

中国地质环境变化 与对策研究

ZHONGGUO DIZHI HUANJING BIANHUA YU DUICE YANJIU

中国地质调查局发展研究中心

杨建锋 张翠光 冯艳芳 伍光英 著

地质出版社

中国民间文学艺术

与民间艺术

中国民间文学艺术研究会 中国民间艺术研究会 中国民间艺术研究会

中国民间文学艺术研究会
中国民间艺术研究会

中国地质环境变化与对策研究

中国地质调查局发展研究中心

杨建锋 张翠光 冯艳芳 伍光英 著

地质出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

中国地质环境变化与对策研究/杨建锋等著. —北京: 地质出版社, 2010. 12

ISBN 978 - 7 - 116 - 07086 - 8

I. ①中… II. ①杨… III. ①地质环境 - 研究 - 中国
IV. ①X141

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 260992 号

责任编辑: 卢晓熙

责任校对: 杜悦

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京市海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324501 (编辑部)

网 址: www.gph.com.cn

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京天成印务有限责任公司

开 本: 889mm × 1194mm 1/16

印 张: 10.25

字 数: 288 千字

版 次: 2010 年 12 月第 1 版

印 次: 2010 年 12 月第 1 次印刷

审 图 号: GS (2010) 1543 号

定 价: 48.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 07086 - 8

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

近年来频繁发生的特大自然灾害,在造成了巨大的生命和财产损失的同时,也空前地提高了社会公众对地质环境的关注程度。面对严重威胁着我国经济社会可持续发展的重大自然灾害,人们不禁要问:在自然灾害频发的背后,有多少原因与自然有关,有多少原因与人类自身有关?如何科学认识和评估区域经济发展与地质环境的相互关系?如何协调经济发展与环境效应,降低经济发展的地质环境成本?实际上,人类赖以生存的环境由相互渗透、相互作用、相互联系的大气环境、生态环境、水环境和地质环境所组成。然而,截至目前人们对地质环境的重视程度和认识程度还远远低于大气环境、生态环境和水环境。随着地质环境问题和地质灾害对经济社会发展的瓶颈作用日益凸显,全面、系统、深入地研究地质环境成为时代赋予我国地质工作者迫在眉睫的历史重任。

地质环境,既是经济社会发生发展的立足之本,又是发展所需矿产、土地、地下水等资源之源。而经济社会的发展,倘若一味追求经济的增长和物质财富的积累,那么它对地质环境的非理性开发、扰动和污染,迟早会累及人类自身,最终毁掉人类历尽千辛万苦所创造的社会财富和幸福家园。从辩证法的角度去看,经济社会与地质环境的关系是双向的、动态的:一方面经济社会发展不可能脱离地质环境的总体制约;另一方面也对地质环境的变化有着举足轻重的作用。我国古代先哲,从人类无力抗争而只能被动地依从自然界的认识出发,提出了“天人合一”的人与自然相处的朴素哲理。工业革命以来,人类凭借迅猛发展的科学技术,对地质环境进行了亘古未有的大规模开发和改造,创造了人类社会发展的奇迹。经济社会所取得的巨大成功,也让人类产生了“人是无所不能”的错觉,“改造自然、征服自然”一度统治了人地关系的思想领域。资源枯竭、环境污染、灾害频发,人类饱尝“高投入、高消耗、高污染”发展模式带来的苦果,迫使人们认真反思自己的行为。积极规范和调整经济活动行为,加强地质环境保护,主动地向着“人地和谐”迈进,成为21世纪人地关系的思想主流。

基于上述认识,本书从人地相互作用的理论视角,以人类活动作用下地质环境变化和对策为主题,系统论述了近几十年来中国地质环境经历的巨大变化,分析评价了地质环境变化驱动力和地质环境压力时空变化特征;以农业活动、地质资源开发、工程建设、城市化等经济活动变化趋势分析为基础,参考欧美主要发达国家经济发展指标,定性和定量相结合,预测了未来中国地质环境变化趋势;在此基础上,提出了中国地质环境调查总体战略和地质环境管理对策。近年来,我国地学界在地下水、土壤、地质灾害、矿山环境等方面取得了长足的进展,本书充分吸纳了其最新的研究成果。但是,与其他研究不同,本书并不关注于某一地质环境要素、现象或问题,而是将地质环境作为一个整体加以研究,从宏观上去把握和认识,力图使人们对地质环境的认识有一个完整的、清晰的轮廓,为地质环境规划、管理和保护提供决策依据。

