

地质环境与地质灾害防治

第一章 绪 论

1.1 地质环境与地质灾害等相关概念及内涵

一、**地质环境**:地质环境(geological environment)是自然环境的一种,指由岩石圈、水圈和大气圈组成的环境系统。在长期的地质历史演化过程中,岩石圈和水圈之间、岩石圈和大气圈之间、大气圈和水圈之间进行物质迁移和能量转换,组成了一个相对平衡的开放系统。人类和其他生物依赖地质环境生存发展,同时人类和其他生物又不断改变着地质环境。

地质环境是一个复杂的开放系统,地质环境与其周围的水圈、生物圈、大气圈等之间无时无刻都在进行着物质和能量的交换,同时地质环境也遭受地球表面各个圈层中各种作用的影响。所以,地质环境是处在不断变化中的,地质环境变化起因于四种动力地质作用:第一,地外天体引力作用;第二,地球内动力地质作用(构造运动、岩浆作用、变质作用);第三,地球表层外动力地质作用(风化作用、地面流水的地质作用、地下水的地质作用、冰川的地质作用、海洋的地质作用、湖泊和沼泽的地质作用、风的地质作用和负荷地质作用);第四,人类社会工程经济活动作用。

地质环境具有空间概念,它的上限是岩石圈的表层,在海洋底部、山脉、丘陵地区多由前第四纪基岩构成,在平原、盆地表面为第四纪各种松散堆积物所覆盖。岩石圈表层是人类活动和其他生物活动最重要的场所,因此,受人类的影响也最大,在这里,各种地质作用复杂而活跃,大气、水、生物相互作用强烈,使表层的变化及对人类社会的反馈作用也最为显著,与人类的生存息息相关。地质环境的下限目前看法不一,一种意见认为,应位于科学技术发展所需要的位置(深度),不考虑社会的需要。另一种意见认为,下限位置应在人类活动引起的物理场变化开始消失的深度,如应力场、电磁场、温度场等。还有一种意见认为下限位置应在岩石圈上部,被技术原因污染的地带消失处(包括化学物质迁移污染)。最后一种意见认为:下限可以被认为是岩石圈内人类能够深入到的地方,是理论上的最大深度。总之,地质环境的下限,决定于人类的科学技术水平和生产活动能力。

(一) 地质环境容量

地质环境容量指某个特定地质空间可能承受人类社会经济发展的最大潜能。人类所有生产和生活的消费物资,都是直接或间接地取自地质环境。人类在生产和生活过程中产生的一切废弃物,又都直接或间接地排放到地质环境之中。所以,地质环境的容量,可以用特定地质空间可能提供人类利用的地质资源量和对人类排放的有害废物的容纳能力来评价。

(二) 地质环境质量

地质环境的质量，在一定程度上，是由地球物理因素和地球化学因素决定的，其好坏对人类的生活和社会经济发展都会有很大的影响。地质环境质量的好坏，可以由以下几个方面的条件评定。

（1）自然地质条件的稳定性 自然地质条件是决定地质环境质量的主要因素，其中最重要的有：地质构造的稳定性、地形稳定性、岩石性质、地质灾害情况等。

（2）原生地球化学背景 地球上人类都处在一定的地球化学场的作用下。环境的地球化学背景值是地质环境质量的一个重要标志。

（3）抗人类活动干扰的能力 地质环境脆弱的地区，抗人类活动干扰的能力很差，工程-经济活动稍有不慎，就可能使环境状况恶化。例如，处于半干旱、半湿润气候带的华北平原，农田水利活动不当，很容易使土壤盐渍化加剧。

（4）受污染或受破坏的程度 天然的地质环境越来越少，人为因素对环境的影响越来越大，必须考虑人为因素对地质环境质量的干扰。其中，最主要的是废弃物对环境的污染，工程-经济活动对环境的破坏。

地质环境的整体质量取决于各组成要素的质量。但在评价地质环境质量的优劣时，除考虑各要素的平均状况外，还应找出质量最差的要素，并做出评价。

（三）地质环境的反馈作用

地质环境的反馈作用，即地质环境受人类活动干扰后，对这种干扰所作出的某种响应。地质环境较容易受到人类活动的影响。当人类活动的规模和强度超过了地质环境的承受极限后，必然导致地质环境发生变化，对人类活动做出反应。其实质就是地质环境在人类作用力影响下，对物质和能量的输入与输出的动态平衡关系进行调整：当人类作用力不大时，通过地质环境内部的调节能力，对外界的冲击进行补偿和缓冲，就可以完成这种调整过程，维持地质环境系统的稳定性，表现为不易觉察的、“隐蔽的”形式；当人类作用力增大，超过地质环境内部的调节能力时，地质环境只有通过剧烈的变动，才能建立起新的平衡关系，反馈就以“显露的”形式表现出来。

二、地质灾害：地质灾害（geological hazard）是指在自然或者人为因素的作用下形成的，对人类生命财产、环境造成破坏和损失的地质作用（现象）。常见的地质灾害主要指危害人民生命和财产安全的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等六种与地质作用有关的灾害。

由地质灾害的定义可知，地质灾害的内涵包括两个方面，即致灾的动力条件和灾害事件的后果。

地质灾害是由地质作用产生的，包括内动力地质作用和外动力地质作用；随着人类活动规模的不断扩展，人类活动对地层表面形态和物质组成正在产生愈来愈大的影响，因此，在形成地质灾害的动力中还包括人为活动对地球表层系统的作用，即人为地质作用。

只有对人类生命财产和生存环境产生影响或破坏的地质事件才是地质灾害。如果某种地质过程仅仅是使地质环境恶化，并没有破坏人类生命财产或影响生产、生活环境，只能称之为灾变；例如，发生在荒无人烟地区的崩塌、滑坡、泥石流，不会造成人类生命财产的损毁，故这类地质事件属于灾变；如果这些崩塌、滑坡、泥石流等地质事件发生在社会经济发达地区、并造成不同程度的人员伤亡和（或）财产损失，则可称之为灾害。

三、地质环境与地质灾害的关系

1、地质环境对地质灾害的制约作用

无论何种类型地质灾害必然涉及到地质体，既要以地质体作为地质灾害的载体，又将地质体作为灾害作用的对象。而任何地质体均存在于特定的地质环境中，是构成地质环境要素的不可分割的部分。因此，地质灾害的发生必然受到其所处的地质环境的制约。

(1)、地质灾害总是发育在一定的地质环境中

地质灾害的产生离不开地质环境。地质灾害总是发育在一定的地质环境中，在这个环境中，一系列的条件控制着地质灾害的类型、规模、严重程度、危险程度以及未来的发展趋势，地质环境控制着地质灾害的

产生与发展。地形地貌、地质构造、地层岩性及岩土组合等地质背景构成了地质灾害的形成条件，其中区域地质构造控制着岩土侵蚀的发育方向和发展趋势，地层岩性是发生地质灾害的内在条件，地形地貌是形成地质灾害的重要条件，它控制着不同地质灾害类型的分布和发育程度，这些孕灾条件决定了地质灾害发生的可能性。

(2)、地质环境制约地质灾害的发生

地质灾害是在特定地质条件下孕育发展的，若环境条件不具备，则灾害难于形成。即地质环境一方面构成地质灾害发生的条件，另一方面又限制其发生，起制约作用。

(3)、由环境特征判别、预测灾害

地质灾害是赋存于特定地质环境中且其发育和形成受地质环境的制约，可根据地质环境要素的特征来判别某种地质环境可能发生的灾害灾种，进而根据环境因子判断灾害对应的发育阶段并预测灾害发生的可能性及强度、频率等。

2、地质灾害对地质环境的改造作用

(1)、地质灾害的发生伴随地质环境变化

地质灾害发生的过程同时完成了地质灾害对于相关地质环境的重塑作用即改造过程。突发型地质灾害伴随地质环境的即时变化，缓变型地质灾害对应于地质环境的长期潜移默化的改变。

(2)、地质灾害对地质环境影响的不可逆性

无论地质灾害属突发型还是缓变型，无论成灾规模如何，影响范围大小、涉及的地域类型如何，无一例外，地质灾害对于地质环境的影响是不可逆的。

从地质环境保护角度来说，未来的一个重要课题就是：在研究地质环境对人类活动制约的基础上，重点研究人类活动对地质环境的影响效应，如何评价、预测和控制，以规范人类工程活动行为，提高地质环境质量，减轻地质灾害对人类的威胁，从而保持人类文明的可持续发展。

1.2 地质环境与地质灾害的属性特征及研究方法

一、地质环境与地质灾害的属性特征

1、地质环境属性特征

地质环境是自然环境的一部分，它是地球演化的产物，处在不断变化之中的。地质环境变化主要表现为地质环境构成要素的变化。地质环境要素由地形、地质和环境三方面要素构成。地形要素包括高程、高差、坡度等；地质要素包括岩土体成分、结构、时代及构成的斜坡类型、地下水渗流、区域地质构造活动特征等；环境要素包括气候环境、地表水文、生态群落、社会人文等方面。

地质环境变化的方式一般表现为缓变或渐变，逐渐发展演化为突变乃至灾变，然后进入下一个渐变阶段，因此，地质环境变化常表现为一定的周期性。

2、地质灾害属性特征

地质灾害具有三重基本属性，即自然属性、社会属性和资源属性。

自然属性：地质灾害的自然属性表现为地质灾害是地质环境自然演化的一种表现形式，是地质环境渐变过程中的一种突变作用，是地球内动力、地表外动力和地外天体引力综合作用的必然产物。地球内动力作用如断层活动、火山作用、地震活动等；地球表层外动力作用如崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、风化、冲刷、冻融等；地外天体作用主要是指太阳系中相关天体的万有引力作用，尤其是太阳引力和月球潮汐作用。

社会属性（或灾害属性）：地质灾害的社会属性一方面表现为人类社会的可持续发展受到地质灾害的危害，另一方面表现为人类社会生产生活作为一种动力促进或抑制了地质灾害的产生，从而实现了地质作用向灾害作用的转化。随着地球上各种形态工程建设和社会经济活动的发展，人类活动参与自然地质作用的范围、方式和强度在急剧扩大，引发地质灾害的作用也越来越强烈。

资源属性：地质灾害的资源属性是强调崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害为人类社会创造了赖以生存的土地资源和生息场所，同时也是现代社会的人文与旅游资源，如黄河反复泛滥孕育了华北平原；崩塌、滑坡和泥石流堆积区则营造了山区城镇或居民点的生息之地，成为山区城镇或居民点建立的基础。内、外动力作用的地质遗迹如岩溶塌陷坑、构造飞来峰、火山、冰川、雅丹和丹霞地貌是现代社会重要的游览和休闲资源，典型者如黑龙江五大连池火山和陕西翠花山山崩遗迹已被分别列入世界地质公园和中国国家地质公园。

由于地质灾害是自然动力作用与人类社会经济活动相互作用的结果，故两者是个统一的整体。地质灾害具有以下特点：

（一）地质灾害的必然性与可防御性

地质灾害是地球物质运动的产物，主要是地壳内部能量转移或地壳物质运动引起的。从灾害事件的动力过程看，灾害发生后能量和物质得以调整并达到平衡，但这种平衡是暂时的、相对的；随着地球的不断运动，新的不平衡又会形成。因此，地质灾害是伴随地球运动而生并与人类共存的必然现象。

然而，人类在地质灾害面前并非无能为力。通过研究灾害的基本属性，揭示并掌握地质灾害发生、发展的条件和分布规律，进行科学的预测预报和采取适当的防治措施，就可以对灾害进行有效的防御，从而减少和避免灾害造成的损失。

（二）地质灾害的随机性和周期性

地质灾害是在多种动力作用下形成的，其影响因素更是复杂多样。地壳物质组成、地质构造、地表形态以及人类活动等都是地质灾害形成和发展的重要影响因素。因此，地质灾害发生的时间、地点和强度等具有很大的不确定性。可以说，地质灾害是复杂的随机事件。

地质灾害的随机性还表现为人类对地质灾害的认知程度。随着科学技术的发展，人类对自然的认识水平不断提高，从而更准确地揭示了地质过程和现象的规律，对地质灾害随机发生的不确定比有了更深入的认识。

受地质作用周期性规律的影响，地质灾害还表现出周期性特征。统计资料表明，包括地质灾

害在内的多种自然灾害具有周期性发生的特点。如地震活动具有平静期与活跃期之分，强烈地震的活跃期从几十年到数百年不等；泥石流、滑坡和崩塌等地质灾害的发生也具有周期性表现出明显的季节性规律。

（三）地质灾害的突发性和渐进性

按灾害发生和持续时间的长短，地质灾害可分为突发性地质灾害和渐进性地质灾害两大类。突发比地质灾害大都以个体或群体形态出现，具有骤然发生、历时短、爆发力强、成灾快、危害大的特征。如地震、火山、滑坡、崩塌、泥石流等均属突发隆地质灾害。

渐进性地质灾害指缓慢发生的，以物理的、化学的和生物的变异、迁移交换等作用逐步发展而产生的灾害。这类灾害主要有土地荒漠化、水土流失飞地面沉降、煤田自燃等。渐进性地质灾害不同于突发性地质灾害，其危害程度逐步加重，涉及的范围一般比较广，尤其对生态环境的影响较大，所造成的后果和损失比突发性地质灾害更为严重，但不会在瞬间摧毁建筑物或造成人员伤亡。

土地荒漠化和水土流失是造成我国生态环境恶化和经济损失的主要的渐进性地质灾害。中国黄土高原水土流失面积达 $43 \times 10^4 \text{ km}^2$ 年均侵蚀模数约 $8000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ；长江以南、云贵高原州东的山地丘陵区，年均侵蚀模数约 $3000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。据陕西等 25 个省、区、市统计，水土流失面积达 $182.37 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，泥沙流失量超过 $48.47 \times 10^8 \text{ t/a}$ ，每年新增流失面积 4790 km^2 以上。中国“三北”地区现有沙质荒漠化土地 $153.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，已超过全国耕地面积的总和。20 世纪 50~70 年代，我国沙质荒漠化土地每年以 1560 km^2 的速度扩大，进入 80 年代沙质荒漠化面积每年扩大 2100 km^2 ，现在仍有进一步扩大的趋势

（四）地质灾害的群体性和诱发性

许多地质灾害不是孤立发生或存在的，前一种灾害的结果可能是后一种灾害的诱因或是灾害链中的某环节。在某些特定的区域内，受地形、区域地质和气候等条件的控制，地质灾害常常具有群发隆的特点。

崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝等灾害的这特征表现得最为突出。这些灾害的诱发因素主要是地震和强降雨过程，因此在雨季或强震发生时常常引发大量的崩塌、滑坡、泥石流或地裂地质灾害的内涵、属性与分类缝灾害例如，1960 年 5 月 22 日智利接连发生了 7.7、7.8 级、8.5 级三次大地震，而在瑞尼赫湖区则引发了体积为 $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、 $6 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、 $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的三次大滑坡：滑坡冲入瑞尼赫湖使湖水上涨 24m，湖水外溢淹没了湖泊下游 65km 处的瓦尔迪维亚城全城水深 2m，使 100 多万人无家可归。在这次灾害过程中地震—滑坡—洪水构成了个灾害链：1988 年 11 月 6 日中国云南澜沧—耿马 7.6 级地震导致严重的地裂缝、崩塌、滑坡等灾害，在极震区出现长达几十公里、宽几厘米的地裂缝和大块的崩塌、滑坡体，由此造成大量农田和森林被毁，175 个村庄、5 032 户居民因受危岩、滑坡的严重威胁而被迫搬迁，另有许多水利工程设施受到不同程度的破坏。

在泥石流频发区，通常发育有大员潜在的危岩体和滑体，暴雨后极易发土严重的崩塌、滑坡活动，由此形成大量碎屑物融入洪流，进而转化成泥石流灾害。这种类型的灾害，在我国西南的川、滇等地区非常普遍。

水土流失的直接危害是土层变薄、土地肥力下降、耕地减少，它还可诱发下游地区湖泊、水库淤积，河道淤塞，使泄洪、蓄水、发电功能降低甚至失效。

（五）地质灾害的成因多元性和原地复发性

不同类型地质灾害的成因各不相同，大多数地质灾害的成因具有多元性，往往受气候、地形地貌地质构造和人为活动等综合因素的制约。

某些地质灾害具有原地复发生，如我国西部川藏公路沿线的古乡冰川泥石流年内曾发生泥石流 70 多次，为国内所罕见。

（六）地质灾害的区域性

地质灾害的形成和演化往往受制于一定的区域地质条件，因此了空间分布经常呈现出区域性的特点。如中国“南北分区，东西分带，交叉成网”的区域性构造格局对地质灾害的分布起着重要的制约作用。据统计，90%以上的“崩、滑、流”地质灾害发育在第二级阶梯山地及其与第一和第三级阶梯的交接部位；第三阶梯东部平原的地质灾害类型主要为地面沉降、地裂缝、胀缩土等。按地质灾害的成因和类型，中国地质灾害可划分为四大区域：（i）以地面下降、地面塌陷和矿井突水为主的东部区；（ii）以崩塌、滑坡和泥石流为主的中部区；（iii）以冻融、泥石流为主的青藏高原区和（iv）以土地荒漠化为主的西北区。

（七）地质灾害的破坏性与“建设性”

地质灾害对人类的主导作用是造成多种形式的破坏，但有时地质灾害的发生可对人类产生有益的“建设性”作用。例如，流域上游的水土流失可为下游地区提供肥沃的土壤；山区斜坡地带发生的崩塌、滑坡堆积为人类活动提供了相对平缓的台地，人们常在古滑坡台地上居住或种植农作物。

（八）地质灾害影响的复杂性和严重性

地质灾害的发生发展有其自身复杂的规律对人类社会经济的影响还表现出长久性、复合性等特征。

首先，重大地质灾害常造成大量的人员伤亡和人口大迁移。近几十年来，全球地质灾害造成的财产损失、受灾人数和死亡人数都呈现出不断上升的趋势（图 1-1）。1901~1980 年中国地震灾害造成的死亡人数达 61 万人，全国平均每年由于“崩、滑、流”灾害造成的死亡人员达 928 人（段水侯等，1993）。1999 年，全球发生的地震和飓风等大的自然灾害共 702 起，超过了 1998 年的 700 起。其中，较大的自然灾害共 75 起，包括洪水、干旱、暴风雨、地震、火山爆发等，可谓是灾难年。各种自然灾害在全球共造成 52 000 人死亡和 800 亿美元的经济损失，仅次于 1998 年的 930 亿美元和 1995 年日本神户大地震 1800 亿美元的损失。

其次，受地质灾害周期性变化的影响，经济发展也相应地表现出定的周期性特点在地质灾害活动的平静期灾害损失减少、社会稳定、经济发展比较快。相反，在活跃期，各种地质灾害频繁发生，基础设施遭受破坏、生产停顿或半停顿、社会经济遭受巨大的直接和间接影响。

地质灾害地带性分布规律还导致经济发展的地区性不平衡。在一些地区，灾害不仅具有群发性特征且周期性的频繁产生，致使区域比生态破坏、自然条件恶化，严重地影响了当地社会、经济的发展。全球范围内的南北差异和我国经济发展的东部和中西部的不平衡也与地质灾害的区域比分布有关。

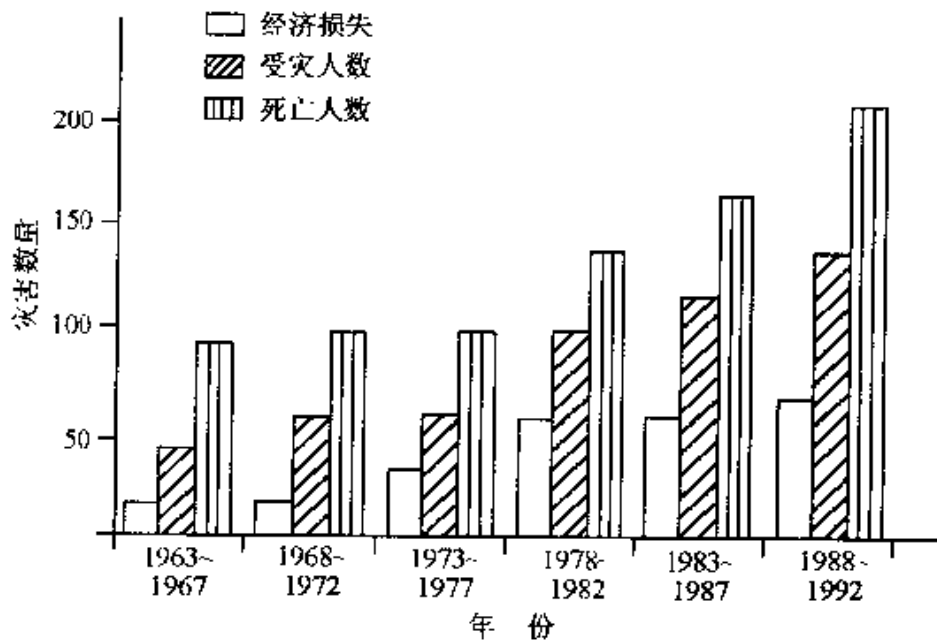


图 1-1 1963~1992 年全球地质灾害财产损失、受灾人数和死亡人数变化形势图
(据 Keith Smith, 1996)

(九) 人为地质灾害的日趋显著性

由于地球人口的急剧增加,人类的需求不断增长。为了满足这种需求各种经济开发活动愈演愈烈许多不合理的人类活动使得地质环境日益恶化,导致大量次生地质灾害的发生。例如,超量开采地下水引起地面沉降、海水入侵和地下水污染矿产资源开采和大量基础工程建设中爆破与开挖导致崩塌、滑坡、泥石流等灾害的频发;乱伐森林、过度放牧导致土壤侵蚀、水土流失土地荒漠化等。

人类每年约消耗 $500 \times 10^8 \text{t}$ 矿产资源,超过了大洋中脊每年新生成的 $300 \times 10^8 \text{t}$ 岩石圈物质更高干河流每年搬运 $165 \times 10^8 \text{t}$ 泥沙物质。人类建筑工程面积已覆盖地球表面积的 $6\% \sim 8\%$ 垂直作用空间已由过去的 $2000 \sim 3000 \text{m}$ 增加到现今的几万米,地面建筑物高度已在 $300 \sim 400 \text{m}$ 以上,地下开挖深度已超过 3000m 最高人工边坡达 600 多米,水库最大库容已超过 $1500 \times 10^8 \text{m}^3$ 。目前,我国已建 8 万余座水电站、约 60000km 铁路、 200 多座金属矿山、 500 多座大型煤矿。这些工程活动对地表的改造作用非常显著,其强度甚至超过了流水、风力等外动力地质作用。

除天然地震和火山喷发外大多数地质灾害的发生均与人类经济活动有关,如全球滑坡灾害的 70% 与人类活动密切相关。单纯人为作用引起的地质灾害数量越来越多,规模越夹大,影响越来越广,经济损失也愈加严重。人类对地质环境的作用,在许多方面已相当于甚至超过自然力,成为重要的不可忽视的地质营力。

(十) 地质灾害防治的社会性和迫切性

地质灾害除了造成人员伤亡破坏房屋、铁路公路、航道等工程设施,造成直接经济损失外,还破坏资源和环境,给灾区社会经济发展上造成广泛而深刻的影响。特别是在严重的崩塌滑坡、泥石流等灾害集中分布的山区,地质灾害严重阻碍了这些地区的经济发展,加重了国家和其他较发达地区的负担。因此,有效地防治地质灾害不但对保护灾区人民生命财产安全具有重要的现实意义,而且对于促进区域经济发展具有广泛而深远的意义。

我国地质灾害分布十分广泛，有效地防治地质灾害不但需要巨大的资金投入，而且需要社会的广泛参与。目前我国经济还比较落后，国家每年只能拿出有限的资金用于重点防治。即使经济比较发达的国家，也不可能花费巨额资金实施全面治理。无论是现在还是将来，除政府负责主导性的防治外，需要企业和民众广泛参与抗灾、防灾事业。因此，减轻地质灾害损失关系地区、国家乃至全球的可持续发展。

二、地质环境与地质灾害的研究方法

地质环境既包括由水圈、大气圈、生物圈、岩石圈相互交汇的自然地球系统，又包括人类活动与自然系统的相互作用及其发展、演变过程。而地质灾害是在特定的地质环境中发育，又通过自身发生不断地改造地质环境，因此研究地质环境与地质灾害，既包括传统的研究方法又包括应用现代新技术的研究方法。

1. 野外地质环境调查、勘察与监测

野外地质环境调查与勘察是获取基本资料、数据的一种重要方法，前者利用简单的测量工具获取研究区生态、地质、水文、地下水等基本资料，掌握地质环境背景；后者利用地球物理探测等手段获取研究区更为详细、丰富的数据资料，对研究区各环境要素特点进行分析，对地质灾害发生的可能及强度、频率等进行预测预报。上述方法既有传统的地质学（研究）调查方法，又有现代高新技术如遥感（RS）、全球定位系统（GPS）、质谱—色谱联用技术等。

2. 野外现场试验与室内模拟试验

野外现场试验既包括（水文）地质学试验如抽水、放水、注水、弥散等，又包括环境科学中的同位素、示踪试验等，前者获取关键的（水文）地质参数，描述水文地质条件，后者可以用于监测、判别污染源及其迁移途径和最终归宿。

3. 数值模拟与数学方法

地质环境是物理、化学、生物多种过程相互作用的复杂系统，物质的运移、转化及岩土体变形受多种因素制约，仅通过野外及室内的模拟实验难以反映其内在规律，因此在地质环境调查、资料收集和分析测试基础上，建立地质环境系统的水文地质、岩土、地球化学等的数值模型，模拟地质环境的演化过程，揭示地质环境的演化机理，预测地质环境的时空演化趋势，为环境地质问题的防治提供理论基础和工程设计依据。

4. 综合评价

我国针对不同的地质环境问题制定了一系列的调查、监测、评价的标准规范和技术要求。如《地质灾害防治条例》、《城市环境地质调查综合评价规范》、《地质灾害危险性评估技术要求（试行）》、《城市环境水文地质工作规范》、《区域环境地质勘查遥感技术规程》、《生活垃圾填埋污染控制标准》、《土壤环境监测技术规范》等。根据地质环境调查，对研究区地质环境问题进行综合分析，综合自然、生态、社会、经济等各方面因素构建评价模型，对研究区环境地质问题发育程度、破坏损失程度、潜在危险性等进行评价，划分不同等级的区域，为防治和评估地质灾害提供依据。评价内容包括强度评价、危险性评价、破坏损失评价、社会经济易损性评价和防治工程评价等。

5. 编制各类地质图件

研究地质环境与地质灾害问题，全面、系统地调查收集资料并绘制专题图件是最基本的方法，借助于计算机、数字化仪等工具，绘制不同时段的地质图件，并利用地理信息系统（GIS）等计

计算机软件平台进行空间分析、预测和评价。

地质环境与地质灾害涉及到地质科学、环境科学、灾害学等多种学科，其研究方法不仅要遵循各个学科的传统研究方法，同时由于地质环境的系统性、复杂性要求环境地质学的研究要将时间与空间相结合、宏观与微观相结合、物理模拟与数值模拟相结合、区域与局部相结合、自然科学方法与社会科学方法相结合，探索新的研究方法和途径。

1.3 地质环境与地质灾害防治研究对社会、经济意义

我国是世界上地质灾害最严重的国家之一，地质灾害的发生，具有区域空间上的规律性和时间上的突发性特点。在过去的近20年时间内，造成百人以上死亡的重大地质灾害事件在我国几乎年年发生。据中国地质环境监测院不完全统计，1995~2003年，滑坡、崩塌、泥石流、岩溶地面塌陷等突发性地质灾害，共造成10499人死亡和失踪、65356人受伤、575亿元财产损失，平均每年死亡和失踪1167人，财产损失64亿元。

地质灾害具有广泛的破坏作用。主要包括：造成人员伤亡，危害人民健康和正常生活；破坏房屋、铁路、公路、桥梁、水库和工厂、矿山等工程设施，造成财产损失；破坏农业、工业、交通运输业等，影响经济发展；加剧洪水、干旱、风沙等自然灾害；破坏水资源、土地资源、矿产资源、生物资源、海洋资源和生态环境；阻碍穷困地区发展经济，脱贫致富；削弱区域可持续发展能力。

我国实施可持续发展战略，减轻灾害问题尤其重要。

(1) 地质灾害防治可以减轻对社会可持续发展的制约

历史证明，大灾对社会影响非常严重。例如：1976年唐山大地震，死亡24万多人，直接经济损失100亿元，震撼了全中国，引起人们的极大惶恐。由于“文化大革命”和地震的双重影响，使1976年前10个月全国生产普遍下降，财政收入比上年同期下降6.3%，国民收入下降2.7%，当年财政赤字29.6亿元。1998年，长江流域和嫩江、松花江流域的洪水灾害，截止同年8月22日初步统计，全国受灾面积 $0.21 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ，成灾面积 $0.13 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ，受灾人口2.23亿人，死亡3004人(其中长江流域1320人)，倒塌房屋497万间，估计直接经济损失1666亿元。由于全党、全军、全国人民总动员，誓死保卫大堤，没有造成决堤的重大灾害，否则后果将不堪设想，可见灾害对社会影响之巨大。

(2) 地质灾害防治可减轻对经济可持续发展的制约

大量资料证明，人类的繁荣区与灾害区共存，社会经济的发展与灾害的增长同步。灾害经济损失与经济发展之间存在着一定的关系，经济发展速度快，灾害损失也相应增大。灾害最严重的地区与人口、经济最发达的地区基本重合，这与灾害对经济可持续发展的制约有一定的关系。

(3) 地质灾害防治是可持续发展的重要内容

减灾防灾是一项战略性的社会发展事业，减灾是可持续发展的重要内容。“减负等于加正”，减灾也是发展，在“减灾”中可获取“加正”的经济效益与社会效益。近40年来我国兴建了大量的防洪工程，投入巨资，也相应取得了巨大的经济效益。

全国7大江河流域1949年至1987年防洪工程投资总额为240亿元，而产生的直接经济效益为3191亿元，资金投入与经济效益之比为1:13.3，扣除负效益后这一比例为1:13，再扣除投

劳折资后这一比例为1:7.8。而近年来水灾经济研究者普遍认同的资金投入与经济效益之比为1:

10。地质灾害经济研究者研究结果显示,地质灾害防治工程的资金投入与经济效益之比为1:20。1988年上海加修了防潮堤,经受了9216号台风风暴潮的考验。这一次风暴潮给我国沿海造成了90余亿元的经济损失,而上海仅损失了300万元。相反的例子是辽河洪水,1964年铁岭水文站洪峰流量达 $3\ 100\text{ m}^3/\text{s}$,当时水位只有59.12 m,损失不过1亿元;而1985年洪水首次洪峰流量只有 $1\ 710\text{ m}^3/\text{s}$,由于河道多年没有维修,加之人为设障,以致损失达47亿元。

我国40多年来的减灾实践给国家挽回了数千亿元的经济损失,为我国经济发展、社会安定、人民安居乐业创造了美好条件。

1.4 国内外研究现状

地质灾害提出:1976年,前国际工程地质协会主席Arnould教授在发表的题为“地质灾害—保险和立法及技术对策”一文中提出了“地质灾害(geological hazard)”一词,他把滑坡、崩塌、泥石流、地震灾害看成是一种地质灾害。1987年12月11日第42届联合国大会通过的第169号决议把20世纪的最后十年确定为“国际减轻自然灾害十年”(International Decade for Natural Disaster Reduction, IDNDR)行动计划之后,地质灾害一词频繁出现于专业文献及新闻媒体。地质灾害一词共有三种表达方式:geological disaster, geological hazard, geo-hazard。

国外地质灾害研究概况

1965年,WI.Garrison提出了“地理信息系统”(Geographic information system)简称(GIS)。20世纪80年代后期到90年代,GIS大量地应用于地质灾害,国外尤其发达国家将GIS应用于地质灾害研究方面做了较多工作。

随着高精度遥感技术的出现,遥感“眼”在地质灾害的评价与预测方面显示出广泛的应用前景。如法国利用SPOT卫星三维测量立体成图技术进行大范围的灾害监控。另外干涉雷达技术和差分干涉技术也广泛应用于地质灾害研究。如目前正在运行的四颗雷达卫星——加拿大的Radarsat、欧洲的ERS-1和ERS-2以及日本的JERS-1都可达到毫米量级的位移监测。

国外关于地质灾害研究多集中在模型的建立和计算机实现上,如“3S”在地质灾害的监控与可视化、数字减灾系统DDRS(Digital Disaster Reduction System)等方面的应用。DDRS是利用遥感技术(Remote Sensing)、全球定位系统(Global Position System)、地理信息系统(Geographic Information System)和计算机网络技术,用数学和物理模型来数字仿真,模拟灾害发生传播的全过程。

从总体上讲,国外对地质灾害的研究主要体现在以下几个方面:①从更深更广的角度,借助现代先进的科学技术手段和方法深入系统研究地质灾害的致灾机理,继续加强对单体地质灾害的特征、分类、成因机理、预测预报以及防治处理等方面的深入研究;②重视灾害制图技术方法和“3S”技术的应用,采用现代技术(如3S技术)对中小流域地质灾害进行区域性评价,查明地质灾害时空分布规律,划分地质灾害危险性等级,同时将此危险性等级与土地资源的可利用性和土地售价联系起来,使地质灾害研究成果直接为公众服务;③典型地区区域地质灾害预警系统和灾

害管理信息系统建设取得显著进展,美国地质调查局与气象局合作,在上世纪80年代中期在San Francisco 海湾地区建立的滑坡预警系统,第一次利用电视和电台比较准确发布了1986年2月12-21日,该地区累计800mm降雨量所诱发的大量滑坡事件。从此区域地质灾害预警系统研究在国际上迅速发展;④地质灾害研究成果的经济效益可观,能够实现成果社会共享,为社会经济服务,部分发达国家(如日本)已将地质灾害的防治工作与城市的绿化工作有机地结合起来,防护工程要求不但要有效地防治地质灾害,还要能美化环境,使防护工程成为一道独特的风景。

国内地质灾害研究现状

我国地质灾害研究工作起步较晚,20世纪30年代至70年代多以地震灾害研究工作为主。“八五”期间,我国的地质灾害调查工作才全面开展,重点反映在滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、岩溶塌陷、土壤侵蚀、土地荒漠化、矿区灾害等。80年代,西安矿业学院杨梅忠教授开始对煤矿区地质灾害问题开展研究;90年代后,科学工作者们对我国地质灾害的类型、特征、影响因素、分布状况和区域发展规律等进行了深入的研究,提出了许多新理论、新观点。特别是量化方法,如灰色系统模型、遗传算法、元胞自动机和BP神经元等大量用来对地质灾害的研究和治理,为地质灾害的研究发展提供了有力的依据。可以看出我国地质灾害的研究已经趋向于量化、可视化。但是与发达国家相比,无论是系统技术水平还是实际应用情况都有一定的差距。

取得的成绩

总体来讲,我国在地质灾害研究方面取得了不少成绩,主要体现在以下方面:①通过大规模的调查研究,基本查明了我国地质灾害的总体发育分布规律,对地质灾害的形成演化机制有了较清楚的认识,且在某些方面走在世界前列;②开始进行全国性的“县市地质灾害调查”,以县为单位逐步调查全国地质灾害情况,并建立相应的管理信息系统和以“群测群防”为主的监测预警系统,其中,三峡库区地质灾害监测预警信息系统建设相对最为完善;③在地质灾害评估和地质灾害防治监测技术方面取得了长足的进步,对地质灾害的描述也逐步从定性向定量、从线性向非线性方向发展;④新技术新方法在地质灾害研究,特别是在监测预警和防治技术中的应用取得了一定的进展。

存在问题

我国的地质灾害研究还存在不少问题,例如:

1. 地质灾害调查识别技术尚需完善。目前,全国地质灾害分布状况与危害程度尚未完全查清,对地质灾害发生时间、地点的了解较为盲目,缺少一套快速调查和评价的高新技术方法。当前的地质灾害调查多限于当某一地段或某一地点发生或已经发生某种类型的地质灾害后,对相关灾害体进行调查和整治处理。

2. 地质灾害理论与方法不够成熟。目前还没有一种成熟的、真正经得起大量实践检验的地质灾害预测预报理论和地质灾害决策管理系统,因此极大地阻碍了我国地质灾害的预防和决策管理。

3. 质灾害监测和防灾新技术、新方法的推广应用不够。目前,地质灾害监测技术大多还依靠精度低、效率低、成本高的常规手段,对近年来发展起来的自动化程度高、精度高、相对成本小的新技术、新方法(如高精度全球定位系统GPS,高精度干涉综合孔径雷达遥感INSAR以及激光

监测技术等)的推广应用不够。同时,对工程造价低、施工简便、抗灾和防灾效果好、可靠性高的新技术、新方法的研究还有待进一步加强。

4. 地质灾害信息系统建设方面。目前我国许多部门都已建成或开始筹建了各自的灾害信息管理系统与减灾辅助决策系统,但其内容相互之间有很大差别。理想的灾害信息系统应包含:监测、预报会商、灾情显示、灾害评估、辅助决策、现场信息收集、救灾建议、灾后恢复等内容,但目前各类模型大都缺乏基础数据支持,尚不能满足我国经济发展对减灾工作的要求,特别是在综合灾害信息处理和减灾高新技术应用方面还有很大差距,例如,没有统一的标准和规范,灾情信息的收集处理分析能力较弱,缺乏灾害信息的综合处理能力,信息交流与传输手段落后,信息利用率低,高新技术应用有待进一步加强等。

地质灾害防治与地质环境保护实验室

“地质灾害防治与地质环境保护实验室”是1989年由原国家教委、国家计委利用世行贷款和国内配套经费,在成都理工大学“地质工程”国家级重点学科基础上批准建立的“国家重点学科专业实验室”。

实验室依托“地质工程”国家级重点学科、地质资源与地质工程博士后流动站、3个博士点(地质工程、岩土工程、环境地质)和6个硕士点,形成了4个稳定而有特色的研究方向:即地质灾害评价与防治、重大工程岩土体稳定性及灾害控制、区域地质环境评价与保护和地质灾害探测与信息技术。

实验室建设的总体目标是:以现代地球系统科学理论为指导,通过多学科的联合研究,建立地质灾害防治与地质环境保护领域的知识创新体系;形成以现代信息技术、空间对地观测技术、3D物理和数值模拟技术为主体的技术支撑体系。将实验室建设成为本领域国家重大科技项目研究、先进技术开发与推广以及高层次人才培养的中心,为地质灾害防治与地质环境保护的国家目标提供全面的技术支撑。实验室的总体学术水平达到国际一流,软硬环境及实验室管理达到国际先进水平。

思考题:

- 1、利用地质环境与地质灾害关系分析我国西北地区地质环境保护与地质灾害防治工作的开展。
- 2、三峡建设对地质环境及地质灾害发育的影响?
- 3、安徽省地质灾害分布特点?

