

# 第十二篇

## 地质灾害灾情的风险 评估与分析体系



# 第一章 国内外自然灾害灾情评估工作现状、发展及其原理

## 第一节 国内外自然灾害灾情评估工作概况

国内外对灾害的研究历史非常久远，但将灾害评估作为灾害研究领域中的一项新内容，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。目前虽然尚没有形成完整的理论与方法，但对自然灾害灾情评估工作现已取得了重要进展，不但为减灾发挥了重要作用，而且为灾情评估逐步走向成熟奠定了基础。

### 一、国外灾害评估研究概况

本世纪 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。在一些发达国家，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 department）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与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，将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办法，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，联合支持了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 R.T.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、膨胀土等九种自然灾害,对美国各县发生的灾害建立起一套预测模型;在此基础上,估算了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灾情评估工作,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。”把自然灾害灾情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。国际性减灾会议频繁召开:1980年在美国召开了“国际灾害预防会议”;1984年在我国台湾召开了“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”。与此同时,还召开了多次“国际自然和人为灾害会议”:第一届会议于1982年在美国夏威夷召开;第二届会议于1986年在加拿大里木斯基举行;第三届会议于1988年在墨西哥的因森达举行;第四届会议于1991年在意大利的培卢基举行;第五届会议于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 Proqram)”。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。

## 二、国内灾害评估研究概况

我国是世界上记录灾害最悠久、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，并取得了显著成绩。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。70 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情评估当属地震灾害。其代表性的工作成果首先是由原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，原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，原国家地震局制定了《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。

我国对其它一些灾害也开展了不同程度的灾害评估研究。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，提高灾害保险管理水平发挥了一定作用。

在地质灾害研究领域，灾情评估也开始兴起。70 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、工程地质勘查和研究工作。70 年代以后，地质灾害研究开始突破传统的研究模式，研究理论不断提高，研究内容日益丰富，迅速向新的独立学科发展；伴随这种趋势，灾情评估开始起步。

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

害严重的链子崖危岩、黄腊石滑坡等开始进行防治。在地质灾害勘查、研究项目中，越来越深入地开展了地质灾害灾情评估工作。例如，由原国家计委国土地区司和原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；在对中国近 40 年地质灾害灾情分析的基础上，有人运用 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；有专家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；更有专家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；在借鉴国外和国内其它领域研究成果的基础上，学者可根据环境经济理论，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。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灾情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评估理论和方法进行了日益深入的探讨和总结。例如，在 1987 年全国灾害经济学讨论会上，有人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；还有人于 1988 年提出了用“灾度”表示自然灾害破坏损失规模的意见；又有人于 1991 年提出了建立自然灾害评估系统的总体构想。

近 10 年来，国内还召开了多次有关自然灾害评估的学术会议，对灾害评估的理论、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 年两次召开了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等。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，对灾情评估起到了重要的推动作用。

经过近 20 多年的发展，我国自然灾害灾情评估，在理论和实践方面都取得了丰富成果，同世界同类研究相比，许多内容居国际领先水平。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奠定了重要的基础。所有这些，标志我国自然灾害灾情评估已从萌芽阶段开始进入全面发展时期。

### 三、国内外自然灾害灾情评估取得的主要进展

综观近几十年来自然灾害灾情评估工作，取得的进展主要表现在以下几个方面：

#### （一）自然灾害灾情评估得到越来越广泛的重视

在自然灾害灾情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光辉的发展前景；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组织项目开始进行专门的灾情评估研究，并越来越强调灾情评估成果的应用；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，极大地促进了灾害评估的发展；学术活动越来越频繁，研究成果越来越丰富。

### （二）研究内容越来越广泛

越来越多的学科融入自然灾害灾情评估，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。纵观几十年来自然灾害灾情评估发展过程，一个显著变化是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。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，从而使灾情评估从单纯的自然科学研究，逐渐提高到多学科、多领域研究。

### （三）研究的方法手段越来越丰富

随着灾情评估研究的发展，研究方法日益丰富，除了灾害动力学分析方法外，开始融入多种数理统计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、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，灾情评估不断向模型化、定量化、现代化方面发展。

## 第二节 自然灾害灾情评估发展的基本趋势

### 一、自然灾害灾情评估研究的主要薄弱环节

近年来，国内外自然灾害灾情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有以下几个方面。

#### （一）研究发展很不平衡

在研究方面，只有我国以及美国、日本等少数国家发展较快，多数国家非常薄弱，甚至属于空白；在灾种方面，地震灾害灾情评估起步早，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，远没有形成完善的评价方法。

#### （二）理论研究非常薄弱

自然灾害灾情评估既涉及自然科学理论，又涉及社会经济理论；根据灾情评估的需要，将有关的理论融合在一起，形成相对独立的理论体系，使灾情评估具有坚实的基础。已有的灾情评估虽然对有关理论进行了探讨，但这些探讨是零散的、初步的。在灾

情评估研究从萌芽阶段向发展阶段转化时期，尤其需要理论的推动支持；否则，这一领域将陷于徘徊或停滞状况。

### （三）灾情评估没有得到充分的实践应用

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

## 二、自然灾害灾情评估发展基本趋势

由于减灾发展的需要和社会对灾情评估认识的提高，今后自然灾害灾情评估将得到进一步发展。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评估所利用。

（3）关注和参加灾情评估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情评估工作。

（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。

## 第三节 地质灾害灾情评估的基本原理

科学理论是由科学概念、科学原理和推理组成的体系。它是经过科学实验和观察检验的系统化的科学知识体系，反映了客观事物的本质和规律。它科学理论由三个逻辑要素组成：基本概念；联系这些概念的判断即基本原理或定律；由这些概念与原理推演出来的逻辑结论。基本概念是反映事物本质属性的逻辑思维形式，构成科学理论的基石，否则科学理论就会失去独立存在的支撑点。地质灾害的基本概念已经在第一节阐述，地质灾害中崩塌、滑坡、泥石流、岩溶塌陷、地裂缝、地面沉降、海水入侵、膨胀土胀缩灾害的概念已在第二章中论述。本课题研究建立了由危险性评价、易损性评价、破坏损失评价、防治工程评价组成的“四评价”一体化体系。有关的各种概念将在后边相应的章节中进行界定和论述。所有这些构成了地质灾害灾情评估理论的基本概念体系。

本节将着重论述地质灾害灾情评估理论的另一方面要素——地质灾害活动的动力学



原理和地质灾害破坏损失的经济学原理。

## 一、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）崩塌变形原理

崩塌活动主要是在重力作用下，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，使其完整性受到破坏，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，硬岩突出，由结构面切割或重力蠕变，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，就会改变应力场，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，便会失稳而形成崩塌。

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（图 12-1-1）。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：

$$v = \sqrt{2gH(1-f \cdot \operatorname{ctg}\alpha)}$$

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

$$\alpha = g(1-f \cdot \operatorname{ctg}\alpha) \cdot \sin\alpha$$

式中： $v$ ——崩落体沿斜坡运动的速度/ $(m/s)$ ；

$g$ ——重力加速度/ $(m/s^2)$ ；

$f$ ——斜坡平均阻力系数；

$\alpha$ ——斜坡坡角/度；

$H$ ——斜坡顶到坡底的垂直高度/ $m$ ；

$a$ ——崩落体沿斜坡运动的加速度/ $m/s^2$ ；

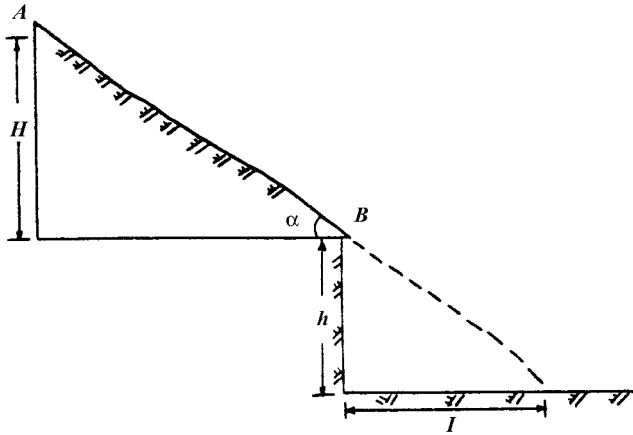


图 12-1-1 崩落体沿斜坡弹跳距离计算示意图  
(说明见正文)

$h$ ——台坎高度/ $m$ ；  
 $L$ ——试验的落石体在台坎处抛射的距离/ $m$ 。

崩落体沿斜坡的弹跳距离： $s = \frac{2v^2}{g \cdot \cos\alpha} \left( \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin^2\beta - \frac{1}{2} \sin^2\beta \right)$

其中：崩落体的弹跳抛射角： $\beta = \frac{200 + 2\alpha \left( 1 - \frac{\alpha}{45} \right)}{\sqrt[3]{v}}$ ，式中符号同前。

(二) 滑坡运动原理

1. 滑体变形功率理论

该理论认为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。它包括滑带岩土渐近破坏或滑带塑性区逐渐扩展，滑坡全部贯通并达到极限破坏，直至滑坡发生的全过程。根据塑性力学理论导出：

$$\int F_i^p V_i^p dv_v \geq \int F_i V_i dv$$
$$\int F_i^p V_i^p dv_v = \int K(V_i) dS_{D_S D}$$

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；  
 $F_i^p$ ——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。 $\int_v F_i V_i dv$ 为变形功率， $\int_v F_i^p V_i^p dv$ 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：

$$\int_0^t \int_v F_i V_i^p dv \cdot dt = \int_{F_v} F_i S_{id} \quad (\text{式中符号同前})$$

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

该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（图 12-1-2）。

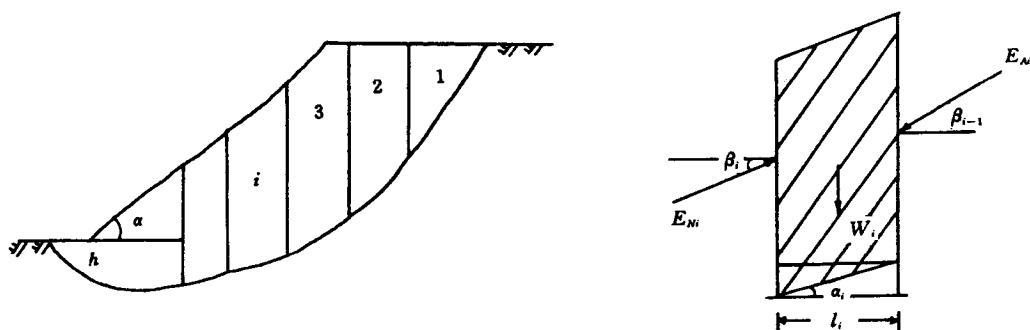


图 12-1-2 极限平衡法计算条间推力示意图

（说明见正文）

条间力的求解：

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

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；

$\beta_{i-1}$ —— $E_{Ai}$  的作用线与水平面的夹角；

$\beta_i$ —— $E_{Ni}$  的作用线与水平面的夹角；

$\alpha_i$ ——第  $i$  条块底面对水平面的倾角；

$\varphi_i$ ——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 ( $E_{Ni}$  和  $\beta_i$ )，故求不出  $E_{Ni}$  和  $\beta_i$  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 12-1-2 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 12-1-2 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。

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

若已知初始条件  $E_{Ai}$  和  $\beta_0$ ，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) 泥石流运动原理

泥石流是小流域（流域面积  $30 \sim 300 \text{ km}^2$ ）和特小流域（ $< 30 \text{ km}^2$ ）内的高浓度泥沙输移现象。上述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。泥石流形成的上水融合过程，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。该过程中物质补给的数量大、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。

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；

$W$ ——准泥石流流体自身重力  $W = S + V \cdot \theta \cdot \gamma$ （准泥石流流体的固体重量为  $S$ ；体积为  $V$ ；准泥石流流体含水率为  $\theta$ ；水的密度为  $\gamma$ ）；

$\alpha$ ——沟坡角度；

$K_0$ ——最大单位面积内聚力；

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

为  $H$  )。

准泥石流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  $f=0.558$ ； $K_0=0.0457$  ( $t/m^2$ )； $K_1=0.107$  ( $t/m^2$ )。公式表明，如果  $K > 1.0$ ，起动力小于抗动力，准泥石流流体稳定不运动；如果  $K < 1.0$ ，则准泥石流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；二是丰富的水分补给来源。据有关资料，四川省日降水量  $\geq 50\text{mm}$ ，且具有充足松散堆积物的沟谷都爆发泥石流。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，提出了泥石流发育的渗流模型。由类比得到泥石流爆发的临界值：

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

式中： $d$  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：

$$D_f(p \cdot q) = 1nN/2\ln\left(\frac{p + \sqrt{p^2 + 4q}}{2}\right)$$

式中： $p$ 、 $q$  是与人类活动、环境因素有关的参数。

#### (四) 岩溶塌陷原理

##### 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  $\Delta P_A$  (图 12-1-3)。

$$\Delta P_A = P'_A - P_A = -\gamma_w (h_1 + h_2 + h_3)$$

式中： $\Delta P_A$ ——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；

$\gamma_w$ ——水的容重/( $\text{g}/\text{cm}^3$ )；

$h_1$ ——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  $\Delta P_A$  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

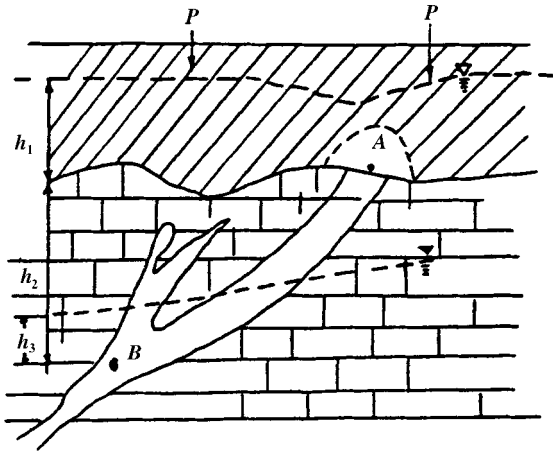


图 12-1-3 压强差形成示意图

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： $\Delta P$ ——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；

$\tau$ ——土体的抗剪强度/kPa。

致塌时波动源点的临界地下水位降深  $\Delta H$  则可根据  $\Delta P$  求得：

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

式中： $\Delta H$ ——波动源点临界水位降深/cm；

$\gamma_w$ ——水的溶重/（g/cm<sup>3</sup>）；

$h_w$ ——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。其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（ $\varphi$ ）值减小，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，将导致塌力增大，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,主体重量则相应增大。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) 地面沉降原理

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。

过渡抽取地下水时,由于来不及从含水层外面补给水量,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,使粘土层中的水相应地进入含水层中,粘土层中的孔隙水压力降低,有效压力增加引起土层压密。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) 地裂缝原理

地裂缝是地壳表层介质的断裂现象。它是由地质动力作用及人类活动等因素叠加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裂度时开始出现,其发育程度与地震震级多呈正比例关系,地震烈度越强,地裂缝的规模及其破坏作用越大。(特别是大地震)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,其致灾过程的速度要快得多。

以内力地质作用为其主要成因的地裂缝统称为构造地裂缝。按其成因特征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幅射状或环状的地裂缝。蠕滑地裂缝是由断裂构造的长期蠕滑运动所产生的。其影响范围取决于活断层的规模。其活动时间与断层的活动时间相一致。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。在三维地裂缝运动位移量中,以垂直位移量最大,扭动位移量最小,水平引张量居中,客观标志即为破裂段或破裂点的错断和张裂。构造型地裂缝一般都作正断层式运动,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运动,

水平张裂运动次之。具有双向扩张运动的特点，一般先在 1 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

该类型是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

该类型是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

该类型是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。

4. 气象地裂缝

该类型是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、渗浊地裂缝、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）海水入侵原理

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  $P = \rho gh$ ，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  $\rho$ ，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. 咸淡水中盐份的浓度差

咸水在扩散过程中由于介质通道不均一性引起力学弥散，扩散和力学弥散合称为弥散。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（表 12-1-1）。一般情况下，淡水水位高于海水位，淡水向海渗流，对海水入侵起到抗衡与低御作用，使入侵和反入侵因子间达到平衡。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。在此带内大量开采地下水以前，海水入侵已经存在并有变化。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；

$h_f$ ——淡水水面高度；

$\rho_f$ ——淡水的密度；

$\rho_s$ ——咸水的密度。

潜水含水层单宽排泄入海量：

$$q = \frac{KH^2}{2L} \cdot \frac{1 + \delta}{\delta^2} - \frac{WL}{2}$$

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——潜水位；

d——承压水水位。

表 12-1-1 海水入侵理论发展阶段表

理论发展阶段	基本理论特殊形态存在的条件	
静力学	忽略弥散	对比咸淡水密度差引起咸水向陆地渗流，咸淡水水位高程差引起淡水向海渗流
渗流		考虑淡水向海渗流的有关参数（流量、渗透系数等）
渗流与弥散联立	考虑弥散	把弥散视为与渗流并存的现象
渗流与弥散耦合		把弥散视为与渗流对立的因素，两者间平衡的破坏和重建构成海水入侵发展全过程的本质

## 二、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。

地质灾害经济学是经济学的一个分支,是环境地质学与经济学的交叉学科。它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,最大限度地减少灾害损失。地质灾害经济学属于矿业经济学的范畴。从更广泛领域看,地质灾害经济学还是环境经济学的一个分支学科。它研究保护地质环境,协调社会经济活动与地质环境的关系,预防地质灾害的发生。下面分别论述地质环境经济理论和地质灾害经济理论。

