

缪林昌 刘松玉 / 编著

土木工程专业研究生系列教材

环境岩土 工程学概论

HUANJINGYANTU
GONGCHENGXUEGAILUN

中国建材工业出版社

环境岩土工程学概论

缪林昌 刘松玉 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

环境岩土工程学概论/缪林昌 刘松玉编著. —北京: 中国建材工业出版社, 2005.3
ISBN 7-80159-500-9

I. 环... II. ①缪... ②刘... III. 环境工程: 岩土工程
IV. TU4

· 中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 007521 号

内 容 提 要

环境岩土工程学是岩土工程学与环境工程学等学科紧密结合而发展起来的一门新兴学科。本书较详细地介绍了环境岩土工程学的主要研究内容、方法、新技术和发展趋势, 融纳、集成了国内外学者的最新研究成果, 也包括了作者和合作者的部分研究成果, 反映了环境岩土工程学领域的最新发展和技术水平。本书主要内容包括: 城市固体废物 (MSW) 的污染及其工程性质、地下水污染运移模型、场地调查与评价、城市固体废物的传统处置方法、现代卫生填埋场的设计与计算、放射性有害废料的处置、人类工程活动造成的环境岩土工程问题、大环境岩土工程问题、废物利用研究等。

本书可供从事土木、交通、水利、地质勘察和环境工程等领域的科研技术人员和工程管理人员, 以及相关专业的高校师生作为参考用书, 也可作为相关专业研究生的教材或高年级本科生选修课教材。

环境岩土工程学概论

缪林昌 刘松玉 编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 13.75

字 数: 337 千字

版 次: 2005 年 3 月第一版

印 次: 2005 年 3 月第一次

定 价: 21.00 元

网上书店: www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386904

前 言

清风、明月、绿水，是大自然赋予人类的宝贵财富；高山、平原、大海是大自然为人类创作的美丽图画。随着经济的迅速发展，人类自身的活动使自然赋予人类的宝贵财富受到损失，使美丽的图画受到损害，从而造成对环境的负面影响——环境污染和生态破坏，人类赖以生存的地球生态环境正受到日益严重的破坏，保护环境任务日趋严峻。20 世纪 80 年代，西方发达国家的废物、污染治理和环境保护已成为环境治理的重要内容之一，经过 20 多年的努力，环境污染和生态破坏已基本得到控制。我国在这方面起步较晚，其发展水平与世界许多国家相比还有不小差距。国内不少有识之士一再呼吁加强环境保护，实施绿色 GDP 计划，将环境影响因素计入 GDP 的统计中。环境岩土工程学是岩土工程学与环境工程学等学科紧密结合而发展起来的一门新兴学科，它主要应用岩土工程学的方法、技术为治理环境、保护环境服务。日趋强烈的环保要求，为环境岩土工程学的发展提供了新的契机。目前环境岩土工程学所涉及的问题主要有两大类：一是人类与自然环境之间的共同作用引起的问题，其动因主要是自然力的作用，如地震、洪水、山体滑坡、泥石流、土壤退化、沙漠化、沙尘暴、海啸和温室效应等自然灾害；二是人类自身发展过程中的生活、生产和工程活动与环境之间产生的相互作用问题，其动因是人类自身，如城市各种工业、商业和生活垃圾，废水、废液、废渣等化学有毒有害物质对环境和生态的危害，工程建设活动产生的挤土、振动、噪声等对周围居住环境的影响，深基坑开挖时降水、边坡位移，地下隧道掘进时对地面建筑物的影响，过量抽汲地下水引起的地面沉降等等。

根据环境岩土工程学科研究和教学的实际需要，为促进环境岩土工程学的发展，作者学习、总结国内外有关这方面的理论研究成果、工程实践经验并结合近几年作者的教学实践，编写了这本《环境岩土工程学概论》。本书在注重全书系统性的同时，针对环境岩土工程的实际需要，对如何更有效地研究预测污染影响程度作了进一步探讨，以便及时采取必要的预防措施。同时本书还对地下水污染运移模型和填埋场的调查与评价作了适当介绍。全书共分为十章：第一章 绪论；第二章 城市固体废物的工程性质及其污染形式；第三章 地下水污染运移模型；第四章 填埋场的调查与评价；第五章 城市固体废物的传统处置方法；第六章 现代卫生填埋场的设计与计算；第七章 放射性有害废物的处置；第八章 人类工程活动造成的环境岩土工程问题；第九章 大环境岩土工程问题；第十章 固体废物利用研究。

全书由缪林昌主编、执笔，刘松玉参编了第一章、第四章，石名磊编写了第十章第二节、粉煤灰的利用。本书承蒙河海大学殷宗泽教授主审，并提出了不少中肯意见，作者在此表示衷心的感谢。同样也感谢东南大学研究生院和交通学院的领导在本书编写过程中给予的支持。本书引用了许多国内外同行的研究成果，对他们的辛勤劳动亦表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不当之处，敬请同行批评指正。

缪林昌

2004 年 8 月于东南大学

土木工程专业研究生系列教材编委会名单

主 编：王思敬 中国工程院院士、清华大学教授

副主编：高 谦 北京科技大学教授

编 委：(北京科技大学，按姓氏笔划排序)