第二章 中国地质环境背景与主要地质灾害类型及分布特征

2.1 中国地质环境背景概述

一、地球的演化

地球从形成到现在已经经历了约 46 亿年，根据地壳运动的特征、岩层结构、生物演变可以将其发展演化过程分为太古代、元古代、古生代、中生代和新生代五个不同阶段，其中太古代与元古代合称为前古生代，又称隐生宙，而古生代、中生代与新生代合称为显生宙。

1、前古生代，又叫前寒武纪，约距今 40~5.43 亿年

前古生代是指自地壳形成至古生代开始的一段地质时期，延续约 34 亿年，是地球地质历史上第一个阶段，约占地质历史 85% 的时间，大致以 25 亿年前为界，分为太古代与元古代两个阶段。

太古代时（40~25 亿年），地壳处于早期阶段，地壳薄弱，为脆弱的玄武岩圈，地壳运动极频繁，火山活动也极强烈。当时全球几乎都是浅海洋，有分散的孤立的岛屿式小陆块。后经过多次的强烈构造运动，至太古代末，形成了最初的较稳定的基底地块（称之为陆核），陆核的形成标志着地壳构造发展的第一阶段的结束。太古宙大约经历了十几亿年的时间，已经形成了薄而活动的原始地壳，出现了水圈和气圈，孕育和诞生了低级的生命。主要表现在：①缺氧的气圈及水体；②薄弱的地壳和频繁的岩浆活动；③岩石变质很深；④海洋占绝对优势；⑤陆核形成；⑥原始生命萌芽。目前已知最古老的生物化石是在南非发现的 32 亿年前的超微化石—古杆菌和巴贝通球藻。

元古代时（25~5.43 亿年），由于陆核的出现和扩大，地壳稳定性得到加强。到早元古代末，地球上发生一次较广泛而强烈的地壳运动（我国称吕梁运动），一些洋壳褶皱隆起，并伴有岩浆喷溢和岩层的变质作用，使陆核加大，形成一些较大而稳定的古陆。以后又围绕这些古陆不断焊接增长，至晚元古宙时，逐渐形成了大型的稳定古陆。元古宙的地史具有下述特征：①从缺氧气圈到贫氧气圈，由于藻类植物日益繁盛，它们通过光合作用不断吸收大气中的 CO_2 ，放出 O_2 ，使气圈和水体从缺氧发展到含有较多氧的状态。②从原核生物到真核生物，太古宙已出现菌类和蓝绿藻类，到元古宙得到进一步发展。③由陆核到原地台和古地台。④古元古代地层和中、新元古代地层有很大区别。

2、古生代

又可以分为早古生代（距今 5.43~4.1 亿年）与晚古生代（4.1~2.5 亿年）。

早古生代形成的地层叫下古生界。它划分为三个纪，即寒武纪、奥陶纪和志留纪。寒武纪是古生代的第一个纪，约开始于 5.43 亿年（另一种意见开始于 6 亿年）前，结束于 4.9 亿年前。志留纪约开始于 4.38 亿年前，结束于 4.1 亿年前。1879 年，英国 C. 拉普沃思将上述二人命名的寒武系和志留系的重复部分划分出来，称奥陶系（O），取名于英国威尔士地区的古民族名称（Ordovices）。形成奥陶系的时代为奥陶纪，约开始于 4.9 亿年至 4.38 亿年前。

从整体看来，早古生代仍然是海洋占优势的时代。从早寒武纪开始，世界各地开始了广泛的海侵，至奥陶纪时海侵规模最大。奥陶纪以后，各地广泛发生海退，尤其至志留纪末，由于各板块之间的移动靠拢碰撞，发生了一次世界性的强烈的构造运动（称加里东运动），陆地面积扩大，陆表浅

海面积减小。由于西北欧和北美东北部加里东褶皱带的形成，使北美古陆与欧洲古陆相连，导致了古大西洋的关闭。

从寒武纪一开始生物界便呈现爆发性增长的形势，称其为寒武纪生命“大爆炸”。寒武纪已发现动物化石 2500 多种，除脊椎动物外，几乎所有门类都有了。其中最多的是节肢动物中的三叶虫，其数量占生物分类总数的 60~70%，故寒武纪又称“三叶虫时代”；其次为腕足类动物，约占 20~30%；其他无脊椎动物占 10~15%，包括海绵动物、古杯动物、腔肠动物（如珊瑚）、软体动物（如头足类）、环节动物、牙形石、棘皮动物、笔石动物等。因此，早古生代是海生无脊椎动物空前繁盛的时代。从奥陶纪开始，主要是志留纪，出现了淡水原始鱼类无颌类，属于脊椎动物，说明一个新的时代即将来临。在植物界方面，寒武、奥陶纪都是以海生藻类为主，到了志留纪，已出现半陆生的裸蕨植物，也意味着即将进入一个新的时代。

晚古生代划分为三个纪，即泥盆纪、石炭纪和二叠纪。泥盆纪距今 4.1~3.54 亿年，该名来源于英国南部的德文郡（Devon），1839 年 A. 塞奇威克和 R. I. 莫企逊命名，（De-von 日译泥盆，我国沿用）。石炭纪距今 3.54~2.90 亿年，这个时期形成的地层称石炭系（C），石炭纪是因其地层中含煤而得名。二叠纪（P）是古生代最后一个纪，距今 2.90~2.50 亿年。

进入晚古生代时，全球存在四个巨型稳定的古陆：欧美古陆、西伯利亚古陆、中国古陆和冈瓦纳古陆。从泥盆纪晚期开始，这些古陆的内陆或边缘，又遭受不同程度的海侵，形成一些陆表或陆缘浅海。晚古生代后期，全球范围发生强烈的地壳运动（称海西运动），使海槽两侧的大陆板块发生对接碰撞，许多海槽先后关闭，褶皱隆起形成褶皱带，导致欧美古陆、西伯利亚古陆、中国古陆焊接一起，逐渐形成一个巨大的北方古陆（又称劳亚古陆），与南半球的冈瓦纳古陆遥相对应。由于这两大古陆西部十分靠近并联结一起，故构成了一个统一的联合古陆（泛大陆），从而使全球陆地面积空前扩大。

晚古生代，在加里东运动之后随着陆地面积的不断扩大，陆生生物开始大量发生和繁盛。植物界从水生发展到陆生，蕨类植物达到极盛，晚古生代晚期出现了裸子植物。动物界从无脊椎动物发展到脊椎动物，鱼类和无颌类广布于泥盆纪，两栖类全盛于石炭纪和二叠纪。晚古生代发生了两次生物集群绝灭，一是在晚泥盆世生物量的突然变化和生态系统的更替；一是在二叠纪末许多无脊椎动物如三叶虫、蜓、四射珊瑚和床板珊瑚（珊瑚中的两大类）、大部分腕足动物的绝灭，成为划分古生代和中生代的标志。

晚古生代后期冈瓦纳大陆是冰川广布的时代。晚古生代发生海西运动，主要板块发生碰撞，大部分地槽和活动带（除去古特提斯海和古太平洋边缘活动带）褶皱成山，形成统一的劳亚古陆，同时与冈瓦纳古陆相接形成联合古陆。在石炭、二叠纪时期，北方大陆由于处在较低纬度，且海陆变迁较频繁，古陆上形成许多近海沼泽平原和内陆盆地，气候温暖，林木茂盛，为煤的形成提供了物质基础，很多地方都形成了重要煤田，是全球第一个且最为重要的造煤时期。

当北方大陆森林密布、沼泽丛生时，南方的冈瓦纳大陆却是冰雪晶莹，出现了地史上第二次大冰期—石炭纪末至早二叠世冰期。根据二叠纪时联合古陆位置，这些冰盖中心是位于冈瓦纳古陆的高纬度及南极圈地区（现在为南美东南部、非洲南部、印度南部、澳大利亚西部、南极洲）。

3、中生代

中生代距今 2.50~0.65 亿年，划分为三个纪，即三叠纪、侏罗纪和白垩纪。三叠纪（T）距今 2.50~2.08 亿年。侏罗纪（J）距今 2.08~1.35 亿年，白垩纪（K）距今 1.35~0.65 亿年。

中生代构造运动频繁而剧烈，是岩石圈板块发展演化趋于形成近代构架的时代，岩石圈板块再一次走向分裂与漂移，逐渐形成今天海陆分布的格局。在欧洲典型的构造是阿尔卑斯山的形成。在东方主要为发生在三叠纪中、晚期的印支运动和发生在侏罗、白垩纪的太平洋运动（又称旧阿尔卑斯运动，我国称燕山运动）。中生代地壳演化的总趋势是：联合古陆的分裂解体，大西洋的形成和扩展，古地中海收缩关闭，太平洋逐渐缩小及环太平洋褶皱带的形成。

晚古生代后期形成的联合古陆，大约于三叠纪末开始发生分裂。首先是北美与欧亚大陆分离，出现了原始的北大西洋；南美与非洲分裂，形成原始的南大西洋；印度和非洲漂离南极洲，形成了原始的印度洋。到侏罗纪、白垩纪时，南北大西洋进一步扩展，印度漂离非洲。澳大利亚漂离南极洲向东北方向移动。故到白垩纪末期，冈瓦纳古陆已彻底解体成五大块（南美、非洲、印度、澳大利亚和南极洲）。位于北方古陆和南方古陆之间的古地中海，由于印度和非洲板块向北漂移而逐渐缩小。到白垩纪末，两板块北漂至欧亚板块南部，并与欧亚板块发生挤压碰撞，致使该地区的地层受挤压褶皱上升，形成阿尔卑斯、高加索及中亚等山脉。大西洋的产生和不断扩展，使太平洋不断缩小。

由于太平洋板块与向西漂的美洲板块俯冲碰撞，使其接触地带，即环太平洋东岸海槽产生强烈挤压上升，并有强烈的火山活动，形成了一系列褶皱山脉，如内华达山脉、安第斯山脉等。在太平洋西岸海槽，则由于太平洋板块向亚洲板块俯冲而形成亚洲东部的一系列断褶隆起带和断陷盆地，伴有大规模的岩浆侵入和喷发，并形成了环太平洋多金属成矿带。

中生代的晚三叠纪及侏罗纪时期，气候温暖潮湿，植物茂盛，为成煤提供了物质基础，形成了地史上又一次重要成煤时期。

生物界在新环境中又有了新的进化和飞跃，最突出的是裸子植物代替了蕨类植物，爬行动物代替了两栖动物，而盛极一时。但是，到白垩纪末期恐龙类爬行动物全部绝灭，是地史中的一次重大生物事件。

4、新生代

新生代是地球历史最近 6500 万年的地质时代，其已经历的时间仅相当古生代的一个纪。新生代包括古近纪（6500~2330 万年）、新近纪（2330~260 万年）及第四纪（260 万年以来）。

古近纪（又称早第三纪，E）初，现今的喜马拉雅及环地中海周围地带仍有海侵，沉积了海相地层。始新世末，随着印度板块不断向亚洲板块俯冲碰撞，喜马拉雅地区受到强烈挤压上升，形成了现今世界上最高峻的山系，并且由于两大板块的推撞，地壳岩层互相叠置，形成了世界上地壳厚度最大和海拔最高的青藏高原。在地中海周围地区，由于非洲板块向欧洲南部靠拢碰撞，形成了分列地中海南北两侧的高峻山脉，如南欧的比利牛斯山、阿尔卑斯山。现在的地中海、黑海、里海均是海槽封闭后的残留水域。新生代的构造运动称喜马拉雅运动（或称新阿尔卑斯运动）。新生代地壳演化的总特点是：地中海-喜马拉雅海槽最后封闭，形成强烈而高耸的褶皱带；大西洋和印度洋继续扩

张；环太平洋海槽不断褶皱隆起，洋区日益缩小；各大陆相对漂移或靠拢，逐渐形成东半球大陆和西半球大陆以及现代的全球海陆分布面貌。

在太平洋东岸，由于太平洋板块与西漂的美洲板块继续俯冲碰撞，使美洲西部已经形成的褶皱带进一步受挤压，在北美大陆西缘形成了海岸山脉，在南美西部安第斯山区，最后全部隆起成高耸山系。在太平洋西岸，太平洋板块继续向亚洲板块俯冲挤压，使环太平洋西部海槽及亚洲大陆外缘普遍褶皱隆起，伴有强烈的火山喷发，形成了环列东亚大陆边缘的火山岛弧，包括勘察加群岛、日本列岛、琉球群岛、台湾岛、菲律宾群岛及马来群岛等。由于环太平洋海槽是板块的俯冲地带，故地壳运动非常活跃，是现今世界上火山活动和地震活动极为强烈的地区。

新生代期间，美洲大陆和欧、非大陆继续分裂，大西洋不断扩张加宽、并延入北极地区，形成了现今的大西洋面貌。澳大利亚大陆进一步漂离南极洲，形成现今的印度洋。欧非大陆内部的一些地方，由于受大陆东西分裂影响，形成了一些基本南北走向的巨大张裂带，如东非大裂谷等。

地壳经历了前古生代、古生代、中生代至新生代漫长而复杂的演变发展，至第四纪时形成了现代的地壳构造格局和自然地理面貌，出现了七大洲、四大洋的海陆分布轮廓。被子植物开始出现于白垩纪晚期，到早第三纪极度繁盛，以前由古代羊齿和各种松柏等裸子植物组成的植被逐渐为被子植物所代替。此时被子植物以乔木为主，无论是种类和数量都较中生代有很大增加。显花植物和草类的繁盛，给昆虫、哺乳动物的发展创造了必要的条件。新生代动物界也发生了重大变化。中生代占统治地位的爬行动物已经衰退，而在中生代开始出现的哺乳动物得到迅速发展。从中生代爬行动物时代过渡到早第三纪哺乳动物时代，是地球生命发展史上的重要事件，也是生物界的又一次巨大的飞跃。

人类的出现是第四纪的重大事件，也是第四纪生物发展史上的一次重大飞跃。最原始的人类化石在 300~400 万年前，现代智人在大约 10 万年前才出现，人类文明已经对地球产生了巨大影响，影响程度已远远超过人类占据地球时间的比例。

二、地球物质组成的分布差异

在地球形成及其演化的漫长地质时期中，地球物质得到分异，导致地球不同圈层（核、幔、壳层）中各种元素组成差异。原始地壳形成以后，在内生和外生地质作用下，地壳物质也不断地经历着各种分异、重分异过程，导致地壳及地表的岩石、土壤和水中化学元素组成的不均匀分布。研究表明，不同类型地壳岩石的元素含量及元素组合特征相差甚大，就岩浆岩大类来说，Mg、Fe、Cr、Ni、Co、Pd 在超基性岩中丰度最高；Ca、Ti、V、Zn、Cu、Sc、Nb、Mo、Sb、I、Hg 在基性岩中丰度最高；Al、Na、P、Sr、Zr、La、Ga、B、Br、Bi 在中性岩中丰度最高；Si、K、Ba、F、Rb、Li、Pb、Th、Be、Cs、U、Sn、W 在酸性岩中丰度最高。不同岩类之间 Mn、S、Cl、As、Ge、Cd、Ag、Se、Au 的含量变化不大。同样地，不同类型的沉积岩、变质岩的元素含量和组合也各有特点。复杂多次的岩浆活动、沉积作用和大地构造运动的作用结果，使地表自然介质中的化学元素的分布极不均匀。人类出现以后，尤其是工业化以来，金属和能源矿产的大规模开采利用以及各种社会生产和生活活动，又使化学元素在地表的分布得到叠加改造，突出表现为一些有毒有害重金属在地表大量积聚，地球环境受到严重污染。

大范围的地球化学填图计划的实施和完成使得识别从局部至区域以至全球的不同尺度的元素地球化学分布模型成为可能。谢学锦和尹冰川(1993)在研究分析中国区域化学资料的基础上提出了地球化学异常分布模式谱系,即根据异常规模从小到大可分为:局部(小面积至数平方公里)—区域(数十至数百平方公里)—省(数千至数万平方公里)—巨省(数万至数百万平方公里),甚至于全球水平级的异常。

局部地球化学异常属于局部地段的强烈的地质作用(如矿化蚀变)造成的局部岩石异常,并由于岩石的表生风化蚀变、分散作用而导致土壤、水系沉积物、水等介质中异常的存在。区域异常的形成,是与成矿作用期间某些元素在岩浆岩、沉积岩或变质岩中的区域性同生或后生富集作用有关,这类异常规模介于局部地球化学异常和地球化学省之间,与俄罗斯学者所谓的矿田晕概念相对应,我国1:20万地球化学扫面发现的大批异常属于此类性质的异常。

大多数的局部异常和区域异常多为多元素组合异常。地球化学省是指规模较区域性异常更大、需在大面积的低密度地球化学填图的基础上才能识别出来的异常,其元素含量与地壳元素平均含量有较显著的差异,其分布与一定规模的地壳构造单元有关。地球化学巨省或全球水平上的地球化学异常则是更大规模的、全球性元素异常分布模式。对应于异常规模从小到大,异常下限值则逐级降低。

三、气候和地壳运动对地质环境的影响

影响地质环境的因素很多,其中气候因素是地质灾害发生的主要因素之一。如气温、降水、风暴等,其中降水与地质灾害形成关系最为密切,降水量大小、强度、时间长短等均影响地质灾害的形成。尤其是短期内大强度的降水或长时期连阴雨均易诱发严重的地质灾害,安徽省铜陵市小街地区近几年的岩溶塌陷几次大规模暴发都有与暴雨诱发有关,泥石流的发生与降水关系更加密切。

地壳运动,即地质因素。它是形成地质灾害最主要内因,地壳运动、地质构造、岩石类型及地下水等因素在适当时机皆可引发地质灾害,地质构造不仅控制着地质灾害的分布,有时还是地质灾害的主要诱因,大家熟知的地震不少与地质构造密切相关。粘土岩等岩石岩性脆弱,遇水软化,抗剪强度低,常形成软弱结构面,易形成滑坡,在采矿工业区易形成采空区塌陷;碳酸盐岩层岩溶常发育,过度抽排地下水往往引起岩溶塌陷、地面沉降;江、河、湖岸边若以砂性土、淤泥质软土为主,则易形成崩岸、管涌等灾害。地质灾害的形成、分布与地形地貌也有一定关系,高山陡坡沟谷发育,在降水和地表径流作用下,地面土层被冲刷、剥蚀、侵蚀,易形成崩塌、滑坡及泥石流等灾害,另外,在工业生产及市政建设过程中,如果对原始地形地貌进行过份的改造,如切坡修房、修路、堆放工业品或充填冲沟等形成人工地貌,都不利于斜坡的自然稳定,易诱发地质灾害。

2.2 中国地质灾害的类型及空间分布规律

一、中国地质灾害现状

地质灾害是一种由自然因素或人为活动引发的危害人民生命和财产安全的山体滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地区作用有关的灾害。我国是世界上地质灾害最严重的国家之一。我国的地质灾害种类繁多,分布广泛,活动频繁,危害严重,每年因地质灾害造成的直接

经济损失占自然灾害总损失的 20%以上, 直接影响了人民的生活, 制约了社会的可持续发展。为了减少损失, 查清我国地质灾害的发育分布规律, 国土资源部从 1999 年开始, 在地质灾害严重的县(市), 陆续部署开展了县市地质灾害调查与区划工作。调查的重点是滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、地面塌陷和地裂缝等 6 种地质灾害类型。据调查数据显示, 其中滑坡占灾害总数的 51%; 崩塌占 17%; 泥石流占 8%; 地面塌陷占 5%; 地裂缝占 3 %; 不稳定斜坡占 16%。可以看出, 斜坡灾害(崩、滑、流、不稳定斜坡)是我国主要的地质灾害类型。因此, 我国地质灾害的防治形势十分严峻, 防治任务十分繁重。

最新统计, 2008 年 1—12 月全国共发生各类地质灾害 26580 起, 其中滑坡 13450 起、崩塌 8080 起、泥石流 443 起、地面塌陷 451 起。共造成 1598 人伤亡, 其中死亡 656 人, 失踪 101 人, 直接经济损失 32.7 亿元。请见图 2-1。

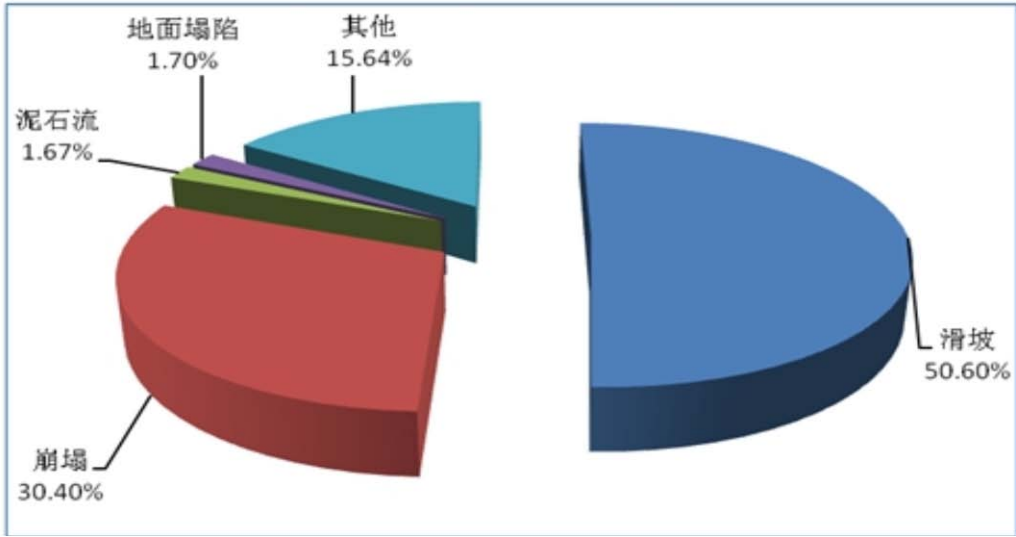


图 2-1 2008 年全国地质灾害类型构成图

与 2007 年相比, 2008 年地质灾害发生数量、造成的死亡人数和直接经济损失都有所增加, 分别增加了 4.8%、11.5%和 31.9%; 与 2001 年以来的多年同期相比, 2008 年地质灾害发生数量低于多年平均值, 但仅低于 2002 年和 2006 年, 排序第三高; 造成的死亡人数低于多年平均值, 仅高于 2005 年和 2007 年, 排序倒数第三; 直接经济损失低于多年平均值, 仅高于 2007 年, 排序倒数第二。请见表 2-1。

年份	发生数量(起)	死亡(人)	失踪(人)	受伤(人)	经济损失(亿)
2001	5793	788	120	936	35
2002	48000	907	109	470	51
2003	13832	743	125	3355	48.7
2004	13555	734	124	280	40.9
2005	17751	578	104	339	36.5
2006	102804	663	111	453	43.2
2007	25364	598	81	446	24.8
2008	26580	656	101	841	32.7

表 2-1 01-08 年地质灾害灾情对比表

二、中国地质灾害的类型

目前对地质灾害的灾种范围有多种不同的认识，大致可分为两类：

(1)把由地质作用引起或地质条件恶化导致的自然灾害都划归为地质灾害主要包括地震、火山、崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、地裂缝、水土流失、土地荒漠化、海水入侵、部分洪水灾害、海岸侵蚀、地下水污染、地下水水位升降、地方病、矿井突水溃沙、岩爆、煤与瓦斯突出、煤层自燃。冻土冻融、水库淤积、水库及河湖塌岸、特殊岩土地质灾害、冷浸田等。

(2)仅限于以岩石圈自然地质作用为主导因素而形成的自然灾害，主要包括地震、火山崩塌、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、海水入侵、特殊土类灾害等十几种。

地质灾害类型划分是灾害地质学的一个重要的基本理论问题，地质灾害的分类应具有实用性、层次性、关联性等特性。按不同的原则，地质灾害有多种分类方案。

1、按空间分布状况分

地质灾害可分为陆地地质灾害和海洋地质灾害两个系统。陆地地质灾害又分为地而地质灾害和地下地质灾害；海洋地质灾害又分为海底地质灾害和水体地质灾害。

2、按灾害的成因分

地质灾害可分为自然动力型、人为动力型及复合动力型（表 2-2）。

(1) 自然动力型地质灾害可再分为内动力亚类、外动力亚类和内外动力复合亚类。

(2) 人为动力型地质灾害按人类活动的性质还可进一步细分为水利水电工程地质灾害、矿山工程地质灾害、城镇建设地质灾害、道路工程地质灾害、农业地质灾害、海岸港口工程地质灾害。核电工程地质灾害等。

(3) 复合功力型分为内外动力复合亚类、人为内动力复合亚类、人为外动力复合亚类以自然因为主的地质灾害主要有火山、地震、泥石流、滑坡、崩塌、地裂缝、砂上液化、岩土膨胀、土壤冻融等；由人类活动诱发的地质灾害主要有水土流失、土地荒漠化、地面沉降、地面塌陷、坑道突水、溃沙等；崩塌、滑坡和地裂缝等地质灾害则既可由自然地质作用引起也可由人类活动诱发。

类型	亚类	灾害举例
自然动力型	内动力亚类	地震火山地裂缝等
	外动力亚类	泥石流充、滑坡、崩塌、岩岩塌陷荒漠化等
人为动力型	道路工程	滑坡、崩塌、荒漠化、黄土湿陷等
	水利水电工程	泥石流、滑坡、崩塌、岩溶塌陷、地面沉降、诱发地震等
	矿山工程	地面塌陷、坑道突水、泥石流、诱发地震、煤与瓦斯突出等
	城镇建设	地面沉降、地裂缝、地下水变异等
	农林牧活动	水土流失、荒漠化、与地质因素有关洪涝灾害等
自然与人为动力复合型	海岸港口工程	海底滑坡、岸边侵蚀、海水入侵等
	内外动力复合亚类	泥石流、滑坡、崩塌等
	内动力、人为复合亚类	岩爆、瓦斯爆炸、地裂缝、地面沉降等
	外动力、人为复合亚类	泥石流、滑坡、崩塌、水土流失、荒漠化等

表 2-2 地质灾害成因类型划分表

3、按地质环境变化的速度分

按地质环境变化的速度可划分为突发生和渐进性地质灾害两类。前者主要有火山、地震、泥石流、滑坡、崩塌、岩溶塌陷等；后者主要有水上流失、地面沉降、土地荒漠化等。

三、中国地质灾害的空间分布规律

由于，中国地域辽阔，经度和纬度跨度大自然地理条件复杂，构造运动强烈自然地质灾害种类繁多灾情十分严重。同时中国又是一个发展中国家经济发展对资源开发的依赖程度相对较高，大规模的资源开发和工程建设以及对地质环境保护重视不够，人为地诱发了很多地质灾害使我国成为世界上地质灾害最为严重的国家之一。

地质灾害是在地球各圈层的发展演化过程中由各种地质作用形成的灾害性事件。地质环境是地质灾害形成与发展的基础和条件。地质灾害的空间分布及其危害程度与地形地貌、地质构造格局、新构造运动的强度与方式、岩土体工程地质类型水文地质条件、气象水文及植被条件、人类工程活动的类型等有着极为密切的关系。受上述诸因素制约，我国地质灾害的区域分布具有东西分区、南北分带的特征，如华北、东北西北诸省，荒漠化作用强烈西南山区降雨多而集中崩塌、滑坡、泥石流灾害频繁发生；东部平原区地面沉降、地裂缝广泛发育；沿海诸省海水人侵、海岸侵蚀等强烈发育。

中国陆地地势变化很大，总体是西高东低，大地貌区划分为三级地势阶梯。第一阶梯平均海拔4000m以仁为高原寒冷气候，寒冻作用普遍，冻胀、融沉、泥流、雪崩等灾害发育。第二级阶梯般海拔高度在1000~2000m以下在第一与第二级阶梯过渡地带，地形切割强烈，山地地质灾害如滑坡崩塌、泥石流、水土流失等分布广泛，灾度也高；东部广大平原、盆地区属于一级阶梯，地势最低，地形平缓，人口稠密，城市化程度高，由于立大规模的生产建设，城市生产生活和农林灌溉用水量，过量开采地下水造成地面沉降和海水入侵灾害：在矿山地区由于矿床开采、疏干排水注水等工程活动造成矿区地面塌陷、岩溶塌陷等灾害兴修水利水电工程和水库蓄水等引起诱发地震灾害；河流上游不合理的开荒垦地造成水土流失而引发河、湖、水岸、港口等淤积灾害。因此，中国东部地区地质灾害的类型及其空间分布主要与人类大规模经济活动密切相关。

根据地质灾害宏观类别，结合地质、地理、气候及人类活动等环境因素，可将中国地质灾害划分为四大区域。

1. 平原、丘陵地面沉降与塌陷地质灾害大区

位于山海关以南，太行山、武当山、人娄山一线以东，包括中国东部和东南部的广大地区。

该区地处华北断块东南部、华南断块、台湾断块的上体部位；地貌上位于中国大地貌区划第三级地势阶梯是我国最低一级阶梯以平原、丘陵地貌类型为主；本区南部属热带和亚热带气候区温暖湿润，中北部地区以温带为主，气候温凉、半湿润至半干旱，降水充沛至较充沛；平原地区发育较厚的第四纪冲积、洪积、湖积、海积松散堆积层，丘陵山区分布有古生代、中生代碳酸盐岩、碎屑岩和岩浆岩；新构造活动比较强烈发育有著名的郑城—庐江深大断裂，以及南海、黄海北东向地震构造带除台湾、福建沿海及华北地区地震活动强烈至较强烈外其他地区较弱；区内矿产资源较丰富

采矿业发达，大中城市分布密集人口稠密，沿海开放城市工业发达、人类工程活动规模大、强度高，诱发了严重的城市地面沉降、矿山地面塌陷、岩溶塌陷、水库地震、土地荒漠化以及港口、水库、河道等淤积灾害，丘陵山区人为活动诱发的滑坡、崩塌、泥石流灾害较发育。总之该区是以人类工程活动为主形成的地质灾害组合类型大区。

2. 山地斜坡变形破坏地质灾害大区

包括长白山南段、阴山东段，长城以南，阿尼玛卿山、横断山北段一线以东，雅鲁藏布江以南的广大地区，属中国中部地区及青藏高原南部、东北部分地区。

该区地处青藏断块，华南断块的结合部位，地貌上位于中国大地貌区划第二级地势阶梯，以山地和高原为主要地貌类型，海拔高程 1000~2000m，地形切割强烈，相对高差大。气候上跨越东部季风区、西北部干旱半干旱区；西南地区降水较丰沛，年均降水量 800~1200mm，西北黄土高原年均降水量 300~700，降水时空分配不均，集中在 7~9 月，降雨强度大，多以暴雨形式出现；分布地层主要为不同时代的各类坚硬、半坚硬岩类和松散土状堆积；该区新构造运动强烈，活动断裂发育，如鲜水河、小江、安宁河、龙门山、六盘山等活动性深大断裂密布，构成中国南北向活动构造带，区内地震活跃，震度大、频度高、仅 20 世纪发生的 7 级以上强震就达 23 次之多，地震灾害严重；区内矿产、水力、森林、土地等资源丰富，是我国新兴工业区，人口密度较大，资源开发和农牧活动等经济活动活跃，由于不合理开发利用山地斜坡、森林植被等资源，使地质环境日趋恶化，导致泥石流、滑坡、崩塌、水土流失等山地地质灾害频繁发生，灾害损失十分严重。在本区内，由内动力和外动力地质作用引起的突发性地质灾害最为发育，以自然动力和人类活动相互叠加而形成的山地地质灾害广泛分布。

3. 内陆高原、盆地干旱、半干旱风沙地质灾害大区

地处秦岭昆仑山一线以北，在大地构造上属于新疆断块并横跨华北断块及东北断块区，位于中国大地貌区划的第二阶梯部位，由高原、沙漠、戈壁及高大山系、盆地、平原等地貌类型组成，南部山系一般海拔 1000~3000m，东部平原、盆地一般海拔 500m 以下气候属内陆干旱、半干旱至温带气候，降水稀少，年均降水量差异较大，一般在 50~800mm。在本区的西部，活动性断裂发育，地震活动强烈；其余地区地震活动相对较弱。内陆高原、荒漠地区气候恶劣，风力吹扬作用强烈，沙质荒漠化灾害日趋严重，河套平原等地区土地盐碱化较发育；新疆、宁夏、内蒙等地的煤田自燃灾害比较严重；天山、昆仑山山地则主要发育雪崩、滑坡、崩塌等地质灾害。总之，中国北部地区是以自然地质营力为主并叠加人为地质作用所形成的复合型地质灾害大区。

4. 青藏高原及大、小兴安岭北段地区冻融地质灾害大区

位于青藏高原中北部及大、小兴安岭北段地区，大地构造上属于青藏断块和东北断块区。青藏高原为中国人地貌区划第一级地势阶梯上，平均海拔达 5000m 以上，属于我国的高海拔冻土区：东北大兴安岭、小兴安岭北段处于欧亚大陆高纬度冻土带的南缘，是我国的高纬度多年冻土地区，在青藏高原和大、小兴安岭地区广泛发育有连续多年冻土和岛状多年冻土，岛状冻土区由于气候季节变化和日温差变化，冰丘冻胀、融沉、融冻泥流、冰湖溃决泥流等地质灾害较为发育。青藏高原地壳抬升强烈，为印度洋板块和欧亚板块之间的碰撞结合带，活动性深大断裂发育，地震活动强烈，

20 世纪以来共发生 7 级以上强烈地震达 10 次之多。总之，本区主要是由自然地质营力形成的以冻融、地震灾害为主的地质灾害大区。

思考题：

- 1、为了满足可持续发展，应该如何改善我国的地质环境？
- 2、降水是如何诱发地质灾害形成的？
- 3、中国地质灾害在时间分布上，又有怎样的规律呢？

第三章 地质灾害减灾对策与减灾效益分析

3.1 地质灾害减灾对策

一、地质灾害减灾措施与减灾系统工程

1、“国际减轻自然灾害十年”与 21 世纪全球减灾新策略

(1) “国际减轻自然灾害十年”简介

“国际减轻自然灾害十年”(International Decade for Natural Disaster Reduction, IDNDR)活动是美国科学院院长、前总统特别科学助理法兰克·普勒斯(Frank Press)于 1984 年 8 月在美国旧金山召开的第八届世界地震工程会议上首先倡议的。他的报告引起许多国家学术团体、政府部门的重视和积极响应,纷纷发表声明或通过决议,表示赞许这一倡议。国际地震工程协会执委会将此倡议全文印发各成员国;美国很快成立了开展 IDNDR 活动的特别委员会;新西兰、日本、英国在本国重要刊物上全文发表;日本于 1986 年 5 月正式成立专门的组织机构负责协调全国范围内地质灾害的研究与防治。1987 年 12 月 11 日第 42 届联合国大会通过第 169 号决议决定把 1990~2000 年定为国际减轻自然灾害十年。这一决议取得了世界各国政府和科技团体及非政府组织的普遍共识。

开展国际减灾十年活动的目的,旨在通过国际社会的一致行动将当今世界特别是发展中国家由于自然灾害造成的人民生命财产损失减轻到最低程度。具体目标是通过广泛的国际合作、技术援助和转让、项目示范、教育与培训等手段,推广和利用目前已经拥有的知识、技术和经验,继续开展新领域的研究,提高各国特别是发展中国家的防灾、抗灾能力。

我国政府于 1989 年 4 月成立了中国“国际减灾十年”委员会,并规定每年 10 月的第二个星期三为“国际减灾十年活动纪念日”。我国十分重视防治地质灾害的研究。为了加强地质灾害的防治工作,国务院授予原地矿部“对地质环境进行监测评价和监督管理的职责”;1989 年我国成立了“中国地质灾害研究会”;1990 年由国家计委、国家科委、地矿部联合颁发了“全国地质灾害防治工作规划纲要”(1990~2000 年)。这些措施为在全国形成统一规划和部署下的地质灾害研究和防治工作奠定了良好的基础

(2) 21 世纪全球减灾新战略

随着新世纪的到来,“国际减灾十年”全球统一行动已完成了它的使命。面对新世纪的全球减灾之路,联合国又做出了全面的战略部署,发布实施了《国际减灾战略》。其主要目标是:使社区在遭受自然灾害、技术灾害和环境灾害的影响后能够迅速得到恢复,以便减轻社会经济损失;将灾害防御战略与可持续发展有机地结合起来,使全社会从抵御灾害发展到风险管理;提高公众对灾害风险的认识;确保公众对防灾减灾工作的积极参与;通过增加减灾网络,以建立抗灾的社区。

联合国还决定特别工作组及其秘书处从 2000 年 1 月 1 日起接替“国际减灾十年”秘书处,其主要任务是:协调联合国、各国政府和联合国系统非政府组织等机构之间的合作;在灾害监测、灾害损失预测、早期预警以及教育、培训和提高公众减灾意识等方面开展工作;在联合国指导下建立有效的早期预警机制并完善防灾和早期预警系统的国际网络;利用各种渠道传播必要的信息,向国际社会提供防灾、预警、响应、减灾、重建和恢复等方面的国际合作管理与指导。继续

开展每年 10 月第二个星期三为“国际减灾日”的活动

2 防灾减灾基本原则

（1） 树立全民减灾意识，提高全社会的防灾抗灾能力

地质灾害是由于自然营力作用和人类活动影响而发生的，在当今科学技术与经济条件下有些灾害具有不可避免性，如地震的发生；但大多数地质灾害具有可防御性。因此，在加强科学研究的同时应大力加强宣传教育工作，普及防灾减灾基本知识，增强全社会的防灾意识和抗灾能力。

（2） 以防为主，防、抗、救相结合

对于地质灾害，应尽可能防患于未然。在发展经济、保护环境的同时，注意加强防灾工作通过建立各类地质灾害灾情信息系统和监测预报网络，不断提高地质灾害的预测预报水平，及时实施防灾工程。对潜在的重大地质灾害，应做好预案制定工作，以便能及时做出反应，主动抗灾，尽量减轻灾害损失；灾害发生后，要组织有力的救灾队伍投入抢险救灾并尽快开展灾区自救互救和重建家园的工作。

（3） 群众性与专业性相结合

防治地质灾害要坚持走“群专结合”的道路，采取综合措施减轻地质灾害。具有较高科技水平的专家队伍，运用现代科技方法和手段，通过综合勘查与评价，研究掌握各类灾害在不同地区的发生规律与成因机制，从而提出减轻地质灾害的对策。全民性的群测群防也是必不可少的，特别是对点多面广，频繁发生或持续作用的地质灾害应主要依靠灾区人民群众自觉地组织监测并主动进行防治。

（4） 突出重点，兼顾一般

在防灾减灾中必须根据灾害的地区性、区域经济性及与社会的同步性等特点，对日趋严重、普遍存在的地质灾害，分析灾情大小、防灾效益以及技术和经济上可行性，有重点地组织防治，同时兼顾一般。对于政治、经济、文化中心和生命线工程，要重点防范确保安全。一般地区则立足于防灾与抗灾相结合，尽量减轻灾害损失。

（5） 减灾与发展并重，确定可持续发展的减灾对策

事实说明地质灾害损失与社会经济发展同步增长。地质灾害的经济损失很大，而减灾的投入与效益比一般在 1:10 以上。减灾投入不仅可以获取更大的社会效益和经济效益，而且关系到国民经济发展计划能否实现。因此，要把减灾投入作为一个重要的投资方向，把减灾计划纳入社会经济发展规划中。在制定国土开发规划和社会经济发展计划时，要考虑灾害因素、制定可持续发展的减灾对策。

（6） 积极开展灾害科学研究，充分发挥政府的协调职能

减轻地质灾害的理论与实践研究将成为一门横跨自然科学、社会科学、人文科学的新的学科体系。因此在以科技为先导开发减灾技术的同时，要以地球系统科学为指导，综合研究各种自然灾害的发生发展规律，努力攻克地质灾害研究领域理论和技术难关。积极开展灾害区划、灾害评估、灾害社会学、灾害心理学等新兴领域的研究；引入高新技术、开展防灾、抗灾、救灾技术与设备的研究。

地质灾害的社会属性决定了减灾行动是种社会行为，减轻地质灾害需要全社会的协调行动，需要中央政府的指挥领导和各职能部门的组织管理。

（7） 避免盲目发展，保护生态环境

减轻地质灾害损失与保护生态环境、开发自然资源、发展经济必须有机地结合起来，特别是生态环境脆弱的地区更应加强自然生态保护，防止环境进一步恶化，减轻地质灾害的发生发展。

3 减轻地质灾害的措施

(1) 灾害监测

灾害监测是减灾工作的先导措施。目前世界上大多数国家都针对本国的主要灾害种类建立了较为完善的灾害监测系统，美国、日本等西方发达国家的检测仪器和设备比较先进，已经广泛使用全球定位系统（Global Positional System, GPS）等高科技手段进行地形变的监测。我国地质灾害监测装备和手段基本上仍处于 20 世纪 50~60 年代的国际水平。当前地质灾害监测方法除引进高科技手段外，正在向立体的和综合的监测系统发展。

(2) 灾害预报

灾害预报是减灾准备和各项减灾行动的科学依据。近几十年来灾害科学研究在各类灾害预报方面取得了一定的成果和经验，但某些突发性地质灾害的预报成功率还很低，如地震的中短期预报成功率多年来一直徘徊在 20%~30%。因此，应加强多部门多学科协作，积极探索地质灾害的综合预报方法，提高预报的准确性。

