

KUANGSHAN HUANJING GONGCHENG DIZHI XITONG YANJIU

# 矿山环境工程地质系统研究

李华锋 赵兵 陈国锋 著

同济大学出版社

# 矿山环境工程地质系统研究

李华锋 赵 兵 陈国锋 著

同济大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

矿山环境工程地质系统研究/李华锋等著. —上海:同济大学出版社, 2006. 6

ISBN 7-5608-3265-2

I. 矿… II. 李… III. 矿山地质: 工程地质—环境地质学—研究 IV. TD167

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 027365 号

**矿山环境工程地质系统研究**

李华锋 赵兵 陈国锋 编著

责任编辑 卞玉清 责任校对 谢惠云 封面设计 潘向葵

---

**出 版 行** 同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

**经 销** 全国各地新华书店

**印 刷** 江苏句容排印厂印刷

**开 本** 787mm×1092mm 1/16

**印 张** 9

**字 数** 230 000

**版 次** 2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

**书 号** ISBN 7-5608-3265-2/TD·2

**定 价** 20.00 元

---

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换

## 作者简介

**李华锋**，男，1965年生。1990年毕业于北京大学，获硕士学位；2000年毕业于北京科技大学，获博士学位。现为九江学院教授，主要从事岩石力学与岩土工程、工程地质、岩土加固工程、岩土工程测试理论与方法、边坡稳定性分析及数值计算等研究工作，先后承担多项国家和省部级项目，在核心学术期刊上发表学术论文多篇，曾获省部级科技进步一等奖一项、二等奖一项。



## 前 言

矿山的开发从布局到工程的设计和建设必须以适应自然环境和资源为前提,矿山工程的规划和设计应考虑自然环境和资源的限制,同时还要考虑矿山工程建设的经济后效和环境后效;注意环境恶化的可能性;预测次生灾害发生的趋势;以优化建设工程,达到社会、经济和环境效益协调增长,使工程建设既安全可靠,又经济合理;因此开展矿山的工程地质环境研究十分必要。

环境工程地质学是一门新兴的学科,它的内涵和外延、理论概念和技术方法都还在专家、学者的热烈探讨之中。而作为矿山——这一特定的工程背景,系统地进行环境工程地质研究几乎是空白。作者希望通过马鞍山凹山矿环境工程地质的系统研究这个实例来理解它的本质,勾画它的轮廓,构建它的框架。

凹山矿位于长江中下游宁芜地区。该地区是我国东部以铁矿为主的多金属成矿区,其中凹山矿作为该区最大的露天矿,选择该区域进行矿山环境工程地质研究有着十分典型的代表意义。

矿山工程所涉及的工程地质环境是一个复杂的体系,需要采取系统分析的方法研究。在工程地质环境系统中要从整体上考虑各因子的相互联系,它们既相互依存又相互作用。矿山工程子系统和环境子系统本身都是有结构的,包括它们的组成、结构、特性、赋存环境和边界条件,这些都是动态的、可变的。这是本书研究的基本思想。

第一章探讨了环境工程地质的基本问题。这一章是本书实际内容的理论概括。环境工程地质学是受人类工程活动的最新发展所推动而提出的新的学科领域和发展方向。它的核心是工程建设和地质环境的依存关系和相互作用理论;它的研究思路是系统工程分析和评价;它的目标是预测工程地质环境的动态变化和地质灾害趋势,为保证工程建设的社会、经济、环境效益提供科学依据和对策。

第二章讨论了矿山工程这一特定工程背景下地质环境的特性,分别从地质环境的建造特征、结构特性、赋存环境、边界条件、边坡的稳定性等方面对地质环境进行了深入而具体的研究,重点讨论了地质环境对矿山工程的制约作用。

第三章以凹山矿为背景研究了工程地质环境信息系统。在关系数据模型和矢量数据模型研究的基础上建立了凹山矿的数据和图形信息系统。探讨了工程地质环境评价方法,包括聚类、分类、模糊和综合评价。

第四章讨论了矿山工程对于地质(生态)环境的影响和破坏作用,分别从土地资源的占用和破坏、水文环境的破坏、地面变形、废物污染等方面进行了总结,着重研究了地下水渗流场的变化和爆破对于矿山环境的影响。

第五章在矿山地质(生态)环境现状评价的基础上,提出了地质(生态)环境恢复的规划,这也是研究的目的所在。

第六章是结论。

研究表明:矿山工程受其特定的地质环境制约,主要受岩土特性、区域构造背景、地应力、地下水的影响最为突出。工程本身对于地质环境的影响和破坏作用也是巨大的,它们二者之间既相互依存又相互作用。