全书共分七章。第一章在论述地质环境基本概念的基础上,回顾了人类与地质环境关系的演

化历史，概化得出了地质环境与社会经济相互作用的概念模型，将其概化为4个关键环节：状态层、压力层、问题层和管理层。第二章论述了中国地质环境的基本特征，采用简明、直观的指标以省级行政区为单元定量评估了区域地质环境的脆弱程度，同时又对地质环境中最活跃的地下水的区域作用进行了评价。第三章总结叙述了新中国成立以来不同时期地质环境变化特点，采用因子分析方法对地质环境变化中人类活动的驱动作用做出定量评价；分析了农业活动、地质资源开发、工程建设、城市化等对地质环境变化的驱动作用。第四章以物质流分析理论为指导，对全国和各省地质环境与社会经济的物质流进行了核算与分析；建立了地质环境压力评价指标，既考虑了区域经济活动强度，又考虑了区域生态承载力，对中国区域经济发展造成的地质环境压力进行了比较评价；简要总结了地质环境压力下地质环境问题时空分布。第五章首先展望了我国经济社会的发展前景，简要分析了未来全球变化和地震活动对地质环境的可能影响，重点论述了未来各种经济活动变化趋势及可能产生的影响。第六章分水文地质、环境地质和地质灾害，总结了国内外地质环境调查进展，梳理了我国在地质环境调查方面存在的主要问题，提出了未来我国地质环境调查的总体战略思想、战略目标、战略布局、战略重点和战略保障措施。第七章应用物质流理论分析了地质环境管理所包含的主要内容，并以上海市为例论述了地质环境管理工作方向，最后提出了我国地质环境管理的对策建议。

本书得到了中国地质调查局国土资源大调查项目“地质调查工作部署综合研究”和国土资源部国家可持续发展国土资源战略研究项目“地质工作发展战略研究”课题的支持。中国地质调查局、中国地质调查局发展研究中心等单位 and 领导给予了大力支持。中国地质调查局发展研究中心谭永杰研究员、施俊法研究员、叶锦华研究员，中国地质调查局文冬光研究员、郝爱兵研究员，中国地质调查局南京地质调查中心冯小铭研究员，中国科学院地理科学与资源研究所万书勤副研究员等专家审阅了全书，提出了宝贵的意见和建议；在论述我国地质环境调查进展中，引用了中国地质调查局及相关项目承担单位的成果总结内容，由于涉及的单位较多，未能在文中一一注明，在此一并致谢。

限于笔者的时间和水平，书中难免存在不足甚至错误，恳请同行专家批评指正。

目 录

第一章 地质环境概述	(1)
第一节 地质环境基本概念	(1)
一、地质环境的内涵	(1)
二、地质环境的社会经济属性	(2)
三、地质资源	(3)
四、地质环境问题	(5)
五、地质环境基本特征	(7)
第二节 地质环境变化驱动力	(8)
一、地质环境的形成与演化	(8)
二、自然驱动因素	(9)
三、人为驱动因素	(9)
第三节 地质环境与社会经济的关系	(15)
一、人类与地质环境关系演化	(15)
二、工业化进程对地质环境的影响	(19)
第四节 地质环境与社会经济相互作用概念模型	(20)
小 结	(21)
第二章 中国地质环境的基本特征	(24)
第一节 地质与自然地理基础	(24)
一、地质基础	(24)
二、自然地理基础	(25)
三、中国地质环境的先天脆弱性	(25)
第二节 中国地质环境分区	(27)
一、华北、东北平原丘陵山地地质环境区	(29)
二、华南丘陵山地地质环境区	(30)
三、西北盆地、山地、高原地质环境区	(31)
四、黄土高原、山西山地地质环境区	(32)
五、秦巴、西南中山高原地质环境区	(32)
六、青藏高原地质环境区	(33)
第三节 中国区域地质环境脆弱性初步评价	(34)
一、地质环境脆弱性评价指标	(34)
二、区域地质环境脆弱性评价结果	(35)
第四节 地下水对区域经济社会发展支撑作用评价	(37)
一、评价指标体系构建	(38)
二、数据来源与处理	(40)

三、评价结果与分析	(41)
小 结	(44)
第三章 中国地质环境变化与驱动力分析	(46)
第一节 不同时期中国地质环境变化特征	(46)
一、20 世纪 60 年代以前——原生地质环境相对稳定阶段	(46)
二、20 世纪 60 年代初至 70 年代末——地质环境问题孕育发展阶段	(47)
三、20 世纪 70 年代末至 90 年代末——地质环境急剧恶化阶段	(48)
四、21 世纪以来——地质环境持续恶化阶段	(50)
第二节 近 50 年来中国地质环境变化驱动力分析	(51)
一、研究方法	(51)
二、地质环境变化驱动因素分析	(52)
三、驱动因素时间变化	(55)
四、基本认识	(57)
第三节 经济活动对地质环境变化的驱动作用	(57)
一、农业活动对地质环境变化的驱动作用	(57)
二、地质资源开发对地质环境变化的驱动作用	(61)
三、工程建设对地质环境变化的驱动作用	(65)
四、城市化对地质环境变化的驱动作用	(67)
第四节 地质环境恶化主要原因分析	(70)
一、人们对地质环境的认识还远不成熟	(70)
二、工程经济活动重经济效益轻地质环境保护	(70)
三、地质环境管理薄弱	(70)
小 结	(71)
第四章 人类活动作用下中国地质环境压力评价	(73)
第一节 地质环境压力评价理论与方法	(73)
一、地质环境影响评价研究现状	(73)
二、地质环境压力评价基本思路	(74)
三、物质流分析	(74)
四、地质环境压力评价指标体系	(76)
五、生态承载力计算	(77)
第二节 中国地质环境与社会经济的物质流分析	(78)
一、数据来源与处理	(78)
二、国家水平的物质流分析	(79)
三、省域水平的物质流分析	(82)
第三节 中国区域地质环境压力评价	(89)
一、区域地质环境压力变化	(89)
二、2006 年区域地质环境压力指标比较	(97)
三、2006 年区域地质环境压力分布	(98)
第四节 地质环境压力下地质环境问题时空分布	(99)
一、工程经济活动引发的突变型地质灾害	(99)