王金安 王德胜 乔 兰 牟在根 纪洪广 吴顺川

宋卫东 宋 波 李长洪 李建平 明世祥 高永涛

龚 敏 璩世杰

东南大学 缪林昌

河海大学 张发明

湖南大学 苏永华

北方工业大学 孙世国

河南工业大学 韩 阳

华北水利水电学院 万林海

山东建筑工程学院 薛守义

目 录

1 绪论	1
1.1 环境岩土工程学的发展	1
1.2 环境岩土工程学的基本概念	5
1.3 环境岩土工程学研究的内容和分类	8
1.4 环境岩土工程学的研究现状	9
2 城市固体废物的工程性质及其污染形式	21
2.1 固体废物的来源和分类	21
2.2 城市固体废物的工程性质	23
2.3 固体废物的污染形式	31
3 地下水污染运移模型	34
3.1 饱和-非饱和土层水流运移模型	34
3.2 吸附作用	37
3.3 饱和-非饱和土层溶质迁移模型	40
3.4 地下水环境影响预测模型	45
4 填埋场的调查与评价	49
4.1 填埋场的选择与勘察	49
4.2 填埋场环境影响评价	54
4.3 污染土的检测与监测	58
4.4 填埋场工程的生态环境保护	63
5 城市固体废物的传统处置方法	67
5.1 概述	67
5.2 深井灌注	67
5.3 卫生土地填埋	70
5.4 安全土地填埋	74
6 现代卫生填埋场的设计与计算	81
6.1 概述	81
6.2 防渗衬垫系统的设计	83

6.3	淋洗液收集和排放系统的设计	88
6.4	填埋场气体收集系统的设计	91
6.5	填埋场封顶系统的设计	93
6.6	填埋场边坡稳定分析	94
6.7	卫生填埋中的沉降计算	104
7	放射性有害废物的处置	112
7.1	放射性废物管理的目标和原则	112
7.2	放射性废水的管理	118
7.3	浅地层处置	124
7.4	高放废物深地质处置	127
7.5	高放废物处置库选址及其标准	130
8	人类工程活动造成的环境岩土工程问题	133
8.1	打桩对周围环境的影响	133
8.2	基坑开挖造成地面移动或失稳	143
8.3	软土隧道推进时的地面移动	151
8.4	抽汲地下水引起的地面沉降	159
8.5	采空区地面变形与地面塌陷	164
8.6	城市建设引起地下水化学场变异	166
9	大环境岩土工程问题	169
9.1	洪水泛滥	169
9.2	区域性滑坡与泥石流	170
9.3	地震灾害	173
9.4	火山	175
9.5	水土整治	176
9.6	盐渍土及土壤盐渍化	178
9.7	海岸灾害及岸坡保护	179
9.8	海平面上升引起的环境岩土工程问题	180
10	固体废物利用研究	186
10.1	概述	186
10.2	粉煤灰的利用	187
10.3	煤矸石的利用	196
10.4	炉渣的利用	203
	参考文献	208

1 绪 论

1.1 环境岩土工程学的发展

1.1.1 概述

随着经济、工业的迅速发展,人们越来越意识到人类活动对环境产生的两个负面影响:环境污染和生态破坏。在科学领域中应运而生一门新兴学科——环境岩土工程学。它既是一门应用性的工程学,又是一门社会学。它是把技术和政治、经济和文化相结合的跨学科的新型学科。它的产生是社会发展的必然结果。

约在 20 世纪 70 年代,美国、欧洲核电工业垃圾废物的安全处置问题和纽约 Love 河的污染问题引起了人们的强烈关注,而岩土工程师们在处理这些问题时起到了决定性作用。到了 20 世纪 80 年代,随着社会的发展,人们普遍感到原来的“土力学与基础工程”这一学科范围已不能满足社会的要求,随着各种各样地基处理手段的出现,土力学基础工程领域有所扩大,形成了岩土工程新学科。

地球为人类生存营造了一个栖息环境,随着人类的进步和社会的发展,人们不断地采用各种各样的方法和手段改造自然,使生存的环境变得更美好。但是,由于人类对自然认识水平的限制,在改造自然的过程中,不可避免地存在着很大的盲目性和破坏性。自 20 世纪 60 年代开始,人们逐渐感到有一种自我毁灭的潜在危机正悄悄威胁着人类的命运。随着人类对自然认识水平的提高,人们对工程活动的评价标准也在不断提高。在当今的社会中,如果工程活动评价标准还停留在局部利益的基础上,可能会得到适得其反的结果。人们从中非但得不到任何好处,反而损害了自身的利益。例如,盲目地砍伐森林、破坏草地,造成水土流失、气候失调、土地毒化等,给人类自身带来更多的灾难。据瑞典国际开发署和联合国机构调查,由于环境恶化,在原有的居住环境中无法生存而不得不迁徙的“环境难民”全球达 2 500 万之多。由于城市工业用水大量抽汲地下水、修建高层建筑(群)等造成地面沉降,据统计(2004 年 7 月 23 日中国日报)我国已有 50 多个城市由于过量的抽汲地下水造成 48 655 km² 的地面沉降,单在北京就有 50 处之多,面积达 1 800 km²,最大沉降量达 722 mm。因此,现代社会对人类工程活动的评价标准已经冲破了国界线。增加环境意识,共同思考人类赖以生存的地球环境状况,携手保护环境已是目前面临的迫切问题。