# 目 录

## 前言

第一章 绪论	(1)
1.1 环境工程地质学的缘起与基本概念	(1)
1.1.1 环境工程地质学的崛起	(1)
1.1.2 环境工程地质学的基本概念	(2)
1.1.3 现阶段我国环境工程地质的研究重点	(4)
1.2 区域开发与环境工程地质评价	(5)
1.2.1 环境工程地质研究的多维结构	(5)
1.2.2 环境工程地质研究的空间和时间尺度	(7)
1.3 工程建设和地质环境的依存关系和相互作用理论	(8)
1.3.1 地质环境及其工程地质评价	(8)
1.3.2 地质灾害和自然地质灾害	(12)
1.3.3 人类工程活动对地质环境的作用——工程地质灾害	(13)
1.3.4 人类工程活动造成的引发灾害	(14)
1.3.5 工程建设和地质环境的依存关系和相互作用	(15)
第二章 矿山工程地质环境特性及制约作用	(17)
2.1 区域工程地质研究观点总结	(17)
2.1.1 岩体结构控制论	(17)
2.1.2 区域稳定工程地质	(17)
2.1.3 “安全岛”理论	(18)
2.1.4 系统工程地质(SEG)	(18)
2.1.5 地震工程地质	(18)
2.1.6 浅生与表生时效变形结构	(19)
2.2 矿区工程地质环境的岩土特性	(19)
2.2.1 区域地质建造概况	(19)
2.2.2 岩石和岩体力学性质实验研究	(21)
2.2.3 工程地质岩组和岩体结构	(32)
2.3 矿体的赋存环境特性	(37)
2.3.1 区域构造背景	(37)
2.3.2 地应力特征	(42)
2.3.3 地下水特征	(46)
2.4 矿山岩质边坡稳定性分析	(48)
2.4.1 影响岩质边坡稳定性的因素分析	(48)
2.4.2 矿区边坡变形破坏的工程地质模型	(50)
2.4.3 矿区的边坡稳定性评价	(54)

<b>第三章 矿山工程地质环境信息系统</b>	(64)
3.1 数据管理	(64)
3.1.1 关系数据模型及其管理	(65)
3.1.2 矢量数据模型及其管理	(70)
3.1.3 凹山矿区工程地质信息模型	(72)
3.2 数据处理	(74)
3.2.1 品质分析	(74)
3.2.2 聚类	(75)
3.2.3 分类	(76)
3.2.4 综合评价	(79)
3.2.5 凹山矿区工程地质环境分析	(80)
<b>第四章 采矿工程对地质环境的影响</b>	(83)
4.1 概述	(83)
4.1.1 土地资源的占用和破坏	(83)
4.1.2 水文地质环境的破坏	(84)
4.2 凹山矿资源和环境现状	(86)
4.2.1 自然资源	(86)
4.2.2 环境状况	(89)
4.3 爆破震动对地质环境影响的实验研究	(92)
4.3.1 爆破震动测试实验	(93)
4.3.2 测试数据及分析	(95)
4.3.3 深孔爆破震动的安全距离及临近边帮的允许药量	(102)
4.3.4 动荷载作用下的边坡稳定性分析方法	(106)
4.4 采矿工程引起的地下水渗流场变化分析	(108)
4.4.1 地下水渗流运动基本方程	(108)
4.4.2 矿区采场地下水渗流场有限元法分析	(110)
<b>第五章 矿山地质生态环境影响评价与规划</b>	(113)
5.1 矿区地质生态环境现状评价	(114)
5.1.1 土地资源环境质量现状评价	(114)
5.1.2 水和大气环境质量现状评价	(114)
5.2 矿区地质生态环境恢复规划	(115)
5.2.1 矿区土地生态利用功能区划	(116)
5.2.2 水循环利用规划	(122)
5.2.3 矿物资源开发的清洁生产规划	(122)
<b>第六章 结论</b>	(127)
6.1 矿山工程地质环境特性及制约作用结论	(127)

6.1.1 区域采矿工程地质环境背景 .....	(127)
6.1.2 采矿工程的工程地质岩组特征 .....	(127)
6.1.3 矿山岩体的力学特性 .....	(128)
6.1.4 矿山岩质边坡的稳定性评价结论 .....	(129)
6.2 矿山工程对地质环境影响结论 .....	(130)
6.3 矿山工程和地质环境的依存关系和相互作用 .....	(130)
<b>参考文献</b> .....	(132)



# 第一章 绪 论

## 1.1 环境工程地质学的缘起与基本概念

### 1.1.1 环境工程地质学的崛起

当代科学技术面临的世界性问题主要是人口、资源(含能源)和环境问题及其交叉影响。随着人口的增加和科学的进步,人类的建设能力和创造力及其对自然资源的消耗和对环境的影响,均以空前的速度急剧地发展着。由于人类对自然资源和环境不合理的开发和利用,因此,带来了一系列的危害和灾难,而且这一过程还在不断地发展着,“成功的设计,失败的战略”事件依然存在<sup>[1]</sup>。自然界的变化和人类的行为,导致资源不足、环境破坏和生态恶化,向人类的生存敲响了警钟。面临这一严峻的事实,人们对赖以生存的环境终于表现出了高度的重视和密切的关注。20世纪70年代以来,环境问题提到了现代科学的重要日程,环境研究从自然科学发展到环境工程和防治技术,并走向与社会科学、经济科学相互交叉渗透的综合研究途径。人类社会正努力创造有效保护和合理开发环境的新局面,并加速改善全球人类的生存环境。早在1925年前后,前苏联著名的地球化学家维尔纳特斯基就提出了“灵生圈”概念。1945年,他写文章重述早期演讲中提出的观点,“在我们的地球上,出现一种新型的地质现象,这就是人类第一次变成规模巨大的地质营力……在化学方面,人类正有意识地,甚至更多是无意识地剧烈改变着地球表面和生物圈”。1984年,美国克拉克大学地理研究院的R. W. Kates指出,目前主要问题的焦点集中在以下理论观念上:自然的性质是牢固的还是脆弱的;人类的本性是适应的还是破坏的;相互作用的性质是线性的还是非线性的、连续的还是间断的。进而,人们提出了“地球的可居住性”问题<sup>[2]</sup>。

