



高等学校教材

环境工程水文地质学

河海大学 彭汉兴 主编



高等学校教材

环境工程水文地质学

河海大学 彭汉兴 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

环境工程水文地质学就是对人类工程——经济活动所引发的或潜在的工程地质问题或水文地质问题进行的评价和预防。内容包括：坝址、水库、地下水开采利用中的环境工程地质问题以及水利工程环境影响评价。

本书可作为水利电力类高校工程地质及水文地质专业的教材，也可供从事环境工程水文地质学研究人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程水文地质学/彭汉兴主编. —北京：中国水利水电出版社，1997
高等学校教材

ISBN 7-80124-478-8

I. 环… II. 彭… III. 环境工程-水文地质-高等学校-教材 IV. P641

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 13758 号

书 名	高等学校教材 环境工程水文地质学
作 者	河海大学 彭汉兴 主编
出 版	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	机械工业出版社京丰印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 222 千字
版 次	1998 年 5 月第一版 1998 年 5 月北京第一次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	9.80 元

前 言

在工程建设和环境地质中，地下水常常起着重要的作用，并由于地下水作用而引起各类工程地质或水文地质问题，造成很多地质灾害。随着工程建设的日益复杂，环境问题的日趋严峻，地下水对工程建设和地质环境的作用与影响已日益深化地为人们所认识。环境工程水文地质学就是对人类工程——经济活动所引发的或潜在的工程地质问题或水文地质问题进行的评价和预防，它是环境工程地质学的重要组成部分。

本教材根据水利电力类高校工程地质及水文地质专业的教学计划要求编写，由河海大学地质及岩土工程系水文地质教研室彭汉兴主编。第一章、第三章、第五章第三节由华北水利水电学院李华晔编写；第二章、第五章第一、二节由彭汉兴编写；第四章由河海大学张勤、王建平编写。全书由清华大学戚筱俊教授主审。在编写过程中，曾得到两校有关教研室老师们的大力帮助，特向他们深致谢意。本教材的缺点和不足之处在所难免，希读者指正。

编 者

目 录

前 言	
第一章 环境地质及环境工程地质	1
第一节 环境地质概述	1
第二节 环境工程地质学	6
第二章 坝址环境工程地质问题	11
第一节 概述	11
第二节 坝址环境水基本特征	12
第三节 坝址环境水作用及环境工程地质问题	18
第四节 软岩及软弱夹层泥化问题	28
第三章 水库环境工程地质问题	43
第一节 概述	43
第二节 水库塌岸及淤积问题	43
第三节 水库浸没问题	57
第四节 水库诱发地震	62
第五节 水库下游河道演化问题	76
第四章 地下水开采利用中的环境工程地质问题	84
第一节 地面沉降的环境工程地质研究	84
第二节 喀斯特区地面塌陷问题	103
第三节 地裂缝的环境工程地质研究	114
第四节 地下水水质恶化问题	121
第五章 水利工程环境影响评价	130
第一节 概述	130
第二节 环境影响评价方法	136
第三节 环境工程地质图	139
附录 水利工程环境影响评价提纲	146
参考文献	148

第一章 环境地质及环境工程地质

第一节 环境地质概述

一、自然环境、系统、系统工程与自然灾害

(一) 自然环境、系统和系统工程

自然环境一词是对人类社会而言，与人类社会发展有关，它包含着人类生存所必须的生产和生活资料。也是人类从事各项活动的源泉和基础。自然环境的好坏直接影响到人类社会发展速度和质量。

那么自然环境有几部分构成，从哪几个角度来考虑这一问题呢？一些专家认为自然环境包括岩石圈、土圈、水圈、大气圈和生物圈五个部分，这五个部分相互依赖，共同存在于地球表面或其上部组成一个整体。从时间上讲，今天的自然环境与过去的自然环境有关，并且可影响到未来的自然环境，这就是自然环境的可测性。

如果研究古地理、古气候、古生态以及地质构造、地层岩性，就可知道地球的古面貌，并可预测未来自然环境。从空间角度分析岩石圈、土圈、水圈、大气圈、生物圈是一个相互依赖和制约的整体。任何一个圈层的变化会影响到其他的圈层，如土圈是由岩石风化而成，而风化又与水、大气、生物等因素作用有关，土经过漫长的地质史又可形成岩石。总之五个圈层有着整体性和依存性。自本世纪 50 年代以来，由于各国工业和农业迅速发展，导致环境污染。为了防止自然环境迅速恶化，兴起了环境系统科学的研究。

什么是系统？钱学森教授下了如下定义：“把极其复杂的研究对象称为‘系统’。即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体，而且这个‘系统’本身又是它所属的一个更大系统的组成部分”。系统的实例在我们周围处处可见，如一台仪器、一个国家、一个人体、一个企业或农场、地球的一个圈层、太阳系与银河系等。