二、地下水开采引发的地面沉降	(101)
三、矿产开采引发的矿山地质环境问题	(101)
四、农业活动引发的土壤退化问题	(101)
小 结	(102)
第五章 未来中国地质环境变化趋势	(104)
第一节 经济社会发展展望	(104)
一、经济社会发展趋势	(104)
二、区域经济发展趋势	(105)
第二节 气候、地震活动变化趋势及影响	(109)
一、气候变化趋势与影响	(109)
二、地震活动变化趋势与影响	(111)
第三节 经济活动变化趋势及影响	(113)
一、农业活动变化趋势及影响	(113)
二、地质资源开发变化趋势及影响	(114)
三、工程建设变化趋势及影响	(115)
四、城市化变化趋势及影响	(115)
五、污染物排放趋势及影响	(116)
小 结	(116)
第六章 地质环境调查战略研究	(118)
第一节 地质环境调查的内涵与基本内容	(118)
一、地质环境调查的定位与内涵	(118)
二、地质环境调查的基本内容	(119)
第二节 国外地质环境调查进展与趋势	(120)
一、水文地质调查	(120)
二、环境地质调查	(122)
三、地质灾害调查	(124)
第三节 我国地质环境调查进展	(125)
一、我国地质环境调查概况	(125)
二、国土资源大调查以来地质环境调查进展	(126)
三、存在的主要问题	(132)
第四节 地质环境调查总体战略与对策	(135)
一、总体战略思想	(135)
二、战略目标	(137)
三、战略布局	(138)
四、战略重点	(140)
五、战略保障措施	(143)
小 结	(143)
第七章 地质环境管理对策研究	(145)
第一节 应用物质流理论分析地质环境管理	(145)
一、状态管理	(146)

二、物质流管理	(146)
三、地质环境问题与地质灾害管理	(147)
四、地质环境监管	(147)
第二节 地质环境管理实例分析	(148)
一、上海市地质环境背景	(148)
二、主要地质环境问题与原因分析	(148)
三、上海市地质环境管理对策分析	(150)
第三节 中国地质环境管理对策建议	(152)
一、建立国家物质流核算体系	(152)
二、开展地质环境功能区划	(152)
三、建立完善地质环境应急响应体系	(153)
四、建立不同部门间协调合作机制	(153)
小 结	(153)

第一章 地质环境概述

人类赖以生存的地球表层，是一个由大气圈、水圈、生物圈和岩石圈组成的复杂体系。这四个圈层相互渗透、相互作用、相互联系，构成了人类生存和发展的总体环境。人类活动既受环境的制约和影响，又在不同程度地干扰和改造着环境。大气环境、生态环境和水环境已受到人们的高度重视，而对于以岩石圈为主的地质环境人们的认识还很不够。国土主体功能区划、地质环境管理、地质灾害防治、重大工程地质安全等重大课题的解决迫切需要对地质环境进行全面、系统、深入的研究。

第一节 地质环境基本概念

一、地质环境的内涵

地质环境是自然环境的重要组成部分，其物质组成、物理特性与大气环境、生态环境、水环境有着明显的不同。对于地质环境的内涵，不同的学者因出发点不同，认识尚存在着不同程度的分歧。环境地质学家 Aswathanarayana 将地质环境简单地定义为“受人类活动影响的岩石圈表层部分”^[1]。Yong 等^[2]则认为地质环境以岩石圈为主体，包括水圈和生物圈的一部分，陆地上的河流、湖泊、湿地、地下水等均属于地质环境。张宗祜对 Aswathanarayana 的定义进一步界定，认为“地球上具有一定空间范围，而又依时间而变化的4个层圈（生物圈、大气圈、水圈、岩石圈）相互积极作用的地壳表层岩石圈部分就是地质环境”^[3]。钟佐荣^[4]、毛同夏^[5]、戴塔根^[6]、周平根^[7]等认为地质环境是与人类生存发展密切相关的岩石圈浅部的地质空间。刘传正等^[8]、张卫东^[9]认为人类社会发生发展过程中所依托的地球表层岩、土、水共生的地质系统即是地质环境。陈梦熊^[10,11]、李贵仁等^[12]更强调地质环境的系统特征，认为地质环境是由地壳组成的物质、地质结构、动力作用、地质现象等共同形成的复杂系统。王思敬^[13]从工程建设的角度，指出地质环境是指以岩石圈为主，在和大气圈、生物圈、水圈的相互作用中形成和演化的人类生活、生存和工程设施受其影响的周围岩土介质。