1980年,在巴黎召开的第二十六届国际地质大会上,前苏联科学院院士、国际工程地质协会主席S. Sergeev主持了工程地质学家全会,通过并发表了一个《关于参与解决环境问题的国际工程地质协会宣言》,宣称工程地质学家应该义不容辞地肩负环境保护和合理开发的重任。宣言提出,一切工程项目的设计和施工都必须考虑其可靠性及效能的同时,以同等的程度注意其环境影响和效益;宣言还号召工程地质专家对人类活动及其自然地质过程对环境的影响进行空间、时间和强度的定量预测;以及认识某些特定地域的地质环境,推动区域工程地质学的发展和世界工程地质图的编制<sup>[3]</sup>。

两年后,1982年12月,在印度新德里召开的第四届国际工程地质大会上,关于环境评价与开发的工程地质研究论文达119篇。同年11月,我国在湖北孝感召开首届环境工程地质问题学术讨论会,对环境工程地质从多个方面进行了探讨。1984年第二届全国工程地质大会和1986年10月第五届国际工程地质大会(阿根廷的布宜诺斯艾利斯)都把环境工程地质列为重要议题。目前,环境工程地质已发展到专题学术讨论的阶段,国际上(1976)和我国(1981)均召开过诱发地震学术讨论会。1986年6月,在原苏联塔林召开了“探矿与环境影响”学术讨论会。1987年5月,在北京召开了“国际山区环境地质”学术讨论会。1988年,在希腊召开的国际学术讨论会,有100余篇论文讨论“工程地质与古遗址、古建筑保护”问题。同年,我国第三

届工程地质大会设立“区域与环境”分会场。1989年,在我国西安召开了第二届全国环境工程地质讨论会,开始出现了概念大讨论的热潮。1990年8月在荷兰阿姆斯特丹举行的第六届国际工程地质大会,环境工程地质是基本主题(包括评价方法)<sup>[4]</sup>。1992年12月,我国召开第四届工程地质大会,区域环境工程地质等方面的论文占了1/3,古建筑与古文物保护的工程地区研究受到了极大重视<sup>[5]</sup>。1994年9月,在葡萄牙里斯本举行了第七届国际工程地质大会,主要讨论了地质与灾害,工程地质与环境保护等问题。1995年9月,在兰州召开的第五届工程地质大会,对环境工程学的概念、涵义、目的、特点和它的研究地位都进行了深入的讨论。可以说,20世纪80年代是环境工程地质问题大暴露的时代,90年代,已进入对环境工程地质研究进行系统分析,产生理论体系的新阶段<sup>[6]</sup>。

### 1.1.2 环境工程地质学的基本概念

我国地质词典<sup>[7]</sup>(1986)对环境工程地质学的定义是:它是工程地质学的一个分支,是研究由于人类工程活动所引起的区域性和有害的工程地质作用的学科。这些有害的地质作用可诱发地震、滑坡、泥石流等。环境工程地质学研究这些作用产生的条件和机制,提出减弱或消除它的方针和措施,为制定、利用、保护和改造地质环境等方案提供依据。刘国昌<sup>[8]</sup>(1982)提出,环境地质的中心问题是环境工程地质问题。从广义来说,其中包括第一环境及第二环境。所谓第一环境,即自然环境,它是在区域工程地质条件下发生、发展的,具有显著的区域性规律。所谓第二环境,即人类的工程-经济活动影响,除与自然工程地质条件有关外,更主要与人类的工程-经济活动有关,故区域性规律不明显。第一环境是第二环境的基础。因此,第一环境要研究,第二环境更要研究。胡海涛<sup>[9]</sup>(1984)曾给出过一个比较全面的论述:“环境工程地质学是在区域工程地质学研究的基础上,主要由于人类工程-经济活动引起的地质环境的变化,以及这种变化所造成的影响;其目的是为了改造、利用和保护地质环境。环境工程地质学以其研究领域的广泛性、研究内容和方法的综合性、环境评价的预测性和改造利用地质环境的能动性,以及以人类为其主导的动力因素来区别于传统工程地质学。”孙玉科(1995)<sup>[10]</sup>认为:“环境工程地质学的主要研究目标,是为了合理地进行工程开发,在满足人类发展的同时,保护地质环境,保持良好的协调关系,更有利于人类的生存、生活和生产的发展。”王思敬(1995)<sup>[11]</sup>认为环境工程地质学就是通过对人类工程活动媒介(地质环境系统)的信息分析,通过决策和反馈,调控系统行为,达到以最小的熵增代价,换取最大经济效益和环境效益的目的。