从工程角度来衡量系统的特征是：①系统具有可制造性、改造性和控制性；②一个大系统可分成若干个子系统；③系统结构复杂但内部有序；④系统具有整体功能。

什么是工程？该词于 18 世纪出现在欧洲，是指制造作战兵器和以军事目标为目的工作。后来把这一涵义加以延伸，凡服务于特定目的各项工作总和称为工程，如水利工程、电力工程、土木工程、环境工程等。由此把系统和工程组合起来则称为系统工程。它是各类系统组建、经营管理技术的总称，包括了财富的充分利用和开发，以最优方式实现预定的目标。由此可知，凡属于环境保护方面的系统工程就叫环境保护系统工程。

人与自然环境的关系。随着科学技术发展，人类活动对自然环境的影响越来越大。在地球上每一个地方，每一个角落几乎都留有人类的足迹，进行开发、改造、利用自然资源和自然环境，这样就大大加速了自然环境的改变和演化，对于人和自然环境的关系表示在图 1-1 上。

近半个世纪以来，由于人类在交通、通讯等方面进步使地球“变小了”，星际间距离“变近了”，人们对各方面的追求也就更加无止境了。在一个空前繁华的环境中，有许多不

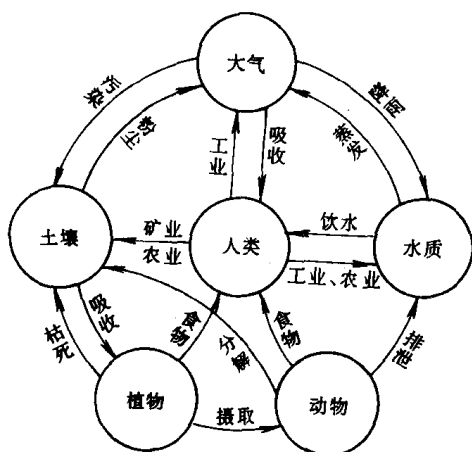


图 1-1 人类和自然环境的关系

利于人类发展和生存的因素潜伏在这种环境内部，如人口的迅速增加和集中使自然环境恶化、污染，进而导致自然灾害。

人对自然环境的改变表现在以下几个方面：

(1) 对岩石圈的改变。主要在山区，如山区城市建设、能源开发、道路交通、矿山工程、军事工程、水电工程等。

(2) 对土圈的改变。主要在平原区，如城市地面沉降、地裂缝、土地沙化等。

(3) 对水圈的改变。如江河湖海水体的污染、地下水位下降、水利水电工程对水体状态的改变、海水入侵等。

(4) 对生物圈的改变。如由于人类活动造成某些动物的迁移、植被的退化、人造植被的扩大、天然森林的减少等。

(5) 对大气圈改变。气候异常、臭氧层被破坏、大气污染等。

以上五个方面是在人类活动干预条件下引起的。为了防止自然环境恶化，使人类社会和自然环境达到和谐，协调一致，人类必须从时间和空间两个方面来把握自然发展规律，处理自然与人类本身的相互关系，实现人类发展与自然演化的一致。

(二) 自然灾害

1. 自然灾害与自然环境的关系

所谓自然灾害是指由于自然因素引起人类的生命安全、财产、赖以生存的资源、环境发生损坏和恶化，导致人类正常生活受到干扰，社会有时失去稳定等。自然灾害是自然环境系统的一个组成部分，自然环境有良性和恶性之分。自然灾害则属于恶性自然环境系统。

再者自然环境处于不断地演化，这种演化具有连续、缓慢、累积等特点。而自然灾害在其自然环境系统中仅是“一环”，它是突发性的，不连续的。自然灾害一旦发生，就会恶化自然环境。现举出两个实例说明两者的关系。

如岩石圈与震灾，岩石圈是自然环境的组成部分，而震灾是在岩石圈缓慢演化过程中的突发现象。地震的发生必然以岩石圈为物质基础。另外岩石圈在缓慢演化过程中必然有能量在其内部蓄积，当这种蓄积使岩石圈无法承受的时候，就会产生突发性的释放形成地震。地震对人类社会或其相关利益造成危害和损失即是地震灾害。

另外一个例子就是自然环境的污染，也是一种自然灾害，它也以五个圈层为物质依托。它虽不像地震那样具有突发性，但与自然环境演化这一长河相比仍然是短暂的。

自然环境与自然灾害的关系可用表 1-1 所示。

表 1-1 自然灾害的圈型分类

自然灾害类型	自然 灾 害 系 列
岩石圈型	地震、火山、滑坡、泥石流、崩塌
土圈型	沙漠化、土滑坡、地裂缝、水土流失、地面沉降
水圈型	洪水、暴雨、雪灾、冻灾、海啸、海水入侵
大气圈型	飓风、沙暴、酷热、严寒、干旱
生物圈型	虫灾、火灾、植物退化

