂房以及铁路、公路、机场、管道、渠道等。灾害期望损失按下式计算：

$$S(q)=\frac{S_f}{t}$$

式中：S_f——膨胀土灾害防治投入；

其它符号同前。

如果评价区内既有已建受害工程，又有拟建受害工程，则将两种结果相加即得评价区期

望损失。

(2) 面评估期望损失评价

在实施面评估的评价区中，常常有许多灾害点，这些灾害点有时属于同一类灾害，有时属于几类灾害。对其进行损失评估的最简单的方法是首先对各灾害点进行评估，然后进行叠加，得出评价区的期望损失。即：

$$S(q)_{面} = \Sigma S(q)_{点}$$

式中：$S(q)_{面}$——评价区地质灾害期望损失；

$S(q)_{点}$——评价区各地质灾害点期望损失。

这种方法虽然简便实用，但如果评价区范围较大，灾害种类和灾害点特别多时，难以逐点进行损失评价，此时只能在专门勘查基础上，采用平均危害面积比率和灾害平均活动概率（或平均发展速率）分析评估灾害期望损失。具体方法和步骤是：

①对评价区进行专门勘查，弄清历史灾害与潜在灾害类型、数量、分布、形成条件以及活动频次、破坏损失情况，调查评价区人口、工程设施、土地、资源以及它们的价值分布情况。

②以行政区或自然地理条件为基础划分评价单元，分单元、分类统计地质灾害的可能危害范围，并且计算地质灾害危害面积比（地质灾害危害面积与评价区或评价单元的面积比值）。

③根据地质灾害活动条件的充分程度确定评价区或评价单元的地质灾害平均活动概率或平均发展速率。

④核算评价区和评价单元不同类型受灾体价值分布，根据受灾体承灾能力确定受灾体平均价值损失率。

⑤按下式计算评价区或评价单元突发性地质灾害期望损失。

$$S(q) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} G_{ij}' \cdot J_{sij}' \cdot J(d)_i \cdot L_i \cdot m$$

式中：$S(q)$——评价区突发性地质灾害的期望损失；

i——受灾体类型；

j——受灾体损毁程度等级；

G_{ij}'——i 类受灾体遭受灾害危害后发生 j 级破坏的平均概率；

J_{sij}'——i 类受灾体发生 j 级破坏情况下的平均价值损失率；

$J(d)_i$——i 类受灾体平均单价；

L_i——i 类受灾体的数量；

m——地质灾害危害面积比率。

如果与突发性地质灾害点评估相比较，该评价式与之差别除了受灾体破坏概率和价值损失率由点评估的定值变为平均值外，由于在面评估中发生破坏的受灾体数量难以具体量化，所以用评价区（或评价单元）内受灾体的总数与灾害危害面积比值的乘积代替。评价区或评价单元受灾体总数可以通过实际勘查并参考社会经济统计资料获得。

由于地面沉降、海水入侵等缓发性地质灾害和膨胀土胀缩灾害期望损失是在分析灾害危害范围基础上进行评价的，所以在面评估中仍可采用点评估的方法进行评价。

如果评价区发育多种类型的地质灾害，则在分类评价的基础上，将各类地质灾害的期

望损失进行叠加即为评价区各种地质灾害的期望损失。

⑥在核算评价区地质灾害期望损失的同时，进一步计算期望损失模数、期望损失率，并根据各评价单元的期望损失指标，绘制评价区期望损失分布图，结合评价区危险性、易损性特点及自然地理和社会经济条件，分析评价区期望损失分布规律与影响因素。

(3) 区域评估中的期望损失分析

①区域地质灾害期望损失评价的基本途径

区域灾害评估范围大，灾害种类和灾害点特别多。在这种情况下，如果实施专门勘查，比较详细地掌握了各类灾害点的发育分布情况和受灾体的分布情况，可采用面评估的方法评价地质灾害的期望损失。如果没有经过专门勘查，只是经过一般的区域调查，就很难以灾害点数量、危害范围为基础，直接对全评价区灾害期望损失进行评价。这时，只能在地质灾害危害强度区划的基础上，通过抽样调查或典型专门勘查进行期望损失分析。

如前所述，地质灾害的成灾程度，决定于地质灾害的活动程度及受灾体的密度和对灾害的抗御能力，因此，地质灾害损失是灾害危险性和受灾体易损性的综合体现。危险性和易损性越高，灾害的破坏损失越严重。基于这种认识，我们用灾害危害强度综合反映灾害的危险程度和受灾体的易损程度。即：

$$Q = W \cdot Y$$

式中：Q——地质灾害危害强度；

W——地质灾害危险性；

Y——地质灾害受灾体易损性。

地质灾害损失则是危害强度的函数。即：

$$S = f(Q)$$

或者

$$S = k(Q)$$

式中：S——地质灾害损失；

k——修正系数或调整系数。

在上述分析模型中，除灾害损失外，其它要素都是受多种条件影响的综合性指标，这些指标不能准确地指示某种要素的数量，而只能相对地标示它们的强弱或者高低程度，因此采用指数作为它们的量度。

②区域地质灾害期望损失评价方法与步骤

A. 区域地质灾害危险性分析

在区域风险评估中，反映地质灾害活动程度的危险性指数取决于历史灾害活动程度及潜在灾害活动强度。由于地质灾害具有持续性、继承性特点，所以历史灾害活动强烈的地区，未来灾害活动一般仍具有较强的危险性。历史灾害活动强度要素主要为灾害规模、频次、密度，这些要素决定了历史地质灾害强度指数。即：

$$W(l) = k \cdot G \cdot M \cdot P$$

式中：$W(l)$ —— 历史地质灾害强度指数；

k——修正系数或调整系数；

G——历史灾害活动规模标度值；

M——历史灾害分布密度标度值；

P——历史灾害活动频次标度值。

G、M、P 系根据灾害规模、密度、频次等级赋予的相应的评判分值。不同类型地质灾害的等级划分和赋值根据评价区具体情况确定，选定的基本原则是使评价范围内的不同地区之间具有最大程度的可比性。

当评价区发育有多种类型地质灾害时，为了便于彼此之间的对比，可在分类调查统计的基础上，根据不同种类灾害破坏能力的大小，确定它们对综合破坏能力的作用权重，并将之引入分析模型。即：

$$W(l) = K\sum_{z=1}^{n} Q_z(G_z \cdot M_z \cdot P_z)$$

式中：$W(l)$——评价区历史地质灾害强度指数；

z——地质灾害类型；

Q_z——z 类地质灾害历史强度的作用权重；

其它符号同前。

地质灾害潜在强度主要取决于地质灾害活动条件的充分程度。这些条件指的是区域性条件。主要包括：地质条件——岩石性质与结构，地质构造与新构造运动，物理地质现象，地下水活动或水文地质要素等；地形地貌条件——地貌类型，切割深度或相对高差，水文特征等；气候条件——降水量及其分布等；植被条件——植被种类及覆盖率等；人为活动——资源开发，工程建设等。根据这些因素对地质灾害活动的影响能力，划分为极不充分、不充分、较充分、充分、特别充分等不同等级，并赋予 0、1、3、6、10 或其它数值的标度分值。同时根据这些条件对各类型地质灾害的影响程度和不同类型地质灾害潜在强度在综合强度中的作用程度，赋予二者相应的权重，于是得出潜在灾害强度的分析模型：

$$W(q) = K\sum_{z=1}^{n} Q_z \cdot (\eta_{zd} \cdot d_z + \eta_{zx} \cdot X_z + \eta_{zq} \cdot q_z + \eta_{zz} \cdot Z_z + \eta_{zr} \cdot r_z)$$

式中：$W(q)$——地质灾害潜在强度指数；

K——修正系数或调整系数；

z——地质灾害种类；

Q_z——z 类地质灾害潜在灾害强度的作用权重；

d_z、X_z、q_z、Z_z、r_z——对 z 类地质灾害活动产生影响的地质条件、地形地貌条件、气候条件、植被条件、人为活动条件充分程度的标度分值；

η_{zd}、η_{zx}、η_{zq}、η_{zz}、η_{zr}——对 z 类地质灾害活动产生影响的 5 方面条件的作用权重。

各种要素数值根据一般规律和评价区具体条件确定。根据地质灾害的历史强度和潜在强度，按下式计算地质灾害危险程度：

$$W = Q_l \cdot W(l) + Q_q \cdot W(q)$$

式中：W——地质灾害危险性指数；

$W(l)$、Q_l——历史灾害强度指数及其权重值；

$W(q)$、Q_q——潜在灾害强度指数及其权重值。

B. 区域地质灾害易损性分析

在区域风险评估中，不可能对全评价区具体地调查统计受灾体数量和价值分布，也不可能对不同受灾体的损毁表现和价值损失情况进行具体的分析。只能根据区域社会经济发

展水平和相应的统计资料间接地反映受灾体的密集程度，从而显示评价区的承灾水平。

基本这种现实，用易损性指数作为宏观量度区域灾害承灾水平的指标。根据地质灾害的主要危害对象，选取人口密度、大中型企业及工程建设密度、铁路及公路密度、耕地密度、产值密度、产值结构等为基本要素；根据这些要素在评价区的分布情况划分等级，并赋予相应的标度分值；结合它们对灾害经济损失的影响程度，给予不同的作用权重，于是得出易损性指数的分析模型：

$$y = K\sum_{i=1}^{n} Q_i \cdot y_i$$

式中：y——评价区易损性指数；

K —— 修正系数或调整系数；

y_i、Q_i——影响易损性的第 i 类要素的标度分值和该要素的作用权重。

C. 区域地质灾害危害强度区划

在区域危险性分析和区域易损性分析基础上，按下式计算危害强度：

$$Q = W \cdot Y$$

式中：Q、W、Y 分别为地质灾害危害强度指数、区域危险性指数、区域易损性指数。

为了获取各种评价参数，并且显示地质灾害的分布情况，在区域风险评估中，需要以行政区、自然区或经纬度等不同形式将评价区划分为若干单元，按单元计算出危害强度指数后，依照其分布范围将危害强度划分为若干等级，然后根据各单元危害强度的分布组合规律，结合区域自然条件和社会经济条件，划分危害强度区、亚区、小区。

D. 区域地质灾害期望损失评估

地质灾害危害强度显示了地质灾害的可能破坏损失水平。根据地质灾害的成灾构成，可以这样认为：具有相同等级危害强度地区的地质灾害期望损失大致处于同一水平；在同一危害强度区（亚区、小区）内的地区，具有基本一致的成灾环境，而且分区级次越小，其共同特征越突出。

基于这一认识，在地质灾害危害强度分级、分区的基础上，选择不同等级，不同级区的评价单元为样本，进行专门性调查，在此基础上采用面评估的方法进行期望损失评价，取得代表性成果后，采取比拟方法确定其它非典型单元的期望损失，然后将各单元损失累加，即得出评价区的灾害期望损失。与此同时，根据单元损失变化和成灾背景，可进一步分析评价区期望损失分布特点，并研究其形成条件。

第七章　地质灾害防治工程效益评价

第一节　地质灾害防治基本原则及措施

一、地质灾害防治途径与基本方法

如前所述，地质灾害的形成必须具备灾害体和受灾体，这两方面条件决定了成灾程度。因此，防治地质灾害的基本途径主要有两方面：第一，限制灾害源，消除或消弱灾害体活动能量，解除或缓解灾害活动威胁；第二，对受灾体采取防避保护措施，使其免受灾害破坏，或增强受灾体对灾害的抵御能力。