(3) 灾害评估

灾害评估是指对灾害规模及灾害破坏损失程度的估测与评定。可分为灾前预评估、灾时跟踪评估和灾后评估。

灾害评估是抗灾救灾的重要依据，对减轻地质灾害损失具有重要的意义。但从总体来看，目前的灾害评估仍然是减灾对策中的一个薄弱的环节，如灾害调查统计、灾害损失预测的方法简单、手段落后，从而影响了灾害评估的准确性和适时性。

(4) 防灾

防灾包括两方面的措施：

(1) 在建设规划和工程选址时要充分注意环境影响与灾害危害，尽可能避开潜在的危害，即工程性措施。

(2) 对遭受灾害威胁的人和其他受灾体实施预防性防护措施，即非工程性措施。

工程性措施包括制定城市规划和工程建设抗灾规划、制定各种工程抗灾技术规范、对各类工程进行工程抗灾设防或加固以及兴建防灾减灾工程等。营造绿色工程、加强水土保持，修坝筑堤以及不稳定斜坡加固、洞室围岩支护等均属于防灾工程性措施。我国的城市规划和大型工程规划都有了相应的规章、规范，但由于人们的防灾减灾意识淡薄，有时未能按规范严格执行，从而出现了许多工业设施和建筑群修建在已有资料证明是地面下沉的危险区，某些新兴的城镇建在具有潜在滑坡危险的地区。

非工程性措施是指以经济、行政、管理、科技、法律等手段开展防灾减灾工作。通过普及防灾知识，提高全民减灾意识来达到预防灾害、减轻灾害损失的目的。

防灾还包括在各种工业流程中设置灾害发生时自控或人控减灾技术。这是避免和减轻次生灾害的主要措施。如电站电路的自动跳闸装置，可防止灾害发生后引起火灾。

(5) 抗灾与救灾

灾害抗御与灾害救助是减灾的一项重要措施，一般采取抢救和转移灾民及财产、抗灾指挥和协调、紧急救援、工程防守与紧急抢险等手段。

抗灾通常是指在灾害威胁下对固定资产所采取的工程性保护措施。抗灾的减灾效果是非常明显的。我国自古以来就积累了丰富的抗灾经验，修建了很多抗灾工程，如都江堰分洪工程、黄河大堤、全国 86000 多座水库以及“三北”防护林、长江中上游防护林和太行山防护林等。这些抗灾工程在减轻灾害损失保护生态环境、促进经济发展等方面均起到了重大作用，收到了巨大的效益。据统计资料研究，在一般情况下，抗灾的工程投入可取得十倍以上的减灾效益。救灾是指灾害已经发生和灾后的减灾措施。救灾是一项极为复杂的社会化、半军事化的紧急行动，从医疗抢救、食品和衣物的供给、社会治安到组织指挥等各项行动构成一个完整的救灾体系。平时防灾，灾时救灾，要制定有针对性的救灾预案，建立健全灾害预警系统。在救灾中，要大力提倡自救、互救，加强救灾技术与设备的研究。灾害频发区应做好各项救灾物资的储备。

救灾预案的内容主要有以下几个方面：

- (1) 灾情分析，明确主要灾害种类、灾害破坏程度和发生频率及分布规律。
- (2) 救灾通讯系统的设计与启用方案
- (3) 灾害评介：设计快速判定灾情的备用方案，以指挥调动救灾队伍的种类和数量。
- (4) 人员、物资、设备等不同种类救灾力量的分布、预组织和调用的方案设计
- (5) 不同种类、不同等级救灾指挥部的组织预案。
- (6) 死伤人员和幸存人员的安置、确保道路畅通的准备方案等
- (6) 安置与恢复

灾后安置与恢复，包括生产和社会生活的恢复，也是减轻地质灾害损失的重要措施之一。一次重大灾害发生之后，必然造成企业停产、建筑设施损毁、家庭结构破坏等。所以，尽快恢复生产，重建家园是减灾的重要措施。经过短期的紧急抢救之后，减灾工作应及时转入各项恢复重建活动，使经济生产和社会生活逐渐趋于正常，不断增强自我复兴能力。灾后恢复工作中首要的是生命线工程的抢修与恢复，交通、通讯、供电、供水、供气等生命线工程无论对日常生活还是社会生产都是至关重要的。在生命工程基本恢复后要逐步恢复工业、农业生产。此外灾后恢复还包括治安管理和组织的恢复。

(7) 保险与援助

保险与援助均属灾害保障的范畴。我国古代就有赈济，调粟、养恤、放贷、仓储后备以及社会互助等形式的灾害保障措施。

灾害保险分为灾害商业保险和灾害社会保险。前者由商业性保险公司开办，带有盈利目的；后者是政府组织的，目的在于为保险对象提供基本生活保障，而不是为了盈利。国外灾害保险起步早已进入比较成熟的阶段。我国的灾害保险还处于起步阶段，灾害投保率很低且有很大的发展前景。

灾害援助包括灾害互助和灾害社会援助两类。灾害互助是指居民通过正式或非正式的互相合作与援助的方式相互提供保障。其特点是相互性、局部性和援助方式的多样性。灾害社会援助是指与受灾人无法定援助义务的国内外机构、团体或个人。给予遭受灾害的居民以各种形式的援助。灾害社会援助可细分为社会民众援助，国内政府援助和国际援助。其特点表现为捐助人的自愿性，援助的无偿性、援助来源的广泛性和方式的多样性。灾害援助物质一般通过政府部门和某些非官方慈善机构传到灾民手中。灾难援助主要用于三人方面：减少损失、灾后恢复和重建家园。

保险与援助是灾后恢复人民生活、企业生产和社会功能的重要经济保障之一。灾害保险是一

种社会的金融商业行为，它以保护自储和灾时互助为准则，保户的自援行动是对国家援助的重要补充（目前我国的灾险投保率尚不足5%，地区差异也很大，但它已在一部分地质灾害的灾后恢复与重建过程中发挥了重要的作用。

（8） 宣传教育与减灾立法

减灾宣传教育是提高全民减灾意识和社会减灾能力的重要措施，国内外对灾害教育和多种灵活的普及宣传活动都十分重视，但我国在开展此项工作中尚缺少统一规划与指导。灾害立法是保障各项减灾措施、规范减灾行为、实施减灾管理的法律保障，同时也是提高减灾意识的一种社会舆论。目前我国已制定颁布了多项灾害种类的减灾法规。

防灾减灾的宣传是指由有关部门向全社会普及宣传有关灾害成因、灾前征兆、避险自救、防灾救灾措施的各种知识以及减灾的方针、政策和法规。其作用在于提高全民族的防灾意识，使人们懂得灾害对人类生存条件的影响及人类行为与致灾的关系，提高民众对灾害谣言的识别能力和与灾害作斗争的主动性、积极性。减灾宣传教育的形式多种多样，包括各种新闻媒介、活动日主题宣传、咨询服务、课堂教育、专门培训教育等。

（9） 组织与指挥

制定国家和各级政府的减灾规划与减灾预案，协调全社会的减灾救灾行为，建立政府的减灾指挥系统，建立减灾试验区，组织减灾队伍及防灾救灾训练、演习等。

4 减轻地质灾害的系统工程

地质灾害的多样性与复杂性，不仅使认识灾害变得十分困难，而且对现代减灾提出了挑战。现代减灾强调多种措施相互配合，统筹安排，其涉及内容广泛而复杂，从人员伤亡到精神心理伤害，从直接经济损失到间接经济损失，从构筑物破坏到生态环境影响，从受灾区的损失到区域社会经济的影响，将减灾与经济建设作为一个统一的系统进行整体考虑，制定社会经济与减轻灾害的同步发展规划。

（1） 减灾系统工程的主要任务

减灾系统工程的主要任务包括攻克减灾措施中关键性技术难关、建立立体勘查监测系统和信号处理系统；研究灾害群发性的成因机制和分布规律、探索及时有效的灾害预报方法；选择灾种多、频次高、成灾强度大的重灾区，建立测、报、防、抗、救、援的综合减灾试验区；建立多学科的综合研究体系，开展全社会减灾教育、提高全民减灾意识。

（2） 减灾系统工程的主要内容

减轻地质灾害工作是一项复杂的系统工程，其主要的子系统包括监测、预报、防灾、抗灾、灾害评估、救灾、灾后恢复与重建、规划与指挥、教育与立法、保险与基金、减灾科学技术等。在减灾系统过程中，监测、预报、防灾、抗灾、灾害评估、救灾构成一个相对完整的行为过程。

1. 监测与预报

监测与预报是此过程的第一阶段也是其他减灾措施的基础。

2. 灾害预评估

灾害预评估是此过程的第二阶段，即在中、长期预报与灾害史分析的基础上，运用数理模型估计灾害可能造成的破坏损失，以指导防灾、抗灾与救灾预备。

3. 防灾与抗灾

防灾与抗灾是此过程的第三阶段，是大灾前采取的非工程性与工程性减灾措施。

4. 救灾

救灾是此过程的第四阶段，为灾害发生后减轻损失的途径，灾后恢复与重建也可归于此阶段。从监测到救灾以及灾后恢复、重建构成第一循环（图 3-1）。灾后的灾情评估信息通过反馈修正预评估模式，以指导未来灾害的防灾、抗灾和救灾预案的调整。这个过程是理想化的，实际操作时比较复杂，并没有严格的先后次序，各子系统之间都是相互关联的。除救灾外，其他几项工作基本上同步进行。

减灾规划的制定要与社会经济发展水平相适应，并纳入国民经济发展计划之中。减灾系统中的指挥主要针对救灾工作。科学技术、立法与教育、减灾基金与保险是减灾系统工程的三大支柱。

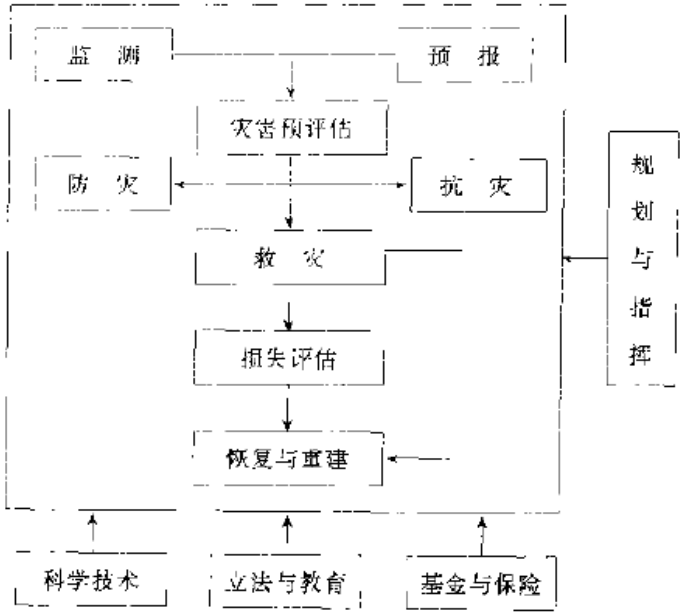


图 3-1 减灾系统工程结构框图

（据李鄂荣，1998）

减灾系统工程的有效性主要体现在减灾各项措施的整体配合。例如，中长期预报与灾害预评估若不准确，防灾、抗灾体系的目标设计便不会合理，救灾时也缺乏良好的支持环境。

减灾系统工程的建立必须依靠现代先进的科学技术。利用卫星遥感、航空探测、地面观测手段建立先进的灾害勘查与监测预报系统；利用现代通讯、航空救援、救援组织与行政指令等手段，通过重大工程设施抗灾能力的调研、工程设防标准和灾害区划工作、灾害评估与对策方案的制定、救灾技术的研究与推广和减灾知识的全民普及教育，建立健全高效能的灾害防治与救援系统；利用现代计算机技术和信息高速公路，建立全国统一的多功能信息处理与传递和灾害管理信号系统。

二、地质灾害监测预报与防治

1 地质灾害监测

（1）地质灾害监测的目的与内容

监测目的：是了解和掌握灾害的发生与演变规律，适时捕捉地质灾害临近爆发成灾的特征信息，及时预报地质灾害的发生和发展趋势，从而减轻地质灾害损失。

监测内容：包括成灾条件的监测、成灾过程的监测以及地质灾害防治效益的反馈监测。地质灾害的时、空分布规律决定了监测工作必须在不同的空间尺度上分层次进行，同时根据地质灾害随时间演化的阶段性规律，突出重点，进行全方位的立体监测。

(2) 地质灾害监测的技术方法

目前，灾害的监测方式多种多样，常用的有地面台网监测、地下钻孔深部监测、水面和水下监测、卫星与航空遥感监测等。

基于遥感技术、全球定位技术和计算机技术的实时监测预报系统已成为地质灾害监测预报的发展趋势。

实时监测预报是集数据自动采集、处理、建模、预测预报与信息的短程、中程及远程传送于一体的集成技术与方法。如美国在旧金山湾地区通过布设气候、池面变形和地下水动态监测网，利用遥测装置和中央控制室与通信网络相联，在深入分析各分区的降雨量、地下水、地面变形及其与滑坡的关系基础上，建立了合理的模型和滑坡滑动的降水量判据，并对滑坡滑动的危险做出了成功的预报。

2 地质灾害预报

地质灾害预报既是地质灾害防治决策的重要基础，又是减轻地质灾害损失的组成部分。及时准确的灾害预报是建立在对地质灾害成灾条件、致灾机理和分布规律深入研究基础之上。地质灾害预报一般步骤如图 3-2 所示

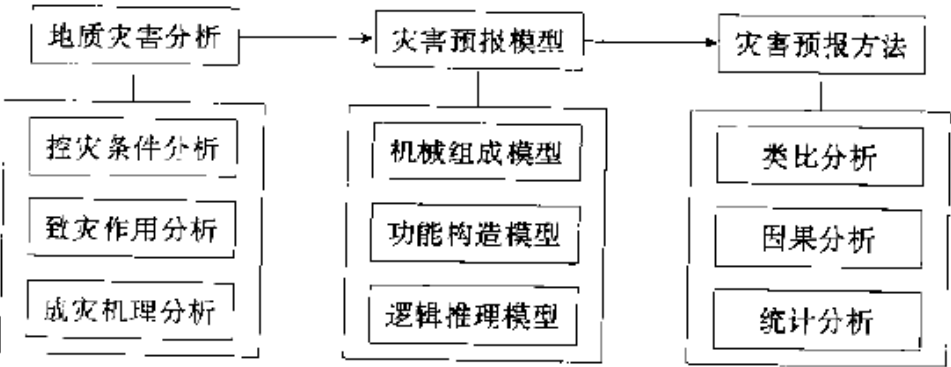


图 3-2 地质灾害预报的一般步骤

(据徐卫亚，1992，改编)

地质灾害预报的基本方法是基于类比分析、因果分析及统计分析而进行的。

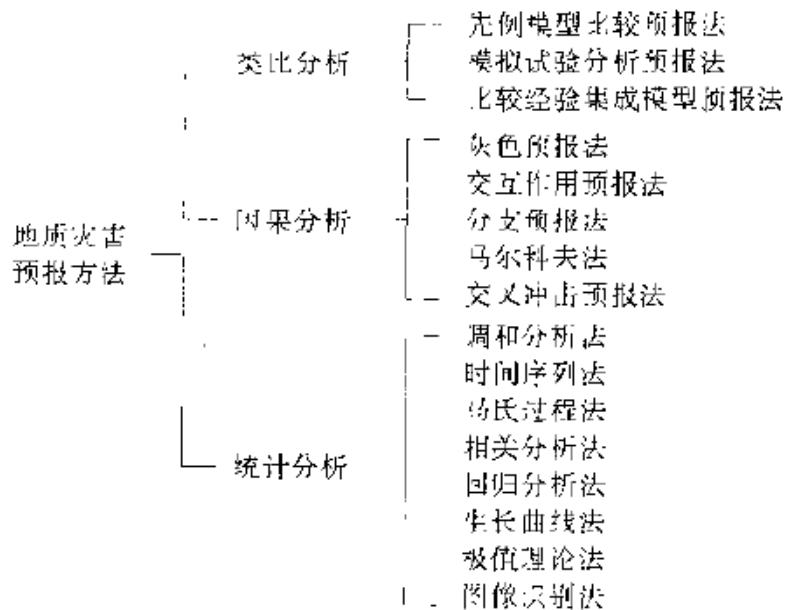


图 3-3 地质灾害预报方法

(据徐卫亚, 1992)

3 地质灾害防治

(1) 地质灾害防治的基本原则

地质灾害防治的根本目标是取得最佳的减灾效果。要实现这个目的, 必须遵循预防为主, 全面规划与重点防治相结合、地质灾害防治与社会经济活动相结合、防治工程最优化等原则。

(2) 地质灾害防治的基本途径与措施

防治地质灾害的基本途径主要基于两个方面: (i) 控制灾害源、消除或减弱灾害体的活动能量, 减少灾害威胁; (ii) 对受灾体采取防护或避让等保护措施使其免受灾害破坏, 或增强受灾体对灾害的抗御能力。

地质灾害防治措施基本包括四方面: (i) 削弱灾害活动强度措施; (ii) 受灾体防护措施; (iii) 监测预报措施和 (iv) 灾害避让措施。防治地质灾害的具体措施与方法将在各专门章节中予以论述。

三 地质灾害管理

1 地质灾害管理目的与原则

管理目的: 是建立高效、合理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, 最大限度地减轻灾害损失, 促进社会经济可持续发展。

基本原则: 是实行分级管理、推进减灾社会化; 推进灾害管理信息化、科学化、现代化、规

范化和法制化；把地质灾害管理同地质资源管理、环境管理、国土开发以及其他自然灾害管理结合起来；建立与社会经济发展相适应的地质灾害管理体系。地质灾害管理还必须遵循超前预见性原则、动态调控与中心转移原则、顾全大局原则、就近调度原则、长远利益至上原则和科学筹划原则等。

2 地质灾害管理的主要内容

主要内容和管理方式如图 3-4。其主要内容包括地质灾害调查与勘查管理、监测预报管理、灾情评估管理、防治工程施工管理以及制定减灾规划与减灾法规、推行减灾技术、合理使用减灾资金等方面的管理。

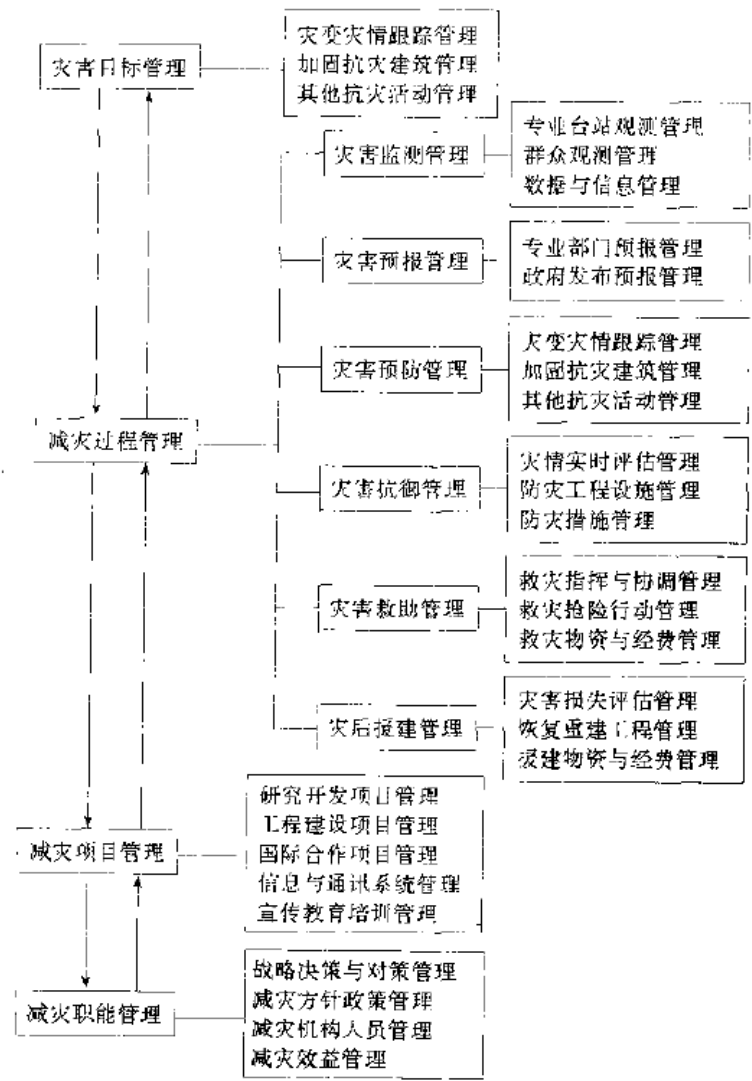


图 3-4 灾害管理的主要内容和方式框图

(据姚清林等，1998，改编)

3 地质灾害管理的主要手段

地质灾害管理的手段主要有经济手段、行政手段、法律手段和技术手段等四种。实施这些管理手段的方式虽然有所不同，但它们在地质灾害管理过程中都起着同样重要的作用。

（一）经济手段

地质灾害管理的经济手段包括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；发展减灾事业，组织社会减灾活动；推行灾害保险，调动社会力量广泛参与减灾事业。

（二）行政手段

地质灾害管理的行政手段主要是指各级政府部门在地质灾害管理中行使领导组织职能。主要包括：

（1）制定和实施减灾规划，根据全国和区域减灾目标，结合区域社会经济发展的总体规划制定不同层次、不同阶段的减灾规划，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，推广减灾技术，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，最大限度地减轻灾害损失。地质灾害管理的行政手段还包括减灾决策和指挥、减灾规划管理、减灾工作的日常管理等。

（三）法律手段

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，以一定的强制手段约束人们在减灾过程中的行为，保障减灾措施的顺利进行，以实现既定的减灾目标。地质灾害管理的法律、法规是由灾害管理基本法、专门性灾害管理法规和地方性灾害管理法规构成的法律体系。

（四）技术手段

地质灾害管理的技术手段包括制定与各项减灾措施相适应的技术标准、规范和章程，并在地质灾害勘查、监测、防治工作中贯彻执行，从而有效地减轻地质灾害损失。

3.2 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

1 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。

2 地质灾害灾情评估的类型

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急结评估三种类型。

灾前预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。

表 3-1 地质灾害评估范围分类及其特征表

评估类型	点评估	面评估	区域评估
评价对象	灾害体或灾害群灾情	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

3 地质灾害灾情评估的内容

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。

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。

1 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。如地震灾害可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。

2 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比的相对差异。

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；然后建方数学模型，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

易损性评价的主要内容与基本方法

易损性评价主要评价内容包括：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。

四 地质灾害破坏损失评价

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。

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。

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。

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

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。

五 地质灾害防治工程评价

1 地质灾害防治工程评价基本内容与途径

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。技术可行性可通过过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。

2 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不减少的地质灾害(期望)损失费用与防工程的投入费用,其表达式为:

$$E=O / I$$

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、劳功等投入)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、防灾功能(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。

3.3 地质灾害减灾效益分析

一 地质灾害经济损失分析

1 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 3-2 地质灾害经济损失类型构成表

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, 林木	设备, 材料, 室内财产	土地资源	地下水资源
地震, 火山	++	+	++	+	+	
崩塌-滑坡	++	++	++	++	++	
泥石流	++	++	++	++	++	
地裂缝	++				+	
地面沉降	+	+	+		+	

岩溶塌陷	++		+	+	+	
特殊土					+	
土地荒漠化			++		++	
地下水变质			+			++
海水入侵			+		+	++

注：++ ：明显损失；+ ：一般损失

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。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（第 I 类）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（第 II 类）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（第 III 类）共造成直接经济损失 156 亿元 / 年，海水入侵（第 IV 类）的直接经济损失 8 亿元 / 年。合计 15 种共达 274 亿元 / 年，其中第 I 类+第 II 类+第 IV 类共计 118 亿元 / 年（表 3-3）。

表 3-3 15 种主要地质灾害直接经济损失统计表 a

（据段水侯等，1993）

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
	冷浸田地	30.0
	土地盐渍化	25.0
造成社会产值减少（II）	土地沙化	45.0
	水土流失	96.0
	煤层自燃	15.0
IV	海水入侵	8.0

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。

二 地质灾害减灾效益分析

1 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,它不产生资金增值,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

$$Z = J - T$$

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。

2 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坡

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勘察研究和监测,并进行了准确预报,滑坡体上居住约1317名村民安全撤离,无一人伤亡。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,180×104 m³巨石滑入长江,河床填高3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,息损失约1亿元;滑坡还造成其他财产损失约1000万元。

此外，滑坡对当城居民的生命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 8 000 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。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:19 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 10000m³ 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。

思考题：

- 1、地质灾害危险性评估范围及等级如何确定？
- 2、如何理解地质灾害防治投入与效益？
- 3、各级地方政府编制地质灾害应急预案的意义？

本章讨论的主题及要求：

主题： 三峡地质灾害防治投资与效益分析。

- 要求：（1）课前查阅相关资料，理清关于主题的知识内容体系；
- （2）请 2 位同学大体上介绍自己的认识，时间为 10 分钟；
- （3）围绕主题，由指导老师组织，结合同学认识开展讨论。

第四章 地面沉降、滑坡、岩溶塌陷灾害与防治

4.1 地面沉降灾害防治

一、地面沉降的定义：指地层在各种因素的作用下，造成地层压密变形或下沉，从而引起区域性的地面标高下降。

二、地面沉降的原因：

(1) 自然因素：①新构造运动以及地震、火山活动引起的地面沉降；②海平面上升导致地面的相对下降（沿海）；③土层的天然固结（次固结土在自重压密下的固结作用）。

自然因素所形成的地面沉降范围大，速率小。自然因素主要是构造升降运动以及地震、火山活动等一般情况下，把自然因素引起的地面沉降归属于地壳形变或构造运动的范畴，作为一种自然动力现象加以研究。

(2) 人为因素：①抽汲地下水、液体引起的地面沉降。抽取地下水而引起的地面沉降，是地面沉降现象中发育最普遍、危害性最严重的一类；②大面积地面堆载引起的地面沉降；③大范围密集建筑群天然地基或桩基持力层大面积整体性沉降——工程性地面沉降。

人为因素引起的地面沉降一般范围较小，但速率和幅度比较大。人为因素主要是开采地下水和油气资源以及局部性增加荷载。将人为因素引起的地面沉降归属于地质灾害现象进行研究和防治。

三、地面沉降的成因机制和形成条件

(一) 地面沉降的成因机制

由于地面沉降的影响巨大，因此早就引起了各国政府和研究人员的密切注意。早期研究者曾提出一些不同的观点，如新构造运动说、地层收缩说和自然压缩说、地面动静荷载说、区域性海平面上升说等。大量的研究证明，过量开采地下水是地面沉降的外部原因，中等、高压压缩性粘土层和承压含水层的存在则是地面沉降的内因。因而多数认为沉降是由于过量开采地下水、石油和天然气、卤水以及高大建筑物的超量荷载等引起的。

在孔隙水承压含水层中，抽取地下水所引起的承压水位的降低，必然要使含水层本身及其上、下相对隔水层中的孔隙水压力随之而减小。根据有效应力原理可知，土中由覆盖层荷载引起的总应力是由孔隙中的水和土颗粒骨架共同承担的。由水承担的部分称为孔隙水压力 (p_w)，它不能引起土层的压密，故又称为中性压力；而由土颗粒骨架承担的部分能够直接造成土层的压密，故称为有效应力 (p_s)；二者之和等于总应力。假定抽水过程中土层内部应力不变，那么孔隙水压力的减小必然导致土中有效应力等量增大，结果就会引起孔隙体积减小，从而使土层压缩。

由于透水性能的显著差异，上述孔隙水压力减小、有效应力增大的过程，在砂层和粘土

层中是截然不同的。在砂层中，随着承压水头降低和多余水分的排出，有效应力迅速增至与承压水位降低后相平衡的程度，所以砂法压密是“瞬时”完成的。在粘性土层中，压密过程进行得十分缓慢，往往需要几个月、几年甚至几十年的时间；因而直到应力转变过程最终完成之前，粘土层中始终存在有超孔隙水压力（或称剩余孔隙水压力）。它是衡量该土层在现存应力条件下最终固结压密程度的重要指标。

相对而言，在较低应力下砂层的压缩性小且主要是弹性、可逆的，而粘土层的压缩性则大得多且主要是非弹性的永久变形。因此，在较低的有效应力增长条件下，粘性土层的压密在地面沉降中起主要作用，而在水位回升过程中，砂层的膨胀回弹则具有决定意义。

此外，土层的压缩量还与土层的预固结应力（即先期固结应力）、土层的应力—应变性状有关。由于抽取地下水量不等而表现出来的地下水位变化类型和特点也对土层压缩产生一定的影响。

（三）地面沉降的产生条件

从地质条件，尤其是水文地质条件来看，疏松的多层含水层体系、水量丰富的承压含水层、开采层影响范围内正常固结或欠固结的可压缩厚层粘比土层等的存在，都有助于地面沉降的形成。从土层内的应力转变条件来看，承压水位大幅度波动式的持续降低是造成范围不断扩大累进性应力转变的必要前提。

1. 厚层松散细粒土层的存在

地面沉降主要是抽采地下流体引起土层压缩而引起的，厚层松散细粒土层的存在则构成了地面沉降的物质基础。在广大的平原、山前倾斜平原、山间河谷盆地、滨海地区及河口三角洲等地区分布有很厚的第四系和上第三系松散或未固结的沉积物，因此，地面沉降多发生于这些地区。如在滨海三角洲平原，第四纪地层中含有比较厚的淤泥质粘土，呈软塑状态或流动状态。这此淤泥质粘性土的含水量可高达 60% 以上，孔隙比大、强度低、压缩性强，易于发生塑性流变。当大量抽取地下水时，含水层中地下水压力降低，淤泥质粘土隔水层孔隙中的弱结合水压力差加大，使孔隙水流入含水层有效压力加大，结果发生粘性土层的压缩变形。

易于发生地面沉降的地质结构为砂层、粘土层互层的松散土层结构。随着抽取地下水，承压水位降低，含水层本身及其土、下相对隔水层中孔隙水压力减小，地层压缩导致地面发生沉降。

2. 长期过量开采地下流体

未抽取地下水时，粘性土隔水层或弱隔水层中的水压力与含水层中的水压力处于平衡状态。抽水过程中，由于含水层的水头降低，上、下隔水层中的孔隙水压力较高，因而向含水层排出部分孔隙水结果使土、下隔水层的水压力降低。在上覆土体压力不变的情况下，粘土层的有效应力加大，地层受到压缩，孔隙体积减小。这就是粘土层的压缩过程。

由于抽取地下水，在井孔周围形成水位下降漏斗，承压含水层的水压力下降，即支撑上

覆岩层的孔隙水压力减小，这部分压力转移到含水层的颗粒上。因此，含水层因有效应力加大而受压缩，孔隙体积减小，排出部分孔隙水。这就是含水层压缩的机理。

地面沉降与地下水开采量和动态变化有着密切联系：

- (1) 地面沉降中心与地下水开采漏斗中心区呈明显一致性。
- (2) 地面沉降区与地下水集中开采区域大体相吻合。
- (3) 地面沉降量等值线展布方向与地下水开采漏斗等值线展布方向基本一致，地面沉降的速率与地下液体的开采量和开采速率有良好的对应关系。
- (4) 地面沉降量及各单层的压密量与承压水位的变化密切相关。
- (5) 许多地区已经通过人工回灌或限制地下水的开采来恢复和抬高地下水位，控制了地面沉降的发展，有些地区还使地面有所回升。这就更进一步证实了地面沉降与开采地下液体引起水位或液体沉降之间的成因联系。

3. 新构造运动的影响

平原、河谷盆地等低洼地貌单元多是新构造运动的下降区，因此，由新构造运动引起的区域性下沉对地面沉降的持续发展也具有一定的影响。

西安地面沉降区位于西安断陷区的东缘，由于长期下沉，新生界累计厚度已经超过3000m。1970~1987年，渭河盆地大地水准测量表明，西安的断陷活动仍在继续，在北部边界渭河断裂及东有部边界临潼——长安断裂测得的平均活动速率分别为 3.37 mm/a 和 3.98 mm/a ，构造下沉约占同期各沉降中各部位沉降速率的3.1%~7%左右。

4. 城市建设对地面沉降的影响

相对于抽采地下流体和构造运动引起的地面下沉，城市建设造成的地面沉降是局部的，有时也是不可逆转的。

城市建设按施工对地基的影响方式可分为：(i) 以水平方向为主和(ii) 以垂直方向为主的两种类型。前者以重大市政工程为代表，如地铁、隧道、给排水工程、道路改扩建等，利用开挖或盾构掘进，并铺设各种市政管线。后者以高层建筑基础工程为代表，如基坑开挖、降排水、沉桩等。沉降效应较为明显的工程措施有开挖、降排水、盾构掘进、沉桩等（龚士良，1998）。

若揭露有流沙陀质的饱水砂层或具流变特性的饱和淤泥质软土，在开挖深度和面积较大的基坑时则有可能造成支护结构失稳，从而导致基坑周边地区地面沉降。而规模较大的隧道、涵洞的开挖有时具有更显著的沉降效应。降排水常作为基坑等开挖工程的配套工程措施，旨在预先疏干作业面渗水，其机理与抽取地下水引发地面沉降一致。

城建施工造成的沉降与工程施工进度密切相关，沉降主要集中于浅部工程活动相对频繁和集中的地层中，与开采地下水引起的沉降主要发生在深部含水砂层有根本区别。

地壳沉降活动、松散沉积物的自然固结、人类开采地下水或油气资源引起的土层压缩等因素都会引起地面沉降，但从灾害研究角度而言的地面沉降是指人类活动引起的地面沉降，

或者是以人类活动为主、自然动力为辅而引起的地面沉降。地面沉降的形成条件主要包括两个方面：

(1) 一是地面沉降的地质条件，即具有较高压缩性的厚层松散沉积物。

(2) 地面沉降的动力条件，如人类长期过量开采地下水和地下沼气资源等。**四、抽水作用下引起地面沉降机理**

因抽水而引起地面沉降的地区，地层主要由各含水层及其相对隔水的粘性土层相叠组成，各层间在一定的水压下有着水力联系，抽水使含水层的水头（或水位）下降，并牵动相关的水头下降，导致孔隙水压力减小，有效应力增加。有效应力的增加，等同于给土层施加一附加压应力，使土层产生压缩变形，各土层的变形迭加，导致地面的整体下沉。

五、地面沉降的特征与分布

（一）地面沉降的特征

地面沉降是指某一区域内由于开采地下水或其他地下流体导致的地表浅部松散沉积物压实或压密引起的地面标高下降的现象，又称做地面下沉或地陷。地面沉降的特点是波及范围广，下沉速率缓慢，往往不易察觉，但已对于建筑物、城市建设和农田水利危害极大。

地面沉降灾害在全球各地均有发生。由于工农业生产的发展、人口的剧增以及城市规模的扩大，大量抽取地下水引起了强烈的地面沉降，特别是在大型沉积盆地和沿海平原地区，地面沉降灾害更加严重。石油，天然气的开采也可造成大规模的地面沉降灾害。

（二）地面沉降的分布规律

1. 世界地面沉降分布概况

地面沉降主要发生于平系和内陆盆地工业发达的城市以及油气田开采区。如美国内华达州的拉斯韦加斯市，自 1905 年开始抽取地下水，由于地下水位持续下降地面沉降影响面积已达 1030k m²，累计沉降幅度在沉降中心区已达 1.5m，并使井口超出地面 1.5m；同时还伴生了广泛的地裂缝，其长度和深度均达几十米。

日本在 20 世纪 50~80 年代，地面沉降已遍及全国的 50 多个城市 and 地区。东京地区的地面沉降范围达 1000 多平方公里，最大沉降量达到 4.6m，部分地区甚至降到了海平面以下。开采石油也造成了严重的地面沉降灾害。美国加利福尼亚州长滩市的威明顿油田，在 1926~1968 年间累计沉降达 9m，最大沉降速率为 71cm/a。表 7-1 列举了世界上一些城市或地区的地面沉降现象。

此外，英国的伦敦市、俄罗斯的莫斯科市、匈牙利的德波勒斯市、泰国的曼谷、委内瑞拉的马拉开波湖、德国沿海以及新西兰和丹麦等国家也都发生了不同程度的地面沉降。

2. 中国地面沉降分布规律

目前,我国已有上海、天津、江苏、浙江、陕西等 16 个省(区、市)共 46 个城市(地段)县城出现了地面沉降问题,总沉降面积达 48.7×10⁴km²(表 4-1)。

表 4-1 我国地面沉降情况统计(据段水候 1993)

省(区、市)	面积/km ²	发育分布简要说明
上海	850	始于 1920 年,至 1964 年发展到最严重程度,最大降深 2.63 m,现基本得到控制,处于微沉和反弹的状态
天津	10 000	自 1959 年始,10 000 多 km ² 的平原区均有不同程度的沉降,形成市区、塘沽、汉沽 3 个中心,最深处 2.916 m,最大速率 80 mm/a
江苏	379.5	60 年代初苏、锡、常三市分别出现,到 80 年代末累计沉降量分别达 1.10 m、1.05 m、0.9 m,目前已连成一片,现最大累积速率分别为 49~50 mm/a、15~25 mm/a、0~50 mm/a
浙江	262.7	宁波、嘉兴两市自 60 年代初开始,到 1989 年累计沉降量最大量分别达 0.346 m、0.597 m,现最大速率分别为 18 mm/a、41.9 mm/a
山东	526	菏泽、济宁、德州三市沉降先后发现于 1978 年、1988 年、1978 年,累计沉降量分别达 0.077 m、0.063 m、0.104 m,最大速率为 9.68、31.5、20 mm/a
陕西	177.2	50 年代后期开始,西安市及近郊出现 7 个地面沉降中心,最大累积降深达 1.035 m,最大沉降速率达 136 mm/a
河南	59	许昌(1995 年发现)、开封、洛阳(1979 年发现)、安阳,最大沉降量分别为 0.208 m、不详、0.113 m、0.337 m,安阳区域性沉降速率 65 mm/a
河北	3.6×10 ⁴	自 50 年代中期开始沉降,已形成沧州、衡水、任丘、河间、保定、南宫、邯郸等 10 个沉降中心,沧州累积降深达 1.131 m,速率达 25.5 mm/a
安徽	360	阜阳市 70 年代初出现沉降,1992 年最大累积降深达 1.02 m,速率达 60~110 mm/a
黑龙江		哈尔滨、大庆、齐齐哈尔、佳木斯出现了房屋开裂、地面形变等地面沉降的前兆,均存在地下水超量开采诱发地面沉降的因素
山西	200	太原市(1979 年发现),最大沉降量 1.967 m,速率 0.037~0.114 m/a,大同市(1988 年发现)、榆次、介休最大沉降量分别为 0.06 m、不详、0.065 m,速率分别为 31 mm/a、10~20 mm/a、5~7.5 mm/a
北京	313.96	50 年代末开始沉降,中心位于东郊,最大累积沉降量达 0.597 m,目前趋势减缓
广东	0.25	60~70 年代湛江市出现地面沉降,最大降深 0.11 m,后因控制地下水开采已基本得到控制
福建	9	福州市发现地面沉降始于 1957 年,目前最大累积沉降量达 678.9 mm,速率 2.9~21.8 mm/a
合计	48655.21	主要分布在长江下游三角洲平原、河北平原、环渤海、东南沿海平原、河谷平原和山间盆地几类地区,年均直接损失 1 亿元以上

从成因上看,我国地面沉降绝大多数是因地下水超量开采所致。从沉降面积和沉降中心最大累积降深来看,以天津、上海、苏锡常、沧州、西安、阜阳、太原等城市较为严重,最大累积沉降量均在 1m 以上;如按最大沉降速率来衡量,天津(最大沉降速率 80mm/a)、安徽阜阳(年沉降速率 60~110mm/a)和山西太原(114mm/a)等地的发展趋势最为严峻。我国地面沉降的地域分布具有明显的地带性,主要位于厚层松散堆积物分布地区。

(1) 大型河流三角洲及沿海平原区

主要是长江、黄河、海河及辽河下游平原和河口三角洲地区。这些地区的第四纪沉积层厚度大,固结称度差颗粒细,层次多压缩比强;地厂水含水层多,补给径流条件差,开采时间长、强度大;城镇密集、人口多,工农业生产发达。这些地区的地面沉降首先从城市地下