2. 自然灾害的成生特点

由表 1-1 看出, 在不同圈层会发生不同形式的自然灾害, 这只是人为的划分, 有时一种自然灾害与多种自然圈层有关。如我国黄土高原水土流失除与黄土本身结构有关外, 和气候条件、大气降雨、植被因素也有关系。那么自然灾害成生规律何在? 其情况可参阅表 1-2。

表 1-2 自然灾害成生规律

地域性	我国东部以台风、洪水为主; 西北部沙漠化, 水土流失; 西南部有滑坡, 泥石流等
周期性	每年雨季, 东北、华北、长江中下游以涝灾为主; 四川、甘肃有滑坡、泥石流、坍方大量出现, 地震也有一定周期性
关联性	一种自然灾害会诱发另一种自然灾害, 如地震会诱发滑坡、泥石流。自然灾害具有传导性, 如山洪暴发会导致河道堵塞, 堤坝溃决引起洪水泛滥

二、地质灾害

(一) 什么是地质灾害

我国是一个幅员辽阔、地质、地理条件复杂、气候条件各地区变异较大的国家, 加之工农业、城市、交通、水利发展迅速, 每年都会发生一些不同类型的自然灾害, 尤其地质灾害在自然灾害中占有很大的比例。

什么是地质灾害, 目前尚属探讨阶段, 有人给出如下定义, 即“地质灾害是在地球内动力和岩石圈表部大气圈、水圈和生物圈的相互作用和影响下, 使生态环境或人类生命、物质财富受到损失的现象或事件”。它包含着两种地质动力作用, 一种是内动力, 另一种是外动力。外动力除自然动力外还有人为因素所引起的地质动力, 有时它成为岩石圈表部强大的地质动力, 对大气圈, 水圈, 生物圈带来直接或间接的影响。

(二) 地质灾害分类

引起地质灾害的因素和过程是复杂的, 其类型划分尚无统一的意见, 按《环境地质研究》一书可表示成图 1-2。

从图 1-2 知, 其划分格式是类→亚类→灾害命名。类型分成三种, 亚类分成十二种, 灾害分成三十四种。

(三) 我国地质灾害发育及分布规律

地质灾害是在一定环境条件下形成的, 它受到诸多因素的控制, 如地形地貌、地质构造、地层岩性以及人类活动等。我国地质灾害的分布有以下几方面的规律:

1. 地震灾害受到地球板块迁移的影响

我国位于欧亚板块东南部, 东部是太平洋板块, 西部是印度洋板块, 受到世界两大地震带挟胁, 因此, 在全国有许多地震活跃区, 如台湾、青藏高原、华北平原等。我国地震分布面积广、强度大、频率高。有人做过统计, 我国 30 多个省市中, 自本世纪以来有 21 个发生过 6 级以上地震。全国有 312 万 km² 土地面积和 136 个城市属于 VI 度或 VII 度以上地震区。