防治地质灾害的具体方法主要包括：

(1) 保护和治理区域地质自然环境，消弱灾害活动的基础条件。基本措施是根据区域条件，科学地进行资源开发和工程建设活动，特别注意合理利用土地资源、水资源、生物资源，避免过渡开发。在广大山区广泛植树造林，治山治水，宜农则农，宜牧则牧，宜林则林，涵养水土，防治水土流失。在城镇和沿海地区，尤其注意合理开发利用地下水资源，量入为出，保持地下水动态平衡，防止地下水环境恶化，预防地面沉陷和海水入侵等活动。

(2) 加强地质灾害勘查，弄清地质灾害分布情况与形成条件，合理制定城镇规划，选择工程建设场地，尽可能避开地质灾害危害区；对于必须在地质灾害危险区实施的工程建设，制定防灾规划，实施预防措施。

(3) 对重要受灾体实施专门性防治工程，保护城镇、企业和铁路、公路、桥梁、房屋等工程建设安全。不同防灾工程措施不一，对此将在下面进行专门论述。

(4) 加强灾害监测，有效地进行灾害预测预报，根据需要及时疏散人口、财产、或采取其它措施，最大限度地减少灾害损失。

二、地质灾害防治基本原则

地质灾害防治的根本目标是取得最充分的减灾效果。然而要实现这个目的，必须遵照下列原则科学地规划、设计、实施防治工程。

1. 预防为主的原则

地质灾害虽然是一种不可避免和无法准确预测的自然现象，但随着人类科学技术水平及社会生产力水平的不断发展，人类对地质灾害的认识水平逐渐提高，因此，在灾害面前拥有了越来越大的自主能力。这主要表现在两个方面：第一，在一定程度上可以减少灾害发生机会，削弱灾害活动强度；特别是对于那些主要因人为活动控制的地质灾害，可以通过调整人类活动基本扼制灾害的发展，防止或减少灾害的破坏损失。例如，可以通过人工改变斜坡形态、负荷，减少地表水入渗，加固斜坡等方法增强斜坡稳定程度，减少发生崩塌、滑坡的可能；可以通过限制地下水开采量，调整地下水开采层等方法，控制地下水水位，预防和限制地面沉降、海水入侵的发生与发展。第二，有效地进行灾害预测预报，及

时避灾。在地面塌陷、地裂缝和膨胀土发育地区，尽可能使工程设施避开高危险区；对于崩塌、滑坡、泥石流等突发性灾害可进行综合监测，根据灾害危险程度，及时疏散人口、财产，减少灾害损失。实践证明，适时采取预防措施是防止灾害破坏，减少灾害损失的最有效途径。

2. 防灾减灾的相对性、持续性原则

尽管人类对地质灾害的防治手段越来越丰富，防治技术越来越高超，但要制止地质灾害的发生，或者是完全预测预报地质灾害，彻底防治地质灾害是不可能的。无论现在还是将来，对地质灾害的防治效果永远也不会达到百分之百，因此，任何时候人类所进行的防治工作都是相对的。基于这种现实，地质灾害的防治是一项长期的、艰巨的任务。为了促进社会经济的健康发展，地质灾害防治要长期持续地进行下去，在不同社会经济发展阶段，要权衡减灾的社会经济效益和环境效益，力求取得与之相应的减灾效果。

3. 全面规划与重点防治相结合的原则

地质灾害防治除了具有长期性特点外，还具有广泛性特点。因此要取得充分的减灾效果，首先要做好防治规划，根据不同地区地质灾害发育情况和不同时期社会经济发展需要，提出地质灾害防治目标、防治对策与措施，从总体上指导地质灾害防治工作。

由于我国是一个发展中国家，目前科学技术水平和社会财力还都不高，因此，不可能对所有地质灾害进行全方位的彻底防治。在这种情况下，只能在全国和地区灾害防治规划指导下，一方面加强区域环境保护与治理，改善地质自然环境，削除或削弱地质灾害活动的背景条件；另一方面选择受地质灾害威胁强烈，破坏损失严重的城镇、交通干线、重要企业等实施重点防治，使有限的资金发挥最大的减灾效果，真正做到“好钢用在刀刃上”。

4. 防治地质灾害与其它社会经济活动协调发展的原则

实践证明，地质灾害防治工作常常并不是孤立进行的，它与其它社会经济活动具有不同程度的联系。因此，把防治地质灾害措施与其它环境治理结合起来，并且把地质灾害防治纳入国家和地区社会经济规划，可以取得充分的效果。

首先，从宏观上看，地质灾害防治与土地资源开发、水资源开发、矿产资源开发、植被资源开发以及城镇建设、交通等基础设施建设等具有直接关系，因此，地质灾害防治应该与这些活动有机地结合起来：一方面在这些活动中积极主动地进行相应地质灾害的防治工作；另一方面地质灾害的有效防治将促进这些活动的正常进行，二者取得相互促进的效果。另外，地质灾害防治不仅是中央政府的责任，而且是一种广泛的社会行为。因此，随着国家改革开放的深入和市场经济发展，地方政府、企业以及个人在发展经济活动中，为了免受灾害损失，取得效益和利润，就应该将所涉及的地质灾害防治工作纳入经济活动之中，在政府部门的指导下，结合市场经济利益开展防治工作。

5. 防治工程最优化原则

地质灾害防治工程一般需要比较大的投入，它所防治的对象又是复杂的自然现象，所以地质灾害防治工程既是复杂的技术工作，又是复杂的经济工作。无论是哪个部门实施哪种防治工程都需要本着最优化原则审慎对待。最优化原则的核心就是实现科学性、可操作性与最小风险、最大效益的有机结合。

(1) 科学性

主要体现在：防治工程类型选择要有充分依据，符合地质灾害的减灾特点或受灾体的

防护需要；防治工程设计要有针对性，符合国家有关标准和规范要求。

（2）可操作性

主要体现在：在目前技术水平条件下能顺利实施；要因地制宜，在人力、物力、财力方面有充分保障；现场环境没有严重障碍。

（3）最小风险

地质灾害防治工程是在对灾害评价基础上实施的，由于对灾害破坏损失认识的不彻底性和防治技术水平的限制，所以防治工程具有一定的风险。主要表现在：防治工程不完全符合地质灾害成灾特点和受灾体防护需要；设防标准不完全符合灾害活动概率和成灾规模，因此导致防治工程部分失效、完全失效或者超标准运行；防治工程不符合施工标准，达不到预期功能或达不到使用年限。基于这种性质，在设计、实施防治工程时，要力求将风险程度降到最低程度。

（4）最大效益

主要表现是以尽可能少的人力、物力、财力和时间投入，取得最大、最长效的经济效益和社会效益、环境效益。

三、防治地质灾害的主要措施

虽然各种地质灾害的防治途径基本相同，但具体措施不一。为此，无论是哪种地质灾害，都必须首先进行深入细致的勘查工作，弄清灾害体范围、性质、活动条件和受灾体类型、分布情况等，在此基础上选择防治措施，并合理地设计工程规模，取得充分的减灾效果。

1. 崩塌（危岩）灾害防治措施

（1）清除危岩

对规模小、危险程度高的危岩体采用静态爆破或手工方法予以清除，消灭隐患。

（2）部分削坡

对于规模较大的危岩体，难以全部清除，但可以在危岩体上部清除部分岩土体，降低临空面的高度，减小斜坡坡度和上部荷载，提高斜坡稳定性，以期降低危岩的危险程度或减少其它防治工程的工程量。

（3）排水防渗

在危岩体及其周围地带，修建地面排水系统，堵塞裂隙孔洞，防治过量地表水进入危岩斜坡，提高危岩稳定程度，减少崩塌机会。

（4）加固斜坡，改善危岩岩土结构，提高斜坡稳定程度

①灌浆加固。增强岩体完整性，提高岩体强度；

②支撑。采用支撑墩、支撑柱、支撑墙等保护斜坡，防止坍落；

③锚固。采用预应力锚杆或锚索加固危岩体，防止崩落；

④软基加固。危岩或陡崖底部发育有泥岩等软弱岩层时，采用喷浆护壁等方法保护软基，防止强烈的风化作用和水体浸泡。如果在软基发育部位已形成风化凹腔，应根据规模、形态，采用嵌补、支撑、喷浆护壁等方法保护加固；如果凹腔内积水，应进行疏干，并采取措施防止继续浸水。

（5）拦截

对于在雨季才发生活动的坠石、剥落或小型崩塌活动，可在岩石崩落滚动途中修建落

石平台、落石槽、挡石墙等，拦截落石，防止破坏建筑设施。

（6）遮挡

为了防止小型崩塌对铁路等工程设施的破坏，可修建明硐、棚硐等对工程设施进行保护。

（7）加强监测预报

①危岩体形变监测。主要手段包括：通过地面观察、形变测量、地倾斜测量、综合自动监测等方法从外部监测危岩体位移、裂缝变形、地面倾斜等现象；采用钻孔倾斜测量、电测、声发射监测、地应力测量等方法从内部监测危岩体深部变形位移及应力变化情况。

②激发崩塌活动要素监测。主要包括雨量监测、水文动态监测、地下水动态监测、地温场监测、地震监测等。

③综合分析与预测预报。基本方法是分析斜坡稳定程度，建立危岩变形数值模型，确定崩塌活动的临界值，条件允许时，建立预警系统，进行有效的灾害预报。

（8）躲避搬迁。对于威胁严重，防治困难的建筑设施，选址搬迁，避免受害

2. 滑坡灾害防治措施

（1）消除或减轻地表水、地下水对滑坡的诱发作用

①修建排水沟，拦截地表水，减少进入滑坡体的地表水量，并及时将滑坡体发育范围内的地表水排走，减轻地表水对斜坡的破坏。

②修建截水盲沟、支撑盲沟，开挖渗井或截水盲洞，敷设排水渗管，实施排水钻孔，拦截疏导地下水，减轻地下水对斜坡的破坏。

（2）改善斜坡状况，增加滑坡平衡稳定条件

①在滑坡体上部削坡减重，在坡脚加填，改变斜坡外形，降低斜坡重心，提高滑坡稳定程度。

②修建抗滑垛、抗滑柱、抗滑墙、抗滑洞等支挡工程，阻止滑坡体滑动，提高斜坡稳定程度。

③实施锚固工程，“加固”滑坡，提高斜坡稳定程度。

④采用焙烧法、电渗排水法、灌浆法等物理方法或化学方法，改善滑坡体岩土性质，提高软弱岩土层强度，提高斜坡稳定程度。

（3）加强监测预报

①滑坡体形变监测。通过地面观察、形变测量、地倾斜测量、综合自动监测等方法监测裂缝变形、滑坡体水平位移、垂直形变以及滑坡体上树木、房屋等工程设施形变等情况；采用倾斜仪测量、短基线测量、地应力测量等监测滑坡体内部形变位移情况。

②激发滑坡活动的外界要素监测。主要包括降水监测、水文动态监测、地下水动态监测、地震监测等。

③综合分析与预测预报。方法与崩塌预测预报基本相同。

（4）躲避搬迁。对于威胁严重，防治困难的工程建筑，选址搬迁，避免灾害破坏

3. 泥石流灾害防治措施

（1）实施生物措施，保护水土，消弱泥石流活动的基本条件

基本方法是保护森林植被，禁止滥砍乱伐，合理耕牧，并且有计划地植树种草，提高森林覆盖率和植被覆盖率，抑制水土流失，减缓泥石流活动。

（2）实施工程措施，限制泥石流活动，保护耕地与工程设施

①拦挡工程。修建谷坊、拦沙坝、格栅坝等，蓄水拦沙，减小泥石流流速、容重、规模、抬高局部沟段侵蚀基准、护床固坡，降低泥石流冲刷破坏能力，减轻沟床侵蚀。

②排导工程。修建导流堤、急流槽、束流堤等，引水输沙，规范泥石流路径，防止漫流、降低泥石流流速，削弱泥石流冲击破坏能力。

③停淤工程。根据泥石流发育地区地形条件，修建停淤场，将泥石流引入预定场所减速停淤，防止漫流。

④沟道整治工程。采用固床沙坝、水泥沙浆砌石、石笼等方法保护泥石流沟坡，防止岸坡坍塌、滑移；在沟底进行铺砌或修建肋板稳固沟底，减少沟底冲刷。

⑤防护工程与错避工程。对泥石流地区的铁路、公路、桥梁、隧道、房屋等工程设施，进行防护或错避，抵御或避开泥石流的危害。防护工程包括修建护坡、挡墙、顺坝、丁坝等。错避工程主要包括跨越式错避、穿过式错避等。跨越式错避是指修建桥梁，使工程设施凌驾于泥石流沟上空，免受泥石流破坏。穿过式错避则是将工程设施置于泥石流沟地下，避开泥石流破坏。