### (一) 地质环境经济理论

#### 1. 环境是一种生产要素,也是资源

因为劳动力需要使用劳动工具,在一定的环境空间条件下进行生产。环境提供了生产空间,保障了人类的生存与发展。恩格斯一再强调:“劳动和自然界一起才是一切财富的源泉,自然界提供劳动以材料,而劳动则把材料变成财富。”经济学理论说明,人类生产力系统的运行与发展过程,就是人类在包括地质环境在内的自然环境中所从事的物质资料的生产过程,是生产主体——劳动者运用生产工具作用于自然地质环境提供的劳动对象,使之成为更加适合于人类需要的产品的过程。这一过程,我们可以抽象地概括为人与自然地质环境之间进行物质交换,能量与信息的交流与转换,并保持相互间的动态平衡的过程。它的变换、交流与转化是通过两条渠道实现的:一方面是人类的生产系统向自然地质环境系统索取资源与自然力,从自然地质环境系统输入一次能源与资源;另一方面是生产系统向自然地质环境系统释放某种作用力,并排放出生产和生活的废弃物,从而又作用于自然地质环境系统。在两者相互“输入”和“输出”之间的能量运动、物质循环和生态平衡中,都有一个对方能否承受、能否保持协调效应和能否持续利用的问题。如果生产力系统对自然地质环境的索取和排泄物,控制在动态平衡所能负荷的范围之内,自然地质环境系统将是良好的,生产力将不断获得良好的运行条件。反之,若对自然地质环境中的资源过渡索取或不顾自然环境的容量而肆意排放有害物质,自然地质环境系统就会失衡而趋于恶化,建立其上的生产力系统势必发生退化和不良运行。因此,随着人类对全球人口的巨大增长以及资源稀缺性的认识,对全球环境保护方面取得的共识,作出了将经济、社会的发展与资源、环境相协调,走可持续发展道路的战略选择。我国是发展中国家,处于工业化高速发展时期,为了增强综合国力和提高人民生活水平,必须保持较快的经济增长速度,同时又不能破坏经济发展所依赖的资源和环境基础,实现可持续发展,才是中国发展的前途所在。

自然资源是国民经济与社会发展的重要物质基础,是实现可持续发展的保障。我国的社会经济基本特征和资源约束状况表明,如果不把合理使用资源,保护生态环境纳入

经济发展之中统筹规划，经济增长就难以持续，也难以实现可持续发展。我国随着工业化和人口的发展，对自然资源的巨大需求和大规模开采消耗，已导致资源基础的削弱、退化、枯竭。地面沉降、地裂缝、海水入侵等缓发性地质灾害都主要是因为超量开采地下水而引起的。如何以最低的环境成本确保自然资源的永续利用，减轻或避免缓发性地质灾害造成的经济损失，将成为我国实现可持续发展战略的关键问题。

### 2. 资源与可持续发展

(1) 人口、资源、环境、管理决策四位一体的高度综合，是持续发展道路的基本核心，也是协调人与自然关系，协调人与人关系的关键。判断一个国家或地区持续发展水平的高低，有下列五个基本要素：①资源的承载能力。这是一个国家或地区按人均的资源数量和质量，以及它对于该空间内人口的基本生存的支撑能力。②区域的生产能力。这是一个国家或地区在资源、人力、技术和资本的总体水平上，可以转化为人所需求的不断增长的物质能量水平。③环境的缓冲能力。人们对区域的开发、对资源的利用、对生产的发展、对废物的处理等，均应维持在环境的允许容量之内。④进程的稳定能力。在整个发展的轨迹上，不允许出现因自然波动和经济社会波动所带来的灾难性后果。⑤管理的调节能力。它要求人的智力开发和对于自然、社会、经济复合系统的驾驭能力，要适应于持续发展水平的要求。上述要素全部满足后，可以寻求对于一个国家或地区持续发展的判断，也可以全面地比较不同国家或地区的持续发展潜力，从而建立衡量持续发展水平的序列谱。

资源的承载能力是持续发展的基础要素。土地是人类赖以生存的基本资源。马克思指出：劳动和土地“是形成财富的两个原始要素”，是“一切财富的源泉”。这里的土地代表了全部自然资源，因为一切自然资源都附着于土地。马克思这一思想给了我们三点启示：一是除劳动外，土地是人类创造物质财富的唯一源泉，是无可替代的物质资源；二是一切自然资源附着于土地，意味着土地利用的合理与否影响着一切自然资源的合理开发利用；三是劳动和土地是形成人类财富不可分割的两大要素，土地的优化配置实际上包括了作为自然资源的土地与作为社会资源的劳动结合一体的配置。

水资源是人类须臾不可缺少的资源。传统发展模式片面地认为水资源是取之不尽，用之不竭的，可以无限满足人类生存与发展的需要。于是不断地扩大水资源的开发利用，破坏水环境，产生一系列水环境问题，制约了经济社会的可持续发展。可持续发展对于发达国家和发展中国家同样是必要的战略选择。人类的社会经济行为将要是否符合可持续发展作为检验的标准。我们要使某一区域水资源、环境的使用量达到一种可持续量，就要使这一区域的水资源量及环境保持平衡。这就意味着，对于可再生的水资源、环境资源在未被利用时，资源量基本上能保持一种平衡。当人们开始利用水资源、环境资源时，这种水资源、环境资源量开始变小，要想继续保持平衡必然要得到更大的补充量，更大的生长量或者减少消亡量（水均衡原理）。对于可再生的水资源、环境资源如何得到“最大可持续使用量”，支撑社会经济的可持续发展，则是我们将深化研究的问题。水资源对可持续发展的支撑能力，取决于水资源的总体配置，保持水资源的平衡，优化产业用水结构。我国必须选择一条与发达国家不同的资源组合方式，即非传统

的现代化道路，其核心思想就是建立一个低度消耗资源的节约型国民经济体系，以促进资源的节约，杜绝资源的浪费，降低资源的消耗，提高资源的利用率和单位资源的人口承载力，增强资源对国民经济发展的保证程度，以缓和资源的供需矛盾。建立资源节约型的国民经济体系是克服资源危机的基本对策。

(2) 一个国家的财富是其经济、社会和资源、环境几方面的综合，包括：①自然资本——土地、水源、生物以及石油、黄金和铁等矿产资源的经济价值；②创造的资本——机器、工厂、基础设施、水利系统、公路和铁路等；③人力资源——人们的生产能力（如教育、营养）所代表的价值；④社会资本。

世界银行确定了 192 个国家的三类财富——自然资本、创造的资本和人力资源，每一类按美元计算的价值；并确定了其中 90 个国家 25 年期间的时间序列。计算结果：原材料出口国（63 个发展中国家）的财富占世界总财富的 4.6%，其中：创造的资产在它们的总财富中占 20%；自然资本占 44%；人力资源占 36%。其他发展中国家（100 个国家）占世界总财富的 15.9%，其中：创造的资产占其财富的 16%；自然资本占 28%；人力资源占 56%。高收入国家（29 个国家）拥有世界财富的 79.6%，其中：创造的资产在它们的总财富中占 16%；自然资本占 17%；人力资源占 67%。

从上述计算结果可以看出，创造的资产在大多数国家的实际财富中只占 20% 或不到 20%，而大多数国家都把创造的资产看成是确定财富的主要标准。这样就掩盖了一个国家的“真正财富”，或是缺少这方面的情况。如果一个国家通过出售矿产资源（石油、煤炭等）来增加收入，并把收入用于消费而不是用于投资，就是消耗了他们的财富。消耗掉的财富要从一个国家的净财富中扣除掉。另一方面，各国可以通过真正保存财富，也就是增加国家的净财富来创造新的财富。保存的财富定义是：一个国家生产出来的东西减去消费掉的东西，再减去创造的资产的折旧和消耗掉的自然资源。消耗财富的结果就是用于人力资源投资的钱愈来愈少，使人们更难以摆脱贫困。

世界银行把重点放在财富和真正保存的财富上，这样就把“可持续发展”的概念落实到行动中。世界银行行长萨拉杰丁说：“可持续发展使子孙后代得到的机会跟我们一样多（如果不是更多的话）。这就是说，把按人口平均和我们现在一样多（如果不是更多）的财富传给他们。这里所指的财富包括所有四类：创造的资产、自然资本、人力资源和社会资本。这也意味着，进行某些替换是可能做到的，虽然每一种资本尤其是自然资本都是很有限的。”

### 3. 地质环境保护和地质灾害防治是公共物品，要制定和完善各项保护政策

在市场经济条件下，企业以盈利为目标，不会认为他们的最大利益在于生产社会成员所需要的一切物品。存在着整个一类物品，被称之为公共物品或社会物品。公共物品是为社会提供集体利益的物品和劳务，在某种意义上，它们被集体加以消费。例如国防、野生地保护、环境保护、自然灾害防治和公共卫生等。公共物品通常每一个人都消费它，而不论他们是否为此而支付。这种物品一旦被生产出来，任何一个人都不可以被排除在享受它带来的利益之外。一个完全的自由放任的市场体系不会产生出社会所有的成员可能想要的每一件产品。公民必须联合起来保证所需的公共物品被生产出来，这一

般地通过由税收筹措资金的政府供应所完成。政府供应的目的在于修正市场生产消费者想要的每一件产品时自然出现的失灵。例如美国制定了“气泡政策”、“补偿政策”和“经济补偿政策”，力求以最小的防治污染费用获取最佳的污染控制效果。因此，地质环境保护和地质灾害防治主要靠政府制定和完善各项政策来约束企业和公民自觉遵守法规，提高环境保护意识。

### 4. 环境外部性对资源配置的影响——市场失灵

外部性是指强加于或给予交易双方以外的或外部的个人或一群人的某些成本或利益。当一个人或一群人的行动或决策对某些第二方或第三方强加了成本或赋予了利益时，就可以说存在一种外部性。按照传统福利经济学的观点来看，外部性是一种经济力量对于另一种经济力量的“非市场性”的附带影响，是经济力量相互作用的结果。这种影响有好的作用，也有坏的作用。好的作用称为外部经济性或正外部性，坏的作用称外部不经济性或负外部性。

市场这只万能的、无形的手，在环境外部性面前就失灵了。某一种经济活动的外部经济性或外部不经济性，就是该活动行为的社会影响与个人影响之差。就费用而言，这种外部不经济性所表现的外部费用，就是社会费用与私人（可以是企业、生产者、消费者或家庭）费用之差值。如果某种经济活动存在外部费用，则必然不反映在价格信号上，或者说超越于私人费用之外。社会费用是一个相加的概念，即私人费用与外部费用之和。当外部费用表现形式主要是环境污染、环境破坏或其它环境问题恶化时，这种外部费用就是环境费用。例如：纺织行业的生产需要消耗一定数量的水，而且在生产过程中产生污染物。这些未经处理的印染废水，直接排放后都会使别的企业或居民承受金钱上或心理上的损失。如果用这种废水灌溉会破坏土地生产力，而使农作物产量下降；利用被印染废水污染的河流作为工业用水的企业，将增加水质处理成本；处于被污染河流下游的城镇，不得不付出大批资金修建水处理厂，使其水质达到饮用水标准。这就是纺织行业的外部不经济性行为。它所造成其它企业、居民的损失则为外部费用。一般来说，垄断竞争市场导致资源非有效配置，可以通过反垄断措施或政府干预的途径来纠正。如政府对垄断企业的外部污染收污染税，使外部费用由污染企业承担（外部费用内部化）。

我国传统的观点认为：计划经济是克服或消除环境问题的唯一手段。其实也不尽然，因为完备的计划经济体系在我们的现实生活中是不可能实现的。第一，中央计划部门没有完备的信息系统，准确、及时、全面地收集到各种资源要素、消费者偏好、技术变化等信息来制定万无一失的计划。第二，以完全计划机制实现资源的有效配置，要求中央计划目标及其所体现的利益与生产者、消费者分散决策动机、目标及其利益完全一致。而在我们的经济现实中，随处可见整体目标利益与个体目标利益的冲突。第三，现有计划方法和手段无法保证计划的完备性，因此往往带来计划失效。计划失效引起的不仅仅是经济的停滞，而且还带来了严重的环境恶化与生态破坏。党的十四大明确提出：“我国经济体制改革的目标是建设社会主义市场经济体制，以利于进一步解放和发展生产力。”针对市场经济的特点，国家应一方面应加强法制，强化市场运行规则；另一方

面要完善宏观调控手段，增强国家对市场运行的间接调控。因此，地质环境保护工作应大大加强经济手段在管理监督过程中的作用，通过调整水资源开发利用单位的经济利益，促进其外部不经济性向其内部转化。市场经济的调节是自发的调节，宏观调控反映国家的目标和政府意图，是从社会、集体、长远利益出发对市场进行调节。对市场经济来说，宏观调控不是内生变量，而是外在变量。因此我国传统计划经济体制必然被社会主义市场经济体制所取代。发展中国家在向市场经济迈进时尤其需要宏观调控，以消除市场经济本体的局限性和运行中存在的市场失灵问题。同时还要通过宣传导向手段加强对地质环境保护的教育，提高全民族的资源环境意识。加强资源环境教育是实现可持续发展的一项战略性措施。

### （二）地质灾害经济理论

地质灾害有突发性地质灾害和渐变性地质灾害两大类。突发性地质灾害往往危害人类生命安全，造成重大经济损失，属于守业经济，采用负负得正的原则评价灾害损失和减灾效益。渐变性地质灾害属地质环境恶化型，属发展经济范畴。通过规划协调地质环境与社会经济发展的关系，采用综合治理的措施，达到保护环境、减少灾害、发展经济的目的。此外，灾害的发生往往有一个量变的积累过程，环境恶化到一定的程度就要形成灾害，环境恶化和灾害是灾害形成的不同阶段。就地质灾害管理而言，主要是对灾害进行系统的观测和分析，改善有关灾害防御、减轻、准备、预警、响应，恢复，对策和发展等全过程。针对灾害管理的任务，地质灾害灾情评估所要研究的正是地质灾害危险性预测，易损性分析，经济损失评估、防治效益评估和灾后处理、恢复、发展的全过程所发生的一系列自然—社会经济关系。地质灾害全过程规律性现象的经济研究，为灾害发生的不同时期、不同灾种、不同区域的减灾最优决策提供科学依据。

因此，在认识自然变异规律和灾害活动过程基础上，分析灾害对人类的破坏作用以及人类社会对灾害的适应与反馈机制。为了最大限度地减少灾害损失，在制定与实施减灾对策时，除了充分发挥人类改造自然的能动作用，削弱自然变异程度和灾害规模外，更主要的是科学地规划人类自身的活动，实现环境与经济的协调发展。

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，地质灾害灾情评估必须与地质灾害机制研究相结合，与灾害破坏、损失的工程分析相结合。地质灾害发生的物理基础，也是经济分析的基础。也就是说，地质灾害灾情评估必须从灾害发生机理、灾害造成的破坏及其造成经济损失的全过程去分析研究。

#### 1. 灾害经济是守业经济

其所研究的是对已有资源、财产的保护问题。这种经济的特点是“以负换正、减负得正、负负得正”，即防灾只有投入没有产出。它是通过防灾投入“负”效益的影响作用，来减少灾害损失，减少的部分就是正效益。灾害具有不可避免性，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：为守业而投入的追加劳动（即防灾救灾投资），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）。

## 2. 防灾价值

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，即  $r = F/C$ 。因此，可推得防灾工程的价值与防灾功能和防灾成本具有如下关系：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危害防御效能。

防灾工程所实现的灾害防御系统，其基本功能是人类对防灾活动的基本要求，也可理解为防灾活动所能发挥的作用或所产生的效能。防灾工程具有两大基本功能：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与财富的破坏损失，以及避免和减轻环境与生态不良恶化的功能。第二，防灾的同时还能保障和维护人类的生产、生活活动，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。

## 3. 防灾效益

效益是指某种活动（或投资）所获得的成效（收益）与为它所付出的代价之比较的度量。效益 = 收益/投入或效益 = 收益 - 投入。前者称为比值法，后者称为“差值法”。防灾效益评估是根据“费用 - 效益核算原理”进行的。经济学认为，“经济分析的着眼点在于决策”。几乎所有的决策都涉及到“替换关系”。因此，“替换”成了一种规律，并在一定程度上成为一种经济理论。我们用防治条件下减少的地质灾害期望损失费用来代替地质灾害的防灾收益。其表达式为：

防灾效益 = 防灾收益（地质灾害期望损失费用）/防灾投入（地质灾害防治工程费用）或防灾效益 = 地质灾害期望损失费用/地质灾害防治工程费用。

## 4. 灾害防治环境优化效益

灾害防治的深层次效应是优化自然地质环境，使一个恶化了的、脆弱的、多灾的自然地质环境转变成一个相对良好或完全实现良性发展的、有较强抗灾能力的自然地质环境。由此而产生的效益称为自然地质环境优化效益。