不同学者虽然侧重点有所差异，但是对地质环境内涵的理解在很大程度上是一致的。

(1) 地质环境以岩石圈表层部分为主体。其上限是地壳表面或岩石圈表面，其下限到达的深度目前说法不一。有的学者从人类活动对地质环境影响的角度出发，认为其下限深度决定于人类社会的科学技术发展水平和生产活动能力^[14]，目前的深钻最深可达12km。有的学者则从地质环境对人类影响的角度出发，认为其下限达到与区域地壳稳定性有关的地壳深部。也有的学者认为不必具体划定地质环境的下限，在实际中可视研究目的而定^[4,6]。

(2) 地质环境与人类社会的生存和发展密切相关，承担着资源基础、环境基础、工程基础三重功能。首先，地质环境为人类生存和活动提供了基本场所，在一定程度上决定着人类生活、生产的空间分布和发展规模。其次，地质环境为人类社会提供了土地、矿产、地下水等生活和生产资料，构成了经济社会发展的物质基础。最后，地质环境本身及其所发生的各种地质过程形成了人类经济活动的外部条件，反过来人类各种经济活动又作用于地质环境，从而引发地质环境不断变化。

(3) 地质环境是一个与大气圈、水圈、生物圈密切联系的复杂系统。地质环境是与大气圈、水圈、生物圈相互作用最直接、最活跃的岩石圈表层部分。大气、水文和生物过程不断作用于地质环境，

特别是在地质环境与大气、水、生物交界的界面作用最为活跃、最为强烈。同时，地质环境还受到来源于岩石圈深部的内动力地质作用。

二、地质环境的社会经济属性

地质环境以人为中心而被评价和认识。在社会经济与地质环境相互联系过程中，地质环境不管是被动地承受各种工程经济活动，还是主动地对社会经济施加灾害风险，都被自动地赋予了社会经济属性。根据对社会经济的作用，地质环境因素大致可分为两大类：有利于社会经济发展的良性地质环境因素，称为地质资源；不利于社会经济发展的不良地质环境因素，称为地质环境问题，当对人类生命和财产造成损失时又称为地质灾害。

地质资源包括岩石、土壤、地下水等地质环境要素和地貌景观。某种地质环境要素在一定空间内相对富集而形成了可资人类经济社会开发利用的资源，如土壤、地下水、化石能源矿产、非能源矿产等。对社会经济而言，组成地质环境的物质和地貌景观，都可能具有一定的利用价值或潜在利用价值。例如，低品位含铁岩石在过去的技术、经济和社会条件下，对社会经济价值不大；但随着选矿技术的进步，低品位含铁岩石转化为低品位铁矿石为社会经济加以利用，使其已成为一种重要的地质资源。海滩被开发利用作为海滨观光度假胜地时获得了可观的经济价值，从过去单纯的地貌景观转变为满足人们休闲嬉戏需求的地质资源。在地貌景观中，那些在地球演化的漫长地质历史时期，在各种内外动力地质作用下形成、发展并遗留下来的珍贵的、不可再生的地质自然遗产，人们称为地质遗迹，属于具有重要科学、观赏、教育价值的地质资源。

地质环境问题是指在一定时期内可能对经济社会产生不良影响或危害的地质环境现象或事件。按照主要诱发因素，可分为原生地质环境问题与次生地质环境问题。原生地质环境问题是自然因素引起的不良地质环境现象或事件，如火山爆发、地震、水土化学物质空间迁移而引起的地方病等。次生地质环境问题是人类的社会经济活动引起的不良地质环境现象或事件，例如，工程活动引发的地质灾害、过量开采地下水引起的地面沉降、地下水污染等。

社会经济通过人类活动开发利用地质资源，对地质环境产生影响，这种影响可能有利于社会经济，也可能不利于社会经济。地质环境通过各种地质环境问题作用于社会经济，给经济社会带来可能损失或危害的风险。风险的高低取决于社会经济对地质环境问题（地质灾害）的脆弱性。脆弱性是指人类、人类活动及其场地的一种性质或状态，可以看成是安全的另一方面^[15]。脆弱性增加，安全性就降低。例如，在斜坡下方修建一座建筑物，可以采用较深的地基基础以降低其对斜坡土石流的脆弱性，来提高建筑物的安全性。图 1-1 表示上述地质环境与社会经济之间存在的这种关系。