（3）监测预报

除利用遥感技术，结合气象资料分析，进行区域泥石流活动中长期预报外，主要是利用降雨预测进行泥石流活动的短期预报和临灾警报。此外还可利用泥石流遥测地声警报器、泥石流超声波泥位警报器、地震式泥石流警报器等仪器直接监测泥石流活动，并进行短期预报和临灾警报。

（4）躲避搬迁

对于威胁严重，难以防护的工程建筑，选址搬迁，避免灾害破坏。

4. 岩溶塌陷灾害防治措施

（1）控水措施

①地表水防水措施。在塌陷区周围修建排水沟，防止地表水进入塌陷区，减少向地下的渗入量；在地势低洼、洪水严重的防治区围堤筑坝，防止洪水入侵灌入塌陷洞或岩溶孔洞；对塌陷区内严重淤塞的河道进行清理疏通，加速泄流，减少对岩溶水的渗漏补给；对严重漏水的河溪、库塘，铺底防漏或人工改道，减少地表水倒灌；对严重灌水的塌陷洞隙采用粘土或水泥灌注填实，减少地表水入渗倒灌；采用混凝土、氯丁橡胶、玻璃纤维涂料等封闭地面，增强地表土层强度，防止地表水冲刷入渗。

②地下水控水措施。根据水资源条件规划地下水开采层位、开采强度、开采时间，合理开采地下水，必要时进行人工回灌，控制地下水动态，限制地下水位的频繁升降，并使动水位最低水位不低于基岩面，保持岩溶水承压状态；在地下水主要迳流带修建堵水帷幕，减少区域地下水补给，促使外围地下水位升高，防止塌陷向外围地带扩展；在矿区井下修建防水闸门，建立有效的排水系统，对水量较大的突水点进行注浆封闭，控制矿井突水突泥，避免矿区地下水大排大放，防止地下水位和岩溶水压力的大起大落，控制地面塌陷活动。

（2）加固措施

①挖填。当孔洞规模和埋藏深度较小时，可清除岩溶上部覆盖层中的软弱土层和洞穴中的软弱充填物，回填碎石或混凝土，改善建筑场地条件，提高地基强度。

②强夯。在土体厚度较小，地形平坦情况下，采用强夯砸实覆盖层，破坏土洞，提高土层强度。

③灌注填充。在溶洞埋藏较深时，通过钻孔灌注水泥沙浆，填充岩溶孔洞，提高强度。

④钻孔充气。钻孔深入到基岩面下溶蚀裂隙或溶洞的适当深度，破坏真空腔的岩溶封闭条件，减少发生塌陷的机会。

⑤采用锚固柱、栅栏柱，支撑建筑物，防止洞穴坍塌。

⑥跨盖。采用梁式基础、拱形结构，或以刚性大的平板基础跨越、敷盖溶洞，避免塌陷危害。

(3) 监测预测

目前对岩溶塌陷还没有建立有效的预报方法，只能根据专门地质调查，查明岩溶分布情况和岩溶塌陷的活动规律，结合浅层地质雷达探测和地下水动态监测、水文动态监测、气象预报等方法，进行一般性预测。

5. 地裂缝灾害防治措施

(1) 控制人为因素对地裂缝活动的强化作用

主要是合理开采地下水，限制地下水位大幅度下降，控制地面沉降活动，防止地面沉降对地裂缝的促进活动。其次是在矿区井下开采时，根据实际情况，控制开采范围，增多、增大预留保安柱，防止矿井坍塌诱发地裂缝。

(2) 建筑设施避灾、防灾措施

①查明地裂缝发育带及潜在危害区，作好城镇发展规划和场地工程地质勘查，合理规划工程建筑物布局，使工程设施尽可能避开地裂缝危险带，特别是严格限制永久性建筑设施横跨地裂缝，一般避让宽度不少于 4～10 m。

②工程加固设防措施。对于已建在地裂缝危害带内的工程设施，应根据具体情况进行加固。对于必须建在地裂缝危害带内的新的工程设施，应实施设防措施。如跨越地裂缝的地下管道工程，可采用外廊道隔离、内悬支座或内支座式管道活动软接头连结措施预防地裂缝的破坏。对于已受地裂缝严重破坏的工程设施，进行局部拆除或全部拆除，防止对整体建筑或相邻建筑造成更大规模破坏。

(3) 监测预测措施

通过地面勘查、地形变测量、断层位移测量以及音频大地电场测量、高分辨纵波反射测量等方法监测地裂缝活动发展情况，预测预报地裂缝发展方向、速率及可能危害范围。

6. 地面沉降灾害防治措施

(1) 控制人为活动对地面沉降的促进作用

①根据水资源条件，限制地下水开采量，防止地下水水位大幅度持续下降，控制地下水降落漏斗规模。

②根据地下水资源的分布情况，合理选择开采区，调整开采层和开采时间，避免开采地区、层位、时间过分集中。

③人工回灌地下水，补充地下水水量，提高地下水水位。

(2) 防护措施

地面沉降除有时会引起工程建筑不均匀沉降外，主要是因沉降区地面标高降低，导致积洪滞涝，海水扩侵等次生灾害，因此造成十分严重的破坏损失。针对这些次生灾害，采

取的主要防护措施是修建或加高、加固防洪堤、防潮堤，防洪闸、防潮闸以及疏导河道，兴建排洪排涝工程等。

（3）监测预测

基本方法是设置分层标、基岩标、孔隙水压力标、水准点、水动态监测网、水文观测点、海平面观测点等，定期进行水准测量，进行地下水开采量、地下水位、地下水压力、地下水水质监测，回灌监测，河流水位、流量监测，潮汐及海平面变化监测等。根据地面沉降活动条件和发展趋势，预测地面沉降速度、幅度、范围及可能危害。

7. 海水入侵灾害防治措施

（1）控制人为活动对海水入侵活动的促进作用

①限制地下水开采量，防止地下水水位持续下降，使其保持在海平面或地下咸水水位以上，并具有一定的水头压力，维持滨海地区地下水与海水动力平衡，抑制海水入侵。

②利用回灌井、回灌廊道等实行人工回灌，补充地下水，提高滨海地区地下水水位。

③在发生海水入侵或容易诱发海水入侵的滨海地带，禁止挖沙，保护海岸，防治海岸侵蚀，削弱海水沿河上溯活动。规范晒盐、海产养殖，防止人为将大量海水抽引到陆地，减少海水补给源。

（2）限制海水入侵的工程措施

①修建防潮闸，抑制海水沿河上溯活动。

②建造隔水墙或防渗围幕，阻断海水入侵通道，抑制海水扩侵。

（3）监测预测

主要监测手段是建立地下水动态监测网，进行水位、水化学监测，必要时辅以海水水文动态监测。根据海水入侵活动机制和历史海水入侵规律，预测海水入侵速率、规模、危害范围。

8. 膨胀土胀缩灾害防治措施

主要包括避灾措施和防灾、治灾措施。

在进行城镇规划和建筑工程选址时，要进行充分的地质勘查，查明工程地质条件，弄清膨胀土的分布范围、发育厚度、埋藏深度以及膨胀土的物理力学性质，在此基础上合理规划建筑布局，使容易受害的建筑工程尽可能避开膨胀土发育区。在膨胀土分布面积比较大，难以选择非膨胀土工程场地时，尽可能选择地形简单、膨胀土胀缩性相对较弱、厚度较小而且地下水水位变化较小、容易排水，而且没有浅层滑坡和地裂缝的地段进行工程建筑，最大限度地减少膨胀土的危害。

在膨胀土发育区进行工程建筑时，应避免大挖大填，加宽建筑物四周散水，设置圈梁，敷设沙垫。铁路、公路施工避免深长路堑，多填少挖，路堤底部垫沙，路堑设置挡土墙，边坡植草铺沙。水利工程要快速施工，合理堆放弃土，必要时设置抗滑桩、挡土墙，渠道要合理选择渠坡坡角，穿过垅岗时使用涵管、隧洞。工程设施附近要修建排水设施，避免降雨、地表水、城镇废水等大量渗入地下。同时要合理开采地下水，保持地下水位相对稳定，避免地下水位大幅度地频繁升降，防止膨胀土反复胀缩。

对于已受膨胀土破坏的工程设施则视具体情况，采用加固、拆除重建等措施进行治理。

综合上述 8 种地质灾害防治措施，基本可分为 4 个方面：削弱灾害活动强度措施；受灾体防护措施；监测预报措施；避灾措施。不同灾害的具体方法不同（表 7-1）。

表 7-1　地质灾害主要防治措施

灾种	削弱灾害强度	防护受灾体	监测预测预报	避灾
崩塌（危岩）灾害	清除危岩；部分削坡；排水防渗；加固（灌浆、支撑、锚固、软基护壁与嵌补等）	拦截；遮挡	地面观查；形变测量、地倾斜测量、钻孔倾斜测量、声发射监测、地应力测量；雨量监测、水文动态监测、地下水动态监测、地震监测	重要工程设施选址避开灾害危害区；已建工程设施难以防护时，进行搬迁
滑坡灾害	削坡减重、坡脚加填；修建排水沟；开挖渗井、设置排水渗管、实施排水钻孔；修建抗滑桩、抗滑墙、实施锚固工程；采用灌浆、焙烧、电渗排水等方法提高软弱土层强度	支挡	地面观查；形变测量、地倾斜测量、短基线测量、地应力测量；降水监测、水文动态监测、地下水动态监测、地震监测	
泥石流灾害	植树造林，保护水土；拦挡工程、导流工程、停淤工程、沟道整治工程	护坡、挡墙、顺坝、丁坝、高架桥、隧洞	遥感监测；超声波监测；地声遥测；雨量监测、水文动态监测	
岩溶塌陷灾害	修建排水设施，疏通河道，填堵岩溶孔隙，防止地表水大量渗漏；合理开采地下水，进行人工回灌，控制地下水位	强夯碾实覆盖层，破坏土洞；灌注水泥沙浆，填充地下孔洞；采用梁式基础、刚性大平板基础跨越溶洞	浅层地质雷达监测；地下水动态监测；水文动态监测	建筑设施避开危险区
地裂缝灾害	合理开采地下水，控制地下水水位；井下采矿设置充足的保安柱	加固防裂、防沉；采用外廊道隔离、内悬支座等方法实施管道工程	地面勘查；地形变测量、断层位移测量；地应力测量、音频大地电场测量、纵波反射测量	建筑设施避开危害带，禁止横跨地裂缝建筑
地面沉降灾害	限制地下水开采量，调整地下水开采层，人工回灌地下水，保持地下水水位	修建防洪堤、防潮堤、防洪闸、防潮闸，疏通河道，防治次生灾害	水准测量；地下水动态监测；水文动态监测、海平面监测	
海水入侵灾害	限制地下水开采量，实行人工回灌，保持地下水水位；限制挖沙，保护海岸	修建防潮闸、防渗围幕，抑制海水沿河上溯活动，阻断地下海水入侵通道	地下水动态监测；海平面监测；河流水文监测	
膨胀土胀缩灾害	修建排水设施，防止地表水大量入渗；合理开采地下水，避免地下水水位大幅度频繁升降	敷设垫层，设置圈梁，加宽散水；修建挡土墙、防滑桩	建筑物形变监测	作好城镇规划和工程选址，避开危害地带