### （1）优化指标体系。

①灾害规模减小率（ $W_1$ ）：将治理后第七年作为评估时期，评估该年的灾害规模在治理前多年平均成灾规模基础上的减小率，即：

$$W_1(t) = \frac{V_0 - V_t}{V_0}$$

式中： $V_t$ ——治理后第  $t$  年灾害发生的规模（如固体物质总体积）；

$V_0$ ——治理前多年平均成灾规模（如固体物质总体积）。

由于地质灾害受多种因素的影响，所以某一年的灾害规模具有很大的随机性。因

此，用  $n$  年成灾规模的平均减小率更具有可比性和代表性，即：

$$\overline{W}_1 = \frac{V_0 - \overline{V}(t)}{V_0}$$

式中： $\overline{V}(t)$  ——治理后  $n$  年的灾害平均规模，即：

$$\overline{V}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$$

$$\text{同等成灾条件下成灾规模减小率 } W_1(\text{次}) = \frac{V_0(\text{次}) - V_t(\text{次})}{V_0(\text{次})}$$

式中： $V_0(\text{次})$ 、 $V_t(\text{次})$  分别为治理前后同等成灾条件下的单次灾害规模。

②灾害活动重现期变化系数 ( $W_2$ ):

$$W_2(i) = \frac{T(i) - T_0(i)}{T(i)}$$

式中： $T_0(i)$  ——第  $i$  级灾害在治理前的重现期 ( $a$ )；

$T(i)$  ——治理后同量级灾害发生的重现期 ( $a$ )。

③灾害成灾范围缩小率 ( $W_3$ ):

$$W_3(t) = \frac{F_0 - F(t)}{F_0}$$

式中： $F_0$  ——治理前的成灾面积；

$F(t)$  ——治理后第  $t$  年成灾的面积。

④松散固体物质动储量减少率 ( $W_4$ ):

$$W_4(t) = \frac{D_0 - D_t}{D_0}$$

式中： $D_0$  ——治理前可引起灾害的极不稳定的物质体积；

$D_t$  ——治理后仍处于不稳定的物质体积。

⑤防治后洪水含沙量减少率 ( $W_5$ ) 单次洪水的减沙率 [ $W_5(j)$ ] 为：

$$W_5(j) = \frac{S_0(i) - S(j)}{S_0(i)}$$

式中： $S_0(i)$  ——治理前第  $i$  次暴雨引起的洪水平均含沙量；

$S(j)$  ——治理后第  $j$  级洪水的平均含沙量。(第  $i$  次暴雨和第  $j$  次暴雨的降雨特性相似)。

河水年平均含沙量减少率 ( $W_6$ ) 为：

$$\overline{W}_5(a) = \frac{S_0(a) - S_t(a)}{S_0(a)}$$

式中： $S_0(a)$  ——治理前某年的平均含沙量；

$S_t(a)$  ——治理后第  $t$  年的平均含沙量。

治理前后多年平均含沙量减少率 ( $\overline{W}_5$ ) 为：

$$\overline{W}_5 = \frac{\overline{S}_0 - \overline{S}(t)}{\overline{S}_0}$$



式中： $\bar{S}_0$ ——治理前的多年平均洪水含沙量；

$\bar{S}(t)$ ——治理后多年平均含沙量。

⑥地质灾害类型减少率 ( $W_5$ ):

$$W_6 = \frac{N - n}{N}$$

式中： $N$  和  $n$  分别为治理前后的灾害类型数。

(2) 自然地理环境优化效益评估模型。

$$X(t) = a_1 W_1^{b_1} + a_2 W_2^{b_2} + a_3 W_3^{b_3} + a_4 W_4^{b_4} + a_5 W_5^{b_5} + a_6 W_6^{b_6} = \sum_{i=1}^6 a_i W_i^{b_i}(t)$$

式中： $X(t)$ ——治理后第  $t$  年的优化总效益；

$t$ ——时间座标 ( $t = 1, 2, 3, \dots$ )；

$W_i$ ——各指标的量化值 ( $0 \leq W_i \leq 1$ )；

$a_i$ ——非线性模型中多项式的系数 (权重)；

$b_i$ ——各指标的指数 ( $b_i \leq 1$ )。

## 第二章 地质灾害灾情评估与减灾效益分析

### 第一节 地质灾害灾情评估

#### 一、地质灾害灾情评估的目的、类型与主要内容

##### （一）地质灾害灾情评估的目的

地质灾害灾情评估的目的是通过揭示地质灾害的发生和发展规律，评价地质灾害的危险性及其所造成的破坏损失、人类社会在现有经济技术条件下抗御灾害的能力，运用经济学原理评价减灾防灾的经济投入及取得的经济效益和社会效益（张梁等，1998）。

突发性地质灾害往往危害人类生命安全，造成重大经济损失，防治灾害的投入往往不能马上取得经济效益，因此，需要采用负负得正的原则评价灾害损失和减灾效益。渐变性地质灾害属地质环境恶化型，通过规划、协调地质环境与社会经济发展的关系，采用综合治理的措施，可达到保护环境、减少或减轻灾害损失、发展经济的目的。

从深层次看，地质灾害破坏经济环境和社会环境，从而影响经济和社会发展。地质灾害灾情评估必须与地质灾害的成因研究相结合，与灾害破坏、损失的工程分析相结合。

##### （二）地质灾害灾情评估的类型

地质灾害灾情评估有多种类型，不同的分类原则可有多种分类方法。虽然各种评估类型的评估目标基本相同，但评估特点和具体方法则不完全一致。

根据评估时间，地质灾害灾情评估分为灾前预评估、灾期跟踪评估和灾后总结评估三种类型。灾前评估是对一个地区地质灾害事件的危险程度和可能造成的破坏损失程度的预测性评价，它是制定国土规划、社会经济发展计划以及减灾对策预案的基础；灾期跟踪评估是在灾害发生时对灾害损失的快速评估，它是制定救灾决策和应急抗灾措施的基础；灾后总结评估是指在灾害结束后对灾害损失进行的全面评估，它是决定救灾方案、制定灾后援建计划和防御次生灾害的重要依据。

根据评估范围或面积，可将地质灾害灾情评估分为点评估、面评估和区域评估三类

1. 点评估

点评估是指对一个地质灾害体或具有相同活动条件及特征相对独立的灾害群进行的评估，评估范围一般不超过几十平方公里，点评估的对象是具体的单一的灾害体或灾害事件，通过评估能比较准确地量化它的损失程度和风险水平，可作为防治工程设计与施工的依据，如为治理滑坡或滑坡群而进行的滑坡灾害评估。

2. 面评估

面评估是对具有相对统一特征的自然区域或社会经济区域进行的评估，评价区面积一般从几十平方公里到几千平方公里，如一个小流域或一座城市。其目的是评价某一地区地质灾害的破坏损失程度或风险水平，指导地质灾害防治工程并为区域规划和资源开发提供依据。

3. 区域评估

区域评估是指跨流域、跨地区的大面积的地质灾害灾情评估，评估范围为一个省或几个省乃至全国，面积一般在几万平方公里以上；区域评估的目的是对区域性地质灾害的破坏损失或风险水平进行评价，从而为宏观减灾决策和区域经济规划提供依据（表 12-2-1）。

表 12-2-1                      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	地区地质灾害综合灾情	区域地质灾害总体灾情
评价面积	一般不超过几十平方公里	几十至几千平方公里	几千至几百万平方公里
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	定量化	定量为主，定性为辅	半定量、半定性

（三）地质灾害灾情评估的内容

地质灾害灾情评估是对地质灾害灾情进行调查、统计、分析、评价的过程。在地质灾害成灾过程中，灾害活动情况是灾情评估的重点，灾前孕育阶段和灾后恢复情况分别是灾情评估的背景条件和辅助内容。因此，地质灾害灾情评估的内容包括危险性评价、易损性评价、破坏损失评价和防治工程评价四个方面的内容，其中危险性评价和易损性评价是灾情评估的基础，破坏损失评价或灾害风险评价是灾情评估的核心，防治工程评价是灾情评估的应用。

危险性评价的目的主要是分析评价孕灾的自然条件和灾变程度，通过分析地质灾害

的形成条件和致灾机理，确定地质灾害的强度、规模、频度及其危害范围等。易损性评价是对受灾体的分析，其目的是划分受灾体类型，统计分析受灾体损毁数量、损毁程度，核算受灾体的损毁价值。破坏损失评价是对地质灾害发生后人员伤亡和财产损失的情况分析，其基本任务是核查人口伤亡数量、核算经济损失程度，评定灾害等级和风险等级。防治工程评价主要用来评价地质灾害防治工程的经济效益、社会效益和环境效益，对防灾抗灾工程的资金投入和效益进行分析。

## 二、地质灾害危险性评价

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

对于历史地质灾害可以通过调查统计获取相关的资料和信息，对于潜在地质灾害则需要调查研究的基础上通过一系列分析计算才能获取有关的资料。点评估主要是对潜在灾害体或已经出现的灾害现象进行分析评价，确定未来的灾害发生几率、可能的规模和危害范围、活动强度及破坏程度等。面评估是对一个地区某一类或几类地质灾害的活动程度进行分析评价，确定研究区未来灾害的类型、活动频率、强度、规模及其破坏能力，并进行危险性分区。区域评估是对大范围内多种地质灾害活动强度的综合分析评价，通过危险性区划确定区域性地质灾害的活动水平和危害程度。

### （一）突发性地质灾害发生概率的确定

地质灾害发生概率是崩塌、滑坡、岩溶塌陷、地震等突发性地质灾害危险性分析的重要指标。突发性地质灾害属于随机性事件，同时又具有重复性和周期性特点。在不同条件下，它们发生的几率和成灾程度不同。确定突发性地质灾害发生概率的方法很多，常用的有经验法、动力分析法与条件分析法、历史灾害频数统计法等。

对于活动频繁且有较长时间观测记录或充分研究资料的地质灾害，可通过进一步分析不同时间尺度的灾害周期性变化规律，根据经验确定不同规模灾害事件的发生概率。

动力分析与条件分析方法是通过对潜在灾害体的力学机制和形成条件分析，利用数学模型确定灾害发生概率的方法。

历史灾害频数统计法是通过将地质灾害在历史上的活动次数进行统计，总结出不同规模灾害活动随时间的分布频数曲线，根据曲线类型确定灾害活动规模与灾害发生频率的关系，从而得出灾害发生的概率。

## （二）渐进性地质灾害发展速率的确定

地质灾害发展速率是地裂缝、地面沉降、海水入侵等渐进性地质灾害危险性分析的基础指针。渐进性地质灾害的评价对象是已经发生灾害的地区，评价内容主要是地质灾害的未来活动强度和成灾水平，评价方法主要有约束外推法和模拟模型法两种。

约束外推法是指通过分析系统内大量随机现象的变化规律，确定系统发展的约束条件，并依此推测系统未来发展趋势的方法。约束外推预测的具体方法主要有德尔非法、单纯外推法、趋势外推法、移动平均法、指数平滑活动、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法。在建立灾害活动规模与时间关系的基础上，依照已有的自然趋势外延，预测未来不同时期灾害活动规模，并计算灾害发展速率。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的评价目标最为适用。

模型模拟法是根据“同态性原理”确定评估对象的同态预测模型，建立数学模型，分析未来状态与现实状态之间评价目标的数量关系，从而得出未来情况下的目标值。

随着计算机技术的广泛应用，在灾情评估中还可以采用数值模拟技术来预测灾害活动的发展速率和不同条件下灾害的活动规模。

## （三）地质灾害危害范围的确定

地质灾害危害范围的大小主要取决于灾害类型、活动规模和活动方式。如地震灾害波及几千平方公里的范围，而崩塌的危害范围一般为几百~几千平方米。地质灾害的危害范围可根据致灾的动力因素来分析确定，如地震的危害范围可由地震震级、震源深度及震中距等因素确定。对于崩塌、滑坡和泥石流而言，它们的成灾范围一般包括灾害体发育区、灾害体活动区以及由其引发的次生灾害危害区三部分组成。准确圈定地质灾害危害范围，对不同地区、不同类型地质灾害的规模、活动方式及其破坏能力进行评价，是评估和预测灾害损失的重要依据。

我国西藏波密贡地区 2000 年 4 月 9 日发生罕见山体大滑坡后，中国水科院遥感技术应用中心利用我国“资源一号”卫星在上述地区的 1 月 26 日、4 月 13 日和 5 月 9 日的遥感数字图像，结合国家测绘局制作的 1:250000 电子地图，在滑坡的发生范围内生成了三维立体图像，了解到了滑坡体和受淹地区的全貌，成功地对滑坡灾害做出了定量评估。为了预测滑坡体一旦溃决对下游造成的灾害，做好减灾救灾的防范措施，水科院遥感技术应用中心在数字高程模型（Digital Elevation Model, DEM）的基础上，计算出滑坡体下游至通麦桥的河道坡度，获得了直观、全面而准确的资料，为有关部门迅速地做出决策提供了可靠的科学依据。

## （四）区域地质灾害危险性区划

区域地质灾害危险性区划的目的是把地质条件复杂、危险性程度参差不齐的大面积评价区，划分成若干个地质灾害活动条件和危险程度相近的单元，作为确定评价参数、

实现区域评价的基础，它所反映的是不同地区地质灾害危险性的相对差异。

区域地质灾害危险性区划的基本步骤是：首先将评价区划分成若干单元，通过分析各个单元地质灾害活动的基本要素、成因机制；然后建立数学模型，利用数学模型对评价区域进行定量化计算，确定不同单元的危险性指数；最后根据危险性指数的分布特点和自然地理与社会经济条件进行分区。地质灾害危险性指数的计算方法有灰色聚类法、模糊综合评判法、信息熵评判法等。

### 三、社会经济易损性评价

#### （一）社会经济易损性构成

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。这一概念暗含了人类社会和经济技术发展水平应对正在发生的灾害性事件的能力。社会经济易损性由受灾体自身条件和社会经济条件所决定，前者主要包括受灾体类型、数量和分布情况等；后者包括人口分布、城镇布局、厂矿企业分布、交通通讯设施等。

#### （二）易损性评价的主要内容与基本方法

易损性评价的主要对象是受灾体，其目的是分析现有经济技术条件下人类社会对地质灾害的抗御能力，确定不同社会经济要素的易损性参数，为地质灾害破坏损失评价提供基础。主要评价内容包括：划分受灾体类型，调查统计各类受灾体数量及其分布情况，核算受灾体价值，分析各种受灾体遭受不同类型、不同强度地质灾害危害时的破坏程度及其价值损失率。

##### 1. 受灾体价值损失率

受灾体价值损失率是指受灾体遭受破坏损失的价值与受灾前受灾体价值的比率，它是易损性评价的重要内容。在灾后评估中，可通过对受灾体的调查，根据其实际损毁程度，评估核算受灾体的价值损失率。但在以期望损失为目标的灾情评估中，只能根据受灾体遭受某种强度的地质灾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。

##### 2. 灾害敏感度分析税承受能力分析

不同受灾体对不同类型和活动强度的地质灾害的承受能力不一样，可能的损毁程度及灾后的可恢复性也存在着差异。地质灾害易损性评价包括灾害敏感度分析和承受能力分析两个方面，它反映了人类工程活动和社会经济发展与自然环境组成要素之间的适宜程度。

灾害敏感度是指在一定社会经济条件下，评价区内人类及其财产和所处的环境对地质灾害的敏感水平和可能遭受危害的程度。通常情况下，人口和财产密度越高，对灾害的反应越灵敏，受灾害危害的程度越高。灾害敏感度分析的基本要素包括人口密度、建筑物密度和价值、工程价值、资源价值、环境价值、产值密度等。分析方法主要有模糊

综合评价、灰色聚类综合评价等。

承灾能力是指人类社会对地质灾害的预防、治理程度及灾后的恢复能力。若防灾、抗灾和灾后恢复重建的能力强，则其承灾能力强。承灾能力分析的基本要素包括受灾体抗御地质灾害的能力、减灾工程的密度及其防治效益。

## 四、地质灾害破坏损失评价

### （一）地质灾害破坏损失构成

从广义上讲，地质灾害的破坏损失由生命损失、经济损失、社会损失、资源与环境损失构成。但从可量化的角度看，生命损失和经济损失对人类不但具有最直接的关系，而且比较容易量比评价；社会损失和资源与环境损失主要表现为间接损失，目前还难以进行量化评价。因此，地质灾害破坏损失主要是指地质灾害的经济损失，即以货币形式反映的地质灾害受灾体的价值损失。

### （二）评价内容

地质灾害破坏损失评价是定量化分析地质灾害经济损失程度的过程，利用以货币形式表示的绝对损失额和相对损失额来反映地质灾害破坏损失的程度。其主要内容包括：计算评价区域地质灾害经济损失额、损失模数，相对损失率；评价经济损失水平和构成条件；分析破坏损失的区域分布特点。

### （三）评价方法

地质灾害破坏损失评价的基本途径是在地质灾害发生概率、破坏范围、危害程度和受灾体损毁程度分析的基础上，研究地质灾害的经济损失构成，进而确定经济损失程度和分布情况。

地质灾害经济损失主要是由受灾体价值损失形成的。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也不一样，主要有成本价值（或修复成本价值）损失核算、收益损失核算、成本－收益价值损失核算三种。

#### （1）成本价值损失核算。

成本价值损失核算以受灾体成本价值为基数，根据其灾害损失程度或者修复成本、防灾成本投入核算受灾体的价值损失。房屋、道路、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可采用该方法进行价值损失核算。

#### （2）收益损失核算。

收益损失核算以受灾体的可能收益为基数，根据其灾害损失程度核算受灾体价值损失，主要适用于农作物价值损失核算。

#### （3）成本－收益价值损失核算。

成本－收益价值损失核算以受灾体的成本和收益为基数，根据其灾害损失程度核算

受灾体价值损失，主要适用于资源价值损失核算。如土地资源的价值表现为成本价值和效益价值两个方面，前者包括为建设交通、能源、通讯设施等投入的费用；后者包括可能的商贸效益、工业效益、农业效益和旅游效益等。