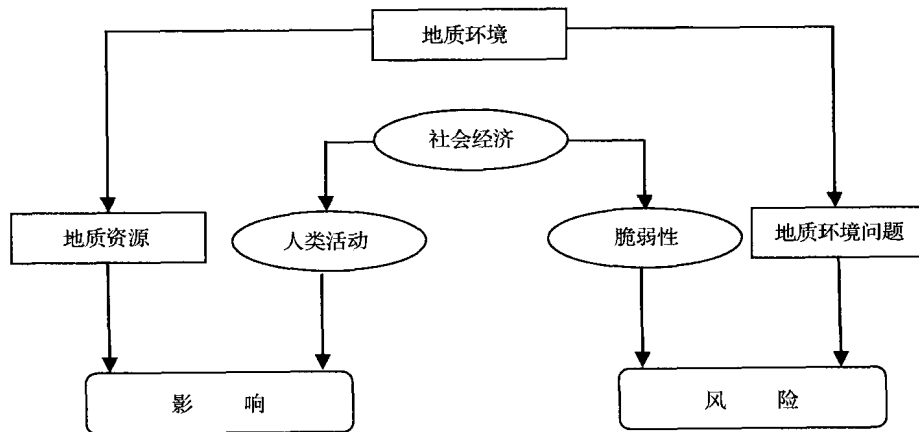


图 1-1 地质环境与社会经济关系示意图

三、地质资源

组成地质环境的物质在现有社会、经济和技术条件下能够为社会经济所利用的就转化为地质资源。反过来说，地质资源是构成地质环境的重要组成部分。因此，在开发利用地质资源时，既要考虑社会的需要，又要考虑对地质环境的影响。一般来说，地质资源包括矿产、土壤、地下水、地貌景观等。

(一) 矿产

矿产资源的形成与分布在很大程度上受制于地质环境的形成及演化过程。由于区域地质历史、地壳运动、岩浆活动和沉积环境的差异，矿产资源在地质环境中的分布也是不均衡的。根据成因，岩石分为沉积岩、变质岩、岩浆岩三大类，在不同的岩石中往往会形成不同的矿产。例如，煤炭、石油、天然气、石膏等一般形成于沉积岩中；石墨、大理岩等一般形成于变质岩中；钨、锡等金属矿产一般形成于岩浆岩中。受地质构造运动的影响，在地壳沉降地区往往形成煤炭、石油、石膏、岩盐等沉积型矿产；在地壳岩层褶皱隆起的地区，往往形成多金属矿产。矿产的形成还与古地理条件有关。例如，在古生代早期，陆地上还没有出现植物，所以在此之前不可能形成大煤田。古生代后期、中生代的侏罗纪和新生代的第三纪，分别是地球上三次出现大规模森林时期，形成了地质史上三个重要的成煤期。

矿产资源是社会经济发展的重要物质基础，人们的生产和生活都离不开矿产资源。根据其用途，矿产资源大致可分为4类：能源矿产、金属矿产、工业矿产和建材矿产。能源矿产主要包括煤、石油、天然气、泥炭等由地质历史上有有机物堆积转化而成的化石能源和铀、地热等。金属矿产是国民经济、国民日常生活、国防工业、高科技产业必需的基础材料和战略物资，可细分为黑色金属、有色金属、贵金属、稀有金属、稀土金属、分散元素等。工业矿产是具有特殊的化学或物理特性而用于不同工业用途的非金属矿物或岩石，包括萤石、钾盐、重晶石等。建材矿产可用于工程建设和建造建筑物，包括水泥用灰岩、高岭土、石材（大理岩、花岗岩、玄武岩、辉绿岩、安山岩、凝灰岩、板岩）等。

(二) 土壤

地壳表层岩石遭受风化作用后，形成松散的残积物。残积物表层通常是生物活动的场所。生物在生命过程中分泌和产生大量的有机质，有机质与残积物不断发生物理化学反应，残积物逐渐演变，最终形成了今天的土壤。决定成土作用和土壤类型的主要因素是气候、植被和岩石风化产物的成分。由于自然界地质环境组成、气候和植被的差异，不同地区形成了各种各样的土壤。不管是森林土壤、草原土壤，还是水成土壤，其基本物质组成主要包括：矿物质、有机质、水分、空气和生物（图1-2）。

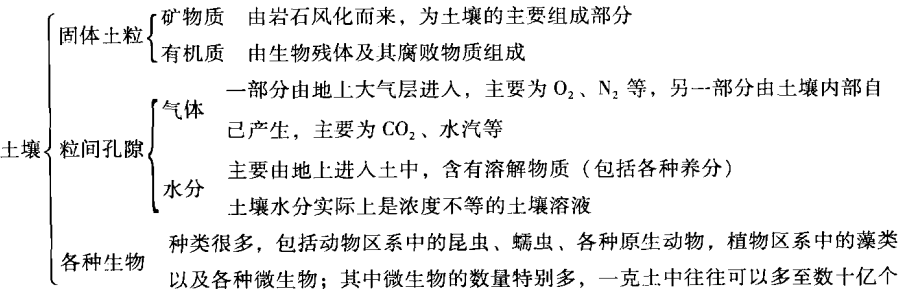


图 1-2 土壤的基本物质组成图

土壤为植物的生长提供了物理支撑和所需的水分与养分。土壤是绿色植物初始生产力建造的基础之一，它既是农业生物生长发育的出发点，又是基本生物组成的归宿地。研究表明：土壤地质环境状况对植物的生长有明显的影响。土壤中某些地球化学元素的不足或过量，会严重影响一些植物的正常生长。例如，土壤中盐分含量过多时，只能生长少数耐盐的植物，而不能种植小麦、玉米等农作物；