水开采中心开始形成沉降漏斗，进而向外围扩展，形成以城镇为中合的大面积沉降区。

（2）小型河流三角洲区

主要分布在东南沿海地区第四纪沉积厚度不大以海陆交互相的粘土和砂层为主，压缩性相对较小。地下水开采主要集中于局部的富水地段。地面沉降范围一般比较小主要集中于地下水降落漏斗中心附近。

（3）山前冲洪积扇及倾斜平原区

主要分布在燕山和大行山山前倾斜平原区，以北京、保定、邯郸、郑州及安阳市等大、中城市最为严重。该区第四纪沉积层以冲积、洪积形成的砂层为主；区内城市人口众多、城镇密集工农业生产集中；地下水开采强度大地二水位下降幅度大。地面沉降主要发生在地下水集中开采区沉降范围由开采范围决定

（4）山间盆地和河流谷地区

主要集中在陕西省的渭河盆地及山西省的汾河谷地以及一些小型山间盆地内，如西安、咸阳、太原、运城、临汾等城市。第四纪沉积物沿河流两侧呈条带状分布，以冲积砂土、粘性土为主厚度变化大；地下水补给、径流条件好；构造运动表现为强烈的持续断陷或下陷。地面沉降范围主要发生在地下水降落漏斗区。

六. 地面沉降的危害

地面沉降是一种累积性地质灾害，会给滨海平原防洪排涝、土地利用、城市规划建设、航运交通等造成严重危害，其破坏和影响是多方面的。其中主要危害表现为：地面标高损失，继而造成雨季地表积水，防泄洪能力下降；沿海城市低地面积扩大、海堤高度下降而引起海水倒灌；海港建筑物破坏，装卸能力降低；地面运输线和地下管线扭曲断裂；城市建筑物基础下沉脱空开裂；桥梁净空减小影响通航；深井井管上升，井台破坏，城市供水及排水系统失效；农村低洼地区洪涝积水使农作物减产等。

（一）滨海城市海水侵袭

世界上有许多沿海城市，如日本的东京市、大阪市和新玛市，美国的长滩市，中国的上海市、天津市、台北市等，由于地面沉降致使部分地区地面标高降低，甚至低于海平面。这些城市经常遭受海水的侵袭，严重危害当地的生产和生活。为了防止海潮的威胁，不得不投入巨资加高地面或修筑防洪墙或护岸堤。

如中国上海市的黄浦江和苏州河沿岸，由于地面下沉，海水经常倒灌，影响沿江交通，威胁码头仓库。1956 年修筑防洪墙，1959～1970 年间加高 5 次，投资超过 4 亿元，每年维修费也达 20 万元。为了排除积水，不得不改建下水道和建立排水泵站。

1985 年 8 月 2 日和 19 日，天津市沿海海水潮位达 5.5m，海堤多处决口，新港、大沽一带被海水淹没，直接经济损失达 12 亿元。1992 年 9 月 1 日，特大风暴再次袭云天津、潮位达 5.93m，有近 100km 海堤浸水，40 余处溃决，直接经济损失达 3 亿元。虽然风暴潮是气象方面的因素而引起的，但地面沉降损失近 3m 的地面标高也是海水倒灌的重要原因。

地面沉降也使内陆平原城市或地区遭受洪水灾害的频次增多、危害程度加重。可以说，低洼地区洪涝灾害是地而沉降的主要致灾特征。无可否认，江汉盆地沉降、洞庭湖盆地沉降（现代构造沉降速率为 10 mm/a ）和辽河盆地沉降加重了 1998 年中国的大洪灾。

（二）港口设施失效

地面下沉使码头大去效用，港口货物装卸能力下降。美国的长滩市，因地面下沉而使港口码头报废，我国上海市海轮停靠的码头，原标高 5.2m ，至 1964 年已降至 3.0m ，高潮时江水涌上地面，货物装卸被迫停顿。

（三）桥墩下沉，影响航运

桥墩随地面沉降而下沉，使桥下净空减小，导致水上交通受阻。上海市的苏州河，原先每天可通过大小船只 2000 条，航运量达 $(100\sim 120)\times 10^4\text{t}$ 。由于地面沉降，桥下净空减小，大船无法通航，中小船只通航航也受到影响。

（四）地基不均匀下沉，建筑物开裂倒塌

地面沉降往往使地而和地下建筑遭受巨大的破坏，如建筑物墙壁开裂或倒塌、高楼脱空，深井井管上升、井台破坏、桥墩不均匀下沉，自来水管夸裂漏水等。美国内华达州的拉斯韦加斯市、因地面沉降加剧，建筑物损坏数里剧增；我国江阴市河塘镇地面塌陷，出现民达 150m 以上的沉降带，造成房尾墙壁开裂、楼板松动、横梁倾斜、地面凹凸不平，约 5800m^2 时建筑物成为危房，一座幼儿园和部分居民已被迫搬迁。地面沉降强烈的地区，伴生的水平位移有时也很大，如美国民滩市地面垂直沉降伴生的水平位移最大达到 3m ，不均匀水平位移所造成的巨大剪切力，使路而变形、铁轨扭曲、桥墩移动、墙壁错断倒塌、高楼支柱和偷架弯扭断裂、油井及其他管道破坏。

由于地而下降一些园林古迹遭到严重的损坏。如我国苏州市朴园内的亭台楼群阁、区廊假山，经常被水淹没，园内常年备有几台水泵排水。

七、地面沉降的监测与预测

地面沉降的危害十分严重，且影响范围广大。尽管地面沉降往往不明显，不易引人注目，却会给城市建筑、生产和生活带来极大的损失。因而，在必须开采利用地下水的情况下，通过大地水准测量来监测地面沉降是非常重要的

目前，我国地面沉降严重的城市，几乎都已制订了控制地下水开采的管理法令，同时开展了对地而沉降的系统监测和科学研究。

（一）地面沉降的监测

地面沉降的监测项月主要有大地水准测量、地下水动态监测、地表及地下建筑物设施破坏现象的监测等。

监测的基本方法是设置分层标、基岩标、孔隙水压力标、水准点、水动态监测网、水文观测点、海平面预测点等，定期进行水准测贷和地下水开采量、地下水位、地下水压力、地下水水质监测及地下水回灌监测，同时开展建筑物和其他设施因地面沉降而破坏的定期监测

等。根据地面沉降的活动条件和发展趋势,预测地面沉降速度、幅度、范围及可能产生的危害。

(二) 地面沉降趋势的预测

虽然地面沉降可导致房屋墙壁开裂、楼房因地基下沉而脱空和地表积水等灾害,但其发生、发展过程比较缓慢,属于种渐进险地质灾害,因此,对地面沉降灾害只能预测其发展趋势。目前地面沉降预测计算模型主要有两种:(i) 基于释水压密理论的土水模型,(ii) 生命旋回模型。

(1) 土水模型

土水模型由水位顶测模型和土力学模型两部分构成,可利用相关法、解析法和数值法等地下水水位进行预测分析、土力学模型包括含水层弹隆计算模型、粘住土层最终沉降量模型、太沙基固结模型、流变固结模型、比奥(Biot)固结理论模型、弹塑哇固结模型、回归训算模型及半理论半经验模型(如单位变形量法等)和最优化计算法等。

(2) 生命旋回模型

生命旋回模型主要从地面沉降的整个发展过程来考虑直接由沉降量与时间之间的相关关系构成,如泊松旋固模型、verhulst 生物模型和灰色预测模型等(刘毅等,1998)。晏同珍等(1990)用动力学和数学方法预测了西安市及宁波市的地面沉降周期趋势,并绘制了动力曲线图,得出两城市地面沉降周期分别为 25 年和 80 年的结论。根据沉降周期预测,认为西安市 1992~1996 年地面沉降达到峰值,此后将显著减缓,2050 年地面沉降威胁结束。宁波市地面沉降 1987~1989 年已达到峰值阶段,2050 年沉降将进入休止阶段。

八、地面沉降的防治

地面沉降与地下水过度开采紧密相关,只要地下水位以下存在可压缩地层就会因过量开采地下水而出现地面沉降,而地面沉降一旦出现则很难治理,因此地面沉降主要在于预防。

目前,国内外顶防地面沉降的主要技术措施大同小异,主要包括建立健全地面沉降监测网络,加强地下水动态和地面沉降监测工作;开辟新的替代水源、推广节水技术;调整地下水开采布局,控制地下水开采量;对地下水开采层位进行人工回灌;实行地下水开采总量控制、计划开采和目标管理。

除上述措施外,还应查洁地下地质构造、对高层建筑物的地基进行防沉降处理。在已发生区域性地面沉降的地区,为了减轻海水倒灌和洪涝等灾害损失,还应采取加高加固防洪堤、防潮堤以及疏导河道,兴建排涝工程等措施。

基本措施是进行地下水资源管理。

例:上海市为合理开采使用地下水有效控制地面沉降,近年来坚持“严格控制、合理开采”的原则,加大对地下水开发、利用和管理的为度,取得了显著的成效。据市给水处的统计数据,1996 年至今全市近郊地区共压缩停用深井 185 口,地下水的开采量从 1996 年的 $1.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。缩减到 1999 年的 $1.04 \times 10^{12} \text{m}^3$,使本市地下水开采量又恢复到 80 年代的水平;

1999 年全市平均地面沉降量比 1998 年减少 1.94mm。为继续保持地下水开采量负增长为良好势头，上海市政府做出决定，2000 年全市地下水净开采量要比上年同比递减 $300 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

开采地下水引起地面沉降的防治措施

主要整治方法：

- (1) 减少地下水开采量和水位降深；调整开采层次，合理开发地下水资源；
- (2) 当地面沉降发展剧烈时，应禁采；
- (3) 对地下水进行人工补给，回灌时应控制水源的水质标准，以防止地下水被污染。

当前地面沉降防治存在问题：

一是系统内包括国土资源系统和地勘系统，对地面沉降防治高度重视，但是系统外包括个别地方政府，对此了解还不够，这跟地面沉降防治的宣传有关。尽管在三大区域——华北、长三角和汾渭盆地，地面沉降防治得到政府高度重视，但在防治过程中，各部门间还存在在工作关系理得不顺的问题。我们要争取中央政府各部门对地面沉降防治的充分了解和支

持。

二是防治过程中，还存在个别主要用水单位不顾地质环境，严重超采地下水的情况。我们要让这些单位对地面沉降重视起来，也要依法督促和指导他们积极参与地面沉降防治。

三是防控措施还不够，效果还不能适应社会主义工业化、城镇化建设的发展需要。目前，我们的地面沉降面积还在不断扩大，已经超过 9 万平方公里，超过 50 个主要城市受到影响。

重点应做好的工作

一、加强有关部门的协调配合，建立地面沉降防治的区域联动联席会议机制。建立部际联席会议制度，解决防治工作的机制、政策、经费支持等问题。目前，长三角地面沉降联席会议制度要从厅局级升级到省级，同时支持华北平原、汾渭盆地也建立区域省级联席会议制度，以此进一步理顺体制，促进地面沉降防治工作顺利进行。

二、尽快开展地面沉降规划研究，完善地面沉降监测网络建设。要在建立区域联动联席会议机制的基础上，对现有监测监控网络建设提出统一的监测和建设标准，以省市为单位，统一协调，实现对整个区域地面沉降的有效监控，同时加快防控规划的专题研究。

三、要高度重视地面沉降新技术、新方法和新设备的应用和开发创新，掌握地面沉降的生成机理，提出更好更有效的防控措施。同时，要加强国际交流，在防治过程中出现的影响工作的重大热点难点问题，相关部门和主管单位要提供条件，立项，给予支持。

四、要加强综合管理。地面沉降主要是超采地下水引起的，主管单位在做好调查监测的同时，要积极向政府各部门汇报，在政府的统一领导和支持下，监督协调有关单位，合理开采地下水，采取有效措施，加强地面沉降治理，从而提高防控的效果。

4.2 滑坡灾害防治

一、滑坡的定义、要素概述

滑坡的定义：

在自然地质作用和人类活动等因素的影响下，斜坡上的岩土体在重力作用下沿一定的软弱面“整体”或局部保持岩土体结构而向下滑动的过程和现象及其形成的地貌形态，称为滑坡。俗称“走山”、“垮山”、“地滑”、“土溜”等。滑坡是斜坡岩土体沿着贯通的剪切破坏面所发生的滑移现象。滑坡的机制是某一滑移面上剪应力超过了该面的抗剪强度所致。

滑坡的要素：

滑坡体、滑坡周界、滑坡壁、滑坡台阶、滑动面（带）、滑坡床、滑坡舌、主滑线、拉张裂缝、羽状裂缝、鼓张裂缝、扇形张裂缝、封闭洼地（滑坡湖）等。

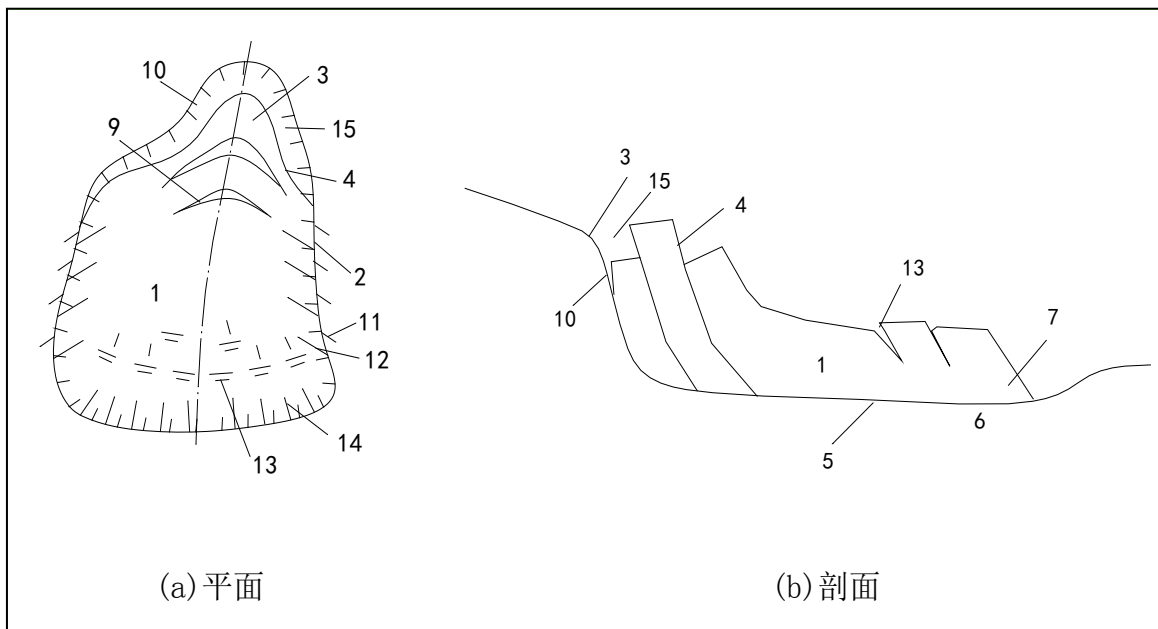


图 4—1 滑坡要素平剖面示意图

1. 滑坡体；2. 滑坡周界；3. 滑坡壁；4. 滑坡台阶；5. 滑动面（带）；6. 滑坡床；7. 滑坡舌；8. 主滑线；9. 拉张裂缝；10. 主裂缝；11. 剪切裂缝；12. 羽毛状裂缝；13. 鼓张裂缝；14. 扇形张裂缝；15. 封闭洼地（滑坡湖）

滑坡的特征：

（1）发生变形破坏的岩土体以水平位移为主，除滑动体边缘存在为数较少的崩离碎块和翻转现象外，滑体上各部分的相对位置在滑动前后变化不大。

（2）滑动体始终沿着一个或几个软弱面（带）滑动，岩土体中各种成因的结构面均有可能成为滑动面，如古地形面、岩层层面、不整合面、断层面、贯通的节理裂隙面等。

（3）滑坡滑动过程可以在瞬间完成，也可能持续几年或更长的时间。规模较大的“整体”

滑动一般为缓慢、长期或间歇的滑动。

滑坡的这些特征使其有别于崩塌、错落等其他斜坡变形破坏现象。

滑坡的形成条件

自然界中，无论天然斜坡还是人工边坡都不是固定不变的。在各种自然因素和人为因素的影响下，斜坡一直处于不断地发展和变化之中。滑坡形成的条件主要有地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件和人为活动等因素。

（一）地形地貌

斜坡的高度、坡度、形态和成因与斜坡的稳定性有着密切的关系。高陡斜坡通常比低缓斜坡更容易失稳而发生滑坡。斜坡的成因、形态反映了斜坡的形成历史、稳定程度和发展趋势，对斜坡的稳定性也会产生重要的影响。如山地的缓坡地段，由于地表水流动缓慢，易于渗入地下，因而有利于滑坡的形成和发展。山区河流的凹岸易被流水冲刷和淘蚀，当黄土地区高阶地前缘坡脚被地表水侵蚀和地下水浸润，这些地段也易发生滑坡。

（二）地层岩性

地层岩性是滑坡产生的物质基础。虽然入同地质时代、不同岩性的地层中都可能形成滑坡，但滑坡产生的数量和规模与岩性有密切关系。容易发生滑动的地层和岩层组合有第四系粘性土、黄土与下伏三趾马红土及各种成因的细粒沉积物，第三系、白垩系及侏罗系的砂岩与页岩、泥岩的互层煤系地层，石炭系的石灰岩与页岩、泥岩互层，泥质岩的变质岩系，质软或易风化的凝灰岩等。这些地层岩性软弱，在水和其他外营力作用下因强度降低而易形成滑动带，从而具备了产生滑坡的基本条件。因此，这些地层往往称为易滑地层。

（三）地质构造

地质构造与滑坡的形成和发展的关系主要表现在两个方面：

（1）滑坡沿断裂破碎带往往成群成带分布。

（2）各种软弱结构面（如断层面、岩层面、节理面、片理面及不整合面等）控制了滑动面的空间展布及滑坡的范围。如常见的顺层滑坡的滑动面绝大部分是由岩层层面或泥化夹层等软弱结构面构成的。

（四）水文地质条件

各种软弱层、强风化带因组成物质中粘土成分多，容易阻隔、汇聚地下水，如果山坡上方或侧方有丰富的地下水补给，则这些软弱层或风化带就可能成为滑动带而诱发滑坡。地下水在滑坡的形成和发展中所起的作用表现为：

（1）地下水进入滑坡体增加了滑体的重量，滑带土在地下水的浸润下抗剪强度降低。

（2）地下水位上升产生的静水压力对上覆不透水岩层产生浮托力，降低了有效正应力和摩擦阻力。

（3）地下水与周围岩体长期作用改变岩土的性质和弧度，从而引发滑坡。

（4）地下水运动产生的动水压力对滑坡的形成和发展起促进作用。

（五）人类活动

人工开挖边坡或在斜坡上部加载。改变了斜坡的外形和应力状态，增大了滑体的下滑力，减小了斜坡的支撑力，从而引发滑坡。铁路、公路沿线发生的滑坡多与人工开挖边坡有关。人为破坏斜坡表面的植被和覆盖层等人类活动均可诱发滑坡或加剧已有滑坡的发展。

滑坡的成因机制

（一）滑动面与斜坡稳定性的关系

滑动面（带）是滑坡形成演化的关键要素。滑动面的埋深在很大程度上决定了滑坡体的规模，其形状直接控制着滑坡体的稳定状态，是滑坡研究、勘测、稳定性分析、灾害预测预报以及工程处理的重要对象或依据。

典型的滑坡滑动面由陡倾的拉张段（后段）、缓倾的滑移段（中段）和平缓以至反翘的阻滑段（前段）三部分组成。在剖面上状似船底形。受各种因素的影响，滑动面的总体真实形态可表现为直线形、折线形、圈椅形、阶梯形等形状。

直线形滑动面主要形成于具有单一结构面的坡体中，即多形成于层状岩体（包括层状火山岩）内或堆积层下伏基岩面和堆积层内的沉积间断面上。其特点是地层倾角小于坡面倾角，前缘在坡脚附近及以上位置剪出，后缘与上方斜坡面相交，呈一倾斜的平面。直线形滑动面不存在前缘反翘抗滑段，故稳定性差、危害大。

折线或阶梯形滑面多发生在滑面坡角大于岩层倾角的斜坡地带，滑面由节理或层理等软弱结构面组成，在纵剖面上呈阶梯状折线。

圈椅形滑动面的中部顺层段一般不发育，前缘段的长短取决于滑坡规模和所处岩层的结构面的发育程度，对滑坡的稳定起着重要作用。

船底形滑面滑坡多发育在土质边坡，其后缘较陡，倾角大多在 60° 以上。在蠕变阶段，滑坡后缘首先出现弧状拉张裂隙，是滑坡预报的重要依据。中部滑面一般比较平缓，倾角多小于 20° ，但长度占整个滑面的一半以上，是滑坡的主滑段。前缘平缓甚至反倾，形成抗滑段。当主滑体滑至滑面前缘时，大多数滑坡已趋于稳定。

（二）滑坡的发育阶段

滑坡的发育是一个缓慢而长期的变化过程。通常将滑坡的发育过程划分为三个阶段，即：（i）蠕变变形阶段，（ii）滑动破坏阶段和（iii）压密稳定阶段。研究滑坡发育过程对于认识滑坡和正确地选择防治措施都有重要的意义。

1. 蠕变变形阶段

由于各种因素的影响，斜坡岩土体强度逐渐降低或斜坡内部剪切应力不断增加使斜坡的稳定状态受到破坏。斜坡内较软弱的岩土体首先因抗剪强度小于剪切应力而发生变形，当变形发展至坡面便形成断续的拉张裂缝。裂缝的出现使地表水的入渗作用加强，变形进一步发展，后缘裂缝加宽，并出现小的错断，滑体两侧的剪切裂缝也相继出现，坡脚附近的岩土被挤出。此时，滑动面基本形成，但尚未全部贯通。

斜坡变形继续发展，后缘拉张裂缝进一步加宽，错距不断增大，两侧羽毛状剪切裂缝贯通，斜坡前缘的岩土受推挤而鼓起，并出现大量鼓胀裂缝，滑坡出口附近渗水浑浊。至此，滑动面全部贯通，斜坡岩土体开始沿滑动面整体向下滑动。从斜坡发生变形、坡面出现裂缝到斜坡滑动面贯通的发展阶段称为滑坡的蠕变阶段。这一阶段经历的时间有长有短，长者可达数年之久，短者仅数月或几天时间。

2. 滑动破坏阶段

滑动破坏阶段是指滑动面贯通后，滑坡开始作整体向下滑动的阶段。此时滑坡后缘迅速下陷，滑壁明显出露；有时滑体分裂成数块，并在坡面上形成阶梯状地形。滑体上的树林倾斜形成“醉汉林”，水管、渠道等被剪断，各种建筑物严重变形以致倒塌。随着滑体向前滑动，滑坡体向前伸出形成滑坡舌，并使前方的道路、建筑物遭受破坏或被掩埋。发育在河谷岸坡的滑坡，或者堵塞河流，或者迫使河流弯曲转向。

这一阶段滑坡的滑动速度主要取决于滑动面的形状和抗剪强度，滑体的体积以及滑坡在斜坡上的位置。如果滑带上的抗剪强度变化不大，则滑坡不会急剧下滑，一般每天只滑动几毫米，在滑动过程中若滑带土的抗剪强度迅速降低，滑坡就会以每秒几米甚至几十米的速度下滑。这种高速下滑的大型滑坡在滑动中常伴有巨响并产生很大的气浪，从而危害更大。

3. 压密稳定阶段

滑坡体在滑动过程中具有一定的动能，可以滑到很远的地方。但在滑面摩擦阻力的作用下，滑体最终要停止下来。滑动停止后，除形成特殊的滑坡地形外，滑坡岩土体结构和水文地质条件等都发生了一系列变化。

在重力作用下，滑坡体上的松散岩土体逐渐压密，地表裂缝被充填，滑动面（带）附近的岩土强度由于压密，固结程度提高，整个滑坡的稳定准也有所提高。当滑坡坡面变缓、滑坡前缘无渗水、滑坡表面植被重新生长的时候，说明滑坡已基本稳定。滑坡的压密稳定阶段可能持续几年甚至更长的时间。

实际上，滑坡的滑动过程是非常复杂的，并不完全遵循上述三个发展阶段，如黄土或粘性土滑坡一般没有蠕变阶段，在强大震动力的作用下可突然发生滑坡灾害。

滑坡的分类

合理的滑坡分类对于认识和防治滑坡是必要的。目前，人们从不同的观点和应用目的出发提出了多种分类方案，但尚未形成统一的认识。下面介绍几种滑坡的主要分类方式。

1. 按滑动面特征划分

(1) 顺层滑坡（以岩层为滑动面）：沿已有层面或层间软弱带等发生滑动而形成的滑坡，如岩层层面、不整合面、节理或裂隙面，松散层与基岩的界面等。

(2) 切层滑坡（滑动面与岩层层面相切）：指滑动面与岩土体中的沉积结构面相交切的滑坡。

2. 按滑动性质划分

(1) 牵引式滑坡：斜坡下部首先失稳发生滑动，继而牵动上部岩土体向下滑动的滑坡。

(2) 推动式滑坡：斜坡上部首先失去平衡发生滑动，并挤压下部岩土体使其失稳而滑动的滑坡。

(3) 混合式滑坡：属于牵引式滑坡和推动式滑坡的混合形式。

3. 按滑坡的主要组成物质和滑体规模划分

按组成滑坡物质的成分，可将其分为土质滑坡和岩层滑坡两大类，其中土质滑坡可进一步分为：(i) 堆积层滑坡，(ii) 黄土滑坡和 (iii) 粘性土滑坡。

若按滑体的规模可将其分为 4 个亚类：(i) 浅层滑坡（滑体厚仅数米），(ii) 中层滑坡（滑体厚几米至 20m 左右），(iii) 深层滑坡（20~50m）和 (iv) 极深层滑坡（大于 50m）。

4. 按滑坡形成机制划分

孙广忠等人（1985）从滑坡形成机制的角度对我国的滑坡进行了详细分类，归纳为 9 种类型即：楔形体滑坡、圆弧面滑坡、顺层面滑动的滑坡、复合型滑坡、堆积层滑坡、崩坍碎屑流型滑坡、岸坡或斜坡开裂变形体，倾倒变形边坡和溃屈破坏边坡。其中岸坡或斜坡开裂变形体属潜在危岩体，尚未形成滑坡；倾倒变形边坡和溃屈破坏边坡更接近于崩塌。

楔形体滑坡的主要特点是滑动面及切割面均为较大的断层或软弱结构面，常出现于人工开挖的边坡，其规模一般比较小。圆弧滑面滑坡常见于具有半胶结特性的土质滑坡中，规模一般较大，其发育演化过程表现为 (i) 坡脚蠕动变形，(ii) 滑坡后缘张裂扩张和 (iii) 滑坡中部滑床剪断贯通三个阶段。顺层面滑动的滑坡可进一步分为沿单一层面滑动的滑坡及坐落式平推滑移型滑坡两类。具有复合形态滑面的滑坡多为深层滑坡，上部第四系松散堆积层形成近似圆弧形滑面，下部基岩则多沿软弱结构面发育，构成复合形态的滑动面。堆积层滑坡常发生在第四系松散堆积层中。崩坍碎屑流滑坡一般具有较高的滑动速度，多发生在两岸斜坡较陡的峡谷地区，高速运动的滑体在抵达对岸受阻后反冲回弹而顺峡谷向下游“流动”，形成碎屑流堆积体。

此外，按主滑面成因可将滑坡分为：(i) 堆积面滑坡，(ii) 岩层层面滑坡 (iii) 构造面滑坡和 (iv) 同生面滑坡四类。按滑体厚度，可将其分为：(i) 巨厚层滑坡（大于 50m），(ii) 厚层滑坡（20~50m），(iii) 中层滑坡（6~20m）和 (iv) 薄层滑坡（<6m）。按滑坡滑动年代，可将其分为：(i) 老滑坡，(ii) 古滑坡和 (iii) 新滑坡三类。按滑体运动速度，可将其分为：(i) 缓慢性滑坡和 (ii) 崩塌性滑坡。按滑坡在道路上的位置，可将其分为：(i) 路堤滑坡和 (ii) 路堑滑坡等。

应该指出，上述各种分类虽然自成系统，但彼此间也具有内在的联系。根据不同的目的和需要，可以对滑坡进行单要素命名或综合要素命名。如对沿堆积面滑动的滑体为粘性土的滑坡，可按单要素命名为粘性土滑坡或堆积面滑坡，也可按综合要素命名为粘性土堆积面滑坡或堆积面粘性土滑坡。

滑坡的危害

滑坡、崩塌灾害是我国地质灾害中的主要灾种，这些灾害给我国人民的生命财产和国民经济建设带来了严重的危害，极大地影响了社会经济的发展。自 1949~1990 年的 42 年中，我国至少发生了 432 次危害和影响重大的崩塌、滑坡事件。分布范围涉及 23 个省、市、自治区，其中四川省是遭受滑坡、崩塌灾害频次最高的省区，约占全国总受灾频次的 1/4；其次为陕西、云南、甘肃、青海、贵州、湖北六省。据统计，自 1949~1990 年的 42 年中，滑坡、崩塌灾害致死 3635 人，年均 87 人；直接经济损失约为 55 亿元，年均 1.3 亿元（段永侯等，1993）。年均死亡人数明显高于美国、加拿大、日本等发达国家。

滑坡灾害的广泛发育和频繁发生使城镇建设、工矿企业、山区农村、交通运输、河运航道及水利水电工程等受到严重危害。

（一）滑坡对城镇的危害

城镇是一个地区的政治、经济和文化中心，人口、财富相对集中，建筑密集、工商业发达。因此，城镇遭受滑坡灾害，不仅造成巨大的人员伤亡和直接经济损失，而且也给其所在地区带来一定的社会影响。

著名山城重庆是我国西南地区重要的经济中心，由于所处的特殊地质地理环境和强烈的人类活动影响，滑坡、崩塌灾害频繁，已成为影响居民生活和城市建设的主要因素之一。

自 1949 年以来，重庆市已发生几十次严重的滑坡、崩塌灾害。如 1985 年王家坡滑坡，造成 102 户居民被迫搬迁并严重危及重庆火车站的安全；1986 年 7 月，向家坡、老君坡等数处滑坡活动，造成 16 人死亡，3 人重伤，多处房屋被毁；1989 年 9 月，李子坝滑坡复活，堵塞交通，并迫使数十户居民搬迁。1998 年 8 月中旬，重庆市巴南区麻柳嘴镇和云阳县帆水乡大面村分别发生特大型滑坡灾害，500 户房屋全部被毁，1 000 余人无家可归，直接经济损失超过 8 000 万元。据最新调查资料，重庆市 201.59k m² 范围内，共有体积大于 500m³ 的新、老滑坡 129 处，其中 66 处滑坡处于潜在不稳定或活动状态。

（二）滑坡对交通运输的危害

1. 对铁路的危害

滑坡是最为严重的一种山区铁路灾害。规模较小的滑坡可造成铁路路基上拱、下沉或平移，大型滑坡则掩埋、摧毁路基或线路，以致破坏铁路桥梁、隧道等工程。铁路施工阶段发生滑坡，常常延误工期；在运营中发生滑坡，则经常中断行车，甚至造成生命财产的重大损失。

我国铁路沿线的滑坡，崩塌灾害主要集中于宝成、宝天、成昆、川黔、鹰厦、长杭、黔桂、枝柳、太焦、沈大等线路，滑坡、崩塌灾害约占全国山区铁路沿线地质灾害的 80% 以上，平均每年中断运输约 40 余次，中断行车 800 多小时，每年造成的直接经济损失约 7 000 多万元。

1998 年 8 月中旬，刚刚正式通车 3 个月的达川至成都铁路的南充段发生 5 处山体滑坡，

8月13日距南充市50km的大通车站前方的桥堡因滑坡而坍塌，路基塌方约8000m，致使铁路运输中断行车90多个小时。因此次山体滑坡和路基塌方，公路运输也严重受阻，水上运输被迫封航。

2. 对公路的危害

山区公路也不同程度地遭受着滑坡、崩塌的危害，极大地影响了交通运输的安全。我国西部地区的川藏、滇藏、川滇西，川陕西、川陕东，甘川、成兰、成阿、滇黔、天山国防公路等十余条家级公路频繁遭受滑坡、崩塌的严重危害。受灾最重的川藏公路每年因滑坡、崩塌、泥石流影响，全线通车日数不足半年。省级、县级、乡级公路上的滑坡、崩塌、泥石流灾害更是屡见不鲜。

2000年4月9日，位于我国西藏林芝地区波密县境内的易贡藏布河扎木弄沟发生大规模的山体滑坡，形成长约2500m、宽约2500m、平均高约60m的滑坡堆积体，而积约5k m²，体积约(2.8~3.0)。致使波密县易贡、八盖两乡和易贡茶场与外界的交通中断，4000多人被围困。经确认，滑坡滑动距离约8km，高差约3330m。滑坡体堵塞了易贡藏布河7km长的主河道，形成汇水面积达1万多平方公里的“湖泊”。至6月10日晚，“易贡藏布湖”累计水位涨幅达35.94m，容量达30多亿立方米。由于滑坡和泥石流物质土质疏松，导致“大坝”于6月11日凌晨溃决，使下游通麦大桥和两座呆桥被冲垮，通麦大桥至易贡茶场及排龙乡的公路全部被冲毁。此次山体滑坡为世界罕见，也是迄今为止我国发生的最大规模的山体崩滑灾害。

3. 对河道航运的危害

由于特殊的地形地貌，河流沿岸特别是峡谷地段多为滑坡、崩塌的密集发生段，对河流航运的危害和影响很大。号称黄金水道的长江是遭受滑坡崩塌灾害最严重的河运航道。数十年来，因滑坡、崩塌造成的断航事故时有发生。

1982年7月18日云阳鸡扒子老滑坡复活，180又104 m³土石滑入长江，；河庆填高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，仅清航整治费就达8000多万元。

1985年6月12日凌晨3点45分，位于长江三峡西陵峡峡谷段北岸的新滩镇发生了著名的新滩大滑坡。滑动物质约3000万m³，其中200x10⁴ m³滑入长江。整个新滩镇被推入长江，入江物质激起高达54m的涌浪，使新滩镇上、下游停泊于港口的11艘大小船只被摧毁或击沉，夜宿船内的船民死亡10人、失踪2人，伤8人；滑体物质堵江停航12天，总计直接经济损失832.42万元。由于对滑坡进行了长期监测，有关部了临滑前做出了及时、准确的预报，使得滑坡区的1371人及时撤离，无一人伤亡。

新滩滑坡属于堆积层滑坡。滑坡体后缘陡壁上硬下软，但上部砂岩、灰岩中的节理、裂隙发育，岩体完整性差，下部为软弱的页岩及煤层。在长期风化和重力作用下，崩塌频繁发生，崖壁不断后退。崩落物在下方斜坡上形成了厚达数十米的堆积层。居民在崖脚的采煤活

动加剧了崩塌的发生，崩塌物不断坠落冲击、加载于斜坡后缘，推动堆积层逐渐产生蠕动下滑。这是引起新滩滑坡的最主要原因。其次，堆积层斜坡上从崖脚下至江边长约 2000m，高差达 200m 左右，平均坡度约 23°。江水在坡脚处的冲刷淘蚀，也使斜坡稳定比进一步恶化。地下水和入渗的雨水受堆积物下伏不透水基岩的顶托在基岩表面形成软弱的易滑带（图 4-2）。在上述诸因威的综合作用下新滩斜坡经过长达 21 年（1964～1985 年）的累积变形，终于发生了堆积层沿下伏基岩面的长距离高速运移，形成堆积层滑坡。

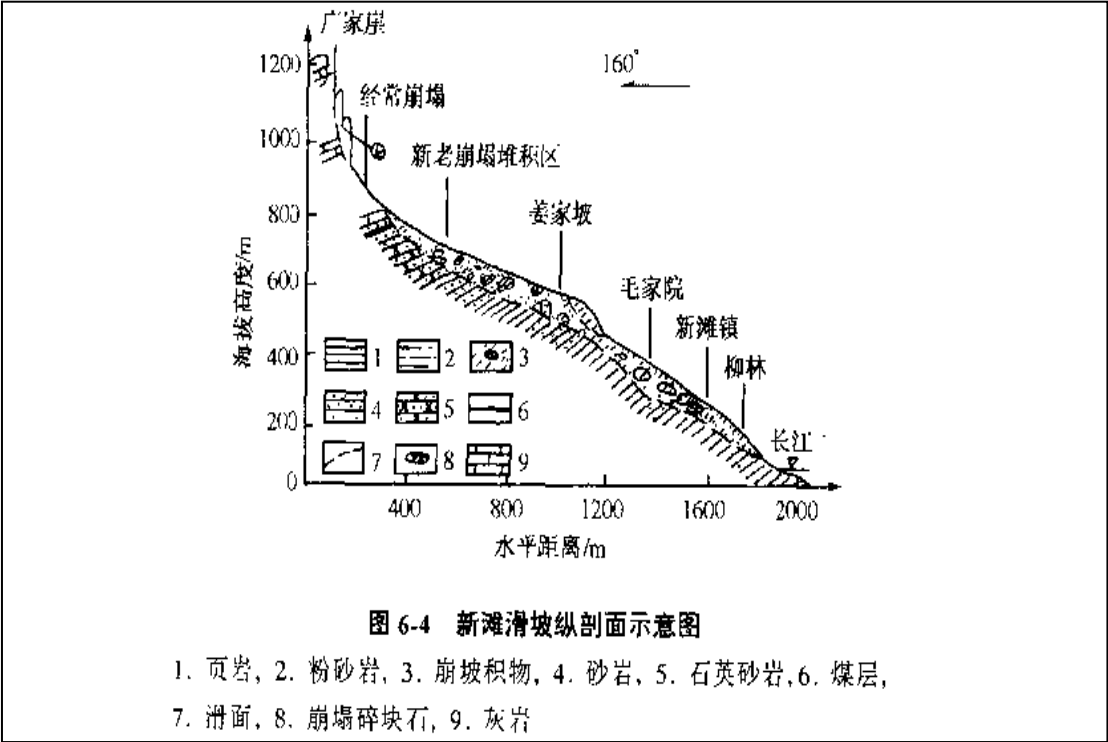


图 4-2 新滩滑坡纵剖面示意图

（三）滑坡对工厂、矿山的危害

滑坡是影响和破坏山区工厂、矿山正常生产的主要地质灾害之一，许多工矿企业甚至因此内被迫搬迁。

我国汽车生产基地之一的湖北十堰第二汽车制造厂一直处于滑坡崩塌、泥石流灾害的不断侵扰之中，在厂区 18k m² 范周内共有滑坡，崩塌 270 处，总方量达 750 x 104 m³，严重威胁着厂区的安全和工厂生产，1982 年 7 月底，在突降暴雨的诱发下，多处发生滑坡、崩塌、泥石流，崩滑流物质冲入两个专业厂的 7 个车间，工厂被迫停产数天。

1990 年 8 月 11 日，天水锻压叔床厂附近发生滑坡，摧毁该厂的 6 人生产车间，造成 6 人死亡，工厂被迫停产，直接经济损失达 2000 万元以上。

几乎所有矿山都不同程度地遭受到滑坡、崩塌、泥石流灾害的危害或威胁。这些山地地质灾害在某种程度上已经成为影响矿山建设和矿产开发的“公害”。在露天矿山滑坡崩塌灾害几乎影响着矿山生产的整个过程。据我国 10 个大型露天矿山的统计，不稳定或具有潜在

滑坡危险的边坡约占边坡总长度的 20%，个别矿山甚至高达 33%。

辽宁省抚顺西露天矿自 1914 年投产至 1985 年，共发生滑坡近 60 次。为整治滑坡，共削坡减载剥离岩石近 100 万 m³。滑坡造成多次重大事故，发生于 1959 年的滑坡，使矿山的主要提升运输系统西大巷停运，后期工程处理历时 3 年，耗资 2000 余万元；1964 年南帮西部滑坡，使矿山机修厂滑落、毁坏，1979 年露天矿西端边坡发生大滑坡，掩埋西大巷提升系统，使矿山再度停产；露天矿西北带的滑坡及地面变形，严重影响了抚顺石油一厂建筑物的安全。