第二节　地质灾害防治工程效益评价基本方法

一、地质灾害防治工程效益评价的基本目的与内容

地质灾害防治工程有两种解释。从广义上看，地质灾害防治既包括区域地质自然环境治理，地质灾害监测、预测、预报、预防、治理，还包括地质灾害救灾以及减灾宣传、减灾法规等减灾管理工作，从这个意义上说，地质灾害防治是一项内容十分广泛的系统工程。与此相区别的是狭义的地质灾害防治工程，它是针对某一个地质灾害体或某一个较小范围内的某种地质灾害，如一个危岩、滑坡、泥石流或一个地区的岩溶塌陷、地面沉降、地裂缝等灾害所实施的以限制地质灾害活动和保护受灾体为目的的直接性防治措施。这些措施主要包括上面已经介绍的工程措施、监测、预测、预报措施。

广义的地质灾害防治工程不但包括的内容十分广泛，而且还常常涉及广泛的地区。为了更有效地减灾防灾，促进地区经济或区域经济与资源、环境的协调发展，对此进行全面的分析评价，使其充分发挥作用，这无疑是非常必要的；但这种分析评价一般都需要结合地区或区域环境整治和经济发展进行综合研究，属于区域环境-经济研究范畴，在此不做详细评价。本书所指的防治工程评价是对狭义的地质灾害防治工程的分析评价，就是针对某一具体灾害对象，对它的防治措施的减灾效果和经济合理性进行分析评价。

地质灾害防治工程效益评价的目的就是实现地质灾害防治的最优化原则。如前所述，地质灾害防治具有相对性特点。特别是对于我们这样一个面积辽阔的大国，地质灾害分布十分广泛，不可能对所有的地质灾害都进行全面的预防和治理；尤其是在国家和社会财力还非常有限的情况下，只能选择少部分重点灾害进行专门防治。因此，这就需要通过防治工程评价，对比不同灾害防治项目的可能效益，在此基础上规划安排防治顺序，确定优先防治项目，以便使有限的防治资金最充分的发挥作用。

地质灾害防治工程效益评价除了为确定防治项目提供直接依据外，对于已经选定的防治项目要取得充分的防治效果，同样有许多经济问题和技术问题需要进一步地分析、评定。首先，对于某一地区的地质灾害可能有多种防治方法，究竟哪种或哪些方法最符合实际——不但在措施上最为得力，而且经济效益最佳，就需要进行技术分析和经济评价。此外，即使已经选择了防治措施，但是在工程设计中，按照哪一级设防标准设计工程规模，既能够有效地防治灾害，保护受灾体，又不致浪费资金，这也需要进行技术分析和经济评价。例如，不同情况下泥石流灾害的防治措施可以有很大不同：如果泥石流活动非常频繁，而危害对象仅仅是少数散居在山区的农户时，就不一定进行专门的工程防治，只需将这些农户搬迁，安置到安全地区，然后结合植树造林，水土保持进行环境治理，就可以收到既实现减灾，又避免花费大量资金的效果。如果泥石流危害铁路、公路安全，就要根据实际情况采取不同的防治措施：局部改线，避开灾害威胁；实施防护工程，保护铁路、公路安全；治理泥石流，削弱其强度或导流至无交通设施分布地带。如果泥石流危害重要企业或城镇安全，就要实行包括生物工程、防护工程、治理工程在内的综合防治措施；而各种工程的设计标准，既要安全有效，又要经济合理。因此，地质灾害防治工程评价不仅是选择防治项目的直接依据，而且也是项目防治方案优选的重要依据。

综合上述，地质灾害防治工程效益评价的基本内容和目的是：分析地质灾害防治工程

的科学性，评估地质灾害防治工程的经济效益，评价地质灾害防治工程的可行性和合理性，为确定地质灾害防治项目和方案优选提供依据。

二、地质灾害防治工程的技术评价与经济评价

1. 地质灾害防治工程的技术评价与经济评价

根据地质灾害防治工程评价内容，把它的评价内容相应地划分为两个方面：一是技术评价，分析评价防治工程能否按照设计目标有效地扼制灾害活动或者保护受灾体；防治工程本身的结构、强度等是否符合规范或实际要求。技术评价主要是从自然科学角度综合分析防治工程的可靠程度，评价它的功能或效果。二是经济评价，分析防治工程的经济效益，从经济学角度评价防治工程的合理性。技术评价和经济评价虽然都是防治工程评价的不可缺少的方面，但由于不同地质灾害技术评价的方法相差较大，而且在已有的勘查和研究工作中，对大部分地质灾害防治工程已经形成了比较成熟的理论和方法，所以在此主要进行防治工程的经济评价分析。

2. 地质灾害防治工程经济评价核心指标及其特点

地质灾害防治工程经济评价的核心指标是防灾经济效益 $F(X)$。效益是指某种经济活动所获得的成效与所付出的代价之比。生产产品的产业活动（如工业、农业）的效益是指产品的价值或利润与产品成本的比值。房屋等工程建筑效益指的是这些建筑的价值与建筑成本的比值。地质灾害防治工程既不是生产性工程，也不是商品性工程，它的价值和经济效益具有与一般工程不同的特点。主要有下列几点：

（1）间接性特点

在多种地质灾害防治工程中，只有少数措施能产生直接效益。如为了治理泥石流灾害实施生物工程，植树造林，一定时期后可得到一定收益。但这种收益只是一种附带性的“副产品”。其主要效益是体现在保护了人民生命财产，减少了灾害损失。所以灾害经济学属于守业经济学，防灾效益是通过“以负换正，减负为正、负负得正”的方式间接地反现出来。

（2）潜在性特点

一般产品在投入使用以后，就为消费者所使用，其价值就不断地发挥出来。但地质灾害，特别是突发性地质灾害，并不是每时每刻都在进行，所以一般地质灾害防治工程往往长时间地处于“待命”状态，只有灾害发生时，它才显出“英雄本色”，发挥其“养兵千日，用兵一时”的功能。

（3）长远性特点

地质灾害防治工程一般具有较长的使用期限，少则几年，多则几十年或上百年。除了在工程寿命期内产生效益外，有的地质灾害经过一段时间的防治可基本消除；有的虽然没能完全根治，但通过一定防治后，使地质灾害防治地区的环境得到改善，走上了良性循环发展道路，通过这一过程增强了防治地区自身的“免疫”功能，使地质灾害不断缓解，并最终消除，因此其效益更是长远无期的。

3. 地质灾害防治工程经济评价的基本要素

（1）灾害危害强度 $[W(q)]$ ——地质灾害对受灾体的威胁破坏程度；

（2）防灾度 $[F(s)]$ ——防治工程对灾害的可能防御程度；

（3）设防标准 $[F(b)]$ ——防治工程的设计防灾能力；

(4) 防灾功能[$F(g)$]——防治工程可能实现的消灾能力、对受灾体的防护能力以及可能产生的其它作用；

(5) 防灾收益[$F(y)$]——用货币形式反映的防灾功能；

(6) 防灾成本[$F(c)$]——亦称防灾投入，指防治工程所需要的材料、劳动等投入，在核算时可用货币反映。

4. 地质灾害防治工程经济效益核算方法

(1) 地质灾害防治工程功能函数模型

如前所述，地质灾害防治工程效益主要体现在减损作用，少数工程具有社会经济增殖功能，因此，分别用损失函数 $L(s)$ 和增殖函数 $I(s)$ 来反映：

$$L(s)=Le^{(\frac{1}{s})}+L_0, L>0, I>0, L_0\leqslant 0 \tag{1}$$

$$I(s)=Ie^{(-\frac{1}{s})}, I>0, i>0 \tag{2}$$

(1)式表明，灾害损失 L 随防灾度 s 的增大而减小：对灾害无任何防治能力时，即 s 趋于 0 时，理论上灾害破坏作用将无限延长，灾害损失趋于极大值(无穷大)；当防灾度趋于 100%(或实际应用中出现 $s>1$ 的高冗余度，即防治力度超过发灾潜力)时，灾害损失趋于零。