当今世界的环境,可归纳为十大问题:①大气污染;②温室效应加剧;③地球臭氧层减少;④土地退化和沙漠化;⑤水资源短缺;⑥海洋环境污染恶化;⑦“绿色屏障”锐减;⑧生物种类不断减少;⑨垃圾成灾;⑩人口增长过快等。由于环境条件的变化,迫使人类意识到自我毁灭的危险,对人类活动的评价标准也随之不断扩展,所以新的学科也就不断地出现,老的学科不断地组合。环境岩土工程学就是在这样的前提下发展起来的。

追溯本学科发展的历史,1925 年太沙基(K. Terzaghi)发表了第一本土力学经典著作,

开始把力学和地质科学结合起来,解决了许多工程实际问题;直到 20 世纪 50 年代,才形成了土力学与基础工程这门学科。到 20 世纪 80 年代,随着社会的发展,人们普遍感觉到原来的学科范围已不能满足社会的要求,随着各种各样地基处理手段的出现,土力学基础工程领域有所扩大,形成了岩土工程新学科。进入 20 世纪 90 年代,设计师考虑的问题不再仅仅是工程本身的技术问题,而是以环境为制约条件。因此不仅是岩土工程学科,包括其他学科,如力学、化学、生物学、土壤学、医学等各自都感到力不从心了。例如大型水利建设必须考虑到上下游生态环境的变化,上游边坡的坍塌、地震的诱发等等。又如采矿和冶炼工业的尾矿库,它的淋滤液有可能造成地下水的污染,引起人畜和动物的中毒;大量工业及生活废弃物的处置,城市的改造,人们居住环境的改善等等,需考虑的问题不再是孤立的而是综合的,不再是局部的而是全面的。因此岩土工程师面对的不单单是解决工程本身的技术问题,而必须考虑到工程对环境的影响问题,所以它必然要吸收其他学科,如化学,土壤学、生物学、土质学、卫生工程、环境工程、水文地质、采矿工程及农业工程等学科中的许多内容来充实自己,使之成为一门综合性和适应性更强的学科,这就是环境岩土工程新学科形成的前提。

国际上,从 20 世纪 50~60 年代公害事件的显现,人们就在不断探索、反思这个问题,并已取得了基本认识。目前,国外对环境岩土工程的研究主要集中于垃圾土、污染土的性质、理论与控制等方面,而国内则在此基础上有较大的扩展,目前就涉及的问题来分,可以归纳为两大类:第一类是人类与自然环境之间的共同作用问题。这类问题的动因主要是由自然灾害引起的,如地震灾害、土壤退化、洪水灾害、温室效应等。这些问题通常称为大环境问题。第二类是人类的生活、生产和工程活动与环境之间的共同作用问题。它的动因主要是人类自身。例如,城市垃圾,工业生产中的废水、废液、废渣等有毒有害废弃物对生态环境的危害;工程建设活动如打桩、强夯、基坑开挖和盾构施工等对周围环境的影响;过量抽汲地下水引起的地面沉降等等。有关这方面的问题,统称为小环境问题。

环境问题已从 20 世纪 50~60 年代的公害事件显现,发展到两类环境问题严重或等价的新的发展阶段,这就是传统的“环境污染与生态破坏问题”和新的“环境岩土工程问题”。作为环境工程中一个重要组成部分的环境岩土工程学,随着 20 世纪 80~90 年代以来大规模岩土工程建设的发展,它对参与解决环境问题的必要性和迫切性也日益显露出来,这促使环境岩土工程的发展和两类环境问题概念的出现,使之成为环境岩土工程的中心内涵。

环境岩土工程学是一门综合性交叉学科,它涉及岩土力学与岩土工程、卫生工程、环境工程、土壤学、土质学、水文地质、地球物理、地球化学、工程地质、采矿工程及农业工程学等学科。而就环境本身而言,它是自然客体与人类客体相互联系的系统,有自然环境和社会环境两部分组成。环境问题则是人类活动引发环境产生的不利于人类生存的变化。环境和人类活动具有复杂性、多样性。而人类社会是不断发展的,所以,环境问题也必然具有多样性、综合性和发展性的特点。

从环境岩土工程学的研究内涵来看,在对特殊土(黄土、盐渍土、红黏土、膨胀土、冻土)的研究基础上,需进一步开展垃圾土、污染土、海洋土及工业废料、废渣工程利用的研究;此外,受施工扰动土体的工程性质问题仍应成为研究的重点。废弃物处置设计中,要对垃圾土的取样方法、试验标准与方法、物理力学参数、甚至本构关系进行研究,而我们在这方面的研究是极为初步的。对垃圾土、污染土和各种废料处置等问题,国内外的学者也已意

识到对污染运移机理研究的重要性,这方面相对垃圾填埋技术的发展而言,应该说投入的人力和研究成果的应用等还不能满足实际的需要。

1.1.2 国内外发展现状

1. 国外

20 世纪 60、70 年代,像美国、德国、英国、日本等这些工业发达国家在这一时期就先后开展了固体废物及其污染情况的调查、治理等工作。在这个基础上制定了固体废物污染控制、治理的法律和法规,特别是还制定了许多技术标准。自 20 世纪 70 年代以后,一些发展中国家,如墨西哥、马来西亚、新加坡、印度尼西亚和我国的香港也相继立法,这些国家和地区到 20 世纪 90 年代后基本形成了比较完善的固体废物污染预防和治理的法规体系,其中也包括技术标准。