在土壤和水源缺乏锌元素的地方,种植的豆类作物容易落花落果造成减产等。人们通过比较土壤中地球化学元素和矿物质含量与农作物需求,可以确定不同地区种植各种农作物的适宜性,从而调整农业种植区划与布局,促进农业增产增收。为了扩大农作物种植面积,人们研究出了很多物理、化学或生物方法来改良土壤,改善土壤地质环境。

土壤是陆地水分循环的纽带,是水文过程的调节器和缓冲器。降落到陆地表面的大气降水,除一小部分为植物冠层截留外,到达地面的降水首先渗入土壤,超过土壤入渗能力的降水形成地表径流,汇聚进入地表水体。渗入土壤的水分,一部分蓄存于土壤根系层中形成土壤水资源,供植物蒸腾蒸发;另一部分在重力作用下,继续下渗补给地下水,成为地下水的主要补给来源。在地下水浅埋区,在毛细作用下地下水也可上升进入土壤根系层,补给土壤水分,供植物蒸腾蒸发。由此可见,土壤是接纳降水的主要场所,在超过土壤接纳能力后,降水转化为地表水和地下水,土壤性质对大气水、土壤水、地表水、地下水、植物水“五水”转化具有重要影响。在农业生产中,人们往往通过深耕、秸秆还田、覆膜等措施改变土壤状况,间接起到调控水分的作用。

土壤对人类活动过程中排放的污染物具有一定的自净作用。进入土壤的污染物,在土壤微生物、土壤有机和无机胶体等自然因素的作用下,经过一系列的物理、化学和生物过程,可使污染物在土壤环境中的数量、浓度或毒性、活性降低^[16],从而减轻污染物对经济社会的负面影响。但是,土壤的自净能力是有限的。随着时间的推移,当进入的污染物数量和速度超过了土壤的净化能力时,土壤地质环境的自然动态平衡就会遭到破坏,导致土壤正常功能失调,土壤质量下降。

(三) 地下水

地下水赋存和运移于岩土空隙中,其形成受到地质环境的制约。影响地下水形成的主要因素包括地形地貌、岩石性质、地质构造等。地形地貌决定了地下水的空间分布和运移,岩石性质决定了地下水的贮存空间,地质构造则决定了具有贮水空间的岩土储水能力。地形平坦的平原和盆地,松散沉积物厚,降水形成的地表径流易于渗入地下补给地下水,所以一般来说平原和盆地中地下水分布广泛而丰富。坚硬岩石中的地下水存在于各种内、外动力地质作用形成的裂隙之中,分布极不均匀。松散岩层中的地下水存在于松散岩土颗粒形成的孔隙之中,分布相对较为均匀。

地表以下岩土空隙中的水分,按照其赋存状态可分为土壤水(包气带水)和地下水。土壤水是陆地植物蒸腾和土壤蒸发的基本水源,它在供给植物生长发育需水的同时,积极参与水分循环。地下水

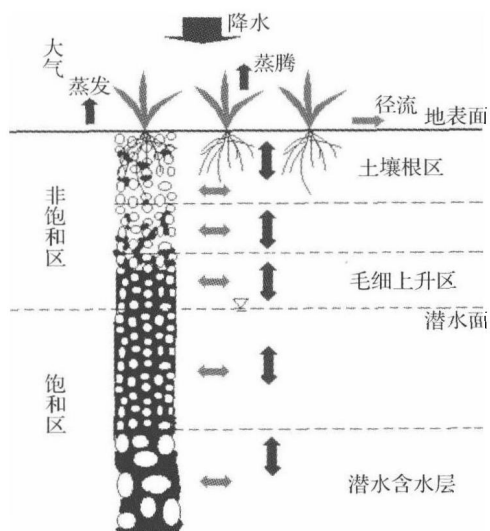


图 1-3 土壤水与地下水水分运移与转化示意图

处于潜水面以下饱和区,在重力作用下缓慢流动。从整个水循环系统看,地表以下非饱和区和饱和区水分运移有着天然不可分割的联系(图 1-3),刘昌明等将二者统称为地中水(Subsurface water)^[17]。根据水量的交换关系和联系强弱,土壤水和地下水的相互作用大致可划分为以下 3 种情形:① 地下水埋深大于其极限埋深,土壤水和地下水之间为单向联系,土壤水始终下渗补给地下水。地下水极限埋深系指地下水不能上升至土壤上层,由潜水面下移流量开始为零时的地下水埋深。② 地下水埋深小于其极限埋深,大于土壤根区深度,土壤水和地下水之间为双向联系,二者间的水量交换频繁,地下水中的盐分易在土壤表层积累。浅埋深地下水对土壤剖面的含水量和水势分布有很大影响,是土壤发生盐渍化的重要原因,也是地表生态格局变化的影响因子之

一。同时,这种情形也增加了地下水遭受污染的风险。土壤中化学物质变化与地下水盐动态密切相关。

③ 地下水埋深小于土壤根区深度,甚至有时潜水面高出地表,土壤水与地下水之间作用强烈,土壤饱和状态和非饱和状态交替频繁,土壤中的化学和生物过程与地下水变化紧密相关。因地下水位过高而形成的湿地即属于这种情形。