环境工程地质问题,在本质上,应同于工程地质问题,只是人类活动的作用使这类“工程地质问题”呈现出新的特色,影响、破坏了正在运行中的工程的地质环境,故称环境工程地质问题<sup>[12]</sup>。现代工程地质学包括传统工程地质学和环境工程地质学,单纯地把环境工程地质看成是传统工程地质学的分支是不合适的<sup>[13]</sup>。传统的工程地质学主要研究、解决与工程建筑有关的区域地壳、山体和工程场址及具体建筑物地基等的地质稳定问题,即工程的“地质稳定”问题;而环境工程地质学则主要研究由人类工程-经济活动引起的(或称诱发的)地质问题,且这些问题已严重到足以危害工程建筑和人类生命财产安全,尤其是破坏、恶化地质环境的程度,可称之为地质体的“环境稳定”问题<sup>[14]</sup>。由此就决定了环境工程地质问题发生的诱发原因,在研究特点上注重从宏观上及预测的角度看问题,这是问题的实质。

环境工程地质学的基本思路是在工程建设中,同时考虑环境对工程的制约、工程对环境的影响两个侧面<sup>[15]</sup>。这是客观现象所提供的信息,也是从实践当中得到的认识。由于对客观环境认识的不足和判断失误导致工程失事,并给工程以外的人们带来巨大损失和灾害;有的工程

其设计施工和运行都是成功的,亦有良好的经济效益,但是它却给周围的环境带来了不利的影响,乃至战略上的失败。也就是说,现代工程活动是改变地质环境的积极因素。一方面工程建设受到地质环境的制约;同时,地质环境也会受到人类工程活动的影响而改变它的初始状态,发生变化,从而影响或危害本项工程及其外围的人类生活环境或工程建筑物,这是一个动态的相互依存和相互活动的关系,那么,在什么条件下发生工程建设和地质环境的相互作用,这种作用过程又有什么规律等,都将构成环境工程地质研究的中心课题。环境工程地质研究不仅仅注意初始状态的地质条件,而且认为在一定的自然和社会经济背景中,工程建设与地质环境是相互作用的,这种相互作用造成两者关系的动态发展。这些正是环境工程地质学的理论基础<sup>[16]</sup>。环境工程地质评价目标见图 1.1。

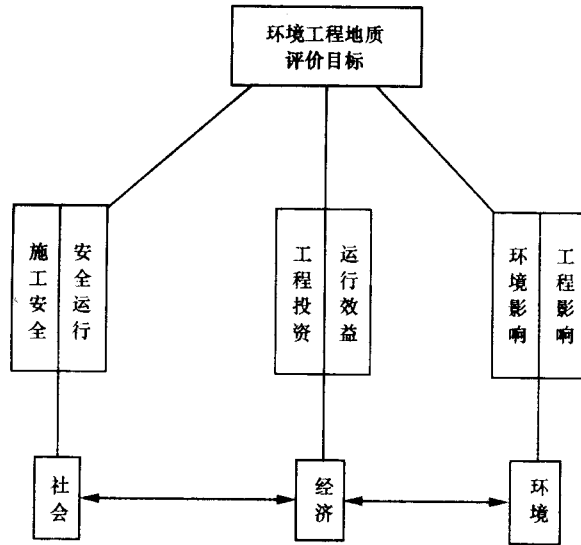


图 1.1 环境工程地质评价目标

在上述理论的指导下,环境工程地质学必然要采取一种能够描述各项因素的相互作用,及其动态过程的系统论的概念和系统工程分析方法。在一个能够有效运行的系统中应包括全部参加相互作用的因子,形成闭合域,以保证分析的全面性和系统性。而每个因子有可能是复合的子系统的目标,其内部也包含着若干相互作用的因子。因此,系统域的确定取决于子系统的目标。环境工程地质系统旨在描述工程建设和地质环境的相互作用,应包括两个子系统,构成二元系统模型(图 1.2a),这个系统模型适用于比较低的层次,直接描述具体的工程结构和地质结构的相互关系,或描述在特定的社会 and 自然背景条件下,工程建设和地质作用的相互关系。但是,在高层次上需要采用一个多层次的三元系统模型,包括工程、地质(环境)、自然和社会经济(背景)之间的关系(图 1.2b)。因为工程建设和地质环境的相互作用的二元系统,从一级高层次来说还不是闭合的,它们赋存于一定的自然环境和社会经济背景中,并进一步和它们相互影响着。然而,上述系统模型只是原理性的,应该根据实际研究的目标加以具体化<sup>[17]</sup>。

对环境工程地质系统,可以采用系统工程的理论与方法加以分析。这种系统分析应包括:目标、系统结构分析、系统趋势分析、系统协调性分析以及系统的动态预测。在这些分析中,模糊数学、聚类分析和灰色理论可以得到很多的应用<sup>[18]</sup>。因此,可以说系统论的理论和方法,将是环境工程地质学形成与发展的有利手段和途径。