地震灾害也会产生次生效应。如长江中上游横断山地区, 黄河中上游祁连山地区和华

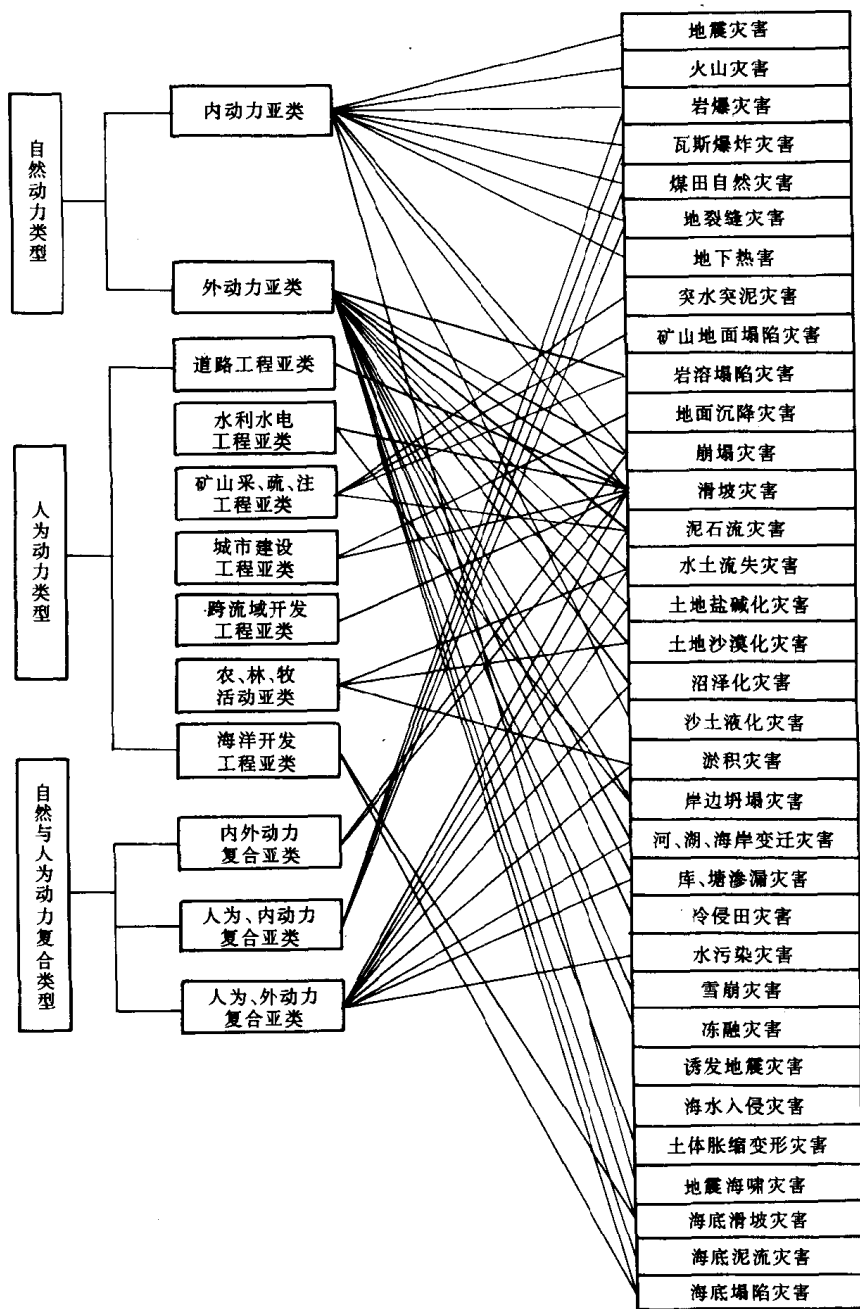


图 1-2 地质灾害成因类型体系框图

北燕山一带其滑坡、崩塌、泥石流发育分布多是沿着活动构造带和地震带。

2. 地质灾害受纬度和气候条件控制

中国大陆自南向北气候分布依次是热带→亚热带→温带→亚寒带，这一气候模式显然与纬度分带有关。所引起的地质灾害南北方有明显的差异，南方雨量充沛以喀斯特坍塌、土体胀缩变形、山洪、滑坡、水害为多，北方气候干旱，土地沙漠化、盐碱化为多；到东北大兴安岭地区纬度高，气候寒冷以冻融灾害为主。

3. 地形地貌对地质灾害影响

我国地势自西向东由高变低，大体可分成三个阶梯。第Ⅰ级为青藏高原，海拔在4000 m以上，年平均气温在 $-0.8\sim 6.5^{\circ}\text{C}$ 。温度变化以冻害、雪崩为主。依次向东为第Ⅱ级阶梯，海拔在1000~2000 m，秦岭以南长江流域为湿润—半湿润气候，秦岭以北黄河流域为干旱—半干旱气候。但两者均在夏季降雨，雨量充沛，故地质灾害常以滑坡、崩塌、泥石流、水土流失为主。在太行山、伏牛山至雪峰山以东地区为第Ⅲ级阶梯，它包括了东北平原，黄淮海平原，长江中下游平原以及江南广大盆地、丘陵区，海拔在500 m以下，地势平缓。这些地区人口密集，城市集中，工农业发展，交通便利，形成了以人类工程活动为主的地质灾害如地面沉降、海水入侵、诱发地震、土地沙漠化、水土流失、江河淤积等。

三、环境地质问题

(一) 环境地质学的定义

环境地质学是近20年来兴起的一门新兴学科，它是环境科学中的一个重要组成部分，目前，它还处于发展的初期阶段。国外一些学者虽已发表《环境地质学》专著，但作为一门科学并不完整，有许多问题有待人们去发掘和研究。什么叫环境地质学呢？目前，还没有统一的看法。一种普遍的认识：它是地质学科的分支，应当用地质学的理论和方法研究地质环境的基本特性、功能和演变规律；研究人类活动与地质环境之间的相互作用、相互制约的关系；解决人类开发利用自然环境遇到的和可能引起的地质问题；探索在经济发展过程中合理利用和保护地质环境的途径。

定义中所说的地质环境是指岩石圈、土圈、水圈、大气圈、生物圈及其有关的地质过程。它们之间有着密切的联系并且组成了一个独立的环境系统，我们把这个系统称为地质环境。

(二) 人为地质作用与环境地质学

由环境地质学的定义可知，它是研究由于人类活动所引起的一切地质现象。这些现象随着社会经济的发展和科学进步在不断扩大。人们的经济活动究竟可引起哪些地质作用，就现阶段而言，主要有以下几个方面：

(1) 人为剥蚀地质作用。主要有矿山剥离盖层、工程挖掘土石、农业平整土地等。人工对大自然的剥蚀作用，其速率和强度有时大于天然剥蚀作用。

(2) 人为搬运地质作用。人类为了开发和利用自然资源，为了某项经济活动，每年要搬运大量不同类型的材料。如填筑工程地基、采矿、开垦荒地、坡地等都会引起人为搬运地质作用。有人估计，由于人类活动每年搬运的物质达 10000 km^3 ，超过全球水流的搬运作用。