（四）滑坡对农田的危害

滑坡、崩塌还对农田造成危害，使耕地面积减少。据统计，我国因滑坡崩塌灾害毁坏的耕地至少达 86 万 m²，大量耕地的毁坏，严重地阻碍了受灾地区农业生产的发展和农民生活水平的提高。

1982 年 7 月 18 日，重庆市石柱县桥头乡沙岭滑坡，毁坏耕地 0.66 km²，使全村农户严重受灾。1983 年 3 月 7 日，甘肃省东乡族自治县洒勒山发生了我国罕见的高速、远程大型滑坡，滑坡体覆盖范围南北长达 1600 m，东西宽达 1700 m，面积约 1.4 km²，体积约 5000 × 10⁴ m³。如此大规模的滑坡，全过程仅用了一两分钟，最大滑速 19.8 m/s。洒勒山滑坡毁坏耕地 1.67 km²，使两座小型水库部分被淤埋、阻塞，破坏灌溉设施 4 处、公路及高压电线 1.3 km 长；使西勒、新庄等三个村庄被摧毁，400 余头牲口被埋没，财产损失共约 40 万元，死亡 237 人，重伤 27 人，损失之惨重为国内所罕见。

（五）滑坡对水利水电工程的危害

滑坡对水利水电工程的危害也是极为严重的。特别是对水库而言，它不仅使水库淤积加剧，降低水库综合效益、缩短水库寿命，而且还可能毁坏电站，甚至威胁大坝及其下游的安全。

1963 年发生在意大利瓦依昂（Vaiont）大坝南侧的大规模滑坡的滑移给大坝及其下游的居民带来了毁灭性的灾难。瓦依昂大坝于 1960 年修建在意大利东北部靠近奥地利和斯洛文尼亚的一人深山峡谷里。水库蓄水量为 15 × 10⁴ m³。坝址区河谷两侧为高角度易滑的沉积岩出露区，并发育有密集的裂隙和古滑动面；大坝修建后，水库水体使坡脚处的岩石饱和、孔隙水压力上升。1963 年 8~10 月的大暴雨诱发了 10 月 9 日晚的大滑坡，瓦依昂水库南侧发生快速的大规模坍塌滑动，滑体长 1.8 km、宽 1.6 km，体积超过 24 × 10⁴ m³，一部分水库被岩石碎屑填充，并高出水面 150 m，滑坡冲击地面，在欧洲大部分地区都感觉到了地震。滑动持续时间不足 30 秒钟，运动速率达 30 m/s，滑体前锋形成的巨大气流掀翻了房屋。大坝泄的水柱高出水面 240 m，高出坝顶 100 m 高的波浪冲出水库，并以 70 多米高的水墙沿瓦依昂河谷向下游的 Longarone 城冲去。大部分伤亡损失是由于库水涌浪造成的，仅 6 分钟时间，Longarone 城就被大水淹没，约 3000 名居民被洪水淹死。这一事件被看做是世界上最大的水库大坝灾难。

我国水库库区包经常发生滑坡灾害。如湖北黄龙滩水库 1976~1988 年共发生滑坡 82 处，总方量达 $1.88 \times 10^4 \text{m}^3$ 之多，造成水库严重淤积。刘家峡水库自 1968 年蓄水以来，库区不断发生滑坡、崩塌仅 1970~1984 年入库洛方量达 $1\ 203 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上，约占水库淤积物后的 1/3。1980 年 6 月 28 日，甘肃民乐县瓦房城水库滑坡，推倒水库进水塔一侧约岸坡护墙水库冈北不能止常运行

（六）滑坡的次生灾害

滑坡灾害不仅直接危害受灾地区，还常常引发一系列次生灾害如洪水、涌浪、淤积及有毒废石渣污染等，造成更大范围的影响和更严重的损失，次生灾害损失有时远远超过灾害本身的直接损失。

1963 年意大利瓦依昂水库滑坡死亡约 3000 人的特大灾难就是滑坡诱发拿水形成的洪水造成的（表 4-2）。1967 年 6 月 8 日，我国四川省雅碧江唐古栋滑坡本身并未造成任何直接损失，但 $6800 \times 10^4 \text{m}^3$ 土石滑入江中，形成 355m 高的涌浪并越过坝顶，猛烈的洪水将下游沿岸 600km 范围内所有土地、房屋公路、桥梁等

表 4-2 全球历史上部分大型岸坡崩塌造成的涌浪及伤亡情况
（据胡广韬，1956；石刘传正，1995，编制）

崩滑名称	所在地	发生年代	水体性质	崩滑土方量/ m^3	涌浪高度/m	死亡人数
Chungar	秘 鲁	1971	湖 泊	1×10^5	30	400~600
Vaiont	意大利	1963	水 库	$(2.5-3) \times 10^8$	260	3 000
Liwy Bay	美 国	1958	海 湾	3×10^7	530	2
Lion Lake	挪 威	1636	湖 泊	1×10^6	70	73
Taford	挪 威	1934	峡 湾	1.5×10^6	62	44
Lion Lake	挪 威	1905	湖 泊	4×10^5	40	61
Shimabara	日 本	1792	海 湾	5.4×10^8	10	1 500
Laufjord	挪 威	1756	峡 湾	1.2×10^7	40	32
长江新滩	中 国	1985	水 库	3×10^7	36.5	10
乌江鸡冠岭	中 国	1994	峡 湾	3.9×10^6	30	9
柘溪塘岩光	中 国	1961	水 库		21	

一扫而光，危害极其严重。1963 年 9 月，甘肃舟曲县泄孔坡滑坡，堵断白龙江，使上游水位升高 18.5m，回水达 6.5km，淹没上游大片土地、房屋。

滑坡的防治：

滑坡发生往往是多个因素综合作用的结果，所以只有经过详细的调查和分析计算后，才能制定出切合实际的防治措施。总之，治理滑坡应该坚持以防为主、综合治理、及时处理的原则。结合边坡失稳因素和滑坡形成的内外条件可从以下方面着手。

消除和减轻地表水和地下水的危害

滑坡的发生常和水的作用有密切的关系，水的作用，往往是引起滑坡的主要因素，因此，消除和减轻水对边坡的危害尤其重要，其目的是：降低孔隙水压力和动水

压力，防止岩土体的软化及溶蚀分解，消除或减小水的冲刷和浪击作用。具体做法有：防止外围地表水进入滑坡区，可在滑坡边界修截水沟；在滑坡区内，可在坡面修筑排水沟。在覆盖层上可用浆砌片石或人造植被铺盖，防止地表水下渗。对于岩质边坡还可用喷混凝土护面或挂钢筋网喷混凝土。排除地下水的措施很多，应根据边坡的地质结构特征和水文地质条件加以选择。常用的方法有：1，水平钻孔疏干；2，垂直孔排水；3，竖井抽水；4，隧洞疏干；5，支撑盲沟。

改善边坡岩土体的力学强度

通过一定的工程技术措施，改善边坡岩土体的力学强度，提高其抗滑力，减小滑动力。常用的措施有：1，削坡减载；用降低坡高或放缓坡角来改善边坡的稳定性。削坡设计应尽量削减不稳定岩土体的高度，而阻滑部分岩土体不应削减。此法并不总是最经济、最有效的措施，要在施工前作经济技术比较。2，边坡人工加固；常用的方法有：1，修筑挡土墙、护墙等支挡不稳定岩体；2，钢筋混凝土抗滑桩或钢筋桩作为阻滑支撑工程；3，预应力锚杆或锚索，适用于加固有裂隙或软弱结构面的岩质边坡；4，固结灌浆或电化学加固法加强边坡岩体或土体的强度；5，SNS 边坡柔性防护技术等。

滑坡灾难发生时的躲避措施

当遇滑坡发生时，至少应当做到如下几点：

(1)当处在滑坡体上时，首先应保持冷静，不能慌乱。要迅速环顾四周，向较安全的地段撤离。一般除高速滑坡外，只要行动迅速，都有可能逃离危险区段。跑离时，向两侧跑为最佳方向。在向下滑动的山坡中，向上或向下跑都是很危险的。当遇无法跑离的高速滑坡时，更不能慌乱，在一定条件下，如滑坡呈整体滑动时，原地不动，或抱住大树等物，不失为一种有效的自救措施。如 1983 年 3 月 7 日发生在甘肃省东乡县的著名的高速黄土滑坡——洒勒山滑坡中的幸存者就是在滑坡发生时，紧抱住滑坡体上的一棵大树而得生。

(2)当处于非滑坡区，而发现可疑的滑坡活动时，应立即报告邻近的村、乡、县等有关政府或单位。如群测群防站或县、市、地区及省政府，均设有“国土资源局”。该机构应责无旁贷地担当此项责任。并立即组织有关政府、单位、部队、专家及当地群众参加抢险救灾活动。

(3)政府部门应立即实施应急措施(或计划)，迅速组织群众撤离危险区及可能的影响区。并通知邻近的河谷、山沟中的人们做好撤离准备，密切注视灾情的蔓延和转化。如滑坡常在暴雨、洪水中转化为泥石流灾害(即次生灾害)。注意、因滑坡可能危害到的某些生命线工程(如水库、干线铁路、干线公路、发电厂、通讯设备、干线渠道等)所引发的次生灾害或第三次灾害的发生，如火灾、洪水等。注意调查滑坡是否有间歇性活动特点，尽可能确定其再次活动的可能性和时间。如果必要的话(需经有

关专家或科技人员论证)，应迅速设立观测点(站)或观测网，密切注视其变化动态，“亡羊补牢，犹未为晚”。

防治滑坡的主要工程措施

我国防治滑坡的工程措施很多，归纳起来可分为三类：一是消除或减轻水的危害；二是改变滑坡体的外形，设置抗滑建筑物；三是改善滑动带的土石性质。其主要工程措施简要分述如下：

(1) 消除或减轻水的危害

A. 排除地表水：排除地表水是整治滑坡不可缺少的辅助措施，而且应是首先采取并长期运用的措施。其目的在于拦截、旁引滑坡区外的地表水，避免地表水流入滑坡区内；或将滑坡区内的雨水及泉水尽快排除，阻止雨水、泉水进入滑坡体内。主要工程措施有：设置滑坡体外截水沟；滑坡体上地表水排水沟；引泉工程；做好滑坡区的绿化工作等。

B. 排除地下水：对于地下水，可疏而不可堵。其主要工程措施有：

截水盲沟——用于拦截和旁引滑坡区外围的地下水；

支撑盲沟——兼具排水和支撑作用；

仰斜孔群——用近于水平的钻孔把地下水引出。

此外、还有盲洞、渗管、垂直钻孔等排除滑坡体内地下水的工程措施。

C. 防止河水、库水对滑坡体坡脚的冲刷，主要工程措施有：在滑坡体上游严重冲刷地段修筑促使主流偏向对岸的“丁坝”；在滑坡体前缘抛石、铺设石笼、修筑钢筋混凝土块排管，以使坡脚的土体免受河水冲刷。

(2) 改变滑坡体外形，设置抗滑建筑物

A. 削坡减重：常用于治理处于“头重脚轻”状态而在前方又没有可靠的抗滑地段的滑体，使滑体外形改善、重心降低，从而提高滑体稳定性。

B. 修筑支挡工程：因失去支撑而滑动的滑坡或滑坡床陡，滑动可能较快的滑坡，采用修筑支挡工程的办法，可增加滑坡的重力平衡条件，使滑体迅速恢复稳定。支挡建筑物种类有：抗滑片石垛、抗滑桩、抗滑挡墙等。

C. 改善滑动带的土石性质：一般采用焙烧法、爆破灌浆法等物理化学方法对滑坡进行整治。

由于滑坡成因复杂，影响因素多，因此需要上述几种方法同时使用综合治理，方能达到目的。

4.3 岩溶塌陷灾害防治

一、地面塌陷前兆

泉、井的异常变化；地面变形；建筑物作响、倾斜、开裂；地面积水引起地面冒气泡、水泡、旋流等；植物变态；动物惊恐。

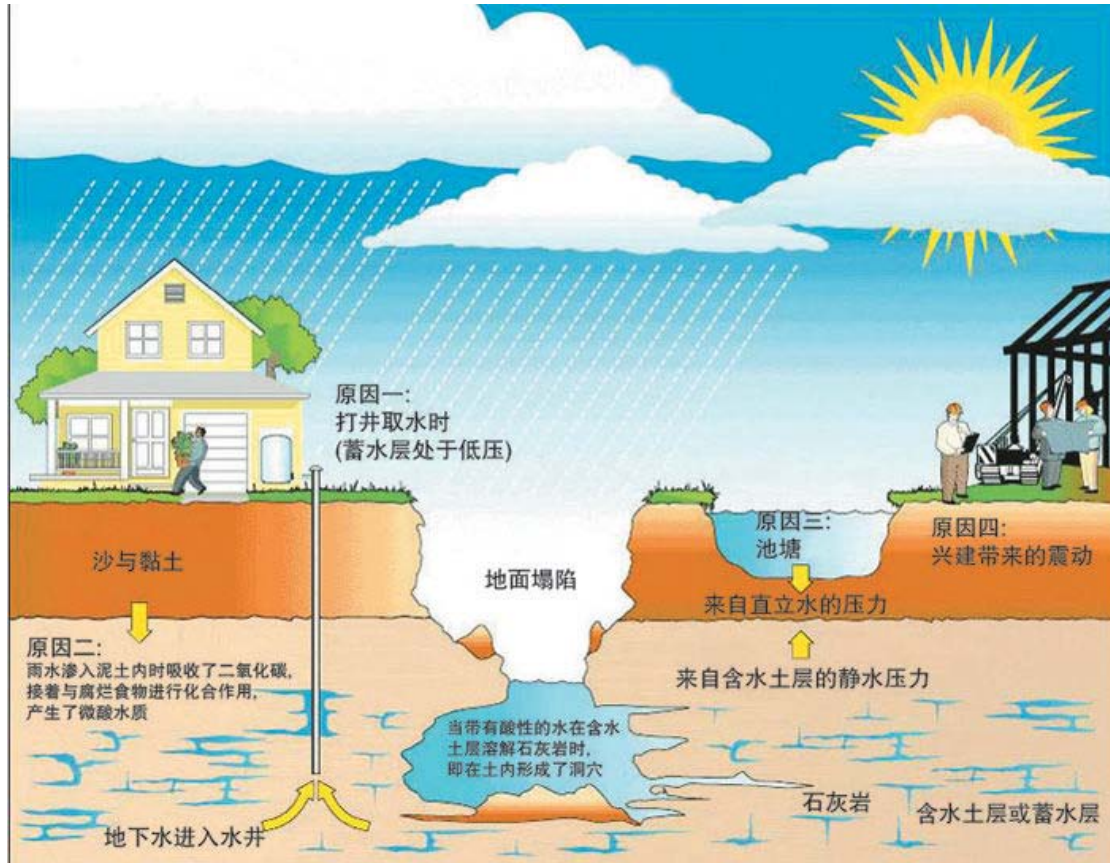


图 4-3 地面塌陷形成之种种原因剖面图

二、岩溶塌陷的定义

覆盖在溶蚀洞穴之上的松散土体，在外动力或人为因素作用下产生的突发性地面变形破坏，其结果多形成圆锥形塌陷坑。

岩溶地面塌陷是地面变形破坏的主要类型，多发生于碳酸盐岩、钙质碎屑岩和盐岩等可溶性岩石分布地区。激发塌陷活动直接诱发因除降雨、洪水、干旱、地震等自然因素外，往往与抽水、排水、蓄水和其他工程活动等人为因素密切相关。在各种类型塌陷中，以碳酸盐岩塌陷最为常见；因抽水而引发人为塌陷的机率最大。自然条件下产生的岩溶地面塌陷一般规模小，发展速度慢，不会给人类生活带来太大的影响。但在人类工程活动中产生的岩溶地面塌陷不仅规模大，突发性强，且常出现在人口聚集地区，对地面建筑物和人身安全构成严重威胁。

岩溶地面塌陷造成局部地表破坏，使岩溶发育到一定阶段的产物。因此，岩溶地面塌陷也是一种岩溶发育过程中的自然现象，可出现于岩溶发展历史的不同时期。既有古岩溶地面塌陷，也有现代岩溶地面塌陷。岩溶地面塌陷也是一种特殊的水土流失现象，水土通过塌陷向地下流失，影响着地表环境的演变和改造，形成具有鲜明特色的岩溶景观。

三、岩溶塌陷发育机理

渗透变形效应

这是抽水引发塌陷的主要力学效应，在抽水过程中，由于岩溶水位的下降，第四系土层孔隙水向下渗流补给岩溶水的作用增强，在集中渗流点（岩溶管道开口、裂缝）附近，作用于上覆土层的水力坡度超过了土体发生渗透破坏的临界水力坡度，土体发生渗透变形破坏。第四系底部土体类型不同，渗透变形的类型也不同，对于非粘性土，渗透变形以潜蚀为主，对于粘性土，渗透变形以流土为主，对于粘土卵（砾）石层或有结构面存在的粘性土，渗透变形以接触冲刷为主。

真空负压效应

岩溶水位下降速度过快、幅度过大或者岩溶管道系统中地下水的快速流动，均会在基岩面附近的岩溶管道裂隙系统产生负压，最大负压值与岩溶水位下降幅度、下降速度、水流速度、以及底部土层性质有关。为了达到新的压力平衡，当负压的出现时，将会加速土层中的孔隙水（气）向下补给岩溶含水层，提高在集中渗流点（岩溶管道开口、裂缝）附近作用于上覆土层的水力坡度，当水力坡度超过了土体发生渗透破坏的临界水力坡度，土体发生渗透变形破坏。因此，从这一角度看，真空负压效应诱发塌陷的本质还是土体的渗透变形。模型试验结果显示，不管岩溶水是否承压，只要岩溶水位下降速度、下降幅度或者流动速度足够大，就会在岩溶空腔中产生负压，可以观察到在空腔中由上覆第四系土层孔隙水向下渗流急剧增大，然后快速衰减，当负压达到一定值时，渗出水流会携带出土体颗粒。此外，岩溶管道裂隙系统中的负压还会对土体颗粒骨架产生气蚀作用。

浮托力丧失

当岩溶地下水为承压时，岩溶水位的下降，将减小作用在土体中的浮托力，使土体更容易下塌、破坏，特别是当溶沟、溶槽和浅层岩溶裂隙发育条件下，充填在岩溶裂隙中的流塑状粘土在岩溶水位下降时，容易发生流动，从而引起上覆土层的变形或破坏，产生土洞或塌陷。

土体崩解

当岩溶地下水为承压时，反复抽（排）岩溶水，会使土洞周围土体发生崩解，使土洞不断扩展，最后导致塌陷产生。

真空负压效应

由于地表蓄水，在回水范围内，第四系土层将处于饱水状态，提高土层的密封性能，当岩溶地下水的流速发生变化时，会在基岩面附近的管道裂隙系统中形成负压，产生真空负压效应。

土洞顶板失稳

当有土洞存在时，水库蓄水将使土层饱水增大土洞顶板的重量，使土洞发生破坏。

荷载效应

在土洞发育条件下，地面荷载如过往汽车、列车加载，使土洞顶板跨塌，导致地面塌陷。

化学作用

化学作用可使岩土的工程性质发生改变，使土层中的胶结物质、粘土矿物和其他矿物成份发生风化、溶解，化学反应的产生，改变土体颗粒的粒间联结特征，破坏原有结构，使土的含水量、孔隙度及压缩系数增高，内聚力与摩擦角降低，甚至由硬塑变为软塑或流塑状态，大大降低土体的抗渗强度，使土体更易发生渗透破坏。另一方面，下伏灰岩也会与灰水发生化学反应，加速其岩溶化过程，使岩溶管道、裂隙和联通性增大。

四、岩溶地面塌陷的成因机制和形成条件

（一）岩溶地面塌陷的成因机制

岩溶地面塌陷是在特定地质条件下，因某种自然因素或人为因素触发而形成的地质灾害。由于不同地区地质条件相差很大。岩溶地面塌陷形成的主导因素也有所不同。因此，对岩溶地面塌陷成因机制的认识也存在着不同的观点。其中占主导地位的主要有两种，即地下水潜蚀机制和真空吸蚀机制。

1. 地下水潜蚀机制

在地下水流作用下，岩溶洞穴中的物质和上覆盖层沉积物产生潜蚀、冲刷和淘空作用，结果导致岩溶洞穴或溶蚀裂隙中的充填物被水流搬运带走，在上覆盖层底部的洞穴或裂隙开口处产生空洞。若地下水位下降，则渗透水压力在覆盖层中产生垂向的渗透潜蚀作用，土洞不断向上扩展最终导致地面塌陷。

岩溶洞穴或溶蚀裂隙的存在、上覆土层的不稳定性是塌陷产生的物质基础，地下水对土层的侵蚀搬运作用是引起塌陷的动力条件。自然条件下，地下水对岩溶洞穴或裂隙充填物质和上覆土层的潜蚀作用也是存在的，不过这种作用很慢，且规模一般不大；人为抽采地下水，对岩溶洞穴或裂隙充填物和上覆土层的侵蚀搬运作用大大加强，促进了地面塌陷的发生和发展。

此类塌陷的形成过程大体可分如下四个阶段：

（1）在抽水、排水过程中，地下水位降低，水对上覆土层的浮托力减小，水力坡度增大，水流速度加快，水的潜蚀作用加强。溶洞充填物在地下水的潜蚀、搬运作用下被带走，松散层底部土体下落、流失而出现拱形崩落，形成隐伏土洞。

（2）隐伏土洞在地下水持续的动水压力及上覆土体的自重作用下，土体崩落、迁移，洞体不断向上扩展，引起地面沉降。

（3）地下水不断侵蚀、搬运崩落体，隐伏土洞继续向上扩展。当上覆土体的自重压力逐渐接近洞体的极限抗剪强度时，地面沉降加剧，在张性压力作用下，地面产生开裂。

（4）当上覆土体自重压力超过了洞体的极限强度时，地面产生塌陷（图 4—4）。同时，在其周围伴生有开裂现象。这是因为土体在塌落过程中，不但在垂直方向产生剪切应力。还在水平方向产生张力所致。

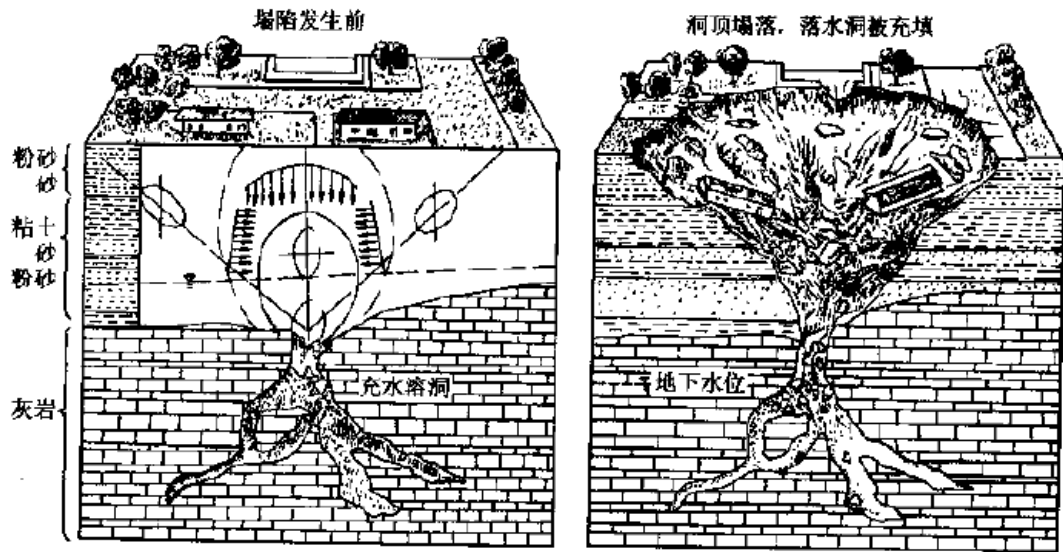


图 4-4 岩溶地面塌陷过程示意图

潜蚀致塌论解释了某些岩溶地面塌陷事件的成因。按照该理论，岩溶上方覆盖层中若没有地下水或地面渗水以较大的动水压力向下渗透，就不会产生塌陷。但有时岩溶洞穴上方的松散覆盖层中完全没有渗透水流仍会产生塌陷，说明潜蚀作用还不足以说明所有的岩溶地面塌陷的机制。

2. 真空吸蚀机制

根据气体的体积与压力关系的玻意尔—马略特定律，在密封条件下，当温度恒定时，随着气体的体积增大，气体压力则不断减小。在相对密封的承压岩溶网络系统中，由于采矿排水、矿井突水或大流量开采地下水，地下水水位大幅度下降。当水位降至较大岩溶空洞覆盖层的底向以下时，岩溶空洞内的地下水与上覆岩溶洞穴顶板脱开，出现无水充填的岩溶空腔。随着岩溶水位持续下降，岩溶空洞体积不断增大，空洞中的气体压力不断降低，从而导致岩溶空洞内形成负压。岩溶顶板覆盖层在自身重力及溶洞内真空负压的影响下向下剥落或塌落，在地表形成岩溶塌陷坑。

3. 其他岩溶地面塌陷形成机制

除前述两种岩溶地面塌陷形成机制外，还有学者提出重力致塌模式、冲爆致塌模式、振动致塌模式和荷载致塌模式等其他岩溶地面塌陷的成因模式。

重力致塌模式是指因自身重力作用使岩溶洞穴上覆盖层逐层剥落或者整体下陷而产生岩溶地面塌陷的过程和现象。它主要发生在地下水位埋藏深、溶洞及土洞发育的地区。

冲爆致塌模式的形成过程是岩溶通道、空洞及上洞中蓄存的高压气团和水头，随着地下水位上涨压力不断增加；当其压强超过岩溶顶板的极限强度时，就会冲破岩土体发生“爆破”并使岩土体破碎；破碎的岩土体在自身重力和水流的作用下陷入岩溶洞穴，在地面则形成塌陷。冲爆致塌现象常发生于地下暗河的下游。

振动致塌模式是指由于振动作用，使岩土体发生破裂、位移和砂土液化等现象，降低了岩土体的机械强度，从而发生岩溶塌陷。在岩溶发育地区，地震、爆破或机械振动等经常引

发地面塌陷，如辽宁省营口地震时，孤山乡第四纪松散沉积物覆盖型岩溶区，由于地震引起砂土液化、山现了 200 多个岩溶塌陷坑。

荷载致塌模式是指溶洞或土洞的覆盖层和人为荷载超过了洞顶盖层的强度，压塌洞顶盖层而发生的塌陷过程和现象。如水库蓄水，尤其是高坝蓄水，可将库底岩溶洞大的顶盖压塌，造成库底塌陷，库水大量流失。

应当指出，岩溶地面塌陷实际上常常是在几种因素的共同作用下发生的。例如洞顶的土层在受到潜蚀作用的同时，往往还受到自身的重力作用。

（二）岩溶地面塌陷的形成条件

1. 岩溶地面塌陷的地质基础

（1）可溶岩及岩溶发育程度

可溶岩的存在是岩溶地面塌陷形成的物质基础。中国发生岩溶地面塌陷的可溶岩主要是占生界、中生界的石灰岩、白云岩、白云质灰岩等碳酸盐岩，部分地区的晚中生界、新生界富含膏盐芒硝或钙质砂泥岩、灰质砾岩及盐岩也发生过小规模的塌陷。大量岩溶地面塌陷事件表明，塌陷主要发生在覆盖型岩溶和裸露型岩溶分布区，部分发育在埋藏型岩溶分布区。

岩溶的发育程度和岩溶洞穴的开启程度是决定岩溶地面塌陷的直接因素。从岩溶地面塌陷形成机理看，可溶岩洞穴和裂隙一方面造成岩体结构的不完整，形成局部的不稳定；另一方面为容纳陷落物质和地下水的强烈运动提供了充分条件，因此，一般情况下，可溶岩的岩溶越发育，溶隙的开启性越好，溶洞的规模越大，岩溶地面塌陷越严重。

（2）覆盖层厚度、结构和件质

发生于覆盖型岩溶分布区的塌陷与覆盖层岩土体的厚度、结构和性质存在密切的关系。

大量调查统计结果显示，覆盖层厚度小于 10m 发生塌陷的机会最多，10~30m 以上只有零星塌陷发生。覆盖层岩性结构对岩溶地面塌陷的影响表现为颗粒均一的砂性土最容易产生塌陷；层状非均质上、均一的粘性土等不易落入下伏的岩溶洞穴中。此外，当覆盖层中有土洞时，容易发生塌陷；土洞越发育，塌陷则越严重。

（3）地下水运动

强烈的地下水运动，不但促进了可溶岩洞隙的发展，而且是形成岩溶地面塌陷的重要动力因素。地下水运动的作用方式包括：溶蚀作用、浮托作用、侵蚀及潜蚀作用、搬运作用等。因此，岩溶地面塌陷多发育在地下水运动速度快的地区和地下水动力条件发生剧烈变化的时期、如大量开采地下水而形成的降落漏斗地区极易发生岩溶地面塌陷。

2. 动力条件

引起岩溶地面塌陷的动力条件主要是水动力条件的急剧变化，由于水动力条件的改变可使岩土体应力平衡发生改变，从而诱发岩溶地面塌陷。水动力条件发生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、矿井排水或高强度抽水等。

除水动力条件外，地震、附加荷载、人为排放的酸碱废液对可溶岩的强烈溶蚀等均可诱发岩溶地面塌陷。

五、岩溶地面塌陷的分布规律

岩溶地面塌陷主要分布于岩溶强烈到中等发育的覆盖型碳酸盐岩地区。全球有 16 个国家存在严重的岩溶地面塌陷问题。我国可溶岩分布面积约为 363*104km²，是世界上岩溶地面塌陷范围最广、危害最严重的国家之一。全国 24 个省区共发生岩溶地面塌陷 2841 处，塌陷坑 33192 个，塌陷面积合计 332.28km²。其中以南方的桂、黔、湘、赣、川、滇、鄂等省区最为发育，北方的冀、鲁、辽等省区也发生过严重的岩溶地面塌陷灾害（段永侯等，1993）。

岩溶地面塌陷的分布规律与表现主要有以下几个方面的特征：

1. 多产生在岩溶强烈发育区

我国南方许多岩溶区的资料说明，浅部岩溶愈发育，富水性愈强，地面塌陷愈多，规模愈大。岩溶地面塌陷与岩溶率具有较好的正相关关系（表 4~3）。

表 4-3 广东省凡口矿区岩溶率与地面塌陷的相关关系

岩溶发育程度	岩溶率/(%)	水位降低/m	排水量/(m ³ ·d ⁻¹)	塌陷个数
强发育区	19.08	13.48	5 900	24
中等发育区	4.01	36.35	4 800	5
弱发育区	1.96	28.39	3 700	无塌陷,仅有沉降、开裂

2. 主要分布在第四系松散盖层较薄地段

在其他条件相同的情况下，第四系盖层的厚度愈大，成岩程度愈高，塌陷愈不易产生。相反，盖层薄且结构松散的地区，则易形成地面塌陷。如广东沙洋矿区疏干漏斗中心部位，盖层厚度为 40~130m，地面塌陷少而稀。而在漏斗中心的东南部和东部边缘地段，因盖层厚度较小（8~23m），地面塌陷多而密。

3. 多分布在河床两侧及地形低洼地段

在这些地区，地表水和地下水的水力联系密切，两者之间的相互转化比较频繁，在自然条件下就可能发生潜蚀作用，形成土洞，进而产生地面塌陷。

4. 常分布在降落漏斗中心附近

由采、排地下水而引起的地面塌陷，绝大部分发生在地下水降落漏斗影响半径范围以内，特别是在近降落漏斗中心的附近地区。另外，在地下水的主要径流方向上也极易形成岩溶地面塌陷。

六、地面塌陷危险性调查

地面塌陷包括岩溶塌陷和采空塌陷。宜以搜集资料、调查访问为主，分别查明下列内容：

1) 岩溶塌陷危险性调查:

①岩溶塌陷区调查, 包括地貌成因类型与形态、可溶岩层岩性与岩溶发育特征、上覆第四系松散覆盖层的厚度、结构与工程地质特征、岩溶地下水类型、水文地质结构和岩溶水的补径排条件及其动态变化特征;

②岩溶塌陷特征调查, 包括分布与规模、形态特征、发育强度与频度、发育过程与发育阶段、塌陷的伴生现象、上覆土层中土洞的发育与分布等;

③岩溶塌陷成因调查, 包括自然动力因素与人类工程经济活动对岩溶塌陷发生与发展的影响、确定主要成因与类型;

④岩溶塌陷危害调查和防治现状及效果调查。

2) 采空塌陷危险性调查:

一、矿层的分布、层数、厚度、深度、埋藏特征和开采层的岩性、结构等。

二、矿层开采的深度、厚度、时间、方法、顶板支撑及采空区的塌落、密实程度、空隙和积水等。

三、地表变形特征和分布规律, 包括地表陷坑、台阶、裂缝位置、形状、大小、深度、延伸方向及其与采空区、地质构造、开采边界、工作面推进方向等的关系。

四、地表移动盆地的特征, 划分中间区、内边缘和外边缘区, 确定地表移动和变形的特征值。

五、采空区附近的抽、排水情况及对采空区稳定的影响。

六、搜集建筑物变形及其处理措施的资料等。

七、岩溶地面塌陷的危害

岩溶地面塌陷的产生, 一方面使岩溶区的工程设施, 如工业与民用建筑、城镇设施、道路路基、矿山及水利水电设施等遭到破坏; 另一方面造成岩溶区严重的水土流失、自然环境恶化、同时影响各种资源的开发利用 (图 4—5)。

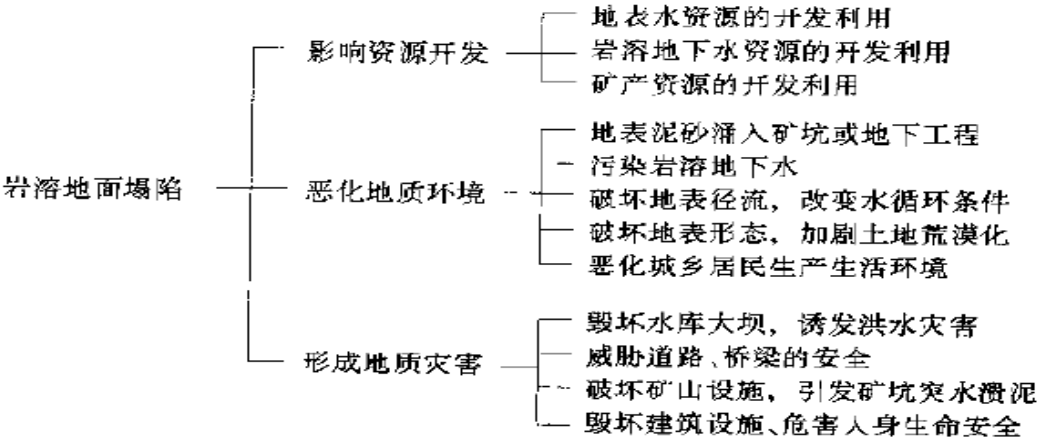


图 4-5 岩溶地面塌陷的危害

1. 对矿山的危害

岩溶地面塌陷可成为矿坑充水的诱发通道，严重威胁矿山开采。

如淮南谢家集矿区，因矿井疏干排水，在 1978 年 7 月河底岩溶盖层很快产生塌陷，河水瞬间灌入地下、岸边的房屋也遭受破坏。湖北大门铁矿，1978 年平巷突水引起沟河谷地面塌陷，出现 70 多个陷坑，河水因大量漏入地下而断流，岸边有 4000m^2 建筑物被毁，矿山专用铁路和高压输电线遭受破坏，造成近百万元的经济损失。

湖北武汉中南轧钢厂，因附近开采岩溶地下水，于 1977 年在该厂区内发生地面塌陷，形成 5 个陷坑，大者直径达 $16\sim 22\text{m}$ ，深 $8\sim 10\text{m}$ ，共造成 1500t 生产用煤和 600t 钢坯陷入地下。

2. 对城市建筑的危害

在城市地区，岩溶地面塌陷常常造成建筑物破坏、市政设施损毁。

如 1981 年 5 月 8 日发生在美国佛罗里达州 Winter Park 巨型塌陷，直径达 106m、深 30m，使街道、公用设施和娱乐场所遭受严重毁坏，损失超过 400 万美元。

1975 年，辽宁省海城地区大地震诱发产生了大规模的岩溶地面塌陷。共出现陷坑 200 多处，直径一般 $3\sim 4\text{m}$ ，最大达 10m，深几米至几十米不等。塌陷破坏了大量耕地，并造成个别民房倒塌。

1996 年发生于桂林市市中心的体育场塌陷，虽然塌陷坑直径只有 9.5m，深度也只有 5m，但由于塌陷紧靠“小香港”商业街，造成整个商业街关闭 15 天，营业损失近千万元。1997 年 11 月 11 日，桂林市雁山区柘木镇岩溶塌陷共形成塌陷坑 51 个，影响面积达 0.2km^2 ，使近 100 间民房受到破坏，直接损失达 300 多万元。

3. 对道路交通的影响

位于云南省境内的贵昆铁路沿线自 1965 年建成通车以来，西段陆续发现岩溶地面塌陷。至 1987 年底，已发现陷坑 117 处。1976 年 7 月 7 日在 K606+475 路段发生塌陷，塌陷坑长 15m、宽 6m、深 5m，中断行车 61 小时 40 分；1979 年 9 月 1 日在 K534+0.24 路段发生塌陷，陷坑长 6m、宽 2.5m、深 3m，造成 2502 次列车颠覆，断道 14 小时 25 分。仅这两次塌陷造成的直接经济损失就达 3000 万元。

辽宁省瓦房店三家子岩溶地面塌陷发生于 1987 年 8 月 8 日，范围 1.2km^2 ，共有大小陷坑 25 个，一般坑长 $20\sim 40\text{m}$ ，宽 $5\sim 35\text{m}$ 。塌陷使长春一大连铁路约 20m 长路基遇到破坏，累计停运 8 小时 5 分。一些通讯设施及农田被毁，44 间民房开裂，6NR 水并干枯。

4 对坝体的影响

1962 年 9 月 29 日晚，云南省个旧市云锡公司新冠选矿厂火谷都尾矿坝因岩溶地面塌陷突然发生垮塌，坝内 $150\times 10^4\text{m}^3$ 泥浆水奔腾而出，冲毁下游农田 5.3km^2 和部分村庄、公路、桥梁等，造成 174 人死亡，89 人受伤。

八、岩溶地面塌陷的监测预报

岩溶地面塌陷的产生在时间上具有突发性，在空间上具有隐蔽性，因此，对岩溶发育地区难以采取地面监测手段进行塌陷监测和时空预报。美国学者 Benson 等曾在北卡罗来纳州威明顿西南部的一条军用铁路沿线进行过地质雷达探测溶洞并进行预报的试验。该项工作从 1984 年开始，共历时 3 年。试验中，每隔半年用地质雷达以相同的频率（80MHz）、相同的牵引速度沿 1113m 的铁路线扫描一次，通过不同时间探测结果的对比，固定扰动点并做出预报。结果表明，地质雷达因能提供具高度可重复性的监测资料，完全可以达到对塌陷进行长期监测的目的。然而，由于地质雷达设备昂贵，探测成本较高，难以在监测中广泛应用。此外，可用于岩溶地面塌陷的探测方法和仪器还有浅层地震、电磁波、声波透视（CT）等。

近年来，地理信息系统（GIS）技术的应用，使得岩溶地面塌陷危险性预测评价上升到一个新的水平。利用 GIS 的空间数据管理、分析处理和建模技术，对潜在塌陷危险性进行预测评价，已经取得了良好的效果（雷明堂等，1998）。但这些预测方法多局限于对研究区潜在场陷的危险性分区，并没有解决塌陷的发生时间和空间位置的预测预报问题。某些可引起岩溶水压力发生突变的因素，如振动、气体效应等，有时也可成为直接致塌因素，甚至在通常情况下不会发生塌陷的地区出现岩溶地面塌陷。因此，如何进行岩溶地面塌陷的时空预测预报已成为岩溶地面塌陷灾害防治研究中的前沿课题。