环境工程地质评价,是一个多层次、多因素、多序列的分析和综合研究,涉及数据信息量

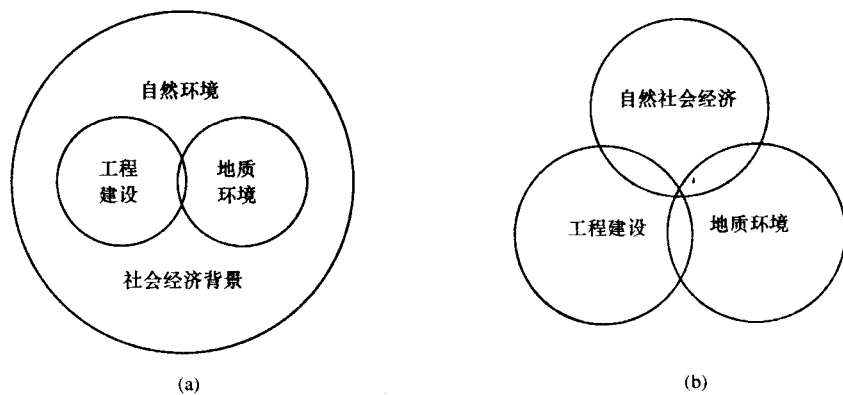


图 1.2 环境工程地质系统模式

大。建立环境工程地质信息系统无疑是十分必要的<sup>[19]</sup>。只有掌握大量的数据,并能够快速检索和处理,数据又能及时更新,才能做到精确的评价和预测。同时,在环境工程地质的分析和评价中,大量的判断来自经验,有不确定性,大量的结论来自推理和归纳、外延和内涵,许多因素之间的关系还不能用严格的函数描述,而只能用统计的关系去表征。这一系列困难的克服有赖于人工智能的应用和以知识为基础的专家系统的建立。专家系统的建立不仅会使环境工程地质评价、预测和管理增添新的手段,而且也将使环境工程地质学本身达到系统化、信息化和量化的新水平。

### 1.1.3 现阶段我国环境工程地质的研究重点

针对现阶段环境工程地质学研究现状和我国现代经济建设发展趋势,为了解决建设中所出现的环境工程地质问题,合理利用和保护地质环境,进一步改善人类生存环境作出应有贡献,今后的一段时间内,我国环境工程地质研究必须在深度和广度上有一个大的发展,将微观研究和宏观研究推向深化的同时,加强结合<sup>[20]</sup>。

#### 1.1.3.1 加强环境工程地质学的理论与方法的研究

(1) 在普遍揭示各类工程建设有关工程地质问题的研究中,要观其表征,寻其发生发展规律,深入分析工程建设与地质环境的依存关系和相互作用机理。因此,要有目的、有组织地开展各类工程建设期后效应的研究工作。

(2) 努力应用系统论的理论与方法开展环境工程地质研究,逐步组织不同类型地区,不同工程组合类型的建设区开展这种示范研究。

(3) 加速各类问题的数据库及其信息系统的建设。

#### 1.1.3.2 加速区域性环境工程地质研究

(1) 针对国家制订的国土整治规划和经济建设的战略,不失时机地开展重点经济开发区和生态环境脆弱区的治理开发中的区域环境工程地质评价工作,为有关地区经济发展(区域开发)的战略决策,提供基础性的依据。

(2) 工程地质学家已经有能力与社会、经济界协同研究区域资源开发、生产力布局和环境整治问题。

#### 1.1.3.3 注意地质灾害的形成规律、趋势预测及减灾对策的研究

这种研究既要注意自然地质作用、人类行为以及它们的联合作用所产生的地质灾害本身;

又不能孤立地研究地质灾害,而必须把各种自然灾害间的相互关系摸清,即应当考虑自然灾害的相关性、综合性、地区性以及社会性。

同时,要在地质灾害规律的研究基础上,把注意力放在预测、预报、预警和减灾及防治的研究上,并付诸于实践。

#### 1.1.3.4 开展环境工程地质制图研究

要求图件反映所及地区的工程地质环境特性的区域规律,一方面要表征环境工程地质评价所需的实际资料,另一方面要预测规划的建设项目所可能引起的工程地质环境变化趋势。显然,这类图件既有服务于不同目的的需要,又必须有各种因素的分析图件和综合图件,所以是一套系列图件。

同时,要积极积累资料,在区域图件编制的基础上,编制全国性图件,为国家高层次的国民经济发展地区生产力布局和国土整治规划的战略决策提供基础性资料,努力实现我国资源、环境的合理开发和保护,加速改善人类生存环境的进程<sup>[21]</sup>。

## 1.2 区域开发与环境工程地质评价

区域环境工程地质评价的目的,是将人类的盲目行为降低到最低程度,促使区域地质环境相互协调,以达到经济效益、社会效益和环境效益的三者统一。其研究的核心问题是:决定区域环境工程地质特性的诸因素的相互关系和工程建设与地质环境的相互作用<sup>[22]</sup>。我国地域辽阔,地质环境复杂,各地区经济发展不平衡,各地区的环境工程地质研究程度不一。因此,要满足现代化经济建设的进程,保证资源、环境的合理利用和保护,实现经济建设的各层次目标,工程地质工作者责无旁贷、科学地开展区域工程地质的调查与评价工作,以满足区域开发宏观决策的需求;同时,也要着眼于未来人类生存环境的变化与改善的研究。而这种研究将表现为高度的综合性、层次性的区划工作。也就是说,在一个地区无论是发展工矿企业、农业和第三产业,还是发展城镇和交通、能源事业,都需要借助于相应的工程施工,兴建配套的建筑物;而不同类型建筑物对不同的地质环境适应性很不相同,所以进行区域的工程地质环境区划及其分区评价是必不可少的工作。