(3) 人为堆积地质作用。人工堆积在地球上许多地方达到相当大的规模，如布拉格市有一层厚6m的人工堆积物。

(4) 人为塑造地形作用。这和经济建设有关，往往形成许多地貌景观如人造平原、梯田、水库、运河、人工边坡、假山、填平低地、路堑、人工岛等，其速率比天然外动力地质作用甚至更强大。

(5) 人类活动所诱发的一些地质作用。如大规模开采地下水而引起的地面沉降，在喀斯特地区所造成的地面塌陷。对于一些水库和深井注水引起诱发地震等。

上述所列举的一些地质作用，常导致天然地质环境失去平衡。深入研究这些人为地质

作用的发生、发展对改善地质环境则是十分有益的。

(三) 环境地质区划问题

我国是一个地质灾害多发的国家，如地震、地面沉降、水土流失等在许多地方每年都有发生。这些灾害在当前要达到控制地步是困难的，但采取措施，加以预报或预防，较有效地减少一些地质灾害给人们带来的损失，达到人与地质环境有着较好的协调还是可能的。也就是说从环境观点出发，对全国或某一个行政区加以环境地质区划。什么叫环境地质区划呢？其定义是：①按区域的地质环境结构特征和功能有利、不利因素开展经济活动；②用区域所存在的地质问题来评估人类活动与地质环境的相容性以及它的容量和质量。由此可知环境地质区划是进行国土开发、环境管理和保护不可缺少的环节。

地质环境的容量是指一个特定地质空间可能承受人类社会—经济—工程发展的最大潜能。其地质环境质量是指自然地质条件稳定性，抗人类活动干扰能力，原生地球化学背景（钙、镁、钾、钠、碳、氮、氧、磷和某些微量元素对人体的有利和不利影响，环境受污染和破坏的程度）。

按照上述定义区划的内容与步骤是：

(1) 对规划区的地质构造、岩性、水文动态、地质作用、地形和气候加以分析研究，以区划出不同的地质环境单元。

(2) 对每一类型单元进行地质环境容量和质量评价。主要评价地质环境对人类活动承受能力。

(3) 对单元内环境地质问题作出评价和预测，对人类活动给地质环境已造成或正在造成的影响、性质、范围和程度做出评价并提出防治和治理对策。

(4) 提出规划区的利用方向、开发利用和保护措施。

第二节 环境工程地质学

一、环境工程地质学的兴起

环境工程地质学的兴起与人口、资源和环境等问题日趋严重有着密切联系。由于人口增加迅速，对资源消耗也与日俱增，人们生存的条件不断恶化，使人们加强了对这些问题的关注。

1980年第26届国际地质大会上发表了《关于参与解决环境问题的国际工程地质协会宣言》，该宣言提出一切工程项目在考虑可靠性及效益的同时要注意到环境影响。宣言号召工程地质学家要参与人类活动和自然地质作用对环境所造成的影响研究。1982年第5届国际工程地质大会把“环境评价与开发的工程地质研究”列为讨论专题。1984年第27届国际地质大会把全球资源、全球环境列为主要议题。

环境工程地质学在我国受到重视是近10年的事，而且取得不少成就，如对地质灾害形成机理；对地质灾害预测和对策的研究；环境保护的研究；都市和山区建设环境工程地质研究；区域环境工程地质研究等。

1981年在湖北孝感召开了《全国环境工程地质专题座谈会》，在会上列出三方面的研究课题：①加强环境工程地质问题有关理论和技术方法研究；②加强区域性环境工程地质研

究；③建议建立专门机构。1987年在我国召开了国际山区环境工程地质讨论会，在会上就山区环境工程地质评价、自然灾害和工程建设与地质环境相互作用做了重点讨论。同时会议认为在环境工程地质学、数据库、专家系统等领域中已取得了显著成绩。

1988年在成都召开的第3届工程地质大会上，有60多篇论文涉及到环境工程地质问题，如①工程滑坡形成机制、破坏模式、运动特征；②水库诱发地震形成机制及其模型；③城市环境工程地质问题及区域环境工程地质问题等。

1992年在北京召开了第4届全国工程地质大会。在这次会上共收到有关环境工程地质方面的论文约计70余篇，其文章内容多集中在大型工程和城市环境工程地质问题，说明我国工程地质界也非常重视环境工程地质学与国民经济建设的联系，这和第26届国际地质大会所制订的宣言精神是一致的。

二、环境工程地质学的基本概念

工程地质学是研究与工程建设有关的学科，解决一些工程建设的规划选址、勘测设计、施工与运营中的各种地质问题。环境工程地质学是随当今环境科学的发展而形成的一门新兴的学科。