(2)式表明，防治工程的增殖作用 I 随防灾度 s 的增长而增大，但并不是无限的，其最大值取决于防治工程所具有的最大增殖可容度。

$L(s)$和 $I(s)$的代数和构成防治工程的防灾功能函数。即：

$$F(g)=-L(s)+I(s) \tag{3}$$

式中 $L(s)$为负值。

图 7-1 和 7-2 反映了上述各种关系。

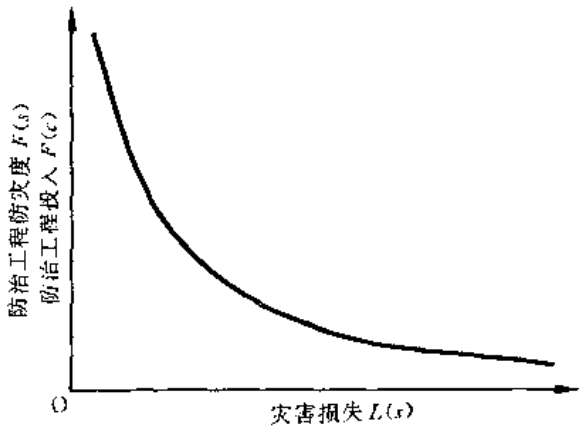


图 7-1　地质灾害防治工程投入与灾害损失关系

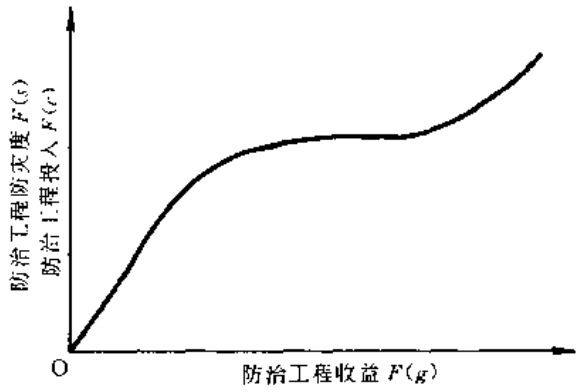


图 7-2　地质灾害防治工程投入与效益关系

(2) 地质灾害防治工程效益评价模型

地质灾害防治效益采用投入产出法进行计算。

一是纯收益法。即以产出与投入的差值反映防治工程的经济效益：

$$F(x)_c=F(y)-F(c)=[I(s)-L(s)]-F(c) \tag{4}$$

二是相对收益法。即以投入产出的比值(简称产投比)反映防治工程的经济效益：

$$F(x)_b=\frac{F(y)}{F(c)}=\frac{[I(s)-L(s)]}{F(c)} \tag{5}$$

式中：$F(x)_c$ 和 $F(x)_b$—— 防治工程在有效期内获得的防治效益；

$F(y)$——防治工程在有效期内获得的各种收益；

$F(c)$——按一定防灾度和设防标准，规划设计的防治工程的成本投入。

(3) 地质灾害防治工程收益核算

如前所述，地质灾害防治工程收益主要表现为减灾收益，即实施防治工程后可能减少的灾害损失。采用下列几种方法进行核算。

第一，期望损失法。即减灾收益等于无防治条件下的灾害期望损失与防治条件下的期望损失之差。即：

$$F(g)_s=S(Z)-S(F) \tag{6}$$

式中：$F(g)_s$——减灾收益；

$S(Z)$——无防治条件下灾害的期望损失；

$S(F)$——设计防治工程条件下灾害的期望损失。

$S(F)$与 $S(Z)$所不同的是在期望损失评价模型中，灾害活动概率(速率)、危害强度、危害范围等要素值需根据防治工程的设计目标确定。

第二，防灾度法。根据防治工程设计目标所要达到的防灾度计算减灾收益。即

$$F(y)_s=S(Z)\cdot F(S) \tag{7}$$

式中 $F(S)$ 为防灾度。在这里指的是实施防治工程后使灾害经济损失减少的幅度（%）。

第三，比拟法。同已经运行的同类防治工程进行比拟，概略确定减灾收益。即

$$F(y)_s=k\cdot F(y)'_s \tag{8}$$

式中 k 为修正系数；$F(y)'_s$ 为同类工程的减灾收益。

少数防治工程除主要取得减灾收益外，还附带有一定的增殖收益，对此需根据收益性质进行核算。如农林牧产品收益可根据单位产品市场价核算。

防治工程的总收益为减灾收益与增殖收益的总和。

(4) 地质灾害防治工程成本核算

基本途径是采用影子工程方法全成本核算防治工程的投入。

需要注意的是，防治工程投入是一种动态投入，所以简单地根据工程设计方案一次性地核算静态投入就不能与以期望损失为基础的减灾收益相匹配，因此得不到合理的防治效益。

防治工程的动态投入首先表现在防治工程投入运行后，会随着使用年限的延长而折旧坏损，因此要么降低效能，影响防灾度，要么需要维修，以基本保持其功能。通常情况下，防治工程要进行经常性维修，因此，要将维修费用连同初始成本一并计入工程投入。即防治工程投入等于初始成本加上维修费用。维修费用除了采用影子工程法进行测算外，还可以按照初始成本的一定比例进行核算；比例数值可根据防治工程的使用年限，大致按折旧率的 50%确定。

在核算防治工程投入时，除了需要考虑运行中的维修费用外，还需要考虑防治费用的折现情况。之所以如此，是因为我们在核算防治效益时，如果有关的不同要素（期望损失减少值、初始成本、防治费用等）的预测时间年份不同，那么由于物价因素的影响，这些要素就不是“站在同一水平线上”，因此它们的可比性就将打折扣。基于这种情况，在核算防治工程投入时，需要根据利率变化进行贴现计算。其函数模型为：

$$PV(r)=\int_0^{\infty}\exp(-rt)\mathrm{d}x(t),t>0 \tag{9}$$

式中：$PV(r)$——防治工程投入费用的贴现值；

r——年名义利率；

t——时间 (a)。

在离散的情况下，上式为：

$$PV(i)=\sum x(t)\exp(-it),t=0,1,2 \tag{10}$$

式中：i——年贴现利率。

5. 地质灾害防治工程优化分析

如前所述，为了使有限的防治资金发挥最充分的减灾效果，需根据最优化原则选择防治项目和确定防治方案。所谓最优化原则，主要体现在三个方面：具有充分的科学性，符合地质灾害防治特点和有关的规范、标准要求；在技术方法、财力、物力以及施工条件等方面切实可行；获得最佳经济效益。

防治工程的科学性、可行性主要通过技术分析进行评价。防治工程的经济效益则是根据以上提供的方法进行分析评价。为了根据防治工程经济评价结果，做好防治工程优选，对最优化理论和优选的基本方法进一步分析如下。

通常情况下，防治费用和防灾度（或减灾效果）互为消长关系：防治投资增加，防治工程规模加大，防灾度提高，灾害损失下降。基于这种关系，为了有效地保护人民生命财产安全，当然是实施的防治工程越多、越可靠，减灾效果越充分。但是这显然是不科学的，对于绝大多数地质灾害防治工程来说，不可能片面追求防治效果，而不顾防治投入的多少。

在这一矛盾面前的最科学的选择是实现防治效果与防治投入的最佳结合。

前面的图 7-1 和图 7-2 是根据多数实践结果绘制的地质灾害防治工程投入与灾害损失和防治收益的一般变化关系，它表明，随着防治工程投入的增加，虽然灾害损失减少，收益增加，但它们都不是线性关系，即当防治投入达到一定规模后，灾害损失减少的幅度和防治收益增加的幅度明显降低，这就意味着在此之前所进行的防治投入获得的收益（产投差或产投比）明显，而后的防治投入获得的收益变小。因此我们可以在对不同投资力度下防治工程经济效益分析的基础上，选择预期损失或防治效益转折部位 Q' 的“临界”投入 $F(c)'$ 作为最佳投入，依此确定相应的防灾度 $F(s)'$ 及工程方案（图 7-3）。

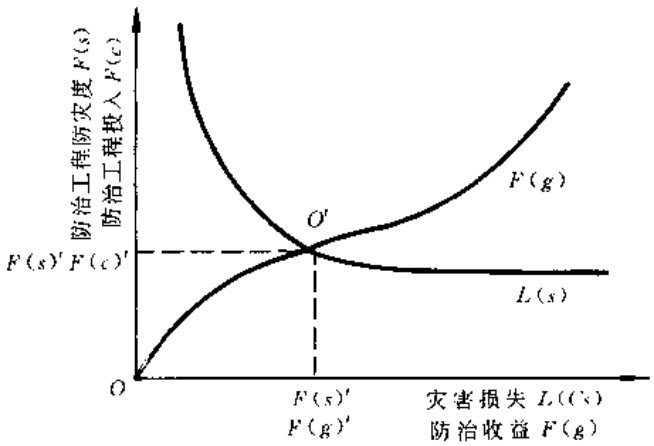


图 7-3　地质灾害防治工程优化投入示意图

当然，图 7-3 显示的是最理想的情况，实践中的情况可能要复杂得多。所谓“临界值”并不是一个点，而是一个区间，此时可采用该“临界段”的平均值或最高值选择防治方案；在一些情况下，可能不存在“临界点”或“临界段”，此时，只能根据不同设计方案的预期收益，直接分析对比后选择最优防治方案。

在分析评价同一项目最优防治工程的基础上，进一步对不同项目的最优方案进行分析对比，本着优中选优的原则，进行项目优选，编制防治规划，排列防治顺序。

第八章　地质灾害管理与风险评估的实施

第一节　地质灾害管理的主要内容和手段

一、地质灾害管理的基本原则与分级管理责任

地质灾害管理的基本目的是：建立适合我国国情的地质灾害管理体制，运用法律、行政、经济、技术等手段，实现减灾社会化、科学化、信息化，调动全社会力量，预防治理地质灾害，最大限度地保护人民生命财产安全，减轻灾害损失，促进社会经济可持续发展。

地质灾害管理的基本原则是：①实行分级管理，推进减灾社会化；②推进灾害管理信息化、科学化、现代化、规范化、法制化；③同其它自然灾害管理相结合；④同资源管理、环境管理及国土开发等相结合；⑤同国家改革和建立社会主义市场经济相结合。

我国地质灾害的基本特点是：种类繁多，破坏损失严重；分布零散而又十分广泛。因此，减灾工作不仅需要巨大的资金投入，而且需要从中央到地方的各级有关部门和广大人民群众坚持不懈的长期努力，共同奋斗。随着社会主义市场机制的建立，我们过去那种由政府包揽的减灾体制不但无法筹措足够的资金，而且难以用行政手段无偿调动人力、物力组织实施减灾工程。为了全面减轻地质灾害，应实行地质灾害分级管理，推行减灾社会化。

地质灾害分级管理的核心是在对地质灾害进行科学分类分级基础上，根据社会系统中对于减灾的责任和损益关系，建立中央政府、地方政府、行业与企业、个人相结合的社会化减灾体系。在该体系中，中央政府和地方政府发挥骨干领导作用，其基本任务是：制定减灾法规和区域减灾规划；制定技术规范及有关的标准；组织区域性地质灾害勘查，进行区域灾情监测，组织灾情预测、预报；实施重大地质灾害防治；组织协调跨地区、跨部门的地质灾害防治；参与区域国土整治和环境治理，削弱地质灾害发生的基础；与国际减灾行动协调；组织减灾科学研究。行业和企业根据政府制定的减灾规划和实际需要，通过基建投入和灾害保险等方式，承担本部门、本企业的灾害防治工作。家庭和个人通过个体防护以及灾害保险、灾害互助等形式投入减灾工作（表 8-1）。

按照这一体制运行的减灾工作有三个优势：第一，调动社会各方面积极性，形成全国、区域、地区、局部相结合的防治网络，加大减灾覆盖面，提高减灾效果；第二，多方面筹措资金，增加减灾投入；第三，明确减灾责任与权益，有利于灾害预防和救治。

二、地质灾害管理的主要内容

地质灾害管理的主要内容是根据分级管理责任，实施灾情管理，进行地质灾害调查、勘查和监测，制定与实施减灾规划和法规，推行减灾技术，筹措管理减灾资金，组织实施防治工程。

灾情管理是地质灾害管理和减灾工作的基础。主要任务是根据地质灾害调查、勘查、防治工程提供的信息，采用地质灾害灾情报告、地质灾害灾情报表等手段进行灾情信息收集

与统计，并进行灾情评估与灾害预测预报，使政府和社会能够及时准确地掌握地质灾害灾情现状和可能出现的变化。

表 8-1　地质灾害分级管理责任简表

管理分级	地质自然环境保护与治理	地质灾害预防与治理	地质灾害研究与灾害管理
中央政府与地方政府	国土整治与区域环境保护	重大灾害与区域性灾害预测、监测、预报、防治	制定法规与规划，进行减灾宣传与教育，组织研究和国际合作
行业与企业	企业环境保护与治理	支持政府减灾活动，实施企业地质灾害预测、预报、监测、防治	执行减灾法规，进行减灾宣传与教育，制定企业减灾规划，进行灾害研究与国际合作
个人	规范生产活动，避免破坏环境	提高减灾意识，加强家庭和个人生命财产的御灾能力，防治小型灾害	遵守减灾法规

根据减灾发展的需要，灾情管理要努力实现科学化、信息化。要达到这一目标，就必须建立覆盖全国的灾情信息网络及相应的地质灾害统计报表体系和计算机信息系统，以此为依托，及时收集与处理各种灾害信息，并按照一定程序和形式发布灾情报告。地质灾害信息库可分为国家和地方两个层次。灾情报告可分为三类：灾害事件专项报告、地质灾害灾情年度报告和地质灾害综合报告。

地质灾害监测与预测、预报是实现地质灾害灾情管理动态化和有效防治灾害破坏的重要手段。其内容可划分为区域性监测、预报；地区性监测、预报；灾害事件（或灾害点）监测、预报。根据灾害分级管理原则，国家、地方政府、企业应根据各自的职责负责建立有效的监测预报系统，并相互配合，逐渐形成完整的监测预报网络。

在地质灾害成灾过程中，灾害事件或灾害活动是成灾系统的主体，承灾对象则是灾害系统的客体，二者相互作用，决定了灾害的形成与发展。因此，灾情管理除了掌握灾害活动信息外，还必须掌握承灾客体（或受灾对象）对灾害的承受能力与防治水平。此方面信息同样是制定减灾规划、实施减灾工程的重要依据，所以也是灾情管理的重要内容。承灾信息主要包括人口分布、工程分布、资产分布、产值分布、土地分布以及防治工程分布和防灾软件系统等。上述内容可大致分为两类信息：一类是基础信息和专业信息……基础信息通常以国家和地方常规统计资料为基础，适当辅以抽样调查即可获得；另一类是专业信息则需通过专门调查取得。