### 1.2.1 环境工程地质研究的多维结构

19世纪以来,随着工业革命和学科分化,分别以地圈、生物圈为对象形成了一系列独立的学科。20世纪50年代以后,综合研究受到普遍重视,学科间交叉有长足的发展,形成了许多“边缘学科”,对地圈、生物圈的研究进一步深化。70年代以来,这种学科间相互渗透的趋势更加明显,出现了许多新的生长点,诸如国土学、环境保护生态学、经济生态学、环境地质学等崭新的研究领域。这种趋势既反映学科分化依然继续,亦表明学科间交汇融合在加强,其研究的深度和广度都进入到新的阶段和新的水平。不言而喻,各学科间的交叉和不断开拓新的研究领域,其目的在于要不断地解决现代经济发展过程中所出现的越来越复杂的问题,同时要寻求最优的途径合理开发利用严重不足的自然资源和脆弱的环境整治<sup>[23]</sup>。环境工程地质研究是随社会生产发展应运而生的,它面临着工程建设规模日益加大和要求标准不断提高,以及环境双向恶化的局面。因此,吸取了不同学科对环境破坏和危及人类的种种事件的关注和参与,促使工程地质科学产生了新的延伸和开拓,并逐步形成了新的生长点<sup>[20]</sup>。于是环境工程地质的评价工作,便把注意力从局部的单向工程的安全度和经济性,向因此而产生的环境变化及其对工程自身和人类生活施加的反馈影响的研究延伸;从厂址的研究外延到一定地域范围内的研

究;从自然地质作用的调查向人类活动影响延伸;从单纯的自然科学研究领域向社会经济科学领域延伸。因此,环境工程地质研究是带有区域性、多层次、多元的动态系统工程<sup>[24]</sup>。

工程建设在区域开发这复杂的巨大的复合系统中,也是一个子系统<sup>[25]</sup>。它包括区域经济发展战略所要求的工程组合类型,立体和附属工程的配套关系、布局特征,以及它们的施工特点和运行要求。然而,各类经济开发区的工程组合又是不同的。比如,工业区的主体工程是工业厂房及大型机电设备,它们对地基要求严格,有时要求特殊地基,供水、能源和交通网络密集,它们与地质环境相互作用明显;多半在总体布局后还有选址和平面布置研究,此时对工程地质需求更为迫切。矿井特点,目前居多的是深部开发,出现深采和高边坡的一系列问题。地下开采的立体工程是矿井、坑道和采场,它们的挖掘以及废石堆放,将带来地质和地表环境的巨大变化,产生环境影响。由于矿山是与矿产资源紧密相关的,选址的灵活性很差,往往在工程布置上要有周密的调查研究作出决断。水电能源开发是一项综合的工程项目,它有水利枢纽、水库工程、引水工程、下游灌溉工程,还有输变电工程等。不仅对地质要求高,而且环境效应明显,一旦产生次生灾害,其后果极其严重,意大利瓦杨坝大滑坡便是最突出的例子<sup>[26]</sup>。都市建设更为复杂,由于人口密集,各行各业集聚,房屋密集,交通、供水、供电、供气等生命工程网络复杂,它们对环境的依赖和对环境的影响都表现为极高的敏感性。规划不当、布局不合理不仅造成经济损失,而且会产生不良的环境效应,甚至影响到城市的生存和发展。

区域开发中工程建设的规划布局、选址均不是完全可以由地质环境和工程建设要求两个方面结合就能决定的,还有更多的因素在起作用。因此,我们称之为自然社会经济复合系统,也可以理解为更高一个层次的环境。而从工程地质的角度来看地质环境,则是工程建设的直接环境。那么,自然和社会经济背景所应包括的内容则有可能因地而异。

由于科学技术的发展,调查、监测手段随之不断更新和多学科的长期积累,人们已经采用系统论的观点来研究区域开发与环境问题,把一个地域的工程地质环境作为一个系统(如前所述,它无疑是偌大的区域开发自然社会经济系统中的子系统),它又是由许多可以单独存在、又相互依存和相互转化的因素所共同组成,是具有特定结构、特定功能和统一的整体<sup>[27]</sup>。客观存在的工程地质环境系统亦是多层次、多目标的,各级系统都有其各自的特征。不同地域层次的生产力布局,应该以相应层次的工程地质环境为其特定的研究对象。任何一个地域的工程地质环境系统亦都是开放系统,存在内部因素之间以及系统与外部环境之间进行着物质、能量和信息的迁移、转化,促使系统出现熵减过程,导致内部的有序化和自调节能力。所以说,探讨最优化的环境工程,正是区域规划、经济管理与决策的重要目标之一。

诚然,区域环境工程地质研究的理论、方法及其实际应用的整个过程,应以系统论、信息论的理论和方法为指导;同时,借助遥感遥测手段结合现场监测开展长期的基础数据的采集和积累,并应用计算机数据处理作保证去解决纷繁复杂的问题<sup>[17]</sup>。不言而喻,在这所有的研究过程中,地质的基础研究是不可忽视的,这就是在区域环境工程地质系统中,地层建造(组成);构造特征(构造);地貌及水文、水文地质特征(状态);地壳和地表的稳定性(特性)以及上述各项的分布(时间、空间)是本构要素。其中,地层建造和构造特征是地质环境的本地因素,而表现为地质灾害的区域地壳活动性和地表物质移动(即区域地壳稳定性和区域地表稳定性)乃是地质环境特性的高一层次的综合反映。它既是地质环境对工程建设的重要因素,同时也是地质环境对工程作用敏感性的表征。所以,从某种意义上来说,环境工程地质的评价和预测是关键,又是对地质灾害(含自然地质灾害和工程地质灾害)作系统的调查、研究及其预测、预报和防治措施及减、抗、救灾的研究<sup>[28]</sup>。