地下水是水资源的重要组成部分。与地表水相比,地下水具有分布广、水量相对稳定、水质好、不易受污染等特点,在供给工农业和居民生活用水、支撑经济发展方面具有重要的作用。

作为重要的生态因子,地下水在维持生态系统方面具有无可替代的作用。地表水生态系统(河道基流、湿地、泉水等)、河岸生态系统和陆地非地带性植被都需要地下水的补给和维持。在我国西北地区,天然绿洲往往需要地下水的支撑,地下水位的下降和水质的恶化会给绿洲生态系统带来严重影响。丘明新等通过对乌鲁木齐柴窝堡地区植被类型及其发育情况进行调查后发现:草甸草场植被发育的优劣与其所处生境的地下水位密切相关。苔草草甸在地下水埋深 1.15m 时,芦苇草甸在地下水埋深 1.12m 时,植被均发育不良;芨芨草草甸在地下水埋深大于 2m 时植被衰退;芦苇草甸在地下水埋深大于 2m 时植被发育很差^[18]。

地下水,尤其是深层承压水,还具有平衡地下压力、支撑上覆岩土体的作用。人工抽汲地下水时,伴随着地下水从含水岩组中,尤其从那些厚层的半固结淤泥、粘土层中排出,在上覆岩土体的压力下颗粒间的孔隙被压缩,最终表现为地面沉降。由于人工大量开采深层承压水,地下水位过度下降导致粘土层被压缩,是很多地区发生地面沉降的主要原因。

(四) 地貌景观

地质环境是地貌景观的基础,而地貌景观是地质环境在地表的外在表现,也是地质环境对人类活动影响最直接、最显著的部分。地质环境与其他环境条件相互作用形成了某一区域的特色地貌景观。在地球演化的漫长地质历史时期,由于内外动力的地质作用,形成发展并遗留下来的不可再生的地质遗迹,有着极为重要的科学价值和观赏价值。地质遗迹不仅为生物演化、人类生存发展历史及寻找矿产资源提供了丰富的实证资料,还为人们提供了回归自然、修养身心的娱乐场地。根据其形成原因与自然属性,地质遗迹一般可分为以下 5 种类型:①有重要观赏价值和重大科学研究价值的地质地貌景观。②有重要学术价值的地质剖面 and 构造形迹。③有重要科学价值的古生物化石及其产地。④有特殊价值的矿物、岩石及其典型产地。⑤典型的地质灾害遗迹^[19]。地质遗迹作为一种地质资源,越来越多地被人们开发利用,将其科学价值、观赏价值和教育价值转化为社会效益和经济效益,在经济社会中发挥了越来越大的作用。社会发展表明:人类文明愈是高度发展,地貌景观在人们生活中的地位就愈加重要。

四、地质环境问题

地质环境问题的产生、发展,在很大程度上受控于区域地质环境。对于某一区域,地质环境的一系列条件控制着地质环境问题的类型、规模、发育程度以及发展趋势。地形地貌、地质构造、地层岩性、岩土组合等地质背景构成了地质环境问题的形成条件,区域地质构造控制着岩土侵蚀的发育方向和发展趋势,地形地貌控制着地质环境问题类型的分布和发育程度。例如,在山区丘陵区容易发生崩塌、滑坡、泥石流等突变型地质灾害,在地势平坦的海岸带容易发生海水入侵、海岸侵蚀等缓变型地质灾害。

按照致灾地质作用的性质和发生处所,《地质灾害分类分级(试行)》(DZ 0238—2004)将地质灾害划分为 8 类:地球内动力活动灾害类、斜坡岩土体运动(变形破坏)灾害类、地面变形破裂灾害类、矿山与地下工程灾害类、河湖水库灾害类、海洋及海岸带灾害类、特殊岩土灾害类、土地退化灾害类(表 1-1)。按照灾害活动过程把地质灾害划分为两类:突变型和缓变型。突然发生并在较短时间内完成灾害活动过程的为突变型地质灾害。发生、发展过程缓慢,随时间延续累进发展的为缓变型地质灾害。

表 1-1 地质灾害（地质环境问题）分类表

灾 类	灾 型	灾 种
地球内动力活动灾害类	突变型	地震（原生灾害、次生灾害）、火山
	缓变型	—
斜坡岩土体运动（变形破坏）灾害类	灾害类	崩塌（危岩、高边坡）、滑坡（土体滑坡、岩体滑坡）、泥石流（泥流、泥石流、水石流）
	缓变型	—
地面变形破裂灾害类	突变型	地面塌陷（岩溶塌陷、采空塌陷）、地裂缝（构造地裂缝、非构造地裂缝）
	缓变型	地面沉降
矿山与地下工程灾害类	突变型	矿井突水、冲击地压、瓦斯突出、围岩岩爆及大变形
	缓变型	煤层自燃、矿井热害
河湖水库灾害类	突变型	河岸坍塌、管涌、河堤溃决
	缓变型	河湖港口淤积、水质恶化
海洋及海岸带灾害类	突变型	海啸、风暴潮、海面异常升降
	缓变型	海水入侵、海岸侵蚀、海岸淤进
特殊岩土灾害类	突变型	黄土湿陷、砂土液化
	缓变型	软土触变、膨胀土胀缩、冻土冻融
土地退化灾害类	突变型	—
	缓变型	土地沙漠化、土地盐渍化、土地沼泽化、水土流失