制定和实施减灾规划是实现减灾目标的最实际步骤。地质灾害减灾规划可分为全国规划、区域规划、企业规划。不同层次的减灾规划分别由相应的主管部门制定。任何形式、任何地区的减灾规划都不是孤立的，因此，全国规划、区域规划、企业规划要相互衔接、彼此配合，此外，还要与其它自然灾害减灾规划，以及与同期、同地的经济发展、城市建设、资源开发、国土整治、环境保护等相协调。减灾规划既要有超前目标和先进的科学性，又要有切实可行的方法与措施。

建立健全地质灾害减灾法规，是实施地质灾害管理，实现减灾目标的重要保障。地质灾害减灾法规体系由基本法规、专项法规、地方法规等组成。这些法规除相互协调外，还

必须与矿产资源法、水法、水土保持法、土地管理法等相关法规相衔接。要确保法规的权威性，切实做到有法必依，违法必纠。

地质灾害减灾工程管理的基本目的是提高减灾科学水平，最大限度地发挥减灾效益。多年来，地质灾害管理和防治工作，侧重于灾害形成条件、变化规律等“硬件”内容，灾害经济等“软件”内容非常薄弱，因此在进一步深化灾害自然属性研究的同时，着力加强社会属性和经济属性的研究尤其必要。

三、地质灾害管理的基本手段

地质灾害管理手段主要包括经济手段、行政手段、法律手段、技术手段。

1. 地质灾害管理的经济手段

(1) 筹措管理地质灾害减灾资金，支持地质灾害勘查、监测、研究、防治及灾后恢复和重建

(2) 发展减灾产业，结合市场经济发展，组织社会减灾活动

(3) 推行灾害保险，调动社会积极性，广泛投入减灾事业

2. 地质灾害管理的行政手段

主要是指各级政府在地质灾害管理中行使领导组织职能。主要有以下几个方面内容。

(1) 制定和实施减灾规划

根据全国和地区减灾目标，结合区域社会经济发展，制定不同层次、不同方面的减灾规划，并组织社会有关方面贯彻实施，使整个减灾活动有计划有目的地进行。

(2) 进行减灾宣传教育

通过不同途径宣传减灾知识，推行减灾技术，提高全社会的防灾抗灾意识，推动减灾社会化。

(3) 组织实施基础性地质灾害勘查和区域地质灾害监测、预测以及灾害评估工作

(4) 指挥协调抗灾救灾及灾后重建，最大限度地减少灾害造成的损失

3. 地质灾害管理的法律手段

就是利用法律、法规对地质灾害进行管理。其主要作用是指导和规范减灾活动，保障灾害管理的顺利进行，促使减灾目标的实现。

灾害管理法不是一项单行的法律，而是由相关法规组成的法律体系。主要由下面几部分组成。

(1) 灾害管理基本法

灾害管理基本法在灾害管理法体系中占有核心地位，它对灾害管理的基本内容、原则和灾害管理的目的、范围、方针政策、基本原则、重要措施、管理制度、组织机构、法律责任等作出原则性规定。

(2) 专门性灾害管理法规

专门性灾害管理法是以灾害种类、灾害管理的特殊领域、特殊问题、特殊行业为内容的灾害立法。可以分为灾害管理部门法、配套法规、行业灾害管理法规和程序法规等。

(3) 地方性灾害管理法规

各地区，特别是地质灾害重点防治地区，可在全国性法规基础上根据本地区需要制定地方性灾害管理法规，以规范本地区地质灾害管理工作。

4. 地质灾害管理的技术手段

制定有关的技术标准、规范、规程，并在地质灾害勘察、监测、防治工作中贯彻执行，提高地质灾害减灾水平。

第二节　地质灾害减灾项目管理与风险评估的实施

所谓地质灾害减灾项目是指为了达到某一具体减灾目的而组织实施的一项相对独立的防治或救护措施。

地质灾害减灾项目管理是地质灾害管理的具体体现和实施过程。其基本任务是根据地质灾害管理目标和管理方法，组织实施防治或救护工程，保障取得预期的减灾效果。

地质灾害减灾工程项目主要包括勘察、监测、评估、防治救护和科研等类型。项目管理应贯穿于立项、实施、终结全过程。管理内容既包括技术管理，也包括项目经济管理。管理的基本依据是有关的规程、规范。为提高决策管理水平，在政府管理部门主持下，由专业学术团体或研究机构的专家组成专门机构，对项目进行论证、评估、监督、审查鉴定、验收。

地质灾害减灾项目管理的首要环节是立项和方案优选。我国地质灾害分布广泛，减灾任务繁重，在什么地区，对哪些灾害，采取什么方法进行勘查、监测、防治，是落实减灾规划，发挥减灾效益的重要问题：如果立项正确、方案合理，就可以收到事半功倍的效果；相反，如果立项和方案不合理，不但会直接造成项目经费的浪费，而且不能收到预期的减灾效果，因此造成更大的损失。为了使立项和方案达到最优，需要根据立项目的对项目和方案进行评估；评估内容除了技术评估外，还应进行经济评价，即在对灾害进行风险评估的基础上，论证项目和方案的科学性、经济合理性、可操作性，评价可行性，最终确定项目和方案。

在项目实施过程中，要进行阶段性跟踪管理。即根据项目进展分阶段按项目设计和工作计划进行检查、监督，必要时组织专门的阶段性评审，发现问题及时解决，确保项目的顺利进行。

项目完成后要进行专门验收管理，根据项目各项技术指标和经济指标，审查是否按设计计划完成规定的任务，必要时进行补充、重作，直至达到要求，进行验收。

地质灾害风险评估结果既是组织实施地质灾害项目的依据，也是地质灾害项目管理的重要内容。在管理过程中，可以采用两种方式实施灾害风险评估。

第一，把地质灾害风险评估作为地质灾害勘察的一项内容，与勘察工作一并完成。在已往的地质灾害勘察项目中，调查、分析、研究的重点是灾害活动历史、形成条件等内容，对灾害发生发展一般仅作概略地定性描述，特别是对可能造成的灾害经济损失基本不作深入的专门研究。基于这种情况，在今后地质灾害管理中，应把灾害风险评估作为一项重要内容纳入勘查工作，并对评估内容、方法、目标做出规范要求，充实完善勘察工作。

第二，把地质灾害风险评估作为独立项目安排实施。对于那些危害城市、交通干线等影响严重的地质灾害点或灾害活动区，为了能够对灾害作出充分评估，可以将灾害风险评估单独立项，与一般地质灾害勘察配合进行。此外，对于那些已经完成一般地质灾害勘察工作的灾害点或灾害区，为了部署新的灾害防治工程，可以在原有勘察基础上补充进行灾害风险评估工作。

不同精度的地质灾害风险评估适应于不同阶段的地质灾害勘察：区域评估一般适应于区域性地质灾害勘察或地区性地质灾害勘察；面评估一般适应于地区性地质灾害勘察；点评估一般适应于专门性地质灾害勘察或防治性地质灾害勘察。

无论是哪种精度的地质灾害风险评估，也无论是独立进行的风险评估还是与地质灾害勘察一并进行的风险评估，该项内容都是一项相对独立、相对完整的勘察研究工作。因此，基本上都应遵循灾害风险评估工作的步骤进行实施。

第三节　地质灾害风险评估的基础信息图表体系

地质灾害风险评估需要大量的基础信息，与一般地质灾害勘察相比，这些信息不仅涉及多方面自然要素和经济要素，而且大部分要素需要达到能够准确量化的程度。因此，在地质灾害风险评估中，为了更清晰地表达和使用这些信息，除了必要的文字描述分析外，通常用不同形式的图表反映评估的依据和评估结果；多种不同用途、不同内容的图表组合在一起形成灾害风险评估的图表体系。

根据地质灾害风险评估需要，评估图表体系主要由下列三种图表组成（表 8-2、8-3、8-4）。

表 8-2　地质灾害历史灾情及危险性评价图表

<table>
<tr><td colspan="2">计算机编码</td><td></td><td colspan="2">评估灾种</td><td></td><td colspan="2">评估项目名称</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">顺序号</td><td></td><td colspan="2">评估类型</td><td></td><td colspan="2">评估区位置</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="7">历史灾情</td><td>统计时段</td><td></td><td rowspan="7">灾害活动条件</td><td>地质条件</td><td></td><td rowspan="7">危险性评价</td><td>历史危险性指数</td><td></td></tr>
<tr><td>活动频次</td><td></td><td>地貌条件</td><td></td><td>潜在危险性指数</td><td></td></tr>
<tr><td>活动规模</td><td></td><td>气候条件</td><td></td><td>综合危险性指数</td><td></td></tr>
<tr><td>危害范围</td><td></td><td>水文条件</td><td></td><td>危险性区划</td><td></td></tr>
<tr><td>主要危害对象</td><td></td><td>植被条件</td><td></td><td>灾害活动概率</td><td></td></tr>
<tr><td>经济损失</td><td></td><td>人为活动</td><td></td><td>灾害活动规模</td><td></td></tr>
<tr><td>损失强度</td><td></td><td>其它条件</td><td></td><td>灾害危害范围</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="9">地质灾害危险性分布图</td></tr>
<tr><td colspan="9"></td></tr>
</table>

表 8-3　地质灾害受灾体分布及易损性评价图表

计算机编码			评估灾种		评估项目名称	
顺序号			评估类型		评估区位置	
受灾体类型	数量及价值				受灾体承灾能力及损毁程度		
	数量	平均密度	平均单位价值	价值	损毁程度	损毁数量	价值损失
房屋							
铁路							
公路							
航道							
桥梁							
生命线工程							
水利工程							
构筑物							
设备材料							
室内财产							
农作物							
林木							
土地							
地下水							
其它							
合计							
地质灾害易损性分布图							

表 8-4　地质灾害破坏损失评价与防治工程效益评价图表

<table>
<tr><td colspan="2">计算机编码</td><td></td><td>评估灾种</td><td></td><td>评估项目名称</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">顺序号</td><td></td><td>评估类型</td><td></td><td>评估区位置</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">破坏损失评价</td><td colspan="4">防治工程效益评价</td></tr>
<tr><td colspan="2">评价模型</td><td></td><td></td><td>类型</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="5">评价参数</td><td></td><td></td><td rowspan="5">已建防治工程</td><td>数量</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>效能</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>投资</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>直接经济效益</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>投保比</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">期望损失</td><td></td><td rowspan="10">规划防治工程</td><td>类型</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">期望损失模数</td><td></td><td>数量</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">相对损失率</td><td></td><td>目标效能</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">损失分布</td><td>严重损失</td><td></td><td>投资</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>中等损失</td><td></td><td>直接经济效益</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>轻微损失</td><td></td><td>投保比</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>无损失</td><td></td><td>技术分析</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>可操作分析</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>可行性综合评价</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="7">地质灾害破坏损失与防治工程评价图</td></tr>
<tr><td colspan="7"></td></tr>
</table>

表 8-1 地质灾害历史灾情与危险性评价图表，主要反映历史灾害频次、规模、破坏损失程度，灾害形成条件和危险性评价结果。

表 8-2 地质灾害受灾体分布及易损性评价图表，主要反映受灾体类型、数量、价值和易损性评价结果。

表 8-3 地质灾害破坏损失评价与防治工程效益评价图表，主要反映破坏损失评价模型、评价参数、期望损失、损失分布以及防治工程经济效益，可行性评价结果。

所附的三份图表只是提供灾害风险评估使用的参考性图表。由于不同灾种、不同类型、不同地区地质灾害风险评估的具体内容千差万别，所以在实际工作中可参考本书初拟的图表，根据具体情况确定图表数量，删补图表内容，力求最准确地表达地质灾害风险评估的依据和结果。