## 1.2.2 环境工程地质研究的时空尺度

环境工程地质系统也是多层次的系统<sup>[29]</sup>,生产布局在不同层次地域范围内的目标、要求及其模式亦有明显的差别。环境工程地质研究只能从不同的时空尺度进行分析<sup>[20]</sup>。当然,客观上又是不可分割的整体。作者以为它将涉及下列不同时空尺度的研究领域。

### 1.2.2.1 环境工程地质研究的空间尺度

(1) 全球性。全球变化研究,它是由于人类面临一系列全球性的环境问题而提出的。例如,大范围气候灾害、干旱、沙漠化日益严重,森林、草原、耕地面积不断缩减,土壤侵蚀、水土流失、肥力下降和盐碱化、空气和水的严重污染,特别是大气中若干主要微量气体含量的增加及臭氧浓度变化对全球气候和生态系统的影响等,多学科综合研究,在认识全球变化背景下,我国生存环境变化中物理、化学、生物过程相互作用机理,科学地预测未来生存环境的变化趋势。

(2) 全国性。如,我国自然灾害的综合区划研究及其减灾规划的制定;地震危险性区划,制定区域综合防御体系;全国性工程地质综合区划;以及人-地关系调控机制研究等。

(3) 区域性。主要是结合我国经济发展战略重点地区的经济开发和环境脆弱区的治理与开发而进行系统的区域环境工程地质评价;从区域地质环境本身因素及其相互关系入手,开展环境合理开发利用、保护整治研究;揭示自然灾害形成机理及其相关性,开展灾害的预测、预报和防治对策研究。所有工作应以工程合理布局,谋求工程建设与地质环境相协调为目标,参与区域开发的宏观决策。

(4) 局地性。如,厂(场)址工程地质条件适应性评价及其合理建筑物场所的确定;环境工程地质问题的防治研究;寻求工程建设战略无误和安全、经济的设计、施工、运行。

(5) 专题性的研究。它几乎包括上述各层次研究中的关键问题的探讨。如活动断裂的评价和区域地壳稳定性评价的理论与方法;自然灾害的形成规律及其监测、预报、预警和防治的技术手段;区域环境工程地质评价的理论和方法;工程建设与地质环境相互作用的机理;信息系统的建立以及地质工程研究等。

### 1.2.2.2 环境工程地质研究的时间尺度

众所周知,环境工程地质系统是一个动态系统。它的研究问题在时间上亦是有所差别:

短期的:危岩体的定位监测、预报、预警,抢险抗灾措施,病害整治等。

中期的:滑坡稳定性及其监测、地表岩移、特殊土地基的利用与改善等。

长期的:工程岩土稳定性及工程建设期后效应、地面沉降、地表塌陷、工程建设的环境效应、土地利用、资源贫化、都市扩建及减灾工程等。

超长期的:土壤侵蚀、水土流失、沙漠化对全球气候的影响,地壳形变及区域地壳活动性等。

基于上述的时间尺度和空间尺度,可以看出环境工程研究具有以下明显的特点:

(1) 区域环境工程地质评价的基本思路是工程建设中考虑环境的制约和人类工程活动对环境影响的两个侧面;工程建设与地质环境的相互作用为其中心内容;为区域生产布局、资源环境的综合开发治理的总体协调以及工程部署服务。

(2) 人类今天已经具有非凡的技术能力,几乎在任何自然环境中都有工程活动的踪迹。同时,在不同的工程活动作用下,不同自然地质环境产生不同的变化,而且这种变化反馈给工程和人类社会的影响也是千差万别的。因此,环境工程地质问题的解决,依赖于内容广泛的综合研究。

(3) 体制上需要多学科的综合开展多兵种协调攻关,它涉及地球科学、环境科学、社会经济科学、信息科学和技术科学的许多领域。

(4) 研究方法既要加强宏观和微观的深入,又要强调两者的结合。

(5) 需要长时期的历史积累。既要重视工程建设前期研究,亦要加强工程建设后效应的研究。

(6) 重视历史回顾、现状分析,更强调环境演化趋势的预测、预报和改善的研究。

## 1.3 工程建设和地质环境的依存关系和相互作用理论

### 1.3.1 地质环境及其工程地质评价

#### 1.3.1.1 地质环境要素

地球具有层圈结构,其中心是固体地球,其表层分布有水圈和生物圈,在外为大气圈。人类赖以生存和活动的周围介质称为自然环境,它主要指地球表层圈,这里是四大层圈相互作用的层圈。人类生存于地球表面,影响人类生存的主要自然环境有气象环境、空气环境、水资源及水环境、生物资源和生态环境,以及地质资源和地质环境等。从环境观点看,地球表层圈的边界向上空应包括约几千米至1万米的大气圈部分,向深处应包括1~2万米深的岩石圈,前者决定了气候条件的要素,后者决定着地质环境的结构。水圈、生物圈则包含在这一范围内,所以可以认为人类生活动与之有密切关联的自然环境的实体就是地球表层圈。