九、岩溶地面塌陷灾害的防治措施

（一）控水措施

要避免或减少地面塌陷的产生，根本的办法是减少岩溶充填物和第四系松散土层地下水侵蚀、搬运。

1. 地表水防水措施

在潜在的塌陷区周围修建排水沟，防止地表水进入塌陷区，减少向地下的渗入量。在地势低洼、洪水严重的地区围堤筑坝，防止洪水灌入岩溶孔洞。

对塌陷区内严重淤塞的河道进行清理疏通，加速泄流，减少对岩溶水的渗漏补给。对严重漏水的河溪、库塘进行铺底防漏或者入工改道，以减少地表水的渗入。对严重漏水的塌陷洞隙采用粘土或水泥灌注填实，采用混凝土、石灰土、水泥土、氯丁橡胶、玻璃纤维涂料等封闭地面，增强地表土层抗蚀强度，均可有效防止地表水冲刷入渗。

2. 地下水控水措施

根据水资源条件规划地下水开采层位、开采强度和开采时间，合理开采地下水。在浅部岩溶发育、并有洞口或裂隙与覆盖层相连通的地区开采地下水时，应主要开采深层地下水，将浅层水封住，这样可以避免地面塌陷的产生。在矿山疏干排水时，在预测可能出现塌陷的地段，对地下岩溶通道进行局部注浆或帷幕灌浆处理，减小矿井外围地段地下水位下降幅度，这样既可避免塌陷的产生，也可减小矿坑涌水量。

开采地下水时，要加强动态观测工作，以此用来指导合理开采地下水，避免产生岩溶地

面塌陷。必要时进行人工回灌，控制地下水水位的频繁升降，保持岩溶水的承压状态。在地下水主要径流带修建堵水帷幕，减少区域地下水补给。在矿区修建井下防水闸门，建立有效的排水系统，对水量较大的突水点进行注浆封闭，控制矿井突水、溃泥。

（二）工程加固措施

1. 清除填堵法

常用于相对较浅的塌坑或埋藏浅的土洞。首先清除其中的松土，填入块石、碎石形成反滤层，其上覆盖以粘土并夯实。对于重要建筑物，一般需要将坑底与基岩面的通道堵塞，可先开挖然后回填混凝土或设置钢筋混凝土板，也可灌浆处理。

2. 跨越法

用于比较深大的塌陷坑或土洞。对于大的塌陷坑，当开挖回填有困难时，一般采用梁板跨越，两端支承在坚固岩、土体上的方法。对建筑物地基而言，可采用梁式基础、拱形结构，或以刚性大的平板基础跨越、遮盖溶洞，避免塌陷危害。对道路路基而言，可选择塌陷坑直径较小的部位，采用整体网格垫层的措施进行整治。若覆盖层塌陷的周围基岩稳定性良好，也可采用桩基栈桥方式使道路通过。

3. 强夯法

在土体厚度较小，地形平坦的情况下，采用强夯夯实覆盖层的方法消除土洞，提高土层的强度。通常利用 10~12t 的夯锤对土体进行强力夯实，可压密塌陷后松软的上层或洞内的回填土、提高土体强度，同时消除隐伏土洞和松软带，是一种预防与治理相结合的措施。

4. 钻孔充气法

随着地下水位的下降，溶洞空腔小的水气压力产生变化、经常出现气爆或冲爆塌陷，因此，在查明地下岩溶通道的情况下、将钻孔深入到基岩面下溶饱裂隙或溶洞的适当深度，设置各种岩溶管道的通气调压装置、破坏真空腔的岩溶封闭条件，平衡其水、气压力，减少发生冲爆塌陷的机会。

5. 灌注填充法

在溶洞埋藏较深时，通过钻孔灌注水泥砂浆、填充岩溶孔洞或缝隙、隔断地下水流通通道，达到加固建筑物地基目的。灌注材料上要是水泥、碎料（砂、矿渣等）和速凝剂（水玻璃、氧化钙）等。

6. 深基础法

对于一些深度较大，跨越结构无能为力的土洞、塌陷，通常采用桩基工程，将荷载传递到基岩上。

7. 旋喷加固法

在浅部用旋喷桩形成“硬壳层”，在其上再设置筏板基础。“硬壳层”厚度根据具体地质条件和建筑物的设计而定，一般 10~20m 即可。

（三）非工程性的防治措施

1. 开展岩溶地面塌陷风险评价

当前、岩溶地面塌陷评价只局限于根据其主要影响因素和由模型试验获得的临界条件进行潜在塌陷危险性分区，这对岩溶地面塌陷防治决策而言是远远不够的。因此，在岩溶地面塌陷评价中、需开展环境地质学、土木工程学、地理学、城市规划与社会经济学等多领域、多学科协作，对潜在塌陷的危险性、生态系统的敏感性、经济与社会结构的脆弱性进行综合分析，才能达到对岩溶地面塌陷进行风险评价的目的。

2. 开展岩溶地面塌陷试验研究

开展室内模拟试验，确定在不同条件下岩溶地面塌陷发育的机理、主要影响因素以及塌陷发育的临界条件，进一步揭示岩溶地面塌陷发育的内在规律、为岩溶地面塌陷防治提供理论依据。

3. 增强防灾意识，建立防灾体系

广泛宣传岩溶地面塌陷灾害给人民生命财产带来的危害和损失，加强岩溶地面塌陷成因和发展趋势的科普宣传。在国土规划、城市建设和资源开发之前，要充分论证工程环境效应，预防人为地质灾害的发生。

建立防治岩溶地面塌陷灾害的信息系统和决策系统。在此基础上，按轻重缓急对岩溶地面塌陷灾害开展分级、分期的整治计划。同时，充分运用现代科学技术手段，积极推广岩溶地面塌陷灾害综合勘查、评价、预测预报和防治的新技术与新方法，逐步建立岩溶地面塌陷灾害的评估体系及监测预报网络。

思考题：

- 1、地面沉降的是如何产生和形成的，起分布特征及分布规律有哪些？
- 2、滑坡是怎样形成的，需怎样监测和防治滑坡？
- 3、地面塌陷的发育需具备那些条件？其危害有哪些？
- 4、地面沉降、滑坡、泥石流、地面塌陷具备那些相关性？

本章讨论的主题及要求：

主题： 淮南矿区地质灾害类型及其防治措施。

要求：（1）课前查阅相关资料，理清关于主题的知识内容体系；

（2）请 2 位同学大体上介绍自己的认识，时间为 10 分钟；

（3）围绕主题，由指导老师组织，结合同学认识开展讨论。

第五章 地质环境与人体健康

5.1 元素与人体健康

一、 人体内的元素

人体所含元素差别极大，按其含量不同可以分为常量元素和微量元素两大类。根据化学元素的性质及其对人体的利弊作用，又通常将它们分为 5 类：①人体必需常量元素，这一类是被确认的维持机体正常生命活动不可缺少的必需常量元素；②人体必需微量元素，是维持机体正常生命活动不可缺少的必需微量元素；③人体可能必需微量元素，对这类微量元素在体内的形式尚缺乏研究，不能明确判断是否为人类必需微量元素；④有毒元素，是已证明对人体毒性很大的元素；⑤非必需元素，是人体不需要的元素。

常量元素也称宏量元素或组成元素。它们的标准含量占人体总重量的万分之一以上。常量元素包括 C、H、O、N、S、P、Na、K、Ca、Mg、Cl 等 11 种。常量元素均为必需元素。它们占人体总重量的 99.95%，其中 O、C、H、N、S 占人体总重量的 94%。在人体中的常量元素除了构成有机物质的元素外，比较重要的无机矿物质元素是 Na、K、Cl、Ca、Mg、P 和 S 等七个元素。

二、 地质环境中元素含量与人体中元素的相关性

20 世纪 70 年代，英国地球化学家汉密尔顿对 220 名病人的化学元素含量及地壳中各相应元素的含量进行测定，并用其含量均数值的对数绘制元素相关图（图 5-1）结论表明除了人体原生质中的主要成分碳、氢、氧和地壳中的主要成分硅以外，其它化学元素在人体血液中的含量和地壳中这些元素的含量分布规律具有惊人的相似性，由此可以说明人体化学组成与地壳演化具有亲缘关系。这一地壳丰度控制生命元素必需性的现象称之为“丰度效应”。

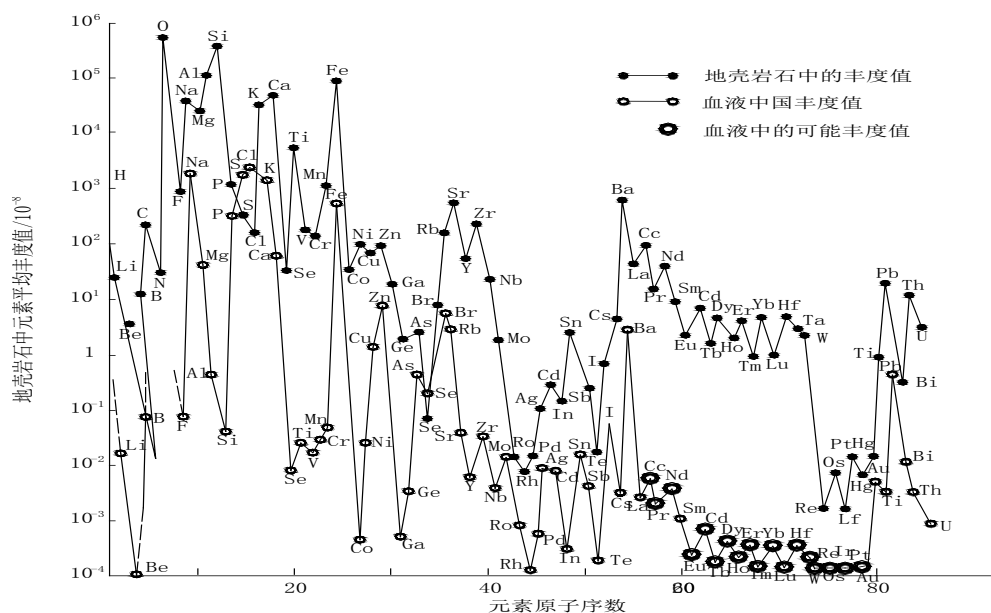


图 5-1 人体血液元素与地壳中元素丰度比较（据汉密尔顿，1965）

现代人体的化学成分是人类长期在自然环境中吸收交换元素并不断进化、遗传、变异的结果。人体中某种元素的含量与地壳元素标准丰度曲线发生偏离，就表明环境中该种元素对人体健康产生了不良影响。环境的任何异常变化，都会不同程度地影响到人体的正常生理功能。如人在某一地方长时间居住，就会发展自己体内的种种代谢或代偿功能，以便从环境中获取适量的微量元素。而一旦当他到新的地点进行生活时，由周围环境通过饮食进入体内的微量元素含量会有变化，这时人就不得不重新调节自己体内的技能。而在这一改变过程中，有可能出现一系列不适的反应，而这一综合反应就是我们平时所说的“水土不服”。

三、地球表生环境中元素的迁移转化

（一）地表环境中元素的迁移类型

元素的迁移类型根据不同的划分形式可以分为不同的迁移类型。

地表环境中的元素迁移需要借助某种介质完成。介质不同，其迁移类型亦不同。按介质类型的不同，可将元素迁移分为空气迁移、水迁移和生物迁移三种形式。

1. 按介质类型划分

（1）空气迁移：空气迁移是指元素以空气为介质，以气态分子、挥发性化合物和气溶胶等形式进行的迁移。属于空气迁移的化学元素有 O、H、N、C、I 等元素。以气溶胶形式迁移只是在近代工业发展以来，因工业废物的大量排放导致某些微量元素以颗粒物或附着在颗粒物表面进行的一种迁移。

（2）水迁移：水迁移是指元素以水体为介质，以简单的或复杂的离子、络离子、分子、胶体等状态进行的迁移。元素可以胶体溶液或真溶液的形态随地表水、地下水、土壤水、裂隙水和岩石孔隙水等水体运动而发生迁移。水迁移是地表环境中元素迁移的最主要类型，大

多数元素都是通过这种形式进行迁移转化的。

(3) 生物迁移：进入环境的元素通过生物体的吸收、代谢、生长以及死亡等一系列过程实现的元素迁移。这是一种非常复杂的元素迁移形式，与生物的种、属的生理、生化、遗传和变异作用有关。即使同一生物种不同的生长期对元素的吸收、迁移也存在差异或不同。

2. 按物质运动的基本形态划分

按物质运动的基本形态还可将元素迁移划分为机械迁移、物理化学迁移与生物迁移三种类型。

(1) 机械迁移：指元素及其化合物被外力机械的搬运而进行的迁移。如水流的机械迁移、气的机械迁移和重力机械迁移等。

(2) 物理化学迁移：指元素以简单的离子、络离子或可溶性分子的形式，在环境中通过一系列的物理、化学作用（如溶解—沉淀、氧化还原等作用）实现的迁移。

(3) 生物迁移：通过生物体内的生物化学作用而发生的元素迁移。

通常，环境中元素的迁移方式并不是决然分开的，有时同一种元素既可呈气态迁移，又可呈离子态随水迁移，也可通过生物体实现迁移。如组成原生质的O、H、C、N等元素，在某些情况下呈气态分子(O_2 、 CO_2 、 CH_4 、 NH_3)形式进行迁移；在另外情况下则呈离子态(如 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 NH_4^+ 、 NO_3^-)随水进行迁移，也可以生物的重要组成部分实现迁移（生长、死亡）。

（二）地球表生环境中元素的迁移转化的影响因素

元素在自然环境中的迁移受到两方面因素的影响，一是内在因素，即元素的地球化学性质，二是外在因素，即区域地质地理条件所控制的环境的地球化学条件。

1. 影响表生环境中元素的迁移转化的内在因素

不同元素所形成的不同的化学键（离子键与共价键），以及同一元素的不同价态对迁移具有较大的影响。

原子半径和离子半径对元素的迁移转化也具有重要的影响作用。

2. 影响表生环境中元素的迁移转化的外在因素

同一种元素在不同区域地质地理条件中的迁移能力是极不相同的。影响元素迁移的最大外力是活的有机体和天然水。主要的外在因素有环境的pH值、氧化还原电位(Eh)、胶体、腐殖质、气候和地质地貌条件等。

（1）环境的pH值

表生环境中的pH值主要指土壤和天然水的pH值。

在地表环境中，pH值可影响元素或化合物的溶解与沉淀，决定着元素迁移能力的大小。大多数元素在强酸性环境中形成易溶性化合物，有利于元素的迁移；在中性环境中，形成难溶性的化合物，不利于元素的迁移；在碱性环境下，某些元素的化合物也是易于溶解，利于迁移。

（2）氧化还原电位(Eh)

一些元素在氧化环境中可进行强烈迁移,而另一些元素在还原条件下的水溶液中更容易迁移。如硫、铬、钒等元素在氧化作用强烈的干旱草原和荒漠环境中形成易溶性的硫酸盐、铬酸盐和钒酸盐而富集于土壤和水中。在以还原作用占优势的腐殖酸环境中(如沼泽),上述元素便形成难溶的化合物而不能迁移;而 Fe、Mn 等,在氧化环境下形成溶解度很小的高价化合物,难于迁移;而在还原环境下,则形成易溶的低价化合物,发生强烈迁移。

（3）络合作用

在地表环境中,重金属元素的简单化合物通常很难溶解,但在它们形成络离子以后,则易于溶解发生迁移。甚至有人认为,金属离子络合物是影响重金属迁移的最重要的因素。

近年来,人们特别重视羟基络合作用与氯离子络合作用所促进大量重金属在地表环境中的迁移。羟基对重金属的络合作用实际上是重金属离子的水解反应,重金属能在低 pH 值下水解,从而提高重金属氢氧化物的溶解度。氯离子作用对重金属迁移的影响主要表现在两个方面:一是显著提高难溶重金属化合物的溶解度;二是生成氯络重金属离子,减弱胶体对重金属的吸附作用。

当形成的重金属络合物越稳定,越有利于重金属迁移;反之,络合物易于分解或沉淀,不利于重金属迁移。

（4）腐殖质

腐殖质对元素的迁移主要表现为有机胶体对金属离子的表面吸附和离子交换吸附作用,以及腐殖酸对元素的螯合作用与络合作用。一般认为,当金属离子浓度高时,以交换吸附为主,在低浓度时以螯合作用为主。腐殖质螯合作用对重金属迁移的影响取决于所形成的螯合物是否易溶。易溶则促进重金属的迁移,难溶则降低重金属的迁移。

在腐殖质丰富的环境中, Cu、Pb、Zn、Fe、Mn、Ti、Ni、Co、Mo、Cr、V、Se、Ca、Mg、Ba、Sr、Br、I、F 等元素可被有机胶体吸附,并随水大量迁移。腐殖质与 Fe、Al、Ti、U、V 等重金属形成络合物,较易溶于中性、弱酸性和弱碱性介质中,并以结合物形式迁移;在腐殖质缺乏时,它们便形成难溶物而沉淀。

（5）胶体吸附

胶体由于具有巨大的比表面、表面能并带电荷,能够强烈的吸附各种分子和离子。胶体使元素迁移的作用主要发生在气候湿润地区。由于天然水呈酸性,有机质丰富,利于胶体的形成。元素常以胶体状态发生迁移。在湿润地区,胶体最易吸附的元素有 Mn、As、Zr、Mo、Ti、V、Cr 和 Th 等,其次有 Cu、Pb、Zn、Ni、Co、Sn 等元素。而在气候干旱地区,天然水呈碱性,有机质偏少,不利于胶体的形成,因而由胶体使元素迁移的可能性极小。

各种胶体对元素的吸附具有选择性。例如,褐铁矿胶体易吸附 V、P、As、U、In、Be、Co、Ni 等元素;锰土胶体易吸附 Li、Cu、Ni、Co、Zn、Ra、U、Ba、W、Ag、Au、Tl 等;腐殖质胶体易吸附 Ca、Mg、Al、Cu、Ni、Co、Zn、Ag、Be 等;粘土矿物胶体则常吸附

Cu、Ni、Co、Ba、Zn、Pb、U、Tl 元素。

(6) 气候条件

气候对环境中元素迁移的影响主要取决于两个最重要的条件：热量和水分。其对地表环境中元素迁移的影响主要表现在直接影响和间接影响两个方面。

①直接影响：地表环境中化学元素的迁移形式以水介质中发生的物理化学迁移为主，而气候变化的主要因素是降水量和热量。降水量的多少和温度的高低，对化学元素的迁移产生重大影响。在炎热的湿润地区，各种地球化学作用反应剧烈，原生矿物多高度分解，淋溶作用十分强烈，风化壳和土壤中的元素被淋失殆尽，结果使水土均呈酸性反应，元素较贫乏，腐殖质富集，为还原环境。在干旱草原、荒漠气候带，降水量少，阳光充足。蒸发作用十分强烈，水的淋溶作用微弱，各种地球化学作用的强度软弱，速度也十分缓慢。地表环境中富集大量氯化物、硫酸盐等盐类。许多微量元素也大量富集，尤以 Ba、Sr、Mo、Zn、As、Se、B 等元素为最显著。

此外，温度变化可以影响元素进行的化学反应速度。温度每升高 10℃，反应速度便增加原来的 2~3 倍。因而，炎热地区环境的化学反应要比寒冷地区进行的迅速而彻底。

②间接影响：主要表现在生物迁移作用方面。气候愈温暖湿润，生物种类和数量愈多，生长速度也愈快，地表环境中的有机质或腐殖质愈多，生物吸收、代谢各种元素的过程愈强烈，地表环境中的许多元素可通过大量生物的吸收、代谢作用进行迁移。而在干旱气候条件下，生物种类和数量很少，地表有机质和腐殖质缺乏，元素的生物迁移微弱，地表环境中的元素多发生富集。

(7) 地质与地貌

地质构造、岩性等地质条件均对元素的迁移产生影响。岩层褶皱剧烈、断裂构造发育、节理错综复杂的地区，侵蚀作用、地球化学作用和元素的迁移比较强烈，元素随水流或其他介质大量迁移。如坚硬的岩石难以被侵蚀风化，质地软弱的岩石易于风化侵蚀，其中所含的元素随淋失作用、搬运作用而发生迁移。此外，与地质构造密切相关的火山作用造成地表环境某些元素富集，如 B、F、Se、S、As 和 Si 等；与岩浆活动有关的多金属矿床可使地表环境中富含 Hg、As、Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、V、W、Mo 等元素，从而对元素的迁移、聚集产生一定的影响。

地形地貌条件对元素的迁移也具有十分明显的影响作用，一般山区为元素的淋失区，低平地区为元素的堆积富集区。对内陆河流而言，坡降较大的中上游为元素的淋失地段，坡降较平缓的下游则为元素的堆积地段。研究表明，因某些元素“缺乏”引起的地方病常常分布在元素淋失区；因某些元素“过剩”而引起的地方病常发生在元素堆积区。

四、地球化学环境地带性

地球上的气候、水文、生物、土壤等都与温度的变化密切相关。伴随地表热能的纬度分布规律，气候、水文、植物等都呈现明显的地带性分布规律。而元素的化学活动与这些因素

也具有密切关系。因此，元素分布具有地球化学分带特征（表 5-1）。

表 5-1 中国的自然地带与地球化学环境地带（据潘懋，2003）

位置	气候带	植被带	土壤带	地球化学环境带
东部地区	寒温带	落叶针叶林	棕色针叶林土	酸性、弱酸性还原和中性氧化的地球化学环境
	温带	落叶阔叶林	暗棕壤、棕壤褐土	
	亚热带	常绿阔叶林	黄棕壤、黄红壤、红壤砖红壤	
	热带	季雨林	性土、砖红壤	
西、北部地区	温带	森林草原	黑钙土、黑垆土	中性氧化和碱性、弱碱性氧化的地球化学环境
		草原	栗钙土、灰钙土	
		荒漠、半荒漠	灰棕漠土、风沙土	
		荒漠、裸露荒漠	棕漠土、风沙土、盐土	
	高寒带	森林草甸	高草甸土	中性、碱性、弱碱性还原的地球化学环境
		草原	高山草原土	
		荒漠	高山寒漠土	

氧化的地球化学环境；碱性、弱碱性氧化的地球化学环境；酸性强氧化的水文地球化学环境。我国地球化学环境按地理纬度从北向南分为：酸性、弱酸性还原的地球化学环境；中性氧化的地球化学环境带；碱性弱碱性氧化的地球化学环境带；酸性氧化的地球化学环境带；非地带性的地球化学环境带。

1. 酸性、弱酸性还原的地球化学环境带

该环境中年降水量约为 600~1000 mm，蒸发较弱，水分相对充裕。气候寒冷而湿润，植被茂盛，腐殖质大量堆积，沼泽发育，泥炭堆积，多属还原环境。以灰化土，棕色森林土，草甸沼泽土，泥炭沼泽土等为主。土壤的潜育层发育，植物残体被细菌分解，产生大量的腐殖酸，土壤呈酸性，pH 值为 3.5~4.50 酸性环境抑制好气性细菌的生长，故植物残体得不到彻底分解，长期处于半分解状态，多数元素被禁锢在植物残体中，导致环境中的矿质营养日趋贫乏。

2. 中性氧化的地球化学环境带

该环境中热量较充分，年降水量为 600~1200mm，蒸发作用不强，地表径流通畅，潜水位较低。土壤湿度适中，为氧化环境。植被发育一般，而且植物残体分解较彻底，因此，腐殖质堆积较少。本区元素的淋溶作用不强，富集作用也不显著，无明显的过剩或不足的现象。天然水多为中性，pH 值为 7 左右。

一般来说，该区人、畜的地方病很少，只有在山区和平原的局部地区有地方性甲状腺肿和龋齿流行。

3. 碱性弱碱性氧化的地球化学环境带

该环境中气候干旱，年降水量为 250~400mm，或者更少；主要的土壤为灰钙土、栗钙土，在低洼处可见盐土和碱土。这种环境最显著的特点是元素富集、腐殖质贫乏。

由于降水不足，淋溶作用微弱。在土壤中 Ca、Na、Mg、S、Cl、F、B、V、Zn、Cr、Cu、Mo、Ni、Se、As 等元素大量富集。地表水和潜水多属碱性，pH 值为 8~10，在碱性介质中五价钒、六价铬、砷、硒等元素活性较大，易迁移，但淋溶微弱，蒸发强烈，上述元素最终仍富集于水土中。

在本环境的大部分地区，生物元素是过剩的，因而，常流行着某些地方病。例如，氟斑牙，氟骨症，硒中毒，痛风病(钼过剩)，或因环境中砷过剩而产生皮肤癌。在牲畜中也流行某些地方病，例如氟中毒、硒中毒、腹泻(钼过剩)、贫血(铜过剩)，或因硼过剩而患肠炎等等。

4. 酸性氧化的地球化学环境带

该环境热量丰裕，水分充沛，年降水量为 1000~3000mm，植被繁茂高大，元素的生物地球化学循环强烈；本区风化、淋溶作用均十分强烈。风化壳中的钙、钠、镁、钾、硫、锂、硼、碘等元素大量被淋洗流失。

在该环境中发育着典型的砖红壤和广泛分布的红壤，所含元素较少。由于盐基缺乏，土壤呈酸性，pH 为 3.5~5.0。水土和食物中碘异常缺乏，地方性甲状腺肿的分布十分广泛。因钠不足而影响人体的发育，常形成侏儒。在本区还流行着缺铁性的热带贫血症、心血管病。

5. 非地带性的地球化学环境带

在自然界中某些局部的地球化学环境不受地理纬度分带的影响。如在湿润的森林景观带可出现高氟区和高硒区；而在干旱的荒漠景观中可以出现沼泽，造成局部的腐殖质堆积的环境。

非地带性的地球化学环境可分为以下两种类型，即元素富集的氧化的地球化学环境和腐殖质富集的还原的地球化学环境。例如在某些火山、温泉分布的地区可造成局部环境中 S、Fe、Si、Se、As 等元素的富集，在含氟的矿床周围氟高度富集，在某些煤系地层，凝灰岩地区和硫化矿床的氧化带会使 Se 高度富集，在多金属矿区或氧化带 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg 等元素大量富集。在上述局部环境中因为某些元素的过剩，可导致人、畜的许多种地方病。

5.2 自然地质环境与地方病

一、 地方病

地方病是指具有严格的地方性区域特点的一类疾病。按病因可分为：

(一) 自然疫源性（生物源性）

病因为微生物和寄生虫，是一类传染性的地方病，包括鼠疫、布鲁鼠疫、布鲁氏菌病、乙型脑炎、森林脑炎、流行性出血热、钩端螺旋体病、血吸虫病、疟疾、黑热病、肺吸虫病、包虫病等。

(二) 化学元素性（地球化学性）

病因为当地水或土壤中某种（些）元素或化合物过多、不足或比例失常，再通过食物和饮水作用于人体所产生的疾病。

1. 元素缺乏性 如地方性甲状腺肿、地方性克汀病等。
2. 元素中毒性（过多性）如地方性氟中毒、地方性砷中毒等。

二、地氟病

地氟病又称地方性氟中毒，是在特定地区的环境中，包括水土和食物中氟元素含量过多，导致生活在该环境中的人群长期摄入过量氟而引起的慢性全身性疾病。地氟病在世界各大洲均有分布，在我国主要分布在贵州、陕西、甘肃、山西、山东、河北和东北等地。

1. 环境中氟的来源

氟的天然来源有两个：一是风化的矿物和岩石，二是火山喷发。因自然地理条件不同，土壤的含氟量差异较大。在湿润气候区的灰化土带，属于酸性的淋溶环境，有利于氟的迁移，土壤中氟含量较低。干旱和半干旱草原的黑钙土、栗钙土含氟量较高，在盐渍土和碱土中其含量更高。

2. 地质地理分布

氟中毒病在世界的分布与地球化学环境密切相关，主要受岩石、地形、水文地球化学变化、土壤以及气候等因素的影响。

（1）火山活动区发病带：火山爆发喷出的火山灰、火山气体等喷发物中含有大量氟，这些喷出物在火山口周围呈环状分布。生活在火山周围的居民多患氟斑牙病和氟中毒症。世界上一些著名的火山，如意大利的维苏威火山、那不勒斯火山、冰岛的火山区等，均有地方性氟中毒病发生。

（2）高氟岩石出露区和氟矿区发病带：某些岩石如萤石、冰晶石、白云岩、石灰岩，以及氟磷酸盐矿中含有丰富的氟，经过物理化学风化作用、淋溶作用和迁移转化等地球化学变化，使地表水和地下水中的氟含量增高。生活在该区的居民长期饮用高氟水，发生氟中毒。

（3）富氟温泉区发病带：温度超过 20℃的泉水能溶解多种矿物质，温泉水中含氟量一般比地表水高，而且随泉水温度增高氟含量不断增加。许多温泉区有氟中毒病发生。如西藏谢通门县卡嘎村温泉，水温 60℃，水中氟含量达 9.6~15mg/L，泉水周围三个村的居民患严重的氟中毒病。

（4）沿海富氟区发病带：在海陆交接地带，长期受海水浸润，形成富盐的地理化学环境，海水含氟量较高的氟也易于在此带富集；沿海地区由于大量开采地下水，导致海水入侵，不仅使土壤盐渍化、水井报废，也使地下水中氟含量增高，从而引起氟中毒病的发生。如中国的沧州、潍坊等地区，均有一定数量的氟斑牙和氟中毒病出现。

（5）干旱、半干旱富氟地区发病带：干旱、半干旱气候干燥，降水量少，地表蒸发强烈。地下水流不畅，氟化物高度浓缩，形成富氟地带，是氟中毒病高发区。如在印度的许多地区，地面氟化物大量蓄积，地方性氟骨症患者高达 100 万人以上，称为世界“氟病大国”。由此可见，全球地方性氟中毒发病区分布相当广泛，约有 30 多个国家高发氟中毒病。中国各地均有程度不同的氟病流行。全国有 762 个县（族）有氟病发生，约占全国县（族）的 1/3。

主要分布在黑龙江、吉林、宁夏、内蒙古、陕西、河南、山东等省区。

三、大骨节病

大骨节病是一种地方性变形性骨关节病。本病主要表现为骨关节增粗、畸形、强直、肌肉萎缩、运动障碍等。本病在各个年龄组都有发生，但多发于儿童和青少年，成人很少发病，无明显的性别差异。

1. 地质地理分布

大骨节病的分布与地势、地形、气候有密切关系。在中国，大骨节病多分布于山区、半山区，海拔 500~1800 m 之间。如中国东北地区，大骨节病多分布于山区、丘陵地带。以山谷低洼潮湿地区发病最重。在西北黄土高原地区，以沟壑地带发病较重；大骨节病区多为陆地性气候，暑期短，霜期长，昼夜温差大。

中国的大骨节病，从东北到西藏呈条带状分布。该病在中国分布广泛包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、山西、北京、山东、河北、河南、陕西、甘肃、四川、青海、西藏、台湾等 15 个省市自治区。在俄罗斯的西伯利亚、朝鲜北部、瑞典、日本、越南等国也有此病发生。

2. 大骨节病的环境地质类型

大骨节病分布广泛，横跨寒、温、热三大气候带，自然环境复杂多变。病区地质环境可划分为四种类型：

（1）表生天然腐殖环境病区：该类型区沼泽发育，腐殖质丰富，土壤多为棕色、暗棕色森林土、草甸沼泽土和沼泽土等。在本区，凡饮用沼泽甸水、沟水、渗泉水者大骨节病较重，而饮大河水、泉水、深井水者病情较轻或无病。

（2）沼泽相沉积环境病区：该类型区主要分布于松辽平原、松嫩平原和三江平原的部分地区，多为半干旱草原和稀疏草原。本区地势低平，水流不畅，沼泽湖泊星罗棋布，有的已被疏干开垦。发病与否主要决定于水井穿过的地层。凡水井穿过湖沼相地层，多为发病区。

（3）黄土高原残塬沟壑病区：该类型区黄土广布，侵蚀作用强烈，水土流失严重、形成残塬、沟壑、梁峁地形。群众多饮用窖水、沟水、渗泉水和渗井水。由于水质不良，大骨节病严重。而饮用基岩裂隙水、冲积或冲洪层潜水者病轻或无病。

（4）沙漠沼泽沉积环境病区：该类型区属干旱半干旱沙漠自然景观，固定、半固定沙丘呈浑团状或垄岗状。多数地区干燥无水；少数地区为芦苇沼泽。底部有薄层草炭，沼泽呈茶色并且有铁锈的絮状胶体。群众凡饮用就地水井多患大骨节病。

四、克山病

克山病又称地方性心肌病，是一种以心肌变性坏死为主要病理改变的原发性心脏病。1935年，我国黑龙江省克山县首先发现了大批急性病例，疾病的病因不清，故称“克山病”。其主要临床表现有心脏增大、急性或慢性心功能不全和各种类型的心律失常，急重病人可发生猝死。现已证实环境中硒缺乏与克山病发病的关系最为密切。克山病是一种分布较广的地

方病，国内外都有发生，并具有地理地带性分布的特点。中国克山病发病区的分布与巨厚的中生代陆相沉积岩系有关，同时与地形地貌也密切相关。在地理分布上表现为一条从东北到西南的斜长条带。

克山病病区的环境地质类型

中国病区，克山病类型可分为：东北型、西北型和西南型三种。

(1) 东北型：其特点是克山病与大骨节病的分布和病情轻重基本平行。克山病患者又是大骨节病患者。它包括了大骨节病的表生天然腐殖环境和湖沼相沉积环境两种病区类型。病区多饮用富含腐殖酸的潜水和地表水。

(2) 西北型：以陕西渭北黄土高原、陇东黄土高原病区为代表。病村多饮用受有机污染的窑水、渗泉水和沟水。

(3) 西南型：属此类型的有云南高原病区、川东山地丘陵平坝病区。多饮用水田渗井水、沟水、坑塘水和涝池水。水质不良，有机污染严重。

这三种类型病区的共同特点是饮水中富含腐殖质。

五、 地方性甲状腺肿大

地方性甲状腺肿是指发生在某些地区的一种甲状腺疾病(又称地甲病)，是一种因环境缺碘或富碘所引起的地方病。

地质地理分布

甲状腺肿是一种流行较广泛的地方病。从全球看，碘缺乏病连续分布于北半球高纬度地带，包括欧洲、亚洲、美洲的北半部，略呈带状，此外，地甲病在非洲刚果河流域、南美的巴拉那河流域都有较大面积分布。全球碘缺乏病病区集中分布于世界上几个著名的巨大山脉地区，如亚洲的喜马拉雅山，绵延分布 2400 km，其中尼泊尔是最重的病区，患病率高达 90%-100%。在欧洲的阿尔卑斯山、高加索山脉和南美的安底斯山，地甲病也有广泛分布。另外，澳洲的新西兰岛、新几内亚岛、非洲的马达加斯加岛等地区，都有地甲病的流行。

中国是地甲病流行较严重的国家之一，广泛分布于山区和内陆，滨海地区较少。除上海市外，各省市自治区均有不同程度的流行。主要分布于东北的大小兴安岭，长白山；华北的内蒙古高原；西北的秦岭山脉，黄土高原，青藏高原，昆仑山脉，天山山脉；西南的喜马拉雅山脉，云贵高原；华东的武夷山；中南的大别山、伏牛山、桐柏山、太行山等地区。其分布的一般规律为：从湿润地带到干旱地带，从内陆到沿海，从山岳到平原，因环境中碘的淋溶流失逐渐减弱，积累量趋于增加，使缺碘性地方性甲状腺肿的流行强度递减，最后消失；而高碘性地方性甲状腺肿则呈相反的递增趋势，在干旱和半干旱气候区及沿海地区发病率较高。

六、 癌症

地质地理分布

癌症在世界各地均有分布，但它有明显集中高发的现象。不同国家、地区的癌症死亡率相差 10 倍，乃至百倍。

食道癌的高发区主要位于东南非和中亚地区。如莫桑比克、南非、乌干达、伊朗、阿塞拜疆、乌兹别克斯坦和土库曼斯坦。中国食道癌的平均死亡率约为 11/10 万，但分布不均，总趋势是北方高于南方、内地高于沿海。

肝癌主要流行于低纬度地带，如东南非和东南亚地区。在欧洲、北美洲、大洋洲很少发生肝癌。非洲莫桑比克首都马普托肝癌死亡率最高，为 146.6/10 万；挪威、芬兰等北欧国家最低，死亡率仅(1.00~1.2)/10 万。中国肝癌平均死亡率约为 10/10 万，高发区位于广西、江苏、广东、福建、上海、浙江等沿海一些地区。形成一个明显而狭长的沿海肝癌病分布区。总体而言，肝癌发病率随着地理纬度的降低而增高。

胃癌主要分市在中、高纬度地带，如芬兰、荷兰、瑞典、英国、俄罗斯、日本、美国、加拿大等国的部分地区，低纬度带和赤道附近胃癌则较少发生。中国胃癌的平均死亡率约为 15/10 万，总的分布趋势是西北黄土高原和东部沿海各省较高。一般而言，胃癌发病率呈随着地理纬度的增高而增高的趋势。

七、 地方性砷中毒

地方性砷中毒是指由于长期饮用含高砷地下水，或暴露于燃用高砷煤，引起以皮肤色素沉着或脱失、掌跖角化等。皮肤改变为主要表现，同时伴有中枢神经系统、周围神经、血管、消化系统等多方面症状的全身性疾病。地方性砷中毒多为慢性中毒，是地方病中发现历史最短、了解最少的一种地方病。由于其危害不只限于摄入砷的一段时期，在中止摄入后，仍可持续较长时间，尤其砷可引起恶性肿瘤等，因此引起广泛关注。

1. 地质地理分布

在许多国家都不同程度地存在地方性砷中毒事件，如智利、阿根廷、美国、加拿大、泰国、前苏联、匈牙利等，其中最严重的是孟加拉、印度和我国。据孟加拉官方透露，全国 64 个地区中有 59 个地区受到砷污染，其中有一半以上的地区被列为严重的砷污染区。据估计可能有占国家人口一半的 5700 万孟加拉人将受到砷污染的影响。

我国砷中毒区域主要为台湾、新疆、内蒙古、山西、贵州等省、市、自治区。台湾省砷中毒涉及台南县、嘉义县、台南市、云林县、屏东县、高雄县、高雄市等 7 县市 56 个乡镇；新疆准噶尔病区西起艾比湖，东到玛纳斯河长约 250 公里地带；内蒙古 - 山西病区为一东西向带状分布区，仅在内蒙古地区，就涉及 5 个盟市、1 个旗县、64 个乡镇(农场)，东西长约 1000 余公里宽约 10—40 公里。

2. 地方性砷中毒病因和分类

地方性砷中毒可分为饮水型和燃煤污染型。饮水型最常见，燃煤型仅见于我国的某些局部地方。

饮水型砷中毒：由饮水引起的砷中毒是在 20 世纪 20 年代末才有所发现。早期最明显的由

于饮天然含砷高地下水引起发病的典型例子为加拿大安大略省某农户发生的,因饮用庄园内高含砷井水,引起3胎新生儿和1名成人死亡的严重砷中毒,其砷含量高达10mg/l。此后,人们逐渐注意到一水砷引起的砷中毒。在所知的饮高砷水所致的砷中毒中,地下水,包括井水、泉水、温泉水较为多见。但有时地表水也有含较高砷的情况,如智利病区河水高达0.337-0.2mg/l,而一池塘水竟高达34.34mg/L。在这些砷中毒中,有相当一部分是人为污染水源所致。

生活燃煤污染型砷中毒:燃煤污染型地方性砷中毒是地方性砷中毒的一种特殊类型。病区环境潮湿多雨,收割的粮食作物(主要为玉米与辣椒)必须在烘干后予以贮存。当地多采用煤火取暖、做饭及烘烤食物,所用炉灶为开放式炉灶。由于当地居民贫穷,多使用当地所产的劣质高砷煤做为燃料。在煤炭燃烧过程中,砷进入空气并沉积在食物上,当地居民长期使用这样的食物就引起了慢性砷中毒。燃煤污染型砷中毒和居民生活习惯及地产高砷煤两因素密切相关,此两项为病区存在的必备条件。因此,病区分布相对局限,目前主要分布在我国南方某些地区。其中比较明确的病区位于贵州省西部的兴仁、兴义、安龙、开阳、织金等县、市。