如今城市、能源、交通等工程，企业交织形成了一个庞大的体系，人们为了创造更好的生活，往往忽视了自然环境所能承受的能力，导致一些灾害。这就是人类的各种工程活动不仅能影响环境而且能破坏环境，当然也包括地质环境。为了研究人类活动与地质环境的协调，防止造成不应造成的后果，出现了一门新兴学科——环境工程地质学。环境工程地质学的定义迄今有许多学者做过探讨，如Mose, Flawn, Wayhe. E. M. Cepteeb认为“环境工程地质学以研究环境工程地质为核心”。在国内刘国昌教授、胡海涛教授等也做过较详尽的阐述。纵观各家的观点可以说传统工程地质学是对所存在的自然地质灾害进行调查、研究、治理。而环境工程地质学则是对人类工程—经济活动引发的或潜在的工程地质问题进行评价和预防。环境工程水文地质学是环境工程地质学的重要组成部分，它是着重研究与解决地下水作用引起的各类环境工程地质问题或水文地质问题，它也是工程地质与水文地质工作相结合的产物，研究内容上与环境工程地质学基本一致。

三、环境工程地质学研究的内容

目前对研究的内容尚无统一的意见。大体分为广义的和狭义的。从广义者观点出发是研究原生和次生环境，狭义者认为只是研究次生环境。原生环境就是自然工程地质环境，也就是传统工程地质学环境。次生环境是人类工程—经济活动使原生环境产生变化的地质环境，它往往引起灾害，后者更符合前面所陈述的环境工程地质学定义。

环境工程地质学研究内容大体按两个系统划分：一是按自然学科形态划分；二是按生产实际需要的社会生产划分。

(1) 按自然学科形态划分，研究的内容有：

1) 诱发地震。它是研究由于水库蓄水、深孔注水、矿床开采、核试验等所透发的地震。应研究这些地震的发生、发展规律，危害及其防治等。

2) 人工和天然岩土工程边坡。主要是研究工程开挖、采掘和水库蓄水所引起的人工或天然边坡的变形、破坏及其有关的一些地质灾害问题。

3) 地面沉陷。研究由于过量抽取地下水或其他液体或过量采矿而引起的地面沉降、地

裂缝及塌陷等。

4) 人工堆积物。研究城市垃圾、人工填土、矿渣堆积物、有毒废物或核废物填埋所引发的环境工程地质问题。

(2) 按社会生产部门划分, 研究的内容有:

1) 城市环境工程地质。研究城市地区的环境工程地质问题, 如垃圾处理、地面沉降、地裂缝、地表水与地下水恶化及污染等。

2) 矿山环境工程地质。研究由于开采不当引起的山体崩滑、矿山沉陷、泥石流等。

3) 水利环境工程地质。研究水库诱发地震、水库渗漏、淤积、边坡失稳、坍岸、水土流失以及坝基岩体软化泥化、渗压变化及渗透变形等。

4) 交通道路环境工程地质问题。研究由于修筑交通道路工程引起的各种对工程地质环境的危害。

5) 旅游环境工程地质。研究自然风景区和古文化遗迹的保护等。

四、环境工程地质系统分析概述

当前有关环境工程地质评价分析专著较少。凭借何种方法和手段更为真实地反映工程地质环境的实际情况, 是一个值得进行详细研究和讨论的课题。因为工程建设和地质环境的相互作用受到众多因素的影响, 这些因素一是来自自然地质环境, 二是人为的因素。如果我们把人对自然地质环境的开发和利用看成一个大的系统, 这个系统随着地质因素和人为因素影响变化而变化, 故采用动态系统分析工程地质环境在许多专家看来是可行的。

所谓系统分析是以整体效益为目标, 对研究的对象采取最佳方案的分析。主要包括目标确定、系统结构和背景分析、状态分析、协调分析及管理实施等。

工程地质环境系统分析的目的是为工程建设服务, 使环境和建设相协调。工程地质环境是一个与工程建设有关的地质环境系统, 它包括工程系统、岩土地质系统和社会、自然背景三个子系统。但重点在于工程建设与地质系统之间的相互作用与协调。工程地质环境系统分析包括许多分析过程, 以渡口市建设的工程地质环境评价为例, 说明如下:

(一) 确定系统目标

系统目标要为工程规划和建设服务。要考虑到工程场址的利用与社会效益、经济效益和环境效益的统一。

系统目标由总目标、子目标和目标项组成。根据渡口市情况, 提出如下目标结构:

(1) 总目标。场址利用合理性。

(2) 子目标。

- 1) 安全: 地基承载力适宜 (目标 1);
无地质灾害侵袭 (目标 2);
无不良的地质环境影响 (目标 3)。
- 2) 经济: 地势平坦 (目标 4);
供水方便 (目标 5);
交通方便 (目标 6);
地基、环境处理简易 (目标 7)。