地质环境是指对人类生活动有直接影响的那部分岩石圈,从水文资源和水文环境来看地下水埋藏深度可达数千米,从地质灾害,如地震来看可达万米。作为周围介质的环境应该是物质的,即物质组成的实体,这是它的主要内涵。但是充满内涵应包括这个实体的一切能够产生环境影响(即对人类生活动的影响)的特性。从这一内涵来看地质环境的要素有五条:① 岩石物质组成;② 结构;③ 赋存状态;④ 物理、化学及工程特性;⑤ 动态边界条件(表1.1)。

表 1.1 地质环境模型的要素

N	要素	内容	描述
1	介质	岩(水)	胶结,结晶岩体,具裂隙水
		土(水)	松软土层,具孔隙水
		岩土(水)	复合地体
2	结构	不均一性	岩土层组及岩石组合
		不连续性	结构面及内界面
3	状态	地下水	干湿状态
		地应力	应力性质及水平
		地热流	温度及热流特征
4	性质	物理	物理性质
		化学	化学性质
		工程	工程技术有关特性
5	边界	内边界	相对均一体界面
		自由边界	地面
		工程边界	地基面

(1) 物质组成是地质环境的基础。具有地质成因的岩土的物质组成一般用岩性表达,但

是矿物成分和化学成分也是很重要的。有时要考虑岩土的同位素、稀有元素等组成用于特殊目的评价,有一些岩土性质含有工农业可利用的组分,称之为矿石,矿物材料组成矿产资源。但是,岩石表层圈的组成是多相的,除固体岩石外,还包含气体和液体。地下水和石油是重要的资源,而气体有天然气及其他气体。在表面还有与人类生存脉脉相关的空气层。

(2) 结构特征取决于介质的不均匀性和不连续性,主要是相对均一的岩土单元的组合方式。不同的岩土物质组成往往具有不同的结构。构成地质环境的岩土体有多种结构类型,有整体状、块状、层状、条块状、碎裂状等。如黄土地块的结构模型为相对均一的整体状结构,沉积岩地块则为典型的层状结构,而大型断裂带构成碎裂状结构。

(3) 岩土介质是地质成因的自然结构物,它的赋存状态反映大范围的环境背景,在很大程度上决定着它们的特性。地下水、地应力和地热流可能是三项最主要的介质赋存状态,即介质所处的自然环境。

(4) 地质环境特征是由上述三方面要素决定的,从整体上研究环境应包含其特性要素。因为从人类生存的自然环境角度来看,主要是它的一系列物理的、化学的及工程的特性。人类的生存活动,尤其是工程活动必须利用、迁就它的特性,或改造它形成新的特性。

(5) 相对均一的地质介质是有一定边界的,这些边界往往受地质成因所制约。当考察某一地块时,发现它由若干相对均一的次级地块所构成,每一级地块的边界成为大地块的内边界。从三维观点来看,地形面及地质介质与工程结构物的接触面属于外边界。

因此,地质环境作为人类生存活动所依赖的地质介质是一个既有物质和结构,也包含与其密切关联的状态和特性的地质实体,并具有一定的动态边界。掌握了这些要素,才能正确地描述地质环境,作出环境质量评价(图 1.3)。

### 1.3.1.2 地质环境的形成及演化

现今的地质环境不是一时造就的,它首先是自然造物,是在漫长的地质年代中逐渐形成和发展演化而至今日。但是在人类活动历史中有一定范围地参与地质环境的演化。为了认识今日地质环境的本质,必须追溯它的过去、恢复它的演化过程。只有在认识过去的基础上,确认其今日的性状,才有可能预测它的未来变化及对人类工程活动相互作用的发展趋势。这样才能做好地质环境的保护和合理利用的工作。

地质环境作为周围介质是具有物性的地体,它的形成和演化可以分为四个阶段(图 1.4)。

(1) 地质建造阶段 这是地体物质组成基本形成的阶段。在这个阶段由于各种不同的地质作用造成物质的分异和堆积,形成地体,具有一定的结构和特性,并初具边界轮廓。不同的岩石建造具有不同的岩组结构和岩石组合,为以后的演化奠定了基础。

(2) 构造演化 大部分地体在地壳构造运动的作用下,产生了不同规模的运移。有一部分地表成因的地体因承受了巨厚的上覆岩层,而有一部分深部成因的岩体被推动到地壳表层。在地表剥蚀过程中它们终于出露或临近地表,成为人类栖息的介质,决定着环境的主要要素。在构造演化过程中,地体的物质组成可发生本质的变化,例如砂岩变为石英岩,同时物质产生新的分异,叠加在初始岩石建造上。在结构上出现断裂,巨大的断裂活动可使地体移动,改变边界,产生新的耦合。这种内动力的作用对于岩石地体的作用是很显著的,但是对构造稳定区的年青表层沉积地体影响则可能比较微弱。

(3) 表生演化 人类生存活动的环境主要是由地表及临近地表的地体构成。对它们来说,表生演化是很重要的,往往也是矿产资源和地质环境研究的侧重点有所区别之处。在地壳的表层圈进行着大气、水、生物和岩石四个层圈的相互作用。岩石卸荷风化伴随着地形(边界