### 1. 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、受灾体数量较少的灾害事件，可以对所有受灾体进行实际调查，评估其灾前价值；然后，根据其实际破坏情况，逐一确定损毁程度和价值损失率。如果成灾范围较大、受灾体数量较多，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。

### 2. 地质灾害期望损失评价

在危险性评价和易损性评价基础上核算可能的灾害损失的平均值，即期望损失评价。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。例如，崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害的期望损失评价可根据风险评价理论采用概率预测方法进行计算；地面沉降、海水入侵等渐进性地质灾害可采用趋势预测方法进行计算；膨胀土胀缩灾害可根据防治措施采用影子工程法计算其期望损失。

## 五、地质灾害防治工程评价

### （一）评价内容

地质灾害防治工程评价的目的就是实现地质灾害防治的最优化。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。

地质灾害防治工程评价的基本内容是：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。

地质灾害防治工程评价的途径是结合地质灾害防治规划或防治方案，评价防治措施的技术可行性和经济合理性。技术可行性可通过工程分析和已有同类防治工程的有效性分析等途径实现；防治措施的经济合理性则根据防治效益或投入效益比确定。

### （二）防治工程经济效益评价方法

以地质灾害防治工程为主构成的灾害防御系统，其基本功能是减轻或免除灾害给自然环境造成的破坏以及对人类生命财产造成的损失，保障和维护人类的正常生产和生活，促使人类劳动价值的增值（财富增值）。防灾效益取决于防治条件下减少的地质灾害（期望）损失费用与防灾工程的投入费用，其表达式为：

$$E = O/I \quad (12-2-1)$$

其中，E 为防灾效益，O 为防灾收益（或地质灾害期望损失费用），I 为防灾工程投入费用。



由上式可以看出，防灾效益的高低主要取决于防灾收益（用货币形式反映的防灾功能）与防灾成本（防治工程所需要的材料、劳动等投入）之比，而防灾收益和防灾工程投入费用的大小又与灾害危害强度、防灾度（防治工程对灾害的可能防御程度）、设防标准（防治工程的设计防灾能力）、防灾功能（防治工程可能实现的消灭能力、对受灾体的防护能力以及可能产生的其他作用）等有关。

地质灾害防治工程效益主要体现在减灾效益上，少数防治工程还附带有一定的增殖效益，如植树造林除具有稳定斜坡岩土体、防治水土流失的减灾效益外，林木产品还可以产生一定的增殖效益。增殖效益可根据单位产品市场价格核算。

通常情况下，防治费用和防灾效益呈正比关系。人力、物力和财力的投入加大，防治工程规模扩大，则防灾度提高，灾害损失下降。但从经济学角度看，必须以最小的减灾投入获取最大的防治效果，实现地质灾害防治效果与减灾投入比最佳。

此外，还可以利用投入产出法、比拟法等计算地质灾害防治工程效益。

## 第二节 地质灾害减灾效益分析

### 一、地质灾害经济损失分析

#### （一）经济损失分析

地质灾害所造成的直接经济损失是指由灾害事件摧毁或损坏的现有设施的价值；而救灾资金的投入、各产业部门产值的减少、环境的恶化以及自然资源的破坏等均属间接经济损失。不同类型的地质灾害所造成的直接经济损失有所不同，如崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝等所造成的损失主要是破坏地表的建筑物；土壤盐渍化则主要使农作物减产；而煤层自燃主要表现为自然资源的破坏；土地荒漠化和水土流失不仅破坏生态环境，还使土壤肥力减退（表 12-2-2）。

表 12-2-2 地质灾害经济损失类型构成表<sup>a</sup>

灾害种类	房屋，道路，桥梁，生命线工程，水利工程，构筑物		航运		农作物，设备，材料，林木		室内财产，土地资源		地下水资源	
地震、火山	+	+	+		+	+	+		+	
崩塌—滑坡	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
泥石流	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

灾害种类	房屋，道路，桥梁，生命线工程，水利工程，构筑物		航运	农作物，设备，材料，林木		室内财产	土地资源	地下水资源	
地裂缝	+	+					+		
地面沉降		+	+	+			+		
岩溶塌陷	+	+		+		+	+		
特殊土	+	+					+		
土地荒漠化				+	+		+	+	
地下水变异				+				+	+
海水入侵				+			+	+	+

<sup>a</sup> ++：明显损失，+：一般损失。

地质灾害经济损失评估涉及面广、内容复杂，对地质灾害造成经济损失的评估结果往往有一定出入。有的学者认为我国地质灾害造成的直接经济损失为 75 ~ 125 亿元/年，其中崩滑流占 40 ~ 50 亿元以上其依据是地质灾害损失占我国自然灾害总损失的 1/4；如果把 90 年代的自然灾害损失按每年 1000 亿元计，则地质灾害造成的直接经济损失约为 250 亿元/年。另有学者认为，我国地质灾害的年平均直接经济损失为 80 ~ 120 亿元，其中崩滑流 20 ~ 30 亿元，地震为 10 ~ 20 亿元。

1992 年国家计委下达“全国地质灾害现状调查”项目，该项目对我国 15 种地质灾害的直接经济损失进行了比较全面准确的评估。采用的评估方法有直接经济统计法（水土流失、土壤盐渍化、冷浸田、煤层自燃、瓦斯爆炸、地面塌陷、地面沉降、地裂缝）、模数法（崩滑流）、直接引用主管政府部门发布的数字（土地沙化、地震）。在 15 种主要地质灾害中，以摧毁、损坏现有设施为主的 9 种地质灾害①共造成直接经济损失 55 亿元/年；以造成减产为主的地质灾害②共造成直接经济损失 55 亿元/年；以破坏自然资源和恶化生态环境为主的地质灾害③共造成直接经济损失 15 6 亿元/年，海水入侵④的直接经济损失 8 亿元/年。合计 15 种共达 274 亿元/年，其中① + ② + ④共计 118 亿元/年（表 12-2-3）。

地质灾害间接经济损失的评估更加困难，只能依据典型实例的直接和间接经济损失比例来评估。原地矿部有关单位研究提出的几种主要灾害造成的直接经济损失与间接经济损失为：崩塌、滑坡为 1:10，泥石流为 1:5，地面沉降为 1:3。

表 12-2-3 15 种主要地质灾害直接经济损失统计表

损失分类	灾害类型	年均经济损失/亿元
直接破坏现有设施 ( I )	崩塌, 滑坡, 泥石流	36.0
	地面塌陷	4.39
	地面沉降	1.0
	地裂缝	0.4
	地震	10.0
	瓦斯爆炸	0.1
	坑道突水	3.0
造成社会产值减少 ( II )	冷浸田地	30.0
	土地盐渍化	25.0
破坏环境, 损失资源 ( III )	土地沙化	45.0
	水土流失	96.0
	煤层自燃	15.0
VI <sup>a</sup>	海水入侵	8.0
合计		274.0

<sup>a</sup> 海水入侵既造成了现有设施的破坏 (如使水源地设施报废), 也能造成产值的减少 (减少产水量), 又能破坏地下水资源, 破坏地下水环境, 所以作为单独一类。

## (二) 中国地质灾害发育现状评估

据全国地质灾害现状调查统计资料表明, 中国地质灾害十分严重, 造成的人员伤亡和经济损失巨大。仅云南、北京、辽宁、四川、甘肃 5 个省 (区) 就查明崩塌、滑坡、泥石流达 41 万多处, 年均死亡人数 928 人; 有 16 个省 (区) 出现地裂缝, 共 432 处, 1073 条以上, 总长超过 346.78 km; 24 个省 (区) 发生岩溶塌陷, 共 2 841 处, 塌陷坑 33 192 处, 塌陷面积 332.28 km<sup>2</sup>; 23 个省 (区) 出现采空塌陷, 共 180 处, 塌陷坑 1595 个, 塌陷面积 1150 km<sup>2</sup>; 8 个省 (区) 出现黄土湿陷; 14 个省 (区) 发生坑道突水, 近 10~20 年达 262 宗, 死亡近 200 人; 坑道瓦斯爆炸, 近 10 年发生 200 次以上, 死 1400 多人; 煤层自燃每年损失煤炭资源  $1200 \times 10^4$  t。

崩塌、滑坡、泥石流严重影响铁路干线的修建和运营。全长 503 km 的宝兰线沿线已发生滑坡灾害 848 处。1981 年 7~9 月受百年不遇的暴雨袭击, 沿线多处发生崩塌、滑坡或泥石流, 中断行车 3 个月, 治理维修费用约 3 亿元。

我国沙漠和沙漠化土地总面积  $153.3 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 已超过全国耕地面积的总和, 占国土总面积的 15.9%; 50~70 年代, 我国沙质荒漠化土地每年以 1560 km<sup>2</sup> 的速度扩大; 进入 80 年代, 平均每年扩大 2100 km<sup>2</sup>; 到 90 年代后期, 沙质荒漠化土地的扩展速度达到了每年 2460 km<sup>2</sup>。全国每年因风沙危害造成的直接经济损失高达 45 亿元。

地面沉降是我国东部平原的主要地质灾害，这种渐变性地质灾害在开始时不易为人们察觉，而一旦致灾，即形成范围广、损失严重而又难以治理的灾害。江苏省苏州、无锡、常州地面沉降在 70 年代为 3 个孤立的点状区域；到 80 年代末期，已形成了连片的大范围沉降区，地面沉降加剧了 1998 年长江流域的大洪水灾害。河北平原在 70 年代初，沧州、衡水、德州、天津为互不相联的漏斗沉降区；到 80 年代末期，也已形成了连片的大面积沉降区。

水土流失往往被认为是发育在黄土地区的地质灾害，现在，全国至少有 25 个省（区、市）存在严重的水土流失。除黄土地区外，广东、广西、湖南、江西、四川等省（区）的花岗岩丘陵区、中生代砂页岩分布区、碳酸盐类岩石分布区都发生了大范围的水土流失，长江上游金沙江（攀枝花到宜宾段）和四川盆地的水土流失，已使江水含沙量显著增加，有使长江成为第二条黄河之危。据不完全统计，全国水土流失面积（水力侵蚀）达  $182.37 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。表 12-2-4 列出了我国 1949~1992 年地质灾害损失的基本情况。

表 12-2-4		1949~1992 年中国地质灾害概况表
灾害类型	灾害种类	灾害基本情况
地震	地震、火山	全国共发生 6 级以上地震 356 次，其中 7 级以上 53 次。一次死亡百人以上，直接经济损失超过亿元的 12 次。共造成死亡 27.3 万人，受伤 76.5 万人（其中重伤 23.3 万人），经济损失数百亿元。现今火山活动微弱，危害不大。
崩滑流	崩塌 滑坡 泥石流	全国共有灾害性泥石流沟 12 万条，滑坡数万处，崩塌数十万处。共发生较大活动 4 100 多次，造成明显损失的 849 次。26 个省区，501 个市、县或企业受到危害，20 多个县城被迫搬迁或待迁，50 多个大型企业搬迁或停产。共造成 10 980 人死亡。平均近每年发生严重灾害 21 次，死亡 262 人，直接经济损失 2.4 亿元。
地面变形	地面沉降 地面塌陷 地裂缝	全国发生地面沉降的城市有 56 个，上海累计沉降量达 2.6m，年最大沉降量 262mm。发生较大规模塌陷 1000 多处，其中岩溶塌陷 833 处，约 70 个城市、100 多个矿山。企业受到危害。全国 300 多个市、县发现地裂缝 1000 多处。

灾害类型	灾害种类	灾害基本情况
矿井灾害	矿井突水 冲击地压 冒顶 瓦斯突出 煤自燃 矿井灾害	全国共发生灾害性突水事故 1300 次。1955 ~ 1989 年煤矿发生突水 835 次，造成淹井 240 次，死亡 1537 人，直接经济损失约 40 亿元。1949 ~ 1985 年发生冲击地压 1842 次，其中重大灾害事故 30 次以上。冒顶事故时有发生。全国共发生 16 万次瓦斯突出事故，其中特大型突出 100 多次，平均年损失 10 亿元。全国有煤自燃矿井近 300 个，使 $6000 \times 10^4 \text{ t}$ 煤炭资源无法开采。新疆的 42 个煤田火区平均每年因煤自燃损失 20 亿元。全国有热害矿井 20 多个。
特殊岩土	湿陷性黄土 膨胀土 淤泥质软土	全国有湿陷性黄土面积约 $38 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；受膨胀土危害的房屋建筑面积大于 $1000 \times 10^4 \text{ m}^2$ ；淤泥质软土主要分布在沿海平原及内陆盆地中。结果导致房屋开裂，水库渗漏、塌岸，边坡失稳，道路、桥梁变形等。
水土流失	水土流失 土沙漠化 盐碱化	全国水土流失（包括水力侵蚀和风力侵蚀）面积约 $283 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，解放初时扩大 $37 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，沙漠化土地约 $32 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，盐碱化土地 $27 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。水土流失每年损失土壤 $50 \times 10^8 \text{ t}$ ，肥力损失相当于 $4000 \times 10^4$ 化肥，每年损失粮食 $2 \times 10^8 \text{ kg}$ ，牧草 $35 \times 10^8 \text{ kg}$ 。
冻融	冻胀 融陷	全国多年冻土面积约 $225 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，主要分布在东北北部和青藏高原；季节冻土约 $509 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，主要分布在东北、华北、华中和西北地区。冻融导致道路和建筑物等遭受破坏。
海岸灾害	海面上升 海水入侵 海岸侵蚀	中国东部沿海海平面呈缓慢上升趋势，塘沽观测站平均上升速率达 $7.9 \text{ mm/a}$ ，因此加剧了风暴潮灾害。大连、秦皇岛、烟台、青岛等发生较严重的海水入侵活动，地下水资源遭到破坏。局部地区海岩侵蚀比较严重。

二、地质灾害减灾效益分机

（一）地质灾害损失与防治工程投资效益

地质灾害减灾效益分析主要是针对地质灾害防治工程而言的，通过分析地质灾害防治工程的经费投入和减灾效果来评价其效益。虽然对减灾工程的经费投入可以较准确地计算，但在分析统计因灾害造成的直接经济损失和间接损失方面还存在着较大的困难。

直接经济损失是灾害对现有资产造成毁坏而损失的价值，在统计评估时一般按各种资产的原值或现值进行计算。间接损失是指除直接损失以外的非现实发生的而又由灾害导致必然发生的实际损失。它包括五部分：

- (1) 用于人员伤亡的善后处置费、医药费和灾民生活、生产救济费；
- (2) 原地无法重建时的易地搬迁费和人员安置费；
- (3) 自生产力遭受破坏或影响至恢复期间所损失的工农业产值；
- (4) 国土资源损失，如崩塌和滑坡造成的林地损失、农田毁坏或土壤肥力降低造成的损失等；
- (5) 对次生灾害所投入的抗灾、救灾等费用；

地质灾害减灾效益分析需要建立一套完整的合理的评价指标体系，从不同的角度按不同的标准进行评价就会得出差异很大的结论（文彬等，1990）。以防治地质灾害为目的的资金投入，既不是生产性投入也不是经营性投入，它不产生资金增殖，也就不能用投入与产出之比来反映它的效益。但它属于社会公益性投入，其效益也就必然反映在社会效益和经济效益两个方面。其社会效益主要是对人身安全和自然生态的保护，可以用量化的价值来反映，但不能同投入形成比例关系，属于直接效益。而其经济效益则有直接和间接之分。对灾害地区现有资产的保障属于直接经济效益，可称为保值效益。保值效益（ $Z$ ）由灾害损失价值（ $J$ ）与减灾投入资金（ $T$ ）之差求得，即

$$Z = J - T \quad (12-2-2)$$

或用减灾效益比（ $b = Z/T$ ）来表示。间接经济效益是指减灾资金投入后对未来经济收益的保障，主要为受益地区现有生产规模的工农业年产值，可称为保产效益。保产效益等于灾害防治投入资金与受益地区的生产总值之比。

## （二）地质灾害防治工程减灾效益分析实例

### 1. 湖北省秭归县新滩滑被

1985年6月12日，湖北省秭归县新滩滑坡造成较大的经济损失。但由于发生前投入资金进行了勘查研究和监测，并进行了准确预报，滑坡体上居住的1317名村民安全撤离，无人伤亡。研究监测经费投入仅100多万元，社会效益巨大。

### 2. 四川省云阳县鸡扒子滑坡

1982年7月18日，鸡扒子老滑坡复活， $180 \times 10^3 \text{ m}^3$ 土石滑入长江，河床填高30余米，江岸外移50m，在鸡扒子航段600m范围内形成三道“水坝”，严重阻碍了长江航运，中断航运达100天，若按每天航运损失100万元计，总计损失约1亿元；滑坡还造成其他财产损失约1000万元。此外，滑坡对当地居民的生命和财产安全也构成了巨大的威胁。滑坡发生后，为保证航道畅通和居民安全，国家投入了清理航道等工程整治费用8000万元，其中勘查和坡面整治费用为800万元，占整个滑坡治理费用的1/10。实际上，灾害发生前就已经发现了滑坡可能发生滑动的潜在危害，但没有及时进行详细勘查和有效的治理。如果在灾害发生前投入800万元勘查治理经费就有可能防止这场灾难的发生，从而减轻灾害损失。如此计算，其投入（灾前勘查和治理）与效益（损失将转化为效益）之比为1:23.7（800万元:1.9亿元）。