在确定目标的时候, 一定要地质、规划、设计三方人员共同研究, 并应搜集一些已建

工程的经验和教训。

(二) 系统结构分析

系统结构分析是指系统本身对环境适应性和协调性而言。如果系统结构有漏项，将会导致对系统评价出现错误结论，因此系统结构分析是一项基础性工作。

从渡口市自然环境、地质条件、城市规划的特点可知，工程地质环境系统包括工程子系统、岩土地质子系统、自然环境子系统。每一个子系统包括的因子分述如下：

(1) 工程子系统。以城市建设规划为主要因子，其建筑物以5~6层框架，砖石结构，沿江做枝状分布为宜。

(2) 岩土地质子系统。它包括：

- 1) 边界——高度、坡度、平坦度；
- 2) 结构——块状岩体、层状岩体、碎裂岩体及松散沉积物；
- 3) 成分——岩石如变质岩、火成岩、沉积岩（砂岩，灰岩等），土如粘性土、砂土、碎石土。

(3) 自然环境子系统。它包括大气系统、水系统（地表水、地下水）、植被系统等。在进行系统结构分析的同时应做系统背景分析（或称系统环境）即系统外围分析，如社会环境因素、城市设施和人口分布状况。自然环境因素中的资源、气候、灾害等问题。

(三) 系统趋势分析

系统趋势分析就是对各子系统因子进行状态预测。对渡口市来说，在做岩土子系统边界、强度、稳定性趋势分析时，要考虑到城市建筑物的特点和作用。岩土边界用高度、坡度、平坦度表征。趋势分析说明，对低高程土地，当坡度小于20°时，有利于工程建设，且不容易产生自然灾害，崎岖地形对建筑工程很难适应。岩土强度趋势分析说明一般符合建设要求。岩土稳定趋势分析用稳定系数表示，要考虑岩土类型、地形、岩土本身的结构及地下水等因素的影响。

此外，还要进行工程和环境系统趋势分析。对工程建设来说应对施工方法，深挖基础，平整土地，削坡等带来的影响做趋势分析。对环境系统随建设发生变化的情况也应做趋势分析。

(四) 系统可协调性

系统可协调性任务是对工程地质环境做综合评价。所说的工程地质环境是指高度、坡高、平坦度、强度、稳定性。所谓可协调性是指工程、岩土地质、环境三个子系统相互适应并保持工程系统建造具有经济和运行安全的能力。可协调性采用可协调度或工程地质环境质量来表征。系统的可协调性越强，工程地质环境系统总目标越容易实现。

渡口市的可协调度用下式评估

$$C_c = \sum_i p_i V_i$$

式中 C_c ——可协调度；

i ——场址的高度、坡度、平坦度、强度、稳定性等5项因素；

p_i ——因素 i 的权重数，通过对各种环境工程地质因素分析得到；

V_i ——因素 i 的归一化指标，通过相似聚类分析计算得到。

(五) 系统的管理和实施

系统的管理和实施是实现系统总目标的重要组成部分。把工程勘察、设计、施工以及运行管理工作作为一个整体加以评价分析。在系统管理上首要是系统间的协调。对于协调性差的部分应调整计划和规划或采取必要的技术措施。渡口市为了加强系统协调采取如下三方面措施：①岩土地基处理和地表水的治理；②对滑坡、泥石流和膨胀开裂进行治理；③改进施工方法、程序和手段。

从国际范围来看，城市系统管理的内容大体有以下几个方面：

- (1) 行政上设立有关的管理机构，规定管理权限；
- (2) 建立管理制度、条例和工程建设环境维护规定，设立法制保障，有法可依；
- (3) 进行大力宣传；
- (4) 设置监测系统和示范工程；
- (5) 设置信息系统。

第二章 坝址环境工程地质问题

第一节 概 述

我国已成功地在不同河流上兴建了许多大型或中小型水利水电工程，充分地发挥了拦洪、灌溉、航运以及发电的效益，在国家的经济建设中发挥了巨大作用。但也引起新的环境地质问题，坝址环境工程地质问题是其中重要的环境问题之一。大坝坝址是水利水电工程的枢纽，因此，坝址环境工程地质问题应是水利水电工程建设和运行中重要的研究内容。

一、坝址环境的基本特征

大坝建成水库蓄水，坝址自然环境发生了明显变化，工程地质环境也有了变化，坝址环境的基本特征是：

1. 新的自然生态环境——人工湖的出现

大坝建成后出现了新的人工湖泊，形成新的自然生态环境。对山区来说，由原来湍急的河流转变为稳定的静水湖泊环境，外营力地质作用相应地发生改变。库水为水生生物的繁衍提供了有利的条件，水库周边植被生长又为水库底层有机物质的富集创造了条件，下层库水则是处于还原环境。对坝址来说，水库水是坝基地下水的主要补给源，补给源水环境的变化必然导致坝基渗流过程中水与岩石（包括帷幕、混凝土——人造岩石）间水文地球化学作用的进行，有可能出现化学管涌和软岩软化或泥化等问题。