上述这些国家和地区对固体废物管理立法的目的是要保护人的健康、植物界和动物界以及环境介质水、土壤和空气。如日本的《废弃物处理及清扫法》,其立法的目的就是“对废弃物的恰当处理和为生活环境的保洁做出规定,以达到保护生活环境和改善公共卫生的目的”。1980 年美国制定的《固体废弃物处置法》的目的,其一是通过采取各种方法,增进人体健康,促进环境保护;其二是控制和防止产生固体废物污染,促进对固体废物的再利用。另外,美国还制定了《资源保护和回收法》,其目的是通过法律开展有关改善美国固体废物管理、资源回收、资源保护系统的建设和应用,从固体废物中回收有价值的原料和能源物质。德国为了保护环境,针对固体废物也制定了许多法律法规和标准,最早在 1972 年 6 月颁发了《废物安全填埋法》,该法中规定在每一个大区域城市中必须要建立足够数量的固体废物中心填埋场。德国的《废弃物消除和管理法》规定,通过消除和减少废弃物产生量的原则和制度,回收利用固体废弃物中有价值的资源和能源。另外德国于 1991 年制定的《废物技术导则(TA ABFALL)》和于 1993 年制定的《居民废物技术导则(TASi)》两个文件,都是针对填埋场的安全性提出了更高要求,作出了全面规定。

除了上述介绍的各发达国家为加强对固体废物管理制定了各种各样的法律法规外,这些国家固体废物的安全填埋技术也有了更深入的发展,特别是围绕“填埋场的安全性”问题,各国相继投入了许多高新技术。为了保证位于地面的固体废物填埋场的安全而发展了“多屏障密封技术体系”,20 世纪 90 年代德国在填埋场基础和表面密封技术方面又出现了许多新技术和新材料。对填埋场的排水、排气和表面复垦技术也有了新发展,至目前为止技术上还存在的问题仍是渗滤液的处理技术尚有一定难度,达不到理想的处理效果。

近年来德国和其他发达国家为了确保环境领域安全,免受固体废物的任何污染,不给予孙后代留下隐患,发展了固体废物的地下安全填埋技术,特别是对工业危险性废物和放射性废物采取地下填埋的方法,使它们远离生物圈,与生物圈不发生任何联系,使环境安全无后顾之忧。地下填埋就是利用以往煤、矿石和岩盐矿床开采留下的地下空间,把固体废物经过一定预处理后堆填到地下。另一种方法就是将垃圾焚烧灰、高炉灰、粉煤灰、尾矿和矸石类材料在地表通过专门设备加工成膏状的充填材料,把它们输送到地下,充入采煤工作面的采空区内。这种方法既处理了废物,又防止了地表沉降,是具有采矿和环境保护双重效益的最理想的技术措施。在将来采矿的目的也可能不仅只是为了获得资源,更重要的是出于环保目的,就是要在地下为得到足够的堆填废物的空间而开采矿产。

2. 国内

20 世纪 80 年代之前,我国对固体废物的管理基本处于无序状态,到处乱堆乱放,环境污染十分严重。20 世纪 80 年代末和 90 年代初以来,我国政府和有关部门才着手对固体废物安全处理、处置技术进行研究,在“八五”期间立项了“有害废物安全填埋处理、处置技术研究”的国家科技攻关课题,至 1995 年取得了一些研究成果。在此之后,我国对固体废物的研究机构和学者逐渐多了起来。一些大城市,如北京、上海、杭州、沈阳和吉林先后建设了一批垃圾卫生填埋场或工业废物填埋场,但这些填埋场均未达到足够的安全程度,对环境存在着不同程度的潜在危害,有的已经造成对地下水的污染。北京六里屯的垃圾填埋场,如果按国外技术标准评价,也只能算作一个准安全填埋场,笔者认为迄今为止我国仍没有一座较高标准的固体废物安全填埋场,所以我国当前对固体废物安全处理、处置技术的研究、工程的建设等方面任务十分艰巨,是一个需要很长时间才能解决的大问题。

在 1995 年 10 月 30 日通过,1996 年 4 月 1 日施行的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》,使我国也有了自己的为了防治固体废物污染环境,保障人体健康,促进社会与经济发展的对固体废物加强管理的法律。

据国家环保总局的统计资料显示,我国每年产生的固体废物数量巨大,种类繁多,性质复杂,由固体废物造成的环境污染相当严重。

据统计,1993 年全国工业固体废物产生量达 6.2 亿 t,排放量 2 000 万 t,其中排入江、海的 1 000 万 t。当前全国工业固体废物累计堆存量已达 59.2 亿 t,占地 5.5 万 km²,其中占用农田 3 700 km²。城市生活垃圾产生量以每年 6%~7% 的速度增长。据 1993 年统计,全国城市生活垃圾清运量为 1.2 亿 t/d,目前全国已有 2/3 的城市陷入垃圾包围之中。

当前我国因受技术、资金、管理水平等因素制约,对固体废物的处理、处置仍处在低水平阶段,大多数填埋场或其他处理措施都没有达到环境保护法所要求的安全、无害化的处理和处置,每年都发生固体废物污染环境事故,仅 1990 年就发生了 103 起,造成严重的损失。据不完全统计,每年造成的经济损失都近 100 亿元,每年当作废物处理的可回收利用的废物资源价值已超过 250 亿元,这又造成了极大的浪费。面对当前固体废物污染环境的严峻局面,国家和地方正在采取一系列管理措施,建立健全法律、法规、规章制度和技术标准。