### 3. 四川省华蓥市溪口地区崩滑流灾害

1989年7月，四川省华蓥市溪口地区发生大量崩塌、滑坡、泥石流灾害。在此之

前，对该地区崩滑流灾害进行了详细勘查和研究，并制定了防治方案，计划总投入约 1000 万元。但因经费难以筹集而未能实施防治措施。由于连降大雨，该地区有 683 处发生崩塌、滑坡、泥石流灾害（其中体积大于  $10000\text{m}^3$  者 89 处）。灾害发生后造成 259 人死亡、伤 269 人，直接经济损失 1.2 亿元。如果按防治方案进行预防性治理，就可以最大限度地减轻灾害的损失。其投入和效益之比可达 1 : 120。

### 4. 天津市地面沉降

天津市为控制地面沉降，四年间投资 3000 万元，使地面年均沉降量由 1985 年的 86mm 减缓到 1989 年的 16mm。由此带来的直接经济效益达几亿甚至几十亿元，而其社会效益更是巨大的。

有的研究者提出灾害防治的“十分之一”法则，即灾前投入一份资金，治理后可以得到十份的经济效益。实际上，在多数情况下灾害防治的投入与效益之比都小于这一比例。

## 第三章 地质灾害灾情评估体系

### 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，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，对灾害的抵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。

### 一、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。

### 二、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。

### 三、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。

### 四、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。

### 五、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。

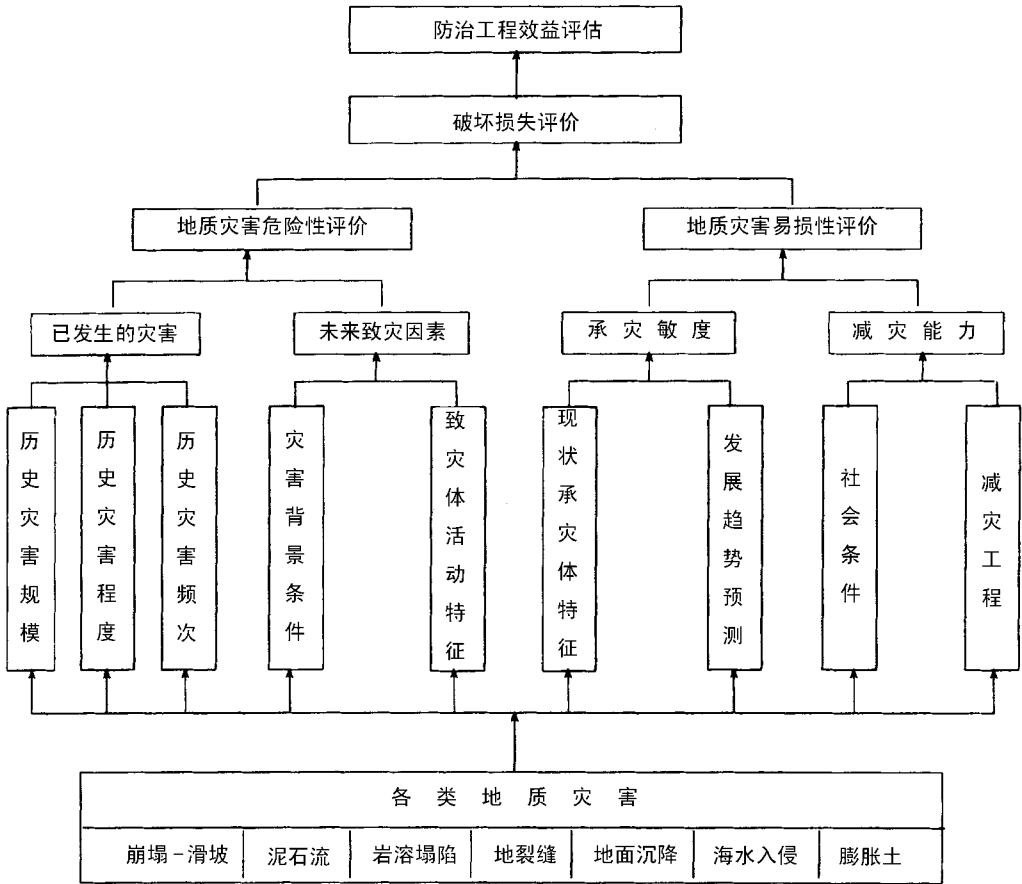


图 12-3-1 地质灾害风险评估系统结构示意图

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 12-3-1 表示。

### 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12-3-1。

表 12-3-1 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 地质灾害危险性与易损性评价

### 第一节 地质灾害危险性的评价

#### 一、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 $55^{\circ}$ 、高度大于30m、坡面凹凸不平的陡峻斜坡上;滑坡多发生在 $15^{\circ}$ 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,斜坡岩上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30m；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12-4-1）。

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。



表 12－4－1 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/km <sup>2</sup>	钻孔岩溶率 % <sup>①</sup>	钻孔遇洞率 %	泉流量 L·s <sup>-1</sup>	单位涌水量 L·(m·s) <sup>-1</sup>
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

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

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 10m 塌陷发生的机会最多，10 ~ 30m 可发生少量塌陷，30m 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上最容易产生塌陷，夹砂砾石的层状非均质上、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，改变岩上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。

### （四）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，上的有效应力增大，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面互相连通；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 12-4-2）

表 12-4-2 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 $p_p/10^5\text{Pa}$	0.20 ~ 0.35	0.35 ~ 0.65	> 0.65
		建筑物损坏程度	轻微，少量中等	南至中等，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

类型	划 分 标 准		分 级		
			弱膨胀土	中等膨胀土	强膨胀土
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	
	参考差别因素	胀聚力 $p_p/10^5\text{Pa}$	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	

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。

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）历史地质交官危险性评价指标

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 12-4-3）

表 12-4-3 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/ $10^4\text{m}^3$	$\frac{\text{平均频度}}{\text{次}\cdot\text{年}^{-1}}$	$\frac{\text{平均密度}}{\text{处}\cdot\text{km}^{-2}}$	$\text{km}^2$	根据灾害体规模和受灾体破坏程度划分等级
泥石流	$\frac{\text{流速}}{\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$ 、 $\frac{\text{流量}}{\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}}$ 和堆积物体积/ $10^4\text{m}^3$	$\frac{\text{平均额度}}{\text{次}\cdot\text{年}^{-1}}$	$\frac{\text{泥石流危害面积}}{\text{占评价区比例}}/\%$	$\text{km}^2$	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/ $\text{km}^2$	$\frac{\text{平均频度}}{\text{次}\cdot\text{年}^{-1}}$	$\frac{\text{平均密度}}{\text{处}\cdot\text{km}^{-2}}$	$\text{km}^2$	根据分布密度和受灾体破坏程度划分等级

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
地裂缝	数量（条、带）、长度/m、宽度/m	$\frac{\text{活动速率}}{\text{m} \cdot \text{a}^{-1}}$	地裂缝危害面积占评价区比例/%	km <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	$\frac{\text{沉降速率}}{\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}}$	沉降面积占评价区比例/%	km <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup> 和地下水咸化程度（Cl <sup>-</sup> 含量、矿化度）	$\frac{\text{发展速率}}{\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1} \text{和} \text{mg} \cdot \text{a}^{-1}}$	海水入侵区面积占评价区比例/%	km <sup>2</sup>	根据 Cl <sup>-</sup> 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 <sup>2</sup>	根据埋藏深度、厚度和膨胀土性质划分等级

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作，只有在膨胀土发育区进行某些工程建设时，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12-4-4）。

表 12-4-4 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的。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 12-4-5）。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 12-4-6）。

表 12-4-5 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、被降、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——地貌发型、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 12－4－6 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；年降水五，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



评估类型	点评估	面评估	区域评估
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。

二、地质灾害性评价方法

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 12－4－7）

表 12－4－7                      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

频率等级	发生频次	发生概率（频率）
4. 微频灾害	50 年以上一次	< 0.02

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（ $\frac{1}{P}$ ）呈反向相关关系（图 12-4-1）。

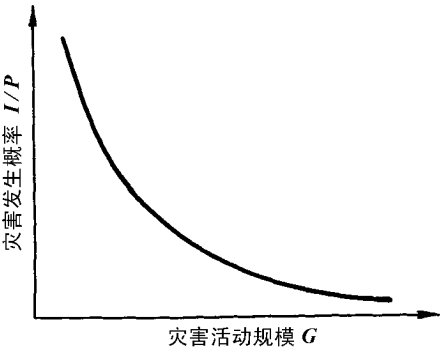


图 12-4-1 地质灾害活动规模 - 发生概率关系图

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。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。系统分析云南省历史崩塌、滑坡、泥石流事件的历史活动规律，建立了超长周期（ $> 10^3\text{a}$ ）、长周期（ $10^2 \sim 10^3\text{a}$ ）、中周期（ $10^1 \sim 10^2\text{a}$ ）、短周期（ $< 10\text{a}$ ）的地区性灾害活动时间序列。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，对这些潜在灾害作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。

当滑移而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；

$\varphi$ ——土的内摩擦角；

$\alpha$ ——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，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：

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

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

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

$W_{i\text{抗}}$ ——抗滑地段每块滑体的重量；

$W_{i\text{下}}$ ——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；

$\alpha_i$ ——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哪些因素，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：

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

转动极限平衡方程：

$$P \cdot \left( \frac{2}{3} - 1 \cdot \sin\beta \right) + w \cdot \frac{b}{2} \cdot u \cdot \frac{2}{3} L \geq W \cdot \frac{a}{2} - b$$

- 式中： $k_c$ ——水平地震系数；  
 $\varphi$ ——层面摩擦角（度）；  
 $\beta$ ——层面倾角（度）；  
 $b_2$ ——软弱岩层凹进深度（m）；  
 $C$ ——层面内聚力（9806.65Pa）；  
 $z$ ——危岩体后部裂隙水水柱高度（m）。

其它符号见图 12-4-2。

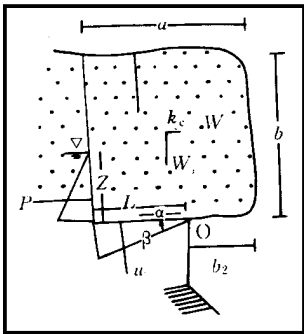


图 12-4-2 崩塌块石岩体结构模型

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 12-4-8 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 12-4-8

泥石流为判断表

因素	河沟类别 类目界限		泥 石 流 为			非泥石流沟	
			界 限 值	界 限 值	界 限 值	界 限 值	
项 目							
地貌因素	流域面积/km <sup>2</sup>		0.2 ~ 0.5	2 ~ 5	5 ~ 100 和 < 0.2	> 100	
	相对高基/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

因素	<div>河沟类别 类目界限</div>		泥 石 流 为			非泥石流沟
			界 限 值	界 限 值	界 限 值	界 限 值
项 目						
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	$> 12^{\circ}$ ( $213\text{‰}$ )	$12^{\circ} \sim 6^{\circ}$ ( $213\text{‰} \sim 105\text{‰}$ )	$6^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ( $105\text{‰} \sim 52\text{‰}$ )	$< 3^{\circ}$ ( $52\text{‰}$ )
	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	$> 2$	$2 \sim 1$	$1 \sim 0.2$	$< 0.2$
	封闭情况	堵塞系数/ $\frac{\text{堵塞长}}{\text{沟长}}$	$> 10$	$10 \sim 2$	$< 2$	0
		堵塞程度	严重	中等	轻微	无
	泥沙补给	泥沙补给河段长度				
		主河长度 (%)	$> 60$	$60 \sim 30$	$30 \sim 10$	$< 10$

因素	河沟类别 类目界限		泥 石 流 为			非泥石流沟
			界 限 值	界 限 值	界 限 值	界 限 值
项 目						
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	构造复合带，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，主干断裂带，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	15 ~ 1	< 1
	松散物资储量	$\frac{\text{一次可能来量}}{10^4\text{m}^3\cdot\text{km}^{-2}}$	> 0.5	0.5 ~ 0.2	0.2 ~ 0.1	< 0.1
		$\frac{\text{单位面积量}}{10^4\text{m}^3\cdot\text{km}^{-2}}$	> 10	10 ~ 5	5 ~ 1	< 1.0
		$\frac{\text{年平均侵蚀模效}}{10^4\text{m}^3\cdot\text{km}^{-1}}$	> 1.5	1.5 ~ 0.5	0.5 ~ 0.1	< 0.1

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 ~ 2.53t/m<sup>3</sup>，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 ~ 1.80t/



m<sup>3</sup>，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 ~ 300mm。如：云南东川蒋家沟为 20 ~ 50mm，云南盈江浑水沟为 10 ~ 20mm；云南喜德东沟为 30 ~ 50mm；四川凉山黑沙河流域为 50 ~ 60mm，贵州一些山区为 150mm；广西资源山区为 200mm；重庆地区为 200mm；北京西山地区为 100mm 左右；甘肃一些地区为 20mm；西藏波密加马其美沟为 10mm（表 12 - 4 - 9）

表 12 - 4 - 9 某些地区泥石流激发的雨量值与雨强值

地 名	为 名	$\frac{\text{一次雨量}}{\text{mm}}$	$\frac{10' \text{ 雨量}}{\text{mm}}$	$\frac{\text{雨强}}{\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}}$	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	刘江
中国四川	三滩沟	48	9.8 ~ 12.2	1.0 ~ 1.2	谭万沛
中国甘肃	火烧肉	> 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	T.M. 别鲁加维里

泥石流的始发径流量也因地而异。据观测研究，四川凉山黑沙河和汉川七盘沟等地稀性泥石流始发径流量约为 40m<sup>3</sup>/s；西藏波密加马其美沟粘性泥石流为 20 ~ 40m<sup>3</sup>/s；云南东川黑山沟粘性泥石流为 70m<sup>3</sup>/s 左右；东川蒋家沟干流粘性泥石流为 3m<sup>3</sup>/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 12 - 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， $W > 1$  时主体稳定； $F$  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； $\triangle H$  为水位变幅； $\gamma_1 \gamma_1$  分别为土的天然容重、饱和容重； $\gamma_w$  为水比重； $C$  为内聚力； $\phi$  为摩擦角； $v$  为土体崩解速率； $v_1$  为土体剥落速率； $t$  为时间； $h$  为积分变量； $I_0$  为起始水力坡度； $M$  为毛细高度； $\frac{H - v_1}{I_0 + 1} + Mt$  时刻的饱水带厚度。

表 12－4－10

岩溶塌陷隐定平衡计算公式

预测模型	计 算 公 式
水位在土层中的预测	$W = \frac{F + N}{G}$ $F = \pi D \int \left( y - vt - \frac{n - vt}{I_0 + 1} - M \right) \left( \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} \tan\phi \gamma h + 1000C \right) dh + \pi D \int \left( \gamma - \gamma_1 y - vt - \frac{H - vt}{I_0 + 1} - M \right) \gamma^{1000C/h} dh$ $N = \frac{\pi D^2 \gamma_w (H - vt - \triangle H)}{4}$ $G = \frac{\pi \gamma \left[ (y - vt) - \left( \frac{H - vt}{I_0 + 1} + M \right) \right] D^2 + \pi \gamma_1 \left( \frac{H - vt}{I_0 + 1} + M \right) D^2}{4}$
水位在土层下的预测	$W = \frac{F}{G + P} \quad F = \pi D \int_0^{v_1 t} \left( \frac{1 - \sin\phi}{1 - \sin\phi} \tan\phi \gamma h + 1000C \right) dh$ $G = \frac{\pi \gamma D^2 (y - v_1 t)}{4}$ $P = \frac{\pi D^2 \triangle H \gamma_w}{4}$

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 12－4－11）。

表 12－4－11

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/km <sup>2</sup> ；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/km <sup>2</sup> ；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/km <sup>2</sup> ，钻孔岩溶率 1%～5%	30～80	结构不太均匀，土洞不发育的土

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
不会形成用陷	埋藏型岩溶	极不发育：地表岩溶密度 < 1 个/km <sup>2</sup> ；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任状态时发生，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油松分布，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，海水入侵等级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一时间模型，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：

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

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

式中： $\triangle H$ ——致塌时动源点的临界地下水位降深（m）；

$\triangle P$ ——盖层土体开始塌落时的临界压强差（kPa）；

$\gamma_w$ ——水的容重（g/cm<sup>3</sup>）；

$h_w$ ——沿程阻力水头（cm）；

$E_g$ ——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；

$\tau$ ——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（ $\triangle v$ ）与地下水位降深（ $s$ ）相关的经验公式：

$$m = 3.07s - 8.558$$

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

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，因此借助于油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：

$$v = 2.1414 + 0.0778t^5 e^{-1}$$

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。

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，因此应结合不同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因素有关。其计算式为：

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

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

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/s<sup>2</sup>）；

$H$ ——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）；

$\alpha$ ——最大滑动方向与垫滑层夹角（°）；

$\theta$ ——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:

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

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

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

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

式中:  $S$ ——泥石流堆积扇面积 ( $\text{m}^2$ );

$L$ ——泥石流堆积扇最大长度 ( $\text{m}$ );

$B$ ——泥石流堆积扇最大宽度 ( $\text{m}$ );

$R$ ——泥石流堆积扇最大幅角 ( $^\circ$ );

$A$ ——泥石流流域面积 ( $\text{m}^2$ );

$H$ ——泥石流沟相对高度 ( $\text{m}$ );

$D$ ——泥石流主沟长度 ( $\text{m}$ );