为了充分发挥图表的作用，使不同的工作者对图表项目尽可能有一致的理解，对列出的三份参考性图表的主要项目做如下说明。

1. 通用栏目说明

(1) 计算机代码为 10 位：第一位为灾种，1 -崩塌（危岩）—滑坡，2—泥石流，3 地面塌陷，4—地裂缝，5—地面沉降，6 -膨胀土，7—海水入侵，8—其它灾害；第二、三、四、五、六、七位为省（市、自治区）和县（市、区、镇）的行政代码；第八、九、十位为县（市、区、旗）内灾害顺序代码。

(2) 顺序号为系列顺序：表示方法×××—×××—×××；依次为县（市、区、旗）内灾害顺序号、立项主管部门的项目顺序号、地质灾害评估专项顺序号。

(3) 评估灾种主要为第 1 项说明的灾种，其它灾害进行评估时列出灾种名称，并在计算机代码中归于其它灾害。

(4) 评估类型指点评估、面评估、区域评估。

(5) 评估项目名称采用评估区所属行政区加灾种构成，如四川省重庆市醪糟坪滑坡灾害风险评估、河北省唐山市市区岩溶塌陷灾害风险评估等。

(6) 评估区位置指评估区所属行政区；行政区级次一般到县（市、区、旗）；对于大范围的面评估或区域评估可标示到省（市、自治区）或更大的区域名称。

2. 地质灾害历史灾情及危险性评价图表栏目说明

(1) 历史灾情中的统计时段指调查统计的起止年月。活动频次指该时段内灾害活动的次数。活动规模指按地质灾害分级标准确定的灾害等级。危害范围指灾害破坏面积。主要危害对象指主要受灾体类型。经济损失指以货币形式反映的直接经济损失，一般按灾害发生年的当时物价水平核算的损失额。损失强度指评价区单位面积的平均损失额。如果历史灾害次数较多，可采用总计数反映历史损失，亦可将几次灾害分列，逐次反映历史损失。

(2) 灾害活动条件可根据评价区具体情况增减。地质条件包括地层岩性、地质构造及活动性、岩溶发育程度、水文地质特征、工程地质特征等。不同灾害侧重点不一：崩塌和危岩侧重岩石性质、岩石结构、地质构造及现今活动；泥石流侧重地质构造和松散堆积物；地面塌陷侧重可溶岩性质、岩溶发育程度、覆盖层性质及厚度；地裂缝侧重地质构造及现今活动；地面沉降侧重松散层结构与性质；膨胀土侧重于土的物理力学性质；海水入侵侧重含水层性质和地下水水动力条件。

地貌条件主要反映地貌类型和微地貌特征：地貌类型根据灾害活动区海拔高度和相对

高差划分；微地貌特征主要包括地形坡度、沟谷形态及发育程度等。

气候条件包括气候类型、多年平均气温、多年平均降水、暴雨天数、最大降雨强度等。

水文条件主要为地表水水位、水量动态变化等。

植被条件包括森林覆盖率和植被覆盖率。

人为活动包括水资源及其它资源开发强度，对环境产生重要影响的工程建设，以及过度农、牧和采伐林木等。

其它条件指上列6种以外的对地质灾害活动具有重要影响的因素。

(3) 灾害危险性评价反映危险性评价结果。历史灾害危险性指数、潜在灾害危险性指数、综合危险性指数、危险性区划用于区域灾害评估，各项含义按区域评估方法中的有关解释界定。

灾害活动概率、灾害活动规模、灾害危害范围适用于点评估，各项含义按点评估方法中的有关解释界定。

(4) 地质灾害危险性分布图的中心内容是反映危险性评价结果，重点显示不同活动概率下地质灾害的危害范围和危害强度分区。如果是区域评估则重点反映危险性区划。历史灾害分布和灾害活动条件作为背景内容或基础内容予以反映。如果内容过多，图面负担过重，难以清楚地显示各方面要素时，可作成2～3张图，分别反映不同方面要素的分布情况。

3. 地质灾害受灾体分布及易损性评价图表栏目说明

(1) 受灾体类型按易损性评价中对受灾体的划分标准进行界定；如果评价区内同类受灾体的种别差异较大，应进一步分类调查统计。如房屋根据结构不同进一步分类，公路等级进一步分类等。各种受灾体价值应按评估当年价统一进行核算。

(2) 受灾体损毁程度按易损性评价中划分的损毁等级确定；损毁数量按不同损毁程度分别核算；价值损失按易损性评价中提出的方法进行核算。

(3) 地质灾害易损性分布图主要反映评价区受灾体分布情况、价值密度分布情况、损毁程度和价值损失分布情况；如果图面内容过多，负担过重，可作成2～3张图，分别反映不同方面的分布情况。

(4) 在区域灾害评估中，受灾体无法准确进行分类统计时，以社会经济指标代替受灾体要素。社会经济指标主要包括人口密度、工程建筑密度、耕地丰度、产值密度等；这些要素可以分单元调查统计，易损性分布图主要反映易损性区划和主要要素的分布情况。

4. 地质灾害破坏损失评价与防治工程效益评价图表栏目说明

(1) 破坏损失评价主要反映评价方法和评价结果。其中评价模型指的是用于该评估项目的模型类型和具体的核算公式。评价参数指模型的各种要素或因子的数值；期望损失额、期望损失模数指单位面积的期望损失额。相对损失率指期望损失额与同期、同地区国民生产总值（或其它产值指标）的比值。损失分布指不同损失区的损失额和损失比例。

(2) 防治工程效益评价主要反映已建防治工程情况和规划防治工程效益分析与可行性评价。

①防治工程类型指防治工程形式和种类；

②数量指防治工程的多少，如植树面积、修堤长度、建坝座数等；

③防治效能指防治工程的主要作用，如护坡、导流、排水等；

④防治投资指以货币形式反映的投资数量；

⑤直接经济效益指防治工程的直接收益和灾害损失的减少数；

⑥投保比指直接经济效益和防治工程投资的比率；

⑦为了便于对比，防治工程投资和经济效益应折算成评估当年值，除列出数额外，应列出年平均数；

⑧技术分析指对防治工程科学先进性的分析评价；

⑨可操作性是根据现实科学技术水平、施工条件和财力、物力支持程度及对防治工程实施难度进行的分析评价。可行性综合评价是根据经济效益、技术先进性、可操作性对防治工程可行程度的综合评价。

（3）地质灾害破坏损失与防治工程评价图主要反映地质灾害破坏损失程度和防治工程分布情况。主要内容包括：主要受灾体损毁分布、期望损失模数分布，已建防治工程分布、规划防治工程分布及可能效益分布等。如果内容繁多，图面负担过重，可分为两张图分别反映地质灾害期望损失分布和防治工程分布情况。

在大面积的区域性地质灾害风险评估中，难以获得图表中的评价要素，此时用风险指数代替期望损失，防治区划代替防治工程；评价要素和评价图主要反映灾害风险分布情况和重点防治区。

第四节　地质灾害管理信息系统

地质灾害管理信息系统是进行灾害管理与风险评估的重要手段，它在广泛收集和整理研究区已有的地质灾害调查、勘查、防治信息，社会经济环境状况，统计信息等资料的基础上，形成为决策提供服务的数据库系统。系统应具有信息录入功能、检索查询功能和打印输出功能等模块。

地质灾害管理信息系统的功能设计应当与地质灾害的管理需要紧密结合，几大模块为一个整体，其基本结构如图 8-1：

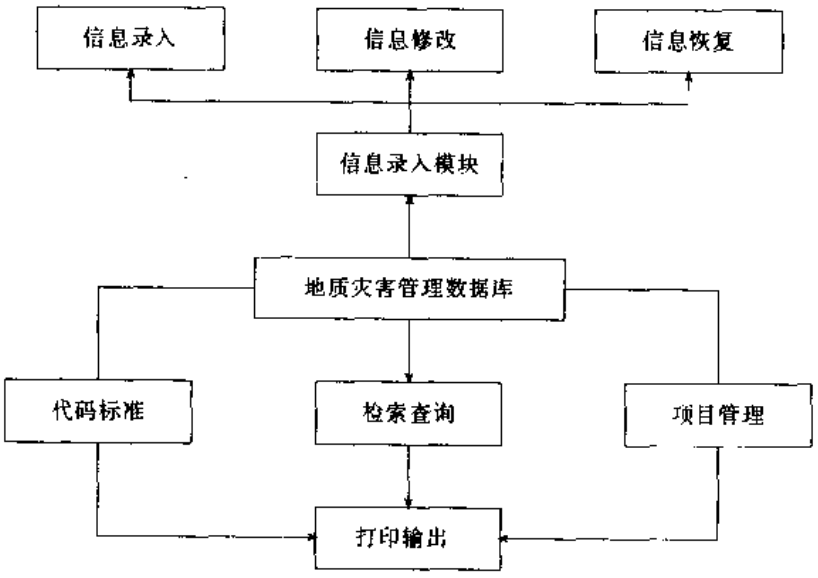


图 8-1　地质灾害管理信息系统结构图

1. 信息录入功能

它主要包括信息录入、信息修改和信息恢复三个功能模块。

(1) 信息录入模块

本系统包括地质灾害普查信息、勘查信息、防治信息、当年地质灾害发生信息、重要地质灾害点评价信息、重要地质灾害区域评价信息、社会经济环境信息和地质灾害种类、分布频次、强度等统计信息以及地质灾害项目管理数据、文档管理数据、图例代码、图形代码、信息代码等数据库。

(2) 信息修改模块

在对以上信息录入的数据进行检查时，若发现录入的信息有误或需补充一些内容，可用此模块根据屏幕对数据进行操作。

(3) 信息恢复模块

为保证数据存贮的安全性，该系统对数据实行备份和恢复操作。

数据备份，可以对数据库逐个备份或成批备份。

数据恢复，将备份文件恢复到指定数据库中，指定数据库将被覆盖。

2. 检索查询功能

可以进行单笔记录查询和多笔记录同屏查询，查询条件可以是单一条件也可以是复合条件。

3. 打印输出功能

系统一般可提供二种数据输出方式：

(1) 屏幕显示输出

屏幕显示输出是数据输出的一种最基本的形式，为用户提供随机查询和浏览查询两种方式。

(2) 报表打印输出

数据信息的打印输出按预先设计好的报表格式输出。

4. 地质灾害管理数据库

地质灾害管理信息数据库是地质灾害管理信息系统的核心，包括信息数据作为决策支持、地质灾害管理、预测、防治等方面需要的各类数据信息资料，可分为以下七大类：

(1) 行政区划资料

包括所在省市、城市规划（居民用地、工矿用地、交通用地等）、社会经济概况（人口、国民总产值等）资料。

(2) 地质背景资料

包括地质灾害体的物质成分、结构、构造、地层等方面的基础地质资料。

(3) 气象资料

指气象观测站观测的年平均降水、年平均温度、气候类型等气象资料。

(4) 水文资料

包括河流的水文观测资料、地下水类型及水位随季节的变化特征，为地质灾害防治研究过程中水的优化管理提供基础数据。

(5) 各灾种的地质资料

指发生的为何种灾害，其形态、面积、体积、范围、灾害体成因；灾害发生后如何处

理、稳定性分析、适宜性评价及防治建议等资料。

(6) 各种统计资料

包括：全国、各省地质灾害数量的统计；灾种分布（种类、面积、体积、数量等）统计；灾害分级数量统计（大中型、一般灾害的比例）；全国、各省地质灾害发生频次的统计（发生次数，所占比例）；全国、各省所立项目数统计；全国普查、勘查、防治项目费用及所占比例的统计。