目前我国在防治固体废物污染环境方面存在的问题主要表现在以下几方面,希望国家和地方、科研机构和大专院校致力研究和解决。

(1)《固体废物污染环境防治法》出台之后,缺乏使该法能切实得到实施的一系列配套的法规、标准,故仍急需加强防治固体废物污染环境的立法工作。

(2)在我国改革开放的过程中,乡镇企业和个体企业的生产工艺落后,粗放式经营,靠牺牲环境来获取利润,所以废物的产生量大,又不投入治理污染的资金,缺乏先进的污染治理与防治技术。“谁污染、谁治理”的原则,在我国当前仍没有相应的法律和法规约束和限制,致使那些污染环境的大户企业仍然继续经营和存在。

(3)固体废物排污费的征收面小,标准低,收缴上来的排污费也没有利用在治理污染上。据统计,征收上来的固体废物排污费仅占全国排污总征收额的 1%,这与污染造成的损失极不相符。在这种情况下,处置固体废物的工程设施的巨额资金无处筹集,也无人投入,致使造成污染的企业也无治理压力。

(4) 固体废物环境管理体制尚不完备。我国固体废物的种类多、产生量大、来源广，涉及的部门多，管理上不协调，有漏洞。例如同是固体废物，城市生活垃圾归城市建设部门管，而工业废物则归环保局管理。因此环保部门统一监督管理的职能没有发挥，管理机构混乱、水平低、管理人员不足且素质不高。

(5) 固体废物安全处理、处置技术落后，措施不得当。根据我国固体废物的特点来采取适当的处理措施，这才能既保证环境领域的安全，又能节约大量资金投入。

1.2 环境岩土工程学的基本概念

环境岩土工程学的视野是十分宽广的，它所要处理的问题又是综合性的。因此，了解和研究这门新的学科，必须具备以下的基本观念：

观念 1：地球本质上是一个封闭的循环系统。

地球是由大气圈、水圈、生物圈和岩石圈四部分组成的整体，在变化的条件下，任何一部分都在不断地改变。一部分控制着另一部分，它们是相互制约、相互调整的，相互之间共同作用，任何一部分的改变量和发生的频率都会影响其他部分，每一部分称为“环境单元”。例如，由于火山爆发，火山气体的释放，影响到大气圈，从而引起区域性的雨量猛增，造成局部地区洪水泛滥或者干旱，变化了的环境又有可能影响到生物圈的改变。水土流失造成滑坡，泥砂被洪水搬运，在下游沉积形成岩石。在系统内部各部分相互作用的变化，不是偶然的，因此，我们仔细观察一个环境单元如何影响到另一个环境单元是十分重要的。

地球（环境）不是静止的而是不断运动的，每一个环境单元又是开放的，它不存在一个明确的物质边界或能量边界。自然界物质循环是无休止的以及有一定的时间的，表 1.1 列出了某些物质在自然循环中滞留的时间，可以看出各种物质在不同的环境单元内滞留的时间少则几天，多则几亿年。表 1.2 列出了在岩石圈内地质循环的速率，这些资料都为我们提供了证据。

表 1.1 某些物质在自然循环中滞留的时间

地 球 物 质	滞 留 时 间	地 球 物 质	滞 留 时 间
大气圈		生物圈	
水蒸气	10 天（低气层下）	水	2 000 000 年
二氧化碳	5 ~ 10 天	氧	2 000 年
烟雾颗粒	数月至数年	二氧化碳	300 年
同温层			
对流层	一周到几周	海水组成要素	
水圈		水	44 000 年
大西洋表面	10 年	盐类	22 000 000 年
大西洋深水	600 年	钙离子	1 200 000 年
太平洋表面	25 年	硫酸盐离子	11 000 000 年
太平洋深水	1 300 年	钠离子	260 000 000 年
陆上地下水	150 年（760m 以上）	氯离子	无限

注：本表来源于 The Earth and Human Affairs by the National Academy Copy right 1972 by the National Academy of Science. U.S.A.

表 1.2 自然循环速率

自然循环分类		循环速率
地表侵蚀	美国平均流失率	6.1cm/1 000 年
	柯罗拉多河流域	16.5cm/1 000 年
	密西西比河流域	5.1cm/1 000 年
	北大西洋沿岸	4.8cm/1 000 年
	太平洋沿岸 (加利福尼亚)	9.1cm/1 000 年
沉积	柯罗拉多河	28.1 亿 t/年
	密西西比河	43.1 亿 t/年
	北大西洋沿岸	4.8 亿 t/年
	太平洋沿岸 (加利福尼亚)	7.6 亿 t/年
地质构造	海底延伸 北大西洋 东太平洋	2.5cm/年 7 ~ 10cm/年
	断层产生 圣·恩特来斯 (加利福尼亚)	1.3cm/年
	山脉上升 加利福尼亚山脉	1.0cm/年