$G$ ——泥石流沟平均坡度 ( $^\circ$ );

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 ( $\text{m}$ );

$\eta$ ——与土层性质有关的系数(砂、砂砾石、亚沙土为  $0.1 \sim 0.05$ , 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 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$S_n$ ——基岩面以下的有效水位降深 ( $\text{m}$ );

$M$ ——覆盖层厚度 ( $\text{m}$ );

$t$ ——抽水时间 ( $\text{h}$ );

塌陷区半径与地下水降落漏斗半径比值为  $0.29 \sim 0.97$ , 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:

$$S = S'_0 (1 + \triangle S' t)$$

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;

$\triangle S'$ ——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 ~ 8m，少数形变强烈的地裂缝影响宽度达 10 ~ 30m；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 200m 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：

$$S = L_0 ( 1 + \triangle L ) \cdot B$$

式中：S——地裂缝危害范围；

$L_0$ ——现状地裂缝长度；

$\triangle L$ ——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设，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。

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

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

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缘地带破坏强度最大，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 12 - 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

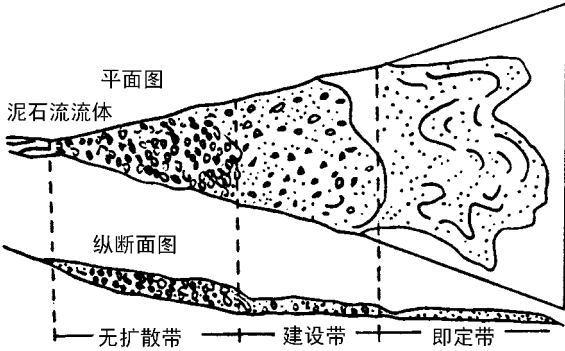


图 12-4-3 典型泥石流堆积模式

区内，危害强度主要与塌陷发育程度有关。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成化程度，通常情况下，自滨海向内陆，地下水成化程度不断降低——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 12-4-12）。

表 12-4-12 地质灾自危害强度分区

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 ~ 4m/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 3m 以内	两翼地带—地裂缝两侧 3 ~ 10m	边经地带—地裂缝两侧 10m 以外

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
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 > 1.5m	沉降中心外围地带，累计沉降量 0.5 ~ 1.5m	沉降边缘地带，累计沉降量 < 0.5m
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 > 1000mg/L	入侵中心外围地带，氯离子含量 500 ~ 1000mg/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%

（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

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,并确定灰类由化权函数;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:

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

式中:  $W_j$ ——j 单元危险性指数;

$\theta_i$ ——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。

## 第二节 地质灾害易损性的评价

### 一、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，灾害绝对损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。

## 二、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 and 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。

### 三、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 12-4-13、5-4-14、5-4-15）。

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 5-4-16、5-4-17、5-4-18 给出了房屋、部分构筑物 and 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 × [ ( 1 - 残值率 ) × 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 12 - 4 - 13、5 - 4 - 14、5 - 4 - 15 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 12 - 4 - 13                      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，块料面展完整牢固。
	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 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：电器设备、线路等各种照明装置完整牢固，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	<p>1. 结构和分</p> <p>地基基础：有承载能力，有少量不均匀沉降，但仍稳定。承重构件：基本完好。非承重墙：外墙面稍有风化或轻微裂缝、预制墙板缝处不够密实、稍有渗水、局部破损。屋面：个别渗漏、保温层、隔热层有局部损坏，卷材防水稍有空鼓、翘边和封口不严。油毡防水发现龟裂，钢性防水稍有纤维性裂缝，块体防水层有脱壳，排水基本畅通。楼地面：整体面层稍有裂缝、空鼓、起沙，硬木楼地面少有磨损，油漆尚好。块料面层有缝纺脱落。</p> <p>2. 装饰部分</p> <p>门窗：少量开关不灵，钢门窗少量变形，锈蚀、五金少量残缺，油漆尚好。内外粉刷：稍有脱灰、空鼓、裂缝。顶棚：面层稍有脱钉、裂缝、缺损。</p> <p>3. 设备部分</p> <p>水卫：上、下水管道基本畅通，卫生器具基本完好。电照：设备、线路照明装置基本完好。特种设备：现状基本良好使用正常。</p>
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	<p>1. 结构部分</p> <p>地基基础：承载能力不足，有较大不均匀沉降，对上部结构已产生一定影响。承重构件：有轻微裂缝，混凝土剥落，露筋锈蚀。非承重墙：墙面局部损坏，部分立筋松动变形，失修严重。屋面：局部漏雨，保温层、隔热层严重损坏。楼地面：整体面层空鼓、裂缝剥落，严重起砂，硬木楼地面腐朽蛀蚀、翘裂松动、油漆老化。</p> <p>2. 装饰部分</p> <p>水卫：开关不灵，翘曲脱榫、木质腐朽。钢门窗变形、玻璃、五金残缺不齐，油漆剥落。内外粉刷：部分空鼓、裂缝、剥落，贴面掉角、脱落。顶棚：面展局部损坏，有明显下垂变形。</p> <p>3. 设备部分</p> <p>水卫：上水管锈蚀严重，下水管破漏。电照：设备陈旧，电线老化。特种设备：不能正常使用。</p>
三成	稍好于下列二成条件者为三成
二成	<p>1. 结构部分</p> <p>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。</p> <p>2. 装饰部分</p> <p>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。</p> <p>3. 设备部分</p> <p>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。</p>

表 12－4－14

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	<div>1. 结构部分</div> <div>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。</div> <div>2. 装饰部分</div> <div>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。</div> <div>3. 设备部分</div> <div>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。</div>
八成	部分符合上列九成条件者为八成
七成	<div>1. 结构部分</div> <div>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。</div> <div>2. 装饰部分</div> <div>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。</div> <div>3. 设备部分</div> <div>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。</div>
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	<div>1. 结构部分</div> <div>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。</div> <div>2. 装饰部分</div> <div>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。</div> <div>3. 设备部分</div> <div>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。</div>

三成	稍好于下列二成条件者为三成
二成	<p>1. 结构部分。</p> <p>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。</p> <p>2. 装饰部分</p> <p>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。</p> <p>3. 设备部分</p> <p>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。</p>

表 12－4－15 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	<p>1. 结构部分</p> <p>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。</p> <p>2. 装饰部分</p> <p>门窗：开关灵活，完整无损。粉刷：完好无损。顶棚：完整牢固。</p> <p>3. 设备部分</p> <p>线路、照明符合用电安全要求。</p>
八成	部分符合上列九成条件者为八成
七成	<p>1. 结构部分</p> <p>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。</p> <p>2. 装饰部分</p> <p>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。</p> <p>3. 设备部分</p> <p>临时电线照明简单使用。</p>
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：竹本构件节点个别松动，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。

表 12－4－16		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

表 12－4－17		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. 污水地	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

建（构）筑物分类	寿命年限/年	建（构）筑物分类	寿命年限/年
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

表 12－4－18                    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. 普遍金属切削机床	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	
1. 电器设备	18	1. 熔铸炉	13
2. 输电设备	28	2. 加热炉	13

设备分类	寿命年限/年	设备分类	寿命年限/年
3. 电讯设备	30	3. 热处理炉窑	15
4. 输电线路	35	4. 干煤炉	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

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 and 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性再造，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:

$$P_t = \frac{(1+i)^t}{i} \left[ \alpha R_0 + \frac{A}{N \cdot Q} (1+\rho)^t \right] \frac{Q_d \cdot E_d}{Q_s \cdot E_s} \quad (12-4-1)$$

或者:

$$P_t = \frac{(1+i)^t}{i} (\alpha R_0 + C + V + m) \frac{Q_d \cdot E_d}{Q_s \cdot E_s} \quad (12-4-2)$$

式中:  $R_0$ ——自然资源基本租金或基本地租;

$\alpha$ ——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;

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

$E_s$ ——供给弹性系数,  $E_s = \frac{\Delta Q_s}{Q_s} / \frac{\Delta P}{P}$ , 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  $\frac{A}{N \cdot Q} (1+\rho)^t$

可以认为,式(12-4-1)、(12-4-2)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 $\alpha$ 、 $R_0$ 、 $Q_d$ 、 $Q_s$ 、 $E_s$ 、 $E_d$ 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12-4-19)。农村和

山区土地资源条件主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上地资源的价值。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 12-4-19 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、距市商业中心的文通方便程度	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、港门、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

用途	考虑因素	权重
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

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：

$$Y(j) = Y(j)_0 - Y(j)_1$$

式中：Y(j) ——评价区水资源价；  
Y(j)<sub>0</sub> ——评价区水资源市场价；  
Y(j)<sub>1</sub> ——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<sup>3</sup>，平均水价仅为 0.59 元/m<sub>3</sub>；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 and 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：

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

式中： $Y(j)$ ——评价区地下水资源价；

$B_l$ ——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。

## 四、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①级、②级、③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。

①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。

②级重伤：因灾受伤，或致残，永久失去生产能力的人。

③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。

①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。

②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。

③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。

①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。

②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。

③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。

①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。

②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。

③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。

①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。

②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。

③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。

①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。

②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。

③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。

①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。

②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。

③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。

①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。

②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。

③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。

①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。

②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。

③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。

①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。

②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。

③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。

①级轻度受损：农作物生长受到一定影响，估计减产比率 5% ~ 30%。

②级中等受损：农作物生长受到明显影响，估计减产比率 30% ~ 70%。

③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。

①级轻度受损；少量树木被冲毁、折断、淤埋，受损率 5% ~ 30%。

②级中等受损：部分树木被冲毁、折断、淤埋，受损率 30% ~ 70%。

③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。

①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%。

②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%。

③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。

①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。



②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。

③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。

1. “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。

2. 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%。

3. 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上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。

4. 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。

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 12-4-4、5-4-5、5-4-6、5-4-7），在实际应用时，应根据具体情况确定损失率。

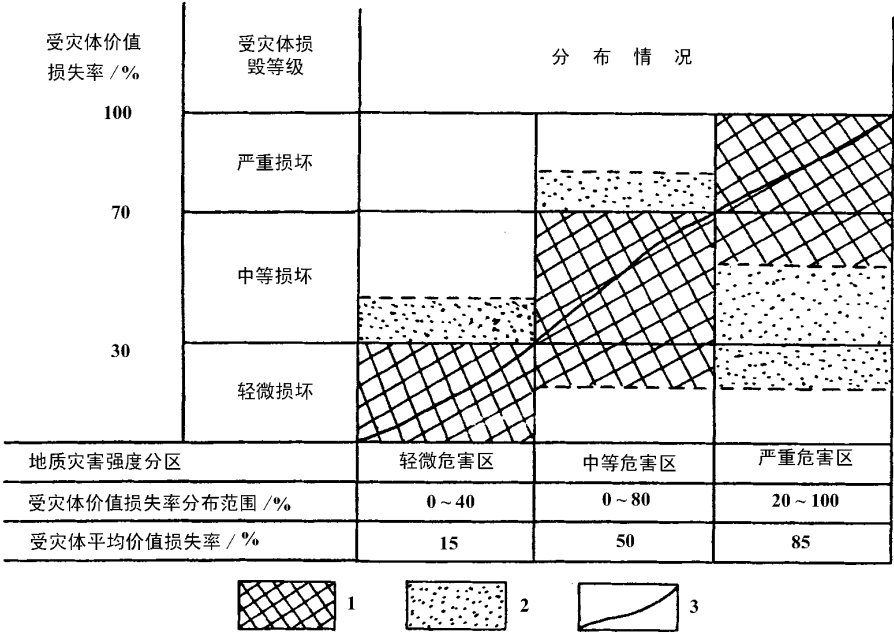


图 12-4-4 房屋、铁路、公路、桥梁、生命线工程、水利工程、构筑物价值损失率与崩塌-滑坡、泥石流灾害危害强度依存关系图  
1—大量分布；2—少量分布；3—相关曲线

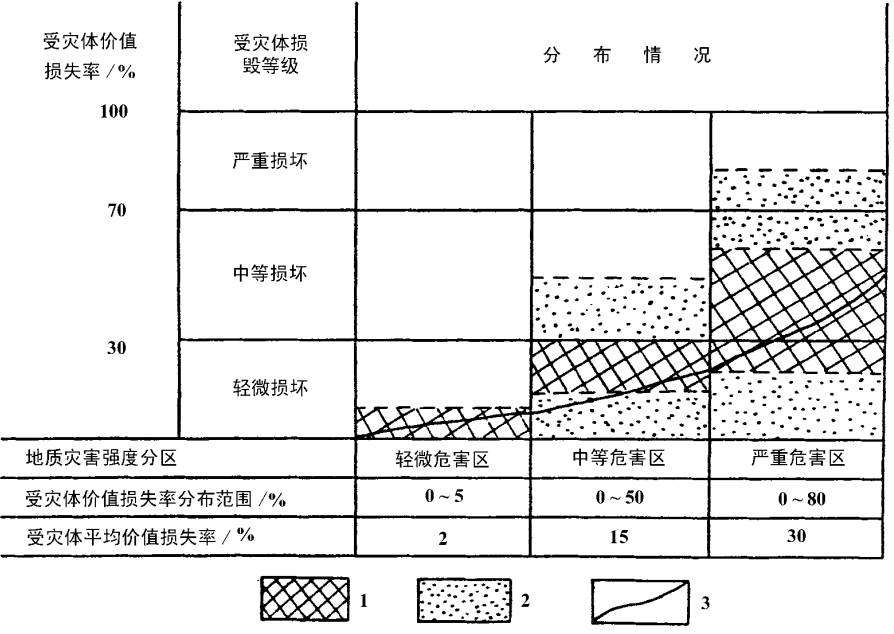


图 12-4-5 房屋、铁路、公路、桥梁、生命线工程、水利工程、构筑物价值损失率与岩溶塌陷、地裂缝、膨胀土灾害危害强度依存关系图  
1—大量分布；2—少量分布；3—相关曲线

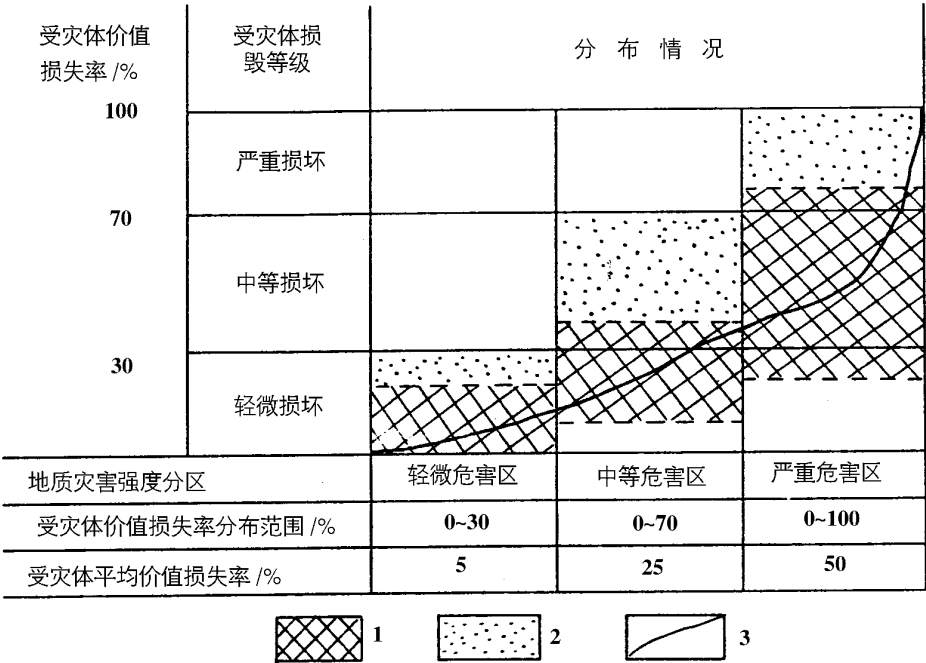


图 12-4-6 农作物价值损失率与崩塌-滑坡、泥石流灾害危害强度依存关系图  
1—大量分布；2—少量分布；3—相关曲线

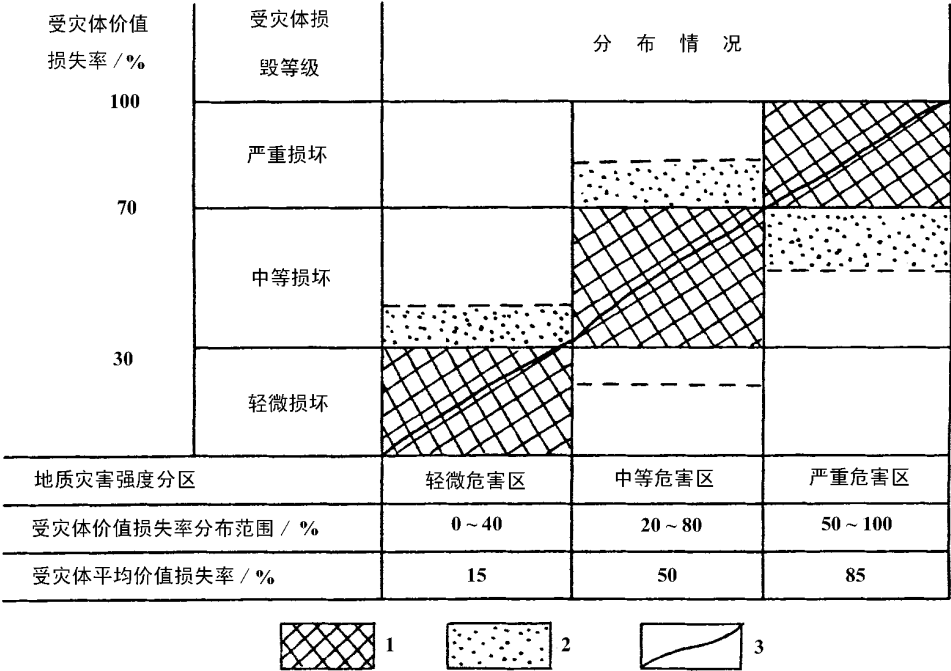


图 12-4-7 地下水资源价值损失率与海水入侵灾害危害强度依存关系图  
1—大量分布；2—少量分布；3—相关曲线

## 第五章 地质灾害管理与灾情评估的实施

### 第一节 地质灾害管理的主要内容与手段

#### 一、地质灾害管理的目的与原则

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。

#### 二、地质灾害分级管理

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；防治周期特别长。因此，减灾工作不仅需要巨大的资金投入，而且需要广大灾害区有关部门和亿万民众坚持不懈地长期投入才能奏效。面对这种情况，传统的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。解决这一问题的根本出路是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（表 12-5-1）。在该体系中，中央政府和地方政府应发挥骨干领导作用。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；实施灾害研究。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 12-5-1 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
中央政府和 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，进行国际合 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