5.3 地质环境污染与人体健康

一、环境污染类型及危害

根据环境污染所引起的人体中毒的程度以及病症显示的时间,可将环境污染对人体健康的影响分为急性危害、慢性危害和长期危害。从污染源的属性上来看,环境污染对人体健康的危害,可以分为三大类型:物理性污染、化学性污染和生物性污染。

(一) 物理性污染

物理性污染是指由物理因素引起的环境污染,如:放射性辐射、电磁辐射、噪声、光污染等。

如在对我国白云鄂博钍矿开采利用过程中,排放含有放射性钍的废气、尾矿飞尘、废水和废渣,不但严重污染包头地区,而且成为黄河的主要污染源之一,已引起国家环保总局的高度重视。此外,在煤炭燃烧过程中,会把一些放射性的元素铀和钍富集在粉尘或飞灰之中,对环境产生放射性污染。

(二) 化学性污染

当今世界上已有的化学物质达 500 万种之多,而且每年还不断的有数以万计的化学物质合成。据估计,进入人类环境的约有 96000 多种。化学污染问题已日趋严重,致使人类疾病的构成也发生了变化,过去以传染病为主的疾病,现在已被非传染性疾病,如心血管病、公害病、职业病等所代替。

化学性污染物根据化学组成,可将其分为无机污染物和有机污染物。化学污染物对人体危害的特点表现为:低浓度长期效应、多因素联合作用、长期和潜在性的影响。造成化学性

污染的原因有以下几种：①某些地区矿物资源富集，在地球化学作用下，某些元素、化学物质自然迁移转化所造成的环境污染；②矿产资源在开发过程中所导致的环境污染。如在贵州出现的Hg、Tl等重金属污染；③矿产资源在利用过程中所导致的环境污染，如煤炭燃烧时排放的SO₂所形成酸雨以及某些重金属富集在飞灰上，沉降在地面所导致的环境污染；④农业化学物质的广泛应用和使用不当，导致土壤中化学物质的污染；⑤工业的不合理排放所造成的环境污染。表 5-2 列出了几种主要化学性污染物对植物、动物和人体的危害。

表 5-2 几种主要化学性污染物对植物、动物和人体的危害

污染物	对植物、人体和动物的危害	
	对植物的危害	对人和动物的危害
汞及其化合物	对植物的叶、茎、芽和花瓣均造成伤害	使鸟类繁殖功能下降，损害人体内酶和中枢神经系统的功能，使人患水俣病、肝炎和血尿等病。
铅及其化合物	影响光合作用蒸腾作用使农作物产量下降	损害肝脏和心脏，使发育迟缓，使头部、肌肉、关节、脾、骨髓和神经系统患病。
铬及其化合物	低浓度铬对植物生长有利，高浓度有害。	低浓度铬对动物和人生长发育有利，高浓度铬使鱼类死亡，使人患皮炎、湿疹、肠胃炎及癌症。
砷及其化合物	改变根系颜色使叶片枯萎，作物产量下降	破坏酶的功能引起神经系统和毛细血管发生器质性病变，使动物和人患癌
氟及其化合物	阻碍新陈代谢、破坏叶绿素和原生质。	使骨质疏松，新陈代谢紊乱，牙齿患病，使人易患肺气肿和气管炎等症。
氰化物	使植株干枯死亡。	使人和动物死亡
酚类	破坏植物细胞渗透性，抑制植物生长。	低浓度使人头痛、失眠、贫血、肝脏神经系统遭到破坏，高浓度使人和动物死亡。
农药（有机氯、有机磷类）	使植株卷叶、枯萎、矮化，果实脱落，种子发芽率降低。	有机氯类：抑制鱼卵黄形成，影响鸟类繁殖，使人肝肾受损，使人患贫血和癌症。 有机磷类：致畸致癌,导致死亡。
酸雨	抑制光合作用，使植株生长缓慢，叶片脱落。	水域酸度增大后影响水生生物生长发育，最终导致大部分甚至全部水生生物死亡

（三）生物性污染对人体健康的危害

生物性污染主要是由有害微生物及其毒素、寄生虫及其虫卵和昆虫等引起的。当人们一次大量摄入受污染的食品时，可引起急性中毒，即食物中毒，如细菌性食物中毒、农药食物中毒、霉菌毒素中毒等，此外食品化学添加剂的污染正逐渐受到人们的重视。

二、 环境污染物进入人体的途径及危害

对人体健康有影响的环境污染物主要来自工业生产过程中形成的废水、废气、废渣，包括城市垃圾等。

环境污染物进入人体的主要途径是呼吸道和消化道，也可经皮肤和其它途径进入。气态

污染物一般是经过呼吸道进入人体的。由于呼吸道各个部位的结构不同，对污染物的吸收速率也不同。人体肺泡面积达 90 平方米，毒物由肺部吸收速度极快，仅次于静脉注射。进入肺泡的污染物直径一般不超过 $3\mu\text{m}$ ，而直径大于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物质，大部分被粘附在呼吸道、气管和支气管粘膜上。水溶性较大的气态物质，如氯气、二氧化硫，往往被上呼吸道粘膜溶解而刺激上呼吸道，极少进入肺泡；而水溶性较小的气态毒物（如二氧化氮等），大部分能到达肺泡。污染物进入人体后，由血液输送到人体各组织。不同的有毒物质在人体各组织的分布状况不同。一般来说，重金属往往分布在人体的骨骼内，而“滴滴涕”等有机农药则往往分布在脂肪组织内。毒物长期隐藏在组织内，并能在组织内富集，造成机体的潜在危险。

除很少一部分水溶性强、相对分子质量极小的污染物可以排出体外，绝大部分都要经过某些酶的代谢或转化，从而改变其毒性，增强其水溶性而易于排泄。人体的肝、肾、胃肠等器官对污染物都有一定的生物转化作用。其中以肝脏最为重要。污染物在体内的代谢过程可分为两步，第一步是氧化还原和水解，这一代谢过程主要与混合功能氧化酶系有关；第二步是结合反应，一般经过一步或两步反应，原属活性的有毒物质就可能转化为惰性物质而起解毒作用。但也有增大活性的现象，如农药 1605 在体内氧化为 1600，其毒性更大。

各种 污染物 在体内经生物转化后，经肾、消化管和呼吸道排出体外，少量经汗液、乳汁、唾液等各种分泌液排出，也有的通过皮肤的新陈代谢到达毛发而离开机体。

人体除了通过上述蓄积、代谢和排泄三种方式来改变污染物的毒性外，机体还有一系列的适应和耐受机制，但机体的耐受是很有限的，超过一定的限度，人体就会出现中毒症状，甚至死亡。

总的来说，不同的污染物对机体危害的临界浓度和临界时间都是不同的，只有当环境污染物在体内蓄积达到中毒阈值时，才会发生危害。

思考题：

1. 微量有害元素在自然环境中的迁移转化途径和影响因素是什么？
2. 环境有机污染物与人体的作用机理及其危害主要有哪些？

本章讨论的主题及要求：

主题：自然地质环境中微量有毒有害元素的分布特征和赋存介质。

要求：（1）课前请查阅相关资料，理清关于主题的知识内容体系；

（2）请 2 位同学大体上介绍自己的认识，时间为 10 分钟；

（3）围绕主题，由指导老师组织，结合同学报告开展讨论（用英语）。

第六章 矿山地质环境问题及其治理

6.1 固体矿产资源开发中的环境地质问题

1、固体矿产资源

固体矿产资源泛指以固态产出的矿产资源，同样包括固态的金属矿产、固态的非金属矿产和固态的能源矿产。

2、矿产资源的形成与分类

从地质学角度，矿产资源的成因可分为内生矿床型矿产资源、外生矿床和变质矿床型矿产资源。

内生矿床是由内生成矿作用形成的矿床。内生矿床既可由岩浆作用形成，也可由气化热液作用形成。除了与火山、热泉等有关的内生矿床产于地壳表层外，其他的都产在地下一定深度，是在较高温度和较大压力条件下形成的。内生矿床的控制成矿因素包括区域地质构造背景、成矿物质来源、岩浆岩类型、气化热液的性质与成因、控矿构造类型、温度、压力、深度和围岩性质等。内生矿床的种类多，分布广，经济价值大。

外生矿床是在地球表层由外生成矿作用形成的矿床。是在岩石圈表层与水圈、大气圈及生物圈的相互作用下，成矿物质经过迁移和富集形成的。外生矿床的成矿物质主要来自地壳表层，有一部分是地内物质通过火山、喷气或热泉等带到地表的。

外生矿床具有重要的经济价值，它包括全部的煤、石油和天然气，绝大部分的铝矿和锰矿，大部分钴矿和铁矿以及一部分有色和稀有金属矿产，还有重要的农肥和化工原料及其他非金属矿产。

上述外生成矿作用的各种因素基本上决定于自然地理条件，主要是地貌、气候及其影响下的水文、植被等，而这些因素又与地壳内部的构造运动有联系。在不同的地理条件下，地壳表层发生的地质作用可分为风化作用和沉积作用。前者破坏了地表岩石，改变其矿物组成，基本上在原地或附近形成新的物质堆积；后者将风化产物由水、风等运移到适当地点主要是湖、河、海中而分别堆积。通过这两种地质作用而使某些物质富集成矿，因此外生矿床又进一步分为风化矿床和沉积矿床。

3、我国主要矿产资源与分布

能源矿产是我国矿产资源的重要组成部分。已知探明储量的能源矿产有煤、石油、天然气、油页岩、铀、钍、地热等 8 种，目前已建成能源矿山、油田共 10613 处。煤、石油、天然气在世界和中国的一次能源消费构成中分别为 93% 和 95% 左右。中国能源矿产资源种类齐全、资源丰富、分布广泛，但结构不理想，煤炭资源比重偏大，石油、天然气资源相对较少。

(1) 煤炭资源分布规律：我国煤炭资源的特点是蕴藏量大，但勘探程度低；煤种齐全，但肥瘦不均，优质炼焦用煤和无烟煤储量不多；在地域分布上呈现西多东少，北多南少的格

局，以大兴安岭—太行山—雪峰山为界，以西地区查明资源储量约占全国的 87%，以昆仑山—秦岭—大别山为界，以北地区的查明资源储量约占全国的 90.5%。按行政区域来说主要分布在山西、内蒙古、陕西、新疆等省（区），其次是贵州、宁夏、安徽、云南、河南、山东、黑龙江等省（区）（图 6-1）。

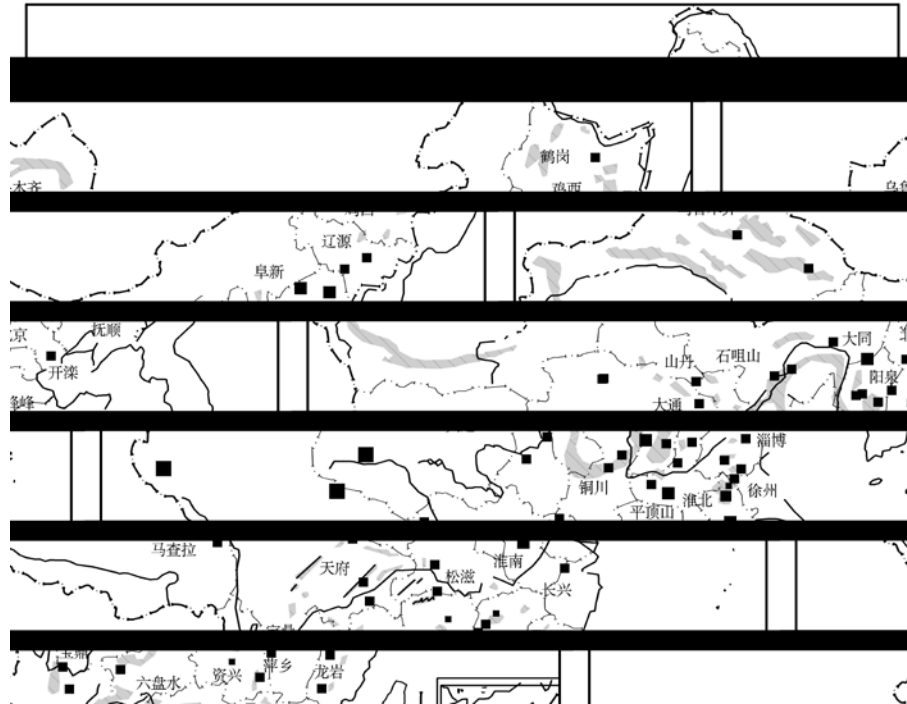


图 6-1 中国煤炭资源分布图

(2) 金属矿产资源分布规律：中国属于世界上金属矿产资源比较丰富的国家之一。世界上已经发现的金属矿产在中国基本上都有探明储量。其中，探明储量居世界第一的有钨、锡、锑、稀土、钽、钛，居世界第二位的有钒、钼、铌、铍、锂等。金属矿产资源的特点是：分布广泛，但又相对集中于几个地区，如铁矿主要分布在鞍山—本溪、冀北和山西等 3 大地区，铝土矿主要集中于山西、河南、贵州、广西等省区；中小型矿床所占比例大，大型、超大型矿床所占比例小（图 6-2）。

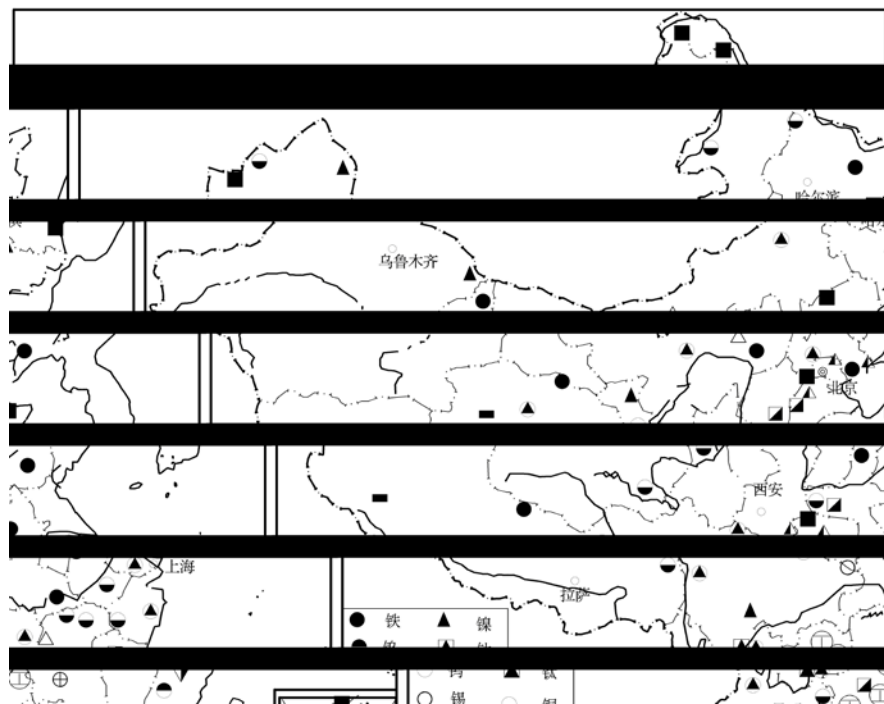


图 6-2 中国金属矿产资源图

(3) 非金属矿产资源分布规律：中国是世界上非金属矿产品种比较齐全的少数国家之一，全国现有探明储量的非金属矿产产地 5000 多处。大多数非金属矿产资源探明储量丰富，其中菱镁矿、石墨、萤石、滑石、石棉、石膏、重晶石、硅灰石、明矾石、膨润土、岩盐等矿产的探明储量居世界前列；磷、高岭土、硫铁矿、芒硝、硅藻土、沸石、珍珠岩、水泥灰岩等矿产的探明储量在世界上占有重要地位；大理石、花岗石等天然石材，品质优良，蕴藏量丰富；钾盐、硼矿资源短缺。

4、固体矿产资源开发产生的环境地质问题

我国是固体矿产资源大国，矿业充分发挥了基础产业的作用，已成为我国国民经济重要的支柱产业之一。固体矿产资源利用是我国一批矿业城市如“煤都”（抚顺、大同市）、“锡都”（个旧市）和“铁都”（鞍山市）等得以建设和发展的物质基础。但同时，固体矿产资源开发利用过程中引发一系列岩、水、土的环境地质问题和生态环境问题，即产生生态环境的负效应，给这些矿山城市带来的环境问题也日益突出，已造成的环境破坏、人员和经济损失以及相关的问题比较严重，对人们的生存环境造成了严重的影响，甚至在局部地区引发了矛盾和纠纷。如正在开采的或已废弃的煤矿和金属矿产地既产生诸如岩溶塌陷、采空区塌陷、矿坑突水、滑坡、崩塌、泥石流、侵占农田等环境地质灾害，又会产生严重的水体、大气和土壤的污染等环境问题，它既对当前的城市发展不利，又影响其未来的可持续发展。本文重点讨论我国煤炭和金属矿产资源开发利用中产生的环境地质问题。

一、煤矿开采造成的环境地质问题

煤炭资源开采主要采用两种方式：井工开采和露天开采。开采方式不同，其对环境的损

害存在差异。井工开采对环境的影响主要包括三方面：开采沉陷对土壤环境、水资源环境及生态环境的影响、矿山废弃物(矸石、尾矿水等)对生态环境的影响和开采过程中的温室气体和矿井水排放对大气、水环境的影响。

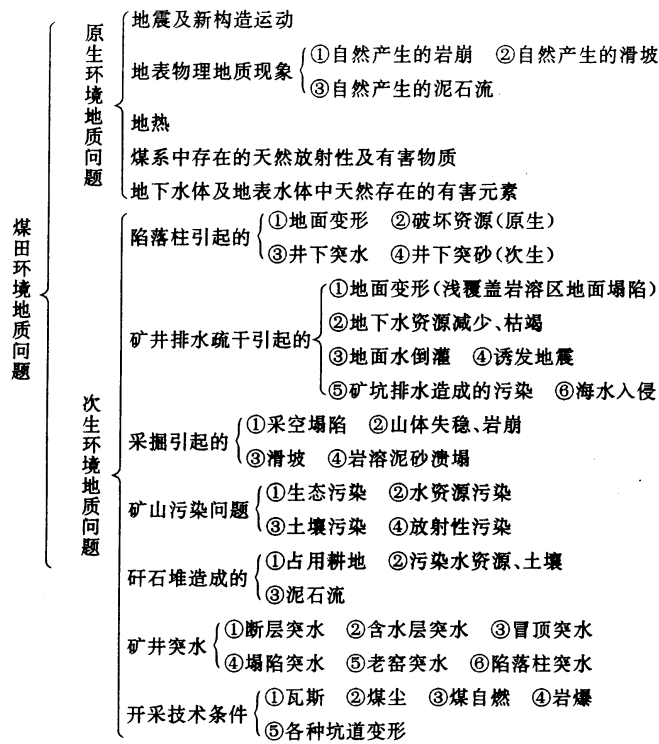


图 6-3 煤矿区环境地质问题分类（据张希腾, 1992）

1、煤矿地下开采造成的环境地质问题

煤炭的开采方式可概括分为地下开采和露天开采两大类。目前，我国煤炭开采以井工开采为主，约占整个煤炭产量的 97%，煤矿开采深度普遍在 1000m 以内。露天开采时需先挖走覆盖在煤层上面的全部岩石(这种工作称为剥离)，然后再进行采煤。所以，一般只适用于开采覆盖岩石比较薄的浅部煤层。地下开采又称为井工开采。

(1) 开采沉陷：

煤炭被采出后，形成采空区，随着采空区面积增大，煤层顶板岩层在大面积裸露状态下弯曲、断裂、垮落，应力重新分布，达到新的平衡。垮落过程引发采空区周围岩体变形、松动、乃至破坏，也使采空区上覆岩层和地表产生连续的移动、变形和非连续的破坏（开裂、冒落等），随之弯曲下沉。上覆岩层的这种弯曲达到地面后，即形成地表塌陷的现象, 这种现象称之为开采塌陷。

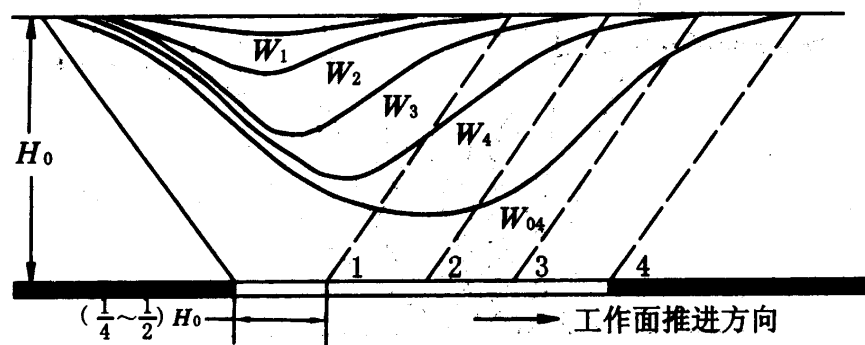


图 6-4 地表移动盆地的形成过程（据何国清，1992）

不管是连续性的地表移动盆地还是非连续性的地表下陷，都会对地表环境产生重大影响，主要表现在以下几个方面。

1) 破坏地表环境。塌陷造成地表积水，耕地减少，粮食减产绝产，地表田地成为洼地，生态环境恶化。如江苏 200 多座煤矿所造成的塌陷灾害面积达 127km^2 ，平均每采 10000t 煤塌陷面积 2670m^2 ；山西省统配煤矿发生塌陷、地裂缝的面积达 246.2km^2 ；淮河沿岸的塌陷区近 26.61km^2 积水，最大水深 15m ，严重影响了当地的工农业生产和生态环境。

2) 损坏地表或地下建筑物。下沉本身使楼房地基产生不均匀沉陷，导致建筑物开裂，甚至倾倒，下沉伴生的裂缝也可直接破坏建筑物。如辽宁本溪市在已采空的 18.7km^2 区域中有 6.5km^2 的地面建筑遭到破坏，采空区地表平均下沉 2m ，最大 3.7m ，塌陷造成建筑物墙体开裂、房屋倾斜、甚至倒塌，地上和地下的供水、排水、供热、通讯、人防等管网和设施遭受不同程度的破坏。黑龙江七台河市是一座新兴的煤炭工业城市，原市中心建在煤田之上，截至 1991 年，市区范围内采空面积达 $4199 \times 10^4\text{m}^2$ ，塌陷平均深度 2m ，塌陷造成倒塌房屋 476 间，因墙体开裂无法居住的民房 $12.9 \times 10^4\text{m}^2$ ，市区道路、通讯设施、管道等遭受不同程度的破坏。

3) 造成矿井的报废或灾难。沉陷的加剧，会导致井下塌方和突水，从而造成矿井报废，甚至出现人身灾难。

（2）地表岩溶塌陷问题

岩溶地面塌陷的严重危害，主要表现在：①破坏地表供水水源。常导致水库干涸、河流断流，如湖南涟邵的思口、斗笠山、桥头河矿区在岩溶塌陷过程中，曾先后引起矿区内 33 条溪水断流，600 个池塘和 700 多处泉水干涸，曾使 5 万人发生水荒。②破坏地面工程设施和房屋道路的安全，如广西玉林鸭爪窝水源地在地下水开采过程中，产生塌陷 130 多处，引起玉林发电厂主要设备基础倾斜、办公楼不均匀下降、主厂房基础上部砖墙开裂，安全受到严重威胁。③引起降水、地表水回灌，危及矿井安全，轻者增大矿井涌水量，加大排水费用，严重时还会造成淹井事故，如涟邵矿区，因此而发生大小淹井事故达 37 次之多，雨季排水费用可超过吨煤成本的 50%。④破坏自然环境，加剧水土流失，从而破坏矿区环境，改变生态平衡。此外，塌陷的形成也为地表水的渗入创造了条件，当塌陷区域接近地面排污系统

时，地下水更易受到污染，很多岩溶塌陷区由于供水开采强度过大，岩溶塌陷，污水进入，则可能威胁到供水水源地的正常使用。

（3）水资源环境破坏问题

1) 水资源平衡破坏：煤矿开采排水，首先改变了采区范围地下水的补给、径流、排泄条件，使地下水的流场、流向发生变化，在“矿井三带”影响范围内，地下水可以直接流入矿井；其次，局部改变了自然条件下降水与地表水和地下水之间的转化关系，在采区范围内，“三水”均补给矿坑水；最后，受煤矿开采三带的影响，导致煤系各含水层发生了水力联系，引起含水层水位下降，水量发生变化。从目前各煤矿水文地质条件及排水现状分析，采煤对水量影响主要表现为水量减少、水位下降。

2) 对地表与浅层地下水的污染：矿井水往往具有酸度高、悬浮物浓度大、含重金属离子等特征，另外，也产生 F^- 、 CN^- 、 $Cr_2O_4^{2-}$ 、 $Cr_2O_7^-$ 、酚等有害阴离子污染物。它对地表河流等水资源产生较大的污染。大部分矿区吨煤排水量为 $2\sim 4m^3$ ，少数矿区吨煤排水量达数 $10m^3$ ，矿井水主要来自地表渗水、岩石孔隙水、地下含水层疏放水以及煤矿生产中防尘、灌浆、充填污水等。我国煤矿年排矿井水量约 22 亿 m^3 ，矿井水的特点是排放量大，但毒性一般较小或无毒性，多呈中性。

（4）煤矸石的不合理处置产生的环境地质问题

一般认为，煤矸石综合排放量占原煤产量的 15~20%。中国是世界上最大的煤炭生产国和消费国，2000 年全国煤矸石排放总量达 1 亿多吨，除综合利用约 6000 万 t 外，其余部分作为工业固体废弃物混杂堆积，煤矸石是目前我国最大的固体废弃物源，约占全国工业废渣排放量的 1/4。煤矸石一般都是露天堆放，常年风吹日晒，雨水冲刷，风化分解，从而产生大量粉尘、酸性水、携带有重金属的淋滤水，污染大气、土壤、地表水或地下水。

（5）矿井地质灾害

1) 井巷工程围岩松动与冒落：煤矿巷道掘进以后，由于卸荷回弹，应力和水分的重分布常使围岩的性状发生很大变化。如果围岩岩体承受不了回弹应力或重分布应力的作用，就会发生变形或破坏。围岩岩体变形及破坏的形式和特点，除与岩体内的初始应力状态和变形有关外，主要取决于围岩的岩性和岩体结构。

2) 冲击地压：冲击地压又称岩爆，是指承受强大地压的脆性煤、矿体或岩体，在其极限平衡状态受到破坏时向自由空间突然释放能量的动力现象，是一种采矿或隧道开挖活动诱发的地震，在煤矿、金属矿和各种人工隧道中均有发生。岩爆发生时岩石块或煤块等突然从围岩中弹出，抛出的岩块大小不等，大者直径可达几米甚至几十米，小者仅几厘米或更小。大型岩爆通常伴有强烈的气浪和巨响，甚至使周围的岩体发生振动。岩爆可使洞室内的采矿设备和支护设施遭受毁坏，有时还造成人员伤亡。

3) 煤与瓦斯突出: 在煤矿地下开采过程中, 从煤(岩石)壁向采掘工作面瞬间突然喷出大量煤(岩)粉和瓦斯(CH_4 、 CO_2)的现象, 称为煤与瓦斯突出。而大量承压状态下的瓦斯从煤或围岩裂缝中高速喷出的现象称为瓦斯喷出。

4) 煤层自燃: 煤层自燃是指在自然环境下, 有自燃倾向的煤层在适宜的供氧储热条件下氧化发热, 当温度超过其着火点时而发生的燃烧现象。

5) 矿井水害: 矿井水害主要包括矿井突水, 是煤矿常见的地质灾害, 它不仅严重地威胁煤矿的安全生产, 而且往往造成重大伤亡事故和财产损失。

6) 矿井热害: 热害是矿井自然灾害之一, 随着矿井开采深度增加和机械化水平提高, 我国矿井热害问题日益突出, 它主要表现在两个方面: 一是在现生产水平还未出现高温热害的矿井, 下一水平开采就可能出现高温热害; 二是目前水平仅局部出现高温热害, 下一水平就有可能出现更加严重的热害问题。

(6) 大气污染

1) 有害气体排放: 排入大气的主要成分是温室气体甲烷, 直接影响到人类的生存环境。此外, 在井下其他作业过程中还产生部分有害气体, 如井下使用的硝胺炸药在放炮中产生 CO 、 NO 和 NO_2 ; 使用柴油动力机械排放的废气中含有大量的 NO_x ; 煤炭自燃产生 CO 、 CO_2 等。为了井下生产安全, 通常采用通风方式将井下的有害气体抽出排入大气中。这些气体都是造成大气污染和温室效应的有害源,

2) 粉尘: 粉尘的主要成分是硅和铝的化合物, 煤矿采掘工人患职业矽或硅肺病, 采煤工人患职业的煤肺病就是二氧化硅和煤尘微粒在肺部沉积的结果, 煤矽肺病是二者混合沉积的结果, 在矿工职业病中见得更多。

2、露天开采造成的主要环境地质问题

(1) 露天开采对土地资源的破坏

露天开采对土地资源的破坏主要表现为对土地的直接挖损、外排土场和尾矿排弃场压占土地。

(2) 露天矿开采对水环境的影响

1) 使含水层水位下降。为保证露天采场的安全生产, 对采场周围的地下水需要进行疏干排放。

2) 露天采场内基岩裸露, 使流入露天采场内的地下水酸化并遭受重金属等有害物质的污染。

3) 露天矿大量排放的酸性水和排土场淋溶酸性废水, 对周围水体均产生一定的污染。

(3) 露天开采对大气环境的影响

露天矿对大气环境的污染主要表现为露天爆破和排土场扬尘。

二、金属矿山开采的环境地质问题

1、矿井水的环境地质问题

矿井水排放造成的土地与地表水的污染,但是多数金属矿山的矿区因受矿井水的污染严重的多。主要原因是多数金属矿山的矿井水的理化指标复杂,酸性水排放较煤矿山普遍得多。在众多的金属矿山中,以金属和非金属硫化物矿床开采的酸性矿井水问题最为突出。

2、矿渣与尾矿引起的环境问题

矿渣是金属矿山生产过程产生的固体废物。尾矿,就是选矿厂在特定经济技术条件下,将矿石磨细、选取“有用组分”后所排放的废弃物,也就是矿石经选出精矿后剩余的固体废物。所引起的环境问题除在矿区内压占土地外,同时造成矿区土壤环境、水环境与大气环境的污染。这类固体废物在表生作用下,重金属和其它有害物质的释放,污染矿区土体与水环境。

6.2 矿山地质环境治理

地质环境治理: 由于漫长的地球演化历史,不同地区因地质条件和气候与水文等条件存在很大差异,加之不同方式不同程度的人类活动,从而造成不同类型的地质环境条件或地质灾害的类型。边坡失稳、泥石流、岩溶塌陷、地面沉降、土壤荒漠化等都是常见的地质灾害类型或地质环境问题。这些地质环境问题若不能被充分认识和有效地得到治理解决,它们将会产生巨大的环境影响,甚至造成巨大的地质灾害。地质环境治理工作就是采用工程治理与生态修复的方法对各种地质灾害和地质环境问题进行治疗,消除隐患、恢复环境。

一、矿山地质环境的工程治理技术

1、矿山地面减沉技术

(1) 井下矸石(水砂)充填减沉技术: 充填就是利用砂、石以及厂矿的炉渣、尾矿等充填材料将采空区充满,借以支撑围岩,防止或减少围岩的跨垮落和变形的一种顶板管理方法。目的是减小地面沉陷,最大程度地减小开采沉陷对地表环境的影响。

1) 矸石充填减沉技术: 矸石不出井,直接在井下充填可以消除矸石山及其对周围环境的污染和破坏,也可以减少开采沉陷造成的多方面危害。

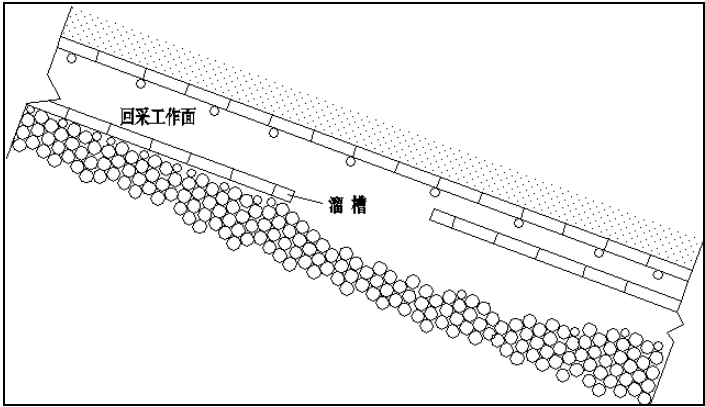


图 6-5 煤矸石充填工作面示意图

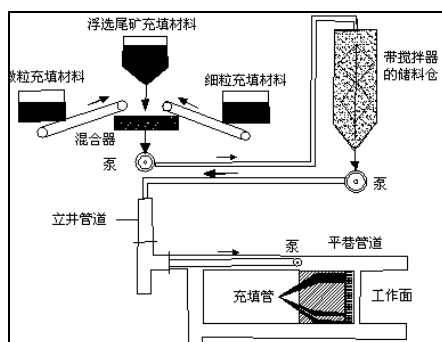


图 6-6 冒落矸石空隙注浆胶结充填的工艺流程

2) 水砂充填减沉技术：目前我国所用的充填法，除部分急倾斜煤层应用自溜填充法外，几乎全部是水力填充，习惯上称水砂填充，也叫湿式填充。使用水砂充填采煤法的矿井，其主要特点是需将大量的填料利用水力运入采空区。因此必须建立为输砂、排泥、排水所需要的工程和设施，以及由他们组成的一系列的生产系统。

(2) 覆岩裂隙带注浆加固减沉技术：注浆减沉工程实验和理论研究证明：注浆减沉起作用的应是灰体。在离层带中，注浆浆液首先是粉煤灰颗粒沉淀，在底层形成饱和水灰体，其上的注浆水则会通过岩层裂隙、孔隙渗流到岩层中，注浆水最终大部分储存于围岩的孔隙或裂隙中，少部分渗流到别处，沉淀于裂隙中的饱和水灰体，在注浆结束之后，要起到支撑上覆岩层的作用，在覆岩压力作用下，饱和水灰体会失去部分水分，最终形成含有一定水分的压实湿灰体，而真正对覆岩与地表下沉起到减沉作用的正是这种压实湿灰体。

2、地表塌陷的治理与复垦技术

(1) 煤矿塌陷地煤矸石充填复垦：当塌陷地自然回填的煤矸石作为建设用地地基时，其地基承载力是不能满足建筑和道路工程要求的，必须进行地基压实处理，以提高地基的紧实度，才能达到工程要求。

(2) 煤矿塌陷地粉煤灰充填复垦：电厂粉煤灰充填造地复田，方法简单、经济、安全。利用电厂原有设备和增加所需要的输灰管道，便可将灰水直接充填到塌陷较深区域，充填灰水比例以 1：10~1：20 为宜。

(3) 非充填复垦：在低潜水位塌陷区，治理模式可仿效北方丘陵山区的“围山转”绿色工程，在塌陷盆地底部挖塘蓄水或打井灌溉，使复垦后的塌陷区成为浇灌型保水、保土、农果相间的陆生生态系统。在中潜水位塌陷区塌陷可造成局部积水或季节性积水，复垦模式是将盆地低部深挖成能蓄水养鱼的深水池塘，使其同时具有蓄洪和浇灌功能，将周围“坡子地”改建为围绕塌陷盆地的宽条带水平梯田，将塌陷前单一陆生农业改造为水陆结合型农业。在高潜水位塌陷区，常年被水淹没，可仿效江南水乡基塘模式，将塌陷区复垦为鱼米之乡，努力发展高产值、高效益农业。

3、煤矿矸石山和金属矿山生态修复技术

(1) 煤矸石山的生态修复技术

1) 覆土绿化技术：覆土绿化是在矸石山表面覆盖一定厚度的土壤、粉煤灰、污泥等。

2) 无覆土绿化技术: 无覆土绿化就是将植物直接栽种于煤矸石山表面的矸石风化物上, 对矸石山只采用适宜的整地方法 (带状整地或块状整地), 然后在植树穴或植树带内进行适量“客土”, 而不采用表面全部覆土、覆污泥等基质改良技术。

(2) 金属矿山生态修复技术: 包括 1) 废弃地前期处理; 2) 废弃地植被恢复 (植物修复)

二、地质环境生态治理修复技术

1、土壤环境生态修复技术: 土壤的生态修复是基于生物的方法, 转移、吸收、降解和转化土壤中的污染物, 使其浓度降低到可以接受的水平, 或将有毒有害的污染物转化为无害的物质以祛除土壤中的污染物。包括动物修复、植物修复和微生物修复技术。

1) 动物修复技术: 通过土壤动物群的直接 (吸收、转化和分解) 或间接作用 (改善土壤理化性质, 提高土壤肥力, 促进植物和微生物的生长) 而修复土壤污染的过程。

2) 植物修复技术: 利用自然生长或遗传培育植物修复污染土壤的技术。

3) 微生物修复技术: 利用微生物将环境中的污染物降解或转化为其他无害物质的过程。从修复场地来分, 土壤微生物修复技术主要分为两类, 即原位微生物修复和异位微生物修复。原位微生物修复技术主要有: 生物通风法、生物强化法、土地耕作法 and 化学活性栅修复法等几种; 异位微生物修复是把污染土壤挖出, 进行集中生物降解的方法。主要包括预制床法、堆制法及泥浆生物反应器法。

2、地下水环境生态修复技术

地下水生态修复技术可分为异位修复和原位修复两类。原位生物修复技术就是指对被污染介质 (指地下水) 不做搬运或输送而在原位进行的生物修复处理; 而异位生物修复技术则是指对被污染介质 (指地下水) 搬运或输送到他处进行的生物修复处理。

(1) 地下水原位修复技术: 原位生物修复是在基本不破坏土壤和地下水自然环境的条件下, 将受污染的地下水原位进行修复。原位生物修复又分原位工程生物修复和原位自然生物修复。

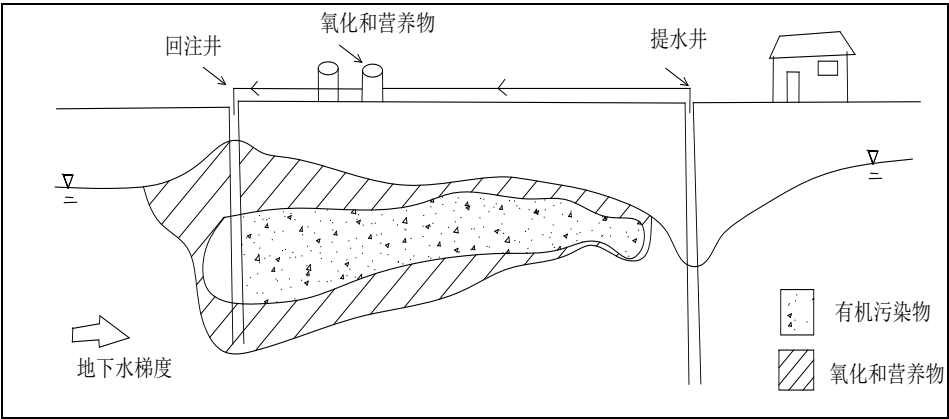


图 6-7 抽提地下水系统和回注系统相结合的生物修复系统

(2) 地下水异位生物修复：异位生物处理，通过一定方法，将地下水中的液态污染物与气态污染物抽取出来，在地面建造的处理设施内进行生物处理净化，它分为泵-处理修复和气提修复。