注：本表来源同表 1.1。

观念 2：地球是人类合适的栖息地，但它能提供的资源是有限的。

关于这个问题至少应从两方面理解，首先地球上的资源并非很丰富；其次是人口的不断增长使人类面临严重的资源危机。造成资源危机的原因：第一是人的寿命延长，无计划生育等造成人口爆炸；第二是不切实际地盲目增加生产造成资源浪费；第三是地球矿产的开采接近极限；第四是环境不可逆的破坏造成的风险越来越大，开采的多，有用的少。

观念 3：物质演变过程是通贯整个地质年代的，而且它正在改变我们的未来，然而演变进程的量和频率又受自然和人为的诱发变化支配。

这个概念的意思是要我们明白现在的演变进程正在塑造和改变我们的未来。简言之，了解目前的状态关键在于过去。举例说明，如

果我们已经研究了目前存在的高山冰河以及侵蚀和沉积地质构造的特点，然后可以推断目前虽不存在冰河期，但地质构造却与其相似的山谷，在同一冰河期的情况。

这一概念的另一意思是要让人们懂得我们现在正在做的事情，不能光图眼前的利益，要有可持续发展的战略眼光，要为我们的子孙后代负责。我们的活动稍不注意，就可能会给后代带来灾难。

人类的活动有时对全球范围的影响虽然很小，但对局部的影响却很大。例如，大量无计划地破坏植被，造成土地一年的侵蚀量可能数十倍于被破坏的森林或农作物覆盖的土地。如果我们都有保护环境意识，合理计划用地，保护绿化将具有重大意义。

观念 4：自然在不断地演化，而且经常危害着人类，但是，这些灾害是可以认识和可能躲避的。对这种威胁生存的灾害，人类必须研究其规律和提出防范措施，设法使灾害降低到最低限度。

大自然的演变如果在接近地球表面起作用的，称为“外成的”；如果在地壳以下内部起作用的，称为“内成的”。危害人类的外成灾害包括：水流、风、冰等动因引起的风化、物质消融、侵蚀和沉积；火山活动和地壳运动等属于内成演变。对人类具有强烈作用的主要是外成演变，然而某些内成演变如地震等同样能造成很大的威胁。

许多持续的灾变造成人类生命和财产的巨大损失。如海洋入侵、洪水泛滥、滑坡、泥石流、地震、火山活动等。这些灾变的发生，它的规模和频率依赖于气候、地质条件和植被等因素。例如水流对侵蚀或沉积演变的影响依赖于降水量的强度、暴雨的频率、雨水进入岩石或土中的数量和速度、水蒸发和迁移到大气圈中的速率等。彼得 (L.C.Peltier) 通过计算，水流造成的侵蚀在全球范围内可以分成三个区 (图 1.1)：①降雨量小的中纬度沙漠；②雨量少的北极和北极圈附近；③有丰富植被覆盖的热带。图 1.2、图 1.3、图 1.4 相应标出了水

流侵蚀强度、风化强度和物质消融强度的区域。这些图虽然不够精确，但根据降雨量和气温的因素可以大致推断出发生灾变的范围。

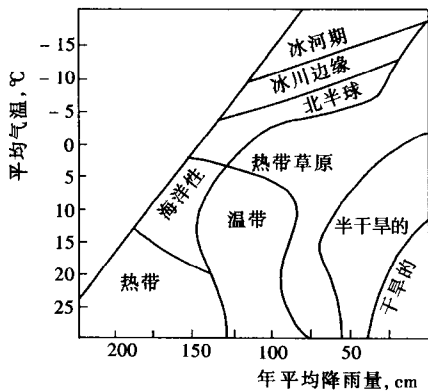


图 1.1 地域形态^[13]

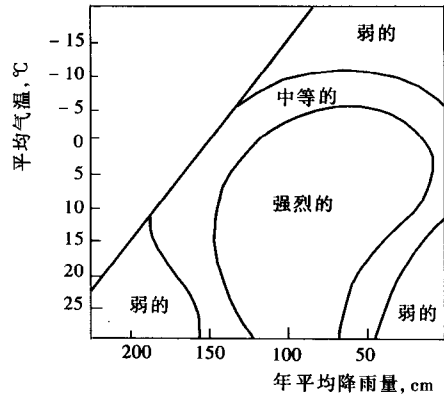


图 1.2 水流侵蚀强度^[13]

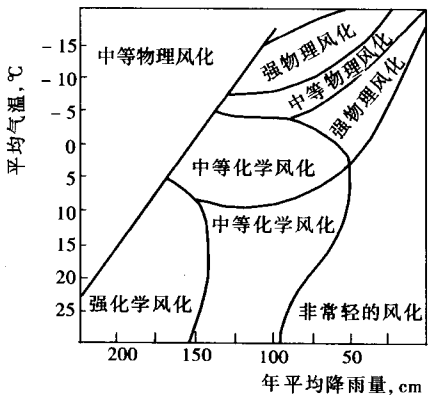


图 1.3 风化强度^[13]

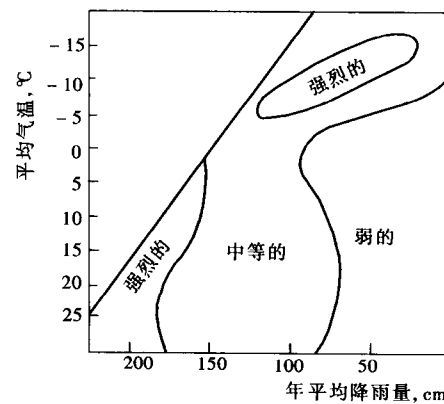


图 1.4 物质消融强度^[13]