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。

三、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，进行地质灾害调查与勘查，防治工程管理与项目管理，制定与实施减灾规划与减灾法规，推行减灾技术，合理使用减灾资金，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。其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。

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；并以此为依托，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。灾情报告可分为灾害事件专项报告、地质灾害灾情年度报告、地质灾害综合报告三类。全国地质灾害灾情报告由地质矿产部提

供，企业和地区地质灾害报告由企业和地方主管地质机构提供。

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基础信息和专业信息两类信息。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。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、城市发展、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。建立和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根本目的是提高减灾科学水平，最大限度地发挥减灾效益。多年来的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，着力加强社会属性的研究尤其必要。

## 四、地质灾害管理手段与方法

地质灾害管理手段或方法主要有经济的、行政的、法律的、技术的。

### （一）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。

## （二）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、预测以及灾情评估工作。

（4）指挥协调抗灾救灾及灾后重建，最大限度地减少灾害损失。

## （三）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，以及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及其配套法规、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。

## （四）地质灾害管理的技术手段

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



## 第二节 地质灾害项目管理

### 一、地质灾害项目管理的目的

所谓地质灾害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措施。

地质灾害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，组织实施防治工程，保障取得预期的减灾成果。

### 二、地质灾害项目管理的主要内容

地质灾害减灾工作除减灾规划、减灾法规、减灾教育等外，减灾工程项目主要包括勘查、监测、评估、防治和科研等类型。项目管理应贯穿于立项、实施至终结的全过程。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、监督和审查。

地质灾害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，而且还不能收到预期的减灾效果，有可能造成更大的损失。为了使立项和方案达到最优，需要根据立项目的对项目 and 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，即对项目 and 方案的科学性、经济合理性、可操作性进行全面分析对比，在此基础上评价可行性，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审查管理，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。

## 第三节 地质灾害灾情评估的实施

### 一、地质灾害灾情评估的实施形式

地质灾害灾情评估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

要内容。在管理过程中，可以采用两种方式实施灾情评估。

(1) 把地质灾害灾情评估作为地质灾害勘查的一项内容，与勘查工作一并完成。在已往的地质灾害勘查项目中，调查、分析、研究的重点是灾害活动历史、形成条件等内容，对灾情一般仅作概略地定性描述，特别是对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，应把灾情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，充实完善勘查工作。

(2) 把地质灾害灾情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，为了能够对灾情作出充分评估，可以将灾情评估单独立项，与一般地质灾害勘查配合进行。此外，对于那些已经完成一般地质灾害勘查工作的灾害点或灾害区，为了部署新的灾害防治工程，可以在原有勘查基础上补充进行灾情评估。

## 二、地质灾害灾情评估的实施过程

不同精度的地质灾害灾情评估适应于不同阶段的地质灾害勘查。区域评估一般适应于区域性地质灾害勘查或地区性地质灾害勘查。面评估一般适应于地区性地质灾害勘查。点评估一般适应于专门性地质灾害勘查或防治性地质灾害勘查。

无论是哪种精度的地质灾害灾情评估，也无论是独立进行的灾情评估还是与地质灾害勘查一并进行的灾情评估，该项内容都是一项相对独立、相对完整的勘查研究工作。因此，基本上都应遵循一般独立项目的步骤进行实施。即：首先进行立项论证；编制设计或实施计划；设计应阐明立项的科学依据、工作内容、技术路线、工作方法、预期成果、组织分工、时间安排、经费计划等，经专家评议和主管部门批准后，才能正式开展工作；工作中应进行全面调查统计，取得需要的各种资料信息，并完成各项评估内容，在此基础上编制图件、报告，最后进行评审验收。

## 三、地质灾害灾情评估的基础信息图表体系

地质灾害灾情评估需要大量的基础信息。与一般地质灾害勘查相比，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，在地质灾害灾情评估中，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灾情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情评估的图表体系。

根据地质灾害灾情评估需要，灾情评估图表体系主要由下列三种图表组成（表 12-5-2、5-5-3、5-5-4）。

表 12－5－2 地质灾害历史灾情及危险性评价图表

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		
历史灾情	统计时段		灾害活动条件	地质条件		危险性评价	历史危险性指数	
	活动频次			地貌条件			潜在危险性指数	
	活动规模			气候条件			综合危险性指数	
	危害范围			水文条件			危险性区划	
	主要危害对象			植被条件			灾害活动概率	
	经济损失			人为活动			灾害活动规模	
	损失强度			其它条件			灾害危害范围	
地质灾害危险性分布图								

表 12－5－3                  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 12－5－4 地质灾害破坏损失评价与防治工程评价图表

计算机用码						评估灾种						评估项目名称						
顺序号						评估类型						评估区位置						
破坏损失评价						防治工程评价												
评价模型						已 建 防 治 工 程	类型											
评 价 参 数					数量													
					效能													
					投资													
					直接经济效益													
					投保比													
期望损失						规 划 防 治 工 程	类型											
期望损失模数							数量											
相对损失率							目标效能											
							投资											
损 失 分 布	严重损失				直接经济效益													
	中等损失				投保比													
	轻微损失				技术分析													
	无损失				可操作性分析													
可行性综合评价																		
地质灾害破坏损失与防治工程评价图																		

(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。

(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。

(3) 地质灾害破坏损失评价与防治工程评价图表。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情评估使用的参考性图表。由于不同灾种、不同类型、不同地区地质灾害灾情评估的具体内容千差万别,所以在实际工作中可参考本报告初拟的图表,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灾情评估的依据和结果。

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。

### (一) 通用栏目说明

(1) 计算机代码为 10 位。第一位为灾种,分别为: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、旗)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。其表示方法为  $\times \times \times - \times \times \times - \times \times \times$ 。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;地质灾害灾情评估专项顺序号。

(3) 评估灾种主要为第 1 项说明的灾种。对其它类灾害进行评估时,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。如四川省重庆市醴糟坪滑坡灾害灾情评估、河北省唐山市市区岩溶塌陷防灾害灾情评估等。

(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。

### (二) 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—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情评估，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。其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。

### (三) 地质灾害受灾体分布及易损性评价图表栏目说明

(1) 受灾体类型按本报告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) 受灾体损毁程度按本报告易损性评价中划分的损毁等级确定。其损毁数量按不同损毁程度分别核算；价值损失按本报告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) 在区域灾情评估中，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。

### （四）地质灾害破坏损失评价与防治工程评价图表栏目说明

（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。其中：防治工程类型指防治工程形式和种类；数量指防治工程的多少，如植树面积、修堤长度、建坝座数等；防治效能指防治工程的主要作用，如护坡、导流、排水等；防治投资指以货币形式反映的投资数量；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；投保比指直接经济效益和防治工程投资的比率；为了便于对比，防治工程投资 and 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；技术分析指对防治工程科学先进性的分析评价；可操作性是根据现实科学技术水平、施工条件等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，可分为二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灾情评估中，难以获得图表中的评价要素时，可用风险指数代替期望损失，防治区划代替防治工程；评价要素和评价图可主要反映灾害风险分布情况和重点防治区。

## 第四节 地质灾害管理的信息系统

地质灾害管理信息系统是进行灾害管理的重要手段。它是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。该系统具有信息录入功能、检索查询功能和打印输出功能等模块。



## 一、系统结构设计

### （一）运行环境

#### 1. 硬件环境

IBM-PC/XT、AT486 以上微机，至少一个高密软驱动及一个硬盘，VGA 以上显示方式。

输出设备为各种型号打印机。

#### 2. 软件环境

DOS 环境：6.2 以上 DOS 版本。

汉字环境：25 行汉字操作系统，如 UC DOS、XSDOS 或其它汉字图形卡。

### （二）系统结构

#### 1. 系统界面

启动 DZPX 后，屏幕上出现系统界面。

#### 2. 菜单

在主窗口的顶层，主要由信息录入、检索查询、项目管理、代码标准、打印输出等五项主菜单构成（图 12-5-1）。在每个主菜单，有各自的下拉式菜单。本系统的功能均通过这些菜单完成。

#### 3. 下拉菜单的主要内容

信息录入：信息录入、信息修改、信息恢复。

检索查询：普查查询、勘查查询、防治查询、当年查询、环境查询、统计查询。

项目管理：项目录入、文档录入、项目修改、文档修改、项目查询、文档查询。

代码标准：代码录入、代码修改、代码查询。

打印输出：专用表、汇总表、任意表。

### （三）系统功能

DZPX 系统的功能设计应当与地质灾害的管理需要紧密结合，经设计人员与管理部门的多次磋商，拟定系统功能如下。

#### 1. 功能框架设计

地质灾害管理信息系统的几大模块为一个整体，其基本结构如图 12-5-2。

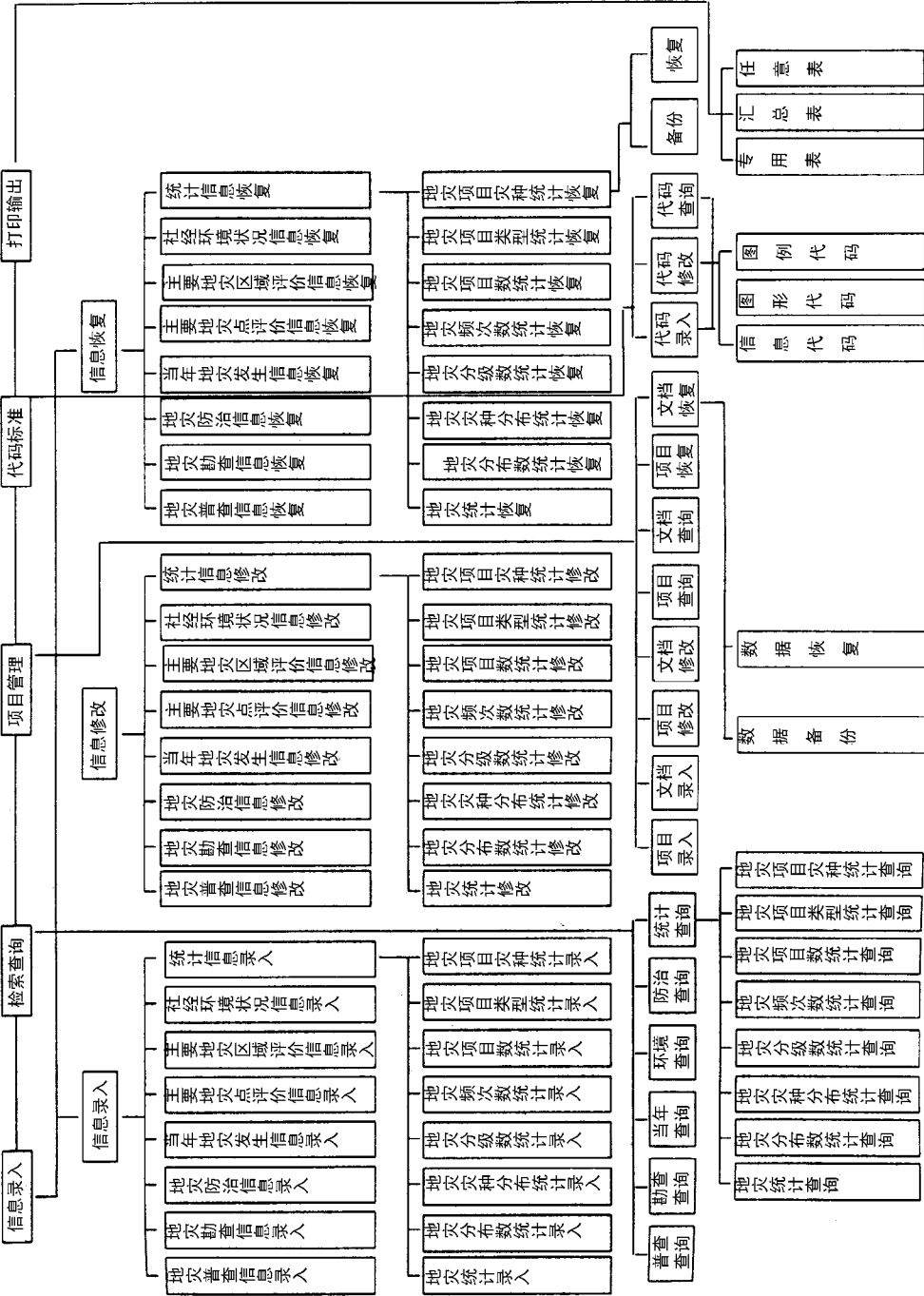


图 12-5-1 地质灾害管理信息系统菜单框图

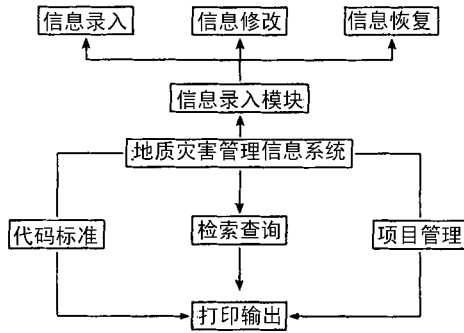


图 12-5-2 地质灾害管理信息系统结构图

## 2. 系统功能

(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。本系统将地质灾害普查信息、勘查信息、防治信息、当年地质灾害发生信息、重要地灾点评价信息、重要地灾区域评价信息、社会经济环境状况信息和地灾统计、地灾分布数统计、地灾灾种分布统计、地灾分级数统计、地灾频次统计、地灾项目数统计、地灾项目类型统计、地灾项目灾种统计共八种统计信息录入，需要录入的管理数据还有地灾项目管理数据、地灾文档管理数据、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追加一些内容，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。

A. 数据备份。可以对数据库逐个备份或成批备份。

B. 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。系统提供了两种数据输出方式：

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。

## 二、数据库设计

地质灾害管理信息数据库建库的主要目的是为地质灾害的管理提供基础资料。所以，在数据库的设计过程中要充分考虑系统对信息资源的要求。

### （一）地质灾害管理的数据信息

在进行地质灾害宏观管理、预测防治的研究中，需要大量的信息数据作决策支持。下面按地质灾害的管理、预测、防治来分析所需要的数据信息资料，将信息源共分为七大类：

#### 1. 行政区划资料

包括所在省（市）的城市规划（居民用地、工矿用地、交通用地等）、社会经济概况（工农业经济、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. 水文地质资料

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；灾害体形态、估算面积、体积、范围及其成因；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：①全国、各省地质灾害数量的统计；②灾种分布（种类、面积、体积、数量等）统计；③灾害分级数量统计（大中、一般灾害的比例）；④全国、各省地灾发生频次的统计（发生次数，所占比例）；⑤全国、各省所立项目数统计；⑥全国普查、勘查、防治项目费用及所占比例的统计；⑦各灾种项目费及所占比例的统计。

#### 7. 项目、文档资料

### （二）地质灾害数据库的建立

在确定系统数据信息源基础之上，我们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）几个方面特征的设计原则，建立如下 17 个灾害体数据库。即：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地质灾害统计数据库；⑨地质灾害分布统计数据库；⑩地质灾害灾种分布统计数据库；⑪地质灾害分级数统计数据库；⑫地质灾害频次统计数据库；⑬地质灾害项目数统计数据库；⑭地质灾害项目类型统计数据库；⑮地质灾害项目灾种统计数据库；⑯地质灾害项目管理数据库；⑰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，还建立了信息代码、图形代码、图例代

码等数据库。

（三）地质灾害数据库的结构

在反复酝酿，不断修改的基础上，以尽量简单，减少库中多余数据，方便数据检索为原则，给出了 20 个数据库的库结构，包括有字段名称、字段类型、字段宽度、小数位数等内容。各数据库结构一方面要与实际相结合，合理地确定各字段名称、字段类型、字段宽度、小数位数；更为重要的是，设计各库结构时必须反映出该数据库为方便实用于灾害管理所必须包括的字段内容。从这两个方面出发，我们确定出各数据库的结构。限于篇幅，仅以地质灾害普查数据库为例（表 12-5-5）。