(7) 项目、文档资料

在确定系统数据信息源基础上，本着反映地质灾害属性（自然属性、社会属性）、时间（历史灾害、正在发生和尚未发生灾害）、空间（点或区域性灾害）、灾害防治工作流程（普查—勘查—防治）等几方面特征的设计原则，可建立如下专项数据库。

①地质灾害普查信息数据库；

②地质灾害勘查信息数据库；

③地质灾害防治信息数据库；

④当年地质灾害发生信息数据库；

⑤重要地质灾害点评价信息数据库；

⑥重要地质灾害区域评价信息数据库；

⑦社会经济环境状况信息数据库；

⑧地质灾害分布统计数据库；

⑨地质灾害灾种分布统计数据库；

⑩地质灾害分级数统计数据库；

⑪地质灾害频次统计数据库；

⑫地质灾害项目类型统计数据库；

⑬地质灾害项目管理数据库；

⑭地质灾害文档管理数据库。

除上述数据库外，根据数据库系统的需要，还应建立信息代码、图形代码、图例代码等数据库。

主要参考文献

[1] 交通部第一铁路设计院，1975，铁路工程地质手册，人民交通出版社。

[2] 供水水文地质手册编写组，1977，供水水文地质手册，地质出版社。

[3] 南开大学数学系统计预报组，1978，概率与统计预报，科学出版社。

[4] 陈学华，1979，膨胀土基础，中国建筑工业出版社。

[5] 薛禹群等，1980，水文地质学的数值法，煤炭工业出版社。

[6] 廖世文，1984，膨胀土与铁路工程，中国铁道出版社。

[7] 地质矿产部《地质辞典办公室》，1986，地质辞典（四），地质出版社。

[8] 占贤镐等，1986，研究海水入侵地下水的理论与方法，水文地质工程地质，第2期。

[9] 张以诚、钟立勋，1987，滑坡与泥石流，民族出版社。

[10] 杜榕恒等，1987，云南小江流域综合考察与防治规划研究，科学技术文献出版社重庆分社。

[11] 中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会、中国地质学会工程地质专业委员会，1988，《中国典型滑坡》，科学出版社。

[12] 谢广林，1988，地裂缝，地震出版社。

[13] 褚佳棠主编，1988，工程地质学，地质出版社。

[14] 吴恒安主编，1988，实用水利经济学，水利电力出版社。

[15] 罗元华，1997，谈自然灾害的基本属性与减灾基本原则，中国地质灾害与防治学报，第8卷，第1期。

[16] 国际减轻自然灾害十年顾问委员会等，1988，面对自然灾害，地质出版社。

[17] 高庆华、张业成等，1997，自然灾害灾情统计标准化研究，海洋出版社。

[18] 马宗晋等，1990，自然灾害评估、灾度和对策，《中国减轻自然灾害研究》，中国科学技术出版社。

[19] 张光林，1990，地面沉降控制对策的效果及其灰色系统分析——以上海市地面沉降研究为例，地质灾害与防治，第1卷，第2期。

[20] 晏同珍，1990，滑坡及地面沉降单旋回阶段预测，地质灾害与防治，第1卷，第2期。

[21] 陈国亮等，1990，岩溶地面塌陷机制、预测及整治研究，地质灾害与防治，第1卷，第3期。

[22] 李昭潮，1990，黄土高原滑坡及其利用的探讨，灾害学，第5卷，第2期。

[23] 高洪深，1990，社会经济系统工程，社会科学文献出版社。

[24] 梁鸿光编，1990，减灾必读，地震出版社。

[25] 李金昌等，1990，自然资源核算初探，中国环境科学出版社。

[26] 林年丰等，1990，环境水文地质学，地质出版社。

[27] 国家地震局未来地震灾害损失预测研究组，1990，中国地震灾害损失预测研究，地震出版社。

[28] 康彦仁等，1990，中国南方岩溶塌陷，广西科学技术出版社。

[29] 廖世文等，1990，全国首届膨胀土科学研究讨论文集，西安交通大学出版社。

[30] 高庆华，1991，关于建立自然灾害评估系统的总体构思，灾害学，第6卷，第3期。

[31] 李永善等，1991，减灾的经济和社会效益初探，灾害学，第6卷，第4期。

[32] （美）应用技术委员会编，曹新玲等译，1991，加利福尼亚未来地震的损失估计，地震出版社。

[33] 林振跃等，1991，海水入侵防治研究，气象出版社。

[34] 胡景江等，1991，中国东部滨海地区海水入侵活动的形成与防治对策，《论沿海地区减灾与发展》，地震出版社。

[35] 张士峰，1991，海水入侵的控制与整治，《论沿海地区减灾与发展》，地震出版社。

[36] 赵德三，1991，山东沿海地区海水入侵灾情、趋势及其对策，《论沿海地区减灾与发展》，地震出版社。

[37] 国家科委等自然灾害综合研究组，1996，中国减灾社会化的探索与推动，海洋出版社。

[38] 赵德三等，1991，山东沿海地区环境与灾害，科学出版社。

[39] 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所，1991，中国滑坡灾害分布图，成都地图出版社。

[40] 地质矿产部成都水文工程地质中心，1991，中国地质灾害类型图，地质出版社。

[41] 地质矿产部等，1991，中国地质灾害与防治，地质出版社。

[42] 中华人民共和国国家标准，1991，膨胀土地区建筑技术规范（GBJ112－87）。
[43] 国家地质局震害防御司，1991，未来地震的损失评估方法，地震出版社。
[44] 罗云等，1992，灾害防御工程的经济效益评价原理及方法，灾害学，第7卷，第4期。
[45] 申曙光，1992，灾害生态经济研究，湖南教育出版社。
[46] 吕景胜、高庆华，1992，灾害管理，地震出版社。
[47] 张业成，1992，中国地质灾害基本情况与研究工作建议，中国减灾，第2卷，第2期。
[48] 张业成，1992，我国地面沉降的基本特征，地质灾害与环境保护，第3卷，第2期。
[49] 张晶等，1992，我国内生地裂缝灾害概况，地质灾害与环境保护，第3卷，第2期。
[50] 牟会宠，1992，岩溶与塌陷，地震出版社。
[51] 中国地质科学院水文地质工程地质研究所编，1992，中国特殊类土及危害图，中国地图出版社。
[52] 刘希林等，1993，中国山区沟谷泥石流危险度的定量判定法，灾害学，第8卷，第1期。
[53] 赵阿兴、马宗晋，1993，自然灾害损失评估指标体系的研究，自然灾害学报，第2卷，第3期。
[54] 高洪深，1993，社会经济系统工程——理论、方法、案例，社会科学文献出版社。
[55] William J. Petak，Arthur A. Atkisson著，向立云、程晓陶等译，1993，自然灾害风险评价与减灾政策，地震出版社。
[56] ［澳］ W. 尼克. 卡特著，许厚德主译，1993，灾害管理手册，地震出版社。
[57] 殷永候、罗元华等，1993，中国地质灾害，中国建筑工业出版社。
[58] 张业成等，1993，中国地质灾害系统层次分析与综合灾度计算，中国地质科学院院报，第27、28号。
[59] 吕发钦等，1993，资产评估常用数据与参数手册，北京科学技术出版社。
[60] 国家地震局震害防御司，1993，地震灾害预测和评估工作手册，地震出版社。
[61] 石振华、李传尧等，1993，城市地下水工程与管理手册，中国建筑工业出版社。
[62] 张世正主编，1993，计算机绘图软件包二次开发技术与方法，学苑出版社。
[63] 罗元华，1994，关于地质灾害研究、勘察及防治工作的若干建议，中国地质灾害与防治学报，第5卷，增刊。
[64] 孟荣，1994，论地质灾害管理，地质灾害与防治学报，第5卷，增刊。
[65] 张梁、张业成，1994，关于地质灾害涵义及其分类分级的探讨，地质灾害与防治学报，第5卷，增刊。
[66] 张梁、郝秀英，1994，地质环境经济学导论，地质灾害与环境保护，第5卷，第2期。
[67] 黄崇福等，1994，城市自然灾害风险评价的一级模型，自然灾害学报，第3卷，第1期。
[68] 张力等，1994，论灾害经济研究中的风险分析方法，灾害学，第9卷，第2期。
[69] 孙振凯等，1994，自然灾害灾情划分指标研究，灾害学，第9卷，第2期。
[70] 刘燕华，1994，中国自然灾害灾情指标及区域特征探讨，中国减灾，第4卷，第2期。
[71] 张业成等，1994，中国崩塌、滑坡、泥石流成灾特点与减灾对策，地质灾害与环境保护，第5卷，第4期。
[72] 王小军，1995，膨胀岩的判别与分类和隧道工程，水文地质工程地质，第2期。
[73] 王海滋等，1995，防灾工程投资的动态评估，灾害学，第10卷，第2期。
[74] 胡广韬等，1995，滑坡动力学，地质出版社。
[75] 尧红庆等，1995，重庆市规划区滑坡崩塌及泥石流的分布与特征，中国地质灾害与防治学报，第6卷，第3期。
[76] 张连平主编，1995，科学技术哲学概论，中国矿业大学出版社。
[77] 张梁、郝秀英，1995，地质灾害经济学导论，地质灾害与环境保护，第6卷，第2期。
[78] 张显东等，1996，灾害防御工程的费用和效益问题浅议，灾害学，第11卷，第2期。
[79] 于庆东等，1996，灾害经济损失评估理论与方法探讨，灾害学，第11卷，第2期。
[80] 陈志新、伍素兰，1996，大同市地裂缝成因模型及数值模拟，《走向21世纪环境地质问题研究论文集》，石油工业出版社。
[81] 张业成、张梁，1996，正在兴起的地质灾害风险评价，当代地质科学进展，中国地质大学出版社。
[82] 张梁，1996，地质灾害经济学导论，中国地质矿产经济，第9卷，第4期。
[83] 张业成、张梁，1996，论地质灾害风险评价，地质灾害与环境保护，第7卷，第3期。

124434

[84] 张梁，1996，地质灾害经济评估，中国地质矿产经济，第9卷，第9期。

[85] R. J. Blong/Some perspectives on geological hazards.

[86] D. K. C. Jones/Landslide hazard assessment in the context of development.

[87] Griggs, Geological hazards, resources, and environment planning, 502p. 1983.

[88] Confonting natural disasters, 1987, National Academy Press, Washington, D. C.

[89] Laird R. T. et al., 1979, Quantitative land capability analysis, USGSP.

[90] D. Brook/Policy in response to geo hazards: lessons from the developed world? /in G. J. H. McCall et al., 《Geo-hazards》, 1992.

[91] 美国环境系统研究所，1991，ARC/INFO MANUAL.

[92] S. C. Scott/The International Decade for Natural Disaster Reduction and the Geohazards Unit at Polytechnic South West, Plymouth, UK.

[93] Wang Shijing/Zhao Xitao/Sea-level changes in China-past and future: their impact and contermeasures.

[94] Cargo, David N., and Mallory, Bob F., Man and his geological environment, 548p. 1974.

[95] Flawn, Peter T., Environmental geology: conservation, land-use planning, and resource management, 313p. 1970.

[96] Arndt, P., Mineral resources'extraction, environment protection and landuse planning in the industrial and developing contries, 337p. 1987.

[97] Antonio Cendrero, Planning the use of the earth's surface, 556p. 1992.

[98] Greber J. S. et al., Assessment of environment impact of mineral mining industry, 254p. 1979.

[99] Leung Chi-Keung, Resources, environment and regional development, 480p. 1989.

[100] Mecall, Geohazards: natural and man-made, 227p. 1992.

[101] Frank Ahnert (ed.), Quantitative slope models, 1976.



石油0116726