地质环境问题，特别是突变型地质灾害，对人类生活和社会经济发展可能会带来难以估量的损失。据联合国国际减灾战略机构（UN/ISDR）不完全统计，自 1900 年以来各大洲发生重大地质灾害超过 1400 起，造成约 241 万人死亡，受影响人数 1.6 亿人以上，有记录的经济损失超过 4600 亿美元（表 1-2）。研究表明，地质灾害的危害程度与社会经济的发展程度呈正相关关系。在人口密集区、经济发达区，地质灾害造成的人员伤亡和直接经济损失相对较大。而在人口稀少区、经济落后区，地质灾害造成的人员伤亡和直接经济损失则相对较小。

表 1-2 世界各大洲重大地质灾害发生情况统计表（1900 ~ 2008 年）

主要大洲	地质灾害类型	发生起数/起	死亡人数/人	受影响人数/人	经济损失/10 ³ 美元
非 洲	地震（地面震动）	74	21072	1694094	12129699
	地震（海啸）	4	312	109913	230000
	滑坡	2	59	200	—
	崩塌	2	129	697	—
	地面沉降	1	34	300	—
	火山爆发	17	2218	511353	9000
美 洲	地震（地面震动）	250	215450	25688686	61497406
	地震（海啸）	7	380	2472	900
	雪崩	3	144	44	—
	泥石流	1	10	—	—
	滑坡	10	2290	8945	200000
	崩塌	4	277	41	—
	火山爆发	76	67851	1551770	2168697

续表

主要大洲	地质灾害类型	发生起数/起	死亡人数/人	受影响人数/人	经济损失/10 ³ 美元
亚 洲	地震 (类型不明)	2	78	14726	—
	地震 (地面震动)	579	1559342	124651849	309366574
	地震 (海啸)	25	235285	2357486	10266000
	雪崩	4	423	1069	—
	滑坡	14	1184	6574	1000
	崩塌	1	50	—	—
	火山爆发	86	21462	2802262	708351
欧 洲	地震 (地面震动)	151	275924	5443816	61734076
	地震 (海啸)	4	2376	2	—
	雪崩	6	167	1802	2600
	滑坡	3	102	8506	—
	火山爆发	11	783	26224	44300
大洋洲	地震 (地面震动)	37	428	88041	1379419
	地震 (海啸)	10	2798	20843	159500
	岩土体运动灾害 (类型不明)	1	10	—	—
	滑坡	1	76	1000	—
	火山爆发	23	3665	259900	110000
合 计		1409	2414379	165252615	460007522

数据来源：联合国国际减灾战略机构 (UN/ISDR) OFDA/CRED 国际灾害数据库

五、地质环境基本特征

与大气环境、水环境、生态环境问题比较,地质环境具有隐蔽性、复杂性、累积性、难控性和一旦酿成地质灾害的不可逆性等基本特征^[20]。

(1) 隐蔽性:地质环境位于地表以下,不如大气环境、水环境、生态环境那样能够直接观察得到,只能通过地球物理勘查、地球化学勘查、专门的监测等现代科学技术手段,探索其特点和规律。由于技术方法和资金的限制,人们对于地质环境的近地表部分了解得多一些,而对于其深部部分则知之甚少。正是由于这个原因,地震、火山等地球内动力活动灾害的预测至今仍是困扰全球地学界的难题。

(2) 复杂性:地质环境是一个受多种地质作用共同影响的、开放的复杂巨系统,与大气环境、水环境、生态环境相互影响、相互作用。其中所发生的物理过程、化学过程、生物过程是高度非线性的、不稳定的、不确定的,所以要精细地刻画这些过程面临着巨大的困难。同时,在不同的气候、植被、水文等自然条件下,不同区域的地质环境差异很大,地质环境要素时空分布千差万别。对于如此复杂的巨系统,只能从整体入手,而不能将各组成要素分离开来进行分析与处理。

(3) 累积性:与人类活动相比,地质环境变化是一个长期的、缓慢累积的过程。在漫长的地质历史中形成的地质环境达到了相对的平衡和稳定。当人类经济活动的干扰与作用超过了地质环境自我调整的范围时,其能量流与物质流缓慢发生变化,可能在本地与远离本地的区域内产生连锁反应。以地震为例,地壳运动在地壳的某些部位造成地应力积聚,而地应力的积聚是一个漫长的过程,短则数十年,长达数百、数千年,当地应力积累到超过当地岩石的剪切强度时,地应力以岩层破裂方式释放,即发生地震。

(4) 难控性:地球内动力活动所导致的地震、火山、构造隆起与沉降,人们至今尚未掌握其发生机理,没有足够的能力予以调控。对于影响地质环境的外部自然条件,如气候、水文、植被等,现代