表 12-5-5                    地质灾害普查数据库数据结构设计表

字段名称	数据类型	长度	小数位数
省（市）	字符	8	
县	字符	6	
野外编号	字符	9	
统一编号	字符	8	
地理位置	字符	16	
图幅名称	字符	20	
坐标 X	数值	8	2
坐标 Y	数值	8	2
高程 M	数值	8	2
图上地名	字符	18	
灾种	字符	8	
形态	字符	8	
估算面积	数值	16	2
估算体积	数值	16	2
地质背景	字符	60	
灾体成因	字符	60	
规划情况	字符	60	
稳定性分析	字符	60	
适宜性评价	字符	60	
建议措施	字符	60	

### 三、系统实现

利用雅奇 *MIS Ver3.0* 及 *Fox25B FOR DOS* (中文版) 实现上述功能设计和数据库设计。按照设计, 通过多级下拉菜单分次实现各功能, 各数据也按预先设定内容及格式建立。在此基础上, 我们录入了部分实际资料进行系统测试。

### 四、应用示范研究

在建立地质灾害信息数据库的基础上, 我们以重庆市为实例, 进行了初步的应用。录入了五个数据库的信息资料。

#### (一) 地质灾害普查信息数据库

在这个库中, 根据调查所填的卡片, 对重庆市各区县所发生的共计 86 个灾害的灾害种类、形态、估算面积、估算体积、地质背景、文体成因、规划情况、稳定性分析、适宜性评价及建议措施等信息进行了摘录、整理。

#### (二) 地质灾害勘查信息数据库

本库根据重庆醪糟坪滑坡的勘查录入了勘查范围及面积、形态, 灾害面积、体积、稳定性评价和防治措施。

#### (三) 地质灾害防治信息数据库

在本数据库中, 摘录了四川重庆醪糟坪泥石流、滑坡群的防治原则及防治方案, 防治效果论证, 以及防治所带来的经济效益和环境效益分析。

#### (四) 社会经济环境状况信息数据库

根据重庆 95 年统计年鉴, 对重庆市共计 20 个区县的国民经济、社会发展情况资料进行了整理, 录入了重庆市各区县的自然地理情况, 土地、耕地面积、居民、工矿、交通用地、人口、人口密度、企业数及工农业总产值、固定资产投资等信息数据。

#### (五) 地质灾害统计信息数据库

根据对重庆市各区县灾害的统计卡片, 记录了重庆各区县所发生的地质灾害共计 627 处。统计了地质灾害的灾害类型、面积、体积、主要特征、稳定性及建筑适宜性。

以上几个数据库基本上覆盖了运用该系统进行灾害管理的主要内容。在此基础上, 我们对系统功能进行了全方位的测试, 认为该系统具备以下几个特点: ①针对地质灾害管理的需要, 设计出合理而充实的数据库系统; ②各数据库结合当今地质灾害调查的实际情况, 结构设计合理; ③系统功能完备, 运行流畅, 基本能满足地质灾害管理的需

要；④整系统界面具备较好的用户友好性。

## 第五节 我国地质灾害直接经济损失的初步评估

地质灾害经济损失的评估，是涉及面广、关系复杂的系统工作，详细评估应该进行专门的研究。受时间、经费及已有统计资料等条件限制，本次工作不可能对地质灾害的经济损失进行详尽、系统的评价与统计，现依据各省（区、市）的灾情统计资料作一初步评估。

地质灾害所造成的直接经济损失是指由灾害事件摧毁或损坏的现有设施的价值、救灾的资金投入、各产业部门产值的减少，环境的恶化、自然资源的破坏等。不同的地质灾害所造成的损失侧重于不同的方面，如崩滑流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝等所造成的损失主要体现在摧毁现有设施；冷浸田、盐渍化则主要体现在社会产值的减少，即减产（如农作物减产）；而煤层自燃则主要表现为自然资源的破坏，土地沙化主要破坏生态环境，水土流失损失土壤肥力，同时也造成生态环境恶化，比较特殊的是海水入侵，它既破坏现有设施，如使水源地设施（水井、输水管线）报废，也造成减产（产水量减少），还破坏生态环境（使地下水环境恶化）而且这三方面的损失不分轻重，都不能忽视。

鉴于此，根据各种地质灾害造成经济损失的表现形式的不同，将它们大致划分为以下四类：

（1）以破坏现有设施为主的地质灾害，包括：崩滑流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、地震、瓦斯爆炸、坑道突水；

（2）以造成减产为主的地质灾害，包括冷浸田和土地盐渍化；

（3）以破坏资源和恶化生态环境为主的地质灾害：包括土地沙化、水土流失、煤层自燃；

（4）海水入侵

下文将根据以上分类，分别统计各类地质灾害所造成的直接经济损失。

### 一、评估现状及方法简述

到目前为止，对地质灾害造成经济损失（直接经济损失，下同）的评估，前人所作的工作还不多，资料也非常有限，经常引用的数字是 75 ~ 125 亿元/a，其中崩滑流占 40 ~ 50 亿元以上，这是有关人士通过分析典型地质灾害点、区等的资料后得出的数字，它的主要依据是认为地质灾害的损失占我国自然灾害总损失的 1/4；还有学者认为我国地质灾害年均直接经济损失为 80 ~ 120 亿元，其中崩滑流 20 ~ 30 亿元，地震 10 ~ 20 亿元；另外据地矿部地质环境研究所钟立勋、文宝萍等人的资料，全国规模较大的 852 个崩滑流点造成 100 亿元的经济损失，平均每处 1173.7 万元，年均 2.4 亿元，但这个统计

非常不完全，仅这次调查发现有较大经济损失的崩滑流点就有近万处。除此之外还未见有关对地质灾害经济损失进行全面系统评估的报道。

本次现状调查，对主要地质灾害的发育危害程度和区域分布规律进行了系统调查和分析，并进行了区划，尽管由于各省（区、市）的工作基础不一，但从整体上看，资料还是较为完整和系统的，尤其是主要灾种和其中较大规模的灾害事件还比较确切。这就为地质灾害的经济损失评估提供了一定的基础和前提。

评估地质灾害的直接经济损失，生要有两类方法，一是直接统计方法，即直接逐次统计和直接统计计算；二是间接方法，即抽样统计外推法和建立在经济区划基础之上的模数法。直接逐次统计法比较准确，但要有完整的调查资料。本次调查所涉及各灾种在直接经济损失方面仅有部分省的汇总资料，所以无法直接逐次统计，而有些灾种如水土流失、海水入侵、冷浸出、煤层自燃等有发育规模（面积、燃烧损失量等）的统计数字，平均单位面积上的损失（如减产粮食）可基本掌握，因此可利用直接统计计算法来评估，而其它灾害，只能用间接方法。间接方法要有典型的、有代表性的统计数字，并须充分掌握宏观上的发育危害分布规律，即发育危害程度区划，影响其可靠性的主要因素是典型数字的代表性和宏观分布规律的把握程度。为此，在评估时为尽量控制人为性误差，尽量做到不同程度和地区都有代表性数据参与计算，并考虑一定的权重；另外若数据不全，则尽量选择中间数据而排除两头的数据，努力确保选取的典型数字能够保证其有一定的代表性。

根据上述情况，分别确定了各主要灾种的评估方法：

- （1）直接统计计算法：水上流失、土壤盐渍化、冷浸田、煤层自燃、海水入侵
- （2）抽样统计外推法：矿坑突水、瓦斯爆炸、地面塌陷、地面沉降、地裂缝
- （3）模数法：崩滑流（用抽样统计外推法验算）
- （4）直接引用主管权威部门数字：土地沙化、地震

## 二、计算过程和结果

### （一）崩塌、滑坡、泥石流

崩塌、滑坡、泥石流造成直接经济损失的大小主要取决它的发育程度（在区域上以点的密度作为指标）、当地国民经济发展水平（经济设施的密度、以单位面积上的社会总产值作为指标）和人口密度，根据这3项指标将全国进行地质灾害经济区划，将3项指标分别划分出3个等级。如下（表12-5-6）。



表 12-5-6

崩滑流经济区划分分级标准

等级	崩滑流密度 (个/ $km^2$ )	单位面积上的社会总产值 (万元/ $km^2$ )	人口密度 (人/ $km^2$ )
大	$> 0.03$	$> 100$	$> 200$
中	$0.01 \sim 0.03$	$10 \sim 100$	$100 \sim 200$
小	$< 0.01$	$< 10$	$< 100$

按上述指标和等级,可以组合出 27 类地区,根据实际情况我国地质灾害、经济发展程度和人口密度 3 项指标按 3 个等级组合划为四类地区,Ⅰ:崩滑流强烈发育(面密度  $0.03$  个/ $km^2$  以上) 国民经济中等发达(单位面积上的社会总产值  $10 \sim 100$  万元/ $km^2$ ) 人口密度中等( $100 \sim 200$  人/ $km^2$ ) 地区,包括西南大部、西北少部、太行山及燕山局部和辽东局部山区,面积  $173.52$  万  $km^2$ ;Ⅱ:崩滑流中等发育( $0.01 \sim 0.03$  个/ $km^2$ ) 国民经济发达(大于  $100$  万元/ $km^2$ ) 人口密度较大( $200$  人/ $km^2$  以上) 地区,包括华北、东北、华东、华南的部分山区,面积  $153.36$  万  $km^2$ ;Ⅲ:崩滑流较强烈发育(大于  $0.03$  个/ $km^2$ ),但国民经济不发达(小于  $10$  万元/ $km^2$ ),人口稀少(实际小于  $20$  人/ $km^2$ ) 地区,包括西北大部山区,内蒙高原等,面积约  $156$  万  $km^2$ ;Ⅳ:崩滑流不发育地区。针对Ⅰ区选用云南、辽东山地的直接经济损失统计数字计算单位面积上的直接经济损失(模数),然后计算全区直接经济损失为  $15.73$  亿元/ $a$ ;对Ⅱ区选用辽宁、浙江等地的统计数字,得出模数,然后计算全区的直接经济损失为  $19.06$  亿元/ $a$ ;对Ⅲ区,选用青海的统计数字,计算全区的损失为  $1.5$  亿元/ $a$ ;Ⅳ区直接经济损失微小,不计。全国共  $36$  亿元/ $a$ 。

除采用模数法计算之外,还利用抽样统计外推法进行了验算:

全国近十余年来有特大型崩滑流灾害 330 宗,每宗直接经济损失数百万元至数亿元,直接统计 12 处特大型灾害的直接经济损失平均达  $6375.8$  万元,共损失  $210.4$  亿元,年均  $21$  亿元;较大型崩滑流 7473 处,每处直接经济损失在  $10 \sim 100$  万元,平均每处  $80$  万元,共  $59.78$  亿元,年均约  $6$  亿元;有中小型崩滑流 22817 处,每处直接经济损失在  $1 \sim 10$  万元,平均每处  $8$  万元,共  $18.25$  亿元,年均近  $2$  亿元;估计没有资料记载的小型崩滑流灾害点  $100 \sim 200$  万处,平均每处直接经济损失按  $2000$  元计算,共  $20 \sim 40$  亿元,年均  $2 \sim 4$  亿元,暂计  $4$  亿/ $a$ ,则总计为  $33$  亿元/ $a$ ,与模数法计算的结果相差不大(仅  $9\%$ ),可见二者可以相互印证。

## (二) 水土流失、土壤盐渍化、冷浸田、海水入侵和煤层自燃

这几种灾害的发育程度(面积和燃烧损失量等)都有较为详尽的统计数字,而单位面积或单位流失土方量或煤炭损失量的价值是可以确定的,所以其经济损失的计算较为直观。

水土流失:据 17 个流失较严重的省区统计,每年流失土方量  $46.47$  亿  $t$ ,按每流失

一方土损失的肥力折合 2 元计算, 则仅此一项水土流失所造成的直接经济损失就达 96 亿元;

土壤盐渍化: 全国有盐渍化土地约 83 万  $km^2$ , 按每亩减产 50kg, 每 kg0.6 元计, 则总损失 25 亿元;

冷浸田: 全国共 1 亿亩, 每亩平均减产 50kg, 每吨 0.6 元, 则总损失 30 亿元; 海水入侵: 全国共有 979.25  $km^2$ , 按山东省的直接统计资料计算, 平均每  $km^2$ 85.49 万元/a, 全国共 8 亿元/a;

煤层自燃: 全国每年损失煤炭资源量 1200 万 t/a, 若按坑口价 10 元/t 计算, 折合人民币为 1.2 亿元/a, 若按市场价 100~150 元/t 计算, 折算成人民币 12~15 亿元/a;

### (三) 矿坑穷水、瓦斯爆炸、地面塌陷、地面沉降、地裂缝

这几种灾害有些典型事件的直接统计数字, 具有一定的代表性, 因此可以采用抽样统计外推法来计算。

矿坑突水: 据 13 宗有代表性的大、中、小事故的统计。直接经济损失每次 23~5600 万元, 平均每次 1172.39 万元, 全国近一、二十年来共 262 宗事故。其损失为 30.72 亿元。年均 3 亿元;

瓦斯爆炸: 据 17 次有代表性的大、中、小事故的统计, 其直接经济损失为 6.9~295 万元, 平均每宗 46.88 万元, 全国近年来共发生 200 次以上, 直接经济损失 9376 万元, 平均每年 0.1 亿元;

地面塌陷: 根据山东、江苏、安徽三省的采空塌陷面积和它们统计的直接经济损失数字, 进行加权平均, 计算出单位塌陷面积上的损失(模数), 然后计算全国的采空塌陷年均直接经济损失为 3.17 亿元; 岩溶塌陷, 安徽的直接经济损失为 436.8 万元/a, 辽宁、湖南、云南分别为 5000、3000、1000 万元/a, 而四川、贵州与云南相近也按 1000 万元/a 计算, 则全国上述几个主要发育省份的直接经济损失达 1.2 亿元/a 以上, 加上采空塌陷共 4.39 亿元/a(包括黄土湿陷 0.2 亿元/a);

地面沉降: 据天津市统计, 地面沉降引起地面积水、潮水入侵等造成的经济损失达 0.5 亿元/a 以上。全国危害较重的还有上海、苏锡常、沧州等, 据此推算全国地面沉降的直接经济损失为 1 亿元/a 以上;

地裂缝: 据山东省统计, 直接经济损失达 2000 万元/a, 大同市 80 年代以来直接经济损失达 2000 万元, 再考虑全国其它地区, 总经济损失 0.4 亿元/a;

### (四) 土地沙化, 地震

这两种灾害均直接引用有关部门的公布数字, 其中土地沙化的直接经济损失引自全国治沙办公室的公开资料(1993 年 3 月 8 日《人民日报》), 全国每年由此造成的直接经济损失达 45 亿元; 地震的直接经济损失引自地震部门的公开资料, 建国后几次损失严重的地震如: 1966 年邢台损失数亿元(当年价, 下同), 1975 年海城地震损失 12.5 亿元, 1976 年唐山损失 96 亿元, 1949~1990 年云南因地震损失 130 亿元(1990 年价), 年

均 3.17 亿元等，建国以来，全国平均每年损失 7~10 亿元，70 年代以后年均损失大于 10 亿元。

三、统计计算结果评述

上述共统计计算了 4 类 15 种主要地质灾害的直接经济损失（表 12-5-7），其它地质灾害如地方病、地下水污染等的直接经济损失很难以货币单位来表达，在此暂不统计。在这 4 类 15 种主要地质灾害中，以摧毁，损坏现有设施为主的 9 种地质灾害（①）共造成直接经济损失 55 亿元/a；以造成减产为主的地质灾害（②）共造成直接经济损失 55 亿元/a；以破坏自燃资源和恶化生态环境为主的地质灾害（③）共造成直接经济损失 156 亿元/a；海水入侵（④）的直接经济损失 8 亿元/a；合计 4 类 15 种共达 274 亿元/a，其中 1+2+3 共 118 亿元/a。

表 12-5-7                      15 种主要地质灾害直接经济损失统计

损失分类	灾害类型	年均经济损失 (亿元)	备注
直接破坏现有设施（Ⅰ）	崩塌、滑坡、泥石流	36	第Ⅰ类的年均经济损失 共约 55 亿元/a
	地面塌陷	4.39	
	地面沉降	1	
	地裂缝	0.4	
	地震	10	
	瓦斯爆炸	0.1	
	坑道突水	3	
造成社会产值减少（Ⅱ）	冷浸田	30	第Ⅱ类的年均经济损失 约为 55 亿元/a
	上地盐渍化	25	
破坏环境，损失资源 （Ⅲ）	土地沙化	45	第Ⅲ类的年均经济损失 约为 156 亿元/a
	水土流失	96	
	煤层自然	15	
Ⅳ*	海水入侵	8	
合计		274	此数据反映平灾年份的 经济损失

\* 海水入侵既造成了现有设施的破坏（如使水源地设施报废），也能造成产值的减少（减少产水量），又能破坏地下水资源、破坏地下水环境，所以做为单独一类。

地质灾害损失较大的省份有山东、四川、云南、陕西、湖北、内蒙、甘肃、青海、宁夏、辽宁、广东、贵州；除水土流失、盐渍化、土地沙化、煤炭自然等缓变性灾种以外，直接经济损失较大的省份是：四川、陕西、云南、湖北、甘肃、辽宁、山东、北京、广东等。

本次评估的主要依据，在地质灾害发育分布规律方面，直接来源于各省（区、市）的调查报告，依据较充分；典型地质灾害事件的直接经济损失统计数据虽也来源于各省（区、市）的调查报告，它们的代表性和典型性直接影响评估计算的精度，因此在选择数据和计算过程中都严格地把握了数据的代表性和典型性的问题，以尽量避免评估计算结果的失实，所以评估结果基本上可以反映地质灾害直接经济损失的现状。