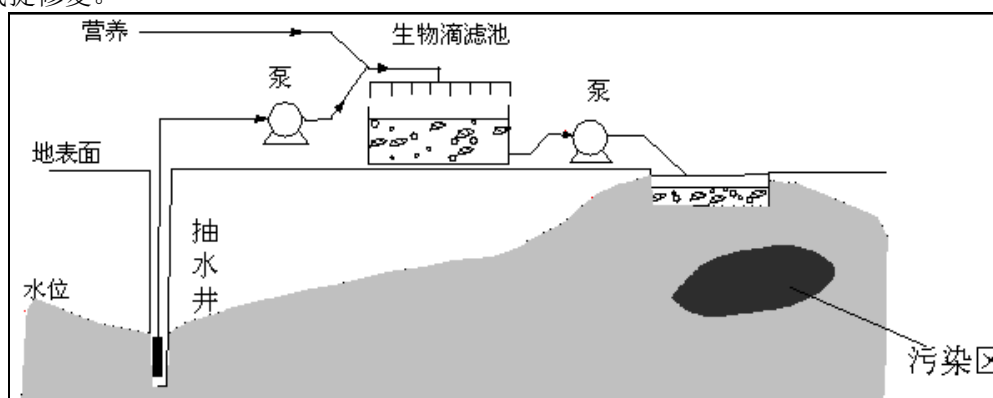


图 6-8 生物滴滤池修复污染地下水过程

3、边坡与山石采场生态修复技术

国内外现今所采用的边坡和宕口的生态修复技术主要是靠植物根茎与土壤间的附着力以及根茎间的互相缠绕来达到加固边坡、提高坡面抗冲刷的能力。

主要修复技术包括：建立人工植被、植生带、液压喷播、网袋工程、框格工程、客土种子喷播工程、厚层基材喷播、OH 液植草护坡、植被型多孔混凝土护坡等。

思考题：

1. 矿山地质环境问题类型？
2. 矿山地质环境治理技术分类？

本章讨论的主题及要求：

主题：两淮矿区地质环境治理技术

要求：(1) 课前请查阅相关资料，理清关于主题的知识内容体系；

(2) 请 2 位同学大体上介绍自己的认识，时间为 10 分钟；

(3) 围绕主题，由指导老师组织，结合同学认识开展讨论。

第7章 地质环境调查与地质灾害危险性评价

7.1 地质环境调查

一、环境地质调查的内容

环境地质调查的目的是通过对区域地质环境条件和由自然地质作用及人类活动引起的环境地质问题的调查研究，评价预测地质条件演化过程及人类活动过程造成的地质环境变化，论证重大区域性环境地质问题和有关地质灾害的地质环境背景，拟定相应的地质环境保护对策，为区域经济社会可持续发展、生态环境建设与地质环境保护提供科学依据。

环境地质调查的具体任务是：查明区域地质环境条件，调查主要环境地质问题和地质灾害的类型与特征、成因机制、分布规律及其危害程度，分析地质环境系统演变的规律特征，评价预测其对人类生存环境的影响以及人类活动过程对地质环境的影响，预测地质环境的发展趋势；编制环境地质图系，开展环境地质区划；研究重大环境地质问题和有关灾害的地质环境背景，在论证地质环境综合整治的基础上，提出相应的保护对策。

环境地质调查的对象和目的千差万别，涉及的内容十分广泛，其基本内容应包括以下几个方面：

（1）区域地质环境条件：对区域性地质环境的调查，主要包括气象、水文、地形地貌、地层岩性、地质构造及水文地质条件等。

（2）区域地壳稳定性：对区域性大陆地壳或岩石圈的活动性，特别是活动断裂的运动特征与地震活动特征的调查等。

（3）岩土体的物质组成与结构特征：对岩土体的粒度成分与矿物成分、成因类型，岩体结构类型，工程地质岩组类型等方面的调查。

（4）资源开发与利用：对水资源（地下水和地表水）、土地资源、矿产资源等资源在开发利用过程中所引发的环境地质问题的调查。

（5）地表水、地下水特征：对地表水的径流特征与水质状况，地下水补给、径流、排泄特征，地下水水文地球化学特征，含水层的物理力学性质等方面的调查。

（6）物理地质现象（地质灾害）：对内、外动力地质作用下发生的各种地质灾害的稳定状态、发育规律、危害方式、危害程度和发展趋势的调查。

（7）环境地质问题：对环境地质问题的类型、特征、分布、危害程度及其发展趋势的调查；对重要环境地质问题专项调查与示范研究。

（8）人类工程活动：对人类工程活动的类型、强度、范围、历史、已造成的危害和未来趋势以及地质环境对人类工程活动的敏感性与反馈作用的调查。

（9）环境污染源：对环境中污染源的类型、特征及分布，污染物种类与危害性，污染物质的迁移、转化途径的调查。

（10）地质环境综合整治措施：针对现有环境地质问题采取的综合防治措施及其治理效

果等。

二、环境地质调查方法

从学科关系考虑,环境地质学是地质学与环境科学之间的交叉科学。它的产生、发展是与现代科学技术的发展、社会生产力的提高以及人类对地质环境的改造是密切相关的。研究环境地质学的最终目的是为了在深入认识原有地质环境的基础上,进一步了解人类活度对其造成的影响,以有效解决在国民经济和社会发展过程中所出现的环境问题,为人类提供适于生存与可持续发展的良好环境。因此,其调查方法应注意以下几个方面:

首先,要以地质环境的调查为基础。从环境地质学的研究内容(即地质作用引起的环境地质问题与人为作用引起环境地质问题)来看,各种环境地质问题的发生都是在地质环境的基础上进行的。因此,环境地质调查必须进行实地地质调查,掌握最基本的地质背景条件。

其次,要以系统理论为指导。从总体上对地质环境的各个方面(大气、水、生物、岩石圈、各种资源以及物质的能量转换过程等)和各种问题(污染、洪水、干旱、地震、塌陷等)进行综合调查,调查时应着重于各种环境地质问题的相互联系以及人类和环境地质的相互关系。此外,环境地质问题的调查还要区分不同层次,如森林退化是一个在大范围内长期起作用的影响全局的问题,而岩溶塌陷、地震、火山爆发等虽然也有一定的影响范围,但比起前者其影响范围相对要小,因而在调查时范围是明显不同的。

最后,环境地质学是一个涉及面广泛的综合性学科,除了吸取地质学与环境科学的调查方法与手段外,还要吸收其它学科领域研究的新技术与新手段,如遥感解译、地理信息技术、全球定位技术、海洋探测研究、南极考察研究以及地球物理进展、电子技术等。

基于上述描述,环境地质调查的方法主要包括遥感解译、地面调查、物探、钻探、原位及室内实验分析、长期动态观测等。

1. 遥感解译

利用研究区的航空或卫星遥感影像资料,通过对比分析,提取不同时期的环境地质信息与演变趋势。

遥感解译具有时效性好、宏观性强、信息量丰富等特点。但也存在一定缺点,即:人们对遥感技术比较陌生,使得遥感技术在环境地质调查中难以发挥应有的作用;环境地质遥感调查工作需要多时相的实时或准实时的遥感信息源,而这种信息源价格昂贵;当前常用的遥感信息源空间分辨率较小,难以满足环境地质的详细调查工作,这使得遥感技术仅在宏观调查中应用广泛,而在微观上应用较少。虽然具有以上缺点,该调查方法已经逐渐成为环境地质学调查的主要方法之一,应用广泛。如目前对青藏高原、青藏交通线等方面的环境地质调查研究都采用了该方法。

2. 地面调查

充分利用已有基础地质资料,补充必要的野外调查。重点调查研究区地质环境条件及其

演化规律、主要环境地质问题、人类工程活动的类型及其环境地质效应等，同时验证遥感影像资料的解译成果，该方法是对遥感解译的较好补充。

3. 地球物理勘探

根据研究区特点和有待查明的环境地质问题，有的放矢地采用先进适用的技术方法开展物探方法调查工作，注意做好物探成果的综合解译与查证。地球物理勘探方法包括航空物探、地面物探和测井（硃探）等；从物理原理上讲，有电法、地震法、重力法和磁法等。目前正在发展的 3S 成像在环境地质调查中已发挥重要作用。

4. 钻探

主要用于区域性控制和专门问题的查证，以及地质环境监测点的布设。

5. 原位及室内实验分析

为分析研究地质环境演变规律，在地面调查阶段，采集水体、土壤和岩石等样品，利用古地磁、热释光、同位素年龄、孢粉、微体古生物、原子吸收光谱法、离子色谱法、超声波和流变仪等测试技术开展原位实验分析及实验室测试分析，获得环境地质评价所必须的数据资料。

6. 动态监测

根据工作区地质环境条件和需要解决的问题，确定监测项目、监测网点布置原则、布设位置、监测内容与要求、监测工作量等。如用于观测地震、活动断裂、地下水、危岩体或滑坡的长期动态观测可为环境地质问题的发生发展提供重要数据，监测手段有地面位移（三角控制测量、微震台网和短基线测量等）、深部位移（多层移动测量计、测斜仪和磁标志法等）、热红外跟踪摄影与现场声发射（AE）自动记录仪和 GPS 等。为确保监测周期，控制性的监测点应在工作初期布设并运行。

7. 地球化学勘探

地球化学勘探在查明活动断裂分布与活动性以及地裂缝、地下岩溶发育程度等方面具有重要作用，通过探测汞、钍、铀和氡等放射性或挥发性元素的含量，分析评价不同区域的环境地质条件。

8. 环境地质信息系统建设

以建立环境地质空间数据库系统和评价、预警与综合整治计算机辅助决策系统为目标，实现环境地质评价数据标准化和监测数据采集的自动化，评价、预测和综合防治研究的模型化、可视化与人工智能化。

7.2 地质环境条件评价

一、地质环境条件评价的目的与意义

随着人类对资源需求的剧增，人类活动对地质环境的影响越来越大，而地质环境对人类活动的干扰则表现出两种不同的反应趋势——良性反应（正环境效应）和恶性反应（负环境效应）。人类活动的方式以及地质环境的反馈作用共同构成了环境地质学的重要理论与实践基

础。

（一）关于地质环境的质量

地质环境的质量，在一定程度上由地球物理因素和地球化学因素决定，其好坏对人类的生活和社会经济的发展都会有很大的影响。地质环境质量的好坏，可以由以下几个方面的条件来确定：

1. 自然地质条件的稳定性

自然地质条件是决定地质环境质量的主要因素，其中最重要的地质条件有：地质构造的稳定性、地形稳定性、地基稳定性、岩层性质以及地质灾害发育情况。

2. 原生地球化学背景

人类生存于地球化学场的作用下，钙、镁、钾、钠、碳、氮、氧、磷等元素及某些微量元素是人体和其他生物体发育所必需的。环境中某些元素含量过高、过低或存在对人体有害的其他元素，均会给人的健康带来危害，所以环境的地球化学背景值是地质环境质量的一个重要标志。

3. 地质资源的丰富程度

矿物资源、能源资源、土地资源、地下水资源、建筑材料资源和地质空间资源等是人类赖以生存和发展的重要物质基础，人们的生活水平与地质资源的丰富程度及其可用价值的大小密切相关。矿产资源、能源资源和地下水资源等资源的储量和开采价值也是社会财富的一种衡量指标。没有可供人类利用的各种地质资源，现代人类文明是不可能出现的。

4. 抵抗人类活动干扰的能力

环境一方面为人类活动提供空间及物质能量，另一方面容纳并消化其废弃物。人类活动超出环境系统维持其动态平衡的抗干扰能力时，就产生种种环境问题。抗干扰能力差的地区，地质环境质量差，人类经济活动稍有不慎，就可以使地质环境状况更加恶化。例如，中国西北地区，气候干旱、植被稀少，人类活动的轻微干扰即会出现荒漠化等环境恶化的现象；处于半干旱气候条件下的华北平原，如农田水利活动不当，很容易加剧土壤盐碱化，地质环境质量较差。

5. 受污染或受破坏的程度

人类对自然界的干扰日益扩大，地球上几乎已不存在未受人类活动影响的区域。天然的地质环境越来越少，人为因素对环境的影响越来越大，评定地质环境质量的好坏，必须考虑人为因素的干扰程度。废弃物导致的环境污染、大型工程活动对生态环境的破坏均不同程度地改变了地质环境质量。

地质环境的整体质量取决于各组成要素的质量。但在评价地质环境质量的优劣时，除考虑各要素的平均状况外，还应找出质量最差的要素，并做出评价。因为，人类活动常常使环境质量最差的因素首先受到影响，从而引起地质环境的变异。

（二）地质环境评价概念及其意义

地质环境评价是指对一切可能引起环境质量变异的人类社会行为(包括政策、法令、规划、经济建设在内的一切活动)产生的环境影响,从保护环境和建设环境的角度进行定性和定量的评定。

若从广义上讲是对环境系统的结构、状态、质量、功能的现状进行分析,对可能发生的变化进行预测,对其与社会、经济发展活动的协调性进行定性或定量的评定等。

从词义上说,地质环境质量评价就是研究地质环境的优劣程度。它是认识和研究地质环境的一种科学方法。在对地质环境的开发和利用中,要确定地质环境质量状况对人类生存和发展的适宜性,就必须进行环境质量评价。

地质环境评价具有系统性、客观性和价值性。一个完整的地质环境评价过程包括对客体环境变化规律的认识,对主体人类社会各种活动结果的分析,对客体地质环境与主体人类社会之间需求关系和满足程度的评定,对主体、客体以及主体与客体之间关系演化趋势的预测等,是一个复杂的系统评价过程。

客体地质环境条件与主体需求是客观存在的,主体与客体之间的需求关系及满足程度也是一种客观存在。建立在环境质量客观性和环境价值客观性基础之上的地质环境评价同样具有客观性特征。地质环境条件评价要遵循客观规律。

地质环境评价是人类主体对地质环境系统状况的价值进行的判断和评定,不具有价值或不具有潜在价值的地质环境客体一般是没有评价意义的。

地质环境评价的对象是地质环境价值。

地质环境评价的目的是认识地质环境条件,确定地质环境质量状况对人类生存和发展的适宜性,指导建设规划、土地利用规划等。

地质环境评价的内涵与外延问题是继环境质量内涵与外延问题之后环境评价学中又一个基础研究课题。地质环境评价问题的研究对建立环境评价学体系具有理论意义。

环境评价学的研究领域广泛,涵盖了传统意义上的“环境质量评价”和现已广泛应用的“环境影响评价”的研究内容。地质环境条件评价是判断和评判地质环境条件的一种科学方法,对完善环境科学方法论具有重要意义。

地质环境评价是认识和研究地质环境的一种科学方法。通过地质环境条件评价,确定地质环境质量状况对人类生存和发展的适宜性,指导人类社会从环境保护和环境建设角度开发和利用资源。

环境评价是环境管理工作的一个重要组成部分,是做好环境管理工作的基础。地质环境条件评价是建设规划、土地利用规划等管理工作的基础。

二、地质环境条件评价方法、原则与程序

从词义上说,地质环境质量评价就是研究地质环境的优劣程度,它是认识和研究地质环境的一种科学方法。在对地质环境的开发和利用中,要确定地质环境质量状况对人类生存和发展的适宜性,就必须进行环境质量评价。

（一）地质环境质量评价概述

地质环境质量评价的范畴主要包括区域地质环境、城市地质环境、地质灾害、地质地貌类自然保护区和有明显地质地貌特色的风景名胜区、与地下水有关的地质环境以及矿山地质环境。

1. 区域地质环境质量评价

区域地质环境质量评价是为国土规划和国土整治服务的。国土规划要解决的问题，从根本上说是处理好人类活动与资源、环境的关系，使之能够相互协调发展。

无论是区域规划或是专题规划，国土规划都具有区域性特性。国土是指一定地域范围内自然资源和地质环境的综合体，所以，区域地质环境研究和评价，是进行国土规划和整治的重要基础。中国地域辽阔，自然地质环境条件各异，加强对自然的和人为的地质作用和现象的监测、评价，对保护与合理利用地质环境，搞好国土整治都具有实际意义。

对区域地质环境的监测、评价，不仅要评价其现有状态的区域规律，而且要研究地质环境条件在人类活动影响下可能发生的变化，预测地质灾害发生、发展的区域规律，以便合理地规划地质环境的开发利用和减轻地质灾害的危害。区域地质环境评价的重点是地质环境条件的区域规律、地质灾害、区域地壳稳定性和人类活动对地质环境的影响等四个方面。涉及的内容主要有各种工程建筑活动、开发矿产活动、农业生产活动、综合活动和地质灾害五个方面。区域地质环境评价可分为三个层次：①在区域地质环境调查、评价的基础上，制定区域地质环境开发、利用、保护和治理规划纲要，从宏观上解决区域地质环境开发利用的方向，存在的主要问题，治理和保护的重点及应采取的措施；②针对区域的重大工程和经济活动布局，预测人类活动对地质环境可能造成的影响，从而对工程项目的适宜性及其影响后果做出评价；③对区域内在建和已建的工程建筑活动、开发矿产活动，农业生产活动、地质灾害和综合活动等进行监测和评价，从时间、空间和强度三个方面，不断地进行变化趋势的预测、预报，为减轻和防治地质灾害提供依据。

2. 城市地质环境质量评价

这是地质环境质量评价的重点之一。因为城市是人类工程建筑活动和工业生产活动最集中的地区，对地质环境的影响最为突出。城市地质环境质量评价的重点是：①城市区地壳稳定性评价，包括地震活动性、断层活动性及由地震诱发的各种不良地质作用的强度；②地基稳定性，地基岩性、埋深、物理力学性质及地下水因素；③供水条件和水资源保护问题，水资源评价、合理开发、管理和保护；④城市废弃物处置的地质条件评价和监测；⑤建筑材料的调查和评价；⑥城市地质灾害(包括自然形成的和人类活动影响形成的)的评价、监测和预测。

城市地质环境质量评价必须贯穿于城市规划、建设和城市正常运行的全过程。但是，在城市建设的不同阶段，其监测、评价的内容和方式，应有所不同。

城市总体规划阶段主要围绕上述六个重点内容对城乡地区各类建筑物和交通干线的规

划布局和土地的合理利用做出评价。城市详细规划阶段则从地基条件和地质环境角度做出进一步评价,分析拟建工程的适宜性,并对地质环境可能发生的变化做出评价、预测。城市设计、开发阶段的评价主要是为各类拟建工程和场地选定提供有关地质环境质量优劣的依据,提出可采取的地质环境治理措施。城市运行阶段的环境质量评价任务是监测和评价城市开发过程及运行阶段可能出现的地质环境问题和灾害,及时进行预测、预报,采取有效的减灾和防治性措施。

3. 地质灾害的监测、评价

地质灾害包括自然地质灾害和人为地质灾害两大类。地质灾害种类繁多,对人类的危害广泛而严重。地质灾害监测与评价的重点是:①对各类地质灾害的地质环境背景进行评价;②研究各类灾害性地质作用发生和发展的规律、强度、形成机制及作用速率;③从工程建设和地质环境的相互作用出发,评价和预测各类工程建设可能产生的灾害性地质作用及危害程度;④对区域性和严重危害人类生产、生活的地质灾害开展长期监测,进行时间、空间、强度的预测、预报;⑤开展地质灾害的防治研究和指导防治工作。

4. 地质地貌类自然保护区和风景名胜区的評價

建设自然保护区是保护自然资源和地质环境的重要手段,也是科学研究和教学、实习的良好基地。自然保护区总面积占国土总面积之比值的大小,已成为衡量一个国家科学文化水平的重要标志。为使有经济、科研、旅游或其他特殊价值的地质资源和地质景观不遭受毁坏,有必要加强地质地貌类自然保护区的规划与评价。这类评价的主要内容是在区域及城市地质环境调查、评价的基础上,做出地质地貌类自然保护区和风景名胜区的规划,对拟建的保护区和风景名胜区进行环境质量评价,并建立监测、保护标志,拟订保护性方案和措施。

5. 与地下水资源有关的环境质量评价

对地下水进行环境质量评价,包括开发前期和开发过程中的评价。评价的主要内容有水源地质环境质量评价;对水资源可能引起的地质环境问题进行预测;加强地下水动态和污染的监测评价,在开发过程中制定区域开采和人工回灌计划,进行宏观调控,防止地下水的过量开采和造成新的地质灾害。

6. 矿山地质环境质量评价

随着生产开发利用规模的加大,矿山环境的污染和破坏日趋严重。矿山排放的废气、废水、废渣及尾矿对环境造成严重的污染和破坏,如水土流失、泥石流、地面塌陷等。矿山开发还存在着边坡失稳,地温地压增大,土地合理利用,水环境条件变化和土地恢复等问题。因此,需要加强矿山地质环境的监测与评价。

在矿山开发前,要对开发区及其临近区域进行环境地质评价,确定合理的开发方式和方案,并预测开发过程中地质环境可能发生的变化,为矿山合理布局提供规划依据。在矿山开发过程中,要加强地质环境的监测与评价,掌握环境变化的动态,提出对策,减少地质灾害。矿山开发后,仍要对地质环境变化进行监测和评价。同时,围绕矿山土地复垦,进行环境评

价。

三、地质环境质量评价指标体系

地质环境评价与地质环境区划是环境地质学科研究领域重要研究内容之一。但是，由于评价区域的规模、地质背景、社会环境和评价区的工程属性的差别，地质环境的评价指标也各不相同。如上述区域地质环境、城市地质环境、地质灾害、地质地貌类自然保护区和有明显地质地貌特色的风景名胜区、与地下水有关的地质环境以及矿山地质环境质量评价的内容则是完全不同的评价内容的范畴，因此具有不同的评价指标体系。但从地质环境的总体特征来看，任何一个评价区均涉及到自然的和社会经济的环境因素。因此，任何一种地质环境质量评价指标体系是有若干个单项评价因子及其权重值构成的有机整体，而且是多层次多因子的复杂指标体系。这些因子之间相互作用、相互制约的关系直接或间接地反映了地质环境质量的优劣程度。

建立能够综合体现地质环境质量状况及人类居住适宜性的指标体系是开展环境地质评价的基础。要选取众多指标中最敏感、最便于度量和内涵最丰富的主导性指标，使指标体系能够准确地描述地质环境质量现状和未来的变化趋势。

确立地质环境质量评价指标体系应遵循科学性、系统性、可比性、针对性、时空多层次性和可操作性的原则。

徐友宁等研究了我国西北地区矿山环境地质问题，提出了西北地区矿山地质环境质量评价体系。该体系将矿山环境质量评价分为两个层次一要素层和指标层。其中要素层分为资源毁损、地质灾害和环境污染 3 个要素，每个要素又包括若干个指标，一个指标又可用一个或若干个因子表征（图 7-1）。各要素的权值是指在评定矿山地质环境质量等级时，各要素在总的评价中的重要程度。各指标的权值则表征其在评定相应要素等级时的重要程度。

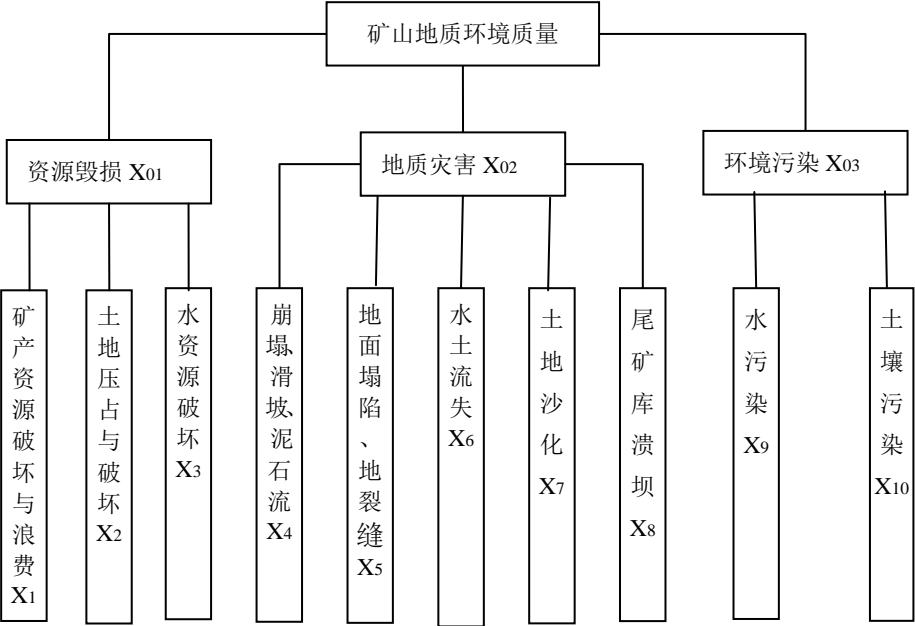


图 7-1 矿山地质环境质量评价指标体系（据徐友宁等，2006）

四、地下水环境质量现状评价

地下水环境质量评价主要是指对那些以地下水作为供水水源的城市和工矿企业区所进行的环境质量评价。这项工作必须建立在已有的地质、水文地质和环境水文地质调查的基础上，必要时还要进行环境水文地质的监测和试验。

地下水环境质量现状评价要求在全面掌握地下水污染现状、成因、范围和程度的基础上，系统地对主要环境水文地质问题做出定量评价和描述。

地下水环境质量评价，必须以地下水资源和地质环境的质量变化为重点，结合研究区的环境水文地质条件类型进行评价。

地下水环境质量评价的一般程序如图 7-2 所示。

（一）评价因子的选择与评价标准

1. 评价因子的选择

自然界中影响地下水质量的有害物质很多。在不同城市和地区，污染源的差异很大，污染物的种类也各不相同。因此，影响地下水质量因子的选择，要根据研究区的具体情况而定。一般来说，可选用对地下水质量有决定作用的因子，如氧平衡参数、无机污染参数、有机污染物参数、生物污染指数、毒理参数以及水的物理性质参数等。由于地表污染源、地层地质结构、地貌特征、植被特点、人类开发工程、水文地质条件及地下水开发现状等因素对地下水赋存、运移和质量的好坏有直接影响，也常把它们作为环境质量评价因子的选择对象。

2. 评价标准

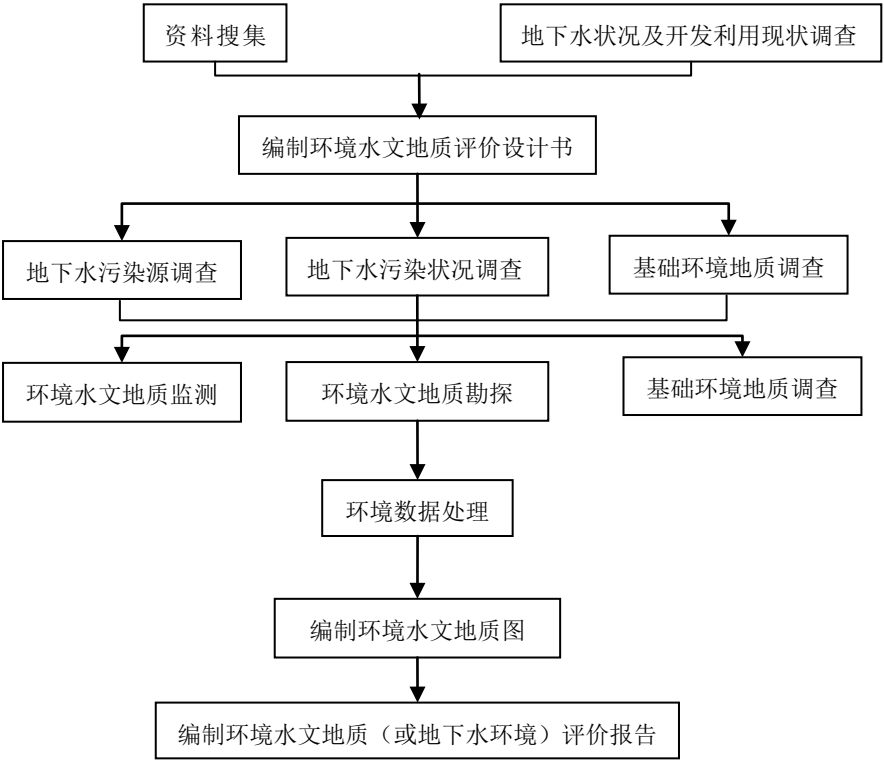


图 7-2 地下水环境质量评价工作程序框图（引自潘懋、李铁锋，2005）

评价标准是地下水评价的前提，在中国许多地下水污染现状评价中，无论是数理统计法或是单项指标制图法，都涉及到污染标准问题，而且各家认识不尽一致。

目前在国内比较流行的有两种标准：一是以国家饮用水标准作为评价标准，二是以地区的污染起始值或背景值作为评价标准；通常把前者称为环境质量评价，即地下水质量是否符合各种目的的用水标准；后者称为地下水污染评价，即研究地下水的污染程度。应当指出，地下水污染是一个从量变到质变的过程。以背景值为标准，有利于研究这一过程，而且能显示研究区某些特殊的环境特征。

如果取得地下水污染背景值比较困难，有时也采用对照值作为评价标准。对照值可以是历史水质数据，或者是研究区内无明显污染水点的地下水水质数据，即基线值；或者是研究区外，与研究区地质和水文地质条件相似地区的某些水点的水质数据。

（二）评价方法

地下水环境质量现状评价的方法很多，概括起来有数理统计法、环境水文地质制图法、综合指数法和模糊数学法等。在实际工作中可根据具体目的和研究程度来选择方法。

1. 数理统计法

这种方法是以前监测点的检出值与背景值或生活饮用水标准做比较，算出监测样品或监测井的超标率及其分布规律，最后进行污染程度评价。它适用于环境水文地质条件简单、污染物比较单一的地区，往往在环境质量评价的初期使用，该方法常常同环境水文地质制图法联合使用。

2. 环境水文地质制图法

环境水文地质制图法是以图件作为环境水文地质评价的主要表达形式，图件大体可分为三类：

（1）环境水文地质条件图系：包括地质环境分区图，主要反映表层地质环境，特别是第四系表层特性、厚度分区、地貌界限和微地貌形态；地下水资源赋存条件图，反映含水层的埋藏情况及天然防护条件；人工环境条件图，反映污染源的分布和自然环境中迁移扩散的位置以及人类工程活动对地质环境的影响。

（2）单要素地下水污染现状图：采用等值线或指示符号进行污染程度分级，以污染指数表示各种有害物质的污染程度。

（3）环境水文地质评价图系：包括地下水污染类型图，以污染源和地下水污染成因类型为依据，进行污染类型的划分；地下水水质综合评价图，以多项污染物质、多项指标等因素作为水质好坏的分级依据，综合反映水质的好坏。

3. 综合指数法

综合指数法即环境指数评价法。它是为了评价某一水井或某一地段地下水中各种污染因子综合作用的结果，以便互相对比。当地下水环境质量评价以地下水的背景值或污染起始值为标准，其计算结果称为污染指数；若以饮用水标准为准则进行评价，其计算结果称为水质

指数。

4. 模糊数学法

采用模糊数学模型,须先进行单项指标的评价,然后分别对各单项指标给予适当的权重,最后应用模糊矩阵复合运算的方法得出综合评价的结果。这一方法在地下水环境质量评价中已得到广泛的应用。

五、城市地质环境质量现状评价

城市地质环境质量主要是指地质环境(或背景)对城市发展和建设的适宜程度。

城市地质环境质量现状评价是研究城市地质环境质量构成及其时空变化规律的方法,其目的是为城市规划或工程建设布局提供决策依据。

(一) 城市地质环境质量的构成

对城市而言,地质环境包括岩土体、地质构造、水资源、地形地貌、内外动力地质作用等要素。因此,城市地质环境质量的构成主要有区域地壳稳定性、水资源状况、工程建设条件、外动力作用状况、人类工程经济活动状况等方面。

1. 区域地壳稳定性

区域地壳稳定性主要反映了城市建设的总体地质构造环境的优劣,它往往决定着城市的发展规模和城市类型。与工程地质有关的环境质量评价的核心问题就是稳定性的研究。影响区域地壳稳定性的因素很多,最主要的有三个,即断裂活动性、历史地震及地震烈度。

2. 水资源状况

水资源不仅反映了地表水、地下水的水量,而且反映水质状况,它在很大程度上限制着城市的人口增长和工业化进程。水资源的影响因素主要包括地下水、地表水的天然储量和水质状况的两个方面,如地下水水量、地表水径流量、地下水矿化度、人为排放的污水对环境的影响程度等。

3. 工程建设条件

工程建设条件直接影响城市工程建设的质量和市政设施的布局,它反映了地质环境对工程建设的适应性和敏感性,即地质环境是否会因为工程设施的修建而恶化,是否会加重或诱发不良的地质作用和地质灾害。工程建设条件还表现为天然建筑材料的数量和质量,其影响因素主要是地基稳定性、动力作用、地形地貌、地下水水位和水质、土体振动液化势等。

4. 外动力作用状况

外动力作用状况主要影响到城市市政设施的稳定性和运营状态。决定外动力作用状况的因素主要是流水、地形坡度、地貌单元等。

5. 人类活动状况

人类活动状况可能造成城市生态环境恶化,是对环境不合理利用的结果,它同样影响到城市的发展。如不合理开采地下水引起地面沉降而危及建筑物的安全等。

(二) 城市地质环境质量评价方法与程序

城市是在自然地质环境的本底上建立起来的人工环境。地质环境为城市提供了物质基础，城市建设在很大程度上改造了地质环境。城市地质环境质量评价包括定性评价和定量评价两种方法。

定性的评价方法有经验法、外推法、演绎法等。在城市环境质量评价中，它们常用于城市环境问题的分析、人类活动对地质环境影响分析、城市地质环境质量恶化的原因分析以及综合防治对策分析等。20 世纪 80 年代以来，在城市地质环境质量评价中，人们开始利用地质环境质量指数法、模糊数学法、灰色系统及系统工程等方法进行定量和半定量评价。近年来，费用效益分析方法也在城市地质环境质量评价中得到应用。

依据评价原理，城市地质环境质量评价主要按下述程序进行(图 7-3)：

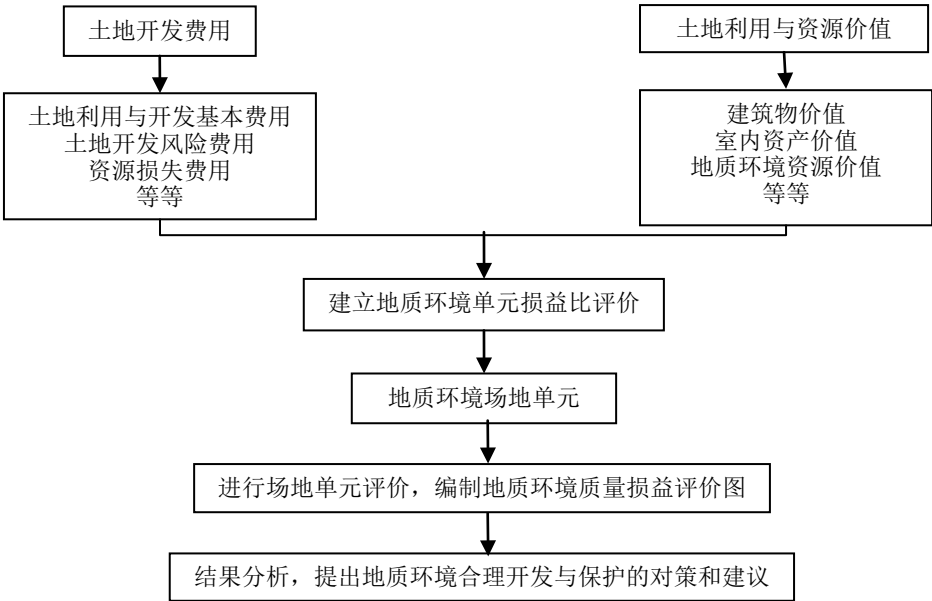


图 7-3 城市地质环境质量经济评价原理框图

1. 依据城市总体规划确定城市主要用地类型；
2. 调查获取土地利用的特征及所需的评价参数；
3. 依据城市地质环境主题要素，建立场地岩土模型，计算土地开发的基本费用；建立风险费用模型，计算土地开发的风险费用；
4. 建立地质环境质量损益评价模型，对地质环境场地单元进行评价；
5. 根据评价结果，编制城市地质环境质量评价图，并进行敏感度分析，确定土地利用的最佳选择方案。

六、区域地质环境质量综合评价

区域地质环境质量综合评价实质上是评价人类与地质环境之间的相互适应性问题。在某种程度上，可以认为它是研究地质环境、地质资源与人类活动之间的对立统一问题，是某一地区地质环境人类活动容量的总体评价。所以，一个地区地质环境质量的优劣，不仅与地质

环境、资源条件和环境地质问题的发育程度有关，而且与人类开发活动的饱和程度有关。

基于自然单元分级体系的区域环境质量综合评价将人类环境视为由许多不同的环境因子构成的自然单元，每一单元具有相对的均一性，高级单元的性状用低级单元的综合指标来表征。因此，评价环境因素和整体环境的质量时，可根据问题的性质，选择评价因子，并将其转化为可比的指标，然后按评价指标的相对重要性加权综合，用环境因素质量的综合指标来衡量整体环境的质量。

区域地质环境质量现状评价指标体系应包括地质体对工程建筑的适宜程度、地质资源的丰富程度与开发效益、水资源的丰富程度与开发利用的可能性、地质灾害与环境地质问题的发育程度以及地质环境的人类活动容量等(图 7-4)。

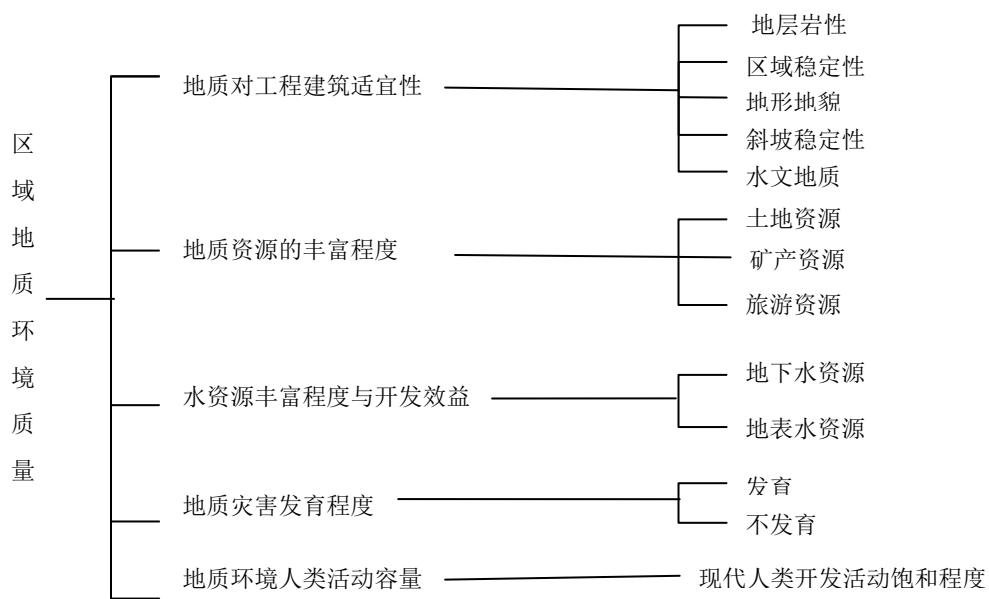


图 7-4 区域地质环境质量现状评价体系

7.3 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（张梁等，1998）。

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度分区。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度分区确定区域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（罗元华等，1998）。

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统计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（罗元华等，1998）。

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菲法、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。如地震灾害可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。

我国西藏波密易贡地区 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利用我国“资源”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，结合同家测绘局制作的 1: 250 000 电子地图，在滑坡的发生范围为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性评估。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；然后建方数学模型，利用数学模型对评价区域进行量化计算，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。

思考题：

1. 地质环境条件评价中的地质灾害的评价应包括哪些方面？与地质灾害危险性评价中所涉及的内容是不是一样，为什么？
2. 潜在灾害危险性评价要素之一的“地质条件”与地质环境条件评价中的“地质环境条件”是不是同一个概念？为什么？
3. 地质灾害危险性区域的划分要做哪些工作？具体的流程是怎样的？。

本章讨论的主题及要求：

主题： 给定某一特定区域，如何进行其矿山地质环境灾害危险性评价？

要求：（1）课前查阅相关资料，理清关于主题的知识内容体系；

（2）请 2 位同学大体上介绍自己的认识，时间为 10 分钟；

（3）围绕主题，由指导老师组织，结合同学认识开展讨论。