2. 坝基岩体承受荷载的长期性

大坝兴建后，坝基岩体即处于长期荷载状态，对坝基岩体来说，除考虑一般构造应力外，还要考虑大坝所受的水平推力及其垂直荷载对岩体的长期作用，这与一般土建工程是有不同之处的。同时，在长期荷载中，有一部分荷载大体固定不变，如坝的荷重、水库正常压力等；另一部分是瞬时、短暂的作用，如洪水、地震等。相对而言，后一部分比前一部分更具破坏性和危险性。值得提出的是荷载作用的长期性与坝基岩体强度的可变性是不相适应的，而且坝基岩体强度及裂隙发育是不均一的。因此，坝基岩体尤其是其中的软弱夹层或结构面，在长期浸泡后性状的改变，就可能影响着大坝的稳定，这正是工程技术人员所关心的事。

3. 水岩间的相互作用已成为引起坝址环境工程地质问题的主要因素

大坝建设过程中，为防止坝基渗漏，进行了大量的基础处理，如设置灌浆帷幕，坝前铺盖及防渗墙等。尽管如此，坝基渗漏仍然长期存在，从大坝安全与稳定考虑，在一定限度内的渗漏量并不构成威胁，然而坝基渗漏不仅仅是流失水量问题，而且可能引起扬压力超值，影响坝的稳定。水岩间相互作用的长期存在，就可能引起坝基软弱岩层或结构面的软化、泥化，从而产生机械和化学潜蚀，以及对帷幕和混凝土的腐蚀等，又构成对大坝稳定的威胁。

二、坝址环境工程地质中常见的问题

近几十年来，国际上出现多起大坝失事，以及虽然投入大量财力、物力而水库坝址仍

不能达到设计要求的正常运行状况,甚至是一空库。这些众多的坝址环境工程地质问题,已愈来愈受到工程界的重视。根据世界各国的调查统计,在重力坝失事原因中,由于地质问题造成的占45%。坝址环境工程地质问题,归纳起来主要表现在三个方面:

1. 渗漏及渗透变形

渗漏及渗透变形是坝址环境工程地质的首要问题。坝基渗漏不仅会造成渗漏量过大,影响水库效益,也造成坝基扬压力超过设计值,从而对坝体稳定构成威胁,而且还可能造成坝基松散土层,产生机械潜蚀。在碳酸盐岩层上修建水利枢纽,由于库坝渗漏造成水库不能正常蓄水运行,甚至成为干库,此在国内外均有实例。据广西壮族自治区的初步统计,因喀斯特渗漏问题而影响正常蓄水或甚至完全不能蓄水的水库约占总数的50%。

2. 坝基岩石在长期浸泡下的软化、泥化

坝基岩层在新的水环境下长期浸泡,一些软弱夹层或结构面,或含可溶盐的岩层中的易溶甚至难溶盐成分发生迁移,引起岩层的软化、泥化,导致坝基岩石强度的急剧降低,造成大坝失稳失事。美国圣、法兰西坝的破坏,即由于坝基泥质胶结的砾岩浸水崩解,岩层中的石膏细脉溶解,以及坝基漏水等原因而失稳。在国内,由于坝基岩层产生软化或泥化,岩层力学强度明显降低也是有实例的。如安徽泾县纪村引水式电站,坝基岩层为白垩系红层,在具有酸性侵蚀的库水的作用下,岩石中碳酸盐胶结物部分被溶蚀,造成建基面岩石抗剪强度下降, f 值由0.4降至0.28,发现后,经修建防渗墙和化学灌浆处理,岩石强度才得以改善。

3. 水对帷幕、混凝土的腐蚀与破坏

水库下层水和坝基水质的酸性化,可造成防渗帷幕体和坝体混凝土的腐蚀。水质中硫酸根离子和氯离子含量丰富时,可促使混凝土产生结晶性侵蚀,如甘肃八盘峡水库大坝坝基地下水中 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量曾分别达4246 mg/L和22810 mg/L,造成坝体廊道地面混凝土的严重腐蚀,局部已呈稀泥状,后经处理得以改善。

总之,在坝址环境下,水的作用已成为引起坝址环境工程地质问题的重要因素。

第二节 坝址环境水基本特征

坝址环境水是包括坝前库水,大坝两侧岸坡地下水以及坝基地下水。水库蓄水后,坝址环境水作用是引起坝址环境工程地质问题的主要因素,也是分析坝址环境工程地质问题的重要依据。

一、坝前库水的基本特征

坝前出现人工湖泊,水深可达几十米甚至百米以上,与建坝前河水相比,水库下层水无论在水温或水质上,还是运动特征上都发生了明显的变化。坝前库水是坝基地下水的主要补给源,对坝址环境工程地质问题的产生有着重要的影响。

库水温度变化的趋势是上部温度高,下部低。一般库面水的平均温度要高于多年平均气温,库水水层重力和热力对流的存在,造成了库底水的温度最低。从水的特性看,在温度 3.94°C 时,水的密度最大,其值为1.000。若依此推测,深水水库库底水最低可达 4°C 左右,此说明库底水层是处于低温环境。影响库水温度的因素较多,如气温、天然水的温度、