观念 5：土地和水的资源一定要有计划地合理利用，无论从经济上的得益还是实际变化造成的损失，两者之间应力求达到平衡。

要得到一个最佳的平衡条件通常是非常困难的，它必须依赖于两方面的比较。其一要充分考虑部分与部分之间的经济利害关系，要照顾互利；其二是要科学地利用资源。据美国一研究机构分析，目前全世界每 15 人中就有 1 人生活在用水紧张或水荒环境中，到 2025 年，就会有三分之一的人可能遭受淡水危机。所以，合理利用资源是当今世界面临的非常严峻的问题。

观念 6：人类人口无计划地增长也是个环境问题。人类的活动应对环境保护负有责任，但人口无计划的增长对环境的影响是十分明显的。人口大量增长，人类的居住空间急剧膨胀，对自然界的索取也越来越多。

图 1.5 表示近 200 年来，世界人口增长示意图。若以 1830 年为基数，到 1930 年的 100 年间，世界人口增长了一倍；尔后时隔 30 年，世界人口又增长了一倍；根据目前增长率计算，世界人口在不到 30 年的时间内又将增长一倍。由于人口增长过速，耕地面积缩小，森

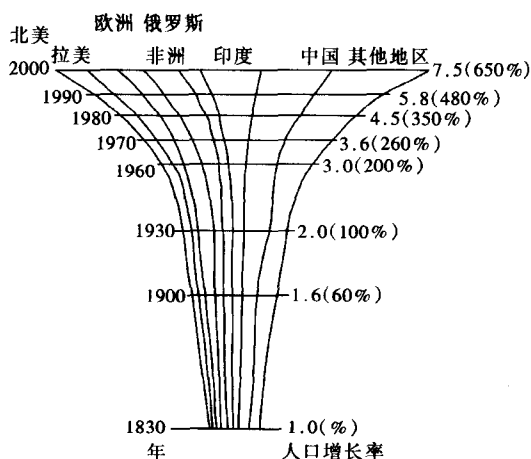
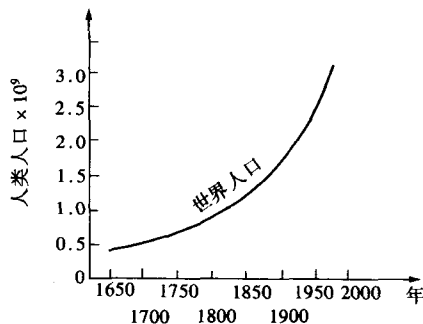


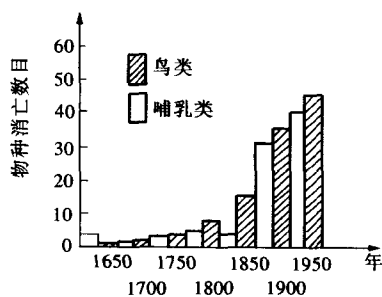
图 1.5 世界人口爆炸图

大片农业土地被毁坏，森林消失，生态环境遭到毁灭性的破坏，其后果是：土地普遍缺乏植被、水和土壤，变成了荒凉的沙漠。

林遭到大量砍伐，能源大量消耗，工业污染，水土流失，动植物物种受到威胁。图 1.6 展示了世界人口增长与物种消亡之间的趋势。两者之间具有惊人的一致性。特别是近年来，由于施肥不当和滥用杀虫剂，使许多动植物的生存空间遭到破坏。据德国图片报报道，全世界每天有 160 种动物和植物物种遭灭绝。目前德国的 273 种飞禽中已有 72 种濒临灭绝。在人类历史发展过程中，一些不负责任的掠夺和战争，常会造成对环境的严重破坏。例如，叙利亚的北部，从前十分繁荣，出口橄榄油和酒类到罗马，自从波斯人和阿拉伯人入侵以后，



(a)



(b)

图 1.6 人口增长与物种消亡^[18]

(a) 人口增长；(b) 物种消亡

1.3 环境岩土工程学研究的内容和分类

环境岩土工程学是研究应用岩土工程的概念进行环境保护的一门学科。这是一门跨学科的边缘科学，涉及面很广，包括：气象、水文、地质、农业、化学、医学、工程学等等。

环境岩土工程学研究的内容大致可以分成三大类。

第一类称为环境工程。它主要是指用岩土工程的方法来抵御由于天灾引起的环境问题。例如：抗沙漠化、洪水、滑坡、泥石流、地震、海啸等等。这些问题通常泛指为大环境问题。

第二类称为环境卫生工程。这一类主要是指用岩土工程的方法抵御由各种化学污染引起的环境问题。例如：城市各种废弃物的处理、污泥的处理等等。

第三类是指由人类工程活动引起的一些环境问题。例如：在密集的建筑群中打桩时，由于挤土、振动、噪声等对周围居住环境的影响；深基坑开挖时，降水和边坡位移；地下隧道

掘进时对地面建筑物的影响等等。

其中第二类的环境卫生工程是环境岩土工程的一个重要方面，其研究内容包括：污染的机理、最终处置的方法和设计以及环境监测等。其他两类亦可泛称为小环境岩土工程问题。

表 1.3 具体列出了环境岩土工程学研究的内容及分类，从表中可以看出，大环境和小环境之间相互是有联系的，例如，大环境中的水土流失、洪水灾害等问题，也可能是由于人类不负责任的生产或工程活动破坏生态环境造成的；人类的水利建设也可能会诱发地震等等。这就是观念 1 所阐明的道理（各环境单元之间共同作用造成的）。

从表 1.3 中还可以看出，环境岩土工程问题要比单纯的技术问题复杂得多，许多标准涉及方方面面。例如，对有毒有害物质的污染问题，医疗卫生部门应提出对人体健康产生危害的标准，生物学家应提出对动植物产生危害的标准，材料分析专家应考虑对建筑物保护的标准等等，从而制定出一系列的法律和法令。例如，美国目前对废弃物的填埋场处理有一整套严密的法律限制。对于淋滤液的泄漏，气味的散发，运行过程中鸟类和动物的繁殖等等都有明确的法律规定。许多不符合标准的填埋场和填埋物都得修理、关闭，甚至重新挖出处理。

表 1.3 环境岩土工程学内容及分类

环境岩土工程学研究的内容		内成的	地震灾害 火山灾害
	大环境问题	外成的	洪水灾害 水土流失 沙漠化 盐碱化 区域性滑坡
	小环境问题	生产活动引起的	采矿造成采空区坍塌 尾矿淋滤污染 工业有毒有害废弃物污染 过量抽汲地下水引起地面沉降
		工程活动引起的	在密集建筑群中打桩造成挤土、 振动、噪声对居住环境的影响 地下工程引起的地层移动

1.4 环境岩土工程学的研究现状

20 世纪 50~60 年代公害事件的显现，人们不断探索，反思这个问题，并已取得基本共识。目前，国外对环境岩土工程的研究主要集中于垃圾土、污染土的性质、理论与控制等方面，而国内则在此基础上有较大的扩展，就目前涉及的问题来分，可以归纳为两大类：第一类是人类与自然环境之间的共同作用问题。这类问题的动因主要是由自然灾变引起的。如

地震灾害、土壤退化、洪水灾害、温室效应等。这些问题通常称为大环境问题。第二类是人类的生活、生产和工程活动与环境之间的共同作用问题。它的动因主要是人类自身。例如,城市垃圾、工业生产中的废水、废液、废渣等有毒有害废弃物对生态环境的危害;工程建设活动如打桩、强夯、基坑开挖和盾构施工等对周围环境的影响;过量抽取地下水引起的地面沉降等等。有关这方面的问题,统称为小环境问题。

1.4.1 大环境岩土工程中的主要问题

多年来,用岩土工程方法抵御自然灾变对人类所造成的危害方面已经积累了丰富的经验。

1. 地震灾害

地震是一种危害性很大的自然灾害,由于地震的作用,不仅使地表产生一系列地质现象,如地表隆起、山崩滑坡等,而且还引起各类工程结构物的破坏,如房屋开裂倒塌、桥孔掉梁、墩台倾斜歪倒等。

因其灾害的严重性,地震已成为许多科学工作者的研究对象。研究重点主要包括作为防震设计依据的地震烈度的研究、工程地质条件对地震烈度的影响、不同地震烈度下建筑场地的选择以及地震对各类工程建筑物的影响等,从而能够为不同的地震烈度区的建筑物规划及建筑物的防震设计提供依据。

2. 土壤退化

土壤退化目前存在的主要问题有荒漠化和盐渍化。荒漠化严重破坏交通、水利等生产基础设施,制约经济腾飞。我国荒漠化地区铁路总长 3 254km,发生沙害地段 1 367km,占 42%,其中危害严重地段 10 825km。交通线路因荒漠化危害而发生阻塞、中断、停运、误点等事故时有发生,荒漠化使许多道路的造价和养护费用增加,通行能力减弱。荒漠化还常常对水利设施造成严重破坏,如泥沙侵入水库、埋压灌渠等。此外荒漠化还对输电线路、通讯线路和输油(气)管线等产生严重威胁,有时甚至危及人身安全,造成重大事故。

盐渍土是指地表以下 1m 以内、易溶盐含量大于 0.5% 的土。土中含盐量超过这个标准时,土的物理力学性质产生较大变化,其含盐量越高,对土的性质影响越大。盐渍土中所含盐类主要是氯盐、硫酸盐和碳酸盐。盐渍土会侵蚀道路、桥梁、房屋等建筑物的地基,引起地基开裂或破坏。

3. 洪水灾害

由于特殊的自然条件和现实因素,我国是全球受洪水威胁最严重的国家之一。在 21 世纪的头 30~40 年间,我国防洪事务面临空前严峻的挑战。据水利部 1997 年公布的“全国水利发展‘九五’计划”和“2010 年远景目标规划”,我国主要江河只能防御常遇洪水,并且平原河道淤积严重,洪涝灾害加剧,难以防御建国以来曾发生过的大洪水。在经济相对发达的珠江流域,除北江大堤及三角洲五大堤围外,沿江各市县设防标准很低,一般为 5~10 年一遇标准,不少城镇未设防。在长江等大江大河的主要支流地区,防洪标准普遍要低于干流 5~10 年以上的标准。

4. 温室效应

温室效应使海平面和沿海地区地下水位不断上升,土体中有效应力降低,从而导致液化及震陷现象加剧、地基承载力降低等一系列岩土工程问题。河川水位上升,又使堤防标准降